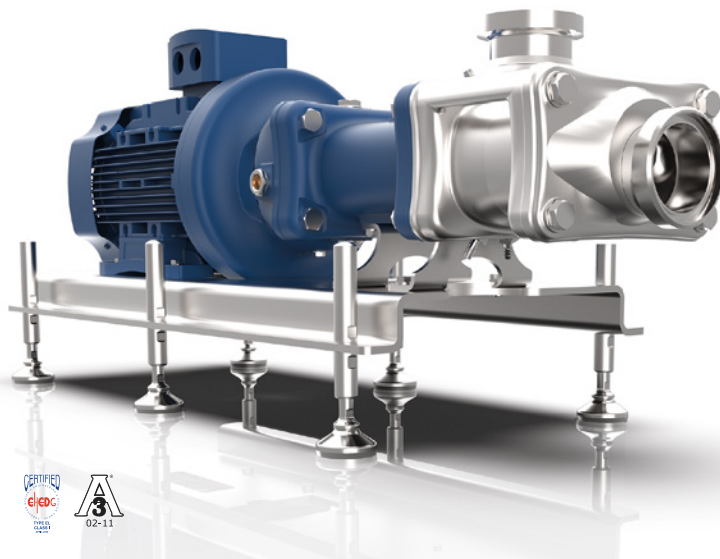
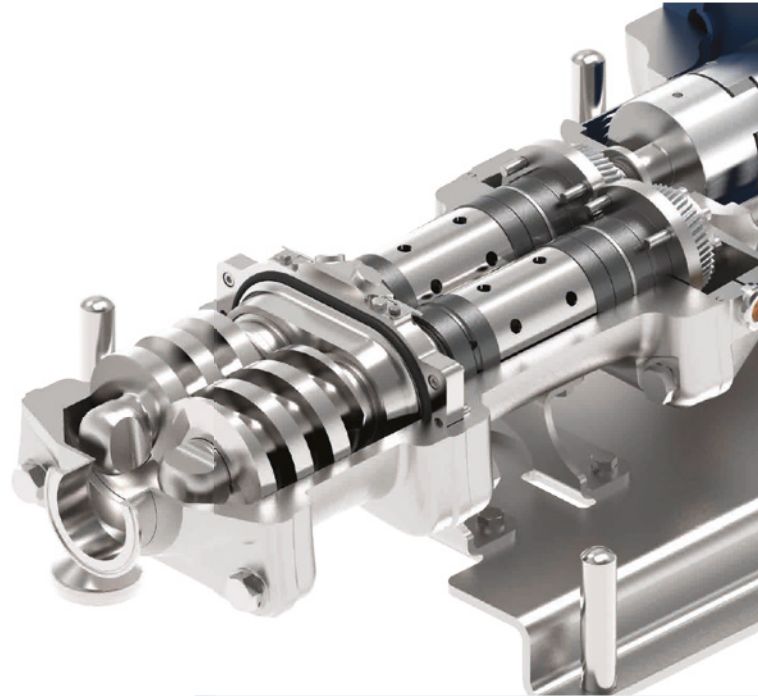


INDUSTRIE ALIMENTARI



www.fluitech.com
agitazione, pompaggio, filtrazione



Pompe sanitarie a doppia vite
WANGEN TWIN NG
per l'industria alimentare,
chimica e farmaceutica



Poste Italiane spa - Sped. in A.P. - D.L. 353/2003 (Conv. in L. 27/02/2004 n° 46) art. 1 comma 1 MBPA NORD OVEST - n. 10/2021 - IP - ISSN 0019-901X



V. FALCONI¹ - G. PAOLINI¹ - R. MOSCETTI² - S. CROGNALE² - E. CAROTA²
A. BANDIERA² - R. MASSANTINI^{2*}

¹Italia ortofrutta Soc. Cons. arl - Via Alessandria 199/c - 00198 Roma

²Dipartimento per la innovazione nei sistemi biologici,
agroalimentari e forestali - Università della Tuscia
Via S. Camillo de Lellis snc - 01100 Viterbo

*email: massanti@unitus.it

Impiego della foto ossidazione catalitica per la conservazione in post-raccolta degli ortofruttili

■ PAROLE CHIAVE

Sanitizzazione, carica microbica, aerodispersi, qualità, frutta e verdura, PCO

RIASSUNTO

La conservazione in post-raccolta mira ad ottenere dei prodotti caratterizzati da alta qualità (sensoriale e nutrizionale), prolungata shelf-life e salubrità (assenza di contaminazioni chimiche, fisiche e microbiologiche). Il deterioramento qualitativo di frutta e verdura e lo sviluppo microbico possono essere contrastati con mezzi fisici e/o chimici. Le operazioni in post-raccolta più importanti riguardano il lavaggio sanificato del prodotto, ove possibile, l'adozione della bassa temperatura e delle atmosfere controllate, nonché l'eventuale trattamento con prodotti chimici (es. ozono). Tra i sistemi sanificanti in sperimentazione sta acquisendo sempre più interesse la foto ossidazione idrata catalitica (PCO), impiegata per ridurre il numero di contaminanti organici aerodispersi (VOCs, batteri e funghi).

Lo scopo della presente sperimentazione è stato quello di valutare l'impatto della tecnologia PCO su conservabilità, qualità e salubrità di alcuni prodotti ortofruttili, adottando dei tempi di conservazione refrigerata superiori agli standard.

La sperimentazione ha mostrato una certa efficacia della PCO nel contenere lo sviluppo microbico degli aerodispersi, con particolare riguardo alla carica microbica. L'effetto sulla carica microbica superficiale del prodotto è talvolta evidente, ma fortemente condizionato dallo stato di pulizia della cella di conservazione e del prodotto stesso. Gli effetti positivi e/o negativi sulla qualità del prodotto sono minimi ed ulteriori indagini saranno necessarie per comprenderli.

