УДК 663.252:634.836.12:551.583
DOI https://doi.org/10.37734/2518-7171-2026-2-3

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)

ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПОТЕНЦІАЛ СОРТУ ВИНОГРАДУ СУХОЛИМАНСЬКИЙ БІЛИЙ В УМОВАХ КЛІМАТИЧНИХ ЗМІН: СТРУКТУРНО-АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД І КОНЦЕПЦІЯ АДАПТИВНОЇ ВІНІФІКАЦІЇ

Д. С. ЛЕОНІДОВ, аспірант
ORCID ID: 0009-0001-2201-6842
(Одеський національний технологічний університет)

Анотація. *Мета дослідження. Метою роботи є структурно-аналітичне узагальнення наукових даних щодо технологічного потенціалу українського технічного сорту винограду Сухолиманський білий за кліматичної мінливості, визначення рівня доказовості окремих технологічних підходів та формування сортоспецифічної концепції адаптивної вініфікації. Методика дослідження. Джерельну базу сформовано з 50 наукових, фундаментальних і нормативно-методичних джерел, включених до бібліографії статті. Застосовано структурований контент-аналіз із розподілом публікацій за сімома тематичними блоками та трьома рівнями доказовості: прямі дані щодо Сухолиманського білого; механістично релевантні дані, отримані для інших сортів Vitis vinifera L.; технологічні підходи, перспективні для сортоспецифічної експериментальної перевірки. Результати. Встановлено, що прямі сортоспецифічні дослідження становлять 4 із 50 джерел (8,0%), тоді як найбільші тематичні блоки пов'язані з кліматом, фенологією та адаптацією – 15 джерел (30,0%) і з мікробіологією, азотним статусом та non-Saccharomyces – 11 джерел (22,0%). Прямими дослідженнями підтверджено внутрішньосортову клонову мінливість за господарськими, фізико-хімічними та сенсорними характеристиками, а також залежність показників якості врожаю від температурних і вологісних умов. Показано, що за кліматичної мінливості технологічну зрілість доцільно оцінювати не лише за цукристістю та титрованою кислотністю, а й з урахуванням pH, співвідношення органічних кислот, ароматичної зрілості та азотного статусу сусла. Сформовано ієрархію доказовості для холодної мацерації, керування окисненням, температури ферментації, біопротекції та застосування non-Saccharomyces. Висновки. Запропоновано сортоспецифічну концепцію «кліматичні умови року – клон – технологічна зрілість – склад винограду – технологічне рішення – сенсорна якість», яка переводить огляд літератури у систему перевірюваних технологічних рішень. Визначено пріоритети подальших досліджень: багаторічний моніторинг pH та органічних кислот, леткого профілю, YAN, режимів мацерації, біопротекції, температури ферментації та біологічного підкислення.*

Ключові слова: *Сухолиманський білий, виноград, кліматичні зміни, технологічна зрілість, структурний аналіз літератури, кислотність, адаптивна вініфікація.*

Постановка проблеми. Кліматична мінливість змінює саму логіку визначення технологічної зрілості винограду. Jones та співавт. показали, що кліматичний сигнал здатний змінювати умови формування якості винограду і вина [5]. Duchêne і Schneider для Ельзасу зафіксували зміщення фенологічних фаз винограду в умовах потепління [6]. Webb та співавт. продемонстрували потенційне зміщення фенології винограду за майбутніх кліматичних сценаріїв [7]. Sadras і Petrie пов'язали ранню зрілість Chardonnay, Shiraz і Cabernet Sauvignon насамперед із раннім початком сезонного розвитку, а не лише з прискоренням самого достигання [8].

Для технології білих вин критичним є те, що цукронакопичення, кислотний баланс і ароматична зрілість можуть змінюватися не синхронно. Plantevin та співавт. встановили значні генотипові відмінності за кислотністю та pH ягід, що обмежує можливість переносити кількісні пороги одного сорту на інший [10]. Pons та співавт. показали багатофакторність кліматичного впливу на ароматичні сполуки та їх прекурсори [25]. Отже, технологічна зрілість має оцінюватися як багатокомпонентний стан сировини, а не як досягнення одного нормативного показника.

Для України особливого значення набувають сорти вітчизняної селекції. Ковальова та співавт. охарактеризували Сухолиманський білий і його клони в умовах півдня Одеської області та показали суттєву внутрішньосортову мінливість [1]. Подальше дослідження виноматеріалів урожаїв 2022–2024 рр. підтвердило відмінності клонів за фізико-хімічними й органолептичними показниками [2]. Ляшенко та співавт. встановили зв'язок показників якості врожаю з погодними умовами [3]. Ляшенко і Соборова раніше моделювали формування цукристості та титрованої кислотності технічних сортів Північного Причорномор'я під впливом агрометеорологічних факторів [4].

Проблема полягає в нерівномірності доказової бази. Для Сухолиманського білого існують прямі дані щодо клонової мінливості та базових показників якості, однак більшість сучасних

технологічних механізмів досліджено на інших сортах. Через це описовий перелік потенційно корисних прийомів може створювати хибне враження їх сортоспецифічної доведеності. Необхідним є не лише огляд літератури, а структурне розмежування прямих доказів, механістично релевантних даних і технологічних гіпотез.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Прямий сортоспецифічний блок представлений чотирма роботами. Ковальова та співавт. виділили перспективні клони Сухолиманського білого за господарськими характеристиками [1]. В окремому дослідженні ті самі автори показали клонові відмінності за фізико-хімічними та органолептичними властивостями виноматеріалів [2]. Ляшенко та співавт. кількісно оцінили зв'язки між погодними показниками і формуванням якості врожаю [3]. Ляшенко і Соборова запропонували агрометеорологічний підхід до моделювання якості технічного винограду в Північному Причорномор'ї [4].

Міжнародний блок кліматичних досліджень значно ширший. Rogiers та співавт. систематизували вплив кліматичних змін на достигання ягід та адаптаційні стратегії [9]. Mira de Orduña узагальнив вплив кліматичних змін на якість і виробництво винограду та вина [16]. Van Leeuwen і Darriet розглянули взаємозв'язок клімату, виноградарства та якості вина [17]. Van Leeuwen та співавт. систематизували адаптаційні можливості на рівні сортименту, агротехніки й управління виноградником [18]. Santos та співавт. узагальнили ризики й адаптаційні опції для європейського виноградарства [19]. Gutiérrez-Gamboa та співавт. проаналізували сучасні агротехнічні способи пом'якшення негативних наслідків глобального потепління [20].

Окремий напрям стосується кислотності та вторинного метаболізму. Sweetman та співавт. детально описали регуляцію метаболізму малату в ягоді винограду [22]. Etienne та співавт. узагальнили механізми накопичення й деградації органічних кислот у плодах [23]. Rienth та співавт. показали, що вторинні метаболіти ягід модулюються абіотичними факторами, причому напрям і величина ефекту залежать від метаболіту та умов [21].

Для ароматичної складової важливі роботи щодо мікроклімату грон. Ghiglieno та співавт. встановили вплив метеорологічних умов, затінення та видалення листків на якість сусла й норізопреноїди [12]. В іншій роботі автори показали зміни складу ягід Chardonnay і Pinot noir за різних режимів експозиції [13]. Martin та співавт. продемонстрували вплив мікроклімату грон на ароматичний склад Sauvignon blanc [15]. Ці результати є механістично релевантними, але не є прямим доказом оптимального режиму експозиції для Сухолиманського білого.

Технологічний блок охоплює строк збирання, мацерацію, кисень, температуру бродіння та мікробіологічні стратегії. Allamy та співавт. показали, що дата збирання впливає на ароматичний склад винограду і вина [24]. Alti-Palacios та співавт. встановили сортозалежний вплив холодної передферментаційної мацерації на леткий профіль білих вин [26]. Filipe-Ribeiro та співавт. продемонстрували важливість контролю кисню для хроматичних характеристик білих вин [33]. Molina та співавт. показали вплив температури ферментації на синтез дріжджових летких метаболітів [45].

