

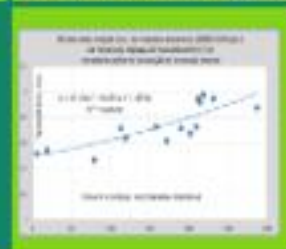
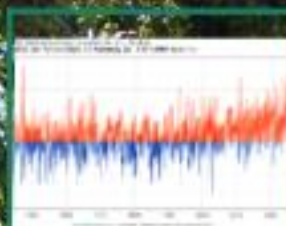


НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ АГРАРНИХ НАУК УКРАЇНИ

ІНСТИТУТ СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА ПОЛІССЯ



**КОНЦЕПЦІЯ
ВИКОРИСТАННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ
ЗБАГАЧЕННЯ ГЕНЕТИЧНОГО РІЗНОМАНІТТЯ
ХМЕЛЮ ЗВИЧАЙНОГО (*HUMULUS LUPULUS* L.)
ЗА ВИКОРИСТАННЯ
СЕЛЕКЦІЙНО-ГЕНЕТИЧНИХ ТА
БІОТЕХНОЛОГІЧНИХ МЕТОДІВ**



Житомир, 2025

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ АГРАРНИХ НАУК УКРАЇНИ

ІНСТИТУТ СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА ПОЛІССЯ

**КОНЦЕПЦІЯ
ВИКОРИСТАННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ЗБАГАЧЕННЯ
ГЕНЕТИЧНОГО РІЗНОМАНІТТЯ
ХМЕЛЮ ЗВИЧАЙНОГО (*HUMULUS LUPULUS* L.)
ЗА ВИКОРИСТАННЯ СЕЛЕКЦІЙНО-ГЕНЕТИЧНИХ І
БІОТЕХНОЛОГІЧНИХ МЕТОДІВ**

(Науково-методичні рекомендації)

УДК: 633.791: 631.52.527: 631.526.32
К64

Авторський колектив:

Штанько І.П., к.с.-г.н., Рижук С.М., д.с.-г.н., Венгер О.В., к.с.-г.н.,
Штанько Т.А., Дзядович О.Л., Федорчук Н.А., Шевчук О.П.

Рецензенти: **Ключевич М.М.**, д.с.-г.н., професор, завідувач кафедри
здоров'я природи та якості харчових ресурсів факультету
гірничої справи, природокористування та будівництва
Державного університету “Житомирська політехніка”

Ільїнський Ю.М., к.с.-г.н., старший викладач
агрономічного факультету Житомирського
агротехнологічного коледжу

*Друкується за рішенням вченої ради Інституту
сільського господарства Полісся НААН
України, протокол №4 від 03 липня 2025 року*

К64 Концепція використання закономірностей збагачення генетичного
різноманіття хмелю звичайного (*Humulus lupulus* L.) за використання
селекційно-генетичних і біотехнологічних методів. *Науково-методичні
рекомендації*. Штанько І.П., Рижук С.М., Венгер О.В., Штанько Т.А.,
Дзядович О.Л., Федорчук Н.А., Шевчук О.П. – Житомир: ІСГП НААН.
Житомир: ТОВ «Видавничий дім “Бук-Друк”», 2025., 2025. 84 с.

ISBN 978-617-560-283-6

ISBN 978-617-560-283-6

© ІСГП НААН, 2025

© Штанько І.П., Рижук С.М., Венгер О.В., Штанько
Т.А., Дзядович О.Л., Федорчук Н.А., Шевчук О.П.,
2025

© ТОВ «Видавничий дім “Бук-Друк”», видання, 2025

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1 Аналіз сучасних аспектів розвитку хмелярства та селекції хмелю звичайного в умовах змін кліматичних чинників зони Полісся України....	8
1.1 Закономірності змін кліматичних чинників в хмелярській зоні України	13
1.2 Аналіз залежностей впливу змін кліматичних чинників на прояв господарських ознак генотипів селекційної колекції хмелю звичайного	16
1.3 Сучасний стан хмелярства в світі, сортові особливості формування насаджень, селекційні тенденції на ринку хмелю	18
2 Напрями сучасних селекційних пошуків та закономірності застосування методів і прийомів у селекції хмелю звичайного	32
3 Концептуальні науково–методичні підходи до отримання цінних за якісними і кількісними ознаками генотипів хмелю для збагачення генетичного різноманіття хмелю звичайного (<i>Humulus lupulus</i> L.) за використання селекційно-генетичних і біотехнологічних методів	49
3.1 Відбір вихідних форм, створення нового гібридного матеріалу ..	50
3.2 Спостереження та обліки в дослідях з визначення стійкості рослин хмелю до основних біотичних патогенів	51
3.3 Облік ураження сортів хмелю збудниками хвороб і пошкодження шкідниками	52
3.4 Оцінка вихідного селекційного матеріалу, отриманого в умовах <i>in vitro</i>	56
3.5 Формування інформаційних баз даних, їх аналіз	56
3.6 Закономірності використання узагальнених оцінок вихідного матеріалу хмелю в системі комплексної адаптації рослин. Формування каталогу цінних зразків робочої селекційної колекції (електронна база ACCESS)	63
3.7 Побудова моделей та селекційних програм для створення вихідного селекційного матеріалу	67
ПЕРЕЛІК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ.....	71-79

ВСТУП

Хмелярство є важливою галуззю сільськогосподарського виробництва. Завдяки широкому спектру речовин, які накопичуються в шишках хмелю, біля 98% хмелесировини використовується для виробництва пива. Лише незначна частина хмелепродуктів використовуються у парфумерній, фармацевтичній і харчовій промисловості.

Для вирощування хмелю Україна має вигідне географічне розташування та сприятливі ґрунтово-кліматичні умови на Поліссі та в Лісостепу, що дозволяє вирощувати якісні ґатунки ароматичного хмелю, який завжди користувався значним попитом на рівні з кращими світовими аналогами.

Зважаючи на ситуацію на світових ринках хмелесировини, а також стан української економіки, яка функціонує в умовах воєнної агресії російської федерації, спеціалісти моделюють декілька напрямків розвитку в післявоєнний період для українського хмелярства, зокрема це: забезпечення потреб невеликих пивоварних компаній та крафтового пивоваріння на внутрішньому ринку за рахунок збереження площ під ароматичними сортами; поступове нарощування експортного потенціалу унікальних вітчизняних ароматичних сортів; збільшення частки гірких сортів української селекції та сортів закордонної селекції для забезпечення виробництва екстрактів; формування площ сортів з унікальними ознаками (ароматичний профіль, уміст ксантогумолу та ін.) для розширення способів використання хмелю в крафтовому сегменті пивоваріння, інших галузях промисловості, зокрема, у фармацевтичній галузі.

Недостатня реалізація потенційних біологічних можливостей реєстрованих сортів в умовах глобальних змін клімату та технологічного стану реального виробництва в Україні викликає необхідність удосконалення селекційних технологій для створення нових генотипів хмелю, які повинні не тільки відповідати змінам ринкових запитів підприємств пивоварної промисловості, сільськогосподарських виробників, а й бути максимально адаптованими до змін чинників середовища вирощування, бути більш стійкими до основних хвороб та шкідників.

Нині близько десятка країн світу працюють з науковими програмами селекції хмелю, в яких використовують переважно гібридизацію, індивідуальний відбір, поліплоїдію та інші методи мутаційного впливу на геном. Решта країн покладаються на впровадження та адаптацію успішних сортів хмелю з цих програм. В Україні селекційні дослідження тривають вже більше 100 років і нині над цією науковою проблемою продовжує працювати єдиний в державі науковий заклад – Інститут сільського господарства Полісся НААН України. Рослинним матеріалом для досліджень є зразки хмелю різного еколого–географічного та селекційного походження, які представлені в робочій селекційній колекції.

Основний акцент в дослідженнях було зосереджено на підборі батьківських пар при гібридизації та вивченні процесів адаптації рослин з визначенням параметрів модифікаційної мінливості генотипів в змінних умовах середовища вирощування. Були визначені особливості використання методів селекції на сучасному етапі та встановлені закономірності побудови сучасних схем селекційного процесу, які мають свої особливості і модифікації в залежності від цілей.

Впродовж тривалих наукових пошуків було розроблено та адаптовано до умов пункту дослідження (м. Житомир) нові методики, тести і методи оцінки селекційного матеріалу за морфологічними ознаками, які покладено в основу концепції для підвищення ефективності селекційних технологій створення нових генотипів хмелю звичайного з ознаками, які відповідають параметрам планових сортових моделей.

Запропоновані концептуальні підходи в селекції хмелю, які викладені у вигляді науково-методичних рекомендацій, дозволять науковцям та селекціонерам, біотехнологам, фахівцям ЗВО зорієнтуватися в сучасних актуальних проблемах хмелярства, сортової політики та селекційних підходах до розширення генофонду хмелю.

Автори сподіваються, що дане видання буде корисним також більш широкому загалу читачів.

1 АНАЛІЗ СУЧАСНИХ АСПЕКТІВ РОЗВИТКУ ХМЕЛЯРСТВА ТА СЕЛЕКЦІЇ ХМЕЛЮ ЗВИЧАЙНОГО В УМОВАХ ЗМІН КЛІМАТИЧНИХ ЧИННИКІВ ЗОНИ ПОЛІССЯ УКРАЇНИ

Селекція хмелю — це процес, за допомогою якого селекціонери розробляють нові сорти і форми (клони) хмелю. Багато сил потрібно для постійної та багаторічної надзвичайно детальної роботи з вивчення біологічних особливостей культури, генотипів та фенотипів хмелю, проведення схрещувань та аналітичної роботи, перш ніж новостворена форма може отримати статус претендента на сорт. В ці пошуки також входять проблеми з впливом шкідників та патогенних мікроорганізмів для формування стійкості рослин, зміна ринкових умов, мінімізація екологічного впливу на виробництво хмелю. Постійні зміни є нормальним явищем, тому селекціонери хмелю докладають постійних зусиль, щоб удосконалити сортовий спектр та замінювати на нові наявні в даний час елітні сорти. Щоб задовольнити галузь хмелю в майбутньому та розширити спектр ароматів хмелю, доступних пивоварам, є єдиний шлях — це виведення абсолютно нових та генетично відмінних сортів хмелю з бажаними ознаками [1].

Переважає більшість дослідників вважають, що вирощування хмелю розпочалося у Центральній Європі в Богемії (нині частина Чехії), Словенії та Баварії, Німеччині, ще у VIII та IX століттях [2, 3]. Зустрічаються дані про те, що хміль вирощували на території Київської Русі ще в VI–VII ст.. і використовували його для виготовлення традиційного слов'янського медового напою бродильного типу (пива) [4, 5].

Згодом вирощування хмелю поширилося на інші континенти, такі як Північна Америка та Австралія, оскільки європейці мігруючи запроваджували його вирощування. Швидше за все, первинні сортоклони хмелю були не продуктом навмисних селекційних зусиль, а ретельним відбором хмелевиробниками дикого хмелю, поки вони не знайшли сорти, які відповідали місцевим умовам вирощування [6, 7]. З часом декілька вибраних генотипів стали переважати на площах, оскільки вони мали характеристики, які найбільше шукали місцеві пивовари та виробники. Зрештою, хміль став відомим як типи, названі на честь місця, де вони були виділені та вирощувались. Зокрема, Персіваль (1901) [8] описує стародавні англійські місцеві хмелю сорти, такі як Farnham, Canterbury Whitebine. Така ж практика існувала і в інших хмелярських країнах світу, де вирощувались регіональні клони: Saaz в Чехії, Hallertau і Tettnang в Німеччині. Після тривалого клонового відбору у виробництві не було великого різноманіття. До 1900 року близько 20 клонів були відомі в Англії і не менше 60 описаних в континентальній Європі [7, 9].

Поруч з місцевою адаптацією кращих форм, існував добір форм (клонів) з природними мутаціями або ненавмисно отриманих сіянців при спонтанному запиленні вирощуваних жіночих форм. Так виникли сортоклони Golding, Fuggle в Англії. Традиційні європейські сорти, які потрапили у США, стали основою

для клонів, які виникли шляхом природного схрещування з місцевими дикими чоловічими формами і були введені для виробництва компанією Массачусетс в 1629 році [9].

На території сучасної України розвиток промислового хмелярства припадає на 60–ті роки XIX століття, в період переселення чехів на волинські землі. Якщо до того часу на хмільниках вирощували виключно місцеві адаптовані форми, відібрані із дикого хмелю, то з цього періоду почали завозити кращі клони із Англії, Німеччини, Чехії [5, 10].

Систематичні наукові програми селекції хмелю розпочались наприкінці XIX століття, щоб замінити просту місцеву (народну) селекційну практику хмелярів. Найперші відомі зусилля з організованої клонової селекції хмелю були розпочаті в Німеччині в 1894 році. А в 1898, 1904 та 1908 роках Міністерство сільського господарства США (USDA) започатковувало свою програму селекції хмелю, яка мала певні перспективи, але врешті-решт була закрита через скорочення федерального бюджету. В Англії початок програми селекції хмелю відноситься до 1904 року в Уай Коледжі Кенті, де протягом кількох коротких років Сальмоном було вироблено багато ранніх гірких сортів. Ця селекційна програма Сальмона в Уай Коледжі заклала основи створення сортів шляхом ціле направленої гібридизації між європейськими жіночими і чоловічими формами з американського континенту. Інші програми наслідували методи і процедури гібридизації, які він використовував, а також створені ним англійські сорти стали генетичною основою для багатьох інших сортів у світі [5].

В 1931 році USDA все ж організувала програму досліджень хмелю в штаті Орегон, яка діє і нині. На початку другого десятиліття XX століття були започатковані селекційні хмелярські програми в Данії, Швеції, Чехії, Японії та Німеччині. Так, в 1911 році, програма була розпочата в лабораторії Carlsberg в Данії. На острові Хоккайдо в Японії в 1912 році була розчата програма Sapporo Brewery. У 1924 році, планова селекція хмелю була започаткована в Жатці в Чехії, яка стала продовженням програм Освальда, які були пов'язані з клоновим доббором серед різновидів Zaaser.

Ще одна спеціалізована селекційна програма була розпочата в 1926 році в Hulle в Німеччині і була направлена на створення сортів, стійких до несправжньої борошнистої роси в регіоні Hallertau. З кінця Другої світової війни, були розпочаті державні селекційні хмелярські програми в Словенії, Польщі, Китаї, Індії та Новій Зеландії. Крім того, приватні пивоварні компанії започаткували програми в Японії, Австралії, Південній Африці, а також декілька приватних програм в США [3].

На теренах України дослідна селекційна справа з хмелем була започаткована у 1906 році, коли на Волині (Дубно та Житомир) були закладені перші дослідні плантації та Засухіним І.І. було розпочато виведення нових сортів. В 1914 році ним же в Житомирі було організовано дослідну станцію з хмелярства, яка в 1924 році була реорганізована у Волинську дослідну станцію хмелярства. А селекційна робота була започаткована в 1926 році. Звіти того

періоду підтверджують організацію колекційного розсадника генетичних клонів хмелю, де на перших етапах вивчали 31 генотип місцевої народної та закордонної селекції. У тодішніх програмах досліджень найбільше уваги приділяли клоновому добору, який полягав у пошуку та виділенні рослин із цінними якісними ознаками серед місцевих форм, які культивувалися в регіоні та, згодом, гібридизації з використанням жіночих форм різного географічного походження [11, 12].

Нині як приватні, так і державні програми розведення хмелю розміщені по всьому світу у ключових регіонах вирощування хмелю. Хміль дуже чутливий до світлового дня та місцевих умов ґрунту і, як наслідок, сорти вирощуються переважно лише в тих регіонах де були створені. Хоча обмін сортами між виробниками в різних країнах практикується протягом століть, програми хоп поліпшення необхідно в країні, в якій різні би виріс.

Генетичний матеріал хмелю, який нині доступний селекціонерам хмелю, має давню і всесвітню історію. Вважається, що хміль походить з Китаю. Згідно з нещодавніми аналізами ДНК, приблизно 1,05—1,27 мільйона років тому європейський тип відійшов від оригінальної китайської групи і розповсюдився в Європі. Можливо, приблизно 460—690 тис. років тому, північноамериканська група відійшла від азіатської групи. Нині значна частина світової різноманітності хмелю (близько 500 форм, сортів та клонів) зібрана в генетичних колекціях селекційних установ та зберігається в умовах *in vivo*.

Хміль європейський або звичайний *Humulus lupulus* L., який має найбільше виробниче значення, є представником роду *Humulus* родини *Cannabaceae* порядку *Urticales* підкласу *Hamamelididae* класу *Magnoliopsida* відділу *Magnoliophyta*. До роду *Humulus* відносяться також хміль американський *H. americanus* Rydb., хміль серцеподібний *H. cordifolius* Mig. та хміль японський *H. japonicas* Sieb. et. Zucc. Вид *H. lupulus* L. має п'ять ботанічних підвидів: *var. cordifolius* (головним чином розповсюджений в Японії), *var. pubescens* та *var. neomexicanus* (більш розповсюджені в Америці), *var. lupuloides* (розповсюджений переважно в Європі), *var. lupulus* (найбільш розповсюджений в Європі та Північній Америці) [13–16].

Культивований хміль є дводомним. Це означає, що чоловічі та жіночі репродуктивні (генеративні) органи знаходяться на окремих рослинах. Хміль має один набір з $2n=20$ хромосом. Якщо рослина має пару хромосом XY, то вона чоловічої статі; якщо у нього є пара хромосом XX, це жіноча форма. Існують декілька типів гермафродитних форм хмелю з наявністю X та Y хромосом, а також штучно отримані тетраплоїдні і триплоїдні генотипи [15, 16].

Для комерційного вирощування використовуються лише жіночі рослини хмелю. Жіночі суцвіття хмелю звичайного утворюють так звану шишку, котра складається з 20-60 зібраних на веретенці в колос дрібних квіток. Шишки зібрані в грона по 40-50 штук в кожному. В нижній частині приквітників та на веретенці шишки, утворюються лупулінові залозки. Чоловічі суцвіття являють собою сильно розгалужену волоть, на якій зібрані чоловічі квітки. У чоловічих квіток на чашолистках оцвітинах та на пиляках в невеликій кількості також

утворюються лупулінові залозки. Лупулінові залозки являють собою залозисті багатоклітинні волоски, утворені з клітин епідермісу. У процесі життєдіяльності хмелю у лупулінових залозках синтезуються смоли та ефірні олії, що виділяються під кутикулу [17].

Ефективна селекція рослин у перехресно запилюваних видах, таких як хміль, частково покладається на розумінні родоводів, спорідненості між особинами. Інбридинг, схрещування споріднених особин, може виявити негативні риси, які можуть призвести до агрономічно неприйнятних ознак. Оскільки пивовари надають перевагу сортам ароматичного хмелю, які мають гарну органолептичну оцінку, селекціонерам часто доводиться працювати в вузьких генетичних межах при розробці нових сортів. Небезпека цього підходу полягає в тому, що сорти можуть мати небажані ознаки через рецесивну дію генів, що, в свою чергу може знижувати стійкість до спалахів хвороб або шкідників, посух і т. д. Щоб мінімізувати такі можливі негативні результати, селекціонери хмелю оцінюють генетичне різноманіття серед генотипів у своїх колекціях, досліджуючи родоводи і зміни в морфологічних ознаках рослин та використовуючи сучасні засоби молекулярної біології, такі як генетичні маркери.

Незважаючи на те, що описи родоводів є основою для оцінки спорідненості між генотипами хмелю, ця інформація не завжди є достеменною, оскільки походження багатьох старих сортів хмелю невідомо напевно, особливо якщо вони мають неідентифіковані місцеві дикі рослини у своєму генетичному походженні. Крім того, деякі сорти були розроблені шляхом відкритого запилення — техніки, коли запилення відбувається природним шляхом від випадкових чоловічих форм або суміші пилку різних чоловічих клонів. Цей метод іноді успішно застосовувався для створення генетично різноманітних нащадків, таких як *Galena*, але відсутність спадкової та біологічної інформації про чоловічу форму може ускладнити майбутні рішення щодо селекційного відбору батьків.

Молекулярна біологія може забезпечити селекціонерів потужними інструментами для з'ясування генетичних структур в межах наявних ліній розведення та сортів, зокрема маркерних послідовностей ДНК, які пов'язані з певною ознакою і дозволяють селекціонеру відбирати бажані характеристики набагато раніше в життєвому циклі рослини, ніж традиційні методи селекції. Незважаючи на те, що селекціонери та дослідники хмелю в даний час ще не проводять генетичних маніпуляцій, тобто конструювання введення ДНК, але вони вже використовують широкий спектр засобів генетичного аналізу, щоб зробити процес розведення більш ефективним та успішним. Ці дослідження дозволяють селекціонерам хмелю підтвердити зібрані за тривалий час записи про родовід та біологічні описи рослин, а в деяких випадках навіть пояснити спірні лінії походження, щоб мінімізувати інбридинг та максимізувати потенційний гетерозис.

Селекція хмелю — дуже тривалий експериментальний процес, який пов'язаний зі змінами вимог до об'єкта досліджень, його ознак продуктивності

та якості. В багатьох селекційних програмах світу (Великобританія, Німеччина, США, Чехія, Словенія, Нова Зеландія, Україна та ін.) було досягнуто великого прогресу в поліпшенні сортів, їх аромату і підвищенні вмісту альфа-кислот та інших хімічних складових шишок. Нині селекційна діяльність переорієнтовується залежно до нових вимог, які пов'язані з економічними та екологічними обмеженнями, зміною вимог пивоварів, зміною уподобань споживачів пива, появою нових хвороб і шкідників, а також інтенсивної зміни клімату [3, 18]. Проблема впливу зміни клімату на виробництво та якість хмелю нині починає широко досліджуватися в найбільших хмелярських селекційних установах. Так, чеські дослідники [19] показують, що хміль буде особливо вразливим до зміни клімату. Навіть за умов помірного потепління врожаї зменшувались, а якість знизилася. Підвищення температури повітря призводить до більш раннього початку фенологічних фаз хмелю та до скороченням вегетаційного періоду. Результати з Німеччини, Чеської Республіки та Словенії, які охопили майже 90% усіх європейських регіонів вирощування хмелю, показують, що дозрівання хмелю почалося приблизно на 20 днів раніше, виробництво падає майже на 0,2 т/га/рік, а вміст альфа-кислот знизився приблизно на 0,6% при порівнянні даних з 1994 роком. Прогнозований спад врожайності хмелю та вмісту альфа-кислот, відповідно, на 4–18% та 20–31% до 2050 року, вимагає вжиття негайних заходів адаптації для стабілізації глобального сектору хмелярства. Крім того, на найближчу перспективу споживачі та виробники, які оцінюють концепції сталого розвитку галузі, все частіше керуються в прогнозах сприйняттям наслідків антропогенної зміни клімату, оцінює інструменти, доступні для селекційного дослідження різноманіття хмелю [20].

В Україні за тривалий час досліджень створений місткий банк інформативних даних вивчення генетичної колекції більш як 250 зразків хмелю. В генетичному банку досліджувались новітні сорти світової селекції, місцеві форми від закордонних хмелярських установ Чехії, Словенії, США, Польщі, Сербії та російської федерації, а також зібрані в експедиціях дикі форми флори Полісся, Закарпаття, Алтаю, Північного Кавказу. Багаторічне вивчення зразків колекції дало змогу дослідити реакцію генотипів хмелю на погодні зміни, оцінити зразки в різних умовах і виділити з досліджуваного матеріалу стабільні форми з високою врожайністю, а також комплексом інших господарських та селекційних характеристик, складено паспортні характеристики сортів, зібрано експериментальні дані біологічних і технологічних показників зразків хмелю в умовах Центрального Полісся України. Розроблено базу даних «Генофонд хмелю», яку внесено до Національного та Європейського каталогів генетичних ресурсів рослин EURISCO, зареєстровано цінні зразки генофонду рослин України, отримано авторські свідоцтва на базову та ознакову колекції генофонду [21, 22].

Ці знання про родоводи і визначені ознаки є науковою основою проведення вітчизняних селекційних програм, а виділені джерела та донори господарських цінних, маркерних ознак, вихідний мутантний матеріал

створений в культурі *in vitro* є генетичною складовою отримання численного вихідного селекційного гібридного матеріалу від схрещувань, націлених на отримання генотипів з новими цінними якісними ознаками, підвищеною адаптивністю до умов зони дослідження.

1.1 Закономірності змін кліматичних чинників в хмелярській зоні України

Українське хмелярство зосереджене в Поліській та на півночі Лісостепової зони, які вирізняються, в умовах глобальних змін кліматичних чинників, поки ще достатнім зволоженням для культури. Таке твердження виокремлює серед основних факторів впливу на рослини хмелю кількість опадів та характеристику зволоження пункту – гідротермічний коефіцієнт і характеризує його як збалансований для зони вирощування хмелю на Поліссі. Але, виходячи з оцінки параметрів погоди останніх двох десятиліть, слід відмітити тенденції до збільшення посушливості клімату в зоні вирощування культури, що матиме в подальшому значний вплив на можливість кореляції технологій вирощування культури.

Інші фактори, які мають значний вплив на ріст і розвиток рослин хмелю звичайного, в умовах глобальних змін кліматичних чинників, також мають певні негативні і позитивні тенденції впливу на врожай та якість хмелю.

Як показує аналіз кліматичних змін, зокрема щодо їх впливу на зниження якості та кількості європейського хмелю, нині ситуація вимагає негайних адаптаційних заходів [19]. Оскільки вирощування високоякісного ароматичного хмелю обмежене відносно невеликими регіонами з відповідними умовами навколишнього середовища, існує серйозний ризик того, що велика частина виробництва може постраждати від окремих хвиль спеки або екстремальних посух, які, ймовірно, посиляться в умовах глобальної зміни клімату. Фермери, які вирощують хміль, мають відреагувати на зміну клімату, перемістивши за можливості плантації з хмелем з височин в долини з більш високим рівнем ґрунтових вод, побудувати зрошувальні системи, змінивши орієнтацію та відстань між рядами, або зосередити увагу на використанні нових більш стійких та адаптованих сортів, які зможуть запропонувати селекціонери.

Для проведення аналізу кліматичних зрушень на перспективу нині широко використовуються комп'ютерні моделі глобальних змін клімату (GMC). Такі моделі існують у режимі онлайн. За допомогою цих розрахункових візуалізованих програм можливо зробити аналіз різних параметрів клімату для конкретного регіону або для конкретного пункту з певними координатами.

За результатами аналізу таких моделей, зокрема прогнозу зміни температури до 2050 року в світі, в Україні та окремих регіонах хмелярства (World Temperature Change 2050 Scenario: CCSM4 model under Scenario 8.5 by ESRI (ООН) [23], нами було визначено, що підвищення середніх температур на Поліссі в останнє десятиріччя вже вираховується більш як на 1,5°C, а до 2050 року підвищення складе близько 3,2°C (рис. 3.1).

Такі розрахункові моделі базуються на статистичних багаторічних показниках, зокрема, для оцінки змін кліматичних чинників в пункті досліджень нами було використано ще одну з таких моделей, а саме: реаналіз атмосфери ECMWF ERA5 Інституту зміни клімату (США) [24], який охоплює період із січня 1940 року до сьогодні (створено Службою зміни клімату Copernicus (C3S) у ECMWF) [25, 26].

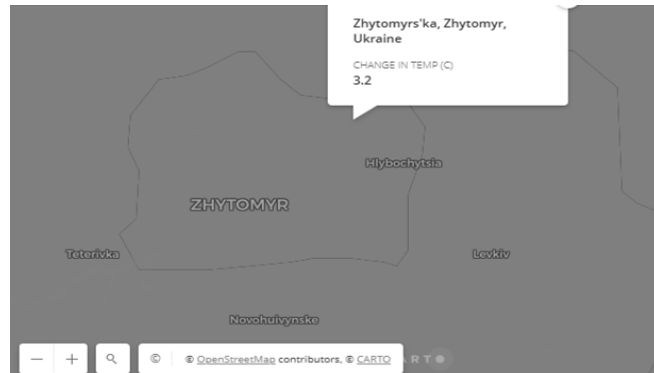


Рис. 1.1 – Прогнозний показник підвищення температури повітря в пункті досліджень (м. Житомир, Україна) у 2050 році (за даними <https://therevelator.org> [23])

Для пункту досліджень температурний режим клімату (рис. 3.2, А, В) показує, що починаючи вже з 2004 року відслідковується чітка тенденція до підвищення середньомісячних температур (А) та збільшення частоти та діапазонів критичних температур повітря (В), особливо в літній період року. Змінюється тренди змін температур, так впродовж 1940-2024 років тренд змін температур має рівняння: $y = 0,0028x + 6,1923$, при $R^2 = 0,0084$, а за останні 20 років відмічаємо інтенсивність змін збільшенням коефіцієнтів рівняння тренду - $y = 0,0133x + 15,411$, при $R^2 = 0,0143$ (рис. 3.3).

