

ТОРЯНИК В.М., **МІРОНЕЦЬ Л.П.**, **РАДЬКО О.В.**

Сумський державний педагогічний університет імені А.С.Макаренка,

Україна, 40002, м. Суми, вул. Роменська, 87, ORCID: 0000-0003-0590-1345, 0000-0002-9741-7157, 0000-0003-3670-8484

✉ toryanik_vn@ukr.net**БІОГЕОХІМІЧНА АКТИВНІСТЬ РІЗНИХ ФЕНОТИПІВ *TRIFOLIUM REPENS* L.
ЩОДО ДЕЯКИХ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ**

Мета. Дослідити загальну здатність різних фенотипів *Trifolium repens* L. за малюнком «сивої» плями на листку до концентрації рухомих форм феруму (*Fe*), мангану (*Mn*), купруму (*Cu*) та цинку (*Zn*). **Методи.** Визначення у ґрунті та листках *Trifolium repens* L. умісту *Fe*, *Mn*, *Cu* та *Zn* здійснювався атомно-абсорбційним методом за допомогою ІСР-АЕС аналізатора. Збір листків та відбір ґрунтозразків для дослідження проводився у 2021 р. у період масового цвітіння *Trifolium repens* L. з рандомізованих ділянок пасовища. Ідентифікація малюнка «сивої» плями здійснювалася за методикою І.Т. Папонової та П.Я. Шварцмана з використанням таблиці Дж. Л. Брюейкера. Для характеристики біогенної міграції *Fe*, *Mn*, *Cu* та *Zn* і біогеохімічних особливостей різних фенотипів *Trifolium repens* L. застосовувалися методики, розроблені І.А. Авессаломовою. **Результати.** У вибірці листків *Trifolium repens* L. з пасовища виявлено 5 фенотипів (*O*, *A*, *A^H*, *B^H*, *C*), генотипи яких сформовані серією з 6-ти алелей гена *V*. Найчастішим був фенотип *B^H*, найменшою була частка фенотипу *A^H*. Найвищу загальну здатність до концентрації рухомих форм *Fe*, *Mn*, *Cu* та *Zn* виявив фенотип *B^H*, найнижчу – фенотип *A*. **Висновки.** Фенотипи *O*, *A*, *A^H*, *B^H*, *C* відрізняються за біогеохімічною активністю щодо концентрації рухомих форм *Fe*, *Mn*, *Cu*, *Zn*. За загальною здатністю до накопичення цих елементів такі фенотипи утворюють наступний низхідний ряд $B^H > O > C > A^H > A$.

Ключові слова: біогеохімічна активність, *Trifolium repens* L., фенотип, важкі метали.

У ряді наукових праць вказується на різний рівень позитивного і негативного зв'язку між певними фенотипами *Trifolium repens* L. за малюнком «сивої» плями на листку та вмістом у ґрунті і листках ряду важких металів – плумбуму, феруму, цинку та купруму [1; 2]. Останні три є для *Trifolium repens* L. есенціальними мік-

роелементами, що беруть участь в утворенні органічних сполук, регулюють ріст вегетативної маси, беруть участь у процесах фотосинтезу та синтезу хлорофілу, активують ріст кореневої системи, прискорюють протікання усіх процесів, підвищують зимостійкість, а також стійкість до хвороб, шкідників чи стресових умов існування, сприяють регуляції водного балансу, забезпечують транспорт цукрів у рослині, впливають на окисно-відновлювальні процеси, активізують ферменти та ферментативні процеси, підсилюють обмін речовин, зміцнюють клітинні стінки, беруть участь в азотному та білковому обміні речовин, входять до складу амінокислот, вітамінів та рослинних олій, регулюють процеси дихання та біосинтезу. Водночас, якщо концентрація доступних форм цих мікроелементів перевищує певну межу, вони можуть виявляти токсичний і мутагенний ефекти [3]. Зважаючи на актуальність питання хімічного забруднення ґрунтів на територіях різного сільськогосподарського призначення, дослідження поліморфної структури популяцій *Trifolium repens* L. за ознакою «малюнок «сивої» плями на листку» залежно від умісту в ґрунті важких металів є одним із перспективних напрямків для опису внутрішньовидових генетично зумовлених локальних відповідностей між організмами і середовищем. Із метою вивчення особливостей акумуляції з ґрунту різними фенотипами *Trifolium repens* L. багатьох важких металів як можливих чинників клітинно-організменної мінливості нами було визначено та проаналізовано уміст феруму (*Fe*), мангану (*Mn*), купруму (*Cu*) та цинку (*Zn*) у ґрунті пасовища та у листках фенотипів *Trifolium repens* L., виявлених на пасовищі.

