

Moderne tecniche di lavorazione e confezionamento delle ciliegie

Marco Dalla Rosa*

DISTAL Alma Mater Studiorum Università di Bologna – Campus di Cesena

Advanced Technologies for cherry processing and packaging

Abstract. The evolution of food technologies through the use of the so-called emerging technologies lays the basis for obtaining products with at least partial stabilization level against microbial alterations with minimal modifications of the intrinsic sensory and nutritional qualities of the finished products. High hydrostatic pressures, pulsed electric fields, cold plasma and osmodehydration can be used for the processing of sweet and sour cherries, with obtaining products of good quality and medium-long shelf-life avoiding highly impacting thermal treatments.

High hydrostatic pressure can be used to obtain a partial stabilization of pitted cherries to prolong their shelf-life up to 15 days in refrigerated conditions without any severe thermal treatments. High pressure homogenization could be instead useful to multiple purposes like partial microbial stabilization, viscosity changes and bioactive compounds encapsulation of cherry juices.

Water removal without state exchanges can be performed using the direct osmosis dewatering technology. Up to the 70 % of the initial water had been showed to be removed with the immersion of sweet cherries to a hypertonic solution taking advantages of the difference of osmotic pressure between the fruits and the solution, even with any increase of temperature and very low energy demand. Since this technology is time consuming, pre-treatments like application of Ultrasounds or Pulsed Electric Fields (PEF) have been successfully applied in fruit osmotic dewatering. Furthermore, combining the osmotic dehydration and vacuum pulses it has been possible to introduce interesting enriching components like bioactive substances, probiotics and vitamins to reinforce the healthy contents of cherries. Eventually, surface treatments could be adopted to optimize the cherry skin permeability.

Among the new technologies potentially able to help the sanitation and thus the extension of the cherry shelf-life, cold plasma could be applied to decontaminate the fruit surface also in this case without any temperature increase.

The packaging of the fresh and finished products through the use of modified atmosphere packaging (MAP), combined with the choice of the most suitable flexible films can be a further key to improve the shelf life of the products.

Keywords: PEF, Ultrasound, Vacuum Impregnation, MAP, High Pressure.

Introduzione

I frutti di ciliegio sono generalmente considerati come un cibo altamente deperibile, a causa del tasso di rammollimento risultante dall'alto tasso di traspirazione e di respirazione dei tessuti, dei danni meccanici e dell'alta deperibilità causata dalle infezioni microbiche, che riducono drammaticamente la loro conservabilità e l'accettabilità da parte del mercato dopo la raccolta. Il principale trattamento post-raccolta, in grado di ridurre la perdita di qualità e di estendere la conservabilità del ciliegio dolce, è la conservazione al freddo (Petriccione *et al.*, 2015). La conservazione delle ciliegie fresche è in generale limitata da una corta vita post-raccolta, di 2-4 settimane a 0°, con il 90-95% di umidità relativa. Tuttavia il metodo di frigo-conservazione tradizionale generalmente causa alcuni disordini fisiologici, come la butteratura della superficie e la degradazione delle antocianine (Handong *et al.*, 2019). Pertanto, sia la presenza di microorganismi in grado di attaccare il prodotto, che il veloce progredire della senescenza, portano alla perdita degli attributi qualitativi del prodotto fresco. L'incidenza e l'evoluzione di questi fattori lungo la catena di raccolta e distribuzione sono elementi importanti da considerare in tutti gli stadi che portano al mantenimento di questi preziosi frutti. Infatti, numerosi studi hanno valorizzato i componenti benefici del ciliegio, dimostrando come il loro consumo possa contribuire a contrastare molte malattie, tra cui il cancro, le malattie cardiovascolari, il diabete e le malattie infiammatorie, come risultato del declino da stress ossidativo, soppressione tumorale, infiammazione e controllo di glucosio (McCune *et al.*, 2011). Dall'altro lato, la trasformazione delle ciliegie per prolungare la loro shelf-life è un

* marco.dallarosa@unibo.it

modo importante per offrire un'ampia gamma di prodotti durante tutto l'anno. La grande diversità di prodotti necessita una altrettanto vasta differenziazione nelle tecnologie di trasformazione.

Evoluzione della trasformazione tradizionale della ciliegia

Le tecniche di pastorizzazione tradizionali con l'uso del calore sono ancora i metodi maggiormente usati per i prodotti a base di ciliegie, che includono confetture, sciroppi di ciliegie e succhi.

Anche in caso di una pastorizzazione efficiente, questo processo può portare ad una perdita significativa della qualità del prodotto durante la conservazione, dovuta all'ossidazione, alle reazioni luminose e ad altre reazioni chimiche tra i composti. Poiana *et al.* (2011), analizzando il comportamento delle confetture prodotte usando il ciliegio dolce (*Prunus avium* L.) e acido (*Prunus cerasus* L.), hanno trovato che il processo termico delle confetture di frutta causa una notevole perdita del contenuto in vitamina C rispetto ai frutti congelati, che corrisponde al 70% per il ciliegio acido ed al 54% per il ciliegio dolce. Inoltre, nelle confetture, il tempo di conservazione induce un'alterazione del prodotto non significativa, dopo 1 mese, mentre ha rivelato differenze statisticamente significative (per la confettura di ciliegio acido) e altamente significative ($p < 0.01$) (per la confettura di ciliegio dolce) dopo solo 3 mesi di conservazione. Per quello che riguarda i cambiamenti nel contenuto totale di fenoli, le differenze statisticamente significative sono state notate dopo un periodo di tre mesi.

Dopo 3 mesi di conservazione a 20°C, la capacità antiossidante della confettura di ciliegio sia dolce che acido ha mostrato una minore svalutazione per il contenuto dei composti bioattivi studiati. Questo è confermato dal fatto che, un periodo di conservazione di tre mesi, non induce cambiamenti statisticamente significativi nell'attività antiossidante (valutata con valori FRAP - ferric reducing antioxidant power), mentre per gli altri parametri misurati come i fenoli totali, le antocianine monomeriche e vitamina C sono state notate riduzioni statisticamente significative.

