

Luminescent Determination of Phytostilbene Resveratrol

O.I. Teslyuk^{*†}, S.V. Beltyukova[‡], O.O. Liventsova[§], S.V. Tsygankova[†], V.F. Zinchenko[†]

[†] A.V. Bogatsky Physico-Chemical Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine, Lyustdorfs'ka doroha St., 86, Odesa, 65080, Ukraine; *e-mail: oigg.teslyuk@gmail.com

[‡] Odesa national university of technology, Kanatna St., 112, Odesa, 65039, Ukraine;

[§] Odesa Regional Basic Medical Professional College, Italiys'ka St. 4b, Odesa, 65026, Ukraine.

Received: April 22, 2025; Accepted: September 22, 2025

DOI: 10.17721/moca.2025.228-234

The potential of lanthanide ions for the luminescent determination of resveratrol, a phytoalexin of polyphenolic structure, was investigated. Resveratrol occurs in significant amounts in grapes and can serve as a marker of quality and authenticity of grape wines and juices, making its reliable detection highly relevant for assessing the biological value and authenticity of winemaking products. The main spectral characteristics of resveratrol were determined. In the ultraviolet region, resveratrol solutions exhibit a broad absorption band with a high molar extinction coefficient, enabling efficient light absorption. The strongest luminescent response was observed upon complexation with Sc(III) ions, with a marked increase in luminescence intensity when the complex was immobilized on a Silicagel Merk L100/160 solid matrix compared to solution. Optimal complexation conditions were established: sorption from aqueous solution at pH 6.4–6.7 and Sc(III) concentration of $5 \cdot 10^{-3}$ mol/L. The luminescence intensity of the Sc(III)-resveratrol complex was shown to depend on the metal concentration. The influence of surface-active and donor-active substances was also studied, with nonionic surfactants, particularly Brij-35, significantly enhancing the analytical signal. Based on these findings, a solid-phase luminescent method for the determination of resveratrol in wines and juices was developed using the Sc(III)-resveratrol-Brij-35 sorbate. The method demonstrated good reproducibility, with relative standard deviations ranging from 2.1% to 8.5% at $n=5$ and $P=0.95$, confirming its suitability for quality control of grape-based products.

Keywords: resveratrol, luminescence, Sc(III) complex, solid-phase analysis, wine authenticity

Люмінесцентне визначення фітостильбену ресвератролу

O.I. Теслюк^{*†}, С.В. Бельтюкова[‡], О.О. Лівенцова[§], С.В. Циганкова[†], В.Ф. Зінченко[†]

[†] Фізико-хімічний інститут ім. О.В. Богатського НАН України, Люстдорфська дорога, 86, Одеса, Україна, 65080; *e-mail: oigg.teslyuk@gmail.com

[‡] Одеський національний технологічний університет, вул. Канатна, 112, м. Одеса, Україна, 65039;

[§] Одеський обласний базовий медичний фаховий коледж, вул. Італійська, 4, Одеса, Україна, 65026.

Надійшла: 22 квітня 2025 р.; Прийнята: 22 вересня 2025 р

DOI: 10.17721/moca.2025.228-234

Вивчено можливість застосування йонів лантанідів для люмінесцентного визначення ресвератролу — фітоалексину поліфенольної структури, що міститься у винограді та може слугувати маркером якості й автентичності виноградних вин і соків. Визначено основні спектральні характеристики сполуки: розчин ресвератролу в ультрафіолетовій ділянці спектра має широку смугу поглинання та високий молярний коефіцієнт екстинкції, що забезпечує ефективне поглинання світлової енергії. Максимальний люмінесцентний сигнал спостерігався при комплексоутворенні з йоном Sc(III), причому на твердій матриці сорбенту Silicagel Merk L100/160 інтенсивність люмінесценції комплексу зростала порівняно з розчином. Оптимальні умови комплексоутворення досягались під час сорбції з водних розчинів при рН 6.4–6.7 та концентрації Sc(III) $5 \cdot 10^{-3}$ моль/л. Показано залежність інтенсивності люмінесценції від концентрації металу. Досліджено вплив поверхнево- та донорно-активних речовин: у мицелярному середовищі неіонних ПАВ (зокрема Brij-35) спостерігалось підсилення аналітичного сигналу. На основі отриманих результатів розроблено методику твердофазного люмінесцентного визначення ресвератролу у винах і соках із використанням сорбату комплексу Sc(III)-ресвератролу у присутності Brij-35. Метод показав добру відтворюваність: при $n=5$ та $P=0.95$ відносно стандартне відхилення становило 2.1–8.5%, що підтверджує його перспективність для контролю якості виноробної продукції.

