

DOI <https://doi.org/10.32782/2078-0877-2026-26-1-36>

УДК 663.2

О. Б. Ткаченко, д-р техн. наук, проф.

ORCID: 0000-0001-6969-6446

В. В. Алексович, здобувачка PhD

ORCID: 0009-0000-8561-8309

Одеський національний технологічний університет

e-mail: sobko-000@ukr.net

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ БІЛИХ ВИН ЗА ВИКОРИСТАННЯ ЕНОЛОГІЧНОЇ ДУБОВОЇ ДЕРЕВИНИ У ПРОЦЕСІ АЛКОГОЛЬНОЇ ФЕРМЕНТАЦІЇ

Анотація. У статті представлено результати дослідження впливу енологічної дубової деревини різного ступеня обпалення та дозування на формування хімічного складу та сенсорного профілю білого вина сорту Шардоне. Метою роботи було встановлення оптимальних технологічних параметрів застосування енологічної дубової деревини під час алкогольної ферментації для удосконалення якості білих вин. Для експерименту використано виноград сорту Шардоне та енологічну дубову деревину п'яти ступенів обпалення, внесена у дозуваннях від одного до п'яти грамів на літр.

Отримані результати засвідчили, що додавання енологічної дубової деревини позитивно впливає на перебіг алкогольної ферментації. Показники кислотності залишалися стабільними у всіх варіантах дослідження. Суттєві зміни зафіксовано у фенольному комплексі: індекс Фоліна–Чокальтеу, концентрації загальних поліфенолів, танінів та елагітанінів зростали залежно від ступеня обпалення і дозування енологічної дубової деревини. В ході дослідження зафіксовано зміни у комплексі органічних кислот, зокрема кавової, кафтарової та кумарової. Контакт з енологічною дубовою деревиною сприяв також помірним змінам інтенсивності та відтінку забарвлення. Сенсорний аналіз підтвердив, що застосування енологічної дубової деревини впливає на ароматичний та смаковий профіль білого вина, зокрема на розвиток фруктових, ванільних, пряних, димних і дубових нот, причому ступінь обпалення та дозування визначають інтенсивність цих змін.

Практичне значення роботи полягає у визначенні оптимальних технологічних параметрів застосування енологічної дубової деревини під час алкогольної ферментації білого вина. Це дає змогу цілеспрямовано регулювати формування фенольного комплексу, впливати на склад органічних кислот, інтенсивність і відтінки забарвлення, а також керувати формуванням сенсорного профілю відповідно до ступеня обпалення та дозування енологічної дубової деревини. У результаті технологія сприяє покращенню структури та ароматичної складності білого вина у процесі алкогольної ферментації без істотного збільшення виробничих витрат.

Ключові слова: енологічна дубова деревина, дубова щепка, алкогольна ферментація, білі вина, фенольний комплекс, поліфеноли, таніни, елагітаніни, органічні кислоти, інтенсивність забарвлення, сенсорний аналіз, ступінь обпалення.

Вступ. Розвиток виноробної галузі в другій половині ХХ століття, зокрема її індустріалізація та перехід до виготовлення вин у нейтральних ємностях (нержавіючі резервуари, бетон), стимулював пошук альтернативних способів надання вину характеристик дубової витримки.

Паралельно було досліджено й інші способи обробки деревини, зокрема вплив ультрафіолетового опромінення, ультразвуку, ферментних препаратів, а також різні режими термічного впливу. Ці технології були офіційно схвалені Міжнародною організацією винограду та вина [4] і дозволені до використання на стадіях бродіння та витримки відповідно до чинних резолюцій, а також нормативних актів Європейського Союзу [2].

Особливої актуальності питання використання енологічної дубової деревини постає під час алкогольної ферментації білих вин, що вирізняються делікатним ароматичним профілем та потребують максимально обережного технологічного втручання. Важливим завданням



є оцінка ефективності застосування енологічної дубової деревини у білих сортах. Сорт Шардоне було вибрано для дослідження завдяки його високій здатності гармонійно взаємодіяти з деревиною та відображати її технологічний вплив у хімічному і сенсорному профілі вина. У цьому контексті вивчення ролі різних ступенів обпалення та дозувань енологічної дубової деревини у модифікації хімічного та сенсорного профілю має суттєве значення для вдосконалення технології білих вин.

Традиційна алкогольна ферментація білих вин у нейтральних ємностях (нержавіюча сталь, бетон) дозволяє зберігати сортову ароматику та забезпечує точний температурний контроль. Введення енологічної дубової деревини під час алкогольної ферментації дає можливість цілеспрямовано збагачувати органолептичний профіль вина без зміни технологічного середовища: активізується екстракція фенольних сполук, з'являються тонкі ванільні, маслянисті, горіхові та димні відтінки. У результаті формується вино з більш комплексним ароматом і гармонійним смаковим профілем порівняно зі зразками, виготовленими без дубового контакту.

З метою порівняння отриманих у роботі результатів із сучасними науковими даними було проведено аналіз досліджень, присвячених фенольному комплексу вин, його кількісним і якісним характеристикам, а також динаміці змін під впливом технологічних чинників, зокрема контакту з енологічною дубовою деревиною.

У рамках цієї роботи важливим показником, який було проаналізовано, став індекс Фоліна–Чокальтеу – найбільш поширений метод визначення сумарного вмісту фенольних сполук. Він ґрунтується на спектрофотометричному визначенні кількості компонентів, здатних відновлювати фосфомолібденово-вольфрамівий реагент, і широко застосовується у міжнародній практиці для оцінювання ступеня фенольної екстракції, технологічного впливу дубової деревини, а також потенційної стабільності вина під час витримки.

У дослідженні Rongbin Li та співавт. проаналізовано вплив дубової щепи різного ботанічного походження (французький, американський та яньшаньський дуб) і дозування (2–6 г/л) на формування фенольного комплексу сухого білого вина сорту Longyan протягом 60-денної витримки. Загальний вміст фенольних сполук визначали спектрофотометрично за методом Фоліна–Чокальтеу. Автори встановили чітку тенденцію до зростання концентрації фенольних речовин зі збільшенням кількості доданої енологічної дубової деревини: від $\approx 0,038$ мг/мл у контрольному зразку до $\approx 0,083$ мг/мл за умов застосування 6 г/л французького дуба. Отримані дані свідчать про інтенсивну екстракцію фенольних компонентів із деревини та їх вагомий внесок у підсилення кольору й формування більш комплексного ароматичного профілю вина. Таким чином, така робота доводить технологічну доцільність використання дубових чіпсів для збагачення білого вина фенольними сполуками та покращення його сенсорних характеристик [7].

У дослідженні Dimitrov та співавт. поставлено за мету оцінити вплив контакту білого сухого вина з дубовою деревиною різного походження та ступеня обпалення на його хімічний склад та структуру фенольного комплексу. Вино витримували у нових дубових бочках протягом 3–6 місяців. Аналіз проводили за такими ключовими параметрами фенольного профілю, як загальні фенольні сполуки (TPC), флавоноїдні феноли (FPC), нефлавоноїдні феноли (NPC) та загальний фенольний індекс (TPI). Експериментальна база дослідження включала вина сортів Chardonnay (врожаю 2020 і 2021 рр.) та Riesling (2021 р.), отримані з різних виноробних регіонів Болгарії та витримані у нових дубових бочках болгарського та французького походження з варіюванням ступеня обпалення.

У дослідженні Stegăruș та співавт. показано, що витримка білого вина Chardonnay у дубових бочках та контакт із дубовою щепою протягом 6 місяців призводили до підвищення титрованої та легкої кислотності та до трансформації летких фенольних сполук, зокрема утворення



ваніліну та р-вініл-гваяколу. Це підкреслює багатовекторний вплив деревини на кислотний та ароматичний баланс вина [5].

Chira & Teissedre досліджено екстракцію летких сполук і елагітанінів під час витримки вин із використанням французького дуба протягом 12 місяців, застосовуючи різні режими обпалення [3].

Різні види деревини по-різному впливають на фенольний склад і ароматичні характеристики білих вин навіть за короткого контакту тривалістю 15 днів, що зумовлено характером фенольної та легкої екстракції з деревини [6].

У серії досліджень Lukanin та співавт. описано механізми екстракції дубових речовин під час витримки виноматеріалів протягом 3–12 місяців, включаючи стадії, на яких першими екстрагуються фенольні сполуки, скополетин та ванілін. Ці результати підтверджують, що характер екстракції залежить як від тривалості контакту, так і від стану деревини та її попередньої обробки [3].

В оглядовій роботі [1] узагальнено результати сучасних досліджень, включно з особливостями контакту вина з енологічною дубовою деревиною як у короткотривалих технологічних режимах (до 30 днів), так і під час довготривалої витримки (6–18 місяців). Авторами наголошено на важливості типу деревини, способу її внесення та ступеня обпалення для керованої модифікації сенсорних характеристик вина.

Дослідження, проведені Courtegeon із застосуванням хроматографічних методів, продемонстрували, що зміна температури та тривалості термічного обпалення деревини формує різні профілі летких сполук, які надходять у вино впродовж типової витримки 6–12 місяців, це підтверджує ключову роль режимів обпалення у формуванні ароматичного потенціалу деревини [6].

Аналіз сучасних літературних джерел свідчить, що більшість наукових робіт зосереджена на вивченні змін фенольного та кольорового профілів вина під час витримки в контакт з енологічною дубовою деревиною, де закономірно фіксується зростання загального вмісту фенольних сполук із подовженням контакту та збільшенням дозування деревини.

Систематизація наявних публікацій також засвідчує, що дубова деревина впливає на кислотний склад вин безпосередньо шляхом екстракції органічних і летких кислот, що проявляється вже на ранніх етапах контакту. Паралельно дубова деревина істотно впливає на кольорові параметри вин, сприяючи формуванню стабільних пігментів, навіть за умови поступового зниження загальної інтенсивності забарвлення у процесі тривалої витримки. Таким чином, дубова деревина формує комплексний багатовекторний вплив, що охоплює фенольний, кислотний і кольоровий профіль вина та визначає його подальшу сенсорну еволюцію.

Комплексний підхід, що включає визначення фенольних індексів, органічних кислот та оптичних показників, дозволяє сформувати цілісне уявлення про роль енологічної дубової деревини у модифікації хімічного та сенсорного профілю білих вин і визначити оптимальні технологічні параметри її застосування.

Мета дослідження – визначення впливу енологічної дубової деревини різного ступеня обпалення та дозування на перебіг алкогольної ферментації, формування фенольного, кислотного та кольорового профілю білого вина сорту Шардоне, а також встановлення оптимальних технологічних параметрів її застосування для удосконалення якості білих вин.

