

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

**РОЗДОБУДЬКО БОРИС ВАЛЕРІЙОВИЧ**

УДК 663.4: 633.358

**ТЕХНОЛОГІЯ ПИВА ЗІ ЗБАЛАНСОВАНОЮ КІЛЬКІСТЮ  
СІРКОВМІСНИХ РЕЧОВИН**

Спеціальність: 05.18.05 – технологія цукристих речовин та  
продуктів бродіння

**АВТОРЕФЕРАТ**

дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Київ – 2015

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Забезпечення виробництва пива з високими органолептичними показниками якості є одним з важливих завдань харчової промисловості України.

На формування смаку і аромату пива суттєво впливають вищі спирти, ефіри, карбонільні сполуки, органічні кислоти, а також значною мірою речовини, які містять сірку. Особливу увагу приділяють сірковмісним речовинам тому, що їхня кількість у пиві може значно перевищувати поріг відчуття, погіршуючий смак і аромат.

До сірковмісних речовин, які істотно впливають на смак і аромат пива, відносять диметилсульфід (ДМС) і діоксид сірки ( $\text{SO}_2$ ). При концентраціях ДМС у пиві більших від порогу відчуття його асоціюють зі смаком вареної кукурудзи. Якщо в солоді підвищена загальна кількість попередників ДМС (ДМС-П), а в технології пива система кип'ятіння суслу з хмелем не забезпечує інтенсивне розщеплення ДМС-П і видалення ДМС, тоді ячмінний солод замінюють відповідною кількістю несолодженої сировини. Однак така технологія зумовлює зменшення вмісту амінного азоту в суслі і активності дріжджів під час його зброджування. Білки гороху і горохового солоду можуть забезпечити необхідний вміст амінного азоту та важливих для живлення дріжджів амінокислот в суслі.

Синтез  $\text{SO}_2$  в пиві відбувається під час зброджування суслу. Якщо кількість його значно менша порогу відчуття, тоді погіршується смак і смакова стабільність пива. Збільшенню вмісту  $\text{SO}_2$  в пиві сприяють майже всі технологічні фактори, які пригнічують активність дріжджів.

Таким чином дослідження, спрямовані на вивчення синтезу сірковмісних речовин у технології пива та способи збалансування їхньої кількості з побічними продуктами бродіння є актуальними і важливими для подальшого розвитку вітчизняного пивоваріння та підвищення конкурентоспроможності напою.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційна робота виконана згідно з планом наукової роботи кафедри біотехнології продуктів бродіння і виноробства: «Розроблення теоретичних основ ресурсо-, енергозберігаючих та безвідходних технологій харчового та технічного спирту, солоду, пива, вина, безалкогольних напоїв, концентратів та екстрактів оздоровчої дії», державний реєстраційний номер 0113U007689.

Автором особисто розроблено програми та методики лабораторних досліджень, оброблено та узагальнено отримані результати, визначено оптимальні значення технологічних параметрів.

**Мета і завдання дослідження.** Метою роботи є удосконалення технології пива шляхом збалансування кількості основних сірковмісних речовин на основі підбору складу сировини та оптимальних технологічних режимів виробництва солоду і пива.

Для досягнення цієї мети було поставлено та реалізовано наступні завдання:

➤ дослідити показники ячменю та солоду вітчизняного виробництва на вміст ДМС-П;

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Забезпечення виробництва пива з високими органолептичними показниками якості є одним з важливих завдань харчової промисловості України.

На формування смаку і аромату пива суттєво впливають вищі спирти, ефіри, карбонільні сполуки, органічні кислоти, а також значною мірою речовини, які містять сірку. Особливу увагу приділяють сірковмісним речовинам тому, що їхня кількість у пиві може значно перевищувати поріг відчуття, погіршуючий смак і аромат.

До сірковмісних речовин, які істотно впливають на смак і аромат пива, відносять диметилсульфід (ДМС) і діоксид сірки ( $\text{SO}_2$ ). При концентраціях ДМС у пиві більших від порогу відчуття його асоціюють зі смаком вареної кукурудзи. Якщо в солоді підвищена загальна кількість попередників ДМС (ДМС-П), а в технології пива система кип'ятіння суслу з хмелем не забезпечує інтенсивне розщеплення ДМС-П і видалення ДМС, тоді ячмінний солод замінюють відповідною кількістю несолодженої сировини. Однак така технологія зумовлює зменшення вмісту амінного азоту в суслі і активності дріжджів під час його зброджування. Білки гороху і горохового солоду можуть забезпечити необхідний вміст амінного азоту та важливих для живлення дріжджів амінокислот в суслі.

Синтез  $\text{SO}_2$  в пиві відбувається під час зброджування суслу. Якщо кількість його значно менша порогу відчуття, тоді погіршується смак і смакова стабільність пива. Збільшенню вмісту  $\text{SO}_2$  в пиві сприяють майже всі технологічні фактори, які пригнічують активність дріжджів.

Таким чином дослідження, спрямовані на вивчення синтезу сірковмісних речовин у технології пива та способи збалансування їхньої кількості з побічними продуктами бродіння є актуальними і важливими для подальшого розвитку вітчизняного пивоваріння та підвищення конкурентоспроможності напою.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційна робота виконана згідно з планом наукової роботи кафедри біотехнології продуктів бродіння і виноробства: «Розроблення теоретичних основ ресурсо-, енергозберігаючих та безвідходних технологій харчового та технічного спирту, солоду, пива, вина, безалкогольних напоїв, концентратів та екстрактів оздоровчої дії», державний реєстраційний номер 0113U007689.

Автором особисто розроблено програми та методики лабораторних досліджень, оброблено та узагальнено отримані результати, визначено оптимальні значення технологічних параметрів.

**Мета і завдання дослідження.** Метою роботи є удосконалення технології пива шляхом збалансування кількості основних сірковмісних речовин на основі підбору складу сировини та оптимальних технологічних режимів виробництва солоду і пива.

Для досягнення цієї мети було поставлено та реалізовано наступні завдання:

- дослідити показники ячменю та солоду вітчизняного виробництва на вміст ДМС-П;

- встановити закономірності утворення ДМС-П на технологічних стадіях виробництва солоду;
- дослідити процеси перетворення ДМС-Пв технології сусла;
- визначити вплив фізико-хімічних показників якості сусла на синтез  $\text{SO}_2$  та ДМС під час зброджування його різними расами дріжджів;
- встановити вплив використання гороху та горохового солоду в технології пивного сусла на кількісний і якісний склад амінокислот при використанні підвищеної кількості цукровмісної сировини;
- удосконалити технологію пива з використанням цукровмісної сировини і гороху зі збалансованою кількістю основних сірковмісних речовин.

*Об'єкт дослідження* – технологія пива.

*Предмет дослідження* – ячмінь, ячмінний солод, горох, гороховий солод, мальтозна патока, різні раси дріжджів, сусло, пиво.

**Методи дослідження** – аналітичні, фізико-хімічні, органолептичні з використанням сучасних приладів та математичного моделювання, що застосовують в наукових дослідженнях і виробництві пива.

**Наукова новизна одержаних результатів.** Теоретично обґрунтовано та експериментально підтверджено, що виробництво пива зі збалансованою кількістю сірковмісних речовин можливе за часткової заміни ячмінного солоду горохом або гороховим солодом та несолодженою сировиною, а також при дотриманні оптимальних режимів солодоращення зерна, одержання і зброджування пивного сусла.

Вперше доведено доцільність використання гороху або горохового солоду в технології пива для коригування кількісного і якісного складу амінного азоту, інтенсифікування процесів зброджування сусла та розширення асортименту напоїв.

Встановлено закономірності синтезу ДМС-П залежно від температурних режимів виробництва ячмінного і горохового солодів.

Одержано нові наукові дані щодо кількісного перетворення ДМС-П в ДМС на технологічних стадіях приготування і зброджування пивного сусла.

Встановлено закономірності синтезу  $\text{SO}_2$  залежно від масової частки сухих речовин, вмісту кисню і дріжджів в початковому суслі під час його зброджування поширеними на пивоварних підприємствах расами дріжджів.

**Практичне значення отриманих результатів.** На основі експериментальних і теоретичних досліджень удосконалено технологію пива зі збалансованою кількістю основних сірковмісних речовин та побічних продуктів бродіння.

Визначено оптимальні режими виробництва ячмінного солоду. Запропоновано раціональні способи приготування і зброджування сусла, а також умови застосування в технології пива гороху і горохового солоду.

Удосконалену технологію пива апробовано в промислових умовах. Розроблено та затверджено технологічну інструкцію виробництва пива із застосуванням гороху і підвищеної кількості мальтозної патоки.

Соціально-економічна ефективність полягає в розширенні асортименту пива і забезпеченні йому раціональної кількості сірковмісних речовин.

Очікуваний економічний ефект від впровадженої технології пива складає 146 тис. грн на 1 млн дал пива.

**Особистий внесок здобувача.** Автор особисто провів експериментальні дослідження технологічних властивостей і хімічного складу сировини, якості солоду і пива, освоїв методики визначення ДМС-П в солоді та пиві, провів статистичне оброблення результатів досліджень, розробив технологічну інструкцію.

