



Studiorum Universitatum
Docentium Congressus



Università degli Studi
Sassari

Atti del Convegno Internazionale

Produzioni alimentari e qualità della vita

Sassari (Italia), 4-8 Settembre 2000

Il volume

Proceedings of the International Congress

Food production and the quality of life

Sassari (Italy), September, 4-8, 2000

volume II

RIDUZIONE DELLE ALTERAZIONI NEI PRODOTTI ORTOFRUTTICOLI MINIMAMENTE TRASFORMATI

REDUCING ALTERATIONS OF MINIMALLY PROCESSED FRUITS AND VEGETABLES

PIGA A. - AGABBIO M.¹

Riassunto

La frutta e gli ortaggi subiscono diverse operazioni di preparazione, conservazione e trasformazione prima del consumo. Queste pratiche portano ad uno scadimento qualitativo del prodotto originario, pertanto il consumatore giudica il prodotto fresco migliore rispetto a quello trasformato e conservato. Perciò, le nuove tecnologie di trasformazione delicate come il "minimal processing", sono preferite dai consumatori. Tale tecnologia prevede la pelatura ed il taglio, prima del confezionamento e della conservazione refrigerata. Il danno meccanico apportato con le operazioni di taglio innesca una serie di eventi concatenati che portano ad uno scadimento qualitativo (perdita di colore, consistenza e caratteristiche sensoriali) più accentuato, rispetto ai prodotti integri. Il maggiore ostacolo da affrontare è, pertanto, il contenimento degli effetti indesiderati del taglio. Una corretta gestione delle variabili che influenzano la risposta al taglio permette un prolungamento della shelf-life di questi prodotti.

Summary

Fruits and vegetables undergo handling, storage and processing before consumption. These practices result in a quality loss, thus the consumer prefers the product as fresh, rather than after processing and storage. As a consequence, mild technologies such as minimal processing have been gaining increasing interest of the consumers. Minimal processing involves peeling and cutting of the product before packaging and cold storage. Mechanical damage caused by cutting triggers a series of linked events, resulting in higher quality loss (colour, firmness and sensory pa-

¹ Dipartimento di Scienze Ambientali Agrarie e Biotecnologie Agro-Alimentari, Università degli Studi, Sassari.

rameters), than the product in the fresh state. Reducing undesirable effects of cutting is the main goal to achieve. A well-balanced management of cut related factors helps prolonging the shelf-life of minimally processed fruits.

1. Introduzione

I prodotti ortofrutticoli minimamente trattati (OMT), sono preparati in modo tale da mantenere la loro freschezza originaria pur fornendo al consumatore una maggiore facilità d'uso. La preparazione di tali prodotti include le fasi di selezione, lavaggio, taglio, triturazione, ecc. In seguito, il prodotto viene confezionato con pellicole di film plastico e quindi refrigerato, normalmente a temperature comprese tra 3 e 5°C. Il prodotto, essendo allo stato fresco, possiede una propria attività fisiologica, che viene alterata dalle operazioni di preparazione, che causano delle lesioni alle strutture cellulari del prodotto. La fisiologia di tali prodotti, pertanto, è quella tipica dei tessuti vegetali sottoposti ad uno stress di natura meccanica. Si evidenziano, infatti, un aumento del metabolismo respiratorio e della produzione di etilene e un'induzione del meccanismo di riparazione delle ferite. Altre conseguenze negative sono l'imbrunimento enzimatico, l'ossidazione lipidica e l'aumento della perdita d'acqua. I fattori che regolano l'intensità di tali risposte sono molteplici ed includono la varietà, lo stadio fisiologico, il tipo e la severità del taglio, la temperatura, la concentrazione di ossigeno ed anidride carbonica all'interno del confezionamento, la pressione di vapore e vari inibitori. È, pertanto, di fondamentale importanza ridurre al minimo le conseguenze dovute alle ferite, al fine di prolungare la shelf-life.

