

ПЧ,  $\delta$ ,  $\text{см}^{-1}$ : 3230  $\delta(\text{NH})$ ; 3063  $\delta(=\text{CH})$ ; 3015  $\delta(\text{CH})$ ; 2985  $\delta(\text{CH}_2)_{\text{allyl}}$ ; 1604, 1594, 1568, 1547  $\delta(\text{C}=\text{N})$  і  $\delta(\text{NH}-\text{CS}-\text{NH})$ ; 1470, 1438, 1412  $\delta(\text{PhH})$ ; 1348, 1312  $\delta(\text{CS})$ ; 1275, 1254, 1203  $\delta(\text{C}-\text{O}_{\text{Ph}})$ ; 1157, 1125, 1095  $\delta(\text{NH}-\text{CS}-\text{NH})$ ; 1042, 1019  $\delta(\text{N}-\text{N})$ ; 993, 972, 940, 901  $\delta(\text{CH})$ ; 840, 801, 749, 655  $\delta(\text{CH})$ ; 613, 575, 557, 464  $\delta(\text{CH}_{\text{allyl}})$ ; 438  $\delta(\text{Zn}-\text{N})$ ; 285  $\delta(\text{Zn}-\text{S})$ .

ЯМР  $^1\text{H}$ ,  $\delta$ , м.д. (ДМСО- $d_6$ ): 3,90 м (2H,  $\text{C}^9\text{H}_2$ ); 5,01–5,15 дд (2H,  $J = 10,0, 17,5$  Гц,  $=\text{C}^{11}\text{H}_2$ ); 5,86–5,92 м (1H,  $=\text{C}^{10}\text{H}$ ); 6,64 м (1H,  $\text{C}^5\text{H}_{\text{Ar}}$ ); 6,78 м (1H,  $\text{C}^3\text{H}_{\text{Ar}}$ ); 6,89 м (1H,  $\text{C}^4\text{H}_{\text{Ar}}$ ); 7,11 м (1H,  $\text{N}^3\text{H}$ ); 7,25 м (1H,  $\text{C}^6\text{H}_{\text{Ar}}$ ); 8,39 с (1H,  $=\text{C}^7\text{H}$ ); 11,80 с (1H,  $\text{N}^2\text{H}$ ). ЯМР  $^{13}\text{C}$ ,  $\delta$ , м.д. (DMSO- $d_6$ ): 44,25  $\text{C}^9$ ; 114,70  $\text{C}^{11}$ ; 117,06  $\text{C}^3$ ; 120,68  $\text{C}^1$ ; 121,09  $\text{C}^5$ ; 130,20  $\text{C}^6$ ; 132,86  $\text{C}^4$ ; 136,33  $\text{C}^{10}$ ; 152,16  $\text{C}^7$ ; 163,00  $\text{C}^2$ ; 172,39  $\text{C}^8$ .

### Література

1. Bon V.V. Synthesis and spectroscopic investigations of Rh(III) and Pd(II) complex compounds with N-(pyridine-2-yl)morpholine-4-carbothioamide / V.V. Bon, S.I. Orysyk, V.P. Pekhnyo, V.V. Orysyk, S.V. Volkov // Polyhedron. –2007. – V. 26. – № 13. – P. 2935–2941.
2. Hempel H. Allylsenföl und Hydrazinhydrat / H. Hempel // Berichte. –1894. – Bd. 27. – P. 625–626.
3. Purohit S. Chemistry of molybdenum with hard-soft donor ligands. 2. molybdenum(VI), -(V), and -(IV) oxocomplexes with tridentate schiff base ligands / S. Purohit, A.P. Koley, L.S. Prasad, P.T. Manoharan., S. Ghosh // Inorg. Chem. – 1989. – V. 28. – № 19. – P. 3735–3742.

УДК 631.95:549.25/.29:635.652.2

Дегтярёв Ф. В., Дроздова Н. И.

*Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины*

### ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССОВ НАКОПЛЕНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В РАСТЕНИЯХ ФАСОЛИ ОБЫКНОВЕННОЙ

В экспериментальных условиях изучено взаимное влияние свинца, никеля и меди при их накоплении в растениях. Установлено избирательное увеличение выноса элементов под влиянием янтарной кислоты в условиях опыта. Выявлена положительная корреляция между выносом никеля и меди, что позволяет судить об их синергическом взаимодействии в условиях эксперимента.

