



UNIVERSITÉ D'AVIGNON
ET DES PAYS DE VAUCLUSE

**ACADEMIE D'AIX-MARSEILLE
UNIVERSITE D'AVIGNON ET DES PAYS DE VAUCLUSE**

THESE

Présentée pour obtenir le grade de Docteur de l'Université
d'Avignon et des Pays de Vaucluse

Spécialité : *Sciences Agronomiques*

**Amélioration de la conservation des mangues 4^{ème} gamme par
application de traitements thermiques et utilisation d'une
conservation sous atmosphère modifiée**

par Tassadit DJIOUA

Jury

Mme.Yasmine ZUILY-FODIL

M. Essaid AIT BARKA

M.Alain COUDRET

Mme.Marie Noelle DUCAMP-COLLIN

M.Max REYNES

Mme.Florence CHARLES

Mme.Huguette SALLANON

Pr. Université Paris 12, Val de Marne

Dr. Université de Reims

Pr. Université d'Avignon

Dr. CIRAD, Montpellier

Dr. CIRAD, Montpellier

Dr. Université d'Avignon

Pr. Université d'Avignon

Rapporteur

Rapporteur

Examineur

Examineur

Examineur

Examineur

Directrice de thèse

Ecole Doctorale : Sciences des Procédés - Sciences des Aliments (SPSA), Montpellier.

Laboratoire d'accueil : Laboratoire de Physiologie des Fruits et Légumes, EA4279, UAPV, Avignon.



**ACADEMIE D'AIX-MARSEILLE
UNIVERSITE D'AVIGNON ET DES PAYS DE VAUCLUSE**

THESE

Présentée pour obtenir le grade de Docteur de l'Université
d'Avignon et des Pays de Vaucluse

Spécialité : *Sciences Agronomiques*

**Amélioration de la conservation des mangues 4^{ème} gamme par
application de traitements thermiques et utilisation d'une
conservation sous atmosphère modifiée**

par Tassadit DJIOUA

Jury

Mme.Yasmine ZUILY-FODIL	Pr. Université Paris 12, Val de Marne	Rapporteur
M. Essaid AIT BARKA	Dr. Université de Reims	Rapporteur
M.Alain COUDRET	Pr. Université d'Avignon	Examineur
Mme.Marie Noelle DUCAMP-COLLIN	Dr. CIRAD, Montpellier	Examineur
M.Max REYNES	Dr. CIRAD, Montpellier	Examineur
Mme.Florence CHARLES	Dr. Université d'Avignon	Examineur
Mme.Huguette SALLANON	Pr. Université d'Avignon	Directrice de thèse

Ecole Doctorale : Sciences des Procédés - Sciences des Aliments (SPSA), Montpellier.

Laboratoire d'accueil : Laboratoire de Physiologie des Fruits et Légumes, EA4279, UAPV, Avignon.

A mes parents
A ma famille
A Hocine
Et à ...

Remerciements

Mes remerciements vont en premier lieu au Pr. Huguette Sallanon qui a accepté d'encadrer et de diriger ce travail en lui exprimant ma plus profonde gratitude pour m'avoir donné la chance de réaliser cette thèse, pour m'avoir accueillie dans son groupe ainsi que pour sa disponibilité.

Je tiens à remercier le Dr. Florence Charles d'avoir accepté d'encadrer ma thèse, pour son immense implication, pour avoir suivi le déroulement de mon travail avec patience surtout lors des moments difficiles et pour son soutien aussi bien professionnel que personnel pendant toutes ces années passées ensemble.

Je remercie également le Dr. Marie-Noelle Ducamp-Collin, pour sa collaboration scientifique et son aide lors de la réalisation de cette thèse.

Mes sincères remerciements vont aussi au Dr. Heloisa Filgueiras pour avoir suivi ce travail de thèse de près et l'intérêt qu'elle a porté à mes travaux. Je la remercie surtout pour ses qualités humaines et d'avoir été à mes côtés dans les moments les plus difficiles et de m'offrir son amitié.

Je remercie le Dr. Félicie Lauri-Lopez et le Dr. Véronique Vidal avec qui j'ai partagé de très bons moments et dont les échanges scientifiques et personnels m'ont beaucoup apporté et encouragé.

Mes vifs remerciements vont aussi au Dr. Murillo Freire pour sa collaboration scientifique et pour son accueil chaleureux dans son laboratoire à Embrapa-Agroindustria de Alimentos (Rio de Janeiro, Brésil) ainsi qu'à toute son équipe : Henriqueta Guimaraes Barbosa, Antonio Gomes Soares, Marco Antunes de Jesus Carvalho, Mario Ferreira, Flavia, Adriana, Amanda, Renata et Guto.

Mes vifs remerciements aux membres de jury qui ont accepté de juger mon travail et qui m'apportent recommandations et remarques importantes.

Sans oublier Franck Lacroix, Sandrine Legros, Mohamed El Maataoui, Abir, Ramzi, Françoise Varoquaux, Barbara Gouble, Patrice Reling, Raquel, Cléa, Lucicléa, Abdalah,

Claude, Huguette, Rolande, Myriam et Maria pour leur soutien et leur aide durant les années de thèse.

Enfin, mes remerciements les plus profonds vont à tous mes amis du Service des Relations Internationales de l'UAPV, à mes proches et à toutes les personnes qui m'ont exprimé leurs aides morales et leur soutien durant la thèse.

SOMMAIRE

Abréviations

Introduction générale	1
-----------------------------	---

CHAPITRE I: Synthèse Bibliographique

1. La mangue : caractéristiques et production.....	6
1.1. Origine botanique.....	6
1.2. Production et consommation	8
1.3. Composition et valeur nutritionnelle	9
• La vitamine C.....	11
• Les caroténoïdes.....	12
• Les composés phénoliques	13
2. Les fruits 4^{ème} gamme : Définition et procédé de fabrication.....	15
2.1. Définition	15
2.2. Les opérations de fabrication	16
3. La physiologie post récolte de la mangue	17
3.1. La respiration	17
3.2. Production d'éthylène	19
3.3. Evolution de la fermeté	20
3.4. Les altérations de la couleur	23
4. Les traitements appliqués pour diminuer les principales altérations des fruits 4^{ème} gamme	25
4.1. Les traitements physiques	25
4.1.1. Conservation à basse température	25
4.1.2. Les emballages sous atmosphère modifiée (EAM)	25
a) Définition	25
b) Les types d'emballages utilisés pour le conditionnement des fruits 4 ^{ème} gamme	27
• Les films plastiques	28
• Les enrobages	28
4.2. Les traitements chimiques	30
5. Les traitements thermiques : une alternative aux méthodes de conservation traditionnelles	31
5.1. Caractéristiques et modes d'application	31
5.2. Influence des traitements thermiques sur la qualité des fruits entiers	32

▪ Effet sur la synthèse d'éthylène	33
▪ Effet sur la fermeté	34
▪ Effet sur la respiration	34
5.3. Effets des traitements thermiques sur la qualité des fruits 4^{ème} gamme	34

CHAPITRE II: Effet d'un traitement thermique sur la qualité physique et nutritionnelle des mangues 4^{ème} gamme.

Résumé de l'étude	37
-------------------------	----

Publication 1: Improving the storage of minimally processed mangoes (<i>Mangifera indica</i>) by hot water treatments (<i>Postharvest Biology and Technology</i> , 52, 221-226)	38
---	----

CHAPITRE III: Effets du traitement thermique 50 °C /30 min sur la fermeté et l'activité des enzymes pectolytiques des mangues 4^{ème} gamme.

Résumé de l'étude	53
-------------------------	----

Publication 2: Effect of heat treatment on softening and enzymes related to cell wall degradation in fresh-cut mangoes (<i>Postharvest Biology and Technology</i>).....	54
--	----

CHAPITRE IV: Effets du traitement thermique 50 °C /30 min sur les paramètres déterminants la couleur : teneurs en caroténoïdes et oxydation des composés phénoliques.

Résumé de l'étude	67
-------------------------	----

Publication 3: Effects of heat treatment on the colour change of fresh-cut mangoes (<i>Journal of Food Science</i>).....	68
---	----

CHAPITRE V : Effets du traitement thermique 50 °C /30 min couplé à une conservation sous atmosphère modifié sur la qualité des mangues 4^{ème} gamme

1- Association du traitement thermique 50 °C / 30 min avec une conservation sous atmosphère modifiée passive ou active (5 % O₂- 5 % CO₂) : effet sur la qualité des mangues 'Kent' 4^{ème} gamme.

Résumé de l'étude	84
-------------------------	----

Publication 4: Effects of heat treatment in combination with modified atmosphere packaging on the quality of fresh-cut mangoes (<i>Food Research International</i>)	85
--	----

2- Effet de l'association du traitement thermique 50 °C / 30 min avec un enrobage à base de chitosane sur la qualité des mangues 'Tommy Atkins' 4^{ème} gamme.

Résumé de l'étude105

Publication 5: Combined effects of postharvest heat treatment and chitosan coating on quality of fresh-cut mangoes (*Mangifera indica* L.) (*International Journal of Food Science and Technology*, 45, 849-855)106

CHAPITRE VI: Synthèse des résultats et discussion générale119

Conclusion générale et perspectives126

Références bibliographiques.....128

Annexes.....148

Abbreviations

β-GAL	β-galacturonase
FAO	Food and Agricultural Organisation
HSP	Heat Shock Protein
HWD	Hot Water Dipping
HWT	Hot Water Treatment
MAPa	active Modified Atmosphere Packaging
MAPp	passive Modified Atmosphere Packaging
MDA	malondialdehyde
OMS	Organisation Mondiale de la Santé
OPP	Polypropylène orienté
PAL	Phenyl alanine ammonia lyase
PG	Polygalacturonase
PME	Pectine methylesterase
POD	Peroxydase
PPO	Polyphenol oxydase
RR	Respiration Rate
TA	Titrateable Acidity
TSS	Total Soluble Solids

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Introduction Générale

L'alimentation est aujourd'hui perçue comme un des facteurs de santé publique et les fruits et légumes sont particulièrement recommandés. Trois arguments sous-tendent les bénéfices des fruits et légumes pour la santé : une contribution importante en micronutriments nécessaires au bon fonctionnement de l'organisme, un effet protecteur contre les grandes pathologies chroniques que sont les maladies cardiovasculaires, neurodégénératives et métaboliques (diabète) et les cancers, et enfin un contenu énergétique faible, point qui devient crucial de nos jours avec le développement rapide du surpoids et de l'obésité. Qu'ils soient frais, en conserve ou surgelés, les fruits et légumes sont la source quasi exclusive de vitamine C pour l'organisme humain. Ils apportent également des vitamines du groupe B, du bêta carotène (provitamine A) (ce qui pourrait expliquer leur effet protecteur vis-à-vis des maladies cardiovasculaires et de certains cancers), une quantité non négligeable de minéraux et oligo-éléments (potassium, magnésium, calcium, fer, cuivre etc...) et des polyphénols. En France, le Programme National Nutrition Santé (PNNS) recommande de manger « 5 fruits et légumes par jour ». Cependant, la consommation moyenne nationale des fruits et légumes est inférieure aux 400 g quotidiens recommandés par l'OMS et le PNNS. De ce fait, il est donc important de proposer des produits qui favoriseraient la consommation de fruits et légumes.

Les produits 'prêts à l'emploi' sont apparus dans les années 80 en Europe. Ils sont aussi appelés produits 4^{ème} gamme car ils complètent la classification des produits : 1^{ère} gamme (produits frais entiers) ; 2^{ème} gamme (produits appertisés en conserves) et 3^{ème} gamme (produits surgelés). Les produits 4^{ème} gamme sont définis comme étant des végétaux crus ayant été lavés et découpés et qui sont conditionnés dans des emballages et conservés à une température égale à 4°C. Ils sont soumis à une Date Limite de Consommation (DLC) définie par des critères microbiologiques. Un exemple classique est la salade en sachets. Le développement de ces produits bénéficie d'innovations en terme de technicité au niveau industriel et de recherche, ce qui a permis d'améliorer les étapes de fabrication et les méthodes de conservation (Varoquaux, 2002). La technique la plus efficace pour améliorer la conservation des fruits et légumes après le stockage à température réfrigérée est l'Emballage sous Atmosphère Modifiée (Kader 1989). L'emballage permet d'obtenir autour des produits des teneurs en oxygène abaissées et des teneurs en dioxyde de carbone légèrement augmentées par rapport à celles de l'air ambiant (O₂ : 21 %, CO₂ : 0.03 %, N₂ : 78 %). Ces atmosphères gazeuses « modifiées » permettent de ralentir l'activité respiratoire, le métabolisme global et donc les réactions de dégradation des produits sans utilisation

d'additifs ni autres conservateurs. Dans les emballages, les atmosphères résultent des teneurs gazeuses initiales, des transferts de gaz à travers le film et de l'activité respiratoire des produits. En France, le marché des végétaux 4^{ème} gamme représente environ 100 000 tonnes de produits et 350 à 400 millions d'euros de chiffres d'affaire par an . Il représentait en 2006, 2,2 % en volume et 8 % en valeur de l'ensemble des fruits et légumes consommés. Ce marché augmente régulièrement et il progresse actuellement de 8 à 10 % par an. Cet engouement pour cette gamme de produits s'explique par : (1) le fait qu'ils permettent de contourner les limitations de consommation des fruits et légumes liée au mode de vie actuel pour lequel le temps disponible pour la préparation des repas est de plus en plus restreint et (2) du fait qu'ils répondent aussi aux critères nutritionnels et aux objectifs de santé publique qui sont aujourd'hui largement diffusés (PNNS). Dans ce segment, les salades 4^{ème} gamme représentent le produit le plus commercialisé (90%). Le marché des fruits 4^{ème} gamme est encore peu développé et semble donc le marché idéal pour de nouvelles innovations. La stimulation de la consommation des fruits 'prêt à l'emploi' passe par une augmentation de la qualité organoleptique et nutritionnelle et par une diversification de l'offre des producteurs et des acteurs de l'aval de la filière fruits et légumes.

Les fruits tropicaux ont jadis été cultivés pour une distribution et consommation locale. Actuellement, la plupart de ces fruits tels que la banane, l'ananas, la papaye et la mangue font partie des récoltes horticoles les plus importantes à travers le monde. Les fruits tropicaux sont de plus en plus présents sur les marchés européens répondant à la demande accrue des consommateurs. La mangue est un fruit riche en 'valeur santé' pour ses teneurs élevées en caroténoïdes, flavonoïdes, vitamines et fibres. Elle est connue par sa richesse en antioxydants essentiellement en provitamine A (en moyenne 10mg /100 g matière fraîche) et en vitamine C avec environ 27 mg /100 g matière fraîche (USDA Nutrient Database). Une demi mangue suffit pour recevoir la totalité de l'apport quotidien recommandé en provitamine A, et plus de 66 % du total conseillé pour la vitamine C. De plus avec un apport énergétique de 56 kilocalories pour 100 g de fruit, la mangue fait partie des fruits moyennement caloriques. La mangue est de plus en plus appréciée par le consommateur français. Selon le Centre Technique Interprofessionnel des Fruits et Légumes (CTIFL), sa consommation a augmentée de 20 % entre 2005 et 2006 derrière l'ananas. Toutefois, elle est consommée exclusivement en tant que fruit entier et ne se trouve quasiment pas parmi les gammes de fruits 4^{ème} gamme proposées au consommateur, c'est pourquoi le projet de thèse souhaite développer un produit mangue 4^{ème} gamme.

La problématique des produits ‘prêts à l’emploi’ est leur courte durée de vie. En effet, ces produits se détériorent rapidement freinant l’export et la durée de conservation du fait qu’ils sont des produits vivants dont les activités métaboliques, perturbées par les opérations de transformation, se poursuivent au cours de la conservation. Des altérations physiologiques, des transformations biochimiques et la croissance de microorganismes, peuvent altérer la couleur, la texture, la saveur et la qualité sanitaire des produits.

La couleur est le principal facteur attractif et l’attribut majeur de la qualité selon les consommateurs. La modification de la couleur, généralement par le brunissement des produits, est considérée comme l’un des paramètres limitant la durée de vie et la commercialisation des produits 4^{ème} gamme. Le deuxième paramètre de qualité est la fermeté qui renseigne le consommateur sur la fraîcheur du produit.

De nombreuses recherches existent sur les techniques qui permettent de préserver la qualité du produit. Parmi les solutions proposées : les atmosphères modifiées, l’addition d’antioxydants (ex : acide ascorbique, acide citrique) et d’agents de raffermissants (ex : calcium). Toutefois, le consommateur refuse de plus en plus de trouver des produits chimiques dans son assiette. De ce fait, il est opportun de rechercher des techniques naturelles pour améliorer la conservation des produits ‘prêts à l’emploi’.

Les traitements thermiques ont toujours été connus par les producteurs de fruits tropicaux. Durant plusieurs années, ils ont été utilisés comme traitements de quarantaine appliqués aux fruits avant leur export et leur commercialisation (Lurie, 1998). En effet, plusieurs pays tel que les Etats Unis ou le Japon, exigent du pays producteur un certificat de traitement de quarantaine effectué sur leurs produits. Ces traitements permettent de désinsectiser les fruits et de prévenir toute contamination fongique après la récolte et durant la conservation. Les traitements thermiques sont totalement naturels et les méthodes les plus couramment utilisées sont l’eau soit par immersion ou par vapeur et l’air chauffé ou forcé (Lu, 2007). Toutefois, le traitement par immersion semble avoir plusieurs avantages qui sont : une facilité d’utilisation, une durée du traitement réduite, un suivi et contrôle fiable de la température du fruit et de l’eau du traitement et enfin la destruction totale des agents pathogènes déposés sur le fruit et qui causent des altérations microbiologiques post récolte (Couey, 1989 ; Sharp, 1994). Pour le bon fonctionnement de ce traitement, deux paramètres doivent être pris en compte : la température et la durée du traitement. Ces deux paramètres varient en fonction du type du végétal, sa morphologie et sa physiologie.

Récemment, des recherches scientifiques ont montré l’efficacité des traitements thermiques sur l’amélioration de la qualité des fruits et légumes (Lurie, 2006 ; Saltveit, 2000).

L'application de la chaleur induit un ralentissement de l'intensité respiratoire, de la synthèse de l'hormone de maturation, l'éthylène, et le ralentissement de l'altération de la couleur et de la fermeté. Pour ce projet le choix du traitement naturel s'est porté sur le traitement thermique par immersion du fruit entier de mangue et ce, avant transformation du produit en 4^{ème} gamme.

La démarche expérimentale

La première étape de ce travail a consisté en la sélection d'un traitement thermique (choix de la température et de la durée du traitement) à partir de paramètres qualitatifs objectifs : couleur, fermeté, intensité respiratoire et étude de l'impact du traitement thermique sur l'évolution des critères nutritionnels durant la durée de conservation des mangues 4^{ème} gamme : vitamine C et caroténoïdes totaux (**Chapitre II ; Publication 1**). Les résultats qui ont découlé de la première étape du projet ont mis en évidence que deux paramètres de qualité ont été fortement améliorés par le traitement thermique: la fermeté et la couleur.

Le chapitre III détaille alors l'effet du traitement thermique sur les paramètres qui déterminent la fermeté : le potentiel de turgescence et l'activité des enzymes pectolytiques (Pectinmethylesterase (PME), Polygalacturonase (PG), β -galactosidase (β -Gal)) (**publication 2**). Nous avons ensuite étudié l'effet de ce traitement sur la couleur (système CIELAB) et sur les composants biochimiques (caroténoïdes et phénols totaux) **chapitre IV (publication 3)**.

Enfin dans la dernière partie (**Chapitre V**), le couplage du traitement thermique avec une conservation sous atmosphère modifiée a été analysé. L'atmosphère modifiée a été réalisée de deux façons : deux types de film d'emballages ont été utilisés :

- a)** Avec un film en plastique (OPP 40 μ coextrudé transparent, 1200 ml/m².24h de perméabilité à l'O₂) qui est un film largement utilisé pour la conservation des denrées alimentaires grâce à ses propriétés de thermoscellabilité et de transparence (**publication 4**).
- b)** Avec un film d'enrobage à base de chitosane, un polysaccharide naturel, utilisé en enrobage alimentaire en raison de sa propriété filmogène et de ses effets antimicrobiens (**publication 5**).

Le manuscrit s'organise en trois parties. Une synthèse bibliographique (chapitre I) qui permet (1) de présenter le fruit étudié dans cette thèse, (2) les mécanismes de maturation et d'altérations post récolte des fruits et (3) les principales techniques de conservation des fruits 4^{ème} gamme. Ensuite, les résultats, sont regroupés en 4 chapitres s'articulant autour de 5

Introduction Générale

articles scientifiques publiés ou soumis pour publication dans des revues à comité de lecture international. Enfin, le manuscrit se termine par une synthèse des résultats obtenus dans ce travail, une discussion et une conclusion avec les perspectives envisagées pour la poursuite de ce travail (Chapitre VI).

CHAPITRE I

SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

1. La mangue : caractéristiques et production**1. 1. Origine botanique**

Le manguier, *Mangifera indica*, est originaire d'une région située à la frontière indo birmane. Le manguier est un arbre qui peut atteindre jusqu'à 30 mètres de haut et qui est adapté à une gamme climatique tropicale étendue à pluviométrie annuelle très variable et peut croître sur des sols très variés. Des températures comprises entre 24 et 30 °C sont optimales pour le développement de l'arbre et la croissance des fruits (Fruitrop, 2009). Originellement, on distingue deux grandes familles de mangue, aux caractéristiques bien spécifiques, en fonction de la zone de production : la sous région indienne ou l'Asie tropicale (tableau 1).

Tableau 1 : Caractéristiques des deux familles de mangue (Fruitrop, 2009)

Critères	Indienne	Asie tropicale
Zone de diversification	Inde, Pakistan	Birmanie, Malaisie, Philippines
Graine	Mono embryonnée	Poly embryonnée
Forme	Arrondie à ovoïde	Allongée à section cylindrique ou aplatie
Couleur de l'épiderme	Jaune à orange parfois taché de pourpre	Vert à vert jaunâtre, pourpre absent
Goût	Prononcé	Moins prononcé
Remarque	Sensible à l'anthracnose	

Actuellement, le manguier est présent dans toute la zone intertropicale et dans une moindre mesure, dans le pourtour méditerranéen (Egypte, Espagne, Israël, etc.) (Braz, 2004). On le trouve dans tout le sud-est asiatique, en Afrique de l'ouest, à Hawaï, et dans toutes les basses terres de l'Amérique centrale et du sud.

Il existe des centaines de variétés de mangues qui se différencient par les caractéristiques des fruits : goût, couleur de la chair et de la peau, taille, format, importance des fibres, résistance au transport et au stockage, résistance aux maladies et aux insectes, etc. Cependant les critères bien définis des principaux marchés ont favorisé le développement de quelques variétés dont les caractéristiques sont résumées dans le tableau 2.

La mangue est une drupe ronde, ovale ou réniforme selon les variétés. C'est un fruit de taille et de masse variable selon les cultivars avec une peau lisse et mince qui présente diverses nuances de vert au rouge ne passant par le jaune et l'orange que lorsque le fruit est à maturité. Il est aussi caractérisé par la présence de lenticelles sur toute la surface de l'épiderme. La pulpe adhère à un noyau imposant, de forme plus ou moins aplatie et elle est constituée

CHAPITRE I: Synthèse Bibliographique

essentiellement de cellules parenchymateuses (figure 1). Par sélection, le mésocarpe est aujourd'hui peu fibreux.

Tableau 2 : Caractéristiques des principales variétés commercialisées de mangue

Variétés	Forme du fruit	Calibre	Coloration	Période de production	Aspect et caractéristique de la chair
Floridiennes ou américaines					
Haden	Ovale à cordiforme arrondi	340-560g	Jaune et rouge foncé	Précoce	Jaune orange, bien juteuse, légèrement acidulée.
Keitt	Ovale	450-680g	Jaune orange coloré en rose carminé	Tardive	Orange à jaune foncé, relativement ferme mais tendre, fondante, juteuse, fruitée, présence de fibres fines non gênantes.
Kent	Ovoïde gros	750-800g	Jaune verdâtre coloré de rouge foncé	Fin de pleine saison	Jaune intense à jaune orange, fondante, juteuse, sans fibres.
Palmer	Long oblong arrondi	450-680g	Jaune orangé coloré en rose rouge/pourpre	Fin de pleine saison	Jaune à jaune orange, ferme, texture douce, sucrée à maturité, quelques fibres
Tommy Atkins	Ovoïde à légèrement oblong	450-710g	Orange jaune coloré en rouge brillant	Semi-précoce	Orangé prononcé, juteuse, légèrement fibreuse.
Indiennes					
Alphonso	Oblong	±350g	Jaune	Semi-précoce	Très sucrée, jus abondant, très agréable au goût.
Antillaises					
Amélie	Arrondi	300-600g	Vert orange	Précoce et pleine saison	Orange foncé, molle, fondante, très savoureuse.
Julie	Oblong	140-285g	Jaune orange coloré de carmin	Pleine saison	Très aromatique avec parfois un léger goût de résine, peu ou pas de fibres.

Extrait de Fruitrop n° 23, source : Le Manguier- F. de Laroussille

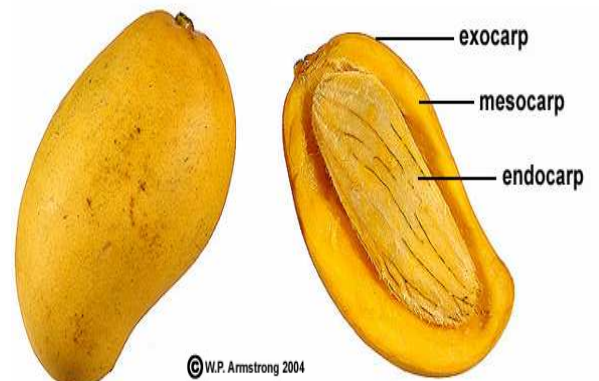
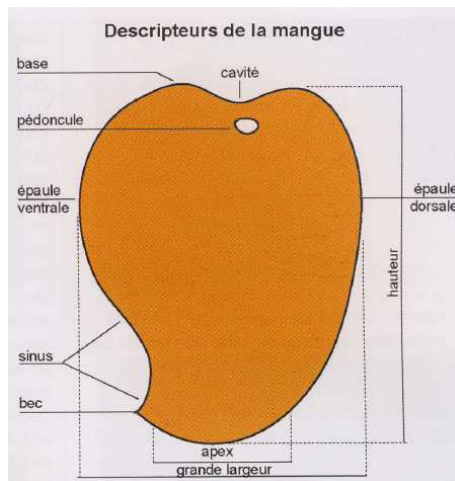


Figure 1 : Schéma du fruit de mangue (Fruitrop, 2009; site : <http://waynesword.palomar.edu/ecoph9.htm>)

1.2. Production et consommation

Parmi les fruits tropicaux la mangue est l'un des fruits les plus produit dans le monde après la banane, et suivi de l'ananas, de la papaye et de l'avocat puis par les fruits appelés «mineurs» : le ramboutan, le longane, le mangoustan, le litchi, la carambole, le fruit de la passion et la goyave. Selon les données de l'Organisation des Nations Unis pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO), la production globale de mangues a atteint approximativement 34 millions de tonnes en 2007 (tableau 4). Toujours selon la FAO, l'Asie, concentre plus de 77 % des surfaces de la production suivie de l'Amérique latine et de l'Afrique, lesquelles participent respectivement à 14 % et 9 % de la production mondiale. Comme le montre la tableau 3, l'Inde concentre à elle seule près de la moitié (40 %) de la production mondiale suivie par la Chine (11 %), le Pakistan (7 %) et le Mexique (6 %).

Tableau 3 : Production mondiale de mangue (et goyave et mangoustan) en 2007 exprimée en tonnes et en pourcentage (Fruitrop n° 164. Février 2009)

Pays	Production mondiale (tonne)	Production mondiale (%)
Monde	33 445 000	
Inde	13 501 000	40
Chine	3 752 000	11
Pakistan	2 250 000	7
Mexique	2 050 000	6
Thaïlande	1 800 000	5
Indonésie	1 620 000	5
Brésil	1 546 000	5
Philippines	975 000	3
Nigeria	734 000	2
Egypte	320 000	1
Vietnam	370 000	1
Yemen	350 000	1
Cuba	310 000	1
Pérou	245 000	1
Haiti	260 000	1

La mangue demeure un produit exotique très prisé par les européens. Les volumes importés par l'Europe ne cessent de croître (184 500 tonnes en 2005 et 210 300 tonnes en 2006). Dans l'Europe des 15, la consommation se situe toutefois seulement autour de 460 g /hab/ an, deux fois moins qu'aux Etats-Unis (Service des Nouvelles des Marchés ; SNM). En 2007 et avec

16 000 tonnes, la France reste l'un des plus gros importateurs européens de mangue mais se situe loin derrière les Pays-Bas qui totalisent 55 000 tonnes.

1. 3. Composition et valeur nutritionnelle

Comme la majorité des fruits, la mangue est composée essentiellement d'eau (> 80%) et de polysaccharides avec un taux faible en protéines et en matières grasses. Les teneurs rapportées dans le tableau 4 restent indicatives et dépendent des variétés. Avec un apport énergétique de 56 kilocalories pour 100 g de fruit, la mangue fait partie des fruits moyennement calorique.

Le taux d'amidon dans la peau et la pulpe augmente continuellement entre les phases de formation du fruit et de maturité de récolte (Lakshminarayana et al, 1970). Lors de la maturation, la teneur en amidon diminue sous l'action de la β -amylase et la teneur en sucres solubles augmente (Silva et al, 2008). Shashirekha et Patwardhan (1976) ont démontré une augmentation du glucose (420 à 4200 mg/100g), du fructose (560 à 4300 mg/100g) et du saccharose (16 à 4400 mg/100g) pendant la maturation des mangues 'Badami'. D'autre part, les acides gras sont peu abondants dans la mangue avec des teneurs entre 0.26 et 0.67 % selon les variétés (Selvaraj et al, 1989).

De plus, le fruit de mangue est apprécié pour sa richesse en antioxydants (vitamine C, caroténoïdes et polyphénols) et en minéraux (calcium et potassium) (tableau 4). Nous allons détailler la richesse de la mangue en composés antioxydants.

Tableau 4 : Composition de la pulpe de mangue (USDA, Nutrient Database for Stanadrd Référence, 2001).

Constituent	Amount in 100 g fresh pulp
Water	81.7 g
Energy	65 kcal (272 kj)
Protein	0.51 g
Fats	0.27 g
Carbohydrates	17.00 g
Total dietary fiber	1.8 g
Ash	0.50 g
Minerals	
calcium	10 mg
iron	0.13 mg
magnesium	9.0 mg
phosphorus	11 mg
potassium	156 mg
sodium	2 mg
zinc	0.04 mg
copper	0.11 mg
manganese	0.027 mg
selenium	0.6 mcg
Vitamins	
vitamin C (total ascorbic acid)	27.2 mg
thiamine	0.056 mg
riboflavin	0.57 mg
niacin	0.584 mg
pantothenic acid	0.16 mg
vitamin B ₆	0.160 mg
total folate	14 mcg
vitamin A, IU	3894 IU
vitamin A, RE	389 mcg_RE
vitamin E	1.120 mg_ATE
tocopherols, alpha	1.12 mg
Lipids	
total saturated fatty acids	0.066 g
total monounsaturated fatty acids	0.101 g
total poly unsaturated fatty acids	0.051 g
cholesterol	0.00 mg
Amino acids	
Tryptophan	0.008 g
Threonine	0.019 g
Isoleucine	0.018 g
Leucine	0.031 g
Lysine	0.041 g
Methionine	0.005 g
Phenylalanine	0.017 g
Tyrosine	0.01 g
Valine	0.026 g
Arginine	0.019 g
Histidine	0.012 g
Alanine	0.051 g
Aspartic acid	0.042 g
Glutamic acid	0.06 g
Glycine	0.021 g
Proline	0.018 g
Serine	0.022 g

• **La vitamine C**

L'acide L-ascorbique ($C_6H_8O_6$) (figure 2) est le composé qui désigne la vitamine C. Cette vitamine joue un rôle important contre le stress oxydatif provoqué par les Espèces Réactives de l'Oxygène (ERO). Lorsque le végétal est soumis à des stress abiotiques ou biotiques, le niveau des ERO peut augmenter considérablement. Dans ce cas, l'ascorbate participe aux mécanismes de défense antioxydants qui vont réduire le niveau intracellulaire des ERO (Foyer et al. 1994). La molécule d'acide ascorbique semble jouer un rôle dans des mécanismes aussi diversifiés qu'importants au niveau de la santé humaine : réactions immunitaires, oxydation cellulaire, cancer, hypertension, risques cardiovasculaires et cataracte (Naidu, 2003). Comme la vitamine C n'est pas synthétisée par l'Homme, les végétaux constituent la principale source, principalement les légumes verts feuillus et les fruits comme ceux de la famille des agrumes, les baies (cassis, groseille), les kiwis, la tomate ...etc. La quantité de vitamine C quotidienne recommandée pour un adulte est de 60 mg. La mangue contient approximativement 27 mg de vitamine C par 100 g de matière fraîche (tableau 4) et une demi mangue suffit pour recevoir 2/3 de l'apport quotidien recommandé en cette vitamine (Joas, 2009).

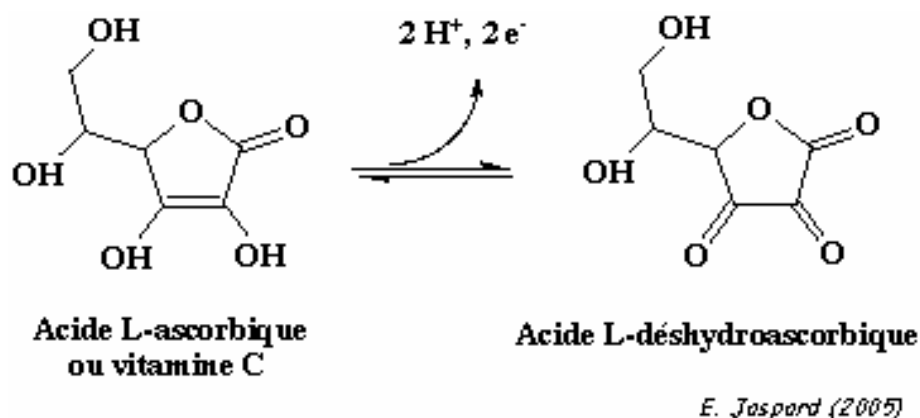


Figure 2 : Formes de l'ascorbate (d'après Jaspard, 2005).

- **Les caroténoïdes**

Les caroténoïdes sont des molécules lipidiques appartenant à la famille des terpènes. La biosynthèse des caroténoïdes dérive de la biosynthèse générale des isoprénoïdes et l'embranchement de ces deux voies se fait au niveau du phytoène (figure 3).

La couleur est l'élément caractéristique de ces molécules, elle peut varier du jaune au rouge. Ces molécules doivent leur couleur à leur système de doubles liaisons conjuguées créant un chromophore et permettant ainsi l'absorption de la lumière visible entre 400 nm et 500 nm.

Chez les organismes photosynthétiques, les caroténoïdes interviennent au niveau de l'antenne photo-collectrice qui permet le transfert de l'énergie lumineuse à la chlorophylle. Mais l'intérêt de ces pigments tient également à leurs propriétés anti-oxydantes (Savy, 2005). Leur structure permet de piéger les ERO protégeant ainsi la cellule. Certains caroténoïdes sont des éléments nutritifs importants pour l'Homme et les animaux puisqu'ils servent de précurseurs à la vitamine A, le rétinol. En effet, la première étape dans la formation du rétinol est le clivage de la double liaison centrale du β -carotène, ce qui permet l'obtention de deux molécules de rétinol qui, après réduction, donneront la vitamine A (Armstrong, 1999 ; Bauernfeind, 1981). Les caroténoïdes seraient également impliqués dans la prévention de certaines maladies : les maladies de l'oeil dont la DMLA (Dégénérescence Maculaire Liée à l'Age), les maladies cardiovasculaires, certains cancers et l'érythème induit par la lumière.

Les caroténoïdes sont prédominants dans la mangue et le β -carotène est le composé majoritaire. Ils sont responsables de la couleur attrayante des mangues mûres (Medlicott et al, 1986) et leur teneur augmente au cours de la maturation (Doreyappa Gowda, 2002) ce qui se traduit par un changement de couleur. La teneur en caroténoïdes dans la pulpe du fruit mûr varie selon le stade de maturité, la variété et la zone géographique de production (Joas, 2009). Il a été démontré que le taux de caroténoïdes totaux de la chair de mangue augmente de 12.3 à 38.0 $\mu\text{g/g}$ chez 'Keitt' et de 17.0 à 51.2 $\mu\text{g/g}$ chez 'Tommy Atkins' durant la maturation (Mercandante et al, 1998).

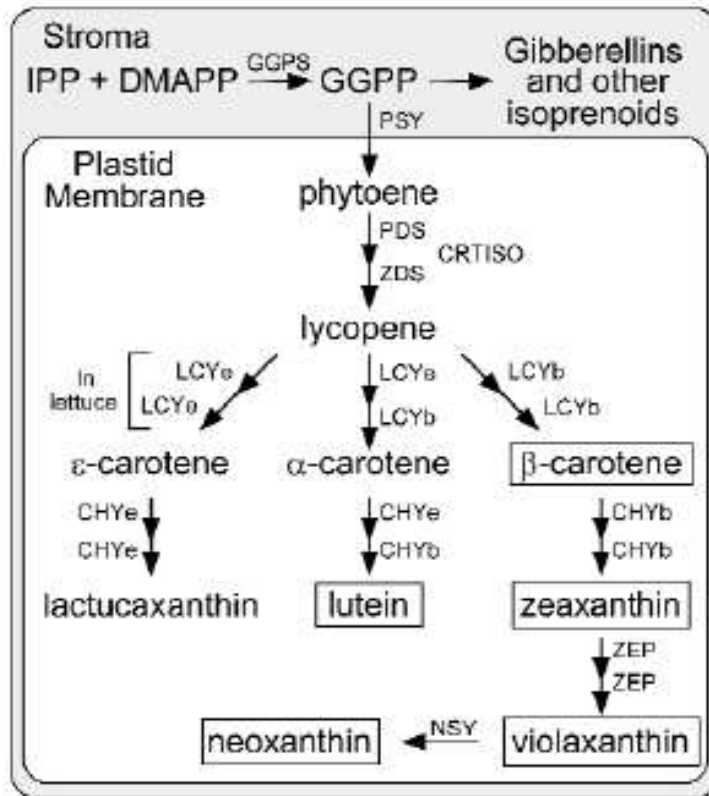


Figure 3 : Voie de synthèse des caroténoïdes dans les plastes des plantes.

Abbreviations: DMAPP : dimethylallyl diphosphate; GGPP : geranylgeranyl diphosphate; IPP : isopentenyl diphosphate. (Cunningham. Jr, 2002).

• Les composés phénoliques

Il y a quatre principales familles de composés phénoliques : les acides phénoliques, les flavonoïdes les anthocyanes et les tanins. Les composés phénoliques sont des éléments importants dans la qualité sensorielle (couleur et astringence) et nutritionnelle des végétaux : lutte contre certains cancers et possèdent une activité antioxydante (contre le vieillissement cellulaire).

La mangiférine, l'acide gallique (acides m-digallique et m-trigallique), les gallotanins, la quercétine, l'isoquercétine, l'acide ellagique et le β-glucogallin représentent les composés phénoliques majeurs identifiés dans la pulpe de mangue (Scheiber et al, 2000). L'acide gallique a été identifié comme étant le phénol majoritaire chez la mangue suivi par les tanins hydrolysables (Kim et al, 2007). Les composés phénoliques sont synthétisés par la voie des phénylpropanoïdes qui consiste à la conversion de la L-phénylalanine en acide trans-cinnamique par la phénylalanine ammonia-lyase (PAL) (figure 4). La PAL est l'enzyme clé de la synthèse des polyphénols et son activité est régulée par des facteurs internes (liés au

développement) et par des facteurs externes (environnement, traitements post récolte). Les stress biotiques (ex : attaque de pathogènes) ou abiotiques (stress physiques) augmente l'activité de la PAL avec augmentation de la transcription des ARNm de PAL (Saltveit, 2010).

En général, la teneur en composés phénoliques diminue durant la maturation des fruits climactériques tel que la mangue (Haard and Chism, 1996). D'autre part, les composés phénoliques, par leur structure, sont des composés facilement oxydables par les enzymes. Les réactions du brunissement des fruits et légumes sont généralement considérées comme une conséquence directe de l'oxydation des composés phénoliques par les enzymes polyphénol oxydases (PPO) et la peroxydase (POD) qui aboutit à la formation de quinones qui se polymérisent par la suite pour donner des composés bruns (Degl'Innocenti et al. 2005) (voir 3.4).

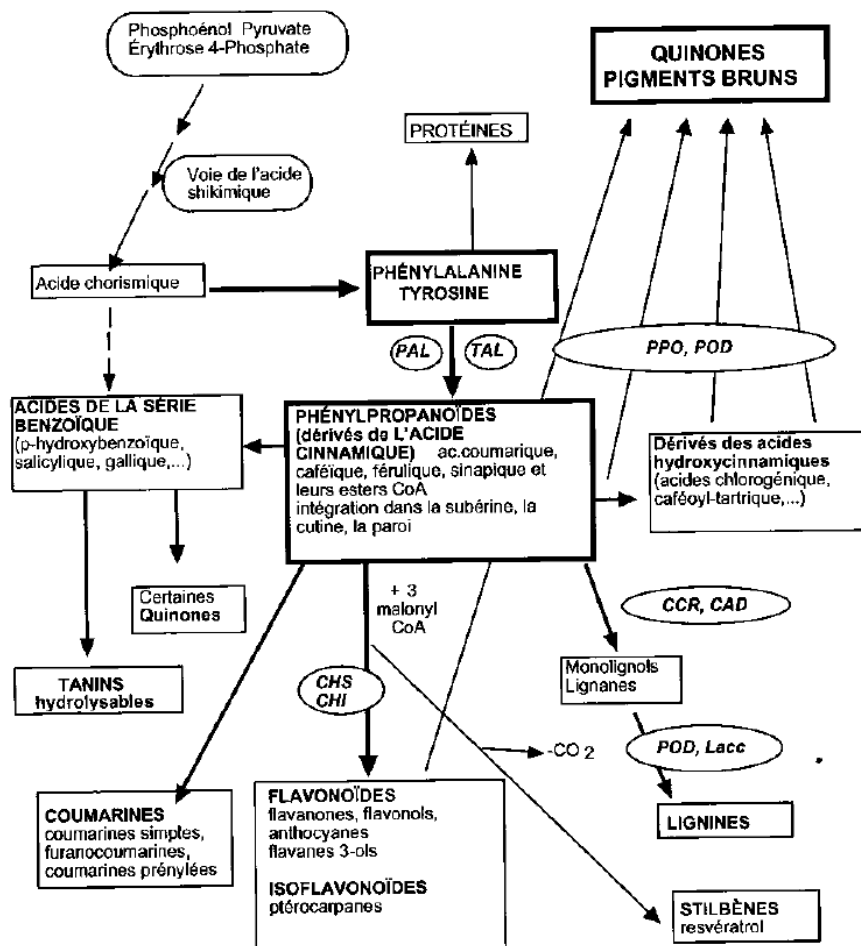


Figure 4 : Les grandes lignes de la biosynthèse des principaux groupes de composés phénoliques (d'après Macheix, 1996).

2. Les fruits 4^{ème} gamme : Définition et procédés de fabrication

2.1. Définition

Durant les années 90, les produits faiblement transformés dits '4^{ème} gamme' sont apparus sur les marchés occidentaux. Ils sont définis comme étant des produits frais ayant subi des opérations multiples tels que le lavage, le pelage, le parage, la découpe, un lavage de désinfection, et un conditionnement dans un emballage (Wiley, 1997). En France, les formules de fruit préparé ont connu un engouement de la part des consommateurs. En effet, d'après une étude du Crédoc (Centre de Recherche pour l'Etude et l'Observation des Conditions de vie) publiée en 2007, près de 72 % des personnes interrogées se disaient intéressés par les fruits préparés pour une consommation immédiate. Toujours selon le Crédoc, les consommateurs estiment que les fruits de 1^{ère} gamme (frais) ne se conservent pas assez, et qu'on en jette trop. Cela les incite à chercher un meilleur rapport qualité prix et à se rapporter vers les fruits préparés qui leur apportent également une assurance sur les limites de conservation (DLC), un maintien de la qualité organoleptique grâce à la température contrôlée et un emballage protecteur (Détail Fruits et Légumes, 2009). De ce fait, les industries agroalimentaires se sont intéressées à ce créneau et commencent à proposer ces produits avec une gamme variable de fruits tel que les barres d'ananas (Cœur de Fruits) et les morceaux de pomme (I.D Fruits) (figure 5). Cependant, malgré quelques propositions de certains industriels tel que M'Les fruits, l'offre des mangues 4^{ème} gamme reste restreinte.



Figure 5 : Exemples de fruits 4^{ème} gammes proposés au consommateurs actuellement.

2.2. Les opérations de fabrication des fruits 4^{ème} gamme

Les opérations unitaires du processus de fabrication des produits 4^{ème} gamme sont représentés sur la figure 6.

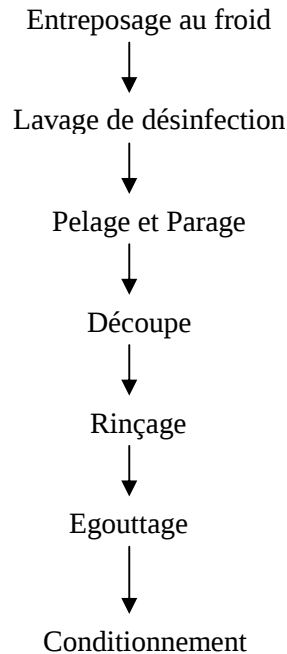


Figure 6: Opérations de fabrication des fruits 4^{ème} gamme

L'opération de lavage et désinfection permet d'éviter la contamination des morceaux de fruit par la surface de celles-ci. Selon la législation française, elle peut s'effectuer par trempage dans des bacs contenant des solutions d'eau chlorée ou bien d'hypochlorite de sodium à 80 ppm selon le Guide des bonnes pratiques (1996).

Le pelage et le parage consistent à éliminer les parties non consommables. L'élimination des peaux et des noyaux est effectuée soit manuellement, soit à l'aide de machines spécialisées. Ces outils doivent être affûtés pour éviter toute compression et arrachement. En effet, il a été démontré que la réponse au stress de blessures est proportionnelle à la surface découpée par unité de poids et dépend des affûtages des lames (Bolin et Huxsoll, 1989).

La découpe est l'opération qui permet de donner la forme finale du produit et dans la plupart des lignes de fabrication, le produit tombe immédiatement après découpe dans le bac de lavage (Charles et Varoquaux, 2007).