Щодо опадів, то для пункту досліджень їх загальнорічний рівень зменшується, збільшується аридність клімату, особливо відчутне зменшення в другій частині вегетаційного періоду (рис. 3.4).

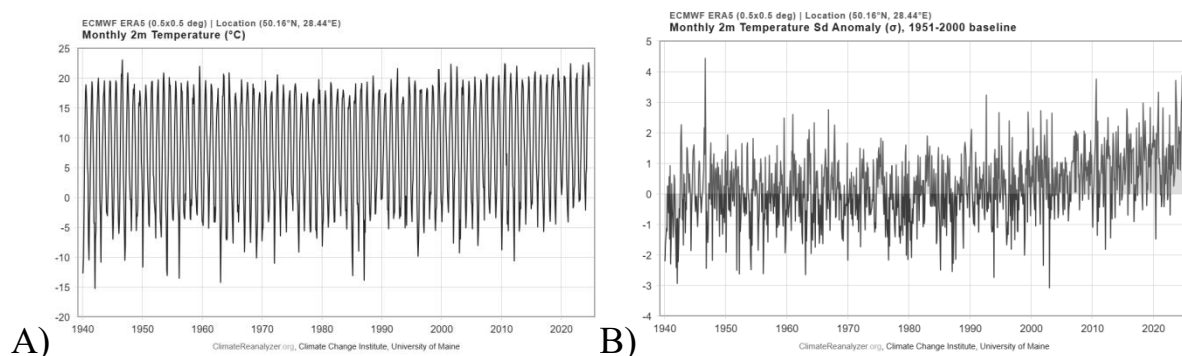


Рис. 1.2 – Динаміка середньомісячних температур повітря (А) та діапазону критичних температур (В) для п. м. Житомир (Україна) за 1940-2024 рр. (розрахунки за даними <https://www.ecmwf.int> [25])

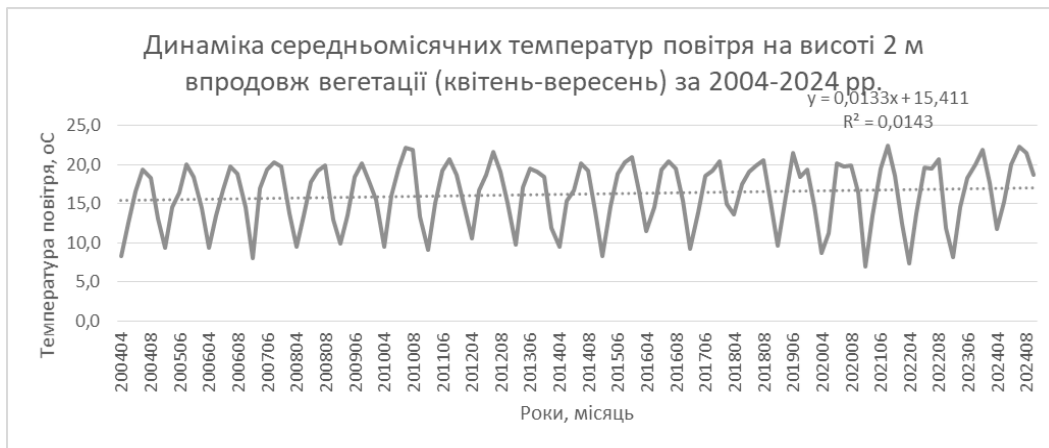


Рис. 1.3 – Динаміка середньомісячних температур повітря на висоті 2 м впродовж вегетації (квітень-вересень) за 2004-2024 роки для м. Житомир (Україна) (власні розрахунки)

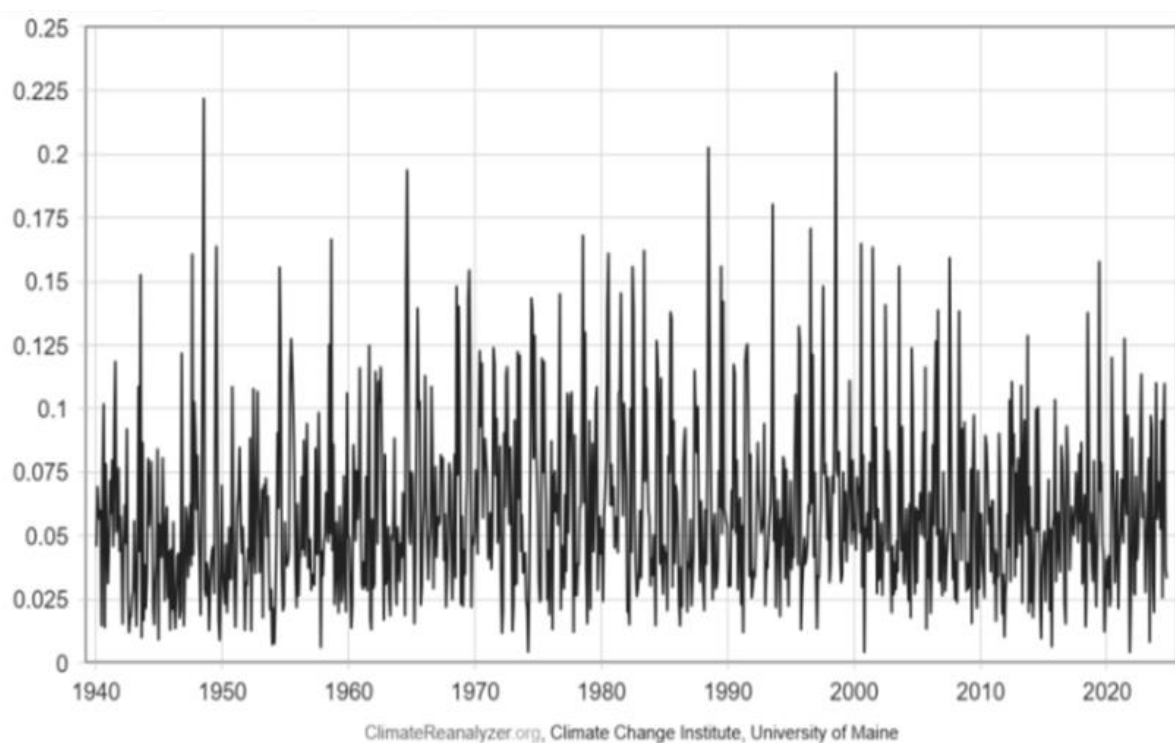


Рис. 1.4 – Динаміка кількості середньомісячних опадів у м. Житомир (Україна) за 1940-2024 рр. (розрахунки за даними <https://www.ecmwf.int> [25])

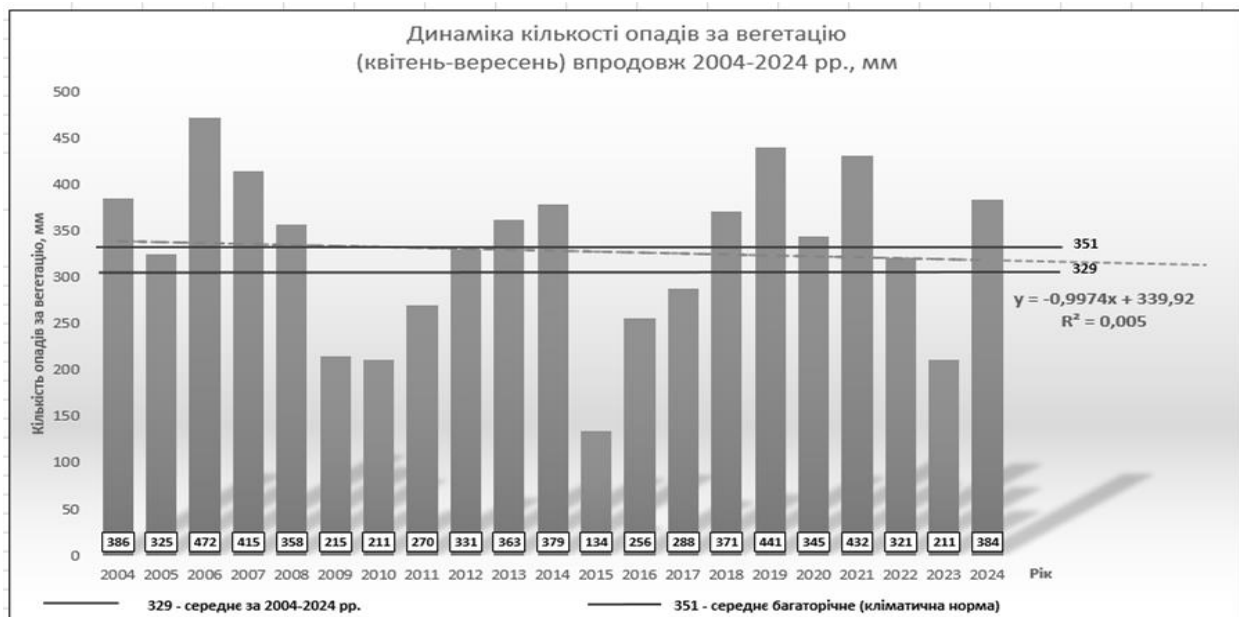


Рис. 1.5 – Динаміка кількості опадів за вегетацію (квітень-вересень) в м. Житомир (Україна) впродовж 2004-2024 рр. (власні розрахунки)

На рисунку 3.5 показана динаміка кількості опадів за вегетацію впродовж 2004-2024 років з виділенням середнього багаторічного (кліматичної норми), яке становить 351 мм за шість місяців вегетації, та середнього за останні 20 років спостережень, яке становить, відповідно – 329 мм за той же період року. Лінія тренду, яка характеризує дану статистичну вибірку ($y = -0,9974x + 339,92$, при $R^2 = 0,005$) має негативний коефіцієнт, що вказує на визначену загальну тенденцію до прогнозного зменшення кількості опадів під час вегетації.

Аналіз результатів глобальної еталонної евапотранспірації (Global-ET 0_v3), показує, що нині регіон наших досліджень має рівень випаровуваності в межах 700-1000 мм [27]. За даними авторів глобальний індекс посушливості розрахований для нашого регіону нині становить 0,6-0,8. З аналізу багаторічних кліматичних показників визначено, що випаровування в пункті досліджень підвищується до 700-1000 мм за рік, а при зменшенні кількості річних опадів до 450-550 мм визначені відповідні значні зміни гідротермічного коефіцієнту зменшуються до 0,6-0,8.

1.2 Аналіз залежностей впливу змін кліматичних чинників на прояв господарських ознак генотипів селекційної колекції хмелю звичайного

Проведений багаторічний аналіз взаємозв'язку між кількістю опадів за літні місяці та параметрами урожайності генотипів робочої селекційної колекції хмелю звичайного показав, (рис. 1.6) що при зменшенні кількості опадів урожайність зменшується, відповідно при їх збільшенні врожайність збільшується за залежністю відповідно рівняння регресії $y = 0,0017x + 1,4656$, при $R^2 = 0,6553$, що показує залежність збільшення урожайності від збільшення

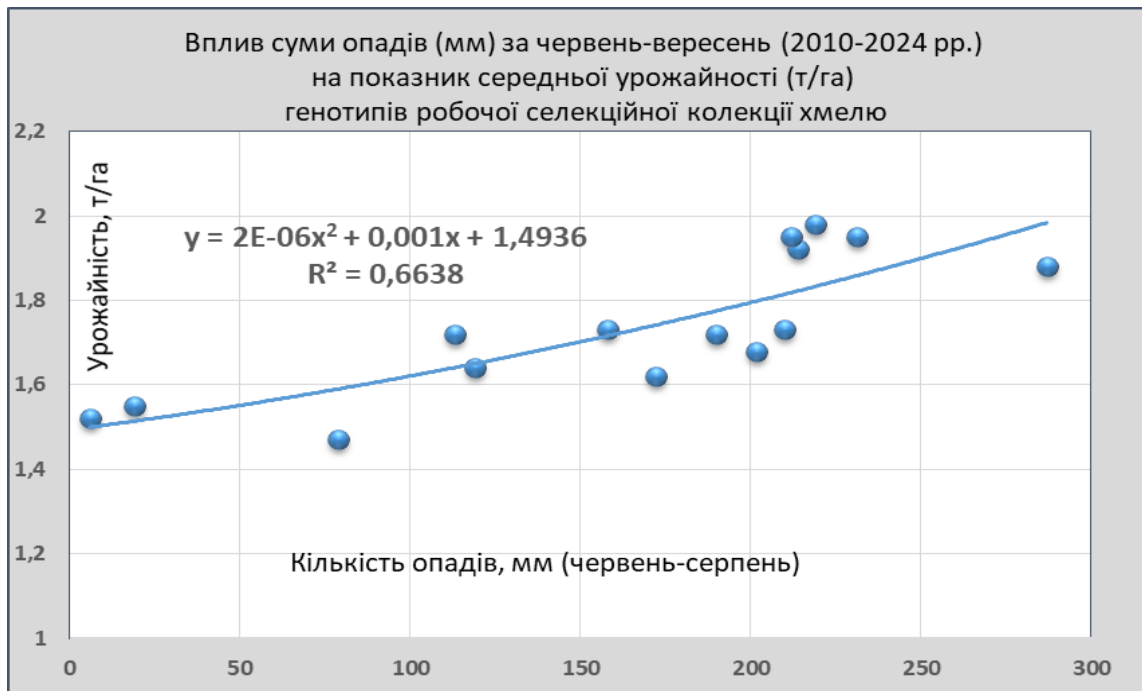


Рис. 1.6 – Залежність між сумою опадів за літній період (червень-серпень) та середньою урожайністю (т/га) генотипів робочої селекційної колекції за період 2010-2024 рр.

кількості опадів лише на 12,73%. Решта впливів – інші невраховані у вибірці фактори. При кількості опадів близькій до багаторічної норми (150-210 мм) середня урожайність вибірки генотипів коливалась в межах 1,6-1,8 т/га, при кількості опадів більше 220 мм до 250 мм за літній період показники урожайності фіксуються близькими до 2,0 т/га. За даними аналізу слід констатувати, що досліджуваний фактор є одним з визначальних не скільки за кількістю опадів, скільки за їх розподілом впродовж літніх місяців.

При аналізі взаємозв'язку змін середніх температур за літній період та умісту альфа-кислот в шишках генотипів робочої селекційної колекції (рис. 3.7) визначено, що між досліджуваними факторами існує лінійна залежність відповідно рівняння регресії $y=0,1489x+5,0077$ при $R^2=0,2624$. Така залежність характеризує фактор, як такий, що не має визначального впливу на накопичення альфа-кислот в шишках. Відмічено, що діапазон середніх температур в межах 19,0-21,5°C є найсприятливішим для накопичення цих компонентів в шишках селекційних генотипів.

При збільшенні температурного показника більше 22,0 °C уміст альфа-кислот зменшується. В умовах змін кліматичних чинників, зокрема, при зменшенні кількості опадів у літній період виявлено негативний вплив на реалізацію біологічних можливостей генотипів селекційної колекції через зниження урожайності, а підвищення температур повітря більше 22,0 °C викликає зниження кількості накопичених альфа-кислот в групі досліджуваних генотипів впродовж 2010-2024 років.

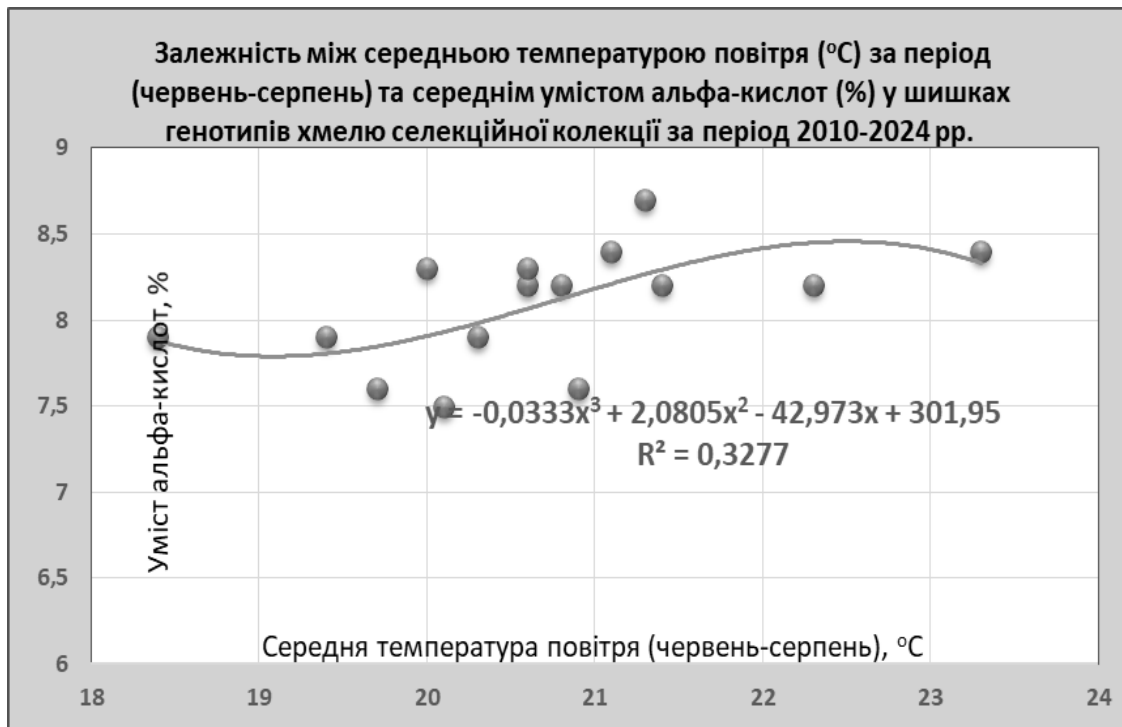


Рис. 1.7 – Залежність між середніми температурами повітря за літній період (червень-серпень) та середнім умістом альфа-кислот в шишках вибірки генотипів робочої селекційної колекції за період 2010-2024 рр.

1.3 Сучасний стан хмелярства в світі, сортові особливості формування насаджень, селекційні тенденції на ринку хмелю

Розвиток хмелярства в світі та Україні має тісну взаємодію з тенденціями функціонування пивоваріння, оскільки, ця галузь є основним споживачем хмелепродукції, яка використовується як для традиційних рецептур виробництва пива, так і для крафтових гатунків напою. Нещодавнє розширення виробництва крафтового пива не лише спричинило появу нових мікропивоварень, але й підвищило попит на сорти хмелю зі специфічними ароматичними профілями та на ароматичний хміль у всьому світі.

Згідно вимог пивоварів до якості сировини та вимог виробників до агрономічних ознак асортимент хмелю нині представлений більш як чотирмастами сортами різного еколого-географічного та селекційного походження, але ринок вимагає все нових сортів з покращеними характеристиками якості, з поєднанням нових ароматів тощо.

Хміль, завдяки своєму унікальному якісному складу біохімічних компонентів жіночих суцвіть (шишок), вирощується для виробництва пива, а головним його споживачем є саме броварна промисловість [28]. Все ж частину хмелепродукції використовують також і в інших галузях, зокрема завдяки вмісту в профілі хмелю значної кількості унікальних сполук [29], він є вихідною сировиною фармацевтичних сучасних препаратів [30, 31], які діють проти метаболічних синдромів, проти раку. Хміль використовувався і в інших напрямках впродовж всієї історії його культивування [3].

Специфічний аромат хмелю є результатом накопичення в шишках хмелю гірких речовин, альфа- та бета-кислот, і багатьох інших сполук, включаючи ефірні олії та поліфеноли [32—34]. Зміни в накопиченні альфа-кислот в залежності від сезону вирощування впливають на якість хмелю [35—40]. Посилена популярність крафтового пива [41] контрастує з попередніми вимогами щодо задання меншої кількості альфа-кислот до пивного сусла [42]. Таким чином, нова хвиля появи крафтового пива, не лише спричинила появу нових рецептур мікропивоварень, але й підвищила попит на ароматний хміль у всьому світі [43, 44].

Для виробництва якісної хмелепродукції необхідний певний комплекс умов, тому хмелярство зосереджене, лише в окремих регіонах країн-виробників. За даними «BarthHaas-Group» у 2023 році вирощуванням хмелю у світі займалися у 30 країнах на загальній площі 60,6 тис. га зі збором 118,4 тис. тон хмелесировини або 11,8 тис. тон альфа-кислот. Основними виробниками хмелесировини в світі є США та Німеччина, на їх частку припадає 70% площ (сумарно 43,1 тис. га). Окрім цих країн, у десятку лідерів входять – Чеська Республіка (4,86), Китай (2,60), Словенія (1,67), Польща (1,65), Нова Зеландія (1,48), Австралія (0,95), Франція (0,72), Іспанія (0,580), Сполучене Королівство Великобританії (0,56), Південна Африка (0,40). Частка ж України на глобальному ринку нині становить лише 0,5% (0,48 тис. га) [45].

Зміна умов за останні три десятиріччя в Україні, показники погоди основної хмелярської зони України (Полісся) мають тенденцію до збільшення посушливості. В таких змінних умовах виявлено негативний вплив на реалізацію біологічних можливостей реєстрованих сортів, що викликає необхідність створення нових форм, які повинні не тільки відповідати ринковим запитам сільськогосподарських виробників і споживачів продукції хмелярства, а й бути максимально адаптованими до змін чинників середовища вирощування, бути стійкими до хвороб та шкідників [46, 47].

За оцінками Міжнародної конвенції виробників хмелепродукції (IHGC) [48] у 2024 році площі хмелю (без нових насаджень) становили 55,2 тис. га, що на 3,8 тис. га менше в порівнянні з 2023 роком та на 4,97 тис. га менше в порівнянні з 2019 роком (рис. 1.1).

Тенденція зменшення світових площ під хмелем триває, але поряд з цим з'являються нові насадження (сортозаміна), так в 2023 та 2024 роках було насаджено по 1,4 тис. га. В той же час, зважаючи на тенденції зменшення площ та засушливий вегетаційний період поточного року, збір хмелю в світі скоротився в порівнянні з 2023 роком на 5,2 тис. т і склав 113,26 тис. т. В порівнянні з 2019 роком валовий збір хмелю зменшився майже на 16,8 тис. тон. При цьому, збір альфа-кислот в 2024 році становить 13,0 тис. т, що на 655 т більше, ніж за минулий рік [48].

За результатами аналізу компанії «BarthHaas-Group» у 2021 році світове виробництво пива становило 1,866 мільйонів гкл [45, 49]. У 2022 році виробництво пива збільшилось на 1,4 і склало 1,901 мільйонів гкл, у 2023 році –

1,884 (-0,9 % до 2023 року). Для виготовлення такої кількості пива необхідно приблизно 10,5-12,0 тис. т. альфа-кислот.

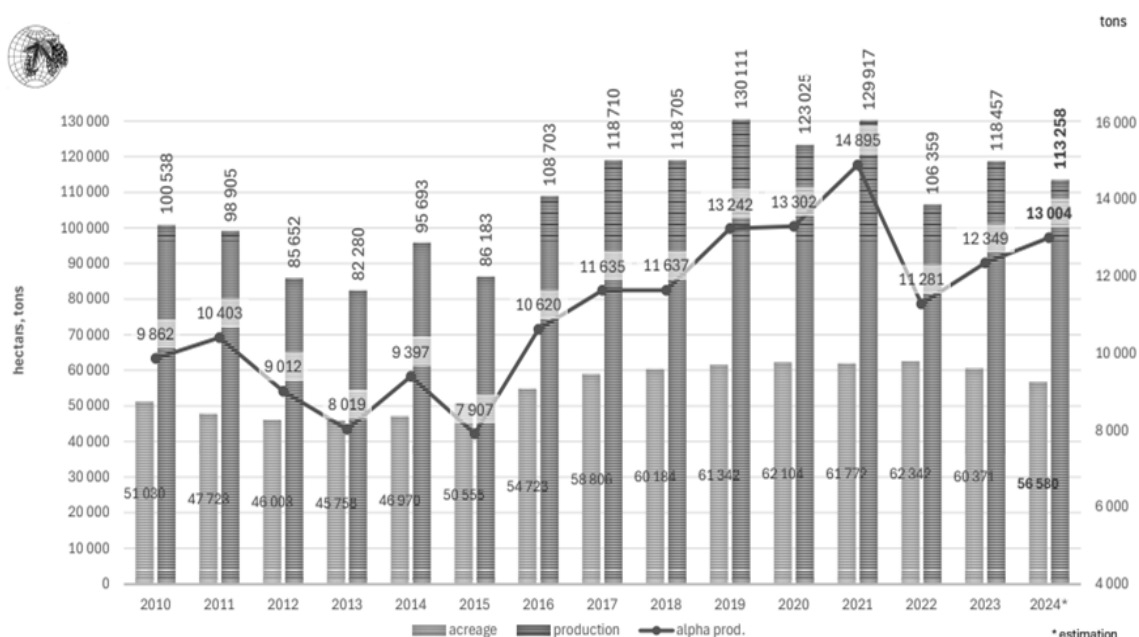


Рис. 1.8 — Динаміка світових площ під хмелем (га) та виробництва хмелю і альфа-кислот (тис. т) (за даними IHGC, <https://www.ihgc.org/>).

Незважаючи на часткове відновлення рівня пивоварної промисловості, підвищення цін у 2024 році на хмелесировину не очікується. Це пов'язано з наявністю на ринку надлишкової хмелепродукції, яка накопичилася в останні два роки завдяки підвищенню об'ємів збору альфа-кислот. Навпаки, на ринку очікується незначне зниження ціни на окремі партії спотових пропозицій. Форвардні контракти на хміль в 2024 році очікується на рівні 65-90%.

Розвиток хмелярства в світі та Україні має тісну взаємодію з тенденціями функціонування пивоваріння, оскільки, ця галузь є основним споживачем хмелепродуктів, які використовуються як для традиційних рецептур виробництва пива, так і для крафтових гатунків напою [50].

Внутрішній ринок хмелю в Україні знаходиться під значним впливом зовнішніх і внутрішніх чинників. За даними галузевої компанії «Укрпиво» [51] впродовж 2009-2012 рр. вітчизняна пивоварна галузь поставляла на ринок близько 30 млн. гкл пива, а у 2016-2019 рр. – близько 18 млн. гкл, що в 1,7 рази менше, порівняно з попереднім періодом. За 2021 рік було вироблено – 17 млн. гкл, що становить 95% до періоду 2020 року, а у 2022 році через військову агресію російської федерації виробництво пива скоротилось до 12,2 млн. гкл. За оцінками експертів обсяг виробництва пива в Україні (крім пива безалкогольного з умістом спирту до 0,5 об. %) за 2023 рік склав – 13,34 млн. гкл, та становив 107,8 % до аналогічного періоду 2022 року. У той же час зазначений показник становив лише – 78,3 % до обсягів виробництва у 2021 році. Виробництво пива за 10 місяців 2024 року склало – 12,06 млн. гкл, та становить 105,3 % до аналогічного періоду 2023 року. У той же час

зазначений показник становить лише – 82,9 % до обсягів виробництва 10-ти місяців 2021 року [52].

Відповідно, і потреба у хмелевих продуктах зменшувалася від 150 т альфа-кислот у 2009-2012 роках до приблизно 100 т у 2015-2021 роках. У 2022-2023 роках ця потреба впала до рекордно низьких – 70-75 т α -кислот, у 2024 році – очікувана потреба становитиме близько 78,9 т α -кислот. При такому рівні виробництва пива вітчизняні хмелярі, виробляючи близько 20 тонн α -кислот щорічно, можуть забезпечити лише 25% потреби українського пивоваріння [51].

Оскільки в Україні великі пивоварні компанії з іноземним капіталом використовують в своїх рецептурах винятково імпорту хмелесировину у вигляді гранул, екстрактів чи інших хмелепрепаратів, то більше 70% потреби пивоварів у хмелесировині закривається за рахунок імпорту з Німеччини, США, Словенії, Бельгії, Польщі та інших країн. Лише регіональні пивоварні заводи, яким належить до 6% пивного ринку України, використовують гранульований хміль вітчизняного виробництва [50]. Частина виробленої вітчизняними хмелярами хмелепродукції залишається на спотовому ринку, часто є невитребуваною і потрапляє в перехідні запаси. Через такий стан ринку функціонування вітчизняної хмелярської галузі під час воєнної агресії російської федерації спеціалісти оцінюють як критичне, а, зважаючи на те, що пивоварна галузь в Україні також переживає не кращі часи, хмелярство опинилося під загрозою подальшого згортання потужностей [53].

