
TEZĂ DE DOCTORAT

Valorificarea Subproduselor Agro-alimentare și a Deșeurilor Organice Solide pentru Obținerea de Îndulcitori și Arome

Doctorand **Gheorghe-Adrian MARTĂU**

(REZUMAT AL TEZEI DOCTORALE)

Conducător de doctorat **Prof. dr. Dan Cristian VODNAR**



REZUMAT

Introducere

Glucidele sunt principalele surse de carbon și energie pentru majoritatea tipurilor de celule și joacă roluri importante în metabolism, creștere, rezistența la stres a: bacteriilor, drojdiilor, ciupercilor, fungilor, dar și a plantelor și animalelor. Cu toate acestea, excesul de glucide în dieta umană este puternic asociat cu riscul crescut de obezitate, boli de inimă, diabet și carii dentare. Având în vedere asocierea puternică dintre aportul de glucide adăugate în exces și riscul de îmbolnăvire, este recomandat să consumăm alimente diversificate, cu conținut redus de zahăr. Zaharurile naturale, precum cele din fructe și legume, sunt în general considerate o alternativă mai sănătoasă. În același timp, o soluție pentru reducerea cantității de zahăr din alimente este utilizarea de îndulcitori naturali, precum sunt polioli, cu potențial mare în industria alimentară și în domeniul medical. Polioli prezintă o serie de avantaje: conținut redus de calorii, metabolizare scăzută, indice glicemic scăzut.

Politicile globale privind adaosul de polioli în alimente au în vedere reducerea problemelor de sănătate asociate cu alimentele bogate în zahăr. În ultimii ani, au fost dezvoltate cercetări pentru îmbunătățirea productivității și creșterea randamentului de producție a poliolilor utilizând metode simple și accesibile financiar, cu precădere metode biotehnologice pentru producerea de polioli cum sunt eritritolul și manitolul. Eritritolul și manitolul sunt îndulcitori care nu prezintă risc pentru sănătatea consumatorilor. Aceștia pot fi produși biotehnologic utilizând culturi de drojii sau bacterii lactice acide (BLA), cultivate pe diferite substraturi, inclusiv pe subproduse agro-alimentare.

Rezultatele științifice recente din domeniul științei alimentelor și al biotehnologiei asigură faptul că subprodusele provenite de la prelucrarea alimentelor pot fi considerate surse bogate în compuși bioactivi. Subprodusele alimentare reprezintă o problemă globală, în special în multe țări dezvoltate datorită volumului mare de alimente procesate în mod constant. Suplimentar, cererea de alimente a crescut din cauza urbanizării, creșterii populației și creșterii veniturilor, iar îndeplinirea cerințelor consumatorilor rămâne o provocare globală majoră pe termen lung. Una dintre cele mai mari industrii este cea de prelucrare a merelor, care generează un volum masiv de subproduse. Având în vedere cantitatea anuală procesată, de până la 12 milioane de tone

(Mt), și o producție globală de mere la 87 milioane de tone/an, dintre care, aproximativ 18% sunt procesate, rezultă o cantitate de subproduse de măr (SM) de aproximativ 20–35% din greutatea fructelor de mere proaspete. În cazul în care producția și consumul de mere vor prezenta aceeași tendință de creștere, asemănătoare ultimelor două decenii, se preconizează o creștere a cantității de subproduse cu 16%, mai precis 14,17 Mt până în anul 2030.

O altă îngrijorare la nivel global este reprezentată de gestionarea și valorificarea deșeurilor, mai exact a fracției organice a deșeurilor solide municipale (FODSM). Eliminarea deșeurilor solide municipale (DSM) reprezintă o provocare constantă pentru autoritățile responsabile cu gestionarea deșeurilor. Spre exemplu, producția globală de DSM se preconizează că va crește cu până la 70% până în anul 2050 de la 2010 Mt raportată în anul 2016. Pe lângă DSM, industrializarea globală a contribuit, de asemenea, la o creștere fără precedent a deșeurilor solide industriale. De exemplu, în anul 2017, rata de generare a deșeurilor industriale a fost de aproximativ 18 ori mai mare comparativ cu DSM. O mare parte a deșeurilor industriale și a DSM sunt reziduuri organice care pot fi folosite ca substraturi în procese biotehnologice.

