

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/261885306>

UTILIZZAZIONE DELL'OZONO NELL'INDUSTRIA ALIMENTARE

Article *in* Industrie Alimentari · July 2013

CITATIONS

0

READS

57

1 author:



[Pierluigi Di Ciccio](#)

Università degli studi di Parma

25 PUBLICATIONS 39 CITATIONS

SEE PROFILE

PIERLUIGI DI CICCIO* - EMANUELA ZANARDI - SERGIO GHIDINI - ADRIANA IANIERI
Dipartimento di Scienze degli Alimenti - Università degli Studi di Parma - Via del Taglio 10 - 43126 Parma - Italia

SILVIO BORRELLO

Direzione Generale per l'Igiene e la Sicurezza degli Alimenti e la Nutrizione del Ministero della Salute -
Viale G. Ribotta 5 - 00144 Roma - Italia

ALBERTO VERGARA

Dipartimento di Scienze degli Alimenti - Università degli Studi di Teramo - P.zza Aldo Moro 45 - 64100 Teramo - Italia
*email: pierluigialdo.diciccio@nemo.unipr.it

UTILIZZAZIONE DELL'OZONO NELL'INDUSTRIA ALIMENTARE

Ozone applications in the food industry

Parole chiave: attività antimicrobica, ozono, industria alimentare
Keywords: antimicrobial activity, ozone, food industry

INTRODUZIONE

Il controllo delle contaminazioni microbiche è il goal che l'industria alimentare deve raggiungere e mantenere sia in relazione agli ambienti di lavorazione che alle materie prime, semilavorati e prodotti finiti. In Europa l'attenzione verso lo sviluppo di procedure innovative per la decontaminazione degli alimenti e degli ambienti di lavorazione è aumentato notevolmente e tra le sostanze che hanno riscosso maggior interesse è da considerare l'ozono (O_3). Utilizzato da tempo per usi non alimentari, l' O_3 è stato riconosciuto, nel 2001, dalla Food and Drug Administration (FDA) come "Generally Recognized as Safe" (GRAS) e pertanto approvato, sia in fase gassosa che acquosa, per il trattamento e la conservazione di alimenti. L'efficacia disinfettante dell' O_3 è stata dimostrata nei confronti di diversi microrganismi associati agli alimenti (Restaino et

al., 1995). A differenza dei disinfettanti classici che rilasciano residui chimici, l' O_3 è caratterizzato da una breve emivita e ciò rappresenta un vantaggio in termini di impatto ambientale (Pascual et al., 2007). L'obiettivo di questa rassegna è quello di riportare i dati della letteratura nazionale ed internazionale sull'efficacia disinfettante dell' O_3 e sulle sue possibili applicazioni in campo alimentare.

OZONO

L' O_3 è presente in natura come un gas blu dall'odore acre pungente e la sua concentrazione nell'atmosfera è di circa 0,04 ppm (1 ppm ~ 2 mg/m³). È un gas solubile in soluzione acquosa (~13 volte più dell' O_2 a 0°-30°C) con una solubilità inversamente proporzionale alla temperatura ed al pH. Allo stato gassoso, la decomposizione è meno influenzata dalla temperatu-

SOMMARIO

L'efficacia disinfettante dell'ozono (O_3) è stata dimostrata nei confronti di diversi microrganismi. Esso è caratterizzato da una breve emivita e non rilascia residui sugli alimenti o sulle superfici con cui viene in contatto. Il grande interesse verso l' O_3 come alternativa ai derivati del cloro e ad altri disinfettanti è legato alla sua efficacia antimicrobica ed al suo ampio spettro d'azione.

Esso, inoltre, risulta vantaggioso in termini di impatto ambientale. L' O_3 è stato riconosciuto, nel 2001, dalla Food and Drug Administration come "Generally Recognized as Safe" (GRAS) e, pertanto, approvato per il trattamento e la conservazione di alimenti negli Stati Uniti.

In Europa non è consentito l'utilizzo di O_3 per la decontaminazione degli alimenti. In questa rassegna sono stati analizzati i dati della letteratura scientifica sull'efficacia disinfettante dell' O_3 e sulle sue possibili applicazioni in campo alimentare.

