

## Список використаних джерел

1. Ananya Dey, Mater. Sci. Eng. C, 2018, 229, 206–217.
2. Korotcenkov G., Mater. Sci. Eng. B, 2007, 139, 1–23.
3. De G., Licciulli A., Massaro C., Quirini A., Rella R., Siciliano P., Vasanelli L., Sens. Actuators B, 1999, 55(2-3), 134–139.
4. Kim J.C., Jun H.K., Huh J.-S., Lee D.D., Sens. Actuators B, 1997, 45, 271–277.
5. Barsan N., Koziej D., Weimar U., Sens. Actuators B, 2007, 121, 18–35.
6. Roduner E., Chem. Soc. Rev., 2006, 35, 583–592.
7. Mädler L., Roessler A., Pratsinis S.E., Sahm T., Gurlo A., Barsan N., Weimar U., Sens. Actuators B, 2006, 114, 283–295.
8. Кучаев В.Л. Кинетика и катализ / В.Л. Кучаев, Л.М. Никитушина, М.И. Тёмкин, 1974. Т. 15(5). – С. 1202–1206.

9. Kuchaev V.L., Nikitushina L.M., Tjorkin M.I. Kinetika i kataliz, 1974, 15(5), 1202–1206. (In Russian).
9. Daglish A.G., Eley D.D. Actes du 2e congres Internat. de Catalyse, 1; Ed. Technip., Paris, 1961, 2, 1615.
10. Oleksenko, L.P., Maksymovych, N.P., Matushko, Buvailo I.P., Derkachenko N.M., Russ. J. Phys. Chem., 2013, 87, 265–269.
11. Oleksenko L.P., Maksymovych N.P., Sokovykh E.V., Matushko I.P., Buvailo A.I., Dollahon N., Sens. Actuators B, 2014, 196, 298–305.
12. Fedorenko G.V., Oleksenko, L.P., Maksymovych N.P., Matushko I.P., Russ. J. Phys. Chem., 2015, 89, 2259–2262.

Надійшла до редколегії 19.11.18

Д. Юрченко, студ., yurchenkod95@gmail.com,

Л. Олексенко, д-р хим. наук,

Н. Максимович, канд. хим. наук,

Г. Федоренко, канд. хим. наук,

И. Матушко, канд. хим. наук

Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, Киев

### АДСОРБЦИОННО-ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ СЕНСОР МОНООКСИДА УГЛЕРОДА, СОЗДАНИЙ НА ОСНОВЕ НАНОРАЗМЕРНОГО МАТЕРИАЛА Pt/SnO<sub>2</sub>

С использованием золь-гель технологии получены полупроводниковые наноразмерные материалы на основе SnO и Pt/SnO<sub>2</sub>. Изучено морфологию, фазовый состав и каталитическую активность в реакции окисления СО полученных наноматериалов. Установлено, что допирование диоксида олова платиной приводит к значительному повышению каталитической активности материалов в реакции окисления СО. Доказано, что сенсоры, изготовленные на основе наноматериалов Pt/SnO<sub>2</sub>, проявляют достаточно высокую чувствительность к 1000 ppm СО и имеют хорошее быстродействие.

Ключевые слова: наноматериалы Pt/SnO<sub>2</sub>, адсорбционно-полупроводниковые сенсоры, монооксид углерода, чувствительность, быстродействие.

D. Yurchenko, Student, yurchenkod95@gmail.com,

L. Oleksenko, Dr. Sci.,

N. Maksymovych, PhD,

G. Fedorenko, PhD,

I. Matushko, PhD,

Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv

### CARBON MONOXIDE ADSORPTION SEMICONDUCTOR SENSOR CREATED ON THE BASE OF THE NANOSIZED MATERIAL Pt/SnO<sub>2</sub>

Nanosized material SnO<sub>2</sub> was obtained by a sol-gel technique to create a sensor purposed for determination of carbon monoxide concentration in air. Platinum was added to the nanosized tin dioxide by a wet impregnation method using H<sub>2</sub>PtCl<sub>6</sub> solution. According to TEM data the average size of the SnO<sub>2</sub> particles in the obtained nanosized tin dioxide was equal to 10–11 nm. Sensor nanomaterials based on SnO<sub>2</sub> and Pt/SnO<sub>2</sub> powders which were sintered at 620°C in air consisted of spheric particles with average sizes 20 and 14–15 nm, correspondingly. Phase compositions of the obtained nanomaterials were studied by the XRD method. Only a phase of cassiterite was detected for the nanomaterials with and without platinum. The absence of any reflexes of platinum-containing phases in the diffraction pattern of Pt/SnO<sub>2</sub> is most likely due to the low content of platinum in the material. It was shown that doping the nanosized SnO<sub>2</sub> materials by platinum lead to increase their catalytic activities in the reaction of CO oxidation: the temperature of practically complete conversion of CO at Pt/SnO<sub>2</sub> catalyst was equal to 110 °C.

The sensor created on the base of Pt/SnO<sub>2</sub> nanomaterial was found to be more sensitive to CO than the one created without platinum in the range of its heater power consumption 0.25–0.45 W. High catalytic activity of the Pt/SnO<sub>2</sub> nanomaterial in the reaction of CO oxidation is a reason of such sensor sensitivity increase. The dependence of the sensitivity of the sensor on the heater power consumption has a maximum that can be explained by the change of the amount of oxygen chemisorbed on the sensor gas sensitive layer when the sensor temperature is increased. The maximal sensor sensitivity to CO is γ = 10 at the optimal heater power consumption of the sensor (0.3 W). The created sensor to CO based on the nanomaterial Pt/SnO<sub>2</sub> was found to be very fast. The response time of the sensor (τ<sub>0.9</sub>) was equal to 4.5 s and the relax time (τ<sub>relax</sub>) was equal to 9.8 s.