Costul scăzut și abundența ridicată a subproduselor alimentare și a FODSM, le recomandă a fi utilizate ca substraturi nutritive pentru obținerea de compuși cu valoare adăugată, obținuți în urma proceselor de fermentație (exemplu: îndulcitori, arome). Abordările moderne de integrare a subproduselor și a deșeurilor organice în procesele de fermentație, crează oportunități cu privire la reducerea poluării mediului și asocierea acestor bioprocese cu economia circulară. Având în vedere această asociere, prin integrarea SM în obținerea de maiele, valoarea nutritivă a produsului final crește, crește producția de polioli, evidențiind o nouă abordare de reducere a adaosului de zahăr în produsele de patiserie. De asemenea, prin utilizarea tărâțelelor de grâu ca substrat pentru producția de enzime, urmată de o hidroliză, poate avea ca rezultat producerea de compuși de aromă, cum este vanilina, cea mai populară aromă din lume, la un preț redus și etichetată ca produs natural.

Pe lângă plăcerea consumului de alimente dulci, consumatorul este legat și de proprietățile aromatizante ale acestora. Vanilia este principalul agent aromatizant, natural, utilizat în industriile: farmaceutică, alimentară, cosmetică. Vanilina poate fi produsă astfel: sinteză chimică, biosinteză vegetală și procese biotehnologice (producția de (bio)-vanilină). Bio-vanilina obținută prin procese biotehnologice, are avantaje semnificative față de celelalte două procese, inclusiv satisfacerea nevoilor tendințelor moderne de consum, fiind considerată

naturală și susținând producția industrială prin utilizarea unor surse alternative din subproduse și deșeuri. Calea biotehnologică pentru producția de vanilină utilizând subproduse și deșeuri ca substrat pentru creșterea microorganismelor după un proces de hidroliză, reprezintă o abordare nouă pentru obținerea bio-vanilinei. Abordarea nouă, care implică tehnologii integrate (microorganisme, producție de enzime, proces de hidroliză, tehnologii avansate pentru valorificarea subproduselor) pentru obținerea de bio-vanilină este o cale promițătoare, pentru o producție de bio-vanilină cu potențial industrial ridicat.

Fermentația pe substrat solid (FSS) este recunoscută ca un proces adecvat pentru producția de enzime, utilizând subproduse alimentare ca substrat. Cu toate acestea, doar câteva studii au evaluat fezabilitatea aplicării enzimelor produse prin FSS pentru hidrolize ulterioare, urmate de obținerea de compuși țintă, de exemplu, bio-vanilină, acid lactic, prin fermentații lichide submerse.

În ceea ce privește procesele biotehnologice, FSS câștigă popularitate datorită impactului pozitiv asupra economiei și a mediului. Procesul de fermentație este utilizat pentru a crește caracterul nutrițional al alimentelor, iar cele mai recente studii utilizează diferite deșeuri sau subproduse pentru cultivarea microorganismelor. Enzimele produse de microorganisme prin FSS pot fi utilizate pentru a reduce prețul producerii de îndulcitori și arome. Aceste enzime sunt capabile să crească conținutul de zaharuri, crescând, de asemenea, bio-accesibilitatea și eliberarea anumitor compuși cum este acidul ferulic din tărâța de grâu. FSS este superioară fermentației submerse datorită productivității mai mari, necesarului de apă scăzut, consumului de energie mai mic, aerării ușoare, cererii mai scăzute de sterilizare a mediilor de fermentație, procesării mai ușoare, asemănării cu un habitat natural al microorganismelor.

Obiectivele cercetării

Prezenta teză și-a propus să valorifice sustenabil subprodusele alimentare și deșeurile organice solide municipale prin abordări biotehnologice pentru producerea de polioli și arome. Interesul crescut al consumatorilor pentru produsele fermentate determină apariția de noi alimente, inclusiv produse alimentare care conțin subproduse pentru îmbogățirea valorii nutritive. Având în vedere aceste aspecte, prima parte a tezei își propune să formuleze și să evalueze un sistem de maia atractiv, îmbogățit cu pudră din SM și fermentat de culturi selective de microorganisme (*S. cerevisiae*;