Мікробіологічний напрям є одним із найбільш насичених. Puyo та співавт. проаналізували біопротекторний потенціал Metschnikowia pulcherrima та залежність ефекту від штаму й умов застосування [27]. Morata та співавт. узагальнили внесок non-Saccharomyces у формування свіжості вина [28]. Borren і Tian систематизували їх роль у формуванні ароматичної складності [29]. Vicente та співавт. узагальнили технологічну роль Lachancea thermotolerans [30]. Christofi та співавт. показали, що азот, доступний для дріжджів, впливає на кінетику ферментації, склад і сенсорний характер вина [32].

Таким чином, літературний масив містить достатньо інформації для формування концептуальної моделі, але недостатньо прямих сортоспецифічних даних для універсальної технологічної інструкції. Саме це протиріччя визначає необхідність структурно-аналітичного підходу.

Мета і завдання дослідження. Метою статті є на основі структурно-аналітичного узагальнення сучасних наукових публікацій встановити основні складові технологічного потенціалу сорту винограду Сухолиманський білий в умовах кліматичних змін, визначити рівень доказовості окремих технологічних підходів і сформувати сортоспецифічну концепцію адаптивної вініфікації.

Для досягнення мети поставлено такі завдання: 1) систематизувати джерельний масив за тематичними напрямами; 2) відокремити прямі дані щодо Сухолиманського білого від порівняльних даних для інших сортів; 3) встановити ключові кліматично чутливі складові технологічної зрілості; 4) критично оцінити доказовість передферментаційних, ферментаційних і мікробіологічних інструментів; 5) визначити наукові прогалини; 6) сформувати концептуальну модель прийняття адаптивних технологічних рішень.

Об'єкт, предмет і методи дослідження. Об'єкт дослідження – технологічний потенціал сорту винограду Сухолиманський білий у системі виробництва білих столових вин за змінних кліматичних умов. Предмет дослідження – опубліковані дані щодо клонової мінливості, погодної чутливості, технологічної зрілості, кислотного, ароматичного та фенольного потенціалу винограду, а також технологічних прийомів, здатних модифікувати склад і сенсорні властивості білих вин.

Матеріалом слугували 50 джерел, включених до бібліографічного списку статті: 42 журнальні наукові публікації (оригінальні дослідження та огляди), 5 монографій і фундаментальних фахових видань, 2 нормативно-методичні документи OIV та 1 синтетичний звіт IPCC. Для кожного джерела вручну кодували домінантний предмет дослідження за назвою, об'єктом, змістом і тим результатом, який використано в цій статті. Одне джерело відносили лише до одного домінантного тематичного блоку, що виключало подвійний підрахунок; повний розподіл усіх 50 позицій наведено в табл. 1.

Структурний аналіз виконувався у два етапи. На першому етапі джерела розподілено на сім тематичних блоків: прямі дані для Сухолиманського білого; клімат, фенологія та адаптація; кислотність і технологічна зрілість; аромат, склад ягід і мікроклімат; вініфікація та контроль процесу; мікробіологія, азот, доступний для дріжджів (YAN), і non-Saccharomyces; фундаментальні джерела та стандарти. На другому етапі твердження, що стосувалися можливого перенесення результатів на Сухолиманський білий, оцінювали за трирівневою шкалою: I – прямі сортоспецифічні дані; II – механістично релевантні порівняльні дані для Vitis vinifera L. та виноградо-виноробних систем із відповідним біохімічним або технологічним механізмом; III – технологічні гіпотези, перспективність яких для Сухолиманського білого потребує прямої експериментальної перевірки.

Застосований підхід є структурованим контент-аналізом сформованого корпусу джерел. Його завданням було не оцінювання цитованості чи бібліографічних зв'язків, а кількісно прозоре відображення тематичної структури саме тієї доказової бази, на якій побудовано огляд. Таке обмеження не дозволяє трактувати отриманий розподіл як бібліометричну карту всього наукового поля, але робить процедуру класифікації відтворюваною в межах наведених 50 джерел.

Результати структурно-аналітичного узагальнення

1. Тематична структура джерельного масиву

Розподіл 50 джерел виявив виражену нерівномірність дослідницького поля. Найбільший блок становлять праці з клімату, фенології та адаптації – 15 джерел (30,0%). Мікробіології, азотному статусу та non-Saccharomyces присвячено 11 джерел (22,0%). Фундаментальні праці та стандарти становлять 7 джерел (14,0%), аромат, склад ягід і мікроклімат – 6 (12,0%), прямі дані для Сухолиманського білого – 4 (8,0%), вініфікація та контроль процесу – 4 (8,0%), кислотність і технологічна зрілість – 3 (6,0%). Сума категорій становить 50 джерел (100,0%), оскільки подвійне віднесення не застосовувалося.

Кількісний розподіл показує головну наукову прогалину: прямі сортоспецифічні дослідження становлять лише 8,0% джерельного масиву. Тому науково коректна модель повинна чітко відділяти те, що вже доведено для Сухолиманського білого, від того, що лише обґрунтовує напрям майбутнього експерименту.

2. Клонова мінливість як перший рівень адаптації

Ковальова та співавт. дослідили 13 клонів Сухолиманського білого і виділили 89162, 81123, 80121 та 41111 за комплексом господарських характеристик [1]. У наступній роботі серед виноматеріалів урожаїв 2022–2024 рр. високі дегустаційні оцінки й оригінальність профілю мали, зокрема, клони 81123, 54182, 89162 та 41111 [2]. Порівняння цих двох робіт показує, що агробіологічна перевага і сенсорна перевага не є повністю тотожними категоріями. Отже, клон у системі адаптивної вініфікації слід розглядати не лише як фактор урожайності, а як джерело варіабельності складу сировини та майбутнього стилю вина.

Цей висновок є прямим сортоспецифічним результатом і має найвищий рівень доказовості в межах огляду. Водночас наявні публікації не дозволяють ранжувати клони за стабільністю pH, винної та яблучної кислот або за інструментально визначеним ароматичним профілем у контрастні за температурою і вологозабезпеченням роки. Саме ця відсутність багаторічної стабільності показників є першою дослідницькою прогалиною.

3. Погодні умови і технологічна зрілість

Ляшенко і Соборова показали можливість моделювання формування цукристості та титрованої кислотності технічного винограду за агрометеорологічними показниками Північного Причорномор'я [4]. Польові дані Ляшенко та

Таблиця 1

Відтворювана тематична класифікація 50 джерел (номери наведено за списком літератури)

Тематичний блок	Номери джерел	Кількість	Частка, %
Клімат, фенологія та адаптація	5, 6, 7, 8, 9, 11, 14, 16, 17, 18, 19, 20, 41, 42, 43	15	30,0
Мікробіологія, YAN і non-Saccharomyces	27, 28, 29, 30, 31, 32, 46, 47, 48, 49, 50	11	22,0
Фундаментальні джерела та стандарти	34, 35, 36, 37, 38, 39, 40	7	14,0
Аромат, склад ягід і мікроклімат	12, 13, 15, 21, 24, 25	6	12,0
Прямі дані для Сухолиманського білого	1, 2, 3, 4	4	8,0
Вініфікація та контроль процесу	26, 33, 44, 45	4	8,0
Кислотність і технологічна зрілість	10, 22, 23	3	6,0

співавт. підтвердили для Сухолиманського білого зв'язок показників якості з температурними й вологісними характеристиками [3]. Для зв'язку титрованої кислотності з чотирма показниками ресурсів тепла в цій роботі наведено коефіцієнти детермінації R^2 = 0,32; 0,33; 0,35 і 0,23 [3]. Отже, навіть у межах теплового блоку пояснена частка варіації є помірною, що не дозволяє зводити формування кислотності до одного температурного чинника.

