Corso di Laurea Magistrale in Scienze delle Produzioni Animali Sostenibili LM-86

UD-2

Insegnamento in: ***SANITA' E SICUREZZA DEI PRODOTTI DI ORIGINE ANIMALE OTTENUTI DA TECNOLOGIE INNOVATIVE E SOSTENIBILI***

SSD: VET/04; 6 CFU (60 ore)

Parte 2

A.A. 2026-2027

Docente del Corso:
Dr. Gianluigi Ferri
DVM; PhD in Food Inspection
gferri@unite.it

Food tech: *Alte pressioni idrostatiche*

HPP (High Pressure Procedure)

Cenni storici

1899 → Hite *et al*. effetti AP sui microrganismi

1914 → Bridgmann coagulazione albume

Anni'30 → Basset *et al*. barosensibilità batteri, spore, tossine

1941 → Grant *et al*. Denaturazione albumina

Potenzialità applicative AP nella conservazione e trasformazione degli alimenti

PRINCIPI TECNOLOGICI

TRATTAMENTO CON LE ALTE PRESSIONI

il prodotto alimentare all'interno di apposite camere …

… viene compresso

… attraverso l'impiego di forti pressioni

… che ne provocano il risanamento e/o la trasformazione

PRESSA PER IL TRATTAMENTO DEI PRODOTTI ALIMENTARI CON LE ALTE PRESSIONI: SEZIONE TRASVERSALE

PRINCIPI TECNOLOGICI

TRATTAMENTO CON LE ALTE PRESSIONI

intensità trattamento

Mega Pascals (MPa)

unità di pressione Sistema Internazionale

1 atm. = 1,01325 bar = 1 Kg/cm^2 = 0,101325 Mpa

generalmente si considera che:

1 atm. = 1 bar = 1 Kg/cm^2 = 0,1 MPa

PRINCIPI TECNOLOGICI

PRESSATURA ISOSTATICA A FREDDO

Isostatica

si applica con eguale intensità su tutti i punti (Legge di Pascal)

PRINCIPI TECNOLOGICI

PRESSATURA ISOSTATICA A FREDDO

trasmissione istantanea

PRINCIPI TECNOLOGICI

PRESSATURA ISOSTATICA A FREDDO

innalzamento temperatura

il prodotto sottoposto al trattamento presenta un leggero incremento della temperatura (2-3°C/100 Mpa)

PRINCIPI TECNOLOGICI

PRESSATURA ISOSTATICA A FREDDO

il prodotto subisce un trattamento uniforme con un effetto uguale in tutti i suoi punti, qualunque siano la sua massa, il volume, la forma, lo stato fisico

PRESSURIZZAZIONE

fase di preparazione

fase di pressurizzazione **ciclo discontinuo**
ciclo semicontinuo

fase di condizionamento

PRESSURIZZAZIONE

fase di preparazione

fase di pressurizzazione ciclo discontinuo
ciclo semicontinuo

fase di condizionamento

alimenti solidi o liquidi densi
→ confezionamento sottovuoto

caratteristiche imballaggio:

- **flessibile → capace di deformarsi adattandosi alla riduzione di volume del contenuto senza lacerarsi**

- **isolante e impermeabile**

PRESSURIZZAZIONE

fase di pressurizzazione ciclo discontinuo

ciclo semicontinuo

ciclo discontinuo

- **introduzione prodotto nella camera di pressurizzazione (fase di carico)**
- **chiusura della camera**
- **fase di compressione (allontanamento dell'aria per ingresso dell'acqua pressurizzata (parametri di trattamento: pressione/tempo)**

fase di decompressione

fase di scarico

ciclo semicontinuo

liquidi (es. succhi di frutta) che non richiedono una fase preliminare di imballaggio

utilizzazione di una serie di camere di compressione in batteria funzionanti in modo alternato

trattamenti di breve durata (pochi minuti)

uscita del liquido alimentare trattato in continuo

PRESSURIZZAZIONE

fase di preparazione

fase di pressurizzazione **ciclo discontinuo**
ciclo semicontinuo

fase di condizionamento

prodotti liquidi (es. succhi di frutta) che non richiedono una fase preliminare di imballaggio → sterili

prodotti imballati prima del trattamento → condizionamento Supplementare per fini commerciali

MECCANISMO DI AZIONE

sensibilità dei legami chimici alle AP

- **legami ionici → sensibili**
- **legami idrogeno → tolleranti**
- **legami covalenti → resistenti**

MECCANISMO DI AZIONE

sensibilità molecole biologiche alle AP

molecole biologiche ricche di legami deboli (ionici) → sensibili al trattamento con AP

molecole biologiche ricche di legami forti e stabili (covalenti) → meno idonee al trattamento con le AP

