

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

TEZĂ DE DOCTORAT
- REZUMAT -

Coordonator științific:
Prof. univ. dr. ing. Mircea OROIAN

Doctorand:
Ing. Florina DRANCA

Suceava
2019

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

CERCETĂRI ȘI CONTRIBUȚII PRIVIND
EXTRACȚIA ȘI CARACTERIZAREA FIBRELOR
SOLUBILE DIN TESCOVINA DE MERE
REZUMATUL TEZEI DE DOCTORAT

Coordonator științific:
Prof. univ. dr. ing. Mircea OROIAN

Doctorand:
Ing. Florina DRANCA

Suceava
2019

Mulțumiri

Finalizarea studiilor de doctorat și a acestei teze nu ar fi fost posibilă fără îndrumarea și ajutorul domnului prof. univ. dr. ing. Mircea Oroian, care mi-a fost alături în calitate de coordonator științific începând cu lucrarea de licență și până în prezent. Îi mulțumesc domnului profesor pentru contribuția însemnată pe care o are la formarea mea ca cercetător, pentru cunoștințele valoroase pe care mi le-a transmis și pentru sprijinul permanent pe care mi l-a oferit pe parcursul anilor de studiu.

Doresc să adresez cuvinte de mulțumire membrilor comisiei de îndrumare, doamnei prof. univ. dr. ing. Sonia Amariei, domnului prof. univ. dr. ing. Gheorghe Gutt și doamnei conf. univ. dr. ing. Silvia Mironeasa pentru sugestiile și sfaturile acordate, care au fost constructive și utile în finalizarea cercetării doctorale. Mulțumiri îndrept, de asemenea, către întregul colectiv al Facultății de Inginerie Alimentară și colegii de doctorat.

Țin să mulțumesc în mod special Simonei, Mihaelei și familiei mele pentru încurajare și sprijinul permanent.

Florina Dranca

CUPRINS

Listă de abrevieri	6
Scopul și obiectivele tezei de doctorat	7
Capitolul I. Stadiul actual al cercetărilor privind extracția fibrelor solubile din materii vegetale	Eroare! Marcaj în document nedefinit.
1.1. Introducere	Eroare! Marcaj în document nedefinit.
1.2. Importanța și elementele structurale ale pectinei	9
1.2.1. Homogalacturonanul	11
1.2.2. Galacturonani substituiți: xilogalacturonan și apiogalacturonan	11
1.2.3. Ramnogalacturonani de tip I și II	12
1.3. Relații structură-funcție ale substanțelor pectice	12
1.3.1. Mecanisme determinante ale funcțiilor pectinei	13
1.4. Surse principale de pectină și potențialul altor subproduse vegetale	17
1.5. Tehnici de extracție a pectinei	20
1.5.1. Extracția cu solvenți	21
1.5.2. Extracția cu enzime	26
1.5.3. Extracția cu ultrasunete	27
1.5.4. Extracția cu microunde	28
1.5.5. Extracția cu apă subcritică	29
1.5.6. Extracția în câmp electric indus	Eroare! Marcaj în document nedefinit.
1.6. Purificarea și fracționarea pectinei extrase	Eroare! Marcaj în document nedefinit.
1.7. Caracterizarea compoziției și proprietăților pectinei	Eroare! Marcaj în document nedefinit.2
1.7.1. Conținut de acid galacturonic	34
1.7.2. Conținut de monoglucide neutre	36
1.7.3. Grad de esterificare	36
1.7.4. Masa moleculară	37
1.7.5. Analiza microscopică a structurii pectinei	40
1.7.6. Analiza termică	41
1.7.7. Caracterizarea reologică a pectinei	41
1.8. Concluzii	Eroare! Marcaj în document nedefinit.
Capitolul II. Materiale și metode	43
2.1. Sursa de pectină	43
2.2. Reactivi	43
2.3. Echipamente	43
2.4. Precipitarea și purificarea pectinei	44
2.5. Metode de analiză	45
2.5.1. Determinarea randamentului de extracție	45
2.5.2. Determinarea conținutului de acid galacturonic	45
2.5.3. Determinarea gradului de esterificare	46
2.5.3.1. Metoda de determinare prin titrare	46
2.5.3.2. Metoda de determinare prin FT-IR	46

2.5.4. Analiza culorii pectinei în coordonate CIEL*a*b*	47
2.5.5. Determinarea masei echivalente	47
2.5.6. Determinarea conținutului de metoxil	47
2.5.7. Determinarea masei moleculare	48
2.5.8. Analiza compoziției de monoglucide	49
2.5.9. Analiza proprietăților termice	49
2.5.10. Analiza microstructurii	50
2.5.11. Analiza proprietăților reologice	50
2.5.12. Proiectarea experimentelor	51
2.5.13. Analiza statistică a datelor experimentale	51
2.6. Concluzii	51
Capitolul III. Studiu experimental privind metoda convențională de extracție a pectinei	Eroare! Marcaj în document nedefinit.
3.1. Introducere	Eroare! Marcaj în document nedefinit.
3.2. Studiu asupra influenței tipului de acid și a dimensiunii particulelor	53
3.3. Studiu privind influența condițiilor de extracție a pectinei cu acid citric	56
3.4. Concluzii	61
Capitolul IV. Studiu experimental privind metodele inovative de extracție a pectinei	63
4.1. Introducere	63
4.2. Studiu asupra extracției cu microunde	64
4.3. Studiu asupra extracției cu ultrasunete	70
4.4. Studiu asupra extracției cu enzime	76
4.5. Studiu privind metoda de extracție cu ultrasunete – tratament termic	85
4.6. Studiu privind metoda combinată de extracție cu enzime – ultrasonare	89
4.7. Concluzii	93
Capitolul V. Studiu experimental privind caracterizarea fibrelor solubile din tescovina de mere	95
5.1. Introducere	95
5.2. Probe de pectină	96
5.3. Randament de extracție	Eroare! Marcaj în document nedefinit.
5.4. Culoarea pectinei în coordonate CIEL*a*b*	98
5.5. Conținut de acid galacturonic	100
5.6. Masa echivalentă	101
5.7. Conținut de metoxil	102
5.8. Grad de esterificare și structura pectinei	102
5.9. Masa moleculară	106
5.10. Compoziția de monoglucide	107
5.11. Proprietățile reologice ale soluțiilor de pectină	109
5.11.1. Comportamentul reologic al soluțiilor de pectină	Eroare! Marcaj în document nedefinit.
5.11.2. Proprietăți viscoelastice	111
5.12. Proprietăți termice	114
5.13. Microstructura pectinei	115
5.14. Analiza componentelor principale	Eroare! Marcaj în document nedefinit.
5.15. Concluzii	121

Capitolul VI. Concluzii generale	122
Bibliografie.....	124
Diseminarea rezultatelor cercetărilor.....	141

SCOPUL ȘI OBIECTIVELE TEZEI DE DOCTORAT

Scopul tezei de doctorat constă în studierea și optimizarea extracției pectinei din tescovina de mere din soiul *Malus domestica* ‘Fălticeni’ prin metode convenționale și inovative și caracterizarea pectinei extrase din această sursă din punctul de vedere al proprietăților fizico-chimice.

Cercetările efectuate în vederea atingerii scopului propus au vizat următoarele obiective:

- Realizarea unui studiu critic cuprinzător al literaturii de specialitate cu privire la stadiul actual al cercetărilor în domeniul extracției fibrelor solubile din materii vegetale.
- Alegerea sursei vegetale de extracție a pectinei și stabilirea metodelor de extracție și a celor de analiză a proprietăților fizico-chimice.
- Investigarea efectului manifestat de tipul de acid și dimensiunea particulelor asupra extracției pectinei din tescovina de mere din soiul *Malus domestica* ‘Fălticeni’ prin metoda convențională.
- Studierea influenței și optimizarea parametrilor implicați în metoda convențională de extracție cu acid citric a pectinei.
- Studierea influenței parametrilor de lucru asupra randamentului și calității pectinei extrase prin metode inovative, precum și optimizarea condițiilor de extracție pentru fiecare dintre aceste metode.
- Realizarea unor cercetări avansate pentru caracterizarea pectinei extrase prin metoda convențională și metode inovative din tescovina de mere din soiul *Malus domestica* ‘Fălticeni’.

Cuvinte cheie:

tescavină de mere, *Malus domestica* ‘Fălticeni’, pectină, extracție, caracterizare

Teza de doctorat intitulată „CERCETĂRI ȘI CONTRIBUȚII PRIVIND EXTRACȚIA ȘI CARACTERIZAREA FIBRELOR SOLUBILE DIN TESCOVINA DE MERE” cuprinde un număr de 5 capitole care prezintă în încheiere concluzii proprii și un capitol de concluzii generale ale

tezei, listă de abrevieri, referințe bibliografice și o listă de lucrări publicate sau susținute la manifestări științifice din țară și din străinătate.

Capitolul 1, Stadiul actual al cercetărilor privind extracția fibrelor solubile din materii vegetale, prezintă nivelul actual de cunoaștere în ceea ce privește importanța și elementele structurale ale pectinei, relațiile structură-funcție, sursele principale de pectină și potențialul de utilizare al altor subproduse și deșeuri vegetale ca surse de pectină, procedura de extracție și purificare, precum și metodele utilizate în analiza proprietăților fizico-chimice ale pectinei extrase.

Analiza critică a valorificării unor subproduse și deșeuri agroalimentare propuse ca surse de extracție a pectinelor, prin raportare la principalele surse utilizate în procesul industrial de producție, a evidențiat un potențial ridicat pentru coaja de pomelo și deșeurile de la prelucrarea tomatelor și morcovilor, care sunt generate în special de industria conservelor.

Pe lângă sursele de pectină, s-a urmărit realizarea unei analize a impactului pe care tehnicile de extracție îl prezintă atât asupra procesului global de obținere a pectinei, cât și asupra caracteristicilor acesteia. Tehnicile de extracție avute în vedere sunt extracția cu solvenți, extracția cu enzime, extracția cu ultrasunete, extracția cu microunde, extracția cu apă subcritică și extracția în câmp electric indus. Dintre acestea, s-a observat că tehnici ca extracția cu ultrasunete și cea cu microunde prezintă avantaje care recomandă integrarea în procesul industrial de obținere a pectinei.

Nu în ultimul rând, prezentarea în ultima parte a acestui capitol a metodelor de purificare și de analiză ale substanțelor pectice, care includ determinarea conținutului de acid galacturonic, a gradului de esterificare, masei moleculare și analiza microscopică a structurii, oferă o perspectivă completă asupra tuturor etapelor din studiul pectinei.

Capitolul 2, Materiale și metode, prezintă metodele de analiză care au fost utilizate pentru a studia efectul diferitelor tehnici de extracție asupra randamentului și proprietăților fizico-chimice ale pectinei din tescovina de mere din soiul *Malus domestica* 'Fălticeni'. Tescovina de mere a fost obținută prin procesarea merelor din soiul *Malus domestica* 'Fălticeni' pentru obținerea sucului; merele au fost cultivate în regiunea Fălticeni a județului Suceava, România și au provenit din recolta anului 2016.

