

**Universitatea „Dunărea de Jos” din Galați**  
**Școala doctorală de Științe Fundamentale și Inginerești**



# **TEZĂ DE DOCTORAT**

## **REZUMAT**

**Dezvoltarea unor ingrediente pe bază de  
compuși biologic activi din cojile de ceapă  
roșie pentru utilizare în industria alimentară**

**Doctorand,  
Florina STOICA**

**Conducător științific,  
Prof. univ. dr. ing. Gabriela RÂPEANU**

**Seria I.7: INGINERIA PRODUSELOR ALIMENTARE Nr. 17**

**GALAȚI**

**2023**

**Universitatea „Dunărea de Jos” din Galați**  
**Școala doctorală de Științe fundamentale și ingineresti**



## **TEZĂ DE DOCTORAT**

**Dezvoltarea unor ingrediente pe bază de  
compuși biologic activi din cojile de ceapă  
roșie pentru utilizare în industria alimentară**

**(Rezumatul tezei de doctorat)**

**Doctorand,**

**Florina STOICA**

**Președinte comisie**

**Prof. univ. dr. ing. Gabriela Elena BHRIM**

**Conducător științific**

**Prof. univ. dr. ing. Gabriela RÂPEANU**

**Referenți științifici**

**Prof. univ. dr. ing. Mariana-Atena POIANĂ**

**Prof. univ. dr. ing. Mircea-Adrian OROIAN**

**Prof. univ. dr. ing. Nicoleta STĂNCIUC**

**Seria I.7: INGINERIA PRODUSELOR ALIMENTARE Nr. 17**

**GALAȚI**

**2023**

**Seriile tezelor de doctorat susținute public în UDJG începând cu 1 octombrie 2013 sunt:**

**Domeniul ȘTIINȚE INGINEREȘTI**

Seria I 1: **Biotehnologii**

Seria I 2: **Calculatoare și tehnologia informației**

Seria I 3: **Inginerie electrică**

Seria I 4: **Inginerie industrială**

Seria I 5: **Ingineria materialelor**

Seria I 6: **Inginerie mecanică**

Seria I 7: **Ingineria produselor alimentare**

Seria I 8: **Ingineria sistemelor**

Seria I 9: **Inginerie și management în agicultură și dezvoltare rurală**

**Domeniul ȘTIINȚE SOCIALE**

Seria E 1: **Economie**

Seria E 2: **Management**

Seria E 3: **Marketing**

Seria SSEF: **Știința sportului și educației fizice**

**Domeniul ȘTIINȚE UMANISTE ȘI ARTE**

Seria U 1: **Filologie-Engleză**

Seria U 2: **Filologie-Română**

Seria U 3: **Istorie**

Seria U 4: **Filologie-Franceză**

**Domeniul MATEMATICĂ ȘI ȘTIINȚE ALE NATURII**

Seria C: **Chimie**

**Domeniul ȘTIINȚE BIOLOGICE ȘI BIOMEDICALE**

Seria M: **Medicină**

Seria F: **Farmacie**

## CUPRINS

Denumire	Pag. teză	Pag. rezumat
Introducere	12	6
Introduction	15	-
<b>I. STUDIUL DOCUMENTAR</b>		-
<b>Considerații teoretice referitoare la funcționalitatea compușilor biologic activi din cojile de ceapă roșie</b>	18	-
<b>CAPITOLUL 1. Aspecte botanice, morfologice și compoziționale ale cepei (<i>Allium cepa</i> L.)</b>	19	-
1.1. Aspecte botanice și morfologice ale cepei ( <i>Allium cepa</i> L.)	19	-
1.2. Compoziția fizico-chimică și fitochimică a cepei ( <i>Allium cepa</i> L.)	20	-
1.3. Funcțiile biologice ale compușilor biologic activi din cojile de ceapă ( <i>Allium cepa</i> L.)	26	-
1.4. Prelucrarea industrială a cepei și valorificarea subproduselor de ceapă	30	-
1.5. Bibliografie	32	-
<b>CAPITOLUL 2. Principalele tehnici de extracție utilizate pentru separarea compușilor biologic activi din ceapă (<i>Allium cepa</i> L.)</b>	38	-
2.1. Aspecte teoretice privind extracția compușilor biologic activi	38	-
2.2. Tehnici convenționale de extracție	39	-
2.3. Tehnici moderne de extracție	41	-
2.4. Bibliografie	44	-
<b>CAPITOLUL 3. Aspecte teoretice privind microîncapsularea compușilor biologic activi din matrici vegetale</b>	47	-
3.1. Aspecte generale	47	-
3.2. Principalele tehnici de microîncapsulare utilizate în industria alimentară	48	-
3.3. Aplicații ale microîncapsulării în industria alimentară	51	-
3.4. Bibliografie	52	-
<b>II. STUDIUL EXPERIMENTAL</b>		-
<b>Cercetări privind valorificarea compușilor bioactivi din cojile de ceapă roșie: extracție, caracterizare avansată fitochimică și perspective pentru utilizare în industria alimentară</b>	54	-
<b>CAPITOLUL 4. Optimizarea extracției compușilor bioactivi din cojile de ceapă roșie</b>	55	10
4.1. Introducere	55	10
4.2. Obiectivele studiului	56	10
4.3. Materiale și metode	57	10
4.3.1. Reactivi utilizați	57	-
4.3.2. Aparatura de laborator	57	-
4.4. Pregătirea inițială a cojiilor de ceapă roșie	57	-
4.5. Metode de extracție utilizate pentru analiza comparativă a diferitelor tehnici de extracție	57	-
4.5.1. Extracția convențională cu solvenți a compușilor biologic activi din cojile de ceapă roșie	57	-
4.5.2. Extracția cu etanol asistată de ultrasunete a compușilor biologic activi din cojile de ceapă roșie	58	-
4.5.3. Extracția cu etanol asistată de microunde a compușilor biologic activi din cojile de ceapă roșie	58	-
4.5.4. Extracția cu adaos de preparate enzimactice a compușilor biologic activi din cojile de ceapă roșie	58	-
4.6. Caracterizarea fitochimică a extractelor	58	-

4.6.1. Determinarea conținutului de antociani totali (AT)	58	-
4.6.2. Determinarea conținutului de flavonoide totale (FT)	59	-
4.6.3. Determinarea conținutului de polifenoli totali (PT)	60	-
4.6.4. Determinarea activității antioxidante (AA)	60	-
4.7. Metode utilizate în experimentele de optimizare și validare a extracției convenționale cu solvenți	61	-
4.8. Analiza statistică a datelor	61	
<b>4.9. Rezultate și discuții</b>	62	11
4.10. Evaluarea compușilor biologic activi din extractele obținute din cojile de ceapă roșie prin diferite metode de extracție	62	11
4.10.1. Conținutul de AT obținut prin diferite metode de extracție	62	-
4.10.2. Conținutul de FT obținut prin diferite metode de extracție	66	-
4.10.3. Conținutul de PT obținut prin diferite metode de extracție	70	-
4.10.4. Activitatea antioxidantă a extractelor obținute prin diferite metode de extracție	73	-
4.11. Optimizarea condițiilor de extracție a AT și a activității antioxidante din cojile de ceapă roșie prin extracția convențională cu solvenți	77	12
4.12. Validarea modelului	81	14
4.13. Concluzii parțiale	81	15
4.14. Bibliografie	83	-
<b>CAPITOLUL 5. Caracterizarea fitochimică avansată a extractului optimizat obținut din cojile de ceapă roșie</b>	87	17
5.1. Introducere	87	17
5.2. Obiectivele studiului	88	17
5.3. Materiale și metode	88	-
5.3.1. Reactivi utilizați	88	-
5.3.2. Aparatura de laborator	89	-
5.4. Extracția compușilor bioactivi	89	-
5.5. Caracterizarea fitochimică a extractelor din cojile de ceapă roșie	89	-
5.6. Analiza cromatografică a compușilor biologic activi din extractul din cojile de ceapă roșie cu ajutorul cromatografiei lichide de înaltă performanță (HPLC)	89	-
5.7. Tratamentul termic	90	-
5.8. Modelarea matematică și analiza cinetică a procesului de degradare termică a compușilor biologic activi din extractul din cojile de ceapă roșie	90	-
5.9. Investigații de modelare moleculară privind comportamentul antocianilor la tratamentul termic	91	-
5.10. Determinarea parametrilor termodinamici a compușilor biologic activi	92	-
5.11. Evaluarea activității de inhibare <i>in vitro</i> a extractului din cojile de ceapă roșie asupra enzimelor implicate în sindromul metabolic și procesele pro-inflamatorii	92	-
5.11.1. Inhibarea activității $\alpha$ -amilazei	92	-
5.11.2. Inhibarea activității $\alpha$ -glucozidazei	93	-
5.11.3. Inhibarea activității lipazei pancreatice	93	-
5.11.4. Inhibarea activității lipoxigenazei (LOX)	93	-
5.12. Testarea <i>in silico</i> a legării antocianilor (liganților) de enzime	94	-
5.13. Analiza statistică a datelor	94	-
5.14. <b>Rezultate și discuții</b>	94	18
5.15. Profilul cromatografic al compușilor polifenolici din extractul din cojile de ceapă roșie	94	18
5.16. Influența tratamentului termic asupra conținutului de compuși bioactivi din extractul obținut din cojile de ceapă roșie	97	19
5.16.1. Influența tratamentului termic asupra conținutului de AT	97	19
5.16.2. Influența tratamentului termic asupra conținutului de FT	98	19

5.16.3. Influența tratamentului termic asupra conținutului de PT	100	20
5.16.4. Influența tratamentului termic asupra activității antioxidante	101	20
5.17. Cinetica de degradare termică a compușilor biologic activi din extractul obținut din cojile de ceapă roșie	102	21
5.18. Comportamentul la temperatură a moleculelor de antociani estimat prin tehnici de modelare moleculară	109	22
5.19. Determinarea parametrilor termodinamici	109	23
5.20. Studii <i>in vitro</i> asupra activității enzimelor implicate în sindromul metabolic și procesele pro-inflamatorii	111	23
5.21. Testarea <i>in silico</i> a legării antocianilor (liganzilor) de enzime	115	24
5.22. Concluzii parțiale	116	25
5.23. Bibliografie	118	-
<b>CAPITOLUL 6. Obținerea ingredientelor pe bază de compuși biologic activi din cojile de ceapă roșie pentru utilizare în industria alimentară</b>	124	28
6.1. Introducere	124	28
6.2. Obiectivele studiului	125	28
6.3. Materiale și metode	125	28
6.3.1. Reactivi utilizați	125	-
6.3.2. Aparatura de laborator	125	-
6.4. Extracția compușilor fitochimici	125	-
6.5. Obținerea variantelor experimentale de microîncapsulare a compușilor biologic activi din cojile de ceapă roșie în diferite matrici prin diferite tehnici de microîncapsulare	126	-
6.6. Evaluarea eficienței de încapsulare (E <sub>i</sub> ) a antocianilor	129	-
6.7. Caracterizarea fitochimică a variantelor experimentale	129	-
6.8. Studiul parametrilor de culoare a microcapsulelor	130	-
6.9. Digestibilitatea <i>in vitro</i> a microcapsulelor	130	-
6.10. Studii privind stabilitatea compușilor fitochimici pe durata depozitării	130	-
6.11. Structura și morfologia pudrelor microîncapsulate cu ajutorul microscopiei de scanare electronică (SEM)	130	-
6.12. Analiza statistică a datelor	131	-
6.13. <b>Rezultate și discuții</b>	131	29
6.14. Analiza comparativă a eficienței încapsulării și caracterizarea fitochimică a variantelor experimentale microîncapsulate	131	29
6.15. Caracterizarea fitochimică a variantelor experimentale microîncapsulate selectate	133	30
6.16. Studiul parametrilor de culoare a microcapsulelor	134	-
6.17. Digestibilitatea <i>in vitro</i> a microcapsulelor	135	30
6.18. Studii privind stabilitatea compușilor fitochimici pe durata depozitării	136	31
6.19. Analiza morfologică și structurală a variantelor microîncapsulate prin microscopia de scanare cu electroni (SEM)	138	32
6.20. Concluzii parțiale	142	32
6.21. Bibliografie	142	-
<b>CAPITOLUL 7. Dezvoltarea unor produse alimentare cu valoare adăugată prin încorporarea pudrelor obținute</b>	146	33
7.1. Introducere	146	33
7.2. Obiectivele studiului	147	33
7.3. Materiale și metode	147	34
7.3.1. Obținerea sosului tahini tip dressing pentru salată cu adaos de pudră (V10)	147	34
7.3.2. Obținerea sosului de iaurt tip dressing pentru salată cu adaos de pudră (V12)	148	34
7.3.3. Obținerea produsului de tip biscuiti apertiv cu valoare adăugată cu	148	35

adaos de pudră (V14)		
7.4. Determinarea caracteristicilor fitochimice	150	-
7.5. Stabilitatea compușilor fitochimici în timpul depozitării produselor	150	-
7.6. Determinarea caracteristicilor fizico-chimice	150	-
7.7. Studii colorimetrice	150	-
7.8. Analiza instrumentală a texturii	151	-
7.9. Determinarea caracteristicilor reologice	151	-
7.10. Analiza senzorială	151	-
7.11. Analiza statistică a datelor	152	-
<b>7.12. Rezultate și discuții</b>	152	35
7.12.1. Caracterizarea și evaluarea stabilității compușilor fitochimici la depozitarea sosului tahini cu valoare adăugată	152	35
7.12.2. Caracterizarea fizico-chimică a sosului tahini cu valoare adăugată	153	36
7.12.3. Analiza parametrilor colorimetrici ai sosului tahini cu valoare adăugată	154	-
7.12.4. Analiza texturii sosului tahini cu valoare adăugată	155	37
7.12.5. Comportamentul reologic al sosului tahini cu valoare adăugată	156	37
7.12.6. Analiza senzorială a sosului tahini cu valoare adăugată	157	38
7.12.7. Caracterizarea fitochimică și evaluarea stabilității la depozitare a sosului de iaurt cu valoare adăugată	159	39
7.12.8. Caracterizarea fizico-chimică a sosului de iaurt cu valoare adăugată	160	40
7.12.9. Analiza parametrilor colorimetrici ai sosului de iaurt cu valoare adăugată	160	-
7.12.10. Analiza texturii pentru sosul de iaurt cu valoare adăugată	161	40
7.12.11. Comportamentul reologic al sosului de iaurt cu valoare adăugată	162	41
7.12.12. Analiza senzorială a sosului de iaurt cu valoare adăugată	164	42
7.12.13. Caracterizarea fitochimică și evaluarea stabilității la depozitare a biscuiților aperitiv (tip crackers) cu valoare adăugată	165	43
7.12.14. Caracterizarea fizico-chimică a biscuiților aperitiv cu valoare adăugată	167	44
7.12.15. Analiza parametrilor colorimetrici ai biscuiților aperitiv cu valoare adăugată	167	-
7.12.16. Analiza senzorială a biscuiților aperitiv cu valoare adăugată	168	44
7.13. Concluzii parțiale	169	45
7.14. Bibliografie	170	-
<b>CAPITOLUL 8. Concluzii finale</b>	173	47
<b>CAPITOLUL 9. Contribuții originale și perspective de continuare a studiilor</b>	176	50
<b>CAPITOLUL 10. Valorificarea rezultatelor</b>	178	51
<b>CAPITOLUL 11. Anexe</b>	181	-
Anexa 1. Lista figurilor	181	-
Anexa 2. Lista tabelelor	183	-
Anexa 3. Fișă de analiză senzorială a variantelor experimentale de sos tahini cu valoare adăugată	185	-
Anexa 4. Fișă de analiză senzorială a variantelor experimentale de sos de iaurt cu valoare adăugată	186	-
Anexa 5. Fișă de analiză senzorială a variantelor experimentale de biscuiți aperitiv cu valoare adăugată	187	-

**Cuvinte cheie:** coji de ceapă roșie, compuși biologic activi, antociani, microîncapsulare, ingrediente naturale, produse cu valoarea adăugată

## **Introducere**

Este de așteptat ca populația globală să crească de la 7,7 miliarde (anul 2019) la 9,7 miliarde în anul 2050, din acest motiv există mai multe preocupări cu privire la utilizarea subproduselor rezultate de la prelucrarea vegetalelor (**Chiocchio și colab., 2021**). Fără îndoială, aceste premise provoacă trecerea societății către o dezvoltare mai durabilă. În acest scenariu, deșeurile și subprodusele din industriile alimentare și agricole câștigă atenția internațională, din cauza numărului tot mai mare generat în țările dezvoltate și pentru problemele asociate cu poluarea. Pentru gestionarea corectă a acestor subproduse este necesară o schimbare decisivă în sistemul agroalimentar. Economia circulară promite a fi o opțiune eficientă pe termen lung pentru prevenirea, reutilizarea sau recuperarea resurselor naturale și a subproduselor derivate. Scopul este de a reintroduce pe linia de producție subprodusele ca materie primă pentru obținerea de noi produse cu beneficii importante pentru sănătate și valoare adăugată în industrie prin tehnologia durabilă de extragere a componentelor nutritive (**Osorio și colab., 2021**).

Cojile de ceapă roșie sunt obținute ca subproduse în industria de procesare și prelucrare a cepei roșii, cu cantități uriașe de produse secundare generate anual în întreaga lume. O mare parte din cantitatea de subproduse este direcționată către depozitele de deșeuri nefiind potrivite pentru hrana animalelor sau ca îngrășământ din cauza creșterii rapide a fitopatogenilor. Din punct de vedere al profilului fitochimic global, cojile de ceapă roșie oferă o oportunitate de valorificare a unor compuși biologic activi, cu funcții biologice bine determinate pentru organismul uman. Având în vedere caracteristicile antioxidante ale cojilor de ceapă, aceste materiale pot fi utile în multe aspecte industriale alimentare în care este implicată prevenirea deteriorării oxidative sau a formării radicalilor liberi. Prin urmare, calitatea alimentelor, prelungirea duratei de depozitare și proprietățile senzoriale pot fi îmbunătățite sau menținute prin dezvoltarea acestor caracteristici. Astfel, aceste subproduse de ceapă pot fi folosite ca resursă naturală, ieftină și ușor disponibilă pentru obținerea de ingrediente valoroase, în special antioxidanți (antociani) (**Chadorshabi și colab., 2022**).

În industria alimentară, antocianii au aplicații importante ca antioxidanți și coloranți naturali. Principala justificare pentru utilizarea acestora este prezența lor pe piața ingredientelor alimentare funcționale. În anul 2017, această piață a fost evaluată la peste 64 de miliarde de dolari și are o proiecție de creștere de 6,6% pentru anul 2023 când valoarea de piață va depăși cele 64 de miliarde de dolari (**Echegaray și colab., 2020**). Cu toate acestea, utilizarea antocianilor ca aditivi alimentari naturali este condiționată de extracția și stabilizarea prealabilă a acestor compuși activi. Din această perspectivă, tematica tezei de doctorat a vizat extracția, cuantificarea și stabilizarea antocianilor pentru a îmbunătăți manipularea acestor compuși în industria alimentară. În plus, această lucrare explorează și potențialul acestor



## Dezvoltarea unor ingrediente pe bază de compuși biologic activi din cojile de ceapă roșie pentru utilizare în industria alimentară

---

biomolecule ca ingrediente naturale în formularea alimentelor cu valoare adăugată.

Teza de doctorat intitulată **”Dezvoltarea unor ingrediente pe bază de compuși biologic activi din cojile de ceapă roșie pentru utilizare în industria alimentară”** a vizat studiul comportamentului biochimic și funcțional al compușilor biologic activi din cojile de ceapă roșie, în principal antocianii, prin extracția, cuantificarea și evaluarea potențialului biologic activ în vederea stabilirii unor direcții inovative de valorificare a compușilor bioactivi din cojile de ceapă roșie (*Allium cepa* L.) prin dezvoltarea unor tehnologii de obținere a unor produse cu valoare adăugată cu beneficii pentru sănătatea consumatorilor.

Cercetările derulate pe parcursul studiilor de doctorat au vizat următoarele **obiective științifice**:

- Testarea diferitelor tehnici de extracție pentru obținerea unor extracte antocianice bogate în compuși biologic activi, cu funcții definite, cum ar fi activitatea antioxidantă;
- Stabilirea profilului fitochimic al extractelor din cojile de ceapă roșie (*Allium cepa* L.), prin optimizarea condițiilor de extracție, identificarea și cuantificarea compușilor bioactivi din cojile de ceapă roșie în corelație cu activitatea antioxidantă;
- Evaluarea comportamentului la tratamentul termic al compușilor polifenolici din extractele din cojile de ceapă roșie la diferite regimuri termice (de la 75 la 155 °C), cu scopul de a evidenția cinetica de degradare și de a stabili condițiile optime de obținere, procesare și păstrare a produselor bogate în compuși biologic activi;
- Evaluarea *in vitro* a activității biologice a extractului din cojile de ceapă roșie, prin calcularea potențialului de inhibiție asupra unor enzime implicate în sindromul metabolic și procesele pro-inflamatorii;
- Dezvoltarea unor proceduri de valorificare a antocianilor din cojile de ceapă roșie prin tehnici de microîncapsulare combinate, cu obținerea unor ingrediente naturale cu funcționalitate ridicată din perspectiva integrării în alimente cu valoare adăugată;
- Dezvoltarea de variante tehnologice de obținere a unor produse alimentare cu valoare adăugată prin valorificarea ingredientelor microîncapsulate cu extract din cojile de ceapă roșie și caracterizarea produselor obținute din punct de vedere al conținutului în compuși fitochimici, a stabilității la depozitare, fizico-chimic și senzorial.