Ключові слова: ресвератрол, люмінесценція, комплекс Sc(III), твердофазний аналіз, автентичність вина

Вступ

Природні органічні фенольні й поліфенольні сполуки є необхідними компонентами харчового раціону та найважливішою складовою рослинних об'єктів. Критерії якості, які висуваються до сировини, що містить поліфеноли, постійно зростають, а водночас висуваються нові вимоги до методів їх ідентифікації та визначення. Тому оптимізація існуючих та створення нових методик визначення – пріоритетне завдання щодо аналізу фенольних сполук рослинного походження.

Систематичне вивчення моно- та різнолігандних комплексів йонів лантанідів як потенційних нових аналітичних форм для люмінесцентного визначення біологічно активних речовин поліфенольної природи дозволяє розширити застосування люмінесцентного методу в аналізі харчової продукції, напоїв, фітоматеріалів та контролю їх якості й безпеки харчування [1–3].

Ресвератрол (3,5,4'-тригідрокси-транс-стильбен) – це фітоалексин поліфенольної природи, похідне стильбену, Рис.1. Ресвератрол максимально сконцентрований у шкірі винограду, виробляється у відповідь на екстремальні впливи – низькі температури, ультрафіолетове випромінювання, травми, грибкові та мікробні забруднення. Ресвератрол у значній кількості міститься у винограді та червоному вині і може виконувати роль маркера якості та справжності червоних виноградних вин та виноградних соків, що є актуальним для пошуку додаткових критеріїв біологічної цінності та справжності виноробної продукції [1,4]. Ресвератрол зустрічається у формі цис- і транс- ізомерів. Особливе значення для оцінки якості вин має транс-ресвератрол (3,4,5-тригідроксистильбен), як біологічно активна форма. Кожне вино характеризується різною кількістю даного стильбену, оскільки його наявність залежить від багатьох чинників, таких як: сорт винограду, навколишнє середовище (клімат, ґрунт, регіон) та технології виноробства.

Цінуються саме ті вина, які виготовлені з винограду, що містить ресвератрол, в основному, у транс-формі. Цис-ресвератрол – нестійка сполука,

яка під дією світла може переходити у транс-форму.

Поліфенольне походження ресвератролу зумовлює його виражену антиоксидантну дію [5]. Він пригнічує перекисне окиснення ліпідів ліпопротеїнів низької щільності (ЛПНЩ), запобігає цитотоксичності окиснених ЛПНЩ. Має протипухлинну, протизапальну, фітоестрогенну дію [6–8].

Для виявлення та кількісного визначення ресвератролу використовують хроматографічні (високоєфективна (ВЕРХ), газова, тонкошарова хроматографія), спектроскопічні методи (спектрофотометрія в ультрафіолетовій ділянці, мас-спектрометрія) [9–15,19] та комбіновані методи [16–18]. Найпоширеніший метод визначення ресвератролу у рослинній сировині, винах, соках – метод ВЕРХ. Автори [20] запропонували флуоресцентний аналіз для визначення ресвератролу. Підхід заснований на резонансному перенесенні енергії флуоресценції (FRET) через конкурентне супрамолекулярне розпізнавання між п-сульфованим калікс[6]-ареном (CX6), модифікованим відновленим оксидом графену (CX6@RGO), і комплексом зонд-ресвератрол. Межа визначення ресвератролу становить 0,47 мкмоль/л. Отже, існуючі методи визначення та ідентифікації ресвератролу є доволі складними, потребують тривалої пробопідготовки та виконання, мають складне апаратне забезпечення. Доцільно з'ясувати можливість застосування методу твердофазної люмінесценції, який не потребує спеціального дороговартісного устаткування, токсичних розчинників, до того ж є ефективним, чутливим та простим у виконанні.

У роботі розглянуто основні спектрально-люмінесцентні характеристики стильбену ресвератролу, визначено можливість та оптимальні умови комплексоутворення зі Sc(III). На підставі проведених досліджень запропоновано методику визначення ресвератролу у винах та соках методом твердофазної люмінесценції з застосуванням сенсорної системи у формі сорбату комплексу зі Sc(III) та Брідж-35.

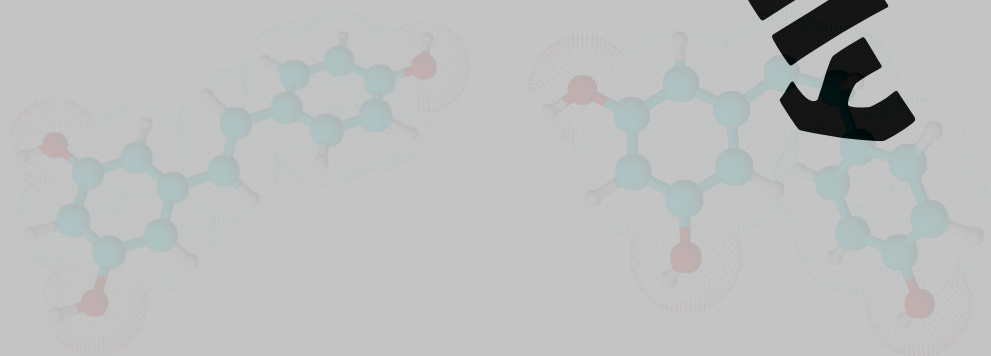


Рис.1. Структурні форми ресвератролу: 3,5,4'-тригідрокси-транс-ресвератрол (А) та 3,5,4'-тригідроксис-ресвератрол (В).