SUMMARY

The antimicrobial action of ozone (O_3) has been studied and documented on a wide variety of organisms. It does not leave any harmful residues in food or on the surfaces which are in contact with it. The interest in O_3 as an alternative to chlorine and other chemical disinfectants is based on its biocidal efficacy and wide antimicrobial spectrum. It also has the significant advantage of being an environmentally friendly technology for a low environmental impact. In 2001, O_3 was approved as an antimicrobial agent for food treatment, storage, and processing in the United States (Food and Drug Administration) but it has been banned in European countries. The objective of this review was to provide a comprehensive literature on O_3 applications in the food industry.



ra; a 20°C, l'O₃ possiede un'emivita di circa 20 min (Kim *et al.*, 1999). L'O₃ è una molecola caratterizzata da un alto potenziale ossidativo nettamente superiore a quello del cloro. Il forte potere ossidante dell'O₃ consente al gas di ossidare ed inattivare numerosi composti organici (fenoli, benzene, trialomtani, pesticidi) ed inorganici (cianuri, solfiti, nitriti). L'O₃, inoltre, è in grado di ossidare il ferro, il manganese ed altri minerali. Anche, a livello cellulare, i principali effetti tossici dell'O₃ sono riconducibili al suo potere ossidativo (Khadre *et al.*, 2001). L'O₃, infatti, decomponendosi rapidamente in fase acquosa può dare origine ad una serie di specie reattive dell'ossigeno, quali l'anione radicale superossido (O₂⁻), il radicale idrossilico (HO·) ed il perossido di idrogeno (H₂O₂), che causano alterazioni della struttura e funzione delle macromolecole biologiche (Laisik *et al.*, 1989; Sarti *et al.*, 2002). Vista la sua breve emivita, l'O₃ non può essere prodotto e conservato, ma è necessario che venga generato in situ al momento del suo impiego e/o utilizzo. La formazione di O₃ può avvenire industrialmente attraverso gli ozonizzatori. Tali particolari strumenti generano O₃ da una corrente gassosa ricca di ossigeno, cui viene apportata energia in forma elettrica, elettrochimica o fotochimica. Al fine di sintetizzare O₃, una molecola biatomica di ossigeno deve prima essere scissa. I risultanti radicali di ossigeno sono quindi liberi di reagire con un'altra molecola biatomica di ossigeno per formare la molecola triatomica di O₃. Tuttavia, al fine di spezzare il legame O-O

è necessaria una grande energia. Radiazioni ultraviolette (188 nm lunghezza d'onda), effetto corona, metodo fotochimico, elettrolitico e radiochimico possono essere utilizzati per avviare la formazione di radicali liberi dell'ossigeno e in tal modo generare O₃. Apparecchiature che sfruttano "l'effetto corona" constano generalmente di due elettrodi, uno ad alta tensione e l'altro a bassa tensione (elettrodo di massa). Questi sono separati da un mezzo dielettrico di ceramica. Quando gli elettroni hanno sufficiente energia cinetica (circa il 6-7 eV) per dissociare la molecola di ossigeno, una certa frazione di queste collisioni si verificano e una molecola di O₃ può essere formata da ogni atomo di ossigeno. Se l'aria viene fatta passare attraverso il generatore come gas di alimentazione, può essere prodotto 1-3% di O₃, tuttavia, utilizzando ossigeno puro si può ottenere un rendimento di O₃ fino al 6% (Rice *et al.*, 1981). L'O₃ sotto forma di gas non può essere conservato in quanto degrada spontaneamente tornando ad atomi di ossigeno (Kogelschatz, 1988; Wickramanayaka, 1991; Coke, 1993). Con il metodo fotochimico, l'O₃ si forma quando l'ossigeno è esposto a raggi UV con lunghezza d'onda pari a 140-190 nm. Lunghezze d'onda maggiori, intorno ai 250 nm, sono più efficaci per distruggere l'O₃ piuttosto che produrlo. L'energia delle radiazioni ultraviolette scinde alcune molecole di O₂ in due atomi di O che collidono con altre molecole di O₂ producendo O₃. In questo sistema l'aria è soffiata in un cilindro posto attorno ad una lampada ad ultravioletti. Poiché le

