



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



TEZĂ DE DOCTORAT

REZUMAT

Conducător științific:
Prof. univ. dr. ing. Silvia MIRONEASA

Doctorand:
Ing. Ana BATARIUC

SUCEAVA
2024

*Impactul unor metode de procesare a boabelor de sorg asupra compoziției nutriționale și
caracteristicilor funcțional-tehnologice ale făinii de sorg*

REZUMATUL TEZEI DE DOCTORAT

UNIVERSITATEA “ȘTEFAN CEL MARE” DIN SUCEAVA

FACULTATEA DE INGINERIE ALIMENTARĂ

Domeniul Ingineria Produselor Alimentare

**IMPACTUL UNOR METODE DE PROCESARE A
BOABELOR DE SORG ASUPRA COMPOZIȚIEI
NUTRIȚIONALE ȘI CARACTERISTICILOR
FUNCȚIONAL-TEHNOLOGICE ALE FĂINII DE SORG**

Conducător științific:

Prof. univ. dr. ing. Silvia MIRONEASA

Doctorand:

Ing. Ana BATARIUC

SUCEAVA

2024

Mulțumiri

Cuvinte de mulțumire, aleasă prețuire și recunoștință se îndreaptă către doamna **Prof. univ. dr. ing. Silvia Mironeasa**, coordonator al teze, al cărei sprijin și îndrumare le-am primit de fiecare dată, în modul cel mai prietenesc și călduros cu putință. Sunt astăzi omul și cercetătorul pe care l-ați modelat, stimată doamnă Profesor, tocmai pentru că m-ați încurajat permanent, mi-ați oferit modelul dumneavoastră de profesionalism și omenie. Vă mulțumesc!

Un deosebit respect și cuvinte de mulțumire adresez comisiei de îndrumare: **Prof. univ. dr. ing. Sonia Amariei, Prof. univ. dr. ing. Gheorghe Gutt, Prof. univ. dr. ing. Mircea Adrian Oroian și Prof. univ. dr. ing. Georgiana Gabriela Codină**, pentru toate recomandările științifice valoroase și pentru îndrumarea pe întreg parcursul elaborării tezei de doctorat, care au condus la îmbunătățirea rezultatelor acestei lucrări.

Mulțumesc distinșilor referenți oficiali, **Prof. univ. dr. ing. Violeta Nour, Prof. univ. dr. ing. Nicoleta Stănciuc și Conf. univ. dr. ing. Aliona Ghendov-Moșanu** pentru onoarea de a face parte din comisia de susținere publică a prezentei teze.

Alese mulțumiri adresez și doamnelor **dr. ing. Mădălina Ungureanu-Iuga și dr. ing. Ionica Coțovanu** pentru ajutorul și sfaturile neprețuite pe care mi le-au oferit și pentru prietenia lor.

Mulțumesc tuturor colegilor din cadrul Școlii Doctorale pentru sprijinul profesional și suportul acordat, în special: **drd. ing. Ancuța Petraru, dr. ing. Ancuța Chetrariu, dr. ing. Vasile-Florin Ursachi și dr. ing. Ionuț Avrămia**.

Nu în ultimul rând, **dedic această teză părinților mei Ioan și Valeria**, fratelui meu **Ionel**, care m-au sprijinit necondiționat în parcursul profesional. Aceasta teză este dedicată, de asemenea bunicului meu **Vasile** care a fost și va fi modelul meu în viață și **pr. Nicolae**

*Impactul unor metode de procesare a boabelor de sorg asupra compoziției nutriționale și
caracteristicilor funcțional-tehnologice ale făinii de sorg*

REZUMATUL TEZEI DE DOCTORAT

CUPRINS

LISTĂ DE NOTAȚII ȘI ABREVIERI	9
INTRODUCERE.....	11
OPORTUNITATE, SCOP ȘI OBIECTIVE.....	13
CAPITOLUL 1. STADIUL ACTUAL AL CERCETĂRIILOR PRIVIND EFECTELE METODELOR DE PROCESARE A BOABELOR DE SORG ASUPRA COMPOZIȚIEI CHIMICE ȘI PROPRIETĂȚILOR FUNCȚIONAL-TEHNOLOGICE ALE FĂINII DE SORG.....	15
1.1. Sorgul – caracteristici generale	15
1.1.1. Răspândire	15
1.1.2. Taxonomie.....	15
1.1.3. Istoric.....	16
1.1.4. Specii de sorg	17
1.2. Structura și compoziția nutrițională a boabelor de sorg.....	18
1.2.1. Structura boabelor de sorg.....	18
1.2.2. Compoziție nutrițională.....	19
1.3. Tehnologii de procesare a sorgului și efectele acestora asupra compoziției chimice și proprietăților funcțional-tehnologice ale făinii de sorg.....	24
1.3.1. Metode de procesare a boabelor de sorg	25
1.3.2. Tratamentul termic uscat	29
1.3.3. Măcinarea sorgului și granulometria făinii de sorg.....	29
1.4. Produse alimentare pe bază de sorg	30
1.5. Activitatea biologică a boabelor de sorg și a produselor	35
Concluzii parțiale	37
Bibliografie.....	38
CAPITOLUL 2. MATERIALE ȘI METODE	51
2.1. Materiale.....	51
2.2. Metode de analiză și aparatură	51
2.2.1. Determinarea compoziției chimice.....	51
2.2.2. Determinarea conținutului total de polifenoli și a compușilor fenolici.....	53
2.2.3. Activitatea antioxidantă.....	54
2.2.4. Determinarea profilului de aminoacizi.....	54
2.2.5. Determinarea conținutului de acizi grași.....	54
2.2.7. Determinarea compușilor organici volatili.....	55
2.2.8. Digestibilitatea in vitro a amidonului.....	56
2.2.9. Determinarea proprietăților termice prin calorimetria cu scanare diferențială	56
2.2.10. Caracterizare moleculară prin spectroscopie în infraroșu cu transformată Fourier	57
2.2.11. Parametrii de culoare.....	57
2.2.12. Proprietățile funcțional-tehnologice	57
2.2.13. Determinarea proprietăților reologice ale aluatului din făină de sorg.....	60
2.3. Proiectarea experimentelor și prelucrarea statistică a datelor	60
Concluzii parțiale	61
Bibliografie.....	62
CAPITOLUL 3. CERCETĂRI CU PRIVIRE LA EFECTELE TRATAMENTULUI TERMIC USCAT ȘI ALE MĂCINĂRII BOABELOR DE SORG DIN DOUĂ SOIURI DIFERITE ASUPRA CARACTERISTICILOR FIZICO-CHIMICE ALE FĂINII DE SORG.....	63

REZUMATUL TEZEI DE DOCTORAT

3.1. Efectele tratamentului termic uscat și ale măcinării boabelor de sorg alb asupra caracteristicilor fizico-chimice ale făinii integrale de sorg alb (ES Albanus) și ale granulațiilor de dimensiuni diferite ale acesteia	63
3.1.1. Caracteristicile fizico-chimice pentru făina integrală de sorg alb și granulațiile diferite ale acesteia	63
3.1.2. Frațiile de amidon din făina integrală de sorg alb și granulațiile diferite ale acesteia .	64
3.2. Influența tratamentului termic uscat și a măcinării boabelor de sorg roșu (ES Alize) asupra caracteristicilor fizico-chimice ale făinii integrale de sorg roșu și ale granulațiilor de dimensiuni diferite ale făinii de sorg roșu.....	70
3.2.1. Determinarea caracteristicilor fizico-chimice pentru făina integrală de sorg roșu și granulațiile diferite ale acesteia.....	70
3.2.2. Frațiile de amidon din făina integrală de sorg roșu și din granulațiile diferite ale acesteia	71
3.2.3. Conținutul total de polifenoli, compușii fenolici și activitatea antioxidantă pentru făina integrală de sorg roșu și granulațiile acesteia.....	73
Concluzii parțiale	76
Bibliografie.....	78
CAPITOLUL 4. CERCETĂRI CU PRIVIRE LA EFECTELE TRATAMENTULUI TERMIC USCAT ȘI ALE MĂCINĂRII BOABELOR DE SORG ASUPRA PROPRIETĂȚILOR FUNCȚIONAL-TEHNOLOGICE ȘI CARACTERISTICILOR MOLECULARE ALE FĂINII INTEGRALE DE SORG ȘI ALE GRANULAȚIILOR DE MĂRIMI DIFERITE ALE PARTICULELOR, ÎN FUNCȚIE DE SOIUL DE SORG.....	
4.1. Proprietățile funcțional-tehnologice ale făinii integrale de sorg și ale fracțiilor de mărimi diferite, în funcție de soiul de sorg.....	87
4.2.1. Capacitatea de hidratare	87
4.2.2. Capacitatea de absorbție a apei	87
4.2.3. Capacitate de absorbție a uleiului.....	87
4.2.4. Indicele de solubilitate	88
4.2.5. Capacitatea de retenție a apei	88
4.2.6. Puterea de umflare.....	90
4.2.7. Densitate în vrac.....	90
4.2.8. Capacitate de spumare și stabilitatea spumei	92
4.2. Caracterizarea moleculară a făinii integrale de sorg și a granulațiilor de mărimi diferite ale acesteia	93
4.3. Evaluarea relațiilor dintre caracteristicile fizico-chimice, proprietățile funcțional-tehnologice ale făinii integrale de sorg alb și roșu, ale fracțiilor acestora și tipurile de probe studiate	95
Concluzii parțiale	99
Bibliografie.....	100
CAPITOLUL 5. OPTIMIZAREA CONDIȚIILOR DE PROCESARE A BOABELOR DE SORG ALB ȘI CARACTERIZAREA FRAȚIILOR OPTIME DE FĂINĂ DE SORG ALB	
5.1. Efectul temperaturii de tratare termică uscată și al fracționării boabelor de sorg alb asupra compoziției fizico-chimice și proprietăților funcțional-tehnologice ale fracțiilor de mărimi diferite ale făinii de sorg alb.....	107
5.1.1. Efectul temperaturii de tratare termică uscată și al fracționării boabelor de sorg alb asupra compoziției fizico-chimice a fracțiilor de făină de sorg alb.....	107
5.1.2. Efectul temperaturii de tratare termică uscată a boabelor de sorg alb și al mărimii fracțiilor asupra proprietăților funcțional-tehnologice ale făinii de sorg alb	111
5.1.3. Evaluarea corelațiilor Pearson dintre variabilele determinate.....	114

REZUMATUL TEZEI DE DOCTORAT

5.2. Optimizarea procesului și validarea modelului predictiv	116
5.3. Caracterizarea probelor optime de făină de sorg alb	118
5.3.1. Parametrii de culoare	118
5.3.2. Caracterizarea structurii secundare a proteinelor și amidonului prin spectrometrie în infraroșu cu transformată Fourier	118
5.3.3. Evaluarea digestibilității in vitro a amidonului	121
5.3.4. Conținutul total de polifenoli și activitatea antioxidantă aferente fracțiilor optime	122
5.3.5. Determinarea profilului de aminoacizi	123
5.3.6. Determinarea conținutului de acizi grași	124
5.3.7. Determinarea conținutului de minerale	127
5.3.8. Determinarea profilului de compuși volatili	128
5.3.9. Parametrii reologici dinamici ai aluatului din făină de sorg alb	130
Concluzii parțiale	135
Bibliografie	137
CAPITOLUL 6. OPTIMIZAREA CONDIȚIILOR DE PROCESARE A BOABELOR DE SORG ROȘU ȘI CARACTERIZAREA FRACȚIILOR OPTIME DE FĂINĂ DE SORG ROȘU	147
6.1. Efectul temperaturii de tratare termică uscată și al măcimării boabelor de sorg roșu asupra compoziției fizico-chimice și proprietăților funcțional-tehnologice ale particulelor de mărimi diferite ale făinii de sorg roșu	147
6.1.1. Efectul temperaturii de tratare termică uscată și al fracționării boabelor de sorg roșu asupra compoziției fizico-chimice a făinii de sorg roșu	147
6.1.2. Efectul temperaturii de tratare termică uscată a boabelor de sorg roșu și al mărimii fracțiilor asupra proprietăților funcțional-tehnologice ale făinii de sorg roșu	150
6.1.3. Corelațiile Pearson dintre variabilele determinate	153
6.2. Optimizarea procesului și validarea modelului predictiv	156
6.3. Caracterizarea probei optime de făină de sorg roșu	156
6.3.1. Parametrii de culoare	156
6.3.2. Caracteristici moleculare	157
6.3.3. Caracteristici termice	159
6.3.4. Digestibilitatea in vitro a amidonului	160
6.3.5. Conținutul total de polifenoli și activitatea antioxidantă	161
6.3.6. Determinarea profilului de aminoacizi	162
6.3.7. Determinarea conținutului de acizi grași	163
6.3.8. Determinarea conținutului de minerale	166
6.3.9. Determinarea profilului de compuși volatili din făina de sorg roșu	166
6.3.10. Proprietățile reologice dinamice ale aluatului din făină de sorg roșu	167
Concluzii parțiale	169
Bibliografie	171
CONCLUZII FINALE	181
CONTRIBUȚII ORIGINALE	183
LISTĂ DE FIGURI	185
LISTĂ DE TABELE	189
DISEMINAREA REZULTATELOR CERCETĂRII	191

LISTĂ DE NOTAȚII ȘI ABREVIERI

AA	aminoacizi
AA_DPPH	activitate antioxidantă, metoda DPPH
ABTS	acid 2,2'-azino-bis(3-etilbenzotiazolin-6-sulfonic)
ADR	amidon digerabil rapid
APC	analiza în componente principale
AR	amidon rezistent
AT	amidon total
CA	sorg alb netratat termic
CAA	capacitate de absorbție a apei
CH	capacitate de hidratare
CR	sorg roșu netratat termic
CRA	capacitate de reținere a apei
CTP	conținutul total de polifenoli
DSC	calorimetrie cu scanare diferențială
DPPH	2,2-difenil-1-picrililhidrazil
FRAP	puterea antioxidantă reducătoare ferică
FT-IR	spectroscopie în infraroșu cu transformată Fourier
G'	modul de elasticitate
G''	modul de vâscozitate
GAE	echivalenți acid galic
IVDA	indicele vitezei de digestie a amidonului
J _{Cmax}	compliance maximă la fluaj
J _{rmax}	compliance maximă la revenire
L*	luminozitate
MUFA	acizi grași mononesaturați
PUFA	acizi grași polinesaturați
QE	echivalent quercetină
SF	făină de sorg
SFA	acizi grași saturați
SG	boabe de sorg

*Impactul unor metode de procesare a boabelor de sorg asupra compoziției nutriționale și
caracteristicilor funcțional-tehnologice ale făinii de sorg*

REZUMATUL TEZEI DE DOCTORAT

OPORTUNITATE, SCOP ȘI OBIECTIVE

Utilizarea făinii de sorg în prepararea diferitelor alimente și în diverse procesări a fost întotdeauna limitată din cauza digestibilității mai scăzute a proteinelor și a termenului de valabilitate mai redus datorită degradării trigliceridelor de enzima lipază eliberată în timpul măcinării. O potențială strategie pentru depășirea acestui dezavantaj o constituie tratamentul termic al boabelor de sorg care modifică compoziția nutrienților, conținutul de antinutrienți, activitatea antioxidantă etc., iar acești factori determină digestibilitatea și perioada de valabilitate a produsului procesat dezvoltat.

Scopul acestei teze de doctorat constă în: i) investigarea efectelor tratamentului termic uscat aplicat la două temperaturi diferite boabelor de sorg din două soiuri (sorg roșu și sorg alb) și ale fracționării asupra caracteristicilor fizico-chimice, funcțional-tehnologice și moleculare ale făinii integrale de sorg și fracțiilor de mărimi diferite; ii) determinarea temperaturii optime de tratare termică a boabelor de sorg și a fracțiilor optime de făină de sorg pentru a obține caracteristicile fizico-chimice și tehnologice dorite și iii) evaluarea profilului nutrițional, tehnologic și funcțional al fracțiilor optime de făină de sorg.

Obiectivele propuse pentru atingerea scopului acestei cercetări cuprind:

O1. Efectuarea unui studiu privind stadiul actual al cercetărilor referitoare la compoziția fizico-chimică a boabelor de sorg și efectele metodelor de procesare asupra caracteristicile fizico-chimice și funcțional-tehnologice ale făinii de sorg, cu evidențierea produselor alimentare pe bază de sorg și a activității biologice a boabelor de sorg și a produselor.

O2. Stabilirea materiei prime și a metodologiei de cercetare.

O3. Evaluarea efectelor tratamentului termic uscat și ale măcinării boabelor de sorg din două soiuri diferite asupra caracteristicilor fizico-chimice, fracțiilor de amidon, compușilor fenolici, conținutului total de polifenoli și activității antioxidante pentru făina integrală de sorg și granulațiile de dimensiuni diferite.

O4. Evaluarea efectelor tratamentului termic uscat și ale măcinării boabelor de sorg din două soiuri diferite asupra proprietăților funcțional-tehnologice și caracteristicilor moleculare ale făinii integrale de sorg și ale granulațiilor de mărimi diferite, în funcție de soiul de sorg.

O5. Analiza efectului combinat al temperaturii de tratare termică uscată a boabelor de sorg și al mărimii fracțiilor făinii de sorg alb asupra compoziției fizico-chimice și proprietăților funcțional-tehnologice ale făinii de sorg alb, optimizarea condițiilor de procesare a boabelor de sorg alb și caracterizarea complexă a fracțiilor optime de făină de sorg alb.

O6. Analiza efectului combinat al temperaturii de tratare termică uscată a boabelor de sorg roșu și al mărimii fracțiilor făinii de sorg roșu asupra compoziției fizico-chimice și proprietăților funcțional-tehnologice ale făinii de sorg roșu, optimizarea condițiilor de procesare a boabelor de sorg roșu și caracterizarea complexă a fracțiilor optime de făină de sorg roșu.

Cuvinte cheie: Boabe de sorg; Tratament termic uscat; Mărimea particulelor; Făină de sorg; Proprietăți fizico-chimice; Structură moleculară; Proprietăți funcțional-tehnologice; Optimizare; Reologie.

Teza de doctorat intitulată ”*Impactul unor metode de procesare a boabelor de sorg asupra compoziției nutriționale și caracteristicilor funcțional-tehnologice ale făinii de sorg*” include lista de abrevieri, introducerea unde sunt menționate oportunitatea, scopul și obiectivele lucrării, șase capitole care includ în final fiecare concluzii parțiale și bibliografie, concluziile finale ale tezei, contribuțiile originale, precum și diseminarea rezultatelor cercetării.

Capitolul 1 intitulat ”*Stadiul actual al cercetărilor*” prezintă diferite tehnologii de procesare a sorgului aplicate cu scopul de a reduce efectul negativ al factorilor antinutriționali și de a îmbunătăți compoziția nutrițională și funcționalitatea făinii de sorg. O influență considerabilă asupra compoziției nutriționale și caracteristicilor funcțional-tehnologice ale făinii de sorg o are procesul de măcinare a boabelor de sorg și granulometria făinii de sorg. Dimensiunea particulelor făinii de sorg influențează semnificativ compoziția chimică, proprietățile funcțional-tehnologice, reologia aluatului și implicit calitatea produsului finit.

Capitolul 2 al tezei, ”*Materiale și metode*” prezintă materialele și metodele folosite în determinările experimentale pentru îndeplinirea obiectivelor propuse. Pentru realizarea cercetărilor experimentale au fost utilizate boabe de sorg alb (ES Albanus) și de sorg roșu (ES Alize) care provin de la două soiuri hibride de sorg cultivate în România, în zona de nord a Moldovei. Boabele de sorg au fost procesate prin două metode, și anume, mai întâi li s-a aplicat un tratament termic uscat, la două temperaturi diferite, de 121 și 140 °C, iar apoi au fost măcinate. Făina de sorg integrală a fost apoi separată cu ajutorul unui sistem de site vibratoare la trei mărimi ale granulației, mari ($L > 300 \mu\text{m}$), medii ($200 \mu\text{m} < M < 250 \mu\text{m}$) și mici ($S < 200 \mu\text{m}$). Pentru făina integrală de sorg tratată termic și granulațiile de mărimi diferite s-au determinat: caracteristicile fizico-chimice, compușii fenolici, conținut fenolic total, activitatea antioxidantă, digestibilitate *in vitro* a amidonului, caracteristicile moleculare prin spectroscopie în infraroșu cu transformată Fourier (FT-IR) și proprietățile funcțional-tehnologice. Aceste caracteristici au fost determinate și pentru făina integrală de sorg netratat termic și granulațiile L, M și S ale făinii de sorg. Caracteristicile fizico-chimice și proprietățile funcțional-tehnologice determinate au fost introduse în procesul de optimizare, ca răspunsuri, pentru a identifica temperatura optimă de tratare a boabelor de sorg și fracția optimă de făină de sorg care să prezinte caracteristicilor dorite. Frațiile optime de făină de sorg au fost apoi evaluate din punct de vedere a compoziției fizico-chimice, a proprietăților funcțional-tehnologice, a parametrilor de culoare, a caracteristicilor moleculare, termice, a digestibilității *in vitro* a amidonului, a conținutului total de polifenoli și activității antioxidante, a profilului de aminoacizi, acizi grași, minerale și a compuși volatili, iar pentru aluatul din făină de sorg cu fracția optimă s-au determinat parametrii reologici dinamici.