Матеріали, прилади та методи дослідження

Розчини хлоридів лантанідів (Tb(III), Eu(III), Y(III), La(III) й Sc(III) ($1 \cdot 10^{-2}$ моль/л) готували з відповідних оксидів кваліфікації «о.с.ч.», шляхом розчинення їх в хлористоводневій кислоті (1:1), з подальшим видаленням її надлишку випаровуванням. Концентрацію лантанідів (III) визначали комплексонометричним титруванням розчином комплексону III з індикатором арсеназол у присутності уротропіну. Стандартний розчин ресвератролу й розчин донорно-активних добавок (ДАД) трифенілфосфіноксиду (ТОФО) та трифенілфосфіноксиду (ТФФО) («Sigma-Aldrich») ($1 \cdot 10^{-2}$ моль/л) готували розчиненням точних наважок речовин в етанолі. Розчини поверхнево-активних речовин (ПАР) («Sigma-Aldrich») ($1 \cdot 10^{-2}$ моль/л) готували розчиненням у дистильованій воді. Люмінесценцію сорбатів комплексів Sc (III) реєстрували у діапазоні довжин хвиль 400–600 нм за допомогою спектрометра ІСП-51 з фотоелектричною приставкою ФЕП-1 (люмінесценцію збуджували світлом ртутно-кварцової лампи СВД-120 А зі світлофільтром УФС-2, що виділяє випромінювання з $\lambda_{\text{холод}} = 366$ нм), а також спектрофлуориметра «Fluorolog F3-22», «Horiba Jobin Yvon» (безозонова Хе лампа 150 Вт). Спектри поглинання розчинів реєстрували за допомогою спектрофотометра «Lambda-9» (Perkin-Elmer). рН розчинів вимірювали за допомогою іономіра універсального ЕВ-74, калібрування якого проводили за допомогою стандартних буферних розчинів.

Приготування стандартного розчину ресвератролу: 0.05 г стандартного зразка ресвератролу (точна наважка), висушеного при температурі 100°C до постійної маси, розчиняли в мірній колбі місткістю 250.0 мл у 20.0 мл етилового спирту 70%, доводили об'єм розчину спиртом етиловим 70% до 250.0 мл і перемішували.

Методика визначення

Сорбент Silicagel Merk L100/160 піддавали взаємодії з водним розчином хлориду скандію (III). Наважку сорбенту масою 60 мг поміщали в пробірку, додавали 1 мл водного розчину хлориду Sc(III) ($5 \cdot 10^{-3}$ моль/л) та перемішували протягом 5 хвилин. Потім додавали 1 мл досліджуваного розчину вина, 0.5 мл Брідж-35 ($1 \cdot 10^{-2}$ моль/л) і 0.3 мл розчину уротропіну 40%-го з рН 6.4–6.7, доводили загальний об'єм до 10 мл дистильованою водою і перемішували протягом 15 хвилин. Сорбент відфільтровували крізь фільтр «синя стрічка» та висушували протягом 10–15 хвилин при 100°C. Далі реєстрували інтенсивність люмінесценції сорбату комплексу $\lambda_{\text{випр}} = 482$ нм, ($\lambda_{\text{зб}} = 365$ нм). При тест-визначенні інтенсивність люмінесценції проби порівнювали з інтенсивністю люмінесценції стандартних зразків, що містять різну кількість ресвератролу (0.01–20.0 мг/л) та підготовлених так, як описано вище. На підставі порівняльної оцінки

інтенсивності люмінесценції робили висновок про вміст ресвератролу у зразку.

Кількісне визначення ресвератролу

Кількісне визначення ресвератролу виконували методом добавок. У три пробірки або склянки вносили по 60 мг сорбенту, модифікованого розчином хлориду Sc(III), як описано вище. Далі вносили по 1.0 мл досліджуваного розчину, у дві з них додавали стандартний розчин ресвератролу у такій кількості, щоб інтенсивність люмінесценції проби зросла в 2 та 3–4 рази відповідно. Далі у кожную склянку додавали по 0.5 мл Брідж-35 ($1 \cdot 10^{-2}$ моль/л) і 0.3 мл розчину уротропіну 40%-го з рН 6.4–6.7, загальний об'єм доводили до 10 мл дистильованою водою і перемішували впродовж 15 хвилин. Сорбент відфільтровували крізь фільтр «синя стрічка» та висушували протягом 10–15 хвилин при 80–100°C. Інтенсивність люмінесценції сорбатів комплексу реєстрували за довжини хвилі $\lambda_{\text{випр}} = 482$ нм, ($\lambda_{\text{зб}} = 365$ нм).