Conform metodei de determinare, randamentul de pectină obținut în diferite condiții de extracție a fost calculat prin raportarea cantității de pectină la cea de tescovină. Un alt parametru care descrie eficiența procesului de extracție este conținutul de acid galacturonic, care a fost

determinat prin metoda cu reactiv sulfamat/*m*-hidroxidifenil dezvoltată de către Filisetti-Cozzi et al. (Melton & Smith, 2001) utilizând un spectrofotometru UV-Vis-NIR (UV-3600 Plus UV-Vis-NIR, Shimadzu Corporation, Japonia). Gradul de esterificare al pectinei a fost determinat prin titrare, respectiv prin spectroscopie în infraroșu cu transformată Fourier (FT-IR) cu un spectrometru FT-IR SPECTRUM TWO (Perkin Elmer, Statele Unite ale Americii), în cazul pectinei obținute în condițiile optime ale fiecărei metode de extracție.

Culoarea pectinei obținute în condițiile optime de extracție și a probelor de pectină comercială a fost analizată în coordonate CIEL*a*b* cu un cromametru CR-400, cu iluminant D65 și observator standard 2°. Masa echivalentă și conținutul de metoxil al acestor probe a fost determinat prin titrare conform metodei dezvoltate de către Ranggana (1986). Determinarea masei moleculare a pectinei a fost realizată prin cromatografie de excludere utilizând un sistem HPLC echipat cu o coloană Yarra 3μm SEC-2000 cu cartuș de protecție KJ0-4282 SecurityGuard (Phenomenex, California, Statele Unite ale Americii) și cuplat cu un detector de indice de refracție RID-10A (Shimadzu, Kyoto, Japonia). Același sistem cromatografic, echipat cu o coloană Zorbax Eclipse Plus C18 (Agilent Technologies, California, Statele Unite ale Americii) și un detector UV SPD-M-20A (Shimadzu, Kyoto, Japonia), a fost utilizat pentru determinarea compoziției de monoglucide. Proprietățile termice ale pectinei au fost analizate prin tehnica calorimetriei cu scanare diferențială cu un calorimetru DSC 8500 (Perkin Elmer, Statele Unite ale Americii), iar microstructura a fost studiată prin microscopie electronică cu scanare utilizând un microscop SU-70 (Hitachi, Tokio, Japonia). Proprietățile reologice ale soluțiilor de pectină au fost analizate cu un reometru HAAKE MARS 40 (Thermo Haake, Germania) folosind un sistem con-placă (Ø 35 mm, 2°).

Capitolul 3, *Studiu experimental privind metoda convențională de extracție a pectinei*, cuprinde rezultatele studiilor efectuate asupra extracției fibrelor solubile din tescovina de mere din soiul *Malus domestica* ‘Fălticeni’ prin aplicarea metodei convenționale de extracție. Studiul experimental a fost realizat sub forma unei comparații între extracția pectinei cu acid mineral (acid clorhidric), respectiv extracția cu acid organic (acid citric). Prin cercetările realizate s-a urmărit stabilirea posibilității de înlocuire a acidului mineral cu unul organic în scopul reducerii impactului procesului de extracție asupra mediului și obținerii unor rezultate mai bune în ceea ce privește randamentul și calitatea pectinei.

În prima parte a capitolului sunt prezentate rezultatele unui studiu comparativ între extracția pectinei din tescovina de mere din soiul

‘Fălticeni’ cu doi acizi diferiți, unul mineral (acid clorhidric) și unul organic (acid citric). Pe lângă evoluția randamentului și a calității pectinei în funcție de tipul de acid utilizat, s-a studiat și influența dimensiunii particulelor asupra extracției, pentru care variația a fost făcută pe intervale, astfel: 200-300 μm , 125-200 μm și <125 μm . Rezultatele obținute au arată că randamentul de pectină a variat semnificativ în funcție de tipul de acid utilizat, pentru extracția cu acid clorhidric obținându-se un randament de 10,41-13,51%, în timp ce pentru cea cu acid citric s-a determinat un randament de pectină de 15,83-21,24% (fig. 3.2). Pectina extrasă cu acid citric a prezentat de asemenea un conținut mai mare de acid galacturonic.

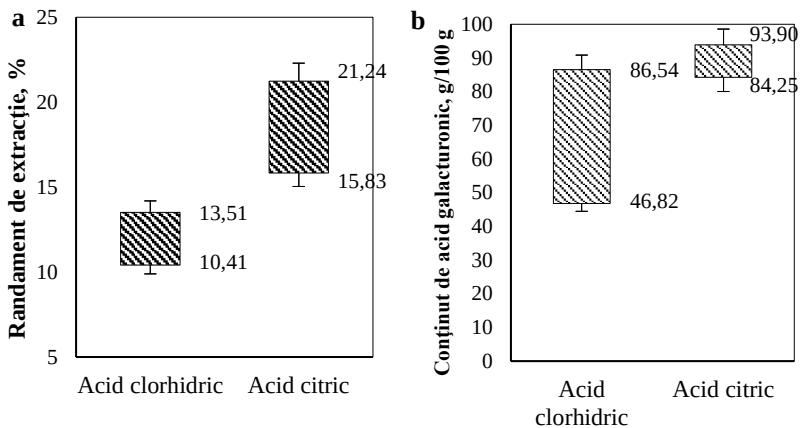


Fig. 3.2. Influența tipului de acid utilizat în extracția pectinei asupra (a) randamentului de extracție și (b) conținutului de acid galacturonic

În ceea ce privește influența dimensiunii particulelor, s-a observat că extracția cu acid citric duce la obținerea celui mai mare randament de pectină (21,24%) atunci când în extracție se utilizează tescovină de mere cu dimensiuni ale particulelor cuprinse între 125 și 200 μm . Pe baza acestor rezultate, s-a stabilit că utilizarea acidului citric și a tescovinei cu dimensiuni ale particulelor de 125-200 μm sunt condiții de lucru necesare în cercetările ulterioare asupra influenței altor parametri de extracție implicați în procesul de obținere a pectinei din tescovina de mere din soiul ‘Fălticeni’.

În a doua parte a capitoului este prezentat studiul efectuat asupra extracției pectinei cu acid citric, în care s-a utilizat tescovină cu dimensiuni

ale particulelor de 125-200 μm , iar condițiile de extracție au fost variate, după cum urmează: pH – 1,5, 2 și 2,5; temperatură – 70, 80 și 70 $^{\circ}\text{C}$; timp – 60, 120 și 180 min. Influența acestor condiții de extracție a fost studiată pe baza modificărilor înregistrate pentru randamentul de extracție, conținutul de acid galacturonic și gradul de esterificare al pectinei. În condițiile optime de extracție ale pectinei cu acid citric (pH de 1,92, temperatură de 90 $^{\circ}\text{C}$ și timp de 147,72 min) s-a estimat obținerea unui randament de 23,26%, conținut de acid galacturonic de 99,25 g/100 g și grad de esterificare de 81,18%.

Capitolul 4, Studiul experimental privind metodele inovative de extracție a pectinei, reprezintă cea de-a doua parte a cercetărilor asupra extracției pectinei din tescovina de mere din soiul *Malus domestica* ‘Fălticeni’, în care s-a efectuat un studiu comparativ între metodele inovative de extracție: extracția cu microunde, extracția cu ultrasunete, extracția cu enzime (celulază și preparat enzimatic comercial Celluclast 1.5L), metodă combinată de extracție cu ultrasunete – tratament termic și metodă combinată de extracție cu enzime – ultrasonare.

Extracția cu microunde a pectinei din tescovina de mere a fost efectuată prin varierea a 4 parametri de extracție, după cum urmează: puterea microundelor – 280, 420 și 560 W; pH – 1,5, 2 și 2,5; raport solid-lichid (RSL) – 1:10, 1:15 și 1:20; timp – 60, 90 și 120 s. Rezultatele obținute au evidențiat o influență semnificativă ($p < 0,05$) a puterii, pH-ului, RSL și timpului asupra randamentului de extracție. O influență semnificativă ($p < 0,05$) a puterii, pH-ului și RSL, precum și a interacțiunilor putere-pH, putere-timp și RSL-timp a fost observată și în cazul conținutului de acid galacturonic al pectinei. ANOVA a arătat că gradul de esterificare a fost influențat semnificativ ($p < 0,05$) de putere, pH și RSL. Optimizarea parametrilor extracției cu microunde a fost realizată astfel încât să se obțină simultan cele mai mari valori pentru randamentul de extracție, conținutul de acid galacturonic și gradul de esterificare al pectinei. S-a estimat obținerea unui randament maxim de extracție de 24%, conținut de acid galacturonic de 91,82 g/100 g și grad de esterificare de 88,52% pentru o extracție la o putere de 560 W, pH de 2,2, RSL de 1:10 g/ml și timp de 120 s.

Pentru a studia și optimiza extracția cu ultrasunete a pectinei din tescovina de mere s-a elaborat și aplicat o procedură de extracție în care au fost variați 4 parametri, astfel: amplitudine – 20, 60 și 100%; pH – 1,5, 2 și 2,5; RSL – 1:10, 1:15 și 1:20 g/ml; timp – 10, 20 și 30 min. S-a observat că randamentul de extracție a fost influențat semnificativ de amplitudine, pH și timp ($p < 0,0001$), evidențiindu-se un efect pozitiv al creșterii amplitudinii

și a timpului asupra randamentului obținut. De cealaltă parte, valorile obținute pentru conținutul de acid galacturonic sugerează că puritatea ridicată a pectinei este determinată în cea mai mare parte de sursa de de extracție și este mai puțin dependentă de aplicarea tratamentului cu ultrasunete în obținerea pectinei; amplitudinea ultrasunetelor și pH-ul au fost parametri cu influență semnificativă ($p < 0,05$) asupra conținutului de acid galacturonic al pectinei. Pentru gradul de esterificare s-a observat că evoluția a fost dependentă ($p < 0,05$) de amplitudine și pH, precum și de interacțiunile amplitudine-pH și amplitudine-timp. Optimizarea amplitudinii, pH-ului, RSL și timpului a fost realizată astfel încât să fie obținute simultan valori maxime pentru randamentul de extracție, conținutul de acid galacturonic și gradul de esterificare. Astfel, randamentul maxim de 9,18%, conținutul de acid galacturonic de 98,12 g/100 g și gradul de esterificare de 83,20% rezultă pentru o amplitudine de 100%, pH de 1,8, RSL de 1:10 g/ml și timp de extracție de 30 min.

