



UNIVERSITATEA “ȘTEFAN CEL MARE” DIN SUCEAVA
FACULTATEA DE INGINERIE ALIMENTARĂ
Domeniul Ingineria Produselor Alimentare



TEZĂ DE DOCTORAT

REZUMAT

Conducător științific,
Prof. univ. dr. ing. Georgiana Gabriela CODINĂ

Doctorand,
Ing. Cristina Valentina Sarion

SUCEAVA
2023

**UNIVERSITATEA “ȘTEFAN CEL MARE” DIN SUCEAVA
FACULTATEA DE INGINERIE ALIMENTARĂ
Domeniul Ingineria Produselor Alimentare**

**ACRILAMIDA ÎN PRODUSELE DE
PANIFICAȚIE - INCIDENTĂ, EVALUARE,
METODE DE REDUCERE**

REZUMATUL TEZEI DE DOCTORAT

Conducător științific:

Prof. univ. dr. ing. Georgiana Gabriela CODINĂ

Doctorand:

Ing. Cristina Valentina Sarion

**SUCEAVA
2023**

Mulțumiri

Privind în urma celor cinci ani, atât cât a durat doctoratul meu, constat cu plăcere că am fost o norocoasă prin faptul că am întâlnit oameni valoroși care au avut bunăvoința de a împărtăși cu mine din cunoștințele domniilor lor, dar și de a-mi oferi dezinteresat sprijin și suport.

Cea care a avut încredere în mine, m-a ghidat în tainele cunoașterii și m-a susținut necondiționat, dându-mi puterea de a merge mai departe atunci când totul părea greu, este doamna *prof. univ. dr. ing. Georgiana Gabriela CODINĂ*, conducătorul științific al prezentei teze de doctorat, motiv pentru care-i mulțumesc acum și mereu.

O altă doamnă dragă sufletului meu, fără de care nu aș fi putut ajunge în acest moment este doamna *prof. univ. dr. ing. Adriana Dabija*, cea care mă cunoștea din anii de facultate și care, la fel ca atunci, a știut să-mi ghideze pașii spre noi orizonturi, ajutându-mă să urmez studiile Școlii de Doctorat din cadrul **Universității “Ștefan cel Mare” din Suceava**.

Totodată, mulțumirile mele se îndreaptă către membrii comisiei de îndrumare, care au dat dovadă de bunăvoință, de înțelegere, care mi-au arătat că omenia poate face echipă bună cu știința, oferindu-mi sprijin atât tehnic cât și moral.

Pe lângă cadrele didactice țin să le mulțumesc colaboratorilor care m-au îndrumat în partea de cercetare, doamnei ing. Niculina Țampău și domnului medic veterinar Cătălin Negreanu, care au avut răbdarea de a-mi explica tainele determinărilor analitice efectuate în cadrul lucrării.

Însă nimic nu ar avea sens dacă nu ar exista Dumnezeu care a îngăduit ca lucrurile să se întâmple și a cărui iubire o simt în orice clipă.

Mulțumesc de asemenea surorii mele, care este sufletul meu pereche și mă iubește necondiționat, doamnei dr. Marinela Căliman, care m-a sprijinit și ajutat de fiecare dată și prietenilor apropiați care au crezut în mine.

Cristina Valentina Sarion

CUPRINS

Listă de abrevieri

Scopul și obiectivele tezei de doctorat

- 1. Stadiul actual privind acrilamida în produsele de panificație și posibilități de reducere a conținutului acesteia (studiu documentar)**
 - 1.1. Introducere
 - 1.2. Considerații teoretice privind acrilamida și efectul acesteia asupra organismului uman
 - 1.2.1. Căi de formare a acrilamidei
 - 1.2.2. Principalii precursori în formarea acrilamidei în produsele de panificație
 - 1.2.3. Efectele toxicologice ale acrilamidei asupra organismului uman
 - 1.3. Norme legislative privind dozele maxime admise de acrilamidă în produsele de panificație
 - 1.4. Metode de evaluare a conținutului de acrilamidă din produsele de panificație
 - 1.5. Factorii care influențează formarea acrilamidei în produsele de panificație
 - 1.5.1. Factorii agronomici
 - 1.5.2. Rețeta de fabricație
 - 1.5.3. Procesul de preparare al aluatului
 - 1.5.4. Instrucțiunile de preparare finală
 - 1.6. Metode de reducere a conținutului de acrilamidă din pâine și produsele de panificație
 - 1.6.1. Strategii de reducere a formării de acrilamidă în produsele de panificație
 - 1.6.2. Metode internaționale de reducere a formării acrilamidei prin reducerea asparaginei
 - 1.7. Concluzii parțiale
- 2. Evoluția nivelului de acrilamidă din produsele alimentare, în perioada 2018-2022, analizate de Laboratorul Sanitar Veterinar și pentru Siguranța Alimentelor București - laborator arondat de Autoritatea Națională Sanitară Veterinară și pentru Siguranța Alimentelor pentru efectuarea acestei determinări la nivel național**
 - 2.1. Introducere
 - 2.2. Materiale și metode utilizate
 - 2.2.1. Probele de alimente analizate în cadrul L.S.V.S.A. București
 - 2.2.2. Metoda de analiză a conținutului de acrilamidă din produsele de panificație folosită în cadrul L.S.V.S.A. București
 - 2.3. Rezultate și discuții
 - 2.4. Concluzii parțiale
- 3. Evoluția la nivel european, în perioada 2020-iunie 2023, a notificărilor din cadrul RASFF Window, la produsele alimentare care prezentau depășiri ale nivelului de acrilamidă**
 - 3.1. Introducere
 - 3.2. Baza de date
 - 3.3. Rezultate și discuții
 - 3.4. Concluzii parțiale

- 4. Metode de reducere a conținutului de acrilamidă în produse de panificație**
- 4.1. Introducere
- 4.2. Influența adaosului de antioxidant (extract de rozmarin) asupra proprietăților reologice ale aluatului, calității pâinii și nivelului de acrilamidă a acesteia**
- 4.2.1. Introducere
- 4.2.2. Materiale și metode
- 4.2.3. Rezultate și discuții
- 4.2.3.1. Influența adaosului de antioxidant (extract de rozmarin) asupra proprietăților reologice de frământare și de vâscozitate ale aluatului
- 4.2.3.2. Influența adaosului de antioxidant (extract de rozmarin) asupra proprietăților reologice de întindere biaxială
- 4.2.3.3. Influența adaosului de aluat antioxidant (extract de rozmarin) asupra indicelui de cădere și a proprietăților reologice ale aluatului în timpul fermentării
- 4.2.3.4. Influența adaosului de antioxidant (extract de rozmarin) asupra caracteristicilor fizice ale probelor de pâine
- 4.2.3.5. Influența adaosului de antioxidant (extract de rozmarin) asupra caracteristicilor de culoare ale probelor de pâine
- 4.2.3.6. Influența adaosului de antioxidant (extract de rozmarin) asupra caracteristicilor de textură ale probelor de pâine
- 4.2.3.7. Influența adaosului de antioxidant (extract de rozmarin) asupra caracteristicilor senzoriale ale probelor de pâine
- 4.2.3.8. Influența adaosului de antioxidant (extract de rozmarin) asupra structurii miezului de pâine
- 4.2.3.9. Efectul adaosului de antioxidant (extract de rozmarin) asupra conținutului de acrilamidă a probelor de pâine
- 4.2.4. Concluzii parțiale
- 4.3. Influența adaosului de aluat acid uscat asupra proprietăților reologice ale aluatului, calității pâinii și nivelului de acrilamidă a acesteia**
- 4.3.1. Introducere
- 4.3.2. Materiale și metode
- 4.3.3. Rezultate și discuții
- 4.3.3.1. Influența adaosului de aluat acid uscat asupra proprietăților reologice de frământare și de vâscozitate ale aluatului
- 4.3.3.2. Influența adaosului de aluat acid uscat asupra proprietăților reologice de întindere biaxială
- 4.3.3.3. Influența adaosului de aluat acid uscat asupra indicelui de cădere și a proprietăților reologice ale aluatului în timpul fermentării
- 4.3.3.4. Influența adaosului de aluat acid uscat asupra caracteristicilor fizice ale probelor de pâine
- 4.3.3.5. Influența adaosului de aluat acid uscat asupra caracteristicilor de culoare ale probelor de pâine
- 4.3.3.6. Influența adaosului de aluat acid uscat asupra caracteristicilor de textură ale probelor de pâine
- 4.3.3.7. Influența adaosului de aluat acid uscat asupra caracteristicilor senzoriale ale probelor de pâine
- 4.3.3.8. Influența adaosului de aluat acid uscat asupra structurii miezului de pâine

- 4.3.3.9. Efectul adaosului de aluat acid uscat asupra conținutului de acrilamidă a probelor de pâine
- 4.3.4. Concluzii parțiale
- 4.4. Influența adaosului de asparaginază asupra proprietăților reologice ale aluatului, calității pâinii și nivelului de acrilamidă a acesteia**
- 4.4.1. Introducere
- 4.4.2. Materiale și metode
- 4.4.3. Rezultate și discuții
- 4.4.3.1. Influența adaosului de asparaginază asupra proprietăților reologice de frământare și de vâscozitate ale aluatului
- 4.4.3.2. Influența adaosului de asparaginază asupra proprietăților reologice de întindere biaxială
- 4.4.3.3. Influența adaosului de asparaginază asupra indicelui de cădere și a proprietăților reologice ale aluatului în timpul fermentării
- 4.4.3.4. Influența adaosului de asparaginază asupra caracteristicilor fizice ale probelor de pâine
- 4.4.3.5. Influența adaosului de asparaginază asupra caracteristicilor de culoare ale probelor de pâine
- 4.4.3.6. Influența adaosului de asparaginază asupra caracteristicilor de textură ale probelor de pâine
- 4.4.3.7. Influența adaosului de asparaginază asupra caracteristicilor senzoriale ale probelor de pâine
- 4.4.3.8. Influența adaosului de asparaginază asupra structurii miezului de pâine
- 4.4.3.9. Efectul adaosului de asparaginază asupra conținutului de acrilamidă a probelor de pâine
- 4.4.4. Concluzii parțiale
- 4.5. Influența adaosului de săruri de calciu asupra proprietăților reologice ale aluatului, calității pâinii și nivelului de acrilamidă a acesteia**
- 4.5.1. Introducere
- 4.5.2. Influența adaosului de lactat de calciu asupra proprietăților reologice ale aluatului, calității pâinii și nivelului de acrilamidă a acesteia**
- 4.5.2.1. Materiale și metode
- 4.5.2.2. Rezultate și discuții
- 4.5.2.2.1. Influența adaosului de lactat de calciu asupra proprietăților reologice de frământare și de vâscozitate ale aluatului
- 4.5.2.2.2. Influența adaosului de lactat de calciu asupra proprietăților reologice de întindere biaxială
- 4.5.2.2.3. Influența adaosului de lactat de calciu asupra indicelui de cădere și a proprietăților reologice ale aluatului în timpul fermentării
- 4.5.2.2.4. Influența adaosului de lactat de calciu asupra caracteristicilor fizice ale probelor de pâine
- 4.5.2.2.5. Influența adaosului de lactat de calciu asupra caracteristicilor de culoare ale probelor de pâine
- 4.5.2.2.6. Influența adaosului de lactat de calciu asupra caracteristicilor de textură ale probelor de pâine

- 4.5.2.2.7. Influența adaosului de lactat de calciu asupra caracteristicilor senzoriale ale probelor de pâine
- 4.5.2.2.8. Influența adaosului de lactat de calciu asupra structurii miezului de pâine
- 4.5.2.2.9. Efectul adaosului de lactat de calciu asupra conținutului de acrilamidă a probelor de pâine
- 4.5.3. Influența adaosului de carbonat de calciu asupra proprietăților reologice ale aluatului, calității pâinii și nivelului de acrilamidă a acesteia**
- 4.5.3.1. Materiale și metode
- 4.5.3.2. Rezultate și discuții
- 4.5.3.2.1. Influența adaosului de lactat de calciu asupra proprietăților reologice de frământare și de vâscozitate ale aluatului
- 4.5.3.2.2. Influența adaosului de carbonat de calciu asupra proprietăților reologice de întindere biaxială
- 4.5.3.2.3. Influența adaosului de carbonat de calciu asupra indicelui de cădere și a proprietăților reologice ale aluatului în timpul fermentării
- 4.5.3.2.4. Influența adaosului de carbonat de calciu asupra caracteristicilor fizice ale probelor de pâine
- 4.5.3.2.5. Influența adaosului de carbonat de calciu asupra caracteristicilor de culoare ale probelor de pâine
- 4.5.3.2.6. Influența adaosului de carbonat de calciu asupra caracteristicilor de textură ale probelor de pâine
- 4.5.3.2.7. Influența adaosului de carbonat de calciu asupra caracteristicilor senzoriale ale probelor de pâine
- 4.5.3.2.8. Influența adaosului de carbonat de calciu asupra structurii miezului de pâine
- 4.5.3.2.9. Efectul adaosului de carbonat de calciu asupra conținutului de acrilamidă a probelor de pâine
- 4.5.4. Influența adaosului de gluconat de calciu asupra proprietăților reologice ale aluatului, calității pâinii și nivelului de acrilamidă a acesteia**
- 4.5.4.1. Materiale și metode
- 4.5.4.2. Rezultate și discuții
- 4.5.4.2.1. Influența adaosului de gluconat de calciu asupra proprietăților reologice de frământare și de vâscozitate ale aluatului
- 4.5.4.2.2. Influența adaosului de gluconat de calciu asupra proprietăților reologice de întindere biaxială
- 4.5.4.2.3. Influența adaosului de gluconat de calciu asupra indicelui de cădere și a proprietăților reologice ale aluatului în timpul fermentării
- 4.5.4.2.4. Influența adaosului de gluconat de calciu asupra caracteristicilor fizice ale probelor de pâine
- 4.5.4.2.5. Influența adaosului de gluconat de calciu asupra caracteristicilor de culoare ale probelor de pâine
- 4.5.4.2.6. Influența adaosului de gluconat de calciu asupra caracteristicilor de textură ale probelor de pâine
- 4.5.4.2.7. Influența adaosului de gluconat de calciu asupra caracteristicilor senzoriale ale probelor de pâine
- 4.5.4.2.8. Influența adaosului de gluconat de calciu asupra structurii miezului de pâine

4.5.4.2.9. Efectul adaosului de gluconat de calciu asupra conținutului de acrilamidă a probelor de pâine

4.5.5. Concluzii parțiale

5. Concluzii generale. Contribuții originale și perspective

Diseminarea rezultatelor cercetării

Bibliografie

Anexe

LISTĂ DE ABREVIERI

<i>a</i> *	Intensitatea nuanței de verde (-) sau de roșu (+);
AA	Acrilamidă;
AAC	Rețeaua de asistență administrativă și cooperare;
AAS	Spectroscopie de absorbție atomică;
ACN	Acetonitril;
ANC	Rețeaua de Alerte și Cooperare;
ANOVA	Analiza de varianță;
<i>b</i> *	Intensitatea nuanței de albastru (-) sau de galben (+);
CERHR	Centrul Național de Toxicologie pentru Evaluarea Riscurilor la Reproducerea Umană;
CES	Comitetul European pentru Standardizare;
CR	Coefficient de retenție a gazelor în aluat, (%);
DOD	Detector de diodă Array;
DSVSA	Direcția Sanitară Veterinară și pentru Siguranța Alimentelor
EFSA	Autoritatea Europeană pentru Siguranța Alimentelor;
FAO	Organizația Națiunilor Unite pentru Alimentație și Agricultură;
FFN	Rețeaua de combatere a fraudei agroalimentare;
FN	Indicele de cădere, (s);
G	Indicele de umflare a aluatului, (mm) obținut la alveograf;
HACCP	Analiza riscurilor și punctelor critice de control
JECFA	Comitetul mixt FAO/OMS de Experți în Aditivi Alimentari;
H'm	Înălțimea maximă a curbei formării și reținerii gazelor de fermentare, (mm);
HPLC	Cromatografie lichidă de înaltă performanță
<i>L</i>	Extensibilitatea aluatului, (mm) obținută la alveograf;
<i>L</i> *	Luminozitate;
LAB	Bacterii lactice ;
LOD	Limita de detecție;
LOQ	Limita de cuantificare;
LSVSA	Laboratorul Sanitar Veterinar și pentru Siguranța Alimentelor
MOE	Marja de expunere
O.I.A.	Operator din industria alimentară;
OMS	Organizația Mondială a Sănătății;
P	Tenacitatea sau presiunea maximă, obținută la alveograf (mm)
P/L	Raport de configurare (de formă) al curbei alveografice;
RASFF	Sistem Rapid de Alertă pentru Alimente și Furaje;
Reg. (CE)	Regulament al Comisiei Europene;
Rec. (CE)	Recomandare a Comisei Europene;
RF	Radiofrecvență;
SNFA	Administrația Națională a Alimentației Suedeze
SD	Aluat acid uscat;
ST	Stabilitatea aluatului (min);
VR	Volumul de retenție, volumul de CO ₂ reținut de aluat la sfârșitul testului, (mL);
VT	Volumul total de gaze format în aluat, (mL);
W	Energia de deformare, (10 ⁻⁴ J) obținută la alveograf;
WA	Capacitatea de hidratare, (%);
u.a.m.	Unitate atomică de masă

SCOPUL ȘI OBIECTIVELE TEZEI DE DOCTORAT

Scopul tezei de doctorat: în cadrul tezei de doctorat s-a urmărit reducerea conținutului de acrilamidă din pâinea neagră. Pentru aceasta s-au realizat diferite studii și cercetări privind efectul diferitelor adaosuri de **antioxidant (extract de rozmarin)**, de **asparaginază**, **aluat acid uscat** și **săruri de calciu** (precum *gluconat de calciu*, *lactat de calciu*, *carbonat de calciu*), asupra nivelului de acrilamidă din pâinea neagră, precum și asupra proprietăților reologice ale aluatului și calității pâinii.

Obiectivele propuse în cadrul acestei teze de doctorat sunt:

O₁: Efectuarea studiului documentar despre stadiul actual al cercetărilor din domeniu privind acrilamida în produsele alimentare, în special în produsele de panificație, și posibilitățile de reducere a conținutului acesteia;

O₂: Efectuarea unui studiu asupra evaluării nivelului de acrilamidă din produsele alimentare, predominant din produsele de panificație, în perioada 2018-2022, analizate de laboratorul național de referință, precum și realizarea unui studiu cu privire la notificările transmise prin platforma RASFF Window, la nivel european, având ca subiect depășirea nivelului de acrilamidă în produsele alimentare;

O₃: Cercetări privind efectul adaosului de antioxidant (extract de rozmarin) asupra nivelului de acrilamidă, proprietăților reologice ale aluatului și calității pâinii;

O₄: Cercetări privind efectul adaosului de asparaginază asupra nivelului de acrilamidă, proprietăților reologice ale aluatului și calității pâinii;

O₅: Cercetări privind efectul adaosului de aluat acid uscat asupra nivelului de acrilamidă, proprietăților reologice ale aluatului și calității pâinii;

O₆: Cercetări privind efectul adaosului de diferite tipuri de săruri de calciu (lactat de calciu, gluconat de calciu, carbonat de calciu) asupra nivelului de acrilamidă, proprietăților reologice ale aluatului și calității pâinii;

Cuvinte cheie:

- făină neagră de grâu;
- acrilamidă;
- antioxidant;
- asparaginază;
- aluat acid uscat;
- săruri de calciu;
- proprietățile reologice ale aluatului;
- calitatea pâinii;

Teza de doctorat - „**Acrilamida în produsele de panificație - incidență, evaluare, metode de reducere**” cuprinde patru capitole generale, concluziile finale ale prezentei lucrări, perspectivele care se deschid ulterior acestui studiu, anexele și sursele bibliografice aferente .

Capitolul 1, respectiv „Stadiul actual privind acrilamida în produsele de panificație și posibilități de reducere a conținutului acesteia (studiu documentar)”, are ca scop sintetizarea

informațiilor existente până la această dată cu privire la modul de formare al acrilamidei în produsele alimentare, în special în cele de panificație, efectele toxicologice ale AA asupra sănătății umane, legislația în vigoare care reglementează nivelurile de referință ale acrilamidei, metode de evaluare a conținutului de acrilamidă din produsele de panificație, factorii care influențează formarea acrilamidei și metodele de reducere a nivelurilor de AA din produsele de panificație.