У 2024 році в Україні, вирощуванням хмелю займалося лише 15 хмелярських підприємств. Площа під хмільниками становила 450 га, очікуваний валовий збір – 400 т хмелю (приблизно 19 т альфа-кислот) із урожайністю культури – 1,05 т/га. Господарства розміщені в Житомирській області (75% площ), Хмельницькій, Львівській та Рівненській областях. Найбільшими виробниками хмелю (площі >25 га) є ТНХ Агросервіс (с. Карпівці), ТОВ «Вертокиївка-Хміль» (с. Вертокиївка), ФГ «Еліта-хміль» (с. Рея), ТОВ «Хміль України» (с. Івановичі), ПП «Гальчин-агро» (с. Гальчин), ПАФ «Дружба» (с. Видибір) Житомирської області; ПА «Щедрий урожай» Львівської області, ПрАТ «Дубнохміль» Рівненської області.

Найбільша частина комерційного хмелю традиційно вирощується в деяких районах світу між 45° і 52° на північ від екватора. Зокрема, у Німеччині є чотири основні регіони вирощування хмелю (Галлертау, Ельба-Заале, Тетнанг і Шпальт), США виробляють майже весь свій хміль у трьох штатах на північному заході Тихого океану (Вашингтон, Орегон і Айдахо), три регіони в Чеській Республіці (Жатец, Тршице та Уштек), один у південно-західній Польщі та один у Словенії (долина Савінья). На ці п'ять країн припадає 86% світових площ і 85% виробництва хмелю відповідно (IHGC, 2024) [48].



Рис. 1.9 — Найбільші регіони-виробники хмелю в 2020-2025 роках [48].

Для виробництва якісної хмелепродукції придатні також окремі регіони інших країн-виробників, зокрема це: Аргентина (Alto Valle, El Bolson); Австрія (Muhlviertel, Leutscach); Австралія (North Hobart); Бельгія (West-Flanders, Warneton, Maltonne et Vodelée, Wallonia), Беларусь (Брестська область), Канада (Chilliwack), КНР (Gansu, Xinjiang, Ninxia); Іспанія (Leon, Orbido Vale); Франція (Alsace, Nord (Pas-de-Calais)); Великобританія (South East, West Midland); Японія (Hokkaido, Tohoku); Нова Зеландія (Nelson, Hamilton); Російська Федерація (Чувашія) [54—57].

За даними аналізу розвитку ринку хмелю [58], було встановлено, що в деяких регіонах світу нині проводять пошук можливостей (технології світлодіодного підсвічування, підбір сортів, поливу) для вирощування хмелю в нових регіонах США (Вірджинія, Флорида), Франції (Фландрія), Італії (Сардинія), декількох регіонах Бразилії [58 – 60].

В сортовій структурі насаджень світу у 2024 році 66,5% займають ароматичні сорти, решта – високосмольні сорти. Всього вирощується більше ста комерційних сортів, а в колекціях (за даними EURISCO) зберігається більше п'ятисот різних форм хмелю звичайного (*Humulus lupulus* L.) (дикі форми, комерційні сорти, клони, селекційні генотипи та ін.). Найбільша колекція (421 генетична форма) знаходиться в Чеській Республіці [61].

В зв'язку зі змінами сортової структури через виникнення додаткового попиту для крафтового пивоваріння дещо змінюється і сортовий склад в країнах виробників хмелю. За даними «BarthHaasGroupe» [45], площі під 5 найпопулярнішими сортами в США (найбільшого виробника хмелю в світі) залишилися незмінними і склали 54 % від загальної кількості площ у порівнянні з 55 % у попередньому році. Сорт Citra® залишається найпоширенішим сортом у США вже шостий рік поспіль, незважаючи на значне скорочення посівних площ на 1 290 га (-26%) у 2023 році, в результаті

чого його частка в загальній площі у США знизилася з 20 % до 16%. Аналогічно, насадження сорту Mozaic®, суттєво скоротилися на 496 га (-19%). У попередньому році CTZ зазнав найбільшого скорочення площ серед усіх сортів. У 2023 році він показав найбільше збільшення площ. Keskeyd, сорт з найбільшим розширенням площ у попередньому році, у 2023 році площі вирощувався на 252 га (-12 %). Simcoe® на п'ятому місці з часткою 8 % після скорочення на 104 га (-6 %). Поза п'ятіркою лідерів залишився Centennial, тоді як інші ароматичні сорти зазнали значного скорочення, зокрема Chinook (-152 га), Azacca® (-190 га), Sabro® (-197 га), Cashmere (-206 га), і Strata® (-235 га). Майже всі інші ароматичні сорти зазнали лише незначного скорочення або залишилися без змін, хоча Amarillo® став виключенням, збільшивши площі на +107 га. У категорії гірких сортів, окрім CTZ, інші помітні збільшення включали значне розширення нового сорту Gelios™ (+611 га) і невелике збільшення площ для HBC 682 (+209 га).

П'ять провідних сортів хмелю в Німеччині дещо збільшили свою частку в загальних площах у 2023 році до 78%. Сорт Hercules, який з 2013 року є найпоширенішим сортом у Німеччині, зміцнив свою домінуючу позицію завдяки збільшенню площ на 356 га (+5 %), довівши свою частку в загальній структурі площ до 36 %. Незважаючи на скорочення площ на 119 га (-4%), сорт Perle залишився сортом номер два з часткою площ 16%. Площі під сортом Hallertau Tradition зменшилися на 84 га (-3 %). Він залишився на третьому місці з часткою 13% від загальних площ. Незважаючи на те, що сорт Hallertau Magnum є гірким, його площі також скоротилися - в даному випадку на 43 га (-2 %) - але він все ще залишається на четвертому місці. На п'ятому місці, яке посідає Hersbruk, також не відбулося жодних змін. Його площі скоротилися на 25 га (-3 %). Окрім Hercules, ще одним сортом, який значно розширив свої площі, став Polaris із збільшенням на 67 га (+14 %). Новий гіркий сорт Titan вже має площу трохи менше 100 га, а також прискорюється висадка нового ароматного сорту Tango (62 га). Загальні площі в Німеччині збільшилися лише на 24 га порівняно з минулим роком, таким чином, залишаючись практично незмінними третій рік поспіль. Однак процес зміни сортового складу від ароматичних до гірких сортів хмелю продовжився. Площі під ароматичними сортами скоротилися на 427 га (-4 %), а під гіркими - збільшилися на 451 га (+5 %). Загальна площа в Німеччині в 2023 році склала 20 629 га. Співвідношення ароматичних і гірких сортів змінилося з 52 : 48 у 2022 році до 50 : 50 у 2023 році.

В Китаї відзначається зменшення площ, але основними сортами залишаються - Qindaodahua, Sas. В Чехії - Saaz, Sládek, Premient, Agnus; Словенії - Bačka, Fuggle і Styrian Golding; Великобританії - Cascade, Jester, East Kent Goldings, Admiral; Австралії - Galaxy, Vic Secret, Ella, Enigma, Topaz; Польщі - Lubelski (Lublin), Marynka, Sibilla; Нової Зеландії - Nelson Sauvin, Motueka, Wai-iti; Іспанія - Columbus, Chinook, Magnum, Summit, Fuggle, Nugget [45, 49].

Останнім часом, через згаданий нами, розвиток «крафтового» пива, пивовари все більше цікавляться хмелем зі специфічним ароматом та унікальними ароматичними профілями. Такий запит привів до того, що в останні роки селекціонерами США, Німеччини, Австралії, Великобританії, Чехії було направлено всі зусилля на створення нових сортів серії «смаковий хміль» (*Flavor Hops*) з особливими фруктовими відтінками для крафтового пивоваріння – Citra, Palisade, Polaris, Hallertau Blanc, Mandarina Bavaria, Stella, Summer. У 2015-2017 роках запатентовано ще декілька нових сортів хмелю відповідної групи, зокрема: Loral[®], Tahoma, Azacca[®], Ekvinox, Triple Pearl, Mt. Rainier та інші (USA), Ella[®], Vic Secret[®] (AUS), Hull Melon (DEU), Dr. Rudi (NZL). Дослідження в цьому напрямку проводяться досить інтенсивно. Підтвердженням цьому є нові сорти, які заявляються ще для реєстрації та патентування в основних країнах хмелярства: Ahtanum, Amarillo, Bru-1, Cristal, HBC 682св (USA), Agnus, Kazbek, Cerera, Pluton, Saturn (CZE), Ariana, Calista, Monro, Polaris, Relax, Sapfir, Smaragd, Talus, Tango, Titan (DEU), Aramis, Triskel (FRA), Bodiacea, Endvor, Oracul, Archer, Godiva, Arlekin, Jester, Most, Mystic, Opus (GBR). За прогнозами їх частка на ринку буде продовжувати зростати [63 – 64].

В результаті аналізу сортової структури насаджень хмелю відмічена загальна світова тенденція до збільшення площ під новими сортами з унікальними ароматичними профілями, ароматичними сортами з достатньо високим умістом альфа-кислот. Зважаючи на вище викладене, слід констатувати, що зміни клімату, вимоги вітчизняних і закордонних пивоварів до сортів хмелю, їх якості та продуктів його переробляння залишатимуться в межах вимог регламентів та технологічних рецептур гатунків пива, а тому вимагатимуть в Україні суттєвого поліпшення сортової структури промислових насаджень, збільшення різноманіття вирощуваних сортів. Виконання цих вимог надасть можливість вітчизняним хмелярам пропонувати ширший асортимент хмелепродукції для пивоварних корпорацій.

Для більшості країн характерно значна частка гірких сортів у структурі насаджень. Так, в Китаї в 2017 було зайнято 91% під високосмольними сортами, в США – 92%, Австралії, Новій Зеландії та ПАР – близько 90%, в Польщі – 75%, в Росії – 60%, Туреччині, Іспанії – 100%, навіть в Німеччині їх частка становила 47%. Ситуація з використанням гірких сортів не змінилася до теперішнього часу, з однією відмінністю, що частина площ замінена новими високосмольними сортами зі специфічними ароматами [65].

В той же час, в європейських хмелярських країнах, в сортовій структурі насаджень традиційно зберігається переважання ароматичних сортів. Зокрема, в Словенії 96% площ зайняті під ароматичними сортами, в Чехії – 97%, Великобританії – 58%, Німеччині – 53%. У 2015-2022 роках ці країни продовжують зберігати таку структуру насаджень, яка характерна для країн Європи протягом останніх 20-30 років. За тривалий час селекції хмелю в світі були досягнуті значні успіхи і у створенні нових ароматичних сортів. Так, в США на основі сорту Faggale було виведено Willamette і Cascade, на основі

Hallertau створено Mount Hood, Liberty, Crystal і Vanguard. Sterling був виведений в якості заміни для Saaz. Ultra поєднує в собі ароматичні властивості Saaz і Hallertau. Аналогічно, сорт Santenial, за складом ефірної олії схожий на Tettnang, а Glacier нагадує Strisselspalt і Hersbrucker Spat. На початку 2000-х в Німеччині виведено ряд нових сортів, які не поступаються за якістю традиційним, зокрема Opal, Smaragd, Saphir. Значна кількість нових ароматичних сортів була створена і в інших хмелярських країнах, зокрема в Чехії (Sladek, Harmony, Bor, Premiant, Kazbek) та Словенії (Celeia, Cerera) [66–73].

До Реєстру сортів рослин, дозволених для поширення в Україні занесено 14 сортів хмелю. Серед них 8 – вітчизняної селекції, переважно Інституту сільського господарства Полісся НААН. Це сорти: Слов'янка, Заграва, Малахит, Перлина – ароматичні, Промінь, Альта, Ксанта, Руслан, Витязь – гіркокого типу. Ще до Реєстру внесено п'ять сортів закордонної селекції (Перле, Тетнангер, Каскад – ароматичні, Халлертау Магнум, Нордерн Бревер) [74]. Це клонові добори зі старих традиційних сортів німецької та британської селекції, які в Європі переведені в статус загальнодоступних, а в Україні вони внесені в Реєстр впродовж 2017-2020 років.

Всі, дозвалені до поширення в Україні комерційні сорти за своїми господарськими показниками вповні відповідають агрономічним і технологічним потребам виробництва хмелесировини в зоні Полісся, але в певні періоди не завжди забезпечують адекватну реакцію генотипу на негативну дію чинників змін клімату, зменшуючи врожай і якість хмелю до 30-50 і більше відсотків [46].

Селекція традиційного ароматичного хмелю продовжує розвиватися в регіонах (Чехія, Німеччина, Великобританія, Словенія, Польща, Україна), які за ґрунтово-кліматичними умовами є унікальними і найбільш придатними для вирощування високоякісних ґатунків сировини. Ця тенденція пов'язана з постійною зацікавленістю пивоварів до традиційного букету компонентів ефірних олій, співвідношення гірких речовин для виготовлення традиційних європейських лагерів та інших «легких» пив. Так, до прикладу, в Республіці Чехія, традиційні клони удосконалюються, з'явилися нові сорти з цінними ознаками, впродовж двох останніх років випробовуються нові форми з незначним потенціалом гіркоти, але збалансованим букетом біохімічних компонентів [75–85].

Як зазначено вище, якісний і кількісний склад хмелю суттєво відрізняється не тільки в залежності від генотипу, але й від впливу абіотичних (тип ґрунту, кількість опадів, сонячне світло, температура тощо) та біотичних факторів, особливо, від ураження шкідниками і зараження хворобами. У 2022 році нами було проаналізовано окремі фундаментальні позиції, які представлені в накопиченій базі знань, де визначено рівень впливу біотичних і абіотичних факторів в умовах змін кліматичних чинників на формування основних ознак хмелю звичайного та окреслено сучасні аспекти фундаментальних досліджень в

селекції хмелю звичайного, визначено напрями селекції на поліпшення господарських, технологічних і адаптивних ознак рослин хмелю.

Встановлено, що визначальним фактором нейтралізації негативного впливу окремих елементів впливу на ознаки генотипів хмелю, є в першу чергу селекційні та агротехнічні заходи. Селекція в цьому випадку має ширший спектр впливу на формування бажаних ознак, але потребує значних зусиль для аналізу вихідного батьківського матеріалу, аналізу родоводів батьків для схрещувань та їх ідентифікації різними методами і виділення кращих форм за модельними показниками сорту згідно сучасних потреб виробництва хмелесировини та пивоваріння.

Від початкового схрещування до випуску сорту має пройти не менше 8-10 років. Небезпека в спробах скоротити цей термін полягає в тому, що ви можете зробити значні інвестиції в значні посадки дослідного сорту, не знаючи, що дуже небажана ознака ще не виявилася. Для прикладу, рослина, якій виповнилося 6 років, можливо, не зазнала сильного тиску псевдопероноспорозу впродовж років досліджень або генотип з високим умістом альфа-кислоти може показати різке падіння α -кислоти після декількох пасажів пересаджування. Тривалість досліджень зменшує ризики у довгостроковій перспективі.

Як вказують постулати сучасних уявлень про селекцію, як науку, це дослідження про створення складних біологічних макросистем, тобто системотехнічні. Формування знань, необхідних для створення біологічних засобів виробництва, і розробки на їх основі технологій і має становити основу зміст теорії селекції. При цьому виникає необхідність в структуризації класифікації знань з точки зору вирішення завдань селекції і у виборі із сукупності на накопиченні сучасних знань про об'єкти селекції тих, що забезпечують найбільш ефективне вирішення конкретних завдань селекції та розробки на їх основі технологій, тобто організації забезпечення і використання знань на основі комп'ютерних технологій [86, 87].

Основними вимогами до хмелесировини є відповідність сортів високим пивоварним критеріям [50]. Це – наявність в них необхідної кількості гірких речовин, зокрема, альфа- і бета-кислот, ефірної олії, біологічно-активних сполук – поліфенолів і ксантогумолу та певного співвідношення компонентів у їх складі. Перевага віддається сортам хмелю, які відповідають визначеним критеріям якості та мають високу стабільну врожайність, стійкість до різного роду патогенів і несприятливих факторів довкілля, придатність до інтенсивних технологій вирощування, збирання, зберігання та переробки у хмелепродукти [88].

Сьогодні відносно небагато країн працюють з програмами селекції хмелю, використовуючи основні методи селекції: масовий відбір, гібридизація та ініційовані мутації (поліплоїдія, мутагенний вплив на калюс *in vitro* та ін.) [89]. Інші країни покладаються, перш за все, щодо впровадження та адаптації успішних сортів хмелю з цих програм [90—95].

В світі селекцією хмелю звичайного займаються декілька установ, які розміщені в країнах традиційного хмелярства, зокрема: в Чехії (ТОВ «Інститут хмелярства», м. Жатець), Німеччині (Інститут агрономії та селекції рослин,

Баварія, Науково-дослідний центр хмелярства, м. Хюль), США (Університет Корваліс, штат Орегон), Словенії (Інститут хмелярства та пивоварства, м. Жалец), Польщі (Інститут агротехніки добрив та ґрунтознавства, м. Пулави), Великобританії (Wye Hops Ltd., Кент), Новій Зеландії (Інститут садівництва та харчових досліджень, м. Мотеука), Японії (Інститут Кірін), Російській Федерації (Чувашський НДІСГ, філіал ФГБНУ ФАНЦ Північного-Сходу), Україні (Інститут сільського господарства Полісся НААН) [96—99].

Основними цілями програм розмноження у всьому світі ідентифікуються як виробництво генотипів з високим вмістом альфа-кислот або традиційним ароматом, у поєднанні з опором до основних шкідників та захворювань. У деяких країнах розробляється проблема фізіологічна адаптації до навколишнього середовища [100, 101].

Протягом тривалих селекційних пошуків, в сортах хмелю світі вдалося значно підняти врожайність, зріс вміст цінних компонентів в шишках. Якщо в 1900 році найкращі сорти ледь перевищували за врожайністю показник 1,5 т/га і 4%—ий вміст альфа-кислот в шишках, то сучасні сорти здатні формувати врожайність 2,5-3,2 т/га та накопичувати більше 14–18% і більше альфа-кислот (Fuggle 4% (1875), Brewers Gold 8% (1934), Northern Brewer 9% (1944), Wye Target 11% (1972), Admiral (CTZ, Herkules), 15% (1996) Polaris (Eureka) >19% (2012)). Це збільшення розглядається як головне досягнення селекційних програм в хмелярстві протягом останнього століття [99].

Починаючи з 80-х років минулого століття, сорти з високим вмістом альфа-кислот набули важливого значення для розвитку хмелярства, оскільки операції для зниження насипної щільності (грануляція, екстракція) сухого хмелю дозволяють використовувати нові пакувальні технології для підвищення тривалості зберігання якісних компонентів шишок.

Нове покоління сортів з високим вмістом альфа-кислот було створено в 1990–2005 рр. і відоме як тип «супер-альфа». До таких сортів відносяться Admiral, Foenix, Pioneer від Уай, Великобританія; Taurus, Magnum, Gercules, Mercur з Німеччини; Eastern Gold та Kitimadori з Японії; Pacific Gem, Pride of Ringwood, Super Alpha з Нової Зеландії; Victoria, Super Pride, Galaxy та Opal з Австралії; Columbus, Tomahawk, Zeus, Warrior, Tillicum, Apollo, Bravo, Summit, Super Galena, Simsoe та Millennium з США; Vital, Rubin, Agnus з Чехії; Альта, Кумир, Руслан, Промінь, Вітязь, Ксанта в Україні та інші. Дослідження в цьому напрямку продовжуються і в нині в США, Німеччині, Чехії, Новій Зеландії та Україні [99].

Для більшості країн характерно інтенсивне збільшення частки таких сортів у структурі насаджень. Так, в Китаї в 2017 було зайнято 91% під високосмольними сортами, в США – 92%, Австралії, Новій Зеландії та ПАР – близько 90%, в Польщі – 75%, в Росії – 60%, Туреччині, Іспанії – 100%, навіть в Німеччині їх частка сягає 47%. Ситуація з використанням гірких сортів не змінилася до теперішнього часу, з однією відмінністю, що частина площ замінена новими високосмольними сортами зі специфічними ароматами.

В той же час, в європейських хмелярських країнах, в сортовій структурі насаджень традиційно зберігається переважання ароматичних сортів. Зокрема, в Словенії 96% площ зайняті під ароматичними сортами, в Чехії – 97%,

Великобританії – 58%, Німеччині – 53%. У 2015-2020 роках ці країни продовжують зберігати таку структуру насаджень, яка характерна для країн Європи протягом останніх 20-30 років. За тривалий час селекції хмелю в світі були досягнуті значні успіхи і у створенні нових ароматичних сортів. Так, в США на основі сорту Faggles було виведено Willamette і Cascade, на основі Hallertau створено Mount Hood, Liberty, Crystal і Vanguard. Sterling був виведений в якості заміни для Saaz. Ultra поєднує в собі ароматичні властивості Saaz і Hallertau. Аналогічно, сорт Santenial, за складом ефірної олії схожий на Tettnang, а Glacier нагадує Strisselspalt і Hersbrucker Spat. На початку 2000-х в Німеччині виведено ряд нових сортів, які не поступаються за якістю традиційним, зокрема Opal, Smaragd, Saphir. Значна кількість нових ароматичних сортів була створена і в інших хмелярських країнах, зокрема в Чехії (Sladek, Harmony, Bor, Premiant, Kazbek), Словенії (Celeia, Cerera) та в Україні (Слов'янка, Заграва, Злато Полісся, Національний, Полісянка, Перлина, Оскар, Малахит та ін.) [99].

Але в більшості випадків, селекція і вирощування ароматичного хмелю орієнтувалися на традиційні ароматичні форми та певні регіони (Чехія, Німеччина, Великобританія, Словенія, Польща, Україна), які за ґрунтово-кліматичними умовами є унікальними і найбільш придатними для вирощування високоякісних гатунків сировини [96].

В Україні селекційно-генетичні дослідження започатковані на початку ХХ століття на Волинській дослідній станції хмелярства (м. Житомир) [5] і продовжуються до нині на базі Інституту сільського господарства Полісся, який займає позицію лідера в Україні з селекції хмелю звичайного, проводячи селекційно-генетичні та біотехнологічні дослідження культури на рівні з світовими науковими інституціями [96].

В Україні в переліку комерційних сортів, дозволених до поширення є декілька високопродуктивних вітчизняних сортів хмелю, які є аналогами закордонних за всіма показниками, а такі як Заграва, Слов'янка, Перлина, Злато Полісся, Малахит є унікальними ароматичними сортами фарнезенового типу. Крім того, до українського Реєстру в 2016-2020 роках занесено традиційні німецькі і англійські сорти, які користуються попитом у рецептурах великих пивоварних підприємств, що належать іноземним власникам [102, 74]. Всі, дозволені до поширення комерційні сорти за своїми господарськими показниками вповні відповідають агрономічним і технологічним потребам виробництва хмелесировини в зоні Полісся, але в певні періоди не завжди забезпечують адекватну реакцію генотипу на негативну дію чинників змін клімату, зменшуючи врожай і якість хмелю до 30-50 і більше відсотків [96].

Завдяки використанню в селекційній роботі колекції генофонду, різних методів селекції, у 80-90-х роках минулого століття було створено ще ряд вітчизняних сортів хмелю: Аванс, Заклад, Сполечни, Житич, Граніт, Кумир, Стимул, Регент, Альта, Гайдамацький. На початку ХХІ століття було отримано нову серію високопродуктивних сортів хмелю: в групі ароматичних сортів – Слов'янка, Заграва, Злато Полісся, Полісянка, Національний, Хмелеслав, Оскар, Видибор та інші, в групі гірких – Промінь, Зміна, Надія, Назарій, Руслан, Оболонський [98].

Впродовж 2010-2020 років створено декілька нових сортів (Маестро, Мрія, Оксамит, Малахит) та селекційних номерів гібридного походження, які проходять етапи селекційного вивчення. Більшість цих генотипів (сортів, клонів) мають високі агрономічні та пивоварні оцінки, деякі набули значного поширення в хмелярських регіонах України. За своїми господарськими показниками вони повністю відповідають агрономічним і технологічним потребам виробництва: висока врожайність і відмінна якість сировини, але в певні періоди ці сорти не завжди забезпечують адекватну реакцію генотипу на негативну дію факторів глобальних змін клімату, зменшуючи врожай і якість хмелю [99].

Останнім часом пивоварні все більше цікавляться хмелем зі специфічним ароматом. Невеликі крафтові пивоварні виробляють спеціальні сорти пива, які відрізняються від звичайних світлих пив. Особливо це стосується пива, виробленого методом верхнього бродіння (IPA, APA, ALE, IBA тощо), які хочуть не лише американські пивоварні, а й усі пивоварні по всьому світу. Саме на це націлено зусилля багатьох селекціонерів, у тому числі і чеських при отриманні нових сортів хмелю, що видно з великої кількості нових сортів випущені сорти цього типу [104].

Як відомо, селекція хмелю зосереджена лише в певних регіонах землі, оскільки території, на яких вирощуються хмелі, відрізняються за параметрами співвідношень «грунт – температура повітря – вологість». Тому найкращими регіонами для хмелю є умови північної та південної півкулі між 35 та 55 паралелями. Але й серед цих поясів, лише незначні території придатні для вирощування якісних гатунків хмелю.

В цьому випадку, перевага, яку може отримати селекціонер, у порівнянні з селекціонерами інших регіонів для хмелярства — це те, що є можливість добору окремих рослин на основі власних напрямків для вирощування чи використання, а також зорієнтувати продуктивність для конкретних умов та виробничих систем. Від початкового схрещування до випуску сорту має пройти не менше 8-10 років. Небезпека в спробах скоротити цей термін полягає в тому, що ви можете зробити значні інвестиції в значні посадки дослідного сорту, не знаючи, що дуже небажана ознака ще не виявилася. Для прикладу, рослина, якій виповнилося 6 років, можливо, не зазнала сильного тиску пероноспорозу протягом років досліджень або генотип з високим умістом альфа-кислоти може показати різке падіння альфа-кислоти після 8 року життя. Тривалість досліджень зменшує ризики у довгостроковій перспективі.

Хмелі, які добре ростуть в США, мають добрі пивоварні якості, як правило, є сумішшю європейських і північноамериканських генетичних зразків. Cascade, Brewer's Gold і Chinook — приклади хмелю, що поєднують європейські гени та північноамериканські. Якщо в генотипі значна насиченість «північноамериканських» генів, хміль може мати грубий смак, або бути сприйнятливим до деяких захворювань, або мати дуже пізнє цвітіння. Якщо «європейських» генів занадто багато, хміль може погано рости в короткий фотоперіод або не витримувати жаркого літа, наприклад, в континентальній частині США [105].

Складність селекційної праці з хмелем, в першу чергу, полягає в тому, що хміль є дводомною різностатевою культурою, а наявність жіночих і чоловічих рослин у хмелю вимагає проведення селекційної роботи як з жіночими так і чоловічими рослинами. Гібридизація в селекційній роботі з хмелем на даний період є невід'ємною складовою при отриманні нового вихідного матеріалу для селекції і основним методом виведення нових сортів. При створенні нових сортів важливо знати селекційну цінність генотипів вихідних батьківських форм, враховуючи при цьому закони передачі у спадковість їх генетичних ознак і властивостей. Згідно з сучасними уявленнями популяційної генетики ефективність селекції за конкретною ознакою однаково зумовлюються такими основними константами: мінливістю і спадковістю ознак, кореляційними зв'язками між ними, частотою з'явлення (для якісних груп) та повтореннях показників у часі [106].

Однією з ознак, яка бажана для нового сорту, це – стійкість до борошнистої роси. Magnum, Mt. Rainier, Newport, Orion, Perle, Sorachi Ace, Spalter Select, Teamaker, Tradition, Viking і Yeoman за результатами досліджень є джерелами стійкості до пероноспорозу. Серед інших сортів, які можуть мати часткову толерантність до цієї хвороби, є Brewers Gold, Cascade, Chinook, Northdown і Omega. В процесі досліджень були також виділені сорти, які особливо сприйнятливі до захворювань, зокрема: Claster, Columbus, Comet, Galena, Golding і Zeus.

В ідеалі, обрана чоловіча форма також повинен добре переносити зараження пероноспорозом, має бути добре розвиненим, мати значну вегетативну масу. Час цвітіння менш важливий для чоловіків, оскільки пилок можна тримати в холодильнику до двох тижнів. Але група цвітіння чоловічої форми також має вплив на тривалість вегетаційного періоду нащадків. Приблизно від 1/3 до 1/2 рослин від схрещувань будуть чоловічими. Для схрещувань використовують як селекційні форми чоловічих рослин з відомим або частково відомим родоводом, або з невідомим походженням (автохтонні форми, відкритого запилення).

При аналізі родоводів світових сортів встановлено, що деякі успішні сорти F1 мали невідомих батьків (Cascade, Brewer's Gold, Palisade, Sovereign, Boadicea, Smoothcone і WGV) або у F2 дідів (Mt. Hood, Super Galena, Willamette, Horizon, Vanguard, Liberty, Newport, Boadicea, Progress, Vojvodina і Bramling Cross) [106—108].