Ce lavage permet d'éliminer les sucs cellulaires contenant les enzymes et les substrats notamment du brunissement enzymatique. Il est pratiqué dans des bacs remplis d'eau chlorée.

Lorsque, les végétaux sont mis au contact avec de l'eau chlorée, la réglementation française impose ensuite un lavage à l'eau potable (Varoquaux, 2002). Les morceaux sont ensuite égouttés par centrifugation. Toutefois, il faut que cette technique soit appliquée avec précaution pour ne pas abîmer les fruits les plus sensibles aux chocs mécaniques comme les morceaux de la mangue.

Enfin, les fruits prêts à l'emploi sont conditionnés en sachet ou en barquette et scellés ou operculés. Les produits sont ensuite conservés à des températures basses de l'ordre de 4 - 6 °C.

3. La physiologie post récolte de la mangue

Après récolte, les fruits restent des produits vivants qui continuent les processus de maturation. La maturation des fruits correspond à un processus génétiquement programmé. C'est au cours de cette phase que s'élaborent en grande partie les qualités organoleptiques et nutritionnelles des fruits.

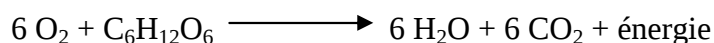
Durant le processus de maturation les chloroplastes sont transformés en chromoplastes, la chlorophylle est dégradée, des caroténoïdes s'accumulent et la couleur du fruit change passant du vert au rouge. La texture est aussi modifiée car durant la maturation diverses enzymes sont actives dans la paroi cellulaire (Alexander and Grierson, 2002).

Les fruits sont divisés en deux groupes selon leur mécanisme de maturation: les fruits climactériques, où la maturation est accompagnée par un pic de respiration et une production d'éthylène importante et les fruits non climactériques, où le niveau d'éthylène est très bas et la respiration n'est pas altérée.

La mangue est un fruit climactérique et le chapitre suivant décrira les principaux phénomènes qui ont lieu après la récolte et lors de la conservation des mangues.

3.1. La respiration

La respiration est l'activité physiologique majeure post récolte des fruits et légumes. L'activité respiratoire comprend une succession de réactions enzymatiques constituant la glycolyse et le cycle des acides tricarboxyliques avec consommation d'oxygène, production de dioxyde de carbone, d'eau et production d'énergie sous forme d'ADP et ATP (adénosine di et tri phosphate). Cette énergie est indispensable à la survie du végétal et au maintien de l'intégrité structurale et fonctionnelle des cellules.



L'Intensité Respiratoire (IR) est exprimée par la quantité d'O₂ consommé ou de CO₂ produit par unité de masse du végétal et de temps (mg / Kg.h).

La durée de vie potentielle des fruits et légumes après récolte est liée à leur IR. En effet, si l'IR est élevée, le végétal consomme rapidement ses réserves (les sucres) et évolue vers la sénescence.

Chez les fruits climactériques, l'IR augmente quand il commence à murir (crise climactérique) et devient maximale en fin de maturation (maximum climactérique) avant de diminuer au cours de la sénescence. C'est pendant la crise climactérique que se produisent les différentes évolutions biochimiques caractéristiques de la maturation.

Par rapport aux autres fruits tropicaux la mangue a une IR élevée. En effet, d'après Kader (2000), l'IR de la mangue à 5 °C est supérieure à celle de l'ananas.

L'IR dépend de facteurs internes tels que l'état de maturité, les constantes de diffusion des gaz à l'intérieur des tissus, et de facteurs externes dont les principaux sont la température, les teneurs en oxygène et gaz carbonique ainsi que l'humidité relative qui entoure le végétal (dans le cas d'une conservation dans des emballages) et les blessures subies lors de la conservation. L'IR augmente exponentiellement avec la température selon la loi d'Arrhenius (Charles, 2004) et un exemple est donné dans le tableau 5 pour la mangue (Lam, 1987).

Tableau 5 : relation entre l'intensité respiratoire de la mangue et la température de conservation (Lam, 1987)

Température (°C)	IR (mg CO ₂ /kg.h)
4.5	10-22
10	23-46
15	45-90
20	75-151

Dans les cas des produits 4^{ème} gamme, les différentes opérations de découpe induisent plusieurs détériorations dont l'une des conséquences principales est généralement l'augmentation de l'activité respiratoire.

3.2. Production d'éthylène

La crise respiratoire est associée à une émission d'éthylène. L'éthylène (C_2H_4) est une hormone gazeuse clé en physiologie végétale, impliquée dans différents stades du développement, de la maturation et de la sénescence des fruits. Les différentes étapes de la biosynthèse de l'hormone sont représentées sur la figure 7.

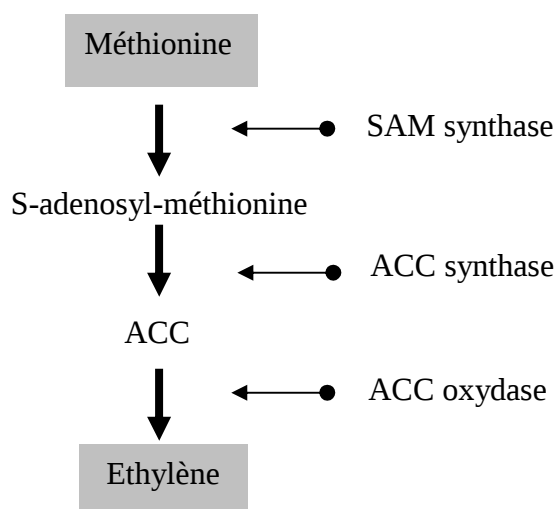


Figure 7 : Schéma simplifié de la biosynthèse de l'éthylène. Abréviations : SAM : S-adenosine-méthionine ; ACC : Aminocyclopropane-1-acide carboxylique.

La présence de l'éthylène, même à faible dose, déclenche ou accélère la maturation des fruits (les fruits non climactériques ne synthétisent quasiment pas d'éthylène mais ils y sont sensibles).

Les facteurs de stress (perte d'eau, dommages physiques, attaque de pathogène, froid) stimulent la production de l'éthylène ce qui accélère la maturation. L'éthylène agit également sur la synthèse de certaines enzymes clé des altérations de la couleur (brunissement) et de la fermeté. En effet, il a été démontré que chez de nombreuses espèces de plantes l'éthylène est un régulateur de l'activité de la PAL (enzyme clé de la synthèse des composés phénoliques) et que l'activité de celle-ci augmente en présence de l'éthylène pendant la conservation de la pomme (Blankenship et Unrath, 1988).

Des études concernant les mécanismes présidant à l'expression des gènes associés à la maturation des fruits ont démontrées deux formes de régulation dont une dépendante de

l'éthylène. L'analyse du promoteur de la polygalacturonase (PG), enzyme clé de la perte de fermeté, a révélé l'existence de régions de réponse à l'éthylène (Nicholass et al. 1995).

3.3. Evolution de la fermeté

La texture d'un fruit est un critère complexe qui fait intervenir les caractéristiques physicochimiques des tissus. Elle est modulée par : l'état de la paroi cellulaire (sa structure et les liens de ses composants), l'adhésion entre les cellules et la turgescence des cellules.

La désorganisation des parois cellulaires qui intervient durant la maturation apparaît comme le facteur prépondérant dans la modification de la texture, essentiellement dans le ramollissement des fruits lors de la maturation (Brummel et al, 2001).

- ***Modification de la paroi cellulaire et de l'adhésion cellulaire***

La cellule végétale possède une paroi rigide entourant la membrane plasmique et constituée essentiellement de polymères glucidiques et de protéines. Cette matrice extracellulaire est composée de 90 % de polysaccharides (pectine, cellulose et hemicellulose chez les fruits) et de 10 % de glycoprotéines (figure 8). Ces différents constituants forment un réseau complexe de macromolécules responsable des propriétés mécaniques de la paroi cellulaire. Cet exosquelette joue un rôle critique dans le contrôle de la pression de turgescence, qui s'oppose à l'appel d'eau liée à la pression osmotique vacuolaire.

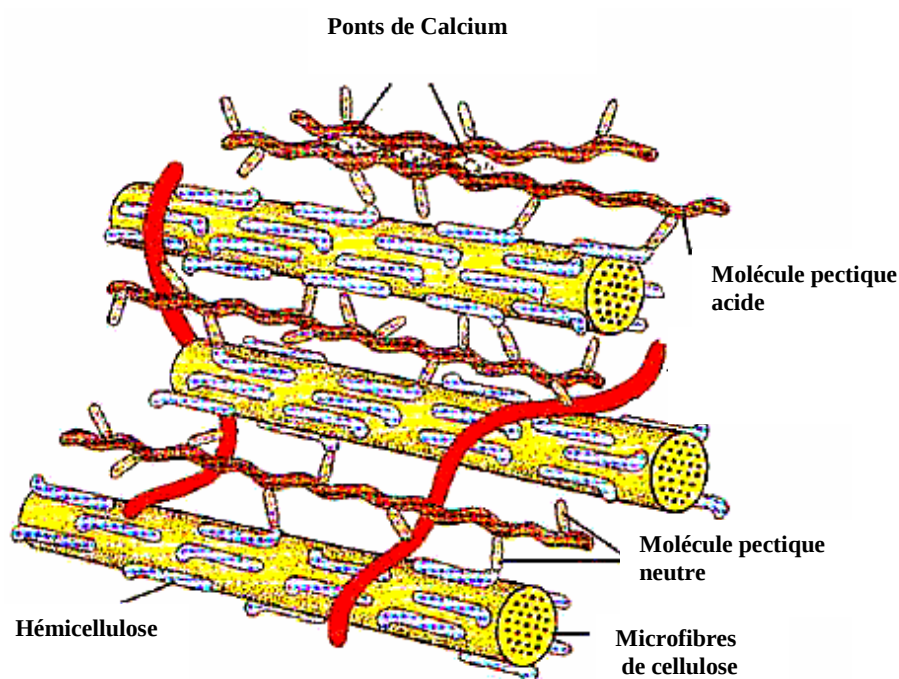


Figure 8 : Schéma de la structure de la paroi cellulaire.

Les pectines sont constituées d'une chaîne principale d'acide galacturonique. Elles sont plus abondantes chez les fruits que chez les légumes et au cours de la maturation elles sont progressivement hydrolysées ce qui induit la séparation des cellules les unes par rapport aux autres (Soda et al. 1987). Les pectines sont les substrats de nombreuses enzymes qui peuvent, soit en modifier le degré d'estérification (enzymes saponifiantes), soit en diminuer le degré de polymérisation (enzymes dépolymérisantes). Ces enzymes sont appelés les pectinases qui sont composés principalement par : les pectine méthylestérases (PME), les polygalacturonases (PG), les β -galactosidases (β -GAL), les lyases et les arabinases. Nous allons détailler plus particulièrement l'activité des PME, PG et β -GAL car nous étudierons l'évolution de ces enzymes dans ce travail.

Les PME (EC 3.1.1.11) catalysent la réaction de déméthoxylation de la pectine. Ainsi, elles libèrent du méthanol et produisent des pectines de faible degré de méthoxylation.

Les PG (EC 3.2.1.15) hydrolysent la liaison α -(1-4) entre deux motifs d'acides galacturoniques (figure 9). Ainsi, PME et PG agissent de façon synergique sur les pectines : la PME crée des séquences déméthoxylées permettant

l'hydrolyse par la PG ; en retour la PG dégrade les séquences homogalacturoniques inhibitrices de la PME (Le Queré et al. 2007).

Il a été démontré que l'activité de PG est plus au moins faible chez la mangue et d'autres fruits tropicaux que chez la tomate (Mohd Ali et al. 1995).

Les β -GAL (EC 3.2.1.23) sont aussi des enzymes responsables de l'hydrolyse de la pectine et semblent être les enzymes clé du ramolissement de la mangue. En effet, leur activité chez la mangue augmente avec la maturation accompagnée de la solubilisation et de depolymérisation des pectines (Mohd Ali et al, 1995).

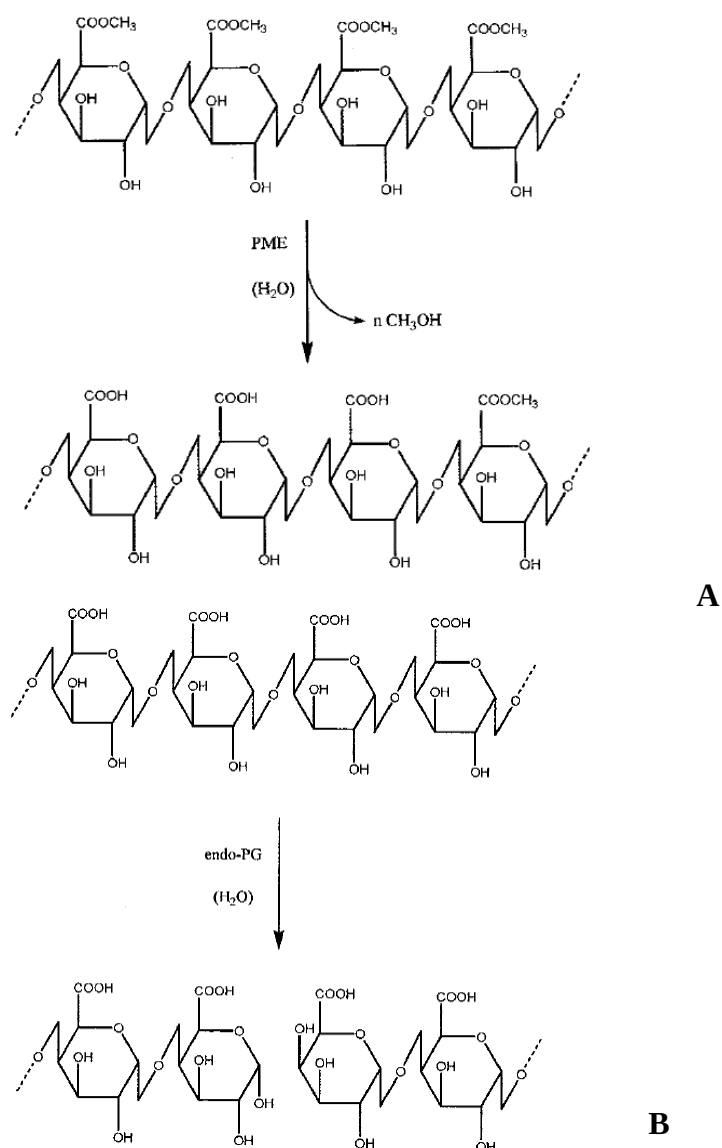


Figure 9 : Réaction catalysée par la PME (A) et par la PG (endo-PG) (B) au niveau de la pectine (Le Queré et al, 2007).

- ***La pression de turgescence***

Les cellules végétales ont tendance à concentrer des solutions en sels ou à accumuler des sucres ou des acides organiques, par conséquent les cellules absorbent l'eau par osmose et renforcent leur pression hydrostatique interne. Dans une cellule végétale, les vacuoles ont une pression osmotique plus élevée que celle de la solution contenue dans l'espace périplasmique. Cette différence de pression osmotique provoque un appel d'eau de l'extérieur de la cellule vers l'intérieur. Il en résulte une pression appelée pression de turgescence. La pression de turgescence produit la force motrice nécessaire au grossissement ou développement cellulaire. La maturation est toujours accompagnée par une réduction de la turgescence des cellules qui est due à une augmentation de la concentration en solutés dans l'espace intercellulaire et en partie à la perte en eau (Saladié et al, 2007).

3.4. Les altérations de la couleur

Le brunissement enzymatique est la principale réaction responsable de l'altération de la couleur des fruits et légumes. Il résulte de l'oxydation des composés phénoliques présents dans la cellule végétale par deux enzymes : les polyphénol oxydases (PPO) et les peroxydases (POD) (Vamos-Vigyazo et Mihalyi, 1976) et la PPO est considérée comme l'enzyme clé du brunissement. Cette réaction d'oxydation conduit à la formation de quinones, espèces très instables, qui se polymérisent en entraînant la formation de pigments bruns (figure 10). Cette altération ne se produit pas sur un fruit sain, car les enzymes et les substrats ne sont pas en contact. En effet, les substances phénoliques sont localisées dans les vacuoles et les enzymes sont situées dans les organites cellulaires : mitochondries, chloroplastes et cytoplasme (figure 11). La découpe des fruits pour la préparation en 4^{ème} gamme entraîne la rupture des parois cellulaires et la mise en contact des systèmes enzymatiques et de leurs substrats. Les principaux phénols impliqués dans le brunissement des fruits, selon Macheix (1974) sont : les catéchines, les acides cinnamiques et leurs esters (ex : acide chlorogénique).

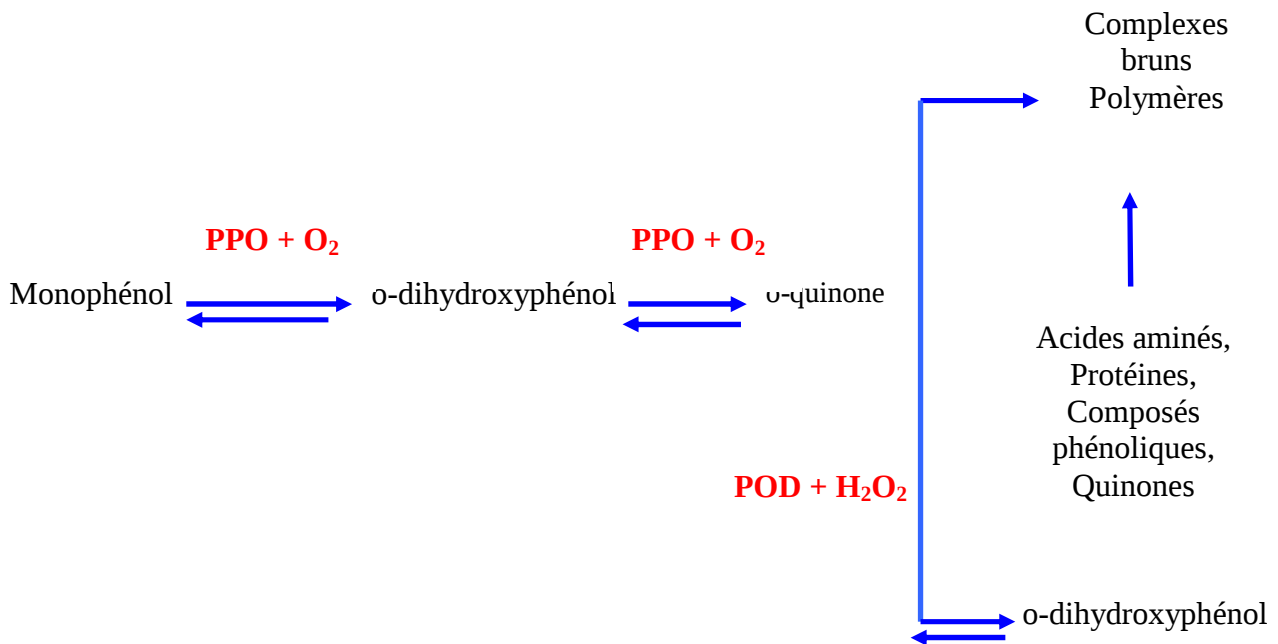


Figure 10: Bilan réactionnel des premières étapes du brunissement enzymatique

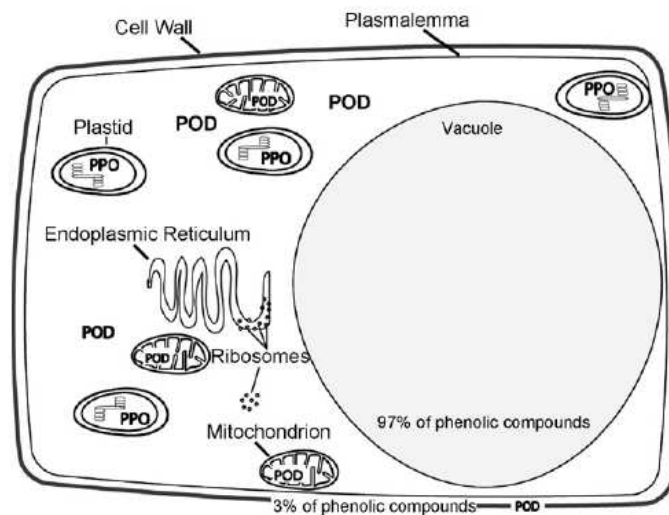


Figure 11 : Localisation des composés phénoliques et des enzymes d'oxydation (polyphénol oxydase PPO et peroxydase POD) dans une cellule végétale. (Toivonen et Brummell, 2008).

La sensibilité au brunissement d'un végétal dépend de la teneur en substrats phénoliques oxydables, de l'activité de la PPO et de la POD, de la teneur en oxygène et de la présence d'inhibiteurs (principalement l'acide ascorbique). Les blessures que le fruit subi lors de la fabrication des produits 4^{ème} gamme, augmentent la synthèse de PPO et POD ce qui accentue le phénomène de brunissement (Chai et al, 2005).

4. Les traitements traditionnels appliqués pour diminuer les principales altérations des fruits 4^{ème} gamme

4.1. Les traitements physiques

4.1.1. La conservation à basse température

La conservation à basse température est une technique largement utilisée pour prolonger la durée de conservation des fruits et légumes car l'abaissement de la température ralentit l'activité métabolique des tissus végétaux. Cependant, le choix d'une basse température dépend de la sensibilité du végétal au froid pour éviter l'apparition des maladies physiologiques du froid appelé « chilling injury ». Ainsi, en tant que fruit tropical la mangue doit être conservé à des températures supérieures à 12 °C (~10-16 °C selon le cultivar et le stade de maturité), température critique pour l'apparition du chilling injury. Cependant comme tous les autres produits 4^{ème} gamme, la mangue 4^{ème} gamme doit être conservée à 5 °C.

4.1.2. Les Emballages sous Atmosphère Modifiée (EAM)

a) Définition

L'Emballage sous Atmosphère Modifiée (EAM) est une technique de conservation qui consiste à créer grâce à un emballage adapté une atmosphère interne qui sera différente de l'air (O₂: 21%, CO₂: 0.01 %, N₂: 78 %) et qui sera composée de faibles teneurs en O₂ et de fortes teneurs en CO₂ pour ralentir le métabolisme respiratoire. Ainsi, l'EAM met en jeu trois milieux différents : le milieu extérieur (l'atmosphère), le milieu intérieur (l'atmosphère modifiée) et le végétal (Figure 12). Dans un EAM passif, la mise en place de l'atmosphère résulte du bilan des flux gazeux dus à la respiration du végétal et la diffusion des gaz à travers le film d'emballage (figure 12). Après une phase transitoire où l'O₂ diminue et le CO₂ augmente, une phase stationnaire s'établit où les échanges diffusifs à travers le film compensent exactement la production de CO₂ et la consommation d'O₂ du végétal. Pour

créer des atmosphères d'équilibre variées, il est nécessaire de disposer de films présentant une vaste plage de perméances à l'O₂, au CO₂ et à la vapeur d'eau.

Dans le cas d'un EAM actif, la mise en place de l'atmosphère est accélérée par l'injection d'un mélange gazeux défini lors du conditionnement ou par l'introduction de sachets absorbeurs ou mélangeurs de gaz.

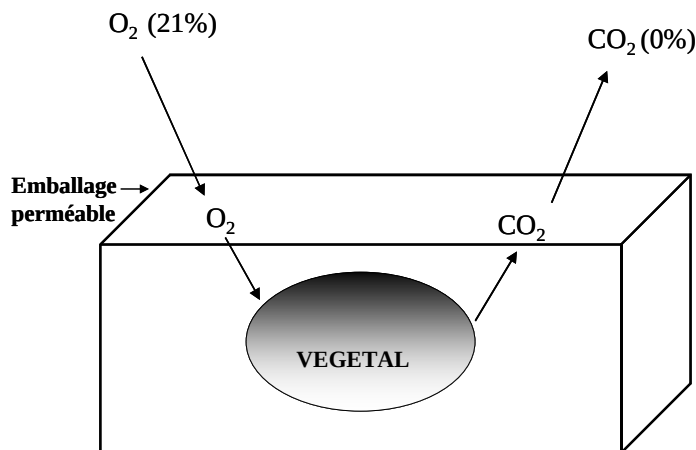


Figure 12: Schéma des échanges gazeux dans un Emballage sous Atmosphère Modifiée (EAM) passif.

Les EAM ont été utilisés pour réduire le brunissement enzymatique des fruits 4^{ème} gamme. Rosen et Kader (1989) ont trouvé qu'une atmosphère contenant 0.5 % d'O₂ était efficace pour réduire le brunissement des morceaux de poires. L'EAM maintient la couleur de la tomate durant sa conservation (Aguayo et al, 2004). Cependant, Palmer-Wright et Kader (1997) ont trouvé que 2 % O₂, air+12 % CO₂ ou 2 % O₂+12 % CO₂) ont peu d'effet sur le maintien de la couleur des morceaux de pêches. Les résultats, même s'ils sont parfois contradictoires s'accordent sur le fait que l'utilisation des EAM seuls ne suffit pas pour prévenir efficacement le brunissement enzymatique.

Pour les mangues, les différentes applications des EAM et leurs principaux effets sur la qualité sont représentés sur le tableau 6. De façon générale, l'utilisation de films plastiques ou d'enrobages comestibles prolonge la durée de vie des mangues 4^{ème} gamme.

Tableau 6 : Effets des Emballages sous Atmosphère Modifiée sur la qualité des mangues 4^{ème} gamme.

Type d'emballage		Variété	Principaux résultats	Auteurs
Films Plastiques	Polyéthylène de basse densité (PEBD)	Keitt Alphonso	Bonne qualité visuelle, maintien de la fermeté	Gonzalez-Aguilar et al, 1997, Tharanathan et al, 2002
	Polyéthylène téréphtalate (PET)	Namdokmai	Durée de vie allongée	Chonhanchab et al, 2007
	Polypropylène biorienté (OPP)	Keitt Palmer	Meilleure conservation au stade firm ripe	Beaulieu et Lea, 2003
Enrobages	Chitosane	Tommy Atkins, Kent, Irwin	Bonne conservation, Intensité respiratoire et perte en eau réduite, propriétés antifongiques	Tharanathan et al, 2002; Baldwin et al, 2004; Freire et al, 2005, Chien et al, 2007 ; Djioua et al, 2010)
	Carboxymethyl cellulose (CMC)	Tommy Atkins, Kent	Retard de la maturation, durée de conservation allongée	Baldwin et al, 2004 ; Freire et al, 2005
	Cellulose (Nature Seal ®)	Tommy Atkins	Bonne barrière à l'O ₂ , forte perméabilité à l'eau	Baldwin et al, 1999
	Cire de carnauba	Tommy Atkins	Sénescence et perte d'eau réduite, bonne qualité visuelle	Baldwin et al, 1999

Plusieurs études ont mis en évidence diverses atmosphère modifiée optimales pour le maintien de la qualité des mangues 4^{ème} gamme. Par exemples Limbanyen et al (1998) ont montré qu'une atmosphère de 10 % O₂ + 10 % CO₂ réduisait le brunissement enzymatique et le ramolissement des mangue 4^{ème} gamme. Martinez- Ferrer et al (2002) ont proposé une atmosphère composée de 4% O₂, 10% CO₂ et 86% N₂ pour augmenter la durée de vie des mangues 4^{ème} gamme. Ceci démonte que le principe de diminuer les teneurs en O₂ et d'augmenter celle du CO₂ permet une bonne conservation des mangues 4^{ème} gamme.

b) Les types d'emballages utilisés pour le conditionnement des fruits 4^{ème} gamme

Deux types de techniques permettent de créer des EAM : soit en utilisant des films plastiques soit en utilisant des enrobages comestibles à bases de bio polymères.

▪ Les films plastiques

Les matières plastiques ont été fortement employées au cours des dernières années en raison de leur légèreté, leur aptitude à prendre les formes les plus diverses et leurs caractéristiques physicochimiques adaptables : perméabilité aux gaz et à la vapeur d'eau (Reyne, 1991). La sélectivité 'Se' qui correspond au rapport entre la perméabilité 'pe' au gaz (pe_{CO_2} / pe_{O_2}) est un critère de choix majeur pour les emballages. Les films plastiques, couramment utilisés pour le conditionnement des fruits et légumes tels que le polyéthylène, le polypropylène, le polystyrène et le chlorure de polyvinyle ont des sélectivités comprises entre 2 et 8. Le tableau 7 dresse un bilan non exhaustif de la sélectivité de quelques films plastiques utilisés en alimentaire.

Tableau 7 : Sélectivités "Se" (pe_{CO_2}/pe_{O_2}) de quelques films plastiques

Type de film	Se (pe_{CO_2} / pe_{O_2})
Films perforés	$\cong 1$
Polyéthylène de haute densité	2 - 7
Polyéthylène de basse densité	2 - 6
Polyéthylène téréphtalate	3 - 4
Polypropylène	3 - 6
Polystyrène	3 - 5
Chlorure de polyvinyle	4 - 7
Saran	10

▪ Les enrobages

Les enrobages sont des couches minces préparées à partir de divers matériaux filmogènes utilisés sous forme liquide et qui sont appliqués directement sur la surface de l'aliment pour agir en tant que barrière aux éléments externes et protéger ainsi le produit et prolonger sa durée de conservation (Guilbert et al, 1996; Suyatma, 2005). Les enrobages sont caractérisés par des propriétés barrières (à la vapeur d'eau, aux gaz, aux solutés, aux lipides), des propriétés mécaniques, des propriétés de solubilités (dans l'eau, l'huile), des propriétés optiques (couleur et apparence), et des propriétés thermiques (figure 13) (Cuq, et al., 1998). Ces propriétés dépendent de la nature du matériau utilisé, de son mode de fabrication et d'application. Des plastifiants, les agents de pontage, des agents antimicrobiens, des agents antioxydants, des agents de texture, etc. peuvent être ajoutés pour améliorer les propriétés fonctionnelles des films (Gontard et Guilbert, 1996).

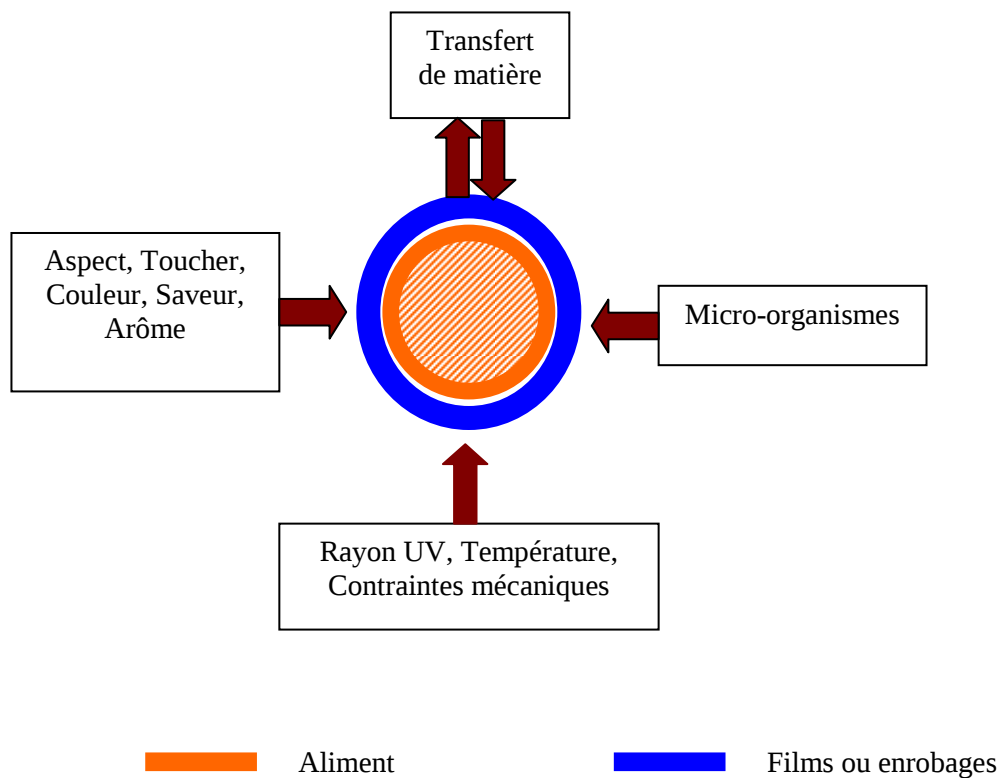


Figure 13 : Les propriétés fonctionnelles des enrobages comestibles (Guilbert et Cuq, 1998)

L'avantage principal de ces enrobages est qu'ils sont comestibles, qu'ils peuvent augmenter les caractéristiques sensorielles ainsi que la qualité sanitaire par leur pouvoir antimicrobien (Guilbert et al.1996 ; Suyatma, 2005).

Les enrobages peuvent être formulés à partir de différents éléments : les polysaccharides, les protéines et les lipides.

Enrobage à base de Polysaccharide

Parmi les polysaccharides utilisés on trouve la cellulose, l'amidon, la pectine, l'alginate, et le chitosane (produit à partir de l'exosquelette des crustacés). Les polysaccharides ne constituent pas de bonne barrière contre la vapeur d'eau, mais font preuve d'une perméabilité modérément basse aux gaz et sont utiles pour retarder le mûrissement des fruits. Les films composites à base de CMC (carboxymethylcellulose) et de sucrose esters d'acides gras possèdent une bonne propriété barrière à l'oxygène tout en restant relativement perméables au

CO₂. Le chitosane, extrait des squelettes des crustacées, est utilisé, en plus de ses caractéristiques physiques, pour son action antimicrobienne.

Enrobage à base de protéine

Les protéines utilisées pour l'enrobage comprennent les protéines de soja, de maïs (zéine), de la caséine, du petit-lait, du gluten de blé et de l'arachide. Les protéines ont la même perméabilité à l'eau et aux gaz que les polysaccharides (Baldwin, 2001).

Enrobages à base de lipides et dérivés

Les lipides représentent d'excellentes barrières contre l'eau, mais sont perméables aux gaz et ne sont donc pas très utiles quand il s'agit de créer une atmosphère modifiée pour retarder le mûrissement. Les résines forment de bonnes barrières contre la vapeur d'eau et ajoutent un brillant, mais elles sont assez peu perméables aux gaz et peuvent donc créer des conditions anaérobies dans le fruit si la température n'est pas correcte (Baldwin, 2001).

4.2. Les traitements chimiques

Plusieurs composés chimiques ont été utilisés pour réduire les pertes dues aux altérations physiologiques que subissent les produits 4^{ème} gamme, surtout les fruits. Ces traitements sont principalement utilisés pour prévenir des brunissements enzymatiques et leur principale action est d'inhiber l'action des enzymes PPO. Pour inhiber le brunissement enzymatique des pommes 4^{ème} gamme, du chou chinois (*Brassica campestris* var. *Pekinensis*), d'endive (*Cichorium endivia* L.), de la laitue ou des melons, l'ascorbate, l'acide 4-hexylrésorcinol, l'acide érythorbique, l'acide citrique et/ ou de calcium ont été utilisés (Hodges et Toivonen, 2008). Il est bien connu que l'acide ascorbique diminue le brunissement enzymatique en réduisant les o-quinones à leurs formes diphénols avant polymérisation et formation ultérieure des pigments colorés (Gil et al. 1998).

La plupart des composés anti-brunissement énumérés ci-dessus agissent sur le brunissement par inhibition directe ou inactivation des enzymes PPO suite à une modification du pH (Garcia et Barrett, 2002).

En ce qui concerne les mangues 4^{ème} gamme, une solution d'acide ascorbique, d'acide citrique et le CaCl₂ permettent de réduire le brunissement (Gonzalez et al. 2008). Chonhenchob et al, (2007) propose l'acide ascorbique à 1% comme étant le meilleur traitement pour réduire le brunissement des mangues 4^{ème} gamme 'Namdokami'.

Pour réduire la perte en fermeté des fruits 4^{ème} gamme, le calcium est largement utilisé, par exemple sur la pomme (Glenn et Poovaiah, 1990); le melon (Luna-Guzman et al. 1999), le Kiwi (Agar et al.1999) et la mangue (Chantanawarangoon, 2000 ; Plotto et al, 2004). Les ions calcium interagissent avec les polymères pectiques pour former un polymère qui augmente la résistance mécanique, ce qui retarde les troubles physiologiques des fruits (Pooyajah, 1986). Ces composés chimiques ont été appliqués seul ou en association avec d'autres pour améliorer leur efficacité. Par exemple, une association de 4-hexylresorcinol, de sorbate de potassium et d'acide ascorbique est plus efficace sur la réduction du brunissement enzymatique de la mangue que l'effet de chaque composé individuellement (Gonzalez-Aguilar et al. 2000).

Même si ces traitements ont prouvé leur efficacité, les consommateurs souhaitent des produits frais de bonne qualité mais sans addition d'agents chimiques. D'où l'alternative des traitements thermiques.

5. Les traitements thermiques : une alternative aux méthodes de conservation traditionnelles

5.1. Caractéristiques et modes d'application

Au cours des dernières années, les traitements thermiques ont été utilisés en post récolte pour lutter contre les insectes et autres agents pathogènes (fongiques et bactériens). Ils sont appelés traitements de quarantaine (Klein et Lurie, 1992) et sont aujourd'hui obligatoire lors de l'exportation de certains fruits vers certains pays. Par exemple, la commercialisation des mangues du Brésil vers les Etats-Unis nécessite ce type de traitement de quarantaine.

Il existe trois méthodes d'application de la chaleur : à l'eau chaude, à la vapeur et à l'air chaud :

- Le traitement thermique à l'eau chaude (par immersion) est principalement utilisé contre les attaques fongiques car les spores se déposent au niveau des couches superficielles de l'épiderme du fruit. Toutefois, dans le cas de la mangue, ce traitement est utilisé contre l'attaque de la mouche du fruit (Jacobi et al, 2001). Ces paramètres dépendent principalement de la taille du fruit. Le traitement est appliqué sur le fruit à 43-46 °C / 65-90 min (Lurie, 1998 ; Jacobi et al. 2001). Durant le traitement, un transfert rapide de chaleur s'effectue de l'eau vers la peau puis un transfert moins rapide de la peau vers la pulpe de fruit.

- Le traitement thermique à la vapeur a pour principe de chauffer le fruit avec de l'air saturé en vapeur d'eau à des températures comprise entre 40-50 °C. Il permet d'éliminer les œufs et les larves d'insectes déposées sur et dans les fruits (Lurie, 1998). Le transfert de chaleur entre la vapeur et le fruit se fait grâce à l'eau qui se condense à la surface froide du fruit.
- Le traitement thermique à l'air chaud peut être appliqué en plaçant les fruits dans une enceinte chauffée avec ventilation ou par utilisation de l'air chaud forcé où la vitesse de circulation d'air est contrôlée avec précision. Il est appliqué à des températures allant de 38 °C à 46 °C avec des temps de chauffage plus longs (12 à 96 h). Le transfert de chaleur se fait par conduction entre l'air chaud et la surface froide du fruit. Ce traitement est efficace contre les attaques fongiques et peut réduire les dégâts causés par *Botrytis cinera* chez la tomate (Fallik et al, 1993) et chez la pomme (Fallik et al, 1996).

Le couple « temps / température » du traitement thermique dépend du fruit (taille, forme, variété, maturité), du parasite à éliminer (espèce, stade de vie du ravageur) et du mode d'application. En comparant les caractéristiques de chaque mode d'application, le traitement à l'eau chaude semble avoir plus d'avantage: facilité relative d'utilisation, temps de traitement assez court, suivi et contrôle assez fiable de la température du traitement et élimination des exsudats de la plante (Sharp, 1994).

Outre son application de désinfection, les traitements thermiques ont été appliqués sur les fruits et légumes pour améliorer leur conservation tout en maintenant leur qualité.

5.2. Influence des traitements thermiques sur la qualité les fruits entiers

Plusieurs études ont été menées pour étudier l'effet du traitement thermique sur la qualité des fruits et légumes entiers et les résultats ont mis en évidence des effets bénéfiques sur le maintien et l'amélioration de la qualité. L'influence des traitements thermiques dépend du cultivar, de la morphologie et la taille du végétal, du stade de maturité, de la température et de la durée du traitement (Paull et Chen, 2000). L'application des traitements thermiques a permis, entre autre : d'inhiber la synthèse de l'éthylène chez la pomme et la tomate (Biggs et al, 1988 ; Klein, 1989), réduire l'intensité respiratoire de la pomme (Klein et Lurie ,1990),

maintenir la qualité organoleptique de la fraise (Garcia et al. 1995), prolonger la durée de vie de l'avocat (Bard et Kaiser, 1996), ralentir la maturation de la tomate (Lurie et Sabehat, 1997), diminuer la production de l'éthylène et de l'intensité respiratoire du Kaki (Luo, 2006), et maintenir la fermeté de la mangue en inhibant l'activité des enzymes pectolytiques PME et PG (Benitez et al. 2006).

Le mécanisme par lequel le traitement thermique induit des changements du processus de maturation des fruits tel que l'inhibition de la synthèse d'éthylène est attribué à la modification de la synthèse des protéines. En général l'exposition d'une plante à une température supérieure de 10-15 °C de sa température de croissance est considérée comme un choc thermique (Wahid et al, 2007). Ce stress induit une expression cellulaire rapide et transitoire de protéines spécifiques appelées protéines du choc thermique (HSP, Heat Shock proteins). En effet, il a été observé que lors d'un choc thermique l'expression de la plupart des gènes diminue alors que l'expression des gènes correspondant aux protéines Hsps augmente (Lurie, 1996). Les Hsps constituent une grande famille de protéines de poids moléculaires allant de 10 à 200 KDa et ont un rôle protecteur qui est attribué à une propriété fonctionnelle qui leur est commune et définie par le terme « chaperon moléculaire» (Wirth et al, 2002). Les Hsps interagissent avec les protéines immatures ou anormales, en inhibant ainsi leur agrégation et en augmentant l'efficacité de leur mise en conformation tridimensionnelle adéquate (Gething et Sambrook, 1992). Ce détournement de la synthèse de protéines est supposé responsable de certains effets physiologiques du stress dus aux hautes températures (Saltveit, 1997).

Effet sur la synthèse de l'éthylène

Le traitement thermique influe sur l'hormone de maturation qui est l'éthylène. Il a été démontré qu'un traitement thermique à l'air chaud (35 - 40 °C) inhibe la synthèse d'éthylène chez la pomme et la tomate (Biggs et al, 1988 ; Klein, 1989). La conversion de l'ACC en éthylène semble être sensible à une température supérieure à 30 °C (Yu et al, 1980). En effet, il a été rapporté une rapide perte d'activité de l'ACC oxydase chez plusieurs fruits traités à l'eau chaude (42-46 °C) pendant quelques heures (Chan, 1986 a, b ; Dunlap et al, 1990 ; Paull and Chen, 1990). Cette perte est due à la diminution des ARN messagers des gènes codants pour l'ACC oxidase et entraînant par la suite, l'arrêt de la synthèse de cette enzyme (Lurie et al, 1996).

Effet sur la fermeté

Les traitements thermiques semblent ralentir le ramollissement de plusieurs fruits. En effet, les prunes (Tsuji et al, 1984), les poires (Maxie et al. 1974), les avocats (Eaks, 1978) et les tomates ramollissent moins rapidement quand ils sont conservés à des températures entre 38 et 40 °C qu'à 20 °C. L'effet de la chaleur sur le fermeté des fruits peut être expliqué par l'inhibition de la synthèse des hydrolases de la paroi cellulaire tel que les polygalacturonases (Chan et al, 1981 ; Yoshida et al. 1984 ; Lazan et al. 1989) et β -galactosidases (Sozzi et al. 1996). Chez la tomate, les ARN messagers codant pour les polygalacturonase sont absents durant un traitement à 38 °C pendant 1-3 jours et apparaissent uniquement à la fin du traitement (Lurie, 1996). D'autre part, il a été montré qu'une pomme chauffée à 38 °C pendant 4 jours a moins de pectine soluble dans sa paroi cellulaire qu'une pomme non chauffée, ce qui indique l'inhibition de la dégradation de l'acide uronique (Klein et al, 1990 ; Ben-Shalom et al, 1993, 1996) et parallèlement, le taux de calcium est faible dans les pectines solubles et une grande partie est fixée à la paroi cellulaire (Lurie et Klein, 1992). Une réduction de l'activité des hydrolases maintient l'état des pectines de la paroi ce qui réduit le phénomène de ramollissement.

Effet sur la respiration

Le traitement thermique peut augmenter ou diminuer l'intensité respiratoire (Eaks, 1978, Klein et Lurie, 1990). La respiration est généralement stimulée par des expositions à des températures de 35 - 40 °C pendant 1 à 2 jours (Lurie et Klein, 1991) et suite à des températures élevées avec des temps d'exposition réduits, l'intensité respiratoire diminue (Cheng et al. 1988 ; Inaba et Chachin, 1989, Lurie et Klein, 1991). Quant les fruits chauffés sont remis à des températures ambiantes, leur respiration est souvent inférieure aux fruits non traités (Klein et Lurie, 1990).

5.3. Effets des traitements thermiques sur la qualité des fruits 4^{ème} gamme.

Il a été récemment rapporté que le traitement thermique peut être utilisé sur les produits 4^{ème} gamme pour améliorer leur qualité et leur durée de vie (Lurie, 1998). Initialement, ces traitements ont été largement utilisés sur les légumes. Par exemple, un choc thermique à 50 °C pendant 90 secondes réduit le brunissement enzymatique de la laitue 4^{ème} gamme par inhibition de la synthèse de la PAL (Saltveit, 1998). Le même résultat a été obtenu sur le céleri (Loiaza-Velarde et al. 2003) ainsi qu'avec des endives coupées et traitées à 46 °C pendant 2 min (Salman et al. 2007).

Ces traitements ont été appliqués par la suite sur quelques fruits 4^{ème} gamme et leurs principaux effets bénéfiques sont rapportés dans le tableau 8. Les traitements thermiques sont généralement appliqués avant le procédé 4^{ème} gamme et avec la méthode d'immersion. Les résultats de ces études montrent que le traitement thermique déminue l'intensité respiratoire, maintien la couleur et la fermeté des différents fruits 4^{ème} gamme étudiés.

Tableau 8: Exemples d'application des traitements thermiques sur des fruits 4^{ème} gamme.