Fructilactobacillus florum DSM 22689, cunoscut pentru faptul că produce polioli) ieftine și sigure pentru consum, cu scop final de reducere a zahărului adăugat în produsele de patiserie și creșterea producției de polioli. Fermentația aluatului a fost monitorizată fizico-chimic și microbiologic pe parcursul a 72 de ore. Îmbogățirea aluatului cu subproduse crește digestibilitatea proteinelor, conținutul total de fibre solubile/insolubile, reduce indicele glicemic al alimentelor și îmbunătățește biodisponibilitatea mineralelor. Cea mai semnificativă contribuție oferită de SM este reprezentată de glucidele fermentescibile. Aceste glucide, prelungesc timpul de fermentație favorizând în principal fermentația lactică în co-culturi pentru producția de polioli. De asemenea, SM este o sursă importantă de fibre alimentare. Fibrele alimentare încetinesc procesele asociate cu digestia carbohidraților, fluidizând tranzitul intestinal.

Partea a doua a tezei prezintă producția de enzime prin FSS, cu scop final de eficientizare economică a procesului biotehnologic de obținere a aromelor precum vanilina prin utilizarea de procese enzimaticе. Pentru ca procesul să fie eco-eficient, substratul utilizat este reprezentat de tărâța de grâu, fără suplimentare cu nutrienți. Producția de enzime s-a realizat prin FSS utilizând un fung (*Aspergillus awamori*) cunoscut pentru faptul că poate produce cantități însemnate de enzime. Aceste FSS au fost monitorizate și evaluate pe parcursul a 10 zile. După o etapă de optimizare a FSS, enzimele obținute au fost utilizate pentru hidrolizarea FODSM, pentru creșterea conținutului de glucide. Hidrolizatul bogat în glucide fermentescibile, poate fi o sursă de substrat accesibil economic, pentru obținerea aromelor dar și a altor compuși de interes cum este acidul lactic.

Ultima parte a tezei prezintă microîncapsularea microorganismelor, enzimelor și constituenților aromatizanți obținuți din subproduse și deșeuri aplicând diferiți biopolimeri. Prin urmare, strategia de microîncapsulare a fost investigată printr-un studiu cuprinzător al literaturii de specialitate. Încapsularea microorganismelor cu diferiți biopolimeri precum chitosanul, alginatul și pectina reprezintă o posibilitate de eficientizare economică a proceselor biotehnologice. În plus, a fost evaluată și partea de biocompatibilitate, bioadezivitate și biodegradabilitate pentru chitosan, alginat și pectină cu scopul de a fi utilizați în procese alimentare, biotehnologice și aplicații biomedicale.

Pentru atingerea scopului tezei, următoarele aspecte au fost cercetate și materializate în trei obiective:

0.1. Integrarea pudrei formate din subprodusul de mere în fermentația unei maiele utilizând cultură selectivă de microorganisme pentru creșterea valorii nutritive și a producției de polioli.

0.2. Dezvoltarea unor metode alternative de obținere a vanilinei din subproduse agroindustriale.

0.3. Fermentarea pe substrat solid a tărâțelor de grâu (producția de enzime), pentru a obține un substrat accesibil economic, îmbogățit cu enzime în vederea hidrolizării FODSM urmată de o fermentație submersă pentru producerea de metaboliți (vanilină sau acid lactic).

0.4. Eficientizarea procesului biotehnologic prin microîncapsularea enzimelor, microorganismelor, și a compușilor bioactivi din deșeuri și subproduse agro-alimentare.

Rezultatele acestei teze au fost publicate în trei articole de tip *Review* (primul într-o revistă indexată ISI cu IF 8.429 – în jurnalul *Critical Reviews in Biotechnology*; al doilea într-o revistă indexată ISI cu IF 12.563 – în jurnalul *Trends in Food Science & Technology*; al treilea într-o revistă indexată ISI cu IF 4.329 – în jurnalul *Polymers*). Fiecare articol de tip *Original Research* are asociat un articol de tip *Review* care constituie baza cercetărilor originale prin modelele biotehnologice existente și revizuite critic pentru asigurarea succesului experimentelor derulate. Ca atare, s-au publicat două articole de tip *Original Research* (primul într-o revistă indexată ISI cu IF 5.64 – în jurnalul *Frontiers in Microbiology*; al doilea într-o revistă indexată ISI cu IF 5.816 – în *Journal of Fungi*).

Studiile și experimentele descrise în această teză au fost efectuate în cadrul Centrului de Biotehnologii Alimentare și Gastronomie Moleculară, "Institutul de Științe Vietii Regele Mihai I al României", Universitatea de Științe Agricole și Medicină Veterinară din Cluj-Napoca și în cadrul "Leibniz-Institut für Agrartechnik und Bioökonomie (ATB)", Potsdam, Germania.