Механістичне пояснення цієї залежності дає робота Sweetman та співавт., у якій метаболізм малату розглядається як динамічний процес, пов'язаний із розвитком і диханням плоду [22]. Plantevin та співавт. показали, що кислотність і pH мають виражений генотиповий компонент [10]. Звідси випливає важливе обмеження: міжнародні дані підтверджують механізм кліматичного ризику, але не дозволяють встановити числовий поріг pH або яблучної кислоти саме для Сухолиманського білого без прямого експерименту.

Для практичної оцінки технологічної зрілості це означає перехід від пари «цукристість – титрована кислотність» до розширеного набору показників: цукри, титрована кислотність, pH, винна та яблучна кислоти, маса ягоди, фенольне навантаження, ароматичні прекурсори та YAN. Keller обґрунтовує фізіологічну взаємопов'язаність процесів достигання ягід [34]. Jackson систематизує технологічне значення pH, кислотності та складу сусла для виноробства [35].

4. Мікроклімат грон та ароматична зрілість

Ghiglieno та співавт. показали, що метеорологічні умови й керування листковим апаратом змінюють якість сусла та норізопреноїдний потенціал [12]. Окрема робота тих самих авторів продемонструвала зміни складу ягід Chardonnay і Pinot noir за видалення листків і штучного затінення [13]. Martin та співавт. встановили вплив мікроклімату грон на ароматичний склад Sauvignon blanc [15]. Сукупно ці роботи підтверджують не конкретну рекомендацію для Сухолиманського білого, а принцип: температура й експозиція грон можуть змінювати ароматичний потенціал незалежно від загальної цукристості.

Pons та співавт. підкреслюють багатофакторний характер впливу кліматичних змін на ароматичні сполуки та їх прекурсори [25]. Тому дата збирання, визначена лише за масовою концентрацією цукрів, може не збігатися з оптимумом ароматичної зрілості. Для Сухолиманського білого сенсорні відмінності клонів уже зафіксовані [2], однак зв'язок цих відмінностей із конкретними леткими маркерами та odor activity values у проаналізованих джерелах не встановлено.

5. Передферментаційні операції: від потенційної користі до критерію застосування

Alti-Palacios та співавт. показали, що холодна передферментаційна мацерація змінює леткий профіль і аромат білих вин, причому ефект залежить від сорту [26]. Це робить некоректним твердження про універсальну користь мацерації. Для Сухолиманського білого рішення має залежати від співвідношення потенційної екстракції ароматичних прекурсорів, фенольного навантаження та ризику окиснення.

Waterhouse, Sacks і Jeffery детально описують хімічні механізми окиснення та роль фенольних

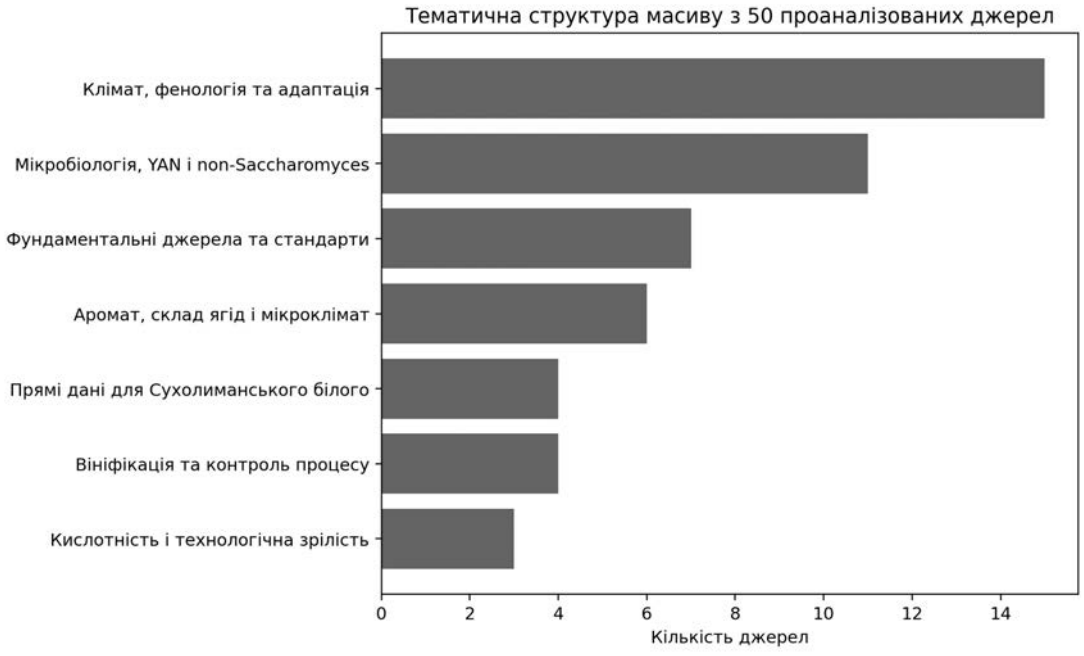


Рис. 1. Тематична структура 50 джерел

субстратів у вині [36]. Filipe-Ribeiro та співавт. показали негативний вплив кисневої експозиції на хроматичні характеристики білого вина і можливість його зменшення деоксигенацією [33]. Отже, для Сухолиманського білого передферментаційний контакт зі шкіркою слід досліджувати разом із контролем кисню, а не як ізольований технологічний фактор.

Casassa і Sari досліджували cold soak у Malbec [44]. Ця робота може бути використана лише для розуміння принципів масопереносу та сенсорних наслідків передферментаційної екстракції, але не як прямий доказ оптимального режиму для білого сорту. Таке розмежування є принциповим для академічної доброчесності оглядової статті.

6. Температура ферментації та азотний статус як взаємодіючі фактори

Molina та співавт. встановили, що температура ферментації змінює синтез дріжджових летких ароматичних сполук [45]. Christofi та співавт. показали для Assyrtiko, що YAN впливає на кінетику бродіння, хімічний склад і сенсорні характеристики вина [32]. Отже, оптимізація температури без урахування азотного статусу сусла є методологічно неповною.

Для Сухолиманського білого в проаналізованому корпусі не виявлено систематичних сортоспецифічних даних щодо YAN у контрастні роки. Так само не виявлено факторного експерименту «штам S. cerevisiae × температура × склад сусла». Тому числові рекомендації щодо оптимальної температури бродіння або корекції азотного живлення для цього сорту в межах огляду не формулюються; ці параметри мають статус напрямів для прямої експериментальної перевірки.

7. Non-Saccharomyces та біологічне керування кислотністю

Morata та співавт. розглядають non-Saccharomyces як інструмент збереження або посилення свіжості вина [28]. Vicente та співавт. систематизують роль Lachancea thermotolerans у винній технології, включаючи здатність окремих штамів продукувати молочну кислоту [30]. Benito показав виражену штамову варіабельність технологічних ефектів L. thermotolerans [47]. Hranilovic та співавт. також продемонстрували різноманітність енологічних ознак цього виду [46].

Для Сухолиманського білого біологічне підкислення є логічно обґрунтованим лише для партій із недостатньою природною кислотністю або підвищеним pH. Його не слід позиціонувати як стандартну операцію. Перед застосуванням необхідно визначати вихідний pH, титровану кислотність і профіль органічних кислот, а ефект конкретного штаму перевіряти в сортовій матриці.

Puyo та співавт. показали потенціал Metschnikowia pulcherrima для біопротекції та одночасно наголосили на залежності результату від штаму, мікробіоти й умов застосування [27]. Varela узагальнив ширший біотехнологічний потенціал non-Saccharomyces у ферментованих напоях [49]. Для Сухолиманського білого ці дані визначають перспективний експериментальний напрям, але не доводять можливість повної заміни SO_2.