sorgenti di luce UV non sono monocromatiche, vengono generate onde di varia lunghezza cosicché l'O₃ viene simultaneamente prodotto e distrutto. La concentrazione dell'O₃ dipende dalla potenza delle lampade usate, dal diametro del cilindro che circonda la lampada, dalla temperatura, dall'umidità, dall'ossigeno contenuto nell'aria e dalla quantità di aria che viene fatta passare attraverso il generatore. Nel metodo elettrolitico l'O₃ è generato dall'elettrolisi dell'acido solforico. Molti vantaggi sono associati a questo metodo, tra cui l'uso di bassi voltaggi di corrente, nessun bisogno di gas, apparecchiature di dimensioni ridotte, possibilità di produrre O₃ ad alte concentrazioni e produzione nell'acqua. Gli svantaggi sono legati alla corrosione ed alla erosione degli elettrodi ed al bisogno di appositi elettroliti o di acqua a bassa conducibilità. Nel metodo radio-chimico l'O₃ si forma tramite l'irradiazione ad alta energia di ossigeno con radiazioni radioattive. A causa della complessità del processo questo metodo non è stato usato nel trattamento delle acque.

OZONO VERSUS MICRORGANISMI

L'azione ossidante esplicata dall'O₃ ha fatto sì che sin dalla sua scoperta sia stato utilizzato come agente battericida, fungicida e inattivante dei virus. L'O₃ rispetto ad altri disinfettanti è caratterizzato da una maggiore efficacia e da un più ampio spettro d'azione sui microrganismi. Nella **tab. 1** sono riportati i tempi indicativi per l'eliminazione di bat-



teri, virus, muffe, funghi ed insetti in seguito ad ozonizzazione (Edelstein *et al.*, 1982; Joret *et al.*, 1982; Farooq *et al.*, 1983; Harakeh *et al.*, 1985; Kawamuram *et al.*, 1986).

Il principale meccanismo di azione dell'O₃, e più in particolare delle specie reattive dell'ossigeno, è la perossidazione lipidica, che genera composti biologicamente attivi in grado di causare, a livello cellulare, danni ai fosfolipidi di membrana. La tossicità dell'O₃ dipende, inoltre, dalla sua capacità di ossidare gli amminoacidi alterando irreversibilmente la struttura e la funzione delle proteine. Gli amminoacidi più sensibili all'azione dei radicali liberi sono prolina, istidina, quelli contenenti gruppi tiolici (cisteina e metionina) e gruppi aromatici (fenilalanina, tirosina, triptofano) (Menzel *et al.*, 1991). Infine, una delle conseguenze più gravi legate all'attività dei radicali liberi derivanti dall'O₃ è quella che si esplica a livello del DNA. I radicali liberi, infatti, producono una serie di le-

sioni al DNA, causando rotture, distorsioni della doppia elica e dei legami crociati fra le basi azotate (Roy *et al.*, 1981). L'O₃ distrugge i microrganismi ossidando progressivamente i componenti vitali della cellula. La superficie della cellula batterica è stata indicata come target primario dell'ozonizzazione (Victorin, 1992). Il doppio strato dei lipidi insaturi è particolarmente vulnerabile all'attacco dell'O₃. Nei batteri Gram-negativi, le lipoproteine e i lipopolisaccaridi sono i primi siti di distruzione con conseguente aumento della permeabilità cellulare e, infine, la lisi cellulare (Kim *et al.*, 1999); mentre il cloro distrugge selettivamente alcuni sistemi enzimatici intracellulari, l'O₃ causa l'ossidazione diffusa delle proteine cellulari determinando una rapida morte cellulare (Mudd *et al.*, 1969; Hinze *et al.*, 1987; Takamoto *et al.*, 1992). Come precedentemente sottolineato, la morte cellulare può anche derivare dalla distruzione e/o dal danneggiamento degli acidi nu-

cleici. La timina è più sensibile all'O₃ rispetto alla citosina e all'uracile. I batteri mostrano, comunque, una sensibilità variabile all'O₃. I Gram-negativi, infatti, sono meno sensibili dei Gram-positivi e i batteri sporigeni si dimostrano più resistenti dei non sporigeni (Kim *et al.*, 1999). Poiché il meccanismo con cui agisce l'O₃ è la perossidazione lipidica, la causa della differente sensibilità sarebbe imputabile alla differente composizione lipidica della parete batterica (Hoff, 1986; Khadre *et al.*, 2001). Il tempo di contatto e il dosaggio per la disinfezione con O₃ sono molto bassi ed efficaci se comparati con altri disinfettanti. Gli effetti germicidi, in generale, sono influenzati dal tempo di contatto, dalla temperatura, dal pH, e dalla presenza di materiale organico e inorganico nella soluzione. Una durata maggiore del tempo di contatto, un pH e una temperatura più bassa migliorano l'effetto battericida. Restaino *et al.* (1995) hanno valutato l'effetto an-

