



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



TEZĂ DE DOCTORAT

REZUMAT

Conducător de doctorat,
Prof. univ. dr. ing. Georgiana Gabriela CODINĂ

Doctorand,
Ing. Denisa ATUDOREI

SUCEAVA
2023

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

**CERCETĂRI PRIVIND UTILIZAREA
FĂINURILOR DIN LEGUMINOASE
GERMINATE ÎN PANIFICAȚIE**

Conducător științific:

Prof. univ. dr. ing. Georgiana Gabriela CODINĂ

Doctorand:

Ing. Denisa ATUDOREI

**SUCEAVA
2023**

Mulțumiri

„Prin muncă grea, perseverență și credință în Dumnezeu îți poți trăi visul” (Benjamin Carson). În primul rând, doresc să îi mulțumesc lui ***Dumnezeu*** pentru toate reușitele mele. Se spune că tot ce e frumos începe cu Dumnezeu: o adiere de vânt, un fluture, o floare, susurul izvorului, cerul senin, răsăritul soarelui, un fulg de nea, un zâmbet cald... În tot și în toate este Dumnezeu, de aceea cu ajutorul lui visurile care sunt de folos pentru noi prind contur și în cele din urmă se realizează.

„Toate visele noastre pot deveni realitate dacă avem curajul de a le urma” (Walt Disney). Mulțumirile mele se îndreaptă în mod deosebit către doamna ***prof. univ. dr. ing. Georgiana-Gabriela Codină***, conducătorul științific al acestei teze de doctorat, pentru tot ajutorul, sprijinul, înțelegerea și îndrumarea pe care mi le-a oferit de-a lungul anilor de studii doctorale. Reușitele mele se datorează în principal doamnei prof. univ. dr. ing. Georgiana-Gabriela Codină care m-a încurajat și sprijinit întotdeauna. Sunt recunoscătoare pentru tot ceea ce am învățat de la dumneaei. Oriunde mă vor purta pașii în viață, îmi voi aminti mereu de dumneaei, cu recunoștință și un deosebit respect.

Totodată, doresc să mulțumesc membrilor comisiei de îndrumare: domnului ***prof. univ. dr. ing. Mircea-Adrian Oroian***, doamnei ***prof. univ. dr. ing. Dabija Adriana*** și doamnei ***prof. univ. dr. ing. Mironeasa Silvia***, pentru toate sugestiile și sfaturile acordate, care au avut o contribuție semnificativă în finalizarea cercetării doctorale. Toate sfaturile oferite de dumnealor m-au ajutat să îmi îmbunătățesc activitatea de cercetare și să îmi optimizez redactarea prezentei teze de doctorat.

Aduc mulțumiri distinșilor referenți ***prof. univ. dr. ing. Violeta Nour***, ***prof. univ. dr. ing. Gabriela Râpeanu*** și ***prof. univ. dr. ing. Adriana Dabija*** pentru onoarea de a face parte din comisia de susținere publică și de a recenza această teză.

Cu deosebită recunoștință îndrept mulțumiri către cadrele didactice ale Facultății de Inginerie Alimentară. De asemenea, mulțumesc colegilor de la școala doctorală, în mod special ***drd. ing. Ancuța Petraru***, ***dr. ing. Mădălina Ungureanu-Iuga***, ***dr. ing. Florin Ursachi***, ***dr. ing. Ionica Verniceanu***, ***drd. ing. Ancuța Chetrariu***.

Nu în ultimul rând, dedic această teză familiei. Le mulțumesc tuturor pentru toată susținerea și încurajarea oferite pe parcursul studiilor doctorale. „Familiiile sunt compasul care ne ghidează. Sunt inspirația pentru a atinge mari înălțimi și cele care ne consolează atunci când din când în când ne clătinăm” (Brad Henry).

Denisa ATUDOREI

CUPRINSUL TEZEI DE DOCTORAT

LISTĂ DE ABREVIERI

SCOPUL ȘI OBIECTIVELE TEZEI DE DOCTORAT

1. POSIBILITĂȚI DE UTILIZARE A LEGUMINOASELOR GERMINATE ÎN PRODUSE DE PANIFICAȚIE (STUDIU DOCUMENTAR)

- 1.1. Produsele de panificație - aspecte generale
 - 1.1.1. Importanța consumului de pâine în diferite părți ale lumii
 - 1.1.2. Valoare nutritivă a pâinii obținută din făină albă de grâu
 - 1.1.3. Motivarea necesității de a obține pâine albă din făină de grâu cu diferite adaosuri care să-i îmbunătățească valoarea nutritivă
- 1.2. Leguminoasele – generalități
 - 1.2.1. Compoziția leguminoaselor (fasole, linte, lupin, năut, soia)
 - 1.2.1.1. Fasolea
 - 1.2.1.2. Lintea
 - 1.2.1.3. Lupinul
 - 1.2.1.4. Năutul
 - 1.2.1.5. Soia
 - 1.3. Descrierea procesului de germinare
 - 1.3.1. Noțiuni generale
 - 1.3.2. Etapele procesului de germinare
 - 1.3.2.1. Absorbția apei de către semințe
 - 1.3.2.2. Apariția modificărilor în structura embrionului și reactivarea metabolismului propriu
 - 1.3.2.3. Dezvoltarea axei embrionare a seminței (aparitia radicelelor și a plumulei)
 - 1.3.3. Factori care influențează germinarea
 - 1.3.3.1. Umiditatea
 - 1.3.3.2. Temperatura
 - 1.3.3.3. Iluminarea
 - 1.3.4. Metode de îmbunătățire a procesului de germinare
 - 1.3.5. Aspecte pozitive ale procesului de germinare
 - 1.3.5.1. Influența germinării asupra profilului senzorial al semințelor
 - 1.3.5.2. Influența procesului de germinare asupra valorii nutritive a semințelor
 - 1.3.6. Produse alimentare în care au fost încorporate leguminoase germinate
 - 1.3.6.1. Utilizarea leguminoaselor germinate ca ingredient pentru obținerea pâinii
 - 1.4. Concluzii parțiale

2. MATERIALE ȘI METODE UTILIZATE ÎN EXPERIMENTĂRI

- 2.1. Materiale
- 2.2. Metode
 - 2.2.1. Germinarea boabelor de leguminoase
 - 2.2.2. Determinări specifice boabelor supuse germinării
 - 2.2.3. Analiza boabelor de leguminoase pe parcursul germinării
 - 2.2.4. Liofilizarea boabelor de leguminoase
 - 2.2.5. Analiza SEM a microstructurii boabelor de leguminoase
 - 2.2.6. Analiza compoziției chimice a boabelor de leguminoase
 - 2.2.7. Analiza FT-IR a boabelor de leguminoase în timpul procesului de germinare

- 2.2.8. Determinarea conținutului de aminoacizi
- 2.2.9. Măcinarea boabelor de leguminoase
- 2.2.10. Obținerea probelor de aluat/de pâine
- 2.2.11. Determinări specifice probelor de aluat
 - 2.2.11.1. Proprietățile reologice de frământare și de întindere ale aluatului
 - 2.2.11.2. Proprietățile reologice ale aluatului în timpul fermentării și valorile indicelui de cădere
 - 2.2.11.3. Proprietățile reologice fundamentale ale probelor de aluat
 - 2.2.11.4. Microstructura probelor de aluat
- 2.2.12. Determinări specifice probelor de pâine
 - 2.2.12.1. Caracteristicile fizice ale probelor de pâine
 - 2.2.12.2. Parametrii de culoare a pâinii
 - 2.2.12.3. Analiza profilului de textură a pâinii
 - 2.2.12.4. Structura miezului de pâine
 - 2.2.12.5. Analiza senzorială
- 2.3. Prelucrarea statistică a datelor

3. OBTINEREA ȘI CARACTERIZAREA FIZICO-CHIMICĂ A FĂINURILOR DE LEGUMINOASE GERMINATE

- 3.1. Introducere
- 3.2. Caracteristicile fizico-chimice ale leguminoaselor negerminate
- 3.3. Modificări fizice și fiziologice în timpul germinării
 - 3.3.1. Modificări fizice și fiziologice ale boabelor de linte, în timpul germinării
 - 3.3.2. Modificări fizice și fiziologice ale boabelor de fasole, în timpul germinării
 - 3.3.3. Modificări fizice și fiziologice ale boabelor de lupin, în timpul germinării
 - 3.3.4. Modificări fizice și fiziologice ale boabelor de năut, în timpul germinării
 - 3.3.5. Modificări fizice și fiziologice ale boabelor de soia, în timpul germinării
- 3.4. Variația conținutului de substanțe minerale a leguminoaselor pe durata a patru zile de germinare
- 3.5. Modificările microstructurale a leguminoaselor pe durata a 4 zile de germinare utilizând microscopul electronic cu scanare (SEM)
- 3.6. Variația compoziției chimice a leguminoaselor pe durata a 4 zile de germinare
- 3.7. Variația spectrelor FT-IR a leguminoaselor pe durata a 4 zile de germinare
- 3.8. Analiza în componente principale dintre probele de leguminoase și caracteristicile lor chimice pe durata a 4 zile de germinare
- 3.9. Variația conținutului de aminoacizi a leguminoaselor pe durata a patru zile de germinare
 - 3.9.1. Variația conținutului de aminoacizi esențiali a leguminoaselor pe durata a patru zile de germinare
 - 3.9.2. Variația conținutului de aminoacizi neesențiali a leguminoaselor pe durata a patru zile de germinare
- 3.10. Concluzii parțiale

4. EFECTUL ADAOSULUI DE FĂINĂ DE FASOLE GERMINATĂ ASUPRA PROPRIETĂȚILOR REOLOGICE ALE ALUATULUI ȘI CALITĂȚII PĂINII

- 4.1. Introducere
- 4.2. Caracteristicile făinii de fasole germinată și ale făinii de grâu utilizate în experimentări

- 4.3. Influența adaosului de făină de fasole germinată asupra proprietăților reologice ale aluatului
 - 4.3.1. Influența adaosului de făină de fasole germinată asupra proprietăților reologice de frământare și de întindere ale aluatului
 - 4.3.2. Influența adaosului de făină de fasole germinată asupra proprietăților reologice ale aluatului în timpul fermentării și valorii indicelui de cădere
 - 4.3.3. Influența adaosului de făină de fasole germinată asupra proprietăților reologice fundamentale ale aluatului
 - 4.3.4. Influența adaosului de făină de fasole germinată asupra microstructurii aluatului
- 4.4. Evaluarea caracteristicilor de calitate a probelor de pâine
 - 4.4.1. Caracteristicile fizice ale probelor de pâine
 - 4.4.2. Parametrii de culoare ai probelor de pâine
 - 4.4.3. Analiza profilului de textură a probelor de pâine
 - 4.4.4. Structura miezului probelor de pâine
 - 4.4.5. Analiza senzorială a probelor de pâine
 - 4.4.6. Efectul adaosului de făină de fasole germinată asupra valorii nutritive și energetice a probelor de pâine
- 4.5. Concluzii parțiale
- 5. EFECTUL ADAOSULUI DE FĂINĂ DE LUPIN GERMINAT ASUPRA PROPRIETĂȚILOR REOLOGICE ALE ALUATULUI ȘI CALITĂȚII PÂINII**
 - 5.1. Introducere
 - 5.2. Caracteristicile făinii de lupin germinat și ale făinii de grâu utilizate în experimentări
 - 5.3. Proprietățile reologice ale aluatului
 - 5.3.1. Proprietățile reologice de frământare și de întindere ale aluatului
 - 5.3.2. Proprietățile reologice ale aluatului în timpul procesului de fermentare și valorile indicelui de cădere
 - 5.3.3. Proprietățile reologice fundamentale ale aluatului
 - 5.3.4. Microstructura probelor de aluat
 - 5.4. Evaluarea calității probelor de pâine
 - 5.4.1. Caracteristicile fizice ale probelor de pâine
 - 5.4.2. Parametrii de culoare ai probelor de pâine cu adaos de făină de lupin germinat
 - 5.4.3. Analiza profilului de textură a probelor de pâine cu adaos de făină de lupin germinat
 - 5.4.4. Structura miezului probelor de pâine cu adaos de făină de lupin germinat
 - 5.4.5. Analiza senzorială a probelor de pâine cu adaos de făină de lupin germinat
 - 5.4.6. Efectul adaosului de făină de lupin germinat asupra valorii nutritive și energetice a probelor de pâine
 - 5.5. Concluzii parțiale
- 6. EFECTUL ADAOSULUI DE FĂINĂ DE NĂUT GERMINAT ASUPRA PROPRIETĂȚILOR REOLOGICE ALE ALUATULUI ȘI CALITĂȚII PÂINII**
 - 6.1. Introducere
 - 6.2. Caracteristicile făinii de năut germinat și ale făinii de grâu utilizată în studiul experimental
 - 6.3. Proprietățile reologice ale aluatului

- 6.3.1. Proprietățile reologice de frământare și de întindere ale aluatului
- 6.3.2. Proprietățile reologice ale aluatului în timpul fermentării și valorile indicelui de cădere
- 6.3.3. Proprietățile reologice fundamentale ale probelor de aluat cu adaos de făină de năut germinat
- 6.3.4. Microstructura probelor de aluat cu adaos de GCF
 - 6.4. Evaluarea calității probelor de pâine cu adaos de făină de năut germinat
 - 6.4.1. Caracteristicile fizice ale probelor de pâine cu adaos de făină de năut germinat
 - 6.4.2. Analiza caracteristicilor de culoare a probelor de pâine cu adaos de făină de năut germinat
 - 6.4.3. Analiza profilului de textură a probelor de pâine cu adaos de făină de năut germinat
 - 6.4.4. Structura miezului probelor de pâine cu adaos de făină de năut germinat
 - 6.4.5. Analiza senzorială a probelor de pâine cu adaos de făină de năut germinat
 - 6.4.6. Efectul adaosului de făină de năut germinat asupra valorii nutritive și energetice a probelor de pâine
- 6.5. Concluzii parțiale
- 7. EFECTUL ADAOSULUI DE FĂINĂ DE LINTE GERMINATĂ ASUPRA PROPRIETĂȚILOR REOLOGICE ALE ALUATULUI ȘI CALITĂȚII PÂINII**
 - 7.1. Introducere
 - 7.2. Caracteristicile făinii de linte germinată și ale făinii de grâu utilizate în studiul experimental
 - 7.3. Proprietățile reologice ale aluatului cu adaos de făină de linte germinată
 - 7.3.1. Proprietățile reologice fundamentale ale probelor de aluat cu adaos de făină de linte germinată
 - 7.3.2. Microstructura aluatului
 - 7.4. Evaluarea calității pâinii
 - 7.4.1. Caracteristicile fizice ale pâinii
 - 7.4.2. Analiza caracteristicilor de culoare a probelor de pâine cu adaos de făină de linte germinată
 - 7.4.3. Analiza profilului de textură a probelor de pâine cu adaos de făină de linte germinată
 - 7.4.4. Structura probelor de pâine
 - 7.4.5. Analiza senzorială a probelor de pâine cu adaos de făină de linte germinată
 - 7.4.6. Efectul adaosului de făină de linte germinată asupra valorii nutritive și energetice a probelor de pâine
 - 7.5. Concluzii generale
- 8. EFECTUL ADAOSULUI DE FĂINĂ DE SOIA GERMINATĂ ASUPRA PROPRIETĂȚILOR REOLOGICE ALE ALUATULUI ȘI CALITĂȚII PÂINII**
 - 8.1. Introducere
 - 8.2. Caracteristicile făinii de soia germinate și ale făinii de grâu utilizate în experimentări
 - 8.3. Proprietățile reologice ale aluatului
 - 8.3.1. Proprietățile reologice fundamentale ale probelor de aluat cu adaos de făină de soia germinată

- 8.3.2. Microstructura aluatului
- 8.4. Evaluarea calității pâinii
- 8.4.1. Caracteristicile fizice ale pâinii
- 8.4.2. Analiza caracteristicilor de culoare a probelor de pâine cu adaos de făină de soia germinată
- 8.4.3. Analiza profilului de textură a probelor de pâine cu adaos de făină de soia germinată
- 8.4.4. Structura probelor de pâine
- 8.4.5. Analiza senzorială a probelor de pâine cu adaos de făină de soia germinată
- 8.4.6. Efectul adaosului de făină de soia germinată asupra valorii nutritive și energetice a probelor de pâine
- 8.5. Concluzii parțiale

9. EFECTUL ADAOSULUI UNUI MIX DE FĂINĂ DE SOIA GERMINATĂ ȘI FĂINĂ DE LINTE GERMINATĂ ASUPRA PROPRIETĂȚILOR REOLOGICE ALE ALUATULUI

- 9.1. Introducere
- 9.2. Analiza statistică a datelor
- 9.3. Efectul adaosului de SGF și LGF asupra parametrului indicele de cădere și asupra proprietăților reologice ale aluatului
- 9.4. Optimizarea nivelurilor adaosului de SGF și LGF în făina de grâu
- 9.4.1. Verificarea diagnostică a modelelor
- 9.4.2. Efectele adaosului de SGF și LGF asupra valorilor parametrului indicele de cădere și ale proprietăților reologice de frământare și de întindere ale aluatului
- 9.4.3. Efectele adaosului de SGF și LGF asupra proprietăților reologice fundamentale (dinamice) și din timpul fermentării ale aluatului
- 9.4.4. Studiu comparativ dintre valorile obținute pentru proprietățile reologice ale aluatului la nivelul optim al variabilor independente (SGF și LGF) și proba martor
- 9.4.5. Microstructura aluatului probei optime și a probei martor
- 9.5. Concluzii parțiale

10. EFECTUL ADAOSULUI UNUI MIX DE FĂINĂ DE NĂUT GERMINAT ȘI FĂINĂ DE LUPIN GERMINAT ASUPRA PROPRIETĂȚILOR REOLOGICE ALE ALUATULUI

- 10.1. Introducere
- 10.2. Analiza statistică a datelor
- 10.3. Influența adaosului de CGF și de LGF asupra valorii indicelui de cădere
- 10.4. Influența adaosului de CGF și de LGF asupra proprietăților reologice de frământare și de întindere ale aluatului
- 10.5. Influența adaosului de CGF și LGF asupra proprietăților reologice ale aluatului în timpul fermentării
- 10.6. Influența adaosului de CGF și LGF asupra proprietăților reologice fundamentale ale aluatului
- 10.7. Studiu comparativ dintre valorile obținute pentru proprietățile reologice ale aluatului la nivelul optim al variabilor independente (CGF și LGF) și proba martor
- 10.8. Corelația dintre variabilele analizate
- 10.9. Analiza componentelor principale (PCA)

10.10. Microstructura aluatului probei optime și a celei martor

10.11. Concluzii parțiale

**11. CONCLUZII GENERALE. CONTRIBUȚII ORIGINALE ȘI
PERSPECTIVE**

12. DISEMINAREA REZULTATELOR CERCETĂRILOR

13. ANEXE

Bibliografie

LISTĂ DE ABREVIERI

<i>a</i> *	intensitatea nuanței de verde (-) sau de roșu (+);
ANOVA	analiza de varianță;
<i>b</i> *	intensitatea nuanței de albastru (-) sau de galben (+);
CA	cenușă brută;
CG	năut germinat;
CN	năut negerminat;
CO	conținutul de grăsime;
CP	conținutul de proteină totală;
CR	coeficientul de retenție a gazelor în aluat, (%);
DM	substanță uscată;
FAO	Organizația Națiunilor Unite pentru Alimentație și Agricultură;
FN	indicele Falling number, (s);
FT - IR	spectroscopie în infraroșu cu transformată Fourier;
G	indicele de umflare a aluatului, (mm) obținut la alveograf;
G'	modul de elasticitate, (Pa);
G''	modul de vâscozitate, (Pa);
GU	conținut de gluten umed, (%);
GBF	făină de fasole germinată;
GCF	făină de năut germinat;
GLF	făină de lupin germinat;
GSF	făină de soia germinată;
H'm	înălțimea maximă a curbei formării și reținerii gazelor de fermentare, (mm);
J _{cmax}	compliance maximă la fluaj, (Pa ⁻¹);
J _{rmax}	compliance maximă la revenire, (Pa ⁻¹);
L	extensibilitatea aluatului, (mm) obținută la alveograf;
L*	luminozitate;
LGF	făină de linte germinată;
LN	lințe negerminate;
LpG	lupin germinat;
LpN	lupin negerminat;
NG	fasole negerminată;
NRS	amidon non-rezistent;
P/L	raport de configurare (de formă) al curbei alveografice;
PCA	analiza componentelor principale;
RS	amidon rezistent;
RSM	metodologia suprafeței de răspuns;
SEM	microscopie electronică de scanare;
SN	soia negerminată;
SG	soia germinată;
TAA	conținut total de aminoacizi;
TC	conținut total de carbohidrați;
TEAA	conținut total de aminoacizi esențiali;
TDF	conținut total de fibre;
TG	timpul de germinare;

tg δ	unghiul de fază;
Tmax	temperatura maximă de gelatinizare, (°C);
TS	conținutul total de amidon;
TSAA	conținut total de aminoacizi care conțin sulf;
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, (%);
WF	făină de grâu.

SCOPUL ȘI OBIECTIVELE TEZEI DE DOCTORAT

Scopul tezei de doctorat constă în evaluarea posibilității de a utiliza făina de leguminoase germinate (fasole, năut, lupin, linte și soia) ca adaos, în diferite procente, în făina albă de grâu cu scopul de a îmbunătăți calitatea produselor de panificație.

Îndeplinirea scopului propus prin cercetările realizate a vizat următoarele **obiective**:

O₁: Elaborarea unui studiu detaliat al literaturii de specialitate, ce urmărește stadiul actual al cercetărilor din domeniu privind posibilitatea de utilizare a făinii de leguminoase germinate, ca adaos în produsele de panificație. Acest studiu evidențiază compoziția chimică și valoarea nutritivă a leguminoaselor utilizate și descrie procesul de germinare și posibilitățile de utilizare a făinurilor de leguminoase germinate ca adaos în diferite produse alimentare, cu scopul de a le îmbunătăți din punct de vedere calitativ.

O₂: Evidențierea impactului pozitiv al procesului de germinare asupra valorii nutritive a leguminoaselor vizate (modificări fizico-chimice, variația cantității de substanțe minerale, aminoacizi, modificări fiziologice și microstructurale ale leguminoaselor).

O₃: Relevarea influenței adaosului de făină de leguminoase germinate asupra proprietăților reologice ale aluatului din făină albă de grâu (variația valorii indicelui de cădere, variația proprietăților reologice de frământare și de întindere ale aluatului, variația capacității făinii de a forma și de a reține gazele de fermentare și a dezvoltării aluatului, variația proprietăților reologice fundamentale), schimbări în microstructura aluatului.

O₄: Reliefaarea modului în care calitatea pâinii obținută din făină albă de grâu este influențată de suplimentarea cu făină de leguminoase germinate, în diferite proporții (variația volumului specific, a porozității, a elasticității, a structurii miezului, a proprietăților senzoriale și a valorii nutritive și energetice a pâinii).

O₅: Stabilirea mixului optim dintre diferite leguminoase germinate, care poate fi folosit ca adaos în rețeta de fabricație a pâinii, astfel încât să se obțină produse de calitate superioară.

Cuvinte cheie:

- făină albă de grâu;
- fasole;
- linte;
- lupin;
- năut;
- soia;
- făină de leguminoase germinate;
- proprietățile reologice ale aluatului;
- calitatea pâinii;
- optimizare mix.

Prezenta teză de doctorat, intitulată „Cercetări privind utilizarea făinurilor din leguminoase germinate în panificație” conține 240 de pagini, din care studiul documentar este cuprins în 37 de

pagini, iar partea experimentală este detaliată în 158 pagini. Prezenta teză are în componență 54 de figuri și 66 de tabele. Pentru redactarea prezentei teze s-au folosit 525 de surse bibliografice.

Capitolul 1, intitulat „Posibilități de utilizare a leguminoaselor germinate în produse de panificație (studiu documentar)”, cuprinde evidențierea stadiul actual al cunoașterii în domeniu privind rolul pozitiv al utilizării leguminoaselor germinate cu scopul de a îmbunătăți din punct de vedere calitativ produsele de panificație.

Produsele de panificație dețin un loc aparte în meniul zilnic al consumatorilor. Astăzi, produsele de panificație se găsesc într-o mare varietate de forme, variind în ceea ce privește materiile prime, forma sub care sunt comercializate, categoria din care fac parte, etc. Toate aceste produse conțin făină de grâu, ca materie primă de bază, aceasta conferindu-le o anumită structură și volum (Lai și Lin, 2006). Pâinea este un produs alimentar care astăzi se găsește comercializată sub diverse forme și este obținută din următoarele materii prime: făină de grâu, apă, sare, drojdie de panificație. Cu toate că nu este un produs alimentar sofisticat, ea se găsește în rândul preferințelor consumatorilor de toate categoriile și din toate colțurile lumii (Danza și colab., 2014). Datorită faptului că este un aliment de bază, de-a lungul timpului s-a încercat în repetate rânduri îmbunătățirea calității ei prin diverse metode, cum ar fi modificarea parametrilor tehnologici sau a rețetei de fabricație.

Pentru obținerea pâinii, făina de grâu rămâne materia primă de bază. Ea se obține din măcinarea grâului și poate avea diferite grade de extracție (Chaple și colab., 2020). Făina de grâu se caracterizează prin: miros plăcut, gust puțin dulceag, fiind de culoare alb-gălbuie dacă este rafinată (Pop G., 2005). În făina de grâu, 85% din substanța uscată a acesteia este reprezentată de amidon, care este principalul component al produselor obținute din acesta, amidonul fiind și principala sursă de glucide cu indice glicemic ridicat din dieta zilnică a populației (Ma și colab., 2021). Pe lângă amidon, componentul în cantitatea cea mai mare din făina de grâu, aceasta mai conține și alte componente precum proteine (din care gluten aproximativ 85%), fibre, lipide, etc., aceștia influențând într-o măsură mai mare sau mai mică proprietățile tehnologice și calitatea produsului finit. Făină de grâu se caracterizează printr-o gamă largă de compuși cu o importantă valoare nutrițională: vitamine (grupul B, PP, E), substanțe minerale (P, K, Mg), fiind o sursă importantă de energie și având o valoare energetică mare.

Compoziția chimică a făinii de grâu depinde de gradul de extracție al acesteia. Principalele componente din compoziția făinii de grâu sunt: proteine, glucide, lipide, vitamine, săruri minerale, pigmenți. Făina de grâu tip 650 este cea mai des utilizată pentru obținerea pâinii. Consumul de pâine albă prezintă totuși și unele inconveniente deoarece cu cât gradul de extracție este mai mic (acest lucru se întâmplă în cazul pâinii obținute din făină albă de grâu), cu atât valoarea nutritivă a acesteia este mai redusă și, de aceea, cercetătorii încearcă să găsească alternative pentru a îmbunătăți valoarea nutritivă a pâinii, prin adăos de alte ingrediente (Ibidapo și colab., 2020). Consumul unei pâini obținute din făină cu un grad de extracție mic prezintă unele dezavantaje nutriționale, precum un conținut redus de vitamine, minerale, fibre, aminoacizi esențiali, etc. De aceea, specialiștii recomandă consumul de pâine cu adăos de diferite ingrediente care să suplinească aceste neajunsuri (Banu C., 1998).

În ultima vreme, în literatura de specialitate se observă o tendință crescândă de a încorpora diverse alte ingrediente în rețeta de obținere a pâinii pentru a îmbunătăți proprietățile reologice ale aluatului, caracteristicile senzoriale ale pâinii, pentru a mări durata de valabilitate și/sau a crește valoarea sa nutritivă. Dorința de a îmbunătăți valoarea nutritivă a pâinii a apărut din mai multe motive. În primul rând, pâinea albă, obținută din făină de grâu cu o extracție mică (50-60%), se

caracterizează printr-un conținut mai redus de substanțe nutritive decât pâinea neagră, obținută dintr-o făină integrală, sau dintr-o făină cu un grad de extracție mare (Gostin, 2019).

Leguminoasele ocupă un loc deosebit de important în alimentație datorită valorii nutritive a acestora. Acestea sunt o sursă importantă de proteine în diferite diete. De asemenea, conțin o cantitate însemnată de fibre alimentare și carbohidrați complecși, cu indice glicemic scăzut, ceea ce este de dorit și se evidențiază prin conținutul de substanțe bioactive (taninuri, acid fenolic, flavonoide) și prin prezența mineralelor esențiale și a vitaminelor (Kumar și Pandey, 2020).

Germinarea semințelor este definită ca un proces fiziologic complex care începe cu absorbția apei de către semințele uscate aflate în repaus și se termină cu apariția organelor vegetative ale noii plantei. Faza latentă a semințelor este etapa în care, în condiții de umiditate scăzută, desfășurarea procesului de germinare este oprit (Tuan și colab., 2019).

Germinarea semințelor este definită ca fiind prima etapă din vastul proces de dezvoltare a unei noi plante. Din punct de vedere fiziologic, procesul de germinare poate fi descris ca o interacțiune între învelișul protector al semințelor și forța de împingere asupra acestuia de către embrionul semințelor în curs de dezvoltare (Nonogaki și Nonogaki, 2017; Steinbrecher și Leubner-Metzger, 2017). Germinarea include trei etape. Prima constă în absorbția apei de către semințele uscate și începerea biosintezei ARNm a semințelor. A doua etapă se caracterizează prin alungirea coleoptilă a seminței. Aceasta este cea mai importantă fază, deoarece aici toate procesele metabolice și fiziologice ale semințelor sunt inițiate. Succesul acestei etape este influențat de condițiile germinative externe, dar și de fitohormonii semințelor. A treia etapă constă în absorbția continuă a apei și apariția radicelelor datorită dezvoltării axei embrionului semințelor (Li și colab., 2020).

