

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ АНТИОЖЕЛЕДНИХ РЕАГЕНТІВ НА ІНТЕНСИВНІСТЬ РОСТУ РОСЛИН

Петруша Ю.Ю.<sup>1</sup>, Євтушенко Ю.С.<sup>2</sup>, Рильський О.Ф.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Національний університет «Запорізька політехніка»

вул. Жуковського, 64, 69063, м. Запоріжжя

<sup>2</sup>ТОВ «СП ЮКОЙЛ»

вул. Базова, 3А, 69014, м. Запоріжжя

<sup>3</sup>Запорізький національний університет

вул. Жуковського, 66, 69600, м. Запоріжжя

yulia.znu@ukr.net, arjent475@gmail.com, Rytsky@ukr.net

Вивчено вплив найпоширеніших в Україні протиожеледних реагентів (галіт, бішофіт, кальцій хлорид, амоній ацетат у концентрації 1%, 5% та 10%) на інтенсивність росту рослин на паростках р. *Cucumis sp.* Визначено рН досліджуваних розчинів. Найменше значення показника спостерігається в розчині амоній ацетату. В результаті дослідження встановлено, що в розчині CaCl<sub>2</sub> схожість насіння становить 90% за 10%-вої концентрації реагенту. У 3-х інших зразках схожість закономірно зменшується зі збільшенням концентрації, при цьому найнижча схожість насіння спостерігається у зразку галіту. Найбільшою енергією проростання насіння огірка володіє у зразках кальцій хлориду, а також бішофіту, який у 1%-вій концентрації діє як стимулятор. Найнижчий показник енергії проростання спостерігається у 5%-вому розчині натрій хлориду та амоній ацетату. Найдовші головні корені паростки огірків мають у зразку бішофіту. В інших зразках ріст коріння закономірно зменшується зі збільшенням концентрації розчинів протиожеледних засобів. Аналогічні результати спостерігаються при вимірюванні довжини гіпокотилу. Найбільшу кількість бічних корінців за 1%-вої концентрації реагентів мають паростки у розчині бішофіту. При збільшенні концентрації до 5% спостерігається різке підвищення показника у зразках кальцій хлориду та натрій хлориду, але при подальшому збільшенні концентрації розчинів показники рівномірно йдуть на спад. У розчині амоній ацетату відзначається найменша кількість бічних коренів серед усіх зразків.

Отримані результати показали, що серед досліджуваних протиожеледних реагентів амоній ацетат найтоксичніше впливає на проростання насіння. Найкращі показники інтенсивності росту спостерігалися у 1%-вому розчині бішофіту. У концентраціях 5% та 10% всі досліджувані протиожеледні засоби мають інгібувальний вплив на рослини. *Ключові слова:* протиожеледні засоби, насіння, схожість, енергія проростання, головний корінь, гіпокотиль.

### Study of the influence of anti-ice reagents on the intensity of plant growth. Petrusha Yu., Yevtushenko Yu., Rytskyi O.

The influence of the most common anti-icing reagents in Ukraine (halite, bischofite, calcium chloride, ammonium acetate in concentrations of 1%, 5% and 10%) on the intensity of plant growth on the sprouts of *Cucumis sp.* was studied. The pH of the investigated solutions was determined. The lowest value of the indicator is observed in the solution of ammonium acetate. It was found that seed germination in CaCl<sub>2</sub> solution is 90% at 10% reagent concentration. In the other three samples, germination naturally decreases with increasing concentration, while the lowest seed germination is observed in the halite sample. Cucumber seeds have the greatest germination energy in samples of calcium chloride, as well as bischofite, which acts as a stimulator in a one percent concentration. The lowest rate of germination energy is observed in a 5% solution of sodium chloride and ammonium acetate. Cucumber sprouts have the longest taproots in the bischofite specimen. In other samples, root growth naturally decreases with an increase in the concentration of anti-icing solutions. Similar results are observed when measuring the length of the hypocotyl. Sprouts have the largest number of lateral roots at a 1% concentration of bischofite solution. A sharp increase of the indicator in samples of calcium chloride and sodium chloride is observed when their concentration increases to 5%. The indicators steadily decline with further increase of the solutions' concentration. The smallest number of lateral roots among all samples is noted in the solution of ammonium acetate.