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення дисертаційної роботи обговорені і схвалені на кафедрі біотехнології продуктів бродіння і виноробства Національного університету харчових технологій, на Всеукраїнському Дні якості пиво-безалкогольної галузі в 2013 та 2014 рр., а також на 77-й, 78-й, 79-й, 80-й наукових конференціях молодих вчених, аспірантів і студентів «Наукові здобутки – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті» (м. Київ: НУХТ – 2011-2014 рр.); міжнародних науково-практичних конференціях «Управління якістю в освіті та промисловості: досвід, проблеми та перспективи» (м. Львів: Львівська політехніка – 2013 р.) та *Żbior raportow naukowych «Naukadzis: teoria, metodologia, praktyka»* (Wroclaw: Diamondtradingtour – 2013).

**Публікації.** Основні результати досліджень за темою дисертації опубліковані у 17 наукових публікаціях, в тому числі – 3 у фахових виданнях України, 3 – в зарубіжних виданнях, 3 – в інших виданнях, 6 – в матеріалах і тезах доповідей на міжнародних науково-практичних конференціях.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертацію викладено на 115 сторінках друкованого тексту, яка складається із вступу, 6 розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Містить 26 рисунків, 25 таблиць, 10 додатків. Список використаних джерел містить 139 бібліографічних найменувань, у тому числі 65 іноземних.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність дисертаційної роботи, визначено мету та завдання досліджень, охарактеризовано новизну та практичне значення одержаних результатів роботи, наведено дані щодо їх апробування, а також відомості про особистий внесок здобувача в проведених дослідженнях і підготуванні публікацій за темою дисертаційної роботи.

У першому розділі «Сучасний стан досліджень щодо утворення речовин, які формують смак і аромат пива» наведено аналіз вітчизняної та зарубіжної науково-технічної інформації щодо механізмів утворення і способів регулювання речовин, які формують смак і аромат пива. Значну увагу приділено сірковмісним речовинам, особливо ДМС, оскільки його вміст в пиві може значно перевищувати поріг відчуття, а також SO<sub>2</sub>, який впливає на смакову стабільність напою під час зберігання. Основний попередник ДМС – SMM синтезується з метіоніну під час пророщування зерна і екстрагується із солоду в пиво. Важливою з точки зору накопичення ДМС у готовому пиві є реакція термічного розщеплення SMM з утворенням ДМС і гомосерина, яка найінтенсивніше відбувається при підвищеній температурі під час сушіння свіжопророслого солоду і кип'ятіння

сусла з хмелем. Зазначено, що термічне навантаження на солод і сусло призводить до збільшення показника тіобарбітурового числа (ТБЧ) і небажаних смакових речовин в пиві.

Розглянуто можливість зменшення вмісту ДМС у пиві шляхом підбору раціональних режимів виробництва солоду та використанням у технології пива несолодженої сировини. Показано, що використання підвищеної кількості несолодженої сировини зменшує вміст  $\alpha$ -амінного азоту (FAN) в суслі і негативно впливає на синтез побічних продуктів бродіння, формування смаку і аромату пива. На основі аналізу механізмів синтезу побічних продуктів бродіння, в тому числі сірковмісних речовин, визначено, що їхній вмісту пиві ефективно регулюють зміною кількісного і якісного складу азотистих речовин в суслі. Для корегування азотистого складу сусла розглянуто можливість застосування в технології пива гороху та горохового солоду. Зроблено висновки з доцільності таких досліджень. Сформульовано мету і задачі досліджень.

У другому розділі «Об'єкти і методи досліджень» наведено схему досліджень, характеристику об'єкта, предмета, методів та методики досліджень. Представлено фізико-хімічні показники ячменю, гороху та солодів з них, мальтозної патоки, наведено характеристику використовуваних рас дріжджів.

Робота виконана в лабораторних та промислових умовах з використанням застандартизованих та спеціальних методів досліджень. Визначення ТБЧ та  $\alpha$ -амінного азоту здійснювали спектрофотометричним методом. Хроматографічний метод застосовували для визначення вільного ДМС та ДМС-П, складу амінокислот, вищих спиртів, ефірів та карбонільних речовин. Вміст  $\text{SO}_2$  визначали дистиляційним методом. Для оброблення експериментальних результатів застосовували методи математичної статистики. Оброблення цифрових даних та графічне оформлення результатів досліджень здійснювали за допомогою персонального комп'ютера із застосуванням програм Microsoft Excel, CorelDRAW X6, Mathcad 2013 Professional, Statistical (StatSoft).

У третьому розділі «Дослідження впливу технологічних режимів солододорощення на вміст попередників диметилсульфіду в солоді» наведено результати досліджень якості вітчизняних сортів ячменю та солодів з них на вміст ДМС-П і значення ТБЧ, впливу температури солододорощення на вміст ДМС і ДМС-П в солоді, динаміку зміни вмісту ДМС-П на різних стадіях солододорощення ячменю і гороху.

Для обґрунтування раціональних режимів виробництва солоду на першому етапі досліджень визначали фізико-хімічні показники шести зразків ячменю та солоду з нього, відібраних на трьох вітчизняних солодових підприємствах щодо вмісту ДМС-П, значення ТБЧ та кольору.

Результати досліджень показали, що зі зменшенням кількості ДМС-П в солоді від 6,63 до 2,03 мг/кг на суху речовину (СР) значення ТБЧ збільшується від 11,2 до 17,6 од. відповідно. Одержані дані свідчать, що в технології світлого солоду меншої кількості ДМС-П (менше 5 мг/кг солоду) досягають за рахунок підвищення теплового навантаження на стадії хімічної фази сушіння (термооброблення) солоду, внаслідок чого значення ТБЧ перевищують

рекомендовані норми (менше 14 од). Виявлено також наявність кореляційного зв'язку між підвищеною кількістю ДМС-П в зерні і солоді.

Основний попередник ДМС – S-метилметіонін (SMM) синтезується з метіоніну під час пророщування ячменю, а під дією температури, під час сушіння свіжопророслого солоду, розщеплюється на гомосерин та леткий ДМС. Більша частина утвореного ДМС видаляється під час сушіння з повітрям, а незначна частина його окислюється, внаслідок чого утворюється інший попередник – ДМСО, який важко видаляється з солоду. Таким чином, в готовому солоді міститься переважно SMM і в менших кількостях ДМСО і ДМС.

Встановлювали закономірності синтезу SMM залежно від температурних режимів пророщування зерна, підсушування і термооброблення солоду на стадії хімічної фази сушіння. Пивоварний ячмінь сорту «Себастьян» з вмістом ДМС-П (0,69 мг/кг на СР) пророщували холодним (14...15 °С) і теплим (17...18 °С) способами, підсушували свіжопророслий солод за температури 45...65 °С, а потім термообробляли за температур 75...85 °С протягом 4,5 год.

Результати досліджень (рис.1) показали, що SMM у ячмені починає синтезуватися вже на стадії замочування. Загальна кількість ДМС-П в кінці замочування збільшилася на 10,5 % порівняно з початковим значенням. На стадії пророщування вміст SMM в проростаючих зернах починає інтенсивно збільшуватися. Найбільша швидкість синтезу припадає на 3...5 добу пророщування, коли, як відомо, відбувається інтенсивний синтез ферментів і утворення амінного азоту в солоді. В подальшому інтенсивність синтезу SMM зменшується, що можна пояснити уповільненням процесів білкового обміну речовин. Наприкінці процесу пророщування ячменю теплим способом загальний вміст ДМС-П у свіжопророслому солоді становив 29,5 мг/кг на СР, а холодним – приблизно на 14 % менше. У процесі підсушування вміст

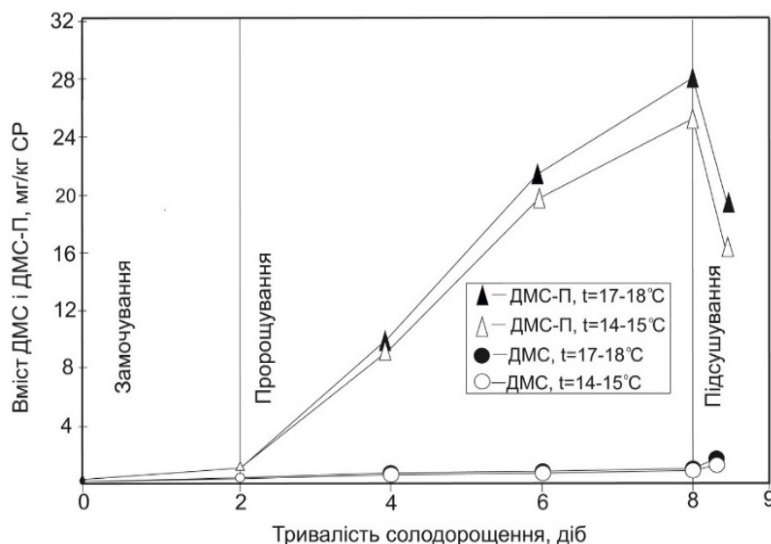


Рисунок 1 – Динаміка синтезу ДМС і ДМС-П залежно від температури солодоращення ячменю

ДМС-П в солоді, виготовленому за низьких значень температури пророщування, становив приблизно на 12 % менше. Вміст ДМС починає в незначній кількості збільшуватись в кінці замочування ячменю і в свіжопророслому солоді становив приблизно 0,9 мг/кг на СР.

