



Școala doctorală de științe ingineresti și matematică

Domeniul de doctorat: Inginerie industrială

REZUMAT TEZĂ DE DOCTORAT  
**CERCETĂRI PRIVIND PROCESELE DE  
USCARE ALE  
HRIBILOR ÎN VEDEREA  
CONSERVĂRII CARACTERISTICILOR  
FIZICO-CHIMICE ȘI DEZVOLTĂRII  
UNUI PRODUS INOVATIV**

Doctorand:

MIRUNA-FLORENTINA, POPA

Conducător de doctorat:

Prof. univ. dr. *habil.* SIMONA, OANCEA



Prezenta teză de doctorat reprezintă o abordare personală realizată cu scopul conservării și valorificării unor componente bioactive în urma proceselor de uscare aplicate ciupercilor din specia *Boletus edulis* (hribi), cu potențial pentru dezvoltarea unei noi băuturi funcționale, pe bază de hrișcă și pulbere de ciuperci.

Alegerea acestei materii prime pentru studiu a vizat următoarele aspecte: specie de ciupercă autohtonă, puțin exploatată științific în scopul urmărit în prezenta teză de doctorat, materie primă accesibilă, cu un conținut ridicat de compuși bioactivi cu rol benefic și nutrițional pentru organism, și potențial aplicativ pentru diferite sectoare economice.

Pentru realizarea procesului de uscare au fost testate atât procedee clasice (uscarea convectivă și liofilizarea) cât și procedee moderne (uscarea centrifugală sub vid, utilizată pentru prima dată în această teză) fiind evaluată eficiența acestuia prin investigarea diferiților parametri de proces, precum timpul și temperatura de uscare, umiditatea, dar și raportul de rehidratare, proprietăți fizico-chimice și de emulsionare, precum și culoarea și microstructura ciupercilor după uscare. De asemenea, pentru a crește potențialul biochimic urmărit au fost testate două tipuri diferite de pre-tratamente (iradiere cu lumină UV-C și blanșare) aplicate ciupercilor proaspete înainte de uscare.

Extracția compușilor bioactivi vizați, cu structură polifenolică, s-a realizat prin diferite procedee sustenabile, care să permită utilizarea lor ulterioară în produse destinate consumului uman. De asemenea a fost investigată și influența radiației electromagnetice de frecvență extrem de joasă asupra conținutului de compuși bioactivi și activității antioxidante din ciupercile uscate, cât și influența iradierii cu lumină UV-C și respectiv cu microunde asupra conținutului total de compuși bioactivi și activității antioxidante din ciupercile proaspete și uscate.

Pulberile de ciuperci au fost supuse atât analizei unor proprietăți fizice și fizico-chimice (densitatea, raportul Hausner, solubilitatea, rehidratarea, proprietățile de emulsionare) cât și a compoziției nutriționale, a profilului de acizi grași și a conținutului de compuși de aromă. Pe baza rezultatelor obținute din aplicarea tehnologiilor de uscare și extractive, pulberea de ciuperci obținută prin uscarea convectivă cu aer cald a constituit baza pentru formularea unui

produs inovativ – tip băutură funcțională pe bază de hrișcă și pulbere de ciuperci, fermentate lactic.

Băutura funcțională nou dezvoltată, pe bază de hrișcă și cu adaos de 1,5% pulbere de ciuperci, *Boletus edulis*, fermentată cu culturi lactice *Bifidus*, a dovedit o stabilitate mai mare comparativ cu băutura fermentată doar pe bază de hrișcă, adaosul de ciuperci conferind și atribute senzoriale superioare noului produs.

Rezultatele obținute în cadrul acestei cercetări doctorale aduc contribuții originale cu caracter teoretic și aplicativ, fiind diseminate prin publicarea de articole științifice în reviste cotate/ indexate ISI, indexate BDI, prin prezentarea de lucrări la conferințe naționale și internaționale și prin propunerea unui brevet de invenție, OSIM.

**CUVINTE CHEIE:** antioxidanți, *Boletus edulis*, ciuperci comestibile, compuși bioactivi, extracte din ciuperci, FRAP, iradiere UV, microunde, sustenabil, uscări ciuperci.

## *Mulțumiri,*

*Doresc să adresez mulțumiri tuturor celor care au fost alături de mine pe parcursul acestor ani de studiu doctoral.*

*Aceste mulțumiri se adresează doamnei coordonator, Prof. dr. habil. Simona Oancea, pentru sprijinul științific și dedicația acordată încă din anii de licență, apoi către îndeplinirea obiectivelor tezei de doctorat, într-un domeniu (ciupercile) pentru care mi-am dezvoltat o mare pasiune și pe care îl iubesc de când eram copil, pentru răbdarea și arta de a comunica deschis asupra ideilor avute pe parcursul acestei teze.*

*De asemenea, doresc să mulțumesc domnilor profesori din Comisia de îndrumare, Conf. univ. Dr. Monica Crețu, Conf. univ. Dr. Mihaela Răcuciu și Lector univ. Dr. Ioan Tăușan care au fost alături de mine pe parcursul pregătirii pentru doctorat.*

*Doresc să le mulțumesc profesorilor și cercetătorilor pentru colaborarea în efectuarea unor tehnici analitice Prof. univ. dr. Sonia Socaci (USAMV Cluj-Napoca), Prof. univ. dr. Francisc Dulf (USAMV Cluj-Napoca), Prof. univ. dr. Simona Miclăuș (Academia Forțelor Terestre, Sibiu), Dr. ing. Amalia Soare (Institutul Național de Cercetare-Dezvoltare pentru Tehnologii Criogene și Izotopice, Râmnicu-Vâlcea), șef lucrări dr. ing. Olga Drăghici (Universitatea „Lucian Blaga”, Sibiu), precum și doamnei șef lucrări dr. ing. Mariana Păcală (Universitatea „Lucian Blaga”, Sibiu) pentru colaborare și sprijinul acordat în dezvoltarea produsului final inovativ.*

*Nu în ultimul rând, doresc să mulțumesc părinților, surorii și familiei mele, care m-au susținut în acești ani, oferindu-mi sprijinul moral și financiar fără de care nu aș fi reușit să ajung atât de departe.*

*Drd. Popa Florentina-Miruna*

# CUPRINS

SUMAR	3
LISTA DE ABREVIERI	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
LISTA DE TABELE	11
LISTA DE FIGURI	12
INTRODUCERE	16
1. STUDIUL DOCUMENTAR PRIVIND COMPOZIȚIA CHIMICĂ ȘI TEHNOLOGIILE DE PROCESARE A CIUPERCILOR	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.1. ASPECTE GENERALE	19
1.2. COMPOZIȚIA CHIMICĂ A CIUPERCILOR	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.2.1. Umiditate.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.2.2. Proteine și aminoacizi .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.2.3. Lipide .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.2.4. Carbohidrați și fibre .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.2.5. Vitamine.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.2.6. Elemente minerale.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.2.7. Compuși de aromă .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.2.8. Activitatea antioxidantă. Beneficii ale ciupercilor.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.3. PROCEDEE CLASICE ȘI MODERNE DE USCARE A CIUPERCILOR	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.3.1. Procedee clasice de uscare .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.3.3.1. Metoda de uscare la soare.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.3.3.2. Metoda de uscare prin convecție .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.3.2. Procedee moderne de uscare .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.3.2.1. Metoda de uscare prin liofilizare.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.3.2.2. Metoda de uscare asistată de microunde .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.4. INFLUENȚA FACTORILOR TEHNOLOGICI DE PROCESARE A CIUPERCILOR ASUPRA UNOR COMPUȘI BIOLOGIC ACTIVI	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.4.1. Modificările produse în ciupercile proaspete după recoltare .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.4.1.1. Pierderea umidității .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.4.1.2. Decolorarea.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.4.1.3. Modificarea texturii .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.4.1.4. Pierderea anumitor componente biologice active și a aromelor ..	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.4.2. Factorii care influențează direct calitatea ciupercilor proaspete .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.4.2.1. Factori interni .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Activitatea apei.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Activitatea microbiană .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.4.2.2. Factori externi.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Temperatura .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>

Deteriorarea mecanică.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.4.3. Aspecte privind calitatea ciupercilor conservate prin procese termice, fizice sau chimice .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>Bookmark not defined.</b>	
1.4.3.1. Conservarea prin procese termice .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Uscarea .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Utilizarea frigului .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.4.3.2. Conservarea prin procese fizice.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Ambalarea în atmosferă modificată .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Iradieră.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Aplicarea de câmpuri electrice pulsatorii (PEF) .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Conservarea cu plasmă.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.4.3.3. Conservarea prin procese chimice.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Spălarea cu agenți chimici.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Aplicarea unor substanțe de acoperire .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Ozonul .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Apa electrolizată.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.5. BIBLIOGRAFIE	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2. CERCETĂRI EXPERIMENTALE ASUPRA METODELOR CLASICE ȘI MODERNE DE USCARE A HRIBILOR INVESTIGATE ÎN SCOPUL CONSERVĂRII PROPRIETĂȚILOR BIOACTIVE	22
INTRODUCERE	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.1. OBIECTIVE	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.2. MATERIALE ȘI ECHIPAMENTE	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.2.1. Materia primă.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.2.2. Aria geografică și sursele de proveniență a materiei prime. Metoda de prelevare. .	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.2.3. Reactivi chimici utilizați .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.2.4. Aparatura utilizată.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.3. METODOLOGIA EXPERIMENTALĂ	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.3.1. Pre-tratamente ale materiei prime înainte de uscare .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.3.1.1. Expunerea la radiații UV-C .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.3.1.2. Blansarea .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.3.2. Tehnici de uscare a ciupercilor <i>Boletus edulis</i> .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.3.2.1. Procedul de uscare convectivă cu aer cald (HAD – hot air drying) .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.3.2.2. Procedul de uscare prin liofilizare (FD – freeze drying) .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.3.2.3. Procedul de uscare centrifugală sub vid (CVD – centrifugal vacuum drying).....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.3.3. Expunerea pulberilor de ciuperci la lumina UV-C .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.3.4. Expunerea pulberilor de ciuperci la radiații electromagnetice de frecvență extrem de joasă.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.3.5. Expunerea amestecurilor de ciuperci proaspete/ uscate și etanol, la radiații de microunde .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.3.6. Determinarea umidității .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.3.7. Extracția compușilor biologic activi de interes aplicativ .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>

2.3.8.	Determinarea conținutului total de polifenoli (TPC) .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.3.9.	Determinarea conținutului de taninuri (TTC) .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.3.10.	Determinarea activității antioxidante totale prin metoda FRAP (TAA) .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.3.11.	Determinarea capacității de rehidratare a pulberii de ciuperci.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.3.12.	Măsurarea culorii în sistemul CIELAB.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.3.13.	Analiza de microscopie electronică de baleiaj (SEM) .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.3.14.	Analiza elementală prin spectroscopie de raze X cu dispersie de energie (SEM-EDX).....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.3.15.	Analiza de spectroscopie în Infraroșu cu Transformata Fourier (ATR-FTIR) ...	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.3.16.	Analiză termică prin tehnica calorimetrică de scanare diferențială (DSC) și termogravimetrie (TG)	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.3.17.	Analiza statistică .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.4.	<b>REZULTATE ȘI DISCUȚII</b>	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.4.1.	Influența pre-tratamentelor și a procedurii de uscare asupra proprietăților fizico-chimice ale ciupercilor <i>Boletus edulis</i> .....	22
2.4.1.1.	Influența pre-tratamentului și a procedurii de uscare asupra timpului total de uscare a ciupercilor	23
2.4.2.	Evaluarea capacității de rehidratare, a conținutului de polifenoli și a activității antioxidante a probelor de ciuperci supuse diferitelor tipuri de pre-tratamente și uscare .....	24
2.4.2.1.	Capacitatea de rehidratare a probelor de ciuperci uscate .....	24
2.4.2.2.	Conținutul de polifenoli a probelor de ciuperci supuse procesării termice .....	24
2.4.2.3.	Activitatea antioxidantă a probelor de ciuperci supuse procesării termice .....	25
2.4.2.4.	Evaluarea modificărilor de culoare a probelor de ciuperci supuse procesării termice .....	26
2.4.2.5.	Proprietățile micro-structurale prin analiza SEM ale probelor de ciuperci supuse procesării termice	27
2.4.2.6.	Evaluarea elementală prin analiza de spectroscopie de raze X cu dispersie de energie (EDX)	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.4.2.7.	Evaluarea modificărilor chimice ale ciupercilor uscate utilizând spectroscopia în Infraroșu cu Transformata Fourier (FTIR) .....	28
2.4.2.8.	Proprietățile termice și pierderea de masă a pulberilor de ciuperci.....	31
2.4.3.	Influența iradierii ciupercilor uscate cu lumină UV-C asupra conținutului de polifenoli, taninuri și activității antioxidante .....	32
2.4.3.1.	Analiza ATR-FTIR comparativă a probelor control și iradiate cu lumina UV-C .....	33
2.4.4.	Influența iradierii cu microunde a extractelor de ciuperci proaspete și uscate asupra conținutului de polifenoli și activității antioxidante.....	34
2.4.4.1.	Analiza ATR-FTIR a extractelor etanolice de ciuperci proaspete <i>Boletus edulis</i> iradiate cu microunde	36
2.4.5.	Influența expunerii ciupercilor uscate la radiații electromagnetice de frecvență extrem de joasă asupra conținutului de polifenoli, taninuri și activității antioxidante .....	37
2.4.5.1.	Analiza ATR-FTIR a extractelor etanolice de ciuperci uscate supuse radiațiilor electromagnetice de frecvență extrem de joasă .....	38
2.5.	<b>CONCLUZII PARȚIALE</b>	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.6.	<b>BIBLIOGRAFIE</b>	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
	<b>Error! Bookmark not defined.</b>	



3. CARACTERIZAREA FIZICĂ, FIZICO-CHIMICĂ ȘI PROPRIETĂȚILE FUNCȚIONALE ALE PULBERII DE HRIBI CA INGREDIENT BIOACTIV PENTRU DEZVOLTAREA UNEI BĂUTURI FUNCȚIONALE PE BAZĂ DE HRIȘCĂ 39

INTRODUCERE **Error! Bookmark not defined.**

3.1. OBIECTIVE **Error! Bookmark not defined.**

3.2. MATERIALE ȘI ECHIPAMENTE **Error! Bookmark not defined.**

3.2.1. MATERII PRIME..... **Error! Bookmark not defined.**

3.2.1.1. Ciuperci ..... **Error! Bookmark not defined.**

3.2.1.2. Hrișca crudă..... **Error! Bookmark not defined.**

3.2.1.3. Cultura de bacterii lactice..... **Error! Bookmark not defined.**

3.2.1.4. Apa ..... **Error! Bookmark not defined.**

3.2.2. REACTIVI CHIMICI UTILIZAȚI..... **Error! Bookmark not defined.**

3.2.3. APARATURA UTILIZATĂ..... **Error! Bookmark not defined.**

3.3. METODOLOGIA EXPERIMENTALĂ PENTRU ANALIZA FIZICO-CHIMICĂ A PULBERILOR DE CIUPERCI **Error! Bookmark not defined.**

3.3.1. DETERMINAREA UMIDITĂȚII..... **Error! Bookmark not defined.**

3.3.2. DETERMINAREA DENSITĂȚII..... **Error! Bookmark not defined.**

3.3.3. DETERMINAREA SOLUBILITĂȚII ..... **Error! Bookmark not defined.**

3.3.4. DETERMINAREA CAPACITĂȚII DE REHIDRATARE ..... **Error! Bookmark not defined.**

3.3.5. DETERMINAREA PROPRIETĂȚILOR FUNCȚIONALE ALE PULBERILOR DE CIUPERCI  
**Error! Bookmark not defined.**

3.3.6. DETERMINAREA CANTITATIVĂ A PROTEINELOR..... **Error! Bookmark not defined.**

3.3.7. DETERMINAREA CANTITATIVĂ A LIPIDELOR TOTALE ȘI A ACIZILOR GRAȘI..... **Error! Bookmark not defined.**

3.3.8. DETERMINAREA CONȚINUTULUI DE CENUȘĂ..... **Error! Bookmark not defined.**

3.3.9. ANALIZA COMPUȘILOR DE AROMĂ..... **Error! Bookmark not defined.**

3.3.10. ANALIZA STATISTICĂ..... **Error! Bookmark not defined.**

3.4. METODOLOGIA EXPERIMENTALĂ PENTRU OBȚINEREA BĂUTURII FUNCȚIONALE PE BAZĂ DE HRIȘCĂ ȘI PULBERE DE CIUPERCI **Error! Bookmark not defined.**

Abordări originale privind formularea băuturii alimentare de tip funcțional din hrișcă și pulberea de hribi selecționată ca fiind eficientă în dezvoltarea produsului ..... **Error! Bookmark not defined.**

3.4.1. CONCEPEREA SCHEMEI TEHNOLOGICE DE OBȚINERE A BĂUTURII FUNCȚIONALE PE BAZĂ DE HRIȘCĂ ȘI CIUPERCI ..... **Error! Bookmark not defined.**

3.4.1.1. Studiu experimental pentru întocmirea schemei tehnologice și a modului de lucru..... **Error! Bookmark not defined.**

3.4.1.2. Descrierea și reprezentarea grafică a schemei tehnologice de obținere a băuturii funcționale pe bază de hrișcă crudă și pulbere de ciuperci ..... **Error! Bookmark not defined.**

3.4.1.2.1. Obținerea măcinșului integral de hrișcă crudă (Măcinare fină – M2) **Error! Bookmark not defined.**

3.4.1.2.2. Hidratarea pulberii de ciuperci (Plămădire pulbere de ciuperci – M3) ..... **Error! Bookmark not defined.**

3.4.1.2.3. Prelucrarea termică a măcinșului integral de hrișcă crudă și pregătirea pentru adaosul de plămădă de ciuperci (Plămădire măcinș de hrișcă – M4) ..... **Error! Bookmark not defined.**

3.4.1.2.4. Înglobarea plămăzii de ciuperci în plămăda principală de hrișcă (Omogenizare plămăzi – M5) și răcirea la temperatura de însămânțare cu cultura de bacterii lactice (Răcire la temperatura de însămânțare – M6)..... **Error! Bookmark not defined.**

3.4.1.2.5.	Însămânțarea plămezii primitive cu inoculul de cultură de bacterii lactice (Însămânțare – M7)	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.4.1.2.6.	Obținerea de băutură funcțională tânără (Fermentare la cald – M8)	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.4.1.2.7.	Obținerea de băutură funcțională pe bază de hrișcă și pulbere de ciuperci (Fermentare la rece – M9)	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.4.2.	METODE DE ANALIZĂ FIZICO-CHIMICĂ A BĂUTURII FUNCȚIONALE DEZVOLTATE	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.4.2.1.	Determinarea pH-ului	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.4.2.2.	Determinarea acidității totale	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.4.2.3.	Determinarea acidității volatile	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.4.2.4.	Determinarea vâscozității dinamice	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.4.2.5.	Determinarea proprietăților reologice	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.4.2.6.	Determinarea densității	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.4.2.7.	Determinarea umidității	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.4.2.8.	Determinarea substanței uscate totale	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.4.3.	METODA DE ANALIZĂ SENZORIALĂ A BĂUTURII FUNCȚIONALE PE BAZĂ DE CIUPERCI	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.5.	REZULTATE ȘI DISCUȚII	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.5.1.	EVALUAREA PROPRIETĂȚILOR FIZICE ȘI FIZICO-CHIMICE ALE PULBERILOR DE CIUPERCI <i>BOLETUS EDULIS</i>	39
3.5.2.	PROPRIETĂȚILE DE EMULSIONARE ALE PULBERILOR DE CIUPERCI <i>BOLETUS EDULIS</i>	40
3.5.3.	CONȚINUTUL DE NUTRIENȚI DIN CIUPERCILE <i>BOLETUS EDULIS</i>	40
3.5.4.	EVALUAREA PROFILULUI DE ACIZI GRAȘI DIN CIUPERCILE <i>BOLETUS EDULIS</i> , PRIN TEHNICA GC-MS	41
3.5.5.	EVALUAREA PROFILULUI DE COMPUȘI VOLATILI DE AROMĂ DIN CIUPERCILE <i>BOLETUS EDULIS</i> , PRIN TEHNICA HS-ITEX/GC-MS	42
3.5.6.	DEZVOLTAREA UNEI BĂUTURI FUNCȚIONALE FERMENTATE, PE BAZĂ DE HRIȘCĂ ȘI PULBERE DE CIUPERCI <i>BOLETUS EDULIS</i>	44
3.5.6.1.	Influența raportului de măcină hrișcă / apă de plămădire și a cantității de inocul asupra obținerii băuturii	44
3.5.6.2.	Influența cantității de pulbere de ciuperci asupra obținerii băuturii dezvoltate	46
3.5.7.	CARACTERIZAREA TEHNOLOGICĂ ÎN DINAMICĂ A BĂUTURII FUNCȚIONALE. ANALIZA SENZORIALĂ	48
	Analiza senzorială	51
	PROGRAM DE MONITORIZARE A PROCESULUI TEHNOLOGIC PROPUȘ	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
	SPECIFICAȚIE TEHNICĂ DE PRODUS	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.6.	CONCLUZII PARȚIALE	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.7.	BIBLIOGRAFIE	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.	CONCLUZII FINALE, CONTRIBUȚII PROPRII ȘI DIRECȚII VIITOARE DE CERCETARE	54
	Concluzii finale	54
	Contribuții originale	61
	Recomandări și direcții viitoare de cercetare	61
	Lista publicațiilor rezultate în urma cercetării doctorale	62

## LISTA DE TABELE

- Tabel 1. Proprietățile farmacologice ale compușilor bioactivi prezenți în specia *Boletus edulis* .....**Error! Bookmark not defined.**
- Tabel 2. Rezultatele analizei de regresie privind efectul pre-tratamentului și al procedurii de uscare asupra timpului de uscare a ciupercilor *Boletus edulis***Error! Bookmark not defined.**
- Tabel 3. Caracteristicile de culoare ale ciupercilor *Boletus edulis* proaspete și uscate..... 26
- Tabel 4. Analiza elementală EDX, calitativă și cantitativă, corespunzătoare probelor de ciuperci analizate .....**Error! Bookmark not defined.**
- Tabel 5. Valorile temperaturilor  $T_o$ ,  $T_p$  și ale entalpiei  $\Delta H$ , rezultate din analiza DSC a pulberilor de ciuperci *Boletus edulis* .....**Error! Bookmark not defined.**
- Tabel 6. Rezultatele analizei termogravimetrice a probelor de ciuperci *Boletus edulis* supuse diferitelor metode de pre-tratament și uscare.....**Error! Bookmark not defined.**
- Tabel 7. Valorile conținutului total de polifenoli, conținutul total de taninuri și activitatea antioxidantă a probelor de ciuperci uscate, în prezența și absența radiațiilor UV-C în funcție de timpul și distanța de iradiere ..... 32
- Tabel 8. Parametri cinetici de degradare a polifenolilor din pulberile de ciuperci expuse la radiații UV-C (distanța de expunere = 10 cm).....**Error! Bookmark not defined.**
- Tabel 9. Conținutul de polifenoli și activitatea antioxidantă a probelor de ciuperci proaspete în prezența și absența iradierii cu microunde în soluție de etanol, în funcție de timpul și frecvența de expunere ..... 34
- Tabel 10. Conținutul de polifenoli și activitatea antioxidantă a pulberilor de ciuperci în prezența și absența iradierii cu microunde în soluție de etanol, în funcție de timpul și frecvența de iradiere ..... 35
- Tabel 11. Conținutul total de polifenoli, taninuri și activitatea antioxidantă a pulberilor de ciuperci expuse la câmp magnetic de 50 Hz și a probei control, în funcție de timpul de expunere..... 37
- Tabel 12. Valoarea nutrițională a boabelor de hrișcă investigate**Error! Bookmark not defined.**

Tabel 13. Distribuția granulometrică a fracțiunilor de măciniș de hrișcă crudă.....	<b>Error!</b>
<b>Bookmark not defined.</b>	
Tabel 14. Proprietățile fizice ale pulberilor de ciuperci uscate prin metodele HAD și CVD .	39
Tabel 15. Valoarea nutrițională a ciupercilor sălbatice <i>Boletus edulis</i> – probe proaspete, uscate prin tehnologia HAD și CVD, comparativ cu cea raportată din alte studii .....	41
Tabel 16. Conținutul de acizi grași identificați în proba proaspătă și în probele uscate prin cele două metode (HAD și CVD) din ciupercile <i>Boletus edulis</i> .....	41
Tabel 17. Compușii de aromă din ciupercile <i>Boletus edulis</i> proaspete și uscate prin tehnicile HAD și CVD.....	43
Tabel 18. pH-ul plămezilor de hrișcă în funcție de raportul de amestec măciniș : apă.....	46
Tabel 19. Seria experimentală de probe utilizate la studiul influenței cantității de adaos de pulbere de ciuperci <i>Boletus edulis</i> .....	47

