
ЗАСТОСУВАННЯ ФЕРМЕНТНИХ ПРЕПАРАТІВ ДЛЯ УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА СОКІВ

Домашовець А. О., Курка М. С., Бучкевич І. Р.
DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-445-0-15>

ВСТУП

У світі постійно зростає попит на натуральні напої, що ставить перед виробниками сокових продуктів виклик – розвивати та вдосконалювати технології виробництва. Для їх покращення перспективним напрямком роботи є використання ензимів, що збільшують ефективність виробничого процесу та забезпечують оптимальну якість, ароматичні та смакові властивості напою.

Флодоягідні та овочеві соки поділяють на освітлені (клітинний сік вакуолей), неосвітлені (містять дрібні компоненти клітин) та соки з м'якоттю¹. Вони як плодово-ягідні чи овочеві напої, отримані зі свіжих плодів, належать до сокової продукції. Останню, у свою чергу, можна поділити на наступні види²:

- 1) 100%-ий сік – це продукт, вироблений безпосередньо із фруктів і (або) овочів.
- 2) Відновлений сік – це продукт, виготовлений з концентрованого соку і питної води, без консервантів, ароматизаторів та підсолоджувачів.
- 3) Нектар – це напій з концентрованого соку (пюре), води і натуральних ароматизаторів. Також можуть містити цукор та натуральні підкислювачі.
- 4) Соковмісний напій – це суміш концентрованого соку (пюре) і води.

¹ 17.1.5. Виготовлення соків – Бібліотека VukLib.net. Головна – Бібліотека VukLib.net. URL: <https://buklib.net/books/29588/> (дата звернення: 10.04.2024).

² Михайлюк А. О., Верхованцева В. О. Технологічний процес виробництва соку. Збірник наукових праць магістрантів та студентів., м. Мелітополь. 2021. С. 48–49. URL: <http://elar.tsatu.edu.ua/bitstream/123456789/13309/1/12.pdf>.

5) Морс – це напій, що виготовляється із суміші соку ягід (ягідного пюре), води, та цукру (або меду). Мінімальна частка концентровано соку складає не менше 15 % від загального об'єму ³.

У світовій практиці широкого застосування набуває ферментативна обробка сировини для виробництва сокових напоїв та утилізація відповідних відходів за допомогою ензимів ⁴. Така модифікація технології зумовлена будовою фруктових та овочевих плодів, а саме – їх клітинної стінки ⁵. Ферментні препарати, які використовують у виробництві, поділяють наступним чином ⁶:

1) препарати для виготовлення освітлених соків, що збільшують їх вихід, вміст сухих речовин, забезпечують гідроліз білкових і пектинових речовин;

2) препарати для виготовлення нектарів, що містять м'якоть плодів або ягід, підвищують вихід і гомогенність продукту;

3) препарати для отримання неосвітлених соків, що збільшують їх вихід і вміст сухих речовин ⁷.

До ферментних препаратів, які використовують у виробництві соків, висувають ряд вимог. Наприклад, препарати для освітлення соків повинні містити пектинолітичні ензими, здатні розкладати колоїдні сполуки, відповідно викликаючи опалесценцію соків, та протеїнази ⁸. Дані препарати не підходять для виготовлення нектарів, оскільки сильно знижують в'язкість сокового напою, натомість використовуються мацеруючі препарати.

³ Учасники проєктів Вікімедіа. Сік – Вікіпедія. Вікіпедія. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Сік> (дата звернення: 10.04.2024).

⁴ Сайт 4ua.co.ua. Технологія виробництва соків. КР. Режим доступу: http://4ua.co.ua/cookery/zb3ad69b5d43a88521306c27_0.html

⁵ Microbial degradation of Pectin – Enzymes, Steps, Mechanisms – Biology Notes Online. Biologynotesonline.com. URL: <https://biologynotesonline.com/microbial-degradation-of-pectin/> (date of access: 11.04.2024).

⁶ Лапицька Н. В. Технологія напоїв, екстрактів та концентратів : навч. посіб. для студ. ЗВО / ред. О. І. Сиза. Чернівці, 2021. 217 с. URL: <http://erpub.chnpu.edu.ua:8080/jspui/handle/123456789/7572> (дата звернення: 10.04.2024).

⁷ Нові напрямки використання ферментних препаратів для виготовлення плодово-ягідних соків / Чоботар Д. С. та ін. *Матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених 30 січня-24 лютого 2023 р.*, Запоріжжя, 2023. С. 82-84. URL: <http://www.tsatu.edu.ua/tstt/wp-content/uploads/sites/6/materialy-3-mnpkmu-tehnichne-zabezpechennja-innovacijnyh-tehnolohij-v-ahropromyslovomu-kompleksi-m.-zaporizhzhja-30.01-24.02.2023.pdf> (дата звернення: 11.04.2024).

⁸ García C. Á. Fruit Juices: Extraction, Composition, Quality and Analysis. *Chapter 11 – Application of Enzymes for Fruit Juice Processing* / C. Á. García. Dublin (Ireland), 2018. P. 201–216. DOI: 10.1016/B978-0-12-802230-6.00011-4

1. Технологія виготовлення соків

Технологічний процес виробництва натуральних соків (рис. 1) включає наступні операції: підготовку (мийку, в деяких випадках очищення) і дроблення плодовоовочевої сировини, видобування соку, його очищення, освітлення, фільтрування, фасування, теплову обробку, етикетування.



Рис. 1. Блок-схема технології виробництва натуральних соків

Приймання. При прийманні визначають кількість і якість плодів і овочів, відбираючи середню пробу (4–15 кг) для аналізів. Є механізовані пробовідбірники для відбору томатів з розвантажувального транспортера. Про відповідність сировини вимогам судять за органолептичними і хімічними показниками, за наявністю тих або інших дефектів.