Паралельно готували розчин «холостої» проби, яка містила всі компоненти, окрім досліджуваного розчину.

Кількісне визначення ресвератролу проводили за формулою (1) методу добавок:

$$C_x = ((I_x - I_{\text{хол}}) / ((I_{\text{х+доб}} - I_{\text{хол}}) - (I_x - I_{\text{хол}}))) \cdot C_1, \text{ мг/л} \quad (1)$$

де C_x – знайдена концентрація ресвератролу у пробі, мг/л; C_1 – концентрація стандартного розчину ресвератролу, мг/л; I_x – інтенсивність люмінесценції досліджуваного зразку проби; $I_{\text{х+доб}}$ – інтенсивність люмінесценції проби досліджуваного розчину з додаванням стандартного розчину ресвератролу; $I_{\text{хол}}$ – інтенсивність люмінесценції «холостої» проби.

Результати дослідження

Для оцінки комплексоутворювальних властивостей ресвератролу було визначено основні спектральні характеристики органічної сполуки. Ресвератрол (транс-форма) в ультрафіолетовій ділянці спектра має широку смугу поглинання від 260 до 360 нм з максимумом при $\lambda = 306$ нм. Високе значення молярного коефіцієнта екстинкції ($39430 \text{ л} \cdot \text{моль}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$) зумовлює можливість ефективного поглинання світлової енергії. В спектрі збудження люмінесценції спостерігається широка смуга 270–370 нм з максимумом при 330 нм (рис. 2). При опроміненні УФ-світлом ртутної лампи з $\lambda_{\text{макс}} = 365$ нм ресвератрол у розчині проявляє люмінесцентні властивості ($\lambda_{\text{випр}} = 390$ нм), але інтенсивність його люмінесценції незначна.

Для інтенсифікації люмінесцентного сигналу вивчено вплив рідкісноземельних елементів на $I_{\text{люм}}$ ресвератролу як у розчині, так і на твердій матриці (рис. 3).

Найбільше значення люмінесцентного сигналу ресвератролу спостігається у присутності іонів Sc(III). В результаті утворення комплексної сполуки

власна люмінесценція ресвератролу у розчині збільшується у 12 разів. В спектрах збудження люмінесценції при комплексоутворенні зі Sc(III) спостерігається гіпер- та гіпсохромний зсув, $\lambda_{\text{макс}}=310$ нм (рис. 2).

На сорбентах інтенсивність люмінесценції сполук значно вища. Дослідженню люмінесцентні властивості комплексу ресвератролу зі Sc(III) на сорбентах різних типів (табл.1).

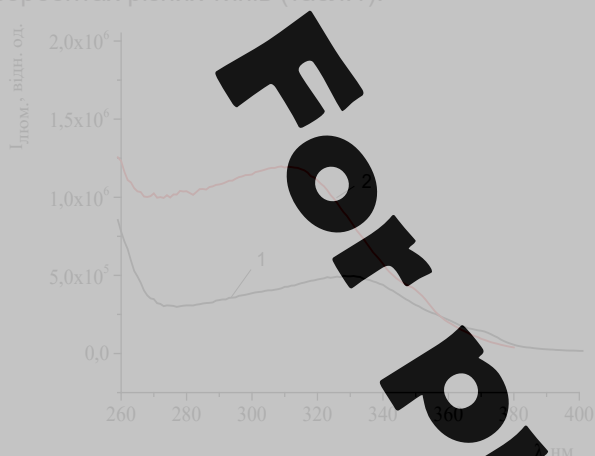


Рис.2. Спектр збудження люмінесценції речовини ресвератролу (1) та комплексу Sc(III) – ресвератрол; ($C_{\text{ресв}} = 1 \cdot 10^{-5}$ моль/л, $C_{\text{Sc(III)}} = 5 \cdot 10^{-3}$ моль/л).



Рис. 3. Відносна інтенсивність люмінесценції ресвератролу у твердій фазі в присутності різних йонів металів; ($C_{\text{Ln}} = 1 \cdot 10^{-3}$ моль/л; $C_{\text{ресв}} = 1 \cdot 10^{-5}$ моль/л).

