

METHODS OF REDUCING AND REMOVING ALCOHOL FROM GRAPE WINES

O. Uspalenko^{1,2}, M. Bilko¹, V. Kucherenko^{1,2}

¹National University of Food Technologies

²LLC "RPC "Ukrainian Wine Institute"

Key words:

Dealcoholization
Sensory properties
Vacuum distillation
Membrane separation
Thermal treatment

Article history:

Received 03.07.2024

Received in revised form
19.07.2024

Accepted 13.08.2024

Corresponding author:

O. Uspalenko

E-mail:

ukrvinprom_kyiv@ukr.net

Citation: Успаленко О. В.,
Білько М. В., Кучеренко
В. М. (2024). Методи
зниження та видалення
алкоголю із виноградних
вин. *Наукові праці НУХТ*,
30(4), 154—175.
DOI: 10.24263/2225-2924-
2024-30-4-14

ABSTRACT

World wine consumption has undergone significant changes after several years of Covid-19, which was the beginning of the global crisis of the current century. This caused some people to stop drinking alcohol. Propaganda campaigns aimed at reducing alcohol consumption for social and personal reasons also have a great impact, but at the same time, there is an increase in demand for non-alcoholic wines with an ethanol content of less than 0.5% vol.

Various methods of dealcoholization and their impact on wine quality in the context of the growing interest in non-alcoholic wines and the need to reduce the alcohol content of wines are shown in the article. Specifically, it is noted that popular physical methods of dealcoholization, such as membrane separation and thermal distillation, enable the reduction of alcohol content in wines and are widely used for commercial purposes. However, these methods can lead to changes in color and loss of aromatic compounds, which affects the sensory quality of the wine as a whole.

Particular attention is given to two key drawbacks of wine dealcoholization: legal restrictions and technical problems. Firstly, laws in different countries may define the maximum allowable amount of alcohol in non-alcoholic beverages, limiting the options available to winemakers. Regarding the second factor, technical difficulties lie in the challenge of preserving the sensory characteristics of the wine after dealcoholization.

An overview of popular methods of wine dealcoholization, their impact on sensory properties, and highlights modern methods of harmonizing the taste and aroma of dealcoholized wine is provided in the article. The presented information will be useful for winemakers and scientists in choosing optimal dealcoholization techniques that meet the needs of various categories of consumers, including youth, pregnant women, drivers, and those who do not consume alcohol.

МЕТОДИ ЗНИЖЕННЯ ТА ВИДАЛЕННЯ АЛКОГОЛЮ З ВИНОГРАДНИХ ВИН

О. В. Успенко^{1,2}, М. В. Білько¹, В. М. Кучеренко^{1,2}

¹Національний університет харчових технологій

²ТОВ «НВЦ «Український інститут вина»

Світове споживання вина зазнало значних змін після декількох років Covid-19, що стало початком глобальної кризи поточного століття. Деякі люди навіть почали відмовлятися від вживання алкогольної продукції. Також великий вплив мають пропагандистські кампанії, спрямовані на зменшення споживання алкоголю із соціальних та особистих мотивів, але в той же час спостерігається збільшення попиту на безалкогольні вина з вмістом етанолу менше 0,5% об.

У статті розглянуті різні методи деалкоголізації та їх вплив на якість вина в аспекті зростаючого інтересу до безалкогольних вин і потреби в зниженні спиртуозності вин. Зокрема, зазначається, що популярні фізичні методи деалкоголізації, такі як мембранне розділення і термічна дистиляція, уможливають зниження вмісту алкоголю у винах та широко використовуються з комерційною метою. Проте ці методи можуть призвести до зміни кольору та втрати ароматичних сполук, що впливає на сенсорну якість вина в цілому.

Особлива увага приділяється двом ключовим недолікам деалкоголізації вина: законним обмеженням і технічним проблемам. По-перше, закони в різних країнах можуть визначати максимально допустиму кількість алкоголю в безалкогольних напоях, що обмежує можливості виноробів. Щодо другого фактора, то технічні складнощі полягають у важкості збереження органолептичних характеристик вина після деалкоголізації.

Проведено огляд популярних методів деалкоголізації вина, визначено особливості їхнього впливу на сенсорні властивості, а також описано сучасні методи гармонізації смаку й аромату деалкоголізованого вина. Представлена інформація буде корисною для виноробів і науковців при виборі оптимальних технік деалкоголізації, що задовольняють потреби різних категорій споживачів, включаючи молодь, вагітних жінок, водіїв і тих, хто не вживає алкоголь.

Ключові слова: безалкогольне вино, деалкоголізація, сенсорні властивості, вакуумна дистиляція, мембранне розділення, термічна обробка.

Постановка проблеми. Напої з низьким вмістом алкоголю стають усе більш популярними серед споживачів, що пов'язано зі зростанням інтересу до здорового способу життя та безпечності продукту. Незважаючи на широкий асортимент і популярність безалкогольних напоїв у Європі та США, український ринок таких напоїв лише починає розвиватися. З огляду на зростання попиту виробники почали більше уваги приділяти експериментам із застосуванням технологічних прийомів для деалкоголізації вин.

Виробництво безалкогольних винних напоїв вимагає використання спеціальних технологій та обладнання, що відрізняються від тих, які використовуються в

традиційному виробництві винопродукції. Розробка продукту, який задовольнятиме смакові уподобання споживачів і водночас буде економічно доцільним, може бути складним завданням.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вино — це продукт ферментації виноградного сусла або м'язги, який має складну класифікацію і залежить від кольору, тиску, насиченості вуглекислим газом, вмісту цукрів, витримки тощо. Зважаючи на вміст алкоголю, вина також можна класифікувати як безалкогольні (менше 0,5% об.), слабоалкогольні (0,5...1,2% об.), зі зниженим вмістом алкоголю (1,2...6,5% об.), з низьким вмістом алкоголю (5,5...8,5% об.) та алкогольні вина (9,0...14,0% об.). Вина також класифікуються за вмістом цукру: сухі (не більше 3,0 г/дм³), напівсухі (5,0...25,0 г/дм³), напівсолодкі (30,0...80,0 г/дм³) та десертні солодкі (120...200 г/дм³). Однак ці класифікації не є чіткими і можуть відрізнятися залежно від країн-виробників вина та чинного законодавства. У Великій Британії, наприклад, вина з вмістом алкоголю 1,2% об. класифікуються як слабоалкогольні вина, тоді як вина з вмістом алкоголю менше 0,5% об. називаються безалкогольними винами. На противагу цьому, Китай класифікує слабоалкогольні вина як вина міцністю від 1,0...7,0% об., а безалкогольні вина — як вина міцністю в діапазоні 0,5...1,0% об.

У деяких дослідженнях доведено, що споживання вина має позитивний вплив на неврологічні захворювання, серцево-судинні захворювання, остеопороз, діабет і довголіття. При нормованому вживанні разом з їжею вино відіграє життєво важливу роль у пом'якшенні окислювального стресу та пошкодження ендотелію (внутрішній шар) судин, спричиненого їжею з високим вмістом жиру. Так, наприклад, споживання червоного вина може допомогти запобігти захворювань пов'язаних із серцем та діабетом другого типу, збільшити тривалість життя (Boban та ін., 2016). Китайські науковці дослідили, що вживання не більше двох бокалів вина знижують рівень смертності серед чоловіків на 19%. Крім того, дослідження австралійських вчених виявили помірне споживання вина, як одну з дев'яти звичок способу життя по всьому світу, які відомі своєю довгою тривалістю життя та міцним здоров'ям (Stockley, 2012).

Незважаючи на користь, пов'язану зі споживанням вина, деякі споживачі вважають, що вино може негативно відображатися на здоров'ї людини, оскільки містить алкоголь, але відмова від алкоголю має додаткові переваги (зниження калорійності приблизно на третину), окрім того, безалкогольне червоне вино містить антиоксиданти, які можуть знизити ризик серцевих захворювань (Kucherenko, & Uspalenko, 2023).

Вина з високим вмістом алкоголю обкладаються більш високими імпорнтними митами та податками в деяких країнах. Наприклад, у Сполучених Штатах Америки вино з вмістом алкоголю 14% об. або менше оподатковується за ставкою 1,07 дол. США за галон, тоді як вино з вмістом алкоголю від 14,1% об. до 21% оподатковується за ставкою 1,57 дол. США за галон. У всьому світі поширена думка, що споживання алкогольного вина має зменшитися на користь слабоалкогольних або безалкогольних вин. Наразі зріст попиту на ці види напою спостерігаються в усьому світі. Також зростає відсоток дорослого населення, яке частіше шукає вина та напої з меншим вмістом алкоголю, що збільшило продажі безалкогольних вин. Ця тенденція спонукала виробників досліджувати та розвивати нові

види безалкогольних напоїв. Крім того, обсяг світового ринку безалкогольних вин оцінюється в 20 млрд дол. США із сукупним річним темпом зростання понад 45% у 2018 р. і, за прогнозами, збільшиться зі значним середньорічним темпом зростання на понад 7% протягом прогнозованого періоду (2019—2027 рр.), досягнувши вартісної позначки понад 30 млрд. дол. США. Згідно з іншими прогнозами світовий ринок продовжуватиме стабільно зростати, із середньорічним темпом зростання 10,4% з 2021 р. по 2031 р. порівняно з 8,8% середньорічним темпом зростання з 2016 по 2020 рік. Для того, щоб виробники вина могли задовольнити запити споживачів і адаптуватися до зростаючого ринку безалкогольних вин, їм необхідно виробляти високоякісні безалкогольні або слабоалкогольні вина (Fact. MR, 2022).

Деалкоголізація, або видалення алкоголю з напоїв, стала важливим напрямком удосконалення технології з різних причин, включаючи вимоги до здоров'я, релігійні або культурні переконання, а також відповідність законодавству.