Extracția cu enzime a pectinei a fost studiată prin utilizarea enzimelor care acționează în sensul distrugerii peretelui celular vegetal și izolării întregii molecule de pectină. Astfel, s-a realizat o analiză comparativă între extracția pectinei cu celulază și extracția cu preparat enzimatic comercial Celluclast 1.5L. În extracția cu celulază condițiile de extracție au fost variate astfel: doză de enzimă – 0,004, 0,008 sau 0,012 g celulază/g tescovină; temperatură – 40, 50 sau 60 °C; timp – 12, 18 sau 24 h. Extracția cu preparat enzimatic comercial Celluclast 1.5L a fost efectuată în condiții similare de temperatură și timp, însă utilizând următoarele doze de enzimă: 20, 40 sau 60 μ l Celluclast 1.5L/g tescovină. Randamentul de extracție obținut în aceste condiții a fost cuprins între 4,20% și 7,27% în cazul utilizării celulei și între 3,40% și 8,08% atunci când s-a utilizat preparatul enzimatic Celluclast 1.5L. O influență semnificativă ($p < 0,05$) a timpului de extracție și a dozei de enzimă, precum și a interacțiunii acestor parametri asupra randamentului a fost observată doar în cazul folosirii preparatului enzimatic Celluclast 1.5L. În cazul conținutului de acid galacturonic, s-a observat că temperatura și timpul sunt factorii care au influențat semnificativ ($p < 0,05$) conținutul de acid galacturonic al pectinei extrase cu celulază și a celei obținute folosind Celluclast 1.5L. Acești doi parametri de extracție au influențat semnificativ ($p < 0,01$) și evoluția gradului de esterificare al pectinei. În ultima parte a studiului asupra extracției cu enzime, condițiile de extracție au fost optimizate pentru a obține valori maxime pentru randamentul de extracție, conținutul de acid galacturonic și gradul de esterificare. Pentru extracția cu celulază s-a estimat un randament de 7,17%, conținut de acid galacturonic de 80,79 g/100 g și grad de esterificare de 97,17% la temperatura de 47,5 °C, timp de

20 h și doză de enzimă de 0,0075 g/g tescovină. Pentru extracția cu Celluclast 1.5L, randamentul maxim de 6,76%, conținutul de acid galacturonic de 97,46 g/100 g și gradul de esterificare de 96,02% corespund unei temperaturi de 48,3 °C, timp de 18 h și 14 min și doză de enzimă de 42,5 μl/g tescovină.

Extracția pectinei prin metoda combinată cu ultrasunete – tratament termic a implicat efectuarea unei extracții cu ultrasunete în condițiile optime prezentate anterior, urmată de aplicarea unui tratament termic în care 2 parametri de extracție au fost variați după cum urmează: temperatură – 70, 80 și 90 °C și timp – 60, 120 și 180 min. Creșterea înregistrată pentru randamentul de extracție până la o valoare maximă de 10,3% a arătat că, în comparație cu extracția cu ultrasunete (randament maxim de 9,18%), metoda combinată a dus la o creștere a eficienței procesului de obținere a pectinei (fig. 4.10); temperatura și timpul au avut o influență semnificativă statistic ($p < 0,05$) asupra randamentului de extracție. Conținutul de acid galacturonic al pectinei a fost influențat semnificativ ($p < 0,05$) de temperatură și de interacțiunea temperatură-timp, în timp ce pentru gradul de esterificare al pectinei s-a observat o influență semnificativă ($p < 0,05$) a temperaturii și timpului de extracție. Condițiile optime de extracție, în care se estimează obținerea unui randament de 6,89%, conținut de acid galacturonic de 69,69 g/100 g și grad de esterificare de 80,09%, sunt o temperatură de 85,71 °C și timp de 147 min.

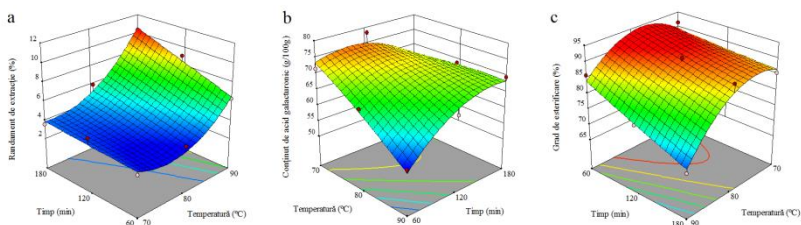


Fig. 4.10. Reprezentare grafică 3D (suprafețe de răspuns) a influenței condițiilor de extracție asupra randamentului de extracție (a), conținutului de acid galacturonic (b) și gradului de esterificare (c) în extracția pectinei prin metoda combinată cu ultrasunete – tratament termic

Aplicarea metodei combinate de extracție cu enzime – ultrasonare a avut ca scop îmbunătățirea eficienței extracției și reducerea degradării care are loc în timpul procesului enzimatic în vederea îmbunătățirii calității pectinei. Procedura de extracție aplicată a implicat efectuarea unei extracții cu celulază în condițiile optime prezentate anterior, urmată de o extracție cu

ultrasunete în care au fost variați 2 parametri de extracție, după cum urmează: amplitudine – 20, 60 și 100% și timp – 10, 20 și 30 min. Creșterea randamentului de extracție peste valoarea maximă determinată pentru extracția cu celulază demonstrează că aplicarea tratamentului cu ultrasunete după extracția cu enzime crește eficiența procesului. Amplitudinea și timpul au influențat semnificativ ($p < 0,05$) randamentul de extracție, precum și conținutul de acid galacturonic al pectinei (fig. 4.12). De cealaltă parte, în cazul gradului de esterificare s-a evidențiat o influență semnificativă ($p < 0,05$) a timpului de extracție. Amplitudinea și timpul de extracție au fost optimizate pentru a fi obținute simultan cele mai mari valori pentru randamentul de extracție, conținutul de acid galacturonic și gradul de esterificare. La o amplitudine de 62% și un timp de 21 min se estimează obținerea unui randament de 7,98%, conținut de acid galacturonic de 76,86% și gradul de esterificare de 97,02%.

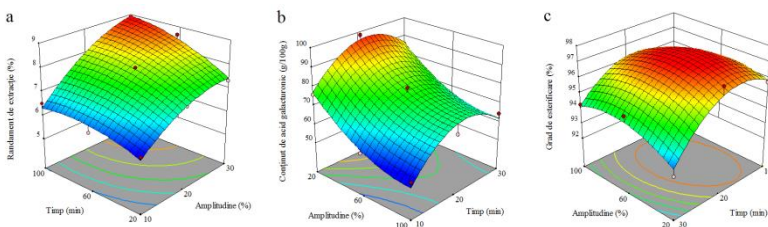


Fig. 4.12. Reprezentare grafică 3D (suprafețe de răspuns) a influenței condițiilor de extracție asupra randamentului de extracție (a), conținutului de acid galacturonic (b) și gradului de esterificare (c) în extracția cu enzime – ultrasonare a pectinei

Analizând rezultatele obținute pentru toate metodele de extracție aplicate pentru a obține pectina din tescovina de mere din soiul *Malus domestica* ‘Fălticeni’ se observă că valorile determinate pentru conținutul de acid galacturonic și gradul de esterificare au fost apropiate. De cealaltă parte, diferențe mari în funcție de metoda de extracție au fost înregistrate pentru randamentul de extracție. Din punctul de vedere al randamentului obținut în condițiile optime de extracție, metodele se succed ca eficiență astfel: extracție cu microunde (24%) > extracție cu ultrasunete (9,18%) > extracția cu enzime – ultrasonare (7,98%) > extracție cu celulază (7,17%) > extracția cu ultrasunete – tratament termic (6,89%) > extracție cu Celluclast 1.5L (6,76).

Comparativ cu metoda convențională, extracția cu microunde duce la obținerea unui randament mai mare de pectină într-un timp mult mai scurt de extracție (120 s). Atât pentru extracția cu microunde și cea care implică utilizarea ultrasunetelor, cât și pentru extracția convențională cu acid citric s-a observat că un pH redus de extracție determină un randament ridicat, însă nu este corelat cu un conținut mare de acid galacturonic. Prin urmare, este posibil ca la randamentele mari obținute la pH redus să contribuie regiunile ramificate, bogate în monoglucide neutre, ale pectinei.

Nu în ultimul rând, randamente mici de pectină au fost obținute în general prin utilizarea enzimelor, care de altfel sunt metode de extracție cu o durată îndelungată (minim 12 ore). Metoda combinată de extracție cu enzime – ultrasonare a dus la o creștere a randamentului de extracție, însă îmbunătățirea eficienței procesului nu a fost semnificativă.

Capitolul 5, *Studiu experimental privind caracterizarea fibrelor solubile din tescovina de mere*, cuprinde rezultatele studiilor experimentale privind determinarea proprietăților fizico-chimice ale fibrelor solubile obținute din tescovina de mere din soiul *Malus domestica* ‘Fălticeni’ prin următoarele metode: metoda convențională de extracție cu acid citric, respectiv prin aplicarea metodelor moderne de extracție – extracția cu microunde (EM), extracția cu ultrasunete (EU), extracția cu enzime (celulază, EE1 și preparat enzimatic comercial Celluclast 1.5L, EE2), metodă combinată de extracție cu ultrasunete – tratament termic (EUT) și metodă combinată de extracție cu enzime – ultrasonare (EEU).

Pe lângă proprietățile fizico-chimice ale pectinei, în studiul comparativ s-a considerat, de asemenea, randamentul obținut în condițiile optime de extracție ale fiecărei metode aplicate, în scopul identificării celei mai eficiente metode de extracție din punctul de vedere al cantității și calității pectinei obținute.

Proprietățile fizico-chimice ale pectinei obținute prin fiecare tehnică de extracție, în condiții optime, au fost comparate cu cele ale pectinei comerciale din mere și din citrice.

Randamentul mediu obținut prin metoda convențională și cele inovative de extracție (tabel 5.1) a fost cuprins între un minim de 6,76%, rezultat prin extracția enzimatică cu preparatul comercial Celluclast 1.5L și valoarea maximă de 23,32%, care a fost obținută prin extracție cu microunde.

Tabel 5.1. Randamentul de extracție a pectinei obținut pentru fiecare metodă aplicată. Valori medii și abatere standard, în paranteze

Metodă de extracție	Abreviere	Randament de extracție, %
Extracție convențională	EC	23,26 (0,01) ^a
Extracție cu microunde	EM	23,32 (0,08) ^a
Extracție cu ultrasunete	EU	9,18 (0,01) ^b
Extracție cu enzime – celulază	EE1	7,17 (0,01) ^d
Extracție cu enzime – Celluclast 1.5L	EE2	6,76 (0,03) ^e
Extracție cu ultrasunete – tratament termic	EUT	6,86 (0,06) ^e
Extracție cu enzime – ultrasonare	EEU	7,95 (0,04) ^c

^{a-e} Litere diferite în aceeași coloană indică diferențe semnificative între probe ($p < 0,001$)

Valorile obținute pentru parametrii de culoare ai probelor de pectină analizate (tabel 5.2, fig. 5.1) arată că probele de pectină comercială PC și PM au prezentat cele mai mari valori ale luminozității (L^*), precum și ale nuanței (h^*_{ab}), care tinde să varieze spre verde în cazul probei PC. În comparație cu PC, celelalte probe analizate, inclusiv proba comercială PM, au fost caracterizate de prezența unor nuanțe de roșu, care au fost mai predominante în cazul probelor extrase prin utilizarea enzimelor.

