

Termoterapia e qualità post-raccolta dei prodotti ortofrutticoli

Maurizio Mulas^{1*} e Mario Schirra²

¹ Dipartimento di Economia e Sistemi Arborei, Università di Sassari, via De Nicola 9, 07100 Sassari

² Istituto di Scienze delle Produzioni Alimentari, CNR, traversa La Crucca 3, Regione Balduina, 07040 Li Punti (SS)

Ricezione: 15 maggio 2009; Accettazione: 2 luglio 2009

Thermotherapy and post-harvest quality of horticultural commodities

Abstract. The storage of the high nutritional quality of horticultural commodities, after harvest and during the marketing period, is a need in order to contribute to provide safe and sufficient food to the people all over the world. The food right is not only affirmed by the assurance of a sufficient energy or protein rate in the daily diet, but also by the integration of a variety of foods that may provide components of fundamental biological and nutritional relevance such as vitamins and minerals. In the last years, thermotherapy has been considered as a good control technology against the main postharvest losses of horticultural commodities: pathogen infections, pest infestations and physiological disorders. The loss of products is always high in the less developed countries. Moreover, the use of the thermotherapy is increasing because of the need to have commodities safe from residues of chemicals and because of the natural selection of pathogen strains resistant to the most used postharvest fungicides. The application of thermotherapy is frequently performed as a combination with other safe physical treatments or chemical compounds defined as Generally Recognized as Safe (GRAS). The further development of thermotherapy application is possible by a detailed and careful definition of a specific protocol for any plant species, cultivar and possibly production area of the commodity. Today a medium-short time storage is required for the most of commodities and just for this requirement thermotherapy seems to be more appropriate. Positive and negative effects of thermotherapy on quality traits of horticultural crops include lack or insufficient control of postharvest disorders, direct damages as a consequence of the high temperatures, tissue senescence, increase and/or elicitation of certain compounds, including nutraceuticals. The storage and sometimes the increase of the market and nutritional properties of commodities is possible after thermotherapy application. However, more investigations have to be promoted regarding the effects of the temperature on biochemical composition and on related gene expression.

Key words: fruits, vegetables, storage, disease control, nutritional value.

Introduzione

Il costante e generale incremento della produzione, commercio e consumo di prodotti ortofrutticoli è solo parzialmente giustificato dal parallelo incremento della popolazione mondiale. Al concetto di sicurezza alimentare, infatti, viene sempre più assegnata una connotazione qualitativa che, andando oltre la garanzia di una quantità di calorie adeguata per ogni persona, integra nella razione quotidiana varietà e complessità di alimenti come richiesto dal riconoscimento del diritto di ogni essere umano ad una alimentazione sana e sufficiente (FAO, 2009).

In questa spinta naturale al miglioramento qualitativo dell'alimentazione il consumo di prodotti ortofrutticoli gioca un ruolo fondamentale sia nei Paesi in forte espansione economica, sia nelle società più avanzate dove il consumo di alimenti di origine animale ha raggiunto pericolosi punti di squilibrio. Non a caso il consumo abbondante di ortofrutticoli freschi o trasformati è uno dei pilastri della dieta mediterranea, universalmente riconosciuta come il modello alimentare che assicura una buona qualità della vita.

Sicurezza alimentare, quindi, significa anche disponibilità e accessibilità dei prodotti ortofrutticoli sul mercato globale con sufficienti garanzie di poterne mantenere a lungo la qualità nelle fasi di commercializzazione e distribuzione, fino al consumo. Nei Paesi tecnologicamente più sviluppati la filiera di produzione e postraccolta può garantire oggi la crescente disponibilità di prodotti di altissima qualità per periodi relativamente lunghi. Le perdite quantitative di prodotti ortofrutticoli nei Paesi emergenti, invece, sono ancora elevate per effetto delle alterazioni postraccolta riconducibili principalmente all'azione di patogeni e/o insetti (Kader, 2003).

La conoscenza degli effetti negativi sulla salute che possono avere i prodotti chimici utilizzati come antiparassitari, conservanti o per il controllo delle fisiopatie ha portato ad una intensa ricerca di metodi

*mmulas@uniss.it

alternativi per la difesa postraccolta degli ortofrutticoli (Mari *et al.*, 2007). In particolare, sono oggi studiati ed applicati numerosi mezzi fisici che possono avere azione diretta su patogeni e insetti, ma anche stimolare la produzione endogena nei tessuti vegetali di sostanze naturali in grado di stimolare e aumentare le difese degli stessi. L'uso della termoterapia rappresenta una delle possibili opzioni per il mantenimento della qualità e il controllo di varie alterazioni postraccolta dei prodotti ortofrutticoli (Mulas e Schirra, 2007).

Le applicazioni di termoterapia agli ortofrutticoli

L'utilizzo del calore per il controllo di alcuni patogeni attivi nelle fasi postraccolta degli agrumi fu sperimentato agli inizi dello scorso secolo (Schirra e Mulas, 2008). Le prime informazioni, infatti, riguardano l'utilizzo della sola acqua calda o di soluzioni di idrossido di sodio contro le muffe degli agrumi. In seguito l'utilizzo del calore si è rapidamente diffuso anche nella lotta contro i parassiti animali degli ortofrutticoli (Shellie e Robert, 2000).

La diffusione e la sempre più larga disponibilità di antiparassitari di sintesi negli anni sessanta e settanta hanno reso meno pratico e antieconomico l'utilizzo del calore nei trattamenti post-raccolta al quale, non bisogna dimenticare che è sempre legato un costo energetico non trascurabile (Schirra, 2005). Tuttavia, proprio negli anni di maggior diffusione dei fungicidi di sintesi, vennero scoperti i vantaggi di una somministrazione dei principi attivi abbinata al riscaldamento della soluzione impiegata, registrando una migliore distribuzione, penetrazione e diffusione nella cuticola degli stessi nei tessuti dei prodotti ortofrutticoli. Esperienze in questa direzione vennero riportate per quanto riguarda l'applicazione dell'o-fenil-fenato sodico a 40 °C nella lotta contro le muffe delle arance 'Pineapple' e 'Valencia late' (Hayward e Grieson, 1960) e nel controllo della *Monilinia fructicola* con soluzione di 2,6-dicloro-4-nitroanilina a 51,5 °C per un minuto e mezzo su pesche, susine e nettarine (Wells e Harvey, 1970).

Queste prime esperienze vennero riconsiderate con interesse e la ricerca sulla termoterapia ricevette un nuovo impulso solo negli anni ottanta, grazie anche al diffondersi di una cultura che dava più valore al rispetto generalizzato dell'ambiente e della salute umana e metteva in discussione i fungicidi e gli antiparassitari largamente utilizzati sugli alimenti (Schirra, 2005).

Attualmente non può essere trascurato il fatto che i principi attivi ammessi per i trattamenti antiparassitari post-raccolta degli ortofrutticoli sono numericamente

assai ridotti e per giunta la loro efficacia è largamente compromessa dalla selezione naturale di patogeni resistenti in conseguenza del loro ripetuto utilizzo (Schmidt *et al.*, 2006).

La ricerca di mezzi alternativi agli antiparassitari di tipo chimico per il controllo delle alterazioni postraccolta degli ortofrutticoli è quindi oggi di forte attualità e coinvolge molti studiosi nella sperimentazione di diverse metodologie: termoterapia, utilizzo di radiazioni, gas e vapori di sostanze chimiche a bassa tossicità, microrganismi antagonisti dei parassiti (lotta biologica), soluzioni di sali non tossici e composti naturali generalmente riconosciuti come composti GRAS (Generally Recognized As Safe).

Le tecniche sperimentate

Il principio fondamentale attraverso il quale è realizzabile la termoterapia è il trasferimento di energia termica al prodotto ortofrutticolo attraverso un mezzo fluido che può essere un liquido, vapore acqueo o aria satura di umidità.

I trattamenti per immersione (Hot Dip) vengono effettuati in acqua con temperature che variano da 43 a 53 °C, con tempi di immersione compresi tra 1-3 minuti fino a 2 ore (Fallik, 2004). Una variante del trattamento per immersione è quello per aspersione associato alla spazzolatura dei frutti (brushing) che viene effettuato con temperature mediamente più alte, tra 48 e fino a 60-63 °C per tempi decisamente inferiori e mediamente compresi tra 15-30 secondi e 1 minuto.

I trattamenti realizzati con aria o vapore caldo pongono sicuramente qualche problema tecnico e di praticità in più e necessitano di tempi di applicazione mediamente più lunghi, ma mostrano anche efficacia spesso più prolungata (Mulas e Schirra, 2007).

Di un certo interesse sono le recenti applicazioni dei sistemi di riscaldamento che utilizzano le onde a radiofrequenza e che derivano dall'industria del legno e dai sistemi di trattamento dei cereali (Johnson *et al.*, 2003).