Миття сировини. Плоди, що поступають на переробку, мають поверхневі забруднення мінерального або органічного походження. Значна частина цих забруднень вноситься з пилом. Поверхня плодів рясніє різними мікроорганізмами (епіфітна мікрофлора), що попадають

з навколишнього середовища і переносяться комахами. У процесі миття повинне бути забезпечене видалення з поверхні плодів механічних забруднень, мікроорганізмів і пестицидів, що залишаються після хімічної обробки рослин. Фрукти і овочі доставляють на переробку в контейнерах, ящиках або навалом на автомобільному транспорті і розвантажують в приймальний бункер, заповнений на 1/3 водою, де видаляють важкі домішки (камені, грудки землі і т. п.), якщо вони випадково попали в сировину.

Дроблення підготовленого плодовоовочевої сировини повинно забезпечувати руйнування клітин м'якоті не менше ніж на 75%. Айву, яблука, груші, ревінь дроблять на ножових, терткових або дискових дробарках. Яблука дроблять на частинки розміром 2–6 мм залежно від щільності тканини плодів і застосовуваного пресового устаткування. Чим щільніша тканина, тим дрібнішими повинні бути частинки плодів. Кісточкові плоди (вишню, черешню, сливу) подрібнюють на універсальних дробарках. Дроблення регулюють так, щоб кісточка НЕ дробилися. Допускається наявність зруйнованих кісточок в меззі не більше 15% до її маси. Ягоди смородини, агрусу, брусниці дроблять на вальцевих або дискових дробарках.

Видобування соку. Основний спосіб видобування плодівих соків в промислових умовах – пресування в пресах періодичної і безперервної дії. При пресуванні мезгу піддають тиску, що приводить до виділення соку. Завантажену платформу підводять під пристрій для пресування і включають гідравлічний поршень малого тиску. Тиск підвищують поступово, в іншому випадку може статися попадання м'якоті в сік або розрив мішковици. Коли подальше підвищення тиску утрудняється, другим поршнем подають гідравлічну рідину, підіймають тиск до 2,5 МПа і тримають його 5–10 хв до припинення виділення соку. Потім платформу відкочують на розвантаження. Загальна тривалість пресування 15–20 хв.

Час відділення соку і пресування не повинні перевищувати 20 хв, щоб уникнути значного окислення і потемніння мезги і соку. При підвищенні тиску і більш високому виході соку він збагачується колоїдними частинками і його освітлення утруднене. Для підвищення виходу соку при використанні шнекових пресів рекомендують вичавки яблук після шнекового преса додатково пресувати, наприклад, на гідравлічному пресі. Осад м'якоті може бути використаний як добавка (не більше 20%) до яблучного пюре при варінні повидла або повернутий в мезгу для повторного пресування.

Вихід соку залежить від якості вихідної сировини, підготовки мезги, способу пресування і становить: з винограду – 70–80%, яблук – 55–80%, журавлини – 70–80%, вишні – 60–70%, смородини червоної – 70–80%,

чорної –55–70%. Сік з-під преса проціджують через сито з нержавіючої сталі з отворами діаметром 0,75 мм або капронове сито для видалення, шматочків мезги, насіння і інших домішок, що потрапили в сік.

Для підвищення виходу соку при пресуванні мезгу попередньо нагрівають, обробляють ферментними препаратами або електричним струмом⁴.

– При **нагріванні** мезги до 70–76°C відбувається денатурація білків і зростає виділення соку.

– Обробка мезги **ферментними препаратами** призводить до гідролізу білків, пектинових з'єднань і крохмалю, що також сприяє підвищенню виходу соку. Суспензію ферментного препарату вносять в мезгу зерняткових плодів відразу після дроблення, а в мезгу кісточкових – після додавання води (10–15% до маси мезги) і нагрівають її до 40–45°C. Мезгу з препаратом перемішують і витримують 40–60 хв залежно від виду оброблюваної сировини і передають на пресування. Для добування соку мезгу плодів і ягід подають на преси різних систем.

Подальші операції з соком залежать від того, які види соку виробляють. Наприклад, деякі соки освітлюють.

Освітлення соку. Освітленні соки готують з барбарису, брусниці, груші, журавлини, горобини, смородини червоної, винограду, яблук... Висвітлювати сік можна відразу після його виготовлення або пізніше, заготовляючи напівфабрикати, консервуючи їх і потім висвітлюючи. Розрізняють наступні методи освітлення соків:

1) **Фізичні** – методи, що не пов'язані із зміною хімічного складу в колоїдних властивостей рідкої фази продукту. До них відноситься проціджування, відстоювання, центрифугування, електро-сепарування;

2) **Ферментативні** – методи, при яких під дією природних або штучно введених в продукт ферментів відбуваються біохімічні і фізико-хімічні зміни соку, що ведуть до седиментації.

Основними сокоутворюючими речовинами є пектини, тому мезгу обробляють пектинолітичними ферментами, які розщеплюють пектинові речовини. Ферментів додають у кількості 0,03% від маси мезги (або роблять пробну обробку ферментами, щоб перевірити їх активність). Для пробної обробки сік нагрівають до 30–40°C, змішують з ферментами у співвідношенні 5:1 і залишають на 20 хв. Потім у підігріту до 40–45°C мезгу вносять визначену кількість ферменту і витримують від 3 до 6 год залежно від сировини, а потім пресують.

3) **Колоїдно-хімічні** – методи, направлені на руйнування колоїдної системи, – різні варіанти «обклеювання», купажування, термічні методи (миттєве підігрівання, заморожування і танення), обробка коагулянтами (спиртом), бентонітовими глинами.