The obtained results showed that ammonium acetate has the most toxic effect on seed germination among the studied anti-icing reagents. The best indicators of growth intensity were observed in a 1% bischofite solution. All studied anti-icing agents in concentrations of 5% and 10% have an inhibitory effect on plants. *Key words:* anti-icing agents, seeds, germination, germination energy, main root, hypocotyl.

**Постановка проблеми.** Ожеледь є однією з найактуальніших проблем зимового сезону, яка спричиняє підвищений ризик травматизму та величезні збитки. Обледеніння доріг ускладнює умови руху і підвищує небезпеку ДТП. Для боротьби з ожеледдю застосовуються різноманітні методи, найпоширенішим серед яких є хімічний з використанням протиожеледних реагентів. Це, зазвичай, тверді

(сипучі) або рідкі засоби різного хімічного складу, що знижують точку плавлення снігу. Сьогодні існує величезна кількість протиожеледних реагентів та високий попит на них, але й висувуються досить серйозні вимоги, пов'язані з їхньою ефективністю та екологічною безпекою.

Найчастіше використовується натрій хлорид (NaCl), кальцій хлорид (CaCl<sub>2</sub>), суміш NaCl і CaCl<sub>2</sub>,

магній хлорид ( $MgCl_2$ ), сіль силівнітових відвалів тощо. Для зменшення корозійних властивостей солей до них можуть додавати інгібітори, наприклад, одно- і двозаміщений натрій фосфат або простий суперфосфат.

**Актуальність дослідження.** Протягом зими протижелезні засоби розсипаються на поверхні доріг, а потім відкидаються убік снігоприбиральними машинами або стікають з дороги у вигляді соляних розчинів. Пряма інфільтрація зі снігу, поверхневого стоку та вимивання з верхнього шару ґрунту після танення снігу та весняного дощу є основними процесами, що впливають на накопичення солі в міських ґрунтах, що призводить до їх прогресуючого засолення [1]. Глибина проникнення сольових розчинів у ґрунти залежить від їх розчинності у воді, здатності вступати в хімічні реакції та самоочисної спроможності самих ґрунтів. У верхніх шарах ґрунту (до 15 см) солей відкладається у 1,5–2,5 рази більше, ніж у нижніх. Хлориди можуть проникати у ґрунти найглибше, досягаючи ґрунтових вод. Серед антижелезних агентів групи хлоридів  $MgCl_2$  є найменш шкідливим, тоді як найбільш часто використовувана сіль –  $NaCl$  є найбільш стійким і токсичним для наземних рослин і ґрунтової мікробіоти.

Під впливом антижелезних сумішей погіршується структура та фізико-хімічні властивості ґрунтів. Глинисті ґрунти стають нестійкими, легко розмиваються водою, що спричиняє ерозійні процеси. З ґрунтів вимиваються мінеральні речовини, необхідні для живлення рослин, підвищується водневий показник (рН) у 1,3–1,5 рази. Іони  $Ca^{2+}$ , які містяться в ґрунтах і підвищують їх родючість, заміщуються іонами  $Na^+$ , що порушує природну іонну рівновагу та нормальне живлення рослин [2]. Просочуючись у ґрунтові води, антижелезні солі також збільшують їхню в'язкість та зменшують швидкість руху.

Негативний вплив антижелезних реагентів на зелені насадження проявляється як при прямому контакті з надземними частинами рослин, так і через кореневу систему. Накопичення в листях  $Cl^-$  порушує нормальний процес фотосинтезу, знижує вміст хлорофілу, що призводить до пожовтіння листя, їх висихання і відмирання. Зимом, в період вегетативного відпочинку, стійкість рослин до впливу солей найбільша. В кінці зими вона різко знижується, коли починається активний ріст і розвиток рослин [3]. Отже, дослідження щодо впливу протижелезних реагентів є вкрай необхідними та актуальними.

**Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями.** Проблема впливу протижелезних хімічних засобів на навколишнє середовище завжди буде залишатися злободенною у зв'язку з постійним збільшенням пасажиропотоку та навантаження на мережу доріг у світі. Відповідно, це потребує здійснення заходів щодо оптимізації використання антижелезних реагентів, постійного контролю за їхньою витратою

та дотриманням вимог технології їх застосування. Проведене авторами дослідження надасть цінну інформацію для розуміння стійкості місцевих культур Запорізької області до впливу протижелезних засобів та сприятиме кращому розумінню екології м. Запоріжжя та практичному вирішенню питання підбору культур для примагістральних ділянок.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Вивчення впливу  $CaCl_2$  і  $NaCl$  з антикорозійними добавками ( $(NH_4)_3PO_4$  і  $NaClO$  у кількості 3–5% від маси препарату) на проростання та силу проростків *Lolium perenne L. cv. Solen* та *Festuca rubra L. cv. Nimba* авторами [4] показало, що внесення цих речовин затримує та знижує проростання сходів трави та уповільнює ріст коренів. Застосування протижелезних реагентів на рослинах *Canna generalis*, *Rosa rugosa L.* та *Lolium perenne L.* призвело до зниження вмісту хлорофілу, індексу продуктивності та накопичення біомаси. Без антикорозійних засобів найменш токсичним був  $CaCl_2$ , а найбільш –  $NaCl$ .

Відомо, що до хвойних порід, які не переносять  $NaCl$ , належать болиголов канадський (*Tsuga canadensis*), ялиця бальзамічна (*Abies balsamea*), сосна біла (*Pinus strobus*) й сосна червона (*Pinus resinosa*). Листяні види, які чутливі до цієї солі, включають цукровий клен (*Acer saccharum*), клен червоний (*Acer rubrum*) та в'яз американський (*Ulmus americana*) [5].

Є наукові публікації щодо вивчення впливу антижелезних агентів на повзучі рослини, що ростуть на узбіччях доріг (*Trachelospermum asiaticum*, *Euonymus fortunei* та *Gelsemium sempervirens*). Встановлено, що застосування  $CaCl_2$  та  $MgCl_2$  вплинуло на вміст хлорофілу та окиснювально-відновний гомеостаз. Часте застосування та висока концентрація обох протижелезних засобів перешкоджають росту придорожньої рослинності [6].

У роботі [7] було проаналізовано тримісячний вплив  $CaCl_2$  на ріст і фізіологічні реакції трьох ґрунтопокривних рослин: *Hosta longipes*, *Iris ensata* та *Iris pseudacorus*. Встановлено, що чим вище концентрація речовини, тим нижче швидкість фотосинтезу, вміст хлорофілу та водний потенціал листя.

Дослідниками проведена оцінка впливу натрій хлориду як антижелезного засобу на придорожні дерева. Отримані результати показали, що соснові (*Pinus strobus*, *Pinus resinosa*, *Picea pungens*) були пошкоджені більше, ніж інші види рослин. Дуб і клен виявилися стійкими до солі навіть у тих випадках, коли інші дерева поблизу були помітно пошкоджені [8, 9].

У деяких країнах півночі Європи (Швеція) тематиці вивчення протижелезних реагентів присвячено багато робіт, щоб сформулювати рекомендації, які б змогли зробити антижелезні заходи більш екологічно адаптованими [10]. Є також закордонні наукові статті, що узагальнюють попередні роботи про протижелезні хімічні речовини та пропонують концептуальну модель їх впливу на місцеві ґрунти та воду [11].

Таблиця 1

## рН розчинів досліджуваних протиожеледних реагентів

Протиожеледний реагент	рН		
	1%-вий роз-н	5%-вий роз-н	10%-вий роз-н
Галіт	7,30	7,29	7,27
Бішофіт	7,29	7,32	7,35
CaCl <sub>2</sub>	7,27	7,25	7,21
CH <sub>3</sub> COONH <sub>4</sub>	7,22	7,12	7,07
Контроль	7,32		

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. За останні десятиліття вчені з усього світу зробили багато досягнень в цьому напрямку. Грунти та вода є найбільш інтенсивно вивченими, тоді як зміни біологічних та екологічних аспектів рослин, водних організмів та тварин під впливом протиожеледних засобів вивчені значно менше. Систематичних досліджень українських авторів по цьому питанню вкрай мало. Тому метою нашої роботи було вивчення впливу найпоширеніших в Україні протиожеледних реагентів на інтенсивність росту рослин на паростках р. *Cucumis sp.*

**Новизна.** Проаналізовано вплив поширених антиожеледних засобів (галіт, бішофіт, кальцій хлорид, амоній ацетат) на показники проростання насіння.