Fruit 4^{ème} gamme	Traitement thermique	Principaux effets	Source
Poire	Eau : 35-45°C/ 40.-150 min conservation : 7 jours à 2°C.	- maintien de la fermeté pendant 4 jours. - maintien du paramètre L* pendant 7 jours	Abreu <i>et al</i> , 2003
Pêche	Eau : 50°C/10min ; 4h avant le procédé 4 ^{ème} gamme. conservation sous atmosphère modifiée : 6 jours à 5°C	- maintien de la fermeté - diminution des teneurs en CO ₂ et en C ₂ H ₄ - pas d'effet sur la vitamine C, les phénols et l'enzyme PG - augmentation de l'activité de l'enzyme PME	Koukounaras <i>et al</i> , 2007
Melon	Eau : 50 °C/ 60 min avec refroidissement à 4 °C et conservation 8 jours à 10°C.	- diminution de la respiration et de la perte en eau - amélioration de la qualité gustative.	Lamikanra <i>et al</i> , 2005
Kiwi	Eau : 45 °C/ 25-75min avec refroidissement pendant 24h Et conservation sous atmosphère modifiée 12 jours à 4 °C.	- augmentation de la fermeté ; des teneurs en sucres et en vitamine C.	Beirão-da-Costa <i>et al</i> , 2007
Mangue	-Traitement de quarantaine suivi d'un traitement thermique à la vapeur (38 °C Pendant 24 ou 48 h à 98 % et conservation à 7-8 °C. - Eau : traitement de quarantaine (46°C pendant 75 ou 90 min et conservation à 5 °C.	-diminution de l'intensité respiratoire, de la fermeté, les teneurs en sucres et les valeurs du paramètre L*. - pas d'effet sur les parametres de la qualité : qualité visuelle, intensité respiratoire, fermeté et teneur en acide ascorbique.	Plotto <i>et al</i> , 2003 Dea <i>et al</i> , 2010

CHAPITRE II
EFFET DES TRAITEMENTS THERMIQUES SUR
LA QUALITÉ PHYSIQUE ET NUTRITIONNELLE
DES MANGUES 4^{ÈME} GAMME

Des études préliminaires ont été effectuées pour déterminer le procédé d'application du traitement thermique. Ainsi, le traitement thermique a été appliqué sur le fruit entier ou sur le fruit découpé. D'après les premières observations, l'application du traitement thermique sur le fruit entier a été retenue de part son efficacité et sa facilité d'application.

Résumé de l'étude

Le **chapitre II** décrit, sous forme d'un article publié dans *Postharvest Biology and Technology* les travaux réalisés pour étudier les effets des traitements thermiques sur le maintien et l'amélioration de la qualité (sensorielle, fermeté, couleur, teneur en antioxydants : vitamine C et caroténoïdes) des mangues 4^{ème} gamme.

Le fruit de mangue 'Keitt' a subi un traitement thermique par immersion (HWD) à 46 °C ou 50 °C pendant 30 ou 75 min, suivi d'un refroidissement à l'eau (17 °C) avant d'être transformé en produit 4^{ème} gamme. Le produit a été conditionné et conservé sous air à 6 °C pendant 9 jours durant lesquels des analyses de qualité ont été effectuées. L'analyse visuelle, la fermeté, la couleur, l'acidité, le pH, le taux des solides solubles (TSS), les teneurs en acide ascorbique et en caroténoïdes totaux, l'intensité respiratoire et le taux des malondialdéhyde (MDA) ont été analysés à 0, 3, 6 et 9 jours. Les résultats ont montré un effet bénéfique global du traitement HWD 50 °C/ 30 min. Ce traitement a été le seul à maintenir l'acceptabilité visuelle des mangues 4^{ème} gamme pendant 6 jours, la couleur jaune (exprimée par la valeur b *) pendant 9 jours et la fermeté pendant 3 jours, et ce par comparaison aux autres traitements et aux échantillons témoins.

De plus, le traitement HWD 50 °C / 30 min a permis une légère augmentation des teneurs en caroténoïdes au 3^{ème} jour, une réduction des pertes en vitamine C durant les 9 jours de conservation et une peroxydation lipidique, estimée par la teneur en MDA, moins importante. Enfin, l'intensité respiratoire du fruit de mangue, traité à 50 °C / 30 min, est plus faible que dans les autres traitements et pourrait être utilisée comme un indicateur de la durée de vie du produit.

Cette étude nous a permis de choisir le traitement 50 °C / 30 min comme traitement thermique optimal pour le maintien de la qualité des mangues 4^{ème} 'Keitt' durant 9 jours de conservation. Ce traitement sera utilisé dans la suite des travaux effectués dans cette thèse.

Publication n° 1

***Postharvest Biology and Technology*. 2009. Volume: 52, 221-226**

Improving the storage of minimally processed mangoes (*Mangifera indica* L.) by hot water treatments

Tassadit Djioua^a, Florence Charles^a, Félicie Lopez-Lauri^a, Heloisa Filgueiras^b, Alain Coudret^a, Murillo Freire Jr^c, Marie-Noëlle Ducamp-Collin^d, Huguette Sallanon^a

***Postharvest Biology and Technology*. 2009. Volume: 52, 221-226**

Received : 23 June 2008

Accepted : 13 October 2008

Abstract

Postharvest degradation of minimally processed mangoes limits the marketability of fruit. The effect of heat treatments applied to whole 'Keitt' mango fruit on physical, physiological and biochemical quality of minimally processed mangoes was studied. Whole mangoes were subjected to hot water dipping (HWD) at 46 or 50 °C for 30 or 75 min, cooled for 15 min, minimally processed and stored at 6 °C for 9d. Sensory analysis, firmness, color, acidity, pH, total soluble solids (TSS), ascorbic acid, total carotenoids, malondialdehyde (MDA) and respiration rate (RR) were investigated. A global beneficial effect of HWD 50 °C/30 min was observed. This treatment was the only one to maintain the acceptability of fresh-cut mangoes for 6 d, the yellow color, expressed by *b** value, for 9 d and the firmness for 3 d compared to the control. Moreover, HWD 50 °C/30 min increased the total carotenoids content after 3 d compared to the control. Although the ascorbic acid content decreased during storage, HWD 50 °C/30 min is the less degrading condition of the heat treatments. Lipid peroxidation, estimated by MDA content, was less important for HWD 50 °C/30 min. Finally, the RR of whole mangoes treated by HWD 50 °C/30 min was lower than in the other treatments and could be used as an indicator of product shelf-life. This study selected the HWD 50 °C/30 min as the optimal heat treatment to improve the quality of fresh-cut 'Keitt' mangoes.

Keywords: Heat treatment, Fresh-cut mangoes, Quality, Antioxidants, Respiration rate

1. Introduction

Mango (*Mangifera indica* L.) is one of the most important tropical fruit worldwide in terms of production and consumer acceptance (FAO STAT, 2005). Mango fruit is considered as a source of antioxidants including ascorbic acid (mango fruit provides about 50% of the recommended daily intake of vitamin C) and carotenoids. Carotenoids, which are lipophilic radical scavengers found in many fruits and vegetables are also responsible of the bright yellow color of mango (Vinci et al., 1995; Shieber et al., 2000). In recent years, mangoes have become well established as fresh fruit in the global market but suffer from convenience.

Fresh-cut or minimally processed fruit (peeled, cored and sliced) are a growing segment among food products due to the convenience and fresh-like quality of the products (Pittia et al., 1999; Charles et al., 2003). Consumers judge the quality of fresh-cut fruit on the basis of appearance and freshness at the time of purchase (Kader, 2002). Rapid deterioration of fruit during handling, transport and storage is a damaging problem. Moreover, fresh-cut processing increases metabolic activity, and decompartmentalization of enzymes and substrates which may cause browning, softening and decay (Varoquaux and Wiley, 1994; Charles et al., 2005). Postharvest losses in nutritional quality can be substantial, for example with decreases in vitamin C and carotenoid contents (McCarthy and Matthews, 1994; Sudhakar and Maini, 1994). Freshcut tropical fruit, such as mangoes, are more perishable than those from temperate climates, such as apples and peaches. It is therefore important to control deterioration processes in order to maintain quality.

Much research has focused on the use of postharvest treatments to extend shelf-life, for example with the addition of antioxidants (ascorbic acid), firming agents (calcium derivatives) and modified atmosphere packaging with reduced oxygen levels. Although some of these treatments were found to be effective, consumers are increasingly demanding a reduction in the overall use of chemicals on fresh products and alternative methodologies should be investigated. During the past few years, the use of heat treatments applied by hot water, vapour heat or heat air, has increased in order to control insect pests, prevent fungal rots and increase resistance to chilling injury (Lurie, 1998). Heat treatments also inhibited ripening, softening and improved postharvest quality. This was observed in the case of whole fruit, with apples (Klein and Lurie, 1990), strawberries (Garcia et al., 1995; Civello et al., 1997), citrus fruit (Porat et al., 2000) and mangoes (Jacobi and Giles, 1997; Benitez et al., 2006). With regard to fresh-cut products, heat treatments also have been shown to delay ripening and senescence processes. For example, with fresh-cut apples, a heat treatment of 38 °C for 4 d before slicing, reduced respiration rate and softening and increased shelf-life by

about 50% as compared to control apples (Bai et al., 2004). As the same, with fresh-cut melon, heating whole fruit at 50 °C for 60 min reduced the respiration rate and moisture loss and increased the sweet aromatic flavours (Lamikanra et al., 2005). However, reports on the effect of heat treatment on the physiology and quality of fresh-cut mangoes are limited.

The aim of this work was to study the impact of hot water treatments on visual, physical and biochemical changes in minimally processed mangoes stored at 6 °C.

2. Materials and methods

2.1. Plant material

‘Keitt’ mangoes (*Mangifera indica* L.), imported from Brazil and transported by boat, were purchased from a local supermarket. Fruits of uniform size (391 ± 30 g) and maturity stage (based on internal color and firmness) with absence of visible wounds were selected. Upon arrival at the laboratory, fruit were transferred to ambient temperature and kept overnight before testing.

2.2. Process

2.2.1. Heat treatments

Whole fruit were washed in chlorinated water (100ppm free chlorine) for 10min and randomly distributed for each condition. The heat treatment was performed by hot water dipping (HWD) at 46 or 50 °C for 30 or 75 min. After dipping, fruit were cooled in water at 13°C for 15 min. For each condition 15 fruit were treated, then 10 fruit were minimally processed and 5 were stored at 20 °C for 24 h before respiration rate measurements. Non-treated fruit were used as a control.

2.2.2. Minimal processing

Fruit were peeled, sliced into cubes (2×2 cm), washed in 10ppm sodium hypochlorite and dried with blotting paper. From each treatment, approximately 200 cubes were obtained from 10 fruit and were randomly distributed in four 1 L glass jars (≈50 cubes/jar). The jars allowed maintenance of high relative humidity and an ambient atmosphere around the samples and were stored at 6 °C for 9 d.

2.3. Quality analysis

Samples of minimally processed mangoes were taken for quality analysis at 0, 3, 6 and 9 d. Ten cubes of mangoes per treatment were taken from the four jars for the evaluation of visual appearance, firmness, color and measurements of total soluble solids, pH, and acidity. Ten cubes (approx. 8 g) were also taken for the antioxidant extraction (ascorbic acid and carotenoids) and malonyldialdehyde analysis. In this case, samples were immediately frozen in liquid N₂ before storage at -80 °C and prior to analysis, samples were ground under liquid N₂.

2.3.1. Sensory quality score

Three judges scored the slices of mangoes for changes in color, visible structural integrity, taste and odor. The visual quality score was based on the following scale: 5, excellent, just sliced; 4, very good; 3, good, limit of marketability; 2, fair, limit of usability; 1, poor, inedible.

2.3.2. Firmness (N)

Firmness measurements (Penefel texture analyser, Setop Giraud-Technologie, France) were taken as the force required for a 2mm stainless steel probe to penetrate the cut surface of mango cubes, held perpendicular to the probe. Firmness was reported as force in newtons (N).

2.3.3. Color

Color measurements were performed using a Minolta (CR-300 with a D65 light source; Minolta Camera Co., Osaka, Japan) based on the CIELAB color parameters L^* , a^* and b^* in which L^* defines the lightness and a^* and b^* are the two chromatic components and are from green to red, and blue to yellow, respectively. A standard white calibration plate was used (Charles et al., 2008).

2.3.4. Total soluble solids (TSS), pH and acidity

Immediately after firmness and color measurements were made, samples were stored at -20 °C before biochemical analysis (TSS, pH and acidity). Juice samples were prepared by blending and thoroughly mixing mango cubes. Total soluble solids (TSS) was assessed with a Digital Hand-held “Pocket” Refractometer PAL-1 (Atago, Japan) and expressed as a percentage. Acidity was determined by titration of mango juice with 0.1M NaOH solution to pH 8.1 (using a pH meter). The acidity was expressed as meq/g of citric acid.

2.3.5. Ascorbic acid evaluation

Ascorbic acid (AsA) concentration was measured according to Kampfenkel et al. (1995), scaled down for micro-plates (Power Wave HT, Bio. Tek). Frozen mango fruit powder (0.3 g) was homogenized in 1mL of 6% (w/v) TCA. The homogenate was centrifuged at $16,000\times g$ at 4 °C for 15 min. The supernatant was used for AsA determination. For ascorbate, 10 μ L of extract were added to 40 μ L of phosphate buffer (0.2mM, pH 7.4) and 150 μ L of a specific reagent (50 μ L 10% TCA, 40 μ L 42% (v/v) H₃PO₄, 40 μ L 4% (w/v) 2,2-bipyridyl dissolved in 70% ethanol and 20 μ L 3% (w/v) FeCl₃). After 40 min at 42 °C, the absorbance was measured at $\lambda = 525\text{nm}$ in a micro-plate reader (Power Wave HT, Bio. Tek). Commercial l-ascorbic acid was used for calibration.

2.3.6. Extraction and analysis of carotenoids

According to Lichtenthaler and Buschmann (2001), frozen mango fruit powder (0.3 g) was extracted with 1mL of pure acetone. Then the mixture was homogenized for 1 min and incubated at 4 °C in darkness until the cap turned white. The homogenate was centrifuged at $16,000\times g$ for 15min and 200 μ L of supernatant from each tube were placed in 96-well plates. The absorbance was read at $\lambda = 470\text{nm}$ in a micro-plate reader (Power Wave HT, Bio.Tek). The concentration of total carotenoids was calculated as follows: $C (\mu\text{g/mL}) = (1000\times A_{470})/214$, and expressed as mg/100 g fresh weight.

2.3.7. Malondialdehyde content (MDA)

The thiobarbituric acid (TBA) test which determines malondialdehyde (MDA) as an end product of lipid peroxidation was used (Vilikova et al., 2000). Frozen mango fruit powder (0.25 g) was homogenized in 1mL of 0.1% (w/v) TCA. The homogenate was centrifuged at $12,000\times g$ for 15min, and 0.5mL of the supernatant was added to 1mL of 0.5% (w/v) TBA in 20% TCA, incubated in boiling water for 30 min, and stopped at 0 °C for 10 min. The absorbance was read at $\lambda = 532\text{nm}$ in a micro-plate reader (Power Wave HT, Bio. Tek). The amount of MDA–TBA complex (red pigment) was calculated from the extinction coefficient $155 \text{ mmolL}^{-1} \text{ cm}^{-1}$.

2.4. Respiration rate of mango fruit

Respiration rate of whole mangoes was determined by the closed system method at 22 °C. One fruit was put in a jar (6 L, hermetically closed and gas concentrations (O₂, CO₂) were checked every hour (gas analyser Chekmate 9900, PBI Dansensor, Denmark). The respiration

rates were measured as O₂ uptake and CO₂ emission (RRO₂, RRCO₂) and calculated and expressed in mmolkg⁻¹ h⁻¹ (Varoquaux et al., 2002).

2.5. Statistical analysis

Four replicates per treatment were done and analysis of variance (ANOVA) was applied to the results. The means were compared by the Fisher test at a significant level of 0.05. For respiration rate, means $\pm$ S.E. (standard error) were used.

3. Results and discussion

3.1. Influence of HWD on the sensory quality of fresh-cut mangoes

Appearance is a major criterion for determining the acceptability of products. It is currently used as an indicator of freshness and quality in fresh-cut research and industry (Cantwell and Suslow, 2002). In this study, visual quality scores decreased after 3 d to 3 (good and limit of marketability) for the control sample and to 2.25 and 2 (fair and limit of usability) for the HWD 46 and 50 °C/75 min treatments, respectively (Fig. 1). In contrast, the score for fruit treated by HWD 50 °C/30 min was significantly higher during storage with values of 4.75 (very good), 4 and 2 after 3, 6 and 9 d, respectively. This result focused on the importance of a precise selection of time and temperature for a treatment to increase the shelf-life of fresh-cut mangoes. Koukounaras et al. (2007) found that HWD 50 °C/10min applied 4 h before cutting improved the visual quality of fresh-cut peach. The present study led us to select the HWD 50 °C/30 min as an optimal combination to improve the visual quality of 'Keitt' mangoes and keep the product visually acceptable until 6 d at 6°C.

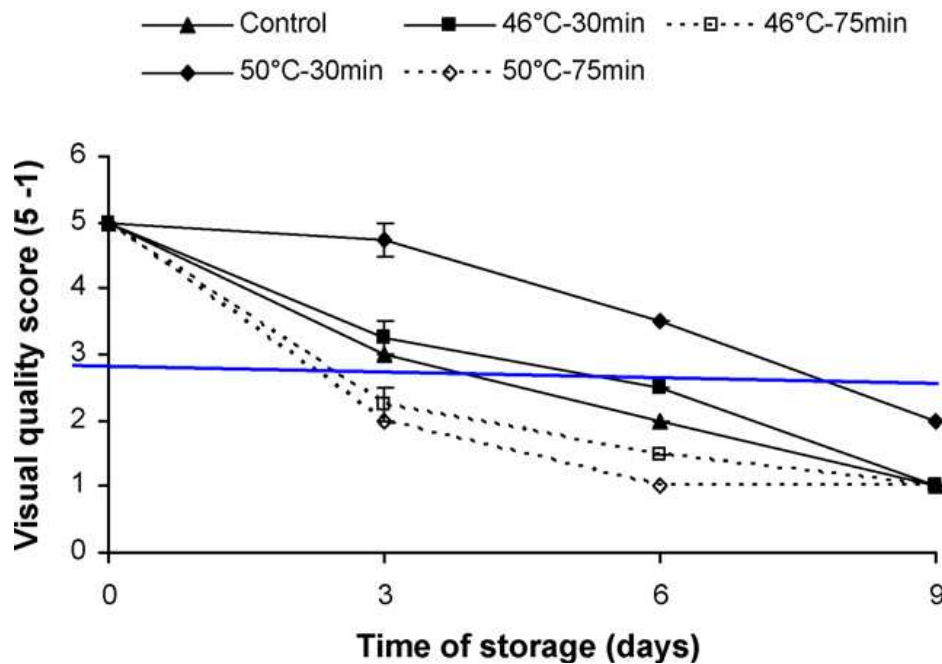


Figure. 1. Effect of HWD on visual quality score of fresh-cut mangoes (cv. Keitt) during storage at 6 °C (horizontal line represents the acceptable limit for consumption).

3.2. Influence of HWD on firmness of fresh-cut mangoes

Firmness changes during the storage of fresh-cut mangoes are shown in Fig. 2. After processing (time 0), firmness values were similar between treatments and then decreased during storage. Chatanawarangoon (2000) has proposed that firmness loss of fresh-cut mangoes during storage at 5 °C was due to the release of water. But in our experiment no significant water loss (estimated by drying samples at 80°C) was observed during storage (data not shown).

Differences in firmness decrease were observed between treatments (Table 1). After 3 d, firmness loss was highest in the control and HWD 50 °C/75 min (35.1% and 38.1% losses, respectively). As reported by many authors, the firmness loss could be linked to softening-related enzymes, such as polygalacturonase (Lazan et al., 1986), galactosidases (Ali et al., 1995), pectin methylesterase and β -1,4-glucanases (Ali et al., 2004). Conversely, HWD 50 °C/30 min showed a firmness loss of only 9% (Table 1) and, in Fig. 2, this loss was not significantly different from the initial value. This result suggested that HWD 50 °C/30 min maintained firmness during 3d of storage at 6°C. According to Shalom et al. (1996) inhibition of solubilisation of the carbonate-soluble pectin fraction is one of the main factors contributing to firmness retention due to heat treatment. Several authors have reported this effect. Kim et al. (1993) have observed on several apple cultivars a significant maintenance of

firmness depending on variety and heat treatment conditions. Abreu et al. (2003) have also shown that HWD 40 °C/105 min maintained the firmness of fresh-cut 'Rocha' pears during 4 d at 2°C. Heat-treated kiwifruit at 45 °C for 25 and 75 min showed also an increment in firmness (Beirão-da-Costa et al., 2006). In this study, after 6 d, and whatever the treatment, no significant protection of firmness was observed.

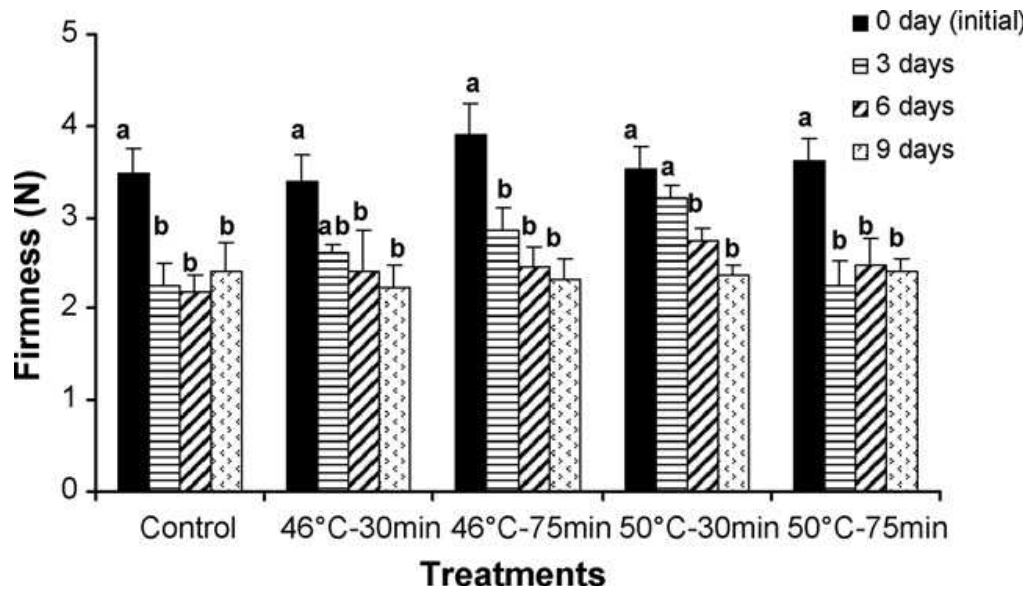


Figure 2. Effect of HWD on firmness of fresh-cut mangoes (cv. Keitt) during storage at 6 °C for 9 d (vertical bars represent standard error of the mean and different letters indicate significant differences for each treatment during storage).

Table 1: Losses in firmness, L^* and b^* values of pre-cutting heat-treated fresh-cut mangoes during the storage at 6 °C expressed as a percentage (%) compared to the initial value.

Treatments	Time of storage (days)		
	3	6	9
Firmness (N)			
control	35,1	37,1	30,9
46°C-30min	22,6	28,9	34,5
46°C-75min	26,8	37,1	40,4
50°C-30min	9,0	22,5	33,1
50°C-75min	38,1	31,5	33,5
L^* value			
control	15,0	14,3	22,5
46°C-30min	13,6	16,5	23,1
46°C-75min	9,9	13,8	19,6
50°C-30min	9,3	15,6	19,2
50°C-75min	18,1	18,7	19,5
b^* value			
control	13,0	16,4	29,4
46°C-30min	0,7	7,4	22,8
46°C-75min	8,1	18,7	25,5
50°C-30min	-4,1	3,2	0,0
50°C-75min	18,5	23,3	23,4

3.3. Influence of HWD on color change of fresh-cut mangoes

Before processing, the color of the skin of whole ‘Keitt’ fruit was visually estimated and measured by colorimetry. Compared to the control, heat-treated fruit had a higher b^* value (data not shown), indicating yellowing of the skin as previously reported by Segarra-Carmona et al. (1990).

The color of the pulp was then analysed and expressed by L^* and b^* values (Fig. 3A and B). The initial L^* values for the HWD 46 and 50 °C/75 min were significantly lower than for the other conditions. These results emphasized the influence of the duration of treatment on the reduction of L^* value (Fig. 3A). Then, for each condition, the L^* value decreased during storage, as has been described for fresh-cut mangoes of several varieties: ‘Tommy Atkins’, ‘Ataulfo’, ‘Kent’ and ‘Keitt’ (Rattanapanone et al., 2001; Gonzalez-Aguilar et al., 2008). However, the percentage of L^* loss (Table 1), showed that after 3 d, the two HWD 46 °C/75 min and 50 °C/30 min treatments showed a slight loss of L^* with only 9.9% and 9.3% decreases, respectively.

Values for b^* decreased during storage for all conditions except for HWD 50 °C/30 min (Fig. 3B; Table 1). Indeed, with this treatment, the color of fresh-cut mangoes was maintained, with

significantly less browning than with the other conditions. This result suggested that HWD 50 °C/30 min is a potential alternative to preserve the initial color of mango and protect against browning. Other work has described the influence of heat treatment on the prevention of browning of fresh-cut endive (Salman et al., 2007). It can be noted that high temperature and a long period of treatment, such as HWD50 °C/75 min, quickly reduced b^* values and damaged the product.

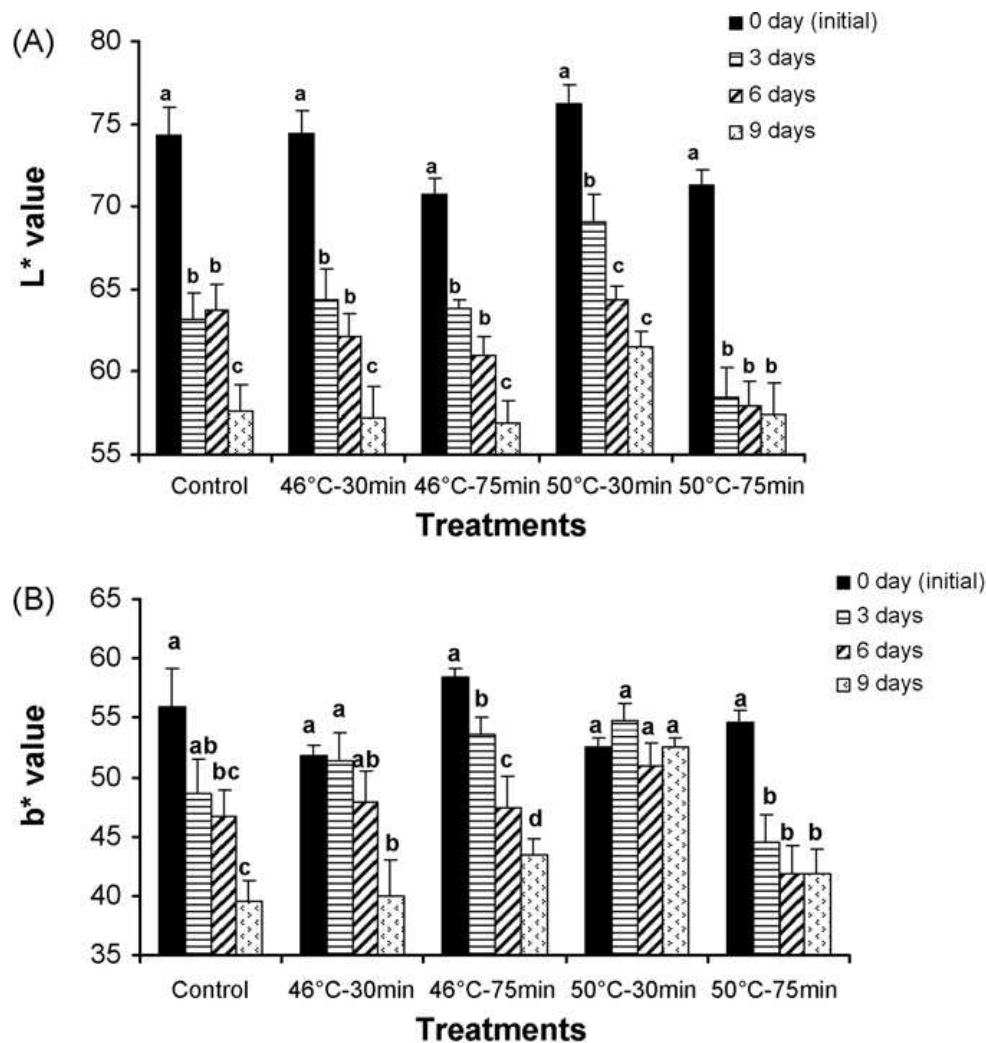


Figure 3. Changes in L^* (A) and b^* (B) values for 'Keitt' fresh-cut mangoes after HWD (vertical bars represent standard error of the mean and different letters indicate significant differences for each treatment during storage).

3.4. Influence of HWD on total soluble solids (TSS), pH and acidity of fresh-cut mangoes

As shown in Table 2, initial TSS contents, excepted for HWD 46 °C/75 min, were similar whatever the conditions (approx. 12.8 % $\pm$ 0.6). Then, there was a slight decrease which didn't match with the normal ripening process characterised by starch degradation to soluble

sugars and an increase in the soluble solids values. The HWD 50 °C/30 min also induced a slight decrease until 6 d, but after 9 d of storage the final TSS value was higher than at the beginning of the experiment. In contrast, other authors have reported that a quarantine heat treatment applied to nectarines had no effect on TSS content (Obenland et al., 1999). The pH of mango samples, around 4, the usual value for fruit, and the acidity were not significantly affected by heat treatments. These results are in accordance with Abreu et al. (2003) who have demonstrated that heating whole pear fruit from 35 to 45 °C for 40–150 min maintained pH during 7 d of storage at 2°C.

Table 2: Effect of different HWT on changes in total soluble solids (TSS), pH and acidity of fresh-cut mangoes during storage at 6 °C for 9 d.

	Time of storage (days)			
	0 (initial)	3	6	9
TSS (%)				
Control	12,2 a A	11,3 a A	11,8 a AB	11,3 a A
46°C-30min	13 a A	12,0 ab AB	12,2 ab AB	11,9 b A
46°C-75min	13,8 a B	13,1 ab C	12,5 b A	12,9 ab B
50°C-30min	12,7 ab A	12,3 b B	12,3 b A	13,3 c B
50°C-75min	12,4 a A	11,6 bc AB	11,0 c B	11,6 c A
TA (meq /100 g citric acid)				
Control	3,6 a A	5,4 b AB	5,3 b A	5,7 b A
46°C-30min	5,7 a B	6,4 a A	5,2 a A	6,0 a A
46°C-75min	4,6 a AB	5,3 a B	5,3 a A	4,4 a B
50°C-30min	5,3 a B	5,6 a AB	5,3 a A	5,3 a AB
50°C-75min	4,4 a AB	6,3 b AB	5,3 ab A	4,8 a AB
pH				
Control	4,2 a A	4,1 ab A	4,1 ab AB	4,0 c A
46°C-30min	3,8 a B	4,0 a A	4,0 a AB	3,8 a A
46°C-75min	4,2 a A	4,0 a A	4,3 a A	4,0 a A
50°C-30min	4,3 a A	4,0 b A	4,1 ab AB	4,1 ab A
50°C-75min	4,1 a A	4,1a A	3,9 a B	4,1 a A

Same lower case letters in the same horizontal line indicate no-significant differences during storage time.

Same capital letters in vertical line indicate no-significant differences between treatments.

3.5. Influence of HWD on ascorbic acid content of fresh-cut mangoes

Fruit are natural source of ascorbic acid (vitamin C) and it is known that its level decreases during processing and ripening (Lee and Kader, 2000). Moreover, as the oxidative processes occur more rapidly in fresh-cut products, they are expected to have higher losses (Allong et al., 2000). In this study, initial contents of vitamin C were similar after all treatments (Fig. 4) but changes during storage were different among treatments. In control samples, the amount of vitamin C was maintained until 6 d before decreasing. HWD 50 °C/30 min and 46 °C/75 min maintained the contents until 3 d and HWD 46 °C/30 min and 50 °C/75 min quickly decreased the vitamin C content. It is clear that heat treatment induced a decrease in the amount of vitamin C as compared to the control. Yahia et al. (2007) have reported that ascorbic acid levels were higher in control tomatoes than in heat-treated fruit (38 °C or 34°C for 24 h). However, with a proper time–temperature combination, like HWD 50 °C/30 min, this decrease can be reduced and fresh-cut products can still contain significant amounts of vitamin C during the storage

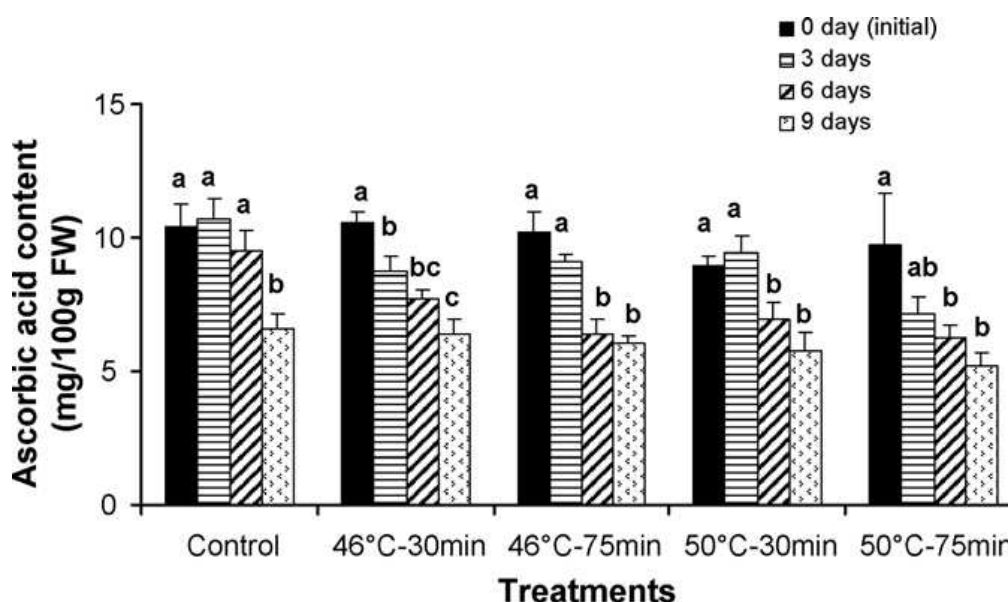


Figure 4. Effect of HWD on ascorbic acid content of fresh-cut mangoes (cv.Keitt) during storage at 6 °C for 9 d (vertical bars represent standard error of the mean and different letters indicate significant differences for each treatment during storage).

3.6. Influence of HWD on total carotenoids contents of fresh-cut mangoes

Carotenoids are pigments responsible for the yellow color of products and have a protective function against oxidative damage. In this study, three treatments (46 °C/75 min; 50 °C/30

min and 50 °C/75 min) resulted in increases in the initial level of total carotenoids compared to the control (Fig. 5). Heat treatment can induce cell membrane disruption and enhance chemical extractability of total carotenoids (Kidmose et al., 2002). During storage, total carotenoid contents remained stable in the control and HWD46 °C/30 min treatment, whereas for the other treatments it decreased. It is known that exposure of mangoes to oxygen, peroxides, temperature and light may cause undesirable alterations in structure and bioactivity of carotenoids in terms of isomerisation, oxidation or degradation (Van den Berg et al., 2000). Lower total carotenoid contents during storage have also been reported after heat treatment of whole persimmon fruit (Luo, 2006) and fresh-cut peach (Koukounaras et al., 2007). However, it can be noted that after 3 d, HWD 50°C/30 min induced high carotenoid contents as compared to the control and the other treatments. HWD 50 °C/30 min could increase the antioxidant capacity of mangoes at this time of storage.

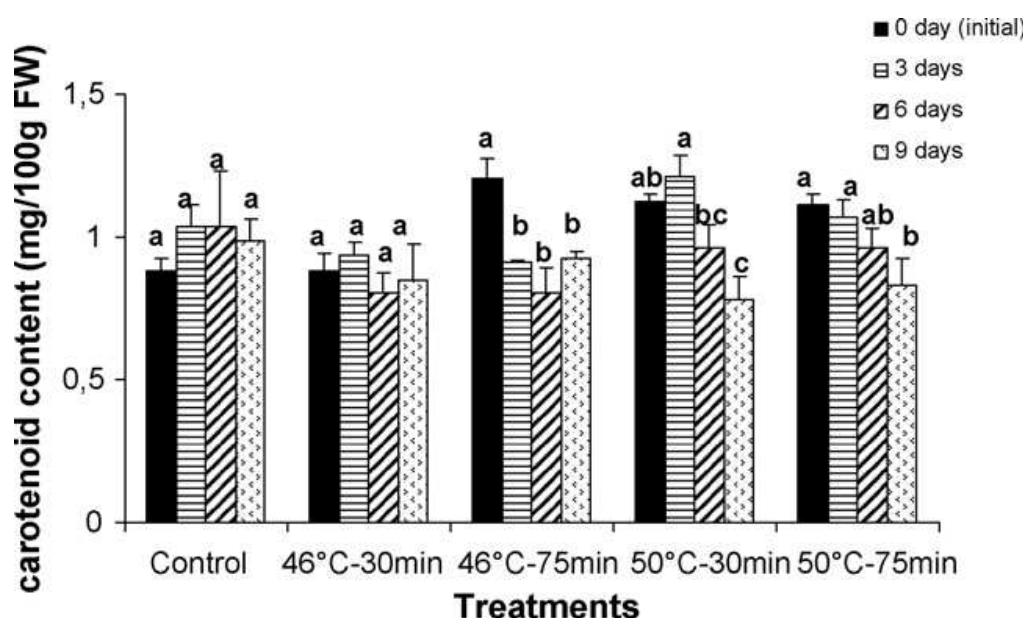


Figure 5. Effect of HWD on total carotenoids content of fresh-cut mangoes (cv. Keitt) during storage at 6 °C for 9 d (vertical bars represent standard error of the mean and different letters indicate significant differences for each treatment during storage).

3.7. Influence of HWD on malondialdehyde content (MDA) of fresh-cut mangoes

Initial MDA values (Fig. 6) were higher for heat-treated samples as compared to the control. After 3 d, MDA values were maintained whatever the treatment and then increased for all treatments and mainly for HWD 46 and 50 °C/75 min. This result suggests that a long

duration of heat treatment induced senescence processes involving lipid peroxidation. No information about the effect of heat treatment on the MDA changes in mango fruit has been reported but an MDA increase was observed in ‘Tainong’ mango fruit after 3 d of storage at 4°C (Wang et al., 2007).

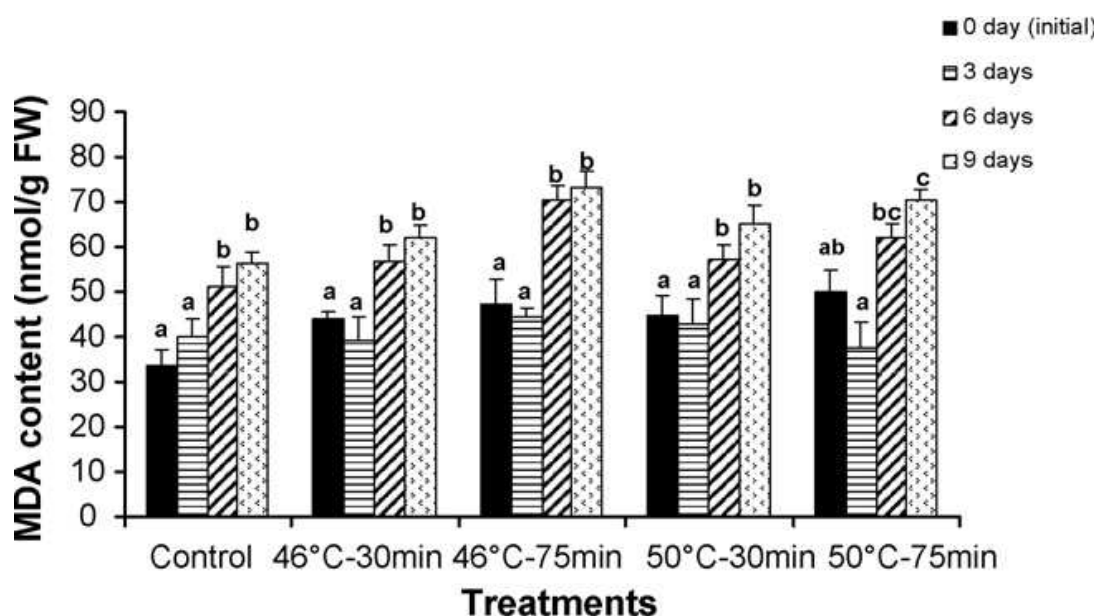


Figure 6. Effect of HWD on malondialdehyde content (MDA) of fresh-cut mangoes (cv. Keitt) during storage at 6 °C for 9 d (vertical bars represent standard error of the mean and different letters indicate significant differences for each treatment during storage).

3.8. Influence of HWD on the respiration rate of whole mangoes

The results shown in Table 3, suggest that HWD 50 °C/30 min reduced significantly RR_{O_2} as compared to the other treatments and control, whereas RR_{CO_2} remained similar whatever the treatment. Similarly, in apples, the respiration is lower upon return of heated fruit to ambient temperature compared to non-heated fruit (Klein and Lurie, 1990). The respiration rate is an indicator of metabolic activity and gives an indication of the potential shelf-life of the product (Church and Parsons, 1995). These results indicated that HWD 50 °C/30 min could increase the shelf-life of fresh-cut mangoes by decreasing RR_{O_2} of whole mangoes. It suggested use of RR_{O_2} as an indicator of the overall influence of a heat treatment on the product shelf-life. The respiratory quotient ($RQ = RR_{CO_2}/RR_{O_2}$) ranged between 0.8 and 1.2 (Table 3) and the higher value was for HWD 50 °C/30 min. The value of RQ depended on the metabolic

substrate of respiration and generally ranged from 0.7 to 1.3 for aerobic respiration (Forcier et al., 1987). In this experiment, heat treatment did not modify the respiration process of mango fruit. Similarly, Hasbulah et al. (2001) have found that the RQ values of 'Irwin' mango treated with HWD 47.2 °C/60, 90 and 120min ranged between 0.92 and 1.05 and were not affected by heat treatment.

Table 3: Respiration rate (RR_{O₂}; RR_{CO₂}) and respiratory quotient (RQ) for hot water treated and untreated 'Keitt' mangoes after 24 h storage at 22 °C.

Traitment	T (°C)	RR O ₂	RR CO ₂	RQ
control	22	2,79 ± 0,05	2,37 ± 0,18	0,85 ± 0,08
46°C-30min	22	2,41 ± 0,27	2,42 ± 0,20	1,03 ± 0,20
46°C-75min	22	2,86 ± 0,51	3,00 ± 0,59	1,04 ± 0,02
50°C-30min	22	1,96* ± 0,26	2,31 ± 0,20	1,20 ± 0,07
50°C-75min	22	2,53 ± 0,31	2,62 ± 0,18	1,04 ± 0,06

*Indicates significant difference.

4. Conclusion

This study investigated the effects of different combinations of heat treatment (temperature and duration of application) on the quality of fresh-cut mangoes. A hot water dipping (HWD) 50 °C/30 min was demonstrated to have the potential to maintain the appearance and color of minimally processed mangoes during 6 and 9d of storage at 6°C, respectively. Compared to the other heat treatments, HWD 50 °C/30 min maintained firmness and the vitamin C content for up to 3 d. This treatment also increased the total carotenoid contents after 3 d and decreased the respiration rate of the whole fruit. These results suggest that a HWD of 50 °C/30 min can be an effective, inexpensive and environmentally safe method to improve the quality of fresh-cut 'Keitt' mangoes.

CHAPITRE III
EFFETS DU TRAITEMENT THERMIQUE
50 °C / 30 MIN SUR LA FERMETÉ ET
L'ACTIVITÉ DES ENZYMES PECTOLYTIQUES
DES MANGUES 4^{ÈME} GAMME

Les résultats obtenus dans le précédent chapitre ont montré que le traitement thermique 50 °C / 30 min a diminué les altérations de couleur et la perte de fermeté au cours de la conservation des mangues 'Keitt' 4^{ème} gamme.

Résumé de l'étude

Le **chapitre III** décrit, sous forme d'un article soumis au journal *Postharvest Biology and Technology*, les travaux réalisés pour étudier l'effet de ce traitement thermique sur la fermeté en lien avec le potentiel de turgescence et l'activité des principales enzymes pectolytiques (pectinmethylesterases : PME ; polygalacturonases : PG et β -galactosidases : β -GAL).

Les mangues Kent ont subi un traitement thermique (50 °C / 30 min) avant d'être coupées et conservées à 6 °C pendant 9 jours. Durant la conservation, la fermeté, la pression de turgescence et les activités des PME, PG et β -GAL ont été analysés chaque 3 jours. La fermeté a été mesurée par la méthode de pénétration et le potentiel de turgescence a été déterminé à l'aide d'une sonde à pression thermoelastique (Pessoa et Calbo, 2004).

Au cours de la conservation, dans les échantillons témoins, la fermeté diminue à partir du 3^{ème} jour, et les activités des PME et des β -GAL augmentent après 6 jours et celles des PG augmentent au 9^{ème} jour.

L'application du traitement thermique a permis une augmentation significative de la fermeté des mangues 4^{ème} gamme dès le 3^{ème} jour avec un maintien de la pression de turgescence. Par ailleurs, il a permis une réduction des activités des PME et β -GAL au 6^{ème} jour et celles des PG au 9^{ème} jour.

A partir de ces résultats, nous pouvons conclure que le traitement 50 °C / 30 min agit sur la fermeté en maintenant la pression de turgescence et en réduisant l'activité des enzymes pectolytiques.

Publication n° 2

Effect of heat treatments on softening and enzymes related to cell wall degradation in fresh-cut mangoes

Florence Charles, Tassadit Djioua, Maria Raquel Alcântara de Miranda, Auricleia Sarmento de Paiva, Dalton José Cruz Pessoa, Heloisa Filgueiras, Huguette Sallanon

Soumise au journal : *Postharvest Biology and Technology*. POSTEC-D-10-00208

Abstract

Previous works have demonstrated the beneficial effect of a hot water treatment 50°C / 30min to maintain the quality (color, firmness,...) of fresh-cut mangoes. This study investigated the effect of this hot water treatment on firmness change of fresh-cut mangoes. Different parameters linked to the firmness were estimated: cell wall hydrolytic enzymes activity and turgor pressure. In hot water treated samples, pectinmethylesterase and β -galactosidase activities, which both contribute to pectin modification, decrease after 6 days of storage and polygalacturonase activity decreases after 9 days of storage. Moreover, the turgor pressure was maintained during 3 days in the hot water treated sample while it decreased in the control sample. As, hot water treatment significantly increased the firmness after 3 days of storage at 6°C, it can be due to the decrease in cell wall hydrolytic enzymes activity or to the maintain of the turgor pressure.

Keywords: heat treatment, fresh-cut mangoes, softening, firmness, cell wall degradation-related enzymes

1. Introduction

Fresh-cut products are in important developing category of food production because of attributes such as convenience and fresh-like quality (Pittia et al., 1999). However, during the storage, fresh-cut products quickly lose quality, due to an increase in the metabolic processes compared to intact fruits. Wounding is one of the primary stresses experienced by fresh-cut products, which undergoes some form of processing (trimming, peeling, slicing, cutting,...). The most common response to wounding results in respiration rate activation, moisture loss and damages in cell membranes (Hodges and Toivonen, 2008).