Збільшити вихід соку можна також короточасним **заморожуванням** сировини при температурі мінус 2–10°C. Заморожування здійснюють не миттєво, а так, щоб утворились великі кристали, які розривають клітини, і при розморожуванні з клітин легко витікає сік. Якщо плоди замерзли на деревах, їх треба швидко дефростувати й виготовити з них сік.

Окремої уваги заслуговує метод **температурної обробки**. При швидкому підігріванні загальний вміст колоїдів в соку знижується. Однак підігрівання протягом декількох хвилин збільшує їх кількість. Щоб уникнути новоутворення колоїдів, процес підігрівання треба провести «вмить», змінюючи охолодженням. Тривалість підігрівання і охолодження складає по 10 с. Температура підігрівання для яблучного соку 80°C. Температура охолодження 15–20°C. В результаті миттєвого підігрівання повна прозорість продукту не досягається (яблучний сік), але основна маса зважених в соку частинок осідає. Миттєве підігрівання соку проводять в трубчастих теплообмінниках.

У сучасних технологічних процесах часто використовують **бентонітові глини**, які мають високі адсорбуючі властивості. Бентоніт – природний алюмосилікат, кристалічна решітка якого набрякає, чим і пояснюються його іонообмінні та колоїдно-сорбційні властивості. (таблиця 1).

Таблиця 1

Хімічний склад бентоніту

Сполуки та речовини	Відсотковий вміст
Кремнію (IV) оксид	50–65%
Алюмінію оксид	15–20%
Залізо	до 3%
Кальцій	до 6%
Натрій	до 3%
Калій та інші оксиди	до 1%

Негативно заряджені частинки бентоніту в соці взаємодіють з позитивно зарядженими колоїдами білка й пектинів. Проте навіть висока доза бентоніту (до 110 г/л) не повністю зв'язує білки й вуглеводи. Якщо вміст білка в яблуках високий, особливо в посушливі роки, то велика доза бентоніту погіршує якість соку та адсорбцію аскорбінової кислоти, яка випадає в осад. Тому бентоніт попередньо очищають, видаляючи іони алюмінію, заліза та інших елементів. Останнім часом почали використовувати кремнію (IV) оксид в поєднанні із желатином. Процес освітлення кремнію (IV) оксидом разом із желатином триває 1–2 год замість кількох днів для відстоювання до такого ж ступеня освітлення. Після обробки сік центрифугують.

4) **Хімічні** – методи, що базуються на взаємодії природних речовин соку між собою або з доданими хімічними реагентами.

Фільтрація. Після освітлення в соку залишається осад, який видаляють, пропускаючи сік через фільтри різних систем або сепаруючи на центрифугах. Плодові соки фільтрують при постійному і невисокому тиску. Осад, що міститься в соці, що складається з органічних частинок, при підвищеному тиску легко стискується, що викликає закупорювання фільтра, перешкоджаючи подальшому проведенню процесу. Фільтрування вимагає наявності перепаду тиску по обидві сторони фільтруючої перегородки. З збільшенням тиску швидкість процесу спочатку зростає, а потім внаслідок стиснення і закупорки пір фільтра меншає. Для фільтрування плодово-ягідних соків використовують фільтри-преси, наливні фільтри і барабанні вакуум-фільтри. Фільтрування на фільтрах-пресах проводять при тиску 39,2–157 кПа. Відфільтрований сік пускають на рециркуляцію до досягнення прозорості, після чого повністю відфільтрований сік подають на деаерацію.

Розлив. Продукцію фасують в ретельно вимиту тару. При цьому кожне пакування наповнюють суворо певною кількістю продукції (відхилення від встановленої норми допускаються в межах 1–2%). Температура соку при розливі в банки місткістю 3 л становить 90–95°C. Банки місткістю 2000 і 3000 см³ наповнюють рідким продуктом на автоматичному наповнювачі.

Згущення. Для економії тари соки згущують. Є кілька способів одержання концентрованих, освітлених та неосвітлених соків. Технологія виробництва соків починається з виконання загальних технологічних процесів. Потім освітлені соки упарюють в емальованих або з нержавіючої сталі вакуум-апаратах при розрідженні 85 кПа і температурі 50–65°C до вмісту 70% сухих речовин, а неосвітлені – до 55%. Концентровані соки фасують у лаковані консервні банки та скляну тару місткістю до 0,6 л або в алюмінієві лаковані туби місткістю 0,2 л. Соки для громадського харчування фасують у лаковані консервні банки чи скляну тару або в дерев'яні бочки з поліетиленовою вкладкою.

Закупорювання. При фасуванні напоїв в упакування потрапляє повітря. Потрапляння повітря в рідкі і пореподібні продукти відбувається і при перекачуванні їх насосом на розлив. Видалення повітря з банок з продуктами перед закупорюванням має велике практичне значення. Цей процес називається експаустиванням. Чим нижча температура продукту під час фасування, тим більше в ньому міститься повітря. Кисень сприяє окисленню біологічно активних речовин продукту, збільшує корозію жерсті у необроблених лаком або

оловом місцях, дає можливість розвиватися не убитим при стерилізації аеробний мікроорганізмам.

Застосовують теплове, механічне, а іноді – змішане екстагування. Механічне проводять у вакуум-закаточних апаратах відсмоктуванням повітря із заповнених продуктом банок при розрідженні 60–80 кПа (іноді – 30 кПа). Величину розрідження при закупорюванні встановлюють для кожного виду упакування з урахуванням їх складу.