It was shown that the created sensor based on nanomaterial Pt/SnO<sub>2</sub> has high sensitivity to carbon monoxide and possess good dynamic properties, which makes the sensor to be promising for usage it in gas analytical devices purposed for determination of CO in air.

Keywords: nanomaterials Pt/SnO<sub>2</sub>, adsorption semiconductor sensors, carbon monoxide, sensitivity, response and relax time.

УДК 578.864: 633.11

DOI: [https://doi.org/10.17721/1728-2209.2018.1\(55\).19](https://doi.org/10.17721/1728-2209.2018.1(55).19)

Л. Міщенко, д-р біол. наук, lmishchenko@ukr.net,

К. Криницька, асп.,

В. Павленко, канд. хім. наук, pavlenko\_vadim@univ.kiev.ua

А. Дуніч, канд. біол. наук

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ

### ВПЛИВ МАКРОЦИКЛІЧНИХ КООРДИНАЦІЙНИХ СПОЛУК МІДІ (III) НА ПРОДУКТИВНІСТЬ ВІРУСІНФІКОВАНИХ РОСЛИН ПШЕНИЦІ ЯРОЇ

Досліджено вплив двох макроциклічних координаційних сполук міді (III) на ріст і розвиток рослин пшениці ярої, уражених вірусом смугастої мозаїки пшениці. Встановлено, що сполуки збільшують масу рослин і вміст сухої речовини залежно від способу обробки. Сполука з протикаціями літію і калію підвищувала масу наземної частини та кореневої системи, сполука з протикаціями натрію – вміст сухої речовини в коренях як здорових, так і вірусінфікованих рослин, що свідчить про стимуляцію процесів стійкості рослин пшениці до ВСМГ-інфекції.

Ключові слова: координаційні сполуки міді, віруси рослин, вірус смугастої мозаїки пшениці, продуктивність.

**Вступ.** Вірусні хвороби рослин спричиняють втрати врожаю та погіршення якості продукції. Одним із найбільш розповсюджених в Україні на пшениці озимій та

шкодочинним є вірус смугастої мозаїки пшениці, ВСМГП (*Wheat streak mosaic virus*, WSMV) [1, 2]. Питанню захисту рослин від фітовірусів приділяється значна

увага [3, 4]. Вагому роль у захисті рослин від фітопатогенів відіграє хіміотерапія. Значна частка робіт присвячена з'ясуванню впливу макро- і мікроелементів на розвиток бактеріальних і грибних хвороб. Вірусним хворобам у цьому контексті присвячено значно менше робіт у зв'язку із специфікою взаємовідносин вірусу і клітин рослин-господарів. Так, встановлено, що застосування фосфору може зменшувати вміст вірусу скручування листків тютюну та вірусу жовтої карликовості ячменю [5].

Про вплив важких металів та мікроелементів на взаємовідносини рослин і вірусів існує набагато менше інформації. Наявність високої концентрації іонів потенційно токсичних металів може мати позитивний або негативний вплив, або взагалі не впливати на розвиток біотичного стресу [6]. Наприклад, автори роботи [7] показали, що доза миш'яку ( $100 \text{ мг} \cdot \text{кг}^{-1}$ ) проявляла себе як інгібітор CMV-інфекції у рослинах томатів. Відомо, що токсичні елементи можуть змінювати структуру клітинних мембран і таким чином впливати на їх проникність [8, 9]. У деяких випадках збільшення цілісності мембрани може мати певний ефект обмеження проникнення патогена, що в свою чергу є захистом рослини [10]. Застосування іонів кадмію призводить до зниження вірулентності *Turnip vein clearing virus* (TVCV) (блокування системного переміщення) в уражених рослинах *Nicotiana tabacum* [11]. Однак, у таких умовах вірус залишає здатність реплікуватися та переміщуватися локально по інюльованому листку. А от обробка нікелем рослин *Streptanthus polygaloides*, уражених *Turnip mosaic virus*, не призводила до жодного ефекту [12]. Антифтовірусний ефект відмічено для магнію, що редукував вміст BTM у листках баклажанів (*Solanum melongena*) [13].

Відомо, що іони міді окремо, або в комплексі, використовуються для дезінфекції рідин, твердих речовин і тканин людини протягом багатьох століть. Сьогодні мідь використовується як очищувач води, у складі альгіцидів, фунгіцидів, нематоцидів, молюскоцидів, а також антибактеріальних і антигрибних агентів. Мідь також проявляє чітко виражену противірусну активність щодо таких вірусів, як ВІЛ-1, HSV типу I, вірусу типів Коксаки B2 і B4, ЕCHO-вірусу 4, мавпячого ротавірусу SA11, вірусу грипу типу A, а також щодо деяких бактеріофагів [14, 15]. Координаційні сполуки міді(III) в останні роки привертають особливу увагу дослідників, які працюють в галузі неорганічної біохімії і розробки біологічно активних речовин на основі металокомплексів.

Метою роботи було дослідження впливу макроциклічних координаційних сполук міді(III) тетрагідрізидного типу, до складу яких входять протикатіони літію, калію та натрію, на ріст і розвиток рослин при вірусному ураженні.