Mango (*Mangifera indica* L.) is one of the most important tropical fruit worldwide in terms of production and consumer acceptance (FAOSTAT, 2009), whereas the commercial success of fresh-cut mangoes has been limited till now due to an important loss of firmness.

Softening is one of the dramatic changes during the storage of fruits compared to vegetables which are much firmer. The mechanisms by which fruits soften during ripening remain unclear and are subject to much speculation (Ali et al., 2004). Fruit firmness and texture are most closely associated with cell wall structure and composition, and particularly with the cell wall changes that occur during ripening. Primary cell walls are composed of rigid cellulose microfibrils held together by networks of matrix glycans (hemicelluloses) and pectins, together with smaller amounts of structural proteins and phenolics (Carpita and Gibeaut, 1993). Softening is mainly a result of the solubilization and depolymerisation of pectins by the action of cell-wall associated enzymes such as Pectinmethylesterase (PME), Polygalacturonase (PG) and beta-Galactosidase (β -GAL). PME is an ubiquitous plant enzyme that de-esterifies methoxylated pectin, releasing sites accessible to either formation of calciums bonds among pectins to reinforce the cell wall structure or to further degradation by PG (Tijskens et al., 1999). PG belongs to the depolymerising enzymes (hydrolases) and catalyzes the hydrolytic cleavage of α (1 $\rightarrow$ 4) galacturonan linkages of pectin which are the main constituents of middle lamella and primary cell wall of plant cells (Singh and Dwivedi, 2008). This resulted in the decrease in intercellular adhesivity and tissue rigidity (Labib et al., 1995). Finally, β -Gal might act also as pectin debranching enzyme, and may thus contribute to pectin modification. Moreover, the firmness can also be influenced by water loss and turgor pressure which is the resistance of the wall against the osmotic pressure.

Many researches have been made to improve the storage, reduce degradation processes and maintain quality. Refrigeration is the most extended technology used to delay ripening associated changes, including cell wall disassembly. Modified atmospheres have also been largely used with fresh-cut products (Charles et al., 2008). More recently, heat treatments

have been investigated due to their potential use as an alternative for insect and decay control, retardation of ripening and amelioration of chilling injury (Lurie, 1998). For instance, heat treatments improve the firmness of fresh-cut apples (KIM et al., 1993), fresh-cut peach (Abreu et al., 2003) and fresh-cut melon (Lamikanra and Watson, 2007). One way to improve the shelf-life of fresh-cut products is to better understand mechanisms of the post-harvest changes. The influence of heat treatment on whole fruit ripening has been reviewed and most of the time includes fruit softening (Paull and Jung Chen, 2000). However, few data are available about heat treatments effects on fresh-cut fruits.

This work wants to investigate the effects of a heat treatment applied by hot water at 50 °C - 30 min on the softening of fresh-cut 'Kent' mangoes stored at 6°C during 9 days.

2. Materials and methods

2.1. Plant material

Mangoes (*Mangifera indica* L. cv. Kent, from Côte d'Ivoire) were purchased from a local supermarket and transferred to the laboratory. Fruit of uniform size and maturity stage (based on internal colour and firmness) with absence of visible wounds were selected and kept at ambient temperature overnight before testing.

2.2 Hot Water Treatment and Minimal Processing

Mangoes were divided into two sets, the first one was the control and the second one was submitted to the hot water treatment (HWT). Heat was applied on whole fresh fruits by immersion in hot water at 50°C for 30 minutes. Then, fruits were cooled in water bath at around 17°C for 15 min. This treatment was selected in previous works (Djioua et al., 2009), as the optimal couple time / temperature to maintain the quality of fresh-cut mangoes.

Then, heated and unheated fruits were minimally processed: They were peeled, sliced into cubes (2 X 2 cm), washed in 10 ppm sodium hypochlorite (1 min) and dried with blotting paper. Cubes were randomly distributed in glass jars of 1L ($\approx$ 50 cubes / jar) which allowed to keep high relative humidity and ambient atmosphere around the samples. Jars were stored at 6 °C for 9 days and samples were removed for quality analysis after 3, 6 and 9 days.

2.3 Quality analysis**2.3.1. Firmness**

Firmness was measured using a texture analyser (Penefel texture analyser, Setop Giraud-Technologie, France) fitted with a 2 mm flat probe and the results were expressed in Newton (N).

2.3.2. Turgor pressure

The turgor was measured with a version of the technology TEProbe® (Thermo Elastic Probe), that consists of using the thermoelastic properties of fluids to measure pressures in volumes of the order of microliters (PESSOA and CALBO, 2004). The pressure applied to the fluid surface can be quantified with the coefficient of compression of the fluid (Eq. 1):

$$dV = \kappa \cdot dP \cdot V \quad (\text{Eq. 1})$$

where, κ = compression coefficient (MPa^{-1}); V = volume (l); P = pressure (MPa).

A more comfortable way to measure the turgor is using another property of the fluid, the Coefficient of Thermal Expansion (Eq. 2) :

$$\alpha = dV/VdT \quad (\text{Eq. 2}),$$

that divided for (Eq.1) it supplies (Eq. 3):

$$dP = \frac{\alpha}{\kappa} \cdot dT \quad (\text{Eq. 3})$$

where, α = coefficient of thermal expansion (C^{-1}); κ = compression coefficient (MPa^{-1}); dP = pressure of the cell; dT = temperature variation.

The temperature variation is linearly proportional to the power wasted in the heat source that heats the fluid. In such a way, it is enough to measure the electric tension supplied to the resistivity source of heat to determine the turgor.

The setup that makes possible this procedure consists of a glass capillary with 15cm of length and 120 micrometers of internal diameter, almost completely filled with mineral oil with low viscosity. One of the extremities of the capillary is stamped and to another one, with conical tip, it is used to puncture the cell. The oil volume changes were monitored by observing the meniscus oil/air position illuminated by cold light under a microscope.

For the measures of the cells turgor, each value corresponded to the average of five cubes.

2.3.3. Extraction and assay of cell wall enzymes activities**2.3.3.1. Pectinmethylesterase (PME)**

PME (E.C 3.1.1.11) was extracted and measured as described by Morais et al. (Morais et al., 2008) based on modifications on the method developed by Jen and Robinson (JEN and ROBINSON, 1984). Frozen mango puree (5 g) was homogenized with 25 mL of ice-cold 0.2 N NaCl in a polytron. The homogenate was centrifuged at 9,000 rpm at 4 °C for 10 minutes and the supernatant collected as the enzyme crude extract. For PME activity assay, the reaction mixture contained 5 mL of enzyme crude extract and 30 mL of pectin solution (1 % w/v commercial pectin in 0.2 M NaCl) and the rate of pectin demethylation was monitored through titration with NaOH 0.1M at pH 7.0 for 10 min. One unit of Pectinmethylesterase activity was defined as the amount of enzyme capable of demethylating pectin corresponding to the consumption of 1 nmol NaOH.min⁻¹.g⁻¹. Results were expressed as one unit of activity per minute per mg protein.

2.3.3.2. Polygalacturonase (PG)

PG (EC 3.2.1.15) was extracted as described by Buecher and Furmanski (BUESCHER and FURMANSKI, 1978) and its activity was determined according to Pressey and Avantis (Pressey and Avants, 1973). Frozen mango puree (25 g) was homogenized with 50 mL of cold distilled water and 30 mL of the mixture was centrifuged at 9,000 × rpm at 4 °C for 10 minutes. The residue was washed again in 20 mL of cold distilled water and then resuspended in 20 mL of 1 N NaCl and stirred for 1 minute. The pH of the mixture was adjusted to 6 with 0.1 N NaOH and let at 4 °C 1 hour under agitation. The volume was completed to 30 mL with 1 N NaCl and centrifuged at 9,000 × rpm at 4 °C for 10 minutes and the supernatant collected as the enzyme crude extract. For PG activity assay, the reaction mixture consisted of 3 mL of enzyme extract plus 3 mL 0.25 % (w:v) polygalacturonic acid in 37.5 mM sodium acetate buffer, pH 5.0 or distilled water. The mixture was incubated for 3 hours at 30 °C followed by a boiling water bath (for 5 min) to stop the reaction. The reducing groups liberated were determined according to Somogyi technique modified by Nelson (Nelson, 1944). Results were expressed as units of PG activity per minute per mg of protein.

2.3.3.3. β -galactosidase (β -GAL)

β -GAL (EC 3.2.1.23) was extracted as described by Kitagama et al. (Kitagawa et al., 1995) and de Morais et al. (Morais et al., 2008) and its activity was determined according to Dey and Pridham (Dey and Pridham, 1969). Frozen mango puree (10 g) was homogenized with 20

mL sodium acetate buffer, pH 5.0 contained 1 % polyvinylpyrrolidone (PVP) and centrifuged at 10 000 rpm at 4 °C for 15 minutes. The pellet was resuspended in 20 mL 0.02 M sodium acetate buffer, pH 5.0 plus 0.005 M 2-mercaptoethanol and then centrifuged at 10 000 rpm at 4 °C for 15 minutes. The latter step was repeated, the pellet was resuspended in 0.02 M sodium acetate buffer, pH 5.0, plus 3 M NaCl and stirred for 12 hours. The suspension was centrifuged at 10 000 rpm at 4 °C for 15 minutes and the supernatant was dialyzed for 24 hours against distilled water at 4 °C. The β -galactosidase activity was assayed for hydrolysis of p-nitrophenyl- β - galactopyranoside and the reaction mixture consisted of crude enzyme extract (0.5 mL) and 0.03 M of MacIlwail buffer, pH 4.0 (0.5 mL). After 15 minutes at 37 °C, the reaction was stopped by adding 1.5 mL 0.1 M sodium carbonate and the p-nitrophenol released was measured by spectrometer at 400 nm. Results were expressed as units of β -galactosidase activity per hour per mg protein.

2.3.3.4. Protein determination

Protein was determined by the method of Bradford using bovine serum albumin as a standard.

2.4. Statistical analysis

Data were analysed by ANOVA and the means were compared by LSD test at a significant level of 0.05.

3. Results and discussion

3.1. Firmness

At day 0 (Figure 1), the firmness of fresh, processed control and HWT samples was not significantly different. This result demonstrated that heat treatment did not influence the firmness just after the minimal processing.

During storage (Figure 2), the firmness of the control sample decreased from initial value of 5.36 to 4.95 N after 9 days. The decrease was significant after 3 days. On the contrary, the firmness of the HWT sample increased from 4.66 to 8.88 N. The heat treatment 50°C – 30 min had a beneficial effect on the firmness of fresh-cut mangoes. In previous works, the same heat treatment (50°C – 30 min) maintained the firmness of ‘Keitt’ mangoes during 3 days (Djioua et al., 2009) and also of ‘Tommy Atkins’ (Djioua et al., 2010).

In this study, the firmness of “Kent” mangoes was increased after the heat treatment. Benitez and al. (Benitez, 2006) have also demonstrated an increase in the firmness of whole ‘Namdokmai’ mangoes during the first 3 days of storage and after heat treatment of 50 or

55°C – 5 min. Firmness increase was also observed after heat treatment on fresh-cut peach (Steiner et al., 2006) and on fresh-cut “Rocha” pear (Abreu et al., 2003).

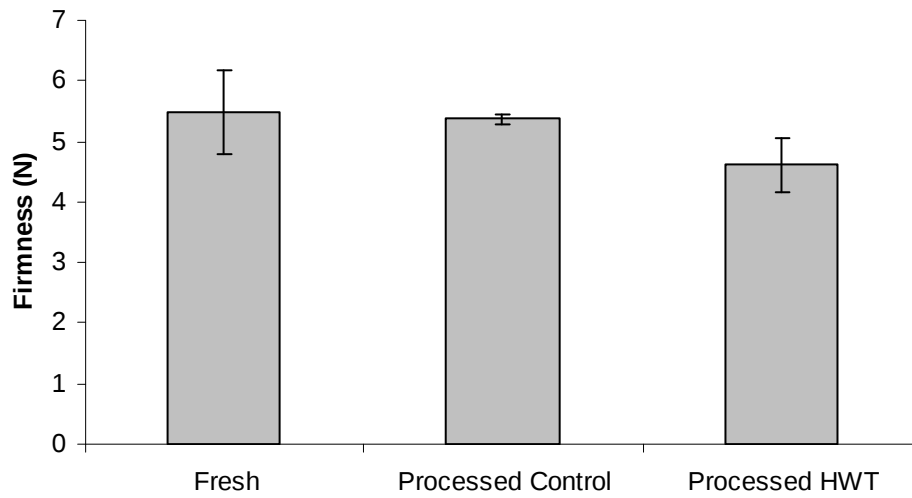


Figure 1: Effect of minimal processing and hot water treatment on the firmness of fresh-cut “Kent” mangoes at day 0, Fresh Whole mangoes, Processed Control and Processed HWT mangoes. Results are the means of 10 cubes $\pm$ standard deviation.

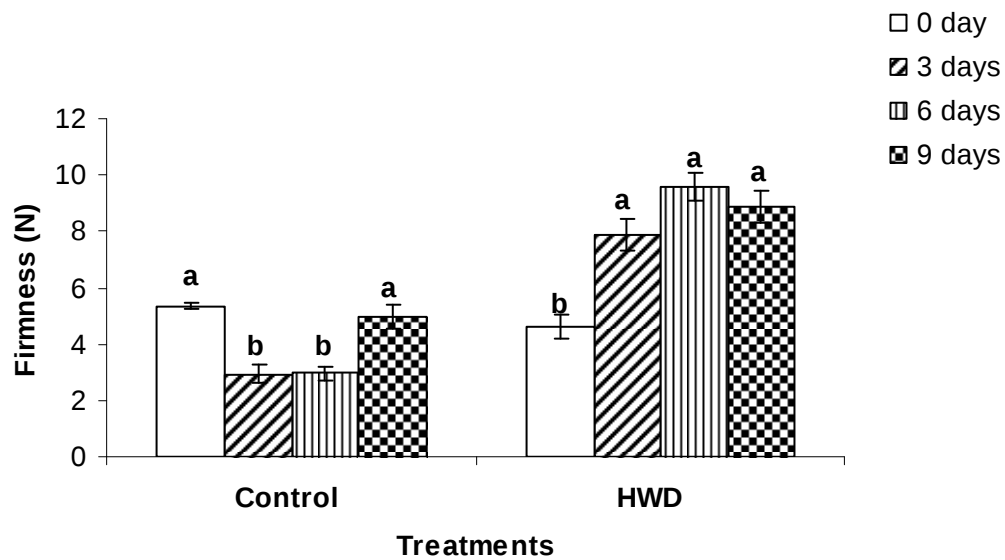


Figure 2: Firmness changes of “Kent” fresh-cut mangoes during 9 days at 6°C for control and HWT samples (50°C – 30 min). Results are the means of 10 cubes $\pm$ standard deviation.

3.2. Enzyme activity

The firmness is mainly correlated to the cell wall integrity. Softening is generally associated with a decrease in the strength of cell-cell adhesion due to enzymes related to cell wall degradation. In whole mangoes, the activity of cell wall hydrolytic enzymes usually increase during ripening (Ali et al., 2004). So, PME, PG and β -GAL activities were analysed.

3.2.1. Pectinmethylesterase (PME)

Just after processing, no differences were observed for PME activity between the control and the HWT samples (Figure 3). PME activity increased up to 3 days of storage for both treatments and then, it continued to increase in control while decreased in the HWT samples. After 9 days of storage at 6 °C, PME activity was 1150 and 375 U/min/ mg Prot for control and HWT, respectively.

Similar results have been obtained for whole mangoes, as PME activity decreased after heating for 3 days at 38 °C (Ketsa et al., 1998) or by dipping in water bath at 50 °C or 55 °C for 5 min (Benitez, 2006). These results indicate that heat treatments decrease the PME activity in a similar manner for both whole and fresh-cut mangoes.

Denaturing of PME structure could explain the decrease in activity, as Labib et al., (Labib et al., 1995) have reported that temperatures between 40 to 65 °C cause a strong denaturation which results in a significant decrease in PME activity of mangoes.

PME catalyzes pectin demethylation resulting in higher availability of anionic COO⁻ groups which may either form calcium cross-linkages between pectin molecules or generate a suitable substrate for PG action. At the beginning of the experiment, PME activities increased with similar values for both treatments, however after 6 and 9 days of storage, PME activity was lower in the HWT samples. Meanwhile, firmness decreased in the control and increased in the HWT sample. These results suggested that demethylation by PME did not lead to further degradation by PG, but instead that heat treatment may have enabled endogenous calcium to more easily complex with pectin carboxyl groups forming Ca-pectates linkages leading to an increase in rigidity of the cell wall, thus a greater resistance that might explain the firmness data. Similar effects have been reported for fresh-cut peach (Koukounaras et al., 2008, Steiner et al., 2006).

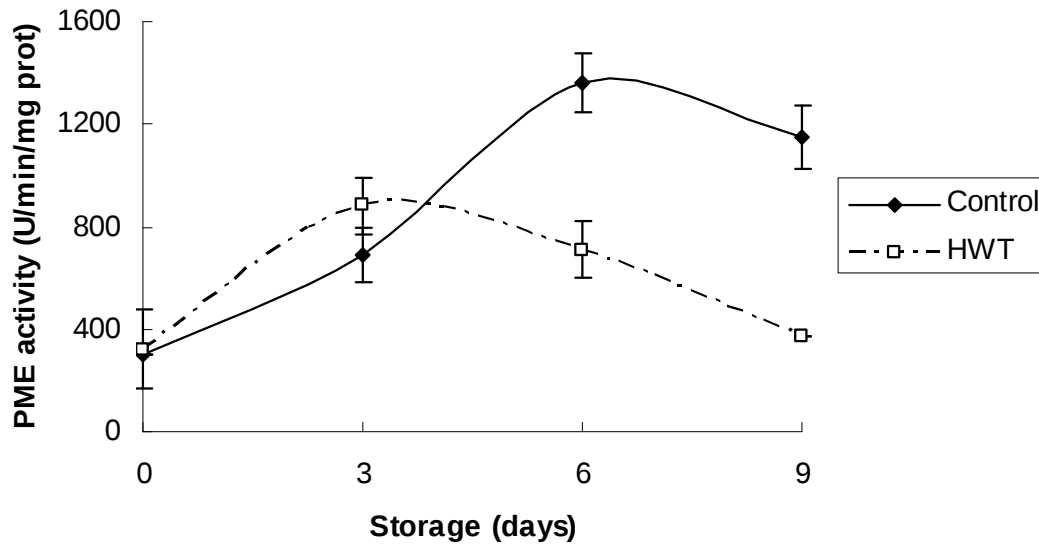


Figure 3: Effect of hot water treatment (50°C – 30 min) on PME activity of fresh-cut “Kent” mangoes.

3.2.2. Polygalacturonase (PG)

Figure 4 showed the effect of the heat treatment 50°C - 30 min on PG activity of fresh-cut mangoes. Just after processing (day 0), HWT samples had greater PG activity than control and then, activities were quite similar up to 6 days, after which it significantly decreased in HWT samples. Thus, PG activity was influenced by heat treatment, as it has been reported for whole mangoes submitted to heat for 3 days at 38 °C and that showed a decrease in PG activity (Ketsa et al., 1998) and for papaya, that showed a reduction in PG activity during ripening after treatment at 48 °C for 20 min (Lazan et al., 1989).

However, PG activity and firmness change were not well correlated suggesting that PG may not be a determining factor in cell wall disassembly and softening of mangoes (Giovannoni, 1992). Moreover, in mango and other tropical fruit, PG activity is low compared to tomato (Ali et al., 1995). All data suggested that other enzymes play more important roles in cell wall modification and softening of mangoes.

Yashoda has reported (Yashoda et al., 2007) that first PME de-esterifies pectin by removing methyl groups and generating the substrate for the next enzyme in the sequence, usually PG. During ripening of mangoes, activity of PME has been reported to increase during the early period of ripening and then to decline in the later period when the activity of PG starts increasing. Similar results have been obtained in this work with untreated “Kent” fresh-cut mangoes, although they could not be initially associated to firmness loss.

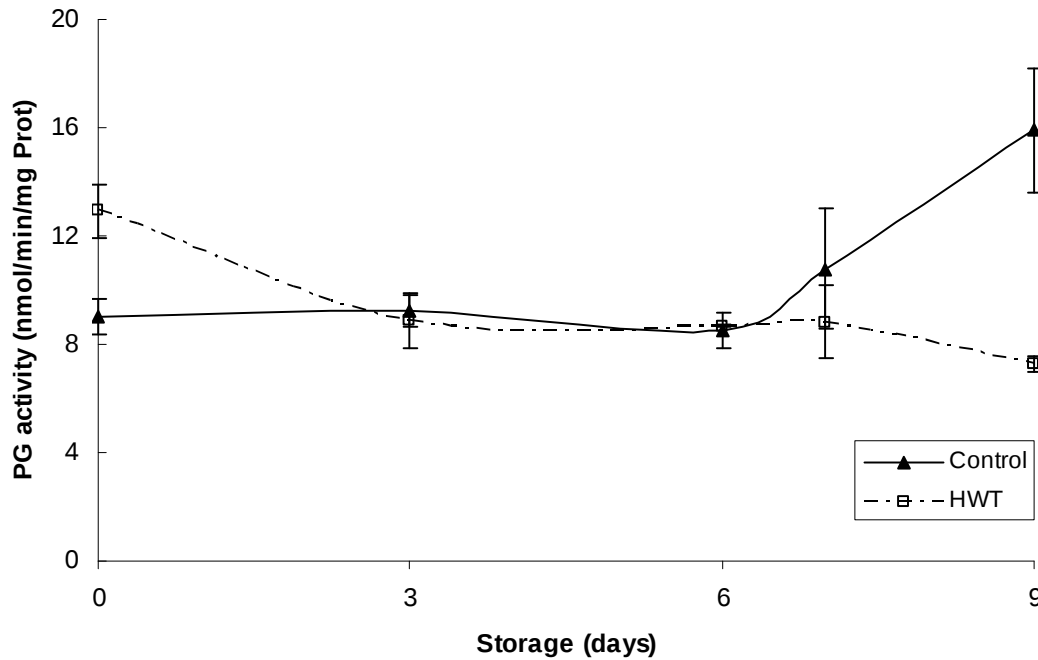


Figure 4: Effect of hot water treatment (50°C – 30 min) on PG activity of fresh-cut “Kent” mangoes.

3.2.3. β -galactosidase (β -GAL)

β -GAL activity was also analysed (Figure 5). The control sample showed a decrease after 3 days of storage and then, an increase up to 6 days, therefore decreasing again at 9 days. In the HWT sample, β -GAL activity decreased through storage and it was significantly lower at 6 days compared to the control, thus heat treatment also reduced β -GAL activity in fresh-cut mangoes. However, other published works have demonstrated different results and offered alternative explanations: β -GAL activity increased in mangoes after heat treatment for 3 days at 38°C (Ketsa et al., 1998), but decreased in strawberry (Vicente et al., 2005), thus suggesting that other parameters such as pH could influence this enzyme.

β -GAL acts as a pectin debranching enzyme and thus contributes to pectin modification. After 6 days, β -GAL and PME activities decreased in the HWT sample resulting in a greater firmness of fresh-cut mangoes. These results suggest that β -GAL has a more important role in mango softening, together with PME, than PG and that they are also sensitive to heating most probably due to denaturation. A previous work with mangoes confirms the evidence that β -GAL might contribute significantly to softening and cell wall modification (Veau et al., 1993)

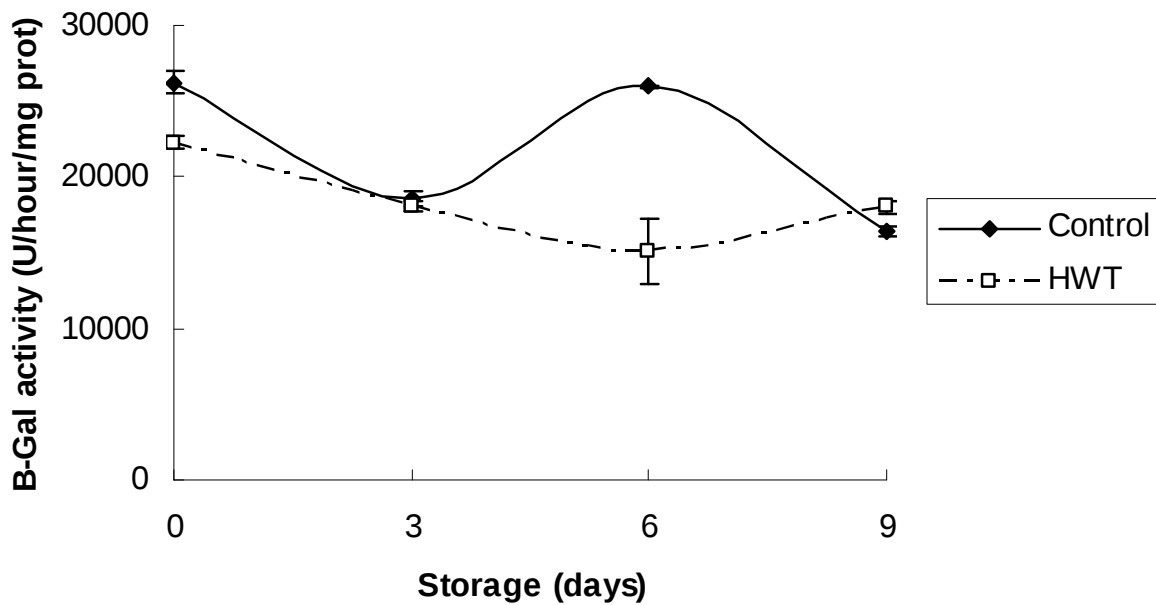


Figure 5: Effect of hot water treatment (50 °C – 30 min) on β -GAL activity of fresh-cut “Kent” mangoes.

3.3. Turgor pressure

The other major factors responsible for fruit texture are water loss and osmotic changes (Saladie et al., 2007). In this experiment, water loss did not change (data not shown) due to storage in glass jars that help to maintain high humidity around the products. After processing, turgor pressures of fresh whole, processed control and HWT mangoes were not significantly different (Figure 6). However a trend can be noticed as fruits were immersed in water, their turgor pressure seemed to increase. In the control sample, the water enters during the processing event from the several steps of washing and rinsing while for the HWT sample, there was also the hot water bath immersion.

During storage (Figure 7), the turgor pressure of fresh-cut mangoes decreased. The lack of membrane integrity induces the leakage of cellular osmotic solutes into the apoplastic space, which then results in water movements and turgor loss (Toivonen and Brummell, 2008). The heat treatment maintained a high turgor pressure for 3 days, meanwhile at this time, no changes were observed on enzyme activity (PME, PG and β -GAL) between control and HWT samples, but the firmness was increased in the HWT samples. The high turgor pressure could explain the firmness maintenance for the first 3 days and the calcium cross-linkages could explain the posterior increase in firmness in HWT samples due to changes in enzyme activity.

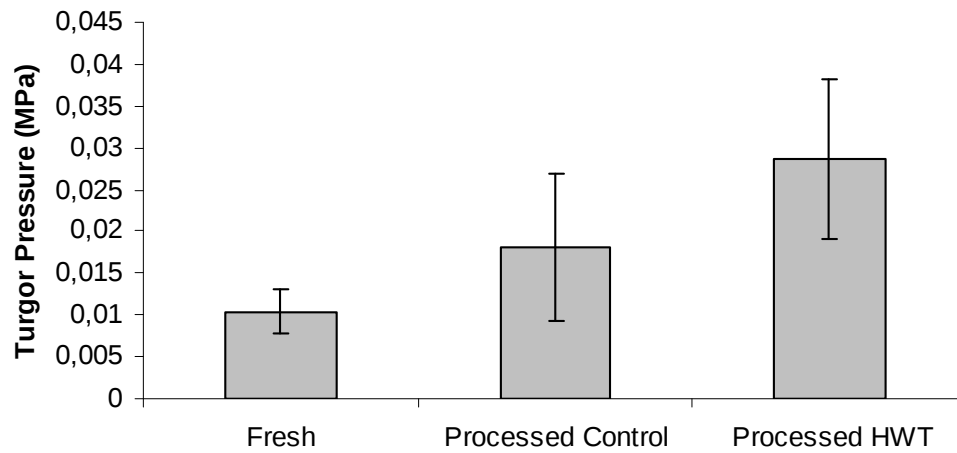


Figure 6: Effect of minimal processing and hot water treatment on the turgor pressure of fresh-cut “Kent” mangoes at day 0, Fresh Whole mangoes, Processed Control and Processed HWT. Results are the means of 5 cubes $\pm$ standard deviation.

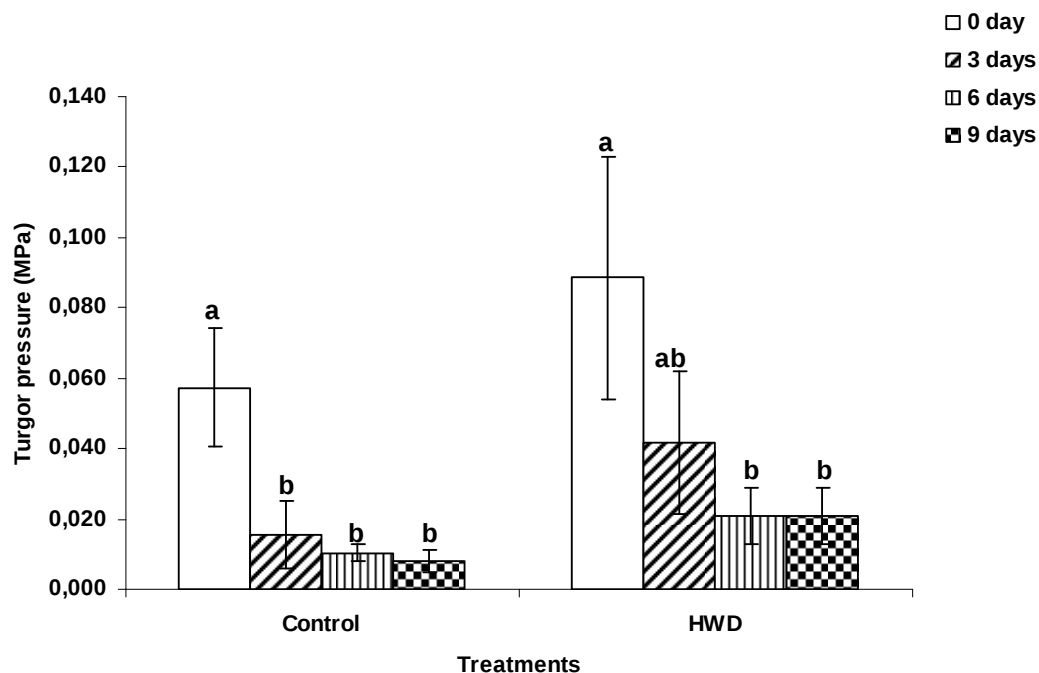


Figure 7: Turgor pressure changes of “Kent” fresh-cut mangoes during 9 days at 6°C for control and HWT samples (50°C – 30 min). Results are the means of 5 cubes $\pm$ standard deviation.

4- Conclusion

The firmness of fresh-cut fruits is a composite of numerous factors, some of which are genetic, some environmental and some due to postharvest handling and storage. Tissue softening is frequently the major problem limiting the shelf-life of fresh-cut products. This work has demonstrated that the hot water treatment 50°C – 30 min has a beneficial effect on the firmness of fresh-cut “Kent” mangoes: it increased the firmness after 3 days and maintained a high value during 9 days of storage. Both turgor pressure and cell wall hydrolytic enzymes influence the cellular adhesivity and tissue integrity. Thus heat treatments can be used to ameliorate the initial effects of wounding and the wounding-induced responses.

CHAPITRE IV
EFFETS DU TRAITEMENT 50 °C / 30 MIN
SUR LES PARAMÈTRES DÉTERMINANTS LA
COULEUR : TENEURS EN CAROTÉNOÏDES ET
OXYDATIONS DES COMPOSÉS

Le **chapitre IV** présenté sous forme d'un article en cours de soumission au journal *Journal of Food Science*, décrit les effets du traitement thermique sur le maintien de la couleur et les paramètres qui lui sont liés (teneurs en caroténoides et oxydation des phénols totaux) des mangues 'Keitt' 4^{ème} gamme durant 9 jours de conservation à 6 °C.

Résumé de l'étude

Il a été montré dans le **chapitre II** qu'un traitement thermique 50 °C / 30 min réduit les pertes en luminosité (L*) et maintient la couleur jaune, exprimée par le paramètre b*, des mangues 4^{ème} gamme 'Keitt' durant 9 jours à 6 °C.

Les caroténoides et notamment le β -carotène sont les pigments synthétisés lors de la maturation et responsables de la couleur jaune orangée de la mangue. En présence d'oxygène et suite à l'activité de la polyphénoloxydase (PPO), les composés phénoliques s'oxydent en composés bruns qui altèrent la couleur initiale du fruit.

L'objectif de la présente étude est de mieux comprendre l'effet du traitement thermique sur ces différents paramètres en quantifiant les teneurs en caroténoides et polyphénols ainsi que les activités des enzymes phénylalanine ammonia lyase (PAL) et polyphénoloxydase (PPO).

Des mangues 'Keitt' ont été chauffées à 50 °C pendant 30 min avant d'être découpées et conservées à 6 °C. Durant les 9 jours de conservation, les différentes analyses ont montré que le traitement appliqué réduit les pertes en L* et b* et permet de maintenir constant le paramètre a* lié au rougissement du fruit. L'analyse des pigments a démontré que ce traitement n'a aucun effet sur les teneurs en caroténoides (ainsi que sur le composé majoritaire β -carotène) ni sur les teneurs en phénols totaux exprimés en acide gallique (composé phénolique majoritaire chez la mangue). Par ailleurs, le traitement 50 °C / 30 min a permis une baisse de l'activité de la PPO et une augmentation de l'activité de la PAL comparé au échantillons témoins.

Ces résultats supposent que le maintien de la couleur suite au traitement thermique peut être lié à l'inhibition de l'activité de l'enzyme PPO responsable du phénomène du brunissement.

Publication 3

Effects of heat treatment on the colour change of fresh-cut mangoes

Tassadit Djioua^{a*}, Florence Charles^{a*}, Marie-Noelle Ducamp Collin^b and Huguette Sallanon^a
Journal of Food Science, en cours de rédaction.

Abstract

The present study investigated the effects of heat treatment of 50°C /30 min (HWD), applied before fruit process, on colour changes of fresh-cut 'Keitt' mangoes stored during 9 days at 6 °C. A clear beneficial effect of the heat treatment on CIE L*a*b* colour parameters was found. Indeed, HWD reduced the decrease of L*, b* and chroma values during storage especially at the sixth day and maintained a* values during 9 days. However, no effect was found on hue angle. Total carotenoids and β-carotene, which are responsible on the colour of mango, were quantified by HPLC and the results showed that HWD improved the carotenoids content just after treatment and had no effect during storage. This study, also, showed that HWD reduced the activity of PPO enzyme, responsible of browning, and increase PAL activity without any effect on gallic acid content. These results highlight the beneficial effect of HWD (50 °C / 30 min) on prevent the loss of colour of fresh-cut mangoes during storage by reduction of PPO activity.

Keywords: fresh-cut mangoes, antioxidants, browning, heat treatment

1. Introduction

The primary quality attributes of fresh-cut products include colour, texture, flavour and odour (Watada and Qi, 1999) and colour is probably the main important parameter for consumers. The yellow colour of mango was due essentially to carotenoids. Food carotenoids are usually C40 tetraterpenoids built from eight C5 isoprenoid units, joined so that the sequence is reversed at the center. Hydrocarbon carotenoids are collectively called carotenes; those containing oxygen are termed xanthophylls. The bicyclic β -carotene is the most widespread of all carotenoids in foods (e.g. apricot, carrot and mango). Various actions have been attributed to carotenoids, making determination of their concentrations in food highly appreciated. For instance, carotenoids prevented certain types of cancer and cardiovascular diseases and this role has been attributed to an antioxidant property through singlet oxygen quenching and deactivation of free radicals (Rodriguez-Amaya, 2001). The carotenoid composition of food is affected by factors such as cultivar, stage of maturity, climate or geographic site of production and postharvest handling, processing and storage (Rodriguez-Amaya, 1998; Gross 1991).

During storage of fresh-cut mangoes, colour change which was one of the most limiting factors on the shelf-life. Indeed, these products have a limited shelf-life compared with intact produce due to the processes of peeling and cutting which initiate a wound response in the physiology of processed fruits by increasing the respiration rate and ethylene production and promoting the degradative enzyme reaction (Salcini and Massantini, 2005). Browning is a discoloration resulting mainly from enzymatic oxidation of phenolic compounds by polyphenol oxidase (PPO) after direct contact between oxidizing enzymes with their substrates during peeling and cutting operations of fresh-cut process.

Polyphenols are secondary metabolites of plants and are widely distributed in beverages and plant-derived foods. The main classes of polyphenols are defined according to the nature of their carbon skeleton and they are: phenolic acids, flavonoids, stilbenes, and lignans (Lee and al, 2003) and gallic acid has been identified as the major polyphenol present in mango fruits (Masibo and He, 2008). Phenol content depends on PAL activity which converts L-phenylalanine into trans-cinnamic, precursor of various phenylpropanoids. Phenolic compounds quench lipid peroxidation, prevent DNA oxidative damage and scavenge free radicals (Cao and Cao, 1999).

Mango PPO (EC 1.14.18.1) has been associated with the conversion of phenolic compounds to quinones and their product polymerisation (Ndiaye et al., 2009). PPO enzymes lead to the

formation of undiserable brown pigments and off-flavoured products (Yeminicioglu et al., 1999).

Many postharvest treatments, such as heat treatment, have been investigated to extend shelf life and avoid the loss of quality of fresh-cut fruit. Initially, postharvest heat treatments are used for insect desinfestation (Paull and Chen, 2000) but several researchers have reported that they can also improve the product quality. Heat treatment can maintain the firmness, avoid the browning of fresh-cut apples (Kim et al., 1993; Barrancos et al., 2003) and reduce the respiration rate of fresh-cut melon (Lamikanra et al., 2005). Our previous works have demonstrated that a hot water dipping of 50 °C for 30 min applied on whole mango maintained the colour of the fresh-cut product during storage (Djioua et al., 2009, Djioua et al., 2010).

The objectives of this work were to understand the effect of HWD 50 °C /30 min on the colour parameters: (1) CIELAB colour parameters; (2) antioxidants amount (carotenoids and polyphenols); and (3) browning related enzyme activity (PPO and PAL activity) .

2. Materials and Methods

2.1. Plant material

Mango fruits (*Mangifera indica* L. cv Keitt) were obtained from a local wholesale fruit market and immediately brought to the laboratory. On arrival, mangoes were stored at ambient temperature (≈ 20 °C) until processing (within 24 hours) after a previous selection to remove damaged fruits.

2.2. Fresh-cut process and heat treatment

Within the selected material, fruits were washed in chlorinated water (80 ppm sodium hypochlorite) for 10 min. Then, 2 batches were prepared: the first one was immersed in hot water bath for 30 min at 50 °C (HWD) and the other one was used as a control and was held at ambient temperature (Control). Heated fruits were cooled in water at 17 °C for 15 min. Then, all fruits were hand peeled, diced into cubes, washed in 10 ppm sodium hypochlorite for 1 minute and paper dried. ≈ 400 g portions of mangoes slices were packaged in 1 L glass jars (≈ 40 cubes/jar, triplicated for each condition). The jars, which allowed maintenance of high relative humidity and an ambient atmosphere around the samples, were stored at 6 °C for 9 d.

2.3. Quality analysis

At each time of analysis, 12 cubes were removed from jars and colour and firmness measurements were carried out. For biochemicals analysis (phenolic and carotenoids identification and quantification; PPO and PAL activity) samples were lyophilized and stored at -80°C before analysis.

2.4. Colour parameter

Hunter L^* (lightness value), a^* (redness value) and b^* (yellowness value) parameters of HWD and Control fresh-cut mangoes were determined with a Konica Minolta chroma meter (CR-300 with a D65 light source; Minolta Camera Co., Osaka, Japan). The instrument was calibrated with a white ceramic plate ($L^*=97.65$; $a^*=0.08$; $b^*=1.55$). The hue angle (H) and chroma (C) were calculated according to the following equations:

$$H = \tan^{-1} (b/a)$$

$$C = (a^2 + b^2)^{1/2}$$

2.5. Carotenoids extraction and quantification

Carotenoid extraction was carried out according to the method of Taugbodhitham et al (1998) described by Mertz et al, (2008) with some modifications. 0.5 g of lyophilized mango puree was hydrated with 4.5 mL of distilled water. The mango juice was stirred for 5 min with 100 mg of MgCO_3 and 10 mL of extraction solvent (ethanol/hexane; 4:3 (v/v) containing 0.1 % of BHT as antioxidant). The residue was separated from the liquid phase by filtration with a filter funnel (porosity $n^{\circ}2$) then washed with 10 mL of 10 % ethanol/hexane, 10 mL of ethanol and 2×10 mL 10% ethanol/hexane. Organic phases were transferred in a reparatory funnel and washed with 20 mL of 10 % sodium chloride and 2×20 mL of distilled water. The aqueous layer was removed and the hexanic phase was dried under anhydrous sodium sulphate and filtered with cotton. The cotton was washed with n-hexane until evacuation of all the yellow pigments. The aqueous extract was evaporated at 40°C in a rotary evaporator. The residue was dissolved in 500 μL of methyl tert-butyl ether (MTBE)/methanol (80/20; v/v) and 500 μL of dichloromethane. Samples extract were placed in amber vials before HPLC analysis. Carotenoids extraction was carried out under red light to avoid carotenoid degradation.

Carotenoids were quantified by HPLC using an Agilent 1100 system (Massy, France) using a C30 column (250 mm × 4.6 mm, 5 µm particle size), YMC (EUROP, GmbH). The mobile phases were water / 20 mM ammonium acetate as eluent A, methanol/ 20 mM ammonium acetate as eluent B and MTBE as eluent C. Flow rate was fixed at 1 mL/min and the column temperature was set at 25°C. A gradient program was performed 0-2 min, 40% A/60%B, isocratic elution; 2-5 min 20%A/80%B, B; 5–10 min, 4 % A/81 % B/15 % C; 10–60 min, 4% A/11% B/85% C; 60–71 min, 100% B; 71–72 min, back to the initial conditions for reequilibration. The injection volume was 20 µL. Absorbance was followed at 290, 350, 400, 450 and 470 nm using an Agilent 1100 photodiode array detector. Chromatographic data and UV–visible spectra were collected, stored and integrated using an Agilent Chemstation plus software. The concentration of total carotenoid and β-carotene was expressed as mg per 100 g of fresh weight (FW). Concentrations are given as the mean of data of three assays.

2.6. Phenolic identification and quantification

A quantity of 1 g of lyophilized mangoes sample was extracted in 10 mL 70 % acetone solution acidified with 0.5 % formic acid. The mixture was agitated for 1 hour in the dark and centrifuged at 5°C, 5 000 g for 5 min. The supernatant was recovered and diluted with water in a total volume of 10 mL. The extract was then filtered through a cellulose acetate filter of 0.45 µm.

The HPLC analysis was carried on a Dionex liquid chromatograph equipped with model P680 pumps, an ASI 100 autosampler, and a UVD 340U diode array detector coupled to a HP ChemStation (Dionex, France). Polyphenols were separated with an ACE 5C18 column (250 × 4.6 mm) and analysed by detection at 280 nm and a standard range permitted to quantify the peaks at 280 of gallic acid which are the major phenol mango compound.

2.7. Phenylalanine ammonia lyase activity (PAL)

PAL activity was measured as described by Siriphanich and Kader (1985) with some modifications. 0.4 g of lyophilized mango was homogenized under cold with 4 mL of 0.1 M borate buffer (pH 8.6) containing 5 mM of 2-mercaptoethanol and 0.4 g polyvinylpyrrolidone. Then, the mixture was centrifuged at 12 000 g at 4 °C for 20 min.

For PAL activity, the reaction mixture consisted of crude enzyme extract (0.5 mL) and 0.1 M borate buffer (pH 8.6) containing 5 mM of 2-mercaptoethanol and 0.4 g polyvinylpyrrolidone (0.5mL) and 0.1 M phenylalanine solution (0.4 mL). After 1 hour at 30 °C, 28 % trichloroacetic acid (0.4 mL) was added to precipitate the proteins. Then, the mixture was

centrifuged at 4 °C at 12 000 g for 20 min after 5 min at ambient temperature. PAL activity was measured by spectrophotometry at 290 nm to detect cinnamic acid as a product. PAL activity was expressed as μ mole of cinnamic acid per hour per mg protein.

2.8. Polyphenoloxidase activity (PPO)

PPO activity was determined according to Mundatsuno and Uritani (1972) with some modifications. 1 g of lyophilised mango puree was homogenate with 25 mL of 0.1 M sodium phosphate buffer (pH 6.5) and centrifuged at 10 000 rpm and 4°C for 20 min. PPO activity was assayed spectrophotometrically at 395 nm. The reaction mixture consisted of crude enzyme extract (0.5 mL) and 0.1 M sodium phosphate buffer (pH 6.5) containing 0.1 M catechol as a substrate (0.8 mL). After 30 minutes at 30 °C, the reaction was stopped by heating the mixture at 100 °C. The absorbance was read at 395 nm and one unit of PPO activity was defined as the amount of enzyme causing a change of 0.01 in absorbance per min per mg protein.

2.9. Total protein content

For each crude enzyme extract, total protein content was determined by the method of Bradford (1976) using bovine serum albumin as a standard.

2.10. Statistical analysis

Analyses of variance were performed with XLSTAT 2008.6.08 software (Addinsoft). Differences at $P < 0.05$ were considered significant.

3. Results and discussion

3.1. Effect of heat treatment on CIE colour parameters of fresh-cut mangoes

Fresh-cut mangoes colour was evaluated by lightness (L^* value; Figure 1), blue/ yellow components (b^* value; Figure 2), redness (a^* ; Figure 3), hue angle (H) and chroma (C) (Table 1). L^* and b^* values decreased during storage in control and HWD samples indicating a browning and a loss of yellowness which are important quality parameters in mangoes for consumers.

As shown in figure 1 and figure 2, HWD limited the decrease of L^* and b^* values during the whole storage period. The effect of HWD on these colour parameters was significant after 6 days of storage. Our previous studies on fresh-cut 'Keitt' mangoes (Djioua et al, 2009) and fresh-cut 'Tommy Atkins' mangoes (Djioua et al, 2010) have also demonstrated a beneficial effect of the heat treatment 50 °C / 30 min on L^* and b^* values.

a^* values (Figure 3) increased from the day 6 for control and was maintained in HWD samples during 9 days. It can be suggested that a heat treatment 50 °C / 30 min prevents the redness of fresh-cut mangoes. A similar effect on mango slices was reported by Ndiaye et al (2009).