Результати досліджень впливу температурних режимів термооброблення солоду на визначені показники якості наведено в табл.1.

З даних таблиці видно,

що зі збільшенням температури термооброблення солодівміст ДМС-П зменшується більш ніж у 3,2 рази, а значення ТБЧ і кольору збільшується приблизно в 3,2 і 1,8 рази відповідно.

Таблиця 1 – Вплив температури пророщування та термооброблення солоду на вміст ДМС-П, значення ТБЧ та кольору

| Назва показника                  | До термооброблення |       | Дослід 1 |       | Дослід 2 |       | Дослід 3 |       |
|----------------------------------|--------------------|-------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|
| Температура термооброблення, °С  | -                  |       | 75       |       | 80       |       | 85       |       |
| Температура пророщування, °С     | 14-15              | 17-18 | 14-15    | 17-18 | 14-15    | 17-18 | 14-15    | 17-18 |
| Вміст ДМС-П, мг/кг на СР         | 16,1               | 18,2  | 12,5     | 14,3  | 9,1      | 10,7  | 4,5      | 5,7   |
| Значення ТБЧ, од.                | 4,1                | 4,2   | 7,4      | 7,6   | 10,3     | 10,7  | 13,0     | 13,6  |
| Колір конгресного суслу, од. ЕВС | 2,6                | 2,6   | 3,1      | 3,1   | 3,5      | 3,6   | 4,5      | 4,6   |

На величину значення ТБЧ і показник кольору в готовому солоді найбільше впливає температура термооброблення і майже не впливає температура пророщування. Натомість вміст ДМС-П за температури термооброблення 85 °С при холодному способі пророщування (14...15 °С) становить 4,5 мг/кг на СР, а при теплому (17...18 °С) – 5,7 мг/кг на СР солоду, що перевищує рекомендовані значення. Таким чином застосовуючи режими холодного пророщування ячменю можна досягти зменшення вмісту ДМС-П в солоді приблизно до 20 % і забезпечити необхідну величину значення ТБЧ.

Провівши статистичне оброблення результатів досліджень, встановили рівняння регресії для розрахунку вмісту ДМС-П та значення ТБЧ залежно від температури пророщування і термооброблення солоду. Вони мають наступний вигляд:

$$\text{ДМС-П} = 70,29 - 0,838t_t + 0,375t_{\text{пр}}, \quad (1)$$

$$\text{ТБЧ} = 0,58 \cdot t_t - 36, \quad (2)$$

де ДМС-П – попередники диметилсульфіду, мг/кг; ТБЧ – значення тіобарбітурового числа, од.;  $t_t$  – температура термооброблення солоду, °С;  $t_{\text{пр}}$  – температура пророщування зерна, °С.

На основі рівнянь (1, 2) визначено, що за температури пророщування зерна 13...15 °С і температури термооброблення солоду 84,5...86,5 °С протягом 4,5 год можна досягти рекомендованого вмісту ДМС-П та значення ТБЧ для світлого солоду.

Далі проводили порівняння закономірностей синтезу ДМС-П в ячмені і горосі сорту «Мадонна» за однакових умов солодоращення. Результати експериментальних досліджень показали, що в гороховому солоді утворюється ДМС-П майже на 50 % менше, ніж у ячмінному солоді, що дозволить при

використанні горохового солоду в технології пива зменшити вміст ДМС в готовому напої.

**В четвертому розділі «Дослідження впливу технологічних процесів приготування суслу на перетворення попередників диметилсульфіду»** наведено результати досліджень впливу настійного та відварного способів затирання, а також температурних режимів кип'ятіння та освітлення суслу на перетворення ДМС-П.

Визначали раціональні способи затирання зернопродуктів. Пивне сусло з масовою часткою сухих речовин 10,9 % готували настійним способом за традиційною технологією з витримкою всіх температурних пауз. При одновідварному способі під час паузи за температури 63 °C 1/3 густої частини затору відбирали і кип'ятили 20 хв. Потім з'єднували з основною частиною затору і оцукрювали за температури 72...75 °C. Відфільтровані зразки суслу кип'ятили з хмелем протягом 50 хв за атмосферного тиску. Результати досліджень наведено на рис. 2.

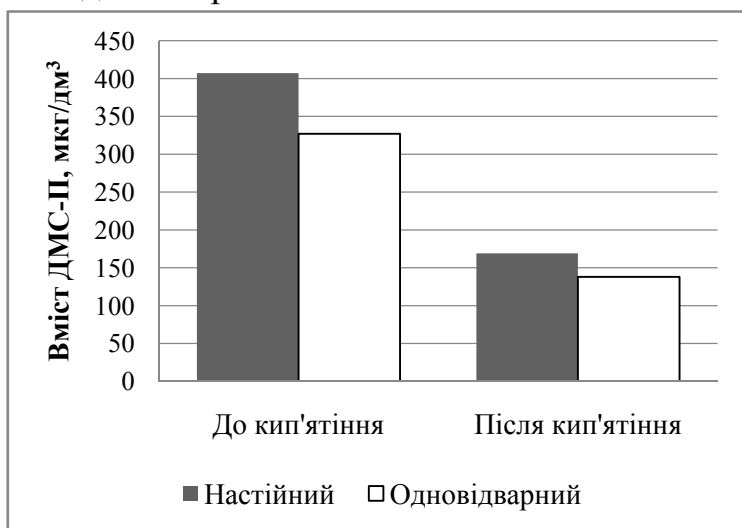


Рисунок 2 – Вплив способу затирання на вміст ДМС-П в суслі

апараті.

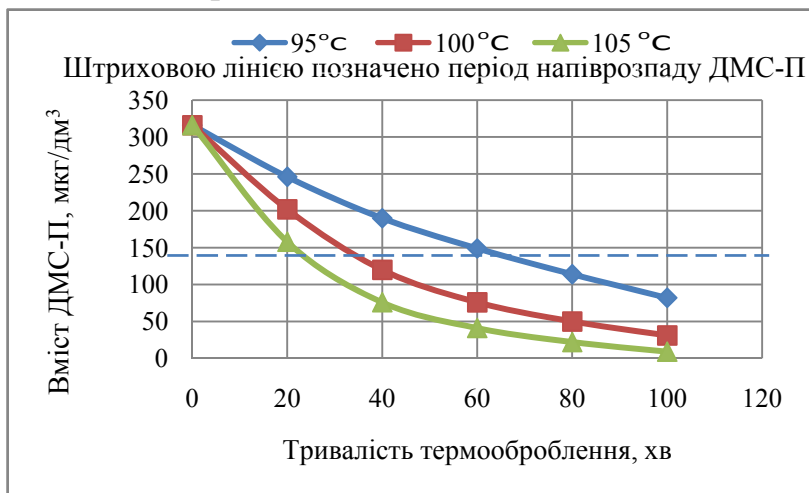
Встановлено, що в процесі кип'ятіння суслу з масовою часткою СР від 10,9 до 16,9% протягом 50 хв вміст ДМС-П зменшується в середньому на 63,2 %, а ступінь його перетворення практично не залежить від масової частки СР в суслі.

Підвищені температури кип'ятіння суслу з хмелем найбільше впливають на ступінь розщеплення SMM і зменшення ДМС в початковому суслі. В сучасних умовах пивоваріння з метою зменшення витрат теплової енергії і залежно від технологічних умов та типу системи кип'ятіння суслу з хмелем процестриває протягом 35...100 хв за температури 100...105 °C. За цих умов недостатнє розщеплення SMM зумовлює утворення підвищеної кількості ДМС під час освітлення суслу в гідроциклонному апараті за температури 95...100 °C. В літературних джерелах недостатньо інформації про вплив різних значень температур та тривалості кип'ятіння суслу з хмелем і освітлення його у гідроциклонному апараті на процес деградації SMM, що значно ускладнює

Як видно з рисунку у фільтрованому суслі до кип'ятіння, отриманому одновідварним способом, кількість ДМС-П зменшилась приблизно на 19,6 % порівняно з настійним способом, а в суслі після кип'ятіння – на 18,3 %. Тому можна зробити висновки, що одновідварний спосіб дозволяє забезпечити зменшення вмісту ДМС-П в суслі, що після його кип'ятіння сприятиме меншому утворенню ДМС на стадії освітлення суслу у гідроциклонному апараті.

об'єктивний вибір системи і режимів кип'ятіння суслу з хмелем. Тому виникла необхідність встановити закономірності перетворення ДМС-П залежно від температури і тривалості термооброблення суслу.

Моделювання процесів кип'ятіння та освітлення здійснювали термообробленням трьох зразків суслу за температури 95...105 °С протягом 100 хв. Результати досліджень зміни вмісту ДМС-П в середньому суслі (в перерахунку на 12 % СР) залежно від температури і тривалості термооброблення наведено на рис.3.



