



UDC543.422.3: 547.27

SIMULTANEOUS SPECTROPHOTOMETRIC DETERMINATION OF FOOD DYES IN BINARY MIXTURES BY H-POINT STANDARD ADDITION METHOD

Larisa P. Sidorova*, Andriy B. Vishnikin, Alina O. Voloboy

Oles Honchar Dnipro National University, 72 Gagarina Ave., Dnipro, 49010, Ukraine

Received 3 November 2019; accepted 10 December 2019; available online 21 December 2020

Abstract

A simple, rapid and highly sensitive method for the determination of the content of synthetic food dyes in binary mixtures using H-point standard addition method has been developed. The theoretical foundations of the method are given. The following analytical wavelengths were selected to determine the yellow dye «Sunset» (E 110) and Ponceau 4R (E124) in mixtures: 446 and 521 nm for the dye E110 and 470 and 542 nm for the dye E124. In accordance with the requirements of the method, for these wavelengths, absorbance of one of the components is the same, and its concentration in a series of solutions remains unchanged. At the same time, for the other component, the difference in absorbances at the same wavelengths was large enough and the concentration changed systematically. Simultaneous determination of dyes E124 and E110 is possible with satisfactory precision in the range of their concentrations in a mixture from 1 to 30 µg/mL. The method is characterized by satisfactory precision, and the relative error does not exceed 4 % when using the SF-46 spectrophotometer. The technique has been successfully tested on artificial mixtures and commercially available carbonated beverage samples: «Mirinda», «Shake», «InStyle», «Fruits Multivitamin».

Key words: simultaneous determination; synthetic food dyes; E110 (yellow "Sunset"); E124 (Ponso 4R, bright red 4R); spectrophotometry; H-point standard addition method; soft drinks.

ОДНОЧАСНЕ СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ХАРЧОВИХ БАРВНИКІВ У БІНАРНИХ СУМІШАХ МЕТОДОМ СТАНДАРТНИХ ДОБАВОК Н-POINT

Лариса П. Сидорова, Андрій Б. Вишнікін, Аліна О. Волобой

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, просп. Гагаріна, 72, Дніпро, 49010, Україна

Анотація

Розроблено просту, експресну та високочутливу методику визначення вмісту синтетичних харчових барвників у бінарних сумішах методом стандартних добавок H-point. Наведені теоретичні основи методу. При визначенні барвників жовтий «Захід сонця»(E110) та Понсо 4R (E124) у відповідності з вимогами метода вибрані наступні аналітичні довжини хвиль, за яких світлопоглинання одного з компонентів є однаковим, а його концентрація у серії розчинів залишається незмінною: 446 і 521 нм для барвника E110 і 470 і 542 нм для барвника E124. Для іншого компонента різниця в оптичних густинах при цих же довжинах хвиль є достатньо великою, а концентрація систематично змінюється. Одночасне визначення барвників E124 і E110 можливе із задовільною точністю в інтервалі концентрацій у суміші від 1 до 30 мкг / мл. Метод характеризується задовільною прецизійністю, а відносна похибка не перевищує 4 % при використанні спектрофотометру СФ-46. Методика була успішно апробована на модельних сумішах та комерційно доступних зразках газованих напоїв: «Mirinda», «Shake», «InStyle», «Фрутс Мультивітамін».

Ключові слова: одночасне визначення; синтетичні харчові барвники; E110 (жовтий «Захід сонця»); E124 (Понсо 4R, Яскраво-червоний 4R); спектрофотометрія; метод стандартних добавок H-point; безалкогольні газовані напої.

*Corresponding author: e-mail address: [sydorova.lp@gmail.com](mailto:sidorova.lp@gmail.com)

© 2019 Oles Honchar Dnipro National University

doi:10.15421/081928

ОДНОВРЕМЕННОЕ СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПИЩЕВЫХ КРАСИТЕЛЕЙ В БИНАРНЫХ СМЕСЯХ МЕТОДОМ СТАНДАРТНЫХ ДОБАВОК N-POINT

Лариса П. Сидорова, Андрей Б. Вишникин, Алина О. Волобой

Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара, просп. Гагаріна, 72, Дніпро, 49010, Україна

Аннотация

Разработана простая, экспрессная и высокочувствительная методика определения содержания синтетических пищевых красителей в бинарных смесях методом стандартных добавок N-point. Приведены теоретические основы метода. При определении красителей желтый «Закат» (E110) и Понсо 4R (E124) в соответствии с требованиями метода выбраны следующие аналитические длины волн, при которых светопоглощение одного из компонентов постоянно, а его концентрация в серии растворов остается неизменной: 446 и 521 нм для красителя E110 и 470 и 542 нм для красителя E124. Для другого компонента разница в оптических плотностях при этих же длинах волн достаточно большая, а концентрация систематически изменяется. Одновременное определение красителей E124 и E110 возможно с удовлетворительной точностью в интервале концентраций смеси от 1 до 30 мкг / мл. Метод характеризуется удовлетворительной воспроизводимостью, а относительная погрешность не превышает 4 % при использовании спектрофотометра СФ-46. Методика была успешно апробирована на модельных смесях и коммерчески доступных образцах газированных напитков: «Mirinda», «Shake», «InStyle», «Фрутс Мультивитамины».

Ключевые слова: одновременное определение; синтетические красители; E110 (желтый «Закат»); E124 (Понсо 4R, пунцовый 4R); спектрофотометрия; метод стандартных добавок N-point; безалкогольные напитки.

