

Дәріс Өсімдік шикізаттары конверсиясының теориялық негіздері. Өсімдік шикізаттары конверсиясының классификациясы. Өсімдік шикізаттары полисахаридтердің гидролизі

Жоспар

1. Өсімдік шикізаттары конверсиясының классификациясы.
2. Өсімдік шикізаттары полисахаридтердің гидролизі
3. Өсімдік шикізаттарының концентрлі қышқылдармен гидролизі.
4. Өсімдік шикізаттарының ферментативтік гидролизі.
5. Ферменттердің түрлері (амилолитикалық, целюлолитикалық, гемицелюлозалық, лигнинлитикалық) мен әсер ету механизмдері.

Өсімдік шикізаттары конверсиясының түрлері

- Бүгінгі таңда өсімдік шикізаттарының конверсиясының көптеген әдістері жасалған.
- Солардың ішінде *Токарев және Гельфанд* жасаған классификациясы өзара байланысатын фазалардың қозғалыс жылдамдықтарына негізделген.
Егер қозғалыс жылдамдығы 0 –ге тең болса – **статикадық биоконверсия**, ал 0-ге тең емес болса – **динамикалық биоконверсия** деп аталады.
- ❖ Статикалық әдістерде гидролиздік (орта) процестердің әсерінен моноқанттардың ыдырауы процесс аяқталғанға дейін жүреді.
- ❖ Ал динамикалық биоконверсияда моноқанттардың ыдырауы аз қақыт аралығында жүзеге асады, әрі қанттардың шығымы жоғары болады.

- Өсімдік шикізаттары конверсиясы технологиясында статикалық әдістер мен динамикалық әдістер комбинацияланған түрде қолданылады.
- Қанттың мөлшерін жоғарылату мақсатында сатылы статикалық биоконверсия әдістері (Шоллер әдісі) қолданылады. Бұл әдісте ағаш және басқа да өсімдік шикізаттарын сатылы түде қайнатуға негізделген. Әр сатыда гидролизатты бөліп алып, шикізатқа қышқыл құйып, біртіндеп температураны көтеру арқылы жүргізіледі. Абсолютті құрғақ заттағы қант шығымы 35-40% құрайды. Статикалық гидролиз әдісі газ тәрізді қышқылдардың реагенттерімен (күкіртті ангидрид, хлорлы сутек) өңдеу арқылы да жүзеге асырылады. Оның нәтижесінде моносазхаридтердің шығымы 96-98% дейін жетеді.
- Үздіксіз гидролиз процестің толық механизациялануын көздейді, бұл жағдайда ол көмекші операциялардың болмауы, температураның жоғарылауы, қанттардың шығымының жоғарылауы - реактордың өнімділігі жоғарылатады. Мысалы, дәнді шикізаттан алынған қанттанған өнімнің әр түрлі биореакторларда сатылы түрде ашу процесі.

- Динамикалық үздіксіз әдістер сұйық (газ тәрізді) фазалардың белгілі бір жылдамдықтарының болуымен сипатталады.
- Бұл әдіс перколяционды және екі фазалы гидролиз әдісімен сипатталады.

Динамикалық үздіксіз гидролиз әдісі

тұра
ағымды

кері ағымды

кері ағымды айқас
ағымдармен аралас

Өсімдік шикізаттарының барлық биоконверсия түрлерінің жіктелуі



физикалық



Физикалық
конверсия
әдістеріне
ұнтақтау,
престеу
(сығу) т.б.



химиялық



Химиялық конверсия
шикізат
полисахаридтерінің
гидролизі
қышқылдармен,
сілтілермен және
тұздардың
ерітіндірелімен
жүргізіледі.



биологиялық



Биологиялық
конверсия
ферменттік
гидролиз және
ферментация
жүзеге
асырылады.

❖ Биотехнологияда бұл әдістер аралас қолданылады.

Перспективті конверсия әдістері:

- **физикалық** – вибродиірмендер мен майдалағыштарда ұнтақтау, престеу, экструзивті өңдеу, дефибрациялық майдалау, радиолиз, ультрадыбыс.

