

Розділ 4. ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ТА БІОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ СОЛОДОРОЩЕННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ВОДНИХ РОЗЧИНІВ, ОБРОБЛЕНИХ КОНТАКТНОЮ НЕРІВНОВАЖНОЮ ПЛАЗМОЮ

Активний розвиток харчової промисловості в Україні, зокрема виробництва якісного пива для внутрішнього ринку та на експорт, загострив питання розширення виготовлення солоду. Наростити виробництво високоякісного солоду можна модернізуючи діючі солодові підприємства, водночас підвищуючи їх продуктивність і ефективність. Тому напрям інтенсифікації технологій солодоращення викликає інтерес у виробників, передусім застосування активуючих агентів проростання зернових культур. За своєю природою активатори солодоращення поділяють на фізичні, хімічні, фізико-хімічні, біологічні, біохімічні, біотехнологічні та комплексні. Всі вони виконують важливе призначення – прискорюють проростання зернового матеріалу й допомагають скоротити час технологічного процесу на виготовлення солоду.

Вода є важливою складовою частиною технології солоду. Від її якості та фізико-хімічних показників залежить перебіг технологічного процесу та якість отриманого продукту. В промисловості широко використовуються і продовжують розроблятися різноманітні методи обробки води, яка застосовується в технології солодоращення. Інтенсифікації пророщування зернового матеріалу з використанням фізико-хімічних методів обробки води присвятили свої наукові праці дослідники В.Л. Касперович, Е.Б. Хілько, Г.Р. Ефімова, Е.В. Чернова, М.И. Папанова, Н.П. Щетинін, С.Е. Кочубей та інші. Однак використання води, підданої дії відомих фізико-хімічних чинників, наприклад обробці її озоном, лазерним випромінюванням, магнітним полем, ультрамікрокавітацією, електролізом, анолітом і католітом, не отримало розповсюдження через відсутність серійного обладнання і відповідної технічної документації. Більшість таких технологічних рішень до цього часу залишаються нереалізованими проектами.

Інноваційним методом підготовки води для солодового виробництва є використання електричних розрядів, серед яких окремо виділяється застосу-

вання контактної нерівноважної плазми (КНП) для обробки води та водних розчинів. Плазмохімічно оброблена вода має високу проникаючу здатність й антисептичні властивості за рахунок дрібнокластерної структури та наявності пероксидних сполук. Вода, яку піддано дії КНП, не містить у своєму складі додатково привнесених хімічних речовин, що дозволяє отримати в результаті хімічно чистий продукт (Пивоваров и др., 2006; Марченко и др., 2009; Пивоваров та ін., 2010; Пивоваров та ін., 2012).

Нині створено ряд промислово-дослідних установок для отримання плазмохімічно активованої води, проте відсутні відомості щодо впливу такої води на зернову сировину в технологічному процесі її пророщування. Тому актуальними є наукові дослідження в напрямку розробки технології виробництва солоду з використанням плазмохімічно обробленої води та визначення її впливу на процеси, що відбуваються в зерновому матеріалі під час замочування і пророщування. Використання активованої води має призвести до якісної стимуляції та подальшого корегування процесу солододорощення і отримання високоякісного й екологічно чистого зернового продукту.

Згідно зі сучасними уявленнями, вода, як згадувалося вище, після плазмової обробки, являє собою дрібнокластерну структуру, яка здатна за рахунок особливих властивостей проявляти рістстимулювальну дію, покращувати якість солоду, що викликає значний інтерес з практичної точки зору.

У першу чергу це стосується пероксиду водню та надперекисних сполук, збуджених часток та радикалів, які відіграють важливу роль в окисно-відновних процесах. Така вода після обробки плазмою може проявляти деякі раніше маловивчені властивості, пов'язані зі здатністю інгібувати життєдіяльність мікроорганізмів. Особливе місце відводиться дослідженню впливу води після її обробки КНП на технологічні параметри процесу виробництва солоду. Оброблена КНП вода викликає численні специфічні фізичні та хімічні ефекти, які можуть слугувати відправними пунктами щодо створення нових прогресивних харчових технологій. Використання води після її плазмохімічної обробки

може в багатьох випадках покращити та здешевити отримання продукції з урахуванням затрат енергії та часу на нові технологічні заходи.

Для проведення лабораторних і промислових досліджень використовували як основний об'єкт досліджень пивоварний ячмінь сорту “Скарлет”. Додатково досліджували сорти ячменю “Невада”, “Цезарь”, “Подольський” та “Гонар”. Крім ячменю, з метою порівняння, досліджували пшеницю, овес, жито, сорго, кукурудзу, соняшник, гречку, просо, сочевицю, рис, амарант, горох, квасолю. Паралельно вивчали зерно з низькою здатністю до проростання, яке зберігалось протягом 3–5 років. Основною сировиною для досліджень був обраний ячмінь сорту “Скарлет” фірми “Осева Прага” (Чехія), який має якісні пивоварні властивості; його загальна оцінка від 5,4 до 7,5 бала з 10. Зерно отримано в Інституті зернового господарства степової зони НААН України.

Уміст білка в зерні дорівнює 10,0–11,5 %, плівчастість 8–10 %, екстрактивних речовин 79–80 %. Середньостиглий, вегетаційний період становить 81–84 доби, дозріває на 3–4 дні пізніше за стандарти. Середньорослий, висота рослин 75–80 см, інколи до 93 см; на високому агрофоні може вилягати. Маса 1000 зернин висока, проте в несприятливі роки і при виляганні різко знижується. Сорт високоврожайний, на Кіровоградській держсортостанції у період з 2001 по 2010 рік середня врожайність становила 56,6 ц/га. Сорт рекомендований для вирощування в лісостеповій і поліській зонах. Характеристика якості дослідного ячмінного зерна сорту “Скарлет”: крупність – 95 %; склад дрібного зерна – 1,0 %; зернові домішки – 1,7 %; сміттєві домішки – 0,3 %; енергія проростання – 92–94%; здатність проростання – 96–98 %; білок – 10,7 %; вологість – 13,3 %.

Дослідження проводили в певній послідовності. Три ідентичні проби зернової сировини замочували у воді, обробленій КНП, з різним часом перебування, до досягнення заданої вологості зерна – 38–42 %. Обробку КНП води проводили на експериментальній плазмохімічній установці. Характеристика води: вода питна, оброблена контактною плазмою, $C_{H_2O_2} = 600$ мг/л, рН=10,0, час активації – 30 хв (дослід № 1); вода питна, активована контактною плазмою, $C_{H_2O_2} = 700$ мг/л, рН=9,0, час активації – 60 хв (дослід № 2); з метою порівняння отриманих ре-

зультатів як вихідного замочувального агента було використано воду питну, рН=7,6 (контрольний зразок). Температура води в усіх дослідах 17–18 °С.

Таблиця 4.1. Характеристика якості пивоварного ячменю, використаного в процесі інтенсивного пророщування

Показник	Сорт				
	Гонар	Невада	Подольський	Скарлет	Цезар
Вологість, %	3,4	4,8	3,8	3,4	3,5
Екстракт, %	76,2	77,9	75,5	76,9	77,6
Екстракт сухої речовини, %	78,9	81,8	78,2	79,6	80,4
Різниця екстракту грубого та тонкого помелу, %	1,1	1,1	1,6	1,1	1,2
Оцукрювання, хв	20,0	15,0	20,0	20,0	15,0
Кольоровість, од. ЕВС	0,3	0,2	0,24	0,26	0,3
Вміст білка, %	10,7	10,1	11,2	11,6	10,5
Розчинний білок, мг/100	601	634	645	672	692
Число Кольбаха, %	35,0	39,1	35,9	36,5	42,0
VZ 45°, %	30,8	35,8	32,8	32,8	34,2
В'язкість, mPas	1,70	1,48	1,65	1,64	1,58
Альфа-аміний азот, мг/100	99	112	106	111	115
Діастаза, WK	180	374	212	253	247
Швидкість фільтрованого конгресного суслу, хв	35	35	35	40	35
Прохід крізь сито 2,2 мм	4,6	3,1	5,2	4,0	6,5

Проростання зерна відбувалося за певної вологості. Нормальна початкова вологість ячменю не повинна перевищувати 12–14 %. Із додаванням вегетаційної вологи починається проростання. Життєві процеси в зерні стають наявними при вологості 30 %. Для швидкого та рівномірного проростання вологість доводять до 38 % (Булгаков, 1976; Пивоваров та ін., 2013), того часу як для досягнення бажаного ступеня розчинення ендосперму та для накопичення ферментів необхідна вологість 44–48 %, а іноді і вище.

Для прискореного оброблення експериментальних даних, можливості прогнозування вологості зерна в подальшому і за різних значень активації водного розчину складено рівняння регресії процесу, що являє собою функцію (значення вологості) двох змінних: часу активації (x) та тривалості контакту з

активованою водою (y) (Казаков, Карпиленко, 2005). Апроксимуючу функцію представили у вигляді:

$$F(x,y) = 17,343 + 0,7994x + 0,0073y - 0,0624x^2 - 0,4416xy - 0,1455y^2. \quad (4.1)$$

Для всіх отриманих даних середньоквадратичне відхилення склало $E = 0,2411$, що свідчить про адекватність запропонованої моделі. Встановлено, що вода, оброблена контактною нерівноважною плазмою, за рахунок подрібнення кластерних структур на молекулярному рівні покращує транспорт вологи в середину зерна (рис. 4.1); поглинання такої води відбувається більш прискорено. Тривалість адсорбції вологи до нормованого рівня (44–48 %) скорочується в 1,5 раза (з 120 до 84 год), що є безумовним технологічним та економічним досягненням запропонованого способу пророщування зернового матеріалу. Вперше побудовано модель адсорбційних процесів у зерні під дією активованої води, яка включає декілька етапів (рис. 4.1).

Модель сорбційних процесів в зерні під дією плазмохімічно активованої води складається з наступних етапів: 1) прискорення дифузії води в зерно; 2) вилугування інгібіторів росту з квіткової оболонки; 3) міграція заряджених часток активованої води в середині зерна; 4) дія гідроперекисних радикалів; 5) розщеплення складових ендосперму зерна.

Як свідчать отримані дані, застосування активованої води підвищує швидкість набухання зерна (табл. 4.2). Прискорення процесу набухання відбувається за рахунок активного транспорту вологи (рис. 4.2), обумовленого підвищеною рухливістю заряджених часток в активованій воді. Найвищу швидкість набухання (0,018 г/хв) мали зразки в досліді 2, оброблені активованою водою з часом активації 60 хв.

