

ХІМІЯ АРОМАТІВ ВИНА

Ляховська Н.О.,

Уманський національний університет садівництва, викладач, Україна

Задорожна О.М.,

Уманського державного педагогічного університету імені Павла Тичини,
доцент Україна

Благополучна А.Г.

Уманського державного педагогічного університету імені Павла Тичини,
викладач-стажист Україна

CHEMISTRY OF WINE AROMAS

Liakhovska N.,

Uman National University of Horticulture., Lecturer of the Department of Biology
Ukraine

Zadorozhna O.,

Pavlo Tychyna Uman State Pedagogical University; Associate Professor of the
Department of Chemistry, Ecology and Methods of Their Education Ukraine

Blahopoluchna A.

Pavlo Tychyna Uman State Pedagogical University; Lecturer-trainee of the
Department of Technologies and Organization of Tourism and Hotel and Restaurant
Business Ukraine

DOI: 10.5281/zenodo.7560286

АНОТАЦІЯ

Сприйняття смаку й аромату вина є результатом безлічі взаємодій між великою кількістю хімічних сполук і сенсорних рецепторів. Сполуки взаємодіють, поєднуються та виявляють синергетичну та антагоністичну взаємодії. Хімічний профіль вина визначається на основі винограду, мікрофлори бродіння (зокрема, дріжджів *Saccharomyces cerevisiae*), вторинного мікробного бродіння, а також умов витримки та зберігання. Склад винограду залежить від сортового та клонового генотипу виноградної лози, а також від взаємодії генотипу та його фенотипу з багатьма факторами навколишнього середовища, які, у термінах вина, зазвичай групуються під поняттям «терруар» (макро-, мезо- та мікроклімат, ґрунт), топографія). Мікрофлора і дріжджі, відповідальні за бродіння, сприяють аромату вина за допомогою кількох механізмів: по-перше, використовуючи складові виноградного соку та

біотрансформуючи їх у компоненти, що впливають на аромат чи смак, по-друге, виробляючи ферменти, які перетворюють нейтральні сполуки винограду на ароматичні, і нарешті, шляхом синтезу *de novo* багатьох первинних (наприклад, етанол, гліцерин, оцтова кислота та ацетальдегід) і вторинних метаболітів (наприклад, складних ефірів, вищих спиртів, жирних кислот). Ця стаття має на меті представити огляд формування аромату вина та його смаку, включаючи сортові молекули-попередники, присутні у винограді, та хімічні сполуки, що утворюються під час спиртового бродіння дріжджами, включаючи сполуки, безпосередньо пов'язані з виробництвом етанолу або вторинних метаболітів.

ABSTRACT

The perception of the taste and aroma of wine is the result of many interactions between a large number of chemical compounds and sensory receptors. Compounds interact, combine and exhibit synergistic and antagonistic interactions. The chemical profile of wine is determined on the basis of grapes, fermentation microflora (in particular, *Saccharomyces cerevisiae* yeast), secondary microbial fermentation, as well as aging and storage conditions. The composition of grapes depends on the varietal and clonal genotype of the vine, as well as on the interaction of the genotype and its phenotype with many environmental factors, which, in wine terms, are usually grouped Sciences of Europe # 109, (2023) 15 under the concept of "terroir" (macro-, meso- and microclimate, soil), topography). The microflora and yeasts responsible for fermentation contribute to the aroma of wine through several mechanisms: first, by using the components of the grape juice and biotransforming them into components that affect the aroma or taste, and second, by producing enzymes that convert neutral compounds of the grape into aromatic, and finally, by *de novo* synthesis of many primary (e.g., ethanol, glycerol, acetic acid, and acetaldehyde) and secondary metabolites (e.g., esters, higher alcohols, fatty acids). This article aims to present an overview of wine aroma and flavor formation, including varietal precursor molecules present in grapes and chemical compounds produced during alcoholic fermentation by yeasts, including compounds directly related to the production of ethanol or secondary metabolites.