**Методи та об'єкти дослідження.** Об'єктом досліджень були рослини ярої твердої пшениці сорту Нащадок, штучно інюльовані вірусом смугастої мозаїки пшениці, ВСМП. Дослідження впливу новосинтезованих координаційних сполук міді(III) на ріст і розвиток рослин пшениці, уражених ВСМП, проводили у контрольованих умовах при штучному освітленні лампами ЛД-40. Світловий період становив 16 год, температура оточуючого середовища знаходилася в межах  $22-25^\circ\text{C}$ .

Для дослідження використовували макроциклічні комплексні сполуки міді(III) –  $\text{Na}[\text{Cu}(\text{coxh-4H})]\cdot 4\text{H}_2\text{O}$  та  $(\text{Li}_{0,5}\text{K}_{0,5})[\text{Cu}(\text{foxh-4H})]\cdot 5\text{H}_2\text{O}$  (рис. 1). Обидві координаційні сполуки було одержано методом темплатного синтезу при взаємодії координованого дигідріду щавлевої кислоти з карбонільними агентами (циклогексаном та формальдегідом, відповідно) у присутності кисню повітря, їх будову встановлено на підставі результатів рентгеноструктурного дослідження [16, 17]. Чистоту одержаних сполук підтверджено методами рентгенофазового та елементного аналізу. Результати аналізу: для  $\text{Na}[\text{Cu}(\text{coxh-4H})]\cdot 4\text{H}_2\text{O}$  розраховано (%): C – 31,91; H – 6,12; N – 21,26; Cu – 12,06. Знайдено: C – 32,12; H – 6,23; N – 21,11; Cu – 11,90. Для  $(\text{Li}_{0,5}\text{K}_{0,5})[\text{Cu}(\text{foxh-4H})]\cdot 5\text{H}_2\text{O}$  розраховано (%): C – 23,24; H – 4,29; N – 21,68; Cu – 12,29. Знайдено: C – 21,01; H – 4,44; N – 21,91; Cu – 12,06.

Обидві сполуки належать до макроциклічних комплексів аніонного типу, і тому містять у своєму складі поряд з комплексними аніонами катіони лужних металів: літію, калію та натрію. Принципова відмінність у будові двох сполук полягає у тому, що при взаємодії з альдегідом утворюється комплексний аніон з макробіциклічними фрагментами, а при взаємодії з кетоном – звичайний макроцикл моноциклічної будови (рис. 1). Оскільки сполуки добре розчинні у воді і при цьому відбувається їх дисоціація на гідратовані катіони лужних металів і комплексні аніони, то можна очікувати прояву синергізму сумісної дії катіонної та аніонної частин у спостереженій біологічній активності. Зазначимо також, що водні розчини обох сполук можуть існувати необмежено довго за звичайних умов без будь-яких ознак розкладу [18].

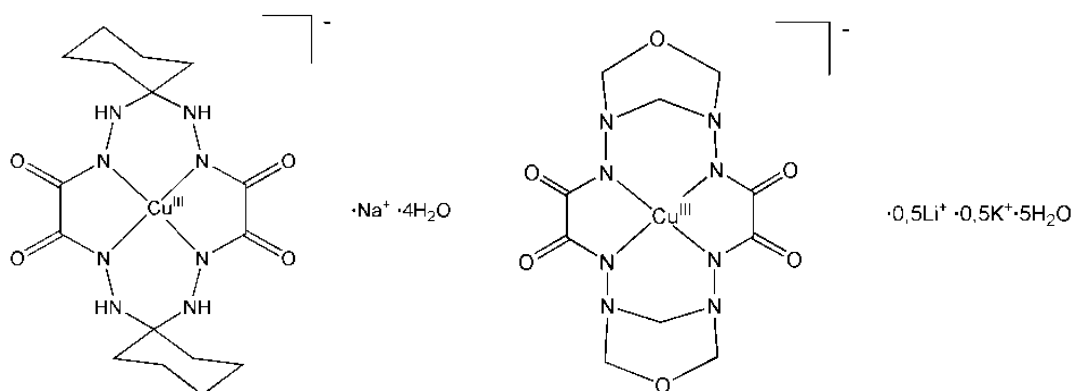


Рис. 1. Молекулярні формули координаційних сполук  $\text{Na}[\text{Cu}(\text{coxh-4H})]\cdot 4\text{H}_2\text{O}$  та  $(\text{Li}_{0,5}\text{K}_{0,5})[\text{Cu}(\text{foxh-4H})]\cdot 5\text{H}_2\text{O}$

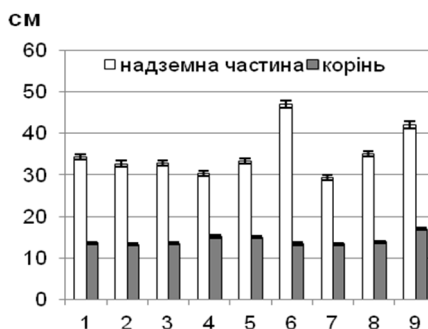
У двох варіантах насіння пророщували на дистильованій воді і в 9-денному віці обробляли позакоренево 0,05 %-ми розчинами препаратів координаційних сполук  $\text{Na}[\text{Cu}(\text{coxh-4H})]\cdot 4\text{H}_2\text{O}$  та  $(\text{Li}_{0,5}\text{K}_{0,5})[\text{Cu}(\text{foxh-4H})]\cdot 5\text{H}_2\text{O}$  і ще в двох інших варіантах насіння замочували в 0,1 %-х

розчинах цих самих препаратів, після чого пророщували при температурі  $22^\circ\text{C}$ .