Tabella 1.

| Organismo | Concentrazione | Tempo di esposizione |
|---|----------------|----------------------|
| BATTERI (<i>E. coli</i> , <i>Legionella</i> , <i>Mycobacterium</i> , <i>Fecal streptococcus</i>) | 0,23-2,2 ppm | <20 minuti |
| VIRUS (Poliovirus type-1, Human Rotavirus, Enteric virus) | 0,2-4,1 ppm | <20 minuti |
| MUFFE (<i>Aspergillus niger</i> , vari ceppi di <i>Penicillium</i> , <i>Cladosporium</i>) | 2 ppm | 60 minuti |
| FUNGHI (<i>Candida parapsilosis</i> , <i>Candida tropicalis</i>) | 0,02-0,26 ppm | <1,67 minuti |
| INSETTI (<i>Acarus siro</i> , <i>Tyrophagus casei</i> , <i>Tyrophagus putrescentiae</i>) | 1,5-2 ppm | 30 minuti? |



timicrobico dell'acqua ozonizzata verso microrganismi sia patogeni che alteranti. Gli Autori hanno dimostrato l'efficacia battericida dell'O₃ sia verso batteri Gram-positivi quali *Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus*, *Bacillus cereus*, *Enterococcus faecalis*, che verso batteri Gram-negativi quali *Pseudomonas aeruginosa*, e *Yersinia enterocolitica*. Gli stessi autori, inoltre, hanno evidenziato l'efficacia dell'O₃ nella eliminazione di lieviti quali *Candida albicans* e *Zygosaccharomyces* e di spore di *Aspergillus niger*. Khadre *et al.* (2001) confrontando gli effetti dell'O₃ e del perossido di idrogeno su spore di *Bacillus spp.* in diverse matrici alimentari, hanno dimostrato una maggiore efficacia dell'O₃ rispetto al perossido di idrogeno. Guzel-Seydem *et al.* (2004), invece, hanno valutato l'efficacia dell'O₃ in fase acquosa nel ridurre le popolazioni batteriche in diversi substrati: tampone sterile, crema di latte, panna da montare, soluzioni all'1% di farina di semi di carrube, amido solubile e caseinato di sodio in acqua distillata deionizzata sterile. Questi substrati sono stati inoculati con spore di *Bacillus stearothermophilus orvegeta*, cellule vegetative di *Escherichia coli* e *Staphylococcus aureus* e, in seguito sottoposti a trattamento di ozonizzazione. Le spore di *Bacillus stearothermophilus orvegeta* dopo 10 min di esposizione hanno subito una riduzione di 4,93 Log cicli in buffer, 4,56 in amido, 0,95 in farina di semi di carrube e 0,24 in caseinato. Non vi è stata una significativa riduzione delle popolazioni batteriche in crema di latte. Statisticamen-

te significativa, invece, è stata la riduzione di *Escherichia coli* dopo 10 min di esposizione in tampone sterile, amido, farina di semi di carrube, caseinato e panna da montare. Per lo *Staphylococcus aureus*, riduzioni statisticamente significative sono state rilevate dopo 10 min in buffer, amido, farina di semi di carrube, caseinato e panna montata. È interessante sottolineare che la farina di semi di carrube ha fornito un livello intermedio di protezione, mentre il caseinato e la panna da montare hanno dato i massimi livelli di protezione alle popolazioni batteriche. Il ghiaccio ozonizzato o combinazione di refrigerazione e O₃ potrebbe essere utilizzato per prolungare la shelf-life dei prodotti ittici. L'azione dell'O₃ sui virus è stata finora meno studiata rispetto a quella sui batteri; è comunque noto che l'inattivazione dei virus avviene rapidamente, anche se richiede l'utilizzo di concentrazioni di gas superiori rispetto a quelle necessarie per distruggere i batteri (Kim *et al.*, 1999). Diversi studi volti a valutare la sensibilità dei virus all'O₃ hanno dimostrato che i virus provvisti di membrana sono nettamente più sensibili di quelli che ne sono sprovvisti. Il meccanismo d'azione dell'O₃ sui virus non è sicuramente quello di una distruzione, come nel caso dei batteri, ma di un'inattivazione; l'azione dell'O₃, infatti, consisterebbe in un'ossidazione con conseguente inattivazione dei recettori virali specifici utilizzati dal virus stesso per invadere le cellule target. Verrebbe così bloccata l'invasione cellulare da parte del virus. L'O₃, inoltre, distrugge anche l'RNA virale e altera

