



TEZĂ DE DOCTORAT

Producția biotehnologică de xilo- oligozaharide și zaharuri fermentescibile derivate din subproduse de grâu cu aplicabilitate alimentară

Doctorand **Gabriela PRECUP**

(REZUMAT AL TEZEI DOCTORALE)

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

REZUMAT

În contextul atenuării schimbărilor climatice și al tranziției energetice, utilizarea bioresurselor este esențială pentru o trecere către o societate și o economie mai durabilă. Un subiect de cercetare popular care abordează unele dintre provocările din zilele noastre este economia circulară. Se concentrează pe crearea unui sistem în buclă închisă prin promovarea modelelor de afaceri care cuprind reciclarea și recuperarea maximă a materialelor și energiei (Parlamentul, 2015) (Comisia Europeană, 2018). Acest subiect modelează politica publică din întreaga lume, obiectivele de dezvoltare durabilă fiind în centrul elaborării politicilor și acțiunilor Uniunii Europene (UE). Mai mult, pentru a ajuta la o mai bună luare a deciziilor, a fost propus recent cadrul de integrare circulară, care include elemente de economie circulară, ecologie industrială și integrare a proceselor amestecate într-o abordare holistică și multidimensională. Mai exact, oferă un set de instrumente de inginerie pentru a facilita proiectarea și implementarea sistemelor durabile și circulare (Walmsley, Ong, Klemeš, Tan și Varbanov, 2019).

Utilizarea surselor regenerabile de origine solară și a biomasei pentru a produce energie, alimente, furaje, substanțe chimice și materiale ar trebui să fie integrată cu înțelepciune în sistemele durabile, astfel încât să se evite epuizarea resurselor și impactul ireversibil asupra mediului, satisfacând în același timp nevoile umane. Biomasa provine din diferite surse, inclusiv culturi, copaci, iarbă, alge și este generată sub formă de reziduuri sau deșeuri din surse primare de prelucrare sau ca deșeuri după consum (Andersen et al., 2021). Biomasa lignocelulozică este o materie primă promițătoare, deoarece este ieftină, regenerabilă și abundentă, iar valorificarea ei în ingrediente alimentare/furajere, compuși chimici sau vectori energetici, este de mare interes pentru diverse părți interesate, inclusiv cercetători și antreprenori. Utilizarea reziduurilor agricole pentru producerea de compuși cu valoare adăugată este, prin urmare, o strategie avantajoasă din punct de vedere economic, deoarece ajută și la gestionarea miliardelor de tone de reziduuri generate anual (Amorim, Silvério, Prather, & Rodrigues, 2019). Se pot obține o multitudine de compuși valoroși, cum ar fi monozaharide (adică glucoză, xiloză, manoză, fructoză, arabinoză), oligozaharide (adică fructo-oligozaharide sau FOS, xilo-oligozaharide sau XOS, galacto-oligozaharide sau GOS), bioactive. compuși (adică, flavonoide, acizi fenolici, terpene, carotenoide), biocombustibili (de exemplu, biodiesel, etanol, hidrogen, butanol), celuloză, lignină

Acești compuși pot fi obținuți din mai multe deșeuri agroindustriale, cum ar fi trestie de zahăr (Jacobsen & Wyman, 2002), lemn de esență tare (G Garrote & Parajó, 2002), știuleți de porumb (Gil Garrote, Dominguez și Parajo, 2002), coji de migdale, grâu pleavă și paie (Đorđević & Antov, 2018; Precup și colab., 2022; Sun și colab., 2005), lăstarii de viță de vie (Dávila, Gullón, Alonso, Labidi și Gullón, 2019), pulpă de sfeclă de zahăr (Elst et al. al., 2018), cojile de banană (Pereira, Arruda, Molina și Pastore, 2018) sau altele (Moure, Gullón, Domínguez și Parajó, 2006).

De exemplu, paiele de grâu sunt un reziduu agricol care prezintă multe caracteristici interesante care facilitează integrarea lor biotehnologică într-un cadru de biorafinărie. Grâul este principala

cereală produsă la nivel mondial, 44% din producția totală de cereale, fiind o cultură ierboasă care poate fi transportată sub formă de densitate relativ mare și are un conținut scăzut de apă care permite depozitarea sa ușoară. Ca o estimare aproximativă, în Europa sunt produse anual peste 170 de milioane de tone de paie de grâu.