Як вказують постулати сучасних уявлень про селекцію, як науку, це дослідження про створення складних біологічних макросистем, тобто системотехнічні. Формування знань, необхідних для створення біологічних засобів виробництва, і розробки на їх основі технологій і має становити основу зміст теорії селекції. При цьому виникає необхідність в структуризації класифікації знань з точки зору вирішення завдань селекції і у виборі із сукупності на накопиченні сучасних знань про об'єкти селекції тих, що забезпечують найбільш ефективно вирішення конкретних завдань селекції та розробки на їх основі технологій, тобто організації служби «менеджменту» знань на основі комп'ютерних технологій [86].

Виходячи із ситуації на ринку хмелесировини, можна передбачити декілька напрямків розвитку для українського хмелярства, зокрема: забезпечення потреб невеликих пивоварних компаній на внутрішньому ринку за рахунок збереження площ під ароматичними сортами; поступове нарощування експортного потенціалу унікальних вітчизняних ароматичних сортів, в тому числі і за рахунок використання технологій органічного землекористування; збільшення частки гірких і надгірких сортів та розширення способів використання хмелю в інших галузях промисловості, зокрема, у фармацевтичній галузі, харчовій промисловості.

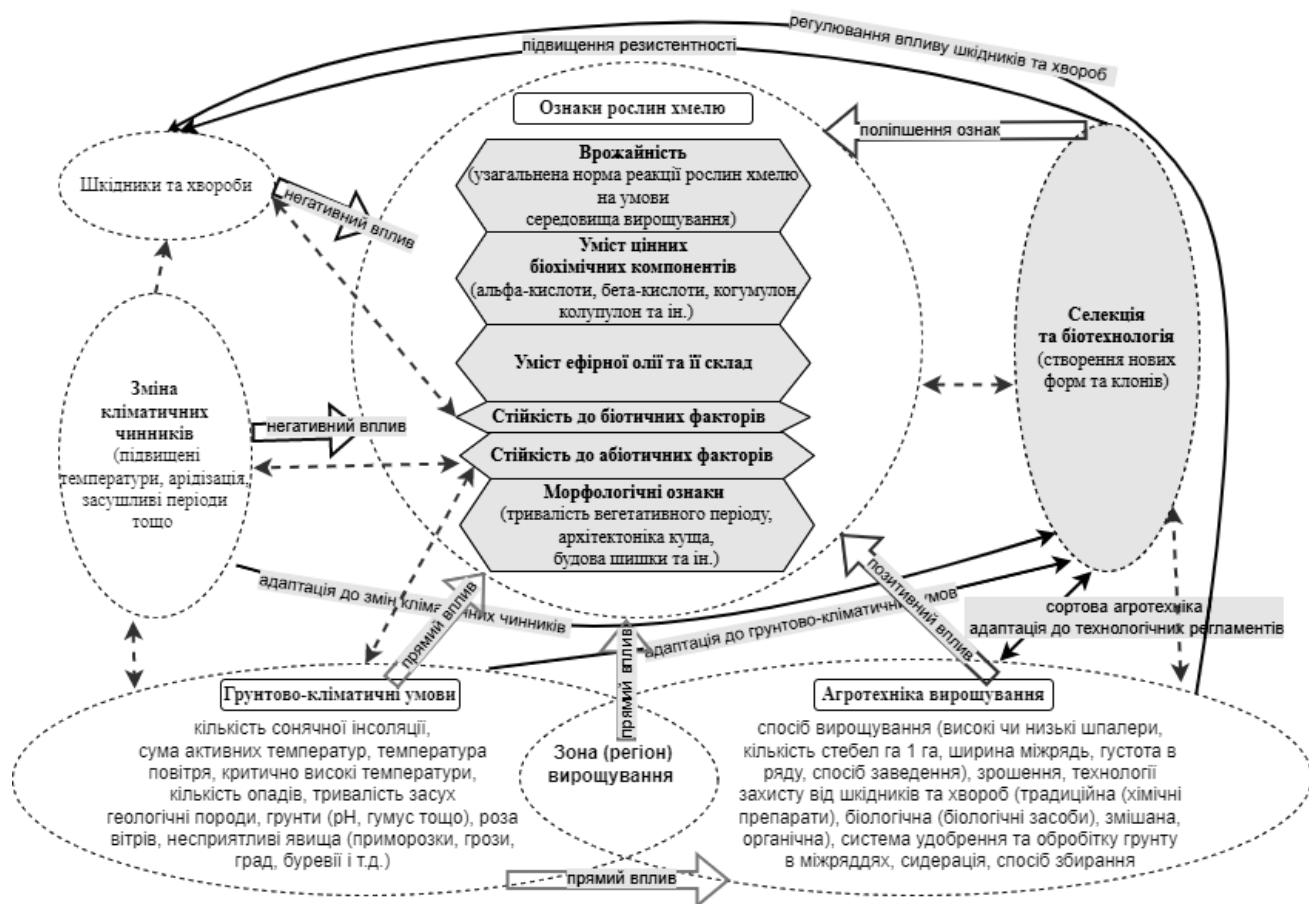
2 НАПРЯМИ СУЧАСНИХ СЕЛЕКЦІЙНИХ ПОШУКІВ ТА ЗАКОНОМІРНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ І ПРИЙОМІВ У СЕЛЕКЦІЇ ХМЕЛЮ ЗВИЧАЙНОГО

Дослідження, направлені на розробку теоретичних аспектів використання нових підходів інформаційного та селекційного характеру у системі «накопичення знань і параметричних баз – їх конструювання на базі комп'ютерних програм – аналіз та візуалізація результатів для прийняття конструктивних рішень з добору батьківських пар, враховуючи успадкування ознак та взаємодію генотипу з довкіллям, були проведені упродовж 2016-2020 років. Визначені основні напрями, які стали основою формування теоретичної інформативної бази для розробки селекційно-генетичних основ створення, оцінки та використання нових генотипів хмелю селекційної колекції із заданими параметрами [96]. Були визначені також основні складові та блоки інформаційно-аналітичної системи, яка направлена на формування і розширення теоретичних баз даних і практичних аспектів їх реалізації в селекційних програмах [99].

Велику кількість господарських ознак, які потрібно сконцентрувати в одному сорті хмелю потребує значних зусиль у підборі батьківських пар при гібридизації. Вивчення всієї повноти генетичного різноманіття вивчає не тільки особливості окремих генотипів, а також процеси, які відбуваються в біоценозі на рівні окремого генотипу.

Виходячи з вищесказаного та враховуючи результати сучасних досліджень в галузі селекції хмелю, аналіз теоретичних знань щодо предмету досліджень, були визначені концептуальні особливості використання методів селекції на сучасному етапі в більшості основних селекційних центрів та визначені закономірності побудови сучасних схем селекційного процесу, які мають свої особливості та модифікації в залежності від цілей та використаних методів. Як ми наголошували вище, відомо, що селекція хмелю розвивається в певних установах та регіонах земної кулі. Це пов'язано, як ми вже наголошували, з умовами в яких вирощуються хміль, зокрема, в системі «грунт – температура повітря – вологість».

Зважаючи на фактори визначені під час аналізу сортового складу світового хмелярства, сучасних напрямків використання хмелесировини для пивоваріння, вимог пивоварів до сортів та враховуючи результати попередніх наших досліджень визначено залежності між факторами впливу на формування основних ознак генотипів хмелю з врахуванням ґрунтово-кліматичних умов територій вирощування, стану агротехніки вирощування, змін кліматичних факторів в регіоні вирощування і проведення досліджень, які викладені у вигляді схеми, яка є продовженням і доповненням схеми, запропонованої Paguet, AS et al., 2022 [1] (рис. 2.1).



Умовні позначення:

1. Фактор А має негативний вплив на фактор В;
2. Фактор А має позитивний вплив на фактор В;
3. Фактор А має прямий вплив на фактор В;
4. Взаємопов'язані фактори;
5. Шляхи та напрямки впливу факторів на селекційні програми та комбінативний вплив селекції на подолання ефектів впливу абіотичних та біотичних факторів.

Рис. 2.1 — Вплив біотичних та абіотичних факторів в умовах змін кліматичних чинників та селекції на формування основних ознак рослин хмелю (Штанько І.П., 2022) [109].

Підвищення стійкості сортів до несприятливих факторів зовнішнього середовища - неодмінна умова біологізації і інтенсифікації процесів в рослинництві. У зв'язку з прогнозом фахівців про невідворотні зміни клімату значно скорочуються терміни розробки новітніх методів і створення на їх основі сортів, що мають комплексну адаптацію, зокрема до посухи, екстремальних температур та інших стресових факторів середовища. А це, в свою чергу, зумовлює все більшу увагу до використання для виведення таких сортів методів міжвидової гібридизації та індукованого рекомбіногенезу.

Сорти, що поєднують високу потенційну продуктивність зі стійкістю до стресів, здатні забезпечити стабільні об'єми та якість врожаю. Завдання селекції на поєднання високої потенційної врожайності зі стійкістю до абіотичних стресів зумовлює неможливість реалізації високою потенційною врожайністю сортів через екстремальних факторів зовнішнього середовища, оскільки заходи, що підсилюють ріст рослин, одночасно сприяють зменшенню їх стійкості до екологічних стресів. Зазвичай більш врожайні сорти дуже чутливі до абіотичних стресів, а висока стійкість до стресів сортів зазвичай поєднується з низькою їх продуктивністю. Для нерегульованих в польових умовах факторів зовнішнього середовища (температура, освітленість, вологозабезпеченість) повинні бути сорти з низьким рівнем чуйності на зміну зазначених параметрів для забезпечення максимальної рівномірності прояви господарських цінних ознак. Якщо ж фактори зовнішнього середовища виявляються регульованими, наприклад, вологозабезпеченість в умовах зрошення, то бажано, щоб рівень чуйності сортів на них був якомога вище.

Екологічні стреси призводять до уповільнення і навіть припинення ростових процесів. Генеративні органи рослин в найменшій мірі захищені від дії екологічних стресів.

Селекція рослин на стійкість їх до шкідників і хвороб є частиною селекції та спрямована на створення сортів, стійких до біотичних факторів середовища. У той же час селекція на імунітет має свої особливості, пов'язані з проявом ознаки стійкості. У селекції на генетичний захист продукційного процесу від несприятливого впливу біотичних факторів зовнішнього середовища, зокрема шкідників і хвороб, виникає проблема адаптивності. В основі стійкості до шкідливих організмів лежить системна властивість макросистем рослин оптимально реагувати щодо формоутворення макроознак «продуктивність» на динаміку зміни цього біологічного фактора. Тільки в цьому випадку мова йде про взаємодію біологічних систем паразит-господар, хід якого, в свою чергу, залежить від стану факторів екологічного середовища.

Відомо, що пластичний сорт забезпечує стабільну за роками врожайність не за рахунок стійкості до стресових факторів, а за рахунок витривалості (толерантності). У селекції для перенесення генів специфічної стійкості зазвичай використовують методи схрещування і беккросів. Цікавим є розгляд зв'язків між загальною і специфічною адаптивністю рослин до факторів зовнішнього середовища і стійкістю їх до патогенів. Встановлено, що збільшення загальної і специфічної адаптивності рослин за рахунок більшої модифікаційної або генотипової гетерогенності одночасно підвищує і їх стійкість до патогенів. Наприклад, гібриди не тільки володіють високою адаптивністю, а й виявляються більш стійкими до ураження шкідниками та хворобами. При використанні гібридів: можуть бути отримані певні переваги і в плані поєднання горизонтальної і вертикальної стійкості.

При підборі батьківських форм для підвищення адаптивності рослин в якості однієї з батьківських форм, найчастіше материнської, використовують кращі сорти місцевої селекції. Кожним з батьків (донором) виступає сорт, який

несе гени стійкості. В даний час для створення донорів стійкості застосовують віддалену гібридизацію, експериментальний мутагенез і методи біотехнології.

Адаптивність сорту (гібрида) – збалансоване поєднання великої кількості ознак, в яких перевага віддається найбільш цінним з них. Ступінь адаптивності сорти залежить не тільки від його пристосованості, а й від специфіки екологічних умов, що створюються в агроценозах.

Сортова агротехніка, базуючись на управлінні модифікаційною мінливістю рослин, враховує специфіку адаптивних реакцій кожного сорту на різних етапах онтогенезу, в тому числі характер позитивної та негативної кореляційної залежності між компонентами потенційної продуктивності та екологічної стійкості.

Дослідженнями встановлено, що визначальним фактором нейтралізації негативного впливу окремих елементів впливу на адаптивні та інші ознаки генотипів хмелю, є в першу чергу селекційні та агротехнічні заходи. Селекція в цьому випадку має ширший спектр впливу на формування бажаних ознак, але потребує значних зусиль для аналізу вихідного батьківського матеріалу, аналізу нащадків схрещувань для їх ідентифікації різними методами і виділення кращих форм за модельними показниками сорту згідно сучасних потреб виробництва хмелесировини та пивоваріння.

Дослідження селекції хмелю в Нюел є традицією, яка починається в 1926 року в Німеччині. Протягом десятиліть увага приділялася виключно розвитку класичних ароматичних сортів. У 80-роках минулого століття була розпочата програма для створення високосмольних сортів хмелю. В обох напрямках розроблено сорти з підвищеною стійкістю до хвороб і підвищення агротехнічних показників [110].

Виведення нових сортів хмелю в Німеччині направлене на такі критерії: з чудовою якістю для пивоваріння, з хорошою стійкістю до шкідників і хвороб, з хорошими агрономічними характеристиками. Методи створення нових форм - шляхом застосування класичного схрещування, підкріпленого біотехнологією та аналізом геному. Нові сорти, які відповідають сучасним вимогам ринку відпускаються до вирощування після реєстрації.

У 2006 р. за спільною ініціативою американських крафтових пивоварів було розпочато програми зі створення сортів хмелю зі специфічними ароматами. Поряд з цією новою тенденцією в Хюллі в 2014 році було внесено кілька інновацій у процес селекції сортів хмелю (рис. 2.2), що включають схрещування, розмноження в теплиці, відбір і передові випробування перспективних експериментальних клонів [110].

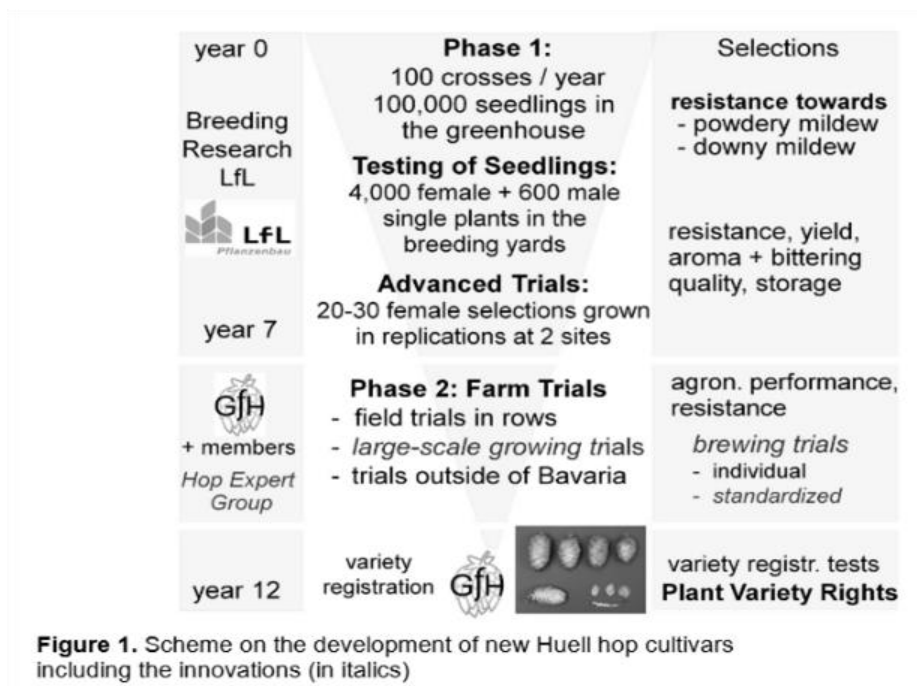


Рис. 2.2 – Схема селекції нових сортів хмелю в Хюллі, ФРН, яка включає інновації (*курсивом*) [110]

На другому етапі, на якому випробовуються перспективні селекційні лінії на агрономічні показники і визначається пивоварна придатність, створювались експертні групи для оцінки хмелю, а також запровадили масштабне вирощування для випробування та стандартизовані випробування для пивоваріння. Така схема гарантує, що будуть випущені нові сорти хмелю, які повністю відповідають вимогам хмелярів та пивоварної промисловості. Чотириетапний процес (рис. 2.3), що вступає в дію на другій фазі оцінки та впровадження нових сортів хмелю.



Рис. 2.3 – Процес оцінки сортів в дослідженнях та впровадження нових німецьких сортів у виробництво [110]

На етапі 1 група з 17 експертів з хмелю, які представляють весь ланцюжок виробників і представники пивоварної промисловості разом із селекціонерами аналізує процес відбору. Ця група характеризує аромат перспективних експериментальних ліній і оцінює їх аромат і гіркоту, а також їх стійкість і агротехнічні характеристики для перспектив галузі.

Далі проводиться попередній скринінг: стандартизовані випробування пивоваріння сухим охмелінням. На основі цього рейтингу найперспективніші селекційні лінії перевіряються на їх сухий хмельовий аромат на етапі 2. На основі концепції, розробленої групою експертів з хмелю, ці експериментальні лінії випробовуються в пиві нижнього та верхнього бродіння з різним часом контакту та різною кількістю дозованої хмелевої олії. Ці випробування сухих шишок проводяться в Weihenstephan Дослідницька пивоварня, Технічний університет Мюнхена, пивоварний факультет і фінансується Товариством досліджень хмелю (GfH).

Далі проводяться більш масштабні випробування: виділяються сорти хмелю, які демонструють добрі характеристики сухого хмельового аромату. Члени дослідної установи, GfH, торгових фірм беруть участь у цих польових випробуваннях на основі оцінки разом із фермерами. Отримують комплексні відомості про агротехнічні показники та стійкість цих селекційних ліній у різних локаціях. Крім того, таким чином виробляється достатня кількість хмелю для індивідуальних та стандартизованих випробувань у пивоварінні на етапі 4. Масштабні польові випробування також дозволяють проводити дослідження щодо обробки дослідних ліній [110, 111].

З 2001 року [112] Comptoir Agricole Франція інвестує в широкую селекційну програму досліджень, щоб адаптуватися до очікувань виробників хмелю та пивоварів. Метою цієї програми є створення одного або кількох нових сортів хмелю з інноваційними ароматичними властивостями, при цьому має більш виражений вміст альфа-кислоти. Друга мета — зробити сорт більш стійким до хвороб і таким чином зменшити використання продуктів хімічного захисту рослин, в тому числі з переходом до органічного виробництва.

За основу цієї програми була прийнята методологія схрещувань та оцінки селекційного матеріалу аналогічна чеській та англійській: використання в якості жіночих форм зразків європейського хмелю з унікальними ароматичними ознаками та місцевих чоловічих форм. Оцінка створених гібридних сіянців проводилась впродовж 6-8 років. Aramis (2011), Triskel (2012), Barbe Rouge (у 2014 році) були поставлені першими сортами цієї програми. Завдяки селекційній програмі схрещувань та досліджень вже з 2015 року у Франції вирощують власні нові сорти: Aramis, Barbe Rouge, Bouclier, Elixir, Houblons expérimentaux, Mistral, Triskel та відомі європейські сорти Brewers Gold, Cascade, Columbus, Fuggle, Nugget, Perle, Savinjski Golding, Strisselspalt, Tradition, частка яких поступово зменшується. [112, 113].

В Російській Федерації Державним реєстром селекційних досягнень дозволено 12 сортів хмелю: Подв'язний, Крилатський, Сумерь, Цивільській, Дружний, Михайловській, Фаворіт, Флагман, Фараон, Феодал, Форвард и Факір.

Переважна кількість сортів має гібридне походження і створені з використанням традиційної схеми селекції, яка передбачає оцінку селекційних генотипів в таких розсадниках: гібридизації, селекційному, попереднього сортовивчення, конкурсному та державному сортовипробуванні. Така схема має свої переваги, але тривалість вивчення сортозразка за її використання, складає мінімум 14-15 років до періоду виходу на виробництво.

Селекція хмелю в США вже давно є синонімом високого рівня альфа-кислот в сортах, а отримані екстракти хмелю забезпечують пивоварів у всьому світі цим важливим гірким компонентом. Однак, поруч з цікавими гіркими формами, було створено багато клонів з цікавими ароматичними профілями, які упродовж останнього десятиліття знайшли популярність у крафтових пивоварів, що надало їм можливість шукати нові характерні смаки та аромати в пиві, розробити різноманітні стилі пива та спеціальні сорти пива [114, 115].

Зазвичай для визначення потенційного нового сорту хмелю потрібно щонайменше п'ять років, а для введення його у виробництво може знадобитися ще шість років. Селекційний цикл досліджень університету в Міннесоті такий (рис. 2.4):



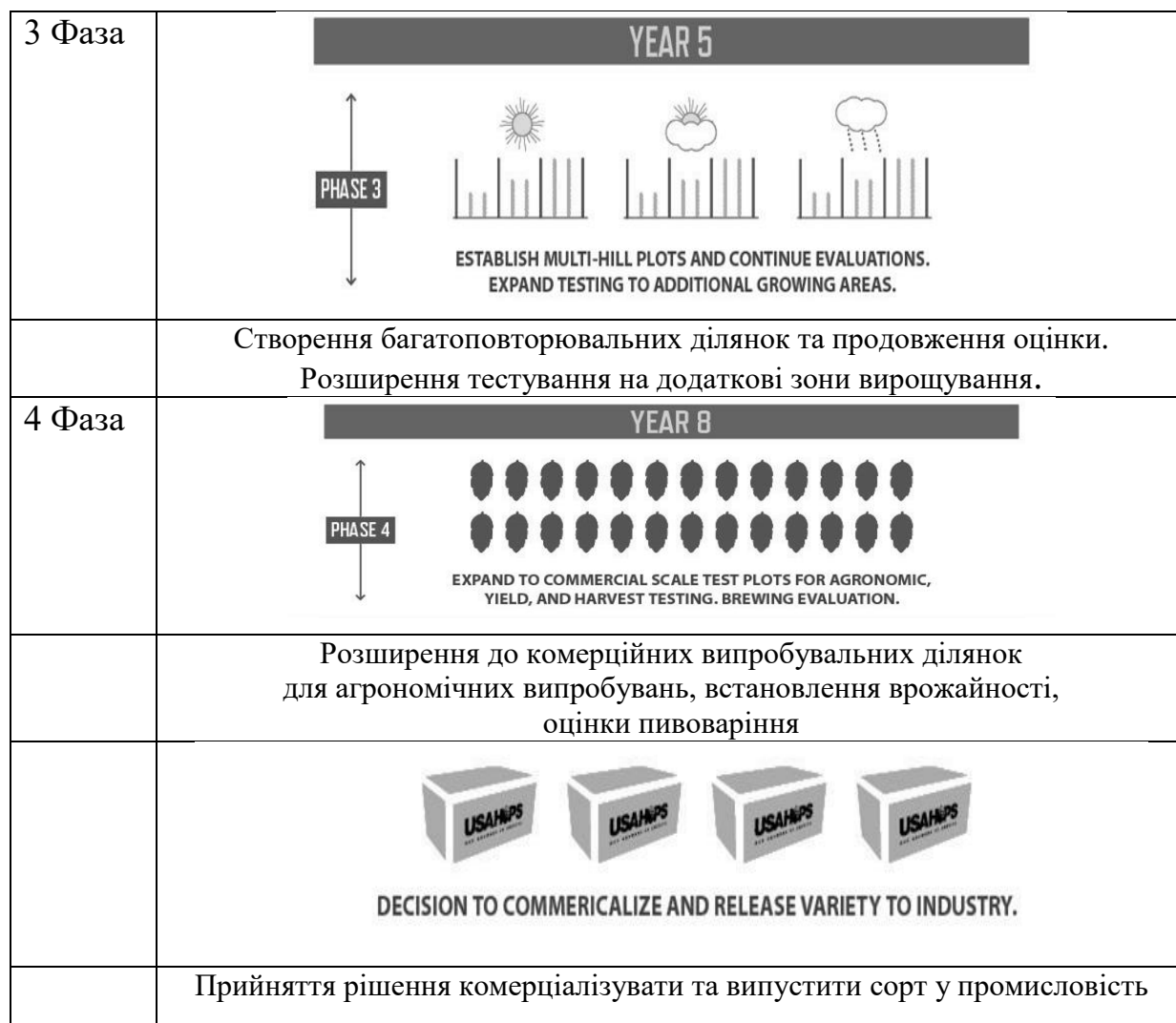
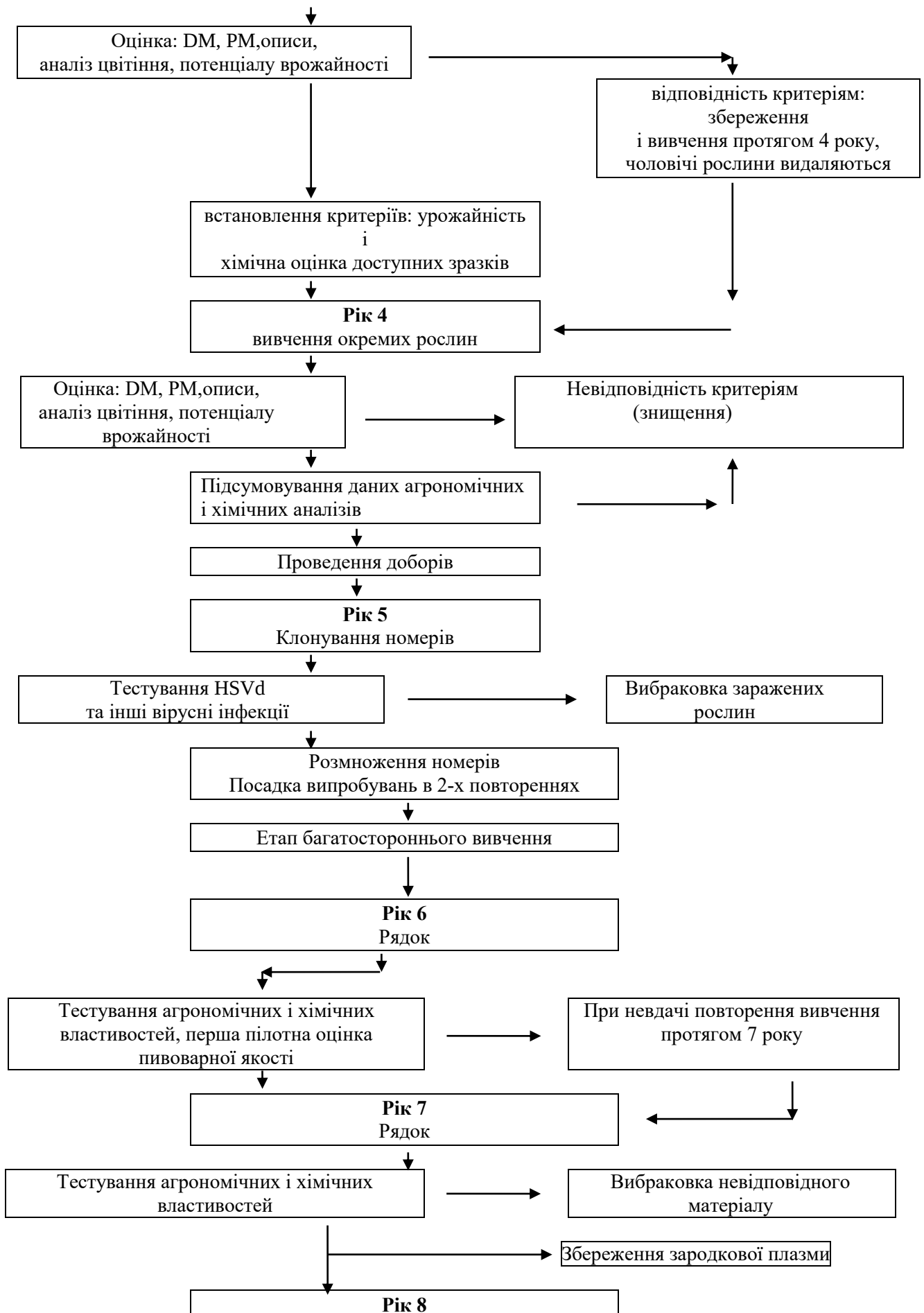


Рис. 2.4 – Схема селекційного процесу хмелю
(Університет в Міннесоті, США), [114]

За схожою, але трохи більш складною схемою працює селекційний центр в університеті Корваліс (рис. 2.5) [117]:

БЛОК-СХЕМА
виведення сортів хмелю (2012-2024 р), Університет Корваліс, США





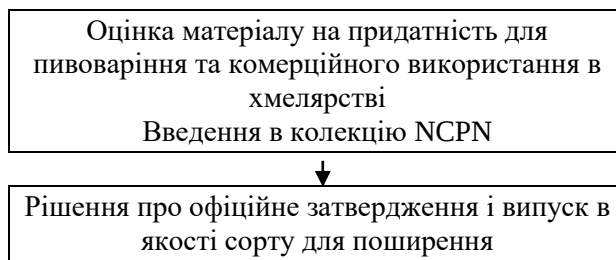


Рис. 2.5 – Схема селекційної програми (Університет Корваліс, США) [117]

Схема селекції хмелю у Великобританії в цілому схожа на попередні варіанти, але також має свої особливості, оскільки додається оцінка сортономерів на придатність до низької шпалери [118—124]:

- Рік 1: Проведення запланованих схрещувань
- Рік 2: Вирощування насіння
- Рік 3: Перша оцінка окремих сіянців (на основі аналізу умісту альфа-кислот в шишках та оцінки аромату)
- Рік 4: Збирання зрілого хмелю; оцінка врожайності, стійкості рослин і форми шишок
- Рік 5: Вибір потенційних сортів і розмноження матеріалу для комерціалізації
- Рік 6: Посадка невеликих ділянок
- Рік 7: Оцінка комерційних характеристик, включаючи придатність для машинного збирання, придатність до низької шпалери, врожайність, аналіз олії та смоли та стійкість до хвороб.
- Рік 8: Оцінка габітусу зрілих рослин та проведення пілотних випробувань у пивоварінні
- Рік 9: Розмноження садивного матеріалу на фермах
- Рік 10: Посадка на фермах
- Рік 11: Товарна культура

Схема селекції в Чеській республіці пов'язана з всіма сучасними напрямками, які нині розробляються для хмелю звичайного: дослідження ДНК генетичних колекцій, створення вихідного матеріалу в асептичній культурі, кріоконсервація, гібридизація на величезний комплекс ознак, в тому числі, на специфічні аромати.