Procesul de germinare prezintă o serie de avantaje legate de faptul că îmbunătățește valoarea nutritivă a semințelor și conținutul său în substanțe bioactive. Diferite studii au arătat că procesul de germinare, dacă este efectuat corect, poate crește gradul de asimilare a substanțelor nutritive, cum ar fi: aminoacizi, minerale, vitamine etc. (Xu și colab., 2017; El-Suhaibani și colab., 2020; Ma și colab., 2020) și, în același timp, reduce compușii antinutriționali din semințe (Sangronis și Machado, 2007; Sokrab, Mohamed-Ahmed și Babiker, 2012; Singh și Sharma, 2017; Ma, Boye și Hu, 2018). Datele obținute din literatura internațională subliniază faptul că procesul de germinare crește cantitatea de compuși fenolici, compuși chimici cu acțiune antioxidantă. În același timp, procesul de germinare activează enzimele hidrolitice din semințe, ceea ce favorizează utilizarea biologică a unor componente precum amidonul și proteinele (Han și colab., 2016; Ma și colab., 2020a). Unele studii subliniază faptul că procesul de germinare crește conținutul de flavonoide (Aisyah și colab., 2016; Abdel-Aty și colab., 2019; Ujiroghene și colab., 2019). Studiile din domeniu indică, de asemenea, că procesul de germinare conduce la scăderea cantității unor factori antinutrițivi, ceea ce conduce la creșterea gradului de utilizare a componentelor din semințele supuse procesului de germinare (Gong și colab., 2018; Cornejo și colab., 2019).

Numeroase studii au evidențiat faptul că germinarea are efecte pozitive asupra profilului nutrițional al semințelor supuse acestui proces. Astfel, se poate concluziona că germinarea este un procedeu ieftin și eficient pentru a îmbunătăți valoarea nutritivă a boabelor supuse acestui proces, conducând la creșterea capacității antioxidante, la mărirea gradului de asimilare a proteinelor, la creșterea cantității de vitamină C și E și la reducerea factorilor antinutrițivi (Aguilera și colab., 2015). Kaczmarska și colab. (2018) au evidențiat faptul că procesul de germinare influențează aroma boabelor, iar ca și exemple în acest sens pot fi enumerate cele de lupin și de soia. Astfel, acești autori au evidențiat faptul că în urma germinării crește cantitatea de compuși organici

volatili, ceea ce conduce la o intensificare a aromei semințelor. În același timp, se intensifică și dulceața acestora.

Datorită beneficiilor pentru sănătate ale leguminoaselor germinate, diferite studii au evidențiat faptul că acestea pot fi încorporate în diverse rețete de obținere a produselor alimentare, cum ar fi: biscuiți (Polat și colab., 2020), băuturi (Chavan, 2018), piureuri pentru copii (Jiménez și colab., 2020), briose (Kaur, Kaur și Bhise, 2020) și iaurt (Park și Oh, 2007; Cáceres și colab., 2019). Datorită faptului că pâinea este unul dintre principalele produse alimentare din dieta zilnică a populației, s-a încercat îmbunătățirea calității acesteia cu făină obținută din leguminoase germinate. Adăugarea leguminoaselor germinate în rețeta de obținere a pâinii a condus la modificarea proprietăților reologice ale aluatului, dar și a celor fizico-chimice și senzoriale ale probelor de pâine obținute.

Adaosul de făină din leguminoase germinate este recomandat a fi utilizat în rețetele de obținere a pâinii pentru a îmbunătăți valoarea nutritivă a acesteia (Ertaş și Bilgiçli, 2014). Acest adaos are, de asemenea, influență asupra proprietăților reologice ale aluatului, dar și asupra caracteristicilor de calitate ale pâinii (Boukid și colab., 2019). În general, studiile au arătat o influență pozitivă a adaosului de făină din leguminoase germinate asupra caracteristicilor reologice ale aluatului. De exemplu, adaosul de făină din leguminoase germinate crește capacitatea de hidratare a făinii de grâu (Patrascu și colab., 2018). Cu toate acestea, există și unele tipuri de făină din leguminoase germinate a căror încorporare în rețeta de obținere a pâinii a condus la scăderea valorii capacității de hidratare. Prin urmare, pentru utilizarea unui tip de făină de leguminoase germinate ca adaos în rețeta de obținere a pâinii, este important să se monitorizeze influența acesteia asupra acestei caracteristici, deoarece valoarea capacității de hidratare influențează într-un mod semnificativ comportamentul aluatului în timpul procesului tehnologic de obținere a pâinii.

Capitolul 2, intitulat „Materiale și metode utilizate în experimentări” prezintă materialele folosite pentru obținerea probelor de pâine (făină albă de grâu și făină de leguminoase germinate). De asemenea, în acest capitol sunt prezentate metodele utilizate pentru desfășurarea studiului experimental. În prima parte sunt descrise procedeele de obținere a făinurilor de leguminoase germinate (germinarea boabelor, liofilizarea boabelor, măcinarea boabelor).

Pentru germinarea boabelor, acestea au fost mai întâi înmuiate în apă potabilă, la o temperatură de 20°C, timp de 6 ore (pentru boabele mai mici: linte, soia) sau 12 ore (pentru boabele mai mari: fasole, lupin, năut). Pentru germinare s-a utilizat o cameră de germinare tip Binder KBW/KBWF. Germinarea boabelor s-a făcut utilizând hârtie de filtru, la o umiditate constantă de 80%, în condiții de întuneric, la temperatura de 25 °C. Perioada maximă de germinare a fost de 9 zile pentru soia, fasole și năut și de 10 zile pentru lupin și linte, conform cu condițiile specificate în standardul ISTA (2006). Pentru optimizarea procesului de germinare, în prealabil s-au făcut determinări specifice pentru boabele de leguminoase: masă hectolitrică, conținut de umiditate, viabilitatea boabelor, capacitatea de germinare a leguminoaselor, conținutul de proteine. Pe parcursul procesului de germinare, s-au evidențiat modificările fizice și fiziologice ale boabelor de leguminoase, cu ajutorul șublerului (pentru a măsura dezvoltarea viitoarei plante) și cu ajutorul stereomicroscopului (pentru a evidenția modificările structurale ale leguminoaselor).

La finalul etapei de germinare, acest proces a fost oprit. Pentru aceasta s-a folosit procedeul de liofilizare. S-a optat pentru procesul de liofilizare deoarece, conform studiilor de specialitate, acesta are influența cea mai mică asupra profilului nutritiv al boabelor germinate, comparativ cu alte procedee de reducere a umidității (Waghmare și colab., 2021). Pentru liofilizare s-a utilizat un

liofilizator de tip Biobase. Procesul de liofilizare a fost făcut la temperatura de $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$, timp de 72 ore, la o presiune de 4,2 Pa.

După germinare și liofilizare, leguminoasele au fost analizate, cu scopul de a evalua modificările apărute din punct de vedere nutrițional. Studiarea microstructurii boabelor negerminate și germinate s-a făcut utilizând un microscop cu scanare electronică (SEM, Vega II LMU-Tescan, Brno-Kohoutovice, Czech Republic), care a fost echipat cu un detector SE, care lucrează doar în mediu de vacuum ridicat și cu un detector BSE, un detector de scintilație, care lucrează atât în mediul de vacuum ridicat, cât și scăzut. Proteinele, lipidele, cenușa și umiditatea au fost determinate ținând cont de metodele AACC aprobate pe plan internațional (46-12.01, 30-25.01, 08-01.01 și 44-15.02). pH-ul probelor a fost măsurat folosind un pH-metrul portabil HQ30d (HACK, Germany), folosind o suspensie preparată din 10 g de făină de leguminoase și 40 mL de apă fiartă, deionizată, ținând cont de procedura standard AOAC (AOAC, 02-52.01). Valoarea acidității totale a fost determinată în concordanță cu metoda standard SR 90:2007. Conținutul de carbohidrați a fost calculat folosind formula: carbohidrați, % = $100 - (\text{proteine, \%} + \text{lipide, \%} + \text{cenușă, \%} + \text{umiditate, \%})$ conținut de leguminoase (Ertas și Aslan, 2020). Conținutul de sodiu, magneziu, fier și zinc al probelor de leguminoase a fost determinat utilizând spectrometria de absorbție atomică în flacără (FAAS, AA-6300 Shimadzu, Kyoto, Japan), folosind flacăra aer-acetilenă. De asemenea, s-au folosit lămpi cu catod gol de Na, Mg, Fe și Zn. Cu scopul de a evidenția schimbările survenite în compoziția boabelor supuse procesului de germinare, s-a folosit și analiza FT-IR. Aceasta a permis realizarea unor corelații între spectrele obținute și caracteristicile fizico-chimice ale probelor obținute anterior. Pentru a obține spectrele aferente probelor de leguminoase, s-a folosit un spectrometrul FT-IR (Thermo Scientific, Karlsruhe, Dieselstraße, Germany), care era dotat cu opțiunea ATR IX, care a permis obținerea de date cu o acuratețe mare, utilizând un detector de 4 cm^{-1} . Determinarea aminoacizilor din probele de leguminoase s-a realizat utilizând kitul EZ:Faast (Phenomenex, Germany) și a constat într-o fază de extracție a fazei solide, urmată de derivatizare și de extracția lichid/lichid.

Pentru a transforma leguminoasele germinate în făinuri, acestea au fost măcinate. Pentru măcinare, s-a folosit o moară de laborator 3100 (Instrumente Perten, Hägersten, Suedia). Probele de aluat/de pâine au fost pregătite urmând următorii pași: dozarea ingredientelor (făină albă de grâu, făinuri de leguminoase germinate, sare, drojdie, apă), frământarea acestora timp de 15 minute folosind un mixer specializat (Kitchen Aid, Whirlpool Corporation, Benton Harbor, MI, USA), divizarea aluatului în trei bucăți de 400 g fiecare, modelarea probelor de aluat, dospirea acestora timp de 60 minute, la temperatura de 30°C , într-o cameră specifică pentru dospire (PL2008, Piron, Italia) și coacerea probelor de pâine, timp de 30 de minute, la temperatura de 220°C , într-un cuptor electric cu convecție, echipat cu sistem pentru producerea aburului, ventilație și umidifiere (PF8004 D, Piron, Italia). Ingredientele folosite și procentul fiecăruia au fost: făină albă de grâu tip 650, făină de leguminoase germinate (în proporții variabile, în funcție de tipul de leguminoasă), drojdie comprimată tip *Saccharomyces cerevisiae* (3%), clorură de sodiu (1.5%) și apă distilată, conform cu capacitatea de hidratare a făinii. Proba martor a fost pregătită fără adaos de făină de leguminoase germinate. Celelalte probe au fost pregătite înlocuind făina albă de grâu cu diferite procente de făină de leguminoase germinate (fasole, năut, lupin, linte, soia).

După obținerea probelor de aluat (proba martor și cele cu diferite doze ale adaosului de făină de leguminoase germinate), s-au realizat determinări specifice, cu scopul de a evidenția proprietățile reologice ale probelor de aluat. Pentru a analiza proprietățile aluatului în timpul frământării (test consistografic) și al întinderii (test alveografic) s-a folosit un Alveo Consistograf (Chopin Technologies, Cedex, Franța). Testul consistografic a fost făcut în conformitate cu

procedurile prevăzute de ICC 171 și AACC 54-50. Caracteristicile aluatului în timpul fermentării au fost determinate cu ajutorul aparatului Reofermentometru (Chopin Rheo, type F3, Villeneuve-La-GarenneCedex, Franța), în conformitate cu specificațiile prevăzute de AACC89-01.01. Valorile indicelui de cădere au fost determinate folosind aparatul Falling Number (FN 1305, Perten Instruments AB Stockholm, Suedia), ținând cont de indicațiile prevăzute în ICC 107/1. Pentru a determina proprietățile reologice fundamentale ale probei martor și ale probelor cu adaos în diferite doze de făină de leguminoase germinate s-a folosit un reometru HAAKE MARS 40 (Termo-HAAKE, Karlsruhe, Germania), echipat cu un sistem de plăci cu un diametru de 40 mm. Microstructura probelor de aluat a fost analizată folosind microscopia de epifluorescentă (EFLM). Pentru aceasta, probele de aluat au fost analizate la temperatura camerei, cu ajutorul microscopului Motic AE 31 (Motic, Optic Industrial Group, Xiamen, PR China), care era echipat cu obiective catadioptrice (LWD PH 203, N.A. 0.4).

Pentru a evidenția influența adaosului de făină de leguminoase germinate asupra caracteristicilor de calitate ale pâinii, s-au realizat determinări specifice. Volumul specific (metoda dislocuirii cu semințe de rapiță), porozitatea și elasticitatea au fost determinate ținând cont de metoda standard SR 90: 2007. Culoarea cojii și a miezului probelor de pâine au fost analizate folosind colorimetrul Konica Minolta CR-400 (Tokio, Japonia). S-a determinat: valoarea parametrilor L^* (întunecime/luminozitate), a^* (tonul de roșu/verde) și b^* (tonul de albastru/galben). Determinările s-au bazat pe sistemul CIE Lab*. Domeniul în care s-a realizat absorbția radiațiilor electromagnetice a fost cel UV-VIS. Caracteristicile texturale ale probelor de pâine s-au determinat utilizând un texturometru TVT-6700 (Perten Instruments, Hägersten, Suedia). Pentru a evidenția structura miezului de pâine, s-a utilizat stereomicroscopul Motic SMZ-140 (Motic, Xiamen, China). S-a folosit obiectivul 20x, la o rezoluție de 2048 x 1536 pixeli. Pentru analiza senzorială a probelor de pâine s-a utilizat metoda preferențială cu scala hedonică (9 puncte) și au fost evaluate următoarele caracteristici: aspect, culoare, aromă, gust, miros, textură, acceptabilitate globală. Caracteristicile senzoriale ale probelor de pâine au fost evaluate de un panel format din 20 de evaluatori. Determinările au fost realizate triplicat, iar datele au fost exprimate ca o medie a acestora \pm deviația standard. Analiza unidirecțională a varianței (ANOVA), aplicând testul Tukey, a fost utilizată pentru a evidenția diferențele dintre valorile medii, la un nivel de semnificație de 5%, folosind programul statistic XLSTAT (versiunea 2021, Addinsoft, Inc., Brooklyn, NY, SUA).

Capitolul 3 a fost intitulat „Obținerea și caracterizarea fizico-chimică a făinurilor de leguminoase germinate” și s-a focusat pe evidențierea evoluției boabelor folosite în acest studiu (fasole, lupin, năut, linte roșie și soia) în timpul procesului de germinare. Acest lucru a fost necesar pentru a determina durata optimă a procesului de germinare, în așa fel încât boabele să nu fie epuizate de conținut nutritiv, dar și pentru a evidenția rolul pozitiv al procesului de germinare asupra profilului nutritiv al boabelor germinate. Astfel, prezentul studiu experimental a fost condus urmărind mai multe direcții, atât evoluția în profilul fizic și fiziologic al boabelor pe parcursul germinării (aparitia și dezvoltarea plumulei și a radicelelor), cât și modificările de ordin nutritiv (modificarea conținutului de minerale, lipide, carbohidrați, proteine, cenușă, aminoacizi etc.).

Înainte de a supune boabele de leguminoase la procesul de germinare, s-au evaluat caracteristicile fizico-chimice ale leguminoaselor negerminate. Cu acest scop, s-au determinat: masa hectolitrică, umiditatea, viabilitatea, energia de germinare și conținutul de proteine. În urma acestor determinări, s-a evidențiat faptul că boabele de soia au prezentat valoarea cea mai mare a conținutului de proteine, în timp ce năutul a avut valoarea cea mai mică. Masa hectolitrică a variat

între 70,0 și 84,5 kg/hl, cu cea mai mare valoare pentru linte și cea mai mică pentru lupin. Valoarea umidității pentru boabe nu a fost mai mare de 10,9%, în timp ce capacitatea de germinare a leguminoaselor, evidențiată prin prisma viabilității și a energiei de germinare, a indicat faptul că linta a prezentat cea mai mare capacitate de germinare, iar lupinul și năutul, cea mai mică.

Pe parcursul procesului de germinare, au avut loc diverse modificări fizice și fiziologice ale boabelor supuse procesului de germinare, diferite de la o leguminoasă la alta. Cu ajutorul microșublerului s-au evidențiat transformările fiziologice ale leguminoaselor (dimensiunea radicelelor și a plumulei). Imaginile captate cu ajutorul stereomicroscopului *Motic SMZ-140* au permis evidențierea modificărilor structurale ale boabelor de leguminoase, în poziție dorsală, frontală, transversală și în secțiune, pe parcursul germinării.

Totodată, s-a evidențiat variația conținutului de substanțe minerale pe parcursul germinării, comparativ cu boabele negerminate. Determinările au evidențiat, spre exemplu, faptul că, odată cu creșterea duratei de germinare, crește cantitatea de calciu din leguminoase. Acest lucru se datorează faptului că, pe parcursul germinării, scade cantitatea de acid fitic. Acest lucru este de dorit deoarece acidul fitic formează fitatul de calciu. În același timp, mineralele care se găseau în formă legată în boabe au fost eliberate din structurile aferente, datorită germinării (Kaur și colab., 2017). De asemenea, și în cazul altor substanțe minerale analizate au avut loc variații cantitative.

Analizând imaginile obținute cu ajutorul microscopului electronic cu scanare (SEM), se observă faptul că lamelele mijlocii care separă celulele din compoziția boabelor și pereții celulelor sunt clar vizibili în cazul tuturor boabelor negerminate. În cazul boabelor germinate se pot observa modificări structurale în celulele cotiledoanelor. Lamellele mijlocii care separă celulele boabelor și pereții celulari sunt vizibile. În cazul fasolei și al năutului se observă un număr mare de granule sferice de amidon, cu suprafețe netede, acoperite în unele părți de structuri proteice amorfe. Pe măsură ce perioada de germinare a crescut, structura celulelor s-a schimbat tot mai mult. Se poate observa faptul că granulele de amidon încă sunt separate de către proteine și că prezintă suprafețe netede, dar cu o anumită perturbare în ordinea celulară, probabil datorită creșterii activității enzimelor hidrolitice.

Determinările realizate pentru caracterizarea fizico-chimică a boabelor pe parcursul perioadei de germinare au evidențiat faptul că în leguminoasele folosite în acest studiu cantitatea de proteine a variat între 19,4 și 40,3 % (raportat la substanța uscată). Făina de fasole, cea de năut și cea de linte, în formă germinată, a prezentat o creștere a cantității de proteine totale, comparativ cu făinurile din boabe negerminate. Creșterea cantității de proteine datorită procesului de germinare se poate datora faptului că în timpul procesului de germinare are loc hidroliza unor proteine care nu erau accesibile în boabele negerminate (Bueno și colab., 2020). Referitor la conținutul de lipide, în cazul soiei se observă o creștere semnificativă ($p < 0,05$), mai cu seamă după două zile de germinare, același lucru fiind raportat și în alte studii (Upadhyay și colab., 2018). Referitor la variația cantității de lipide din fasole, se poate observa faptul că aceasta nu s-a modificat în mod semnificativ în timpul procesului de germinare. Scăderea cantității de lipide datorită procesului de germinare se datorează faptului că lipidele au fost folosite ca sursă importantă de energie pe parcursul desfășurării procesului de germinare, pentru dezvoltarea embrionului bobului (Huang și colab., 2020). Conținutul de cenușă din boabele negerminate a variat între 2,6% în făina de linte și 4,5% în făina de soia. Datorită procesului de germinare, s-a produs o creștere semnificativă ($p < 0,05$) a conținutului de lipide, în cazul lintei, soiei și năutului. Totuși, pentru făina de fasole conținutul de cenușă a scăzut, în timp ce pentru făina de lupin conținutul de cenușă nu a prezentat o variație semnificativă ($p < 0,05$) pe parcursul procesului de germinare. Umiditatea făinurilor din boabele negerminate a variat între 7,6 și 10,9%. După etapele

de germinare și de liofilizare, conținutul în umiditate nu a fost mai mare decât 10,5%, fapt ce face posibilă depozitarea acestor făinuri o perioadă mai mare de timp, astfel încât să poate fi folosite ca ingrediente în diferite produse alimentare. Conținutul de carbohidrați după germinare a scăzut în cazul tuturor leguminoaselor, excepție făcând lupinul, a cărei valoare nu a variat în mod semnificativ. Germinarea a condus la scăderea pH-ului și la creșterea acidității, în mod semnificativ ($p < 0,05$), în cazul tuturor leguminoaselor. Referitor la cantitatea de substanțe minerale, determinările au evidențiat faptul că pe parcursul germinării, cantitatea de sodiu, magneziu, fier și zinc a crescut în cazul tuturor leguminoaselor.

Analiza componentelor principale (PCA) pentru valorile determinărilor fizico-chimice ale boabelor de leguminoase, în timpul procesului de germinare a evidențiat faptul că primele două componente principale (PCs) explică 66,25% din variația totală (PC1-44,26% și PC2-21,99%). Graficul PCA a aratat că există o corelație puternică între probele de soia și lupin și între probele de năut, linte și fasole, pe parcursul germinării. De asemenea, s-a observat existența unei corelații semnificative între probe de linte, fasole și năut negerminate.

Determinările realizate pentru a evidenția variația cantității de aminoacizi au pus în valoare faptul că făina albă de grâu prezintă cantități mai mici de aminoacizi esențiali, comparativ cu făinurile de leguminoase. De asemenea, se observă faptul că făinurile de leguminoase germinate (timp de germinare: 4 zile) prezintă, în general, cantități mai mari de aminoacizi esențiali decât făinurile de leguminoase negerminate. Pentru probele de leguminoase germinate, cantitățile cele mai mari de aminoacizi esențiali s-au înregistrat pentru histidină, urmat de valină și de treonină. Referitor la cantitatea de aminoacizi neesențiali, determinările realizate au evidențiat faptul că în boabele germinate în cea mai mare cantitate s-a găsit asparagina, urmată de serină și de acid glutamic.

Capitolul 4, care s-a intitulat „Efectul adaosului de făină de fasole germinată asupra proprietăților reologice ale aluatului și calității pâinii” a evidențiat modul în care adaosul de făină de fasole germinată în făina albă de grâu a influențat proprietățile reologice ale aluatului și caracteristicile de calitate ale pâinii.

Caracteristicile făinii de fasole germinată și ale făinii de grâu utilizate în experimentări

Făina de fasole germinată a prezentat următoarele valori ale caracteristicilor fizico-chimice: umiditate 10,1%; cenușă 3,0%; proteine 26%; lipide 1,4%. Ținând cont de aceste date, se poate concluziona faptul că făina de fasole germinată folosită în acest studiu experimental prezintă un conținut ridicat de proteine, acest lucru fiind în concordanță cu datele raportate anterior în literatura de specialitate (Kassegn și colab., 2018; Poblete și colab., 2020). Din punct de vedere microbiologic, făina de fasole germinată a prezentat următoarele valori: drojdii și mucegaiuri 1 UFC/g, *Bacillus cereus* absent, aflatoxine mai puțin de 1,4 ppb, ochratoxine 32,62 ppb, zearalenone 96,38 ppb. Din punct de vedere microbiologic, făina de fasole germinate se încadrează în domeniul limită recomandat de către Uniunea Europeană și, prin urmare, poate fi folosită ca ingredient în produsele alimentare (Comisia Europeană, 2006).

În ceea ce privește caracteristicile chimice ale făinii albe de grâu, acestea au fost: umiditate 14,6%; conținut de cenușă 0,66%; proteine 12,3%; lipide 1,12%; gluten umed 30,4%; indicele de deformare a glutenului 3 mm. Valoarea indicelui de cădere pentru făina albă de grâu a fost de 356 s, aceasta fiind o făină de o calitate foarte puternică pentru panificație și având o activitate α -amilazică redusă.

Proporțiile adaosului în făina de grâu au fost de 5%, 10%, 15%, 20% și 25%. Incorporarea de făină de fasole germinată în făina de grâu a influențat atât proprietățile reologice ale aluatului, cât și caracteristicile de calitate ale pâinii.

Proprietățile reologice de frământare și de întindere ale aluatului

Adaosul de făină de fasole germinată a influențat considerabil fiecare parametru consistografic. Valoarea capacității de hidratare a făinii (WA) și a presiunii maxime exercitate de aluat (Pr_{max}) după 250 secunde de la începutul frământării și respectiv a presiunii maxime exercitate de aluat (Pr_{max}) după 450 secunde de la începutul frământării (D250 și D450) a scăzut odată cu creșterea dozei de făină de fasole germinată adăugată în rețeta de obținere a pâinii albe de grâu. Referitor la toleranță, (timpul în care presiunea depășește $Pr_{max}-20\%$ - Tol), valoarea acestui parametru a crescut în cazul probelor cu adaos de făină de fasole germinată, până la o valoare a adaosului de 15%. După acest procent, acest parametru a scăzut ușor. Totuși, toate probele cu adaos de făina de fasole germinată au prezentat valori mai ridicate pentru parametrul toleranță, (timpul în care presiunea depășește $Pr_{max}-20\%$), comparativ cu proba martor.

Referitor la caracteristicile alveografice, s-a observat faptul că tenacitatea aluatului și raportul de configurare a curbei alveografice au crescut, în timp ce extensibilitatea aluatului, indicele de umflare și energia de deformare au scăzut odată cu creșterea dozei de adaos a făinii de fasole germinată. Aceste rezultate indică un efect de slăbire a aluatului cu adaos de făină de fasole germinată, ținând cont de faptul că parametrul energia de deformare (W) a scăzut de aproximativ de două ori pentru proba cu 25% adaos, comparativ cu proba martor.

Proprietățile reologice ale aluatului în timpul fermentării și valorile indicelui de cădere

Adaosul de făină de fasole germinată a influențat și valorile parametrilor obținuți la reofermentometru. De exemplu, înălțimea maximă a aluatului în timpul formării și reținerii gazelor (H'm), volumul total de gaze formate în aluat (VT) și volumul de gaze reținut de aluat la sfârșitul testului (VR) au crescut odată cu creșterea adaosului de făină de fasole germinată, până la valoarea de 10%, apoi au scăzut, cea mai mică valoare fiind înregistrată în cazul adaosului de 25%. Din contra, valoarea coeficientului de retenție a scăzut până la valoarea de 10% a adaosului, iar după acest procent, CR a scăzut. Indicele de cădere a scăzut datorită adaosului. Făina albă de grâu folosită ca materie primă de bază a prezentat a valoare ridicată a indicelui de cădere, fiind o făină cu o activitate α -amilazică scăzută (Codină și colab., 2019). Datorită adaosului de făină de fasole germinată, valoarea indicelui FN a mixurilor de făină (făină albă de grâu - făină de fasole germinată) a scăzut sub valoarea de 280 s, valoare pentru care mixurile de făinuri au prezentat o activitate α -amilazică normală (Codină și colab., 2012).

Proprietățile reologice fundamentale ale aluatului

Testele realizate cu ajutorul reometrului dinamic au evidențiat faptul că modulul de elasticitate (G'), modulul de vâscozitate (G'') și unghiul de fază ($\tan \delta$) au variat foarte mult cu frecvența. În toate domeniile de frecvență, parametrul G' a avut valoare mai mare decât parametrul G'' , ceea ce indică faptul că proprietățile elastice ale probelor de aluat au fost mult mai proeminente decât cele vâscoase. Tangenta δ , care evidențiază raportul componentelor vâscoase și elastice din aluat, a avut valoarea mai mică decât 1, în cazul tuturor probelor. Testul realizat în funcție de variația temperaturii a evidențiat faptul că parametrii G' și G'' au scăzut până la o anumită temperatură datorită procesului de denaturare a proteinelor, urmată de o creștere a valorii lor

datorită procesului de gelatinizare a amidonului. După gelatinizare, hidroliza amidonului a redus consistența aluatului, care a început să crească doar după ce activitatea α -amilazică a fost inhibată.

Microstructura probelor de aluat

Microstructura probei martor s-a evidențiat printr-o structură a aluatului clar definită, ce a constat în granule de amidon între care erau interdispersate proteinele (glutenul). Imaginile obținute pentru probele de aluat cu diferite doze ale adaosului de făină de fasole germinată s-au evidențiat prin diferențe semnificative între probe. Distribuția spațială a proteinei și a amidonului în aluat s-a modificat odată cu creșterea nivelului adaosului de făină de fasole germinată. Adaosul de făină de fasole germinată a condus la apariția de suprafețe colorate în roșu mai mari și la micșorarea porțiunilor colorate în verde. Acest lucru indică faptul că a crescut cantitatea de proteine și a scăzut cea de amidon.

Caracteristicile fizice ale probelor de pâine

Volumul specific al probelor de pâine, comparativ cu proba martor, a crescut în cazul probelor cu 5%, 10% și 15% adaos de făină de fasole germinată. Un adaos mai mare de 15% a avut ca efect scăderea valorii volumului specific, care a fost mai mic și decât cel în cazul probei martor. Astfel, se poate concluziona faptul că, pentru a obține probe de pâine cu volum specific îmbunătățit, se poate adăuga un maxim de 15% făină de fasole germinată în rețeta de obținere a pâinii. De asemenea, adaosul de făină de fasole germinată a influențat și porozitatea probelor de pâine. Aceasta a fost îmbunătățită, dar fără a depăși procentul de 20%, atunci când valoarea porozității a început să scadă semnificativ. Referitor la parametrul elasticitate, s-a observat faptul că un procent mare al adaosului de făină de fasole germinată a condus la scăderea valorii acestui parametru.

