<https://doi.org/10.15407/frg2020.04.331>

УДК 581.143:581.2]:553.577:57.088.6

ВПЛИВ СИЛІЦІЄВМІСНИХ СУМІШЕЙ НА ДИНАМІКУ РОСТУ І РОЗВИТКУ ТА ВМІСТ ЕЛЕМЕНТІВ ЖИВЛЕННЯ У ДЕКОРАТИВНИХ РОСЛИН ПРИ УРАЖЕННІ ПРЕДСТАВНИКАМИ ПОРЯДКУ ERYSIPTHALES

Н.В. МАКАРЕНКО, Н.В. ЗАІМЕНКО

Національний ботанічний сад імені М.М. Гришка Національної академії наук України

01014 Київ, вул. Тимірязєвська, 1

e-mail: mmmv@ukr.net

Проаналізовано вміст елементів живлення, динаміку росту і розвитку рослин роду *Rosa* L. сорту 'Duc de Constantine' (Soupert & Notting, 1857) та рослин *Monarda didyma* L. в умовах захищеного й відкритого ґрунту при ураженні представниками порядку Erysiphales за наявності силіцієвмісних сумішей. Встановлено, що за використання цих сумішей пришвидшуються ростові процеси, подовжується термін цвітіння, зменшується поширення хвороби, знижується інтенсивність ураження рослин борошнистосоросними мікроміцетами. За умов патогенезу виявлено зростання вмісту азоту і мангану в листках рослин, істотне зменшення вмісту фосфору, калію, кальцію, магнію і заліза. За внесення силікату кальцію та лігніну, модифікованого силіцієвою кислотою, підвищується вміст азоту, калію, фосфору і кальцію у листках.

Ключові слова: Erysiphales, мікроміцети, силіцієвмісні суміші, біогенні елементи, стійкість рослин.

На сьогодні величезний інтерес викликають дослідження, пов'язані з визначенням ролі силіцію в життєдіяльності рослин та їх адаптації до стрес-факторів. Стає очевидною невідповідність між значенням силіцію в природі та обсягом знань про його функціональні особливості. Багато теоретичних і практичних питань щодо поліфункціональної ролі силіцію в рослинах та ґрунтах залишається маловивченими [1]. Силіцій є важливим елементом живлення [2]. Він другий (після кисню) за поширеністю елемент земної кори і ґрунту, але основна його частина знаходиться у формі нерозчинних сполук і недоступна для рослин [3]. Незважаючи на низьку здатність дводольних накопичувати силіцій, його роль у життєдіяльності та підвищенні стійкості рослин до впливу стрес-факторів не менш важлива [2, 4].

Силіцій у рослинних тканинах розподіляється нерівномірно. За даними багатьох авторів, цей елемент під кутикулою локалізується у вигляді силіцій-целюлозної мембрани, що сприяє зниженню

Цитування: Макаренко Н.В., Заїменко Н.В. Вплив силіцієвмісних сумішей на динаміку росту і розвитку та вміст елементів живлення у декоративних рослин при ураженні представниками порядку Erysiphales. *Фізіологія рослин і генетика*. 2020. 52, № 4. С. 331—341. <https://doi.org/10.15407/frg2020.04.331>

інтенсивності транспірації, підвищенню стійкості рослин до хвороб і шкідників [5–7]. Силіцій швидко накопичується на стінках клітин мезофілу у формі відкладів електронно-щільної речовини і заважає проникненню виростів гаусторіїв та їх формуванню [8]. Він істотно впливає на ріст і розвиток рослин, підвищує врожайність, поліпшує якість продукції. Дослідженнями провідних світових учених доведено, що саме ця властивість силіцію має пріоритетне значення [2, 9–12]. Результати досліджень [2, 9] підтвердили наявність у рослин механізму, що забезпечує активний і швидкий перерозподіл силіцію по різних тканинах. Зокрема, найбільше силіцію спрямовується саме в тканини, найпіддатливіші впливу стрес-факторів. Проте дослідження останніх років свідчать про необхідність перегляду усталених поглядів на роль силіцію виключно як структурного елемента клітинних стінок чи інертного баласту [9]. На жаль, поза увагою науковців залишилось питання участі силіцію в еколого-фізіологічних процесах, що відбуваються в рослинах, за умов патогенезу.