Produsele de panificație sunt cunoscute ca alimente de bază în multe țări datorită conținutului de substanțe nutritive esențiale, cum ar fi: proteine, carbohidrați, fibre și vitamine (Nachi I. și colab., 2018). Pe lângă aceste substanțe nutritive, produsele de panificație pot conține o serie de compuși care se formează în acestea în timpul tratamentului termic, precum: acrilamida, hidroximetilfurfuralul și derivații acestora (Miśkiewicz K., 2018, Mogol B.A. și colab., 2014). Evaluarea prezenței și reducerea nivelului de acrilamidă formată în alimentele tratate termic este o mare preocupare în multe țări (Keramat J și colab., 2011).

Acrilamida sau amida acidului acrilic este un contaminant chimic care se formează în timpul unor tratamente termice precum coacere, prăjire sau grătar în anumite alimente, la temperaturi de peste 120°C și în condiții de umiditate scăzută (Nematollahi și colab., 2020; Abt și colab., 2019). Acrilamida ia naștere în principal în alimentele bogate în carbohidrați, în urma reacției Maillard între glucidele reducătoare (glucoză, fructoză etc.) și aminoacizi (în special asparagina), reacție responsabilă de formarea gustului și a culorii specifice (îmbrumare) (Mesías și colab., 2019; Andačić și colab., 2020).

Efectele nocive ale acrilamidei asupra sănătății umane au fost descoperite în 2002, de un grup de cercetători suedezi de la Universitatea din Stockholm, împreună cu specialiști de la Administrația Națională a Alimentației Suedeze, care au tras un semnal de alarmă după ce au constatat că populația, prin alimente, ingeră o cantitate mai mare de AA decât limita maximă admisă la acel moment (Jeong și colab., 2020; Koszucka și colab., 2020; Rifai & Saleh, 2020).

Principalele produse alimentare în care se găsește acrilamida sunt conform Regulamentului (CE) nr. 2158/2017 :

- cartofii prăjiți, alte produse tăiate (prăjite prin imersie în ulei) și felii subțiri de cartofi (chipsuri) din cartofi proaspeți,
- chipsuri de cartofi, gustări, biscuiți crocanți și alte produse din cartofi realizate din aluat de cartofi,
- pâine moale, produse fine de patiserie: prăjiturele, pesmet, batoane de cereale, cornete, napolitane, gogoși, turtă dulce,
- biscuiți, crackers, pâine uscată, produse similare și înlocuitori de pâine,
- cereale pentru micul dejun,
- cafea: cafea prăjită, cafea instant, înlocuitor de cafea,
- produse alimentare prelucrate pe bază de cereale destinate sugarilor și copiilor de vârstă mică,
- alimente pentru copii, altele decât cele pe bază de cereale, (legislație.just.ro, Reg. (CE) 2158/2017)

Principalul precursor în formarea de AA în produsele de panificație este **asparagina** care se găsește în diferite cereale, în cantități variate (Curtis și colab., 2010, Hamlet și colab., 2008).

Al doilea precursor în formarea AA îl reprezintă **glucidele reducătoare** (fructoza, glucoză) și ingredientele care conțin zaharuri reducătoare (miere, sirop de glucoză, zahăr).

S-a constatat că în cazul cerealelor cantitatea de asparagină și glucide reducătoare este influențată de factorii genetici (specie, soi) cât și de factorii agronomici (tipul de sol, fertilizarea solului, condițiile de mediu, tratamentele fitosanitare aplicate) (Muttucumaru și colab., 2008).

Cantitățile cele mai însemnate de asparagină se găsesc în cerealele de secară, grâu, iar cele mai

mici în porumb și orez. Astfel s-a constatat, în urma studiilor efectuate, că asparagina din grâu poate varia între 75-2200 mg/kg, în porumb între 70-3000 mg/kg, în ovăz între 50-1400 mg/kg, în secară între 319-880 mg/kg și în orez între 15-25 mg/kg (Codex Alimentarius, 2009).

Cercetările au arătat că AA este absorbită de oameni și animale prin ingestie, inhalare și piele. După inhalare, AA este distribuită rapid la toate organele corpului prin fluxul sanguin. AA poate fi identificată în creier, inimă, ficat, rinichi și laptele matern (Abramsson- Zetterberg și colab., 2005; Sorgel și colab., 2002).

În organism, AA este metabolizată la un epoxid chimic, reactiv, glicidamida, în urma reacției catalizate de enzima citocrom (Sumner și colab., 1999; Tareke și colab., 2000). Conversia AA la compusul reactiv, mutagen și genotoxic, glicidamida, poate apărea atât la rozătoare, cât și la oameni (Paulsson și colab., 2003). Formarea glicidamidei este considerată responsabilă pentru efectele genotoxice ale AA având potențialul de a induce gene mutagene la nivel cromozomial (Negoiță și colab., 2015).

Cercetările efectuate pe animalele de laborator au arătat că expunerea la AA are următoarele efecte: genotoxice, cancerigene, neurotoxice, afectează sistemul reproducător masculin și are efecte asupra dezvoltării pre și postnatale. AA a contribuit la apariția mutațiilor genetice și a tumorilor în diferite organe. Pe baza experimentelor pe animale, experții Autorității Europene pentru Siguranța Alimentară (EFSA) au ajuns la concluzia că AA din alimente poate crește riscul de cancer la consumatorii de toate vârstele, inclusiv la copii (în funcție de greutatea corporală), aceasta fiind cea mai expusă grupă de vârstă (EFSA, 2015; Bignardi și colab., 2019; Crawford & Wang, 2019).

În 2015, Grupul științific pentru contaminanții lanțului alimentar (CONTAM) al Autorității Europene pentru Siguranța Alimentară a aprobat o informare științifică privind AA în alimente. În urma studiilor efectuate pe animale, Autoritatea certifică evaluările anterioare conform cărora acrilamida alimentară poate mări probabilitatea de a dezvolta cancer pentru consumatori indiferent de vârstă (Jouquand și colab., 2018). Dacă ținem cont că acrilamida este prezentă într-o gamă largă de alimente consumate zilnic, acest avertisment se aplică tuturor consumatorilor, însă copiii, din cauza greutatei corporale, reprezintă grupa de vârstă cea mai expusă. Eventualele efecte negative ale acrilamidei asupra sistemului nervos, asupra dezvoltării prenatale și postnatale și asupra reproducerii masculine nu au fost considerate a fi un motiv de îngrijorare, pe baza nivelurilor actuale de expunere alimentară. (Sarion și colab., 2021). Nivelurile prezente de expunere alimentară la acrilamidă, la toate grupele de vârstă, indică o îngrijorare cu privire la efectele sale cancerigene (EFSA, 2015; Zhang și colab., 2017; Nematollahi și colab., 2019; Gülcan și colab., 2020 Sarion și colab., 2021).

Astfel, putem concluziona că ultima estimare a nivelului mediu de expunere la acrilamidă din alimente se încadrează în intervalul 0,2 și 1,9 $\mu\text{g}/\text{kg}$ de greutate corporală/zi, putând ajunge la 6,4 $\mu\text{g}/\text{kg}$ de greutate corporală/zi (EFSA 2015; Timmermann et al., 2021).

Baza legală care reglementează nivelurile de referință al AA în produsele alimentare este prezentată în figura nr.1. În 2017, Comisia Europeană publică Regulamentul (CE) nr. 2158/2017, în care sunt stabilite niveluri de referință și măsuri de atenuare pentru a reduce prezența acrilamidei în alimente, regulament care este în vigoare. Normele legale anterior publicate au fost abrogate.

Regulamentul stabilește măsurile de reducere a nivelurilor de acrilamidă care trebuie luate de operatorii din domeniul alimentar, în cazul în care materiile prime conțin precursori ai acesteia, astfel încât aceste niveluri să fie sub nivelurile de referință stabilite de regulament.

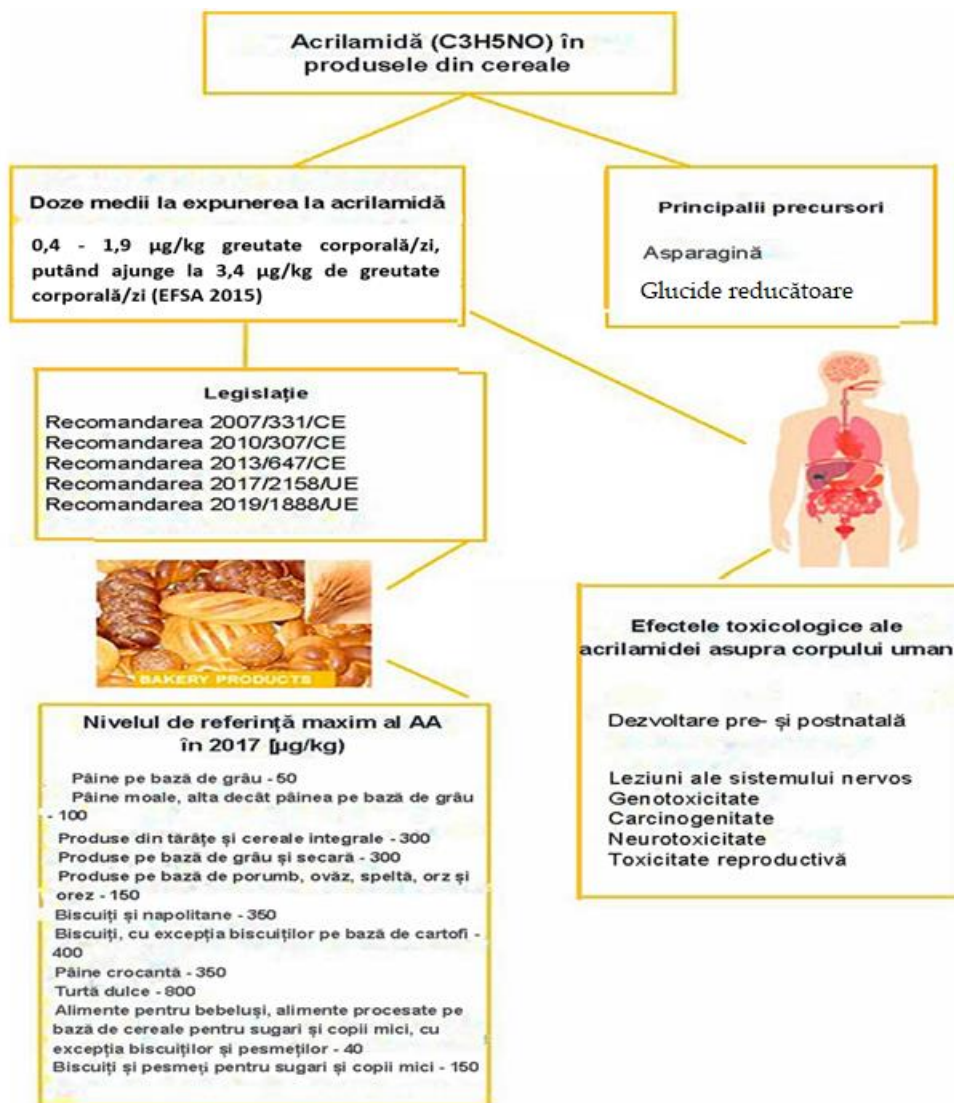


Figura nr.1. Prezentare generală a acrilamidei, toxicitatea acesteia și reglementările legale în industria de panificație

Deoarece s-a ajuns la concluzia că Regulamentul (CE) nr. 2158/ 2017 nu a prezentat suficiente date disponibile cu privire la prezența acrilamidei în produsele alimentare (Comisia Europeană, 2017) a fost adoptată în 2019 de către Comisia Europeană, Recomandarea (CE) nr. 1888/ 2019 privind monitorizarea prezenței acrilamidei în anumite alimente, inclusiv produsele de panificație (Comisia Europeană, 2019).

Acest act normativ adaugă o nouă listă de produse alimentare neexhaustive, care trebuie monitorizate pentru identificarea riscurilor și adoptarea de noi măsuri de prevenire și/sau reducere a acestui contaminant.

În ultimii ani laboratoarele și-au îmbunătățit metodele și tehnicile de analiză, oferind metode și tehnici sensibile și fiabile pentru determinarea AA din produsele alimentare.

Cuantificarea AA din produsele alimentare se poate realiza prin numeroase metode, majoritatea se bazează pe tehnici de cromatografie de lichide de înaltă performanță sau pe cromatografie de gaze cuplată cu spectrometrie de masă.

O altă metodă de determinare a acrilamidei este aceea de măsurare a proprietăților produsului (de exemplu, **culoarea**), ori a parametrilor procesului, însă condiția obligatorie este să existe o corelație statistică între proprietățile produsului, parametrii procesului și nivelul de acrilamidă (EFSA, 2017, eur-lex.europa.eu)

Determinarea AA doar prin măsurarea culorii nu este o metodă sigură și nu poate înlocui eșantionarea și determinarea acesteia prin metode analitice de laborator.

Factorii care influențează nivelul de AA ar putea fi grupați în următoarele patru categorii:

- factori agronomici
- rețetă de fabricație
- procesul tehnologic de obținere
- instrucțiunile tehnologice de lucru.

Conform Regulamentului 2017/2158/CE (Comisia Europeană, 2017), operatorii din industria alimentară sunt obligați să aplice măsuri de reducere a nivelului de AA, astfel încât să ajungă la niveluri cât mai reduse, sub nivelurile de referință menționate în prezentul act normativ.

La nivel mondial, există patru grupuri de strategii de reducere a formării de acrilamidă în produsele alimentare :

- sectorul agricol,
- modificarea materiilor prime,
- optimizarea condițiilor de procesare
- adăugarea de aditivi exogeni (Mildner – Sykudlarz și colab., 2019).

Dacă vom compila toate măsurile de atenuare recomandate în „setul de instrumente” EuropeDrinkFood, în Ghidul elaborat de Codex Alimentarius, precum și pe cele specificate în Regulamentul 2017/2158/CE (Comisia Europeană, 2017), constatăm că acestea trebuie aplicate începând cu etapa de cultivare a cerealelor și continuând pe tot parcursul procesului tehnologic până la elaborarea instrucțiunilor de coacere în cazul produselor destinate a fi finalizate la domiciliu sau în unități de alimentație publică. S-a stabilit că formarea de AA în diferite tipuri de pâine este influențată de prezența asparaginei libere și a glucidelor reducătoare care sunt asociate cu condițiile de depozitare a soiului și a tipului de recoltă, respectiv cu sezonul de recoltare (Khorshidian și colab., 2020).

În timpul aplicării măsurilor de diminuare a AA se va urmări:

- să nu se formeze sau, să nu crească nivelul, în timpul procesului tehnologic, al altor contaminanți de proces, ca de exemplu: hidrocarburi aromatice policiclice, furan, cloropropanoli, etc.;
- să nu fie afectată stabilitatea microbiologică a produsului finit, prin creșterea umidității;
- să nu provoace modificări organoleptice produsului finit. Formarea AA prin reacția Maillard este strâns legată de generarea culorii și aromei caracteristice produselor coapte sau prăjite. (FoodDrinkEurope (FDE), 2019).

În figura numărul 2 sunt prezentate principalele metode de reducere a acrilamidei în produsele de panificație.



Figura nr. 2. Metode de reducere a acrilamidei în produsele de panificație

Formarea AA este strâns asociată cu generarea culorii și aromei caracteristice de copt/prăjit. De aceea orice metodă de reducere a formării și a nivelului de AA trebuie evaluate și din perspectiva acceptabilității produsului final de către consumator.

Așadar, orice modificare a practicilor agricole, a rețetei de fabricație, a procesului tehnologic sau a instrucțiunilor asupra modului de preparare la domiciliu trebuie aplicată doar după efectuarea analizei risc/risc sau risc/beneficiu pentru a evita apariția unor riscuri noi, mult mai mari.

Capitolul 2 - „Evoluția nivelului de acrilamidă din produsele alimentare, în perioada 2018-2022, analizate de Laboratorul Sanitar Veterinar și pentru Siguranța Alimentelor București - laborator arondat de Autoritatea Națională Sanitară Veterinară și pentru Siguranța Alimentelor pentru efectuarea acestei determinări la nivel național”

Studiul își propune o analiză a numărului de probe de produse alimentare aflate pe piața din România analizate din punct de vedere al conținutului de AA în cadrul L.S.V.S.A. București în perioada 2018-2022.

Acest studiu compilează prezența AA din diferite produse alimentare de pe piața din România, în special a produselor de panificație, pentru a monitoriza evoluția prezenței AA, în ultimii cinci ani, în anumite categorii de alimente.

În România, Autoritatea Națională Sanitară Veterinară și pentru Siguranța Alimentelor (A.N.S.V.S.A.) este instituția responsabilă, la nivel național, cu verificarea și monitorizarea nivelului de acrilamidă din produsele alimentare aflate pe piața internă.

În urma intrării în vigoare a Regulamentului (CE) nr. 2158/2017, respectiv în 11.04.2018, au fost stabilite produsele alimentare la care este obligatorie aplicarea de către operatorii din sectorul alimentar a măsurilor de diminuare a nivelurilor de acrilamidă, în scopul obținerii unor produse finite cu valori ale acestui contaminant care să fie sub nivelurile de referință. Totodată, s-a introdus obligativitatea eșantionării și analizării produselor alimentare de către operatorii economici în scopul demonstrării că măsurile de diminuare sunt adecvate.

Laboratorul Sanitar Veterinar și pentru Siguranța Alimentelor București, din cadrul D.S.V.S.A. București, este desemnat de A.N.S.V.S.A. ca singurul laborator acreditat, al autorității centrale, în vederea determinării nivelurilor de AA din diferite probe de produse alimentare prelevate de inspectorii oficiali ai D.S.V.S.A.-urilor județene, respectiv ai municipiului București, în cadrul Programului Național de Supraveghere și Control în domeniul siguranței alimentelor de origine non-animală.

În cadrul L.S.V.S.A. București, în perioada 2018-2022, un număr de 1930 probe de diverse produse alimentare, recoltate din diferite județe din România, respectiv municipiul București, au fost analizate pentru a se determina conținutul lor în acrilamidă. Produsele alimentare au fost colectate din unități de fabricare a pâinii și produselor de panificație, laboratoare de patiserie/ cofetărie, unități pentru fabricarea biscuiților și pișcoturilor, unități de prelucrare a cafelei, depozite alimentare, supermarketuri/hypermarketuri, magazine alimentare, restaurante, fast-food-uri.

Probele analizate în perioada 2018-2022 au fost recoltate anual de către inspectorii pentru siguranța alimentelor în cadrul Programului de supraveghere și control în domeniul siguranței alimentelor de origine non-animală, aprobat prin Ordinul A.N.S.V.S.A. nr. 35/2016, cu modificările ulterioare, sau au fost prelevate și transmise de diverși operatori economici, în cadrul programului propriu de autocontrol al unității, în scopul verificării respectării nivelurilor de referință stabilite legislativ pentru AA în produsele fabricate sau puse pe piață.

Produsele alimentare prelevate și analizate din punct de vedere al conținutului de acrilamidă, în perioada 2018-2022, în cadrul L.S.V.S.A. București, au fost împărțite în opt grupe de alimente. Distribuția numerică a probelor analitice pe categorii de alimente este redată în tabelul nr.1.

Tabelul nr.1

Distribuția pe categorii de alimente a probelor analizate în cadrul LSVSA București în perioada 2018 -2022
(sursa L.S.V.S.A. București)

Categorii de alimente	Număr de probe analizate 2018-2022
Cartofi prăjiți	88
Chipsuri de cartofi și alte produse din cartofi	53
Pâine	800
Produse de panificație, biscuiți	633
Produse de patiserie	151
Cereale pentru mic dejun	46
Cafea: cafea prajită și cafea instant (solubilă)	150
Produse pe baza de cacao	9
Total	1930

Pâinea, cu un număr de 800 de probe analizate, reprezintă cel mai verificat aliment din punct de vedere al conținutului de acrilamidă, urmată de produsele de panificație și biscuiți cu 633 de probe.

Numărul mare de probe de pâine și produse de panificație se poate explica și datorită obiceiurilor culinare specifice țării noastre. Conform datelor publicate de Institutul Național de Statistică, consumul mediu de pâine și produse de panificație a fost, pe durata anului trecut de 87

kg/persoană, iar în 2021 de 88,6 kg/persoană. Pe de altă parte România are cel mai mare consum individual de pâine din Uniunea Europeană.