Вступ

Барвники та їх суміші часто використовують у харчовій та фармацевтичній промисловості, наприклад, для придання приємного кольору. В Україні дозволяється використання близько 20 синтетичних харчових барвників (СХБ), 65 % з яких є азобарвниками [1]. Припустимий вміст СХБ складає, залежно від типу барвника і виду харчового продукту, від 10 до 500 мг/кг [2]. У ряді випадків наявність СХБ є індикатором фальсифікації продуктів харчування (наприклад, забарвлених фруктових соків).

Визначення індивідуального барвника є досить простим. Але набагато складнішою проблемою є визначення барвників у суміші чи визначення барвника у присутності інших забарвлених речовин. Хоча для цього можна використовувати ефективні хроматографічні методи [3–8], спектрофотометрія використовується набагато частіше, враховуючи простоту та доступність апаратури. Для випадку, коли спектри барвників повністю або дуже сильно перекриваються, запропоновано багато способів математичної обробки [9–18], але тривають спроби винайти найбільш прості та ефективні методи. Тому розробка методів визначення сумішей СХБ у продуктах харчування є актуальним аналітичним завданням. Для визначення вмісту барвників жовтий «Захід сонця» (E110) та Понсо 4R (E124) у суміші без попереднього відділення в роботі використовували один із сучасних варіантів розрахункових спектрофотометричних методів – метод стандартних

добавок N-Point (N-point standard addition method, NPSAM), вперше запропонований Bosch-Reig зі співробітниками [19; 20]. Визначення за його допомогою полягає у вимірюванні оптичної густини суміші барвників, при якому концентрація одного компоненту є сталою, а іншого змінюється. Цей метод є модифікацією стандартного методу добавок, що перетворює невиправні помилки, які виникають у результаті наявності компонента, що заважає при визначенні аналізованої речовини, в постійні систематичні похибки, які можуть бути оцінені та усунуті.

Мета роботи полягала в розробці простої, експресної спектрофотометричної методики одночасного визначення СХБ в суміші розрахунковим методом стандартних добавок N-point.

Експериментальна частина

Реагенти і апаратура. У роботі використовували синтетичні харчові барвники: жовтий «Захід сонця»(E110) та Понсо 4R (E124) виробництва Sigma США. Стандартні розчини барвників із концентрацією 0.1 г/л готували розчиненням точних наважок у дистильованій воді. Робочі розчини готували розведенням безпосередньо перед експериментом. Всі реактиви, використані в роботі, були не нижче кваліфікації "х.ч.". Необхідні значення рН контролювали з використанням універсального іономеру ЕВ-74 зі скляним індикаторним електродом ЕСЛ-6307 та хлоридсрібним електродом порівняння.

Оптичну густина вимірювали на спектрофотометрі СФ-46 в кюветі з товщиною поглинаючого шару 1 см відносно води. Як об'єкти аналізу використовували модельні системи і газовані напої: «Mirinda», «Shake»,

«InStyle», «Фрутс Мультівітамін». У склад цих напоїв входять: вода питна підготовлена, цукор, карбон (IV) оксид, регулятор кислотності лимонна кислота, барвник жовтий «Сонячний захід» Е110.

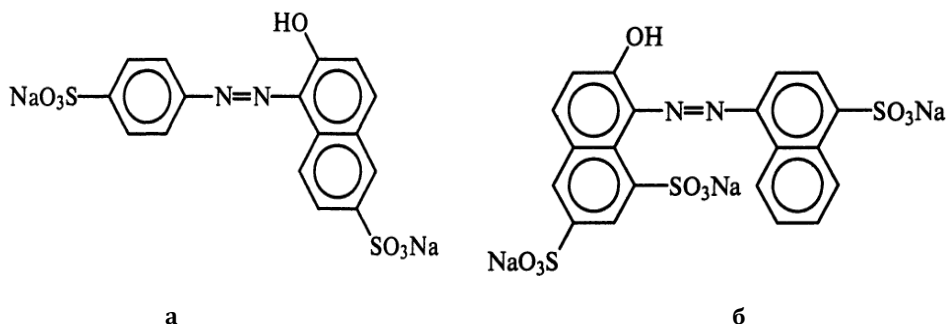


Fig. 1. Structural formulas of dyes: a - E 110, б - E124
Рис. 1. Структурні формули барвників: а - E 110, б - E124

Побудова градувальних залежностей. Для побудови градувального графіка для кожного з барвників в мірні колби ємністю 25 мл відбирали об'єми барвників E124 і E110 з концентрацією 0.1 г/л таким чином, щоб отримати розчини з концентрацією від 1 до 30 мкг/мл. Додаванням 2 мл ацетатного буферного розчину з рН 6.0 створювали необхідну кислотність середовища. Доводили об'єм дистильованою водою до мітки, перемішували. У скляну кювету на 1 см вносили суміш для подальшої реєстрації аналітичного сигналу на спектрофотометрі СФ 46. Світлопоглинання вимірювали при вибраних довжинах хвиль 470 і 542 нм для E124 і 446 нм, 521нм для E110. Розчином порівняння слугувала дистильована вода.