MECCANISMO DI AZIONE
SULLE MOLECOLE BIOLOGICHE

azione sulle proteine

azione sui glucidi

azione sui lipidi

azione sulle vitamine

MECCANISMO DI AZIONE
SULLE MOLECOLE BIOLOGICHE

azione sulle proteine → effetto globale risultante
dalla azione sui differenti livelli strutturali
della molecola proteica

Struttura primaria → sequenza degli aminoacidi

Struttura secondaria → arrangiamento della molecola su un piano
(interazione tra aminoacidi prossimali posti sulla stessa catena)

Struttura terziaria → conformazione spaziale delle strutture secondarie
→ piegamenti della catena proteica su se stessa
(interazione tra aminoacidi non prossimali posti sulla stessa catena)

Struttura quaternaria → associazione nello spazio di più molecole proteiche (monomeri)
(interazione tra aminoacidi posti su catene diverse)

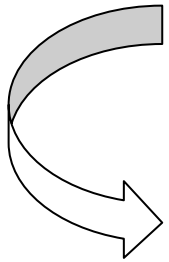
Struttura primaria → legami covalenti
sequenza degli aminoacidi non compromessa

Struttura secondaria → legami H tra gli aminoacidi modificata soltanto da pressioni elevate (800 MPa)
notevole variabilità tra le diverse molecole proteiche →
→ cambiamenti imprevedibili

Struttura terziaria → legami di tipo covalente – H – ionico
Legami covalenti (ponti disolfuro) → stabilità alla struttura
Legami H e ionici → distrutti da trattamenti di 100-200 Mpa
diverse regioni della molecola → stabilità variabile
regioni meno stabili → svolgimento delle proteine globulari →
riduzione di volume della molecola (500 MPa)

Struttura quaternaria → legami ionici – H – idrofobi
dissoluzione della struttura nelle unità fondamentali (monomeri, dimeri, trimeri) anche a valori < 150 MPa

azione sulle proteine → effetto globale
→ (deformazione, rottura, nuova disposizione spaziale) risultante dalla azione delle AP (intensità trattamento) sui differenti livelli strutturali della molecola proteica



spostamento equilibrio dalla forma nativa N
a forme non piegate U (= *unfolded*)

Intensità del trattamento con AP per ottenere la dissociazione dell'actomiosina e la depolimerizzazione della struttura quaternaria delle due proteine costituenti



Applicazione tecnologica → produzione di gel

Caratteristiche nettamente superiori a quelli derivanti da trattamento termico

Denaturazione termica → rottura legami covalenti → variazioni di colore e sapore

Denaturazione con le AP → gel di maggiore morbidezza, elasticità, lucentezza, levigatezza e adesività
Conservazione colore e sapore originari

MECCANISMO DI AZIONE SULLE MOLECOLE BIOLOGICHE

azione sulle proteine

azione sui glucidi

azione sui lipidi

azione sulle vitamine

Glucidi semplici

Non subiscono modificazioni se sottoposti a pressioni tra 100 e 1000 MPa

Sciroppo di limone fresco trattato a 600 MPa → inalterato il tenore in glucosio, fruttosio, saccarosio

Glucidi complessi

Catene di esosi unite da legami non covalenti → sensibili al trattamento con AP

Alcuni poliesosi pressurizzati → trasformazione in gel

MECCANISMO DI AZIONE
SULLE MOLECOLE BIOLOGICHE

azione sulle proteine

azione sui glucidi

azione sui lipidi

azione sulle vitamine

aumento della temperatura di fusione

20°C per ogni 100 MPa di pressione applicata

il fenomeno si spiega ammettendo che:
a T = costante un aumento di pressione accresce l'ordine delle molecole → aumento del punto di fusione della sostanza sottoposta a pressione costante

MECCANISMO DI AZIONE SULLE MOLECOLE BIOLOGICHE

azione sulle proteine

azione sui glucidi

azione sui lipidi

azione sulle vitamine

piccole molecole nella cui struttura entrano a far parte legami chimici covalenti → scarsa sensibilità alle AP

→ importanza applicativa nei succhi di frutta

vit. C non distrutta da trattamenti di 600 MPa/ 5’ con T=21°C

→ importanza applicativa nella frutta fresca

95% vit. C in fragole fresche trattate a 400 MPa/ 30’

AZIONE SUI COSTITUENTI DELLA CELLULA MICROBICA

materiale genetico

acido ribonucleico

membrana cellulare

parete cellulare

AZIONE SUI COSTITUENTI DELLA CELLULA MICROBICA

materiale genetico
acido desossiribonucleico

- molto resistente
- struttura a doppia elica conservata (legami H)
- replicazione e trascrizione inibite anche da valori relativamente bassi

