

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



TEZĂ DE DOCTORAT

-- REZUMAT --

**Îmbunătățirea calității pâinii
ca urmare a decontaminării grâului
prin metode neconvenționale**

Doctorand,

ing. Iurie RUMEUS

Conducător științific,

Prof. univ. dr. ing. Maria TURTOI

Seria I 7: Ingineria produselor alimentare Nr. 8

GALAȚI

2019

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



TEZĂ DE DOCTORAT

-- REZUMAT --

Îmbunătățirea calității pâinii ca urmare a decontaminării grâului prin metode neconvenționale

Doctorand,
ing. **Iurie RUMEUS**

Președinte Prof. dr. ing. **Iulian Gabriel BÎRSAN**
Rector, Universitatea „Dunărea de Jos” din Galați

Conducător științific Prof. dr. ing. **Maria TURTOI**
Universitatea „Dunărea de Jos” din Galați

Referenți științifici

1. Cercet. Șt. gr. I dr. ing. **Nastasia BELC**
Director general, Institutul Național de Cercetare Dezvoltare pentru Bioresurse Alimentare, IBA București; Membru titular al Academiei de Științe Agricole și Silvicultură „Gheorghe Ionescu Șișești”

2. Conf. dr. ing. **Aliona GHENDOV-MOȘANU**
Universitatea Tehnică a Moldovei, Chișinău, Republica Moldova

3. Prof. dr. ing. **Anca Ioana NICOLAU**
Universitatea „Dunărea de Jos” din Galați

Seria I 7: Ingineria produselor alimentare Nr. 8

GALAȚI

2019

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

Domeniul fundamental Științe Inginerești

Seria I 1: **Biotehnologii**

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

Seria I 3: **Inginerie electrică**

Seria I 4: **Inginerie industrială**

Seria I 5: **Ingineria materialelor**

Seria I 6: **Inginerie mecanică**

Seria I 7: **Ingineria produselor alimentare**

Seria I 8: **Ingineria sistemelor**

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

Domeniul fundamental Științe Sociale

Seria E 1: **Economie**

Seria E 2: **Management**

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

Domeniul fundamental Științe Umaniste și Arte

Seria U 1: **Filologie-Engleză**

Seria U 2: **Filologie-Română**

Seria U 3: **Istorie**

Seria U 4: **Filologie–Franceză**

Domeniul fundamental Matematică și Științe ale Naturii

Seria C: **Chimie**

Domeniul fundamental Științe Biologice și Biomedicale

Seria M: **Medicină**

Cuvânt înainte

O dată cu finalizarea acestei etape din viața mea, doresc să adresez cuvinte de mulțumire celor care m-au îndrumat sau mi-au acordat suportul pe parcursul realizării tezei de doctorat.

În primul rând, Doamnei prof. dr. ing. **Maria TURTOI** îi adresez mulțumiri sincere și sentimente de recunoștință pentru sprijinul acordat pe parcursul întregii perioade de cercetare și elaborare a tezei de doctorat, pentru răbdare, generozitate și înțelegere, precum și pentru întreaga contribuție la formarea mea ca cercetător. Doamnă Profesor, vă mulțumesc pentru faptul că ați acceptat să-mi împărtășiți din bogata dumneavoastră experiență dobândită de-a lungul anilor, cu convingerea că fără sprijinul dumneavoastră nu aș fi putut realiza această teză. De asemenea, vă mulțumesc pentru că mi-ați oferit libertatea de a exploata și aborda tema de doctorat într-un mod personal, acordându-mi oportunitatea de a descoperi o „nișă de cercetare” pe care îmi doresc să o aprofundez în viitor.

Mulțumesc doamnelor din comisia de îndrumare, prof. dr. ing. **Anca Ioana NICOLAU**, prof. dr. ing. **Iuliana BANU** și conf. dr. ing. **Liliana MIHALCEA** pentru sprijinul profesional cu care m-au îndrumat pe parcursul elaborării tezei de doctorat. Mulțumesc, de asemenea, doamnei prof. dr. ing. **Daniela BORDA** pentru sfaturile și consultațiile oferite.

Mulțumesc referenților oficiali din comisia de susținere publică a tezei de doctorat, doamna cercet. șt. gr. I dr. ing. **Nastasia BELC** și doamna conf. dr. ing. **Aliona GHENDOV-MOȘANU** pentru răbdarea cu care au analizat lucrarea precum și pentru sugestiile formulate.

Sincere mulțumiri domnului prof. dr. ing. **Iulian-Gabriel BÎRSAN**, rectorul Universității „Dunărea de Jos” din Galați, care m-a susținut pe tot parcursul anilor de studii doctorale și care mi-a făcut onoarea să accepte să fie președintele comisiei de susținere publică a tezei de doctorat.

Această teză de doctorat nu ar fi fost completă fără ajutorul esențial al domnului prof. dr. hab. ec. **Andrei POPA**, rectorul Universității de Stat „B. P. Hașdeu” din Cahul, Republica Moldova, care a fost oricând dispus să contribuie la achiziționarea utilajelor și materialelor pentru laboratorul de Chimie și Microbiologie în cadrul căruia am realizat o mare parte din cercetări. Mulțumesc în special pentru încurajarea și motivarea de a realiza această

lucrare, pentru încrederea pe care mi-a acordat-o pe toată perioada studiilor doctorale.

În mod deosebit, le mulțumesc actualilor mei colegi de la Departamentul de Inginerie și Științe Aplicate din cadrul Universității de Stat „B. P. Hașdeu” din Cahul, Republica Moldova: dr. ing. **Liliana CECLU**, dr. ing. **Marina BUNEA**, dr. ing. **Ana CĂPĂȚĂNĂ**, dr. ec. **Svetlana BÎRLEA**, dr. șt. fiz. mat. **Diana BÎCLEA**, dr. ing. **Nicolae BALCĂNUȚĂ**, drd. **Ilona POPOVICI**, lector univ. **Dumitru BAGRIN**, lector univ. **Tudor DUNAS**, asistent univ. **Anastasia MAIDAN**, asistent univ. **Snejana DORNEA**, care m-au sprijinit și încurajat în fiecare moment dificil și alături de care am beneficiat de un cadru ambiental foarte plăcut.

Mulțumesc colegilor de la Universitatea „Dunărea de Jos” din Galați care m-au susținut și încurajat pe parcursul acestor ani de căutări științifice. Mulțumesc în special doamnei dr. ing. **Angela IVAN** pentru sprijinul moral și sfaturile prețioase acordate.

Mulțumesc conducerii Întreprinderii de panificație **CAHULPAN** pentru sprijinul material și științific acordat în perioada 2012-2019. În elaborarea acestei lucrări m-am bucurat de colaborarea unor specialiști cu calități profesionale și umane de excepție. Mulțumesc în special domnului **Ivan CUȘPITA**, directorul întreprinderii, și doamnei **Diana ROMAN**, șef de laborator, pentru sprijinul necondiționat acordată pe parcursul formării mele profesionale.

Mulțumiri cordiale profesorilor mei din perioada facultății și a cursurilor de master care mi-au îndreptat pașii spre domeniul cercetării științifice.

În cele din urmă, dar nu în ultimul rând doresc să mulțumesc familiei mele, în mod deosebit părinților mei pentru atenția, îndrumarea, dragostea și iubirea acordate de-a lungul întregii mele vieți. Cu deosebită recunoștință și dragoste, dedic această teză soției **Elena** și copiilor mei **Victoria** și **Daniil**, care au fost alături de mine, m-au înconjurat cu afecțiunea și răbdarea lor și care m-au sprijinit din toate punctele de vedere în această perioadă, pentru că au acceptat toate sacrificiile impuse de implicarea mea în activitățile legate de pregătirea și elaborarea acestei teze.

Vă mulțumesc!

Drd. **Iurie RUMEUS**



Galați, noiembrie 2019

Cuprins

	Pag.	Pag.
	teză	rezumat
Introducere	xiii	vii
Introduction	xv	
Notații și abrevieri	xvii	
Liste figuri și tabele	xix	
Lista figurilor	xix	
Lista tabelelor	xxii	
1. Calitatea și bolile pâinii	1	1
1.1. Calitatea pâinii	1	1
1.2. Principalele direcții de cercetare privind îmbunătățirea calității pâinii	2	1
1.3. Bolile pâinii	4	2
1.3.1. Tipuri de boli ale produselor de panificație	4	
1.3.1.1. Mucegăirea	4	
1.3.1.2. Boli produse de drojdii	4	
1.3.1.3. Boli produse de bacterii	5	
1.3.2. Cauzele bolii întinderii	6	
1.3.2.1. Bacterii care produc boala întinderii	6	
1.3.2.2. Modul de manifestare a bolii întinderii	8	
1.3.2.3. Factorii care favorizează apariția și dezvoltarea bolii întinderii	9	
1.4. Studiul apariției bolii întinderii la Cahulpan în perioada 2011–2018	9	3
1.5. Concluzii	12	
<i>Bibliografie</i>	13	
2. Metode clasice de prevenire a apariției bolii întinderii în pâine	19	5
2.1. Răcirea pâinii după coacere	19	5
2.1.1. Metode de răcire a pâinii aplicate industrial	19	
2.1.2. Răcirea pâinii – în literatura de specialitate	21	
2.1.3. Studiul răcirii pâinii la Cahulpan	22	
2.2. Creșterea acidității aluatului	25	6
2.2.1. Metode de creștere a acidității aluatului	25	
2.2.2. Utilizarea aluatului acid – în literatura de specialitate	25	
2.2.3. Studiul utilizării aluatului acid la Cahulpan	27	
2.2.4. Studiul adaosului de zer în aluat la Cahulpan	28	
2.3. Adaosul de amelioratori în aluat	31	7
2.3.1. Amelioratori pentru panificație – în literatura de specialitate	31	
2.3.2. Studiul adaosului de propionat de calciu în aluat la Cahulpan	34	
2.4. Concluzii	36	
<i>Bibliografie</i>	37	

3. Metode neconvenționale de decontaminare	41	8
3.1. Tratamentul cu lumină ultravioletă continuă	41	8
3.1.1. Principiile tratamentului cu lumină UV. Spectrul UV	41	
3.1.2. Surse de lumină UV	43	
3.1.3. Inactivarea microorganismelor cu lumină UV	44	
3.1.3.1. Mecanismul de inactivare cu lumină UV	44	
3.1.3.2. Sensibilitatea microorganismelor la lumină UV	44	
3.1.3.3. Refacerea celulei după tratare cu lumină UV	46	
3.1.4. Decontaminarea cu lumină UV	46	
3.1.5. Întârzierea coacerii și a îmbătrânirii celulelor și țesuturilor	47	
3.1.6. Concluzii asupra tratamentului cu lumină UV	47	
3.2. Tratamentul cu pulsuri de lumină	48	9
3.2.1. Principiile tratamentului cu PL. Spectrul PL	48	
3.2.2. Instalații de tratare cu PL	49	
3.2.3. Mecanismul inactivării microbiene cu PL	50	
3.2.4. Decontaminarea cu PL a fructelor și legumelor	50	
3.2.5. Decontaminarea cu PL a unor alimente lichide	51	
3.2.6. Concluzii asupra tratamentului cu PL	52	
3.3. Legislație referitoare la tratamentele cu lumină UV și PL	52	11
<i>Bibliografie</i>	54	
4. Materiale și metode	65	12
4.1. Materiale	65	12
4.1.1. Grâu	65	12
4.1.2. Aparatură de laborator	66	12
4.1.3. Medii de cultivare	68	12
4.2. Metode de analiză	68	12
4.2.1. Determinarea proprietăților grâului	68	12
4.2.2. Măcinarea grâului pentru obținerea făinii integrale	69	12
4.2.3. Determinarea proprietăților făinii	69	13
4.2.4. Testul de coacere	69	13
4.2.5. Determinarea proprietăților pâinii	70	13
4.2.6. Metode de analiză microbiologică	70	13
4.3. Metode de calcul și analiză statistică	70	13
<i>Bibliografie</i>	71	
5. Proiectarea și construcția instalației de tratare cu lumină UV pentru produse granulare. Brevetul de invenție	73	14
5.1. Condiții de lucru. Antrenarea în mișcare a produselor granulare	73	14
5.2. Proiectarea și construcția instalației	79	14
5.3. Întocmirea propunerii de brevet de invenție	79	14
5.3.1. Descrierea invenției	80	
5.3.2. Rezumatul invenției	89	
5.3.3. Revendicări	90	
<i>Bibliografie</i>	91	

6. Influența tratării grâului cu lumină UV continuă asupra calității pâinii ..	93	15
6.1. Decontaminarea produselor granulare și pulverulente cu lumină UV	93	15
6.2. Materiale și metode	97	15
6.3. Efectul tratamentului cu lumină UV continuă asupra microbiotei grâului ..	99	16
6.3.1. Cinetica distrugerii microorganismelor	99	
6.3.2. Cinetica inactivării microorganismelor cu lumină UV	100	
6.3.3. Inactivarea microorganismelor de pe grâu prin expunere la lumină UV continuă	102	
6.3.4. Inactivarea bacteriilor sporulante aerobe mezofile de pe grâu prin expunere la lumină UV continuă	108	
6.3.5. Alegerea parametrilor optimi pentru tratamentul grâului cu lumină UV	113	
6.4. Influența tratamentului cu lumină UV asupra făinii obținute din grâu tratat	115	20
6.4.1. Proprietățile fizico-chimice și tehnologice ale făinii	115	20
6.4.2. Analiza microbiologică a făinii obținute din grâu tratat cu lumină UV	123	21
6.5. Determinarea calității pâinii preparate din făină obținută din grâu tratat cu lumină UV	124	22
6.5.1. Caracteristicile senzoriale și fizico-chimice ale pâinii	124	22
6.5.2. Rezultatele testului pentru depistarea bolii întinderii în pâine preparată din făină obținută din grâu tratat cu lumină UV	128	24
6.6. Concluzii ale studiului tratării grâului cu lumină UV asupra calității pâinii	129	25
<i>Bibliografie</i>	131	
7. Influența tratării grâului cu PL asupra calității pâinii	135	26
7.1. Decontaminarea alimentelor ‘solide’ cu PL	135	26
7.2. Materiale și metode	138	26
7.3. Efectul tratamentului cu PL asupra microbiotei grâului	141	27
7.3.1. Inactivarea cu PL a microorganismelor de pe suprafața grâului	141	
7.3.2. Inactivarea bacteriilor sporulante aerobe mezofile la tratarea grâului cu PL	147	
7.3.3. Alegerea parametrilor optimi de tratare cu PL	151	
7.4. Influența tratamentului cu PL asupra făinii obținute din grâu tratat	151	30
7.4.1. Proprietățile fizico-chimice ale făinii obținute din grâu tratat cu PL	151	30
7.4.2. Analiza microbiologică a făinii obținute din grâu tratat cu PL	154	31
7.5. Determinarea calității pâinii preparate din făină obținută din grâu tratat cu PL	155	32
7.5.1. Caracteristicile fizico-chimice și organoleptice ale pâinii preparate din făină obținută din grâu tratat cu PL	155	32
7.5.2. Rezultatele testului pentru depistarea bolii întinderii în pâine preparată din făină obținută din grâu tratat cu PL	158	33
7.6. Concluzii ale studiului tratării grâului cu PL asupra calității pâinii	160	34
<i>Bibliografie</i>	161	

8. Comparație între tratamentul grâului cu lumină UV continuă și PL	165	.....	35
8.1. Asemănări și deosebiri între inactivarea microorganismelor cu lumină UV continuă și PL	165	.....	35
8.1.1. Spectrul electromagnetic	165	.....	35
8.1.2. Aplicabilitatea metodelor pentru alimente	165	.....	35
8.1.3. Mecanismul de inactivare a microorganismelor	165	.....	36
8.1.4. Repararea celulelor microbiene	169	.....	36
8.1.5. Eficiența inactivării microorganismelor	170	.....	37
8.2. Comparație între inactivarea microorganismelor pe suprafața grâului cu lumină UV continuă și PL	170	.....	37
8.2.1. Doza de lumină UV continuă	170	.....
8.2.2. Doza de PL	172	.....
8.2.3. Comparație între eficiența inactivării microorganismelor de pe suprafața grâului cu lumină UV continuă și PL	173	.....
8.3. Comparație între efectele tratamentului cu lumină UV continuă și PL asupra indicatorilor de calitate ai făinii și pâinii	175	.....	39
8.4. Concluzii rezultate din comparația celor două metode neconvenționale utilizate	175	.....	39
<i>Bibliografie</i>	176	.....
9. Concluzii finale, contribuții originale și perspective	179	.....	41
9.1. Concluzii finale	179	.....	41
9.2. Contribuții originale	181	.....	42
9.3. Perspective	182	.....	44
Bibliografie selectivă			45
Lista lucrărilor prezentate și publicate	183	.....	51
Anexe	185	.....
Anexa 1. Produse de panificație fabricate la Cahulpan, Cahul, R. Moldova	185	.....
<i>Curriculum vitae</i>	187	.....

Introducere

Motivația și obiectivele științifice ale tezei de doctorat

O problemă majoră în industria pâinii apare vara când, în timpul păstrării produselor de panificație, apar defecte cauzate de boala întinderii. Boala întinderii, sau boala cartofului, apare din cauza folosirii făinii contaminate cu bacterii sporulante din genul *Bacillus* și anume *Bacillus subtilis* (sinonim *B. subtilis vulgaris*, *B. subtilis* ssp. *mezentericus*). Aceste bacterii fac parte din microbiota grâului și ajung în făină în timpul măcinării. Sporii acestor bacterii sunt termorezistenți și nu sunt distruși în timpul coacerii. După coacere, în condiții optime de temperatură (37...44°C), umiditate și pH, trec în forma vegetativă și produc îmbolnăvirea pâinii.

Îmbolnăvirea pâinii de boala întinderii se manifestă prin modificarea consistenței și culorii miezului, a gustului și mirosului pâinii. Miezul își pierde structura poroasă, apar goluri de diferite mărimi, devine lipicios, iar la rupere se întinde în fire mucilaginoase foarte subțiri, de forma firelor de păianjen. Culoarea se închide spre cenușiu sau galben-brun, iar mirosul este de fructe supracoapte sau alterate. Toate aceste modificări ale însușirilor pâinii se datorează faptului că aceste bacterii sintetizează un complex de enzime amilolitice și proteolitice care hidrolizează principalii componenți ai pâinii, amidonul și proteinele.

Din aceste considerente, scopul tezei de doctorat este studiul eficienței decontaminării suprafeței boabelor de grâu folosind metode neconvenționale: lumină ultravioletă (UV) continuă și pulsuri de lumină (PL), în vederea prevenirii bolii întinderii în produsele de panificație și a influenței acestor metode asupra calității produselor finite.

Pe baza celor enunțate anterior, sunt propuse următoarele obiective ale tezei:

- Studiul metodelor utilizate în prezent pentru prevenirea apariției bolii întinderii în pâine;
- Alegerea metodelor neconvenționale potrivite pentru decontaminarea suprafeței boabelor de grâu;
- Proiectarea și construirea instalației de laborator pentru decontaminarea suprafeței boabelor de grâu;
- Studiul eficienței decontaminării suprafeței boabelor de grâu prin tratament cu lumină UV continuă;
- Studiul influenței tratamentului grâului cu lumină UV continuă asupra proprietăților tehnologice ale făinii obținute din grâu tratat și a proprietăților pâinii;

- Studiul eficienței prevenirii apariției bolii întinderii în pâine prin utilizarea în testul de coacere a făinii din grâu tratat cu lumină UV continuă;
- Studiul eficienței decontaminării suprafeței boabelor de grâu prin tratament cu PL;
- Studiul influenței tratamentului grâului cu PL asupra proprietăților tehnologice ale făinii obținute din grâu tratat și a proprietăților pâinii;
- Studiul eficienței prevenirii apariției bolii întinderii în pâine prin utilizare în testul de coacere a făinii din grâu tratat cu PL;
- Comparația metodelor de inactivare a microorganismelor de pe suprafața boabelor de grâu prin tratament cu lumină UV continuă și PL;
- Depunerea unei cereri de brevet de invenție pentru instalația de tratare a produselor alimentare granulare cu lumină UV continuă.

Descrierea capitolelor tezei de doctorat

Primul capitol al tezei prezintă informații despre calitatea pâinii și principalele direcții de îmbunătățire, bolile pâinii: tipuri, cauze, mod de manifestare, factori și metode de prevenire, respectiv un studiu al apariției bolii întinderii la o întreprindere de panificație (Cahulpan).