Метою нашої роботи було вивчення вмісту елементів живлення, динаміки росту і розвитку різних видів рослин при ураженні представниками порядку *Erysiphales* за наявності силіцієвмісних сумішей.

Методика

Експериментальну роботу виконано у Національному ботанічному саду імені М.М. Гришка Національної академії наук України. Об'єктом дослідження були рослини роду *Rosa* L. сорту 'Duc de Constantine' (Soupert & Notting, 1857) та рослини виду *Monarda didyma* L. в умовах захищеного і відкритого ґрунту. Збудниками борошнистої роси на трояндах є *Podosphaera pannosa* (Wallr.: Fr.) de Bary, на монардах — *Golovinomyces monardae* (G.S. Nagy) M. Scholler, U. Braun & Anke Schmidt. Вибір цих об'єктів зумовлений насамперед їх низькою стійкістю до ураження збудниками борошнистої роси порядку *Erysiphales* Gwynne-Vaughan, 1922. Латинські назви грибів наведено згідно з міжнародною мікологічною глобальною базою даних *Index fungorum* [13].

Імунологічне оцінювання стійкості рослин до хвороб здійснено на природному фоні без застосування хімічного захисту за загальноприйнятими методиками [14]. Порівняльне оцінювання ураження дослідних видів рослин борошносторосляними мікроміцетами проводили в динаміці — від виявлення фітопатогенів до максимального ступеня їх розвитку впродовж вегетації рослин. Обліки у межах визначеного повторення — огляд у п'яти місцях по 5 рослин. Мікологічний матеріал збирали маршрутним методом. Кожен збір включав 10–50 листків випадково відібраних (залежно від розміру рослини-хазяїна) [15]. Зразки листків відбирали на початку експерименту до внесення силіцієвмісних сумішей та через 3–4 місяці. Зібраний матеріал обробляли за загальноприйнятою методикою [16].

У вегетаційних експериментах з метою визначення дії різних сполук силіцію використовували силікат кальцію та лігнін, модифікований силіцієвою кислотою (розробка Інституту хімії дере-

вини Академії наук Латвії). Норма внесення силікату кальцію для рослин троянд сорту 'Duc de Constantine' становила 5–10 г на 5 л ґрунтосуміші, лігніну, модифікованого силіцієвою кислотою, для рослин *Monarda didyma* L. — 25–50 г/м². Силіцієвмісну суміш вносили у прикореневий ґрунт один раз навесні у фазу відростання рослин. Стійкість до збудників борошнистої роси та життєвий стан рослин оцінювали через 3–4 місяці після внесення суміші за такими біометричними показниками, як довжина пагонів, приріст і бал ураження хворобою. Ураження рослин збудником захворювання оцінювали за загальновизнаною шкалою [14]. Інтенсивність поширення і розвиток хвороби визначали за формулами [14] після огляду рослин, виявляли кількість здорових та окомірно хворих рослин за відповідним балом. Вміст біогенних елементів у тканинах рослин визначали за методикою [17] на спектрофотометрі з індуктивно-зв'язаною плазмою ICAP 6300 DUO.

Результати досліджень оброблено статистично методами описової статистики та однофакторного дисперсійного аналізу за допомогою програм Statistica 10.0 і Microsoft Office Excel. Повторність дослідів п'ятиразова.