Numărul eşantioanelor de produse alimentare analizate în perioada 2018–2022, în cadrul L.S.V.S.A. Bucureşti, în vederea determinării conţinutului de acrilamidă sunt prezentate în tabelul nr. 2.

Tabelul nr. 2

Evoluţia numerică anuală a probelor analizate în cadrul L.S.V.S.A. Bucureşti în vederea determinării AA
(sursa LSVSA Bucureşti)

Număr probe	2018	2019	2020	2021	2022
Număr probe anuale	50	88	276	679	837

În cadrul laboratorului din cadrul DSVSA Bucureşti, nivelurile de acrilamidă din produsele alimentare au fost analizate prin lichid cromatografie de înaltă performanţă (HPLC – UV vis) cuplată cu un detector de diode DAD (Detector de diodă Array). Metoda a arătat o sensibilitate bună: LOD și LOQ au fost 20 și 50 µg/kg pentru cafea, cartofi și produse din cartofi, respectiv 20 și 25 µg/kg pentru cereale, pâine și produse de panificație. Metoda utilizată a fost descrisă anterior, în 2013, de Wang (Wang și colab. 2013).

Rezultatele obținute pentru probele analizate în perioada, 2018-2022, au fost raportate la valorile nivelurilor de referință pentru acrilamidă stabilite în Regulamentul Comisiei Europene (CE) nr. 2158/2017 de stabilire a măsurilor de diminuare și a nivelurilor de referință pentru reducerea prezenței acrilamidei în produsele alimentare.

Nivelurile de referință nu sunt un criteriu de siguranță alimentară și nu pot evalua dacă un produs poate fi sau nu introdus pe piață. În schimb, depășirea acestor valori, stabilite în legislație, impun operatorilor din industria alimentară revizuirea măsurilor de diminuare a nivelului de acrilamidă astfel încât să poată pune pe piață produse alimentare cu nivelul cel mai scăzut de AA. (Regulament (CE) nr. 2158/ 2017).

Valorile nivelurilor de acrilamidă în diverse categorii de produse alimentare analizate în perioada 2018-2022, în cadrul L.S.V.S.A. Bucureşti, raportate la nivelurile de referință menționate în Reg. (CE) nr. 2158/2017 sunt redate în tabelul nr. 3

Tabelul nr. 3

Situația comparativă a valorilor de acrilamidă identificate în diverse categorii de produse alimentare în perioada 2018-2022 comparativ cu nivelurile de referință menționate în Reg. (CE) nr. 2158/2017
(sursa LSVSA Bucureşti)

Produs alimentar	Nivel de referință [µg/kg]	Nivel AA determinat 2018 [µg/kg]	Nivel AA determinat 2019 [µg/kg]	Nivel AA determinat 2020 [µg/kg]	Nivel AA determinat 2021 [µg/kg]	Nivel AA determinat 2022 [µg/kg]
Cartofi prăjiți (gata pentru consum)	500	0	AA< 50 AA<50 AA<50	AA=148.47	0	AA=44.78 AA=90
Pâine obținută din grâu	50	0	AA<25 AA=25.6 AA<25	AA=25 AA=29.96 AA=26.51 AA=29.32 AA=31.65 AA=30.57 AA=25 AA=25	AA=38.30; AA=44.37 AA=45.78 AA=57.67 AA=39.82 AA=35.03 AA=31.74 AA=25 AA=33.31	AA=40.96 AA=25 AA=22.49

Pâine obținută din grâu	50						AA=33.65 AA=34.43 AA=110.75 AA=35.47 AA=101.61 AA=82.25 AA=62.90 AA=35.11 AA=35.33 AA=88 AA=51.62 AA=42.51 AA=40.94 AA=85.93
Cereale pentru micul dejun	300	0	AA = 32.77 AA=172.92	0	0	0	
Produse de panificație, biscuiți și patiserie	300	0	AA=25.39	AA=34.95 AA=25.2 AA=30.04 AA=25 AA=46.47 AA=25 AA=25	AA=35.79 AA=35.28 AA=146.89	AA=193 AA=37.33 AA=632.16	
Cafea prăjită (boabe sau măcinată)	400	AA =225	AA = 130.89 AA = 79,88 AA = 97,88 AA = 177,56 AA = 243 AA < 50	AA=50 AA=131.75	AA=151,59 AA=211,48 AA=208,49 AA=146,89 AA=146,89	AA=96.12 AA=186 AA=325 AA=186.43 AA=120.24 AA=342 AA=104.34 AA=307.24	
Produse pe bază de cacao	500	0	AA = 264.1	0	0	0	

După cum putem observa conținutul de acrilamidă în produsele alimentare analizate între anii 2018-2022, în cadrul L.S.V.S.A. București, a variat de la nd (nedetectat) la valori de 632.16 $\mu\text{g}/\text{kg}$, însă cu excepția pâinii, produselor de panificație și patiserie acestea nu au depășit nivelurile de referință stipulate în Regulamentul (CE) nr. 2158/2017.

După cum se constată în studiile de specialitate, pâinea este unul din cele mai importante alimente în care se formează acrilamida (CONTAM, 2015).

Datele pe care le-am obținut sunt conforme cu tendința existentă la nivel european. Merită menționat faptul că, din 2003, când au început să fie colectate în Europa rapoarte științifice privind datele de AA din produsele alimentare, nivelurile de referință ale AA stabilite de Comisia Europeană au scăzut periodic.

Conform datelor analizate numărul de probe verificate a crescut de la un an la altul, înregistrându-se o creștere în 2022 de aproximativ 17% față de anul 2018. Se constată și o distribuție națională a probelor mult mai largă decât în 2018. Dacă în anul 2018 produsele alimentare colectate pentru analiză au fost numai din 7 județe din țară, în anul 2019 numărul de județe din care au fost colectate probe de produse alimentare pentru analiză a fost aproape dublat, ajungând la 16, iar în 2020 s-a triplat, ajungându-se la un număr de 26 de județe, iar în 2022 probele analizate proveneau din toate regiunile țării.

Din totalul de 1930 de probe analizate în perioada 2018-2022 acrilamida a fost detectată într-un număr de 82 de produse alimentare. Cel mai ridicat nivel de AA s-a găsit într-un produs de patiserie pentru care a fost detectată o valoare de 632.16 $\mu\text{g}/\text{kg}$, urmat de un produs tip pâine cu o

valoare de 110.75 µg/kg . Din categoria produselor alimentare, cu cele mai multe probe la care s-au înregistrat valori cuantificabile ale nivelului de acrilamidă, pâinea se detașează cu un procent de 45% din totalul alimentelor verificate, urmată apoi de cafeaua prăjită, cu un procent de 27% și produsele de panificație, 10%. La egalitate, cu câte 7% din numărul eșantioanelor analizate se află produsele de cofetărie/patiserie și respectiv cartofii prăjiți, urmate de cerealele pentru mic dejun și produsele pe bază de cacao.

Cu toate acestea, pentru eșantionul de produse alimentare analizate pe piața din România, respectiv 1930 de probe, în cadrul L.S.V.S.A. București, nivelul de referință recomandat de Regulamentul (CE) nr. 2158/2017 pentru AA a fost depășit doar pentru un număr de 9 alimente (1 produs de patiserie și 8 produse tip pâine).

Această scădere a nivelurilor AA de-a lungul anilor, indică eficacitatea strategiilor duse la nivel european și național, atât de instituțiile abilitate de control, mediul academic și industria alimentară, bazate pe controlul factorilor de rețetă, de procesare sau agronomici (Raffan S, Halford NG., 2019).

Capitolul 3 – „Evoluția la nivel european, în perioada 2020-iunie 2023, a notificărilor din cadrul RASFF Window, la produsele alimentare care prezentau depășiri ale nivelului de acrilamidă ”

La nivel european se dorește a se asigura cel mai înalt nivel de siguranță alimentară, astfel UE pe lângă legislația specifică în domeniu, a creat instrumente de lucru care să vină în sprijinul țărilor membre, în scopul comunicării rapide a acestora în cazul identificării unui risc sau a unei neconformități care ar putea afecta sănătatea consumatorilor.

Din 2021, s-a creat Rețeaua de Alerte și Cooperare (ACN) care este alcătuită din cele trei rețele: RASFF (Sistemul de alertă rapidă pentru alimente și furaje), AAC (Rețeaua de asistență administrativă și cooperare) și FFN (Rețeaua de combatere a fraudei agroalimentare) cu scopul de a colabora și a permite schimbul de informații între autoritățile competente ale statelor membre și pentru a facilita cooperarea între ele. Transmiterea informațiilor în cadrul ACN se realizează prin intermediul platformei IT iRASFF, între punctele de contact ale ACN, care permite schimbul de informații între membri prin intermediul notificărilor, Comisia Europeană fiind administratorul ACN. (<https://food.ec.europa.eu/safety>)

În cadrul RASFF sunt transmise neconformitățile cu posibil risc pentru sănătate, prin AAC neconformități fără risc pentru sănătate, iar prin FFN suspiciunile de fraudă alimentară. În țara noastră A.N.S.V.S.A. este coordonatorul la nivel național al SRAFF și punct de contact cu sistemul european.

Accesul la baza de date din platforma informatică, iRASFF, îl au exclusiv doar autoritățile responsabile din statele membre, respectiv Comisia Europeană. Însă, există și o bază de date online, pusă la dispoziție consumatorilor, denumită RASFF Window, care oferă informații succinte despre notificările transmise în cadrul acestui sistem începând cu anul 2020, fără a da date despre denumirea comercială a produsului sau a operatorilor economici.

Consultând portalul RASFF Window am observat că în perioada 2020-06.2023 s-au transmis un număr de 30 de notificări având ca subiect depășiri ale nivelului de AA în diverse produse alimentare. Repartizarea numerică a acestora pe ani este reprezentată în tabelul nr.4.

Repartizarea numerică a notificărilor aferente depășirii nivelului de AA transmise prin sistemul RASFF Window

Perioada	2020	2021	2022	01.-06.2023	2020-06.2023
Număr de notificări în care a fost depistată AA	10	5	7	8	30

Produsele alimentare care fac obiectul acestor notificări provin atât din țări membre UE cât și din state terțe, distribuția acestora fiind randomizată. Acestea au fost prelevate de pe piața din UE, din alte țări decât cele de origine a produsului, sau de la punctele de intrare la frontieră în spațiul UE.

Produsele în care s-au identificat depășiri ale nivelului de AA sunt din categoria biscuiților, chipsurilor de cartofi, chipsurilor vegetale și produselor de patiserie (fursecuri), așa cum se poate observa și în figura nr.3.

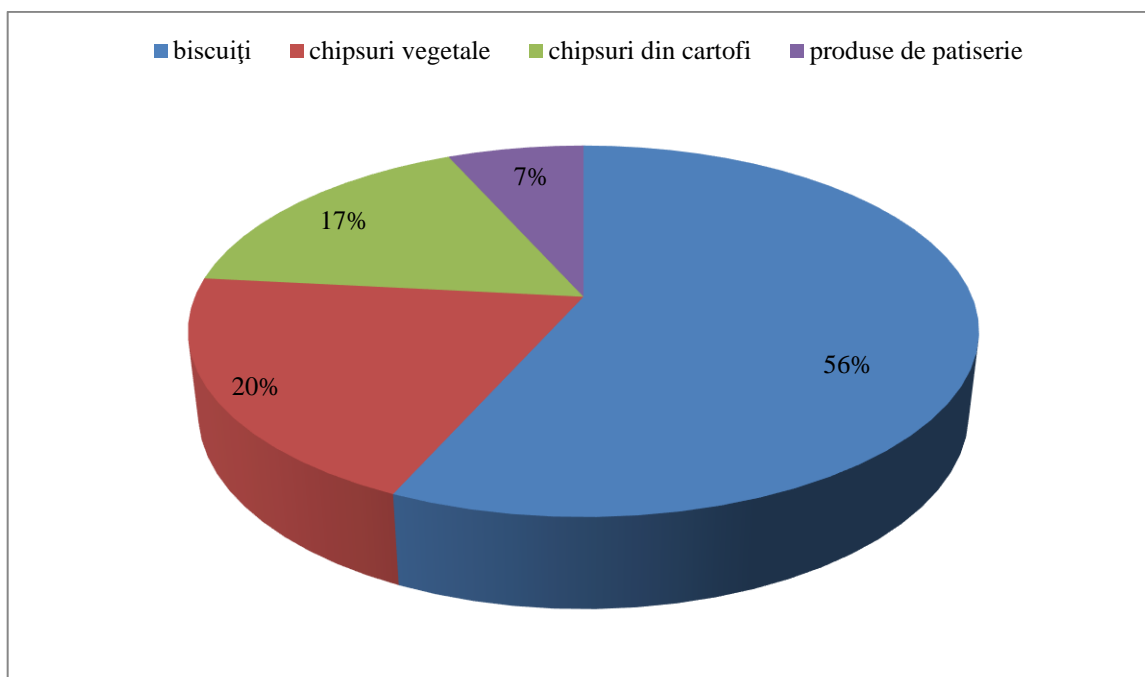


Figura nr.3 Reprezentarea grafică a alimentelor în care s-au identificat depășiri ale AA

Din cele 30 de notificări având ca subiect depășiri ale nivelului de AA în diverse produse alimentare, transmise în perioada 2020-06.2023, cele mai multe, cu un număr de 14 sunt din categoria biscuiților, urmate de chipsurile vegetale, cu un număr de 6 notificări, apoi de chipsurile de cartofi, cu un număr de 5, crackers cu 3 notificări și produsele de patiserie fină (fursecuri) cu un număr de 2 notificări.

Cele mai multe produse alimentare care fac obiectul notificărilor a căror risc îl reprezintă depășirea nivelului de AA, provin din Bosnia Herțegovina, respectiv 5 produse din categoria biscuiților, urmată de Olanda, cu 3 produse din categoria chipsurilor vegetale, Turcia, Macedonia,

Belgia, Letonia, Ucraina, Marea Britanie cu câte două produse și România, Germania, Kosovo, Croația, Slovenia, Italia, Rusia, Ecuador, India, USA cu câte un produs.

Valorea cea mai ridicată a nivelului de AA a fost depistată la chipsurile vegetale provenite din Olanda, respectiv de 14155 $\mu\text{g}/\text{kg}$, chipsurile de cartofi provenite din USA au înregistrat o valoare de 6538 $\mu\text{g}/\text{kg}$, produse de patiserie fină din Rusia au ajuns la 3964 $\mu\text{g}/\text{kg}$, crackers din Letonia la 1167 $\mu\text{g}/\text{kg}$, biscuiții pentru copii din Belgia la 187 $\mu\text{g}/\text{kg}$.

În anul 2022 cinci loturi de biscuiți fabricați în România au făcut obiectul notificării transmise de Polonia pe portalul RASFF, nivelul cel mai ridicat al acrilamidei ajungând la valoarea de 964 $\mu\text{g}/\text{kg}$.

Măsurile dispuse de autoritățile în domeniu în cazul acestor notificări au fost de retragere de pe piață a produselor neconforme, informarea consumatorilor și uneori s-a ajuns chiar la distrugerea produselor.

Capitolul 4 - Metode de reducere a conținutului de acrilamidă în produse de panificație

În acest capitol s-a urmărit investigarea posibilităților de reducere a conținutului de acrilamidă din probele de pâine obținute din făină de grâu cu un grad ridicat de extracție, prin adăugarea de: antioxidant (extract de rozmarin), asparaginază, aluat acid uscat și săruri de calciu (gluconat de calciu, lactat de calciu, carbonat de calciu), în cantități diferite în rețeta de fabricație a produsului pâine neagră. Totodată, în cadrul acestui capitol s-a urmărit influența acestor adaosuri asupra proprietăților reologice ale aluatului și asupra calității pâinii (caracteristicile fizice, caracteristicile texturale, caracteristicile de culoare, caracteristicile senzoriale).

Materiale și metode

Materiale :

Ingredientele folosite sunt făină de grâu cu un grad de extracție ridicat (din recolta anului 2020) și adaosuri de :

- antioxidant (extract de rozmarin) care este un extract natural din frunze de rozmarin,
- aluatul acid uscat (SD), a fost obținut din făină de grâu prin fermentare în prezența microorganismelor proprii făinei, inclusiv a LAB-ului său activ, care a fost utilizat sub formă de pulbere,
- asparaginază: Acrylaway 3500 BG, produsă de Novozymes Switzerland AG.
- lactat de calciu natural, PURACAL PP FCC, producător Corbion Purac, Olanda,
- carbonatul de calciu sub formă de pulbere foarte fină cu înaltă puritate cristalină,
- gluconatul de calciu sub formă de pulbere

Metode de analiză:

Analiza proprietăților reologice ale aluatului

Proprietățile reologice de frământare și de vâscozitate ale aluatului au fost determinate cu aparatul Mixolab (Chopin, Tripette și Renaud, Paris, Franța) conform ICC 173/1. Parametrii analizați au fost capacitatea de hidratare a făinii (WA), timpul de formare a aluatului (DT), stabilitatea aluatului (ST), înmuierea aluatului datorită proteinelor (C2), gelatinizarea amidonului (C3), stabilitatea gelului de amidon format (C4) și retrogradarea amidonului în timpul fazei de răcire (C5).

Proprietățile reologice de întindere ale aluatului au fost determinate cu aparatul Alveograf (Chopin Technologies, Villeneuve-la-Garenne, Franța) în conformitate cu metoda ICC 121 la o umiditate constantă. Parametrii analizați au fost: tenacitatea sau presiunea maximă (P), indicele de umflare (G), extensibilitatea aluatului (L), energia de deformare (W) și raportul de configurare (de fromă) al curbei alveografice (P/L).

Determinarea capacității făinii de a forma și de a reține gazele de fermentare au fost determinate cu aparatul Rheofermentometru (Chopin Rheo, tip F4, Villeneuve-La-Garenne Cedex, Franța) conform metodei AACC 89-01.01. Parametrii analizați au fost: înălțimea maximă a curbei ($H'm$), volumul de retenție, volumul de CO_2 reținut de aluat, ml la sfârșitul testului (VR), volumul total de gaze format în aluat (VT) și coeficientul de retenție a gazelor în aluat (CR).

Valoarea indicelui de cădere, care este un indicator al activității α -amilazei în probele de grâu, a fost determinată cu aparatul Falling Number (PerkinElmer's, Hågersten, Suedia) în conformitate cu metoda standard ICC 107/1.

Analiza caracteristicilor de calitate ale pâinii

După răcire, probele de pâine obținute au fost analizate pentru caracteristicile lor fizice, texturale, de culoare și senzoriale. Caracteristicile fizice ale pâinii (volumul specific al pâinii, porozitatea și elasticitatea) au fost determinate în conformitate cu metoda standard românească SR 91: 2007. Parametrii de culoare a pâinii (L^* , a^* , b^*) au fost analizați pentru miez și coaja cu ajutorul colorimetrului Konica Minolta CR-400 (Tokyo, Japonia). Parametrii texturali ai probelor de pâine (fermitate, gumozitate, coezivitate și reziliență) au fost determinați cu ajutorul aparatului TVT-6700 (Perten Instruments, Hågersten, Suedia) echipat cu o celulă de încărcare de 10 kg. Analiza senzorială a fost efectuată cu ajutorul unei scale hedonice de 9 puncte, folosind un panel de 20 de evaluatori semi-instruiți. Au fost evaluate următoarele caracteristici senzoriale ale pâinii: aspectul, aroma, gustul, culoarea, textura, mirosul și acceptabilitatea generală. (Sarion și colab., 2021)

Analiza conținutului de acrilamidă a pâinii

Nivelul de acrilamidă al probelor de pâine a fost determinat folosind 5g de probă măcinată, la care s-au adăugat 15 ml de acetonitril într-un tub. Amestecul obținut s-a omogenizat timp de 30 s într-o centrifugă, după care s-au adăugat 15 g de sare Quextrak 1, care s-a omogenizat timp de 1 min prin centrifugare. Ulterior, s-au luat 4 ml de supernatant, la care s-au adăugat 15 g de Quextrak 2, care s-a omogenizat timp de 30 s prin centrifugare. Din acest amestec s-au luat 2 mL de supernatant, care s-a evaporat sub un curent de azot la $50^\circ C$, apoi proba a fost eluată în 0,5 mL apă distilată, cu factorul de corecție de 0,75. Proba a fost introdusă în HPLC echipat cu un detector cu diodă. Pentru a determina concentrația de acrilamidă din proba de pâine semnalul analitic (vârf) a fost integrat și, cu ajutorul software-ului aparatului, s-a determinat concentrația acesteia prin extrapolare pe curba de calibrare. Limitele de detecție (LOD) și limitele de cuantificare (LOQ) ale metodei HPLC au fost de $20\mu g/kg$ și respectiv $25\mu g/kg$. Rezultatele au fost exprimate în $\mu g/kg$ cu două zecimale.