Спектрофотометричне визначення барвників у суміші методом стандартних добавок N-point. У мірні колби ємністю 25 мл відбирали аліквоти розчинів барвників E124 і E110, додавали 2 мл ацетатного буферного розчину з рН 6.0. Після цього в серію розчинів вносили добавки 0.1 г/л розчину одного з барвників, доводили дистильованою водою до позначки, перемішували. Вимірювали оптичну густина отриманих розчинів при вибраних довжинах хвиль на спектрофотометрі СФ-46 відносно води. Будували графіки залежності оптичної густини сумішей від концентрації одного з барвників при двох вибраних довжинах хвиль. Для барвника, вміст якого послідовно зростає в приготованих розчинах, концентрацію у суміші визначали за точкою перетину двох прямих, так званою N-point точкою, шляхом

екстраполяції на вісь абсцис або розрахунковим методом, виходячи з рівнянь двох прямих, параметри яких отримували методом найменших квадратів. Оптичну густина другого барвника розраховували виходячи зі значень світлопоглинання, отриманого шляхом екстраполяції на вісь ординат N-point точки або розрахунковим способом. Для подальшого визначення концентрації цього барвника використовували відповідний градувальний графік.

Спектрофотометричне визначення вмісту барвників жовтий «Захід сонця» і Понсо 4R у газованих напоях. Пробу газованого напою об'ємом 50 мл, який містив суміш барвників E124 і E110, переносили в колбу на 100 мл, звільняли від вуглекислого газу струшуванням протягом 20 хвилин або підігріванням, відфільтровували нерозчинні домішки. З отриманого розчину відбирали аліквоти у мірні колби ємністю 25 мл та додавали аліквоти 0.1 г/л розчину E124 таким чином, щоб отримані концентрації барвників попадали в діапазон концентрацій від 1 до 20 мкг/мл. Розчини доводили дистильованою водою до позначки і проводили подальший аналіз за вищеописаною методикою.

Результати та їх обговорення

Теоретичні основи методу стандартних добавок N-point. Вихідний варіант методу НPSAM призначений для випадку одночасного визначення двох речовин [19; 20]. Він дозволяє визначати аналіт у присутності фонового інтерферента, враховувати пропорційну і постійну

систематичні похибки, а також визначити концентрацію інтерферента, якщо відомі його спектральні характеристики.

У цьому методі при двох спеціально обраних довжинах хвиль будують залежності світлопоглинання сумішей від концентрації аналіту для розчинів, в яких до аналізованого розчину додають добавки аналіту з відомою концентрацією. У результаті отримують дві прямі лінії, які перетинаються в точці *H-Point* із координатами (C_H, A_H) (рис. 2), де C_H – невідома концентрація аналіту і A_H – світлопоглинання інтерферента.

Покажемо, як отримується точка *H-Point* і спосіб, згідно з яким обираються дві довжини хвилі. Нехай дві сполуки X та Y мають концентрації C_X та C_Y , відповідно. Ми збираємося визначити концентрацію X , якщо спектр X відомий, а спектр і концентрація Y невідомі. У методі передбачається, що у спектрах аналіту X і інтерференту Y можна знайти дві довжини хвилі λ_1 та λ_2 , при яких оптична густина інтерференту є однаковою і в той же час величина світлопоглинання для другого компоненту досить сильно відрізняється.

Нехай невідомий зразок містить аналіт X і інтерферент Y . До суміші послідовно додають певні відомі кількості X і вимірюють сумарну оптичну густина. Дві прямі, отримані при двох довжинах хвиль, можна виразити рівняннями:

$$A_{\lambda_1} = B + A_1 + M_{\lambda_1}C_x \quad (1)$$

$$A_{\lambda_2} = B + A_2 + M_{\lambda_2}C_x \quad (2)$$

де A_{λ_1} та A_{λ_2} – аналітичні сигнали, виміряні при довжинах хвиль λ_1 і λ_2 , відповідно. A_1 і A_2 – початкові аналітичні сигнали аналіту при довжинах хвиль λ_1 і λ_2 , B – аналітичний сигнал від Y при довжинах хвиль λ_1 і λ_2 , M_{λ_1} і M_{λ_2} – нахили кривих для довжин хвиль λ_1 і λ_2 , C_x – концентрація аналіту після додавання добавки. Дві прямі перетинаються в точці, яка називається *H-point*, із координатами $(-C_H, A_H)$. В цій точці, та за умови, що $A_{\lambda_1} = A_{\lambda_2}$, а $C_x = C_H$, з рівнянь (1) і (2) витікає, що:

$$A_1 + B + M_{\lambda_1}(-C_H) = A_2 + B + M_{\lambda_2}(-C_H) \quad (3)$$

$$-C_H = [(A_2 - A_1)] / (M_{\lambda_1} - M_{\lambda_2}) \quad (4)$$

З рівняння (4) можуть бути зроблені наступні висновки:

$$\text{а) } -C_H = [C^0_X M_{\lambda_2} - C^0_X M_{\lambda_1}] / (M_{\lambda_1} - M_{\lambda_2}) = C^0_X (M_{\lambda_2} - M_{\lambda_1}) / (M_{\lambda_1} - M_{\lambda_2}) = -C^0_X$$

Тому невідома концентрація X дорівнює C_H .

Оптична густина в *H-point* A_H відповідає поглинанню інтерферента, бо з (1) витікає:

$$A_{\lambda_1} = B + A_1 + M_{\lambda_1}(-C_H) = B + M_{\lambda_1} C^0_X + M_{\lambda_1}(-C_H) = B$$

$$A_H = A_1 + B + M_{\lambda_1}(-C_H) = M_{\lambda_1} C^0_X + B + M_{\lambda_1}(-C_H) = M_{\lambda_1} C_H + B + M_{\lambda_1}(-C_H) = B$$

C_H не залежить від концентрації інтерферента.