Після розливу та охолодження готової продукції її відправляють на зберігання. Терміни зберігання соків залежать від тари, в яку їх поміщають: в світлу склотару – 2 роки; в темну склотару – 1 рік; в металевій тару – 1 рік; в алюмінієвих тубах – 1 рік; в споживчій тарі з комбінованих матеріалів на основі алюмінієвої фольги та паперу (картон) – 1 рік.

Етикетування. Після стерилізації банки обробляють в мийно-сушильній машині (обполіскування водою температурою 35–45°C (при надлишковому тиску до 0,03 МПа, сушка нагрітим повітрям). На висушені банки етикетувальними машинами наклеюють етикетки і наносять маркування. Готову продукцію в скляній тарі упаковують в поліетиленові пакети і відправляють на склад.

2. Аналіз існуючих методів вирішення проблеми – покращення технології виробництва натуральних соків

Суть даного технологічного процесу ферментативної обробки сировини полягає в обробці м'язги після подрібнення сировини ферментами.

Для обробки сировини фруктового соку найчастіше використовуються ферменти, здатні руйнувати клітинний матрикс плоду. Ця складна матриця складається в основному зі структурних полісахаридів, таких як пектинові речовини, целюлоза або геміцелюлоза (таблиця 2). Ці сполуки становлять понад 90% сухої ваги фруктів. Крім полімерних вуглеводів, лігнін – ароматичний полімер – є важливою складовою клітинної стінки. Рослинна клітинна стінка перешкоджає виведенню внутрішньоклітинної рідини, зберігаючи клітинну структуру. Таким чином дія ферментів базується на деградації компонентів клітинного матриксу, що збільшує вихід екстракції.

Таблиця 2

**Вміст пектину, целюлози та геміцелюлози
в деяких промислово затребуваних фруктах та овочах**

Фрукти/овочі	Пектинові р-ни (%)	Целюлоза (%)	Геміцелюлоза (%)	Лігнін (%)
Яблука	0,5–1,6	3,75	1,69	2,23
Банани	0,7–1,2	1,03		3,22
Персики	0,1–0,9	2,47		0,31
Полуниці	0,6–0,7		0,66	1,10
Вишні	0,2–0,5	1,30	0,49	16,9
Горох	0,9–1,4			
Морква	6,9–18,6	7,81		1,01
М'якоть апельсинів	12,4–28,0			
Картопля	1,8–3,3	2,33		0,90
Помідори	2,4–4,6	6,58		1,69
Виноград	0,2–1,0	2,23		0,42
Груші		11,87	1,48	4,49
Ананаси	0,3–0,6	4,27	2,67	0,21
Бурак	30,0	9,22		0,60

Таким чином для обробки сировини в основному використовують пектинолітичні ферменти, целюлази та їх суміші.

Пектинолітичні ферменти – група ферментів, що беруть участь у розкладанні пектинових речовин у процесах деполімеризації (гідролази та ліази) та деестерифікації (естерази). Добре відомими пектинолітичними ферментами є ферменти, що розкладають гомогалактуронан.

До пектинолітичних ферментів належать:

1. Протопектинази.
2. Пектинметилестерази.
3. Пектинацетилестерази.
4. Поліметилгалактуронози (ПМГ).
5. Полігалактуронози (PG).
6. Пектат-ліази (PGL).
7. Пектинліази (PL).
8. Рамногалактуронан-рамногідролази.
9. Рамногалактуронан-галактуроногідролази.
10. Рамногалактуронанові гідролази.
11. Рамногалактуронан-ліази.
12. Рамногалактуронан-ацетилестерази.
13. Ксилогалактуронан-гідролаза.

Пектинові речовини, за даними Американського хімічного товариства, поділяються на чотири основні групи:

1) Протопектин нерозчинний у воді і при гідролізі утворює пектин або пектинові кислоти.

2) Пектинова кислота – це полімер галактуронану, розчинний у воді, який містить дефіцитну кількість метокси-груп. Її звичайні або кислі солі називають пектатами.

3) Пектинові кислоти: коли вміст метильованих галактуронатних одиниць менший, ніж 75% полігалактуронанового ланцюга. У цьому випадку нормальні або кислі солі називають пектинатами.

4) Пектин або поліметилгалактуронат: коли кількість карбоксильних груп, етерифікованих метанолом галактуронатних одиниць, перевищує 75%. Поєднання пектину з целюлозою надає жорсткості клітинній стінці.

Як згадувалось вище, найпоширенішими є ферменти, що розщеплюють гомогалактуронан, наприклад – пектиназа.

Пектиназа (екзополігалактуронази, пектолаза) ЕС 3.2.1.15 – фермент, що каталізує деградацію пектину. Він зазвичай містяться в рослинах не у вільному вигляді, а у вигляді складного комплексу, відомого під назвою протопектин.

Типовими продуцентами пектинази є бактерії роду *Bacillus* (зокрема, *Bacillus subtilis* С4 та *Bacillus* sp. P-4-N). Крім типових продуцентів, до синтезу цього ферменту здатні мікроскопічні гриби, особливо різні види роду *Aspergillus* (*A. awamori*, *A. foetidus*, *A. niger*, *A. terreus* та ін.). Серед бактерій знайдені активні продуценти пектиназ, що відносяться до роду *Clostridium*; серед дріжджів культура – *Saccharomyces fragilis*.

Середня молекулярна маса екзополігалактуронази варіює в діапазоні (Да): 35000–79000 (продуцент *Bacillus subtilis* С4), 60000 – 70000 (продуцент *Bacillus* sp.P-4-N), 34000 – 106000 (продуцент *Aspergillus niger* RBF96).