Proiectarea experimentelor s-a realizat cu ajutorul softului Design Expert (versiunea de încercare, Stat-Ease, Minneapolis, MN, SUA), prin utilizarea designului experimental de tip D-optimal cu doi factori în care temperatura tratamentului termic uscat a variat la 2 niveluri iar granulația făinii de sorg la 3 niveluri. Determinarea temperaturii optime de tratare a boabelor de sorg și a fracției optime de făină de sorg s-a realizat prin abordarea optimizării răspunsurilor multiple și utilizarea funcției obiectiv. Valorile precise pentru probele optime au fost verificate experimental iar caracteristicile probei optime au fost comparate cu cele ale probei martor prin aplicarea testului *Student (t)* la un nivel de semnificație de 95%. Pentru prelucrarea statistică a datelor s-a utilizat programul XLSTAT versiunea 2020 pentru Excel (Addinsoft, New York, SUA).

Capitolul 3, ”*Cercetări cu privire la efectele tratamentului termic uscat și ale măcinării boabelor de sorg din două soiuri diferite asupra caracteristicilor fizico-chimice ale făinii de sorg*” prezintă caracteristicile fizico-chimice, fracțiile de amidon, conținutul total de polifenoli, compușii fenolici și activitatea antioxidantă pentru făina integrală de sorg tratat termic și netratat (martor) și granulațiile L, M și S ale particulelor, în funcție de soiul de sorg. Tratamentul termic uscat și

REZUMATUL TEZEI DE DOCTORAT

măcinarea boabelor de sorg alb au influențat semnificativ ($p < 0,05$) compoziția chimică a făinii integrale de sorg (tabelul 3.1). Conținutul de proteine a scăzut odată cu mărirea particulelor, în timp ce creșterea temperaturii tratamentului a condus la diminuarea conținutului de proteine. Lipidele făinii de sorg au înregistrat creșteri proporționale cu reducerea dimensiunii particulelor.

Tabelul 3.1. Caracterizarea făinii integrale de sorg alb și ale granulațiilor de mărimi diferite ale acesteia (Batariuc și colab., 2021)

Tratament	Umiditate (%)	Proteine (%)	Lipide (%)	Cenușă (%)	Fibre (%)	Carbohidrați (%)	Valoare energetică (kcal/100 g)
CA_I	11,50 ± 0,01 ^a	10,34 ± 0,08 ^{de}	3,07 ± 0,03 ^{gh}	1,16 ± 0,03 ^f	8,35 ± 0,24 ^a	65,56 ± 0,29 ^e	348,01 ± 0,44 ^g
CA_L	11,29 ± 0,01 ^b	11,84 ± 0,06 ^a	3,12 ± 0,01 ^{fgh}	0,76 ± 0,01 ^g	5,38 ± 0,51 ^{ef}	67,59 ± 0,51 ^d	356,59 ± 1,12 ^{def}
CA_M	11,20 ± 0,03 ^c	8,84 ± 0,01 ⁱ	3,15 ± 0,03 ^{fg}	1,15 ± 0,01 ^f	5,81 ± 0,02 ^{def}	69,86 ± 0,02 ^b	354,74 ± 0,14 ^{efg}
CA_S	10,98 ± 0,01 ^d	10,62 ± 0,19 ^c	3,20 ± 0,03 ^f	2,26 ± 0,03 ^a	5,30 ± 0,34 ^f	67,64 ± 0,43 ^{cd}	352,45 ± 0,82 ^{fg}
T1A_I	8,19 ± 0,04 ^j	10,28 ± 0,07 ^{ef}	3,45 ± 0,04 ^e	1,17 ± 0,01 ^f	6,18 ± 0,31 ^{cdef}	70,73 ± 0,27 ^{ab}	367,45 ± 0,65 ^b
T1A_L	9,53 ± 0,01 ^f	11,14 ± 0,04 ^b	1,62 ± 0,06 ^j	0,30 ± 0,01 ^h	6,49 ± 0,58 ^{bcd}	70,93 ± 0,62 ^a	355,74 ± 1,08 ^{ef}
T1A_M	9,52 ± 0,01 ^f	10,44 ± 0,05 ^d	4,64 ± 0,15 ^c	1,54 ± 0,03 ^d	6,59 ± 0,10 ^{bcd}	67,26 ± 0,09 ^d	365,78 ± 0,59 ^{bc}
T1A_S	10,01 ± 0,01 ^e	8,68 ± 0,03 ^j	5,14 ± 0,06 ^b	2,15 ± 0,01 ^b	6,48 ± 0,48 ^{bcd}	67,53 ± 0,51 ^d	364,08 ± 0,87 ^{bcd}
T2A_I	8,74 ± 0,01 ⁱ	9,48 ± 0,06 ^h	3,01 ± 0,02 ^h	1,37 ± 0,01 ^e	7,14 ± 0,60 ^{bc}	70,25 ± 0,57 ^{ab}	360,35 ± 1,29 ^d
T2A_L	8,73 ± 0,01 ⁱ	10,16 ± 0,03 ^{fg}	2,49 ± 0,04 ⁱ	0,80 ± 0,07 ^g	6,81 ± 0,48 ^{bcd}	71,00 ± 0,46 ^a	360,69 ± 1,05 ^{bcd}
T2A_M	8,96 ± 0,01 ^g	10,08 ± 0,03 ^g	4,30 ± 0,03 ^d	1,53 ± 0,03 ^d	7,57 ± 0,19 ^{ab}	67,55 ± 0,17 ^d	364,40 ± 0,37 ^{cdef}
T2A_S	8,91 ± 0,01 ^h	8,58 ± 0,02 ^j	6,32 ± 0,03 ^a	2,03 ± 0,02 ^c	5,42 ± 0,16 ^{ef}	68,73 ± 0,18 ^c	377,00 ± 0,28 ^a

CA – Sorg alb netratat termic, I – făina integrală de sorg alb, T1 – tratament termic uscat la 121 °C, T2 – tratament termic uscat la 140 °C, L/M/S – dimensiunea particulelor. Fiecare experiment a fost efectuat cel puțin de două ori, iar datele au fost raportate ca medie, cu deviație standard (SD). Mediile din aceeași coloană cu litere diferite sunt semnificativ diferite ($p < 0,01$).

Tratamentul termic uscat a produs o creștere a conținutului de lipide pe măsură ce temperatura a fost mai mare, în funcție de mărirea particulelor. Conținutul de cenușă a înregistrat o creștere semnificativă pe măsură ce dimensiunea particulelor a fost mai mică, în timp ce tratamentul termic uscat a indus o ușoară scădere a acestui parametru. Reducerea dimensiunii particulelor a condus la un conținut mai mare de carbohidrați în comparație cu făina integrală de sorg alb, cu excepția dimensiunii particulelor L. Creșterea temperaturii de tratare a boabelor de sorg alb a determinat valori ușor mai mari în comparație cu proba martor. Conținutul de fibre din făina de sorg alb a crescut până la dimensiunea M a particulelor și apoi a scăzut pentru probele cu mărirea S a particulelor, tratamentul boabelor determinând creșteri semnificative față de martor. Rezultatele obținute pentru conținutul de fibre din fracțiile sorgului au fost în concordanță cu cele raportate în literatura de specialitate (Xiong și colab., 2019), genotipul și rata de extracție jucând un rol decisiv în variația fibrelor (Trappey și colab., 2015). Tratamentul termic uscat a determinat o creștere a valorii energetice, odată cu creșterea temperaturii. O tendință de creștere a valorii energetice a fost observată în cazul probelor tratate, odată cu reducerea dimensiunii particulelor.

Fracțiile de amidon din făina integrală de sorg alb și granulațiile diferite ale acesteia

Digestibilitatea amidonului a fost influențată de tratamentul termic, iar magnitudinea modificărilor depinde de fracție și de temperatura de tratare termică uscată a boabelor de sorg alb. În comparație cu probele obținute din sorg netratat termic, s-a constatat creșterea sau scăderea conținutului de amidon digerabil lent, amidon digerabil total, amidon rezistent, amidon total și amidon digerabil rapid în făina integrală de sorg alb tratat termic și granulațiile acesteia.

Conținutul total de polifenoli, compușii fenolici și activitatea antioxidantă din făina integrală de sorg alb și granulațiile acesteia

Tratamentul termic uscat și fracționarea au influențat remarcabil conținutul de compuși fenolici din făina de sorg alb. Conținutul total de polifenoli (CTP) și activitatea antioxidantă (AA_DPPH) au variat în funcție de timpul de extracție și tipul de solvent utilizat la extracție. Utilizarea solventului metanol și creșterea timpului de extracție la 20 min și, respectiv la 30 min a condus la creșterea CTP pentru granulația M a făinii de sorg tratat la 121 °C, în timp ce creșterea temperaturii la 140 °C a determinat scăderea CTP.

Influența tratamentului termic uscat și a măcinării boabelor de sorg roșu (ES Alize) asupra caracteristicilor fizico-chimice ale făinii integrale de sorg roșu și ale granulațiilor de dimensiuni diferite ale făinii de sorg roșu

Tratamentul termic uscat și măcinarea au influențat semnificativ ($p < 0,01$) compoziția chimică a făinii integrale de sorg roșu și a granulațiilor acesteia (tabelul 3.2).

Tabel 3.2. Efectul tratamentului termic uscat și a măcinării asupra compoziției făinii integrale de sorg roșu și fracțiilor acesteia (Batariuc și colab., 2021)

Tratament	Umiditate (%)	Proteine (%)	Lipide (%)	Cenușă (%)	Fibre (%)	Carbohidrați (%)	Valoare energetică (kcal/100 g)
CR_I	11,08 ± 0,03 ^d	11,40 ± 0,05 ^b	2,84 ± 0,02 ^d	1,34 ± 0,00 ^g	7,82 ± 0,28 ^{de}	65,51 ± 0,28 ^f	348,89 ± 0,54 ^{bc}
CR_L	11,15 ± 0,06 ^c	11,94 ± 0,18 ^a	2,77 ± 0,04 ^d	0,88 ± 0,04 ^h	9,94 ± 0,39 ^{ab}	63,32 ± 0,54 ^g	345,84 ± 0,85 ^c
CR_M	11,80 ± 0,03 ^b	9,66 ± 0,18 ^e	3,10 ± 0,03 ^c	1,75 ± 0,03 ^d	7,69 ± 0,39 ^{de}	66,00 ± 0,36 ^{ef}	345,91 ± 0,80 ^c
CR_S	12,01 ± 0,05 ^a	10,58 ± 0,13 ^c	3,28 ± 0,04 ^b	2,30 ± 0,03 ^a	6,49 ± 0,31 ^e	65,33 ± 0,31 ^f	346,16 ± 0,60 ^c
T1R_I	8,02 ± 0,03 ^j	10,53 ± 0,05 ^c	2,73 ± 0,16 ^d	1,39 ± 0,04 ^g	9,41 ± 0,08 ^{bc}	67,92 ± 0,06 ^{cd}	357,21 ± 0,86 ^{ab}
T1R_L	8,80 ± 0,02 ^{gh}	11,48 ± 0,03 ^b	1,16 ± 0,04 ^f	0,66 ± 0,01 ⁱ	10,75 ± 0,95 ^a	67,14 ± 0,98 ^{de}	346,43 ± 1,85 ^c
T1R_M	8,75 ± 0,01 ^h	9,29 ± 0,03 ^f	3,40 ± 0,03 ^b	1,52 ± 0,01 ^f	8,38 ± 0,40 ^{cd}	68,65 ± 0,39 ^{bc}	359,13 ± 0,88 ^a
T1R_S	8,94 ± 0,01 ^f	8,51 ± 0,03 ^h	4,04 ± 0,06 ^a	1,91 ± 0,03 ^c	8,02 ± 0,01 ^d	68,58 ± 0,10 ^{bc}	360,75 ± 0,07 ^a
T2R_I	8,67 ± 0,01 ⁱ	9,35 ± 0,00 ^f	3,04 ± 0,04 ^c	1,54 ± 0,01 ^f	7,64 ± 0,37 ^{de}	69,76 ± 0,37 ^{ab}	359,07 ± 0,66 ^a
T2R_L	8,82 ± 0,02 ^g	9,93 ± 0,05 ^d	1,62 ± 0,03 ^e	0,93 ± 0,01 ^h	8,11 ± 0,68 ^{cd}	70,58 ± 0,67 ^a	352,88 ± 1,30 ^g
T2R_M	9,07 ± 0,01 ^e	9,21 ± 0,05 ^f	3,40 ± 0,03 ^b	1,64 ± 0,01 ^e	7,64 ± 0,26 ^{de}	69,03 ± 0,29 ^{bc}	358,90 ± 0,48 ^{abc}
T2R_S	8,96 ± 0,01 ^f	8,93 ± 0,03 ^g	4,13 ± 0,03 ^a	1,97 ± 0,01 ^b	8,95 ± 0,51 ^{bcd}	67,05 ± 0,52 ^{de}	359,02 ± 0,94 ^a

CR – Sorg roșu netratat termic, I – făina integrală de sorg roșu, T1 – tratament termic uscat la 121 °C, T2 – tratament termic uscat la 140 °C, L/M/S – dimensiunea particulelor. Fiecare experiment a fost efectuat cel puțin de două ori, iar datele au fost raportate ca medie, cu deviație standard (SD). Mediile din aceeași coloană cu litere diferite sunt semnificativ diferite ($p < 0,01$).

Conținutul de proteine a scăzut odată cu mărimea particulelor, în timp ce creșterea temperaturii de tratare termică uscată a dus la valori mai mici. Scăderea conținutului de proteine odată cu scăderea dimensiunii particulelor ar putea fi datorată localizării nutrienților în boabe, fiind cunoscut faptul că stratul de aleuron din pericarp și țesutul periferic al endospermului sunt formate din celule cu cantități mari de proteine (Alvarenga și colab., 2018). Pe de altă parte, scăderea conținutului de proteine ar putea fi atribuit, probabil, deteriorării aminoacizilor ca urmare a căldurii (Desai și colab., 2017). Lipidele din făina de sorg roșu au înregistrat creșteri proporționale cu reducerea dimensiunii particulelor. Tratamentul termic uscat a produs o creștere a conținutului de lipide pe măsură ce temperatura a fost mai mare, în funcție de mărimea particulelor. Conținutul de lipide și cenușă crește, iar cel de carbohidrați scade odată cu reducerea dimensiunii particulelor, în concordanță cu rezultatele raportate de Alvarenga și colab. (2018). În cazul unui proces de măcinare constant, diferențele de disociere între părțile constitutive ale boabelor de sorg sunt determinate de capacitatea de îndepărtare a stratului de aleuronă din endospermul periferic, de aderența intercelulară la interfața dintre straturile de aleuronă și endosperm fiind determinată de gradul de legătură a lanțurilor de arabinoxilan (Vargas-Solórzano și colab., 2014). Un alt aspect important este cel legat de distribuția proteinelor din endosperm, cum ar fi kafirinele și glutelinele (Vargas-Solórzano și colab., 2014).

Fracțiile de amidon din făina integrală de sorg roșu și ale granulațiilor diferite ale acesteia

La digestibilitatea *in vitro* a amidonului, rezultatele obținute pentru fracțiile de amidon, amidonul digerabil rapid, amidonul digerabil lent, amidonul digerabil total, amidonul rezistent, amidonul total, precum și pentru indicele vitezei de digestibilitate a amidonului au evidențiat diferențe semnificative între probele de făină de sorg roșu. Pentru probele tratate termic s-a observat o scădere a conținutului de amidon digerabil rapid, dar magnitudinea variației a fost în funcție de dimensiunea particulei și temperatura tratamentului.

Conținutul total de polifenoli, compuși fenolici și activitatea antioxidantă din făina integrală de sorg roșu și granulațiile acesteia

Rezultatele obținute la determinarea conținutului total de polifenoli și a compușilor fenolici din făina integrală de sorg roșu și granulațiile acesteia au indicat variații semnificative ($p < 0,05$) între probele studiate. Solventul de extracție a avut un efect pozitiv asupra compușilor fenolici în următoarea ordine: metanol > apă > etanol. Conținutul de polifenoli a crescut atunci când timpul de extracție a fost de 20, respectiv 30 min. Activitatea antioxidantă a urmat un trend crescător sau descrescător în funcție de temperatura tratamentul termic și mărimea granulației.

Capitolul 4, intitulat "*Cercetări cu privire la efectele tratamentului termic uscat și ale măcinării boabelor de sorg asupra proprietăților funcțional-tehnologice și caracteristicilor moleculare ale făinii integrale de sorg și ale granulațiilor de mărimi diferite ale particulelor, în funcție de soiul de sorg*" evidențiază rezultatele cercetărilor referitoare la efectele tratamentului termic uscat și ale măcinării boabelor de sorg asupra proprietăților funcțional-tehnologice și caracteristicilor moleculare ale făinii integrale de sorg și ale granulațiilor de mărimi diferite, pentru cele două soiuri de sorg, alb și roșu.

Proprietățile funcțional-tehnologice ale făinii integrale de sorg și ale fracțiilor de mărimi diferite, în funcție de soiul de sorg

Tratamentul termic uscat al boabelor de sorg, măcinarea și soiul de sorg au determinat variații semnificative ($p < 0,05$) ale proprietăților funcțional-tehnologice ale făinii de sorg (tabelul 4.1). Tratamentul termic uscat a condus la o absorbție mai mare a apei de către făină de sorg și la scăderea capacității de reținere a apei, a indicelui de solubilitate și a capacității de

spumare pe măsură ce temperatura a crescut. Reducerea dimensiunii particulelor a determinat creșterea capacității de absorbție a uleiului din făină, a puterii de umflare și a capacității de spumare, în timp ce indicele de solubilitate a făinii și capacitatea de emulsionare au scăzut.

Caracterizarea moleculară a făinii integrale de sorg și a granulațiilor de mărimi diferite ale acesteia

Spectrele FT-IR ale făinurilor de sorg roșu și alb, netratat și tratat, cu diferite dimensiuni ale particulelor sunt prezentate în figura 4.2.

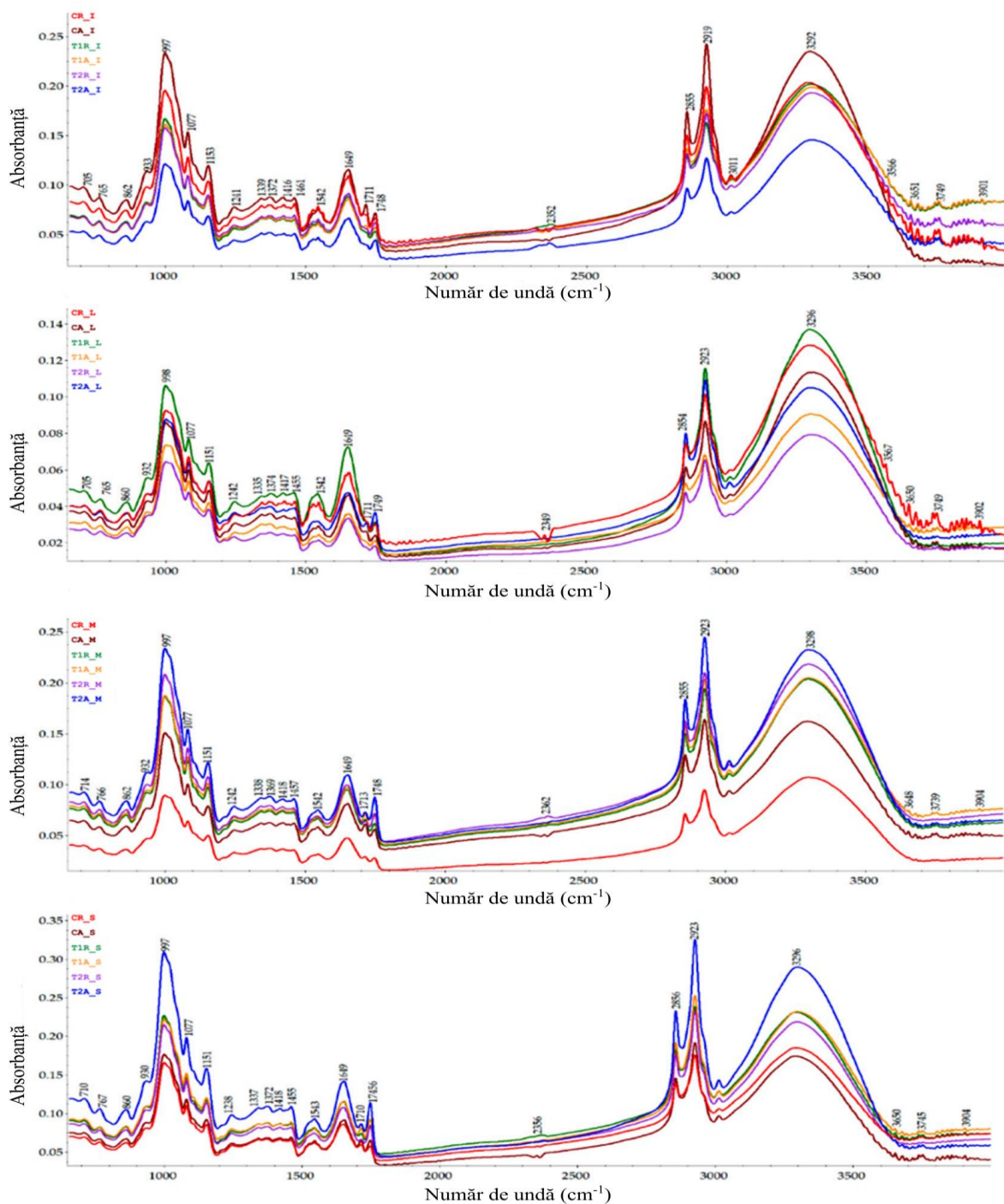


Figura 4.2. Spectrele FT-IR ale făinii de sorg roșu (R) și alb (A) netratate (C) și tratate termic (T1, T2) la diferite dimensiuni ale particulelor: integrală (I), mare (L), medie (M) și mică (S) (Batariuc și colab., 2021)

Caracteristicile moleculare ale făinurilor de sorg au evidențiat diferențe semnificative între cele două soiuri, în funcție de temperaturile de tratare termică uscată și de dimensiunile particulelor făinii de sorg. Tratamentul termic uscat a prezentat o contribuție diferențiată asupra intensităților absorbanțelor, valori mai mari comparativ cu cele ale probei martor fiind observate în cazul dimensiunilor L, M și S ale de particulelor. Scăderea dimensiunii particulelor a determinat creșterea proporțională a absorbanțelor. Temperatura tratamentului și fracționarea au determinat modificări ale structurii secundare a proteinelor și amidonului. Creșterea temperaturii tratamentului a determinat o descreștere a intensității benzilor de absorbție FTIR caracteristice acidului fitic, sugerând utilitatea acestui proces în diminuarea antinutrienților.