## LISTA DE FIGURI

Figura 1. Producția mondială de ciuperci și trufe în perioada 2009-2019, conform FAOSTAT .....	21
Figura 2. Ciuperca comestibilă <i>Boletus edulis</i> (hrib sau mânâtarcă - denumirea populară) în stadiul tânăr.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Figura 3. Structura chimică a compusului de aromă 1-octan-3-ol denumit și „alcoolul ciupercilor” .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Figura 4. Structura chimică a $\beta$ -tocoferolului.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Figura 5. Structura chimică a $\beta$ -carotenului .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Figura 6. Structura chimică a flavoglaucinei.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Figura 7. Compușii biologic activi din ciuperci și efectele acestora asupra sănătății umane (adaptare după Yadav și Negi, 2021).....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Figura 8. Schema evoluției tehnologiilor de uscare a alimentelor (după Havashi, 1989)	<b>Error!</b>
<b>Bookmark not defined.</b>	
Figura 9. Schema unui uscător convectiv cu rafturi (Sursa: curs procese și tehnologii de uscare <a href="https://graduo.ro/cursuri/industria-alimentara/procese-si-tehnologii-de-uscare-428464">https://graduo.ro/cursuri/industria-alimentara/procese-si-tehnologii-de-uscare-428464</a> )	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Figura 10. Schema unui uscător prin liofilizare (Taskin, 2020)	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>defined.</b>	
Figura 11. Schema unei instalații de uscare cu microunde (Darvishi și colab., 2014)	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>defined.</b>	
Figura 12. Metode de conservare a ciupercilor proaspete (adaptare după Castellanos-Reyes și colab., 2021).....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Figura 13. Specia <i>Boletus edulis</i> luată în studiu, colectată din pădurea Valea Avrigului, Județul Sibiu, 2021 .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>

Figura 14. Harta României, în care se identifică zona studiată (imagine preluată din Google maps).....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Figura 15. Zona Transilvaniei cu cele trei puncte de colectare a probelor de ciuperci: Costești, județul Hunedoara; Râul Sadului și Avrig, județul Sibiu (imagine preluată din Google maps).....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Figura 16. Schema tehnică experimentală de obținere a pulberilor de ciuperci <i>Boletus edulis</i> , în prezența sau absența unui pre-tratament.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Figura 17. Pasta de ciuperci distribuită în plăci Petri.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Figura 18. Probele de pastă de ciuperci pregătite pentru uscarea convectivă cu aer cald	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Figura 19. Pasta de ciuperci proaspete pregătită pentru liofilizare	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Figura 20. Liofilizatorul utilizat pentru uscarea pastei de ciuperci	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Figura 21. Pasta de ciuperci proaspete distribuite în flacoane conice de sticlă.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Figura 22. Probele de pastă de ciuperci pregătite pentru etapa de uscare CVD.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Figura 23. Schema tehnică experimentală privind obținerea pulberilor de ciuperci supuse inițial la radiație UV-C și respectiv la câmp magnetic de frecvență joasă	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Figura 24. Schema sistemului de expunere a probelor de ciuperci în câmp electromagnetic; B – densitatea fluxului magnetic; I – intensitatea curentului; a – raza bobinei din sistemul de bobine Helmholtz (Oancea și colab., 2021).....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Figura 25. Schema tehnică experimentală de obținere a extractelor bioactive de ciuperci <i>Boletus edulis</i> expuse la radiații de microunde după uscare.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Figura 26. Sistemul experimental de expunere utilizat pentru iradierea cu microunde a amestecurilor de ciuperci-etanol (sursa: Popa și colab., 2022)	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Figura 27. Extractele etanolice obținute din probele netratate, UV-C sau blanșate, proaspete și respectiv uscate utilizând cele trei tipuri de uscare investigate; De la stânga la dreapta: probele – netratate: proaspete, uscate prin metoda HAD, CVD și respectiv liofilizare; pre – tratate UV-C: proaspete, uscate prin metoda HAD, CVD și respectiv liofilizare; pre – tratate prin blanșare: proaspete, uscate prin metoda HAD, CVD și respectiv liofilizare	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Figura 28. Timpul total de uscare a probelor de <i>Boletus edulis</i> în funcție de pre-tratamentul aplicat și procedeul de uscare .....	23
Figura 29. Timpul total de uscare a probelor de <i>Boletus edulis</i> în funcție de procedeul de uscare .....	23
Figura 30. Modelul logaritmic de regresie dintre valoarea conținutului de umiditate și timpul de uscare prin tehnica CVD a probelor de ciuperci <i>Boletus edulis</i>	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Figura 31. Reprezentarea grafică a capacității de rehidratare a ciupercilor uscate <i>Boletus edulis</i> în funcție de tipul de pre-tratament și uscare aplicate.....	24
Figura 32. Reprezentarea grafică a conținutului total de polifenoli al ciupercilor uscate de <i>Boletus edulis</i> în funcție de tipul de pre-tratament și tehnicile de uscare aplicate .....	25
Figura 33. Reprezentarea grafică a activității antioxidante a ciupercilor uscate de <i>Boletus edulis</i> în funcție de tipul de pre-tratament și tehnica de uscare aplicată .....	26
Figura 34. Imaginile de micrografie SEM ale ciupercilor <i>Boletus edulis</i> proaspete și pre-tratate, uscate prin tehnici diferite (500 X).....	28

- Figura 35. Spectrele ATR FTIR ale probelor de ciuperci *Boletus edulis*, proaspete, netratate și supuse diferitelor metode de pre-tratament (blanșare și UV-C) ..... 29
- Figura 36. Spectrele ATR FTIR ale probelor de ciuperci *Boletus edulis*, proaspete și uscate fără pre-tratament..... 30
- Figura 37. Spectrele ATR FTIR ale probelor de ciuperci *Boletus edulis*, proaspete și uscate, pre-tratate prin blanșare ..... 30
- Figura 38. Spectrele ATR FTIR ale probelor de ciuperci *Boletus edulis*, proaspete și uscate, pre-tratate cu radiații UV-C ..... 31
- Figura 39. Graficul DSC al probelor de ciuperci *Boletus edulis* supuse diferitelor metode de pre-tratament și tehnici de uscare, pentru intervalul de temperatură 25 - 500 °C ..... 31
- Figura 40. Curba termogravimetrică a ciupercilor *Boletus edulis* supuse diferitelor metode de pre-tratament și uscare, pentru intervalul de temperatură de 25-500 °C **Error! Bookmark not defined.**
- Figura 41. Curba DTG a probelor de ciuperci *Boletus edulis* supuse diferitelor metode de pre-tratament și uscare, pentru intervalul de temperatură de 25-500 °C **Error! Bookmark not defined.**
- Figura 42. Spectrele ATR-FTIR ale pulberilor de ciuperci, control (-) și tratate cu radiații UV-C timp de 30 min la 15 cm distanța de expunere (-) ..... 33
- Figura 43. Spectrele ATR-FTIR ale pulberilor de ciuperci, control (-) și tratate cu radiații UV-C timp de 15 min la 15 cm (-) și 30 min la 20 cm distanța de expunere (-)..... 34
- Figura 44. Reprezentarea grafică a conținutului de polifenoli al ciupercilor *Boletus edulis* proaspete și uscate investigate în experimentul de iradiere cu microunde ..... **Error! Bookmark not defined.**
- Figura 45. Reprezentarea grafică a activității antioxidante a ciupercilor *Boletus edulis* proaspete și uscate investigate în experimentul de iradiere cu microunde **Error! Bookmark not defined.**
- Figura 46. Spectrele ATR-FTIR ale extractelor de ciuperci proaspete, control și iradiate cu microunde în diferite condiții experimentale ..... 36
- Figura 47. Spectrele ATR-FTIR ale pulberilor de ciuperci, control (-) și iradiate în câmp magnetic (3 mT, 50 Hz) la timp de expunere diferit 15 (-), 30 (-), 60 (-), 120 (-) și 240 (-) minute ..... 38
- Figura 48. Boabele de hrișcă crudă utilizate în cercetarea experimentală **Error! Bookmark not defined.**
- Figura 49. Pulberea de ciuperci *Boletus edulis* (hribi) obținută prin metoda HAD și utilizată la obținerea unei băuturi funcționale ..... **Error! Bookmark not defined.**
- Figura 50. Curba DSC de identificare a vârfului endoterm de gelatinizare a amidonului din măcinișul fin integral de hrișcă crudă utilizat în cercetarea experimentală ..... **Error! Bookmark not defined.**
- Figura 51. Schema tehnologică de obținere a unei băuturi funcționale pe bază de hrișcă crudă cu adaos de pulbere de ciuperci ..... **Error! Bookmark not defined.**
- Figura 52. Moara cu ciocane utilizată la măcinare ..... **Error! Bookmark not defined.**
- Figura 53. Sortator-vibrator utilizat la caracterizarea granulometrică **Error! Bookmark not defined.**
- Figura 54. Pulberea de ciuperci uscate, înainte de hidratare .... **Error! Bookmark not defined.**
- Figura 55. Pulberea de ciuperci hidratată, înainte de a fi introdusă în plămada de hrișcă **Error! Bookmark not defined.**
- Figura 56. Baia de plămădire și plămezile în timpul procesului **Error! Bookmark not defined.**
- Figura 57. Diagramă de plămădire a măcinișului fin integral de hrișcă crudă până în momentul adaosului de pulbere de ciuperci hidratată..... **Error! Bookmark not defined.**

- Figura 58. Diagramă completă de plămădire pentru obținerea plămezii primitive aptă pentru operația de însămânțare cu cultura de bacterii lactice .....**Error! Bookmark not defined.**
- Figura 59. Probe de plămădă în timpul procesului de fermentare la 38 °C**Error! Bookmark not defined.**
- Figura 60. Proba de plămădă în timpul analizei pH-ului.....**Error! Bookmark not defined.**
- Figura 61. Probe de analizat înainte de titrarea cu soluție NaOH 0,1N**Error! Bookmark not defined.**
- Figura 62. Probe de analizat la finalul titrării în prezența indicatorului *ABT***Error! Bookmark not defined.**
- Figura 63. Distilatorul cu antrenare de vapori semiautomat utilizat la obținerea distilatului .....**Error! Bookmark not defined.**
- Figura 64. Distilatul unor probe în prezența de *ABT* înainte de titrare**Error! Bookmark not defined.**
- Figura 65. Distilatul unor probe la finalul titrării în prezență de *ABT***Error! Bookmark not defined.**
- Figura 66. Reometrul utilizat la determinarea vâscozității.....**Error! Bookmark not defined.**
- Figura 67. Baie de apă.....**Error! Bookmark not defined.**
- Figura 68. Vâscoreometrul utilizat la caracterizarea reologică a băuturii funcționale..... **Error! Bookmark not defined.**
- Figura 69. Proba H2 (cu hrișcă, raport 1:18, I.I. 0,75 % *m/m*) și respectiv M2 (cu hrișcă, raport 1:18 și ciuperci 1,5 % *m/m* s.u.; I.I. 0,75 % *m/m*) înainte de analiza senzorială..... **Error! Bookmark not defined.**
- Figura 70. Indicele activității emulgatoare (EAI) și indicele de stabilitate a emulsiei (ESI) al pulberilor de ciuperci *Boletus edulis*, în funcție de tehnologiile de uscare aplicate..... 40
- Figura 71. Cromatograma obținută din analiza acizilor grași din proba proaspătă de *Boletus edulis*, prin tehnica GC-MS .....**Error! Bookmark not defined.**
- Figura 72. Cromatograma obținută din analiza acizilor grași din proba uscată HAD de *Boletus edulis*, prin tehnica GC-MS .....**Error! Bookmark not defined.**
- Figura 73. Cromatograma obținută din analiza acizilor grași din proba uscată CVD de *Boletus edulis*, prin tehnica GC-MS .....**Error! Bookmark not defined.**
- Figura 74. Conținutul total de acizi grași saturați (SFA), acizi grași mononesaturați (MUFA) și acizi grași polinesaturați (PUFA) ai speciei *Boletus edulis* sub formă proaspătă și uscată prin tehnologiile HAD și CVD .....**Error! Bookmark not defined.**
- Figura 75. Evoluția pH-ului probelor de hrișcă cu rapoarte de plămădire de 1:14, 1:15 și 1:16, fermentate cu un inocul de 0,50% *m/m*..... 44
- Figura 76. Evoluția pH-ului probelor de hrișcă cu rapoarte de plămădire de 1:14, 1:15 și 1:16, fermentate cu un inocul de 0,75% *m/m*..... 45
- Figura 77. Evoluția pH-ului probelor S1-3 cu inocul de 0,50% și S2-3 cu inocul de 0,75% pentru plămădire ..... 45
- Figura 78. Evoluția pH-ului probelor PH1 și S2-3 în dinamica fermentării lactice, cu inocul de 0,75% ..... 46
- Figura 79. Influența cantității de pulbere de ciuperci *Boletus edulis* asupra obținerii băuturii funcționale, studiată ca evoluție în timp a pH-ului amestecurilor investigate..... 47
- Figura 80. Evoluția temperaturii în timpul fermentării plămezelor PM1 și PH1 însămânțate cu culturi lactice tip *Bifidus* ..... 48
- Figura 81. Evoluția pH-ului plămezelor cu hrișcă PH1 și a plămezelor cu hrișcă plus pulbere de ciuperci *Boletus edulis* PM1, însămânțate cu culturi lactice tip *Bifidus* ..... 49
- Figura 82. Evoluția acidității totale a plămezelor cu hrișcă PH1 și a plămezelor cu hrișcă plus pulbere de ciuperci *Boletus edulis* PM1, însămânțate cu culturi lactice tip *Bifidus* ..... 49

Figura 83. Evoluția acidității volatile a plămezilor cu hrișcă PH1 și a plămezilor cu hrișcă plus pulbere de ciuperci <i>Boletus edulis</i> PM1, însămânțate cu culturi <i>Bifidus</i> .....	50
Figura 84. Evoluția substanței uscate a plămezilor cu hrișcă PH1 și a plămezilor cu hrișcă plus pulbere de ciuperci <i>Boletus edulis</i> PM1, însămânțate cu culturi lactice tip <i>Bifidus</i> .....	50
Figura 85. Evoluția vâscozității dinamice a plămezilor cu hrișcă PH1 și a plămezilor cu hrișcă plus pulbere de ciuperci <i>Boletus edulis</i> PM1, însămânțate cu culturi lactice tip <i>Bifidus</i> ..	51
Figura 86. Vâscozitatea aparentă în funcție de rata de forfecare a probelor PH1 la 0, 24, 72 și 168 de ore la 20 °C .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Figura 87. Vâscozitatea aparentă în funcție de rata de forfecare a probelor PH1 după 168 de ore la 20 (–) și 6 (–) °C .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Figura 88. Vâscozitatea aparentă în funcție de rata de forfecare a probelor PM1 la 0, 24, 72 și 168 de ore la 20 °C .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Figura 89. Vâscozitatea aparentă în funcție de rata de forfecare a probelor PM1 după 168 de ore la 20 (–) și 6 (–) °C .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Figura 90. Vâscozitatea aparentă în funcție de rata de forfecare a probelor PM1 și PH1 la 0 ore și 20 °C.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Figura 91. Vâscozitatea aparentă în funcție de rata de forfecare a probelor PM1 și PH1 la 24 ore și 20 °C .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Figura 92. Vâscozitatea aparentă în funcție de rata de forfecare a probelor PM1 și PH1 la 72 ore și 20 °C .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Figura 93. Vâscozitatea aparentă în funcție de rata de forfecare a probelor PM1 și PH1 la 168 ore și 20 °C .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Figura 94. Vâscozitatea aparentă în funcție de rata de forfecare a probelor PM1 și PH1 la 168 ore și 6 °C .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Figura 95. Reprezentarea grafică a rezultatelor evaluării caracteristicilor senzoriale ale băuturilor funcționale pe bază de hrișcă PH1 și hrișcă cu adaos de pulbere de ciuperci PM1, după 12 zile (grup 10 persoane cu experiență) .....	52
Figura 96. Reprezentarea grafică a rezultatelor evaluării caracteristicilor senzoriale ale băuturii funcționale pe bază de hrișcă cu adaos de pulbere de ciuperci, după 12 zile (grup 72 persoane).....	53



# INTRODUCERE

Există o preocupare continuă a unor sectoare industriale, precum industria alimentară și farmaceutică, în special pentru dezvoltarea produselor care sunt orientate spre a îmbunătăți sănătatea, produse diversificate, de exemplu pe bază de ciuperci, dar și pentru îmbunătățirea unor procese tehnologice industriale de producție și de control al calității produselor finale. La nivel național și internațional, se fac numeroase cercetări științifice care vizează diferite specii de ciuperci comestibile, ca materii prime valoroase, care au ca scop identificarea unor componente bioactive din compoziție, îmbunătățirea proceselor extractive, a tehnologiilor de uscare, cât și investigarea proprietăților biologice active ale acestora și ale produselor derivate.

Caracterul inovativ și aplicativ al acestei teze de doctorat este dat de studiul ciupercilor *Boletus edulis* (hribi), din zona Transilvania, România, din perspectiva evaluării compușilor biologici activi cu structură polifenolică, în mod comparativ între probele proaspete și uscate, supuse diferitelor pre-tratamente și tehnici de uscare, fiind un domeniu de interes pentru identificarea unor noi surse potențial valoroase de compuși cu proprietăți nutriționale și bioactive pentru diferite aplicații industriale.

Această cercetare de doctorat vizează procesele de uscare ale hribilor din micota spontană, cu scopul de a conserva proprietățile bioactive, calitatea produsului final și activitatea antioxidantă totală. Urmărind acest scop, ciupercile autohtone vizate în această lucrare au fost uscate, în ideea de a dezvolta un produs funcțional de tip băutură funcțională pe bază de hrișcă și pulbere de ciuperci, fermentată lactic, care suplimentează aportul alimentar de biomolecule necesare organismului, prezintă aromă îmbunătățită și poate fi consumată inclusiv de persoanele cu dezechilibrul imunitar creat de intoleranța la gluten. Pentru atingerea acestui scop, au fost utilizate tehnologii prietenoase cu mediul înconjurător.

În prezenta teză de doctorat s-au utilizat două tehnologii clasice de uscare: uscare convectivă cu aer cald și liofilizarea, iar pentru prima dată în această lucrare a fost utilizată tehnologia de uscare centrifugală sub vid aplicată pastei de ciuperci *Boletus edulis*.

Pre-tratamentele realizate înainte de uscare au avut ca scop inactivarea unor enzime care duc la o degradare rapidă a ciupercilor. Pornind de la această idee, în această lucrare au fost investigate două tipuri de pre-tratamente fizice: blanșarea și expunerea la lumină UV-C sub aspectul influenței acestora asupra conținutului compușilor bioactivi vizați (polifenoli, taninuri) și a activității antioxidante.

Analiza calității pulberilor de ciuperci prin metoda de uscare cu aer cald și respectiv metoda centrifugală sub vid, au avut ca scop investigarea efectului celor două tipuri de uscări, asupra proprietăților fizice, cum ar fi densitatea, raportul Hausner, solubilitatea, rehidratarea, dar și a proprietăților de emulsionare, care pot influența anumite procese industriale ulterioare de prelucrare. Au mai fost investigate conținutul de nutrienți, profilul acizilor grași și compușii de aromă.

Teza de doctorat intitulată „*Cercetări privind procesele de uscare ale hribilor în vederea conservării caracteristicilor fizico-chimice și dezvoltării unui produs inovativ*“ și-a atins scopul propus de testare a celei mai eficiente tehnici de conservare a ciupercilor *Boletus edulis*, sub formă de pulbere uscată, pentru a dezvolta o rețetă nouă de băutură funcțională pe bază de hrișcă și pulbere de ciuperci, fermentată lactic, cu proprietăți îmbunătățite.

Pentru îndeplinirea scopului propus, obiectivele de cercetare au fost:

- Identificarea și selectarea unei materii prime autohtone, din micota spontană, cu conținut ridicat de compuși bioactivi pretabile atingerii scopului final al tezei.
- Utilizarea tehnicilor clasice și moderne de uscare a ciupercilor care să mențină un conținut ridicat de compuși vizați – tehnologia de uscare cu aer cald, liofilizarea și uscarea centrifugală sub vid.
- Extracția compușilor bioactivi vizați utilizând tehnici prietenoase cu mediul și investigând influența unor factori fizici asupra eficienței extracției (UV-C, câmp magnetic, microunde).
- Evaluarea conținutului componentelor bioactive din compoziția ciupercilor.
- Evaluarea potențialului antioxidant al diferitelor extracte de ciuperci *Boletus edulis*, prin metoda spectrofotometrică FRAP.
- Investigarea microstructurii prin analiza SEM, a modificărilor termice prin analiza DSC-TG, precum și a modificărilor de culoare a probelor de ciuperci, proaspete și uscate prin diferite tehnologii.
- Evaluarea proprietăților fizice și funcționale (densitate, solubilitate, raport Hausner, rehidratare), a proprietăților de emulsionare și a profilului de acizi grași și compuși de aromă a ciupercilor uscate prin tehnologia de uscare cu aer cald și tehnologia de uscare centrifugală sub vid.
- Conceperea și dezvoltarea tehnologică a unui produs inovativ, tip băutură funcțională pe bază de hrișcă și pulbere de ciuperci *Boletus edulis*, fermentată lactic.
- Caracterizarea tehnologică în dinamică a produselor și analiza senzorială a băuturii funcționale nou dezvoltate.

Pentru realizarea prezentei teze de doctorat și parcurgerea acestor obiective, teza a fost elaborată într-un număr de 198 pagini, fiind structurată în 3 capitole principale, organizate în subcapitole corespunzătoare, conținând un număr de 96 figuri, 19 tabele și un număr total de 401 referințe bibliografice.

**Introducerea** prezintă necesitatea și motivația alegerii temei prin expunerea obiectivelor principale ale tezei de doctorat.

**Capitolul 1** („Studiul documentar privind compoziția chimică și tehnologiile de procesare a ciupercilor“) descrie compoziția chimică și beneficiile ciupercilor, precum și tehnologiile de procesare prin uscare a ciupercilor comestibile.

**Capitolul 2** („Cercetări experimentale asupra metodelor clasice și moderne de uscare a hribilor investigate în scopul conservării proprietăților bioactive“) prezintă rezultatele originale obținute în urma experimentelor de pre-tratament și uscare aplicând diferite tehnici, clasice și moderne, realizate cu scopul de a conserva compușii bioactivi cu structură polifenolică din materia primă selecționată.

**Capitolul 3** („Caracterizarea fizică, fizico-chimică și proprietățile funcționale ale pulberii de hribi ca ingredient bioactiv pentru dezvoltarea unei băuturi funcționale pe bază de hrișcă“) conține date originale experimentale cu privire la proprietățile fizice, de emulsionare, a profilului de acizi grași și a compușilor de aromă din ciupercile studiate, *Boletus edulis*, în stare proaspătă și respectiv uscată, selectarea celei mai eficiente tehnologii de uscare pentru obținerea unei pulberi de hribi necesare dezvoltării unei noi băuturi funcționale pe bază de hrișcă și pulbere de ciuperci, fermentate cu ajutorul culturilor *Bifidus*, precum și validarea datelor experimentale.

**Concluzii finale, contribuții proprii și direcții viitoare de cercetare** conține principalele concluzii care decurg din cercetarea realizată în cadrul prezentei teze de doctorat, contribuțiile proprii aduse în domeniu și noile direcții de cercetare derivate din tema propusă.

# 1. STUDIUL DOCUMENTAR PRIVIND COMPOZIȚIA CHIMICĂ ȘI TEHNOLOGIILE DE PROCESARE A CIUPERCILOR - REZUMAT

## ASPECTE GENERALE

Relația umanității cu ciupercile datează din cele mai vechi timpuri, ele fiind denumite „hrană divină” de către romani, deoarece se credea faptul că apar aruncate de undeva din cer pe pământ cu ajutorul fulgerelor, deoarece acestea apar după ploaie (Manzi și colab., 1999) și le serveau doar la ocazii speciale. Grecii credeau că ciupercile oferă putere în lupte, războinicilor; poporul chinez a prețuit ciupercile ca pe un „elixir al vieții”; indienii mexicani foloseau diferite specii de ciuperci cu efecte halucinogene în ceremonii religioase și în scopuri terapeutice. În toate această evoluție a cunoașterii speciilor de ciuperci, oamenii au încercat și testat ciupercile, iar de multe ori prin aceste încercări au rezultat decese, până când s-au familiarizat cu speciile care trebuie evitate și cele care trebuie consumate (Miles și Chang, 2004).

O alimentație sănătoasă este reprezentată de aportul de elemente esențiale, care este necesar pentru sănătatea organismului pentru îndeplinirea diferitelor funcții de reglare, apărare și îmbunătățire a unor dezechilibre sau disfuncții datorită unei alimentații mai puțin echilibrată, iar în acest caz, există metode alternative de suplimente nutritive, care pot fi bazate pe compuși extrași din ciuperci comestibile (Rizzo și colab., 2021).

Cu mult timp în urmă, ciupercile au fost folosite ca medicamente în medicina populară sau tradițională locală de către vraci în diferite părți ale lumii, datorită compoziției lor nutriționale, însă neavând anumite dovezi științifice (Meng și colab., 2017; Zhang și colab., 2007).

Ciupercile comestibile au o arie foarte mare de răspândire, ele se găsesc în diferite habitate naturale și au fost consumate încă din timpurile străvechi până în zilele noastre. Acestea prezintă o componentă importantă atât pentru mediu natural, cât și pentru organismul uman. Ciupercile comestibile fac parte din categoria alimentelor necesare organismului, datorită compușilor biologic activi care au un rol important în buna funcționare a organismului (Bahrim și Petrescu, 1971).

Atât ciupercile comestibile sălbatice, cât și speciile cultivate sunt recunoscute la nivel mondial ca alimente funcționale, datorită unor caracteristici aromatice importante și a gustului unic pe care îl au (Maity și colab., 2021). Pentru industria alimentară, acestea au atras un interes remarcabil fiind o sursă importantă de proteine, carbohidrați, fibre, grăsimi, minerale și vitamine (Wang și colab., 2014). Un consum zilnic de ciuperci aduce beneficii medicale, cum ar fi reglarea circulației sanguine sau prevenirea unor anumite tipuri de boli, inclusiv cancerul (Roncero-Ramos și Delgado-Andrade, 2017).