Parametrii de culoare ai probelor de pâine

Valoarea parametrului L^* (luminozitate) a scăzut datorită adaosului de făină de fasole germinată. Astfel, se poate concluziona faptul că probele cu adaos de făină de fasole germinată au avut o luminozitate mai mică, atât în cazul cojii, cât și al miezului. Referitor la parametrul a^* , se observă faptul că proba martor a avut valoarea cea mai mică, apoi valoarea acestui parametru a crescut odată cu nivelul adaosului. Astfel, se poate spune că adaosul de făină de fasole germinată a intensificat nuanța de roșu a probelor. De asemenea, valoare parametrului b^* (tenta de galben) a crescut odată cu adaosul de făină de fasole germinată în făina de grâu.

Analiza profilului de textură a probelor de pâine

Toți parametrii de textură (fermitate, gumozitate, masticabilitate, coezivitate și reziliență) au fost influențați de adaosul de făina de fasole germinată. S-a observat faptul că, în cazul probelor cu adaos de făină de fasole germinată, după depășirea procentului de 20%, valoarea parametrului fermitate a fost mult mai mare decât în cazul probei martor. Mai mult, parametrii gumozitate și masticabilitate, începând cu procentul de 20% al adaosului, au fost semnificativ mai mari ($p < 0,05$) decât în cazul probei martor. Coezivitatea probelor a scăzut odată cu creșterea dozei de făină de fasole germinată adăugată în rețeta de obținere a pâinii. Adaosul de făină de fasole germinată a influențat și parametrul reziliență.

Structura miezului probelor de pâine

Adaosul de făină de fasole germinată a condus la creșterea în diametru a porilor și, în același timp, la scăderea densității acestora. Odată cu creșterea nivelului adaosului, dimensiunea porilor a crescut tot mai mult și densitatea lor a scăzut. Imaginile obținute cu ajutorul stereomicroscopului ilustrează faptul că adaosul de făină de fasole germinată a avut o influență directă asupra mărimii porilor pâinii și asupra densității lor.

Evaluarea senzorială a probelor de pâine

Un adaos de 5%, 10% și 15% făină de fasole germinată în făina de grâu a avut efectul de a îmbunătăți parametrii senzoriali ai pâinii, comparativ cu proba martor. Doze mari ale adaosului (mai mari decât 20%) au condus la obținerea de probe de pâine mai puțin apreciate de către evaluatori, comparativ cu proba martor. Din punct de vedere senzorial, probele cu 5% și cu 10% adaos au fost apreciate cel mai mult de către evaluatori.

Efectul adaosului de făină de fasole germinată asupra valorii nutritive a probelor de pâine

O diferență semnificativă ($p < 0,05$) asupra profilul nutrițional al probelor de pâine s-a obținut în cazul conținutului de proteine, cenușă și carbohidrați. Acest lucru s-a datorat compoziției boabelor de fasole germinate care conțin o cantitate mai mare de proteine și de cenușă decât făina albă de grâu, pe care a substituit-o parțial. Astfel, s-a observat faptul că toți compușii determinați au fost semnificativ diferiți ($p < 0,05$). Astfel, conținutul de proteine a crescut odată cu creșterea procentului adaosului făinii de fasole germinată cu până la 44,2 %, în cazul probei cu 25% adaos de făină de fasole germinată. Această creștere se datorează conținutului de proteine din fasole, care este dublu față de cel din făina albă de grâu. O creștere semnificativă ($p < 0,05$) s-a înregistrat și în cazul lipidelor - 23,45% și al cenușei - 80,39%, în cazul probelor cu 25% adaos de făină de fasole germinată. Conținutul de carbohidrați a scăzut în mod semnificativ ($p < 0,05$), odată cu creșterea procentului adaosului în făina albă de grâu (care este o făină rafinată, cu un conținut mare de amidon), adaos care prezintă o cantitate mare de proteine, comparativ cu făina de grâu. Valoarea energetică a probelor de pâine cu adaos de făină de fasole germinată este mai mică ($p < 0,05$) decât proba martor. Totuși, reducerea a fost una mică, de doar 0,49%, în cazul probei cu 20% adaos, în cazul căreia s-a obținut cea mai mică valoare energetică.

Capitolul 5, a fost intitulat „Efectul adaosului de făină de lupin germinat asupra proprietăților reologice ale aluatului și calității pâinii” a evidențiat modul în care adaosul de făină de lupin germinat în făina albă de grâu a influențat proprietățile reologice ale aluatului și calitatea pâinii.

Caracteristicile făinii de lupin germinat și ale făinii de grâu utilizate în experimentări

Caracteristicile fizico-chimice ale făinii de lupin germinat folosită în acest studiu experimental au fost: 3,4% cenușă; 39,4% proteine; 50,3% carbohidrați și 6,9% lipide. Se poate observa că are un conținut ridicat de proteine, rezultat care este în concordanță cu cele din literatura de specialitate (Erbaș și colab., 2005). Din punct de vedere microbiologic, făina de lupin germinat a prezentat următoarele valori: drojdii și mucegaiuri 1 UFC/g, *Bacillus cereus* absent, aflatoxine mai puțin de 1,4 ppb, ochratoxine 32,62 ppb, zearalenone 96,38 ppb. Astfel făina de lupin germinat s-a încadrat în domeniul limită recomandat de către Uniunea Europeană și poate fi folosită ca ingredient în produsele alimentare (Comisia Europeană, 2006).

Caracteristicile chimice ale făinii albe de grâu folosită în acest studiu au fost: umiditate 14,6%; conținut de cenușă 0,66%; proteine 12,3%; lipide 1,12%; gluten umed 30,4%; indicele de deformare a glutenului 3 mm. Făina albă de grâu a fost achiziționată de la S.C. Dizing S.R.L. (Brusturi, Neamt, , Romania). Valoarea indicelui de cădere pentru făina albă de grâu a fost de 356 s. Făina albă de grâu a fost una de o calitate foarte puternică pentru panificație și o activitate α -amilazică redusă.

Proprietățile reologice de frământare și de întindere ale aluatului

Odată cu creșterea procentului adaosului de făină de lupin germinat în făina de grâu a scăzut în mod semnificativ ($p < 0,05$) valoarea tuturor parametrilor consistografici evidențiați în acest studiu: capacitatea de hidratare a făinii, toleranța la frământare, timpul în care presiunea depășește $Pr_{max}-20\%$, scăderea presiunii/consistenței aluatului față de Pr_{max} după 250 secunde de la începutul frământării și scăderea presiunii/consistenței aluatului față de Pr_{max} după 450 secunde de la începutul frământării.

Comparativ cu proba martor, se observă faptul că adaosul de făină de lupin germinat a condus la scăderea valorilor parametrilor: extensibilitatea aluatului, indicele de umflare și energia de deformare. Pe de altă parte, adaosul a condus la creșterea valorii tenacității aluatului și a valorii raportului de configurare a curbei alveografice.

Proprietățile reologice ale aluatului în timpul procesului de fermentare și valorile indicelui de cădere

Valorile parametrilor înălțimea maximă a aluatului în timpul formării și reținerii gazelor în timpul fermentării ($H'm$) și volumul total de gaze formate în aluat la fermentare (VT) au fost semnificativ mai mari ($p < 0,05$) comparativ cu proba martor, până la un maxim al adaosului de 15% făină de lupin germinat. La un adaos de 20% făină de lupin germinat valorile celor doi parametri au fost mai mici față de proba martor. Valoarea parametrului VR a fost semnificativ mai mare ($p < 0,05$) față de proba martor doar în cazul unui adaos de 5%, apoi această valoare a crescut în mod semnificativ ($p < 0,05$) tot mai mult. Parametrul coeficientul de reținere a gazelor (CR) a fost în scădere datorită adaosului de făină de lupin germinat. Doar la un adaos de 20% făină de lupin germinat valoarea acestui parametru a fost mai mare decât pentru cea din cazul probei fără adaos. Referitor la valorile indicelui de cădere, s-a observat că acestea au scăzut în mod semnificativ ($p < 0,05$), tot mai mult datorită adaosului de făină de lupin germinat.

Proprietățile reologice fundamentale

Modulul de elasticitate, modulul de vâscozitate și unghiul de fază au variat în funcție de frecvență. În toate intervalele de frecvență modulul de elasticitate a avut o valoare mai mare decât modulul de vâscozitate. Modulul de elasticitate (G') și modulul de vâscozitate (G'') au crescut atunci când procentul adaosului de făină de lupin germinat a crescut. Unghiul de fază ($\tan \delta$) a crescut de asemenea în funcție de frecvență. Raportul dintre componenta vâscoasă și cea elastică ($\tan \delta$) a avut o valoare mai mică decât 1 pentru toate probele de aluat. Variația parametrilor în funcție de temperatură a evidențiat faptul că, până la o anumită temperatură, valorile parametrilor modulul de elasticitate (G') și modulul de vâscozitate (G'') au scăzut, iar apoi a urmat o creștere a lor. Pe parcursul creșterii temperaturii, parametrii modulului de elasticitate (G') și modulului de vâscozitate G'' au avut valori mai mari în cazul probei martor, comparativ cu probele cu adaos de făină de lupin germinat.

Microstructura probelor de aluat

Odată cu creșterea procentului adaosului de făină de lupin germinat s-au extins zonele roșii, în timp ce zonele specifice amidonului s-au micșorat. Acest lucru a fost evidențiat datorită fluorocromilor utilizați pentru analiza EFLM, și anume rhodamina B și fluoresceina, care colorează proteinele în roșu și amidonul în verde (Atudorei și colab., 2021).

Caracteristicile fizice ale probelor de pâine

Adaosul de făină de lupin germinat a avut influență asupra tuturor celor trei caracteristici fizice ale probelor de pâine. Astfel, adaosul de făină de lupin germinat a îmbunătățit în mod semnificativ ($p < 0,05$) volumul pâinii, până la un adaos de maxim 15%. Adaosul de 20% a condus la obținerea de probe cu un volum mai mic, comparativ cu proba martor. Legat de parametrul porozitate, se observă faptul că adaosul de făină de lupin germinat a avut o influență asemănătoare, în sensul că un adaos de 5%, 10% și 15% a avut un impact pozitiv asupra porozității, pe când un adaos mai mare a dus la scăderea valorii porozității. Elasticitatea a avut, de asemenea, un trend ascendent datorită adaosului de făină de lupin germinat, valoarea elasticității scăzând la un adaos de 20%. Astfel, se poate concluziona faptul că dacă se dorește o îmbunătățire a caracteristicilor fizice ale probelor de pâine este recomandat un adaos de maxim 15% făină de lupin germinat.

Parametrii de culoare ai probelor cu adaos de făină de lupin germinat

Valoarea parametrului L^* (luminozitate), atât în cazul miezului, cât și al cojii a scăzut odată cu creșterea cantității adaosului de făină de lupin germinat. Așadar, au devenit mai închise la culoare din cauza adaosului de făină de lupin germinat. Valoarea parametrului a^* (axa de cromaticitate de la verde (-) la roșu (+)) a crescut datorită adaosului, atât în ceea ce privește miezul pâinii, cât și în cazul cojii pâinii. Astfel, adaosul de făină de lupin germinat a condus la obținerea de probe de pâine cu o tentă mai roșiatică. Referitor la valoarea parametrului b^* (axa de cromaticitate de la albastru (-) la galben (+)), s-a observat că valoarea numerică a crescut, ceea ce înseamnă că tenta de galben a probelor s-a intensificat. Așadar, atât în cazul miezului, cât și al cojii probelor de pâine, variația parametrilor a avut un trend similar, în funcție de procentul adaosului de făină de lupin germinat în făina de grâu, în sensul că valoarea parametrului L^* a scăzut, iar valoarea parametrilor a^* și b^* a crescut odată cu creșterea valorii adaosului de făină de lupin germinat.

Analiza profilului de textură a probelor de pâine cu adaos de făină de lupin germinat

Toți cei cinci parametri de textură (fermitate, gumozitate, coezivitate și reziliență) au fost influențați de adaosul de făină de lupin germinat în făina de grâu. Conform datelor obținute, se observă faptul că adaosul de făină de lupin germinat în aluat a condus la scăderea valorilor parametrilor gumozitate și coezivitate, până la o valoare maximă a adaosului de 15%. Un adaos mare mare, de 20%, a condus la creșterea valorilor acestor parametri. În cazul valorilor rezilienței, acestea au scăzut datorită adaosului de făină de lupin germinat în făina de grâu.

Structura miezului probelor de pâine cu adaos de GLF

Adaosul de făină de lupin germinat a condus la obținerea de probe de pâine cu pori de dimensiune mai mare și cu o densitate a porilor mai scăzută. Astfel, odată cu creșterea valorii procentului de adaos făină de lupin germinat în aluat, a crescut diametrul porilor și a scăzut densitatea lor.

Analiza senzorială a probelor de pâine

Adaosul de făină de lupin germinat în rețeta de obținere a pâinii a avut influență asupra tuturor caracteristicilor senzoriale. Astfel, un adaos de maxim 15% GLF a avut ca efect îmbunătățirea caracteristicilor senzoriale ale probelor de pâine. În schimb, la un adaos de 20% aceste caracteristici au fost apreciate mai puțin decât în cazul probelor de pâine fără adaos. Astfel, se poate concluziona faptul că nu este recomandată depășirea procentului de 15% al adaosului de GLF în făina de grâu, în așa fel încât caracteristicile senzoriale să nu fie influențate în mod negativ.

Efectul adaosului de făină de lupin germinat asupra valorii nutritive a probelor de pâine

Cantitatea de proteine a crescut tot mai mult odată cu creșterea procentului adaosului de făină de lupin germinat în făina de grâu. În cazul adaosului de 25% GLF în aluat cantitatea de proteine a crescut în pâine cu 42,27%. Acest lucru se datorează faptului că boabele de lupin conțin o cantitate mai mare de proteine decât făina alba de grâu. Referitor la cantitatea de lipide se observă faptul că și aceasta a înregistrat o creștere semnificativă ($p < 0,05$), fiind dublă în proba cu 25% GLF adăugat în aluat comparativ cu proba fără adaos. Cantitatea de cenușă a crescut cu 68,63% în cazul adaosului de 25% GLF, față de proba fără adaos. Carbohidrații au scăzut în mod semnificativ ($p < 0,05$) datorită adaosului de GLF în făina de grâu. În cazul adaosului de 25% GLF în aluat cantitatea de carbohidrați a scăzut cu 12,18%. Acest lucru se explică prin faptul că făina alba de grâu, fiind una cu un conținut ridicat de amidon, contribuie foarte mult la cantitatea totală de carbohidrați. Cu cât aceasta este înlocuită din mixul de făină cu făina de lupin germinat, cantitatea de carbohidrați scade. Valoarea energetică a probelor de pâine cu adaos de făină de lupin germinat a crescut cu 1,16% comparativ cu proba mator.

Capitolul 6 - „Efectul adaosului de făină de năut germinat asupra proprietăților reologice ale aluatului și calității pâinii” a avut în vedere evidențierea efectului adaosului de făină de năut germinat asupra proprietăților reologice ale aluatului, microstructurii aluatului și asupra calității pâinii. Dozele de adaos în făina de grâu rafinată caracterizată de o activitate α -amilazică scăzută, de făină de năut germinat, au fost de: 5%, 10%, 15% și 20%.

Caracteristicile făinii de năut germinat și ale făinii de grâu utilizate în experimentări

Făina de năut germinat (GCF) folosită în acest studiu experimental are următoarele valori ale caracteristicilor fizico-chimice: 3,6% cenușă; 21,1% proteine; 5,2% lipide. În conformitate cu datele obținute, făina de năut germinat are un conținut ridicat de proteine. Făina de năut germinat s-a încadrat în domeniul limită recomandat de către Uniunea Europeană și poate fi folosită ca ingredient în produsele alimentare (Comisia Europeană, 2006). Aceasta a prezentat următoarele valori microbiologice: drojdii și mucegaiuri 1 UFC/g, *Bacillus cereus* absent, aflatoxine mai puțin de 1,4 ppb, ochratoxine 32,62 ppb, zearalenone 96,38 ppb.

Făina alba de grâu folosită în acest studiu a fost de o calitate foarte puternică pentru panificație și a avut o activitate α -amilazică redusă. Caracteristicile chimice ale acesteia au fost: umiditate 14,6%; conținut de cenușă 0,66%; proteine 12,3%; lipide 1,12%; gluten umed 30,4%; indicele de deformare a glutenului 3 mm. Valoarea indicelui de cădere pentru făina albă de grâu a fost de 356 s.

Proprietățile reologice de frământare și de întindere ale aluatului

Adaosul de GCF a produs modificări asupra tuturor parametrilor evaluați. Astfel, capacitatea de hidratare a făinii (WA) și toleranța, timpul în care presiunea depășește $Pr_{max}-20\%$ (Tol) au scăzut semnificativ ($p < 0,05$) atunci când s-au adăugat doze mari de făină de năut germinat. Presiunea/consistența aluatului față de Pr_{max} după 250 secunde de la începutul frământării (D250) și presiunea/consistența aluatului față de Pr_{max} după 450 secunde de la începutul frământării (D450) au scăzut în mod semnificativ ($p < 0,05$), până la un adaos maxim de 15% GCF, după care valoarea acestora a crescut.

Extensibilitatea aluatului, indicele de umflare și energia de deformare au scăzut datorită unui adaos de maxim 15% GCF, în timp ce la un adaos de 20% valorile acestor parametrii au crescut în mod nesemnificativ ($p < 0,05$). În general, presiunea maximă a crescut ușor atunci când s-a adăugat făină de năut germinat în rețeta aluatului.

Proprietățile reologice ale aluatului în timpul fermentării și valorile indicelui de cădere

Valoarea parametrului înălțimea maximă a aluatului în timpul formării și reținerii gazelor în timpul fermentării ($H'm$) a crescut la un adaos de 5% GCF, respectiv 10% GCF în făina de grâu. Începând cu un adaos de 15% GCF valoarea acestuia a scăzut, pentru adaosul de 20%, valoarea acestui parametru fiind mai mică decât în cazul probei martor. Același trend s-a observat și în cazul volumului total de gaz format în aluat în timpul fermentării (VT). Referitor la parametrul volumul de retenție (VR) s-a observat faptul că s-a înregistrat o valoare mai mică în cazul unui adaos de 10% și de 20% GCF, decât în cazul probei martor. Parametrul coeficientul de retenție (CR) a fost mai mare la un adaos de 20% GCF decât în cazul probei martor, în rest valoarea acestuia a scăzut din cauza adaosului de GCF în aluat. Indicele de cădere (FN) a avut o valoare semnificativ mai mică ($p < 0,05$) odată ce procentul de adaos de făină de năut germinat în făina de grâu a crescut.

Proprietățile reologice fundamentale ale probelor de aluat cu adaos de făină de năut germinat

În cazul testelor de variație în funcție de frecvență, s-a putut observa faptul că cei trei parametrii, modulul elastic, modulul vâcos, unghiul de fază, au variat în mare măsură în funcție de frecvență. Așa cum s-a putut observa, trendul pentru modulul de elasticitate (G') este poziționat pe axă mai sus decât cel pentru modulul de vâcositate (G''). De asemenea, din grafic reiese faptul că valorile pentru cei doi parametrii au crescut odată cu procentul de adaos de făină de năut germinat în aluat. În cazul parametrului unghiul de fază ($\tan \delta$) s-a observat că acesta a crescut într-o manieră dependentă de frecvență. De asemenea, raportul componentelor vâcoase și a celor elastice a aluatului a fost mai mică decât 1, indiferent de nivelul adaosului de GCF.

Variația valorii parametrilor modul de elasticitate (G'), modul de vâcositate (G'') și unghiul de fază ($\tan \delta$), în funcție de creșterea temperaturii, a evidențiat un trend descrescător datorită procesului de denaturare a proteinelor, până la o anumită temperatură, apoi un trend crescător pentru că s-a produs gelatinizarea amidonului. În general, toate probele de aluat cu adaos de GCF au prezentat valori mai mari pentru parametrii modulul de elasticitate (G'), modulul de vâcositate (G'') și unghiul de fază ($\tan \delta$), comparativ cu proba martor.

Microstructura probelor de aluat cu adaos de făină de năut germinat

Imaginile pentru microstructura aluatului au fost captate cu ajutorul tehnicii ELFM. În imaginile obținute, culoarea roșie a evidențiat prezența proteinelor, obținută cu ajutorul rodaminei B, iar culoarea verde a pus în evidență granulele de amidon, cu ajutorul fluoresceinei. Imaginile au pus în valoare faptul că adaosul de GCF în aluat conduce la obținerea unor imagini colorate mai intense în roșu și mai puțin colorate în verde. Acest lucru înseamnă că, odată cu creșterea procentului adaosului de GCF în făina de grâu, a crescut cantitatea de proteine, iar cea de amidon a scăzut.

Caracteristicile fizice ale probelor de pâine cu adaos de făină de năut germinat

Adaosul de făină de năut germinat a modificat toți parametrii fizici ai probelor de pâine. Un procent al adaosului de maxim 15% GCF în făina de grâu este recomandat deoarece valorile celor trei caracteristici fizice ale probelor de pâine, volum specific, porozitate și elasticitate au crescut în mod semnificativ ($p < 0,05$). Totuși, un adaos mai mare de 15% GCF nu ar fi de dorit deoarece s-a observat faptul că volumul specific, porozitatea și elasticitatea probelor de pâine au înregistrat valori mai mici comparativ cu proba martor.

Analiza culorii probelor de pâine

Atât în cazul cojii, cât și a miezului, culoarea probelor de pâine a fost influențată considerabil de adaosul de GCF în făina de grâu. Astfel, parametrul de luminozitate (L^*) a scăzut ca valoare, ceea ce înseamnă că probele s-au închis la culoare datorită adaosului de GCF în aluat. În cazul parametrului a^* s-a observat că acesta a crescut, atât în cazul cojii, cât și al miezului. Astfel, se poate spune că probele cu adaos de GCF au avut o tentă de roșu mai pronunțată. Legat de parametrul b^* s-a observat că valoarea acestuia a crescut, ceea ce înseamnă că adaosul de GCF a contribuit la intensificarea nuanței de galben a probelor de pâine.

Analiza profilului de textură a probelor de pâine cu adaos de făină de năut germinat

Adaosul de făină de năut germinat a condus la creșterea valorilor parametrului fermitate, pentru fiecare nivel al adaosului. Valoarea caracteristicii gumozitate a scăzut la un adaos de 5% - 15% GCF în aluat. La un adaos de 20% de GCF în făina de grâu valoarea acestui parametru a început să crească. Pentru coezivitate și reziliență s-au înregistrat valori mai mici pentru probele cu adaos de GCF comparativ cu proba martor.

Structura miezului probelor de pâine

Adaosul de GCF în făina de grâu a condus la modificarea mărimii porilor, dar și a densității acestora. Comparativ cu proba martor, probele cu adaos de GCF în pâine au avut pori mai mari în dimensiune, dar odată cu creșterea procentului adaosului de GCF în făina de grâu, densitatea porilor a scăzut.

Analiza senzorială a probelor de pâine cu adaos de făină de năut germinat

Încorporarea de făină de năut germinat în rețeta de obținere a pâinii a influențat fiecare caracteristică senzorială în parte. Astfel, comparând cu proba martor, proba cu adaos de 15% făină de năut germinat a fost cel mai bine apreciată de către participanții la sesiunea de evaluare senzorială, iar proba cu adaos de 20% GCF a fost cel mai puțin apreciată. Ținând cont de aceste

considerente, se poate preciza faptul că un adaos de 15% GCF este procentul optim care poate fi adăugat în panificație, în așa fel încât consumatorii să fie satisfăcuți și din punct de vedere senzorial.

Efectul adaosului de făină de năut germinat asupra valorii nutritive a probelor de pâine

Diferențe semnificative ($p < 0,05$) asupra compoziției chimice a probelor de pâine s-au înregistrat în cazul conținutului de proteine, cenușă, lipide și carbohidrați. Toți componenții (proteine, lipide, cenușă) determinați au fost semnificativ diferiți ($p < 0,05$). Conținutul de proteine a crescut cu 16,25%. Cantitatea de lipide a crescut semnificativ ($p < 0,05$), fiind cu 70,37% mai mare în cazul unui adaos de 25% GCF, comparativ cu proba martor. Cenușa a crescut cu 70,59% în cazul procentului maxim al adaosului de GCF în aluat. Conținutul de carbohidrați a scăzut în mod semnificativ ($p < 0,05$), cu 5,69% în cazul adaosului de 25% făină de năut germinat adăugat în făina de grâu. Valoarea energetică a probelor de pâine a fost și ea influențată semnificativ ($p < 0,05$) de adaos, aceasta crescând cu 0,48%, în cazul adaosului de 25% GCF în pâine.

Capitolul 7 - „Efectul adaosului de făină de linte germinată asupra proprietăților reologice ale aluatului și calității pâinii” a avut scopul de a analiza efectele adaosului făinii de linte germinată (LGF) în diferite procente în făina de grâu (2,5%, 5%, 7,5% și 10%), asupra proprietăților reologice al aluatului, microstructurii aluatului și calității pâinii.

Caracteristicile făinii de linte germinată și ale făinii de grâu utilizate în experimentări

În cazul făinii de linte germinată s-au determinat: umiditatea, cenușa, proteinele și conținutul de lipide. Astfel, umiditatea făinii de linte germinată a fost 8,8%, cantitatea de lipide a fost de 1,0%, de proteine a fost 29,5% și de cenușă a fost 3,1%.

Pentru obținerea probelor de pâine s-a folosit ca ingredient de bază o făină alba de grâu cu o calitate foarte puternică pentru panificație și o activitate α -amilazică redusă. Valoarea indicelui de cădere pentru aceasta a fost de 356 s. Caracteristicile chimice ale făinii albe de grâu folosită în acest studiu experimental ca materie primă de bază au fost: umiditate 14,6%; conținut de cenușă 0,66%; proteine 12,3%; lipide 1,12%; gluten umed 30,4%; indicele de deformare a glutenului 3 mm.

În conformitate cu datele obținute, făina de linte germinată are un conținut ridicat de proteine. Determinările microbiologice au evidențiat următoarele date: drojdii și mucegaiuri 1 UFC/g, absența lui *Bacillus cereus*, aflatoxine mai puțin de 1,4 ppb, ochratoxine 32,62 ppb și zearalenone 96,38 ppb. Astfel, făina de linte germinată s-a încadrat în limitele recomandate de către Uniunea Europeană și, de aceea, poate fi folosită ca ingredient alimentar.

Proprietățile reologice fundamentale ale probelor de aluat cu adaos de făină de linte germinată

Datele experimentale pentru complianța elastică instantanee s-au putut corela ($R^2 > 0,97$) modelului Burger. În general, adaosul de făină de linte germinată a influențat toate valorile parametrilor testului de fluaj. În comparație cu proba martor, adaosul de făină de linte germinată a scăzut valoarea parametrului complianța instantanee în faza de fluaj (J_{C_0}). La un nivel de 10% al adaosului de LGF valoarea acestui parametru a crescut în mod semnificativ ($p < 0,05$), dar fără a depăși valoarea pentru proba martor. În general, așa cum se poate observa, valorile pentru parametrii complianță elastică instantanee (J_{C_0} , J_{C_m} , J_{max}) au scăzut odată cu creșterea nivelului

adaosului de LGF în aluat. În cazul parametrului timpul de întârziere (λ_C), s-a observat faptul că valoarea acestuia a crescut în mod semnificativ ($p < 0,5$) la un procent de 5% a adaosului de LGF, apoi valoarea acestuia a scăzut semnificativ ($p < 0,05$), fără ca valoarea acestuia să fie mai mică decât în cazul probei martor. Referitor la parametrul vâscozitatea la forfecare în momentul zero (μ_{Co}), s-a observat faptul că acesta a avut valori mai mari în cazul probelor cu adaos de LGF în aluat.

În cazul testului de revenire s-a observat că parametrul complianță instantanee în faza de revenire a fost influențat în mod semnificativ ($p < 0,05$), în funcție de nivelul adaosului de LGF. Ținând cont de proba martor, valoarea parametrului timpul de întârziere (λ_R) a fost mai mică în cazul probelor cu adaos de 5% și 10% și mai mare în cazul probelor cu 2,5% și 7,5% adaos de LGF în aluat. Raportul J_r/J_{max} (J_r = complianța la echilibru calculată ca sumă dintre J_{Ro} și J_{Rm} , J_{max} = complianța maximă în timpul fluajului) a avut valori mai mari în cazul probelor cu adaos de făină de linte germinată.

Microstructura aluatului

Odată cu creșterea nivelului adaosului de făină de linte germinată în aluat, s-a înregistrat o creștere a ariei colorate în roșu. Deoarece zona roșie se datorează rodaminei B, care colorează proteinele din aluat, a condus la concluzia că adaosul de LGF a condus la o creștere a cantității de proteine din aluat. Rodamina B prezintă afinități hidrofobe pentru domenii bogate în proteine, pe care le colorează în roșu. Granulele de amidon sunt evidențiate prin colorația verde, specifică fluoresceinei, o culoare care este mai predominantă în proba fără adaos de LGF.

Caracteristicile fizice ale pâinii

Volumul specific al probelor cu adaos de LGF, comparativ cu proba martor, a crescut până la un maxim al adaosului de 15%. La un adaos de 20% volumul specific al probelor de pâine a scăzut, dar nu a fost mai mic decât în cazul probei fără adaos. Referitor la porozitatea probelor, s-a observat că adaosul de făină de linte germinată a condus la îmbunătățirea acesteia. La un adaos de 20% LGF valoare porozității a început să scadă. De asemenea, și elasticitatea a fost îmbunătățită datorită adaosului de LGF, până la un maxim al adaosului de 15% în făina de grâu.