2. Conseguenze fisiologiche in seguito alla ferita

2.1 Induzione della sintesi di etilene, aumento del tasso respiratorio e variazioni della consistenza

Le ferite apportate sui tessuti scatenano un'elevata sintesi di etilene, generalmente nell'arco di un'ora, con picchi tra la sesta e la dodicesima ora [1, 2]. L'etilene da ferita può accelerare la senescenza di tessuti allo stadio vegetativo e promuovere la maturazione nei frutti climaterici, o accelerare la senescenza in alcuni ortaggi [3]. L'etilene può aumentare, inoltre, in base alla severità e alla zona della ferita. Il taglio su frutti climaterici può accelerare l'inizio della maturazione, con differenze di età fisiologica tra tessuti sani e feriti [4]. L'effetto del taglio differisce, inoltre, tra frutti climaterici e non climaterici [5]. Il tasso di etilene da ferita è generalmente più alto negli stadi pre-climaterici e climaterici, rispetto a quelli post-climaterici [2], mentre non ha nessun effetto sulla maturazione dei frutti non climaterici. L'incremento di etilene derivante dal taglio è associato, spesso, ad una crescita della respirazione. Infatti, sono interessati a catena un maggiore tasso di degradazione dell'amido e, in

seguito, vengono attivati il ciclo degli acidi tricarbossilici e la catena di trasporto degli elettroni [6, 7]. Anche il climaterio respiratorio può essere influenzato dal taglio. L'incremento respiratorio, può essere influenzato dalla severità e tipo di taglio effettuato e dalla specie considerata. Uno dei più importanti effetti negativi del taglio è la maggiore velocità di perdita di consistenza. Tale incremento è associato alla crescita della sintesi di etilene nei frutti climaterici quali il pomodoro [8], l'anguria [9], il kiwi e la banana [4].

2.2 Degradazione dei lipidi di membrana

Il taglio dei tessuti vegetali può causare la degradazione dei lipidi di membrana [10], con perdita di lipidi e della compartimentazione di enzimi e substrati. L'etilene da ferita può essere la causa di questo evento, in quanto aumenta la permeabilità delle membrane cellulari e riduce la sintesi di fosfolipidi [4]. La perdita di lipidi di membrana è mediata dall'azione di lipid-acil idrolasi e D-fosfolipasi, con formazione di acidi grassi [11, 12]. Gli acidi grassi liberati provocano la lisi di organuli cellulari e sono buoni substrati per l'attacco enzimatico attraverso a-ossidazione o attività lipossigenasica [13, 14], che causa la formazione di idroperossidi coniugati, i quali generano radicali liberi che possono attaccare le membrane e causarne la disintegrazione [15].

2.3 Imbrunimento ossidativo

L'imbrunimento ossidativo si verifica alla superficie di taglio, a causa della perdita di compartimentazione che si verifica, permettendo ai substrati e ai relativi enzimi ossidativi di venire in contatto. Il taglio favorisce l'azione di enzimi responsabili dell'imbrunimento ossidativo dei tessuti, quali la fenilalanina amminolasi [16], la polifenolossidasi [17] ed una serie di altri enzimi, che contribuiscono direttamente od indirettamente a questo fenomeno. L'aumento della produzione di etilene in seguito al taglio, inoltre, è associato alla perdita di clorofilla da parte di numerosi ortaggi [4, 18, 19].

2.4 Riparazione delle ferite

I tessuti vegetali reagiscono al taglio deponendo, intorno alla ferita, suberina e lignina ed in seguito con una divisione cellulare sotto lo strato suberizzato, in modo da costituire un "periderma da ferita" [20]. Il primo evento osservabile sulla superficie di taglio è il disseccamento dei primi strati di cellule danneggiate. La suberizzazione e la formazione del periderma sono influenzate dalle condizioni ambientali. La suberizzazione di tuberi di patata è tanto più rapida quanto più alta è la temperatura di stoccaggio [21]. Inoltre, che il fenomeno è ottimale, se si è alla temperatu-

ra di 10°C, ad umidità relativa del 98% e decresce d'intensità per valori inferiori al 90%, mentre a 20°C è uguale per umidità relativa superiore al 70%. È stata evidenziata l'inibizione di questo fenomeno quando i tuberi sono stati stoccati in atmosfere contenenti livelli di $O_2 < 10\%$ e di $CO_2 > 5\%$ [21, 22].