Hue angle (H°) indicates the yellow (90°) or green (180°) compounds of mango fruit is and chroma (C) describes the vividness to dullness of the colour (Jeong et al, 2003; Lopez and Gomez, 2004). Table 1 showed that H° remained unchanged during storage either for Control or HWD samples. HWD have an effect on chroma (Table 1). Chroma decreased after 3 days for control and HWD but this decrease continued only for control until 9 days. Comparing chroma values between treatments at each storage time, HWD had higher C values than control at day 6. This loss in chroma indicates a loss of pulp colour intensity and a browning (Moore, 2003). This result correlate with the previous result on L^* and b^* value suggesting that HWD 50°C/30 min can be effective to maintain the intensity of the yellow colour of fresh-cut mangoes and prevent against browning.

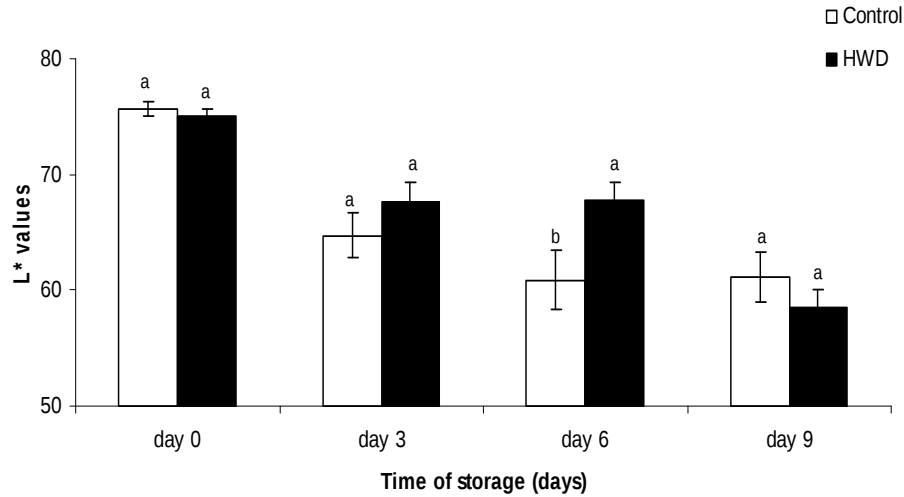


Figure 1: Effect of the heat treatment 50 °C/30 min (HWD) on L* values of fresh-cut mangoes during 9 days of storage at 6 °C. The bars represent the standard errors. Different letters in the same day indicate difference between means using LSD test ($P < 0.05$).

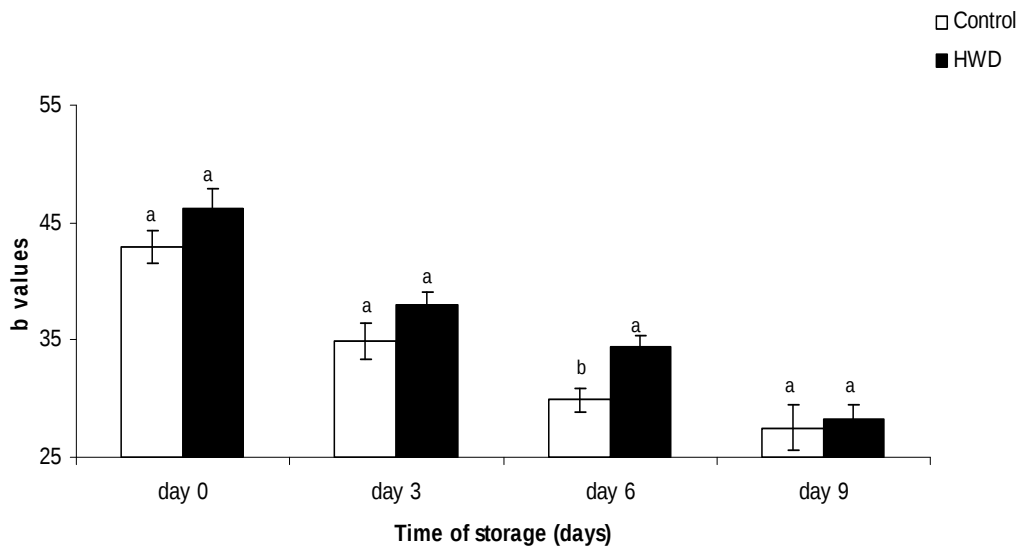


Figure 2: Effect of the heat treatment 50 °C/30 min (HWD) on b* values of fresh-cut mangoes during 9 days of storage at 6 °C. The bars represent the standard errors of the means. Different letters in the same day indicate difference between means using LSD test ($P < 0.05$).

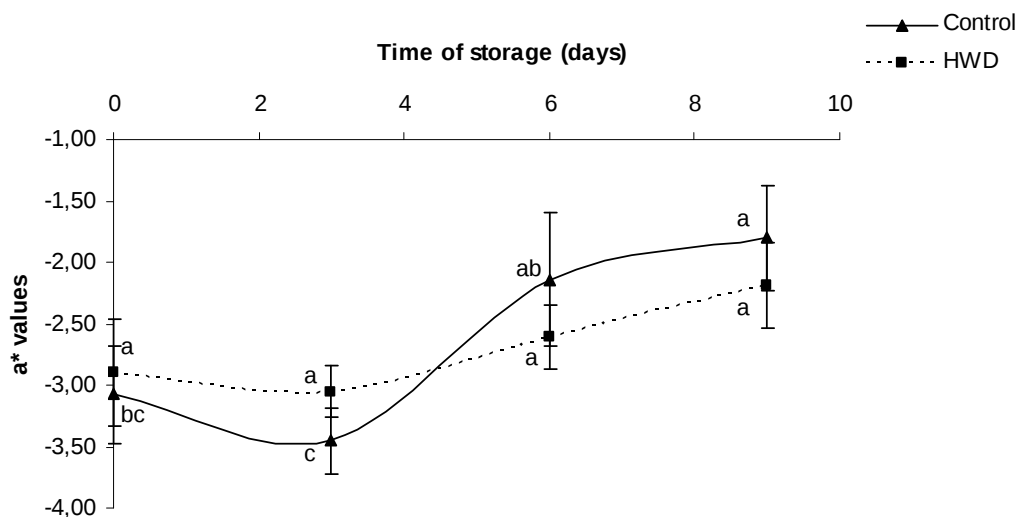


Figure 3: Effect of the heat treatment 50°C/30 min (HWD) on a* values of fresh-cut mangoes during 9 days of storage at 6 °C. The bars represent the standard errors. Different letters indicate difference between means during storage for each condition using LSD test ($P < 0.05$).

Table 1: Effect of the heat treatment 50 °C / 30 min (HWD) on hue angle (H), chroma (C), total carotenoids and β -carotene content in fresh-cut mangoes during 9 days of storage at 6°C. Same lower case letters in the same vertical line indicate no-significant differences during storage time for each condition.

Same capital letters in vertical line indicate no-significant differences between treatments at each storage time.

Samples	Time of storage	H °	C	Total carotenoid content (mg/100gFW)	β -carotene content (mg/100FW)
Control	day 0	94.29 a A	43.10 a A	0.075a B	0.036 a A
	day 3	95.45 a A	35.09 b A	0.084 a A	0.033 a A
	day 6	93.97 a A	30.01 c B	0.063 ab A	0.028 a A
	day 9	93.51 a A	27.57 c A	0.042 b A	0.025 a B
HWD	day 0	93.87 a A	46.35 a A	0.159 a A	0.055 a A
	day 3	94.73 a A	38.12 b A	0.083 b A	0.037 b A
	day 6	94.32 a A	34.60 b A	0.058 b A	0.031 b A
	day 9	94.47 a A	28.36 c A	0.063 b A	0.035 b A

3.2. Effect of heat treatment on the browning of fresh-cut mangoes***Effect of heat treatment on phenylalanine ammonia lyase (PAL) activity***

As shown in figure 4A, PAL activity remained unchanged during storage for unheated and heated fresh-cut mangoes except at day 6 where the activity decreased for HWD. Comparing treatment at each time of storage, heat treated samples have PAL activity significantly higher than unheated samples at day 3 and 9.. As the same, Benitez et al, (2006) reported that PAL activity increased in peel and pulp of heat-treated mango fruit by immersion at 55 °C /5 min. Increasing PAL activity has been related to stress-induced disorders (Parkin et al, 1989) and an increased activity of PAL in response to thermal stress is considered as the main acclamatory response of cells to heat treatment (Wahid et al, 2007). In contrast on leafy product, a study reported that a heat treatment (46 °C / 2 min) applied on the fresh-cut endive reduced PAL activity during 2 days at 8 days of storage at 4 ° C (Salman et al, submitted paper).

Effect of heat treatment on polyphenoloxidase (PPO) activity

Mango PPO enzyme has been associated with the conversion of phenolics compounds injured to quinones which involve the browning, causing undesirable quality changes during storage (Ndiaye et al, 2009). As shown in figure 4C, PPO activity increased for unheated and heated fresh-cut mangoes during storage. However, at the day 6, PPO activity was significantly reduced in HWD fresh-cut mangoes (Figure 4C). As the same, Peng and Jiang (2004) was found that heating Chinese water chestnut slices in boiling water / 30 s reduced the increases of PPO activity during storage at 4 °C compared to control samples and that after 3 days. Similarly, Saltveit and Qin (2008) reported that heat treatment reduced tissue browning in leaf tissue.

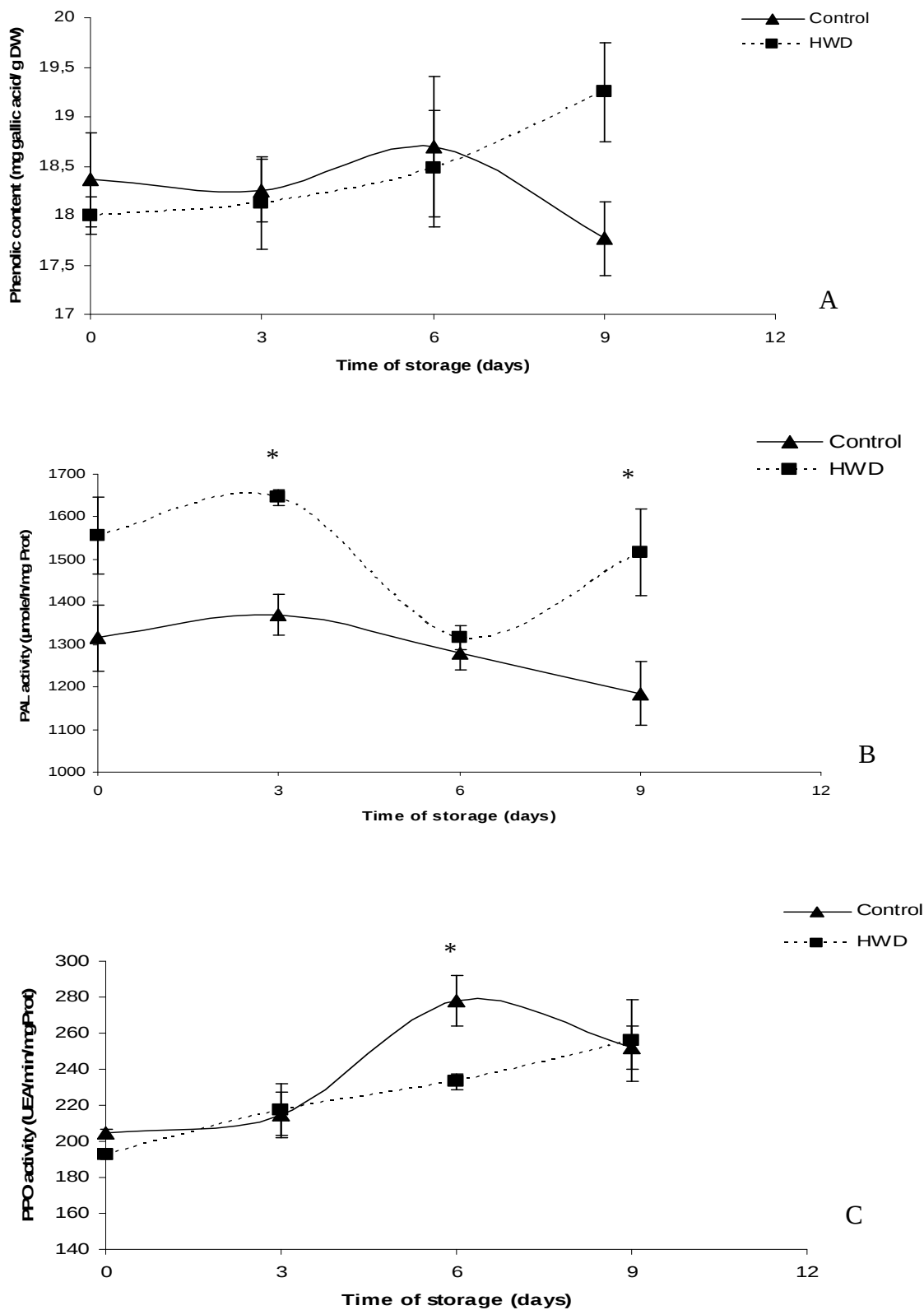
This result showed a correlation between browning expressed by loss in colour parameter (L*, b*, chroma) and PPO activity in heated fresh-cut mangoes after 6 days. Indeed, browning is based on the oxidation of ortho-diphenols to quinones by polyphenol oxidase (PPO) and peroxidase. Once formed, the quinones react with each other non-enzymically, resulting in the brown pigments (Kamdee et al, 2009).

Effect of heat treatment on polyphenols content of fresh-cut mangoes

According to Masibo and He, 2008, the gallic acid has been identified as the major polyphenol present in mango fruits and according to Prahba and Patwadhan (1986), gallic acid is the substrate of PPO in the fruit pulp. In the present study, the phenolic profiles have

been analysed by HPLC and gallic acid content has been quantified. As shown in figure 4 A, gallic acid content remained unchanged along storage in both Control and HWD samples. Similarly, Viña and Chaves (2008) reported that no significant difference in phenolic content in unheated and heated pre-cut celery (by immersion: 50 °C/ 90 s or by air dry: 48°C/ 1h) during 21 days at 0°C and Lourdes-Singleton (2003) reported that a heat treatment did not affect gallic acid in ripe mango during storage. Mangoes used in our experiment were ripe so that the phenol content is high and no difference was observed even if enzymes activities change.

Figure 4: Effect of the heat treatment 50°C/30 min (HWD) on gallic acid content (A), PAL activity (B) and PPO activity (C) of fresh-cut mangoes during 9 days of storage at 6 °C. The bars represent the standard errors of the means. (*) indicates difference between means using LSD test ($P < 0.05$).



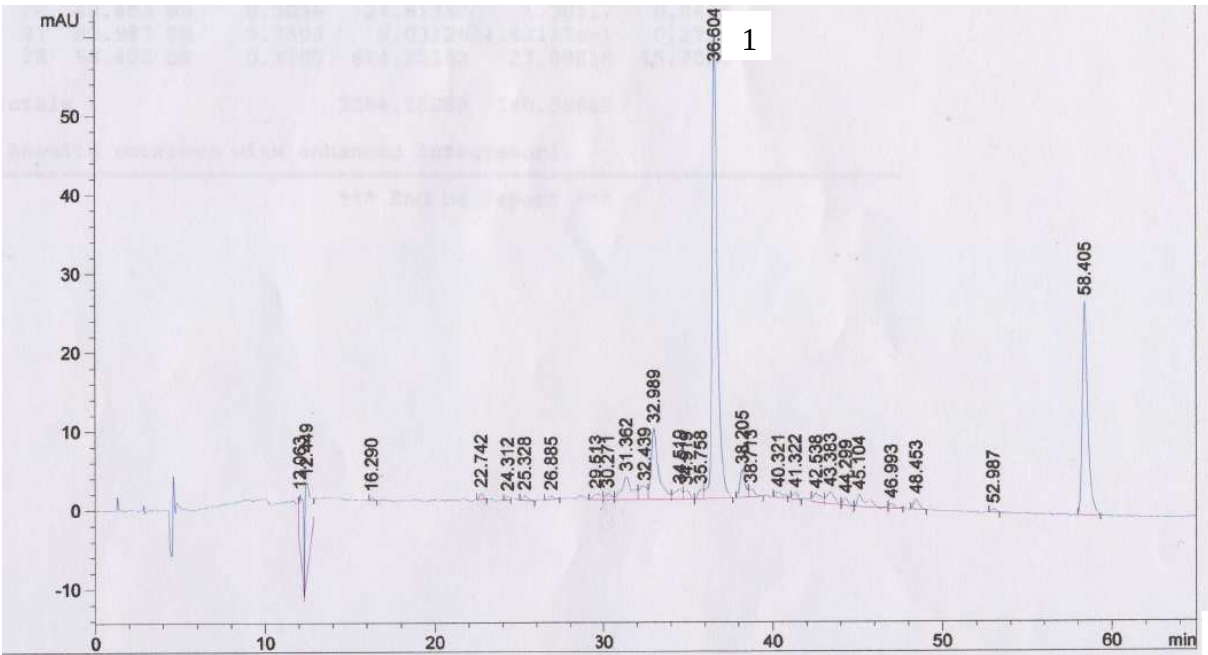
3.3. Effect of heat treatment on carotenoids pigments of fresh-cut mangoes***Total carotenoid content***

Carotenoid pigments are stable in their natural environment in intact cells but generally they become much more labile when fruit are subjected to postharvest treatments or processing (Forget et al, 2000) and lyophilization of tissues leads to carotenoid degradation, due to the increased porosity of samples and an increased exposure to air (Rodriguez-Amaya et al, 2008). Just after treatment the carotenoids amount was higher in HWD fresh-cut mangoes than control samples (Table 1). This result was in accordance with our previous study (Djioua et al, 2009). Then, during storage, total carotenoids concentration decreased either for control or HWD which indicates no carotenoids synthesis.

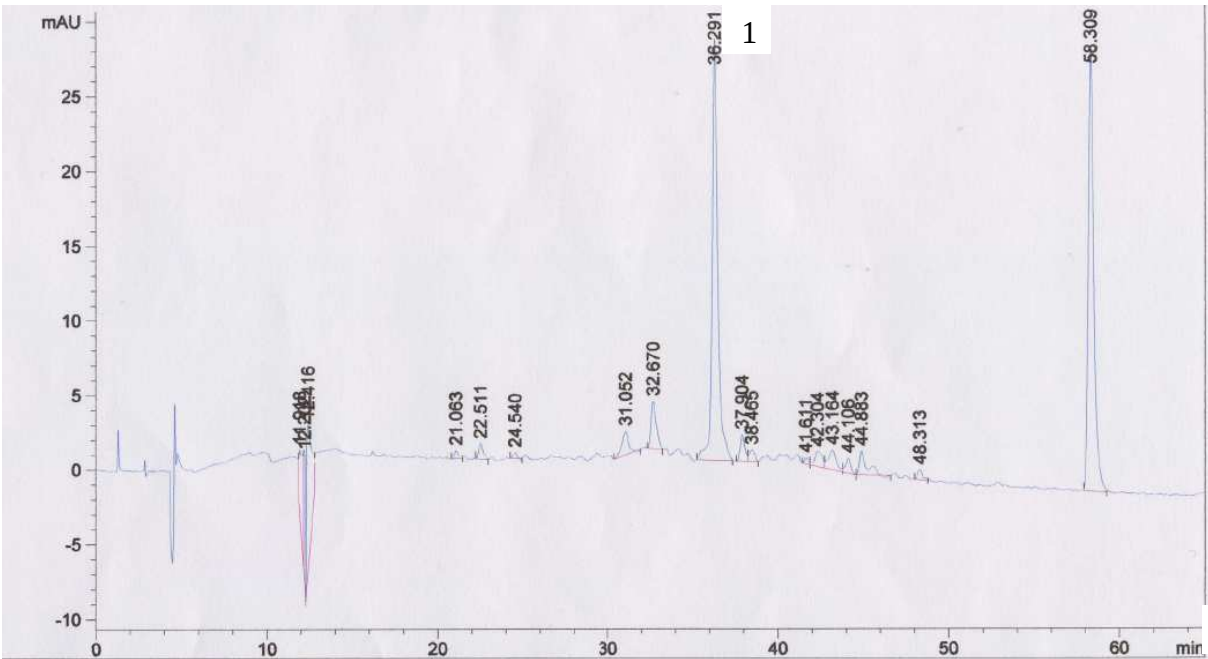
Figure 5 represents a chromatogram of the carotenoids in control sample at day 0 (a) and at day 9 (b) and β -carotene was the major carotenoid detected in mango pulp. Initial β -carotene content was 0.036 and 0.055 mg/100 g FW for control and HWD, respectively without significant difference ($p < 0.05$). Then, values decreased during storage for HWD and remained unchanged for Control samples (Table 1). Carotenoids are known to be sensitive to oxygen, light, modified atmosphere packaging and temperature (Maini and Sudhakar, 1994) and an exposure to any of these elements may cause destruction or isomerization.

From these results we suggest that the effect of heat treatment on colour of fresh-cut mangoes is not due to its effect on carotenoids content.

Figure 5: HPLC chromatograms of carotenoids compounds in untreated fresh-cut mangoes at Day 0 (A) and Day 9 (B). Tentative peak identification include 1) β -carotene.



A



B

4. Conclusion

This study indicate that a heat treatment 50 °C / 30 min applied on 'Keitt' mangoes before fresh-cut processing prevent the browning and the loss of yellow colour of the slices during storage. HWD reduced L*, b* and Chroma values losses and prevent the increase of a* values during 9 days. The heat treatment reduced also PPO activity especially after 6 days and increased PAL activity after 3 days. In the other hand, the polyphenols content (gallic acid) was not affected by the heat treatment and storage period. In the other hand, heat treatment has no effect on total carotenoids content. However, it decreased β -carotene content during storage.

These results suggest that HWD (50°C/ 30 min) maintain colour and prevent browning of fresh-cut mangoes by reducing the PPO activity and had no effect on carotenoids and polyphenols content.

5. Acknowledgements

The authors are grateful to Abdalah Novaes and the CIRAD institution especially to Christian Mertz and Gilles Morel for their participation in this study.

CHAPITRE V
EFFETS DU TRAITEMENT 50 °C / 30 MIN
COUPLÉ À UNE CONSERVATION SOUS
ATMOSPHÈRE MODIFIÉE SUR LA QUALITÉ
DES MANGUES 4^{ÈME} GAMME

Les chapitres précédents ont mis en évidence le processus d'action du traitement thermique 50 °C / 30 min sur les deux principaux paramètres de qualité des mangues 4^{ème} gamme : la couleur et la fermeté.

Ce chapitre a pour objectif d'étudier l'effet d'une association de ce traitement avec une autre méthode physique largement utilisée pour la conservation des produits 4^{ème} gamme : l'atmosphère modifiée.

Pour cela, deux types de conditionnement ont été étudiés : le premier avec un emballage plastique (**publication 4**, en cours de soumission au journal *Food Research International*) et le second avec un enrobage à base de polysaccharides (**publication 5**, *International Journal of Food Science and Technology*, 2010, 45, 849-855).

1- Association du traitement thermique 50 °C / 30 min avec une conservation sous atmosphère modifiée passive ou active (5 % O₂- 5 % CO₂) : effet sur la qualité des mangues 'Kent' 4^{ème} gamme.

Résumé de l'étude

Après traitement thermique et procédé 4^{ème} gamme, les mangues ont été conservées à 6 °C, soit sous air, soit sous atmosphère modifiée passive (MAPp) ou active (MAPa) composée initialement de 5 % O₂ et de 5 % CO₂.

Des analyses de fermeté, de couleur, des dosages des teneurs en caroténoïdes et des activités des enzymes PPO, PME, PG et β -GAL ont été effectuées durant la conservation chaque 3 jours.

Les résultats ont confirmé les principaux effets bénéfiques du traitement thermique sur la couleur et la fermeté. Le traitement 50 °C / 30 min maintient la fermeté par réduction de l'activité des enzymes pectolytiques et maintient la couleur par réduction de l'activité de la PPO. L'application de l'atmosphère modifiée a eu aussi des effets positifs sur le maintien de ces deux paramètres mais avec une efficacité moindre par rapport à celle du traitement thermique. Toutefois, l'association du traitement thermique avec une conservation sous atmosphère modifiée n'est pas adéquate pour le maintien de la fermeté mais souhaitable pour le maintien de la couleur jaune des mangues par réduction de l'activité des PPO durant 9 jours de conservation à 6 °C.

Publication n° 4

Effects of heat treatment in combination with modified atmosphere packaging on the quality of fresh-cut mangoes

Tassadit Djioua, Florence Charles, Marie Noelle Ducamp Collin and Huguette Sallanon.

Food Research International. En cours de Rédaction.

Abstract

Kent mangoes '*Mangifera indica*' were subjected or not to heat treatment by immersion in a hot water bath at 50 °C for 30 min (HWD), then minimally processed before stored under air, passive modified atmosphere or active modified atmosphere (5 % O₂- 5% CO₂) at 6 °C for 9 days. During storage, firmness, CIELAB colour parameter, carotenoids content, PPO, PME, PG, β -GAL activities and the package atmosphere composition were analysed. The results showed that HWD maintain firmness by reducing PME, PG and β -GAL activities and reduce the browning, by inhibition of PPO activity. The application of modified atmosphere on unheated fresh-cut mangoes improve the quality but less than HWD. However, combination of HWD with active modified atmosphere have an undesirable effects on firmness and desirable effect on b* values, PPO activity and respiration rate of fresh-cut 'Kent' mangoes.

Keywords: minimally processed mangoes, heat treatment, modified atmosphere packaging, antioxidants

1. Introduction

With a production about 33 million tonnes, mango fruit (*Mangifera indica* L.) is one of the most important tropical fruit worldwide in terms of production and consumer acceptance (FAO STAT, 2007) and recently, mangoes have become well established as fresh fruit in the global market but suffer from convenience.

The market demand for minimally processed fruits and vegetables has undergone an important rise during recent year because of busy lifestyles and the increasing of the health conscious consumers (Soliva-Fortuny et al, 2006). Minimally processed products are wounded tissues, and consequently they deteriorate more rapidly than an intact fruit. Indeed, process operations induce discoloration of fresh-cut surface due to tissue disruption and subsequent oxidative processes, increasing respiration and ethylene evolution, loss of flavour and texture, weight loss, decline in levels of nutrients such as ascorbate, membrane breakdown and tissue softening (Hodges and Toivonen, 2008).

Over the years, different physical and chemical techniques have been developed to extend the shelf life of fresh-cut produce: ethylene absorbers (Abe and Watada, 1991), edible coating (Baldwin et al, 1998), controlled and modified atmosphere (Brecht, 1999), chemical dipping (Vilas-Boas and Kader, 2006), heat treatment (Lurie, 1998). Moreover, consumers become more critical of the use of chemical additives to preserve fresh produce (Bruhn, 2000).

The use of heat has been used in fruit and vegetables for several reasons such as control of fungal spores, insect infestation, inhibit ethylene synthesis and cell wall degradation associated with hydrolytic enzymes and increase synthesis of heat shock proteins (Lamikanra et al, 2005). Indeed, several researchers reported that heat treatment improved the firmness and avoided the browning of fresh-cut apples (Kim et al., 1993; Barrancos et al., 2003) and reduced the respiration rate of fresh-cut melon (Lamikanra et al., 2005). Our previous work have shown that a hot water dipping (HWD) of 50 °C for 30 min applied on whole ‘Keitt ‘ or ‘ Tommy Atkins’ mangoes before the process maintained the firmness and the colour of the fresh-cut product (Djioua et al., 2009; Djioua et al, 2010).

Modified atmosphere packaging (MAP) is a technique used for prolonging the shelf life of fresh or minimally processed foods. It implies altering the gases surrounding the commodity to produce an atmosphere different from that of air with low levels of O₂ and high levels of CO₂ which reduce the respiration rate and delay senescence (Saltveit, 1993). The modified atmosphere can be achieved passively (the package is sealed under normal air conditions) or actively (the package is flushed with a gas mixture before closed) (Rico et al, 2007). Once the package is closed, the gas composition will change due to the produce respiration and film gas

permeability (Charles et al., 2003; Sivertsvik et al, 2002). The atmosphere concentrations recommended for preservation depend on the product and generally fresh-cut product are more tolerant to high CO₂ concentration than intact products, because of the smaller resistance to diffusion (Kader et al, 1989). In the case of whole mango, the recommended gas mixtures for modified atmosphere packaging were 3-7 % O₂ and 5-8 % CO₂ with 85-92 % N₂ (Sandhya, 2010). The effect of modified atmospheres on the quality of many minimally processed fruit has been studied: apple (Soliva-Fortuny et al, 2005); tomato (Aguayo et al, 2004); pineapple (Marrero and Kader, 2006); kiwifruit (Rocculi et al, 2005) and mango (Beaulieu and Lea, 2003).

A combination of heat treatment and modified atmosphere packaging was studied on nectarine and peach (Malakou and Nanos, 2005), tomato (Ali et al, 2004; Suparian and Itoh, 2003), and minimally processed peach (Steiner et al, 2006) and actually, no application on minimally processed mangoes was reported.

Therefore, this work investigates the effects of the combination of a heat treatment by immersion (50 °C / 30 min) and a modified atmosphere packaging on the quality of minimally processed mangoes during storage at 6 °C for 9 days.

2. Materials and Methods

2.1. Plant Material

Kent mangoes '*Mangifera indica*' were purchased at a local wholesale fruit market and immediately brought to the laboratory. Fruits were selected for their uniformity, weight and absence of damage or infection.

2.2. Heat treatment and fresh-cut process

Fruits were washed in chlorinated water (100 ppm sodium hypochlorite) for 10 min. Then, 2 batches were prepared: the first one was immersed in hot water bath for 30 min at 50 °C (HWD) and the other one was used as a control (Control). Heated fruits were cooled in water at 17 °C for 15 min. Then, all fruits were hand peeled, diced into cubes, washed in 10 ppm sodium hypochlorite for 1 minute and paper dried. Control and heat treated mangoes samples were, separately, pooled to minimize heterogeneity and were packaged and stored under:

- air: $\approx$ 400 g portions of mangoes slices in 1 L glass jars which allowed maintenance of high relative humidity and an ambient atmosphere around the samples ($\approx$ 40 cubes/jar)
- Passive modified atmosphere packaging (MAPp): $\approx$ 120 g portions of mangoes in plastic tray covered with an OPP (oriented polypropylene) film.

- Active modified atmosphere packaging (MAPa): ≈ 120 g portions of mangoes in plastic tray covered with an OPP (oriented polypropylene) film and flushed with a gas mixture: 5 % O₂ – 5 % CO₂ before closing.

For each treatment, the samples were quadruplet and were stored at 6 °C for 9 days.

2.3. Quality analysis

Just after treatment, respiration rate was analysed on heated and unheated fresh-cut fruit and during storage, the headspace gas composition in the package was analysed. At 0, 3, 6 and 9 days of storage, mangoes samples were taken for physical and biochemical quality analysis.

Respiration rate of fresh-cut fruit

Respiration rate of unheated and heated mangoes was analysed on whole and fresh-cut fruit. Respiration rate was determined by the closed system method at 25 °C. ≈ 90 grams of fresh-cut mangoes was put in a glass jar of 1.5 L. These jars were hermetically closed and gas concentrations (O₂, CO₂) were checked every hour with a gas analyser (Chekmate 9900, PBI Dansensor, Denmark). The respiration rates were measured as O₂ uptake and CO₂ emission (RRO₂, RRCO₂) and calculated and expressed in mmol.kg⁻¹. h⁻¹ (Varoquaux et al., 2002).

Analysis of headspace gas composition

During storage, headspace gas composition of the packages was evaluated by quantifying O₂ and CO₂ concentrations using a gas analyser (Chekmate 9900, PBI Dansensor, Denmark).

Firmness measurement

Instrumental analysis of firmness was carried out with Penefel texture analyser (Setop Giraud-Technologie, France) with a probe of 2 mm diameter. For each condition, firmness measurements were taken for 5 samples per jar or tray and the results were expressed as force in Newton (N).

Colour

Hunter L* (lightness value), a* (redness value) and b* (yellowness value) parameters of heat treated (HWD) or untreated (Control) fresh-cut mangoes were determined with a Konica Minolta chromameter (CR-400 with a D65 light source; Minolta Camera Co., Osaka, Japan). The instrument was calibrated with white ceramic plate (L* = 97.37; a* = 0.00; b* = 1.77).

Extraction and analysis of carotenoids

According to Lichtenthaler and Buschmann (2001), frozen mixed mango fruit pulp (0.3 g) was extracted with 1mL of pure acetone. Then the mixture was homogenized for 1 min and incubated at 4 °C in darkness until the cap turned white. The homogenate was centrifuged at 16 000 ×g for 15 min and 200 µL of supernatant from each tube were placed in 96-well plates. The absorbance was read at $\lambda = 470\text{nm}$ in a micro-plate reader (Power Wave HT, Bio.Tek). The concentration of total carotenoids was calculated as follows:

$C (\mu\text{g/mL}) = (1000 \times A_{470}) / 214$, and expressed as mg/100 g fresh weight.

Enzymes activities***Pectinmethylesterase activity (PME)***

PME (E.C 3.1.1.11) was extracted and measured using modifications of the method of Jen and Robinson (1984). Frozen mango puree (5 g) was homogenized with 25 mL of ice-cold 0.2 N NaCl in a polytron. The homogenate was centrifuged at 9,000 rpm at 4 °C for 10 minutes and the supernatant collected as the enzyme crude extract. For PME activity assay, the reaction mixture contained 5 mL of enzyme crude extract and 30 mL of pectin solution (1 % w/v commercial pectin in 0.2 M NaCl) and the rate of pectin demethylation was monitored through titration with NaOH 0.1M at pH 7.0 for 10 min. One unit of Pectinmethylesterase was defined as the amount of enzyme capable of demethylating pectin corresponding to the consumption of 1 nmol NaOH.min⁻¹.g⁻¹. Results were expressed as one unit of activity per minute per mg protein.

Polygalacturonase activity (PG)

PG was extracted as described by Buecher and Furmanski (1978) and its activity was determined according to Pressey and Avantis (1973) with some modifications. Frozen mango puree (25 g) was homogenized with 50 mL of cold distilled water and 30 mL of the mixture was centrifuged at 9,000 × rpm at 4 °C for 10 minutes. The residue was washed again in 20 mL of cold distilled water and then resuspended in 20 mL of 1 N NaCl and stirred for 1 minute. The pH of the mixture was adjusted to 6 with 0.1 N NaOH and let at 4 °C for 1 hour under agitation. The volume was completed to 30 mL with 1 N NaCl and centrifuged at 9 000 × rpm at 4 °C for 10 minutes and the supernatant collected as the enzyme crude extract. For PG activity assay, the reaction mixture consisted of 3 mL of enzyme extract plus 3 mL 0.25 % (w:v) polygalacturonic acid in 37.5 mM sodium acetate buffer, pH 5.0 or distilled water. The mixture was incubated for 3 hours at 30 °C followed by a boiling water bath (for 5 min) to

stop the reaction. The reducing groups liberated were determined according to Somogyi technique modified by Nelson (1944). Results were expressed as units of PG activity per minute per mg of protein.

β-galacturonase activity (β-GAL)

The enzyme was extracted as described by Kitagama et al. (1995) and its activity was determined according to Dey and Pridham (1969). Frozen mango puree (10 g) was homogenized with 20 mL sodium acetate buffer, pH 5.0 contained 1 % polyvinylpyrrolidone (PVP) and centrifuged at 10 000 rpm at 4 °C for 15 minutes. The pellet was resuspended in 20 mL 0.02 M sodium acetate buffer, pH 5.0 plus 0.005 M 2-mercaptoethanol and then centrifuged at 10 000 rpm at 4 °C for 15 minutes. This operation was repeated again then the pellet was resuspended in 0.02 M sodium acetate buffer, pH 5.0, plus 3 M NaCl and stirred for 12 hours. The suspension was centrifuged at 10 000 rpm at 4 °C for 15 minutes and the supernatant was dialyzed for 24 hours against distilled water at 4 °C using ²²²²²²²²a dialysis tubing cellulose membrane with a average flat width 33 mm (Sigma-Aldrich). The β-galactosidase activity was assayed for hydrolysis of p-nitriophenil- β- galactopyranoside and the reaction mixture consisted of crude enzyme extract (0.5 mL) and 0.03 M of MacIlwaine buffer, pH 4.0 (0.5 mL). After 15 minutes at 37 °C, the reaction was stopped by adding 1.5 mL 0.1 M sodium carbonate and the p-nitrophenol released was measured by spectrometer at 400 nm. Results were expressed as units of β-galactosidase activity per hour per mg protein.

Polyphenoloxidase activity (PPO)

PPO activity was determined according to Matsuno and Uritani (1972) with some modifications. 1 g of lyophilised mango puree was homogenate with 25 mL of 0.1 M sodium phosphate buffer (pH 6.5) and centrifuged at 10 000 rpm and 4 °C for 20 min. PPO activity was assayed spectrophotometrically at 395 nm. The reaction mixture consisted of crude enzyme extract (0.5 mL) and 0.1 M sodium phosphate buffer (pH 6.5) containing 0.1 M catechol as a substate (0.8 mL). After 30 minutes at 30 °C, the reaction was stopped by heating the mixture at 100 °C. The absorbance was read at 395 nm and one unit of PPO activity was defined as the amount of enzyme causing a change of 0.001 in absorbance per min per mg total protein.

Total protein determination

Protein was determined by method of Bradford (1976) using bovine serum albumin as a standard.

Statistical analysis

Data were analysed by ANOVA and the means were compared by LSD test at a significant level of 0.05.

3. Results and Discussions

3.1. Effect of HWD on respiration rate (RR) of fresh-cut mangoes

Respiration rate of fruit and vegetables are inversely proportional to achievable shelf-life and higher respiration rates are associated with shorter shelf-life (Day, 1993; Lee et al, 1995). As shown in table 1, the heat treatment has no effect on RRO_2 and $RRCO_2$ compared to control samples. Our previous study (Djioua et al, 2009) showed that the heat treatment 50 °C / 30 min reduced the respiration rate of whole mango fruit and the present study showed that when the heated mangos were minimally processed, HWD have no effect on RRO_2 . This suggests that the cutting operations during process cancel the effect of HWD on the respiration rate of mangoes slices.

Table1: Effect of heat treatment 50 °C/ 30 min (HWD) on respiration rate of fresh-cut mangoes after 24h of treatment.

Treatment	RRO_2	$RRCO_2$
Control	2.80 ± 0.31	5.54 ± 0.71
HWD	2.84 ± 0.02	5.53 ± 0.91

Mean (n=3) ± SD

3.2. Effect of HWD on the headspace gas composition in packages

Changes in headspace gas composition inside fresh-cut mangoes packaging are shown in figure 1 (A, B). As expected in passive modified atmosphere (MAPp), a decrease in the headspace O_2 concentrations during storage together with an increase in the headspace CO_2 concentrations was observed. After 3 days, the O_2 concentrations were 16.33 and 12.5 % for control and HWD, respectively (figure 1A). The rapid decrease in headspace O_2 concentrations of HWD-MAPp could be explained by the effect of heat treatment on increasing respiration rate of fresh-cut mangoes. In fact, during the entire period of storage,

O₂ concentrations were never below 11 % avoiding anaerobic conditions and possible formation of off-flavours and off-odours. In parallel, the CO₂ levels increased continuously during storage for control until 7.5 % and increased to 11 % for HWD after 3 days and remained unchanged until the end of storage.

In active modified atmosphere (MAPa) the headspace O₂ concentrations remained unchanged for control during storage and increased to 14 % for HWD after 3 days (figure 1B). The higher O₂ concentration in the MAPa indicated a lower consumption through respiration and other oxygen dependent processes in the tissue. This indicates that HWD reduced the respiration rate of fresh-cut mangoes under 5 % O₂ -5 % CO₂ during 9 days at 6 °C.

From these results, we can suggest that the effect of HWD on respiration rate on fresh-cut mangoes depended on the temperature and the gaz composition of the atmosphere of storage.

a

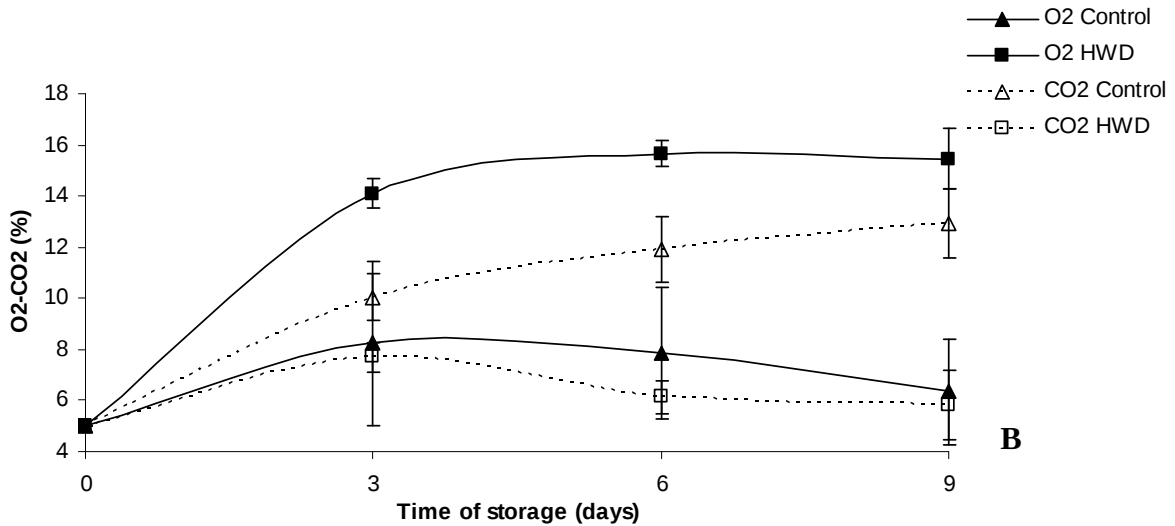
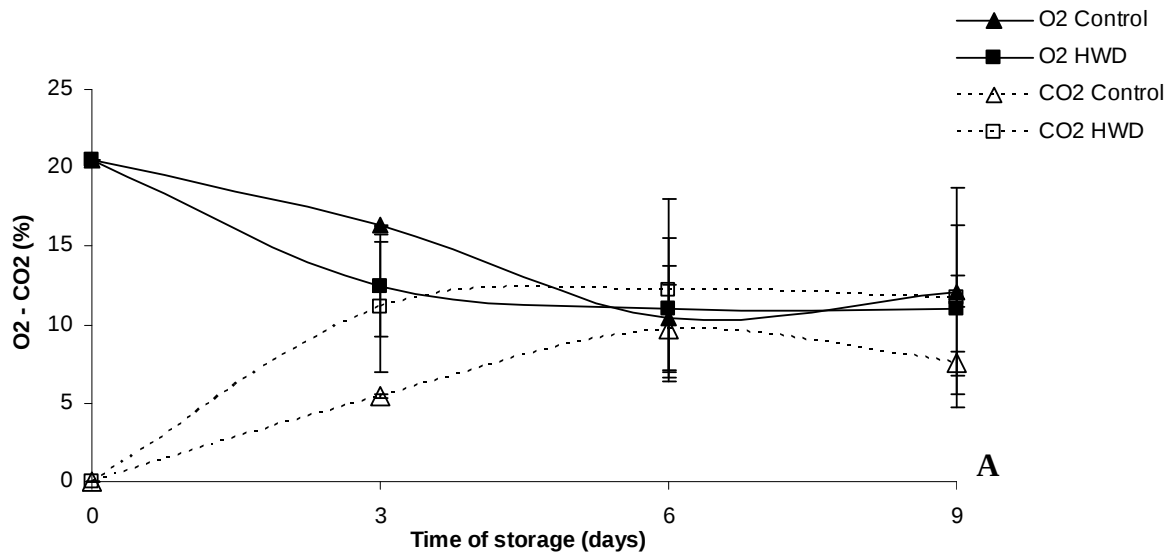


Figure 1: Evolution of the headspace oxygen (full symbol) and carbon dioxide (empty symbols) composition in unheated (control) and heat treated (HWD) fresh-cut mangoes stored at 6 °C under MAPp (A) or MAPa (B). Data are mean (n=3) $\pm$ standard deviation with mean separation by LSD ($P < 0.05$).

3.3. Effect of HWD and MAP on firmness of fresh-cut mangoes

Tissue softening is frequently the major problem limiting the shelf life of fresh-cut mangoes. Just after processing (time 0), firmness values were similar between control and HWD samples and then decreased during all conditions of storage (figure 2). Firmness of control samples decreased after 3 days and remained unchanged until the end of storage. The application of HWD delayed the firmness loss until 6 days (figure 2). This result underlined again the beneficial affect of a heat treatment 50 °C / 30 min on the firmness retention of fresh-cut mangoes as our previous studies on others varieties of mango 'Keitt' (Djioua et al, 2009) and Tommy Atkins (Djioua et al, 2010). The storage under MAP delayed also the firmness loss until 6 days. This result was similar with the study of Limbanyen et al, (1998) who showed that a modified atmosphere of 10 % O₂-10 % CO₂ slowed softening of fresh-cut mangoes as compared to air control. As the same, Chantanawaragon (2000) observed that the rate of softening was slower in mango cubes stored under 2 % O₂ + 10 % CO₂ at 5 °C. Pesis et al (2000) reported the main factors that maintain mango quality in various film packaging are increased CO₂ and decreased O₂ levels which reduce respiration rate and prevent water loss. However, as shown in figure 2, HWD was more effective than MAPp and MAPa to maintain firmness with high values during 9 days.

The association of the two treatment HWD and MAP storage was not beneficial to maintain firmness of fresh-cut mangoes. Indeed, as shown in figure 2, firmness values decreased after 3 days for HWD+MAPp and for HWD-MAPa. This result indicated that MAP storage cancels the effect of HWD on firmness.