Teza de doctorat este structurată în două părți principale: studiul actual al cunoașterii conținând un articol de tip review (**capitolul 1**) și cercetarea originală care conține ipoteza/obiectivele de lucru (**capitolul 1 din partea a doua**) și metodologiile generale (**capitolul 2**), urmate de articolele de cercetare proprii (**capitolele 3-6**), concluziile generale și recomandările (**capitolul 7**), respectiv originalitatea și contribuția inovativă a tezei (**capitolul 8**).

În ceea ce privește **prima parte** (“State of the Art” - articolul de tip review), studiile au fost identificate prin efectuarea de căutări în bazele de date electronice PubMed, Web of Science Core Collection, Scopus și Google Scholar. După examinarea literaturii, s-a observat faptul că în condiții anaerobe și în prezența unei surse de fructoză, se favorizează fermentația heterolactică pentru producția de polioli. SM este bogat în zaharuri fermentabile, cum este fructoza (19,2%), creând o condiție excelentă pentru BLA, în special în co-cultură cu *S. cerevisiae*.

SM, tărâțele de grâu și FODSM sunt printre cele mai ieftine și disponibile substraturi. Strategiile investigate, precum și bioprocesele, producția de enzime, hidrolizele, tehnicile de încapsulare, susțin conceptul de management al subproduselor și al deșeurilor pentru un concept de “zero deșeuri”.

În ceea ce privește **partea a doua**, experimentele, care au implicat cultivarea microorganismelor s-au desfășurat în fermentații submerse și pe substrat solid în condiții controlate și sterile. Întregul proces s-a desfășurat în conformitate cu analiza literaturii de specialitate și cu ajutorul expertizei membrilor din cadrul USAMV Cluj-Napoca și de la Leibniz-Institut für Agrartechnik und Bioökonomie (ATB), Potsdam, Germania. Condițiile de cultivare pentru microorganismele investigate au fost stabilite și optimizate prin screening-ul din literatură. Analizele și determinările au fost efectuate în duplicat și triplicat pentru fiecare studiu și analiză individuală.

Analizele statistice au fost efectuate utilizând software-ul GraphPad Prism Versiunea 8.0.1 (Graph Pad Software Inc., San Diego, CA, SUA) și IBM SPSS Statistics 19. Rezultatele au fost exprimate ca medie \pm abatere standard (SD). Normalitatea datelor a fost studiată utilizând testul Shapiro-Wilk. One-way ANOVA cu Tukey HSD posthoc a fost utilizată pentru a determina dacă au existat diferențe semnificative între două probe pentru fiecare compus identificat. În cazul în care, valoarea F a obținut valori de $p < 0,05$, s-au continuat calculele, iar semnificația diferențelor s-a obținut pentru loturi de câte două probe. Au fost aplicate și teste posthoc, Scheffé, Bonferroni și Holm pentru a consolida rezultatele. În cele mai multe cazuri, s-a obținut același rezultat ca în testul Tuckey. La fiecare interval de timp, media \pm abaterea standard (SD) ($n=3$) a fost trecută dacă datele erau parametrice (normal distribuite). La fiecare interval de timp a fost trecută valoarea p Tukey HSD și inferența Tukey HSD. Simbolurile utilizate sunt ** $p < 0,01$, * $p < 0,05$, NS $p > 0,05$.

Capitolul 3 valorifică subprodusele alimentare (subprodusul de mere) și integrarea acestora într-un flux continuu de procese biotehnologice

alimentare. În cadrul acestui capitol a fost investigată performanța aluatului tradițional îmbogățit cu SM și fermentat de culturi selective de BLA și drojdii (mono și co-culturi). Cultura selectivă reprezentată de *Fructilactobacillus florum* crează o fermentație heterolactică în vederea obținerii de polioli cum este eritritolul și manitolul.

Capitolul 4 prezintă căile biotehnologice către producția industrială durabilă de vanilină. Acest capitol demonstrează utilizarea unor abordări noi care implică tehnologii integrate (microorganisme, producție de enzime, hidrolize de substrat, inginerie genetică, valorificarea deșeurilor industriale). Obținerea de bio-vanilină utilizând bioprocese, reprezintă o cale promițătoare pentru o producție naturală și durabilă, cu potențial industrial.