Існують різні методи деалкоголізації, кожен з яких має свої переваги та вплив на органолептичні властивості напою. Одним із методів деалкоголізації є вакуумна дистиляція. Під час цього процесу алкоголь випаровується при низькому тиску і потім конденсується для подальшого використання. Цей метод дає змогу знизити вміст алкоголю в напої без значного впливу на їх смак та аромат.

Інший метод полягає у використанні конусної прядильної колони, яка працює на високих швидкостях і низьких температурах із збереженням летких ароматичних сполук з рідин. Цей процес дає змогу знизити вміст алкоголю в напої, мінімізуючи зміну притаманних органолептичних характеристик вина.

Однак важливо зазначити, що будь-який метод деалкоголізації все ж таки має вплив на органолептику напою. Наприклад, видалення алкоголю може змінити смак, аромат і текстуру напою, що може бути неприйнятним для споживачів. Тому важливо враховувати баланс між зниженням вмісту алкоголю та збереженням органолептичних характеристик напою.

Для того щоб покращити технології деалкоголізації та зменшити їх вплив на сенсорні характеристики, дослідники продовжують шукати нові методи, які забезпечать ефективне видалення алкоголю з напоїв, зберігаючи при цьому їх смакові якості та аромат. Отже, вдосконалення технологій деалкоголізації вина з мінімізацією втрат органолептичного комплексу вина є актуальним напрямком для розвитку виробництва безалкогольних вин в Україні.

Мета статті: аналіз методів зниження вмісту алкоголю у винах, включаючи принципи їх дії, технологічні особливості та вплив на зміну органолептичних характеристик і якість продукту в цілому.

Матеріали і методи. Матеріалами дослідження були наукові статі, у яких описуються методи зниження та видалення вмісту алкоголю у винах та їх вплив на якість та характеристики продукту. Особлива увага приділялася дослідженням, що зосереджувалися на збереженні органолептичних показників та раціональній вартості виробництва продукту.

Викладення основних результатів дослідження. Виробництво безалкогольних вин може бути досягнуто декількома методами, які можна розділити на три групи. Методи засновані на принципі зменшення та видалення етанолу на різних стадіях виробництва вина.

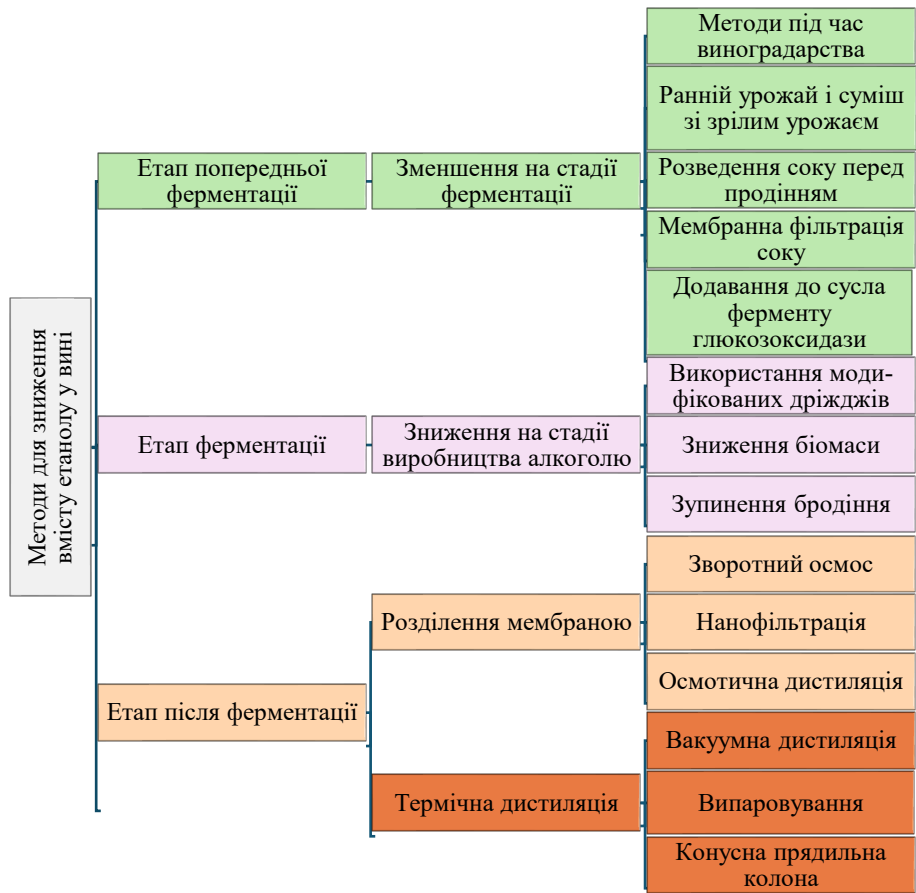


Рис. 1. Класифікація методів для зниження вмісту етанолу у вині

Зниження вмісту етанолу можливо досягти на етапі попередньої ферментації шляхом проведення ряду операцій з виноградом, спрямованих на зменшення вмісту цукру у ягодах. Наприклад, збір винограду раннього урожаю з низьким вмістом цукру, застосування операцій на виноградниках, мембранну фільтрацію соку та додавання до сусла ферменту глюкооксидази.

Зменшення етанолу також може бути досягнуто на етапі ферментації через використання спеціально підібраних штамів дріжджів, зниження біомаси та припинення бродіння.

Усі ці методи на вищезазначених етапах спрямовані лише на зменшення вмісту етанолу, але не гарантують його повного видалення із вина. Тому в технології безалкогольних вин застосовуються шість методів деалкоголізації, які можна розділити на дві підгрупи: методи розділення мембраною (зворотний осмос, нанofільтрація, осмотична дистиляція) та методи термічної дистиляції (вакуумна дистиляція, випаровування або дистиляція та використання конусної прядильної колони).

Зменшення вмісту цукру на стадії попереднього бродіння вина є одним із поширених методів виробництва вин із меншим або зниженим вмістом алкоголю,

але його використання не забезпечує повного видалення етанолу. Він включає такі методи, як розведення соку (Boban та ін., 2016), фільтрація соку за допомогою мембран (Stockley, 2012), використання ферментів (наприклад, глюкооксидази) (Frost та ін., 2015), сепаж винограду різного ступеня стиглості, включаючи й незрілий виноград, виноградарські практики (наприклад, використання регуляторів росту, зменшення площі листя, зрошення перед збиранням) (Alston, Fuller, & Tumber, 2015).

За останні 20 років, у зв'язку зі зміною клімату в напрямку зростання середньої температури у вегетаційний період, у винограді збільшується рівень глюкози та фруктози в момент технічної зрілості, що впливає на вміст спирту у вині (Jones, White, & Storchmann, 2005). Виробництво спирту можна контролювати на етапі попереднього бродіння шляхом зниження концентрації зброджуваних цукрів у соку за допомогою різних виноградарських практик.

Операції із зеленими частинами виноградної лози полягають у видаленні різних зелених вегетативних і генеративних органів куща або його частини із ціллю регулювання росту і харчування залишкових частин із кращим використання світла для отримання високих врожаїв та кращої якості дозрівання виноградної ягоди. До таких операцій відносяться обламування пагонів, прищеплювання, чеканка, часткове видалення листя, проріджування ягід тощо. Але одним із широко використовуваних є зменшення площі листя. Доведено, що зменшення площі листя має значний вплив на швидкість накопичення цукру в ягодах (Pallioti, Cini, & Poni, 2013).

Концентрація виноградного цукру зростає зі збільшенням площі листків до плоду. Це пов'язано із фотосинтетичним потенціалом — виробничим індексом листової поверхні на відповідний відрізок часу. Розмір листової площі розраховується відповідно до сортових властивостей винограду та залежить від навантаження на кущ і складу ґрунту. Якщо співвідношення площі листків до плодів високе, то до моменту технічної зрілості винограду, коли його смак досягає своїх оптимальних характеристик і настає фенольна стиглість, концентрація цукру суттєво збільшується (Liguori, Russo, & Matteo, 2018). Проведені дослідження на виноградній лозі сорту Шираз (Zhang та ін., 2017) показали, що зменшення площі листя, викликане верхівковою дефоліацією, сприяє зниженню рівня алкоголю у вині. Подібні дослідження були проведені іншими авторами, які відмітили, що механічний метод видалення листя був застосований на лозах сорту Санджовезе через чотири тижні після затримки накопичення цукру, що було ефективним для уповільнення синтезування цукрів в ягодах і досягнення меншого вмісту алкоголю у вині (Pallioti, Cini, & Poni, 2013). Іноземні вчені скоригували співвідношення площі листя винограду до культури на ранній стадії росту винограду, щоб зменшити концентрацію зброджуваних цукрів у винограді під час дозрівання, що вказало на перспективність у управлінні концентрацією цукру у винограді (Stoll, Bischoff-Schaefer, & Henschke, 2013). Крім того, через обрізку пагонів винограду сорту Гренаш вчені виявили 20-денну затримку дозрівання винограду, нижчий рН (від 0,1 до 0,3), зниження розчинних сухих речовин на 14% і зниження загального вмісту антоціанів на 10...27% (Martínez De Toda, Balda, 2013). Дані операції із виноградними лозами протягом 3 років, призвели до зниження вмісту етилового спирту на 2% об. (Sun, Sacks, & Neuvel, 2012).