Teza de doctorat este structurată în două părți, și 9 capitole, după cum urmează:

## Dezvoltarea unor ingrediente pe bază de compuși biologic activi din cojile de ceapă roșie pentru utilizare în industria alimentară

---

- I. **STUDIUL DOCUMENTAR**, intitulat "CONSIDERAȚII TEORETICE REFERITOARE LA FUNCȚIONALITATEA COMPUȘILOR BIOLOGIC ACTIVI DIN COJILE DE CEAPĂ ROȘIE" cuprinde trei capitole și prezintă sintetizat date recente din literatura de specialitate privind caracteristicile compușilor bioactivi (în principal antociani) prezenți în ceapa roșie și impactul pe care îl au aceștia în industria alimentară, subliniind efectele benefice asupra sănătății. Sunt prezentate de asemenea date teoretice și practice ale tehnicilor de extracție și a celor de microîncapsulare.
- II. **STUDIUL EXPERIMENTAL** intitulat "CERCETĂRI PRIVIND VALORIFICAREA COMPUȘILOR BIOACTIVI DIN COJILE DE CEAPĂ ROȘIE: EXTRACȚIE, CARACTERIZARE AVANSATĂ FITOCHIMICĂ ȘI PERSPECTIVE PENTRU UTILIZARE ÎN INDUSTRIA ALIMENTARĂ" cuprinde rezultatele studiilor de cercetare desfășurate pe întreaga durată a stagiului doctoral, și este alcătuit din patru capitole prezentate succint în continuare:

**CAPITOLUL 4**, intitulat "OPTIMIZAREA EXTRACȚIEI COMPUȘILOR BIOACTIVI DIN COJILE DE CEAPĂ ROȘIE", prezintă rezultatele obținute în cadrul experimentelor de extracție și caracterizare fitochimică a compușilor biologic activi (antociani, flavonoide, polifenoli) și a activității antioxidante prin utilizarea metodelor spectrofotometrice; optimizarea și validarea extracției antocianilor și a activității antioxidante din extractele obținute din cojile de ceapă roșie.

**CAPITOLUL 5**, intitulat "CARACTERIZAREA FITOCHIMICĂ AVANSATĂ A EXTRACTULUI OPTIMIZAT OBȚINUT DIN COJILE DE CEAPĂ ROȘIE" prezintă rezultatele obținute de la extracția, separarea, identificarea și cuantificarea compușilor biologic activi (antociani, flavonoide) prin utilizarea tehnicilor de cromatografie lichidă de înaltă performanță (HPLC); rezultatele obținute de la evaluarea impactului tratamentului termic asupra compușilor biologic activi și activității antioxidante la diferite combinații de temperatură-timp; date privind modelarea rezultatelor cineticii de degradare termică cu ajutorul modelelor matematice a cineticii de degradare, parametrii cinetici și termodinamici estimați, din perspectiva utilizării extractului din cojile de ceapă roșie în diferite aplicații practice, care implică utilizarea tratamentului termic. De asemenea capitolul mai cuprinde și evaluarea potențialului de inhibiție a extractului din cojile de ceapă roșie asupra unor enzime implicate în sindromul metabolic și procesele pro-inflamatorii.

**CAPITOLUL 6**, intitulat "OBȚINEREA INGREDIENTELOR PE BAZĂ DE COMPUȘI BIOLOGIC ACTIVI DIN COJILE DE CEAPĂ ROȘIE PENTRU UTILIZARE ÎN INDUSTRIA ALIMENTARĂ" prezintă rezultatele obținute în etapele de microîncapsulare a antocianilor din extractul din cojile de ceapă roșie și dezvoltarea de ingrediente naturale care exploatează potențialul funcțional al extractului microîncapsulat, precum și caracterizarea

## Dezvoltarea unor ingrediente pe bază de compuși biologic activi din cojile de ceapă roșie pentru utilizare în industria alimentară

---

pudrelor rezultate, din punct de vedere al conținutului în compuși fitochimici, a activității antioxidante, colorimetric, structural și morfologic, a digestibilității *in vitro* și a stabilității la depozitare.

**CAPITOLUL 7**, intitulat "DEZVOLTAREA UNOR PRODUSE ALIMENTARE CU VALOARE ADĂUGATĂ PRIN ÎNCORPORAREA PUDRELOR OBȚINUTE" prezintă rezultatele obținute care au contribuit la elaborarea unor tehnologii pentru obținerea unor produse cu valoare adăugată prin valorificarea pudrelor microîncapsulate cu extract din cojile de ceapă roșie, respectiv obținerea unui sos tahini tip dressing și a unui sos de iaurt tip dressing pentru salată, precum și o tehnologie de obținere a unor biscuiți aperitiv cu valoare adăugată.

Fiecare capitol al studiului experimental este structurat astfel: Introducere, Obiectivele studiului, Materiale și metode, Rezultate și discuții, Concluzii parțiale și Bibliografie.

**CAPITOLUL 8, CONCLUZII FINALE**, prezintă principalele concluzii rezultate din experimentele realizate.

**CAPITOLUL 9, CONTRIBUȚII ORIGINALE ȘI PERSPECTIVE DE CONTINUARE A STUDIILOR** descrie principalele contribuții cu impact în dezvoltarea cunoașterii în tematica abordată și perspectivele propuse de continuare a studiilor.

**CAPITOLUL 10, VALORIFICAREA REZULTATELOR** redă diseminarea rezultatelor obținute în cadrul tezei de doctorat.

Teza de doctorat cuprinde 191 pagini, în care sunt incluse 30 de figuri și 43 de tabele. Studiul documentar reprezintă 25 % iar partea experimentală 75 %.

În final, sunt redade contribuțiile originale ale tezei de doctorat și modul cum s-a realizat diseminarea rezultatelor obținute în cadrul tezei de doctorat. Aceste contribuții originale au un impact remarcabil asupra dezvoltării cunoașterii în domeniu, cât și a perspectivelor de aprofundare a studiilor și de continuare a cercetărilor. Astfel, rezultatele cercetărilor au fost valorificate prin elaborarea a **3 articole științifice publicate**, în reviste cotate ISI (Food Chemistry: X, Antioxidants, Plants), **2 articole științifice publicate**, în reviste indexate ISI (Inventions, The Annals of the University Dunarea de Jos of Galati Fascicle VI-Food Technology), precum și **15 comunicări** la manifestări științifice reprezentative pentru domeniul ingineriei produselor alimentare, din străinătate și din țară.

Activitățile de cercetare din cadrul tezei de doctorat au fost derulate cu ajutorul infrastructurii moderne de cercetare a *Centrului integrat de cercetare, expertiză și transfer tehnologic (BioAliment-TehnIA)* ([www.bioaliment.ugal.ro](http://www.bioaliment.ugal.ro)), din cadrul Facultății Știința și Ingineria Alimentelor, Universitatea "Dunărea de Jos" din Galați. Teza s-a realizat sub coordonarea științifică a Prof.univ.dr.ing.habil. Gabriela RĂPEANU, în calitate de conducător de doctorat și a comisiei de îndrumare alcătuită din: Prof.univ.dr.ing.habil. Gabriela Elena BAHRIM, Prof.univ.dr.ing.habil. Iuliana APRODU și Prof.univ.dr.ing.habil. Nicoleta STĂNCIUC.

## **CAPITOLUL 4. Optimizarea extracției compușilor bioactivi din cojile de ceapă roșie**

### **4.1. Introducere**

Ceapa este cea mai răspândită legumă cultivată și consumată din lume, fiind recunoscută ca o sursă importantă de fitonutrienți valoroși precum acizi fenolici, flavonoide, fructooligozaharide, tiosulfinați și alți compuși ai sulfului (Slimestad și colab., 2007). Extracția este o etapă importantă în separarea și purificarea componentelor bioactive din materialul vegetal. În general, eficiența extracției este influențată de mai mulți factori, cum ar fi dimensiunea particulelor matricei vegetale, tipul și concentrația de solvent, raportul solid-solvent, timpul, temperatura, pH-ul etc. (Sagar și colab., 2018). Pentru recuperarea compușilor bioactivi din subprodusele derivate din plante pot fi aplicate diferite tehnici de extracție.

### **4.2. Obiectivele studiului**

În acest prim capitol experimental, s-au urmărit următoarele obiective științifice:

- Testarea a patru tehnici de extracție (convențională, asistată de ultrasunete, asistată de microunde și utilizarea de preparate enzimatice) și a patru parametri de extracție (timp, temperatură, concentrație de etanol și acizi) asupra compușilor bioactivi din cojile de ceapă roșie din perspectiva obținerii unor extracte bogate în compuși biologic activi cu o activitate antioxidantă remarcabilă;
- Evaluarea comparativă a profilului fitochimic (conținutul de antociani totali (AT), flavonoide totale (FT), polifenoli totali (PT) și antioxidant al extractelor obținute din cojile de ceapă roșie utilizând tehnici de evaluare spectrofotometrice;
- Optimizarea și validarea condițiilor de extracție pentru conținutul de AT și a activității antioxidante din extractul din cojile de ceapă roșie obținut în urma extracției convenționale cu solvenți prin testarea influenței a patru factori și anume: concentrația de etanol și de acid citric, timpul de extracție și temperatura de extracție. A fost utilizată matricea de proiecție central composite design (CCD) cu patru factori, cu trei replici în punctele centrale și 21 de variante experimentale. Ulterior a fost analizat modelul de extracție validat și ar putea reprezenta o referință pentru aplicarea pe scară largă a extracției antocianilor din cojile de ceapă roșie.

### **4.3. Materiale și metode**

Extracția compușilor biologic activi din cojile de ceapă roșie s-a realizat prin extracție convențională cu etanol asistată de ultrasunete, prin extracție cu etanol asistată de microunde și prin extracție cu adaos de

## Dezvoltarea unor ingrediente pe bază de compuși biologic activi din cojile de ceapă roșie pentru utilizare în industria alimentară

preparate enzimatic. În vederea caracterizării fitochimice a extractelor, conținutul de AT s-a determinat prin metoda spectrofotometrică a pH-ului diferențial, rezultatele au fost exprimate ca mg echivalent cianidin-3-O-glucozid (C3G)/g s.u. pentru determinarea conținutului de FT s-a utilizat metoda colorimetrică, pe bază de  $AlCl_3$ , iar rezultatele au fost raportate ca mg echivalent quercetină (EQ)/g s.u. conținutul de PT s-a determinat prin metoda colorimetrică Folin-Ciocalteu și rezultatele au fost exprimate în mg echivalent acid galic (EAG)/g s.u. iar pentru determinarea activității antioxidante a extractelor s-a utilizat metoda care utilizează DPPH-ul și rezultatele au fost exprimate ca mM Trolox/g s.u.

### 4.9. REZULTATE ȘI DISCUȚII

#### 4.10. Evaluarea compușilor biologic activi din extractele obținute din cojile de ceapă roșie prin diferite metode de extracție

În cojile de ceapă roșie antocianii reprezintă clasa principală de compuși cu activitate antioxidantă ridicată. Cea mai mare cantitate de AT dintre toate metodele de extracție testate, s-a obținut cu extracția convențională cu etanol 70%. Astfel combinația cu HCl 0,1N după 2 h de extracție la 25 °C la pH=2,16 extrage cel mai mare conținut de AT de  $1,75 \pm 0,04$  mg C3G/g s.u. În ceea ce privește pH-ul, valoarea scăzută a pH-ului solventului ajută la eficiența extracției, de asemenea valoarea scăzută a pH-ului solventului de extracție poate preveni oxidarea antocianilor. În cazul conținutului de FT și a activității antioxidante, extracția cu adaos de preparate enzimatică a obținut rezultate remarcabile. Preparatul enzimatic cu activitate xilanazică a extras cea mai mare concentrație de FT de  $142,09 \pm 10,87$  mg EQ/g s.u. după 2 h de extracție. După doar o oră de extracție, preparatul enzimatic cu activitate celulazică a condus la obținerea unui extract cu activitate antioxidantă mare de  $60,16 \pm 0,78$  mM Trolox/g s.u. Cel mai mare conținut de PT s-a observat la extracția cu etanol asistată de ultrasunete, astfel combinația de parametri cu etanol 50% și HCl 0,1 N, după 50 de min de tratament la 25 °C, a extras un conținut de PT de  $87,41 \pm 7,80$  mg EAG/g s.u.

În cazul extracției convenționale cu solvenți și a celei asistate de ultrasunete se observă faptul că în cele mai multe cazuri, temperatura de 50 °C a dus la extracția unui conținut mai mare de compuși prin creșterea permeabilității și solubilității pereților celulari și scăderea vâscozității solventului, față de temperatura de 25 °C. În alte cazuri însă, a avut loc o ușoară degradare a compușilor. Spre exemplu, în urma rezultatelor obținute în cazul extracției convenționale cu etanol 70% și acid citric se observă o scădere a conținutului de AT de 2,9 % după 15 min de extracție.

Se observă faptul că în unele cazuri, timpul mai îndelungat a extras o concentrație mai mare de compuși bioactivi, iar în altele a dus la degradarea compușilor din cauza parametrilor cu care acesta a fost combinat. Spre exemplu în cazul extracției convenționale cu etanol 70% acidifiat cu HCl 0,1 N, se observă o creștere a AT de 6,3% între 60 și 120 de

## **Dezvoltarea unor ingrediente pe bază de compuși biologic activi din cojile de ceapă roșie pentru utilizare în industria alimentară**

min de extracție, ca mai apoi, după 180 de min să aibă loc o ușoară scădere de 7%. Această scădere a conținutului de AT se observă de asemenea și la extracția asistată de ultrasunete, unde, conținutul AT extrași cu etanol 96% și HCl 0,1 N crește de la 20 la 35 min cu un procent de 11,8%, apoi la 50 de min scade cu 6,8%.

### **4.11. Optimizarea condițiilor de extracție a AT și a activității antioxidante din cojile de ceapă roșie prin extracția convențională cu solvenți**

Matricea CCD completă utilizată pentru optimizarea principalelor variabile evaluate, precum și valorile aferente, sunt prezentate în tabelul 4.18.

**Tabel 4.18.** Valorile experimentale ale principalelor variabile independente analizate în matricea CCD

Nr. ordine	Factor 1 A: Acid Citric %	Factor 2 B: Etanol %	Factor 3 C: Temperatură °C	Factor 4 D: Timp min	Răspuns 1 AA mM Trolox/g s.u.	Răspuns 2 AT mg C3G/g s.u.
1	1	40	37	100	26,92	1,02
2	1	40	16,47	100	27,71	1,05
3	2	60	50	20	27,24	1,34
4	1	73,63	37	100	37,2	1,43
5	1	40	37	100	26,84	1,03
6	0,1	20	50	20	28,7	0,6
7	2	60	25	20	25,01	1,32
8	0.1	60	25	180	32,53	1,18
9	1	40	37	100	26,74	1,02
10	1	40	58,52	100	26,73	1,09
11	2,64	40	37	100	25,32	1,11
12	0.1	20	25	20	30,39	0,62
13	2	20	25	180	29,51	0,52
14	1	6,36	37	100	29,41	0,45
15	0,1	60	50	180	31,07	1,21
16	1	40	37	10	24,29	0,52
17	1	40	37	100	26,73	1,04
18	0,05	40	37	100	26,63	1,05
19	1	40	37	234,54	31,14	1,22
20	1	40	37	100	27,64	1,01
21	2	20	50	180	27,24	0,51

\* valorile a sunt exprimate ca valoarea medie a trei determinări

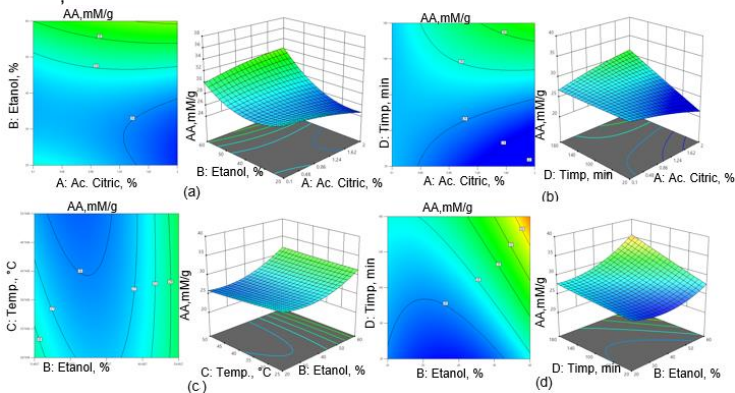
### **Influența parametrilor de extracție asupra AA**

Studiul de optimizare a avut ca scop determinarea efectului unui model optim de variabile asupra activității antioxidante a extractului din cojile de ceapă roșie. Concentrația activității antioxidante a variat de la 24,29 la 37,20 mM Trolox/g s.u. Modelul de regresie rezultat în urma eliminării termenilor nesemnificativi ai modelului a fost exprimat cu ajutorul ecuației 4.7 care ilustrează relația dintre activitatea antioxidantă (R1) și variabilele utilizate în unități codificate.

## Dezvoltarea unor ingrediente pe bază de compuși biologic activi din cojile de ceapă roșie pentru utilizare în industria alimentară

$$R1 (AA) = +26,92 + 2,41B - 0,3454C + 2,50D + 1,37AB + 2,41AD + 0,5912BC + 1,51BD - 0,5337CD - 0,4301A^2 + 2,26B^2 \quad (4.7)$$

Corelația dintre variabilele independente și cele dependente a fost prezisă cu ajutorul diagramelor de contur (figura 4.4a-d), care au fost utilizate pentru a arăta efectele sinergice ale variabilelor independente asupra activității antioxidante a extractului obținut. De asemenea, graficele suprafeței de răspuns (zona de răspuns tridimensională) descriu impactul corelativ al parametrilor aleși asupra activității antioxidante a extractului. Figurile 4.4a-b arată că concentrația de etanol și timpul au influențat activitatea antioxidantă, aceasta a crescut odată cu scăderea concentrației de acid citric. Activitatea antioxidantă maximă a putut fi atinsă la o concentrație de etanol de aproape 60 % și un timp de extracție de aproape 180 de min. Mai mult, după cum arată graficele, timpii de extracție mai mici și procentele mai mari de acid citric au dus la scăderea potențialului de captare a radicalilor liberi DPPH. În plus, reducerea temperaturii și a concentrației de etanol a diminuat activitatea antioxidantă a extractului din cojile de ceapă roșie (figura 4.4c). Din figura 4.4d, AA crește atunci când crește concentrația de etanol la o temperatură de extracție constantă.



**Figura 4.4.** Diagrame de contur și graficele suprafeței de răspuns ale AA în funcție de concentrația de etanol și acid citric (a); timpul de extracție și concentrația de acid citric (b); temperatură și concentrația de etanol (c); timpul de extracție și concentrația de etanol (d)

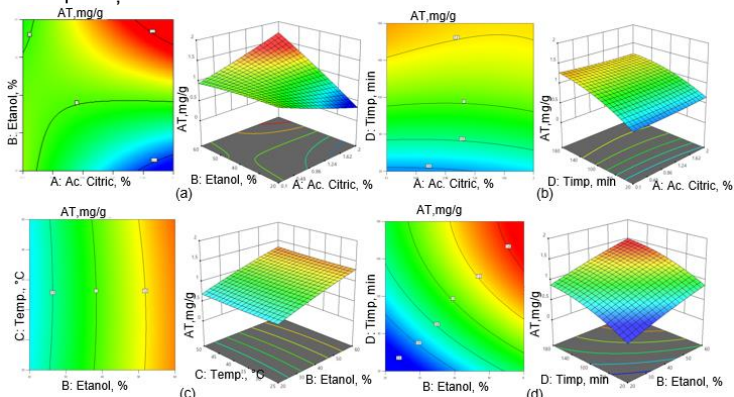
### Influența parametrilor de extracție asupra conținutului de AT

Conținutul de AT a variat de la 0,45 la 1,43 mg C3G/g s.u., pe baza modelului experimental. Modelul de regresie rezultat în urma eliminării termenilor nesemnificativi ai modelului a fost exprimat cu ajutorul ecuației 4.8.

## Dezvoltarea unor ingrediente pe bază de compuși biologic activi din cojile de ceapă roșie pentru utilizare în industria alimentară

$$(AT) = +1,03 + 0,3114B + 0,3152D + 0,3727AB - 0,0386AD + 0,0247A^2 - 0,0311B^2 + 0,0148C^2 - 0,1208D^2 \quad (4.8)$$

Au fost de asemenea trasate diagramele de contur și graficele suprafeței de răspuns (figura 4.5) pentru a arăta relația dintre variabilele independente și dependente și pentru a determina valorile optime ale extracției AT din cojile de ceapă roșie.



**Figura 4.5.** Diagrame de contur și graficele suprafeței de răspuns ale AT în funcție de concentrația de etanol și acid citric (a); timpul de extracție și concentrația de acid citric (b); temperatură și concentrația de etanol (c); timpul de extracție și concentrația de etanol (d)

La examinarea efectelor concentrației de etanol și ale acidului citric, s-a observat că AT au crescut odată cu creșterea concentrației de etanol până la 50 % și de la 0,86 % pentru concentrația de acid citric (figura 4.5a). Conform graficelor suprafeței de răspuns, concentrația de AT nu a fost influențată de variația temperaturii și de timpul de extracție, dar a fost influențată de concentrația de etanol (figura 4.5b-c). Randamentul de AT s-a îmbunătățit constant pe măsură ce timpul de extracție și concentrația de etanol au crescut simultan, conform analizei impactului celor două variabile (figura 4.5d). Constatările matricei de proiecție CCD au arătat că concentrația de etanol și timpul de extracție au influențat pozitiv extracția antocianilor.

### 4.12. Validarea modelului

Un scor de dezirabilitate de 1 (0,929) a indicat că toate condițiile selectate au fost în ordinea corectă (tabelul 4.20). Concentrația de acid citric de 0,87 %, concentrația de etanol de 60 %, temperatura de 25 °C și timpul de extracție de 180 min au fost condițiile optime pentru obținerea unei activități antioxidante maxime și pentru recuperare maximă a AT.