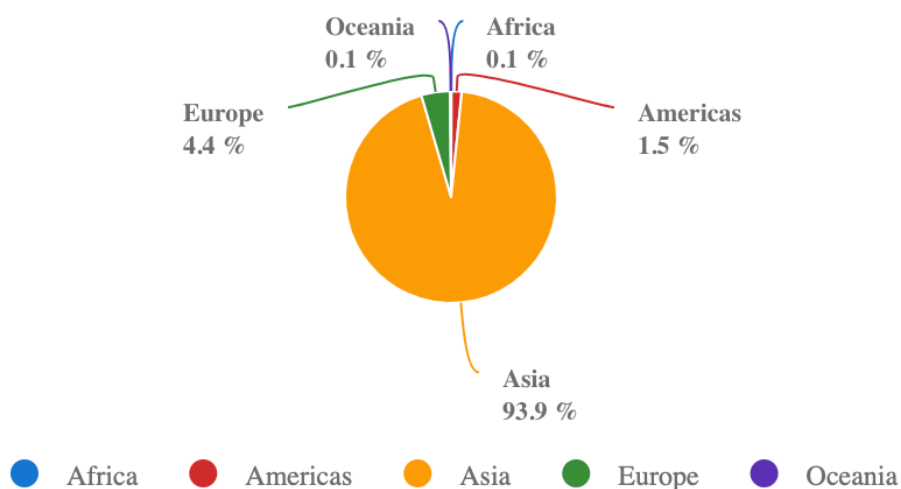
Există ciuperci comestibile cu valoare nutrițională bună, dar sunt folosite doar ca ingredient în gastronomie cu valoare ridicată, de exemplu speciile din genul *Agaricus*. Alte ciuperci sunt lemnoase și nu pot fi folosite ca aliment, dar pot fi utilizate pentru extracția unor componente bioactive sau ca suplimente alimentare, spre exemplu *Ganoderma lucidum*, cu valoare medicinală, însă există unele ciuperci care pot fi avea ambele proprietăți, cum ar fi *Lentinula edodes* (Popa și Oancea, 2020a).

În ultimii ani, populația umană a devenit mai atentă din punct de vedere al alimentației și mai preocupată de problemele de sănătate, dar și să suplinească o alimentație bazată pe o dietă vegetariană prin consumarea unor suplimente alimentare naturale, ceea ce ne arată faptul că ciupercile pot îndeplini două funcții importante: aliment funcțional nutrițional și medicinal, fiind importante pentru prevenirea anumitor tipuri de boli (Miles și Chang, 2004).

Aceste alimente delicioase cu valori nutriționale ridicate și medicinale, au o creștere rapidă în cultură, dar și în natură dacă condițiile meteo sunt favorabile, ceea ce a ridicat interesul producției în cultură a unor anumite tipuri de ciuperci (Carrasco și colab., 2021). În acest sens există aproximativ 200 de specii cultivate în scop comercial sau la nivel experimental, din cele 2000 de specii de ciuperci comestibile existente în micota spontană (Montes și colab., 2020). Dintre speciile cultivate la nivel mondial, 20 sunt cultivate intensiv (*Agaricus sp.*, *Pleurotus sp.*, *Auricularia sp.*, *Lentinula edodes*, etc.). Consumul acestora pe piața globală este în creștere, fiind estimată o creștere de aproximativ 9 milioane de tone în perioada 2018-2026 (Zhang și colab., 2021). Această rată de creștere se datorează atât aspectelor culinare, cât și folosirii ciupercilor în scopuri medicinale sau ca suplimente nutriționale.

Conform FAOSTAT (Statistics of the Food and Agriculture Organization) în intervalul 2009-2019, producția medie de ciuperci și trufe a crescut la nivel mondial cu 4,615,798 tone. Cea mai productivă regiune de pe glob este Asia cu 93,9%, iar cea mai mică producție este reprezentată de Africa 0,1% și Oceania 0,1%. La nivelul Europei, producția ciupercilor este în

creștere în ultimii ani, reprezentând 4,4% din producția mondială, iar America 1,5%, aceste valori fiind reprezentate în **Figura 1**.



**Figura 1. Producția mondială de ciuperci și trufe în perioada 2009-2019, conform FAOSTAT**

Această creștere de producție și distribuție comercială a ciupercilor a crescut semnificativ odată cu creșterea populației globale și extinderea industriei (Popa și Oancea, 2020a).

Având în vedere faptul că ciupercile sălbatice comestibile fac parte din dieta umană de mii de ani, în ultimii ani, cele mai consumate specii de ciuperci în Europa sunt *Cantharellus cibarius*, *Boletus sp.* și *Tuber melanosporum* (Cheung, 2008). Deoarece proprietățile culinare ale ciupercilor sunt foarte apreciate, acestea sunt folosite în special ca garnitură pentru alte alimente, pentru a oferi aromă, textură și gust unui preparat, fiind considerate legume (Barros și colab., 2007). În urma studiilor recente, ciupercile sunt considerate o sursă importantă de proteine în dieta umană, cu un conținut scăzut de grăsimi și calorii, dar bogat în proteine, fibre, vitamine și minerale (Chang și Hayes, 2013).

## 2. CERCETĂRI EXPERIMENTALE ASUPRA METODELOR CLASICE ȘI MODERNE DE USCARE A HRIBILOR INVESTIGATE ÎN SCOPUL CONSERVĂRII PROPRIETĂȚILOR BIOACTIVE

### 2.4.1. Influența pre-tratamentelor și a procedului de uscare asupra proprietăților fizico-chimice ale ciupercilor *Boletus edulis*

Pre-tratamentele fizice, termice (blanșare) și non-termice (iradiere cu radiații UV-C) au fost aplicate probelor de ciuperci investigate înainte de operația de uscare, pentru scăderea încărcăturii microbiene, inactivarea enzimelor, îndepărtarea elementelor toxice sau reținerea culorii (Xiao și colab., 2017).

În ceea ce privește produsele uscate, rezultate anterioare au arătat că expunerea ciupercilor uscate *Boletus edulis* la lumina UV-C a contribuit la o reținere bună a compușilor antioxidanți cu structură polifenolică în produsul final (Oancea și colab., 2021).

În prezenta teză de doctorat, au fost investigate trei tehnici diferite de uscare a ciupercilor *Boletus edulis* pentru a obține pulberi de ciuperci cu potențial aplicativ în industria alimentară sau a suplimentelor/ ingredientelor funcționale alimentare: uscare cu aer cald (HAD), liofilizare (FD) și uscare centrifugală sub vid (CVD), aceasta din urmă fiind utilizată ca procedeu inovativ de uscare a hribilor.

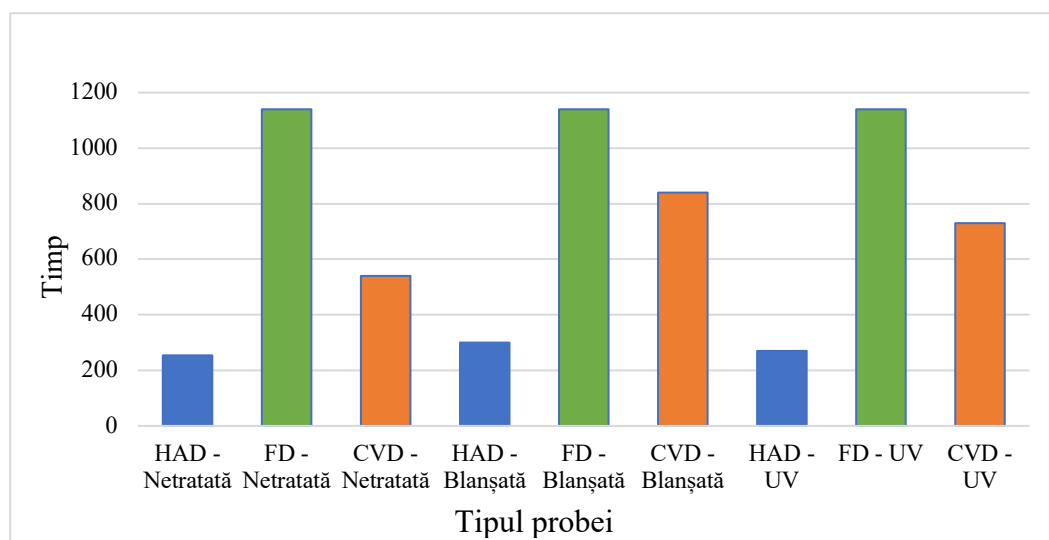
Spre deosebire de majoritatea studiilor publicate care se ocupă de uscarea ciupercilor în formă de felii, în prezentul studiu s-a utilizat pasta de ciuperci (ciuperci aduse în forma de piure).

Evaluarea calității ciupercilor uscate destinate diferitelor sectoare economice, s-a realizat prin metode de analiză a proprietăților fizice (substanță uscată, umiditate, capacitate de rehidratare), (bio)chimice (polifenoli, activitate antioxidantă), microstructurale (SEM, FTIR), termice (DSC, TG) și de culoare (CIELAB).

Pentru analiza probelor efectuate s-au utilizat termenii **proba proaspătă** pentru probele proaspete fără tratament și cu pre-tratament notate corespunzător (blanșate sau UV-C), **proba control** pentru probele uscate fără pre-tratament, iar pentru probele supuse pre-tratamentului s-au folosit **probe pre-tratate** sub diferitele forme specificate (blanșate sau UV-C).

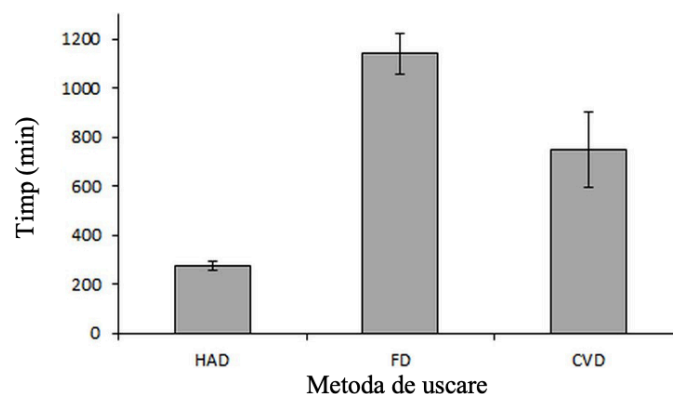
### 2.4.1.1. Influența pre-tratamentului și a procedului de uscare asupra timpului total de uscare a ciupercilor

Efectul pre-tratamentului asupra timpului total de uscare a probelor investigate, indiferent de metoda de uscare, a arătat o creștere a timpului (1,39÷1,49 ori) pentru ciupercile pre-tratate cu UV și pentru probele blanșate.



**Figura 2. Timpul total de uscare a probelor de *Boletus edulis* în funcție de pre-tratamentul aplicat și procedul de uscare**

Diferitele metode de uscare aplicate ciupercilor *Boletus edulis* au influențat în mod diferit timpul total de uscare necesar pentru a reduce conținutul de umiditate până la 6,55% (HAD), 6,31% (FD) și 7,78% (CVD), indiferent de pre-tratamentul aplicat, așa cum se arată în **Figura 29**. FD a necesitat cel mai lung timp de uscare (1140 min), în timp ce HAD a determinat cel mai scurt timp (275 min). Aceste rezultate sunt în conformitate cu alte date publicate privind timpul de uscare a diferitelor produse alimentare (Kaveh și colab., 2021).



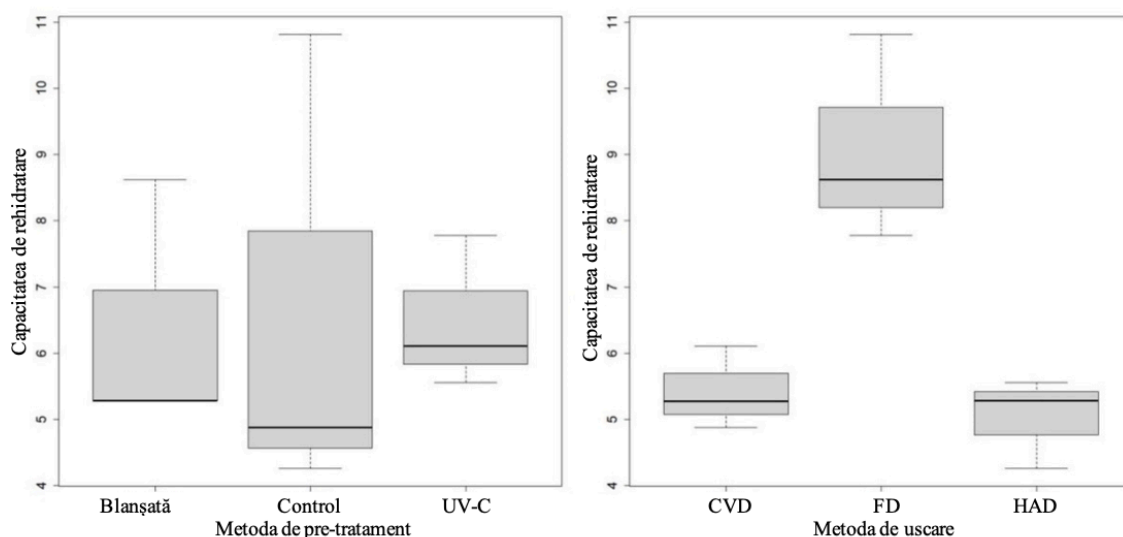
**Figura 3. Timpul total de uscare a probelor de *Boletus edulis* în funcție de procedul de uscare**



## 2.4.2. Evaluarea capacității de rehidratare, a conținutului de polifenoli și a activității antioxidante a probelor de ciuperci supuse diferitelor tipuri de pre-tratamente și uscare

### 2.4.2.1. Capacitatea de rehidratare a probelor de ciuperci uscate

Capacitatea de rehidratare a ciupercilor uscate a fost îmbunătățită prin utilizarea tehnicii de uscare prin liofilizare, FD, în comparație cu celelalte tehnici investigate, HAD și CVD, care au condus la rapoarte de rehidratare similare, dar cu valori mai mici. Valorile rapoartelor de rehidratare ale probelor de ciuperci liofilizate au variat de la 8,61 la 10,81 în funcție de pre-tratamentul aplicat. Această eficacitate a rehidratării este legată de structura poroasă creată de apa solidă din timpul procesului de uscare prin înghețare, respectiv liofilizarea (Ratti, 2001).



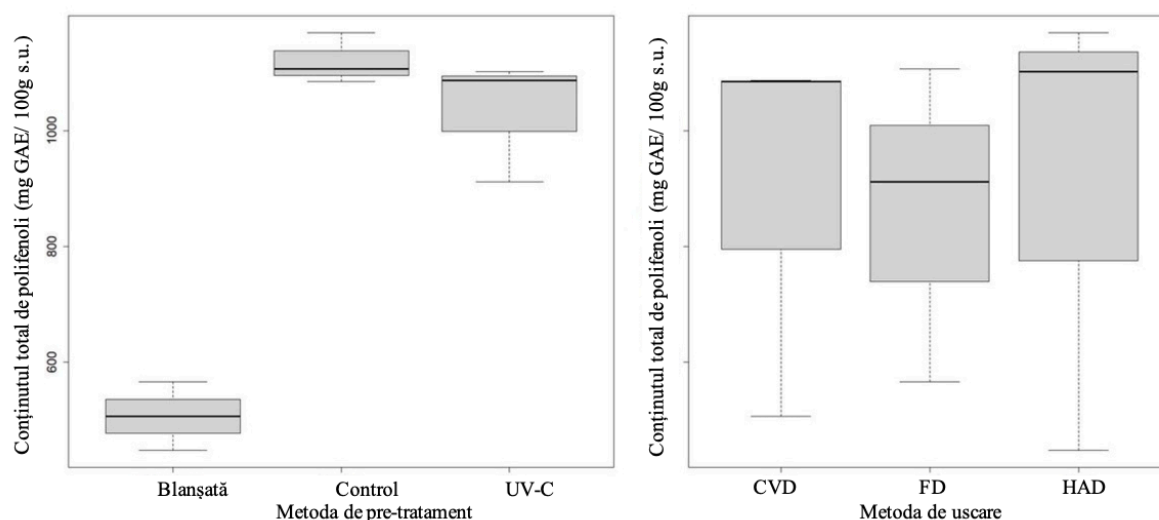
**Figura 4. Reprezentarea grafică a capacității de rehidratare a ciupercilor uscate *Boletus edulis* în funcție de tipul de pre-tratament și uscare aplicate**

În ceea ce privește capacitatea de rehidratare, uscarea prin FD fără pre-tratament sau combinată cu expunerea la radiații UV-C ca pre-tratament non-termic este o alegere bună pentru prelucrarea acestor specii de ciuperci.

### 2.4.2.2. Conținutul de polifenoli a probelor de ciuperci supuse procesării termice

Corpurile fructifere ale ciupercilor *Boletus edulis* conțin diverși compuși antioxidanți, cum ar fi polifenolii.

Conținutul mediu total de polifenoli a probelor proaspete a fost cu 14-18% mai mare decât cel al probelor corespunzătoare uscate prin tehnicile HAD, FD sau CVD. O scădere a conținutului total polifenoli al ciupercilor *Boletus edulis* prin liofilizare a fost găsită și de alți cercetători, dar s-a detectat și o creștere a TPC prin uscarea cu aer cald (Jaworska și colab., 2014).

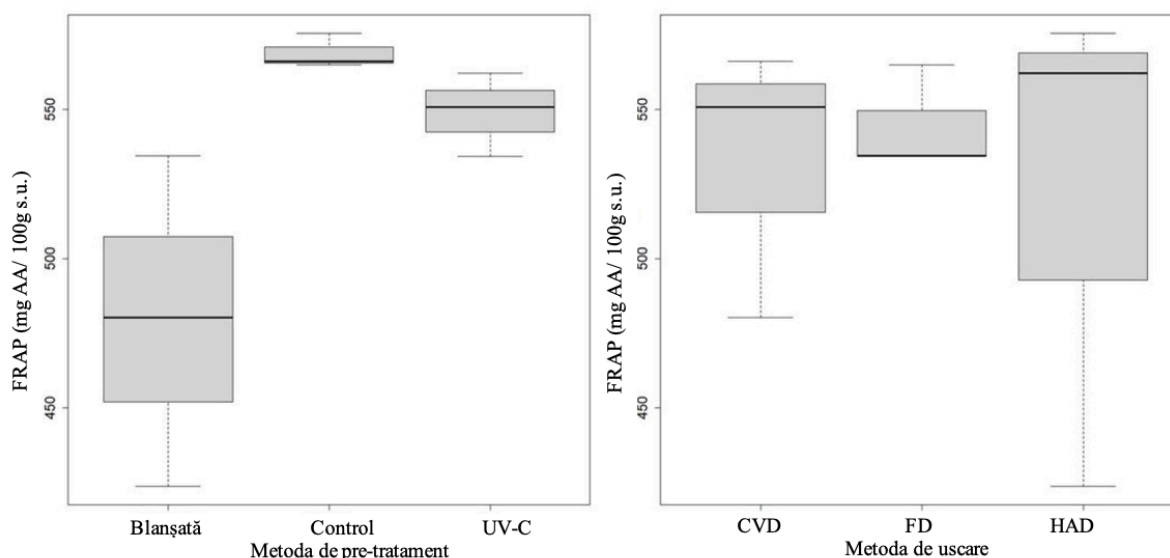


**Figura 5. Reprezentarea grafică a conținutului total de polifenoli al ciupercilor uscate de *Boletus edulis* în funcție de tipul de pre-tratament și tehnicile de uscare aplicate**

### 2.4.2.3. Activitatea antioxidantă a probelor de ciuperci supuse procesării termice

În ceea ce privește activitatea antioxidantă totală (TAA) măsurată prin testul FRAP, rezultatele au arătat că valoarea medie TAA în extractele etanolice obținute din ciupercile proaspete *Boletus edulis* ( $720,039 \pm 0,575$  mg AA/ 100 g s.u.) a fost cu 24-28% mai mare comparativ cu cea din extractele obținute din probele corespunzătoare uscate prin HAD, FD sau CVD.

Activitatea antioxidantă din probele proaspete ( $864,631 \pm 0,137$  mg AA/ 100 g s.u.) a fost mai mică decât cea a probei proaspete supuse pre-tratamentului cu radiații UV-C ( $940,316 \pm 0,468$  mg GAE/ 100 g s.u.), dar mai mare decât cea a probei proaspete blanșate ( $355,171 \pm 0,120$  mg GAE/ 100 g s.u.). Aceste rezultate indică faptul că iradierea UV-C a ciupercilor sălbatice *Boletus edulis* este o alegere mai bună ca modalitate de pre-tratament înainte de uscare, în timp ce blanșarea duce la o pierdere considerabilă a activității antioxidante, din cauza temperaturii ridicate implicate.



**Figura 6. Reprezentarea grafică a activității antioxidante a ciupercilor uscate de *Boletus edulis* în funcție de tipul de pre-tratament și tehnica de uscare aplicată**

#### 2.4.2.4. Evaluarea modificărilor de culoare a probelor de ciuperci supuse procesării termice

Valorile luminozității ( $L^*$ ) s-au modificat în funcție de tipul de pre-tratament și de procedeul de uscare aplicat. Blanșarea și expunerea la radiații UV-C a ciupercilor au determinat o creștere a luminozității atât în probele proaspete, cât și în cele uscate. Tehnicile de uscare HAD și CVD au condus la o intensificare a culorii mai închise a ciupercilor netratate, în timp ce probele control uscate prin tehnica FD au fost mai luminoase decât cele proaspete netratate. Blanșarea ciupercilor înainte de operația de uscare a determinat o scădere ușoară a valorii  $L^*$  în cazul metodei de uscare CVD și o ușoară creștere în cazul probelor uscate prin tehnicile HAD și FD față de valorile obținute pentru proba proaspătă blanșată.

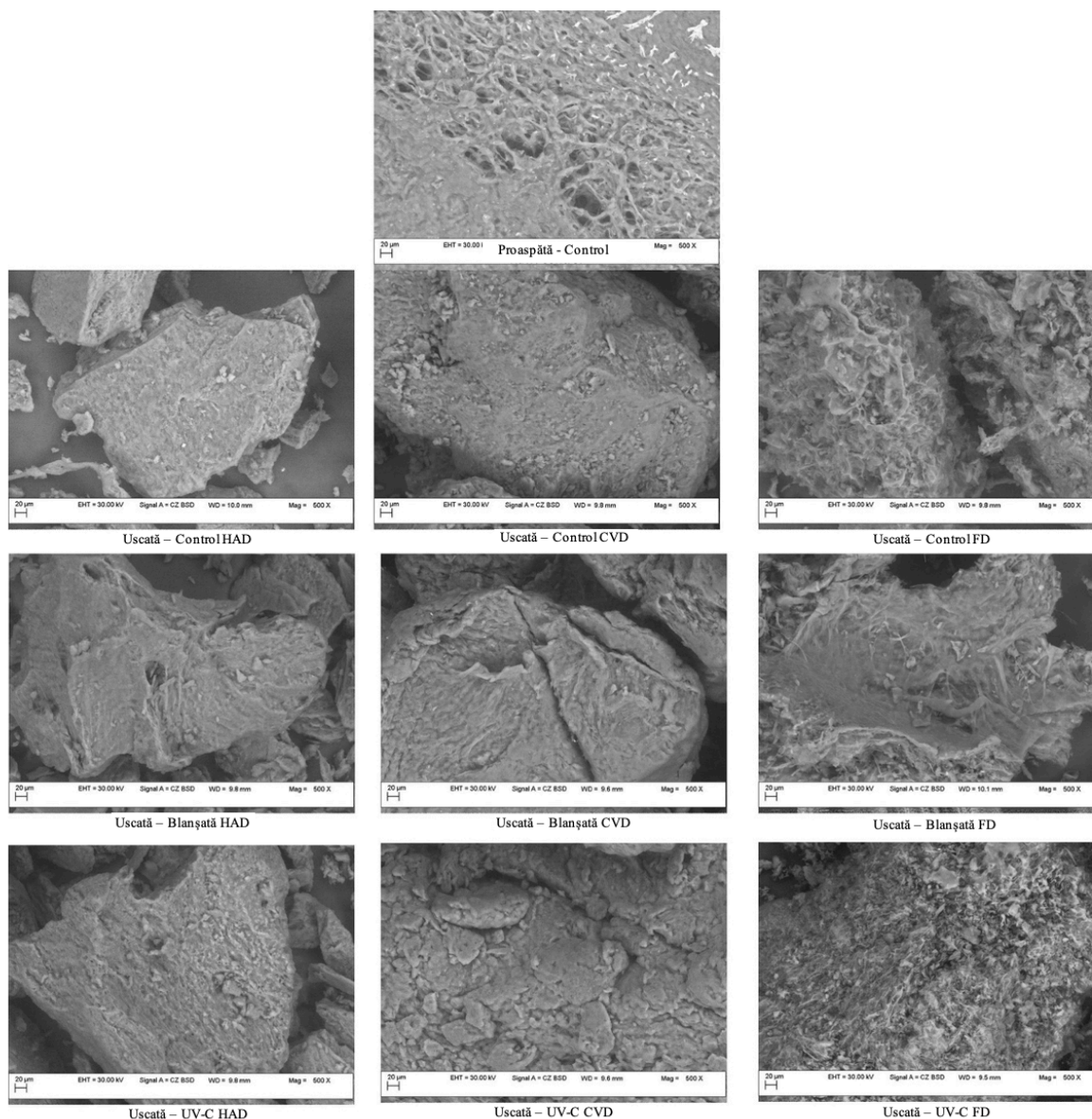
**Tabel 1. Caracteristicile de culoare ale ciupercilor *Boletus edulis* proaspete și uscate**

Tipul de pre-tratament	Procedeu de uscare	$L^*$	$a^*$	$b^*$	$\Delta E^*$	Indicele de alb	Indicele de galben
Control (fără pre-tratament)	—						
	Proaspăt	$91,67 \pm 1,68$	$-11,38 \pm 0,64$	$81,41 \pm 1,85$	-	-185,53	83,02
Blanșare	—						
	Proaspăt	$97,83 \pm 2,21$	$-13,39 \pm 1,43$	$42,14 \pm 1,44$	-	-104,16	52,58
UV	—						
	Proaspăt	$96,80 \pm 2,01$	$-12,39 \pm 1,66$	$43,77 \pm 1,11$	-	-107,95	54,37
Control	HAD	$81,58 \pm 1,07$	$4,42 \pm 0,47$	$79,02 \pm 1,33$	18,91	-145,06	85,71
	CVD	$83,33 \pm 1,87$	$0,57 \pm 0,11$	$91,33 \pm 2,04$	17,63	-164,60	90,38

	FD	92,43±1,30	-7,52±0,75	28,57±0,61	52,98	-49,09	40,03
	HAD	98,54±3,22	-4,32±0,70	9,64±0,75	33,91	39,83	14,65
Blanșare	CVD	97,64±2,50	-10,30±1,89	25,13±0,86	17,41	-36,44	34,69
	FD	98,71±2,25	-6,88±0,53	15,95±1,01	27,16	7,29	23,11
	HAD	94,04±1,86	-5,16±0,42	24,76±0,97	20,52	-34,37	35,06
UV	CVD	96,90±2,10	-3,65±0,21	17,41±0,82	27,78	-0,86	25,23
	FD	96,56±2,05	-5,32±0,78	15,73±1,03	28,93	6,87	23,11

#### 2.4.2.5. Proprietățile micro-structurale prin analiza SEM ale probelor de ciuperci supuse procesării termice

Tratamentul termic a determinat modificări fizice în microstructurile probelor, ca urmare a rupturii pereților celulari care au determinat o structură dezordonată (Lv și colab., 2014). Imaginile tuturor probelor arată rupturi, fisuri și găuri din cauza procesului de măcinare care provoacă ruperea legăturilor intermoleculare. O structură compactă omogenă a fost observată în probele pre-tratate prin expunere la UV-C înainte de uscare. Dintre diferitele tipuri de uscare, liofilizarea, în special în probele netratate sau tratate cu UV, a condus la cele mai puține modificări fizice în comparație cu probele control, prezentând structuri microporoase și fibroase. Lewicki și Pawlak în anul 2003 au confirmat că modificările microstructurii probelor de alimente supuse uscării se datorează în mare parte stresului termic și hidro al țesutului, observabil prin macro și micro-alterări ale dimensiunii, formei și structurii interne.