*Use of photo
catalytic oxidation
for the post-harvest
storage of fruit and
vegetables*

■ KEYWORDS

Sanitization, microbial load, airborne, quality, fruit and vegetables, PCO

SUMMARY

Post-harvest storage aims to obtain products characterized by high quality (sensory and nutritional), prolonged shelf-life and safety (absence of chemical, physical and microbiological contaminations). Quality deterioration of fruits and vegetables and microbial growth can be counteracted by physical and/or chemical means. The most important post-harvest operations concern the sanitized washing of the product, where possible, the adoption of low temperature and controlled atmospheres, as well as the possible treatment with chemical products (e.g., ozone). Among the sanitizing systems under experimentation, the photo catalytic oxidation (PCO) is gaining more and more interest and it is used to reduce the number of airborne organic contaminants (i.e., VOCs, bacteria and fungi).

The aim of the present experimentation was to evaluate the impact of PCO technology on the shelf life, quality and safety of some fruit and vegetable products, adopting longer than standard refrigerated storage times.

The experimentation showed a certain effectiveness of PCO in containing biological airborne contaminants, with particular regard to the microbial load. The effect on the surface microbial load of the product is sometimes evident, but strongly conditioned by the state of cleanliness of the storage cell and of the product itself. The positive and/or negative effects on product quality are negligible and further investigations will be necessary to prove them.



Introduzione

Le problematiche dello stoccaggio in post-raccolta coinvolgono tutta la filiera agroalimentare (Petriccione G., 2014). La shelf-life, la qualità (organolettica e nutrizionale) e la salubrità di un ortofruitticolo sono aspetti sia legati a fattori intrinseci (caratteristiche genetiche, stadio di maturazione, colore, sapore, ecc.) che a fattori estrinseci (pratiche agronomiche, clima, periodo e condizioni di raccolta e stoccaggio, danni, attacchi parassitari, politiche commerciali, logistica, esigenze di produttori e consumatori, ecc.) (Clarkson *et al.*, 2005; Glowacz *et al.*, 2015; Mezzetti and Leonardi, 2009; Zhang *et al.*, 2007). È implicito quindi che il concetto di qualità di un prodotto non faccia riferimento alle sole caratteristiche chimiche, fisiche e chimico-fisico dello stesso, ma anche ad aspetti legati alla sicurezza chimica, fisica e microbiologica (Glowacz *et al.*, 2015).

Il deterioramento qualitativo di frutta e verdura e la proliferazione microbica sono usualmente contrastati dal sinergismo di alcune operazioni in post-raccolta, quali: selezione e cernita, lavaggio e sanificazione, pre-refrigerazione e conservazione in atmosfera controllata/modificata a bassa temperatura, talvolta in ambiente sanitizzato (Glowacz *et al.*, 2015). Fondamentale anche il rispetto della catena del freddo nelle successive fasi di distribuzione e vendita.

Relativamente alla sanificazione dell'ortofrutta, il lavaggio in acqua clorinata o ozonizzata è sicuramente il più comune, in quanto di semplice e rapido

impiego (Ölmez and Kretzschmar, 2009). L'efficacia del trattamento è influenzata da [i] tipologia di microrganismi bersaglio, [ii] caratteristiche superficiali del prodotto, [iii] presenza di biofilm, [iv] tipologia di lavaggio e [v] modalità di esecuzione del lavaggio stesso (tempo, tipologia e concentrazione di sanitizzante, pH, temperatura, ecc.) (Allende *et al.*, 2008). Tuttavia, il lavaggio sanitizzato non è applicabile agli ortofruitticoli soggetti ad assorbimento di acqua, che paradossalmente ne riduce drasticamente la conservabilità. In aggiunta, l'utilizzo del cloro è attualmente in discussione in quanto ha dei limiti legati all'efficacia nel controllo di agenti patogeni resistenti (Glowacz *et al.*, 2015), agli effetti dei composti organici clorurati sulla salute umana, sull'ambiente e sulle caratteristiche sensoriali dell'alimento (Selma *et al.*, 2008). È per tali motivi che l'ozono (O_3) sta gradualmente sostituendo l'impiego del cloro per la disinfezione sia delle acque che degli ambienti. L'ozono è un agente fortemente ossidante, spesso utilizzato in alternativa ai trattamenti chimici. Non rilascia residui (Horvitz and Cantalejo, 2014). Ha un effetto battericida su Gram positivi, Gram negativi, lieviti, funghi, spore ed una vasta gamma di virus. In genere, l'ozono permette di prolungare la shelf life senza effetti apparenti sulla qualità del prodotto (Glowacz *et al.*, 2015). Tuttavia, è stato documentato un effetto negativo su prodotti suscettibili o nel caso di impiego di elevate concentrazioni (Ölmez and Kretzschmar, 2009). L'ozono può comportare lesioni fisiologiche causa di im-

brunimento, corrosione, perdita di peso, ecc., stress ossidativi nei tessuti vegetali e morte cellulare (Glowacz *et al.*, 2015; Horvitz and Cantalejo, 2014).

In sostituzione all'ozono, altri sistemi sanitizzanti sono in fase di sperimentazione. Tra questi, particolare interesse lo suscita l'impiego della foto ossidazione catalitica (photocatalytic oxidation, PCO), utilizzata per ridurre la concentrazione di contaminanti organici nell'aria (VOCs, batteri e muffe), degradandoli in CO_2 ed H_2O (Selma *et al.*, 2008). La PCO è un processo innovativo, con un impatto ambientale minore rispetto ai sanitizzanti classici (Trevisan, 2011), con un maggiore potere ossidante rispetto all'ozono (Maneerat *et al.*, 2003) e che può essere utilizzata anche in presenza di personale.