Першим чеським сортом ароматичного профільного типу є Казбек. Збільшення площ його вирощування в Чеській Республіці пов'язане через інтерес як чеських, так і іноземних пивоварень. Наразі в дослідженнях є ряд перспективних генотипів смаку у тому числі деякі карликові сорти [125]. У цій селекції використовується також дикий хміль [79]. Програми селекції хмелю, спрямований на аромат і гіркий хміль. Схема селекції дуже схожа на німецьку, різниця полягає у використанні не такого широкого спектру кінцевих оцінок, які проводяться лише в лабораторних пивоварнях ТОВ «Інститут хмелю» в Жатці.

У 2012 та 2013 роках, в рамках пошуку нових ароматичних форм було здійснено ряд схрещувань [127–129]. Сорти Kazbek, Columb, дикий хміль і новий генетичний матеріал служив батьківськими компонентами. Після оцінки

смаку свіжих шишок, було вибрано 84 перспективних генотипи для інших селекційних оцінок. На основі цієї оцінки було обрано дванадцять найбільш цікавих генотипи для холодного охмеління, які були розділені на чотири групи. Першу групу склали генотипи з найкращою оцінкою цитрусового смаку, у другій групі, представлені квіткові аромати, фруктовий смак представляв третю групу, четверта група представлена генотипами з найвиразнішим деревним ароматом. Дослідження за такою схемою, використання широкого аналітичного поля (ДНК-ідентифікація, тонкошарова газова хроматографія, пивоварні оцінки, органолептична характеристика, розмноження в асептичній культурі) дозволяє за 8-10 років довести новий сорт до виробництва [127–129].

Австралійська хмелева індустрія має багату історію постійної прихильності до досліджень і розробок до 1950-х років. Щоб залишатися конкурентоспроможними на міжнародному рівні, виробництво хмелю в Австралії покладається на місцеві сорти, які були виведені в австралійському середовищі. З середини 1990-х рр. дослідження Партнерство між Університетом Тасманії та Hop Products Australia зосереджено на включення сучасних технологій в австралійську програму розведення хмелю. Це включає використання проточної цитометрії для розробки триплоїдних сортів хмелю, виявлення та отримання інформації з використанням молекулярних маркерів і розуміння складного хімічного складу розташування хмелю за допомогою аналітичної хімії. Це успішне співробітництво між університетом і промисловістю, передові дослідження та селекція хмелю в Австралії сприяли створенню сортів без насіння з різноманітними смаковими профілями [130].

В напрямку створення нових форм для селекції працюють також в Польській республіці. Впродовж останніх років [131, 132] результатом досліджень є створення декількох польських тетраплоїдних форм та диплоїдного сорту Sibilla. В тому ж напрямку отримання нових форм працювали і інші науковці [133, 134].

В Україні за періоди селекційних досліджень селекційна схема зазнавала трансформацій та змін, в залежності від цілей та напрямків досліджень, від запровадження тих чи інших інновацій у систему створення сортів. Одна з таких модифікацій схеми селекції хмелю звичайного стала основою розробленого національного стандарту ДСТУ 7027:2009 «Селекція хмелю. Технологічний процес. Методи випробувань» (рис. 2.6) [135] та ілюстрації до цієї схеми (рис. 2.7-2.11).

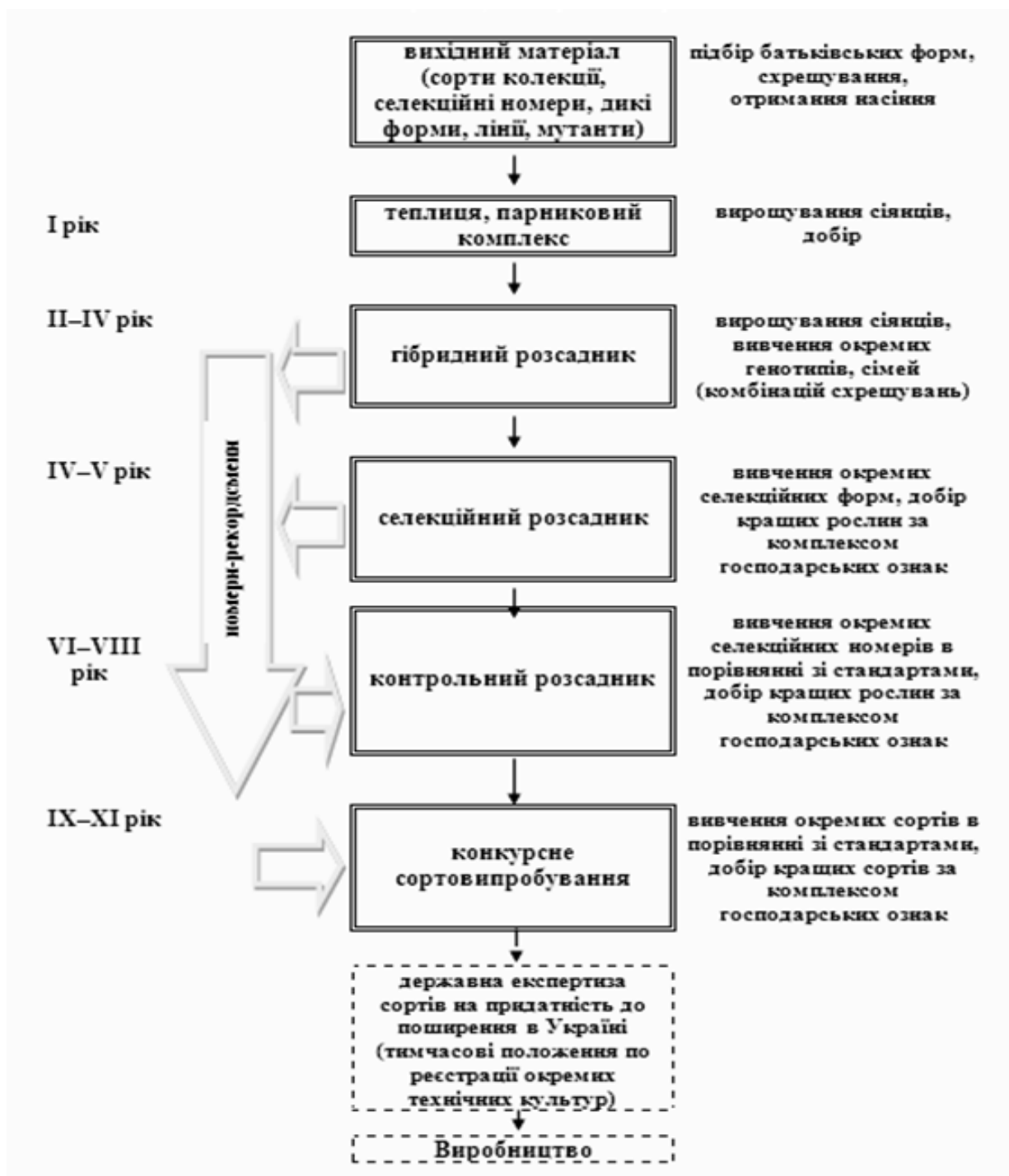


Рис. 2.6 – Схема розгорнутого селекційного процесу створення нових сортів хмелю, Україна (1995-2015 рр., ДСТУ 7027: 2009) [135]

А)



Б)



В1)



В2)



Рис. 2.7 — Проведення схрещувань: А) — цвітіння чоловічої рослини; Б) цвітіння жіночої рослини; В) — ізоляція бокових гілок із жіночими суцвіттями в пергаментні ізолятори (*світлин* А, Б, В₁ — Штанько І.П., 2021 р.; В₂ — Derby P., USA) [123]



Рис. 2.8 — Етапи росту сіянців хмелю від насінини до проростка

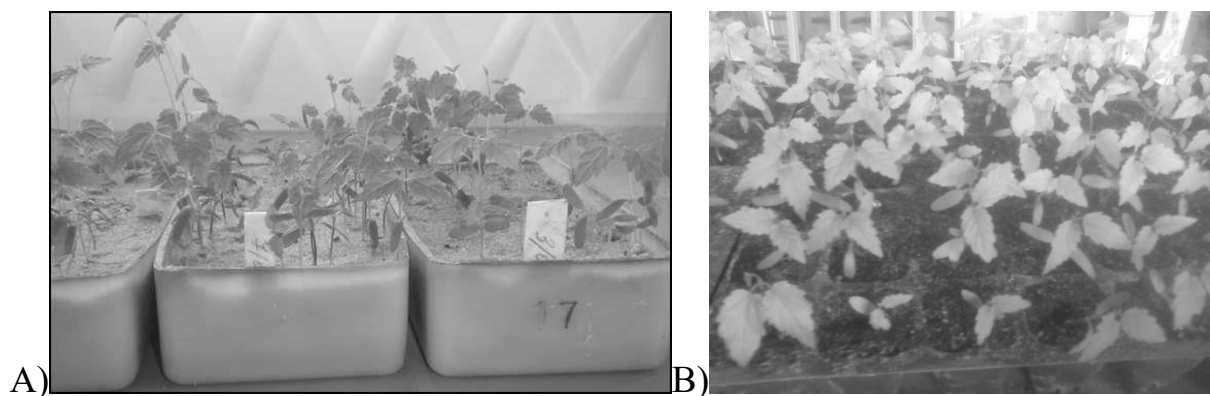


Рис. 2.9 — Вирощування сіянців хмелю (первинні етапи, А) - в лотках, В) - в касетах)



Рис. 2.10 — Вирощування сіянців в теплиці



Рис. 2.11 — Дослідження клонів в селекційних розсадниках в умовах *in vivo*

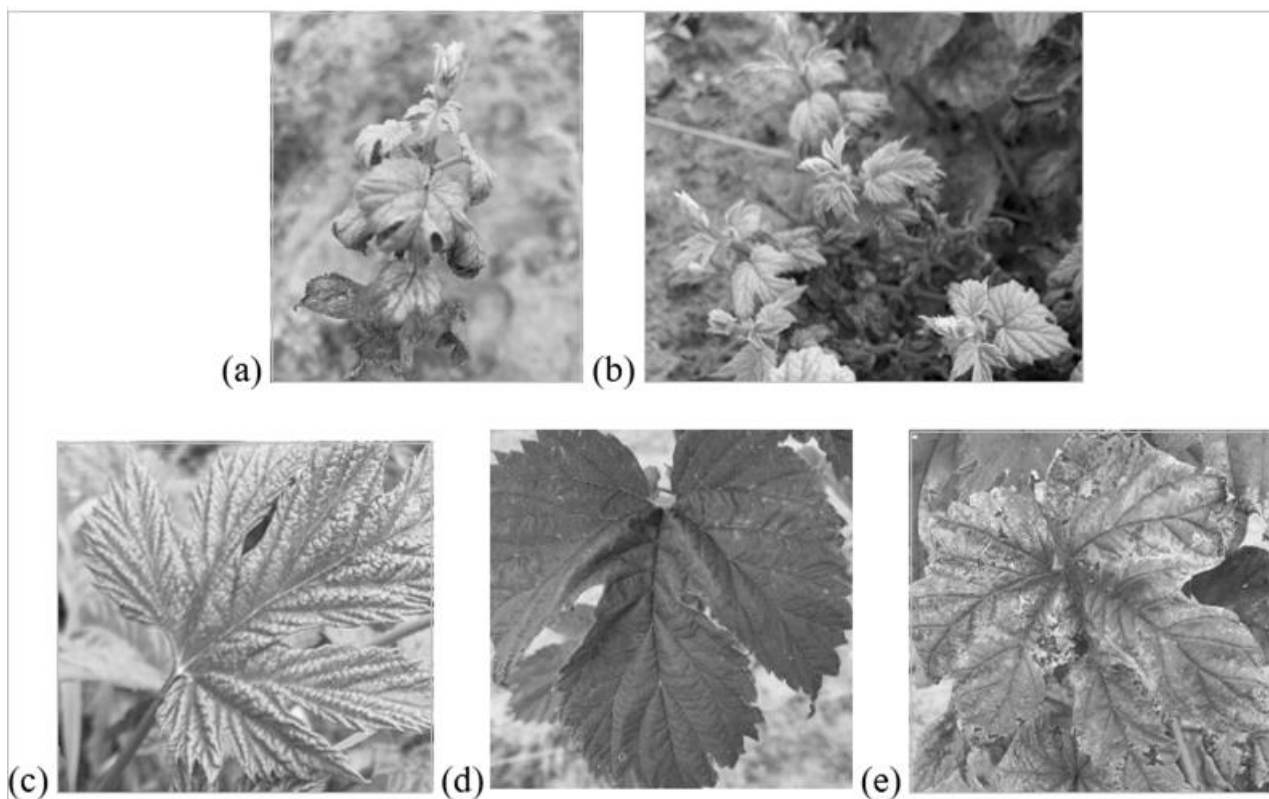


Рисунок 3.1 – Симптоми прояву *P. humuli* на рослинах хмелю під час початкових фаз розвитку та росту. (а) Поодинокі первинні «колосоподібні» пагони (1-3 бали), (б) Утворення значної кількості «колосоподібних» пагонів (4-5 б); (с) Відсутність ураження листя на другому етапі (д) Дуже слабке та слабке ураження листя (1-3 б), (е) Середнє ураження листя (4-5 б).



Рисунок 3.2 — Ураження рослин хмелю хмельовою попелицею (*Phorodon humuli* Schrk.)

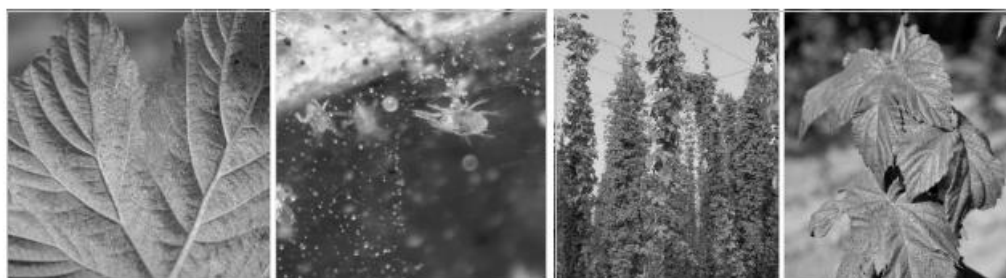


Рисунок 3.3 — Ураження рослин хмелю павутинним кліщем (*Tetranychus urticae* Koch.)

Розроблені нові методики, тести і методи оцінки селекційного матеріалу за морфологічними та біологічними ознаками, які покладено в основу розробки нових селекційних технологій. В гетерозисній селекції хмелю виділяються форми з високою комбінаційною здатністю, що стабільно відтворюють в наступних поколіннях високі показники продуктивності, якості шишок та стійкості до абіотичних і біотичних факторів довкілля, а застосування нових методів створення і розмноження селекційного матеріалу дозволяє запропонувати оновлену схему селекційного процесу отримання нових сортів хмелю в Україні (2016-2025 рр.) (рис. 2.12).



Рис. 2.12 – Схема селекційного процесу, 2021-2025 рр.

Комплекс досліджень передбачає цілу низку параметрів для оцінки вихідного матеріалу хмелю (рис. 2.13), направлених на розробку методичних підходів створення нового вихідного матеріалу для селекційного процесу та створення нових сортів з комплексом цінних ознак для умов Полісся та Лісостепу України.

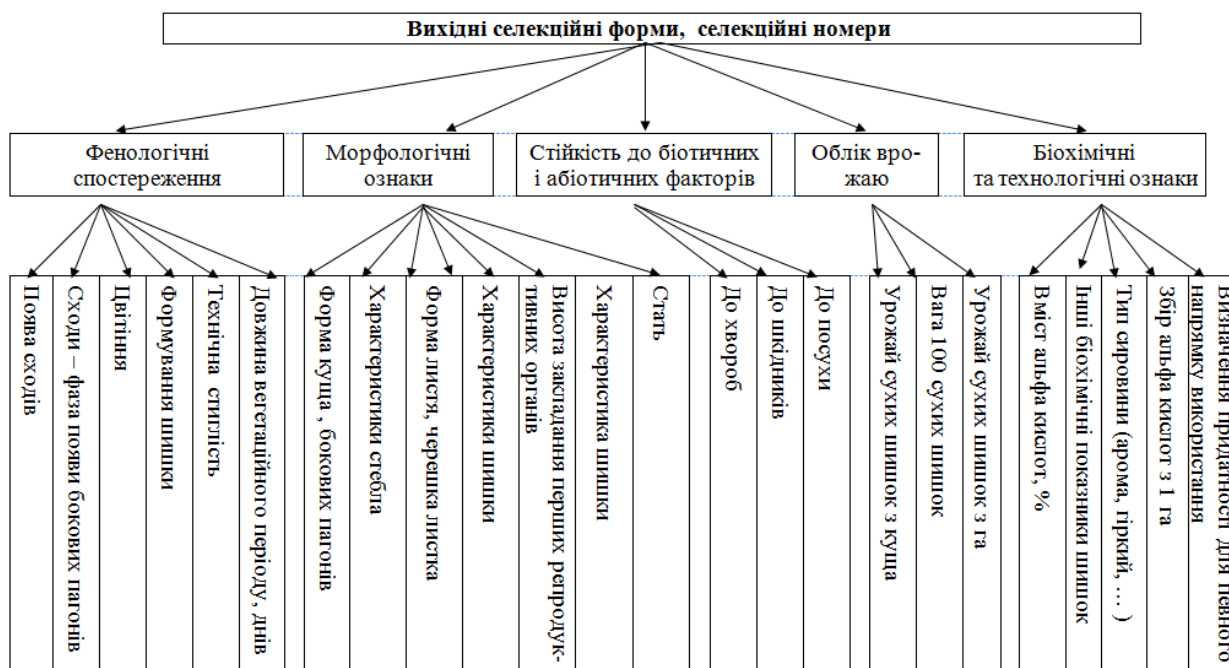


Рис. 2.13 – Параметри вивчення вихідного матеріалу хмелю за комплексом ознак, (Штанько І.П., 2021)

Селекція направлена на такі напрямки: підвищення врожайності, збільшення вмісту цінних компонентів в складі шишок (альфа-кислоти, бета-кислоти, ефірної олії, ксантогумолу в складі альфа-кислот і т.д.), зменшення вмісту компонентів, які зменшують якість пива та іншої продукції (когумулони та ін.), комплексне покращення якості шишок сортів для підвищення пивоварних оцінок, підвищення рівня стійкості у нових сортів до біотичних і абіотичних факторів в умовах змінних параметрів довкілля в зоні Полісся України, придатності до механізованого вирощування і збирання, селекція карликових форм на низьку шпалеру тощо.

З КОНЦЕПТУАЛЬНІ НАУКОВО–МЕТОДИЧНІ ПІДХОДИ ДО ОТРИМАННЯ ЦІННИХ ЗА ЯКІСНИМИ І КІЛЬКІСНИМИ ОЗНАКАМИ ГЕНОТИПІВ ХМЕЛЮ ДЛЯ ЗБАГАЧЕННЯ ГЕНЕТИЧНОГО РІЗНОМАНІТТЯ ХМЕЛЮ ЗВИЧАЙНОГО (*HUMULUS LUPULUS* L.) ЗА ВИКОРИСТАННЯ СЕЛЕКЦІЙНО-ГЕНЕТИЧНИХ І БІОТЕХНОЛОГІЧНИХ МЕТОДІВ

Науково-методичні рекомендації розроблені на основі узагальнення та систематизації наукових досліджень з питань селекційно–генетичних основ створення, оцінки та використання нових генотипів хмелю (*Humulus lupulus* L.), стійких до біотичних факторів довкілля з цінними ознаками для пивоваріння, фармацевтичної та інших галузей в умовах Полісся України.

Рекомендації розроблені для удосконалення та деталізації науково–методичних підходів до отримання цінних за якісними і кількісними ознаками генотипів хмелю, зокрема, окреслені вимоги до методики дослідження генотипів хмелю в селекційних випробуваннях (схема та технологія селекційного процесу, вимоги до проведення польових досліджень, закладання та оформлення дослідів, особливості агротехніки на дослідках та системи захисту на ділянках з визначення стійкості до біотичних факторів); вимоги до методики оцінки стійкості селекційних форм хмелю до біотичних факторів (спостереження та обліки в дослідках, облік ураження сортів хмелю збудниками хвороб і пошкодження шкідниками); вимоги до формування інформаційних баз даних та їх аналізу

Оскільки головним напрямком при розробці рекомендацій було визначення методичних основ створення, оцінки та використання нових генотипів хмелю, стійких до біотичних факторів довкілля, то в звіті викладено уточнені вимоги організації спостережень за стадіями розвитку рослин, обліків та описів в дослідках з визначення ступеню розвитку несправжньої борошнистої роси, ураження сисними шкідниками хмелю, які проводять в декілька етапів росту і розвитку рослин. Оцінювання наявних генотипів у селекційному розсаднику на стійкість до основних біотичних патогенних організмів (несправжньою борошнистою росою (*Pseudoperonospora humuli* Wilson), хмельовою попелицею (*Phorodon humuli* Schrk.), павутинним кліщем (*Tetranychus urticae* Koch.) надає змогу більш швидко сформувати базу оцінки нових відібраних форм за параметрами генетичних передумов стійкості та провести більш деталізований добір за цією ознакою серед претендентів на конкурсне сортовивчення. Надалі в тексті рекомендацій наводимо запропоновані методичні вимоги і підходи до організації проведення селекційної оцінки генотипів хмелю.

3.1 Відбір вихідних форм, створення нового гібридного матеріалу

Від початкового схрещування до випуску сорту має пройти не менше 8-10 років. Небезпека в спробах скоротити цей термін полягає в тому, що ви можете зробити значні інвестиції в значні посадки дослідного сорту, не знаючи, що дуже небажана ознака ще не виявилася. Для прикладу, рослина, якій виповнилося 6 років, можливо, не зазнала сильного тиску пероноспорозу протягом років досліджень або генотип з високим умістом альфа-кислоти може показати різке падіння альфа-кислоти після 8 року життя. Тривалість досліджень зменшує ризики у довгостроковій перспективі.

Найголовніший ресурс селекціонера – це оцінка спорідненості існуючих сортів на основі аналізу їх родоводів. Так хмелі, які добре ростуть в США, мають добрі пивоварні якості, як правило, є сумішшю європейських і північноамериканських генетичних зразків. Cascade, Brewer's Gold і Chinook — приклади хмелю, що поєднують європейські та північно-американські гени. Якщо в генотипі значна насиченість «північноамериканських» генів, хміль може мати грубий смак, або бути сприйнятливим до деяких захворювань, або мати дуже пізнє цвітіння. Якщо «європейських» генів занадто багато, хміль може погано рости в короткий фотоперіод або не витримувати жаркого літа, наприклад, в континентальній частині США [136].

Складність селекційної праці з хмелем, в першу чергу, полягає в тому, що хміль є дводомною різностатевою культурою, а наявність жіночих і чоловічих рослин у хмелю вимагає проведення селекційної роботи як з жіночими так і чоловічими рослинами. Гібридизація в селекційній роботі з хмелем на даний період є невід'ємною складовою при отриманні нового вихідного матеріалу для селекції і основним методом виведення нових сортів. При створенні нових сортів важливо знати селекційну цінність генотипів вихідних батьківських форм, враховуючи при цьому закони передачі у спадковість їх генетичних ознак і властивостей. Згідно з сучасними уявленнями популяційної генетики ефективність селекції за конкретною ознакою однаково зумовлюються такими основними константами: мінливістю і спадковістю ознак, кореляційними зв'язками між ними, частотою з'явлення (для якісних груп) та повтореннях показників у часі.

Однією з ознак, яка бажана для нового сорту, це – стійкість до борошнистої роси. Magnum, Mt. Rainier, Newport, Orion, Perle, Sorachi Ace, Spalter Select, Teamaker, Tradition, Viking і Yeoman за результатами досліджень є джерелами стійкості до пероноспорозу. Серед інших сортів, які можуть мати часткову толерантність до цієї хвороби, є Brewers Gold, Cascade, Chinook, Northdown і Omega. В процесі досліджень були також виділені сорти, які особливо сприйнятливі до захворювань, зокрема: Claster, Columbus, Comet, Galena, Golding і Zeus [116, 137].

В ідеалі, обрана чоловіча форма також повинна добре переносити зараження пероноспорозом, має бути добре розвиненим, мати значну вегетативну масу. Час цвітіння менш важливий для чоловіків, оскільки пилок

можна тримати в холодильнику до двох тижнів. Але група цвітіння чоловічої форми також має вплив на ТВП нащадків. Приблизно від 1/3 до 1/2 рослин від схрещувань будуть чоловічими. Для схрещувань використовують як селекційні форми чоловічих рослин з відомим або частково відомим родоводом, або з невідомим походженням (автохтонні форми, відкритого запилення).

При аналізі родоводу світових сортів встановлено, що деякі успішні сорти F₁ мали невідомих батьків (Cascade, Brewer's Gold, Palisade, Sovereign, Boadicea, Smoothcone і WGV) або у F₂ дідів (Mt. Hood, Super Galena, Willamette, Horizon, Vanguard, Liberty, Newport, Boadicea, Progress, Vojvodina і Bramling Cross) [138, 139].

Аналіз родоводів українських сортів показує, що більшість з них мають в основному клонове походження з кращих форм автохтонного походження, або виділені з іноземних сортів методом клонової селекції. Починаючи з 60-х років гібридизація, яка була використана як основний метод дала можливість виділяти з широкого вихідного матеріалу гібридогенного походження нові більш стійкі та адаптовані форми.

Як вказують постулати сучасних уявлень про селекцію, як науку, це дослідження про створення складних біологічних макросистем, тобто системотехнічні. Формування знань, необхідних для створення біологічних засобів виробництва, і розробки на їх основі технологій і має становити основу зміст теорії селекції. При цьому виникає необхідність в структуризації класифікації знань з точки зору вирішення завдань селекції і у виборі із сукупності на накопиченні сучасних знань про об'єкти селекції тих, що забезпечують найбільш ефективно вирішення конкретних завдань селекції та розробки на їх основі технологій, тобто організації служби «менеджменту» знань на основі комп'ютерних технологій.

Виходячи із ситуації на ринку хмелесировини, можна передбачити декілька напрямків розвитку для українського хмелярства, зокрема: забезпечення потреб невеликих пивоварних компаній на внутрішньому ринку за рахунок збереження площ під ароматичними сортами; поступове нарощування експортного потенціалу унікальних вітчизняних ароматичних сортів, в тому числі і за рахунок використання технологій органічного землекористування; збільшення частки гірких і надгірких сортів та розширення способів використання хмелю в інших галузях промисловості.