Дані досліджень показали, що за температури термооброблення суслу від 95 до 105 °С швидкість перетворення ДМС-П збільшується приблизно в три рази. Зменшення вмісту ДМС-П на 50 % (період напіврозпаду ДМС-П) відбувається в межах від 20 хв (за 105 °С) до 58 хв (за 95 °С) і має експоненціальну залежність. Найефективніше перетворення ДМС-П відбувається на перших стадіях кип'ятіння і з часом

Рисунок 3 – Динаміка перетворення ДМС-П в суслі залежно від температури і тривалості термооброблення

його швидкість зменшується, що важливо враховувати обираючи систему і режими кип'ятіння суслу з хмелем.

Після статистичного оброблення результатів досліджень було встановлено рівняння регресії, яке дозволяє визначити ступінь перетворення ДМС-П у відсотках відносно початкового його значення залежно від температури і тривалості термооброблення суслу:

$$y = 100 - 10^{\left[ \tau \cdot (-9.324 \cdot 10^{-4} \cdot t + 0.083) + 2 \right]} \quad (3)$$

де  $y$  – ступінь перетворення ДМС-П відносно початкового значення, %; 100 – початкова кількість ДМС-П, %;  $t$  – температура термооброблення суслу, °С;  $\tau$  – тривалість термооброблення суслу, хв.

Визначено, що за температури термооброблення 95...105 °С ступінь перетворення ДМС-П становить 74...97 %. На підставі встановлених закономірностей можна зробити висновок, що застосування систем кип'ятіння суслу з підвищеним надлишковим тиском забезпечує перетворення ДМС-П і видалення ДМС в 1,3-1,8 разів інтенсивніше, порівняно з системами кип'ятіння при атмосферному тиску і сприяє утворенню ДМС в готовому суслі менш ніж 50 мг/дм³. За умови проведення освітлення суслу при температурі 95 °С тривалістю 20 хв можна очікувати ступінь перетворення ДМС-П в ДМС від 22 до 28%, залежно від кількості його в початковому суслі.

В п'ятому розділі «Дослідження процесів синтезу діоксиду сірки і диметилсульфіду під час зброджування сусла» представлено результати дослідження впливу рас дріжджів, які широко використовують на вітчизняних підприємствах, на синтез  $\text{SO}_2$  і ДМС в пиві залежно від фізико-хімічних показників початкового сусла.

Досліджували вплив масової частки СР в початковому суслі на синтез  $\text{SO}_2$  в пиві. Сусло зброджували різними расами насінневих дріжджів, підготовлених з чистої культури, а також сухими дріжджами раси Saflager W 34/70 з розрахунку кількості клітин  $15 \dots 16 \text{ млн/см}^3$  протягом восьми діб за температури  $12 \dots 13^\circ\text{C}$ . Результати досліджень (табл. 2) показали, що зі збільшенням масової частки СР в початковому суслі від 8 до 16 % вміст  $\text{SO}_2$  в пиві для різних рас дріжджів збільшується в середньому у 7,8 разів.

Таблиця 2 – Вплив масової частки СР в початковому суслі і раси дріжджів на синтез  $\text{SO}_2$  в пиві

| Масова частка СР,<br>% | Вміст $\text{SO}_2$ , $\text{мг/дм}^3$ |          |          |                       |
|------------------------|----------------------------------------|----------|----------|-----------------------|
|                        | Раса Rh                                | Раса 124 | Раса 163 | Раса Saflager W 34/70 |
| 8                      | 2,0                                    | 2,2      | 2,3      | 0,6                   |
| 10                     | 3,9                                    | 2,7      | 3,0      | 0,7                   |
| 12                     | 8,0                                    | 6,2      | 7,8      | 1,1                   |
| 14                     | 12,5                                   | 9,8      | 11,0     | 2,3                   |
| 16                     | 18,1                                   | 16,5     | 17,0     | 4,4                   |

Вміст  $\text{SO}_2$  при використанні насінневих дріжджів з чистої культури рас Rh, 124, 163 збільшується в середньому від 2,2 до  $17,2 \text{ мг/дм}^3$ , а сухих дріжджів раси Saflager W 34/70 – від 0,6 до  $4,4 \text{ мг/дм}^3$ . Інтенсивність синтезу значно збільшується, коли масова частка СР в початковому суслі становить більше 10 %. Сухі дріжджі раси Saflager W 34/70 синтезують  $\text{SO}_2$  приблизно в 4 рази менше порівняно з іншими расами.

Дослідження накопичення  $\text{SO}_2$  в пиві залежно від концентрації дріжджових клітин в середньому суслі (рис. 4) показали, що зі збільшенням кількості клітин у суслі від 10 до  $25 \text{ млн/см}^3$  вміст  $\text{SO}_2$  в пиві зменшується в 1,4...2,5 рази для різних рас дріжджів.

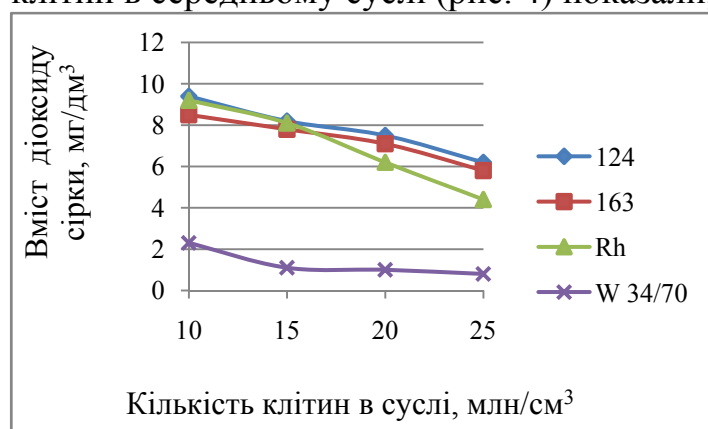
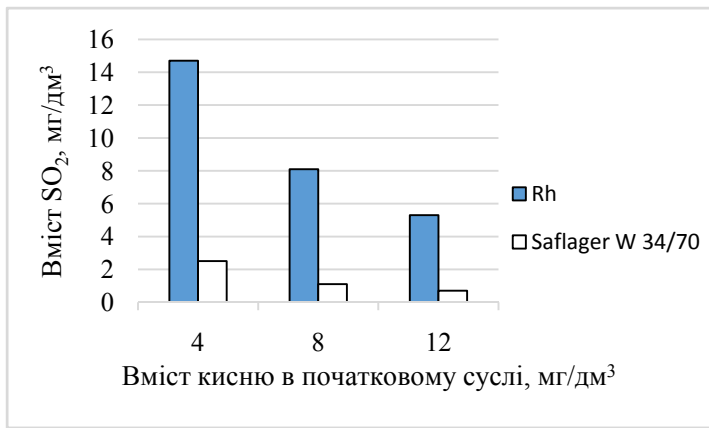


Рисунок 4 – Динаміка утворення  $\text{SO}_2$  залежно від раси дріжджів і кількості дріжджових клітин в початковому суслі

в пиві залежно від кількості кисню в суслі (рис. 5) показали, що в разі

найбільші зміни в кількості утвореного  $\text{SO}_2$  виявлено за використання раси Rh (від 9,5 до  $4,6 \text{ мг/дм}^3$ ) і раси Saflager W 34/70 (від  $2,4$  до  $0,9 \text{ мг/дм}^3$ ). Сухі дріжджі раси Saflager W 34/70 за досліджуваної кількості клітин в суслі синтезують приблизно в 4...5 разів меншу кількість  $\text{SO}_2$  в пиві порівняно з іншими расами.

Дослідження накопичення  $\text{SO}_2$



використання дріжджів раси Rh зі збільшенням кількості кисню всуслі від 4 до 12 мг/дм³ вміст SO₂ зменшується майже в 3 рази (від 14,7 до 5,3 мг/дм³), а сухих дріжджів раси Saflager W 34/70 – в 3,6 разів (від 2,5 до 0,7 мг/дм³).

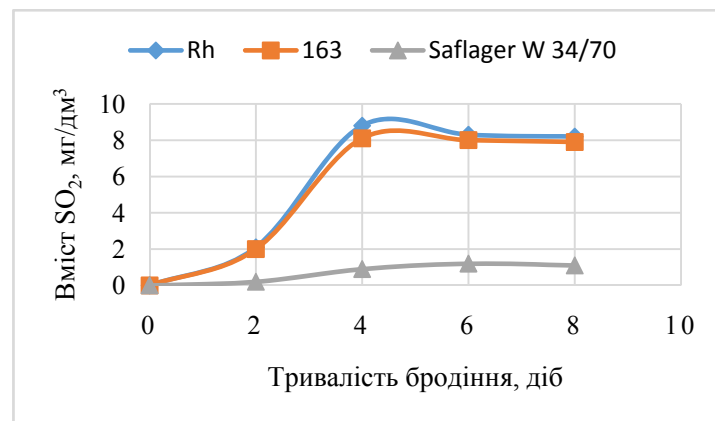
Визначали також динаміку утворення SO₂ на стадії головного бродиння. Три зразки середнього сусла (12 % СР)

зброджували різними расами дріжджів з розрахунку кількості клітин 15...16 млн/см³, вмістом кисню в початковому суслі 6...8 мг/дм³ за температури 12...13

Рисунок 5 – Вплив вмісту кисню на утворення SO₂ під час зброджування сусла

°С. Результати досліджень (рис.6) показали, що дріжджі активно синтезують SO₂ в перші 2...4 доби зброджування сусла.