Di conseguenza, l'ottimizzazione dei trattamenti termici è un punto fondamentale per migliorare la qualità delle ciliegie trasformate in confetture o in prodotti inscatolati. Inoltre, un approccio tecnologico potrebbe essere in grado di ridurre l'impatto della trasformazione sulla qualità del prodotto, come pure la combinazione di un trattamento termico con altre tecnologie come la disidratazione parziale e/o la conservazione refrigerata.

Nella prospettiva di ottenere succhi di ciliegie con una migliore qualità, le tecnologie a membrana filtrante come l'ultrafiltrazione o la nano-filtrazione possono essere usate per ottenere prodotti stabili oltre che per pulire e concentrare i succhi. Infatti, i metodi di filtraggio avanzati possono essere usati per ottenere prodotti sterili (Echavarría *et al.*, 2011). Questo risultato può essere ottenuto con un filtro avente dimensione dei pori inferiore a 45 µm, in grado di rimuovere batteri, lieviti e funghi. Bagger-Jørgensen *et al.* (2002) in un succo microfiltrato di ciliegio acido, riportano studi sull'effetto della temperatura del succo, del tasso di scorrimento e della dimensione dei pori sulla pressione di transmembrana, torbidità del succo, composti proteici, zuccherini e fenolici totali.

Tecnologie emergenti nella trasformazione delle ciliegie

Disidratazione osmotica e impregnazione sottovuoto

Dato che le operazioni di trasformazione tradizionali generalmente hanno un effetto negativo sull'efficienza funzionale del processo, recenti studi mostrano come una gestione adeguata delle tecnologie di trasformazione possa ridurre il loro impatto, perfino migliorando le proprietà funzionali del prodotto finale (Betoret *et al.*, 2015).

La disidratazione osmotica (DO) è un processo di disidratazione parziale svolto attraverso l'immersione del tessuto cellulare in una soluzione ipertonica. La differenza nel potenziale chimico dell'acqua tra il cibo ed il mezzo osmotico promuove il rilascio dell'acqua dal tessuto verso la soluzione osmotica con una simultanea saturazione del prodotto con i soluti, sebbene la complessa struttura cellulare del frutto agisca come una membrana semi-permeabile, creando una resistenza aggiuntiva alla diffusione dell'acqua dentro il frutto osmoticamente disidratato, diminuendo la mobilità e la disponibilità di acqua e promuovendo il miglioramento della stabilità dei tessuti di vegetali freschi (Dalla Rosa *et al.*, 2011; da Conceição Silva *et al.*, 2012). Il processo di osmo-disidratazione è caratterizzato dai seguenti aspetti: assorbimento dei soluti dalla soluzione osmotica, aumento del contenuto zuccherino, protezione parziale dall'attività enzimatica, bassa richiesta energetica per la rimozione dell'acqua, miglioramento dell'aroma, del sapore e del colore del prodotto finale (Pinnavaia *et al.*, 1988).

La disidratazione osmotica (DO) è un pre-trattamento comunemente usato prima dell'essiccazione all'aria o di altre tecniche di stabilizzazione come il congelamento, nell'ultimo caso risultando come un processo di osmo-disidratazione-congelamento.

Infatti, questa riduzione del contenuto in acqua nei cibi, dovuto alla disidratazione osmotica, ha un'influenza significativa sulle proprietà fisico-chimiche del prodotto finale. Allunga la shelf-life del frutto e migliora le sue capacità di conservazione attraverso l'abbassamento dell'attività dell'acqua (a_w). Tuttavia con il trattamento DO è difficile raggiungere valori di a_w in grado di mantenere la stabilità microbiologica (es. sotto $a_w=0,6$) perciò, per essere in grado di garantire questa stabilità, il frutto dovrebbe essere sottoposto ad un'ulteriore essiccazione o ad altre metodologie di trasformazione per renderlo totalmente sano dal punto di vista microbiologico.

Il processo di osmo-disidratazione-congelamento è stato applicato su ciliegio prima che su altri frutti da Pinnavaia *et al.* (1988), dove è stato visto come, durante il trattamento osmotico, le ciliegie butterate erano in grado di perdere fino al 40% dell'acqua iniziale dopo 8 ore di trattamento osmotico, e circa il 55% dopo 16 ore.

A causa del ridotto contenuto di acqua, i frutti disidratati osmoticamente hanno mostrato una velocità di congelamento più elevata ed un'evidente abbassamento del punto di congelamento (vicino a $-2,5^\circ\text{C}$). La rimozione parziale dell'acqua dal frutto prima del processo di congelamento ha portato alla concentrazione dei componenti citoplasmatici dentro le cellule, alla riduzione del contenuto in acqua libera e perciò dell'acqua congelabile e all'aumento del sovra-raffreddamento. Tutti questi fattori sono capaci di indurre le seguenti modifiche chimico-fisiche nel processo di congelamento:

- riduzione del calore latente di congelamento totale;
- minore domanda energetica nel processo di congelamento;
- velocità di congelamento più alto;
- aumento della micro-cristallizzazione dovuta al minore rapporto solidi/cristalli;
- riduzione del peso e del volume dei frutti congelati;
- migliore consistenza e sapore dei frutti scongelati;
- minore perdita di acqua allo scongelamento.

Le ciliegie butterate che hanno subito il trattamento di osmo-disidratazione-congelamento hanno mostrato, dopo lo scongelamento, un punteggio sensoriale più alto grazie al miglior sapore, aroma, colore e ad un più ricco profilo aromatico, rispetto al frutto fresco. Oltre che una facilitazione nel consumo, la rimozione del nocciolo è utile per migliorare la gestione del tessuto dato che la buccia cerosa della ciliegia lo ostacola.

Inoltre, il frutto fresco non trattato, allo stadio di

congelamento, di solito mostra una consistenza molto dura mentre le ciliegie osmo-discongelate hanno mostrato una buona consistenza, ancora piacevole al consumo e perciò sono impiegate con successo come ingrediente nei prodotti a basse temperature come ad esempio le formulazioni di gelato (Pinnavaia *et al.*, 1988).

Guardando alla sostenibilità del processo, la disidratazione osmotica permette una richiesta energetica inferiore durante la fase di concentrazione (teoricamente uguale a zero, dato che non avvengono passaggi di stato e che la rimozione dell'acqua può avvenire a temperatura ambiente perfino se il processo è temperatura-dipendente).