Ряд авторів відмічали, що незалежно від сорту або продуктивності виноградної лози, застосування регуляторів росту може призвести до значного зниження концентрації суслу цукру та вмісту спирту (Stoll, 2013; Palliotti, Poni, & Bernizzoni, 2010). Так, австралійські вчені використовували антитранспірант (1-нафталінову оцтову кислоту) на винограді сорту Сіра, що ефективно зсуває початок дозрівання ягід і покращує регулювання накопиченням цукру, не впливаючи на сенсорні характеристики вина (Böttcher, Harvey, & Davies, 2011). Однак, антитранспірантна обробка може мати негативний вплив на вміст фенолів (особливо в червоних сортах винограду) та антоціані (Stoll, 2013; Palliotti, Poni, & Bernizzoni, 2010).

Ще одним методом зменшення вмісту цукрів у винограді є зсування дати збору врожаю. Деякі червоні та білі сорти винограду були вивчені у виробництві слабоалкогольних вин, застосовуючи сепажну технологію змішування дозрілого винограду з раннім зібраним виноградом. Незрілий червоний або білий виноград можна використовувати для виготовлення купажованих слабоалкогольних вин з високою кислотністю, які потім додають до зрілого насиченого вина. У дослідженнях зарубіжних науковців цей метод сприяє зниженню концентрації етанолу на 3% об., однак в органолептичних показниках вина мали неприємну кислотність та зеленуваті тони та характеризувалися незрілістю смаку. Автори відмічали, що вина виготовлені таким способом, мали нижчий вміст алкоголю, рН та загальної кислотності, але не мали суттєвих відмінностей в інших компонентах вина (Piccardo *et al.*, 2019; Kontoudakis, Esteruelas, & Canals, 2011).

Дослідження ароматичного профілю вин з винограду сортів Бірбера та Піно Нуар, вироблених з раннього врожаю, дозволили отримати оптимальні органолептичні характеристики вина при зниженні спиртуозності на 3,2% об. (Asproudi *et al.*, 2018).

Одним із методів зменшення вмісту спирту у вині є додавання води до виноградного суслу для зменшення вмісту цукру. Такий технологічний прийом дозволено у Сполучених Штатах (за винятком Каліфорнії), де вода може бути додана в невеликих кількостях як допоміжний засіб для досягнення бажаного результату. Але ця практика є незаконною у більшості країн Європи, в тому числі й в Україні, Південній Африці, Новій Зеландії та ін. (Longo, Blackman, & Schmidtke, 2017). Водночас деякі дослідження повідомляють про позитивні результати додавання води у виноградне сусло для зниження вмісту спирту. Наприклад, австралійські вчені досліджували вплив додавання води в суслу на органолептичні характеристики та зміну хімічного складу вина із винограду сорту Каберне-Совіньйон. Такий технологічний прийом сприяв зниженню спиртуозності, але значне розбавлення суслу водою призводило до втрати насиченості кольору та інтенсивності смаку. Невеликі обсяги води суттєво не впливали на хімічний склад вина, включаючи загальну кількість антоціанів, інтенсивність кольору вина та загальний вміст фенольних сполук. Однак більш високі рівні додавання води близько 19% знижують кислотність суслу, концентрацію фенольних сполук, а також негативно впливають на зовнішній вигляд і сенсорні властивості вина (Schelezi, Suklje, & Jeffery, 2018).

Фільтрація виноградного суслу перед бродінням для зниження цукру у ягодах є ще одним методом зниження вмісту спирту. У ряді досліджень вивчалася використання мембранної технології для видалення цукру з суслу перед бродінням

(Harbertson, Mireles, & Ross, 2009). Наприклад, французькі вчені досліджували зниження цукру у виноградному суслі з винограду сорту Тінта де Тоно за допомогою одно- та двоступеневого процесу нанофільтрації. Необроблене сушло змішували з фільтраційним пермеатом і ретенатом (фракція суміші, яка не проходить через фільтруючу мембрану), яке отримували в процесі нанофільтрації, в різних пропорціях для зниження вмісту спирту на 2% (Garcia-Martin, та ін., 2010). Однак відмічали незначне зниження інтенсивності кольору і деяких летких сполук, а також менше виражені аромати квітів та фруктів. Аналогічним чином іспанські науковці досліджували одностадійний і двостадійний процес нанофільтрації зі спірально-намотаною мембраною для зниження вмісту цукру в білому і червоному суслі до ферментації. Контрольне сушло, а також фільтраційний пермеат і ретенат змішували і ферментували. Якщо порівнювати з контрольними винами, то вина, отримані після бродіння купажу, повинні демонструвати зниження алкоголю приблизно на 1—2% об. без істотних відмінностей у сенсорних характеристиках (Salgado, Fernandez, & Pradanos, 2015). Крім того, деякі дослідники перед бродінням використовували процес зворотного осмосу для фільтрації виноградного сусла із Тінта Поріз, Шираз та Аліканте, отримане вино мало до 5% об. зменшення вмісту алкоголю та зниження вмісту поліфенолів та антоціанів, що вплинуло на інтенсивність кольору та інші сенсорні властивості (Mira, Guiomar, & De Pinho, 2017).

Для зниження вмісту спирту у вині використовується ще один метод, в основі якого видалення глюкози із виноградного сусла перед бродінням за допомогою ферменту глюкозооксидази, отриманого із гриба *Aspergillus niger*. Під час першоступеневій реакції глюкозооксидаза може перетворювати β -D-глюкозу в D-глюконо-лактон, утворюючи перекис водню, а під час другоступеневій реакції вона може каталізувати перетворення D-глюконо-лактону в глюконову кислоту. Ці реакції призводять до окислення цукру в суслі, що сприятиме зменшенню вмісту спирту. Водночас така ферментативна активність призводить до тонів окисненості у винах та втрати сортового аромату.

Існує декілька досліджень про використання глюкозооксидази для зниження вмісту алкоголю у винах. Вчені використовували до 2 г/дм³ глюкозооксидази для отримання білого вина зі зниженим вмістом алкоголю з виноградного соку Ріслінг. Результати показали, що після 6 год бродіння близько 87% глюкози було перетворено на глюконову кислоту, що сприяло до 4,3% зниження вмісту алкоголю у вині. Також було виявлено, що концентрація оцтової кислоти в оброблених винах глюкозооксидазою нижча порівняно з контрольними винами (Biyela, Toit, & Rensburg, 2009). Під час обробки виноградного сусла з білих сортів винограду ферментом глюкозооксидази було досягнуто зниження алкоголю на 2%, але вина мали значно вищу кислотність та менший фруктовий смак та аромат (Röcker, Schmitt, & Grossmann, 2016).

Один із трьох методів зниження вмісту етанолу у вині на етапі ферментації — це використання дріжджів роду *Metschnikowia*. Такі дріжджі не належать до роду *Saccharomyces*, їх ферментативна активність наразі глибоко вивчається з метою застосування їх у виробництві вин зі зниженою спиртuosністю. Деякі штами дріжджів можуть зброджувати менше цукру або перенаправляти метаболізм вуглецю, запобігаючи надмірному виробленню етанолу під час бродіння. Багатьма вченими

було досліджено та проаналізовано використання таких дріжджів у змішаному бродінні або послідовному бродінні з *Saccharomyces cerevisiae* для зниження етанолу в діапазоні від 0,2% до 2% (Lemos та ін., 2019; Canonico та ін., 2019).

Деякі дослідження показали, що крім зниження етанолу у вині, дріжджі *Non-Saccharomyces cerevisiae* мають потенціал для покращення органолептичних показників вина (Milanovic, Ciani, & Comitini, 2020). Дріжджі, що належать до роду *Metschnikowia*, синтезують ефіри під час бродіння внаслідок їх специфічного метаболізму. Крім того, дослідження показали, що деякі види або штами дріжджів *Non-Saccharomyces cerevisiae* виділяють водорозчинний червоний пігмент під назвою пульчерримін, який має антимікробну дію на небажані мікроорганізми (Fernández, Ubeda, & Briones, 2000).

Метаболічна інженерія за допомогою методів модифікації генів або адаптивної еволюції та селекції призвела до розробки модифікованих штамів дріжджів, які можуть знижувати вміст етанолу у вині під час бродіння (Puškaš, Miljić, & Vučurović, 2020; Tillay, Ortiz-Julien, & Dequin, 2014). Так, наприклад, шляхом введення п'яти різних генів науковці вивели штам дріжджів *Saccharomyces cerevisiae* шляхом зниження мітохондріального та цитозольного рівнів, що призвело до зниження вироблення гліцерину й етанолу. Незважаючи на здатність знижувати вміст алкоголю, генетично модифіковані штами дріжджів *Saccharomyces cerevisiae* можуть виробляти ацетат, ацетальдегід і ацетоїн, що може негативно вплинути на сенсорні якості вина. Ще одним недоліком використання модифікованих штамів дріжджів для зниження вмісту алкоголю у вині є відмова споживачів від використання генетично модифікованих організмів (ГМО) у виробництві продуктів харчування та напоїв. Тому цей метод не знайшов широкого використання у виноробстві (Hou, Lages, & Vemuri, 2009).

Другим методом на етапі ферментації є зменшення біомаси, який використовується для зменшення швидкості бродіння шляхом зменшення популяції дріжджів під час бродіння суслу. Деякі автори досліджували виробництво слабоалкогольного сидру шляхом відновлення біомаси за допомогою центрифугування. Результати цих досліджень показали, що ця техніка дає змогу отримати сидр з низьким вмістом алкоголю, але без вираженого фруктового смаку. Також слід відмітити, що такий технологічний прийом, зазвичай, призводить до отримання зброджених напоїв зі значним залишковим вмістом цукрів, які є мікробіологічно нестабільними і можуть призвести до псування вина (Fan та ін., 2012; Malfeito-Ferreire, 2011).