Evaluarea relațiilor dintre caracteristicile fizico-chimice, proprietățile funcțional-tehnologice ale făinii integrale de sorg alb și roșu, ale fracțiilor acestora și tipurile de probe studiate

Asemănările și opozițiile dintre variabilele studiate au fost evidențiate prin Analiza Componentelor Principale (figura 4.3), 58,93% din varianța totală fiind explicată de cele două componente principale. Prima componentă (PC1) a explicat 37,27% din variația datelor, în timp ce a doua componentă (PC2) a explicat 21,66% din varianță. Capacitatea de emulsionare, densitatea aparentă, puterea de umflare, conținutul de fibre, conținutul de lipide, capacitatea de absorbție a uleiului, conținutul de cenușă și capacitatea de spumare au fost asociate cu PC1, în timp ce conținutul de umiditate, indicele de solubilitate, capacitatea de reținere a apei, puterea de umflare, conținutul de carbohidrați și valoarea energetică au fost asociate cu PC2. Stabilitatea emulsiei, conținutul de fibre și capacitatea de hidratare au poziția apropiată de origine ceea ce arată contribuția lor mai mică la variația datelor.

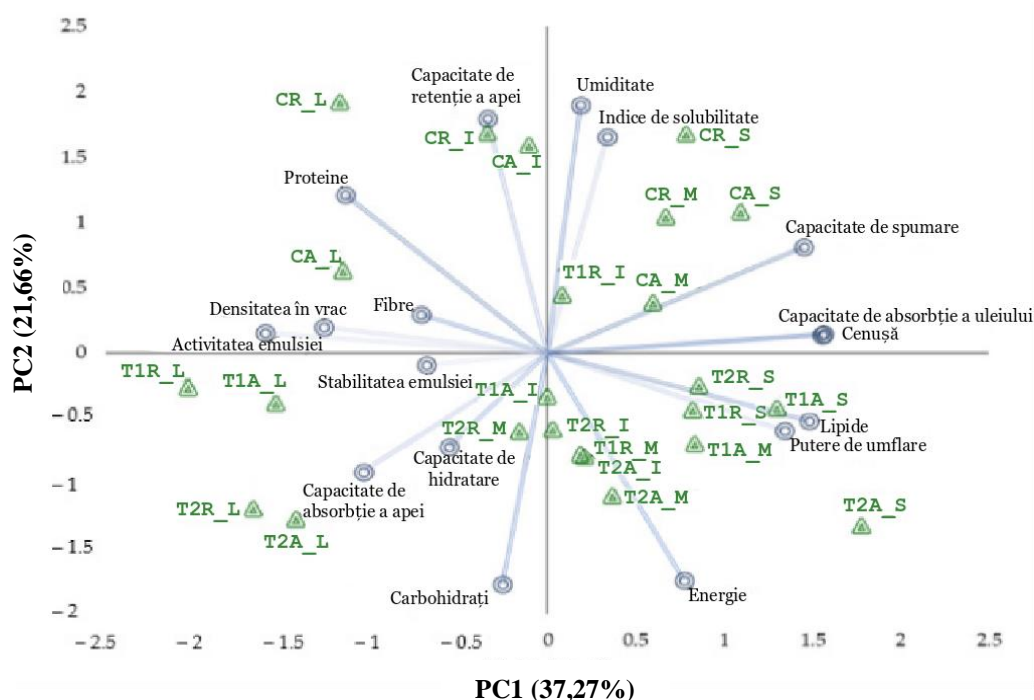


Figura 4.3. Graficul analizei în componente principale: CA – sorg alb netratat termic, CR – sorg roșu netratat termic, T1 – tratament termic uscat la 121 °C, T2 – tratament termic uscat la 140 °C, L/M/S – dimensiuni ale particulelor, I – făina de sorg integrală (Batariuc și colab., 2021)

Probele martor de sorg roșu (CR_I) și respectiv sorg alb (CA_I) cu diferite dimensiuni ale particulelor au fost poziționate în partea superioară a graficului și au fost asociate cu capacitatea de reținere a apei, conținutul de umiditate, indicele de solubilitate și conținutul de proteine, în timp ce făinurile de sorg tratate, cu diferite dimensiuni ale particulelor, au fost poziționate în partea inferioară. Probele tratate cu dimensiunea mare a particulelor (L) au fost grupate și au fost asociate cu capacitatea de absorbție a apei, capacitatea de hidratare și capacitatea de emulsionare. Pe de altă parte, probele tratate cu dimensiuni medii (M) și mici (S) ale particulelor au fost asociate cu valoarea energetică a făinii de sorg, puterea de umflare, conținutul de lipide și cenușă, capacitatea de spumare, indicele de solubilitate și capacitatea de absorbție a uleiului.

Capitolul 5, intitulat ”*Optimizarea condițiilor de procesare a boabelor de sorg alb și caracterizarea fracțiilor optime de făină de sorg alb*” prezintă temperatura optimă a tratamentului termic uscat recomandată pentru procesarea boabelor de sorg alb astfel încât să se obțină fracția de făină optimă care să prezinte proprietățile nutriționale și funcțional-tehnologice dorite. Pentru identificarea fracției optime s-a aplicat analiza răspunsurilor multiple pentru modelele predictive, prin utilizarea optimizării numerice și a funcției obiectiv. Modelele predictive obținute au permis estimarea variației caracteristicilor nutriționale și funcțional-tehnologice ale făinii de sorg în funcție de temperatura tratamentului și mărimea particulei, prin modelarea rezultatelor experimentale obținute. Modelarea matematică a evidențiat efectul singular a temperaturii tratamentului și a fracționării, precum și cel de interacțiune dintre acești doi factori asupra caracteristicilor evaluate.

Fracțiile optime de făină de sorg alb au fost caracterizate din punct de vedere al parametrilor de culoare, caracteristicilor moleculare, digestibilității *in vitro* a amidonului, conținutului total de polifenoli și activității antioxidante, profilului de aminoacizi, de acizi grași, al conținutului de minerale și de compuși volatili. De asemenea, a fost testat comportamentul vâscoelastic al aluatului preparat din fracțiile optime de făină de sorg.

Efectul temperaturii de tratare termică uscată și a fracționării boabelor de sorg alb asupra compoziției fizico-chimice a fracțiilor de făină de sorg alb

Efectul celor doi factori, temperatura tratamentului termic (121 și 140 °C) și dimensiunea fracției (L > 300, M 200-250 și S < 200 μm) a fost estimat asupra următoarelor caracteristici fizico-chimice ale făinii de sorg alb: conținut de proteine, lipide, cenușă, umiditate și carbohidrați din făina de sorg alb. Rezultatele analizei de varianță (ANOVA) au arătat că modelele 2FI au fost semnificative ($p < 0,05$) pentru toate răspunsurile evaluate și au explicat între 58 și 97% din variația datelor (tabelul 5.2.). Conținutul de proteine din făina de sorg alb a fost influențat pozitiv ($p < 0,01$) de fracționare, în timp ce temperatura de tratare și interacțiunea dintre factori au avut un efect negativ semnificativ.

Tabelul 5.2. Rezultatele ANOVA pentru modelul 2 FI adecvat pentru compoziția chimică a făinii de sorg (Batariuc și colab., 2022)

Factor	Proteine (%)	Lipide (%)	Cenușă (%)	Umiditate (%)	Carbohidrați (%)
Constantă	9,85	4,09	1,39	9,28	68,80
A	-0,24**	-0,28*	0,06*	-0,41**	0,30
B	1,01**	-1,84**	-0,77**	-0,17**	1,44**
A x B	-0,22*	-0,08	-0,16**	0,08*	-0,30
Evaluarea modelului					
<i>p</i> -valoare	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,05
<i>R</i> ²	0,90	0,93	0,97	0,95	0,58
<i>Adj.-R</i> ²	0,88	0,91	0,96	0,94	0,49

* $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, A – factorul temperatură tratament, B – factorul mărime particule făină de sorg.

Temperatura tratamentului termic uscat a influențat semnificativ ($p < 0,05$) într-un mod pozitiv conținutul de lipide și cenușă, în timp ce fracționarea a influențat negativ ($p < 0,01$) acești parametri. Conținutul de umiditate al făinii de sorg a fost influențat negativ ($p < 0,01$) de ambii factori, în timp ce interacțiunea acestora a influențat pozitiv acest parametru (tabelul 5.2). Ambii factori au avut un efect pozitiv asupra conținutului de carbohidrați al făinii de sorg, dar numai fracționarea a prezentat un efect semnificativ ($p < 0,01$).

Efectul temperaturii de tratare termică uscată a boabelor de sorg alb și a mărimii fracțiilor asupra proprietăților funcțional-tehnologice ale făinii de sorg alb

Efectul celor doi factori, temperatura tratamentului (121 și 140 °C) și dimensiunea fracției (L > 300, M 200-250 și S < 200 μm) a fost estimat asupra următoarelor răspunsuri: capacitate de hidratare (CH), capacitate de absorbție a uleiului (CAU), puterea de umflare (PU), capacitatea de reținere a apei (CRA), capacitatea de emulsionare (CE) și stabilitatea emulsiei (SE) pentru făina de sorg alb. Coeficienții de regresie ai modelelor de tip interacțiune cu doi factori (2FI) care au prezis cu acuratețe influența fiecărui factor, precum și a efectelor de interacțiune dintre aceștia asupra proprietăților funcțional-tehnologice ale făinii de sorg alb sunt prezentate în tabelul 5.4. Modelele de regresie au fost semnificative ($p < 0,05$) pentru toate răspunsurile luate în considerare și au explicat între 58 și 93% din variația datelor.

Tabel 5.4. Rezultatele ANOVA pentru modelul 2 FI adecvat pentru proprietățile funcțional-tehnologice ale făinii de sorg alb (Batariuc și colab., 2022).

Factor	CH (%)	CAU (%)	PU (g/g)	CRA (g/g)	CE (%)	SE (%)
Constantă	96,17	164,78	3,85	0,90	45,36	61,67
A	1,77	-1,86	0,14**	-0,07**	1,53**	0,50
B	4,16*	-9,73**	-0,41**	0,11**	5,63**	1,25*
A x B	1,37	-0,21	-0,05	-0,07*	2,12**	2,75**
Evaluarea modelului						
<i>p</i> -valoare	< 0,05	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
<i>R</i> ²	0,58	0,69	0,90	0,73	0,93	0,68
<i>Adj.</i> - <i>R</i> ²	0,49	0,62	0,88	0,67	0,91	0,61

* $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, CH – capacitate de hidratare, CAU – capacitate de absorbție a uleiului, PU – putere de umflare, CRA – capacitatea de reținere a apei, CE – capacitatea de emulsionare, SE – stabilitatea emulsiei, A – factorul temperatură tratament, B – factorul mărimea fracției de făină de sorg alb.

Un efect negativ al fracționării a fost observat pentru capacitatea de absorbție a uleiului (CAU) a făinii de sorg alb (tabelul 5.4). CAU a scăzut odată cu creșterea temperaturii de tratare și a dimensiunilor particulelor de făină de sorg (figura 5.2d). Almaiman și colab. (2021) au raportat, de asemenea, o scădere a CAU a făinii de sorg atunci când a fost aplicat tratamentul cu microunde, probabil ca urmare a modificărilor în proteine a proprietăților hidrofobe, capacitatea de absorbție a uleiului fiind afectată de legăturile amidon-proteine-lipide, secvența polipeptidelor, diverse proprietăți conformaționale ale macromoleculilor și cantitatea de aminoacizi apolari (Sharma și Gujral, 2013). Puterea de umflare (PU) a făinii de sorg a fost influențată pozitiv de temperatura de tratament și negativ de fracționare ($p < 0,01$) (tabelul 5.4). O tendință similară de creștere a PU a fost obținută de Zou și colab. (2020) pentru amidonul de porumb tratat termic, care ar putea fi explicată de modificarea suprafeței granulelor de amidon, care determină o absorbție mai mare a apei, PU fiind influențată și de raportul amiloză/amilopectină, de greutatea moleculară și de raportul amidon-complexe lipidice. Fracționarea a prezentat efecte pozitive semnificative ($p < 0,01$) (tabelul 5.4) asupra capacității de reținere a apei (CRA) a făinii de sorg alb, în timp ce temperatura de tratament și interacțiunea dintre factori au avut o influență negativă ($p < 0,05$). Creșterea dimensiunilor fracției a dus la o

creștere proporțională a CRA a făinii (figura 5.2b), în timp ce o tendință opusă a fost obținută atunci când temperatura a fost crescută. Parametrii capacitatea de emulsie (CE) și stabilitatea emulsiei (SE) au fost influențați pozitiv de temperatura de tratament și de fracționare ($p < 0,05$), în timp ce interacțiunea dintre acești factori a arătat o influență pozitivă semnificativă ($p < 0,05$) (tabelul 5.4). Creșterea conținutului de proteine pe măsură ce dimensiunea fracției a fost mai mare ar putea reprezenta o explicație pentru îmbunătățirea CE și SE a făinii de sorg.

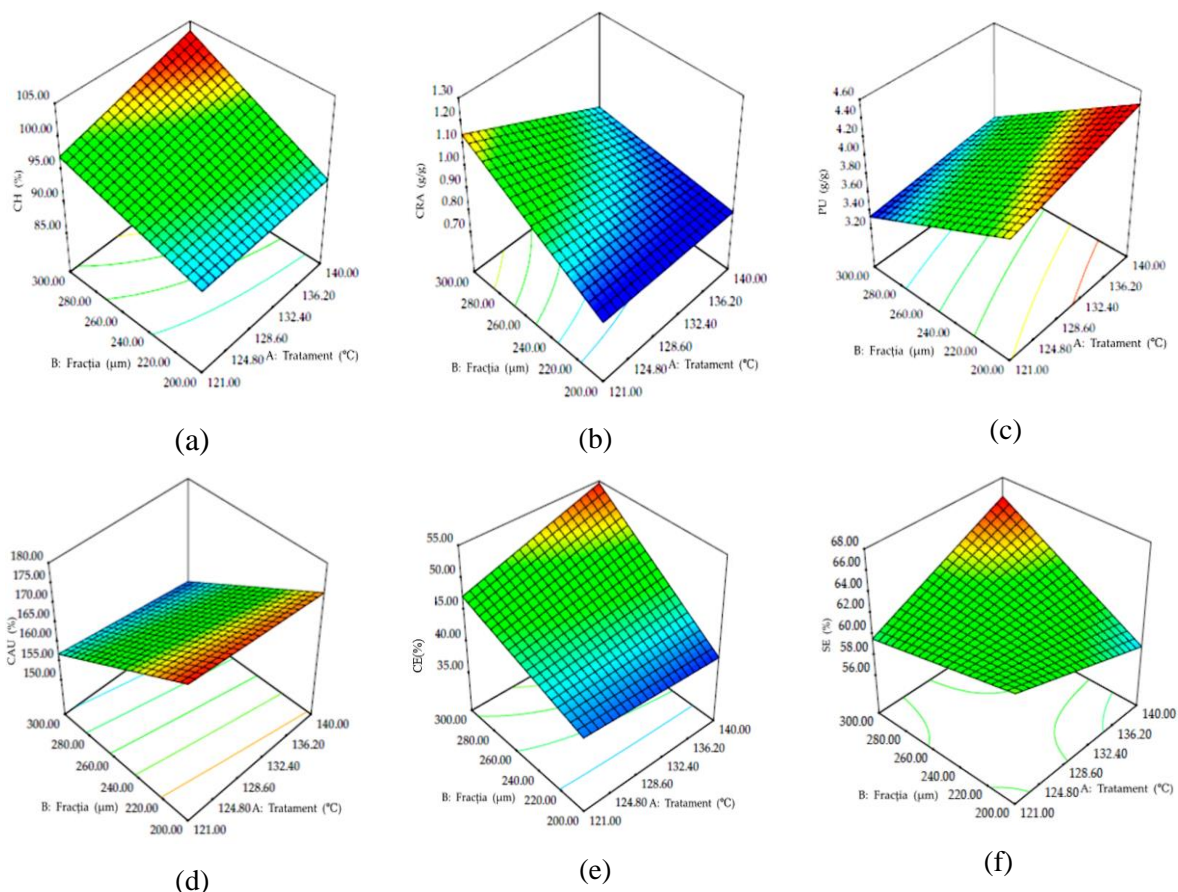


Figura 5.2. Reprezentarea suprafețelor de răspuns care arată efectele combinate ale factorilor (temperatura de tratament și fracții) asupra făinii de sorg: (a) capacitatea de hidratare (CH), (b) capacitatea de reținere a apei (CRA), (c) puterea de umflare (PU), (d) capacitatea de absorbție a uleiului (CAU), (e) capacitatea de emulsie (CE) și (f) stabilitatea emulsiei (SE) (Batariuc și colab., 2022).

Optimizarea procesului și validarea modelului predictiv

Procesul de optimizare pentru fiecare fracție a făinii de sorg alb a arătat că tratamentul termic uscat la temperatura de 121,00 °C ar fi recomandat pentru fracția S, la 132,11 °C ar fi adecvat pentru fracția M, în timp ce pentru fracția L se poate aplica temperatura de 139,47 °C pentru a obține proprietățile funcțional-tehnologice și nutriționale dorite.

Parametrii de culoare

Parametrii de culoare ale făinurilor optime de sorg alb, în comparație cu cele ale probelor martor, sunt prezentate în tabelul 5.7. Nu s-au înregistrat diferențe semnificative în ceea ce privește valorile L^* , a^* și b^* între S optim și S martor, în timp ce în cazul fracțiilor M și L, optimele au prezentat L^* mai mare și a^* și b^* mai mici în comparație cu probele martor aferente.

Toate fracțiile studiate au prezentat nuanțe de roșu indicate de valorile pozitive ale parametrului a^* și nuanțe de galben sugerate de valorile pozitive ale lui b^* . Creșterea dimensiunii fracției a determinat o scădere a luminozității, L^* , în timp ce valorile parametrului a^* au crescut. Culoarea produselor din sorg este influențată de cantitatea și tipul de fenoli și ioni metalici care se găsesc în boabe (Winger și colab., 2014).