În al doilea capitol sunt prezentate metode clasice de prevenire a apariției bolii întinderii în pâine: răcirea pâinii, creșterea acidității aluatului prin adaos de aluat acid și zer, adaosul de amelioratori și studii ale aplicării lor la Cahulpan.

Capitolul trei prezintă aspecte teoretice și o sinteză a cercetărilor referitoare la utilizarea luminii UV continue și a pulsurilor de lumină ca metode neconvenționale pentru inactivarea microorganismelor de pe alimente.

În capitolul patru sunt descrise succint materialele și metodele utilizate în cercetări.

Capitolul cinci prezintă etapele parcurse pentru proiectarea și construcția instalației de tratare a produselor granulare cu lumină UV și redactarea cererii de brevet.

Capitolul șase prezintă rezultatele inactivării cu lumină UV continuă a microorganismelor și a bacteriilor sporulante aerobe mezofile de pe suprafața boabelor de grâu și influența acestui tratament asupra proprietăților făinii și pâinii.

În capitolul șapte sunt prezentate rezultatele studiului privind inactivarea cu PL a microorganismelor și a bacteriilor sporulante aerobe mezofile de pe suprafața boabelor de grâu și influența acestui tratament asupra proprietăților făinii și pâinii.

Capitolul opt conține o comparație între cele două metode neconvenționale utilizate pentru inactivarea microorganismelor de pe suprafața boabelor de grâu.

Ultimul capitol conține concluziile generale ale studiului, contribuțiile originale ale autorului tezei și direcții viitoare de cercetare.

1. Calitatea și bolile pâinii

1.1. Calitatea pâinii

În standardul internațional **SR EN ISO 9000:2015**, calitatea este definită ca „gradul în care un set de caracteristici intrinseci ale unui obiect îndeplinește cerințele”.

Calitatea pâinii se stabilește în funcție de ([Dewettinck et al., 2008](#)):

- a) **Proprietățile intrinseci** ale produsului care cuprind *atributele senzoriale* (aspect, culoare, formă, miros, textură dintre care ultimele două sunt atribute cheie), *proprietățile fizico-chimice* (componentele care asigură valoarea nutritivă și energetică, componentele funcționale și proprietățile specifice precum aciditatea, proapețimea, porozitatea etc.) și *inocuitatea* (lipsa substanțelor toxice și a microorganismelor patogene) ([Dewettinck et al., 2008](#); [Gellynck et al., 2009](#));
- b) **Proprietățile extrinseci** ale produsului care cuprind caracteristici legate de marcă, țara de origine, prezentare la raft, informații despre fabricare, preparare, depozitare și conservare, informații despre existența unui sistem de management al calității etc. ([Dewettinck et al., 2008](#); [Gellynck et al., 2009](#)).

1.2. Principalele direcții de cercetare privind îmbunătățirea calității pâinii

Multe cercetări științifice și inovații sunt dedicate metodelor de îmbunătățire a calității produselor de panificație, principalele direcții fiind următoarele:

- Obținerea produselor de panificație funcționale, destinate anumitor categorii de consumatori;
- Diversificarea sortimentului prin adaosuri de fructe în produsele de panificație, produse derivate din leguminoase sau derivate din lapte;
- Asigurarea inocuității pâinii prin prevenirea dezvoltării microorganismelor patogene și a celor care produc alterarea pâinii;
- Îmbunătățirea tehnologiei de fabricare prin reducerea duratei procesului de fermentare sau prin introducerea unor operații netradiționale pentru tehnologia panificației ca refrigerare sau congelare;
- Îmbunătățirea calității pâinii prin prelungirea duratei de păstrare.

Produsele de panificație, ca multe alte produse alimentare, sunt supuse alterării de natură fizică, chimică și microbiologică ([Smith et al., 2004](#)). Pierderea

prospețimii pâinii se datorează mai multor factori care sunt clasificați în două grupuri: a) o serie de procese complexe cunoscute sub numele învechire și b) alterare microbiană (Pateras, 1998).

Așa cum este precizat în obiectivele tezei de doctorat, în această lucrare sunt studiate metodele de prevenire a alterării produselor de panificație ca urmare a activității microorganismelor.

1.3. Bolile pâinii

Noțiunea *boala pâinii* cuprinde modificările provocate de microorganisme (drojdii, mucegaiuri și bacterii) în pâine care devine insalubră și nepotrivită pentru consum (Puchkova *et al.*, 2005, p. 440).

Boala întinderii este provocată de bacterii care fac parte din genul *Bacillus*: *B. subtilis*, *B. subtilis* subsp. *mesentericus* și *B. licheniformis* (Polandova *et al.* 1998; Dan, 2000, p. 231; Koman, 2004; Bordei, 2005, p. 356; Puchkova *et al.*, 2005, p. 441). Unii cercetători consideră că pot produce boala întinderii în pâine și bacterii din speciile *B. cereus*, *B. licheniformis*, *B. mycoides*, *B. pumilus*, *B. polymyxa* etc., însă rolul acestora este mai puțin important (Lvova & Yaickih, 2013).

Aceste bacterii se găsesc în sol, unde pot atinge 10^5 u.f.c./g sol, iar calea principală prin care ajung în masa de cereale o reprezintă particulele de praf care se atașează de boabe în timpul recoltării și prelucrării primare a grâului. Suplimentar, la depozitare în condiții necorespunzătoare, când cerealele suferă procesul de încingere, numărul de bacterii din genul *Bacillus* crește considerabil. Prin urmare, concentrația acestor bacterii în masa de cereale din care se obține făina poate depăși $3 \cdot 10^4$ u.f.c./g (Lvova & Yaickih, 2013).

Aceste bacterii trec în făină la măcinarea grâului. Curățarea insuficientă a grâului înainte de operația de măcinare contribuie la obținerea făinii cu grad crescut de contaminare cu microorganisme. De asemenea, gradul de contaminare a făinii cu microorganisme depinde de gradul de extracție al acesteia. Astfel, odată cu creșterea randamentului în făină, conținutul de particule din straturile periferice ale bobului în făină este mai mare, iar aceasta va conține un număr mai mare de microorganisme (Nikolaenkov *et al.*, 2009; Dan, 2000, p. 221).

Aceste bacterii formează endospori termorezistenți, care își păstrează viabilitatea în procesul de coacere a pâinii. Deoarece temperatura maximă la coacere în pâine este de 98°C timp de câteva minute, sporii nu sunt distruși, iar după coacere trec în forma vegetativă și se multiplică, producând alterarea pâinii (Dan, 2000, p. 232; Puchkova *et al.*, 2005, p. 441).

Boala întinderii apare mai frecvent în pâine în perioada caldă a anului. Primele semne apar după 24...48 ore de păstrare a pâinii: modificarea mirosului (miros de pepene galben, miere sau valeriană). Dacă alterarea avansează, mirosul se intensifică și devine putrid, în miezul pâinii se observă focare ale dezvoltării bacteriilor (pete de culoare galbenă-cafenie sau roz-cafenie), se deteriorează structura poroasă a miezului, apar goluri, iar miezul devine cleios și la rupere se întinde în fire, de unde provine denumirea „boală a întinderii”. La dezvoltarea puternică a bolii, miezul se transformă într-o masă compactă de culoare închisă, cu miros specific înțepător și neplăcut, de unde provine o denumirea „boala cartofului” (Dan, 2000, p. 232; Pucikova *et al.*, 2005, p. 441; Yudina, 2011).

Factorii de bază care conduc la apariția bolii întinderii sunt:

- a) *Gradul de încărcare a făinii* cu bacterii sporulante din genul *Bacillus*;
- b) *Regimul de preparare și fermentare a aluatului*;
- c) *Condițiile în care are loc răcirea și păstrarea pâinii* după coacere (Dan, 2000, p. 232; Bordei, 2005, p. 357; Polandova *et al.*, 1998; Yudina, 2011).

1.4. Studiul apariției bolii întinderii la Cahulpan în perioada 2011–2018

A fost efectuat un studiu al apariției bolii întinderii la **Cahulpan**, Cahul, Republica Moldova, în perioada 2011–2018. Produsele selectate pentru studiu sunt: franzelă *Spicușor* (500 g), *Cahuleanca* (450 g) și *De capitală* (350 g), pâine în forme *Deosebită* (550 g), pâine rotundă coaptă pe vatră *Pâine de grâu calitatea I* (500 g), *Pâine de grâu calitatea a II-a* (500 g) și pâine format lung coaptă pe vatră *Cu lapte și tărâțe* (300 g).

Frecvența apariției bolii întinderii variază în timp și în funcție de produsul de panificație analizat (fig. 1.5), cele mai mari valori fiind înregistrate în 2011 pentru franzelă. În anii următori valorile au scăzut datorită măsurilor aplicate în producție rămânând, totuși, mai ridicate pentru franzelă.

Frecvența crescută de apariție a bolii întinderii la franzelă se datorează acidității scăzută (mai puțin de 2 grade aciditate) în comparație cu pâinea fabricată din făinuri de calitate I, a II-a și cu adaos de tărâțe.

Conform standardelor (GOST 27844-88), aciditatea pâinii tip franzelă fabricată din făină de calitate superioară trebuie să fie 2,5 grade. De asemenea, conform cerințelor prevăzute în Instrucțiunea de prevenire a bolii cartofului în produsele de panificație (Polandova *et al.*, 1998) se recomandă creșterea acidității produselor de panificație din făină de grâu cu un grad peste normă, ceea ce înseamnă că aciditatea pâinii pe timpul verii trebuie să fie 3,5 grade.

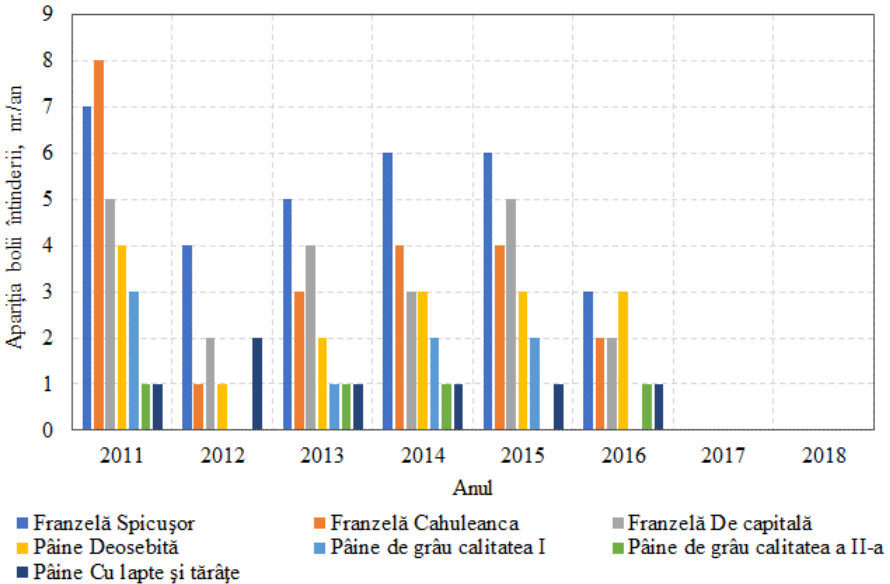


Fig. 1.5. Frecvența apariției bolii întinderii la produse de panificație fabricate la Întreprinderea de panificație *Cahulpan*, Cahul, Republica Moldova (Registrul special 2011–2014; Registrul special 2015–prezent)

Dar aciditatea crescută a pâinii influențează negativ proprietățile senzoriale (se obțin produse cu volum scăzut, miros și gust acru, miez fărâmițos). De aceea, conform instrucțiunilor tehnologice stabilite la *Cahulpan*, aciditatea maximă în perioada de vară a franzelii trebuie să fie 2,0-2,5 grade. Aceasta nu este suficientă pentru prevenirea bolii întinderii când gradul de contaminare a făinii este ridicat.

Există numeroase studii și cercetări privind prelungirea duratei de păstrare a produselor de panificație. În general, aceste studii se bazează pe inactivarea microorganismelor care produc boala întinderii.

Metodele de prevenire a bolii întinderii în pâine sunt clasificate în metode clasice (sau convenționale) și metode neconvenționale; descrierea acestora va fi prezentată în capitolele următoare.

2. Metode clasice de prevenire a apariției bolii întinderii în pâine

Boala întinderii trebuie prevenită astfel încât pâinea să fie sigură pentru consum. Cele mai vechi și accesibile metode au urmărit curățarea grâului și răcirea pâinii după coacere. Curățarea grâului prin spălare nu este suficientă, dar răcirea se dovedește eficientă dacă este realizată corespunzător. Alte metode din practica industrială constau în utilizarea unor adaosuri în aluat care îi măresc aciditatea și inhibă activitatea bacteriilor care produc boala întinderii (adaos de acizi organici, zer sau aluat acid) sau care au efect antiseptic (amelioratori).

2.1. Răcirea pâinii după coacere

Boala apare mai frecvent când răcirea pâinii se face lent și după scoaterea din cuptor se menține un timp mai îndelungat la temperaturi de depozitare mai mari de 20°C (Dan, 2000, p. 233). Bacteriile care produc boala întinderii sunt termofile, temperaturile lor optime de dezvoltare fiind situate în limitele 37...44°C. De aceea, răcirea rapidă a pâinii după coacere, până la temperatura de aproximativ 20°C, exclude apariția bolii (Dan, 2001, p. 403).

În prezent, în industrie se utilizează două metode de răcire a pâinii:

- **clasică**: aranjarea produselor pe cărucioare-rastele și păstrarea în depozit, în zona de răcire sau livrare, cu circulație naturală sau forțată a aerului;
- **mecanizată**: folosirea unor utilaje speciale pentru răcirea produselor de panificație: răcitoare și dulapuri de răcire.

În studiul asupra răcirii pâinii în depozitul întreprinderii **Cahulpan** s-a constatat că, în condițiile în care temperatura aerului din depozit este mai mare de 15°C, răcirea produselor de panificație după metoda clasică, prin aranjare pe rastele și fără circulație forțată a aerului, este inefficientă și durează un timp îndelungat, fapt care contribuie la menținerea temperaturii optime pentru dezvoltarea bacteriilor din genul *Bacillus* în interiorul miezului de pâine și apariția bolii întinderii (Rumeus & Turtoi, 2016).

În acest studiu s-a urmărit procesul de răcire a patru tipuri de produse fabricate la **Cahulpan**: franzela *Cahuleanca*, franzela *De capitală*, pâinea în forme *Deosebită* și *Pâinea pe vatră de grâu c.1*.

Răcirea pâinii s-a realizat în depozitul de livrare, la temperatura aerului $17,5 \pm 0,5^\circ\text{C}$, după metoda clasică, fără circulație forțată a aerului. Temperatura pâinii a fost înregistrată la intervale de câte 5 min (fig. 2.3). S-a constatat că toate probele s-au răcit, în timp de o oră, până la 35...55°C.

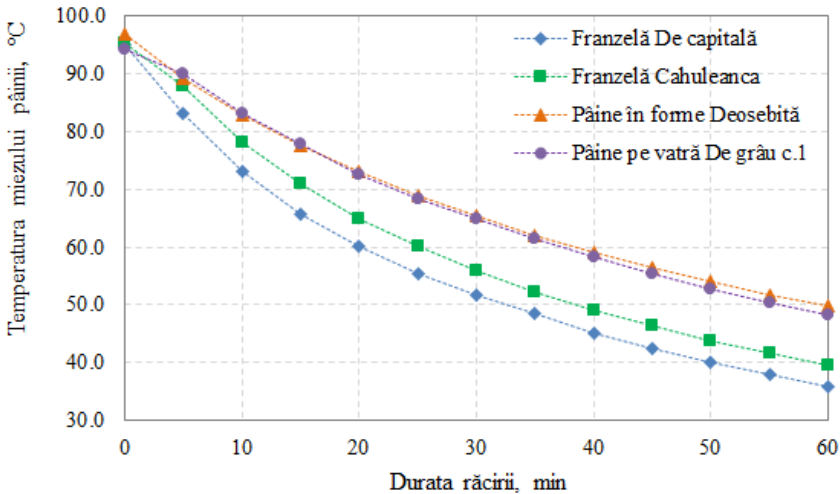


Fig. 2.3. Procesul de răcire a pâinii la temperatura aerului $17,5 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$

Pentru a răci rapid pâinea la o temperatură mai scăzută decât cea optimă pentru dezvoltarea bacteriilor sporulante care produc boala întinderii este obligatorie utilizarea instalațiilor speciale de răcire. Folosirea instalațiilor speciale de răcire are câteva dezavantaje:

- Consum suplimentar de energie (Pastuhov, 2014);
- Spațiu suplimentar pentru utilajele de răcire;
- Agenți frigorifici care contaminează mediul înconjurător;
- Creșterea prețului produsului;
- Imposibilitatea utilizării utilajului de răcire în brutăriile mici.

2.2. Creșterea acidității aluatului

Activitatea bacteriilor din genul *Bacillus* este inhibată în mediu acid. De aceea, pentru prevenirea dezvoltării acestor microorganisme este necesar ca pâinea să aibă aciditate mai mare, realizată prin creșterea acidității aluatului.

În funcție de natura acidifiantilor, metodele se împart în chimice și biologice (Dan, 2001, p. 403; Bordei, 2005, p. 357; Polandova *et al.*, 1998):

- a) **Metodele chimice** constau în adăosul în aluat a unor substanțe care inhibă dezvoltarea bacteriilor din grupul *Bacillus subtilis-mesentericus*: acid lactic, acid propionic, acid acetic, fosfat acid de calciu care, în doze de 1–5 g/kg făină, determină o întârziere a apariției bolii întinderii cu 3 până la 21 zile (Dan, 2001, p. 403; Kolomnikova, 2009).

b) **Metodele biologice** de prevenire a apariției bolii întinderii constau în utilizarea de culturi de microorganisme antagoniste față de bacteriile din genul *Bacillus* (Dan, 2000, p. 233; Puchkova *et al.*, 2005, p. 444): culturi starter de bacterii propionice, bacterii lactice, amestecuri ale unor tulpini de bacterii lactice și propionice, uneori cu adaos de drojdie, din care se obțin aluaturi acide (prospături) care se adaugă în aluat. În pâinea preparată cu adaos de culturi de bacterii propionice (10 % față de cantitatea de făină), primele semne ale bolii întinderii apar după 96 ore, față de martor la care boala apare după 24 ore (Dan, 2001, p. 404).

Utilizarea aluaturilor acide este una dintre cele mai vechi biotehnologii în industria panificației (Clarke & Arendt, 2005; Lacaze *et al.*, 2007). Alaturile acide se prepară din făină de grâu, apă și microorganisme în stare activă și se caracterizează ca un sistem microbial complex, reprezentat în principal de bacterii lactice și drojzii (Corsetti & Settani, 2007). Aluatul este fermentat continuu, iar bacteriile lactice produc metaboliți diferiți: acizi organici, exopolizaharide și enzime (Arendt *et al.*, 2007; Brandt, 2007).

Aluatul acid se obține și prin prelevarea unei porțiuni de maia (*baş*) și utilizarea acesteia în șarja ulterioară de aluat. Un astfel de studiu a fost realizat în 2013 la *Cahulpan* pentru a găsi soluții practice rapide de prevenire a apariției bolii întinderii (Rumeus & Turtoi, 2013). S-a constatat că mărirea acidității aluatului prin adaos de *baş* contribuie la prevenirea apariției bolii întinderii, însă aciditatea mare a aluatului inhibă activitatea drojdiilor de panificație la dospire finală, înrăutățește indicatorii organoleptici și proprietățile fizico-chimice ale pâinii (volumul și porozitatea scad, produsele au gust acru, miezul devine mai dens, cu pori cu pereți groși).

Un alt studiu realizat la *Cahulpan* a urmărit posibilitatea prevenirii apariției bolii întinderii în produsele de panificație prin adaos de zer la prepararea aluatului. Studiul a demonstrat eficiența utilizării zerului la prepararea aluatului în cantitate 20–40 % față de masa făinii în vederea prevenirii bolii întinderii în pâine. Totuși, aciditatea mărită a aluatului influențează negativ calitatea pâinii, în special porozitatea, prin inhibarea activității drojdiilor de panificație, afânarea insuficientă a bucășilor de aluat la dospire finală și obținerea produselor cu porozitate slab dezvoltată.

2.3. Adaosul de amelioratori în aluat

În prezent, cea mai răspândită metodă este utilizarea *amelioratorilor*, ingrediente care, în doze mici, influențează pozitiv calitatea și prospețimea produsului finit, permit reglarea regimului tehnologic și obținerea produselor cu proprietățile dorite (Bordei, 2005, p. 382; Kudzieva, 2017).

