

Потенціометричне визначення індоліл-3-оцтової кислоти за допомогою ПВХ-сенсора з родаміновими основними барвниками

Розроблено нову просту, швидку, чутливу й селективну потенціометричну методику визначення індоліл-3-оцтової кислоти у розчинах. Описані потенціометричні сенсори, які основані на використанні іонних асоціатів індоліл-3-ацетатів родамінових барвників, показують крутизну 57 мВ/рС у лінійному діапазоні $1 \cdot 10^{-4}$ – $5 \cdot 10^{-2}$ моль/л. Сенсори високоселективні щодо ряду неорганічних та органічних іонів та можуть бути застосовані для визначення індоліл-3-оцтової кислоти у розчинах.

Ключові слова: потенціометричний сенсор, родамінові барвники, індоліл-3-оцтова кислота.

Постановка наукової проблеми та її значення. Широке застосування гормонів росту для вирощування рослин у сільському господарстві та подальше використання продуктів харчування зумовлює потребу пошуку нових простих, експресних, недорогих та чутливих методик визначення індоліл-3-оцтової кислоти в різних об'єктах.

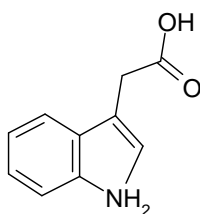


Рис. 1. Графічна формула ІОК

Індоліл-3-оцтова кислота (гетероауксин) $C_{10}H_9NO_2$ – це біла кристалічна речовина з молекулярною масою 175,19 і температурою плавлення 168–169 °С (з розкладанням), $pK_a = 4,75$. Помірно розчинна у воді, добре – у спирті, погано – в бензолі. На світлі швидко темніє. Швидко розкладається в кислому середовищі та за наявності окислювачів. У лужному середовищі більш стійка [3].

ІОК можна отримати синтетичним способом – взаємодією індолу та гліколієвої кислоти в присутності основи під дією високої температури [8]:

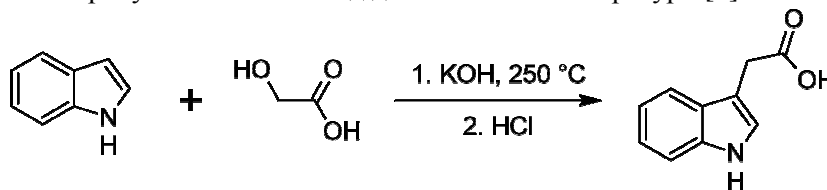


Рис. 2. Схема синтезу індоліл-3-оцтової кислоти

Індоліл-3-оцтова кислота є фітогормоном ряду ауксинів, що регулюють ріст та розвиток рослин [7]. Фізіологічна дія гетероауксину в рослинах настільки різноманітна, що й дотепер досконало не вивчена. Окрім стимуляції росту рослин, ІОК впливає і на багато інших процесів. Відомо, що процес опадання листя контролює гетероауксин: перед опаданням його притік до листя різко скорочується [1].

Сучасна література містить різноманітні методи визначення індоліл-3-оцтової кислоти в навколишньому середовищі, у сільськогосподарських продуктах та інших об'єктах методами спектрофотометрії [5; 6; 9; 11; 12], екстракції [14], хроматографії [10–12], електрохімії [4; 13; 15].

Однак залишається актуальним питання розробки нової селективної, чутливої методики визначення індоліл-3-оцтової кислоти, яка б відрізнялася своєю експресністю та дешевизною. Такою може стати методика потенціометричного визначення за допомогою ПВХ-сенсора.

Мета та завдання. Метою проведення експерименту була можливість використати ІА з основними родаміновими барвниками при виготовленні ІСЕ для потенціометричного визначення індоліл-3-оцтової кислоти та розробити електрод, простий у виготовленні та використанні. Для цього ми встановили оптимальний кількісний склад мембран; провели апробацію виготовлених іоноселективних електродів.

Експериментальна частина. Для проведення експерименту розчини готували способом розчинення точної наважки індоліл-3-оцтової кислоти у дистильованій воді. Робочі розчини ІОК, які використовували для побудови калібрувального графіка, готували розведенням вихідного розчину 10^{-1} моль/л. Для підтримання сталого рН в кожен колбу додавали універсальний буфер із рН 8,5.