3.2 Спостереження та обліки в дослідях з визначення стійкості рослин хмелю до основних біотичних патогенів

Фенологічні обстеження виконують візуально або шляхом вимірювання органів рослини хмелю. Обстежується кожен окремий генотип (сорт) або дослідна ділянка (повторення) клону одного генотипу (сорту). Відзначають дати настання таких фаз:

– початок відростання пагонів після обрізки (для ділянки – за появи пагонів у 10–15 % рослин на ділянці);

- повне відростання пагонів (для ділянки – за появи пагонів у 75 % рослин на ділянці);
- поява бокових пагонів (для ділянки – за формування бокових пагонів у 75 % рослин на ділянці);
- початок цвітіння – за появи поодиноких суцвіть на середній частині куща, (для ділянки – поява суцвіть у 10– 15 % облікових рослин);
- повного цвітіння – 75 % рослини мають квітучі суцвіття на більшості гілок (маточки приймочок квіток сформовані для запилення);
- початок формування шишок, коли шишки розвинені, але ще не досягли технічної стиглості (у більшості суцвіть маточки приймочок зів'ялі або засохлі);
- початку технічної стиглості шишок (для ділянки – у 10–15 % рослин на ділянці шишки щільні, світлішають, слабо шелестять за стискання);
- повної технічної стиглості – рослини мають шишки технічної стиглості на всіх ярусах рослини; шишки пружні, золотисто–зелені, мають властивий для генотипу (сорту) аромат, за стискання шелестять, лупулінові зерна набувають характерного для генотипу (сорту) забарвлення (яскраво–жовтого, помаранчевого, світло–жовтого);

Визначають тривалість періоду вегетації (від початку відростання пагонів після обрізки головних кореневищ до настання повної технічної стиглості шишок). Також відмічають дати рамування, заведення на підтримки пагонів рослин, дати обліків ураження та обробок.

3.3 Облік ураження сортів хмелю збудниками хвороб і пошкодження шкідниками

Впродовж вегетації хмелю на дослідних ділянках обліковують рослини, уражені різними хворобами та шкідниками – несправжньою борошнистою росою (*Pseudoperonospora humuli* Wilson), хмельовою попелицею (*Phorodon humuli* Schrk.), павутинним кліщем (*Tetranychus urticae* Koch.).

Оцінюють ураження псевдопероноспорозом тричі за період вегетації: на початку весняного розвитку, формування бічних гілок та перед цвітінням і під час формування та досягання шишок.

За обліку встановлюють відсоток ураження рослин і ступінь ураження. Весною захворювання хмелю (після появи сходів) обліковують за наявністю колосоподібних пагонів за 9–ти бальною шкалою.

Облік ураження хворобою здійснювали візуальною оцінкою ступеня ураження хворобою з використанням методики оцінки селекційних генотипів хмелю [99], ознак розвитку хвороби [140–142], фіксації симптомів [143]. Обліки ураженості *P. humuli* проводили на початкових фазах весняного розвитку рослин в два етапи: перший етап – фаза «поява сходів» від 15 квітня до 30 квітня; другий етап – фаза «початок росту пагонів» від 1 травня до 15 травня. Ступінь ураження хмелю *P. humuli* під час першого етапу обліковували за 9–ти бальною шкалою (140, 142): 1 = дуже слабе ураження, наявні 1-2

колосоподібних пагони (кп) (рис. 1, а); 2-3 = слабе ураження, 3-5 кп (рис. 1, b); 4-5 = середнє ураження, 6-10 кп; 6-7 = сильне ураження, 11-15 кп; 8-9 = дуже сильне ураження, більшість пагонів деформовано. Ураження рослин листковою формою *P. humuli* (другий етап, рис. 1, с, d, e) оцінювали за симптомами прояву хвороби за 9-ти баловою, виходячи з відсотка ураженої листкової поверхні 1 = поодинокі бурі плями; 2-3 = 1-5% поверхні листків; 4-5 = 6-10%; 6-7 = 11-50%; 8-9 = <50%).

Строки обліків псевдопероноспорозу не змінювалися і не залежали від груп генотипів за ТВП. Оцінку ураженості проводили на природному фоні розповсюдження хвороби без додаткової інокуляції. Досліджувані генотипи хмелю не піддавалися обробці засобами контролю шкочочинних об'єктів впродовж етапів спостережень.

Індекс (поширення) хвороби (IX; %) розраховували для кожного генотипу за формулою (144):

$$IX = [\Sigma(N_x \times b_x) \times 100] / (N_t \times K),$$

де IX – індекс хвороби, %

$\Sigma(N_x \times b_x)$ – сума добутків кількості рослин на відповідний бал ураження,

N_t – загальна кількість рослин, K – найвищий бал шкали обліку.

Зразки з IX від 0% до 20% відносили до стійких, резистентних (R), від 21% до 30% – помірно стійких (MR), від 31% до 40% – помірно сприйнятливих (M), від 41 до 50 – сприйнятливих (S), більше 51% – дуже сприятливих (VS).

Для оцінки різниць прояву досліджуваної ознаки між генотипами та групами генотипів за ТВП використовуються основні статистичні показники: середнє значення IX, стандартне відхилення (Sd), F-критерій перевірки нульової гіпотези між варіантами. Розрахунки дисперсії та парного t-тесту між середніми IX генотипів здійснюються за допомогою статистичних програм MS Excel та ANOVA.

Строки обліків псевдопероноспорозу залежно від погодних умов можуть змінюватися. Розвиток хвороби дуже пов'язаний з вологою погодою, тому обліки треба проводити після роси або туманів. За рясних опадів і сильного розвитку хвороби виконують додатковий облік. Дані оцінки ступеня ураження генотипів хмелю в селекційних дослідах несправжньою борошністою россою фіксуються в журналі у вигляді таблиці (табл. 3.1):

Таблиця 3.1 - Ступінь ураження генотипів несправжньою борошнистою росою за фазами розвитку рослин

№ з/п	Генотипи (стандарти, селекційні клони) хмелю	Ступінь ураження генотипів несправжньою борошнистою росою за фазами розвитку рослин, бали; або індекс поширення хвороби (%)			
		Поява сходів після обрізки головних кореневищ	Формування бічних гілок та цвітіння	Формування та досягання шишок	Діапазон ураження за вегетацію

Заселення в дослідях рослин хмелю хмелевою попелицею (рис. 3.2) та павутинним кліщем (рис. 3.3) обліковують за 9-ти бальною шкалою (табл. 3.2):

Таблиця 3.2 - Шкала визначення ураження до хвороб та шкідників хмелю звичайного

Шкала ураження	%	бал
Дуже слабе	<10	1
Слабе	10-35	3
Середнє	36-60	5
Сильне	61-85	7
Дуже сильне	>85	9

Дані оцінки ступеня ураження генотипів хмелю в селекційних дослідях сисними шкідниками заносять в базову таблицю (табл. 3.3):

Таблиця 3.3 — Ступінь ураження генотипів сисними шкідниками за фазами розвитку рослин

№ з/п	Генотипи (стандарти, селекційні клони) хмелю	Ступінь ураження генотипів сисними шкідниками за фазами розвитку рослин, бали							
		Перед цвітінням		Після цвітіння		Перед збиранням врожаю		Середній бал ураження за вегетацію	
		Хмелюва попелиця	Павут. кліщ	Хмелюва попелиця	Павут. кліщ	Хмелюва попелиця	Павут. кліщ	Хмелюва попелиця	Павут. кліщ
1.									

Час обліку патогенів, характер пошкодження (ураження) рослин в дослідях та показники за якими проводиться оцінка подано в календарі фітопатологічних та ентомологічних обліків (табл. 3.4).

Таблиця 3.4 - Календар фітопатологічних та ентомологічних обліків на рослинах (генотипах, сортах) хмелю

Час обліку	Назва хвороби (шкідника)	Характер ураження (пошкодження) за зовнішніми ознаками	Показники обліку
Навесні (1 спостереження — під час появи сходів після обрізки) й на початку розвитку хмелю (2 спостереження)	Псевдопероноспороз або несправжня борошниста роса <i>Pseudoperonospora humuli</i> Wilson	Під дією дифузного міцелію гриба молоді пагони потовщуються, міжвузля вкорочуються, листки закручуються донизу, світлішають. Уражені пагони нагадують форму колоса, за що й називаються колосоподібними. Знизу на листках таких пагонів утворюється пишний темно—сірий наліт з фіолетовим відтінком — це літні конідії (спори) збудника.	Відсоток уражених рослин, %; ступінь ураження, бал, індекс поширення хвороби, %
Влітку напередодні цвітіння		На листках — жовто—бурі розкидані плями різні за розміром, обмежені жилками. Знизу листків утворюється наліт. Іноді плями зливаються, листки жовтіють і всихають. Кінчики бічних гілок не утворюють листків, буріють і поступово всихають.	Відсоток уражених рослин, %; ступінь ураження, бал
Під час формування шишок		Уражені суцвіття і шишки на початку формування. Останні вкриваються густим фіолетовим нальотом і часто опадають. На сформованих шишках луски буріють, втрачають пружність.	Відсоток уражених рослин, %; ступінь ураження, бал
Друга половина літа	Хмельова попелиця <i>Phorodon humuli</i> Schrank	Імаго та личинки висисають сік з листків та молодих пагонів. Листки скручуються, опадають, рослини відстають за ростом. Виділяючи цукристі екскременти, попелиці сприяють розвитку сажистого нальоту грибів із родини <i>Apiosporium</i> , що обмежує асиміляційну здатність рослин. Дуже знижуються врожай і сортність шишок.	Пошкоджених рослин, %; ступінь пошкодження, бал
Друга половина літа	Павутинний кліщ <i>Tetranychus urticae</i> Koch	Спочатку кліщ заселяє нижні листки. За сильного розмноження він пошкоджує бічні гілки, квіти й шишки. На ушкоджених листках виявляються білі цяточки, які поступово жовтіють, потім червоніють і зливаються. Листок набуває жовтувато—червоного забарвлення, поступово всихає й опадає. Шишки стають щуплими, червоніють, товарна якість погіршується. Врожай знижується на 30–60%.	Пошкоджених рослин, %; ступінь пошкодження, бал

3.4 Оцінка вихідного селекційного матеріалу, отриманого в умовах *in vitro*

Згідно затвердженої науково–дослідної програми складають план–схему проведення польових досліджень в розрізі площ, років, сортів, номерів та ін.

На схемі формують місце розташування ділянок (повторень), генотипів (зразків, сортів), визначають їх межі, орієнтацію щодо рядів на плантації, передбачаючи захисні смуги. У схемі встановлюють перелік генотипів (гібридів, номерів, форм, сортів, стандартів) для вивчення чи порівняльної оцінки.

Проводять закладання досліду відповідно стандарту ДСТУ 7027:2009 «Селекція хмелю. Технологічний процес. Методи випробувань» з використанням однорічних саджанців відібраних кращих генотипів. Після закладання досліду складають акт посадки з визначенням генотипів та фіксацією дати формування польового досліду. Схеми та перелік номерів переносяться в «Журнал польового досліду», в якому фіксуються всі зміни (ремонт ділянок), дати проведення технологічних операцій, спостережень, добору, оцінок тощо.

Дослідження відповідно оформлюють таблицями, етикетками з наведенням назви досліду, схеми, переліку номерів чи кодів рослин, які придатні для фіксації рослин при описах, в т. ч. при цифровому фото– і відео документуванні. При проведенні технологічних операцій на селекційних дослідках з хмелем дотримуються технологічних регламентів вирощування хмелю, які прийнятих для певної ґрунтово–кліматичної зони (Полісся, Лісостеп). Регламентні вимоги та параметри проведених операцій на дослідках фіксуються в журналі досліджень.

3.5 Формування інформаційних баз даних, їх аналіз

Використання в селекції сучасних математично–статистичних методів шляхом застосування інноваційних комп'ютерних технологій забезпечує оптимізацію добору генотипів, дозволяє сформувати і використовувати комп'ютерні бази даних для накопичення, зберігання і використання комплексу оцінки матеріалу морфологічних, генетичних, біохімічних, біотехнологічних ознак селекційних генотипів згідно схеми вивчення генотипів в селекційних розсадниках (рис. 3.4).

Застосування нових принципів у селекційній роботі при зборі та аналізі експериментальної інформації шляхом переведення в цифрові формати аналогових даних та використання комп'ютерно–матричних форм польових журналів, дозволяє значно підвищити ефективність селекційного добору та поглибити теоретичні знання щодо природи прояву ознак генотипів культури для використання в селекції.

Нами запропоновано формувати селекційні бази даних у форматах Excel або Access Microsoft Office Word Windows (2003–2015), які дозволяють працювати з масивами отриманих інформаційних показників.

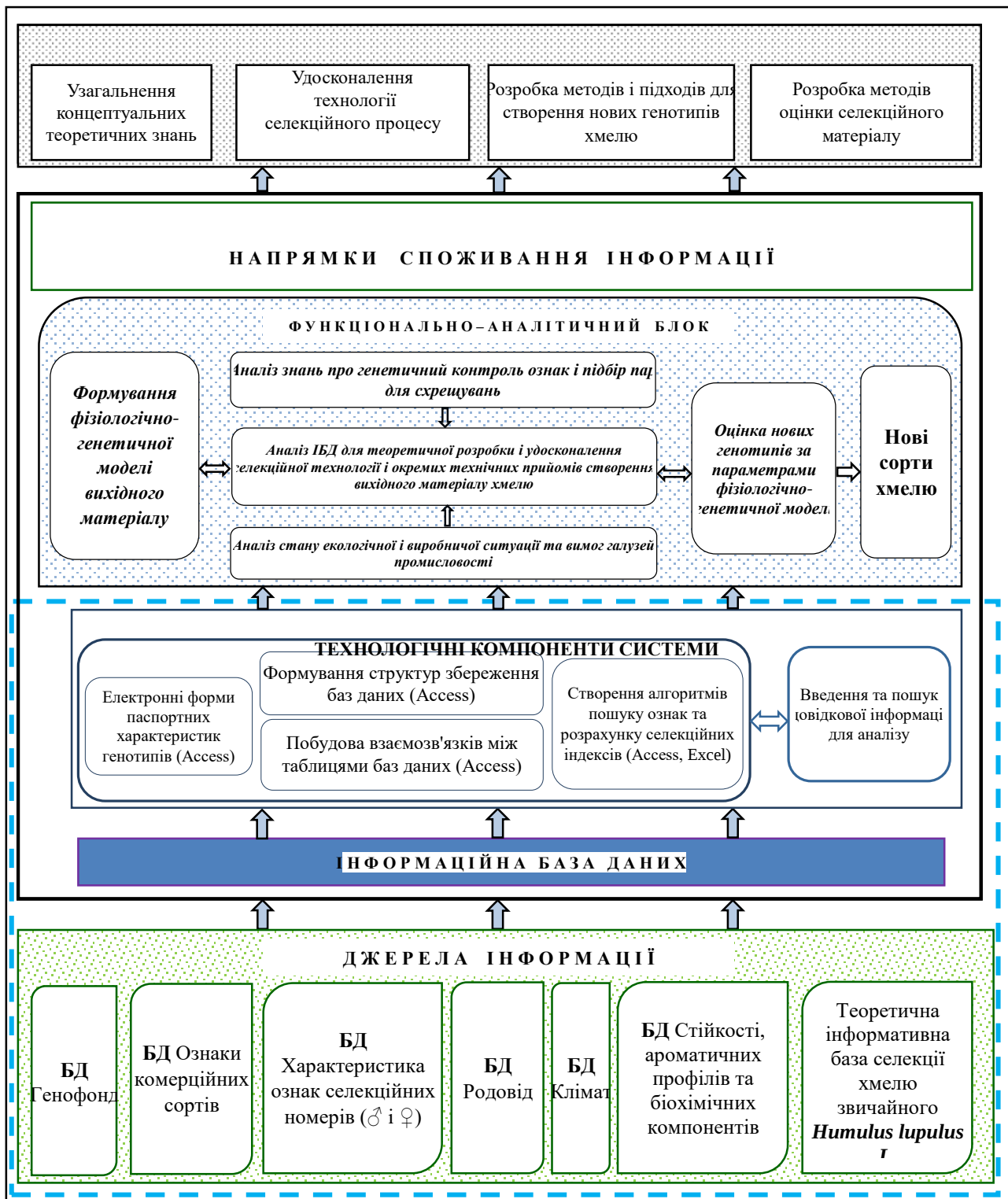


Рис. 3.4 – Архітектура інформаційно-аналітичної системи
(Штанько І.П., 2022)

Примітка: пунктиром виділено вихідні компоненти побудови параметрично-статистичної платформи.

Велику кількість господарських ознак, які потрібно сконцентрувати в одному сорті потребує значних зусиль у підборі батьківських пар при гібридизації. Вивчення всієї повноти генетичного різноманіття вивчає не тільки особливості окремих генотипів, а також процеси, які відбуваються в сільськогосподарському біоценозі на рівні окремого сорту, макросистеми популяції, тобто як проходять процеси генетичної організації росту, формотворення та макропроцесів (продукційного, генетичного захисту врожаю, особливо в різних за напруженістю факторів довкілля роках).

Виходячи з вищесказаного, дослідження мають використовувати всі відомі теоретичні аспекти селекції та нові підходи інформаційного та селекційного характеру у системі «накопичення знань і параметричних баз – їх конструювання на базі комп'ютерних програм – аналіз та візуалізація результатів для прийняття конструктивних рішень з добору батьківських пар, враховуючи успадкування ознак та взаємодію генотипу з довкіллям». Формування інформативних баз даних, розроблення тестів і методів оцінки селекційного матеріалу за морфобіологічними ознаками є складовими розробки нових підходів до удосконалення селекційних технологій та їх використання закономірностей для формуванню параметрично-статистичних оцінок вихідного селекційного матеріалу.

Завдяки аналізу теоретичних знань щодо предмету досліджень нами були визначені основні напрями для формування теоретичних баз даних і розробки селекційних програм:

- аналіз теоретичних та патентно-ліцензійних баз даних генетико-селекційних і біотехнологічних досягнень в хмелярстві світу та в селекції інших культур;
- визначення напрямків поліпшення генотипів хмелю з урахуванням тенденцій ринку хмелесировини, потреб пивоварної та інших галузей вітчизняної промисловості;
- визначення науково-теоретичних аспектів методології селекції хмелю звичайного для застосування при створенні нового селекційного матеріалу;
- аналіз інформативних баз даних характеристик ознак зразків генофонду та їх селекційного походження;
- вивчення різноманіття генофонду культури за комплексом морфобіологічних, селекційних та господарських ознак;
- скринінг робочих селекційних колекцій жіночих та чоловічих форм, генотипів природних популяцій на предмет виявлення окремих цінних ознак рослин хмелю (стійкість до хвороб, адаптивність до абіотичних факторів, унікальні якісні властивості тощо) з метою залучення ідентифікованих форм до селекційних програм;
- формування інформативних платформи обробітку даних, розроблення тестів і методів оцінки селекційного матеріалу за морфобіологічними та господарськими ознаками;
- виділення джерел та донорів для використання в селекційних програмах створення нового вихідного селекційного матеріалу в культурі *in vitro*;

- розробка селекційно-генетичних основ створення, оцінки та використання нових генотипів хмелю звичайного (*Humulus lupulus* L.).

Визначені напрямки стали основою формування теоретичної інформативної бази для розробки селекційно-генетичних основ створення, оцінки та використання нових генотипів хмелю із заданими параметрами, яка наповнюється результатами вивчення характеристик генотипів селекційної колекції.

Для удосконалення селекційно-аналітичної роботи з численним вихідним матеріалом необхідно забезпечити швидкий доступ до характеристик генотипів; створити системи оцінки, інвентаризації, моніторингу генетичного матеріалу *ex-situ*; створити автоматизовані бази даних ознак селекційних, генетичних та спеціалізованих колекцій хмелю і банки паспортних й даних оцінки.

Для підвищення ефективності селекційних пошуків серед гібридних форм та зразків генетичних ресурсів нами було узагальнено отриману теоретично-інформаційну базу знань, інформаційні бази даних конкретних колекцій у вигляді інформаційно-аналітичної системи використання селекційно-генетичних методів та удосконалення технологій селекційного процесу хмелю звичайного.

Ця інформаційна система разом з іншими інформаційними ресурсами Internet, буде використана для узагальнення концептуальних теоретичних знань в селекції хмелю, удосконалення технології селекційного процесу, розроблення методів оцінки селекційного матеріалу та методів і підходів для створення нових генотипів хмелю. ІС може успішно використана для оцінки різноманітності колекційного фонду культури в порівнянні з аналогічними закордонними колекціями, степені вивчення окремих зразків для виявлення джерел та донорів цінних ознак хмелю звичайного.

База даних ознак рослин селекційної робочої колекції хмелю

Всі спостереження і обліки на дослідних ділянках виконуються у відповідності з методиками загальноприйнятими для хмелю для визначення фенотипової мінливості ознак, генотипів селекційних робочих колекцій (чоловічих і жіночих), окремих унікальних генотипів випробувань.

Рослини аналізуються за 24 основними морфологічними ознаками і елементами структури продуктивності, зокрема: висота рослини, число вузлів на стеблі рослини, кількості міжвузлів на головному стеблі рослини, довжина міжвузлів, висота формування першої продуктивної бокової гілки, вага шишок з 1 рослини та їх кількість, маса 100 шишок, тривалість періоду вегетації.

Для всіх генотипів визначається тривалість вегетаційного періоду (від початку появи сходів до настання повної технічної стиглості шишок). Облік врожаю проводять у фазі повної технічної стиглості шишок шляхом зважування маси сирих шишок з куща, ділянки. Після збору врожаю проводиться перерахунок врожаю сирих шишок з ділянки на врожай сухого хмелю (в тонах) з 1 га площі.

Отримані показники фенологічних описів, характеристики за результатами ідентифікації генотипів хмелю робочих селекційних колекцій за визначеними ознаками накопичуються в базі даних і аналізуються шляхом детальної оцінки взаємозалежностей з показниками погоди за етапами росту і розвитку рослин хмелю в дослідях (табл. 3.5).

Таблиця 3.5 — База морфологічних ознак генотипів гібридного розсадника (формат основної таблиці та приклад заповнення для селекційного номера 22-1-1)

стать	№ з/п	Селекційний номер	Група стиглості	Форма куща	Колір стебел	Колір листя	Міжвузля, см	Залистяність	Бічні гілки, м	Особливості шишки	К-сть шишок на росл. сер част	К-ть шишок на росл. верх част	Лупулінові зерна	Аромат	Урожай сирого хмелю кг/кущ
♀	1	22-1-1	С	ц	зелений з гран.	зелений	18	слабка	0,3	овал. рихла	серед не	середне	жовті	хмельовий чистий	4,0

База даних стійкості рослин селекційної робочої колекції хмелю до біотичних факторів довкілля

Впродовж вегетації хмелю обліковуються рослини, уражені різними хворобами такими, як псевдопероноспороз (несправжня борошниста роса *Pseudoperonospora humuli* Wilson), а також, проводиться облік ураженості шкідниками: павутинним кліщем (*Tetranychus urticae* Koch.), хмелевою попелицею (*Phorodon humuli* Schrk.). Методика оцінки стійкості та визначення індексу поширення хвороб викладена в п. 3.3 **Облік ураження сортів хмелю збудниками хвороб і пошкодження шкідниками.**

Всі визначені показники вносяться до БД «Стійкість до біотичних факторів». База даних (рис. 3.5) складається з однієї таблиці формату Access Microsoft Office Word Windows (2003–2015), в полях якої містяться характеристики генотипів хмелю (кожен кортеж таблиці відповідає певному сорту (генотипу) хмелю, який визначається назвою. В решті полів наведені показники оцінки стійкості генотипу до враження хворобами та шкідниками.

БД Стійкість до біотичних факторів	
Код	
Сорт	
Походження	
Дослід (розміщення)	
Оцінка стійкості до попелиці (перед цвітінням), бал	
Оцінка стійкості до попелиці (після цвітіння), бал	
Оцінка стійкості до попелиці (технстиглість), бал	
Загальна оцінка стійкості до попелиці, бал	
Оцінка стійкості до кліща (перед цвітінням), бал	
Оцінка стійкості до кліща (після цвітіння), бал	
Оцінка стійкості до кліща (технстиглість), бал	
Загальна оцінка стійкості до кліща, бал	
Оцінка стійкості до НБР (поява сходів), бал	
Оцінка стійкості до НБР (цвітіння), бал	
Оцінка стійкості до НБР (технстиглість), бал	
Загальна оцінка стійкості до НБР, бал	

Рис. 3.5 — Структура БД «Стійкість до біотичних факторів»

База даних досліджень ароматичних профілів зразків шишок селекційного матеріалу

В період настання технологічної стиглості шишок проводиться органолептична оцінка аромату шишок селекційних номерів безпосередньо на ділянках розсадників. Для цього відбирається декілька типових для клону шишок та розламуються по веретенцю двома руками. Потім одну частину труть об долоню для того, щоб розтерти лупулінові зерна. Оцінюють основні аромати зразка та записують в зошит для спостережень, а кращі форми відбираються для подальшої біохімічної аналітики та проведення детального визначення ароматичного профілю оцінкою зразків сухого хмелю. Органолептично визначають чистоту аромату, ароматичні відтінки та їх інтенсивність. Дані заносять до описового листа органолептичного аналізу ароматичних профілів генотипів селекційної робочої колекції (рис. 3.6)

№ з\п, повт орення	Номер	Ароматичні відтінки										
		ТРАВИ ТА СПЕЦІЇ			ЦИТРУСОВІ	КВІТКОВИЙ І ЗЕЛЕНИЙ		ТРОПІЧНИЙ, ДИНЯ		ФРУКТОВІ		ІНШІ
												
		Трав'янистий, чайний	Спеції, прянощі	Дерева смола, сосновий	Цитрусовий	Квітковий	Зелена трава	Тропічних фруктів	Диня, кавун, огірок	Кісточкових фруктів	Фруктовий	Тютюновий/Земляний
1	1											
	2											
	3											
2	1											
	2											
	3											

+ - слабкий аромат (сліди); ++ - аромат добре відчувається; +++ - сильний аромат

Рис. 3.6 — Описовий лист органолептичного аналізу ароматичних профілів генотипів селекційної робочої колекції

Після заповнення бази даних у форматі Excel проводять узагальнення даних з побудовою модельних оцінок ароматичного профілю зразка шишок (рис. 3.7).

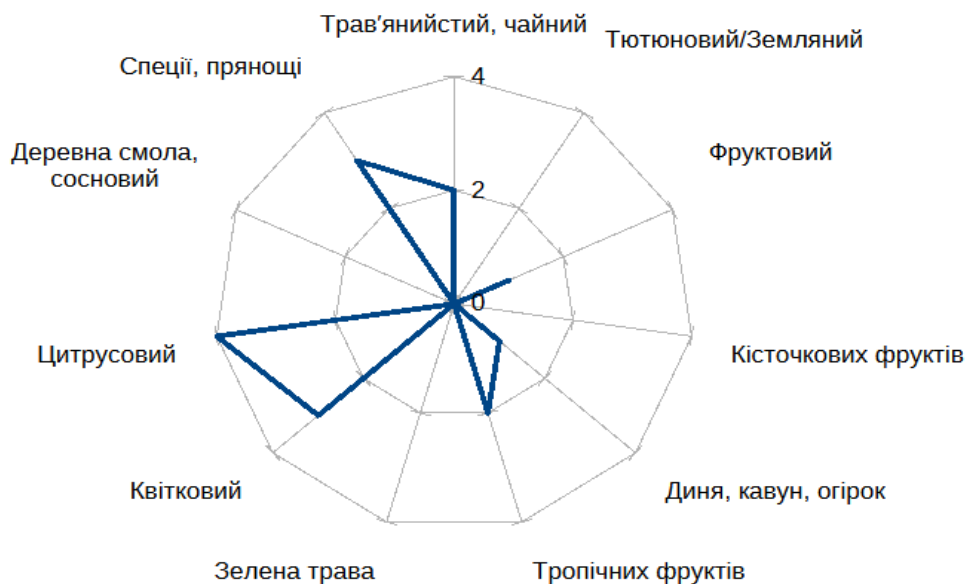


Рис. 3.7 — Модельна оцінка ароматичного профілю зразка шишок хмелю селекційного номера 7586

філю зразка шишок хмелю селекційного номера 7586

База даних досліджень селекційного матеріалу на вміст компонентів шишок і визначення придатності для пивоваріння та інших галузей

За результатами проведених аналітичних робіт для кожного відібраного зразка шишок формується опис, який заноситься до загальної таблиці (табл. 3.6) у форматі Excel, а затим формується БД «Банк біохімічних показників сортів (генотипів) хмелю».

Таблиця 3.6 — Формат вихідної таблиці для характеристики вмісту біохімічних компонентів шишок генотипів селекційної колекції

Біохімічні показники					Склад ефірної олії			
Альфа-кислоти, %	Бета-кислоти, %	β/α	Когуmulон в складі альфа-кислот, %	Ефірна олія мл на 100 г	Мірцен	Каріофілен	Фарнезен	Гумулен

База даних (рис. 3.8) складається з однієї таблиці формату Access Microsoft Office Word Windows (2003–2015), в полях якої містяться характеристики генотипів хмелю (кожен кортеж таблиці відповідає певному сорту (генотипу хмелю, який визначається назвою).