8. Ієрархія доказовості та наукові прогалини

9. Сортоспецифічна концепція адаптивної вініфікації

Таблиця 2

Ієрархія доказовості та ключові наукові прогалини щодо Сухолиманського білого

Компонент	Що підтверджено	Рівень доказовості	Що потрібно перевірити
Клонова мінливість	Відмінності продуктивності, цукристості, кислотності та сенсорного профілю [1]; сенсорні й фізико-хімічні відмінності виноматеріалів [2]	I – прямі дані	Стабільність pH, кислотного та леткого профілю клонів у контрастні роки
Погодні умови	Зв'язок якості врожаю з температурними та вологісними показниками [3]	I – прямі дані	Багаторічна динаміка pH, винної й яблучної кислот
Малат і pH	Температурна чутливість малатного метаболізму [22]; генотипові відмінності pH [10]	II – механістичні дані	Кількісна реакція Сухолиманського білого
Мікроклімат грон	Вплив експозиції на склад ягід [13] та аромат Sauvignon blanc [15]	II – порівняльні дані	Оптимальна експозиція грон для сорту
Холодна мацерація	Сортозалежна зміна аромату білих вин [26]	III – технологічна гіпотеза	Температура, тривалість, фенольне навантаження й окиснюваність
Температура бродіння	Вплив на дріжджові леткі метаболіти [45]	III – технологічна гіпотеза	Взаємодія «штам × температура × рік»
YAN	Вплив на кінетику, склад і сенсорний профіль Assyrtiko [32]	II – порівняльні дані; III – рекомендації для сорту	Сортоспецифічні діапазони та потреба в корекції
L. thermotolerans	Потенціал біологічного підкислення [30]	III – технологічна гіпотеза	Штам, схема інокуляції та сенсорний ефект
M. pulcherrima	Біопротекторний потенціал [27]	III – технологічна гіпотеза	Сумісність із матрицею сорту та режимом SO_2

Таблиця 3

Матриця прийняття адаптивних технологічних рішень для Сухолиманського білого

Вхідний блок	Контрольні показники	Технологічне рішення	Критерій результату
Клімат і рік	Температура, вологозабезпечення, тепловий стрес	Частота контролю достигання, дата збирання	Баланс зрілості без втрати свіжості
Клон	Продуктивність, базовий склад, сенсорна специфіка	Диференційована переробка клонів	Стабільність стилю
Технологічна зрілість	Цукри, ТА, pH, винна/яблучна кислоти	Дата збирання, потреба в корекції кислотності	Кислотний баланс
Аромат/феноли	Прекурсори, феноли, окиснюваність	Мацерація, пресування, захист від O_2	Ароматична виразність без гіркоти/окиснення
Ферментаційна матриця	YAN, pH, температура сусла	Штам, температура, живлення	Повнота бродіння та чистота аромату
Мікробіологічна стратегія	Вихідна мікробіота, pH, цільовий стиль	S. cerevisiae / non-Saccharomyces / біопротекція	Стабільність, кислотність, сенсорний профіль

Результатом структурного аналізу є не набір універсальних технологічних режимів, а послідовність прийняття рішень. Перший рівень – умови року: теплозабезпечення, водний режим і мікроклімат зони плодоношення. Другий – клон як джерело внутрішньосортової варіабельності. Третій – фактична технологічна зрілість, визначена за комплексом цукрів, титрованої кислотності, pH та органічних кислот. Четвертий – розширені характеристики: ароматичний, фенольний і азотний потенціал. Лише після цього обираються технологічні операції: дата збирання, контакт зі шкіркою, контроль кисню, температура ферментації, штам дріжджів і, за потреби, біологічне регулювання кислотності.

Концептуальна послідовність адаптивної вініфікації: кліматичні умови року → клон → технологічна зрілість → склад винограду → технологічне рішення → сенсорна якість.

Наукова новизна

Наукова новизна роботи полягає у трьох взаємопов'язаних результатах. По-перше, 50 джерел не лише описано, а структуровано за сімома тематичними блоками з кількісним визначенням їх частки, що дозволило встановити дисбаланс між широкою міжнародною доказовою базою та малою кількістю прямих досліджень Сухолиманського білого. По-друге, запропоновано трирівневу ієрархію доказовості, яка відокремлює прямі сортоспецифічні результати від механістично релевантних порівняльних даних і технологічних гіпотез. По-третє, сформовано сортоспецифічну концепцію адаптивної вініфікації, у якій технологічне рішення є функцією умов року, клону та фактичного багатокомпонентного складу сировини, а не наперед заданої технологічної схеми.

Практична цінність концепції полягає в тому, що вона визначає не «кращий» універсальний режим, а набір вимірюваних критеріїв, за якими режим має обиратися. Це створює основу для подальшого факторного експерименту та багаторічної бази «погодні умови – клон – склад винограду – параметри вініфікації – склад вина – сенсорна оцінка».

Висновки та перспективи подальших досліджень

1. Структурний аналіз 50 джерел показав, що найбільша частка сформованого корпусу стосується клімату, фенології та адаптації – 15 джерел (30,0%), тоді як прямі дані щодо Сухолиманського білого представлені 4 джерелами (8,0%). Це визначає необхідність чіткого розмежування сортоспецифічних висновків і результатів, перенесених з інших виноградо-виноробних систем.

2. Прямими дослідженнями підтверджено клонову мінливість Сухолиманського білого за господарськими, фізико-хімічними та сенсорними характеристиками [1]. Окрема оцінка виноматеріалів підтвердила відмінності клонів за органолептичним профілем [2]. Отже, клон доцільно включати до моделі технологічної адаптації як самостійний фактор.

3. Для Сухолиманського білого підтверджено зв'язок показників якості врожаю з температурними та вологісними умовами [3]. Водночас наявні дані не дозволяють пояснити всю мінливість якості лише температурою, що обґрунтовує багатофакторну оцінку року.

4. Кліматично адаптивна оцінка технологічної зрілості повинна доповнювати цукристість і титровану кислотність показниками pH, винної та яблучної кислот, а надалі – YAN, фенольним і ароматичним потенціалом. Така потреба випливає з генотипових відмінностей кислотності [10] та температурної чутливості метаболізму малату [22].

5. Холодна мацерація, біопротекція, біологічне підкислення та вибір температури ферментації є науково обґрунтованими напрямами дослідження, але не готовими сортоспецифічними рекомендаціями. Їх ефективність для Сухолиманського білого потребує прямої експериментальної перевірки.

6. Запропонована концепція «кліматичні умови року – клон – технологічна зрілість – склад винограду – технологічне рішення – сенсорна якість»

узгоджує назву, мету, завдання та результати роботи і формує основу для переходу від фіксованої технологічної схеми до адаптивної вініфікації.