Починаючи з шостої доби вміст SO₂ майже не змінювався. Дріжджі раси Rh і 163 синтезують SO₂ в кількостях від 7,8 мг/дм³ до 8,4 мг/дм³, а дріжджі раси Saflager W 34/70 приблизно у 7 разів менше.

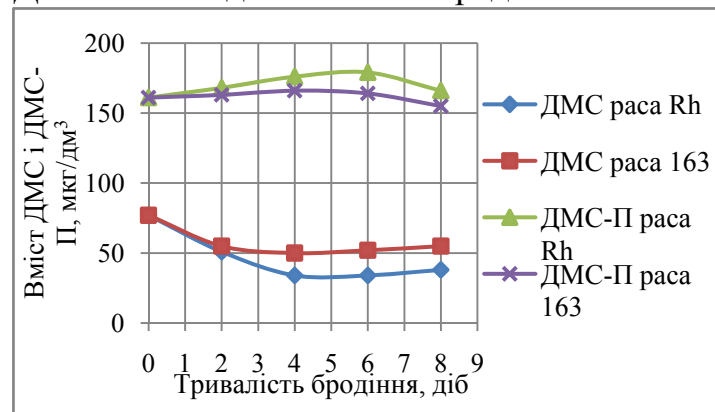


Під час зброджування сусла певна кількість ДМС може утворитися лише з ДМСО як одного з попередників

Рисунок 6 – Динаміка утворення SO₂ залежно від тривалості бродиння і раси дріжджів

ДМС. Результати дослідження динаміки утворення ДМС і ДМС-П в пиві залежно від раси дріжджів (рис. 7) показали, що закономірно-стійного утворення практично однакові.

В перші дві доби бродиння вміст ДМС зменшується приблизно 36 %, на 4...6 добу майже не змінюється, а в останні дві доби в незначній мірі збільшується. При цьому вміст ДМС-П в зброджуваному суслі навпаки спочатку збільшується на 10...13 %, а потім зменшується практично до початкового значення. Це можна пояснити тим, що на початку бродиння, під час розмноження і росту дріжджів, кількість утвореного ДМС з ДМСО значно менша порівняно з тією кількістю, яка видаляється з газами



урівноважується з кількістю видаленого ДМС з газами бродіння.

Кількість ДМС-П на початку бродіння збільшується за рахунок окислення ДМС в ДМСО, а потім зменшується за рахунок більшої асиміляції дріжджами одного з ДМС-П – SMM. Застосування дріжджів раси Rh дозволяє зменшити вміст ДМС в пиві приблизно на 20 % порівняно з расою 163, що вірогідно пов'язано з меншою активністю ферменту дріжджів диметисульфоксидредуктази.

Дослідження впливу кількості генерацій дріжджів на синтез ДМС в пиві з застосуванням раси 163 насінневих дріжджів з чистої культури, другої та четвертої генерації показали, що число генерацій практично не впливає на вміст ДМС в готовому пиві, а залежить лише від раси дріжджів.

**В шостому розділі «Удосконалення і апробація технології пива зі збалансованою кількістю сірковмісних речовин»** наведено результати досліджень використання гороху і горохового солоду в складі зернопродуктів, що подають на затирання для корегування вмісту азотних речовин у суслі і збалансування сірковмісних речовин у пиві, а також результати апробації запропонованої технології в промислових умовах.

Результати порівняльного аналізу амінокислотного складу білків гороху та горохового і ячмінного солодів (табл. 3) свідчать, що кількість амінокислот групи А, які швидко асимілюються дріжджами в горосі та гороховому солоді, приблизно на 5 % більша ніж у ячмінному солоді.

Кількість амінокислот групи Б та В, які дріжджі асимілюють протягом всього часу бродіння, також більша. Натомість відносна кількість проліну, який дріжджі практично не асимілюють (група Г), і до того ж він негативно впливає на колоїдну та біологічну стійкість пива, в білках гороху та горохового солоду майже в 2 рази менша порівняно з ячмінним солодом.

В технології пива важливе значення має не тільки швидкість асиміляції дріжджами вільних амінокислот під час зброджування сусла, а й достатня кількість амінокислот, які істотно впливають на утворення побічних продуктів бродіння. Аналіз сумарної кількості амінокислот першої групи (лізін, гістидин, аргінін, лейцин), які найбільше впливають на формування смаку і аромату пива показав, що в білках гороху та горохового солоду їхня кількість більша приблизно на 10 % та 6 % відповідно, порівняно з ячмінним солодом. Кількість амінокислот другої групи, які мають менший вплив на формування смаку і аромату пива (ізолейцин, валін, фенілаланін, гліцин, аланін, тирозин) у білках досліджуваної сировини приблизно однакова щодо загальної його кількості. Натомість кількість амінокислот третьої групи (аспарагінова і глютамінова кислота, треонін, серин, метіонін, пролін), які мають найменший вплив на смак і аромат пива – у горосі та гороховому солоді менша приблизно на 10 % і 4 % відповідно.

На підставі проведеного аналізу можна зробити висновок, що використання гороху та горохового солоду в технології пива приведе не тільки до збільшення кількості амінокислот і показника FAN в суслі, а й поліпшить його якісний склад, що позитивно вплине на інтенсивність розмноження дріжджів і накопичення необхідної кількості основних побічних продуктів бродіння, які формують смак і аромат пива.

Таблиця 3 – Порівняльна характеристика амінокислотного складу білків сировини за швидкістю їхньої асиміляції дріжджами

| Група                                                  | Назва амінокислоти   | Вміст амінокислот |       |                |       |                 |       |
|--------------------------------------------------------|----------------------|-------------------|-------|----------------|-------|-----------------|-------|
|                                                        |                      | ячмінний солод    |       | горох          |       | гороховий солод |       |
|                                                        |                      | мг/100 г<br>СР    | %     | мг/100 г<br>СР | %     | мг/100 г<br>СР  | %     |
| А – швидко-асимілюючі (перші 20 год бродіння)          | Глутамінова кислота  | 2,698             | 24,54 | 5,344          | 22,64 | 6,837           | 26,33 |
|                                                        | Аспарагінова кислота | 1,042             | 9,48  | 1,809          | 7,67  | 1,887           | 7,27  |
|                                                        | Серин                | 0,542             | 4,93  | 1,363          | 5,78  | 1,623           | 6,25  |
|                                                        | Треонін              | 0,364             | 3,31  | 0,805          | 3,59  | 1,105           | 4,26  |
|                                                        | Лізин                | 0,446             | 4,06  | 1,857          | 7,87  | 1,627           | 6,27  |
|                                                        | Аргінін              | 0,399             | 3,63  | 1,953          | 8,28  | 1,348           | 5,19  |
|                                                        | Всього               | 5,491             | 49,95 | 13,13          | 55,83 | 14,427          | 55,56 |
| Б – середня асиміляція (протягом всього часу бродіння) | Валін                | 0,537             | 4,88  | 0,688          | 2,92  | 0,693           | 2,67  |
|                                                        | Метіонін             | 0,111             | 1,01  | 0,248          | 1,05  | 0,287           | 1,11  |
|                                                        | Лейцин               | 0,734             | 6,68  | 1,825          | 7,73  | 1,975           | 7,61  |
|                                                        | Ізолейцин            | 0,237             | 2,15  | 0,578          | 2,45  | 0,728           | 2,80  |
|                                                        | Гістидин             | 0,138             | 1,25  | 0,533          | 2,26  | 0,747           | 2,88  |
|                                                        | Всього               | 1,757             | 15,97 | 3,872          | 16,41 | 4,43            | 17,06 |
| В – низький рівень асиміляції                          | Гліцин               | 0,586             | 5,33  | 1,230          | 5,21  | 1,570           | 6,05  |
|                                                        | Фенілаланін          | 0,466             | 4,24  | 1,139          | 4,83  | 1,107           | 4,26  |
|                                                        | Тирозин              | 0,392             | 3,56  | 0,936          | 3,97  | 1,071           | 4,12  |
|                                                        | Триптофан            | -                 | -     | -              | -     | -               | -     |
|                                                        | Аланін               | 0,593             | 5,39  | 1,37           | 5,80  | 1,49            | 5,74  |
|                                                        | Всього               | 2,04              | 18,52 | 4,68           | 19,81 | 5,238           | 20,17 |
| Г – не асимілюється                                    | Пролін               | 1,583             | 14,4  | 1,721          | 7,29  | 1,873           | 7,21  |
|                                                        | Загальна кількість   | 10,87             | 100   | 23,40          | 100   | 25,97           | 100   |

Для підтвердження вірогідності зроблених припущень вивчали вплив часткової заміни ячмінного солоду горохом або гороховим солодом на вміст FAN у суслі та інтенсивність зброджування його за умови використання підвищеної кількості цукровмісної сировини. В лабораторних умовах готували зразки сусла одновідварним способом. Відфільтроване сусло кип'ятили з хмелем 1,5 год. В кінці кип'ятіння усі зразки сусла задавали 35% мальтозної патоки від загальної кількості зернової сировини. Після чого доводили початкове сусло до масової частки СР 12%, задавали дріжджі в кількості клітин 15...16 млн/см<sup>3</sup> і зброджували за температури 12...13°C протягом 7 діб. Після зняття дріжджів молоде пиво доброджували 8 діб за температури 1...3°C і аналізували.