2.5 Metaboliti secondari

Una delle conseguenze del taglio è la sintesi di una serie di composti secondari, molti dei quali sembrano essere correlati al meccanismo di riparazione della ferita o come difesa dall'attacco biotico. Questi composti variano in considerazione della specie e dei tessuti interessati. In alcuni casi, tali sostanze possono influenzare l'aroma, il profumo, l'aspetto, il valore nutritivo o la sicurezza degli OMT. Alcuni composti responsabili dell'aroma e del profumo possono risultare evanescenti, con la conseguenza di uno scarso profumo rispetto ai prodotti freschi anche dopo un breve periodo di stoccaggio, mentre alcuni odori e sapori sgradevoli possono persistere per lungo tempo. I composti prodotti in seguito alle ferite possono essere ascritti alle classi dei fenoli fenilpropanoidi, terpenoidi, alcaloidi, tannini e acidi grassi ed alcali a lunga catena [23].

2.6 Perdita di peso

I tessuti vegetali raggiungono l'equilibrio idrico con l'atmosfera che li circonda, quando quest'ultima è alla stessa temperatura del vegetale ed ha un'umidità relativa compresa tra il 99 ed il 99,5% [20]. Il taglio dei vegetali, espone la superficie interna dei tessuti e fa aumentare drasticamente il fenomeno della traspirazione. L'incremento di perdita di peso può variare da un minimo di 5-10 volte sino ad oltre 500 volte in più rispetto ai vegetali intatti, secondo i casi [20]. Il mantenimento della freschezza può essere ottenuto minimizzando il disseccamento in corrispondenza delle superfici di taglio, mediante lo stoccaggio a basse temperature e l'uso di film barriera al vapore acqueo. Il disseccamento può, inoltre, scatenare la produzione di etilene da stress [24].

3. Variabili che influenzano la risposta dei tessuti al taglio

3.1 Specie e varietà

Le specie vegetali differiscono notevolmente per quanto riguarda il livello di deperibilità, che è legato alla particolare fisiologia di ogni specie e varietà. Per esempio, il tasso di produzione di etilene può variare anche di 1000 volte tra le diverse specie, influenzando in tal modo non solo la deperibilità della specie in questione, ma anche delle altre esposte all'etilene, come ad esempio nelle insalate miste. Gli OMT sono sempre più deperibili rispetto agli originari intatti ed è perciò importante la

scelta di varietà caratterizzate dalla più elevata possibile shelf-life. Tale selezione dovrebbe partire dalla ricerca di varietà a maturazione più lenta, migliore mantenimento della consistenza o più pregevoli caratteristiche sensoriali [25]. Un altro fatto da tenere in seria considerazione, è dato dalla restrizione nell'uso delle basse temperature di stoccaggio imposto dalle specie sensibili al danno da freddo. Pertanto, in tal caso, la scelta deve andare verso varietà meno suscettibili a queste fisiopatie.

3.2 Maturità fisiologica

Gli effetti negativi del taglio sono particolarmente evidenti negli stadi iniziali o terminali dello sviluppo di un vegetale. Specie quali i broccoli e il mais dolce raggiungono la loro maturità commerciale in uno stadio ontogenetico molto precoce, caratterizzato da un'intensa attività metabolica ed un modesto contenuto di sostanze di riserva. Le ferite apportate durante la preparazione fanno aumentare il tasso respiratorio e pertanto, tali ortaggi consumano velocemente il loro pool di sostanze di riserva e vanno incontro ad una rapida degradazione. Al contrario, vegetali come la patata, frutti di specie arboree e alcune cucurbitacee, quando sono raccolti in uno stadio ontogenetico avanzato, mostrano la tendenza ad avere un comportamento metabolico molto rallentato ed una maggiore quantità di sostanze di riserva. In questo caso, si comprende che la shelf-life è sicuramente più gestibile e prolungata. Diversi frutti climaterici (mele, pere, kiwi) sono spesso raccolti quando hanno raggiunto la maturità fisiologica, ma prima di quella di consumo, onde consentire una più facile e lunga conservazione refrigerata. Al contrario i frutti non climaterici sono raccolti quando sono quasi o totalmente maturi commercialmente; perciò, in alcuni casi sono più deperibili dei frutti climaterici. Se consideriamo che i frutti minimamente trasformati sono concepiti per un rapido e pronto consumo, anche nel caso delle specie climateriche la raccolta deve essere estesa al momento della maturità commerciale. La scelta del momento di raccolta migliore per tali prodotti può consentire di raggiungere un compromesso tra qualità e shelf-life.