- **Химиялық** (химиялық реагенттер бойынша жіктеледі):
 - ✓ қышқылдардың әлсіз ерітінділерімен гидролиздеу - перколяциялық, жоғары температуралық автогидролиз;
 - ✓ концентрлі қышқылдармен гидролиздеу – екі сатылы гидролиз : бірінші фазасында концентрлі күкірт қышқылымен гидролиздеу және фурфуролды үздіксіз бұмен үрлеу арқылы, екінші фазада целлолигнинді сұйытылған күкірт қышқылымен гидролиздеу (перколяциялық әдіс қолданылады) және құрамында галогендері бар қышқылдармен гидролиздеу;
 - ✓ тұздармен гидролиз жүргізу – перколяциялық, тұздармен экструзивті өңдеу;
 - ✓ газ тәрізді агенттермен гидролиздеу, CO₂ бұымен гидролиздеу, SO₂ бұымен гидролиздеу;
 - ✓ сілтілі делигнификация - бұ жарылысы және целлюлозаны бөлу.

➤ **Биологиялық:**

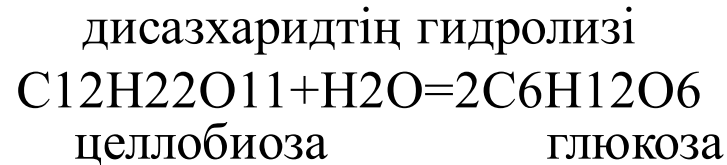
- ✓ Өсімдік шикізаттарын ферменттермен биоконверсиялау;
- ✓ Өсімдік шикізаттарын микроорганизмдермен тікелей биоконверсиялау (микроорганизмдерді дақылдау, әр түлді ашыту жолдары);
- ✓ Өсімдік шикізаттарын ферменттер мен микроорганизмдермен биоконверсиялау;
- ✓ Өсімдік шикізаттарын химиялық гидролизден кейін биоконверсиялау.

• **Аралас :**

- ✓ Механохимиялық - дефибрация немесе қышқылдар және тұзлардың қатысуында ұнтақтау;
- ✓ термохимиялық – тура жағу, пиролиз, газификация, жану, жылдамдатылған пиролиз, ағаш биомассасын термиялық конверсиясынан кейін түзілетін газдан метанолдың синтезделуі;
- ✓ жоғарыда аталған физикалық және химиялық әдістердің аралас қолданылуы (атмосферадағы CO₂ радиолізі т.б).

➤ Өсімдік шикізаттары полисахаридтерінің гидролиз теориясы

- ❖ Өсімдік шикізаттарының гидролиз процесінде катализдік - қышқылдық реакция жүріп, гликозидтік байланыстардың үзілуі және бос валентті орындарға су иондарының қосылуы нәтижесінде моносахаридтер алынады.



- ❑ Бұл реакция мономаолекулалы. Реакция қыздыру және полисахаридтердің гидролизін катализдейтін сутек иондарының қатысуымен жүзеге асады.
- ❑ Судағы ерітінділерде қышқылдардың диссоциациясы кезінде гидроксоний ионы (H_3O^+) түзіледі. Сұйытылған қышқылда полисахаридтердің гидролизінде полисахаридтің макромалекулаларындағы гидроксидті байланыстың гидроксоний иондарымен (H_3O^+) протондану нәтижесінде оксоний макроион түзіледі.
- ❑ Осының нәтижесінде ацеталды оттек төрт валентті күйге көшеді, гликозидті байланыстың тұрақтылығы төмендеп екі макромолекулаға ыдырайды. Макромолекуланың гликозидті оттек бар соңына сутек катионы қосылады. Ал макромолекуланың екінші ұшындағы карбоний макроионына судың гидроксилі қосылып, полисахарид молекуласының екінші бөлігі түзіледі. Реакциялардың соңғы өнімдері моносахаридтер болып табылады.

- ❑ Полисахаридтердің катализаторлары қышқылдар мен тұздардың судағы ерітінділерде диссоциациялануынан түзілетін сутек иондары болып табылады.

- ❑ Сутек иондарының түзілуі жоғары болған сайын, олардың катализдік ырықтығы да соғұрлым артады.