Din punct de vedere chimic, biomasa lignocelulozică este compusă în principal din celuloză, hemiceluloză și lignină. Mai exact, celuloza este compusă dintr-un lanț de molecule de glucoză unite prin legături β -(1-4)-glicozidice legate prin legături de hidrogen între straturi de polizaharide, formând o conformație cristalină, în timp ce hemiceluloza se referă la diferiți polimeri amorfi și eterogeni găsiți în plantă. matricea peretelui celular care are schele vertebrale legate de β -(1-4), formate din pentoze (D-xiloză, D-arabinoză), hexoze (D-manoză, D-glucoză, D-galactoză) și acizi de zahăr. Aceștia sunt de obicei clasificați în mai multe grupuri, cum ar fi xiloglucanii, heteroxilanii, (galacto) glucomananii și arabinogalactanii [1]. Lignina este un polimer biodegradabil tridimensional complex, compus din trei componente fenolice majore, și anume alcoolul p-cumarilic, alcoolul coniferilic și alcoolul sinapilic [2].

Fracția de hemiceluloză ar putea fi utilizată pentru producerea de xilo-oligozaharide și mano-oligozaharide, fiind bogată în xiloză, galactoză, fructoză, glucoză și manoză. Reprezintă 25-30% din biomasa lignocelulozică, cu o greutate moleculară relativ mică (circa 15 kDa), constând în principal din xilan, un polimer al xilozei legat prin legături -1,4-xilozidice care poate fi depolimerizat prin mai multe tratamente la XOS (xilobioză, xilotrioză, până la xilodecaoză) [3, 4].

Xilo-oligozaharidele (XOS) sunt considerate fibre nedigerabile care au atins interes comercial datorita asocierilor demonstrate de literatura stiintifica a potentialul lor efect benefic asupra microbiotei intestinale, fiind considerate noi „prebiotice”.

Scopul acestei teze a fost de a prezenta o abordare holistică referitoare la producerea de XOS din paie de grâu prin tratament alcalin, enzimatic și combinațiile acestora, care au fost purificate în continuare cu rășini schimbătoare de ioni. Prima direcție de cercetare a fost de a compara diferite tratamente pentru fracționarea paielor de grâu pentru a obține cel mai mare randament posibil de XOS și de a testa în continuare diferite metode de procesare în aval pentru a purifica fracția obținută. A doua direcție a fost evaluarea fracțiilor XOS în experimentele de fermentație cu *Bifidobacterium bifido* subsp. *lactis* (BB-12) pe aluaturi din făină de grâu, pentru a investiga proprietățile reologice și fizico-chimice pentru potențiale aplicații în produsele de panificație. În plus, având în vedere că XOS au fost raportate ca potențiale „prebiotice”, percepția consumatorilor români asupra acestui subiect a fost investigată printr-un sondaj online.

Experimentele privind producția XOS au fost efectuate la Institutul Leibniz pentru Inginerie Agricolă și Bioeconomie (ATB) din Potsdam, Germania (coordonat de Dr. Ing. Joachim Venus și Dr. Ing. Monika Heiermann) și evaluarea XOS în experimentele de fermentație au fost efectuat în Laboratorul de Biotehnologii Fermentative din cadrul Institutului de Științe Vieții „Regele Mihai I al României” al Universității de Științe Agricole și Medicină Veterinară din Cluj-Napoca, sub îndrumarea prof. dr. Dan Cristian Vodnar și dr. Bernadette Emőke Teleky .

Obiectivele cercetării:

Biomasa lignocelulozică precum paie de grâu (WS) ar putea reprezenta o sursă valoroasă pentru industria biorafinării, deoarece este regenerabilă și disponibilă în cantități mari cu valoare foarte mică, cu potențial ridicat de valorificare pentru producerea de ingrediente alimentare/furajere, compuși chimici sau pentru scopuri energetice. Pot fi obținuți o multitudine de compuși valoroși, cum ar fi monozaharide (adică glucoză, xiloză, manoză, fructoză, arabinoză), oligozaharide (adică xilo-oligozaharide sau XOS), compuși bioactivi (adică flavonoide, acizi fenolici, caroteni, teropeni), biocombustibili (adică biodiesel, etanol, hidrogen, butanol), celuloză, lignină.