Controllo delle alterazioni fisiologiche

I frutti di origine tropicale e subtropicale, come gli agrumi, sono particolarmente sensibili alle alterazioni fisiologiche note come danno da freddo (chilling injury). Anche questo tipo di alterazione è controllabile per mezzo della termoterapia come l'esposizione dei frutti all'aria calda a 37 °C per 3 giorni in atmosfera satura di umidità (Lafuente e Zacarias, 2006), o con applicazioni per immersione in acqua calda (Mulas, 2006). Altre indicazioni sono reperibili per il controllo con la termoterapia del danno da freddo in

frutti delle regioni temperate, come il riscaldamento delle mele (Lurie, 1998).

Controllo dei parassiti animali

Molti mercati richiedono prodotti ortofrutticoli assolutamente privi di residui di antiparassitari, ma allo stesso tempo liberi da uova, larve e adulti di insetti. Anche in questo caso sono stati sviluppati metodi alternativi ai trattamenti con fumiganti chimici come, ad esempio, il bromuro di metile, il cui uso è stato vietato in quasi tutti i Paesi interessati al commercio degli ortofrutticoli. Le condizioni (tempi e temperature) per la disinfestazione mediante l'uso del calore dipendono dalla specie e cultivar da trattare. Per gli agrumi, sono consigliate temperature di 44 °C per 90 minuti o di 46 °C per 50 minuti, sebbene sia necessario constatare che non tutte le cultivar di agrumi sopportano bene questi trattamenti. Soprattutto in arance pigmentate, infatti, ma anche sulla varietà 'Valencia late' sono stati osservati sintomi di senescenza dopo questo genere di trattamenti (Schirra *et al.*, 2004; 2005a).

Buoni risultati sono stati ottenuti in tempi recenti con i Coleotteri parassiti dei datteri esponendo i frutti a temperature di 55 °C per 2 ore e mezza (Rafaeli *et al.*, 2006).

Controllo dei patogeni e combinazione con fungicidi

La termoterapia per immersione è sicuramente efficace nel controllo dei principali patogeni postraccolta degli ortofrutticoli, sia per gli effetti di dilavamento della superficie del frutto e relativa diminuzione del potenziale di inoculo, sia per l'inattivazione termica diretta degli stessi microrganismi. In aggiunta a questi effetti bisogna considerare i fenomeni di elicitazione di sostanze antifungine stimolati dal trattamento (Lurie, 1998; Schirra *et al.*, 2000).

Nonostante gli effetti benefici della termoterapia nel controllo delle alterazioni microbiologiche postraccolta degli ortofrutticoli freschi, il solo trattamento termico è generalmente meno efficace dei fungicidi di sintesi, specialmente quando la commercializzazione dei prodotti segue un periodo più o meno lungo di conservazione (Schirra, 2005). In diversi Paesi i trattamenti termici postraccolta vengono effettuati per il controllo dei marciumi delle produzioni biologiche e dei prodotti ortofrutticoli per i quali non è consentito l'uso di fungicidi nei trattamenti postraccolta (Fallik, 2004) o quando l'utilizzo dei fungicidi tradizionali è completamente inefficace per la larga diffusione di ceppi resistenti. Negli altri casi, la difesa chimica assume ancora un ruolo fondamentale nel controllo delle alterazioni microbiologiche e, allo stato attuale, non possono essere convenientemente rim-

piazzati da altri metodi di lotta. Numerosi studi hanno dimostrato che i trattamenti con fungicidi riscaldati sono molto più efficaci rispetto ai trattamenti standard a temperatura ambiente, grazie alla migliore penetrazione e diffusione dei principi attivi nelle cere epicuticolari (Schirra *et al.*, 2002a; Schirra *et al.*, 2008b).

Vi sono ampie dimostrazioni di questi effetti nel caso dell'impiego dell'imazalil (IMZ) e del thiabendazolo nella lotta contro i *Penicillium* degli agrumi (Mulas e Schirra, 2007; Dore *et al.*, 2009). I due fungicidi risultarono in qualche caso efficaci con dosi molto ridotte, fino a 50 mg/L, se si applicavano a 50 °C (Schirra e Mulas, 1993; 1994; 1995a; b; c; Schirra *et al.*, 1995).

Gli effetti sinergici dei trattamenti termici con le applicazioni di fungicidi non sono sempre così evidenti e si sono avute, in passato, combinazioni negative dei due trattamenti, come nel caso in cui il trattamento con TBZ su arance 'Tarocco' fu efficace nel controllo dei *Penicillium* e del danno da freddo, ma la somministrazione del curing a 37 °C per 48 ore risultò favorevole allo sviluppo dei marciumi da *Phytophthora citrophthora* (Schirra *et al.*, 2002a).

Gli effetti positivi della applicazione di TBZ per immersione con riscaldamento della soluzione sono stati recentemente confermati su limoni 'Eureka' trattati con 0, 25, 50 e 100 µg/ml di TBZ in acqua (contenente 200 µg/ml di ipoclorito di sodio e 0,2 ml/l di Triton X-100) alle temperature di 16, 27, 38 o 49 °C dopo inoculazione artificiale con un clone resistente al TBZ di *Penicillium digitatum* (M6R) (Smilanick *et al.*, 2006). Di fatto, il controllo del fungo per effetto esclusivo della temperatura di trattamento (49 °C) è stato del 50%, mentre l'aggiunta di 100 µg/ml di TBZ ha determinato il controllo quasi totale del patogeno.

Un'altra conferma dell'effetto sinergico tra trattamento postraccolta con TBZ a bassa dose (150 mg/l) e riscaldamento del bagno di immersione a 52 °C è stata osservata con il controllo dei patogeni e, parzialmente, del danno da freddo nei frutti di fico d'India della cultivar 'Gialla' (Schirra *et al.*, 2002b); e con il controllo dei *Penicillium* e del danno da freddo negli agrumi da parte di IMZ quando questo composto viene somministrato dopo aver formulato un complesso stabile con la β-cyclodestrina alla dose di 250 mg/l in bagno riscaldato a 50 °C (Schirra *et al.*, 2002c).

La maggior parte dei risultati positivi riguardanti l'effetto sinergico tra termoterapia per immersione e le applicazioni di dosi ridotte di fungicidi, è stata confermata anche con l'impiego sperimentale di fungicidi di nuova generazione, i cosiddetti 'naturali mimetici', che, rispetto ai precedenti formulati, hanno un più elevato grado di efficacia a basse dosi, un profilo tossico-

logico ed eco-tossicologico più favorevole e un diverso meccanismo di azione rispetto ai fungicidi di più vecchia generazione. Pertanto, questi nuovi fungicidi, sono particolarmente indicati per far fronte ai noti fenomeni di resistenza (Schirra, 2005). Tra questi è importante citare i risultati delle esperienze realizzate con diverse tipologie di agrumi con le strobilurine-simili azoxystrobina e trifloxistrobina (Schirra *et al.*, 2006), applicate per immersione per 3 minuti a dosi molto basse (50 mg/l), con fludioxonil (analogo sintetico della pirrolnitrina) che ha determinato su frutti inoculati con *Penicillium* gli stessi risultati dell'IMZ alla dose di 100 mg/l a 50 °C e 400 mg/l a 20 °C (Schirra *et al.*, 2005b), e con pirimetanil (anilino-pirimidina) che è risultata efficace a 400 mg/L a 20 °C o 100 mg/l a 50 °C contro i funghi *P. digitatum* e *P. italicum* (D'Aquino *et al.*, 2006).

Recentemente, inoltre, il fludioxonil è stato sperimentato con successo in abbinamento alla termoterapia sulle cultivar di pere estive 'Precoce di Fiorano', 'Coscia' e 'Spadona estiva', ottenendo un buon controllo su frutti inoculati con *Penicillium expansum* e *Botrytis cinerea* (Schirra *et al.*, 2008a).