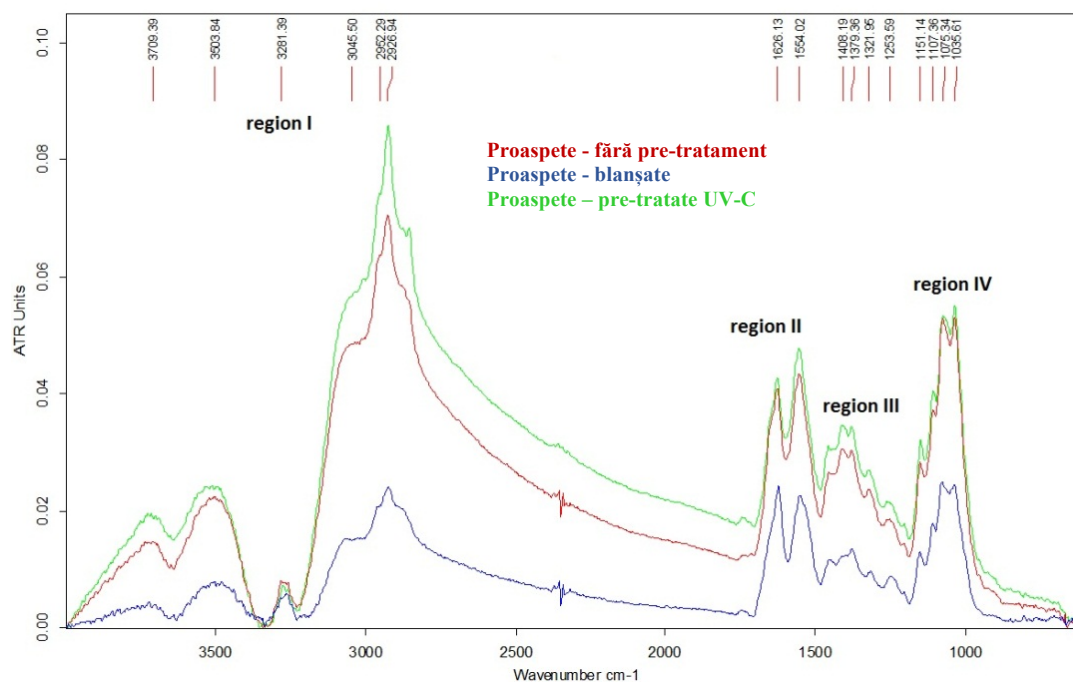
**Figura 7. Imaginile de micrografie SEM ale ciupercilor *Boletus edulis* proaspete și pre-tratate, uscate prin tehnici diferite (500 X)**

#### **2.4.2.6. Evaluarea modificărilor chimice ale ciupercilor uscate utilizând spectroscopia în Infraroșu cu Transformata Fourier (FTIR)**

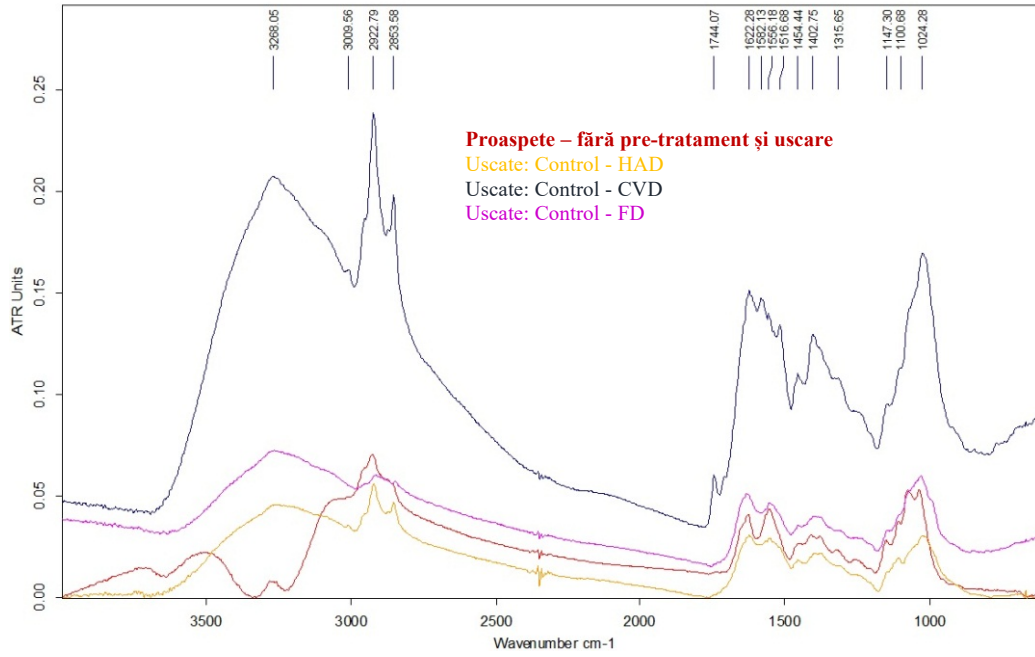
S-au observat diferențe în regiunea I a spectrelor de absorbție IR în probele de ciuperci uscate fără pre-tratament (**Figura 36**), în special pentru probele uscate prin tehnicile HAD sau CVD, unde benzile de absorbție de la  $2923\text{ cm}^{-1}$  și  $2853\text{ cm}^{-1}$  atribuite vibrației de alungire a legăturii C-H din carbohidrați au fost de intensitate mai mare.

Toate ciupercile uscate au prezentat benzi largi în regiunea IV în comparație cu proba proaspătă, probabil din cauza modificărilor structurale induse de căldură asupra

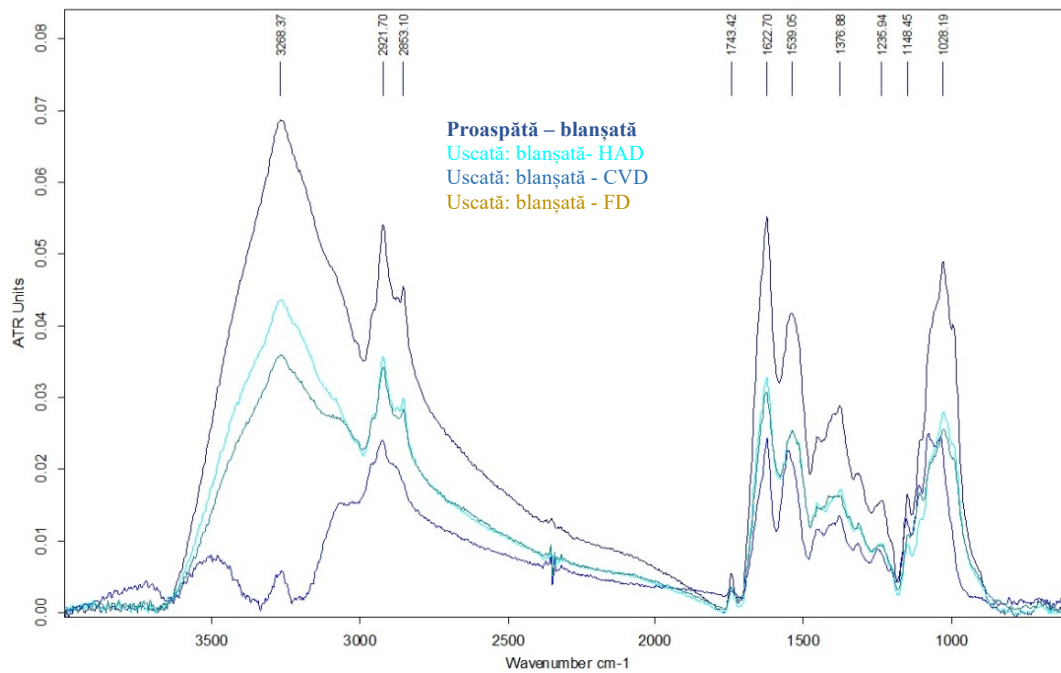
carbohidraților. În probele uscate pre-tratate prin blanșare sau prin iradiere cu radiații UV-C (Figurile 37 și 38), s-a observat benzile de absorbție suplimentare la  $1744\text{ cm}^{-1}$  atribuite vibrației de alungire C=O a fosfolipidelor (Bekiaris și colab., 2020), cu excepția probei pre-tratate cu radiații UV-C și uscate prin tehnica FD. Metoda de uscare a determinat unele modificări structurale ale carbohidraților, după cum reiese din diferențele înregistrate în regiunea IV a spectrului de absorbție, față de proba proaspătă, unde benzile de absorbție la  $1075\text{ cm}^{-1}$  nu mai sunt bine definite.



**Figura 8. Spectrele ATR FTIR ale probelor de ciuperci *Boletus edulis*, proaspete, netratate și supuse diferitelor metode de pre-tratament (blanșare și UV-C)**



**Figura 9. Spectrele ATR FTIR ale probelor de ciuperci *Boletus edulis*, proaspete și uscate fără pre-tratament**



**Figura 10. Spectrele ATR FTIR ale probelor de ciuperci *Boletus edulis*, proaspete și uscate, pre-tratate prin blanșare**

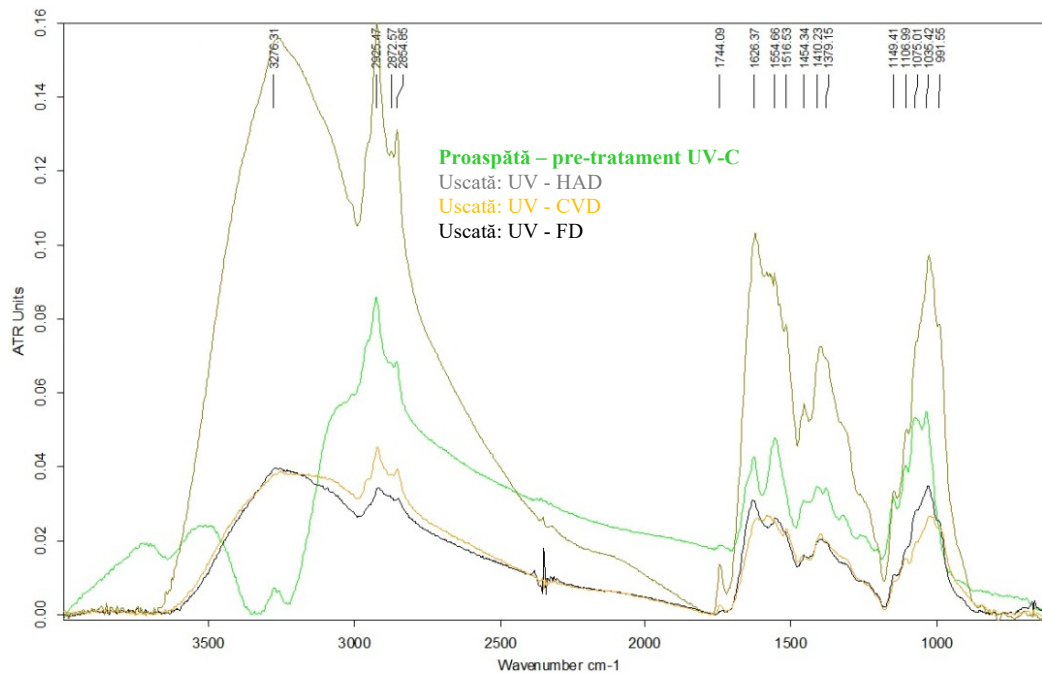


Figura 11. Spectrele ATR FTIR ale probelor de ciuperci *Boletus edulis*, proaspete și uscate, pre-tratate cu radiații UV-C

#### 2.4.2.7. Proprietățile termice și pierderea de masă a pulberilor de ciuperci

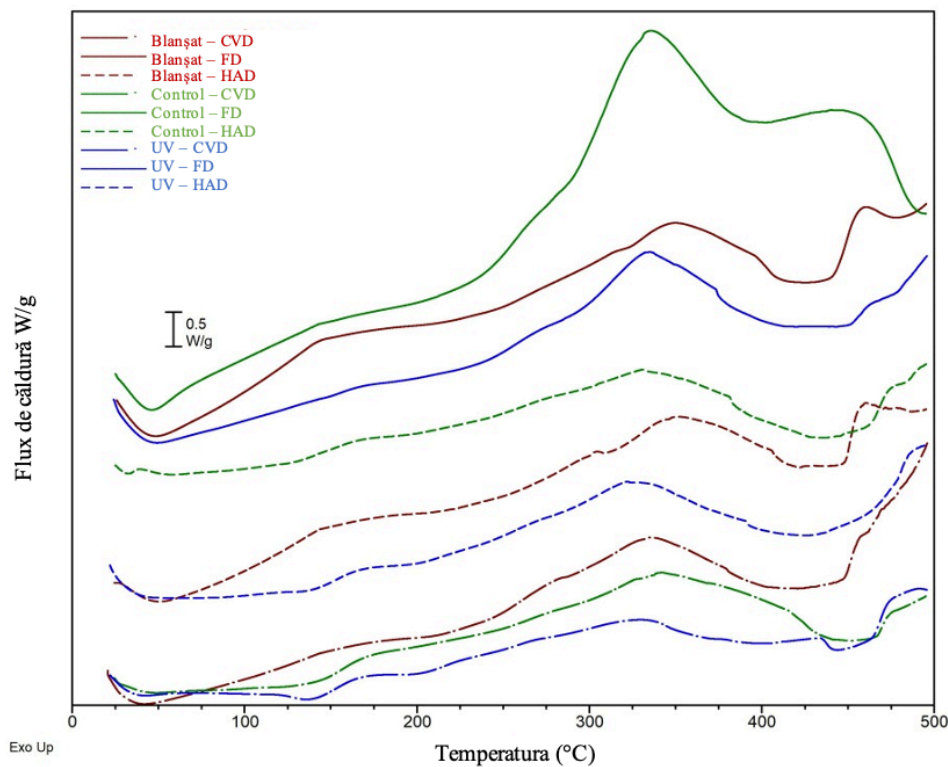


Figura 12. Graficul DSC al probelor de ciuperci *Boletus edulis* supuse diferitelor metode de pre-tratament și tehnici de uscare, pentru intervalul de temperatură 25 - 500 °C



Curbele DSC indică cinci tranziții termice ale pulberilor de ciupercilor, dintre care 2 vârfuri endotermice și 3 exotermice. Primul vârf larg endotermic în intervalul de temperatură de 42-57 °C, observat în toate curbele DSC, cu excepția probei UV-HAD, a fost atribuit în principal gelatinizării polizaharidelor (Ferero și colab., 2016). Proteinele suferă gelificare la încălzire, constând în tranziții endotermice (denaturare, 50-85 °C) și procese exotermice (agregare intermoleculară), așa cum s-a studiat pe diferite tipuri de proteine (Ju și colab., 1999). Lipsa primului vârf endotermic pentru proba UV-HAD este corelată cu schimbările asociate cu modificarea conformațională a proteinelor observate prin analiza FTIR din prezentul studiu de doctorat. După cum se observă în **Figura 39**, un al doilea eveniment endotermic suplimentar în intervalul de temperatură de 106-145 °C a fost predominant pentru probele (UV-C) uscate prin tehnicile HAD și CVD. Aceste evenimente s-ar putea datora modificărilor chitinei, o polizaharidă structurală prezentă în ciuperci (Shakir și colab., 2020; Ospina și colab., 2014; Kalač, 2009).

### 2.4.3. Influența iradierii ciupercilor uscate cu lumină UV-C asupra conținutului de polifenoli, taninuri și activității antioxidante

**Tabel 2. Valorile conținutului total de polifenoli, conținutul total de taninuri și activitatea antioxidantă a probelor de ciuperci uscate, în prezența și absența radiațiilor UV-C în funcție de timpul și distanța de iradiere**

Parametrii	Control	Probe tratate cu radiații UV-C			
		Timp expunere (min)	Distanța de expunere (cm)		
			10	15	20
Polifenoli (mg GAE/ 100 g s.u.)	588,21±7,53	15	576,33±7,20	591,31±7,39	589,43±9,91
		30	554,68±6,93	584,20±7,30	689,65±8,62
Taninuri (mg catechina/ 100 g s.u.)	85,98±0,12	15	86,95±0,25	94,29±0,08	84,05±0,17
		30	86,93±0,17	99,53±0,19	94,17±0,14
Activitate antioxidantă (mg AAE/ 100 g s.u.)	434,98±2,10	15	458,25±1,11	467,82±1,46	455,19±2,04
		30	467,81±1,06	470,85±2,40	467,24±2,21

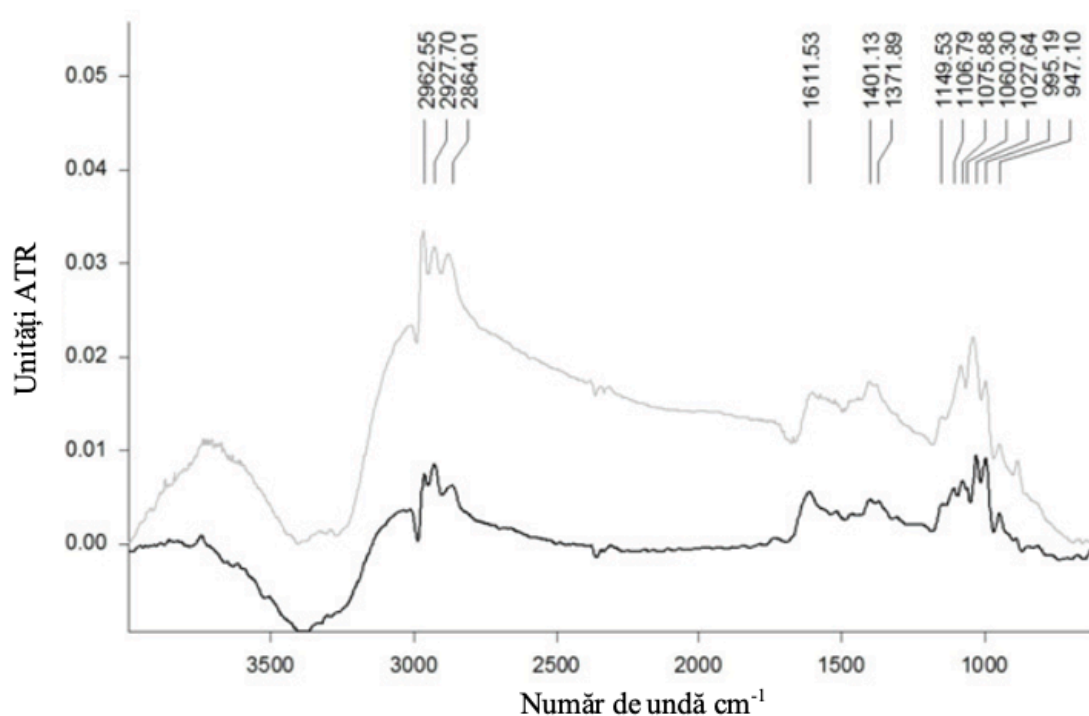
Notă: rezultatele reprezintă valori medii ale determinărilor în duplicat ± deviația standard.

TPC a scăzut într-o mică măsură în timpul tratamentului cu radiații UV-C la cea mai mică distanță de expunere (10 cm), indicând un proces de degradare a polifenolilor, dar la o viteză scăzută. Pulberea de ciuperci iradiată timp de 30 de minute la cea mai mare distanță investigată (20 cm) a avut cea mai mare valoare TPC (689,65 ± 8,62 mg GAE/ 100 g s.u.), cu 17% mai mare decât în grupul control, ceea ce evidențiază potențiala utilizare a acestor condiții

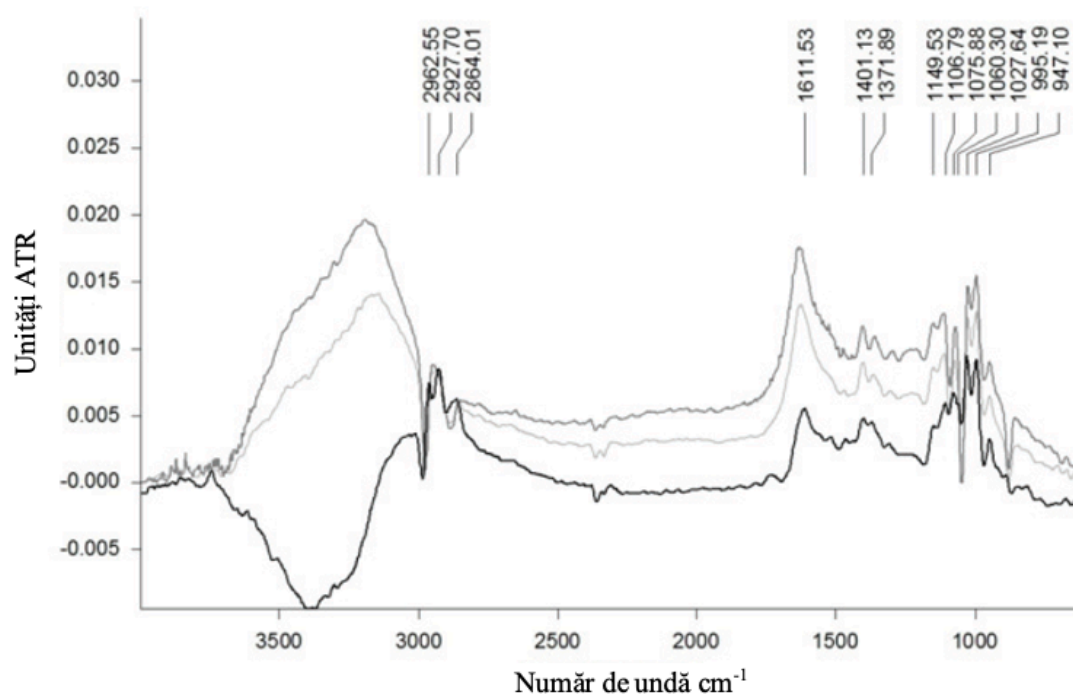
experimentale pentru îmbunătățirea extracției polifenolilor din pulberea uscată de *Boletus edulis*.

### 2.4.3.1. Analiza ATR-FTIR comparativă a probelor control și iradiate cu lumina UV-C

Prin înregistrarea spectrelor ATR-FTIR ale probelor de control și iradiate UV-C de ciuperci uscate *Boletus edulis*, s-au găsit câteva diferențe după cum urmează: 30 min la 15 cm, 15 min la 15 cm și 30 min la 20 cm. Spectrele ATR-FTIR sunt redată în **Figurile 42 – 43**.



**Figura 13.** Spectrele ATR-FTIR ale pulberilor de ciuperci, control (–) și tratate cu radiații UV-C timp de 30 min la 15 cm distanța de expunere (—)



**Figura 14. Spectrele ATR-FTIR ale pulberilor de ciuperci, control (—) și tratate cu radiații UV-C timp de 15 min la 15 cm (---) și 30 min la 20 cm distanța de expunere (···)**

Au fost identificate modificări ale spectrelor FTIR ale probelor iradiate. Astfel, benzile de absorbție la 1106 și 1060  $\text{cm}^{-1}$  atribuite grupărilor din polizaharide, nu mai apar în spectrele probei iradiate, probabil din cauza hidrolizei polifenolilor atașați polizaharidelor din peretele celular, în special taninurilor. Acest lucru este corelat cu rezultatele anterioare din prezentul studiu care arată un conținut de TTC crescut pentru proba iradiată (30 min, 15 cm) (Tabelul 7).