Table 5.7. Culoarea probelor optime și ale probelor de control pentru făina de sorg alb (Batariuc și colab., 2022)

Parametrii de culoare	Probe					
	Optim S	Control S	Optim M	Control M	Optim L	Control L
L^*	85,23 ± 0,04 ^{xF}	85,51 ± 0,03 ^{xA}	85,54 ± 0,04 ^{wG}	83,25 ± 0,07 ^{zB}	78,88 ± 0,12 ^{iH}	77,08 ± 0,17 ^{kC}
a^*	0,97 ± 0,01 ^{xF}	0,78 ± 0,03 ^{yC}	1,11 ± 0,02 ^{zF}	1,23 ± 0,03 ^{wB}	1,11 ± 0,05 ^{kG}	1,93 ± 0,03 ^{iA}
b^*	11,68 ± 0,07 ^{xF}	11,69 ± 0,01 ^{xC}	12,00 ± 0,05 ^{zG}	12,63 ± 0,01 ^{wB}	15,24 ± 0,04 ^{kH}	15,80 ± 0,11 ^{jA}

Litere mici diferite în același rând indică diferențe semnificative între eșantionul optim și cel de control (x,y) pentru fracția S, (w,z) pentru fracția M și (j,k) pentru fracția L; litere majuscule diferite în același rând indică diferențe semnificative între probele de control (A-C) și probele optime (F-H) ale diferitelor fracții ($p < 0,05$).

Caracterizarea structurii secundare a proteinelor și amidonului prin spectrometrie FTIR

Studiul structurii amidei I a arătat că raportul α -helix/ β strat a fost mai mare la optim S decât la control S, în timp ce o tendință opusă a fost observată pentru fracțiile L și M (tabelul 5.8). Toate probele studiate au prezentat o conformație predominantă a proteinei α -helix care a crescut odată cu scăderea dimensiunii fracției și s-a redus după tratamentul termic al boabelor de sorg. Acest lucru înseamnă că tratamentul termic a favorizat creșterea formării de β -strat, ceea ce ar putea indica agregarea proteinei (Oladiran și Emmambux, 2018).

În ceea ce privește structura amidonului, zonele cristaline au fost mult mai abundente în comparație cu cele amorfe în toate probele și au urmat un trend crescător după tratamentul termic uscat. Pentru probele tratate s-au obținut rapoarte cristalin/amorf mai mari decât în cazul probelor martor, cu excepția fracției L (tabelul 5.8), ceea ce indică creșterea concentrației structurilor moleculare cristaline, o tendință similară fiind raportată de González și colab. (2021) pentru amidonul și făina de grâu tratate la temperaturi de până la 150 °C. Pierderea de apă a moleculelor în timpul tratamentului termic pare să fi jucat un rol esențial în reorganizarea și recristalizarea lanțurilor de amidon.

Table 5.8. Caracterizarea structurii secundare a proteinelor și amidonului pentru probelor optime comparativ cu probele de control (Batariuc și colab., 2022)

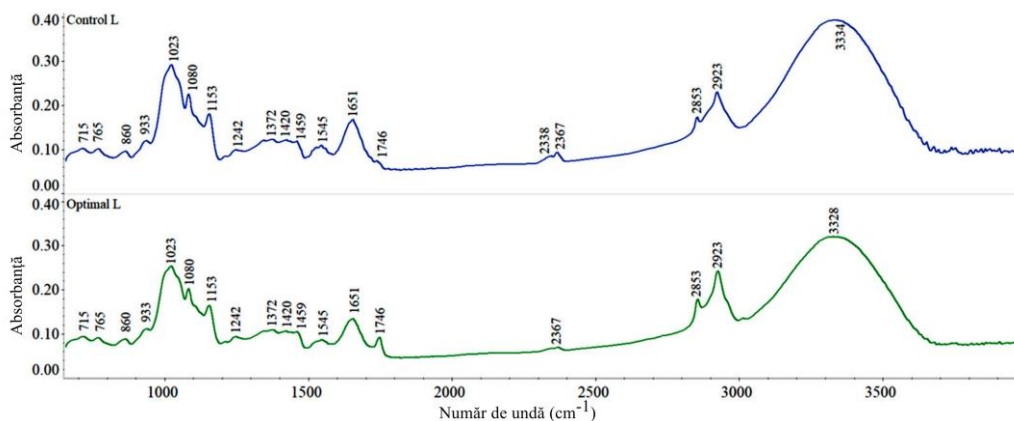
Proprietăți	Probe					
	Optim S	Control S	Optim M	Control M	Optim L	Control L
α -helix/ β strat	3,80 ± 0,37 ^{xF}	2,11 ± 0,15 ^{yA}	2,46 ± 0,09 ^{wG}	3,01 ± 0,69 ^{wA}	1,66 ± 0,21 ^{kH}	2,36 ± 0,02 ^{iA}
Cristalin/amorf	1,96 ± 0,00 ^{xG}	1,06 ± 0,01 ^{yB}	1,79 ± 0,02 ^{wH}	1,05 ± 0,01 ^{zB}	2,03 ± 0,03 ^{jF}	2,06 ± 0,16 ^{jA}

Litere mici diferite în același rând indică diferențe semnificative statistic între proba optimă și control: (x,y) pentru fracția S, (w,z) pentru fracția M și (j,k) pentru fracția L; litere majuscule diferite în același rând indică diferențe semnificative între probele de control (A-B) și între probele optime (F-H) ale diferitelor fracții ($p < 0,05$).

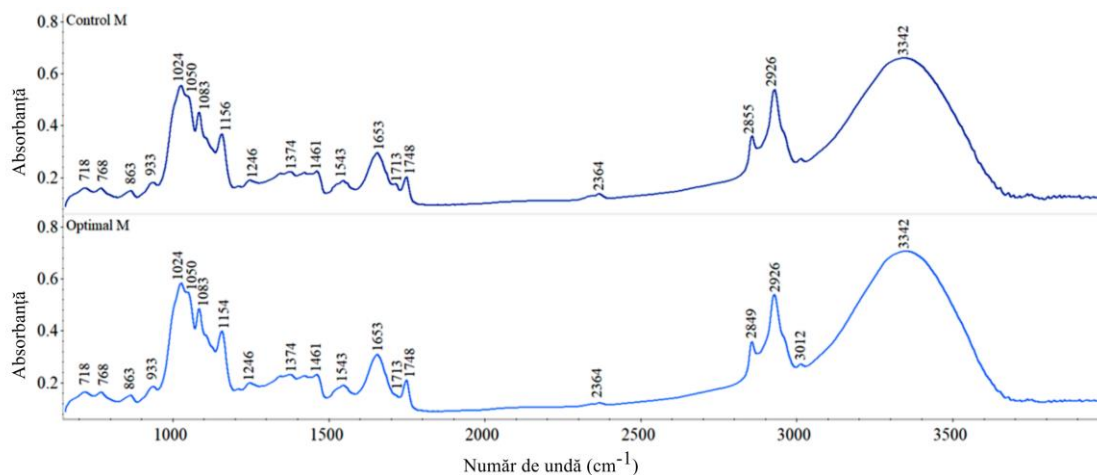
Interpretarea spectrelor FT-IR (figura 5.3) a permis identificarea principalelor caracteristici moleculare ale probelor optime și ale celor martor. Rezultatele obținute au arătat că pentru fracția L, spectrele FT-IR ale probei optime au înregistrat unele diferențe între absorbțiile din regiunile

REZUMATUL TEZEI DE DOCTORAT

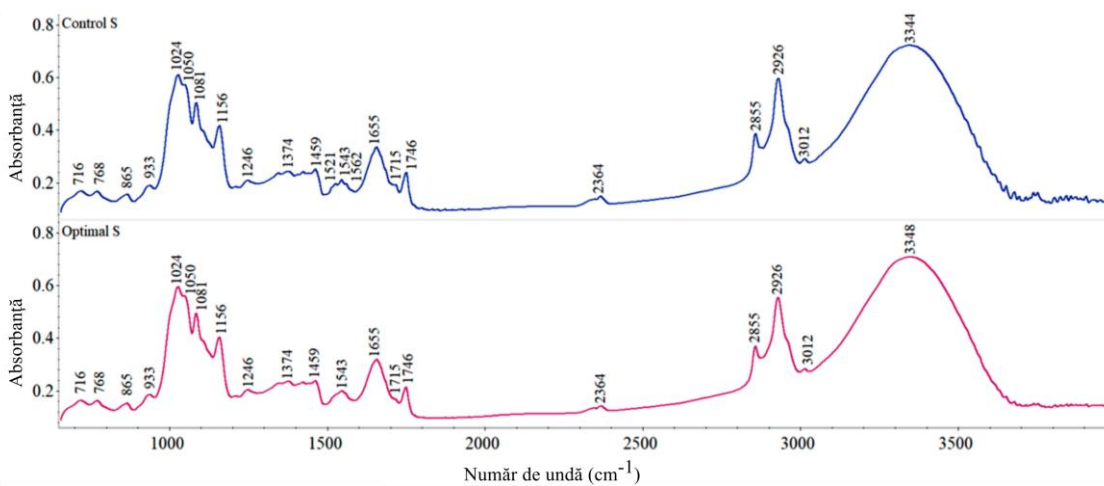
1545, 1746 și 2338-2367 cm^{-1} (figura 5.3a). Benzile spectrale observate la 1200 la 1900 cm^{-1} indică unele grupări funcționale și compuși, cum ar fi amide, aminoacizi, esteri, lactone etc. (Sharanagat și colab., 2019). Modificări în fracția amidă II după tratamentul termic se observă la 1545 cm^{-1} , bandă spectrală care este dată de alăturarea legăturii N-H vibrațiilor de întindere a CN (Kamble și colab., 2019). Prezența benzii spectrale la 1746 cm^{-1} pentru proba optimă L sugerează modificări ale fracțiilor de amidă I cauzate de tratamentul termic care a determinat denaturarea proteinelor din sorg.



(a)



(b)



(c)

REZUMATUL TEZEI DE DOCTORAT

Figura 5.3. Spectrele FT-IR pentru proba martor și optim ale făinii de sorg alb cu fracțiile: (a) L, (b) M, (c) S (Batariuc și colab., 2022).

Evaluarea digestibilității in vitro a amidonului

Digestibilitatea amidonului a fost influențată de tratamentul termic, iar magnitudinea modificărilor a fost dependentă de mărimea fracției de făină de sorg alb (tabelul 5.9).

Tabelul 5.9. Digestibilitatea amidonului pentru probele optime și cele martor de făină de sorg alb (Batariuc și colab., 2022)

Fracțiile de amidon (g/100g)	Probe					
	Optim S	Control S	Optim M	Control M	Optim L	Control L
ADR	9,38 ± 0,04 ^{xB}	8,45 ± 0,04 ^{yG}	10,02 ± 0,02 ^{wA}	9,75 ± 0,04 ^{zF}	4,57 ± 0,06 ^{iC}	4,29 ± 0,04 ^{kH}
ADL	0,66 ± 0,04 ^{xB}	0,46 ± 0,08 ^{yH}	1,02 ± 0,02 ^{wA}	1,00 ± 0,00 ^{wF}	0,29 ± 0,02 ^{kC}	0,77 ± 0,08 ^{iG}
ADT	12,68 ± 0,02 ^{xB}	11,63 ± 0,02 ^{yG}	13,53 ± 0,02 ^{wA}	13,13 ± 0,06 ^{zF}	11,38 ± 0,04 ^{iC}	10,97 ± 0,02 ^{kH}
AR	4,04 ± 0,05 ^{xB}	3,65 ± 0,02 ^{yG}	8,45 ± 0,05 ^{wA}	8,33 ± 0,07 ^{wF}	3,90 ± 0,05 ^{iC}	3,55 ± 0,05 ^{kG}
AT	16,73 ± 0,03 ^{xB}	15,28 ± 0,04 ^{yG}	21,98 ± 0,07 ^{wA}	21,46 ± 0,13 ^{zF}	15,29 ± 0,01 ^{iC}	14,51 ± 0,07 ^{kH}

AR – amidon rezistent, ADL – amidon digerabil lent, ADR – amidon digerabil rapid, ADT – amidon digerabil total, AT – amidon total; litere diferite în același rând indică diferențe semnificative între proba optimă și proba de control: (x,y) pentru fracția S, (w,z) pentru fracția M și (j,k) pentru fracția L; literele majuscule diferite în același rând indică diferențe semnificative între probele de control (A-C) și între probele optime (F-H) cu diferite fracții ale particulelor ($p < 0,05$).

Conținutul total de polifenoli și activitatea antioxidantă aferente fracțiilor optime

Tratamentul termic uscat și fracționarea au influențat semnificativ conținutul total de polifenoli (CTP) și activitatea antioxidantă (AA_DPPH) a fracțiilor optime de făinii de sorg alb.

Tabelul 5.10. Conținutul total de polifenoli și activitate antioxidantă pentru probele optime și martor de făină de sorg alb (Batariuc și colab., 2022)

Proprietăți	Probe					
	Optim S	Control S	Optim M	Control M	Optim L	Control L
CTP (mg GAE/g)	21,76 ± 0,00 ^{xB}	21,06 ± 0,08 ^{yG}	25,80 ± 0,06 ^{wA}	21,74 ± 0,00 ^{zF}	11,01 ± 0,00 ^{kC}	16,10 ± 0,06 ^{jH}
AA DPPH (%)	89,22 ± 0,14 ^{yB}	99,81 ± 0,00 ^{xF}	97,57 ± 0,14 ^{zA}	99,03 ± 0,00 ^{wG}	77,57 ± 0,14 ^{kC}	85,34 ± 0,14 ^{jH}

CTP – conținut total de polifenoli, AA_DPPH – activitate antioxidantă. Litere diferite în același rând indică diferențe semnificative ($p < 0,05$) între proba optimă și proba martor (x,y pentru fracția S, w,z pentru fracția M și j,k pentru fracția L), literele majuscule diferite în același rând indică diferențe semnificative ($p < 0,05$) între probele de control (F-H) și între probele optime (A-C) cu diferite fracții ale particulelor.

Determinarea profilului de aminoacizi

Profilul de aminoacizi din fracțiile de făină de sorg alb a indicat prezența aminoacizilor esențiali, fenilalanină, lizină, izoleucină, leucină și histidină precum și a celor neesențiali ca acid aspartic, tirozină, fenilalanil, acid glutamic. În toate probele studiate se remarcă un conținut ridicat de leucină care scade odată cu scăderea dimensiunii particulei. Conținutul de lizină și izoleucină a scăzut după aplicarea tratamentului termic uscat, cu excepția fracției optime M.

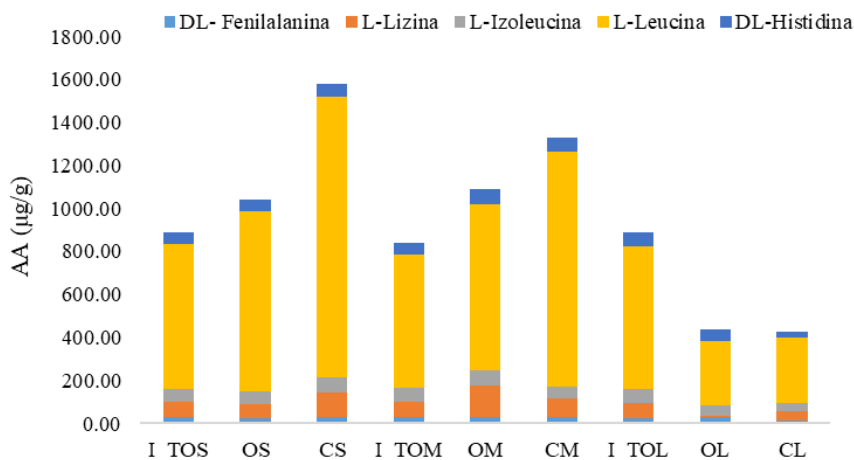


Figura 5.4. Profilul de aminoacizi esențiali în făina integrală de sorg alb tratat la temperatura optimă (I_TOS, I_TOM și I_TOL) și în fracțiile optime (OS, OM și OL) comparativ cu fracțiile de făină de sorg netratat termic (CS, CM și CL)

Rezultatele obținute pentru conținutul de aminoacizi neesențiali indică variații remarcabile în funcție de tipul probei (figura 5.5). Tratamentul termic și fracționarea au determinat un conținut diferit în aminoacizi neesențiali în funcție de temperatura optimă aplicată boabelor de sorg alb și fracția optimă de făină de sorg alb.

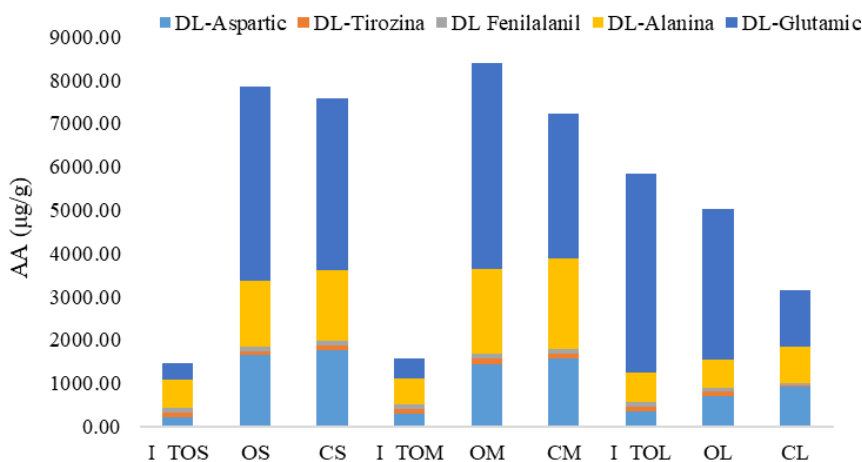


Figura 5.5. Profilul de aminoacizi neesențiali în făina integrală de sorg alb tratat la temperatura optimă (I_TOS, I_TOM și I_TOL) și în fracțiile optime (OS, OM și OL) comparativ cu fracțiile de făină de sorg netratat termic (CS, CM și CL)

Determinarea conținutului de acizi grași

Acizii grași polinesaturați (PUFA), mononesaturați (MUFA) și saturați (SFA) prezenți în probele analizate au variat în următoare ordine: PUFA > MUFA > SFA. Tratamentul termic a determinat o creștere a PUFA și MUFA și o scădere a SFA în fracțiile optime.

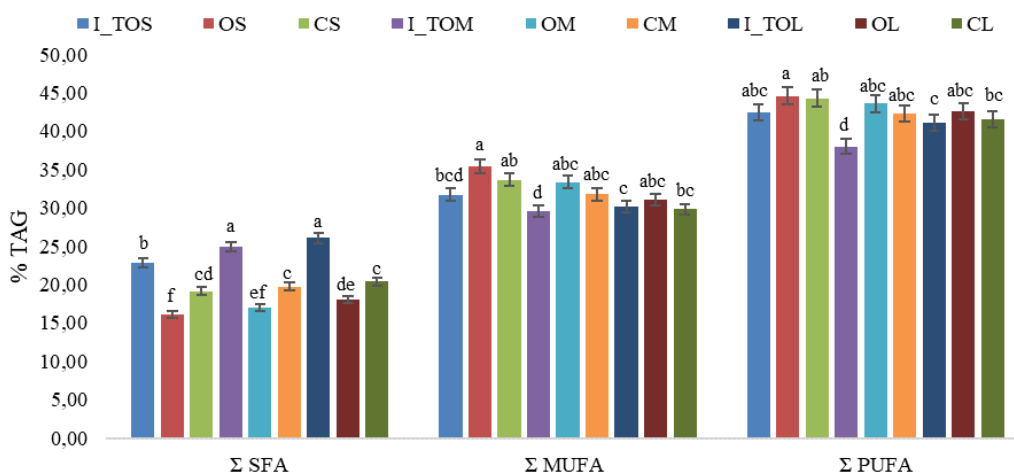


Figura 5.6. Conținutul total de acizi grași saturați (SFA), mononesaaturați (MUFA) și polinesaturați (PUFA) în făina integrală de sorg alb tratat la temperatura optimă specifică fracției (I_TOS, I_TOM și I_TOL), în fracțiile optime (OS, OM și OL) și în fracțiile martor (CS, CM și CL)

În figura 5.7 este prezentată variația conținutului total de acizi grași polinesaturați omega-6 (n-6 PUFA). S-a observat o ușoară scădere a conținutului total de n-6 PUFA odată cu reducerea dimensiunii particulei.

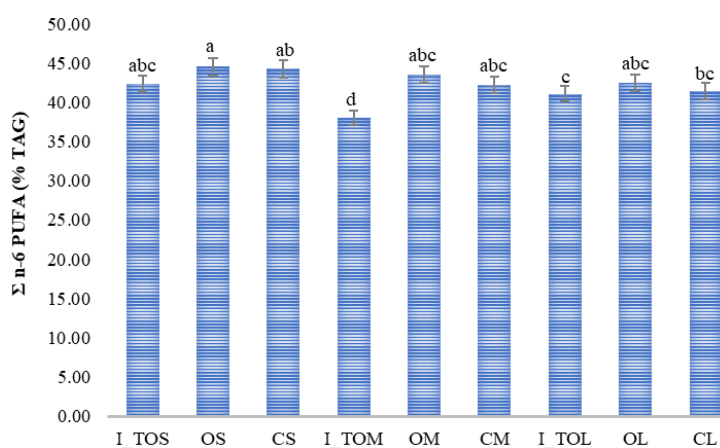


Figura 5.7. Conținutul de acizi grași polinesaturați omega-6 (n-6 PUFA), în boabele integrale de sorg alb tratat termic la temperatura optimă (I_TOS, I_TOM și I_TOL) și în fracțiile optime ale făinii de sorg alb (OS, OM și OL) comparativ cu fracțiile martor (CS, CM și CL)

Variația conținutului de acizi grași polinesaturați omega-3 (n-3 PUFA) în probele de făină de sorg alb analizate este redată în figura 5.8. S-a observat o scădere semnificativă ($p < 0,05$) a conținutului de n-3 PUFA în fracțiile optime după aplicarea tratamentului termic.