Tabel 5.2. Parametri de culoare determinați pentru probele de pectină. Valori medii și abatere standard, în paranteze

Probă	L^* – luminozitate	h^*_{ab} – nuanță	C^*_{ab} – croma
PC	80,93 (0,06) ^a	96,55 (0,07) ^a	17,29 (0,09) ^e
PM	80,45 (0,005) ^{ab}	89,95 (0,03) ^b	23,35 (0,04) ^d
EC	78,18 (0,06) ^b	89,19 (0,07) ^b	21,62 (0,05) ^d
EM	77,19 (0,04) ^b	89,26 (0,02) ^b	24,17 (0,06) ^{cd}
EU	65,11 (0,04) ^e	80,47 (0,09) ^d	29,71 (0,02) ^a
EE1	66,89 (0,01) ^{de}	82,44 (0,07) ^c	27,08 (0,05) ^{bc}
EE2	60,99 (0,07) ^f	78,13 (0,07) ^e	26,20 (0,30) ^c
EUT	68,10 (0,11) ^d	82,35 (0,11) ^c	26,58 (0,07) ^c
EEU	64,05 (0,04) ^e	80,18 (0,10) ^{de}	28,10 (0,01) ^b

^{a-f} Litere diferite în aceeași coloană indică diferențe semnificative între probe ($p < 0,001$)



Fig. 5.1. Probele de pectină comercială și pectină extrasă din tescovina de mere din soiul *Malus domestica* 'Fălticeni' prin diferite metode

Valorile determinate pentru conținutul de acid galacturonic al probelor de pectină (tabel 5.3) arată că toate probele au avut un conținut în acest parametru chimic de cel puțin 65%, îndeplinind caracteristicile de puritate, stabilite de către Comitetul mixt FAO/OMS de experți pentru aditivi alimentari și de Comisia Europeană.

Probele de pectină comercială au prezentat mase echivalente diferite, valoarea determinată pentru masa echivalentă a pectinei comerciale PC (1190) fiind mai mare decât cea obținută pentru pectina comercială PM (515). Valorile masei echivalente pentru probele de pectină extrasă din tescovina de mere prin metoda convențională și prin metodele inovative au fost cuprinse între un minim de 704 (pectină EU) și un maxim de 2778 (pectină EE1). Conținutul de metoxil a fost mai mic de 7% pentru toate probele de pectină.

Tabel 5.3. Conținutul de acid galacturonic (GalA), masa echivalentă și conținutul de metoxil. Valori medii și abatere standard, în paranteze

Probă	GalA, g/100 g	Masă echivalentă	Conținut de metoxil, %
PC	85,50 (0,50) ^b	1190 (20) ^c	4,03 (0,06) ^{bc}
PM	81,40 (0,20) ^{bc}	515 (5) ^e	4,83 (0,2) ^a
EC	86,50 (0,2) ^b	961 (9) ^c	3,04 (0,16) ^d
EM	90,60 (0,50) ^a	1612 (6) ^b	4,77 (0,12) ^a
EU	92,83 (0,09) ^a	704 (5) ^d	4,22 (0,06) ^b
EE1	78,80 (0,60) ^c	2778 (70) ^a	3,84 (0,12) ^c
EE2	85,20 (0,40) ^b	2632 (44) ^a	4,15 (0,12) ^b
EUT	69,06 (0,50) ^d	641 (15) ^d	3,16 (0,10) ^d
EEU	75,5 (0,20) ^c	2500 (33) ^a	3,90 (0,10) ^c
Valoare <i>F</i>	1021,16***	2586,42***	68,21***

^{a-e} Litere diferite în aceeași coloană indică diferențe semnificative între probe ($p < 0,001$)

Cu excepția probelor EE2 și EEU, care au avut grad de esterificare sub 50% (tabel 5.4) și au fost clasificate ca pectină slab esterificată, toate probele au fost înalt esterificate (grad de esterificare mai mare de 50%).

Tabel 5.4. Gradul de esterificare al probelor de pectină.
Valori medii și abatere standard, în paranteze

Probă	Grad de esterificare, %
PC	50,50 (0,4) ^d
PM	88,50 (1,5) ^a
EC	84,40 (1,9) ^a
EM	73,80 (0,9) ^b
EU	77 (2) ^b
EE1	53,50 (0,80) ^c
EE2	44,60 (0,50) ^f
EUT	80,70 (0,30) ^b
EEU	47,60 (0,40) ^e
Valoare <i>F</i>	669,79***

^{a-f} Litere diferite în aceeași coloană indică diferențe semnificative între probe ($p < 0,001$)

Pe lângă determinarea gradului de esterificare, spectroscopia FT-IR a fost utilizată pentru a analiza structura pectinei. Spectrele obținute au evidențiat prezența unor benzi specifice esterului carbonil ($C=O$), respectiv a ionului carboxilat (grupări carboxil libere), precum și a unor benzi caracteristice în regiunea de identificare spectrală a acidului galacturonic.

Masa moleculară a probelor de pectină analizate în acest studiu a variat între $1,7 \times 10^5$ g/mol și $3,86 \times 10^5$ g/mol. S-a observat că extracția cu ultrasunete a pectinei a fost caracterizată de un grad mai redus de degradare a lanțului poliglucidic, pentru această probă determinându-se cea mai mare masă moleculară.

Analiza compoziției de monoglucide a arătat că probele de pectină au prezentat o catenă de bază de ramnogalacturonan și catene laterale de arabinani și/sau catene laterale de arabinogalactani (Wang, Chen, & Lü, 2014). Prezența manozei, care a fost determinată în cantități mai mici, poate proveni de la alte poliglucide decât cele pectice (hemiceluloză și celuloză) care au rămas legate de catenele laterale ale pectinei după extracție (Wang et al., 2016).

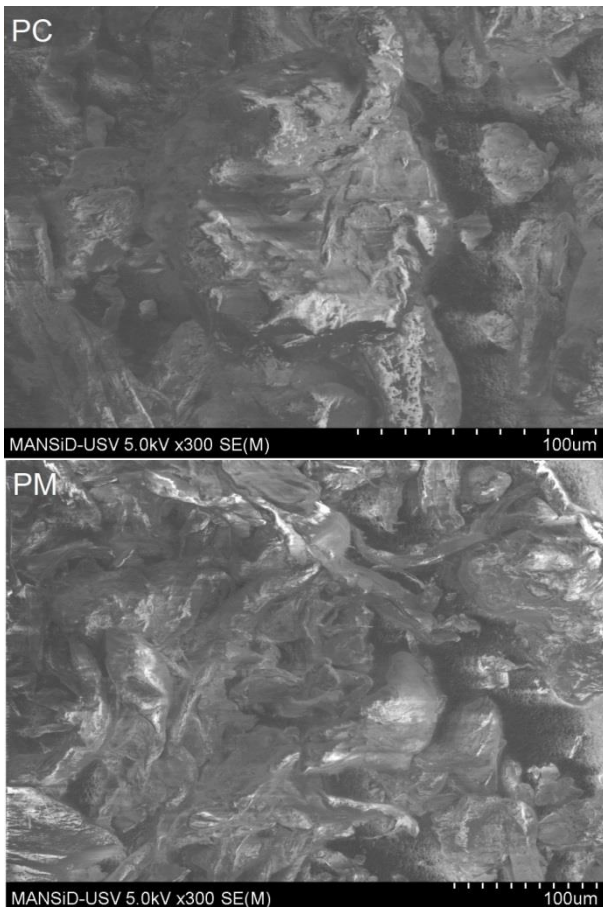
Analiza proprietăților reologice a arătat că toate soluțiile de pectină au prezentat un comportament non-Newtonian cu o scădere a vâscozității dinamice odată cu creșterea tensiunii de forfecare aplicată. Referitor la rolul

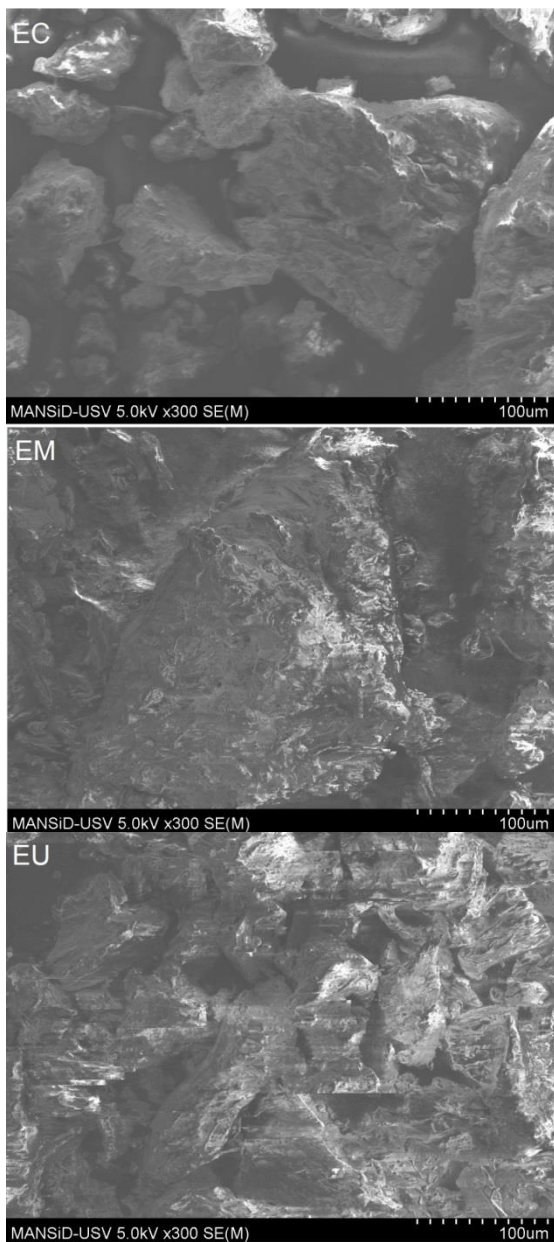
determinant al proprietăților fizico-chimice ale pectinei asupra caracteristicilor reologice, s-a evidențiat o corelație pozitivă puternică între vâscozitatea dinamică și masa moleculară ($r = 0,805^{**}$) și o corelație pozitivă între vâscozitatea dinamică și conținutul de acid galacturonic ($r = 0,644^{*}$). Modulul vâcos a urmat aceeași tendință care a fost observată pentru vâscozitatea dinamică a soluțiilor de pectină. În domeniul de frecvență studiat, soluțiile de pectină au prezentat valori ale modulului vâcos mai mari decât cele ale modulului elastic. S-a evidențiat o corelație pozitivă puternică între masa moleculară a pectinei și modulul elastic ($r = 0,799^{**}$) și modulul vâcos ($r = 0,835^{**}$) și o corelație pozitivă între conținutul de acid galacturonic și modulul elastic ($r = 0,594^{*}$) și modul vâcos ($r = 0,595^{*}$). În ceea ce privește parametrii de fluaj și recuperare, s-a observat o corelație negativă a conținutul de acid galacturonic cu complianța la echilibru J_e ($r = -0,628^{*}$), deformarea recuperabilă J_r ($r = -0,728^{*}$) și $d(\log(\dot{\gamma}))/d(\log(t))$ ($r = -0,697^{*}$) și una pozitivă cu η ($r = 0,594^{*}$). Parametrii de fluaj și recuperare nu au avut corelații cu masa echivalentă, conținutul de metoxil și gradul de esterificare al pectinei. Vâscozitatea măsurată prin testele de fluaj și recuperare și vâscozitatea dinamică au fost corelate pozitiv ($r = 0,917^{**}$).