#### **2.4.4. Influența iradierii cu microunde a extractelor de ciuperci proaspete și uscate asupra conținutului de polifenoli și activității antioxidante**

**Tabel 3. Conținutul de polifenoli și activitatea antioxidantă a probelor de ciuperci proaspete în prezența și absența iradierii cu microunde în soluție de etanol, în funcție de timpul și frecvența de expunere**

Parametri	Proba control	Timp de expunere [h]	Frecvența [GHz]	Puterea incidentă a câmpului electric [ $\text{V}\cdot\text{m}^{-1}$ ]	Probe tratate cu MW
Polifenoli totali (mg GAE/ 100 g s.u.)	894,182±0,447	3	1,7	775	1127,937±0,310
		0,5	2,5	750	1064,599±0,068
		3	2,5	700	1140,506±0,073
Activitatea antioxidantă (mg AAE/ 100 g s.u.)	732,486±20,710	3	1,7	775	983,219±27,059
		0,5	2,5	750	954,178±27,764
		3	2,5	700	976,238±27,586

Conform rezultatelor obținute, valorile medii atât ale conținutului de compuși polifenolici, cât și ale activității antioxidante ale probelor expuse la radiații cu microunde, indiferent de timp, frecvență sau câmp electric incident, au fost mai mari decât cele ale probei control.

Conținutul total de polifenoli din extractele obținute din ciuperci proaspete a crescut cu 27,5% după tratamentul cu microunde la cea mai mare frecvență (2,5 GHz) și o expunere de 3 ore, comparativ cu proba control, indicând faptul că radiația cu microunde a îmbunătățit extracția compușilor cu structură fenolică, cel mai probabil din cauza perturbării membranei celulare care facilitează eliberarea unor astfel de compuși (Delazar și colab., 2012). În ceea ce privește influența timpului de expunere, un timp mai îndelungat a dus la o creștere a valorii de polifenoli și a activității antioxidante, indiferent de frecvența radiațiilor. Cea mai mare valoare a activității antioxidante a fost stabilită în proba expusă la 1,7 GHz timp de 3 ore, arătând o creștere de 34,2% comparativ cu proba control.

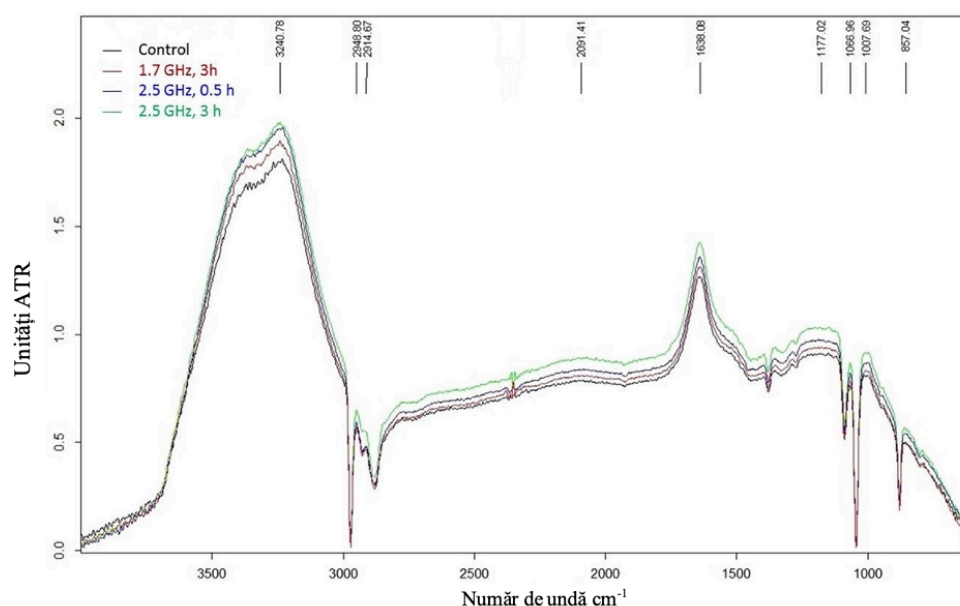
În ceea ce privește experimentul de expunere la radiații cu microunde în diferite condiții de expunere a pulberilor de ciuperci în amestec cu etanolul 70%, rezultatele obținute privind evoluția conținutului de TPC și TAA, supuse tratamentului cu microunde, sunt prezentate în **Tabelul 10**.

**Tabel 4. Conținutul de polifenoli și activitatea antioxidantă a pulberilor de ciuperci în prezența și absența iradierii cu microunde în soluție de etanol, în funcție de timpul și frecvența de iradiere**

Parametri	Proba control	Timp expunere [h]	Frecvența [GHz]	Puterea incidentă a câmpului electric [ $V \cdot m^{-1}$ ]	Probe tratate cu MW
Polifenoli totali (mg GAE/ 100 g s.u.)	1141,741±2,090	0,5	2,5	450	1122,085±2,892
		1	2,5	430	1129,365±2,941
		3	2,5	700	1103,233±2,460
		0,5	1,7	450	1357,398±3,338
		1	1,7	430	1192,517±3,113
		3	1,7	370	1107,645±2,972
Activitatea antioxidantă (mg AAE/ 100 g s.u.)	594,365±2,783	0,5	2,5	450	594,224±11,977
		1	2,5	430	589,897±14,654
		3	2,5	700	582,727±1,906
		0,5	1,7	450	581,510±10,878
		1	1,7	430	591,945±1,889
		3	1,7	370	560,972±0,619

Nu s-au găsit diferențe semnificative ale conținutului total de polifenoli între probele control și probele iradiate cu microunde, cu excepția amestecului de pulbere de ciuperci și soluție de etanol expus microundelor la 1,7 GHz, timp de expunere de 0,5 ore, care a înregistrat cel mai mare conținut de polifenoli, respectiv de  $1357,398 \pm 3,338$  mg GAE/ 100 g s.u.. Valoarea TPC pentru această probă a fost cu 18,8 % mai mare decât cea a probei control. Cel mai scăzut conținut de polifenoli a fost obținut pentru un timp de expunere mai mare (3 h) la 2,5 GHz ( $1103,233 \pm 2,460$  mg GAE/ 100 g s.u.). Acest lucru este diferit de rezultatele privind evoluția TPC în extractele obținute din probe proaspete de ciuperci, indicând faptul că prezența apei în interiorul probelor poate influența eficiența extracției.

#### 2.4.4.1. Analiza ATR-FTIR a extractelor etanolice de ciuperci proaspete *Boletus edulis* iradiate cu microunde



**Figura 15. Spectrele ATR-FTIR ale extractelor de ciuperci proaspete, control și iradiate cu microunde în diferite condiții experimentale**

După cum rezultă din **Figura 46**, nu au avut loc modificări majore în probele iradiate cu microunde în comparație cu proba control, ceea ce indică faptul că aceste radiații nu au influențat structurile chimice ale compușilor, ci au facilitat extracția din cauza unor procese mecanice (ruperea membranei celulare).

#### 2.4.5. Influența expunerii ciupercilor uscate la radiații electromagnetice de frecvență extrem de joasă asupra conținutului de polifenoli, taninuri și activității antioxidante

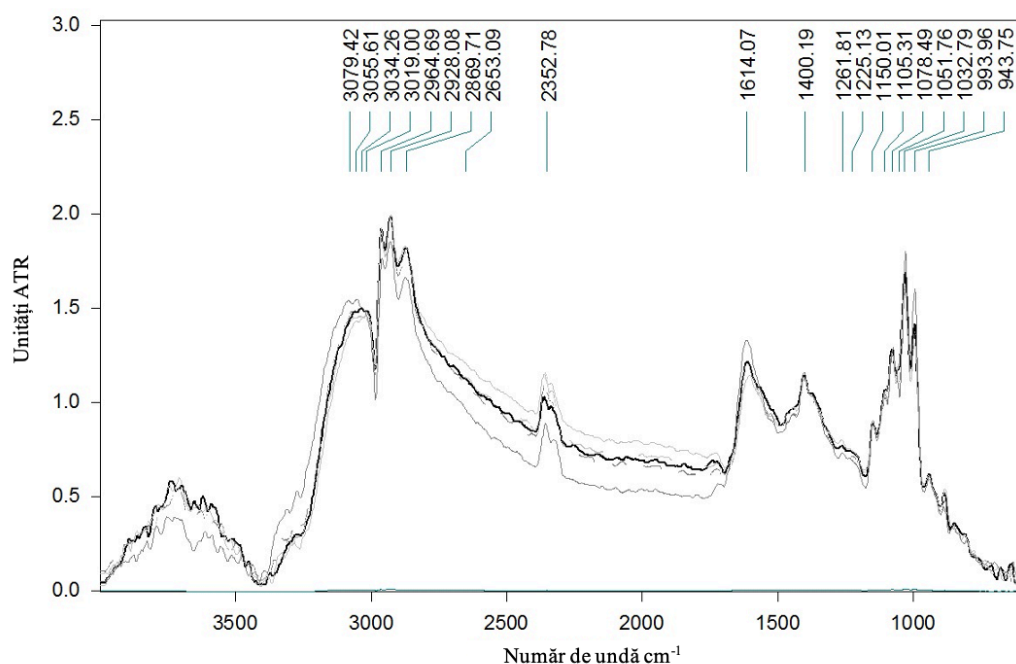
Activitatea antioxidantă a probei expuse pentru 240 min, nu depășește foarte mult activitatea probei control. Diferențe semnificative pentru conținutul de polifenoli nu există, în ceea ce privește proba control și proba expusă timp îndelungat (240 min), procentul fiind de 2,41%.

Conținutul de taninuri în proba control este de  $85,98 \pm 0,12$  mg/ 100 g s.u., iar în proba cu expunerea cea mai lungă  $89,45 \pm 0,12$  mg/ 100 g s.u., diferența fiind de 3,87%. Există diferențe mici, foarte puțin semnificative între proba control și probele expuse.

**Tabel 5. Conținutul total de polifenoli, taninuri și activitatea antioxidantă a pulberilor de ciuperci expuse la câmp magnetic de 50 Hz și a probei control, în funcție de timpul de expunere**

Parametrii	Proba control	Probe tratate în câmp magnetic (3 mT, 50 Hz)				
		Timpul de expunere (min)				
		15	30	60	120	240
Polifenoli (mg 100/ g s.u.)	$588,21 \pm 7,53$	$573,51 \pm 6,80$	$577,73 \pm 7,88$	$570,96 \pm 7,76$	$592,40 \pm 7,56$	$602,78 \pm 6,55$
Taninuri (mg 100/ g s.u.)	$85,98 \pm 0,12$	$85,05 \pm 0,07$	$87,18 \pm 0,10$	$87,93 \pm 0,11$	$88,39 \pm 0,12$	$89,45 \pm 0,12$
Activitatea antioxidantă (mg 100/ g s.u.)	$434,98 \pm 2,10$	$430,08 \pm 1,22$	$432,86 \pm 1,21$	$434,53 \pm 1,13$	$435,92 \pm 0,98$	$435,82 \pm 0,95$

### 2.4.5.1. Analiza ATR-FTIR a extractelor etanolice de ciuperci uscate supuse radiațiilor electromagnetice de frecvență extrem de joasă



**Figura 16. Spectrele ATR-FTIR ale pulberilor de ciuperci, control (—) și iradiate în câmp magnetic (3 mT, 50 Hz) la timp de expunere diferit 15 (---), 30 (····), 60 (-·-·), 120 (- - -) și 240 (— — —) minute**

Rezultatele obținute indică o ușoară creștere a conținutului de TPC, TTC și activității antioxidante FRAP odată cu creșterea timpului de expunere la MF, dar diferențele nu au fost semnificative statistic în comparație cu proba control, la  $p < 0,05$ . Efectul slab al câmpului magnetic de 50 Hz ar putea fi explicat prin efectul dat de deshidratarea efectuată anterior asupra probelor, deoarece majoritatea studiilor au arătat că MF influențează în principal proprietățile fizico-chimice și structura apei (Răcuciu și Olosutean, 2019; Chang și Weng, 2006), ceea ce poate favoriza în mod indirect extracția compușilor bioactivi din probele proaspete sau probele cu conținut mai mare de apă.

### 3. CARACTERIZAREA FIZICĂ, FIZICO-CHIMICĂ ȘI PROPRIETĂȚILE FUNCȚIONALE ALE PULBERII DE HRIBI CA INGREDIENT BIOACTIV PENTRU DEZVOLTAREA UNEI BĂUTURI FUNCȚIONALE PE BAZĂ DE HRIȘCĂ

Având în vedere faptul că, rezultatele obținute și descrise în capitolele anterioare pentru tehnologiile de uscare cu aer cald și respectiv de concentrator sub vid, au confirmat conservarea unor proprietăți bioactive importante (polifenoli și activitate antioxidantă), s-a considerat o etapă importantă investigarea efectului utilizării celor două tehnologii de uscare asupra proprietăți fizice ale pulberilor de ciuperci (densitatea, raportul Hausner, solubilitatea, rehidratarea și parametri de emulsionare) cât și asupra compoziției în nutrienți, a profilului de acizi grași și a compușilor de aromă.

#### 3.5.1. EVALUAREA PROPRIETĂȚILOR FIZICE ȘI FIZICO-CHIMICE ALE PULBERILOR DE CIUPERCII *BOLETUS EDULIS*

Proprietățile fizice ale pulberilor de ciuperci din specia *Boletus edulis* (conținutul de umiditate, densitatea aparentă în stare liber vărsată, densitatea în stare tasată, raportul Hausner, solubilitatea, indicele de solubilitate în apă – WSI, și raportul de rehidratare – RR) sunt reprezentate în Tabelul 14.

**Tabel 6. Proprietățile fizice ale pulberilor de ciuperci uscate prin metodele HAD și CVD**

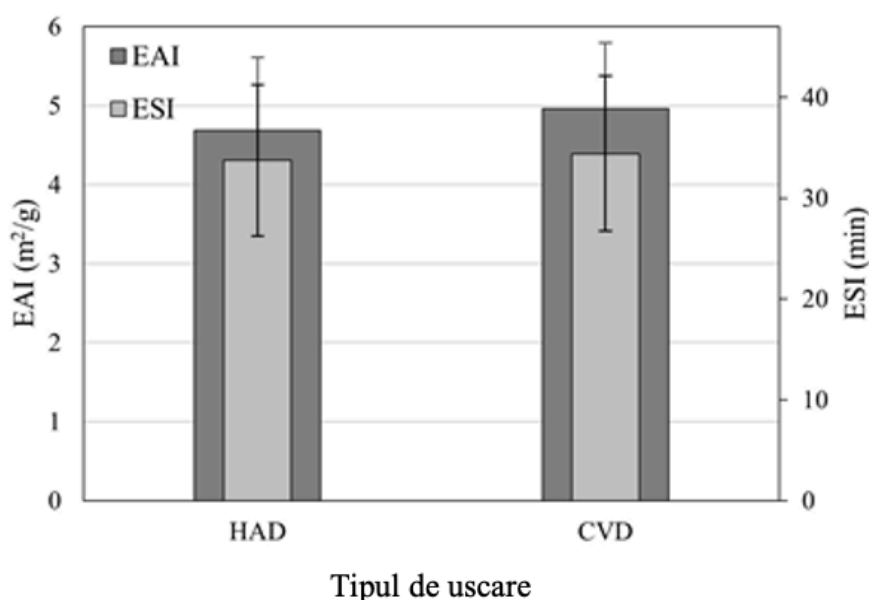
Proba	Conținutul de umiditate (%)	Densitatea aparentă în stare liber vărsată (g/cm <sup>3</sup> )	Densitatea în stare tasată (g/cm <sup>3</sup> )	HR	Solubilitatea (g/100 g apă)	WSI (%)	RR (g/g s.u.)
Uscată prin HAD	6,52	0,885±0,007	1,050±0,037	1,186	0,266±0,025	24,688±2,670	4,020±0,216
Uscată prin CVD	5,89	0,765±0,057	1,047±0,074	1,368	0,316±0,015	28,525±1,475	3,012±0,441



### 3.5.2. PROPRIETĂȚILE DE EMULSIONARE ALE PULBERILOR DE CIUPERCII *BOLETUS EDULIS*

**Figura 70** ilustrează indicele activității emulgatoare (EAI) și indicele de stabilitate a emulsiei (ESI), evaluate pentru pulberile de ciuperci *Boletus edulis* obținute prin cele două tehnologii de uscare, HAD și CVD.

Probele uscate prin tehnologia de uscare CVD au prezentat valori puțin mai mari ale EAI ( $4,963 \pm 0,828 \text{ m}^2/\text{g}$ ) și ESI ( $34,741 \pm 7,701 \text{ min}$ ), în comparație cu probele uscate prin tehnologia HAD care au prezentat valori EAI ( $4,687 \pm 0,923 \text{ m}^2/\text{g}$ ) și ESI ( $33,741 \pm 7,510 \text{ min}$ ), ceea ce indică o mai bună stabilitate a emulsiei pentru probele uscate prin tehnologia CVD.



**Figura 17. Indicele activității emulgatoare (EAI) și indicele de stabilitate a emulsiei (ESI) al pulberilor de ciuperci *Boletus edulis*, în funcție de tehnologiile de uscare aplicate**

### 3.5.3. CONȚINUTUL DE NUTRIENȚI DIN CIUPERCILE *BOLETUS EDULIS*

În studiul nostru a fost determinată compoziția nutrițională a probelor de ciuperci proaspete și uscate, ținând cont de valorile conținutului de umiditate, care a variat de la  $82,5 \pm 0,25\%$  pentru proba proaspătă, la  $6,51 \pm 0,20\%$  pentru proba uscată HAD și  $5,89 \pm 0,05\%$  pentru proba uscată CVD. Valoarea nutrițională a ciupercilor, în ceea ce privește umiditatea și

conținutul de proteine scade rapid post recoltare (Braaksma și Schaap, 1996). Conținutul de proteine din probele uscate este de  $36,35 \pm 0,17$  g/ 100 g în proba uscată CVD și respectiv  $34,65 \pm 0,17$  g/ 100 g în proba uscată HAD, comparativ cu valoarea  $7,45 \pm 0,17$  g/ 100 g determinată în proba proaspătă. Conținutul de glucide, calculat prin diferență, se află în cantitatea cea mai mare:  $52,15 \pm 0,07$  g/ 100 g în proba uscată HAD, urmat de  $50,45 \pm 0,22$  g/ 100 g în proba uscată CVD și  $8,24 \pm 0,12$  g/ 100 g în proba proaspătă.

**Tabel 7. Valoarea nutrițională a ciupercilor sălbatice *Boletus edulis* – probe proaspete, uscate prin tehnologia HAD și CVD, comparativ cu cea raportată din alte studii**

Tipul probei/ Caracteristici	Umiditate (%)	Proteine (g/ 100 g produs)	Lipide (g/ 100 g produs)	Glucide (g/ 100 g produs)	Cenușă (g/ 100 g produs)	Energie (Kcal/ 100 g produs)
Proba proaspătă	$82,5 \pm 0,25$	$7,45 \pm 0,27$	$0,87 \pm 0,03$	$8,24 \pm 0,12$	$0,935 \pm 0,04$	$70,62 \pm 0,31$
Proba uscată HAD	$6,51 \pm 0,20$	$34,65 \pm 0,17$	$3,06 \pm 0,01$	$52,15 \pm 0,17$	$4,614 \pm 0,04$	$370,82 \pm 0,41$
Proba uscată CVD	$5,89 \pm 0,05$	$36,35 \pm 0,17$	$2,52 \pm 0,03$	$50,45 \pm 0,22$	$4,781 \pm 0,05$	$369,91 \pm 0,45$

**Valori nutriționale pentru specia *Boletus edulis* din literatura de specialitate**

<i>Boletus edulis</i> proaspăt (Heleno și colab., 2011)	$89,15 \pm 0,90$ g/ 100 g s.u.	$21,07 \pm 0,66$ g/ 100 g s.u.	$2,45 \pm 0,09$ g/ 100 g s.u.	$70,96 \pm 0,66$ g/ 100 g	$5,53 \pm 0,23$ g/ 100 g s.u.	$390,11 \pm 2,58$ g/ 100 g s.u.
<i>Boletus edulis</i> uscat (Beluhan și Ranogajec, 2011)	$12,23 \pm 0,41$ %	$36,91 \pm 0,02$ g/ 100 g	$2,29 \pm 0,41$ g/ 100 g	$64,27 \pm 0,21$ g/ 100 g	$5,3 \pm 0,87$ g/ 100 g	$1488,10 \pm 0,18$ g/ 100 g
<i>Boletus edulis</i> uscat (Fogarasi și colab., 2018)	$7,73 \pm 0,18$ g/ 100 g s.u.	$36,24 \pm 0,12$ g/ 100 g s.u.	$1,92 \pm 0,09$ g/ 100 g s.u.	$46,23 \pm 0,22$ g/ 100 g s.u.	$8,38 \pm 0,07$ g/ 100 g s.u.	$347,5 \pm 0,52$ g/ 100 g s.u.

### 3.5.4. EVALUAREA PROFILULUI DE ACIZI GRAȘI DIN CIUPERCILE *BOLETUS EDULIS*, PRIN TEHNICA GC-MS

Rezultatele privind conținutul de acizi grași, saturați și nesaturați, identificați prin tehnica GC-MS din probele de ciuperci analizate, indică un număr total de 21 compuși pentru proba proaspătă, proba uscată prin tehnologia de uscare cu aer cald (HAD) și proba uscată prin tehnologia de uscare prin centrifugare sub vid (CVD) (Tabelul 16).

Principalii acizi grași identificați în cantități mari au fost acidul linoleic (C18:2 n-6), urmat de acidul oleic (C18:1 n-9) și acidul palmitic (C16:0). Acidul linoleic este cunoscut ca fiind precursorul alcoolului ciupercilor (1-octan-3-ol), fiind principalul compus de aromă al ciupercilor (Barros și colab., 2008). Pe lângă acești 3 acizi grași identificați, au mai fost identificați încă 18 acizi care sunt prezentați în Tabelul 16.

**Tabel 8. Conținutul de acizi grași identificați în proba proaspătă și în probele uscate prin cele două metode (HAD și CVD) din ciupercile *Boletus edulis***

Denumirea acizilor grași și tipul de omega	Conținut (%)		
	Proba proaspătă	Proba uscată HAD	Proba uscată CVD
Acid caproic (C6:0)	0,06±0,01	0,09±0,02	0,02±0,01
Acid caprilic (C8:0)	0,04±0,01	0,14±0,04	0,02±0,01
Acid capric (C10:0)	0,04±0,01	0,09±0,01	0,03±0,01
Acid miristic (C14:0)	0,24±0,02	0,39±0,04	0,22±0,02
Acid pentadecanoic (C15:0)	0,39±0,04	0,39±0,04	0,30±0,03
Acid palmitic (C16:0)	11,31±0,62	11,68±0,64	12,49±0,69
Acid hipogeic (C16:1 n-9)	0,21±0,03	0,24±0,04	0,22±0,03
Acid palmitoleic (C16:1 n-7)	0,63±0,03	0,69±0,03	0,74±0,03
Acid margaric (C17:0)	0,13±0,01	0,05±0,01	0,11±0,01
Acid stearic (C18:0)	2,39±0,11	1,64±0,07	1,75±0,08
Acid oleic (C18:1 n-9)	28,75±1,28	22,31±0,99	23,94±1,07
Acid vaccenic (C18:1 n-7)	1,95±0,09	1,66±0,07	2,07±0,09
Acid linoleic (C18:2 n-6)	51,91±2,08	58,52±2,34	56,45±2,26
Acid $\alpha$ – linolenic (C18:3 n-3)	0,08±0,02	0,03±0,01	0,03±0,01
Acid arahidic (C20:0)	0,34±0,02	0,35±0,04	0,19±0,02
Acid gondoic (C20:1 n-9)	0,30±0,05	0,00±0,00	0,25±0,04
Acid eicosadienoic (C20:2 n-6)	0,22±0,02	0,38±0,04	0,25±0,03
Acid behenic (C22:0)	0,30±0,06	0,42±0,08	0,25±0,05
Acid erucic (C22:1 n-9)	0,16±0,03	0,22±0,04	0,17±0,03
Acid lignoceric (C24:0)	0,31±0,03	0,34±0,03	0,25±0,03
Acid nervonic (C24:1 n-9)	0,23±0,03	0,36±0,05	0,24±0,04

Rezultatele din **Tabelul 16** indică o creștere a conținutului de acid linoleic în probele uscate prin ambele tehnologii de uscare, însoțită de o scădere a conținutului unor acizi grași mononesaturați (acidul oleic și acidul gondoic). Acest lucru ar putea fi explicat prin modificările produse în structurile lipidice în timpul procesării materiilor prime (omogenizare, uscare, mărunțire), care pot favoriza acțiunea unor enzime, desaturaza și elongaza, implicate în conversia acidului oleic în acid linoleic și alungirea acidului gondoic în acidul erucic și respectiv nervonic (Yuan și Bloch, 1961; Zhang și colab., 2016). O ușoară creștere a conținutului acidului linoleic a fost raportată și de alți autori în uleiul de semințe de mandarină după uscarea semințelor la 60 °C sau 70 °C (Al Juhaimi și colab., 2018).