- ❑ Полисахаридтердің гидролизінің ең күшті катализаторы күкірт қышқылы болып табылады, себебі ол судағы ерітіндіде жақсы диссоциацияланады.

- ❑ Гетерогенді жағдайларда полисахаридтердің гидролиздік жылдамдығына өсімдік шикізатының гранулометриялық құрамы үлкен әсер етеді.

- **Гемицеллюлозалардың гидролиздік кинетикасының ерекшеліктері.**
- ❑ Гемицеллюлозалардың гидролиз процесінің өзіндік ерекшелігі болады, себебі гемицеллюлозаның химиялық құрамы біркелкі емес.
- Гидролиз екі сатылы жүреді.
- ❑ Бірінші сатысы гетерогенді жағдайда өтеді және келесі процестер жүреді: суда еритін фракциялардың еруі, ерімейтін полисахаридтердің гетерогенді гидролизі нәтижесінде олигосахардің түзілуі, олигосахаридің еруі.
- ❑ Екінші сатысы бірінші сатымен бірге, бірақ гомогенді жағдайда жүреді. Еріген олигосахаридтер моносахаридтерге дейін гидролизденеді. Бірінші сатыны гемицеллюлоза полисахаридтерінің гидролиздік еруі, ал екінші сатыны гидролиз деп атайды. Бұл сатылар бір уақытта жүретіндіктен, осындай гидролиздің жұмсақ жағдайында гидролизстта олиго-, және моносахаридтер болады.
- ❑ Барлық гемицеллюлозаларды гидролиздену ерекшеліктеріне қарай үш фракцияға жіктейді. Бірінші фракцияда гемицеллюлозаның көп бөлігі болады. гидролизденудің алғашы кезеңінде ерітіндіге өтіп, жеңіл гидролизденеді. Екінші фракция құрамында гемицеллюлозалар мөлшері аз болады. Олар ерітіндіге баяу өтеді (кеңістіктік қиындықтардан) жіне гидролизденуі жәй жүреді. Үшінші фракция гемицеллюлозаның мөлшері өте аз болады, ол целлюлозада макромолекулалардың арасында қалып қояды, оның гидролизі целлюлозамен бірге жүреді.

➤ Целлюлозаның гидролиздену кинетикасының ерекшеліктері

- ❑ Ағаш целлюлозасының гидролизі сұйытылған қышқылдармен жүзеге асырылады.
- ❑ Гидролиз жылдам және баяу сатыларға бөлінеді. Сондықтан бірінші сатыдағы гидролизденетін целлюлоза фракциясы тез гидролизденетін полисахаридтер фракциясына, ал екінші сатыдағы – қиын гидролизденетін фракцияға жатады.
- ❑ Целлюлоза басқа полисахаридтерден ерекшелігі реакцияға өте төмен қабілеттілігімен сипатталады. Себебі оның құрылысындағы макромолекулалардың орналасуы жоғары реттілікпен, молекулалардың үстіңгі қабаттарында әр түрлі құрылымдардың болуы, молекула аралық сутектік байланыстарды болуы, қарапайым құрылымдағы ақаулардың болуымен сипатталады.
- ❑ Тез гидролизденетін фракцияларда целлюлоза молекулаларының үстіңгі қабатындағы құрылымдардың реттілігінің болмау салдарынан болады. Целлюлозаның реакцияға түсу қабілетін жоғарылату үшін оның молекулаларының үстіңгі қабатын әр түрлі әдістермен (химиялық, механикалық, механохимиялық, радиациялық, ультрадыбыстық, электрохимиялық т.б.) бұзу қажет.