Результати досліджень (табл.4) показали, що при заміні солоду мальтозною патокою в кількості 35 % вміст FAN зменшується приблизно на 31 % порівняно з контролем. При частковій заміні ячмінного солоду мальтозною патокою в

кількості 35 % і горохом або гороховим солодом до 10 % вміст FAN в початковому суслі зростає приблизно на 26...28 %.

Дослідження впливу заміни ячмінного солоду в технології пива горохом або гороховим солодом в кількості до 10 % та мальтозною патокою в кількості 35 % показали, що при використанні приблизно 3...5 % солоду гороху або 5...7 % гороху можна прискорити процес головного бродіння приблизно на 0,6...0,8 діб порівняно з використанням в технології лише ячмінного солоду та мальтозної патоки.

Таблиця 4 – Вміст FAN у початковому суслі за часткової заміни ячмінного солоду горохом або гороховим солодом та мальтозною патокою (МП)

| Частка заміни, % | Вміст FAN у початковому суслі |                                   | Вміст FAN у початковому суслі за використання 35% МП |                                   |
|------------------|-------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------------------------|-----------------------------------|
|                  | мг/100 г екстракту            | мг/дм <sup>3</sup> (на 12% сусло) | мг/100 г екстракту                                   | мг/дм <sup>3</sup> (на 12% сусло) |
| (Контроль)       | 167,6                         | 209,9                             | 115,3                                                | 145,1                             |
|                  | Горох                         |                                   |                                                      |                                   |
| 1                | 171,7                         | 215,1                             | 119,4                                                | 150,3                             |
| 3                | 182,8                         | 229,0                             | 128,1                                                | 161,2                             |
| 5                | 191,4                         | 239,8                             | 135,2                                                | 170,1                             |
| 7                | 202,6                         | 253,8                             | 142,9                                                | 179,9                             |
| 10               | 226,5                         | 283,7                             | 155,1                                                | 195,2                             |
|                  | Гороховий солод               |                                   |                                                      |                                   |
| 1                | 172,9                         | 216,6                             | 123,2                                                | 159,8                             |
| 3                | 184,6                         | 231,2                             | 127,0                                                | 163,1                             |
| 5                | 194,8                         | 244,0                             | 129,6                                                | 187,1                             |
| 7                | 205,7                         | 257,7                             | 148,7                                                | 201,9                             |
| 10               | 231,5                         | 290,0                             | 160,5                                                | 222,7                             |

Визначали вплив використання у виробництві пива підвищеної кількості мальтозної патоки та гороху або горохового солоду на утворення основних побічних смакоароматичних компонентів в пиві. Зразки пива, одержані в попередньому досліді, доброджували і аналізували. Порівняльні результати дослідження наведено в табл. 5.

Дані дослідження показали, що кількість вищих спиртів, ефірів, карбонільних речовин при заміні ячменю лише мальтозною патокою в кількості 35 % (зразок 2) збільшується на 14...80% порівняно з контролем, а кількість ДМС – зменшується майже в 2,3 рази і знаходиться в межах порогу відчуття. Кількість ізоамілового та ізобутилового спиртів, ефірів і діацетилу перевищують поріг відчуття в напої на 4,5...26 %. Вміст SO<sub>2</sub> у пиві з використанням мальтозної патоки збільшився приблизно на 13 % порівняно з контролем. При заміні ячмінного солоду мальтозною патокою і горохом або гороховим солодом в кількості до 10 % вміст вищих спиртів, ефірів і карбонільних сполук поступово зменшується і набуває значень порогу відчуття в пиві (зразки 4,5,6,7). Вміст ДМС в пиві збільшується (зразки 3, 4, 5, 6, 7), але знаходиться в межах порогу відчуття

27,9...36,9 мкг/дм<sup>3</sup>. Вміст SO<sub>2</sub> (зразки 3, 5, 6, 7) був більший порогу відчуття порівняно з контролем на 4...12,6 %. Таким чином, використання в технології пива гороху або горохового солоду до 10 % та мальтозної патоки в кількості 35 % забезпечує зменшення вмісту основної сірковмісної сполуки – ДМС на 40...45 % порівняно з контролем, а вміст діоксиду сірки – навпаки, збільшення від 4 до 10 %, а також відбувається збалансувати вмісту цих сполук з іншими побічними продуктами бродіння.

Таблиця 5 – Вміст основних побічних продуктів бродіння в пиві залежно від складу сировини

| № з/п                 | Назва зразку  |    | Вміст, мг/дм <sup>3</sup> |             |              |            |               |                      |          |                                        |               |
|-----------------------|---------------|----|---------------------------|-------------|--------------|------------|---------------|----------------------|----------|----------------------------------------|---------------|
|                       |               |    | вищі спирти               |             |              | ефіри      |               | карбонільні речовини |          | сірковмісні речовини                   |               |
|                       |               |    | пропіловий                | ізоаміловий | ізобутиловий | етилацетат | ізоамілацетат | ацетальдегід         | діацетил | диметилсульфід,<br>мгк/дм <sup>3</sup> | діоксид сірки |
| 1                     | Контроль      | -  | 16,5                      | 63,67       | 12,35        | 17,52      | 1,35          | 1,74                 | 0,11     | 65,12                                  | 7,10          |
| 2                     | 35 % МП       | -  | 21,1                      | 73,06       | 21,19        | 25,16      | 1,61          | 3,14                 | 0,19     | 27,72                                  | 8,0           |
| 3                     | 35 % МП+ 1 %  | ЗГ | 19,90                     | 72,58       | 20,14        | 24,98      | 1,57          | 3,01                 | 0,19     | 27,90                                  | 8,0           |
|                       |               | ГС | 19,50                     | 72,87       | 19,87        | 24,84      | 1,57          | 2,98                 | 0,18     | 28,54                                  | 8,0           |
| 4                     | 35 % МП +3 %  | ЗГ | 19,87                     | 72,03       | 20,05        | 24,78      | 1,55          | 2,87                 | 0,17     | 29,13                                  | 7,8           |
|                       |               | ГС | 19,14                     | 71,78       | 19,46        | 23,84      | 1,48          | 2,78                 | 0,15     | 29,89                                  | 7,8           |
| 5                     | 35 % МП +5 %  | ЗГ | 18,78                     | 70,18       | 19,64        | 23,88      | 1,52          | 2,67                 | 0,15     | 29,89                                  | 7,7           |
|                       |               | ГС | 18,17                     | 70,67       | 18,98        | 23,11      | 1,50          | 2,54                 | 0,14     | 31,87                                  | 7,7           |
| 6                     | 35 % МП + 7 % | ЗГ | 18,65                     | 68,22       | 18,78        | 22,94      | 1,51          | 2,35                 | 0,14     | 34,18                                  | 7,6           |
|                       |               | ГС | 18,07                     | 67,07       | 16,97        | 22,58      | 1,48          | 2,24                 | 0,13     | 34,89                                  | 7,6           |
| 7                     | 35 % МП +10 % | ЗГ | 17,12                     | 65,83       | 15,69        | 21,65      | 1,47          | 2,18                 | 0,13     | 35,97                                  | 7,4           |
|                       |               | ГС | 16,84                     | 65,81       | 15,08        | 21,48      | 1,46          | 2,10                 | 0,12     | 36,87                                  | 7,4           |
| Поріг відчуття в пиві |               |    | 2-50                      | 35-70       | 5-20         | 25-30      | 1,4           | 5-15                 | 0,1-0,15 | 25-45                                  | 7,0           |

\*Примітка: МП – мальтозна патока; ЗГ – зерно гороху; ГС – гороховий солод.

Удосконалену технологію пива апробовано в промислових умовах. Розроблено та затверджено технологічну інструкцію виробництва пива із застосуванням гороху і підвищеної кількості мальтозної патоки. Очікуваний економічний ефект від впровадженної технології пива складає 146 тис. грн на 1 млн дал пива.

## ВИСНОВКИ

В результаті проведеного системного аналізу теоретичних та експериментальних досліджень щодо удосконалення технології пива зі збалансованою кількістю сірковмісних речовин визначено, що при дотриманні встановлених оптимальних умов отримання солоду, приготування і зброджування пивного сусла з використанням гороху або горохового солоду та

підвищеної кількості несолодженої сировини можна одержати пиво з необхідним вмістом основних сірковмісних речовин та побічних продуктів бродіння.

1. Підтверджено істотний вплив на біохімічні процеси синтезу основного попередника ДМС – SMM температури пророщування і сорту ячменю, а на кількість утвореного ДМС-П і значення ТБЧ в готовому солоді температури термооброблення. Встановлено, що рекомендовані показники для світлого солоду за вмістом ДМС-П (менше 5 мг/кг) та значенням ТБЧ (менше 14 од.) можна забезпечити за температури пророщування зерна 13...15 °С і температури термооброблення солоду 84,5...86,5 °С протягом 4,5 год.