le catene polipeptidiche delle proteine virali (Kim *et al.*, 1999). Per quanto riguarda l'attività anti-protozoaria dell'O₃, è stato dimostrato che le oocisti di *Cryptosporidium parvum* sono sensibili alla sua azione (Peeters *et al.*, 1989). A tal proposito Korich *et al.* (1990) hanno evidenziato che è sufficiente una concentrazione di O₃ in soluzione acquosa pari a 1 mg/L per inattivare il 90% della popolazione di criptosporidi in meno di un minuto. L'azione inattivante dell'O₃ è stata osservata anche su cisti di *Naegleria gruberi* e di *Giardia muris* (Wickramanayake, 1991). L'utilizzazione dell'O₃ risulta efficace anche verso i miceti; lo sviluppo di muffe in condizioni di umidità relativa elevata, risulta inibito dalla presenza di O₃. Ewell, già nel 1946, ha dimostrato che concentrazioni di O₃ tra 0,6 e 1,5 ppm non consente la crescita di muffe su uova conservate con un'umidità relativa del 90% e ad una temperatura di 0,6°C, mentre concentrazioni di O₃ tra 2,5 e 3 ppm contrastano lo sviluppo di muffe su carne di manzo immagazzinata alle medesime condizioni di temperatura e umidità relativa. L'O₃ è in grado di eliminare anche i lieviti. Farooq *et al.* (1983) sottoponendo una popolazione di *Candida parapsilosis* a trattamento con 0,23-0,26 mg/L di O₃, hanno evidenziato una diminuzione della carica iniziale pari a 2 Log in 1,67 min. In acqua ozonizzata, infine, è stato dimostrato che popolazioni di *Candida albicans* e *Zygosaccharomyces bailii* pari a 4,5 Log venivano distrutte istantaneamente. È importante sottolineare che la sensibilità dei lieviti all'azione dell'O₃ in fase



gassosa varia in funzione della specie. A tale proposito Naitoh (1992) ha condotto studi su *Hansenula anomala*, *Saccharomyces rosei*, *Pichia farinosa*, *Candida parapsilosis*, *Kluyveromyces marxianus* e *Debaryomyces hansenii*. I lieviti suddetti sono stati sottoposti a trattamento con O₃ gassoso a 4-5 ppm per 1-5 ore a 30°-60°C e con un'umidità relativa compresa tra 25-90%. Dopo 5 h di trattamento: *C. parapsilosis* e *K. marxianus* hanno evidenziato una riduzione di 1 Log mentre gli altri lieviti non sono diminuiti in modo apprezzabile. L'O₃ ha, inoltre, aumentato la lag-fase e ha rallentato la fase esponenziale di crescita di *H. anomala* e *K. marxianus*, rispettivamente da 1,5 a 4 ore da 1,4 a 6,7 ore.

POSSIBILI APPLICAZIONI NEL SETTORE ALIMENTARE

L'azione antimicrobica dell'O₃, sia in fase acquosa che gassosa, potrebbe apportare effetti positivi nella lavorazione e nella conservazione degli alimenti prolungandone la shelf-life (Kuprianoff, 1953; Broadwater *et al.*, 1973). È stato, infatti, dimostrato che il trattamento con acqua ozonizzata prolunga la conservabilità dei prodotti ittici di 5 giorni (Violle *et al.*, 1929). Ulteriori studi hanno dimostrato, inoltre, che né l'aspetto, né il sapore degli alimenti viene alterato dall'ozonizzazione (Kuorianoff, 1953; Kim *et al.*, 1999). La refrigerazione in presenza di O₃, in generale, inibisce lo sviluppo della microflora superficiale degli alimenti (Horvath *et*