Parametrii de culoare ai probelor de pâine

În cazul cojii pâinii valoarea parametrului L^* (întunecime/luminozitate) a scăzut tot mai mult datorită adaosului de făină de linte germinată, ceea ce înseamnă că probele cu adaos au avut coaja mai închisă la culoare. Același lucru s-a întâmplat și în cazul miezului. Legat de parametrul a^* (nuanța de verde/roșu) se observă faptul că valoarea acestuia a crescut datorită adaosului de LGF, atât în cazul cojii, cât și al miezului. Acest lucru înseamnă faptul că adaosul de LGF i-a imprimat probelor de pâine un colorit ușor roșiatic. Parametrul b^* (nuanța de albastru/galben) a avut o valoare ascendentă odată cu creșterea procentului adaosului de LGF, ceea ce înseamnă că nuanța de galben a probelor s-a intensificat datorită adaosului de făină de linte germinată.

Analiza profilului de textură a probelor de pâine

Fermitatea probelor a crescut tot mai mult odată cu creșterea procentului adaosului de LGF în aluat. Parametrul gumozitate a crescut la un adaos de 5%, respectiv 10% LGF în făina de grâu. Apoi, valoarea acestuia a scăzut, dar nu a fost mai mică decât în cazul probei martor, fără adaos. Coezivitatea probelor a avut un trend descrescător pe măsură ce procentul adaosului de făină de

linte germinată a crescut. Reziliența a fost, de asemenea, tot mai mică datorită adaosului de făină de linte germinată în făina de grâu.

Structura probelor de pâine

Adaosul de făină de linte germinată a influențat pozitiv structura probelor de pâine. În general, consumatorii preferă o pâine cu pori fini și cu o densitate uniformă. Comparativ cu proba martor, probele de pâine cu un adaos de 5% și respectiv 10% LGF s-au remarcat printr-o structură a porilor mai uniformă și aceștia au avut o densitate mai mică. În schimb, odată ce procentul adaosului a fost mai mare decât 10%, porii au fost mai puțin denși.

Evaluarea senzorială a probelor de pâine

Adaosul de făină de linte germinată a influențat fiecare caracteristică senzorială evaluată de către participanți la panelul de evaluare senzorială. Astfel, se observă că din punctul de vedere al culorii cel mai bine a fost apreciată proba cu 7,5% adaos LGF, respectiv cea cu 5% adaos. De asemenea, gustul, mirosul, textura, aroma și acceptabilitatea globală au avut punctajul cel mai mare pentru probele cu 7,5%, respectiv 5% adaos. Probele cu valoarea minimă a adaosului (2,5%), respectiv cu valoarea maximă a adaosului (10%) de LGF în făina de grâu au fost apreciate mai puțin de către evaluatori. În general, adaosul de făină de linte germinată în rețeta de obținere a pâinii albe de grâu a fost bine apreciată de către evaluatori.

Efectul adaosului de făină de linte germinată asupra valorii nutritive a probelor de pâine

Diferența cea mai semnificativă ($p < 0,05$) asupra compoziției chimice a probelor de pâine s-a obținut în cazul conținutului de proteine. Analizele au evidențiat faptul că toți compușii determinați au fost semnificativ diferiți ($p < 0,05$). Proteinele au crescut în mod semnificativ ($p < 0,05$) cu 11,59% în cazul adaosului de maxim, de 10% LGF în aluat. Acest lucru se datorează faptului că boabele de linte conțin o cantitate mai mare de proteine decât făina albă de grâu. Lipidele au scăzut semnificativ ($p < 0,05$), cu 3,85% în cazul adaosului de 10% LGF în făina de grâu. Cantitatea de cenușă a fost mai mare cu 23,53% în cazul procentului maxim al adaosului de făină de linte germinată în aluat. De asemenea, și cantitatea de carbohidrați a variat în mod semnificativ ($p < 0,05$), fiind cu 2,43% mai mică în cazul unui adaos de 10% LGF în pâine. Valoarea energetică a probei cu 10% adaos de făină de linte germinată a scăzut cu 0,25% față de proba martor.

În **Capitolul 8**, intitulat „Efectul adaosului de făină de soia germinată asupra proprietăților reologice ale aluatului și calității pâinii”, s-a analizat posibilitatea utilizării boabelor de soia ca adaos la principalele ingrediente folosite la fabricarea pâinii, cu scopul de a îmbunătăți caracteristicile de calitate ale acesteia. Pentru a maximiza profilul nutrițional al boabelor de soia, acestea au fost supuse procesului de germinare și liofilizare înainte de a fi utilizate în obținerea pâinii. Au fost utilizate procente ale adaosului de 5%, 10%, 15% și 20% făină de soia germinată în făina de grâu și s-au evaluat proprietățile reologice ale aluatului și calitatea pâinii.

Caracteristicile făinii de soia germinată și ale făinii albe de grâu utilizate în experimentări

Pentru făina de soia germinată (GSF) utilizată ca adaos pentru obținerea probelor de pâine, determinările realizate au indicat următoarele valori caracteristice: umiditate 10,5%, lipide 17,9%,

proteine 40,2% și cenușă 5,1%. Făina de soia germinată a prezentat următoarele valori: drojdii și mucegaiuri 1 UFC/g, *Bacillus cereus* absent, aflatoxine mai puțin de 1,4 ppb, ochratoxine 32,62 ppb, zearalenone 96,38 ppb. Făina se încadrează în domeniul limită recomandat de către Uniunea Europeană și poate fi folosită ca ingredient în produsele alimentare (Comisia Europeană, 2006).

Caracteristicile făinii albe de grâu, au fost: umiditate 14,6%, proteine 12,3, cenușă 0,66%, lipide 1,12%, gluten umed 30,4%. De asemenea, făina albă de grâu utilizată în procesul de obținere a probelor de pâine a prezentat un indice de deformare a glutenului de 3 mm și un indice de cădere de 356 s.

Proprietățile reologice fundamentale ale probelor de aluat cu adaos de făină de soia germinată

În cazul fazei de fluaj s-a observat că datele corespund ($R^2 > 0,97$) modelului Burger. Toți parametrii reologici au fost influențați de adaosul de făină de soia germinată în aluat. Așadar, parametrul complianța instantanee în faza de fluaj (J_{Co}) a scăzut în mod semnificativ ($p < 0,05$) datorită adaosului de GSF în aluat. Parametrul timpul de întârziere (λ_C) a crescut ușor. Valorile pentru complianța la fluaj (J_{Co} , J_{Cm} , și J_{max}) au înregistrat un trend descrescător odată ce procentul adaosului de GSF a crescut tot mai mult. De asemenea, și valoarea parametrului vâscozitatea la forfecare în momentul zero (μ_{Co}) a fost în scădere. Referitor la testul de revenire s-a observat faptul că parametrii complianța instantanee, complianța elastică întârziată și complianța la echilibru, au scăzut în mod semnificativ ($p < 0,05$). În cazul parametrului timpul de întârziere se observă că adaosul de GSF a crescut în mod semnificativ ($p < 0,05$) valoarea acestuia. Raportul J_r/J_{max} a înregistrat o ușoară creștere în cazul adaosului de 5% și 10% GSF, iar în cazul unui adaos de 15% și respectiv 20% GSF în făina de grâu valoarea acestuia a fost mai mică decât cea pentru proba martor.

Microstructura aluatului

Prin adaosul de făină de soia germinată în făina de grâu, compoziția aluatului s-a schimbat semnificativ. La un nivel al adaosului de 20% făină de soia germinată în aluat, zona roșie a microstructurii aluatului a crescut semnificativ. Acest lucru se poate explica prin faptul că a crescut semnificativ conținutul de proteine din structura aluatului, cu 45,28%, de la 12,3% la 17,87%. Culoarea verde evidențiază prezența amidonului deoarece colorația verde este specifică fluoresceinei care colorează în verde granulele de amidon. Se poate observa că verdele este mai proeminent în cazul probei martor. Conținutul de carbohidrați al aluatului a scăzut cu 12,6%, de la 71,32 la 62,31%. Acești carbohidrați includ amidon, glucide simple și fibre. Prin germinare, conținutul de amidon al boabelor de soia scade datorită hidrolizării acestuia de către amilaze, pentru a produce glucide simple pentru dezvoltarea embrionului. Prin urmare, boabele de soia germinate nu prezintă o cantitate mare de amidon, ceea ce conduce la o structură a aluatului cu un conținut de maxim 60% amidon atunci când s-a adăugat 20% făină de soia germinată în făina de grâu.

Caracteristicile fizice ale pâinii

Determinările specifice au evidențiat faptul că proporțiile variate ale adaosului de GSF în aluat au influențat în mod diferit caracteristicile fizice ale pâinii. Toate determinările au fost realizate comparativ cu proba martor. Astfel, s-a putut observa faptul că volumul specific al probelor de pâine a crescut în mod semnificativ ($p < 0,05$) chiar și la un adaos de 15% GSF. La un

adaos de 20% volumul probelor de pâine a fost mai mic decât cel al probei fără adaos. Același trend s-a observat și în cazul valorilor parametrilor porozitate și elasticitate. Astfel, s-a observat faptul că cei doi parametri s-au îmbunătățit în mod semnificativ ($p < 0,05$) în cazul adaosului de 5%, 10% și 15% GSF în făina de grâu. În schimb, la un adaos de 20% GSF în aluat porozitatea și elasticitatea probelor de pâine s-a redus.

Parametrii de culoare ai probelor de pâine

Parametrul L^* a avut valori mai scăzute în cazul probelor cu adaos de GSF, ceea ce înseamnă că miezul și coaja probelor de pâine a fost mai închisă la culoare în cazul probelor cu adaos de făină de soia germinată. Valorile parametrului a^* au fost mai mari pentru probele cu adaos, comparativ cu cea fără adaos de GSF. Acest lucru indică faptul că adaosul de făină de soia germinată a condus la probe cu o tentă mai roșiatică. De asemenea, valorile parametrului b^* au crescut odată cu creșterea procentului adaosului de GSF în rețeta de obținere a pâinii. Valori mai mari ale parametrului b^* indică o tentă galbenă mai intensă.

Analiza profilului de textură a probelor de pâine

Adaosul de făină de soia germinată a influențat toți parametrii texturali determinați. Astfel, valoarea parametrului fermitate a crescut în mod semnificativ ($p < 0,05$). La maximum adaosului de 20% GSF în aluat acest parametru a avut valoarea mai mult decât dublu față de proba martor. Ceilalți parametrii texturali, gumozitate, coezivitate și reziliență au scăzut în mod semnificativ ($p < 0,05$) datorită adaosului de făină de soia germinată în făina de grâu.

Structura probelor de pâine

Conform imaginilor obținute cu ajutorul stereomicroscopului, suplimentarea cu făină de soia germinată a făinii de grâu a avut o influență pozitivă asupra structurii miezului probelor de pâine, care se caracterizează prin pori mai mici, care sunt mai uniform distribuiți, în comparație cu proba fără adaos. La un adaos de 10% GSF dimensiunea porilor a început să crească ușor, dar apoi a scăzut din nou la un adaos de 15% și 20% GSF în făina de grâu.

În comparație cu proba martor, probele cu adaos de făină de soia germinată au fost caracterizate printr-o densitate a porilor semnificativ ($p < 0,05$) mai mică. Structura rotundă a porilor nu s-a schimbat prea mult. În schimb, fracția de suprafață celulară a fost influențată diferit, în funcție de procentul adaosului de GSF în făina de grâu.

Evaluarea senzorială a probelor de pâine

Suplimentarea cu 5%, 10% și 15% făină de soia germinată în făina de grâu a condus la o apreciere pozitivă a caracteristicilor senzoriale ale probelor de pâine. Evaluatorii care au participat la studiu au apreciat cel mai mult proba cu adaos de 15% făină de soia germinată în făina de grâu. Cu toate acestea, gustul și mirosul au fost cel mai bine apreciate în cazul probei cu un adaos de 10% făină de soia germinată. Adaosul de 20% făină de soia germinată în aluat a înrăutățit proprietățile senzoriale ale probei de pâine.

Efectul adaosului de făină de soia germinată asupra valorii nutritive a pâinii

Adaosul de făină de soia germinată a influențat semnificativ ($p < 0,05$) conținutul de proteine, lipide, cenușă și carbohidrați. Acest lucru se explică prin faptul că făina de soia germinată

conține o cantitate mai mare de proteine, cenușă, lipide și o cantitate mai mică de carbohidrați decât făina albă de grâu.

Capitolul 9 este intitulat „Efectul adaosului unui mix de făină de soia germinată și făină de linte germinată asupra proprietăților reologice ale aluatului” și a avut drept scop evaluarea efectelor adaosului unui mix format din făină de soia germinată și din făină de linte germinată în făina de grâu asupra procesului tehnologic de obținere a pâinii. S-a urmărit efectul adaosului asupra comportamentului reologic al aluatului în diferite etape de prelucrare și optimizarea nivelului de adaos.

Acest studiu și-a propus să optimizeze mixul de făină de soia și de linte germinate care poate fi folosit ca adaos în făina de grâu rafinată, cu activitate alfa-amilazică redusă, pentru a îmbunătăți proprietățile reologice ale aluatului. Pentru combinația optimă dintre făina de soia germinată și făină de linte germinată, microstructura aluatului a fost analizată prin microscopie de epifluorescență (EFLM). În urma studierii literaturii de specialitate, s-a observat faptul că nici un alt studiu nu a analizat efectul adaosului de făină de soia germinată și de făină linte germinată în făina de grâu, într-o formă combinată în panificație. Importanța utilizării celor două făinuri în panificație derivă din valoarea nutritivă ridicată a acestor leguminoase, dar și din avantajele tehnologice ale utilizării lor sub formă germinată în produse alimentare.

Analiza statistică a datelor

Pentru acest studiu experimental, toate determinările au fost făcute în duplicat. Pentru a compara valorile medii ale probelor cu adaos de făină de soia germinată (SGF) și făină de linte germinată (LGF), în diferite procente, s-a folosit analiza de varianță (ANOVA). Pentru aplicarea testului Tukey s-a considerat ca nivel de semnificație statistică a diferențelor valoarea $p < 0,05$. Cu acest scop, s-a utilizat software-ul XLSTAT pentru Excel, versiunea 2021 (Addinsoft, New York, NY, USA).

Apoi, s-a realizat un design experimental pentru a evidenția efectul adaosului singular și cel al mixului. Studiarea efectului adaosului de SGF și de LGF, în diferite procente, și optimizarea nivelului adaosului s-a realizat cu ajutorul programului statistic Design Expert (Stat-Ease, Inc., Minneapolis, MN, USA). Pentru aceasta, s-a utilizat un design factorial cu doi factori variabili în funcție de cele cinci niveluri ale adaosului de SCF (0, 5, 10, 15 și 20%) și de LGF (0; 2,5; 5; 7,5 și 10 %). De asemenea, s-a utilizat Metodologia Suprafeței de Răspuns (RSM), cu modelul de interacțiune dintre doi factori (2FI). Au fost încadrate în categoria răspunsurilor următoarele (determinările efectuate): FN - indicele de cădere, WA - capacitatea de hidratare a făinii, Tol - toleranța, timpul în care presiunea depășește $Pr_{max} - 20\%$, D250 - scăderea presiunii/consistenței aluatului față de Pr_{max} după 250 secunde de la începutul frământării, D450 - scăderea presiunii/consistenței aluatului față de Pr_{max} după 450 secunde de la începutul frământării, P - tenacitatea aluatului, L - extensibilitatea aluatului, W - energia de deformare, P/L - raportul de configurare al curbei alveografice, H'm - înălțimea maximă a aluatului în timpul formării și reținerii gazelor la fermentare, VT - volumul total de gaze format în aluat, VR - volumul de retenție, CR - coeficientul de retenție, G' - modulul de elasticitate, G'' - modulul de vâscozitate, $\tan \delta$ - unghiul de fază, T_i - temperatura inițială de gelatinizare, T_{max} - temperatura maximă de gelatinizare.

Efectele nivelurilor adaosurilor de SGF și de LGF asupra proprietăților reologice ale aluatului au fost evaluate cu ajutorul modelării matematice. Modelul cel mai potrivit pentru a

prezice variația datelor pentru fiecare răspuns a fost ales în conformitate cu rezultatele testului F, cu coeficientul de determinare (R^2) și cu coeficienții de determinare ajustați ($Adj.-R^2$). Efectele factorilor și interacțiunile dintre aceștia au fost evidențiate folosind analiza de varianță (ANOVA), la un nivel de semnificație de 95%. Optimizarea nivelurilor adaosurilor de SGF și de LGF a fost făcută aplicând funcția de dezirabilitate. Diferențele dintre proba optimă și proba martor au fost testate aplicând testul t (Student), la un nivel de semnificație de 95%, utilizând programul statistic XLSTAT, versiunea 2021 (Addinsoft, New York, NY, USA).

Efectul adaosului de SGF și LGF asupra parametrului indicele de cădere și asupra proprietăților reologice ale aluatului

Comparativ cu proba martor, adaosul de SGF în făina albă de grâu a condus la o creștere semnificativă ($p < 0,05$) a valorilor indicelui de cădere, atunci când nivelul adaosului a fost mare. Un trend similar a fost înregistrat și în cazul încorporării de LGF în făina de grâu, așa cum se observă din tabelul 9.3. Comportarea aluatului la frământare, în termeni de capacitate de hidratare a făinii și toleranță, timpul în care presiunea depășește $Pr_{max} - 20\%$ a indicat o reducere semnificativă odată ce a crescut cantitatea adaosului de SGF în aluat, în timp ce parametrii ce indică consistența aluatului au variat în mod neregulat. Un trend similar în sensul reducerii valorilor parametrilor capacitatea de hidratare a făinii și toleranța, timpul în care presiunea depășește $Pr_{max} - 20\%$ a fost observat și în cazul probelor cu adaos de LGF, în timp ce parametrii de consistență ai aluatului au crescut proporțional, în mod semnificativ. Scăderi semnificative ($p < 0,05$) ale extensibilității aluatului și ale energiei de deformare au fost înregistrate odată ce a crescut nivelul adaosului de SGF și de LGF, comparativ cu proba martor, așa cum se poate observa din tabelul 9.1. Tenacitatea aluatului a crescut odată ce cantitatea adaosului de SGF în făina de grâu a crescut, în timp ce adaosul de LGF a determinat o evoluție contrară, exceptând adaosul de 5%. Valorile raportului de configurare al curbei alveografice au crescut, de asemenea, în mod proporțional cu nivelul adaosului de SGF și LGF, exceptând adaosul de 7,5% LGF. Toți parametrii enumerați mai sus au fost influențați în mod semnificativ ($p < 0,05$) de către încorporarea de SGF și de LGF în aluat.

Parametrii reologici ai aluatului pe parcursul etapei de fermentare, modulii vâscoelastici și temperaturile de gelatinizare au fost afectați în mod semnificativ ($p < 0,05$) de către niveluri de SGF și LGF, așa cum se poate observa în tabelul 9.2.

Înălțimea maximă a aluatului în timpul formării și reținerii gazelor de fermentare, volumul total de gaz eliminat și volumul de gaz reținut în aluat la sfârșitul testului realizat la reofermentometru au fost reduse odată ce cantitatea de SGF în aluat a crescut, iar coeficientul de retenție a fost modificat în mod neuniform. Pe de altă parte, LGF a cauzat o creștere a valorilor înălțimii maxime a producției de gaz în timpul fermentării, exceptând adaosul de 10% și o descreștere a valorilor coeficientului de retenție, în timp ce volumul de gaz reținut în aluat la finalul testului realizat la reofermentometru a înregistrat un trend neuniform. Modulii elastic și vâscos au crescut semnificativ ($p < 0,05$) odată ce nivelurile de SGF și LGF în aluat au crescut.

Temperatura maximă de gelatinizare a înregistrat un trend crescător proporțional cu cantitate de SGF și de LGF adăugată în aluat, în timp ce temperatura inițială de gelatinizare a crescut doar odată cu nivelul de LGF, în cazul SGF înregistrându-se un trend opus.

Optimizarea nivelurilor adaosului de SGF și LGF

Verificarea diagnostică a modelelor

Datele pentru parametrii indicelui de cădere (FN), toleranța, timpul în care presiunea depășește $Pr_{max} - 20\%$ (Tol), scăderea presiunii/consistenței aluatului față de Pr_{max} după 250 secunde de la începutul frământării (D250), scăderea presiunii/consistenței aluatului față de Pr_{max} după 450 secunde de la începutul frământării (D450), energia de deformare (W) și raportul de configurare al curbei alveografice corespund ($p < 0,05$) modelului pătratic care a explicat 96, 74, 66, 75, 86 și respectiv 74% dintre variații, așa cum arată rezultatele ANOVA prezentate în tabelul 9.5. Modelul matematic 2FI care corespunde pentru parametrii capacitatea de hidratare a făinii (WA) și extensibilitatea aluatului (L) pentru care s-au potrivit datele a explicat 74 și respectiv 87% din variație și a fost semnificativ la $p < 0,05$, în ambele cazuri. Rezultatele obținute la alveograf pentru tenacitatea aluatului (P) corespund modelului cubic care a fost semnificativ la un nivel de $p < 0,05$ și a explicat 77% din variația datelor.

Pentru modelul pătratic care corespunde ($p < 0,05$) datelor pentru parametrii înălțimea maximă a aluatului în timpul formării și reținerii gazelor la fermentare ($H'm$), volumul de gaz reținut în aluat la finalul testului (VR), modulul de elasticitate (G'), unghiul de fază ($\tan \delta$) și temperatura inițială de gelatinizare (T_i), variațiile au fost explicabile în proporție situată între 62 și 98%, așa cum se observă din tabelul 9.6. Pentru predicția datelor în cazul volumului total de gaz eliminat (VT) și al temperaturii maxime de gelatinizare (T_{max}), s-a găsit a fi adecvat modelul cubic ($p < 0,05$), cu o variație explicabilă în procente de 78 și respectiv 96%, în timp ce valorile coeficientului de retenție (CR) s-au potrivit cu modelul cubic, care a fost semnificativ la un nivel de $p < 0,05$ și explicabil în procent de 61% a variației datelor, așa cum se observă în tabelul 9.4.

Efectele adaosului de SGF și LGF asupra valorilor parametrului indicele de cădere și ale proprietăților reologice de frământare și de întindere ale aluatului

Așa cum se observă din figura 9.1, valorile indicelui de cădere (FN) au scăzut în mod semnificativ ($p < 0,05$) atunci când nivelul adaosului de SGF în făina de grâu a crescut. Un trend similar se observă și pentru adaosul de LGF în aluat, din tabelul 9.3. Interacțiunea dintre factori a afectat în mod semnificativ variația parametrului FN al făinii, într-un mod pozitiv. Comportarea aluatului în timpul frământării a fost influențată de adaosul de SGF și de LGF în făina albă de grâu. Capacitatea de hidratare a făinii a înregistrat o descreștere semnificativă ($p < 0,05$), așa cum se observă din figura 9.1b, odată ce a crescut nivelul adaosului de SGF și de LGF în aluat, interacțiunea dintre factori având un efect nesemnificativ ($p > 0,05$) asupra acestui parametru, așa cum se observă din tabelul 9.5. Toleranța, timpul în care presiunea depășește $Pr_{max} - 20\%$ a înregistrat descreșteri semnificative ($p < 0,05$) odată cu creșterea nivelului adaosului de LGF, iar datorită adaosului de SGF s-a înregistrat un efect nesemnificativ ($p > 0,05$), așa cum se poate observa din figura 9.1c. Scăderea presiunii/consistenței aluatului față de Pr_{max} după 250 secunde de la începutul frământării și respectiv 450 secunde a fost afectată în mod semnificativ ($p < 0,05$) de către adaosul de LGF, așa cum se observă din tabelul 9.5, în timp ce adaosul de SGF și interacțiunea dintre factori a avut o influență semnificativă doar asupra parametrului D450. Creșterea cantității de LGF a condus la creșterea proporțională a parametrului consistența aluatului (figura 9.1d,e).

Tabelul 9.1. Valorile indicelui de cădere și proprietățile reologice de frământare și de întindere ale aluatului, cu diferite doze de făină de soia germinată (GSF) și făină de linte germinată (GLF) adăugate în făina de grâu

Proba	FN (s)	WA (%)	Tol (s)	D250 (mb)	D450 (mb)	P (mm)	L (mm)	W (10-4 J)	P/L (adim.)
Martor	350 ± 2,83 ^{aA}	54,3 ± 0,14 ^{aA}	214 ± 2,83 ^{bA}	394 ± 1,41 ^{aD}	943 ± 4,24 ^{aC}	104 ± 1,41 ^{aB}	72 ± 2,83 ^{aA}	301 ± 4,24 ^{aA}	1,44 ± 0,04 ^{aB}
SCF 5	323 ± 2,83 ^b	54,0 ± 0,14 ^{ab}	223 ± 5,66 ^{ab}	293 ± 2,83 ^c	881 ± 1,41 ^b	115 ± 1,41 ^c	53 ± 2,83 ^b	241 ± 4,24 ^b	2,17 ± 0,08 ^c
SCF 10	305 ± 2,83 ^c	53,7 ± 0,14 ^{ab}	232 ± 2,83 ^a	270 ± 5,66 ^d	819 ± 4,24 ^d	119,5 ± 0,71 ^{bc}	46 ± 1,41 ^b	219 ± 4,24 ^c	2,59 ± 0,09 ^c
SCF 15	275 ± 4,24 ^c	53,4 ± 0,28 ^{bc}	217 ± 4,24 ^{ab}	272 ± 2,83 ^d	858 ± 4,24 ^c	124 ± 2,83 ^{ab}	35 ± 2,83 ^c	186 ± 2,83 ^d	3,54 ± 0,21 ^b
SCF 20	243 ± 1,41 ^e	52,8 ± 0,14 ^c	191 ± 5,66 ^c	319 ± 2,83 ^b	878 ± 1,41 ^b	128 ± 2,83 ^a	31 ± 1,41 ^c	170 ± 4,24 ^d	4,15 ± 0,07 ^a
ANOVA unidirecțională valorile <i>p</i>									
	p < 0,0001	p < 0,0003	p < 0,0002	p < 0,0001	p < 0,0001	p < 0,0001	p < 0,0001	p < 0,0001	p < 0,0001
LGF 2,5	295 ± 4,24 ^B	53,7 ± 0,14 ^B	191 ± 5,66 ^B	406 ± 7,07 ^{CD}	1000 ± 7,07 ^B	109 ± 0,00 ^B	75 ± 1,41 ^A	285 ± 2,83 ^B	1,45 ± 0,03 ^B
LGF 5	274 ± 4,24 ^C	53,1 ± 0,14 ^C	177 ± 4,24 ^{BC}	418 ± 5,66 ^{BC}	1015 ± 7,07 ^{AB}	115 ± 1,41 ^A	68 ± 1,41 ^{AB}	269 ± 4,24 ^C	1,69 ± 0,01 ^A
LGF 7,5	252 ± 2,83 ^D	52,6 ± 0,14 ^{CD}	166 ± 5,66 ^C	435 ± 4,24 ^B	1020 ± 4,24 ^{AB}	91 ± 1,41 ^C	63 ± 1,41 ^B	183 ± 2,83 ^D	1,44 ± 0,06 ^B
LGF 10	229 ± 4,24 ^E	52,2 ± 0,00 ^D	161 ± 2,83 ^C	571 ± 4,24 ^A	1029 ± 5,66 ^A	88 ± 1,41 ^C	50 ± 1,41 ^C	173 ± 2,83 ^D	1,76 ± 0,08 ^A
ANOVA unidirecțională valorile <i>p</i>									
	p < 0,0001	p < 0,0001	p < 0,0001	p < 0,0001	p < 0,0001	p < 0,0001	p < 0,0001	p < 0,0001	p < 0,0002

FN - indicele de cădere, WA - capacitatea de hidratare a făinii, Tol - toleranța, timpul în care presiunea depășește Pr_{max} - 20%, D250 - scăderea presiunii/consistenței aluatului față de Pr_{max} după 250 secunde de la începutul frământării, D450 - scăderea presiunii/consistenței aluatului față de Pr_{max} după 450 secunde de la începutul frământării, P - tenacitatea aluatului, L - extensibilitatea aluatului, W - energia de deformare, P/L - raportul de configurare al curbei alveografice. Probele care conțin făina de soia germinată (SGF): a-e, valorile medii din aceeași coloană, urmate de litere diferite sunt semnificativ diferite ($p < 0,05$); Probele care conțin făina de linte germinată (SLF): A-E, valorile medii din aceeași coloană, urmate de litere diferite sunt semnificativ diferite ($p < 0,05$).