La tecnologia PCO si basa sull'irradiazione nell'ultravioletto di un fotocatalizzatore (semiconduttore metallo-ossido puro o dopato) (Shepis, 2015) (**Fig. 1**). I fotoni che colpiscono il catalizzatore provocano il passaggio di un elettrone dalla banda di valenza a quella di conduzione, generando un vuoto elettronico. Tale vuoto elettronico è in grado di provocare reazioni di ossidoriduzione. In particolare, il vuoto elettronico reagisce con l'umidità dell'aria, generando radicali idrossili ($OH\cdot$) e anioni superossido ($O_2\cdot^-$). I due composti sono fortemente ossidanti e possono degradare la sostanza organica con cui entrano in contatto (Maneerat *et al.*, 2003). Le specie reattive dell'ossigeno possono danneggiare irreparabilmente una cellula microbica, degradandone irreparabilmente la parete cellulare e la membrana citoplasmatica, innescando

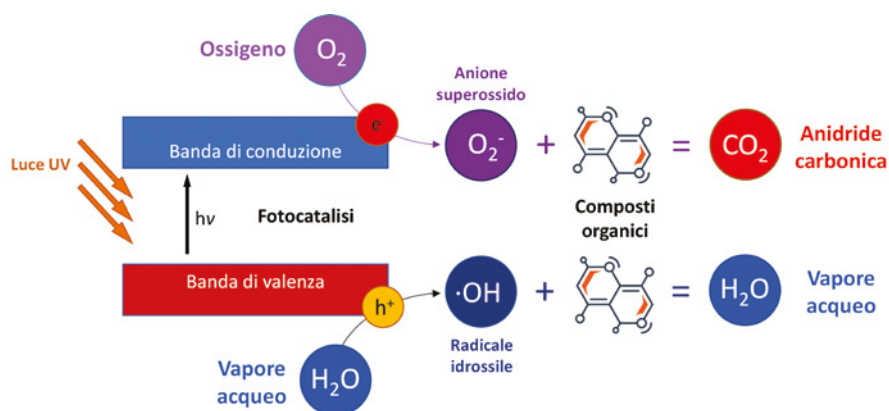


Fig. 1 - Schematizzazione semplificata delle reazioni chimiche alla base del processo di foto ossidazione catalitica.

diverse reazioni a catena: [i] perossidazione lipidica, [ii] ossidazione del coenzima A e [iii] danno alle macromolecole intracellulari (Cho *et al.*, 2007). I catalizzatori più efficienti sono quelli in fase solida costituiti da nanoparticelle. Tra questi, il biossido di titanio (TiO_2) è ideale perché è poco costoso, disponibile in natura, non nocivo per l'uomo e fortemente ossidante (Caratto *et al.*, 2011). Inoltre, il TiO_2 presenta una elevata stabilità chimica, consentendo di utilizzarlo per tempo prolungato senza perdita di attività catalitica (Cho *et al.*, 2007).

Sebbene la tecnologia PCO sia efficacemente impiegata per la sanitizzazione di ambienti chiusi, frequentati da persone, vi è una mancanza di informazioni riguardo alla sua applicabilità nelle celle di post-raccolta, in sostituzione a tecnologie che precludono l'ingresso di personale in cella (es. ozono). Pertanto, nel presente studio viene valutato l'effetto della foto ossidazione catalitica per la conservazione in cella di vari prodotti ortofruttili, in collaborazione con OO.PP. (Organizzazioni di Produttori) afferenti a Italia Ortofrutta Unione Nazio-

nale. Lo scopo finale è stato quello di valutare l'impatto della tecnologia su conservabilità, qualità e salubrità di prodotti ortofruttili durante la conservazione refrigerata per tempi superiori agli standard. La sperimentazione è stata condotta per due annualità (2020 e 2021) ed i risultati di seguito riportati riguardano la stagione 2020.

Materiali e metodi

Durante il primo anno di attività (2020) la sperimentazione è stata condotta su asparago, cavolfiore, fragola, mela, radicchio e zucchini. Le prove di

conservazione sono state allestite presso le aziende produttrici, tempi e modalità di conservazione erano prodotte specifiche (Tab. 1).

Presso ogni singola OP sono state allestite delle prove di conservazione utilizzando due celle frigorifere similari per forma e dimensione: una dedicata alla conservazione del prodotto in ambiente sanificato con tecnologia PCO (cella TEST) e l'altra allo stoccaggio del medesimo lotto in assenza di trattamento sanificante (cella controllo, CNT). All'interno della cella TEST era installato un sanificatore mod. SHU (Pureairion s.r.l., Padova). Le prove di conservazione sono state eseguite nelle reali condizioni operative, con l'obiettivo di valutare il trattamento anche in presenza di perturbazioni dovute alle attività giornaliere, non limitando né l'accesso di personale, né la movimentazione di prodotto nelle celle.

Quarantotto ore prima dell'inizio della sperimentazione, le celle sono state lavate e sanificate con cloro, mentre il sanificatore SHU è stato azionato 24 h prima dell'inizio delle prove di conservazione. Il prodotto ortofruttilo stoccato nelle celle CNT e TEST apparteneva allo stesso lotto, era posto ad almeno 1 m

Tabella 1 - Modalità di conservazione adottate per ogni singolo prodotto ortofruttilo.

Prodotto	O.P	Durata conservazione (giorni)	Temperatura (°C)	U.R. (%)
Asparago	Asport	6	5,0	89,0
Cavolfiore	Asport	40	0,0-2,0	> 90
Fragola	Assofruit	6	5,0	77,5
Mela	Lagnasco	130	2,0	95,0
Radicchio	Arborea	35	0,5-1,0	92,5
Zucchini	Eurocirce	8	5,5	65,0

da terra, lontano dai portelloni di accesso ed allestito in cassoni/cassette.

Le determinazioni analitiche sono state svolte ad inizio (t_i) e fine (t_f) conservazione. Alcune analisi sono state svolte presso le OO.PP., mentre altre nei laboratori di post-raccolta e microbiologia dell'Università degli Studi della Tuscia (UNITUS) di Viterbo. Le analisi svolte presso le OO.PP. hanno riguardato (i) lo stato di contaminazione dell'aria interna alle celle mediante campionamento attivo e (ii) la valutazione visiva del prodotto a fine conservazione (presenza di marciumi, fisiopatie, avvizzimenti, ecc.). Le analisi su (iii) qualità e (iv) contaminazione superficiale del prodotto sono state rispettivamente eseguite presso i laboratori di post-raccolta e microbiologia di UNITUS.

Il campionamento attivo nelle celle ha previsto l'utilizzo di un campionatore di aria monostadio mod. Microflow α (Aquadria s.r.l., Milano) con cut-off di 1 mm. Tale strumento era conforme alle raccomandazioni indicate nel metodo UNICHIM n° 1962-2 del 2006, relativo alle modalità di determinazione mediante campionatori attivi ad impatto ortogonale della contaminazione microbiologica dell'aria. I campionamenti attivi dell'aria sono stati eseguiti in duplicato.