A_H не залежить від концентрації аналіта. Отже A_H співвідноситься тільки з сигналом від інтерферента при двох довжинах хвиль. Якщо для нього побудований градувальний графік, то можна визначити і його концентрацію.

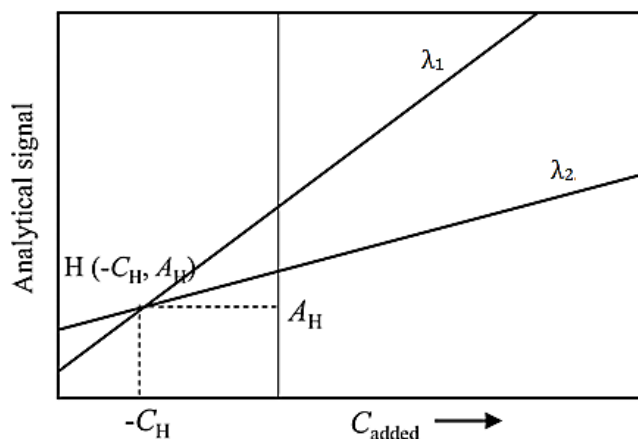


Fig. 2. The view of dependencies of absorbance of the mixture of two absorbing substances on concentration of variable component for the *H-point* standard addition method at selected wavelengths λ_1 and λ_2

Рис. 2. Вид залежностей оптичної густини суміші двох поглинаючих речовин від концентрації змінної компоненти для методу багатократних стандартних добавок *H-point* при обраних довжинах хвиль λ_1 та λ_2

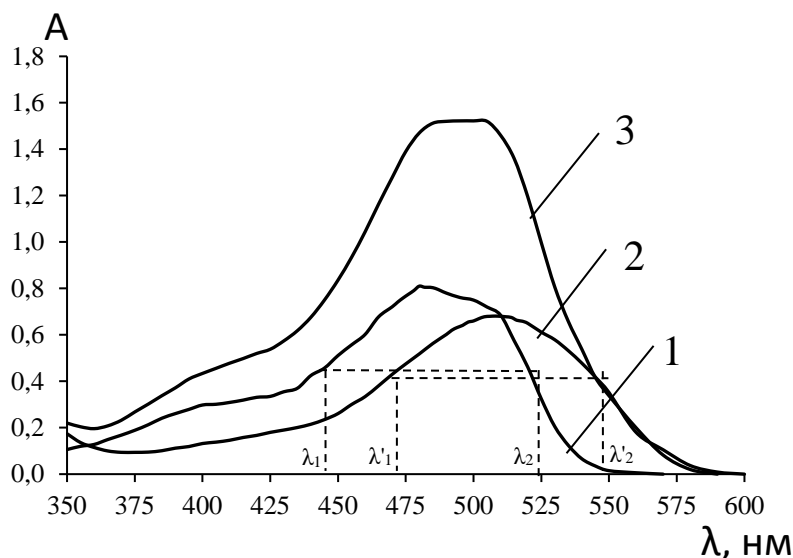


Fig. 3. Absorption spectra of dyes E110, E124 and their mixture. $C_{E110} = 10 \mu\text{g/mL}$ (1), $C_{E124} = 10 \mu\text{g/mL}$ (2), $C_{E110} = C_{E124} = 10 \mu\text{g/mL}$ (3)(1:1), pH = 6, $\ell = 1 \text{ cm}$. $\lambda_1 = 446 \text{ nm}$, $\lambda_2 = 521 \text{ nm}$, $\lambda'_1 = 470 \text{ nm}$, $\lambda'_2 = 542 \text{ nm}$

Рис. 3. Спектри поглинання барвників E110, E124 та їх суміші. $C_{E110} = 10 \text{ мкг/мл}$ (1), $C_{E124} = 10 \text{ мкг/мл}$ (2), $C_{E110} = C_{E124} = 10 \text{ мкг/мл}$ (3)(1:1), pH = 6, $\ell = 1 \text{ см}$. $\lambda_1 = 446 \text{ нм}$, $\lambda_2 = 521 \text{ нм}$, $\lambda'_1 = 470 \text{ нм}$, $\lambda'_2 = 542 \text{ нм}$

Вибір аналітичних довжин хвиль. При виборі довжин хвиль керуються такими принципами. Світлопоглинання першої речовини при обраних довжинах хвиль повинно якомога сильніше відрізнятись, щоб отримати якомога кращу прецизійність і чутливість визначення, а світлопоглинання для другої речовини повинно бути однаковим при цих же довжинах хвиль. Для суми світлопоглинань обох речовин повинен виконуватися закон адитивності. У даній роботі як аналітичні були обрані такі пари довжин хвиль: 446 і 521 нм (для першої серії розчинів: E124 – аналіт, E110 – інтерферент),

й 470 і 542 нм (для другої серії розчинів: E110 – аналіт, E124 – інтерферент) (рис. 3).

Вибір оптимальної кислотності середовища. Синтетичні харчові барвники (жовтий «Захід сонця» E110, Понсо 4R E124) відносяться до моноазобарвників. Забарвлення цих сполук залежить від кислотності середовища. Раніше були встановлені значення констант протолізу відповідних форм барвників, максимуми поглинання і молярні коефіцієнти світлопоглинання (ϵ) досліджуваних синтетичних барвників при різних pH. Вони представлені в таблиці 1 [21; 22].