Tabelul 9.2. Proprietățile reologice în timpul procesului de fermentare și dinamice ale aluatului cu diferite doze de făină de soia germinată (GSF) și făină de linte germinată (GLF) adăugate în făina de grâu

Proba	H'm (mL)	VT (mL)	VR (mL)	CR (%)	G' (Pa)	G'' (Pa)	tan δ (adim.)	T _i (°C)	T _{max} (°C)
Martor	65,9 ± 0,14 ^{ce}	1532 ± 4,24 ^{ce}	1228 ± 2,83 ^{bc}	80,15±0,07 ^{ba}	29290±5,66 ^{ce}	10780±4,24 ^{ce}	0,368±0,00 ^{bd}	51,9±0,14 ^{ab}	73,4±0,28 ^{dd}
SGF 5	68,7 ± 0,14 ^a	1665 ± 5,66 ^a	1335 ± 1,41 ^a	80,15±0,21 ^b	39190±4,24 ^d	13440±2,83 ^d	0,343±0,00 ^c	51,4±0,14 ^a	74,1±0,28 ^{cd}
SGF 10	67,3 ± 0,14 ^b	1567 ± 2,83 ^b	1200 ± 2,83 ^c	76,55±0,07 ^c	44120±5,66 ^c	16670±2,83 ^c	0,378±0,00 ^a	49,7±0,14 ^b	74,8±0,14 ^{bc}
SGF 15	65,9 ± 0,14 ^c	1534 ± 4,24 ^c	1235 ± 2,83 ^b	80,45±0,07 ^b	55060±2,83 ^b	19750±2,83 ^b	0,359±0,00 ^c	48,9±0,28 ^c	75,5±0,14 ^{ab}
SGF 20	62,6 ± 0,14 ^d	1360 ± 7,07 ^d	1176 ± 2,83 ^d	86,45±0,21 ^a	64920±2,83 ^a	23050±4,24 ^a	0,355±0,00 ^d	47,6±0,14 ^d	76,3±0,14 ^a
ANOVA unidirecțională valorile <i>p</i>									
	p < 0,0001	p < 0,0001	p < 0,0001	p < 0,0001	p < 0,0001	p < 0,0001	p < 0,0001	p < 0,0001	p < 0,0001
LGF 2,5	69,1 ± 0,14 ^D	1631 ± 2,83 ^D	1281 ± 4,24 ^B	78,55±0,35 ^B	31480±2,83 ^D	11810±4,24 ^D	0,375±0,00 ^B	50,3±0,00 ^C	74,6±0,14 ^C
LGF 5	73,3 ± 0,14 ^B	1836 ± 5,66 ^B	1369 ± 5,66 ^A	74,50±0,57 ^C	32160±5,66 ^C	12500±2,83 ^C	0,389±0,00 ^A	52,3±0,14 ^B	75,3±0,14 ^B
LGF 7,5	77,0 ± 0,28 ^A	1886 ± 4,24 ^A	1282 ± 4,24 ^B	67,95±0,35 ^D	40600±2,83 ^A	14700±5,66 ^A	0,362±0,00 ^E	52,7±0,28 ^{AB}	75,8±0,00 ^B
LGF 10	70,7 ± 0,14 ^C	1799 ± 4,24 ^C	1172 ± 5,66 ^D	65,10±0,14 ^E	38100±2,83 ^B	14130±4,24 ^B	0,371±0,00 ^C	53,5±0,28 ^A	76,9±0,00 ^A
ANOVA unidirecțională valorile <i>p</i>									
	p < 0,0001	p < 0,0001	p < 0,0001	p < 0,0001	p < 0,0001	p < 0,0001	p < 0,0001	p < 0,0001	p < 0,0001

H'm- înălțimea maximă a aluatului în timpul formării și reținerii gazelor la fermentare, VT- volumul total de gaz format în aluat, VR-volumul de retenție, CR-coeficientul de retenție, G'-modulul de elasticitate, G''-modulul de vâscozitate, tan δ-unghiul de fază, T_i-temperatura inițială de gelatinizare, T_{max}-temperatura maximă de gelatinizare. Probele care conțin făină de soia germinată (SGF):a –e, valorile medii din cadrul aceleiași coloane urmate de litere diferite sunt semnificativ diferite (p < 0,05); Probele care conțin adaos de făină de linte germinată (LGF): A-E, valorile medii din aceeași coloană urmate de litere diferite sunt semnificativ diferite (p < 0,05).

Tabelul 9.3. Rezultatele ANOVA pentru modelele corespunzătoare pentru FN și proprietățile reologice de frământare și de întindere ale aluatului

Factori	Parametrii								
	FN (s)	WA (%)	Tol (s)	D250 (mb)	D450 (mb)	P (mm)	L (mm)	W (10 ⁻⁴ J)	P/L (adim.)
Constant	254,50	52,72	191,11	372,23	933,41	114,85	46,72	196,66	2,49
A	-27,20 ^{***}	-0,64 ^{***}	-7,48	-18,12	-19,36	-10,66	-17,84 ^{***}	-46,28 ^{***}	1,09 ^{***}
B	-47,40 ^{***}	-0,92 ^{***}	-34,60 ^{***}	116,88 ^{***}	77,04 ^{***}	-7,93	-4,96 ^{**}	26,08 ^{**}	0,48 [*]
A x B	11,48 ^{**}	-0,12	-6,44	42,60	37,64 [*]	3,00	2,56	1,20	0,65 [*]
A ²	-0,6857		-13,31	4,97	37,03	-3,37		-0,9143	0,08
B ²	-2,80		-5,31	75,77 [*]	13,60	2,23			0,19
A ² B						-5,54			
AB ²						12,06 [*]			
A3						114,85 [*]			
B ³						-10,66			
<i>Evaluarea modelului</i>									
R ²	0,96	0,74	0,74	0,66	0,75	0,77	0,87	0,86	0,74
Adj.-R ²	0,95	0,70	0,67	0,57	0,69	0,64	0,85	0,82	0,68
p-valori	0,0001	0,0001	0,0001	0,0005	0,0001	0,0017	0,0001	0,0001	0,0001

*** p < 0,001, ** p < 0,01, * p < 0,05, A-făină de soia germinată (%), B-făină de linte germinată (%), R², Adj.-R²-măsurile de potrivire a modelului, FN- indicele de cădere, WA- capacitatea de hidratare a făinii, Tol- toleranța, timpul în care presiunea depășește Pr_{max}-20%, D250- scăderea presiunii/consistenței aluatului față de Pr_{max} după 250 secunde de la începutul frământării, D450- scăderea presiunii/consistenței aluatului față de Pr_{max} după 450 secunde de la începutul frământării, P-tenacitatea aluatului, L-extensibilitatea aluatului, W-energia de deformare, P/L – raport de configurare a curbei alveografice.

Tabelul 9.4. Rezultatele ANOVA pentru modelele matematice corespunzătoare proprietăților reologice în timpul procesului de fermentare și dinamice ale aluatului

Factori	Parametri								
	H'm (mL)	VT (mL)	VR (mL)	CR (%)	G' (Pa)	G'' (Pa)	tan δ (adim.)	T _i (°C)	T _{max} (°C)
Constant	69,57	1609,22	1283,41	79,77	49460,86	20268,40	0,4143	50,77	75,57
A	-3,22 ^{***}	-151,59	-68,28 ^{***}	-0,3634	16590,80 ^{***}	7117,60 ^{***}	0,0104	-1,65 ^{***}	1,94 ^{***}
B	0,50	-104,84	-19,32	3,84	4064,80 ^{**}	3569,60 ^{**}	0,0391 ^{**}	0,92 ^{**}	0,51 [*]
A x B	-1,06	-66,40	-3,52	2,55	-688,80	1040,00 ^{**}	0,0115	0,15	-0,44 ^{***}
A ²	0,21	41,77	-50,57 [*]	79,77	1932,00 [*]		-0,0288 [*]	-0,33	0,45 ^{**}
B ²	-3,29 [*]	-101,66 [*]	-43,60	-0,3634	194,29		-0,0008	0,12	-0,09
A ² B		185,14 ^{**}		3,84 ^{***}					0,39 [*]
AB ²		-39,43		2,55					75,57
A ³		36,40							1,94 ^{***}
B ³		11,47							0,51
<i>Evaluarea modelului</i>									
R ²	0,62	0,78	0,62	0,61	0,98	0,98	0,71	0,83	0,96
Adj.-R ²	0,53	0,66	0,53	0,45	0,98	0,98	0,64	0,79	0,93
valoarea lui p	0,0013	0,0010	0,0012	0,0113	<0.0001	<0.0001	0.0001	<0.0001	<0.0001

*** p < 0,001, ** p < 0,01, * p < 0,05, A-făină de soia germinată (%), B-făină de linte germinată (%), R², Adj.-R²-măsurile de potrivire a modelului, H'm - înălțimea maximă a aluatului în timpul formării și reținerii gazelor, VT- volumul total de gaz eliminat, VR-volumul de retenție, CR-coeficientul de retenție, G'-modulul elastic, G''-modulul vâcos, tan δ-unghiul de fază, T_i-temperatura inițială de gelatinizare, T_{max}-temperatura maximă de gelatinizare.

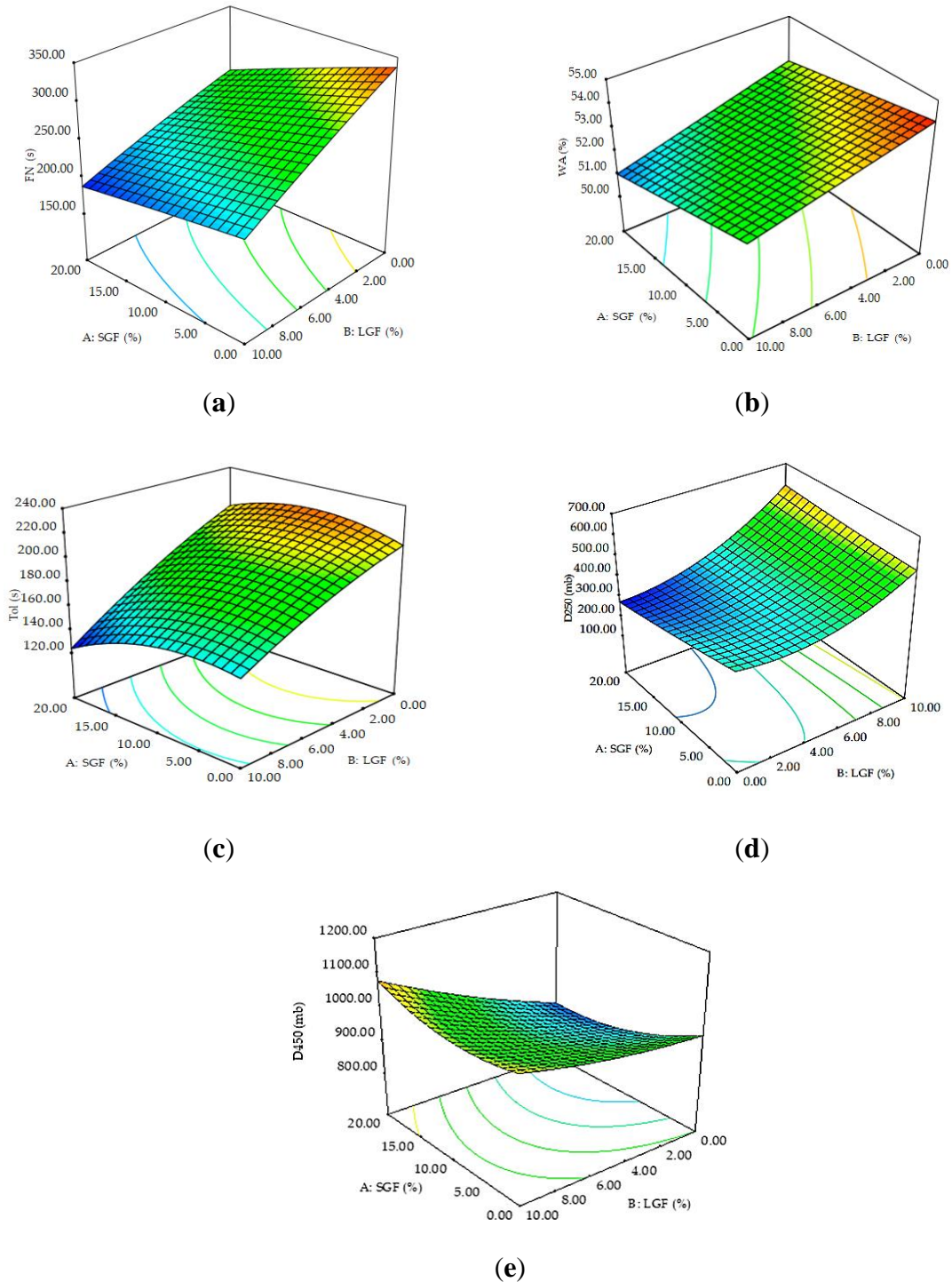


Figura 9.1. Graficul tridimensional al suprafeței de răspuns prezentând interacțiunea dintre nivelurile adaosurilor de SGF și de LGF în aluat asupra parametrilor indicele de cădere (a), capacitatea de hidratare a făinii (b), toleranța, timpul în care presiunea depășește $Pr_{max}-20\%$ (c), scăderea presiunii/consistenței aluatului față de Pr_{max} după 250 secunde de la începutul frământării (d) scăderea presiunii/consistenței aluatului față de Pr_{max} după 450 secunde de la începutul frământării (e).

Efectele factorilor asupra proprietăților reologice de întindere ale aluatului sunt prezentate în figura 9.2. Tenacitatea aluatului a înregistrat un trend variat, crescând odată cu nivelurile de SGF și descrescând odată ce niveluri de LGF au fost mai mari de 2%, așa cum se observă în figura 9.2. Efectul a devenit semnificativ în cazul interacțiunii dintre adaosul de SGF și termenii pătratici ale LGF și termenii cubici ai SGF. Pe de altă parte, creșterea nivelului de SGF în făina de grâu a cauzat o scădere puternică ($p < 0,001$) a extensibilității aluatului, adaosul de LGF și SGF prezentând un efect semnificativ, așa cum se observă din figura 9.2 b. Energia de deformare a aluatului a fost influențată în mod semnificativ ($p < 0,05$) de către ambii factori și de către interacțiunea din ei, așa cum se observă în tabelul 9.5. Scăderea valorilor acestui parametru s-a observat odată cu nivelurile adaosurilor de leguminoase germinate, așa cum se observă în figura 9.2c. Raportul de configurare al curbei alveografice a înregistrat o creștere odată cu creșterea cantității adaosului de SGF și de LGF în aluat, așa cum se observă în figura 9.2d, fiind semnificativă ($p < 0,05$) modificarea, atât în cazul factorilor singurari cât și a interacțiunii dintre ei.

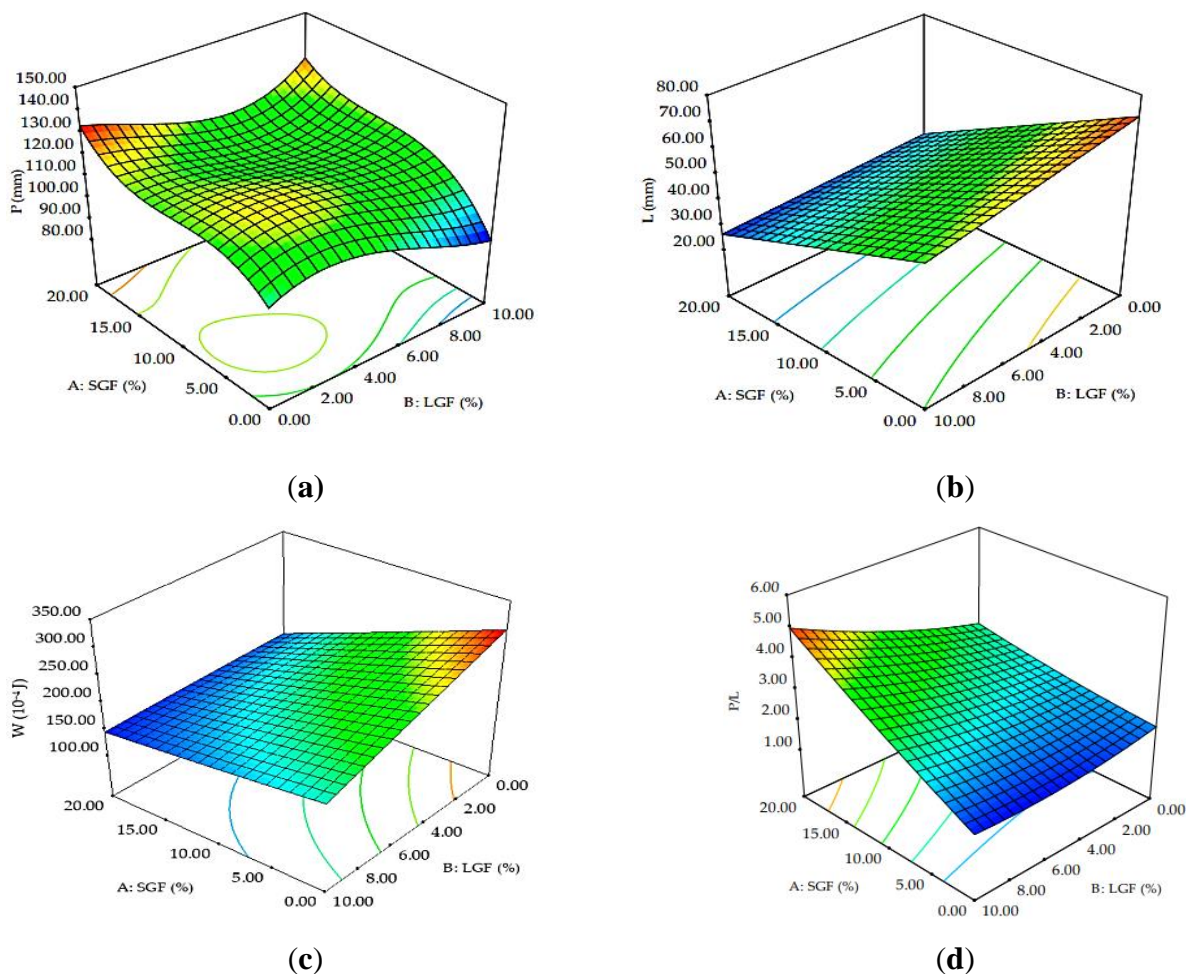


Figura 9.2. Graficul tridimensional al suprafeței de răspuns prezentând interacțiunea dintre nivelurile adaosului de SGF și LGF asupra proprietăților reologice de întindere ale aluatului: (a): tenacitatea aluatului (P), (b) extensibilitatea aluatului (L), (c) energia de deformare (W), (d) raportul cubei alveografice (P/L).

Efectele adaosului de SGF și LGF asupra proprietăților reologice dinamice ale aluatului și din timpul fermentării aluatului

Proprietățile reologice ale aluatului prezintă importanță pentru optimizarea procesului tehnologic de obținere a produselor de panificație deoarece acestea ar putea prezice comportamentul aluatului în timpul frământării, fermentării și prelucrării aluatului. Înălțimea maximă a aluatului în timpul formării și reținerii gazelor la fermentare a înregistrat o scădere semnificativă ($p < 0,05$) odată ce nivelul adaosului de SGF a fost ridicat, în timp ce adaosul de LGF și interacțiunea dintre factori nu a exercitat un efect semnificativ, așa cum se observă din figura 9.3a. Doar interacțiunile dintre termenul pătratic al adaosului de SGF cu factorul LGF și termenul pătratic al LGF a prezentat o influență semnificativă ($p < 0,05$) asupra volumului total de gaz eliminat, așa cum se observă din tabelul 9.6. Volumul de retenție a scăzut în mod semnificativ odată cu creșterea nivelului adaosului de SGF în aluat, așa cum se observă din figura 9.3c. Termenul pătratic SGF și interacțiunea dintre termenul pătratic SGF și factorul LGF au avut efecte semnificative ($p < 0,05$) asupra coeficientului de retenție al aluatului, înregistrându-se un trend de scădere ușoară odată cu creșterea nivelului adaosului de LGF, așa cum se observă din figura 9.3d. În schimb, s-a observat o reducere a acestui parametru, în cazul unui adaos de până la 10% SGF, apoi valorile acestuia au crescut.

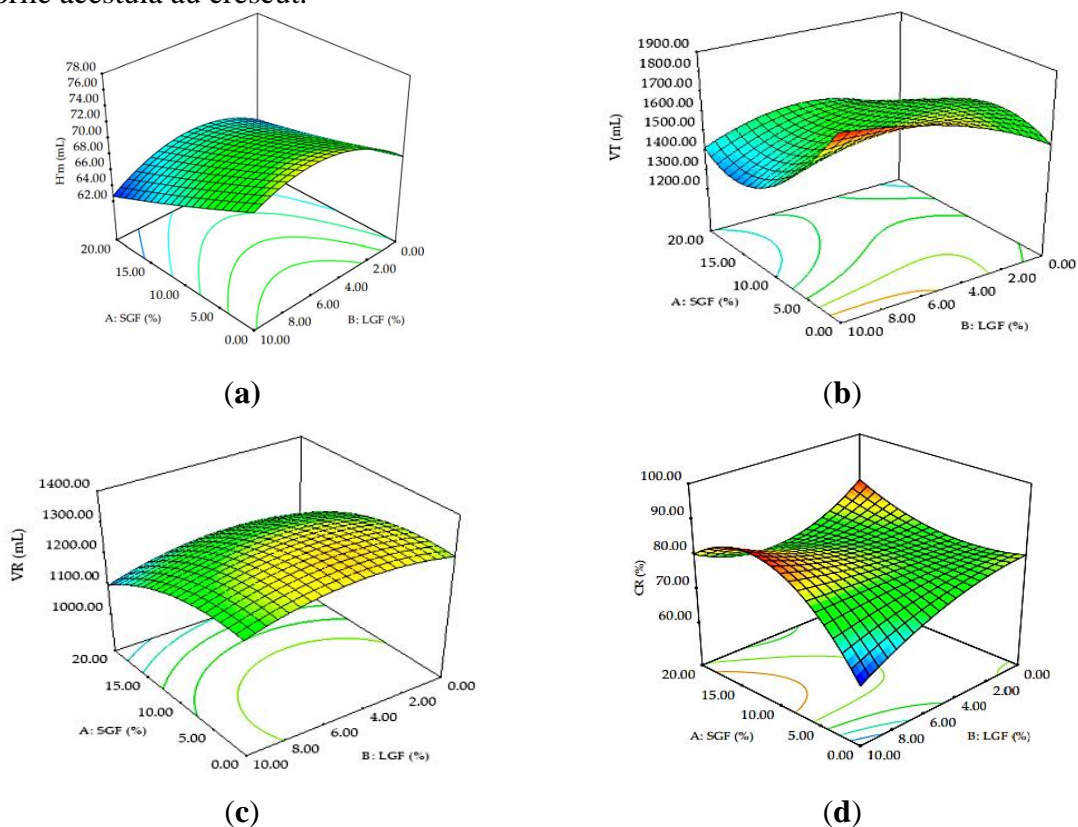


Figura 9.3. Graficul tridimensional al suprafeței de răspuns prezentând interacțiunea dintre nivelurile adaosului de SGF și LGF asupra proprietăților reologice ale aluatului în timpul fermentării: (a) înălțimea maximă a aluatului în timpul formării și reținerii gazelor la fermentare ($H'm$), (b) volumul total de gaz format în aluat (VT), (c) volumul de retenție (VR) și (d) coeficientul de retenție.

Proprietățile reologice dinamice ale aluatului în termeni de modul de elasticitate, modul de vâscozitate și unghi de fază au fost influențate de adaosul de SGF și LGF în făina albă de grâu, astfel: G' a crescut în mod semnificativ ($p < 0,05$) atunci când nivelul adaosului de SGF și de LGF a fost mare, așa cum se observă din figura 9.4.a, în timp ce interacțiunea dintre cele două adaosuri a prezentat un efect nesemnificativ ($p > 0,05$), așa cum se observă din tabelul 9.4. Parametrul G'' a fost influențat de ambii factori și de către interacțiunea dintre ei ($p < 0,05$), un trend crescător fiind observat odată cu creșterea nivelurilor adaosului de făinuri germinate în aluat (Figura 9.4b). Unghiul de fază a crescut datorită adaosului de SGF în aluat, până la un nivel al adaosului de 10% și a crescut atunci când nivelul adaosului de LGF a fost mare (Figura 9.4c), dar doar termenul pătratic al SGF a exercitat un efect semnificativ.

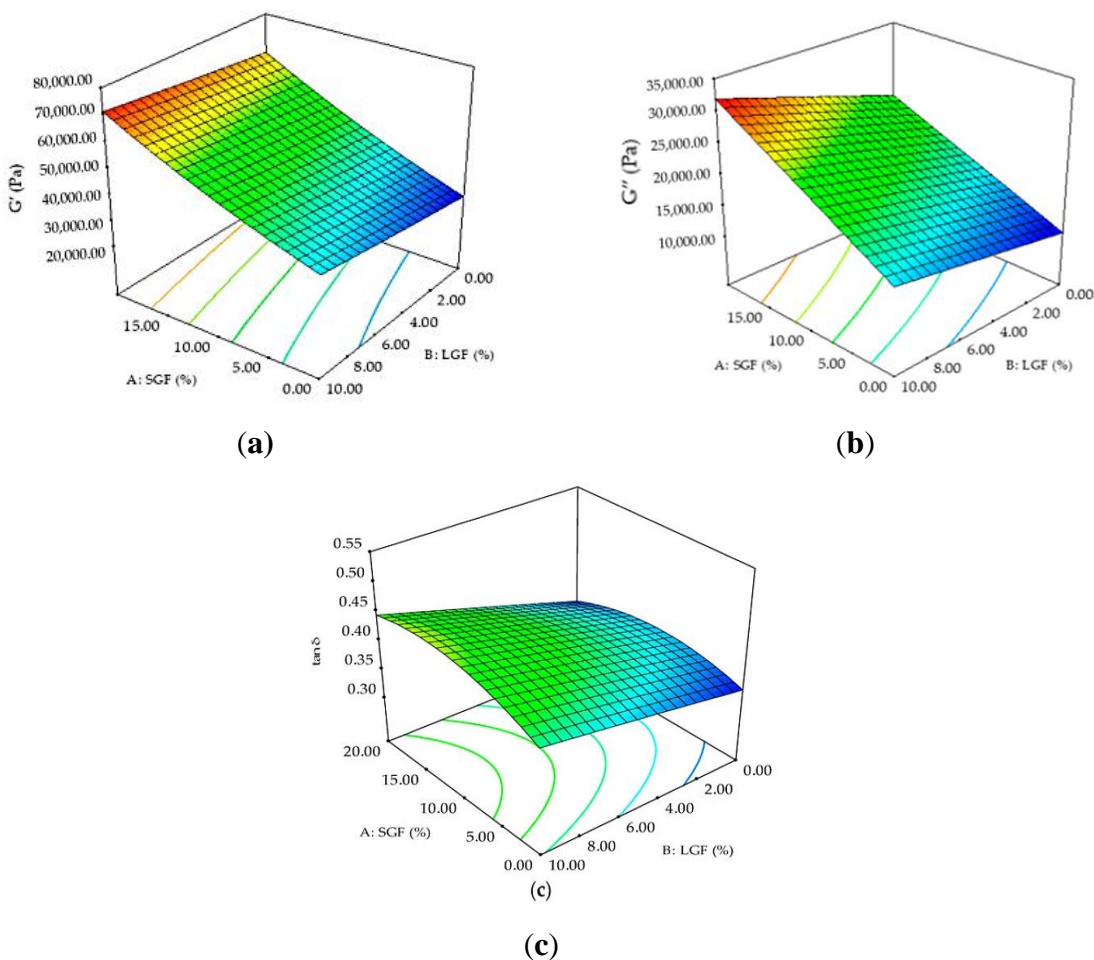


Figura 9.4. Graficul tridimensional al suprafeței de răspuns reprezentând interacțiunea dintre nivelurile adaosului de SGF și LGF în făina de grâu asupra proprietăților reologice dinamice ale aluatului: (a) modulul de elasticitate (G'), (b) modulul de vâscozitate (G'') și (c) unghiul de fază ($\tan \delta$).

Astfel, în acest studiu experimental, temperatura inițială de gelatinizare a fost afectată în mod semnificativ ($p < 0,05$) de către adaosul de SGF și LGF în aluat, așa cum se observă din tabelul 9.6. Un trend descrescător a fost observat în cazul adaosului de SGF, iar în cazul adaosului de LGF s-a observat un trend crescător, odată ce nivelul adaosului a fost mare, așa cum se observă din figura 9.5a. Interacțiunea dintre factori a exercitat o influență nesemnificativă ($p > 0,05$).

Termenii SGF și LGF au exercitat un efect semnificativ asupra temperaturii maxime de gelatinizare, o tendință crescătoare fiind observată odată ce a crescut cantitatea adaosului de făinuri germinate în aluat, așa cum se observă din figura 9.5 b. Un trend opus s-a observat în cazul interacțiunii dintre factori.

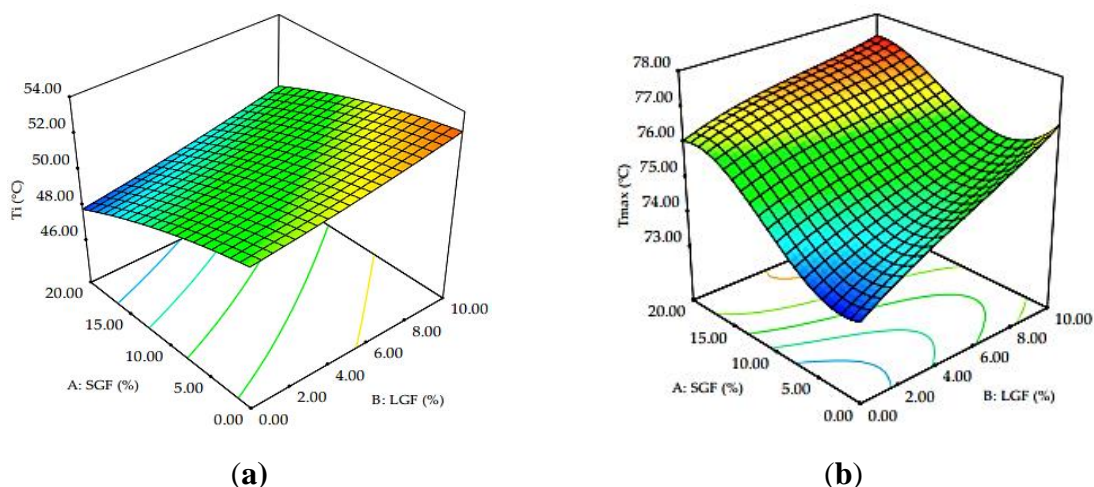


Figura 9.5. Graficul tridimensional al suprafeței de răspuns reprezentând interacțiunea dintre nivelurile adaosului de SGF și LGF în făina de grâu asupra proprietăților reologice ale aluatului în timpul creșterii temperaturii acestuia: (a) temperatura inițială de gelatinizare (T_i) și (b) temperatura maximă de gelatinizare (T_{max}).