В полі БД містяться цифрові світлини, на яких зображений вигляд куща та шишки певного сорту, а також хроматограми (за наявності) загальних смол та ефірний олій. В решті полів наведений вміст зазначених речовин, отриманих аналітичним шляхом.

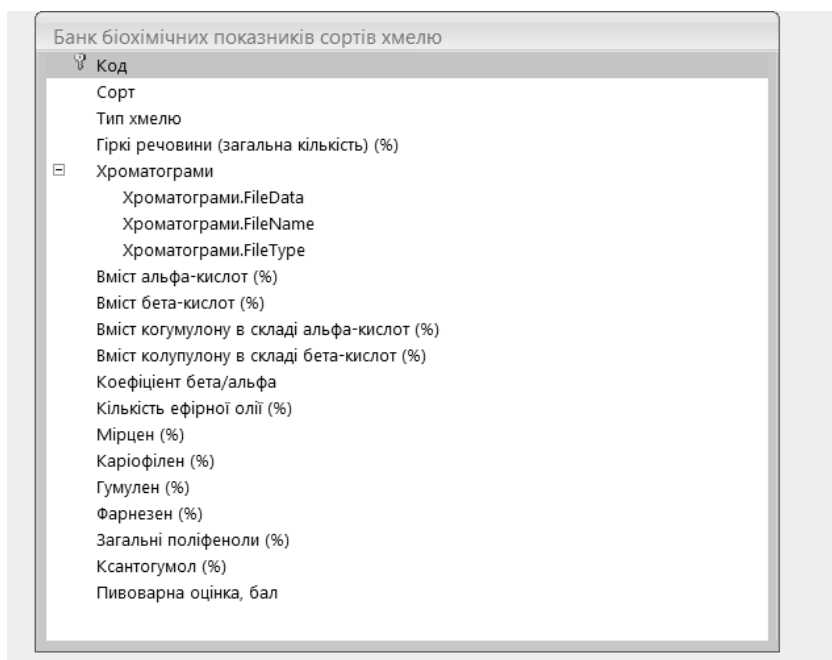


Рис. 3.8 – Структура бази даних «Банк біохімічних показників сортів (генотипів) хмелю»

На основі сформованої БД проводиться аналіз придатності певного генотипу до модельних параметрів для певного напрямку використання генотипу.

3.6 Закономірності використання узагальнених оцінок вихідного матеріалу хмелю в системі комплексної адаптації рослин. Формування каталогу цінних зразків робочої селекційної колекції (електронна база ACCESS)

Адаптивна чи інші напрямки селекції хмелю нині мають бути максимально орієнтовані на використання інформаційних ресурсів, що дозволяють накопичувати та інтерпретувати дані селекційних експериментів. Ефективне використання в селекційній практиці інформаційних технологій і застосування аналізу результатів селекційних програм на основі математичного забезпечення залежить від теоретичного обґрунтування змісту інформації, яка міститься в накопичених базах даних, а також від технології формування і використання інформації на основі математичних моделей чи, в перспективі, з

використанням ІІІ. Через відсутність достатньої кількості людських ресурсів для накопичення дослідних показників, через значний масив ознак та показників польової та лабораторної оцінки результатів дослідів, сьогодення вимагає переорієнтації на широке застосування інформаційних ресурсів і комп'ютерної техніки, зокрема щодо змін в технології селекційного процесу, в який слід запровадити нові принципи і методи реєстрації інформації про рослинні об'єкти в дослідках.

Бази накопичених предметних знань можуть містити всю інформацію в формі цифровізації конкретних ознак досліджуваних форм вихідного і селекційного матеріалу для побудови моделей візуалізованої оцінки та формування висновків теоретичного аналізу.

За результатами досліджень 2016-2024 років нами було розроблено теоретичні аспекти використання інформаційної системи в селекції хмелю. Ця система направлена на розширення діапазону оцінки вихідного селекційного матеріалу та його стійкості до несприятливих факторів довкілля і запропонована на інформаційно-пошуковій та експертній базі стандартних можливостей офісних і статистичних програм, включає накопичені бази даних параметричних показників оцінки морфологічних, господарських та біохімічних ознак генотипів робочої селекційної колекції.

Технічним компонентом такої селекційної оцінки є засоби інформаційних технологій. Тільки за їх використання є можливим змістовна інтерпретація результатів теоретичного аналізу і обґрунтування прийняття рішень на основі швидкого пошуку параметрів ознак генотипів. Програмні можливості пакетів MS Access, Excel дають можливість проводити первинну статистичну обробку електронних журналів обліків і спостережень, формувати бази даних, проводити системний аналіз любого формату з використанням різних видів статистичного та селекційного аналізу. Такий підхід дозволяє розширити методологію використання засобів інформаційних технологій в прикладній селекції.

Сформований каталог (електронна база даних) є файлом у форматі .accdb. Робота з базою здійснюється за допомогою застосунку Microsoft Office Access (версія не менше 2007). При відкритті бази користувачу доступна робота з базою у вигляді таблиці (рис. 3.9, 3.109 та у вигляді форми (рис. 3.11).

В кортежах таблиці наведені паспортні характеристики кожного генотипу хмелю та показників і параметрів господарських та морфологічних ознак (відповідні описи та значення знаходяться в полях з відповідними назвами (рис. 3.12, 3.13). Для більш докладної роботи з таблицею, а саме: сортування даних або фільтрування їх за необхідними параметрами, використовуються вбудовані засоби застосунку MS Office Access.

Розроблення та накопичення даних в каталозі генотипів робочої селекційної колекції (електронна база MS Access), дозволяє більш ефективно та швидше оцінювати вихідний матеріал, слугує базою фіксації морфологічних ознак генотипів для захисту прав інтелектуальної власності на вихідний матеріал, а також є основою для селекційного аналізу як ознак окремих

генотипів, так і аналізу варіації ознак в межах одного схрещування чи окремого розсадника вивчення.

Установа	Код рослини	Місце розт.	Код колекції	Вид	Підвид	Автор опис	Назва виду	Селекційн	Дата опис	Група стиглості	Тр
ІСПП НААН	7744	77-2-10	R2024	Humulus lupulus	L.	хміль звичайн	7744	2024	C		
ІСПП НААН	7888	77-2-11	R2024	Humulus lupulus	L.	хміль звичайн	7843	2024	C		
ІСПП НААН	8MN8	77-2-2	R2024	Humulus lupulus	L.	хміль звичайн	MN8	2024	C		
ІСПП НААН	9MN9	77-2-3	R2024	Humulus lupulus	L.	хміль звичайн	MN9	2024	C		
ІСПП НААН	10MN10	77-2-4	R2024	Humulus lupulus	L.	хміль звичайн	MN10	2024	C		
ІСПП НААН	11MN11	77-2-5	R2024	Humulus lupulus	L.	хміль звичайн	MN11	2024	C		
ІСПП НААН	7843	77-2-6	R2024	Humulus lupulus	L.	хміль звичайн	7843	2024	C		
ІСПП НААН	12MN12	77-2-7	R2024	Humulus lupulus	L.	хміль звичайн	MN12	2024	C		
ІСПП НААН	8157	77-3-(2-9)	R2024	Humulus lupulus	L.	хміль звичайн	8157	2024	C		
ІСПП НААН	7591	77-3-1	R2024	Humulus lupulus	L.	хміль звичайн	7591	2024	C		
ІСПП НААН	7667	77-3-11, 77-4	R2024	Humulus lupulus	L.	хміль звичайн	7667	2024	C		
ІСПП НААН	8346	77-4-(4,5), 77-	R2024	Humulus lupulus	L.	хміль звичайн	8346	2024	C		
ІСПП НААН	7756	77-4-(6,8,10)	R2024	Humulus lupulus	L.	хміль звичайн	7756	2024	C		
ІСПП НААН	7593a	77-4-11	R2024	Humulus lupulus	L.	хміль звичайн	7593a	2024	C		
ІСПП НААН	7744	77-6-(1,3)	R2024	Humulus lupulus	L.	хміль звичайн	7744	2024	C		
ІСПП НААН	7756	77-6-(4-10)	R2024	Humulus lupulus	L.	хміль звичайн	7756	2024	C		
ІСПП НААН	8423	77-6-2	R2024	Humulus lupulus	L.	хміль звичайн	8423	2024	C		
ІСПП НААН	7851	77-7-(5,8,9,10)	R2024	Humulus lupulus	L.	хміль звичайн	7851	2024	C		
ІСПП НААН	8442	77-7-(6,7)	R2024	Humulus lupulus	L.	хміль звичайн	8442	2024	C		
ІСПП НААН	7747a	77-7-1,2	R2024	Humulus lupulus	L.	хміль звичайн	7747a	2024	C		
ІСПП НААН	8230	77-7-3	R2024	Humulus lupulus	L.	хміль звичайн	8230	2024	C		

Рис. 3.9 – Основна таблиця для роботи з каталогом генотипів робочої селекційної колекції хмелю звичайного

Установа	Код рослини	Місце розт.	Код колекції	Вид	Підвид	Автор опис	Назва виду	Селекційн	Дата опис	Група стиглості	Тр
ІСПП НААН	7744	77-2-10	R2024	Humulus lupulus	L.	хміль звичайн	7744	2024	C		
ІСПП НААН	7888	77-2-11	R2024	Humulus lupulus	L.	хміль звичайн	7843	2024	C		
ІСПП НААН	8MN8	77-2-2	R2024	Humulus lupulus	L.	хміль звичайн	MN8	2024	C		
ІСПП НААН	9MN9	77-2-3	R2024	Humulus lupulus	L.	хміль звичайн	MN9	2024	C		
ІСПП НААН	10MN10	77-2-4	R2024	Humulus lupulus	L.	хміль звичайн	MN10	2024	C		
ІСПП НААН	11MN11	77-2-5	R2024	Humulus lupulus	L.	хміль звичайн	MN11	2024	C		
ІСПП НААН	7843	77-2-6	R2024	Humulus lupulus	L.	хміль звичайн	7843	2024	C		
ІСПП НААН	12MN12	77-2-7	R2024	Humulus lupulus	L.	хміль звичайн	MN12	2024	C		
ІСПП НААН	8157	77-3-(2-9)	R2024	Humulus lupulus	L.	хміль звичайн	8157	2024	C		
ІСПП НААН	7591	77-3-1	R2024	Humulus lupulus	L.	хміль звичайн	7591	2024	C		
ІСПП НААН	7667	77-3-11, 77-4	R2024	Humulus lupulus	L.	хміль звичайн	7667	2024	C		
ІСПП НААН	8346	77-4-(4,5), 77-	R2024	Humulus lupulus	L.	хміль звичайн	8346	2024	C		
ІСПП НААН	7756	77-4-(6,8,10)	R2024	Humulus lupulus	L.	хміль звичайн	7756	2024	C		
ІСПП НААН	7593a	77-4-11	R2024	Humulus lupulus	L.	хміль звичайн	7593a	2024	C		
ІСПП НААН	7744	77-6-(1,3)	R2024	Humulus lupulus	L.	хміль звичайн	7744	2024	C		
ІСПП НААН	7756	77-6-(4-10)	R2024	Humulus lupulus	L.	хміль звичайн	7756	2024	C		
ІСПП НААН	8423	77-6-2	R2024	Humulus lupulus	L.	хміль звичайн	8423	2024	C		
ІСПП НААН	7851	77-7-(5,8,9,10)	R2024	Humulus lupulus	L.	хміль звичайн	7851	2024	C		
ІСПП НААН	8442	77-7-(6,7)	R2024	Humulus lupulus	L.	хміль звичайн	8442	2024	C		
ІСПП НААН	7747a	77-7-1,2	R2024	Humulus lupulus	L.	хміль звичайн	7747a	2024	C		
ІСПП НААН	8230	77-7-3	R2024	Humulus lupulus	L.	хміль звичайн	8230	2024	C		

Рис. 3.10 – Робота з основною таблицею каталогу генотипів робочої селекційної колекції хмелю звичайного шляхом використання пошукових фільтрів

Рис. 3.11 – Форма для роботи з таблицею каталогу генотипів робочої селекційної колекції хмелю звичайного

Рис. 3.12 – Схема даних паспортних характеристик генотипів в каталозі генотипів робочої селекційної колекції хмелю звичайного (частина I)

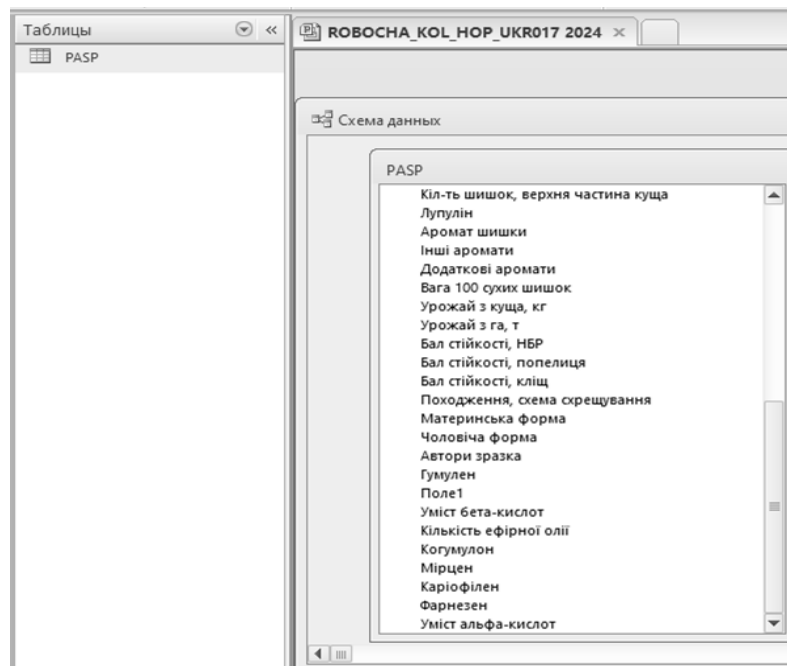


Рис. 3.13 – Схема даних паспортних характеристик генотипів в каталозі генотипів робочої селекційної колекції хмелю звичайного (*частина 2*)

3.7 Побудова моделей та селекційних програм для створення вихідного селекційного матеріалу

Для успішної селекції потрібно мати уявлення про кількість господарських, біологічних, селекційних ознак сорту, які треба удосконалити для потреб виробництва, внесок окремих ознак у врожай і його якість, про той ідеал (модель сорту), у напрямку якого варто вести добір. Модель сорту визначається як науковий прогноз, що описує комбінацію ознак рослини, необхідну для забезпечення заданого рівня продуктивності, стійкості до біотичних та абіотичних умов середовища, якості та інших показників. Під моделлю сорту мається на увазі технічне завдання на створення сорту, тобто детальний опис господарських, морфологічних і фізіологічних ознак, а також шляхів (комбінацій схрещування, способів та фонів добору), завдяки яким будуть досягнуті ці параметри (табл. 3.7).

В даній таблиці вказані основні параметри оцінки оптимальної моделі сорту та шкала селекційного оцінювання генотипу на категорії селекційної придатності.

В результаті комплексного аналізу БД та інших складових вивчення вихідного матеріалу формується конкретна модель оцінки селекційного генотипу (рис. 3.14) з врахуванням комплексу ознак стандартних сортів, опрацювання програм добору, родоводів і схрещувань.

Таблиця 3.7 — Параметри оптимальної моделі сорту та шкала селекційного оцінювання генотипу

Параметри моделі сорту хмелю		Селекційне оцінювання генотипу, бал			
1.1 Таксон	Хміль звичайний / <i>Humulus lupulus</i> L.	Не придатний (1-3)	Посередній (4-5)	Добрий, Еталонний (6-7)	Перспективний (8-9)
2 Агрономічні показники;					
2.1 Тип сорту, рекомендована зона поширення	Інтенсивний. Полісся та Лісостеп.				
2.2 ТВП, днів	Ранньостиглі (100-115 днів); Середньостиглі, (122-130); Пізньостиглі (132-140)				
2.3 Урожайність, т/га	Р – 1,5-2,4; С - 2,4-3,4; П - 2,5-3,8	<1,5 <2,4 <2,5	1,5-1,8 2,4-2,6 2,5-2,7	1,9-2,1 2,7-2,9 2,8-2,9	2,2-2,4 3,0-3,4 3,0-3,8
2.4 Стійкість проти збудників хвороб, бал (1-9):		7-9	5-6	3-4	1-2
2.4.1 Псевдопереронспороз (<i>Pseudoperonospora humuli</i> Wils)	1	7-9	5-6	3-4	1-2
2.4.2 Пленодомусна гниль (<i>Plenodomus humuli</i> Kuzh.)	1	7-9	5-6	3-4	1-2
2.4.3. Бактеріальний рак (<i>Bacterium tumefaciens</i> E.F. Smith et Tows.) (Не допускається)					
2.4.4. Вірусні хвороби (Не допускається)					
2.5 Стійкість проти пошкодження (заселення) шкідниками, бал (1-9)		7-9	5-6	3-4	1-2
2.5.1 Хмельова попелиця (<i>Phorodon humuli</i> Schrk.)	1	7-9	5-6	3-4	1-2
2.5.2 Павутинний кліщ (<i>Tetranychus urticae</i> Koch.)	1	7-9	5-6	3-4	1-2
2.6 Зимостійкість, бал (1-9)	1	7-9	5-6	3-4	1-2
2.7 Посухостійкість, бал (1-9)	1	7-9	5-6	3-4	1-2
3 Морфологічні показники моделі сорту					
3.1 Довжина основного стебла	> 7м				
3.2 Довжина бокових пагонів у нижній та середній частині стебла	0.8-1.5м	0,8-1,0	1,0-1,2	1,3-1,4	1,5<
3.3 Довжина бокових пагонів у верхній частині стебла	0.8-1.0м	<0,8	0,8-0,9	0,9-1,0	1,0<
3.4 Довжина міжвузлів на стеблі	0.1-0.25м	>0,25	0,20-0,25	0,15-0,20	0,10-0,15
3.5 Наявність гачечків на стеблі	Середня	Мало або багато	Середня кількість	Середня кількість	Середня кількість
3.6 Кількість шишок на кущ	3000-4500 шт.	<3000	3000-3800	3800-4000	4100-4500 і <
3.7 Вага 100 сухих шишок	20-34 г	20-24	25-29	30-34	34<
3.8 Форма шишки					
3.9 Інтенсивність відростання пагонів після обрізки	Висока	Низька	Посередня	Висока	Дуже висока
3.10 Інтенсивність забарвлення листя	Сильне	Слабке	Помірне	Сильне	Дуже сильне
3.11 Залистяність	Середня	Дуже сильна	Сильна	Середня	Середня
3.12 Коефіцієнт шишки (довжина/ширина)	1.2-2.0				
3.13 Довжина черешка шишки	5-15мм				
3.14 Сила відриву шишки	Незначна	Дуже велика	Велика	Середня	Не значна
3.15 Щільність шишки	Щільна	Рихла	Середня щільність	Щільна	Щільна або дуже щільна
4 Біохімічні критерії моделі сорту:					

4.1 Сортотип	Арома тичний	Гіркий	Надгірк ий				
4.2 Вміст загальних смола, %	15,0- 27,0	16,0- 28,0	23,0- 32,0	<15,0	16,0-23,0	24,0-28,0	28,0-32,0 і <
4.3 Вміст альфа- кислот, %	4,0- 12,0	8,0-14,0	14,0- 22,0	ар<4,0 гірк<6,0	4,0-5,0 6,0-8,0	5,0-7,0 8,0-11,0	5,0-9,0 11,0-22,0
4.3.1 когумулон в складі альфа-кислот, %	<28,0	>30,0	>30,0				
4.4 Вміст бета-кислот, %	4,0- 12,0	4,0-14,0	4,0-14,0	<4,0	4,0-6,0	6,0-10,0	6,0-14,0
4.4.1. колупулон в складі бета-кислот, %	<50,0	>50,0	>50,0				
4.5 Коефіцієнт відношення β/α	>0,9	<0,7	<0,7				
4.5 Ксантогумол, %	<1,0	<1,0	<1,0				
4.6 Вміст ефірної олії, мл на 100 г сухого хмелю	1,3-5,0	1,3-3,5	1,3-3,5	<1,0	1,1-1,3	1,4-2,0	2,1-3,5
4.7 Компоненти ефірної олії, %:							
4.7.1 Мірцен	30,0- 50,0						
4.7.2 Каріофілен	4,0-8,0						
4.7.3 Гумулен	9,0- 15,0						
4.7.4 Фарнезен	<10,0						
5 2-метилбутилізобутират	<0,2	>0,5					
6 Селінені	<3,0						
7 Кадінені	<3,0						
8 Селінендієні	<3,0						
9 Пивоварна оцінка, бал	24,5- 25,0	21,0- 24,0	19,0- 22,0	Аром - 21,0-22,0 Гірк — 19,0-20,0	22,0-23,0	23,0-24,0	24,0-25,0
10 Технологічні критерії моделі сорту					20,0-21,0	21,0-22,0	22,0-24,0
10.1. Придатність до механізованого вищування, бал	Придатний, 8-9			1-3	4-5	6-7	8-9
10.2 Придатність до механізованого збирання, бал	Придатний, 8-9			1-3	4-5	6-7	8-9
10.3. Придатність до сушіння, бал	Придатний, 8-9			1-3	4-5	6-7	8-9

Рис.
3.14
—
Мо
дел
ьна
оці
нка
окр
емо



го селекційного генотипу
хмелю за комплексом ознак

Інформаційна система містить у собі комплекс програм, які надають селекціонеру базову інформацію, що дозволяє провести відповідний модельну оцінку окремого генотипу в порівнянні з іншими генотипами та стандартними сортами, а також провести загальну оцінку за всім комплексом ознак (рис. 3.15):

- 1) прийняття рішень щодо оптимізації підбору батьківських генотипів;
- 2) прийняття оптимальних оперативних рішень для керування, як на окремих етапах селекційного процесу, так і в тактиці і стратегії селекції;
- 3) пришвидшення впровадження концептуальних рішень та їх реалізації;
- 4) підвищення ефективності контролю програми селекції в цілому.



Рисун
ок
3.15
—
Конц
ептуа
льна
модел
ь
управ
ління
селек
ційни

ми програмами

ПЕРЕЛІК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Paguet, A.S., Siah, A., Lefèvre, G. et al. Agronomic, genetic and chemical tools for hop cultivation and breeding. / A.S. Paguet [et al.]. // *Phytochem Rev.* – 2022. – 21. – P. 667–708. — Retrieved from: <https://doi.org/10.1007/s11101-022-09813-4>.
2. Nesvadba V. et al. Evaluation of original historical clones of hops (*Humulus lupulus* L.). / V. Nesvadba [et al.]. // *Kvasny prumysl.* – 2020. – 66(6). – P. 382–391. – Retrieved from: <https://doi.org/10.18832/kp2019.66.382>.
3. Korpelainen, H., Pietiläinen, M. Хміль (*Humulus lupulus* L.): Традиційне та сучасне використання та майбутній потенціал. / H. Korpelainen, M. Pietiläinen. // *Econ Bot.* – 2021. – 75. – P. 302–322. Retrieved from: <https://doi.org/10.1007/s12231-021-09528-1>.
4. Хміль у медицині, побуті і народному господарстві / [В.І.Герасимчук, Й.Г.Рейтман., І.С.Єжов та ін.] за ред. І.С.Єжова. – К. : Урожай, 1994. – 352 с.
5. Хміль та пиво в Україні з давнини до сьогодення /. М.Ю. Костриця, Й.Г. Рейтман –Житомир, 1997. – 240 с.
6. Murakami, L. A., P. Darby, B. Javornik, M. S.S. Pais, E. Seigner, A. Lutz, and P. Svoboda. 2006. Molecular phylogeny of wild Hops, *Humulus lupulus*. *Heredity* 97:66–74.
7. Darby P (2005) The history of hop breeding and development. In: *Brewery history*. <https://www.breweryhistory.com/journal/archive/121/bh-121-094.html>. Accessed 2 June 2023.
8. Percival J. (1091) The hop and its English varieties / *The Journal Of The Royal Agricultural Society Of England*. Vol-62, p67-95.
9. Neve R. Hops / R. Neve. – Dordrecht, the Netherlands: Springer. – 1991. – Retrieved from: <http://doi.org/10.1007/978-94-011-3106-3>.
10. Засухин И.И. Хмелеводство. Практические советы по разведению хмеля / И.И. Засухин. – С.–Пб. : Агроном, 1912. (рос.)
11. Гарбузова Д.А. Підсумки вивчення колекції сортів хмелю / Д.А. Гарбузова // Наукові праці (Укр. дослідна станція хмелярства). – 1961. – вип. 5. – С. 3–8.
12. Рижук С.М., Вергунов В.А., Штанько І.П. Розвиток хмелярської науки в Україні. Історичний ракурс / Мат. Міжн. наук. інтернет-конференції «Хмелярська наука: традиції та сучасність». Житомир, Україна, 27.10. 2021 р., ІСГП НААН. – Житомир. - ПП «Рута». - 48 с.
13. Burgess A. H. Varieties of Hops and Breeding Hop Botany cultivation and utilization / A. H. Burgess. – Rundsebau, 1962. – P. 38–52.
14. Davis E.L. Morphological complexes in hops (*Humulus lupulus* L.) with special reference to the American Race / E.L. Davis. – 1957., *Ann. Mo. Bot. Gard.* 44 : 271 – 294.
15. Small E.A. The relation ships of hop cultivars and wild variants of *Humulus lupulus* / E.A. Small // *Canadian Journal of Botany*. – 1980. – № 6. – P. 676–686.
16. Ono T. Studies in Hop I. Chromosomes of common Hop and its. Relatives / T. Ono // *Bull Brew. Sci.* – 1955. – P. 62–78.
17. Ляшенко М.І. Біохімія хмелю і хмелепродуктів / М.І. Ляшенко. – Житомир: Полісся. – 2001.
18. Seigner E, Lutz A, Oberhollenzer K et al. (2009) Breeding of hop varieties for the future. *Acta Horti* 49–58. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2009.848.4>
19. Mozny M, Trnka M, Vlach V, Zalud Z, Cejka T, Hajkova L, ... & Büntgen U (2023) Climate-induced decline in the quality and quantity of European hops calls

for immediate adaptation measures. *Nature Communications*, 14(1), 6028. <https://doi.org/10.1038/s41467-023-41474-5>.

20. Paguet AS, Siah A, Lefèvre G et al. (2022) Agronomic, genetic and chemical tools for hop cultivation and breeding. *Phytochem Rev.* 21. 667–708. <https://doi.org/10.1007/s11101-022-09813-4>.

21. Shtanko IP et al. (2020) Selection and genetic basis for the creation, evaluation, and use of new hop genotypes resistant to biotic environmental factors with valuable characteristics for brewing, pharmaceutical, and other industries: scientific and methodological recommendations. Zhytomyr: PP. Ruta. https://isgpnnaan.org/upload/nauk_-metodichni-rekomendatsii-zavdannya-0116U004654.pdf

22. Shtanko IP (2009) Collection of gene pool and breeding material of common hop for the creation of varieties adapted to the conditions of the central part of Polissya. Dissertation. Polissya Institute of Agriculture. <https://nrat.ukrintei.ua/searchdoc/0409U005397/>

23. Інтерактивна мапа світу. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://therevelator.org/interactive-map-climate-2050/>) – (дата звернення 16.11.2024 р.). — Назва з екрана.

24. Reanalyzer.org. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://climatereanalyzer.org/research_tools/monthly_tseries/, – (дата звернення 28.11.2024 р.). — Назва з екрана.

25. Служба зміни клімату Copernicus (C3S) у ECMWF. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.ecmwf.int> – (дата звернення 28.11.2024 р.). — Назва з екрана.

26. Hersbach H, Bell B, Berrisford P, et al. The ERA5 global reanalysis. *Q J R Meteorol Soc.* 2020; 146: 1999–2049. <https://doi.org/10.1002/qj.3803>.

27. Zomer, R.J., Xu, J. & Trabucco, A. Version 3 of the Global Aridity Index and Potential Evapotranspiration Database. *Sci Data* 9, 409 (2022). <https://doi.org/10.1038/s41597-022-01493-1>.

28. Kavalier AR et al. Phytochemical and morphological characterization of hop (*Humulus lupulus* L.) cones over five developmental stages using high performance liquid chromatography coupled to time-of-flight mass spectrometry, ultrahigh performance liquid chromatography photodiode array detection, and light microscopy techniques / A.R. Kavalier [et al.]. // *J. Agric. Food Chem.* – 2011. – 59. – P. 4783-4793. Retrieved from: <https://doi.org/10.1021/jf1049084>.