Фоновим електролітом слугував 0,1 моль/л розчин NaCl, яким ми і доводили до мітки робочі розчини ІОК. Як внутрішній розчин використовували 0,1 моль/л розчин ІОК.

Іонні асоціати готували методом осадження еквімолярних розчинів ІОК та основних барвників з концентрацією 0,01 моль/л. Розчин з утвореним асоціатом залишали на добу, потім фільтрували на фільтрі Шота, промивали дистильованою водою та сушили на повітрі до повного його висихання.

Для виготовлення мембран використовували ПВХ, як розчинник матриці – тетрагідрофуран (ТГФ). Пластифікаторами слугували дибутилфталат (ДБФ), дибутилсебацінат (ДБС), диетилфталат (ДЕФ), трикрезилфосфат (ТКФ), динонілфталат (ДНФ) та диоктилфталат (ДОФ). Зважували 0,075 г ПВХ, певну розраховану кількість ЕАР, добре розтирали суху суміш до однорідного стану, потім додавали пластифікатор, розмішували до повного розчинення асоціату і вливали 0,5 мл розчинника ТГФ. Отриманий розчин виливали в скляні кільця діаметром 2 см і залишали для висихання на декілька годин [2].

Отриману мембрану приклеювали до полівінілхлоридної трубки за допомогою ПВХ клею, залишали для висихання на 2–3 год. Цей електрод ми застосували для виконання експерименту, використовуючи електрохімічне коло відповідно до рисунка 3. Потенціометричне вимірювання проводили на потенціометрі АІ-123 (похибка вимірювання ± 1 мВ). Як електрод порівняння використовували хлоридносрібний електрод ЭВЛ-1МЗ.

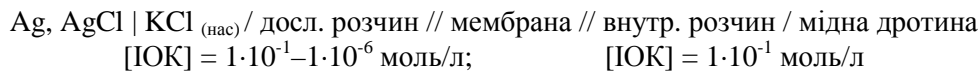


Рис. 3. Схема будови електрохімічного кола

Виклад основного матеріалу й обґрунтування отриманих результатів дослідження. Ключовим чинником, що визначає можливість використання іоноселективних електродів в аналізі, є селективність визначуваного іона щодо інших інгредієнтів. Тому як науковий, так і практичний інтерес зумовлює обґрунтування способів управління селективністю за допомогою варіювання складу мембран.

Пластифікована мембрана являє собою як мінімум чотирикомпонентну систему, до складу якої входять ЕАР, полімерна матриця, розчинник ЕАР, тобто пластифікатор, розчинник полімера. Вивчення впливу кожного із компонентів цієї системи має важливе значення, оскільки саме вони вважаються доміантними в ряді досліджуваних факторів. Для оптимізації складу мембрани було проведено низку досліджень, серед яких вплив природи пластифікатора, його вмісту, рН-середовища тощо.

Для оптимізації вмісту пластифікатора було виготовлено однотипні мембрани, пластифіковані ДБФ, ДБС, ДОФ, ДНФ, ДЕФ та ТКФ. Склад мембран становив 3 % ІА та 65 % пластифікатора від загальної маси мембрани. Відгук сенсорів показано на рисунку 4 а та 4 б (на прикладі ІА з Р6Ж та БРС).