7. Пріоритетними подальшими дослідженнями є: багаторічний моніторинг pH та винної/яблучної кислот; GC–MS-профілювання летких сполук; визначення YAN; факторні досліди зі строком збирання і холодною мацерацією; оцінка взаємодії «штам × температура»; перевірка L. thermotolerans і M. pulcherrima у сортовій матриці; інтеграція інструментальних показників із дескриптивним сенсорним аналізом.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ковальова І. А., Герус Л. В., Салій О. В., Івашко О. Г. Основні господарські характеристики сорту Сухолиманський білий та його клонів в умовах півдня Одеської області. *Вісник виноградарства і виноробства*. 2024. Вип. 3. С. 37–41. https://www.viticulture-winemaking.org.ua/visnyk-vynogradarstva-i-vynorobstva-3-2024-37-41-s/

2. Ковальова І. А., Герус Л. В., Древова С. С., Салій О. В., Івашко О. Г. Фізико-хімічна та органолептична характеристика клонів сорту винограду Сухолиманський білий в умовах Півдня Одеської області. *Вісник виноградарства і виноробства*. 2025. Вип. 4. С. 35–40. https://www.viticulture-winemaking.org.ua/visnyk-vynogradarstva-i-vynorobstva-4-2025-35-40-s/

3. Ляшенко Г. В., Мельник Е. Б., Бузовська М. Б., Булаєва Ю. Ю., Попова Г. К., Мандич О. М. Дослідження впливу погодних умов на формування якості врожаю винограду за результатами польового досліду. *Вісник виноградарства і виноробства.* 2025. Вип. 4. С. 57–64. https://www.viticulture-winemaking.org.ua/visnyk-vynogradarstva-i-vynorobstva-4-2025-57-64-s/

4. Ляшенко Г. В., Соборова О. М. Моделювання формування якості винограду технічних сортів під впливом агрометеорологічних умов в Північному Причорномор'ї. *Фізична географія та геоморфологія*. 2017. Вип. 1(85). С. 113–121.

5. Jones G. V., White M. A., Cooper O. R., Storchmann K. Climate change and global wine quality. Climatic Change. 2005. Vol. 73. P. 319–343. DOI: 10.1007/s10584-005-4704-2.

6. Duchêne E., Schneider C. Grapevine and climatic changes: a glance at the situation in Alsace. *Agronomy for Sustainable Development*. 2005. Vol. 25. P. 93–99. DOI: 10.1051/agro:2004057.

7. Webb L. B., Whetton P. H., Barlow E. W. R. Modelled impact of future climate change on the phenology of winegrapes in Australia. *Australian Journal of Grape and Wine Research*. 2007. Vol. 13. P. 165–175. DOI: 10.1111/j.1755-0238.2007.tb00247.x.

8. Sadras V. O., Petrie P. R. Climate shifts in south-eastern Australia: early maturity of Chardonnay, Shiraz and Cabernet Sauvignon is associated with early onset rather than faster ripening. *Australian Journal of Grape and Wine Research*. 2011. Vol. 17. P. 199–205. DOI: 10.1111/j.1755-0238.2011.00138.x.

9. Rogiers S. Y., Greer D. H., Liu Y., Baby T., Xiao Z. Impact of climate change on grape berry ripening: an assessment of adaptation strategies for the Australian vineyard. *Frontiers in Plant Science*. 2022. Vol. 13. Art. 1094633. DOI: 10.3389/fpls.2022.1094633.

10. Plantevin M., Merpault Y., Lecourt J., Destrac-Irvine A., Dijkstra L., van Leeuwen C. Characterization of varietal effects on the acidity and pH of grape berries for selection of varieties better adapted to climate change. *Frontiers in Plant Science.* 2024. Vol. 15. Art. 1439114. DOI: 10.3389/fpls.2024.1439114.

11. Vršič S., Pulko B., Vodovnik-Plevnik T., Perko A. The impact of climatic warming on earlier wine-grape ripening in northeastern Slovenia. *Horticulturae*. 2024. Vol. 10, No. 6. Art. 611. DOI: 10.3390/horticulturae10060611.

12. Ghiglieno I., Carlin S., Cola G., Vrhovsek U., Valenti L., Garcia-Aloy M., Mattivi F. Impact of meteorological conditions, canopy shading and leaf removal on yield, must quality, and norisoprenoid compounds content in Franciacorta sparkling wine. *Frontiers in Plant Science*. 2023. Vol. 14. Art. 1125560. DOI: 10.3389/fpls.2023.1125560.

13. Ghiglieno I., Mattivi F., Cola G., Trionfini D., Perenzoni D., Simonetto A., Gilioli G., Valenti L. The effects of leaf removal and artificial shading on the composition of Chardonnay and Pinot noir grapes. *OENO One*. 2020. Vol. 54. P. 761–777. DOI: 10.20870/oeno-one.2020.54.4.2556.

14. Greer D. H. The impact of high temperatures on Vitis vinifera cv. Semillon grapevine performance and berry ripening. *Frontiers in Plant Science*. 2013. Vol. 4. Art. 491. DOI: 10.3389/fpls.2013.00491.

15. Martin D., Grose C., Fedrizzi B., Stuart L., Albright A., McLachlan A. Grape cluster microclimate influences the aroma composition of Sauvignon blanc wine. *Food Chemistry*. 2016. Vol. 210. P. 640–647. DOI: 10.1016/j.foodchem.2016.05.010.

16. Mira de Orduña R. Climate change associated effects on grape and wine quality and production. *Food Research International*. 2010. Vol. 43, No. 7. P. 1844–1855. DOI: 10.1016/j.foodres.2010.05.001.

17. van Leeuwen C., Darriet P. The impact of climate change on viticulture and wine quality. *Journal of Wine Economics*. 2016. Vol. 11, No. 1. P. 150–167. DOI: 10.1017/jwe.2015.21.

18. van Leeuwen C., Destrac-Irvine A., Dubernet M., Duchêne E., Gowdy M., Marguerit E., Pieri P., Parker A., de Rességuier L., Ollat N. An update on the impact of climate change in viticulture and potential adaptations. *Agronomy*. 2019. Vol. 9, No. 9. Art. 514. DOI: 10.3390/agronomy9090514.

19. Santos J. A., Fraga H., Malheiro A. C., Moutinho-Pereira J., Dinis L. T., Correia C., Moriondo M., Leolini L., Dibari C., Costafreda-Aumedes S., Kartschall T., Menz C., Molitor D., Junk J., Beyer M., Schultz H. R. A review of the potential climate change impacts and adaptation options for European viticulture. *Applied Sciences*. 2020. Vol. 10, No. 9. Art. 3092. DOI: 10.3390/app10093092.

20. Gutiérrez-Gamboa G., Zheng W., Martínez de Toda F. Current viticultural techniques to mitigate the effects of global warming on grape and wine quality: A comprehensive review. *Food Research International*. 2021. Vol. 139. Art. 109946. DOI: 10.1016/j.foodres.2020.109946.

21. Rienth M., Vigneron N., Darriet P., Sweetman C., Burbidge C., Bonghi C., Walker R. P., Famiani F., Castellarin S. D. Grape berry secondary metabolites and their modulation by abiotic factors in a climate change scenario: A review. *Frontiers in Plant Science*. 2021. Vol. 12. Art. 643258. DOI: 10.3389/fpls.2021.643258.

22. Sweetman C., Deluc L. G., Cramer G. R., Ford C. M., Soole K. L. Regulation of malate metabolism in grape berry and other developing fruits. *Phytochemistry*. 2009. Vol. 70, No. 11–12. P. 1329–1344. DOI: 10.1016/j.phytochem.2009.08.006.

23. Etienne A., Génard M., Lobit P., Mbéguié-A-Mbéguié D., Bugaud C. What controls fleshy fruit acidity? A review of malate and citrate accumulation in fruit cells. *Journal of Experimental Botany*. 2013. Vol. 64, No. 6. P. 1451–1469. DOI: 10.1093/jxb/ert035.

24. Allamy L., van Leeuwen C., Pons A. Impact of harvest date on aroma compound composition of Merlot and Cabernet-Sauvignon must and wine in a context of climate change: a focus on cooked fruit molecular markers. *OENO* One. 2023. Vol. 57, No. 3. DOI: 10.20870/oeno-one.2023.57.3.7458.

25. Pons A., Allamy L., Schüttler A., Rauhut D., Thibon C., Darriet P. What is the expected impact of climate change on wine aroma compounds and their precursors in grape? *OENO One*. 2017. Vol. 51, No. 2. DOI: 10.20870/oeno-one.2017.51.2.1868.