Максимальне значення інтенсивності люмінесценції комплексної сполуки Sc(III) – ресвератрол спостерігається при використанні твердої матриці Silicagel Merk L100/160, який був застосований для подальших досліджень. Зростання $I_{\text{люм}}$ сполуки Sc(III)-ресвератрол у твердій фазі може бути пов'язане з іммобілізацією комплексу на жорсткій матриці, в результаті чого зменшуються безвипромінювальні втрати енергії через внутрішньомолекулярну коливальну та ротаційну релаксацію, що має місце в розчинах при зіткненнях молекул. Крім того, певний вплив на зростання величини інтенсивності люмінесценції має ефект концентрування на сорбенті.

При комплексоутворенні в спектрах люмінесценції сорбатів Sc(III) з ресвератролом ($\lambda_{\text{випр}} = 482$ нм) спостерігається зростання інтенсивності

люмінесценції та bathochromic зсув максимуму люмінесценції на 92 нм (рис. 4).

Таблиця 1. Інтенсивність люмінесценції сорбатів комплексу Sc(III)-ресвератрол на сорбентах різного типу.

Сорбент	$I_{\text{люм.}}$	
	відн.од	%
Цеоліт Ca A	310	36
Цеоліт Na A	280	33
Silicagel Merk L100/160	850	100
Silicagel Merk L100/400	670	79
Фосфат алюмінію	54	6
Ксерогель немодифікований	207	24
Calflo E	42	5
TLC Aluminium oxide 60	540	63
Сефадекс (sefadex) G-50	620	73
Сефадекс (sefadex) G-75	680	80

Обрано оптимальні умови проведення сорбції. Комплексоутворення ресвератролу з іоном Sc(III) відбувається на сорбенті Silicagel Merk L100/160 при проведенні сорбції зі слабкокислого розчину з pH 6.4–6.7. Оптимальна концентрація Sc(III) – $5 \cdot 10^{-3}$ моль/л. Дослідження кінетики сорбції показало, що для проведення процесу достатньо 15 хв. При більш тривалому часі проведенні сорбції люмінесцентний комплекс на сорбенті залишається практично незмінною. Повнота вилучення аналіту з розчину при цьому досягає 97%.

Інтенсивність люмінесценції сорбатів Sc(III) з ресвератролом залежить від кількості сорбенту, температури та тривалості висушування сорбатів. Як показали дослідження, оптимальна маса сорбенту Silicagel Merk L100/160 становить 60–70 мг. Для отримання максимального значення інтенсивності люмінесцентного сигналу сорбатів комплексів достатньо 10 хвилин висушування при 80–100°C.

Встановлено, що максимальна інтенсивність люмінесценції сорбатів Sc(III) з ресвератролом спостерігається при сорбції з водних розчинів. Присутність інших розчинників або не впливає, або призводить до гасіння $I_{\text{люм}}$ сорбату комплексу. Розчинники, що містять донорні групи, спричиняють збільшення ступеня безвипромінювальних втрат енергії збудження. Це виключено також, що у присутності розчинників відбувається вимивання комплексу із твердої фази.

Досліджено вплив ПАР та ДАД на люмінесцентні властивості сорбату комплексу Sc(III)-ресвератрол. Зростання аналітичного сигналу спостерігалось при проведенні сорбції у мицелярному середовищі неіоногенних ПАР, зокрема Тритон X-100, Твін-80, Неонол 9-12 та Брідж-35 (рис. 5).

Найбільше значення інтенсивності люмінесценції сорбату комплексу Sc(III)-ресвератрол у присутності Брідж-35 може бути зумовлене

збільшенням жорсткості люмінесцентних центрів під впливом передміцел та міцел неіоногенного ПАР, що формують мікрооточення на поверхні сорбенту [21]. ПАР змінює гідрофобність поверхні сорбенту та сприяє сорбції комплексу. Як результат, спостерігається зростання люмінесцентного сигналу. Оптимальна концентрація Брідж-35 у розчині, з якого проводиться сорбція, становить $5 \cdot 10^{-4}$ моль/л.

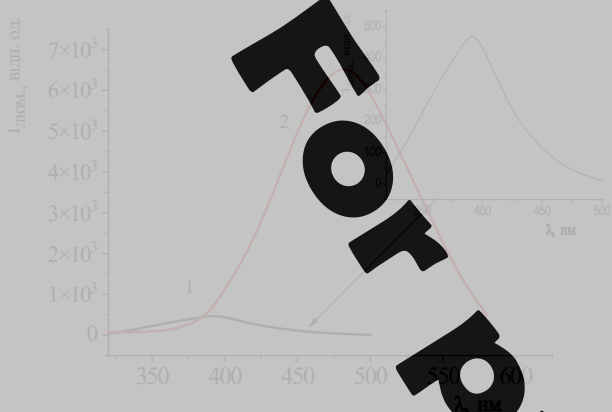


Рис. 4. Спектри люмінесценції розчину ресвератролу (1) та сорбату комплексу Sc(III) -ресвератролу на Silicagel Merk L100/160 ($C_{\text{ресв}} = 5 \cdot 10^{-3}$ моль/л, $C_{\text{ресв}} = 1 \cdot 10^{-5}$ моль/л).