Table 1

Ionization constants of azodyes (pK), values of their λ_{max} and molar absorptivities (ϵ) [21; 22]

Таблиця 1

pK іонізації азобарвників, значення λ_{max} і молярного коефіцієнта світлопоглинання(ϵ) [21; 22]

Барвник	Функціональна група	pK іонізації	pH	λ_{max}	$\epsilon \cdot 10^{-4}$
Жовтий «Захід сонця», E110	-N=N-	3.1 ± 0.2	1.5	480	2.14
			7.0	485	2.25
	o-OH	10.5 ± 0.1	13.5	440	1.20
Понсо 4R, E124	4-SO ₃ H	-0.6 ± 0.2	1.83	500	1.96
	8-SO ₃ H	0.4 ± 0.1			
	6-SO ₃ H	0.9 ± 0.1	6.85	505	1.98
	-N=N-	2.7 ± 0.1			
	o-OH	11.5 ± 0.1	13.50	440	0.86

При pH менше 3 відбувається протонізація азогрупи R-N=N-R, а при pH > 10 протікає процес депротонізації фенольних гідроксильних груп. Тому оптимальним для одночасного визначення барвників у бінарній суміші є інтервал кислотності у межах від pH 4 до 9.

Для перевірки прецизійності та правильності процедури визначення барвників методом стандартних добавок Н-Point були приготовані декілька стандартних розчинів барвників та їх сумішей і проаналізовані. Приклади кривих, отриманих при одночасному визначенні барвників, зображені на рис. 4, 5.

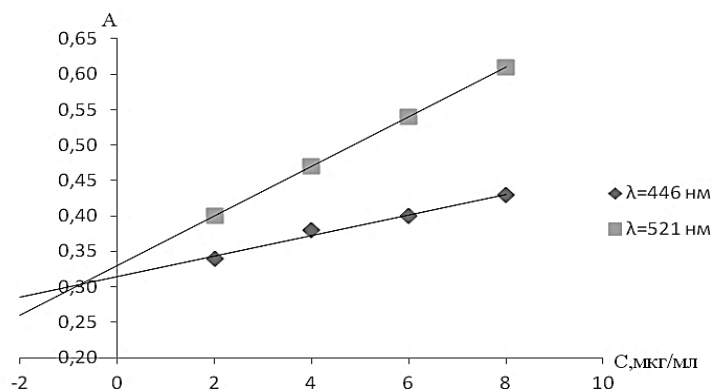


Fig. 4. Curves of H-Point standard addition method for the analysis of mixture of dyes E110 and E124. Composition of the mixture: $C_{\text{add}E110} = 1 \mu\text{g/mL}$, $C_{E124} = 1 \mu\text{g/mL}$. pH 6, $l=1 \text{ cm}$

Рис. 4. Криві методу стандартних добавок Н-point для аналізу суміші барвників E110 та E124. Склад суміші: $C_{\text{доб}E110} = 1 \text{ мкг/мл}$, $C_{E124} = 1 \text{ мкг/мл}$. pH 6, $l=1 \text{ см}$

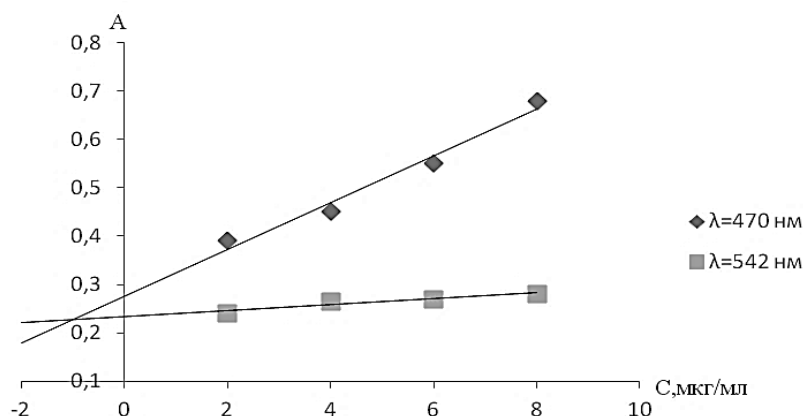


Fig. 5. Curves of H-Point standard addition method for the analysis of mixture of dyes E110 and E124. Composition of the mixture: $C_{E110} = 1 \text{ мкг/мл}$, $C_{\text{доб}E124} = 1 \text{ мкг/мл}$. pH 6, $l=1 \text{ см}$

Рис. 5. Криві методу стандартних добавок Н-point для аналізу суміші барвників E110 та E124. Склад суміші: $C_{E110} = 1 \mu\text{g/mL}$, $C_{\text{доб}E124} = 1 \mu\text{g/mL}$. pH 6, $l=1 \text{ см}$

Одночасне визначення барвників E124 і E110 можливе із задовільною точністю в інтервалі їх концентрацій від 1 до 30 мкг/мл. Було оцінено прецизійність одночасного визначення барвників методом Н-point (табл. 2). Метод характеризується задовільною прецизійністю. Відносне стандартне відхилення, як правило, було в інтервалі від 2 до 3 %. Коефіцієнти лінійної кореляції кривих методу Н-point були не нижче 0.987.