Пектиназа характеризується ферментативною високою активністю в широкому діапазоні рН та температури. Таким чином пектиназа синтезована *Bacillus* sp. P-4-N залишається стабільною в діапазоні рН 3,0–10,0, (оптимум – 9,0), з ізоелектричною точкою від 4,0 до 9,0. Фермент залишається стабільним при рН – 9 і температурі 40–50 °С, упродовж 60 хв. А вже при підвищенні температури до 60 °С, упродовж 60 хв, при рН–9 фермент втрачає 80% своєї активності. Інгібіторами ферменту виступають такі катіони: Hg^{2+} , Mn^{2+} , Zn^{2+} .

Виробник пектинази – завод ферментних препаратів ЕНЗИМ (м. Ладижин, Україна). Даний препарат представлений в двох препаративних формах (рідка форма в пластмасовій каністрі – 1, 5, 20 л та тверда форма в пакеті Zip–Lock – 1 кг).

Пектинові речовини утворюють гелеподібну масу і утримують сік, перешкоджаючи його виділенню. Особливо складно отримати соки без м'якоті з сировини з високим вмістом пектину (сливи, агрус, чорна смородина, айва тощо). Пектиназа ефективно застосовується для

збільшення соковіддачі і поліпшення фільтрації при віджиманні, а також для освітлення соків і виноматеріалу.

Основні області застосування ферменту:

- Виробництво соків, фруктових пюре і желе.
- Виноробство і виробництво лікєро-горілочаних виробів.
- Виробництво кави та кавових концентратів.
- Отримання пектину з низьким вмістом метокси.

Пектинолітичні ферменти широко використовуються в різних областях, таких як обробка волокон рослин, зброджування чаю та кави, очищення промислових стічних вод тощо. У харчовій промисловості процес гідролізу пектинових речовин має велике значення для переробки плодів, ягід і овочів. Використання пектинолітичних ферментів дозволяє суттєво підвищити соковіддачу при виробництві освітлених соків, особливо з тих плодів і ягід, які не мають власних пектолаз і містять підвищені кількості пектину (слива, алича, абрикос, персик, груша та ін.). При виготовленні фруктових напоїв з м'якоттю ферменти дозволяють зняти небажаний желеподібний ефект. Також пектиназу використовують для біологічного знежирення текстилю та біологічного розпушування паперової промисловості, як ферментні коктейлі для виробництва кормів для тварин ⁹.

Целюлозолітичні та інші ферменти. Целюлоза складається з мономерів глюкози, її природна форма має дві різні кристалічні форми, I і II, причому тип I є найбільш поширеним. Різниця між двома типами целюлози залежить від орієнтації глюкозних ланцюгів: паралельні в типі I і антипаралельні в типі II. Целюлозна I типу можна знайти в овочах і фруктах. Залежно від кількості паралельних глюкозних ланцюгів

Целюлоза I генерує різні аломорфи, які утворюють наноструктуру, відому як мікрофібрила. Як правило, ці волокна інтегровані в матрицю інших структурних полімерів, головним чином лігніну або геміцелюлози.

Геміцелюлози є групою полімерних вуглеводів, що містяться в клітинній стінці. Геміцелюлоза є розгалуженим полімером різноманітних цукрів, включаючи L-арабінозу, D-галактозу, D-глюкозу, D-маннозу, D-ксилозу та 4-O-метилглюкуронову кислоту. Характерно, що у всіх геміцелюлоз присутня екваторіальна симетрія в C1 і C4.

Геміцелюлози встановлюють водневі зв'язки з мікрофібрилами целюлози, утворюючи жорстку та стійку структуру; крім того, вони ковалентно зв'язані з лігніном, який у поєднанні з целюлозою утворює дуже складну структуру.

Лігнін є полімером ароматичних сполук, отриманих в результаті окислювального сполучення 4-гідроксифенілпропанолів. Трьма

⁹ Дзуман Д. В. Одержання пектинази культивуванням *Bacillus subtilis* : кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня бакалавра: спец. 162 «Біотехнології та біоінженерія». Національний університет харчових технологій. Київ, 2021. 146 с.

основними компонентами лігніну є гідроксициннаміловий спирт (або монолігнол) коніферилловий спирт і синапіловий спирт з незначними кількостями п-кумарилового спирту; вони діють як будівельні блоки. Основною функцією лігніну є надання твердості та стабільності клітинним стінкам, а збільшення вмісту лігніну як відповідь на зовнішні фактори може призвести до збільшення твердості фруктів, що може вплинути на процес віджимання соку.

Целюлази – це модульні ферменти, що складаються з дискретних субодиниць з незалежними доменами. Ці ферменти, діючи разом, здатні гідролізувати целюлозу на моносахариди й олігосахариди. Класифікація цих ферментів досі нечітка, головним чином через їх велику різноманітність; зазвичай їх класифікують на основі їх амінокислотної послідовності, функціональності або кристалічної структури. Проте з практичних міркувань целюлази можна класифікувати залежно від того, чи здатні вони розщеплювати β -(1-4)-глюкозидний зв'язок всередині, чи на одному з кінців целюлозного ланцюга.

Геміцелюлази – ферменти, що утворюються гетерогенною групою ферментів, оскільки склад геміцелюлози дуже варіабельний; для повної деградації геміцелюлози необхідно використовувати різні ферментативні активності. Основна активність геміцелюлаз може проявлятися як глікозидгідролазна (точками розщеплення яких є глікозидні зв'язки) або вуглеводна естеразна (які розщеплюють складноестерні зв'язки бічних груп ферулової кислоти або ацетату). Серед них ксиланази, β -мананази (α -D-глюкоуронідази).