AZIONE SUI COSTITUENTI DELLA CELLULA MICROBICA

materiale genetico
acido ribonucleico

- la sua sensibilità alle AP condiziona le sintesi proteiche
- inibizione a livello di trascrizione
  fissazione del t-RNA sul ribosoma
  translocazione
- tutti i passaggi che vedono modifiche spaziali delle strutture cellulari sono impediti dalla pressione
- sufficienti trattamenti < 100 MPa

AZIONE SUI COSTITUENTI DELLA CELLULA MICROBICA

membrana cellulare

- azioni delle AP sul bilayer fosfolipidico
- → riduzione dello spazio tra le strutture da cui è formato
- → assottigliamento e aumento consistenza
- → diminuzione fluidità e dinamicità
- modificazioni già evidenti a 100 MPa

AZIONE SUI COSTITUENTI DELLA CELLULA MICROBICA

membrana cellulare

- azioni delle AP sulle proteine enzimatiche di membrana
- riduzione attività molecole deputate al trasporto attivo
- es. enzima ATPasi Ca-dipendente (membrana RE) → inattivato a 150 MPa

AZIONE SUI COSTITUENTI DELLA CELLULA MICROBICA

membrana cellulare

- a 200 MPa → dissolvimento membrana vacuoli
- a 300 MPa → parziale distruzione membrana con perdita citoplasma

AZIONE SUI COSTITUENTI DELLA CELLULA MICROBICA

parete cellulare

• Gram +
→ peptidoglicano poco sensibile alle AP (legami covalenti)

• Gram - → strato di peptidoglicano minore → elevato contenuto di proteine → maggiore sensibilità

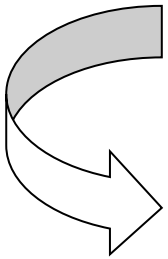
AZIONE SUI MICRORGANISMI: forme vegetative

AZIONE SUI MICRORGANISMI: forme vegetative

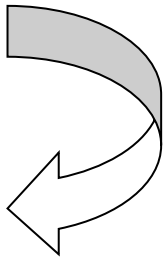
meccanismi non ancora ben chiariti

azione
meccanica

azione
chimico-fisica



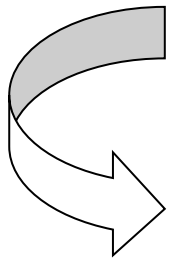
- **specie microbica**
- **stato fisiologico**



AZIONE SUI MICRORGANISMI: forme vegetative

meccanismi non ancora ben chiariti

azione
meccanica

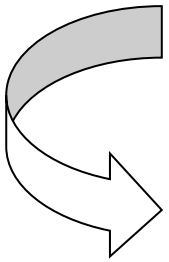


schiacciamento e disintegrazione

AZIONE SUI MICRORGANISMI: forme vegetative

meccanismi non ancora ben chiariti

azione

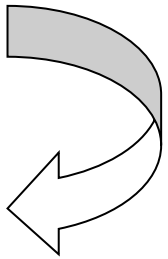


collasso vacuoli di gas + apertura di fori nella membrana cellulare → perdita permeabilità selettiva → destabilizzazione gradienti elettrochimici → morte

AZIONE SUI MICRORGANISMI: forme vegetative

meccanismi non ancora ben chiariti

azione
chimico-fisica



interessate le componenti proteiche
diverse modificazioni fisiche e chimiche
ruolo fondamentale: acqua presente all'interno della cellula

AZIONE SUI MICRORGANISMI: forme vegetative

meccanismi non ancora ben chiariti

azione
meccanica

azione
chimico-fisica



azioni molteplici
perturbazioni meccanismi preposti alla omoestasi cellulare
di vario tipo e di varia entità
morte cellulare in tempi più o meno brevi

Microrganismo	HP (MPa)	T°C/t min.	nD	substrato
Salmonella senftenberg	500	20/0,5	6	Brodo di coltura
Bacillus cereus	500	20/1	6	Brodo di coltura
Staphylococcus aureus	700	20/1	6	Brodo di coltura
Listeria monocytogenes	700	20/3	6	Brodo di coltura
Enterococcus faecalis	800	20/5	4	Uova
Escherichia coli	400	20/1	4	Brodo di coltura

AZIONE SUI MICRORGANISMI: spore

sono poco sensibili alle AP

→ morfologia
→ scarso contenuto di acqua
→ composizione chimica

spore di *Bacillus subtilis*
→ non inattivate con trattamenti di 1200 MPa/14h
1750 MPa/45’

AZIONE SUI MICRORGANISMI: spore

Maggiore sensibilità a trattamenti con pressioni più basse!!!

Bacillus pumilus (spore)

80 MPa; T = 25°C; tampone fosfato (pH = 6.8)

→ inattivazione parziale!!!!!!