## Dezvoltarea unor ingrediente pe bază de compuși biologic activi din cojile de ceapă roșie pentru utilizare în industria alimentară

**Tabel 4.20.** Date experimentale de validare a valorilor prezise pentru conținutul de AT și AA în condiții optime de extracție

Variabilă dependentă	Valoare prezisă	95% Interval de încredere	Valoare experimentală
AA (mM Trolox/g s.u.)	35,45	24,29–37,20	37,20
AT (mg C3G/g s.u.)	1,43	0,45–1,43	1,43

Activitatea antioxidantă maximă și concentrația maximă de AT prezise de model au fost 35,45 mM Trolox/g s.u. și, respectiv, 1,43 mg C3G/g s.u., în timp ce datele experimentale au arătat răspunsuri apropiate la cele anticipate de model, și anume 37,20 mM Trolox/g s.u. și 1,43 mg C3G/g s.u.

### 4.13. Concluzii parțiale

Rezultatele experimentale obținute în acest capitol permit elaborarea următoarelor concluzii parțiale:

- Au fost testate comparativ patru metode de extracție diferite din perspectiva analizei conținutului în AT, FT, PT și activității antioxidante și selectării extractelor cu profil fitochimic superior, pentru utilizări particulare. Metodele de extracție aplicate au fost extracția convențională cu solvenți, și trei metode de extracție moderne (asistată de ultrasunete, de microunde și cu adaos de preparate enzimatice). La toate aceste metode s-au variat concentrația de etanol, acizii, timpul și temperatura de extracție.
- Extractul cu cel mai mare conținut de AT de  $1,75 \pm 0,04$  mg C3G/g s.u. a fost obținut pentru extracția convențională cu etanol de concentrație 70 % și HCl 0,1N după 120 de min de extracție la temperatura de 25 °C.
- Cel mai mare conținut de FT de  $142,09 \pm 10,87$  mg EQ/g s.u. s-a înregistrat pentru extracția cu adaos de preparate enzimatice și anume cu preparatului enzimatic cu activitate xilanazică, după 120 min de tratament. De asemenea extracția cu etanol 50 % și HCl 0,1 N asistată de ultrasunete, a extras cel mai mare conținut de PT de  $87,41 \pm 7,80$  mg EAG/g s.u., după 50 de min de extracție la 25 °C.
- Extracția cu preparatul enzimatic cu activitate celulazică a dus la obținerea celei mai mari activități antioxidante de  $60,16 \pm 0,78$  mMol Trolox/g s.u. după doar o oră de extracție a compușilor din cojile de ceapă roșie.
- În același timp, s-a observat că fiecare combinație de parametrii a extras compușii biologic activi din cojile de ceapă roșie într-un mod diferit. Astfel, în cazul utilizării etanolului pur și a acidului acetic glacial, s-au obținut cele mai mici valori pentru conținuturile de AT, FT și PT la toate metodele de extracție testate, indiferent de timpul și temperatura aleasă, excepție făcând activitatea antioxidantă.

## Dezvoltarea unor ingrediente pe bază de compuși biologic activi din cojile de ceapă roșie pentru utilizare în industria alimentară

---

- Din rezultatele obținute, se observă faptul că adăugarea de apă în etanol până la o concentrație de 50% conduce la extracția unei cantități mai mari de compuși bioactivi decât în cazul etanolului pur. Astfel, cel mai mare conținut de AT s-a obținut pentru etanolul 70% în combinație cu acidul clorhidric în cazul extracției convenționale cu solvenți.
- Extracția convențională cu solvenți a fost considerată eficientă în ceea ce privește concentrația de compuși biologic activi și utilizată în analizele ulterioare, pentru optimizarea și validarea parametrilor extracției AT și a activității antioxidante.
- Condițiile optime de extracție pentru recuperarea maximă a AT și a activității antioxidante din extractul din cojile de ceapă roșie au fost: etanol în concentrație de 60%, acid citric în concentrație de 0,87%, timp de extracție de 180 min și la temperatura de 25 °C.
- Activitatea antioxidantă maximă și concentrația maximă de AT prezise de model au fost 35,45 mM Trolox/g s.u. și, respectiv, 1,43 mg C3G/g s.u., în timp ce valorile experimentale au fost de 37,20 mM Trolox/g s.u. și de 1,43 mg C3G/g s.u.
- Rezultatele au evidențiat faptul că, concentrația de etanol și timpul de extracție au influențat semnificativ activitatea antioxidantă. Ecuația de regresie a arătat că temperatura a avut un efect negativ minor asupra activității antioxidante, în timp ce concentrația de etanol și timpul de extracție exercită un efect pozitiv.
- Rezultatele au subliniat efectul semnificativ al concentrației de etanol asupra extracției de AT, în timp ce temperatura de extracție a avut un efect minor asupra randamentului de extracție a AT. Ecuația de regresie obținută a arătat că, concentrația de etanol și timpul de extracție au influențat pozitiv extracția de AT.
- Rezultatele obținute au arătat că extracția convențională cu solvenți în condiții optime poate fi considerată o metodă eficientă de extracție a compușilor bioactivi pentru obținerea de extracte valoroase din surse naturale și necostisitoare, cum ar fi cojile de ceapă roșie. Prin urmare, rezultatele obținute au permis selectarea condițiilor optime de extracție pentru a obține și a utiliza extracte din cojile de ceapă roșie valoroase din punct de vedere compozițional în experimentele ulterioare.

## CAPITOLUL 5. Caracterizarea avansată a profilului fitochimic și a activității antioxidante a extractului optimizat din cojile de ceapă roșie

### 5.1. Introducere

Industria alimentară care prelucrează ceapa generează anual cantități ridicate de produse secundare ale cepei în principal coji, care necesită o administrare adecvată. În acest sens, cojile uscate necomestibile, pot fi o sursă potențială de compuși bioactivi, în principal antociani și flavonoli cu multe beneficii pentru sănătatea umană (Ren și colab., 2020). Efectele de promovare a sănătății a antocianilor sunt legate de activitățile antioxidante, antiproliferative, antiinflamatorii și cardioprotectoare, ajutând la reglarea metabolismului lipidelor și la îmbunătățirea rezistenței la insulină (Yamaguchi și colab., 2015).

### 5.2. Obiectivele studiului

Studiul experimental a avut următoarele obiective specifice:

- Caracterizarea avansată a profilului fitochimic a extractului optimizat din cojile de ceapă roșie folosind tehnici de cromatografie lichidă de înaltă performanță;
- Evaluarea impactului tratamentului termic asupra compușilor biologic activi (conținutul de AT, FT, PT și a activității antioxidante) din extractul obținut din cojile de ceapă roșie în intervalul de temperatură 75–155°C, cu un timp de menținere între 0–60 min;
- Evaluarea cineticii de degradare termică a compușilor biologic activi din extractul obținut din cojile de ceapă roșie, pentru fundamentarea comportamentului și mecanismelor de degradare termică a compușilor polifenolici menționați;
- Determinarea parametrilor termodinamici corespunzători degradării fiecărui compus fitochimic studiat pentru a stabili fenomenele fizice, chimice și biochimice ale degradării compușilor bioactivi și pentru a decide dacă modelul cinetic identificat în acest studiu este posibil termodinamic;
- Investigații de modelare moleculară privind comportamentul antocianilor din cojile de ceapă roșie la tratamentul termic testat;
- Examinarea potențialului antidiabetic, antiobezitate și antiinflamator al extractului din cojile de ceapă roșie prin investigarea activităților de inhibare *in vitro* a  $\alpha$ -glucozidazei,  $\alpha$ -amilazei, lipazei pancreatice și lipoxigenazei, enzime asociate cu sindromul metabolic și procesele pro-inflamatorii;
- Efectuarea de teste de andocare moleculară pentru a verifica capacitatea antocianilor din cojile de ceapă roșie, de a recunoaște

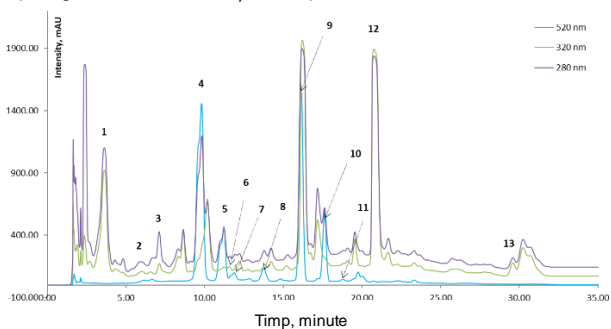
## Dezvoltarea unor ingrediente pe bază de compuși biologici activi din cojile de ceapă roșie pentru utilizare în industria alimentară

și de a interfera cu situsul catalitic al enzimelor asociate cu sindromul metabolic și procesele pro-inflamatorii.

### 5.14. REZULTATE ȘI DISCUȚII

#### 5.15. Profilul cromatografic al compușilor polifenolici din extractul din cojile de ceapă roșie

Cromatograma HPLC tipică a compușilor fenolici și polifenolici din extractul din cojile de ceapă roșie este prezentată în figura 5.1. Pentru identificarea compușilor s-au folosit diferite lungimi de undă de detecție precum 520 nm, 320 nm și 280 nm. Identificarea compușilor fenolici s-a realizat pe baza timpului de retenție și prin comparație cu standardele disponibile (acid clorogenic, acid ferulic, catechină, quercetină, kaempferol), precum și pe baza datelor existente în literatura de specialitate. Cromatogramele la 320 nm și 280 nm au indicat prezența multor compuși polifenolici, dintre care doar șase au putut fi identificați provizoriu, cum ar fi: peak 1-catechină, peak 2-acidul clorogenic, peak 3-acidul vanilic, peak 6-acidul ferulic, peak 12-quercetina și peak 13-kaempferol. Printre aceștia, principalul compus identificat a fost quercetina. Nivelurile ridicate de quercetină din straturile exterioare ale bulbilor de ceapă pot fi explicate prin expunerea la soare care duce la creșterea sintezei de flavonoide, ce protejează ceapa de lumina UV (Albishi și colab., 2013). Sagar și colab., (2020) au obținut rezultate similare într-un studiu pe cincisprezece soiuri indiene de ceapă. În acest caz, flavonoidele identificate au fost quercetina, quercetina 3-β-D-glucozid, luteolina și kaempferol.



**Figura 5.1.** Profilul cromatografic al compușilor fenolici și polifenolici cuantificați în extractul din cojile de ceapă roșie: peak 1 –catechină, peak 2 –acid clorogenic, peak 3 –acid vanilic, peak 4 –cianidin 3-lamaribiozid, peak 5 –cianidin 3-(3"-malonilglucozid), peak 6 –acid ferulic, peak 7 –peonidin 3-glucozid, peak 8 –cianidin 3-(6"-malonilglucozid), peak 9 –cianidin 3-(6"- malonil-lamaribiozid), peak 10 –peonidin 3-malonilglucozid, peak 11 –cianidin 3-dimalonilamaribiozid, peak 12 –quercetina, peak 13 –kaempferol

## Dezvoltarea unor ingrediente pe bază de compuși biologici activi din cojile de ceapă roșie pentru utilizare în industria alimentară

Figura 5.1 ilustrează de asemenea faptul că șapte antociani au fost separați la 520 nm: Peak 4-cianidin 3-laminaribiozid, Peak 5-cianidin 3-(3''-malonilglucozid), Peak 7-peonidin-3-glucozid, Peak 8-cianidin-3-(6''-malonilglucozid), Peak 9-cianidin 3-(6''-malonil-laminaribiozid), Peak 10-peonidin-3-malonilglucozid și Peak 11-cianidin-3-dimalonil-laminaribiozid. Rezultatele noastre sunt în acord cu alte studii precum Rice-Evans și colab., (1996), Donner și colab., (1997) și Sharif și colab., (2010).

### 5.16. Influența tratamentului termic asupra conținutului de compuși bioactivi din extractul obținut din cojile de ceapă roșie

#### 5.16.1. Influența tratamentului termic asupra conținutului de AT

Efectul tratamentului termic asupra antocianilor din extractul obținut din cojile de ceapă roșie este prezentat în figura 5.3-a. În urma tratamentului termic se observă o scădere rapidă a cantității de antociani. Rezultatele obținute demonstrează că, după 15 min de tratament termic, procesul de degradare a conținutului de AT pornește lent și se intensifică rapid, cu o scădere rapidă a conținutului de AT. Astfel, în urma tratamentului la temperatura de 75 °C timp de 30 de min s-a înregistrat o scădere a conținutului de antociani de 7,6 %, în timp ce după tratamentul termic la temperatura de 155 °C, timp de 30 de min degradarea ajunge la 86,5%, (figura 5.3-a).

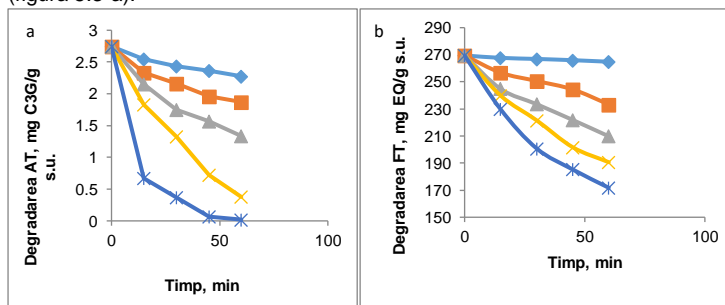


Figura 5.3.-a,-b Influența tratamentului termic asupra stabilității AT și FT din extractul obținut din cojile de ceapă roșie, la diferite temperaturi (◆ 75°C, ■ 95°C, ▲ 115°C, × 135°C, \* 155°C)

#### 5.16.2. Influența tratamentului termic asupra conținutului de FT

Modificările produse prin tratament termic în cazul FT în extractul obținut din cojile de ceapă roșie sunt prezentate în figura 5.3-b. În urma tratamentului termic a extractului obținut din cojile de ceapă roșie se observă o scădere a conținutului de flavonoide. Tratamentul termic cu o durată de menținere de 60 min a condus la reducerea concentrației de FT în proporție de ~13,42% la 95 °C, ~22,16% la 115 °C, ~29,26% la 135 °C și respectiv de ~36,26% la 155 °C.

## Dezvoltarea unor ingrediente pe bază de compuși biologic activi din cojile de ceapă roșie pentru utilizare în industria alimentară

### 5.16.3. Influența tratamentului termic asupra conținutului de PT

Efectul tratamentului termic asupra conținutului de PT a extractului obținut din cojile de ceapă roșie este ilustrat în figura 5.4-c. În urma tratamentului termic, conținutul de PT a scăzut, această scădere a polifenolilor din extractul obținut din cojile de ceapă roșie a corespuns cu creșterea temperaturii și timpului de încălzire. Astfel, tratamentul termic a avut un efect semnificativ asupra conținutului de PT, determinând o reducere de aproximativ 21,95% după 60 min de menținere la 95 °C și respectiv de 29% la 115 °C. La temperaturi mai ridicate, pierderile în PT au fost semnificative, variind între 37,55% la 135°C până la 53,14% la 155 °C după 60 min de menținere.

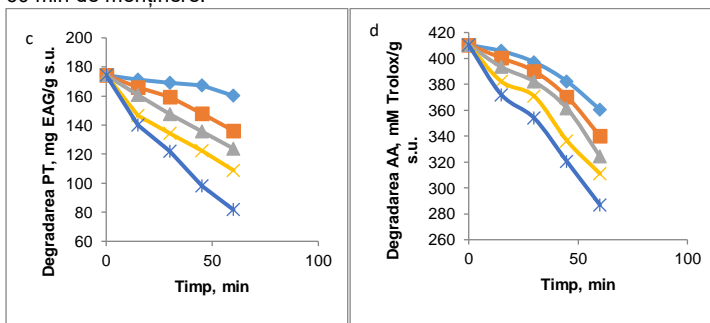


Figura 5.4.-c.-d. Influența tratamentului termic asupra stabilității PT și AA din extractul obținut din cojile de ceapă roșie, la diferite temperaturi (◆ 75°C, ■ 95°C, ▲ 115°C, × 135°C, \* 155°C)

### 5.16.4. Influența tratamentului termic asupra activității antioxidante (AA)

Efectul tratamentului termic asupra AA a extractului obținut din cojile de ceapă roșie este prezentat în figura 5.4-d. După cum se poate observa, tratamentul termic influențează activitatea antioxidantă a extractului obținut din cojile de ceapă roșie. Similar conținutului în compuși biologic activi, extractul tratat termic în intervalul de temperaturi 75-115 °C, după 60 min de tratament termic, a prezentat o scădere de la 12,16% până la 20,98% a activității antioxidante. S-a observat că procesul de degradare s-a intensificat odată cu creșterea duratei tratamentului termic, atingând valoarea de 30,09%, după 60 min de tratament termic, la temperatura de 155 °C. De-a lungul intervalului de temperatură, AA a prezentat o ușoară reducere, sugerând că alți compuși cu termostabilitate diferită ar putea fi implicați în acest fenomen. Prin urmare, chiar și cu această reducere și având în vedere combinația intens aplicată timp-temperatură, se poate aprecia că potențialul antioxidant al extractului a fost menținut în întregul interval de temperatură studiat.

**Dezvoltarea unor ingrediente pe bază de compuși biologic activi din cojile de ceapă roșie pentru utilizare în industria alimentară**

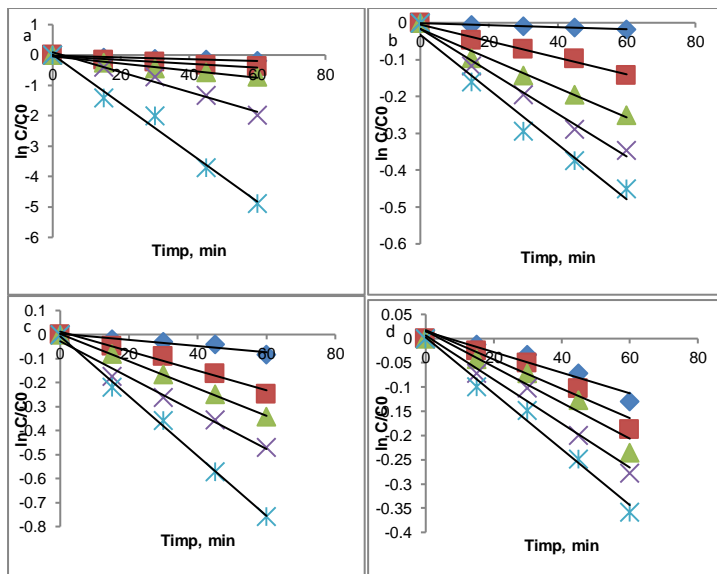
**5.17. Cinetica de degradare termică a compușilor biologic activi din extractul obținut din cojile de ceapă roșie**

Ecuatiile de regresie liniară au confirmat că degradarea compușilor fitochimici (AT, FT, PT și activitatea antioxidantă-AA) în extractul obținut din cojile de ceapă, urmează o cinetică de reacție de ordinul I și a fost descrisă în termenii dați de constanta vitezei de degradare (1/min) și energia de activare (Ea). În tabelul 5.1 sunt prezentați parametrii cinetici pentru compuși bioactivi din extractul obținut din cojile de ceapă roșie, și anume constanta vitezei de degradare (k), coeficientul de corelație (R<sup>2</sup>), timpul de reducere zecimal (D), energia de activare (Ea), valoarea z<sub>T</sub> și timpul de înjumătățire (t<sub>1/2</sub>).

**Tabel 5.1.** Parametrii cinetici a compușilor fitochimici în urma tratamentului termic al extractului obținut din cojile de ceapă roșie

Compus	Temperatura °C	$k \cdot 10^{-2}$ (min <sup>-1</sup> )	R <sup>2</sup>	t <sub>1/2</sub> (min)	D (min)
AT	75	0,69±0,08	0,96	100,32±1,91	333,33±6,85
	95	1,38±0,21	0,96	50,16±1,42	166,67±4,68
	115	2,53±0,83	0,98	27,36±0,93	90,91±3,45
	135	7,37±1,33	0,98	9,41±0,72	31,25±2,06
	155	18,65±2,36	0,98	3,72±0,48	12,35±1,08
<b>Ea (kJ·mol<sup>-1</sup>) = 50,77±1,71 (R<sup>2</sup> = 0,97)</b> <b>z<sub>T</sub> (°C) = 55,56±2,91 (R<sup>2</sup> = 0,98)</b>					
FT	75	0,069±0,15	0,98	1003,25±9,84	3333,33±39,21
	95	0,51±0,31	0,98	136,81±2,32	454,55±10,03
	115	0,92±0,48	0,98	75,24±1,82	250,01±8,67
	135	1,34±0,97	0,99	51,89±1,47	172,41±6,12
	155	1,71±1,01	0,97	40,67±1,53	135,13±4,87
<b>Ea (kJ·mol<sup>-1</sup>) = 46,81±1,84 (R<sup>2</sup> = 0,86)</b> <b>z<sub>T</sub> (°C) = 62,50±4,28 (R<sup>2</sup> = 0,82)</b>					
PT	75	0,29±0,26	0,92	231,52±3,02	769,23±12,67
	95	0,94±0,49	0,98	73,41±1,72	243,90±7,34
	115	1,31±0,68	0,99	52,80±1,61	175,44±5,47
	135	1,72±0,78	0,98	40,13±1,18	133,33±4,63
	155	2,87±0,92	0,99	24,08±1,05	80,01±3,23
<b>Ea (kJ·mol<sup>-1</sup>) = 32,15±1,32 (R<sup>2</sup> = 0,94)</b> <b>z<sub>T</sub> (°C) = 90,09±4,72 (R<sup>2</sup> = 0,92)</b>					
AA	75	0,48±0,27	0,92	143,32±2,42	476,19±10,31
	95	0,69±0,42	0,93	100,33±2,51	333,33±9,57
	115	0,85±0,64	0,93	81,34±1,82	270,27±8,67
	135	1,04±0,75	0,98	66,88±1,74	222,22±7,48
	155	1,33±0,84	0,99	51,89±1,46	172,41±6,12
<b>Ea (kJ·mol<sup>-1</sup>) = 15,13±2,05 (R<sup>2</sup> = 0,99)</b> <b>z<sub>T</sub> (°C) = 188,68±5,11 (R<sup>2</sup> = 0,98)</b>					

## Dezvoltarea unor ingrediente pe bază de compuși biologic activi din cojile de ceapă roșie pentru utilizare în industria alimentară



**Figura 5.7.** Cinetica de degradare termică a compușilor bioactivi (AT-a; FT-b; PT-c) și a AA (d) din extractul obținut din cojile de ceapă roșie, la diferite temperaturi (♦ 75°C, ■ 95°C, ▲ 115°C, × 135°C, \* 155°C)

Prin analiza regresiei liniare s-a confirmat faptul că degradarea termică a compușilor biologic activi (AT, FT, PT) și a AA din extractul obținut din cojile de ceapă roșie a urmat o evoluție după un model cinetic de ordinul întâi (Figura 5.7). Modificările induse de tratamentul termic asupra conținutului de AT, FT, PT și AA au fost descrise în funcție de constanta vitezei de degradare termică ( $\text{min}^{-1}$ ) și energia de activare ( $E_a$ ). De exemplu, timpul de reducere zecimal pentru AT la temperature de 75 °C a prezentat valori de  $333,33 \pm 6,85$  min, în timp ce s-a observat o scădere de aproximativ 96,3% prin creșterea temperaturii la 155 °C ( $12,35 \pm 1,08$  min).