Результати та обговорення

Загальновідомо, що фітопатогенні мікроміцети впливають на габітус рослин на різних етапах їхнього розвитку. На уражених рослинах можна спостерігати деформацію листової пластинки, некрози, обпадання листків, пригнічення росту й розвитку. Мікроміцети порядку Erysiphales є екзогенними паразитами, які уражують рослини як на початку весняного росту, так і в період активного розвитку аж до фази листопаду. Для оцінювання взаємовідносин у системі рослина—патоген—зовнішнє середовище було проаналізовано динаміку росту та розвитку дослідних видів рослин за умов ураження збудниками порядку Erysiphales. На першому етапі досліджень до експериментальної роботи залучали рослини троянд сорту 'Duc de Constantine', які сильно уражуються збудником борошнистої роси *Podosphaera pannosa* (Wallr.: Fr.) de Bary, особливо в умовах захищеного ґрунту. На момент початку експерименту троянди вже були уражені збудником борошнистої роси. Регулярним моніторингом розвитку рослин виявлено відмінність в інтенсивності ростових процесів між варіантами дослідів. Рослини контрольного варіанта розвивались повільніше, на вересень їх приріст становив 41,6 см (табл. 1), молодий приріст був деформований, уражені старі листки обпадали. Висота рослин, під які вносили силікат кальцію у кількості 10 г на 5 л ґрунтосуміші, в середньому збільшилась на 65,8 см, вони завітували і мали молодий приріст із незначним балом ураження (0,1). Троянди, під які вносили 5 г силікату кальцію на 5 л ґрунтосуміші, розвивались дещо повільніше, мали середній приріст, 65,7 см з ознаками незначного (0,1–1 бал) ураження борошнистою росю.

В результаті аналізу інтенсивності поширення хвороби, яку визначали за кількістю уражених листків, а розвиток хвороби фіксували за балом ураження рослин, з'ясовано, що на рослинах, під які

вносили силікат кальцію в кількості 10 г/5 л ґрунтосуміші, інтенсивність поширення хвороби становила 27 %, а її розвиток — 2,6 %. На рослинах, під які вносили силікат кальцію в кількості 5 г/5 л ґрунтосуміші, інтенсивність поширення хвороби спадала в результаті зменшення кількості уражених листків, проте розвиток хвороби зріс до 4,4 % внаслідок збільшення загального бала ураження. На рослинах контрольного варіанта ці показники були в 3 рази вищими (див. табл. 1).

На другому етапі досліджень ми аналізували ріст і розвиток рослин *Monarda didyma* L. в умовах відкритого ґрунту. В експериментах використовували лігнін, модифікований силіцієвою кислотою у концентрації 25 і 50 г/м².

Через недостатню кількість вологи у літній період 2017—2018 рр. на всіх ділянках досліду з червня місяця з'являлись перші прояви борошнистої роси на рослинах монард. Упродовж вегетації ріст і ступінь ураження рослин у різних варіантах досліду відрізнялись незначною мірою. На четвертий місяць після внесення суміші почали фіксувати відмінності між варіантами. Рослини на контрольній ділянці сильно уражувались збудником борошнистої роси (2—4 бали), інтенсивність поширення хвороби становила майже 70 %, розвиток хвороби сягав 46 %, рослини відставали в розвитку, приріст у середньому дорівнював 50 см (табл. 2). Рослини, під які вносили модифікований лігнін, були вищими (середній приріст по варіантах становив 54—55 см), а ураження незначним — до 2 балів (рис. 1, 2). Інтенсивність поширення хвороби в середньому досягала 46 %, розвиток хвороби — 0,9 %.

ТАБЛИЦЯ 1. Динаміка росту рослин троянд сорту 'Duc de Constantine' та ступінь ураження їх збудником *Podosphaera pannosa* за внесення силікату кальцію

Варіант досліду	Середній приріст, см	Інтенсивність поширення хвороби, %	Розвиток хвороби, %
Силікат кальцію, 10 г/5 л ґрунтосуміші	65,8±3,81	25,8	4,4
Силікат кальцію, 5 г/5 л ґрунтосуміші	65,7±3,34	27,1	2,6
Контроль (без внесення сполук силіцію)	41,6±2,48	33,7	10,6

ТАБЛИЦЯ 2. Динаміка росту рослин *Monarda didyma* L. та ступінь ураження їх збудником *Golovinomyces monardae* за внесення лігніну, модифікованого силіцієвою кислотою

Варіант досліду	Середній приріст рослин, см (2017—2018 рр.)	Середній приріст рослин, см (2019 р.)	Інтенсивність поширення хвороби, %	Розвиток хвороби, %
Модифікований лігнін, 25 г/м ²	55±2,76	61±2,38	50	0,97
Модифікований лігнін, 50 г/м ²	54±2,49	70±3,34	42	0,90
Контроль (без внесення лігніну)	50±2,18	53±3,61	86	4,97

Рис. 1. Інтенсивність ураження рослин *Monarda didyma* збудником *Golovinomyces monardae*:

a — варіант із внесенням лігніну, модифікованого силіцієвою кислотою; *б* — конідіальне спороношення у контрольному варіанті (липень 2018 р.)