2. Визначено, що при підвищеній кількості ДМС-П в солоді затирання зернопродуктів доцільно здійснювати відварним способом, що дозволяє зменшити ДМС-П в фільтрованому суслі майже на 20 % порівняно з настійним способом і буде сприяти кращому видаленню ДМС під час кип'ятіння та зменшенню його кількості на стадії освітлення сусла.

3. В результаті моделювання теплових процесів кип'ятіння – 100...105 °С та освітлення сусла – 95...100 °С і на підставі встановлених закономірностей перетворення ДМС-П в ДМС за різних температур обґрунтовано, що застосування систем кип'ятіння сусла з підвищеним надлишковим тиском забезпечує перетворення ДМС-П і видалення ДМС в 1,3...1,8 рази інтенсивніше порівняно з системами кип'ятіння при атмосферному тиску і сприяє утворенню ДМС в готовому суслі менше 50 мкг/дм<sup>3</sup>.

4. Встановлено тенденції біосинтезу SO<sub>2</sub> в пиві поширеними в пивоварній галузі промисловості расами дріжджів залежно від їхніх фізіолого-біохімічних властивостей і фізико-хімічних показників якості сусла. Показано, що за сприятливих умов зброджування сусла з масовою часткою СР 8...12 % сухими дріжджами раси Saflager W 34/70 і сусла – 8...10,5 % насіннєвими дріжджами з чистої культури рас Rh, 124, 169 в пиві утворюється менше 5 мг/дм<sup>3</sup> SO<sub>2</sub>. Кращі показники за вмістом SO<sub>2</sub> в пиві (більше 7 мг/дм<sup>3</sup>) спостерігали при масовій частці СР 11...16 %, концентрації дріжджів 10...25 млн/см<sup>3</sup>, кисню 4...12 мг/дм<sup>3</sup> в початковому суслі і застосуванні насіннєвих рас дріжджів з чистої культури.

5. Визначено, що під час зброджування сусла інтенсивне зменшення ДМС відбувається в період накопичення біомаси дріжджів за рахунок видалення його з газами бродіння і часткового окислення в ДМСО. Застосування дріжджів раси Rh забезпечує зменшення вмісту ДМС в пиві приблизно на 20 % порівняно з расою 163.

6. Виявлено, що використання в технології пива гороху або горохового солоду покращує кількісний і якісний склад азотистих речовин сусла, порівняно з ячмінним. Показано, що в білках гороху міститься на 5 %, а в білках горохового солоду на 6 % більше амінокислот, які підвищують інтенсивність розвитку дріжджів, а також на 6 і 10% більше амінокислот, які істотно впливають на формування смаку і аромату пива, порівняно з ячмінним солодом. Заміна ячмінного солоду в технології пива до 10 % горохом або гороховим солодом дозволяє підвищити вміст амінного азоту в суслі до 28 %.

7. Доведено ефективність використання гороху або горохового солоду в технології пива при підвищеній кількості несолодженої сировини. Заміна

ячмінного солоду в кількості 35 % мальтозною патокою і горохом – 5...7 % або гороховим солодом – 3...5 %, забезпечує зменшення вмісту ДМС на 40...45 %, підвищує вміст SO<sub>2</sub> приблизно на 10 % та збалансування їхньої кількості з основними побічними продуктами бродіння.

8. Проведено виробничі випробування технології пива зі збалансованою кількістю сірковмісних речовин. Розроблено та затверджено технологічну інструкцію на виробництво пива з раціональними режимами використання гороху і підвищеної кількості мальтозної патоки. Розрахунковий економічний ефект становить 146 тис. грн на 1 млн дал пива.

### **СПИСОК ОСНОВНИХ РОБІТ, ОПУБЛІКОВАНИХ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ**

1. Хіврич Б.І. Вплив заміників солоду на концентрацію основних смакових і ароматичних компонентів пива / Б.І. Хіврич, Б.В. Роздобудько // Харчова наука і технологія. – 2013. – № 3(24). – С. 31 – 34.
2. Роздобудько Б.В. Технологічні і технічні аспекти утворення диметилсульфіду в пиві / Б.В. Роздобудько, Б.І. Хіврич // Наукові праці НУХТ. – 2014. – Т. 20. – №1. – С. 181 – 187.
3. Роздобудько Б.В. Перспективныиспользованиягороха в технологии пива / Б.В. Роздобудько, Б.И. Хиврич // ModernScience –Modernívéda. – 2014. – №3. – С. 44 – 51. (*Чеська Республіка, наукометричні бази Східноєвропейського центру фундаментальних досліджень, EECFR*).
4. Роздобудько Б.В. Влияние режимов солодоращения на содержание диметилсульфида и его предшественников в солоде / Б. В. Роздобудько, Б.И. Хиврич, Е.В. Шульга // Пиво и напитки. – 2014. – №4. – С. 50 – 53. (*Російська Федерація*).
5. Хіврич Б.І. Фактори, що впливають на синтез діоксиду сірки в пиві / Б.І. Хіврич, Б.В. Роздобудько // Харчова промисловість. – 2014. – №15. – С. 67 – 71.
6. Роздобудько Б.В. Преобразованиепредшественников диметилсульфида в зависимости от способовзатиарания и режимовкипячения сусла с хмелем/ Б.В. Роздобудько, Б.И. Хиврич// ModernScience – Moderní véda. – 2014. – №2. – С. 156 – 162. (*Чеська Республіка, наукометричні бази Східноєвропейського центру фундаментальних досліджень, EECFR*).
7. Дослідження впливу якості сировини і технологічних процесів на найважливіші смакові компоненти пива / Б. Хіврич, Б. Роздобудько, В. Шкуренко, Н. Луговська // Тези доповідей міжнар. наукової конф. молодих вчених, аспірантів і студентів «Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у ХХІ столітті», 11 – 12 квітня 2011 р. – К.: НУХТ, 2011 р. – С. 118.
8. Хіврич Б.І. Закономірності накопичення диметилсульфіду в пиві / Б.І. Хіврич, Б.В. Роздобудько // Тези доповідей міжнар. наукової конф. молодих вчених, аспірантів і студентів «Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у ХХІ столітті», 2 – 3 квітня 2012 р. – К. : НУХТ, 2012 р. – Ч. 1. – С. 181 – 182.

9. Кошова В.М. Порівняльна характеристика некрохмальних поліцукрів деяких зернових культур та солоду з них / В.М. Кошова, Б.І. Хіврич, Б.В. Роздобудько // *Żbiornaraportownaukowych «Naukadzis: teoria, metodologia, praktyka»*. – 2013. – S. 28 – 33. (*Польська Республіка*).

10. Роздобудько Б.В. Вплив сірковмісних сполук на органолептичні показники і безпечність пива / Б.В. Роздобудько, Б.І. Хіврич // Тези доповідей міжнар. науково-практичної конф. «Управління якістю в освіті та промисловості: досвід, проблеми та перспективи», 22 – 24 травня 2013 р. – Л. : Львівська політехніка, 2013 р. – С. 203 – 205.

11. Роздобудько Б.В. Вплив раси дріжджів на вміст діоксиду сірки в пиві / Б.В. Роздобудько, Б.І. Хіврич // Тези доповідей міжнар. наукової конф. молодих вчених, аспірантів і студентів «Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у ХХІ столітті», 15 – 16 квітня 2013 р. – К. : НУХТ, 2013 р. – Ч. 1. – С. 302 – 303.

12. Роздобудько Б.В. Дослідження процесів синтезу попередників диметилсульфіду в солоді ячменю і гороху / Роздобудько Б.В., Кійко О.С., Хіврич Б.І. // Тези доповідей міжнар. наукової конф. молодих вчених, аспірантів і студентів «Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у ХХІ столітті», 10–11 квітня 2014 р. – К. : НУХТ, 2014 р. – Ч.1. – С. 368 – 369.

*Додаткові публікації:*

13. Хіврич Б.І. Спектр веществ, формирующих вкус и аромат пива (часть 1) / Б.І. Хіврич, Б.В. Роздобудько // Напитки. Технологии и инновации. – 2012. – №9. – С. 59 – 61.

14. Хіврич Б.І. Спектр веществ, формирующих вкус и аромат пива (часть 2) / Б.І. Хіврич, Б.В. Роздобудько // Напитки. Технологии и инновации. – 2012. – №10. – С. 60 – 62.

15. Хіврич Б.І. Вещества, определяющие вкусовую стабильность пива / Б.І. Хіврич, Б.В. Роздобудько // Напитки. Технологии и инновации. – 2013. – №9. – С. 62 – 64.

16. Дослідження впливу штаму дріжджів на вміст віцінальних дикетонів у пиві / Хіврич Б., Роздобудько Б., Шкуренко В., Луговська Н. // Тези доповідей міжнар. наукової конф. молодих вчених, аспірантів і студентів «Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у ХХІ столітті» 11 – 12 квітня 2011 р. – К.: НУХТ, 2011 р. – С. 118 – 119.