Relativamente alla carica batterica superficiale dei prodotti ortofrutticoli, sono state seguite le procedure descritte nella "ISO 18593:2018 - Metodo orizzontale per il campionamento da superfici mediante tamponi e spugne". La procedura normalmente utilizzata per superfici di lavoro è stata quindi adattata alle tipologie di ortofrutticoli ogget-

to di studio. Nel dettaglio, dopo aver identificato i campioni su cui effettuare l'analisi, un tampone sterile in cotone, inumidito con soluzione fisiologica, è stato strisciato su un'area superficiale di 5 cm² per ciascun prodotto. Il tampone è stato immerso in un tubo in vetro contenente 10 mL di soluzione fisiologica, in modo da favorire il rilascio delle cellule microbiche in soluzione acquosa. Per tale analisi sono state effettuate 3 repliche tecniche, sulla stessa area di campionamento, per assicurare, presumibilmente, un distacco totale delle cellule presenti sulla superficie del prodotto. Il numero di repliche biologiche era pari a 5.

Sia per il campionamento attivo che per la conta microbica superficiale del prodotto sono stati utilizzati due differenti terreni colturali: Plate Count Agar (PCA) specifico per batteri e Rose Bengal Agar (RBA) specifico per funghi. Le piastre sono state incubate a 4°C per 7 giorni, per verificare lo sviluppo di microrganismi psicofili, nonché a 25°C per 72 h per effettuare la conta dei microrganismi mesofili. I risultati sono stati espressi in CFU cm⁻².

L'analisi della qualità è stata effettuata per parametri fisici, chimici e fisico-chimici indicativi dello stato di maturazione o senescenza di ciascun prodotto ed hanno, in termini generici, riguardato: il contenuto in sostanza secca, l'analisi colorimetrica di buccia e/o polpa, la consistenza, il pH, l'acidità titolabile, il contenuto in solidi solubili totali ed in fenoli totali. In aggiunta, sono state eseguite le analisi del contenuto in acido ascorbico e antociani, rispettivamente su cavolfiore e radicchio. Nel caso dell'asparago, a causa della

notevole differenza compositiva tra sezione apicale e basale del turione, ciascun campione è stato sezionato in 3 parti (apicale, mediana e basale) di uguale lunghezza (6 cm). Nel dettaglio, (i) il contenuto in sostanza secca è stato determinato in stufa a 105°C per 48 h ed espresso in termini percentuali; (ii) l'analisi del colore è stata effettuata utilizzando un colorimetro DM-2600d (Minolta, Giappone) ed espressa nello spazio di colore CIELab; (iii) l'analisi della consistenza è stata eseguita utilizzando un Instron Universal Testing Machine mod. 3342 (Instron Int. Ltd., Inghilterra) dotato di cella di carico da 1000 N; (iv) l'acidità titolabile è stata determinata titolando con NaOH 0.1 N fino a pH 8.10; il contenuto di solidi solubili totali è stato determinato mediante un rifrattometro elettronico mod. WM-7 (Atago, Giappone); (v) la determinazione dei fenoli totali è stata effettuata mediante metodica Folin-Ciocalteu. Per le analisi qualitative il numero di repliche biologiche adottate è variato da un minimo di 10 ad un massimo di 50, mentre le repliche tecniche erano sempre pari a 3.

La valutazione visiva dello stato di conservazione del prodotto è stata eseguita dagli operatori delle OO.PP., allo scopo di mettere in evidenza eventuali differenze nello stato di conservazione dei prodotti provenienti dalla cella CNT e TEST. La valutazione visiva ha riguardato la conta percentuale di danni da impatto, abrasioni, disseccamenti, discolorazioni e sviluppo di marciumi batterici e/o muffe.

L'analisi statistica dei dati è stata effettuata tramite approccio inferenziale, mediante il test

parametrico dell'Analisi della Varianza (ANOVA) ad una via assumendo come fattore la presenza/assenza di trattamento sanizzante e fissando come soglia di significatività una $\alpha \leq 0,05$. In caso di differenze significative tra cella CNT e TEST, le medie dei valori sono state confrontate mediante Tukey's Test, associando ad ogni valore le corrispondenti lettere di significatività. L'ANOVA ad una via ed il relativo Tukey's Test sono stati ripetuti assumendo come fattore il tempo di conservazione, al fine di verificare la possibile esistenza di un effetto della tecnologia PCO sui meccanismi biochimici e fisiologici che regolano maturazione e senescenza dei tessuti.

Risultati e discussione

L'effetto della tecnologia PCO sugli ortofrutticoli oggetto di studio è di seguito riassunto. La disamina è articolata operando una netta separazione tra prodotti, in modo da rendere chiari ed accessibili i risultati ottenuti e le relative considerazioni.

Asparago

Il prodotto è stato conservato per 6 giorni a 5°C, ad una U.R. dell'89%. Le analisi qualitative sono state effettuate sezionando il turione in tre parti di egual misura (6 cm di lunghezza): apicale, mediana e basale. Il contenuto di umidità del prodotto è rimasto invariato durante la conservazione. Le uniche differenze riscontrate in termini di umidità hanno riguardato le tre se-

zioni: la basale era più ricca in acqua (94,40%), seguita dalla mediana (93,80 %) e dalla apicale (90,50%). La consistenza è stata misurata come resistenza al taglio di ogni sezione. Le sezioni basali e mediane hanno mostrato una consistenza invariata nel tempo, rispettivamente pari a 30,70 e 26,35 N, senza alcun evidente effetto del trattamento PCO. Diversamente, la consi-

6,53b °Brix nel CNT e 7,25a °Brix nel TEST. La stessa tendenza è statisticamente osservabile nelle altre due sezioni, sebbene risultino meno ricche in SSC. L'analisi colorimetrica ha messo in evidenza modificazioni nel colore delle tre sezioni durante la conservazione, senza distinzione fra trattamenti. Dalle scansioni si evince uno sporadico ingiallimento in alcune aree del tu-

Tabella 2 - Stima visiva dei danni osservati nel prodotto ortofrutticolo a fine conservazione. Valutazione ad opera dell'azienda.