Рис. 2. Інтенсивність ураження рослин *Monarda didyma* мікроміцетом *Golovinomyces monardae*:

1 — листок із нижнього ярусу рослини контрольного варіанта; *2* — листок із нижнього ярусу рослини дослідного варіанта; *3* — листок із молодого приросту рослини дослідного варіанта з внесенням лігніну, модифікованого силіцієвою кислотою (липень 2018 р.)

У 2019 р. з метою визначення післядії модифікованого силіцієвою кислотою лігніну на ділянках варіантів досліді візуально обстежили рослини. Перші ознаки борошнистої роси почали з'являтися із середини червня в усіх варіантах досліді (рис. 3). У серпні після закінчення масового цвітіння монарди виміряли висоту рослин і встановили таку залежність: найвищими виявились рослини у варіанті з обробкою модифікованим лігніном (50 г/м^2), їх приріст у середньому становив 70 см, найнижчими — рослини контрольного варіанта, середній приріст яких дорівнював усього 53 см (див. табл. 2). Ураження рослин збудником *Golovinomyces monardae* (G.S. Nagy) M. Scholler, U. Braun & Anke Schmidt на експозиції з внесенням лігніну не перевищувало 2 бали, в той час як на контрольних ділянках ураження рослин становило 4 бали, їх листки були деформовані й частково некротизовані.

Рис. 3. Вплив внесення силіційвмісної суміші на інтенсивність ураження рослин *Monarda didyma* мікроміцетом *Golovinomyces monardae*:

1 — рослина контрольного варіанта; 2 — рослина з ділянки, на якій попередньо вносили лігнін, модифікований силіційовою кислотою (липень 2019 р.)

Щоб оцінити фізіологічний потенціал рослин, оцінили рівень поглинання елементів мінерального живлення за вмістом макро- і мікроелементів у листках.

Результати аналізу хімічного складу листків здорових і уражених рослин підтвердили наявність певної закономірності у розподілі біогенних елементів незалежно від біологічних особливостей експериментальних видів (табл. 3, 4).

Зокрема, за ураження рослин збудниками борошнистої роси зростали концентрації азоту і мангану в тканинах листків, істотно зменшувався вміст фосфору, калію, кальцію, магнію і заліза. Найбільші відмінності зафіксовано в розподілі калію. При цьому значніші флуктуації в показниках макро- і мікроелементів спостерігали в осінній період.

ТАБЛИЦЯ 3. Вміст біогенних елементів у листках рослин троянд сорту 'Duc de Constantine' (макроелементи, %; мікроелементи, мг/кг золи)

Елемент	Вміст макро- і мікроелементів			
	Травень		Жовтень	
	Здорові рослини	Уражені рослини	Здорові рослини	Уражені рослини
N	2,96±0,05	3,43±0,04	1,47±0,1	3,98±0,2
P	0,75±0,03	0,38±0,06	1,65±0,03	0,21±0,2
K	3,18±0,4	1,66±0,4	3,94±0,9	0,15±0,8
Ca	1,61±0,9	0,85±0,04	1,68±0,1	0,63±0,06
Mg	0,87±0,1	0,59±0,09	1,71±0,09	0,42±0,03
Fe	352,44±6,9	287,52±4,9	349,15±4,8	214,09±3,7
Mn	58,11±2,3	66,39±7,5	42,33±5,3	68,27±4,3

ВПЛИВ СИЛІЦІЄВМІСНИХ СУМІШЕЙ НА ДИНАМІКУ РОСТУ

ТАБЛИЦЯ 4. Вміст біогенних елементів у листках рослин *Monarda didyma* (макроелементи, %; мікроелементи, мг/кг золи)