AZIONE SUI MICRORGANISMI: spore

popolazione iniziale	popolazione finale
frazione termostabile	frazione termostabile frazione termolabile frazione inattivata

AZIONE SUI MICRORGANISMI: spore

… trattamenti a bassa intensità sono in grado di provocare la germinazione delle spore …

“riattivazione baroindotta”

→ ripresa della attività enzimatica
→ depolimerizzazione componenti della spora
→ liberazione di calcio e di acido dipicolinico
→ sparizione della cortex
→ diminuzione del peso secco

AZIONE SUI MICRORGANISMI: spore

… la pressione provoca la germinazione di una parte delle spore …

spore non germinate→ frazione termostabile
spore germinate → forme vegetative → frazione termolabile
forme vegetative barosensibili → frazione inattivata

AZIONE SU LIEVITI E MUFFE

sono abbastanza sensibili ai trattamenti con AP

il substrato influenza notevolmente la barosensibilità

essa diminuisce se la concentrazione di zucchero dello sciroppo di frutta in cui si trovano aumenta

effetto baroprotettore alte concentrazioni di zuccheri → legato all'abbassamento dell'attività dell'acqua

AZIONE SU LIEVITI E MUFFE

ES. *Candida parapsilosis* presente nelle fragole fresche →
→ non totalmente inattivata a 400 MPa/15’ a T=amb quando presente in confetture

Enzima	Effetto desiderato
termolisina	attivazione a 200 MPa con idrolisi completa della ß-lattoglobulina
proteasi	attivazione per l'ottenimento di proteine modificate
pectinasi	difficile inattivazione anche con apporto termico (enzima responsabile delle variazioni chimico-fisiche dei vegetali durante la lavorazione)
perossidasi	inattivazione enzima (miglioramento qualità organolettiche dei vini)
polifenolossidasi	inattivazione enzima (miglioramento qualità organolettiche dei vini)

PRINCIPALI CAMPI DI APPLICAZIONE

gel: caratteristiche superiori a quelli ottenuti con trattamenti termici (colore ed odore originari, minor durezza, maggiore elasticità, lucentezza

ESEMPI APPLICATIVI

ALIMENTO	PRESSIONE APPLICATA (MPa)
carne di coniglio	200
carpa e maccarello	500/10’
surimi differenti specie ittiche	400
sardine e tonno	400
calamari	600
macinato di carne	700

PRINCIPALI CAMPI DI APPLICAZIONE

modificazioni caratteristiche organolettiche

aumento tenerezza delle carni

Tenerezza = Qualità legata alla struttura della carne

- tessuto connettivo presente nel muscolo
  (quantità e qualità fibre collagene)
- durezza della componente miofibrillare
  - → aumenta dopo la morte
  - → raggiunge il massimo durante il rigor
  - → decresce in seguito alla frollatura

Tenerezza = Qualità legata alla struttura della carne

- tessuto connettivo presente nel muscolo
- durezza della componente miofibrillare

le AP non hanno alcun effetto sul tessuto connettivo

le AP liberano enzimi lisosomiali (catepsine) che intervengono nella maturazione del muscolo in carne

le AP agiscono direttamente sulle miofibrille
→ divaricamento e rottura (frammentazione)
→ distruzione linea Z
→ depolimerizzazione actina e miosina

30% miofibrille frammentate a 100 MPa; 90% a 300 Mpa

aumento della tenerezza

ATTUALI APPLICAZIONI

• confetture fragole, kiwi, mele)

AP → gelificazione della miscela di frutta, zucchero e pectine, stabilizzazione dell'insieme senza sottoporre il prodotto a cottura

• yogurt

• salse

• succhi di frutta (mandarino, arancia, pompelmo)

• prosciutti

• gelati con frutta a pezzi

APPLICAZIONI POTENZIALI

prodotti lattiero-caseari

Trattamento latte crudo

→ produzione formaggi a latte crudo

Mantenimento qualità originarie latte crudo con caratteristiche igieniche sovrapponibili a quelle del latte trattato termicamente

Distruzione della beta-lattoglobulina (allergene) → 200 MPa/20' a 30°C in presenza di termolisina → idrolisi totale

Accelerazione maturazione del formaggio

50 MPa/3 giorni a 25°C → stesso grado di maturazione ottenibile in 6 mesi!!!

APPLICAZIONI POTENZIALI

scongelamento

carne bovina conservata a -20°C scongelata con un trattamento di 50 MPa/30’ a T = 20°C

vantaggioso utilizzo per grosse pezzature → efficacia del trattamento indipendente dal volume trattato

APPLICAZIONI POTENZIALI

solforazione del vino

→ arresto delle fermentazioni
→ evita di ricorrere all'additivo bisolfito

VANTAGGI

- **tempo di trattamento indipendente dimensioni prodotto**

- **limitato impatto ambientale**
  (assenza reflui e riutilizzo acqua di raffreddamento)

- **assenza danni termici**

- **assenza danni meccanici (scarsa compressibilità acqua, componente principale della maggior parte degli alimenti)**

Domande ???