Ще одним методом виробництва слабо- або безалкогольних вин і напоїв є зупинення бродіння. У цьому методі спиртове бродіння навмисно зупиняють до його завершення, контролюючи температуру і час бродіння. Короткий час бродіння, що використовується в цьому методі, призводить до отримання недобродів, тобто вин із залишковим вмістом цукру. Такі вина є мікробіологічно нестійкі і можуть вимагати додаткових стабілізуючих процедур, таких як додавання діоксиду сірки, консервація або термічна пастеризація для продовження терміну зберігання. Крім того, короткий час бродіння обмежує утворення летких речовин з ароматом бродіння, таких як складні естери, ацетати, альдегіди та вищі спирти, які дріжджі син-

тезують у великих кількостях під час бродіння, що призводить до отримання слабоалкогольних вин зі зниженими ароматичними характеристиками (Саресе, & Романо, 2019).

Вищезгадані методи для зниження вмісту етанолу на етапі попередньої ферментації й основного бродіння дають змогу лише частково видалити вміст етанолу із вина, тому найбільш ефективними методам видалення алкоголю є етап після ферментації. Такий технічний прийом має назву «деалкоголізація».

Деалкоголізація — це технічний процес видалення алкоголю з напоїв, що містять етиловий спирт. Найбільш розповсюджено два способи деалкоголізації:

- на основі мембрани (зворотний осмос, нанофільтрація, осмотична дистиляція);
- термічна дистиляція (вакуумна дистиляція, випаровування, використання конусної прядильної колони).

Мембранні процеси — це процеси фізичного розділення, які можуть зменшити або видалити етанол з вина за допомогою напівпроникної мембрани.

Зворотний осмос — це процес розділення на основі мембрани, який використовує гідрофільну напівпроникну мембрану, порожнисте волокно, пластину та каркас або трубчастий модуль для створення градієнта концентрації або тиску, відомого як осмотичний тиск між двома розчинами. Цей метод використовується у виноробстві для часткового або повного видалення алкоголю із вина (Schmidtke, Blackman, & Agboola, 2012; Del Olmo, Blanco, & Hernandez, 2014). Схема методу зворотного осмосу наведена на рис. 2.

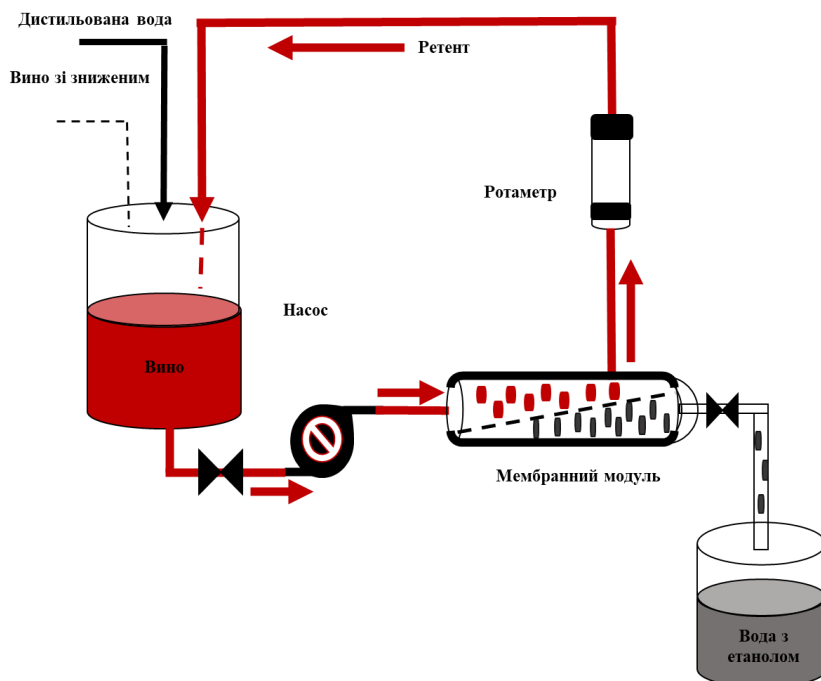


Рис. 2. Схема методу зворотного осмосу

У цьому методі природний осмотичний тиск створюється тиском, який розділяється на два розчини з різною концентрацією, що протікають тангенціально, паралельно або по колу через напівпроникну мембрану. Щоб відновити рівновагу природного осмотичного тиску, спирт і вода у вині проходять через напівпроникну мембрану з розчину високої концентрації в розчин низької концентрації (Russo, Liguori, & Di Matteo). Це явище зменшує або видаляє етанол з вина, в результаті чого вино виходить з низьким вмістом етанолу або без нього, що залежить від початкової спиртуозності вина.

Один із принципів роботи установки зворотного осмосу — режим діалізації. У вихідну ємність постійно додають дистильовану воду для підтримки об'єму вина, оскільки об'єм вина зменшується внаслідок видалення етанолу спільно з водою. Це дає змогу безперервно знижувати вміст етанолу у вині у вихідні ємності та уникнути зменшення мембранного потоку.

За даними зарубіжних науковців, вина зі зниженим вмістом алкоголю, вироблені за допомогою процесу зворотного осмосу, зазвичай, мають той же смак і аромат, що й вина, отримані за допомогою інших термічних методів (Corona та ін., 2019). Так, наприклад, вчені за допомогою процесу зворотного осмосу змогли досягнути зменшення вмісту етанолу на 75% в яблучному сидрі, створюючи тиск від 1,0 МПа до 5,0 МПа та при температурі 15 °С без значних втрат основних ароматичних сполук. Це, швидше за все, пов'язано з більш низькою температурою обробки і кращим поділом з'єднань у процесі зворотного осмосу. На противагу цьому французькі вчені повідомили про свої дослідження щодо деалкоголізації зворотним осмосом вин з винограду сортів Мерло та Шіраз і про негативний вплив цього методу на аромат вин (Varavuth, Jiratananon, & Atchariyawut, 2009; Massot, Mietton-peuchot, & Milisic, 2008).

Однак цей метод має ряд переваг. Він вимагає менше енергії, ніж інші процеси дистиляції, оскільки застосовуються низькі температури — від 1 °С до 5 °С. Крім того, процес зворотного осмосу дає змогу відновлювати та надалі використовувати етанол, отриманий у процесі деалкоголізації. Але, незважаючи на ряд переваг, основним недоліком цієї методики є додавання води для досягнення ефективної деалкоголізації, яка може негативно вплинути на органолептичні характеристики безалкогольних вин, також потребує законодавчого узгодження використання води в технології безалкогольних вин (Takács, Vatai, & Korány, 2007).

Нанofільтрація — це процес розділення рідини під тиском, в якому використовується напівпроникна мембрана з порами розміром від 1 до 10 нм (Banvolgyi, Kiss, & Vatai, 2006). Схема методу нанofільтрації представлена на рис. 3.

Нанofільтраційні мембрани виробляються з різних матеріалів, але, як правило, з міцного полімеру, який розміщений на несучому шарі. Такий склад мембран забезпечує високу селективність і витривалість у процесі нанofільтрації. Селективні мембрани розщеплюють вихідний продукт на дві фракції: ретентат або концентрат, який утримується на мембрані, і пермеат, який проходить через неї. Нанofільтраційні мембрани утримують менші молекули порівняно з ультрафіолетовими, але вони пропускають деякі іони та низькомолекулярні сполуки, які утримуються на мембранах зворотного осмосу. Однак утримання малих молекул при-

зводить до підвищення осмотичного тиску на поверхні мембрани і для забезпечення потоку пермеату необхідно застосовувати високий робочий тиск від 10 до 30 бар.

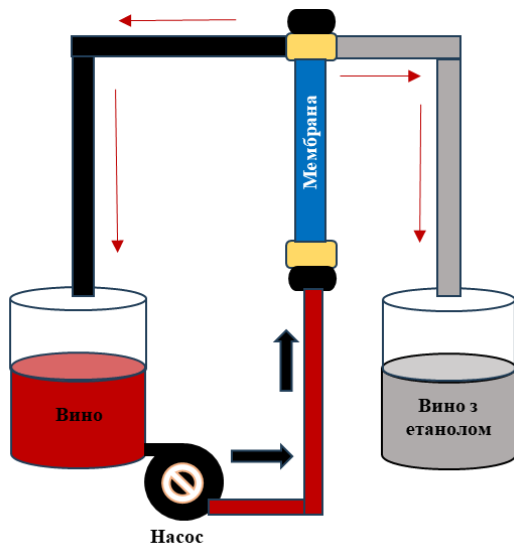


Рис. 3. Схема методу нанофільтрації

У разі високого тиску збільшується потік пермеату, пришвидшується забруднення мембрани та поляризація концентрації. Відповідно, обростання мембрани призводить до зменшення флюсу та обмежує її використання, але це також може призвести до підвищення бажаного утримання сполук. Ці властивості дають змогу застосовувати нанофільтраційні мембрани в різних галузях промисловості: виноробній, молочній, цукровій, фармацевтичній, водопровідній і стічній тощо. Здатність нанофільтраційних мембран надає можливість утримувати біологічно активні сполуки та вилучати фенольні сполуки з різних матриць. Крім того, процес нанофільтрації може проводитися за кімнатних температур, що забезпечує їх перевагу перед термічними процесами за концентрацією, тому він знайшов широке застосування у виробництві різних концентрованих соків і для корекції хімічного складу соку (Castro-Munoz, Conidi, & Cassano, 2018).

Вода, оцтова кислота, етанол і деякі низькомолекулярні сполуки та іони можуть проходити через нанофільтраційні мембрани, але на них затримується високий відсоток корисних сполук, що дає змогу застосувати цей процес для концентрації вина і суслу, підвищення цукру або аромату, корекції вмісту спирту й кислот, усунення дефектів (небажаного аромату) тощо. Деалкоголізація вина шляхом нанофільтрації стала центром інтересу багатьох досліджень, оскільки ця методика сепарації не передбачає застосування високих температур, вона споживає низьку кількість енергії та мінімально змінює початкові властивості вина. Крім того, мембрани нанофільтрації можуть бути використані для фракціонування поліфенолів та екстракції з виноградуних вичавок, для покращення або корекції аромату вина чи розділення оцтової кислоти (Liguori та ін., 2015; Diban та ін., 2013).