Паралельно на дистильованій воді пророщували насіння контрольного варіанту, в якому рослини не інюльовали вірусом та не обробляли препаратами. Через десять днів рослини кожного з п'яти варіантів ділили на

дві частини, одну з яких механічно інокулювали препаратом ВСМП у фосфатному буфері з карборундом, іншу – механічно пошкоджували тим самим буфером без додавання вірусу. Через 12 днів після інокуляції проводили визначення морфометричних та вагових показників: довжини надземної частини рослин і коренів, сирої та сухої маси надземної частини та кореневої системи. Статистичну обробку даних здійснювали програмою Microsoft Excel з урахуванням t-критерію Ст'юдента.

**Результати та їх обговорення.** Вплив комплексних сполук на розвиток надземної частини рослин пшениці сорту Нашадок залежав від характеру їхньої обробки (рис. 2). Обробка рослин обома сполуками засвідчила, що досліджувані сполуки не пригнічують ріст рослин, навіть при ураженні вірусом (рис. 2, 3), а в деяких варіантах навпаки, стимулює ріст рослин (рис. 2).

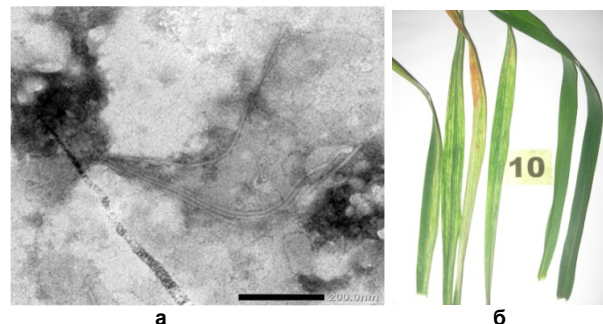


**Рис. 2. Вплив комплексних сполук на висоту рослин та довжину кореневої системи пшениці:**

- 1 – контроль: без інокуляції ВСМП і без застосування препаратів;
- 2 – позакоренева обробка  $\text{Na}[\text{Cu}(\text{coxh-4H})] \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ;
- 3 – позакоренева обробка  $\text{Na}[\text{Cu}(\text{coxh-4H})] \cdot 4\text{H}_2\text{O} + \text{ВСМП}$ ;
- 4 – позакоренева обробка  $(\text{Li}_{0,5}\text{K}_{0,5})[\text{Cu}(\text{foxh-4H})] \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ;
- 5 – позакоренева обробка  $(\text{Li}_{0,5}\text{K}_{0,5})[\text{Cu}(\text{foxh-4H})] \cdot 5\text{H}_2\text{O} + \text{ВСМП}$ ;
- 6 – замочування насіння у  $\text{Na}[\text{Cu}(\text{coxh-4H})] \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ;
- 7 – замочування насіння у  $\text{Na}[\text{Cu}(\text{coxh-4H})] \cdot 4\text{H}_2\text{O} + \text{ВСМП}$ ;
- 8 – замочування насіння у  $(\text{Li}_{0,5}\text{K}_{0,5})[\text{Cu}(\text{foxh-4H})] \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ;
- 9 – замочування насіння у  $(\text{Li}_{0,5}\text{K}_{0,5})[\text{Cu}(\text{foxh-4H})] \cdot 5\text{H}_2\text{O} + \text{ВСМП}$

Аналогічні дані отримано при застосуванні солей міді іншими авторами. Доведено зниження інфекційності для вірусу огіркової мозаїки (ВОМ). При використанні органічних кислот, зокрема хлорогенової, кофейної або галої, у суміші зі сполукою міді спостерігалася суттєва інактивація ВОМ порівняно із обробкою рослин тютюну тільки полі- фенолами [19]. Був показаний антифитовірусний ефект комплексів N-аліл-N'-2-піридил-тіосечовини та N-феніл-N'-2-піридил-тіосечовини з  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$  щодо Х-вірусу картоплі [20]. Антивірусна активність для лігандів та їх комплексів з  $\text{Cu}(\text{II})$ ,  $\text{Ni}(\text{II})$  і  $\text{Zn}(\text{II})$  була доведена і у модельній системі рослини вігна – *Tobacco ring spot virus*. Встановлено, що комплекси з більш високою стабільністю в розчині і більшою розчинністю в ліпідах токсичніші щодо вірусу і, отже, пригнічують розмноження вірусів. Антивірусна активність комплексів  $\text{Cu}(\text{II})$ ,  $\text{Ni}(\text{II})$  і  $\text{Zn}(\text{II})$  зменшувалась у ряду:  $\text{Cu}(\text{DMPHO})_2 > \text{Zn}(\text{DMPHO})_2 > \text{Ni}(\text{DMPHO})_2 > \text{Cu}(\text{PHPO})_2 > \text{Zn}(\text{PHPO})_2 > \text{Ni}(\text{PHPO})_2 > \text{Cu}(\text{MPHPO})_2 > \text{Zn}(\text{MPHPO})_2 > \text{Ni}(\text{MPHPO})_2 > \text{Cu}(\text{CRHPO})_2 > \text{Zn}(\text{CRHPO})_2 > \text{Ni}(\text{CRHPO})_2$  [21].