- **Моноқанттардың ыдырау механизмі және қанттардың шығымы**
- **Моносахаридтердің** судағы ерітіндісін қыздырғанда ыдырау процесі жүреді, пентозалардан фурфурол, құмырсқа қышқылы және гуминді заттар түзіледі.
- Дециклдену нәтижесінде пентоза молекуласынан үш молекула су бөлініп, қанықпаған гетероциклді альдегид– фурфурол түзіледі.
Фурфурол – тұрақсыз қосылыс, оны қыздырғанда құмырсқа қышқылы мен гуминді заттарға айналады.
- Өсімдік шикізатының гидролизінде аз мөлшерде метилпентозалар (L-рамноза т.б.) түзіледі, оның ыдырау нәтижесінде 5-метилфурфурол түзіледі.
- Су ерітінділердегі **гексозалар** қыздыру кезінде осы механизм бойынша гидроксиметилфурфурол, леулин қышқылы және гуминді заттар түзу арқылы ыдырайды.
- **Гуминді заттар** – жоғары молекулалы боялған заттар, олар гетероциклді альдегидтердің конденсациясы реакциялардың нәтижесінде түзіледі. Гетероциклді альдегидтер және олардың өнімдері конденсация кезінде лигнинмен әрекеттесіп лигногуминді комплексы түзеді.

➤ **Өсімдік шикізаттарын концентрлі қышқылдармен гидролиздеу**

- Өсімдік шикізаттарын концентрлі қышқылдармен гидролиздеу 140°C температурада және жоғары қысымда жүргізеді. Алайда бұл процесті төменгі температурада қышқылдардың жоғарғы концентрацияларымен жүргізуге болады.
- Полисахаридтердің концентрлі қышқылдарда еру кинетикасы олардың құрылыстары мен қышқылдардың концентрацияларынан тәуелді.
- Гемицеллюлозалар мен целлюлозалардың еруі тұз қышқылының концентрациясы 35-36% - 39% , бөлмен температурасында басталады.
- Күкірт қышқылында максималды еруі қышқылдың концентрациясы 56-58% - 62% бөлме температурасында (22-25°C) орын алады. Қышқыл концентрациясын жоғарылату 63,5% целлюлозаның ерігіштігін төмендетеді, ал қышқыл концентрациясын одан әрі жоғарылату керісінде ерігіштік керісінше жоғарылайды, толық еруі қышқыл концентрациясы 65% (t=30°C) жеткенде болады.

- ❑ Қышқылдардың концентрлі ерітінділерінде целлюлозаның еруі оның ісіну сатысынан өтеді, концентрациясы 63,5% қышқыл да целлюлоза үстіңгі ісінген пленка түзіліп, оның ерігіштік жылдамдығын төмендетеді.
- ❑ Полисахаридтерді концентрлі қышқылдарда еріткенде оксонилі қосылыстар түзіледі, соңғылары қышқыл концентрацияларынан тәуелді болады.
- ❑ 62-70% күкірт қышқылында $[(C_6H_{10}O_5)_2 H_2SO_4]_n$, 75-80% күкірт қышқылында $[(C_6H_{10}O_5) H_2SO_4]_n$ түзіледі.
- ❑ 40-41% тұз қышқылында $[(C_6H_{10}O_5) HCl]_n$ қосылыс түзіледі.
- ❑ 82-96% фосфор қышқылында $[(C_6H_{10}O_5)_3 H_3PO_4]_n$ қосылыс түзіледі. концентрлі қышқылдарда су байланысқан түрде болады, сондықтан полисахаридтер мен моносахаридтердің гидролизі аз мөлшерде жүреді. Бұл процесте қышқыл моносахаридтермен байланысуы нәтижесінде эфирлер түзіледі. Сондай ақ, моносахаридтердің реверсиясы орын алады (моносахаридтердің полимеризациясы нәтижесінде олигосахаридтер түзіледі). Температура мен қышқыл концентрациясы жоғарылаған сайын реверсия процесі артады. Концентрлі қышқылдарда полисахаридтердің еруі нәтижесінде эфирлердің түзілуі орын алады. Жоғары температурада (6 атм) өсімдік шикізаттарының полисахаридтері ыдырайды; олардың гумификациясы және жануы жүреді. Осындай жағдайда моносахаридтер дегидратацияланады. Бұл процес өндірісте фурфурол (пентозаның дегидратациясы нәтижесінде түзілген) өндіруге қолданылады.

➤ **Амилолитикалық ферменттер мен олардың әсер ету механизмдері**

субстрат ретінде крахмал қолданылады.

Амилолитикалық ферменттерге:амилазалар, глюкоамилаза, пуллуланаза, изоамилаза және т.б.