Визначали життєздатність, енергію та здатність проростання пивоварного ячменю (табл. 4.3). Отримані результати свідчать про те, що енергія та здатність проростання, насамперед, в ячмені значно підвищується при використанні плазмохімічно активованої води.

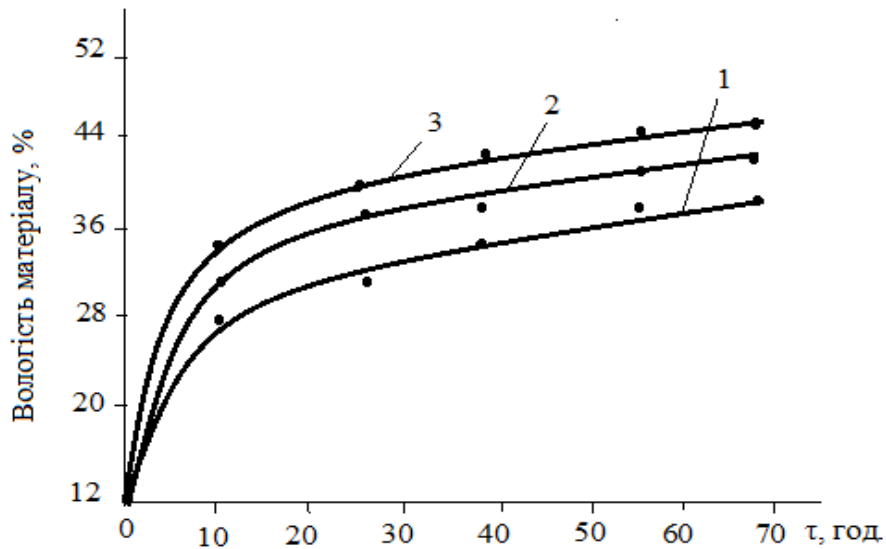


Рис. 4.2. Зміна вологості зернового матеріалу:

1 – контроль; 2 – дослід 1; 3 – дослід 2

Таблиця 4.2. Динаміка набухання ячменю при використанні плазмохімічно обробленої води

Тривалість замочування, хв	Дослідні зразки зерна, початкова маса 3 г		
	контроль	дослід 1	дослід 2
Маса матеріалу, г			
30	3,151	3,271	3,452
90	3,524	3,780	3,657
180	5,280	5,532	6,156
270	5,511	6,250	6,365
Маса вологи, поглиненої зерном, г			
30	0,151	0,271	0,457
90	0,524	0,780	0,657
180	2,280	2,532	3,156
270	2,511	3,250	3,365
Швидкість набухання, г/хв			
30	0,005	0,009	0,015
90	0,006	0,009	0,007
180	0,013	0,014	0,018
270	0,009	0,012	0,013

Таблиця 4.3. Життєздатність, енергія та здатність проростання пивоварного ячменю різних сортів при використанні води, обробленої КНП, %

Сорт	Життєздатність	Енергія проростання			Здатність проростання		
		контроль	дослід 1	дослід 2	контроль	дослід 1	дослід 2
Скарлет	98	90	92	95	93	96	98
Невада	99	89	92	94	94	97	98
Цезарь	98	90	91	94	94	96	97
Подольський	99	89	91	95	95	97	98
Гонар	97	88	90	93	92	95	96

Визначено раціональний час процесу пророщування зерна при застосуванні води, обробленої КНП. Раціональними параметрами солодощення при використанні активованої води є 4–5 діб (залежно від часу обробки води).

Таблиця 4.4. Процеси, які відбуваються в зерні за участі води, обробленої контактною нерівноважною плазмою

Назва процесу	Описання процесу	Дія активованої води
1	2	3
Прискорення дифузії води в зерно	Інтенсивність водопоглинання в перші часи замочування впливає на весь подальший процес пророщування. Насіннева оболонка напівпроникнена. Дифундувати в зерно вона дозволяє лише воді. Іони проникають крізь тріщинки насінневої оболонки всередину зерна і мають здатність впливати на зародок.	Хаотичний рух подрібнених кластерів та іонів в активованій воді дозволяє прискорити дифузію води в середину зерна за рахунок більш активного притоку заряджених часток до поверхні зерна. Цей аспект є підтвердженням того, що при застосуванні активованої води як агента замочування, завдяки її специфічному складу, відбувається більш активний транспорт вологи всередину зерна.

1	2	3
Вилуговування інгібіторів росту з квіткової оболонки	Квіткова оболонка зерна має у своєму складі інгібітори проростання, які гальмують проростання зерна в стані спокою. При замочуванні вони повинні вилуговуватися та видалятися. До того ж лужне середовище сприяє вилуговуванню з квіткової оболонки дубильних, гірких та білкових речовин. Крім того, лужний розчин сприяє миттю зерна.	Оскільки активована вода має лужну природу (перекисні та надперекисні сполуки у своєму складі), то її використання прискорює вилуговування інгібуючих рістових речовин. Перекис водню, який входить до складу активованої води, виступає в ролі окисника та як наслідок покращує очистку зерна. З іншого боку, має місце покращення проростання зерна в момент виділення кисню. Лужне середовище не створює помітного негативного впливу на подальшу якість солоду.
Міграція заряджених часток в середині зерна	Поглинання води проходить в основному через судини, які виходять на базальному кінці зерна. Після проникнення води всередину зерна починається перенос води від ендосперму до зародка.	Міграція заряджених часток у зерні викликає масовий приток до зародка від'ємно заряджених часток та відтік позитивно заряджених. Ці процеси підвищують проникненість структур зерна для води і поживних речовин.
Дія гідроперекисних радикалів	Паралельно з ростом вологості зерна підвищується активність амілаз, рибонуклеаз та фосфатаз, які потім за недостатньої кількості кисню розщеплюються.	У складі активованої води налічуються гідроперекисні радикали, які сприяють утворенню кисню, що сприяє подальшому зростанню вмісту зазначених вище ферментів та більш активному розщепленню складових ендосперму, що є причиною інтенсифікації процесу проростання зерна.
Розщеплення складових ендосперму зерна	У результаті більш активного транспорту води інтенсивніше зростає вміст води в зерні, що підвищує утворення α -амілаз та β -амілаз. Ці ферменти розщеплюють крохмаль з утворенням продуктів розщеплення (глюкози, сахарози, мальтози). Підвищення утворення цих ферментів у подальшому при затиранні забезпечить необхідний ступінь оцукрювання крохмалю. Протеолітичні ферменти також більш активно накопичуються з підвищенням вологості зернового матеріалу.	Активне накопичення ферментів сприяє швидкому проростанню зерна та якісному розщепленню складових ендосперму, які в непророслому зерні перебувають у нерозчинній формі.

За рахунок замочування в плазмохімічно обробленій воді з часом активації 60 хв отримано “зелений” солод вже на 4-ту добу, оскільки проростки у 85–90% зерен розвинулися на 75% від довжини зерна. Процес проростання частково характеризується явищами, які спостерігаються візуально; до них відносять зміни зародка. Тому доцільним є візуальний контроль за зерном у перші 5–7 діб процесу пророщування, залежно від технології виготовлення солоду. Фотоспостереження ростових процесів проводили протягом 5-ти діб солодорушення (рис. 4.3).

2 доба



1

2

3

3 доба



1

2

3

4 доба



1

2

3

5 доба



1

2

3

a)

2 доба

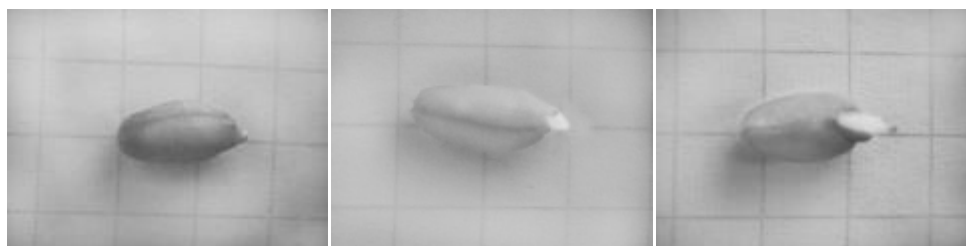


1

2

3

3 доба



1

2

3

4 доба



1

2

3

5 доба



1

2

3

б)

Рис. 4.3. Динаміка проростання зерна:

a – ячменю; *б* – пшениці

Позитивна динаміка спостерігалася з третьої доби. Так, зерна ячменю, оброблені активованою водою, вже мали роздвоєний корінець, що свідчить про інтенсивність пророщування. У ході досліджень встановлено антибактеріаль-

ний ефект активованої води щодо пліснявих грибів в умовах підвищеної вологості пророщеного зернового матеріалу (рис. 4.4).

Кількість пліснявих грибів у дослідних зразках, оброблених активованою водою, була $5,3 \times 10^7$ колоній на 1 г сировини порівняно із $9,8 \times 10^7$ колоній на 1 г сировини в контрольному зразку.

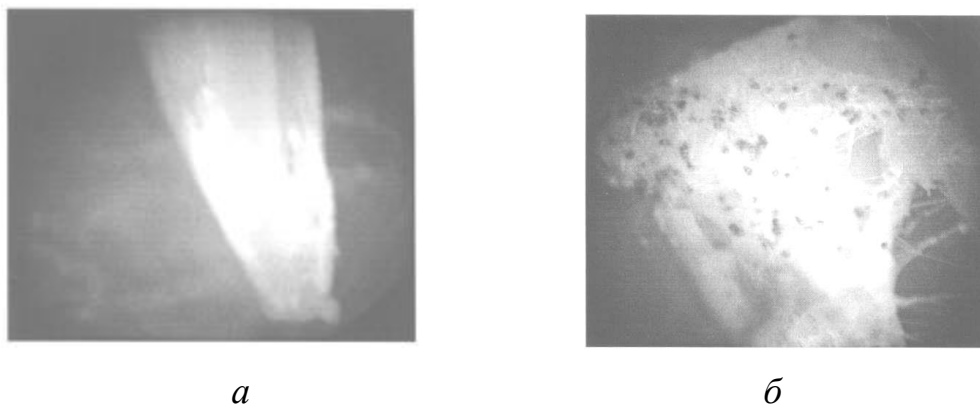


Рис. 4.4. Розвиток плісняви на зразках пророщеного зернового матеріалу: *а* – контрольний зразок; *б* – зразок, оброблений водою, отриманою під дією КНП, збільшення $\times 56$

Доведено вищу амілолітичну активність пророщеного зерна, обробленого активованою водою, що дає можливість підтвердити робочу гіпотезу про підвищений вміст амілолітичних ферментів у дослідних зразках, а отже, і покращення якісних характеристик готового продукту (рис. 4.5).