Так, попередні дослідження антифитовірусної дії гетерополіадерних координаційних сполук важких металів, показали різний рівень віруліцидної та антивірусної активності даних препаратів, яка виражалась у зниженні інфекційності ВТМ у рослинах *Nicotiana tabacum* на 10–92 %. При порівнянні складу найактивніших сполук встановлено, що спільним для них є наявність міді та кобальту, що, можливо, обумовлює активність даних сполук [22].

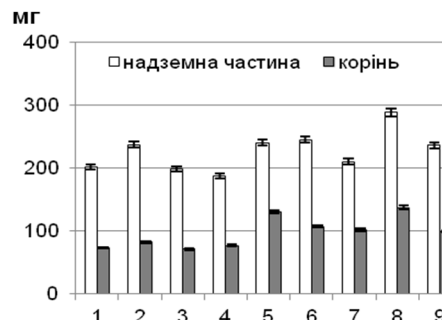


**Рис. 3. Вірус смугастої мозаїки пшениці:**

а – електроннограма віріонів ВСМП, якими було інфіковано експериментальні зразки пшениці ярої (JEM-1400 з приставкою); б – симптоми ВСМП на листках пшениці, праворуч – здорові листки

Найбільшою висотою рослин відмічена при замочуванні насіння у комплексній сполуці з натрієм. Показники вище відносно контролю спостерігали у варіанті із замочуванням насіння у розчині сполуки літію та при інокуляції рослин вірусом. При позакореневій обробці не спостерігали значних змін висоти рослин у всіх досліджуваних варіантах. Обробка комплексними сполуками відчутно не вплинула на довжину кореневої системи.

Схожу тенденцію було виявлено при аналізі змін сирої маси надземної частини та кореневої системи. Замочування у розчинах комплексних сполук призводило до збільшення сирої маси як надземної частини, так і кореневої системи (рис. 4).



**Рис. 4. Вплив комплексних сполук на масу надземної частини та кореневої системи пшениці:**

- 1 – контроль: без інокуляції ВСМП і без застосування препаратів;
- 2 – позакоренева обробка  $\text{Na}[\text{Cu}(\text{coxh-4H})] \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ;
- 3 – позакоренева обробка  $\text{Na}[\text{Cu}(\text{coxh-4H})] \cdot 4\text{H}_2\text{O} + \text{ВСМП}$ ;
- 4 – позакоренева обробка  $(\text{Li}_{0,5}\text{K}_{0,5})[\text{Cu}(\text{foxh-4H})] \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ;
- 5 – позакоренева обробка  $(\text{Li}_{0,5}\text{K}_{0,5})[\text{Cu}(\text{foxh-4H})] \cdot 5\text{H}_2\text{O} + \text{ВСМП}$ ;
- 6 – замочування насіння у  $\text{Na}[\text{Cu}(\text{coxh-4H})] \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ;
- 7 – замочування насіння у  $\text{Na}[\text{Cu}(\text{coxh-4H})] \cdot 4\text{H}_2\text{O} + \text{ВСМП}$ ;
- 8 – замочування насіння у  $(\text{Li}_{0,5}\text{K}_{0,5})[\text{Cu}(\text{foxh-4H})] \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ;
- 9 – замочування насіння у  $(\text{Li}_{0,5}\text{K}_{0,5})[\text{Cu}(\text{foxh-4H})] \cdot 5\text{H}_2\text{O} + \text{ВСМП}$

Результати показали, що застосування сполуки натрію призводило до збільшення маси і надземної частини, і кореневої системи. Такі дані узгоджуються із повідомленнями інших дослідників про збільшення росту рослин при застосуванні натрію [23]. Варто зазначити, що стимуляцію росту вказаною сполукою відмічено і для вірусінфікованих рослин. Інокуляція вірусом знижувала масу надземної частини незалежно від обробки при застосуванні сполуки натрію, проте цей показник був на рівні контролю, що говорить про позитивний ефект вказаної сполуки на ріст рослин.

Найбільш позитивний ефект – збільшення маси надземної частини на 42,5 % та кореневої на 87,7 % – спостерігався при застосуванні сполуки літію і калію

(варіант замочування насіння). Причому цей ефект залишався і при ураженні рослин вірусом – маса надземної частини збільшилася на 16,8 %, кореневої – на 35,6 %. Є декілька робіт, у яких показано, що застосування калійних добрив у формі KCl і  $K_2SO_4$  призводить до зменшення виявлення *Tobacco mosaic virus* у рослинах *Nicotiana glutinosa* [24] і *Tomato mosaic virus* [25]. У результаті додавання цих самих сполук було відмічено зниження ураженості рослин бавовни вірусом скручування листків бавовни (*Cotton leaf curl virus*) від 12 % до 38 % [26]. Відомо, що калій бере участь майже в усіх клітинних функціях, які впливають на суворість захворювання. Резистентність деяких рослин корелює з більш високими рівнями калію, порівняно з вмістом цього мікроелементу у тканинах сприйнятливих сортів.

Аналіз вмісту сухої речовини у надземній частині не виявив чіткої залежності між способом обробки об'єктів комплексними сполуками. Застосування обох сполук суттєво не впливало на цей показник, вміст сухої речовини був на рівні контролю (рис. 5).