26. Alti-Palacios L., Martínez J., Teixeira J. A. C., Câmara J. S., Perestrelo R. Influence of cold pre-fermentation maceration on the volatilomic pattern and aroma of white wines. Foods. 2023. Vol. 12, No. 6. Art. 1135. DOI: 10.3390/foods12061135.

27. Puyo M., Simonin S., Bach B., Klein G., Alexandre H., Tourdot-Maréchal R. Bio-protection in oenology by Metschnikowia pulcherrima: from field results to scientific inquiry. *Frontiers in Microbiology*. 2023. Vol. 14. Art. 1252973. DOI: 10.3389/fmicb.2023.1252973.

28. Morata A., Escott C., Bañuelos M. A., Loira I., Del Fresno J. M., González C., Suárez-Lepe J. A. Contribution of non-Saccharomyces yeasts to wine freshness: A review. *Biomolecules*. 2020. Vol. 10, No. 1. Art. 34. DOI: 10.3390/biom10010034.

29. Borren E., Tian B. The important contribution of non-Saccharomyces yeasts to the aroma complexity of wine: A review. *Foods*. 2021. Vol. 10, No. 1. Art. 13. DOI: 10.3390/foods10010013.

30. Vicente J., Navascués E., Calderón F., Santos A., Marquina D., Benito S. An integrative view of the role of Lachancea thermotolerans in wine technology. *Foods*. 2021. Vol. 10, No. 11. Art. 2878. DOI: 10.3390/foods10112878.

31. Benito Á., Calderón F., Palomero F., Benito S. Quality and composition of Airén wines fermented by sequential inoculation of Lachancea thermotolerans and Saccharomyces cerevisiae. *Food Technology and Biotechnology*. 2016. Vol. 54, No. 2. P. 135–144. DOI: 10.17113/ftb.54.02.16.4220.

32. Christofi S., Papanikolaou S., Dimopoulou M., Terpou A., Cioroiu I. B., Cotea V., Kallithraka S. Effect of yeast assimilable nitrogen content on fermentation kinetics, wine chemical composition and sensory character in the production of Assyrtiko wines. *Applied Sciences*. 2022. Vol. 12, No. 3. Art. 1405. DOI: 10.3390/app12031405.

33. Filipe-Ribeiro L., Rodrigues S., Nunes F. M., Cosme F. Reducing the negative effect on white wine chromatic characteristics due to the oxygen exposure during transportation by the deoxygenation process. *Foods*. 2021. Vol. 10, No. 9. Art. 2023. DOI: 10.3390/foods10092023.

34. Keller M. The Science of Grapevines: Anatomy and Physiology. 3rd ed. London: Academic Press, 2020.

35. Jackson R. S. Wine Science: Principles and Applications. 5th ed. London: Academic Press, 2020.

36. Waterhouse A. L., Sacks G. L., Jeffery D. W. Understanding Wine Chemistry. Chichester: Wiley, 2016.

37. Ribéreau-Gayon P., Dubourdieu D., Donèche B., Lonvaud A. Handbook of Enology. Vol. 1: The Microbiology of Wine and Vinifications. 3rd ed. Chichester: Wiley, 2021.

38. Ribéreau-Gayon P., Glories Y., Maujean A., Dubourdieu D. Handbook of Enology. Vol. 2: The Chemistry of Wine Stabilization and Treatments. 3rd ed. Chichester: Wiley, 2021.

39. International Organisation of Vine and Wine. Compendium of International Methods of Wine and Must Analysis. Paris: OIV, 2025.

40. International Organisation of Vine and Wine. International Code of Oenological Practices. Paris: OIV, 2025.

41. IPCC. Climate Change 2023: Synthesis Report. Geneva: Intergovernmental Panel on Climate Change, 2023. DOI: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.

42. Schultz H. R. Climate change and viticulture: a European perspective on climatology, carbon dioxide and UV-B effects. *Australian Journal of Grape and Wine Research*. 2000. Vol. 6. P. 2–12. DOI: 10.1111/j.1755-0238.2000.tb00156.x.

43. van Leeuwen C., Tregoat O., Choné X., Bois B., Pernet D., Gaudillère J. P. Vine water status is a key factor in grape ripening and vintage quality for red Bordeaux wine. How can it be assessed for vineyard management purposes? *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin.* 2009. Vol. 43. P. 121–134. DOI: 10.20870/oeno-one.2009.43.3.798.

44. Casassa L. F., Sari S. E. Sensory and chemical effects of two alternatives of pre-fermentation cold soak in Malbec wines. *International Journal of Food Science & Technology*. 2015. Vol. 50. P. 1044–1052. DOI: 10.1111/ijfs.12723.

45. Molina A. M., Swiegers J. H., Varela C., Pretorius I. S., Agosin E. Influence of wine fermentation temperature on the synthesis of yeast-derived volatile aroma compounds. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 2007. Vol. 77. P. 675–687. DOI: 10.1007/s00253-007-1194-3.

46. Hranilovic A., Gambetta J. M., Schmidtke L., Boss P. K., Grbin P. R., Masneuf-Pomarède I., Bely M., Albertin W., Jiranek V. Oenological traits of Lachancea thermotolerans show signs of domestication and allopatric differentiation. *Scientific Reports*. 2018. Vol. 8. Art. 14812. DOI: 10.1038/s41598-018-33105-7.

47. Benito S. The impacts of Lachancea thermotolerans yeast strains on winemaking. *Applied Microbiology and Biotechnology.* 2018. Vol. 102. P. 6775–6790. DOI: 10.1007/s00253-018-9117-z.

48. Morata A., Loira I., Tesfaye W., Bañuelos M. A., González C., Suárez Lepe J. A. Lachancea thermotolerans applications in wine technology. *Fermentation*. 2018. Vol. 4, No. 3. Art. 53. DOI: 10.3390/fermentation4030053.

49. Varela C. The impact of non-Saccharomyces yeasts in the production of alcoholic beverages. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 2016. Vol. 100. P. 9861–9874. DOI: 10.1007/s00253-016-7941-6.

50. Padilla B., Gil J. V., Manzanares P. Past and future of non-Saccharomyces yeasts: from spoilage microorganisms to biotechnological tools for improving wine aroma complexity. *Frontiers in Microbiology*. 2016. Vol. 7. Art. 411. DOI: 10.3389/fmicb.2016.00411.

REFERENCES

1. Kovalova, I. A., Herus, L. V., Salii, O. V., & Ivashko, O. H. (2024). Osnovni hospodarski kharakterystyky sortu Sukholymanskyi bilyi ta yoho kloniv v umovakh pivdnia Odeskoi oblasti [Main economic characteristics of the Sukholymanskyi Bilyi variety and its clones under conditions of southern Odesa region]. Visnyk vynohradarstva i vynorobstva, (3), 37–41. https://www.viticulture-winemaking.org.ua/visnyk-vynogradarstva-i-vynoroborstva-3-2024-37-41-s/ [in Ukrainian]

2. Kovalova, I. A., Herus, L. V., Drevova, S. S., Salii, O. V., & Ivashko, O. H. (2025). Fizyko-khimichna ta orhanoleptychna kharakterystyka kloniv sortu vynohradu Sukholymanskyi bilyi v umovakh Pivdnia Odeskoi oblasti [Physicochemical and organoleptic characteristics of Sukholymanskyi Bilyi grape clones under conditions of southern Odesa region]. Visnyk vynohradarstva i vynorobstva, (4), 35–40. https://www.viticulture-winemaking.org.ua/visnyk-vynogradarstva-i-vynorobstva-4-2025-35-40-s/ [in Ukrainian]