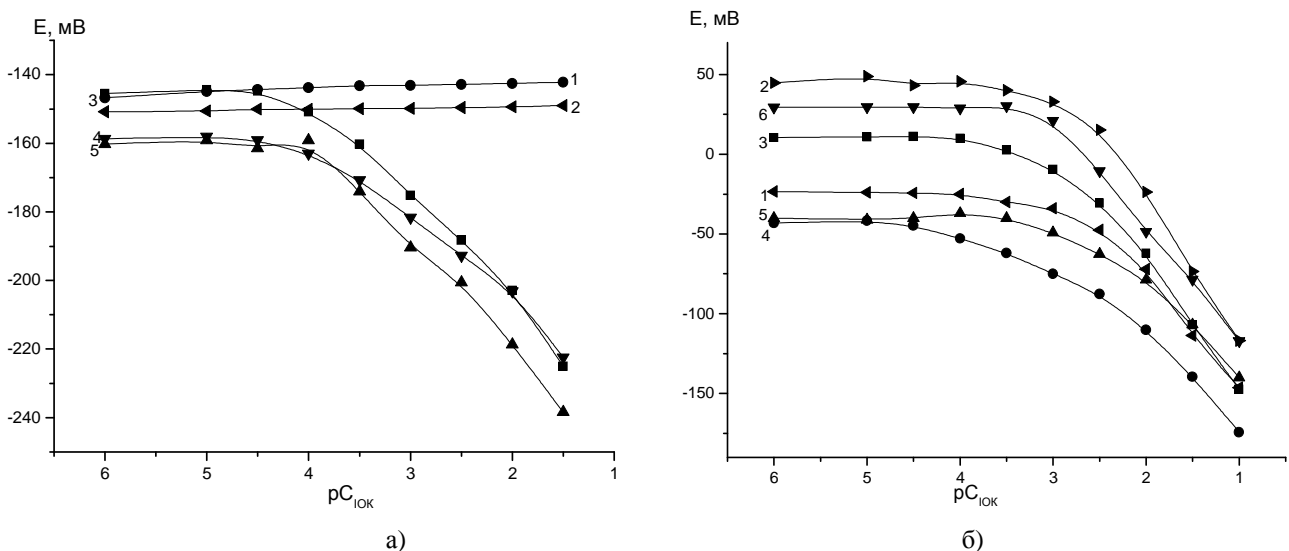


Рис. 4. Вплив природи пластифікатора на відгук ІСЕ: а) ІОК-селективний електрод на основі ІА з Р6Ж; б) на основі ІА з БРС; 1 – ДБС; 2 – ТКФ; 3 – ДБФ; 4 – ДНФ; 5 – ДОФ; 6 – ДЕФ

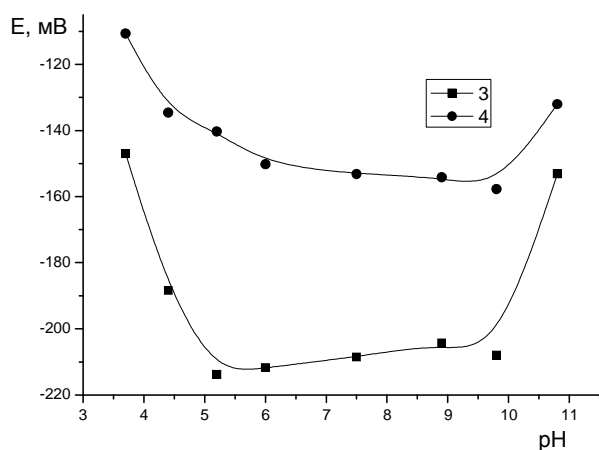
Встановлено, що найкращими електродними характеристиками щодо крутизни та лінійності електродної функції для визначення індоліл-3-оцтової кислоти володіють мембрани, пластифіковані ДБФ, ДНФ та ТКФ. Дещо гірші властивості мають мембрани, пластифіковані ДБС, у випадку використання ЕАР на основі ІА з БРС, а у випадку використання ЕАР на основі ІА з РС та Р6Ж мембрани взагалі не дали відгуку. Результати, отримані під час досліджень, наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

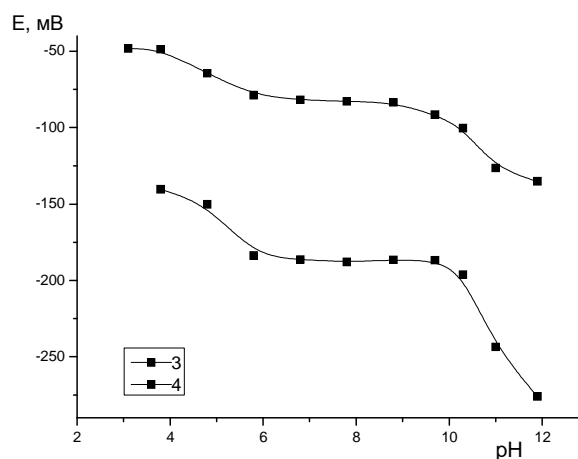
Вплив природи пластифікатора на основні електрохімічні характеристики ІОК-селективних електродів на основі ІА з РС, Р6Ж та БРС