La figura 1 rappresenta uno schema generale del fenomeno della rimozione dell'acqua durante la disidratazione osmotica.

D'altra parte, applicando l'osmo-disidratazione come pre-trattamento all'essiccazione all'aria, chiamata anche essiccazione osmo-convettiva del frutto, in grado di ridurre l'attività dell'acqua in campioni essiccati, ad un livello vicino allo 0.75, e riducendo il rischio di scarto microbico, i benefici sono principalmente il mantenimento del colore naturale, del sapore, dell'aroma e la riduzione delle reazioni ossidative e della degradazione enzimatica.

In particolare, per il ciliegio acido, l'infusione e l'assorbimento degli zuccheri dalla soluzione osmotica ipertonica, che avviene durante la rimozione dell'acqua osmotica, è in grado di migliorare l'accettabilità delle ciliegie acide essiccate da parte del consumatore, che sono normalmente più aspre ed astringenti.

Infatti, per incoraggiare i consumatori ad aumentare il consumo di ciliegio acido, sarebbe desiderabile

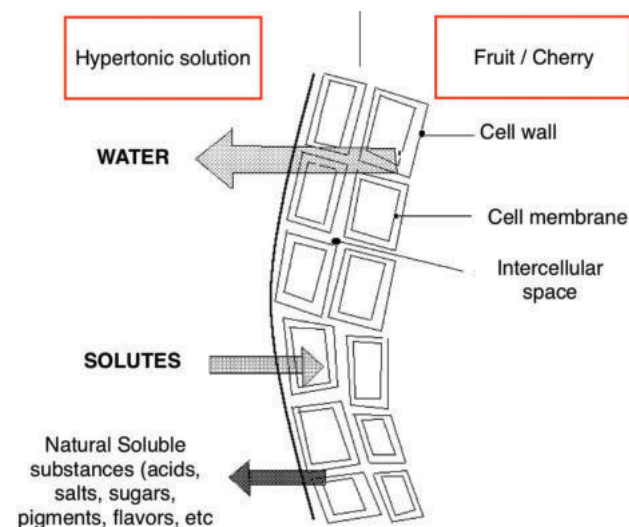


Fig. 1 - Schema generale dei fenomeni di rimozione dell'acqua e dei flussi dei soluti durante la disidratazione osmotica.

Fig. 1 - General scheme of the water removal and soluble fluxes phenomena during osmotic dehydration

lo sviluppo di nuovi prodotti basati su questo tipo di frutto. A questo scopo, la tecnologia di produzione di ciliegie acide essiccate osmo-convettivamente è stata proposta da numerosi autori (Siucinska *et al.*, 2016). Perciò, dopo l'essiccazione convettiva (CD), le ciliegie acide osmo-trattate (*Prunus cerasus* L.) diventano simili a uva passa e potrebbero essere consumate come uno snack pronto da mangiare (Siucinska *et al.*, 2016).

Pre-trattamenti con ultrasuoni

Sfortunatamente, il processo di produzione (essiccamento osmo-convettivo) di questo prodotto necessita di molto tempo ed è energeticamente dispendioso. Inoltre, a causa delle proprietà della buccia del frutto, che offre una barriera efficace contro la diffusione di acqua e soluti durante sia la disidratazione osmotica che il processo di essiccamento, sono stati proposti pre-trattamenti con ultrasuoni, per migliorare l'efficienza del processo in termini di consumo di tempo e di spostamento di massa.

L'utilizzo di trattamenti sonici nelle tecnologie alimentari è collegato all'effetto che esso può espletare nei tessuti biologici ed al fatto che la vasta maggioranza dei cibi (di origine animale e vegetale) ha un elevato contenuto di acqua. Il potere dell'ultrasuono promuove in maniera alternata la compressione e l'espansione del materiale (chiamato "effetto spugna"), che può portare alla rottura locale della struttura del tessuto ed alla formazione di microcanali. Questi fenomeni, relazionati ai cambiamenti microstrutturali ed alla promozione dei principali trattamenti massa/calore, possono essere utilizzati per migliorare i processi basati sulla massa e /o sullo spostamento di calore (Nowacka *et al.*, 2018).

Sulla base di queste conoscenze, guardando alla necessità di accelerare la produzione di ciliegie acide osmo-essiccate, i trattamenti con ultrasuoni sono stati identificati come fattori promettenti, che potrebbero essere potenzialmente utili per intensificare ed accelerare i processi di disidratazione del ciliegio acido. L'abilità degli ultrasuoni di interagire meccanicamente con le strutture cellulari del tessuto del frutto sembra offrire nuove possibilità per la realizzazione di nuovi prodotti come le ciliegie acide disidratate. Specialmente interessante è stata la modificazione della struttura dell'epidermide sullo stato superficiale, che può portare ad eventuali microporforazioni della buccia, e quindi a ridurre le barriere di diffusione dovute alla buccia stessa. Inoltre, l'uso della disidratazione osmotica assistita con ultrasuoni dovrebbe portare ad un più veloce incremento dei soluti e a ridurre il tempo di successiva asciugatura, favorendo quindi

la ritenzione dei composti, che risulta altamente positiva per la qualità finale del prodotto essiccato.

Al contrario, alcuni autori hanno riportato come, i trattamenti con ultrasuoni potrebbero invece portare a perdite sostanziali o alla deteriorazione dei composti biologicamente attivi, specialmente quando si considerano costituenti di proprietà idrofiliche, ma anche alla modificazione del colore (Siucinska *et al.*, 2016; Nowacka *et al.*, 2018).

Nel caso del ciliegio acido, se l'essiccazione osmo-convettiva viene combinata con il pre-trattamento a ultrasuoni, non si osserva un effetto significativo della sonificazione sull'intensificazione dello spostamento di massa durante la disidratazione osmotica e la seguente essiccazione. Un'applicazione prolungata di ultrasuoni, invece che creare micro-canali anticipati, ha causato la rottura delle pareti cellulari parenchimatiche nella parte più profonda del tessuto. Il risultato riportato da Siucinska *et al.* (2016) conferma il ruolo della porosità e della durezza del frutto per contribuire alla possibile utilità degli ultrasuoni per il miglioramento dello spostamento di massa ed evidenzia il ruolo primario della composizione del tessuto. Nel caso del ciliegio acido, le procedure devono essere ottimizzate per migliorare la combinazione del processo.