- Амилаза – эндоамилаза, субстраттағы жоғары полимерлі байланыстарды үзеді. Ол кез келген 1,4-глюканды байланыстарды гидролиздейді.
- Амилаза және глюкоамилаза экзоамилаза субстраттың редуцияланбаған соңдарына шабуыл жасайды. Амилаза мальтоза қалдықтарын тізбектің соңынан үзе бастайды, глюкоамилаза тізбек соңындағы глюкоза қалдықтарын үзе бастайды.
- Амилаза құрамында, молекулалық массасы 45000-60000 Да суда еритін белок болады. амила құрамында 1 - 30 грамм-кальций атомы болады, оны құрамынан алып тастаса крахмалды ыдырататын қасиеттен арылады. Амилаза термотұрақты, мол массасы 14000-15000.
- Крахмалдың амилазамен гидролизі көп сатылы процесс. Бірінші сатыларда декстриндер жинақталады, сосын олигосахаридтер үш- және тетрамальтоза түзіледі, олар ди- және моносахаридтерге өте баяу гидролизденеді. Реакцияның соңғы өнімдері глюкоза және мальтоза.

- Амилазаны өндіруші микроорганизмдердің түрлеріне қарай ферменттің қасиеті мен субстратқа әсер ету механизмдеріне және алынатын өнімдерге қарай өзара ерекшелінеді. сондай ақ ферменттерді оптималды әсер ету жағдайы да (рН 4-7, $t=50-110^{\circ}\text{C}$) ерекшелінеді.
- Бактериалық амилазалар рН 6,5-7,0. Амилазалар табиғи және желім тәрізді крахмалға әсер етеді. Амилаза түрлері: термофилді ($t=55-60^{\circ}\text{C}$) және термотұрақты ($t=80-90^{\circ}\text{C}$) деп жіктеледі.
- Термотұрақты амилазалардың өндіруші бактериялар: *Bacillus mesentericus*, *Bacillus diastaticus*, *Bacillus licheniformis* ($t=110^{\circ}\text{C}$).
- Амилазаның термотұрақтылығы олардың құрамындағы кальций ионынан тәуелсіз болады. амилазаларды микроскопиялық саңырауқұрақтар: *Aspergillus niger*, *Aspergillus oryzae* и бактерии *Bacillus subtilis*, *Bacillus amyloliquefaciens*, *Bacillus licheniformis*, *Bacillus mesentericus*, *Bacillus diastaticus* синтездейді.

- **Целлюлолитикалық ферменттер және олардың әсер ету механизмі**

- Целлюлолитикалық ферменттердің субстраттары целлюлоза болып табылады.

бұл ферменттер әр түрлі саңырауқұлақтармен: *Aspergillus amstelodamy*, *Aspergillus fumigatus*, *Aspergillus oryzae*, *Aspergillus terreus*, *Fusarium culmorum*, *Fusarium oxysporum*, *Fusarium solani*, *Penicillium notatum*, *Rhizopus oryzae*, *Trichoderma lignorum*, *Trichoderma virida*, *Trichoderma koningii* т.б. синтезделеді. Олар табиғатта кең таралған (топырақта, жануарлар организмінде, өсімдік қалдықтарында).

Целлюлозаны жақсы ыдырату үшін комплекскті ферменттер жүйесі қолданылады.

- Оның құрамында төрт топ ферменттер кіреді:

- ✓ эндоглюконазалар – 1,4-D-глюкан-4-глюкогидролаза (целлюлоза мен глюкондағы байланыстарды ретсіз үзіп, целлоолигосахаридтерді және целлотриозаларды түзеді;

- ✓ экзо-1,4-β-D-глюканцеллобиогидролаза – целлобиогидролаза, целлоолигосахаридтердің соңғы редуцияланбаған тізбектерінен целлобиозаны үзеді;

- ✓ D-глюкозид-глюкогидролаза – экзо-глюкозидаза, немесе целлобиаза, D-глюкозаның редуцияланбаған қалдықтарын үзеді;

- ✓ 1,4-D-глюкан-глюкогидролазалар – экзо-1,4-глюкозидаза, глюкозалық қалдықтарды үзеді.