Ключові слова: аромат, вино, хімія ароматів, ароматичні сполуки.

Keywords: aroma, wine, aroma chemistry, aromatic compounds.

Постановка проблеми. Остаточна сенсорна якість вина є результатом безлічі взаємодій між усіма хімічними компонентами вина та певними факторами навколишнього середовища, такими як температура вина. Хімічний склад вина залежить від сорту і якості винограду. Виноградарська практика спрямована в першу чергу на виробництво якісного винограду, який би

відображав сортові смаки та аромати типові для певного регіону. Це передбачає збір винограду на певних стадіях зрілості залежно від сорту вина, яке буде виготовлено [1]. Після збору врожаю конкретні технології обробки та стратегії бродіння, які реалізуються, надалі визначатимуть розвиток аромату та смаку вина. Крім деяких попередніх ферментативних обробок, таких як мацерація, склад мікрофлори, присутньої у виноградному суслі, і, зокрема, штами винних дріжджів, і селективне застосування яблучно-молочного бродіння мають важливе значення [2]. Кінцевий профіль аромату та смаку також сильно залежить від усіх аспектів обробки після ферментації, таких як стадії фільтрації та дозрівання, включаючи витримку в дерев'яних бочках. Після завершення виготовлення продукту для оцінки вина потрібні різні органи чуття: по-перше, щоб спостерігати за кольором і зовнішнім виглядом, по-друге, щоб оцінити винний букет, по-третє, щоб спробувати саме вино, і по-четверте, щоб насолодитися відчуттям у роті та післясмаком [3]. Чуттєве сприйняття вина дуже складне. Вино містить дуже велику кількість смакових і ароматичних речовин. Терпени, складні ефіри, метоксипіразини та альдегіди надають вину виразних ароматів і смаків, таких як квітковий, фруктовий, перцевий і деревний. Смак вина можна описати як солодкий, кислий, солоний і гіркий, і загалом ці властивості є результатом присутності цукру, поліолів, солі, поліфенолів і флавоноїдних сполук [4]. Такі сполуки, як гліцерин, полісахариди та маннотріози, сприяють в'язкості та смаку вина, антоціани — кольору, а етанол — ефекту зігрівання. Унікальна та нелінійна взаємодія між цими численними хімічними сполуками визначає остаточний аромат, смак, аромат і сприйняття вина. Крім того, виділення та сприйняття аромату сильно залежить від фізичних та екологічних аспектів, таких як температура вина або навіть форма винного келиха, що може значно змінити сприйняття аромату та смаку. Тому дегустація та сприйняття вина є переважно суб'єктивним досвідом, і прості фактори, такі як відсутність або наявність слини, значною мірою впливають на виділення ароматичних сполук як з червоних, так і з білих вин. З наукової точки зору сенсорне сприйняття необхідно аналізувати шляхом виділення конкретних факторів впливу. Під час початкового аналізу суміші запахів оцінка зазвичай зосереджується на тому, які запахи справляють найбільший вплив, і залежатиме від порогу сприйняття кожного запаху та його концентрації [5].

Аналіз наукових досліджень і публікацій.

Загальний склад більшості сортів винограду дуже схожий, між більшістю сортів є чіткі та не чіткі відмінності в ароматі і смаку. Ці відмінності в основному можна пояснити відносно незначними варіаціями у співвідношенні сполук, які складають профіль аромату винограду. Лише деякі ароматичні

сполуки були безпосередньо пов'язані з конкретними сортовими смаками та ароматами. Більшість із цих сполук присутні в низьких концентраціях як у винограді, так і у ферментованому вині, зазвичай вони мають великий OAV і, таким чином, можуть мати величезний вплив на загальний профіль аромату [6].