Xilo-oligozaharidele (XOS) sunt considerate fibre nedigerabile care au atins interes comercial datorită asocierilor demonstrate de literatura științifică a potențialului lor efect benefic asupra microbiotei intestinale, fiind considerate noi „prebiotice”.

În acest sens, un prim scop al tezei a fost de a investiga starea actuală a cercetării în domeniul prebioticele în România și de a explora gradul de conștientizare și cunoaștere pe această temă în rândul consumatorilor români și modul în care caracteristicile socio-demografice influențează comportamentul consumatorilor în ceea ce privește alegerile alimentare, printr-un chestionar online.

Un al doilea scop a fost identificarea unei strategii optime pentru producerea XOS din paie de grâu prin mijloace biotehnologice, cum ar fi autohidroliza, tratarea alcalină și enzimatică și combinațiile acestora. Pentru a obține o fracțiune pură de XOS pentru potențiala aplicabilitate în industria alimentară, a fost realizată o strategie de downstreaming constând din două etape: o primă etapă de adsorbție folosind cărbune activ de material tensioactiv sau rășină adsorbantă polimerică PUROLITE MN-502 cu scopul de a elimina fenolii și a reduce concentrația ionilor de sare. O a doua etapă de cromatografie cu schimb de an- și cationi a fost efectuată pentru a reduce și mai mult concentrația de săruri și minerale.

În cele din urmă, am fost interesați să testăm efectul suplimentării XOS în diferite procente (1, 2, 5 sau 10%) asupra caracteristicilor reologice și fizico-chimice ale aluatului de făină de grâu și să le comparăm cu alaturile îmbogățite cu glucoză în experimentele de fermentație cu *Bifidobacterium bifidum* 12, în aceleași condiții. Fermentarea aluatului a fost monitorizată și analizată timp de 48 de ore și au fost prelevate probe la 0, 18, 24 și 48 de ore pentru pH, viabilitatea celulară, analiza zahărului și a acizilor organici și măsurători reologice.

Pentru realizarea scopului tezei au fost investigate și concretizate în **patru obiective** următoarele aspecte:

O.1. Investigarea gradului de conștientizare și cunoaștere a conceptului de prebiotic în rândul consumatorilor români și a modului în care caracteristicile socio-demografice influențează comportamentul consumatorilor în ceea ce privește alegerile alimentare

O.2. Dezvoltarea unei strategii optime pentru producerea de XOS din paie de grâu prin mijloace biotehnologice, cum ar fi autohidroliza, tratarea alcalină și enzimatică și combinațiile acestora

O.3. Dezvoltarea unei metode de proces în aval constând în filtrare, decolorare și rășini schimbătoare de an- și cationi pentru a obține o fracție purificată de XOS și zaharuri fermentabile pentru utilizare potențială în aplicații alimentare

O.4. Evaluarea proprietăților fizico-chimice și reologice ale XOS și suplimentarea cu glucoză a aluatului de făină de grâu în experimente de fermentație cu bacteria acidului lactic *Bifidobacterium bifidum* 12.

Rezultatele acestei teze au fost publicate în trei articole originale (un jurnal indexat ISI cu IF 3.390 – în *International Journal of Environmental Research and Public Health*; al doilea jurnal indexat ISI cu IF 4.329 – în *Polymers Journal*; al treilea jurnal indexat ISI cu IF 5.079 – în *Biology Journal*). În plus, a fost publicat un articol tip recenzie (revista indexată ISI cu IF 3.334 – în *British Journal of Nutrition*).

Teza de doctorat este structurată în două părți principale: stadiul actual al cunoașterii care cuprinde două recenzii de literatură (**Capitolul 1, 2**) și cercetare originală cuprinzând ipoteza/obiectivele de lucru și metodologiile generale, urmată de articolele de cercetare originale (**Capitolul 3-5**), concluziile generale și recomandări (**Capitolul 6**), respectiv originalitatea și contribuțiile inovatoare ale tezei (**Capitolul 7**).