Матеріали і методи дослідження. Матеріалом дослідження слугувала енологічна дубова деревина (*Quercus petraea* та *Quercus robur*) українського походження, виготовлена за запатентованою технологією «le Bousinage», що передбачає радіальне обпалення дубових заготовок над відкритим вогнем з подальшим швидким охолодженням. Такий режим забезпечує формування температурного градієнта в товщі деревини, який впливає на термоліз фенольних сполук



і розвиток летких ароматичних компонентів. Досліджувалися зразки енологічної дубової деревини Chalelure, які застосовуються у виноробстві для контакту з вином на етапах ферментації та витримки.

Дослідження проведено на базі мікровиноробного господарства Ференца Боркоці, розташованого в Берегівському районі Закарпатської області. Роботи виконувались у межах цеху мікровиноробства із дотриманням чинної нормативної документації, що регламентує переробку винограду та первинне виноробство.

Матеріалом дослідження також було вибрано виноград сорту Шардоне, отриманий з виноградників «ШАБО» (Одеська область, Білгород-Дністровський район, с. Шабо). Виноград переробляли за технологією білого вина без мацерації. Після відділення гребенів і дроблення ягід виконували негайне пресування із подальшим освітленням сусла природним осадженням за 12 год за температури 10–12°C. Освітлене сусло переносили у пластикові ємності об'ємом 5 л.

Експеримент алкогольної ферментації білого вина сорту Шардоне було проведено у 26 пластикових ємностях об'ємом по 5 літрів кожна із застосуванням чистої культури дріжджів *Saccharomyces cerevisiae* Enartis perlage у дозі 20 г на 100 л сусла, попередньо активованих у 5-кратному об'ємі води температурою 38–40°C. У кожному з 25 ємностей додавали дубову щепу фракції 6–20 мм, що відрізнялася ступенем обпалення: UN – необпалена, L – легке обпалення, M – середнє обпалення, M+ – середнє плюс обпалення, H – сильне обпалення. Щепу була попередньо термічно оброблена у печі за температури від 430 до 460 °C протягом 14–37 хвилин залежно від ступеня обпалення, що дозволяло досягти різного ступеня карамелізації та ароматичної складності. Щепу вносили безпосередньо перед інокуляцією дріжджів, забезпечуючи їй рівномірний контакт із сусликом на всьому етапі ферментації. Щодня проводили ручне перемішування для підтримання рівномірної екстракції фенольних сполук.

Щепу вносили у суслик у різному дозуванні: 1 г, 2 г, 3 г, 4 г та 5 г на 1 кг сусла, що дало змогу оцінити, як впливає концентрація енологічної дубової деревини на процеси ферментації та хімічний склад кінцевого продукту. Додавання енологічної дубової деревини здійснювали безпосередньо у суслик, що бродить, за контрольованої температури у межах 16–18 °C протягом 14 днів. Контрольним зразком була 26-а ємність, у яку щепу не додавали. Цей зразок дозволив порівняти результати оброблених варіантів із процесом ферментації без впливу енологічної дубової деревини (табл. 1).

Таблиця 1

Схема експерименту алкогольної ферментації вина сорту Шардоне

Ступінь обпалення	1 г/л	2 г/л	3 г/л	4 г/л	5 г/л
Необпалене/Untoasted	UN-1	UN-2	UN-3	UN-4	UN-5
Легке обпалення/Light toasting	L-1	L-2	L-3	L-4	L-5
Середнє обпалення/Medium toasting	M-1	M-2	M-3	M-4	M-5
Середнє обпалення+/Medium + toasting	M ⁺ -1	M ⁺ -2	M ⁺ -3	M ⁺ -4	M ⁺ -5
Сильне обпалення/Heavy toasting	H-1	H-2	H-3	H-4	H-5

Після завершення алкогольної ферментації деревину вилучали шляхом фільтрування. Далі кожен зразок обробляли 5 % розчином діоксиду сірки до концентрації 60 мг/дм³, проводили освітлення бентонітом у дозуванні 150 г на 100 л, після стабілізації за температури 12 ± 1 °C протягом семи діб. Після стабілізації виноматеріали декантували, розливали у стерильні пляшки об'ємом 250 мл і герметично закупорювали. Маркування зразків виконували відповідно до схеми дослідження.



Хімічний аналіз здійснювали у лабораторії Laboratoire Études et Contrôles (Cognac, France), сертифікованій ISO/IEC 17025.

Методи включали:

1. Кислотний профіль

– рН вимірювали за допомогою ручного методу рН-метрії. Методика відповідає стандарту OIV-MA-AS313-15;

– летку кислотність (H_2SO_4) визначали методом парової дистиляції. Для проведення аналізу застосовували методику OIV-MA-AS313-02;

– загальну кислотність вимірювали методом ручного титрування з використанням рН-метрії відповідно до методики OIV-MA-AS313-01.

2. Фенольний комплекс

– Індекс Фоліна–Чокальтеу та Індекс загальних поліфенолів визначали спектрофотометричним методом. Для цього використовували спектрофотометр Lambda 25 UV (WinLab V6.0) з довжиною хвилі 750 нм;

– Індекс загальних поліфенолів вимірювали спектрофотометрично за 280 нм;

– Таніни та елагітаніни визначали шляхом аналізу на довжині хвилі 280 нм;

3. Органічні кислоти (кавову, кафтарову, кумарову) визначали методом високоефективної рідинної хроматографії (HPLC) з використанням хроматографічної системи Waters Alliance 2695, оснащеної діодним фотометричним детектором Waters 996.

4. Кольорові параметри вина вимірювали за методом суми абсорбцій за хвиль 420, 520 і 620 нм.

Обґрунтування вибору методів

– Спектрофотометричні та HPLC-методи є міжнародним стандартом для аналізу фенольного та кислотного профілів білих вин.

– Вибір ступенів обпалення ґрунтується на промисловій класифікації обпалення.

– Дозування 1–5 г/л відповідає діапазону, рекомендованому OIV і виробниками енологічної дубової деревини.

– Невеликі ємності (5 л) забезпечують точність відтворення та контроль екстракційних процесів.

Кожен аналіз виконували у трикратній повторності. Статистичну обробку здійснювали методами дисперсійного аналізу (ANOVA) з використанням програмного забезпечення Statistica 12.0. Відмінності між середніми вважали достовірними при $p < 0,05$.

Сенсорний аналіз проводили у Лабораторії сенсорного аналізу ОНТУ відповідно до міжнародних стандартів: ISO 5492:2008, ISO 8586:2012, ISO 13299:2016.

Методи включали:

1. Описовий метод (descriptive analysis), який передбачає визначення інтенсивності ключових дескрипторів за шкалою.

2. Метод флейвора (flavour profile), що дозволяє встановити загальний ароматичний та смаковий профіль зразків і виявити домінуючі сенсорні ознаки.

Таке поєднання підходів забезпечило всебічну характеристику зразків та підвищило надійність сенсорної оцінки.

Результати та обговорення дослідження. За результатами проведених досліджень було отримано експериментальні дані, які відображають динаміку змін хімічного складу та сенсорного профілю білого вина сорту Шардоне, залежно від дозування та ступеня обпалення енологічної дубової деревини, використаної під час алкогольної ферментації.

Хімічний аналіз. Для оцінки впливу дозування та ступеня обпалення енологічної дубової деревини на перебіг алкогольної ферментації, показники кислотності, фенольний комплекс, інтенсивність забарвлення та органічні кислоти білого вина сорту Шардоне було проведено



хімічний аналіз виноматеріалів. Дослідження виконували у лабораторії Laboratoire Études et Contrôles (Cognac, France), акредитованій за ISO/IEC 17025. Для дослідження застосовували методи спектрофотометрії, високоефективної рідинної хроматографії (HPLC), іонної хроматографії та стандартні методики OIV для визначення кислотного та кольорового профілів вина. Застосовані методи відповідають міжнародним стандартам аналізу білих вин та забезпечують високу точність оцінки змін, зумовлених контактом з дубовою деревиною.

1. Показники кислотності. Отримані результати визначення леткої, загальної кислотності та показника рН демонструють стабільність кислотного стану у всіх серіях зразків незалежно від ступеня обпалення та дозування енологічної дубової деревини. Летка кислотність варіювала в межах 0,26–0,34 г/дм³ (у перерахунку на H₂SO₄), що відповідає типовим значенням для молодих сухих білих вин після завершення алкогольної ферментації. Найвищі значення (до 0,34 г/дм³) зафіксовано у зразках без обпалення, тоді як у варіантах із середнім та сильним ступенем обпалення спостерігалася незначна тенденція до зниження показника (до 0,26–0,28 г/дм³). Це може бути зумовлено адсорбцією летких кислот фенольними сполуками дубової деревини або нейтралізацією частини кислоти дубильними речовинами, що вступають у реакцію з органічними кислотами вина.

Показник рН залишався практично незмінним у межах 3,58–3,65, що вказує на буферну здатність виноматеріалу та відсутність істотних зрушень кислотно-основної рівноваги під дією енологічної дубової деревини. Незначне підвищення рН у зразках із середнім та сильним ступенями обпалення може бути пов'язане з частковим переходом катіонів калію та кальцію з деревини, що сприяє осадженню винних солей і зниженню титрованої кислотності.

Показники загальної кислотності перебували у стабільних межах 3,0–3,2 г/дм³, що свідчить про незначний вплив енологічної дубової деревини на титровану кислотність вина. Таким чином, застосування енологічної дубової деревини під час алкогольної ферментації не призвело до суттєвих змін кислотного профілю виноматеріалу. Збереження стабільних значень кислотності є важливим технологічним показником, який підтверджує правильний перебіг алкогольної ферментації, оптимальну активність дріжджів і відсутність небажаних мікробіологічних процесів.

2. Фенольний комплекс. *Індекс Фоліна–Чокальтеу.* На цьому етапі дослідження проведено визначення поліфенольного комплексу виноматеріалів, що формувався під час алкогольної ферментації за участю енологічної дубової деревини різного ступеня обпалення. Отримані нами дані свідчать, що значення індексу Фоліна–Чокальтеу змінювалося залежно від ступеня термічної обробки енологічної дубової деревини, використаної під час алкогольної ферментації (NC, L, M, M⁺, H). Ці варіації наочно відображено на рис. 1, який демонструє різницю у загальному фенольному вмісті між серіями зразків та підтверджує технологічну чутливість фенольного комплексу до параметрів обпалення енологічної дубової деревини.