Сортовий аромат вина з мускатного винограду зумовлений в основному наявністю у винограді різноманітних ізопреноїдних монотерпенів, серед яких найважливішими є ліналоол, гераніол, нерол та цитронелол. Ці сполуки утворюються з попередника мевалонату, метаболіту, отриманого з ацетилКоА. Монотерпени можна знайти у вільних глікозидно зв'язаних формах без запаху в ягодах винограду. Співвідношення вільних і зв'язаних форм змінюється в процесі дозрівання ягід, причому в зрілих ягодах більше зв'язаних форм, ніж вільних форм цих сполук [7].

Під час бродіння дріжджі можуть вивільняти глюкозидази, і ці ферменти можуть гідролізувати глікозидні зв'язки зв'язаних форм монотерпенів без запаху, вивільняючи у вино більше сполук, що сприяють запаху. Деякі дослідження показують, що дріжджі можуть синтезувати деякі монотерпени за відсутності попередників, отриманих із винограду. Крім того, було визначено, що штам дріжджів має важливий вплив на рівні більшості сортових ароматичних сполук, впливаючи на всі родини, утворені з молекул-попередників, включаючи C13- норізопреноїди та монотерпени [8].

Інший набір сортових ароматичних сполук, що вивільняються із зв'язаних прекурсорів без запаху, — це леткі тіоли, які надають винам Совіньон блан характерний букет, тобто 4-метил-4-меркаптопентан-2-он і 3-меркапто-1-гексанол. Ці сполуки не 16 Sciences of Europe # 109, (2023) присутні у виноградному соку в активній формі, але зустрічаються у виноградному суслі у вигляді нелетких кон'югатів, пов'язаних із цистеїном, без запаху.

Важливо зазначити, що деякі сортові аромати виникають абсолютно незалежно один від одного. Вважається, що «зеленими» ознаками у винах Совіньон блан, які надають 3-ізобутил-2-метоксипіразини, можна маніпулювати за допомогою управління виноградниками. Проте «тропічний фруктовий» характер, наданий 4-метил-4-меркаптопентан-2-оном і 3-меркапто-1-гексанолом, здається, значною мірою залежить від штаму винних дріжджів, який використовується під час бродіння, і його здатності розщеплювати цистеїновані попередники з ферментом вуглець-сірчаною ліазою [9].

Каротиноїди також відіграють роль у сортовому ароматі. Ці ізопреноїдні тетратерпени походять із сполуки-попередника мевалонату, де конденсовано п'ять вуглецевих одиниць. Окислення цих каротиноїдів виробляє леткі та сильні фрагменти, що створюють сильний запах, відомі як C13-

норизопреноїди, включаючи β -іонон (аромат альта), β -дамасценон (екзотичні фрукти), β -дамаскон (троянда) та β -іонол (фрукти та квіти). [66]. Інша сполука, нещодавно виявлена, що надає вину Шираз виразний сортовий аромат перцю – це сесквітерпен ротундон. Дослідники ідентифікували невідому перцеву сполуку в білому та чорному перці та виявили, що та сама сполука відповідальна за пов'язаний аромат і смак винограду та вина Шираз. Це спростувало попередню гіпотезу про те, що цей сортовий аромат перцю був наслідком складної взаємодії багатьох запахів або піперину та споріднених алкалоїдів, які надають «тепло» у роті [10]. Однак багато ароматичних і смакових сполук, знайдених у готовому вині, походять не з винограду, а скоріше із сполук, які утворюються під час первинного (основного) або вторинного метаболізму винних дріжджів під час спиртового бродіння.

За даними Фліта [11], дріжджі впливають на аромат вина за допомогою таких механізмів: (1) біоконтроль плісняви дріжджами до збору врожаю — головним чином дріжджовими дріжджами, які конкурують за поживні речовини, (2) спиртове бродіння виноградного соку у вино, (3) біосинтез смакових і ароматичних сполук *de novo* під час алкогольного бродіння, (4) метаболізм нейтральних до смаку сполук винограду в активні ароматичні та смакові сполуки, (5) вплив на вино після ферментації через автоліз, і (6) вплив росту яблучно-молочних бактерій і бактерій псування. З них біосинтез смакових і ароматичних компонентів *de novo* є, ймовірно, найважливішим, оскільки, загалом, леткі речовини, отримані в процесі бродіння, складають найбільший відсоток загальної ароматичної композиції вина з точки зору чисельності, якщо не завжди з точки зору OAV. Утворення цих сполук є змінним і специфічним для штаму дріжджів.