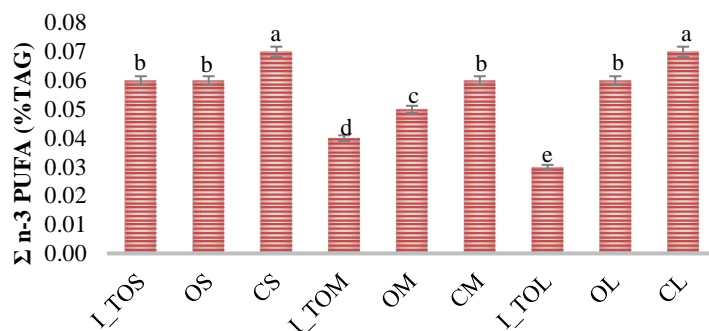


Figura 5.8. Variația conținutului de acizi grași polinesaturați omega-3 (n-3 PUFA), în boabele integrale de sorg alb tratat termic la temperatura optimă (I_TOS, I_TOM și I_TOL) și în fracțiile optime ale făinii de sorg alb (OS, OM și OL) comparativ cu fracțiile martor (CS, CM și CL)

Determinarea conținutului de minerale

Substanțele minerale identificate în probele analizate includ ca macroelemente calciu și sodiu, iar ca microelemente, fier, zinc și cupru, iar conținutul lor a variat în funcție de tipul probei. O scădere a conținutului de calciu a fost identificată în fracțiile optime comparativ cu fracțiile martor obținute din fracționarea boabelor de sorg alb netratat. Conținutul de sodiu, de asemenea, a scăzut în fracțiile optime comparativ cu cele martor, cu excepția fracției optime S, fracție pentru care s-a obținut și un conținut ridicat de fier

Determinarea profilului de compuși volatili

Tratamentul termic uscat și fracționarea au influențat profilul compușilor volatili din sorg. Dintre cele trei fracții optime, fracția S s-a remarcat printr-un profil complex de compuși volatili care include 1-cloro-2-metil-etanol, 1,5-hexadiena, 2,4-pentadienenitril și 1,5-ciclooctadiena.

Parametrii reologici dinamici ai aluatului din făină de sorg alb

Variația modulelor de elasticitate și de vâscozitate cu frecvența

Modulul de elasticitate (G') și cel de vâscozitate (G'') pentru probelor de aluat analizate au crescut cu frecvența, ceea ce indică un comportament mai vâscos al probelor (figurile 5.13-5.15).

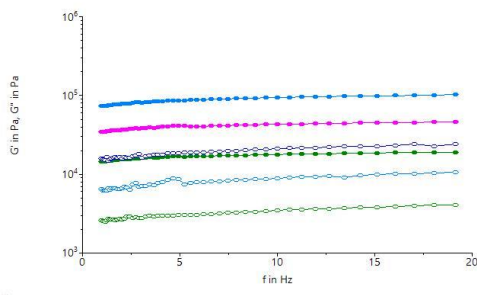


Figura 5.13. Variația cu frecvența a modulelor de elasticitate G' (simbol plin) și de vâscozitate G'' (simbol gol) pentru proba din făină integrală de sorg alb tratat la temperatura optimă de 140 °C (-●-), fracția optimă L (-●-) și fracția martor L (-●-)

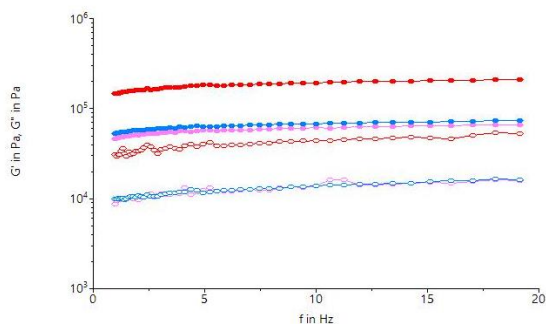


Figura 5.14. Variația cu frecvența a modulelor de elasticitate G' (simbol plin) și de vâscozitate G'' (simbol gol) pentru proba din făină integrală de sorg alb tratat la temperatura optimă de 132 °C (-●-), fracția optimă M (-●-) și fracția martor M (-●-)

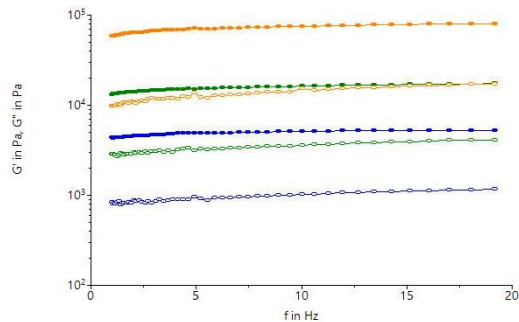


Figura 5.15. Variația cu frecvența a modulelor de elasticitate G' (simbol plin) și de vâscozitate G'' (simbol plin) pentru proba din făină integrală de sorg alb tratat la temperatura optimă de 121 °C (-●-), fracția optimă S (-●-) și fracția martor S (-●-)

Tendențele au fost destul de liniare pentru toate probele de luat din făină de sorg pentru intervalul de frecvență studiat. Valori mai mari ale modulelor G' și G'' la frecvențe mai ridicate sugerează mai multe legături implicate în răspunsul mecanic al sistemului datorită unei solicitări sau deformații aplicate într-un timp mai scurt.

Variația modulelor de elasticitate și de vâscozitate cu temperatura

Variația modulelor de elasticitate (G') și de vâscozitate (G'') cu temperatura a indicat valori diferite în funcție de tipul probei (figurile 5.16-5.18).

La început are loc o descreștere la minimum a modulului G' până la o anumită temperatură datorită proteinelor care își pierd capacitatea de a reține apa; pe măsură ce temperatura crește, G' crește brusc până se atinge temperatura maximă de gelatinizare a amidonului, iar apoi descrește din nou datorită degradării amidonului. Studii anterioare au raportat o corelație între parametrii reologici și absorbția apei (Mancebo și colab., 2018), care poate explica comportamentul unor particule de făină de sorg alb.

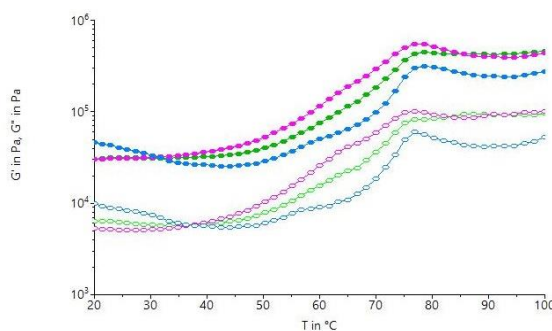


Figura 5.16. Variația cu temperatura a modulelor de elasticitate G' (simbol plin) și de vâscozitate G'' (simbol gol) pentru proba din făină integrală de sorg alb tratat la temperatura optimă de 140 °C (-●-), fracția optimă L (-●-) și fracția martor L (-●-)

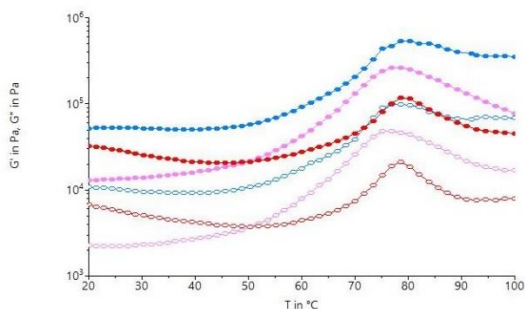


Figura 5.17. Variația cu temperatura a modulelor de elasticitate G' (simbol plin) și de vâscozitate G'' (simbol gol) pentru proba din făină integrală de sorg alb tratat la temperatura optimă de 132 °C (-●-), fracția optimă M (-●-) și fracția martor M (-●-)

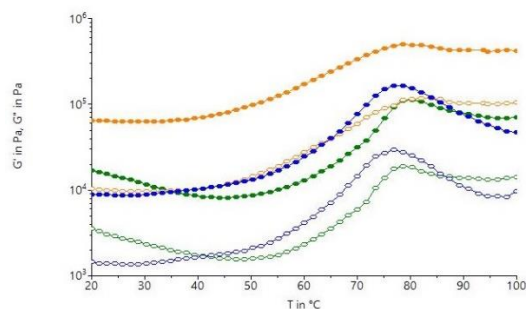


Figura 5.18. Variația cu temperatura a modulelor de elasticitate G' (simbol plin) și de vâscozitate G'' (simbol gol) pentru proba din făină integrală de sorg alb tratat la temperatura optimă de 121 °C (-●-), fracția optimă S (-●-) și fracția martor S (-●-)

Comportamentul aluatului la fluaj și revenire

Diferențe remarcabile au fost observate pentru complianța maximă la fluaj ($J_{c_{max}}$) și complianța maximă la revenire ($J_{r_{max}}$) determinate la sfârșitul fazei de fluaj și, respectiv, de revenire în funcție de tipul aluatului (figurile 5.19-5.21). Datele privind deformarea aluatului pot fi utilizate pentru a evalua rezistența aluatului, un aluat mai moale necesitând mai puțină energie pentru a obține aceeași deformare în comparație cu aluatul mai dur (Ahmed, 2015). Variațiile obținute pentru $J_{c_{max}}$ și $J_{r_{max}}$ pot fi explicate de conținutul de amidon sau de proteine din tipurile de făinuri de sorg.

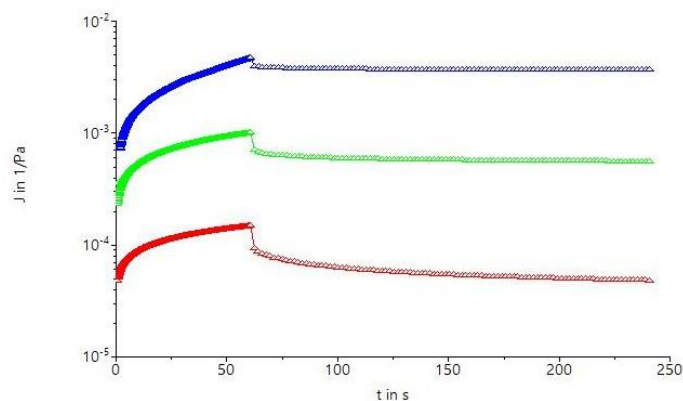


Figura 5.19. Variația în timp a complianței pentru proba din făină integrală de sorg alb tratat la temperatura optimă de 140 °C (-●-), fracția optimă L (-●-) și fracția martor L (-●-)

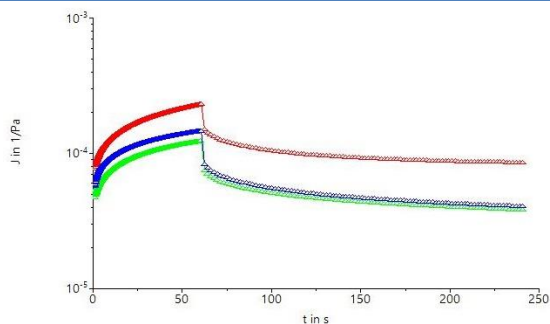


Figura 5.20. Variația în timp a complianței pentru proba din făină integrală de sorg alb tratat la temperatura optimă de 132 °C (-●-), fracția optimă M (-●-) și fracția martor M (-●-)

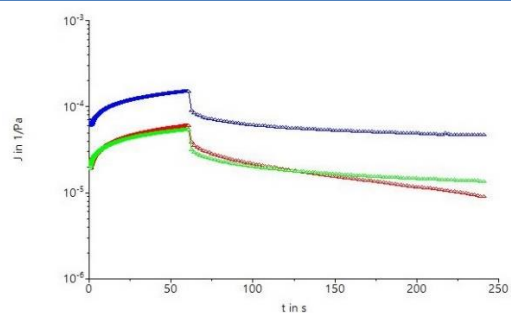


Figura 5.21. Variația în timp a complianței pentru proba din făină integrală de sorg alb tratat la temperatura optimă de 121 °C (-●-), fracția optimă S (-●-) și fracția martor S (-●-)

Capitolul 6, "Optimizarea condițiilor de procesare a boabelor de sorg roșu și caracterizarea fracțiilor optime de făină de sorg roșu" prezintă condițiile optime de procesare a boabelor de sorg roșu și fracția optimă de făină de sorg roșu, precum și o caracterizare complexă a acesteia. Pentru stabilirea temperaturii optime de tratare a boabelor de sorg roșu și stabilirea fracției optime de făină de sorg roșu din punct de vedere a caracteristicilor nutriționale și funcțional-tehnologice, s-a aplicat analiza răspunsurilor multiple pentru modelele predictive, prin utilizarea optimizării numerice și a funcției obiectiv. Modelele predictive au evidențiat efectul singular al temperaturii tramentului și al fracționării, precum și cel de interacțiune dintre acești doi factori asupra caracteristicilor evaluate.

Efectul temperaturii de tratare termică uscată și a fracționării boabelor de sorg roșu asupra compoziției fizico-chimice a făinii de sorg roșu

Ecuatiile modelelor predictive pentru proprietățile fizico-chimice ale fracțiilor de făină de sorg roșu sunt prezentate în tabelul 6.2, unde coeficienții de regresie nesemnificativi nu au fost menționați. Analiza de varianță (ANOVA) relevă faptul că modelele de regresie obținute pentru compoziția fizico-chimică a făinii de sorg este semnificativă statistic la un nivel de încredere de 95%, iar coeficienții de determinare obținuți au fost satisfăcători ($R^2 > 0,56$).

Tabelul 6.2. Coeficienții de regresie ai modelelor predictive corespunzătoare compoziției fizico-chimice a făinii de sorg roșu (Batariuc și colab. 2023)

Factor	Proteine (%)	Lipide (%)	Cenușă (%)	Umiditate (%)	Carbhidrați (%)	Fibre (%)
Constantă	9,56	2,96	1,44	8,89	68,31	8,64
A	-0,20**	ns	0,07*	ns	0,38*	-0,41*
B	0,99***	-1,35	-0,57***	-0,07*	0,52*	0,47*
A x B	-0,49***	ns	ns	-	1,24***	-0,89***
Evaluarea modelului						
p_{model}	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,05	< 0,001	< 0,001
p^+_{LoF}	*	*	*	*	ns	*
Adj.- R^2	0,92	0,91	0,95	0,50	0,79	0,61
Pred.- R^2	0,90	0,88	0,93	0,40	0,69	0,46
Adeq.	22,37	16,81	23,86	7,96	12,29	8,01
Precision						

$p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$, ns – termen nesemnificativ, $^+_{LoF}$ - lipsă de potrivire, A – factorul temperatură tratament termic uscat, B – factorul I mărime a particulelor.

Graficele suprafeței de răspuns pentru conținutul de cenușă și carbohidrați cu variația temperaturii de tratament și a dimensiunii particulelor de făină de sorg roșu au arătat că făina de sorg roșu a prezentat o scădere semnificativă ($p < 0,05$) a conținutului de proteine și fibre, precum și o creștere a carbohidraților cu creșterea temperaturii de tratament, în timp ce lipidele, cenușa și umiditatea au scăzut odată cu creșterea dimensiunii particulelor (figura 6.1).

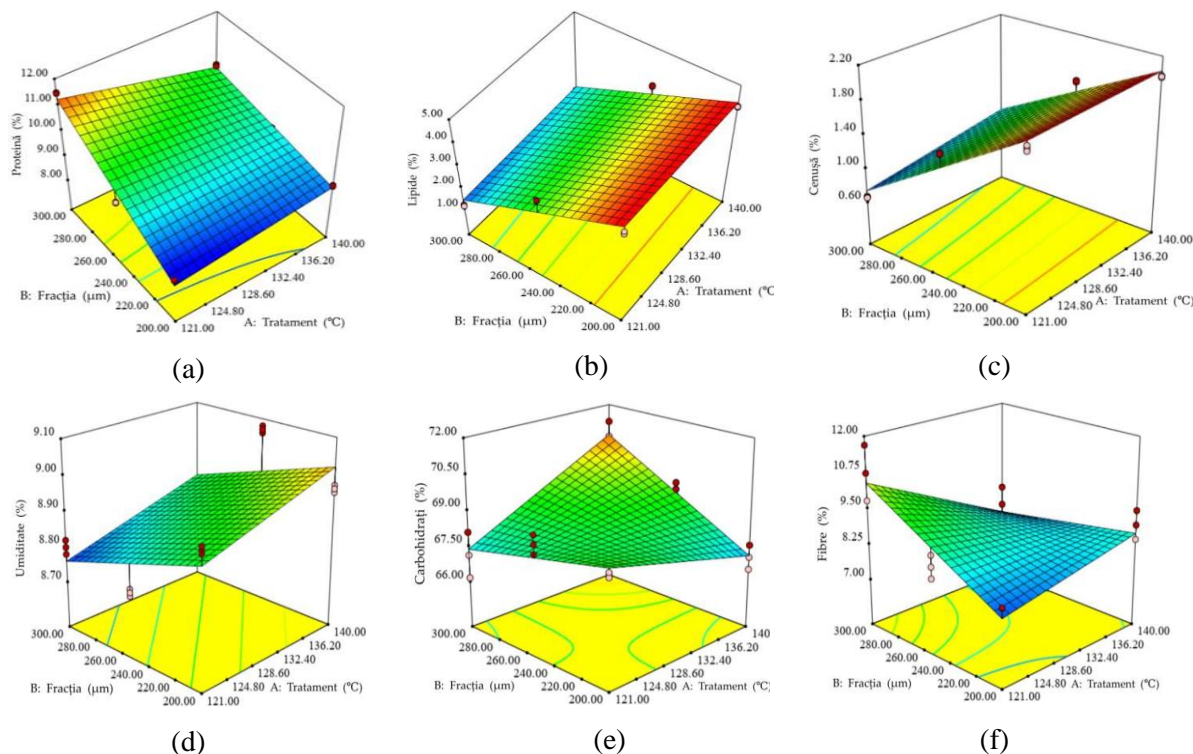


Figura 6.1. Graficul suprafeței de răspuns pentru efectele combinate ale dimensiunilor particulelor de făină de sorg roșu și ale temperaturii tratamentului asupra următoarelor caracteristici: (a) proteine, (b) lipide, (c) cenușă, (d) umiditate, (e) carbohidrați și (f) fibre (Batariuc și colab., 2023)

Pe de altă parte, creșterea dimensiunii particulelor a determinat o creștere semnificativă ($p < 0,05$) a conținutului de proteine, carbohidrați și fibre. O creștere a carbohidraților în făina de sorg roșu a fost observată atunci când dimensiunea particulelor și temperatura au crescut (figura 6.1). Interacțiunea dintre factori a avut un efect semnificativ asupra conținutului de proteine, carbohidrați și fibre. Această interacțiune dintre factori a determinat o scădere a conținutului de proteine și fibre al făinii de sorg roșu, precum și o creștere a conținutului de carbohidrați.

Efectul temperaturii de tratare termică uscată a boabelor de sorg roșu și a mărimii fracțiilor asupra proprietăților funcțional-tehnologice ale făinii de sorg roșu

Ecuatiile modelelor predictive pentru proprietățile funcțional-tehnologice, capacitate de absorbție a apei (CAA), capacitate de absorbție a uleiului (CAU), putere de umflare (PU) și capacitatea de emulsionare (CE) ale fracțiilor de făină de sorg roșu, în care coeficienții de regresie nesemnificativi au fost omiși, sunt prezentate în tabelul 6.4.

Analiza de varianță (ANOVA) relevă faptul că modelele de regresie obținute pentru proprietățile funcțional-tehnologice ale făinii de sorg roșu sunt semnificative statistic la un nivel de încredere de 95%, iar coeficienții de determinare ajustați ($Adj.-R^2 > 0,60$) au oferit o

representare adecvată a datelor experimentale și au demonstrat că aceste modele pot fi utilizate pentru a explica mai mult de 60% din variabilitatea răspunsurilor.

Tabelul 6.4. Coeficienții de regresie ai modelelor predictive corespunzătoare pentru compoziția fizico-chimică și proprietățile funcționale ale făinii de sorg (Batariuc și colab. 2023)

Factor	Fibre (%)	CAA (%)	CAU (%)	PU (g/g)	CE (%)
Constantă	8,64	212,15	165,03	3,53	47,58
A	-0,41*	2,82**	-1,36*	ns	ns
B	0,47*	12,60***	-6,86***	-0,19***	6,63***
A x B	-0,89***	-5,26***	ns	-0,04*	ns
Evaluarea modelului					
P_{model}	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
p^+_{LoF}	*	*	*	*	*
Adj.- R^2	0,61	0,91	0,86	0,89	0,90
Pred.- R^2	0,46	0,88	0,83	0,86	0,87
Adeq. Precision	8,01	20,85	14,69	17,00	17,22

$p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$, ns – termen nesemnificativ, $+LoF$ - lipsă de potrivire, CAA – capacitate de absorbție a apei, CAU – capacitate de absorbție a uleiului, PU – putere de umflare, CE – capacitatea de emulsionare, A – factorul temperatură tratament, B – factorul mărime a particulelor.