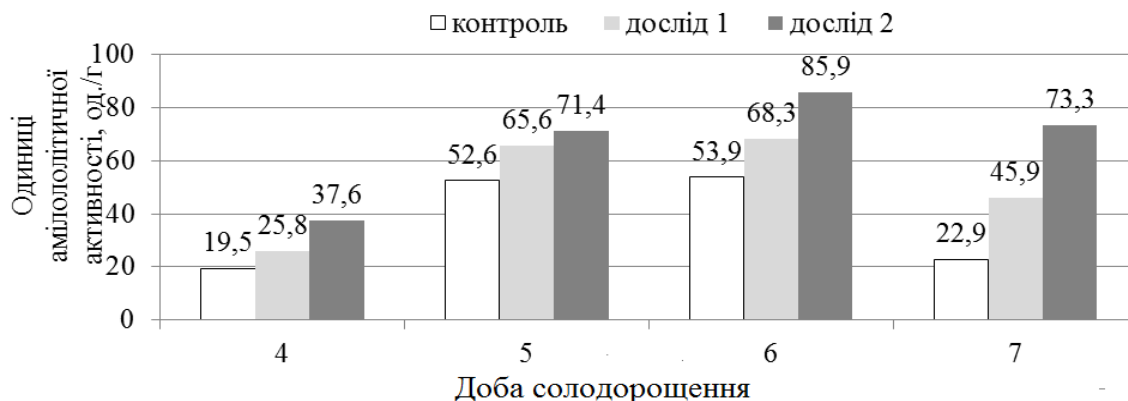


Рис. 4.5. Залежність амілолітичної активності зернового матеріалу

Уміст цукрів у солоді, який ростили із застосуванням активованої води, перевищує контроль в середньому: у ячмінному солоді – на 1,6 %; у пшеничному – на 3,9 %; у сорговому – на 3,4 %. Зміна вмісту цукрів у пивоварному ячмені при пророщуванні зерна наведена на рис. 4.6.

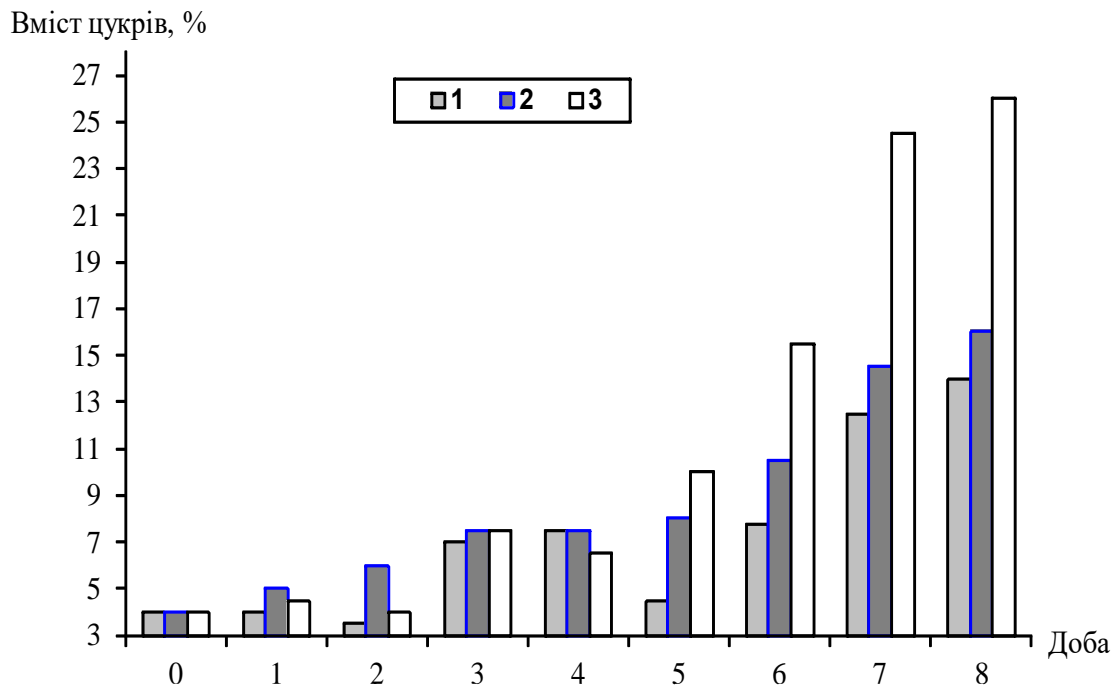


Рис. 4.6. Динаміка вмісту цукрів при пророщуванні в пивоварному ячмені: 1 – контроль; 2 – дослід 1; 3 – дослід 2.

Таким чином, було визначено, що використання активованої води є ефективним способом виробництва солоду, що супроводжується підвищенням вмісту цукрів, за рахунок збільшення амілолітичної активності в зерні. Час оцукрювання у піддослідному матеріалі скорочується на 3–5 хв; для контрольних зразків він становить 15 хв., а для зразків, що представлені в досліді 1–12 хв., 2–10 хв., при граничних показниках ДСТУ – 10–15 хв. Встановлено, що солод, пророщений з використанням активованої води, має відносно збільшення кількості борошнистих зерен на 9–11 % порівняно з кількістю скловидних та частково скловидних зерен.

Розщеплення білків при солодоращенні з подальшим затиранням відіграє важливу роль в обміні речовин дріжджів при бродінні, впливає на смак, стійкість піни та стабільність пива при зберіганні. Більша частина азотовмісних сполук зустрічається в зерні у формі високомолекулярних білкових речовин. У ході пророщування частина їх підпадає під вплив протеолітичних ферментів і гідролізується до низькомолекулярних сполук (Нарцисс, 2007). Білки, які входять до складу солоду, відрізняються як кількісним складом амінокислот, так і їх співвідношенням, що визначає їх біологічну дію на організм людини (Нарцисс, 1980). Процес розщеплення білків солодового зерна залежить від умов пророщування зернового матеріалу (Нарцисс, 2007). Ступінь розщеплення білкових речовин може змінюватися залежно від активності протеолітичних ферментів. Більшість препаратів, які застосовуються для інтенсифікації біохімічних процесів у солодовому зерні, мають складну хімічну будову та не завжди є безпечними при використанні готового продукту для харчових цілей. Практичний інтерес викликає розробка стимуляторів біохімічних перетворень, які б дозволили отримати якісний, не хімізований продукт дієтичного харчування.

Готовий солод досліджували на вміст розчинного білка за допомогою формального титрування, вміст протеолітичних ферментів – шляхом використання модифікаційного методу та вміст окремих амінокислот визначали методом іонообмінної рідинно-колончастої хроматографії (автоматичний аналізатор амінокислот Т 339). Досліди проводили з трикратною повторністю.

Доведено, що зразки, які були замочені у воді, обробленої КНП, мали більш високий вміст розчинного білка, що свідчить про наявність протеолітичних ферментів. Аналіз результатів дозволяє прогнозувати підвищення загального вмісту амінокислот. Так, чітко видно зростання протеолітичних ферментів у зразках, оброблених КНП водою, що вказує на більш активний перебіг розчинення білкових речовин. Для зернового матеріалу, пророщеного з використанням активованої води, характерним є підвищений вміст амінокислот (табл. 4.5). Аналогічним чином визначені й амінокислоти для пророщеного пшеничного солоду.

Таблиця 4.5. Вміст амінокислот в готовому ячмінному солоді, мг/г

Амінокислота	Контроль		Дослідні дані			
	кількість, мг	% по мг	кількість, мг	ефект, %	% по мг	ефект, %
Лізин	0,301	5,05	0,344	14,286	4,77	-0,28
Гістидин	0,146	2,44	0,155	6,164	2,14	-0,43
Аргінін	0,328	5,49	0,365	11,280	5,06	-0,43
ГАМК	0,106	1,77	0,128	20,755	1,77	0
Аспарагінова кислота	0,819	13,73	0,974	18,296	13,5	-0,23
Треонін	0,251	4,21	0,293	16,733	4,06	-0,15
Серин	0,319	5,34	0,386	21,003	5,35	0,01
Глутамінова кислота	0,959	16,06	1,189	23,980	16,48	0,42
Пролін	0,506	8,47	0,644	27,273	8,93	0,46
Гліцин	0,344	5,76	0,387	12,500	5,37	-0,39
Аланін	0,439	7,35	0,522	18,907	7,23	-0,12
Цистин	0,082	1,38	0,087	6,098	1,21	-0,17
Валін	0,257	4,3	0,317	23,346	4,39	0,09
Метіонін	0,102	1,71	0,131	28,431	1,82	0,11
Ізолейцин	0,16	2,68	0,208	30,000	2,89	0,21
Лейцин	0,425	7,13	0,508	19,529	7,04	-0,09
Тирозин	0,153	2,56	0,264	72,549	3,65	1,09
Фенілаанін	0,272	4,57	0,313	55,074	4,34	-0,23
Всього:	5968	100	7216	29,912	100	0

Вміст вільних амінокислот у харчових продуктах має високу біологічну і харчову цінність при застосуванні в дієтичних продуктах (покращуються обмінні процеси в організмі, підвищується імунітет та ін.) (Бажай, 2005). Слід зазначити, що вміст амінокислот виріс як по окремих амінокислотах, так і в сумарному відношенні. Дуже важливим аспектом досліджень є значне збільшення кількості незамінних амінокислот, коливання ефекту становить 14–58 % і залежить від амінокислоти.

Одним із важливих факторів, які впливають на вміст легкозасвоюваних речовин солодового зерна, є вологість зернового матеріалу.

У разі використання води, обробленої контактною нерівноважною плазмою, за рахунок подрібнення кластерних структур води на молекулярному рівні покращується транспорт вологи всередину зерна; таким чином концентрація амінокислот зростає в зразках з підвищеним умістом вологи. У цьому випадку

підтверджується закономірність: чим вище вологість зернового матеріалу, тим вище розчинність білків. Ступінь розчинення білків фіксувалася на сьому добу пророщування.

Отримані дані свідчать про підвищення ступеня розчинення білків у зразках зі зростанням вологості на 10–15 % порівняно зі зразками, які були замочені водопровідною водою, що показує ефективність використання оброблених контактною нерівноважною плазмою розчинів як біохімічних стимуляторів обмінних процесів у зерні.