Пластифікатор	ІОК-Р6Ж			ІОК-РС			ІОК-БРС		
	S, мВ/рС	a, моль/л	C _{min} моль/л	S, мВ/рС	a, моль/л	C _{min} моль/л	S, мВ/рС	a, моль/л	C _{min} моль/л
ТКФ	–	–	–	12,0	3·10 ⁻⁵	1,7·10 ⁻⁵	87,0	3·10 ⁻³	1,4·10 ⁻³
ДБФ	30,0	1·10 ⁻⁴	6,0·10 ⁻⁵	21,1	3·10 ⁻⁵	1,7·10 ⁻⁵	70,2	1·10 ⁻³	5,2·10 ⁻⁴
ДБС	–	–	–	–	–	–	65,0	3·10 ⁻³	1,4·10 ⁻³
ДНФ	24,0	1·10 ⁻⁴	6,5·10 ⁻⁵	–	–	–	40,5	1·10 ⁻⁴	5,0·10 ⁻⁵
ДОФ	32,2	1·10 ⁻⁴	1,0·10 ⁻⁴	–	–	–	47,7	1·10 ⁻³	6,3·10 ⁻⁴
ДЕФ	34,0	3·10 ⁻⁴	2,4·10 ⁻⁴	24,0	3·10 ⁻⁵	3,0·10 ⁻⁵	69,0	1·10 ⁻³	7,9·10 ⁻⁴

Примітка. S, мВ/рС – крутизна електродної функції; a, моль/л – нижня межа лінійності графіка, C_{min}, моль/л – нижня межа виявлення.



а)



б)

Рис. 5. Вплив кислотності середовища на електродний потенціал ІОК-селективного електрода: а) ІСЕ на основі ІА з Р6Ж; б) ІСЕ на основі ІА з БРС (0,075 г ПВХ; 3 % ЕАР; 65 % ДБФ; 0,5 мл ТГФ)

Установлено, що електроди на основі ІА індоліл-3-оцтової кислоти з родаміновими основними барвниками працюють у широкому діапазоні рН 5,5–10.

Оскільки індоліл-3-оцтова кислота в кислому середовищі нестійка, то надалі ми проводили вимірювання при рН = 8,5.

Вміст електродоактивної речовини не впливає на відгук електродів. При дослідженні встановлено, що підвищення вмісту ЕАР дещо знижує чутливість електродів, тому в подальшому дослідженні використовували електроди з вмістом ЕАР 3 %.

Не менш суттєвий вплив на відгук електродів має зміна кількісного вмісту пластифікатора у мембрані. На прикладі ІСЕ індоліл-3-оцтової кислоти з БРС (рис. б) видно, що зі збільшенням вмісту пластифікатора зменшується чутливість електрода (як пластифікатор використовували ДНФ).

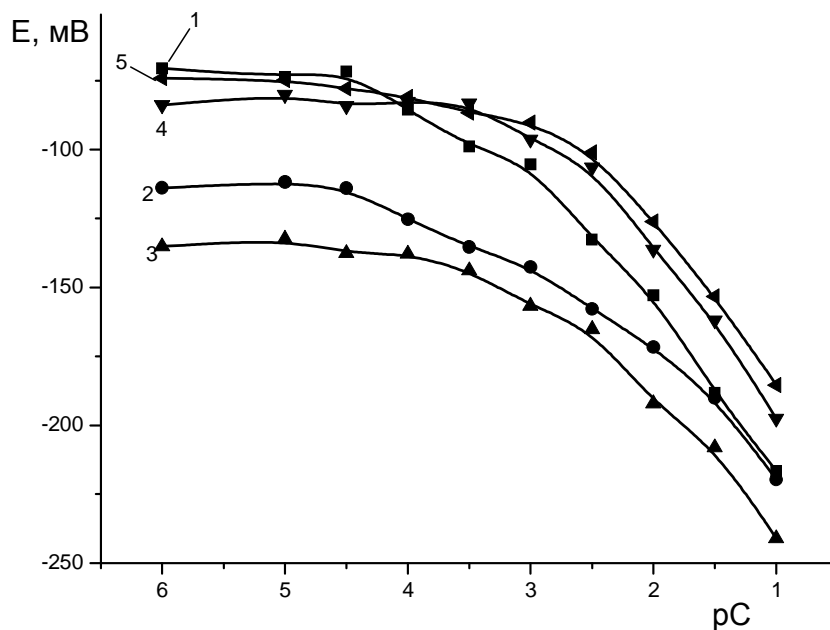


Рис. 6. Вплив вмісту пластифікатора на відгук електрода. Вміст ДНФ: 1 – 35 %; 2 – 45 %; 3 – 55 %; 4 – 65 %; 5 – 75 %

Результати досліджень впливу вмісту пластифікатора на роботу ІСЕ на основі РС, Р6Ж та БРС наведено у таблиці 2.