Studiu comparativ dintre valorile obținute pentru proprietățile reologice ale aluatului la nivelul optim al variabilor independente (SGF și LGF) și proba martor

Nivelurile optime ale adaosurilor de SGF și LGF în făina de grâu și valorile prezise ale variabilelor dependente sunt prezentate în tabelul 9.5. Rezultatele proiectării experimentelor au condus la obținerea unui optim de 5,60% SGF, 3,62% LGF și 90,76% făină albă de grâu. Parametrul indicele de cădere și proprietățile reologice ale probei cu nivelul optim al adaosului de făinuri de leguminoase germinate au înregistrat valori semnificativ diferite ($p < 0,05$) față de proba martor, exceptând parametrul unghiul de fază (Tabelul 9.5). Valorile parametrilor FN, WA, Tol, D250, D450, L, W, CR și T_i ale probei cu nivelul optim al adaosurilor de leguminoase germinate au fost mai mici decât cele ale probei martor, în timp ce în cazul parametrilor P, P/L, H'm, VT, VR, G', G'' și T_{max} s-au obținut valori mai ridicate.

Tabelul 9.5. Proprietățile probei optime vs. ale probei martor

Variabila independentă	Proba optimă	Proba martor
A: SGF (%)	5,60	0,00
B: LGF (%)	3,62	0,00
FN (s)	280,51 ^b	350,00 ^a
WA (%)	53,25 ^b	54,30 ^a
Tol (s)	200,19 ^b	214,00 ^a
D250 (mb)	359,32 ^b	394,00 ^a
D450 (mb)	933,32 ^b	943,00 ^a
P (mm)	119,95 ^a	104,00 ^b
L (mm)	56,20 ^b	72,00 ^a

W (10^{-4} J)	228,64 ^b	301,00 ^a
P/L (adim.)	1,99 ^a	1,43 ^b
H`m (mL)	70,50 ^a	65,90 ^b
VT (mL)	1 684,98 ^a	1 532,00 ^b
VR (mL)	1 305,19 ^a	1 228,00 ^b
CR (%)	78,78 ^b	80,10 ^a
G` (Pa)	41 384,57 ^a	29 290,00 ^b
G" (Pa)	16 296,27 ^a	10 780,00 ^b
tan δ (adim.)	0,39 ^a	0,37 ^a
t _i (°C)	51,20 ^b	51,90 ^a
t _{max} (°C)	74,67 ^a	73,40 ^b

A: SGF - făină de soia germinată (%), B: LGF - făină de linte germinată (%), R^2 , FN - indicele de cădere, WA - capacitatea de hidratare a făinii, Tol - toleranța, timpul în care presiunea depășește $Pr_{max} - 20\%$, D250 - scăderea presiunii/consistenței aluatului față de Pr_{max} după 250 secunde de la începutul frământării, D450 - scăderea presiunii/consistenței aluatului față de Pr_{max} după 450 secunde de la începutul frământării, P - tenacitatea aluatului, L - extensibilitatea aluatului, W - energia de deformare, P/L – raportul de configurare al curbei alveografice, H`m - înălțimea maximă a aluatului în timpul formării și reținerii gazelor la fermnetare, VT - volumul total de de gaz eliminat, VR - volumul de retenție, CR - coeficientul de retenție, G` - modulul de elasticitate, G" - modulul de vâscozitate, tan δ - unghiul de fază, T_i - temperatura inițială de gelatinizare, T_{max} - temperatura maximă de gelatinizare, ^{a,b} valorile urmate de litere diferite în cadrul aceluiași rând sunt semnificativ diferite ($p < 0,05$).

Microstructura aluatului probei optime și a celei martor

Microstructura aluatului obținută pentru probele de aluat cu sau fără adaos de făină de linte și de soia germinate este prezentată în figura 9.6. Imaginile obținute evidențiază o structură a aluatului cu zone roșii interconectate cu cele verzi într-o matrice omogenă și continuă. Zonele colorate în roșu indică prezența proteinelor, în timp ce zonele colorate în verde conturează prezența amidonului. Cele două culori diferite pentru compușii din aluat sunt evidențiate de către cei doi fluorocromi utilizați în tehnica EFLM, și anume rhodamina B și fluoresceina. Rhodamina B conturează în roșu prezența proteinelor în aluat, în timp ce fluoresceina evidențiază în verde amidonul (Mudawi și colab., 2016). Din ambele imagini obținute se poate observa faptul că granulele de amidon sunt înconjurată de rețeaua continuă de proteine, formând o structură complexă a aluatului. În cazul probei optime, se poate observa o zonă roșie puțin mai extinsă în comparație cu cea în cazul probei martor datorită conținutului mai ridicat de proteine.

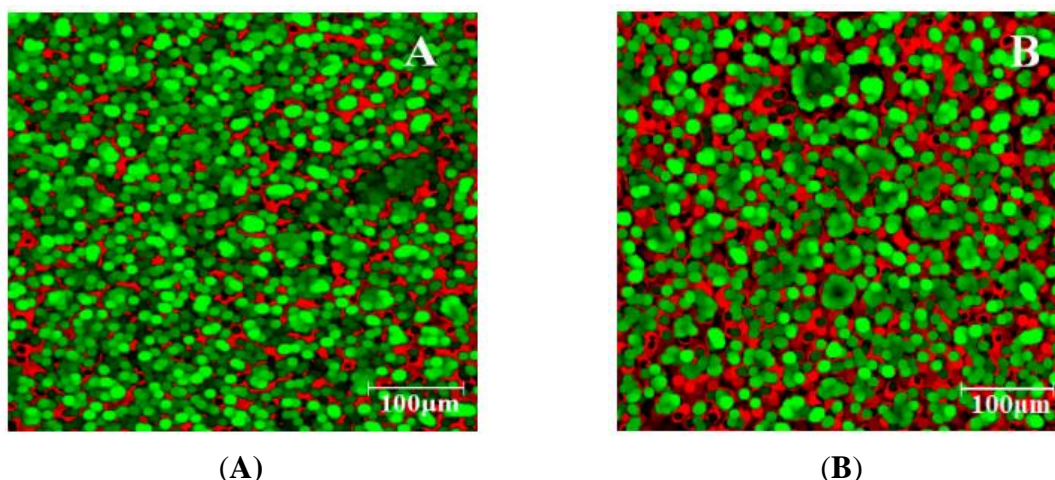


Figura 9.6. Microstructura aluatului obținută cu ajutorul EFLM: (A) proba martor și (B) proba optimă. Roșu reprezintă proteinele și verde reprezintă granulele de amidon.

Capitolul 10 a fost intitulat „Efectul adaosului unui mix de făină de năut germinat și făină de lupin germinat asupra proprietăților reologice ale aluatului” și a avut drept scop evaluarea efectelor adaosului în diferite combinații a făinii de năut germinat (CGF) și făinii de lupin germinat (LGF) în făina albă de grâu, asupra comportamentului reologic al aluatului și de a evalua microstructura aluatului pentru proba optimă obținută.

Analiza statistică a datelor

Modelarea datelor a fost efectuată utilizând programul statistic Design Expert (StatEase, Inc., Minneapolis, MN, SUA). Valorile variabilelor dependente sunt prezentate în tabelul 10.1 a,b.

Influența adaosului de LGF și CGF asupra proprietăților reologice al aluatului a fost evaluată prin utilizarea Metodologiei suprafeței de răspuns (RSM) și a unui design factorial cu doi factori, variabili în funcție de cele cinci niveluri ale adaosului de CGF (0, 5, 10, 15 și 20%) și de LGF (0, 5, 10, 15 și 20 %) în făina de grâu. Modelul predictiv pentru variația datelor experimentale pentru fiecare răspuns a fost ales luând în considerare valorile testului F, coeficientul de determinare (R^2) și coeficienții de determinare ajustați ($Adj.-R^2$). A fost aplicată analiza de varianță (ANOVA) pentru a evalua influența factorilor și a interacțiunilor dintre aceștia (semnificative la un nivel $p < 0,05$) asupra următoarelor variabile dependente: FN (indicele de cădere), WA (capacitatea de hidratare), Tol (toleranță la frământare), D250/D450 (consistența aluatului după 250, respectiv 450 s de frământare), P (tenacitatea aluatului), L (extensibilitatea aluatului), W (energia de deformare), P/L (raportul de configurare al curbei alveografice), H'm (înălțimea maximă a aluatului în timpul formării și reținerii gazelor la fermentare), VT (volumul total de gaze format în aluat la fermentare), VR (volumul de gaz reținut în aluat la sfârșitul testului obținut la reofermentometru), CR (coeficientul de retenție), G' (modul de elasticitate), G'' (modul de vâscozitate), tan δ (unghiul de fază), T_i (temperatura inițială de gelatinizare) și T_{max} (temperatura maximă de gelatinizare).

Influența adaosului de CGF și de LGF asupra indicelui de cădere

Încorporarea de CGF și de LGF în făina de grâu a cauzat schimbări semnificative a valorii indicelui de cădere. Valorile indicelui de cădere, a corespuns modelului pătratic, așa cum rezultă din tabelul 10.1.

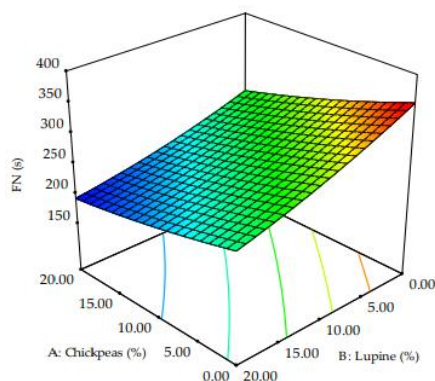


Figura 10.1. Graficul suprafeței de răspuns pentru indicele de cădere, în funcție de adaosul de făină de năut germinat (CGF) și făină de lupin germinat (LGF) în făina de grâu.

Influența adaosului de CGF și de LGF asupra proprietăților reologice de frământare și de întindere ale aluatului

Comportamentul reologic al aluatului în timpul frământării depinde de structura și de interacțiunea dintre componentele din aluat influențate de adaosul de CGF și de LGF în făina de grâu. Acest adaos a condus la scăderea capacității de hidratare a făinii și a toleranței determinate la consistograf, a timpului în care presiunea depășește $Pr_{max} - 20\%$, odată ce a crescut nivelul adaosului de făinuri germinate, așa cum se observă din figura 10.2. Deoarece modelele corespunzătoare pentru aceste variabile dependente sunt de ordinul întâi, suprafețele de răspuns potrivite sunt plane. Factorii CGF și LGF au exercitat o influență semnificativă ($p < 0,05$) asupra acestor parametrii, în timp ce interacțiunea dintre ei nu a fost semnificativă ($p > 0,05$), așa cum se poate observa din tabelul 10.2.

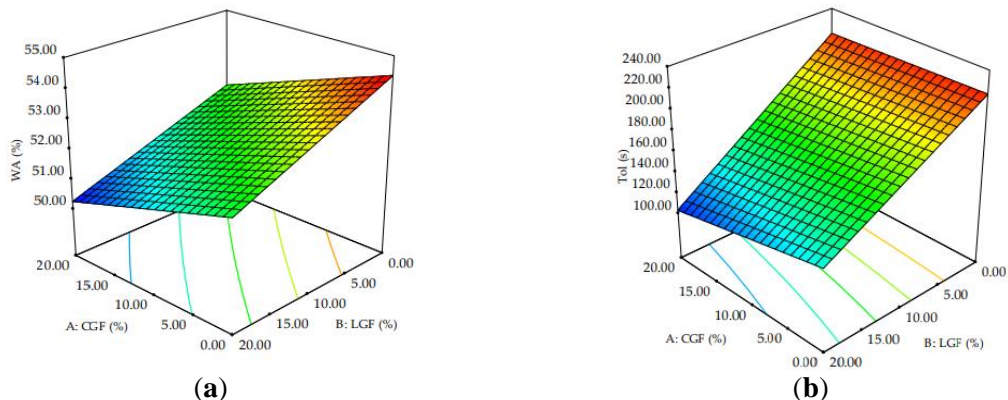


Figura 10.2. Graficul suprafeței de răspuns pentru (a) capacitatea de hidratare a făinii (WA) și (b) toleranța, timpul în care presiunea depășește $Pr_{max} - 20\%$ (Tol) în funcție de adaosul de făină de năut germinat (CGF) și făină de lupin germinat (LGF).

Cercetări privind utilizarea făinurilor din leguminoase germinate în panificație
REZUMATUL TEZEI DE DOCTORAT

Tabelul 10.1. (a) Efectul adaosului de CGF și LGF asupra parametrului indicele de cădere și a parametrilor reologici de frământare și de întindere a aluatului. **(b)** Efectul adaosului de CGF și LGF asupra proprietăților reologice dinamice și empirice a aluatului în timpul fermentării.

(a)									
Run	Răspunsuri								
	Indicele de cădere	Parametrii consistografici				Parametrii alveografici			
	FN (s)	WA (%)	Tol (s)	D250 (mbar)	D450 (mbar)	P (mm)	L (mm)	W (10 ⁻⁴ J)	P/L (adim.)
1	247 ± 4,24	52,1 ± 0,14	126 ± 4,24	163 ± 4,24	569 ± 2,83	133 ± 1,41	29 ± 1,41	164 ± 2,83	4,59 ± 2,83
2	277 ± 2,83	52,6 ± 0,14	149 ± 4,24	174 ± 2,83	624 ± 5,66	127 ± 1,41	33 ± 2,83	174 ± 4,24	3,85 ± 0,29
3	206 ± 2,83	50,5 ± 0,07	106 ± 4,24	123 ± 4,24	597 ± 5,66	143 ± 1,41	12 ± 0,83	80 ± 2,83	11,91 ± 0,78
4	254 ± 1,41	52,2 ± 0,00	194 ± 7,07	204 ± 2,83	731 ± 2,83	136 ± 2,83	25 ± 1,41	153 ± 2,83	5,44 ± 0,42
5	268 ± 1,41	52,5 ± 0,28	181 ± 1,41	214 ± 2,83	785 ± 4,24	123 ± 2,83	35 ± 2,83	172 ± 4,24	3,51 ± 0,21
6	283 ± 2,83	52,7 ± 0,14	209 ± 2,83	218 ± 1,41	754 ± 1,41	110 ± 2,83	39 ± 1,41	172 ± 5,66	2,82 ± 0,17
7	255 ± 2,83	52,2 ± 0,14	163 ± 4,24	194 ± 1,41	761 ± 2,83	134 ± 1,41	28 ± 1,41	168 ± 1,41	4,79 ± 0,30
8	234 ± 1,41	52,4 ± 0,14	138 ± 2,83	176 ± 2,83	623 ± 2,83	142 ± 1,41	22 ± 2,83	159 ± 4,24	6,45 ± 0,78
9	302 ± 2,83	53,2 ± 0,00	167 ± 1,41	185,5 ± 3,54	762,5 ± 6,36	122 ± 2,83	40,5 ± 3,54	198 ± 4,24	3,02 ± 0,19
10	228 ± 2,83	51,7 ± 0,28	191 ± 1,41	223 ± 2,83	834 ± 2,83	149 ± 2,83	21 ± 1,41	137 ± 2,83	7,10 ± 0,35
11	279 ± 1,41	52,5 ± 0,14	201 ± 2,83	205 ± 1,41	732 ± 4,24	130 ± 1,41	33 ± 2,83	180 ± 1,41	3,94 ± 0,05
12	350 ± 2,83	54,3 ± 0,14	214 ± 2,83	394 ± 1,41	943 ± 4,24	104 ± 1,41	72 ± 2,83	301 ± 4,24	1,44 ± 0,04
13	249 ± 1,41	51,9 ± 0,14	188 ± 1,41	217 ± 2,83	833 ± 4,24	146 ± 2,83	20 ± 1,41	126 ± 2,83	7,30 ± 0,66
14	211 ± 1,41	51,2 ± 0,28	131 ± 2,83	168 ± 2,83	617 ± 2,83	150 ± 1,41	16 ± 1,41	113 ± 2,83	9,37 ± 0,92
15	260,5 ± 2,12	52,3 ± 0,28	200,5 ± 6,36	242 ± 4,24	881 ± 5,66	107 ± 1,41	38 ± 2,83	156 ± 4,24	2,83 ± 0,25
16	318 ± 5,66	53,6 ± 0,00	215 ± 2,83	225 ± 4,24	785 ± 5,66	106 ± 1,41	46 ± 2,83	190 ± 4,24	2,30 ± 0,11
17	236 ± 4,24	51,8 ± 0,14	118 ± 2,83	155 ± 1,41	537 ± 2,83	144 ± 2,83	18 ± 1,41	127 ± 4,24	8,00 ± 0,47
18	203 ± 1,41	50,7 ± 0,14	111 ± 1,41	128 ± 2,83	614 ± 2,83	151 ± 2,83	12 ± 1,41	75 ± 2,83	12,58 ± 1,73
19	320 ± 2,83	53,7 ± 0,28	181 ± 2,83	339 ± 5,66	878 ± 2,83	113 ± 0,00	46 ± 1,41	204 ± 4,24	2,46 ± 0,08
20	194 ± 4,24	50,3 ± 0,28	101 ± 1,41	118 ± 2,83	621 ± 4,24	158 ± 1,41	10 ± 1,41	64 ± 2,83	15,80 ± 2,35
21	236 ± 1,41	51,6 ± 0,14	177 ± 4,24	216 ± 1,41	713 ± 2,83	123 ± 1,41	16 ± 1,41	91 ± 1,41	7,69 ± 0,59
22	308 ± 2,83	53,8 ± 0,28	204 ± 2,83	317 ± 2,12	903 ± 4,24	114 ± 2,83	46 ± 1,41	193 ± 2,83	2,52 ± 0,01
23	218 ± 1,41	50,9 ± 0,14	117 ± 2,83	133 ± 4,24	632 ± 4,24	128 ± 2,83	19 ± 1,41	113 ± 1,41	6,74 ± 0,35
24	242 ± 4,24	51,8 ± 0,14	184 ± 1,41	231 ± 5,66	729 ± 4,24	125 ± 1,41	23 ± 1,41	132 ± 2,83	5,43 ± 0,27
25	329 ± 2,83	53,9 ± 0,14	223 ± 2,83	289 ± 7,07	931 ± 5,66	108 ± 1,41	55 ± 2,83	215 ± 2,83	1,96 ± 0,13
(b)									
Run	Răspunsuri								
	Parametrii reofermentometrici					Parametrii reometrici			

Cercetări privind utilizarea făinurilor din leguminoase germinate în panificație
REZUMATUL TEZEI DE DOCTORAT

	H'm (mL)	VT (mL)	VR (mL)	CR (%)	G' (Pa)	G'' (Pa)	tan δ (adim.)	T_i (·C)	T_{max} (°C)
1	64,3 ± 0,28	1425 ± 4,24	1147 ± 4,24	80,5 ± 0,00	13 440 ± 2,83	6 235 ± 2,83	0,4630 ± 0,00	48.8 ± 0,00	74,8 ± 0,14
2	68,0 ± 0,00	1550 ± 2,83	1159 ± 4,24	74,8 ± 0,21	25 460 ± 1,41	10 050 ± 2,83	0,3790 ± 0,00	49.3 ± 0,14	73,3 ± 0,14
3	46,2 ± 0,28	1093 ± 4,24	947 ± 2,83	86,6 ± 0,14	19 700 ± 4,24	7 952 ± 4,24	0,4037 ± 0,00	49.1 ± 0,14	72,9 ± 0,28
4	62,3 ± 0,14	1439 ± 8,49	1207 ± 2,83	83,9 ± 0,71	42 678 ± 2,12	16 233 ± 4,24	0,3804 ± 0,00	50.9 ± 0,28	73,8 ± 0,14
5	69,7 ± 0,42	1493 ± 5,66	1177 ± 4,24	78,8 ± 0,00	37 781 ± 1,41	14 921 ± 2,83	0,3949 ± 0,00	51.0 ± 0,14	74,4 ± 0,14
6	66,3 ± 0,28	1641 ± 4,24	1233 ± 2,83	75,2 ± 0,14	46 600 ± 4,24	16 140.5 ± 3,54	0,3460 ± 0,00	50.5 ± 0,00	74,8 ± 0,14
7	57,8 ± 0,28	1344 ± 4,24	1118 ± 4,24	83,2 ± 0,00	23 065 ± 2,83	8 932 ± 5,66	0,3873 ± 0,00	49.5 ± 0,14	74,8 ± 0,28
8	57,6 ± 0,14	1281 ± 2,83	1002 ± 2,83	78,2 ± 0,42	19 873 ± 4,24	8 137 ± 4,24	0,4095 ± 0,00	49.9 ± 0,28	75,0 ± 0,14
9	70,5 ± 0,14	1621 ± 5,66	1214 ± 2,83	74,9 ± 0,14	43 240 ± 2,83	16 060 ± 4,24	0,3710 ± 0,00	50.4 ± 0,14	73,9 ± 0,14
10	55,8 ± 0,14	1307 ± 2,83	1056 ± 4,24	80,7 ± 0,28	28 762 ± 4,24	10 167 ± 4,24	0,3535 ± 0,00	49.8 ± 0,14	73,6 ± 0,28
11	66,8 ± 0,14	1481 ± 5,66	1142 ± 2,83	77,1 ± 0,14	43 446 ± 2,83	16 578 ± 2,83	0,3816 ± 0,00	49.8 ± 0,14	74,7 ± 0,28
12	65,9 ± 0,14	1532 ± 4,24	1228 ± 2,83	80,2 ± 0,07	29 290 ± 5,66	10 780 ± 4,24	0,3680 ± 0,00	51.9 ± 0,14	73,4 ± 0,28
13	55,2 ± 0,28	1366 ± 2,83	1037 ± 2,83	75,9 ± 0,00	28 122 ± 4,24	10 243 ± 2,83	0,3642 ± 0,00	50.2 ± 0,14	74,7 ± 0,14
14	44,0 ± 0,42	1071 ± 2,83	916 ± 4,24	85,5 ± 0,14	26 211 ± 2,83	9 085 ± 4,24	0,3466 ± 0,00	49.5 ± 0,28	73,3 ± 0,14
15	63,1 ± 0,00	1394 ± 5,66	1148 ± 4,24	82,4 ± 0,64	30 730 ± 1,41	11 630 ± 2,83	0,3780 ± 0,00	49.8 ± 0,00	75,1 ± 0,14
16	72,2 ± 0,14	1762 ± 7,07	1208,5 ± 4,95	68,5 ± 0,00	41 130 ± 2,83	14 230 ± 5,66	0,3450 ± 0,00	51.2 ± 0,14	74,5 ± 0,14
17	46,4 ± 0,00	1051 ± 0,71	928 ± 4,24	88,2 ± 0,57	28 648 ± 2,83	9 843 ± 4,24	0,3436 ± 0,00	49.5 ± 0,14	74,9 ± 0,14
18	51,2 ± 0,14	1300 ± 2,83	1004 ± 5,66	77,3 ± 0,71	22 146 ± 4,24	8 345 ± 2,83	0,3768 ± 0,00	48.7 ± 0,00	74,3 ± 0,28
19	74,5 ± 0,14	1651 ± 4,24	1239 ± 2,83	75,1 ± 0,35	34 400 ± 5,66	13 000 ± 2,83	0,3770 ± 0,00	51.1 ± 0,14	73,5 ± 0,14
20	38,1 ± 0,28	974 ± 4,24	802 ± 2,83	82,3 ± 0,71	19 415 ± 1,41	6 713 ± 4,24	0,3458 ± 0,00	48.4 ± 0,28	73,8 ± 0,28
21	61,0 ± 0,28	1340 ± 5,66	1117 ± 2,83	83,4 ± 0,28	25 742 ± 2,83	9 367 ± 2,83	0,3639 ± 0,00	49.0 ± 0,14	74,6 ± 0,00
22	79,6 ± 0,28	1763 ± 2,83	1614 ± 4,24	91,5 ± 0,14	42 185 ± 4,24	15 145 ± 5,66	0,3590 ± 0,00	50.8 ± 0,14	74,2 ± 0,14
23	46,4 ± 0,14	1164 ± 1,41	960 ± 5,66	82,5 ± 0,28	20 847 ± 4,24	8 004 ± 5,66	0,3839 ± 0,00	49.1 ± 0,14	75,3 ± 0,14
24	62,9 ± 0,14	1282 ± 2,83	1187 ± 2,12	92,6 ± 0,14	29 165 ± 4,24	11 145 ± 2,83	0,3821 ± 0,00	49.3 ± 0,03	74,9 ± 0,14
25	71,3 ± 0,28	1622 ± 8,49	1260 ± 4,24	77,7 ± 0,14	32 300 ± 7,07	12 250 ± 4,24	0,3790 ± 0,00	51.6 ± 0,00	73,7 ± 0,28

(a) FN, indicele de cădere; WA, capacitatea de hidratare a făinii; Tol, toleranța, timpul în care presiunea depășește Pr_{max}-20%; D250/D450, scăderea presiunii/consistenței aluatului față de Pr_{max} după 250 secunde de la începutul frământării și respectiv 450 secunde; P, presiunea maximă/tenacitatea/rezistența aluatului la deformare; L, extensibilitatea aluatului; W, energia de deformare; P/L, raportul de configurație a curbei alveografice. (b) H'm, înălțimea maximă a aluatului în timpul formării și reținerii gazelor la fermentare; VT, volumul total al producției de CO₂; VR, volumul de retenție; CR, coeficientul de retenție; G', G'', modulii elastic și vâcos; tan δ, unghiul de fază; T_i, temperatura inițială de gelatinizare; T_{max}, temperatura maximă de gelatinizare.

Variația consistenței aluatului în funcție de nivelul adaosului de CGF și LGF în aluat este prezentată în figura 10.3. Modelul pentru D450 este de ordinul întâi și prin urmare, suprafața de răspuns este plană. Variabila independentă CGF nu a afectat în mod semnificativ ($p > 0,05$) scăderea presiunii/consistenței aluatului față de Pr_{max} după 250 secunde de la începutul frământării și respectiv după 450 s, în timp ce adaosul de LGF a condus la scăderea acestui parametru odată ce nivelul adaosului a crescut, așa cum reiese din figura 10.3. Adaosul de LGF a exercitat o influență semnificativă ($p < 0,05$) asupra parametrului consistența aluatului, așa cum rezultă din tabelul 10.2. Interacțiunea dintre cele două variabile independente a afectat în mod semnificativ doar presiunea/consistența aluatului față de Pr_{max} după 250 secunde de la începutul frământării.

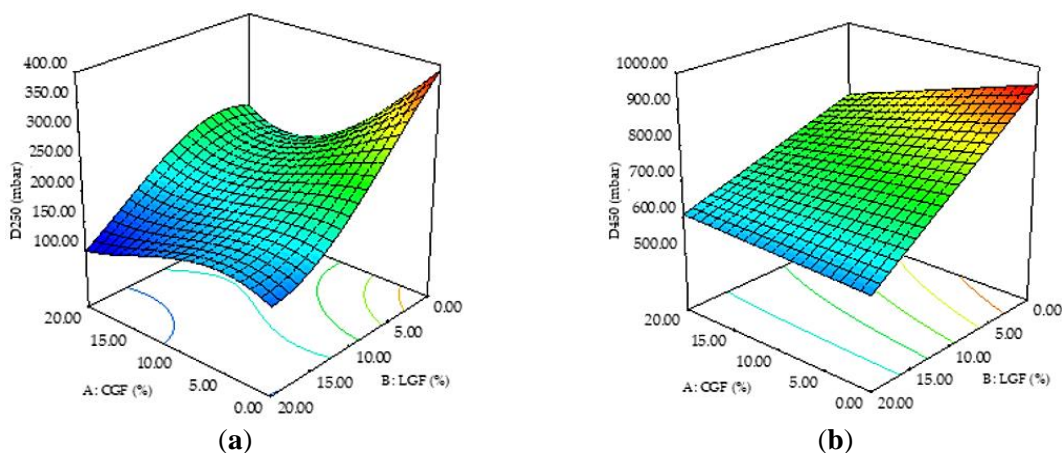


Figura 10.3. Graficul suprafeței de răspuns pentru (a) scăderea presiunii/consistenței aluatului față de Pr_{max} după 250 secunde de la începutul frământării (D250) și (b) scăderea presiunii/consistenței aluatului față de Pr_{max} după 450 secunde de la începutul frământării (D450) în funcție adaosul de făină de năut germinat (CGF) și făină de lupin germinat (LGF).

Proprietățile reologice de întindere ale aluatului pot furniza informații importante despre comportamentul aluatului în timpul procesului tehnologic. Aceste proprietăți sunt influențate de calitatea și de cantitatea proteinelor, de încorporarea de alte ingrediente în făina de grâu, ceea ce cauzează modificări în funcție de nivelul și tipul de adaos. Graficele hiperbolice ale suprafeței de răspuns prezentate în figura 10.4., pentru elasticitate și extensibilitate, sunt caracteristice pentru modelul polinomial de ordin doi. Elasticitatea aluatului a înregistrat creșteri proporționale cu nivelul adaosului de CGF și LGF în aluat, la niveluri de 10 - 15%, așa cum rezultă din figura 10.4. Pe de altă parte, extensibilitatea aluatului a înregistrat un trend descrescător atunci când nivelul adaosului de CGF și LGF a fost mare, așa cum rezultă din figura 10.4.