3.3 Grado di severità della ferita

La produzione di etilene aumenta in molte specie vegetali in relazione alla severità delle ferite apportate dalle operazioni di taglio. La tecnica di lavorazione minima di una lattuga può influenzarne la shelf-life in maniera molto marcata, a causa della estensione del danno arrecato. La preparazione di strisce di lattuga iceberg per strappo manuale ha consentito una ritenzione significativamente superiore dell'ascorbato totale e dell'apparenza esterna, rispetto allo stesso campione preparato per taglio utilizzando delle lame [26]. Pertanto, l'azione dello strappo, provocando una minore fuoriuscita di succo cellulare, rispetto al taglio con coltelli, incrementa la

shelf-life del prodotto. Anche la dimensione del taglio influenza in misura diretta la vita di mercato di questi prodotti, così come la direzione. In peperoni verdi la tipologia di taglio per una migliore conservazione si è rivelata quella ad anelli lungo l'asse trasversale, rispetto al taglio a strisce longitudinali o a pezzi [27]. Questo fenomeno è dovuto ad una maggiore solubilizzazione delle pectine nel caso del taglio longitudinale.

3.4 Temperatura

Il miglior metodo per poter limitare gli effetti negativi della ferita è il ricorso alle basse temperature di conservazione. Le reazioni metaboliche di frutta ed ortaggi, infatti, sono ridotte di 3-4 volte per una diminuzione della temperatura di conservazione di 10°C. L'incremento della respirazione, della produzione di etilene, così come di tutte le reazioni collegate, sono, pertanto, notevolmente rallentate quando i prodotti seguono strettamente la catena del freddo durante tutte le fasi dalla raccolta alla produzione. La temperatura dell'area di processo e dell'acqua di lavaggio deve essere il più prossima possibile ai 0°C. Infatti, data la breve shelf-life di questi prodotti, le fisiopatie da raffreddamento potrebbero non essere un problema, in quanto il danno verificabile in seguito a temperature di conservazione al di sotto della soglia da danno da freddo potrebbe essere di gran lunga inferiore al grado di deperimento riscontrabile a temperature di stoccaggio superiori a tale limite, come d'altronde verificato su ortaggi come le zucchine [28].

3.5 Differenza di pressione di vapore

Le zone di taglio degli OMT perdono umidità ad una velocità molto sostenuta quando si trovano in una atmosfera con una umidità relativa non prossima alla saturazione. Quando tali prodotti vengono preparati, il contenuto cellulare delle superfici ferite può danneggiare le cellule intatte ed essere un buon substrato per la crescita dei microrganismi. Di conseguenza, tali vegetali vengono lavati per rimuovere i materiali presenti sulla superficie e l'acqua viene rimossa successivamente per centrifugazione, che, purtroppo, causa una leggera disidratazione dell'alimento. Per mantenere il minor deficit di pressione di vapore, i vegetali tagliati sono confezionati in pellicole di film plastico semipermeabili ai gas con proprietà barriera nei confronti del vapore acqueo. La perdita d'acqua dai tessuti, comunque, può ancora verificarsi a causa delle fluttuazioni di temperatura all'interno del confezionamento. Nel caso che la temperatura di quest'ultimo sia superiore rispetto all'ambiente circostante si può avere il fenomeno della condensa sul prodotto. Pertanto, una buona prassi prevede un adeguato intervento di prerrefrigerazione ed un corretto controllo delle temperature di stoccaggio. L'uso di rivestimenti protettivi commestibili per la riduzione della

perdita d'acqua per traspirazione è un mezzo alternativo in via di studio.