al., 1985). Waldroup *et al.* (1993) hanno studiato l'uso di O₃ per il riciclo delle acque di raffreddamento nell'industria di pollame e hanno dimostrato l'efficacia dell'O₃ per la disinfezione dell'acqua di riciclaggio del pollame. Sheldon *et al.* (1986) hanno applicato l'O₃ in fase acquosa direttamente sulle carcasse di pollame. L'O₃ ha determinato una riduzione di circa 2 Log unità di tutti i microrganismi presenti sulle carcasse, senza una significativa ossidazione dei lipidi e senza la comparsa di sapori anomali e/o perdita di colore della pelle delle carcasse. Cortesi *et al.* in uno studio condotto nel 2011, hanno valutato l'efficacia del trattamento di decontaminazione con O₃ gassoso (0,4 ppm) su carcasse avicole refrigerate verificando, parallelamente, le eventuali modificazioni organolettiche indotte dal trattamento. I risultati dello studio hanno dimostrato che il trattamento con O₃ gassoso è in grado di prolungare la conservabilità delle carcasse trattate rispetto a quelle non sottoposte ad ozonizzazione. L'analisi sensoriale, inoltre, nel gruppo controllo ossia non sottoposto a trattamento, ha mostrato, al 14° giorno, un generale scadimento delle caratteristiche organolettiche con comparsa di piccole aree verdastre, odore di stantio e patine microbiche in corrispondenza della regione ascellare della carcassa; il gruppo trattato con O₃ gassoso ha presentato invece, al medesimo tempo, un aspetto decisamente migliore ed è risultato ancora accettabile al 20° giorno, non presentando odori sgradevoli né di stantio ma unicamente il caratteristico odore di O₃. Di Ciccio

(2012), in un recente studio ha valutato l'azione dell'O₃ gassoso su ceppi di *Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus* e *Salmonella spp.* isolati da carni avicole. Il trattamento si è dimostrato efficace nel determinare un abbattimento microbico utilizzando O₃ gassoso a tempi e concentrazioni applicabili nelle realtà produttive (2,5 ppm - 20 min). L'Autore ha ottenuto una riduzione media pari a 1,2, 0,82 e 0,8 Log rispettivamente per *Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus* e *Salmonella spp.* Sempre nello stesso studio è stata valutata l'influenza dello stress ossidativo indotto dall'O₃ gassoso sulla capacità di ceppi di *Listeria monocytogenes* e *Staphylococcus aureus* di formare biofilm; i risultati ottenuti hanno evidenziato che il valore medio di produzione di biofilm sia per *Listeria monocytogenes* che per *Staphylococcus aureus* è risultato inferiore nei ceppi sottoposti a stress ossidativo rispetto a quelli non trattati. L'O₃ controlla efficacemente anche lo sviluppo di muffe e batteri nelle celle frigorifere destinate alla conservazione delle carni; in particolare, il tasso di umidità relativa può essere mantenuto a valori più elevati, riducendo il calo di peso e la perdita di aroma. L'O₃, inoltre, distruggendo gli odori, evita il passaggio di aromi non graditi da un prodotto all'altro (CNSA, 2010). Tuttavia si è visto che il trattamento con O₃ può aumentare significativamente la perossidazione lipidica. Non è ancora del tutto chiaro se concentrazioni di O₃ sufficienti per l'effetto battericida, portino anche ad aumento significativo dell'ossidazione dei



grassi (Smith *et al.*, 2001). L'O₃ in fase gassosa, infine, potrebbe essere utilizzato per la conservazione nei silos di riso, mais, soia e grano. In particolare, riduce la crescita di *Tribolium confusum* e *Sitophilus granarius*, insetti che infestano i cereali immagazzinati. Permette, inoltre, l'abbattimento delle muffe appartenenti ai generi *Aspergillus*, *Penicillium* e *Fusarium* (Taniwaki *et al.*, 200; Serra *et al.*, 2003).

CONCLUSIONI

L'attuale posizione del Legislatore comunitario è quella di non consentire l'utilizzo di sostanze diverse dall'acqua potabile e/o pulita tal quale e/o sottoforma di vapore per il trattamento di decontaminazione a diretto contatto con gli alimenti. L'attenzione, pertanto, deve essere focalizzata sulla corretta applicazione delle buone norme di produzione (GMP), delle buone norme di prassi igienica (GHP) e del sistema operativo di gestione della sicurezza degli alimenti (HACCP). Nonostante la maggiore responsabilizzazione e l'accresciuto coinvolgimento degli operatori del settore alimentare, per talune linee produttive, gli sforzi messi in atto non sono, sempre, in grado di fornire adeguate garanzie igienico-sanitarie. Numerosi sono i sistemi per la decontaminazione delle carcasse (acidi organici, perossido di idrogeno, fosfato trisodico, ozono, ecc.) approvati dalla Food Safety and Inspection Service (FSIS) (2002) e che vengono comunemente impiegati nei Paesi extraeuropei. È importante sottolineare che il Le-