Cei mai eficienți sunt acizii organici și derivații lor: acidul propionic, propionatul de calciu, propionatul de sodiu, acidul acetic, acetatul de potasiu. Aceste substanțe determină o întârziere a apariției bolii întinderii cu 3 până la 21 zile (Bordei, 2005, p. 441). Ele pot fi utilizate independent sau intră în compoziția complexă a amelioratorilor de panificație (Puchkova *et al.*, 2005, p. 444; Matveeva & Belyavskaya, 2001, p. 90).

Producătorii preferă utilizarea propionatului de calciu care nu necesită pregătire prealabilă, utilajul nu este complicat, iar creșterea conținutului de calciu îmbunătățește valoarea nutritivă a pâinii.

Un studiu realizat la *Cahulpan* a avut ca obiectiv prevenirea apariției bolii întinderii în pâine prin adaosul de propionat de calciu în aluat (Rumeus & Turtoi 2017). Doza mare de propionat de calciu necesară pentru a preveni apariția bolii întinderii în pâine determină reducerea proprietăților fizice ale pâinii (volum, înălțime, porozitate) și apariția unui miros străin.

Adăugarea conservanților la fabricarea pâinii nu permite includerea produselor de panificație în categoria alimentelor cu etichetă curată (*clean label*).

Întrucât metodele de prevenire a apariției bolii întinderii în pâine prezentate în acest capitol se dovedesc ineficiente în unele situații, cercetările vor fi orientate către aplicarea altor metode, de exemplu decontaminarea grâului cu lumină UV și pulsuri de lumină.

3. Metode neconvenționale de decontaminare

3.1. Tratamentul cu lumină ultravioletă continuă

Tratamentul cu lumină ultravioletă (UV) este o metodă neselectivă utilizată pentru distrugerea microorganismelor de pe suprafețe (alimente, materiale de ambalaj și ambalaje, utilaje, ustensile, pereți etc.), din aer (laborator, secție de producere, depozite, spitale, cantine, școli, grădinițe, locuințe etc.) și din apă (potabilă sau reziduală).

Radiația electromagnetică emisă de Soare conține lungimi de undă cuprinse între razele gamma (10^{-6} – 10^{-2} nm) și undele radio (între 10^5 nm și peste un metru). O parte din radiația solară, denumită și lumină solară, conține lumina UV și lumina vizibilă. Lumina UV este o componentă a luminii solare cu lungimi de undă mai scurte decât lumina vizibilă și mai lungi decât razele X. În mod obișnuit, lungimea de undă a luminii UV variază de la 10 la 400 nm. În concordanță cu standardul ISO 21348-2007 pentru determinarea iradierii solare, acest domeniu este împărțit în V-UV (lumină UV vacuum, 10–200 nm), UV-C (unde scurte, 200–280 nm), UV-B (unde medii, 280–315 nm) și UV-A (unde lungi, 315–400 nm).

Domeniul UV-C este denumit *bactericid* sau germicid întrucât inactivează eficient bacteriile și virusurile (Koutchma *et al.*, 2009).

Acțiunea germicidă a luminii UV depinde mult de rezistența naturală a microorganismelor la lumina UV. Shama (2007b) a arătat că microorganismele diferă foarte mult, având nevoie de doze UV diferite pentru inactivare.

Un alt factor important al supraviețuirii este suprafața pe care sunt atașate microorganismele. Gardner & Shama (2000) au arătat că forma și structura (topografia) suprafeței are un rol major în determinarea supraviețuirii după expunerea la UV. Microorganismele prezente pe o suprafață considerată netedă sunt mai sensibile la efectele UV decât microorganismele prezente pe o suprafață cu crăpături în interiorul cărora pot fi protejate de efectele letale ale UV. Efectul germicidal apare într-un timp relativ scurt, limitat la timpul de expunere a microorganismului la sursa UV. Duratele de expunere variază, de obicei, de la fracțiuni de secundă la zeci de secunde.

Inactivarea celulelor se bazează pe deteriorarea acizilor nucleici sub acțiunea luminii UV (Lucht *et al.*, 1998), astfel încât microorganismele nu se pot replica în continuare. Acizii nucleici absorb lumina UV în intervalul 200–310 nm. Lumina UV absorbită produce ruperea unor legături și formarea de dimeri de pirimidină care sunt legături între perechi adiacente de pirimidine, timină sau citozină, în aceeași catenă de ADN sau ARN. Acești dimeri modifică structura elicoidală a ADN-ului și împiedică replicarea celulelor, prin urmare microorganismele devin inactive și incapabile să se reproducă (Lado & Yousef, 2002; Koutchma *et al.*, 2009).

Daunele provocate acizilor nucleici de lumina UV nu distrug total celulele. Aceasta înseamnă că celulele nu sunt capabile să se reproducă, dar ele încă mai au metabolism și alte funcții celulare. Unele dintre deteriorările acizilor nucleici pot fi reparate prin mecanisme enzimatice din interiorul celulei (Shama, 2007a; Koutchma *et al.*, 2009).

Tratamentul cu lumină UV cu scopul reducerii conținutului microbian, păstrând în același timp calitatea produsului, este o tehnologie alternativă și promițătoare în prelucrarea produselor alimentare.

3.2. Tratamentul cu pulsuri de lumină

Printre tehnicile emergente de prelucrare atermică dezvoltate în ultimele decenii se numără **tratamentul cu pulsuri de lumină** (PL) utilizat pentru inactivarea și/sau distrugerea microorganismelor pe suprafața alimentelor, a materialelor de ambalaj și a utilajelor. Acest tratament de suprafață are un impact minim asupra proprietăților nutritive și senzoriale ale alimentelor și, în același timp,

contribuie la extinderea termenului de valabilitate prin inhibarea sau distrugerea microorganismelor (Martín-Belloso *et al.*, 2014).

Tratamentul cu PL este utilizat pentru inactivarea formelor vegetative și sporulate ale microorganismelor de pe suprafața alimentelor, ambalajelor și a altor suprafețe care vin în contact cu alimentele (Barbosa-Canovas *et al.*, 2000). Există numeroase studii care demonstrează abilitatea PL de a inactiva microorganisme diverse, inclusiv agenți patogeni, pe suprafața alimentelor și a materialelor care vin în contact cu acestea.

PL sunt capabile să pătrundă și în alimente lichide, în strat subțire: inactivarea *E. coli* și *L. innocua* în suc de mere, suc de portocale și lapte (Palgan *et al.*, 2011) sau *E. coli* în suc de mere și cidru (Sauer & Moraru, 2009).

Tratamentul cu PL este considerat, de obicei, o tehnologie atermică emergentă capabilă să distruge microorganismele vegetative și spori (Dunn *et al.*, 1995; Elmnasser *et al.*, 2007; Oms-Oliu *et al.*, 2010b). Această tehnologie utilizează pulsuri scurte de lumină albă intensă cu lungimea de undă între 100 nm în domeniul UV și 1.100 nm în regiunea infraroșu apropiat (fig. 3.2). PL sunt foarte asemănătoare cu lumina solară și au emisie maximă între 200 și 400 nm. Intensitatea fiecărui puls de lumină este de 20.000 de ori mai mare decât a luminii solare la nivelul mării și conține unele lungimi de undă UV care lipsesc în lumina soarelui deoarece acestea sunt filtrate de atmosfera Pământului (Dunn *et al.*, 1995). De aceea, unii cercetători consideră că PL reprezintă o versiune îmbunătățită a tratamentului cu lumină ultravioletă (Bintsis *et al.*, 2000).

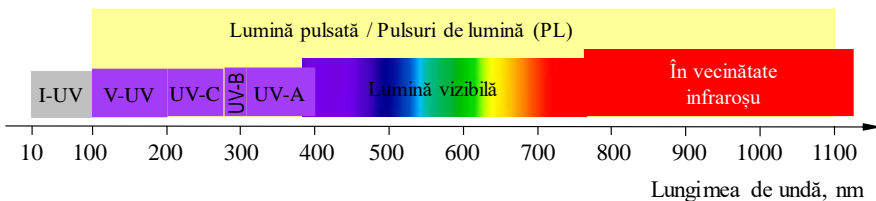


Fig. 3.2. Structura spectrului PL (Adaptare după ISO 21348-2007; Turtoi, 2016):

V-UV – UV vacuum; UV-C – unde UV scurte;

UV-B – unde UV medii; UV-A – unde UV lungi.

Inactivarea cu PL este atribuită efectului energiei mari a unui puls și componentei UV care reprezintă circa 25 % din spectrul PL (Dunn *et al.*, 1995). Mecanismul biologic de inactivare a microorganismelor include inactivarea acizilor nucleici (ADN, ARN), denaturarea proteinelor și deteriorarea altor materiale celulare precum creșterea permeabilității membranei celulare, flux anormal de ioni și depolarizarea membranei celulare. Acizii nucleici absorb lumina UV cu lungimea de undă de 200–310 nm, provocând ruperea unor

legături și alterarea ADN sau ARN astfel că celulele nu se mai pot multiplica (Koutchma *et al.*, 2009).

De asemenea, PL induce în alimente reacții fotochimice: modificări structurale ale acizilor nucleici precum deplierea lanțurilor elicoidale și producerea unor substanțe cum sunt dimerii primidinei care inhibă ADN (domeniul UV) și fototermice: încălzirea suprafeței tratate, căldura disipată fiind absorbită de microorganisme (domeniul vizibil și infraroșu).

În comparație cu acțiunea luminii UV continue, la tratamentul cu PL nu se mai produce fotoreactivarea celulelor.

3.3. Legislație referitoare la tratamentele cu lumină UV și PL

Administrația americană pentru alimente și medicamente (U.S. Food and Drug Administration, FDA) a aprobat lumina UV pentru prelucrarea și tratarea produselor alimentare (U.S. FDA, 2001, 21 CFR Part 179.39). În conformitate cu această reglementare, actualizată (U.S. FDA, 2019, 21 CFR Part 179.39), utilizarea luminii UV este aprobată pentru controlul microorganismelor pe suprafața alimentelor, sterilizarea apei folosite la producerea alimentelor și reducerea patogenilor și a altor microorganisme în sucuri, ca tratament alternativ al pasteurizării termice a sucurilor proaspete.

De asemenea, FDA a aprobat utilizarea tehnologiei PL pentru producerea, prelucrarea și manipularea alimentelor datorită eficacității PL testate împotriva unei game largi de microorganisme, inclusiv celule vegetative și spori de bacterii, mucegaiuri, virusuri și protozoare (US FDA, 2000), cu condiția ca tratamentul PL total cumulată să nu depășească 12,0 J/cm².

În Uniunea Europeană (UE), Comisia Europeană consideră că lumina UV este o iradiere (Directiva 2006/25/EC, EC 2006, 2007). Totuși, în conformitate cu [Regulamentul \(UE\) 2015/2283](#) privind alimentele noi în UE au fost aprobate următoarele produse noi:

- drojdie de panificație (*Saccharomyces cerevisiae*) tratată cu lumină UV, îmbogățită în vitamina D₂;
- pâine tratată cu UV, îmbogățită în vitamina D₂;
- lapte tratat cu UV după pasteurizare, îmbogățit în vitamina D₃;
- ciuperci (*Agaricus bisporus*) tratate cu UV, cu conținut crescut de vitamina D₂.

Tratamentul cu PL aplicat pentru a reduce numărul de microorganisme este o alternativă și o tehnologie promițătoare în procesarea alimentelor.

4. Materiale și metode

4.1. Materiale

4.1.1. Grâu. S-a utilizat grâu comun (*Triticum aestivum*) din recolta anului 2016, cultivat și recoltat în Republica Moldova, raionul Cahul, satul Doina. Grâul a fost prelevat după operația de precurățare efectuată de către producător în vederea depozitării în condiții corespunzătoare. Grâul a fost păstrat în Laboratorul de Microbiologie al Facultății de Economie, Inginerie și Științe Aplicate din Universitatea de Stat „B.P. Hașdeu” din Cahul, Republica Moldova, în condiții adecvate, și anume în recipiente din material plastic bine igienizate și uscate, la o temperatură a mediului înconjurător de 18...20°C. S-a utilizat grâu cu încărcătura microbiană naturală, fără contaminare artificială, numărul total de microorganisme înainte de tratamente (pentru proba martor) fiind, în medie, de $2,9 \times 10^4$ u.f.c./g (aprox. 4 log).

4.1.2. Aparatură de laborator. Pentru realizarea părții experimentale a acestei lucrări a fost proiectată și confecționată o instalație pentru tratamentul grâului cu lumină UV continuă (cap. 5), dotată cu un dispozitiv vibrooscilant pentru punerea în mișcare a boabelor de grâu, cu scopul asigurării tratamentului întregii suprafețe ale bobului. Instalația de laborator utilizată pentru determinările experimentale se află în dotarea Laboratorului de microbiologie al Facultății de Economie, Inginerie și Științe Aplicate din Universitatea de Stat „B.P. Hașdeu” din Cahul, Republica Moldova.

Pentru studiul decontaminării grâului cu pulsuri de lumină, dispozitivul vibrator al instalației descrise anterior a fost adaptat la instalația de tratare cu pulsuri de lumină, care se află în dotarea Laboratorului de tehnologii neconvenționale din cadrul Facultății de Știința și Ingineria Alimentelor, Universitatea „Dunărea de Jos” din Galați.

4.1.3. Medii de cultivare. Pentru determinările microbiologice s-au utilizat PCA (*Plate Count Agar*) și Sabouraud 4 %.

4.2. Metode de analiză

4.2.1. Determinarea proprietăților grâului. Pentru analiza probelor de grâu s-au utilizat metodele standard pentru determinarea proprietăților senzoriale, masei a 1000 boabe și umidității.

4.2.2. Măcinarea grâului pentru obținerea făinii integrale:

- Pregătirea morii de laborator;

- Dezinfectarea aerului din încăpere prin tratare 30 min. cu lumină UV;
- Pornirea morii, măcinarea și colectarea făinii;
- Transferarea făinii în condiții aseptice în baloane sterile;
- Repetarea măcinării pentru colectarea făinii;
- Depozitarea făinii pentru maturare timp de minimum 14 zile.

4.2.3. Determinarea proprietăților făinii. Proprietățile fizico-chimice ale făinii (umiditatea, aciditatea, conținutul de gluten umed, indicele de deformare a glutenului, extensibilitatea glutenului și capacitatea de hidratare) s-au determinat utilizând metode standard.

4.2.4. Testul de coacere. Obținerea probelor de pâine din făină integrală s-a realizat prin metoda directă de preparare a aluatului, respectând cerințele standardelor **GOST 27669-88** și **SR 90: 2007, p 18**. Determinarea posibilității apariției bolii întinderii în probele de pâine, obținute în testul de coacere, s-a realizat conform **SR 90: 2007, p 20**.

4.2.5. Determinarea proprietăților pâinii. Analiza senzorială a probelor de pâine s-a realizat conform cerințelor standardului **SR 91:2007**. Proprietățile fizico-chimice ale pâinii (volumul, porozitatea, aciditatea și umiditatea) s-au determinat respectând cerințele standardelor.

4.2.6. Metode de analiză microbiologică. Pentru a stabili gradul de contaminare a grâului înainte și după expunere la lumină UV / PL s-au determinat:

- numărul total de bacterii (PCA)
- numărul de drojdii și mucegaiuri (Sabouraud)
- numărul de bacterii sporulante aerobe mezofile (PCA).

4.3. Metode de calcul și analiză statistică

Pentru prelucrarea datelor experimentale s-a utilizat programul Excel din pachetul Office 2007. În acest program au fost efectuate calculele necesare și s-au reprezentat grafic datele obținute atât din analiza fizico-chimică a făinii și a probelor de pâine, cât și din analiza microbiologică a probelor de făină obținută din grâu martor și grâu tratat cu lumină UV, respectiv cu PL.

De asemenea, analiza statistică a datelor experimentale s-a realizat tot în Excel utilizând analiza dispersională cu un singur factor (One-way ANOVA) cu ajutorul căreia s-a stabilit dacă diferențele între valorile parametrilor determinați sunt semnificative sau nesemnificative, în funcție de nivelul de semnificație (valoarea P) calculat prin compararea acestuia cu un nivel de semnificație standard, de obicei $\alpha = 0,05$ (**Hubbard, 2003, p. 105; Judd et al., 2017, p. 168**).

5. Proiectarea și construcția instalației de tratare cu lumină UV pentru produse granulare. Brevetul de invenție

5.1. Condiții de lucru. Antrenarea în mișcare a produselor granulare

În lucrare s-a studiat posibilitatea expunerii întregii suprafețe a boabelor de grâu la acțiunea luminii UV sau pulsate prin *vibropseudofluidizarea* stratului de boabe de grâu supus decontaminării pentru a asigura inactivarea microorganismelor de pe toată suprafața boabelor.

Pentru decontaminarea eficientă a grâului cu lumină UV continuă sau PL, instalația trebuie să fie compusă din două părți principale: camera de lucru dotată cu lămpi UV sau PL și dispozitivul vibrator.

5.2. Proiectarea și construcția instalației

Instalația experimentală a fost proiectată și construită pornind de la concluziile anterioare fiind alcătuită din următoarele componente:

- O cameră de lucru confecționată din pereți care reflectă lumina UV, prevăzută cu capac și două tije filetate pe care sunt montate lămpile UV;
- Un dispozitiv vibrator antrenat de un motor electric;
- Un dispozitiv cu două lămpi UV;
- O tavă suport pentru materialul granular;
- Un sistem de fixare a tăvii pe dispozitivul vibrator.

5.3. Întocmirea propunerii de brevet de invenție

După construcția instalației experimentale proiectate și testarea acestora prin efectuarea determinărilor experimentale planificate a fost redactată o cerere de brevet de invenție în care a fost inclusă descrierea invenției. Titlul propus pentru brevetul de invenție este „Metodă și instalație pentru decontaminarea produselor alimentare granulare cu lumină ultravioletă”.

Cererea de brevet de invenție a fost înregistrată la OSIM cu nr. A/00402/2018 cu dată de depozit 06.06.2018 și depozit național reglementar cu nr. a 2018 00402 (Turtoi & Rumeus, 2018) și va fi publicată în Buletinul Oficial de Proprietate Industrială – Secțiunea Invenții, nr. 12 din 2019.

6. Influența tratării grâului cu lumină UV continuă asupra calității pâinii

6.1. Decontaminarea produselor granulare și pulverulente cu lumină UV

În lucrare este investigată decontaminarea boabelor de grâu cu lumină UV continuă și efectul asupra bacteriilor care produc boala întinderii respectiv asupra calității pâinii.

Grâul este un produs granular alcătuit din mai multe particule solide (boabe) aproximativ de aceleași dimensiuni, astfel că decontaminarea sa cu lumină UV este privită ca o dezinfectare a suprafețelor.

Eficacitatea luminii UV pentru dezinfectarea suprafeței netede este demonstrată în numeroase cercetări. Utilizarea luminii UV cu scopul reducerii contaminării microbiene pe suprafața alimentelor solide se utilizează pentru produse din carne gata pentru consum (*ready-to-eat*, RTE), pâine, ouă în coajă, pește, fructe și legume întregi și proaspete tăiate, produse granulare și pulverulente (Koutchma *et al.*, 2009, p. 9; Turtoi, 2017).

Trebuie evitată umbrirea celulelor țintă, deoarece, în caz contrar, sunt atinse niveluri mai mici de distrugere a microorganismelor (Dunn, 1996). În plus, particulele de alimente granulare sau pulverulente se pot umbri reciproc când sunt tratate împreună, influențând negativ eficiența decontaminării (Gómez-López *et al.*, 2007).

Îmbunătățirea calității pâinii prin decontaminarea grâului cu lumină UV continuă are un potențial real dacă sunt luați în considerare factorii care influențează eficacitatea tratamentului. Astfel, înaintea aplicării tratamentului, din grâu trebuie separate impuritățile și bobele cu defecte, trebuie asigurată reducerea gradului inițial de contaminare a grâului prin aplicarea unor operații de pregătire (de exemplu spălare), întreaga suprafață a boabelor de grâu trebuie să fie expusă la lumină UV, iar doza de lumină UV trebuie să fie suficientă pentru crearea efectelor letale în celulele țintă.

6.2. Materiale și metode

Pentru a determina influența tratamentului grâului cu lumină UV asupra calității pâinii au fost stabilite 4 etape principale (fig. 6.3), care reprezintă operațiile de prelucrare a grâului pentru obținerea pâinii. La fiecare etapă principală s-au determinat proprietățile senzoriale, fizico-chimice sau/și microbiologice ale materiilor folosite (grâu, făină și pâine) conform metodelor standard (cap. 4).