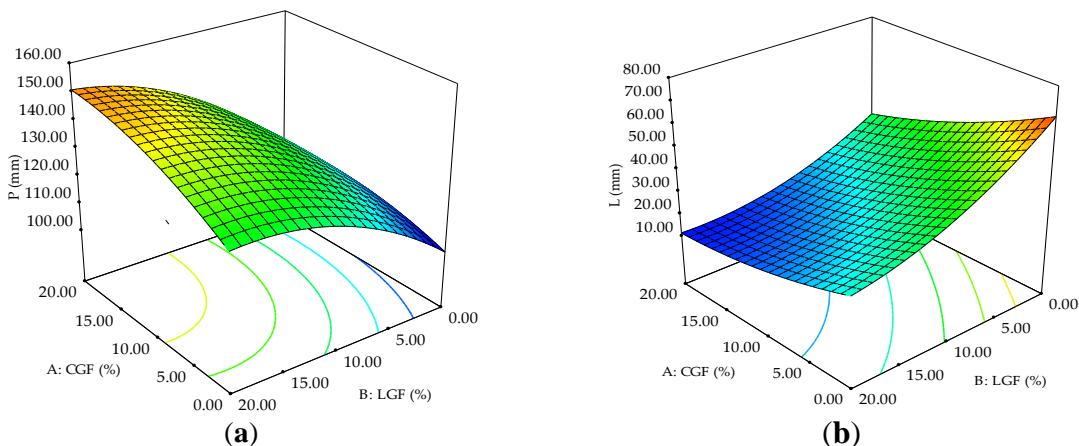


Figura 10.4. Graficul suprafeței de răspuns pentru (a) presiunea maximă/tenacitatea/rezistența aluatului la deformare (P) și (b) extensibilitatea aluatului (L) în funcție de adaosul de făină de năut germinat (CGF) și făină de lupin germinat (LGF).

Energia de deformare și raportul de configurare a curbei alveografice (P/L) au fost de asemenea afectate în mod semnificativ ($p < 0,05$) de către nivelul adaosurilor de CGF și LGF, în timp ce interacțiunea dintre aceștia a influențat în manieră semnificativă doar raportul P/L. Deoarece modelele pentru aceste variabile dependente sunt de ordinul întâi, suprafețele de răspuns portrivite sunt plane. Un trend descrescător al energiei de deformare a fost observat odată ce cantitatea adaosului de CGF și LGF a crescut, în timp ce un trend crescător a fost obținut pentru variația raportului de configurare al curbei alveografice, așa cum rezultă din figura 10.5.

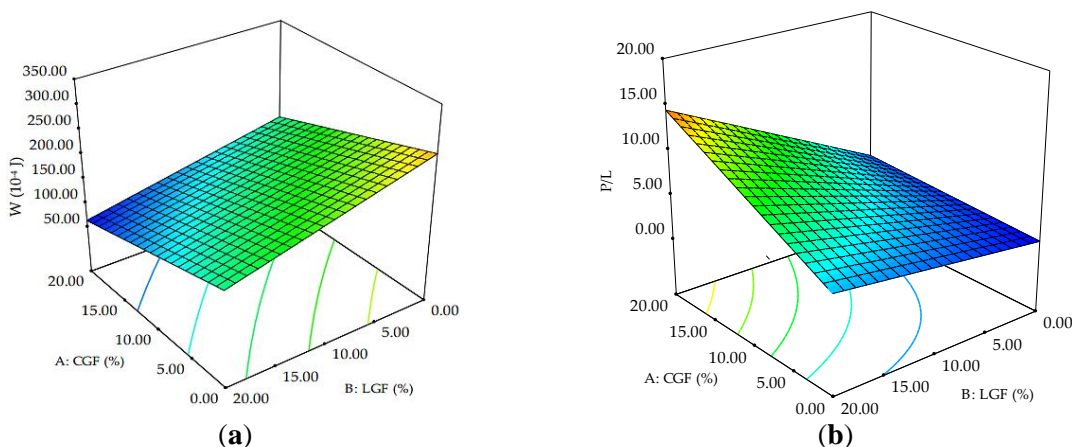


Figura 10.5. Graficul suprafeței de răspuns pentru (a) energia de deformare a aluatului (W) și (b) raportul de configurare al curbei alveografice (P/L) în funcție de adaosul de făină de năut germinat (CGF) și făină de lupin germinat (LGF)

Influența adaosului de CGF și LGF asupra comportamentului reologic al aluatului în timpul fermentării

Variabilele dependente înălțimea maximă a aluatului în timpul formării și reținerii gazelor și volumul total de gaz format în aluat în timpul fermentării au fost influențate în mod semnificativ ($p < 0,05$) de către adaosul de CGF și LGF, așa cum reiese din tabelul 10.3. Înălțimea maximă a aluatului în timpul formării și reținerii gazelor a scăzut odată ce nivelul adaosului a scăzut, un trend similar fiind observat în cazul volumului total de gaz format în aluat, odată ce nivelul adaosului de

LGF a crescut. Pe de altă parte, adaosul de CGF a condus la creșterea volumul total de gaz format în aluat, până la un maxim de 10%, așa cum rezultă din figura 10.6.

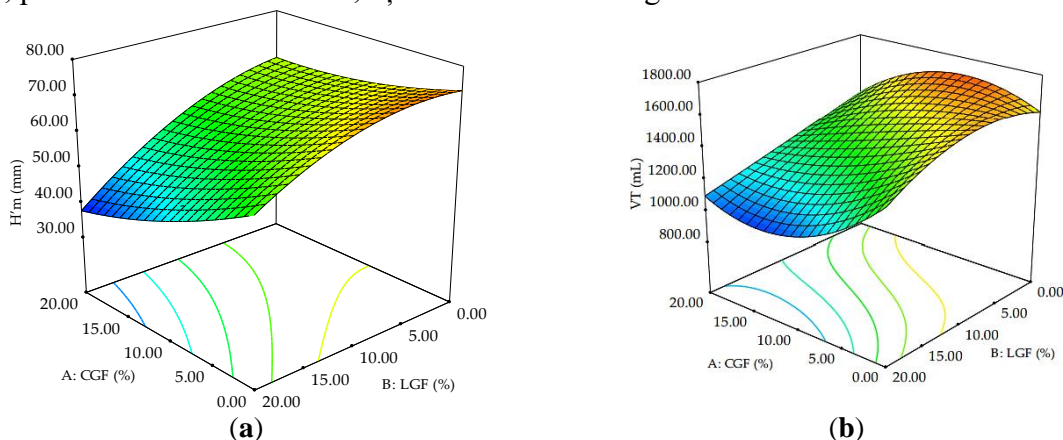


Figura 10.6. Graficul suprafeței de răspuns pentru (a) înălțimea maximă a aluatului în timpul formării și reținerii gazelor ($H'm$) și (b) volumul total de gaz format în aluat (VT) în funcție de adaosul de făină de năut germinat (CGF) și făină de lupin germinat (LGF).

Variabila dependentă volumul de gaz reținut în aluat la finalul testului a corespuns modelului matematic de ordinul întâi fapt ce a condus la o suprafață de răspuns plană. Volumul de retenție a scăzut în mod semnificativ ($p < 0,05$) odată ce nivelul adaosului de CGF și LGF în aluat a crescut, așa cum rezultă din figura 10.7, în timp ce coeficientul de retenție a gazelor în aluat a fost influențat în mod semnificativ doar de către interacțiunea dintre termenii pătratici ai CGF și LGF și de către termenii cubici ai LGF.

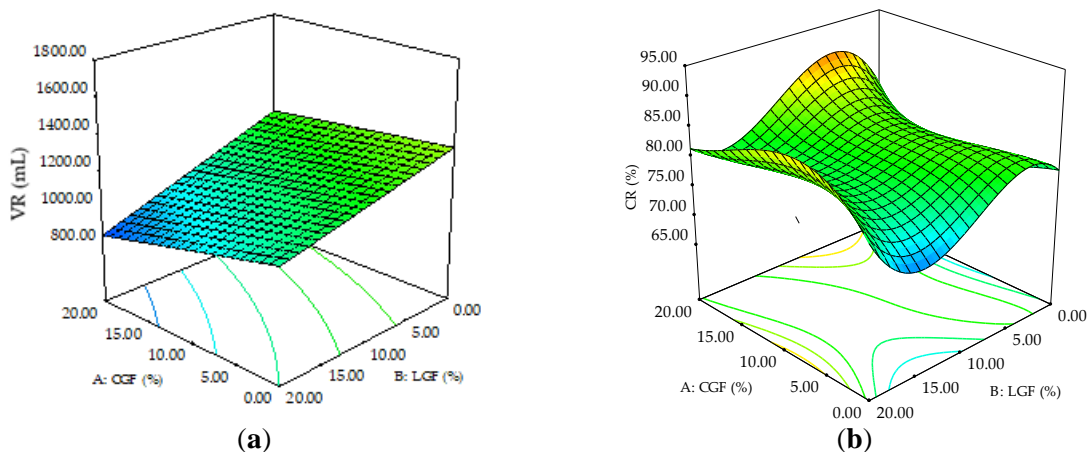


Figura 10.7. Graficul suprafeței de răspuns pentru (a) volumul de retenție, volumul de CO_2 reținut de aluat la sfârșitul testului (VR) și (b) coeficientul de retenție a gazelor (CR) în funcție de adaosul de făină de năut germinat (CGF) și făină de lupin germinat (LGF) în făina de grâu.

Influența adaosului de CGF și LGF asupra proprietăților reologice fundamentale ale aluatului

Modulul de elasticitate și de vâscozitate au fost influențate în mod semnificativ ($p < 0,05$) doar de către factorul LGF și de către interacțiunea termenului pătratic cu CGF. Modulul de elasticitate și de vâscozitate au crescut în cazul nivelurilor adaosului de CGF de maxim 10%, apoi

valorile acestora au scăzut, în timp ce LGF a cauzat o creștere a acestor valori, până la un maxim al adaosului de 5%, apoi aceste valori au fost reduse, așa cum reiese din figura 10.8.

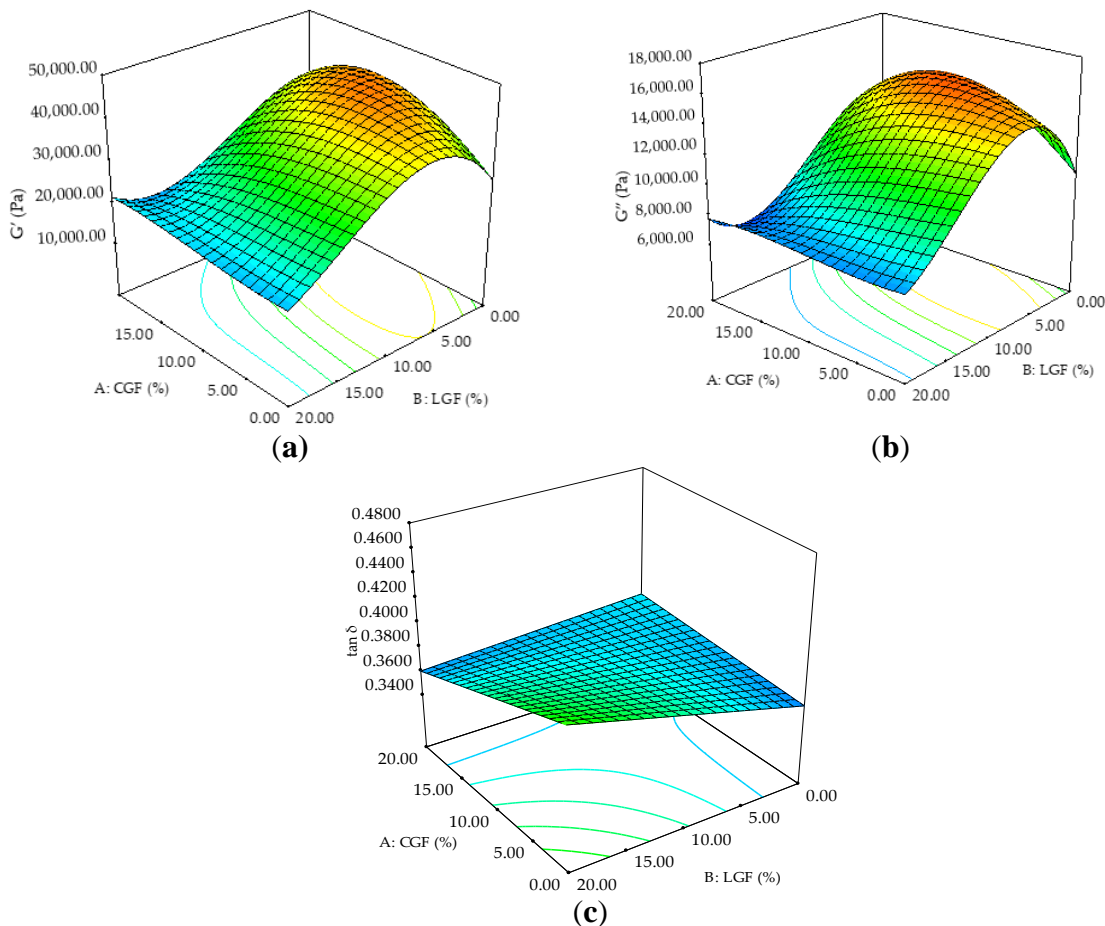


Figura 10.8. Graficul suprafeței de răspuns pentru (a) modulul de elasticitate (G'), (b) modulul de vâscozitate (G'') și (c) unghiul de fază ($\tan \delta$) în funcție de adaosul de făină de năut germinat (CGF) și de făină de lupin germinat (LGF) în făina de grâu.

Temperatura inițială de gelatinizare a fost influențată în mod semnificativ ($p < 0,05$) de către ambii factori și de către interacțiunea dintre aceștia, o reducere a valorii acestora fiind observată odată ce nivelul adaosului de CGF și LGF a crescut, așa cum rezultă din figura 10.9. Temperatura maximă de gelatinizare a fost afectată în mod semnificativ de către adaosul de CGF, obținându-se un trend neuniform, în timp ce factorul LGF a înregistrat un efect nesemnificativ.

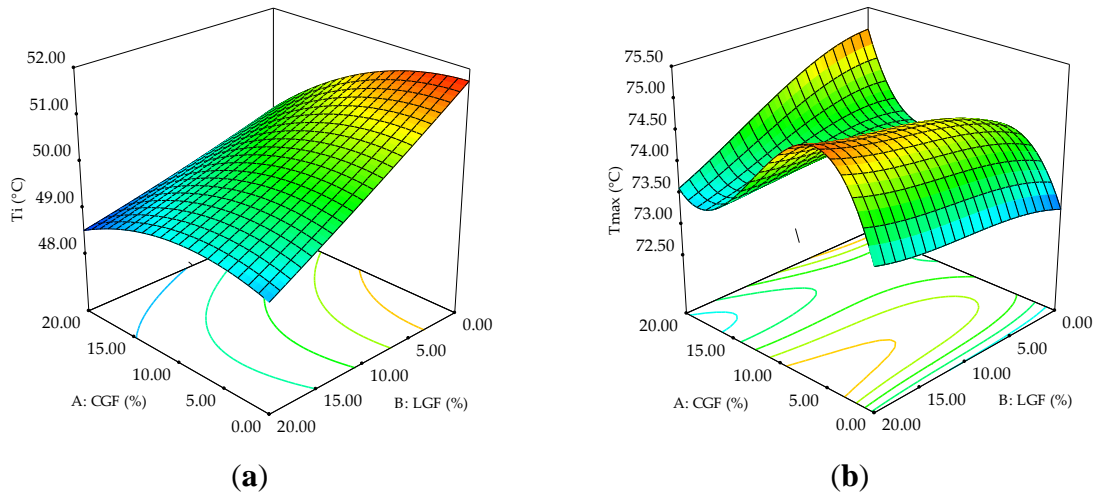


Figura 10.9. Graficul suprafeței de răspuns pentru (a) temperatura inițială de gelatinizare (T_i) și (b) temperatura maximă de gelatinizare (T_{max}) în funcție adaosul de făină de năut germinat (CGF) și făină de lupin germinat (LGF).

Studiu comparativ dintre valorile obținute pentru proprietățile reologice ale aluatului la nivelul optim al variabilor independente (CGF și LGF) și proba martor

Proprietățile reologice ale probei optime, în comparație cu proba martor sunt evidențiate în tabelul 10.2. Formula optimă, din punct de vedere reologic, a fost obținută încorporând 8,57% CGF și 5,31% LGF în făina de grâu, așa cum rezultă din tabelul 10.2. Obiectivul acestui studiu (scăderea indicelui de cădere aproape de intervalul recomandat de 250 ± 25 s) a fost îndeplinit, iar în cazul probei optime a fost obținută o valoare semnificativ mai mică ($p < 0,05$) decât în cazul celei martor. În comparație cu proba martor, proba optimă a prezentat o valoare mai mică a parametrilor capacitatea de hidratare a făinii, toleranța, timpul în care presiunea depășește $Pr_{max} - 20\%$, consistența aluatului, extensibilitatea, volumul de retenție și temperatura inițială de gelatinizare. Valorile parametrilor tenacitatea aluatului, raportul de configurare al curbei alveografice, înălțimea maximă a aluatului în timpul formării și reținerii gazelor, volumul total de gaze format în aluat la fermentare, coeficientul de retenție a gazelor, modulii vâsco-elastici și temperatura maximă de gelatinizare au fost mai mari în cazul probei optime decât al probei martor.

Tabelul 10.2. Caracteristicile probelor optime și martor.

Variabilele	Proba optima	Proba martor
A: CGF (%)	8,57	0,00
B: LGF (%)	5,31	0,00
FN (s)	283 ^b	350 ^a
WA (%)	52,9 ^b	54,3 ^a
Tol (s)	191,49 ^b	214,00 ^a
D250 (mbar)	238,55 ^b	394,00 ^a
D450 (mbar)	806,45 ^b	943,00 ^a
P (mm)	124,55 ^a	104,00 ^b
L (mm)	36,15 ^b	72,00 ^a
W (10^{-4} J)	183,65 ^b	301,00 ^a
P/L (adim.)	3,78 ^a	1,43 ^b
H'm (mL)	66,80 ^a	65,90 ^b

VT (mL)	1579,31 ^a	1532,00 ^b
VR (mL)	1204,14 ^b	1228,00 ^a
CR (%)	81,97 ^a	80,10 ^b
G' (Pa)	41538,70 ^a	29290,00 ^b
G'' (Pa)	15446,25 ^a	10780,00 ^b
T _i (°C)	50,75 ^b	51,90 ^a
T _{max} (°C)	74,46 ^a	73,40 ^b

A: CGF, adaos de făină de năut germinat (%); B: LGF, adaos de făină de lupin germinat (%); H'm, înălțimea maximă a aluatului în timpul formării și reținerii gazelor; VT, volumul total de gaz format în aluat; VR, volumul de retenție; CR, coeficientul de retenție; G', modulul de elasticitate; G'', modulul de vâscozitate; T_i, temperatura inițială de gelatinizare; T_{max}, temperatura maximă de gelatinizare; FN, indicele de cădere; WA, capacitatea de hidratare a făinii; Tol, toleranța, timpul în care presiunea depășește Pr_{max}-20%; D250/D450, scăderea presiunii/consistenței aluatului față de Pr_{max} după 250 secunde de la începutul frământării și respectiv după 450 s; P, presiunea maximă/tenacitatea/rezistența aluatului la deformare; L, extensibilitatea aluatului; W, energia de deformare; P/L, raportul de configurarea a curbei alveografice. a,b - valorile urmate de aceeași literă nu sunt diferite din punct de vedere statistic (p > 0,05).

În general, datele obținute indică faptul că adaosul de CGF într-o cantitate ridicată și de LGF într-o cantitate mică în făina albă de grâu cu o activitate amilazică redusă poate îmbunătăți comportamentul reologic al aluatului în timpul procesului tehnologic de obținere a pâinii, rezultând în final produse de panificație de o calitate ridicată. Prin urmare, combinația CGF și LGF poate fi considerată un ameliorator în panificație pentru făina de grâu care, pe lângă faptul că îmbunătățește valoarea nutritivă a produselor de panificație, îmbunătățește și calitatea acestora din punct de vedere tehnologic. Desigur, nivelurile de adaos ale făinii germinate pot fi ajustate în funcție de calitatea făinii de grâu care este folosită ca ingredient de bază pentru obținerea pâinii. Conform datelor obținute în prezentul studiu experimental, făinurile germinate sunt recomandate pentru cele cu activitate α -amilazică redusă.

Microstructura aluatului probei optime și a celei martor

Figura 10.10. evidențiază imaginile microstructurii probelor de aluat obținute cu ajutorul EFLM. Așa cum se poate observa din ambele imagini obținute, amidonul este componentul predominant din aluat. Atunci când s-a adăugat CGF și LGF în făina de grâu, zonele roșii s-au extins datorită creșterii cantității de proteine din aluat. Acest lucru este o consecință a faptului că adaosul de CGF și LGF măresc cantitatea de proteine din aluat.

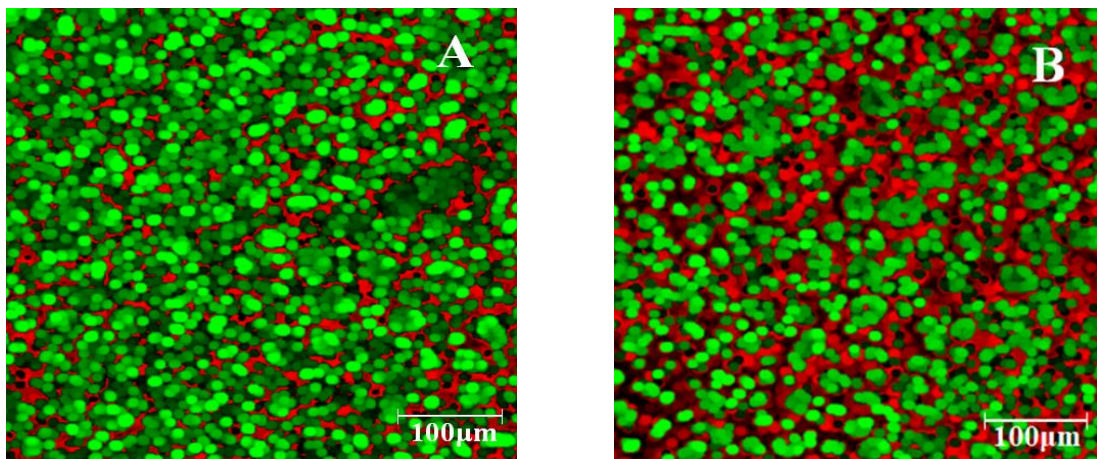


Figura 10.10. Microstructura aluatului (A) probei martor și (B) probei cu adaosul optim de CGF și LGF.

În finalul tezei de doctorat sunt cuprinse **Concluziile generale, contribuțiile originale și perspective ale tezei de doctorat.** În urma rezultatelor obținute se pot enumera o serie de concluzii principale:

1. Conform studiilor de specialitate, leguminoasele ocupă un loc deosebit de important în alimentația umană datorită valorii nutritive ridicate a acestora. Acestea reprezintă o sursă importantă de proteine, fibre alimentare și carbohidrați complecși, cu indice glicemic scăzut, un conținut ridicat de substanțe bioactive (tanini, flavonoide, acizi fenolici), substanțe minerale, vitamine cu multiple beneficii asupra organismului uman.

2. Procesul de germinare, în condiții controlate, prezintă o serie de avantaje legate de creșterea gradului de utilizare a substanțelor nutritive din leguminoase, cum ar fi: aminoacizi, substanțe minerale, vitamine, compuși fenolici, proteine. Totodată, în urma procesului de germinare s-a obținut o creștere a conținutului de aminoacizi esențiali. Conținutul cel mai ridicat de aminoacizi esențiali s-a obținut pentru histidină, urmat de valină și de treonină. De asemenea, germinarea a condus și la creșterea activității enzimatică din leguminoase, cum ar fi cea proteolitică și amilolitică, care hidrolizează proteinele și amidonul măbind gradul de asimilare al acestora din leguminoase. În același timp, procesul de germinare contribuie la reducerea conținutului de factori antinutritivi din leguminoase. Mai mult, germinarea are efecte pozitive asupra profilului senzorial al boabelor supuse acestui proces. De exemplu, în urma germinării crește cantitatea de compuși organici volatili, ceea ce conduce la o intensificare a aromei și a dulceații boabelor.

3. Suplimentarea făinii albe de grâu cu făină de fasole germinată a condus la scăderea capacității de hidratare a făinii de grâu, a consistenței aluatului, a extensibilității aluatului și a îmbunătățit toleranța la frământare, producția totală de gaze la fermentare și activitatea α -amilazei. Valoarea unghiului de fază ($\tan \delta$) a crescut în funcție de frecvență pentru probele cu adaos de făină de fasole germinată în aluat, în timp ce G' și G'' au scăzut odată cu creșterea valorii temperaturii aluatului. Imaginile obținute la microscopul EFLM ale probelor de aluat au evidențiat o scădere a cantității de amidon din aluat pentru probele cu doze ridicate de făină de fasole germinată în făina de grâu. În urma probelor de coacere efectuate, volumul specific, porozitatea și elasticitatea pâinii au crescut și parametrii texturali fermitatea, gumozitatea și masticabilitatea s-au redus, până la doze de maxim 15% făină de fasole germinată adăugată în făina de grâu. Parametrii de culoare (L^* , a^* și b^*) ai probelor de pâine un evidențiat un efect de scădere a luminozității cojii și a miezului pâinii datorită adaosului de făină de fasole germinată în aluat. Din punct de vedere al caracteristicilor senzoriale obținute, pâinea cu un adaos de maxim 15% făină de fasole germinată în făina de grâu a fost bine apreciată de către evaluatorii participanți la analiza senzorială. Conform datelor obținute, făina de fasole germinată poate fi recomandată pentru utilizare ca ingredient în industria de panificație, până la doze de maxim 15% în făina de grâu pentru a se obține pâine de foarte bună calitate.

4. Adaosul de făină de lupin germinat în făina albă de grâu a avut ca efect scăderea capacității de hidratare a făinii de grâu, a consistenței aluatului, a extensibilității, a toleranței la frământare. Totodată, s-a înregistrat o creștere a producției totale de gaze la fermentare și a valorii indicelui de cădere ceea ce a indicat o creștere a activității α amilazei din făina de grâu. De asemenea, adaosul de făină de lupin germinat în făina albă de grâu a condus la creșterea valorii indicelui $\tan \delta$ (unghiul de fază) și la scăderea modulelor G' și G'' odată cu creșterea temperaturii aluatului. Microstructura aluatului, analizată la EFLM a evidențiat o distribuție variată a amidonului și proteinelor din aluat în funcție de doza de lupin germinat incorporat în făina de grâu.

Astfel, creșterea dozei de lupin germinat în făina de grâu, a condus la reducerea conținutului de amidon și la creșterea conținutului de proteine din aluat. Din punct de vedere al caracteristicilor pâinii, s-a îmbunătățit volumul specific, porozitatea și elasticitatea, până la un adaos de maxim de 15% făină de lupin germinat în făina de grâu și s-a înregistrat o scădere a valorilor parametrilor texturali: gumozitate și reziliență. În ceea ce privește parametrii de culoare ai pâinii, adaosul de făină de lupin germinat în rețeta de obținere a pâinii a avut un efect de închidere la culoare a miezului și a cojii probelor de pâine. Analiza senzorială la care au fost supuse probele au arătat că pâinea cu până la 15% adaos de GLF în făina de grâu a fost mai bine apreciată decât proba martor (fără adaos). Ținând cont de datele obținute în acest studiu, se recomandă utilizarea unei doze maxime de 15% adaos de făină de lupin germinat în făina albă de grâu, pentru a se obține o pâine cu caracteristici de calitate îmbunătățite.

5. În general, adaosul de făină de năut germinat a condus la scăderea valorii următorilor parametri reologici: capacitatea de hidratare a făinii de grâu, toleranța la frământare, consistența aluatului, extensibilitatea aluatului, indicele de umflare a aluatului obținut la alveograf și unghiul de fază ($\tan \delta$) pentru testul de variație a temperaturii. În schimb, volumul total al producției de gaze în timpul fermentării aluatului și modulele G' și G'' pentru testul de variație a temperaturii au crescut. Microstructura aluatului, analizată prin microscopie de epifluorescență a pus în evidență o modificare a distribuției amidonului și a proteinelor din aluat, observându-se o creștere a cantității de proteine și o scădere a amidonului, odată ce a crescut tot mai mult doza de făină de năut germinat încorporat în făina de grâu. Volumul specific, porozitatea, elasticitatea pâinii și caracteristicile senzoriale ale acesteia au fost îmbunătățite la un adaos de până la 15% făină de năut germinat adăugat în aluat. Fermitatea pâinii a crescut, în timp ce gumozitatea, coezivitatea și reziliența pâinii s-au redus odată cu creșterea dozei de făină de năut germinat în pâine. Culoarea cojii și a miezului pâinii a devenit tot mai închisă cu creșterea dozei de făină de năut germinat adăugată în aluat.