Отримані результати свідчать, що використання енологічної дубової деревини різного ступеня термічної обробки під час алкогольної ферментації вина суттєво впливає на формування фенольного комплексу, відображеного через значення індексу Фоліна–Чокальтеу. У контрольному зразку без додавання деревини показник становив 7,3 од., що відповідає базовому рівню фенольних сполук, екстрагованих із виноградної сировини без додаткового впливу деревини.

У разі застосування необпаленої деревини (NC) спостерігалася поступове підвищення індексу від 7,8 до 9,5 од. зі зростанням дозування з 1 до 5 г/л, що свідчить про активну екстракцію природних фенолів з деревини, зокрема елагової кислоти, танінів та гідролізованих поліфенолів, без участі термічно утворених компонентів.

Легкий ступінь обпалення (L) характеризувався коливаннями показника в межах 6,6–8,9 од. із вираженим максимумом у разі дози 5 г/л. Це може бути пов'язано з оптимальним співвідно-

шенням між природними фенольними сполуками та продуктами початкового термічного розкладу лігніну.

Для середнього ступеня обпалення (М) відзначено найвищі значення серед усіх серій – 8,9 од. у разі дозування 3 г/л. Така закономірність пояснюється активізацією процесів піролізу лігніну з утворенням фенольних альдегідів і кислот (сирингова, ферулова), що підвищують загальний рівень редуруючих сполук. У разі подальшого збільшення дозування концентрація залишалася стабільною (8,1–8,8 од.), що свідчить про досягнення насичення фенольної системи.

Для ступеня М⁺ показники змінювались у межах 7,5–8,5 од., з тенденцією до зростання у разі підвищення дозування. Це вказує на стабільний, але менш інтенсивний вплив, імовірно пов'язаний із частковим термічним руйнуванням фенольних структур у разі сильнішого обпалення.

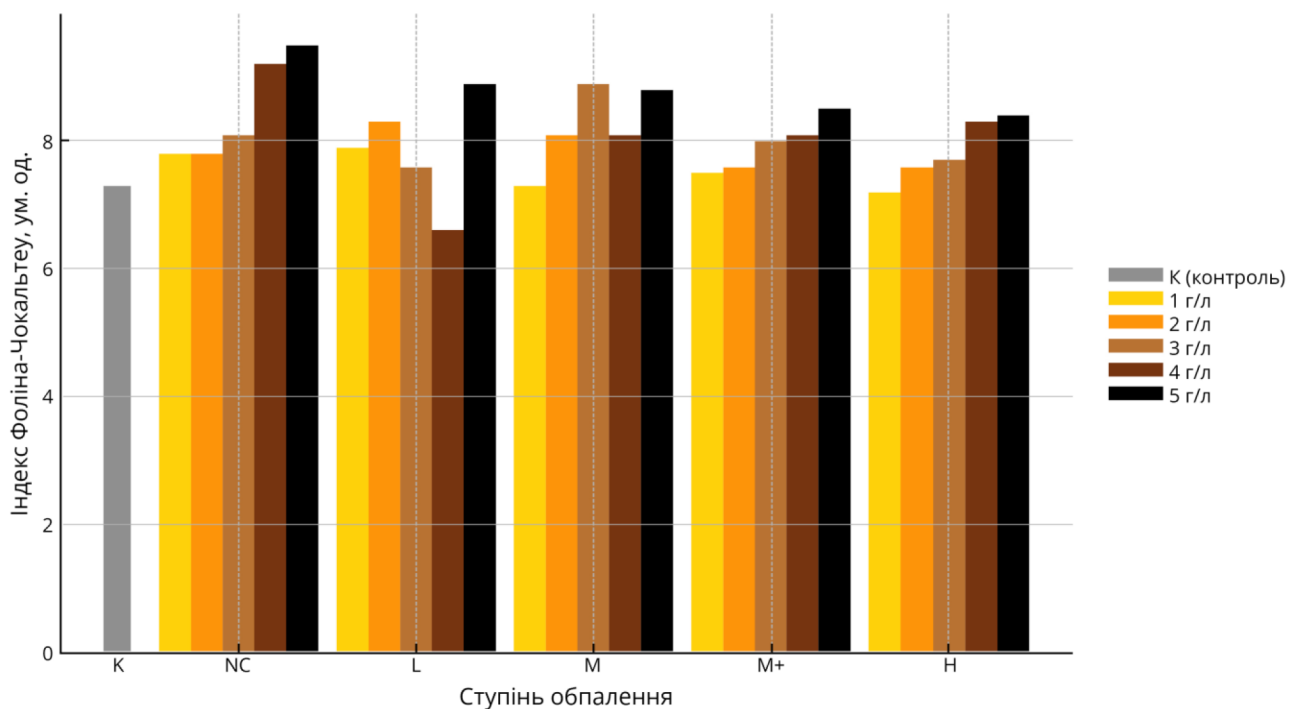


Рис. 1. Показники індексу Фоліна–Чокальтеу зразків Шардоне після алкогольної ферментації з використанням енологічної дубової деревини марки «BOUSINAGE» різних ступенів обпалення (NC, L, M, M⁺, H) у разі дозувань 1–5 г/л

Найменший рівень зростання зафіксовано для сильного ступеня обпалення (H) – 7,2–8,4 од., що пояснюється деградацією частини фенольних компонентів за високих температур піролізу (понад 250 °C) та зменшенням розчинних сполук у структурі деревини.

Загалом, найвищі значення індексу Фоліна–Чокальтеу спостерігалися у разі застосування середнього ступеня обпалення (M) у дозуванні 3 г/л, що свідчить про оптимальний баланс між екстрактивністю фенольних сполук і утворенням термічно модифікованих ароматичних компонентів.

Отже, експериментальні результати дозволяють визначити оптимальне поєднання параметрів енологічної дубової деревини – дозування 3–4 г/л у разі середнього або середнього + ступеня обпалення (M–M⁺), що забезпечує найкраще насичення вина фенольними речовинами. Отримані результати дослідження свідчать, що застосування енологічної дубової деревини різного ступеня термічної обробки під час алкогольної ферментації білого вина сорту Шардоне

впливає на формування загального поліфенольного комплексу, проте зміни цього показника є відносно помірними. У контрольному зразку, виготовленому без додавання деревини, індекс загальних поліфенолів становив 11,00 од., що відповідає базовому рівню фенольних сполук, притаманному виноматеріалу з винограду Шардоне.

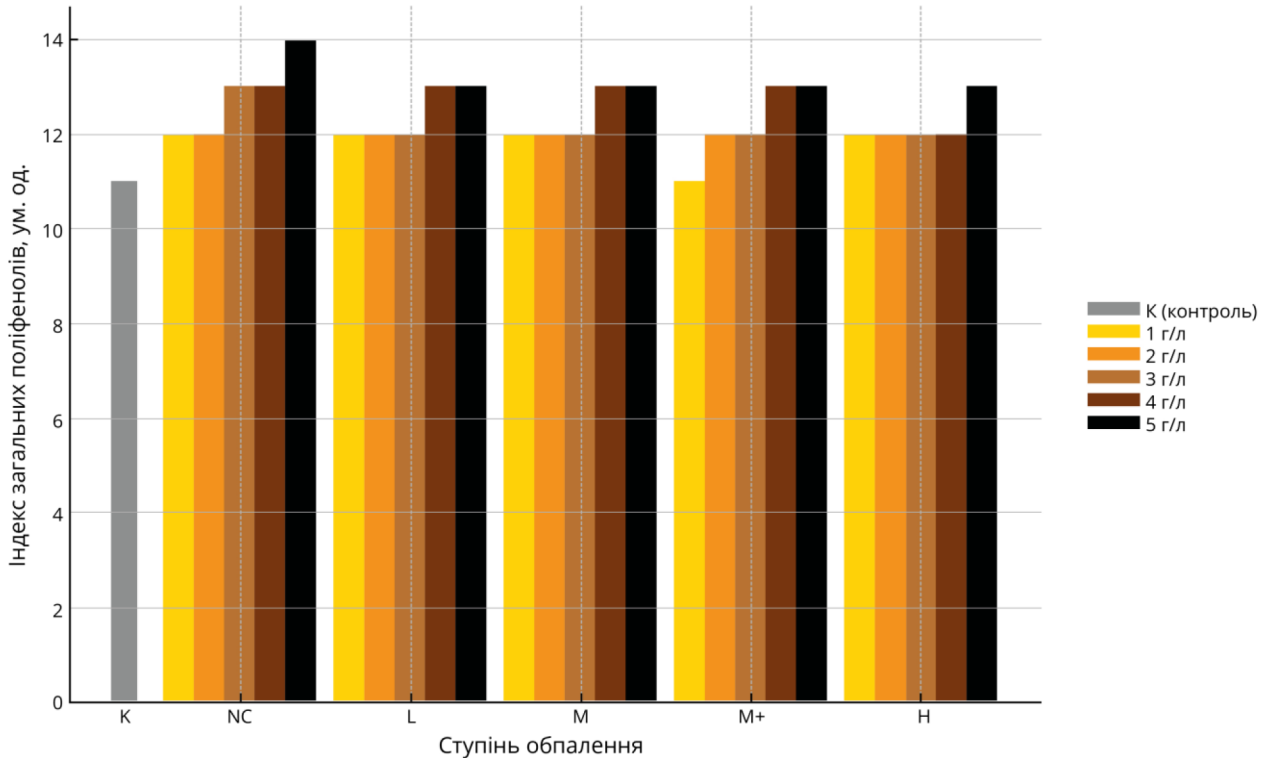


Рис. 2. Показники індексу загальних поліфенолів зразків Шардоне після алкогольної ферментації з використанням енологічної дубової деревини марки «BOUSINAGE» різних ступенів обпалення (NC, L, M, M+, H) у разі дозувань 1–5 г/л

У разі використання необпаленої деревини (NC) зафіксовано поступове підвищення індексу від 12,00 до 14,00 од. зі зростанням дозування з 1 до 5 г/л. Це свідчить про активну екстракцію природних фенольних компонентів деревини (елагової кислоти, катехинів, танінів), що збагачують фенольний профіль вина без термічної деградації основних структур.

Для легкого (L) та середнього (M) ступенів обпалення значення індексу залишалися стабільними в межах 12,00–13,00 од., що вказує на досягнення рівноваги між екстракційними процесами та частковим термічним руйнуванням фенольних структур. За цих умов спостерігається збереження природного фенольного балансу вина без надмірної концентрації танінів.

Середній+ (M+) і сильний (H) ступені обпалення характеризувалися незначним підвищенням показників від 11,00–12,00 до 13,00 од., що свідчить про обмежену участь термічно модифікованих поліфенолів у збагаченні фенольного комплексу. За високих температур обпалення частина поліфенольних сполук зазнає конденсації або деградації, що зменшує їхню екстрактивність.