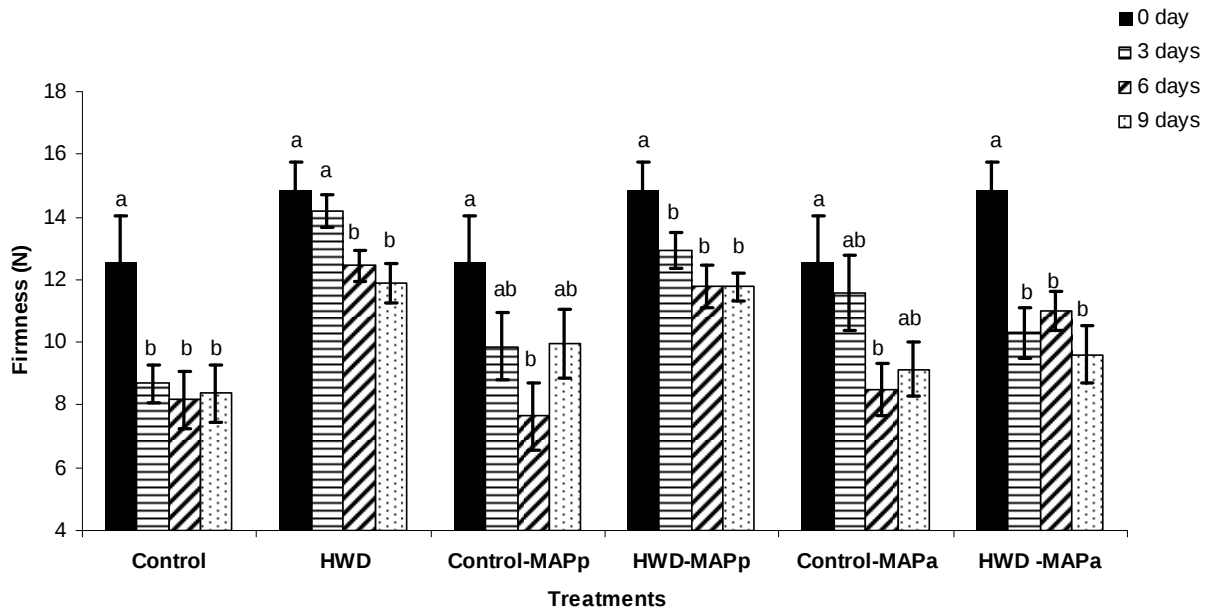


Figure 2: Effect of heat treatment, modified atmosphere packaging (passive or active) and the combination of the two treatments on unheated and heat-treated fresh-cut mangoes during 9 days at 6 °C. Data are mean (n=15) $\pm$ standard error with mean separation by LSD ($P < 0.05$). MAPp: passive modified atmosphere, MAPa: active modified atmosphere (5 % O_2 - 5 % CO_2).

Tissue softening can be caused by pectic enzymes that are released during cutting operations. Among the major wall enzymes, the role of PME, PG and β -GAL in fruit softening appear significant. Just after treatment (time 0), HWD samples have a higher PME and β -GAL activities than control samples. Then, during storage the evolution of PME, PG and β -GAL activities was not similar between the different conditions. As shown on the table 1, PME and PG activities increased for control samples after 6 and 9 days respectively and β -GAL remained broadly unchanged (table 2). The application of HWD reduced PME activity and β -GAL after 3 and 6 days respectively compared to control samples. For PG, HWD maintained the activity and avoid its increase during storage. It was suggested that the increase of cell wall hydrolase activity is a major contributor to accelerated cell wall disassembly and increased softening of fresh-cut products since tissue integrity was disturbed with cutting operation which increased the accessibility of pectic enzymes to substrate (Toivonen and Brummell, 2008). From this we can suggest that HWD reduce firmness loss by inhibition of the activity of the cell wall related enzymes.

The storage under MAP decreased also the activity of these enzymes. Indeed, MAPp reduced the activities of PME at day 3, PG at 9 days and β -GAL at 6 days (table 2). Similarly, MAPa maintained PME during 9 days and reduced PG and β -GAL at 6 and 9 days respectively.

As the same, Lazan et al, (1993) reported that a combination of modified atmosphere packaging and low temperature (15 °C) retarded firmness decrease and suppressed the activities of PG of papaya. Also, a vacuum sealed polyolefin bags reduce pectin solubilization of fresh-cut carambola stored at 6.8 °C (Teixeira et al. 2007).

The present study showed also that PME activity was more related to firmness than others. In fact, when the PME activity was reduced either by HWD or MAP, the firmness of fresh-cut mangoes was maintained (figure 2 and table 2). It is well known that PME deesterifies methoxylated pectin releasing sites accessible to either formation of calcium bonds among pectins to reinforce the cell wall structure or to further degradation by PG (Tijskens, 1999).

From these results we can say that HWD 50 °C -30 min and MAP (passive or active 5 % O₂ – 5 % CO₂) maintained firmness of fresh-cut mangoes by reducing PME activity.

However, the association of the two treatments was not beneficial to reduce enzymes activities. As shown in table 1, this association, especially with MAPa, cancels the reducing effects of HWD on enzymes activities especially PME. This result was correlated with the combined effect on firmness loss (figure 2).

From this, we suggest that to maintain the firmness of fresh-cut mangoes, HWD and MAP must be applied alone.

Table 2: Effect of heat treatment 50 °C/ 30 min (HWD) and passive (MAP) or active (MAPa) modified atmosphere packaging on PME, PG and β -GAL activity during storage at 6 °C for 9 days.

Treatments	Time of storage	PME activity (U/mn/mg Prot)	PG activity (U/min/mg Prot)	β -GAL activity (U/h/mg Prot)
Control air	0 day	295.24 b A	13.84 b A	51256.31 b A
	3 days	322.98 ab A	18.42 ab A	64775.65 a A
	6 days	413.23 a A	20.93 ab A	50497.22 b B
	9 days	365.62 ab A	22.38 a A	72637.06 a A
Control MAPp	0 day	295.24 bc A	13.84 a A	51256.31 b A
	3 days	170.13 c B	18.41 a A	73008.27 a A
	6 days	532.19 a A	16.23 a AB	26601.55 c C
	9 days	386.61 b A	15.08 a B	69218.94 a A
Control MAPa	0 day	295.24 a A	13.84 b A	51256.31 b A
	3 days	298.86 a A	12.34 b A	47949.59 b B
	6 days	378.44 a A	09.87 b B	66800.48 a A
	9 days	311.31 a A	21.59 a A	63651.19 a A
HWD air	0 day	429.80 a A	19.65 a A	72117.86 b A
	3 days	264.91 b A	18.74 a A	86658.90 a A
	6 days	176.19 b C	15.74 a A	52006.13 c A
	9 days	232.98 b B	21.83 a A	56160.01 c C
HWD MAPp	0 day	429.80 ab A	19.65 a A	72117.86 b A
	3 days	281.98 b A	16.35 a A	56070.16 c B
	6 days	298.23 b B	16.36 a A	60045.12 c A
	9 days	453.26 a A	15.60 a A	95497.78 a A
HWD MAPa	0 day	429.80 a A	19.65 a A	72117.86 a A
	3 days	164.81 b A	12.36 b A	48498.47 b B
	6 days	469.04 a A	16.72 ab A	66309.77 a A
	9 days	414.97 a AB	19.96 a A	72718.18 a B

Lower case in each column: effect of the storage time on each parameter and for each treatment

Capital letters: effect of modified atmosphere on each parameter for control and HWD respectively

MAPp: passive modified atmosphere, MAPa: active modified atmosphere (5 % O₂- 5% CO₂).

3.4. Effect of HWD and MAP on colour changes of fresh-cut mangoes

A decrease in L^* value, which is evident by the loss of brightness, is an indicator of browning in fresh-cut fruits (Gonzalez-Aguilar et al., 2008). The colour of the fresh-cut mangoes was analysed and expressed by L^* and b^* values (figure 3 A and B). Lightness (L^* values) of control samples decreased after 6 days and the application of the MAPa (5% O_2 - 5% CO_2) delay this loss to 9 days. As shown in figure 3A, MAPp and HWD maintain L^* values during 9 days. However, the combination of HWD with active modified atmosphere reduced the L^* values at 9 days which cancels the beneficial effect of HWD.

The initial values of b^* was similar for unheated and heated fresh-cut mangoes. Then, b^* values increased at 3 days of storage for all conditions except HWD+MAPa (figure 3B). An increase in b^* values indicated a yellowing of the mangoes samples. This may be explained by the initial immature maturity stage of the mangoes used in this experiment (firmness about 13 N) which induced the continuity of maturation during storage. During storage, b^* values remained unchanged until 9 days except for control samples. Indeed, b^* decreased on the sixth day for control but with higher values compared the initial values (figure 3 B). The application of modified atmosphere packaging (passive or active) and the heat treatment allowed maintain of b^* values from day 3 to day 9. However, the condition which maintains this colour parameter throughout the storage period was the association of HWD and MAPa (figure 3 B). This result indicated that this association avoid the increase of b^* values and maintain the yellow colour of fresh-cut mangoes during 9 days at 6 °C.

The colour effect of heat treatment on the fresh-cut mangoes has been already observed on fresh-cut Keitt and Tommy Atkins mangoes (Djioua, 2009; Djioua, 2010). For the effect of the modified atmosphere, Martinez-Ferrer et al, (2002) reported that a modified atmosphere of 4 % O_2 – 10 % CO_2 maintained L^* and b^* values of fresh-cut mangoes after 25 days of storage at 5 °C. For the beneficial effect of HWD with MAPa on colour changes, Sivakumar and Korsten (2006) reported that litchi fruit packed in BOPP (bi-axially oriented polypropylene) after heat treatment showed reduced colour deterioration.

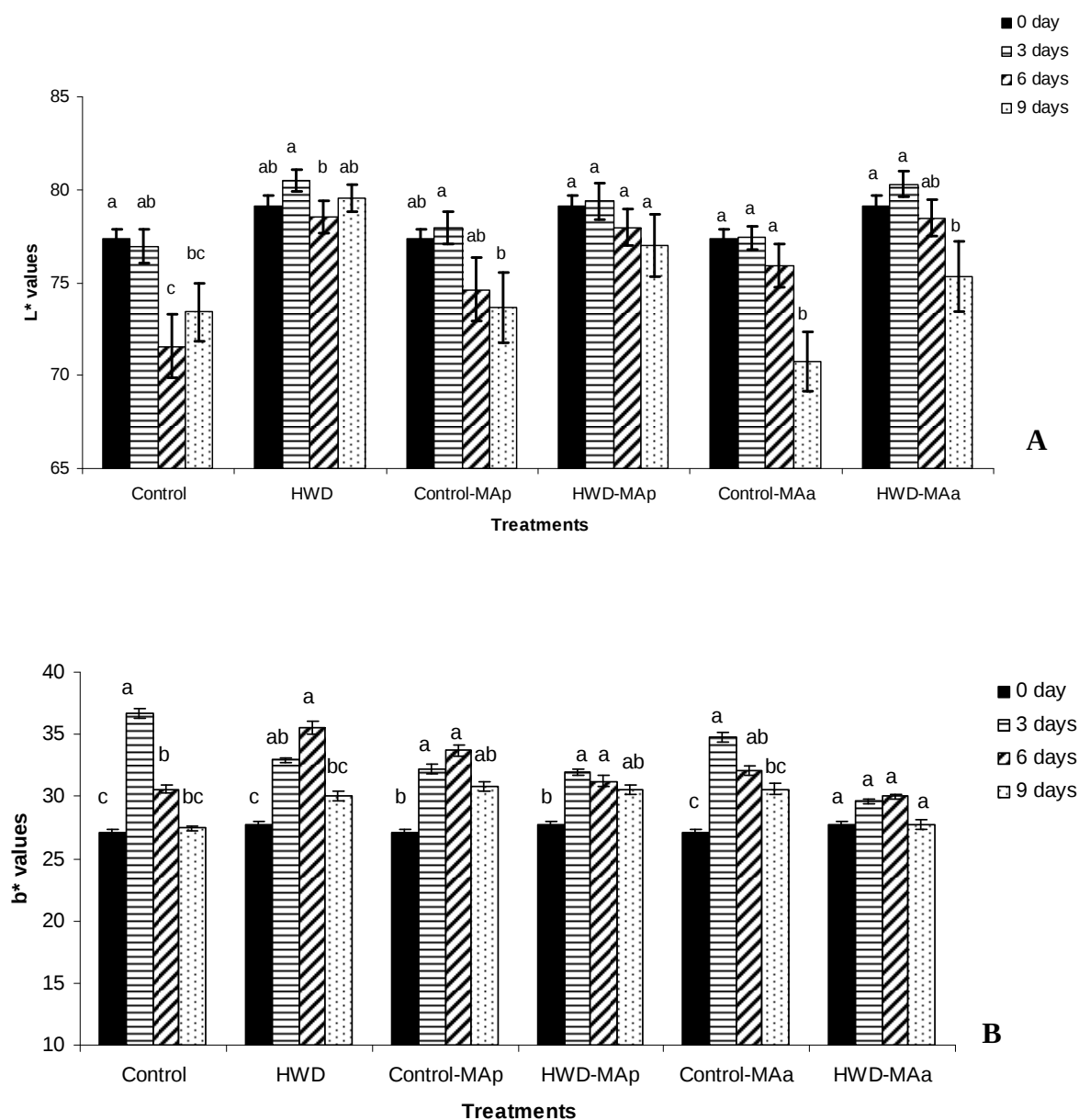


Figure 3: Effect of heat treatment, modified atmosphere packaging (passive or active) and the combination of the two treatment on L* values (A) and on b* values (B) of fresh-cut mangoes during 9 days of storage at 6 °C. Data are mean (n=15) ± standard error with mean separation by LSD (P<0.05). MAPp: passive modified atmosphere, MAPa: active modified atmosphere (5 % O₂- 5% CO₂).

Browning reactions are usually enzymatically induced and occur when the oxidizing enzymes such as polyphenol oxidase (PPO) solubilised into the cell cytoplasm due to the changes that occur during processing and storage (Martin-Belloso and Soliva-Fortuny, 2006).

As shown in figure 4A, PPO activity remained unchanged for control samples during storage and the application of MAPp significantly reduced PPO activity at 9 days. However,

comparing, PPO activity at each time of storage, samples stored under active modified atmosphere (5 % O₂-5 % CO₂) have lower PPO activity than the others at the sixth days (figure 4A). Nicoli et al (1994) proposed the use of a modified atmosphere to preserve apples slices from oxidative browning. As the same, a modified atmosphere of 6-7 KPa O₂- 10-12 % CO₂ was effective for reducing the intensity of browning of the fennel bulb end cut (Escalona et al, 2004) and that by the lowering O₂ content.

The application of heat treatment (HWD) reduced gradually the activity of PPO during storage, especially at the end of storage (figure 4 B). As the same, Peng and Jiang (2004) reported that heating Chinese water chestnut slices in boiling water for 30 seconds reduced the increases of PPO activity during storage at 4 °C. This result may be explained by that PPO is a thermal labile enzyme and heat treatment could result in inactivation of their activities as suggested by Saltveit (1997) and Ma et al. (1992). In the other hand, the association of HWD with a modified atmosphere packaging was more effective in reducing the activity of PPO. Indeed, as shown in figure 4B, MAPp and MAPa reduced the PPO activity after 6 and 3 days respectively. As the same, Martinez-Ferrer (2002) reported that blanched fresh-cut mangoes (0.5-1 min in boiling water) stored under 4 % O₂ – 10 % CO₂ have a reduced enzymatic browning. As the mechanism for browning involves the interaction of polyphenolic substrates with PPO in the presence of oxygen this result may explain the effect of the association HWD+MAPa on maintaining of the colour of fresh-cut mangoes (figure 3B).

From these results we can suggest that to reduce or inhibit the PPO activity in fresh-cut mangoes, the application of HWD 50 °C / 30 min combined with an active modified atmosphere (5 % O₂-5 % CO₂) was more effective than the application of each treatment alone.

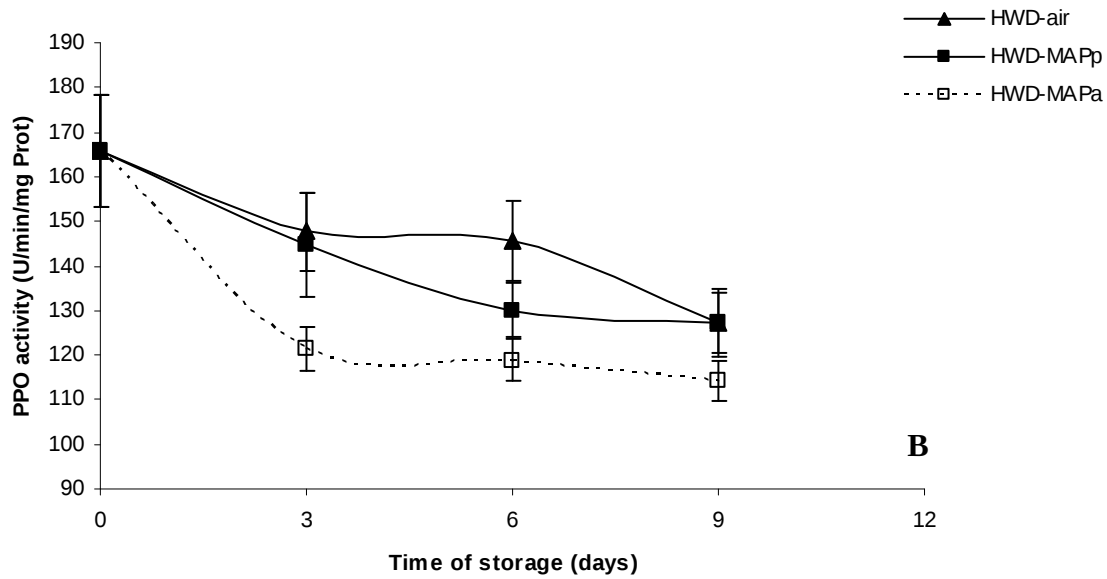
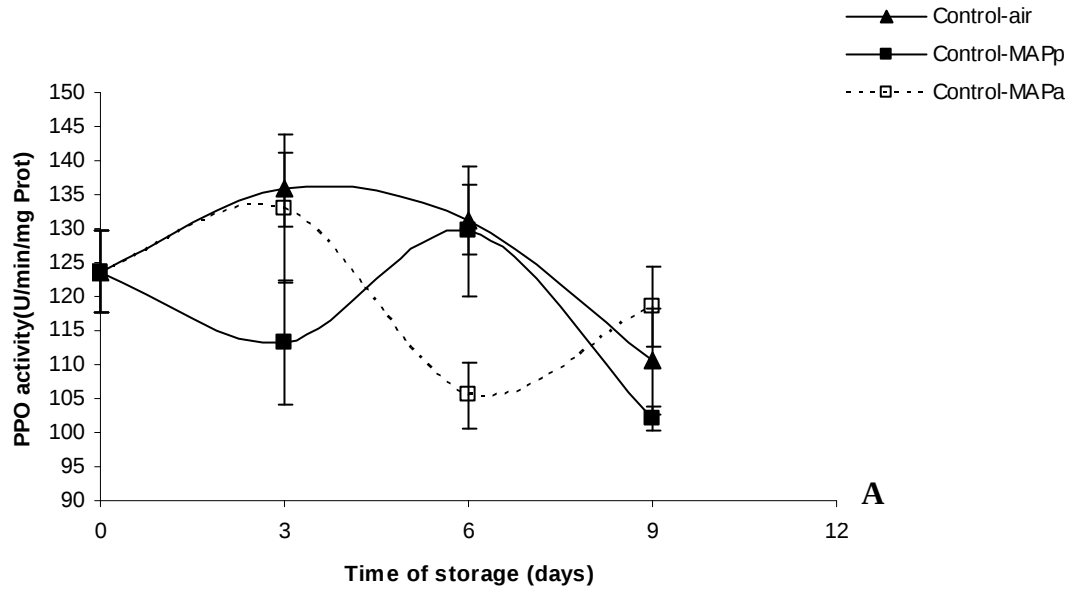


Figure 4: Effect of heat treatment, modified atmosphere packaging (passive or active) and the combination of the two treatments on PPO activity of unheated fresh-cut mangoes (A) and of heat-treated fresh-cut mangoes (B) during 9 days of storage at 6 °C. Data are mean (n=3) $\pm$ standard error with mean separation by LSD ($P < 0.05$). MAPp: passive modified atmosphere, MAPa: active modified atmosphere (5 % O_2 - 5% CO_2).

3.5. Effect of HWD and MAP on total carotenoids content of fresh-cut mangoes

Carotenoids are pigments responsible of the yellow colour of mango with a protective function against oxidative damage. In the present experiment, initial carotenoids amount was lower (around 0.2 mg / 100 g FW) and not affected with the heat treatment. This, indicate that the mangoes used was not in advanced stage of maturity. Then, the concentration remained significantly unchanged during storage and whatever condition, (figure 5 A and B). These results indicate neither HWD nor modified atmosphere have an effect on carotenoids content in fresh-cut mangoes during 9 days at 6 °C. Our previous study showed that HWD 50 °C /30 min have no effect on carotenoids content on fresh-cut mangoes of different varieties (Djioua et al, 2009, Djioua et al, 2010).

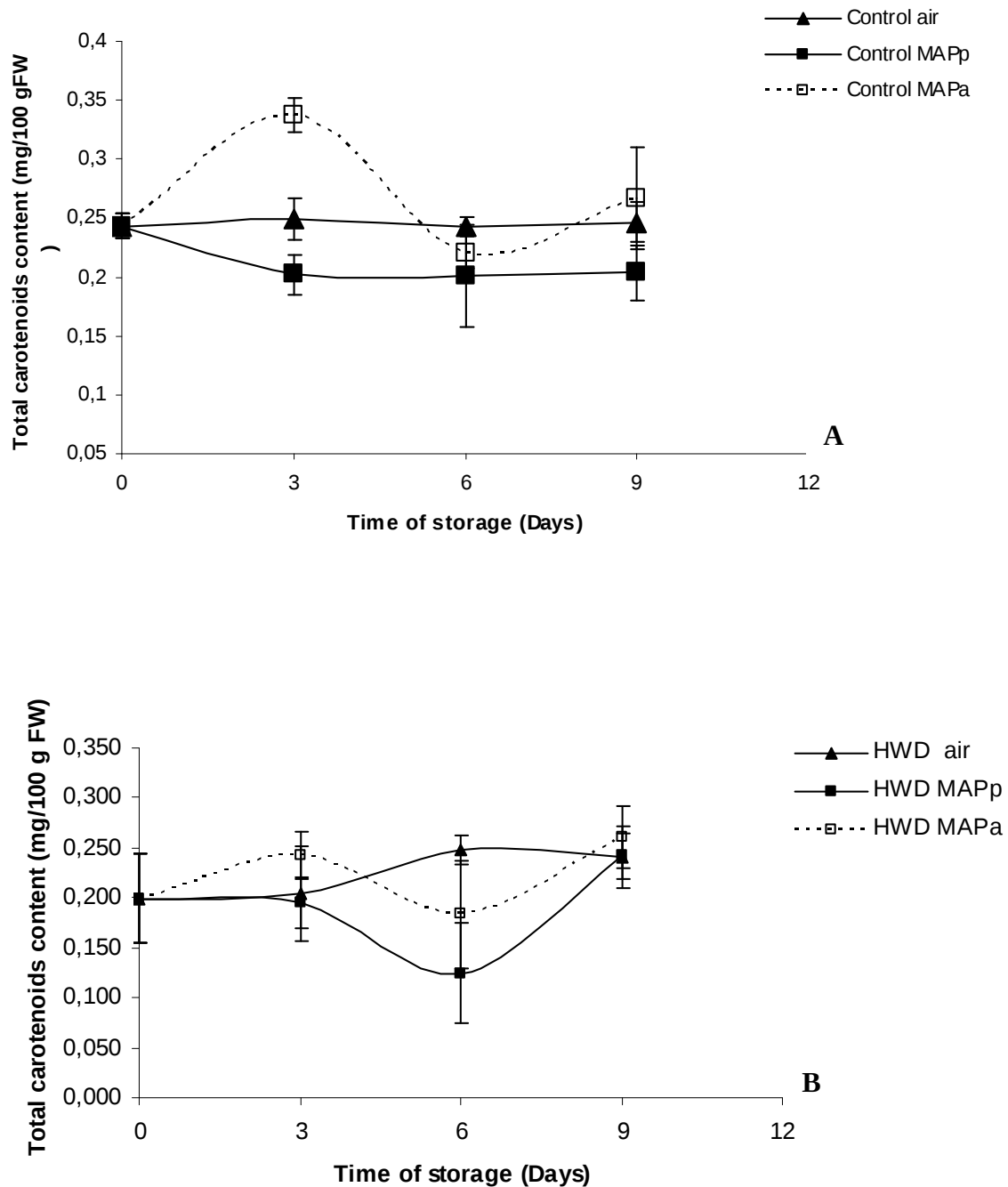


Figure 5: Effect of heat treatment, modified atmosphere packaging (passive or active) and the combination of the two treatments on carotenoids contents of unheated fresh-cut mangoes (A) and of heat-treated fresh-cut mangoes (B) during 9 days of storage at 6 °C. Data are mean (n=3) $\pm$ standard error with mean separation by LSD ($P < 0.05$). MAPp: passive modified atmosphere, MAPa: active modified atmosphere (5 % O_2 - 5% CO_2).

4. Conclusion

This study showed also that HWD was more effective to maintain firmness and colour parameters. Indeed, HWD (50 °C/ 30 min) maintained the firmness of fresh-cut mangoes by reducing pectoletic enzymes activities, especially PME, and avoid the browning by reducing PPO activities during 9 days of storage at 6 °C. The combination of HWD and MAPa (5 % O₂- 5% CO₂) have a beneficial effect on the inhibition of PPO activity, the maintain of the yellow colour and the respiration rate of the fresh-cut mangoes.

2- Effet de l'association du traitement thermique 50 °C / 30 min avec un enrobage à base de chitosane sur la qualité des mangues 'Tommy Atkins' 4^{ème} gamme.

Résumé de l'étude

Parmi les polysaccharides utilisés en enrobage, le chitosane a été choisi en raison de sa propriété filmogène et de ses effets antimicrobiens. Comme le chitosane est caractérisé par un goût de crustacé (décrit souvent par un goût de crabe) peu apprécié par le consommateur, une faible concentration a été choisie pour notre étude.

L'enrobage à base de chitosane a été préparé par dissolution de 0.25 % de chitosane dans une solution de 0.5 % d'acide citrique. Les mangues 4^{ème} gamme, chauffées ou pas, ont été enrobées et conservées sous air à 6 °C pendant 9 jours durant lesquels des analyses sensorielles, de fermeté, de couleur et microbiologiques ont été effectuées.

Les résultats ont démontré que les deux traitements, appliqués seuls ou en association, n'altèrent pas la qualité sensorielle du produit (exprimé par le goût et la flaveur). Toutefois, le couplage des deux traitements ne présente un effet bénéfique que sur l'action antimicrobienne de l'enrobage au chitosane sur la flore psychrotrophique.

Publication n° 5

International Journal of Food Science and Technology, 2010, 45, 849-855.

Combined effects of postharvest heat treatment and chitosan coating on quality of fresh-cut mangoes (*Mangifera indica* L.)

Tassadit Djioua, Florence Charles, Murillo Freire Jr, Heloisa Filgueiras, Marie-Noelle Ducamp Colin and Huguette Sallanon.

International Journal of Food Science and Technology, 2010, 45, 849-855.

Received: 19 October 2009

Accepted in revised form: 28 January 2010

Summary

The influence of heat treatment combined with coating on sensory quality, physico-chemicals characteristics (firmness, colour, pH, titratable acidity, total soluble solids and total carotenoids content) and microbiological quality of fresh-cut mangoes were studied. Whole mangoes (*Mangifera indica* cv 'Tommy Atkins') were subjected to hot water dipping (HWD) at 50 °C for 30 min and cooled for 15 min. Heated and unheated fruits were minimally processed and mango cubes were coated with chitosan solution (0.25% w/v) dissolved in 0.5% (w/v) citric acid, and stored for 9 days at 6 °C under ambient atmosphere. This study showed that both HWD 50 °C for 30 min and chitosan coating, either alone or combined, did not affect the taste and the flavour of mangoes slices. The chitosan coating combined with HWD or not inhibited the microbial growth for 9 days at 6 °C. Indeed chitosan coating was used for his antimicrobial proprieties. HWD 50 °C for 30 min was the beneficial treatment to maintain firmness and colour during 9 days at 6 °C.

Keywords: Chitosan coating, fresh-cut mangoes, heat treatment, shelf-life.

1. Introduction

With a global production exceeding 33 million tons in 2007, mango fruit (*Mangifera indica* L., Anacardiaceae) is one of the most important tropical fruit (FAOSTAT,2009). Mango is a climacteric tropical fruit with a high nutritional value by its wealth of antioxidants (total carotenoids and vitamin C). Fresh-cut mango is a very interesting product to attend the increasing demand for fresh-cut fruits which led to a dynamic growth in sales and new market opportunities for the fresh produce sector. However, fresh-cut fruits and vegetables are highly perishable due to cut-damaged surface, exposed tissues and availability of cell nutrients to pathogenic organisms (Soliva-Fortunay & Martí'n-Belloso, 2003; Charles et al., 2008). The typical response of mango fruit to the process is softening and decrease in overall appearance by browning of the cut surface (Plotto et al., 2004). That is why several methods have been applied to improve the storability of this fruit.

Heat treatment is one of the postharvest treatments used to extend the shelf-life of whole and fresh-cut fruits and vegetables (Lurie, 1998). Several researchers reported that heat treatment improved the firmness and avoided the browning of fresh-cut apples (Kim et al., 1993; Barrancos et al., 2003) and reduced the respiration rate of fresh-cut melon (Lamikanra et al., 2005). Our previous work have shown that a hot water dipping (HWD) of 50 °C for 30 min applied on whole 'Keitt' mangoes before the process maintained the firmness and the colour of the fresh-cut product (Djioua et al., 2009). Edible coatings are also promising to improve the quality and extend the shelf-life of fresh-cut products. They act as barriers to water loss and gas exchange by creating a micro-modified atmosphere around the product (Baldwin et al., 1995; Li & Barth, 1998). Edible coating was investigated as a mechanism to apply a thin layer of protective material to the surface of the fruit (or vegetable) with the objective of replacing the natural protective tissue. Dipping into the coating solution is the commonly used method for fruits and vegetables. Commodities are directly dipped into the coating formulations, drained and dried, whereby a thin membranous film is formed over the commodity surface (Tharanathan, 2003). Chitosan is a natural polymer, nontoxic and biodegradable, derived by deacetylation of chitin [poly-b-(1 fi 4)-N-acetyl-d-glucosamine] which is the second most abundant natural biopolymer after cellulose (Shahidi et al., 1999). It has been documented to possess a film-forming property for use as edible films or coating (No et al., 2007). Chitosan has attracted attention as a potential food preservative of natural origin due to its antimicrobial activity against fungi, yeast and bacteria (Sagoo et al., 2002) and can improve the storability of perishable foods by modifying the internal atmosphere as well as decreasing the transpiration losses (El Ghaouth et al., 1991; Zhang & Quantick,

1997). Chitosan has been used to maintain the quality of postharvest whole fruits such as kiwifruit (Du et al., 1997), apples (Ippolito et al., 2000), litchi fruit (Zhang & Quantick, 1997), citrus (Chien et al., 2007a) and mango (Jitareerat, 2007; Wang et al., 2007). Additionally, the advantageous effects of chitosan were investigated on fresh-cut fruits such as strawberries (Devlieghere et al., 2004), litchi (Dong et al., 2004) and mango (Plotto et al., 2004; Freire et al., 2005; Chien et al., 2007b).

The present study investigated a possible combined effect of a hot water treatment (50 °C for 30 min) applied on the whole fruit and a chitosan coating applied after the fresh-cut process on the quality and the shelf-life of fresh-cut mangoes.

2. Materials and methods

2.1. Plant material

This experiment was carried in Embrapa Food Technology (Rio de Janeiro State, Brazil). Mango fruits (*Mangifera indica* L. cv. 'Tommy Atkins') were bought at the local wholesale fruit market and immediately brought to the laboratory. Fruits were selected for their uniformity, weight (0.5 kg per mango) and absence of damage or infection. Before the experiment, fruits were ripened at 25 ± 1 °C for 7 days to an average of firmness and colour parameters of about 0.6 N, $L^* = 57$ and $b^* = 37$, respectively.

2.2. Fresh-cut process and treatments

Ninety fruits were washed in chlorinated water (100 ppm sodium hypochlorite) for 10 min and were divided on two groups. The first one was immersed in hot water bath for 30 min at 50 °C (HWD) and the other one was used as a control (Control). Heated fruits were then cooled in water at 17 °C for 15 min. Then, all fruits were hand peeled, diced into cubes, washed in 10 ppm sodium hypochlorite for 1 min and strained. Cubes of mango from heated and unheated fruits were dipped for 2 min into either distilled water (Control and HWD) or a solution of 0.25% Chitosan (Dip, HWD + Dip). Then, samples were placed in a 0.5 L polyethylene terephthalate plastic tray (100 g per tray). Thirty-two trays per treatment were stored under air at 6 °C for 9 days.

Chitosan solution (0.25%, w/v) was prepared by dissolving 0.25 g of chitosan powder (deacetylation degree of 85–90%; MW: 340 kDa; Viscosity <200 mPa s, Polymar Ind., Brazil) in 100 mL of 0.5% anhydrous citric acid (Isofar) in distilled water with continuous agitation and under heating (70 °C for 15 min).

2.3. Quality analysis

For quality analysis, five trays from each treatment were removed for sensory evaluation, two trays for physical analysis (firmness and colour), three trays for biochemical analysis (total soluble solids, pH, titratable acidity, total carotenoids) and one tray for microbiological analysis at every sample interval.

Sensory evaluation and intent of purchase estimation of minimally processed mangoes

The sensory analysis was carried out as defined by the Brazilian Association of Technical Standards (ABNT, 1993). The sensory quality was evaluated by visual appearance, odour / aroma, texture and flavour (aromatic, taste). Samples of fresh-cut mangoes were presented at random to sixty panellists for sensory evaluations. They were rated on a nine-point hedonic scale and the acceptability increased with the numerical value (9, like extremely; 7, like moderately; 5, neither liked; 3, moderately liked and 1, poor). The same panellist indicated their intent to purchase the product using a seven point scale (7, definitely buy; 6, certainly buy; 5, probably buy; 4, may/may not be buy; 3, probably would not buy; 2, certainly not buy; 1, definitely not buy). These analyses were carried out after 1 and 7 days of storage.

Firmness measurements

Instrumental analysis of firmness was carried out with TA-TX 2 equipment; model TA-Hdi with a probe of 2 mm diameter. The penetration depth was about 5 mm and the applied force used was 0.25 N. For each condition, firmness measurements were taken for five samples per tray and the results were expressed as force in Newton (N) and were carried out at 0, 3, 6 and 9 days.

Colour

The colour characteristics were assessed using a computer S & M model SM-4-CH in the Hunter system to determine L* value (lightness), a* value (greenness or redness) and b* value (blueness or yellowness) of mango cubes. The instrument was calibrated with a white standard tile: L* = 90.21, a* = 2.36 and b* = 1.39. ΔE^* (Euclidean distance between two colour points) was calculated as the root mean square of the differences in individual L*, a* and b* value [i.e. $\Delta E^* = (\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2})^{1/2}$]. ΔL^* , Δa^* and Δb^* were obtained as differences in L*, a* and b* values of samples on any given day from those measured on the first day (values are the mean of five samples per tray at each time). For each condition, colour measurements were carried out at days 0, 3, 6 and 9.

Extraction and analysis of total carotenoids

Total carotenoid content was measured using the method described by Rodriguez-Amaya (2001) with some modifications. Four grams of mixed mango sample (from each tray used for biochemical analysis) were homogenised in mortar with the same amount of Celite_® and ground with cold pure acetone (extractor of pigment) until the residue becomes colourless. Then, the homogenate was filtered under suction through filter. The mortar, pestle and the residue were rinsed with acetone and the extract was transferred to a separator funnel. Petroleum ether (30 mL) was added to the extract and rinsed with distilled water about six times to remove acetone. Carotenoids were collected from ethereal extract and then passed through a glass funnel containing anhydrous sodium sulphate. The quantification was carried out by spectrophotometry at 453 nm and petroleum ether was used as a blank sample. Total carotenoids concentration was expressed as mg per 100 g fresh weight.

Total soluble solids, titratable acidity and pH

From each tray, juice samples were prepared by thoroughly mixing mango cubes in a blender. Total soluble solids (TSS) were carried out using an electronic refractometer Pr-101 (Atago, Japan) and expressed as percentage. pH was analysed on the juice by a pH meter.

Acidity was determined by titration of mango juice with 0.1 n NaOH to pH 8.1 using an automatic titrator (794 Basic Titrinon, Metrohm) and expressed as g of citric acid per 100 g of fresh mango.

Microbiological quality

Analysis of aerobic psychrotrophic bacteria and yeast and moulds were carried out according Downes & Ito (2001). About 25 g of mango cubes were diluted with 225 mL of sterile aqueous peptone solution (0.1%, w/v) and blended for 1 min in a stomacher. The serial dilutions of this solution were made in sterile saline solution. The media and the conditions used were as follows: Plate Count Agar (PCA) incubated at 7 °C for 10 days for aerobic psychrotrophic bacteria and Dichloran- Rose Bengal-Chloramphenical Agar (DRBC) incubated at 25 °C for 5 days for yeast and mould populations. The microbial population on the fresh-cut mangoes was determined after 1 and 9 days of storage.

Results were expressed in colony forming unit per gram (CFU g⁻¹) and one replicate was used for each treatment and each time of analysis.

Statistical analysis

Standard error of mean values was determined from SD and sample size. xlstat version 2008.6.08 was used to calculate analysis of variance (anova) with the least significance difference (LSD) test at $P < 0.05$.

3. Results and discussion**3.1. Effect of treatments on sensory quality**

Sensory evaluation was planned to be carried out after 1 and 7 days of storage. However, after 7 days, all the samples became unacceptable for consumption and the analysis was not performed.

After 1 day of storage, the results for sensory analysis showed the scores was from 6 to 8 (likely product) without a significant difference between treatments ($P < 0.05$, Fig. 1a). This result indicated that the majority of panel (more than 75%) appreciated the samples. Moreover, more than 71% of the panel (data not shown) intended to purchase all the products by scoring samples from 5 to 6 (probably buy) (Fig. 1b). This result highlighted that HWD 50 °C for 30 min and 0.25% chitosan coating did not change the taste and the flavour of the fresh-cut mangoes as compared to the control. Chien et al. (2007b) have also reported that several compositions of chitosan coating (0.5%, 1%, 2%) did not change the natural taste of 'Irwin' sliced mango and delayed the drop in sensory quality during the storage at 6 °C for 7 days. In contrast, other studies have reported that chitosan coating with 0.5% and 0.75% induced an off flavour to the fresh-cut mangoes (Plotto et al., 2004). All these results suggested the necessity to consider source, purity and interaction of chitosan with the fruit on which is applied as a factor in the coating formulation.

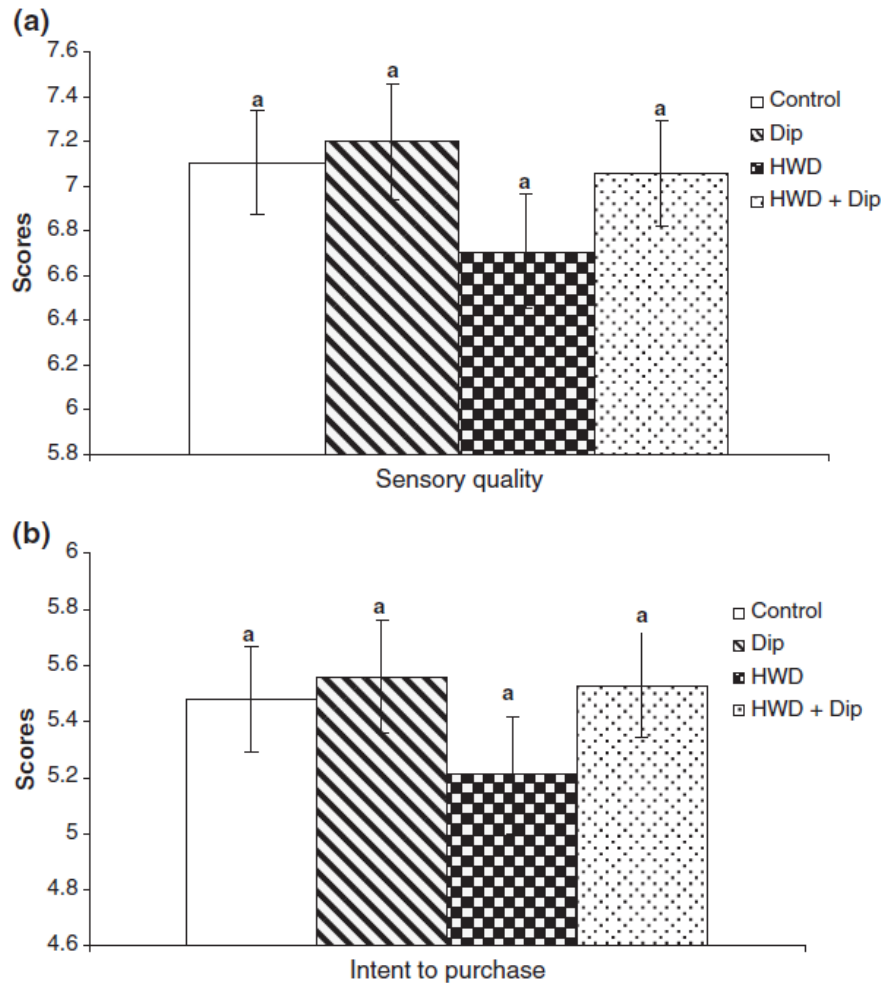


Figure 1: Effect of heat treatment and chitosan coating on sensory quality (a) and the intent to purchase (b) of treated and untreated fresh-cut mangoes after 1 day of storage at 6 °C. Data are mean ($n = 60$) $\pm$ SE with mean separation by LSD ($P < 0.05$).

3.2. Effect of treatments on firmness

Firmness of fresh-cut mangoes decreased during storage for all conditions except for HWD (Fig. 2). HWD allowed a significant retention of firmness for up to 9 days ($P < 0.05$). We have previously reported the beneficial effect of HWD 50 °C for 30 min on the firmness of fresh-cut 'Keitt' mangoes (Djioua et al., 2009). This study confirms this effect on 'Tommy Atkins' mangoes.

Firmness was also influenced by coating. After 3 days, Dip fresh-cut mangoes softened faster than the others with 40% of firmness loss as compared to 9% for control and no loss for HWD and HWD + Dip (Fig. 2). This result suggested that the chitosan coating alone was not enough to maintain the firmness of fresh-cut mangoes during the storage. Thommohaway et al. (2007) have reported that chitosan coating in lower concentration (0.05%, 0.1% and 0.2%) had no

effects on firmness of fresh-cut guava. In contrast, Wang et al. (2007) and Zhu et al. (2008) reported that 2% chitosan coating decreased the firmness loss of mango fruit stored at 15 °C. The advantageous effect of the higher chitosan concentration on fruit firmness has also been reported for peach, kiwifruit (Du et al., 1997), ‘Murcott’ tangor (Chien et al., 2007) and strawberry (Hernandez-Munoz et al., 2008). In our experiment, chitosan concentration at 0.25% did not influence the firmness of fresh-cut mangoes. These results underlined again the effect of the concentration of chitosan and indicated that the chitosan concentration about 0.25% did not maintain the firmness of fresh-cut mangoes.

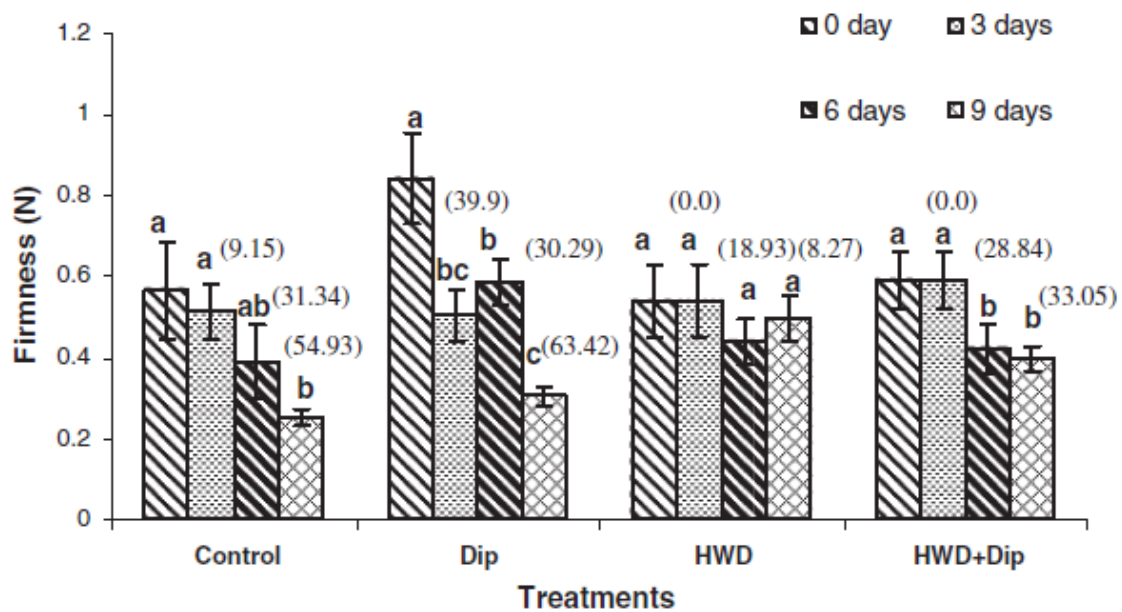


Figure 2: Effect of heat treatment and chitosan coating on firmness of fresh-cut mangoes during storage at 6 °C. Data are mean ($n = 10$) $\pm$ SE with mean separation by LSD ($P < 0.05$). Numbers in parentheses represent the percentage of loss compared to the initial value (day 0) for each condition.

3.3. Influence of treatment on colour and carotenoids content

The colour of fresh-cut mangoes strongly influences consumer acceptance. Colour, as evaluated by lightness (L^* value) and blue/yellow components (b^* value) is displayed in Fig. 3a and b. Decreasing in L^* and b^* values during the storage were noticed in all samples. A decrease in L^* value, which is evident by the loss of brightness, is an indicator of browning in fresh-cut fruits (Gonzalez-Aguilar et al., 2008). However, it was observed that HWD allowed to maintain colour during 3 days. This result has been already observed on fresh-cut ‘Keitt’

mangoes (Djioua et al., 2009). Moreover, in Fig. 3, the percentage of colour loss showed that coating decreased the loss on L^* and b^* values as compared to control after 6 and 9 days, respectively. Similar results of the effect of chitosan on L^* values have been reported on strawberries (Hernandez- Munoz et al., 2008) and on fresh-cut rose apple (Worakeeratikal et al., 2007). This result could be explained by the chitosan inhibition of polyphenol oxydase (PPO) and the peroxidase activity as reported on litchi fruit (Zhang & Quantick, 1997; Ducamp-Collin et al., 2008). At the end of the storage, L^* decreased by around 35% for control and by around 23%, 16% and 26% for Dip, HWD and HWD + Dip, respectively, as compared to day 0. This result means that the association of Dip with HWD did not exert any additional effect on delaying mango browning and that HWD alone was the most efficient treatment to maintain colour. An increase in total colour difference DE^* was observed with storage time indicating the colour change of samples (Table 1). After 3 days, HWD and Dip reduced the overall change in colour when compared to Control and HWD + Dip. After this time, DE^* increase was higher in control as compared to the other treatments and between day 6 and day 9, DE^* values were significantly lower with HWD. These results demonstrated the beneficial effect on the colour of each treatment. Freire et al. (2005) reported that chitosan coating allowed a best appearance with a clear yellow colour of fresh-cut 'Kent' mangoes stored at 4 °C for 9 days. Moreover, Vargas et al. (2009) have reported that total colour differences (DE^*) of carrots caused by chitosan coating were relatively lower.