Лінійна залежність інтенсивності люмінесценції сорбатів комплексів від концентрації ресвератролу спостерігається в діапазоні концентрацій 0.01–20.0 мг/л. Наявність пропорційної концентраційно-залежності сорбатів комплексів в оптимальних умовах сорбції від кількості ресвератролу в розчині робить можливим використання комплексної сполуки Sc(III) -ресвератролу у присутності Брідж-35 як аналітичної форми для твердофазного люмінесцентного визначення ресвератролу.

Твердофазне люмінесцентне визначення ресвератролу у винах

На підставі проведених досліджень розроблено методику сорбційно-люмінесцентного визначення ресвератролу у винах, що ґрунтується на реєстрації інтенсивності люмінесценції нових аналітичних форм – сорбатів комплексів ресвератролу зі Sc(III) у присутності Брідж-35.

Визначено вміст ресвератролу у винах різних виробників (табл. 2). При $n=5$ та $P = 0.95$ величина відносного стандартного відхилення (S_r) становить 2.1–8.5%. Межа виявлення ресвератролу становила 0.002 мг/л. Відповідно до отриманих результатів, вміст ресвератролу у досліджуваних зразках варіюється в межах 0.15–16.2 мг/л. Червоні вина містять більше ресвератролу, ніж вина з білого винограду. Це може бути пов'язано з особливостями технології виготовлення червоних вин. Найбільший рівень концентрації ресвератролу виявлено у червоному вині Les Ormes de Cambras Cabernet Sauvignon red (Франція).

Виноградні соки демонструють нижчий вміст ресвератролу, порівняно з винами, 0.15–0.32 мг/л, що може бути результатом іншої технології виготовлення продукції. Таким чином, якісний та кількісний вміст ресвератролу у винах та виноградних соках може бути додатковим критерієм оцінки якості та справжності в експертизі виноробної продукції.

Правильність визначення ресвератролу у винах перевірено методом «введено-знайдено» (табл. 3). Для досліджуваного зразка використали вино Shabo Merlot червоне сухе (Шабо, Україна).

Для перевірки правильності запропонованої методики отримані дані порівнювали з результатами, отриманими спектрофотометрично за методикою, наведеною у [22] (табл. 4).



Рис. 5. Вплив ПАР та ДАД на інтенсивність люмінесценції сорбату комплексу Sc(III) -ресвератролу; ($C_{\text{Sc(III)}} = 5 \cdot 10^{-3}$ моль/л, $C_{\text{ресв}} = 1 \cdot 10^{-5}$ моль/л).

Таблиця 2. Результати визначення вмісту ресвератролу у винах та виноградних соках ($n = 5$; $P = 0.95$).

Зразок	Знайдено в пробі, мг/л	Sr, %
Вино Koblevo Каберне сухе сортове червоне, АТ Коблево, Україна	7.1±0.45	5.2
Вино Koblevo Bastardo червоне напівсолодке, АТ Коблево, Україна	6.2±0.31	4.1
Вино Teliani Valley Сапераві червоне сухе, Teliani Valley, Грузія	12.5±0.66	4.3
Вино Suro Алазанська долина, червоне напівсолодке, Кахетія, Грузія	8.3±0.58	5.7
Вино Shabo Cabernet Reserve червоне сухе, ТОВ ПТК ШАБО, Україна	5.8 ±0.46	6.4
Вино Teliani Valley Кіндзмараулі червоне сухе., Teliani Valley, Грузія	14.1±0.37	2.1
Вино Shabo Merlot червоне сухе, ТОВ ПТК Шабо, Україна	6.4±0.45	5.7
Вино червоне сухе Сапераві, Badagoni, Грузія	10.6±0.65	4.9
Los Pinos Cermenere червоне сухе, Франція	7.3±0.55	6.1
Alto Roche Bianche червоне сухе, Італія	7.6±0.65	6.9
Les Ormes de Cambras Cabernet Sauvignon red, Les Ormes de Cambras, Франція	16.2±0.44	2.2
Вино Cola de Cometa червоне сухе, Cola de Cometa, Іспанія	10.1±0.49	3.9
Вино біле сухе Old Gruzia «Циндаль», Грузія	1.1±0.10	7.1
Вино Zaffin Chardonnay біле сухе, Італія	0.72 ±0.07	7.9
Вино Shabo Grand Reserve «Шардоне - Совиньон Блан» біле сухе, Україна	0.64±0.06	8.0
Сік виноградний білий, ЛТ ФГ Гроно Галичини, Україна	0.15±0.01	8.5
Сік Hafner червоний виноград, Австрія	0.32±0.03	8.3

Як досліджувані зразки використовували такі вина: 1 – Вино Villa UA Merlot червоне сухе, ТОВ Виналь, Україна; 2 – Вино Domaine Bousquet Merlot червоне, Domaine Bousquet, Аргентина; 3 – Вино Purcari «Каберне Совиньон» червоне сухе, Purcari, Молдова; 4 – Вино Badagoni «Алазанська долина» біле напівсолодке, Badagoni, Грузія.