Conținutul de acrilamidă din probele de pâine a fost determinat prin metoda HPLC cu modificări minore (Pule, B.O. și colab., 2018, Cavalli, S. și colab., 2003, Comite Europeen de Normalisation, 2015). Pornind de la substanța stoc de acrilamidă (material de referință produs conform ISO 17043, producător Agilent, concentrație $1000\mu g/mL$ în solvent metanol, temperatura de depozitare – $18^\circ C$) care s-a prezentat sub formă lichidă, s-a preparat o soluție standard de lucru prin diluții succesive cu micropipete Hirschmann Laborgerate monocanal până la atingerea concentrațiilor soluției de lucru de 1000, 500, 300, 100, 50 ng/mL. Soluțiile de lucru au fost omogenizate cu ajutorul omogenizatorului Vortex și preparate în ziua analizei.

Proba de pâine, în cantitate minimă de 1 kg, a fost măcinată fin în întregime la moara de laborator Retch GM 300 și din cantitatea rezultată s-au cântărit 5 g la balanța tehnică Mettler Toledo (într-un tub de centrifugă, producător Corning, cu o capacitate de 50 ml) peste care s-au adăugat 15 ml de acetonitril (99,9% acetonitril, HPLC pentru analiză în gradient, filtrat la 0,2 microni, producător ThermoFisher Scientific, SUA). Amestecul a fost omogenizat timp de 30 s cu

omogenizatorul Vortex. Apoi, s-au adăugat sărurile de extract Quechers (compoziție 4 g MgSO₄; 0,5 g NaCl, producător Agilent) care au fost amestecate energic timp de 1 min cu omogenizatorul Vortex, apoi centrifugate timp de 5 minute la 5000 rpm cu centrifuga Sanyo Harrier 18/80 pentru a decanta proba.

Această compoziție, de 4 ml de supernatant, a fost măsurată cu o pipetă Hirschmann Laborgerate cu un singur canal, care a fost plasată în tuburi de centrifugare de 15 ml care conțineau alte săruri de extracție (Dispersive SPE 15 ml Fruits & Veg for Pigmented Fruits and Vegetables, compoziție 400 mg PSA, 400 mg GCB, 1200 mg MgSO₄, producător Agilent). A fost omogenizat din nou amestecul pe Vortex, timp de 1 min, apoi centrifugat timp de 5 min, la 5000 rpm, cu centrifuga Sanyo Harrier 18/80.

Din supernatantul obținut s-a transferat cu micropipeta monocanal 2 ml într-un tub de sticlă, care s-a introdus într-un evaporator multicanal ZIPVAP, (Zanntek Analytical Evaporator, Glas-Col, Terre Haute, IN, USA) setat la 50°C sub flux de azot (puritate gaz 5,0) până la evaporare la sec.

Următoarea etapă a fost eluarea probei în 2 ml de apă distilată degazată cu ultrasunete, urmată de omogenizare timp de 30 s la Vortex. Soluția obținută (apă distilată cu resturile de pe pereții eprubetei) a fost plasată în sticlule mici cu dop (flacoane cu capacitatea de 2 ml) și introdusă în autosampler pentru analiză.

Sistemul HPLC (producător PerkinElmer, model Series 200, SUA) are următoarele condiții cromatografice: fază mobilă - apă distilată (degazată prin ultrasunete); coloană cromatografică: producător Thermo Scientific, model: Hypercarb; dimensiunile coloanei: 50×2,1 mm pe 5μm; volumul de injectare a probei: 20μL; dimensiunea buclei: 50μL; debit: 0,3 ml/min; detecție cu detector DAD: la o lungime de undă de 210 nm cu o lățime de bandă de 20 nm și referință de 310 nm.

Pentru a cuantifica acrilamida, s-a trasat curba de calibrare cu punctele de calibrare pe curba 50–100–300–500–1000 (ng/mL).

Compușii de interes au fost identificați prin compararea timpilor de retenție ai vârfulor din cromatogramele înregistrate și prin analiza spectrului DAD pentru probele care urmează să fie analizate, cu timpii de retenție ai vârfulor din cromatogramele înregistrate pentru substanța standard.

Pentru a determina concentrația de acrilamidă dintr-o probă, semnalul analitic (vârf) a fost integrat și, cu ajutorul software-ului aparatului, s-a determinat concentrația sa prin extrapolare pe curba de calibrare. Analiza spectrală a fost realizată prin accesarea partiției IRIS a software-ului TotalChrom (versiunea 6.2.1, Perkin Elmer Waltham, data de acces 23 mai 2021), urmată de utilizarea funcțiilor: 3D spectrum, puritate de vârf, linie de bază, absorbantă maximă, raportul de absorbantă.

Rezultatul analitic a fost înregistrat în forma corectată pentru recuperare, care a fost mai mare de 83%. Rezultatele au fost exprimate în μg/kg, cu două zecimale. Rezultatele sub limita de detecție au fost nedetectabile. Limitele de detecție (LOD) și limitele de cuantificare (LOQ) ale metodei HPLC au fost de 20μg/kg și respectiv 25μg/kg.

Analiza statistică

Rezultatele obținute au fost exprimate ca medie ± deviație standard. Pentru analiza statistică a fost folosit un program statistic Statistical Package for Social Science (v.28, SPSS, Chicago, IL, USA, încercare gratuită). S-a utilizat analiza unidirecțională a varianței (ANOVA), aplicând testul Tukey la un nivel de semnificație de 5%.

Influența adaosului de antioxidant (extract de rozmarin) asupra calității pâinii și nivelului de acrilamidă a acesteia

Utilizarea antioxidantilor reprezintă una din metodele eficiente de reducere a nivelului de acrilamidă în produsele alimentare. În ultimul timp au intrat în atenția specialiștilor antioxidanții naturali obținuți din legume și fructe care sunt capabili să elimine speciile reactive la oxigen și să mențină echilibrul redox celular.

Pentru **probele de pâine neagră cu adaos de antioxidant** s-au utilizat în rețeta de fabricație următoarele doze de antioxidant: 0,02% extract de rozmarin, 0,1% extract de rozmarin și 0,5% extract de rozmarin în făina de grâu.

Influența adaosului de antioxidant (extract de rozmarin) asupra caracteristicilor fizice ale probelor de pâine

Volumul specific al pâinii, porozitatea și elasticitatea au crescut odată cu creșterea dozei de antioxidant adăugat în făina de grâu. Această creștere se poate datora compușilor fenolici din extractul de rozmarin care pot afecta structura glutenică. Unele studii au concluzionat că unii compuși fenolici, cum ar fi catehina, care este una dintre cele mai mari fracțiuni de masă dintre flavonoidele din extractul de rozmarin, au avut un efect pozitiv asupra glutenului, îmbunătățindu-i elasticitatea datorită structurii sale monomerice (Ning, J., și colab. 2017). Îmbunătățirea elasticității glutenului poate îmbunătăți extensibilitatea aluatului în timpul fermentării și capacitatea de a reține gazele, fapt care va îmbunătăți caracteristicile fizice ale pâinii.

Influența adaosului de antioxidant (extract de rozmarin) asupra caracteristicilor de culoare ale probelor de pâine

Culoarea probelor de pâine a fost afectată de adăugarea de extract de rozmarin. Luminozitatea și tendința de galben au fost reduse, în timp ce tendința de roșu a crescut odată cu creșterea nivelului de antioxidant adăugat în făina de grâu. Luminozitatea probelor de pâine poate fi afectată de substanțele brune care pot rezulta din oxidarea catehinelor.

Influența adaosului de antioxidant (extract de rozmarin) asupra caracteristicilor de textură ale probelor de pâine

Fermitatea și masticabilitatea au scăzut atunci când s-au adăugat doze mai mari de antioxidant (extract de rozmarin) în făina de grâu, în timp ce reziliența a crescut. Valoarea coezivității nu a prezentat modificări semnificative ($p < 0.05$) pentru probele cu adaos de extract de rozmarin în făina de grâu, atunci când au fost adăugate doze mari de extract de rozmarin în făina de grâu.

Structura miezului de pâine cu diferite doze de extract de rozmarin adăugat în făina de grâu nu a prezentat modificări semnificative, porii fiind relativ mici, distribuiți uniform în miezul de pâine, fără goluri mari în structura probelor de pâine analizate.

Influența adaosului de antioxidant (extract de rozmarin) asupra caracteristicilor senzoriale ale probelor de pâine

Din punct de vedere senzorial, proba cea mai apreciată de consumatori din punct de vedere al aspectului, culorii, aromei, gustului, mirosului, texturii și acceptabilității globale a fost proba martor, care a obținut cele mai mari punctaje, urmată de proba cu adaos de 0,02% extract de rozmarin. Cea mai puțin apreciată probă a fost cea cu adaos de 0,5% extract de rozmarin.

Caracteristicile senzoriale ale probelor de pâine cu diferite doze de extract de rozmarin adăugat în rețeta de fabricație sunt prezentate în figura nr. 4.

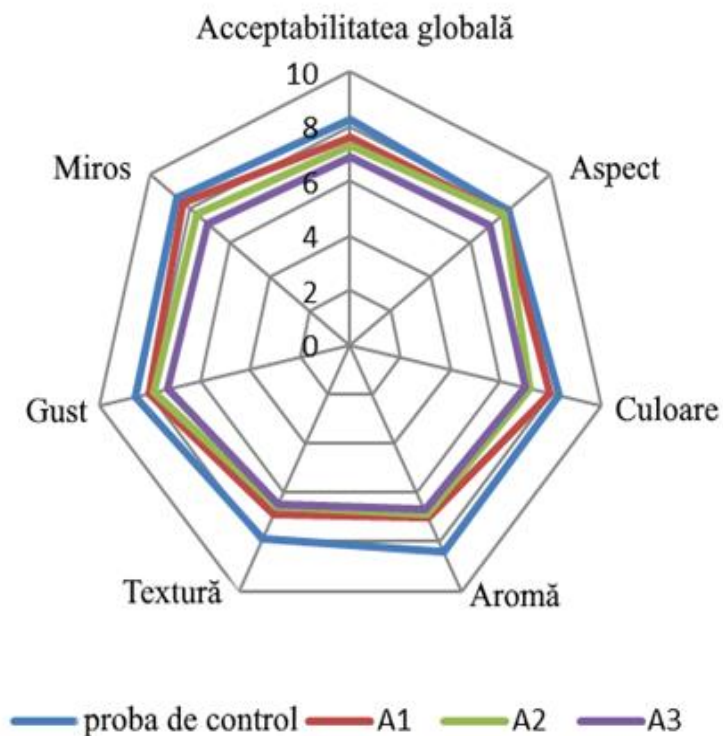


Figura nr. 4 Caracteristicile senzoriale ale probelor de pâine cu diferite doze de antioxidant A1 – probă cu adaos de 0,02% extract de rozmarin, A2- probă cu adaos de 0,1% extract de rozmarin, A3- probă cu adaos de 0,5% extract de rozmarin

Efectul adaosului de antioxidant (extract de rozmarin) asupra conținutului de acrilamidă a probelor de pâine

Valorile acrilamidei pentru probele de pâine cu niveluri diferite de adaos de extract de rozmarin în făina de grâu sunt prezentate în tabelul nr. 5. După cum se poate observa, valorile au scăzut până la 43,2% pentru proba cu cea mai mare doză de extract de rozmarin comparativ cu proba martor.

Tabelul nr.5

Nivelul de acrilamidă în probele de pâine cu diferite doze de antioxidant adăugate în făina de grâu

Probe de pâine	Metoda de analiză	Nivelul de acrilamidă (µg/kg)
Proba martor	HPLC-UV	110,75 ± 41,0 ^a
Probă cu adaos de 0,02% extract de rozmarin	HPLC-UV	101,61 ± 37,59 ^b
Probă cu adaos de 0,1% extract de rozmarin	HPLC-UV	82,25 ± 30,43 ^c
Probă cu adaos de 0,5% extract de rozmarin	HPLC-UV *	62,90 ± 23,27 ^d

^{a-d} Valorile urmate de aceeași literă într-o coloană nu sunt semnificativ diferite (p <0,05)

Influența adaosului de aluat acid uscat asupra proprietăților reologice ale aluatului, calității pâinii și nivelului de acrilamidă a acesteia

Lucrarea propune utilizarea aluatului acid uscat ca ingredient natural pentru a reduce conținutul de acrilamidă din probele de pâine și, de asemenea, pentru a îmbunătăți calitatea pâinii. Mai mult, a fost evaluat efectul tehnologic al utilizării aluatului acid uscat în panificație prin evaluarea proprietăților reologice ale aluatului de: frământare, întindere, vâscozitate dar și din timpul fermentării. Aluatul acid uscat a fost adăugat în făina de grâu în cantități de 1% (SD1), 2% (SD2), 3% (SD3) și 4% (SD4). Proba fără adaos de aluat acid uscat a fost proba martor.

Influența adaosului de aluat acid uscat asupra proprietăților reologice de frământare și de vâscozitate ale aluatului

Adaosul de aluat acid uscat a crescut ușor valoarea capacității de hidratare a făinii de grâu, acest rezultat fiind în concordanță cu alte studii efectuate de alți cercetători. În etapa inițială de frământare a aluatului la aparatul Mixolab (dezvoltarea aluatului), timpul de formare și stabilitatea aluatului au scăzut semnificativ (p <0,05) odată cu creșterea dozei de adaos de aluat acid uscat în făina de grâu. Acest fapt indică faptul că aluatul devine mai puțin stabil și se înmoaie atunci când se adaugă aluat acid uscat în făina de grâu.

Pentru proba cu adaos de 4% aluat acid uscat valoarea timpului de formare a aluatului s-a redus cu 81,5% comparativ cu cea a probei martor.

Adăugarea de aluat acid uscat a scăzut semnificativ (p <0,05) valoarea C2 până la 32,35% pentru proba cu adaos de 4% SD comparativ cu proba martor.

Valoarea C3 a scăzut odată cu creșterea dozei de aluat acid uscat adăugat în făina de grâu. O gelatinizare mai completă a amidonului conduce la o hidroliză mai intensă a amilazelor și la o consistență mai scăzută a aluatului. Din această cauză, toate momentele opuse de aluat C3, C4 și C5 legate de comportamentul amidonului în timpul procesului tehnologic au prezentat valori mai mici pentru probele cu adaos de aluat acid uscat în făina de grâu comparativ cu cea a probei martor. Dintre toate aceste momente opuse de aluat înregistrate de aparatul Mixolab, valoarea C5 care măsoară retrogradarea amidonului în timpul fazei de răcire a scăzut cel mai mult (p <0,05) odată cu creșterea adaosului de SD în făina de grâu.

Influența adaosului de aluat acid uscat asupra proprietăților reologice de întindere biaxială

Datele alveografice au arătat că adăugarea aluatului acid uscat a determinat o modificare a tenacității aluatului (presiunea maximă) după o tendință variabilă, valorile sale fiind semnificativ mai mici ($p < 0,05$) comparativ cu proba martor pentru probele la care s-a adăugat aluat acid uscat în făina de grâu până la un adaos de 2%, după care această valoare a crescut semnificativ. Valoarea P a crescut semnificativ ($p < 0,05$) atunci când au fost încorporate doze ridicate de aluat acid uscat în făina de grâu, ajungând până la o creștere de 15% pentru proba cu adaos de 4% SD comparativ cu proba martor.

Adăugarea unor doze scăzute de SD în făina de grâu a condus la o extensibilitate mai mare a aluatului și la un indice de umflare a aluatului mai mare, în timp ce adăugarea unor doze ridicate de SD în făina de grâu la valori L și G mai mici.

Valoarea energiei de deformare nu a prezentat variații semnificative ($p < 0,05$) între proba martor și probele cu adaos de 2% și 4% aluat acid uscat în făina de grâu. Cu toate acestea, probele cu adaos de 1% și 3% de SD în făina de grâu au prezentat valori semnificativ mai mari ale W ($p < 0,05$) în comparație cu proba martor. Acest fapt indică faptul că adaosul de SD a îmbunătățit ușor proprietățile reologice ale aluatului în timpul întinderii biaxiale. Din punct de vedere al valorilor P/L, se poate observa că nu s-au înregistrat diferențe semnificative ($p < 0,05$) între probele cu adaos de 1 și 2% SD în făina de grâu, în schimb între probele cu adaos de 3 și 4% aluat acid uscat în făina de grâu au fost diferențe semnificative ($p < 0,05$) comparativ cu proba martor.

Influența adaosului de aluat acid uscat asupra indicelui de cădere și a proprietăților reologice ale aluatului în timpul fermentării

Adăugarea de SD în făina de grâu a scăzut valoarea indicelui de cădere (FN), fapt care indică o îmbunătățire a activității α -amilazei în aluat. Această scădere este semnificativă ($p < 0,05$) cu până la 19,6% pentru proba cu adaos de 4% SD în făina de grâu comparativ cu proba martor.

Prin urmare, se poate concluziona că adăugarea aluatului acid uscat a îmbunătățit calitatea făinii de grâu până la o activitate normală a α -amilazei, făcând-o de o calitate bună pentru obținerea pâinii din punctul de vedere al activității α -amilazei.

Volumul total de gaze format în aluat (VT) a crescut odată cu creșterea dozei de adaos de aluat acid uscat în făina de grâu, cea mai mare valoare VT fiind înregistrată pentru proba cu adaos de 3% aluat acid uscat în făina de grâu. Pentru această probă s-a înregistrat o creștere semnificativă ($p < 0,05$) a valorii VT de 6% comparativ cu cea a probei martor. Volumul de retenție, volumul de CO_2 reținut de aluat la sfârșitul testului (VR), a scăzut semnificativ ($p < 0,05$) odată cu creșterea adaosului de aluat acid uscat comparativ cu proba martor. Cea mai mică valoare pentru VR a fost obținută pentru proba cu adaos de 4% aluat acid uscat în făina de grâu, a cărei valoare VR a scăzut cu 7,2% comparativ cu proba martor. Cu toate acestea, între probele cu adaos de 1%, 2% SD și între probele cu adaos de 3%, 4% aluat acid uscat nu s-au înregistrat diferențe semnificative ($p < 0,05$) pentru valoarea VR.

Creșterea cantității de gaze formate în timpul procesului de fermentare și scăderea capacității aluatului de a reține gazele influențează valorile H'm și CR. Pentru valoarea H'm nu s-au observat diferențe semnificative ($p < 0,05$) între proba cu adaos de 1% aluat acid uscat în făina de grâu și proba martor, sau între probele cu adaos de 2% și 3% aluat acid uscat. Cu toate acestea, pentru probele de aluat la care s-au adăugat doze mai mari de 2% SD în făina de grâu s-au înregistrat valori semnificative ($p < 0,05$) mai mici comparativ cu proba martor. Pentru valoarea CR s-au înregistrat valori semnificative mai mici ($p < 0,05$) pentru probele cu adaos de SD în făina de grâu comparativ cu proba martor. Având în vedere că CR este raportul dintre valorile VR și VT, se poate concluziona

că capacitatea aluatului de a reține gazele este mai mică decât cantitatea de gaze formate în timpul procesului de fermentare. Scăderea valorii CR pentru probele cu adaos de SD, comparativ cu proba martor, este o consecință a înrăutățirii proprietăților reologice ale aluatului, datorită adaosului de aluat acid uscat în făina de grâu care nu este capabilă să reține gazele formate în timpul fermentării.

Influența adaosului de aluat acid uscat asupra caracteristicilor fizice ale probelor de pâine

Se poate observa că toate probele cu adaos de SD au prezentat valori semnificative ($p < 0,05$) mai mari pentru volumul specific, porozitatea și elasticitatea pâinii comparativ cu proba martor. Pentru volumul specific al pâinii nu s-au înregistrat diferențe semnificative ($p < 0,05$) între probele cu adaos de 1%, 2%, 3% aluat acid uscat. Cea mai mare valoare pentru volumul specific al pâinii a fost obținută pentru proba cu adaos de 2% SD, care a fost cu 23,4% mai mare decât valoarea obținută pentru proba martor. Pentru valorile porozității și elasticității pâinii nu s-au obținut diferențe semnificative ($p < 0,05$) între proba cu adaos de 1% SD și proba cu adaos de 4% aluat acid uscat. În mod similar, pentru elasticitate nu s-au înregistrat diferențe semnificative ($p < 0,05$) între probele cu adaos de 2% și 3% aluat acid uscat în făina de grâu.