Un interessante sviluppo di questa tecnologia è stato riportato da Kowalski e Szadzinka (2014) dove l'essiccamento intermittente è stato introdotto dopo la osmo-disidratazione assistita da ultrasuoni. Lo scopo dell'intermittenza è stato quello di uniformare la distribuzione dell'umidità nei prodotti essiccati durante i periodi di "tempramento" (senza la fornitura di calore) e quindi di migliorare l'efficienza nell'essiccamento, come anche la qualità del prodotto. Lavorando con le ciliegie congelate con il nocciolo (*P. cerasus* L.) gli autori hanno trovato una differenza significativa tra i valori di aumento in sostanza solida e le perdite di acqua ottenuti dopo il pre-trattamento, con o senza ultrasuoni. Le applicazioni di ultrasuoni alla disidratazione osmotica hanno aumentato la perdita di acqua dal 18 [% wb] al 24 [% wb], determinando anche un aumento in zuccheri del 3 [% wb].

Impregnazione sottovuoto

Per meglio portare a termine l'efficienza nello spostamento di massa è stata introdotta un'altra variazione della disidratazione osmotica che prevede l'applicazione del vuoto volta a ridurre, anche con pulsazioni, le condizioni di pressione. La tecnologia di impregnazione sottovuoto (vacuum impregnation - VI) è un'operazione di spostamento di massa tra un mezzo liquido ed un alimento solido e poroso. I gradienti di

pressione creati nel sistema con la pressione capillare all'ingresso dei pori promuovono uno spostamento significativo di liquidi e gas tra il liquido e il solido. Lo studio della struttura porosa di alcuni alimenti e l'esistenza di gas che li occludono spiegano i meccanismi idrodinamici, alla base dell'impregnazione sottovuoto. Quando il prodotto solido, sommerso in un liquido, è sottoposto ad una pressione inferiore alle condizioni atmosferiche, il gas occluso nel solido subisce un'espansione per equilibrarsi con le pressioni esterne. Questo porta ad una degassificazione della struttura porosa in funzione della pressione applicata e, dall'altra parte, quando l'equilibrio viene raggiunto, una penetrazione del liquido nel tessuto per capillarità. Il ripristino della pressione atmosferica nel sistema promuove un nuovo gradiente di pressione che agirà come spinta e gli spazi intercellulari del prodotto solido verranno parzialmente riempiti dal liquido esterno (Betoret *et al.*, 2015). Apparentemente, l'unico lavoro di ricerca nell'applicazione di questa tecnica sul frutto di ciliegio è di Mao *et al.* (2017) su Lupins cherry, dove il processo di impregnazione usava una soluzione ricca di calcio. Altri autori hanno mostrato come il trattamento di impregnazione con soluzione calcica non abbia un effetto significativo sul contenuto in polisaccaridi della parete cellulare. Tuttavia, esso ha aumentato l'ampiezza della catena delle pectine chelato-solubili (120~160 nm) rispetto al gruppo di controllo e mostrato come gli ioni calcio possano migliorare la connessione incrociata tra le molecole di pectine.

Trasformazioni ad alta pressione (High Pressure Processing – HPP)

I trattamenti di trasformazione con alte pressioni (HPP) di alimenti tra cui succhi di frutta e puree, possono essere usati per inattivare microorganismi ed enzimi. Una grande quantità di studi fanno riferimento a diversi cibi e microorganismi, mostrando che forme diverse della stessa specie possono avere una resistenza alla pressione ampiamente variabile e come lo stadio di crescita dei batteri è importante per determinare la resistenza alla pressione. Infatti è stato visto come le cellule in fase stazionaria siano più resistenti alla pressione che quelle nella fase esponenziale.

L'applicazione di alte pressioni sopra i 300 MPa con somministrazione di calore molto bassa o nulla sta suscitando un interesse crescente, come metodo di pastorizzazione; come tecnologia emergente essa è già presente in tutti i continenti. I trattamenti HPP del succo di ciliegio dolce a 400 MPa per 5 min o a 550 MPa per 2 minuti, a 10 °C, è stato confrontato con la pastorizzazione termica a 70°C per 30 secondi (Queirós *et al.*, 2015). Tutti i trattamenti hanno ridotto la carica microbica a livelli non rilevabili per un periodo di conservazione refrigerata di 4 settimane.

Altri autori hanno mostrato come la pastorizzazione termica (TP) non abbia effetto sulle antocianine, mentre i trattamenti con la pressione le abbiano aumentate dell'8%, come abbiano determinato una minor perdita in fenoli totali durante la conservazione. I fenoli sono stati coinvolti in modo differente: la TP li aumenta del 6%, un trattamento di Pressione a