### 3.5.5. EVALUAREA PROFILULUI DE COMPUȘI VOLATILI DE AROMĂ DIN CIUPERCILE *BOLETUS EDULIS*, PRIN TEHNICA HS-ITEX/GC-MS

Cei mai mulți compuși de aromă identificați în proba proaspătă au fost 1-octan-3-ol (70,52±1,13%), 2-metil-2-butanal (11,88±0,15%), 1-octan-3-onă (9,06±0,11%) și (*E*)-2-octanal (5,74±0,06%). Din punct de vedere al mirosului, compușii de aromă C8, 1-octan-3-ol

și 1-octan-3-onă, au fost descriși ca fiind „pămâtoși/ specific ciupercilor”, în timp ce ceilalți compuși au primit alte caracteristici, precum: (*E*)-2-octanal „verde, iarbă”; 3-octanonă „dulce, fructat, mucegăit”; 1-octanol „detergent, săpun”; (*E*)-2-octan-1-ol „de iarbă”; 1-octan-3-onă „metalic” (Sun și colab., 2020; McGorin, 2002). Profilul aromatic al ciupercilor proaspete comestibile poate varia în funcție de maturitatea acestora (Sun și colab., 2020), timpul și temperatura de păstrare, dar și tehnicile de analiză aplicate (Leffingwell și Alford, 2011).

**Tabel 9. Compușii de aromă din ciupercile *Boletus edulis* proaspete și uscate prin tehnicile HAD și CVD**

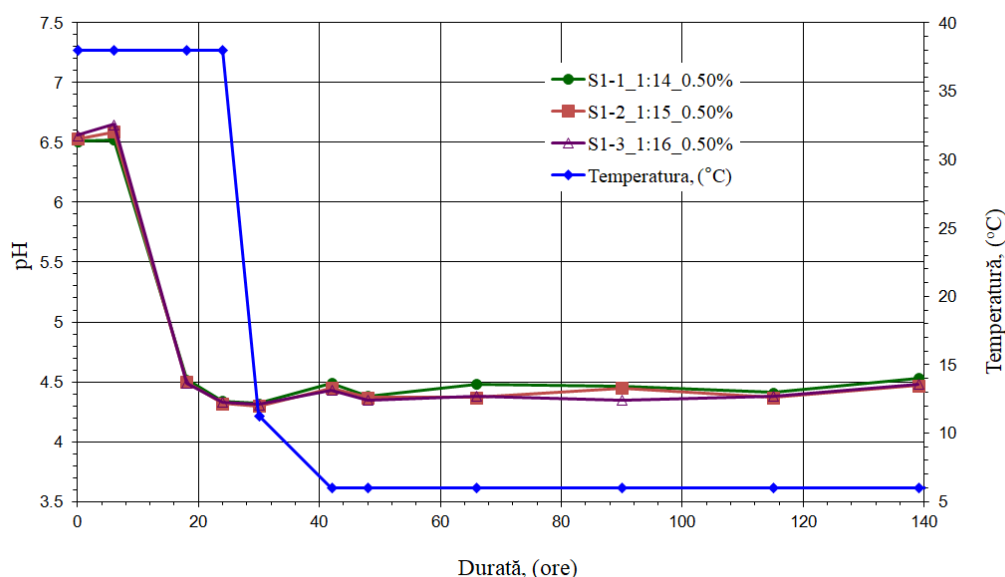
Compuși de aromă	Conținut (%)		
	Proba proaspătă	Proba uscată HAD	Proba uscată CVD
<b>Alcooli</b>			
3-Metil-1-butanol	n.d.	0,28±0,04	0,37±0,03
1,7-Octadien-3-ol	0,03±0,001	n.d.	n.d.
1-Octanol	n.d.	0,16±0,01	n.d.
1-Octan-3-ol	70,5±1,13	91,71±1,32	91,25±1,41
( <i>E</i> )-2-Octan-1-ol	0,04±0,001	0,20±0,01	n.d.
( <i>Z</i> )-2-Octan-1-ol	1,12±0,03	2,48±0,09	2,99±0,03
Octan-1-ol, acetat	n.d.	0,22±0,02	n.d.
( <i>Z</i> )-3-Octan-1-ol, acetat	n.d.	0,07±0,001	n.d.
<b>Aldehide</b>			
Benzaldehida	0,20±0,008	0,10±0,001	n.d.
Benzen acetaldehida	n.d.	0,30±0,01	0,20±0,02
Dodecanal	0,03±0,001	n.d.	n.d.
2-Etil-2-hexanal	n.d.	0,28±0,03	n.d.
2-Etil- <i>trans</i> -2-butanal	0,29±0,01	n.d.	n.d.
Heptanal	n.d.	0,39±0,39	0,41±0,02
Hexanal	0,41±0,01	0,98±0,04	1,44±0,02
2-Metil-2-butanal	11,88±0,15	n.d.	n.d.
2-Metil-2-hexanal	0,12±0,02	n.d.	n.d.
Nonanal	0,07±0,001	n.d.	n.d.
( <i>E</i> )-2-Octanal	5,74±0,06	n.d.	n.d.
( <i>E</i> )-2-Pentanal	0,16±0,02	1,61±0,02	n.d.
<b>Cetone</b>			
2-Heptanonă	n.d.	0,61±0,02	0,59±0,04
3-Octanonă	0,34±0,05	n.d.	n.d.
1-Octan-3-onă	9,06±0,11	n.d.	n.d.
<b>Altele (hidrocarburi, compuși cu sulf, sesquiterpene, etc.)</b>			
Cariofilen	n.d.	0,07±0,001	n.d.
Dimetil disulfură	n.d.	n.d.	1,59±0,02
D-Limonen	n.d.	0,52±0,04	0,35±0,04
2- <i>n</i> -Pentil-furan	n.d.	n.d.	0,82±0,09

n.d. – nu a fost detectat

### 3.5.6. DEZVOLTAREA UNEI BĂUTURI FUNCȚIONALE FERMENTATE, PE BAZĂ DE HRIȘCĂ ȘI PULBERE DE CIUPERCI *BOLETUS EDULIS*

#### 3.5.6.1. Influența raportului de măcinș hrișcă / apă de plămădire și a cantității de inocul asupra obținerii băuturii

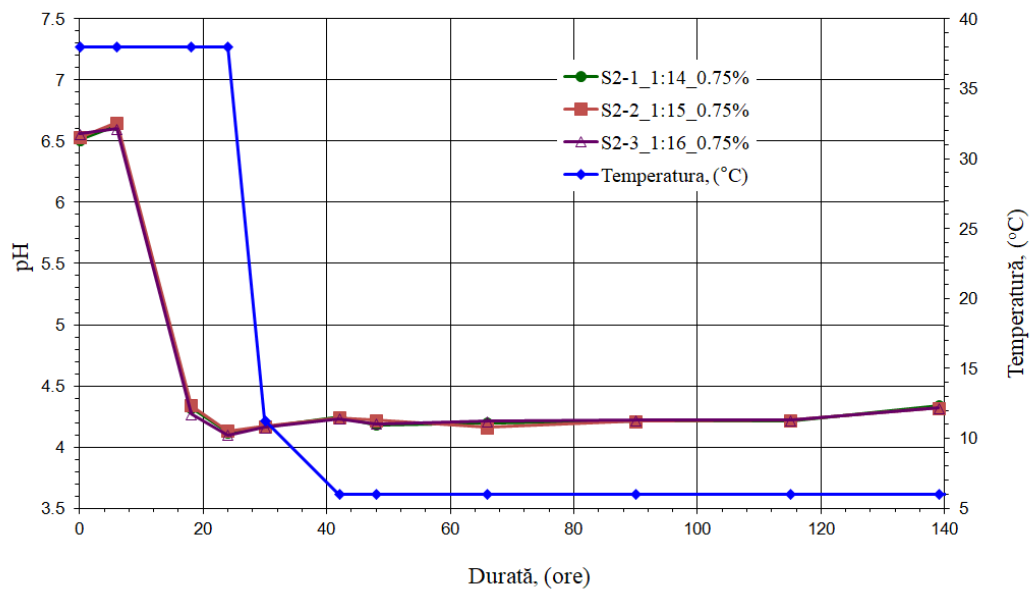
Pentru a studia această influență s-au realizat în primă fază 3 plămăzi cu următoarele rapoarte de plămădire măcinș integral de hrișcă crudă (ca s.u.%) : apă de plămădire, utilizând diagrama de tratament termic din **Figura 58**, dar cu răcirea plămăzii până la temperatura de 38 °C, și anume: 1:14, 1:15 și 1:16. Fiecare dintre aceste plămăzi au fost însămânțate cu două cantități diferite de inocul de cultură lactică starter ca atare: 0,50% *m/m* rezultând seria S1 (S1-1, S1-2 și S1-3) și 0,75% *m/m*, rezultând seria S2 (S2-1, S2-2 și S2-3) de probe.



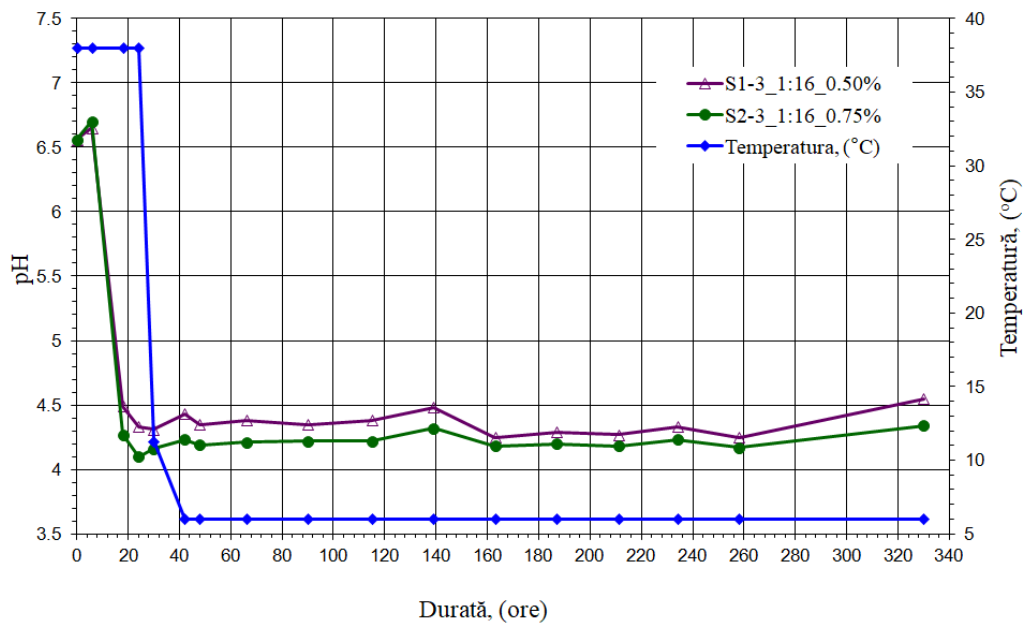
**Figura 18. Evoluția pH-ului probelor de hrișcă cu rapoarte de plămădire de 1:14, 1:15 și 1:16, fermentate cu un inocul de 0,50% *m/m***

Pe baza **Figurilor 75 și 76** și a analizei senzoriale a probelor corespunzătoare din punct de vedere tehnologic, se consideră ca optime probele S1-3 și S2-3, adică cele cu raportul de plămădire de 1:16 pentru ambele cantități de inocul, 0,50% *m/m* și respectiv 0,75% *m/m*.

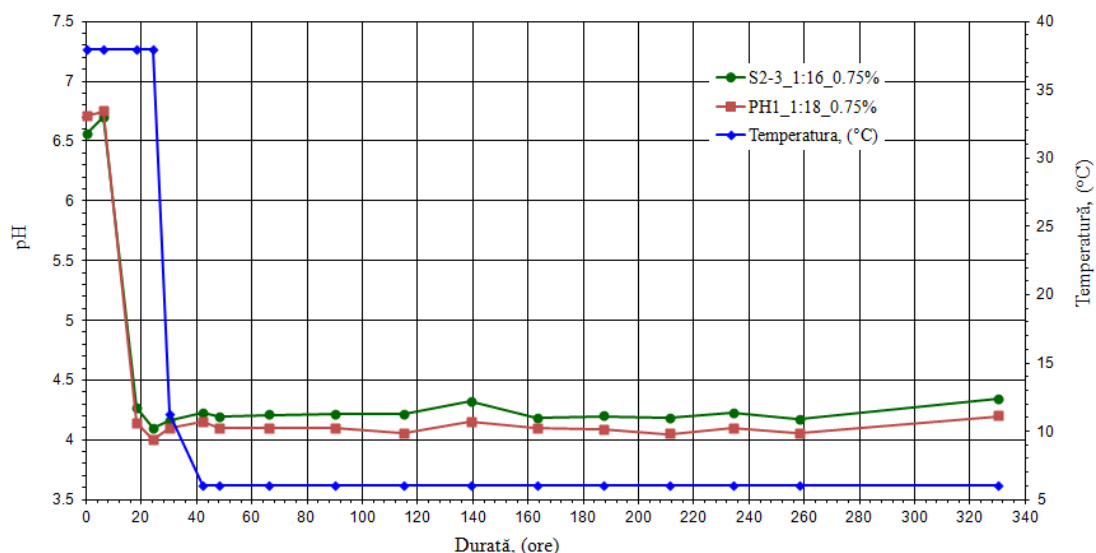
Dacă se compară între ele aceste două probe (**Figura 77**) se observă că pentru proba S2-3 gradientul de scădere a pH-ului este mai mare. Din punct de vedere senzorial a fost selecționată spre investigare proba S1-3. În consecință, în continuarea cercetării experimentale s-a luat ca reper proba S2-3 (raport de plămădire 1:16, inocul 0,75% *m/m*).



**Figura 19. Evoluția pH-ului probelor de hrișcă cu rapoarte de plămădire de 1:14, 1:15 și 1:16, fermentate cu un inocul de 0,75% m/m**



**Figura 20. Evoluția pH-ului probelor S1-3 cu inocul de 0,50% și S2-3 cu inocul de 0,75% pentru plămădire**



**Figura 21. Evoluția pH-ului probelor PH1 și S2-3 în dinamica fermentării lactice, cu inocul de 0,75%**

### 3.5.6.2. Influența cantității de pulbere de ciuperci asupra obținerii băuturii dezvoltate

La stabilirea cantității de adaos de pulbere de ciuperci, pentru obținerea matricei de ingrediente pe bază de hrișcă și hribi, s-a ținut cont de pH-ul recomandat pentru inocularea cu bacteriile lactice de tip *Bifidus* folosite în cercetare de 6,3 – 6,8. Adaosul de pulbere de ciuperci duce la scăderea pH-ului. Un adaos mai mare de pulbere de ciuperci determină o scădere mai mare a pH-ului plămezii care se obține. În același timp, un raport de plămădire măciniș de hrișcă : apă mai mare determină un pH mai mare al amestecului, dar care poate fi adus la valoarea dorită prin creșterea dozei de pulbere de ciuperci.

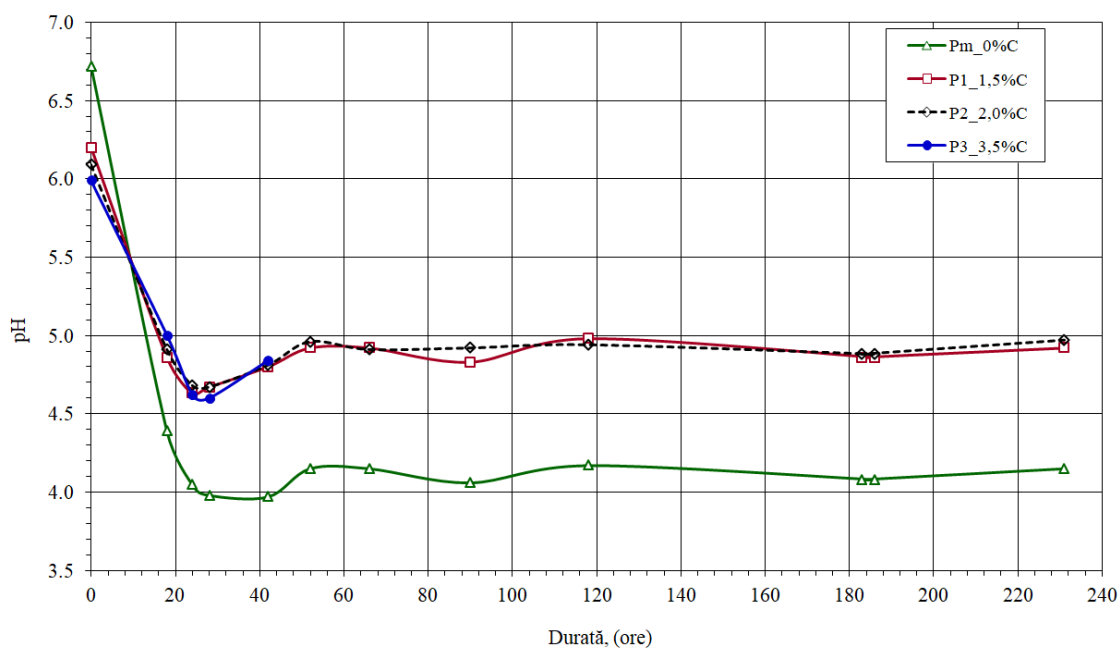
**Tabel 10. pH-ul plămezilor de hrișcă în funcție de raportul de amestec măciniș : apă**

Raport plămădire măciniș : apă	1:12	1:14	1:15	1:16	1:17	1:18	1:19
pH	6,42	6,51	6,53	6,56	6,68	6,71	6,78

**Tabel 11. Seria experimentală de probe utilizate la studiul influenței cantității de adaos de pulbere de ciuperci *Boletus edulis***

Proba	Alcătuirea probei de analizat Măciniș hrișcă crudă (ca s.u. %) : apa=1:18, Inocul inițial (I.I.) = 0,75 % m/m
Pm	Probă fără adaos de pulbere de ciuperci
P1	Probă cu adaos de 1,5 % s.u. pulbere de ciuperci
P2	Probă cu adaos de 2,0 % s.u. pulbere de ciuperci
P3	Probă cu adaos de 3,5 % s.u. pulbere de ciuperci

Aprecierea modului în care cantitatea adăugată de pulbere de ciuperci *Boletus edulis* influențează procesul de fermentare s-a făcut pe baza modificării de pH al probelor (**Figura 79**) și analizei senzoriale discriminatorii a acestora. Concluzia este că proba P1 cu 1,5% adaos de pulbere de hribi evoluează cel mai bine, fiind recomandată pentru obținerea produsului propus pentru dezvoltare, în această teză de doctorat.

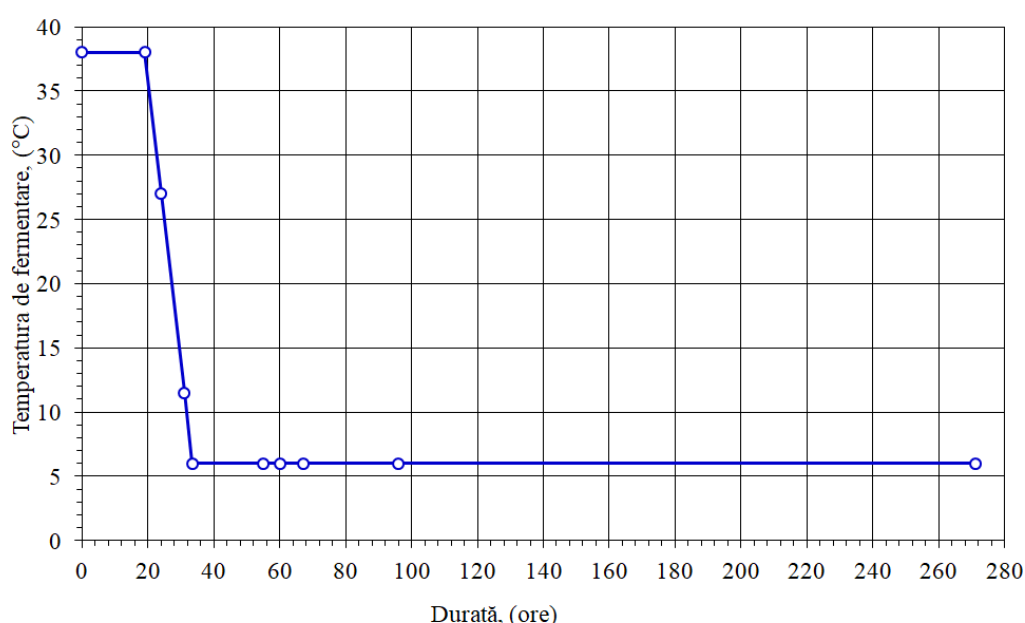


**Figura 22. Influența cantității de pulbere de ciuperci *Boletus edulis* asupra obținerii băuturii funcționale, studiată ca evoluție în timp a pH-ului amestecurilor investigate**



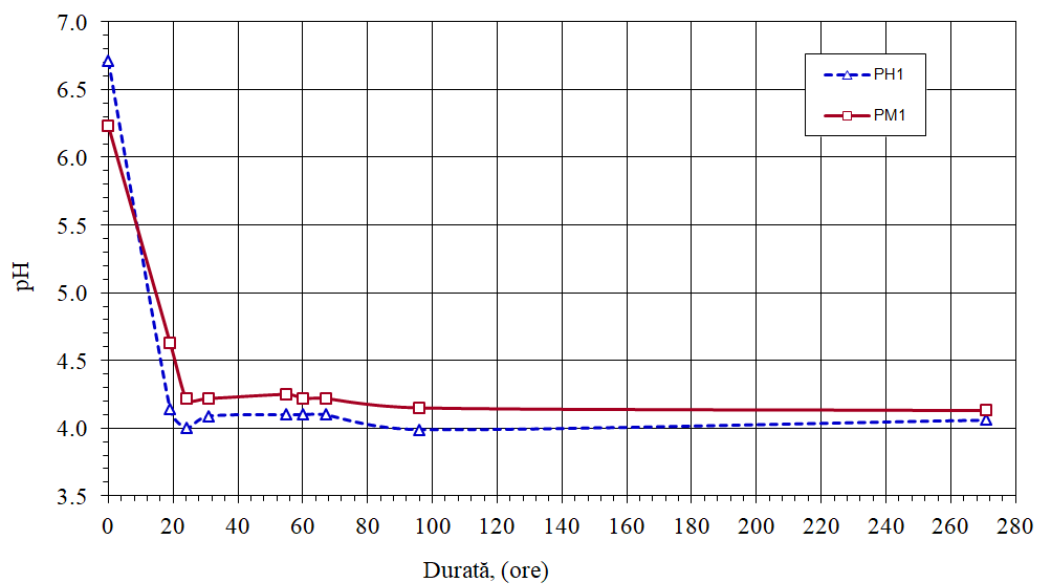
### 3.5.7. CARACTERIZAREA TEHNOLOGICĂ ÎN DINAMICĂ A BĂUTURII FUNCȚIONALE. ANALIZA SENZORIALĂ

O primă observație, pozitivă, este aceea că pentru ambele probe, PM1 și respectiv PH1, scăderea pH-ului este similară cu cea descrisă pentru produsele lactate de tip iaurt, cu deosebirea că perioada de fermentare la cald (**Figura 80**), în cazul de față, este mai lungă, cu aproximativ 6 ore; constatare care trebuie corelată și cu cantitatea de inocul adăugată, care este mai mică comparativ cu variantele tehnologice clasice, pe mediu de lapte ([Peng și colab., 2009](#)).