Загалом, отримані результати підтверджують, що найвищі значення індексу загальних поліфенолів спостерігалися у разі використання необпаленої деревини (NC) у дозуванні 5 г/л, тоді як подальше збільшення ступеня обпалення не сприяло суттєвому підвищенню поліфенольного вмісту. Таким чином, використання необпаленої або слабо обпаленої деревини під час ферментації білого вина є доцільним для помірної збагачення фенольного складу без ризику перевищення терпких або гіркуватих тонів у смаковому профілі.

Загальні таніни. Побудовані стовпчикові діаграми відображають динаміку зміни концентрації загальних танінів (у перерахунку на еквівалент галової кислоти) у зразках вина, отриманих із застосуванням енологічної дубової деревини різного ступеня обпалення – від необпаленої до сильної, що дозволяє простежити закономірності екстракції фенольних речовин під дією різного термічного впливу енологічної дубової деревини.

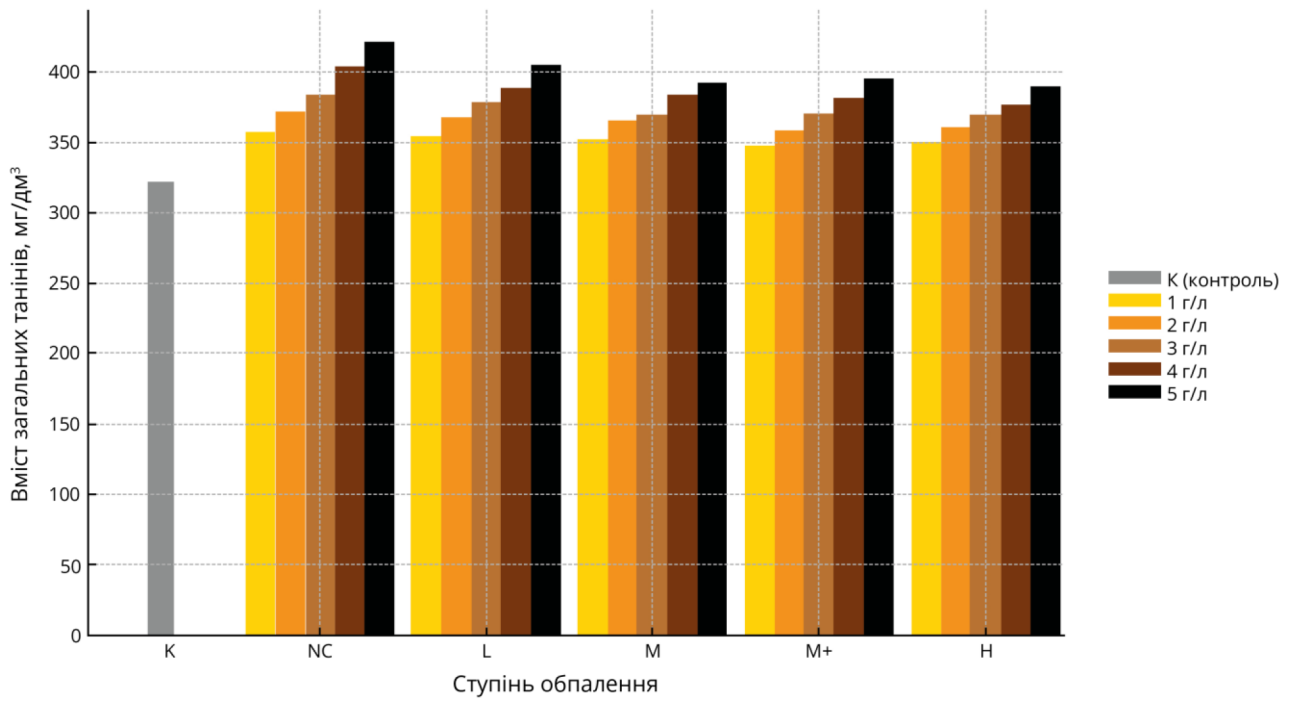


Рис. 3. Показники загальних танінів зразків Шардоне після алкогольної ферментації з використанням енологічної дубової деревини марки «BOUSINAGE» різних ступенів обпалення (NC, L, M, M+, H) у разі дозувань 1–5 г/л

Дослідження показало, що використання енологічної дубової деревини різного ступеня термічної обробки під час алкогольної ферментації вина Шардоне сприяє підвищенню вмісту загальних танінів порівняно з контролем, що свідчить про активну екстракцію фенольних сполук із деревини в процесі контакту. У контрольному зразку без додавання деревини концентрація загальних танінів становила 341 мг/дм³, що визначає базовий рівень цього класу сполук, характерний для виноматеріалів із білого винограду.

У разі застосування необпаленої деревини (NC) спостерігалось найбільш інтенсивне зростання показників – від 358 до 422 мг/дм³ із підвищенням дозування з 1 до 5 г/л. Така закономірність зумовлена високою екстрактивною здатністю природних елагітанінів і катехінів, присутніх у не модифікованій термічно деревині, які легко переходять у водно-спиртове середовище вина.

Для легкого ступеня обпалення (L) зафіксовано поступове підвищення рівня танінів від 355 до 406 мг/дм³, що також свідчить про ефективну екстракцію, але з дещо меншими інтенсивностями, ніж у випадку необпаленої деревини. На цьому рівні обпалення відбувається часткове перетворення фенольних сполук у леткі ароматичні похідні, що знижує загальний вихід танінів, але підвищує ароматичний складник вина.

Середній (M) та середній+ (M+) ступені обпалення демонстрували близькі значення – у межах 352–396 мг/дм³, що вказує на стабільність процесів екстракції. З підвищенням температури обпалення частина танінів піддається термічній деградації або полімеризації, унаслідок чого їх розчинність у винному середовищі зменшується.

У разі сильного ступеня обпалення (Н) спостерігалось найменше зростання – від 351 до 390 мг/дм³, що узгоджується з літературними даними про зниження вмісту гідролізованих танінів за умов високотемпературного піролізу (>250 °С), коли структура лігніну та геміцелюлоз зазнає суттєвих руйнувань.

Загалом, із підвищенням дозування деревини спостерігалось стабільне наростання концентрації танінів для всіх ступенів обпалення, однак найбільш виражений ефект зафіксовано для необпаленої (NC) та легко обпаленої (L) деревини, що свідчить про оптимальне поєднання екстрактивності та збереження структури фенольних полімерів. Таким чином, використання необпаленої або слабо обпаленої енологічної дубової деревини у дозуванні 4–5 г/л забезпечує максимальне збагачення танінами вина Шардоне, сприяючи підвищенню його потенціалу та стабільності без ризику надмірної терпкості.

Загальні елагітаніни. Для оцінки впливу різних ступенів обпалення енологічної дубової деревини на перебіг екстракційних процесів у вині було проаналізовано загальний вміст елагітанінів. Цей показник відображає інтенсивність переходу фенольних сполук дуба у виноматеріал.

Отримані результати свідчать, що використання енологічної дубової деревини різного ступеня термічної обробки під час алкогольної ферментації вина Шардоне істотно впливає на накопичення елагітанінів – основної фракції гідролізованих танінів, які позитивно впливають на структуру вина. У контрольному зразку без додавання деревини вміст елагітанінів становив 6,2 мг/дм³, що відображає природний рівень цієї групи сполук, притаманний білим винам, які не контактували з деревиною.

У разі застосування необпаленої деревини (NC) спостерігалось поступове зростання показників від 7,9 до 12,3 мг/дм³ зі збільшенням дозування з 1 до 5 г/л. Це вказує на активну екстракцію елагітанінів із необпаленої деревини.

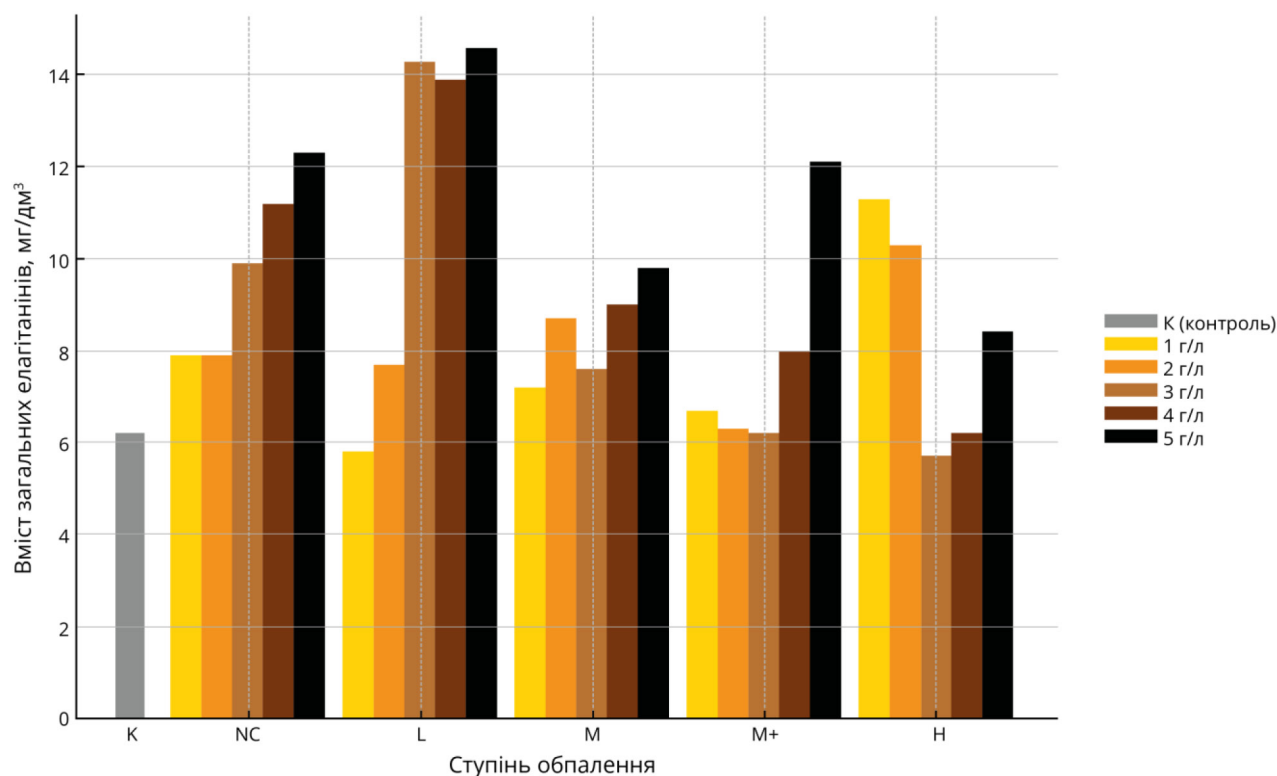


Рис. 4. Показники загальних елагітанінів зразків Шардоне після алкогольної ферментації з використанням енологічної дубової деревини марки «BOUSINAGE» різних ступенів обпалення (NC, L, M, M⁺, H) у разі дозувань 1–5 г/л



Для легкого ступеня обпалення (L) зафіксовано найвищі показники серед усіх варіантів – 14,3–14,6 мг/дм³ у разі дозувань 3–5 г/л. Це свідчить про оптимальне поєднання процесів термічної деструкції полімерів і підвищення екстрактивності.