Таблиця 2

Вплив вмісту пластифікатора на основні електрохімічні характеристики ІСЕ

Вміст, %	ІОК-Р6Ж (ТКФ)			ІОК-РС (ДЕФ)			ІОК-БРС (ДНФ)		
	S , мВ/рС	a , моль/л	C_{min} , моль/л	S , мВ/рС	a , моль/л	C_{min} , моль/л	S , мВ/рС	a , моль/л	C_{min} , моль/л
35	–	–	–	–	–	–	46,1	$1 \cdot 10^{-4}$	$8,2 \cdot 10^{-5}$
45	–	–	–	–	–	–	30,2	$3 \cdot 10^{-5}$	$2,8 \cdot 10^{-5}$
55	22,4	$3 \cdot 10^{-3}$	$2,2 \cdot 10^{-3}$	18,0	$3 \cdot 10^{-5}$	$2,2 \cdot 10^{-5}$	36,0	$3 \cdot 10^{-4}$	$2,6 \cdot 10^{-4}$
65	35,5	$1 \cdot 10^{-3}$	$7,4 \cdot 10^{-4}$	41,7	$1 \cdot 10^{-4}$	$6,9 \cdot 10^{-5}$	52,4	$1 \cdot 10^{-3}$	$6,3 \cdot 10^{-4}$
75	32,7	$1 \cdot 10^{-3}$	$7,9 \cdot 10^{-4}$	37,6	$3 \cdot 10^{-4}$	$2,8 \cdot 10^{-4}$	57,0	$3 \cdot 10^{-3}$	$2,2 \cdot 10^{-3}$

Верхня межа лінійності – $1 \cdot 10^{-1}$ моль/л.

ІСЕ на основі РС та Р6Ж із вмістом пластифікатора 35 та 45 % не придатні для роботи. Проте для ІСЕ на основі БРС найкращі результати показав електрод із вмістом ДНФ 35 %.

При дослідженні часу встановлення потенціалу виготовлених ІСЕ встановлено, що для розчинів із меншою концентрацією ($\rho C 10^{-6} - 10^{-4}$ моль/л) встановлюється потенціал 20–25 с, а для розчинів з більшою концентрацією ($10^{-3} - 10^{-1}$ моль/л) – 5–10 с.

Одним із найважливіших факторів, що визначає можливість використання електрода в аналізі, є селективність. Визначення селективності ІОК-селективного електрода проводили методом окремих розчинів стосовно ряду неорганічних речовин, а також органічних речовин, які теж використовують як пестициди та гормони росту (2,4-дихлорфеноксиоцтова кислота (2,4-Д), 1-нафтілоцтова кислота (1-НОК), 4-хлорфеноксиоцтова кислота (4-Х) та пентахлорфенол (ПХФ)). Розраховані значення коефіцієнтів селективності для виготовлених електродів подано на рисунку 7.

Встановлено, що більш селективним є ІСЕ на основі ІА індоліл-3-оцтової кислоти з БРС, менш селективним – із РС. Усім електродам заважають органічні речовини, що мають схожу будову. Але одночасний вміст ІОК з цими речовинами не трапляється. Тому ці методики є досить селективними.