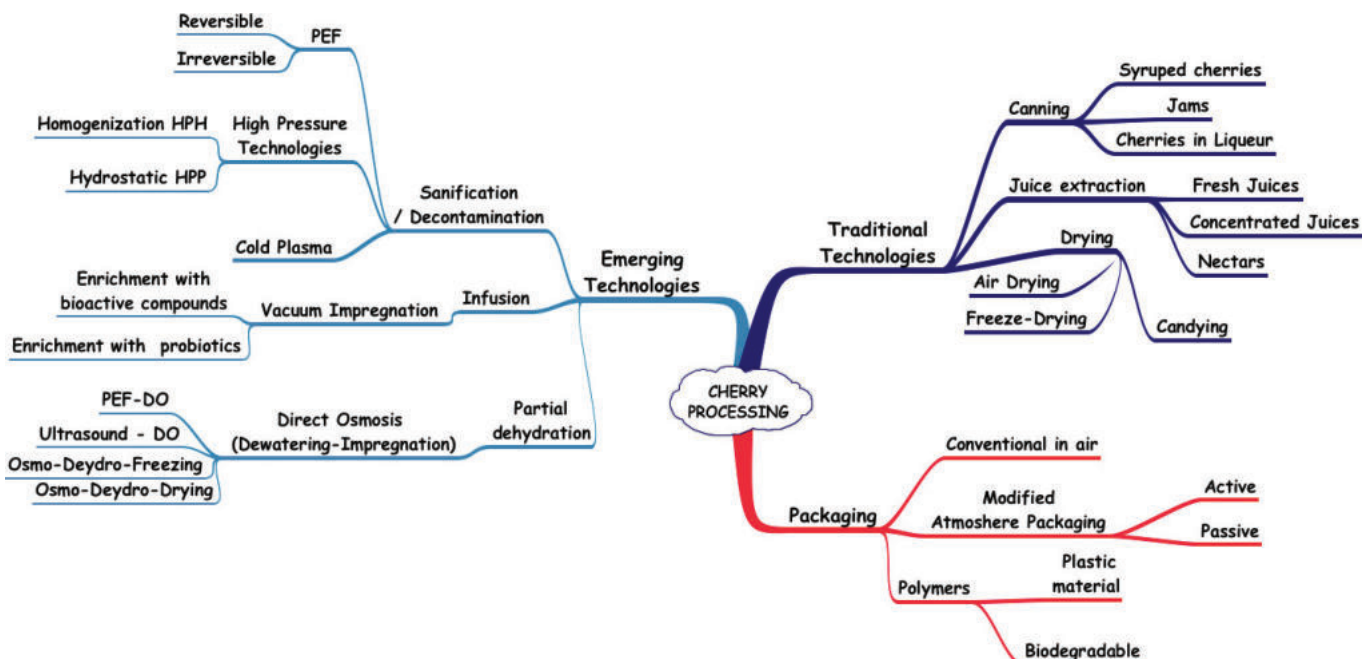


Fig. 2 - Mappa concettuale del processo di trasformazione delle ciliegie, includendo sia le tecnologie tradizionali che quelle innovative.

Fig. 2 - Mind Map of Cherry Processing including both traditional and innovative technologies.

400 MPa per 5 minuti (P1) non ha avuto effetto mentre un trattamento di pressione a 550 MPa per 2 minuti (P2) li ha diminuiti del 11%. Le antocianine sono diminuite durante la conservazione, in particolare nel controllo ed in condizioni P1 (diminuendo del 41%). Tutti i trattamenti non hanno avuto effetto sull'attività antiossidante fino al 14esimo giorno, dopodiché i campioni trasformati con le alte temperature hanno mostrato l'attività antiossidante più alta.

Bayındırli *et al.* (2006) hanno studiato il trattamento HPP sul succo di ciliegio acido inoculato con *Staphylococcus aureus*, *E. coli* e *Salmonella enteritis*, mostrando come il trattamento a 350 MPa per 5 minuti a 40°C inattivi completamente i patogeni. Al contrario, trattamenti a 250 MPa fino a 20 minuti non hanno abbassato i microorganismi inoculati in maniera sufficiente a garantire la stabilità del succo, anche se sono state misurate riduzioni significative. Gli enzimi della polifenolo-ossidasi sono risultati più resistenti alla degradazione rispetto ai batteri ed hanno necessitato di temperature più alte ed esposizioni più lunghe a HPP per essere eliminati in confronto ai batteri testati. Riguardo all'effetto dell'HPP sull'attività enzimatica, invece che usare pressioni più alte di 600 MPa a temperatura ambiente, è possibile utilizzare pressioni più basse, in corrispondenza di un aumento delle temperature. Tuttavia, le temperature di trasformazione devono essere basse per minimizzare i cambiamenti indesiderati di colore e sapore.

La combinazione tra i trattamenti a temperature ridotte (tiepide) e la trasformazione ad alte pressioni può portare perfino alla condizione di completa sterilizzazione (commerciale). Peng *et al.* (2018) hanno studiato gli effetti dell'alta pressione e della sterilizzazione ad alta temperatura per brevi periodi sulla qualità del succo di frutta. L'effetto di trattamenti a 550 MPa per 2 min e alta temperatura per breve tempo (HTST, 95 °C per 15 s) è stato confrontato su microbi, fenoli totali, vitamina C, antocianine, antiossidanti, capacità antiossidante, e qualità sensoriale del succo di ciliegio e sono stati valutati i cambiamenti della qualità durante la conservazione a 4°C. Curiosamente, gli autori mostrano come il numero totale di batteri dopo la HPP e la sterilizzazione HTST era meno di 100 CFU/mL, e che la muffa ed i lieviti non sono stati rilevati. Entrambi i trattamenti hanno avuto un ottimo effetto sterilizzante sul succo di ciliegio ma la riduzione microbica non ha raggiunto le condizioni di sterilizzazione commerciale.

La HPP non ha avuto un effetto significativo sulle pectine del succo di ciliegio, fenoli totali, vitamina C, pelargonidin-3,5-diglucoside ed il contenuto in catecolo, che è risultato aumentato del 4.6%. L'HTST ha

diminuito le pectine, i fenoli totali, il catecolo, la vitamina C, la pelargonidina-3-5-diglucoside del succo di ciliegia. Entrambi i processi non hanno cambiato in modo significativo la capacità antiossidante del campione. Il succo di ciliegia HPP ha avuto una migliore qualità sensoriale nell'aroma, sapore e colore rispetto al succo di ciliegia HTST (Peng *et al.*, 2018) ma in ogni caso è necessaria la conservazione refrigerata.

Simili risultati sono stati ottenuti da Garcia-Parra *et al.* (2017) su puree di ciliegie, che, soggette a diversi trattamenti termici, hanno mostrato come la trasformazione ad alta pressione potrebbe essere un'alternativa adatta per ottenere prodotti derivati dalle ciliegie con una migliore qualità nutrizionale rispetto alla pastorizzazione tradizionale.

Campi Elettrici Pulsati (Pulsed Electric Fields, PEF)

Recentemente, sono state introdotte nuove elettrotecnologie, come i campi elettrici pulsati (PEF), metodo per la pastorizzazione dei succhi e l'inattivazione degli enzimi.