Фізико-хімічні та органолептичні показники готового солоду (табл. 4.6), отриманого по удосконаленій технології з використанням води, обробленої КНП, відповідають чинному ДСТУ.

Таблиця 4.6. Фізико-хімічні показники ячмінного пивоварного солоду

Показник	Контроль	Дослід 1	Дослід 2	ДСТУ 4282:2004
Масова частка вологи, %	4,5	4,6	4,7	4,0–5,8
Масова частка екстракту в сухих речовинах, тонкий помел, % (E ₂)	82,0	82,3	82,5	76–80
Масова частка білкових речовин у сухих речовинах солоду, %	10,1	10,2	10,3	10,5–11,5
Різниця масових часток екстрактів, %	1,5	1,5	1,4	1,0–3,5
Колір сусла, см ³	0,23	0,24	0,25	0,18–0,40
Число Кольбаха, %	41,5	42,0	42,5	39–41
Швидкість фільтрування сусла, хв	20	20	21	–

Шляхом оцінки отриманого продукту встановлено відповідність якості солоду, виготовленого по запропонованій технології зі застосуванням плазмохімічно обробленої води, а готовий продукт може бути застосований для подальшої переробки в пивоварному виробництві.

Температура сушіння пророщеного матеріалу є прийнятною для повної термодеструкції пероксиду водню та надперекисних сполук, які вміщено в обробленій контактною нерівноважною плазмою воді. У підсумку готовий кінцевий продукт не має у своєму складі привнесених токсичних хімічних речовин, а

характеризується як хімічно чистий та безпечний продукт для подальшої переробки та застосування в приготуванні дієтичної продукції, наприклад продуктів дитячого харчування. Зерновий матеріал з таким складом нормалізує загальний обмін речовин, виводить токсин та шлаки з організму людини (Мальцев, 1964).

Використання води, обробленої контактною нерівноважною плазмою, дозволяє отримати високоякісний дієтичний продукт, без домішок хімічних препаратів, антисептиків та гормональних стимуляторів росту за екологічно безпечною технологією, в якій не використовуються токсичні речовини. У результаті більш активного перебігу біохімічних процесів у зерні при використанні таких розчинів у пророщеному матеріалі зростає вміст легкозасвоюваних організмом людини білкових речовин. Солод має значно підвищений вміст амінокислот, що є важливим технологічним результатом при виробництві продукції з високим умістом біологічно активних компонентів.

Застосування активованих розчинів під час приготування солоду сприяє розширенню технологічних можливостей виробництва високоякісного продукту, удосконаленню якості та екологічній безпеці, значному скороченню витрат на виробництво.

На основі експериментальних досліджень встановлено, що оброблена контактною нерівноважною плазмою вода має властивості, які здатні інтенсифікувати біохімічні процеси в зерні, зокрема процес розщеплення білків, та покращити при цьому якість солоду, а в перспективі забезпечити харчове виробництво хімічно чистою сировиною високої якості.

Процеси адсорбції та десорбції плазмохімічно обробленої води зерновим матеріалом у виробництві солоду. На сучасному етапі розвитку солодова інженерія стає технічно складною та наукоємною. Тому необхідно принципово нове розуміння організації технологічного розвитку солодового виробництва, яке гарантовано може забезпечити високу віддачу за менших витрат. В умовах загострення конкуренції, як серед українських, так і закордонних виробників солоду, на перший план висуваються проблеми підвищення якості та екологічної безпеки солодового продукту. Адже солод є важливою біологічною добав-

кою, яка широко використовується в харчовій промисловості при виробництві кукурудзяних і рисових пластівців, хлібобулочних виробів, дитячого харчування, молочного та білого шоколаду, пива, солодових екстрактів, крохмалю, спирту, квасу та ін. Пророщені зерна злаків застосовують як підсолоджуючі та смакові добавки, завдяки умісту в пророщеному солоді мальтози, глюкози, сахарози, фруктози та амілози (Потапенко та ін., 2006).

Сучасні технології отримання солоду дають можливість переходу максимальної кількості натуральних харчових компонентів із зерна в солод. Відомо, що до складу солоду входять білки, жири, вуглеводи, ферменти, вітаміни В, В₁, В₂, С, Е, РР, фолієва кислота, мінеральні речовини і великий набір мікроелементів: калій, магній, кальцій, залізо, мідь, фтор, цинк (Калунянц, 1992).

Підсумковою стадією технологічного процесу виробництва свіжопророслого солоду є сушіння, основною метою якого є зниження вмісту вологи з 40-50 до 3-6 %, тобто до рівня, який перешкоджає розвитку шкідливих мікроорганізмів. Солод у цьому випадку набуває специфічного присмаку, кольору, аромату та зберігає високу ферментативну активність. Тому сушіння солоду являє собою поєднання складних нестаціонарних процесів тепло- і масообміну та біохімічних перетворень, в результаті яких завершуються біохімічні процеси, що відбувалися під час пророщування зерна.

Значні витрати енергії на сушіння зерна створюють передумови для більш глибокого вивчення процесів видалення вологи з рослинної сировини. Комплексний аналіз проблеми показав, що інтенсивність процесу сушіння може підвищити, якщо відійти від класичного уявлення про дану технологію, та запровадити нові елементи, які будуть впливати на об'єкт обробки не тільки фізично, але і мати хіміко-біологічний вплив.

Свіжопророслий солод під час сушіння зазнає глибоких фізичних, фізіологічних та біохімічних змін, які залежать від швидкості зневоднення, температури сушильного агента, вмісту вологи та умов сушіння. У процесі сушіння солоду значно змінюється його хімічний склад. Спочатку відбувається прискорення гідролізу крохмалю, що призводить до збільшення кількості цукрів. За

високих температур сушіння розщеплюються білки та продукти їх гідролізу, що зменшує вміст простих вуглеводів.

Солод характеризується великою кількістю води і малим умістом сухих речовин. Основна частина води знаходиться у вільному вигляді і лише близько 5 % пов'язано з клітинними колоїдами і міцно в них утримується. Цим пояснюється легкість сушіння солоду до вологості 12-14 % і перешкоджання видалення залишкової вологи (Калунянц, 1992; Бажай, 2005).

Для потрібної проникності оболонки зерна останнім часом широко використовують стимулятори та інгібітори пророщування зерна в процесі його замочування. До таких інгібіторів належать пероксид водню, перманганат калію, хлорид марганцю, хлорне залізо, екстракти деяких рослин, цитолітичні ферменти.

Безумовно, являє інтерес використання плазмохімічно обробленої води, як зволожуючого середовища зерна, з метою отримання якісного, без будь-якого привнесення зовні хімічних сполук солоду. Доведено, що вода, сформована з кластерів, які під дією плазми подрібнюються, за рахунок чого суттєво зростає проникна здатність подрібнених кластерів в об'єм зерна та сприяє зростанню біологічної активності в процесі солододорощення. Потрібно було з'ясувати вплив плазмохімічно обробленої води на сорбційні властивості зернового матеріалу і в подальшому видалення такої ж вологи зі свіжопророслого солоду під час сушіння.

У дослідженнях було використано зерно таких культур, як жито, горох сорту "Ранній", сочевиця, гречка, кукурудза сорту "Цукрова", суміш житнього солоду, яке використовують на ТОВ "Укрсолод", м. Дніпро.

Для замочування використовували плазмохімічно оброблену магістральну воду з параметрами: вміст пероксидних сполук від 200 до 600 мг/л, *pH* від 8 до 10,5. Процес пророщування здійснювали згідно з методикою, передбаченою стандартом ДСТУ 4138-2002. Плазмову обробку води проводили зі застосуванням плазмохімічної лабораторної установки в скляному реакторі періодичної дії, об'ємом 0,08 дм³. У ході проведення досліджень було визначено також

уміст цукру в готовому солоді, досліджено адсорбційні властивості зерна та процес сушіння солоду при використанні плазмохімічно оброблених розчинів.

Окисно-відновний потенціал та рН визначали шляхом вимірювання з платиновим та хлоросрібним електродами порівняння. Вміст пероксиду водню в плазмохімічно обробленій воді розраховували за допомогою тест-систем “Merckoquant Peroxide Tests”. Значення ОВП виражали через від’ємний логарифм тиску водневих іонів у редокс-системі (rH) за формулою Нернста (Справочник химика, 1964).

$$rH = \frac{Eh+200}{30} + 2pH, \quad (4.2)$$

де, rH – від’ємний логарифм концентрації іонів водню; Eh – потенціал, який виникає в даному середовищі на платиновому електроді; pH – активна кислотність середовища; 200 – поправка на потенціал хлоросрібного електрода відносно водневого; 30 – коефіцієнт перерахунку, взятий із формули Нернста.

Солодорушення проводили зі застосуванням лабораторної солодовні, яка представляла собою набір пластикових ємкостей, на поверхні яких розміщували фільтрувальний папір, змочений плазмохімічно активованим розчином. На даній поверхні ємкостей також укладали фільтрувальний папір, попередньо змочений водою, обробленою КНП. Для порівняння в декілька аналогічних ємкостей розміщували фільтрувальний папір, змочений магістральною водою. Тривалість процесу солодорушення визначали шляхом візуального контролю за зразками, які розташовували на поверхні фільтрувального паперу, у кількості зерен, визначених відомою методикою (ГОСТ 10968-88 Зерно).

У міру досягнення відповідних показників солодорушення отриманий солод вилучали зі солодовні і піддавали сушінню в багатоярусній сушарці періодичної дії за температури від 43 до 87 °С. Під час сушіння досліджували процес видалення вологи зі свіжопророслого солоду, методом зважування зразків протягом 14 год. У висушеного солоду видаляли ростки, та передавали його на лабораторний аналіз для визначення вологості та вмісту цукру.

Вміст цукру в солоді фіксували рефрактометричним методом. Для кожного зразка було проведено по 3 виміри та виведено середньоарифметичне значення.

Також було досліджено ступінь набухання зернових культур та характер взаємодії з навколишнім середовищем за зміною кислотності. Навіски зернових культур масою 3 г по 4 зразки кожного виду зважували на аналітичних вагах. Зразки вкладали у хімічні стакани об'ємом 200 мл і заливали 100 мл плазмохімічно обробленими розчинами, час активації яких становив 5, 10, 15 хв. Для контролю використовували магістральну воду; далі визначали pH середовища набухання через 10, 20, 30, 40, 60 хв та 24 год. після початку досліду. Для контролю кислотності водних середовищ використовували прилад “ pH 150 М”. Паралельно вимірювали ступінь набухання зерна методом зважування замоченого зерна кожні 30, 60, 90, 120, 150 хв та 24 год. від початку досліду.