### 5.18. Comportamentul la temperatură a moleculelor de antociani estimat prin tehnici de modelare moleculară

În general, degradarea termică a antocianilor începe cu hidroliza fragmentelor de zaharuri. O analiză atentă a moleculelor de antociani încălzite prin abordarea *in silico* la temperaturi asemănătoare cu cele experimentale a arătat că planaritatea inelelor aromatice din structura antocianidinelor s-a modificat odată cu intensitatea tratamentului termic. Echilibrarea modelelor cu antociani la temperaturi în creștere de la 75 la 155 °C a dus la o înclinare mai avansată a inelului fenil aromatic către benzopiriliu. Mai mult, s-a observat o ușoară creștere a unghiului C-O-C



## Dezvoltarea unor ingrediente pe bază de compuși biologic activi din cojile de ceapă roșie pentru utilizare în industria alimentară

asigurând legătura dintre molecula de zahăr și antocianidină cu temperatura; C-O-C a crescut de la 125,13 ° (la 75 °C) la 133,05 ° (la 155 °C) pentru cianidin 3-O-lamaribiozid și de la 125,66 ° (la 75 °C) la 128,61 ° (la 155 °C) în cazul cianidinei 3-O-(6"-malonil-lamaribiozid).

### 5.19. Determinarea parametrilor termodinamici

Tabelul 5.2 prezintă entalpia ( $\Delta H$ ), energia liberă de degradare Gibbs ( $\Delta G$ ) și entropia ( $\Delta S$ ) la 75, 95, 115, 135 și 155 °C calculate prin ecuațiile (5.10) - (5.12).

**Tabel 5.2.** Parametri termodinamici (entalpia ( $\Delta H$ ), energia liberă de degradare Gibbs ( $\Delta G$ ) și entropia ( $\Delta S$ )) a extractului obținut din cojile de ceapă roșie

Compus	Temperatură (°K)	$\Delta H$ (kJ/mol)	$\Delta G$ (kJ/mol)	$\Delta S$ (J/(mol·K))
AT	348	47,88±0,62	111,91±1,37	-184,02±2,18
	368	47,71±0,28	116,40±1,32	-186,65±2,15
	388	47,54±0,30	120,94±3,49	-189,16±1,43
	408	47,38±0,34	123,72±2,14	-187,12±1,33
	428	47,21±0,27	126,65±2,18	-185,61±1,56
FT	348	43,92±0,45	118,58±1,14	-214,54±3,16
	368	43,75±0,57	119,47±1,17	-205,75±2,92
	388	43,59±0,65	124,20±1,16	-207,77±3,01
	408	43,42±0,78	129,52±1,13	-211,02±3,11
	428	43,25±0,25	135,17±2,18	-214,75±3,12
PT	348	29,25±0,45	114,34±1,20	-244,49±3,05
	368	29,09±0,43	117,56±1,26	-240,43±3,06
	388	28,92±0,38	123,06±1,31	-242,63±2,58
	408	28,75±0,36	128,64±1,16	-244,83±2,21
	428	28,59±0,33	133,31±2,46	-244,66±3,02
AA	348	12,24±0,16	112,95±3,53	-289,39±1,41
	368	12,07±0,23	118,52±1,41	-289,25±0,92
	388	11,91±0,15	124,45±2,83	-290,07±0,71
	408	11,74±0,28	130,37±2,57	-290,77±0,87
	428	11,57±0,40	136,03±2,12	-290,79±1,06

În plus, întinderea de 8,5% a legăturilor implicate în definirea acestui unghi susține ipoteza potențialei de-glicozilări a antocianilor la temperaturi ridicate. De-glicozilarea antocianilor are ca rezultat formarea de antocianidine, care sunt degradate în continuare în calconi. Descompunerea calconelor generează formarea acizilor fenolici și a carboxaldehidei (Stoica și colab., 2021).

### 5.20. Studii *in vitro* asupra activității enzimelor implicate în sindromul metabolic și procesele pro-inflamatorii

Activitatea de inhibare a extractului polifenolic obținut din cojile de ceapă roșie a fost evaluată în funcție de enzimele asociate sindromului metabolic, inclusiv  $\alpha$ -glucozidază,  $\alpha$ -amilază și lipază pancreatică dar și enzima pro-inflamatorie LOX. Activitatea de inhibare *in vitro* a extractului din

## Dezvoltarea unor ingrediente pe bază de compuși biologic activi din cojile de ceapă roșie pentru utilizare în industria alimentară

cojile de ceapă roșie la trei concentrații diferite (0,5, 1, 5  $\mu\text{g/mL}$ ) asupra celor patru enzime testate ( $\alpha$ -glucozidază,  $\alpha$ -amilază, lipază și LOX) este prezentată în tabelul 5.3 și tabelul 5.4.

**Tabel 5.3.** Procentul de inhibare enzimatică a extractului obținut din cojile de ceapă roșie și inhibitorii standard asupra enzimelor  $\alpha$ -amilaza,  $\alpha$ -glucozidaza, lipaza și LOX la concentrații diferite

Probe	Concentrație probe, g/mL	Inhibiție $\alpha$ -Amilază, %	Inhibiție $\alpha$ -Glucozidază, %	Inhibiție Lipază, %	Inhibiție LOX, %
Extract	5	90,31 $\pm$ 0,18 <sup>aA</sup>	96,02 $\pm$ 0,46 <sup>aA</sup>	87,45 $\pm$ 0,57 <sup>aA</sup>	33,39 $\pm$ 0,27 <sup>aA</sup>
	1	89,75 $\pm$ 0,36 <sup>aA</sup>	95,69 $\pm$ 0,67 <sup>aA</sup>	84,79 $\pm$ 1,74 <sup>abA</sup>	32,11 $\pm$ 1,45 <sup>aA</sup>
	0,5	89,63 $\pm$ 0,43 <sup>aA</sup>	95,56 $\pm$ 0,68 <sup>aA</sup>	83,46 $\pm$ 1,14 <sup>bA</sup>	31,48 $\pm$ 1,67 <sup>aA</sup>
Acarboză	5	9,93 $\pm$ 0,19 <sup>bB</sup>	3,22 $\pm$ 0,18 <sup>bB</sup>	-	-
	1	7,77 $\pm$ 0,49 <sup>cB</sup>	2,15 $\pm$ 0,12 <sup>cB</sup>	-	-
	0,5	5,17 $\pm$ 0,39 <sup>dB</sup>	1,13 $\pm$ 0,08 <sup>dB</sup>	-	-
Orlistat	5	-	-	94,86 $\pm$ 1,38 <sup>cB</sup>	-
	1	-	-	93,05 $\pm$ 0,52 <sup>cdB</sup>	-
	0,5	-	-	91,84 $\pm$ 0,90 <sup>dB</sup>	-
Quercetină	5	-	-	-	65,97 $\pm$ 1,20 <sup>bB</sup>
	1	-	-	-	64,93 $\pm$ 0,31 <sup>bcB</sup>
	0,5	-	-	-	63,88 $\pm$ 0,30 <sup>cB</sup>

Valorile dintr-o coloană care nu împart aceeași literă mică pentru cele trei concentrații sunt semnificativ diferite ( $p < 0,05$ ). Valorile dintr-o coloană care nu împart aceeași literă majusculă a extractului și a inhibitorului standard pentru aceeași concentrație sunt semnificativ diferite ( $p < 0,05$ ). Măsurătorile sunt exprimate ca media  $\pm$  deviația standard a trei replicare.

**Tabel 5.4.** Rezultatele inhibării enzimelor (valori IC50;  $\mu\text{g/mL}$ ) asupra  $\alpha$ -amilazei,  $\alpha$ -glucozidazei, lipazei și LOX

Probe	IC50 ( $\mu\text{g/mL}$ )			
	$\alpha$ -Amilază	$\alpha$ -Glucozidază	Lipază	LOX
Extract	1,02 $\pm$ 0,30 <sup>a</sup>	0,57 $\pm$ 0,16 <sup>a</sup>	4,57 $\pm$ 0,86 <sup>a</sup>	2,40 $\pm$ 0,71 <sup>a</sup>
Acarboză	4,49 $\pm$ 0,44 <sup>b</sup>	2,09 $\pm$ 0,14 <sup>b</sup>	-	-
Orlistat	-	-	3,18 $\pm$ 0,33 <sup>a</sup>	-
Quercetină	-	-	-	1,95 $\pm$ 0,20 <sup>a</sup>

Valorile dintr-o coloană care nu împart aceeași literă sunt semnificativ diferite ( $p < 0,05$ ). Măsurătorile sunt exprimate ca media  $\pm$  deviația standard a trei replicare.

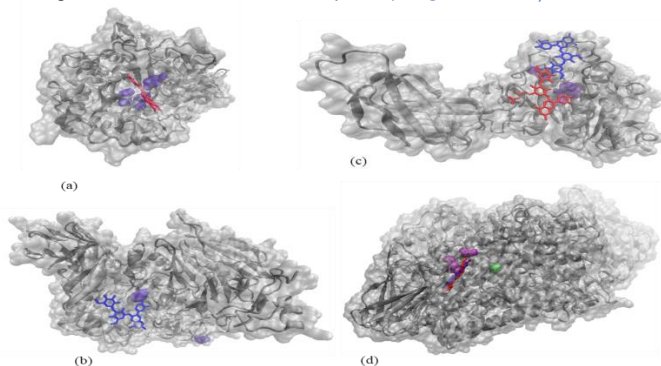
### 5.21. Testarea *in silico* a legării antocianilor (liganților) de enzime

Testele de andocare moleculară au fost utilizate în continuare pentru a verifica dacă oricare dintre cele două antocianine majore identificate în extractul din cojile de ceapă roșie prin HPLC se leagă direct la locul activ al enzimelor implicate în sindromul metabolic și procesele pro-inflamatorii, astfel încât să interfereze cu recunoașterea substratului sau transformarea acestuia. Analiza aprofundată a celor trei complexe cu scoruri de top a arătat că cianidin 3-O-lamaribiozid și/sau cianidin 3-O-(6"-malonil-lamaribiozid) ar putea contribui la inhibarea activității  $\alpha$ -amilazei,  $\alpha$ -glucozidazei, lipazei și

## Dezvoltarea unor ingrediente pe bază de compuși biologic activi din cojile de ceapă roșie pentru utilizare în industria alimentară

LOX (figura 5.8), explicând, prin urmare, constatările experimentale prezentate în tabelul 5.4.

Activitatea  $\alpha$ -amilazei pare să fie potențial afectată de prezența cianidinei 3-O-(6"-malonil-laminaribiozide) care are o bună afinitate față de locul activ al enzimei, stabilind contacte catalitice cu amino acizii Asp197, Asp300 și Glu233 (Axaer și colab., 2021). Cea mai bună potrivire prezisă pentru complexul  $\alpha$ -glucozidază-cianidin 3-O-laminaribiozid implică contactul direct al ligandului cu acidul catalitic Asp616 (Roig-Zamboni și colab., 2017).



**Figura 5.8.** Rezultatele testelor de andocare moleculară care arată complexele formate de  $\alpha$ -amilază (a)  $\alpha$ -glucozidază (b), lipază (c) și LOX (d) prezentate în gri-argint, cu cianidin 3-O-laminaribiozid și /sau cianidin 3-O-(6"-malonil-laminaribiozid) reprezentat în stil Licorice în albastru, respectiv în violet în stilul Van der Waals. Imaginile au fost obținute folosind software-ul VMD (Humphrey și colab., 1996, Stoica și colab., 2021)

În cazul lipazei, ambii liganzi (antociani) investigați par să se poată atașa de suprafața enzimei, în apropierea triadei de hidrogen formată Ser152, Asp176 și His263 (Hadvary și colab., 1991). În ceea ce privește LOX, ambii liganzi investigați se leagă în vecinătatea Phe177 și Tyr181 situate la un capăt al cavității situsului activ (Gilbert și colab., 2011), fiind deci potențial responsabili de limitarea accesului substratului la canalul care duce la fierul catalitic.

### 5.22. Concluzii parțiale

Rezultatele experimentale au permis elaborarea unor concluzii parțiale, după cum urmează:

- Extractul obținut prin extracție convențională cu solvenți a fost analizat pentru profilul cromatografic individual al compușilor polifenolici. Analiza cromatografică a extractului din cojile de ceapă roșie a evidențiat prezența a treisprezece compuși fenolici și polifenolici, însă concentrația

## Dezvoltarea unor ingrediente pe bază de compuși biologic activi din cojile de ceapă roșie pentru utilizare în industria alimentară

de flavonoide a fost majoritară, în special quercetina. În urma identificării și separării cromatografice a antocianilor din extractul din cojile de ceapă roșie cei doi compuși majoritari au fost cianidin 3-(6"-malonil-laminaribiozidul), și cianidin 3-laminaribiozidul. Totodată, profilul cromatografic al flavonoidelor din extractul din cojile de ceapă roșie a identificat prezența quercetinei și 3,4-diglucozid de quercetină ca și compuși majoritari.

- Rezultatele obținute în privința stabilității antocianilor la temperaturi ridicate au indicat că după 15 min de tratament termic, procesul de degradare al conținutului de AT pornește lent și se intensifică rapid, cu o scădere rapidă a conținutului de AT astfel de la 7,6 % la temperatura de 75 °C ajunge la o degradare de 86,5%, la temperatura de 155 °C, după o durată a tratamentului termic de 30 de min.
- Timpii de înjumătățire necesari pentru a degrada 50% din conținutul de AT la temperaturile de 75 °C, 95 °C, 115 °C, 135 °C și 155 °C au fost de 100,32 min, 50,16 min, 27,36 min, 9,41 min și respectiv 3,72 min.
- Din punct de vedere cinetic, în urma tratamentului termic, antocianii, flavonoidele, polifenoli și activitatea antioxidantă din extractul obținut din cojile de ceapă roșie se degradează după un model cinetic de ordinul I.
- După încălzirea prelungită la temperaturile studiate până la 60 min s-au obținut niveluri finale diferite de compuși biologic activi și activitate antioxidantă astfel conținutul de FT a scăzut cu 36,26%, conținutul de PT cu 53,14% iar activitatea antioxidantă cu 30,09%, la temperatura de 155 °C, ceea ce sugerează că gradul final de degradare este dependent de temperatură.
- Valoarea estimată a energiei de activare ( $E_a$ ) în cazul extractului obținut din cojile de ceapă roșie a fost de  $50,77 \pm 1,71$  kJ/mol, și a indicat că antocianii prezintă cea mai mare dependență de temperatură. În cazul celorlalți compuși bioactivi studiați, valorile  $E_a$  calculate au fost de:  $46,81 \pm 1,84$  kJ/mol, pentru flavonoide,  $32,15 \pm 1,32$  kJ/mol, pentru polifenoli și  $15,13 \pm 2,05$  kJ/mol, pentru activitatea antioxidantă.
- În acest studiu, parametrii cinetici estimați indică o sensibilitate mai mare la temperatură a AT din extractul obținut din cojile de ceapă roșie comparativ cu FT, PT și AA. Diferența dintre valorile  $E_a$  se poate datora modificărilor care apar în probe în timpul încălzirii.
- Valorile constantei vitezei de degradare au crescut odată cu temperatura, indicând că are loc o degradare mai mare la temperaturi de procesare mai ridicate, intensificându-se procesul de degradare, fenomen evidențiat cu ajutorul valorilor energiilor de activare ( $E_a$ ).
- De asemenea, se poate observa că degradarea termică a compușilor biologic activi se caracterizează prin diferiți parametri cinetici, care descriu o termostabilitate diferită în funcție de matrice, de tipul

## Dezvoltarea unor ingrediente pe bază de compuși biologic activi din cojile de ceapă roșie pentru utilizare în industria alimentară

---

- compușilor prezenți în extract și de particularitățile mediului (pH, prezența sau absența oxigenului și condițiile specifice de procesare termică).
- Datele prezentate sugerează faptul că tratamentul termic a redus conținutul componentelor bioactive din extractul obținut din cojile de ceapă roșie, precum și activitatea antioxidantă a extractului studiat. Modelarea rezultatelor cineticii de degradare termică a arătat că, modificările componentelor bioactive și ale activității antioxidante pot fi realizate cu modelul cinetic de ordinul întâi, care permite previzionarea conținutului de compuși biologic activi în intervalul de temperatură studiat.
  - Determinarea parametrilor termodinamici a confirmat ipotezele anterioare de reacție endotermă, ireversibilă și nesponantă pentru modelul cinetic de ordinul întâi urmat de compușii bioactivi.
  - Aceste informații cu privire la influența temperaturii asupra compușilor bioactivi vor putea ajuta la optimizarea condițiilor proceselor tehnologice industriale pentru minimizarea pierderilor sau degradării compușilor biologic activi importanți, cum ar fi diferiți polifenoli și activitatea antioxidantă în produsele alimentare cu valoare adăugată.
  - Studiul a avut în vedere evaluarea potentialului antidiabetic, antiobezitate și antiinflamator *in vitro* a extractului din cojile de ceapă roșie prin testarea activității acestuia ca inhibitor al  $\alpha$ -glucozidazei,  $\alpha$ -amilazei, lipazei pancreatice și LOX, enzime asociate cu sindromul metabolic și procesele pro-inflamatorii.
  - Rezultatele au confirmat că acest extract, acționează ca puternic inhibitor al  $\alpha$ -glucozidazei și  $\alpha$ -amilazei, și sugerează că extractul obținut din cojile de ceapă are potențialul de a contribui eficient ca supliment alimentar atât pentru controlul glicemiei postprandiale, cât și pentru stresul oxidativ celular legat de diabet.
  - Constituenții fitochimici ai extractului obținut din cojile de ceapă pot inhiba enzimele pancreatice (lipaza) și, prin urmare, ar putea fi considerați preparate eficiente în prevenirea și controlul bolilor legate de hiperlipidemie.
  - În plus, extractul polifenolic din cojile de ceapă roșie exercită un potențial moderat antiinflamator inhibând enzima pro-inflamatorie, LOX.
  - Rezultatele obținute demonstrează potențialul bioactiv și valoarea funcțională a extractelor cojilor de ceapă roșie rezultate din prelucrarea cepei roșii care pot fi exploatate ca o resursă alternativă valoroasă pentru dezvoltarea alimentelor cu valoare adăugată.

## **CAPITOLUL 6. Obținerea ingredientelor pe bază de compuși biologic activi din cojile de ceapă roșie pentru utilizare în industria alimentară**

### **6.1. Introducere**

Pentru a satisface consumatorii care solicită ingrediente naturale, marile companii din industria alimentară și a băuturilor s-au angajat să elimine substanțele artificiale, inclusiv coloranții sintetici, din produsele lor. Această strategie de marketing este în conformitate cu așa-numita tendință de „etichetă curată” (Cortez și colab., 2017).

### **6.2. Obiectivele studiului**

Obiectivele acestui capitol, au fost selectarea de matrici biopolimerice complexe de microîncapsulare pentru compușii biologic activi extrași din cojile de ceapă roșie, din perspectiva dezvoltării de ingrediente funcționale pentru industria alimentară, precum și caracterizarea pudrelor rezultate.

Au fost definite următoarele obiective specifice:

- Microîncapsularea compușilor bioactivi (antocianii) în izolat proteic din zer (IPZ) și din soia (IPS) cu polizaharide ca pectina (P), carboximetil celuloza (CMC), guma arabica (GA), maltodextrina (MD), prin testarea a trei tehnici de microîncapsulare, și anume coacervarea complexă, încapsularea sub formă de lipozomi, gelifierea la rece și caracterizarea ingredientelor rezultate;
- Alegerea variantelor experimentale promițătoare din punct de vedere al eficienței de încapsulare a antocianilor și a conținutului de compuși bioactivi și caracterizarea fitochimică globală a acestora (AT, FT, PT și activitatea antioxidantă);
- Caracterizarea microcapsulelor din punct de vedere al aspectului structural și morfologic;
- Determinarea digestibilității *in vitro* și a stabilității la depozitare a variantelor experimentale alese.

### **6.3. Materiale și metode**

Pentru microîncapsularea compușilor antocianici din extractul din cojile de ceapă roșie s-au utilizat diferite metode și matrici de încapsulare. S-au realizat 15 variante de microîncapsulare, în care s-au utilizat extract antocianic dizolvat în apă ultrapură, izolat proteic din zer (IPZ) și soia (IPS) în diferite concentrații, proteine vegetale din soia (lecitină), carboximetil celuloză (CMC), pectină (P), gumă arabica (GA), maltodextrină (MD). Metodele de obținere a pudrelor încapsulate sunt coacervarea complexă, încapsularea sub formă de lipozomi și tehnica combinată gelifierea la rece și liofilizarea.