Colour was also determined by pigments composition. In mangoes, carotenoids are responsible for yellow and orange colour and are important lipophilic radical scavengers found in many fruits and vegetables. After 1 day of storage, total carotenoids ranged from 2.9 to 3.3 mg 100 /g FW without significant differences between control and treated samples (Table 2). Then, total carotenoid content remained stable during 9 days whatever the treatment. The initial stage of maturity of mangoes could explain this result. To conclude, heat treatments of 50 °C for 30 min and chitosan coating have no effect on the total carotenoids evolution during storage but they induced a significant change on colour parameters (L^* , b^* and DE^*).

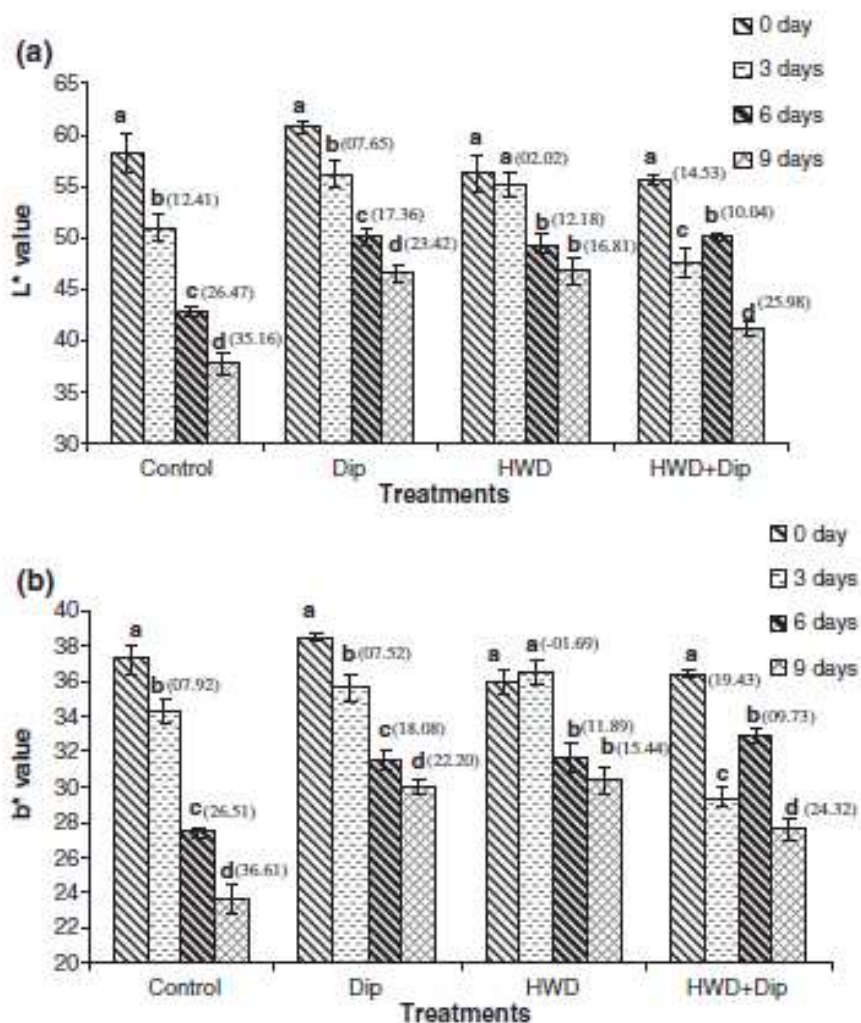


Figure 3: Changes in L* values (a) and b* value (b) in treated and untreated fresh-cut mangoes during storage at 6 °C. Data are mean (n = 10) ± SE with mean separation by LSD (P < 0.05). Numbers in parentheses represent the percentage of loss compared to the initial value (day 0) for each condition.

Table 1: Effect of HWD and chitosan coating on the total colour difference (DE*) of fresh-cut mangoes stored at 6 °C during 9 days.

ΔE*	Day 3	Day 6	Day 9
Control	7.9	18.4	25.3
Dip	5.5	12.6	16.7
HWD	3.0	8.1	11.4
HWD + Dip	10.9	6.9	17.1

3.4. Effect of treatment on physico-chemical parameters

Total soluble solids (TSS), pH and TA were analysed. As shown in Table 2 and after 1 day of storage, treatments had no effect on these parameters except for HWD + Dip which resulted in higher TSS level than in control. Then, during the storage and for all treatments, TSS level remained stable for every condition, demonstrating that neither HWD nor chitosan coating have an effect on TSS of fresh-cut mangoes. Similar results for fresh-cut mangoes were reported by Djoua et al. (2009) for heat treatment and by Freire et al. (2005) for chitosan coating. Concerning TA and pH, they remained unchanged for all treatments until day 9. At that time, TA values increased for Control and Dip and pH values decreased only for Dip. As the same, Chien et al. (2007b) found that fresh-cut 'Irwin' mangoes have a higher amount of TA after 7 days of storage at 6 °C. Moreover, Campaniello et al. (2008) reported that pH of fresh-cut strawberries seemed to be not influenced by chitosan treatment (1%).

Table 2: Effect of HWD and chitosan coating on changes in TSS, TA, pH and total carotenoids content of fresh-cut mangoes during storage at 6 °C for 9 days

	TSS (%)	TA (g 100 g ⁻¹ citric acid)	pH	Total Carotenoids (mg 100 g ⁻¹ FW)
1-day storage				
Control	11.87 ± 0.40 Ab	0.19 ± 0.01 Ba	4.65 ± 0.11 Aa	2.90 ± 0.57 Aa
Dip	12.20 ± 0.69 Aab	0.20 ± 0.04 Ba	4.46 ± 0.13 Aa	3.30 ± 0.26 Aa
HWD	12.50 ± 0.26 Aab	0.18 ± 0.02 ABa	4.62 ± 0.12 Aa	3.12 ± 0.21 Aa
HWD + Dip	12.77 ± 0.15 Ba	0.22 ± 0.02 Aa	4.46 ± 0.04 Aa	2.90 ± 0.36 Aa
3-day storage				
Control	12.33 ± 0.25 Ab	0.20 ± 0.04 Bab	4.55 ± 0.23 Abc	3.44 ± 0.33 Aa
Dip	11.93 ± 0.25 Ab	0.23 ± 0.04 ABa	4.38 ± 0.13 Ac	3.46 ± 0.35 Aa
HWD	13.10 ± 0.17 Aa	0.14 ± 0.02 Bb	4.84 ± 0.08 Aa	3.46 ± 0.50 Aa
HWD + Dip	13.23 ± 0.38 Aa	0.19 ± 0.00 Aab	4.66 ± 0.07 Aab	3.50 ± 0.31 Aa
6-day storage				
Control	11.83 ± 0.64 Ab	0.16 ± 0.06 Ba	4.61 ± 0.29 Aa	3.01 ± 0.43 Aa
Dip	12.33 ± 0.38 Aab	0.20 ± 0.01 Ba	4.48 ± 0.03 Aa	2.87 ± 0.09 Aa
HWD	13.13 ± 0.49 Aa	0.17 ± 0.05 ABa	4.66 ± 0.25 Aa	2.77 ± 0.57 Aa
HWD + Dip	12.63 ± 0.06 Bab	0.22 ± 0.06 Aa	4.38 ± 0.24 Aa	3.23 ± 0.09 Aa
9-day storage				
Control	12.30 ± 0.17 Aa	0.30 ± 0.08 Aa	4.30 ± 0.25 Aab	2.98 ± 0.10 Aa
Dip	12.33 ± 0.21 Aa	0.30 ± 0.07 Aa	4.12 ± 0.16 Bb	2.74 ± 0.93 Aa
HWD	12.77 ± 0.50 Aa	0.21 ± 0.05 Aa	4.65 ± 0.04 Aa	3.45 ± 0.25 Aa
HWD + Dip	12.77 ± 0.15 Ba	0.30 ± 0.15 Aa	4.32 ± 0.44 Aab	3.50 ± 0.51 Aa

The results were expressed as means ($n = 3$) ± SD.

Lower case letters in each column: comparison of different treatments at each storage time; upper case letters: evolution of each treatment during storage.

3.5. Microbiological quality

Fresh-cut fruits have their natural microbial flora about 10^4 – 10^5 CFU/g and typically, products become spoiled once these levels increase to 10^7 – 10^8 CFU /g (Martínez-Ferrer et al., 2002). The lower pH of fruits is the major factor that influences the composition of their microflora and mould and yeast are the main contaminant that induces visual degradation (Jay, 1996). In fresh-cut products, the cut damaged surface and the availability of cell nutrients provide good conditions for microbes growing and the low temperature of storage (4–6 °C) increase the psychrotrophic bacteria growth. That is why we have analysed the change of mould, yeast and psychrotrophic bacteria and not enterobacteria.

Moreover, because logistics parameters, analysis have been performed only after 1 and 9 days of storage. After 1 day of storage, HWD samples had lower mould and yeast populations than the others. This result could be explained by the results of Ngarmsak et al. (2006) which indicated that mild heat treatments applied at 50 °C for 5 min on mango fruit reduced the risk of contamination of the flesh during processing. After 9 days of storage, all samples remained safe with an average of 10^5 CFU /g for aerobic psychrotrophic bacteria and an average of 10^3 CFU/g for mould and yeast (Table 3). Compared to control, HWD + Dip decreased significantly the proliferation of psychrotrophic bacteria during 9 days (Table 4). These results showed that the antibacterial action of chitosan coating of 0.25% was more effective when applied with heat treatment 50 °C for 30 min. On the other hand, results showed that none of the two treatments had an influence on mould and yeast proliferation.

Table 3: Effect of HWD and chitosan coating on aerobic psychrotrophic bacteria and mould and yeast count in fresh-cut mangoes after 1 and 9 days of storage at 6 °C.

	Aerobic psychrotrophic bacteria count (CFU g ⁻¹)		Moulds and yeast count (CFU g ⁻¹)	
	Day 1	Day 9	Day 1	Day 9
Control	$<1.0 \times 10^1$	2.5×10^5	2.5×10^2	6.0×10^2
Dip	1.5×10^2	9.0×10^5	1.0×10^2	2.0×10^2
HWD	$<1.0 \times 10^1$	7.2×10^5	$<1.0 \times 10^1$	1.8×10^4
HWD + Dip	$<1.0 \times 10^1$	4.2×10^3	$<1.0 \times 10^1$	2.0×10^2

4. Conclusion

Comparing the two treatments, HWD 50 °C for 30 min was more effective than chitosan coating (0.25%, w/ v) to maintain the firmness and the colour of fresh-cut mangoes during 9 days of storage at 6 °C. Chitosan coating (Dip) also avoided the colour change during storage. When combining treatments, the only parameter which was improved is the antimicrobial effect.

Finally, this study underlined the beneficial effect of HWD 50 °C for 30 min on fresh-cut 'Tommy Atkins' mangoes quality. This result was correlated to previous data obtained on another variety: 'Keitt mangoes'.

5. Acknowledgments

The authors would like to thank all the staff of the sensory, physical and biochemical, and microbiological laboratories of EMBRAPA Food Technology (Rio de Janeiro, Brazil) for their participation in this study.

CHAPITRE VI

SYNTHÈSE DES RÉSULTATS

ET DISCUSSION GÉNÉRALE

Synthèse des résultats et discussion

Lors de la transformation des fruits et notamment des mangues 4^{ème} gamme, des altérations physiologiques dues principalement aux opérations de découpe apparaissent et détériorent la qualité surtout la fermeté et la couleur. Malgré l'efficacité de certains composés chimiques sur la prévention du brunissement enzymatique, tel que l'acide ascorbique, d'autres traitements doivent être mis en place, en raison de la réticence du consommateur envers les additifs chimiques.

D'un point de vue scientifique, les objectifs de notre travail ont été de mettre au point un traitement physique « naturel » et capable d'inhiber le brunissement enzymatique et la perte de fermeté des mangues 4^{ème} gamme. Nous avons décidé de travailler sur l'impact des traitements thermiques et nous avons étudié les mécanismes d'action de ces traitements sur les paramètres liés aux deux altérations physiologiques majeures précédemment citées. D'un point de vue technologique, les objectifs étaient de proposer aux industriels un traitement qui leur permettrait de palier aux problèmes rencontrés lors de la conservation des mangues 4^{ème} gamme et de pouvoir ainsi commercialiser ce produit.

Nous avons réalisés plusieurs applications du traitement thermique sur plusieurs variétés de mangue à plusieurs stades de maturité. La mangue, est un fruit importé caractérisé par une grande hétérogénéité de l'état de maturité inter et intra variété. Cette hétérogénéité pose problème pour la transformation et la conservation du produit en 4^{ème} gamme et peut expliquer l'inexistence des mangues 4^{ème} gamme sur le marché.

La démarche expérimentale exposée dans ce travail a consisté à définir, en premier, un traitement thermique pour le maintien de la qualité des mangues 4^{ème} gamme. Le couple température / durée de traitement optimal a été validé par les principaux paramètres qualitatifs, à savoir, la couleur et la fermeté. Par la suite, des études plus approfondies ont été menées pour comprendre les mécanismes d'action du traitement thermique sélectionné. Enfin, le traitement thermique a été associé avec une conservation sous atmosphère modifiée et un enrobage à base du chitosane et l'évolution de la qualité (couleur, fermeté, intensité respiratoire, teneur en antioxydants et activités enzymatiques) a été étudiée.

Trois variétés de mangues ont été utilisées dans les études : Keitt, Kent et Tommy Atkins

▪ Sélection d'un traitement thermique optimal

La première partie de la thèse a consisté à étudier les réponses physiques et biochimiques de mangues 4^{ème} gamme soumises à différents traitements thermiques. L'objectif était de sélectionner un couple température / temps de traitement optimal, c'est-à-dire, qui induit des effets positifs sur la qualité des mangues 4^{ème} gamme lors de la conservation.

L'étude a été réalisée sur les mangues 'Keitt'. Les résultats ont montré que l'intensité respiratoire de la mangue après traitement thermique dépend des deux paramètres : intensité et durée du traitement. En effet, nous avons démontré (**Chapitre II, Publication 1**) que seul le traitement thermique 50 °C / 30 min a pu réduire le métabolisme respiratoire du fruit entier ce qui est un indicateur d'une augmentation potentielle de la durée de vie du fruit. Ce résultat a été validé sur une autre variété de mangues 'Kent' (**annexe1**).

Il faut noter que la température de la pulpe du fruit de mangue a été mesurée par des thermocouples. Après 30 min d'immersion dans l'eau à 50 °C, la température de la pulpe était en moyenne de 35 °C (**annexe 2**).

Ce traitement, a permis le maintien de la couleur et de la fermeté de la mangue 4^{ème} gamme durant 9 jours de conservation à 6 °C. Par ailleurs, un traitement intense, 50 °C / 75 min, a accéléré les altérations de la couleur et de la fermeté des mangues 4^{ème} gamme ce qui souligne, de nouveau, l'importance du choix des paramètres du traitement thermique.

Par cette étude, nous avons démontré que (1) le traitement thermique peut être appliqué sur le fruit de mangue afin d'améliorer sa qualité après transformation en 4^{ème} gamme, (2) le traitement 50 °C / 30 min est le traitement thermique optimal pour maintenir la qualité des mangues 4^{ème} gamme et enfin (3) l'intensité respiratoire peut être considérée comme un paramètre de sélection rapide des traitements thermiques optimaux.

▪ Etude du mécanisme d'action du traitement thermique 50 °C – 30 min sur la fermeté et la couleur

Le traitement thermique 50 °C / 30 min agit principalement sur la couleur et la fermeté des mangues 4^{ème} gamme, qui sont considérés comme deux paramètres majeurs de qualité pour les consommateurs.

Le deuxième volet de notre thèse s'est axé sur ces deux indicateurs de qualité en analysant l'effet du traitement 50 °C / 30 min sur les différents paramètres qui les caractérisent : activités enzymatiques, teneurs en pigments, etc.

La fermeté des tissus est directement liée à l'état hydrique des cellules végétales et à l'activité des enzymes pectolytiques, qui hydrolysent la paroi cellulaire tel que : les pectinéméthylesterases (PME), les polygalacturonases (PG) et les β -galacturonases (β -GAL). Nous avons donc étudié, l'effet du traitement 50°C / 30 min sur ces paramètres et les résultats ont montré que ce traitement maintient la pression de turgescence des cellules pendant 3 jours et réduit l'activité de PME et β -GAL à 6 jours et de PG à 9 jours de conservation à 6 °C (**Chapitre III, Publication 2**). Des résultats similaires sur l'effet de ce traitement ont été obtenus lors d'une seconde étude sur la même variété (**Chapitre V, Publication 4**). Ces deux études mettent ainsi en évidence le rôle important des enzymes PME et β -GAL par rapport à PG pour la fermeté car leur réduction est suivie directement par un maintien de la fermeté. Ceci peut s'expliquer par le fait que les PME sont des enzymes qui déméthylent les pectines et ainsi facilitent l'action de la PG et que les β -galactosidases ont pour rôle de cliver les résidus galactoses des pectines des parois, ce qui aurait pour effet d'augmenter la porosité de la paroi et ainsi de faciliter l'accès des autres enzymes. Ainsi, l'inhibition ou la réduction de leur activité est essentiel pour le maintien de la fermeté et le traitement thermique 50 °C / 30 min semble un moyen efficace pour cela.

La couleur des mangues 4^{ème} gamme se détériore rapidement et le problème majeur est le brunissement enzymatique. Le **Chapitre IV, Publication 3** présente l'effet du traitement 50 °C / 30 min sur l'évolution de la couleur par analyse physique (système CIELAB), dosage et caractérisation des pigments : caroténoïdes et phénols et dosage des enzymes clés du brunissement enzymatique : phénylalanine ammonia lyase (PAL) et polyphénoloxydase (PPO).

Le traitement 50 °C / 30 min a permis de réduire les pertes de luminosité (L^*) et de la couleur jaune (b^*) des mangues 'Keitt' 4^{ème} gamme, surtout au 6^{ème} jour de conservation. D'autre part, ce traitement évite le rougissement des mangues exprimé par le maintien du paramètre a^* . Parallèlement, le traitement thermique a significativement réduit l'activité de l'enzyme PPO. Une réduction de l'activité de cette enzyme réduit le brunissement enzymatique ce qui se traduit visuellement par un maintien de la couleur. La PPO catalyse l'oxydation des composés phénoliques qui se polymérisent ensuite pour former des polymères bruns insolubles. L'inhibition ou la réduction de l'activité de cette enzyme induit une baisse du brunissement et du rougissement des mangues. L'effet inhibiteur du traitement 50 °C / 30 min sur la PPO a été trouvé sur une autre variété de mangue 'Kent' (**Chapitre V, Publication 4**).

La couleur de la mangue est aussi due aux caroténoïdes. Le traitement thermique permet de mieux extraire les caroténoïdes juste après le traitement, ce qui se traduit par une quantité de caroténoïdes nettement supérieure chez les mangues chauffées à J0. Ce résultat a été préalablement trouvé sur la variété 'Keitt' et peut être dû à l'effet de la chaleur qui augmente la perméabilité des membranes cellulaires et favorise ainsi l'étape d'extraction (**Chapitre II, Publication 1**). La variation de l'effet du traitement thermique sur les teneurs en caroténoïdes juste après traitement peut également être liée à l'état de maturité initiale de ces deux variétés. En effet la variété Keitt était assez mûre avec une fermeté qui avoisine 4 N et des teneurs en caroténoïdes de 1 mg / 100 g MF, les mangues Kent l'étaient moins avec une fermeté de 13N en moyenne et une teneur en caroténoïdes de 0,25 mg / 100 g MF.

Par la suite, le traitement thermique n'a pas eu d'effet sur les teneurs en caroténoïdes durant la conservation à 6 °C. Les teneurs diminuent dans tous les échantillons. Un résultat similaire a été montré sur une autre variété de mangue 'Kent' (**Chapitre V, Publication 4**). La caractérisation des carotenoides par HPLC a permis d'identifier le β -carotène comme pigment majoritaire chez les mangues. Le traitement thermique réduit ces teneurs dès le 3^{ème} jour de conservation comparé aux mangues témoins. Bien que les autres composés qui constituent les caroténoïdes n'aient pas été caractérisés, nous pouvons suggérer que le traitement agit sur les caroténoïdes par action sur le β -carotène.

Par ailleurs, le traitement thermique n'a pas d'effet sur les phénols dont l'acide gallique est le phénol majoritaire chez le fruit de mangue. De plus, bien que l'activité de la PAL augmente aux jours 3 et 9 de conservation, cela n'a pas d'effet significatif sur les teneurs en phénols.

La non corrélation entre les teneurs en phénols et l'activité de la PAL peut s'expliquer par le pool important de phénols que contiennent les fruits qui peut masquer toute synthèse de novo de composés phénoliques.

Ces résultats permettent de proposer des pistes du mécanisme d'action du traitement thermique 50 °C / 30 min sur le maintien la couleur initiale des mangues 4^{ème} gamme. Cet effet est principalement dû à la réduction ou à l'inhibition de l'activité de l'enzyme PPO responsable du brunissement enzymatique.

- **Association du traitement thermique 50 °C / 30 min avec une conservation sous atmosphère modifiée**

CHAPITRE VI: Synthèse des Résultats et Discussions

Les produits 4^{ème} gamme sont généralement conservés dans des emballages sous atmosphère modifiée (EAM) caractérisés par de faibles teneurs en oxygène et de hautes teneurs en dioxyde de carbone. Nous avons donc étudié l'association d'une conservation sous atmosphère modifiée au traitement thermique sélectionné. Deux types d'emballages (film plastique ou enrobage) et deux mélanges gazeux initiaux ont été utilisés (air ou 5% O₂ et 5% CO₂).

Tout d'abord, les mangues 4^{ème} gamme chauffées ou non ont été conservées dans un emballage en plastique traditionnel de polypropylène (OPP) soit sous une atmosphère modifiée passive (air initial), soit sous une atmosphère modifiée active (mélange gazeux initial de 5 % O₂- 5 % CO₂) (**Chapitre V, Publication 4**). Durant la conservation différentes analyses qualité ont été effectuées.

Les résultats ont montré que chaque traitement de conservation permet : (1) le maintien de la fermeté par réduction des enzymes pectolytiques, essentiellement la PME, (i2) le maintien de la couleur par inhibition de l'enzyme PPO et (3) aucun effet sur les teneurs en caroténoïdes totaux. Toutefois, le traitement thermique 50 °C / 30 min est le plus efficace en terme de maintien de qualité globale durant les 9 jours de conservation à 6 °C que la conservation sous atmosphère modifiée passive ou active.

L'association du traitement 50 °C / 30 min avec l'EAM a des effets différents. En effet, l'association du traitement thermique avec une atmosphère passive ou active accentue la perte en fermeté durant la conservation à cause du maintien de l'activité des enzymes PME, PG et β -GAL. Par ailleurs, l'association du traitement 50 °C / 30 min avec l'EAM passif n'a pas d'effet négatif sur les paramètres L* et b* et permet une réduction significative de l'activité de la PPO. Le couplage du traitement thermique avec une atmosphère active (5 % O₂- 5 % CO₂) permet aussi le maintien de la couleur jaune (b*) des mangues par une réduction significative de l'activité de l'enzyme PPO durant 9 jours et une baisse de l'intensité respiratoire.

Le brunissement étant du à l'oxydation des composés phénoliques qui conduisent à la formation des quinones, la diminution en O₂ due à l'utilisation d'un emballage sélectif ou la réduction initiale en O₂ pourrait ralentir les réactions d'oxydation et donc le brunissement et ainsi maintenir la couleur initiale des mangues. D'autre part, il est possible que le CO₂ ait un effet antibrunissement car dissous dans les liquides cellulaires, il provoque une chute de pH au dessous des valeurs optimales pour les activités enzymatiques impliquées dans le brunissement, PAI et PPO (Mzldonado et al, 2002).

Ces résultats montrent que l'EAM annule l'effet du traitement thermique 50 °C / 30 min sur la fermeté et l'activité des enzymes pectolytiques des mangues 4^{ème} gamme et que son utilisation est uniquement favorable pour réduire le brunissement enzymatique et le maintien de la couleur. De ce fait, le traitement thermique 50 °C / 30 min seul semble le traitement le plus adéquat pour le maintien des deux paramètres de qualité importants pour les mangues 4^{ème} gamme.

Le **Chapitre V, Publication 5** présente les résultats de l'association du traitement 50 °C / 30 min avec un enrobage comestible à base de chitosane (0.25 %) sur les mangues 'Tommy Atkins' 4^{ème} gamme. En plus des paramètres qualités analysées lors des études précédentes, une analyse sensorielle (basée sur l'odeur, le goût et la saveur) et microbiologique a été réalisée durant la conservation. L'analyse sensorielle est nécessaire lors d'une utilisation de chitosane car ce polysaccharide extrait des exosquelettes des crustacées, a un goût défini comme celui du crabe, ce qui réduit son acceptabilité par le consommateur. Toutefois, le chitosane a un pouvoir antimicrobien important ce qui rend son utilisation intéressante pour les produits 4^{ème} gamme.

Les résultats ont montré que l'utilisation du chitosane à 0.25% n'a pas altéré la qualité sensorielle des mangues 4^{ème} gamme après 1 jour du traitement. La concentration de chitosane utilisée dans notre étude semble correcte pour éviter l'effet gustatif désagréable que peut procurer le chitosane au produit. Pour les autres paramètres qualitatifs, l'enrobage maintient la couleur (paramètres L* et b*) par rapport aux mangues témoins avec un effet nul sur les caroténoïdes et est inefficace pour le maintien de la fermeté. Le traitement thermique quant à lui, a eu les mêmes effets que dans les études précédentes et a pu ralentir la croissance des levures et des moisissures après 1 jour de conservation. L'association des deux traitements a permis un ralentissement de la prolifération de la flore psychrotrophique. Ceci suggère que l'effet antimicrobien du chitosane a été amélioré par son association avec le traitement thermique 50 °C / 30 min.

Les différentes études de cette thèse ont démontré qu'un traitement thermique par immersion à 50 °C / 30 min est un traitement efficace pour prévenir le brunissement enzymatique et la perte de fermeté des mangues 4^{ème} gamme. Ce traitement agit sur ces altérations physiologiques principalement par inhibition des activités de la PPO, la PME et la β -GAL, enzymes clés de ces deux altérations. Le mécanisme par lequel le traitement thermique inhibe

CHAPITRE VI: Synthèse des Résultats et Discussions

les enzymes pectolytiques ou oxydatives est lié au changement de l'expression des gènes et de la synthèse des protéines. En effet, durant un traitement à hautes températures, les ARN messagers des gènes correspondants à la maturation disparaissent alors que les protéines de choc thermique (HSPs) s'accumulent (Picton and Grierson, 1988 ; Lurie et al. 1996). Généralement, une exposition à une température supérieure à 35 °C induit une dissociation des polyribosomes puis réassociation de certains ribosomes en polyribosomes qui traduisent préférentiellement les ARNm des HSP (Ferguson et al. 1994).

Ce détournement de la synthèse de protéines est supposé responsable de certains effets physiologiques du stress dus aux hautes températures (Saltveit, 1997).

CONCLUSION GÉNÉRALE ET PERSPECTIVES

Conclusion Générale et Perspectives

Une nouvelle méthode pour améliorer la conservation des mangues 4^{ème} gamme a été étudiée dans ce travail : application de traitements thermiques associé ou non à une conservation sous atmosphère modifiée.

Les résultats obtenus lors de cette étude ont permis de qualifier le traitement par immersion à 50 °C / 30 min comme étant un traitement thermique efficace qui permet d'améliorer la conservation des mangues 4^{ème} gamme. En effet, il ralentit de façon significative le brunissement enzymatique et la perte de fermeté. Ces résultats ont été validés sur 3 variétés de mangues : Keitt, Kent et Tommy Atkins, qui sont les mangues les plus commercialisées en France et en Europe.

Le traitement 50 °C / 30 min maintient la couleur jaune et réduit les pertes en luminosité par inhibition de l'activité de la PPO, enzyme clés du brunissement enzymatique. Par contre, le traitement thermique n'a pas d'effet sur les teneurs totales en phénols et en caroténoïdes.

Au niveau de la fermeté, le traitement thermique réduit les pertes de fermeté en réduisant l'activité des enzymes pectolytiques, responsables de la dégradation de la paroi cellulaire et principalement la PME et la β -GAL) et en minimisant aussi les pertes de turgescence.

Comparée au traitement 50 °C / 30 min une conservation sous atmosphère modifiée passive ou active (5 % O₂ -5 % CO₂) et un enrobage à base de chitosane sont des méthodes moins efficaces pour maintenir la qualité des mangues coupées. L'association des deux méthodes a peu d'effets additionnels et même parfois un effet inhibiteur par rapport au traitement 50 °C / 30 min.

En conclusion, le traitement thermique par immersion 50 °C / 30 min peut donc être proposé comme une méthode alternative et efficace pour mieux conserver les mangues 4^{ème} gamme sans nécessiter de conditionnement particulier. De ce fait, ce traitement pourrait être appliqué industriellement et contribuer ainsi à la commercialisation des mangues 4^{ème} gamme.

Perspectives

Pour la continuité de cette étude, plusieurs pistes peuvent être envisagées telles que :

- L'application du traitement thermique par d'autres méthodes telle que les micro-ondes. Nous avons réalisé une étude préliminaire sur la possibilité d'appliquer le traitement thermique par des micro-ondes sur fruit entier ou sur fruit coupé. Les résultats étaient assez encourageants car il a été mis en évidence que l'application d'un couple puissance / temps : 900 W / 1 min, permet de maintenir la couleur des mangues 4^{ème} gamme pendant 6 jours à 6 °C. Cependant, pour une validation de ce traitement, diverses analyses de qualité (physiques et nutritionnelles) doivent être réalisées.

Conclusion Générale et Perspectives

- L'application du traitement thermique par immersion sur les mangues coupées directement.
- Et enfin l'association du traitement avec d'autres types d'enrobages et d'autres atmosphères modifiées avec des mélanges gazeux différents.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Abe, K. and Watada, A.E.** 1991. Ethylene absorbent to maintain quality of lightly processed fruits and vegetables. *Journal of Food Science*, 56, 1589-1592.
- ABNT.** 1993. Analise Sensorial de Alimentos e Bebidas – Terminologia. NBR 12806. Rio de Janeiro, Brazil: Associac,ã~o Brasileira de Normas Te'cnicas.
- Abreu, M., Beirão-da-Costa, S., E. M. Gonçalves, M.L. Beirão-da-CostaMoldão-Martins, M.** 2003. Use of mild heat pre-treatments for quality retention of fresh-cut 'Rocha' pear. *Postharvest Biology and Technology*, 30, 153-160.
- Agar, I.T., Massantini, R., Hess-Pierce, B., and Kader, A.A.** 1999. Postharvest CO₂ and ethylene production and quality maintenance of fresh-cut kiwi fruit slices. *Journal of Food Science*, 64, 433-440.
- Aguayo, E., Escalona, V. and Artès, F.** 2004. Quality of fresh-cut tomato as affected by type of cut, packaging, temperature and storage time. *European Food Research and Technology*, 219, 492-499.
- Alenxander, L. and Grierson, D.** 2002. Ethylene biosynthesis and action in tomato: a model for climacteric fruit ripening. *Journal of Experimentaion Botany*, 53, 2039-2055.
- Ali Md.S., Nakano, Kohei, Maezawa, S.** 2004. Combined effetc of heat traetment and modified atmosphere packaging on the color development of cherry tomato. *Postharvest Biology and Technology*, 34,113-116.
- Ali, Z. M., Armugam, S.Lazan, H.** 1995. [beta]-Galactosidase and its significance in ripening mango fruit. *Phytochemistry*, 38, 1109-1114.
- Ali, Z. M., Chin, L. H.Lazan, H.** 2004. A comparative study on wall degrading enzymes, pectin modifications and softening during ripening of selected tropical fruits. *Plant Science*, 167, 317-327..
- Allong, R., Wickham, L.D., Mohammed, M.** 2000. The effect of cultivar, fruit ripeness, **Armstrong, G.** 1999. Carotenoid genetics and biochemistry, p. 321-352. *In* D. E. Cane (ed.), Isoprenoids including carotenoids and steroids, vol. 2. Elsevier, Amsterdam
- Bai, J., Baldwin, E., Fortuny, R., Mattheis, J., Stanley, R., Perera, C., Brecht, J.** 2004. Effect of pre-treatment of intact 'Gala' apple with ethanol vapour, heat, or 1-methylcyclopropene on quality and shelf life of fresh-cut slices. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 129, 583–593.
- Baldwin, E.A.** 2001. New Coating Formulations for the Conservation of Tropical Fruits, <http://technofruits2001.cirad.fr> 10/08/2002

- Baldwin, E.A., Burns, J.K., Kazokas, W.** 1995. Effect of two edible coating with different permeability characteristics on mango (*Mangifera indica* L.) ripening during storage. *Postharvest Biology and Technology*, 17, 215–226.
- Baldwin, E.A., J.K. Burns, W. Kazokas, J.K. Brecht, R.D. Hagenmaier, R.J. Bender, E. Pesis.** 1999. Effect of two coatings with different permeability characteristics on mango (*Mangifera indica* L.) ripening during storage. *Postharvest Biology and Technology*, 17, 215–226.
- Baldwin, E.A., Miperos-Carriedo, M.O., Baker, R.A.** 1995. Use of edible coating to preserve quality of lightly (and slightly) processed products. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 35, 509-524.
- Bard, Z.J. and Kaiser, C.** 1996. Postharvest vapour heat shock treatments of Fuerte avocado fruit. *South African Avocado Growers' Association Yearbook*, 19, 116-118.
- Barrancos, S., Beirão-da-Costa, M.L., Moldão-Martins, M., Abreu, M., Gonçalves, E.M., Beirão-da-Costa, S.** 2003. The effect of heat pre-treatment on quality and shelf-life of fresh-cut apples *Acta Horticulturae*. 599, 595-601.
- Bauernfeind, J.C.** 1981. Carotenoids as colorants and vitamin A precursors., pp, 938. *Academic Press*, New York.
- Beaulieu, J. C. and Lea, J.M.** 2003. Volatile and quality changes in fresh-cut mangoes prepared from firm-ripe and soft-ripe fruit, stored in clamshell containers and passive MAP. *Postharvest Biology and Technology*, 30 (1), 15-28.
- Beirão-da-Costa, S., Steiner, A., Correia, L., Empis, J., Moldão-Martins, M.** 2006. Effects of maturity stage and mild heat treatments on quality of minimally processed kiwifruit. *Journal of Food Engineering*. 76, 616–625.
- Benitez, M.M., Acedo Jr., A.L., Jitareerat, P., Kanlavanarat, S.** 2006. Mango fruit softening response to postharvest heat treatment. *Acta Hort.* 712, 811–816.
- Ben-Shalom, N., Hanzon, J., Klein, J.D., Lurie, S.** 1993. A postharvest heat treatment inhibits cell wall degradation in apples during storage. *Phytochemistry*, 34, 955-958.
- Ben-Shalom, N., Hanzon, J., Pinto, R., Lurie, S.** 1996. Cell wall changes and partial prevention of fruit softening in pre-storage heat treated ‘Anna’ apples. *Journal Sci. Food Agric.*, 72, 231-234.
- Biggs, M.S., Woodson, W.R., Handa, A.K.** 1988. Biochemical basis of high temperature inhibition of ethylene biosynthesis in ripening tomato fruit. *Physiol. Plant*, 72, 572-578.
- Blankenship, S.M. and Unrath, C.R.** 1988. PAL and ethylene content during maturation of red and Golden Delicious apples, *Phytochemistry*, 27, 1001-1003.

- Bolin, H.R. and Huxsoll, C.C.** 1989. Storage stability in minimally processed fruits. *Journal of Food Process Preservation*, 13, 281-292.
- Bradford, M. M.** 1976. A rapid and sensitive method for the quantification of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, 72, 248-254.
- Braz, J.** 2004. Panorama du marché international de la mangue : cas de la filière d'exportation du Brésil. Série « Master of Science » n° 68, Institut Agronomique Méditerranéen de Montpellier.
- Brecht, J.K.** 1999. Postharvest quality and safety in fresh-cut vegetables and fruits. *Cooperative Regional Research Project S-294*.
- Bruhn, C.** 2000. Food labelling: consumer needs. In J. Ralph Blanchfield (Ed.), *Food labelling*. Cambridge: Woodhead Publishing Limited.
- Brummell, D.A. and Harpster, M.H.** 2001. Cell wall metabolism in fruit softening and quality and its manipulation in transgenic plants. *Plant Mol. Biol.* 47, 311–340.
- Buescher, R. W.Furmanski, R. J.** 1978. Role of pectinesterase and polygalacturonase in the formation of woolliness in peaches. *Journal of Food Science*, 43, 264-266.
- Campaniello, D., Bevilacqua, A., Sinigaglia, M., Corbo, M.R.** 2008. Chitosan: antimicrobial activity and potential applications for preserving minimally processed strawberries. *Food Microbiology*, 25, 992–1000.
- Cantwell, M.I., Suslow, T.V.** 2002. Postharvest handling systems: fresh-cut fruits and vegetables. In: Kader, A.A. (Ed.), *Postharvest Technology of Horticultural Crops*. University of California, Davis, pp. 445–463.
- Cao, Y. H., and Cao, R. H.** 1999. Angiogenesis inhibited by drinking tea. *Nature*, 398, (6726):381.
- Carpita, N. C.Gibeaut, D. M.** 1993. Structural models of primary cell walls in flowering plants: consistency of molecular structure with the physical properties of the walls during growth. *The Plant Journal*, 3, 1-30.
- Chan, H.T.** 1986 a. Effects of heat treatments on the ethylene-forming enzyme system in papaya. *Journal of Food Science*, 51, 581-583.
- Chan, H.T.** 1986 b. Heat inactivation of the ethylene-forming enzyme system in cucumber. *Journal of Food Science*, 51, 1491-1493.
- Chan, H.T., Jr, Tram, S.Y.T., Seo, S.T.** 1981. Papaya polygalacturonase and its role in thermally injured ripening fruit. *Journal of Food Science*, 46, 190-197.

- Chantanawaragon, S.** 2000. Quality maintenance of fresh-cut mango cubes. M.S. thesis in Food Science, University of California at Davis, p 72.
- Charles, F.** 2004. Emballages actifs et conservation des fruits et légumes frais et / ou faiblement transformés : Etude d'un emballage sous atmosphère modifiée assisté par un sachet absorbeur de gaz. Thèse de Doctorat, Université de Montpellier.
- Charles, F., Varoquaux, P.** 2007. Des légumes aux 'produits 4^{ème}', in : Sciences des Aliments, Tec et Doc Editions. Paris.
- Charles, F., Guillaume, C., Gontard, N.** 2008. Effect of passive and active modified atmosphere packaging on quality changes of fresh endives. *Postharvest Biology and Technology*, 48, 22-29.
- Charles, F., Sanchez, J., Gontard, N.** 2005. Modeling of active modified atmosphere packaging of endives as a function of temperature. *Journal of Food Science*, 70, 443–449.
- Charles, F., Sanchez, J., Gontard, N.**, 2003. Active modified atmosphere packaging of fresh fruits and vegetables: modeling with tomatoes and oxygen absorber. *Journal of Food Science*, 68, 1736–1742.
- Cheng, T.S., Floros, J.D., Shewfelt, R.L., Chang, C.J.** 1988. The effect of high-temperature stress on ripening of tomatoes (*Lycopersicon esculentum*). *Journal Plant Physiology*, 132, 459-464.
- Chien, P.-J., Sheu, F., Lin, H.-R.** 2007 a. Coating citrus (*Murcott tangor*) fruit with low molecular weight chitosan increases postharvest quality and shelf life. *Food Chemistry*, 100, 1160–1164.
- Chien, P.-J., Sheu, F., Yang, F.-H.** 2007 b. Effects of edible chitosan coating on quality and shelf life of sliced mango fruit. *Journal of Food Engineering*, 78, 225–229.
- Chonhenchob, V., Chantarasomboon, Y., Singh, S.P.** 2007. Quality changes of treated fresh-cut tropical fruits in rigid modified atmosphere packaging containers. *Packag. Technol. Science*, 20, 27-37.
- Church, I.J., Parsons, A.L.** 1995. Modified atmosphere packaging technology: a review. *J. Sci. Food Agric.* 67, 143–152.
- Civello, P.M., Martinez, G.A., Añón, M.C.** 1997. Heat treatments delay ripening and post harvest decay of strawberry fruit. *J. Agric. Food Chem.* 45, 4589–4594.
- control. *Stewart Postharvest Review* 3:7
- Couey, H.M.** 1989. Heat treatment for control of postharvest disease and insects pests of fruit. *HortScience* 24, 198-202.

- Cunningham, F.X. Jr.** 2002. Regulation of carotenoid synthesis and accumulation in plants. *Pure and Applied Chemistry*, 74, 1409-1417.
- Cuq, B., Gontard, N., and Guilbert, S.** 1998. Les matériaux d'emballages à base de polymers naturels. *Industrie Agroalimentaire et Agricole*, 114, 110-116.
- Day, B.P.F.** 1993. Fruit and Vegetables. In: Principles and Application of MAP on Foods, Parry, R.T. (ed). *Blachie Academic and Professional*, New York, USA, 114-133.
- Dea, S., Brecht, J.K., Nunes, M.C.N., Baldwin, E.A.** 2010. Quality of fresh-cut 'Kent' mango slices prepared from hot water or non-hot water-treated fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 56, 171-180.
- Degl'Innocenti, E., Guidi, L., Pardossi, A., Tognoni, F.** 2005. Biochemical study of leaf browning in minimally processed leaves of lettuce. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53, 9980-9984
- Détail Fruits et Légumes.** 2009. Les produits prepares : tout ce qu'il faut savoir (1ère partie). Centre technique interprofessionnel des fruits et légumes. n° 265, novembre 2009.
- Devece, C., Rodriguez-Lopez, J.N., Fenoll, L.G Tudela, J., Catala, J. M., De Los Reyes, E., Garcia-Canovas, F.** 1999. Enzymz inactivation analysis for industrial blanching applications : comparaison of microwave, conventional, and combination heat treatments on mushroom polyphenoloxidase activity. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 47, 4506-4511.
- Jiang, Y.M.** 1999. Purification and some properties of polyphenol oxidase of longan fruit. *Food Chemistry*, 66, 75-79.
- Devlieghere, F., Vermeulen, A., Debevere, J.** 2004. Chitosan: antimicrobial activity, interaction with food components and applicability as a coating on fruit and vegetables. *Food Microbiology*, 21, 703-714.
- Dey, P. M.Pridham, J. B.** 1969. Purification and properties of galactosidases from Vicia faba seeds. *Biochemistry Journal*, 113, 49-55.
- Djioua, T., Charles, F., Lopez-Lauri, F., Filgueiras, H., Freire J., M., Ducamp-Collin, M. N., Sallanon, H.** 2009. Improving the storage of minimally processed mangoes (*Mangifera indica* L.) by hot water treatments. *Postharvest Biology and Technology*, 52, 221-226.
- Djioua, T., Charles, F., Murillo Freire Jr, Filgueiras, H., Freire J., M., Ducamp-Collin, M. N., Sallanon, H.** 2010. Combined effects of postharvest heat treatment and chitosan coating on quality of fresh-cut mangoes. *International Journal of Food Science and Technology*, 45, 849-855.

- Dong, H., Cheng, L., Tan, J., Zheng, K., Jiang, Y.** 2004. Effect of chitosan coating on quality and shelf life of peeled litchi fruit. *Journal of Food Engineering*, 64, 355–358.
- Doreyappa Gowda, I.N.** 2002. Ripening changes in mango fruits- a review. *Indian Food Packer*, 89-91.
- Downes, F.P. and Ito, K.** 2001. Compendium of Methods for the Microbiological Examination of Foods, 4th edn. Washington, D.C., USA: APHA.
- Du, J.M., Gemma, H., Iwahori, S.** 1997. Effects of chitosan coating on the storage of peach, Japanese pear and kiwifruit. *Journal of the Japanese Society of Horticultural Science*, 66, 15–22.
- Ducamp-Collin, M.N., Ramarson, H., Lebrun, M., Self, G., Reynes, M.** 2008. Effect of citric acid and chitosan on maintaining red colouration of litchi fruit pericarp. *Postharvest Biology and Technology*, 49, 241–246.
- Dunlap, J.R., Lingle, S.E., Lester, G.E.** 1990. Ethylene production in netted muskmelon subjected to postharvest heating and refrigerated storage. *HortScience*, 25, 207-209.
- Eaks, I.L.** 1978. Ripening, respiration and ethylene production of 'Hass' avocado fruits at 20°C to 40°C. *J. Am. Soc. Hort. Sci.*, 103, 576-578.
- El Ghaouth, A., Arul, J., Ponnampalam, R., Boulet, M.** 1991. Chitosan coating effect on storability and quality of fresh strawberries. *Journal of Food Science*, 56, 1618–1620 and 1631.
- Escalona, V.H., Aguayo, E., Gomez P., Artès F.** 2004. Modified atmosphere packaging inhibits browning in fennel. *Lebensm.-Wiss. u.-Technol.* 37, 115–121.
- Fallik, E., Grinberg, S., Gambourg, M., Klein, J.D., Lurie, S.** 1996. Prestorage heat treatment reduces pathogenicity of *Penicillium expansum* in apple fruit. *Plant Pathol.* 45, 92-97.
- Fallik, E., Klein, J.D., Grinberg, S., Loumaniec, E., Lurie, S., Lalazar, A.** 1993. Effect of postharvest heat treatment of tomatoes on fruit ripening and decay caused by *Botrytis cinerea*. *Plant Disease*, 77, 985-988.
- Food and Agriculture Organization.** 2005. FAOSTAT database collections, agricultural data, food and agriculture organization of the United Nations. <http://www.faostat.fao.org/>.
- Food and Agriculture Organization.** 2009. FAOSTAT Database Collections, Agricultural Data, Food and Agriculture Organization of the United Nations. <http://faostat.fao.org>.
- Forcier, F., Raghavan, G.S.V., Gariepy, Y.** 1987. Electronic sensor for the determination of fruit and vegetable respiration. *Int. J. Refrig.* 10, 353–356.