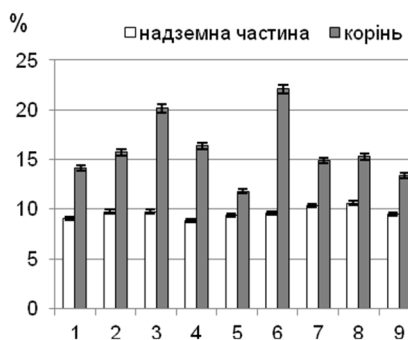


Рис. 5. Вплив комплексних сполук на вміст сухої речовини надземної частини та кореневої системи пшениці:

- 1 – контроль: без інокуляції ВСМП і без застосування препаратів;
- 2 – позакоренева обробка  $Na[Cu(coxh-4H)] \cdot 4H_2O$ ;
- 3 – позакоренева обробка  $Na[Cu(coxh-4H)] \cdot 4H_2O +$  ВСМП;
- 4 – позакоренева обробка  $(Li_{0,5}K_{0,5})[Cu(foxh-4H)] \cdot 5H_2O$ ;
- 5 – позакоренева обробка  $(Li_{0,5}K_{0,5})[Cu(foxh-4H)] \cdot 5H_2O +$  ВСМП;
- 6 – замочування насіння у  $Na[Cu(coxh-4H)] \cdot 4H_2O$ ;
- 7 – замочування насіння у  $Na[Cu(coxh-4H)] \cdot 4H_2O +$  ВСМП;
- 8 – замочування насіння у  $(Li_{0,5}K_{0,5})[Cu(foxh-4H)] \cdot 5H_2O$ ;
- 9 – замочування насіння у  $(Li_{0,5}K_{0,5})[Cu(foxh-4H)] \cdot 5H_2O +$  ВСМП

Проте вміст сухої речовини у кореневій системі був достовірно вищим порівняно з контролем майже у всіх варіантах обробки сполуками, окрім застосування сполуки літію і калію при вірусній інфекції (рис. 5). Найбільш ефективною за цим показником виявилася сполука натрію (замочування насіння) – відмічено підвищення вмісту сухої речовини порівняно із контролем на 56,3 %, при обробці вірусінфікованих рослин – на 5,2 %. Варто зазначити, що вказана сполука при позакореневій обробці спричиняла підвищення вмісту сухої речовини у вірусінфікованих рослинах на 42,5 %, а здорових – лише на 11,2 %. Таким чином, можна припустити, що комплексна сполука натрію може стимулювати певні процеси стійкості до вірусної інфекції ВСМП у рослин пшениці.

**Висновки.** Аналіз даних, одержаних при вивченні впливу макроциклічних координаційних сполук, в яких мідь (III) виступає комплексоутворювачем, а іони натрію чи літію і калію – зовнішньосферними катіонами, на ріст рослин пшениці за умов вірусного інфікування, виявив певну залежність у формуванні неспецифічної стійкості рослин пшениці до вірусної інфекції. Зокрема, виявлено позитивний ефект при позакореневій обробці комплексною сполукою, що містить катіони натрію. Замочування

насіння у розчинах комплексних сполук призводить до загального позитивного впливу на розвиток рослин пшениці сорту Нашадок. Досліджуючи вплив координаційних сполук на продуктивність рослин пшениці, встановлено, що після застосування сполуки з катіонами літію і калію маса надземної частини вірусінфікованих рослин збільшилася на 16,8 %, кореневої – на 35,6 %. Позакоренева обробка рослин сполукою натрію підвищувала вміст сухої речовини у кореневій системі на 11,2–56,3 % у здорових рослинах та на 5,2–42,5 % – у інфікованих вірусом рослинах пшениці. Таким чином, координаційні сполуки  $Na[Cu(coxh-4H)] \cdot 4H_2O$  та  $(Li_{0,5}K_{0,5})[Cu(foxh-4H)] \cdot 5H_2O$  підвищували масу рослин та вміст сухої речовини, що говорить про рістстимулюючий ефект досліджуваних речовин. Підвищення продуктивності пшениці відмічено і при ВСМП-інфекції, що може вказувати на формування неспецифічної стійкості рослин за обробки координаційними сполуками  $Na[Cu(coxh-4H)] \cdot 4H_2O$  та  $(Li_{0,5}K_{0,5})[Cu(foxh-4H)] \cdot 5H_2O$ .