3.6 Composizione atmosferica

Il ricorso alle atmosfere controllate costituisce un valido supporto per il mantenimento della qualità ed il prolungamento della shelf-life di frutti ed ortaggi interi, in quanto rallenta l'attività metabolica, lo sviluppo di marciumi e, specialmente, la biosintesi e l'azione dell'etilene [29, 30]. Le atmosfere comunemente utilizzate prevedono un abbassamento della concentrazione di O_2 ed un incremento di quella della CO_2 . In alcuni casi si può utilizzare il monossido di carbonio con funzioni anti imbrunimento e per l'inibizione della crescita microbica. Nel caso degli OMT, però, il brevissimo periodo di stoccaggio rende pressoché impossibile avvalersi di questa tecnica, per cui si ricorre alle atmosfere modificate (MAP), ottenibili confezionando i prodotti all'interno di pellicole plastiche. La scelta dei film plastici viene operata considerando una serie di parametri propri del vegetale e del materiale. L'obiettivo primario delle MAP è, infatti, di raggiungere un equilibrio tra tutte queste variabili, di modo che l'atmosfera all'interno del confezionamento raggiunga al più presto un equilibrio per quanto riguarda le concentrazioni di O_2 e di CO_2 . Tale stato viene ottenuto quando il prodotto, attraverso la respirazione, consuma la stessa quantità di O_2 che il film plastico fa entrare dall'esterno e, di converso, produce tanta CO_2 quanta il film fa uscire verso l'ambiente circostante. In breve, la permeabilità del film a questi due gas deve soddisfare il tasso di respirazione del prodotto. Pertanto, nella selezione del film si devono prima di tutto considerare le condizioni ottimali di preparazione e stoccaggio del prodotto (tipo di taglio, temperatura di conservazione, quantità) ed in seguito conoscere il tasso di respirazione del prodotto, nonché le caratteristiche del film plastico (permeabilità, superficie, spessore) [31]. A causa della stretta dipendenza dalla temperatura sia del processo respiratorio, sia della permeabilità ai gas del film plastico, un MAP può mantenere la desiderata concentrazione di gas solamente in un ristretto campo di temperature. Se la temperatura cambia di pochi gradi, infatti, anche l'atmosfera all'interno del confezionamento varia, diventando poco appropriata se non potenzialmente dannosa. Pertanto, è indispensabile un rigoroso controllo della temperatura quando si usano le MAP per gli OMT. Le tipologie di film plastico utilizzabili per questi prodotti sono numerose e comprendono polietilene, polipropilene, miscele di polietilene e etilene vinil-acetato, copolimeri o laminati di diverse materie plastiche. I film utilizzati devono soddisfare anche altre caratteristiche, quali resistenza allo strappo e alla perforazione, macchinabilità, termosaldabilità, termoretraibilità, trasparenza, ecc. Nessun film plastico ha, purtroppo, tutte queste caratteristiche. Molti dei più moderni film sono, infatti, coestrusi o laminati di di-

verse tipologie di materie plastiche, ognuna delle quali con una o più delle su elencate proprietà. Quando utilizzati propriamente possono creare un ambiente adatto per il mantenimento della freschezza e della sicurezza d'uso, in modo tale che venga conservato il valore aggiunto di questi prodotti.