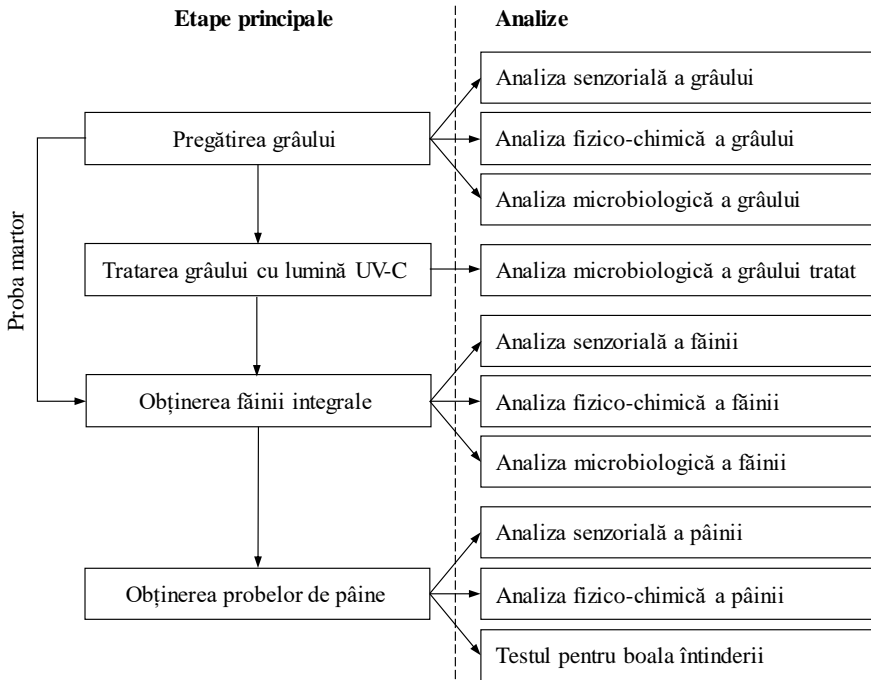


Fig. 6.3. Schema de lucru la tratarea grâului cu lumină UV

6.3. Efectul tratamentului cu lumină UV continuă asupra microbiotei grâului

Cinetica inactivării microorganismelor pe suprafața boabelor de grâu expuse la lumină UV este reprezentată grafic sub forma curbei de supraviețuire sau de inactivare, în funcție de durata tratamentului: $\log N = f(\tau)$ sau $\log N/N_0 = f(\tau)$ (Tatarov, 2006; Turtoi, 2006, p. 271–275), sau de doza de lumină UV: $\log N = f(D_{UV})$ sau $\log N/N_0 = f(D_{UV})$ (Kowalski, 2009, p. 52–54).

În **fig. 6.5** este prezentată inactivarea (reducerea) microorganismelor de pe suprafața boabelor de grâu tratate cu lumină UV în funcție de durata tratamentului, la distanțe diferite între sursa de lumină UV și grâul expus la lumină UV.

Se observă o reducere destul de rapidă a numărului total de microorganisme, cu aproximativ 1-log, după tratamentul grâului cu lumină UV timp de 5 minute. Astfel, circa 90 % din populația microbiană de pe suprafața boabelor de grâu a fost inactivată în urma tratamentului la 5 cm între probă și sursa de lumină UV.

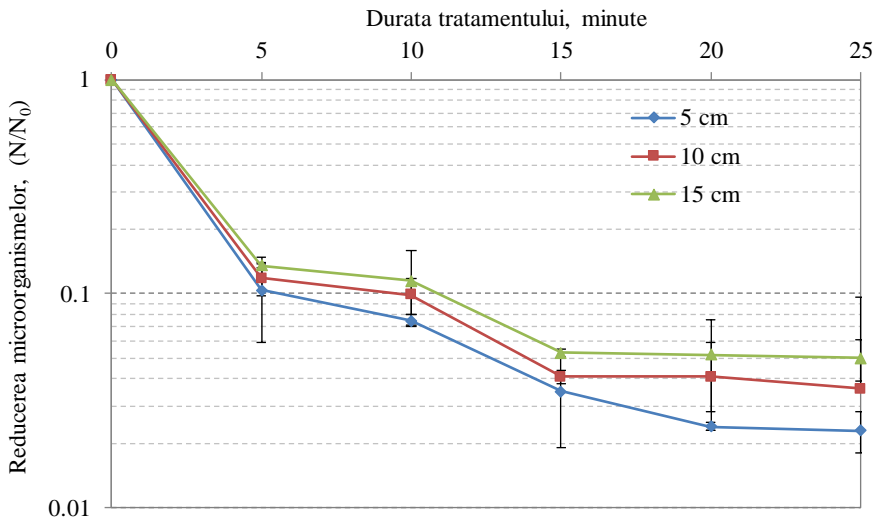


Fig. 6.5. Inactivarea microorganismelor pe suprafața boabelor de grâu în funcție de durata de expunere la lumină UV, la diferite distanțe între lampă și probă

La decontaminarea grâului timp de 5 minute la 10 și 15 cm, doza de lumină UV nu a fost suficientă pentru a produce inactivarea a 90 % din populația microbiană de pe suprafața boabelor de grâu, procentul de microorganisme inactivate fiind sub 85 %.

La durate de tratare cu lumină UV a suprafeței boabelor de grâu de 10 și 15 minute, numărul total de microorganisme continuă să se reducă, însă nu se realizează la fel de repede ca la 5 minute, micșorându-se cu 3–5 % pentru 10 minute de expunere, respectiv cu 10–14 % pentru 15 minute (o scădere în medie cu 7,6 %) față de expunerea timp de 5 minute. Totuși, inactivarea microorganismelor depășește pragul de 90 % la toate distanțele între probă și sursa de lumină UV după circa 11 minute de expunere, adică se atinge indicatorul D_{UV-90} .

De asemenea, se observă că influența distanței dintre probă și sursa de lumină UV este diferită pentru durate mai mari de expunere în sensul că prin modificarea poziției lămpii UV se modifică intensitatea luminii UV respectiv a dozei de energie UV absorbită de microorganisme. Această influență este invers proporțională, inactivarea microorganismelor fiind din ce în ce mai scăzută cu creșterea distanței dintre probă și sursa de lumină UV pentru durate mai mari de expunere.

Astfel, legea descreșterii intensității luminii cu mărirea distanței până la sursa de lumină (Gal & Chen-Morris, 2005) se aplică și luminii UV, respectiv cantitatea de energie UV absorbită de o celulă microbiană la distanța 5 cm între lampa UV și probă este mai mare decât la 15 cm. Astfel, la decontaminarea grâului timp de 15 minute la distanța de 10 cm microorganismele care supraviețuiesc tratamentului sunt cu aproximativ 1 % mai multe decât în cazul tratamentului la distanța de 5 cm și cu 1 % mai puține în comparație cu tratamentul la distanța de 15 cm.

La aplicarea tratamentului cu lumină UV timp de 20 și 25 minute, reducerea numărului total de microorganisme este nesemnificativă în comparație cu tratamentul la 15 minute: 0,3 % la 15 cm, 0,5 % la 10 cm și 1,2 % la 5 cm între probă și sursa de lumină UV.

Astfel, se poate afirma că, la durate de expunere la lumină UV mai mari de 15 minute, numărul de microorganisme care supraviețuiesc tratamentului se modifică nesemnificativ. Ipoteza este confirmată de analiza dispersională cu un singur factor (*one-way ANOVA*) a datelor experimentale.

Prezentând în două etape cinetica de inactivare a microorganismelor pe suprafața boabelor de grâu aflate în stare vibropseudofulidizată cu ajutorul luminii UV, se obțin graficele din fig. 6.7–6.9, dintre care aici este prezentat doar primul (fig. 6.7)

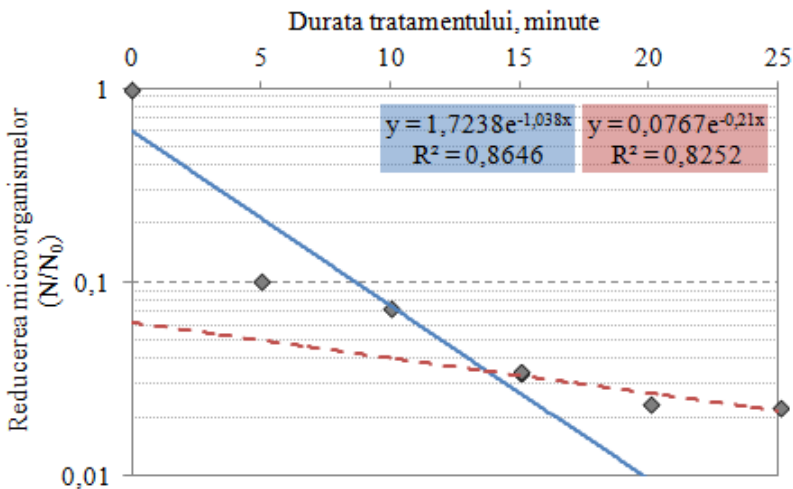


Fig. 6.7. Cinetica de inactivare a microorganismelor pe suprafața boabelor de grâu expuse la lumină UV la distanța de 5 cm între lampă și probă
 — Prima etapă de inactivare; - - - A doua etapă de inactivare

Din analiza datelor experimentale se constată că prima etapă de inactivare a microorganismelor pe suprafața boabelor de grâu corespunde intervalului 0–15 minute în care se observă o scădere semnificativă a numărului de microorganisme, iar inactivarea depășește 90 % ($D_{UV\ 90}$ sau 1-log). A doua etapă corespunde intervalului 15–25 minute în care reducerea numărului de microorganisme este nesemnificativă. Punctul de intersecție între curba de supraviețuire pentru a doua etapă de inactivare cu ordonata reprezintă fracțiunea microorganismelor rezistente la UV, f (ec. 6.13; Kowalski, 2009, p. 55).

Prin urmare, din graficele prezentate în figurile 6.7–6.9 se constată că microorganismele rezistente la acțiunea luminii UV pe suprafața boabelor de grâu utilizate în cercetare se situează în limitele 5–6 %. Din categoria microorganismelor rezistente la lumină UV fac parte bacterii sporulante și spori de mucegai. De asemenea, în categoria microorganismelor rezistente la acțiunea luminii UV pot fi incluse și cele protejate față de acțiunea luminii UV.

La alegerea parametrelor optimi pentru tratarea grâului cu lumină UV cu scopul inactivării microorganismelor existente pe suprafața boabelor trebuie să fie luate în considerare o serie de aspecte:

- reducerea cât mai eficientă a numărului total de microorganisme;
- după expunerea la lumină UV, numărul de bacterii care supraviețuiesc tratamentului și pot provoca alterarea microbiană a produselor de panificație trebuie să fie sub valoarea care nu conduce la apariția acestui defect;
- după expunerea la lumină UV, numărul de bacterii din genul *Bacillus* (bacterii sporulante aerobe mezofile) să fie mai redus decât valorile recomandate pentru asigurarea prevenirii alterării pâinii în cazul contaminărilor secundare (din aer, utilaje etc.);
- condițiile de lucru: durata, doza de lumină UV / intensitatea luminii UV și distanța dintre probă și sursa de lumină UV trebuie alese astfel încât tratamentul să fie eficient și economic.

Calitatea făinii de grâu și probabilitatea apariției bolii întinderii în produsele de panificație pot fi apreciate în funcție de gradul de contaminare al făinii cu bacterii sporulante aerobe mezofile. În urma expunerii grâului la lumină UV în diferite condiții, în vederea decontaminării, numărul total de microorganisme și, în particular, numărul de bacterii sporulante aerobe mezofile se reduce. Întrucât din grâul expus timp de 15 min, la distanța de 5 și 10 cm față de sursa de lumină UV se obține o făină slab contaminată, tratamentul optim ales este expunere la lumină UV timp de 15 min, la distanța 10 cm între probă și lampa UV. Distanța de 10 cm între probă și sursa de lumină UV este luată în considerare și pentru faptul că în acest fel se evită o eventuală supraîncălzire locală a probei dacă lampa ar fi prea aproape, ca în cazul distanței de 5 cm.

6.4. Influența tratamentului cu lumină UV asupra făinii obținute din grâul tratat

6.4.1. Proprietățile fizico-chimice și tehnologice ale făinii

Pe lângă efectul decontaminării suprafeței boabelor, tratamentul grâului cu lumină UV poate influența și compoziția chimică a bobului de grâu. În compoziția chimică a grâului pot fi evidențiați compușii sensibili la acțiunea luminii UV: lipide, proteine și enzime.

În literatura de specialitate nu există cercetări privind influența tratamentului grâului asupra compoziției chimice și proprietăților tehnologice ale făinii obținute din grâul tratat cu lumină UV. De aceea, studiarea aprofundată a acestui subiect reprezintă un interes crescut. Pentru confirmarea ipotezelor privind influența tratamentului grâului cu lumină UV asupra calității pâinii, expuse mai sus, trebuie să fie cercetate următoarele subiecte:

- gradul de penetrare a luminii UV sub învelișul bobului;
- intensitatea procesului de oxidare peroxidică a lipidelor din grâu tratat cu lumină UV;
- influența tratamentului cu lumină UV asupra conținutului de proteine din grâu și structurii lor;
- inactivarea enzimelor din bobul de grâu în urma tratamentului cu lumină UV.

Direcțiile de cercetare enumerate reprezintă un studiu foarte complex, de aceea în lucrare s-a cercetat influența tratamentului grâului cu lumină UV numai asupra unor proprietăți tehnologice ale făinii: conținutul de umiditate și aciditatea făinii, conținutul de gluten umed și proprietățile acestuia (indicele de deformare, extensibilitatea) și capacitatea de hidratare a făinii. Rezultatele acestor determinări sunt prezentate în [fig. 6.17](#).

În general, rezultă că tratamentul grâului cu lumină UV timp de 15 miute la distanța de 10 cm între lampa UV și probă a avut o influență nesemnificativă asupra proprietăților tehnologice ale făinii (cu excepția umidității), ceea ce poate fi confirmat prin rezultatele testelor statistice a datelor obținute în cercetare, explicația probabil fiind aceea că lumina UV are posibilitatea scăzută să penetreze sub stratul protector al bobului la o adâncime semnificativă și respectiv să aibă o influență asupra compușilor din stratul subaleuronic și endosperm.

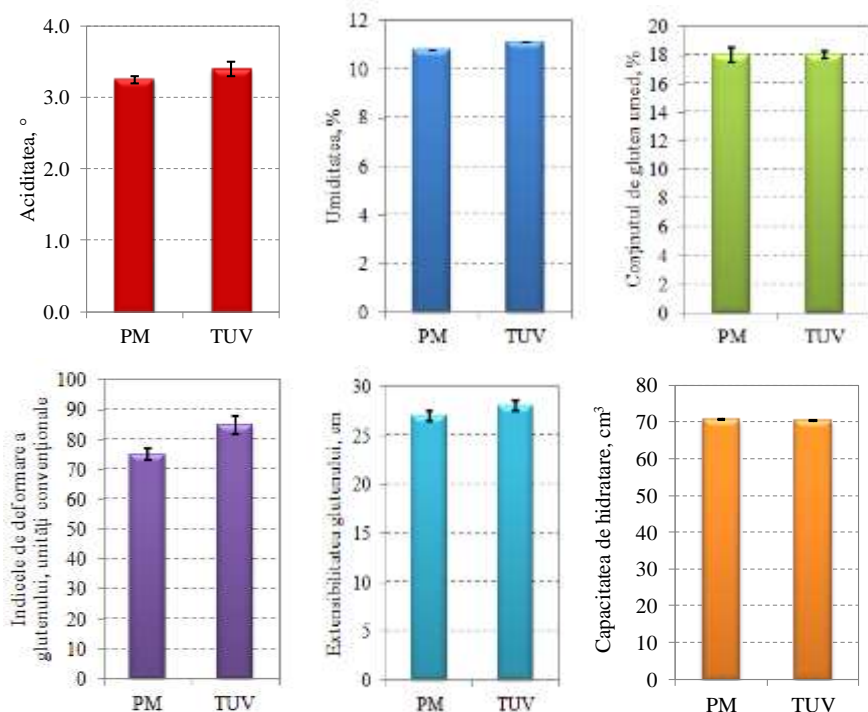


Fig. 6.17. Proprietățile tehnologice ale făinii integrale obținută din grâu netratat (martor) și tratat cu lumină UV:

PM – proba martor; TUV – făină obținută din grâu tratat

6.4.2. Analiza microbiologică a făinii obținute din grâul tratat cu lumină UV

În cercetări, obținerea făinii integrale a fost realizată respectând condițiile aseptice (igienizarea camerei și organelor de lucru ale morii de laborator, dezinfecția aerului) reducând la minimum riscul contaminării secundare a făinii, ceea ce înseamnă că microorganismele din făina analizată provin practic numai din grâu (fig. 6.18).

Trebuie evidențiat că în urma aplicării tratamentului grâului cu lumină UV timp de 15 minute la distanța 10 cm între proba și lampa UV, numărul total de bacterii sporulante aerobe mezofile în făina obținută din acest grâu este sub 200 u.f.c., ceea ce înseamnă că această făina poate fi caracterizată ca slab contaminată, iar probabilitatea apariției bolii întinderii în pâinea care se va obține din această făină este foarte scăzută.

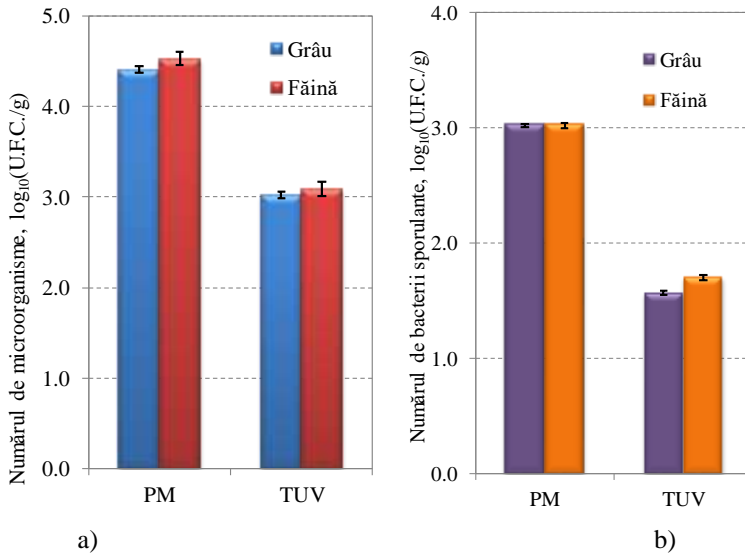


Fig. 6.18. Gradul de contaminare cu microorganisme al făinii integrale obținute din grâu netratat și tratat cu lumină UV: a) Numărul total de microorganisme; b) Numărul de bacterii sporulante aerobe mezofile
 PM – grâu netratat / făină obținută din grâu netratat (proba martor); TUV – grâu tratat / făină obținută din grâu tratat 15 minute la 10 cm între lampa UV și probă

6.5. Determinarea calității pâinii preparate din făină obținută din grâu tratat cu lumină UV

6.5.1. Caracteristicile senzoriale și fizico-chimice ale pâinii

În urma testului de coacere au fost obținute probele de pâine prezentate în [fig. 6.19](#). Pentru a determina influența tratamentului grâului cu lumină UV asupra calității pâinii s-a utilizat metoda monofazică de preparare a aluatului și s-a respectat același regim de preparare a aluatului și de coacere. Pentru a stabili efectele tratamentului grâului cu lumină UV asupra indicatorilor de calitate ai pâinii au fost analizate proprietățile senzoriale și fizico-chimice ale probelor de pâine obținute.

Pentru a stabili influența expunerii grâului la lumină UV asupra calității pâinii s-au determinat aciditatea, masa, umiditatea, volumul și porozitatea ([fig. 6.20](#)).