Ароматний букет вина - це складна взаємодія між численними леткими хімічними сполуками, які взаємодіють один з одним різними способами, щоб досягти кінцевої палітри аромату та смаку. У кількісному відношенні в найбільшій концентрації знаходяться метаболіти, які є прямими продуктами і побічними продуктами гліколізу. Ці сполуки включають етанол, гліцерин і оцтову кислоту. Хоча зазвичай мають низькі OAV, їх висока концентрація робить їх важливими впливовими сполуками. Дослідження показали, що зниження концентрації етанолу в модельному зразку вина з 10 до 9% не вплинуло на смак або аромат. При подальшому зниженні концентрації етанолу до 7% спостерігалось помітне збільшення інтенсивності фруктових, квіткових і кислих смаків і ароматів. Однак, коли концентрацію етанолу знизили до 3%, модельне вино вже не нагадувало вино [12].

Мета роботи полягає у дослідженні формування аромату вина та його смакових особливостей.

Методика дослідження. У статті ми використовуємо такі методи дослідження: дедукція, індукція, аналіз, синтез, пояснення.

Виклад основних результатів досліджень. Кліматичні зміни в усьому світі впливають на склад лози та винограду та, зрештою, на вина, які виробляються. Одним із найважливіших ефектів, які спостерігаються у багатьох сучасних винах, є підвищення концентрації етанолу через підвищення концентрації виноградного цукру. Ці високі концентрації цукру не тільки збільшують осмотичний стрес, який дріжджі повинні переносити на початкових стадіях бродіння, але й наступні рівні етанолу, а також побічних продуктів, гліцерину та оцтової кислоти. Такі високі рівні етанолу не тільки негативно впливають на сприйняття смаку та аромату, а й змінюють сприйняття вина з фруктового на трав'янисте, також можуть збільшити відчутну терпкість танінів і гіркоту [13].

Гліцерин є найпоширенішим рідким продуктом бродіння після етанолу, і історично вважалося, що ця сполука є основним фактором загального смаку вина. Вважалося, що вищі концентрації гліцерину посилюють бажану складність вина. Зазвичай сухі вина містять близько 5 г/л гліцерину. Однак мало уваги приділено взаємодії гліцерину та різних смакових сполук і ролі, яку гліцерин відіграє у формуванні профілю аромату. Більш ранні дослідження з органолептичним аналізом показали, що сприйнятий загальний профіль смаку модельного вина та білого вина не змінився додаванням гліцерину, що вказує на те, що гліцерин не відіграє ролі у створенні ароматичного букету вина. Однак останні дані свідчать про те, що в той час як не існує статистичного зв'язку між концентрацією гліцерину та якістю червоного вина, зв'язок між концентрацією гліцерину та сприйманою якістю всіх видів білого вина є статистично значущим [13].

Ацетальдегід також є важливою ароматичною сполукою, яка утворюється з пірувату під час вініфікації та становить понад 90% від загального вмісту альдегідів у вині. Ацетальдегід також є попередником метаболіту для синтезу ацетату, аце- Sciences of Europe # 109, (2023) 17 тоїну та етанолу. Було виявлено, що рівень ацетальдегіду досягає максимуму, коли швидкість бродіння є найшвидшою, потім знижується до кінця бродіння, щоб потім знову повільно підвищуватися. При низьких концентраціях ця сполука надає вину та іншим напоям приємний фруктовий аромат, але при вищих концентраціях це перетворюється на різкий подразливий запах, що нагадує зелену траву або яблука [14]. Ацетальдегід також надзвичайно реакційноздатний і легко зв'язується з білками або окремими амінокислотами, утворюючи широкий спектр смакових і запахових сполук.