Quella dei campi elettrici pulsati (PEF) è una tecnologia non-termica di preservazione che consiste nell'applicare pulsazioni elettriche attraverso un tessuto biologico posto tra due elettrodi per periodi di tempo molto brevi (dai micro- ai milli-secondi), causando cambiamenti strutturali nella membrana cellulare. Questo fenomeno viene chiamato elettroporazione o elettrocompressione; a seconda della forza del campo elettrico, essi possono essere reversibili o irreversibili. L'elettroporazione è prodotta quando un campo elettrico esterno induce cambi conformazionali e la riorganizzazione del doppio strato fosfolipidico, generando dei pori. L'elettrocompressione è prodotta dall'accumulo di cariche (elettroliti) da entrambi i lati della membrana cellulare, che attraendosi tra loro la comprimono. Quando questa compressione eccede la forza di ristorazione elastica, si distrugge la membrana e si generano pori; l'uso di un trattamento accoppiato (PEF/OD) nel kiwi biologico (Traffano-Schiffo *et al.*, 2016) ha dimostrato che la perdita di acqua è stata aumentata ed accelerata in confronto ai campioni che non sono stati pre-trattati con PEF.

Riguardo all'applicazione del trattamento PEF sui prodotti a base di ciliegia, Jensen (2017) ha riportato i risultati di numerosi autori, su succhi di ciliegia, analizzando la crescita di diversi batteri e funghi inoculati nel succo di ciliegio acido e gli effetti sulla qualità del succo stesso. Il succo di ciliegio acido a pH 3.1 inoculato con *Penicillium expansum* e trattato con PEF con una forza del campo di 30 kV cm⁻¹ per 218 µs ha inibito la germinazione delle spore. Analogamente, il trattamento PEF a 20 kV cm⁻¹ per 123 µs ha inibito la

germinazione delle spore di *Botrytis cinerea* inoculate nel succo. Sebbene la sopravvivenza di tutti i batteri e funghi sia stata ridotta significativamente all'aumentare della forza del campo elettrico fino a 30 kV cm⁻¹ e con un trattamento più lungo, fino a 200 µs, queste condizioni non sono risultate sufficienti per eliminare completamente la maggior parte delle specie patogene. Generalmente, nella maggior parte degli studi PEF si è riscontrata una riduzione della sopravvivenza di batteri e funghi ma una non completa eliminazione degli stessi (Evrendilek *et al.*, 2012). Nessuno dei trattamenti PEF ha influenzato significativamente i parametri qualitativi come °Brix, pH, acidità totale, colore *L-a-b*, contenuto in acido ascorbico o concentrazione di antocianine nel succo. L'elettroporazione reversibile con trattamenti PEF di intensità moderata può indurre la formazione di pori reversibili che facilitano l'estrazione di composti bioattivi come le antocianine e i polifenoli. Questi composti possono influenzare la crescita dei batteri probiotici esibendo sia effetti stimolanti che inibenti. Soweto *et al.* (2018) hanno mostrato come gli effetti dell'applicazione di PEF leggere o moderate influenzano le caratteristiche fisio-chimiche e microbiologiche delle ciliegie dolci. Riguardo il contenuto di antocianine nel campione di ciliegie, il glucoside cianidina è stato significativamente influenzato dai trattamenti PEF. I polifenoli sono aumentati significativamente al diminuire dell'intensità del campo elettrico. E' stato quindi mostrato come i trattamenti bassi o moderati abbiano un effetto positivo sulle proprietà fisico-chimiche e sui componenti bioattivi delle ciliegie che incontrerebbero l'attuale domanda dei consumatori per prodotti alimentari salutari con minima trasformazione e quasi-freschi.

Plasma Freddo

Tra le tecnologie avanzate emergenti, il gas plasma è attualmente usato per i bio-trattamenti; è un gas ionizzato (chiamato il quarto stato della materia) caratterizzato da particelle attive come elettroni, ioni, radicali liberi e atomi che sono sia nello stato energetico fondamentale che eccitato; le specie eccitate emettono fotoni (inclusendo i fotoni UV) quando cercando di arrivare allo stato fondamentale. La ionizzazione avviene applicando energia alla miscela di gas e particolarmente agli elettroni che, a turno, trasmettono l'energia alle specie più pesanti attraverso le collisioni. Il plasma non-termico o non in equilibrio sono prodotti a basse pressioni (come quella atmosferica), ed il comportamento degli elettroni e degli ioni è a turno influenzato dalla frequenza di eccitamento (Tappi *et al.*, 2014). La tecnologia al plasma assicura la sicurezza

microbiologica degli alimenti senza ulteriori conservanti e permette al cibo trasformato di mantenere il sapore naturale ed il valore nutrizionale del materiale alimentare originale. Pertanto, è riconosciuta come una tecnologia di minima lavorazione che assicura sia la sicurezza alimentare che il sapore. Date le basse temperature di lavorazione ed i simultanei effetti antimicrobici, il plasma freddo potrebbe essere visto come un'alternativa futura della pastorizzazione termica (Jensen, 2017).

I trattamenti con plasma freddo in fase gassosa sono un metodo che genera specie chimiche reattive attraverso l'esposizione, ad esempio, del gas argon ad un forte campo elettrico per generare un gas ionizzato a cui il succo viene esposto. Con una breve esposizione di 3 minuti al gas argon includendo un conseguente riscaldamento a 50°C per succo di ciliegio, gli esperimenti di Garofulić *et al.* (2015) riportano un contenuto più alto di antocianine e acidi fenolici rispetto alla pastorizzazione tradizionale a 80°C per 2 minuti. Il livello più alto di antocianine si crede sia il risultato di una dissociazione di agglomerati di piccole dimensioni delle particelle come conseguenza del trattamento.

Dasan e Boyaci (2018) hanno riportato uno studio con il plasma freddo atmosferico sull'inattivazione di *Escherichia coli* sulle proprietà fisio-chimiche dei succhi di mela, arancio, pomodoro e succo di ciliegio acido. Gli autori mostrano come i trattamenti con plasma freddo atmosferico possano essere usati come tecnologie emergenti per la trasformazione di succhi di frutta, dato che non influiscono sulla qualità del succo in termini di contenuto in fenoli, colore e pH e forniscono una temperatura sotto i 40°C, mentre mostrano una grande riduzione nella concentrazione di *E. coli*. Il trattamento ottimale con il plasma freddo, riporta questo studio, potrebbe essere usato potenzialmente come alternativa alla pastorizzazione convenzionale grazie alla qualità fenolica del succo di frutta. Paragonato ai campioni non trattati, gli autori dimostrano come con le loro condizioni sperimentali i trattamenti al plasma hanno mostrato un contenuto in fenoli totali più alto (10-15%), che conferma come il plasma abbia un effetto positivo nella stabilità dei fenoli.