## Dezvoltarea unor ingrediente pe bază de compuși biologic activi din cojile de ceapă roșie pentru utilizare în industria alimentară

### 6.13. REZULTATE ȘI DISCUȚII

#### 6.14. Analiza comparativă a eficienței încapsulării și caracterizarea fitochimică a variantelor experimentale microîncapsulate

Au fost testate cincisprezece variante de pudre, în tabelul 6.1 sunt prezentate valorile înregistrate pentru EÎ anticianilor și profilurile fitochimice ale variantelor experimentale obținute în ceea ce privește conținutul de AT, FT, PT și activitatea antioxidantă.

**Tabel 6.1.** Eficiența încapsulării (EÎ) și profilul fitochimic al variantelor experimentale de pudre

Variante experim.	EÎ, %	AT, mg C3G/g s.u.	PT, mg EAG/g s.u.	FT, mg EQ/g s.u.	Activitatea antioxidantă, mM Trolox/g s.u.
V1	91,17±0,75	0,51±0,01	90,37±0,38	51,45±0,72	54,12±0,21
V2	92,09±0,87	0,53±0,02	92,69±1,55	50,82±1,21	55,87±0,16
V3	96,39±1,02	0,67±0,02	69,60±0,62	50,31±0,38	46,61±0,26
V4	95,53±0,97	0,55±0,03	72,65±0,28	46,37±0,31	48,42±0,15
V5	83,75±0,42	0,43±0,05	35,52±1,02	49,25±0,53	62,37±0,24
V6	86,03±0,67	0,27±0,03	31,94±1,17	51,90±0,47	52,47±0,18
V7	82,53±0,42	0,31±0,03	46,09±1,01	56,12±1,08	51,41±0,12
V8	85,46±0,62	0,39±0,02	31,36±0,96	50,12±0,26	47,74±0,23
V9	81,15±0,62	0,19±0,01	41,76±1,31	49,34±0,17	51,16±0,17
V10	97,36±2,61	1,83±0,05	123,96±1,08	133,50±1,47	53,21±0,32
V11	85,92±1,14	1,42±0,04	116,15±1,12	129,49±0,74	50,78±0,06
V12	87,18±0,92	1,45±0,02	89,67±0,33	111,14±0,46	50,29±0,12
V13	84,3±1,02	1,40±0,02	84,91±0,74	107,20±0,93	47,92±0,21
V14	93,19±1,12	1,41±0,02	113,72±0,20	123,75±0,24	48,19±0,16
V15	82,4±0,92	1,23±0,04	104,60±0,20	116,79±0,15	46,04±0,17

Se poate observa o EÎ și un profil fitochimic global diferit pentru variantele experimentale de pudre obținute. Cea mai mare EÎ a fost înregistrată pentru pudra V10 obținută prin tehnica gelifierii fiind de 97,36±2,61% și cea mai mică pentru V9 de 81,15±0,62 obținută cu IPS și lecitină prin încapsulare sub formă de lipozomi. Prin urmare, se poate aprecia că tehnica de încapsulare prin gelifiere folosind combinația 2% IPS cu 4% CMC și 4% P a condus la o eficiență excelentă de încapsulare.

Ținând cont de rezultatele obținute pentru EÎ, și a profilului fitochimic **variantele 10, 12 și 14 au fost selectate pentru experimente ulterioare.**

## Dezvoltarea unor ingrediente pe bază de compuși biologic activi din cojile de ceapă roșie pentru utilizare în industria alimentară

### 6.15. Caracterizarea fitochimică a variantelor experimentale microîncapsulate selectate

Microîncapsularea este o tehnică complexă, care a fost aplicată cu succes pentru a proteja compușii activi sensibili de factorii de mediu. Au fost analizate trei variante experimentale de pudre, în tabelul 6.2 fiind prezentat profilul fitochimic și activitatea antioxidantă a variantelor de pudre selectate.

**Tabel 6.2.** Profilul fitochimic și antioxidant al variantelor selectate microîncapsulate

Profil fitochimic	V10	V12	V14
AT, mg C3G/g s.u.	1,83±0,05 <sup>a</sup>	1,45±0,02 <sup>b</sup>	1,41±0,02 <sup>c</sup>
FT, mg EQ/g s.u.	133,50±1,47 <sup>a</sup>	111,14±0,46 <sup>c</sup>	123,75±0,24 <sup>b</sup>
PT, mg EAG/g s.u.	123,96±1,08 <sup>a</sup>	89,67±0,33 <sup>c</sup>	113,72±0,19 <sup>b</sup>
Activitatea antioxidantă, mM Trolox/g s.u.	53,21±0,32 <sup>a</sup>	50,29±0,12 <sup>b</sup>	48,19±0,16 <sup>c</sup>
EÎ %	97,36±2,61 <sup>a</sup>	87,18±0,92 <sup>c</sup>	93,19±1,12 <sup>b</sup>

Pentru fiecare categorie de compus bioactiv și variantă de pudră testată, valorile medii din aceeași rând care nu împărtășesc o literă sunt statistic diferite la  $p < 0,05$ , pe baza metodei Tukey.

Varianta de pudră cu 2% IPS, 4% CMC și 4% P (V10) a condus la obținerea unui conținut mai mare de AT încapsulați în pudră având o EÎ mare de 97,36±2,61 %. Astfel, V10 (1,83±0,05 mg C3G/g s.u.) a prezentat un conținut de AT și EÎ (%) semnificativ mai mare în comparație cu celelalte variante analizate ( $p < 0,05$ ). De asemenea, s-au obținut valori semnificativ mai mari a conținutului de PT (123,96±1,08 mg EAG/g s.u.) și de FT (133,50±1,47 mg EQ/g s.u.) tot pentru varianta V10 cu IPS, CMC și P ( $p < 0,05$ ). Compușii fitochimici s-au regăsit în concentrație mai mare în V10, ceea ce a condus la o activitate antioxidantă mai mare de 53,21±0,32 mM Trolox/g s.u.

### 6.17. Digestibilitatea *in vitro* a microcapsulelor

Profilul de eliberare gastro-intestinală a AT microîncapsulați din pudrele analizate au fost studiate la nivelul sucurilor gastrice și intestinale simulate timp de 4 h și sunt reprezentate în figura 6.1. În SGS, o eliberare maximă de până la 15,42±0,19% după 120 min de digestie a fost observată în cazul pudrei V12 având o bună stabilitate a conținutului de AT în mediul gastric. Dintre probele investigate, pudra V10 a prezentat cel mai mare efect protector în SGS, cu o ușoară scădere de maxim 9,55±0,11% după 120 min de digestie urmată de pudra V14 cu 13,50±0,15%, după 120 min de digestie. În SIS, rezultatele arată că o cantitate maximă de antociani este eliberată în timpul celor 120 de min de digestie în toate variantele de pudre analizate, cu o valoare maximă înregistrată pentru pudra V14 de 66,21±0,13%, urmată de V12 cu 66,05±0,22 %, și respectiv de V10 cu 55,99±0,17%. Prin urmare, se poate aprecia că microparticulele microîncapsulate cu IPS și diferite polizaharide (CMC, P, MD și GA) sunt rezistente la mediul gastro-intestinal.



## Dezvoltarea unor ingrediente pe bază de compuși biologic activi din cojile de ceapă roșie pentru utilizare în industria alimentară

Astfel, un efect protector al antocianilor, mai mare poate fi observat de către matricea terțiară care conține biopolimerii IPS, CMC și GA (V14).

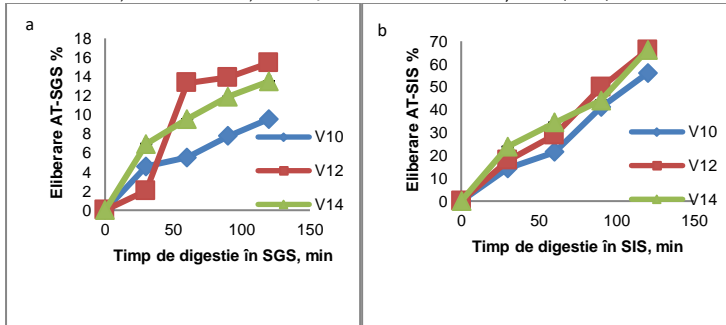


Figura 6.1. Digestibilitatea *in vitro* a variantelor de pudre V10, V12 și V14 în SGS (a) și în SIS (b)

### 6.18. Studii privind stabilitatea compușilor fitochimici pe durata depozitării

Pudrele de analizat au fost depozitate la temperatura de 4 °C timp de 28 de zile și au fost caracterizate din punct de vedere al conținutului în compuși fitochimici și al activității antioxidante (tabelul 6.4).

Tabel 6.4. Conținutul compușilor fitochimici inițial și stabilitatea pudrelor după 28 de zile de depozitare

Profilul fitochimic	Timp de depozitare (zile)	V10	V12	V14
AT (mg C3G/g s.u.)	0	1,83±0,05 <sup>ba</sup>	1,45±0,02 <sup>ba</sup>	1,41±0,02 <sup>aA</sup>
	28	2,06±0,02 <sup>aB</sup>	1,61±0,03 <sup>aB</sup>	1,49±0,01 <sup>aA</sup>
FT (mg EQ/g s.u.)	0	133,50±1,47 <sup>ba</sup>	111,14±0,46 <sup>aA</sup>	123,75±0,24 <sup>dA</sup>
	28	138,07±1,02 <sup>aB</sup>	113,97±0,62 <sup>aB</sup>	130,11±0,54 <sup>bb</sup>
PT (mg EAG/g s.u.)	0	123,96±1,08 <sup>aB</sup>	89,67±0,33 <sup>aB</sup>	113,72±0,19 <sup>aA</sup>
	28	128,84±0,27 <sup>aA</sup>	92,83±0,65 <sup>ba</sup>	118,03±0,35 <sup>cA</sup>
Activitate antioxidantă (mM Trolox/g s.u.)	0	53,21±0,32 <sup>ba</sup>	50,29±0,12 <sup>aA</sup>	48,19±0,16 <sup>dA</sup>
	28	58,32±0,13 <sup>bb</sup>	55,14±0,16 <sup>aB</sup>	52,60±0,30 <sup>dB</sup>

Pentru fiecare categorie de compus bioactiv testat și fiecare variantă de pudră testate, valorile care se află pe același rând care nu împărtășesc aceleași litere mici sunt statistic diferite la  $p < 0,05$ . Pentru fiecare categorie de compus bioactiv testat și fiecare timp de stocare (0, 28 de zile), valorile care pe aceeași coloană nu au aceleași litere mari sunt statistic diferite la  $p < 0,05$ .

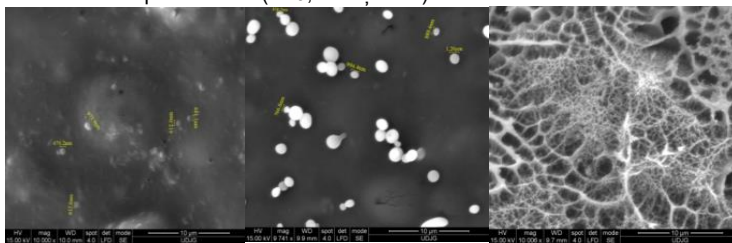
Se remarcă astfel o creștere semnificativă ( $p < 0,05$ ) a conținutului de AT cu aproximativ 11% în pudra V10, cu 10% în V12 și cu 5% în pudra V14. O tendință de creștere în timp a concentrației de compuși studiați s-a

## Dezvoltarea unor ingrediente pe bază de compuși biologici activi din cojile de ceapă roșie pentru utilizare în industria alimentară

Înregistrat și pentru conținutul de FT și PT a pudrelor selectate după 28 de zile de depozitare. Această eliberare a compușilor bioactivi a determinat de asemenea și o creștere a activității antioxidante cu aproximativ 8% în pudra V14 și cu 9% în pudrele V10 și V12.

### 6.19. Analiza morfologică și structurală a variantelor microîncapsulate prin microscopia de scanare cu electroni (SEM)

Microscopia de scanare electronică a fost utilizată pentru a observa morfologia și structura de suprafață a pulberilor de microcapsule pentru cele trei variante experimentale (V10, V12 și V14).



**Figura 6.2.** Imagini SEM ale variantelor de pulbere V10, V12 și V14

În imaginile SEM se poate observa că variantele de pudre selectate au structuri complexe, cu forme sferice, cu dimensiuni cuprinse între 1  $\mu\text{m}$  și 1,2  $\mu\text{m}$  în pulberea V10 și mai mari și mai aglomerate în varianta V12, cuprinse între 1  $\mu\text{m}$  și 1,5  $\mu\text{m}$ . În pulberea V14 globulele sunt îmbinate, sub forma unei rețele, în timp ce suprafața a prezentat unele protuberanțe.

### 6.20. Concluzii parțiale

Rezultatele obținute au permis elaborarea următoarelor concluzii parțiale:

- Pentru microîncapsulare au fost utilizate ca tehnici coacervarea complexă, încapsularea sub formă de lipozomi și gelifierea la rece, folosind ca materiale de încapsulare diferite polizaharide (CMC, MD, P și GA) și proteine (IPS, IPZ); metoda cea mai eficientă de microîncapsulare a antocianilor din extractul din cojile de ceapă roșie a fost combinația complexă de gelifiere la rece și liofilizare obținându-se pudre cu EÎ mare ( $82,46 \pm 0,92\%$  -  $97,36 \pm 2,61\%$ ).
- În general, indiferent de tehnica și materialul de încapsulare, au rezultat pulberi fine, de culoare roșiu închis cu microparticule având diferite dimensiuni. Dintre variantele de pudre testate, 3 variante au prezentat valori mari pentru profilul fitochimic, activitatea antioxidantă și EÎ. Prin urmare, variantele 10, 12 și 14 au fost alese pentru experimente ulterioare.
- În timpul depozitării pudrele analizate au prezentat variații ale conținutului de compuși fitochimici astfel, studiul privind stabilitatea la depozitare a compușilor bioactivi a arătat o tendință de creștere în timp

## Dezvoltarea unor ingrediente pe bază de compuși biologic activi din cojile de ceapă roșie pentru utilizare în industria alimentară

---

- a conținutului de AT, PT, FT și a activității antioxidante pentru variantele studiate. Pudra V10 încapsulată cu IPS:P:CMC a prezentat valori superioare ale profilului fitochimic precum și o mai bună stabilitate în ceea ce privește conținutul de compuși bioactivi și a activității antioxidante.
- Studiul de digestibilitate *in vitro* a indicat faptul că antocianii din cojile de ceapă roșie încapsulați în proteine din soia cu polizaharide au arătat o bună stabilitate în sistemul gastric, în timp ce antocianii reținuți în microcapsule au fost eliberați treptat în sistemul intestinal, ceea ce poate duce la o mai bună absorbție a acestora. Astfel, studiile *in vitro* au subliniat că cea mai bună protecție a fost oferită atunci când se utilizează un amestec de biopolimeri cu materiale de încapsulare precum IPS, GA și CMC (V14), permițând o mai bună biodisponibilitate și o eliberare treptată a antocianilor în mediul intestinal.
  - Din imaginile SEM se poate concluziona că variantele de pulbere selectate au structuri complexe, cu forme sferice, cu dimensiuni cuprinse între 1 μm și 1,2 μm în pulberea V10 și mai mari și mai aglomerate în varianta V12, cuprinse între 1 μm și 1,5 μm. În pulberea V14 globulele sunt îmbinate, sub forma unei rețele, în timp ce suprafața a prezentat unele protuberanțe.
  - Aceste rezultate demonstrează că microîncapsularea poate duce la obținerea de pudre colorate stabile, funcționale putând fi folosite ca și ingrediente naturale cu valoare adăugată datorită proprietăților funcționale benefice asupra sănătății umane în special activitatea antioxidantă demonstrată.

## CAPITOLUL 7. Dezvoltarea unor produse alimentare cu valoare adăugată prin încorporarea pudrelor obținute

### 7.1. Introducere

Dezvoltarea alimentelor funcționale implică încorporarea unor compuși specifici care sunt benefici pentru sănătate reducând riscul de boli precum cele cardiovasculare, diabet, cancer etc. În ultima vreme a crescut cererea de alimente sigure și complexe din punct de vedere nutrițional ceea ce a condus la diversificarea alimentelor funcționale bogate în compuși bioactivi. Atenția s-a focalizat pe compuși polifenolici de origine vegetală datorită beneficiilor nutriționale și funcționale, printre cele mai studiate fiind activitatea antioxidantă și efectul antiinflamator (Helkar și Sahoo, 2016).

### 7.2. Obiectivele studiului

Acest studiu a avut ca obiective principale:

- elaborarea unor rețete tehnologice de obținere a unor produse cu valoare adăugată, care exploatează potențialul funcțional al extractului

## **Dezvoltarea unor ingrediente pe bază de compuși biologic activi din cojile de ceapă roșie pentru utilizare în industria alimentară**

din cojile de ceapă roșie microîncapsulat, respectiv o tehnologie de obținere a unui sos tahini tip dressing pentru salată cu adaos de pudră (V10), o tehnologie de obținere a unui sos de iaurt tip dressing pentru salată cu adaos de pudră (V12) și o tehnologie de obținere a unor biscuiți aperitiv cu valoare adăugată (V14);

- analiza comparativă a caracteristicilor fitochimice, fizico-chimice, de textură și reologice precum și analiza caracteristicilor senzoriale ale produselor obținute.

### **7.3. Materiale și metode**

#### **7.3.1. Obținerea sosului tahini tip dressing pentru salată cu adaos de pudră (V10)**

Produsele comerciale (pastă de susan (40 g), ulei de măsline extravirgin (12 g), oțet din cidru de mere (12 g), apă (40 g), sare (0,80 g), piper (0,20 g)), au fost achiziționate de la un supermarket din Galați. Pe lângă ingredientele enumerate s-a adăugat și pudră din cojile de ceapă roșie în diferite concentrații (S1-1% (1,05 g), S2-2% (2,10 g) și S3-3% (3,15 g)).

Obținerea sosului a presupus amestecarea ingredientelor prezentate mai sus, pudra din cojile de ceapă roșie fiind adăugată ca ingredient în diferite procente și raportată la cantitatea de sos. S-a omogenizat astfel încât compoziția să fie uniformă din punct de vedere al culorii și texturii. După preparare, probele de sos au fost ambalate în recipiente din sticlă și păstrate la temperatura de 4 °C, în vederea realizării analizelor ulterioare. S-a realizat și o probă martor (M) de sos, în care nu s-a adăugat pudră din cojile de ceapă roșie. De asemenea, după 14 zile de depozitare s-a determinat stabilitatea compușilor fitochimici.

#### **7.3.2. Obținerea sosului de iaurt tip dressing pentru salată cu adaos de pudră (V12)**

Pentru obținerea sosului de iaurt s-au utilizat următoarele ingrediente și materii prime: iaurt grecesc 2% (80 g), ulei de măsline extravirgin (11 g), oțet din vin roșu (10 g), usturoi granulat (1,50 g), piper negru măcinat (0,20 g), sare (0,60 g) și pudră din cojile de ceapă roșie (S1-1% (1,05 g) și S3-3% (3,09 g)). Procedeeul de obținere este simplu, și presupune amestecarea ingredientelor menționate anterior, pudra din cojile de ceapă roșie a fost adăugată ca ingredient în diferite procente. A urmat omogenizarea compoziției asigurând în acest fel o încorporare uniformă din punct de vedere al culorii și texturii sosurilor. După preparare, probele au fost ambalate și păstrate la 4 °C, în vederea realizării analizelor experimentale. De asemenea, după 14 zile de depozitare s-a determinat stabilitatea compușilor fitochimici. Pentru comparație s-a realizat și o probă martor (M) în care nu a fost adăugată pudră.

## Dezvoltarea unor ingrediente pe bază de compuși biologic activi din cojile de ceapă roșie pentru utilizare în industria alimentară

### 7.3.3. Obținerea produsului de tip biscuiți aperitiv cu valoare adăugată cu adaos de pudră (V14)

Rețeta de biscuiți aperitiv conține următoarele ingrediente: 43 g făină integrală de orez (21,54%), 23 g făină de hrișcă (11,52%), 20 g unt 65% (10,02%), 5 g ulei de măsline (2,50%), 10 g gălbenuș (5,01%), 35 g apă (17,53%) 60 g cașcaval (30,6%), 1,40 g chimen (0,70%), 0,20 g piper negru (0,1%) și 2 g sare (1%) și pudră din cojile de ceapă roșie (B1-1% (1,99 g) și B2-3% (5,98 g)).

Astfel, untul, sarea, și gălbenușul s-au cântărit în bolul unui mixer, urmate de amestecarea timp de 2 min la 120 rpm. Se adaugă apoi apa și pudra din cojile de ceapă roșie (în diferite proporții) și se mixează timp de 5 min la 120 rpm. Cașcavalul se adaugă în următoarea etapă și se mixează timp de 10 min la ~250 rpm sub forma unei paste consistente. La sfârșit cele două tipuri de făină au fost adăugate, urmate de 1 min de amestecare la nivelul 1 pentru formarea aluatului. Aluatul obținut a fost răcit la 4 °C timp de 20 de min, modelat și apoi copt la 160 °C timp de 15 min. Biscuiții au fost temperați, ambalați în pungi de hârtie și păstrați la întuneric la temperatura camerei (20-25°C și umezeala relativă a aerului 65-70%) până la analize ulterioare. Pentru comparație, a fost realizată și o probă martor, care a respectat aceeași tehnologie, dar în care nu s-a adăugat pudră din cojile de ceapă roșie (M). De asemenea, după 28 zile de depozitare s-a determinat stabilitatea compușilor fitochimici.