17. Роздобудько Б.В. Про використання гороху та солоду з нього у виробництві пива / Роздобудько Б.В., Кісіль Т.В., Хіврич Б.І. // Тези доповідей міжнар. наукової конф. молодих вчених, аспірантів і студентів «Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у ХХІ столітті», 10 – 11 квітня 2014 р. – К. : НУХТ, 2014 р. – Ч.1. – С. 370 – 371.

*Особистий внесок:* проведення літературного пошуку і теоретичний аналіз джерел інформації [1-6, 8-11, 13-16], підготовка об'єктів дослідження, проведення експериментів та обробка одержаних результатів [1, 2-6, 8-12, 16, 17], підготовка та оформлення матеріалів до публікації [1-17].

Основні результати досліджень повністю відображені в наведених публікаціях.

### АНОТАЦІЯ

**Роздобудько Б.В. Технологія пива зі збалансованою кількістю сірковмісних речовин. – На правах рукопису.**

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.18.05 – технологія цукристих речовин та продуктів бродіння. – Національний університет харчових технологій МОН України, Київ, 2015.

Дисертація присвячена удосконаленню технології пива зі збалансованою кількістю сірковмісних речовин.

Встановлено закономірності синтезу попередників диметилсульфіду (ДМС-П), залежно від температурних режимів виробництва ячмінного і горохового солодів. Описано результати досліджень кількісного перетворення ДМС-Пв технології пивного суслу, обґрунтовано раціональні режими проведення процесів затирання і кип'ятіння суслу з хмелем. Вивчено вплив поширених в пивоварінні рас дріжджів, а також фізико-хімічних показників якості початкового суслу на синтез діоксиду сірки ( $\text{SO}_2$ ) і диметилсульфіду (ДМС) в пиві. Запропоновано умови застосування рас дріжджів, які забезпечують синтез необхідної кількості  $\text{SO}_2$  і ДМС в пиві. Доведено доцільність використання до 10 % гороху або солоду з нього в технології пива для корегування кількісного і якісного складу амінного азоту, інтенсифікування процесів зброджування суслу та розширення асортименту напоїв. Визначено, що заміна ячмінного солоду в кількості 35 % мальтозною патокою і горохом – 5...7% або гороховим солодом – 3...5 % забезпечує зменшення вмісту ДМС на 40...45 %, підвищує вміст  $\text{SO}_2$  на 10 % та збалансування їх кількості з основними побічними продуктами бродіння.

Проведено виробничі випробування технології пива зі збалансованою кількістю сірковмісних речовин. Розроблено та затверджено технологічну інструкцію на виробництво пива з раціональними режимами використання гороху і підвищеної кількості мальтозної патоки.

**Ключові слова:** технологія пива, диметилсульфід, діоксид сірки, горох, гороховий солод, бродіння, аміний азот.

### АННОТАЦИЯ

**Роздобудько Б.В. Технология пива со сбалансированным количеством серосодержащих веществ. – На правах рукописи.**

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.18.05 – технология сахаристых веществ и продуктов брожения. – Национальный университет пищевых технологий МОН Украины, Киев, 2015.

Диссертация посвящена усовершенствованию технологии пива со сбалансированным количеством основных серосодержащих веществ. На основе проведенных экспериментальных исследований установлено, что при соблюдении установленных оптимальных условий получения солода, приготовления и сбраживания пивного суслу с использованием гороха или горохового солода и повышенного количества несоложенного сырья можно

получить пиво с необходимым содержанием основных серосодержащих веществ и побочных продуктов брожения.

Установлены закономерности синтеза предшественников диметилсульфида (ДМС-П), в зависимости от температурных режимов производства ячменного и горохового солода. Доказано, что при проращивании гороха синтезируется примерно на 50% меньше ДМС-П, по сравнению с ячменем.

Подтверждено существенное влияние на биохимические процессы синтеза основного предшественника ДМС – S-метилметионина температуры проращивания, а также сорта и почвенно-климатических условий выращивания ячменя, а на количество образованного ДМС-П и значение тиобарбитурового числа (ТБЧ) в готовом солоде – температуры термообработки. Установлено, что рекомендованные показатели качества для светлого солода по содержанию ДМС-П (менее 5 мг/кг) и значением ТБЧ (менее 14 ед.) Можно обеспечить при температуре проращивания зерна 13...15 °С и температуры термообработки солода 84,5... 86,5 °С в течение 4,5 ч.

Определено, что при повышенном количестве ДМС-П в солоде целесообразно затирание зернопродуктов осуществлять отварочным способом, что позволит уменьшить ДМС-П в фильтрованном сусле почти на 20% по сравнению с настойным способом затирки. В результате моделирования тепловых процессов кипячения и осветления сусла и на основании установленных закономерностей преобразования ДМС-П в диметилсульфид (ДМС) обосновано, что применение систем кипячением сусла с повышенным избыточным давлением обеспечивает преобразование ДМС-П и удаления ДМС в 1,3...1,8 раз интенсивнее по сравнению с системами кипячением при атмосферном давлении.

Установлены закономерности синтеза диоксида серы ( $\text{SO}_2$ ) в зависимости от массовой доли сухих веществ, концентрации кислорода и дрожжей в начальном сусле при сбраживании его распространенными на пивоваренных предприятиях расами дрожжей. Определено, что лучшие показатели по содержанию  $\text{SO}_2$  в пиве можно получить при массовой доле сухих веществ 11...16%, концентрации дрожжей 10...25 млн/см<sup>3</sup>, кислорода 4...12 мг/дм<sup>3</sup> в начальном сусле и применении семенных дрожжей из чистой культуры рас Rh, 124, 169. Применение дрожжей расы Rh обеспечивает уменьшение содержания ДМС в пиве примерно на 20% по сравнению с расой 163.

Доказана целесообразность использования гороха или солода из него в технологии пива для корректировки количественного и качественного состава аминного азота и интенсифицирования процессов сбраживания сусла. Выявлено, что использование в технологии пива гороха или горохового солода улучшает количественный и качественный состав азотистых веществ сусла по сравнению с ячменной. Показано, что в белках гороха содержится на 5%, а в белках горохового солода на 6% больше аминокислот, которые повышают интенсивность развития дрожжей, а также на 6 и 10% больше аминокислот, которые существенно влияют на формирование вкуса и аромата пива по сравнению с ячменным солодом. Замена ячменного солода в технологии пива до 10% горохом или гороховым солодом позволяет повысить содержание аминного азота до 28%.

Доказана эффективность использования гороха или горохового солода в технологии пива при повышенном количестве несоложенного сырья. Замена ячменного солода в количестве 35 % мальтозной патокой и горохом – 5...7 % или гороховым солодом – 3...5% обеспечивает уменьшение содержания ДМС на 40...45%, повышает содержание SO<sub>2</sub> примерно на 10% и сбалансирования их количества с основными побочными продуктами брожения.

Проведены производственные испытания технологии пива со сбалансированным количеством серосодержащих веществ. Разработана и утверждена технологическая инструкция на производство пива с рациональными режимами использования гороха и повышенного количества мальтозной патоки.

**Ключевые слова:** технология пива, диметилсульфид, диоксид серы, горох, гороховый солод, брожения, аминный азот.

## SUMMARY

**Rozdobud'ko B.V. Technology of Beer with Balanced Amount of Sulphur-Containing Substances. – Manuscript.**

The thesis is presented to acquire the scientific degree of Candidate of Technical Sciences in specialty 05.18.05 – technology of sugary substances and fermentation products. – National University of Food technologies, Ministry of Education and Science of Ukraine, Kyiv, 2015.

The thesis dedicated to the improvement of technology of beer with balanced amount of Sulphur-containing substances.

The author had set up some consequences of synthesis of dimethylsulphide-predecessors (DMS-P) depending on temperature regimes of production of barley and pea malt. There were described the results of estimation of quantitative transformation of DMS-P in beer technologies, and grounded the rational regimes for the processes of rubbing and boiling the beer wort with hop. We also studied the influence of yeast races that are wide – spread in brewery, and the physical and chemical indices of initial wort quality in synthesis of sulphur dioxide (SO<sub>2</sub>) and dimethylsulphide (DMS) in beer. The author had proposed the conditions of using the yeast races, which provide the synthesis of the necessary amount of SO<sub>2</sub> and DMS in beer. There was proved the expedience of wing ca 10 percent of peas or pea malt in brewery to correct the quantitative and qualitative composition of Amin nitrogen, to intensify the processes of wort fermentation and thenceforth to enlarge the assortment of drinks. We have defined that the replacement of barley malt in amount of 35 % with maltase treacle and peas (5...7 %) or pea malt (3...5%) would decrease the amount of DMS by 40...45 %, increase the content of SO<sub>2</sub> by 10 %, and balance their total amount with main secondary products of fermentation.

The author had conducted the industrial trials of the proposed technology of beer, and thereafter worked out and confirmed the technological instruction for production of beer with the rational regimes of using peas and enlarged amount of maltase treacle.

**Keywords:** technology of beer, dimethylsulphide, sulphur dioxide, peas, pea malt, fermentation, amin nitrogen.

Підп. до друку 26.12.2014. Наклад 130 пр. Зам. №47-14  
НУХТ. 01601, Київ-33, вул. Володимирська, 68  
Свідоцтво про реєстрацію серія ДК № 1786 від 18.05.04 р.