În ceea ce privește **prima parte** (articole de revizuire a literaturii), studiile au fost identificate prin efectuarea de căutări electronice PubMed, Web of Science Core Collection, Scopus și Google Scholar. Literatura de specialitate în ceea ce privește producția biotehnologică de XOS recomandă o primă metodă de pretratament de autohidroliză pentru fracționarea paielor de grâu, pentru a distruge recalcitranta peretelui celular din paie de grâu și a crește accesibilitatea la hemiceluloză. Paiele de grâu sunt o biomasă agricolă regenerabilă și ieftină, care are un raport bun xilan/lignină, ceea ce o face potrivită pentru extracția XOS

În ceea ce privește cea de-a **doua parte** a acestei teze, experimentele care au presupus testarea metodelor în vederea găsirii unei strategii optime de producere a XOS din paie de grâu prin mijloace biotehnologice, precum autohidroliza, tratarea alcalină și enzimatică, precum și combinații ale acestora, iar experimentele de purificare au fost efectuate în conformitate cu analiza literaturii de specialitate și cu ajutorul expertizei membrilor de la Institutul Leibniz pentru Inginerie Agricolă și Bioeconomie (ATB) din Potsdam, Germania. În plus, evaluarea efectelor reologice și fizico-chimice ale XOS în alaturile din făină de grâu a fost posibilă cu ajutorul colegei Bernadette-Emőke Teleky de la USAVM Cluj-Napoca.

Capitolul 3 investighează starea actuală a cercetării în domeniul prebioticele în România și explorează conștientizarea și cunoștințele pe această temă în rândul consumatorilor români și modul în care caracteristicile socio-demografice le influențează comportamentul în ceea ce privește alegerile alimentare. Lucrarea ar putea ajuta părțile interesate să abordeze nevoile și preferințele consumatorilor în ceea ce privește aplicațiile alimentare în domeniul sanatații.

Analizele statistice pentru primul studiu au fost efectuate folosind IBM SPSS Statistics 19. Statisticile descriptive și tabelele încrucișate au fost utilizate pentru a identifica influența caracteristicilor socio-demografice, cum ar fi sexul, vârsta și educația, asupra alegerii dietei, percepția prebioticele și cunoștințele. Datele sunt raportate ca medie \pm abaterea standard (SD), iar diferențele dintre medii la nivelul de 5% au fost considerate semnificative statistic.

Capitolul 4 prezintă o abordare biotehnologică integrată pentru producția de XOS și zaharuri fermentabile. Acest capitol demonstrează că o strategie integrată constând din autohidroliză, tratament alcalin și enzimatic cu xilanază urmată de un proces de rafinare prin cromatografie cu schimb de anioni și cationi ar putea fi eficientă pentru producția de XOS din paie de grâu.

Pentru al doilea studiu a fost folosit același program. Toate testele/experimentele au fost efectuate în trei exemplare, iar rezultatele au fost exprimate ca medie \pm abaterea standard (SD). Normalitatea datelor a fost studiată folosind testul Shapiro-Wilk [54], iar omogenitatea varianțelor (homoelasticitatea) a fost studiată folosind testul Levene. A fost aplicat un test ANOVA unidirecțional pentru date normal distribuite și omogene. Pentru $p < 0,05$ corespunzător F statistic, calculele cu testul post hoc Tukey au fost utilizate pentru a studia dacă tratamentele au avut diferențe semnificative. Pentru datele neomogene s-a folosit testul Welch, urmat de testul Kruskal–Wallis, în care, dacă s-a obținut $p < 0,05$, calculele au fost continuate cu testul Mann–Whitney pentru a verifica care tratamente au avut diferențe semnificative. La parametrii în care datele nu au fost omogene și am folosit Mann–Whitney s-a aplicat corecția Bonferroni: $0,05/6 = 0,008$ și $0,01/6 = 0,001$; pentru 3 tratamente, $0,05/3 = 0,016$ și $0,01/3 = 0,003$.

Capitolul 5 prezintă un model al potențialei aplicabilități alimentare ale paielor de grâu derivate-XOS prin tratament alcalin și enzimatic și efectele lor reologice și fizico-chimice în aluaturile de făină de grâu. Lucrarea a arătat eficiența suplimentării XOS a aluatului de făină de grâu în fermentație cu BB-12, prin influențarea pozitivă a viabilității bacteriilor și a proprietăților reologice ale aluatului, precum o mai bună elasticitate, datorită formării acizilor organici.

Pentru cel de-al treilea studiu, evaluarea statistică a fost realizată prin utilizarea Graph Prism Versiunea 8.0.1. (GraphPad Software Inc., San Diego, CA, SUA), împreună cu un test ANOVA unidirecțional (Tukey multiple comparisons tests) [55]. Au fost considerate diferențe semnificative statistic de medii la un nivel de $p < 0,05$.