3.7 Trattamenti chimici

I trattamenti chimici possono essere utilizzati negli OMT per controllare i marciumi, l'imbrunimento e per mantenerne la consistenza. L'uso dell'ipoclorito di sodio come agente sanitizzante è una pratica di routine, almeno nelle nazioni dove è consentito. Il pH delle soluzioni deve essere mantenuto prossimo al valore di 7, per mantenere l'ipoclorito nella forma attiva di acido ipoclorico. Bolin *et al.* [32] riportano che l'uso dell'ipoclorito sulla lattuga tagliata è capace di controllarne l'imbrunimento ossidativo. È stato dimostrato che l'ipoclorito di calcio è più efficace di quello di sodio nella prevenzione dell'imbrunimento di patate tagliate a fette, per un possibile effetto inibitorio del calcio sull'enzima polifenolossidasi [33]. Soluzioni di ipoclorito di sodio a pH 11 sono state più efficaci, rispetto a quelle a pH 7, nella riduzione dell'imbrunimento, espresso come variazione del parametro L, di fette di patata, mentre a pH 4 si aveva un miglior risultato con le fette di mela. L'uso di composti antimbrunimento alternativi (ascorbati, acido citrico, derivati del resorcinolo, aminoacidi solforati, ecc.) è sempre più studiato, a causa della crescente preoccupazione di possibili reazioni allergiche dovute ai solfiti. Un ruolo molto importante per la qualità degli OMT è svolto dal calcio. Questo elemento è essenziale per il mantenimento della integrità delle membrane e delle pareti cellulari. Il calcio, infatti, svolge un ruolo fondamentale nel mantenimento della struttura delle pareti cellulari dei frutti e di altri organi di riserva, in quanto interagisce con gli acidi pectici delle membrane per formare pectato di calcio. Il calcio è importante per il mantenimento della permeabilità e della compartimentazione cellulare. La maggior parte delle carenze di calcio portano ad imbrunimento della polpa, causato da un accresciuta perdita di precursori fenolici dai vacuoli al citoplasma e conseguente ossidazione ad opera di enzimi fenolasi. La produzione di etilene è, inoltre, stimolata nei tessuti in cui vi è carenza di calcio [34]. L'aggiunta di calcio a questi tessuti, comunque, riduce il tasso respiratorio e blocca la sintesi di etilene [34, 35]. La respirazione è influenzata dal calcio in virtù delle proprietà di questo elemento di limitazione della diffusione dei substrati dai vacuoli al citoplasma, dove risiedono gli enzimi del processo [36]. Visti i potenziali effetti benefici di questo elemento, vari tipi di trattamenti (direttamente in campo prima della raccolta, a pressione atmosferica o per infiltrazione sotto vuoto nel postraccolta, con diverse formulazioni di sali di calcio, ecc.) sono allo studio per incrementare l'incorporazione del calcio nei tessuti di frutti ed ortaggi.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Marro A.K., Anderson J.D. 1984. Wound-induced increase in 1-aminocyclopropane-1-carboxylic synthase activity: regulatory aspects and membrane association of the enzyme. In: Fuchs Y. And Chalutz E. (eds.). *Ethylene: Biochemical, physiological and applied aspects*. Martinus Nijoff/Dr. W. Junk Publishers, The Hague:139-147.
- [2] Abeles EB., Morgan O.W., Saltveit M.E. 1992. Ethylene in plant biology. 2nd ed. Academic, San Diego.
- [3] Abe K. and Watada A.E., 1991. Ethylene adsorbent to maintain quality of lightly processed fruits and vegetables. *J. Food Sci.*, 56:1493-1496.
- [4] Watada A.E., Abe K., Yamauchi N. 1990. Physiological activities of partially processed fruits and vegetables. *Food Technol.* XX:116, 118, 120-122.
- [5] Rosen J.C., Kader A.A. 1989. Postharvest physiology and quality maintenance of sliced pear and strawberry fruits. *J. Food Sci.*, 54:656-659.
- [6] Laites G.G. 1978. The development and control of respiratory pathways in in slices of plant storage organs. In: Kahl G. (ed.). *Biochemistry of wounded tissues*. Walter De Gruyter & Co., Berlin: 421-466.
- [7] Kahl G. 1983. Wound repair and tumor induction in higher plants. In: Akazawa T, Ashai T and Imaseki H. (eds.). *The new frontiers in plant biochemistry*. Japan Sci. Soc. Press, Tokio, pp 193-213.
- [8] Marshall L.F., Gross K.C., Gillespie D.T., Sondney S.T. 1989. Macromolecular components of tomato fruit pectin. *Archives of Biochem. Biophys.*:324-329.
- [9] Risse L.A., Hatton T.T. 1982. Sensitivity of watermelons to ethylene during storage. *HortScience*, 17:946-949.
- [10] Rolle R.S., Chism G.W. III 1987. Physiological consequences of minimally processed fruits and vegetables. *J. Food Qual.*, 10:157-177.
- [11] Wardale D.A., Galliard T. 1977. Further studies on the subcellular localization of lipid-degrading enzymes. *Phytochem.*, 16:333-338.
- [12] Yapa P, Kawasaki T, Matsumoto H. 1986. Changes of some membrane associated enzyme activities and degradation of membrane phospholipids in cucumber roots due to calcium starvation. *Plant Cell Physiol.*, 27:223-232.
- [13] Laites G.G., Hoelle C., Jacobson B.S. 1972. α -oxidation of endogenous fatty acids in fresh potato slices. *Phytochem.*, 11:3403-3411.
- [14] Galliard T., Phillips D.R. 1976. The enzymic cleavage of linoleic acid to C9 carbonyl fragments in extracts of cucumber (*Cucumis sativus*) fruits and the possible role of lipoxygenase. *Biochim. Biophys. Acta* 431:278-287.
- [15] Omarkhayyam R. 1986. Free radicals and senescence. In: Leshem Y.Y., Halevy A.H. and Frenkel C. (eds.). *Processes and control of plant senescence*. Elsevier Press, New York, pp 100-116.
- [16] Hanson K.R., Haver E.A. 1979. An introduction to the enzymology of phenylpropanoid biosynthesis. In: Swain T., Harbone J.B., Sumere C.F. (eds.). *The biochemistry of plant phenolics*. Plenum Press, New York: 91-138.
- [17] Kahn V. 1977. Latency properties of polyphenol oxidase in two avocado cultivars differing in their rates of browning. *J. Sci. Food Agric.*, 28:233-239.
- [18] Toivonen P.J., Walsh J., Loughie E.C., Murr D.P. 1982. Ethylene relationships in storage of some vegetables. In: Richardson D.G. and Meheriunk M. (eds.). *Controlled Atmospheres for Storage and Transport of Perishable Agricultural Commodities*. Timber Press, Beaverton, Oregon, pp. 299-307.
- [19] Amir-Shapira D., Goldschmidt E.E., Altman A. 1987. Chlorophyll catabolism in senescing plant tissues: In vivo breakdown intermediates suggest different degradative pathways for citrus fruit and parsley leaves. *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 84: 1901-1905.
- [20] Burton W.G. 1982. Post-harvest physiology of food crops. Longman, London.
- [21] Wigginton M.J. 1974. Effects of temperature, oxygen tension and relative humidity on the wound-