Матеріали і методи

Дослідження проведено на пасовищі села Житне Роменського району Сумської області площею 2 га. Територія пасовища – заплавної

© **ТОРЯНИК В.М.**, **МІРОНЕЦЬ Л.П.**, **РАДЬКО О.В.**

луки, що знаходяться в долині річки Великий Ромен і характеризуються високим травостоєм із чітко помітною ярусністю. На території пасовища у 2021 р. обстежено 14 рандомізованих ділянок розміром 2х3 м з покриттям *Trifolium repens* L. до 100%. Листки збиралися у другій декаді червня у період максимального розвитку вегетативної частини та масового цвітіння рослин так, щоб з однієї рослини (або куртини, що може бути клоном, тобто потомством однієї рослини, яка розмножилася вегетативно) брати лише 1 листок, тобто на відстані не менше 5 кроків від місця попереднього збору. Загальний об'єм вибірки з усіх рандомізованих ділянок склав 1000 листків. Для ідентифікації фенотипів використовувалася методика І.Т. Папонової (1982) і П.Я. Шварцмана (1986) та таблиця Дж. Л. Брюейкера [4; 5].

Ґрунтозразки відбиралися паралельно зі збиранням листків із рандомізованих ділянок у поліетиленові пакети по 800–900 г з глибини 20 см. Із відібраних зразків готувалася середня проба масою 1 кг. Уміст рухомих форм *Fe*, *Mn*, *Cu* та *Zn* у листках різних фенотипів та ґрунті пасовища визначався з використанням атомно-емісійної спектроскопії індуктивно-зв'язаної плазми (ICP-AES) у лабораторії Центру сучасних досліджень ґрунту ТОВ «СІЕЙТІ».

Для характеристики біогенної міграції *Fe*, *Mn*, *Cu* та *Zn* і біогеохімічних особливостей різних фенотипів *Trifolium repens* L. застосовувалися методики, розроблені І.А. Авессаломовою [6]. Кількісна оцінка надходження елементів із

ґрунту в листки проводилася за коефіцієнтом біологічного накопичення (КБН), який розраховувався за формулою: $КБН = CP / CG$, де *CP* – уміст елементу в листках, мг/кг; *CG* – уміст елементу в ґрунті, мг/кг. Для кількісного вираження загальної здатності фенотипу до концентрації рухомих форм *Fe*, *Mn*, *Cu* та *Zn* розраховувався показник біогеохімічної активності (БХА): $БХА(фенотипу) = КБН Fe + КБН Mn + КБН Cu + КБН Zn$. Статистичний аналіз результатів дослідження проводився із застосуванням пакета програм MS Excel 2010 та програмних пакетів Statistica: Basis Statistic and Tables.

Результати та обговорення

У загальній вибірці рослин *Trifolium repens* L., зібраних у фітоценозі пасовища, виявлено 5 фенотипів, що відповідали 8 генотипам, сформованим 6 алелями гена *V*: *v*, *V*, *V^H*, *V^B*, *V^{Bh}*, *V^P* (табл. 1).

Найчастіше траплявся фенотип *B^H*. Незначно, але меншою була частота фенотипів *O* та *C*. Найменшою було трапляння фенотипу *A^H*. Частка мутантних фенотипів (*A^H*, *B^H*, *C*) перевищувала частку диких фенотипів (*O* і *A*) майже в 1,5 раза.

Результати кількісної оцінки надходження *Fe*, *Mn*, *Cu* та *Zn* з ґрунту в листки виявлених фенотипів та загальної здатності різних фенотипів до концентрації рухомих форм *Fe*, *Mn*, *Cu* та *Zn* представлені у табл. 2.