#### Список використаних джерел

1. Міщенко Л.Т. Вірусні хвороби озимої пшениці / Л.Т. Міщенко. – Київ, Фітосоціоцентр, 2009. – 352 с.
2. Mishchenko L. T. Viral diseases of winter wheat. Kyiv, Phytosociocentr, 2009, 352 p. (In Ukrainian).
3. Петренко В.П., Лучна І.С., Олейніков Є.С., Міщенко Л.Т. / Вісн. аграрної науки, 2016. – № 6. – С. 11–15.
4. Petrenkova V.P., Lucchaya I.S., Oleynikov E.S., Mischenko L.T. Visnyk ahramoi nauky, 2016, 6, 11–15. (In Ukrainian).
5. Харіна А.В. Хіміотерапія вірусних інфекцій / А.В. Харіна, І.Г. Будзанівська, В.П. Поліщук. – К., 2003. – 123 с.
6. Kharyna A.D., Budsanyvska I.G., Polyschuk V.P. Chemotherapy of viral infections. Kyiv, 2003, 123 p. (In Ukrainian).
7. Kovalenko O.G., Shcherbatenko I.S., Kyrychenko A.M., Vasylev V.N., Mikrobiol. Z., 2017, 79(1), 34–45.
8. Dordas C., Agron. Sustain. Dev., 2008, 28(1), 33–46.
9. Poschenrieder C., Tolrà R., Barceló J., Trends Plant Sci., 2006, 11(6), 288–295.
10. Miteva E., Hristova D., V. Nenova V., Maneva S., Sci. Hortic., 2005, 105, 343–358.
11. Turman D.A. Mechanism of metal tolerance in higher plants. In : Lepp, N.W. (Ed.), Effect of heavy metal Pollution on Plants. Pollution Monitoring Series, Vol. 2, Dordrecht : Springer, 1981, 239–249.
12. Fuhrer J., Plant Physiol., 1982, 70, 162–167.
13. Stroinski A., Wiczorek F.J., Biochem. Physiol. Pflanzen, 1990, 186, 417–421.
14. Ghoshroy S., Freedman K., Lartey R., Citovsky V., Plant J., 1998, 13, 591–602.
15. Boyd R.S., Moar W.J., Oecologia, 1999, 118, 218–224.
16. Seaker E.M., Bergman E.L., Romaine C.P., J. Am. Soc. Hortic. Sci., 1982, 107, 162–166.
17. Borkow G., Gabbay J., Curr. Med. Chem., 2005, 12, 2163–2175.
18. Minoshima M., Lu Y., Kimura T., Nakano R., Ishiguro H., Kubota Y., Hashimoto K., Sunada K., J. Hazard. Mater., 2016, 312, 1–7.
19. Fritsky I.O., Kozłowski H., Sadler P.J., Yefetova O.P., Świątek-Kozłowska J., Kalibabchuk V.A., Glowiak T., J. Chem. Soc., Dalton Trans, 1998, 19, 3269–3274.
20. Єфетова О.П., Слива Т.Ю., Фрицький І.О., Дударенко М.М., Калібачук В.О., Кремер Р. // Допов. Нац. акад. наук Укр., 2002. – № 5. – С. 161–162.
21. Efetova O.P., Slyva T.Yu., Fritsky I.O., Dudarenko M.M., Kalibabchuk V.O., Kremer R. Dopov. Nac. akad. nauk Ukr., 2002, 5, 161–166.
22. Pap J.S., Szywriel L., Rowinska-Zyrek M., Nikitin K., Fritsky I.O., Kozłowski H., J. Mol. Catal. A: Chem., 2011, 334(1–2), 77–82.
23. Pierpoint W.S., Harrison B.D., J. Gen. Microbiol., 1963, 32, 429–440.
24. Shuster G., Davarsky K.A., Vassilev G.N., Antivir. Res., 1989, 11, 307–311.
25. Mallikarjun K.G., E-J. Chem., 2005, 2(1), 58–61.
26. Харіна А.В., Корнійчук І.В., Бисова М.Є., Козозей В.М., Нестерова О.В. // Вісн. Київ. нац. ун-ту імені Тараса Шевченка. Хімія, 2005. – Вип. 44. – С. 51–53.
27. Kharina A.V., Kornijchuk I.V., Bysova M.Ye., Kokozev V.M., Nesterova O.V. Visnyk Kyivs'koho natsional'noho universytetu imeni Tarasa Shevchenka. Khimii, 2005, 44, 51–53. (In Ukrainian).
28. Pilon-Smits E.A., Quinn C.F., Tapken W., Malagoli M., Schiavon M., Curr. Opin. Plant Biol., 2009, 12, 267–274.
29. Allington W.B., Laird E.F., Phytopathology, 1954, 44, 297–299.
30. Chant S.R., Gbaja I.S. Phytoparasitica, 1985, 13, 45–57.
31. Pervez H., Ashraf M., Mahkhum M.I., Mahmood T., Pak. J. Bot., 2007, 39(2), 529–539.

Надійшла до редколегії 26.11.18

Л. Мищенко, д-р биол. наук, [lmishchenko@ukr.net](mailto:lmishchenko@ukr.net),  
К. Криницька, асп.,  
В. Павленко, канд. хим. наук, [pavlenko\\_vadim@univ.kiev.ua](mailto:pavlenko_vadim@univ.kiev.ua),  
А. Дунич, канд. биол. наук  
Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, Киев

### ВЛИЯНИЕ МАКРОЦИКЛИЧЕСКИХ КООРДИНАЦИОННЫХ СОЕДИНЕНИЙ МЕДИ (III) НА ПРОДУКТИВНОСТЬ ВИРУСИНФИЦИРОВАННЫХ РАСТЕНИЙ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ

Исследовано влияние двух макроциклических координационных соединений меди (III), полученных реакцией темплатного синтеза оксалилгидразидов с карбонильными соединениями (циклогексанон или формальдегид) в присутствии солей меди (II), на рост и развитие растений яровой пшеницы, пораженных вирусом полосатой мозаики пшеницы. Установлено, что соединения увеличивают массу растений и содержание сухого вещества в зависимости от способа обработки. Соединение с противокатионами лития и калия повышает массу надземной части и корневой системы, соединение с противокатионом натрия – содержание сухого вещества в корнях как здоровых, так и инфицированных вирусом растений, что свидетельствует о стимуляции процессов устойчивости растений пшеницы к ВПМП инфекции.

Ключевые слова: координационные соединения меди (III), вирусы растений, вирус полосатой мозаики пшеницы, продуктивность.