**Методологічне або загальнонаукове значення.**

Результати дослідження сприятимуть доповненню вже існуючих відомостей про стійкість рослин до протиожеледних реагентів різних хімічних груп. А також будуть дуже корисними при підготовці фахівців в галузі охорони навколишнього середовища, зокрема і здобувачів вищої освіти спеціальності 101 «Екологія».

**Матеріали та методи дослідження.** Для дослідження було обрано такі протиожеледні засоби: галіт (сіль технічна, натрій хлорид), бішофіт (шестиводний магній хлорид), кальцій хлорид та амоній ацетат концентрацією 1%, 5% та 10%. Попередньо потенціометричним методом визначали водневий показник (рН) приготованих розчинів.

Вивчення впливу протиожеледних засобів здійснювали в кореновому тесті на паростках р. *Cucumis sp.* (огірки сорту «Конкурент» ТМ «Насіння України»). Культура є характерною для Запорізького регіону, насіння швидко проростає і є невеликим за розмірами. Після витримування чашок Петрі з насінням за температури 28°C у термостаті протягом 72 годин, проводили вимірювання довжини головного кореня, довжини гіпокотіля, та підрахунок кількості бічних коренів [12]. Також через 3 доби визначали схожість насіння та енергію проростання. Інтенсивність росту насіння у розчинах протиожеледних реагентів різної концентрації оцінювали у експерименті порівнюючи з контролем (кип'ячена відстояна питна вода).

**Викладення основного матеріалу.** Результати визначення рН досліджуваних протиожеледних засобів наведено в таблиці 1. Найменше значення рН спостерігається в розчині амоній ацетату.

Результати визначення схожості насіння наведено на рисунку 1.

Із 4-х перевірених зразків протиожеледних засобів у розчині CaCl<sub>2</sub> схожість насіння становить 90% при максимальній концентрації розчину (10%), що характеризується відсутністю або низьким ступенем токсичності. В інших зразках схожість закономірно

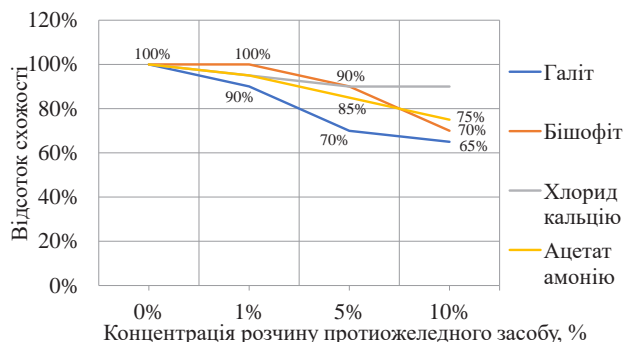


Рис. 1. Графік залежності схожості насіння від концентрації розчинів протиожеледних засобів

зменшується зі зміною концентрації, при цьому найнижча схожість насіння спостерігається у зразку галіту (NaCl). Найбільшою енергією проростання насіння огірка також володіє у зразках CaCl<sub>2</sub>, і, крім того, бішофіту, при чому останній у 1%-вій концентрації діє як стимулятор, про що свідчить збільшення енергії проростання порівнюючи з контролем. Найнижчий показник енергії проростання спостерігається у 5%-вому розчині NaCl та CH<sub>3</sub>COONH<sub>4</sub>.

Результати вимірювання довжини головного кореня та гіпокотіля наведено на рисунках 2 та 3.