Concluziile generale au fost:

1. Sondajul online a evidențiat o cunoaștere limitată și confuzie asupra conceptului de prebiotic în rândul eșantionului de consumatori români. Chiar dacă majoritatea respondenților erau familiarizați cu termenul (74% din totalul respondenților), la evaluarea cunoștințelor lor, rezultatele au fost contradictorii (40% au înțeles termenul, 24% nu erau familiarizați și aveau

puține sau deloc cunoștințe, iar 20% erau familiari, dar aveau puține sau deloc informații). Căile viitoare de cercetare ar trebui să se lupte mai mult pentru a confirma cauzalitatea dintre efectele asupra sănătății prebiotice și mecanismele mediate de microbiotă, astfel încât autoritățile responsabile să poată elabora recomandări bazate pe dovezi clare.

2. Xilo-oligozaharidele sunt considerate noi „prebiotice” de literatura științifică, arătând rezultate benefice asupra sănătății în studii „in vitro” și „in vivo”. Cu toate acestea, vor fi necesare dovezi științifice fundamentate ale eficacității prebiotice XOS pentru a obține aprobări pentru mențiunile de sănătate.

3. Păiele de grâu sunt o materie primă promițătoare pentru producția XOS.

4. Cea mai mare producție de XOS (X3+ X4) ($1,48 \pm 0,2$ g/L, $1,33 \pm 0,13$ g/L) a fost observată după pretratare hidrotermală la 140 °C și 180 °C, urmată de tratament alcalin și enzimatic cu endo-b-1-4-xilanază din *T. viride*, la concentrații de ($1,48 \pm 0,2$ g/L, $1,33 \pm 0,13$ g/L), după 48 de ore de hidroliză, la doze de 2 mL la 100 g reziduu și pH 4,6.

5. Cea mai mare recuperare a zahărului (64,86%), a fost observată după pretratarea hidrotermală la cea mai mare severitate combinată cu hidroliza enzimatică cu xilanază.

6. Tratamentele aplicate au condus la degradarea monozaharidelor în acid acetic, furfural și hidroximetilfurfural, care au crescut odată cu severitatea tratamentului aplicat și ar putea împiedica hidroliza enzimatică. Furfuralul a avut un conținut de $209 \pm 15,8$ mg/L și HMF $14,81 \pm 1,1$ mg/L în hidrolizat la $\log R_0 = 2,94$, în timp ce în hidrolizat la $\log R_0 = 3,53$, furfural a fost detectat în cantitate de 136 ± 10 mg/L și HMF $9,54 \pm 0,7$ mg/L, datorită conversiei xilozei și glucozei.

7. Rășina adsorbantă polimerică MN-502 a arătat îndepărtarea eficientă a sărurilor, cationilor, fenolilor și derivaților furanului din hidrolizatul rezultat după hidroliza alcalină și enzimatică a reziduurilor tratate la factorul de severitate $\log R_0 = 3,53$. Cu toate acestea, sunt necesare tratamente de optimizare suplimentare care vizează o fracționare mai eficientă a păielor de grâu pentru a obține randamente mai mari de XOS într-o formă purificată.

8. Suplimentarea XOS a aluatului de făină de grâu în experimentele de fermentație cu BB-12, a influențat pozitiv viabilitatea bacteriilor și proprietățile reologice ale aluatului.

9. Producerea acidului acetic a fost observată numai în alaturile îmbogățite cu XOS și a influențat pozitiv proprietățile reologice ale acestuia prin îmbunătățirea comportamentului elasticității înainte și după depozitare înghețată. Cea mai mare cantitate de acid acetic de $0,87 \pm 0,03$ mg/L a fost obținută în XOS 10%.

10. Cantitatea de glucoză, maltoză, XOS și xiloză a scăzut până la sfârșitul fermentației. Cu toate acestea, îmbogățirea aluatului cu XOS sau glucoză nu a îmbunătățit semnificativ viabilitatea BB-12.