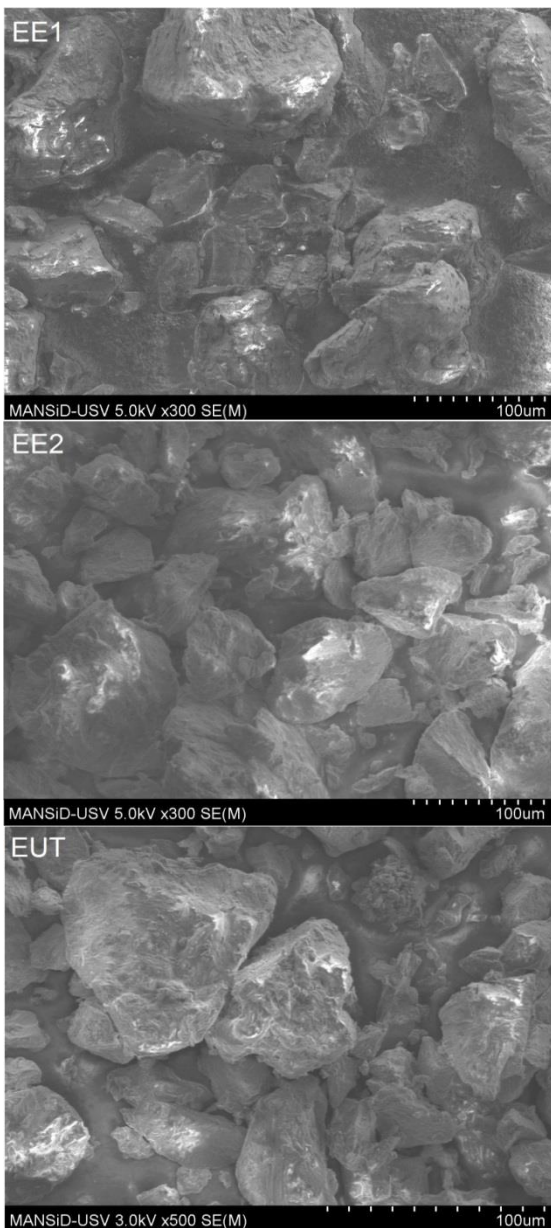
Analiza proprietăților termice ale pectinei a evidențiat faptul că niciuna dintre probele analizate nu a prezentat peak-uri endoterme (temperatură de topire), în timp ce peak-urile exoterme (temperatură de degradare) au fost înregistrate la temperaturi între 230 și 255 °C. Pentru probele de pectină extrase prin diferite metode, peak-urile exoterme au fost înregistrate astfel: EC – 251 °C, EM – 248 °C, EU – 240 °C, EE1 – 236 °C, EE2 – 230 °C, EUT – 249 °C și EEU – 234 °C. Din aceste valori se deduce că probele de pectină extrase folosind enzime au suferit degradare termică la temperaturi sub cea determinată pentru pectina comercială. De cealaltă parte, probele EC, EUT și EM au prezentat o stabilitate termică mai mare decât pectina comercială PC, ceea ce indică că sunt preferabile în cazul procesării termice.

Analiza prin microscopie electronică cu scanare (SEM) a probelor de pectină a fost realizată în scopul vizualizării efectului metodei de extracție asupra caracteristicilor morfologice ale pectinei și pentru a compara structura acestor probe cu cea a pectinei comerciale. Probele de pectină comercială PM și PC au prezentat suprafețe mai puțin uniforme și o microstructură care pare construită pe mai multe straturi (fig. 5.9). Pectina EC a avut o suprafață omogenă și poroasă și mai netedă, în timp ce suprafața pectinei EM, EU și EUT a fost mai fragmentată. Probele de pectină obținute prin extracție enzimatică au fost caracterizate printr-un aspect fragmentat, cu o distribuție omogenă a dimensiunii particulelor.

Dintre acestea, pectina EEU a avut cea mai netedă suprafață și o tendință de a ondula ușor.







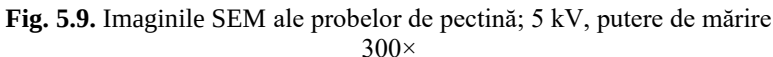


Fig. 5.10. Analiza componentelor principale: bi-plot

Capitolul 6 prezintă *Concluzii generale* ale cercetărilor realizate în această teză de doctorat.

În teza de doctorat denumită „CERCETĂRI ȘI CONTRIBUȚII PRIVIND EXTRAȚIA ȘI CARACTERIZAREA FIBRELOR SOLUBILE DIN TESCOVINA DE MERE” s-a urmărit ca studiile teoretice și cele experimentale efectuate să contribuie la nivelul actual de dezvoltare și de cunoaștere în domeniul extracției și caracterizării fibrelor solubile din diferite surse vegetale. Această teză de doctorat subliniază importanța și potențialul de valorificare a unor subproduse și deșeurilor rezultate de la prelucrarea fructelor și legumelor în extracția pectinei. Din concluziile parțiale prezentate în încheierea fiecărui capitol și rezultatele experimentale obținute prin cercetările efectuate rezultă următoarele concluzii generale:

- În contextul unei evoluții ascendente a producției de pectină pe piața mondială, s-a observat o creștere a numărului de studii asupra extracției și caracterizării pectinei din diferite materiale vegetale, dintre care un interes deosebit prezintă deșeurile rezultate la prelucrarea fructelor și legumelor.
- Pentru tescovina de mere, care reprezintă a doua sursă principală de extracție a pectinei, s-a observat că soiurile târzii de mere duc la randamente mai mari de extracție, cât și o calitate mai bună a pectinei.
- Ca sursă de extracție a pectinei s-a ales tescovina de mere din soiul *Malus domestica* ‘Fălticeni’ dat fiind faptul că este un soi târziu și prezintă avantaj din punctul de vedere al disponibilității la nivel local (zona Fălticeni a județului Suceava, România). Extracția pectinei din tescovina obținută prin prelucrarea merelor are o contribuție semnificativă la creșterea valorii comerciale a merelor din soiul *Malus domestica* ‘Fălticeni’.
- Echipamentele din dotarea laboratoarelor Facultății de Inginerie Alimentară au permis realizarea unui studiu asupra extracției și caracterizării pectinei din această sursă vegetală.
- Studiul comparativ între extracția pectinei cu acid mineral (acid clorhidric) și extracția cu acid organic (acid citric) ca solvent de extracție a evidențiat obținerea unor rezultate mai bune (randament ridicat și conținut mai mare de acid galacturonic) în cazul utilizării acidului citric și a tescovinei de mere cu dimensiuni ale particulelor de 125-200 μm .
- Studiul asupra extracției pectinei cu acid citric a indicat o influență semnificativă a temperaturii, pH-ului și timpului asupra randamentului de extracție, precum și o influență semnificativă a pH-

ului soluției de extracție asupra conținutului de acid galacturonic și a gradului de esterificare al pectinei.

- Cercetările realizate asupra metodelor inovative de extracție (extracția cu microunde, extracția cu ultrasunete, extracția cu enzime – celulază și preparat enzimatic comercial Celluclast 1.5L, metodă combinată de extracție cu ultrasunete – tratament termic și metodă combinată de extracție cu enzime – ultrasonare) au arătat că valorile determinate pentru conținutul de acid galacturonic și gradul de esterificare au fost apropiate pentru toate metodele de extracție, în timp ce pentru randamentul de extracție s-au înregistrat diferențe semnificative în funcție de metoda aplicată.
- Extracția cu microunde a fost singura metodă care a dus la obținerea unui randament (23,32%) mai mare decât cel obținut pentru extracția convențională cu acid citric (23,26%).
- Analiza proprietăților fizico-chimice ale pectinei obținute în condițiile optime de extracție ale fiecărei metode, în comparație cu cele ale pectinei comerciale din mere și din citrice, a evidențiat caracteristici bune ale probelor extrase cu microunde și ultrasunete. Pectina obținută prin extracție cu ultrasunete s-a diferențiat în mod special prin masa moleculară ridicată și vâscozitatea mare.
- Analiza statistică a datelor experimentale a confirmat relația de determinare care există între masa moleculară și vâscozitatea soluțiilor obținute cu pectină.

Extracția pectinei din tescovina de mere din soiul *Malus domestica* ‘Fălticeni’, care este o sursă de pectină care nu a mai fost studiată până în prezent, reprezintă contribuția originală a acestei teze de doctorat la stadiul actual de cercetare în domeniul extracției și caracterizării pectinei. Pentru fiecare procedură de extracție s-a studiat influența unor parametri de lucru care prezintă interes inclusiv într-un proces de producție a pectinei la nivel industrial. Analiza proprietăților fizico-chimice ale pectinei obținute prin fiecare metodă convențională sau inovativă de extracție a fost realizată prin tehnici instrumentale moderne și a avut ca rezultat obținerea unor informații utile cu privire la compoziția, structura și comportamentul pectinei în diferite aplicații practice.

BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ

- Abid, M., Jabbar, S., Wu, T., Hashim, M. M., Hu, B., Lei, S., Zeng, X. (2013). Effect of ultrasound on different quality parameters of apple juice. *Ultrasonics Sonochemistry*, 20(5), 1182–1187.
- Adetunji, L. R., Adekunle, A., Orsat, V., Raghavan, V. (2017). Advances in the pectin production process using novel extraction techniques: A review. *Food Hydrocolloids*, 62, 239–250.
- Alba, K., Laws, A. P., & Kontogiorgos, V. (2015). Isolation and characterization of acetylated LM-pectins extracted from okra pods. *Food Hydrocolloids*, 43, 726–735.
- Andersen, N. M., Cognet, T., Santacoloma, P. A., Larsen, J., Armagan, I., Larsen, F. H., Huusom, J. K. (2017). Dynamic modelling of pectin extraction describing yield and functional characteristics. *Journal of Food Engineering*, 192, 61–71.
- Anwar, J., Shafique, U., Waheed-uz-Zaman, Rehman, R., Salman, M., Dar, A., Ashraf, S. (2015). Microwave chemistry: Effect of ions on dielectric heating in microwave ovens. *Arabian Journal of Chemistry*, 8(1), 100–104.
- Atmodjo, M. a., Hao, Z., & Mohnen, D. (2013). Evolving views of pectin biosynthesis. *Annual Review of Plant Biology*, 64(1), 747–779.
- Bagherian, H., Zokaee Ashtiani, F., Fouladitajar, A., & Mohtashamy, M. (2011). Comparisons between conventional, microwave- and ultrasound-assisted methods for extraction of pectin from grapefruit. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 50(11–12), 1237–1243.
- Banerjee, J., Singh, R., Vijayaraghavan, R., MacFarlane, D., Patti, A. F., & Arora, A. (2017). Bioactives from fruit processing wastes: Green approaches to valuable chemicals. *Food Chemistry*, 225, 10–22.
- Barbieri, S. F., da Costa Amaral, S., Ruthes, A. C., de Oliveira Petkowicz, C. L., Kerkhoven, N. C., da Silva, E. R. A., Silveira, J. L. M. (2019). Pectins from the pulp of gabioba (*Campomanesia xanthocarpa* Berg): Structural characterization and rheological behavior. *Carbohydrate Polymers*, 214, 250–258.
- Bitter, T., & Muir, H. M. (1962). A modified uronic acid carbazole reaction. *Analytical Biochemistry*, 4(4), 330–334.
- Blumenkrantz, N., & Asboe-Hansen, G. (1973). New method for quantitative determination of uronic acids. *Analytical Biochemistry*,

54(2), 484–489.