Для середнього ступеня обпалення (M) показники залишалися помірними – 7,2–9,8 мг/дм³, із тенденцією до зростання у разі збільшення дозування. Це свідчить про часткову термічну модифікацію танінів і формування стійких конденсатів, які мають меншу розчинність, проте сприяють стабілізації кольору та структури вина.

Середній+ ступінь обпалення (M+) демонстрував низькі значення на початкових дозах (6,2–6,7 мг/дм³) і різке зростання до 12,1 мг/дм³ у разі дозування 5 г/л. Така динаміка може бути зумовлена балансом між екстракцією термічно модифікованих сполук і деградацією частини елагітанінів за вищих температур (>230 °C).

Найнижчі показники зафіксовано у разі сильного ступеня обпалення (H), де концентрація елагітанінів зменшувалася до 5,7–8,4 мг/дм³. Це пов'язано з глибоким піролізом клітинних компонентів деревини, внаслідок якого елагітаніни частково переходять у леткі похідні та нерозчинні смолисті сполуки. Отже, максимальне збагачення вина Шардоне елагітанінами досягається у разі використання легко обпаленої деревини (L) у дозуванні 3–5 г/л, що забезпечує високу екстрактивність і стабільність фенольного профілю.

Таким чином, результати комплексного дослідження підтвердили, що застосування енологічної дубової деревини під час алкогольної ферментації білого вина сорту Шардоне істотно впливає на формування його фенольного профілю, зокрема на вміст загальних поліфенолів, танінів, елагітанінів та показник відновної здатності за індексом Фоліна–Чокальтеу.

Встановлено, що ступінь термічної обробки деревини визначає співвідношення між екстрактивністю природних фенольних сполук і рівнем їх термічної деградації:

- Необпалена (NC) деревина характеризується найвищою екстрактивністю елагітанінів і танінів, що зумовлює суттєве збагачення фенольного комплексу, але може надавати вину більш виражену терпкість;
- Легкий ступінь обпалення (L) забезпечує оптимальний баланс між екстракцією фенольних сполук та утворенням термічно модифікованих компонентів (фенольних альдегідів, ваніліну, гваяколу), що сприяє розвитку гармонійного смакового та ароматичного профілю;
- Середній (M) та середній+ (M+) ступені обпалення характеризуються стабільним, але менш вираженим збагаченням фенольної фази, водночас формують більш округлу структуру вина з м'якою терпкістю та складнішими ароматичними відтінками;
- Сильний ступінь обпалення (H) супроводжується зниженням концентрації фенольних сполук через піроліз поліфенолів, що призводить до формування вин із нижчим фенольним потенціалом, але більш делікатним смаком.

Загалом спостерігається чітка тенденція до підвищення показників фенольного комплексу зі зростанням кількості деревини у діапазоні 1–5 г/л, що вказує на ефективну екстракцію фенольних речовин у процесі алкогольної ферментації.

Оптимальні технологічні параметри:

- Ступінь обпалення: легкий (L) або середній (M);
- Дозування: 3–4 г/л;
- Тривалість контакту: у межах алкогольної ферментації (7–14 діб залежно від температурного режиму).

Саме за цих умов досягається збалансоване збагачення фенольного профілю, що проявляється у підвищенні загальних поліфенолів (до 13–14 од.), танінів (до 400–420 мг/дм³) та елагітанінів (до 14–15 мг/дм³) без надмірного накопичення грубих або гірких компонентів.



Таким чином, технологія використання легко або середньо обпаленої енологічної дубової деревини у процесі ферментації білого вина є ефективним методом підвищення органолептичної складності вина Шардоне, наближаючи його характеристики до ефекту витримки у бочці за нижчих економічних витрат.

3. Інтенсивність забарвлення. Для оцінювання оптичних властивостей білого вина було визначено показники загальної інтенсивності забарвлення та відтінку. Ці параметри слугують чутливими індикаторами хімічних змін, зумовлених екстракцією у тому числі фенольних сполук, які формують колір, перебігом окисно-полімеризаційних процесів, а також дією технологічних чинників, зокрема контакту з енологічною дубовою деревиною. Аналіз варіацій інтенсивності та відтінку забарвлення дає змогу комплексно оцінити внесок деревини у формування кольорових характеристик вина та ідентифікувати можливі відмінності між варіантами з різним ступенем обпалення й дозуванням деревини.

Загальна інтенсивність забарвлення зразків Chardonnay демонструє помірне, але стабільне підвищення порівняно з контролем (0,140) у всіх варіантах, де застосовувалася енологічна дубова деревина. Це свідчить, що сам факт контакту вина з деревиною, незалежно від ступеня її обпалення чи рівня дозування, забезпечує базовий рівень екстракції фенольних та кольороутворюючих сполук, відповідальних за зростання оптичної щільності.

Аналіз показників для різних ступенів обпалення (NC, L, M, M+, H) засвідчує відсутність різких або закономірних тенденцій: легке, середнє та сильне обпалення формують лише незначні коливання інтенсивності забарвлення, які не виходять за межі загальної варіабельності показника (0,170–0,270). Подібно й дозування 1–5 г/л не демонструє виразного ефекту. Хоч окремі пікові значення (наприклад, 0,270 для L-4 г/л) свідчать про можливий внесок обпалення у кольороутворення, ці відмінності є несистемними та статистично незначними.

Таблиця 2

Показники загальної інтенсивності забарвлення зразків Шардоне після алкогольної ферментації з використанням енологічної дубової деревини марки «BOUSINAGE» різних ступенів обпалення (NC, L, M, M+, H) у разі дозувань 1–5 г/л

Ступінь обпалення	1 г/л	2 г/л	3 г/л	4 г/л	5 г/л
NC – необпалена	0,190	0,200	0,210	0,230	0,250
L – легкий ступінь	0,190	0,220	0,210	0,270	0,230
M – середній ступінь	0,180	0,250	0,150	0,250	0,230
M+ – середній + ступінь	0,170	0,190	0,180	0,200	0,230
H – сильний ступінь	0,180	0,190	0,210	0,210	0,250
КОНТРОЛЬ – 0,14					

Таким чином, результати дозволяють стверджувати, що ні ступінь термічної обробки деревини, ні її кількість не є визначальними факторами формування інтенсивності забарвлення у білому вині.

Показники тону забарвлення зразків Chardonnay після алкогольної ферментації демонструють загальне зниження стосовно контролю (3,42) у всіх варіантах із застосуванням енологічної дубової деревини. Це свідчить, що сам факт контакту вина з деревиною сприяє формуванню більш теплого відтінку, незалежно від ступеня обпалення чи дозування.

Аналіз даних показує, що варіації відтінку між ступенями обпалення (NC, L, M, M+, H) залишаються відносно незначними, і різниця між ними не формує чіткої закономірності. Хоч окремі значення (наприклад, підвищений показник для середнього обпалення M у разі 3 г/л)



Таблиця 3

Показники відтінку забарвлення зразків Шардоне після алкогольної ферментації з використанням енологічної дубової деревини марки «BOUSINAGE» різних ступенів обпалення (NC, L, M, M+, H) у разі дозувань 1–5 г/л

Ступінь обпалення	1 г/л	2 г/л	3 г/л	4 г/л	5 г/л
NC – необпалена	2,480	2,790	2,880	3,020	2,970
L – легкий ступінь	2,760	2,600	2,770	2,450	2,830
M – середній ступінь	2,930	2,440	3,670	2,700	2,910
M+ – середній + ступінь	2,930	2,780	3,090	3,000	2,940
H – сильний ступінь	2,910	3,000	2,860	2,980	2,870
КОНТРОЛЬ – 3,42					

виділяються на тлі решти, ці відмінності є несистемними та не відображають стабільного технологічного ефекту.

Подібно до показників інтенсивності дозування енологічної дубової деревини у межах 1–5 г/л не демонструє чіткої тенденції змін: коливання тону забарвлення залишаються в межах природної варіабельності та не пов'язані з кількістю внесеної деревини. Це свідчить, що основний вплив на відтінок забарвлення зумовлений самим фактом контакту вина з деревиною, тоді як ані дозування, ані ступінь обпалення не є визначальними параметрами.

Узагальнюючи, можна стверджувати, що енологічна дубова деревина стабільно знижує показник відтінку забарвлення порівняно з контролем, сприяючи формуванню більш стійкого відтінку, але внутрішні відмінності між варіантами деревини є мінімальними. Це підтверджує, що відтінок забарвлення у білому вині є менш чутливим до параметрів обпалення й дозування та відображає загальний, а не специфічний ефект деревини.

4. Органічні кислоти. Органічні кислоти відіграють ключову роль у формуванні хімічного та сенсорного профілю білого вина, визначаючи його смакову гармонію, свіжість, стабільність і здатність до подальшої еволюції. Вплив енологічної дубової деревини на кислотний баланс вин нині привертає значну увагу дослідників, оскільки взаємодія поліфенольних сполук деревини з кислотами здатна змінювати їх концентрацію та участь у реакціях пігментоутворення й полімеризації. У межах цього дослідження було зосереджено увагу на трьох фенольних кислотах – кавовій, кафтаровій та кумаровій, які є індикаторами поліфенольної екстракції та трансформації ароматогенних попередників. Кавова кислота бере участь у реакціях окиснення та формуванні ароматичних альдегідів; кафтарова кислота є ключовим компонентом глікозидних комплексів і чутливо реагує на вплив деревини, а кумарова кислота виступає попередником летких фенолів, що визначають пряно-тонкі ароматичні відтінки. Саме тому аналіз динаміки цих кислот дозволяє найбільш повно оцінити хімічні зміни, що відбуваються у вині під впливом енологічної дубової деревини різного ступеня обпалення та дозування.