Лігнази – ферменти, здатні розщеплювати лігнін, хоча механізм не є регулярним гідролізом, оскільки відбувається процес окислення. Вважається, що дві групи залежать від її механізму, перша – це фенолоксидаза або лакказа, а друга – або пероксидаза лігніну, або пероксидаза марганцю. Ферменти, які беруть участь у біодеградації лігніну, занадто великі, щоб проникнути через клітинну стінку. Тому лігнази здатні генерувати низькомолекулярні дифузійні реакційоздатні сполуки, що спочатку змінюють цілісність лігніну. З цих причин лігнази не використовують так часто, як інші ферменти в промисловості.

3. Обробка відходів виробництва сокових напоїв ферментами

Можна виділити 3 основних напрямки для переробки рослинних відходів виробництва сокових напоїв:

- 1) гідролітична підготовка, яка в подальшому дає можливість отримати етиловий спирт та кормові дріжджі;
- 2) твердофазна ферментація (отримання ферментів, органічних кислот, збагачення відходів, що містять целюлозу мікробним білком, силосування, компостування);
- 3) отримання біогазу за допомогою анаеробної переробки відходів.

Особливо цікавий для нас – ферментативний гідроліз. Він може здійснюватися під дією целюлозолітичних ферментів грибного

походження. Активними продуцентами цих ферментів є гриби *Trichoderma viride*.

Перевагами гідролізу є:

- специфічність каталізатора, що обумовлює вибірковий гідроліз глікозидних зв'язків полісахаридів;
- відсутність деструкції утворення моносахаридів;
- можливість проведення процесу при 40–50 °С без значних енергетичних витрат.

Разом з тим існує ряд факторів, що стримують застосування гідролізу:

1) невисока швидкість внаслідок того, що глобулярні макромолекули ферментів насилу проникають в міжмолекулярні області упорядкованих структур;

2) інгібування кінцевими продуктами – глюкозою і целобіозою;

3) вплив лігніну, який полягає в адсорбції ферментів, їх інгібуванні низькомолекулярними ароматичними продуктами його деструкції (фенол, *p*-гідроксibenзойна кислота) і екранувальній дії. На швидкість гідролізу впливає вологість матеріалу. Оптимальною є відносна вологість сировини 400%, при меншій вологості зростає інгібуюча дія продуктів, при більшій – знижується швидкість ферментативної реакції¹⁰.

Ще одним способом утилізації відходів виробництва сокових напоїв за допомогою ферментів є використання шкурок цитрусових, яблук, жому буряків або комбінованої сировини для одержання пектину¹¹.

Природні пектини з рослинної сировини (плодів, ягід і фруктів) є важливою частиною раціону людини і представляють основу ряду лікарських засобів і біологічно активних добавок.

Вилучення пектину здійснюють шляхом проведення послідовних операцій кислотного гідролізу, екстрагування, відокремлення та очищення пектинового екстракту, осадження пектину та зневоднення пектинового коагуляту, висушування та подрібнення готового пектину.

Екстракцію проводять в кислих умовах з метою одержання високометоксильованих та низькометоксильованих пектинів.

Відомі способи одержання пектину, що полягають у гідролізі рослинної пектиновмісної сировини ферментними препаратами з наступним осадженням, очищенням та сушінням продукту.

¹⁰ Підповітна В. І. Удосконалення системи утилізації відходів плодово-овочевого виробництва : кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра: спец. 183 «Технології захисту навколишнього середовища». Національний технічний університет «Дніпровська політехніка». Дніпро, 2021. 96 с.

¹¹ Дослідження технологічних умов отримання пектину з комбінованої сировини / Г.С. Пастух та ін. Актуальні задачі сучасних технологій – Тернопіль 25-26 листопада 2015 : Матеріали IV Міжнар. науково-техн. конф. молодих уч. та студентів. С.153–154. URL: https://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/123456789/11122/2/ConfATMT_2015v2_Pastukh_H_S-Research_of_technological_153-154.pdf (дата звернення: 11.04.2024).

Гідролізуючий агент культивують на субстраті мікроорганізмів роду *Bacillus*, після змішують його з рослинною пектиновмісною сировиною, проводять екстрагування суміші з виділенням цільового продукту. При цьому, в якості мікроорганізмів використовують неруйнуючі пектинштами *Bacillus subtilis*, *Bacillus cereus*, *Bacillus amyloliquefaciens*, *Bacillus circulans*, *Bacillus coagulans*, *Bacillus firmus*, *Bacillus licheniformis*, *Bacillus pumilis*, *Bacillus macerans*, аналогічні штами або мутантні штами цих бактерій. Може використовуватися комплекс ферментів, що включає целюлазу і геміцелюлазу, отриманих з гриба *Geotrichium candidum*. В якості рослинної сировини, яка містить пектинові речовини, використовують шкірку або оболонку часточок цитрусових. Даний спосіб дозволяє отримувати 30–35% пектинових речовин від теоретично можливої кількості. Однак технологія складна і трудомістка, оскільки вимагає спеціального попереднього отримання ферменту, подальшого його застосування та спеціального контролю технологічного процесу ¹².

Високоетерифіковані яблучні, капустяні, цитрусові та картопляні пектини мають високу драглеутворювальну здатність і можуть використовуватися як структуроутворювачі у харчових продуктах. Низькоетерифіковані бурякові пектини мають понижені драглеутворювальні властивості, проте високу сорбційну здатність і можуть бути використані у якості біологічно активних добавок до їжі.

Високий вихід пектину із досліджених видів сировини (до 10%) свідчить про ефективність її промислового перероблення для отримання цінного продукту – пектину ¹³.

Для ферментативної обробки широко застосовують ферментні препарати на основі пектинолітичних ферментів.