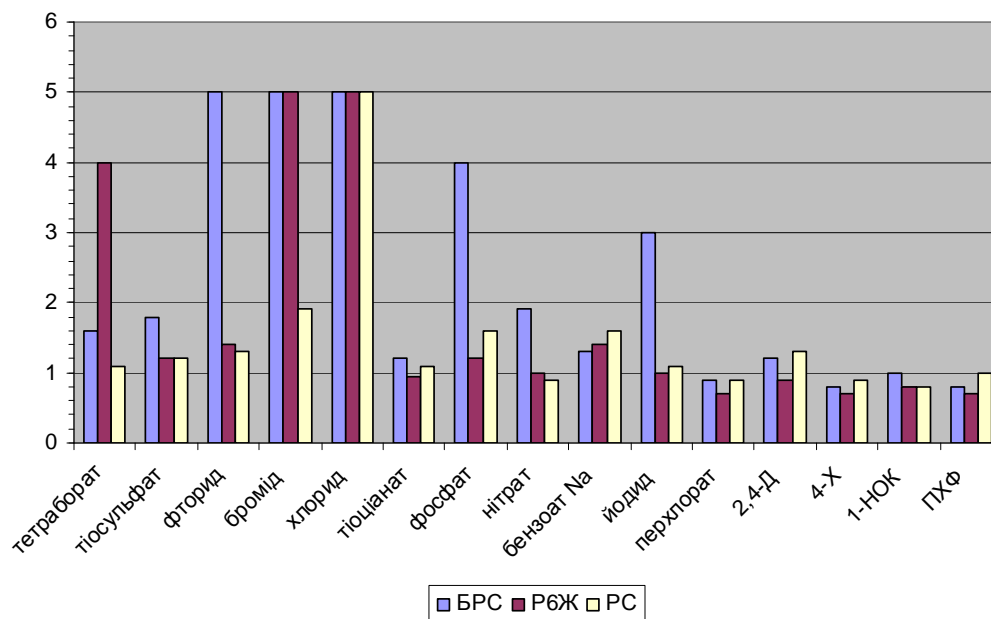


Рис. 7. Коефіцієнти селективності розроблених ІОК-селективних електродів

Щоб оцінити придатність виготовлених сенсорів до роботи, проводили визначення індоліл-3-оцтової кислоти в препаратах та методом «введено–знайдено». Результати кількісного вмісту кислоти у препаратах наведено у таблиці 3.

Таблиця 3

Результати кількісного вмісту індоліл-3-оцтової кислоти у препаратах

Назва, виробник, вміст	Знайдено, мг	Sr	S	RSD (Sr, x %)
Індоліл-3-оцтова кислота Р6Ж (3 % ІА, 65 % ТКФ)				
Гетероауксин, табл., 85 мг ТПК Техноэспрес Росія	83,8 ± 4,1	0,019	1,63	1,94
Гетероауксин, порошок 250 мг «Зеленая аптека садовода» Росія	247,4 ± 6,3	0,01	2,53	1,0
Індоліл-3-оцтова кислота РС (5 % ІА; 75 % ДБФ)				
Гетероауксин, табл. 85 мг, ТПК Техноэспрес Росія	82,4 ± 6,9	0,034	2,8	3,8
Гетероауксин, порошок 250 мг «Зеленая аптека садовода», Росія	242,8 ± 10,4	0,017	4,2	1,7
Індоліл-3-оцтова кислота БРС (3 % ІА; 35 % ДНФ)				
Гетероауксин, табл. 85 мг, ТПК Техноэспрес Росія	84,3 ± 3,1	0,015	1,25	1,5
Гетероауксин, порошок 250 мг «Зеленая аптека садовода», Росія	246,8 ± 10,9	0,018	4,4	1,8

У таблиці 4 подано результати визначення індоліл-3-оцтової кислоти методом «введено–знайдено».

Таблиця 4

Результати визначення індоліл-3-оцтової кислоти методом «введено-знайдено»

Введено, мг	Знайдено, мг	Sr	S	RSD (Sr, x %)
1	2	3	4	5
Індоліл-3-оцтова кислота Р6Ж (3 %ІА, 65 % ТКФ)				
50,0	49,6 ± 1,4	0,011	0,55	1,1
100,0	100,0 ± 1,2	0,005	0,5	0,5
150,0	149,3 ± 2,9	0,008	1,2	0,8

Закінчення таблиці 4

1	2	3	4	5
Індолил-3-оцтова кислота РС (5 % ІА; 75 % ДБФ)				
50,0	49,7 ± 3,2	0,026	1,3	2,6
100,0	107,6 ± 3,8	0,014	1,56	1,4
150,0	147,7 ± 2,7	0,007	1,1	0,7
Інолил-3-оцтова кислота БРС (3 % ІА; 35 % ДНФ)				
50,0	50,2 ± 3,6	0,029	1,46	2,9
100,0	104,9 ± 14,2	0,054	5,7	5,4
150,0	149,5 ± 4,2	0,011	1,7	1,1

Висновки та перспективи подальших досліджень. Встановлено, що ІА індолил-3-оцтової кислоти з родаміновими барвниками можуть бути використані як електродоактивні речовини для виготовлення ІСЕ. Перевірено вплив зміни складу мембрани на відгук розроблених електродів, а саме: природи пластифікатора, вмісту ІА, вмісту пластифікатора. Досліджено умови роботи сенсорів: робочий діапазон рН, вплив рС внутрішнього розчину, час відгуку, селективність. У результаті проведених експериментальних досліджень розроблено нову чутливу, експресну й селективну методику визначення індолил-3-оцтової кислоти у розчинах та препаратах.