3. Liashenko, H. V., Melnyk, E. B., Buzovska, M. B., Bulaieva, Yu. Yu., Popova, H. K., & Mandych, O. M. (2025). Doslidzhennia vplyvu pohodnykh umov na formuvannia yakosti vrozhaiu vynohradu za rezultatamy polovoho doslidu [Study of the influence of weather conditions on grape crop quality based on field experiment results]. Visnyk vynohradarstva i vynorobstva, (4), 57–64. https://www.viticulture-winemaking.org.ua/visnyk-vynogradarstva-i-vynorobstva-4-2025-57-64-s/ [in Ukrainian]

4. Liashenko, H. V., & Soborova, O. M. (2017). Modeliuvannia formuvannia yakosti vynohradu tekhnichnykh sortiv pid vplyvom ahrometeorolohichnykh umov v Pivnichnomu Prychornomori [Modelling the formation of wine-grape quality under agrometeorological conditions in the Northern Black Sea region]. Fizychna heohrafiia ta heomorfolohiia, (1(85)), 113–121. [in Ukrainian]

5. Jones, G. V., White, M. A., Cooper, O. R., & Storchmann, K. (2005). Climate change and global wine quality. Climatic Change, 73, 319–343. https://doi.org/10.1007/s10584-005-4704-2

6. Duchêne, E., & Schneider, C. (2005). Grapevine and climatic changes: A glance at the situation in Alsace. Agronomy for Sustainable Development, 25, 93–99. https://doi.org/10.1051/agro:2004057

7. Webb, L. B., Whetton, P. H., & Barlow, E. W. R. (2007). Modelled impact of future climate change on the phenology of winegrapes in Australia. Australian Journal of Grape and Wine Research, 13, 165–175. https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.2007.tb00247.x

8. Sadras, V. O., & Petrie, P. R. (2011). Climate shifts in south-eastern Australia: Early maturity of Chardonnay, Shiraz and Cabernet Sauvignon is associated with early onset rather than faster ripening. Australian Journal of Grape and Wine Research, 17, 199–205. https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.2011.00138.x

9. Rogiers, S. Y., Greer, D. H., Liu, Y., Baby, T., & Xiao, Z. (2022). Impact of climate change on grape berry ripening: An assessment of adaptation strategies for the Australian vineyard. Frontiers in Plant Science, 13, Article 1094633. https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1094633

10. Plantevin, M., Merpault, Y., Lecourt, J., Destrac-Irvine, A., Dijkstra, L., & van Leeuwen, C. (2024). Characterization of varietal effects on the acidity and pH of grape berries for selection of varieties better adapted to climate change. Frontiers in Plant Science, 15, Article 1439114. https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1439114

11. Vršič, S., Pulko, B., Vodovnik-Plevnik, T., & Perko, A. (2024). The impact of climatic warming on earlier wine-grape ripening in northeastern Slovenia. Horticulturae, 10(6), Article 611. https://doi.org/10.3390/horticulturae10060611

12. Ghiglieno, I., Carlin, S., Cola, G., Vrhovsek, U., Valenti, L., Garcia-Aloy, M., & Mattivi, F. (2023). Impact of meteorological conditions, canopy shading and leaf removal on yield, must quality, and norisoprenoid compounds content in Franciacorta sparkling wine. Frontiers in Plant Science, 14, Article 1125560. https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1125560

13. Ghiglieno, I., Mattivi, F., Cola, G., Trionfini, D., Perenzoni, D., Simonetto, A., Gilioli, G., & Valenti, L. (2020). The effects of leaf removal and artificial shading on the composition of Chardonnay and Pinot noir grapes. OENO One, 54, 761–777. https://doi.org/10.20870/oeno-one.2020.54.4.2556

14. Greer, D. H. (2013). The impact of high temperatures on Vitis vinifera cv. Semillon grapevine performance and berry ripening. Frontiers in Plant Science, 4, Article 491. https://doi.org/10.3389/fpls.2013.00491

15. Martin, D., Grose, C., Fedrizzi, B., Stuart, L., Albright, A., & McLachlan, A. (2016). Grape cluster microclimate influences the aroma composition of Sauvignon blanc wine. Food Chemistry, 210, 640–647. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.05.010

16. Mira de Orduña, R. (2010). Climate change associated effects on grape and wine quality and production. Food Research International, 43(7), 1844–1855. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.05.001

17. van Leeuwen, C., & Darriet, P. (2016). The impact of climate change on viticulture and wine quality. Journal of Wine Economics, 11(1), 150–167. https://doi.org/10.1017/jwe.2015.21

18. van Leeuwen, C., Destrac-Irvine, A., Dubernet, M., Duchêne, E., Gowdy, M., Marguerit, E., Pieri, P., Parker, A., de Rességuier, L., & Ollat, N. (2019). An update on the impact of climate change in viticulture and potential adaptations. Agronomy, 9(9), Article 514. https://doi.org/10.3390/agronomy9090514

19. Santos, J. A., Fraga, H., Malheiro, A. C., Moutinho-Pereira, J., Dinis, L. T., Correia, C., Moriondo, M., Leolini, L., Dibari, C., Costafreda-Aumedes, S., Kartschall, T., Menz, C., Molitor, D., Junk, J., Beyer, M., & Schultz, H. R. (2020). A review of the potential climate change impacts and adaptation options for European viticulture. Applied Sciences, 10(9), Article 3092. https://doi.org/10.3390/app10093092

20. Gutiérrez-Gamboa, G., Zheng, W., & Martínez de Toda, F. (2021). Current viticultural techniques to mitigate the effects of global warming on grape and wine quality: A comprehensive review. Food Research International, 139, Article 109946. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109946

21. Rienth, M., Vigneron, N., Darriet, P., Sweetman, C., Burbidge, C., Bonghi, C., Walker, R. P., Famiani, F., & Castellarin, S. D. (2021). Grape berry secondary metabolites and their modulation by abiotic factors in a climate change scenario: A review. Frontiers in Plant Science, 12, Article 643258. https://doi.org/10.3389/fpls.2021.643258

22. Sweetman, C., Deluc, L. G., Cramer, G. R., Ford, C. M., & Soole, K. L. (2009). Regulation of malate metabolism in grape berry and other developing fruits. Phytochemistry, 70(11–12), 1329–1344. https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2009.08.006

23. Etienne, A., Génard, M., Lobit, P., Mbéguié-A-Mbéguié, D., & Bugaud, C. (2013). What controls fleshy fruit acidity? A review of malate and citrate accumulation in fruit cells. Journal of Experimental Botany, 64(6), 1451–1469. https://doi.org/10.1093/jxb/ert035

24. Allamy, L., van Leeuwen, C., & Pons, A. (2023). Impact of harvest date on aroma compound composition of Merlot and Cabernet-Sauvignon must and wine in a context of climate change: A focus on cooked fruit molecular markers. OENO One, 57(3). https://doi.org/10.20870/oeno-one.2023.57.3.7458

25. Pons, A., Allamy, L., Schüttler, A., Rauhut, D., Thibon, C., & Darriet, P. (2017). What is the expected impact of climate change on wine aroma compounds and their precursors in grape? OENO One, 51(2). https://doi.org/10.20870/oeno-one.2017.51.2.1868

26. Alti-Palacios, L., Martínez, J., Teixeira, J. A. C., Câmara, J. S., & Perestrelo, R. (2023). Influence of cold pre-fermentation maceration on the volatilomic pattern and aroma of white wines. Foods, 12(6), Article 1135. https://doi.org/10.3390/foods12061135

27. Puyo, M., Simonin, S., Bach, B., Klein, G., Alexandre, H., & Tourdot-Maréchal, R. (2023). Bio-protection in oenology by Metschnikowia pulcherrima: From field results to scientific inquiry. Frontiers in Microbiology, 14, Article 1252973. https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1252973

28. Morata, A., Escott, C., Bañuelos, M. A., Loira, I., Del Fresno, J. M., González, C., & Suárez-Lepe, J. A. (2020). Contribution of non-Saccharomyces yeasts to wine freshness: A review. Biomolecules, 10(1), Article 34. https://doi.org/10.3390/biom10010034