Для цього застосовують такі ферментні препарати: «Пекгавамарин», «Пектофоетидин», «Пктавамарин ШОх», «Пектофоетидин П 10х», «Пектонігерин ШОх». Останні 3 є більш очищеними, що є перевагою для застосування з метою обробки плодів. Перед використанням у великих масштабах роблять пробну обробку ферментами, щоб перевірити їх активність. Для пробної обробки сік нагрівають до 30–40 °С, змішують з ферментами у співвідношенні 5 : 1 і залишають на 20 хв ¹. Потім у підігріту до 40...45 °С мезгу додають препарат додають у вигляді суспензії в кількості 0,01...0,075%, витримують від 1 до 6 годин залежно від сировини, а потім пресують.

¹² Безвідходна технологія одержання пектину з відходів харчової промисловості / М. М. Тетерев та ін. ВІСНИК СХІДНОУКРАЇНСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ імені Володимира Даля. 2021. № 5 (269). С. 61–68. URL: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2021-269-5-61-80> (дата звернення: 10.04.2024).

¹³ Пастух Г. С., Грабовський Є. О. Отримання пектину з рослинної сировини та дослідження його фізико-хімічних властивостей. Наукові здобутки молоді – вирішення проблем харчування людства у XXI столітті : тези 79-ої міжнар. наук. конф. молодих уч., аспірантів і студентів, м. Київ. 2013. С. 362–364.

Використання ферментних препаратів є особливо ефективним для дикорослих ягід: шипшини, черемхи, горобини, бояришнику, кизилу та ін. Наприклад, при такій обробці вихід соку із ягід чорної смородини збільшується в 4 рази, із агрусу – в 3 рази. Проте слід пам'ятати, що використання ферментних препаратів для руйнування подрібненої маси сировини призводить до розкладання в соці одного із найцінніших його компонентів – пектинових речовин. Це, в свою чергу, зменшує користь від вживання соку, оскільки наявність пектину в напоях зумовлює променезахисну та антиоксидантну дію, що зумовлено здатністю пектину зв'язувати й виводити з організму людини радіоактивні елементи, важкі метали і токсини.

У зв'язку з цим особливий інтерес представляє можливість збільшення соковіддачі сировини за допомогою комплексу мацеруючих ферментів солоду, що володіє ксиланазною, арабіназою, галактазою та іншими активностями, завдяки чому розщеплюють глікозидні зв'язки між полігалактуроною кислотою (пектином) і непектиновими полісахаридами. Мацеруючий комплекс пророслого зерна сприяє руйнуванню водорозчинних геміцелюлоз клітинних стінок, унаслідок чого відбувається вивільнення пектинових речовин і клітинного соку, що дозволяє застосовувати центрифуги-декантатори при виробництві соків. При цьому зникає лише в'язучий ефект пектину, а користь для організму людини від його споживання залишається у повній мірі. При цьому відбувається додаткове збагачення соку компонентами солоду.

Але слід враховувати і такий факт, що ферменти можуть відігравати не лише позитивну, але й негативну роль при переробці сировини рослинного походження. Тому одні й ті ж препарати не можна використовувати для різної сировини. Позитивна роль полягає в тому, що значно зростають об'єми отриманого соку і його концентрату, досягається високий ступінь очищення соків, що дуже важливо при їх концентруванні і зберіганні на виробництві. З іншого боку, при переробці рослинної сировини, що має забарвлення (червоне, сине або фіолетове), технологам необхідно попереджати можливі зміни барвних властивостей речовини. Тому в ферментних препаратах, що використовують при обробці цього виду сировини, не має міститись ферментів, які руйнують антоціани. При переробці слабо забарвленої сировини, такої як яблука, айва чи лимони, в ферментному препараті не має міститись окислювальних ферментів, що спричиняють потемніння соків. Ферментні препарати, що використовуються при переробці шипшини, чорної смородини, тобто сировини з високим вмістом аскорбінової кислоти, не мають містити ферменту аскорбатоксідази, бо при окисненні аскорбінової кислоти знижується харчова цінність отриманого продукту.

В консервній промисловості використовують ферментний препарат Пектофоедин П10х. Цей препарат використовують для обробки м'язги з метою підвищення виходу соку, так і для його освітлення. З цією ж

метою використовують імпортні препарати: Ультразим, Пектинекс SH-L. Для освітлення соків, що містять крохмаль, використовують амілолітичні ферментні препарати (наприклад, Амілоризин П10х), в Німеччині – Панзим. Ферментами, яким властива мацеруюча здатність, є Пектомацерин П10х, а також Рогамент і Фруктоцим М, що виготовляють в Німеччині, причому ферментний препарат Фруктоцим М призначений для переробки темнозбарвленої сировини ⁷.

ВИСНОВКИ

Розглянуто два ключові аспекти виробництва сокових напоїв: процес виробництва соку та використання ензимів у цьому процесі.

Розглянуто технологічні етапи виробництва сокових напоїв, починаючи з підготовки сировини та закінчуючи утилізацією відходів. Вимоги до сировини, технологія виробництва, стандарти якості та ефективні методи утилізації відходів – усі ці аспекти важливі для забезпечення стабільності та успішності виробництва.

Досліджено роль ензимів у виробництві сокових напоїв. Ферментативна обробка сировини за допомогою пектинолітичних та целюлозолітичних ензимів виявилася ключовою для поліпшення витяжки соку та забезпечення необхідних органолептичних характеристик продукту. Крім того, використання ензимів у обробці відходів дозволяє зменшити негативний вплив на навколишнє середовище та максимізувати використання ресурсів.

Застосування ферментних препаратів у виробництві соків відкриває нові можливості для підвищення якості продукції та оптимізації виробничих процесів. Дослідження в цій області продовжуються, і ми можемо очікувати подальшого розвитку технологій, спрямованих на поліпшення виробництва соків та напоїв у майбутньому.