Через 24 год. після замочування розчини обережно зливали, а зерно, ретельно промокнувши фільтрувальним папером, зважували та розраховували ступінь набухання за формулою (ГОСТ 10968-88 Зерно).

$$\alpha = \frac{m - m_0}{m_0} 100 \%, \quad (4.3)$$

де α – ступінь набухання зерна, %; m_0 – вихідна маса наважки зерна, г; m – маса наважки зерна після набухання, г.

Житній солод пророщували за встановленою методикою при температурі 17 °С протягом 3 діб та 5 діб – для солоду із гречки, гороху, кукурудзи та сочевиці з використанням магістральної та плазмохімічно обробленої води. Термін пророщування становив у разі застосування магістральної води 4–7 діб до досягнення показників, які характеризують кінцеву якість продукту. Солод отримано при використанні плазмохімічно обробленої води з терміном плазмової активації 5, 10, 15 хв. Візуальним спостереженням та фіксацією шляхом фотографування зразків встановлено, що зерна набували кінцевих властивостей залежно від терміну плазмохімічної обробки вихідної води. З'ясовано, що найбільш

ефективно розвивалися зернові культури в разі застосування води, яку обробляли контактною нерівноважною плазмою протягом 10 та 15 хв. Зерна, паростки та корінці в період солодородження набували оптимальних розмірів за більш короткий термін (майже на 1 добу) порівняно з пророщуванням зерна, замоченого водою з магістральних мереж.

Важливою умовою процесу пророщування солоду є наявність вологи, яка, проникаючи крізь зернову оболонку, адсорбується і активує життєдіяльність зерна з появою в ньому вільної вологи. З моменту занурення зернової культури у вологе середовище утворюється різниця концентрацій води зовні та всередині зерна, внаслідок чого вода починає проникати крізь оболонку в клітини завдяки здатності гідрофільних речовин до поглинання вологи, підкорюючись законам дифузії та осмосу.

У процесі адсорбції спостерігається більш швидке поглинання вологи зерном при застосуванні активованих розчинів до 3,5 %, ніж зі звичайної магістральної води. Полов'яна оболонка зерна на початку замочування непроникна для води, оскільки вона зовні вкрита потовщеними клітинами та просоченими речовинами, які не пропускають воду. В зерно вода дифундує по тонких капілярах трахеїдах зародкової частини, яка не покрита полов'яною оболонкою. Спочатку клітини плодової та насінневої оболонок адсорбують воду, яка поступово просувається всередину зерна. На проникності оболонок ґрунтується використання стимуляторів та інгібіторів проростання зерна в процесі замочування. Таким є пероксид водню та надперекисні сполуки, які утворюються в процесі плазмохімічної активації водних розчинів. У разі обробки води нерівноважною плазмою, внаслідок фізико-хімічних перетворень у рідкому середовищі, відбувається утворення збуджених часток та радикалів, що також супроводжується структурними перетвореннями на кластерному рівні. За рахунок подрібнення кластерів під дією контактної плазми відбувається зростання проникної здатності в об'єм зерна, що сприяє біохімічним перетворенням у процесі замочування та пророщування зерна (табл. 4.7).

Таблиця 4.7. Вплив активованих водних розчинів на процес адсорбції зерна

Тривалість замочування зерна, хв	Вихідна вода			
	магістральна (контроль)	оброблена КНП, 5 хв	оброблена КНП, 10 хв	оброблена КНП, 15 хв
	Маса наважки, г			
0	3	3	3	5
30	3,28	3,36	3,36	3,36
60	3,36	3,36	3,36	3,36
90	3,42	3,46	3,44	3,44
120	3,45	3,47	3,46	3,51
150	3,53	3,49	3,52	3,55
180	3,61	3,65	3,68	3,72
1440	4,16	4,24	4,26	4,31

Даними проведених досліджень підтверджено ефективність застосування плазмохімічно оброблених розчинів у процесі замочування, при цьому целюлозно-пектинові оболонки зерна інтенсивно абсорбують вологу, завдяки якій спостерігається активне набухання колоїдних речовин. Причому, одна їх частина слугує гелями з обмеженим ступенем набухання (крохмаль, клітковина), друга частина здатна необмежено набухати (білки та високомолекулярні продукти розпаду білків) – рис.4.7.

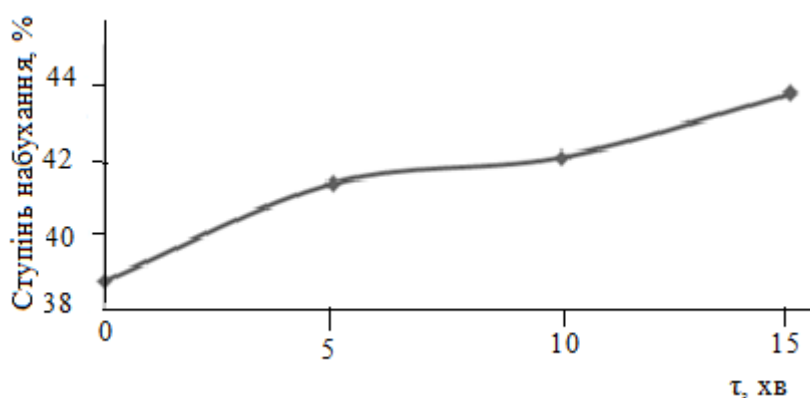


Рис. 4.7. Залежність ступеня набухання зерна від часу обробки водних розчинів КНП

Протягом першої години набухання проводили вимірювання рН середовища зерен злакових культур (табл.4.8). Кислотність середовища зменшувалася незначно за перші 10 хв та за 60 хв; зсув рН до лужної зони становив від 9,88 для гороху (час активації 15 хв) до 8,75 для гречки (час активації 10 хв).

Далі кислотність середовищ змінювалася в кислу область і через 24 год. із надходженням до водного середовища певної кількості CO₂ спостерігали найбільш виражену кислотність: 6,45 для жита (час обробки води КНП 15 хв) та 6,48 для кукурудзи (КНП 15 хв).

Таблиця 4.8. Дослідження впливу плазмохімічно активованих розчинів на величину рН у процесі набухання

Зернова культура	Обробка розчину КНП, хв	Тривалість набухання, хв					
		10	20	30	40	60	1440
		рН					
Жито	0	7,92	8,04	8,03	80,1	7,87	7,53
	5	8,31	8,10	8,03	7,93	7,89	7,32
	10	8,98	8,22	8,05	7,96	7,90	6,63
	15	9,42	8,84	8,71	8,40	8,12	6,45
Горох	0	7,95	8,52	8,71	8,54	8,26	6,94
	5	8,84	8,81	9,26	8,43	8,19	6,87
	10	9,19	9,16	9,26	8,86	8,30	6,78
	15	9,88	9,37	9,27	8,72	8,26	6,62
Сочевиця	0	8,05	8,13	8,13	80,3	7,56	7,07
	5	9,16	8,83	8,71	8,47	8,02	6,96
	10	9,14	8,83	8,65	8,30	7,96	6,80
	15	9,68	9,44	9,17	8,73	8,14	6,74
Гречка	0	7,93	7,96	7,75	7,63	7,85	7,04
	5	8,16	8,02	7,83	7,82	7,81	6,93
	10	5,57	8,19	8,05	7,95	8,75	6,94
	15	9,15	8,51	8,26	8,06	7,91	6,86
Кукурудза	0	8,28	8,82	7,81	8,72	7,87	7,06
	5	8,20	7,93	7,84	7,71	7,75	6,97
	10	8,54	7,76	7,65	7,53	7,55	6,94
	15	7,95	7,57	7,41	7,24	7,11	6,48

Сирий солод, як матеріал, що має високу вологість, не придатний для довгострокового зберігання, а його хімічний склад не відповідає вимогам Держа-

вного стандарту України. В сирому солоді міститься велика кількість білків, які під час розчинення у воді утворюють стійкий мутний розчин. Крім того, свіжо-пророслий солод має паростки, які можуть надавати кінцевому продукту гіркуватого присмаку. Тому сушіння є необхідним етапом виробництва солоду.

Сушіння проводили за рахунок продування через шар зеленого солоду гарячого повітря потрібної температури з помірним підвищенням (Ермолаєва, Колчева, 2000).

Як відомо, рослинна сировина має капілярно-пористу структуру. Хімічний склад представлений вуглеводами, білками, ліпідами. У невеликих кількостях містяться біологічно активні речовини, які визначають смак і біологічну цінність сировини: поліфеноли, вітаміни, органічні кислоти, мінеральні речовини. Ці компоненти найбільш схильні до несприятливих змін при підготовці продукту до сушіння, а також у процесі сушіння, що і призводить до зниження біологічної цінності готового продукту і зміни його властивостей при сушінні.

Важливо зберегти ферментні системи, які чутливі до підвищення температури. За низької вологості вони можуть витримувати і більш високу температуру, тому процес сушіння можна розділити на три фази: фізіологічну, ферментативну та хімічну. Фізіологічна фаза характеризується досягненням температури в солоді 45 °С та зниженням вологості до 30 %, при цьому продовжують проходити ферментативні реакції, відбувається розчинення ендосперму, накопичення низькомолекулярних продуктів розпаду крохмалю, білків, ліпідів. Друга ферментативна фаза перебігає при підвищенні температури від 45 до 70 °С, ріст та дихання припиняються, а ферментні гідролітичні процеси посилюються, вміст вологості знижується від 30 до 10 %. Третя хімічна фаза протікає при температурі 70–90 °С, ферменти частково інактивуються або переходять у зв'язаний неактивний стан. Відбувається інтенсивна взаємодія амінокислот з редуруючими цукрами і у результаті утворюються меланоїдини, які обумовлюють темний колір, специфічний присмак та аромат готового солоду. Білки коагулюють, крохмаль переходить у стан легко схильний до дії ферментів, вологість становить 3–4 % (Касперович и др., 1999).

Встановлено, що використання плазмохімічно обробленої води в процесі виробництва солоду впливає також на процес сушіння. За даними досліджень спостерігається більш швидке видалення вологи зі зернового матеріалу, внаслідок чого процес сушіння скорочується, що є важливим економічним показником. У перші чотири години сушіння температура була 40–43 °С, наступні три години вона не перевищувала 50 °С. Після 7 год. сушіння температуру підвищували до 55–60 °С, на останньому етапі – 70–85 °С. Початкова маса всіх зразків солоду становила 60 г.