In the experimental conditions the mutual influence of lead, nickel and copper is studied at their accumulation in plants. Installed a selective increase in the carrying out of the elements under the influence of succinic acid in experimental conditions. There was detected a positive correlation between the removal of nickel and copper, which allows to judge about their synergistic interaction in experimental conditions.

**Ключевые слова:** фитоэкстракция, янтарная кислота, тяжелые металлы, относительный вынос.

Изучение поведения поллютантов, в том числе тяжелых металлов (ТМ), в биосфере весьма актуально, поскольку они представляют серьезную экологическую проблему. Среди химических элементов ТМ являются наиболее токсичными. Тяжелые металлы ингибируют фотосинтез, нарушают минеральное питание, тормозят рост, изменяют водный баланс и гормональный статус растений.

В современных условиях загрязнение почвы ТМ происходит, прежде всего, на полях вокруг промышленных центров цветной и черной металлургии, предприятий химической и электрохимической промышленности, машиностроения, энергетики и других зон повышенного техногенного воздействия на окружающую среду. За пределами промышленных зон основные источники поступления ТМ в почву – транспорт, осадки и удобрения. В экологическом мониторинге особое внимание уделяется контролю наиболее токсичных элементов: кобальту, никелю, свинцу, меди, кадмию цинку и др.

В последние десятилетия особое внимание уделяется биологическим способам очистки почв, основанным на явлении фитоэкстракции. Метод заключается в посеве и выращивании в течение определённого периода времени на загрязнённых участках специально подобранных видов растений для извлечения из почвы тяжёлых металлов корневой системой и накопления их в надземной биомассе, в последующем утилизируемой. При этом коэффициент накопления металлов в растениях повышают благодаря внесению в почву эффекторов фитоэкстракции. Описывается применение в качестве эффектора этилендиаминтетрауксусной кислоты (ЭДТА), которая усиливает поглощение растениями ионов металлов за счет образования прочных водорастворимых комплексов [1]. Однако применение ЭДТА может повлечь за собой негативные последствия за счет того, что комплексы слабо поддаются биодеструкции в естественных условиях, что может отрицательно сказаться на состоянии окружающей среды. В этой связи интерес представляет использование веществ, образующих биоразлагающиеся соединения, например, янтарной кислоты [2]. В настоящий момент в литературе нет широкого рассмотрения янтарной кислоты с точки зрения химии комплексных соединений. Известно, что сукцинатный анион может быть бидентантным и тетрадентантным. Высказывается множество предположений о структурах получаемых комплексов. Так для сукцинатов никеля (II) и свинца (II) тетрагидратов была предложена структура, представляющая собой мооядерный хелат в форме октаэдра, в центре которого находится металл в окружении шести атомов кислорода, а сукцинатный остаток в хелате находится в транс-конформации [3].

Для изучения вопроса о взаимодействии тяжелых металлов при их поглощении растениями был выполнен модельный эксперимент по изучению накопления свинца, меди и никеля у представителя семейства бобовых – фасоли обыкновенной (*Phaseolus vulgaris* L.). В условиях опыта в почву вносили соединения свинца, относящегося к первому классу опасности. Заражение почвы осуществляли нитратом свинца в дозах соответствующих 2,5 ОДК и 5 ОДК, что соответствовало следующим концентрациям ионов: 125 мг/кг и 250 мг/кг соответственно. В работе исследована возможность применения янтарной кислоты, являющейся важнейшим метаболитом,

в качестве эффектора фитоэкстракции. Янтарную кислоту вносили в концентрации 0,4 мг/кг почвы.

Методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой установлены концентрации тяжелых металлов в надземной фитомассе фасоли обыкновенной, собранной на стадии созревания семян (таблица 1). Исходя из полученных данных был рассчитан вынос и относительный вынос элементов в надземную фитомассу (таблица 2).

Таблица 1.

Влияние соединений свинца на накопление элементов в надземной фитомассе, мг/кг

Условия опыта	Cu	Pb	Ni
Pb 2,5 ОДК	6,6	42,6	1,2
Pb 5 ОДК	7,2	93,8	1,3
Pb 2,5 ОДК + Янт. к-та	6,5	8,6	1,3
Pb 5 ОДК + Янт. к-та	7,38	7,8	1,4
Янтарная к-та	4,2	5,1	0,8
Контроль	5,8	7,6	1,1

При внесении нитрата свинца его содержание в надземной фитомассе увеличивается в 4-28 раз по сравнению с контролем. При внесении янтарной кислоты наблюдается уменьшение содержания всех исследуемых элементов по сравнению с контролем. Одной из вероятных причин этого может быть быстрая биодеструкция комплексов [2], другой причиной может служить «эффект биоразведения» за счет увеличения биомассы растений под влиянием янтарной кислоты.