Важливим одорантом, який утворюється з ацетальдегіду, є діацетил. Діацетил в основному утворюється молочнокислими бактеріями під час яблучно-молочного бродіння, але дріжджі також здатні синтезувати цю сполуку під час спиртового бродіння. Однак більша частина діацетилю далі метаболізується до ацетоїну та 2,3-бутандіолу. Діацетил у низьких концентраціях (порогове значення 8 мг/л) додає вину дріжджовий, горіховий, підсмажений аромати, але у високих концентраціях він має характерний маслянистий аромат, який асоціюється з молочним характером. Знову ж таки, ця сполука має високу реакційну здатність і, як було виявлено, реагує з цистеїном, утворюючи сполуки сірки, які можуть впливати на аромат вина [15]. Ні ацетоїн, ні 2,3-бутандіол не мають сильного запаху, їх порогові значення у вині становлять близько 150 мг/л. Однак багато важливих ароматичних сполук не пов'язані безпосередньо з центральним шляхом метаболізму вуглецю. Ці так звані вторинні метаболіти можуть синтезуватися під час метаболізму амінокислот або жирних кислот. Виробництво найважливіших сполук і їх вплив на аромат вина описані нижче.

Під час спиртового бродіння дріжджі можуть використовувати амінокислоти кількома способами, зокрема для синтезу білка або для інших метаболічних процесів. Всесвітні дослідження показали, що більшість виноградного суслу містить недостатню кількість дріжджових поживних речовин, особливо засвоюваного азоту. Такі недоліки вважаються одними з основних причин млявих і застряглих бродінь, і додавання азоту до виноградного суслу стало звичайною практикою.

Азотний склад виноградного суслу впливає не лише на кінетику спиртового бродіння, а й на утворення ароматичних сполук, етанолу та гліцерину [16]. Було навіть показано, що характер сортового аромату деяких сортів можна частково пояснити амінокислотним складом виноградного суслу. Двома основними джерелами азоту, що засвоюється дріжджами, є первинні амінокислоти та амоній.

Найважливішими смаковими та ароматичними сполуками, утвореними з амінокислот, є вищі спирти та пов'язані з ними складні ефіри та леткі кислоти. Процес, за допомогою якого амінокислоти катаболізуються у вищі спирти, називається реакцією Ерліха. Реакція Ерліха також прямо чи опосередковано впливає на синтез ароматичних сполук. На додаток до трьох неполярних амінокислот з розгалуженим ланцюгом (валіну, лейцину та ізолейцину), інші амінокислоти також можуть розщеплюватися до інших метаболітів.

Леткі ефіри складають один із найважливіших класів ароматичних сполук і значною мірою відповідають за фруктові аромати, пов'язані з вином та іншими