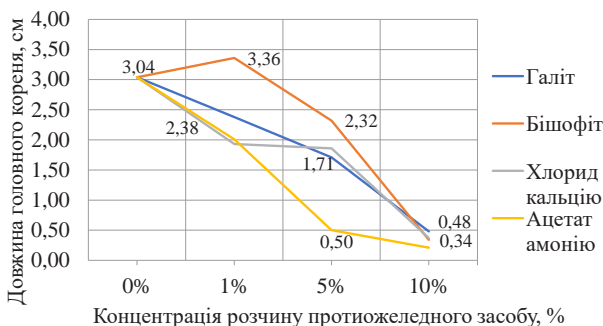


Рис. 2. Графік залежності довжини головного кореня від концентрації розчинів протиожеледних засобів

Встановлено, що найдовші корені паростки огірків мають у зразку бішофіту, при чому за концентрації розчину 1% він діє як стимулятор. В інших зразках ріст коріння закономірно зменшується

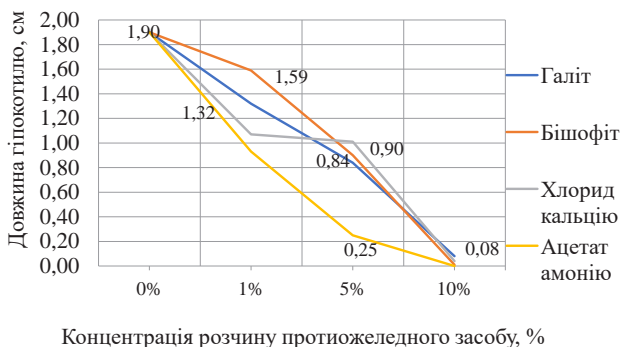


Рис. 3. Графік залежності довжини гіпокотилу паростків насіння від концентрації розчинів протижелезних засобів

зі збільшенням концентрації розчинів досліджуваних протижелезних засобів. Найбільшою токсичністю володіють розчини  $\text{CH}_3\text{COONH}_4$  та  $\text{CaCl}_2$ . Аналогічні результати спостерігаються при вимірюванні довжини гіпокотилу.

Підрахунок кількості бічних коренів паростків огірків продемонстрував, що найбільшу кількість коренів за 1%-вої концентрації розчинів мають паростки у розчині магній хлориду (бішофіту). При збільшенні концентрації до 5% спостерігається різке підвищення показника у зразках  $\text{CaCl}_2$  та  $\text{NaCl}$ , але при подальшому збільшенні концентрації розчинів показники рівномірно йдуть на спад. В розчині  $\text{CH}_3\text{COONH}_4$  відзначається найменша кількість бічних коренів серед усіх зразків.

**Головні висновки.** Серед досліджуваних протижелезних реагентів  $\text{CH}_3\text{COONH}_4$  найтоксичніше впливає на проростання насіння. Найвищі показники інтенсивності росту були у розчині бішофіту, який у концентрації 1% стимулює проростання насіння. У концентраціях 5% та 10% всі досліджувані протижелезні засоби мають інгібувальний вплив на рослини.

Отримані результати узгоджуються з літературними даними, що 1,0%-ва концентрація бішофіту – це оптимальна концентрація, за якої спостерігається

найбільший стимулюючий вплив на проростання насіння рослин, зокрема ячменю ярого [13, 14]. За цієї концентрації покращуються показники енергії проростання, лабораторної схожості насіння та росту рослин (площа листової поверхні, маса сирої й сухої речовини надземної частини і коренів). Збільшення концентрації препарату до 1,5% та 2,0% призводить до зниження величини досліджуваних показників.

Негативний вплив  $\text{CH}_3\text{COONH}_4$  (сіль оцтової кислоти), можливо, пояснюється високими витратами енергії на підтримку гомеостазу іонів, рН і гормонів і, зрештою, рівня  $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$  у тканинах рослин [15]. Токсична дія  $\text{NH}_4^+$  може спричинити пошкодження ультраструктури хлоропласта, зниження рівня хлорофілу (а і b) і каротиноїдів, зниження швидкості фотосинтезу, підвищення виробництва етилену, неефективний трансмембранний цикл амонію, а також окиснювальний стрес. Високий рівень  $\text{NH}_4^+$  в огірках спричиняє пригнічення росту, хлороз, скручування листя та низьке накопичення кальцію та магнію в тканинах [15]. Також вченими встановлено, що оцтовий кислоту у 0,01%-вій концентрації притаманна висока алелопатична активність, розчин якої втричі інтенсивніше пригнічував ріст коренів крес-салату порівняно з іншими органічними кислотами [16].