Graficele suprafețelor de răspuns (figura 6.2) au evidențiat variabilitatea proprietăților funcțional-tehnologice cu temperaturile de tratament și dimensiunile fracțiilor făinii de sorg roșu, oferind dovezi utile asupra adecvării modelului.

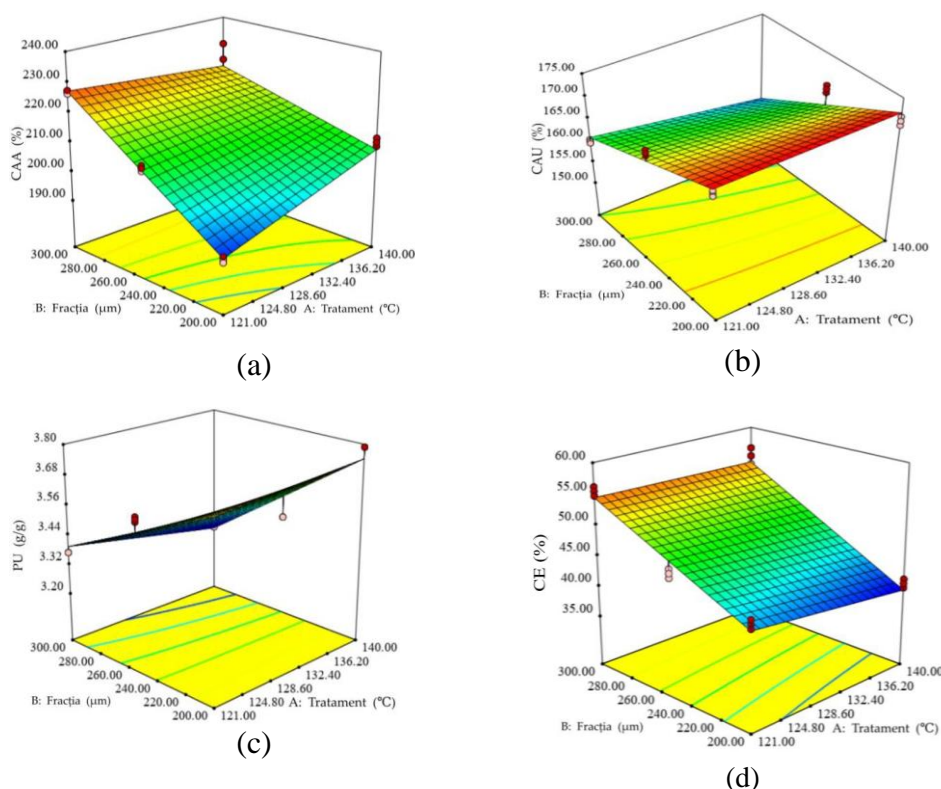


Figura 6.2. Graficul suprafeței de răspuns pentru efectele combinate ale dimensiunii particulelor de făină de sorg roșu și ale temperaturii tratamentului asupra următoarelor proprietăți: (a) capacitatea de absorbție a apei (CAA), (b) capacitatea de absorbție a uleiului (CAU), (c) puterea de umflare (PU) și (d) capacitatea de emulsionare (CE) (Batariuc și colab., 2023).

Corelațiile Pearson dintre variabilele determinate

Între unele dintre caracteristicile studiate ale făinii de sorg roșu s-au observat corelații semnificative. În ceea ce privește corelațiile dintre proprietățile funcțional-tehnologice și caracteristicile chimice, capacitatea de absorbție a apei a avut o corelație pozitivă cu proteinele ($r = 0,841, p < 0,01$) și conținutul de fibre ($r = 0,537, p < 0,05$), precum și o corelație negativă cu lipidele ($r = -0,843, p < 0,01$) și cenușa ($r = -0,843, p < 0,01$).

Optimizarea procesului și validarea modelului predictiv

În urma procesului de optimizare, s-a constatat că fracția M de făină de sorg roșu tratat termic uscat la temperatura de 133 °C a fost adecvată pentru a obține proprietățile funcțional-tehnologice și nutriționale dorite pentru făina de sorg roșu (tabelul 6.6).

Tabel 6.6. Caracteristicile fracției optime de făină de sorg roșu în comparație cu proba martor (Batariuc și colab., 2023)

Caracteristici	Optim M		Control M
	Predicții	Experimental	
Proteine (%)	8,74 ±0,28 ^a	9,66 ±0,06 ^{ax}	9,44 ±0,18 ^x
Lipide (%)	4,16 ±0,36 ^a	4,26 ±0,02 ^{ax}	3,10 ±0,03 ^y
Cenușă (%)	1,96 ±0,12 ^a	2,00 ±0,01 ^{ax}	1,75 ±0,03 ^y
Umiditate (%)	8,97 ±0,08 ^a	9,19 ±0,01 ^{ay}	11,80 ±0,03 ^x
Carbhidrați (%)	67,84 ±0,61 ^a	66,14 ±0,10 ^{ax}	66,00 ±0,39 ^x
Fibre (%)	8,33 ±0,72 ^a	9,02 ±0,07 ^{bx}	7,69 ±0,39 ^y
CAA (%)	203,02 ±3,63 ^a	217,00 ±1,41 ^{ax}	209,55 ±0,78 ^y
CAU (%)	171,09 ±2,37 ^a	179,63 ±0,73 ^{ax}	171,66 ±0,60 ^y
PU (g/g)	3,71 ±0,06 ^a	3,98 ±0,01 ^x	3,63 ±0,00 ^y
CE (%)	41,28 ±1,86 ^a	42,27 ±0,05 ^{ax}	44,00 ±1,41 ^x

(a-b) Literele diferite în cadrul aceluiași rând pentru fiecare eșantion indică diferențe statistice semnificative între valorile previzionate și valorile experimentale ($p < 0,05$); literele diferite (x-y) din același rând indică diferențe semnificative între probele optime și cele de control ($p < 0,05$). CAA – capacitatea de absorbție a apei, CAU – capacitatea de absorbție a uleiului, PU – putere de umflare, CE – capacitatea de emulsionare.

Caracterizarea probei optime de făină de sorg roșu

Parametrii de culoare

Rezultatele pentru parametrii de culoare au arătat că L^* , a^* și b^* ale probei optime și ale probei martor diferă semnificativ (tabelul 6.7). Frația optimă a prezentat o tonalitate de culoare mai scăzută în comparație cu martorul. Reducerea luminozității poate fi asociată cu reducerea conținutul de umiditate, așa după cum se poate observa din tabelul 6.6 și la dezvoltarea unei suprafețe glazurate, în conformitate cu dovezile menționate de Sharanagat și colab., (2019).

Tabel 6.7. Variația parametrilor de culoare (Batariuc și colab., 2023)

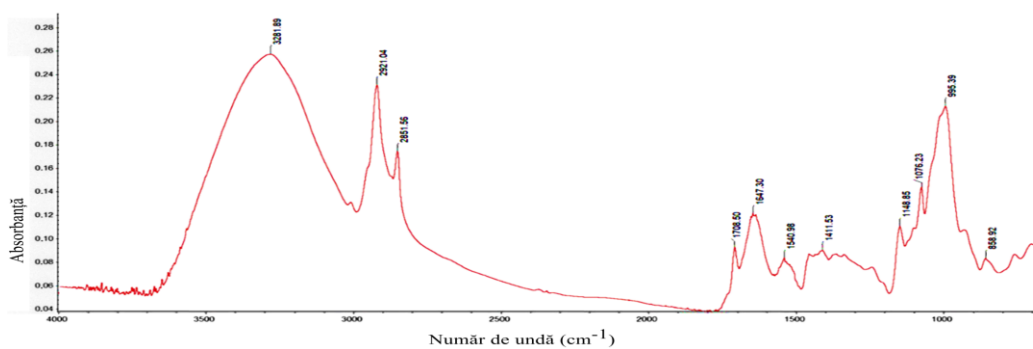
Probe	Parametrii de culoare					
	L^*	a^*	b^*	C^*	BI	ΔE
Control M	65,54 ±0,55 ^a	4,00 ±0,03 ^a	9,07 ±0,10 ^a	9,91 ±0,10 ^a	26,35 ±0,04 ^a	-
Optim M	63,89 ±0,08 ^b	3,81 ±0,13 ^b	8,64 ±0,12 ^b	9,44 ±0,06 ^b	25,85 ±0,11 ^b	1,72

L^* - luminozitate, a^* – nuanță roșie, b^* – nuanță galbenă, C^* – Chroma, BI – indice maro, ΔE – diferență totală de culoare; diferite litere (a-b) în aceeași coloană indică diferențe semnificative între proba optimă și martor ($p < 0,05$).

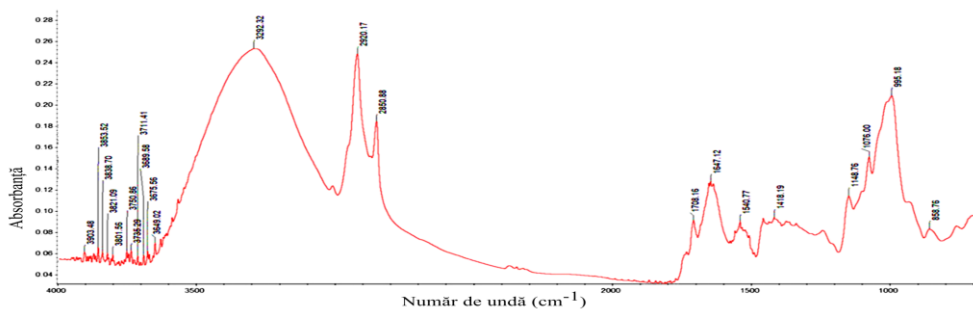
Variațiile parametrilor de culoare la probele M optime pot fi atribuite proceselor biochimice, polifenolilor solubilizati în timpul tratamentului termic uscat și fracționării. Constatări similare au fost raportate de Taylor și Duodu (2015) atunci când au studiat efectul prelucrării sorgului și meiului asupra substanțelor fitochimice fenolice. Cantitatea și tipul de fenoli și ioni metalici prezenți în miez au avut un impact asupra culorii produselor din sorg (Winger și colab., 2014).

Caracteristici moleculare

Analiza FT-IR a fost aplicată pentru a evidenția modificările structurale ale proteinelor în timpul tratamentului termic uscat. O influență semnificativă a tratamentului termic uscat a fost indicată în regiunile $3500-4000\text{ cm}^{-1}$. Intensitatea absorbanțelor, în special a celor de la $3711,41\text{ cm}^{-1}$ și $3953,52\text{ cm}^{-1}$, demonstrează distribuția grupărilor funcționale datorită dehidroxilării reacției de dezoxidare și a creșterii CAA care are loc în timpul tratamentului termic uscat. Ca urmare a reacției de dehidroxilare, apa produsă favorizează modificări ale activității apei alimentelor și a mobilității diverșilor reactanți (Sharanagat și colab., 2019).



(a)



(b)

Figura 6.3. Spectrele FT-IR ale dimensiunilor particulelor probei martor (a) și optime (b) ale făinii de sorg roșu (Batriuc și colab., 2023).

Caracteristici termice

Analiza DSC a evidențiat o diferență semnificativă între probe în ceea ce privește temperatura inițială (Ti), de gelatinizare și temperatura finală (Tf). De asemenea, diferențe semnificative ($p < 0,05$) între cele două probe au fost obținute și cu privire la intervalul de gelatinizare (ΔT_r) și entalpia de gelatinizare (ΔH) (tabelul 6.8).

Tabelul 6.8. Caracteristici termice ale probelor optim și martor de făină de sorg roșu (Batariuc și colab., 2023)

Probe	Ti (° C)	Tg (° C)	Tf (° C)	ΔT_r (° C)	ΔH (J/g)
Control M	69,03 ± 0,13 ^b	73,35 ± 0,01 ^b	79,58 ± 0,47 ^b	10,55 ± 0,60 ^b	1,13 ± 0,00 ^b
Optim M	69,82 ± 0,31 ^a	73,40 ± 0,13 ^a	82,07 ± 1,09 ^a	12,25 ± 0,78 ^a	2,15 ± 0,03 ^a

Ti – temperatura inițială, Tg – temperatura de gelatinizare, Tf – temperatura finală, ΔT_r – intervalul de gelatinizare ($\Delta T_r = T_f - T_i$), ΔH – entalpie de gelatinizare; literele diferite (a-b) în aceeași coloană indică diferențe semnificative între probele optime și cele de control ($p < 0,05$).

Digestibilitatea *in vitro* a amidonului

Rezultatele obținute pentru digestibilitatea *in vitro* a amidonului au indicat diferențe semnificative între eșantioanele de făină de sorg, optim și martor, privind amidonul digerabil rapid (ADR), amidonul digerabil lent (ADL), amidonul digerabil total (ADT), amidonul rezistent (AR), amidonul total (AT) și indicele vitezei de digestibilitate a amidonului (IRDA) (tabelul 6.9). Pentru proba optimă, valorile ADR, ADL, ADT, AR și AT au fost mai mari comparativ cu martorul.

Tabel 6.9. Digestibilitatea amidonului pentru probele optim și martor de făină de sorg roșu (Batariuc și colab., 2023)

Probe	ADR (g/100g)	ADL (g/100g)	ADT (g/100g)	AR (g/100g)	AT (g/100g)	IRDA (adim.)
Control M	12,22 ±0,02 ^a	0,40 ±0,01 ^b	12,92 ±0,02 ^b	4,12 ±0,00 ^b	17,04 ±0,02 ^b	0,72 ±0,00 ^a
Optim M	12,36 ±0,07 ^a	0,68 ±0,00 ^a	13,21 ±0,04 ^a	5,06 ±0,03 ^a	18,27 ±0,08 ^a	0,68 ±0,00 ^b

ADR – amidon digerabil rapid, ADL – amidon digerabil lent, ADT – amidon digerabil total, AR – amidon rezistent, AT – amidon total, IRDA – indicele ratei de digestie a amidonului; litere diferite (a-b) în aceeași coloană indică diferențe semnificative între proba optimă și proba martor ($p < 0,05$).

Conținutul total de polifenoli și activitatea antioxidantă

Pentru activitatea de captare a radicalilor liberi rezultatele obținute au indicat diferențe ne semnificative ($p > 0,05$) între proba optimă și proba martor (tabelul 6.10). Rezultatele obținute sunt în concordanță cu cele menționate de Choi și colab. (2007), care au raportat un nivel relativ ridicat de captare a radicalilor în sorgul roșu (92%) și în orezul negru (87%) în comparație cu boabele nepigmentate.

Tabelul 6.10. Conținutul total de polifenoli și activitatea antioxidantă a probelor optim și martor ale făinii de sorg roșu (Batariuc și colab., 2023)

Proprietăți	Optim M	Control M
CTP (mg GAE/g)	24,85 ± 0,02 ^a	17,59 ± 0,01 ^b
AA DPPH (%)	92,31 ± 0,00 ^a	92,51 ± 0,03 ^a

CTP – conținut total de polifenoli, AA DPPH – activitate antioxidantă. Litere diferite în același rând indică diferențe semnificative între proba optimă și proba martor ($p < 0,05$).

Determinarea profilului de aminoacizi

Profilul aminoacizilor prezenți în făina integrală de sorg roșu tratat la temperatura optimă (I_TOM), fracția optimă M (OM) și fracția martor M (CM) este prezentat în figura 6.4 pentru aminoacizii esențiali și în figura 6.5 pentru cei neesențiali.

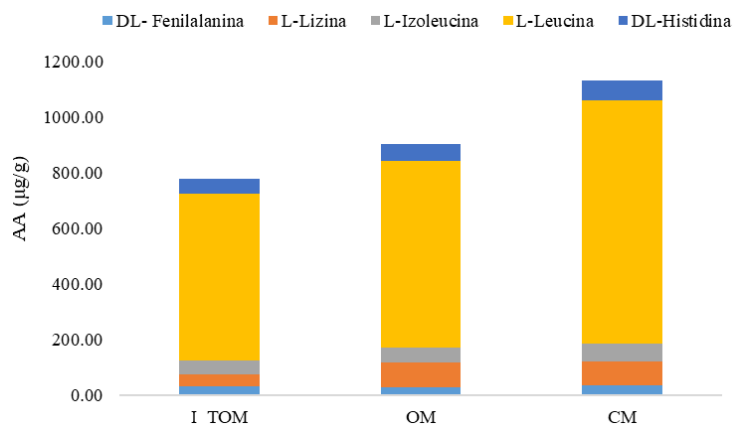


Figura 6.5. Conținutul de aminoacizi esențiali în făina integrală de sorg roșu tratat la temperatura optimă (I_TOM) și în fracția optimă (OM) comparativ cu fracția de făină de sorg roșu netratat termic (CM)

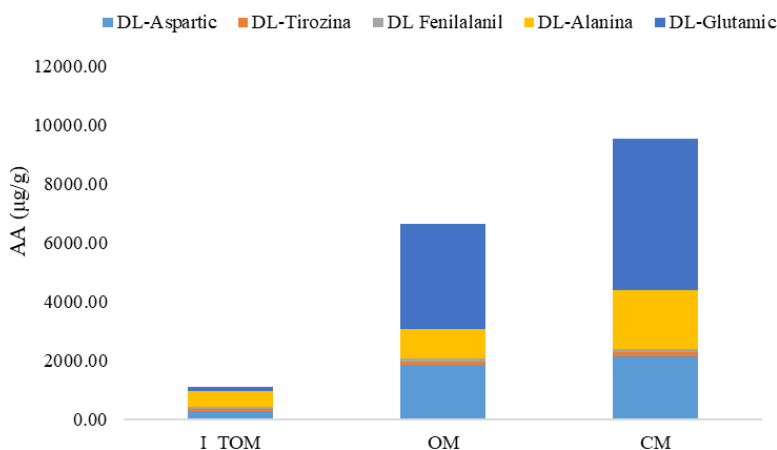


Figura 6.6. Conținutul de aminoacizi neesențiali în făina integrală de sorg roșu tratat la temperatura optimă (I_TOM) și în fracția optimă (OM) comparativ cu fracția de făină de sorg roșu netratat termic (CM)

Aplicarea tratamentului termic uscat a condus la scăderea conținutului de aminoacizi esențiali, dar un conținut mai mare de lizină a fost prezent în fracția optimă comparativ cu fracția martor. Conținutul de aminoacizi neesențiali s-a diminuat considerabil după aplicarea tratamentului termic și a fracționării.

Determinarea conținutului de acizi grași

Rezultatele privind conținutul total de acizi grași saturați (SFA), mononesaturați (MUFA) și polinesaturați (PUFA) din boabele de sorg roșu tratate termic la temperatura optimă indică variații semnificative, la $p < 0,05$, în funcție de tipul probei (figura 6.6). Temperatura optimă de 133 °C a tratamentului termic uscat aplicat boabelor de sorg roșu și fracționarea au determinat creșterea conținutului de acizi grași mono- și poli-nesaturați și scăderea conținutului de acizi grași saturați în fracția optimă comparativ cu fracția martor.

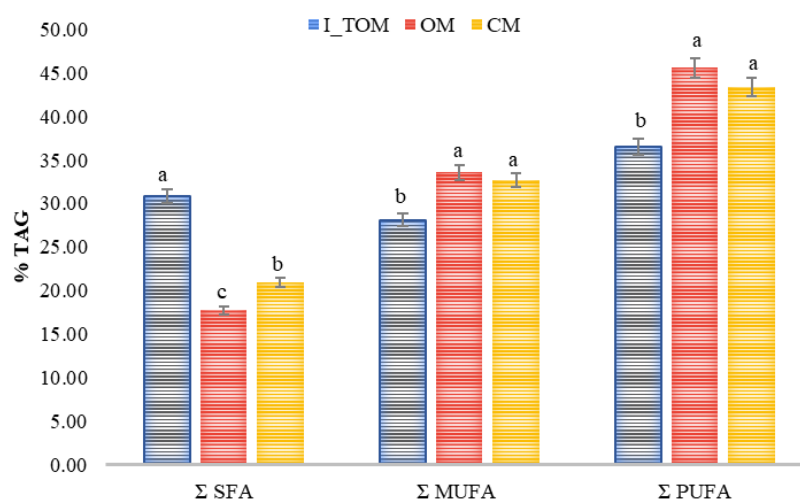


Figura 6.5. Conținutul total de acizi grași saturați (SFA), mononesaturați (MUFA) și polinesaturați (PUFA) în boabele integrale de sorg roșu tratat termic la temperatura optimă (I_TOM) și în fracția optimă a făinii de sorg roșu (OM) comparativ cu fracția martor (CM)

Conținutul de acizi grași polinesaturați omega-6 (n-6 PUFA) al probelor de sorg roșu analizate este prezentat în figura 6.7. S-a observat o creștere a conținutului de n-6 PUFA în fracția optimă după aplicarea tratamentului termic uscat.