Table 2

Results of the determination of dyes E110 and E124 in artificial mixtures by H-Point standard addition method (n = 5, P = 0.95)

Таблиця 2

Результати визначення барвників E110 та E124 у модельних сумішах методом стандартних добавок Н-Point (n = 5, P = 0.95)

Склад суміші, мкг/мл (E124: E110)	$C(E124) \pm \Delta$, мкг/мл, (S_r)	$C(E110) \pm \Delta$, мкг/мл, (S_r)
1:9	1.02±0.03 (0.02)	8.87±0.19 (0.02)
3:7	2.98±0.08 (0.02)	6.83±0.27(0.03)
5:5	5.05±0.12 (0.02)	5.10±0.18 (0.02)
7:3	6.89±0.25 (0.03)	3.03±0.11 (0.02)
9:1	8.82±0.21 (0.02)	1.03±0.05 (0.03)

Визначення барвників E124 і E110 у напоях «Mirinda», «Shake», «In Style», «Фрутс Мультивітамін» за розробленою вище, були проаналізовані зразки напоїв хроматографічною методикою зі

спектрофотометричним детектуванням у видимому діапазоні [5] (табл. 3). Одержані результати доводять, що при визначенні індивідуальних барвників E110 (жовтий «Захід сонця») та E124 (Понсо 4R, яскраво-червоний 4R) у безалкогольних газованих напоях методом HPSAM, похибка не перевищує 4%. Враховуючи доступність

обладнання, простоту та експресність запропонованої методики визначення індивідуальних барвників у суміші без попереднього розділення, застосування методу стандартних добавок HPSAM може бути ефективним при контролі вмісту синтетичних харчових барвників у безалкогольних напоях, сиропах тощо.

Results of the determination of dyes E110 та E124 in carbonated beverages(n=5, P=0.95)

Table 3

Результати визначення барвників в напоях (n=5, P=0.95)

Таблиця 3

Знайдено, мкг/мл	Об'єкти аналізу (напої)			
	«Mirinda»	«Shake»	«In Style»	«Фрукт Мультивітамін»
Методом стандартних добавок H-Point				
C(E110)±Δ	3.44± 0.21	3.30± 0.19	2.40± 0.11	2.65± 0.11
S _r	0.033	0.034	0.031	0.032
C(E124)±Δ	2.26± 0,11	2.10± 0,09	2.56± 0,12	2.02± 0.07
S _r	0.028	0.035	0.032	0.027
Методом високоефективної рідинної хроматографії [5]				
C(E110)±Δ	3.29±0.15	3.11±0.13	2.23±0.11	2.57± 0.12
S _r	0.036	0.041	0.044	0.045
C(E124)±Δ	2.19±0.10	2.03± 0.09	2.55± 0.11	2.05± 0.09
S _r	0.046	0.044	0.39	0.41

Висновки

Метод багатократних стандартних добавок H-point може бути успішно застосований для індивідуального визначення харчових барвників у бінарній суміші у разі, якщо їх спектри повністю перекриваються. Також застосування методу H-Point є доцільним, коли спектри речовин перекриваються неповністю, але в тій області, де поглинання другого компоненту є вибірковою, вимірювання відбуваються зі зниженням точності внаслідок малого світлопоглинання чи неможливості точного вимірювання на даному типі приладу. Методика одночасного визначення барвників жовтий «Захід сонця» (E110) та Понсо 4R (E124) при сумісній присутності характеризується високою чутливістю, прецизійністю та експресністю. Використання даної методики дозволяє сумісно визначити E110 та E124 в інтервалі їх концентрацій від 1 до 30 мкг/мл. Методика була успішно апробована на модельних сумішах та комерційно доступних зразках напоїв.

Бібліографічні посилання

[1] Санитарные нормы и правила по использованию пищевых добавок. № 222 от 23.07.1996 г.

- [2] Смирнов Е. В. Пищевые красители. Справочник /Е. В. Смирнов. – СПб.: Профессия, 2009. – 352 с.
- [3] Коренман Я. И. Экстракционное концентрирование и идентификация синтетических красителей в пищевых продуктах методом ТСХ / Я. И. Коренман, Н. Ю. Санникова, П. Т. Суханов// Заводская лаборатория. – 2010.– № 6. – С. 16–18.
- [4] Экстракционно-хроматографическое определение сульфазокрасителей в водных растворах / А. В. Колесник, Я. И. Коренман, Н. Ю. Санникова, П. Т. Суханова // Журн. аналит. химии. – 2010. – Т. 65, № 5. – С. 475–480.
- [5] Ідентифікація барвників в напоях методом високоефективної рідинної хроматографії / Ф. О. Чмиленко, Н. П. Мінаєва, О. В. Сандомирський, Л. П. Сидорова // Харчова промисловість. – 2008. – № 7 – С. 17–19.
- [6] Минаева Н. П. Ускоренная методика хроматографического определения токсичных металлов в питьевой воде / Н. П. Минаева, А. В. Сандомирский, Л. П. Сидорова, Ф. А. Чмиленко // Химия и технология воды. – 2009. – 31, № 5. – С. 534–541.
- [7] Киселева М. Г. Оптимизация условий определения синтетических красителей в пищевых продуктах методом ВЭЖХ / М. Г. Киселева, В. В. Пименова, К. И. Эллер // Журн. аналит. химии. – 2003. – Т. 58, № 7. –С. 766–772.
- [8] Екстракційно-хроматографічне визначення вмісту синтетичних барвників у харчових продуктах /Ф. О. Чмиленко, Л. П. Сидорова, Ю. А. Мінаєва, К. В. Шкуровська // Вопр. химии и хим. технологии.– 2014. –№ 2. – С. 45–49.
- [9] Шестопалова Н. Б. Определение синтетических пищевых красителей E102 и E110 при совместном