Alcuni composti GRAS sono al centro dell'interesse dei ricercatori per trovare alternative ai fungicidi tradizionali, che trovano sempre più forme resistenti, o per utilizzarli sinergicamente in combinazione con trattamenti termici. Tra questi ricordiamo: l'etanolo impiegato per il controllo della *B. cinerea* inoculata su uva da tavola (Karabulut *et al.*, 2004; Gabler *et al.*, 2005); l'acido acetico utilizzato come alternativa all'etanolo o al vapore per controllare la *B. cinerea* sui frutti di kiwi (Lagopodi *et al.*, 2009); il carbonato e bicarbonato di sodio, efficaci nel controllo dei *Penicillium* su agrumi trattati per immersione di 150 secondi a 45 °C alla dose del 3% (Palou *et al.*, 2001); e il caso del bicarbonato, che è risultato utile su agrumi per incrementare l'efficacia del TBZ contro il ceppo resistente di *P. digitatum* M6R in combinazione con la immersione a 49 °C per 60 secondi e aggiunta di ipoclorito di sodio (200 µg/ml) (Smilanick *et al.*, 2006). L'effetto positivo dell'aggiunta di carbonato e bicarbonato di sodio alle soluzioni impiegate nel controllo di *P. digitatum* è stato dimostrato anche su clementine, mandarini 'Nova' e arance 'Valencia late' (Schirra *et al.*, 2008b), mentre su mandarini 'Satsuma' sono stati sperimentati positivamente la termoterapia associata all'uso di ceppi di fungo resistente e fungicidi associati, e su fragole l'associazione di ceppi antagonisti e termoterapia nella lotta contro il marciume da *Rhizopus* (Zhang *et al.*, 2005).

È stato anche provato l'effetto sinergico dei trattamenti termici con l'utilizzo di ceppi di lieviti antago-

nisti e bicarbonato di sodio contro *Colletotrichum acutatum* e *P. expansum* durante la conservazione di mele (Mulas e Schirra, 2007); oppure della termoterapia in associazione al *Cryptococcus laurentii* contro *P. italicum* e *Rhizopus stolonifer* su pesche e alla *Rhodotorula glutinis* contro *P. italicum* nella conservazione delle pere (Zhang *et al.*, 2007; 2008).

La determinazione dei residui di fitofarmaci o di altre sostanze, utilizzate in queste applicazioni combinate alla termoterapia, risulta essere una condizione essenziale per garantire l'efficacia dei trattamenti senza oltrepassare i limiti indicati dalla legge e mantenere un elevato livello di sanità e di qualità nutrizionale degli ortofrutticoli, associabile all'assenza di residui di antiparassitari tossici per i consumatori (Schirra, 2005).

Effetti sulla qualità degli ortofrutticoli

Una sintesi dei principali effetti della termoterapia sulla qualità dei prodotti ortofrutticoli è stata recentemente proposta da Lurie (2006) che ha riportato anche gli aspetti relativi ai prodotti di IV gamma. La vastità di quest'ultimo argomento e il numero di citazioni già riportato in questa *review* ci hanno convinto che questa materia merita una trattazione a parte, per cui ci limitiamo in questo testo agli ortofrutticoli freschi.

Rilevanza dei limiti di efficacia dei trattamenti di termoterapia per la qualità dei prodotti

Nonostante le numerose esperienze di applicazioni di termoterapia a diversi prodotti ortofrutticoli, sembra inevitabile dover quasi sempre registrare una efficacia incompleta dei protocolli finora sperimentati. Sembrano più corrette quindi, allo stato attuale delle conoscenze, indicazioni per un utilizzo sinergico della termoterapia con i principali fungicidi oggi disponibili sul mercato, nonché la sperimentazione sempre più completa dell'abbinamento tra termoterapia e applicazione di sostanze GRAS, verso cui sembrano muoversi gli orientamenti di molte scuole di ricerca (Schirra, 2005).

Il primo elemento di rilevanza per la qualità del prodotto sottoposto a termoterapia è quindi l'eventualità che il trattamento non sia completamente efficace e che una percentuale più o meno rilevante del prodotto possa risultare affetta dalle note alterazioni postraccolta, con una conseguente perdita di qualità commerciale, ma anche a livello intrinseco attraverso la perdita del valore nutrizionale (Mulas e Schirra, 2007).

Un aspetto non ancora completamente definito, ad esempio, riguarda la produzione di composti volatili, apparentemente sensibile in alcuni prodotti come le

arance 'Tarocco' (Schirra *et al.*, 2002a) e altre cultivar pigmentate (Mulas *et al.*, 2001; Schirra *et al.*, 2004; 2005a). Certamente la produzione di etanolo e acetaldeide può alterare gli aspetti gustativi del prodotto, ma gli studi per una completa definizione dei complessi scambi gassosi attivati dalla termoterapia sono ancora in fase di definizione (Mulas *et al.*, 2004; 2006; 2008).

Danni da trattamento

Una sintesi di molte situazioni sperimentali in cui l'applicazione del calore ha provocato danni di natura diversa è stata riportata da Lurie (2006). Fallik *et al.* (2001) riportano che quando il trattamento con acqua calda per aspersione e spazzolatura a 60 o 65 °C viene applicato per 15 secondi, possono prodursi effetti negativi sulle mele. Sul fico d'India (*Opuntia ficus-indica* Miller L.) il danno da calore, comprendente perdita di elettroliti da parte delle membrane biologiche e la formazione di estesi imbrunimenti leggeri sulla superficie dei frutti, è stato osservato dopo applicazione di acqua calda con spazzolatura a 65-70 °C per 10-30 secondi (Dimitris *et al.*, 2005). Effetti indesiderabili dei trattamenti di termoterapia sono stati osservati anche sulla fragola (Wszelaki e Mitcham, 2003).

Gli effetti delle temperature di trattamento all'interno dei valori da 20 a 75 °C sono stati studiati su arance 'Navelate' dopo immersione per 150 secondi (Palou *et al.*, 2001). Nessun effetto negativo è stato registrato fino ai 45 °C, mentre circa 17 e 28% dei frutti trattati a 53 o 55 °C mostrava leggere o modeste ferite. I trattamenti a temperature superiori infine provocavano gravi danni da calore sul 100% della superficie dei frutti.

Alcune implicazioni fisiologiche della contemporanea esistenza del danno da freddo e del danno da trattamento termico sono state descritte per i mandarini 'Satsuma', nel tentativo di interpretare il ruolo degli enzimi antiossidanti, dell'ATPasi vacuolare e della pirofosfatasi (Ghasemnezhad *et al.*, 2007).

Danni all'interno dei prodotti si possono sviluppare come conseguenza della termoterapia anche in assenza di sintomi esterni visibili. È il caso di imbrunimenti interni osservati nei frutti di avocado, agrumi, pesche, nettarine e litchi (Zhou *et al.*, 2002; Follet e Sanxter, 2003; Lurie, 2006). Altri sintomi come scarso sviluppo del colore della polpa, rammollimento anormale, mancanza di idrolisi dell'amido e comparsa di cavità interne sono stati osservati in mango e papaya (Jacobi *et al.*, 2001; Lurie, 2006). Frutti di litchi della cultivar 'McLean's Red' immersi in acqua a 50 °C per 2 minuti o a 55 °C per un minuto hanno manifestato danni da imbrunimento superficiale molto gravi, men-

tre il trattamento a 60 °C per 1 secondo ha prodotto minori danni (Sivakumar e Korsten, 2006).

I frutti della pitaya (*Hylocereus undatus*) sono risultati tolleranti ai trattamenti di disinfestazione con aria calda fino ad una temperatura di 46,5-48,5 °C per 20 minuti misurata al centro del frutto. Tuttavia, le caratteristiche qualitative del frutto, come lo stato di turgore delle brattee e del peduncolo, l'aspetto del corpo del frutto e la presenza di marciumi, il colore della buccia e la consistenza della polpa, la concentrazione di solidi solubili totali, l'acidità, il sapore e la traslucenza della polpa erano non significativamente differenti rispetto ai frutti non sottoposti a riscaldamento, sia immediatamente dopo il trattamento, sia dopo una conservazione a 5 °C per 4 settimane in buste di propilene sigillate e dopo la successiva shelf-life a 20 °C (Hoa *et al.*, 2006).

Alcuni elementi di campo, come l'andamento stagionale e lo stadio di maturità alla raccolta possono avere un effetto importante sull'efficacia della termoterapia, specialmente per quei prodotti molto sensibili al danno da freddo o al danno da calore come gli agrumi. Diversi studi, che pure hanno dimostrato l'efficacia della termoterapia nel controllo della manifestazione dei sintomi di danno da freddo, nella stessa cultivar possono causare o meno danni da trattamento in dipendenza della data di raccolta (Schirra *et al.*, 1997; Lafuente *et al.*, 2005; Lafuente e Zacarias, 2006).

Effetti sulla maturazione, senescenza, fisiologia dei tessuti e composti a valore nutraceutico

Gli effetti dei trattamenti di termoterapia postraccolta sul rallentamento della maturazione dei frutti climaterici sono ben noti (Fallik, 2004; Lurie, 2006). L'inibizione della biosintesi dell'etilene con un ritardo nel rammollimento della polpa, una diminuzione dello sviluppo del colore e dei composti aromatici sono stati osservati in mele e kiwi trattati a 38 °C, mentre il trattamento a 39 °C per 90 minuti dei pomodori ritardava lo sviluppo del colore (Ali *et al.*, 2004).