Perspective de viitor:

1. Ar trebui efectuate cercetări viitoare pentru utilizarea instrumentelor de biologie sintetică pentru a crea microorganisme care vor fi capabile să transforme direct biomasa lignocelulozică în XOS

2. Optimizarea în continuare a tratamentelor pentru a obține randamente mai mari de XOS într-o formă purificată
3. Evaluarea siguranței este necesară pentru enzimele alimentare utilizate în procesul de producție a XOS
4. Studii privind XOS ca potențial ingredient alimentar (testare de stabilitate, analiză compozițională completă, detectarea contaminanților (micotoxine, metale grele, contaminanți de proces), evaluarea expunerii populației).

Originalitate și contribuții personale

Rezultatele prezentate în această teză ar putea fi considerate utile pentru diverse părți interesate, de la comunitatea științifică la antreprenori din industria alimentară și biotehnologia alimentară, până la factorii de decizie politică. Această cercetare poate fi considerată un studiu cuprinzător care prezintă progresele actuale în ceea ce privește producția XOS și un model care cuprinde recuperarea biomasei (de exemplu, paie de grâu) și utilizarea acesteia pentru a produce compuși cu valoare adăugată, cum ar fi XOS, prin procese biotehnologice. Mai mult, investigarea efectului adăugării XOS într-un model de aplicație alimentară precum aluaturi de făină de grâu care ar putea fi utilizate pentru produse alimentare de panificație prezintă o aplicație eficientă în industria alimentară, ca îndulcitori alternativi.

Întrucât literatura științifică clasifică XOS drept „prebiotice emergente”, primul scop al tezei a fost să investigheze starea actuală a cercetării în domeniul prebioticelelor în România și să exploreze gradul de conștientizare și cunoștințe pe această temă în rândul unui eșantion de consumatori români printr-un sondaj online și să observe modul în care caracteristicile socio-demografice influențează comportamentul consumatorilor în ceea ce privește alegerile alimentare. Acesta a fost primul studiu realizat în România care a explorat cunoștințele consumatorilor români asupra acestui concept, evidențiind confuzia împrăștiată referitoare la semnificația prebioticelelor, probabil legată de lipsa unui consens și terminologie comună cu privire la această temă în rândul părților interesate implicate, ceea ce duce la dezinformare și confuzie în rândul consumatorilor. Munca noastră a evidențiat necesitatea mai multor cercetări pentru a confirma cauzalitatea dintre efectele asupra sănătății prebioticelelor emergente și mecanismele mediate de microbiotă, astfel încât furnizorii de asistență medicală să poată dezvolta recomandări bazate pe dovezi fundamentale.

Un alt obiectiv a fost explorarea unei abordări biotehnologice integrate pentru producerea de XOS și zaharuri fermentabile din biomasă lignocelulozică precum paie de grâu, contribuind astfel la obiectivul durabil de valorificare a deșeurilor, prin valorificarea unui produs secundar rezultat din sectorul agricol. Rezultatele au arătat că o strategie constând în autohidroliză, tratament alcalin și enzimatic cu xilanază urmată de un proces de rafinare prin cromatografie cu schimb de anioni și cationi ar putea fi eficientă pentru producția de XOS din paie de grâu. Procesul de downstream a arătat pentru prima dată eficiența strategiei utilizate pentru paie de grâu derivate-XOS, constând în decolorarea cu rășina schimbătoare de ioni MN-502 urmată de cromatografie cu schimb de ani și cationi.

În cele din urmă, ultimul nostru obiectiv de a explora efectul adăugării XOS într-un model de aplicare alimentară, cum ar fi aluaturile din făină de grâu, care ar putea fi utilizate pentru produse alimentare de panificație în experimente de fermentație cu BB-12, a evidențiat rezultate promițătoare ale comportamentului XOS în modelele alimentare. Deținând un statut

QPS în UE, BB-12 a fost ales pentru experimentul de fermentație datorită afinității sale de a utiliza XOS ca sursă de carbon și a caracteristicilor sale de a fi tolerant la auz, oxigen și pH acid. Eficacitatea adăugării XOS ca înlocuitor la glucoză a fost demonstrată prin prezentarea unor caracteristici reologice bune, cum ar fi viscoelasticitatea îmbunătățită odată cu creșterea cantității de XOS. Acizii organici produși (acid acetic și acid lactic) au îmbunătățit și mai mult comportamentul de elasticitate al aluatului, un adaos de 10% XOS prezentând un comportament elastic, mai degrabă decât vâscos. Din cunoștințele noastre, acesta este primul studiu care explorează comportamentul reologic al adăugării XOS în alaturile fermentate cu bacteria acidului lactic BB-12.