Cu toate acestea, dozele ridicate de adaos de aluat acid uscat în rețeta de pâine au condus la o scădere ușoară a caracteristicilor fizice ale pâinii, datorită pierderii capacității aluatului de a reține gazele.

Influența adaosului de aluat acid uscat asupra caracteristicilor de culoare ale probelor de pâine

Valorile L și b* ale culorii pâinii au fost semnificativ afectate ($p < 0,05$) de adaosul de aluat acid uscat pentru coaja de pâine și nesemnificativ ($p < 0,05$) pentru miezul de pâine. Valorile L, care reprezintă luminozitatea probelor de pâine, au fost mai mici odată cu creșterea dozei de aluat acid uscat în făina de grâu. Valorile b*, care reprezintă gradul de albastru până la galben au scăzut, de asemenea, odată cu creșterea dozei de adaos de aluat acid uscat în făina de grâu. Valoarea a*, care indică gradul de verde până la roșu, a fost semnificativ diferită ($p < 0,05$) pentru toate probele în care s-a adăugat aluat acid uscat în făina de grâu. Această valoare a scăzut odată cu creșterea dozei de adaos de aluat acid uscat în făina de grâu.

Influența adaosului de aluat acid uscat asupra caracteristicilor de textură ale probelor de pâine

Adăugarea unor doze ridicate de aluat acid uscat în făina de grâu a condus la o scădere semnificativă ($p < 0,05$) a valorilor pentru fermitate și gumozitate. Din punct de vedere al valorilor coeziunii și rezilienței, se poate observa că la doze reduse de adaos de aluat acid uscat în făina de grâu nu s-au obținut modificări semnificative ($p < 0,05$) între probele de pâine. În schimb, când s-au adăugat doze ridicate de SD în făina de grâu, s-au putut observa valori semnificativ mai mici ($p < 0,05$) ale acestor parametri în comparație cu proba martor.

Influența adaosului de aluat acid uscat asupra caracteristicilor senzoriale ale probelor de pâine

Cea mai apreciată probă de pâine a fost cea cu adaos de 2% SD în făina de grâu, dar și restul probelor au obținut un punctaj bun. Cele mai mici punctaje au fost obținute pentru gust, pentru care s-a obținut un punctaj mai mic de 7 pentru proba cu adaos de 4% SD. Proba de pâine cu 4% adaos de SD în făina de grâu a prezentat un gust acrișor și chiar ușor sărat. Cu toate acestea, probele de pâine cu adaos de 1% și 2% SD au fost mai bine apreciate de evaluatori decât proba martor. Acest

lucru se poate datora faptului că adăugarea de SD în făina de grâu conduce la o creștere a conținutului de zahăr din pâine care îmbunătățește gustul, culoarea și textura acesteia.

Efectul adaosului de aluat acid uscat asupra conținutului de acrilamidă a probelor de pâine

După cum se poate observa din tabelul nr. 6, conținutul de acrilamidă din probele de pâine cu adaos de SD în făina de grâu au prezentat valori semnificativ ($p < 0,05$) mai mici decât cele obținute pentru proba martor. Cea mai mică valoare pentru conținutul de acrilamidă a fost obținută pentru proba de pâine cu adaos de 1% SD în făină de grâu, pentru care conținutul de acrilamidă a scăzut cu până la 63%, comparativ cu cel al probei martor. Cu toate acestea, între probele de pâine cu adaos de 1% SD, respectiv de 2% SD în făina de grâu nu s-au înregistrat diferențe majore din punctul de vedere al conținutului de acrilamidă.

Tabelul nr. 6
Nivelul de acrilamidă în probele de pâine cu diferite doze de aluat acid uscat adăugate în făina de grâu

Proba de pâine	Metoda de analiză	Nivelul de acrilamidă ($\mu\text{g}/\text{kg}$)
Proba martor	HPLC-UV	$110,75 \pm 1,06^d$
Proba cu adaos de 4%SD	HPLC-UV	$88 \pm 32,56^c$
Proba cu adaos de 3%SD	HPLC-UV	$51,62 \pm 19,1^b$
Proba cu adaos de 2%SD	HPLC-UV	$42,51 \pm 15,73^a$
Proba cu adaos de 1% SD	HPLC-UV	$40,94 \pm 15,15^a$

SD -aluat acid uscat, ^{a-d} Valorile urmate de aceeași literă într-o coloană nu sunt semnificativ diferite ($p < 0,05$)

La doze mai mari de 2% adaos de aluat acid uscat în făina de grâu, conținutul de acrilamidă începe să crească semnificativ ($p < 0,05$), chiar dacă probele de pâine prezintă valori mai scăzute ale conținutului de acrilamidă comparativ cu cel al probei martor.

Influența adaosului de asparaginază asupra proprietăților reologice ale aluatului, calității pâinii și nivelului de acrilamidă a acesteia

Produsul utilizat, Acrylaway 3500 BG, provenit de la Novozymes Switzerland AG este sub forma granulată de culoare albă, ușor solubil în apă și a fost adăugat în cantități de: 500 ASNU/g, 650 ASNU/g și 800 ASNU/g în făina de grâu .

Influența adaosului de asparaginază asupra proprietăților reologice de frământare și de vâscozitate ale aluatului

Adaosul de asparaginază nu a modificat semnificativ ($p < 0,05$) capacitatea de hidratare a făinii de grâu pentru proba cu adaos de asparaginază de 500 ASNU/g și respectiv cea cu adaos de 800 ASNU/g, aceasta rămânând la aceeași valoare sau relativ apropiată cu cea a probei martor. O mică creștere, cu un procent de 1,62% față de proba martor, s-a înregistrat la proba cu adaos de 650 ASNU/g de asparaginază în făina de grâu.

În etapa inițială de dezvoltare a aluatului, timpul de formare și stabilitatea aluatului nu au fost influențate semnificativ ($p < 0,05$) odată cu creșterea dozei de adaos de asparaginază în făina de grâu. Acest fapt arată faptul că aluatul rămâne la fel de stabil la frământare, atunci când se adaugă asparaginază în făina de grâu, observându-se o ușoară creștere a stabilității la frământare față de proba martor pentru adaosurile de 500 ASNU/g și 800 ASNU/g de asparaginază în făina de grâu.

Momentul opus de aluat C3 a gelatinizării amidonului a crescut ușor, odată cu creșterea dozei de asparaginază adăugată în făina de grâu, însă nu putem spune că a modificat semnificativ vâscozitatea aluatului față de probă martor.

Stabilitatea gelului de amidon format, C4 înregistrează o scădere odată cu creșterea dozei de asparaginază în făina de grâu, cel mai mult, cu un procent de 7%, înregistrându-se la proba cu adaos de asparaginază de 650 ASNU/g făină de grâu.

În etapa de retrogradare a amidonului se înregistrează o ușoară scădere a C5 pentru probele cu adaos de asparaginază comparativ cu proba martor, valoarea cea mai mică înregistrându-se pentru proba cu adaos de asparaginază de 650 ASNU/g făină de grâu, cu o scădere de 9,29% față de proba martor, urmată de proba cu adaos de asparaginază de 800 ASNU/g făină de grâu.

Influența adaosului de asparaginază asupra proprietăților reologice de întindere biaxială

Adăugarea asparaginazei în făina de grâu a condus la o schimbare a tenacității aluatului (presiunea maximă) după o tendință variabilă, valorile sale fiind semnificativ mai mari ($p < 0,05$) decât cele obținute pentru proba martor. Valoarea maximă s-a înregistrat la proba cu adaos de asparaginază de 650 ASNU/g, creșterea față de proba martor fiind semnificativă ($p < 0,05$), urmată de proba cu adaos de asparaginază de 800 ASNU/g și proba cu adaos de asparaginază de 500 ASNU/g. Valoarea P, presiunea maximă, a crescut semnificativ ($p < 0,05$) atunci când au fost încorporate doze ridicate de asparaginază în făina de grâu. Adăugarea de asparaginază în făina de grâu într-o cantitate de 800 ASNU/g a condus la o scădere semnificativă ($p < 0,05$) a extensibilității aluatului, L, față de proba martor. Probele cu adaos de asparaginază de 500 ASNU/g și respectiv de 650 ASNU/g au înregistrat aceeași valoare pentru acest parametru și o scădere față de proba martor.

Totodată, se observă o scădere ușoară a indicelui de umflare a aluatului, G, față de proba martor, înregistrat la proba cu adaos de asparaginază de 800 ASNU/g.

Valoarea W a prezentat variații semnificative ($p < 0,05$) între proba martor și probele cu adaos de asparaginază în făină de grâu, constatându-se o creștere unitară a valorii acesteia față de proba martor, pentru proba cu adaos de asparaginază de 650 ASNU/g.

Din punct de vedere al valorilor P/L, care reprezintă raportul de configurare (de formă) al curbei alveografice, s-au înregistrat diferențe semnificative ($p < 0,05$) între probele cu adaos de asparaginază în făină de grâu și proba martor, valoarea acestui indicator crescând în cazul probei cu adaos de asparaginază de 800 ASNU/g față de proba martor.

Influența adaosului de asparaginază asupra indicelui de cădere și a proprietăților reologice ale aluatului în timpul fermentării

Adăugarea asparaginazei în făina de grâu a scăzut valoarea FN (Falling Number), această scădere fiind semnificativă ($p < 0,05$) pentru proba cu adaos de asparaginază de 500 ASNU/g în făină de grâu comparativ cu cea a probei martor.

Volumul total de gaze format în aluat a scăzut odată cu creșterea dozei de adaos de asparaginază în făina de grâu, cea mai mică valoare VT fiind înregistrată pentru proba cu adaos de asparaginază de 800 ASNU/g. Pentru această probă s-a înregistrat o ușoară scădere semnificativă ($p < 0,05$) a valorii VT comparativ cu cea a probei martor.

Volumul de retenție a gazelor a înregistrat o ușoară scădere semnificativă ($p < 0,05$) o dată cu creșterea dozei de adaos de asparaginază în făina de grâu comparativ cu proba martor. Cea mai mică valoare pentru VR a fost înregistrată pentru proba cu adaos de 800 ASNU/g asparaginază în făină de grâu, a cărei valoare a scăzut comparativ cu cea a probei martor.

Pentru valoarea $H'm$ s-a înregistrat o scădere față de probă martor, la proba la care a fost adăugat cel mai mare conținut de asparaginază în făina de grâu. Pentru valoarea CR s-au înregistrat valori puțin mai mici pentru proba cu adaos de asparaginază de 650 ASNU/g, comparativ cu cea a probei martor. Între celelalte probe și proba martor nu au fost semnalate modificări semnificative ($p < 0,05$).

Influența adaosului de asparaginază asupra caracteristicilor fizice ale probelor de pâine

Se poate observa că toate probele cu adaos de asparaginază au prezentat valori semnificative ($p < 0,05$) mai mari pentru volumul specific al pâinii, comparativ cu proba martor. Creșterea volumului specific al pâinii este direct proporțională cu adaosul de asparaginază, astfel, la proba cu adaos de asparaginază de 800 ASNU/g, s-a înregistrat creșterea cea mai mare față de proba martor.

Porozitatea probei cu cel mai mic adaos de asparaginază nu a prezentat diferențe semnificative ($p < 0,05$) față de proba martor. În schimb, proba cu cel mai mare conținut de asparaginază a semnalat o creștere a valorii porozității față de proba martor. Din punct de vedere al elasticității, probele cu adaos de asparaginază de 500 ASNU/g, și respectiv de 650 ASNU/g au prezentat aceeași valoare cu a probei martor. Doar la proba cu cel mai mare adaos de asparaginază s-a înregistrat o ușoară creștere față de celelalte probe.

Adăugarea de asparaginază nu a afectat semnificativ caracteristicile fizice ale produsului final, doar proba cu adaos de asparaginază de 800 ASNU/g în făina de grâu a dus la o creștere ușoară a volumului specific al pâinii, porozității și elasticității față de probă martor.

Influența adaosului de asparaginază asupra caracteristicilor de culoare ale probelor de pâine

Evoluția parametrilor de culoare L , a^* și b^* indică o închidere (întunecare) a caracteristicilor culorii cojii pâinii la care s-a adăugat asparaginază față de probă martor, comparativ cu miezul pâinii unde se observă o creștere a luminozității pentru probele cu adaos mai mic de asparaginază. În schimb la un adaos mai mare de asparaginază se observă o întunecare a miezului pâinii comparativ cu proba martor. Atât la coaja cât și la miez se observă o creștere semnificativă ($p < 0,05$) a tentei roșiatice pentru probele cu adaos de asparaginază, mai puțin la proba cu adaos de asparaginază de 800 ASNU/g unde valoarea lui a^* rămâne aceeași cu a martorului. Tendința de albăstrire a probelor cu adaos de asparaginază se observă atât la coajă cât și la miez. Adaosul de asparaginază nu a avut un efect considerabil asupra culorii pâinii.

Influența adaosului de asparaginază asupra caracteristicilor texturale ale probelor de pâine

Adăugarea de asparaginază în făina de grâu a scăzut semnificativ ($p < 0,05$), valorile fermității și gumozității probelor de pâine, odată cu creșterea dozei de asparaginază adăugată în făina de grâu. Din punct de vedere al valorilor de coeziune și reziliență, se poate observa că doze mici de asparaginază adăugate în făina de grâu au condus la o scădere a acestor parametrii comparativ cu proba martor, în schimb, la doze de 650 ASNU/g s-a înregistrat o ușoară creștere a acestor parametrii, ca mai apoi la adăugarea unor doze ridicate de asparaginază în făina de grâu, să constatăm o reducere a acestor valori până la cele înregistrate pentru proba martor.

Nu există modificări semnificative de structură, porii sunt relativi mici, distribuiți uniform în miezul de pâine, nu se observa goluri mari în structura probelor de pâine analizate.

Influența adaosului de asparaginază asupra caracteristicilor senzoriale ale probelor de pâine

Cele mai apreciate probe de pâine au fost cele cu adaosul cel mai mic de asparaginază, respectiv proba la care s-a adăugat asparaginază 500 ASNU/g făină de grâu, dar și restul probelor au avut un punctaj ridicat, foarte apropiat cu cel al probei martor. Cea mai mică apreciere senzorială a fost înregistrată pentru proba cu adaos de asparaginază de 800 ASNU/g făină de grâu la parametrul textură, pentru care s-a obținut un punctaj în jur de nota 7.

Se observă că aspectul, culoarea și aroma au fost foarte aproape de valoarea probei martor, ceea ce înseamnă că adăugarea de asparaginază nu numai că nu afectează proprietățile senzoriale efective ale produselor alimentare finale, ci îmbunătățește și aroma prin creșterea conținutului de acid glutamic al alimentelor.

Efectul adaosului de asparaginază asupra conținutului de acrilamidă a probelor de pâine

După cum se poate observa din tabelul nr. 7 conținutul de acrilamidă din probele de pâine cu adaos de asparaginază în făina de grâu au prezentat valori semnificativ ($p < 0,05$) mai mici decât proba martor, încă de la un adaos de 500 ASNU/g. Ulterior, la adaosuri mai mari de asparaginază acrilamida nu a mai fost detectată, fiind sub limita de detecție $LOD = 20 \mu\text{g/Kg}$, $LOQ = 25 \mu\text{g/Kg}$.

Tabelul nr. 7

Probe de pâine	Metoda de analiza	Nivelul de acrilamidă ($\mu\text{g/Kg}$)
Martor	HPLC-UV	$110,75 \pm 1,06^b$
Probă cu adaos de asparaginază (500 ASNU/g)	HPLC-UV	$31,74 \pm 12,1^a$
Probă cu adaos de asparaginază (650 ASNU/g)	HPLC-UV	nedetectabil
Probă cu adaos de asparaginază (800 ASNU/g)	HPLC-UV	nedetectabil

^{a-b} Valorile urmate de aceeași literă într-o coloană nu sunt semnificativ diferite ($p < 0,05$)

Influența adaosului de săruri de calciu asupra proprietăților reologice ale aluatului, calității pâinii și nivelului de acrilamidă a acesteia

S-a analizat efectul a 3 tipuri de săruri de calciu asupra proprietăților reologice ale aluatului, calității pâinii și nivelului de acrilamidă din pâine: lactat de calciu, gluconat de calciu și carbonat de calciu în doze de ioni de calciu de 100, 150 și 200 mg/100 g făină.

Influența adaosului de lactat de calciu asupra proprietăților reologice ale aluatului, calității pâinii și nivelului de acrilamidă a acesteia

S-a folosit lactatul de calciu natural, PURACAL PP FCC, care este sarea solubila a acidului lactic natural L (+), produsă prin fermentarea zahărului, în următoarele doze : 0,75g/100g făină de grâu, 1,10g/100g făină de grâu, 1,45 g/100g făină de grâu care să corespundă unei cantități de ioni de calciu de 100, 150 și 200 mg/100 g făină.

Influența adaosului de lactat de calciu asupra proprietăților reologice de frământare și de vâscozitate ale aluatului

Adăugarea de lactat de calciu a crescut ușor capacitatea de hidratare a făinii de grâu, probabil datorită interacțiunii sale cu amidonul și proteinele din făina de grâu. S-a determinat o scădere nesemnificativă ($p < 0,05$) a valorii C2 pentru primele două probe cu adaos de lactat de calciu comparativ cu proba martor și o creștere nesemnificativă ($p < 0,05$) pentru proba cu adaosul cel mai mare de lactat de calciu.

În ceea ce privește stabilitatea aluatului adăugarea lactatului de calciu a condus la o scădere a acestor valori atunci când s-au adăugat doze mici în făina de grâu și la o creștere a acestor valori când s-au adăugat doze ridicate în probele de aluat.

La doze ridicate ionii de calciu din forma lactat au prezentat un efect de slăbire asupra proprietăților reologice ale aluatului.

Toate valorile obținute la mixolab legate de comportamentul amidonului și anume C3, C4 și C5 nu au prezentat modificări semnificative ($p < 0,05$) pentru probele cu adaos de lactat de calciu în făina de grâu comparativ cu cea martor.

Influența adaosului de lactat de calciu asupra proprietăților reologice de întindere biaxială

Adăugarea lactatului de calciu în făina de grâu a condus la modificări ale tenacității aluatului (presiunea maximă) după o tendință constantă pentru probele cu adaos în cantități mai mici de lactat de calciu, valorile sale fiind semnificativ mai mari ($p < 0,05$) decât cele obținute pentru proba martor. În schimb, la adăugarea unor cantități mai mari de lactat de calciu valoarea rezistenței aluatului la deformare începe ușor să descrească spre valoarea probei martor.

O creștere semnificativă ($p < 0,05$) se înregistrează la extensibilitatea aluatului (L) și valoarea indicelui de umflare (G) pentru probele la care adaosul de lactat de calciu a fost în cantitate mai mare, ceea ce indică o îmbunătățire a capacității aluatului de a reține gazele și a extensibilității aluatului în aceste condiții.

Adăugarea de lactat de calciu a îmbunătățit ușor, în timpul întinderii biaxiale, proprietățile reologice ale aluatului, determinate la aparatul alveograf. Din punct de vedere al valorilor P/L, se poate observa că s-a înregistrat o scădere ușor semnificativă ($p < 0,05$) între probele cu adaos de lactat de calciu în făina de grâu și proba martor, valoarea cea mai mică a acestui raport fiind obținută pentru proba cu cel mai mare adaos de lactat de calciu.

Influența adaosului de lactat de calciu asupra indicelui de cădere și a proprietăților reologice ale aluatului în timpul fermentării

Adăugarea lactatului de calciu în făina de grâu a scăzut valoarea indicelui de cădere (FN), fapt care indică o îmbunătățire a activității α -amilazei din aluat.

Volumul total de gaze format în aluat a scăzut odată cu creșterea dozei de lactat de calciu adăugat în făina de grâu, cea mai mică valoare VT fiind înregistrată pentru proba cu adaosul cel mai mare de lactat de calciu în făina de grâu. Volumul de retenție a gazelor (VR) a scăzut semnificativ ($p < 0,05$) și constant o dată cu creșterea dozei de lactat de calciu adăugată în făina de grâu comparativ cu proba martor. Și pentru înălțimea maximă a curbei formării și reținerii gazelor de fermentare ($H'm$) observăm aceeași tendință de scădere semnificativă ($p < 0,05$) la probele cu un conținut mai ridicat de lactat de calciu față de proba martor. În schimb pentru valoarea CR, coeficientul de retenție

a gazelor în aluat, scăderea a fost mai puțin semnificativă ($p < 0,05$), atât între proba martor și probele cu adaos de lactat de calciu, cât și între ele.