Analizând indicatorii organoleptici de calitate ai pâinii se constată că aceștia sunt aproape identici, fiind observate deosebiri minore la aspectul general al cojii pâinii, aspectul și structura porozității miezului. Astfel, pâinea obținută din

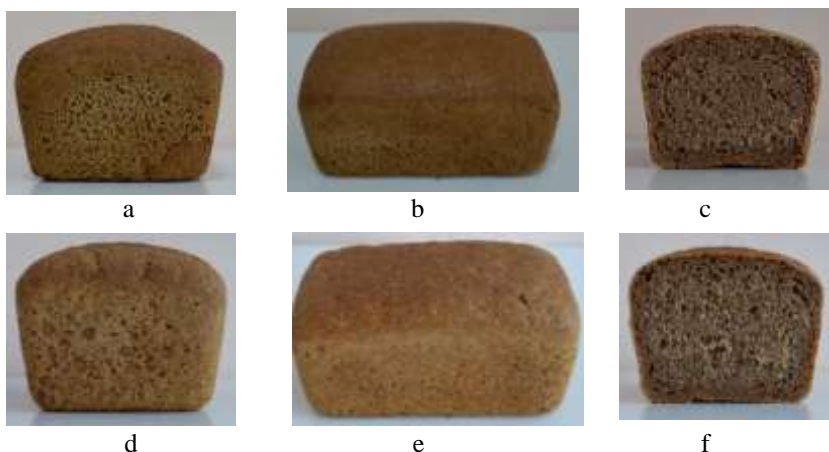


Fig. 6.19. Imagini ale pâinii (Foto autor): a, b) Pâine - mator, aspect exterior; c) Pâine - mator, în secțiune; d, e) Pâine din grâu tratat cu UV, aspect exterior; f) Pâine din grâu tratat cu UV, în secțiune

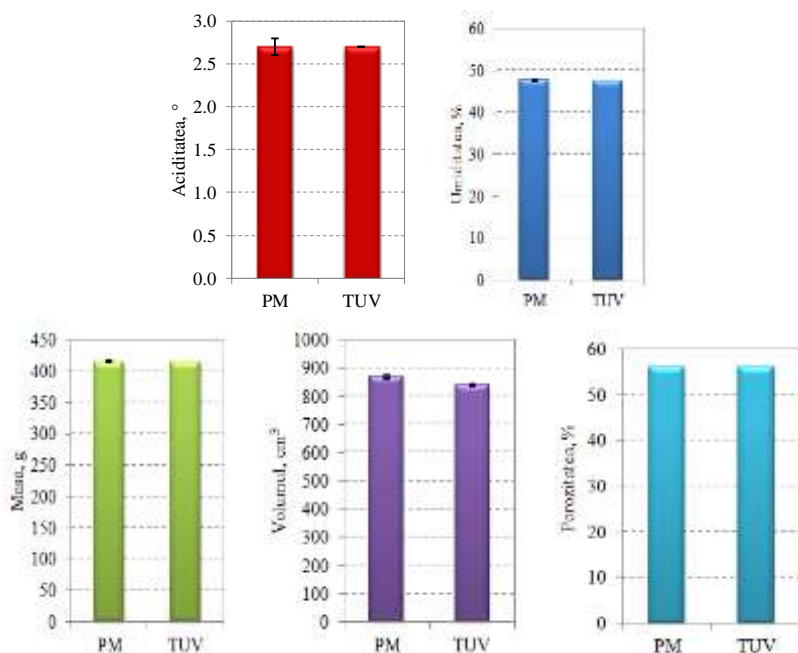


Fig. 6.20. Proprietățile fizico-chimice ale pâinii
 PM – pâine obținută din grâu netratat cu lumină UV (proba mator); TUV – pâine obținută din grâu tratat cu lumină UV 15 miute la 10 cm de lampa UV

grâu tratat cu lumină UV are mici defecte precum coaja puțin tuberoasă cu mici proeminente, miezul puțin mai dens în unele locuri, porii mici sau mijlocii, distribuiți puțin neuniform. De asemenea, miezul are gustul și mirosul plăcute, caracteristice produsului, fără gust străin și nu se deosebește esențial de proba martor. În concluzie, tratamentul grâului cu lumină UV are influență ne semnificativă asupra proprietăților senzoriale ale pâinii.

Prin prelucrarea statistică a rezultatelor analizelor fizico-chimice se constată că proprietățile fizico-chimice ale probelor de pâine obținute din grâu netratat și tratat cu lumină UV *nu se deosebesc semnificativ* ($p > 0,05$).

Ca o concluzie a datelor prezentate rezultă că tratamentul grâului cu lumină UV timp de 15 minute la distanța de 10 cm între probă și lampă are o influență ne semnificativă asupra proprietăților senzoriale și fizico-chimice ale pâinii.

6.5.2. Rezultatele testului pentru depistarea bolii întinderii în pâine

Întrucât calitatea produselor de panificație este foarte des asociată cu durata de prospețime a acestora, care este afectată cel mai des prin dezvoltarea microorganismelor de alterare (mucegaiuri și bacterii sporulante din genul *Bacillus*), pâinea obținută din grâu netratat și tratat cu lumină UV timp de 15 minute la distanța de 10 cm între grâu și lampa UV au fost testate pentru posibilitatea apariției bolii întinderii (tabelul 6.12).

Tabelul 6.12. Testul pentru apariția bolii întinderii în pâine

Proba de pâine	Durata termostatării		
	24 ore	48 ore	72 ore
Pâine din făină integrală din grâu netratat (proba martor)	–	±	+
Pâine din făină integrală din grâu tratat 15 minute cu lumină UV la 10 cm de lampa UV	–	–	–

Note: – nu prezintă semne ale apariției bolii întinderii;
 ± prezintă semne slabe ale apariției bolii întinderii (miros slab);
 + prezintă semne pronunțate ale apariției bolii întinderii (miros puternic, miez lipicios).

Rezultă că aplicarea tratamentului grâului cu lumină UV, înainte de obținerea făinii și respectarea condițiilor igienico-sanitare la etapele preparării făinii, frământării și fermentării aluatului, divizării și modelării bucăților de aluat poate să prevină apariția bolii întinderii în produsele de panificație.

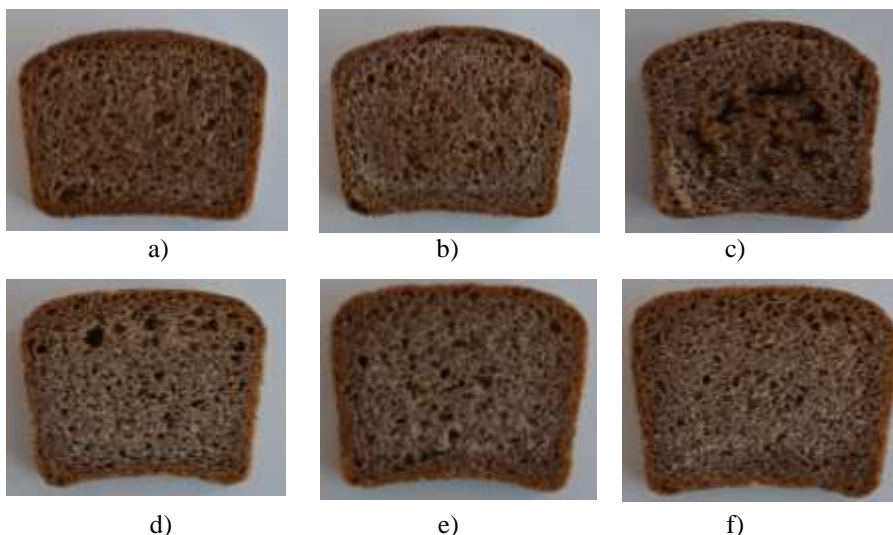


Fig. 6.21. Testul pentru apariția bolii întinderii în probele de pâine (Foto autor):
Pâine proba mator după 24 h (a), 48 h (b), 72 h (c);
Pâine din grâu tratat cu UV, 15 min., după 24 h (d), 48 h (e), 72 h (f)

6.6. Concluzii ale studiului tratării grâului cu lumină UV asupra calității pâinii

În acest subcapitol sunt prezentate rezultatele studiului decontaminării suprafeței boabelor de grâu prin tratament cu lumină UV continuă și influența acestui tratament asupra indicatorilor de calitate ai pâinii.

Din rezultatele analizei microbiologice ale probelor de grâu tratate cu lumină UV se constată că la aplicarea tratamentului timp de 15 minute se realizează o reducere a numărului total de microorganisme de aproximativ 1,45 log la 5 cm între între lampa UV și grâu, 1,39 log la 10 cm și 1,28 log la 15 cm. La prelungirea duratei tratamentului numărul total de microorganisme inactivate se modifică nesemnificativ.

Acest tratament are influență nesemnificativă asupra proprietăților tehnologice ale făinii (cu excepția umidității) și asupra proprietăților senzoriale și fizico-chimice ale probelor de pâine. De asemenea, tratamentul grâului cu lumină UV este eficient pentru prevenirea apariției bolii întinderii în pâine și nu are influență semnificativă asupra proprietăților tehnologice ale făinii, respectiv asupra indicatorilor de calitate ai pâinii.

7. Influența tratării grâului cu PL asupra calității pâinii

7.1. Decontaminarea alimentelor ‘solide’ cu PL

Tratamentul cu pulsuri de lumină (PL) este o tehnologie de decontaminare prin distrugerea microorganismelor de pe suprafața alimentelor și a materialelor care vin în contact cu alimentele (Dunn *et al.*, 1995; Elmnasser *et al.*, 2007; Gómez-López *et al.*, 2007).

Pentru decontaminarea eficientă a grâului cu PL trebuie luați în considerare aceiași factori ca în cazul utilizării luminii UV continue:

- timpul de expunere a microorganismelor la acțiunea PL exprimat, în acest caz, ca produs între numărul de pulsuri și durata unui puls și influențat de tipul microorganismului;
- intensitatea unui puls de lumină, determinată de tensiunea de descărcare;
- ecranarea celulelor țintă, determinată de relieful suprafeței produsului și umbrirea reciprocă a particulelor de produs granular.

Astfel, pentru reducerea suficientă a gradului de contaminare a grâului, în vederea prevenirii apariției bolii întinderii în produsele de panificație, trebuie utilizat un regim optim (numărul de pulsuri, durata unui puls și tensiunea de descărcare). De asemenea, trebuie asigurat tratamentul întregii suprafețe a boabelor de grâu prin antrenarea în mișcare a stratului de grâu supus decontaminării.

În acest capitol este investigată eficiența decontaminării cu PL a grâului aflat în stare pseudovibrofluidizată și influența tratamentului asupra calității pâinii, respectiv asupra apariției bolii întinderii.

7.2. Materiale și metode

În acest studiu, la fel ca în cazul studiului influenței tratamentului grâului cu lumină UV asupra calității pâinii, s-au stabilit patru etape principale de lucru: 1) pregătirea grâului, 2) tratarea grâului cu PL, 3) obținerea făinii integrale și 4) obținerea probelor de pâine, la fiecare etapă fiind determinate proprietățile senzoriale, fizico-chimice și microbiologice pentru grâu - materie primă, făină - produs intermediar și pâine - produs finit.

Pentru studiul eficienței decontaminării grâului cu PL cu scopul asigurării tratamentului întregii suprafețe ale boabelor, dispozitivul vibrator a fost încadrat în instalația de tratare cu PL din Laboratorul de tehnologii neconvenționale al Facultății de Știința și Ingineria Alimentelor, Universitatea „Dunărea de Jos”

din Galați. Pentru generarea PL s-a utilizat lampa tip IFP-800 cu descărcare în gaz (xenon) (Nederiță, 1995; Turtoi & Nicolau, 2007) care emite pulsuri de lumină policromatică (pulsuri de lumină albă). Lampa a fost poziționată la 10 cm de suprafața interioară a tăvii în care s-a introdus proba de grâu expusă la PL.

Caracteristicile de emisie ale lămpii IFP-800 sunt: lungimea de undă $\lambda = 200\text{--}1000$ nm, durata unui puls $\tau = 10^{-3}$ s, intensitatea luminoasă $E = 1000\text{--}8000$ J. Distribuția spectrală este asemănătoare luminii solare (spectrului vizibil), cu vârfuri de emisie între 200 și 500 nm (Nederiță, 1995; Turtoi & Nicolau, 2007).

Prepararea probelor de grâu pentru tratamentul cu PL s-a realizat urmând aceeași metodologie prezentată în capitolul 6. Decontaminarea probelor de grâu cu pulsuri de lumină s-a realizat cu număr variat de PL 20, 40, 60, 80 și 100 pulsuri, respectiv durate diferite de tratare (20×10^{-3} , 40×10^{-3} , 60×10^{-3} , 80×10^{-3} și 100×10^{-3} s). Tensiunea de descărcare utilizată a fost 800, 1000, 1200 și 1400 V. Acestor valori le corespunde densitatea energetică (doza PL) 0,223 J/cm²/puls, 0,348 J/cm²/puls, 0,500 J/cm²/puls și 0,682 J/cm²/puls.

7.3. Efectul tratamentului cu PL asupra microbiotei grâului

Reducerea populației de microorganisme de pe suprafața grâului tratat cu PL la diferite tensiuni de descărcare și durate este prezentată în [fig. 7.5](#).

Se constată că majorarea numărului de pulsuri de la 20 la 100 nu are o influență majoră asupra reducerii numărului total de microorganisme, inactivarea considerabilă a acestora fiind observată în timpul tratamentului cu primele 20 de pulsuri. Din datele prezentate în [fig. 7.4](#) se observă că inactivarea microorganismelor crește doar cu aproximativ 5 % la utilizarea unui număr mai mare de pulsuri (40, 60, 80 și 100) pentru tratamentul grâului.

Prelucrarea statistică a datelor obținute confirmă că, la utilizarea a 20, 40, 60, 80 și 100 PL pentru decontaminarea grâului, diferența între valorile raportului N/N_0 obținute este *nesemnificativă* ($p > 0,05$).

Acest efect este explicat prin inactivarea microbiotei sensibile la acțiunea PL în primele secunde ale tratamentului, microorganismele care supraviețuiesc fiind cele rezistente la tratament. Același efect a fost observat de [Zenklusen et al. \(2018\)](#), [Aron Maftei et al. \(2014\)](#), [Bialka et al. \(2008\)](#) și [Gómez et al. \(2012\)](#).

La creșterea tensiunii de descărcare procentul de microorganisme inactivate se mărește. Astfel, în timpul tratamentului grâului cu 100 PL este inactivată 83 % din populația microbială la 800 V, 93 % la 1000 V, 94 % la 1200 V și aproximativ 99 % la 1400 V.

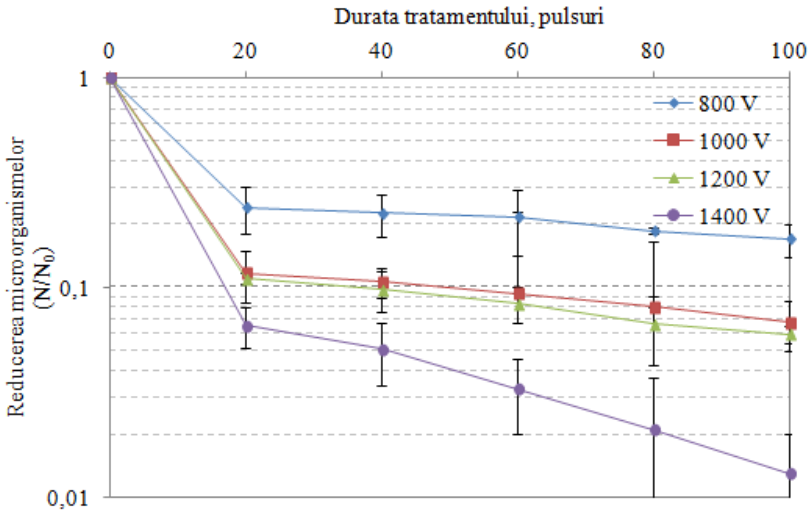


Fig. 7.5. Inactivarea microorganismelor pe suprafața boabelor de grâu expuse la PL

În structura suprafeței bobului de grâu există câteva zone neregulate (embrionul, bărbița și șanțulețul) în care microorganismele pot fi protejate de acțiunea PL. La creșterea intensității luminii, cavitațiile în care sunt ecranate celulele țintă sunt iluminate mai intens, datorită *difracției* luminii. Se pare că la creșterea intensității luminii în timpul tratamentului grâului, fenomenul difracției este mai accentuat, respectiv gradul de penetrare a luminii în cavitațiile și neregularitățile suprafeței bobului de grâu este mai mare, ceea ce contribuie la absorbția mai mare de energie de către celulele microbiene ecranate, dozele fiind suficiente pentru inactivarea lor.

Prezentând în două etape cinetica de inactivare cu PL a microorganismelor pe suprafața boabelor de grâu se obțin graficele prezentate în [fig. 7.8–7.11](#). Numai primul grafic este prezentat aici, ca exemplu ([fig. 7.8](#)).

Se constată că prima etapă de inactivare a microorganismelor pe suprafața boabelor de grâu corespunde tratamentului cu 20 PL. De asemenea, se observă că panta liniilor care caracterizează prima fază a tratamentului se mărește cu creșterea tensiunii de descărcare, respectiv cresc valorile constantei vitezei de inactivare k_1 . Acest fenomen se datorează faptului că doza de energie absorbită de celula microbială crește cu creșterea intensității luminii, ceea ce duce, la rândul său, la o inactivare a mai multor celule microbiene și creșterea constantei vitezei acestui proces.

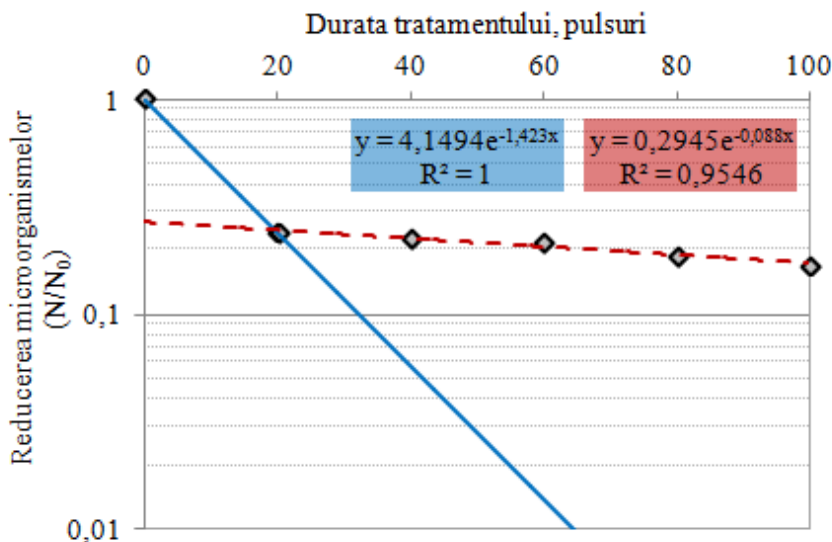


Fig. 7.8. Cinetica de inactivare a microorganismelor pe suprafața boabelor de grâu expuse la tratamentul cu PL la tensiunea de descărcare 800 V
 — Prima etapă de inactivare; - - - A doua etapă de inactivare

Același efect este observat și în cazul cineticii de inactivare a microorganismelor pe suprafața boabelor de grâu în a doua etapă. Astfel, constanta vitezei de inactivare k_2 se mărește cu 0,322 m²/J la creșterea tensiunii de descărcare de la 800 până la 1400 V.

La aplicarea PL cu tensiunea de descărcare 800 V, microbiota rezistentă reprezintă aproximativ 30 %, apoi scade la 16 % pentru 1000 V, 14 % pentru 1200 V și 10 % pentru 1400 V.

Parametrii optimi pentru decontaminarea grâului prin tratament cu PL trebuie să asigure o reducere cât mai eficientă a numărului de microorganisme. Astfel, se constată că la aplicarea a 60 de pulsuri cu tensiunea de descărcare 1200 V este inactivată peste 90 % din populația de microorganisme de pe suprafața boabelor de grâu, de aceea acești parametri sunt considerați optimi. De asemenea, după aplicarea a 60 pulsuri cu tensiunea de descărcare 1200 V, numărul de bacterii sporulante aerobe mezofile pe suprafața boabelor de grâu este 125 u.f.c./g. De aceea, presupunând că bacteriile sporulante de pe suprafața boabelor vor trece în făină în timpul măcinării, aceasta poate fi considerată ca fiind slab contaminată, respectiv probabilitatea apariției bolii întinderii în pâine va fi foarte scăzută.

7.4. Influența tratamentului cu PL asupra făinii obținute din grâu tratat

7.4.1. Proprietățile fizico-chimice ale făinii obținute din grâu tratat cu PL

Proprietățile tehnologice ale făinii sunt prezentate în [fig. 7.18](#).