Studi su nettarine 'Caldesi 2000' e pesche 'Royal Glory' hanno mostrato che il trattamento con acqua a 46 °C riduce il rammollimento della polpa quando i frutti sono sigillati in buste di polietilene sottile e conservate a 0 °C per una o due settimane (Malakou e Nanos, 2005). Questo rallentamento del rammollimento della polpa è il risultato della combinazione del trattamento con acqua calda, atmosfera modificata e confezionamento, specialmente nelle nettarine a polpa bianca che mantengono un miglior funzionamento delle membrane cellulari e in parte all'inattivazione degli enzimi idrolitici dei componenti delle pareti cel-

lulari, principalmente la poligalatturonasi. Il trattamento con aria calda può cambiare la qualità gustativa delle pesche 'Dixiland' diminuendo l'acidità totale e aumentando i pigmenti rossi della polpa e della buccia (Budde *et al.*, 2006).

Normalmente gli effetti dei trattamenti termici postraccolta sono reversibili quando il trattamento è non troppo prolungato e viene evitato il danno fisiologico. Questo è il caso dei pomodori trattati per immersione con acqua calda a 42 °C che mostrano una regolare biosintesi dei composti aromatici e del licopene (Mulas e Schirra, 2007).

La temperatura può indurre una temporanea inibizione della poligalatturonidasi nel mango e nel pomodoro, così come una bassa attività di altri enzimi responsabili del rammollimento dei prodotti ortofrutticoli. Frutti non climaterici come le fragole possono mostrare a loro volta rallentamento nell'espressione dei caratteri legati alla maturazione, con lento sviluppo del colore e del rammollimento della polpa (Lurie, 2006), talvolta associati con più bassa acidità rispetto al controllo (Vicente *et al.*, 2002).

Il trattamento per immersione in acqua a 45 °C migliora la resistenza della fragola alle infezioni fungine, ma causa danni esterni e alterazioni nella solubilizzazione delle frazioni dei polisaccaridi delle pareti cellulari, suggerendo una diminuzione nella solubilità dei polimeri costitutivi delle pareti cellulari nei frutti trattati (Lara *et al.*, 2006).

Il trattamento con vapore a 52,5 °C o 55 °C per 18-27 minuti non ha modificato significativamente la perdita di peso del grappolo, la consistenza dell'acino, il colore, i solidi solubili totali o il contenuto di acidi nell'uva da tavola (*Vitis vinifera* L.) della cultivar 'Sultanina'. Il trattamento a più alte temperature (58 °C) o per tempi più prolungati (a 55 °C per 30 minuti), viceversa ha compromesso la qualità dei frutti e incrementato la perdita di peso e l'imbrunimento del colore dell'acido rispetto ai grappoli di controllo (Lydakakis e Aked, 2003).

Tra gli effetti dei trattamenti termici sulla senescenza dei tessuti dei prodotti ortofrutticoli, è stata segnalata la capacità dei broccoli di ritardare l'ingiallimento naturale sia dopo l'immersione a 45 °C per 10 minuti che dopo il condizionamento in aria a 50 °C per 2 ore (Funamoto *et al.*, 2003).

Altri sintomi di senescenza degli ortofrutticoli, come la deviazione del geotropismo degli asparagi e il germogliamento delle cipolle, dell'aglio e delle patate sono stati controllati attraverso trattamenti per immersione in acqua a 50-55 °C per 2-4 minuti (Cantwell *et al.*, 2003; Lurie, 2006). Il trattamento dell'ananas a 38-60 °C per 60 minuti è risultato effi-

cace nel controllo dell'imbrunimento interno durante la frigoconservazione (Weerahewa e Adikaram, 2005). Il frutto di sapote [*Pouteria sapota* (Jacq.) H.E. Moore & Stearn], sottoposto a disinfestazione con trattamenti per immersione a 60 °C per 60 minuti, ha mostrato meno imbrunimenti della polpa che i frutti non trattati (Diaz Perez *et al.*, 2001).

I trattamenti per immersione per 3 minuti a 50 °C e con aria calda a 37 °C per 48 ore hanno ridotto più o meno allo stesso modo l'incidenza del danno da freddo nella arance sanguigne delle cultivar 'Tarocco', 'Moro', 'Doppio sanguigno' e 'Sanguinello' e nessun trattamento ha causato danni visibili durante la quarantena a 1 °C per 16 giorni, la successiva conservazione a 8 °C per 3 settimane e una ulteriore settimana di simulazione del periodo di commercializzazione a 20 °C. Tuttavia, mentre il trattamento per immersione non ha modificato la consistenza della polpa, il sapore e l'aroma e alcuni aspetti della composizione interna (resa in succo, solidi solubili totali, acidità titolabile, acido ascorbico e concentrazione di etanolo), il trattamento con aria calda ha causato una significativa diminuzione della consistenza del frutto e influenzato negativamente sia la qualità organolettica che la composizione del frutto (Schirra *et al.*, 2004).

I trattamenti di disinfestazione postraccolta contro gli insetti con utilizzo di aria umida a 44 o 46 °C misurati all'interno del frutto per 100 e 50 minuti rispettivamente, non hanno prodotto effetti negativi nelle arance 'Valencia late' dei cloni 'Olinda' e 'Campbell' sia per quanto riguarda l'aspetto esterno che la composizione interna (Schirra *et al.*, 2005a). Queste condizioni operative, invece, non possono essere raccomandate per le arance sanguigne per gli effetti negativi sulla qualità dei frutti (sviluppo di cattivi odori e sapori, diminuzione della consistenza dei frutti e notevole perdita di peso), nonché per la ridotta resistenza dei frutti ai marciumi (Mulas *et al.*, 2001).

Evidenze sperimentali hanno dimostrato che i trattamenti termici possono influenzare la biosintesi di composti dotati di proprietà antiossidanti o nutraceutiche (Schreiner e Huyskens-Keil, 2006). Le ricerche in questa direzione sono in aumento e alcuni recenti risultati stanno stimolando questo interesse. Nei frutti di papaya (*Carica papaya*), ad esempio, la termoterapia riduce i danni da freddo, ritarda la diminuzione dell'azione della superossido-dismutasi e della catalasi, sopprimendo l'incremento dell'attività della perossidasi (Huajaikeaw *et al.*, 2005). Soto-Zamora *et al.* (2005) hanno mostrato che il trattamento con aria calda a 34 °C con il 50% di umidità relativa per 24 ore del pomodoro 'Rhapsody' non compromette le proprietà antiossidanti dello stesso rispetto al control-

lo e il frutto sviluppa un colore normale durante la conservazione a 10 °C. Diversamente, l'esposizione del frutto a 38 °C per 24 ore in aria o in atmosfera con il 5% di ossigeno causa effetti negativi, come la perdita di antiossidanti e il frutto non sviluppa un colore normale.

Il trattamento di immersione in acqua calda a 50 °C per 60 minuti al fine di sopprimere gli insetti che infestano il frutto di mango può accelerare la maturazione del frutto, incrementando la biosintesi dei carotenoidi e potenzialmente limitandone la vita commerciale, mentre la termoterapia associata con la frigoconservazione ritarda lo sviluppo dei carotenoidi che può essere ritenuto sintomatico sia degli effetti della termoterapia che dei danni da freddo (Talcott *et al.*, 2005). Esperimenti più recenti sulla cultivar 'Kensington Pride' hanno mostrato una elevata efficacia della termoterapia in aria a 40 °C per 8 ore o in acqua a 52 °C per 10 minuti e sostanziale mantenimento della qualità estetica e gustativa dei frutti (Dang *et al.*, 2008).

I broccoli (*Brassica oleracea* L.) trattati a 48 °C per 3 ore con aria calda subiscono un importante ritardo nella loro senescenza a 20 °C, come è stato possibile valutare da un significativo mantenimento del loro contenuto di clorofilla. Per di più i broccoli trattati hanno una migliore qualità complessiva, più alto livello di zuccheri, proteine e composti antiossidanti (Costa *et al.*, 2005). Anche sugli spinaci è stato riscontrato un ritardo nella degradazione della clorofilla dopo trattamento per immersione in acqua a 40 °C per 3 minuti e mezzo, registrando anche un aumento delle proprietà antiossidanti dei tessuti (Gomez *et al.*, 2008).

Esperimenti realizzati su frutti di melograno (*Punica granatum* L. cultivar 'Mollar de Elche') hanno mostrato che a seguito di trattamenti per immersione in acqua a 45 °C per 4 minuti, gli arilli avevano un'attività antiossidante superiore al controllo che è stata principalmente correlata agli alti livelli di fenoli totali e, in minore misura, al contenuto di acido ascorbico e antociani (Mirdehghan *et al.*, 2006). I livelli di zuccheri (glucosio e fruttosio) e quelli degli acidi organici (malico, citrico e ossalico), inoltre, rimanevano a concentrazioni più alte negli arilli dei frutti trattati.