Обробка нанофільтрацією може застосовуватися для всіх типів вина незалежно від кольору, хімічних властивостей або різних методів виробництва. Однак кожне

вино відрізняється і це має вплив на процес нанофільтрації (Ivić та ін., 2021).

Так, угорські вчені досліджували продуктивність плоскої листової мембрани у концентрації цінних компонентів червоного вина (12,8% об. етанолу). Вони отримали ретентат із вмістом етанолу 9,8% об. та із збільшенням приблизно вдвічі таких показників, як загальна кислотність, екстракт, вміст цукру та летких кислот. Крім того, у дослідному зразку спостерігалася невелика втрата аромату (Banvolgi, Kiss, & Vatai, 2006).

Португальські вчені порівнювали чотири нанофільтраційні мембрани і одну мембрану зворотного осмосу під час деалкоголізації червоного вина міцністю 12% об. при тиску менше 16 бар і за температури 30 °С. Отримані результати дали змогу встановити, що мембрани нанофільтрації сприяють більш високому потоку пермеату (від $4,13 \times 10^3$ до $7,10 \times 10^3$ $\text{кгм}^{-2}\text{s}^{-1}$) та ефективному виділенню етанолу (від 7,1% до 10,3%), що надає можливість отримати деалкоголізовані зразки вина з більш перспективними органолептичними властивостями, ніж мембрана зворотного осмосу (Catarino, & Mendes, 2011).

Осмотична дистиляція відома як випарна дистиляція або ізотермічна мембранна дистиляція — це технологія на основі мембрани, яка має дві водні фази, вино (що містить леткі сполуки) і вода (діє як рідина для зачистки), циркулюють у протитечії на протилежних сторонах гідрофобного мембранного модуля з порожнистого волокна. Рушійною силою в цьому процесі є парціальний тиск або тиск пари легкої розчиненої речовини у вині й рідині. Механізм видалення етанолу в процесі осмотичної дистиляції відбувається в послідовності, при якій етанол у вині спочатку випаровується на стороні подачі пор мембрани, потім пари етанолу дифундують через пори мембрани, виходячи з пор мембрани і конденсуються в розчині води для зачистки (Esteras-Saz та ін., 2021). Схема методу осмотичної дистиляції представлена на рис. 4.

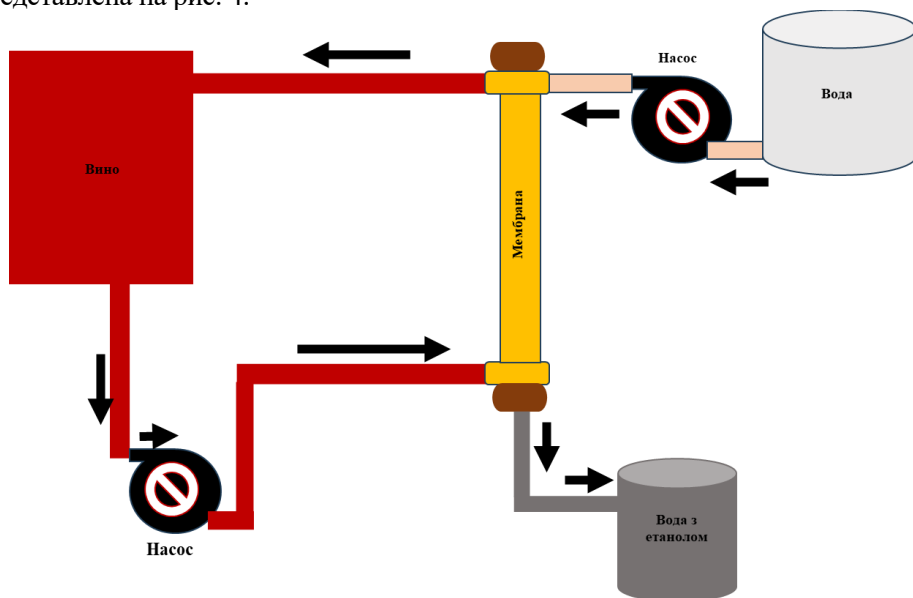


Рис. 4. Схема методу осмотичної дистиляції

Основними перевагами процесу осмотичної дистиляції є низьке споживання енергії, відсутність термічної обробки вина, тому що процес здійснюється за температур від 10 °C до 20 °C. Під час цього процесу відбуваються незначні втрати аромату та смаку, а також використовується вода як засіб для зачистки. (Liguori та ін., 2015; Esteras-Saz та ін., 2021).

Іспанські вчені досліджували часткову деалкоголізацію вин із винограду сортів Гарнача, Ксарело і Темпранільйо за допомогою контактора з порожнистого волокна промислового масштабу з площею мембрани 20 м², швидкість подачі та зачистки в межах 600 л год⁻¹ до 300 л год⁻¹, співвідношення об'єму подачі/зачистки в діапазоні від 1,5:1 до 1:4,7 і рН від 7 до 3. Вони виявили, що міцність під час деалкоголізації зменшується з 1,3% до 5% об. за мінімальної втрати ароматичних сполук приблизно на 20% (Taran, Stoleicova, & Morari, 2014). Крім того, італійські вчені досліджували вплив різних рівнів зниження вмісту алкоголю від 4,9 до 10,9% об. на леткі сполуки, феноли та сенсорні якості червоного вина Монтепульчано д'Абруццо з початковим вмістом етанолу 13,2% об. За результатами осмотичної дистиляції деалкоголізовані вина мали задовільний ароматичний профіль, досліджувані вина, що мали 8,3% об. (-4,9% об.) та 6,9% об. (-6,3% об.), зберігали помітну кількість ефірів (понад 84% та 82% відповідно), але органолептичні показники залишалися незмінними у всіх зразках (Cologna та ін., 2019).

Одним із найбільш популярних методів деалкоголізації є теплова обробка, яка включає випаровування, використання конусної прядильної колони та вакуумну дистиляцію.

Випаровування — це концентраційний мембранний процес, який працює за принципом часткового випаровування сумішей рідин з однаковими температурами кипіння, де рідка фаза змінюється на парову фазу (Sun та ін., 2020). Схема методу випаровування представлена на рис. 5.

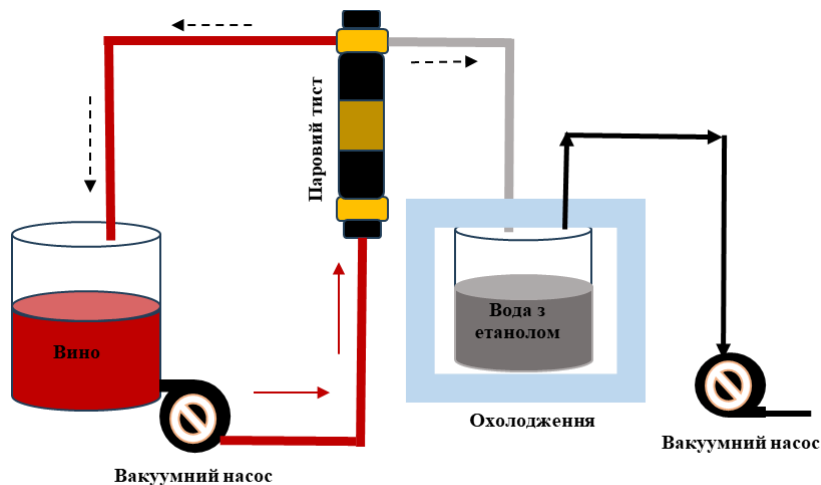


Рис. 5. Схема методу випаровування

Під час випаровування вино проходить через щільні полімерні мембрани в фотоелектричному процесі на прикладі моделі «розчин-дифузія», яка включає: адсорбцію цільового компонента із суміші до селективного шару фотоелектричної мембрани на основі її хімічної спорідненості, дифузію компонента-мішені через мембрану через градієнт концентрації та десорбція компонента на пермеатній стороні мембрани.

На основі фотоелектричної техніки використовують видалення етанолу та відновлення аромату з алкогольних вин і напоїв. Австралійські дослідники розробили експериментальну пілотну фотоелектричну установку, яка успішно використовувалася для виробництва як безалкогольних і слабоалкогольних вин (Takács, Vatai, & Korány, 2007). Вчені з Китаю досліджували виробництво безалкогольних вин і виноградних спиртів за допомогою технології випарної-мембрани і виявили, що метод випаровування виробляє більше ароматичних сполук, в результаті чого виходить вино з кращим ароматом і смаком, ніж традиційне дистильоване вино. Випарування має ряд переваг, включаючи низьке споживання енергії та відсутність додаткових розчинників, низьку робочу температуру та менші втрати ароматичних сполук, оскільки утворюється менше відходів. Однак використання фотоелектричних модулів, на основі яких працює метод випаровування, має такі недоліки, як низька швидкість проникнення через низькі температури (Yang, Youshio, & Asaeda, 2006; Figoli, Santoro, & Basile, 2015).

Одним із найменш популярних, але високоефективних методів є конусна прядильна колона, яка працює на високих швидкостях і низьких температурах зі збереженням летких ароматичних сполук з рідин (Makarytchev, Langrish, & Fletcher, 2004). Метод використовується у виноробній промисловості для виробництва концентрату виноградного суслу, видалення діоксиду сірки з виноградного суслу, відновлення летких ароматичних сполук і зниження концентрації етанолу у винах. Блок-схема методу конусної прядильної колони представлена на рис. 6.