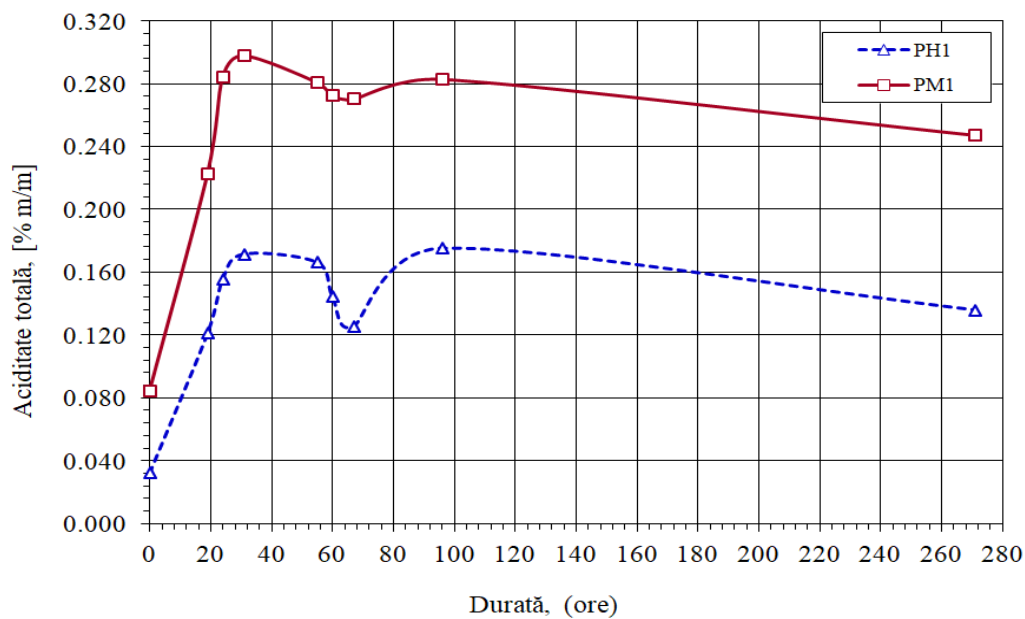


**Figura 23. Evoluția temperaturii în timpul fermentării plămezelor PM1 și PH1 însămânțate cu culturi lactice tip *Bifidus***

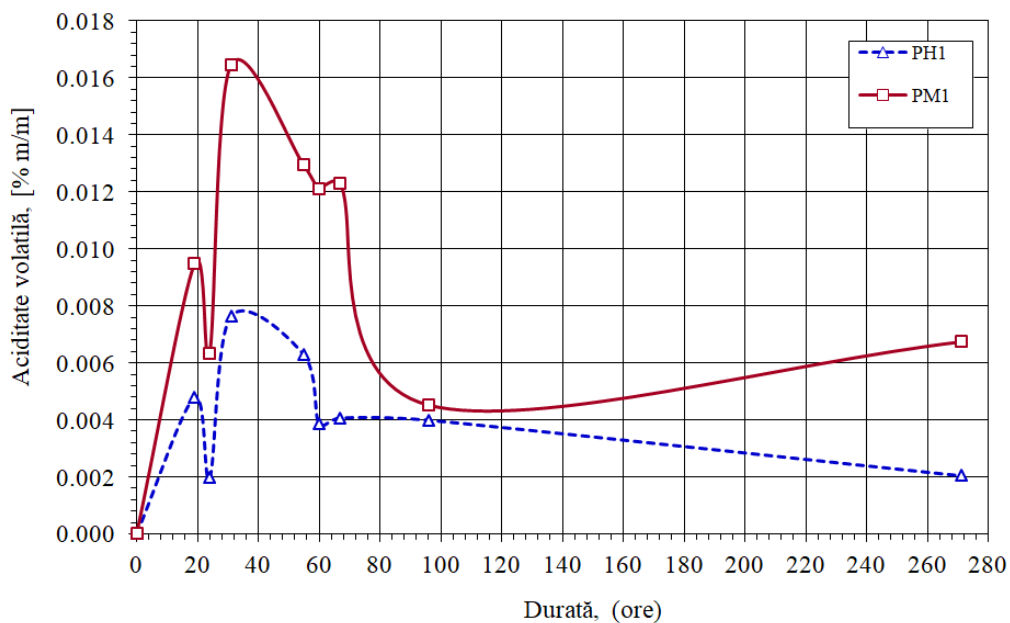
Monitorizarea valorii pH-ului, pentru ambele băuturi funcționale analizate, pe un parcurs de fermentație de 271 de ore, a fost realizată pentru a observa evoluția acestuia și pentru a identifica dacă acestea au un parcurs stabil pentru produsul finit. Un studiu realizat doar pe plămada de hrișcă, de către [Cardinali și colab., 2021](#), arată faptul că evoluția pH-ului pe parcursul a 271 de ore, a probelor realizate tot cu bacterii lactice de tip *Bifidus*, s-a realizat de la pH-ul inițial de pornire fiind 7,42, iar după 271 de ore acesta scăzând la 3,47.



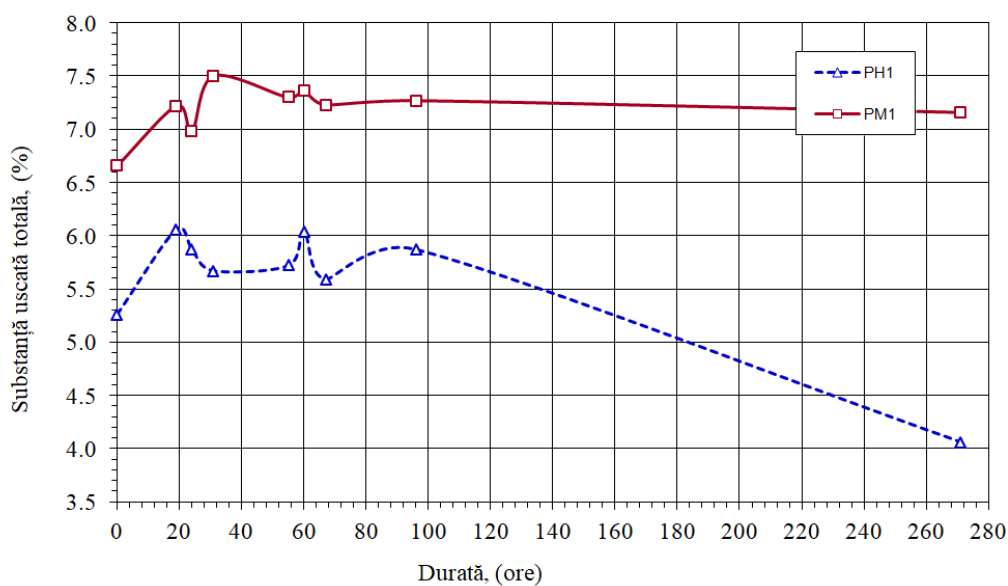
**Figura 24. Evoluția pH-ului plămezilor cu hrișcă PH1 și a plămezilor cu hrișcă plus pulbere de ciuperci *Boletus edulis* PM1, însămânțate cu culturi lactice tip *Bifidus***



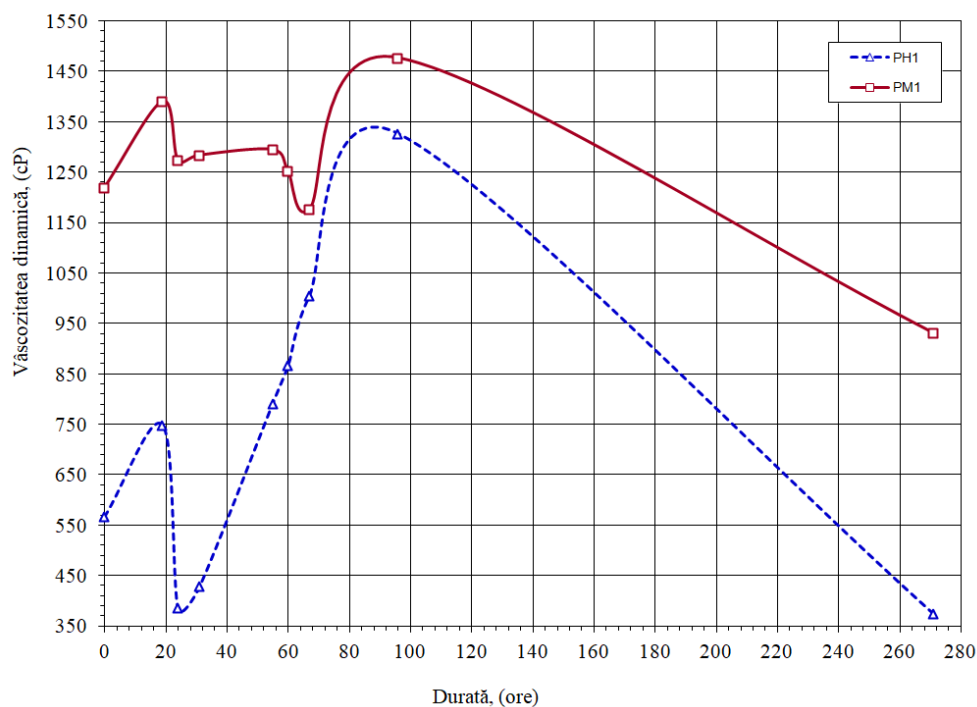
**Figura 25. Evoluția acidității totale a plămezilor cu hrișcă PH1 și a plămezilor cu hrișcă plus pulbere de ciuperci *Boletus edulis* PM1, însămânțate cu culturi lactice tip *Bifidus***



**Figura 26. Evoluția acidității volatile a plămezilor cu hrișcă PH1 și a plămezilor cu hrișcă plus pulbere de ciuperci *Boletus edulis* PM1, însămânțate cu culturi *Bifidus***



**Figura 27. Evoluția substanței uscate a plămezilor cu hrișcă PH1 și a plămezilor cu hrișcă plus pulbere de ciuperci *Boletus edulis* PM1, însămânțate cu culturi lactice tip *Bifidus***

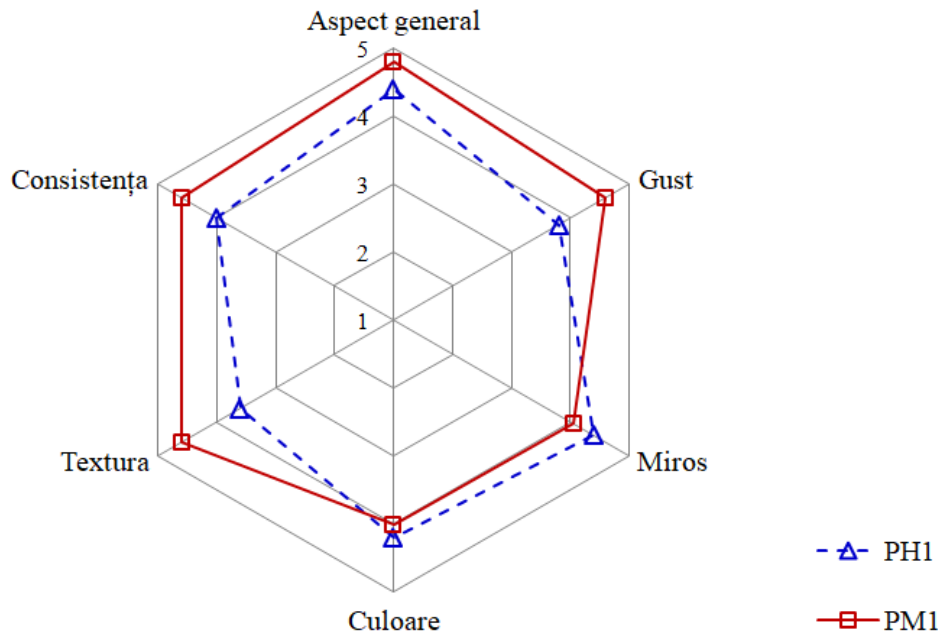


**Figura 28. Evoluția vâscozității dinamice a plămezilor cu hrișcă PH1 și a plămezilor cu hrișcă plus pulbere de ciuperci *Boletus edulis* PM1, însămânțate cu culturi lactice tip *Bifidus***

## Analiza senzorială

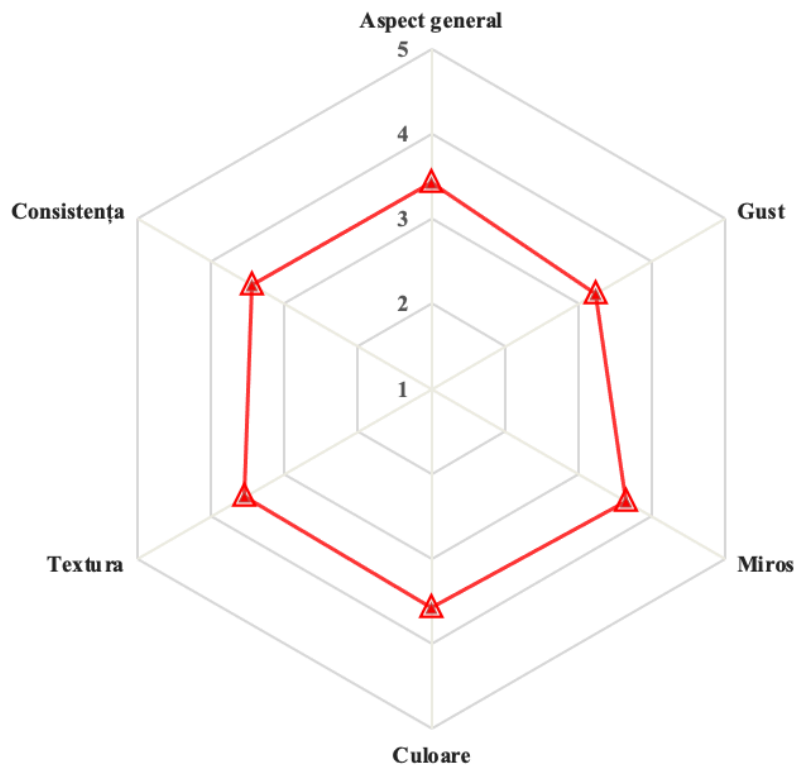
Culoarea produsului cu adaos de pulbere de hribi, în integritatea conținutului, este uniformă, cu nuanțe de caramel și tente de brun-roșcat și a fost evaluată de echipa de degustători având cunoștințe în analiza senzorială a produselor alimentare, cu un punctaj maxim, comparativ cu proba martor. Culoarea rezultată potențează gustul plăcut de ciuperci, ușor acrișor, răcoritor al băuturii.

Gustul persistent de ciuperci nu este deranjant și dacă ne referim și la proprietățile texturale manifestate în timpul manipulării în gură ale băuturii funcționale putem spune că este percepută ca moale, specifică de iaurt de băut, dar nelipicioasă sau gumoasă, fiind detectate o consistență și o corpolență plăcute, care sugerează ingerarea unui aliment consistent, hrănitor, care conferă chiar o senzație de sațietate la consum.



**Figura 29. Reprezentarea grafică a rezultatelor evaluării caracteristicilor senzoriale ale băuturilor funcționale pe bază de hrișcă PH1 și hrișcă cu adaos de pulbere de ciuperci PM1, după 12 zile (grup 10 persoane cu experiență)**

Pentru produsul pe bază de hrișcă cu adaos de hribi, s-a realizat a doua analiză senzorială, pe un grup de 72 de degustători , din categoria 20-30 de ani, atât din mediul urban (50%), cât și din mediul rural (50%), cu studii medii finalizate, dar cu studii superioare în curs de desfășurare (studenți), fără experiență în evaluarea senzorială a unor astfel de produse inovative. rezultatele sunt prezentate în **Figura 96**.



**Figura 30. Reprezentarea grafică a rezultatelor evaluării caracteristicilor senzoriale ale băuturii funcționale pe bază de hrișcă cu adaos de pulbere de ciuperci, după 12 zile (grup 72 persoane)**

La analiza aspectului vizual, degustătorii au comparat băutura de hrișcă cu adaos de pulbere de hribi, cu alimente deja cunoscute de ei cum ar fi: cafeaua cu lapte, cappuccino, lapte cu ciocolată. Gustul băuturii a fost comparat cu cel al unei băuturi de natură proteică, dulceacrișor cu aspect de iaurt sau de mucenici cu nucă. Mirosul a fost comparat cu cel dat de bomboanele cu caramel, zahăr caramelizat, prune, gutui sau mere uscate, halva, cereale, dovleac la cuptor, cartof dulce, nuci, cozonac proaspăt scos din cuptor sau miros de pâine la dospit. Culoarea a fost comparată cu cea dată de untul de arahide, caramel, nectar, migdale, cappuccino sau cafea cu lapte. Textura pentru o parte dintre degustători a fost fresh, fină, cremoasă, comparată cu supa cremă de ciuperci, iar pentru altă parte a degustătorilor a fost comparată cu grișul cu lapte, având o consistență ușor aspră de griș. Consistența a fost comparată cu o băutură de nectar sau cu chefirul.

În urma celei de-a doua analize senzoriale, media pentru fiecare categorie analizată a fost peste 3,2, similară primului test realizat de către degustători cu experiență, astfel: aspectul general a avut o medie de 3,43, gustul 3,23, mirosul 3,63, culoarea 3,56, textura 3,54 și consistența 3,44. Mediat totală a acestei băuturi este de 3,47 din totalul de 5.

## 4. CONCLUZII FINALE, CONTRIBUȚII PROPRII ȘI DIRECȚII VIITOARE DE CERCETARE

Acest capitol al tezei de doctorat reprezintă o sinteză a contribuțiilor originale pentru îndeplinirea obiectivelor propuse, precum și noi direcții de cercetare pentru subiectul propus.

### Concluzii finale

1. Materia primă utilizată pentru uscare, specia *Boletus edulis* (hrîbi), este o specie aleasă din micota spontană a României, autohtonă, colectată din zona Transilvaniei, identificată ca fiind valoroasă pentru prezentul studiu de doctorat, atât din punct de vedere al valorii nutriționale, cât și a potențialului bioactiv. Această materie primă a fost selecționată pe baza unor criterii de sustenabilitate fiind o specie autohtonă, exploatată puțin în scopul propus în prezenta teză de doctorat, fiind o materie primă accesibilă și cu un conținut ridicat de compuși bioactivi cu rol benefic pentru organismul uman.

2. Fiind o materie primă perisabilă, a fost supusă tehnicilor de uscare, cercetate în prezența sau absența unor pre-tratamente aplicate inițial probelor proaspete. Tehnicile de uscare clasice (cu aer cald, liofilizarea) și tehnica inovativă (centrifugală sub vid) utilizată pentru prima dată în această teză de doctorat, cât și temperatura la care s-a realizat uscarea, au fost stabilite având în vedere o mai bună conservare a compușilor bioactivi vizați, dar și prin prisma sustenabilității referitoare la un consum minim de energie electrică.

3. Tehnicile de extracție pentru analiza compușilor bioactivi vizați (polifenoli, taninuri) au fost selectate ținând cont de principiile sustenabilității referitoare la consumul minim de reactivi și de utilizare a acestor solvenți, fiind solvenți prietenoși cu mediul înconjurător, astfel încât să se asigure un randament ridicat ai compușilor utili studiindu-se și influența anumitor factori fizici (radiații UV-C, câmp magnetic) asupra eficienței extracției.

4. Pentru identificarea condițiilor optime de pre-tratament și uscare s-au evaluat caracteristicile fizico-chimice ale produselor finale obținute, precum capacitatea de rehidratare, conținutul total de compuși polifenolici, activitatea antioxidantă, modificări de culoare, microstructura și compoziția elementală, modificările structurale prin analiza ATR-FTIR și modificările termice prin analize DSC și TG.

5. Tehnologia de uscare a ciupercilor, prin metoda centrifugală sub vid, la temperatura de 60 °C a durat 540 și respectiv 840 min, în funcție de pre-tratament, și a fost utilizată pentru prima dată cu succes în acest studiu de doctorat; tehnologia de uscare a ciupercilor prin metoda cu aer cald la temperatura de 60 °C a durat aproximativ 300 min, în funcție de pre-tratament; iar tehnologia de uscare a ciupercilor prin metoda de liofilizare la -60 °C a durat 1140 min, indiferent de pre-tratament sau fără pre-tratament.

6. Capacitatea de rehidratare a ciupercilor uscate a indicat cele mai bune rezultate pentru proba obținută prin uscarea prin tehnica de liofilizarea, capacitatea de rehidratare variind de la 8,61 la 10,81, atât pentru probele cu sau fără pre-tratament. Pentru probele uscate prin metoda cu aer cald și centrifugală sub vid, valorile capacității de rehidratare sunt mai mici, acest lucru putând fi datorat structurii poroase care s-a format în urma procesului de uscare.

7. Rezultatele obținute asupra conținutului de polifenoli, în ceea ce privește pre-tratamentul aplicat, au arătat că cea mai mare cantitate a fost identificată în probele proaspete pre-tratate cu radiații UV-C ( $1387,091 \pm 0,115$  mg GAE/ 100 g s.u.), urmată de proba control fără pre-tratament  $1319,227 \pm 0,285$  mg GAE/ 100 g s.u.. Proba control a fost semnificativ mai bogată în polifenoli decât proba blanșată. În ceea ce privește tehnologia de uscare, proba control uscată prin tehnica de uscare cu aer cald a înregistrat cel mai mare conținut total de polifenoli ( $1169,602 \pm 0,325$  mg GAE/ 100 g s.u.), în timp ce proba blanșată uscată prin tehnica de uscare cu aer cald a prezentat cea mai mică valoare ( $447,617 \pm 0,121$  mg GAE/ 100 g s.u.). Tehnologia de uscare cu aer cald a determinat un conținut total de polifenoli cu 5% mai ridicat în comparație cu cel al probelor uscate prin tehnica liofilizării. Metoda de uscare centrifugală sub vid a avut cel mai mare conținut de polifenoli în proba pre-tratată UV-C ( $1086,728 \pm 0,231$  mg GAE/ 100 g s.u.), iar cel mai mic conținut fiind în proba pre-tratată prin blanșare ( $506,112 \pm 0,231$  mg GAE/ 100 g s.u.).

8. Rezultatele obținute au arătat că activitatea antioxidantă din probele proaspete netratate ( $864,631 \pm 0,137$  mg AA/ 100 g s.u.) a fost mai mică decât cea a probei proaspete supuse pre-tratamentului cu radiații UV-C ( $940,316 \pm 0,468$  mg GAE/ 100 g s.u.), dar mai mare decât cea a probei proaspete blanșate ( $355,171 \pm 0,120$  mg GAE/ 100 g s.u.). Proba proaspătă netratată a prezentat activitate antioxidantă cu 24-28% mai mare comparativ cu cea supusă uscării cu aer cald, liofilizare și, respectiv, centrifugală sub vid. Alte diferențe semnificative au fost observate între probele pre-tratate și supuse uscării, cum ar fi între cele blanșate și proba control, dar și între cele blanșate și cele pre-tratate UV-C. Aceste rezultate indică faptul că iradierea UV-C a ciupercilor este o alegere bună ca modalitate de pre-tratament înainte de



uscare, în timp ce blanșarea duce la o pierdere considerabilă a activității antioxidante, datorită șocului termic la care au fost supuse atât prin acest pre-tratament cât și prin uscare.

9. Evaluarea modificărilor de culoare a probelor de ciuperci indică modificări mici de culoare pentru probele control și cele uscate prin tehnica centrifugală sub vid și modificări mari de culoare pentru probele blanșate și uscate, în special prin metoda cu aer cald. Rezultatele obținute au arătat că pre-tratamentul UV-C al ciupercilor este o alternativă mai bună cu mai puține modificări de culoare.

10. Prin analiza proprietăților microstructurale ale probelor de ciuperci supuse diferitelor pre-tratamente prin analiza SEM, s-au obținut rezultate care indică modificări structurale explicate prin ruperea pereților celulari. Liofilizarea a condus la cele mai puține modificări fizice în comparație cu celelalte tipuri de uscări. Analiza compoziției elementale a probelor pre-tratate și uscate, indică prezența a opt elemente chimice comune, aluminiu fiind prezent doar în trei dintre acestea, acest lucru putând fi datorat contaminării ulterioare a probelor.

11. Prin analiza ATR-FTIR au fost identificate diferențe structurale în regiunea I a spectrelor de absorbție în probele uscate fără pre-tratament, în special pentru cele uscate prin tehnica cu aer cald sau tehnica centrifugală sub vid. Regiunea II atribuită proteinelor, legăturilor aromatice din polifenoli sau acizilor grași nesaturați, a fost mai evidentă pentru probele uscate prin tehnica centrifugală sub vid. Regiunea III atribuită acizilor grași, aminoacizilor, polizaharidelor, alcoolilor, dar și a proteinelor. Regiunea IV atribuită în special polizaharidelor, cum ar fi celuloza, indică modificări structurale induse de tratamentul termic asupra carbohidraților. La probele uscate pre-tratate UV-C sau blanșate au fost observate benzi structurale ale carbohidraților după cum reiese în regiunea IV a spectrului de absorbție.

12. Modificările termice rezultate din analizele DSC și TG au indicat cinci tranziții termice: două vârfuri endotermice și trei vârfuri exotermice. Vârfurile endotermice din intervalul de temperatură 42-57 °C indică gelatinizarea polizaharidelor, iar următorul vârf din intervalul 50-85 °C ce indică denaturarea proteinelor. Vârfurile exotermice sunt asociate cu agregarea intermoleculară a proteinelor, primul vârf fiind identificat în intervalul de temperatură 105-172 °C corelat cu faza de topire a oligozaharidelor și polizaharidelor (hemichelulaza), dar și a agregării proteinelor denaturate. Al doilea vârf exotermic a fost identificat în intervalul de temperatură 106-145 °C, fiind predominant probelor UV-C uscate prin tehnica cu aer cald și centrifugală sub vid, probabil datorită modificării chitinei, polizaharidă specifică ciupercilor. Al treilea vârf exotermic apare la temperaturi mai mari de 250 °C și este datorat descompunerii probei și a pirolizei polizaharidelor cu degajare de

substanțe volatile. Analiza TG-DTG a indicat pierderea în greutate pe tot parcursul intervalului studiat. Eliminarea apei a avut loc la temperaturi sub 110 °C, iar de la temperaturi mai mari de 180 °C a început descompunerea polizaharidelor. Analiza termogravimetrică TG-DTG a indicat pierderea în greutate pe tot intervalul de temperatură studiat, curbele DTG derivate arătând cele cinci vârfuri identificate în curba DSC. Pierderea în greutate a fost <1% în cazul probelor control uscate prin tehnicile HAD și CVD, în timp ce probele uscate prin liofilizare FD și probele supuse blanșării au prezentat valori mai mari ale  $\Delta m$ . Pierderile în greutate și substanțe volatile au continuat în etapa următoare, cu excepția probelor blanșate și uscate. Probele uscate prin tehnica CVD au prezentat valori mai mari ale  $\Delta m$  comparativ cu cele uscate prin tehnicile HAD sau FD.

13. Eficiența extracției compușilor polifenolici din ciuperci, proaspete sau uscate corespunzător, a fost studiată sub aspectul influenței unor factori fizici precum radiațiile UV-C, câmpul magnetic de frecvență joasă și radiațiile microunde.

14. Astfel, în ceea ce privește studiul privind expunerea pulberilor de ciuperci la radiații UV-C în diferite condiții experimentale (timp de 15 și respectiv 30 de minute, distanță de 10, 15 și respectiv 20 cm), rezultatele obținute au arătat că un timp de expunere de 30 de minute, la o distanță de expunere de 20 cm a condus la o creștere cu 17% a conținutului de compuși polifenolici și la o creștere cu ~16% a conținutului de taninuri, comparativ cu proba netratată. La o distanță mai mică de expunere (10 cm), s-a constatat o ușoară degradare a polifenolilor, studiul cinetic realizat (model de cinetică de ordinul I) indicând o constantă de viteză ( $k$ ) de  $2,80 \times 10^{-3} \text{ min}^{-1}$  și un timp de înjumătățire ( $t_{1/2}$ ) de 247,50 minute. S-au găsit efecte pozitive semnificative ale iradierii cu UV-C și asupra activității antioxidante, în special la o distanță de iradiere de 15 cm și la un timp de expunere de 30 de minute. Spectrele ATR-FTIR ale probelor iradiate și neiradiate au confirmat rezultatele asupra modificărilor conținutului de compuși polifenolici și taninuri și asupra activității antioxidante a pulberii de hribi.