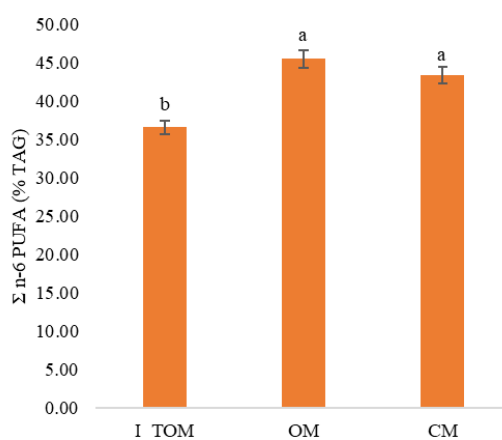


Figura 6.6. Conținutul de acizi grași polinesaturați omega-6 (n-6 PUFA), în boabele integrale de sorg roșu tratat termic la temperatura optimă (I_TOM) și în fracția optimă a făinii de sorg roșu (OM) comparativ cu fracția martor (CM)

Conținutul de acizi grași omega-3 a înregistrat valori diferite în funcție de tipul probei. Astfel, proba tratată la temperatura optimă (OM) a prezentat cea mai mare valoare, urmată de proba netratată (CM) și de făina integrală (I_TOM) (figura 6.7).

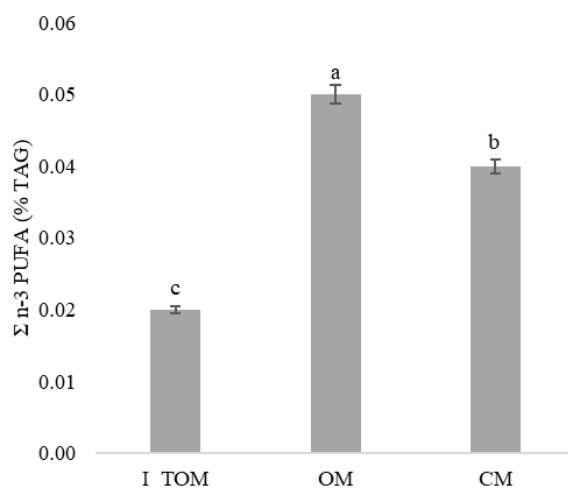


Figura 6.7. Conținutul de acizi grași polinesaturați omega-3 (n-3 PUFA), în boabele integrale de sorg roșu tratat termic la temperatura optimă (I_TOM) și în fracția optimă a făinii de sorg roșu (OM) comparativ cu fracția martor (CM)

Tratarea boabelor de sorg roșu și fracționarea au determinat creșterea raportului MUFA/PUFA (figura 6.8). S-a observat o diferență semnificativă între fracția optimă și martor.

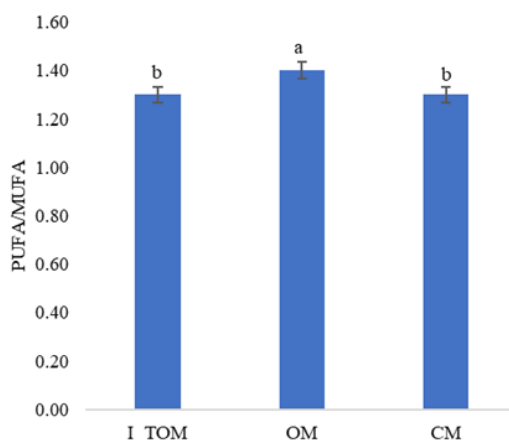


Figura 6.8. Raportul dintre acizii grași polinesaturați și cei mononesaturați (PUFA/MUFA), în boabele integrale de sorg roșu tratat termic la temperatura optimă (I_TOM) și în fracția optimă a făinii de sorg roșu (OM) comparativ cu fracția martor (CM)

Tratamentul termic uscat aplicat boabelor de sorg roșu și fracționarea nu au determinat modificări semnificative ale conținutului de acizi grași dezirabili. Pe de altă parte, făina integrală a prezentat o valoare semnificativ mai redusă comparativ cu fracția optimă (figura 6.9).

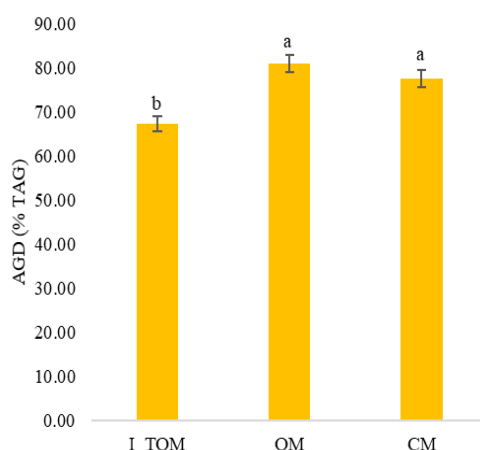


Figura 6.9. Conținutul de acizi grași dezirabili în boabele integrale de sorg roșu tratat termic la temperatura optimă (I_TOM) și în fracția optimă a făinii de sorg roșu (OM) comparativ cu fracția martor (CM)

Determinarea conținutului de minerale

Compoziția în minerale a probele analizate include ca macroelemente calciu și sodiu, iar ca microelemente, fier, zinc și cupru (tabelul 6.11). Nu au fost identificate diferențe remarcabile între proba optimă M (OM) și proba martor M (CM) de făină de sorg roșu în ceea ce privește conținutul de calciu. S-a observat un conținut de calciu mai mare în făina integrală de sorg roșu tratat la temperatura optimă de 133 °C (I_TOM) comparativ cu conținutul de calciu din fracția optimă.

Determinarea profilului de compuși volatili din făina de sorg roșu

Compușii volatili identificați în făinurile de sorg roșu analizate includ compuși precum 2,4-pentadienenitril, 2,4-hexadienenitril și 1,4-pentadiene (figura 6.12).

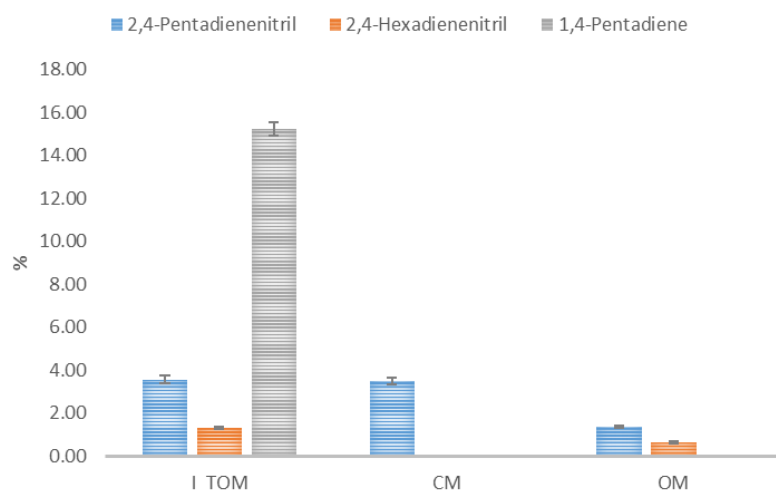


Figura 6.12. Compușii volatili identificați în boabele integrale de sorg roșu tratat termic la temperatura optimă de 133 °C (I_TOM), fracția optimă a făinii de sorg roșu (OM) și în fracția martor (CM)

Proprietățile reologice dinamice ale aluatului din făină de sorg roșu

Variația modulelor de elasticitate și de vâscozitate cu frecvența

Valorile obținute pentru modulul de elasticitate (G'), care reprezintă energia stocată în timpul deformării, au evidențiat că aluatul din fracția optimă M de făină de sorg roșu a prezentat energie elastică puțin mai mare comparativ cu proba din făină integrală de sorg roșu tratat la temperatura optimă de 133 °C (figura 6.13).

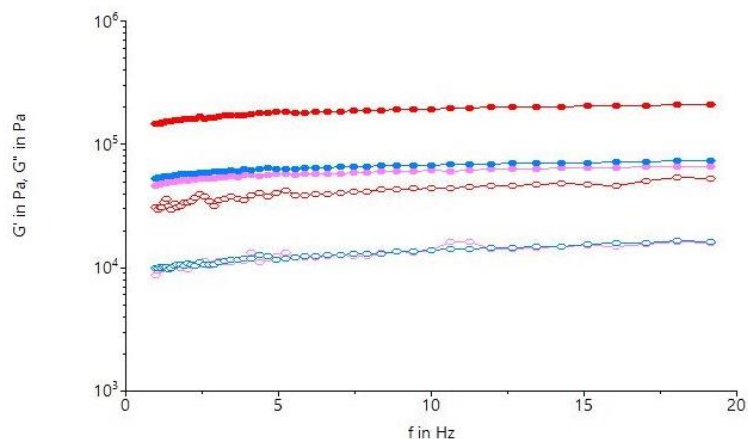


Figura 6.13. Variația cu frecvența a modulelor de elasticitate G' (simbol plin) și de vâscozitate G'' (simbol gol) pentru proba din făină integrală de sorg roșu tratat la temperatura optimă de 133 °C (-●-), fracția optimă M (-●-) și fracția martor M (-●-)

Variația modulelor de elasticitate și de vâscozitate cu temperatura

Aluatul din fracția optimă de făină de sorg roșu a prezentat un comportament apropiat de cel al aluatului din făină integrală de sorg roșu tratat la temperatura optimă de 133 °C (figura 6.14)..

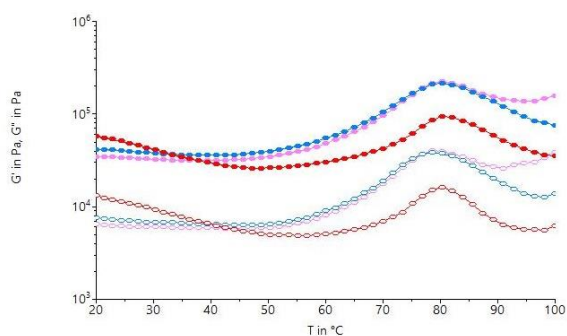


Figura 6.14. Variația cu temperatura a modulelor de elasticitate G' (simbol plin) și de vâscozitate G'' (simbol gol) pentru proba din făină integrală de sorg roșu tratat la temperatura optimă de 133 °C (-●-), fracția optimă M (-●-) și fracția martor M (-●-)

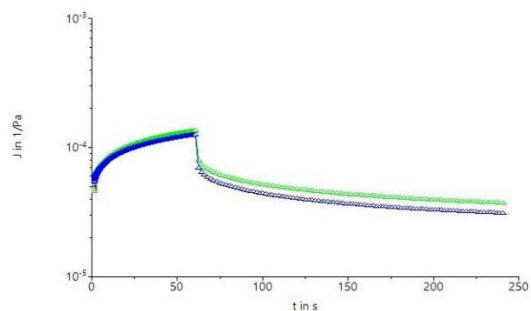


Figura 6.15. Variația în timp a complianței pentru proba din făină integrală de sorg roșu tratat la temperatura optimă de 133 °C (-●-), fracția optimă M (-●-) și fracția martor M (-●-)

Comportamentul aluatului la fluaj și revenire

Rezultatele testării aluatului au indicat variații ale complianței maxime la fluaj și la revenire în funcție de tipul probei, proba optimă remarcându-se prin valori mai ridicate, comparativ cu proba martor.

În finalul tezei de doctorat sunt menționate **Concluziile finale** ale cercetării doctorale. Concluziile finale care rezultă din studiul cercetărilor științifice actuale în domeniu, a metodologiei de cercetare și din rezultatele experimentale obținute cuprind următoarele:

- cercetările realizate până în prezent au evidențiat că boabele de sorg prezintă un potențial nutritiv și funcțional valoros pentru dezvoltarea și diversificarea gamei de produse alimentare;

- sorgul are un potențial imens ca ingredient alimentar datorită versatilității și compoziției sale, fiind considerat extrem de important ca aliment alternativ pentru persoanele care suferă de boala celiacă;

- diferite tehnologii de procesare au fost aplicate cu scopul de a reduce efectul negativ al factorilor antinutriționali și de a îmbunătăți compoziția nutrițională și caracteristicile funcțional-tehnologice ale făinii de sorg;

- granulometria făinii de sorg reprezintă un parametru esențial care influențează semnificativ compoziția chimică, proprietățile funcțional-tehnologice, reologia aluatului și implicit calitatea produsului finit;

- tratamentul termic uscat aplicat boabelor de sorg alb și de sorg roșu, la două temperaturi diferite (121 °C și 140 °C), urmat de fracționarea acestora la trei granulații diferite (L, M și S) a avut ca rezultat creșterea conținutului de lipide și fibre și scăderea conținutului de proteine, a umidității și cenușii în făina de sorg;

- reducerea dimensiunii particulelor a determinat scăderea conținutului de proteine și creșterea conținutului de lipide;

- sorgul roșu este mai bogat în proteine, cenușă și fibre și mai puțin bogat în lipide în comparație cu soiul alb;

- digestibilitatea amidonului a fost influențată de temperatura tratamentul termic și s-a constatat creșterea sau scăderea conținutului de amidon digerabil lent și de amidon rezistent în funcție de mărimea fracției de făină de sorg și de varietatea de sorg;

- tratamentul termic al boabelor de sorg la temperatură de 140 °C a condus la diminuarea intensității benzilor de absorbție FTIR caracteristice acidului fitic, sugerând utilitatea acestui proces în diminuarea antinutrienților;

- tratamentul termic și fracționarea boabelor de sorg alb a determinat în general o diminuare a concentrației compușilor fenolici, în timp ce în cazul sorgului roșu, s-a constatat creșterea concentrației acidului p-cumaric, îndeosebi în fracțiile M și S ale făinii de sorg roșu; tratamentul termic la temperatura de 140 °C a determinat creșterea semnificativă a conținutului de quercetină, kaempferol și acid rosmarinic în fracția S a făinii de sorg roșu;

- tratamentul termic uscat a condus la o absorbție mai mare a apei de către făină de sorg și la scăderea capacității de reținere a apei, a indicelui de solubilitate și a capacității de spumare pe măsură ce temperatura a crescut;

- diminuarea dimensiunii particulelor a condus la creșterea capacității de absorbție a uleiului, a puterii de umflare și a capacității de spumare a făinii de sorg, în timp ce indicele de solubilitate și capacitatea de emulsionare au scăzut;

- procesul de optimizare a arătat că pentru a obține proprietățile funcțional-tehnologice și nutriționale dorite pentru făina de sorg alb, tratamentul termic uscat al boabelor de sorg la temperatura de 121,00 °C ar fi recomandat pentru fracția S, la 132,11 °C ar fi adecvat pentru fracția M, în timp ce pentru fracția L se poate aplica temperatura de 139,47 °C;

- caracterizarea probelor optime subliniază existența unor diferențe între cele trei fracții în ceea ce privește luminozitatea;
- referitor la structura amidonului, zonele cristaline au fost mult mai abundente în comparație cu cele amorfe în toate probele și au urmat un trend crescător după tratarea termică uscată a boabelor de sorg. Pentru fracțiile M și S nu s-au înregistrat modificări semnificative între probele optime și cele martor în ceea ce privește apariția benzilor spectrale FTIR. Intensitățile absorbanțelor au prezentat diferențe între fracții, iar cele mai mici valori au fost obținute pentru fracția L;
- conținutul de amidon digerabil lent (ADL) și de amidon rezistent (AR) a crescut pentru probele tratate termic, comparativ cu probele martor, cu excepția ADL în proba de fracție L;
- conținutul total de polifenoli pentru probele optime a fost mai mare în comparație cu cel corespunzător probelor martor, cu excepția fracției L; conținutul total de polifenoli cât și activitatea antioxidantă s-au redus odată cu creșterea dimensiunii fracției;
- conținutul de lizină și izoleucină a scăzut după aplicarea tratamentului termic uscat, cu excepția fracției optime M; pentru fracțiile optime S și M s-a obținut un conținut mai mare de leucină față de cel din făina integrală de sorg tratat la temperatura optimă și mai mic decât în fracția martor, în timp ce pentru fracția L nu s-au observat diferențe semnificative între proba tratată și netratată;
- tratamentul termic uscat a condus la diminuarea conținutului de acizi grași saturați (SFA) și la creșterea conținutului de acizii grași polinesaturați (PUFA) și mononesaturați (MUFA) pentru fracțiile optime de făină de sorg alb și roșu;
- între probele optime de făină de sorg alb, fracția S s-a remarcat prin conținutul ridicat în PUFA și MUFA și scăzut în SFA. Mărimea particulei nu a determinat variații semnificative ale conținutului total de acizi grași. S-a observat o ușoară scădere a conținutului de n-6 PUFA odată cu reducerea dimensiunii particulei. S-a remarcat un raport PUFA/MUFA ușor mai ridicat în fracția optimă L comparativ cu fracțiile optime M și S;
- pentru fracția optimă M de făină de sorg roșu s-a obținut un conținut mai mare de PUFA și MUFA și mai scăzut de SFA, precum și creșterea valorii raportului MUFA/PUFA, comparativ cu fracția martor;
- o scădere a conținutului de calciu a fost identificată în fracțiile optime de sorg alb și roșu ca urmare a temperaturii tratamentului termic. Fracția optimă M a făinii de sorg alb și a făinii de sorg roșu s-a remarcat printr-o creștere a conținutului de fier, zinc și cupru comparativ cu fracția martor M corespunzătoare;
- un profil complex de compuși volatili care include 1-cloro-2-metil-etanol, 1,5-hexadiena, 2,4-pentadienenitril și 1,5-ciclooctadiena a fost identificat în fracția optimă S a făinii de sorg alb;
- tratamentul termic a determinat o scădere a procentului de 2,4-pentadienenitril și identificarea compusului 2,4-hexadienenitril în fracția optimă M a făinii de sorg roșu, comparativ cu fracția martor.
- parametrii reologici dinamici au evidențiat că valorile modulului de elasticitate (G') au fost mai mari decât valorile modulului de vâscozitate (G'') pentru toate probele de aluat din făină de sorg care au fost testate. Proba de aluat din făină de sorg alb cu fracția optimă S a prezentat o creștere considerabilă a modulului G' odată cu creșterea frecvenței, tratamentului termic influențând compoziția chimică a fracției și implicit comportamentul aluatului. Tratamentul termic a determinat o ușoară scădere sau creștere a temperaturii maxime de gelatinizare, în funcție de tipul de sorg, iar valorile au fost cuprinse între 75 și 85 °C;
- complianța maximă la fluaj și la revenire în cazul aluatului din făină de sorg alb a indicat o scădere a valorilor comparativ cu proba martor, ceea ce denotă o rezistență la deformare mai mică a aluatului; aluatul cu fracția optimă a făinii de sorg roșu a prezentat o

valoare mai mare pentru complianța maximă la fluaj și la revenire comparativ cu cel realizat cu fracția martor.

Rezultatele obținute au evidențiat oportunitatea de a utiliza tratamentul termic uscat pentru a îmbunătăți profilul nutrițional și funcțional al făinurilor de sorg, în același timp, subliniind importanța dimensiunii particulei și a varietății sorgului. Aceste informații ar putea fi utile procesatorilor pentru a decide mai bine destinația făinurilor de sorg cu scopul de a formula și diversifica gama produselor, îndeosebi a celor fără gluten, cu potențiale beneficii pentru sănătatea consumatorilor.

BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ

Abdualrahman, M. A. Y., Ma, H., Yagoub, A. E. A., Zhou, C., Ali, A. O., & Yang, W. (2019). Nutritional value, protein quality and antioxidant activity of Sudanese sorghum-based kissra bread fortified with Bambara groundnut (*Voandzeia subterranea*) seed flour. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 18, 32-40. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2016.12.003>

Afify, A. E.-M., El-Beltagi, H., Abd El-Salam, S., & Omran, A. (2011). Bioavailability of iron, zinc, phytate and phytase activity during soaking and germination of white sorghum varieties. *PLoS One*, 6, Article e25512. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0025512>

Afify, A. E.-M., El-Beltagi, H., Abd El-Salam, S., & Omran, A. (2012a). Biochemical changes in phenols, flavonoids, tannins, vitamin E, β -carotene and antioxidant activity during soaking of three white sorghum varieties. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 2, 203–209. [https://doi.org/10.1016/S2221-1691\(12\)60042-2](https://doi.org/10.1016/S2221-1691(12)60042-2)

Ahmed, J. (2015). Effect of barley β -glucan concentrate on oscillatory and creep behavior of composite wheat flour dough. *Journal of Food Engineering*, 152, 85-94. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2014.11.018>

Alvarenga, I.C.; Ou, Z.; Thiele, S.; Alavi, S.; Aldrich, C.G. Effects of milling sorghum into fractions on yield, nutrient composition, and their performance in extrusion of dog food. *J. Cereal Sci.* 2018, 82, 121–128 <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2018.05.013>

Alvarenga, I.C.; Ou, Z.; Thiele, S.; Alavi, S.; Aldrich, C.G. Effects of milling sorghum into fractions on yield, nutrient composition, and their performance in extrusion of dog food. *J. Cereal Sci.* 2018, 82, 121–128. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2018.05.013>

Batariuc, A.; Coțovanu, I.; Mironeasa, S. Influence of dry heat treatment on antioxidant activity and total polyphenol content of different sorghum particle sizes. *Food Environ. Saf. J.* 2022, 21. Available online: <http://fens.usv.ro/index.php/FENS/article/view/918> (accessed on 28 May 2023).