- Forget, F.L., Ggaillard, F. and Rigal, D.** 2000. Changes in the carotenoid content of apricot (*Prunus armeniaca*, var, Bergeron) during enzymatic browning: β -carotene inhibition of chlorogenic acid degradation. *Journal Science of Food Agriculturae*, 80, 763-768.
- Foyer C.H., Lelandais M., Kunert K.J.** 1994. Photooxidative stress in plants. *Physiologia Plantarum*. 92, 696–717
- Freire, M., Lebrun, M., Ducamp, M.N., Reynes, M.** 2005. Evaluation of edible coating in fresh-cuts mango fruits. *Alimentaria*, 369, 85–91.
- Fruitrop, 2009.** Version française, Février 2009, n° 164
- Ganzalez-Aguilar, G.A., Celis, J., Sotelo-Mundo, R.R., De la Rosa, L.A., Rodrigo-Garcia, J., Alvarez-Parilla, E.** 2008. Physiological and biochemical changes of different fresh-cut mango cultivars stored at 5 °C. *International Journal of Food Science and Technology*, 43, 91–101.
- Garcia, E. and Barrett, D.M.** 2002. Preservative treatments for fresh-cut fruits and vegetables. In Lamikanra, O. (Ed.), Fresh-cut fruits and vegetables. Science, Technology and Market. CRC Press, Boca Raton, FL, 267-303.
- Garcia, J.M., Aguilera, C., Albi, M.A.** 1995. Postharvest heat treatment in Spanish strawberry (*Fragaria×ananassa* cv. Tulda). *J. Agric. Food Chem.* 43, 1489–1492.
- Gething, M.J and Sambrook, J.** 1992. Protein folding in the cell. *Nature*, 355, 33-45.
- Gil, M.I., Gorny, J.R., Kader, A.A.** 1998. Response of ‘Fiji’ apple slices to ascorbic acid treatments and low-oxygen atmospheres. *HortScience*, 33, 305-309.
- Giovannoni, J. J. D., D.; Bennet, A.B; Fischer, R.L.** 1992. Polygalacturonase and tomato fruit ripening. *Horticultural Reviews*, 13, 67-109.
- Glenn, G.M. and Poovaiah, B.W.** 1990. Calcium-mediated postharvest changes in texture and cell wall structure and composition in ‘Golden Delicious’ apples. *J. Am. Soc. Hort. Sci.*, 115, 962-968.
- Gontard, N. and Guilbert, S.** 1996. Bioemballage : Technologies et propriétés de matériaux comestibles et/ou biodegradable d’origine agricole. In Emaballage et conservation des produits alimentaire, 181-1208. Chapman et Hall Edition
- Gonzalez-Aguilar, G.A., Celis, J., Sotelo-Mundo, R.R., De la Rosa, L.A., Rodrigo-Garcia, J., Alvarez-Parrilla, E.** 2008. Physiological and biochemical changes of different fresh-cut mango cultivars stored at 5 °C. *Int. J. Food Sci. Technol.* 43, 91–101.
- Gonzalez-Aguilar, G.A., Félix, L. Gardea, A.; Martinez-Tellez, M. A., Baez, R.** 1997. Low oxigen treatment before storage in normal or modified atmosfere packaging of mangoes to extend shelf life. *Journal of Food of Science and Technology*, 34 (5), 399-404.

- Gonzalez-Aguilar, G.A., Wang, C.Y., Buta, J.G.** 2000. Maintaining quality of fresh-cut mangoes using antibrowning agents and modified packaging. *J. Agric. Food Chem.* 48, 4204-4208.
- Gross, J.** 1991. Pigments in vegetables. Chlorophylls and carotenoids. Avi: Van Nostrand Reinhold Company, Inc, New York.
- Guilbert, S. Gontard, N., Gorris, L.G.M.** 1996. Prolongation of the shelf-life of perishable food products using biodegradable films and coating. *Lebensen-Wiss-Technol*, 29, 10-17.
- Haard, N. and Chism, G.W.F.** 1996. Characteristics of edible plant tissues. In: fennema OR, editor, *Food Chemistry*, 3, New York, Marcel Dekker, Inc.
- Hasbulah, R., Kawasaki, S., Kojima, T., Akinaga, T.** 2001. Effect of heat treatments on respiration and quality of 'Irwin' mango. *J. Soc. Agri. Struc.* 32, 59-67.
- Hernandez-Munoz, P., Almenar, E., Del Valle, V., Dinoraz Velez, D. Gavara, R.** 2008. Effect of chitosan coating combined with postharvest calcium treatment on strawberry (*Fragaria · ananassa*) quality during refrigerated storage. *Food Chemistry*, 110, 428-435.
- Hodges, D. M. Toivonen, P. M. A.** 2008. Quality of fresh-cut fruits and vegetables as affected by exposure to abiotic stress. *Postharvest Biology and Technology*, 48, 155-162.
- Inaba, M. and Chachin, K.** 1989. Electrolyte leakage as an indicator of high temperature injury to harvest mature green tomatoes. *J. Am. Sci. Hort. Sci.*, 113, 96-99.
- Ippolito, A., El Ghaouth, A., Wilson, C.L., Wisniewski, M.** 2000. Control of postharvest decay of apple fruit by *Aureobasidium pullulans* and induction of defense responses. *Postharvest Biology and Technology*, 19, 265-272.
- Jacobi, K.K., Giles, J.E.** 1997. Quality of 'Kensington' mango (*Mangifera indica* Linn.) fruit following combined vapour heat desinfestation and hotwater disease control treatments. *Postharvest Biology and Technology*, 12, 285-292.
- Jacobi, K.K., MacRae, E.A., Hetherington, S.E.** 2001. Postharvest heat disinfection treatments of mango fruit. *Sciencia Horticulturae*, 89 (3), 171-193.
- Jay, J.M.** 1996. Modern Food Microbiology, 5th edn. Pp. 17-388. New York: Chapman and Hall.
- Jen, J. J. Robinson, M. L.** 1984. Pectolytic Enzymes in Sweet Bell Peppers (*Capsicum annuum* L.). *Journal of Food Science*, 49, 1085-1087.
- Jeong, J. Huber, D. J., Sargent, S.A.** 2003. Delay of avocado (*Persea americana*) fruit ripening by 1-methylcyclopropane and wax treatments. *Postharvest Biology and Tachnology*, 28, 247-257.

- Jitareerat, P., Paumchai, S., Kanlayanarat, S.** 2007. Effect of chitosan on ripening, enzymatic activity, and disease development in mango (*Mangifera indica*) fruit. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Sciences*, 35, 211–218.
- Joas, J.** 2009. Incidence de l'état physiologique de la mangue à la récolte sur sa maturation en cours de conservation. Thèse de doctorat. Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse.
- Kader A.A.** 2000. Recommendations for maintaining post-harvest quality. Produce Facts. Department of Pomology, University of California, Davis.
- Kader, A.A.** 2002. Quality parameter of fresh-cut fruit and vegetable products. In: Lamikanra, O. (Ed.), *Fresh-cut Fruits and Vegetables. Science, Technology and Market*. CRC Press, pp. 11–20.
- Kader, A.A., Zagory, D., Kerbel, E.L.** 1989. Modified atmosphere packaging of fruits and vegetables. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 28(1), 1-30.
- Kampfenkel, K., Van Montagu, M., Inze, D.** 1995. Extraction and determination of ascorbate and dehydroascorbate from plant tissue. *Anal. Biochem.* 225, 165–167.
- Ketsa, S., Chidtragool, S., Klein, J. D., Lurie, S.** 1998. Effect of heat treatment on changes in softening, pectic substances and activities of polygalacturonase, pectinesterase and beta-galactosidase of ripening mango. *Journal of Plant Physiology*, 153, 457-461.
- Kidmose, U., Edelenbos, M., Nørbaek, R., Christensen, L.P.** 2002. Colour stability in vegetables. In: MacDougall, D.B. (Ed.), *Colour in Food Improving Quality*. CRC Press, Cambridge, UK.
- Kim, D. M., Smith, N. L., Lee, C. Y.** 1993. Apple Cultivar Variations in Response to Heat Treatment and Minimal Processing. *Journal of Food Science*, 58, 1111-1114.
- Kim, D.M., Smith, N.L., Lee, C.Y.** 1993. Apple cultivar variations in response to heat treatment and minimal processing. *Journal of Food Science*, 58, 1111–1114.
- Kim, Y., Brecht, J.K., Talcott, S.T.** 2007. Antioxidant phytochemical and fruit quality changes in mango (*Mangifera indica*, L.) following hot water immersion and controlled atmosphere storage. *Food chemistry*, 105, 1327-1334.
- Kitagawa, Y., Kanayama, Y., Yamaki, S.** 1995. Isolation of galactosidase fractions from Japanese pear, with activity against native wall polysaccharides. *Physiol. Plant.*, 93, 545-550.
- Klein, J.D.** 1989. Ethylene biosynthesis in heat treated apples. In: Clijsters, H., de Proft, M., Marcelle, R., van Pouche, M. (Eds.). *Biochemical and Physiological Aspects of Ethylene Production in Lower and Higher Plants*. Kluwer, Dordrecht, The Netherlands, 184-259.
- Klein, J.D. and Lurie, S.** 1990. Prestorage heat treatment as a means of improving poststorage quality of apples. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 115, 255-259.

- Klein, J.D. and Lurie, S.** 1992. Heat treatments for improved postharvest quality of horticultural crops. *HortTechnology*, 2, 316-320.
- Koukounaras, A., Diamantidis, G., Sfakiotakis, E.** 2008. The effect of heat treatment on quality retention of fresh-cut peach. *Postharvest Biology and Technology*, 48, 30-36.
- Labib, A. A. S., El-Ashwah, F. A., Omran, H. T., Askar, A.** 1995. Heat-inactivation of mango pectinesterase and polygalacturonase. *Food Chemistry*, 53, 137-142.
- Lakshminarayana, S., Subhadra, N.V., Subramanyam, H.** 1970. Some aspects of developmental physiology of mango fruit. *Journal of Horticultural Sciences*, 45, 133-142.
- Lam, P.F.** 1987. Respiration rates and ethylene production of ripening Harumanis mangoes after different chilling storage periods. *Mardi Res. Bull.* 95, 15-19.
- Lamikanra, O., Bett-garber, K., Ingram, D., Watson, M.** 2005. Use of mild heat pre-treatment for quality retention of fresh-cut cantaloupe melon. *Journal of Food Science*, 70, 53-57.
- Lamikanra, O., Watson, M. A.** 2007. Mild heat and calcium treatment effects on fresh-cut cantaloupe melon during storage. *Food Chemistry*, 102, 1383-1388.
- Lazan, H., Ali, Z. M., Liang, K. S., Yee, K. L.** 1989. Polygalacturonase activity and variation in ripening of papaya fruit with tissue depth and heat treatment. *Physiologia Plantarum*, 77, 93-98.
- Lazan, H., Ali, Z., Lee, K., Voon, J., Chaplin, G.** 1986. The potential role of polygalacturonase in pectin degradation and softening of mango fruit. *Asean Food J.* 2, 93-95.
- Lazan, H., Ali, Z.M., Selamat, M.K.** 1993. The underlying biochemistry of the effect of modified atmosphere and storage temperature on firmness decreased in papaya. *Acta Horticulturae*. 343, pp. 141-147.
- Le Queré, J.M., Baron, A., Drilleau, J.F.** 2007. Des fruits aux jus de fruits et produits fermentés in : Science des Aliments, Tec et Doc Editions. Paris.
- Lee, K.W., Kim, D.O., Lee, H.J., Lee, C.Y.** 2003. Major phenolics in apple and their contribution on the total antioxidants capacity. *Journal of Food Chemistry*, 51, 6516-6520.
- Lee, L., Arul, J., Lencki, R., Castaigne, F.** 1995. A review of modified atmosphere packaging and preservation of fresh-fruits and vegetables: physiological basis and practical aspects. Part 1: *Packaging Technology and Science*, 8, 315-331.
- Lee, S.K., and Kader, A.A.** 2000. Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops. *Postharvest Biology and Technology*, 20, 207-220.

- Li, P. and Barth, M.M.** 1998. Impact of edible coating on nutritional and physiological changes in lightly-processed carrots. *Postharvest Biology and Technology*, 14, 51–60.
- Lichtenthaler, H.K. and Buschmann, C.** 2001. Chlorophylls and carotenoids: measurement and characterization by UV–VIS spectroscopy. *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*. Unit F4 3, 1–8.
- Limbanyen, A, Brecht, J.K., Sargent, S.A., Bartz, J.A.** 1998. Fresh-cut mango fruit slices. *HortScience*, 33:457 (Abstract).
- Loiza-Velarde, J.G., Manggrich, M.E., Campos-Vargas, R., Saltveit, M.E.** 2003. Heat shock reduces browning of fresh-cut celery petioles. *Postharvest Biology and Technology*, 27, 305-311.
- Lopez, C.A. F., and Gomez, P. A.** 2004. Comparison of color indexes for tomato ripening. *Horticultura Brasileira*, 22, 534- 547.
- Lourdes-Singleton, A.J.** 2003. Influence of thermal postharvest stress in mango (*Mangifera indica*) polyphenolics during ripening. Master of Science thesis. University of Florida.
- Lu, J., Vigneault, C., Charles, M.T., Raghavan, G.S. V.** 2007. Heat treatment application to increase fruit and vegetable quality. *Stewart Postharvest Review*.3:4.
- Luna-Guzman, I., Cantwell, M., Barrett, D.M.** 1999. Fresh-cut cantaloupe: effects of CaCl₂ dips and heat treatments on firmness and metabolic activity. *Postharvest biology and Technology*, 17, 201-213.
- Luo, Z.** 2006. Extending shelf-life of persimmon (*Diospyros kaki* L.) fruit by hot air treatment. *Eur. Food Res. Technol.* 222, 149–154.
- Lurie, S.** 1998. Postharvest heat treatments of horticultural crops. *Horticultural Reviews*, 22, 91–121.
- Lurie, S.** 1998. Postharvest heat treatments. *Postharvest Biology and Technology*, 14, 257-269.
- Lurie, S.** 2006. The effect of high temperature treatment on quality of fruits and vegetables. *Acta Horticulturae*. 712, 165-174.
- Lurie, S., and Sabehat, A.** 1997. Prestorage temperature manipulations to reduce chilling injury in tomatoes. *Postharvest Biology and Technology*, 11, 57-62.
- Lurie, S., Klein, J.D.** 1991. Acquisition of low temperature tolerance in tomatoes by exposure to high temperature stress. *J. Am. Soc. Hort. Sci.*, 116, 1007-1012.
- M. Reyne.** 1991. Les plastiques: polymères, transformations et applications. Hermes, Paris.
- Ma, S., Silva, J.L, Hearnberger, J.O., Garner, Jr, J.O.** 1992. Prevention of enzymatic darkening in frozen sweet potatoes (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.) by water blanching:

relationship among darkening, phenols and polyphenol oxidase activity. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 40, 864-867.

Macheix, J.J. 1974. Les esters hydroxycinnamiques de la pomme: identification, variations au cours de la croissance du fruit et métabolisme. Thèse d'Etat, Paris. 168 p.

Macheix, J.J., Fleuriet, A., Sarni-Manchado, P. 2006. Composés phénoliques dans la plante : structure, biosynthèse, répartition et rôles, in, Les Polyphénols en Agroalimentaire. Tec and Doc Edition. Paris.

Malakou , A. and Nanos, G.D. 2005. A combination of hot water treatment and modified atmosphere packaging maintains quality of advanced maturity 'Caldesi 2000' nectarine and 'Royal Glory' peaches. *Postharvest Biology and Technology*. 38(2), 106-114.

Maldonado, R., Molina-Garcia, A.D., Sanchez-Ballestra, M.T, Escribano, M.I., Merodio, C. 2002. High CO₂ atmosphere modulating the phenolic response associated with cell adhesion and hardening of Annona cherimola fruit stored at chilling temperature. *Journal of Agricultural and food Chemistry*, 50(26), 7564-7569.

mango fruit. *Phytochemistry* , 38, 1109–1114

Marrero, A. and Kader, A.A. 2006. Optimal temperature and modified atmosphere for keeping quality of fresh-cut pineapples. *Postharvest Biology and Technology*. 39(2), 163-168.

Martínez-Ferrer, M., Harper, C., Pérez-Muñoz, F. and Chaparro, M. 2002. Modified atmosphere packaging of minimally processed mango and pineapple fruits. *Food Engineering and Physical properties*, 67, 3365–3371.

Martin-Belloso, O. and Soliva-Fortuny, R. 2006. Effect of modified atmosphere packaging on the quality of fresh-cut fruits. *Stewart Postharvest Review*, 1-3.

Masibo, M., and He, Q. 2008. Major mango polyphenols and their potential significance to human health. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 7, 309-319.

Matsuno, H. and Uritani, I. 1972. Physiological behaviour of peroxidase isozymes in sweet potato root tissue injured by cutting or with black root. *Plant Cell Physiology*, 13,1099-1101.

Maxie, E., Mitchell, G., Sommer, N., Snyder, G., Rae, H. 1974. Effects of elevated temperatures on ripening of 'Bartlett' pear. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 99, 344-349.

McCarthy, M.A., and Matthews, R.H. 1994. Nutritional quality of fruits and vegetables subject to minimal processed. In: Wiley, R.C. (Ed.), Minimally Processed Refrigerated Fruits and Vegetables. Chapman and hall, New York, p. 313.

Medlicott, A P., Reynolds, S. B., Thompson, A. K. 1986. Effects of temperature on the ripening of mango fruit (*Mangifera indica* L. var. 'Tommy Atkins'). *J. Sci. Food Agric.* 37, 469-474

- Mercandante, A.Z., and Rodriguez-Amaya, D.B.** 1998. Effects of ripening, cultivar differences and processing on the carotenoid composition of mango. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46, 128-130.
- Mertz, C., Gancel, A.L., Gunata, Z., Alter, P., Mayer, C-D., Vaillant, F., Perez, A.M., Ruales, J. Brat, P.** 2008. Phenolic compounds, carotenoids and antioxidant activity of three tropical fruits. *Journal of Food Composition and Analysis*, 22(5), 381-387.
- Mohd Ali, Z., Armugam, S., Lazan, H.** 1995. β -Galactosidase and significance in ripening mango fruit. *Phytochemistry*, 38 (5), 1109-1114.
- Morais, P. L. D., Miranda, M. R. A., Lima, L. C. O., Alves, J. D., Alves, R. E.Silva, J. D.** 2008. Cell wall biochemistry of Sapodilla (*Manilkara zapota*) submitted to 1-methylcyclopropene. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 20, 85-94.
- Morin-Savy, S.** 2005. Biosynthèse de caroténoïdes aromatiques hydroxylés par des bactéries non photosynthétiques : Des carotènes aux xanthophylles. Thèse de doctorat. Université de Bretagne Occidentale.
- Naidu K.A.** 2003. Vitamin C in human health and disease is still a mystery ? An overview. *Nutr. J.* 21, 2-7.
- Ndiaye, C., Xu, S-Y., Wang, Z.** 2009. Steam blanching effect on polyphenoloxidase, peroxidase and colour of mango (*Mangifera indica* L.) slices. *Food Chemistry*, 113, 92-95.
- Nelson, N.** 1944. A photometric adaptation of Somogyi method for the determination of glucose. *Journal of Biology and Chemistry*, 135, 375-380.
- Ngarmsak, M., Delaquis, P., Toivonen, P., Ngarmsak, T., Ooraikul, B. Mazza, G.** 2006. Microbiology of fresh-cut mangoes prepared from fruit sanitised in hot chlorinated water. *Food Science Technology and International*, 12, 95–103.
- Nicholass, F.J, Smith, C.J, Schuch, W., Bird, C.R, Grierson D.** 1995. High levels of ripeningspecific reporter gene expression directed by tomato fruit polygalacturonase gene flanking regions. *Plant Mol. Biol.*, 28: 423-35
- Nicoli, M.C., Anese, M., Severini, C.** 1994. Combined effects in preventing browning reactions in minimally processed fruit. *Journal of Food Quality*, 17, 221-229.
- No, H.K., Meyers, S.P., Prinyawiwatkul, W., Xu, Z.** 2007. Application of chitosan for improvement of quality and shelf life of foods: a review. *Journal of Food Science*, 72, 87–100.
- Obenland, D.M., Arpaia, M.L., Aung, L.H.,** 1999. Quality of nectarine cultivars subjected to forced-air heat treatment for Mediterranean fruit fly disinfestations. *J. Hort. Sci. Biotechnol.* 74, 553–555.

- Palmer-Wright, K. and Kader, A.A.** 1997. Effect of controlled atmosphere storage on the quality and carotenoid content of sliced persimmons and peaches. *Postharvest Biology and Technology*, 10, 89-97.
- Parkin, L. Maragoni, A., Jackman, R.L., Yada, R.Y., Stanley, D.W.** 1989. Chilling injury. A review of possible mechanism. *Journal of Food Biochemistry*, 13, 127-152.
- Paull, R. E.Jung Chen, N.** 2000. Heat treatment and fruit ripening. *Postharvest Biology and Technology*, 21, 21-37.
- Peng, L. and Jiang, Y.** 2004. Effects of heat treatment on the quality of fresh-cut Chinese water chestnut. *International Journal of Food Science and Technology*, 39, 143-148.
- Pesis, E., Ahronii, D., Aharon, Z., Ben-Arie, R., Ahroni, N., Fuchs, Y.** 2000. Modified atmosphere and modified humidity packaging alleviates chilling injury symptoms in mango fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 19(1), 93-101.
- Pessoa, J. D. C.Calbo, A. G.** 2004. Pressure measurement using thermal properties of materials. *Review of Scientific Instruments*, 75, 2213-2215.
- Pittia, P., Nicoli, M. C., Comi, G.Massini, R.** 1999. Shelf-life extension of fresh-like ready-to-use pear cubes. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 79, 955-960.
- Plotto, A., Goodner, K.L., Baldwin, E.** 2004. Effect of polysaccharide coating on quality of fresh-cut mangoes (*Mangifera indica*). *Proceeding of the Florida State Horticultural Society*, 117, 382-388.
- Poovaiah, B .W.** 1986. Role of calcium in prolonging storage life of fruits and vegetables. *Food Technology*, 40, 86-89.
- Porat, R., Pavoncello, D., Peretz, J., Ben-Yehoshua, A.S. Lurie, S.** 2000. Effects of various heat treatments on the induction of cold tolerance and the postharvest qualities of 'Star Ruby Grapefruit'. *Postharvest Biology and Technology*, 18, 159-165.
- Prahba, T.N., and Patwadhan, M.V.** 1986. Endogenously oxidizable polyphenols of mango, sapota and banana. *Acta Alimentaria*, 15, 123-128.
- Pressey, R.Avants, J. K.** 1973. Separation and Characterization of Endopolygalacturonase and Exopolygalacturonase from Peaches. *Plant Physiol.*, 52, 252-256.
- Rattanapanone, N., Lee, Y., Wu, T., Watada, A.E.** 2001. Quality and microbial changes of fresh-cut mango cubes held in controlled atmosphere. *HortScience*, 36, 1091-1095.
- Rico, D., Martin-Diana, AB, Barat, J.M., Barry-Ryan, C.** 2007. Extending and measuring the quality of fresh-cut fruit and vegetables: a review. *Trends in Food Science and Technology*, 18, 373-386.

- Rocculi, P., Romani, S., Rosa, M. D.** 2005. Effect of MAP with argon and nitrous oxide on quality maintenance of minimally processed kiwifruit. *Postharvest Biology and Technology*, 35(3), 319-328.
- Rodriguez-Amaya, D. B.** 1989. Critical review of vitamin A determination in plant foods. *J Micronutr Anal*, 5, 191-225.
- Rodriguez-Amaya, D.B.** 2001. A Guide to Carotenoids Analysis in Foods. P. 64. Washington: ILSI Press.
- Rodriguez-Amaya, D.B., Kimura, M., Godoy, H.T., Amaya-Farfan, J.** 2008. Updated Brazilian database on food carotenoids: Factors effecting carotenoid composition. *Journal of Food composition and Analysis*, 21, 445-463.
- Rosen, J.C. and Kader. A.A.** 1989. Postharvest physiology and quality maintenance of sliced pear and strawberry fruits. *J. Food Sci.* 54 (3):656-659.
- Sagoo, S., Board, R., Roller, S.** 2002. Chitosan inhibits growth of spoilage micro-organisms in chilled pork products. *Food Microbiology*, 19, 175–182.
- Saladie, M., Matas, A. J., Isaacson, T., Jenks, M. A., Goodwin, S. M., Niklas, K. J., Xiaolin, R., Labavitch, J. M., Shackel, K. A., Fernie, A. R., Lytovchenko, A., O'Neill, M. A., Watkins, C. B.** **Rose, J. K. C.** 2007. A Reevaluation of the Key Factors That Influence Tomato Fruit Softening and Integrity 10.1104/pp.107.097477. *Plant Physiol.*, 144, 1012-1028.
- Salcini, M.C. and R. Massantini.** 2005. Minimally processed fruits: an update on browning
- Salman, A., Goupil, P., Filgueiras, H., Charles, F., Ledoigt, G., Sallanon, H.** 2007. Controlled atmosphere and heat shock affect PAL1 and HSP90 mRNA accumulation in fresh-cut endive (*Cichorium intybus* L.). *Eur. Food Res. Technol.* 227, 721– 726.
- Saltveit, M.E.** 1993. A summary of CA and MA requirements and recommendations for the storage of harvested vegetables. Proceeding of the 6th National CA Conference (pp. 800-818). Cornell University, Ithaca, NY.
- Saltveit, M.E.** 1997. Physical and physiological changes in minimally processed fruits and vegetables. In : Tomas-barberan, F.A., Robins, R.J. (Eds), Photochemistry of Fruit and Vegetables. Oxford University Press, New York, pp. 205-220.
- Saltveit, M.E.** 1998. Heat-shock and Fresh-cut lettuce. *Perishables Handling Q.*, 95, 5-6
- Saltveit, M.E.** 2000. Wound induced changes in phenolic metabolism and tissue browning are altered by heat shock. *Postharvest Biology and Technology*, 21, 61-69

- Saltveit, M.E.** 2010. Synthesis and Metabolism of Phenolic compounds in Fruits and Vegetables Phytochemicals: chemistry, Nutritional Value and Stability. Wiley-Blackwel Publishing.
- Sandhya,** 2010. Modified atmosphere packaging of fresh produce: Current status and future needs. *LWT-Food Science and Technology*, 43, 381-392.
- Scheiber, A., Ullrich, W., Carle, R.** 2000. Characterization of polyphenols in mango puree concentrate by HPLC with diode array and mass spectrometric detection. *Inn Food Sci Emerg Technol*, 1, 161-166.
- Segarra-Carmona, A.E., Franqui, R.A., Ramirez-Ramos, L.V., Santaigo, L.R., Torres-Rivera, C.N.** 1990. Hotwater dip treatments to destroy *Anastrepha obliqua* larvae (Diptera: Tephritidae) in mangoes from Puerto Rico. *J. Agric. Univ. Puerto Rico* 74, 441–447.
- Selvaraj, Y., Kumar, R., Pal, D.K.** 1989. Changes in sugars, organic acids, amino acids, lipid constituents and aroma characteristics of ripening mango. *Journal of Food Science and Technology*, 26, 308-313.
- Shahidi, F., Arachchi, J.K.V., Jeon, Y.L.** 1999. Food application of chitin and chitosans. *Trends in Food Science and Technology*, 10, 37–51.
- Shalom, N.B., Hanzon, J., Pinto, R., Lurie, S.** 1996. Cell wall changes and partial prevention of fruit softening in prestorage heat treated ‘Anna’ apples. *J. Sci. Food Agric.* 72, 231–234.
- Sharp, J.L.** 1994. Hot water immersion. In: Sharp, J.L., Hallman, G.j. (Eds.), Quarantine treatments for pests of food plants, westview press, Boulder, CO, USA, pp. 133-147.
- Shashirekha, M.S., Patwardhan, M.V.** 1976. Changes in amino acids sugars and nonvolatile organic acids in a ripening mango fruit (*Mangifera indica* Badami variety). *Lebens. Wiss. Technol*, 9, 306-370.
- Shieber, A., Ulrich, W., Carle, R.** 2000. Characterization of polyphenols in mango puree concentrate by HPLC with diode array and mass spectrometric detection. *Innov. Food. Emerg. Technol.*, 161–166.
- Silva, A.P., do Nascimento, J.R., Lajolo, F.M., Cordenunsi, B.R.** 2008. Starch mobilization and sucrose accumulation in the pulp of Keitt mangoes during postharvest ripening. *Journal of Food Biochemistry*, 32, 384-395.
- Singh, P.Dwivedi, U. N.** 2008. Purification and characterisation of multiple forms of polygalacturonase from mango (*Mangifera indica* cv. Dashehari) fruit. *Food Chemistry*, 111, 345-349.

- Siriphanich J, and Kader. A.** 1985. Effects of CO₂ on cinnamic acid-4-hydroxylase in relation to phenolic metabolism in lettuce tissue. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 110, 333-335.
- Sivakumar, D. and Korsten, L.** 2006. Influence of modified atmosphere packaging and postharvest treatments on quality retention of litchi cv. Mauritius. *Postharvest Biology and Technology*, 41(2), 135-142.
- Sivertsvik, M., Rosnes, J.T., Bergslien, H.** 2002. Modified atmosphere packaging. In: T. Ohlsson, and N. Bengtsson (Eds.). *Minimal processing technologies in the food industry*. Cambridge, UK: Woodhead publishing.
- Soda, I., Hasegawa, T., Susuki, T., Ogura, N.** 1987. Changes in polyuronides in Kiwi-fruit during ripening. *Agricultural Biology and Chemistry*, 49 (8), 869-876.
- Soliva-Fortunay, R.C., Martin-Belloso, O.** 2003. New advances in extending the shelf life of fresh-cut fruits: a review. *Trends in Food Science and Technology*, 14, 341–353.
- Soliva-Fortunay, R.C., Ricart-Coll, M., Martin Belloso, O.** 2005. Sensory quality and internal atmosphere of fresh-cut Golden Delicious apples. *International Journal of Food Science and Technology*, 40, 369-375.
- Soliva-Fortunay, R.C., Oms-Oliu, G., Martín-Belloso, O.** 2006. Effects of Ripeness Stages on the Storage Atmosphere, Color, and Textural Properties of Minimally Processed Apple Slices. *Journal of Food Science*, 67(5), 1958-1963.
- Sozzi, G.O., Cascone, O., Frascina, A.A.** 1996. Effect of a high temperature stress on endo- β -mannase and α - and β -galactosidase activities during tomato fruit ripening. *Postharvest Biology and Technology*, 9, 49-63.
- Steiner, A., Abreu, M., Correia, L. c., Beirão-da-Costa, S., Leitão, E., Beirão-da-Costa, M., Empis, J.Moldão-Martins, M.** 2006. Metabolic response to combined mild heat pre-treatments and modified atmosphere packaging on fresh-cut peach. *European Food Research and Technology*, 222, 217-222.
- Sudhakar, D.V. and Maini, S.B.** 1994. Stability of carotenoids during storage of mango pulp. *Journal of Food Science and Technology*, 31, 228-230.
- Suparian, and Itoh, K.** 2003. Combined effects of hot water treatment (HWT) and modified atmosphere packaging (MAP) on quality of tomatoes. *Packaging Technology and Science*, 16(4), 171-178.
- Suyatma, N.E., Tighzert, I., Copinet, A., Coma, V.** 2005. Effects of hydrophilic plasticizers on mechanical, thermal and surface properties of chitosan films. *J. Agric Food Chem.*, 53, 3950-3957.

- Taugbodhitham, A.K., Jones, G.P., Walhlqvist, M.L., Briggs, D.R.** 1998. Evaluation of method for the analysis of carotenoids in fruits and vegetables. *Food Chemistry*, 63, 577-584.
- Teixeira, G.H.A., Durigan, J.F., Alves, R.E., O'Hare, T.J.** 2007. Use of modified atmosphere to extend shelf life of fresh-cut carambola (*averrhoa carambola* L.cv. Fwang Tung). *Postharvest Biology and Technology*, 44, 80-85.
- Tharanathan, R.N.**, 2003. Biodegradable films and composite coating: past, present and future. *Trends in Food Science and Technology*, 14, 71-78.
- Thommohaway, C., Kanlayanarat, S., Uthairatanakij, A., Jitareerat, P.** 2007. Quality of fresh-cut guava (*Psidium guajava* L.) as affected by chitosan treatment. *Acta Horticulturae*, 746, 449-454.
- Tijksens, L. M. M., Rodis, P. S., Hertog, M. L. A. T. M., Proxenia, N., Van Dijk, C.** 1999. Activity of pectin methyl esterase during blanching of peaches. *Journal of Food Engineering*, 39, 167-177.
- Toivonen, P. M. A. Brummell, D. A.** 2008. Biochemical bases of appearance and texture changes in fresh-cut fruit and vegetables. *Postharvest Biology and Technology*, 48, 1-14.
- Tsuji, M., Harakawa, H., Komiyama, Y.** 1984. Changes in shelf life and quality of plum fruit during storage at high temperature. *J. Jpn. Soc. Hort. Sci.*, 52, 469-473.
- Vamos-Vigyazo L. and Mihalyi K.** 1976. Review of the International Litterature on Diphenol Oxidases of Peaches Cultivars. *Confructa*, 6, 234-241.
- Van den Berg, H., Faulks, R., Granado, H.F., Hirschberg, J., Olmedilla, B., Sandmann, G., Southon, S., Stahl, W.** 2000. The potential for the improvement of carotenoid levels in foods and the likely systemic effects. *J. Sci. Food Agric.* 80, 880-912.
- Vargas, M., Chiralt, A., Albors, A., Gonzalez-Martinez, C.** 2009. Effect of chitosan-based edible coatings applied by vacuum impregnation on quality preservation of fresh-cut carrot. *Postharvest Biology and Technology*, 51, 263-271.
- Varoquaux, P.** 2002. Fruits frais prêts à l'emploi dits de 4^{ème} gamme, in : Technologie de transformation des fruits. Tec et Doc Editions.
- Varoquaux, P. and Mazollier, J.** 2002. Overview of the European fresh-cut produce industry. In "Fresh-cut fruits and vegetables", ed. Olusola Lamikanra, 21-43.
- Varoquaux, P. and Wiley, R.** 1994. Biological and biochemical changes in minimally processed refrigerated fruits and vegetables. In: Wiley, R.C. (Ed.), Minimally Processed Refrigerated Fruits and Vegetables. Chapman and Hall, New York, pp. 226-268.
- Varoquaux, P., Gouble, B., Ducamp, M.N. and Self, G. (2002).** Procedure to optimize modified atmosphere packaging for fruit. *Fruits* 57, 313-322.

- Veau, E. J. I., Gross, K. C., Huber, D. J., Watada, A. E.** 1993. Degradation and solubilization of pectin by β -galactosidases purified from avocado mesocarp. *Physiologia Plantarum*, 87, 279-285.
- Vicente, A. R., Costa, M. L., Martinez, G. A., Chaves, A. R., Civello, P. M.** 2005. Effect of heat treatments on cell wall degradation and softening in strawberry fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 38, 213-222.
- Vilas-Boas, E.V, and Kader, A.A.** 2006. Effect of atmospheric modification, 1-MCP and chemicals on quality of fresh-cut banana. *Postharvest Biology and Technology*, 39, 155-162
- Vilikova, V., Yordanove, I., Edreva, A.** 2000. Oxidative stress and some antioxidant systems in acid rain-treated bean plants protection role of exogenous polyamines. *Plant Science*. 151, 59–66.
- Vina, S. Z. and Chavez, A. R.** 2008. Effect of heat treatment and refrigerated storage on antioxidant properties of pre-cut celery (*Apium graveolens* L.). *International Journal of food science and Technology*, 43, 44-51.
- Vinci, G., Botre, F., Mele, G., Ruggieri, G.** 1995. Ascorbic acid in exotic fruits: a liquid chromatographic investigation. *Food Chem.* 53, 211–214.
- Wahid, A., Gelani, S., Ashraf, M., Foolad, M.R.** 2007. Heat tolerance in plants: an overview. *Environmental and Experimental Botany*, 61, 199-223.
- Wang, B., Wang, J., Liang, H., Yi, J., Zhang, J., Lin, L., Wu, Y., Feng, X., Cao, J., Jiang, W.** 2007. Reduced chilling injury in mango fruit by 2,4-dichlorophenolxyacetic acid and the oxidant response. *Postharvest Biol. Technol.* 48, 172–181.
- Wang, J., Jiang W., Wang, B., Liu, S., Gong, Z., Luo, Y.** 2007. Partial properties of polyphenol oxidase in mango (*Mangifera indica* L. cv "Tainong") pulp. *Journal of Food Biochemistry*, 31(1), 45-55.
- Wang, J., Wang, B., Jiang, W., Zhao, Y.** 2007. Quality and shelf life of mango (*Mangifera indica* L. cv. Tainong) coated by using chitosan and polyphenols. *Food Science and Technology International*, 13, 317–322.
- Watada, A.E., and Qi, L.** 1999. Quality of fresh-cut produce. *Postharvest Biology and Technology*, 15, 201-205.
- Wiley, R.C.** 1997. Preservation methods of minimally processed refrigeration foods and vegetables. In: R.C. Wiley (Ed.), *Minimally processed refrigerated fruit and vegetables* (66-134). New York: Chapman and Hall.

- Wirth, D., Gustin, P., Drion, P.V., Dessy-Doise, C., Christians, E.** 2002. Les protéines du choc thermique (heat shock proteins). I: Classification, structure, fonctions et implications dans les processus pathologiques. *Ann. Med. Vet.*, 146, 201-216.
- Worakeeratikal, W., Srilaong, V., Uthairatanakij, A., Jitareerat, P.** 2007. Effects of hydrocooling and chitosan coating on browning and physiological changes in fresh-cut rose apple. *Acta Horticulturae*, 746, 427-434.
- Yahia, E.M., Soto-Zamora, G., Brecht, J.K., and Gardea, A.**(2007). Postharvest hot air treatment effects on the antioxidant system in stored mature-green tomatoes. *Postharvest Biol. Technol.* 44, 107-115.
- Yashoda, H. M., Prabha, T. N., Tharanathan, R. N.** 2007. Mango ripening - Role of carbohydrases in tissue softening. *Food Chemistry*, 102, 691-698.
- Yeminicioglu, A., Ozkan, M., Cemeroglu, B.** 1999. Some characteristics of polyphenol oxidase and peroxidase from Taro (*Colocasia antiquorum*). *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 23, 425-430.
- Yoshida, O., Nakagawa, H., Ogura, N., Sato, T.** 1984. Effect of heat treatment on the development of polygalacturonase activity in tomato fruit during ripening. *Plant Cell Physiol.* 25, 505-509.
- Yu, Y.B., Adams, D.O., Yang, S.F.** 1980. Inhibition of ethylene production by 2,4-dinitrophenol and high temperature. *Plant Physiol*, 66, 286-290.
- Zhang, D.L. and Quantick, P.C.** 1997. Effects of chitosan coating on enzymatic browning and decay during postharvest storage of litchi (*Litchi chinensis* Sonn.) fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 12, 195-202.
- Zhu, X., Wang, Q., Cao, J., Jiang, W.** 2008. Effects of chitosan coating on postharvest quality of mango (*Mangifera indica* L. cv. Tainong) fruits. *Journal of Food Processing and Preservation*, 32, 770-784

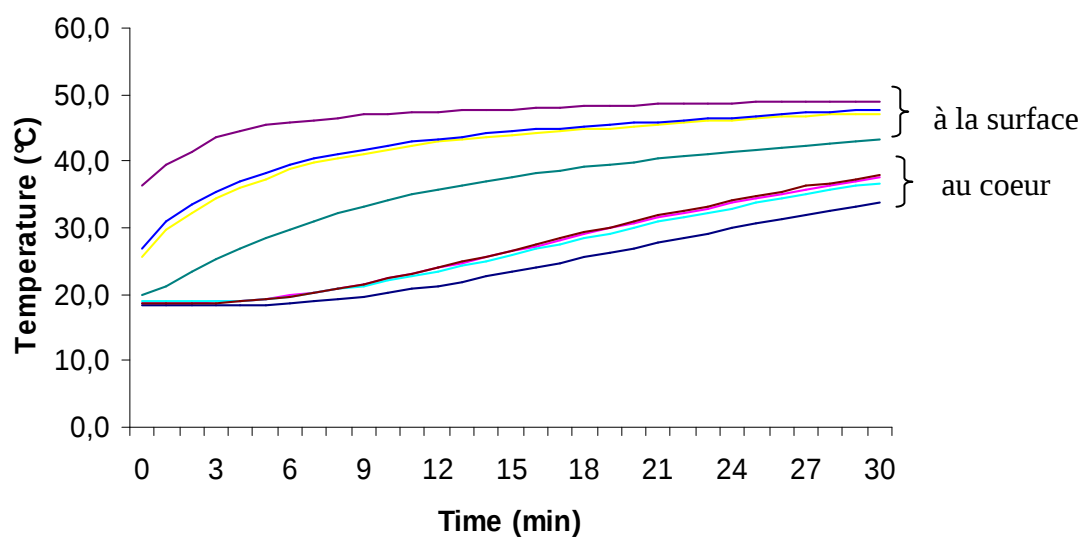
ANNEXES

Annexe 1 : Effet des traitements thermiques sur l'intensité respiratoire (mmole.h-1.Kg-1) des mangues Keitt et Kent.

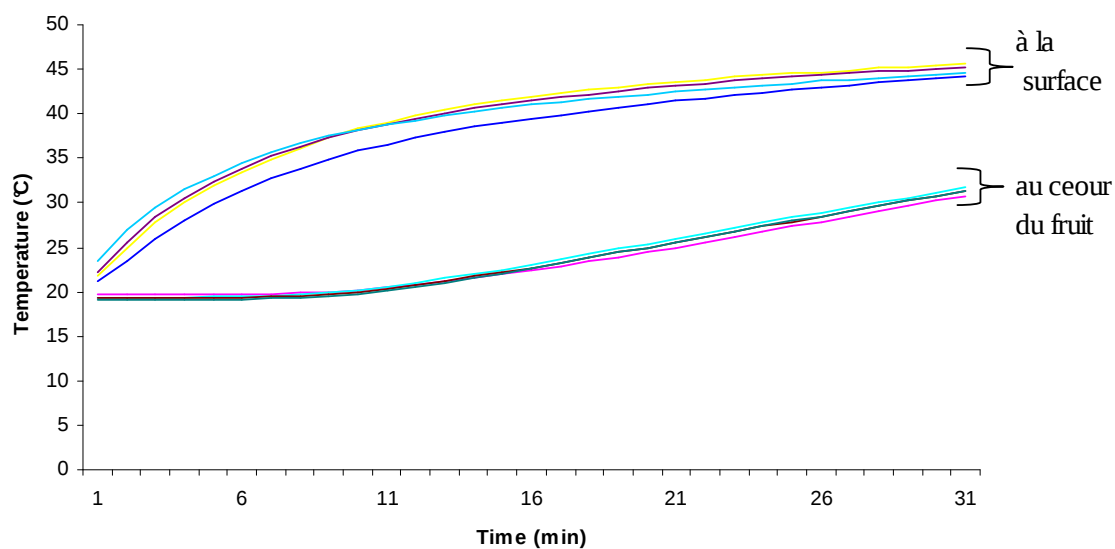
	IR O2		IR CO2		QR	
	Keitt	Kent	Keitt	Kent	Keitt	Kent
Contrôle	2,79 ± 0.07	3.03 ± 0.18	2,37 ± 0.26	2.99 ± 0.21	0.85 ± 0.11	0.99 ± 0.01
46°C-30min	2,41 ± 0.38	2.4 ± 0.29	2.42 ± 0.28	1.19 ± 0.63	1,03 ± 0.28	0.78 ± 0.17
46°C-75min	2,86 ± 0.72	3.26 ± 0.16	3.0 ± 0.84	2.91 ± 0.09	1,04 ± 0.03	0.89 ± 0.03
50°C-30min	1,96 ± 0.45	2.75 ± 0.18	2,31 ± 0.34	2.2 ± 0.23	1,20 ± 0.13	0.8 ± 0.06
50°C-75min	2,53 ± 0.44	3.13 ± 0.31	2.62 ± 0.25	3.17 ± 0.31	1,04 ± 0.08	0.98 ± 0.11

Annexe 2: Transfert de la température à travers le fruit de mangue (calibre 8) durant le traitement thermique 50 °C / 30 min (avec des thermocouple insérés à 1 cm pour les mesures à la surface et à 3.2 cm pour les mesures au cœur du fruit).

1- Mangue Keitt (poids moyen 350 g)



2- Mangue Kent (poids moyens 540 g)



Résumé

La conservation des mangues 4^{ème} gamme est limitée par le brunissement enzymatique et la perte de fermeté dus aux différentes opérations de transformation. Cette thèse propose une nouvelle approche pour améliorer la conservation de mangues 4^{ème} gamme : l'application de traitements thermiques par immersion et/ou la conservation sous atmosphère modifiée : passive ou active (5% O₂ – 5 % CO₂) ou des enrobages (chitosane). Ce travail a permis tout d'abord de déterminer un couple température / temps optimal: 50 °C / 30 min qui permet de maintenir la qualité de plusieurs variétés de mangue (Keitt, Kent, Tommy Atkins). Les effets du traitement thermique sur l'intensité respiratoire, la couleur, la fermeté, les teneurs en antioxydants : vitamine C, caroténoïdes et phénols totaux, et sur l'activité de plusieurs enzymes (pour la fermeté : PME, PG, β -GAL ; et pour la couleur : PPO et PAL) ont été étudiés. Ces travaux ont montré que durant 9 jours à 6 °C, le traitement thermique maintient principalement la couleur par réduction de l'activité de la PPO et réduit la perte en fermeté par réduction de l'activité des enzymes pectolytiques (PME et β -GAL). Par ailleurs, les atmosphères modifiées semblent moins efficaces pour le maintien de la couleur et de la fermeté des mangues 4^{ème} gamme. L'association du traitement 50°C/ 30 min avec une conservation sous atmosphère modifiée apporte peu d'effets additionnels et a même parfois un effet inhibiteur.

Mots clés : Mangue, traitement thermique, brunissement enzymatique, perte de fermeté, conservation

Abstract

The storage of fresh-cut mangoes is limited by the enzymatic browning and the loss of firmness due to the various operations of process. This work proposes a new approach to improve the storage of fresh-cut mangoes by: application of heat treatments by dipping with, or not, a storage under modified atmosphere: passive or active (5% O₂ - 5% CO₂) or using coatings (chitosane). The first step of this work was to determine the treatment 50 °C/30 min as an optimal treatment which maintains the quality of several varieties of mango (Keitt, Kent, Tommy Atkins). Effects of the heat treatment on the respiratory intensity, the color, firmness, the contents of antioxidants: vitamin C, carotenoids and phenols total, and on the activity of several enzymes (PME, PG, β -GAL: for firmness; and PPO and PAL for colour changes) were studied. This work showed that during 9 days at 6 °C, the heat treatment maintains mainly the color by reduction of the activity of PPO and reduces the loss in firmness by reduction of the activity of the pectolytic enzymes (PME et β -GAL). In addition, the modified atmospheres seem less effective for the maintenance of the color and the firmness of fresh-cut mangoes. Combination of heat treatment with a modified atmosphere storage and have less additional effects and has even sometimes an inhibiting effect.

Keywords: Mango, heat treatment, enzymatic browning, firmness loss, storage