- Boukroufa, M., Boutekedjiret, C., Petigny, L., Rakotomanomana, N., Chemat, F. (2015). Bio-refinery of orange peels waste: A new concept based on integrated green and solvent free extraction processes using ultrasound and microwave techniques to obtain essential oil, polyphenols and pectin. *Ultrasonics Sonochemistry*, 24, 72–79.
- Broxterman, S. E., Picouet, P., & Schols, H. A. (2017). Acetylated pectins in raw and heat processed carrots. *Carbohydrate Polymers*, 177, 58–66.
- Buffetto, F., Cornuault, V., Rydahl, M. G., Ropartz, D., Alvarado, C., Echasserieau, V., Guillon, F. (2015). The deconstruction of pectic rhamnogalacturonan I unmasks the occurrence of a novel arabinogalactan oligosaccharide epitope. *Plant and Cell Physiology*, 56(11), 2181–2196.
- Caffall, K. H., & Mohnen, D. (2009). The structure, function, and biosynthesis of plant cell wall pectic polysaccharides. *Carbohydrate Research*, 344(14), 1879–1900.
- Casas-Orozco, D., Villa, A. L., Bustamante, F., González, L. M. (2015). Process development and simulation of pectin extraction from orange peels. *Food and Bioproducts Processing*, 96, 86–98.
- Chan, S. Y., Choo, W. S., Young, D. J., Loh, X. J. (2017). Pectin as a rheology modifier: Origin, structure, commercial production and rheology. *Carbohydrate Polymers*, 161, 118–139.
- Chemat, F., Rombaut, N., Sicaire, A. G., Meullemiestre, A., Fabiano-Tixier, A. S., Abert-Vian, M. (2017). Ultrasound assisted extraction of food and natural products. Mechanisms, techniques, combinations, protocols and applications. A review. *Ultrasonics Sonochemistry*, 34, 540–560.
- Cho, E.-H., Jung, H.-T., Lee, B.-H., Kim, H.-S., Rhee, J.-K., Yoo, S.-H. (2019). Green process development for apple-peel pectin production by organic acid extraction. *Carbohydrate Polymers*, 204, 97–103.
- Christiaens, S., Uwibambe, D., Uyttendaele, M., Van Droogenbroeck, B., Van Loey, A. M., Hendrickx, M. E. (2015). Pectin characterisation in vegetable waste streams: A starting point for waste valorisation in the food industry. *LWT - Food Science and Technology*, 61(2), 275–282.
- CIE, C. I. de l'Eclairage. (1986). Colorimetry. 2nd Edition. Commission Internationale de l'Eclairage, Vienna.
- Clarke, A. E., & Knox, R. B. (1979). Plants and immunity. *Developmental and Comparative Immunology*, 3(C), 571–589.
- Colodel, C., Vriesmann, L. C., Teófilo, R. F., de Oliveira Petkowicz, C. L. (2018). Extraction of pectin from ponkan (*Citrus reticulata* Blanco cv.

- Ponkan) peel: Optimization and structural characterization. *International Journal of Biological Macromolecules*, 117, 385–391.
- Cravotto, G., Gaudino, E. C., & Cintas, P. (2013). On the mechanochemical activation by ultrasound. *Chemical Society Reviews*, 42(18), 7521–34.
- Darvill, A. G., McNeil, M., & Albersheim, P. (1978). The structure of plant cell walls VIII. A new pectic polysaccharide. *Plant Physiology*, 62(3), 418–422.
- Del Valle, M., Cámara, M., & Torija, M. E. (2006). Chemical characterization of tomato pomace. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 86(8), 1232–1236.
- Dische, Z. (1946). A new specific color reaction of hexenuronic acids. *The Journal of Biochemical Chemistry*, 167(1), 189–198.
- Dominiak, M., Søndergaard, K. M., Wichmann, J., Vidal-Melgosa, S., Willats, W. G. T., Meyer, A. S., Mikkelsen, J. D. (2014). Application of enzymes for efficient extraction, modification, and development of functional properties of lime pectin. *Food Hydrocolloids*, 40, 273–282.
- Dranca, F., & Oroian, M. (2016). Optimization of ultrasound-assisted extraction of total monomeric anthocyanin (TMA) and total phenolic content (TPC) from eggplant (*Solanum melongena* L.) peel. *Ultrasonics Sonochemistry*, 31, 637–646.
- Dranca, F., & Oroian, M. (2018a). Effect of acid type and particle size on the yield and purity of apple (*Malus domestica* ‘Fălticeni’) pomace pectin. *Food and Environment Safety Journal*, 17(2), 246–251.
- Dranca, F., & Oroian, M. (2018b). Extraction, purification and characterization of pectin from alternative sources with potential technological applications. *Food Research International*, 113, 327–350.
- Dranca, F., & Oroian, M. (2019a). Optimization of pectin enzymatic extraction from *Malus domestica* ‘Fălticeni’ apple pomace with Celluclast 1.5L. *Molecules*, 24(11), 2158.
- Dranca, F., & Oroian, M. (2019b). Optimization of sequential ultrasound-assisted extraction - heating treatment to obtain pectin from *Malus domestica* “Fălticeni” pomace. *Food and Environment Safety Journal*, 18(2), 82–88.
- Dranca, F., & Oroian, M. (2019c). Ultrasound-assisted extraction of pectin from *Malus domestica* ‘Fălticeni’ apple pomace. *Processes*, 7(8), 488.
- Einhorn-Stoll, U. (2018). Pectin-water interactions in foods – From powder to gel. *Food Hydrocolloids*, 78, 109–119.
- Fakayode, O. A., & Abobi, K. E. (2018). Optimization of oil and pectin extraction from orange (*Citrus sinensis*) peels: a response surface

- approach. *Journal of Analytical Science and Technology*, 9(1), 20.
- Franchi, M. L., Marzialelli, M. B., Pose, G. N., Cavalitto, S. F. (2014). Evaluation of enzymatic pectin extraction by a recombinant polygalacturonase (PGI) from apples and pears pomace of argentinean production and characterization of the extracted pectin. *Journal of Food Process Technology*, 5(8), 8–11.
- Freitas de Oliveira, C., Giordani, D., Lutckemier, R., Gurak, P. D., Cladera-Olivera, F., Ferreira Marczak, L. D. (2016). Extraction of pectin from passion fruit peel assisted by ultrasound. *LWT - Food Science and Technology*, 71, 110–115.
- Funakawa, H., & Miwa, K. (2015). Synthesis of borate cross-linked rhamnogalacturonan II. *Frontiers in Plant Science*, 6, 223.
- Gan, C.-Y., & Latiff, A. A. (2011). Extraction of antioxidant pectic-polysaccharide from mangosteen (*Garcinia mangostana*) rind: Optimization using response surface methodology. *Carbohydrate Polymers*, 83(2), 600–607.
- Geng, L., Zhou, W., Qu, X., Chen, W., Li, Y., Liu, C., Wang, L. (2014). Optimization of the preparation of pectin from Aloe using a Box–Behnken design. *Carbohydrate Polymers*, 105, 193–199.
- Giacomazza, D., Bulone, D., San Biagio, P. L., Marino, R., Lapasin, R. (2018). The role of sucrose concentration in self-assembly kinetics of high methoxyl pectin. *International Journal of Biological Macromolecules*, 112, 1183–1190.
- Grassino, A. N., Brnčić, M., Vikić-Topić, D., Roca, S., Dent, M., Brnčić, S. R. (2016). Ultrasound assisted extraction and characterization of pectin from tomato waste. *Food Chemistry*, 198, 93–100.
- Guandalini, B. B. V., Rodrigues, N. P., & Marczak, L. D. F. (2018). Sequential extraction of phenolics and pectin from mango peel assisted by ultrasound. *Food Research International*, 119, 455–461.
- Guillon, F., Moïse, A., Quemener, B., Bouchet, B., Devaux, M. F., Alvarado, C., Lahaye, M. (2017). Remodeling of pectin and hemicelluloses in tomato pericarp during fruit growth. *Plant Science*, 257, 48–62.
- Guo, X., Guo, X., Yu, S., Kong, F. (2018). Influences of the different chemical components of sugar beet pectin on the emulsifying performance of conjugates formed between sugar beet pectin and whey protein isolate. *Food Hydrocolloids*, 82, 1–10.
- Guo, X., Meng, H., Zhu, S., Tang, Q., Pan, R., Yu, S. (2016). Stepwise ethanolic precipitation of sugar beet pectins from the acidic extract. *Carbohydrate Polymers*, 136, 316–321.
- Güzel, M., & Akpınar, Ö. (2019). Valorisation of fruit by-products:

- Production characterization of pectins from fruit peels. *Food and Bioproducts Processing*, 115, 126–133.
- Hachem, K., Benabdesslem, Y., Ghomari, S., Hasnaoui, O., Kaid-Harche, M. (2016). Partial structural characterization of pectin cell wall from *Argania spinosa* leaves. *Heliyon*, 2(2), 1–16.
- Happi Emaga, T., Garna, H., Paquot, M., Deleu, M. (2012). Purification of pectin from apple pomace juice by using sodium caseinate and characterisation of their binding by isothermal titration calorimetry. *Food Hydrocolloids*, 29(1), 211–218.
- Hua, X., Wang, K., Yang, R., Kang, J., Yang, H. (2015). Edible coatings from sunflower head pectin to reduce lipid uptake in fried potato chips. *LWT - Food Science and Technology*, 62(2), 1220–1225.
- Jafari, F., Khodaiyan, F., Kiani, H., Hosseini, S. S. (2017). Pectin from carrot pomace: Optimization of extraction and physicochemical properties. *Carbohydrate Polymers*, 157, 1315–1322.
- Kaya, M., Sousa, A. G., Crépeau, M. J., Sørensen, S. O., & Ralet, M. C. (2014). Characterization of citrus pectin samples extracted under different conditions: Influence of acid type and pH of extraction. *Annals of Botany*, 114(6), 1319–1326.
- Kazemi, M., Khodaiyan, F., & Hosseini, S. S. (2019). Utilization of food processing wastes of eggplant as a high potential pectin source and characterization of extracted pectin. *Food Chemistry*, 294, 339–346.
- Kazemi, M., Khodaiyan, F., Labbafi, M., Saeid Hosseini, S., Hojjati, M. (2019). Pistachio green hull pectin: Optimization of microwave-assisted extraction and evaluation of its physicochemical, structural and functional properties. *Food Chemistry*, 271, 663–672.
- Kliemann, E., De Simas, K. N., Amante, E. R., Prudêncio, E. S., Teófilo, R. F., Ferreira, M. M. C., Amboni, R. D. M. C. (2009). Optimisation of pectin acid extraction from passion fruit peel (*Passiflora edulis* flavicarpa) using response surface methodology. *International Journal of Food Science and Technology*, 44(3), 476–483.
- Kumar, A., & Chauhan, G. S. (2010). Extraction and characterization of pectin from apple pomace and its evaluation as lipase (steapsin) inhibitor. *Carbohydrate Polymers*, 82(2), 454–459.
- Kumar, V., Sinha, A. K., Makkar, H. P. S., de Boeck, G., Becker, K. (2012). Dietary roles of non-starch polysaccharides in human nutrition: a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 52(10), 899–935.
- Kyomugasho, C., Christiaens, S., Shpigelman, A., Van Loey, A. M., Hendrickx, M. E. (2015). FT-IR spectroscopy, a reliable method for routine analysis of the degree of methylesterification of pectin in