Studi su vari frutti e ortaggi hanno mostrato che il trattamento per immersione a 35 °C per 12 ore (pomodori), a 55 °C per 5 minuti (melone) e a 42 °C per 24 ore (mango), inibisce l'attività della polifenolo-ossidasi e della perossidasi, portando ad un ritardo nella sintesi degli antociani e, quindi, nei cambiamenti della pigmentazione, mantenendo le antocianine nella loro

forma di pigmento rosso con una elevata attività antiossidante, così come vi sono evidenze sugli effetti di trattamenti termici su altre proprietà nutraceutiche e funzionali degli ortofruitticoli (Cisneros-Zevallos, 2003; Brovelli, 2006; Mulas e Schirra, 2007).

Sostanzialmente soddisfacenti sono i risultati osservati sugli effetti della termoterapia per immersione a 50 °C per 2 minuti sulle proprietà nutrizionali e funzionali dei frutti di kumquat (Schirra *et al.*, 2008c) e anche il livello qualitativo dei mirtili è risultato soddisfacente dopo applicazione della termoterapia (Fan *et al.*, 2008).

Conclusione e prospettive per future ricerche

Nonostante gli indubbi effetti benefici, la termoterapia da sola non è sempre sufficiente a provvedere protezione dalle alterazioni postraccolta durante la conservazione per lunghi periodi (tab. 1). Questo perché alcuni dei meccanismi di difesa indotti sono solo transitori. Ulteriori ricerche sono quindi necessarie per ottimizzare i protocolli della termoterapia in funzione della specie di ortofruitticoli, della cultivar e probabilmente dell'area di produzione. La combinazione sinergica della termoterapia con altri trattamenti fisici o chimici deve essere l'altra pista di lavoro da sviluppare.

Gli effetti del calore sull'inibizione temporanea o sullo stimolo dell'attività enzimatica, così come sul rallentamento della maturazione e della senescenza dei prodotti, sembrano essere le aree critiche per raggiungere una conoscenza quanto più prossima al quadro completo delle implicazioni fisiologiche che la termoterapia determina. Sarebbe così importante definire l'influenza sulla biosintesi dell'etilene, così come sulle dinamiche dei composti fitochimici che rappresentano il valore nutraceutico aggiunto degli ortofruitticoli (Cisneros-Zevallos, 2003). Infine, notevole importanza rivestono le ricerche sull'impatto dei trattamenti sui composti volatili e la valutazione del loro ruolo sulla qualità organolettica dei prodotti ortofruitticoli (Mulas *et al.*, 2006; 2008).

Riassunto

La termoterapia si è affermata negli ultimi anni come pratica di controllo, principale o integrativa, delle alterazioni postraccolta dei prodotti ortofruitticoli: infezioni da funghi e batteri, infestazioni da insetti e fisiopatie. L'esigenza di avere alimenti privi di residui di composti antiparassitari di sintesi e l'insorgenza sempre più frequente di ceppi di patogeni resistenti ai pochi principi attivi, il cui uso è ammesso in postrac-

Tab. 1 - Selezione di trattamenti di termoterapia con diversi effetti.
 Tab. 1 - *Thermotherapy treatments and their different effects.*

| Prodotto | Trattamento | Temperatura (tempo) | Effetto | Bibliografia |
|---|--|----------------------------------|---|---|
| Aglio | Immersione | 50-55 °C(4-2 min) | Evita germogliamento | Lurie, 2006 |
| Agrumi (arance, mandarini, limoni, pompelmi, kumquat) | Immersione | 50-53 °C (2-3 min) | Controllo del danno da freddo. Parziale controllo funghi patogeni. Sinergico rispetto ai fungicidi TBZ e IMZ. | Schirra e Mulas, 1993; 1994; 1995a; b; c; Schirra <i>et al.</i> , 1995; 2002c; 2008c |
| Agrumi | Immersione | 50 °C (3 min) | Sinergico rispetto ai fungicidi azoxystribina, fludioxonil e pirimetanil | Schirra <i>et al.</i> , 2005b; 2006; D'Aquino <i>et al.</i> , 2006; |
| Agrumi | Immersione | 45-49 °C (150-60 sec) | Sinergico nel controllo dei funghi patogeni rispetto a carbonato e bicarbonato di sodio, TBZ e ipoclorito di sodio. | Palou <i>et al.</i> , 2001; Smilanick <i>et al.</i> , 2006; Schirra <i>et al.</i> , 2008b |
| Agrumi | Immersione. Aria calda satura di umidità. | 52 °C (3 min) 37 °C (48 ore) | Produzione di etanolo, acetaldeide, anidride carbonica, etilene. Perdita qualità organolettica. | Mulas <i>et al.</i> , 2004; 2006; 2008; Schirra <i>et al.</i> , 2004 |
| Ananas | Immersione | 38-60 °C (60 min) | Controllo danno da freddo | Weerahewa e Adikaram, 2005 |
| Arance ('Valencia late' e "pigmentate") | Aria calda satura di umidità | 44 °C (90 min) 46 °C (50 min) | Quarantena. Senescenza sulle "pigmentate". | Mulas <i>et al.</i> , 2001; Schirra <i>et al.</i> , 2004; 2005a |
| Arance ('Tarocco') | Aria calda satura di umidità. | 37 °C (48 ore) | Sinergico rispetto al fungicida TBZ | Schirra <i>et al.</i> , 2002a |
| Arance (Navelate) | Immersione | 53-75 °C (150 sec) | Danni da calore | Palou <i>et al.</i> , 2001 |
| Asparagi | Immersione | 50-55 °C(4-2 min) | Evita deviazione del geotropismo | Lurie, 2006 |
| Broccoli | Immersione. Aria calda satura di umidità | 45 °C (10 min). 50 °C (2 ore) | Ritardato ingiallimento | Funamoto <i>et al.</i> , 2003 |
| Broccoli | Aria calda satura di umidità | 48 °C (3 ore) | Ritardata senescenza | Costa <i>et al.</i> , 2005 |
| Cipolle | Immersione | 50-55 °C(4-2 min) | Evita germogliamento | Lurie, 2006 |
| Datteri | Aria satura di umidità | 55 °C (2 ore e 30 min) | Quarantena | Rafaelli <i>et al.</i> , 2006 |
| Fico d'India | Immersione | 52 °C (3 min) | Controllo del danno da freddo. Sinergico rispetto al fungicida TBZ. | Schirra <i>et al.</i> , 2002b |
| Fico d'India | Brushing | 65-70 °C (10-30 sec) | Danni da calore | Dimitris <i>et al.</i> , 2005 |
| Fragole | Immersione | | Controllo dei funghi patogeni. Sinergico rispetto all'utilizzo di ceppi antagonisti | Zhang <i>et al.</i> , 2005 |

| Prodotto | Trattamento | Temperatura (tempo) | Effetto | Bibliografia |
|--------------------------------------|---|---|---|-----------------------------------|
| Fragole | Aria calda satura di umidità | 45 °C (3° ore) | Rallentato rammollimento della polpa e sviluppo del colore. Acidità più bassa | Vicente <i>et al.</i> , 2002; |
| Fragola ('Pàjaro') | Aria calda satura di umidità. Immersione | 40-50 °C (30-75 min) 45 °C (15 min) | Danni da calore. Ridotta idrolisi polisaccaridi | Lara <i>et al.</i> , 2006 |
| Kiwi | Vapore riscaldato | 47-53 °C (3-6 min) | Controllo dei funghi patogeni. Sinergico rispetto all'etanolo | Lagopodi <i>et al.</i> , 2009 |
| Kiwi | Aria calda satura di umidità | 38 °C (30-120ore) | Ridotto sviluppo colore e aromi | Lurie, 2006 |
| Limoni | Immersione | 49 °C (60 sec) | Sinergico rispetto al fungicida TBZ | Smilanick <i>et al.</i> , 2006 |
| Limoni | Immersione | 50 °C (2 min) | Sinergico rispetto al fungicida IMZ | Dore <i>et al.</i> , 2009 |
| Litchi | Immersione | 49 °C (20 min) | Danni da calore | Follet e Sanxter, 2003 |
| Litchi ('McLean's Red') | Immersione | 50-60 °C (2 min-1 sec) | Controllo danno da freddo | Sivakumar e Korsten, 2006 |
| Mandarini ('Fortune') e altri agrumi | Aria calda satura di umidità | 37 °C (3 giorni) | Controllo del danno da freddo | Lafuente e Zacarias, 2006 |
| Mandarini ('Dancy') | Aria calda satura di umidità | 45-48 °C (1-4 ore) | Danni da calore | Lurie, 2006 |
| Mandarini ('Satsumas') | Immersione | 45-55 °C (2-5 min) | Danno da calore. Attività enzimi antiossidanti, ATPasi e pirofosfatasi | Ghasemnezhad <i>et al.</i> , 2007 |
| Mango | Aria calda satura di umidità. Vapore riscaldato. Immersione | 51,5 °C (125 min) 46-48 °C (3-5 ore) 42-49 °C (7-120 min) | Danni da calore | Jacobi <i>et al.</i> , 2001 |
| Mango | Immersione | 50 °C (60 min) | Quarantena. Accelerazione maturazione | Talcott <i>et al.</i> , 2005 |
| Mango ('Kensington Pride') | Immersione. Aria calda satura di umidità | 52 °C (10 min) 40 °C (8 ore) | Controllo dei funghi patogeni. | Lurie, 2006 |
| Mango | Immersione | 42 °C (24 ore) | Inibizione PPO e POD con mantenimento antociani | Mulas e Schirra, 2007 |
| Mele | Aria calda satura di umidità | 38 °C (4 giorni) | Controllo dei funghi patogeni. Sinergico rispetto a ceppi di antagonisti e bicarbonato di sodio | Mulas e Schirra, 2007 |
| Mele | Brushing | 60-65 °C (15 sec) | Danni da calore | Fallik <i>et al.</i> , 2001 |
| Mele | Aria calda satura di umidità | 38 °C (30-120ore) | Ridotto sviluppo colore e aromi | Lurie, 2006 |