Таблиця 3. Результати визначення ресвератролу у винах методом «введено-знайдено» (мг/л) ($n=5$; $P = 0.95$).

Введено	Знайдено	Sr, %
-	6.40±0.45	5.7
5	11.21±0.68	4.9
10	16.38±0.91	4.5

Результати, отримані двома методами, знаходяться у задовільній відповідності. Слід зазначити, що при визначенні ресвератролу запропонованим методом твердофазної люмінесценції, діапазон лінійності (0.01–20.0 мг/л) значно ширший і межа визначення ресвератролу нижча (0.002 мг/л), ніж у методиці [22] (1–5 мг/л

та 0.132 мг/л відповідно). Метод сорбційно-люмінесцентного визначення ресвератролу простий у виконанні, чутливіший і селективніший завдяки утворенню комплексу та сорбційній сепарації, не потребує використання токсичних розчинників й спеціального дороговартісного обладнання. Запропонована методика може бути впроваджена для визначення показника якості виноградних вин та соків в експертизі виноробної продукції.

Висновок

В процесі зростання власної молекулярної люмінесценції ресвератролу виявлено в присутності йонів Sc(III) у розчині та у фазі сорбенту. Досліджено люмінесцентні властивості сорбатів комплексів Sc(III) з поліфенолом ресвератролом. Показано можливість використання сорбату комплексу Sc(III)-ресвератрол-Бридж-35 як нової аналітичної форми для твердофазного люмінесцентного визначення ресвератролу у виноградних винах та соках, як маркера якості та справжності виноградної продукції.

Таблиця 4. Результати визначення ресвератролу у винах (мг/л) ($n=5$, $P = 0.95$).

Зразок	Метод твердофазної люмінесценції, що пропонується		Спектрофотометричний метод [22]	
	Знайдено в пробі, мг/л	Sr, %	Знайдено в пробі, мг/л	Sr, %
1	3.5±0.24	5.7	3.8±0.29	6.1
2	4.3±0.21	4.1	4.5±0.29	5.3
3	4.2±0.20	3.8	4.3±0.27	5.1
4	1.7±0.13	6.1	2.0±0.16	6.3