- different fruit- and vegetable-based matrices. *Food Chemistry*, 176, 82–90.
- Larsen, N., Cahú, T. B., Isay Saad, S. M., Blennow, A., Jespersen, L. (2018). The effect of pectins on survival of probiotic *Lactobacillus* spp. in gastrointestinal juices is related to their structure and physical properties. *Food Microbiology*, 74, 11–20.
- Lefsih, K., Giacomazza, D., Dahmoune, F., Mangione, M. R., Bulone, D., San Biagio, P. L., Madani, K. (2017). Pectin from *Opuntia ficus indica*: Optimization of microwave-assisted extraction and preliminary characterization. *Food Chemistry*, 221, 91–99.
- Leivas, C. L., Iacomini, M., & Cordeiro, L. M. C. (2016). Pectic type II arabinogalactans from starfruit (*Averrhoa carambola* L.). *Food Chemistry*, 199, 252–257.
- Lewandowska, K., Dąbrowska, A., & Kaczmarek, H. (2012). Rheological properties of pectin, poly(vinyl alcohol) and their blends in aqueous solutions. *E-Polymers*, 12(1).
- Liew, S. Q., Chin, N. L., & Yusof, Y. A. (2014). Extraction and characterization of pectin from passion fruit peels. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 2, 231–236.
- Liew, S. Q., Ngoh, G. C., Yusoff, R., Teoh, W. H. (2016). Sequential ultrasound-microwave assisted acid extraction (UMAE) of pectin from pomelo peels. *International Journal of Biological Macromolecules*, 93, 426–435.
- Lira-Ortiz, A. L., Reséndiz-Vega, F., Ríos-Leal, E., Contreras-Esquivel, J. C., Chavarria-Hernández, N., Vargas-Torres, A., Rodríguez-Hernández, A. I. (2014). Pectins from waste of prickly pear fruits (*Opuntia albicarpa* Scheinvar 'Reyna'): Chemical and rheological properties. *Food Hydrocolloids*, 37, 93–99.
- Lovegrove, A., Edwards, C. H., De Noni, I., Patel, H., El, S. N., Grassby, T., Shewry, P. R. (2015). Role of polysaccharides in food, digestion and health. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 8398, 237–253.
- Luo, S.-J., Chen, R.-Y., Huang, L., Liang, R.-H., Liu, C.-M., Chen, J. (2017). Investigation on the influence of pectin structures on the pasting properties of rice starch by multiple regression. *Food Hydrocolloids*, 63, 580–584.
- Ma, S., Yu, S., Zheng, X., Wang, X., Bao, Q., Guo, X. (2013). Extraction, characterization and spontaneous emulsifying properties of pectin from sugar beet pulp. *Carbohydrate Polymers*, 98(1), 750–753.
- Maran, J. P. (2015). Statistical optimization of aqueous extraction of pectin from waste durian rinds. *International Journal of Biological*

- Macromolecules*, 73(1), 92–98.
- Maran, J. P., & Prakash, K. A. (2015). Process variables influence on microwave assisted extraction of pectin from waste Carcia papaya L. peel. *International Journal of Biological Macromolecules*, 73, 202–206.
- Maran, J. P., & Priya, B. (2015). Ultrasound-assisted extraction of pectin from sisal waste. *Carbohydrate Polymers*, 115, 732–738.
- Maran, J. P., Priya, B., Al-Dhabi, N. A., Ponnurugan, K., Moorthy, I. G., Sivarajasekar, N. (2017). Ultrasound assisted citric acid mediated pectin extraction from industrial waste of Musa balbisiana. *Ultrasonics Sonochemistry*, 35, 204–209.
- Marić, M., Grassino, A. N., Zhu, Z., Barba, F. J., Brnčić, M., Rimac Brnčić, S. (2018). An overview of the traditional and innovative approaches for pectin extraction from plant food wastes and by-products: Ultrasound-, microwaves-, and enzyme-assisted extraction. *Trends in Food Science & Technology*, 76, 28–37.
- Martínez-Martínez, E., Calvier, L., Fernández-Celis, A., Rousseau, E., Jurado-López, R., Rossoni, L. V., López-Andrés, N. (2015). Galectin-3 blockade inhibits cardiac inflammation and fibrosis in experimental hyperaldosteronism and hypertension. *Hypertension*, 66(4), 767–775.
- Melton, L. D., & Smith, B. G. (2001). Determination of the uronic acid content of plant cell walls using a colorimetric assay. *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*, 1, E3.3.1-E3.3.4.
- Methacanon, P., Krongsin, J., & Gamonpilas, C. (2014). Pomelo (*Citrus maxima*) pectin: Effects of extraction parameters and its properties. *Food Hydrocolloids*, 35, 383–391.
- Moore, J. P., Nguema-Ona, E., Fangel, J. U., Willats, W. G. T., Hugo, A., Vivier, M. A. (2014). Profiling the main cell wall polysaccharides of grapevine leaves using high-throughput and fractionation methods. *Carbohydrate Polymers*, 99, 190–198.
- Moorthy, I. G., Maran, J. P., Ilakya, S., Anitha, S. L., Sabarima, S. P., Priya, B. (2017). Ultrasound assisted extraction of pectin from waste Artocarpus heterophyllus fruit peel. *Ultrasonics Sonochemistry*, 34, 525–530.
- Moorthy, I. G., Maran, J. P., Surya, S. M., Naganyashree, S., Shivamathi, C. S. (2015). Response surface optimization of ultrasound assisted extraction of pectin from pomegranate peel. *International Journal of Biological Macromolecules*, 72, 1323–1328.
- Muñoz-Almagro, N., Montilla, A., Moreno, F. J., Villamiel, M. (2017). Modification of citrus and apple pectin by power ultrasound: Effects of acid and enzymatic treatment. *Ultrasonics Sonochemistry*, 38, 807–

819.

- Naghshineh, M., Larsen, J., Georgiou, C., Olsen, K. (2016). A green analytical method for rapid determination of pectin degree of esterification using micro sequential injection lab-on-valve system. *Food Chemistry*, 204, 513–520.
- Naghshineh, M., Olsen, K., & Georgiou, C. A. (2013). Sustainable production of pectin from lime peel by high hydrostatic pressure treatment. *Food Chemistry*, 136(2), 472–478.
- O'Shea, N., Ktenioudaki, A., Smyth, T. P., McLoughlin, P., Doran, L., Auty, M. A. E., Gallagher, E. (2015). Physicochemical assessment of two fruit by-products as functional ingredients: Apple and orange pomace. *Journal of Food Engineering*, 153, 89–95.
- Ognyanov, M., Remoroza, C., Schols, H. A., Georgiev, Y., Kratchanova, M., Kratchanov, C. (2016). Isolation and structure elucidation of pectic polysaccharide from rose hip fruits (*Rosa canina* L.). *Carbohydrate Polymers*, 151, 803–811.
- Ogut, F. O., & Mu, T.-H. (2017). Ultrasonic degradation of sweet potato pectin and its antioxidant activity. *Ultrasonics Sonochemistry*, 38, 726–734.
- Oroian, M., & Ropciuc, S. (2017). Honey authentication based on physicochemical parameters and phenolic compounds. *Computers and Electronics in Agriculture*, 138, 148–156.
- Pancerz, M., Ptaszek, A., Sopińska, K., Barbasz, J., Szlachcic, P., Kucharek, M., Łukasiewicz, M. (2019). Colligative and hydrodynamic properties of aqueous solutions of pectin from cornelian cherry and commercial apple pectin. *Food Hydrocolloids*, 89, 406–415.
- Pasandide, B., Khodaiyan, F., Mousavi, Z. E., Hosseini, S. S. (2017). Optimization of aqueous pectin extraction from *Citrus medica* peel. *Carbohydrate Polymers*, 178, 27–33.
- Patra, P., Das, D., Behera, B., Maiti, T. K., Islam, S. S. (2012). Structure elucidation of an immunoenhancing pectic polysaccharide isolated from aqueous extract of pods of green bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Carbohydrate Polymers*, 87(3), 2169–2175.
- Pelloux, J., Rustérucchi, C., & Mellerowicz, E. J. (2007). New insights into pectin methylesterase structure and function. *Trends in Plant Science*, 12(6), 267–277.
- Pereira, P. H. F., Oliveira, T. Í. S., Rosa, M. F., Cavalcante, F. L., Moates, G. K., Wellner, N., Azeredo, H. M. C. (2016). Pectin extraction from pomegranate peels with citric acid. *International Journal of Biological Macromolecules*, 88, 373–379.
- Perussello, C. A., Zhang, Z., Marzocchella, A., Tiwari, B. K. (2017).

- Valorization of apple pomace by extraction of valuable compounds. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 16(5), 776–796.
- Petkowicz, C. L. O., Vriesmann, L. C., & Williams, P. A. (2017). Pectins from food waste: Extraction, characterization and properties of watermelon rind pectin. *Food Hydrocolloids*, 65, 57–67.
- Priyangini, F., Walde, S. G., & Chidambaram, R. (2018). Extraction optimization of pectin from cocoa pod husks (*Theobroma cacao* L.) with ascorbic acid using response surface methodology. *Carbohydrate Polymers*, 202, 497–503.
- Ranggana, S. (1986). *Handbook of Analysis and Quality Control for Fruit and Vegetable Products*. New Delhi, India: McGraw Hill Publishing Co. Ltd.
- Rodsamran, P., & Sothornvit, R. (2019). Microwave heating extraction of pectin from lime peel: Characterization and properties compared with the conventional heating method. *Food Chemistry*, 278, 364–372.
- Sila, D. N., Van Buggenhout, S., Duvetter, T., Fraeye, I., De Roeck, A., Van Loey, A., Hendrickx, M. (2009). Pectins in processed fruits and vegetables: Part II - Structure-function relationships. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 8(2), 86–104.
- Sims, I. M., & Bacic, A. (1995). Extracellular polysaccharides from suspension cultures of *Nicotiana plumbaginifolia*. *Phytochemistry*, 38(6), 1397–1405.
- Sousa, A. G., Nielsen, H. L., Armagan, I., Larsen, J., Sørensen, S. O. (2015). The impact of rhamnogalacturonan-I side chain monosaccharides on the rheological properties of citrus pectin. *Food Hydrocolloids*, 47, 130–139.
- Stevenson, T. T., Darvill, A. G., & Albersheim, P. (1988). 3-deoxy-d-lyxo-2-heptulosaric acid, a component of the plant cell-wall polysaccharide rhamnogalacturonan-II. *Carbohydrate Research*, 179(C), 269–288.
- Su, D.-L., Li, P.-J., Quek, S. Y., Huang, Z.-Q., Yuan, Y.-J., Li, G.-Y., Shan, Y. (2019). Efficient extraction and characterization of pectin from orange peel by a combined surfactant and microwave assisted process. *Food Chemistry*, 286, 1–7.
- Swamy, G. J., & Muthukumarappan, K. (2017). Optimization of continuous and intermittent microwave extraction of pectin from banana peels. *Food Chemistry*, 220, 108–114.
- Taylor, D., Radbruch, L., Revnic, J., Torres, L. M., Ellershaw, J. E., Perelman, M. (2014). A report on the long-term use of fentanyl pectin nasal spray in patients with recurrent breakthrough pain. *Journal of Pain and Symptom Management*, 47(6), 1001–1007.