Mulas e Schirra

| Prodotto | Trattamento | Temperatura (tempo) | Effetto | Bibliografia |
|---|--|---|--|----------------------------------|
| Melograne ('Mollar de Elche') | Immersione | 45 °C (4 min) | Incremento attività antiossidante, zuccheri e acidi | Mirdehghan <i>et al.</i> , 2006 |
| Meloni | Immersione | 55 °C (5 min) | Inibizione PPO e POD con mantenimento antociani | Mulas e Schirra, 2007 |
| Mirtilli | Immersione | 60 °C (15-30 sec) | Controllo dei funghi patogeni | Fan <i>et al.</i> , 2008 |
| Nettarine | Aria calda satura di umidità | 41-46 °C (24-48 ore) | Danni da calore | Lurie, 2006 |
| Nettarine ('Caldesi 2000' e 'Royal Glory') | Immersione | 46 °C (25 min) | Ridotto rammollimento della polpa | Malakou e Nanos, 2005 |
| Papaye | Aria calda satura di umidità | 32,5 °C (10 giorni) | Danni da calore | Lurie, 2006 |
| Papaye ('Sunrise') | Aria calda satura di umidità | 42 °C (6 ore) | Controllo danno da freddo. Ridotta azione SOD, CAT e POD | Huajaikeaw <i>et al.</i> , 2005 |
| Patate | Immersione | 50-55 °C (4-2 min) | Evita germogliamento | Lurie, 2006 |
| Pere | Immersione | 46 °C (10-20 min) | Controllo dei funghi patogeni. Sinergico rispetto a ceppi di antagonisti | Zhang <i>et al.</i> , 2008 |
| Pere ('Precoce di Fiorano', 'Coscia', 'Spadona estiva') | Immersione | 50 °C (3 min) | Controllo dei funghi patogeni. Sinergico rispetto al fludioxonil | Schirra <i>et al.</i> , 2008a |
| Pesche, susine e nettarine | Immersione | 51,5 °C (1 min e 30 sec) | Sinergico rispetto al fungicida 2,6-D-4-NA | Wells e Harvey, 1970 |
| Pesche | Aria calda satura di umidità | 37 °C (48 ore) | Controllo dei funghi patogeni. Sinergico rispetto a ceppi di antagonisti | Zhang <i>et al.</i> , 2007 |
| Pesche | Immersione. Aria calda satura di umidità | 37-43 °C (1-3 ore) 37-43 °C (8-24 ore) | Danno da calore | Zhou <i>et al.</i> , 2002 |
| Pesche ('Dixiland') | Aria calda satura di umidità | 39 °C (44 ore) | Diminuzione acidità totale e aumento pigmenti | Budde <i>et al.</i> , 2006 |
| Pitaya | Aria calda satura di umidità | 46,5-48,5 °C (20 min) | Quarantena | Hoa <i>et al.</i> , 2006 |
| Pomodori | Aria calda satura di umidità | 39 °C (90 min) | Ritardato sviluppo colore | Ali <i>et al.</i> , 2004 |
| Pomodori ('Rhapsody') | Aria calda con il 50% di UR | 34 °C (24 ore). 38 °C (24 ore) | Quarantena. Perdita antiossidanti e colore anorale. | Soto-Zamora <i>et al.</i> , 2005 |
| Pomodori | Immersione | 35 °C (12 ore) | Inibizione PPO e POD con mantenimento antociani | Mulas e Schirra, 2007 |

| Prodotto | Trattamento | Temperatura (tempo) | Effetto | Bibliografia |
|---------------|-------------------|------------------------|---|--|
| Sapote | Immersione | 60 °C (60 min) | Quarantena. Controllo imbrunimento | Diaz Perez <i>et al.</i> , 2001 |
| Spinaci | Immersione | 40 °C (3 min e 30 sec) | Ritardata senescenza e aumento antiossidanti | Gomez <i>et al.</i> , 2008 |
| Uva da tavola | Immersione | 50-60 °C (30-60 sec) | Controllo funghi patogeni. Sinergico rispetto all'etanolo. | Karabulut <i>et al.</i> , 2004; Gabler <i>et al.</i> , 2005 |
| Uva da tavola | Vapore riscaldato | 52,5-58 °C (18-30 min) | Danni da calore | Lydakakis e Aked, 2003 |

colta, hanno determinato l'impiego su scala industriale di questo mezzo di lotta che spesso è utilizzato in combinazione con altri mezzi fisici o chimici a bassa tossicità.

L'efficacia della termoterapia è associata alla scrupolosa e dettagliata messa a punto dei protocolli di applicazione in funzione della specie, della cultivar e dell'area di produzione, soprattutto alla luce dell'esigenza sempre più ricorrente di tempi di conservazione medio-brevi per i prodotti. Il mantenimento e talvolta l'esaltazione delle proprietà merceologiche e nutrizionali dei prodotti, grazie alle applicazioni di termoterapia, è ulteriormente possibile in funzione dell'avanzamento delle conoscenze sulla composizione biochimica degli stessi e delle espressioni geniche che intervengono nella sua modulazione.

Parole chiave: frutti, ortaggi, conservazione, controllo alterazioni, proprietà nutrizionali.