ферментованими напоями. Безферментне утворення складних ефірів є рівноважною реакцією між спиртом і кислотою. Однак цей спосіб утворення складних ефірів, очевидно, відбувається надто повільно, щоб пояснити велику кількість складних ефірів, які зазвичай містяться у вині. Таким чином, ферментативне утворення складних ефірів було визначено як початкова активація кислоти шляхом поєднання її з коферментом А (КоА) перед реакцією зі спиртом з утворенням складного ефіру [17]. Донором коферменту може бути або ацетил-КоА (утворений з пірувату), або будь-яка з ряду сполук ацил-КоА, утворених ферментом ацилКоА-синтетазою. Таким чином, жирні кислоти або етилові ефіри (такі як етилбутаноат, етилгексаноат, етилоктаноат) утворюються в результаті етанолізу ацил-КоА, який є проміжним метаболітом метаболізму жирних кислот. У цій групі складних ефірів група етанолу походить від етанолу, а група кислоти – від жирної кислоти із середнім ланцюгом. Інша група складних ефірів, ацетатних ефірів (таких як ізоамілацетат, пропілацетат, гексилацетат, фенетилацетат), є результатом реакції ацетил-КоА зі спиртами, які утворюються в результаті розкладання амінокислот, вуглеводів і ліпідів. Синтез складних ефірів був широко вивчений у *S. cerevisiae* під час бродіння вина, і було визначено, що різні ферменти відіграють роль у їх утворенні. Утворення ацетатних ефірів каталізується алкогольними ацетилтрансферазами (Atf1p і Atf2p), ізоаміловим спиртом ацетилтрансферазою та етанолацетилтрансферазою, тоді як утворення етилових ефірів приписують двом ацил-КоА:етанол-О-ацилтрансферазам, ферменти (Eeb1p і Eht1p). Утворення складних ефірів шляхом окислення напівацетальних сполук (утворених із суміші спирту та альдегідів) алкогольдегідрогеназами та реакція кетону з молекулярним киснем, що каталізується монооксигеназою Байєра-Віллігера, не є важливими для бродіння вина. Однак утворення складних ефірів значно відрізняється між штамами дріжджів, а інші зовнішні фактори, такі як температура бродіння, доступність поживних речовин, рН, рівні ненасичених жирних кислот/стеролів і рівні кисню, відіграють важливу роль у визначенні кінцевих рівнів складних ефірів у вині [18].

Леткі жирні кислоти також сприяють смаку та аромату вина. Під час бродіння дріжджів багато середньо- та довголанцюгових жирних кислот також утворюються через шлях синтезу жирних кислот з ацетил-КоА. Вважається, що середньоланцюгові жирні кислоти є токсичними для дріжджових клітин і уповільнюють бродіння, але дослідження застряглих і повільних бродінь показали, що високий рівень цих середньоланцюгових жирних кислот у цих типах бродіння є симптомом, а не причиною. 18 Sciences of Europe # 109, (2023) Під час бродіння вина *S. cerevisiae* не єдиний мікроорганізм, який може сприяти аромату та смаку вина. Мимовільне бродіння залучає багато видів, відмінних від *Saccharomyces*, і деякі з них можуть надати вину нові аромати завдяки

виробленню ферментів, які або відсутні в *S. cerevisiae*, або виробляються в дуже низьких кількостях [19].

Деякі з найбільш важливих видів, що не належать до *Saccharomyces*, які беруть участь у бродінні вина, включають види з таких родів: *Candida*, *Kloeckera*, *Hanseniaspora*, *Zygosaccharomyces*, *Schizosaccharomyces*, *Torulasporea*, *Brettanomyces*, *Saccharomycodes*, *Pichia* та *Williopsis*. Дослідження показали, що невеликі ферментації, проведені з окремими штамми *Kloeckera apiculata*, *Candida stellata*, *Candida pulcherrima* та *Candida colliculosa*, не змогли завершити ферментацію. Залишився високий рівень залишкового цукру, і ці вина суттєво відрізнялися від тих, які були вироблені промисловим штамом винних дріжджів [20]. Ці дріжджі, відмінні від *Saccharomyces*, також можуть виробляти сполуки, які негативно впливають на аромат і смак вина. Тетрагідропіридини та 4-етилфенол можуть бути утворені *Brettanomyces* spp. і надають вину неприємні «лікарські» аромати.

Проте в даний час існує тенденція до використання так званих змішаних заквасок, що містять одну або більше дріжджів, не відносяться до *Saccharomyces*, а також усталені промислові винні дріжджі *S. cerevisiae*. Таке комбіноване використання різних видів не тільки призводить до утворення нових ароматичних і смакових сполук, але дріжджі можуть синергетично діяти один на одного, додаючи ще один рівень складності.