➤ Гемицеллюлозалық ферменттік препараттар және олардың әсер ету механизмі

Гемицеллюлазалардың субстраты гемицеллюлозалар болып табылады.

Гемицеллюлазалар глюкоан-гидролазаларға жатады.

ксиландардың негізгі тізбегі гликопротеидтерге жататын ксиланазалардың ферменттік жүйелерімен ыдырайды. Осы ферменттердің тобына:

- ✓ эндо-1,4-ксиланаза (молекулалық массасы 16000 - 50000, ксилоолигосахаридтердің түзілуіне әсер етеді);
- ✓ эндо-1,3-ксиланаза (ксилоолигосахаридтерді түзеді);
- ✓ экзо-1,4--ксилозидаза (молекулалық массасы 30000 -100000, D-ксилозаны түзеді);
- ✓ экзо-1,3-ксилозидаза (D-ксилозаны түзеді).

Әсер ету оптимумы рН 4-7 , температура 30 -50оС.

- Гемицеллюлазалық ырықты қасиетке ие препарат – Ксилаваморин ГЗх. Бұл препарат құрамында гемицеллюлаза, целлюлаза және пектиназа болады. Препарат қышқылға төзімді, рН 5,0-5,5 тең. барлық пектиназалық ферменттік препараттарда (Пектовамарин, Пектофоетидин, Мацербацилин ГЗх т.б.) және целлюлазалық (Гемицеллонигрин П10х, Целлотеррин Г10х, Целловиридин т.б.) гемицеллюлаза болады. Комплекстік ферменттік препараттар (МЭК) құрамында гемицеллюлазалар болады.

Құрамында амилазалар, протеазалар, пектиназалар, целлюлазалар және гемицеллюлазалар бар комплексті препараттар: Gellulfse Onozuka SS, Pancellase RR (фирма Yakult Honaha Co, Ltd; Zellozume, фирма Nagase; Дерасил, фирма Geva т.б).

- **Лигнинлитикалық ферменттер**
- Өсімдік шикізатын өңдегенде лигниннің ферментативтік деградациясы өте маңызды және тиімді реакция болып келеді.
алайда, бүгінгі таңда өндірістік масштабта қолданылатын лигнин ыдырататын ферменттердің продуценттері табылған жоқ, осыған байланысты ғалымдар құрамында лигнин бар субстраттарда өсетін және лигнинді ыдырататын микроорганизмдерді іздестіру жұмыстары жүргізілуде.
- Целлюлоза мен лигнинді ыдырататын базидиалды саңырауқұлақтар анықталған, олар шіріген ағаштың сыртқы қабығында ақ немесе күрең түсті шірік түзеді. Күрең шірік ц целлюлозаны және гемицеллюлозаны ырықты гидролиздейді, лигнинді деметилдейді.
- Ақ шірікті тудыратын микроорганизмдер (*Polyporus versicolor*, *Pleurotus ostreatus*, *Poria subacide*, *Phanerochaete*, *Coriolus*, *Phlebia*), олар бірінші лигнинге әсер етеді ал целлюлозаны мүлдем ыдыратпайды. Алайда лигнинді толық ферменттік ыдырату жүргізбейді.

- ❑ Лигнинді ыдырататын микроорганизмдерге: аскомицеттер (*Penicillium*, *Aspergillus*), базидиалды саңырауқұлақтар (*Tyromyces lacteus*, *Goriolus hirsutus*), несовершенные грибы (*Fusarium*, *Altermaria*); *Achromobacter*, *Agrobacterium*, *Corynebacterium*, *Nocardia*, *Pseudomonas*, *Xanthomonas* туыстарына жататын бактериялар; актиномицеттер туыстары *Streptomyces* және *Thermomonospora*.
- ❑ Лигниннің ыдырауы микроорганизмдердің лигнолитикалық ферменттер тобымен жүзеге асады. Олардың құрамына кіретіндер:
 - ✓ лигнинпероксидаза немесе лигниназа;
 - ✓ Mn^{+2} -тәуелді пероксидаза;
 - ✓ Фенол тотықтырушы ферменттер, фенолоксидаза, монооксигеназа және диоксигеназа;
 - ✓ Сутегінің асқын тотығын генерациялайтын ферменттер.