Установка конусної прядильної колони складається з обертового вертикального валу і вертикально упакованих нерухомих конусів, які обертаються по черзі, за типом падаючого плівкового контактора (Makarytchev, Langrish, & Fletcher, 2005).

Такий метод деалкоголізації передбачає двоетапний процес зниження вмісту спирту в готових винах. На першому етапі вино пропускають через конусу при низькому вакуумному тиску (0,04 атм) і температурі близько 28 °C для відновлення летких ароматичних сполук вина приблизно в 1% від загального об'єму продукту, на другому етапі вино деароматизується при дещо вищому вакуумному тиску та температурі близько 38 °C для видалення спирту. Потім деалкоголізоване вино виготовляють шляхом поєднання відновлених ароматів вина з деалкоголізованою та деароматизованою частиною (Belisario-Sánchez, Taboada-Rodriguez, & Lopez-Gomez, 2009).

Margallo із співробітниками вивчали можливість безперервного видалення етанолу після бродіння із застосуванням конусної прядильної колони, за допомогою якої видаляли близько 85% етанолу. Однак було виявлено, що вакуум, застосований під час процесу, впливає на продуктивність дріжджових клітин, змушуючи клітини зменшуватися в розмірах і набувати іншої форми (Margallo та ін., 2015).

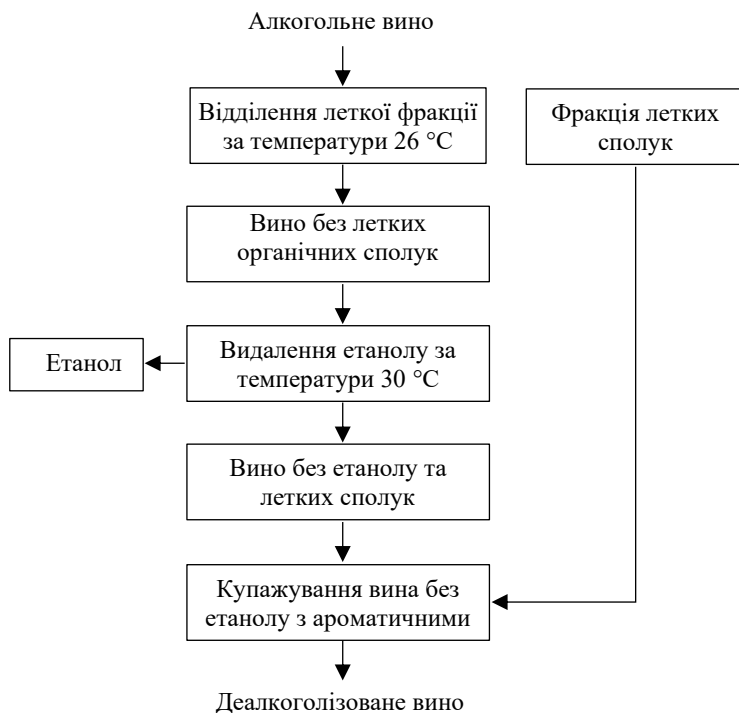


Рис. 6. Блок-схема методу конусної прядильної колони

Вчені досліджували вплив деалкоголізації за допомогою цього методу на фенольний склад 19 зразків вина (13 червоних, 2 рожевих і 4 білих) і виявили значні відмінності в загальній кількості фенолів, ресвератролу, винних ефірів, флавонолів та активності поглинання вільних радикалів між алкогольними та деалкоголізованими винами, що пов'язували зі змінами концентрації діоксиду сірки, які видалялися разом зі спиртом. Іспанські вчені для покращення ароматичного профілю деалкоголізованого вина проводили маніпуляції відсотком ароматичної екстракції та швидкістю потоку базового вина, які дали змогу провести відновлення від 97% до 100% загальної ароматичної фракції вин. Разом з можливістю деалкоголізації вин було відмічено високу вартість обладнання й експлуатація конусної прядильної установки, що є основним та суттєвим недоліком її застосування (Belisario-Sánchez, Taboada-Rodriguez, & Lopez-Gomez, 2012).

Найбільш популярним методом деалкоголізації є вакуумна дистиляція. Вакуумна дистиляція — це тепловий або термічний процес, який включає випаровування, дистиляцію та конденсацію, які відбуваються в умовах вакууму. Це добре відома технологія, яка використовується для самозбагачення суслу та регулювання вмісту винного спирту.

З допомогою цього методу можна видалити майже весь алкоголь із вина або відокремити його від менш летких компонентів. Крім того, після закінчення обробки першу частину дистиляту можна відновити і додати дозовано до деалкоголізованого вина. Схема методу вакуумної дистиляції представлена на рис. 7.

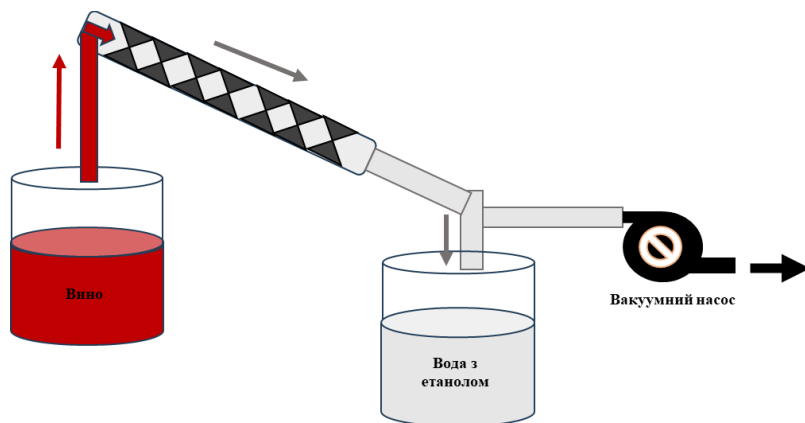


Рис. 7. Схема методу вакуумної дистиляції

Зазвичай, у цьому методі вино поміщають у сильний вакуум. Вино обережно нагрівають для википання алкоголю за температури від 20°C до 38°C і працюють при тиску менше 0,1 бар, оскільки вакуум має вирішальне значення, тому що зі збільшенням всмоктування температура кипіння вина падає. Низька робоча температура і відновлення перших порцій дистиляту, які багаті ароматичними сполуками, сприяють зменшенню втрат легких сполук і максимальному збереженню аромату й смаку деалкоголізованого вина (Motta та ін., 2017).

Так, наприклад, китайські вчені для деалкоголізації вин використовували дистиляційну установку лабораторного масштабу, яка складається з роторного випарника RE-6000A, вакуумного насоса V-700, вакуумного регулятора V-850, діагонального конденсатора системою водяної бані (об'єм 10 л). Для деалкоголізації використовували по п'ять літрів червоних, рожевих і білих вин. При деалкоголізації за один раз обробляли 400 мл в колбі об'ємом 1 л вакуум-дистиляційного апарата. Колбу накривали чорним пластиковим матеріалом, щоб уникнути легкого окислення компонентів вина. Обертання колби встановлювалося за 100 об/хв, температура водяної бані — 35°C , тиск вакууму — 0,08 МПа, температура конденсації — $9 \pm 2^{\circ}\text{C}$ і зберігалася постійною протягом усіх експериментів з деалкоголізації. Процес деалкоголізації займав 2,5 години. Порцію води поповнювали до того ж об'єму, і як тільки партія досягала заданої температури, експеримент починався зі швидкістю, температурою й тиском, зазначеними вище. Наприкінці кожного процесу деалкоголізації залишкове вино (0,7% етанолу) переміщували в пляшки з коричневого скла об'ємом 750 мл, закупорювали, давали охолонути при кімнатній температурі та зберігали при температурі 4°C для подальших аналізів (Wenten, 2017; Benedict, Parulekar, & Tsai, 2006).

Науковці з Молдови досліджували вплив тиску ($-0,6$, $-0,7$, $-0,8$, $-0,9$ і -1 кгс/см²) на фізико-хімічні властивості білих і червоних вин. Їхні результати показали швидке зниження вмісту алкоголю на 2,9% об. для червоного вина та 2,2% об. для білого вина при тиску -1 кгс/см². Якщо порівняти з мембранною технологією, вакуумна дистиляція сприяє більшому зниженню вмісту алкоголю та концентруванню інших сполук, таких як флавоноїди, органічні кислоти, антоціани та катіони (Motta та ін., 2017). Незважаючи на здатність технології цього

методу відновлювати етанол, він може спричинити втрати майже всіх летких сполук, насамперед етилових ефірів та аліфатичних спиртів.

Висновки

Зменшення або повне видалення етанолу з вина в останні роки викликало значний інтерес у виробників виноробної продукції. Це пов'язано як зі зростанням попиту на здоровий спосіб життя, так і з підвищенням обізнаності про вплив алкоголю, соціальними потребами, зміною уподобань серед молоді та розширенням ринку для людей, які не вживають алкоголь з різних причин. Також значну роль відіграють зміни клімату, що спричинили переорієнтацію споживачів на напої з меншим вмістом алкоголю.

Для досягнення зниження вмісту алкоголю на різних етапах виробництва вина використовували різні методи, починаючи з обробки винограду і завершуючи деалкоголізацією. Методи, які використовувалися на стадії перед бродінням та під час бродіння, дають ефект лише для зменшення алкоголю, але не для повного видалення вмісту етанолу.

Усі методи для зниження й видалення етанолу зберігають фенольні сполуки, леткий склад, а от сенсорні показники вина залежно від способу деалкоголізації можуть значно погіршитися, включаючи зміну кольору й аромату.

Окрім того, слабоалкогольні та безалкогольні вина можуть бути сприятливі до мікробного забруднення, тому важливо щоб весь процес виробництва відбувався в стерильних умовах.