15. În ceea ce privește studiul de expunere a pulberilor de hribi la radiații electromagnetice de frecvență extrem de joasă în diferite condiții experimentale (3 mT, 50 Hz, timp de expunere: 15, 30, 60, 120 și respectiv 240 minute), rezultatele obținute au arătat un efect pozitiv al tratamentului cu câmp magnetic, dar slab, asupra conținutului de polifenoli și taninuri și asupra activității antioxidante, în comparație cu proba control. Activitatea antioxidantă a probei expuse pentru 240 minute a fost  $435,82 \pm 0,95 \text{ mg/100 g s.u.}$  similară activității probei control  $434,98 \pm 2,10 \text{ mg/100 g s.u.}$ . Conținutul de taninuri în proba control este de  $85,98 \pm 0,12 \text{ mg/100 g s.u.}$ , iar în proba cu expunerea cea mai lungă (240 minute)

89,45±0,12 mg/ 100 g s.u., diferența fiind de 3,87%. În ceea ce privește conținutul de polifenoli pentru proba expusă 240 minute, conținutul este de 602,78±6,55 mg/ 100 g s.u., iar pentru proba control de 588,21±7,53 mg/ 100 g s.u., diferența fiind de 2,41% între probe.

16. Aceste rezultate subliniază potențiala utilizare a prelucrării non-termice a ciupercilor (pre-tratamentul cu radiații UV-C sau câmp magnetic) pentru îmbunătățirea extracției compușilor antioxidanți studiați din pulberea de ciuperci *Boletus edulis*. Cele două tipuri de tratamente fizice investigate, nu afectează compoziția materiei prime, ci îmbunătățesc calitatea extractelor și reduc timpul de extracție a compușilor bioactivi vizați. Aceste rezultate relevă utilizarea practică a tehnologiilor non-termice fără a afecta calitatea ciupercilor.

17. În ceea ce privește studiul privind expunerea hribilor, în stare proaspătă sau uscată și în amestec cu etanolul 70%, la radiații microunde, rezultatele obținute au arătat o creștere semnificativă a conținutului de compuși polifenolici în probele proaspete, în special la un timp de expunere mai mare (3 ore față de 0,5 ore) la ambele frecvențe investigate (1,7 și respectiv 2,5 GHz) sub câmpuri electrice incidente de 700-775 V·m<sup>-1</sup>. Activitatea antioxidantă prin tehnica FRAP a extractelor de ciuperci a crescut după expunerea la microunde, în special în proba iradiată timp de 3 ore la 1,7 GHz (775 V·m<sup>-1</sup>). În schimb, prin expunerea la radiații microunde a probelor uscate și în amestec cu etanolul 70% nu s-au obținut creșteri ale conținutului total de compuși polifenolici sau ale activității antioxidante totale, măsurate prin metoda FRAP. Analiza statistică folosind testul Kruskal-Wallis a indicat diferențe semnificative în ceea ce privește activitatea antioxidantă, între probele proaspete și cele uscate, în timp ce diferențele privind conținutul de polifenoli sunt ne semnificative statistic între ciupercile proaspete și uscate. Analiza ATR-FTIR a extractelor etanolice obținute din probele proaspete nu indică modificări structurale după iradierea cu microunde, confirmând faptul că efectul se datorează perturbării membranei celulare care facilitează eliberarea compușilor chimici vizați. Aceste rezultate evidențiază potențialul microundelor în condiții de iradiere de 1,7-2,5 GHz, 700-775 V·m<sup>-1</sup>, 0,5-3 h, de a influența pozitiv conținutul total de compuși polifenolici și activitatea antioxidantă a extractelor de ciuperci *Boletus edulis*.

18. Cu scopul aplicativ de obținere a unui nou produs alimentar de tip băutură funcțională, acest studiu a vizat și investigarea efectelor uscării ciupercilor *Boletus edulis* prin tehnicile cu aer cald și centrifugală sub vid, asupra proprietăților fizice, fizico-chimice, compoziționale și funcționale ale pulberilor de ciuperci.

19. Astfel, rezultatele analizei proprietăților fizice și funcționale indică faptul că probele uscate prin tehnologia de uscare cu aer cald au avut un raport Hausner corespunzător

unei fluidități mai bune și un raport mai mare de rehidratare, în timp ce probele uscate prin tehnologia centrifugală sub vid au arătat un indice de solubilitate în apă și activitatea de emulsionare mai bune.

20. Investigarea compoziției nutriționale indică faptul că uscarea ciupercilor investigate a condus la un conținut de proteină brută de  $34,65 \pm 0,17$  g/ 100 g pentru probele uscate cu aer cald și respectiv de  $36,35 \pm 0,17$  g/ 100 g pentru proba uscată prin tehnologia centrifugală sub vid, comparativ cu valoarea de  $7,45 \pm 0,17$  g/ 100 g determinată în proba proaspătă; conținutul de glucide, determinat prin diferență, a fost de  $52,15 \pm 0,07$  g/ 100 g în proba uscată HAD,  $50,45 \pm 0,22$  g/ 100 g în proba uscată CVD comparativ cu valoarea de  $8,24 \pm 0,12$  g/ 100 g în proba proaspătă; cea mai mare cantitate de lipide a fost detectată în proba uscată prin tehnologia HAD  $3,06 \pm 0,01$  g/ 100 g; conținutul de cenușă al probelor nu a variat foarte mult între probele uscate HAD și CVD ( $4,614 \pm 0,04$  g/ 100 g și  $4,781 \pm 0,005$  g/ 100 g).

21. Rezultatele obținute în urma analizei conținutului de acizi grași din ciupercile *Boletus edulis*, au arătat variații între probele proaspete și cele uscate. Uscarea la 60 °C prin tehnologia centrifugală sub vid sau uscarea cu aer cald, nu a afectat conținutul total de acizi grași saturați, dar a condus la o scădere a conținutului de acid oleic, și la o creștere a celui de acid linoleic. Raportul de acizi grași polinesaturați PUFA/ acizi grași saturați SFA, a fost  $>3,3$  atât în probele proaspete, cât și în cele uscate, îndeplinind cerințele pentru lipide sănătoase, conform ghidurilor de sănătate.

22. Tehnologiile de uscare a ciupercilor *Boletus edulis* investigate au determinat modificări importante în ceea ce privește tipurile și conținutul de compuși de aromă. Dintre compușii de aromă, doar 3 compuși (hexanal, 1-octan-3-ol și (*Z*)-2-octan-1-ol) au fost identificați atât în probele proaspete cât și în probele uscate, dar în cantități diferite. Compusul 1-octan-3-ol a reprezentat compusul de aromă predominant în toate probele, conținutul acestuia din proba proaspătă de  $70,52 \pm 1,13\%$  crescând în probele uscate, atât prin tehnologia cu aer cald ( $91,71 \pm 1,32\%$ ), cât și prin tehnologia centrifugală sub vid ( $91,25 \pm 1,41\%$ ); analiza statistică indică o corelație pozitivă puternică a acestor compuși volatili cu precursorul lor, acidul linoleic. Au fost detectate cantități mici de noi compuși volatili, alcooli, aldehide și cetone sau alți compuși, cum ar fi: D-limonen și cariofilenă, în pulberile obținute prin tehnologia de uscare cu aer cald; D-limonen, dimetil disulfură și 2-*n*-pentil-furan în pulberile obținute prin tehnologia centrifugală sub vid. Uscarea a condus la o pierdere totală a unor compuși de aromă, precum 2-metil-2-butenal, (*E*)-2-octanal și 1 octan-3-ona.

23. Parametrii tehnologici ai variantei finale studiate pentru băutura funcțională nou dezvoltată pe bază de hrișcă crudă și adaos de pulbere de ciuperci *Boletus edulis*, sunt: raportul

plămezii omogene, măciniș: apă este de 1:18; 1,5% adaos de pulbere de ciuperci raportat la substanță uscată; însămânțare plămada cu 0,75% culturi lactice *Bifidus*; temperatura de fermentare la cald de 38 °C; temperatura de fermentare la rece de 6 °C. Adaosul de pulbere de ciuperci în proporție de 1,5% substanță uscată are rolul de a gelifica și conferă caracteristici reologice pozitive băuturii obținute. Un adaos de pulbere de ciuperci mai mare de 1,5% raportat la substanță uscată determină reducerea sau inhibarea activității metabolice a microorganismelor din cultura starter tip *Bifidus*.

24. Rezultatele experimentale efectuate pentru dezvoltarea unor băuturi funcționale pe bază de hrișcă și pulbere de ciuperci *Boletus edulis*, prin fermentație lactică cu o cultură starter de tip *Bifidus*, indică faptul că evoluția pH-ului, a acidității totale și a acidității volatile, dar și a substanței uscate totale pe parcursul a 271 de ore, dovedește o stabilitate mai mare pentru produsul finit comparativ cu cea a băuturii obținută numai din hrișcă crudă, din prisma faptului că substanța uscată a probei cu ciuperci scade foarte puțin în a doua parte a fermentării la rece, iar în această perioadă aciditatea volatilă crește, ceea ce sugerează continuarea procesului de maturare, care aduce beneficii caracteristicilor senzoriale. În urma analizei reologice se poate afirma că adaosul de pulbere de ciuperci *Boletus edulis* are rolul de a gelifica și nu induce efectul de separare de faze, iar vâscozitatea dinamică aparentă scade mai lent odată cu creșterea efortului de forfecare, valabil pentru temperatura de 6 °C, dar și respectiv de 20 °C, de caracterizare reologică. Rezultatele analizei senzoriale arată că adaosul de pulbere de hribi într-o băutură funcțională pe bază de hrișcă, oferă caracteristici senzoriale superioare matricei de ingrediente hrișcă crudă – pulbere de ciuperci și un profil senzorial care confirmă posibilitatea acceptării acesteia de către consumatori. Pulberea de hribi conferă un gust persistent și o aromă deosebit de plăcută produsului: de nuci, de cozonac bine copt, de iaurt din lapte cu miros fructat și în același timp îmbunătățește semnificativ culoarea produsului cu obținerea unei texturi plăcute, specifică de iaurt de băut, care maschează textura fibroasă de cereale.

25. Programul de monitorizare a procesului tehnologic și specificația tehnică de produs a procesului tehnologic, pentru realizarea produsului final de tip băutură funcțională, demonstrează faptul că produsul fabricat în concordanță cu activitățile de intrare și ieșire realizate din materiile prime specificate este conform standardelor de calitate și siguranță impuse.

## Contribuții originale

Prin prezenta teză de doctorat s-au adus contribuții importante la nivel teoretic, experimental și aplicativ în domeniul științelor ingineresti care vizează tehnologiile de uscare a hribilor, de extracție a unor compuși chimici bioactivi, compoziția biochimică a ciupercilor, cu scopul de a dezvolta un produs nou funcțional cu aplicații în sectorul alimentar:

- Contribuții la îmbogățirea bazei teoretice privind tehnologiile de procesare a ciupercilor *Boletus edulis*, precum și utilizarea unei noi tehnici de uscare – uscare convectivă sub vid.
- Cercetări experimentale privind utilizarea a două tipuri de pre-tratamente (blanșarea și pre-tratament cu UV-C) în vederea unei mai bune conservării a calității produsului.
- Studii privind influența unor tehnologii de iradiere (UV-C, microunde, câmp magnetic) asupra conținutului bioactiv și al activității antioxidante a ciupercilor *Boletus edulis*.
- Caracterizarea hribilor în stare uscată prin prisma proprietăților fizice, fizico-chimice, de emulsionare, microstructură, culoare, compoziție chimică.
- Conceperea și dezvoltarea unui produs alimentar nou, prin utilizarea ingredientelor naturale valoroase (hribi și hrișcă), agreate de vegetarieni și respectiv de persoanele cu boala celiacă – băutură funcțională fermentată cu culturi lactice de tip *Bifidus*.

## Recomandări și direcții viitoare de cercetare

Prin experimentele realizate în această teză de doctorat s-au obținut rezultate remarcabile și se doresc a fi continuate sub aspectul investigării și testării mai multor specii de ciuperci comestibile din micota spontană, întrucât, așa cum au demonstrat și alte studii realizate cu acest scop, ciupercile uscate au un conținut ridicat de molecule bioactive care variază de la o specie la alta, fiind influențate în principal de temperatura de uscare, condițiile de depozitare, expunerea la diferiți factori fizici, chimici și mecanici, cât și de zona geografică în care s-au dezvoltat și condițiile de mediu.

O altă recomandare constă în cercetarea din punct de vedere al produsului nou dezvoltat, astfel încât să se realizeze o caracterizare chimică și microbiologică mai amănunțită, prin determinarea numărului de bacterii lactice vii din produs, identificarea și dozarea unor compuși cu rol important în definirea produsului băutură funcțională. De asemenea, cercetările viitoare se pot îndrepta și spre abordări interdisciplinare, care vizează realizarea unor studii clinice

pentru identificarea cu exactitate a beneficiilor aduse asupra organismului uman, pe lângă studiile realizate în laborator în această teză de doctorat.

## Lista publicațiilor rezultate în urma cercetării doctorale

### ◆ Articole publicate în reviste cotate/indexate ISI, cf. WoS:

1. **Popa, M.F.**, Cocîrlea, M. D., Miclăus, S., & Oancea, S. (2022). The Influence Of Microwave Exposure Of *Boletus* Mushroom-Solvent Mixtures On The Extractability Of Phenolics And Antioxidant Activity. *Scientific Study & Research. Chemistry & Chemical Engineering, Biotechnology, Food Industry*, 23(3), 243-254. <https://pubs.ub.ro/?pg=revues&rev=csc6&num=202203&vol=3&aid=5474> Factor de impact: 0,08
2. **Popa, M.**, Tăușan, I., Drăghici, O., Soare, A., & Oancea, S. (2022). Influence of Convective and Vacuum-Type Drying on Quality, Microstructural, Antioxidant and Thermal Properties of Pretreated *Boletus edulis* Mushrooms. *Molecules*, 27(13), 4063. <https://doi.org/10.3390/molecules27134063> Factor de impact: 4,927
3. Oancea, S., **Popa, M.**, Socaci, A. S. & Dulf F.V. (2023). Comparative Study of Raw and Dehydrated *Boletus edulis* Mushrooms by Hot Air and Centrifugal Vacuum Processes: Functional Properties and Fatty Acid and Aroma Profiles. *Applied Sciences-Basel*, 13(6), 3630. <https://doi.org/10.3390/app13063630> Factor de impact: 4,5

### ◆ Lucrări prezentate și publicate la conferințe naționale/internaționale:

1. **Popa, F.M.**, & Oancea, S. (2020). An overview on edible mushrooms with health benefits and applications in the food industry. Simpozionul Național „Agricultura și implicațiile ei în alimentația și sănătatea omului”, 08 octombrie 2020, publicată în revista indexată în ISI Master Journal List *Acta Musei Brukenthal*, 15(3), 525-536. <https://www.brukenthalmuseum.ro/pdf/BAM/BAM%20XV3.pdf>
2. **Popa, M.** & Oancea, S. (2020). Studies On Bioactive Compounds Of Mushrooms And Their Potential Antiviral Effects Against Covid-19, 44<sup>th</sup> Conference For Students Of Agriculture And Veterinary Medicine With International Participation, 15 December 2020, At: University Of Novi Sad, Serbia

3. **Popa, M.,** Maria, G., Danci, O., Banciu, C., & Oancea, S. (2021). Evaluation Of Relevant Mineral Content Of Medicinal Wild-Grown Mushroom Ganoderma Lucidum From Different Romanian Areas, *45<sup>th</sup> Conference For Students Of Agriculture And Veterinary Medicine With International Participation*, 18 November 2021, At: University Of Novi Sad, Serbia

◆ **Articole publicate în reviste indexate BDI (SCOPUS):**

1. Oancea, S., **Popa, F. M.,** & Răcuci, M. (2021). Effects of non-thermal postharvest irradiation of dried mushrooms on their antioxidant content and activity. *Romanian Reports in Physics*, 73, 712. <https://rrp.nipne.ro/2021/AN73712.pdf> Factor de impact: 0,51

- ◆ **Participare în proiectul POCU/993/6/13/153310 „Dezvoltarea competențelor de cercetare avansată și aplicată în logica STEAM + Health”**  
<https://sites.euro.ubbcluj.ro/steam/>

## BIBLIOGRAFIE

1. Bahrim M. & Petrescu I. (1971) Prepararea și conservarea ciupercilor, *Editura tehnică București*.
2. Cardinali, F., Osimani, A., Milanović, V., Garofalo, C., & Aquilanti, L. (2021). Innovative fermented beverages made with red rice, barley, and buckwheat. *Foods*, 10(3), 613.
3. FAOSTAT <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize>, accesat la data de 21.07.2021.
4. Farokhian, F., Jafarpour, M., Goli, M., & Askari-Khorasgani, O. (2017). Quality preservation of air-dried sliced button mushroom (*Agaricus bisporus*) by lavender (*Lavendula angustifolia* mill.) essential oil. *Journal of Food Process Engineering*, 40(3), e12432.
5. Fernandes, Â., Antonio, A. L., Barreira, J. C., Oliveira, M. B. P., Martins, A., & Ferreira, I. C. (2012). Effects of gamma irradiation on physical parameters of *Lactarius deliciosus* wild edible mushrooms. *Postharvest Biology and Technology*, 74, 79-84.
6. Fernandes, Â., Antonio, A. L., Oliveira, B., Martins, A., & Ferreira, I. C. (2016). Gamma radiation preserves chemical and bioactive properties of *Boletus edulis* wild mushrooms. In *The Fourth International Conference on Radiation and Applications in Various Fields of Research (RAD 2016)*.
7. Fernandes, Â., Barreira, J. C., Antonio, A. L., Santos, P. M., Martins, A., Oliveira, M. B. P., & Ferreira, I. C. (2013). Study of chemical changes and antioxidant activity variation induced by gamma-irradiation on wild mushrooms: Comparative study through principal component analysis. *Food Research International*, 54(1), 18-25.
8. Fernandes, Â., Barreira, J. C., Antonio, A. L., Santos, P. M., Martins, A., Oliveira, M. B. P., & Ferreira, I. C. (2013a). Study of chemical changes and antioxidant activity variation induced by gamma-irradiation on wild mushrooms: Comparative study through principal component analysis. *Food Research International*, 54(1), 18-25.
9. Fernandes, Â., Barreira, J. C., Günaydi, T., Alkan, H., Antonio, A. L., Oliveira, M. B. P., Martins, A. & Ferreira, I. C. (2017). Effect of gamma irradiation and extended storage on selected chemical constituents and antioxidant activities of sliced mushroom. *Food Control*, 72, 328-337.



10. Fernandes, Â., Barreira, J., Antonio, A. L., Oliveira, B., Martins, A., & Ferreira, I. C. (2015). Electron beam irradiation improves the nutritional profile of dried and sliced wild *Boletus edulis* Bull. In *5th Food Saety Congress*.
11. Fernandes, Â., Barros, L., Barreira, J. C., Antonio, A. L., Oliveira, M. B. P., Martins, A., & Ferreira, I. C. (2013b). Effects of different processing technologies on chemical and antioxidant parameters of *Macrolepiota procera* wild mushroom. *LWT-Food Science and Technology*, *54*(2), 493-499.
12. Frankowska, A., Ziółkowska, J., Bielawski, L., & Falandysz, J. (2010). Profile and bioconcentration of minerals by King Bolete (*Boletus edulis*) from the Płocka Dale in Poland. *Food Additives and Contaminants: Part B*, *3*(1), 1-6.
13. Garcia, P., Sanjuán, N., Bon, J., Carreres, J. E., & Mulet, A. (2005). Rehydration process of *Boletus edulis* mushroom: characteristics and modelling. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *85*(8), 1397-1404.
14. Jaworska, G., Pogoń, K., Skrzypczak, A., & Bernaś, E. (2015). Composition and antioxidant properties of wild mushrooms *Boletus edulis* and *Xerocomus badius* prepared for consumption. *Journal of food science and technology*, *52*(12), 7944-7953.
15. Jaworska, G.; Pogon, K.; Berna s, E.; Skrzypczak, A. Effect of Different Drying Methods and 24-Month Storage on Water Activity, Rehydration Capacity, and Antioxidants in *Boletus Edulis* Mushrooms. *Dry. Technol.* 2014, *32*, 291–300.
16. Kaveh, M.; Abbaspour-Gilandeh, Y.; Fatemi, H.; Chen, G. Impact of Different Drying Methods on the Drying Time, Energy, and Quality of Green Peas. *J. Food Process. Preserv.* 2021, *45*, e15503.
17. Manzi, P., Gambelli, L., Marconi, S., Vivanti, V., & Pizzoferrato, L. (1999). Nutrients in edible mushrooms: an inter-species comparative study. *Food chemistry*, *65*(4), 477-482.
18. Marçal, S., Sousa, A. S., Taofiq, O., Antunes, F., Morais, A. M., Freitas, A. C., Barros, L., Ferreira, I. C. F. R. & Pintado, M. (2021). Impact of postharvest preservation methods on nutritional value and bioactive properties of mushrooms. *Trends in Food Science & Technology*.
19. Meng, D., Zhang, P., Li, S., Ho, C. T., & Zhao, H. (2017). Antioxidant activity evaluation of dietary phytochemicals using *Saccharomyces cerevisiae* as a model. *Journal of functional foods*, *38*, 36-44.
20. Meng, T., Yu, S. S., Ji, H. Y., Xu, X. M., & Liu, A. J. (2021). A novel acid polysaccharide from *Boletus edulis*: extraction, characteristics and antitumor activities in vitro. *Glycoconjugate Journal*, *38*(1), 13-24.
21. Miles, P. G., & Chang, S. T. (2004). *Mushrooms: cultivation, nutritional value, medicinal effect, and environmental impact*. CRC press.
22. Oancea, S.; Popa, M.; Racuciu, M.; Oancea, S.; Popa-Vecerdea, F.M.; Racuciu, M. Effects of non-thermal postharvest irradiation of dried mushrooms on their antioxidant content and activity. *Rom. Rep. Phys.* 2021, *73*, 712.
23. Peng, Y., Horne, D. S., & Lucey, J. A. (2009). Impact of preacidification of milk and fermentation time on the properties of yogurt. *Journal of dairy science*, *92*(7), 2977-2990.
24. Popa F.M. & Oancea S. (2020). STUDIES ON BIOACTIVE COMPOUNDS OF MUSHROOMS AND THEIR POTENTIAL ANTIVIRAL EFFECTS AGAINST COVID-19. 44th Conference For Students Of Agriculture And Veterinary Medicine With International Participation, 10.
25. Popa-Vecerdea, F. M., & Oancea, S. (2020a). An overview on edible mushrooms with health benefits and applications in the food industry. *Acta Musei Brukenthal*, *15*(3).
26. Popa-Vecerdea, F. M. & Oancea, S. (2020b). Studies on bioactive compounds of mushrooms and their potential antiviral effects against COVID-19. 44th Conference For Students Of Agriculture And Veterinary Medicine With International; Serbia, Novi Sad.
27. Popa, F.M., Maria, G., Danci, O., Banciu, C. & Oancea, S. (2021) Evaluation of relevant mineral content of medicinal wild-grown mushroom *Ganoderma lucidum* from different Romania areas. 45th Conference for students of agriculture and veterinary medicine with international participation at Novi Sad, Serbia.
28. Popa, M. F., Cocîrlea, M. D., Miclăuş, S., & Oancea, S. (2022). THE INFLUENCE OF MICROWAVE EXPOSURE OF BOLETUS MUSHROOM-SOLVENT MIXTURES ON THE EXTRACTABILITY OF PHENOLICS AND ANTIOXIDANT ACTIVITY.
29. Rahman, M. S. (Ed.). (2007). *Handbook of food preservation*. CRC press.
30. Ratti, C. Hot Air and Freeze-Drying of High-Value Foods: A Review. *J. Food Eng.* 2001, *49*, 311–319.
31. Răcuciu, M., & Oloşutean, H. (2019). EXTREMELY LOW FREQUENCY (50Hz) MAGNETIC FIELD INFLUENCES PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES OF WATER. *Environmental Engineering & Management Journal (EEMJ)*, *18*(9).
32. Răcuciu, M., Oancea, S. (2018). Impact of 50 Hz magnetic field on the content of polyphenolic compounds from blackberries. *Bulgarian Chemical Communications* *50*(3), 393–397.

33. Răcuciu, M., Olosutean, H. & Perju, M. (2017). Experimental Results of Laboratory Simulation of Extremely Low Frequency Magnetic Field Pretreatment of Barley Seeds Influence. *Romanian Journal of Physics* 62, 802–815.
34. Rizzo, G., Goggi, S., Giampieri, F., & Baroni, L. (2021). A review of mushrooms in human nutrition and health. *Trends in Food Science & Technology*.
35. Xiao, H.-W.; Pan, Z.; Deng, L.-Z.; El-Mashad, H.M.; Yang, X.-H.; Mujumdar, A.S.; Gao, Z.-J.; Zhang, Q. Recent Developments and Trends in Thermal Blanching—A Comprehensive Review. *Inf. Process. Agric.* 2017, 4, 101–127.
36. Zhang, M., Cui, S. W., Cheung, P. C. K., & Wang, Q. (2007). Antitumor polysaccharides from mushrooms: a review on their isolation process, structural characteristics and antitumor activity. *Trends in Food Science & Technology*, 18(1), 4-19.