## 7.12. REZULTATE ȘI DISCUȚII

### 7.12.1. Caracterizarea și evaluarea stabilității compușilor fitochimici la depozitarea sosului tahini cu valoare adăugată

În tabelul 7.1 sunt prezentate rezultatele obținute pentru profilul fitochimic al sosurilor tahini cu adaos de pudră din cojile de ceapă roșie precum și stabilitatea la depozitare pe parcursul a 14 zile de depozitare.

**Tabel 7.1.** Profilul fitochimic initial al sosului tahini pentru salată cu valoare adăugată și stabilitatea la depozitare pe parcursul a 14 zile de depozitare

Probe de sos	Timp , zile	AT, µgC3G/g s.u.	FT, mg EQ/g s.u.	PT, mg EAG/ s.u.	Activitate antioxidantă, mM Trolox/g s.u.
Control	0	-	1,59±0,04 <sup>a</sup>	0,99±0,03 <sup>a</sup>	2,61±0,19 <sup>a</sup>
	14	-	1,61 ±0,02 <sup>a</sup>	1,01 ±0,02 <sup>a</sup>	2,98 ±0,05 <sup>b</sup>
D1 (1 %)	0	12,59±0,16 <sup>a</sup>	1,88 ±0,01 <sup>b</sup>	1,56 ±0,01 <sup>b</sup>	7,20 ±0,08 <sup>c</sup>
	14	12,33 ±0,96 <sup>a</sup>	2,23 ±0,01 <sup>c</sup>	1,62 ±0,01 <sup>c</sup>	7,68 ±0,11 <sup>d</sup>
D2 (2 %)	0	22,46 ±0,20 <sup>b</sup>	2,62 ±0,02 <sup>d</sup>	2,01 ±0,02 <sup>d</sup>	10,52 ±0,12 <sup>e</sup>
	14	21,24 ±0,51 <sup>c</sup>	2,71 ±0,03 <sup>e</sup>	2,11 ±0,01 <sup>e</sup>	10,72 ±0,02 <sup>f</sup>
D3 (3 %)	0	32,92 ±0,11 <sup>d</sup>	3,14 ±0,02 <sup>f</sup>	2,62 ±0,03 <sup>f</sup>	12,37 ±0,28 <sup>g</sup>
	14	31,30 ±1,07 <sup>e</sup>	3,51 ±0,03 <sup>g</sup>	2,71 ±0,01 <sup>g</sup>	12,90 ±0,05 <sup>h</sup>

Valorile cu litere diferite în aceeași coloană sunt semnificativ diferite (p<0,05).

## Dezvoltarea unor ingrediente pe bază de compuși biologic activi din cojile de ceapă roșie pentru utilizare în industria alimentară

Din tabelul 7.1 se observă că încorporarea de pulbere în sosuri, a condus la creșterea tuturor compușilor bioactivi testați, în special odată cu creșterea concentrațiilor de pulbere. De asemenea, conținutul de AT crește odată cu creșterea concentrației de ingredient microîncapsulat cu extract din cojile de ceapă roșie iar cea mai mare valoare ( $32,92 \pm 0,11 \mu\text{g/g s.u.}$ ) a fost înregistrată pentru sosul cu 3% ingredient microîncapsulat. În urma depozitării timp de 14 zile la  $4^\circ\text{C}$ , se observă o ușoară scădere a conținutului de AT în sosul D1, iar în sosurile obținute D2 și D3 conținutul de AT a scăzut semnificativ ( $p < 0,05$ ). Pe de altă parte, conținuturile de FT și PT au prezentat o tendință de creștere după 14 zile de depozitare. Din tabelul 7.1, se poate observa o creștere a valorilor activității antioxidante pentru cele trei sosuri tahini pentru salată testate (D1, D2, D3) pe toată durata de depozitare, probabil datorită eliberării din microcapsule a altor compuși, în afară de antociani, precum fenolici, flavonoide etc.

### 7.12.2. Caracterizarea fizico-chimică a sosului tahini cu valoare adăugată

Conținuturile de umiditate, lipide, proteine, zaharuri și cenușă pentru sosurile tahini îmbogățite cu 1 și 3% pudră din cojile de ceapă roșie sunt prezentate în tabelul 7.2. Din tabelul 7.2 se observă că adaosul de ingredient a avut un aport important asupra conținutului de fibre, acesta crescând cu 23%, 42% și respectiv cu 47% față de proba martor.

**Tabel 7.2.** Caracteristicile fizico-chimice ale sosurilor tahini pentru salată preparate cu diferite cantități de pudră (0% - Martor, 1% - D1, 2% - D2 și 3% - D3)

Caracteristici fizico-chimice	Probe de sos			
	M	D1	D2	D3
Umiditate (g/100 g)	$49,51 \pm 0,11^a$	$48,45 \pm 2,09^a$	$46,79 \pm 1,85^a$	$45,99 \pm 1,37^a$
Lipide (g/100 g)	$41,19 \pm 1,32^a$	$40,64 \pm 1,07^a$	$40,21 \pm 0,12^a$	$39,81 \pm 1,03^a$
Proteine (g/100 g)	$4,11 \pm 0,02^d$	$4,82 \pm 0,06^c$	$5,66 \pm 0,03^b$	$6,34 \pm 0,08^a$
Zaharuri (g/100 g)	$1,05 \pm 0,01^a$	$1,04 \pm 0,01^{ab}$	$1,02 \pm 0,01^{bc}$	$1,01 \pm 0,01^c$
Fibre (g/100 g)	$2,82 \pm 0,01^d$	$3,64 \pm 0,14^c$	$4,83 \pm 0,32^b$	$5,33 \pm 0,15^a$
Cenușă (g/100 g)	$1,32 \pm 0,08^b$	$1,41 \pm 0,03^{ab}$	$1,49 \pm 0,01^a$	$1,52 \pm 0,05^a$
Valoare energetică Kcal	$404,22 \pm 10,39^a$	$401,98 \pm 10,23^a$	$401,34 \pm 9,31^a$	$400,36 \pm 9,08^a$
kJ	$1689,64 \pm 28,79^a$	$1680,27 \pm 27,48^a$	$1677,61 \pm 27,08^a$	$1673,52 \pm 26,58^a$

Valorile cu litere diferite în același rând sunt semnificativ diferite ( $p < 0,05$ ).

De asemenea, se remarcă și o creștere semnificativă a conținutului de proteine ( $p < 0,05$ ), la variantele de sosuri cu ingredient adăugat datorită prezenței IPS în microcapsule. În privința conținutului de grăsimi, rezultatele arată că sosurile cu adaos de pudră au prezentat un conținut mai redus de grăsimi. Cu toate acestea, valoarea energetică a sosurilor obținute cu adaos de pudră în diferite concentrații este apropiată de cea a sosului martor.

## Dezvoltarea unor ingrediente pe bază de compuși biologici activi din cojile de ceapă roșie pentru utilizare în industria alimentară

### 7.12.4. Analiza texturii sosului tahini pentru salată cu valoare adăugată

Tabelul 7.4 prezintă valorile parametrilor texturali pentru probele de sos tahini pentru salată. Analiza texturii a arătat că adăugarea de pulbere cu extract microîncapsulat din cojile de ceapă roșie a îmbunătățit proprietățile texturale ale sosului tahini pentru salată, proporțional cu concentrația.

**Tabel 7.4.** Parametrii texturali ai sosurilor tahini pentru salată preparate cu diferite cantități de pudră (0% - Martor, 1% - D1, 2% - D2 și 3% - D3)

Proprietăți texturale	Probe de sos			
	Martor	D1	D2	D3
Fermitate, N	0,32±0,04 <sup>b</sup>	0,40±0,03 <sup>b</sup>	0,41±0,02 <sup>b</sup>	0,84±0,06 <sup>a</sup>
Aderență, mJ	0,87±0,12 <sup>b</sup>	1,17±0,30 <sup>b</sup>	1,19±0,12 <sup>b</sup>	3,57±0,13 <sup>a</sup>
Coezivitate	0,70±0,06 <sup>a</sup>	0,71±0,01 <sup>a</sup>	0,72±0,01 <sup>a</sup>	0,80±0,01 <sup>a</sup>
Elasticitate, mm	7,73±0,65 <sup>a</sup>	8,11±0,01 <sup>a</sup>	8,17±0,08 <sup>a</sup>	8,49±0,20 <sup>a</sup>

Valorile mediilor într-un rând cu litere diferite sunt semnificativ diferite ( $p < 0,05$ ).

### 7.12.5. Comportamentul reologic al sosului tahini cu valoare adăugată

Influența adăugării de pulbere de microcapsule asupra proprietăților reologice ale probelor de sos tahini a fost evaluată prin măsurarea comportamentului dinamic vâscoelastic și de curgere. Adăugarea pulberii din cojile de ceapă roșie a permis cel mai probabil noi tipuri de interacțiuni intermoleculare între constituenții matricei complexe, cum ar fi interacțiunea dintre polizaharide și proteine sau lipide. Oricum, având în vedere dependența înaltă a valorilor vâscozității complexe de frecvența scanată pe parcursul testului oscilatoriu, observată în cazul tuturor probelor investigate, s-ar putea presupune că adăugarea de pulbere de microcapsule în sos nu a modificat forțele globale de interacțiune asigurând agregarea picăturilor în rețea (Diftis și colab., 2005).

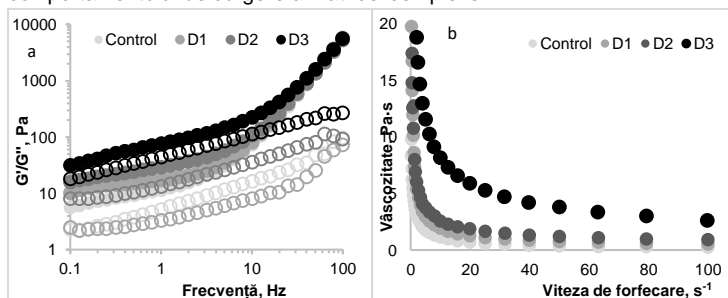
**Tabel 7.5.** Proprietățile reologice ale sosurilor tahini pentru salată preparate cu diferite cantități de pulbere de microcapsule (0% - Martor, 1% - D1, 2% - D2 și 3% - D3)

Proprietăți reologice	Probe			
	Martor	D1	D2	D3
Tensiune critică, %	2,03±0,002 <sup>d</sup>	2,54±0,008 <sup>c</sup>	3,19±0,016 <sup>b</sup>	5,17±0,087 <sup>a</sup>
Vâscozitate 1s <sup>-1</sup>	4,44±0,23 <sup>dA</sup>	8,70±0,02 <sup>cA</sup>	10,28±0,09 <sup>bA</sup>	27,93±1,90 <sup>aA</sup>
(Pa·s) la viteză de 10s <sup>-1</sup>	1,18±0,05 <sup>dB</sup>	1,97±0,03 <sup>cB</sup>	2,63±0,01 <sup>bB</sup>	8,21±0,004 <sup>aB</sup>
forfecare de 100s <sup>-1</sup>	0,288±0,012 <sup>dC</sup>	0,59±0,003 <sup>cC</sup>	0,96±0,02 <sup>bC</sup>	2,66±0,013 <sup>aC</sup>

Într-un rând, valorile mediilor cu litere mici diferite sunt semnificativ diferite ( $p < 0,05$ ). Într-o coloană, valorile mediilor cu litere majuscule diferite sunt semnificativ diferite ( $p < 0,05$ ).

## Dezvoltarea unor ingrediente pe bază de compuși biologic activi din cojile de ceapă roșie pentru utilizare în industria alimentară

Indiferent de viteza de forfecare, adăugarea de pulbere din cojile de ceapă roșie în sosul tahini a determinat creșterea semnificativă ( $p < 0,05$ ) a vâscozității (tabelul 7.5), sugerând eficiența sinergică a pulberii în limitarea comportamentului de curgere a matricei complexe.



**Figura 7.1.** Comportarea reologică a dressing-urilor cu diferite cantități de pulbere de microcapsule (0% - Control, 1% - D1, 2% - D2 și 3% - D3). (a) Rezultatele testului de scanare a domeniului de frecvență (modul de stocare ( $G'$ ) reprezentat cu simboluri pline și modul de relaxare ( $G''$ ) cu simboluri goale. (b) Rezultatele testului de curgere forțată.

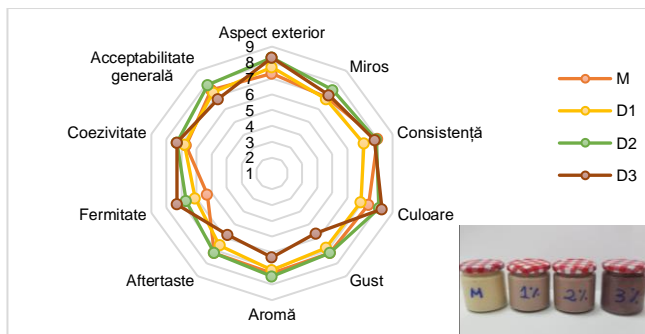
Reducerea vâscozităților cauzată de distrugerea treptată a structurii semisolidă și alinierea macromoleculilor sistemului cu direcția de forfecare este mai pronunțată în prima parte a domeniului vitezei de forfecare testat (până la  $10 s^{-1}$ ), ajungând să fie constantă la valori mari ale vitezei de forfecare (figura 7.1).

### 7.12.6. Analiza senzorială a sosului tahini cu valoare adăugată

Dressingul tahini pentru salată este un sos semi-solid din semințe de susan, fără aditivi alimentari, cu o aromă de susan și de cidru de mere – gata de folosit pentru salate. Figura 7.2 arată rezultatele obținute pentru evaluarea senzorială a sosurilor analizate. Analiza senzorială a relevat că sosul cu adaos de 2% pudră (D2) a primit scoruri mai mari pentru majoritatea atributelor analizate (aspect exterior, miros, consistență, gust, aroma, aftertaste și acceptabilitate generală) în comparație cu celelalte sosuri.



## Dezvoltarea unor ingrediente pe bază de compuși biologic activi din cojile de ceapă roșie pentru utilizare în industria alimentară



**Figura 7.2.** Diagrama comparativă a atributelor senzoriale specifice tipurilor de sos tahini: M- sos tahini fără adaos de pudră din cojile de ceapă roșie, D1, D2 și D3 - sos tahini cu adaos de 1; 2 și 3% pudră din cojile de ceapă roșie.

Analizând rezultatele evaluării senzoriale ale probelor de sosuri cu valoare adăugată, se remarcă faptul că varianta de sos D2 a fost cea mai apreciată de către echipa de degustători, având gust, miros și aroma echilibrate, plăcute, cu o consistență semi-solidă, fină, pudra îmbunătățind proprietățile de culoare și acceptabilitatea generală a sosului.

### 7.12.7. Caracterizarea fitochimică și evaluarea stabilității la depozitare a sosului de iaurt cu valoare adăugată

În vederea evidențierii valorii adăugate a probelor de sos de iaurt pentru salată, s-a efectuat caracterizarea fitochimică, rezultatele fiind prezentate în tabelul 7.6.

**Tabel 7.6.** Profilul fitochimic inițial al sosului de iaurt pentru salată cu valoare adăugată și stabilitatea pe parcursul a 14 zile de depozitare

Probe de sos	Timp, zile	AT, $\mu\text{gC3G/g}$ s.u.	FT, mg EQ/g s.u.	PT, mg EAG/s.u.	Activitate antioxidantă, mM Trolox/g s.u.
Control	0	-	1,97 $\pm$ 0,05 <sup>a</sup>	1,64 $\pm$ 0,06 <sup>a</sup>	2,28 $\pm$ 0,19 <sup>a</sup>
	14	-	2,11 $\pm$ 0,03 <sup>a</sup>	1,76 $\pm$ 0,02 <sup>a</sup>	2,43 $\pm$ 0,15 <sup>b</sup>
P1 (1 %)	0	30,02 $\pm$ 2,47 <sup>a</sup>	5,44 $\pm$ 0,06 <sup>b</sup>	3,40 $\pm$ 0,03 <sup>b</sup>	15,64 $\pm$ 0,14 <sup>c</sup>
	14	29,30 $\pm$ 1,08 <sup>a</sup>	5,52 $\pm$ 0,06 <sup>c</sup>	3,62 $\pm$ 0,03 <sup>c</sup>	16,44 $\pm$ 0,25 <sup>d</sup>
P2 (3 %)	0	53,25 $\pm$ 2,28 <sup>b</sup>	8,30 $\pm$ 0,18 <sup>d</sup>	5,67 $\pm$ 0,02 <sup>d</sup>	23,05 $\pm$ 0,14 <sup>e</sup>
	14	52,23 $\pm$ 1,07 <sup>c</sup>	8,40 $\pm$ 0,05 <sup>e</sup>	5,78 $\pm$ 0,01 <sup>e</sup>	24,01 $\pm$ 0,10 <sup>f</sup>

Valorile cu litere diferite în aceeași coloană sunt semnificativ diferite ( $p < 0,05$ ).

Din tabelul 7.6 se observă că adaosul de pudră în sosurile obținute a dus la creșterea conținutului de compuși biologic activi în comparație cu sosul martor. Conținutul de FT a variat în funcție de procentul de pudră

## Dezvoltarea unor ingrediente pe bază de compuși biologic activi din cojile de ceapă roșie pentru utilizare în industria alimentară

adăugat astfel P1 a crescut cu 2,76 ori față de proba martor, iar P2 cu 4,21 ori față de proba martor. Comportament similar se remarcă și în cazul conținutului de AT și PT. Activitatea antioxidantă a sosurilor de iaurt îmbogățite cu ingredient microîncapsulat a fost semnificativ mai mare decât cea a sosului martor.

Pe toată durata de depozitare, se poate observa la sosurile îmbogățite P1 și la P2 o ușoară scădere cu aproximativ 2% a conținutului de AT după 14 zile de depozitare la 4 °C. Pe de altă parte, conținuturile de fenolici (FT, PT) și activitatea antioxidantă a sosurilor îmbogățite cu pudră au fost semnificativ mai mari ( $p < 0,05$ ) decât cele ale sosului martor pe întreaga durată de depozitare, probabil datorită eliberării din microcapsule a compușilor polifenolici etc.

### 7.12.8. Caracterizarea fizico-chimică a sosului de iaurt cu valoare adăugată

Datele din tabelul 7.7 indică faptul că sosurile cu adaos de pudră din cojile de ceapă roșie se caracterizează printr-un conținut lipidic similar cu cel al sosului martor. Conținutul de zaharuri a crescut cu 45% în sosul P1 și respectiv cu 48% în sosul P2, față de sosul martor. Din punct de vedere al conținutului de proteine se observă o creștere semnificativă ( $p < 0,05$ ) a acestuia în raport cu procentul de pudră adăugat. Creșterea conținutului de proteine față de proba martor a arătat că pudra din cojile de ceapă roșie a reprezentat un ingredient alimentar cu valoare adăugată foarte bună, datorită valorii nutritive ridicate. Valoarea energetică a sosurilor cu adaos de pudră din cojile de ceapă roșie este mai mare comparativ cu cea a sosului martor.

**Tabel 7.7.** Caracteristicile fizico-chimice ale sosurilor de iaurt cu valoare adăugată preparate cu diferite cantități de pulbere (0% - Martor, 1% - P1 și 3% - P2)

Caracteristici fizico - chimice	Probe de sos		
	Martor	P1	P2
Umiditate (g/100 g)	75,86± 1,56 <sup>a</sup>	72,10± 3,11 <sup>a</sup>	71,92± 5,21 <sup>a</sup>
Lipide (g/100 g)	12,61± 0,91 <sup>a</sup>	12,11± 0,09 <sup>a</sup>	12,01± 1,03 <sup>a</sup>
Proteine (g/100 g)	6,52± 0,76 <sup>b</sup>	7,82± 0,03 <sup>a</sup>	7,74± 0,01 <sup>a</sup>
Zaharuri (g/100 g)	3,04± 0,05 <sup>c</sup>	5,56± 0,01 <sup>b</sup>	5,81± 0,02 <sup>a</sup>
Cenușă (g/100 g)	2,10± 0,03 <sup>c</sup>	2,41± 0,02 <sup>b</sup>	2,52± 0,06 <sup>a</sup>
Valoare energetică Kcal	156,47± 4,77 <sup>b</sup>	167,48± 1,01 <sup>a</sup>	167,25± 5,45 <sup>a</sup>
kJ	654,04± 6,79 <sup>b</sup>	700,07± 4,18 <sup>a</sup>	699,10± 9,68 <sup>a</sup>

Valorile dintr-un rând care au litere diferite (a, b, c) sunt semnificativ diferite ( $p < 0,05$ ).

### 7.12.10. Analiza texturii pentru sosul de iaurt cu valoare adăugată

Analiza instrumentală a texturii sosurilor de iaurt pe bază de adaos de ingredient microîncapsulat din cojile de ceapă roșie a vizat determinarea fermității, aderenței, coezivității și elasticității probelor, ca răspuns la deformarea lor, realizată printr-o compresiune dublă, rezultatele fiind prezentate în tabelul 7.9.

## Dezvoltarea unor ingrediente pe bază de compuși biologic activi din cojile de ceapă roșie pentru utilizare în industria alimentară

**Tabel 7.9.** Parametrii texturali ai probelor de sos de iaurt cu valoare adăugată preparate cu diferite cantități de pulbere (0% - Martor, 1% - P1 și 3% - P2)

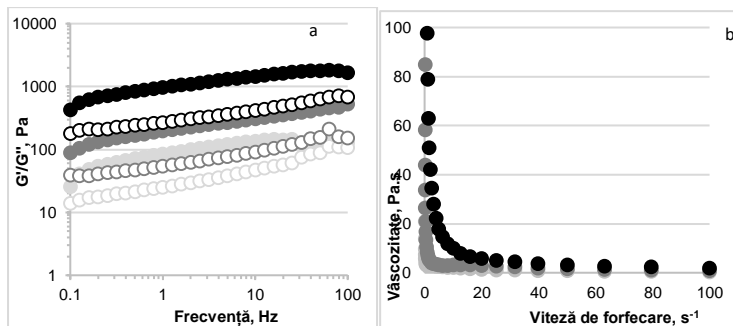
Proprietăți texturale	Probe de sos		
	Martor	P1	P2
Fermitate, N	0,26±0,03 <sup>c</sup>	0,42±0,03 <sup>b</sup>	0,88±0,02 <sup>a</sup>
Aderență, mJ	0,42±0,06 <sup>c</sup>	1,67±0,07 <sup>b</sup>	3,01±0,10 <sup>a</sup>
Coezivitate	0,86±0,01 <sup>a</sup>	0,75±0,02 <sup>b</sup>	0,55±0,01 <sup>c</sup>
Elasticitate, mm	8,72±0,11 <sup>a</sup>	8,85±0,01 <sup>a</sup>	8,13±0,02 <sup>b</sup>

Valorile cu litere diferite în același rând sunt semnificativ diferite ( $p < 0,05$ ).