Елемент	Вміст макро- і мікроелементів			
	Травень		Жовтень	
	Здорові рослини	Уражені рослини	Здорові рослини	Уражені рослини
N	2,47±0,3	3,18±0,05	2,98±0,08	4,31±0,06
P	0,67±0,06	0,55±0,06	1,56±0,05	0,38±0,02
K	4,48±0,08	2,09±0,05	4,94±0,04	0,86±0,04
Ca	3,59±0,06	2,48±0,06	3,97±0,5	1,78±0,15
Mg	0,98±0,05	0,61±0,08	1,86±0,06	0,53±0,06
Fe	405,21±1,9	355,12±2,3	457,09±2,1	299,47±2,2
Mn	75,88±1,4	91,27±4,3	62,75±3,3	95,18±1,19

У вегетаційних дослідах за внесення лігніну, модифікованого силіцевою кислотою в концентрації 50 г/м², встановлено істотні розбіжності в кількісних показниках макро- і мікроелементів у листках. У варіантах із силіцієм поліпшувалось забезпечення біогенними елементами як здорових рослин, так і уражених (рис. 4, 5). За наявності силіцевої суміші зростала концентрація фосфору в тканинах унаслідок вивільнення зі зв'язаних форм рухливих і доступних для рослин фосфатів. Аналогічні результати отримано також щодо інших елементів. Виявлена закономірність підтверджує факт підвищення стійкості рослин до фітопатогенів, що пов'язано з оптимізацією їхнього мінерального живлення. Особливе значення ма-

Рис. 4. Розподіл макроелементів у тканинах рослин троянди сорту 'Duc de Constantine', % золи:

1 — здорова рослина; 2 — уражена рослина; 3 — силікат кальцію, 5 г/5 л ґрунтосуміші; 4 — силікат кальцію, 10 г/5 л ґрунтосуміші

Рис. 5. Розподіл макроелементів у тканинах рослин *Monarda didyma*, % золи:

1 — здорова рослина; 2 — уражена рослина; 3 — лігнін, модифікований силіцієвою кислотою у концентрації 25 г/м²; 4 — лігнін, модифікований силіцієвою кислотою у концентрації 50 г/м²

ють дані щодо збільшення вмісту калію в листках, оскільки саме низька концентрація цього елемента в тканинах, як показали результати наших експериментів, підвищує ризик ураження рослин збудниками борошнистої роси. Крім того, додаткове забезпечення рослин калієм сприяє зростанню стійкості рослин до дефіциту води.

Отже, результати експериментальних досліджень засвідчили, що використання силіційовмісних сумішей інтенсифікує ростові процеси, сприяє тривалішому терміну цвітіння рослин, зменшує інтенсивність їх ураження борошнисторосляними мікроміцетами. Крім того, силіційовмісні суміші характеризуються пролонгованою дією. Аналізом хімічного складу листків здорових і уражених рослин виявлено певні закономірності, а саме: зростання концентрації азоту і мангану в тканинах уражених листків, істотне зменшення вмісту фосфору, калію, кальцію, магнію і заліза. При внесенні у ґрунт силікату кальцію та лігніну, модифікованого силіцієвою кислотою, збільшується вміст азоту, калію, фосфору і кальцію в листках рослин. Слід зауважити, що підвищення рівня кальцію в рослинах на фоні силіцію може свідчити про активізацію транспорту катіонів крізь мембрани клітин, а отже, і про повніше їх забезпечення поживними сполуками. За внесення силіційовмісної суміші зростає надходження до рослин калію, який відповідає за водний статус і забезпечує їх стійкість до посухи. Відомо, що рослини зі слабким тургором сильніше уражуються борошнисторосляними мікроміцетами.

Значніші флуктуації в показниках макро- і мікроелементів спостерігались в осінній період.

ЦИТОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Крамарев С.М., Полянчиков С.П., Ковбель А.И. Кремний и защита растений от стресса: теория, практика, перспективы. URL: http://quantum.ua/ua/articles/art_06.pdf (Дата звернення: 21.06.2020).
2. Epstein E. Silicon: its manifold roles in plants. *Annals of Applied Biology*. USA. 2009. Iss. 2. P. 155—160.
3. Rodrigues F.A., Datnoff L.E. Silicon and plant diseases. Springer. 2015. 148 p. URL: https://books.google.com.ua/books?id=8I_DCgAAQBAJ&dq=silva+et+al+2010+The+effect+of+silicon&hl=ru&source=gbp_navlinks_s (Дата звернення: 21.06.2020).
4. Ma J.F., Yamaji N. Silicon uptake and accumulation in higher plants. *Trends Plant Sci.* 2006. Iss. 11 (8). P. 392—397.
5. Алешин Н.Е. Кремниевильность риса: автореф. дис. д-ра с.-х. наук. Краснодар, 1996. 46 с.
6. Воронков М.Г., Зелчан Г.И., Лукевич Э.Я. Кремний и жизнь. Биохимия, фармакология и токсикология соединений кремния. Изд. 2-е, перераб. и доп. Рига: Зинатне, 1978. 588 с.
7. Emadian S.F., Newton R.J. Growth enhancement of Loblolly pine (*Pinus taeda* L.) seedlings by silicon. *Plant Physiol.* 1989. **134**. P. 98—103. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0176161789802093?via%3Dihub> (Дата звернення: 21.06.2020).
8. Heath M.C. Partial characterization of the electron opaque deposits formed in the non-host plant, French bean, after cowpea rust infection. *Physiol. Plant Pathol.* 1979. Iss. 15. P. 141—148.
9. Матыченков В.В. Роль подвижных соединений кремния в растениях и системе почва—растение: дис. д-ра биол. наук. Пушино, 2008. <http://www.dissercat.com/content/rol-podvizhnykh-soedinenii-kremniya-v-rasteniyakh-i-sisteme-pochva-rastenie> (Дата звернення: 21.06.2020).
10. Кемечева М.Х. Роль кремниевых удобрений в повышении продуктивности риса на луговых почвах левобережья р. Кубани: дис. канд. с.-х. наук. Майкоп, 2003. 132 с.
11. Liang Y., Sun W., Zhu Y.-G., Christie P. Mechanisms of silicon-mediated alleviation of abiotic stresses in higher plants: a review. *Environmental Pollution*. 2007. Iss. 147. P. 422—428.
12. Currie H.A., Perry C.C. Silica in Plants: Biological, Biochemical and Chemical Studies. *Ann. Bot.* 2007. Iss. 100(7). P. 1383—1389.
13. Міжнародна мікологічна глобальна база даних Index fungorum. <http://www.indexfungorum.org>. (Дата звернення: 21.06.2020).
14. Трибель С.О. (ред.), Сігарьова Д.Д., Секун М.П., Івашенко О.О. Методики випробування і застосування пестицидів. Київ: Світ, 2001. 448 с.
15. Крива О.І. Вплив транспортного забруднення на морфологію та розвиток плодів тил *Sawadea bicornis* (Erysiphaceae) у місті Львові. *Modern Phytomorphology*. 2014. № 6. С. 349—352.
16. Гелюта В.П. Флора грибов Украины. Мучнисторосяные грибы: Дудка И.А. (ред.). АН УССР. Ин-т ботаники им. Н.Г. Холодного. Киев: Наук. думка, 1989. 256 с.
17. Ринькис Г.Я., Ноллендорф В.Ф. Сбалансированное питание растений макро- и микроэлементами. Рига: Зинатне, 1982. 202 с.

Отримано 30.06.2020

REFERENCES

1. Kramarev, S.M., Polianchikov, S.P. & Covbel, A.I. Silicon and plant protection against stress: theory, practice, perspectives. Retrieved from http://quantum.ua/ua/articles/art_06.pdf [in Russian].