Tuttavia, l'applicazione di plasma atmosferico e non termico a materiali alimentari liquidi necessita di studi ulteriori, riguardo i parametri che influenzano il meccanismo di inattivazione in linea con la matrice alimentare e le interazioni plasma-liquido.

Confezionamento

Un'allungamento della vita di conservazione delle ciliegie a basse temperature è possibile quando usato in combinazione con l'atmosfera controllata (CA) o

con confezioni ad atmosfera modificata (MAP), dove si è visto come livelli più bassi di ossigeno (O_2) e più alti di diossido di carbonio (CO_2) nell'atmosfera di conservazione, migliorano la conservazione delle ciliegie. Le confezioni ad atmosfera modificata (MAP) sono state estensivamente studiate e sono ampiamente usate a livello commerciale per estendere la vita di conservazione come riassunto da Chockchaisawasdee *et al.* (2016).

I benefici dei MAP sono gli stessi della CA dove basso O_2 e alta CO_2 possono essere usati per ridurre i tassi di respirazione, i tassi di ossidazione chimica e la crescita di microorganismi aerobici, che di conseguenza aumentano la vita di conservazione del frutto. MAP ha anche mostrato di ridurre la perdita nel contenuto in solidi solubili, il rammollimento del frutto e di minimizzare la riduzione in peso del frutto durante la conservazione.

E' stato anche riportato che i MAP attivi arricchiti con CO_2 ritardano efficacemente il picco di respirazione delle ciliegie, ritardando la produzione di etilene e mantenendo la durezza, le proteine solubili ed il contenuto in zuccheri nel frutto. Gli effetti primari di bassa O_2 ed alta CO_2 riguardano la soppressione del tasso di respirazione delle ciliegie, i cambiamenti nei livelli di O_2 e di CO_2 possono anche influenzare altri parametri di qualità come il metabolismo dei pigmenti, dei fenoli e dei composti volatili. I livelli di CO_2 e di O_2 necessitano di essere mantenuti in maniera attenta dato che eccessi di CO_2 o livelli di O_2 troppo basso possono causare un danno irreversibile al frutto ed indurre sapori sgradevoli accorciando quindi la shelf-life del prodotto. Sotto regolare bassa O_2 e/o alta CO_2 , sono stati riportati molti effetti positivi nella conservazione con atmosfera controllata delle ciliegie, i quali ritardano il declino nel contenuto in solidi solubili, il mantenimento della durezza, della colorazione del picciolo, della lucentezza, e la riduzione della superficie butterata ed il decadimento microbico.

Il confezionamento attivo è stato sperimentato usando olii essenziali in combinazione con i MAP. L'uso di olii essenziali di eugenolo, timolo, è stato mostrato favorire gli effetti dei MAP, in termini di ritardo dell'imbrunimento del picciolo, ritardo nelle perdite di acidità e riduzione della proliferazione di muffe, lieviti e batteri aerobici mesofilici durante la conservazione del ciliegio dolce, come riportato da Chockchaisawasdee *et al.* (2016).

Conclusioni

Come riportato da Chockchaisawasdee *et al.* (2016), le ciliegie dolci ma anche quelle acide conten-

gono alti livelli di composti nutritivi e non, associati a benefici sulla salute umana. Le tecnologie per la preservazione e trasformazione dovrebbero essere migliorate per mantenere al meglio i loro attributi qualitativi e per sostenere l'aumento del valore di mercato del prodotto, della produzione e dell'areale di raccolta delle ciliegie dolci. Questi fattori sono aumentati rapidamente negli ultimi 15 anni e continuano a crescere, il che dimostra la crescente importanza di questo prodotto nell'industria alimentare e nella frutticoltura. A parte l'aumento della qualità e l'accesso del ciliegio nel mercato fresco, la valorizzazione delle ciliegie di seconda scelta è una componente importante del valore aggiunto di queste attuali risorse sotto-utilizzate. Inoltre è necessario anche ampliare la valorizzazione delle ciliegie di prima scelta, altamente deperibili, usando tecnologie di processo nuove ed emergenti che mantengano un basso impatto sulla qualità. Al fine di sfruttare al meglio l'eccellente qualità nutrizionale funzionale e sensoriale del ciliegio dolce e acido, è necessario investire in ricerca e sviluppo sulla preservazione e trasformazione della ciliegia.

Riassunto

L'evoluzione delle tecnologie alimentari, attraverso l'utilizzo delle cosiddette tecnologie emergenti, pone le basi per l'ottenimento di prodotti con un livello di stabilizzazione almeno parziale, nei confronti delle alterazioni microbiche, con modificazioni minime delle qualità intrinseche, sia sensoriali sia nutrizionali dei prodotti finiti. Alte pressioni idrostatiche, campi elettrici pulsati, plasma freddo ed osmo-deidratazione possono venire impiegati per la trasformazione di ciliegie e amarene, con ottenimento di prodotti di buona qualità e medio-lunga shelf-life. Il confezionamento del fresco e dei prodotti finiti mediante l'utilizzo di atmosfere modificate, in combinazione con la scelta dei film più adatti può essere una ulteriore soluzione per migliorare la conservabilità dei prodotti.

Parole chiave: PEF, Ultrasuoni, Vacuum Impregnation, MAP, High Pressure.