Prodotto	Cella	Danno (%)			
		Totale	Lieve	Medio	Severo
Asparago	CNT	25,0	0,0	25,0	0,0
	TEST	30,0	0,0	30,0	0,0
Cavolfiore	CNT	60,0	10,0	45,0	5,0
	TEST	30,0	10,0	20,0	0,0
Fragola	CNT	69,7	60,9	39,1	0,0
	TEST	59,2	67,6	32,4	0,0
Mela	CNT	0,0	0,0	0,0	0,0
	TEST	0,0	0,0	0,0	0,0
Radicchio	CNT	20,0	5,0	0,0	15,0
	TEST	20,0	3,0	2,0	15,0
Zucchino	CNT	100,0	75,0	20,0	5,0
	TEST	100,0	85,0	10,0	5,0

stenza della sezione apicale tende a diminuire durante la conservazione, passando da 26,28a N del tempo iniziale ai 18,75b e 20,33ab N, rispettivamente per CNT e TEST. Il contenuto in solidi solubili totali (SSC) è maggiore nella sezione apicale ed aumenta durante la conservazione per tutte e tre le sezioni, con particolare prodotto TEST. A titolo di esempio, la sezione apicale mostra un contenuto iniziale di SSC pari a 6.13c °Brix, che aumenta a

rione, particolarmente evidente nella sezione apicale e probabilmente dovuto alla parziale degradazione della clorofilla durante la conservazione (Albanese *et al.*, 2007). L'analisi visiva svolta dall'operatore aziendale riporta un danno totale del 25% per il CNT e del 30% per il TEST (Tab. 2). In entrambi i casi l'entità del danno è stata identificata come "media" ed associata ad ingiallimenti ed avvizzimenti. La conta microbica nell'aria interna alle

Tabella 3 - Carica microbica aerodispersa e superficiale al prodotto ad inizio e fine conservazione. Le lettere di significatività mostrano la differenza statistica significativa ($p \leq 0,05$) tra valori medi al tempo iniziale (ti) e finale (tf) nell'ambito del singolo trattamento.

Prodotto	Cella	Campionamento attivo (aria)				Campionamento superficiale (prodotto)			
		Batteri (CFU/litro)		Funghi (CFU/litro)		Batteri (CFU/cm ²)		Funghi (CFU/cm ²)	
		ti	tf	ti	tf	ti	tf	ti	tf
Asparago	CNT	0,435 a	0,273 b	0,134	0,183	107	154	4 b	39 a
	TEST	0,630 a	0,362 b	0,313	0,225	10.890	12.643	40 b	1.152 a
Fragola	CNT	0,065 b	0,290 a	0,130	0,230	80 b	932 a	63 b	863 a
	TEST	0,875 a	0,395 b	0,755	0,700	80 b	248 a	63 b	198 a
Cavolfiore	CNT	0,840 b	3,250 a	0,360	0,230	610 b	445.000 a	10 b	4.700 a
	TEST	0,690 b	1,280 a	0,300	0,300	2.277 b	14.200 a	844 b	935 b
Mela	CNT	0,000 b	0,209 a	0,003 b	0,147 a	547 a	80 b	340	213
	TES	0,034 b	0,480 a	0,030	0,055	247 a	60 b	253	213
Radicchio	CNT	0,108 a	0,058 b	0,017 a	0,006 b	n.d.	88.000	n.d.	13
	TEST	0,075 b	0,125 a	0,093	0,129	n.d.	257.333	n.d.	827
Zucchini	CNT	0,046 b	0,114 a	0,064 b	0,146 a	3.063 b	23.467 a	25 b	669 a
	TEST	0,191	0,146	0,162 a	0,094 b	2.337 b	15.727 a	25 b	921 a

celle mostra un graduale decremento della carica batterica in entrambe le celle (Tab. 3). Tuttavia, nella cella TEST la diminuzione di carica osservata, pari al 42,54%, è leggermente migliore del CNT (37,24 %). Il trattamento PCO non ha ridotto in alcun modo la carica fungina nell'aria, che è rimasta costante tra inizio e fine conservazione. La carica batterica superficiale del prodotto è rimasta invariata nel tempo, mentre quella fungina tende ad incrementare maggiormente nel prodotto TEST, confermando quanto già osservato con i campionamenti dell'aria. Va comunque tenuto in considerazione che a causa dell'organizzazione logistica aziendale la cella TEST soffriva della concomitante presenza di prodotto fresco, non lavato, oltre ai mazzetti di asparagi soggetti a sperimentazione. Questo ha influenzato la carica microbi-

ca dell'ambiente TEST e l'analisi dei dati ne conferma un possibile impatto sull'andamento della contaminazione.

Cavolfiore

Il prodotto è stato conservato per 40 giorni ad una temperatura prossima ai 0°C ed una U.R. superiore al 90%. L'analisi qualitativa è stata effettuata sul corimbo. I valori di umidità, consistenza e acido L-ascorbico non sono cambiati né per effetto della conservazione, né per azione del trattamento e sono risultati rispettivamente pari a 90,79%, 1.61 N e 38,61 mg/100 g di peso fresco. Solo nel TEST è stato osservato un aumento nel contenuto in SSC (da 5,25 a 5,80 °Brix). La luminosità (L*) è aumentata da 73,84b a 78,40a per entrambi i trattamenti, mentre l'ingiallimento del corimbo (b*) a fine conservazio-

ne è aumentato maggiormente nel TEST (26,03a) piuttosto che nel CNT (24,41b). L'ispezione visiva del cavolfiore intero (corimbo protetto dalle foglie), che ha tenuto conto dello stato di avvizzimento ed ingiallimento delle foglie, ha mostrato un prodotto TEST di migliore qualità, caratterizzato da una percentuale di danno totale pari al 30%, notevolmente inferiore rispetto al CNT (60%) (Tab. 2). L'ispezione del corimbo ha mostrato lo sviluppo di macchie brunastre dovute all'attacco di *Alternaria* spp. Tale brunitura della testa aveva una incidenza del 44,3% nel CNT e risultava notevolmente inferiore nel TEST (24,5%), portando ad ipotizzare un parziale effetto di controllo del trattamento PCO sullo sviluppo del fungo patogeno. I livelli di carica microbica aerodispersa, sia batterica che fungina, rilevati nelle due celle al