- ❖ Легниназалық жүйенің негізгі ферменті лигнинпероксидаза, ол легнинді ыдырататын реакциялардың көбін катализдейді. Оның 15 түрі бар, олар өзара молекулалық массалармен (39-42 кДа), изоэлектрлік нүктелермен (рН 3,2-4,5), спиртті тотықтыратын үлес салмағы арқылы ерекшелінеді, және әр түрлі гендермен кодталады.
- ❖ Mn^{+2} -тәуелді пероксидаза полимерлі бояғыштарды, фенолдық қосылыстарды тотықтырады, ванилинді қышқылды декарбоксилдейді, ароматтық қосылыстарды гидроксилдейді, орто- және пара-дифенолдарды тоқытырады.
- ❖ Ферменттің молекулалық массасы 45-47 кДа. Ферменттің үш изоформасы болады, олар өзара изоэлектрлік нүктелері арқылы (4,3; 3,8; 3,5) ерекшелінеді. Оның ырықтығы орта құрамындағы Mn^{+2} , сутек асқын тотығына, лактатқа және гидрокси қылдылдардан тәелді болады. ортада сутегінің асқын тотығы болмаған жағдайда кейбір қосылыстарды тотықтыру арқылы сутегінің асқын тотығын өндіруге қабілетті. Mn^{+2} –тәуелді пероксидаза легнинді ылыратушы саңырауқұлақтармен түзіледі, бірақ оның толық қасиеті әлі толық зерттелмеген.

➤ **Фенолоксидазаларға** лакказа (O₂: пара-дифенолоксиредуктаза), тирозиназа (O₂: о-дифенолоксиредуктаза); және пироксидаза (донор: H₂O₂-оксиредуктаза) жатады.

➤ Лакказа құрамында мыс бар фермент, фенолдар мен хинондарың тотығуын катализдейтін фермент . Фермент орто- және пара-дифенолдарды тотықтырады.

➤ **Тирозиназа** құрамында мыс бар фермент, екі реакцияны катализдейді: фенолдарды моногидроксилирдейді, нәтижесінде орто-дифенолдар немесе орто-хинондар түзіледі, катехолдарды орто-хинондарға тотықтырады.

- **Пероксидаза** құрамында гемм бар белок, органикалық заттарды сутек асқын тотығы құрамындағы оттегімен катализдейді. Фермент лигниннің ыдырауында көптеген функцияларды атқарады, орто- және пара-дифенолдардың тотығуына қатысады. Сутегі асқын тотығын генерациялайтын ферменттерге: глюкозооксидазалар, пиранозоксидазалар, метенолоксидазалар, гликооксальоксидаза, май қышқылдарының ацил-CoAоксидазасы кіреді. Сутегі асқын тотығының ең күшті продуценттеріне: глюкозаны тотықтыратын глюкозооксидаза жатады. Сонымен қатар, пиранозоксидаза глюкозамен қатар D-ксилозаны, L-сорбозаны, D-глюконо-1,5-лактонды тотықтырады. Гликооксальоксидаза глиоксаль, метилглиоксаль және басқа да гидрокарбонилды және дикарбонилды субстраттарды тотықтырады. құрамында целлюлозасы бар өсімдік шикізаттарында базидиалды саңырауқұлақтар (*Tyromyces lacteus*, *Goriolus hirsutus*) гемицеллюлазалық, ксиланазалық, целлюлазалық, пектиназалық және лигнолитикалық ырықтығы бар ферменттердің комплексін синтездейді.
- Өсімдік материалының лигнинін деградациялайтын микроорганизмдерді іздестіру өндірісі саласында маңызды проблемалардың бірі болып табылады. Себебі лигнин молекуласының бірегей химиялық құрылысына байланысты оны микроорганизмдердің ферменттік жүйелерімен ыдырату өте қиынға соғады. Бұл көмірсулардың микроорганизмдерден қорғаныштық механизмі оларды антимикробтық заттармен фенолдар мен полифенолдармен (лигнинмен) инкрустацияланғанымен сипатталады.