АНОТАЦІЯ

Робота присвячена вивченню використання ферментних препаратів у виробництві сокових напоїв. У роботі розкрито значення та роль ферментних препаратів у виробництві соків та напоїв, а також дослідження їх впливу на якість та ефективність процесів виробництва. Вона спрямована на збагачення наукових знань у галузі харчової промисловості та стимулювання подальших досліджень у цьому напрямку.

У роботі детально проаналізовано ключові аспекти процесу виробництва соків. Вивчається поняття виробництва соків та встановлені вимоги до якості сировини, технологія виробництва соків, вимоги до готового продукту та методи утилізації відходів, що є важливими етапами в процесі забезпечення якості та ефективності виробництва.

Продемонстровано роль ензимів у виробництві соків та напоїв. Він включає в себе аналіз ферментативної обробки сировини, зокрема

пектинолітичних та целюлозолітичних ензимів, а також дослідження обробки відходів виробництва сокових напоїв ензимами та їх застосування у виробництві.

Література

1. 17.1.5. Виготовлення соків – Бібліотека BukLib.net. Головна – Бібліотека BukLib.net. URL: <https://buklib.net/books/29588/> (дата звернення: 10.04.2024).
2. Михайлюк А. О., Верхоланцева В. О. Технологічний процес виробництва соку. Збірник наукових праць магістрантів та студентів., м. Мелітополь. 2021. С. 48–49. URL: <http://elar.tsatu.edu.ua/bitstream/123456789/13309/1/12.pdf>.
3. Учасники проєктів Вікімедіа. Сік – Вікіпедія. Вікіпедія. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Сік> (дата звернення: 10.04.2024).
4. Сайт 4ua.co.ua. Технологія виробництва соків. КР. Режим доступу: http://4ua.co.ua/cookery/zb3ad69b5d43a88521306c27_0.html
5. Лапицька Н. В. Технологія напоїв, екстрактів та концентратів : навч. посіб. для студ. ЗВО / ред. О. І. Сиза. Чернігів, 2021. 217 с. URL: <http://erpub.chnpu.edu.ua:8080/jspui/handle/123456789/7572> (дата звернення: 10.04.2024).
6. Microbial degradation of Pectin – Enzymes, Steps, Mechanisms – Biology Notes Online. Biologynotesonline.com. URL: <https://biologynotesonline.com/microbial-degradation-of-pectin/> (date of access: 11.04.2024).
7. Нові напрямки використання ферментних препаратів для виготовлення плодово-ягідних соків / Чоботар Д. С. та ін. *Матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених 30 січня-24 лютого 2023 р.*, Запоріжжя, 2023. С. 82-84. URL: <http://www.tsatu.edu.ua/tstt/wp-content/uploads/sites/6/materialy-3-mnpkmu-tehniche-zabezpechennja-innovacijnyh-tehnolohij-v-ahropromyslovomu-kompleksi-m.-zaporizhzhja-30.01-24.02.2023.pdf> (дата звернення: 11.04.2024).
8. García C. Á. Fruit Juices: Extraction, Composition, Quality and Analysis. *Chapter 11 – Application of Enzymes for Fruit Juice Processing* / С. А. García. Dublin (Ireland), 2018. P. 201–216. DOI: 10.1016/B978-0-12-802230-6.00011-4
9. Дзуман Д. В. Одержання пектинази культивуванням *Vacillus subtilis* : кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня бакалавра: спец. 162 «Біотехнології та біоінженерія». Національний університет харчових технологій. Київ, 2021. 146 с.
10. Підповітна В. І. Удосконалення системи утилізації відходів плодово-овочевого виробництва : кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра: спец. 183 «Технології захисту навколишнього середовища». Національний технічний університет «Дніпровська політехніка». Дніпро, 2021. 96 с.

11. Дослідження технологічних умов отримання пектину з комбінованої сировини / Г. С. Пастух та ін. Актуальні задачі сучасних технологій – Тернопіль 25-26 листопада 2015 : Матеріали IV Міжнар. науково-техн. конф. молодих уч. та студентів. С. 153–154. URL: https://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/123456789/11122/2/ConfATMT_2015v2_Pastukh_H_S-Research_of_technological_153-154.pdf (дата звернення: 11.04.2024).

12. Безвідходна технологія одержання пектину з відходів харчової промисловості / М. М. Тетерев та ін. *ВІСНИК СХІДНОУКРАЇНСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ імені Володимира Даля*. 2021. № 5 (269). С. 61–68. URL: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2021-269-5-61-80> (дата звернення: 10.04.2024).

13. Пастух Г. С., Грабовський Є. О. Отримання пектину з рослинної сировини та дослідження його фізико-хімічних властивостей. Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у ХХІ столітті: тези 79-ої міжнар. наук. конф. молодих уч., аспірантів і студентів, м. Київ. 2013. С. 362–364.

Information about the authors:

Domashovets Anhelina Oleksandrivna,

Student of Specialty «Biotechnology and bioengineering»

Lviv Polytechnic National University

12, Stepana Bandery str., Lviv, 79013, Ukraine

Kurka Mariia Severynivna,

Candidate of Chemical Sciences,

Associate Professor at the Department of Technology of Biologically

Active Substances, Pharmacy and Biotechnology

Lviv Polytechnic National University

12, Stepana Bandery str., Lviv, 79013, Ukraine

Buchkevych Iryna Romanivna,

Candidate of Chemical Sciences,

Associate Professor at the Department of Technology of Biologically

Active Substances, Pharmacy and Biotechnology

Lviv Polytechnic National University

12, Stepana Bandery str., Lviv, 79013, Ukraine