tempo iniziale (ti) di conservazione mostrano valori comparabili (Tab. 3). Durante la conservazione, la contaminazione batterica nell'aria aumenta maggiormente nel CNT, mentre i valori della carica fungina si mantengono stazionari. La contaminazione microbica superficiale del corimbo aumenta per entrambi i trattamenti, ma è significativamente maggiore nel CNT sia per batteri che funghi. Per concludere, l'azione della PCO sulle caratteristiche chimiche e fisico-chimiche del cavolfiore non è particolarmente evidente, anche considerando che le variazioni in SSC, L* e b* fanno parte del normale processo di senescenza del tessuto. Ad ogni modo, l'applicazione della tecnologia non è causa di fisiopatie che possano alterare le caratteristiche qualitative del prodotto. Diversamente, la tecnologia PCO sembra avere una sua parziale efficacia nel ridurre la contaminazione microbica aerodispersa e superficiale al prodotto per la conservazione del cavolfiore.

Fragola

Il prodotto è stato conservato per 6 giorni (5°C, 77,50% U.R.) ed i test sono stati condotti su cestelli di fragole da 250 g, sia confezionati con film plastico macroforato (o flowpack) che non (non-flowpack). Dal punto di vista compositivo, l'utilizzo del flowpack non ha inciso significativamente sulla qualità del prodotto. Durante la conservazione il contenuto di umidità dei frutti non è cambiato, mostrando valori compresi fra il 90 ed il 93%, senza alcuna distinzione tra celle CNT e TEST. Similmente, i trattamenti non hanno effetto sulla consistenza,

che tuttavia tende ad una leggera diminuzione durante la conservazione (da 6,85 a 6,56 N). A fine conservazione, il prodotto conservato in cella TEST mostra un contenuto in solidi solubili (SSC) pari a 9,43°Brix, leggermente più elevato del controllo (9,08 °Brix). Ciò denota un tendenziale migliore stato di conservazione del prodotto TEST, seppur minimale. L'acidità titolabile (TA) non è stata affetta dai trattamenti e diminuisce leggermente fra tempo iniziale (ti) e finale (tf), passando dallo 0,88 allo 0,79%. L'analisi colorimetrica denota una maggiore qualità nel prodotto confezionato in flowpack, senza alcun effetto del trattamento PCO. Il prodotto non confezionato era infatti caratterizzato da valori di luminosità (L*) ed intensità del colore rosso (a*) inferiori. I valori di L* erano pari a 32,36 e 29,86 in flowpack e non-flowpack, rispettivamente, mentre il valore di a* era pari a 33,2 per il prodotto in flowpack, contro il 31,6 del non confezionato. In altri termini, le fragole non-flowpack erano più scure e meno appetibili per il consumatore. L'analisi visiva del prodotto condotta presso l'azienda conferma il risultato delle acquisizioni colorimetriche (Tab. 2): la presenza di danni superficiali al prodotto, responsabili anche del cambiamento di colore, è meno frequente nelle fragole conservate in flowpack, con una tendenziale inferiore incidenza del danno nel prodotto proveniente dalla cella TEST (59,20%) rispetto alla CNT (69,70%). L'analisi microbiologica dell'aria nelle celle durante la conservazione (Tab. 3) mostra una diminuzione della carica batterica nella cella TEST tra inizio e fine conservazione; la contaminazione fungina non sem-

bra tuttavia essere stata affetta dal trattamento PCO. La contaminazione superficiale delle fragole è aumentata durante la conservazione, ma l'incremento è risultato significativamente inferiore nel prodotto confezionato in flowpack in abbinamento alla conservazione nella cella TEST. In definitiva, il trattamento PCO mostra un lieve miglioramento delle condizioni di conservazione del prodotto, sebbene l'effetto riscontrato riguardi principalmente la contaminazione microbica degli ambienti e del prodotto, piuttosto che la qualità delle fragole.

Mela

Il prodotto è stato conservato per 130 giorni a 2°C con una U.R. del 95%. Il contenuto di umidità del prodotto (87,80%), la sua consistenza (29,66 N) ed il rapporto SSC:TA (30,84) non hanno subito modifiche né durante la conservazione, né a causa del trattamento PCO. L'analisi del colore è stata condotta sulla buccia e sulla polpa. Nella buccia è stato possibile rilevare un aumento della luminosità (da 34,06 a 39,80) durante la conservazione, senza tuttavia alcun effetto della PCO. Gli indici colorimetrici a* e b* non hanno invece subito alcuna variazione ed erano rispettivamente pari a 34,65 e 20,06. L'analisi del colore della polpa varia in maniera significativa fra TEST e CNT. La luminosità è inferiore nel CNT a fine conservazione (78,24) piuttosto che nel TEST (78,63). Simile andamento è stato riscontrato nell'indice di giallo, pari a 20,51 nel CNT e 20,99 nel TEST. L'indice di rosso (a*) della polpa è risultato più elevato nel CNT (0,05), rispetto al test (-0,23). Sebbene tali differenze fossero statistica-

mente significative ($p < 0,05$), dal punto di vista pratico non mettono in evidenza sostanziali differenze fra trattamenti e inducono all'ipotesi che quanto osservato sia dovuto alla variabilità tra campioni. Tuttavia, tale speculazione necessita di ulteriori indagini per poter essere confermata. L'analisi visiva del prodotto non ha mostrato differenze tra le due celle: nessuna fisiopatia e nessun marciume sono stati identificati tra i campioni (Tab. 2). L'analisi dei microrganismi aerodispersi (Tab. 3) mostra un aumento della carica batterica in entrambe le celle. Diversamente, l'aumento della carica fungina è stato riscontrato solo nella cella CNT. La cella TEST ha mantenuto un livello di contaminazione fungina aerodispersa pressoché costante tra inizio e fine sperimentazione. Anche nel caso della carica microbica superficiale non sono state riscontrate differenze sostanziali tra CNT e TEST.