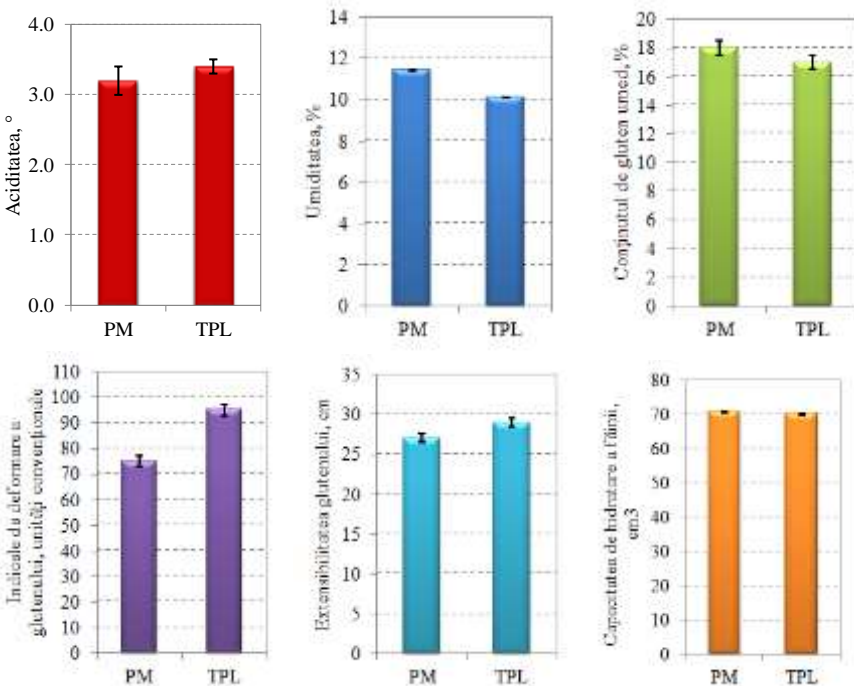


Fig. 7.18. Proprietățile tehnologice ale făinii integrale obținute din grâu tratat și netratat cu PL: PM - făina obținută din grâu netratat (proba martor); TPL - făina obținută din grâu tratat cu PL

Datele obținute în analiza fizico-chimică a probelor de făină din grâu netratat și tratat cu PL au fost supuse analizei statistice din care rezultă că valorile nivelului de semnificație sunt mai mari de 0,05 pentru aciditate, conținutul de gluten umed și extensibilitatea glutenului, adică diferența este *nesemnificativă*, ceea ce înseamnă că tratamentul grâului cu PL nu are influență asupra acestor proprietăți tehnologice ale făinii.

Totodată, valorile nivelului de semnificație sunt mai mici de 0,05 pentru umiditate și indicele de deformare a glutenului. De asemenea, valoarea nivelului de semnificație este aproximativ egală cu 0,05 pentru capacitatea de

hidratare a făinii. Aceste rezultate arată că diferența este *semnificativă*, ceea ce confirmă că tratamentul grâului cu PL are influență asupra umidității, indicelui de deformare a glutenului și capacității de hidratare a făinii.

Întrucât unele valori ale indicatorilor de calitate ai făinii integrale obținute din grâul tratat cu PL (umiditatea, indicele de deformarea a glutenului și capacitatea de hidratare a făinii) se deosebesc *semnificativ* de indicatorii de calitate ai probei martor, se poate afirma că tratamentul grâului cu 60 PL la 1200 V are influență negativă asupra acestor proprietăți tehnologice ale făinii, ceea ce poate determina scăderea calității produselor de panificație. Însă influența acestui tratament asupra calității făinii trebuie să fie studiată mai detaliat, prin determinarea proprietăților reologice ale făinii, studierea structurii interne a cariopsei grâului și a altor proprietăți.

7.4.2. Analiza microbiologică a făinii obținute din grâu tratat cu PL

Rezultatele analizei microbiologice a făinii obținute din grâu netratat și tratat cu PL sunt prezentate în [fig. 7.19](#).

Din analiza microbiologică a făinii se constată o reducere a numărului total de microorganisme cu 0,98 log și a bacteriilor sporulante aerobe mezofile cu 1,07 log. De asemenea, comparând gradul de contaminare al grâului și al făinii obținute din acesta se constată că contaminarea făinii se datorează microorganismelor care trec de pe suprafața boabelor de grâu și într-o măsură mult mai mică microorganismelor din exterior.

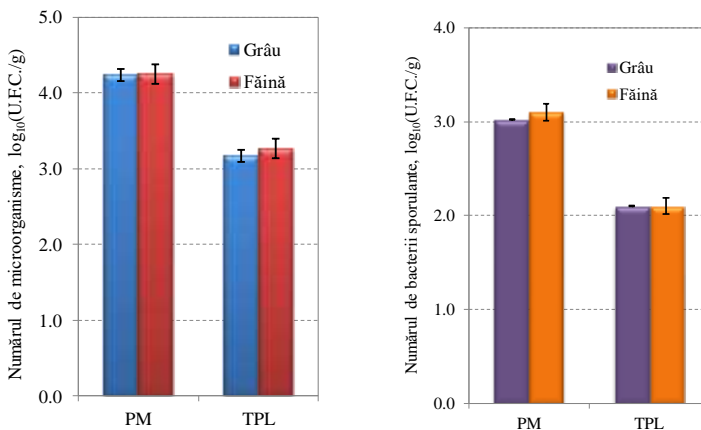


Fig. 7.19. Gradul de contaminare cu microorganisme al făinii integrale obținute din grâul netratat și tratat și cu lumină UV

PM - grâul netratat/făina obținută din grâul netratat cu PL (proba martor);
TPL - grâul tratat/făina obținută din grâul tratat cu 60 PL la 1200 V

7.5. Determinarea calității pâinii preparate din făină obținută din grâu tratat cu PL

7.5.1. Caracteristicile fizico-chimice și organoleptice ale pâinii preparate din făină obținută din grâu tratat cu PL

Pentru a determina influența tratamentului grâului cu PL asupra calității pâinii s-a obținut pâine din făină din grâu netratat (proba martor) și grâu tratat cu PL utilizând metoda monofazică de preparare a aluatului și același regim de preparare a aluatului și coacere. Pâinea obținută în probele de coacere este prezentată în [fig. 7.20](#).

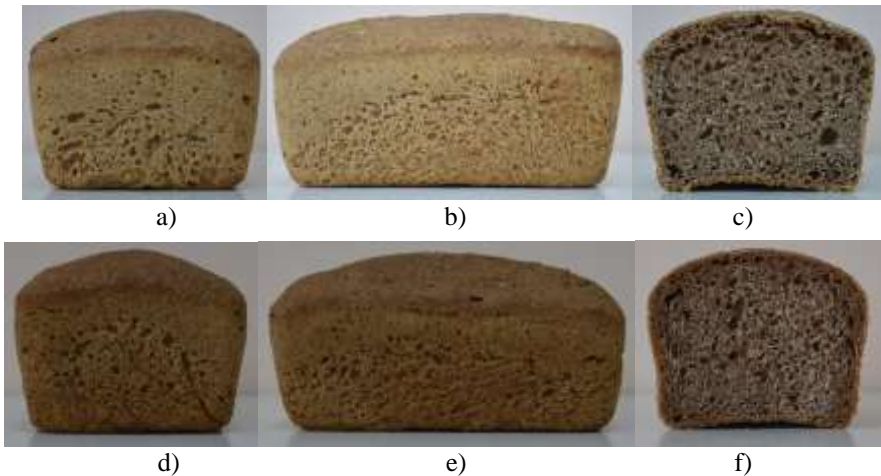


Fig. 7.20. Probe de pâine (Foto autor): a, b) Pâine proba martor, aspect exterior, c) Pâine proba martor, în secțiune; d, e) Pâine din grâu tratat cu PL, aspect exterior, f) Pâine din grâu tratat cu PL, în secțiune

Pentru a stabili efectele tratamentului grâului cu PL asupra indicatorilor de calitate ai pâinii în primul rând au fost analizate proprietățile senzoriale ale probelor de pâine obținute.

S-a constatat că indicatorii organoleptici de calitate ai pâinii obținute nu se deosebesc esențial, fiind observate deosebiri nesemnificative la aspectul general al cojii pâinii, aspectul și structura porozității miezului. Astfel, acești parametri ai pâinii obținute din grâu tratat cu PL sunt puțin mai scăzuți în comparație cu proba martor. Pâinea din grâu tratat cu PL are coaja superioară puțin tuberoasă cu mici proeminențe, miezul mai dens în unele locuri, porozitate insuficient dezvoltată, pori mici sau mijlocii, distribuți puțin neuniform, cu pereți groși.

Pentru a stabili influența expunerii grâului cu PL asupra calității pâinii, au fost determinate aciditatea, masa, umiditatea, volumul și porozitatea pâinii obținute din grâu netratat și tratat cu 60 PL la 1200 V (fig. 7.21).

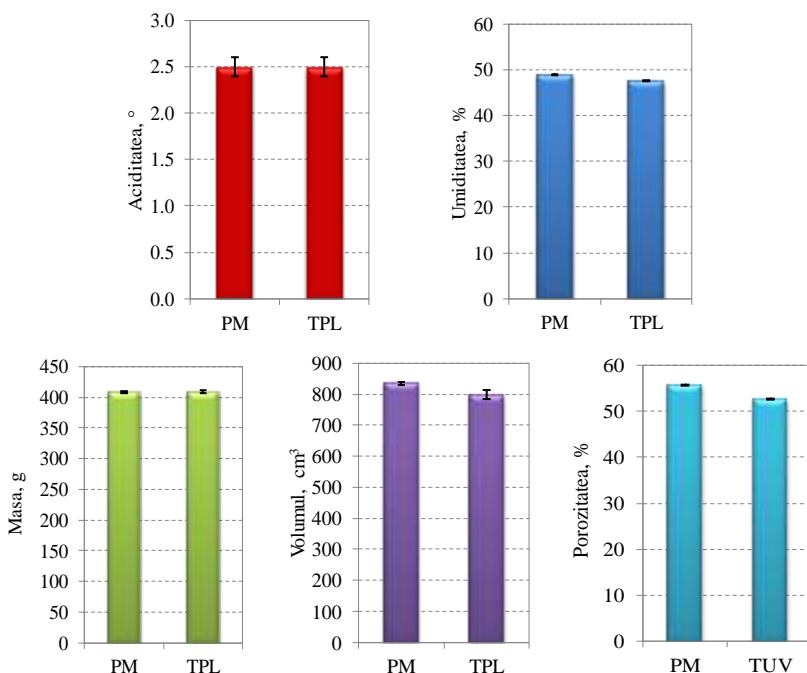


Fig. 7.211. Proprietățile fizico-chimice ale pâinii

PM - proba de pâine obținută din grâu netratat cu PL (proba martor); TPL - proba de pâine obținută din grâu tratat cu 60 de PL la 1200 V

Prin prelucrarea statistică a rezultatelor se constată că umiditatea și porozitatea probelor de pâine se deosebesc *semnificativ* ($p < 0,05$), iar pentru aciditate, masă și volum deosebirile sunt *nesemnificative* ($p > 0,05$).

Din datele prezentate rezultă că tratamentul grâului cu 60 PL la 1200 V influențează unele proprietăți senzoriale și fizico-chimice ale pâinii.

7.5.2. Rezultatele testului pentru depistarea bolii întinderii în pâine preparată din făină obținută din grâu tratat cu PL

Rezultatele probelor de coacere pentru proba martor și pâine obținută din făină din grâu expus la 60 PL cu tensiunea de descărcare 1200 V sunt prezentate în tabelul 7.9 și fig. 7.22.

Tabelul 7.9. Testul la apariția bolii întinderii în probele de pâine

Proba de pâine	Durata termostatării		
	24 ore	48 ore	72 ore
Pâine din făină integrală din grâu netratat (proba martor)	±	+	+
Pâine din făină integrală din grâu tratat cu 60 PL la 1200 V	-	-	-

Note: – nu prezintă semne ale bolii întinderii;
 ± prezintă semne slabe ale bolii întinderii (miros slab);
 + prezintă semne pronunțate ale bolii întinderii (miros puternic, miez lipicios).

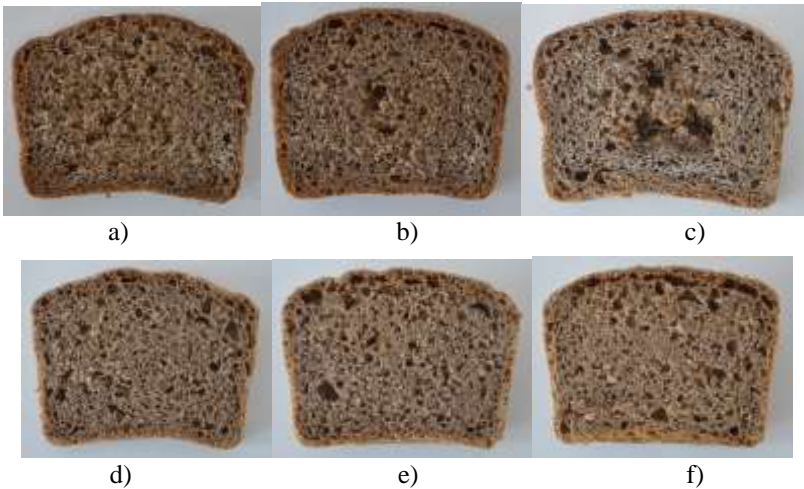


Fig. 7.23. Testul la apariția bolii întinderii în probele de pâine (Foto autor):
 Pâine proba martor după 24 h (a), 48 h (b), 72 h (c);
 Pâine din grâu tratat cu 60 PL la 1200 V după 24 h (d), 48 h (e), 72 h (f)

Se constată că tratamentul grâului cu 60 PL la 1200 V contribuie la prevenirea apariției bolii întinderii în pâine, la proba respectivă nefiind observate semne ale alterării.

7.6. Concluzii ale studiului tratării grâului cu PL asupra calității pâinii

În acest capitol este prezentat studiul posibilității decontaminării suprafeței boabelor de grâu prin tratament cu PL în vederea prevenirii apariției bolii întinderii în pâine și influența asupra indicatorilor de calitate ai pâinii.

Din analiza microbiologică se constată că la aplicarea primelor 20 PL la tensiuni diferite de descărcare se realizează reducerea considerabilă a numărului

de microorganisme cu 0,62 log la 800 V și 1,18 log la 1400 V, iar majorarea numărului de pulsuri nu contribuie la reducerea semnificativ mai mare a numărului de microorganisme. De aceea, tratamentul grâului cu 60 de pulsuri la 1200 V, suficient pentru a produce reducerea populației de microorganisme cu 1,08 log, a fost considerat optim pentru decontaminarea grâului utilizat în cercetări. De asemenea, se constată că la utilizarea acestui regim de lucru se realizează reducerea cu 0,93 log a numărului de bacterii sporulante aerobe mezofile, rezultat ce previne apariția bolii întinderii în pâine.

Analizând proprietățile fizico-chimice ale făinii integrale obținute din grâul tratat cu PL se constată o creștere ne semnificativă a acidității titrabilă în comparație cu proba martor. De asemenea, se constată că umiditatea, indicele de deformare a glutenului și capacitatea de hidratare a făinii se deosebesc semnificativ la proba de făina obținută din grâul tratat cu PL, iar pentru conținutul de gluten umed și extensibilitatea glutenului diferențele sunt *nesemnificative* ($p > 0,05$).

În privința proprietăților tehnologice ale pâinii obținute în probele de coacere se constată deosebiri semnificative pentru umiditate și porozitate și ne semnificative pentru aciditate, masă și volum.

În urma testării probelor de pâine pentru apariția bolii întinderii se constată că la proba de pâine martor, primele semne ale alterării au apărut după 24 ore de termostatare, pe când pâinea obținută din făină din grâu tratat cu PL nu a manifestat semne ale acestei alterări după 72 ore de termostatare, ceea ce dovedește eficiența utilizării tratamentului grâului cu PL pentru prevenirea apariției acestui defect.

În concluzie, tratamentul grâului cu PL este eficient pentru prevenirea apariției bolii întinderii în produsele de panificație, dar are influență asupra unor proprietăți tehnologice ale făinii, respectiv asupra unor indicatori de calitate ai pâinii.

8. Comparație între tratamentul grâului cu lumină UV continuă și PL

8.1. Asemănări și deosebiri între inactivarea microorganismelor cu lumină UV continuă și PL

8.1.1. Spectrul electromagnetic. Lumina UV continuă și PL constau din radiații electromagnetice care se deosebesc după lungimea de undă.

8.1.2. Aplicabilitatea metodelor pentru alimente. Tratamentul cu lumină UV continuă sau PL poate fi aplicat pentru inactivarea microorganismelor pe

suprafața alimentelor solide sau în alimente lichide transparente cu grosimea stratului de până la 10 mm sau opace, în strat foarte subțire, întrucât atât lumina UV, cât și PL au capacitate redusă de penetrare în produs.

8.1.3. Mecanismul de inactivare a microorganismelor. Unii cercetători evidențiază asemănări între mecanismele inactivării microorganismelor prin aplicarea luminii UV continue și a PL (Cheigh *et al.*, 2012; Takeshita *et al.*, 2003).

Astfel, inactivarea microorganismelor cu lumină UV se datorează transformărilor fotochimice ale bazelor azotate pirimidinice în AND-ul microbial (Elmnasser *et al.*, 2007; Kowalski, 2009, p. 17). Efectul germicid al luminii UV se realizează la lungimi de undă care corespund vârfului absorbției UV de ADN-ul bacterian (Kowalski, 2009, p. 17). ADN-ul conține ca principali constituenți 2-dezoxi-D-riboza și baze azotate: adenină, citozină, guanină și timină. Bazele azotate sunt legate între ele prin legături de hidrogen. Lumina UV poate provoca formarea legăturii între două baze timină adiacente, care este mai stabilă decât o legătură de hidrogen (Casarett, 1968).

În general, se acceptă că regiunea UV a spectrului mai larg al PL produce inactivarea microorganismelor prin același mecanism ca în cazul acțiunii luminii UV (Cheigh *et al.* 2012; Mitchell *et al.*, 1992; Oguma *et al.*, 2001; Rowan *et al.*, 1999). Lumina UV reprezintă aproximativ 25% din spectrul total al PL (Takeshita *et al.*, 2003) de aceea, regiunea UV este crucială pentru eficiența tratamentului cu PL. De asemenea, se consideră că și lungimile de undă din regiunile vizibile și cele infraroșii ale spectrului total al unui puls de lumină albă, combinate cu puterea mare a PL, contribuie la inactivarea microorganismelor (Elmnasser *et al.*, 2007). S-a demonstrat că PL contribuie la inactivarea microorganismelor atât prin reacții *fotochimice* (produse prin acțiunea luminii UV), cât și prin mecanisme *foto-termice* și *foto-fizice* (John & Ramaswamy, 2018).

8.1.4. Repararea celulelor microbiene. Modificările produse în structura ADN-ului microbial sub acțiunea luminii UV pot fi reversibile. *Fotoreactivarea* este un proces natural în care celulele microbiene se pot recupera parțial după daunele produse de lumina UV. Expunerea microorganismelor la lumină vizibilă și UV de lungimi de undă mari (UV-A) contribuie la recuperarea structurii ADN-ului prin monomerizarea dimerilor pirimidinici (Kowalski, 2009, p. 40). Multe celule bacteriene posedă enzime care pot repara defectele produse în molecula AND-ului. Dimerii de timină formați prin tratarea ADN-ului cu lumină UV sunt hidrolizați prin DN-aze specifice și sunt recuperate secvențe corecte ale nucleotidelor sub acțiunea enzimelor de reparație (Guschlbauer, 1976; Kowalski, 2009, p. 40).

După expunere la PL nu are loc repararea enzimatică a ADN-ului celulelor microbiene inactivate cu PL. Se consideră că gradul de deteriorare a celulelor tratate cu PL este prea sever pentru ca mecanismele de reparare să funcționeze. Se consideră că sistemul de reparare a ADN-ului în sine, precum și alte funcții enzimatice sunt inactivate la tratare cu PL (Dunn *et al.*, 1995; McDonald *et al.*, 2000; Smith *et al.*, 2002; Elmnasser *et al.*, 2007).

De asemenea, modificările produse în structura celulei microbiene datorită efectului fototermic al tratamentului cu PL (ruperea membranei celulare, scurgerea citoplasmei și altele) sunt nereparabile, de aceea procentul de fotoreactivare a microorganismelor inactivate cu PL este mai mic decât la tratamentul cu UV continuă (Gómez-López *et al.*, 2005; Hwang *et al.*, 2017; Otaki *et al.*, 2003; Takeshita *et al.*, 2003).