Bibliografia

- ALI M.S., NAKANO K., MAEZAWA S., 2004. *Combination effect of heat treatment and modified atmosphere packaging on the color development of cherry tomato*. *Postharvest Biology and Technology*, 34: 113-116.
- BROVELLI E.A., 2006. *Pre- and postharvest factors affecting nutraceutical properties of horticultural products*. *Stewart Postharvest Review*, 2: 5.
- BUDDE C.O., POLENTA G., LUCANGELI C.D., MURRAY R.E., 2006. *Air and immersion heat treatments affect ethylene production and organoleptic quality of 'Dixiland' peaches*. *Postharvest Biology and Technology*, 41: 32-37.
- CANTWELL M.I., KANG J., HONG G., 2003. *Heat treatment control sprouting and rooting of garlic cloves*. *Postharvest Biol. Tech.*, 30: 57-65.
- CISNEROS-ZEVALLOS L., 2003. *The use of controlled postharvest abiotic stresses as a tool for enhancing the nutraceutical content and adding value of fresh fruits and vegetables*. *J. Food Sci.*, 68: 1560-1565.
- COSTA M.L., CIVELLO P.M., CHAVES A.R., MARTINEZ G.A., 2005. *Effect of hot air treatment on senescence and quality parameters of harvested broccoli (Brassica oleracea L. var. Italica)*. *J. Sci. Food Agr.*, 85: 1154-1160.
- DANG K.T.H., SINGH Z., SWINNY E.E., 2008. *Impact of postharvest disease control methods and cold storage on volatiles, color development and fruit quality in ripe 'Kensington Pride' mangoes*. *J. Agr. Food Chem.*, 56: 10667-10674.
- D'AQUINO S., SCHIRRA M., PALMA A., ANGIANI A., CABRAS P., MIGHELI Q., 2006. *Residue levels and effectiveness of pyrimethanil vs imazalil when using heated postharvest dip treatment for control of Penicillium decay on Citrus fruit*. *J. Agr. Food Chem.*, 54: 4721-4726.
- DIÁZ PEREZ J.C., MEJIA A., BAUTISTA S., ZAVELETA R., VILLANUEVA R., GOMEZ R.L., 2001. *Response of sapote mamey [Pouteria sapota (Jacq.) H.E. Moore & Stearn] fruit to hot water treatments*. *Postharvest Biol. Tech.* 22: 156-167.
- DIMITRIS L., POMPODAKIS N., MARKELLOU E., LIONAKIS S.M., 2005. *Storage response of cactus pear fruit following hot water brushing*. *Postharvest Biol. Tech.*, 38: 145-151.
- DORÉ A., MOLINU M.G., VENDITTI T., D'HALLEWIN G., 2009. *Immersion of lemons into imazalil mixtures heated at 50 °C alters the cuticle and promoted permeation of imazalil into rind wounds*. *J. Agr. Food Chem.*, 57: 623-631.
- FALLIK E., 2004. *Prestorage hot water treatments (immersion, rinsing and brushing)*. *Postharvest Biol. Tech.*, 32: 125-134.
- FALLIK E., TUVIA-ALKALAI S., FENG X., LURIE S., 2001. *Ripening characterisation and decay development of stored apples after a short pre-storage hot water rinsing and brushing*. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2: 127-132.
- FAN L., FORNEY C.F., SONG J., DOUCETTE C., JORDAN M.A., McRAE K.B., WALKER B.A., 2008. *Effect of hot water treatments on quality of highbush blueberries*. *J. Food Sci.*, 73: 292-297.
- FAO, 2009. www.fao.org. Data di consultazione: 5 maggio 2009.
- FOLLET P.A., SANXTER S.S., 2003. *Lychee quality after hot water immersion and X-ray irradiation quarantine treatment*. *HortScience*, 38: 1159-1162.
- FUNAMOTO Y., YAMAUCHI N., SHIGENAGA T., SHIGYO M., 2003. *Involvement of peroxidase in chlorophyll degradation in stored broccoli (Brassica oleracea L.) and inhibition of activity by heat treatments*. *Postharvest Biol. Tech.*, 28: 39-46.
- GABLER F.M., SMILANICK J.L., GHOSOPH J.M., MARGOSAN D.A., 2005. *Impact of postharvest hot water or ethanol treatment of table grapes on gray mold incidence, quality, and ethanol content*. *Plant Disease*, 89(3): 309-316.
- GHASEMNEZHAD M., MARSH K., SHILTON R., BABALAR M., WOOLF A., 2007. *Effect of hot water treatments on chilling injury and heat damage in 'Satsuma' mandarins: antioxidant enzymes and vacuolar ATPase, and pyrophosphatase*. *Postharvest Biol. Tech.*, 48: 364-371.
- GOMEZ F., FERNANDEZ L., GERGOFF G., GUIAMET J.J., CHAVES A., BARTOLI C.G., 2008. *Heat shock increases mitochondrial H₂O₂ production and extends postharvest life of spinach leaves*. *Postharvest Biol. Tech.*, 49: 229-234.
- HAYWARD F.W., GRIESON W., 1960. *Effects of treatment conditions on o-Phenilphenol residues in oranges*. *J. Agr. Food Chem.*, 8: 308-310.

- HOA T.T., CLARK C.J., WADDELL B.C., WOOLF A.B., 2006. *Postharvest quality of Dragon fruit (Hylocereus hundatus) following disinfecting hot air treatments*. *Postharvest Biol. Tech.*, 41: 62-69.
- HUAJAIKAEW L., UTHAIRATANKIJ A., KANLAYANARAT S., GEMMA H., 2005. *Effect of heat treatment on antioxidants and quality changes in papaya fruit stored at low temperatures*. *Acta Hort.*, 682: 1063-1068.
- JACOBI K.K., MACRAE E.A., HETHERINGTON S.E., 2001. *Postharvest heat disinfestation treatments of mango fruit*. *Sci. Hort.*, 89: 171-193.
- JOHNSON J.A., WANG S., TANG J., 2003. *Thermal death kinetics of fifth-instar Plodia interpunctella (Lepidoptera: Pyralidae)*. *J. Economic Entomology*, 96(2): 519-524.
- KADER A.A., 2003. *A perspective on postharvest horticulture*. *HortScience*, 38(5): 1004-1008.
- KARABULUT O.A., GABLER M.F., MANSOUR M., SMILANICK J.L., 2004. *Postharvest ethanol and hot water treatments of table grapes to control gray mold*. *Postharvest Biol. Tech.*, 36: 169-176.
- LAFUENTE M.T., ZACARIAS L., 2006. *Postharvest physiological disorders in citrus fruit*. *Stewart Postharvest Review*, 1: 2.
- LAFUENTE M.T., ZACARIAS L., SALA J.M., SANCHEZ-BALLESTA M.T., GOSALBES M.J., MARCOS J.F., GONZALES-CANDELAS L., LLUCH Y., GRANELL A., 2005. *Understanding the basis of chilling injury in Citrus fruit*. *Acta Hort.*, 682: 831-842.
- LAGOPODI A.L., CETIZ K., KOUKOUNARAS A., SFAKIOTAKIS E.M., 2009. *Acetic acid, ethanol and steam effects on the growth of Botrytis cinerea in vitro and combination of steam and modified atmosphere packaging to control decay in kiwifruit*. *J. Phytopathology*, 157: 79-84.
- LARA I., GARCIA P., VENDRELL M., 2006. *Post-harvest heat treatment modify cell wall composition of strawberry (Fragaria x ananassa Duch.) fruit*. *Sci. Hort.*, 109: 48-53.
- LURIE S., 1998. *Postharvest heat treatments of horticultural crops*. *Hort. Review*, 22: 91-121.
- LURIE S., 2006. *The effect of high temperature treatment on quality of fruits and vegetables*. *Acta Horticulturae*, 712: 165-174.
- LYDAKIS D., AKED J., 2003. *Vapour heat treatment of Sultanina table grapes. II: effects on postharvest quality*. *Postharvest Biol. Tech.*, 27: 117-126.
- MALAKOU A., NANOS G.D., 2005. *A combination of hot water treatment and modified atmosphere packaging maintains quality of advanced maturity 'Caldesi 2000' nectarines and 'Royal Glory' peaches*. *Postharvest Biol. Tech.*, 38: 106-114.
- MARI M., NERI F., BERTOLINI P., 2007. *Novel approaches to prevent and control postharvest diseases of fruits*, *Stewart Postharvest Review*, 6: 1 - 7.
- MIRDEHGHAN S.H., RAHEMI M., SERRANO M., GUILLEN F., MARTINEZ-ROMERO D., VALERO D., 2006. *Prestorage heat treatment to maintain nutritive and functional properties during postharvest cold storage of pomegranate*. *J. Agr. Food Chem.*, 54: 8495-8500.
- MULAS M., 2006. *Tratamientos postcosecha de los citricos con calor para el control del daño por frio y la mejor eficacia de los tratamientos fungicidas*. *Todo Citrus*, 8(35): 13-21.
- MULAS M., SCHIRRA M., 2007. *The effect of heat conditioning treatments on the postharvest quality of horticultural crops*. *Stewart Postharvest Review*, 1: 2.
- MULAS M., PERINU B., FRANCESCO A.H.D., D'HALLEWIN G., SCHIRRA M., 2001. *Quality of blood oranges following heat treatments for disinfecting fruit fly*. *Proceedings of the International Conference "Improving postharvest technologies of fruits, vegetables and ornamentals"*. Murcia (Spain), October 19-21, 2000: 740-745.
- MULAS M., FADDA A., NIEDDU M.A., SCHIRRA M., 2004. *Effetti della termoterapia sulla fisiologia di frutti di arancio di diversa conservabilità*. *Italus Hortus*, 11(1): 49-51.
- MULAS M., MEREU V., SCHIRRA M., 2006. *Effetto dei trattamenti di termoterapia sulla produzione di etanolo e acetaldeide in frutti di agrumi*. *Italus Hortus*, 13(5): 38-42.
- MULAS M., MEREU V., LIGIOS G., SCHIRRA M., 2008. *Impact of heat treatments on respiration and ethylene production rates and on ethanol and acetaldehyde accumulation in the juice or their release by 'Valencia late' oranges during storage*. *Proceedings of the International Congress "Novel approaches for the control of postharvest diseases and disorders"*. Bologna, 3-5 may 2007: 206-215.
- PALOU L., SMILANICK J.L., USALL J., VIÑAS I., 2001. *Control of postharvest blue and green molds of oranges by hot water, sodium carbonate, and sodium bicarbonate*. *Plant Disease*, 85(4): 371-376.
- RAFAELI A., KOSTUKOVSKY A., CARMELI D., 2006. *Successful disinfestation of sap-beetle contaminations from organically grown dates using heat treatment. A case study*. *Phytoparasitica*, 34(2): 204-212.
- SCHIRRA M., 2005. *Postharvest pest management of horticultural crops by combined heat therapy and fungicide treatment*. *Acta Hort.*, 682: 2127-2132.
- SCHIRRA M., MULAS M., 1993. *Keeping quality of 'Oroblanco' grapefruit type as affected by hot dip treatments*. *Advances in Horticultural Science*, 7: 73-6.
- SCHIRRA M., MULAS M., 1994. *Storage of 'Monreal' clementines as affected by CaCl₂ and TBZ postharvest treatments*. *Agricoltura Mediterranea*, 124: 238-248.
- SCHIRRA M., MULAS M., 1995a. *Improving storability of 'Tarocco' oranges by postharvest hot-dip fungicide treatments*. *Postharvest Biol. Tech.*, 6: 129-138.
- SCHIRRA M., MULAS M., 1995b. *'Fortune' mandarin quality following prestorage water dips and intermittent warming during cold storage*. *HortScience*, 30(3): 560-561.
- SCHIRRA M., MULAS M., 1995c. *Influence of postharvest hot-water dip and imazalil-fungicide treatments on cold-stored 'Di Massa' lemons*. *Advances in Horticultural Science*, 9: 43-46.
- SCHIRRA M., MULAS M., 2008. *L'impiego della termoterapia per esaltare la qualità degli ortofrutticoli nella fase post-raccolta*. *Frutticoltura*, 70(4): 50-55.
- SCHIRRA M., MULAS M., BAGHINO L., 1995. *Influence of postharvest hot-dip fungicide treatments on 'Redblush' grapefruit quality during long-term storage*. *Food Sci. Tech. Int.*, 1 (1): 35-40.
- SCHIRRA M., AGABBIO M., D'HALLEWIN G., PALA M., RUGGIU R., 1997. *Response of 'Tarocco' oranges to picking date, postharvest hot water dips and chilling storage temperature*. *J. Agr. Food Chem.*, 45: 3216-3220.
- SCHIRRA M., D'HALLEWIN G., BEN-YEHOSHUA S., FALLIK E., 2000. *Host pathogen interaction modulated by heat treatment*. *Postharvest Biol. Tech.*, 21: 71-85.
- SCHIRRA M., CABRAS P., ANGIANI A., D'HALLEWIN G., PALA M., 2002a. *Residue uptake and storage responses of 'Tarocco' blood oranges after preharvest thiabendazole sprays and postharvest heat treatment*. *J. Agr. Food Chem.*, 50: 2293-2296.
- SCHIRRA M., BRANDOLINI V., CABRAS P., ANGIANI A., INGLESE P., 2002b. *Thiabendazole uptake and storage performance of Cactus Pear (Opuntia ficus-indica (L.) Mill. cv Gialla) fruit following postharvest treatments with reduced doses of fungicide at 52 °C*. *J. Agr. Food Chem.*, 50: 739-743.
- SCHIRRA M., DELOGU G., CABRAS P., ANGIANI A., D'HALLEWIN G., VEYRAT A., MARCOS J.F., CANDELAS L.G., 2002c. *Complexation of Imazalil with β-cyclodextrin, residue uptake, persistence, and activity against Penicillium decay in Citrus fruit following postharvest dip treatment*. *J. Agr. Food Chem.*, 50: 6790-6797.
- SCHIRRA M., MULAS M., FADDA A., CAULI E., 2004. *Cold quarantine responses of blood oranges to postharvest hot water and hot air treatments*. *Postharvest Biol. Tech.*, 31: 191-200.