Кавова кислота. Для оцінки впливу енологічної дубової деревини на органічний профіль білого вина було визначено вміст кавової кислоти – однієї з ключових фенольних кислот, що бере участь у формуванні ранніх етапів полімеризації фенольних сполук. Цей показник є чутливим індикатором екстракційних процесів, перебігу окисно-відновних реакцій та структурних змін у вині під впливом різного ступеня обпалення й дозування деревини. Аналіз динаміки вмісту кавової кислоти дозволяє оцінити як інтенсивність взаємодії вина з деревиною, так і загальний напрям хімічної еволюції фенольного комплексу.

Кавова кислота є однією з домінантних гідроксикоричних кислот у білих винах і відіграє ключову роль у формуванні їх реакцій окиснення та подальшого утворення хінонів, що беруть участь у полімеризаційних процесах. Вона чутливо реагує на контакт із дубовою деревиною, оскільки може як екстрагуватися з деревини, так і трансформуватися під впливом термічно модифікованих фенольних фракцій. Саме тому динаміка кавової кислоти виступає інформативним показником ступеня фенольної взаємодії вина з енологічною дубовою деревиною та дозволяє відстежити ранні хімічні зміни у вині.

Концентрація кавової кислоти у зразках Шардоне демонструє залежність від ступеня обпалення енологічної дубової деревини та рівня її дозування. Порівняно з контролем (9,718 мг/л) усі варіанти обробки деревиною призводять до зниження цього показника, але характер змін різниться між ступенями обпалення.

У серії NC (необпалена деревина) спостерігається найвиразніша тенденція до поступового зменшення кавової кислоти зі зростанням дози – від 9,202 мг/л (1 г/л) до 7,844 мг/л (5 г/л). Подібний спад характерний і для серії L, хоча значення на дозуванні 2 г/л (9,310 мг/л) дещо перевищують контроль, що може свідчити про короткочасний екстракційний ефект.

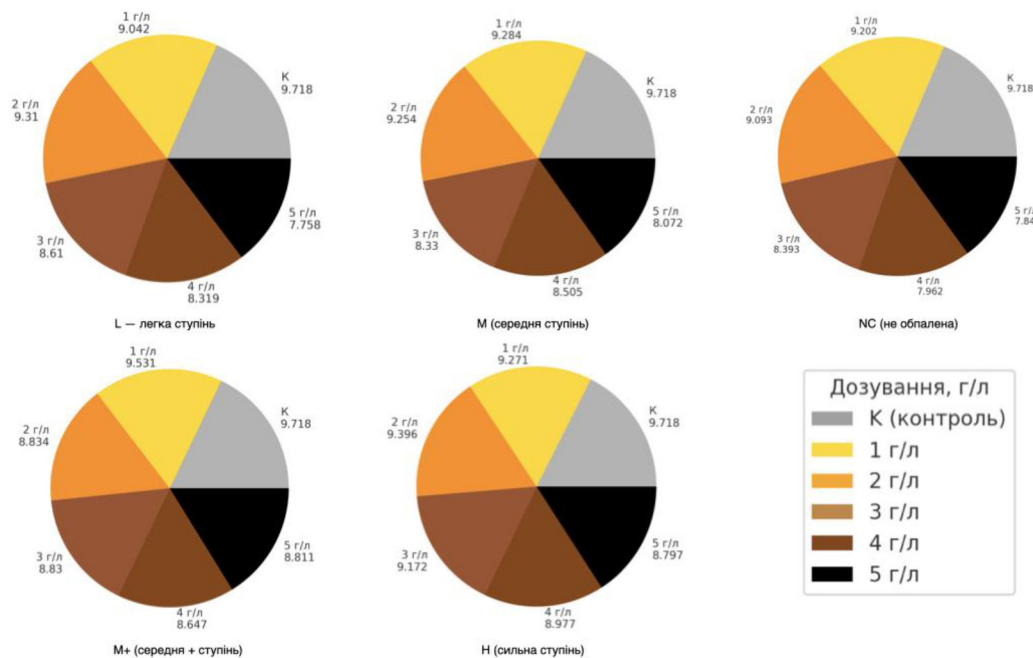


Рис. 5. Показники кавової кислоти зразків Шардоне після алкогольної ферментації з використанням енологічної дубової деревини марки «BOUSINAGE» різних ступенів обпалення (NC, L, M, M+, H) у разі дозувань 1–5 г/л

Для M та M+ загальна динаміка плавніша: значення залишаються близькими між собою в межах 8,3–9,5 мг/л, без різких провалів у разі збільшення дози. Це може вказувати на більш збалансовані процеси екстракції та окиснення у середньообпаленій деревиці.

Найвищу стабільність показує H (сильне обпалення) – концентрації тримаються на рівні 9,271–9,396 мг/л у разі низьких дозувань і лише помірно знижуються до 8,797 мг/л у разі 5 г/л. Висока температура обпалення, ймовірно, зменшує кількість доступних фенольних попередників, тому зміни є менш різкими.

Загалом, збільшення дозування в усіх серіях спричиняє поступове зниження вмісту кавової кислоти, що може бути пов'язано з її участю у реакціях окиснення, полімеризації та адсорбції на деревиці. Найменший вплив на збереження кавової кислоти мають M+ та H обпалення, тоді як NC та L сприяють швидшому зниженню цього показника зі зростанням кількості деревини.



Кафтарова кислота. Кафтарова кислота належить до групи фенольних сполук, що відіграють важливу роль у формуванні сенсорного профілю вин. Як проміжний продукт фенілпропаноїдного шляху вона бере участь у біосинтезі складніших поліфенолів, а її концентрація може відображати інтенсивність екстракційних процесів під час алкогольної ферментації та мацерації. У білому вині рівень кафтарової кислоти є чутливим індикатором взаємодії виноматеріалу з енологічною дубовою деревиною, зокрема у разі використання деревини різного ступеня обпалення. Зміни цього показника дозволяють оцінити вплив температурно-термічної обробки деревини на трансформацію фенольної фракції, стабільність кольору та потенційний ароматичний складник вина, забезпечуючи комплексне розуміння хімічних механізмів, що формують якість кінцевого продукту.

Концентрація кафтарової кислоти в дослідних зразках Шардоне суттєво перевищує контрольний рівень (54,853 мг/л), що свідчить про активну участь енологічної дубової деревини у формуванні фенольного профілю вина. Загалом усі ступені обпалення демонструють підвищення цього показника, однак характер змін відрізняється між ступенями обпалення.

Необпалена деревина (НС) забезпечує найвищі значення серед усіх серій, з піком на дозуванні 4 г/л (60,370 мг/л). Динаміка є хвилеподібною, проте весь діапазон 58,4–60,4 мг/л стабільно перевищує інші ступені. Це може бути пов'язано з мінімальною деградацією фенольних попередників у деревині без термічної обробки. У серії L спостерігається поступове наростання кафтарової кислоти від 56,070 до максимальних 59,695 мг/л у разі 5 г/л, що свідчить про ефективну екстракцію фенольних кислот за м'яких режимів нагрівання деревини. М демонструє найбільш виражений піковий стрибок – 61,202 мг/л у разі дозування 3 г/л, що є найвищим значенням серед усіх варіантів. Це свідчить про оптимальне співвідношення між рівнем термічного розкладу та здатністю деревини вивільняти зв'язані фенольні сполуки. У серії М+ значення тримаються в діапазоні 57,2–58,9 мг/л без різких коливань. Така рівномірність може свідчити про стабільні процеси екстракції у разі М+ обпалення. Н навпаки демонструє найнижчі показники серед усіх серій – 56,3–57,9 мг/л. Високі температури обпалення, очевидно, зменшують кількість доступних фенольних попередників для утворення кафтарової кислоти.

Узагальнюючи, зазначимо, що найвищі значення кафтарової кислоти забезпечують середній ступінь обпалення (3 г/л) та необпалена деревина, тоді як сильне обпалення знижує цей показник.

Кумарова кислота. Кумарова кислота належить до групи гідроксикоричних кислот і є важливою складовою частиною фенольного комплексу вин. Вона відіграє роль попередника ароматичних сполук, що утворюються під час ферментації та витримки. Концентрація кумарової кислоти чутливо реагує на технологічні фактори, зокрема контакт із деревиною, ступінь її обпалення та інтенсивність окисно-відновних процесів.

Концентрація кумарової кислоти в дослідних зразках системно нижча порівняно з контролем (2,029 мг/л), що свідчить про загальне зменшення цього показника внаслідок контакту вина з енологічною дубовою деревиною.

НС (необпалена деревина) показує плавне спадання від 1,768 до 1,534 мг/л, що є найнижчим значенням у серії. Мінімальна термічна обробка деревини, ймовірно, сприяє сильнішій адсорбції гідроксикоричних кислот. У серії L (легке обпалення) спостерігається подібна динаміка: максимальні значення у разі 1–2 г/л (1,840–1,756 мг/л) та поступове падіння до 1,501 мг/л на дозуванні 4 г/л, після чого відзначається невелике підвищення на 5 г/л (1,562 мг/л). Легке обпалення, очевидно, не забезпечує стабільної екстракції, але підсилює зниження через адсорбційні процеси. Для М (середнє обпалення) характерні найбільш збалансовані значення – 1,879–1,699 мг/л. Показники залишаються досить вирівняними без різких коливань, що може вказувати на оптимальне співвідношення екстракції та деградації фенольних кислот