- Venzon, S. S., Canteri, M. H. G., Granato, D., Demczuk, B., Maciel, G. M., Stafussa, A. P., Haminiuk, C. W. I. (2015). Physicochemical properties of modified citrus pectins extracted from orange pomace. *Journal of Food Science and Technology*, 52(7), 4102–4112.
- Verherthbruggen, Y., Marcus, S. E., Haeger, A., Ordaz-Ortiz, J. J., Knox, J. P. (2009). An extended set of monoclonal antibodies to pectic homogalacturonan. *Carbohydrate Research*, 344(14), 1858–1862.
- Virk, B. S., & Sogi, D. S. (2004). Extraction and characterization of pectin from apple (*Malus Pumila* . Cv Amri) peel waste. *International Journal of Food Properties*, 7(3), 693–703.
- Wai, W. W., AlKarkhi, A. F. M., & Easa, A. M. (2010). Comparing biosorbent ability of modified citrus and durian rind pectin. *Carbohydrate Polymers*, 79(3), 584–589.
- Wang, M., Huang, B., Fan, C., Zhao, K., Hu, H., Xu, X., Liu, F. (2016). Characterization and functional properties of mango peel pectin extracted by ultrasound assisted citric acid. *International Journal of Biological Macromolecules*, 91, 794–803.
- Wang, W., Ma, X., Jiang, P., Hu, L., Zhi, Z., Chen, J., Liu, D. (2016). Characterization of pectin from grapefruit peel: A comparison of ultrasound-assisted and conventional heating extractions. *Food Hydrocolloids*, 61, 730–739.
- Wang, W., Ma, X., Xu, Y., Cao, Y., Jiang, Z., Ding, T., Liu, D. (2015). Ultrasound-assisted heating extraction of pectin from grapefruit peel: Optimization and comparison with the conventional method. *Food Chemistry*, 178, 106–114.
- Wang, W., Wu, X., Chantapakul, T., Wang, D., Zhang, S., Ma, X., Liu, D. (2017). Acoustic cavitation assisted extraction of pectin from waste grapefruit peels: A green two-stage approach and its general mechanism. *Food Research International*, 102, 101–110.
- Wang, X., Chen, Q., & Lü, X. (2014). Pectin extracted from apple pomace and citrus peel by subcritical water. *Food Hydrocolloids*, 38, 129–137.
- Wang, X., & Lü, X. (2014). Characterization of pectic polysaccharides extracted from apple pomace by hot-compressed water. *Carbohydrate Polymers*, 102, 174–184.
- Ward, D. P., Cárdenas-Fernández, M., Hewitson, P., Ignatova, S., Lye, G. J. (2015). Centrifugal partition chromatography in a biorefinery context: Separation of monosaccharides from hydrolysed sugar beet pulp. *Journal of Chromatography A*, 1411, 84–91.
- Wikiera, A., Mika, M., Starzyńska-Janiszewska, A., Stodolak, B. (2015b). Development of complete hydrolysis of pectins from apple pomace.

- Food Chemistry*, 172, 675–680.
- Wikiera, A., Mika, M., Starzyńska-Janiszewska, A., Stodolak, B. (2016). Endo-xylanase and endo-cellulase-assisted extraction of pectin from apple pomace. *Carbohydrate Polymers*, 142, 199–205.
- Willats, W. G. T., McCartney, L., Mackie, W., Knox, J. P. (2001). Pectin: Cell biology and prospects for functional analysis. *Plant Molecular Biology*, 47(1–2), 9–27.
- Wu, X., & Mort, A. (2014). Structure of a rhamnogalacturonan fragment from apple pectin: Implications for pectin architecture. *International Journal of Carbohydrate Chemistry*, 2014, 1–6.
- Xiao, C., & Anderson, C. T. (2013). Roles of pectin in biomass yield and processing for biofuels. *Frontiers in Plant Science*, 4, 67.
- Xu, Y., Zhang, L., Bailina, Y., Ge, Z., Ding, T., Ye, X., Liu, D. (2014). Effects of ultrasound and/or heating on the extraction of pectin from grapefruit peel. *Journal of Food Engineering*, 126, 72–81.
- Yamini, Y., Seidi, S., & Rezazadeh, M. (2014). Electrical field-induced extraction and separation techniques: Promising trends in analytical chemistry - A review. *Analytica Chimica Acta*, 814, 1–22.
- Yang, J.-S., Mu, T.-H., & Ma, M.-M. (2019). Optimization of ultrasound-microwave assisted acid extraction of pectin from potato pulp by response surface methodology and its characterization. *Food Chemistry*, 289, 351–359.
- Yang, N., Jin, Y., Tian, Y., Jin, Z., Xu, X. (2016). An experimental system for extraction of pectin from orange peel waste based on the o-core transformer structure. *Biosystems Engineering*, 148, 48–54.
- Yang, Y., Wang, Z., Hu, D., Xiao, K., Wu, J.-Y. (2018). Efficient extraction of pectin from sisal waste by combined enzymatic and ultrasonic process. *Food Hydrocolloids*, 79, 189–196.
- Yapo, B., & Koffi, K. (2013). Extraction and characterization of highly gelling low methoxy pectin from cashew apple pomace. *Foods*, 3(1), 1–12.
- Ying, Z., Han, X., & Li, J. (2011). Ultrasound-assisted extraction of polysaccharides from mulberry leaves. *Food Chemistry*, 127(3), 1273–1279.
- Yu, L., Zhang, X., Li, S., Liu, X., Sun, L., Liu, H., Tai, G. (2010). Rhamnogalacturonan I domains from ginseng pectin. *Carbohydrate Polymers*, 79(4), 811–817.
- Zaidel, D. N. A., Chronakis, I. S., & Meyer, A. S. (2012). Enzyme catalyzed oxidative gelation of sugar beet pectin: Kinetics and rheology. *Food Hydrocolloids*, 28(1), 130–140.
- Zandleven, J., Beldman, G., Bosveld, M., Schols, H. A., Voragen, A. G. J.

- (2006). Enzymatic degradation studies of xylogalacturonans from apple and potato, using xylogalacturonan hydrolase. *Carbohydrate Polymers*, 65(4), 495–503.
- Zhang, C., Zhu, X., Zhang, F., Yang, X., Ni, L., Zhang, W., Zhang, Y. (2020). Improving viscosity and gelling properties of leaf pectin by comparing five pectin extraction methods using green tea leaf as a model material. *Food Hydrocolloids*, 98, 105246.
- Zhang, L., Ye, X., Ding, T., Sun, X., Xu, Y., Liu, D. (2013). Ultrasound effects on the degradation kinetics, structure and rheological properties of apple pectin. *Ultrasonics Sonochemistry*, 20(1), 222–231.
- Zhang, Y., Liu, Z., Li, Y., Chi, R. (2014). Optimization of ionic liquid-based microwave-assisted extraction of isoflavones from *Radix puerariae* by response surface methodology. *Separation and Purification Technology*, 129, 71–79.
- Zhang, Z., Lv, G., He, W., Shi, L., Pan, H., Fan, L. (2013). Effects of extraction methods on the antioxidant activities of polysaccharides obtained from *Flammulina velutipes*. *Carbohydrate Polymers*, 98(2), 1524–1531.
- Zouambia, Y., Youcef Ettoumi, K., Krea, M., Moulai-Mostefa, N. (2017). A new approach for pectin extraction: Electromagnetic induction heating. *Arabian Journal of Chemistry*, 10(4), 480–487.

DISEMINAREA REZULTATELOR CERCETĂRIILOR

Rezultatele cercetărilor experimentale efectuate în cadrul obiectivelor stabilite pentru teza de doctorat au fost valorificate prin publicarea a 4 articole științifice în reviste de specialitate internaționale și a 2 articole în reviste în domeniul tezei din țară, recunoscute CNCIS.

A. Articole publicate în reviste indexate ISI Web of Knowledge

1. **Dranca, F.**, Vargas, M., & Oroian, M., 2020. Physicochemical properties of pectin from *Malus domestica* 'Fălticeni' apple pomace as affected by non-conventional extraction techniques. *Food Hydrocolloids*, 100, 105383, DOI: 10.1016/j.foodhyd.2019.105383 (factor de impact 5.839)
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0268005X19311828>
2. **Dranca, F.** & Oroian, M., 2019. Ultrasound-assisted extraction of pectin from *Malus domestica* 'Fălticeni' apple pomace. *Processes*, 7(8), 488, DOI: 10.3390/pr7080488 (factor de impact 1.963)
<https://www.mdpi.com/2227-9717/7/8/488>
3. **Dranca, F.** & Oroian, M., 2019. Optimization of pectin enzymatic extraction from *Malus domestica* 'Fălticeni' apple pomace with Celluclast 1.5L. *Molecules*, 24(11), 2158, DOI: 10.3390/molecules24112158 (factor de impact 3.098)
<https://www.mdpi.com/1420-3049/24/11/2158>
4. **Dranca, F.** & Oroian, M., 2018. Extraction, purification and characterization of pectin from alternative sources with potential technological applications. *Food Research International*, 113, 327-350, DOI: 10.1016/j.foodres.2018.06.065 (factor de impact 3.520)
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0963996918305192>

B. Articole publicate în reviste indexate în Baze de Date Internaționale (BDI)

1. **Dranca, F. & Oroian, M.**, 2019. Optimization of sequential ultrasound-assisted extraction - heating treatment to obtain pectin from *Malus domestica* 'Fălticeni' pomace. *Food and Environment Safety Journal*, 18(2), 82-55
<http://www.fia.usv.ro/fiajournal/index.php/FENS/article/view/640>
2. **Dranca, F. & Oroian, M.** 2018. Effect of acid type and particle size on the yield and purity of apple (*Malus domestica* 'Fălticeni') pomace pectin. *Food and Environment Safety Journal*, 17(2), 246-251
<http://fia.usv.ro/fiajournal/index.php/FENS/article/viewFile/586/555>

C. Lucrări comunicate la manifestări științifice internaționale

1. **Dranca, F. & Oroian, M.** Combined enzyme-assisted extraction – ultrasound-assisted extraction of pectin from *Malus domestica* 'Fălticeni' apple pomace. *International Conference on Agronomy and Food Science and Technology (AGROFOOD)*, Istanbul, Turcia, 20-21 Iunie 2019.
2. **Dranca, F. & Oroian, M.** Microwave-assisted extraction of pectin from apple pomace (*Malus domestica* 'Fălticeni'). *The 7th International Young Scientists Conference - Human - Nutrition - Environment*, Universitatea din Rzeszow, Polonia, 4-5 Iunie 2018.
3. **Dranca, F. & Oroian, M.** Pectin extraction from *Malus domestica* 'Fălticeni': Effect of the conditions of citric acid extraction on pectin yield and composition. *The 7th International Conference Biotechnologies – Present and Perspectives*, Facultatea de Inginerie Alimentară, Universitatea „Ștefan cel Mare”, Suceava, România, 24-25 Noiembrie 2017.