Batariuc, A.; Ungureanu-Iuga, M.; Mironeasa, S. Characterization of Sorghum Processed through Dry Heat Treatment and Milling. *Appl. Sci.* 2022, 12, 7630. <https://doi.org/10.3390/app12157630>

Batariuc, A.; Ungureanu-Iuga, M.; Mironeasa, S. Effects of Dry Heat Treatment and Milling on Sorghum Chemical Composition, Functional and Molecular Characteristics. *Appl. Sci.* 2021, 11, 11881. <https://doi.org/10.3390/app112411881>

Batariuc, A.; Ungureanu-Iuga, M.; Mironeasa, S. Effects of Dry Heat Treatment and Milling on Sorghum Chemical Composition, Functional and Molecular Characteristics. *Appl. Sci.* 2021, 11, 11881. <https://doi.org/10.3390/app112411881>

Cabrera-Ramírez, A. H., Luzardo-Ocampo, I., Ramírez-Jiménez, A. K., Morales-Sánchez, E., Campos-Vega, R., & Gaytán-Martínez, M. (2020). Effect of thenixtamalization process on the protein bioaccessibility of white and red sorghum flours during in vitro gastrointestinal digestion. *Food Research International*, 134, Article 10923. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109234>

Claver, I. P., Zhou, H.-m., Zhang, H.-h., Zhu, K.-x., Li, Q., & Murekatete, N. (2011). The effect of soaking with wooden ash and malting upon some nutritional properties of sorghum

flour used for impeke, a traditional Burundian malt-based sorghum beverage. *Agricultural Sciences in China*, 10, 1801–1811. [https://doi.org/10.1016/S1671-2927\(11\)60180-6](https://doi.org/10.1016/S1671-2927(11)60180-6)

Coulibaly, W. H., Jean-Paul Bouatenin, K. M., Boli, Z. B. I. A., Kohi Alfred, K., Tra Bi, Y. C., Celaire N'sa, K. M., et al. (2020). Influence of yeasts on bioactive compounds content of traditional sorghum beer (tchapalo) produced in Côte d'Ivoire. *Current Research in Food Science*, 3, 195–200. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2020.06.001>

Garzón, A. G., Van de Velde, F., & Drago, S. R. (2020). Gastrointestinal and colonic in vitro bioaccessibility of γ -aminobutyric acid (GABA) and phenolic compounds from novel fermented sorghum food. *LWT-Food Science and Technology*, 130, Article 109664 <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109664>

Kamble, D.B.; Singh, R.; Rani, S.; Kaur, B.P.; Upadhyay, A.; Kumar, N. Optimization and characterization of antioxidant potential, in vitro protein digestion and structural attributes of microwave processed multigrain pasta. *J. Food Process. Preserv.* 2019, 43, e14125. <https://doi.org/10.1111/jfpp.14125>

Kim, J.C.; Mullan, B.P.; Pluske, J.R. (2005). A comparison of waxy versus non-waxy wheats in diets for weaner pigs: Effects of particle size, enzyme supplementation, and collection day on total tract apparent digestibility and pig performance. *Anim. Feed Sci. Technol.* 2005, 120, 51–65. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2005.01.004>

Makawi, A. B., Mustafa, A. I., Adiamo, O. Q., & Mohamed Ahmed, I. A. (2019). Quality attributes of Kisra prepared from sorghum flour fermented with baobab fruit pulp flour as starter. *Journal of Food Science and Technology*, 56, 3754–3763. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-03848-w>

Mancebo, C. M., Rodríguez, P., Martínez, M. M., & Gómez, M. (2018). Effect of the addition of soluble (nutriose, inulin and polydextrose) and insoluble (bamboo, potato and pea) fibres on the quality of sugar-snap cookies. *International Journal of Food Science & Technology*, 53(1), 129-136. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13566>

Mohapatra, D., Patel, A. S., Kar, A., Deshpande, S. S., & Tripathi, M. K. (2019). Effect of different processing conditions on proximate composition, anti-oxidants, antinutrients and amino acid profile of grain sorghum. *Food Chemistry*, 271, 129–135. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.07.196>

Oladiran, D.A.; Emmambux, N.M. Nutritional and Functional Properties of Extruded Cassava-Soy Composite with GrapePomace. *Starch* 2018, 70, 1700298. <https://doi.org/10.1002/star.201700298>

Olojede, A. O., Sanni, A. I., Banwo, K., & Adesulu-Dahunsi, A. T. (2020). Sensory and antioxidant properties and in-vitro digestibility of gluten-free sourdough made with selected starter cultures. *LWT-Food Science and Technology*, 129, Article 109576. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109576>

Sharanagat, V. S., Suhag, R., Anand, P., Deswal, G., Kumar, R., Chaudhary, A., et al. (2019). Physico-functional, thermo-pasting and antioxidant properties of microwave roasted sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench]. *Journal of Cereal Science*, 85, 111–119. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2018.11.013>

Shen, S., Huang, R., Li, C., Wu, W., Chen, H., Shi, J., et al. (2018). Phenolic compositions and antioxidant activities differ significantly among sorghum grains with different applications. *Molecules*, 23. <https://doi.org/10.3390/molecules23051203>

Smolensky, D., Rhodes, D., McVey, D. S., Fawver, Z., Perumal, R., Herald, T., et al. (2018). High-polyphenol sorghum bran extract inhibits cancer cell growth through ROS induction, cell cycle arrest, and apoptosis. *Journal of Medicinal Food*, 21, 990–998. : <https://doi.org/10.1089/jmf.2018.0008>

Sorour, M. A., Mehanni, A. E., Taha, E. M., & Rashwan, A. K. (2017). Changes of total phenolics, tannins, phytate and antioxidant activity of two sorghum cultivars as affected by processing. *Journal of Food and Dairy Sciences*, 8, 267–274. <https://doi.org/10.21608/jfds.2017.38699>

Thilakarathna, R.C.N.; Madhusankha, G.D.M.P.; Navaratne, S.B. Potential food applications of sorghum (*Sorghum bicolor*) and rapid screening methods of nutritional traits by spectroscopic platforms. *J. Food Sci.* 2022, 87, 36–51. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.16008>

Trappey, E.F.; Khouryieh, H.; Aramouni, F.; Herald, T. Effect of sorghum flour composition and particle size on quality properties of gluten-free bread. *Food Sci. Technol. Int.* 2015, 21, 188–202. <https://doi.org/10.1177/1082013214523632>

Winger, M.; Khouryieh, H.; Aramouni, F.; Herald, T. Sorghum Flour Characterization and Evaluation in Gluten-Free Flour Tortilla. *J. Food Qual.* 2014, 37, 95–106. <http://10.1111/jfq.12080>

Xiong, Y., Zhang, P., Luo, J., Johnson, S., & Fang, Z. (2019). Effect of processing on the phenolic contents, antioxidant activity and volatile compounds of sorghum grain tea. *Journal of Cereal Science*, 85, 6–14. 85. <https://10.1016/j.jcs.2018.10.012>

Xiong, Y.; Zhang, P.; Warner, R.D.; Fang, Z. Sorghum Grain: From Genotype, Nutrition, and Phenolic Profile to Its Health Benefits and Food Applications. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.* 2019, 18, 2025–2046. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12506>

Xu, S., Shen, Y., Xu, J., Qi, G., Chen, G., Wang, W., et al. (2019). Antioxidant and anticancer effects in human hepatocarcinoma (HepG2) cells of papain-hydrolyzed sorghum kafirin hydrolysates. *Journal of functional foods*, 58, 374–382. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2019.05.016>

CONTRIBUȚII ORIGINALE

Dinamica industriei de prelucrare a cerealelor și creșterea continuă a cererii consumatorilor pentru alimente cu destinație specială, cum ar fi cele cu indice glicemic mai mic, conținut mai mare de fibre, produsele fără gluten etc. sunt factorii cheie care îi determină pe cercetători și producători să găsească soluții de diversificare a varietății de produse pe bază de cereale.

Sorgul, una dintre așa-numitele cereale minore, este a șasea cea mai cultivată cereală din lume care continuă să fie importantă pentru securitatea alimentară și sănătate datorită adaptării la condițiile de mediu extreme și zonele agro-ecologice dure. În România, s-a remarcat în ultimii ani o creștere a suprafețelor cultivate cu sorg pentru boabe datorită adaptării lui în zonele agro-ecologice dure și la condițiile de mediu extreme.

În ultimii ani, există un interes considerabil pentru boabele de sorg, pentru potențialul lor nutrițional, conținutul fitochimic și utilizarea lor în produse fără gluten.

Diverse tehnologii de procesare aplicate cerealelor au oferit cercetătorilor oportunitatea și în același timp provocarea în încercarea de a obține materii prime și produse care să prezinte caracteristici nutriționale și funcționale de dorit. În acest sens, boabele de cereale au fost procesate prin aplicarea unor tratamente fizice, cum ar fi tratamentul termic și măcinarea, cu scopul de a reduce efectul negativ al factorilor antinutriționali și de a îmbunătăți compoziția în nutrienți precum și caracteristicile funcțional-tehnologice ale făinii de sorg, fără a compromite calitățile senzoriale.

Combinarea corectă a mai multor tehnologii de procesare a boabelor de sorg poate să conducă la îmbunătățirea profilului nutrițional și a funcționalității făinii de sorg, cu implicații asupra digestibilității și perioadei de valabilitate a produsului procesat dezvoltat.

Având în vedere obiectivele științifice propuse, pe parcursul cercetărilor desfășurate în cadrul tezei de doctorat s-au realizat studii privind *i*) efectele tratamentului termic uscat aplicat la două temperaturi diferite boabelor de sorg din două soiuri (sorg roșu și sorg alb) și ale fracționării asupra caracteristicilor fizico-chimice, funcțional-tehnologice și moleculare ale făinii integrale de sorg și fracțiilor de mărimi diferite, *ii*) determinarea temperaturii optime de tratare termică a boabelor de sorg și a fracțiilor optime de făină de sorg pentru a obține caracteristicile fizico-chimice și tehnologice dorite și *iii*) profilul nutrițional, tehnologic și funcțional al fracțiilor optime de făină de sorg.

Originalitatea cercetărilor efectuate, în conformitate cu obiectivele tezei de doctorat, constă într-o serie de elemente de noutate, care pot fi menționate drept contribuții științifice, după cum urmează:

- investigarea caracteristicilor fizico-chimice, moleculare, funcțional-tehnologice, a fracțiilor de amidon, a compușilor fenolici, a conținutului total de polifenoli și capacității antioxidante pentru făina integrală de sorg și granulațiilor de mărimi diferite ale făinii de sorg care provine din două soiuri de sorg cultivate în România, în zona de nord a Moldovei;

- studiul efectelor tratamentului termic uscat și ale măcinării boabelor de sorg alb și sorg roșu asupra caracteristicilor fizico-chimice ale făinii integrale de sorg precum și asupra granulațiilor de dimensiuni diferite ale făinii de sorg;

- studiul efectelor tratamentului termic uscat și ale măcinării boabelor de sorg asupra proprietăților funcțional-tehnologice și caracteristicilor moleculare ale făinii integrale de sorg și ale granulațiilor de mărimi diferite ale particulelor, în funcție de soiul de sorg;

- investigarea efectelor tratamentului termic uscat și ale măcinării boabelor de sorg asupra conținutului total de polifenoli și capacității antioxidante pentru făina integrală de sorg și granulațiile de mărimi diferite ale particulelor, în funcție de soiul de sorg;

- investigarea efectelor tratamentului termic uscat și ale măcinării boabelor de sorg asupra fracțiilor de amidon din făina integrală de sorg și granulațiilor de mărimi diferite ale particulelor, în funcție de soiul de sorg;

- analiza efectului combinat al temperaturii de tratare termică uscată și al mărimii fracțiilor făinii de sorg alb asupra compoziției fizico-chimice și proprietăților funcțional-tehnologice ale făinii de sorg alb și optimizarea condițiilor de procesare a boabelor de sorg alb;

- analiza efectului combinat al temperaturii de tratare termică uscată și al mărimii fracțiilor făinii de sorg roșu asupra compoziției fizico-chimice și proprietăților funcțional-tehnologice ale făinii de sorg roșu și optimizarea condițiilor de procesare a boabelor de sorg roșu;

- caracterizarea complexă a fracțiilor optime de făină de sorg alb și făină de sorg roșu care a inclus determinarea parametrilor de culoare, a caracteristicilor moleculare, termice, determinarea digestibilității *in vitro* a amidonului, a conținutului total de polifenoli, a activității antioxidante, a profilului de aminoacizi, de acizi grași, a conținutului de minerale și de compuși volatili, precum și testarea comportamentului vâscoelastic al aluatului din fracția optimă de făină de sorg.

Rezultatele obținute au arătat că anumite temperaturi ale tratamentului termic uscat și fracționarea la anumite granulozități au influențat favorabil compoziția și caracteristicile funcțional-tehnologice ale făinii de sorg, evidențiind astfel potențialul celor două tratamente fizice aplicate boabelor de sorg alb și roșu.

Cu toate acestea, este necesară o continuare a cercetărilor pentru a investiga efectele mai multor temperaturi ale tratamentului termic și ale fracționării asupra nutrienților, compușilor biologic activ și conținutului de antinutrienți din făina de sorg. De asemenea, o altă viitoare direcție de cercetare poate avea în vedere dezvoltarea de produse fără gluten prin utilizarea diverselor fracții de făină de sorg care prezintă compuși cu digestibilitate și biodisponibilitate sporită.

DISEMINAREA REZULTATELOR CERCETĂRII

A. Articole publicate în reviste indexate Web of Science, cu factor de impact

1. **Batariuc, A.**, Coțovanu, I., & Mironeasa, S. (2023). Sorghum flour features related to dry heat treatment and milling. *Foods*, 12(11), 2248, IF = 4,7 (Q1)
<https://doi.org/10.3390/foods12112248>
2. **Batariuc, A.**, Ungureanu-Iuga, M., & Mironeasa, S. (2022). Characterization of Sorghum Processed through Dry Heat Treatment and Milling. *Applied Sciences*, 12(15), 7630, IF = 2,7 (Q2) <https://doi.org/10.3390/app12157630>
3. **Batariuc, A.**, Iuga, M., & Mironeasa, S. (2021). Effects of Dry Heat Treatment and Milling on Sorghum Chemical Composition, Functional and Molecular Characteristics. *Applied Sciences*, 11(24), 1188, IF = 2,7 (Q2) <https://doi.org/10.3390/app112411881>

B. Articole publicate în reviste indexate în alte baze de date internaționale (BDI)

1. **Batariuc, A.**, Coțovanu, I., & Mironeasa, S. (2022). Influence of dry heat treatment on antioxidant activity and total polyphenol content of different sorghum particle sizes. *Food and Environment Safety Journal*, 21(3), XXI (3), 257 – 264, ISSN: 2559 - 6381.
<http://fens.usv.ro/index.php/FENS/article/view/918>

C. Lucrări comunicate la manifestări științifice internaționale

1. **Batariuc, A.**, Mironeasa, S. (2023). 88 International scientific conference of young scientist and students “*Youth scientific achievements to the 21st century nutrition problem solution*”, 3-7 aprilie 2023, Kiev, NUFT, Ucraina.
https://conference.nuft.edu.ua/young/Books%20of%20abstracts/2023/Part_1.pdf
2. **Batariuc, A.**, Mironeasa, S. (2022). Dry Heat Treatment and Milling Impact on Nutritional and Functional Properties of Red Sorghum. “*European Biotechnology Congress*”, 5-7 octombrie 2022, Praga, Cehia. European Biotechnology Congress 2022 - Poster Presentation Abstracts, The EuroBiotech Journal, 7(1), p. 32-74, DOI: 10.2478/ebtj-2023-0004
https://air.uniud.it/retrieve/b7dffec3-7ec0-4936-8c3e-a2528bcce148/10.2478_ebtj-2023-0004.pdf
3. **Batariuc, A.**, Mironeasa, S. (2022). Sorghum for the diversification of bakery product, “*6th International Education and Innovative Sciences Congress*”, 24-25 noiembrie, Burdur Mehmet Akif Ersoy University, Turcia, online, Abstract Book, p. 774, ISSN: 978-625-6380-82-0.
4. **Batariuc, A.**, Mironeasa, S. (2022). Valorization of the potential sorghum to design new food products, International Conference for Students “*Student in Bucovina*” 10 noiembrie 2022, Suceava, România, Book of Abstract, p. 14, ISSN: 2068-7648.
https://fiajournal.usv.ro/sib2022/doc/2022/abstracts_sib_2022_9_11.pdf
5. **Batariuc, A.**, Mironeasa, S. (2021). Effects of dry heat treatment and milling on sorghum chemical composition, functional and molecular characteristics, “*8th Edition of Biotechnologies-Present and Perspectives*”, 5 noiembrie 2021, Suceava, România. Book of Abstract, p. 39, ISSN: 2068-0819. <https://fiajournal.usv.ro/conference2021/>

6. **Batariuc, A.** (2021), Sorgo para diversificar productos de panaderia, “X Seminario transdisciplinario de tesisistas y otros actores locales trabajando en la cuenca Presa de Guadalupe” – online, 17-18 mai, Tlazala, Estado de Mexico, Mexico.
7. **Batariuc, A.,** Mironeasa, S. (2020). The impact of dry heat treatment and milling of sorghum grains on physico-chemical and functional properties of flour, International Conference for Students ”Student in Bucovina” 9th Edition, Suceava, Romania, 18 Decembrie, 2020. Book of Abstract, p. 13, ISSN: 2068-7648.

D. Alte publicații în domeniul tezei de doctorat indexate Web of Science, cu factor de impact (Q1 și Q2)

1. Coțovanu, I., **Batariuc, A.**, & Mironeasa, S. (2020). Characterization of quinoa seeds milling fractions and their effect on the rheological properties of wheat flour dough. *Applied Sciences*, 10(20), 7225, IF = 4,7 (Q2) <https://doi.org/10.3390/app10207225>
2. Iuga, M., **Batariuc, A.**, & Mironeasa, S. (2021). Synergistic effects of heat-moisture treatment regime and grape peels addition on wheat dough and pasta features. *Applied Sciences*, 11(12), 5403, IF = 4,7 (Q2) <https://doi.org/10.3390/app11125403>
3. Grigore, D. M., Mironeasa, S., Ciurescu, G., Ungureanu-Iuga, M., **Batariuc, A.**, & Babeanu, N. E. (2023). Carcass yield and meat quality of broiler chicks supplemented with yeasts bioproducts. *Applied Sciences*, 13(3), 1607, IF = 4,5 (Q1). <https://doi.org/10.3390/app13031607>
4. Khalil, E., Sultan, M. T., Khalid, W., Khalid, M. Z., Rahim, M. A., Saleem, S. R., Luca I.-M., Mironeasa C., **Batariuc A.**, Ungureanu-Iuga M., Coțovanu I., Mironeasa, S. (2023). Evaluation of different Terminalia chebula varieties and development of functional muffins. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 7, 1227851, IF = 3,7 (Q2). <https://doi.org/10.3389/fsufs.2023.1227851>
5. Ejaz, A., Waliat, S., Arshad, M. S., Khalid, W., Khalid, M. Z., Rasul Suleria, H. A., Luca I.-M., Mironeasa C., **Batariuc A.**, Ungureanu-Iuga M., Coțovanu I., Mironeasa, S. (2023). A comprehensive review of summer savory (*Satureja hortensis* L.): Promising ingredient for production of functional foods. *Frontiers in Pharmacology*, 14, 1198970, IF = 4,4 (Q1). <https://doi.org/10.3389/fphar.2023.1198970>

E. Participări la conferințe în domeniul tezei de doctorat

1. **Batariuc, A.**, Mironeasa S., Ungureanu-Iuga M., Mironeasa C. (2023). Characterization of maize flour-grape pomace mixtures for snack production, The International Multidisciplinary Scientific Conferences on Earth and Planetary Sciences SGEM, 10th Edition of the International Scientific Conference SWS Vienna GREEN 2023, Vienna, Austria.

F. Membru în proiect de cercetare

1. PN-III-P4-PCE-2021-0718, *Abordare inovatoare pentru a dezvolta produse de tip snack cu valoare adăugată prin tehnologia de extrudare*” (INADEXT), contract de finanțare nr. PCE 60/2022.