6. Testele de deformare și revenire au arătat că probele de aluat cu doze ridicate de făină de linte germinată încorporată în făina de grâu au prezentat o rezistență mai mare la solicitările aplicate. Microstructura aluatului, așa cum a fost evidențiată folosind microscopia de epifluorescență, a indicat o creștere a zonei proteice și o reducere a cantității de amidon din aluat odată ce a crescut doza de făină de linte germinată adăugată în făina de grâu. Volumul specific, porozitatea și elasticitatea probelor de pâine au fost îmbunătățite de adaosul de făină de linte germinată, fără a depăși procentul unui adaos de 7,5% în aluat. Probele de pâine cu adaos de făină de linte germinată au fost mai închise la culoare și au prezentat o nuanță ușor roșiatică și gălbuie. Parametrii texturali ai pâinii au evidențiat valori mai mari pentru fermitate și gumozitate și mai mici pentru coezivitate și reziliență pentru pâinea cu adaos de făină de linte germinată, în comparație cu cea martor. Probele de pâine cu adaos de 2,5% și 5% LGF au avut o structură mai densă a porilor miezului de pâine. În ceea ce privește analiza senzorială, probele de pâine cu adaos de făină de linte germinată în făina de grâu au fost bine apreciate de către evaluatori. Adaosul de LGF a fost, de asemenea, de dorit datorită faptului că a îmbunătățit valoarea nutritivă a pâinii.

7. Adaosul de făină de soia germinată a avut ca efect reducerea valorilor parametrilor specifici testului de fluaj și al testului de revenire (J_{Co} , J_{Cm} , μ_{Co} , J_{max} , J_{Ro} , J_{Rm} și J_r). În același timp, valorile parametrilor reologici λ_C și λ_R au crescut. Adaosul de făină de soia germinată nu a afectat omogenitatea aluatului, așa cum se poate observa din analiza EFLM. Un adaos de maxim 15% făină de soia germinată în făina de grâu a avut un efect pozitiv asupra volumului specific, porozității, elasticității și caracteristicilor senzoriale ale pâinii. Probele de pâine cu adaos de făină de soia germinată au prezentat o luminozitate mai redusă și o nuanță roșie și galbenă mai

pronunțată. Când procentul de făină de soia germinată din făina de grâu a crescut, valoarea parametrului fermitate a crescut, iar valoarea parametrilor gumozitate, coezivitate și reziliență au scăzut. Adaosul de făină de soia germinată a avut o influență pozitivă asupra structurii miezului probelor de pâine. Astfel, ținând cont de rezultatele determinărilor evidențiate mai sus, se poate afirma că adaosul de făină de soia germinată în făina de grâu face posibilă obținerea de probe de pâine cu caracteristici de calitate bună.

8. Proiectarea statistică a experimentelor utilizând metodologia suprafeței de răspuns (RSM) a fost utilizată pentru optimizarea nivelurilor adaosului de făină de soia germinată și făină de linte germinată în făina de grâu, iar microstructura probelor de aluat a fost analizată prin microscopie de epifluorescentă (EFLM). S-a constatat că proba optimă conține 5,60% SGF și 3,62% LGF adaos în făina de grâu, care a condus la o scădere a valorii indicelui de cădere, a capacității de hidratare a făinii de grâu, a toleranței la frământare, a consistenței aluatului, a extensibilității și a temperaturii inițiale de gelatinizare, în timp ce tenacitatea aluatului, înălțimea maximă a aluatului în timpul formării și reținerii gazelor la fermentare, volumul total de CO₂ produs, volumul de retenție, modulele vâsco-elastice și temperaturile maxime de gelatinizare au fost mai mari în comparație cu proba martor.

9. Efectele variabilelor independente (CGF și LGF) și optimizarea acestora au fost studiate aplicând proiectarea statistică a experimentelor (DOE – Design of Experiments) utilizând metodologia suprafeței de răspuns (RSM). Combinația optimă obținută de CGF și LGF, având în vedere proprietățile reologice ale aluatului, a fost de 8,57% făină de năut germinat, 5,31% făină de lupin germinat și 86,12% făină de grâu, obținându-se o activitate mai mare a α -amilazei spre o valoare optimă, în comparație cu proba martor.

10. Rezultatele obținute în acest studiu experimental conferă informații valoroase cu privire la posibilitatea utilizării leguminoaselor germinate precum fasole, soia, năut, linte și lupin în procesul tehnologic de obținere a pâinii, pentru a îmbunătăți proprietățile reologice ale făinii albe de grâu. Îmbunătățirea activității α -amilazei a făinii de grâu prin adaos de făină de leguminoase germinate reprezintă o oportunitate de utilizare a acestora în panificație pornind de la o făină cu un conținut redus de α -amilază.

În concluzie, făina de leguminoase germinate poate fi folosită cu succes ca adaos în făina albă de grâu, cu scopul de a îmbunătăți proprietățile reologice ale aluatului și calitatea pâinii. Datorită adaosului de făină de leguminoase germinate se poate obține o pâine cu caracteristici de calitate îmbunătățite din punct de vedere tehnologic, senzorial și nutrițional.

Originalitatea lucrării este dată de analiza detaliată a cinci tipuri de leguminoase (năut, soia, lupin, linte și fasole) care au fost supuse procesului de germinare în condiții controlate asupra proprietăților reologice ale aluatului obținut din făină de grâu tip 650 cu activitate α amilazică redusă, microstructurii acestuia și calității pâinii, utilizând aparatură de ultimă generație. De asemenea, a fost analizată în detaliu variația caracteristicilor fiziologice, microstructurale și fizico-chimice a leguminoaselor pe durata procesului de germinare. În urma studiilor s-a stabilit perioada optimă de germinare pentru obținerea de leguminoase germinate a căror umiditate a fost redusă prin liofilizare. Procentele de leguminoase germinate adăugate în făina de grâu, au variat în funcție de efectul acestora asupra valorii indicelui de cădere, astfel încât să se obțină o făină de grâu cu o activitate a α -amilazei spre cea optimă pentru panificație. În funcție de efectul pe care fiecare adaos de făină de leguminoasă germinată l-a avut asupra proprietăților reologice ale aluatului, microstructurii acestuia și calității pâinii s-a determinat procentul optim pentru fiecare tip de leguminoasă ce poate fi utilizat în panificație. În cadrul tezei s-a analizat posibilitatea de a utiliza

mixuri de făină de leguminoase germinate (năut-lupin germinat și linte-soia germinată) pentru a se obține produse de panificație de calitate. Utilizând proiectarea statistică a experimentelor, s-au stabilit modelele matematice adecvate, pe baza rezultatelor experimentale obținute, care au făcut posibilă descrierea variației datelor experimentale, cu scopul predicției parametrilor de calitate studiați. De asemenea, au fost stabilite dozele optime pentru mixurile de leguminoase germinate care pot fi adăugate în făina de grâu pentru obținerea de produse de panificație de calitate.

Având în vedere tendința la nivel mondial de a crește consumul de pâine cu o valoare nutritivă ridicată, cu beneficii asupra sănătății umane, produse care pot fi obținute și prin adaosul de leguminoase germinate în panificație, se va continua studierea posibilității de obținere a pâinii îmbogățite și cu alte tipuri și varietăți de leguminoase germinate. De asemenea, se va continua studierea posibilității de utilizare de diverse tratamente asupra boabelor de leguminoase, altele decât procesul de germinare, cu scopul de a le optimiza din punct de vedere calitativ ca ulterior acestea să fie utilizate pentru dezvoltarea de noi produse alimentare sau pentru a le îmbunătăți pe cele deja existente pe piață. Mai mult, se dorește a se analiza pe viitor efectul procesului de germinare combinat cu alte procedee tehnologice cu scopul de a îmbunătăți valoarea nutritivă a leguminoaselor pentru a putea fi utilizate în diferite produse alimentare.

BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ

- Abdel-Aty, A. M., Salama, W. H., Fahmy, A.S., și Mohamed, S. A. (2019) Impact of germination on antioxidant capacity of garden cress: New calculation for determination of total antioxidant activity. *Science Horticulturae*, 246, 155–160. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.10.06>
- Aguilera, Y., Herrera, T., Liébana, R., Rebollo-Hernanz, M., Sanchez-Puelles, C., și Martín-Cabrejas, M. A. (2015) Impact of melatonin enrichment during germination of legumes on bioactive compounds and antioxidant activity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 63, 7967–7974. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b03128>
- Aisyah, S., Vincken, J. P., Andini, S., Mardiah, Z., și Gruppen, H. (2016) Compositional changes in (iso)flavonoids and estrogenic activity of three edible *Lupinus* species by germination and *Rhizopus*-elicitation. *Phytochemistry*, 122, 65–75. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2015.12.015>
- Atudorei, D., Ungureanu-Iuga, M., Codină, G. G., și Mironeasa, S. (2021) Germinated Chickpea and Lupin as Promising Ingredients for Breadmaking - Rheological Features. *Agronomy*, 11, 2588. <https://doi.org/10.3390/agronomy11122588>
- Banu, C. (1998) Manualul inginerului de industrie alimentară. *Editura Tehnică*, București.
- Bueno, D. B., da Silva Júnior, S. I., Chiarotto, A. B. S., Cardoso, T. M., Neto, J. A., dos Reis, G. C., Glória, M.B. A., și Tavano, O. L. (2020) The Germination of Soybeans Increases the Water-soluble Components and Could Generate Innovations in Soy-based Foods. *LWT*, 117, 108599. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108599>
- Cáceres, P. J., Peñas, E., Martínez-Villaluenga, C., García-Mora, P., și Frías J. (2019) Development of a multifunctional yogurt-like product from germinated brown rice. *Food Science and Technology*, 99, 306 – 312. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.10.008>
- Comisia Europeană, *Recomandările Comisiei (EC) 2006/576; Jurnalul Oficial al Uniunii Europene*: Bruxel, Belgia, 2006, Volumul L285, p. 33.
- Boukid, F., Zannini, E., Carini, E., și Vittadini, E. (2019) Pulses for bread fortification: A necessity or a choice?. *Trends in Food Science Technology*, 88, 416–428. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.04.007>
- Chaple, S., Sarangapani, C., Jones, J., Carey, E., Causeret, L., Genson, A., Duffy, B., și Bourke, P. (2020) Effect of atmospheric cold plasma on the functional properties of whole wheat (*Triticum aestivum* L.) grain and wheat flour. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 66, 102529. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102529>
- Chavan, M., Gat, Y., Harmalkar, M., și Wagnmare, R. (2018) Development of non-dairy fermented probiotic drink based on germinated and ungerminated cereals and legume. *LWT - Food Science and Technology*, 91, 339–344. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.01.070>
- Codină, G. G., Dabija, A., și Oroian, M. (2019) Prediction of Pasting Properties of Dough from Mixolab Measurements Using Artificial Neuronal Networks. *Foods*, 8, 447. <https://doi.org/10.3390/foods8100447>

- Codină, G. G., Mironeasa, S., și Mironeasa, C. (2012) Variability and relationship among Mixolab and Falling Number evaluation based on influence of fungal α -amylase addition. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 92, 2162–2170. <https://doi.org/10.1002/jsfa.5603>
- Cornejo, F., Novillo, G., Villacrés, E., și Rosell, C. M. (2019) Evaluation of the Physicochemical and Nutritional Changes in Two Amaranth Species (*Amaranthus quitensis* and *Amaranthus caudatus*) after Germination. *Food Research International*, 121, 933–939. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.01.02>
- Danza, A., Mastromatteo, M., Cozzolino, F., și Lecce, L. (2014) Processing and characterization of durum wheat bread enriched with antioxidant from yellow pepper flour. *LWT - Food Science and Technology*, 59, 479-485. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.06.001>
- EL-Suhaibani, M., Ahmed, M. A., și Osman, M. A. (2020) Study of germination, soaking and cooking effects on the nutritional quality of goat pea (*Securigera securidaca* L.). *Journal of King Saud University*, 32, 2029 - 2033. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2020.02.021>
- Erbas, M., Certel, M., și Uslu, M. K. (2005) Some chemical properties of white lupin seeds (*Lupinus albus* L.). *Food Chemistry*, 89, 341–345. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.02.040>
- Ertas, N., și Bilgiçli, N. (2014) Effect of different debittering processes on mineral and phytic acid content of lupin (*Lupinus albus* L.) seeds. *Journal of Food Science and Technology*, 51, 3348 - 3354. <https://doi.org/10.1007%2Fs13197-012-0837-2>
- Gong, K., Chen, L., Li, X., Sun, L., și Liu, K. (2018) Effects of germination combined with extrusion on the nutritional composition, functional properties and polyphenol profile and related in vitro hypoglycemic effect of whole grain corn. *Journal of Cereal Science*, 83, 1 - 8. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2018.07.002>
- Gostin, A.I. (2019) Effects of substituting refined wheat flour with wholemeal and quinoa flour on the technological and sensory characteristics of salt-reduced breads. *LWT - Food Science and Technology*, 114, 108412. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108412>
- Han, A., Arijaje, E. O., Jinn, J. R., Mauromoustakos, A., și Wang, Y. J. (2016) Effects of germination duration on milling, physicochemical, and textural properties of medium- and long-grain rice. *Cereal Chemistry*, 93, 39 – 46. <https://doi.org/10.1094/CCHEM-01-15-0012-R>
- Huang, P. V., Yen, N. T. H., Phi, N. T. L., Tien, N. P. H., și Trung, N. T. T. (2020) Nutritional Composition, Enzyme Activities and Bioactive Compounds ofmung Bean (*Vignaradiata* L.) Germinated under Dark and Light Conditions. *LWT - Food Science and Technology*, 133, 110100. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110100>
- Ibidapo, O. P., Henshaw, F. O., Shittu, T. A., și Afolabi, W. A. (2020) Quality evaluation of functional bread developed from wheat, malted millet (*Pennisetum Glaucum*) and ‘Okara’ flour blends. *Scientific African*, 10, e00622. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2020.e00622>
- ISTA (2006) ISTA Handbook on Seedling Evaluation. International Seed Testing Association; ISTA: Bassersdorf, Switzerland.
- Jiménez, D., Lobo, M., Irigaray, B., Grompone, M. A., și Sammán, N. (2020) Oxidative stability of baby dehydrated purees formulated with different oils and germinated grain flours of quinoa and

- amaranth. *LWT - Food Science and Technology*, 127, 109229. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109229>
- Kaczmarska, K. T., Chandra-Hioe, M. V., Frank, D., și Arcot, J. (2018) Aroma characteristics of lupin and soybean after germination and effect of fermentation on lupin aroma. *LWT - Food Science Technology*, 87, 225 - 233. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.08.080>
- Kassegn, H. H., Atsbha, T. W., Weldeabezgi, L. T., și Yildiz, F. (2018) Effect of Germination Process on Nutrients and Phytochemicals Contents of Faba Bean (*Vicia faba* L.) for Weaning Food Preparation. *Cogent Food & Agriculture*, 4, 1 - 13. <https://doi.org/10.1080/23311932.2018.1545738>
- Kaur, M., Asthir, B., și Mahajan, G. (2017) Variation in Antioxidants, Bioactive Compounds and Antioxidant Capacity in Germinated and Ungerminated Grains of Ten Rice Cultivars. *Rice Science*, 24(6), 349 - 359. <https://doi.org/10.1016/j.rsci.2017.08.002>
- Kaur, A., Kaur, R., și Bhise S. (2020) Baking and sensory quality of germinated and ungerminated flaxseed muffins prepared from wheat flour and wheat atta. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 19, 109 - 120. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2018.07.002>
- Kumar, S., și Pandey, G. (2020) Biofortification of pulses and legumes to enhance nutrition. *Heliyon*, 6, 203682. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03682>
- Kumari, A., Rosenkranz, T., Kayastha, A., și Fitter, J. (2010) The effect of calcium binding on the unfolding barrier: A kinetic study on homologous α -amylases. *Biophysical Chemistry*, 151, 54 - 60. <https://doi.org/10.1016/j.bpc.2010.05.005>
- Kumari, A., Singh, V. K., Fitter, J., Polen, T., și Kayastha, A. M. (2010a) α -Amylase from germinating soybean (*Glycine max*) seeds – Purification, characterization and sequential similarity of conserved and catalytic amino acid residues. *Phytochemistry*, 71, 1657 - 1666. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2010.06.012>
- Lai, H. M., și Lin, T. C. (2006) Bakery Products: Science and Technology, *Bakery Products: Science and Technology*, 3 - 68.
- Li, Q. F., Zhou, Y., Xiong, M., Ren, X. Y., Han, L., Wang, J. D., Zhang, C. Q., Fan, X. L., și Liu Q. Q. (2020) Gibberellin recovers seed germination in rice with impaired brassinosteroid signalling. *Plant Science*, 293, 110435. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2020.110435>
- Ma, Z., Boye, J. Y., și Hu, X. (2018) Nutritional quality and techno-functional changes in raw, germinated and fermented yellow field pea (*Pisum sativum* L.) upon pasteurization. *LWT - Food Science and Technology*, 92, 147 - 154. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.02.018>
- Ma, Q., Shi, C., Su, C., și Liu, Y. (2020) Complementary analyses of the transcriptome and iTRAQ proteome revealed mechanism of ethylene dependent salt response in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Food Chemistry*, 325, 126866. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126866>
- Ma, Y., Xu, D., Sang, S., Jin, Y., Xueming, X., și Cui, B. (2021) Effect of superheated steam treatment on the structural and digestible properties of wheat flour. *Food Hydrocolloids*, 112, 106362. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106362>

- Ma, M., Zhang, H., Xie, Y., Yang, M., Tang, J., Wang, P., Yang, R., și Zhenxin, G. (2020a) Response of nutritional and functional composition, anti-nutritional factors and antioxidant activity in germinated soybean under UV-B radiation. *LWT - Food Science and Technology*, 118, 108709. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108709>
- Nonogaki, M., și Nonogaki, H. (2017) Germination. *Encyclopedia of Applied Plant Sciences*, 1, 509 - 512.
- Park, K. M., și Oh, S. H. (2017) Production of yogurt with enhanced levels of gamma-aminobutyric acid and valuable nutrients using lactic acid bacteria and germinated soybean extract. *Bioresource Technology*, 98, 1675 - 1679. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2006.06.006>
- Patrascu, L., Aprodu, I., Garnai, M., și Vasilean, I. (2018) Effect of germination and fermentation on the functionality of wheat-pulses flour mixtures. *Journal of Biotechnology*, 280, S52 - S53. <http://dx.doi.org/10.15835/buasvmcn-asb:12150>
- Poblete, T., Rebolledo, K., Barrera, C., Ulloa, D., Valenzuela, M., Valenzuela, C., Pavez, E., Mendoza, R., Narbona, C., González, J., Estevez, S., Ortega, R., și González, C. (2020) Effect of germination and cooking on iron content, phytic acid and lectins of four varieties of chilean beans (*Phaseolus vulgaris*). *Journal of the Chilean Chemical Society*, 65, 4937 - 4942. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-97072020000404937>
- Polat, H., Capar, T. D., Inanir, C., Ekici, L., și Yalcin, H. (2020) Formulation of functional crackers enriched with germinated lentil extract: A Response Surface Methodology Box-Behnken Design. *LWT - Food Science and Technology*, 123, 109056. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109065>
- Pop, C. G. (2005) Controlul calității produselor de morărit și panificație. *Editura Universității din Suceava*, Suceava.
- Sangronis, E., și Machado, C. J. (2007) Influence of germination on the nutritional quality of *Phaseolus vulgaris* and *Cajanus cajan*. *LWT - Food Science and Technology*, 40, 116 – 120. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2005.08.003>
- Singh, A., și Sharma, S. (2017) Bioactive components and functional properties of biologically activated cereal grains: A bibliographic review. *Critical Reviews in Food Science*, 57, 3051 - 3071. <https://doi.org/10.1080/10408398.2015.1085828>
- Sokrab, A. M., Ahmed, I. A. M., și Babiker, E. E. (2012) Effect of Germination on Antinutritional Factors, Total, and Extractable Minerals of High and Low Phytate Corn (*Zea mays* L.) Genotypes. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 11, 123 - 128. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2012.02.002>
- Steinbrecher, T., și Leubner-Metzger, G. (2017) The biomechanics of seed germination. *Journal of Experimental Botany*, 68, 765 - 783. <https://doi.org/10.1093/jxb/erw428>
- Tuan, P. A., Sun, M., Nguyen, T. N., Park, S., și Ayele, B. T. (2019) 1 - Molecular mechanisms of seed germination. *Sprouted Grains. Nutritional Value, Production and Applications*, 1 - 24. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811525-1.00001-4>

Ujiroghene, O. J., Liu, L., Zhang, S., Lu, J., Zhang, C., Lv, J., Pang, X., și Zhang, M. (2019) Antioxidant capacity of germinated quinoa-based yoghurt and concomitant effect of sprouting on its functional properties. *LWT - Food Science and Technology*, 116, 108592. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108592>

Upadhyay, N., Jaiswal, P., și Jha, S. N. (2018) Application of Attenuated Total Reflectance Fourier Transform Infrared Spectroscopy (ATR - FTIR) in MIR Range Coupled with Chemometrics for Detection of Pig Body Fat in Pure Ghee (Heat Clarified Milk Fat). *Journal of Molecular Structure*, 1153, 275 - 281. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2017.09.116>

Waghmare, R. B., Perumal, A. B., Moses, J. A., și Anandharamakrishnan, C. (2021) Recent developments in freeze drying of foods. *Innovative Food Processing Technologies; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands*, 82 - 99. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-815781-7.00017-2>

Xu, L., Chen, L., Yang, N., Chen, Y., Wu, F., Jin, Z., și Xu, X. (2017) Impact of germination on nutritional and physicochemical properties of adlay seed (*Coixlachryma-jobi L.*). *Food Chemistry*, 229, 312 – 318. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.02.096>

DISEMINAREA REZULTATELOR CERCETĂRILOR

Rezultatele cercetărilor prezentate în teză s-au materializat prin publicarea a **10 articole** științifice în reviste de specialitate indexate Web of Science cu factor de impact, dintre care 6 articole Q1, 3 articole Q2, 1 articol Q4, a **3 cereri de brevete** de invenție depuse la OSIM, precum și prin comunicarea a **13 articole** la manifestări științifice naționale și internaționale.

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

1. **Atudorei, D.**, Stroe, S.-G., Codină G.-G., 2020. Physical, Physiological and Minerals Changes of Different Legumes Types during the Germination Process. *Ukrainian Food Journal, Food Technology*, 9. <https://doi.org/10.24263/2304-974X-2020-9-4-10> (factor de impact 0,12) – **articol Q4**
2. **Atudorei, D.**, Codină, G.-G., 2020. Perspectives on the Use of Germinated Legumes in the Bread Making Process, A Review. *Applied Sciences*, 10(18), 6244. (factor de impact: 2.838) – **articol Q2**. <https://www.mdpi.com/2076-3417/10/18/6244>
3. **Atudorei, D.**, Stroe, S.-G., Codină, G.-G., 2021. Impact of Germination on the Microstructural and Physicochemical Properties of Different Legume Types. *Plants*, 10(3), 592, <https://doi.org/10.3390/plants10030592> (factor de impact: 4.658) – **articol Q1**. <https://www.mdpi.com/2223-7747/10/3/592>
4. **Atudorei, D.**, Atudorei, O., Codină, G.-G., 2021. Dough Rheological Properties, Microstructure and Bread Quality of Wheat-Germinated Bean Composite Flour. *Foods*, 10, 1542, (factor de impact 5.561) – **articol Q1**. <https://doi.org/10.3390/foods10071542>
5. Ungureanu-Iuga, M., **Atudorei, D.**, Codină, G.-G., Mironeasa, S., 2021. Rheological Approaches of Wheat Flour Dough Enriched with Germinated Soybean and Lentil. *Applied Sciences*, 11(24), 11706, (factor de impact: 2.838) – **articol Q2**. <https://doi.org/10.3390/app112411706>
6. **Atudorei, D.**, Ungureanu-Iuga, M., Codină, G.-G., Mironeasa, S., 2021. Germinated Chickpea and Lupin as Promising Ingredients for Breadmaking—Rheological Features. *Agronomy*, 11(12), 2588, (factor de impact: 3.949) – **articol Q1**. <https://doi.org/10.3390/agronomy11122588>
7. **Atudorei, D.**, Atudorei, O., Codină, G.-G., 2022. The Impact of Germinated Chickpea Flour Addition on Dough Rheology and Bread Quality. *Plants*, 11(9), 1225, (factor de impact: 4.658) – **articol Q1**. <https://doi.org/10.3390/plants11091225>
8. **Atudorei, D.**, Ropciuc, S., Codină, G.-G., 2022. Possibilities to Use Germinated Lupine Flour as an Ingredient in Breadmaking to Improve the Final Product Quality. *Agronomy*, 12(3), 667, (factor de impact: 3.949) – **articol Q1**. <https://doi.org/10.3390/agronomy12030667>
9. **Atudorei, D.**, Mironeasa, S., Codină, G.-G., 2022. Effects of Germinated Lentil Flour on Dough Rheological Behavior and Bread Quality. *Foods*, 11(19), 2982, (factor de impact: 5.561) – **articol Q1**. <https://doi.org/10.3390/foods11192982>
10. **Atudorei, D.**, Mironeasa, S., Codină, G.-G., 2023. Dough Rheological Behavior and Bread Quality as Affected by Addition of Soybean Flour in a Germinated Form. *Foods*, 12(6), 1316, (factor de impact: 5.561) – **articol Q1**. <https://doi.org/10.3390/foods12061316>

B. Cereri de brevete de invenție

1. Codină G.G., Mironeasa S., **Atudorei D.**, Mușu A., Ungureanu-Iuga M., Oroian M.A., Făină funcțională din leguminoase germinate pentru panificație și procedeu de obținere a acesteia, RO137315A2, **cerere de brevet de invenție, OSIM, publicare rezumat**
2. Codină G.G., Mironeasa S., **Atudorei D.**, Mușu A., Ungureanu-Iuga M., Oroian M.A., Pâine albă funcțională cu o valoare proteică mărită prin adaos de leguminoase germinate și procedeu de obținere a acesteia, RO137313A2, **cerere de brevet de invenție, OSIM, publicare rezumat**
3. Codină G.G., Mironeasa S., **Atudorei D.**, Mușu A., Ungureanu-Iuga M., Oroian M.A., Pâine albă îmbogățită nutrițional prin adaos de făină din leguminoase germinate cu activitate enzimatică ridicată și procedeu de obținere a acesteia, RO137314A2, **cerere de brevet de invenție, OSIM, publicare rezumat**

C. Lucrări comunicate la manifestări științifice internaționale

1. **Atudorei, D.**, Golea, C., 2020. Physical and physiological modifications of different legumes types during the germination process. Conferința internațională „Student in Bucovina”, Suceava, 18 decembrie, 2020.
2. **Atudorei, D.**, 2020. Studies regarding the physical changes of different pseudocereals types during the germination process. Conferința internațională „Student in Bucovina”, Suceava, 18 decembrie, 2020.
3. **Atudorei D.**, Atudorei, O., Codină, G.G., 2021. Physico-chemical and consumer acceptance of white bread as affected by germinated bean flour addition, 87 International scientific conference of young scientist and students “Youth scientific achievements to the 21st century nutrition problem solution”, Ukraine, Kyiv National University of Food Technologies, 15–16 April, 2021.
4. **Atudorei D.**, 2021 Improving the quality of bakery products by using germinated legume flour, RO.aliment SHOW, fifth edition, 17-21 may, oral presentation on 20 may during Bakery products & Swets & Alternative products section (invited representatives of the food industry, academia, consumers).
5. **Atudorei D.**, Atudorei, O., Codină, G.G., 2021. The effect of germinated beans on wheat dough rheology, The 16th International Conference of Constructive Design and Technological Optimization in Machine Building Field OPROTEH 2021, 25-27 May, Bacău, Romania.
6. Iuga-Ungureanu M., **Atudorei D.**, Codină G.G., Mironeasa S., Chemical characterization of wheat-germinated legumes composite flours, XXIth International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying, Geology and Mining, Ecology and Management – SGEM 2021.
7. **Atudorei D.**, Codină G.G., Dough rheological properties as affected by addition of germinated chickpea flour, 8th Edition of the International Conference, 5th November 2021 Biotechnologies, present and Perspectives.
8. **Atudorei D.**, Codină G.G., The effect of germinated lentil flour on bread making, 8th Edition of the International Conference, 5th November 2021 Biotechnologies, present and perspectives.
9. Atudorei, O., **Atudorei, D.**, 2021. The effect of the addition of germinated soybean flour on the rheological properties of wheat flour dough, Annual student scientific communication

- session, november 2021, Facultatea de Ingineria Mediului și Știința Alimentelor, Târgoviște.
10. **Atudorei, D.**, Atudorei, O., Codină, G.G., 2022. Nutritional impact of the germinated bean flour addition in the recipe for making white wheat bread, 88 International scientific conference of young scientist and students “Youth scientific achievements to the 21st century nutrition problem solution”, April-May, Kyiv, NUFT, 2022.
 11. Codină, G.G., **Atudorei, D.**, Ungureanu-Iuga, M., Ursachi, F., 2022. Amino acids composition of wheat-germinated legumes composite flours, The International conference agriculture for life, life for agriculture, June 2-4, 2022, Bucharest, Romania.
 12. Codină, G.G., **Atudorei, D.**, Ungureanu-Iuga, M., Ursachi, F., Stroe, S.G., 2022. Effects of germinated lupine and chickpea flour addition on nutritional quality of white wheat bread, 4th World conference on sustainable life sciences, 1-7 August, Istanbul, Turkey, 2022.
 13. Codină, G.G., **Atudorei, D.**, Ursachi, F., Stroe, S.G., Ungureanu-Iuga, M., 2022. Nutrition value of white wheat bread supplemented with soybean and lentil germinated flour, European Biotechnology Congress 2022, 5-7 October, Prague, Czechia.