Після алкогольного бродіння деякі вина можуть піддаватися вторинному бродінню, відомому як яблучно-молочне бродіння (ЯМБ). Цей біологічний процес особливо бажаний для вина з високим вмістом кислоти, виробленого в регіонах з прохолодним кліматом, оскільки MLF передбачає знекислення вина шляхом перетворення дикарбонової L-яблучної кислоти в монокарбонову L-молочну кислоту та вуглекислий газ. Цей процес зазвичай здійснюється молочнокислими бактеріями, виділеними з вина, включаючи *Oenococcus oeni*, *Lactobacillus* spp., *Leuconostoc* spp. і *Pediococcus* spp. ЯМБ також важливе для деяких вин з теплих регіонів, оскільки воно змінює склад вина та покращує його органолептичну якість. Крім того, було виявлено, що бактеріальна активність відіграє роль у стабілізації вина та забезпечує збагачення його ароматичної комбінації.

Під час ЯМБ молочнокислі бактерії можуть впливати на аромат і смак вина, виробляючи леткі метаболіти та модифікуючи ароматичні сполуки, отримані з винограду та дріжджів. Подібно до ролі, яку дріжджі відіграють у формуванні аромату, вплив цих бактерій є специфічним для штаму та може сильно відрізнятися. Загалом було виявлено, що ЯМБ може посилити фруктовий аромат і маслянисту ноту, але при цьому зменшити рослинний,

зелений/трав'янистий аромат вина. Крім того, характеристики смаку, приписувані винам, які проходять ЯМБ, включають квіткові, горіхові, дріжджові, дубові, гострі, смажені, підсмажені, ванільні, димні, земляні, гіркі, та медові [21].

Як описано вище, аромат і смак вина утворюються через надзвичайно складну взаємодію різних класів ароматичних сполук і різних екологічних і біологічних факторів. Однак вино також є динамічним продуктом, який проходить період витримки або дозрівання, будь то в пляшці або в дубових бочках. Як правило, старіння вин призводить до втрати характерних ароматів, пов'язаних із сортом винограду та бродінням, і до утворення нових ароматів, характерних для старих вин, або нетипових ароматів, пов'язаних із псуванням вина. Зокрема, концентрації етилових ефірів жирних кислот з розгалуженим ланцюгом змінюються під час витримки, також було виявлено, що витримка вина на осадах (переважно залишкових дріжджових клітинах) знижує концентрацію летких сполук, що надають фруктовий аромат і збільшують довголанцюговий аромат [22].

Висновки

З наведеного вище матеріалу зрозуміло, що смак і аромат вина є складною взаємодією хімічних сполук і що відмінності між винами можуть бути результатом певних сортових ознак, присутніх у винограді, таких як сполуки запаху або попередники, які виділяються під час процесу бродіння. Всього близько 1000 хімічних сполук складають ароматичний і смаковий профіль вина. Деякі дослідники припустили, що ці профілі можна розглядати як сліди або «аромаграми» і в майбутньому використовувати для ідентифікації та контролю якості. Ці аромати не тільки складаються з різних хімічних класів сполук (спирти, складні ефіри, альдегіди, кетони, кислоти, сірковмісні та азотовмісні сполуки), але ці сполуки мають дуже широкий діапазон концентрацій у вині, коливаючись від грамів до нанограм на літр. Під час процесу бродіння винороб має лише відносно обмежений набір інструментів, доступних для посилення виробництва сприятливих ароматичних і смакових сполук. Багато що залежить від якості винограду, а також від потенціалу бродіння - у даному випадку вимірюється як потенціал для виробництва сенсорного комплексного вина - використаних дріжджів.

Література

1. Styger, G., Prior, B., & Bauer, F. F. (2011). Wine flavor and aroma. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 38(9), 1145.
2. Polášková, P., Herszage, J., & Ebeler, S. E. (2008). Wine flavor: chemistry in a glass. *Chemical Society Reviews*, 37(11), 2478-2489.