Capitolul 5 prezintă procesul biotehnologic pentru producția de enzime prin FSS. În urma procesului de optimizare, celulaza și glucoamilaza a prezentat activități maxime după 7 și 5 zile de FSS. Enzimele obținute au fost utilizate pentru hidrolizarea FODSM. În timpul hidrolizei, cantitatea de glucoză a crescut considerabil, putând fi utilizată pentru obținerea de vanilină sau acid lactic, prin fermentații submerse.

Capitolul 6 prezintă microîncapsularea pe bază de chitosan, alginat și pectină ca o metodă eficientă pentru încapsularea microorganismelor, enzimelor și a compușilor bioactivi. Având în vedere această strategie, utilizarea biopolimerilor pentru microîncapsularea microorganismele utilizate, ar putea duce la o exploatare de lungă durată a acestora. De asemenea, se poate crea un sistem integrat și continuu de FSS și fermentație submersă realizată în același bioreactor.

Concluziile generale au fost:

1. Integrarea pudrei de SM în fermentația maiei a dus la creșterea valorii nutritive (cantitatea de acizi organici și zaharuri fermentabile).
2. Îmbogățirea făinii de grâu cu pudră din SM pentru obținerea de maie, a dus la îmbunătățirea viabilității celulare, în special în fermentațiile de co-cultură cu 95% făină de grâu și 5% SM.
3. În procesul de fermentație cu *S. cerevisiae*, prezența SM a indus producția de manitol și eritritol, iar în co-cultură, producția de manitol a crescut cu aproximativ 5%.

4. Cea mai mare producție de polioli s-a observat în fermentațiile cu 10% SM, 0.42 ± 0.03 g/L după 48 de ore în co-cultură pentru manitol și 0.10 ± 0.01 după 72 ore pentru eritritol în fermentațiile cu *S. cerevisiae*.

5. Utilizând un substrat steril, proprietățile aluatului pot fi controlate prin utilizarea de microorganisme selective; toate microorganismele utilizate au prezentat activitate de fermentație ridicată asupra fructozei, glucozei și maltozei, principalele glucide solubile prezente în maiaua cu SM.

6. Tărâțele de grâu pot fi metabolizate eficient de *Aspergillus awamori* fără a necesita suplimentarea cu nutrienți pentru a crește și a produce enzime.

7. Activitatea celulozei și glucoamilazei pe tărâța de grâu fermentată a fost de $73,63 \pm 5,47$ FPU/g_{ds} și $107,10 \pm 2,63$ U/g_{db} (FPU sau U/gram de substrat solid uscat) atinse după 7 zile și respectiv, 5 zile de SSF.

8. Acidul lactic și acidul acetic au fost prezenți pe parcursul hidrolizării și fermentației submerse. Prezența acestor acizi indică faptul că au fost produși de microorganismele existente înainte de sterilizarea FODSM.

9. Pentru a obține 1 kg de glucoză, sunt necesare 50,58 kg mix format din tărâță de grâu fermentată și FODSM (raport de 1:9).

10. Mix-ul format din tărâță de grâu fermentată și FODSM (raport de 1:9), sub acțiunea enzimelor din FSS a eliberat 19.77 ± 1.56 g/L glucoză în comparație cu experimentele la care au fost utilizate enzime comerciale în care s-a eliberat 29.00 ± 0.65 g/L glucoză.

11. Mix-ul format din tărâță de grâu fermentată și un substrat nou de tărâță nefermentat (raport de 1:9), sub acțiunea enzimelor din FSS a eliberat 86.971 ± 4.72 g/kg zaharuri reducătoare totale și 1.302 ± 0.371 g/Kg acid ferulic. Aceste rezultate au dus la obținerea de 0.206 ± 0.094 g/L bio-vanilină prin fermentație submersă (date în curs de publicare).

12. În timpul fermentației lactice pe parcursul a 12 ore, glucoza a fost consumată aproape integral de *B. coagulans*, iar după 25 de ore de fermentație, acidul lactic a crescut cu 15,59 g/L în lotul hidrolizat cu enzime provenite din FSS.

13. Pentru a obține de 1 kg acid lactic, sunt necesare 64,14 kg de mix format din tărâță de grâu fermentată și FODSM (raport de 1:9).