Джерела та література

1. Галактионов С. Г. Биологически активные вещества / С. Г. Галактионов. – М. : Молодая гвардия, 1988.
2. Камман К. Работа с ионселективными электродами : пер. с нем. / К. Камман. – М. : Мир, 1980. – 283 с.
3. Химический энциклопедический словарь / под ред. И. Л. Кнунянц. – М. : Сов. энцикл., 1983. – С. 221.
4. A disposable electrochemical sensor for the determination of indole-3-acetic acid based on poly (safranin T) – reduced graphene oxide nanocomposite / Tian Gan, Chengguo Hu, Zilin Chen, Shengshui Hu // *Talanta*. – 2011. – Vol. 85. – P. 310–316.
5. Calatayad J. M. Fia-fluorimetric determination of the pesticide indolile-3-acetic acid / J. V. Calatayad, J. Goncalves de Ascencao, J. R. Albert-Garcia // *Journal of fluorescence*. – 2006. – Vol. 16, № 1. – P. 61–67.
6. Colorimetric determination of indole-3-acetic acid oxidation products / Werner J. Meudt, T. Powell Gaines // *Journal of Plant Physiology*. – 1967. – Vol. 42. – P. 1395–1399.
7. Frankenberger W. T. Phytohormones in Soils / W. T. Frankenberger, M. Arshad. – N. Y., 1995.
8. Johnson H. E. Indole-3-acetic acid / Herbert E. Johnson, Donald G. Crosby // *Org. Synth.; Coll.* – 1973. – Vol. 5. – P. 654.
9. Mass-spectrometric quantification of indole-3-acetic acid in rhizobium culture supernatans: relation to root hair curling and nodule initiation / J. Badenoch-Jones, R. E. Summons, M. A. Djordjevic et al. // *Applied and environmental microbiology*. – 1982. – Vol. 44, № 2. – P. 275–280.
10. Microdetermination of indolile-3-acetic acid in vegetable extracts by high-performance liquid chromatography with fluorescence detection / R. Budini, S. Girotti, A. M. Pierpaoli, D. Fonelli // *Microchemical journal*. – 1982. – Vol. 27. – P. 365–371.
11. Sanderson K. J. Auxin in seaweed extract: identification and quantitation of indolile-3-acetic acid by gas chromatography – mass-spectrometry / K. J. Sanderson, P. E. Jameson, J. A. Zabkiewicz // *Journal of Plant Physiology*. – 1987. – Vol. 129. – P. 363–367.
12. Simultaneous quantitation of indolile-3-acetic acid and abscisic acid in small samples of plant tissue by gas chromatography / J. H. Vine, D. Noiton, J. A. Plummer, C. Baleriola-Lucas, M. G. Mullins // *Journal of Plant Physiology*. – 1987. – Vol. 45. – P. 419–422.
13. The amperometric determination of indolile-3-acetic acid based on CeCl₃-DHP film modified gold electrode / Yu Jun Yang, Xuewe Xiong, Keke Hou, Shengshui Hu // *Russian journal of electrochemistry*. – 2011. – Vol. 47. – P. 47–52.
14. The extraction and colorimetric estimation of indole-3-acetic acid and its esters in developing corn kernels / O. N. Hinsvark, W. M. H. Houff, S. H. Wittwer, H. M. Sell // *Journal of Plant Physiology*. – P. 107–108.
15. Voltammetric determination of malachite green in fish samples based on the enhancement effect of anionic surfactant / Wensheng Huang, Chunchai Yang, Wanyun Qu and Shenghui Zhang // *Russian journal of electrochemistry*. – 2008. – Vol. 44, № 8. – P. 946–951.

Кормош Жолт, Журба Екатерина, Федосов Сергей. Потенциометрическое определения индолил-3-уксусной кислоты с помощью ПВХ-сенсора с родаминовыми основными красителями. Разработано новую простую, быструю, чувствительную и селективную методику потенциометрического определения индолил-3-уксусной кислоты в растворах. Описанные потенциометрические сенсоры, которые базируются на использовании ионных ассоциатов индолил-3-ацетатов родаминовых красителей, показывают крутизну 57 мВ/рС в

линейном диапазоне $1 \cdot 10^{-4}$ – $5 \cdot 10^{-2}$ моль/л. Сенсоры высокоселективны по тоношению к ряду неорганических и органических ионов и могут быть применены для определения индолил-3-уксусной кислоты в растворах.