Radicchio

Il prodotto è stato conservato per 35 giorni a $0,5-1,0^{\circ}\text{C}$ con una U.R. del 92,50%. Durante la conservazione non è stata osservata alcuna variazione sia nel contenuto di umidità che in quello di SSC, che hanno rispettivamente assunto valori medi pari a 91,74% e $1,69^{\circ}\text{Brix}$. L'acidità titolabile del tessuto ad inizio conservazione (ti) era pari al 0,40% ed è lievemente aumentata in entrambi i trattamenti al tempo finale (tf), risultando pari al 0,45%. Anche dal punto di vista colorimetrico non è stato notato alcun effetto del trattamento PCO sui cambiamenti di colore osservati durante la conservazione, caratterizzati da incrementi nella lu-

minosità (L^*) e nell'indice di giallo (b^*) delle foglie dovuti ad una parziale degradazione dei pigmenti durante lo stoccaggio (Pereira *et al.*, 2014). Dal tempo iniziale (ti) al finale (tf) la L^* è significativamente aumentata da un valore di 30,16 a 38,94 e la b^* da 13,38 a 16,05. Per la coordinata a^* , che nel radicchio esprime l'intensità della colorazione rossa, non sono state osservate modificazioni ed il valore medio è risultato pari a 34,35. L'analisi visiva del prodotto ha mostrato un 20% di danno totale per entrambi i trattamenti (Tab. 2). La distinzione tra danno lieve, medio e severo non mostra particolari differenze fra trattamenti. Come visibile in Tab. 3, i livelli di carica microbica aerodispersa rilevati nelle due celle al tempo iniziale (ti) mostrano valori comparabili in termini di carica batterica, ma una contaminazione cinque volte superiore da parte della componente fungina nella cella TEST. Al termine del periodo di conservazione (tf), nella cella CNT è stata riscontrata una diminuzione della carica microbica totale, rispetto al tempo iniziale (ti). Nella cella TEST, invece, si è verificato un aumento della carica batterica ed un mantenimento dei livelli di carica fungina. I risultati, quindi, non mostrano una efficacia della tecnologia PCO se applicata al controllo degli aerodispersi nelle condizioni di conservazione adottate presso l'azienda. Quanto osservato trova conferma anche nei livelli di carica microbica superficiale: nella cella TEST sono stati rilevati valori di carica microbica superficiale (batterica e fungina) superiore al CNT, in linea con quanto osservato per la contaminazione microbica dell'aria. Se ne deduce pertanto che le condi-

zioni di stoccaggio e le modalità di impiego delle celle possano influire notevolmente sull'efficacia del trattamento PCO, che in questo caso si è dimostrato inefficace laddove per altre prove sperimentali ha confermato quanto già descritto in bibliografia.

Zucchini

L'ortofrutticolo è stato conservato per 8 giorni a $5,5^{\circ}\text{C}$ con un tenore di U.R. del 65%. Durante la conservazione non sono state osservate variazioni qualitative significative a carico di umidità, consistenza ed SSC, rispettivamente pari a 94,29%, 70,78 N e $5,30^{\circ}\text{Brix}$. Pertanto, sia le condizioni di conservazione che il trattamento PCO sono risultati ininfluenti per variazioni di carattere chimico e fisico. Dal punto di vista chimico-fisico sono state osservate differenze tra CNT e TEST. La luminosità (L^*) iniziale del prodotto (33,12a) diminuisce a fine prova più nel CNT (29,86c) che nel TEST (31,19b). Gli indici di colore verde (a^*) e giallo (b^*) diminuiscono ed aumentano, rispettivamente, nel CNT, mentre nel TEST mantengono i valori di inizio conservazione. Ciò significa che il prodotto TEST sembra aver mantenuto meglio la colorazione iniziale. Il contenuto in fenoli totali aumenta del 30% in entrambi i trattamenti (da 32,31 a 42,56 mg/100 g di peso fresco), probabilmente a causa dello stress da freddo subito dal prodotto durante la conservazione. Infatti, una conservazione a $5,5^{\circ}\text{C}$ per 8 giorni è risultata inadeguata ed ha danneggiato gran parte del prodotto. Ciò si evince dall'analisi visiva condotta in azienda (Tab. 2): tutto il prodotto è risultato danneggiato per stress da fred-

do, senza particolari differenze tra CNT e TEST. Relativamente alla carica microbica aerodispersa, tra le due celle è stato registrato un livello di contaminazione iniziale nell'aria maggiore nel TEST (tab. 3). Nonostante ciò, durante il periodo di conservazione la carica batterica nell'ambiente trattato con PCO si è mantenuta sugli stessi valori a differenza del CNT, dove si è registrato un aumento della stessa.

L'incremento della carica microbica nella cella CNT ha riguardato anche la contaminazione fungina che è invece diminuita nel TEST. L'analisi della carica microbica superficiale mette in evidenza un aumento della contaminazione superficiale, sia di origine fungina che batterica, in entrambi i trattamenti.

Tuttavia, l'incremento è risultato minore nella cella dotata di impianto PCO. In definitiva, lo strumento è stato in grado di contenere lo sviluppo dei batteri e di ridurre la carica fungina nei prodotti della cella dove è stato installato. I danni (principalmente da freddo) riscontrati o altre caratteristiche (come l'aumento del contenuto di fenoli) derivano principalmente da una temperatura di conservazione molto bassa, che ha portato alla formazione delle caratteristiche aree depresse del danno da freddo.

Conclusioni

La presente sperimentazione aveva l'obiettivo di indagare la possibilità di utilizzo di impianti sanitizzanti per l'aria, basati sulla tecnologia di foto ossidazione catalitica, all'interno di celle di conservazione per l'ortofrutta. A tal fine, un numero di 10 ortofrutti-

coli è stato selezionato per due anni di sperimentazione (2020 e 2021). Nel presente articolo sono stati riportati i risultati per i prodotti della stagione 2020, ossia: asparago, cavolfiore, fragola, mela, radicchio e zucchini. L'efficacia del trattamento PCO è stata testata valutando l'effetto sulla qualità del prodotto, in termini chimici, fisici e chimico-fisici, nonché analizzando sia il livello di carica microbica aerodispersa nelle celle che il grado di contaminazione superficiale dei prodotti. I test sono stati condotti nelle reali condizioni operative delle aziende, con l'intento di stressare al massimo l'impiego dell'impianto sanitizzante.