Analiza instrumentală a texturii a evidențiat faptul că adaosul de pudră obținută prin microîncapsularea extractului din cojile de ceapă roșie, în procent de peste 1%, îmbunătățește caracteristicile texturale ale sosurilor de iaurt pentru salată.

### 7.12.11. Comportamentul reologic al sosului de iaurt cu valoare adăugată

Proprietățile reologice ale sosurilor pe bază de iaurt cu diferite concentrații de pulbere adăugată au fost analizate după 24 h de depozitare la 4 °C (Figura 7.4).



**Figura 7.4.** Comportarea reologică a sosurilor pe bază de iaurt, preparate cu diferite cantități de pulbere de microcapsule (0% - Control, 1% - P1, 3% - P2). (a) Rezultatele testului de scanare a domeniului de frecvență (modul de stocare ( $G'$ ) reprezentat cu simboluri pline și modul de relaxare ( $G''$ ) cu simboluri goale. (b) Rezultatele testului de curgere forțată.

## Dezvoltarea unor ingrediente pe bază de compuși biologic activi din cojile de ceapă roșie pentru utilizare în industria alimentară

**Tabel 7.10.** Proprietățile reologice ale sosurilor pe bază de iaurt, preparate cu diferite cantități de pulbere de microcapsule (0% - Control, 1% - P1, 3% - P2)

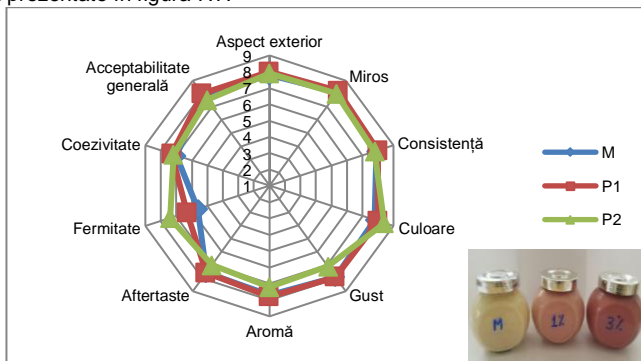
Proprietăți reologice		Probe		
		Control	P1	P2
Test de scanare a frecvenței	G', Pa	71,54±4,29 <sup>c</sup>	197,6±2,55 <sup>b</sup>	1097,2±6,79 <sup>a</sup>
	G'', Pa	21,4±0,88 <sup>c</sup>	54,85±1,34 <sup>b</sup>	303,55±19,45 <sup>a</sup>
	Tan(δ)	0,30±0,01 <sup>a</sup>	0,278±0,003 <sup>b</sup>	0,278±0,003 <sup>b</sup>
Test de curgere	Vâscozitate (Pa·s)	1s <sup>-1</sup> 3,29±0,31 <sup>cA</sup>	7,58±0,42 <sup>bA</sup>	77,22±2,45 <sup>aA</sup>
	la viteză de	10s <sup>-1</sup> 2,11±0,10 <sup>cB</sup>	3,32±0,16 <sup>bB</sup>	10,53±0,78 <sup>aB</sup>
	forfecare de	100s <sup>-1</sup> 0,52±0,02 <sup>cC</sup>	1,045±0,001 <sup>bC</sup>	2,12±0,01 <sup>aC</sup>

Într-un rând, valorile mediilor cu litere mici diferite sunt semnificativ diferite (p<0,05). Într-o coloană, valorile mediilor cu litere majuscule diferite sunt semnificativ diferite (p<0,05).

Independent de concentrația pulberii introdusă în matricea pe bază de iaurt se observă o scădere a vâscozității aparente pe întreg domeniul de viteze de forfecare. Sosurile de iaurt cu valoare adăugată au prezentat valori superioare ale parametrilor reologici comparativ cu proba control/martor. Analizând rezultatele prezentate în tabelul 7.10 se poate observa că vâscozitatea aparentă a crescut semnificativ odată cu concentrația pudrei (p<0,05).

### 7.12.12. Analiza senzorială a sosului de iaurt cu valoare adăugată

Dressingul de iaurt pentru salată este un sos cremos din iaurt, fără aditivi alimentari, cu o aromă de usturoi – gata de folosit pentru salate. Scorurile medii ale atributelor senzoriale obținute în urma analizei senzoriale sunt prezentate în figura 7.7.



**Figura 7.7.** Diagrama comparativă a atributelor senzoriale specifice tipurilor de sos: M(martor/control) - sos de iaurt fără adaos de pudră din cojile de ceapă roșie, P1 și P2 - sos de iaurt cu adaos de 1 și 3% pudră din cojile de ceapă roșie.

## Dezvoltarea unor ingrediente pe bază de compuși biologic activi din cojile de ceapă roșie pentru utilizare în industria alimentară

Analiza senzorială a evidențiat că sosul obținut cu adaos de 1% pudră din cojile de ceapă roșie (P1) a primit scoruri mai mari pentru majoritatea atributelor analizate (aspect exterior, miros, consistență, gust, aromă, aftertaste, coezivitate și acceptabilitate generală) în comparație cu celelalte sosuri analizate. Analizând rezultatele evaluării senzoriale a sosurilor de iaurt cu valoare adăugată, se remarcă faptul că sosul P1 cu adaos de 1% pudră a fost cel mai apreciat de către paneliști având o consistență fină și cremoasă cu o culoare echilibrată, plăcută, corespunzătoare cepei roșii.

### 7.12.13. Caracterizarea fitochimică și evaluarea stabilității la depozitare a biscuiților aperitiv (crackers) cu valoare adăugată

Pentru a testa pulberea din cojile de ceapă roșie (V14) ca ingredient alimentar multifuncțional, a fost adăugată la o rețetă de biscuiți sărați în diferite procente de 1% (B1) și 3% (B2).

Tabelul 7.11 prezintă conținutul în compuși fitochimici al probelor de biscuiți aperitiv și stabilitatea pe parcursul a 28 de zile de depozitare. Adăugarea de pulbere în biscuiți a dus la creșteri ale nivelurilor de AT, FT și PT. *In vitro*, activitatea antioxidantă a biscuiților cu adaos de pudră a fost influențată pozitiv de compușii bioactivi extrași din extractul din cojile de ceapă roșie.

Biscuiții ambalați au fost expuși la condiții de depozitare precum temperatura camerei de aproximativ 25 °C, pe o perioadă de 4 săptămâni. După 28 de zile de depozitare, s-a constatat o scădere semnificativă ( $p < 0,05$ ) a conținutului de AT în variantele obținute, de 24% și 17% pentru probele B1 și B2. Mai mult, s-a observat o scădere semnificativă pe toată perioada de depozitare a conținutului de PT pentru cele două variante de biscuiți obținuți, în timp ce conținutul de FT a variantelor de biscuiți a rămas constant. Din tabelul 7.11, se poate remarca o scădere semnificativă de 8 % și respectiv 6 % ( $p < 0,05$ ) a activității antioxidante pentru biscuiții B1 și B2 pe toată perioada de depozitare testate.

**Tabel 7.11.** Profilul fitochimic inițial al biscuiților aperitiv cu valoare adăugată și stabilitatea la depozitare pe parcursul a 28 de zile

Probe de biscuiți	Timp, zile	AT, $\mu\text{gC3G/g}$ s.u.	FT, mg EQ/g s.u.	PT, mg EAG/ s.u.	Activitate antioxidantă, mM Trolox/g s.u.
Control	0	-	1,13±0,02 <sup>a</sup>	1,47±0,04 <sup>a</sup>	4,18 ±0,11 <sup>a</sup>
	28	-	1,16±0,01 <sup>a</sup>	1,50±0,01 <sup>a</sup>	4,38 ±0,07 <sup>a</sup>
B1 (1 %)	0	27,57±0,24 <sup>a</sup>	2,52 ±0,03 <sup>b</sup>	2,44 ±0,03 <sup>b</sup>	9,88 ±0,06 <sup>b</sup>
	28	22,24 ±0,13 <sup>b</sup>	2,49 ±0,02 <sup>b</sup>	2,38 ±0,01 <sup>c</sup>	9,18 ±0,08 <sup>c</sup>
B2 (3 %)	0	39,18 ±0,65 <sup>c</sup>	4,57 ±0,19 <sup>c</sup>	3,62 ±0,01 <sup>d</sup>	11,57 ±0,06 <sup>d</sup>
	28	33,51 ±0,33 <sup>d</sup>	4,53 ±0,01 <sup>c</sup>	3,56 ±0,01 <sup>e</sup>	10,96 ±0,03 <sup>e</sup>

Valorile cu litere diferite în aceeași coloană sunt semnificativ diferite ( $p < 0,05$ ).

## Dezvoltarea unor ingrediente pe bază de compuși biologic activi din cojile de ceapă roșie pentru utilizare în industria alimentară

### 7.12.14. Caracterizarea fizico-chimică a biscuiților aperitiv cu valoare adăugată

Biscuiții aperitiv cu valoare adăugată au fost analizați din punct de vedere fizico-chimic, rezultatele fiind prezentate în tabelul 7.12.

**Tabel 7.12.** Caracteristicile fizico-chimice ale biscuiților cu valoare adăugată preparați cu diferite cantități de pulbere (0% - Martor, 1% - B1 și 3% - B2)

Caracteristici fizico - chimice	Probe de biscuiți		
	M	B1	B2
Umiditate (g/100 g)	7,31 ± 0,16 <sup>a</sup>	7,22±0,14 <sup>a</sup>	7,36±0,04 <sup>a</sup>
Lipide (g/100 g)	22,43±0,03 <sup>a</sup>	22,38±0,01 <sup>a</sup>	22,39±0,04 <sup>a</sup>
Proteine (g/100 g)	10,43±0,18 <sup>a</sup>	10,59±0,11 <sup>a</sup>	10,62±0,06 <sup>a</sup>
Zaharuri (g/100 g)	58,54±0,01 <sup>a</sup>	58,51±0,02 <sup>a</sup>	58,31±0,02 <sup>b</sup>
Fibre (g/100 g)	4,34±0,32 <sup>a</sup>	4,54±0,09 <sup>a</sup>	4,68±0,13 <sup>a</sup>
Cenușă (g/100 g)	1,29±0,03 <sup>a</sup>	1,30±0,01 <sup>a</sup>	1,33±0,01 <sup>a</sup>
Valoare energetică Kcal	491,37±1,05 <sup>a</sup>	491,44±0,62 <sup>a</sup>	490,84±0,69 <sup>a</sup>
kJ	2053,94±4,39 <sup>a</sup>	2054,22±2,59 <sup>a</sup>	2051,72±2,89 <sup>a</sup>

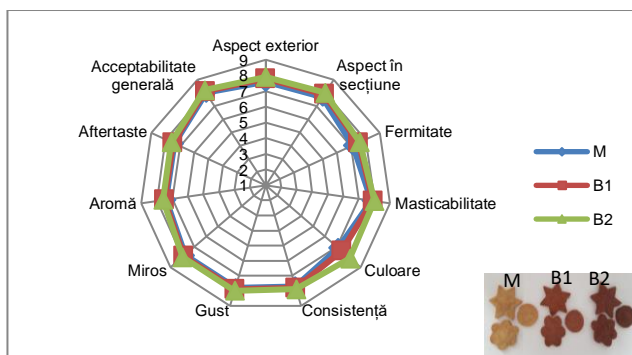
Valorile dintr-un rând care au litere diferite (a, b) sunt semnificativ diferite (p<0,05).

Rezultatele prezentate în tabelul 7.12 indică faptul că biscuiții aperitiv cu adaos de pudră din cojile de ceapă roșie se caracterizează printr-un conținut proteic și lipidic similar cu cel al probei martor. În schimb, conținutul de carbohidrați al biscuiților B2 cu valoare adăugată este semnificativ mai mic decât cel al biscuiților martor (p<0,05). Conținutul de fibre a crescut cu 4,40% și respectiv cu 7,30% față de proba martor. În ceea ce privește valoarea energetică, se constată că valorile energetice ale tuturor variantelor îmbogățite de biscuiți sunt foarte apropiate.

### 7.12.16. Analiza senzorială a biscuiților aperitiv cu valoare adăugată

Atributele senzoriale înregistrate pentru probele de biscuiți aperitiv îmbogățite cu diferite concentrații de pudră din cojile de ceapă roșie sunt prezentate în figura 7.9. Probele de biscuiți obținute cu adaos de pulbere au fost preferate de toți paneliștii, în principal din cauza culorii brune-roșiatice dată de antocianii din cojile de ceapă roșie. Probele de biscuiți cu adaos de pudră din cojile de ceapă roșie au fost evaluate ca având un gust, miros și culoare echilibrate. Mai mult, a fost apreciată consistența fragedă, onctuoasă precum și fermitatea casantă la rupere.

## Dezvoltarea unor ingrediente pe bază de compuși biologic activi din cojile de ceapă roșie pentru utilizare în industria alimentară



**Figura 7.9.** Diagrama comparativă a atributelor senzoriale specifice tipurilor de biscuiți aperitiv: M- biscuiți fără adaos de pudră din cojile de ceapă roșie, B1 și B2 - biscuiți cu adaos de 1 și 3% pudră din cojile de ceapă roșie.

Îmbogățirea biscuiților aperitiv cu pudră a condus la îmbunătățirea culorii biscuiților evidențiindu-se o culoare brună roșie atractivă ca urmare a cantităților mai mari de antociani existente.

### 7.13. Concluzii parțiale

Obiectivele științifice ale studiului au fost îndeplinite, astfel:

- În acest capitol, s-a testat posibilitatea de valorificare a variantelor experimentale de pudre (V10, V12, V14) cu profiluri fitochimice remarcabile, obținute prin microîncapsularea extractelor din cojile de ceapă roșie, având ca obiectiv principal dezvoltarea unor tehnologii inovative de obținere a unor produse alimentare cu valoare adăugată, exprimată în termeni dați de conținutul de compuși biologic activi și activitatea antioxidantă.
- Ținând cont de proprietățile specifice (culoare, conținut de compuși biologic activi), ale celor trei variante experimentale de pudre, au fost dezvoltate trei produse cu valoare adăugată două sosuri pentru salată și biscuiți sărați aperitiv. Pentru aceste produse, varianta experimentală de pudră V10 a fost adăugată în proporție de 1, 2 și 3% într-un sos pe bază de tahini, varianta de pudră V12 în proporție de 1 și 3% într-un sos de iaurt iar varianta de pudră V14 în proporție de 1 și 3% în biscuiții aperitiv.
- În probele de sos tahini, s-a observat că prin adaosul de pudră, activitatea antioxidantă crește semnificativ, de aproape 2,76 ori în proba D1 cu adaos de 1%, 4,03 ori în proba D2 cu adaos de 2% și de circa 4,74 ori în proba D3 cu 3% ingredient încapsulat comparativ cu proba de sos martor. În cazul variantelor experimentale de sos de iaurt în care s-a adăugat varianta de pudră V12, s-au obținut valori superioare ale conținutului de AT de  $30,02 \pm 2,47 \mu\text{g C3G/g}$  s.u. în varianta

## Dezvoltarea unor ingrediente pe bază de compuși biologic activi din cojile de ceapă roșie pentru utilizare în industria alimentară

- experimentală P1 de sos cu un procent de 1% și de  $53,25 \pm 2,28$   $\mu\text{g}$  C3G/g s.u. în varianta P2 de sos cu 2% ingredient microîncapsulat.
- Biscuiții aperitiv au prezentat valori superioare ale activității antioxidante,  $4,18 \pm 0,11$  mM Trolox/g s.u. în proba martor,  $9,88 \pm 0,06$  mM Trolox/g s.u. pentru varianta B1 care a utilizat pudra V14 în procent de 1% și  $11,57 \pm 0,06$  mM Trolox/g s.u. pentru varianta B2 care a utilizat pudra V14 în procent de 3%, cu o creștere a valorii antioxidante de 58% în cazul primei variante și de 64% în varianta de biscuiți B2.
  - Produsele cu valoare adăugată au prezentat o compoziție fizico-chimică îmbunătățită din punct de vedere al conținutului de proteine, fibre iar valoarea energetică a produselor cu adaos de pudră este apropiată de cea a produsului martor.
  - Sosurile pentru salată au fost testate pentru proprietățile reologice, cu evidențierea faptului că valorile G' au fost superioare lui G'', pe întreg domeniul de frecvență testat sugerând faptul că, toate probele de sosuri și-au păstrat din structura specifică, prezentând un comportament asemănător solidelor precum și un comportament de fluidificare în condiții de forfecare.
  - Analiza instrumentală a texturii pentru sosurile pentru salată pe bază de pudră din cojile de ceapă roșie a vizat determinarea fermității, coezivității, aderenței și elasticității probelor, ca răspuns la deformarea lor (metoda TPA). Analiza parametrilor texturali, arată faptul că adaosul de ingredient microîncapsulat, în procent de peste 1%, a îmbunătățit proprietățile texturale ale sosurilor pentru salată pe bază de pudră din cojile de ceapă roșie.
  - Evaluarea produselor prin analiza senzorială a demonstrat că produsele cu adaos de pulbere au fost mai apreciate senzorial, iar pulberea din cojile de ceapă roșie adăugată a îmbunătățit aspectul produselor, atât din punct de vedere vizual, al culorii cât și textural. Încorporarea pudrelor în produsele analizate nu a condus la efecte negative asupra proprietăților senzoriale.
  - Sosurile pentru salată sunt emulsii semi-solide, acide, ulei în apă, cu o textură cremoasă. Utilizarea pudrei din cojile de ceapă roșie ca și colorant în sosurile obținute menține caracteristicile nutriționale și îmbunătățește acceptarea senzorială și stabilitatea sosurilor.
  - Acest studiu a demonstrat că adăugarea de ingrediente naturale obținute din cojile de ceapă roșie reprezintă un mijloc promițător de obținere a unor produse cu valoare adăugată, dată de activitatea antioxidantă, precum și de creșterea valorilor nutritive ale produselor obținute.



## **CAPITOLUL 8. CONCLUZII FINALE**

Studiile recente au arătat că subprodusele agroalimentare trebuie considerate surse regenerabile și ieftine de compuși bioactivi cu valoare adăugată în producția de aditivi alimentari, alimente funcționale, suplimente și nutraceutice. Deoarece cojile de ceapă roșie sunt deosebit de bogate în substanțe fitochimice, recuperarea și valorificarea acestor compuși din subprodusele de ceapă reprezintă un aspect important atât în ceea ce privește reducerea impactului asupra mediului, al eliminării deșeurilor alimentare, cât și utilizarea substanțelor cu valoare adăugată ridicată cu efecte benefice asupra sănătății. Prin urmare, gestionarea adecvată a cojile de ceapă roșie va influența schimbarea pentru un model de economie circulară și, un nou concept perceput ca o opțiune eficientă pe termen lung de transformare și creștere a valorii acestor produse secundare.

În acest context, s-a vizat extracția principalilor compuși bioactivi din această matrice pentru a-i încorpora în continuare în ingrediente naturale cu valoare adăugată care ar putea avea diferite scopuri. Prin urmare studiile din teza de doctorat, intitulată „*Dezvoltarea unor ingrediente pe bază de compuși biologic activi din cojile de ceapă roșie pentru utilizare în industria alimentară*” au urmărit valorificarea și cuantificarea compușilor biologic activi din cojile de ceapă roșie în vederea dezvoltării unor ingrediente funcționale care să vină în sprijinul consumatorilor. Toate obiectivele evidențiate au fost îndeplinite, în partea de concluzii parțiale de la sfârșitul fiecărui capitol precum și în concluziile generale rezumate în acest capitol.

- ✓ Prin comparație, patru tehnici de extracție au fost testate pentru conținutul în compuși biologic activi și activitatea antioxidantă. Extractul obținut prin extracție convențională cu etanol de concentrație 70% și HCl de concentrație 0,1N la temperatura de 25°C și 120 min de extracție a fost considerat superior din punct de vedere al concentrației în compuși biologic activi.
- ✓ În urma analizei celor patru factori: concentrația de acid citric, concentrația de etanol, timpul de extracție și temperatura, și prin folosirea matricei de proiecție Central Composite Design, s-a remarcat că, concentrația de etanol și timpul de extracție au influențat pozitiv extracția de AT în timp ce temperatura a avut un efect negativ minor asupra activității antioxidante.
- ✓ Au fost stabilite condițiile optime pentru extracția maximă a antocianilor și a compușilor care conferă activitate antioxidantă ca fiind: concentrația de etanol de 60%, concentrația de acid citric de 0,87%, timpul de extracție de 180 min, la temperatura de 25°C.
- ✓ Analiza cromatografică a antocianilor din extractul optimizat din cojile de ceapă roșie a evidențiat doi compuși majoritari reprezentați de cianidin 3-(6"-malonil-laminaribiozidul) și cianidin 3-laminaribiozidul.