8.1.5. Eficiența inactivării microorganismelor. Atât lumina UV continuă cât și PL sunt eficiente pentru inactivarea microorganismelor. Cert este faptul că datorită intensității cu mult mai reduse a luminii UV continue în comparație cu intensitatea PL/puls, pentru obținerea aceluiași doze (suficiente pentru inactivarea microorganismelor în aceeași măsură) este necesar să se aplice tratamente cu lumină UV continuă cu o durată mult mai mare decât durata tratamentelor cu PL. De aceea, se consideră că inactivarea microorganismelor prin expunere la PL este mai eficientă în comparație cu expunerea la lumină UV continuă. Mai mult, unii cercetători consideră că inactivarea microorganismelor prin tratament cu PL reprezintă o versiune îmbunătățită a tratamentului cu lumină UV (Bintsis *et al.*, 2000).

8.2. Comparație între inactivarea microorganismelor pe suprafața grâului cu lumină UV continuă și PL

În cercetările realizate s-au utilizat diferite regimuri de tratament cu lumină UV și PL pentru inactivarea microorganismelor pe suprafața boabelor de grâu. Determinând doza de lumină UV și PL și utilizând rezultatele analizelor microbiologice prezentate în capitolele 6 și 7 se obține graficul prezentat în [fig. 8.5](#).

În figura 8.5 se observă o distribuție similară a valorilor pentru cele două tratamente, fapt ce indică o evoluție asemănătoare a numărului de microorganisme care au supraviețuit tratamentului cu lumină UV continuă, respectiv cu PL. De asemenea, la doze de lumină UV și PL apropiate, numărul de bacterii care au supraviețuit tratamentelor diferă nesemnificativ conform testului statistic de semnificație a datelor ($p > 0,05$).

Datele obținute confirmă că factorul determinant în inactivarea microorganismelor pe suprafața unui produs este doza de energie absorbită de către celulele țintă. La aplicarea aproximativ a aceleiași doze de energie în

timpul tratamentului grăului cu lumină UV continuă sau PL se produce aproximativ aceeași reducere a numărului de microorganisme.

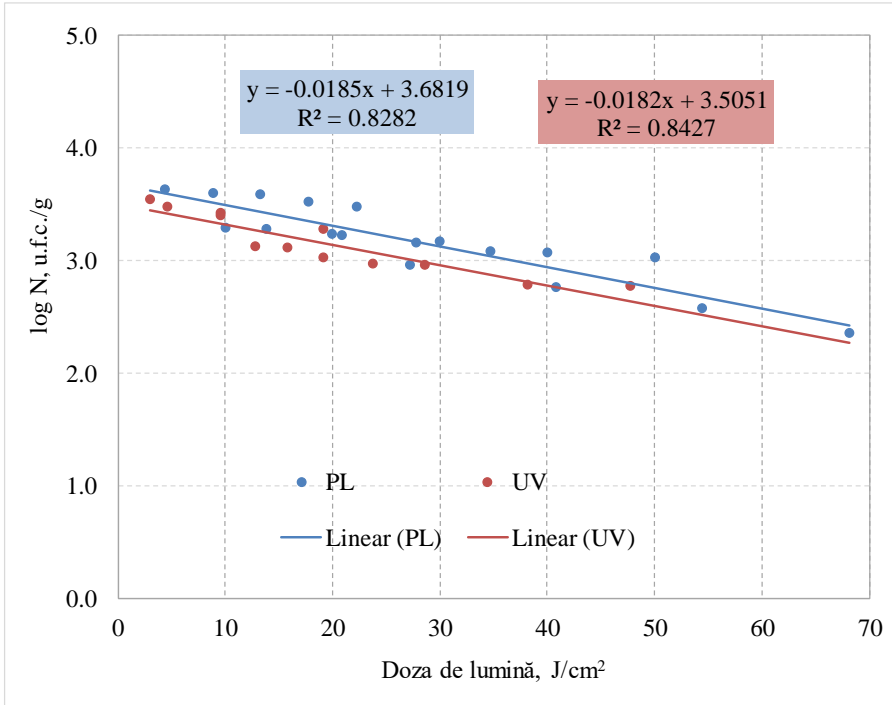


Fig. 8.5. Inactivarea microorganismelor pe suprafața grăului tratat cu lumină UV și PL

De asemenea, trebuie menționat că probabilitatea ca celula atașată într-un anumit punct al suprafeței bobului de grâu, aflat într-o mișcare dezordonată continuă, să fie expusă la numărul exact de pulsuri stabilit de operatorul instalației (de exemplu 20, 40, 60, 80, 100) este mică. Boabele de grâu, fiind în stare vibropseudofluidizată, își schimbă permanent poziția, de aceea se poate întâmpla ca unele celule în timpul transmiterii PL să se afle în partea umbră a bobului, la repetarea PL se poate întâmpla aceeași situație (de aceea există probabilitatea ca anumite celule de microorganisme să nu fie expuse deloc la acțiunea pulsurilor de lumină), pe când la aplicarea tratamentului cu lumină UV continuă probabilitatea că celula microbiană să nu absoarbă deloc doza de lumină UV nu există (sursa de lumină fiind continuă, la modificarea poziției boabelor în anumite momente, celulele microbiene oricum vor fi expuse acțiunii luminii UV).

8.3. Comparație între efectele tratamentului cu lumină UV continuă și PL asupra indicatorilor de calitate ai făinii și pâinii

Analizând proprietățile fizico-chimice ale făinii obținute din grâul tratat cu lumină UV continuă (cap. 6), se constată că acest tratament are influență semnificativă ($p < 0,05$) numai asupra umidității făinii. În cazul tratamentului cu PL, umiditatea, indicii de deformare a glutenului și capacitatea de hidratare a făinii obținute din grâul tratat cu PL (cap. 7) diferă semnificativ ($p < 0,05$) față de valorile pentru proba martor. Aceasta înseamnă că expunerea grâului la PL are influență mai mare asupra proprietăților tehnologice ale grâului în comparație cu expunerea la lumină UV continuă.

Rezultatele analizei fizico-chimice a probelor de pâine demonstrează că lumina UV continuă nu influențează proprietățile pâinii: aciditatea, umiditatea, masa, volumul, porozitatea. În schimb, umiditatea și porozitatea pâinii obținute din grâul tratat cu PL se deosebesc semnificativ ($p < 0,05$) față de valorile pentru proba martor. Aceste constatări dovedesc, de asemenea, influența mai mare a tratamentului cu PL asupra unor proprietăți ale grâului.

De asemenea, se constată că, în urma aplicării tratamentului grâului atât cu lumină UV continuă, cât și cu PL numărul de bacterii sporulante aerobe mezofile în făină s-a redus sub 200 u.f.c./g, nivel la care semnele bolii întinderii nu au apărut în pâinea termostată la 37°C timp de 72 ore, ceea ce demonstrează că ambele metode de inactivare a microorganismelor sunt eficiente pentru prevenirea apariției acestui defect în produsele de panificație.

8.4. Concluzii rezultate din comparația celor două metode neconvenționale utilizate

Prin comparația realizată între cele două metode neconvenționale de tratament utilizate pentru inactivarea microorganismelor de pe suprafața grâului sunt evidențiate multe asemănări și unele deosebiri între acestea.

Astfel, analiza spectrului electromagnetic specific fiecărei metode a arătat că domeniul UV caracteristic lămpilor UV (200–400 nm) este inclus în PL caracteristic lămpilor cu descărcare în gaz neutru (100–1100 nm), alături de lumina vizibilă și o porțiune din domeniul infraroșu.

De asemenea, mecanismul de inactivare a microorganismelor este același în termeni de efect fotochimic, produs de lungimile de undă din domeniul UV și concretizat în modificarea structurii ADN-ului microbial prin formarea dimerilor bazelor pirimidinice și pierderea capacității de multiplicare a celulelor. Diferențele care apar se referă în primul rând la posibilitatea refacerii

atât prin fotoreactivare, cât și la întuneric, a celulelor supuse tratamentului cu lumină UV dacă acesta nu este suficient de puternic. De asemenea, efectele fototermice și fotofizice care constau în ruperea membranei celulare și alte schimbări ireversibile în structura celulelor și care fac imposibilă repararea acestora sunt mai evidente la tratarea cu PL datorită intensității mult mai mari a unui puls de lumină. Datorită acestor aspecte, tratamentul cu PL este considerat o variantă îmbunătățită a tratamentului cu lumină UV continuă.

Un alt avantaj al tratamentului cu PL este durata mult mai scurtă în comparație cu tratamentul cu lumină UV continuă.

Pentru ambele tratamente, factorul determinant al eficienței inactivării microorganismelor pe suprafața boabelor de grâu este doza de energie absorbită de celule. Dacă la tratamentul cu lumină UV continuă doza de energie este eliberată pe toată durata de expunere și este considerată constantă, în cazul tratamentului cu PL, doza de energie este eliberată discontinuu, în momentul producerii pulsului de lumină.

Decontaminarea grâului cu lumină UV continuă și cu PL este eficientă pentru prevenirea apariției bolii întinderii în pâine, chiar dacă tratamentul cu PL are influență mai mare asupra unor proprietăți tehnologice ale grâului, cum sunt umiditatea, indicele de deformare a glutenului și capacitatea de hidratare a făinii, în comparație cu tratamentul cu lumină UV continuă. Proprietățile fizice și organoleptice ale pâinii prezintă diferențe nesemnificative ($p > 0,05$) atât față de martor, cât și între probele de pâine obținute din făină provenită din grâu tratat cu lumină UV și cu PL.

În concluzie, tratamentul cu lumină UV și PL sunt metode neconvenționale eficiente pentru inactivarea microorganismelor de pe suprafața grâului, îndeosebi a bacteriilor sporulante aerobe mezofile și prevenirea apariției bolii întinderii în produsele de panificație.

9. Concluzii finale, contribuții originale și perspective

9.1. Concluzii finale

Metodele clasice de prevenire a apariției bolii întinderii în produsele de panificație precum răcirea pâinii, utilizarea aluatului acid sau a zerului la prepararea aluatului, adaosul de propionat de calciu pot preveni, în multe situații, producerea bolii întinderii în pâine, cu toate că au mai multe dezavantaje.

În această lucrare s-a studiat posibilitatea decontaminării suprafeței boabelor de grâu cu metode neconvenționale: lumină UV continuă și PL.

Structura suprafeței care este supusă tratamentului cu lumină UV continuă sau PL are influență semnificativă asupra eficienței inactivării microorganismelor pe această suprafață. În cariopsa de grâu există trei zone: zona embrionului, șanțulețul și bărbița, în care celulele țintă pot fi ecranate de acțiunea luminii UV sau a PL.

Datorită faptului că tratamentele cu lumină UV și PL realizează inactivarea microorganismelor numai pe suprafața produsului, s-a studiat posibilitatea punerii în mișcare a boabelor de grâu, asigurând expunerea întregii suprafețe a bobului la acțiunea luminii UV sau pulsate.

Doza de energie absorbită de celulă este unul dintre cei mai importanți factori ai inactivării microorganismelor. În lucrare s-a studiat posibilitatea inactivării microorganismelor utilizând doze diferite de lumină UV sau PL aplicate pentru durate variate de timp.

S-a constatat că atât la tratamentul grâului cu lumină UV continuă cât și cu PL se produce inactivarea a peste 90 % din populația microbiană existentă pe suprafața boabelor de grâu. Dozele de energie optime pentru inactivarea bacteriilor au fost considerate $14,4 \text{ J/cm}^2$ pentru tratamentul cu lumină UV timp de 15 minute la 10 cm între lampa UV și probă și $30,05 \text{ J/cm}^2$ pentru tratamentul cu 60 PL la 1200 V, grâul fiind la 10 cm de lampa cu xenon.

În urma aplicării acestor tratamente, gradul de contaminare a făinii obținute din grâul tratat este sub nivelul la care ar putea să apară defecte cauzate de creșterea și dezvoltarea bacteriilor din genul *Bacillus* (200 u.f.c./g). Astfel, analiza probelor de coacere realizate din această făină a confirmat că boala întinderii nu apare nici după termostatarea pâinii timp de 72 ore la 37°C.

De asemenea, trebuie precizat că în cercetări s-a utilizat făină integrală care conține toate particulele învelișului bobului la care pot fi atașate

microorganismele și, întrucât la fabricarea produselor de panificație se utilizează cel mai des făină albă și semialbă la care o parte din înveliș este îndepărtat, gradul de contaminare al făinurilor obținute din grâu decontaminat cu UV sau PL poate fi și mai scăzut.

Alte aspecte pozitive remarcate se referă la faptul că tratamentul cu lumină UV continuă nu contribuie la modificarea semnificativă a proprietăților tehnologice ale făinii (aciditatea, conținutul de gluten, indicele de deformare a glutenului, capacitatea de hidratare) obținute din grâul tratat, cu excepția umidității, care este un pic mai mare în comparație cu umiditatea făinii martor. Totuși, aceste modificări nesemnificative ale proprietăților făinii se datorează probabil proceselor de hidroliză și oxidare a lipidelor, inactivării enzimelor (de exemplu α -amilazei), modificării structurii proteinelor glutenice produse sub acțiunea luminii UV.

Analiza senzorială și fizico-chimică a pâinii obținute din grâul tratat cu lumină UV confirmă că acest tratament nu are influență asupra proprietăților pâinii.

Pe de altă parte, tratamentul grâului cu PL contribuie la scăderea umidității, creșterea indicelui de deformare a glutenului și scăderea capacității de hidratare a făinii, ceea ce influențează porozitatea pâinii obținute din făină din grâu expus la PL. Cu toate acestea, proprietățile fizice și organoleptice ale pâinii diferă nesemnificativ atât față de proba martor, cât și între probele de pâine preparate din făină obținută din grâu expus la lumină UV continuă și la PL.

În concluzie, metodele neconvenționale de expunere a grâului la lumină UV și PL sunt eficiente pentru inactivarea microorganismelor de pe suprafața grâului, în special a bacteriilor sporulante aerobe mezofile și prevenirea apariției bolii întinderii în produsele de panificație.

9.2. Contribuții originale

Contribuțiile originale în realizarea tezei de doctorat sunt următoarele:

- a) Efectuarea unor studii documentare referitoare la calitatea și bolile pâinii, metode clasice de prevenire a apariției bolii întinderii în produsele de panificație și metode neconvenționale de decontaminare a alimentelor prin expunere la lumină UV continuă și pulsuri de lumină.
- b) Studiul unor metode clasice de prevenire a apariției bolii întinderii în pâine în care au fost determinate cinetica răcirii diferitelor probe de pâine, proprietățile senzoriale și fizico-chimice ale probelor de pâine obținute cu diferite adaosuri la prepararea aluatului: baș, zer și propionat de calciu.

- c) Studiul posibilității de a pune în mișcare boabele de grâu prin aplicarea mișcării oscilante și a vibrațiilor pentru transformarea stratului de boabe de grâu într-o masă de particule în stare pseudovibrofluidizată concretizat în proiectarea și construcția unui modul vibro-oscilant cu ajutorul căruia toată suprafața boabelor să fie expusă în timpul aplicării tratamentelor de decontaminare cu lumină UV continuă și PL.
- d) Proiectarea și construcția instalației de laborator pentru decontaminare cu lumină UV continuă în care să fie utilizat modulul vibro-oscilant de antrenare a grâului.
- e) Decontaminarea grâului prin expunerea întregii suprafețe a boabelor la lumină UV continuă și determinarea influenței acestui tratament asupra calității făinii obținute din grâul tratat, a calității pâinii și a prevenirii apariției bolii întinderii în pâine.
- f) Adaptarea modulului vibro-oscilant la instalația de tratare cu PL pentru decontaminarea grâului prin expunerea întregii suprafețe a boabelor la PL și determinarea influenței acestui tratament asupra calității făinii obținute din grâul tratat, a calității pâinii și a prevenirii apariției bolii întinderii în pâine.
- g) Analiza fizico-chimică și microbiologică a grâului netratat și tratat cu lumină UV continuă și PL, a făinii obținute din grâu și a pâinii preparate din făină în probele de coacere, respectiv analiza senzorială a pâinii.
- h) Determinarea influenței tratamentului cu lumină UV continuă și PL asupra prevenirii apariției bolii întinderii în pâine.
- i) Prelucrarea datelor experimentale obținute cu ajutorul programului Excel din pachetul Office 2010, realizarea graficelor necesare, efectuarea analizei statistice și comentarea rezultatelor obținute cu trimitere la alte lucrări din literatura de specialitate.
- j) Completarea unei cereri de brevet de invenție intitulată *Metodă și instalație pentru decontaminarea produselor alimentare granulare cu lumină ultravioletă*. Cererea de brevet de invenție a fost înregistrată la OSIM cu nr. A/00402/2018 cu dată de depozit 06.06.2018 și depozit național reglementar cu nr. a 2018 00402 și va fi publicată în Buletinul Oficial de Proprietate Industrială – Secțiunea Invenții, nr. 12 din 2019.
- k) Realizarea unei comparații între cele două metode neconvenționale utilizate pentru decontaminarea grâului: tratamentul cu lumină UV continuă și tratamentul cu PL.

9.3. Perspective

Pentru continuarea cercetărilor în această direcție sunt propuse pentru studiu următoarele direcții viitoare de cercetare:

- Influența tratamentului grâului cu lumină UV continuă / PL asupra:
 - structurii componentelor cariopselei de grâu (granulelor de amidon și altor componente);
 - procesului de oxidare peroxidică a lipidelor din grâu;
 - creșterii temperaturii grâului în timpul tratamentului;
 - compușilor grâului cu rol tehnologic în panificație (amidon, proteine glutenice, enzime și altele);
- Studiul aprofundat al structurii suprafeței bobului de grâu și gradul de ecranare a microorganismelor în timpul expunerii la lumină UV și PL;
- Studiul aprofundat al procesului de vibropseudofluidizare a grâului (determinarea amplitudinii și frecvenței optime a oscilațiilor etc.);
- Proiectarea și brevetarea instalației industriale pentru decontaminarea grâului.

Bibliografie selectivă

- Arendt E.K., Ryan L.A. & Dal Bello F. **2007**. Impact of sourdough on the texture of bread. *Food Microbiology*, 24(2), 165–174.
- Aron Maftai N., Ramos-Villarroel A. Y., Nicolau A. I., Martín-Belloso O., & Soliva-Fortuny R. **2014**. Pulsed light inactivation of naturally occurring moulds on wheat grain. *Journal of the Science of Food & Agriculture*, 94(4), 721–726.
- Barbosa-Canovas G.V., Schaffner D.W., Pierson M.D. & Zhang H. 2000. Pulsed light technology. *Journal of Food Science*, JFS Supplement: Kinetics of microbial inactivation for alternative food processing technologies, 65(s8), 82–85.
- Bialka K.I., Demirci A. & Puri V.M. **2008**. Modelling the inactivation of *Escherichia coli* O157:H7 and *Salmonella enterica* on raspberries and strawberries resulting from exposure to ozone or pulsed UV-light. *Journal of Food Engineering*, 85(3), 444–449.
- Bintsis T., Litopoulou-Tzanetaki E. & Robinson R.K. **2000**. Existing and potential application of ultraviolet light in the food industry - a critical review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80(6), 637–645.
- Bordei D. **2005**. *Tehnologia modernă a panificației*, Editura Agir, București.
- Brandt M.J. **2007**. Sourdough products for convenient use in baking. *Food Microbiology*, 24(2), 161–164.
- Casarett AP. **1968**. *Radiation Biology*. Englewood: Prentice-Hall.
- Cheigh C. I., Park M. H., Chung M. S., Shin J. K., Park Y. S. **2012**. Comparison of intense pulsed light - and ultraviolet (UVC) -induced cell damage in *Listeria monocytogenes* and *Escherichia coli* O157:H7. *Food Control*, 25, 654-659.
- Clarke C.I. & Arendt E.K. **2005**. A review of the application of sourdough technology to wheat breads. *Advances in Food and Nutrition Research*, 49(1), 137–161.
- Corsetti A. & Settani L. **2007**. Lactobacilli in sourdough fermentation. *Food Research International*, 40(5), 539–558.
- Dan V. **2000**. *Microbiologia produselor alimentare*, vol. 2, Editura Alma, Galați.
- Dewettinck K., Van Bockstaele F., Van de Walle D., Courtens T.M. & Gellynck X. **2008**. Nutritional value of bread: Influence of processing, food interaction and consumer perception. *Journal of Cereals Science*, 48, 243–257.
- Dunn J., Ott Th. & Clark W. **1995**. Pulsed-light treatment of food and packaging. *Food Technology*, 49(9), 95–98.