Література

1. Teslyuk, O.I.; Bel'tyukova, S.V. *Lyuminescentni sensory v ekspertyzi alkohol'nykh i bezalkohol'nykh napoyiv ta fitomaterialiv*. Odesa, Astroprynt, 2025, 165 s.
2. Bel'tyukova, S.V.; Teslyuk, O.I.; Liventsova, Ye.O. *Lyuminescentnyy analiz pishchevykh produktov*. Lambert Academic Publishing, 2014, 164 s.
3. Bel'tyukova, S.V.; Stepanova, A.A.; Teslyuk, O.I. *Primeneniye tverdogaznoy spektrometrii dlya opredeleniya antioksidantov*. Saarbrücken, Palmarium Academic Publishing, 2015, 164 s.
4. Fabjanowicz, M.; Plotka-Wasyłka, J.; Namieśnik, J. Detection, identification and determination of resveratrol in wine: Problems and challenges. *Trends Anal. Chem.* 2018, 109, 21-33. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2018.03.006>
5. Koushki, M.; Amiri-Dashnati, N.; Ahmadi, N.; et al. Resveratrol: A miraculous natural compound for diseases treatment. *Food Sci. Nutr.* 2018, 6(8), 2473-2490. <https://doi.org/10.1002/fsn2.855>
6. Rotondo, S.; Rajtar G.; Manarini, S.; et al. Effect of trans-resveratrol, a natural polyphenolic compound, on human polymorphonuclear leukocyte function. *Brit. J. Pharmacol.* 1998, 123, 1691-1699. <https://doi.org/10.1038/sj.bjp.0701784>
7. Elmali, N.; Baysal, O.; Harma, A.; et al. Effect of resveratrol in inflammatory arthritis. *Inflammation* 2007, 30(1-2), 1-6. <https://doi.org/10.1007/s10157-006-9012-0>
8. Gao, X.; Xu, Y.; Janakiraman, N.; et al. Immunomodulatory activity of resveratrol: suppression of lymphocyte proliferation, development of cell-mediated cytotoxicity, and cytokine production. *Biochem. Pharmacol.* 2001, 62(9), 1299-1308. [https://doi.org/10.1016/S0006-2952\(01\)00775-4](https://doi.org/10.1016/S0006-2952(01)00775-4)
9. Mamchur, V.Y.; Markhon', N.O. Analitichna kharakterystyka fitoaleksynu resveratrolu. *Farm. Zhurn.* 2012, 6, 3-10.
10. Das, D.K.; Maulik, N. Resveratrol in cardioprotection: a therapeutic promise of alternativemedicine. *Mol. Intervent.* 2006, 6(1), 36-47. <https://doi.org/10.1124/mi.6.1.7>
11. Weinge, V.; Strlic, M.; Kocar, D. Comparison of methods for determination of polyphenols in wine by HPLC-UV/VIS, LC/MS/MS and spectrophotometry. *Acta Chim. Slov.* 2009, 56, 698-703.
12. Blache, D.; Rustan, I.; Durand, P., et al. Gas chromatographic analysis of resveratrol in plasma, lipoproteins and cells after in vitro incubations. *J. Chromatogr. B.* 1997, 702, 103-110. [https://doi.org/10.1016/S0378-4347\(97\)00383-6](https://doi.org/10.1016/S0378-4347(97)00383-6)
13. Huang, X.; Mazza, G. Simultaneous analysis of serotonin, melatonin, piceid and resveratrol in fruits using liquid chromatography tandem mass spectrometry. *J. Chromatogr. A.* 2011, 1218(25), 3890-3899. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2011.04.049>
14. Juan, M.E.; Lamuela-Raventós, R.M.; Carmen de la Torre-Boronat, M. Determination of trans-resveratrol in plasma by HPLC. *Anal. Chem.* 1999, 71, 747-750.
15. Revilla, E.; Ryan, J.-M. Analysis of several phenolic compounds with potential antioxidant properties in grape extracts and wines by high-performance liquid chromatography – photodiode array detection without sample preparation. *J. Chromatogr. A.* 2000, 881, 461-469. [https://doi.org/10.1016/S0021-9673\(00\)00269-7](https://doi.org/10.1016/S0021-9673(00)00269-7)
16. Careri, M.; Corradini, C.; Elviri, L.; et al. Liquid chromatography-electrospray tandem mass spectrometry of cis-resveratrol and trans-resveratrol: development, validation, and application of the method to red wine, grape, and winemaking byproducts. *J. Agric. Food Chem.* 2004, 52(23), 6868-6874. <https://doi.org/10.1021/jf049219d>
17. Milleno Mota, D.; Meira Marilena, M.; Juceni, D.; et al. New Method for Determination of Trans-resveratrol for Quality Evaluation of Red Wines by Multivariate Calibration Associated with UVVIS Spectroscopy. *Current Analyt. Chem.* 2021, 17(7), 1037-1043. <https://doi.org/10.2174/1573411017666201229142412>
18. Soleas, G.J.; Yan, J.; Goldberg, D.M. Ultrasensitive assay for three polyphenols (catechin, quercetin and resveratrol) and their conjugates in biological fluids utilizing gas chromatography with mass selective detection. *J. Chromatogr. B: Biomed. Sci.* 2001, 757(1), 161-172. [https://doi.org/10.1016/S0167-4347\(01\)00142-6](https://doi.org/10.1016/S0167-4347(01)00142-6)
19. Malovaná, S.; Montelongo, F.J. Garcia; Perez, J.; et al. Optimisation of sample preparation for the determination of trans-resveratrol and other polyphenolic compounds in wines by high performance liquid chromatography. *Anal. Chim. Acta.* 2001, 428(2), 245-253. [https://doi.org/10.1016/S0003-2670\(00\)01231-9](https://doi.org/10.1016/S0003-2670(00)01231-9)
20. Li, C.; Tan, S.; Ye, H., et al. A novel fluorescence assay for resveratrol determination in red wine based on competitive host-guest recognition. *Food Chem.* 2019, 283, 191. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.12.103>
21. Li, L.; Wang, W.; Tang, J. Classification, Synthesis, and Application of Luminescent Silica Nanoparticles: a Review. *Nanoscale Res. Lett.* 2019, 14(190), 23. <https://doi.org/10.1186/s11671-019-3006-y>
22. Pathade, P.; Sumrit, A.; Sonawane, B.; et al. Development and Validation of Stability Indicating UV Spectrophotometric Method for Estimation of Resveratrol in Bulk and Tablet Dosage Form. *Int. J. Drug Deliv. Technol.* 2024, 14 (1), 385-388. <https://doi.org/10.25258/ijddt.14.1.56>