29. Zanolli P., Zavatti M. Pharmacognostic and pharmacological profile of *Humulus lupulus* L. / P. Zanolli, M. Zavatti. // *J. Ethnopharmacol.* – 2008. – 116. – P. 383–396. Retrieved from: <https://doi.org/10.1016/j.jep.2008.01.011>.

30. Karabin M., Hudcova T., Jelinek L., Dostalek P. Biologically Active Compounds from Hops and Prospects for Their Use / M. Karabin, T. Hudcova, L. Jelinek, P. Dostalek. // *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.* – 2016. – 15. – P. 542–567. – Retrieved from: <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12201>.

31. Knez H.M., Spaninger E., Kosir I.J., Knez Z., Bren U. Hop Compounds: Extraction Techniques, Chemical Analyses, Antioxidative, Antimicrobial, and Anticarcinogenic Effects. / H.M. Knez [et al.]. // *Nutrients.* – 2019. – 11. – 257 p. – Retrieved from: <https://doi.org/10.3390/nu11020257>.

32. Roberts, T. R. Hops. In *Brewing Materials and Processes* (eds Bam-forth, C. W.) 4–75 (Academic Press, 2016).

33. Goncalves, J., Figueira, J., Rodrigues, F. & Câmara, J. S. Headspace solid-phase microextraction combined with mass spectrometry as a powerful analytical tool for profiling the terpenoid metabolomics pattern of hop-essential oil derived from Saaz variety. *J. Sep. Sci.* 35, 2282–2296 (2012).

34. Astray, G., Gullón, P., Gullón, B., Munekata, P. E. S. & Lorenzo, J. M. *Humulus lupulus* L. as a natural source of functional biomolecules. *Appl. Sci.* 10, 5074 (2020).
35. Nance, M. R. & Setzer, W. N. Volatile components of aroma hops (*Humulus lupulus* L.) commonly used in beer brewing. *J. Brew. Distill.* 2, 16–22 (2011).
36. Forteschi, M. et al. Quality assessment of cascade hop (*Humulus lupulus* L.) grown in Sardinia. *Eur. Food Res. Technol.* 245, 863–871 (2019).
37. Lafontaine, S. R. & Shellhammer, T. H. How hoppy beer production has redefined hop quality and a discussion of agricultural and processing strategies to promote it. *Tech. Q.* 56, 1–12 (2019).
38. Mozny, M. et al. The impact of climate change on the yield and quality of Saaz hop in the Czech Republic. *Agric. Meteorol.* 149, 913–919 (2009).
39. Kučera, J. & Krofta, K. Mathematical model for prediction of alpha acid contents from meteorological data for 'Saaz' aroma variety. *ISHS Acta Hort.* 131–139 <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2009.848.14> (2008).
40. Hieronymus, S. *For the Love of Hops: The Practical Guide to Aroma, Bitterness, and the Culture of Hops.* (Brewers Publications, a division of the Brewers Association, 2012).
41. Murray, D. W. & O'Neill, M. A. Craft beer: penetrating a niche market. *Br. Food J.* 114, 899–909 (2012).
42. Denby, C. M. et al. Industrial brewing yeast engineered for the production of primary flavor determinants in hopped beer. *Nat. Commun.* 9, 965–965 (2018).
43. Legun, K., Comi, M. & Vicol, M. New aesthetic regimes: the shifting global political ecology of aroma hops. *Geoforum* 128, 148–157 (2022).
44. Martin, A., Markhvida, M., Hallegatte, S. & Walsh, B. Socio-economic impacts of COVID-19 on household consumption and poverty. *Econ. Disasters Clim. Change* 4, 453–479 (2020).
45. BarthHaas Report 2023/2024. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.barthhaas.com/resources/barthhaas-report> (дата звернення 25.10.2024 р.).
46. Штанько І.П. Досягнення селекції хмелю в світі та напрями удосконалення сортової структури насаджень в Україні / І.П. Штанько // *Агропромислове виробництво Полісся*. – 2013. – №6. – С. 92-97. — Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/avpol_2013_6_20.
47. Paguet, A.S., Siah, A., Lefèvre, G. et al. Agronomic, genetic and chemical tools for hop cultivation and breeding. / A.S. Paguet [et al.]. // *Phytochem Rev.* – 2022. – 21. – P. 667–708. — Retrieved from: <https://doi.org/10.1007/s11101-022-09813-4>.
48. Звіт IHGC 2024. [Електронний ресурс]. – Retrieved from: http://www.hmelj-giz.si/ihgc/doc/2024_NOV_IHGC_ECReport_public.pdf (дата звернення 25.11.2024 р.).
49. BarthHaas Report 2022/2023. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.barthhaas.com/resources/barthhaas-report> (дата звернення 25.10.2023 р.).
50. *Методологія оцінювання хмелю і хмелепродуктів: монографія* / [за ред. Л.В. Проценко] / Проценко Л.В. та ін. – Житомир, ПП Рута. – 2020. – 272 с.
51. Укрпиво. Офіційний сайт. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://ukrpivo.com>. (дата звернення 06.09.2024 р.).
52. *Обсяг виробництва за 10 місяців 2024 року.* [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://ukrpivo.com/obsyag-virobnitstva-za-10-misyatsiv-2024> // Укрпиво. (дата звернення 05.12.2024 р.). — Назва з екрана.

53. Штанько І.П. Хмелярство: стан та проблеми. Чому галузь в критичному стані? [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://agroportal.ua/publishing/lichnyi-vzglyad/hmelyarstvo-chomu-za-100-rentabelnosti-galuz-u-kritichnomu-stani> // Інтернет-видання «Агропортал». – (дата звернення 16.10.2023 р.). — Назва з екрана.
54. Між 35-ю та 55-ю паралелями - виробництво хмелю. [Електронний ресурс]. – Retrieved from: <https://beermaverick.com/between-the-35th-and-55th-parallels-worlds-hop-production/> // beermaverick.com. – (дата звернення 20.11.2023 р.). — Назва з екрана.
55. Сорти хмелю. [Електронний ресурс]. – Retrieved from: <https://www.hopsteiner.com>. // Hopsteiner. – (дата звернення 15.11.2023 р.). — Назва з екрана.
56. Сорти хмелю США. [Електронний ресурс]. – Retrieved from: <https://www.usahops.org> // Usahops.org. – (дата звернення 18.09.2023 р.). — Назва з екрана.
57. Сорти хмелю. [Електронний ресурс]. – Retrieved from: <https://ychhops.com> // Ychhops. – (дата звернення 18.09.2023 р.). — Назва з екрана.
58. Ruggeri, R., Rossini, F., Roberto, S. R., Sato, A. J., Loussert, P., Rutto, L. K., & Agehara, S. (2024). Development of hop cultivation in new growing areas: The state of the art and the way forward. *European Journal of Agronomy*, 161, 127335.
59. Leles, N. R., Sato, A. J., Moreno, G., Araldi, L. B., de Almeida, A. D. L. D., & De, V. W. Performance of hop cultivars (*Humulus lupulus* L.) under the annual double harvest system under artificial light supplementation in a subtropical climate Desempenho de cultivares de lúpulo (*Humulus*).
60. Herkenhoff, M. E., Brödel, O., & Frohme, M. (2024). Hops across Continents: Exploring How Terroir Transforms the Aromatic Profiles of Five Hop (*Humulus lupulus*) Varieties Grown in Their Countries of Origin and in Brazil. *Plants*, 13(19), 2675.
61. *Humulus lupulus*. [Електронний ресурс]. – Retrieved from: https://eurisco.ipk-gatersleben.de/apex/eurisco_ws/r/eurisco/taxon-search-results?p26_genus=HUMULUS&p26_species=LUPULUS – (дата звернення 15.11.2023 р.). — Назва з екрана.
62. Світове виробництво хмелю. [Електронний ресурс]. – Retrieved from: <https://beermaverick.com/between-the-35th-and-55th-parallels-worlds-hop-production/> – (дата звернення 15.11.2023 р.). — Назва з екрана.
63. USDA (United States Department of Agriculture). Hop cultivar descriptions and source histories from the USDA breeding program. 2007. [Електронний ресурс]. – Retrieved from: https://www.usahops.org/img/blog_pdf/320.pdf – (дата звернення 18.09.2023 р.). — Назва з екрана.
64. Комерційні сорти Чарлі Фарам. [Електронний ресурс]. – Retrieved from: <https://charlesfaram.com/int/> – (дата звернення 03.10.2023 р.). — Назва з екрана.
65. Селекційно-генетичні основи створення, оцінки та використання нових генотипів хмелю звичайного (*Humulus lupulus* L.), стійких до несприятливих факторів довкілля з цінними ознаками для пивоваріння, фармацевтичної та інших галузей. Остаточний звіт відділу селекції та інноваційних технологій хмелю ІСГП УААН за 2016–2020 роки. № ДР: 0116U004654. ІСГП НААН. – [кер. І.П. Штанько]. – Житомир. – 2020. – 128 с.

66. Farago M. A., Porzel A., Schmidt J., Wessjohann L. A. Metabolite profiling and fingerprinting of commercial cultivars of *Humulus lupulus* L. (hop): a comparison of MS and NMR methods in metabolomics. / M. A. Farago [et al.]. // Metabolomics. – 2012. – 8. – P. 492–507. – Retrieved from: <https://doi.org/10.1007/s11306-011-0335-y>.
67. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft Institut für Pfl anzenbau und Pfl anzenzüchtung Hopfenforschungszentrum Hüll (Bavarian State Research Center for Agriculture, Institute for Crop Science and Plant Breeding, Hop Research Center Huell). [Електронний ресурс]. – Retrieved from: www.LfL.bayern.de/ipz/hopfen/. – (дата звернення 16.06.2023 р.). — Назва з екрана.
68. Lutz A., Kneidl J. & Seigner E. Development of a new Huell hop cultivar: innovative strategies together with the hop and the brewing industry / A.Lutz [et al.]. – 2017. – 250 p.
69. Hops comptoir. 5 our Alsace hops. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.hops-comptoir.com/5-our-alsace-hops>. – (дата звернення 05.10.2023 р.). — Назва з екрана.
70. Houblon. Article Brauwelt Forster 2012. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.comptoir-houblon.fr/img/cms/publications/Article-Brauwelt-Forster-2012.pdf>. – (дата звернення 05.10.2023 р.). — Назва з екрана.
71. USDA (United States Department of Agriculture). Hop cultivar descriptions and source histories from the USDA breeding program. 2007. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.usahops.org/img/blog_pdf/320.pdf. – (дата звернення 15.11.2023 р.). — Назва з екрана.
72. Ncgr Corvallis humulus germplasm. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.ars.usda.gov/pacific-west-area/corvallis-or/national-clonal-germplasm-repository/docs/ncgr-corvallis-humulus-germplasm/>. – (дата звернення 15.11.2023 р.). — Назва з екрана.
73. Henning J., Pethybridge S.J., Gent D.H.. Hop cultivars and breeding. In W.F. Mahaffee et al. (ed.) Compendium of hop diseases and pests. / J. Henning [et al.]. // The American Phytopathological Society, St Paul, MN. – 2009.
74. Державний реєстр сортів рослин, придатних до поширення в Україні в 2024 році (витяг станом на 05.12.2024 р.). [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://sops.gov.ua>. – (дата звернення 05.12.2024 р.). — Назва з екрана.
75. Olšovská J. et al. Methods for verifying the authenticity of hops – an effective tool against falsification. / J. Olšovská [et al.]. // Kvasny prumysl. – 2016. – 62(10). – P. 294–305. – Retrieved from: <https://doi.org/10.18832/kp2016030>.
76. Nesvadba V., Krofta K., Poloncikova Z. New knowledge in Czech hop breeding. / V. Nesvadba [et al.]. // In: Seigner E (ed) Proceedings of the Scientific Commission International Hop Grower's Convention. Scientific Commission Meeting. Lublin, Poland. – 2011. – Retrieved from: http://www.lfl.bayern.de/ipz/hopfen/10585/sc_2011_proceedings.pdf. – (дата звернення 16.06.2023 р.). — Назва з екрана;
77. Nesvadba V., Polončíková Z., Henychová F., Hop Breeding in the Czech Republic / V. Nesvadba [et al.]. // Kvasny Prumysl. – 2012. – 58 (2). – P. 36-39. – Retrieved from: <https://doi.org/10.18832/kp2012006>.
78. Krofta K., Patzak J., Nesvadba V., Mikyška A., Slabý M., Čejka P. The Czech hop hybrid variety - Part I. / K. Krofta [et al.]. // Kvasny Prumysl. – 2013. – 59(1). – P. 2-13. – Retrieved from: <https://doi.org/10.18832/kp2013001a>.
79. Nesvadba V., Charvátová J. New fine aroma varieties of hops (*Humulus lupulus* L.) Saaz Brilliant, Saaz Comfort, Saaz Shine and Mimosa. / V. Nesvadba, J. Charvátová // Kvasny prumysl. – 2020. – 66(4). – P. 320-330. – Retrieved from: <https://doi.org/10.18832/kp2019.66.320>.

80. Nesvadba V., Charvátová J., Trnková S. Breeding of flavour hops in the Czech Republic. / V. Nesvadba // Kvasny prumysl. – 2020. – 66(6). – P. 366-371. – Retrieved from: <https://doi.org/10.18832/kp2019.66.366>.
81. Astray G. et al. *Humulus lupulus* L. as a Natural Source of Functional Biomolecules. / G. Astray [et al.]. // Applied Sciences. – 2020. – 10(15). – P. 50-74. – Retrieved from: <https://doi.org/10.3390/app10155074>.
82. Hampton R., Small E., Haunold A. Habitat variability of *Humulus lupulus* var. *lupuloides* in upper midwestern North America: A critical source of American hop germplasm. / R. Hampton [et al.]. // J. Torrey Bot. Soc. – 2001. – 128. – P. 35–46. – Retrieved from: <https://doi.org/10.2307/3088658>.
83. Шабликін В.В. Селекція хмелю в Україні / В.В. Шабликін, М.А. Кулініч, К.П. Михайліченко // Хмелярство. – К.: Аграрна наука. – 1995.
84. CR hop breeding handout. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://buffalo.extension.wisc.edu/files/2011/01/CR-hop-breeding-handout.pdf> – (дата звернення 05.11.2023 р.). — Назва з екрана.
85. Charlie Hop breeding. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.canr.msu.edu/uploads/235/92786/Rohwer_Charlie_Hop_breeding_MS_U45.pdf. – (дата звернення 25.11.2023 р.). — Назва з екрана.
86. Штанько І.П. Теоретичні аспекти використання сучасних інформаційно-аналітичних підходів та баз даних в селекції хмелю звичайного / І.П. Штанько // Агропромислове виробництво Полісся. – 2018. – № 11. – С. 56–59.
87. Штанько І.П. Використання сучасних інформаційно-аналітичних підходів та баз даних в селекції хмелю звичайного / І.П. Штанько // Матеріали Міжнародної наукової інтернет-конференції «Digital agriculture» (Київ, Україна, 23-24 листопада 2023 р.) [Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН]. — Київ, 2023. — С. 58-62.
88. Legun, K., Comi, M. & Vicol, M. New aesthetic regimes: the shifting global political ecology of aroma hops. *Geoforum* 128, 148–157 (2022).
89. Haunold, A. 1980. “Hop”. In *Hybridisation of crop plants*, Edited by: Fehr, W. R. and Hadley, H. H. Wisconsin, , United States: The American Society of Agronomy, Inc.. Chapter 27.
90. Haunold A. (1981) Hop Production, Breeding, and Variety Development in Various Countries, *Journal of the American Society of Brewing Chemists*, 39:1, 27-34, DOI: 10.1094/ASBCJ-39-0027.
91. Нечипорчук І.Д. Основи селекції і розмноження хмелю. Житомир: Радянська Житомирщина, 1947.
92. Burgess A.H. Hops: Botany cultivation and utilization. Leonard Hill (Grampian Press Ltd. // London and inter science Publishers inc. – New York, 1964.
93. Darby P. Single gene trails in hop breeding. International Hop Growers Convention, Proceedings of the Scientific Commission, Canterbury, Kent, England, 5 - 7 Auguste 2001: 76 – 80.
94. Концепція розвитку галузі хмелярства в Україні на період 2021-2025 рр. : науково-методичні рекомендації / Рижук С.М. та ін. Житомир : ПП. Рута, 2020. 48 с.
95. Nesvadba V., Henychova F., Poloncikova Z., Jezek J. Hop of dwarf hops (*Humulus lupulus* l.) for low trellis growing. - *Nové poznatky z genetiky a šľachtenia poľnohospodárskych rastlín. Zborník zo 17. vedeckej konferencie*, Piešťany : VÚRV, 2010. – P.49-52.
96. Штанько І.П. Досягнення селекції хмелю в світі та напрями удосконалення сортової структури насаджень в Україні. *Агропромислове виробництво Полісся*. 2013. Вип. 6. С. 92–97.

97. Розробити нові селекційні технології, створити конкурентоспроможні сорти хмелю з цінними показниками якості сировини. Остаточний звіт лабораторії селекції хмелю ІСГП УААН за 2006–2010 роки. № ДР : 0106U009321 [ІСГП УААН]. – [кер. Шабликін В.В.] – Житомир, 2010. – 84 с.

98. Використання новітніх генетико-селекційних підходів отримання цінних генотипів хмелю : наук.-метод. рекомендації / [І.П. Штанько та ін.]. ІСГП НААН. – 2015. – 24 с.

99. Селекційно-генетичні основи створення, оцінки та використання нових генотипів хмелю, стійких до біотичних факторів довкілля з цінними ознаками для пивоваріння, фармацевтичної та інших галузей : наук.-метод. рекомендації / [І.П. Штанько та ін.]. ІСГП НААН. – Житомир : ПП Рута. – 2020. – 36 с.

100. Neve, R.A., 1986. HOP breeding worldwide-its aims and achievements. J. Inst. Brew. 92, 21–24. <https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.1986.tb04370.x>.

101. Lemmens, G. 1998. The breeding and parentage of hop varieties. Brew Dig. 73: 16–26. Available at <http://www.brewerssupplygroup.com/Hops.html> (verified 12 Aug. 2011), Brewers Digest, St. Paul, MN.

102. Рудик Р.І., Приймачук Т.Ю., Проценко А.В., Штанько І.П. Хмелярство України: шляхи виходу з кризи. Агропромислове виробництво Полісся. 2016. № 9. С. 54–60.

103. Zainasheff, J., Palmer, J. (2007). Brewing classic styles. Brewers Publications, 17–21. ISBN 093738192

104. Hampton, R., E. Small, A. Haunold. 2001. Habitat variability of *Humulus lupulus* var. *lupuloides* in upper midwestern North America: A critical source of American hop germplasm. J. Torrey Bot. Soc. 128: 35– 46. doi:<https://doi.org/10.2307/3088658>.

105. Nesvadba V, Krofta K, Poloncikova Z (2011) New knowledge in Czech hop breeding. In: Seigner E (ed) Proceedings of the Scientific Commission International Hop Grower's Convention. Scientific Commission Meeting. Lublin, Poland. http://www.lfl.bayern.de/ipz/hopfen/10585/sc_2011__proceedings.pdf;
Accessed 31 July 2011;

106. Hampton, R., E. Small, A. Haunold. 2001. Habitat variability of *Humulus lupulus* var. *lupuloides* in upper midwestern North America: A critical source of American hop germplasm. J. Torrey Bot. Soc. 128: 35– 46. doi:<https://doi.org/10.2307/3088658>.

107. Електронний ресурс: URL: <https://buffalo.extension.wisc.edu/files/2011/01/CR-hop-breeding-handout.pdf> (Дата доступу 5.10.2021 р.).

108. Електронний ресурс: URL: https://www.canr.msu.edu/uploads/235/92786/Rohwer_Charlie_Hop_breeding_MS_U45.pdf (Дата доступу 5.10.2021 р.).

109. Наукові засади підвищення адаптивності генотипів хмелю звичайного (*Humulus lupulus* L.) в умовах мінливості кліматичних чинників зони Полісся за використання селекційно-генетичних і біотехнологічних методів. Проміжний звіт відділу селекції та інноваційних технологій хмелю ІСГП НААН за 2022 рік. № ДР : 0121U107559 [ІСГП НААН]. – [кер. Штанько І.П.] – Житомир, 2022. – 64 с.

110. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft Institut für Pfl anzenbau und Pfl anzenzüchtung Hopfenforschungszentrum Hüll Hüll 5 1/3, D-85283 Wolnzach, Germany www.LfL.bayern.de/ipz/hopfen/). Bavarian State Research Center for Agriculture, Institute for Crop Science and Plant Breeding, Hop Research Center Huell, 85283 Wolnzach, Germany)

111. Lutz A., Kneidl J. & Seigner E.: Development of a new Huell hop cultivar: innovative strategies together with the hop and the brewing industry, 2017.
112. Электронный ресурс: URL: <https://www.hops-comptoir.com/5-our-alsace-hops>; (Дата доступа 5.10.2022 г.).
113. Электронный ресурс: URL: <https://www.comptoir-houblon.fr/img/cms/publications/Article-Brauwelt-Forster-2012.pdf> (Дата доступа 5.10.2022 г.).
114. USDA (United States Department of Agriculture). Hop cultivar descriptions and source histories from the USDA breeding program. 2007. Электронный ресурс: URL: https://www.usahops.org/img/blog_pdf/320.pdf (Дата доступа 05.10.2022 г.).
115. Электронный ресурс: URL: <https://www.ars.usda.gov/pacific-west-area/corvallis-or/national-clonal-germplasm-repository/docs/ncgr-corvallis-humulus-germplasm/> (Дата доступа 05.10.2022 г.).
116. Henning, J., S.J. Pethybridge, D.H. Gent. Hop cultivars and breeding. In W.F. Mahaffee et al. (ed.) Compendium of hop diseases and pests. // The American Phytopathological Society, St Paul, MN. 2009.
117. Электронный ресурс: URL: <https://today.oregonstate.edu/news/scientists-advance-understanding-hop-genome-which-could-aid-brewers-medical-researchers> (Дата доступа 05.10.2022 г.).
118. Hop Breeding Principles. Peter Darby. Great Lakes Hops and Barley Conference. Kalamazoo, Michigan, USA 13th March 2018.
119. Hop Breeding-British Hop Association (britishhops.org.uk) <https://www.britishhops.org.uk/hop-breeding/>.
120. Wye Hops : New Hop Variety Breeding Programme - SIBA - The Voice Of British Brew <https://www.siba.co.uk/2013/09/02/wye-hops-new-hop-variety-breeding-programme/ing>.
121. Darby, P. Hop growing in England in the 21st century. // J.R. Agric. Soc. Engl. 2004. 165.
122. Darby, P. The history of hop breeding and development. // Brew Hist. 121: 94– 112.
123. Darby, P. The UK hop breeding programme: A new site and new objectives 2007. p. 10– 13.
124. Darby, P., Post, J., Calderwood, L., Cubins, J., Cummings, E., Gupta, A., et al. Organic Hop Variety Trial Final Report. University of Vermont Extension: Technical Publication. (2017). Available at: https://www.uvm.edu/sites/default/files/media/2017_Hop_Germplasm_Report.pdf.
125. Nesvadba, V., Charvátová, J., Štefanová, L. Breeding of flavour hops in the Czech Republic. Czech Hops (2016). Ministry of Agriculture of the Czech Republic, 51–53.
126. Farago, M. A., Porzel, A., Schmidt, J., Wessjohann, L. A. Metabolite profiling and fingerprinting of commercial cultivars of *Humulus lupulus* L. (hop): a comparison of MS and NMR methods in metabolomics. // Metabolomics. (2012). 8, 492–507. doi: 10.1007/s11306-011-0335-y
127. Nesvadba V., Development and Tradition of Czech Hop Varieties, 2013. Zatec Hop Research Institute Co., Ltd.
128. Nesvadba, V. et al. Development and tradition of Czech hop varieties. 2014. Hop Research Institute, CO., LTD., Žatec, 91 pp.
129. Nesvadba, V., Charvátová, J., Štefanová, L. Hop Breeding in the Czech Republic. In: Weihrauch, F. (ed.). Proceedings of the Scientific-Technical

Commission 25–29 June 2017, St. Stefan am Walde, Austria. Wolnzach: Scientific-Technical Commission of the International Hop Growers Convention 2017, 7–10.

130. Koutoulis A., Shellie R., Tedone L., Yan D., Price A. & Whittock S.: Recent advances in hop research in Australia. 2018.

131. Trojak-Goluch A. and Skomra U. Artificially induced polyploidization in *Humulus lupulus* L. and its effect on morphological and chemical traits. // Breed. Sci. 2013. 63: 393–399.

132. Trojak-Goluch, A., & Skomra, U. Ploidy variation and agronomic performance of F₁ hybrids of tetraploid and diploid forms of *Humulus lupulus* L. // Breeding science, (2020. 70(2), 176–182. <https://doi.org/10.1270/jsbbs.19102>

133. Koutoulis, A., Price, A. and Leggett, G. Polyploid breeding and mutagenesis in hop (*Humulus lupulus* L.). // Acta Hort. (2005). 668, 41–46 DOI: 10.17660/ActaHortic.2005.668.4 <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2005.668.4>.

134. Beatson, R. A. and Inglis, T. E. Development of aroma hop cultivars in New Zealand. // Journal of the Institute of Brewing, 1999.105: 382–385.

135. Селекція хмелю. Методи випробувань. Технічні умови. ДСТУ 2027–2009. [Чинний від 2011 р.]. Київ : Держспоживстандарт України, 2011. 26 с. (Національні стандарти України).

136. Hampton, R., E. Small, A. Haunold. Habitat variability of *Humulus lupulus* var. *lupuloides* in upper midwestern North America: A critical source of American hop germplasm. // J. Torrey Bot. Soc. 2001. 128: 35– 46. doi:<https://doi.org/10.2307/3088658>.

137. Hop Breeding Principles. Peter Darby. Great Lakes Hops and Barley Conference. Kalamazoo, Michigan, USA 13th March 2018.

138. Електронний ресурс: URL: <https://buffalo.extension.wisc.edu/files/2011/01/CR-hop-breeding-handout.pdf> (Дата доступу 05.10.2022 р.).

139. Електронний ресурс: URL: https://www.canr.msu.edu/uploads/235/92786/Rohwer_Charlie_Hop_breeding_MS_U45.pdf (Дата доступу 05.10.2022 р.).

140. Venger VM, Tribel SO, Lapa OM et al. (2011) Technology for growing and protecting hops from harmful organisms. – Kyiv: Kolobig: Phoenix.196.

141. UPOV (2006) TG/227/1. Test Guidelines for the conduct of tests for distinctness, uniformity and stability of Hop (*Humulus lupulus* L.). Geneva: UPOV. [Електронний ресурс] – Retrieved from: <https://www.upov.int/edocs/tgdocs/en/tg227.pdf>. (дата звернення: 12.06.2023). — Назва з екрана.

142. Методика проведення експертизи сортів на відмітність, однорідність та стабільність (ВОС). Технічні та кормові культури / [під ред. С.І. Мельника] / Український інститут експертизи сортів рослин. – К.: Алефа. – 2020. – 226 с.

143. Purayannur S, Gent DH, Miles TD, Radišek S, Quesada-Ocampo LM (2021) The hop downy mildew pathogen *Pseudoperonospora humuli*. Mol Plant Pathol. 22:755–768. <https://doi.org/10.1111/mpp.13063>.

144. Tribel SO et al. (2001) Methods for testing and applying pesticides . — K. Svit. 305.

Наукове видання

**КОНЦЕПЦІЯ
ВИКОРИСТАННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ЗБАГАЧЕННЯ
ГЕНЕТИЧНОГО РІЗНОМАНІТТЯ
ХМЕЛЮ ЗВИЧАЙНОГО (*HUMULUS LUPULUS* L.)
ЗА ВИКОРИСТАННЯ СЕЛЕКЦІЙНО-ГЕНЕТИЧНИХ І
БІОТЕХНОЛОГІЧНИХ МЕТОДІВ**

Науково-методичні рекомендації

Відповідальний за випуск – І.П. Штанько

*Підписано до друку
Формат 60x84/16. Папір Data Copy. Гарнітура Таймс
Друк цифровий. Ум. Друк. Арк. 4,88
Тираж 300. Зам. 0484*

ТОВ «Видавничий дім “Бук-Друк”»
м. Житомир, вул. М. Бердичівська, 17А.
тел.: 073 101 22 33

Свідоцтво серія ДК №7412 від 27.07.2021 р.

Друк та палітурні роботи ФОП О.О. Євенок
м. Житомир, вул. М. Бердичівська, 17А
тел.: 073 101 22 33, e-mail: bookovych@gmail.com

Свідоцтво серія ДК №3544 від 05.08.2009 р.