Bibliografia

- BAYINDIRLI, A., ALPAS, H., BOZOĞLU, F. AND HIZAL, M. 2006. *Efficiency of high pressure treatment on inactivation of pathogenic microorganisms and enzymes in apple, orange, apricot and sour cherry juices*. Food Control 17, 52–58.
- BETORET, E., BETORET, N., ROCCULI, P., DALLA ROSA, M. 2015. *Strategies to improve food functionality: Structure property*

- relationships on high pressures homogenization, vacuum impregnation and drying technologies.* Trends in Food Science & Technology 46, 1-12.
- DALLA ROSA, M., TYLEWICZ, U., PANARESE, V., LAGHI, L. PISI, A., SANTAGAPITA, P., ROCCULI, P., 2011. *Effect of osmotic dehydration on kiwifruit: results of a multianalytical approach to structural study.* Journal on Processing and Energy in Agriculture 15, 3, 113-117.
- DASAN, B. G., BOYACI, I. H., 2018. *Effect of cold atmospheric plasma on inactivation of Escherichia coli and physicochemical properties of apple, orange, tomato juices, and sour cherry nectar.* Food and Bioprocess Technology, 11 (2), 334-343.
- ECHAVARRÍA, A.P., TORRAS, C., PAGÁN, J., IBARZ, A. 2011.) *Fruit juice processing and membrane technology application.* Food Engineering Reviews 3, 136-158
- EVRENDILEK, G.A., BAYSAL, T., ICIER, F., YILDIZ, H., DEMIRDOVEN, A. AND BOZKURT, H., 2012. *Processing of fruits and fruit juices by novel electrotechnologies.* Food Engineering Reviews 4, 68-87.
- GARCIA-PARRA, J.; MASEGOSA, R.; DELGADO-ADAMEZ, J.; GONZALEZ-CEBRINO, F.; RAMIREZ, R. 2017. *Effect of the thermal treatment and high pressure processing for the preservation of purees from two different cherry cultivars ("Pico Negro" and "Sweetheart") grown in "Valle del Jerte" (Spain).* Acta Horticulturae, 1161, 497-502.
- GAROFULIC, I.E., JAMBRAK, A.R., MILOŠEVIĆ, S., DRAGOVIĆ-UZELAC, V., ZORIĆ, Z., HERCEG, Z. 2015. *The effect of gas phase plasma treatment on the anthocyanin and phenolic acid content of sour cherry Marasca (Prunus cerasus var. Marasca) juice.* LWT Food Sci. Technol. 62, 894-900.
- HANDONG ZHAO, BANGDI LIU, WANLI ZHANG, JIANKANG CAO, WEIBO JIANG 2019. *Enhancement of quality and antioxidant metabolism of sweet cherry fruit by near-freezing temperature storage.* Postharvest Biology and Technology 147 (2019) 113-122.
- JENSEN, M., 2017. *Processing for Industrial Uses.* In "Cherries, Botany, Production and Uses", Quero-Garcia, J., Iezzoni, A., Pulawska, J. And Lang, G. (eds.), CAB International.
- KOWALSKI, S.J., SZADZINSKA, J., 2014. *Convective-intermittent drying of cherries preceded by ultrasonic assisted osmotic dehydration.* Chemical Engineering and Processing 82, 65-70.
- MAO, J., CHEN, F., ZHANG, L., LAI, S. 2017. *Effect of vacuum impregnation with calcium on impregnation properties and cell wall polysaccharides of Lapins cherry.* Modern Food Science and Technology (No. 1), 112-118.
- MCCUNE, L.M., KUBOTA, C., STENDELLHOLLIS, N.R., THOMSON, C.A., 2011. *Cherries and health: a review.* Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 51, 1-12.
- MIRTES APARECIDA DA CONCEIÇÃO SILVA, ZAUQUE ERNESTO DA SILVA, VIVIANA COCCO MARIANI, SÉBASTIEN DARCHE, 2012. *Mass transfer during the osmotic dehydration of West Indian cherry.* LWT - Food Science and Technology 45, 246-252.
- NOWACKA, M., FIJALKOWSKA, A., WIKTOR, A., DADAN, M., TYLEWICZ, U., DALLA ROSA, M., WITROWA-RAJCHERT, D. 2018. *Influence of power ultrasound on the main quality properties and cell viability of osmotic dehydrated cranberries.* Ultrasonics 83, 33-41.
- PENG, P., HOU, Z., XU, Z., LIAO, X. 2018. *Effects of high pressure and high temperature short time sterilization on the quality of cherry juice.* Science and Technology of Food Industry, 17, 71-78.
- PETRICCIONE, M., DE SANCTIS, F., PASQUARIELLO, M.S., MASTROBUONI, F., REGA, P., SCORTICHINI, M., MENCARELLI, F., 2015. *The effect of chitosan coating on the quality and nutraceutical traits of sweet cherry during postharvest life.* Food Bioprocess Technol. 8, 394-408.
- PINNAVAIA G., DALLA ROSA M., LERICI C.R., 1988. *Dehydrofreezing of fruit using direct osmosis as concentration process.* Acta Alimentaria Polonica, Cracow, Poland, 14 (1), 51-57.
- POIANA, M.A., MOIGRADEAN, D., DOGARU, D., MATEESCU, C., RABA, D. AND GERGEN, I. 2011. *Processing and storage impact on the antioxidant properties and color quality of some low sugar fruit jams.* Romanian Biotechnological Letters 16, 6504-6512.
- QUEIRÓS, R.P., RAINHO, D., SANTOS, M.D., FIDALGO, L.G., DELGADILLO, I. AND SARAIVA, J.A., 2015. *High pressure and thermal pasteurization effects on sweet cherry juice microbiological stability and physicochemical properties.* High Pressure Research 35, 69-77.
- SOTELO, K. A. G., HAMID, N., OEY, I., POOK, C., GUTIERREZ-MADDOX, N., MA, Q., YING LEONG, S., JUN LU. 2018. *Red cherries (Prunus avium var. Stella) processed by pulsed electric field -Physical, chemical and microbiological analyses* Food Chemistry 240 (2018) 926-934.
- SOTELO, K. A. G.; HAMID, N.; OEY, I.; POOK, C.; GUTIERREZ-MADDOX, N.; MA, Q.; YING LEONG, S.; JUN LU (2018.) *Red cherries (Prunus avium var. Stella) processed by pulsed electric field - Physical, chemical and microbiological analyses.* Food Chemistry; 240, 926-934.
- SUWIMOL CHOCKCHASAWASDEE, GOLDING, J. B., VUONG, Q. V., PAPOUTSIS, K., STATHOPOULOS, C. E., 2016. *Sweet cherry: Composition, postharvest preservation, processing and trends for its future use.* Trends in Food Science & Technology, 55, 72-83.
- TRAFFANO-SCHIFFO, M. V., TYLEWICZ, U., CASTRO-GIRALDEZ, M., FITO, P. J., RAGNI, L., DALLA ROSA, M. 2016. *Effect of pulsed electric fields pre-treatment on mass transport during the osmotic dehydration of organic kiwifruit.* Innovative Food Science & Emerging Technologies, 38, 243-251.