Ключевые слова: потенциометрический сенсор, родаминовые красители, индолил-3-уксусная кислота.

Kormosh Zholt, Zhurba Katerina, Fedosov Sergiy. Potentiometric Determination of Indolyl-3-acetic Acid Using PVC Sensor with Basic Rodamine Dyes. A new simple, rapid, sensitive and selective potentiometric method for determination of the indolyl-3-acetic acid in solution. Described potentiometric sensors are based on the use of ionic associates indolyl-3-acetate rodamine dyes show the slope 57 mV/pC linear in the range of $1 \cdot 10^{-4}$ – $5 \cdot 10^{-2}$ mol/l. Highly selective sensors for a number of inorganic and organic ions; be used to determination of the indolyl-3-acetic acid in solution.

Key words: Potentiometric Sensor, Rhodamine Dyes; Indolyl-3-acetic acid.

Східноєвропейський національний університет
імені Лесі Українки

Стаття надійшла до редколегії
01.02.2013 р.

УДК 543.423:543.253

Олескандр Бакланов
Ольга Каліненко
Олег Юрченко
Олена Белова

Використання ультразвуку в аналізі і технології хлориду натрію фармакопейної чистоти

Показано можливість отримання хлориду натрію фармакопейної чистоти по ФС 42-2572-88 через відбір частини продукту з вакуумно-випарного апарату при виробництві кухонної солі сорту «Екстра». Ультразвук було використано на стадії автоматичного аналізу вихідного розсолу (метод сонолюмінісцентної спектроскопії) і для зменшення сокрystalізації сульфатів з хлоридом натрію.

Ключові слова: ультразвук, хлорид натрію фармакопейної чистоти, сонолюмінісцентна спектроскопія.

Постановка наукової проблеми та її значення. Аналіз досліджень цієї проблеми. Для отримання хлориду натрію фармакопейної чистоти у промисловості використовується очистка кухонної солі сорту «Екстра» або хлориду натрію х.ч. від домішок сульфат-іонів розчином хлориду барію [1; 7]. При цьому солі барію можуть потрапити до кінцевого продукту через розчинність сульфату барію у розчинах завдяки сольовому ефекту [1].

Раніше ми запропонували метод очищення хлориду натрію, що включає охолодження хлориду натрію до температури $(-15) \dots (-20)$ °С, розчинення у пероксиді водню при вібраційному перемішуванні, охолодженню до температури $(-20) \dots (-25)$ °С (при цих умовах розчинюється тільки хлорид натрію), фільтрування розчину та кристалізацію при температурі $130 \dots 150$ °С [3]. Однак за цим методом необхідно використовувати значну кількість пероксиду водню через недостатню розчинність хлориду натрію у пероксиді водню, що при використанні вібраційного перемішування не перевищує 34 г у 100 мл. Використання замість вібраційного перемішування одночасної дії ультразвуку частотою $1,0 \dots 2,0$ МГц та ультразвуку частотою $18,0 \dots 100,0$ кГц при інтенсивності низькочастотного ультразвуку $0,15 \dots 0,25$ Вт/см², а високочастотного – $0,25 \dots 0,50$ Вт/см² дає змогу отримувати хлорид натрію із вмістом основної речовини більш як 99,999 % [8]. Однак ці методи дуже складні для використання їх у промисловості.

Запропоновано для отримання хлориду натрію фармакопейної чистоти, який задовольняє вимогам ФС 42-2572-88, відбирати хлорид натрію на стадії його кристалізації безпосередньо з вакуумно-випарного апарату при виробництві вакуумно-випарної кухонної солі [5]. Однак дослідно-промислове виробництво в умовах Слов'янського солевипарувального комбінату показало, що 10–17 % готової продукції не задовольняло вимогам ФС 42-2572-88 за вмістом сульфат-іонів, яке не повинно перевищувати 0,005 % [1].

Було встановлено, що виробництво хлориду натрію фармакопейної чистоти з використанням вакуумно-випарних апаратів вимагає безперервного реагування на зміни в складі розсолу, що подається із свердловини, і на відповідні зміни режимів роботи вакуумно-випарного апарату, які впли-