Треба також відзначити, що деякі групи рослин будуть більш терпимими до дії окремих протижелезних агентів, ніж інші. Толерантність до солі значною мірою визначається генетичними факторами. Багато видів, які є стійкими до натрій хлориду, є природними для прибережних середовищ існування, однак їх практичне використання в середовищах, уражених хлоридами, може бути досить складним через різницю у зростанні та умови навколишнього середовища [10].

**Перспективи використання результатів дослідження.** Врахування отриманих результатів дослідження сприятиме оптимізації використання протижелезних реагентів, зокрема, корегуванню витрат засобу на одиницю оброблюваної поверхні та посиленню вимог до технологій їх виробництва й застосування.

### Література

1. Мислюк О.О., Хоменко О.М., Єгорова О.В., Качай В.М. Оцінка засолення урбоземів м. Черкаси. *Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського*. 2019. Вип. 5(118). С. 52–57.
2. Борисов О.О. Геоєкологічна оцінка ризику кислотно-сольового забруднення примігстральних ділянок сфери (на прикладі міста Києва). *Техніка, енергетика, транспорт*. 2016. № 4(96). С. 41–48.
3. Onoduka K., Murashige Y., Nemoto N. Study on the impact of anti-icing chemicals on plants. *PIARC XII International Winter Roads Congress*. Torino – Sestriere, Italy, 27 – 30 March 2006. URL: <https://trid.trb.org/view/907367> (date of application: 08.02.2024).
4. Wrochna M., Malecka-Przybysz M., Gawrońska H. Effect of road de-icing salts with anti corrosion agents on selected plant species. *Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus*. 2010. Vol. 9(4). P. 171–182.
5. Rich A.E. Some effects of de-icing chemicals on roadside trees. *Environmental degradation by de-icing chemicals and effective countermeasures*: monograph. Publisher: Highway Research Board, 1973. P. 14–16.
6. Soundararajan P., Manivannan A., Chung H.K., Park J.-E., Jeong B.R. Evaluation of relative toxicity caused by deicing agents on photosynthesis, redox homeostasis, and the osmoregulatory system in creeper-type plants. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*. 2019. Vol. 60 (2). P. 175–186.
7. Kwon K.-J., Choi J., Kim S.-Y., Jeong N.-R., Park B.-J. Growth and physiological responses of three landscape plants to calcium chloride. *Sustainability*. 2021. Vol. 13(10). P. 5429–5437.

8. Bryson G.M., Barker A.V. Sodium accumulation in soils and plants along Massachusetts roadsides. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 2002. Vol. 33(1-2). P. 67–78.
9. Hosseini F. Evaluating the effectiveness of liquid organic anti-icing chemicals for winter road maintenance. A thesis presented to the University of Waterloo in fulfillment of the thesis requirement for the degree of Master of Applied Science in Civil Engineering. Waterloo, Ontario, Canada, 2015. 96 p.
10. Blomqvist G. Impact of de-icing salt on roadside vegetation – A literature review. Swedish National Road and Transport Research Institute. Linköping, 1998. 43 p.
11. Dai H.L., Zhang K.L., Xu X.L., Yu H.Y. Evaluation on the effects of deicing chemicals on soil and water environment. *Procedia Environmental Sciences*. 2012. Vol. 13. P. 2122–2130.
12. Горова А.І., Павличенко А.В., Борисовська О.О., Грунтова В.Ю., Деменко О.В. Методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт студентами напряму підготовки 6.040106 «Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування». Дніпро: Національний гірничий університет, 2014. 76 с.
13. Горобець М.В., Міщенко О.В. Вплив бішофіту на онтогенез сортів ячменю ярого. *Scientific Progress & Innovations*. 2020. № 1. С. 25–32.
14. Горобець М.В., Писаренко П.В., Чайка Т.О., Міщенко О.В., Крикунова В.Ю. Вплив регуляторів росту рослин на онтогенез сортів ячменю ярого. *Scientific Progress & Innovations*. 2021. № 1. С. 106–115.
15. Shilpha J., Song J., Jeong B.R. Ammonium phytotoxicity and tolerance: an insight into ammonium nutrition to improve crop productivity. *Agronomy*. 2023. Vol. 13. P. 1487.
16. Ivanyska V. Вплив органічних кислот на ростові процеси рослин різних екоморфотипів. *Інтродукція рослин*. 2013. № 3. С. 108–114.