- Dunn J. **1996**. Pulsed light and electric field for foods and eggs. *Poultry Science*, 75, 1133–1136.
- Elmnasser N., Guillou S., Leroi F., Orange N., Bakhrouf A. & Federighi M. **2007**. Pulsed-light system as a novel food decontamination technology: A review. *Canadian Journal of Microbiology*, **53**(7), 813–821.
- Gal O. & Chen-Morris R. **2005**. The Archaeology of the Inverse Square Law: (1) Metaphysical Images and Mathematical Practices. *History of Science*, 43, 391–414.
- Gardner D.W.M. & Shama G. **2000**. Modeling UV-induced inactivation of microorganisms on surfaces. *Journal of Food Protection*, 63, 63–70.
- Gellynck X., Kühne B., Van Bockstaele F., Van de Walle D. & Dewettinck K. **2008**. Consumer perception of bread quality. *Appetite*, 53, 16–23.
- Gómez-López V.M., Devlieghere F., Bonduelle V. & Debevere J. **2005**. Factors affecting the inactivation of micro-organisms by intense light pulses. *Journal of Applied Microbiology*, 99, 460–470.
- Gómez-López V.M., Debevere J. & Devlieghere F. **2007**. Pulsed light for food decontamination: a review. *Trends in Food Science & Technology*, 18, 464–473.
- Guschlbauer W. **1976**. *Nucleic Acid Structure*. Springer-Verlag, New York.
- GOST 27844-88: Izdeliya bulochnye. Tekhnicheskie usloviya (*Produse de franzelărie. Cerințe tehnice*).
- GOST 27669-88. Muka pshenichnaya hlebopekarnaya. Metod probnoj laboratornoj vypechki hleba (Făină de grâu. Metoda probei de coacere).
- Hubbard M.R. **2003**. *Statistical Quality Control for the Food Industry*, Third Edition, Kluwer Academic / Plenum Publishers, New York, 360 p.
- Hwang H. J., Cheigh C. I., Chung M. S. **2017**. Construction of a pilot-scale continuous-flow intense pulsed light system & its efficacy in sterilizing sesame seeds. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 39, 1–6.
- John D. & Ramaswamy H. S. **2018**. Pulsed light technology to enhance food safety and quality: a mini-review. *Current Opinion in Food Science*, 23, 70–79.
- Judd C.M., McClelland G.H. & Ryan C.S. 2017. *Data Analysis. A Model Comparison Approach to Regression, ANOVA, and Beyond*. Third Edition, Routledge, Taylor & Francis Group, New York & London, 379 p.
- ISO 21348-2007. Space environment (natural and artificial)—Process for determining solar irradiances.
- Kolomnikova Y.P. **2007**. Sposob podavleniya mikrobiologicheskoy porchi hlebobulochnyh izdelij iz pshenichnoj muki. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya* (Metoda inhibării alterării microbiologice a produselor de

- panificație din făină de grâu. *Progrese ale științelor naturale moderne*), 11, 53–54.
- Koutchma T., Forney L.J. & Moraru C.I. **2009**. *Ultraviolet light in food technology: Principles and applications*. CRC Press Taylor & Francis Group: New York.
- Kowalski W. 2009. *Ultraviolet germicidal irradiation handbook. UVGI for air and surface disinfection*. Springer, Heidelberg, 504 p.
- Kudzieva F.L. **2017**. Primenenie pishchevyh dobavok pri proizvodstve hlebobulochnykh izdelij. *Materialy 7-j Mezhdunarodnoj Nauchno-prakticheskoy konferencii „Perspektivy razvitiya APK v sovremennykh usloviyah”*, (Aplicarea aditivilor alimentari la fabricarea produselor de panificație. *Materialele celei de-a 7-a Conferințe științifico-practice internaționale „Perspectivele dezvoltării complexului agroindustrial în condiții moderne”*). p. 176–178.
- Lacaze G., Wick M. & Cappelle S. **2007**. Emerging fermentation technologies: Development of novel sourdoughs. *Food Microbiology*, 24(2), 155–160.
- Lado B.H. & Yousef A.E. **2002**. Alternative food-preservation technologies: efficacy and mechanisms. *Microbes Infection*, 4(4), 433–440.
- Lucht L., Blank G. & Borsari J. **1998**. Recovery of food-borne microorganisms from potentially lethal radiation damage. *Journal of Food Protection* 61(5), 586–590.
- Lvova L.S. & Yaickih A.V. **2013**. Istochniki zagryazneniya zerna sporoobrazuyushchimi bakteriyami vzbuditelnyami kartofelnoj bolezni hleba (Sursele de contaminare a grâului cu bacterii sporogene, agenți ai bolii cartofului în pâine. *Hleboprodukty (Produse de panificație)*, 9: 57–59.
- Martín-Belloso O., Soliva-Fortuny R., Elez-Martínez P., Marsellés-Fontanet A.R. & Vega-Mercado H. **2014**. Non-thermal Processing Technologies. In: *Food Safety Management: A Practical Guide for the Food Industry*. Motarjemi, Y. and Lelieveld, H. (Eds.), Elsevier, London, pp. 443–465.
- Matveeva I.V. & Belyavskaya I.G. **2001**. *Pishchevye dobavki i hlebopekarnye uluchshiteli v proizvodstve muchnykh izdelij (Aditivi alimentari și amelioratori de panificație la fabricarea produselor făinoase)* Editura Sinerghiia, Moscova.
- McDonald K.F., Curry R.D., Clevenger T.E., Unklesbay K., Eisenstark A., Golden J. & Morgan R.D. **2000**. A comparison of pulsed and continuous ultraviolet light sources for the decontamination of surfaces. *IEEE Transactions on Plasma Science*, 28, 1581–1587.
- Mitchell D.L., Jen J. & Cleaver J.E. **1992**. Sequence specificity of cyclobutane pyrimidine dimers in DNA treated solar (ultraviolet B) radiation. *Nucleic Acids Research*, 20, 225–229.
- Nederiță V. **1995**. Studii privind îmbunătățirea operațiilor și a instalațiilor din industria alimentară prin utilizarea impulsurilor ultracurte de lumină de intensitate înaltă. Teză de doctorat, Universitatea „Dunărea de Jos” din Galați.

- Nikolaenkov T., Tursunhodzhaev P. & Kasymdžanov M. **2009**. Obezrazazhivanie zerna pshenicy ultrafioletovym izlucheniem (Decontaminarea boabelor de grâu prin iradiere ultravioletă). *Hleboprodukty (Produse de panificație)*, 7, 40-41.
- Oguma K., Katayama H. & Ohgaki S. **2001**. Determination of pyrimidine dimmers in the chromosomal DNA of *Escherichia coli* during photoreactivation following inactivation by medium-pressure UV lamp. *Applied and Environment Microbiology*, 67, 4630–4637.
- Oms-Oliu G., Martín-Belloso O. & Soliva-Fortuny R. **2010b**. Pulsed light treatments for food preservation. A review. *Food and Bioprocess Technology*, 3(1), 13–23.
- Otaki, M., Okuda, A., Tajima, K., Iwasaki, T., Kinoshita, S., & Ohgaki, S. **2003**. Inactivation differences of microorganisms by low pressure UV and pulsed xenon lamps. *Water Science and Technology*, 47(3), 185–190.
- Palgan I., Caminiti I.M., Muñoz A., Noci F., Whyte P., Morgan D.J., Cronin D.A. & Lyng J.G. **2011**. Effectiveness of High Intensity Light Pulses (HILP) treatments for the control of *Escherichia coli* and *Listeria innocua* in apple juice, orange juice and milk. *Food Microbiology*, 28(1), 14–20.
- Pastuhov A.S., Bogatyrev A.V., Danin V.B. & Balyubash V.A. **2014**. Analiz apparaturno tekhnologicheskikh faktorov processa ohlazhdeniya hlebobulochnykh izdelij. *Nauchnyj zhurnal NIU ITMO. Seriya: Processy i apparaty pishchevyh proizvodstv* (Analiza factorilor aparato-tehnologice ale procesului de răcire a produselor de panificație. *Buletin științific UNC TIMO. Seria: Procese și aparate în industria alimentară*), 3, 205–216.
- Pateras I.M.C. **1998**. Bread spoilage and staling. In: Cauvain S.P. & Young L.S. (Eds.), *Technology of breadmaking*. Blackie Academic and Professional, London, pp. 240–261.
- Polandova R.D., Bogatyreva T.G., Sidorova O.A., Zelinskij G.S., Shuhnov A.F., Tereshkova L.P., Novikova S.V. & Svyahovskaya I.B. **1998**. *Instrukciya po preduprezhdeniyu kartofelnoj bolezni hleba (Instrucțiuni pentru prevenirea bolilor cartofului în pâine)*, Editura GOSNIIHP, Moscova.
- Rowan, N.J., MacGregor, S.J., Anderson, J.G., Fouracre, R.A., McIlvaney, L., and Farish, O. **1999**. Pulsed-light inactivation of food-related microorganisms. *Applied and Environmental Microbiology*, 65, 1312–1315.
- Puchkova L.I., Polandova R.D. & Matveeva I.V. **2005**. *Tekhnologiya hleba, konditerskih i makaronnyh izdelij*, chast, Giord, Sankt-Peterburg (*Tehnologia panificației, cofetăriei și pastelor făinoase*, vol. 1, Editura GIORD, St. Petersburg).
- Rumeus I. & Turtoi M. **2013**. Influence of sourdough use on rope spoilage of wheat bread. In: *Journal of Agroalimentary Processes and Technologies*, 19(1), 94–98.

- Rumeus I. & Turtoi M. **2016**. The influence of the classical cooling process on the occurrence of the rope spoilage in bread. In *Proceedings of the International Conference "Modern Technologies, in the Food Industry –2016"*, p. 82–88.
- Rumeus I. & Turtoi M. **2017**. Prevenirea apariției bolii întinderii în produsele de panificație prin utilizarea propionatului de calciu. În: *Conferința științifico-practică Inovația - factor al dezvoltării social-economice, Universitatea de Stat "B.P. Hasdeu" din Cahul, Facultatea de Economie, Inginerie și Științe Aplicate*, p. 124–131.
- Sauer A. & Moraru C.I. **2009**. Inactivation of *Escherichia coli* ATCC 25922 and *Escherichia coli* O157:H7 in apple juice and apple cider, using pulsed light treatment. *Journal of Food Protection*, **72**(5), 937–944.
- Shama G. **2007a**. Process challenges in applying low doses of ultraviolet light to fresh produce for eliciting beneficial hormetic responses. *Postharvest Biology and Technology* 44(1), 1–8.
- Shama G. **2007b**. UV disinfection in the food industry. *Controlled Environments Magazine* 10(4), 10–15.
- Smith, W.L., Lagunas-Solar, M.C., and Cullor, J.S. **2002**. Use of pulsed ultraviolet laser light for the cold pasteurisation of bovine milk. *Journal of Food Protection*, 65, 1480–1482.
- Smith J.P., Phillips Daifas D., El-Khoury W., Koukoutsis J. & El-Khoury A. **2004**. Shelf life and safety concerns of bakery products - a review. In.: *Critical reviews in Food Science and Nutrition*, 44: 19-55.
- SR EN ISO 9000:**2015** Sisteme de management al calității. Principii fundamentale și vocabular.
- SR 90:**2007**. Făină de grâu. Metode de analiză.
- SR 91:**2007**. Pâine. Metode de analiză.
- SR ISO 7970:**2001**. Grâu. Specificații.
- Takehita K., Yamanaka H., Sameshima T., Fukunaga S., Isobe S., Arihara K., Itoh M., **2002**. Sterilization effect of pulsed light on various microorganisms. *Bokin Bobai*, 30, 277– 284 (in Japanese).
- Takehita K., Shibato J., Sameshima T., Fukunaga S., Isobe S., Arihara K., Itoh M. **2003**. Damage of yeast cells induced by pulsed light irradiation. *International Journal of Food Microbiology*, 85, 151-158.
- Tatarov P. **2006**. *Bazele teoretice ale conservării: Ciclu de prelegeri*. Universitatea Tehnică a Moldovei, Chișinău.
- Turtoi M. **2006**. *Bioreactoare: noțiuni fundamentale*, Editura Academica, Galați, 328 p.

- Turtoi M. & Nicolau A. **2007**. Intense light pulse treatment as alternative method for mould spores destruction on paper–polyethylene packaging material. *Journal of Food Engineering*, 83(1), 47–53.
- Turtoi M. **2016**. Pulsed light treatment of fresh-cut fruits and vegetables. In S. Pareek (Ed.) *Fresh-cut fruits and vegetables: technology, physiology and safety* pp. 47-99, CRC Press / Taylor & Francis Group. ISBN 978-1-4987-2994-9,
- Turtoi M. **2017**. Ultraviolet light treatments. Ch. 12 in S. Pareek (Ed.) *Novel postharvest treatments of fresh produce* pp. 341-402, CRC Press / Taylor & Francis Group.
- Turtoi M. & Rumeus I. **2018**. Metodă și instalație pentru decontaminarea produselor alimentare granulare cu lumină ultravioletă. Cerere de brevet de invenție înregistrată cu nr. A/00402/2018 cu dată de depozit 06.06.2018 și depozit național reglementar cu nr. a 2018 00402.
- U.S. FDA **2000**. Kinetics of Microbial Inactivation for Alternative Food Processing Technologies: Pulsed Light Technology. www.fda.gov/Food/ScienceResearch/ResearchAreas/SafePracticesforFoodProcessing/, accesat iulie 2016.
- U.S. FDA **2001**. 21 CFR 179.39. Ultraviolet radiation for the processing and treatment of food. In *Code of Federal Regulations*. Title 21. Food and drugs, Part 179. Irradiation in the production, processing and handling of food, Subpart B. Radiation and radiation sources. <http://www.accessdata.fda.gov/scripts/cdrh/cfdocs/cfcfr/CFRSearch.cfm?fr=179.39>, accesat 5 iulie 2019.
- U.S. FDA **2019**. 21 CFR 179.39. Irradiation in the production, processing and handling of food. *Electronic Code of Federal Regulations*, Title 21, Part 179, <https://www.ecfr.gov>, accesat 5 iulie 2019.
- Yudina M.A., Mustafin A.H., Feoktistova N.A., Vasilev D.A., Merkulov A.V. & Baharovskaya E.O. **2011**. Diagnostika kartofelnoj bolezni hleba vyzyvaemoj bakteriyami vidov *Bacillus subtilis* i *Bacillus mezentericus* (Diagnosticul bolii cartofului în pâine provocată de bacteriile din speciile *Bacillus subtilis* și *Bacillus mezentericus*). *Vestnik Ulyanovskoj Gosudarstvennoj Selskohozyajstvennoj Akademii (Buletinul Academiei Agrare de Stat din Ulyanovsk)*, 3, 61–67.
- Zenklusen M.H., Coronel M.B., Castro M.A., Alzamora S.M. & González H.H.L. **2018**. Inactivation of *Aspergillus carbonarius* & *Aspergillus flavus* in malting barley by pulsed light & impact on germination capacity & microstructure. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 45, 161–168.

Lista lucrărilor prezentate și publicate

Brevet de invenție – cerere depusă

1. Turtoi M. & **Rumeus I.** 2018. *Metodă și instalație pentru decontaminarea produselor alimentare granulare cu lumină ultravioletă*. Cerere de brevet de invenție nr. A/00402 din 06.06.2018; publicare în Buletinul Oficial pentru Invenții și Mărci nr. 12/2019.

Publicații în reviste indexate BDI

1. **Rumeus I.** & Turtoi M. 2013. Influence of sourdough use on rope spoilage of wheat bread. *Journal of Agroalimentary Processes and Technologies*, 19(1), p. 94-98, ISSN 2069-0053.
2. **Rumeus I.** & Turtoi M. 2013. Defects of bread produced by microorganisms and classical methods of prevention. *Papers of the Sibiu Alma Mater University Conference*, vol. 1, p. 135-140, ISSN 2067-1423.

Articole / studii publicate în alte reviste științifice sau proceedings

1. **Rumeus I.** & Turtoi M. 2017. Prevenirea apariției bolii întinderii în produsele de panificație prin utilizarea propionatului de calciu. În: *Conferința științifico-practică Inovația - factor al dezvoltării social-economice, Universitatea de Stat "B.P. Hasdeu" din Cahul, Facultatea de Economie, Inginerie și Științe Aplicate*, p. 124-131, ISBN 978-9975-88-025-1.
2. **Rumeus I.** & Turtoi M. 2016. The influence of the classical cooling process on the occurrence of the rope spoilage in bread, *Proceedings of the International Conference Modern Technologies, in the Food Industry – 2016*, p. 82-88, ISBN 978-9975-87-138-9.
3. **Rumeus I.** & Turtoi M. 2016. Inovații - ca factor al sporirii calității produselor de panificație. *Conferința științifico-practică Inovația - factor al dezvoltării social-economice, Universitatea de Stat "B.P. Hasdeu" din Cahul, Moldova*, 03 martie 2016, Cahul, Republica Moldova, p. 306-311, ISBN 978-9975-88-013-8.

Participare cu comunicări la conferințe internaționale (inclusiv poster) de prestigiu (din țară și străinătate)

1. **Rumeus I.**, Bogoliubova D., Nicolau A.I. & Turtoi M. 2017. Effects of wheat grain decontamination by continuous UV-C light treatment on the prevention of bread rope spoilage. *Cornell University International Symposium Validation Nonthermal Technologies*, October 29-31, 2017, Cornell University, Ithaca, NY, USA – poster.

2. **Rumeus I. & Turtoi M. 2017.** Prevenirea apariției bolii întinderii în produse de panificație prin utilizarea propionatului de calciu. *Conferința Științifico-Practică Inovația – factor al dezvoltării socio-economice, Universitatea de Stat „B.P. Hasdeu” din Cahul, Moldova, 22 decembrie 2017, Cahul, Republica Moldova.*
3. **Rumeus I. & Turtoi M. 2016.** The influence of the classical cooling process on the occurrence of the rope spoilage in bread. *International Conference “Modern Technologies, in the Food Industry – 2016”, 20-22 octombrie 2016, Chișinău, Republica Moldova.*
4. **Rumeus I. & Turtoi M. 2016.** Inovații ca factor al sporirii calității produselor de panificație. *Conferința științifico-practică Inovația - factor al dezvoltării social-economice, Universitatea de Stat “B.P. Hasdeu” din Cahul, Moldova, 03 martie 2016, Cahul, Republica Moldova.*
5. **Rumeus I. & Turtoi M. 2014.** Biotechnological methods to prevent rope spoilage of wheat bread. *The 5th International Conference on Food Chemistry, Engineering & Technology, 29-30 May 2014, Timisoara, Romania.*
6. **Rumeus I. & Turtoi M. 2013.** Influence of sourdough use on rope spoilage of wheat bread. *The 4th International Conference on Food Chemistry, Engineering & Technology, 30-31 May 2013, Timisoara, Romania.*

Participare cu comunicări la conferințe naționale (inclusiv poster)

1. Turtoi M. & **Rumeus I. 2019.** Metodă și instalație pentru decontaminarea produselor alimentare granulare cu lumină ultravioletă. *UGAL Invent 2019 - Salonul Inovării și Cercetării, Ediția a IV-a, 16–18 octombrie 2019, Galați – poster // Medalie de bronz; Premiu special de la UTM Chișinău, Premiu special de la AFT Sibiu, Diplomă de excelență de la Asociația Iustin Capră, București.*
2. **Rumeus I. & Turtoi M. 2019.** The effect of wheat treatment with continuous ultraviolet light on bread quality and rope spoilage prevention. *Scientific Conference of Doctoral Schools – Perspectives and challenges in doctoral research, SCDS-UDJG 2019, The Seventh Edition, Galați, 13th-14th of June 2019. Poster // Premiul II.*
3. **Rumeus I. & Turtoi M. 2017.** Influența decontaminării grâului cu lumină ultravioletă (UV-C) continuă asupra prevenirii apariției bolii întinderii în pâine. *UGAL Invent 2017 - Salonul Inovării și Cercetării, Ediția a III-a, 19-20 octombrie 2017, Galați – poster // Medalie de bronz.*
4. **Rumeus I. & Turtoi M. 2013.** Defects of bread produced by microorganisms and classical methods of prevention. *Sibiu Alma Mater University Conference, 28-30 martie 2013, Sibiu, România.*