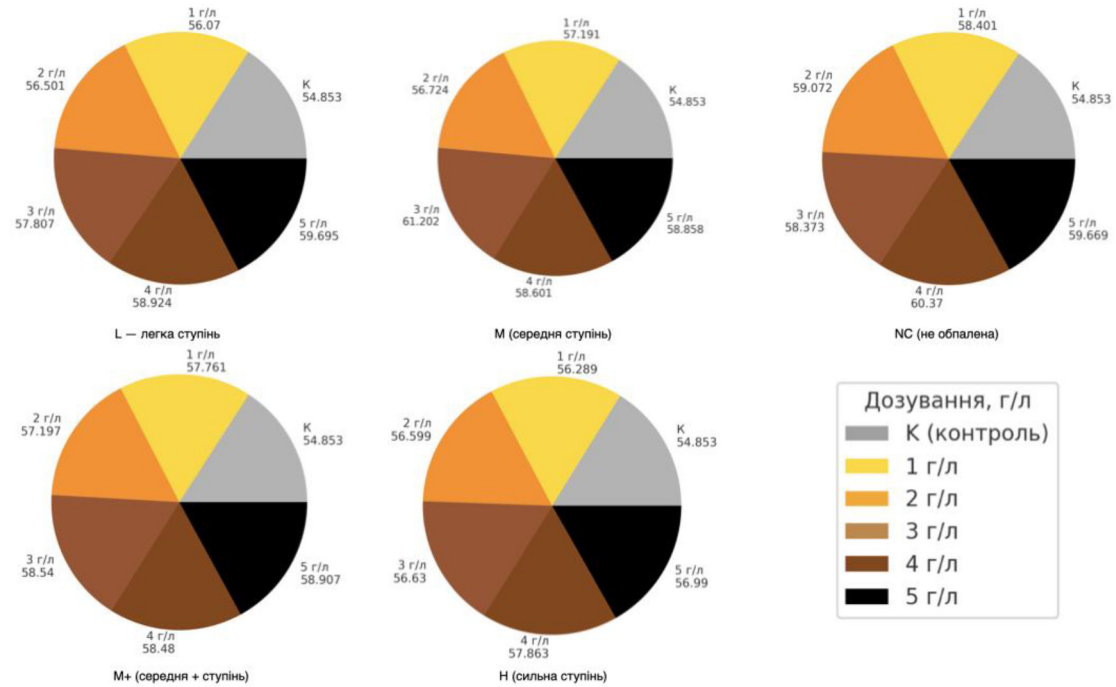


Рис. 6. Показники кафтарової кислоти зразків Шардоне після алкогольної ферментації з використанням енологічної дубової деревини марки «BOUSINAGE» різних ступенів обпалення (NC, L, M, M+, H) у разі дозувань 1–5 г/л

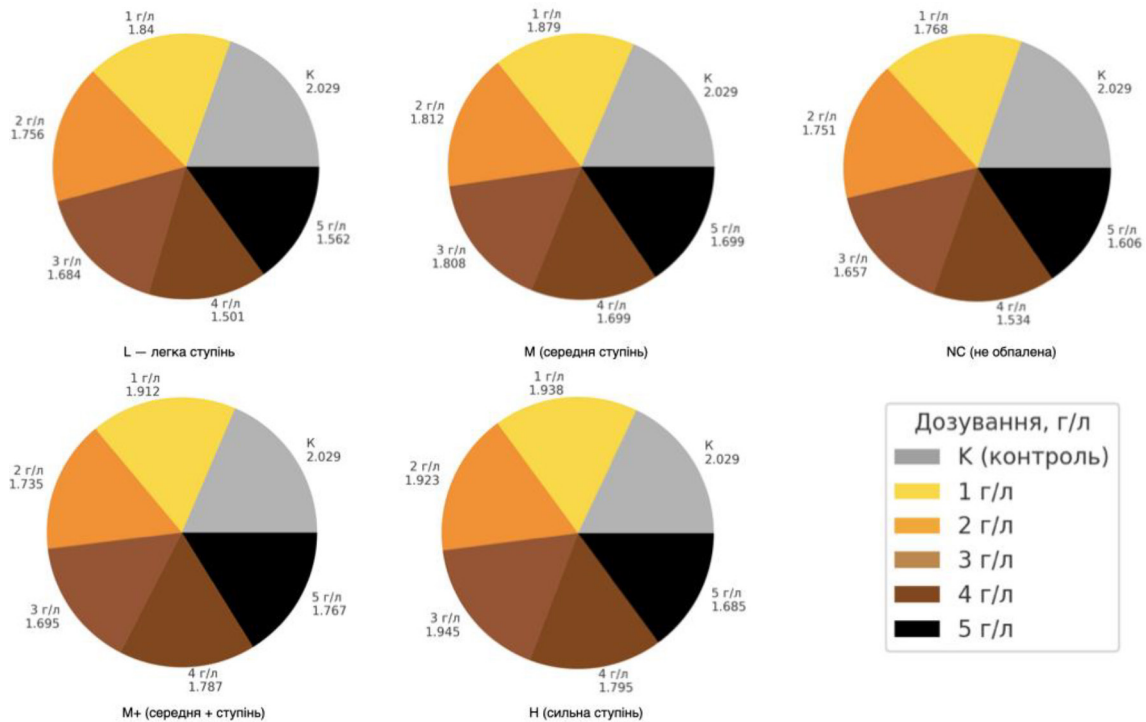


Рис. 7. Показники кумарової кислоти зразків Шардоне після алкогольної ферментації з використанням енологічної дубової деревини марки «BOUSINAGE» різних ступенів обпалення (NC, L, M, M+, H) у разі дозувань 1–5 г/л



у разі помірного обпалення. У серії М+ (середнє+ обпалення) значення змінюються в межах 1,695–1,912 мг/л. На відміну від NC і L, зразки М+ не демонструють чіткої тенденції до зниження, навпаки, коливання є нерівномірними, а дозування 4–5 г/л дають помітно вищі показники (1,787 і 1,767 мг/л), що може бути проявом активнішої екстракції продуктів термічної трансформації. Найвищі значення серед усіх серій дає Н (сильне обпалення) – 1,938–1,945 мг/л на дозуваннях 1–3 г/л. Це близько до контрольного рівня і свідчить, що сильна термічна обробка знижує здатність деревини утримувати гідроксикоричні кислоти, натомість сприяє їх вивільненню у вино. На високих дозуваннях (4–5 г/л) рівень знижується, але залишається вищим за інші серії.

Загалом, найменше зниження кумарової кислоти спостерігається у серіях М+ та Н, які найкраще зберігають рівень цього компонента. Найбільш виражені втрати характерні для NC та L, що вказує на домінування адсорбційних та окисних процесів у необпаленій та слабо обпаленій деревині.

Сенсорний аналіз. Для комплексної оцінки впливу енологічної дубової деревини різного ступеня обпалення на формування органолептичних властивостей вина під час алкогольної ферментації було проведено сенсорний аналіз у Лабораторії сенсорного аналізу ОНТУ. Сенсорне дослідження мало на меті встановити зміни ароматичного та смакового профілю білого вина сорту Шардоне, залежно від кількості й інтенсивності термічної обробки енологічної дубової деревини. Для оцінювання застосовували стандартизовані методики, зокрема описовий метод (descriptive analysis) для визначення інтенсивності ключових дескрипторів та метод профілю флейвора (flavour profile). Для проведення сенсорної оцінки була сформована дегустаційна комісія відповідно до вимог міжнародних стандартів ISO 8586 та ISO 5492, які регламентують підготовку, кваліфікацію та роботу дегустаторів у сенсорних дослідженнях. Склад комісії забезпечував достатню репрезентативність і відтворюваність результатів, що дозволило об'єктивно оцінити вплив енологічної дубової деревини різного ступеня обпалення на ароматичні та смакові характеристики вин.

Надалі наведено приклад сенсорного аналізу білого вина сорту Шардоне після алкогольної ферментації. Представлені профілі відображають узагальнені результати оцінювання, отримані на основі середніх балів дегустаційної комісії, сформованої відповідно до міжнародних стандартів сенсорного аналізу. Таке подання дає змогу порівняти характерні ароматичні і смакові особливості та простежити вплив різних ступенів обпалення енологічної дубової деревини марки «BOUSINAGE».

На рисунку представлено п'ять радарних діаграм («павутин»), що відображають сенсорні характеристики вин сорту Шардоне після алкогольної ферментації з енологічною дубовою деревиною різних ступенів обпалення (NC, L, M, М+, Н) марки «BOUSINAGE» у дозуваннях 1–5 г/л.

Сенсорна оцінка Chardonnay після алкогольної ферментації з додаванням необпаленої енологічної дубової деревини показала, що зміни смаку й аромату залежали від дозування. Ароматична інтенсивність у більшості варіантів залишалася близькою до контролю, тоді як свіжі фруктові ноти найкраще проявилися у контролі, 1 і 3 г/л та зменшувалися у разі дозування 2 і 4 г/л. Ноти прянощів та ванілі посилювалися зі збільшенням кількості деревини, особливо у варіантах 2 і 3 г/л, що підтверджує активну передачу ароматичних компонентів навіть без термічної обробки. Дубові й димні ноти були помірними, але чіткішими у варіантах з 2–5 г/л. Кислотність зростала у зразках 1, 2 і 4 г/л, гіркота й терпкість підвищувалися у разі середніх доз. Найвища свіжість спостерігалася у варіантах 2 і 3 г/л.

Застосування енологічної дубової деревини легкого обпалення (L) спричинило деякі зміни у сенсорному профілі. Ароматична інтенсивність залишалася стабільною, а свіжі фруктові тони найкраще проявлялися у разі доз 2 і 3 г/л. Пряні ноти посилювалися у всіх варіантах, тоді