## Dezvoltarea unor ingrediente pe bază de compuși biologic activi din cojile de ceapă roșie pentru utilizare în industria alimentară

---

- ✓ Pentru a descrie cantitativ impactul tratamentului termic asupra conținutului de compuși bioactivi și a activității antioxidante a extractului din cojile de ceapă roșie s-au realizat studii cinetice de degradare termică realizate în intervalul de temperatură 75-155 °C. Acestea au subliniat faptul că antocianii prezintă o stabilitate termică ridicată în intervalul de temperatură de la 75 la 135 °C. Cinetica de degradare termică a conținutului în compuși fitochimici și a activității antioxidante din extractul din cojile de ceapă roșie a urmat modelul cinetic de ordinul întâi.
- ✓ Valorile parametrilor de degradare termică pentru activitatea antioxidantă au fost semnificativ mai mici decât cei estimați pentru degradarea termică a antocianilor, indicând termostabilitate diferită a compușilor bioactivi din extract. Determinarea parametrilor termodinamici a confirmat prezumțiile anterioare de reacție ireversibilă și nesontană pentru modelul cinetic de ordinul întâi. Rezultatele tratamentului termic oferă informații importante privind cinetica degradării compușilor fitochimici, informații ce pot fi utile pentru optimizarea condițiilor de tratament termic în industria alimentară (procesul de pasteurizare sau sterilizare) în vederea obținerii de produse pe bază de pigmenți antocianici din cojile de ceapă roșie, pentru a reduce la minimum pierderea culorii și a componentelor bioactive.
- ✓ A fost studiat efectul componentelor polifenolice din extractul din cojile de ceapă roșie împotriva enzimelor relevante în hiperglicemie, dislipidemie și stres oxidativ asociate cu sindromul metabolic și procesele pro-inflamatorii. Extractul din cojile de ceapă roșie a prezentat activitate de inhibare mai mare în comparație cu cea a compușilor de referință asupra enzimelor  $\alpha$ -amilază și  $\alpha$ -glucozidază având potențial antidiabetic. Extractul a inhibat *in vitro* lipaza pancreatică și LOX, și prin urmare, poate exercita un potențial moderat antiinflamator și de prevenire împotriva bolii legate de hiperlipidemie.
- ✓ În acest studiu au fost dezvoltate o serie de variante de microîncapsulare a extractului din cojile de ceapă roșie, care au utilizat tehnici precum coacervarea complexă, încapsularea sub formă de lipozomi și gelifierea la rece, utilizând ca materiale de încapsulare diferite polizaharide (CMC, MD, P și GA) și proteine (IPS, IPZ). Încapsularea eficientă a antocianilor din extractul din cojile de ceapă roșie s-a realizat prin combinația complexă de gelifiere la rece și liofilizare, obținându-se pudre cu eficiență de încapsulare mare ( $82,46 \pm 0,92\%$ -  $97,36 \pm 2,61\%$ ).
- ✓ Pudrele cu caracteristici superioare din punct de vedere al profilului fitochimic și al eficienței de încapsulare au fost selectate și au prezentat conținut satisfăcător de compuși fitochimici și activitate biologică

## Dezvoltarea unor ingrediente pe bază de compuși biologic activi din cojile de ceapă roșie pentru utilizare în industria alimentară

---

- remarcabilă, în special antioxidantă. Pulberile fine au prezentat structuri morfologice diferite și dimensiuni de ordinul micrometrilor diferite, în funcție de matricile de încapsulare utilizate.
- ✓ Pudrele fine, de culoare roșu închis s-au caracterizat printr-o stabilitate bună la depozitare, studiile de digestibilitate *in vitro* sugerând o bună protecție a antocianilor în sistemul gastric și o eliberare controlată, treptată a antocianilor în sistemul intestinal.
  - ✓ Rezultatele digestibilității *in vitro* sunt susținute de rezultatele analizei SEM a microcapsulelor (V14) astfel datorită suprafeței sferice a microparticulelor care prezintă unele protuberanțe și fisuri are loc o eliberare a compușilor antocianici mai ușoară în mediul intestinal.
  - ✓ Pentru a evalua potențialul de aplicare industrială a ingredientelor naturale din cojile de ceapă roșie obținute prin microîncapsulare, au fost elaborate diferite variante tehnologice de obținere a trei produse cu valoare adăugată, funcționalitatea acestora fiind evaluată prin conținutul de compuși fitochimici și activitatea antioxidantă.
  - ✓ O creștere semnificativă a conținutului de compuși bioactivi a fost observată odată cu adăugarea de ingredient microîncapsulat, în timp ce proprietățile reologice au arătat că probele de sosuri obținute au prezentat un comportament asemănător solidului, indiferent de procentul adăugat. Analiza texturii sosurilor obținute a condus la concluzia că adaosul pudrei în sosuri îmbunătățește proprietățile texturale ale produsului finit.
  - ✓ Rezultatele analizelor instrumentale sunt susținute de rezultatele unor atribute senzoriale evaluate de către paneliști, astfel nuanța de roșu a produselor obținute cu adaos de pudră a fost apreciată în mod particular de către paneliști, așa cum a reieșit de la determinarea parametrilor de culoare CIELAB, intensitatea culorii roșii fiind atribuită parametrului a\*. Fermitatea produselor analizate determinată instrumental crește odată cu creșterea concentrației de pudră adăugată acest lucru fiind perceput și apreciat și de către paneliști la evaluarea senzorială a fermității sosurilor. Analizând rezultatele proprietăților reologice se poate observa că vâscozitatea a crescut odată cu concentrația de pudră adăugată în produse sugerând eficiența sinergică a pulberii în limitarea comportamentului de curgere a matricelor complexe (sosuri).
  - ✓ Încorporarea pudrelor în produsele analizate precum sosuri, biscuiți este o idee nouă ce poate oferi posibilitatea de a extinde utilizarea ingredientelor obținute din cojile de ceapă roșie, sporind în același timp valoarea nutritivă a alimentelor. Acest lucru facilitează de asemenea dezvoltarea de produse alimentare inovatoare și brevetabile.
  - ✓ Toate produsele obținute au valoare adăugată remarcată prin activitate antioxidantă ridicată, culoarea îmbunătățită, valoarea nutrițională și

## Dezvoltarea unor ingrediente pe bază de compuși biologic activi din cojile de ceapă roșie pentru utilizare în industria alimentară

---

- proprietățile texturale și reologice care modifică percepția consumatorilor.
- ✓ Concentrația optimă de pudră din cojile de ceapă roșie, adăugată în produse a fost de până la 3%, deoarece concentrații mai mari de 3% nu au fost pretabile din punct de vedere senzorial și tehnologic. Analiza rezultatelor obținute a confirmat că utilizarea compușilor polifenolici din pudrele obținute cu extract microîncapsulat din cojile de ceapă roșie, cu rol colorant și antioxidant îmbunătățește calitatea senzorială și nutrițională a produselor alimentare obținute, datorită faptului că pudrele au o solubilitate bună, culoare intensă și o stabilitate ridicată.
  - ✓ Rezultatele obținute au permis concluzionarea faptului că extractele din cojile de ceapă roșie au valoare din punct de vedere al conținutului în compuși fitochimici, în timp ce microîncapsularea oferă posibilitatea de a dezvolta ingrediente natural funcționale care pot substitui aditivii sintetici și pot contribui la dezvoltarea produselor alimentare cu valoare adăugată.

### CAPITOLUL 9. CONTRIBUȚII ORIGINALE ȘI PERSPECTIVE DE CONTINUARE A STUDIILOR

Teza de doctorat intitulată "*Dezvoltarea unor ingrediente pe bază de compuși biologic activi din cojile de ceapă roșie pentru utilizare în industria alimentară*" constituie o cercetare originală, care permite parcurgerea unor stadii de cercetare fundamentală și aplicativă, care vizează stabilirea strategiilor de recuperare și reintegrare în sistemul alimentar a compușilor bioactivi, ce oferă multiple beneficii pozitive pentru sănătate.

**Contribuțiile originale** ale tezei de doctorat derivă din următoarele aspecte:

- Testarea și compararea diferitelor tehnici de extracție din perspectiva stabilirii condițiilor optime pentru maximizarea extracției compușilor bioactivi (antociani) și a activității antioxidante din cojile de ceapă roșie;
- Caracterizarea avansată a extractelor obținute din cojile de ceapă roșie prin diferite tehnici spectrofotometrice și cromatografice pentru profilarea fitochimică detaliată;
- Studiul parametrilor cinetici de degradare a compușilor biologic activi în vederea optimizării condițiilor de procesare industrială și menținerii proprietăților biochimice în produsele finite procesate, toate acestea fiind realizate din punct de vedere al relațiilor molecule-proces-funcție-produs;
- Evidențierea efectului inhibitor *in vitro* al polifenolilor din extractul din cojile de ceapă roșie asupra enzimelor  $\alpha$ -amilază,  $\alpha$ -glucozidază, lipază și lipoxigenază, astfel extractul prezintă un potențial efect antidiabetic, antiinflamator și de prevenire împotriva bolii legate de hiperlipidemie;

## Dezvoltarea unor ingrediente pe bază de compuși biologic activi din cojile de ceapă roșie pentru utilizare în industria alimentară

- Dezvoltarea de variante microîncapsulate (gelifierea și liofilizarea) sub forma unor pudre colorate, stabile cu rol de ingrediente naturale, inovative principalul avantaj fiind de a stabili funcțiile biologice și tehnologice ale compușilor hidrofili (antociani) din extractele din cojile de ceapă roșie;
- Valorificarea și reintegrarea compușilor biologic activi din cojile de ceapă roșie rezultate de la procesarea industrială a cepei roșii în produse alimentare cu valoare adăugată, în special antioxidantă contribuind practic la aplicarea conceptului de economie circulară în România.

În ceea ce privește perspectivele de continuare a studiilor de cercetare a cojilor de ceapă roșie, se prevăd următoarele:

- Determinarea activității antibacteriene și antifungice a extractelor din cojile de ceapă roșie;
- Testarea potențialului probiotic, citotoxic și antiproliferativ al pudrelor microîncapsulate pe bază de extract din cojile de ceapă roșie;
- Evaluarea mecanismelor de legare dintre antociani și matricele proteine-polizaharide prin experimente de docking molecular, modelele moleculară și prin spectroscopie de fluorescență;
- Formularea altor produse alimentare cu valoare adăugată (produse de panificație, de patiserie și cofetărie, produse lactate fermentate);
- Obținerea drepturilor de proprietate intelectuală pentru toate produsele alimentare realizate.

Prin urmare, relația **molecule-proces-funcție-produs** constituie elementul de originalitate al tezei de doctorat iar această abordare poate fi aplicată și la alte produse secundare vegetale (roșie, varză, conopidă, mazăre, morcov negru, cartof dulce mov, dovleac) pentru reîncorporarea compușilor biologic activi în produse alimentare, având un impact pozitiv asupra potențialului de îmbunătățire a calității vieții prin dezvoltarea produselor alimentare diverse.

## CAPITOLUL 10. VALORIFICAREA REZULTATELOR

Diseminarea rezultatelor cercetărilor realizate pe întreaga parcursul studiilor doctorale s-au concretizat în următoarele articole științifice publicate sau comunicate la conferințe naționale și internaționale, premii, după cum urmează:

### I. Articole publicate în reviste cotate ISI

1. Stoica, F.; Aprodu, I.; Enachi, E.; Stanciuc, N.; Condurache, N.N.; Duță, D.E.; Bahrim, G.E.; Răpeanu, G. Bioactive's Characterization, Biological Activities, and In Silico Studies of Red Onion (*Allium cepa* L.) Skin

## Dezvoltarea unor ingrediente pe bază de compuși biologic activi din cojile de ceapă roșie pentru utilizare în industria alimentară

---

- Extracts. *Plants* 2021, 10, 2330. <https://doi.org/10.3390/plants10112330> Q1, Impact Factor = 4,658
2. Stoica, F.; Condurache, N.N.; Horincar, G.; Constantin, O.E.; Turturica, M.; Stanciu, N.; Aprodu, I.; Croitoru, C.; Râpeanu, G. Value-Added Crackers Enriched with Red Onion Skin Anthocyanins Entrapped in Different Combinations of Wall Materials. *Antioxidants* 2022, 11(6), 1048; <https://doi.org/10.3390/antiox11061048> Q1, Impact Factor = 7.675
  3. Stoica, F.; Aprodu, I.; Enachi, E.; Andronoiu D.G.; Stanciu, N.; Condurache, N.N.; Croitoru, C.; Bahrim, G.E.; Râpeanu G. Value-added salad dressing enriched with red onion skin anthocyanins entrapped in different biopolymers. *Food Chemistry: X* 2022, 15, 100374; <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2022.100374> Q1, Impact Factor = 6,443

### II. Articole publicate în reviste indexate ISI

1. Stoica, F.; Râpeanu, G. Nistor, O.V.; Enachi, E.; Stanciu, N.; Mureșan, C.; Bahrim, G.E.; Recovery of bioactive compounds from red onion skins using conventional solvent extraction and microwave assisted extraction. *The Annals of the University Dunarea de Jos of Galati, Fascicle VI—Food Technology* 2020, 44(2), 104-126. <https://doi.org/10.35219/foodtechnology.2020.2.07>
2. Stoica, F.; Constantin, O.E.; Stănciuc, N.; Aprodu, I.; Bahrim, G.E.; Râpeanu, G. Optimization of the Parameters Influencing the Antioxidant Activity and Concentration of Anthocyanins Extracted from Red Onion Skins Using a Central Composite Design. *Inventions* 2022, 7, 89. <https://doi.org/10.3390/inventions7040089>

### III. Cereri de brevet

1. Stoica, F.; Andronoiu D.G.; Râpeanu G. Aprodu, I.; Bahrim, G.E.; Stanciu, N.; Croitoru, C. Universitatea "Dunărea de Jos" Galați, Sos de iaurt cu adaos de pudră microîncapsulată din extract antocianic din coji de ceapă roșie (*Allium cepa* L.) - produs cu valoare adăugată și tehnologia de obținere- nr. de înregistrare OSIM A/00131/03.05.2022

### IV. Participări la conferințe naționale și internaționale

1. Stoica, F., Râpeanu, G., Stănciuc, N., Bahrim, G.E. 2020 Red onion by-products as a functional ingredients in food formulations, poster, *8th edition of Scientific Conference of Doctoral Schools SCDS-UDJG, "Dunarea de Jos" University of Galați*
2. Stoica, F., Râpeanu, G., Stănciuc, N., Bahrim, G.E. 2020 Phytochemical characterization of red onion skin extracts, prezentare, *8th edition of Scientific Conference of Doctoral Schools SCDS-UDJG, "Dunarea de Jos" University of Galați*

## Dezvoltarea unor ingrediente pe bază de compuși biologic activi din cojile de ceapă roșie pentru utilizare în industria alimentară

---

3. Stoica, F., Râpeanu, G., Stănciuc, N., Bahrim, G.E. 2020 Extraction and characterization of bioactive compounds found in red onion (*Allium cepa* L.) skins, poster, *9th edition of the International Conference Agriculture for Life, Life for Agriculture, University of Agronomic Sciences and Veterinary Medicine, București*
4. Stoica, F., Râpeanu, G., Stănciuc, N., Nistor, O.V., Bahrim, G. E. 2020 Efficient extraction of bioactive compounds from red onion skins (*Allium Cepa* L.), poster, *19th International Conference "Life Sciences for Sustainable Development" University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine, Cluj-Napoca*
5. Stoica, F., Râpeanu, G., Stănciuc, N., Aprodu, I., Bahrim G.E. 2020 Enzyme assisted extraction of phytochemicals from red onion skins as an approach to novel extraction technology poster, *Scientific Symposium "Young people and multidisciplinary research in applied life sciences", 7th edition, Section: Food Engineering, Banat's University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine "King Michael I of Romania" Timișoara*
6. Stoica, F., Bahrim, G.E., Râpeanu, G., Aprodu, I., Stănciuc, N. 2021 Red onion skins as a rich source of anthocyanins: thermal stability and biological activity poster, *EuroAliment, "Dunărea de Jos" University of Galați*
7. Stoica, F., Aprodu, I., Râpeanu, G., Bahrim, G.E. Stănciuc, N. 2021 Microencapsulation of red onion skins anthocyanins by freeze drying method, poster, *Multidisciplinary Conference on Sustainable, Development, Section: Food Chemistry, Engineering & Technology, Faculty of Food Engineering Timișoara*
8. Stoica, F., Aprodu, I., Râpeanu, G., Bahrim, G.E., Stănciuc, N. 2021 Flavonoides profile of red onion (*Allium cepa* L.) skins extract, poster, *9th edition of Scientific Conference of Doctoral Schools SCDS-UDJG, "Dunarea de Jos" University of Galați*
9. Stoica, F., Aprodu, I., Râpeanu, G., Bahrim, G.E., Stănciuc, N. 2021 Thermal degradation kinetics of anthocyanins extracted from red onion skins (*Allium cepa* L.), prezentare, *9th edition of Scientific Conference of Doctoral Schools SCDS-UDJG, "Dunarea de Jos" University of Galați*
10. Stoica, F., Râpeanu, G., Stănciuc, N., Aprodu, I., Bahrim G.E. 2021 Stability evaluation of red onion skin anthocyanins liposomes, poster, *20th International Conference „Life sciences for sustainable development”, University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine, Cluj- Napoca*
11. Stoica, F., Stănciuc, N., Aprodu, I., Bahrim, G.E., Râpeanu, G. 2021 Phytochemical characterization of red onion skin anthocyanins liposomes, poster, *International scientific symposium "Young*

## Dezvoltarea unor ingrediente pe bază de compuși biologic activi din cojile de ceapă roșie pentru utilizare în industria alimentară

---

- researchers and scientific research in life sciences” Banat’s University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine “King Michael I of Romania” Timișoara*
12. Stoica, F., Stănciuc, N., Aprodu, I., Bahrim, G.E., Râpeanu G. 2021 Encapsulation of anthocyanins rich extract from red onion skin with different carrier agents poster, *PhD students’ days Faculty of Food Engineering, Tourism, and Environmental Protection The First Edition, Arad*
  13. Stoica, F., Râpeanu,G., Stănciuc, N., Aprodu, I., Bahrim, G.E. 2022 Functional ingredients based on anthocyanins from red onion skins extract and soy protein isolates and different biopolymers for use in the food industry poster, *10th edition of Scientific Conference of Doctoral Schools, “Dunarea de Jos” University Galați*
  14. Stoica, F., Râpeanu,G., Stănciuc, N., Aprodu, I., Bahrim, G.E. 2022 Functional potential of natural microencapsulated ingredients based on anthocyanins from red onion skins, soy protein isolates and different biopolymers prezentare, *10th edition of Scientific Conference of Doctoral Schools, “Dunarea de Jos” University Galați*
  15. Stoica, F., Andronoiu D.G., Râpeanu,G., Stănciuc, N., Aprodu, I., Bahrim, G.E., Croitoru C. 2022 Sos de iaurt cu adaos de pudră microîncapsulată din extract antocianic din coji de ceapă roșie (*Allium cepa L.*)- produs cu valoare adăugată și tehnologia de obținere, Cerere de brevet NR. OSIM A/00131/03.05.2022 poster, *Scientific Research, Innovation And Invention Exhibition Pro Invent, XX Edition, Technical University of Cluj-Napoca*

### **IV. Premii**

1. Honorable Mention, Prezentare, Thermal degradation kinetics of anthocyanins extracted from red onion skins (*Allium cepa L.*), Stoica, F., Aprodu, I., Râpeanu, G., Bahrim, G.E., Stănciuc, N., 9th edition of Scientific Conference of Doctoral Schools SCDS-UDJG, “Dunarea de Jos” University of Galați, 10-11 of June 2021
2. Honorable Mention, Prezentare, Functional potential of natural microencapsulated ingredients based on anthocyanins from red onion skins, soy protein isolates and different biopolymers, Stoica, F., Râpeanu,G., Stănciuc, N., Aprodu, I., Bahrim, G.E., 10th edition of Scientific Conference of Doctoral Schools, “Dunarea de Jos” University of Galați 9-10 of June 2022
3. Premiul prof. Constantin Moraru -pentru rezultatele cercetării prezentate la Conferința științifică a școlilor doctorale SCDS-UDJG 2022, organizată de Universitatea Dunărea de Jos din Galați



## Dezvoltarea unor ingrediente pe bază de compuși biologic activi din cojile de ceapă roșie pentru utilizare în industria alimentară

---

4. Premiul II, Poster, Enzyme assisted extraction of phytochemicals from red onion skins as an approach to novel extraction technology, Stoica, F., Râpeanu, G., Stănciuc, N., Aprodu, I., Bahrim, G.E. Scientific Symposium "Young people and multidisciplinary research in applied life sciences", 7th edition, Section: Food Engineering, Banat's University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine "King Michael I of Romania" 27 november, 2020 Timisoara
5. Premiul III, Poster, Phytochemical characterization of red onion skin anthocyanins liposomes Stoica, F., Stănciuc, N., Aprodu, I., Bahrim, G.E., Râpeanu G. International scientific symposium "Young researchers and scientific research in life sciences" Banat's University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine "King Michael I of Romania" 25 November 2021 Timișoara
6. Medalia Pro Invent și diplomă de excelență Poster, Sos de iaurt cu adaos de pudră microîncapsulată din extract antocianic din coji de ceapă roșie (*Allium cepa* L.)- produs cu valoare adăugată și tehnologia de obținere, Stoica, F., Andronoiu D.G., Râpeanu, G., Stănciuc, N., Aprodu, I., Bahrim, G.E., Croitoru C. Scientific Research, Innovation and Invention Exhibition Pro Invent, XX Edition, Technical University of Cluj-Napoca, 26-28 octombrie 2022

### **V. Proiecte**

1. Proiect "*Soluții inovatoare și emergente pentru design-ul unor microcompozite naturale pentru îmbunătățirea funcționalității alimentelor*", nr. RF 3637/30.09.2021.
2. Proiect "*Strategii inovative de valorificare a subproduselor agro-alimentare în produse cu valoare economică promovând principiile economiei circulare*", nr. 14888/11.05.2022