З огляду на результати аналізу досліджень зарубіжних науковців і незважаючи на проблематику отримання якісного безалкогольного вина, найбільш поширеним є метод вакуумної дистиляції, який є менш вартісним і більш простішим в експлуатації. Але дослідження зменшення та видалення алкоголю продовжується й надалі, тому можливо саме поєднання декількох методів на різних етапах виробництва зможе сприяти збалансуванню економічних витрат і покращенню органолептичних властивостей безалкогольного вина.

Усе це надасть виробникам більш глибокого розуміння методів деалкоголізації для якісного й економічно вигідного виробництва безалкогольного вина задля забезпечення зростаючого попиту серед споживачів на даний вид продукту.

Література

- Alston, J. M., Fuller, K. B., Lapsley, J. T., Soleas, G., Tumber, K. P. (2015). Splendide Mendax: False Label Claims About High and Rising Alcohol Content of Wine. *Journal of Wine Economics*, 10, 275—313. <https://doi.org/10.1017/jwe.2015.33>.
- Asproudi, A., Ferrandino, A., Bonello, F., Vaudano, E., Pollon, M., Petrozziello, M. (2018). Key Norisoprenoid Compounds in Wines from Early-Harvested Grapes in View of Climate Change. *Food Chemistry*, 268, 143—152. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.06.069>.
- Banvolgyi, S., Kiss, I., Bekassy-Molnar, E., Vatai G. (2006). Concentration of Red Wine by Nanofiltration. *Desalination*, 198, 8—15. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2006.09.003>.
- Belisario-Sánchez, Y. Y., Taboada-Rodríguez, A., Marín-Iniesta, F., Iguaz-Gainza, A., López-Gómez, A. (2012). Aroma Recovery in Wine Dealcoholization by SCC Distillation. *Food Bioprocess Technol*, 5, 2529—2539. <https://doi.org/10.1007/s11947-011-0574-y>.

- Belisario-Sánchez, Y. Y., Taboada-Rodríguez, A., Marín-Iniesta, F., López-Gómez, A. (2009). De-alcoholized Wines by Spinning Cone Column Distillation: Phenolic Compounds and Antioxidant Activity Measured by the 1,1-Diphenyl-2-Picrylhydrazyl Method. *Journal Agricultural. Food Chemistry*, 57. 6770—6778. <https://doi.org/10.1021/jf900387g>.
- Benedict, D. J., Parulekar, S. J., Tsai, S. (2006). Pervaporation-Assisted Esterification of Lactic and Succinic Acids with Downstream Ester Recovery. *Journal of Membrane Science*, 281. 435—445. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2006.04.012>.
- Biyela, B. N. E., du Toit, W. J., Divol, B., Malherbe, D. F., van Rensburg, P. (2009). The Production of Reduced-Alcohol Wines Using Gluzyme Mono 10.000 BG-Treated Grape Juice. *South African Journal Enological. Viticulture*, 30. 124—132. <https://doi.org/10.21548/30-2-1432>.
- Boban, M., Stockley, C., Teissedre, P.-L., Restani, P., Fradera, U., Stein-Hammer, C., Ruf, J. C. (2016). Drinking Pattern of Wine and Effects on Human Health: Why Should We Drink Moderately and with Meals? *Food & Function*, 7. 2937—2942. <https://doi.org/10.1039/C6FO00218H>.
- Böttcher, C., Harvey, K., Forde, C. G., Boss, P. K., Davies, C. (2011). Auxin Treatment of Pre-Veraison Grape (*Vitis Vinifera* L.) Berries Both Delays Ripening and Increases the Synchronicity of Sugar Accumulation. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 17. 1—8. <https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.2010.00110.x>.
- Canonico, L., Solomon, M., Comitini, F., Ciani, M., Varela, C. (2019). Volatile Profile of Reduced Alcohol Wines Fermented with Selected Non-*Saccharomyces* Yeasts under Different Aeration Conditions. *Food Microbiology*, 84. 103247. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2019.103247>.
- Capece, A., Romano, P. (2019). Yeasts in the Production Wine: Yeasts and Their Metabolic Impact on Wine Flavour. P. 43—80. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-9782-4_2.
- Castro-Muñoz, R., Conidi, C., Cassano, A. (2018). Membrane-Based Technologies for Meeting the Recovery of Biologically Active Compounds from Foods and Their by-Products. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 59. 2927—2948. <https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1478796>.
- Catarino, M., Mendes, A. (2011). Dealcoholizing Wine by Membrane Separation Processes. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 12. 330—337. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2011.03.006>.
- Corona, O., Liguori, L., Albanese, D., Di Matteo, M., Cinquanta, L., Russo, P. (2019). Quality and Volatile Compounds in Red Wine at Different Degrees of Dealcoholization by Membrane Process. *European Food Research and Technology*, 245. 2601—2611. <https://doi.org/10.1007/s00217-019-03376-z>.
- Del Olmo, Á., Blanco, C. A., Palacio, L., Prádanos, P., Hernández, A. (2014). Pervaporation Methodology for Improving Alcohol-Free Beer Quality through Aroma Recovery. *Journal of Food Engineering*, 133. 1—8. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2014.02.014>.
- Diban, N., Arruti, A., Barceló, A., Puxeu, M., Urtiaga, A., Ortiz, I. (2013). Membrane Dealcoholization of Different Wine Varieties Reducing Aroma Losses. Modeling and Experimental Validation. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 20. 259—268. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2013.05.011>.
- Esteras-Saz, J., de la Iglesia, Ó., Peña, C., Escudero, A., Téllez, C., Coronas, J. (2021). Theoretical and Practical Approach to the Dealcoholization of Water-Ethanol Mixtures and Red Wine by Osmotic Distillation. *Separation and Purification Technology*, 270 (118793). <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2021.118793>.
- Fan, G., Shengyun, T., Rong, W., Qingbin, L., Jinsheng, Z., Xiaodong, Y., Yang, L. (2012). Fermentation Process of Low-Alcohol Cider by Biomass Reduction. *China Brewery*, 31. 186—190. <https://doi.org/10.5772/intechopen.105594>.
- Fernández, M., Ubeda, J. F., Briones, A. I. (2000). Typing of non-*Saccharomyces* yeasts with enzymatic activities of interest in wine-making. *International Journal Food Microbiology*, 59(1—2). 29—36. [https://doi.org/10.1016/S0168-1605\(00\)00283-X](https://doi.org/10.1016/S0168-1605(00)00283-X).
- Figoli, A., Santoro, S., Galiano, F., Basile, A. (2015). Pervaporation, Vapour Permeation and Membrane Distillation. *Principles and Applications Woodhead Publishing Series in Energy*. P. 19—63. <https://doi.org/10.1016/B978-1-78242-246-4.00002-7>.

- Frost, R., Quiñones, I., Veldhuizen, M., Alava, J. I., Small, D., Carreiras, M. (2015). What Can the Brain Teach Us about Winemaking? An FMRI Study of Alcohol Level Preferences. *PLoS ONE*. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0119220>.
- García-Martín, N., Pérez-Magariño, S., Ortega-Heras, M., González-Huerta, C., Mihnea, M., González-Sanjosé, M. L., Palacio, L., Prádanos, P., Hernández, A. (2010). Sugar Reduction in Musts with Nanofiltration Membranes to Obtain Low Alcohol-Content Wines. *Separation and Purification Technology*, 76, 158—170. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2010.10.002>.
- Harbertson, J. F., Mireles, M. S., Harwood, E. D., Weller, K. M., Ross, C. F. (2009). Chemical and Sensory Effects of Saignée, Water Addition, and Extended Maceration on High Brix Must. *American Journal Enology Viticulture*, 60, 450—460. <https://doi.org/10.5344/ajev.2009.60.4.450>.
- Hou, J., Lages, N. F., Oldiges, M., Vemuri, G. N. (2009). Metabolic Impact of Redox Cofactor Perturbations in *Saccharomyces cerevisiae*. *Metabolic Engineering*, 11, 253—261. <https://doi.org/10.1016/j.ymben.2009.05.001>.
- Ivić, I., Kopjar, M., Obhodaš, J., Vinković, A., Pichler, D., Mesić, J., Pichler, A. (2021). Concentration with Nanofiltration of Red Wine Cabernet Sauvignon Produced from Conventionally and Ecologically Grown Grapes: Effect on Volatile Compounds and Chemical Composition. *Membranes*, 11(5), 320. <https://doi.org/10.3390/membranes11050320>.
- 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>.
- Kontoudakis, N., Esteruelas, M., Fort, F., Canals, J.-M., Zamora, F. (2011). Use of Unripe Grapes Harvested during Cluster Thinning as a Method for Reducing Alcohol Content and PH of Wine. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 17, 230—238. <https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.2011.00142.x>.
- Kucherenko, V., Uspalenko, O. (2023). Relevance of the production of non-alcoholic wines. *BIO Web of Conferences 44th World Congress of Vine and Wine*, 68, 03017. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20236803017>.
- Lemos, W. J. F., Jr., Nadai, C., Tamara, L., Sales, V., Oliveira, D., Dupas, A., Matos, D., Giacomini, A., Corich, V. (2019). Potential Use of *Starmerella bacillaris* as Fermentation Starter for the Production of Low-Alcohol Beverages Obtained from Unripe Grapes. *International Journal Food Microbiology*, 303, 1—8. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2019.05.006>.
- Liguori, L., De Francesco, G., Russo, P., Albanese, D., Perretti, G., Di Matteo, M. (2015). Quality Improvement of Low Alcohol Craft Beer Produced by Evaporative Pertraction. *Chemical Engineering Transactions*, 43, 13—18. <https://doi.org/10.3303/CET1543003>.
- Liguori, L., De Francesco, G., Russo, P., Perretti, G., Albanese, D., Di Matteo, M. (2015). Production and Characterization of Alcohol-Free Beer by Membrane Process. *Food Bioproducts Processing*, 94, 158—168. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2015.03.003>.
- Liguori, L., Russo, P., Albanese, D., Di Matteo, M. (2018). Production of Low-Alcohol Beverages: Current Status and Perspectives. *Handbook of Food Bioengineering*, P. 347—382. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811447-6.00012-6>.
- Longo, R., Blackman, J. W., Torley, P. J., Rogiers, S. Y., Schmidtke, L. M. (2017). Changes in Volatile Composition and Sensory Attributes of Wines during Alcohol Content Reduction. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97, 8—16. <https://doi.org/10.1002/jsfa.7757>.
- Makarytchev, S., Langrish, T. A. G., Fletcher, D. F. (2004). Mass Transfer Analysis of Spinning Cone Columns Using Cfd. Chem. *Chemical Engineering Research and Design*, 82, 752—761. <https://doi.org/10.1205/026387604774196037>.
- Makarytchev, S. V., Langrish, T. A. G., Fletcher, D. F. (2005). Exploration of Spinning Cone Column Capacity and Mass Transfer Performance Using CFD. *Chemical Engineering Research and Design*, 83, 1372—1380. <https://doi.org/10.1205/cherd.03413>.
- Malfeito-Ferreira, M. (2011). Yeasts and Wine Off-Flavours: A Technological Perspective. *Annals Microbiology*, 61, 95—102. <https://doi.org/10.1007/s13213-010-0098-0>.
- Margallo, M., Aldaco, R., Barceló, A., Diban, N., Ortiz, I., Irabien, A. (2015). Life Cycle Assessment of Technologies for Partial Dealcoholisation of Wines. *Sustainable Production and Consumption*, 2, 29—39. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2015.07.007>.