29. Borren, E., & Tian, B. (2021). The important contribution of non-Saccharomyces yeasts to the aroma complexity of wine: A review. Foods, 10(1), Article 13. https://doi.org/10.3390/foods10010013

30. Vicente, J., Navascués, E., Calderón, F., Santos, A., Marquina, D., & Benito, S. (2021). An integrative view of the role of Lachancea thermotolerans in wine technology. Foods, 10(11), Article 2878. https://doi.org/10.3390/foods10112878

31. Benito, Á., Calderón, F., Palomero, F., & Benito, S. (2016). Quality and composition of Airén wines fermented by sequential inoculation of Lachancea thermotolerans and Saccharomyces cerevisiae. Food Technology and Biotechnology, 54(2), 135–144. https://doi.org/10.17113/ftb.54.02.16.4220

32. Christofi, S., Papanikolaou, S., Dimopoulou, M., Terpou, A., Cioroiu, I. B., Cotea, V., & Kallithraka, S. (2022). Effect of yeast assimilable nitrogen content on fermentation kinetics, wine chemical composition and sensory character in the production of Assyrtiko wines. Applied Sciences, 12(3), Article 1405. https://doi.org/10.3390/app12031405

33. Filipe-Ribeiro, L., Rodrigues, S., Nunes, F. M., & Cosme, F. (2021). Reducing the negative effect on white wine chromatic characteristics due to the oxygen exposure during transportation by the deoxygenation process. Foods, 10(9), Article 2023. https://doi.org/10.3390/foods10092023

34. Keller, M. (2020). The science of grapevines: Anatomy and physiology (3rd ed.). Academic Press.

35. Jackson, R. S. (2020). Wine science: Principles and applications (5th ed.). Academic Press.

36. Waterhouse, A. L., Sacks, G. L., & Jeffery, D. W. (2016). Understanding wine chemistry. Wiley.

37. Ribéreau-Gayon, P., Dubourdieu, D., Donèche, B., & Lonvaud, A. (2021). Handbook of enology: Vol. 1. The microbiology of wine and vinifications (3rd ed.). Wiley.

38. Ribéreau-Gayon, P., Glories, Y., Maujean, A., & Dubourdieu, D. (2021). Handbook of enology: Vol. 2. The chemistry of wine stabilization and treatments (3rd ed.). Wiley.

39. International Organisation of Vine and Wine. (2025). Compendium of international methods of wine and must analysis. OIV.

40. International Organisation of Vine and Wine. (2025). International code of oenological practices. OIV.

41. Intergovernmental Panel on Climate Change. (2023). Climate change 2023: Synthesis report. https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647

42. Schultz, H. R. (2000). Climate change and viticulture: A European perspective on climatology, carbon dioxide and UV-B effects. Australian Journal of Grape and Wine Research, 6, 2–12. https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.2000.tb00156.x

43. van Leeuwen, C., Tregoat, O., Choné, X., Bois, B., Pernet, D., & Gaudillère, J. P. (2009). Vine water status is a key factor in grape ripening and vintage quality for red Bordeaux wine. How can it be assessed for vineyard management

purposes? Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin, 43, 121–134. https://doi.org/10.20870/oeno-one.2009.43.3.798

44. Casassa, L. F., & Sari, S. E. (2015). Sensory and chemical effects of two alternatives of pre-fermentation cold soak in Malbec wines. International Journal of Food Science & Technology, 50, 1044–1052. https://doi.org/10.1111/ijfs.12723

45. Molina, A. M., Swiegers, J. H., Varela, C., Pretorius, I. S., & Agosin, E. (2007). Influence of wine fermentation temperature on the synthesis of yeast-derived volatile aroma compounds. Applied Microbiology and Biotechnology, 77, 675–687. https://doi.org/10.1007/s00253-007-1194-3

46. Hranilovic, A., Gambetta, J. M., Schmidtke, L., Boss, P. K., Grbin, P. R., Masneuf-Pomarède, I., Bely, M., Albertin, W., & Jiranek, V. (2018). Oenological traits of Lachancea thermotolerans show signs of domestication and allopatric differentiation. Scientific Reports, 8, Article 14812. https://doi.org/10.1038/s41598-018-33105-7

47. Benito, S. (2018). The impacts of Lachancea thermotolerans yeast strains on winemaking. Applied Microbiology and Biotechnology, 102, 6775–6790. https://doi.org/10.1007/s00253-018-9117-z

48. Morata, A., Loira, I., Tesfaye, W., Bañuelos, M. A., González, C., & Suárez Lepe, J. A. (2018). Lachancea thermotolerans applications in wine technology. Fermentation, 4(3), Article 53. https://doi.org/10.3390/fermentation4030053

49. Varela, C. (2016). The impact of non-Saccharomyces yeasts in the production of alcoholic beverages. Applied Microbiology and Biotechnology, 100, 9861–9874. https://doi.org/10.1007/s00253-016-7941-6

50. Padilla, B., Gil, J. V., & Manzanares, P. (2016). Past and future of non-Saccharomyces yeasts: From spoilage microorganisms to biotechnological tools for improving wine aroma complexity. Frontiers in Microbiology, 7, Article 411. https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.00411

D. Leonidov *Postgraduate Student (Odesa National University of Technology).* ***Technological potential of the Sukholymanskyi Bilyi grape variety under climate change: a structured analytical review and an adaptive vinification concept***

Abstract. *Purpose. The study aimed to provide a structured analytical synthesis of evidence on the technological potential of the Ukrainian wine grape cultivar Sukholymanskyi Bilyi under climate variability, assess the level of evidence for adaptive technological approaches, and formulate a cultivar-specific concept of adaptive vinification. Methodology. The evidence base comprised 50 scientific, fundamental, and normative-methodological sources included in the article bibliography. A structured content analysis was applied, assigning publications to seven thematic blocks and three evidence levels: direct data for Sukholymanskyi Bilyi; mechanistically relevant evidence obtained for other Vitis vinifera L. cultivars; and technological approaches requiring cultivar-specific experimental verification. Results. Direct cultivar-specific studies accounted for 4 of 50 sources (8.0%), whereas the largest thematic blocks addressed climate, phenology and adaptation – 15 sources (30.0%) – and microbiology, nitrogen status and non-Saccharomyces – 11 sources (22.0%). Direct studies confirmed intravarietal clonal variability in agronomic, physicochemical and sensory characteristics and demonstrated relationships between crop quality indicators and thermal and moisture conditions. Under climate variability, technological maturity should therefore be assessed not only through soluble solids and titratable acidity but also through pH, organic-acid balance, aroma maturity and yeast-assimilable nitrogen. The evidence for cold pre-fermentation maceration, oxidation management, fermentation temperature, bioprotection and non-Saccharomyces yeasts was critically differentiated according to its direct applicability to the cultivar. Conclusions. A cultivar-specific sequence, "vintage climatic conditions – clone – technological maturity – grape composition – technological decision – sensory quality", was proposed as an adaptive vinification framework. The framework converts the literature review into a system of testable technological decisions rather than a universal processing recipe. Priority research needs include multi-vintage monitoring of pH and tartaric/malic acids, volatile profiling, YAN determination, and controlled trials of maceration, bioprotection, fermentation temperature and biological acidification.*

Keywords: *Sukholymanskyi Bilyi, grape, climate change, technological maturity, structured literature analysis, acidity, adaptive vinification.*

Інформація про використання штучного інтелекту. Під час підготовки статті інструменти штучного інтелекту використовувалися виключно для мовного редагування, перевірки граматики, перекладу або інших допоміжних завдань, без використання згенерованих ними об'єктів як результатів академічної діяльності.

Дата першого надходження статті до видання: 13.08.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 08.10.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 13.11.2026