Influența adaosului de lactat de calciu asupra caracteristicilor fizice ale probelor de pâine

Toate probele cu adaos de lactat de calciu au prezentat valori semnificativ ($p < 0,05$) mai mari, comparativ cu proba martor, pentru volumul specific al pâinii și porozitate. Cea mai mare valoare pentru volumul specific al pâinii și porozitate a fost obținută pentru proba cu adaos de 200 mg/100g ioni de calciu.

Pentru elasticitate s-au înregistrat scăderi semnificative ($p < 0,05$) între probele cu adaosul cel mai mare de lactat de calciu și proba martor. În urma adaosului de lactat de calciu, elasticitatea pâinii s-a redus.

Influența adaosului de lactat de calciu asupra caracteristicilor de culoare ale probelor de pâine

Valorile parametrilor de culoare ale probelor de pâine L și b^* au scăzut semnificativ ($p < 0,05$) la adăugarea lactatului de calciu pentru coajă și au crescut nesemnificativ ($p < 0,05$) pentru miez. Valoarea a^* nu a fost semnificativ diferită la miez ($p < 0,05$) pentru toate probele în care s-au adăugat lactat de calciu în făina de grâu, în schimb această valoare a prezentat în coajă o scădere ușoară odată cu creșterea dozei de adaos de lactat de calciu în făina de grâu.

Evoluția parametrilor de culoare L , a^* și b^* indică o închidere (întunecare) a culorii pâinii mai semnificative pentru coaja de pâine comparativ cu miezul pâinii.

Influența adaosului de lactat de calciu asupra caracteristicilor de textură ale probelor de pâine

Odată cu creșterea dozei de lactat de calciu adăugat în făina de grâu valorile fermității și gumozității au scăzut semnificativ ($p < 0,05$). Această scădere poate conduce la un miez mai puțin rigid și prin urmare la o pâine mai gumoasă.

Din punct de vedere al valorilor de coeziune și reziliență, se poate observa că la doze ridicate de adaos de lactat de calciu în făina de grâu nu s-au semnalat modificări semnificative ($p < 0,05$) între probele de pâine comparativ cu proba martor. În schimb, când s-au adăugat doze de 100 mg/100 g calciu în făina de grâu, s-au putut observa valori semnificativ mai mici ($p < 0,05$) pentru coeziune și reziliență, în comparație cu proba martor.

Nu s-au obținut modificări semnificative de structură a miezului de pâine, porii au fost relativ mici, distribuiți uniform în miezul de pâine, nu s-au observat goluri mari în structura probelor de pâine analizate.

Influența adaosului de lactat de calciu asupra caracteristicilor senzoriale ale probelor de pâine

Cele mai apreciate probe de pâine au fost cele cu adaosul cel mai mic de lactat de calciu în făina de grâu, obținând un punctaj pentru acceptabilitate globală de 7,66. Restul probelor au obținut un punctaj mai redus, aproape 7, pentru acceptabilitate globală. Caracteristicile senzoriale mai puțin apreciate în cazul probei cu cel mai mare adaos de lactat de calciu au fost gustul și aroma, punctajul obținut fiind apropiat de 6, participanții la evaluare considerând că la final proba ar prezenta un gust ușor amar.

Efectul adaosului de lactat de calciu asupra conținutului de acrilamidă a probelor de pâine

Conținutul de acrilamidă din probele de pâine cu doze diferite de adaos de lactat de calciu în făina de grâu au prezentat valori semnificativ ($p < 0,05$) mai mici decât cele obținute pentru proba martor. După cum se poate vedea în tabelul nr. 8, valoarea conținutului de acrilamidă s-a redus semnificativ ($p < 0,05$) față de proba martor încă de la adăugarea unei cantități de lactat de calciu de 1,1 g/100g făină de grâu (100 mg/100 g calciu), ajungând pentru proba de pâine cu adaos de lactat de calciu de 1,45 g/100g (200 mg/100 g calciu) făină de grâu reducerea să ajungă până la 65,42 %.

Tabelul nr. 8

Nivelul de acrilamidă în probele de pâine cu diferite doze de lactat de calciu adăugate în făina de grâu		
Probe de pâine	Metoda de analiză	Nivelul de acrilamidă ($\mu\text{g/Kg}$)
Martor	HPLC-UV	$110,75 \pm 1,06^d$
Probă cu adaos de 0,75g lactat de calciu (100 mg/100 g calciu)	HPLC-UV	$85,93 \pm 31,79^c$
Probă cu adaos de 1,10g lactat de calciu (150 mg/100 g calciu)	HPLC-UV	$44,37 \pm 16,42^b$
Probă cu adaos de 1,45g lactat de calciu (200 mg/100 g calciu)	HPLC-UV	$38,30 \pm 14,17^a$

^{a-d} Valorile urmate de aceeași literă într-o coloană nu sunt semnificativ diferite ($p < 0,05$)

Influența adaosului de carbonat de calciu asupra proprietăților reologice ale aluatului, calității pâinii și nivelului de acrilamidă a acesteia

Carbonatul de calciu utilizat este sub formă de pulbere foarte fină, de culoare albă, cu înaltă puritate cristalină. Doza de ioni de calciu adăugată în făina de grâu a fost de : 100 mg/100 g (0,250g carbonat de calciu /100g făină de grâu); 150 mg/100 g (0,375g carbonat de calciu /100g făină de grâu) și 200 mg/100 g (0,500g carbonat de calciu /100g făină de grâu).

Influența adaosului de carbonat de calciu asupra proprietăților reologice de frământare și de vâscozitate ale aluatului

Adăugarea unei doze de 200 mg/100g ioni de calciu din sarea de tip carbonat de calciu în făina de grâu a scăzut ușor semnificativ ($p < 0,05$) capacitatea de hidratare a făinii de grâu, în schimb pentru probele cu adaos în cantități mai mici de carbonat de calciu s-a constatat o ușoară creștere a acestui parametru față de proba martor.

În etapa inițială de dezvoltare a aluatului, stabilitatea aluatului a înregistrat inițial o creștere față de probă martor, în cazul probei cu adaos de 100 mg/100g ioni de calciu de tip carbonat în făina de grâu, însă ulterior, la un adaos mai mare de ioni de calciu constatăm că timpul de stabilitate al aluatului revine la valoarea inițială a probei martor și chiar scade puțin față de aceasta, pentru proba cu adaos de 200 mg/100g ioni de calciu de tip carbonat în făina de grâu.

Cu cât valoarea C2 este mai mare, cu atât activitatea proteolitică în aluat este mai redusă. În cazul de față constatăm că adaosul de carbonat de calciu nu influențează semnificativ ($p < 0,05$) consistența aluatului în faza de înmuiere a proteinelor față de proba martor. Un trend similar l-a înregistrat și valoarea parametrului C3, care corespunde etapei de gelatinizare a amidonului când temperatura depășește 50-55°C, acesta neînregistrând modificări semnificative ($p < 0,05$) față de proba martor. Momentul opus de aluat care măsoară stabilitatea gelului de amidon format, C4, înregistrează o ușoară scădere ne semnificativă ($p < 0,05$) odată cu creșterea dozei de carbonat de

calciu adăugat în făina de grâu față de proba martor pentru proba cu adaos de 150 mg/100 g ioni de calciu de tip carbonat, în schimb la celelalte probe nu au fost constatate modificări semnificative ($p < 0,05$) față de proba martor. Asta înseamnă că activitatea amilolitică a aluatului nu a fost semnificativ influențată de adaosul de carbonat de calciu în făina de grâu.

În etapa de retrogradare a amidonului, valoarea parametrului C5, a înregistrat o ușoară scădere față de probă martor pentru proba cu adaos de 100 mg/100 g ioni de calciu de tip carbonat, în schimb pentru celelalte probe nu s-au semnalat modificări semnificative ($p < 0,05$).

Influența adaosului de carbonat de calciu asupra proprietăților reologice de întindere biaxială

Constatăm o creștere semnificativă ($p < 0,05$) a tenacității aluatului (presiunea maximă) la probele la care s-au adăugat cantități mici de carbonat de calciu comparativ cu proba martor. Dacă inițial la proba cu adaosul cel mai mic de carbonat de calciu se înregistrează o creștere a acestui parametru, ulterior la un adaos mai mare de carbonat de calciu valoarea tenacității descrește constant față de proba martor.

Adăugarea de carbonat de calciu în făina de grâu conduce la o extensibilitate semnificativ ($p < 0,05$) mai scăzută a aluatului și a indicelui de umflare, în special la probele în care s-au adăugat cantități reduse de carbonat de calciu, scăderea fiind invers proporțională cu adaosul de carbonat de calciu.

Energia de deformare obținută la alveograf, W, a înregistrat creșteri semnificative ($p < 0,05$) față de proba martor odată cu adăugarea carbonatului de calciu, ceea ce indică o îmbunătățire a comportamentului aluatului în timpul procesului tehnologic, la doze ridicate de carbonat de calciu.

Din punct de vedere al raportului de configurare a curbei alveografice, valorile P/L, se poate observa că s-a înregistrat o creștere semnificativă ($p < 0,05$) la probele cu adaos mai mic de carbonat de calciu comparativ cu proba martor, ceea ce conduce la concluzia că aluatul obținut cu doze mici de carbonat de calciu în făină de grâu va avea o tenacitate mai ridicată și extensibilitate mai redusă. În schimb observăm că la o cantitate mai mare de carbonat de calciu adăugată în făina de grâu, valoarea raportului de configurare P/L prezintă o creștere nesemnificativă ($p < 0,05$) față de proba martor.

Influența adaosului de carbonat de calciu asupra indicelui de cădere și a proprietăților reologice ale aluatului în timpul fermentării

Valoarea FN a scăzut la adăugarea unor cantități mai mari de carbonat de calciu, fapt care indică o îmbunătățire a activității α -amilazei din aluat. Această scădere este semnificativă ($p < 0,05$) pentru proba la care cantitatea de carbonat de calciu a fost de 200 mg/100 g în făină de grâu comparativ cu proba martor.

Volumul total de gaze format în aluat a înregistrat o creștere ușoară față de proba martor, la adăugarea unei cantități de 100 mg/100 g ioni de calciu de tip carbonat, însă la adăugarea unei cantități mai ridicate de ioni de calciu observăm o ușoară scădere a acestui parametru comparativ cu proba martor.

Volumul de retenție a gazelor VR, a înregistrat o mică scădere nesemnificativă ($p < 0,05$) odată cu creșterea dozei de carbonat de calciu adăugată în făina de grâu comparativ cu proba martor. Cea mai mică valoare pentru VR a fost înregistrată pentru proba cu adaos de 200 mg/100 g ioni de calciu de tip carbonat în făină de grâu. Cu toate acestea, nu au fost înregistrate diferențe semnificative ($p < 0,05$) ale valorii VR între probele cu niveluri diferite de adaos de carbonat de calciu.

În schimb o creșterea ușoară a VT asociată cu o scădere a VR a condus la o ușoară reducere a coeficientului de retenție, CR, față de probă martor pentru proba cu cantitatea cea mai mică de

carbonat de calciu adăugată în făina de grâu. Pentru probele la care cantitatea de carbonat de calciu a fost adăugată în procent mai mare se observă o reducere nesemnificativă a valorii H'm comparativ cu proba martor, iar valoarea coeficientului de retenție în acest caz înregistrează de asemenea o scădere nesemnificativă față de probă martor.

Se poate concluziona că capacitatea aluatului de a reține gazele la fermentare este mai mică decât cantitatea de gaze formată în timpul procesului de fermentare. O scădere a valorii CR pentru probele cu adaos de carbonat de calciu, comparativ cu proba martor, este o consecință a înrăutățirii proprietăților reologice ale aluatului, datorită adăugării de carbonat de calciu în făina de grâu care nu mai este capabilă să rețină atât de bine gazele formate în timpul fermentării aluatului.

Influența adaosului de carbonat de calciu asupra caracteristicilor fizice ale probelor de pâine

Toate probele cu adaos de carbonat de calciu au prezentat valori semnificativ mai mari ($p < 0,05$) pentru volumul specific al pâinii comparativ cu proba martor. Cea mai mare valoare pentru volumul specific al pâinii a fost obținut pentru proba cu adaos de 150 mg/100 g ioni de calciu de tip carbonat în făina de grâu.

Valorile pentru porozitate și elasticitate nu au înregistrat diferențe semnificative ($p < 0,05$) între probele la care s-a adăugat carbonat de calciu comparativ cu proba martor, cu excepția probei la care s-a adăugat 150 mg/100 g ioni de calciu/100g de tip carbonat făină de grâu, pentru care porozitatea a crescut semnificativ ($p < 0,05$) față de proba martor.

Influența adaosului de carbonat de calciu asupra caracteristicilor de culoare ale probelor de pâine

Valorile culorii pâinii L și b* au fost semnificativ influențate ($p < 0,05$) de adaosul carbonatului de calciu în făina de grâu atât pentru coajă cât și pentru miezul pâinii. Valorile parametrului L au fost mai mici odată cu creșterea dozei de adaos de carbonat de calciu în făina de grâu. Valorile b* au scăzut, de asemenea, odată cu creșterea dozei de adaos de carbonat de calciu în făina de grâu. Valoarea a* a fost semnificativ diferită ($p < 0,05$) pentru toate probele la care s-a adăugat carbonat de calciu în făina de grâu, valoarea acestui parametru scăzând odată cu creșterea dozei de adaos de carbonat de calciu în făina de grâu.

Evoluția parametrilor de culoare L, a* și b* indică o închidere (întunecare) a caracteristicilor culorii pâinii, mai semnificative ($p < 0,05$) pentru coaja pâinii comparativ cu miezul acesteia.

Influența adaosului de carbonat de calciu asupra caracteristicilor de textură ale probelor de pâine

Adăugarea carbonatului de calciu a redus semnificativ ($p < 0,05$), valorile fermității și gumozității pâinii, odată cu creșterea dozei de carbonat de calciu adăugate în făina de grâu. Se observă că proba cu cel mai mare conținut de carbonat de calciu a înregistrat o scădere a fermității și a gumozității pâinii comparativ cu proba martor, ceea ce a condus la concluzia că pâinea este mai puțin fermă și prezintă un miez mai gumos.

Din punct de vedere al valorilor de coeziune și reziliență, se poate observa că la doze scăzute de adaos de carbonat de calciu în făina de grâu nu s-au semnalat modificări semnificative ($p < 0,05$) față de cele înregistrate pentru proba martor. În schimb, când s-au adăugat doze ridicate de carbonat de calciu în făina de grâu, s-a putut observa o scădere a valorilor coezivității și rezilienței comparativ cu proba martor.

Influența adaosului de carbonat de calciu asupra caracteristicilor senzoriale ale probelor de pâine

Probele de pâine la care s-a adăugat carbonatul de calciu au obținut un punctaj mai mic, în jurul valorii de 6, însă proba cu cel mai mare conținut de carbonat de calciu a obținut un punctaj final de 5,3 pentru acceptabilitate globală, din cauza aspectului neplăcut, a gustului și aromei amare pe o prezentă.

Efectul adaosului de carbonat de calciu asupra conținutului de acrilamidă a probelor de pâine

După cum se poate observa din tabelul nr.9 conținutul de acrilamidă din probele de pâine cu adaos de carbonat de calciu în făina de grâu au prezentat valori semnificativ ($p < 0,05$) mai mici decât cele obținute pentru proba martor.

Tabelul nr.9

Nivelul de acrilamidă în probele de pâine cu diferite doze de carbonat de calciu adăugate în făina de grâu

Probe de pâine	Metoda de analiza	Nivelul de acrilamidă ($\mu\text{g/Kg}$)
Martor	HPLC-UV	$110,75 \pm 1,06^b$
Proba cu adaos de 0,250g carbonat de calciu (100 mg/100 g calciu)	HPLC-UV	$34,43 \pm 0,75^a$
Proba cu adaos de 0,375g carbonat de calciu (100 mg/100 g calciu)	HPLC-UV	$33,65 \pm 0,45^a$
Proba cu adaos de 0,500g carbonat de calciu (100 mg/100 g calciu)	HPLC-UV	$33,31 \pm 0,32^a$

^{a-b} Valorile urmate de aceeași literă într-o coloană nu sunt semnificativ diferite ($p < 0,05$).

Cea mai mică valoare pentru conținutul de acrilamidă a fost obținută pentru proba de pâine la care s-a adăugat cea mai mare cantitate de carbonat de calciu în făina de grâu. Cu toate acestea, între probele de pâine cu diferite doze de carbonat de calciu adăugate în făina de grâu nu s-au înregistrat diferențe semnificative ($p < 0,05$) ale valorii conținutului de acrilamidă.

Influența adaosului de gluconat de calciu asupra proprietăților reologice ale aluatului, calității pâinii și nivelului de acrilamidă a acesteia

Gluconatul de calciu utilizat este sarea de calciu monohidrat a acidului gluconic sub formă de pulbere, formată din cristale mici de culoare albă, inodor și fără gust. Dozele utilizate au fost de 100 mg/100 g calciu (1,11g gluconatul de calciu /100g) făină de grâu, de 150 mg/100 g calciu (1,66g gluconatul de calciu /100g) făină de grâu, de 200 mg/100 g calciu (2,22g gluconatul de calciu /100g) făină de grâu.

Influența adaosului de gluconat de calciu asupra proprietăților reologice de frământare și de vâscozitate ale aluatului

Adaosul de gluconat de calciu în făina de grâu a crescut valoarea absorbției apei de către făină și stabilitatea aluatului în special la adaosul unor doze mai mari de gluconat de calciu, acest rezultat fiind în concordanță și cu alte studii din literatura de specialitate.

În prima etapă a curbei Mixolab, de dezvoltare a aluatului, stabilitatea aluatului a crescut semnificativ ($p < 0,05$) odată cu creșterea dozei de adaos de gluconat de calciu în făina de grâu. Aceste rezultate indică faptul că aluatul devine mai stabil, crește rezistența acestuia atunci când se adaugă doze mai mari de gluconat de calciu în făina de grâu.

Valoarea C2 a crescut comparativ cu proba martor, prin urmare, atunci când temperatura aluatului crește, adaosul de gluconat de calciu în făina de grâu conduce la o creștere a consistenței aluatului. Acest fapt indică o atacabilitate enzimatică a proteinelor făinii mai mică pentru probele cu adaos de gluconat de calciu în aluat comparativ cu proba martor.

Comparativ cu proba martor, aluatul a înregistrat o creștere semnificativă ($p < 0,05$) a valorii parametrului C3 care măsoară gelatinizarea amidonului dar și a parametrului C4 atunci când s-au adăugat cantități reduse de gluconat de calciu în aluat. Totuși, la doze mari de gluconat de calciu adăugate în aluat valoarea C4 s-a redus, fapt ce indică o activitate amilolitică mai intensă în aluat.

Comparativ cu proba martor, valoarea parametrului C5 care măsoară retrogradarea amidonului în timpul fazei de răcire a crescut la doze mici de gluconat de calciu adăugate în făina de grâu și a scăzut la doze mari de gluconat de calciu încorporate în aluat.

Influența adaosului de gluconat de calciu asupra proprietăților reologice de întindere biaxială

Adăugarea gluconatului de calciu în făina de grâu a crescut ușor tenacitatea aluatului (presiunea maximă) la adăugarea unor cantități reduse de gluconat de calciu, însă atunci când s-au adăugat cantități mai ridicate de gluconat de calciu acest parametru nu a înregistrat modificări semnificative ($p < 0,05$) ale valorilor obținute comparativ cu proba martor.

În schimb, s-a constatat o scădere semnificativă ($p < 0,05$) a extensibilității (L) și a indicelui de umflare a aluatului (G) comparativ cu proba martor, când cantitatea de gluconat de calciu adăugată în făina de grâu este mai mică. La doze mai mari de gluconat de calciu s-a constatat o ușoară creștere a valorilor acestor parametri față de proba de referință. Adăugarea de doze scăzute de gluconat de calciu în făina de grâu a condus la o extensibilitate mai mică a aluatului și a indicelui de umflare, în timp ce la adăugarea unor doze ridicate de gluconat de calciu în făina de grâu se obține un aluat cu o extensibilitate mai mare decât a probei martor.