- присутствии / Н. Б. Шестопалова, М. В. Петрович, Р. К. Чернова // Изв. Сарат. ун-та. Нов. сер. Сер. Химия. Биология. Экология. – 2016. – Т. 16, №3. – С. 247–253.
- [10] Al-Sabha T. N. H-Point standard addition method (HPSAM) in simultaneous spectrophotometric determination of binary mixtures: An overview / T. N. Al-Sabha, A. A. Bunaciu, H. Y. Aboul-Enein // *Appl. Spectr. Rev.* – 2011. – Vol. 46. – P.607–623.
- [11] New approach to H-point standard addition method for detection and elimination of unspecific interferences in samples with unknown matrix / M. Wiczorek, S. Rengevicova, P. Świt [et al.] // *Talanta*. – 2017. – Vol. 170, № 1. – P. 165–172.
- [12] Simultaneous determination of Carmoisine and Ponceau 4R / M. Hajimahmoodi, M. R. Oveisi, N. Sadeghi [et al.] // *Food Anal. Methods*. – 2008. – Vol. 1. – P.214–219.
- [13] Kaur A. H-Point standard addition method for simultaneous determination of Eosin and Erythrosine / A. Kaur, U. Gupta // *E-Journal of Chemistry*. – 2011. – Vol. 8, № 4. – P. 1979–1985.
- [14] Kaur A. Simultaneous determination of binary mixtures of Tartrazine and Quinoline Yellow food colorants in various food samples and cosmetic products in micellar media by H-Point standard addition method (HPSAM) / A. Kaur, U. Gupta // *Int. J. Res. Chem. Environ.* – 2012. – Vol. 2, № 1. – P. 293–300.
- [15] Al-Shwaiyat M. K. E. A. Simultaneous determination of rutin and ascorbic acid in a sequential injection lab-at-valve system / M. K. E. A. Al-Shwaiyat, Y. V. Mikh, T. A. Denisenko [et al.] // *J. Pharm. Biomed. Anal.* – 2018. – Vol. 149. – P. 179–184.
- [16] Yongnian Ni. Simultaneous spectrophotometric determination of ternary mixtures of tartrazine, sunset yellow, and Ponceau 4R by H-point standard addition method / Ni Yongnian, Qi Ming, S. Kokot // *Anal. Lett.* – 2001 – Vol. 34, № 14. – P. 2585–2596.
- [17] Vishnikin A. Using of sequential injection analysis with lab-at-valve and optical probe for simultaneous spectrophotometric determination of ascorbic acid and cysteine by mean centering of ratio kinetic profiles / A. Vishnikin, Yu. Mikh, T. Denisenko, Ya. Bazal, V. Andrich // *Talanta*. – 2018. – Vol. 188. – P. 99–106.
- [18] Аль-Швейят М. И. А. Одновременное кинетическое определение аскорбиновой кислоты и анальгина в фармацевтических препаратах методом многократных добавок H-point / М. И. А. Аль-Швейят, Ю. В. Мех, Т. А. Денисенко [и др.]. *Вісник ДНУ. Серія Хімія*. – 2017. – Вип. 25, № 2 – С. 93–102.
- [19] Bosch-Reig F. H-point standard additions method. Fundamentals and application to analytical spectroscopy / F. Bosch-Reig, P. Campíns Falcó // *Analyst*. – 1988. – Vol. 113, №7. – P. 1011–1016.
- [20] Development of the H-point standard-additions method for ultraviolet-visible spectroscopic kinetic analysis of two-component systems / F. Bosch-Reig, P. Campins-Falco, A. Sevillano-Cabeza [et al.] // *Anal. Chem.* – 1991. – Vol. 63, № 21. – P. 2424–2429.
- [21] Хальзова С. А. Определение синтетических красителей в жидких средах пьезоэлектрическими сенсорами, модифицированными полимерами с молекулярными отпечатками: дис... кандидата хим. наук : .02.00.02./ Хальзанова Светлана Александровна. – Воронеж, 2017. – 155с.
- [22] Бевзюк К. В. Стан у розчинах, сорбційне вилучення та вольтамперометричне визначення синтетичних харчових барвників: дис... кандидата хім. наук: 02.00.02 / Бевзюк Катерина Вікторівна – Ужгород, 2019. – 154с.