I risultati dei test sperimentali mostrano chiaramente un potenziale effetto della tecnologia PCO nel contenere la carica microbica interna alle celle, risultando efficace più su batteri che su funghi. L'impianto di sanitizzazione può quindi contribuire a rendere l'ambiente di lavoro più salubre e ridurre le occasioni di contaminazione tra prodotti laddove la movimentazione di aria le favorisca. Tuttavia, i risultati ottenuti mostrano una notevole variabilità dell'effetto della PCO, probabilmente dovuta alle notevoli differenze tra le condizioni operative e logistiche delle aziende coinvolte nella sperimentazione. In particolare modo, la tecnologia PCO sembra più indicata per la lunga conservazione, mentre nel breve periodo mostra degli effetti poco tangibili. Prima dell'adozione della tecnologia in un impianto, è quindi necessario operare le opportune considerazioni di costo/beneficio. Relativamente a possibili effetti sulla qualità del prodotto, la foto os-

sidazione catalitica non mostra controindicazioni e, come era opportuno attendersi, non migliora la qualità del prodotto se non limitando i danni dovuti ad un possibile sviluppo microbico superficiale. Talvolta, l'effetto è migliorativo, ma il risultato può essere strettamente legato alle tecniche di conservazione adoperate in azienda, come nel caso delle fragole confezionate in flowpack.

In prospettiva futura, si consiglia di effettuare test di conservazione, anche sugli stessi prodotti oggetto di studio nella presente sperimentazione, utilizzando celle di stoccaggio confinate dalle normali operazioni svolte in azienda, allo scopo di ridurre al minimo la variabilità osservata ed enfatizzare ancor più possibili vantaggi e limiti nell'impiego della tecnologia PCO.

RINGRAZIAMENTI

L'attività sperimentale è stata sostenuta con l'aiuto finanziario dell'Unione (Art. 34 del Reg. UE n.1308/2013). Gli autori intendono ringraziare le OO.PP. ortofrutticole che hanno sostenuto il progetto di ricerca e che si sono rese disponibili a svolgere le attività sperimentali presso le proprie strutture di lavorazione: A.Bio. Med, Agrinsieme, Asport, Assofruit Italia, C.O.P., C.O.S., Eurocirce, Euro Ortofrutticola del Trigno, Agricola Hortitalia, Il Melograno, Lagnasco Group, Secondulfo, Pignataro, Ventrone, Botticelli, Ortolanda, Arborea, Agrocirce 2000.

Per ulteriori approfondimenti si rimanda al sito del progetto: <https://incrementodellaconservabilita.jimdofree.com/>

Bibliografia

- Albanese D., Russo L., Cinquanta L., Brasiello A., Di Matteo M., Physical and chemical changes in minimally processed green asparagus during cold-storage, *Food Chemistry*, 101, 274-280, 2007.
- Allende A., Selma M. V., López-Gálvez F., Villaescusa R., Gil M.I., Role of commercial sanitizers and washing systems on epiphytic microorganisms and sensory quality of fresh-cut escarole and lettuce. *Postharvest Biology and Technology*, 49, 155-163, 2008.
- Caratto V., Livoti V., Pezzati E., Aliakbarian B., Perego P., Ferretti M., Studio dell'attività fotocatalitica di nano-particelle di TiO2 su batteri gram negativi, *La Chimica & l'Industria*, 8, 118-121, 2011.
- Cho M., Choi Y., Park H., Kim K., Woo G.J., Park J., 2007. Titanium dioxide/UV photocatalytic disinfection in fresh carrots. *Journal of Food Protection* 70, 97-101, 2007.
- Clarkson G.J.J., Rothwell S.D., Taylor G., End of day harvest extends shelf life. *HortScience* 40, 1431-1435, 2005.
- Glowacz M., Colgan R., Rees D., Influence of continuous exposure to gaseous ozone on the quality of red bell peppers, cucumbers and zucchini, *Postharvest Biology and Technology*, 99, 1-8, 2015.
- Horvitz S., Cantalejo M.J., Application of Ozone for the Postharvest Treatment of Fruits and Vegetables, *Food Science and Nutrition*, 54, 312-339, 2014.
- Maneerat C., Hayata Y., Egashira N., Sakamoto K., Hamai Z., Kuroyanagi M., Photocatalytic reaction of TiO2 to decompose ethylene in fruit and vegetable storage, *American Society of Agricultural Engineers*, 46, 725-730, 2003.
- Mezzetti B., Leonardi C., 2009. Determinanti della qualità delle produzioni ortofrutticole, *Italian. J. Agronomy*, 4, 103-113, 2009.
- Ölmez H., Kretschmar U., Potential alternative disinfection methods for organic fresh-cut industry for minimizing water consumption and environmental impact. *LWT - Food Science and Technology*, 42, 686-693, 2009.
- Petriccione G., Il percorso "organizzato" dell'ortofrutta di qualità, *Analysis, A.E.*, 2021. Introduzione, *Agriregionieuropa* anno, 39, 1-6, 2014.
- Selma M.V., Allende A., López-Gálvez F., Conesa M.Á., Gil M.I., Heterogeneous photocatalytic disinfection of wash waters from the fresh-cut vegetable industry, *Journal of Food Protection*, 71, 286-292, 2008.
- Shepis N., Navarrini W.M., Sansotera M., Fotodegradazione di inquinanti idrosolubili mediante l'uso di membrane fluoropolimeriche contenenti catalizzatori attivati da luce e ultravioletta e visibile, Tesi Magistrale, Politecnico di Milano, 1-127, 2014.
- Trevisan V., Ugo P., Pinna F., Sviluppo di materiali a base di TiO2 per l'abbattimento di inquinanti, Tesi di dottorato, XXIV ciclo, Università Ca' Foscari di Venezia, 1-172. 2011.
- Zhang F.Z., Wagstaff C., Rae A.M., Sihota A.K., Keevil C.W., Rothwell S.D., Clarkson, G.J.J., Michelmore R.W., Truco M.J., Dixon M.S., Taylor G., QTLs for shelf life in lettuce co-locate with those for leaf biophysical properties but not with those for leaf developmental traits, *Journal of Experimental Botany Advance Access published March*, 58, 1433-1449, 2007.

shop.chiriottieditori.it

Disponibile su App Store

CHIRIOTTI EDITORI