- Martínez De Toda, F., Balda, P. (2013). Delaying, Berry Ripening through Manipulating Leaf Area to Fruit Ratio. *Vitis Jurnal Grapevine Research*, 52. 171—176. <https://doi.org/10.5073/vitis.2013.52.171-176>.
- Massot, A., Mietton-peuchot, M., Peuchot, C., Milisic, V. (2008). Nanofiltration and Reverse Osmosis in Winemaking. *Desalination*, 231(1—3). 283—289. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2007.10.032>.
- Milanovic, V., Ciani, M., Oro, L., Comitini, F. (2020). *Starmerella Bombicola* Influences the Metabolism of *Saccharomyces cerevisiae* at Pyruvate Decarboxylase and Alcohol Dehydrogenase Level during Mixed Wine Fermentation. *Microbial Cell Factories*, 11. 10—13. <https://doi.org/10.1186/1475-2859-11-18>.
- Mira, H., Guiomar, A., Geraldés, V., De Pinho, M. N. (2017). Membrane Processing of Grape Must for Control of the Alcohol Content in Fermented Beverages. *Journal of Membrane Science and Research*, 3. 308—312. <https://doi.org/10.22079/JMSR.2017.60634.1130>.
- Motta, S., Guaita, M., Petrozziello, M., Ciambotti, A., Panero, L., Solomita, M., Bosso, A. (2017). Comparison of the Physicochemical and Volatile Composition of Wine Fractions Obtained by Two Different Dealcoholization Techniques. *Food Chemistry*, 221. 1—10. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.10.046>.
- Non-Alcoholic Wine Market. (2022). *Fact. MR*. Режим доступу: <https://www.factmr.com/report/4532/non-alcoholic-wine-market>.
- Pallioti, A., Cini, R., Leoni, F., Silvestroni, O., Poni, S. (2013). Effects of Late Mechanized Leaf Removal above the Clusters Zone to Delay Grape Ripening in “Sangiovese” Vines. *Acta Horticulturae*, 978. 301—308. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2013.978.35>.
- Pallioti, A., Poni, S., Berrios, J. G., Bernizzoni, F. (2010). Vine Performance and Grape Composition as Affected by Early-Season Source Limitation Induced with Anti-Transpirants in Two Red Vitis Vinifera L. Cultivars. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 16. 426—433. <https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.2010.00103.x>.
- Piccardo, D., Favre, G., Pascual, O., Canals, J. M., Zamora, F., González-Neves, G. (2019). Influence of the Use of Unripe Grapes to Reduce Ethanol Content and PH on the Color, Polyphenol and Polysaccharide Composition of Conventional and Hot Macerated Pinot Noir and Tannat Wines. *European Food Research and Technology*, 245. 1321—1335. <https://doi.org/10.1007/s00217-019-03258-4>.
- Puškaš, V. S., Miljić, U. D., Djuran, J. J., Vučurović, V. M. (2020). The Aptitude of Commercial Yeast Strains for Lowering the Ethanol Content of Wine. *Food Science & Nutrition*, 8. 1489—1498. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1433>.
- Röcker, J., Schmitt, M., Pasch, L., Ebert, K., Grossmann, M. (2016). The Use of Glucose Oxidase and Catalase for the Enzymatic Reduction of the Potential Ethanol Content in Wine. *Food Chemistry*, 210. 660—670. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.04.093>.
- Russo, P., Liguori, L., Albanese, D., Crescitelli, A., Di Matteo, M. (2013). Investigation of Osmotic Distillation Technique for Beer Dealcoholization. *Chemical Engineering Transactions*, 32. 1735—1740. <https://doi.org/10.3303/CET1332290>.
- Salgado, C. M., Fernández, E., Palacio, L., Hernández, A., Prádanos, P. (2015). Alcohol Reduction in Red and White Wines by Nanofiltration of Musts before Fermentation. *Food Bioprocess Processing*, 96. 285—295. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2015.09.005>.
- Schelezi, O. J., Šuklje, K., Boss, P. K., Jeffery, D. W. (2018). Comparison of Consecutive Harvests versus Blending Treatments to Produce Lower Alcohol Wines from Cabernet Sauvignon Grapes: Impact on Wine Volatile Composition and Sensory Properties. *Food Chemistry*, 259. 196—206. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.03.118>.
- Schmidtke, L. M., Blackman, J. W., Agboola, S. O. (2012). Production Technologies for Reduced Alcoholic Wines. *Journal Food Science*, 77. 25—41. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2011.02448.x>.
- Stockley, C. S. (2012). Is It Merely a Myth That Alcoholic Beverages Such as Red Wine Can Be Cardioprotective? *Science Food Agriculture*, 92. 1815—1821. <https://doi.org/10.1002/jsfa.5696>.

- Stoll, M., Bischoff-Schaefer, M., Lafontaine, M., Tittmann, S., Henschke, J. (2013). Impact of Various Leaf Area Modifications on Berry Maturation in *Vitis Vinifera* L. “Riesling.” *Acta Horticulture*, 978, 293—300. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2013.978.34>.
- Sun, Q., Sacks, G. L., Lerch, S. D., Heuvel, J. E. (2012). Impact of Shoot and Cluster Thinning on Yield, Fruit Composition, and Wine Quality of Corot Noir. *American Journal Enology Viticulture*, 63, 49—56. <https://doi.org/10.5344/ajev.2011.11029>.
- Sun, X., Dang, G., Ding, X., Shen, C., Liu, G., Zuo, C., Chen, X., Xing, W., Jin, W. (2020). Production of Alcohol-Free Wine and Grape Spirit by Pervaporation Membrane Technology. *Food Bio-products Processing*, 123, 262—273. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2020.07.006>.
- Takács, L., Vatai, G., Korány, K. (2007). Production of Alcohol Free Wine by Pervaporation. *Journal Food Engineering*, 78, 118—125. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.09.005>.
- Taran, N., Stoleicova, S., Soldatenko, O., Morari, B. (2014). The Influence of Pressure on Chemical and Physical Parametres of White and Red Wines Obtained by Dealcoholization Method. *Journal of Agroalimentary Processes & Technologies*, 20, 215—219. Режим доступу: <https://ifiscollections.org/ifiscollections/article-abstract/106188/The-influence-of-pressure-on-chemical-and-physical?redirectedFrom=fulltext>.
- Tilloy, V., Ortiz-Julien, A., Dequin, S. (2014). Reduction of Ethanol Yield and Improvement of Glycerol Formation by Adaptive Evolution of the Wine Yeast *Saccharomyces cerevisiae* under Hyperosmotic Conditions. *Applied & Environmental Microbiology*, 80, 2623—2632. <https://doi.org/10.1128/AEM.03710-13>.
- Varavuth, S., Jiratananon, R., Atchariyawut, S. (2009). Experimental Study on Dealcoholization of Wine by Osmotic Distillation Process. *Separation and Purification Technology*, 66, 313—321. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2008.12.011>.
- Wenten, I. G., Dharmawijaya, P. T. (2017). RSC Advances LTA Zeolite Membranes: Current Progress and Challenges in Pervaporation. *RSC Advances*, 7, 29520—29539. <https://doi.org/10.1039/C7RA03341A>.
- Yang, J., Yoshioka, T., Tsuru, T., Asaeda, M. (2006). Pervaporation Characteristics of Aqueous-Organic Solutions with Microporous SiO₂-ZrO₂ Membranes: Experimental Study on Separation Mechanism. *Journal of Membrane Science*, 284, 205—213. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2006.07.041>.
- Zhang, P., Wu, X., Needs, S., Liu, D., Fuentes, S., Howell, K. (2017). The Influence of Apical and Basal Defoliation on the Canopy Structure and Biochemical Composition of *Vitis Vinifera* Cv. Shiraz Grapes and Wine. *Frontiers in Chemisrty*, 5, 1—9. <https://doi.org/10.3389/fchem.2017.00048>.