healing process in the potato tuber. *Potato Res.*, 17:200-214.

[22] Lipton W.J. 1975. Controlled atmospheres for fresh vegetables and fruits-Why and when. In: Haard N.F., and Salunkhe D.F. (eds.). *Postharvest biology and handling of fruits and vegetables*. AV1, Westport, Conn., pp 130-143.

[23] Miller A.R. 1992. Physiology, biochemistry and detection of bruising (mechanical stress) in fruits and vegetables. *Postharv. News & Info.*, 3:53-58.

[24] Yang S.F. 1985. Biosynthesis and action of ethylene. *HortScience*, 20:41-45.

[25] Romig W.R. 1995. Selection of cultivars for lightly processed fruits and vegetables. *HortScience* 30:38-40.

[26] Barry-Ryan C., O'Beirne D. 1999. Ascorbic acid retention in shredded iceberg lettuce as affected by minimal processing. *J. Food Sci.*, 64(3):498-500.

[27] Zhou Y.F., Abe K., Iwata T. 1992. Effect of shredding modes on the deterioration of the quality of partially processed pepper fruits. *Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi*, 39:161-166.

[28] Izumi H., Watada A.E., Douglas W. 1996. Low O₂ atmospheres affect storage quality of zucchini squash slices treated with calcium. *J. Food Sci.*, 61:317-321.

[29] Kader A.A. 1986. Biochemical and physiological basis for effects of controlled and modified atmospheres on fruits and vegetables. *Food Technol.* 40:99-100, 102-104.

[30] Saltveit M.E. Jr. 1993. A summary of CA and MA requirements and recommendations for the storage of harvested vegetables. In: CA '3, NRAES, Ithaca, NY:800-818.

[31] Cameron A.C., Chowday Talasila P. and Joles D.W., 1995. Predicting film permeability needs for modified-atmosphere packaging of lightly processed fruits and vegetables. *HortScience*, 30:25-34.

[32] Bolin H.R., Stafford A.E., King A.D. Jr, Huxsoll C.C. 1977. Factors affecting the storage stability of shredded lettuce. *J. Food Sci.*, 42:1319-1321.

[33] Brecht J.K, Sabaa-Srur A.U.O., Sargent S.A., Bender R.J. 1993. Hypochlorite inhibition of enzymic browning of cut vegetables and fruit. *Acta Hort.*, 343:341-344.

[34] Liebermann M., Wang S.Y. 1982. Influence of calcium and magnesium on ethylene production by apple tissue slices. *Plant Physiol.*, 69:1150-1155.

[35] Faust M. 1975. The role of calcium in the respiratory mechanism and senescence of apples. *Colloques Intern Du CNRS* 238:87-92.

[36] Bangerth F, Dilley D.R., Dewey D.H. 1972. Effect of post-harvest calcium treatment on internal breakdown and respiration of apple fruits. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 97:679-682.