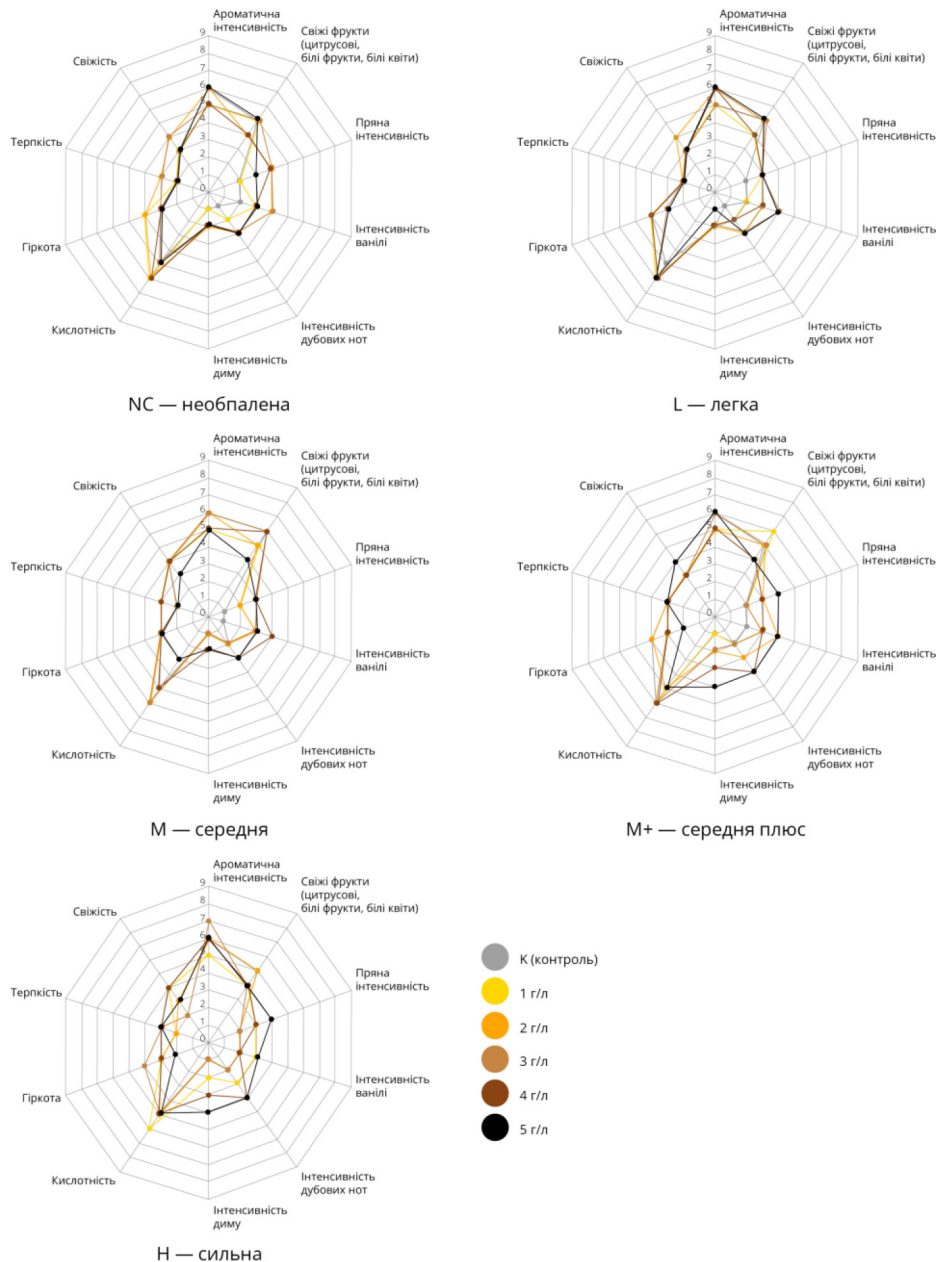


Рис. 8. Сенсорний профіль вин сорту Шардоне після алкогольної ферментації з енологічною дубовою деревиною марки «BOUSINAGE», визначений за описовим методом та методом профілю флейвора, для різних ступенів обпалення (NC, L, M, M+, H) та дозувань 1–5 г/л порівняно з контролем

як ваніль вирізнялася чіткіше у разі 3 і 5 г/л. Дубові та димні ноти були слабкими, але виразнішими у зразках з 2–5 г/л деревини. Кислотність підвищувалася незалежно від дозування, гіркота й терпкість залишалися низькими, а свіжість найкраще зберігалася у варіанті 2 г/л.

Середній ступінь обпалення (M) забезпечив незначні зміни профілю вина. Ароматична інтенсивність у більшості варіантів залишалася на рівні контролю, фруктові ноти добре зберігалися у разі середніх доз, але слабшали у разі максимального внесення. Пряні, ванільні, дубові й димні ноти були ледь помітними й з'являлися лише у вищих дозах. Кислотність залишалася стабільною, зміни гіркоти й терпкості були незначними, а свіжість зберігалася у більшості варіантів, знижуючись лише у разі дози 5 г/л.



Використання енологічної дубової деревини ступеня М+ зумовило більш помітні зміни. Ароматична інтенсивність залишалася близькою до контролю, з окремими підсиленнями у разі середніх та високих доз. Фруктові ноти добре зберігалися у разі малих доз, але поступово слабшали у разі внесення 4–5 г/л. Пряні, ванільні, дубові й димні ноти проявлялися чіткіше зі збільшенням кількості енологічної дубової деревини. Кислотність, терпкість та свіжість зберігалися без суттєвих коливань, а гіркота дещо знижувалася у разі найбільших доз.

Деревина сильного обпалення (Н) спричинила найпомітніші зміни серед усіх варіантів. Ароматична інтенсивність посилювалася переважно у разі дози 3 г/л, фруктові тони зберігалися за малих доз, але слабшали у разі збільшення кількості деревини. Пряні й ванільні ноти виявлялися чіткіше зі зростанням дозування, а дубові й димні ноти ставали виразнішими у варіантах 4–5 г/л. Кислотність залишалася стабільною, гіркота та терпкість проявлялися інтенсивніше у разі більших доз, тоді як свіжість знижувалася через посилення теплих деревних нот.

Сенсорний аналіз показав, що вплив енологічної дубової деревини на Chardonnay після алкогольної ферментації загалом має м'який і контрольований характер, а інтенсивність змін залежить як від ступеня обпалення, так і від дозування. Необпалена та легка деревина вносять найделікатніші модифікації, добре зберігаючи фруктовість і свіжість. Середній та середній+ ступені обпалення формують більш структурований аромат з помірними пряними й ванільними нотами, зберігаючи баланс кислотності. Сильне обпалення найвиразніше впливає на профіль, посилюючи деревні й димні ноти та зменшуючи фруктовість у разі високих доз. Оптимальні сенсорні характеристики загалом відповідають середнім дозуванням (2–3 г/л), які забезпечують гармонійне поєднання аромату, структури та свіжості без надмірного впливу деревини.

Висновки. Результати дослідження підтверджують, що енологічна дубова деревина є ефективним інструментом удосконалення технології білих вин, оскільки забезпечує збагачення фенольного комплексу, стабільний перебіг алкогольної ферментації та формування більш розвиненого ароматичного профілю. Встановлено, що контакт вина з деревиною не лише не порушує хід ферментації, але і стимулює активність дріжджових клітин, сприяючи швидшому споживанню цукрів. Найвиразніше збагачення фенольної фази спостерігалось у варіантах із застосуванням необпаленої та легкого обпалення енологічної дубової деревини, тоді як середній ступінь обпалення забезпечив максимальні значення індексу Фоліна–Чокальтеу. Деревина сильного обпалення, навпаки, характеризувалася нижчою екстрактивністю поліфенолів, однак забезпечувала стабільні показники кислотності та мінімальні зміни у вмісті органічних кислот.

Ступінь обпалення деревини продемонстрував чіткий вплив на концентрації кавової, кафтарової та кумарової кислот. Інтенсивність забарвлення та його відтінок змінювалися переважно внаслідок самого факту контакту з деревиною, тоді як роль ступеня обпалення та дозування була менш вираженою.

Сенсорний аналіз показав, що застосування енологічної дубової деревини сприяє формуванню більш структурованого смакового профілю, посиленню прямих, ванільних, деревних і димних нот без порушення кислотної рівноваги. Найбільш гармонійні сенсорні характеристики відповідали середнім дозуванням – 3–4 г/л та ступеням L і M, які забезпечували м'яке збагачення аромату і смаку без втрати фруктовості та свіжості.

Оптимальними технологічними параметрами застосування енологічної дубової деревини під час алкогольної ферментації визначено легкий або середній ступінь обпалення у кількості 3–4 г/л та контакт протягом усього періоду ферментації (приблизно 14 діб). Загалом використання енологічної дубової деревини дозволяє досягти ефекту, подібного до баричної витримки, водночас забезпечуючи суттєво нижчі економічні витрати та високу технологічну гнучкість.

**Список використаних джерел**

1. Aleksovych V., Tkachenko O. Use of oak alternative products in vinification. *Food Science and Technology*, 18(1), 39–50. DOI: <https://doi.org/10.15673/fst.v18i1.2856>. Vol. 18, Issue 1. 2024. P. 39–50.
2. Assembly T. H. E. G. RESOLUTION OIV-OENO 675B-2022. SPECIFIC MONOGRAPHS FOR ELLAGITANNINS. Specific monograph for oenological tannins containing ellagitannins. Method for the determination of sub-class affiliations. Characterisation by high-performance liquid chromatography (HPLC). *Issue April*. 2001. P. 1–12.
3. Id O., Id O. Аналіз впливу дубової витримки на органолептичні показники моносортних вин з різних винних регіонів України. 2025. P. 198–215. ISBN 0009000774065.
4. Oiv-oeno R. International Organisation of Vine and Wine (OIV). (2022). Specific monographs for ellagitannins: OIV-OENO 675B-2022. In *Oenological tannins*. 2016. P. 1–11. URL: <https://www.oiv.int/node/2890/download/pdf>
5. Romano R., Manzo N., Rivas-gonzalo J. C. LWT – Food Science and Technology Effect of size and toasting degree of oak chips used for winemaking on the ellagitannin content and on the acutissimin formation. Vol. 60, 2015. P. 934–940. DOI: 10.1016/j.lwt.2014.10.046
6. Jackson R. S. *Wine Science: Principles and Applications* (3rd ed.). San Diego : Academic Press. 2008.
7. Vivas N. *Manuel de tonnellerie à l'usage des utilisateurs de futaille*. Bordeaux : Editions Féret. 2002.

Дата першого надходження статті до видання: 20.01.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 18.02.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 28.04.2026

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



O. Tkachenko, V. Aleksovych

Odesa National University of Technology

IMPROVEMENT OF WHITE WINE TECHNOLOGY USING ENOLOGICAL OAK WOOD DURING ALCOHOLIC FERMENTATION

Summary

The article presents the results of a study on the influence of enological oak wood of different toasting degrees and dosages on the formation of the chemical composition and sensory profile of Chardonnay white wine. The aim of the work was to determine the optimal technological parameters for the use of enological oak wood during alcoholic fermentation in order to improve the quality of white wines. The experiment was conducted using Chardonnay grapes and enological oak wood of five toasting levels, applied at dosages ranging from one to five grams per liter.

The results demonstrated that the addition of enological oak wood exerted a positive effect on the progression of alcoholic fermentation. Acidity indicators remained stable across all experimental variants. Significant modifications were recorded in the phenolic complex: the Folin–Ciocalteu index and the concentrations of total polyphenols, tannins, and ellagitannins increased depending on the toasting degree and dosage of the enological oak wood. Changes were also observed in the profile of organic acids, particularly caffeic, caftaric, and p-coumaric acids. Contact with enological oak wood contributed to moderate shifts in color intensity and hue. Sensory analysis confirmed that the use of enological oak wood affects the aromatic and taste profile of white wine, enhancing fruit, vanilla, spicy, smoky, and woody notes, with the toasting degree and dosage determining the intensity of these modifications.

The practical significance of the study lies in identifying the optimal technological parameters for the application of enological oak wood during alcoholic fermentation of white wine. This approach enables targeted regulation of the phenolic complex, modification of organic acid composition, adjustment of color intensity and hue, and controlled shaping of the sensory profile in accordance with the toasting degree and dosage of the oak wood. As a result, the technology improves the structural and aromatic complexity of white wine during alcoholic fermentation without a substantial increase in production costs.

Keywords: enological oak wood, oak chips, alcoholic fermentation, white wines, phenolic complex, polyphenols, tannins, ellagitannins, organic acids, color intensity, sensory analysis, toasting level.