2. Epstein, E. (2009). Silicon: its manifold roles in plants. *Annals of Applied Biology, USA*, Iss. 2, pp. 155-160.
3. Rodrigues, F.A. & Datnoff, L.E. (2015). Silicon and plant diseases. Springer. Retrieved from https://books.google.com.ua/books?id=8I_DCgAAQBAJ&dq=silva+et+al+2010+The+effect+of+silicon&hl=ru&source=gbs_navlinks_s
4. Ma, J.F. & Yamaji, N. (2006). Silicon uptake and accumulation in higher plants. *Trends Plant Sci.*, Iss. 11 (8), pp. 392-397.
5. Alyoshin, N.E. (1996). Siliceous of rice (Unpublished doctoral thesis). Krasnodar [in Russian].
6. Voronkov, M.G., Zelchan, G.I. & Lukevits, E.Ya. (1978). Silicon and life. *Biochemistry, pharmacology and toxicologists of silicon compounds*, Iss. 2 (588 p.), Riga, Zinatne [in Russian].
7. Emadian, S.F. & Newton, R.J. (1989). Growth enhancement of Loblolly pine (*Pinus taeda* L.) seedlings by silicon. *Plant Physiol.*, Iss., 134, pp. 98-103. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0176161789802093?via%3Dihub>.
8. Heath, M.C. (1979). Partial characterization of the electron opaque deposits formed in the non-host plant, French bean, after cowpea rust infection. *Physiol. Plant Pathol.*, No. 15, pp. 141-148.
9. Matychenkov, V.V. (2008). The role of mobile silicon compounds in plant and system soil—plant (Unpublished doctoral thesis). Pushchino. Retrieved from <http://www.dissert-cat.com/content/rol-podvizhnykh-soedinenii-kremniya-v-rasteniyakh-i-sisteme-pochva-rastenie> [in Russian]
10. Kemecheva, M.Ch. (2003). The role of silicon fertilizers in increasing rice productivity on the left bank of River Cuban (Unpublished candidate thesis). Maicop [in Russian].
11. Liang, Y., Sun, W., Zhu, Y.-G. & Christie, P. (2007). Mechanisms of silicon-mediated alleviation of abiotic stresses in higher plants: a review. *Environmental Pollution*, No. 147, pp. 422-428.
12. Currie, H.A. & Perry, C.C. (2007). Silica in Plants: Biological, Biochemical and Chemical Studies. *Ann Bot.*, Iss. 100 (7), pp. 1383-1389.
13. Index fungorum. doi: <http://www.indexfungorum.org>.
14. Tribel, S.O. (Ed.), Sigaryova, D.D., Secun, M.P. & Ivashchenko, O.O. (2001). Methods of testing and application of pesticides. Kyiv: Svit [in Ukrainian].
15. Kriva, O.I. (2014). The influence of transport on morphology and influence of transport pollution on morphology and development of fruiting bodies *Sawadea bicornis* (Erysiphaceae) in city Lviv. *Modern Phytomorphology*, No. 6, pp. 349-352.
16. Heluta, V.P. & Dudka, I.A. (Ed.) (1989). The Flore of Ukraine fungus. Powdery mildew. Akad. nauk USSR. M.G. Kholodny Institute of Botany. Kyiv: Nauk. dumka [in Russian].
17. Rinkis, G.Ya. & Hollendorf, V.F. (1982). Balanced nutrition of plants by macro- and micronutrients. Riga: Zinatne.

Received 30.06.2020

THE INFLUENCE OF SILICON-CONTAINING MIXTURES ON GROWTH AND DEVELOPMENT DYNAMICS, AND NUTRITIONAL ELEMENTS CONTENT IN ORNAMENTAL PLANTS UNDER AFFECTION BY ERSIPHAELES

N.V. Makarenko, N.V. Zaimenko

M.M. Gryshko National Botanical Garden, National Academy of Sciences of Ukraine
1 Tymiryazevska St., Kyiv, 01014, Ukraine
e-mail: mmnv@ukr.net

Nutritional elements content, growth and development dynamics of plants of the genus *Rosa* L. 'Duc de Constantine' (Soupert & Notting, 1857) variety and *Monarda didyma* L. under the conditions of greenhouse and open air growing at affection by the agent of Erysiphales

and the presence of silicon-containing mixes are analyzed. It was established that the use of silicon-containing mixes accelerates growth processes, supports a longer flowering period, decreases the spread of the disease and reduces the intensity of plant damage by powdery mildew micromycetes. Under conditions of pathogenesis, the increase of nitrogen and manganese content in the leaves of plants, and an essential decrease of phosphorus, potassium, calcium, magnesium and iron content were observed. There was an increase of nitrogen, potassium, phosphorus and calcium content in the leaves at the application of calcium silicate and lignin, modified with silicic acid.

Key words: Erysiphales, micromycetes, silicon-containing mixes, nutrients, plant resistance.