Таблица 2.

Влияние соединений свинца на вынос и относительный вынос элементов из почвы в растение

Условия опыта	Вынос, мг			Относительный вынос, %		
	Cu	Pb	Ni	Cu	Pb	Ni
Pb 2,5 ОДК	0,037	1,032	0,008	0,631	0,633	0,664
Pb 5 ОДК	0,217	1,383	0,023	3,686	0,48	2,011
Pb 2,5 ОДК + Янт. к-та	0,149	0,009	0,066	2,533	0,006	5,682
Pb 5 ОДК + Янт. к-та	0,044	0,004	0,006	0,754	0,001	0,552
Янтарная к-та	0,079	0,005	0,013	1,345	0,069	1,135
Контроль	0,157	0,009	0,029	2,668	0,116	2,475

Анализ данных таблицы 2 показывает, что эффективность индуцируемой янтарной кислотой фитоэкстракции мала, о чем свидетельствуют значения относительного выноса элементов. Максимальный вынос в условиях эксперимента отмечали только для никеля (5,68%), что может быть обусловлено его значительной физиологической ролью для растений и отсутствием дополнительного внесения данного элемента.

Установлено, что в условиях эксперимента при совместном внесении соединений свинца и янтарной кислоты относительный вынос данного элемента значительно меньше, чем в контроле. Характер изменения относительного выноса

меди и никеля позволяют сделать предположение о возможности их синергического влияния друг на друга в процессе поглощения растениями. Это может объясняться близкими по размерам ионными радиусами (0,072 нм - для меди; 0,078 нм - для никеля).

Установлено, что внесение янтарной кислоты, уменьшает содержание тяжелых металлов в надземной фитомассе, как за счет быстрого разрушения комплексов, так и за счет «эффекта биоразведения». Таким образом, в условиях эксперимента выявлена низкая эффективность янтарной кислотой как фактора индуцируемой фитоэкстракции.

Анализ значений относительных выносов элементов позволяет сформировать последовательность:  $Cu < Ni < Pb$ . В условиях эксперимента выявлена достоверная прямая и средняя по силе корреляционная зависимость ( $r = 0,7$ ) между выносом никеля и меди, что подтверждает синергический характер их взаимодействия при транслокации в системе почва-растение.

### Литература

1. Дегтярёв Ф. В., Дроздова Н. И. К вопросу о взаимном влиянии элементов на накопление тяжелых металлов в растениях фасоли обыкновенной // Фундаментальные и прикладные исследования в современной химии: материалы I Международной заочной научно – практической конференции молодых учёных, Нежин, 11 апреля 2014 г. – Нежин: НГУ им. Н. Гоголя, 2014. – С. 45 – 49.
2. Синтез и применение комплексонов, производных янтарной кислоты, в промышленности и сельском хозяйстве / В. М. Никольский [и др.] // Успехи современного естествознания. – 2004. – №2. – С. 71.
3. Киселев Ю. М., Добрынина Н. А. Химия координационных соединений. – М.: Академия, 2007. – 352 с.

УДК 547.781.2

**Динник А.Д., Ковальчук А.І., Суховєєв В.В., Москаленко О.В., Демченко А.М.**

*Ніжинський державний університет імені Миколи Гоголя*

### **ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ «СТРУКТУРА–АКТИВНІСТЬ» ПОХІДНИХ R-ФЕНІЛ -6,7-ДИГІДРО-5Н-ПІРОЛО[1,2-а]ІМІДАЗОЛУ**

У статті розглянуто залежність «структура-активність» для похідних R-феніл-6,7-дигідро-5Н-піроло[1,2-а]імідазолу.

Виявлено кореляцію між фармакологічною активністю та електронними і стеричними властивостями замісників в ароматичному ядрі досліджуваних сполук. Розраховано сумарну енергію зв'язку молекули та величину гострої токсичності похідних R-феніл -6,7-дигідро-5Н-піроло[1,2-а]імідазолу.

**Ключові слова:** похідні R-феніл-6,7-дигідро-5Н-піроло[1,2-а]імідазолу, залежність "структура-активність", електронні та стеричні властивості замісників.

В статті розглянуто залежність «структура-активність» для производных R-фенил-6,7-дигидро-5Н-пирроло[1,2-а]имидазола.