Valoarea energiei de deformare a prezentat variații semnificative ($p < 0,05$) între proba martor și toate celelalte probe. Probele cu adaos de calciu de 100 mg/100 g de tip gluconat și 150 mg/100g calciu au prezentat valori semnificativ mai mici ($p < 0,05$) ale parametrului W în comparație cu proba martor. Acest fapt indică faptul că adăugarea de gluconat de calciu a înrăutățit ușor, în timpul întinderii biaxiale, proprietățile reologice ale aluatului, determinate la aparatul alveograf, în schimb la adăugarea unei cantități de 150 mg/100 g calciu din sursa gluconat de calciu în făina de grâu constatăm că energia de deformare s-a îmbunătățit comparativ față de cea a probei martor.

Din punct de vedere al valorilor P/L, se observă că nu s-au înregistrat diferențe semnificative ($p < 0,05$) între probele cu diferite doze de adaos de gluconat de calciu și proba martor.

Influența adaosului de gluconat de calciu asupra indicelui de cădere și a proprietăților reologice ale aluatului în timpul fermentării

Adăugarea gluconatului de calciu în făina de grâu a scăzut semnificativ ($p < 0,05$) valoarea indicelui de cădere, ceea ce indică a scădere a activității α amilazei din făina de grâu.

Volumul total de gaze format în aluat (VT) a scăzut odată cu creșterea dozei de gluconat de calciu adăugat în făina de grâu, cea mai mică valoare VT fiind înregistrată pentru proba cu cel mai mare conținut de gluconat de calciu adăugat în făina de grâu. Pentru proba cu adaos de 200 mg/100 g calciu din sursa gluconat de calciu s-a înregistrat o scădere semnificativă ($p < 0,05$) a valorii VT comparativ cu cea a probei martor. Volumul de retenție a gazelor VR, a scăzut semnificativ ($p < 0,05$) pentru proba la care s-a adăugat o cantitate de 100 mg/100 g calciu din sursa gluconat de calciu în făina de grâu comparativ cu proba martor, în schimb pentru proba cu adaos de 150 mg/100 g calciu de tip gluconat de calciu observăm o creștere a VR comparativ cu proba martor.

Pentru valoarea $H'm$ s-au observat diferențe semnificative ($p < 0,05$) atât între probele cu diferite doze de adaos de gluconat de calciu în făina de grâu, cât și comparativ cu proba martor. Proba de aluat la care s-a adăugat o cantitate de 100 mg/100 g calciu de tip gluconat în făina de grâu a înregistrat valori semnificativ mai mari ($p < 0,05$) pentru parametrul $H'm$ comparativ cu celelalte probe cu adaos de gluconat de calciu. Valoarea CR a înregistrat valori semnificative mai mari ($p < 0,05$) comparativ cu cea a probei martor la probele în care s-au adăugat cantități mai mari de gluconat de calciu în făina de grâu. Având în vedere că CR este raportul dintre valorile VR și VT, se poate concluziona că capacitatea aluatului de a reține gazele este mai mare decât cantitatea de gaze formată în timpul procesului de fermentare. O scădere a valorii CR pentru probele cu adaos de gluconat de calciu, comparativ cu proba martor, este o consecință a îmbunătățirii proprietăților reologice ale aluatului. Adosul de gluconat de calciu în făina de grâu a condus la un aluat mai capabil să rețină gazele formate în timpul procesului de fermentare.

Influența adaosului de gluconat de calciu asupra caracteristicilor fizice ale probelor de pâine

Toate probele cu doze diferite de adaos de gluconat de calciu au prezentat valori semnificativ mai mari ($p < 0,05$) pentru volumul specific al pâinii, cea mai mare creștere, cu un procent de 34% față de proba martor, înregistrându-se la proba cu adaos de 200 mg/100 g calciu în pâine.

O porozitate și elasticitate ușor îmbunătățită a fost înregistrată pentru aceeași probă cu adaosul cel mai ridicat de gluconat de calciu în făina de grâu.

Proba cu adaos de 150 mg/100g calciu (1,66 g gluconat de calciu) în făina de grâu a înregistrat valori ale volumului specific, porozității și elasticității semnificativ mai scăzute ($p < 0,05$) comparativ cu celelalte probe cu adaos de gluconat de calciu și o ușoară scădere a valorilor porozității și elasticității față de cele obținute pentru proba martor.

Cu toate acestea, dozele ridicate de adaos de gluconat de calciu în rețeta de pâine au condus la o îmbunătățire ușoară a caracteristicilor fizice ale pâinii, datorită creșterii capacității aluatului de a reține gazele din timpul fermentării aluatului.

Influența adaosului de gluconat de calciu asupra caracteristicilor de culoare ale probelor de pâine

Valoarea L pentru miezul pâinii a înregistrat o ușoară creștere în cazul probelor cu adaos de 100 mg/100 g calciu (1,11 g gluconat de calciu) și respectiv 200 mg/100 g calciu (2,22 g gluconat de calciu) comparativ cu proba martor.

Valoarea b^* pentru coaja pâinii a crescut inițial pentru proba cu adaos de 100 mg/100 g calciu de tip gluconat de calciu în făina de grâu, ulterior, la adaosuri de 150 mg/100 g calciu (1,66 g) respectiv 200 mg/100 g calciu (2,22 g gluconat de calciu) valoarea indicelui b^* ajungând la valoarea probei martor, ca mai apoi să înregistreze o ușoară scădere comparativ cu aceasta. Pentru miezul probelor de pâine cu doze diferite de adaos de gluconat de calciu, valoarea b^* a scăzut ușor față de proba martor, pentru proba cu adaosul cel mai mic de gluconat de calciu, pentru celelalte probe valoarea acestui parametru fiind apropiată de cea a probei martor.

Valoarea a^* a cojii a scăzut ușor față de proba martor pentru toate probele în care s-a adăugat gluconat de calciu în făina de grâu, iar în cazul miezului observăm o ușoară scădere a valorii acestui parametru în cazul probei cu adaosul cel mai mic de gluconat de calciu.

Pentru proba cu adaos de 150 mg/100 g calciu (1,66 g gluconat de calciu) în făina de grâu observăm ca valorile obținute pentru parametrii L , a^* , b^* , atât pentru coajă cât și pentru miez, sunt aproape identice cu cele ale probei martor, ceea ce conduce la concluzia că pentru această probă nu s-au semnalat diferențe semnificative ($p < 0,05$) comparativ cu proba martor.

Influența adaosului de gluconat de calciu asupra caracteristicilor de textură ale probelor de pâine

Adăugarea gluconatului de calciu a scăzut semnificativ ($p < 0,05$), valorile fermității și gumozității, o dată cu creșterea dozei de gluconat de calciu în făina de grâu. Această scădere poate conduce la un miez mai puțin rigid și, prin urmare, la o pâine mai puțin fermă și un miez gumos.

Din punct de vedere al valorilor de coeziune și reziliență, se poate observa că la probele la care s-a adăugat 100 mg/100 g calciu (1,11 g gluconat de calciu) și respectiv 200 mg/100 g calciu (2,22 g gluconat de calciu) în făina de grâu se semnalează o ușoară creștere a rezilienței și coezivității miezului comparativ cu proba martor. În schimb, când s-au adăugat doze medii de gluconat de calciu în făina de grâu s-au înregistrat valori ușor mai mici pentru parametrii de coezivitate și reziliență comparativ cu proba martor.

Influența adaosului de gluconat de calciu asupra caracteristicilor senzoriale ale probelor de pâine

Probele nu au fost prea bine apreciate de către evaluatori, deoarece gluconatul de calciu nu s-a dizolvat în totalitate și astfel s-au regăsit particule de gluconat de calciu atât în coajă cât și în miez. Toți participanții au concluzionat că produsele au un gust ușor amar, a cărui intensitate crește odată cu creșterea cantității adăugate de gluconat de calciu în rețeta de fabricație a pâinii.

Proba cu cea mai mică cantitate de gluconat de calciu în făina de grâu a fost cel mai bine apreciată senzorială, iar cea mai mică apreciere a fost obținută pentru proba cu cel mai mare adaos de gluconat de calciu, aceasta pâine prezentând și un aspect general mai puțin plăcut, cu goluri mai mari în miez și o culoare a cojii mai închisă.

Efectul adaosului de gluconat de calciu asupra conținutului de acrilamidă a probelor de pâine

După cum se poate observa din tabelul nr. 10, conținutul de acrilamidă din probele de pâine cu adaos de gluconat de calciu în făina de grâu a înregistrat scăderi semnificative ajungând până la a fi nedetectabil. Pentru proba cu adaos de 100 mg/100 g (1,11 g gluconat de calciu) în făina de grâu s-a observat o scădere a nivelului de acrilamidă cu un procent de 64% față de proba martor, iar la adaosuri în cantități mai mari de gluconat de calciu acrilamida nu a mai putut fi detectată.

Nivelul de acrilamidă în probele de pâine cu diferite doze de gluconat de calciu adăugat în făina de grâu

Probe de pâine	Metoda de analiza	Nivelul de acrilamidă (µg/Kg)
Proba martor	HPLC-UV	110,75 ± 1,06 ^b
Proba cu adaos de 1,11 g gluconat de calciu (100 mg/100 g calciu)	HPLC-UV	39,82 ± 15,18 ^a
Proba cu adaos de 1,66 g gluconat de calciu (150 mg/100 g calciu)	HPLC-UV	11,56 ± 8,03 ^a
Proba cu adaos de 2,22 g gluconat de calciu (200 mg/100 g calciu)	HPLC-UV	nedetectabil

^{a-b} Valorile urmate de aceeași literă într-o coloană nu sunt semnificativ diferite (p < 0,05)

În finalul tezei de doctorat sunt cuprinse **Concluziile generale ale tezei de doctorat, contribuțiile originale și perspectivele.**

Concluziile acestei teze de doctorat sunt:

1. Conform studiilor de specialitate prezența acrilamidei în produsele de panificație este una dintre cele mai delicate probleme cu care se confruntă industria panificației. În plus, deoarece produsele de panificație sunt printre cele mai consumate din lume, nivelurile de acrilamidă din acestea, care se formează în timpul procesului de coacere, duc la o expunere inevitabilă la AA prin aportul de produse de panificație. Prin urmare, este necesar să cunoaștem efectele toxice ale AA asupra organismului uman și modul de reducere a conținutului acestuia pentru a obține produse sigure.

2. Uniunea Europeană a stabilit niveluri maxime diferite de AA pentru fiecare tip de aliment care trebuie monitorizate de autoritățile pentru siguranța alimentară. Reducerea nivelului de AA în produsele de panificație se poate realiza prin modificarea parametrilor procesului tehnologic (adică coacerea la o temperatură mai scăzută) sau prin utilizarea unor noi tehnici alternative de coacere, prin utilizarea de materii prime cu asparagină scăzută și reducerea conținutului de zaharuri sau prin utilizarea unor ingrediente (diferiți acizi care scad pH-ul, ioni divalenți, antioxidanți naturali, asparagină din diferite surse, LAB producătoare de aluat etc.).

3. Prin aplicarea măsurilor de diminuare a AA trebuie avut în vedere evitarea compromiterii siguranței chimice și microbiologice a produselor alimentare. Formarea AA este strâns asociată cu generarea culorii și aromei caracteristice de copt/prăjit. De aceea orice metodă de reducere a formării și a nivelului de AA trebuie evaluate și din perspectiva acceptabilității produsului final de către consumator.

4. Din totalul de 1930 de probe analizate de Laboratorul Sanitar Veterinar și pentru Siguranța Alimentelor București, în perioada 2018-2022, acrilamida a fost detectată într-un număr de 82 de alimente. Cel mai ridicat nivel de AA s-a găsit într-un produs de patiserie pentru care a fost detectată o valoare de 632.16 µg/kg, urmat de un produs tip pâine cu o valoare de 110.75 µg/kg. Din categoria produselor alimentare, cu cele mai multe probe la care s-au înregistrat valori cuantificabile ale nivelului de acrilamidă, pâinea se detașează cu un procent de 45% din totalul alimentelor verificate, urmată apoi de cafeaua prăjită, cu un procent de 27% și produsele de panificație, 10%.

Cu toate acestea, pentru eșantionul de produse alimentare analizate pe piața din România, respectiv 1930 de probe, în cadrul L.S.V.S.A. București, nivelul de referință recomandat de Regulamentul (CE) nr. 2158/2017 pentru AA a fost depășit doar pentru un număr de 9 alimente (1 produs de patiserie și 8 produse tip pâine).

5. Din cele 30 de notificări europene, transmise prin portalul RASFF Windows, având ca subiect depășiri ale nivelului de AA în diverse produse alimentare, transmise în perioada 2020-06.2023, cele mai multe, cu un număr de 14 sunt din categoria biscuiților, urmate de chipsurile vegetale, cu un număr de 6 notificări, apoi de chipsurile de cartofi, cu un număr de 5, crackers cu 3 notificări și produsele de patiserie de tip fursecuri cu un număr de 2 notificări.

6. Efectele adăugării antioxidanților, respectiv a extractului de rozmarin, în diferite doze (0,02%, 0,1% și 0,5% în făina de grâu cu un grad mare de extracție, de tip 1350) a condus la obținerea unor produse din pâine cu un conținut redus de acrilamidă comparativ cu cel al probei martor. Valoarea conținutului de AA a fost redus aproape la jumătate pentru proba de pâine cu cea mai mare doză de adaos de extract de rozmarin. Caracteristicile de calitate ale probelor de pâine au fost evaluate în ceea ce privește volumul specific al pâinii, porozitatea, elasticitatea, caracteristicile de textură, structura miezului pâinii, caracteristicile de culoare și senzoriale. Pentru toate probele de pâine în care a fost încorporat antioxidant în rețeta de fabricație a pâinii, calitatea pâinii a fost îmbunătățită. Volumul specific al pâinii, porozitatea și elasticitatea au prezentat valori mai mari comparativ cu proba martor. Măsurătorile sistemului de culoare CIE Lab L^* și b^* au scăzut, în timp ce valorile a^* pentru miez și coaja pâinii au crescut pentru probele în care s-a adăugat antioxidant în rețeta de fabricație. Porii miezului de pâine observați cu aparatul stereomicroscop au fost mai uniformi și mai fini pentru probele cu extract de rozmarin adăugat în făina de grâu. Pentru probele cu adaos ridicat de antioxidant, parametrii de textură: fermitate, gumozitate și reziliență nu au prezentat diferențe semnificative ($p < 0.05$) comparativ cu proba martor, în timp ce coeziunea și reziliența nu au prezentat diferențe semnificative ($p < 0.05$). Din punct de vedere senzorial, probele de pâine cu adaos de extract din rozmarin au fost bine apreciate de către evaluatori.

7. Toate probele de pâine cu adaos de aluat acid uscat au prezentat valori semnificativ mai mici pentru conținutul de acrilamidă în comparație cu proba martor, însă cea mai mare scădere a fost înregistrată pentru proba cu adaos de 1% aluat acid uscat. La doze ridicate de adaos de aluat acid uscat în făina de grâu, conținutul de AA începe să crească, indicând posibilitatea formării asparaginei, un precursor critic pentru formarea acrilamidei în procesul de fabricare a pâinii. Prin urmare, pentru a reduce conținutul de acrilamidă din pâine, adăugarea unor doze scăzute de aluat acid uscat în făina de grâu este o opțiune bună pentru brutării.

În general, adăugarea aluatului acid uscat a provocat un efect de scădere a tenacității aluatului, o creștere a volumului total de gaze formate în aluat în timpul fermentării și o scădere a valorii indicelui de cădere. În ceea ce privește calitatea pâinii, adăugarea aluatului acid uscat a îmbunătățit caracteristicile fizice ale pâinii, a condus la o închidere la culoare pentru miezul și coaja pâinii, a redus valoarea parametrilor de textură (fermitate, guminozitate, coezivitate și reziliență) și a îmbunătățit caracteristicile senzoriale ale pâinii pentru probele cu adaos de 1-2% aluat acid uscat adăugat în făina de grâu.

8. În urma testelor de laborator efectuate s-a constatat că există o scădere semnificativă a nivelurilor de acrilamidă, pentru produsele finite la care s-a adăugat asparaginază, comparativ cu proba martor. La probele cu adaos de asparaginază de 650 ASNU/g și de 800 ASNU/g acrilamida nu a mai fost detectată. Adăugarea de asparaginază nu a afectat semnificativ caracteristicile fizice ale produsului final, doar proba cu adaos de asparaginază de 800 ASNU/g în făina de grâu a condus la o creștere ușoară a volumului specific al pâinii, porozității și elasticității față de proba martor.

Evoluția parametrilor de culoare L , a^* și b^* indică la probele la care s-a adăugat asparaginază o închidere (întunecare) a caracteristicilor culorii cojii pâinii față de proba martor, comparativ cu miezul pâinii unde se observă o creștere a luminozității pentru probele cu adaos mai mic de

asparaginază. În schimb la un adaos mai mare de asparaginază se observă o închidere la culoare a miezului pâinii comparativ cu proba martor.

Reducerea acrilamidei prin utilizarea asparaginazei nu modifică caracteristicile senzoriale și texturale ale produselor de panificație finite.

Din punct de vedere reologic nu au fost raportate modificări semnificative. Cu toate acestea, odată cu creșterea temperaturii aluatului a fost observată o ușoară creștere a valorii capacității de hidratare a făinii de grâu, stabilității aluatului și o scădere a consistenței aluatului la probele cu doze ridicate de asparaginază adăugate în făina de grâu.

9. Proprietățile reologice ale aluatului sunt influențate diferit în funcție de tipul de sare de calciu utilizată. În urma determinărilor efectuate s-a constatat că ionii de calciu din sarea de tip gluconat și carbonat prezintă un efect mai puternic de întărire asupra aluatului decât ionii de calciu din sarea de tip lactat. Ionii de calciu din sărurile de tip lactat și gluconat cresc ușor capacitatea de absorbție a aluatului, pe când la doze mari, ionii de calciu de tip carbonat reduc ușor capacitatea de hidratare a făinii de grâu comparativ cu proba martor. Din punct de vedere al stabilității aluatului această valoare crește când sunt adăugați ioni de calciu din sarea de tip gluconat și carbonat și scade când sunt adăugați ioni de calciu din sarea de tip lactat. Valoarea indicelui de cădere a scăzut cu creșterea dozei de ioni de calciu incorporată mai mult în cazul sării de calciu de tip lactat decât în cazul sării de calciu de tip gluconat și carbonat. Momentul opus de aluat care reflectă gelatinizarea amidonului scade cu adaosul de ioni de calciu din sarea de tip lactat, crește când sunt adăugate doze de ioni de calciu din sarea de tip gluconat și este aproximativ constant la adaos de ioni de calciu de tip carbonat. Adaosul de ioni de calciu de tip gluconat influențează cel mai mult activitatea enzimatică amilolitică și retrogradarea amidonului, determinate la aparatul mixolab, printr-o creștere semnificativă a valorilor parametrilor C4 și C5. La Alveograf extensibilitatea aluatului crește la adaosul de calciu în cazul lactatului și scade la doze mici de adaos de ioni de calciu de tip carbonat și gluconat. Energia absorbită de aluat până la rupere, crește, în general, la adaosul de calciu. Valoarea raportului P/L este mai mică decât a martorului pentru adaos de ioni de calciu de tip lactat și la doze mari de ioni de calciu de tip gluconat adăugate în făina de grâu. Conform valorilor obținute la reofermentometru cantitatea totală de dioxid de carbon a scăzut la doze mari de săruri de calciu adăugate în aluat. Raportat la proba martor, cea mai mică scădere s-a înregistrat pentru sarea de calciu de tip carbonat. Totuși coeficientul de retenție a gazelor a crescut atunci când s-au adăugat în aluat ioni de calciu de tip lactat și gluconat.

10. Din punct de vedere al calității probelor de pâine obținute s-a constatat că adaosul de ioni de calciu îmbunătățește caracteristicile fizice ale pâinii. Astfel, comparativ cu proba martor, volumul specific al pâinii a fost mai mare pentru toate probele cu săruri de calciu încorporate în rețeta de fabricație. Din punct de vedere al valorilor obținute pentru porozitate și elasticitate, în general, valoarea acestora s-a îmbunătățit prin adaosul de ioni de calciu. Totuși, pentru probele de pâine la care valoarea acestora s-a redus, reducerea nu a fost semnificativă comparativ cu proba martor. Adaosul de săruri de calciu în făina de grâu a condus la o închidere la culoare a miezului și cojii de pâine, la o scădere a parametrului fermitate, gumozitate și la o creștere a valorilor parametrilor coezivitate în cazul adaosului de gluconat de calciu. Valoarea parametrului reziliență a variat în funcție de doza de ioni de calciu și tipul de sare adăugat în făina de grâu. Din punct de vedere senzorial, cel mai bine apreciate au fost probele cu doze mici de sare de calciu adăugate în făina de grâu. Cele mai bune rezultate au fost obținute pentru probele la care s-a adăugat lactat de calciu în rețeta de fabricație.