3. Ribéreau-Gayon, P., Glories, Y., Maujean, A., & Dubourdiou, D. (2021). Handbook of Enology, volume 2: The chemistry of wine stabilization and treatments. John Wiley & Sons.

4. Горюшкіна, Т. Б., & Дзядевич, С. В. (2008). Виноградні вина. Хімічний склад та методи визначення. *Biotechnology*, (1, № 2), 24-38. *Sciences of Europe* # 109, (2023) 19

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

6. Moreno-Arribas, M. V., & Polo, M. C. (Eds.). (2009). Wine chemistry and biochemistry (Vol. 735). New York, NY, USA:: Springer.

7. Tufariello, M., Fragasso, M., Pico, J., Panighel, A., Castellarin, S. D., Flamini, R., & Grieco, F. (2021). Influence of non-Saccharomyces on wine chemistry: A focus on aroma-related compounds. *Molecules*, 26(3), 644.

8. Ebeler, S. E., & Thorngate, J. H. (2009). Wine chemistry and flavor: looking into the crystal glass. *Journal of agricultural and food chemistry*, 57(18), 8098-8108.

9. Kilmartin, P. A. (2009). The oxidation of red and white wines and its impact on wine aroma. *Chemistry in New Zealand*, 73(2), 79-83.

10. Zhu, F., Du, B., & Li, J. (2016). Aroma compounds in wine. *Grape and wine biotechnology*, 273- 283.

11. Bakker, J., & Clarke, R. J. (2011). Wine: flavour chemistry. John Wiley & Sons.

12. Reynolds, A. G. (Ed.). (2010). Managing wine quality: viticulture and wine quality. Elsevier.

13. Cosme, F., Nunes, F. M., & Filipe-Ribeiro, L. (Eds.). (2021). Chemistry and Biochemistry of Winemaking, Wine Stabilization and Aging. BoD—Books on Demand.

14. Margalit, Y. (2012). Concepts in wine chemistry. Board and Bench Publishing.

15. Токар, А. Ю., Каричковський, В. Д., & Орел, О. В. (2012). Формування ароматотвірного комплексу некріплених виноматеріалів з плодів чорної смородини. Наукові праці [Одеської національної академії харчових технологій], (42 (2)), 39-45.

16. Pittari, E., Piombino, P., Andriot, I., Cheynier, V., Cordelle, S., Feron, G., ... & Canon, F. (2022). Effects of oenological tannins on aroma release and perception of oxidized and non-oxidized red wine: A dynamic real-time in-vivo study coupling sensory evaluation and analytical chemistry. *Food Chemistry*, 372, 131229.

17. Alabi, O. J., Casassa, L. F., Gutha, L. R., Larsen, R. C., Henick-Kling, T., Harbertson, J. F., & Naidu, R. A. (2016). Impacts of grapevine leafroll disease on

fruit yield and grape and wine chemistry in a wine grape (*Vitis vinifera* L.) cultivar. PLoS One, 11(2), e0149666.

18. Francis, I. L., & Newton, J. L. (2005). Determining wine aroma from compositional data. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 11(2), 114- 126.

19. Herderich, M. J., Siebert, T. E., Parker, M., Hayasaka, Y., Curtin, C., & Mercurio, M. (2012). Metabolomics and the quest for understanding quality in flavor chemistry and wine research. In *Recent Advances in the Analysis of Food and Flavors* (pp. 1-11). American Chemical Society.

20. Ткаченко, О. Б., & Тринкаль, О. В. (2015). Химия ароматов вина. *Харчова наука та технологія*, 9(1).

21. Нагурна, Н. А., Осипенкова, І. І., & Чепурна, О. Л. (2019). ФОРМУВАННЯ ОРГАНОЛЕПТИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ВИНА. *Редакційна колегія*, 174.

22. Aznar, M., López, R., Cacho, J., & Ferreira, V. (2003). Prediction of aged red wine aroma properties from aroma chemical composition. Partial least squares regression models. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(9), 2700-2707