14. Producția de bio-vanilină care se bazează pe valorificarea subproduselor și a deșeurilor organice prin procese biotehnologice reprezintă o soluție fezabilă și sustenabilă.

Perspective:

1. Utilizarea de microorganisme termofile și extremofile pentru o abordare integrată între FSS, hidrolizare și fermentație submersă pentru producția de bio-vanilină.

2. Cercetările viitoare pot viza optimizarea producției de enzime în FSS considerând diferiți factori ca: temperatura, umiditatea, diferite amestecuri de nutrienți (glucoză + extract de drojdie + minerale etc.) pentru a îmbunătăți etapa de hidroliză.

3. Studiile care utilizează bioreactoare pentru FSS ar putea utiliza volume mai mari de tărâțe de grâu oferind rezultate mai bune pentru extinderea proceselor biotehnologice la scală industrială.

4. Efectuarea de cercetări suplimentare pentru obținerea de compuși cu valoare adăugată prin integrarea subproduselor alimentare, a tărâțelor de grâu și a fracției organice din deșeurile solide municipale ca substraturi pentru procesele de fermentație controlate.

Originalitate și contribuții personale

Rezultatele prezentate în această teză pot fi considerate utile pentru comunitatea științifică din domeniile biotehnologiei, alimentației și nutriției. Această cercetare poate fi considerată un studiu cuprinzător pentru valorificarea subproduselor și a deșeurilor prin procese biotehnologice, cu scopul final de a fi integrate în economia circulară.

Identificarea și integrarea performanței produselor alimentare tradiționale îmbogățite cu subproduse și fermentate de către culturi selective de BLA și drojdii în mono- și co-culturi, crește valoarea nutritivă a alimentelor. Culturile selective prezintă posibilitatea de a crea fermentații specifice pentru obținerea de compuși țintă precum eritritolul și manitolul. De asemenea, această teză prezintă un raport cuprinzător cu privire la analiza subproduselor din mere înainte și după prelucrarea prin uscare pentru a prelungi perioada de depozitare.

Traseul biotehnologic utilizat are ca scop construirea și evaluarea unui sistem de maia atractiv utilizând o cultură selectivă de *S. cerevisiae* (drojdie de panificație) și *Fructilactobacillus florum* (cunoscut pentru faptul că produce polioli), microorganisme sigure și ieftine, cu scopul final de reducere a zaharurilor și creșterea producției de polioli. Acest studiu este un pas important pentru viitoarele proiecte de cercetare cu privire la valorificarea subproduselor

prin integrarea acestora în produse fermentate. La momentul actual, nu există articole științifice care să investigheze o fermentație de maia utilizând o cultură selectivă pentru producția de polioli *in situ*.

Investigarea compușilor de îndulcire și aromatizare utilizând subproduse și deșeuri reprezintă o abordare de viitor. În ceea ce privește producția de enzime prin FSS, aceasta are cea mai bună eficiență economică și este recomandată pentru obținerea de arome precum vanilină, sau compuși cu valoare adăugată precum acizi organici, de exemplu acidul lactic. În urma procesului de optimizare, celulaza și glucoamilaza au activități maxime după 7 și 5 zile de FSS. Substratul fermentat și bogat în enzime a fost apoi utilizat pentru hidrolizarea FODSM. În timpul hidrolizei, cantitatea de glucoză a crescut considerabil, favorizând utilizările ulterioare, de obținere a compușilor aromatici sau organici (ex. vanilina, acidul lactic) prin fermentații lichide submerse.

Eficiența economică a procesului biotehnologic prin microîncapsularea microorganismelor, a enzimelor și a compușilor bioactivi cu biopolimeri precum chitosanul, alginatul și pectina prezintă o strategie puternică în domeniul bioeconomiei, crescând interesul industriilor pentru subproduse și revalorificarea deșeurilor organice. Microîncapsularea microorganismelor poate fi o utilizare integrată și conectată între FSS și fermentația submersă pentru o abordare integrată (FSS – producția de enzime → Hidroliză → urmată de o fermentație submersă cu microorganisme microîncapsulate, proces integral realizat în același bioreactor).

În cele din urmă, această teză aduce noi date cu privire la utilizarea subproduselor provenite din industria de prelucrare a merelor și a fracției organice provenită din deșeurile municipale, care se integrează în procese biotehnologice pentru obținerea de îndulcitori cum este eritritolul sau manitolul și obținerea de arome cum este vanilina.