În concluzie, adaosul în cantități reduse în făina de grâu a antioxidanților, respectiv extractul de rozmarin, a aluatului uscat acid, alături de utilizarea asparaginazei pot fi folosite ca metode de

succes în scopul reducerii conținutului de acrilamidă din produsele de panificație și de a îmbunătăți proprietățile reologice ale aluatului și calității pâinii. La aceste probe s-au obținut probe de pâine cu caracteristici de calitate îmbunătățite din punct de vedere tehnologic, senzorial și al conținutului de acrilamidă. Conținutul de acrilamidă al pâinii cu diferite doze de calciu de tip gluconat, lactat și carbonat de calciu adăugate în rețeta de fabricație s-a redus semnificativ, proporțional cu creșterea dozei de săruri de calciu adăugată în făina de grâu. Cea mai mare reducere a fost înregistrată pentru sarea de tip carbonat, pentru care la doze de 200 mg calciu/100 g făina de grâu nu s-au mai obținut valori detectabile pentru conținutul de acrilamidă în pâine.

Originalitatea lucrării este dată de studierea în detaliu a impactului diferitelor tipuri de adaosuri (aluat acid uscat, asparaginază, extract de rozmarin, diferite tipuri de săruri de calciu) asupra reducerii conținutului de acrilamidă în produse de panificație, dar și a efectului pe care aceste adaosuri le au asupra procesului tehnologic și calității produselor de panificație. Impactul adaosului acestor ingrediente în făina de grâu asupra procesului tehnologic de panificație a fost analizat utilizând aparatură de ultimă generație: mixolab, alveograf, reofermentometru, aparatul indice de cădere. De asemenea, evaluarea calității pâinii cu diferite adaosuri a fost analizată într-un mod complex și anume au fost evaluate caracteristicile sale texturale, fizice, de culoare, senzoriale, de structură a miezului, conținut de acrilamidă.

Totodată, în cadrul acestei lucrări s-a efectuat pentru prima dată, la nivel național, o analiză a numărului de probe de alimente, cu precădere pentru cele de panificație, analizate în cadrul L.S.V.S.A. București, laborator de referință, în perioada 2018-2022, din punct de vedere al conținutului de acrilamidă și al distribuției lor pe regiuni.

Originalitatea studiului este dată și de analiza numărului de notificări publicate pe site-ul RASFF Window, al Uniunii Europene, în perioada 2020- iunie 2023, care au ca subiect depășiri ale nivelului de acrilamidă în produsele alimentare, în special în produsele de panificație.

Având în vedere tendința la nivel mondial de a reduce conținutul de acrilamidă în toate produsele alimentare, se va continua studierea posibilității de reducere a nivelului de acrilamidă în panificație prin utilizarea altor tipuri de ingrediente precum săruri de magneziu, alte tipuri de aluat acid uscat, antioxidant, diferiți acizi pentru reducerea pH-ului precum acid lactic, etc. De asemenea, se are în vedere obținerea unor rețete optime dintr-un mix din ingredientele utilizate (aluat acid uscat, sare de calciu, antioxidant, asparaginază) pentru reducerea conținutului de acrilamidă în produsele de panificație.

BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ

- Albedwawi, A. S.; Turner, M. S.; Olaimat, A. N.; Osaili, T. M.; Al-Nabulsi, A. A.; Liu, S. Q.; Ayyash, M. M. An overview of microbial mitigation strategies for acrylamide: Lactic acid bacteria, yeast, and cell-free extracts. *LWT*, 2021, *143*, 111159.
- Amer, M.N.; Mansour, N.M.; El-Diwany, A.I.; Dawoud, I.E.; Rashad, F.M. Isolation of probiotic lactobacilli strains harboring lasparaginase and arginine deiminase genes from human infant feces for their potential application in cancer prevention. *Ann. Microbiol.* 2013, *63*, 1121–1129.
- Arora, K.; Ameer, H.; Polo, A.; Di Cagno, R.; Rizzello, C. G.; Gobbetti, M. Thirty years of knowledge on sourdough fermentation: A systematic review. *Trends Food Sci Technol*, 2021, *108*, 71-83.
- Bartkiene, E.; Bartkevics, V.; Lele, V.; Pugajeva, I.; Zavistanaviciute, P.; Mickiene, R.; Juodeikiene, G. A concept of mould spoilage prevention and acrylamide reduction in wheat bread: Application of lactobacilli in combination with a cranberry coating. *Food Control*, 2018, *91*, 284-293.
- Bartkiene, E.; Bartkevics, V.; Pugajeva, I.; Krungleviciute, V.; Mayrhofer, S.; Domig, K. The contribution of *P. acidilactici*, *L. plantarum*, and *L. curvatus* starters and L-(+)-lactic acid to the acrylamide content and quality parameters of mixed rye-Wheat bread. *LWT*, 2017, *80*, 43-50.
- Bartkiene, E.; Jakobson, I.; Juodeikiene, G.; Vidmantienė, D.; Pugajeva, I.; Bartkevics, V. Study on the reduction of acrylamide in mixed rye bread by fermentation with bacteriocin-like inhibitory substances producing lactic acid bacteria in combination with *Aspergillus niger* glucoamylase. *Food Control*, 2013, *30*(1), 35-40.
- Caballero, P.A.; Gómez, M.; Rosell, C.M. Bread quality and dough rheology of enzyme-supplemented wheat flour, *Eur Food Res Technol*, 2007, *224*, 525–534.
- Caballero, P.A.; Gómez, M.; Rosell, C.M. Improvement of dough rheology, bread quality and bread shelf-life by enzymes combination, *J Food Eng*, 2007, *81*, 42-53.
- Canesin, M. R.; Cazarin, C. B. B. (2021). Nutritional quality and nutrient bioaccessibility in sourdough bread. *Curr. Opin. Food Sci.*, 2021, *40*, 81-86.
- Codină, G. G.; Zaharia, D.; Ropciuc, S.; Dabija, A.. Influence of magnesium gluconate salt addition on mixing, pasting and fermentation properties of dough. *EuroBiotech J.* 2017, *3*, 222-225.
- Codină, G.G.; Dabija, A.; Oroian, M. Prediction of Pasting Properties of Dough from Mixolab Measurements Using Artificial Neuronal Networks. *Foods* 2019, *8*, 447.
- Corsetti, A.; Gobbetti, M.; De Marco, B.; Balestrieri, F.; Paoletti, F.; Russi, L.; et al. Combined effect of sourdough lactic acid bacteria and additives bread firmness and staling. *J Agric Food Chem*, 2000, *48*, 3044–3051.
- Dabija, A.; Codină, G. G.; Fradinho, P. Effect of yellow pea flour addition on wheat flour dough and bread quality. *Rom Biotechnol Lett*, 2017, *22*, 12888

Dastmalchi, F.; Razavi, S. H.; Faraji, M.; Labbafi, M. Effect of *Lactobacillus casei-casei* and *Lactobacillus reuteri* on acrylamide formation in flat bread and Bread roll. *JFST*, 2016, 53(3), 1531-1539.

Diana, M.; Rafecas, M.; Quílez, J. Free amino acids, acrylamide and biogenic amines in gamma-aminobutyric acid enriched sourdough and commercial breads. *J. Cereal Sci.*, 2014, 60(3), 639-644.

Gerrard, J.A.; Every, D.; Sutton, K.H.; Gilpin, M.J. The role of maltodextrins in the staling of bread. *J. Cereal Sci.* 1997, 26, 201–209

Haddarah, A., Naim, E., Dankar, I., Sepulcre, F., Pujolà, M., Chkeir, M., The effect of borage, ginger and fennel extracts on acrylamide formation in French fries in deep and electric air frying, *Food Chemistry*, vol. 350, pp. 129060, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129060>

Ji, T.; Penning, B.; Baik, B.K. Pre-harvest sprouting resistance of soft winter wheat varieties and associated grain characteristics. *J. Cereal Sci.* 2018, 83, 110–115.

Khaneghah, A.M., Fakhri, Y., Nematollahi, A., Seilani, F., Vasseghian, Y., The concentration of acrylamide in different food products: a global systematic review, meta-analysis, and meta-regression. *Food Reviews International*, pp. 1-19, 2020. <https://doi.org/10.1080/87559129.2020.1791175>

Khorshidian, N., Yousefi, M., Shadnoush, M., Siadat, S.D., Mohammadi, M., Mortazavian, A. M. Using probiotics for mitigation of acrylamide in food products: a mini review, *Current Opinion in Food Science*, vol. 32, pp. 67-75, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2020.01.011>

Khorshidian, N.; Yousefi, M.; Shadnoush, M.; Siadat, S. D.; Mohammadi, M.; Mortazavian, A. M. Using probiotics for mitigation of acrylamide in food products: a mini review. *Curr. Opin. Food Sci.*, 2020, 32, 67-75.

Ma, S.; Wang, Z.; Guo, X.; Wang, F.; Huang, J.; Sun, B.; Wang, X. Sourdough improves the quality of whole-wheat flour products: Mechanisms and challenges—a review. *Food Chem.*, 2021, 360, 130038.

Maan, A. A., Anjum, M. A., Khan, M. K. I., Nazir, A., Saeed, F., Afzaal, M., & Aadil, R. M. (2020). Acrylamide Formation and different mitigation strategies during food processing—A review. *Food Reviews International*, 1-18

Mangan, D.; Szafranska, A.; McKie, V.; McCleary, B.V. Investigation into the use of the amylase SD assay of milled wheat extracts as a predictor of baked bread quality, *J Cereal Sci*, 2016, 70, 240-246.

Manson, J.; Brabec, M.J.; Buelke-Sam, J.; Carlson, G.P.; Chapin, R.E.; Favor, J.B.; Fischer, L.J.; Hattis, D.; Lees, P.S.; Perreault-Darney, S.; et al. NTP-CERHR expert panel report on the reproductive and developmental toxicity of acrylamide. *Birth Defects Res. B Dev. Reprod. Toxicol.* 2005, 74, 17–113. [CrossRef]

Marchev, A.S., Vasileva, L.V., Amirova, K.M., Savova, M.S., Koycheva, I.K., Balcheva-Sivenova, Z.P., Vasileva, S.M., Georgiev, M.I., Rosmarinic acid-From bench to valuable applications in food industry, *Trends in Food Science & Technology*, 2021, <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.03.015>

Matoso, V., Bargi-Souza, P., Ivanski, F., Romano, M. A., Romano, R. M., Acrylamide: A review about its toxic effects in the light of Developmental Origin of Health and Disease (DOHaD) concept, *Food Chemistry*, vol. 283, pp. 422-430, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.01>.

Mildner-Szkudlarz, S., Róžańska, M., Piechowska, P., Waśkiewicz, A., Zawirska-Wojtasiak, R., Effects of polyphenols on volatile profile and acrylamide formation in a model wheat bread system, *Food chemistry*, vol. 297, pp. 125008, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125008>

Mollakhalili-Meybodi, N., Khorshidian, N., Nematollahi, A., Arab, M., Acrylamide in bread: a review on formation, health risk assessment, and determination by analytical techniques, *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 28, pp. 1-19, 2021. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-12775-3>

Nachi, I.; Fhoula, I.; Smida, I.; Taher, I. B.; Chouaibi, M.; Jaunbergs, J.; Hassouna, M. Assessment of lactic acid bacteria application for the reduction of acrylamide formation in bread. *LWT*, 2018, 92, 435-441.

Nasiri Esfahani, B.; Kadivar, M.; Shahedi, M.; Soleimani-Zad, S. Reduction of acrylamide in whole-wheat bread by combining lactobacilli and yeast fermentation. *Food Addit Contam Part A Chem Anal Control Expo Risk Assess*, 2017, 34(11), 1904-1914.

Negoită M, Culețu A. Application of an Accurate and Validated Method for Identification and Quantification of Acrylamide in Bread, Biscuits and Other Bakery Products Using GC-MS/MS System, *Journal of the Brazilian and Chemical Society* 2016; 27: 1782-1791.

Negreanu, C., Georgescu M.. Specific procedure: determination of acrylamide from food products through the chromatographic liquid technique high performance

Nematollahi, A.; Meybodi, N. M.; Khaneghah, A. M. An overview of the combination of emerging technologies with conventional methods to reduce acrylamide in different food products: perspectives and future challenges. *Food Control*, 2021, 127, 108144.

Ning, J., Hou, G.G., Sun, J., Wan, X., Dubat, A. Effect of green tea powder on the quality attributes and antioxidant activity of whole-wheat flour pan bread, *LWT-Food Science and Technology*, vol. 79, pp. 342-348, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.01.052>

Nogueira, A.C.; Kussano, J.T.; Steel, C.J. Sourdough reduces sodium in wheat flour doughs. *Int. J. Food Sci. Technol.* 2015, 50, 2621–2629.

Oshiro M, Tanaka M, Zendo T, Nakayama J. Impact of pH on succession of sourdough lactic acid bacteria communities and their fermentation properties. *Biosci Microbiota Food Health*. 2020, 39, 152-159. doi:10.12938/bmfh.2019-038

Oshiro, M.; Zendo, T.; Nakayama, J. Diversity and dynamics of sourdough lactic acid bacteria created by a slow food fermentation system. *J. Biosci. Bioeng.*, 2021, 131, 333-340.

Ou, J., Wang, M., Zheng, J., Ou, S., Positive and negative effects of polyphenol incorporation in baked foods, *Food chemistry*, vol. 284, pp. 90-99, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.01.096>

Przygodzka, M.; Piskula, M. K.; Kukurová, K.; Ciesarová, Z.; Bednarikova, A.; Zieliński, H. Factors influencing acrylamide formation in rye, wheat and spelt breads. *J. Cereal Sci.*, 2015, 65, 96-102

Reale, A.; Di Stasio, L.; Di Renzo, T.; De Caro, S.; Ferranti, P.; Picariello, G.; Mamone, G. Bacteria do it better! Proteomics suggests the molecular basis for improved digestibility of sourdough products. *Food Chem.*, 2021, 359, 129955.

Ribeiro-Santos, R., Carvalho-Costa, D., Cavaleiro, C., Costa, H.S., Albuquerque, T.G., Castilho, M.C., Ramos, F., Melo, N.R., Sanches-Silva, A., A novel insight on an ancient aromatic plant: The rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.), *Trends in Food Science & Technology*, 45(2), 355-368, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2015.07.015>.

Rifai, L.; Saleh, F.A. A review on acrylamide in food: Occurrence, toxicity, and mitigation strategies. *Int. J. Toxicol.* 2020, 39, 93–102. [CrossRef]

Rivas-Jimenez, L.; Ramírez-Ortiz, K.; González-Córdova, A. F.; Vallejo-Cordoba, B.; Garcia, H. S.; Hernandez-Mendoza, A. Evaluation of acrylamide-removing properties of two *Lactobacillus* strains under simulated gastrointestinal conditions using a dynamic system. *Microbiol. Res.*, 2016, 190, 19-26.

Shen, Y.; Zhao, S.; Zhao, X.; Sun, H.; Shao, M.; Xu, H. In vitro adsorption mechanism of acrylamide by lactic acid bacteria. *LWT*, 2019, 100, 119-125.

Struyf, N.; Verspreet, J.; Courtin, C.M. The effect of amylolytic activity and substrate availability on sugar release in non-yeasted dough, *J Cereal Sci*, 2016, 69, 111-118.

Suo, B.; Chen, X.; Wang, Y. Recent research advances of lactic acid bacteria in sourdough: Origin, diversity, and function. *Curr. Opin. Food Sci.*, 2021, 37, 66-75.

Thiele, C.; Ganzle, M. G.; Vogel, R. F. Contribution of sourdough lactobacilli, yeast, and cereal enzymes to the generation of amino acids in dough relevant for bread flavor. *Cereal Chem*, 2002, 79, 45–51

Voinea, A.; Stroe, S.G.; Codină, G.G. The Effect of Sea Salt, Dry Sourdough and Fermented Sugar as Sodium Chloride Replacers on Rheological Behavior of Wheat Flour Dough. *Foods* 2020, 9, 1465.

Zhang, D.; Liu, W.; Li, L.; Zhao, H.Y.; Sun, H.Y.; Meng, M.H.; Shao, M.L. Key role of peptidoglycan on acrylamide binding by lactic acid bacteria. *Food Sci. Biotechnol.*, 2017, 26(1), 271-277.

Zhao, C. J.; Ganzle M. G. Synthesis of taste-active γ -glutamyl dipeptides during sourdough fermentation by *Lactobacillus reuteri*. *J Agric Food Chem*, 2016, 64, 7561–7568.

DISEMINAREA REZULTATELOR CERCETĂRII

Rezultatele cercetărilor prezentate în teză s-au materializat prin publicarea a **3 articole** științifice în reviste de specialitate indexate Web of Science, dintre care 2 articole Q1, a **2 articole** științifice în reviste de specialitate indexate în diferite baze internaționale, precum și prin comunicarea a **5 articole** la manifestări științifice cu caracter internațional.

A. Articole publicate în reviste indexate și cotate Web of Science (WoS)

1. **Sarion C.**, Codină G.G., Dabija A., 2021., Acrylamide in Bakery Products: A Review on Health Risks, Legal Regulations and Strategies to Reduce Its Formation, International Journal of Environmental Research and Public Health, 18 (8), 4332, factor de impact 4,614 (în anul 2021), <https://www.mdpi.com/1660-4601/18/8/4332> – **articol Q1** (în 2021)
2. Codină G. G., **Sarion C.**, Dabija A., 2021, Effects of dry sourdough on bread-making quality and acrylamide content, Agronomy-Basel, vol. 11 (10), 1977, factor de impact 3,417, <https://www.mdpi.com/2073-4395/11/10/1977> – articol Q1 (în 2021)
3. **Sarion C.**, Dabija A., Oroian M., Negoită M., Codină G. G., 2020, Evaluation of acrylamide levels in cereal products from the Romanian market during the 2017 and 2018 period, EuroBiotech J., nr. 4, 127-133, <https://sciendo.com/pdf/10.2478/ebtj-2020-0014>

B. Articole publicate în reviste indexate în Baze de Date Internaționale (BDI)

1. **Sarion C.**, Dabija A., Codină G. G. 2020, Assessment of acrylamide content in some foodstuffs on the Romania market, Sci. Bull. Ser. F Biotechnol nr. 24, 62-68 http://biotechnologyjournal.usamv.ro/pdf/2020/issue_2/Art8.pdf (indexat INDEX COPERNICUS, CABI, DOAJ, etc.)
2. **Sarion C.**, Dabija A., Codină G. G. 2021, Effects of rosemary extract on bread quality and it acrylamide content, International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM, vol. 21, nr. 6.1, pagini 77-84 (indexat SCOPUS)

C. Lucrări comunicate la manifestări științifice internaționale

1. **Sarion C.**, Codină G.G., 2020. Evaluation of acrylamide levels in different foodstuffs during 2017-2019 period from the romania market, Conferința internațională „Student in Bucovina”, Suceava, România, 18 decembrie, 2020, **mențiune**
2. **Sarion C.**, Codină, G.G., 2021. Effect of calcium gluconate on acrylamide level and bread quality, The 16th International Conference of Constructive Design and Technological Optimization in Machine Building Field OPROTEH 2021, 25-27 Mai, Bacău, Romania.
3. **Sarion C.**, Dabija A., Codină G. G. 2021, Chemical characterization of wheat-germinated legumes composite flours, XXlth International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying, Geology and Mining, Ecology and Management – SGEM 2021, 16-22 august, Albena, Bulgaria.

4. **Sarion C.**, Dabija A., Codină G.G., 2021, The effect of asparaginase on bread making and acrylamide content in bread, The International Conference “Biotechnologies, Present and Perspectives” ediția a 8-a, 5 noiembrie, 2021, Suceava, România
5. **Sarion C.**, Dabija A., Codină G. G. 2020, Assessment of acrylamide content in some foodstuffs on the Romania market, The International conference Agriculture for Life, Life for Agriculture, 4-6 iunie, 2020, București, Romania