- SCHIRRA M., MULAS M., FADDA A., MIGNANI I., LURIE S., 2005a. *Chemical and quality traits of 'Olinda' and 'Campbell' oranges after heat treatment at 44 or 46 °C for fruit fly disinfection*. LWT - Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie, 38: 519-527.
- SCHIRRA M., D'AQUINO S., PALMA A., MARCEDDU S., ANGIONI A., CABRAS P., SCHERM B., MIGHELI Q., 2005b. *Residue level, persistence, and storage performance of Citrus fruit treated with fludioxonil*. J. Agr. Food Chem., 53: 6718-6724.
- SCHIRRA M., D'AQUINO S., PALMA A., ANGIONI A., CABRAS P., MIGHELI Q., 2006. *Residues of the quinone outside inhibitor fungicide trifloxystrobin after postharvest dip treatments to control Penicillium spp. on citrus fruit*. J. Food Protection, 69: 1646-1652.
- SCHIRRA M., MULAS M., MELIS R.A.M., GIOBBE S., MIGHELI Q., GARAU A., ANGIONI A., CABRAS P., 2008a. *Efficacy of heat treatments with water and fludioxonil for postharvest control of blue and gray molds on inoculated pears and fludioxonil residues in fruit*. J. Food Protection, 71(5): 967-972.
- SCHIRRA M., D'AQUINO S., PALMA A., ANGIONI A., CABRAS P., 2008b. *Factors affecting the synergy of thiabendazole, sodium bicarbonate, and heat to control postharvest green mold of citrus fruit*. J. Agr. Food Chem., 56: 10793-10798.
- SCHIRRA M., PALMA A., D'AQUINO S., ANGIONI A., MINELLO E.V., MELIS M., CABRAS P., 2008c. *Influence of postharvest hot water treatment on nutritional and functional properties of kumquat (Fortunella japonica Lour. Swingle cv. Ovale) fruit*. J. Agr. Food Chem., 56: 455-460.
- SCHMIDT L.S., GOSOPH J.M., MARGOSAN D.A., SMILANICK J.L., 2006. *Mutation at β -tubulin codon 200 indicated thiabendazole resistance in Penicillium digitatum collected from California citrus packinghouses*. Plant Disease, 90: 765-770.
- SCHREINER M., HUYSKENS-KEIL S., 2006. *Phytochemicals in fruit and vegetables: health promotion and postharvest elicitors*. Critical Reviews in Plant Science, 25: 267-278.
- SHELLIE K.C., ROBERT I.M., 2000. *Postharvest disinfection heat treatments: response to fruit and fruit fly larvae to different heating media*. Postharvest Biol. Tech., 21: 51-60.
- SIVAKUMAR D., KORSTEN L., 2006. *Evaluation of the integrated application of two types of modified atmosphere packaging and hot water treatments on quality retention in the litchi cultivar 'McLean's Red'*. J. Hort. Sci. Biotech., 81: 639-644.
- SMILANICK J.L., MANSOUR M.F., SORENSEN D., 2006. *Pre- and postharvest treatments to control green mold of citrus fruit during ethylene degreening*. Plant Disease, 90(1): 89-96.
- SOTO-ZAMORA G., YAHIA E., BRECHT J.K., GARDEA A., 2005. *Effect of postharvest hot air treatment on the quality and antioxidant level in tomato fruit*. Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie, 38: 657-663.
- TALCOTT S.T., MOORE J.P., LOUNDS-SINGLETON A.J., PERCIVAL S.S., 2005. *Ripening associated phytochemicals changes in mangos (Mangifera indica) following thermal quarantine and low-temperature storage*. J. Food Science, 70(5): 337-341.
- VICENTE A.R., MARTINEZ G.A., CIVELLO P.M., CHAVES A.R., 2002. *Quality of heat-treated strawberry fruit during refrigerated storage*. Postharvest Biol. Tech., 25: 59-71.
- WEERAHEWA D., ADIKARAM N.K.B., 2005. *Heat-induced tolerance to internal browning of pineapple (Ananas comosus cv. 'Mauritius') under cold storage*. J. Hort. Sci. Biotech., 80(4): 503-509.
- WELLS J.M., HARVEY J.M., 1970. *Combination heat and 2,6-dichloro-4-nitroaniline treatments for control of Rhizopus and brown rot of peaches, plums, and nectarines*. Phytopathology, 60: 116-120.
- WSZELAKI A.L., MITCHAM E.J., 2003. *Effect of combination of hot water dips, biological control and controlled atmospheres for control of grey mold on harvested strawberry*. Postharvest Biol. Tech., 27: 255-264.
- ZHANG H., ZHENG X., WANG L., LI S., LIU R., 2005. *Effect of yeast antagonist in combination with hot water dips on postharvest Rhizopus rot of strawberries*. J. Food Engineering, 78: 281-287.
- ZHANG H., WANG L., ZHENG X., DONG Y., 2007. *Effect of yeast antagonist in combination with heat treatment on postharvest blue mold decay and Rhizopus decay of peaches*. Int. J. Food Microbiology, 115: 53-58.
- ZHANG H., WANG L., HUANG X., DONG Y., ZHENG X., 2008. *Integrated control of postharvest blue mold decay of pears with hot water treatment and Rhodotorula glutinis*. Postharvest Biol. Tech., 49: 308-313.
- ZHOU T., XU S.Y., SUN D.W., WANG Z., 2002. *Effects of heat treatment on postharvest quality of peaches*. J. Food Engineering, 34: 17-22.