У процесі сушіння за рахунок різниці утримуючої вологи поверхневих та внутрішніх шарів виникає градієнт умісту вологи. Це призводить до процесів внутрішнього тепло- і масообміну, коли відбувається переміщення вологи з внутрішніх, більш вологих шарів, до поверхневих і вже звідти відбувається її випаровування. Завдяки наявності градієнта вмісту вологи реєструється безперервне зниження вологості продукту.

На переміщення вологи всередині продукту впливає і термодифузія, яка обумовлена перепадом температур. Під її впливом волога переміщається від ділянок з більш високою температурою до ділянок з нижчою температурою. За низькотемпературного сушіння термодифузія не має істотного значення (Атаназевич, 2000; Ковальова та ін., 2011; Півоваров та ін., 2011).

Процеси внутрішнього і зовнішнього тепло- і масообміну між собою взаємопов'язані і призводять до зміни маси продукту в процесі сушіння. Аналізуючи процес сушіння солоду, можна виділити декілька періодів. У перші 15–30 хв відбувається підігрів продукту, вологість дещо змінюється. Перші шість годин процесу можна назвати періодом постійної швидкості сушіння. Він характеризується постійною швидкістю зниження вологості і температурою матеріалу. У цей період видалається переважно вільна волога, він триває до настання критичного вологовмісту (W_k), що за результатами досліджень відповідає 6 год. сушіння. Критичний вміст вологи – це кордон між періодом постійної (1-й період) і падаючої (2-й період) швидкостями сушіння.

У періоді постійної швидкості сушіння інтенсивність процесу визначається тільки параметрами сушильного агента і не залежить від умісту вологи та фізико-хімічних властивостей продукту. У період падаючої швидкості (6–12 год.) швидкість сушіння зменшується зі зниженням умісту вологи солоду. Температура зернового матеріалу підвищується і до кінця періоду наближається до температури сушильного агента. Процес сушіння триває до досягнення рівноважного вмісту вологи, після цього її видалення припиняється. У цей період видаляється зв'язана волога, поступово знижується швидкість сушіння, що пояснюється збільшенням енергії зв'язку вологи з матеріалом; процес видалення вологості залежить від її вмісту, характеру зв'язку з матеріалом, фізико-хімічних властивостей матеріалу і параметрів сушильного агента.

Аналізуючи отримані результати, дійшли висновку, що активовані контактною нерівноважною плазмою розчини впливають не тільки на процеси адсорбції вологи, а й десорбції її зі зернового матеріалу. У підсумку сушіння амілолітична здатність світлого солоду зменшується на 25–30 % порівняно зі зеленим солодом. Група цитолітичних ферментів значно інактивується вже при температурі 60 °C протягом нетривалого терміну. Амілаза знижує свою активність, причому при сушінні за режимом для світлих солодів у меншій мірі, ніж для темних, β -амілаза втрачає активність більше, ніж α -амілаза, яка здатна переносити високі температури. Активність протеолітичних ферментів зберігається. Процес сушіння солоду скорочується при використанні активованих розчинів; найбільший ефект становить для жита – 18 % і для гороху – 27 % при активації водного розчину 15 хв. На початку процесу сушіння відзначається деяке підвищення активності ферментів, яка потім поступово знижується і в готовому солоді залишається близькою до вихідної. Під час сушіння солоду відбувається деяке зменшення кількості крохмалю, а рівень цукру з використанням активованих розчинів значно підвищується. Про підтвердження цієї гіпотези свідчать експериментальні дані, наведені в табл. 4.9.

Експериментальні дані свідчать про те, що плазмохімічно оброблена вода, проявляючи позитивну дію на ступінь замочування зерна, впливає й на амі-

лолітичну активність солоду. Підвищений ступінь замочування створює передумови для утворення ферментів і більш глибокого ферментативного гідролізу крохмалю і білків. Недостача вологості затримує дію ферментів, що несприятливо відбивається на якості солоду.

Плазмохімічно активовані розчини сприяють накопиченню амілолітичних ферментів (α - та β -амілаз), що діють на крохмаль утворюючи цукри, які є джерелом живлення та енергії для зародка. Частина цукрів накопичується в солоді надаючи йому солодкуватого присмаку. При солодородженні крохмаль гідролізується на 5–10 %. Отже, зі застосуванням води, обробленої контактною нерівноважною плазмою, можливо підвищити вміст цукру від 18 % для гороху і до 41 % для житнього солоду в разі активації водного розчину 15 хв, що є важливою якісною характеристикою і створює передумови подальшого впровадження досліджених процесів у виробництво солоду.

Таблиця 4.9. Дослідження вмісту цукру в солоді при використанні плазмохімічно активованої води

Культура	Час активації, хв	Цукор, %	Вологість солоду, %
Жито	0	14,5	9,0
	5	16,0	8,0
	10	17,7	8,0
	15	24,5	8,0
Горох	0	5,5	9,5
	5	6,8	9,0
	10	7,0	9,0
	15	9,0	9,0
Кукурудза	0	13,3	10,0
	5	16,2	8,5
	10	14,8	9,0
	15	16,2	8,5
Гречка	0	8,0	9,0
	5	9,0	8,0
	10	9,0	8,5
	15	9,5	8,5
Сочевиця	0	6,3	8,5
	5	8,0	8,0
	10	8,2	8,5
	15	9,2	8,0

Екологічні аспекти розвитку та удосконалення виробництв солодової галузі. Україна, що стала на шлях незалежності та ринкових відносин в економіці, дістала у спадок екологічний стан, який можна характеризувати як кризовий.

Недосконала структура господарства країни протягом багатьох десятиліть формувалася без урахування об'єктивних потреб населення та економічних можливостей її окремих територій. Тривалий час відбувалися структурні деформації народного господарства, коли перевага надавалася розвитку сировинно-видобувних, найбільш екологічно небезпечних галузей промисловості.

Економіці України притаманна висока питома вага ресурсномістких та енергоємних технологій, впровадження і нарощування яких здійснювали “най-дешевшим” способом – без будівництва очисних споруд. Це стосується і харчових виробництв (Домарецький, Златєв, 1993; Джигирей, 2007).

На більшості підприємств працює морально застаріле і фізично спрацьоване природоохоронне устаткування (наприклад, водоочисні споруди) або його зовсім немає, відсутні технології переробки відходів тощо. Це призводить до викидів величезної кількості забруднювальних речовин у навколишнє природне середовище, значна частина яких є небезпечними внаслідок інфільтрації токсичних компонентів у підземні й поверхневі води, рознесення вітром, тваринами та внаслідок діяльності людини (Запольський, Салюк, 2004; Запольський, Українець, 2005).

Технології виробництва харчових продуктів здебільшого характеризуються високими питомими витратами сировини, палива, енергії, води та інших природних ресурсів, що робить їх неконкурентоспроможними на міжнародному ринку. Неконтрольовані викиди забруднювальних речовин в атмосферу, водойми та ґрунти призвели до істотного забруднення їх, що стало на заваді виробництву екологічно безпечної рослинної та тваринної сировини для харчових підприємств.

Для виробництва екологічно безпечних (екологічно чистих) харчових продуктів потрібні високоякісна, екологічно безпечна сировина та високоефек-

тивні технології (Сухарев та ін., 2008). Для додержання екологічної безпеки всі процеси виробництва мають відповідати вимогам “зелених” технологій, а самі продукти мати “зелену” позначку, що свідчить про їх високу якість та екологічну безпеку. Всі відомості щодо виробництва та послуг мають бути доступними споживачеві, а споживач повинен мати право на громадський контроль виробленої харчової продукції.

Харчова промисловість споживає в основному питну воду, яку готують на міських водоочисних спорудах, іноді на самих підприємствах. Якщо взяти до уваги, що більшість водоочисних станцій використовують застарілі технології, які не забезпечують отримання води належної якості, особливо щодо вмісту розчинних домішок (нітратів, пестицидів, важких металів, хлоридів, сульфатів тощо), оскільки очищення від них не передбачається загальноприйнятою технологією, то можна стверджувати, що здебільшого для виготовлення харчових продуктів використовують воду незадовільної якості.

Унаслідок використання великої кількості води в технології виробництва харчових продуктів утворюється велика кількість забруднених стічних вод. Склад стічних вод, що утворюються на солодових заводах (табл. 4.10), забруднені, переважно органічними домішками, що є залишками сировини та продуктів її трансформації (Джигерей, 2007; Запольський та ін., 2005). Стічні води та інші відходи нині переважно викидають на територію заводів. Це призводить до забруднення підземних вод, ґрунтів та атмосферного повітря.

На багатьох підприємствах стічні води, що містять розчинні і важкорозчинні органічні сполуки, скидаються у міську каналізаційну мережу, з якої вони потрапляють на міські очисні споруди. Останні часто мають недосконалі технології і здебільшого працюють незадовільно. Тому недостатньо очищена стічна вода може потрапляти в природні водойми і завдавати великої шкоди як природним екосистемам, так і безпосередньо людям. Щоб забезпечити харчові виробництва високоякісною водою, її треба доочищати на підприємствах та заощадливо витрачати. Це передбачає застосування ощадливих технологій для промивання сировини, обладнання, тари, організацію замкнених водообігових

циклів, за яких воду після очищення та охолодження можна було б знову використовувати для технологічних процесів. На потужних підприємствах, де утворюється велика кількість стічних вод, організують локальне очищення зі застосуванням переважно біохімічного (мікробіологічного) методу. Забруднювачами стічних вод є здебільшого органічні речовини, які за допомогою мікроорганізмів у біотехнологічних процесах можуть бути трансформовані у білкові, вітамінні та інші продукти і використані в інших галузях, наприклад в аграрному виробництві (Джигерей, 2007; Запольський та ін., 2005).