gislatore italiano, in maniera lungimirante, aveva previsto la possibile utilizzazione di specifici trattamenti degli alimenti sin dal 1962 con la Legge 283 (Art. 7), demandando al Ministro della Salute la facoltà di adottare, sulla base di un parere espresso dal Consiglio Superiore di Sanità, un decreto ministeriale autorizzativo che ne fissasse la tipologia, gli alimenti e, nel contempo, le indicazioni da riportare in etichetta sui prodotti alimentari trattati. Per quanto riguarda l'O₃, l'Italia ha sempre mantenuto un atteggiamento prudentiale. Il Comitato Nazionale per la Sicurezza Alimentare (CNSA), inoltre, in data 27.10.2010, ha espresso il seguente parere sull'utilizzo dell'O₃: "... si esprime parere favorevole alla ozonizzazione delle camere di stagionatura e/o degli ambienti di stoccaggio, purché in assenza di alimenti. Tale trattamento, comunque, non dovrà essere in contrasto con specifici disciplinari di produzione". In conclusione, il ricorso all'O₃ in fase acquosa e/o gassosa per ridurre il numero e/o la prevalenza di microrganismi potrebbe costituire una eventuale misura supplementare e non sostitutiva, rispetto all'applicazione e all'implementazione delle GMP e GHP. Infine, alla luce della disamina effettuata emergono nuove prospettive di ricerca sulle modalità di impiego dell'O₃ in campo alimentare.

BIBLIOGRAFIA

Broadwater W.T., Hoehn R.C., King P.H. "Sensitivity of three selected bacterial species to ozone". *Applied Microbiology*, 26(3), 391-3, 1973.

Coke A.L. "Mother nature's best remedy: Ozone". *Water Conditioning and Purification*, 48-51, 1993.

Comitato Nazionale sulla Sicurezza Alimentare (CNSA): Parere sul trattamento con ozono dell'aria negli ambienti di stagionatura dei formaggi, http://www.salute.gov.it/imgs/C_17_pubblicazioni_1514_allegato.pdf, 2010

Cortesi M.L., Sarno E., Costanzo N., Ferrante S., Santoro A. "Decontaminazione mediante Ozono di carcasse di pollo refrigerate". *Journal of Food Safety* n. 1, (1), 51-54, 2012.

Di Ciccio P. "Controllo della contaminazione microbica nella filiera avicola". Tesi Dottorato in Produzioni animali, Biotecnologie Veterinarie, Qualità e sicurezza degli Alimenti, Università degli Studi di Parma, 2012.

Edelstein P.H., Whittacker R.E., Kreiling R.I., Howell C.I. "Efficacy of Ozone in eradication of *Legionella pneumophila* from hospital plumbing fixtures". *Applied Environmental Microbiology*, 44, 1330-1331, 1982.

Farooq S., Akhlaque S. "Comparative response of mixed cultures of bacteria and virus to ozonation". *Water Research*, 17, 309, 1983.

Guzel-Seydima Z.B., Greene A.K., Seydim A.C. "Use of ozone in the food industry". *Lebensm. Wiss. u.-Technol.*, 37, 453-460, 2004.

Harakeh M.S., Butler M. "Factors influencing the ozone inactivation of enteric viruses in effluent". *Ozone Science and Engineering*, 6, 235-243, 1985.

Hinze H., Prakash D., Holzer H. "Effect of ozone on ATP, cytosolic enzymes and permeability of *Saccharomyces cerevisiae*". *Archives of Microbiology*, 147, 105-108, 1987.

Hoff J.C. "Inactivation of microbial agents by chemical disinfectants". EPA/600/2-86/067 U.S., Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio, 1986.

Joret J.C., Block J.C., Hartemann Richards Y. "Wastewater disinfection; Elimination of fecal bacteria and enteric viruses by Ozone". *Ozone: Science and Engineering*, 4, 91-99, 1982.

Horvath M., Bilitzky L., Huttner J. "Ozone". New York: Elsevier, 350, 1985.

Kawamura K., Kanckom M., Hiratam T., Taguchim K. "Microbial indicators for the efficiency of disinfection processes". *Water Science and Technology*, 18, 175-184, 1986.