Таблиця 1. Трапляння різних фенотипів *Trifolium repens* L. за малюнком «сивої» плями на листку у фітоценозі пасовища

Фенотип	Генотип	Частота, %
<i>O</i> (пляма відсутня)	<i>vv</i>	23,2± 0,74
<i>A</i> (повна Λ-подібна пляма)	<i>VV, Vv</i>	18,6± 0,70
<i>A^H</i> (повна пляма висока)	<i>V^HV^H, V^HV^B</i>	11,8± 0,60
<i>B^H</i> (розірвана пляма висока)	<i>V^{Bh}V^{Bh}</i>	25,2± 0,75
<i>C</i> (центральна верхня точка)	<i>V^PV^P, V^Pv</i>	21,2± 0,73

Таблиця 2. Біогеохімічна активність різних фенотипів *Trifolium repens* L. щодо феруму (*Fe*), мангану (*Mn*), купруму (*Cu*) та цинку (*Zn*)

Фенотип	Показник	Елемент				БХА
		<i>Fe</i>	<i>Mn</i>	<i>Zn</i>	<i>Cu</i>	
<i>O</i>	уміст у листках, мг/кг	187,2	47,0	16,9	8,28	27,99
	уміст у ґрунті, мг/кг	79,1	3,1	4,8	1,19	
	КБН	2,36	15,16	3,52	6,95	
<i>A</i>	уміст у листках, мг/кг	128,2	36,3	0,05	7,61	19,72
	уміст у ґрунті, мг/кг	79,1	3,1	4,8	1,19	
	КБН	1,62	11,7	0,01	6,39	
<i>A^H</i>	уміст у листках, мг/кг	144,6	36,2	1,91	9,65	22,02
	уміст у ґрунті, мг/кг	79,1	3,1	4,8	1,19	
	КБН	1,82	11,7	0,4	8,1	
<i>B^H</i>	уміст у листках, мг/кг	304,5	40,6	46,62	14,34	38,5
	уміст у ґрунті, мг/кг	79,1	3,1	4,8	1,19	
	КБН	3,85	13,09	9,71	12,05	
<i>C</i>	уміст у листках, мг/кг	134,2	39,8	3,28	9,31	23,04
	уміст у ґрунті, мг/кг	79,1	3,1	4,8	1,19	
	КБН	1,7	12,84	0,68	7,82	

Із даних табл. 2 видно, що, незважаючи на істотну мінливість накопичення досліджуваних елементів у листках виявлених фенотипів, їх біоаккумуляція фенотипами має певну тенденцію. Зокрема, усі виявлені фенотипи найбільш інтенсивно поглинали *Mn*, на другому місці за інтенсивністю поглинання – *Cu*. Для фенотипів *A*, *A^H*, *C*, на третьому і четвертому місцях відповідно за інтенсивністю поглинання знаходилися *Fe* і *Zn*, для фенотипів *O* та *B^H* – навпаки: на третьому і четвертому місцях відповідно за інтенсивністю поглинання знаходилися *Zn* і *Fe*. Порівняно з іншими фенотипами, фенотип *O* інтенсивніше накопичував *Mn*; фенотип *B^H* значно інтенсивніше накопичував *Fe* (в середньому в 4 рази), *Zn* (в середньому в 2 рази) та *Cu* (в середньому в 2–6 разів).

Найвищу загальну здатність до концентрації рухомих форм *Fe*, *Mn*, *Cu* та *Zn* мав фенотип *B^H*. Порівняно з іншими фенотипами, його біогеохімічна активність була вищою в 1,6–1,9

рази. Найнижчою загальною здатністю до концентрації рухомих форм *Fe*, *Mn*, *Cu* та *Zn* характеризувався фенотип *A*.