Таблиця 4.10. Склад стічних вод на пивоварних й солодових заводах

Показник	Кількість
Сухий залишок, мг/дм ³	250–2300
Завислі речовини, мг/дм ³	30–850
Залишок після прожарювання, мг/дм ³	240
Загальний азот, мг/дм ³	150–270
P ₂ O ₅ (фосфор), мг/дм ³	30–150
K ₂ O (калій), мг/дм ³	40–64
CaO (кальцій), мг/дм ³	90–134
Na ₂ O, мг/дм ³	3
Cl ⁻	-
Окиснюваність, мг O ₂ /дм ³	150–960
БСК ₅ (біохімічне споживання кисню), мг O ₂ /дм ³	300–1800
pH	6,0–7,2

У процесі виробництва солоду основну кількість води витрачають на замочування і промивання зерна. Замочувальні води включають екстрактивні речовини та сполуки кальцію і разом з промивними водами мають загальну забрудненість до 2000 мг O₂/л за хімічного споживання кисню (ХСК), тоді як у каналізацію дозволено скидати стічні води з ХСК 200–300 мг O₂/л. Неочищені стічні води здатні до загнивання, в процесі якого мікроорганізми виробляють молочну, масляну та оцтову кислоти, що спричиняють корозію каналізаційної мережі і гальмують процес біологічного очищення стічних вод. Тому стічні води солодового виробництва треба скидати в каналізацію у “свіжому” вигляді, до закисання. Іноді вони потребують підлугування. Загальні витрати води на

виробництві коливаються в межах від 3 до 10 м³ на 1 т ячменю (Джигерей, 2007; Запольський та ін., 2005).

Під час пророщування зерна утворюються вуглекислий газ та летючі сполуки, які викидаються в атмосферне повітря. Велика кількість летючих сполук, що викидаються разом із сушильним газом в атмосферу, виділяється і в процесі сушіння солоду в сушарках. Внаслідок перебігу реакції мелаїдиноутворення між амінокислотами і цукрами утворюються альдегіди (фурфурол, оксиметилфурфурол, ізовалеріановий альдегід), які також викидаються переважно в атмосферу разом з продуктами спалювання. Інколи на деяких підприємствах відхідні гази очищують у сухих або мокрих фільтрах.

Харчова промисловість включає виробництво багатьох харчових продуктів, які повною мірою задовольняють харчовий раціон людини. Під час виробництва солоду утворюються зернові відходи, солодові ростки, їх переважно використовують як корм для тварин або кормову добавку. Останнім часом солодові ростки застосовують при виробництві оцту.

Джерелом надходження токсикантів та інших ксенобіотиків, які перевищують нормативи, є продовольча сировина або речовини, що утворюються в процесі її оброблення, а також харчові добавки, барвники та ін.

У зв'язку з кризовою екологічною ситуацією стало проблематичним вирощування високоякісної та екологічно безпечної сільськогосподарської сировини рослинного походження для виробництва продуктів харчування. До організму людини 70 % шкідливих речовин потрапляють з їжею, що потребує удосконалення технології вирощування сировини та її переробки з метою виробництва високоякісних й екологічно безпечних харчових продуктів. Комплекс заходів, спрямованих на виробництво продуктів харчування високої якості, передбачає використання високоякісної продовольчої сировини, а також супутніх матеріалів, які використовуються в процесі виробництва, зберігання, транспортування, реалізації, пакування та маркування харчової продукції. При цьому передбачається підвищення якості та поживної цінності харчових продуктів, розширення асортименту їх; збільшення виробництва продуктів дитячого і діє-

тичного харчування, продуктів профілактичного призначення, збагачених вітамінами, білковими та іншими компонентами, з підвищеною біологічною та харчовою цінністю.

Екологічно безпечні (чисті) харчові продукти мають задовольняти такі вимоги: містити необхідний набір макро- та мікроелементів, потрібних для повноцінного і збалансованого харчування людей; бути нетоксичними й не включати шкідливих домішок; мають виготовлятися по енергозберігаючих, безвідходних і маловідходних технологіях за мінімальних витрат сировини та енергії, що завдало б мінімальної шкоди довкіллю; призначатися для тривалого вжитку в процесі харчування; харчові добавки не повинні мати токсичних інгредієнтів, що призводять до неприємних та негативних наслідків для людей; не утворювати токсичних речовин і не супроводжуватися шкідливими мікробіологічними перетвореннями на всіх стадіях технологічного процесу виробництва, зберігання та споживання; мати якісні поживні властивості; мати сертифікат якості та всі необхідні відомості щодо складу продукту, його виробництва та зберігання; тара та упаковка мають бути багаторазового використання, передбачати можливість вторинного використання матеріалів або включатися в природний колообіг речовин і не впливати на якість продукції.

Для додержання екологічної безпеки виробництва всі його стадії повинні відповідати вимогам “зелених” технологій. Усі відомості щодо виробництва та послуг мають бути доступними. Споживачі повинні мати право на громадянський контроль виробленої харчової продукції.

Щоб поліпшити якість харчових продуктів, до них вводять різні біологічні добавки, які поповнюють дефіцит багатьох вітамінів, мінеральних речовин, ненасичених жирних кислот, різних видів харчових волокон тощо. Особливо корисними є полікомпонентні рослинні суміші, виготовлені з натуральної сировини: зернові й солодові концентровані екстракти, пектин, сиропи та екстракти зі сировини рослинного походження. Такі суміші сприяють нормальному травленню й виведенню з організму токсичних і канцерогенних сполук та радіонуклідів.

Солод, як основна сировина для виробництва пива, квасу й лікувально – профілактичного призначення, не повинен містити нітритів, канцерогенних і токсичних речовин, радіонуклідів і важких металів, пестицидів та інших шкідливих для організму людини хімічних речовин.

У багатьох напоях та продуктах використовують полісолодові екстракти з пророслого зерна вівса, пшениці, кукурудзи та ін. Вони багаті на вітаміни, амінокислоти, білки, ферменти, фітогормони, мінеральні та інші біологічно активні речовини. Вживання їх підвищує резистентність організму людини, поліпшує працездатність та загальний стан здоров'я.

Сучасний розвиток харчової промисловості свідчить про те, що питання виробництва, споживання і якості продукції пов'язані з питанням екологічності виробництва та екологічної безпеки продукції. Ефективний розвиток харчових та переробних підприємств неможливий без вирішення комплексу еколого – економічних проблем. З метою подолання гострої екологічної кризи потрібно здійснити екологізацію харчової та переробної промисловості.

Екологізація солодового виробництва – це поступове розширення дії екологічних пріоритетів у виробничій діяльності, підвищення екологічної освіченості та свідомості персоналу, поступове впровадження екологічних нововведень у виробництво, екологічна модернізація виробництва.

Екологізацію виробництва можна здійснювати різними шляхами (рис. 4.8).

Головним (першим) шляхом екологізації солодової промисловості є вдосконалення і модернізація технології виробництва, в тому числі викидів в атмосферне повітря, комплексне перероблення стічних вод і відходів та використання продуктів переробки як вторинної сировини, тобто трансформація забруднювальних речовин у корисні продукти.

Другий напрям екологізації виробництва полягає в очищенні викидів та стоків від забруднення, третій – це виробництво обладнання та устаткування для впровадження екологічно безпечних “зелених” технологій. Під екологічними (“зеленими”) технологіями розуміють такі, що забезпечують екологічну мо-

дернізацію та екологізацію виробництва загалом, випуск екологічно чистої (безпечної) продукції.



Рис. 4.8. Шляхи екологізації солодового виробництва

До головних екологічних проблем сьогодні належать: забруднення земельних ресурсів викидами з підприємств харчової промисловості, утворення звалищ з відходів виробництв; перевищення гранично допустимих скидів забруднювальних речовин у водні об'єкти, внаслідок чого порушується зона відтворення живих організмів; підвищення гранично допустимих викидів забруднювальних речовин в атмосферне повітря, що спричиняє забруднювання навколишнього середовища, створює небезпеку для життя і діяльності людини; зменшення відтворювальної здатності та можливостей очищення забрудників біо-

логічними ресурсами, внаслідок чого змінюється відтворювальна здатність ландшафтів, порушуються цикли біогеохімічного колообігу речовин та змінюється екологічний стан навколишнього природного середовища; порушення регіональної стабільності та працездатності населення, зниження якості виробленої продукції, що є результатом дії забруднювальних чинників.

Процес природокористування в солодовій промисловості має ґрунтуватися не лише на використанні природних ресурсів, а й на створенні можливостей їх охорони та відтворення.

Для цього необхідно створити цілісну систему природокористування, яка стимулювала б ліквідацію наслідків негативного впливу на стан навколишнього природного середовища та виробництво високоякісної екологічно безпечної для споживання харчової продукції. Модернізацію солодового виробництва потрібно здійснювати на основі системно-екологічного механізму. Під останнім розуміють процес, що відбувається між вихідним і завершальним еколого-економічним станами виробничої системи з урахуванням поставлених цілей екологічної модернізації виробництва. Отже, екологізація солодового виробництва – це процес послідовного впровадження систем технічних, управлінських та інших рішень, спрямованих на підвищення ефективності використання природних ресурсів, поліпшення якості та екологічної безпечності харчової продукції, поліпшення та збереження якості природного середовища на локальному, регіональному і глобальному рівнях.

У соціально-економічному плані екологізація спрямована на перехід від ресурсотратного принципу виробництва до ресурсозберігаючих методів переробки, відмови від екстенсивного розширеного споживання природних ресурсів, одержання максимуму користі за мінімум використаної сировини і незначного порушення середовища життя людей.

Екологізація виробництва солоду передбачає насамперед екологізацію самого технологічного процесу. Остання охоплює систему заходів щодо запобігання негативному впливу технологічних процесів на навколишнє природне середовище. Екологізацію технологій досягають завдяки впровадженню більш

ефективних технологій, оптимізації технологічних процесів і режимів, їх автоматизації та комп'ютеризації, які забезпечують мінімальні витрати сировини, енергії, палива та інших природних ресурсів за мінімуму шкідливих викидів.

Процесу екологізації солодового виробництва у харчовій промисловості повинні передусім передувати розробка програми екологізації виробництва і формування механізму природоохоронної діяльності. Серед основних завдань багато факторного процесу екологізації виробництва можна виділити: розробку теоретичної, методологічної та методичної основи екологізації солодового виробництва; створення можливостей для екологізації виробничого потенціалу підгалузей солодового виробництва (переробка побічної продукції); раціоналізацію розміщення продуктивних сил солодової промисловості з урахуванням можливостей для самовідновлення екологічного стану природного середовища; формування екологічного світогляду у працівників.

До пріоритетних напрямів екологізації солодового виробництва можна віднести: вирішення проблем регенерації солодових відходів і використання їх як вихідної сировини в інших виробництвах (комбікормове, оцтове); відходи виробництва і споживання необхідно розглядати як основні джерела палива, сировини, матеріалів; розширення комплексності використання кожного виду ресурсів; інтенсифікація розвитку солодової галузі на основі ресурсозбереження; розробка нових і вдосконалення існуючих конструкційних матеріалів, що відкривають перспективи вирішення сировинних проблем.