- Khadre M.A., Yousef A.E., Kim J.G. "Microbiological aspects of ozone applications in food: a review". Journal of Food Science, 66, 1242-1252, 2001.
- Khadre M.A., Yousef A.E. "Sporicidal action of ozone and hydrogen peroxide: A comparative study". International Journal of Food Microbiology, 71(2-3), 131-138, 2001.
- Kim J.G., Yousef A.E., Dave S. "Application of ozone for enhancing the microbiological safety and quality of foods: A review". Journal of Food Protection, 62(9), 1071-1087, 1999.
- Kogelschatz U. "Advanced Ozone Generation, in: Process Technologies for Water Treatment". S. Stucki, Plenum Press, 87-120, Ed. 1988.
- Korich D.G., Mead J.R., Sadore M.S., Sinclair N.A., Sterling C.R. "Effects of ozone, chlorine dioxide, chlorine, and monochloramine on *Cryptosporidium parvum* oocyst viability". Applied and Environmental Microbiology, 56(5), 1423-1428, 1990.
- Kuprianoff F. "The use of ozone for the cold storage of fruit". Z. Kaltentech, 10, 1-4, 1953.
- Laisk A., Kull O., Moldau H. "Ozone concentration in leaf intercellular air spaces is close to zero". Plant Physiology, 90, 1163-1167, 1989.
- Menzel D.B. "Oxidation of biologically active reducing substances by ozone". Archives of Environmental Health, 23(2), 149-53, 1971.
- Mudd J.B., Leavitt R., Ongun A., Mcmanus T.T. "Reaction of ozone with amino acids and proteins". Atmospheric Environment, 3, 669-682, 1969.
- Naitoh S. "Synergistic sporicidal effect of gaseous ozone and UV on *Bacillus* and *Clostridium* spores". Bokin Bobai, 20, 293-300, 1992.
- Pascual A., Llorca I., Canut A. "Use of ozone in food industries for reducing the environmental impact of cleaning and disinfection activities". Trend for Food Science Technology, 18, 29-35, 2007.
- Peeters J.E., Mazas E.A., Masschelein W.J., Martinez De Maturana I.V., Debacker, E. "Effect of disinfection of drinking water with ozone or chlorine dioxide on survival of *Cryptosporidium parvum* oocysts". Applied and Environmental Microbiology, 55(6), 1519-1522, 1989.
- Restaino L., Frampton E.W., Hemphill J.B., Palnikar P. "Efficacy of ozonated water against various food-related microorganisms". Applied and Environmental Microbiology, 61(9), 3471-3475, 1995.
- Rice R.G., Robson C.M., Miller G.W., Hill A.G. "Uses of ozone in drinking water treatment". Journal of the American Water Works Association, 73(1), 44-57, 1981.
- Roy D., Wong P.K., Engelbrecht R.S., Chian E.S. "Mechanism of enteroviral inactivation by ozone". Applied of Environmental Microbiology, 41(3), 718-23, 1981.
- Sarti P., Avigliano L., Görlach A., Brüne B. "Superoxide and nitric oxide participation in cell communication". Cell Death and Differentiation, 9(10), 1160-2, 2002.
- Serra R., Abrunhosa L., Kozakiewicz Z., Venâncio A., Lima N. "Use of ozone to reduce molds in a cheese ripening room". J. Food Prot. 66(12), 2355-8, 2003.
- Sheldon B.W., Brown A.L. "Efficacy of ozone as a disinfectant for poultry carcasses and chill water". Journal of Food Science, 51(2), 305-309, 1986.
- Smith R.C., Prézelin B.B., Baker K.S., Bidigare R.R. "Ozone depletion: ultraviolet radiation and phytoplankton biology in Antarctic waters". Science, 255, 952-958, 1992.
- Takamoto Y., Maeba H., Kamimura M. "Changes in survival rate enzyme activities and in *E. coli* with ozone". Applied Microbiology and Biotechnology, 37, 393-395, 1992.
- Taniwaki M.H., Hocking A.D., Pitt J.I., Fleet G.H. "Growth of fungi and mycotoxin production on cheese under modified atmospheres". Int. J. Food Microbiol. 15, 68(1-2), 125-33, 2001.
- Victorin K. "Review of the genotoxicity of ozone". Mutation Research, 277, 221-238, 1992.
- Violle H. "De la sterilization de l'eau de mer par ozone: applications de cette methode pour le perufucation des coquillages contamines". Rev. Hyg. Med. Prev., 51, 42-46, 1929.
- Waldroup A.L., Hierholzer R.E., Forsythe R.H. "Recycling of poultry chill water using ozone". J. Applied Poultry Science, 2, 330-336, 1993.
- Wickramanayake G.B. "Disinfection and sterilization by ozone". In Disinfection, Sterilization, and Preservation, 182-190, Ed. SS Block, 1991.