L. Mishchenko, Dr.Sci., [lmishchenko@ukr.net](mailto:lmishchenko@ukr.net),  
K. Krinitska, PhD Stud.,  
V. Pavlenko, PhD, [pavlenko\\_vadim@univ.kiev.ua](mailto:pavlenko_vadim@univ.kiev.ua),  
A. Dunich, PhD  
Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv

### INFLUENCE OF MACROCYCLIC COORDINATION COMPOUNDS OF COPPER (III) ON THE PRODUCTIVITY OF VIRUSINDICATED SPRING WHEAT PLANTS

Viral plant diseases cause crop losses and deterioration in product quality. One of the most widespread and harmful for wheat is Wheat streak mosaic virus. In this work, effect of two copper (III) macrocyclic coordination compounds on growth and development of spring wheat plants infected with Wheat streak mosaic virus is investigated. The macrocyclic complexes have been obtained by template synthesis by reaction of oxalyl dihydrazide with carbonyl compounds (cyclohexanone or formaldehyde) in the presence of copper(II) salts and atmospheric oxygen in aqueous solution. Identity and purity of the isolated compounds was confirmed by elemental analysis and powder X-ray analysis. The structure of the complexes was established by means of single crystal X-ray analysis. Aqueous solutions of both complexes can exist indefinitely long at ambient conditions without any signs of destruction. It was found that compounds increased plant weight and its dry matter content depending on the application method. In two variants, the seeds were sprouted on distilled water and treated with 0.05% solution of the studied complexes and in two other variants the seeds were soaked in 0.1% solutions of the same complexes, and then sprouted at 22°C. A positive effect on non-specific plant resistance upon foliar treatment with sodium-containing compound has been detected. Seed soaking with solutions of complex compounds result in overall positive impact on wheat development. The lithium and potassium counter cation-containing compound increased the weight of the ground part and root system, while compound with sodium counter cation - dry matter content in the roots in both healthy and virus infected plants. This indicates about the stimulation of resistance processes in wheat plants to WSMV-infection.

Keywords: copper (III) coordination compounds, plant viruses, wheat striped mosaic virus, productivity.

УДК 543.48+547.83

DOI: [https://doi.org/10.17721/1728-2209.2018.1\(55\).20](https://doi.org/10.17721/1728-2209.2018.1(55).20)

В. Кир'якулов, студ.,  
А. Макеєв, асп., [makeev\\_a@ukr.net](mailto:makeev_a@ukr.net)  
Т. Кеда, канд. хім. наук,  
О. Запорожець, д-р хім. наук,  
Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ

### СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧНІ ТА ПРОТОЛІТИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ КОНДЕНСОВАНИХ ЦІАНОПІРИДИНІВ

З метою раціонального дизайну нових оптичних зондів із залученням сучасних підходів молекулярної спектроскопії дослідили спектрофотометричні і протолітичні властивості нових конденсованих ціанопіридинів. Показано, що сполуки за рахунок конденсованого бензотіазольного фрагменту поглинають у діапазоні 350–450 нм, молярні коефіцієнти поглинання сполук у розчинниках різного типу становлять на рівні  $10^3$ – $10^4$  л·моль<sup>-1</sup>·см<sup>-1</sup>. У слабкокислому середовищі за рахунок протонування хромофорного центру по амідиновому угруповуванню відбувається гіпсохромний зсув максимуму. Розраховані умовні константи протонування сполук  $\text{lgKp}'$  у водно-органічному середовищі становлять 2,67–4,95. Показано, що депротонування у сильнолужному середовищі конденсованих ціанопіридинів з азаеторозамісниками призводить до розкриття циклу, що робить їх придатними для використання як оптичних зондів лише у нейтральному і слабкокислих розчинах. 3-(3-Гідроксипропіл)-1-іміно-2-(бензотіазол-2-іл)-1Н-бензо[4,5]тіазоло[3,2-а]піридин-4-карбонітрил, що містить бензотіазольний замісник у  $\alpha$ -положенні до амідинового угруповання, виявився стійким до дії лужного середовища та характеризується оборотністю протонування-депротонування, що вказує на перспективність його використання як ацидиметричного зонду у широкому інтервалі кислотності.

Ключові слова: конденсовані ціанопіридини, спектрофотометрія, константи протонування

**Вступ.** Створення оптичних зондів є перспективним напрямком, що активно розвивається в останні роки [1 – 4]. Для раціонального дизайну індикаторних сполук необхідно враховувати низку параметрів, що забезпечать здатність зонду проявляти високоселективний оптичний відгук на аналіт. Основними критеріями є надійність індикатора щодо дії хімічних речовин і світла, його стабільність у часі та можливість багаторазового використання [5]. Вагоме місце серед поліфункціональних гетероциклічних сполук займають похідні бензотіазолу [6], що знайшли застосування в медицині, як протипухлинні засоби [7], та хімії [8], як молекулярні та йонні сенсори [9]. Різноманіття підходів органічного синтезу дає можливість

створення сполук з перспективними властивостями, зокрема і на основі бензотіазолу. Нові конденсовані ціанопіридини [10] завдяки спряженій  $\pi$ -системі і жорсткій будові каркасу бензотіазольного фрагменту вбачаються перспективними флюоресцентними сполуками, що, завдяки амідиновому угруповуванню, можуть проявляти властивості зондів, чутливих до зміни кислотності середовища. Розробка нових оптичних зондів із заданими властивостями на їх основі є актуальним завданням.

Метою даної роботи було дослідження спектрофотометричних і протолітичних властивостей конденсованих ціанопіридинів методами молекулярної спектроскопії.