Уже доведено, що витрати води на виробництво солоду можуть бути зменшені на 50 % (результати Енергетичного центру Європейського союзу на заводі "Оболонь") (Джигерей, 2007; Запольський та ін., 2005). Це дасть позитивний ефект зниження рівня споживання електричної і теплової енергії. Для цього необхідно оптимізувати процес замочування, усунути витікання води і здійснити ефективне управління насосами. Подальшій економії сприятиме використання сухого механічного конвеєра для транспортування зерна. Було видано низку рекомендацій щодо оптимізації сушарки. Економія води, електроенергії і

теплоти для процесу солодощення може сягати 30 % (Джигерей, 2007; Запольський та ін., 2005).

Основними пріоритетами “зеленої” (екологічної) модернізації солодового виробництва є такі: широке впровадження у виробництво новітніх досягнень науки і техніки з метою раціонального використання природно-сировинних ресурсів; зниження рівня використання природно-ресурсного потенціалу впровадженням безвідходних і маловідходних технологій; впровадження технологій комплексної переробки сировини з підвищенням рівня і ефективності використання відходів виробництва солодової промисловості, перехід до безвідходних циклів виробництва, що забезпечить повну переробку сировини; впровадження у виробничий процес енергозберігаючих технологій з широким застосуванням нетрадиційних джерел енергії (сонячної, гідротермальної, вітрової енергії, біоенергетики).

Однією з важливих проблем підвищення екологічної ефективності роботи галузі є зменшення використання водних ресурсів та підготовка високоякісної води. Найбільшої гостроти зменшення обсягів водоспоживання набуло останнім часом. Впровадження систем зворотного водоспоживання дає можливість знизити споживання води промисловістю. Для солодового виробництва, де більшість підприємств не мають очисних споруд, для захисту водойм від забруднення стічними водами доцільно створити замкнені системи водопостачання з використанням очищених стічних вод у системі технічного і зворотного водоспоживання і забором свіжої води з джерел лише для господарсько-побутових потреб і підживлення оборотної системи.

Основна мета екологічних пріоритетів – це створення можливостей для підвищення якості та екологічності продукції, що виробляється. Використання плазмохімічного активування водних розчинів дозволить частково вирішити деякі екологічні проблеми, а можливо, за промислового застосування, і створити абсолютно екологічну технологію.

Запропонована технологія обробки зерна при солодощенні активованими водними розчинами є цілком екологічно безпечною (Півоваров та ін.,

2010; Pivovarov et al., 2011). Плазмохімічно оброблені водні розчини абсолютно не токсичні, в них відсутні складні хімічні сполуки. Стабільна активність розчину триває 7–10 діб, після цього розчин інактивується і перетворюється на просту воду. Цього часу достатньо, щоб стимулювати біохімічні процеси в зерні. Таким чином, після активації росту в зерні не залишається хімічних речовин, тобто продукція, отримана зі зерна, буде хімічно чистою, до того ж у навколишнє середовище не потраплять шкідливі хімічні сполуки.

Стічні води солодового виробництва мають схильність до закисання, тому їх досить часто підлугуюють; за рахунок запропонованої технології це виключено, оскільки активовані розчини мають початкову лужність 8–10 рН, яка перешкоджає прокисанню.

Представлена технологічна схема виробництва високоякісного “зеленого” солоду зі застосуванням плазмохімічного технологічного обладнання для обробки вихідної води, необхідної для комплексу технологічних заходів у його виробництві та стічних вод, що утворюються в процесі солододорощення (рис. 4.9).

До того ж, при використанні в якості агента зволоження розчинів хімічних сполук, на процес промивання зерна витрачається значна кількість води, а при використанні активованих розчинів промивання не потрібне, а це дозволяє скоротити витрати води в 2–3 рази (з 10 до 3–5 м³), що є позитивним результатом ефективного природокористування.

Перспективним є повторне використання технологічних розчинів. При класичній схемі повторного використання водних розчинів, їх обов’язково хлорують. В розробленій технології, використана вода збирається в спеціальній ємності, відстоюється, якщо необхідно фільтрується, а потім направляється на додаткову обробку КНП. Оброблені в такий спосіб водні розчини можуть знову застосовуватися для замочування зернового матеріалу (перше замочування), друге замочування рекомендовано проводити водою свіжою (після першої обробки КНП). Тобто схема двократного застосування: 1) замочування повторно активованими водними розчинами; 2) друге замочування – свіжою плазмохімічно обробленою водою. Обговорювана технологічна схема солододорощення до-

зволяє скоротити загальні потреби води та технологічних водних розчинів більш ніж на 50%.

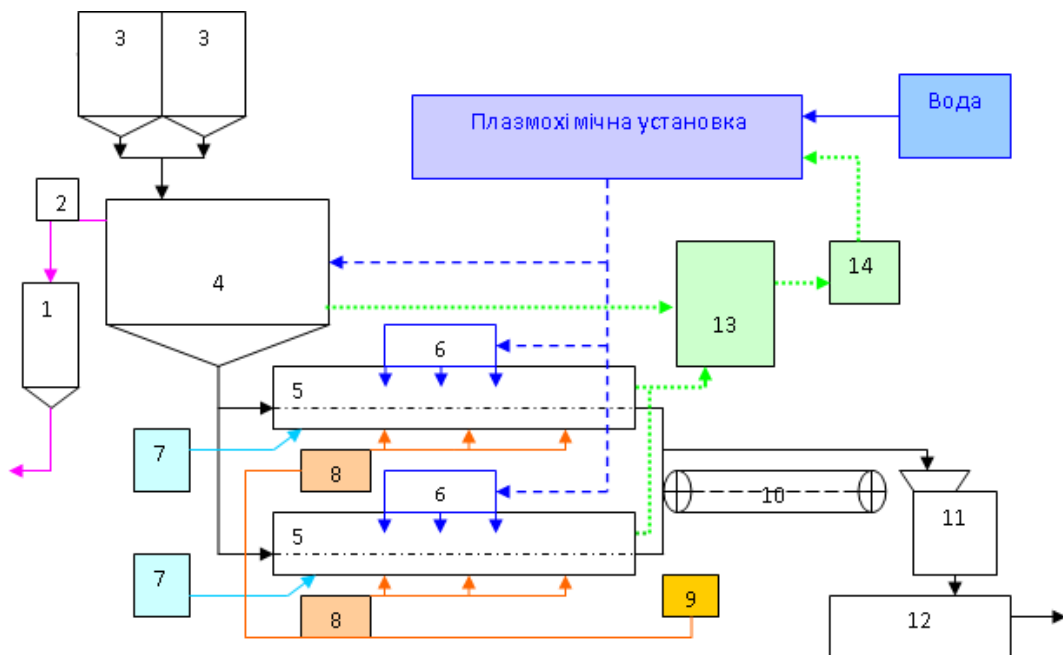


Рис. 4.9. Технологічна схема процесу солодоращення з використанням активованих водних розчинів:

1 – збірник неповноцінного зерна; 2 – приймач; 3 – бункер для очищеного та відсортованого зерна; 4 – мийний чан (мийка та дезінфекція зерна); 5 – ящична солодівня (повторне замочування, рощення, сушіння); 6 – форсунки для зволоження; 7 – установка для кондиціювання повітря; 8 – установка для підігрівання зернового матеріалу (сушіння); 9 – газонакопичувач; 10 – транспортер готового продукту; 11 – ростковідбійна машина; 12 – ваги та фасувальний апарат; 13 – накопичувач відпрацьованої рідини; 14 – фільтр.

Переміщення складових технологічного процесу:

- \longrightarrow зернова сировина;
- \longrightarrow неповноцінне зерно, сплав;
- \dashrightarrow плазмохімічно оброблений водний розчин;
- \longrightarrow повітря для кондиціювання зернової маси;
- \longrightarrow гаряче повітря для сушіння пророщеного зерна;
- \dashrightarrow відпрацьована вода на фільтрування та очищення.

Склад стічних вод солодових підприємств при використанні плазмохімічної активації технологічних розчинів наведений в табл. 4.11. Використовувались відповідно різні параметри активації розчинів, а саме, час обробки стічних вод в плазмохімічному реакторі.

Таблиця 4.11. Склад стічних вод на солодовому виробництві при використанні плазмохімічної активації технологічних розчинів

Показник	Контроль	Після плазмохімічної активації, час активації хв		
		10	30	60
Сухий залишок, мг/дм ³	2100	720	300	100
Завислі речовини, мг/дм ³ :				
з фільтруванням	45	30	20	15
без фільтрування	670	300	239	176
Залишок після прожарювання, мг/дм ³	240	100	75	50
Загальний азот, мг/дм ³	225	95	68	45
P ₂ O ₅ (фосфор), мг/дм ³	80	20	15	10
K ₂ O (калій), мг/дм ³	63	16	10	5
CaO (кальцій), мг/дм ³	130	25	17	10
Na ₂ O, мг/дм ³	3	1	0,9	0,5
Cl	-	-	-	-
Окиснюваність, мг O ₂ / дм ³	960	210	100	50
БСК ₅ (біохімічне споживання кисню), мг O ₂ / дм ³	1800	150	100	50
pH	6,5	8,0	9,0	10,0

Аналізуючи дані наведені в табл. 4.11 можна зробити висновок про значну ефективність очищення стічних вод шляхом плазмохімічної активації. Якісні показники покращились, а рівень забруднення зменшився в 2-3 рази, що дає можливість рекомендувати використання плазмохімічної активації як перспективного інноваційного технологічного рішення на солодових підприємствах.

Висновки

Використання активованої води дозволяє отримати пивоварний солод більш високої якості, в більш короткі терміни та без домішок будь-яких принесених хімічних речовин та антисептиків по екологічно безпечній технології. Плазмохімічно активована вода сприяє скороченню часу промислового пророщування зернового матеріалу, чим значно здешевлює та удосконалює технологічний процес. Рекомендоване застосування представленої технології на підприємствах солодової галузі, в якості заходів з підвищення продуктивності солодоростильних цехів. Активована вода є антисептиком процесу солодорушення, відмічена її здатність протистояти пліснявоутворенню та грибковим мікроорганізмам. Досліджені та охарактеризовані екологічні особливості плазмохімічної активації технологічних розчинів в процесі солодорушення.