References

- [1] Sanitary norms and rules for the use of food additives. No. 222 of July 23, 1996.
- [2] Smirnov, E.V. (2009). *Food dyes. Directory*. St. Petersburg: Profession (in Russian).
- [3] Korenman, Ya. I., Sannikova, N. Yu., Sukhanov, P. T. (2010). [Extraction preconcentration and identification of synthetic dyes in food products by TLC]. *Zavodskaya laboratoriya*. (6), 16–18 (in Russian).
- [4] Kolesnik, A. V., Korenman, Ya. I., Sannikova, N. Yu., Sukhanova, P. T. (2010). Extraction-chromatographic determination of sulfonated dyes in aqueous solutions. *J. Anal. Chem.* 65(5), 460–465. <https://doi.org/10.1134/S1061934810050059>
- [5] Chmylenko, F. O., Minayeva, N. P., Sandomyrs'kyy, O. V., Sydorova, L. P. (2008). [Identification of dyes in beverages by high-performance liquid chromatography]. *Kharchova promyslovist'*, (7), 17–19 (in Ukrainian).
- [6] Minaeva, N. P., Sandomirskii, A. V., Sidorova, L. P., Chmylenko, F. A. (2009). Speedy technique of chromatographic determination of toxic metals in drinking water. *J. Water Chem. Technol.* 31(5), 305–309. <https://doi.org/10.3103/S1063455X09050051>
- [7] Kiseleva, M. G., Pimenova, V. V., Eller, K. I. (2003). Optimization of conditions for the HPLC determination of synthetic dyes in food. *J. Anal. Chem.* 58(7), 685–690. <https://doi.org/10.1023/A:1024716322120>
- [8] Chmylenko, F. A., Sidorova, L. P., Minaeva, Y. A., Shkurovskaya, K. V. (2014). [Extraction-chromatographic determination of the content of synthetic dyes in food]. *Issues of Chemistry and Chemical Technology*, (2), 45–49 (in Ukrainian).
- [9] Shestopalova, N. B., Petrovich, M. V., Chernova, R. K. (2016). [Determination of synthetic food dyes E102 and E110 in the presence of each other]. *Zhurnal Izvestiya Saratovskogo universiteta. Novaya seriya. Seriya Khimiya. Biologiya. Ekologiya*, 16(3), 247–252 (in Russian).
- [10] Al-Sabha, T. N., Bunaciu, A. A., Aboul-Enein, H. Y. (2011). H-Point standard addition method (HPSAM) in simultaneous spectrophotometric determination of binary mixtures: An overview. *Appl. Spectr. Rev.*, (46), 607–623. <https://doi.org/10.1080/05704928.2011.570836>
- [11] Wiczorek, M., Rengevicova, S., Świt, P., Woźniakiewicz, A., Kozak, J., Kościelniak, P. (2017). New approach to H-point standard addition method for detection and elimination of unspecific interferences in samples with unknown matrix. *Talanta*, (170) 165–172. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2017.03.101>
- [12] Oveisi, M. R., Sadeghi, N., Jannat, B., Nilfroush, E. (2008). Simultaneous determination of Carmoisine and Ponceau 4R. *Food Anal. Methods*. 1, 214–219. <https://doi.org/10.1007/s12161-008-9022-7>
- [13] Kaur, A., Gupta, U. (2011). H-Point standard addition method for simultaneous determination of Eosin and

- Erytrosine. *E-Journal of Chemistry*, 8(4), 1979–1985. <https://doi.org/10.1155/2011/210259>
- [14] Kaur, A., Gupta, U. (2012). Determination of binary mixtures of Tartrazine and Quinoline Yellow food colorants in various food samples and cosmetic products in micellar media by H-Point standard addition method (HPSAM). *Int. J. Res. Chem. Environ.*, 2(1), 293–300. http://ijrce.org/uploads/20/687_pdf.pdf
- [15] Al-Shwaiyat, M. K. E. A., Miekh, Yu. V., Denisenko, T. A., Vishnikin, A. B., Andruch, V., Bazel, Ya. R. (2018). Simultaneous determination of rutin and ascorbic acid in a sequential injection lab-at-valve system. *J. Pharm. Biomed. Anal.* 149. 179–184. <https://doi.org/10.1016/j.jpba.2017.11.006>
- [16] Ni, Y., Qi, M., Kokot, S. (2001). Simultaneous spectrophotometric determination of ternary mixtures of tartrazine, sunset yellow, and Ponceau 4R by H-point standard addition method. *Anal. Lett.*, 34(14), 2585–2596. <https://doi.org/10.1081/AL-100107537>
- [17] Vishnikin, A., Miekh, Yu., Denisenko, T., Bazel, Ya., Andruch, V. (2018). Using of sequential injection analysis with lab-at-valve and optical probe for simultaneous spectrophotometric determination of ascorbic acid and cysteine by mean centering of ratio kinetic profiles. *Talanta*, 188, 99–106. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2018.05.056>
- [18] Al-Shwaiyat, M. E. A., Miekh, Yu. V., Denisenko, T. A., Vishnikin, A. B., Bazel, Ya. R. (2017). Simultaneous kinetic determination of ascorbic acid and analgine in pharmaceutical preparations by H-point standard addition method. *Bulletin of Dnipropetrovsk university. Series Chemistry*, 25(2), 93–102. <http://chemistry.dnu.dp.ua/article/view/081713>
- [19] Bosch-Reig, F., Campíns Falcó, P. (1988). H-point standard additions method. Fundamentals and application to analytical spectroscopy. *Analyst*, 113(7), 1011–1016. <https://doi.org/10.1039/AN9881301011>
- [20] Bosch-Reig, F., Campins-Falco, P., Sevillano-Cabeza A., Herraes-Hernandez, R., Molins-Legua, C. (1991). Development of the H-point standard-additions method for ultraviolet-visible spectroscopic kinetic analysis of two-component systems. *Anal. Chem.*, 63(21), 2424–2429. <https://doi.org/10.1021/ac00021a008>
- [21] Khal'zova S. A. (2017). [Determination of synthetic dyes in liquid media by piezoelectric sensors, modified polymers with molecular prints] (Unpublished Ph.D. dissertation). Voronezh state university, Voronezh, Russia (in Russian).
- [22] Bevzyuk K. V. (2019) [Solution state, sorption extraction and voltammetric determination of synthetic food colors]. (Unpublished Ph.D. dissertation). Uzhhorod national university, Uzhhorod, Ukraine (in Ukrainian).