Висновки

1. Фенотипи *O*, *A*, *A^H*, *B^H*, *C* відрізняються за біогеохімічною активністю щодо концентрації рухомих форм феруму, мангану, купруму та цинку. За загальною здатністю до накопичення цих елементів такі фенотипи утворюють низхідний ряд: *B^H* > *O* > *C* > *A^H* > *A*. 2. Фенотипи *O*, *A*, *A^H*, *B^H*, *C* найбільш інтенсивно накопичують у листках манган, найменш інтенсивно цинк і ферум. 3. Для фенотипів *O*, *A*, *A^H*, *B^H*, *C* характерний акумулятивний тип поглинання з ґрунту феруму, мангану, купруму. Для фенотипів *O* та *B^H* характерний акумулятивний тип поглинання з ґрунту цинку, а для фенотипів *A*, *A^H*, *C* – бар'єрний тип поглинання цинку.

References

1. Khokh A.N., Lozinskaya O.V., Melnov S.B. Environmental quality assessment using meadow clover (*Trifolium pratense*). *Bulletin of Polesye State University. A series of natural sciences*. 2011. № 2. P. 3–7. [in Russian]
2. Toryanik V.N., Mironets L.P. Morfogenetic polymorphism of *T. repens* in the pattern of white marking on a leaf on the territory of the city of Sumy with a different anthropogenic load. *Faktori eksperimental'noi evolucii organizmiv*. 2020. Vol. 27. P. 309–313. doi: 10.7124/FEEEO.v27.1345. [in Ukrainian]
3. Denchylia-Sakal H. M., Gandzyura V. P., Kolesnyk A. V. Accumulation of zinc and copper compounds and their effect on assimilation system in *Trifolium pratense* L. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2019. 9 (3). P. 247–254. doi: 10.15421/2017_247. [in Ukrainian]
4. Shvartsman P.Ya. Field practice in genetics with the basics of breeding. Moscow: The Enlightenment, 1986. 111 s. [in Russian]
5. Brewbaker J. L. V-leaf Markings of White Clover. *J. Hered.* 1955. Vol. XLVI, № 3. P. 115–125.
6. Avessalomova I.A. Geochemical indicators in the study of landscapes. Moscow: Publishing House of Moscow State University, 1987. 108 s. [in Russian]

TORIANYK V.M., MIRONETS L.P., RADKO O.V.

Sumy State Pedagogical University named after A.S. Makarenko,
Ukraine, 40002, Sumy, Romenskaya str., 87

BIOGEOCHEMICAL ACTIVITY OF DIFFERENT PHENOTYPES OF *TRIFOLIUM REPENS* L. TO SOME HEAVY METALS

Aim. Investigate the general ability of different phenotypes of *Trifolium repens* L. according to the pattern of white marking on a leaf to the concentration of mobile forms of iron (*Fe*), manganese (*Mn*), copper (*Cu*) and zinc (*Zn*).

Methods. Determination of *Fe*, *Mn*, *Cu* and *Zn* content in *Trifolium repens* L. in soil and leaves was performed by atomic absorption method using ICP-AES analyzer. Collection of leaves and selection of soil samples for research was carried out in 2021 during the period of mass flowering of *Trifolium repens* L. from randomized areas of pasture. Identification of drawings of white marking on a leaf was carried out according to the method of I. T. Paponova and P. Ya. Schwartzman, using the tables of J. L. Briubecker. To characterize the biogenic migration of *Fe*, *Mn*, *Cu* and *Zn* and biogeochemical features of different phenotypes of *Trifolium repens* L. used methods developed by I. A. Avessalomova.

Results. In the sample of leaves of *Trifolium repens* L. from pasture 5 phenotypes (*O*, *A*, *A^H*, *B^H*, *C*) were found, the genotypes of which are formed by a series of 6 alleles of the *V* gene. The most common was the phenotype *B^H*, the smallest was the share of the phenotype *A^H*. The highest total ability to concentrate the mobile forms of *Fe*, *Mn*, *Cu* and *Zn* was found by phenotype *B^H*, the lowest – phenotype *A*. **Conclusions.** Phenotypes *O*, *A*, *A^H*, *B^H*, *C* differ in biogeochemical activity in terms of the concentration of mobile forms of *Fe*, *Mn*, *Cu* and *Zn*. According to the general ability to accumulate these elements, these phenotypes form the following descending order: *B^H* > *O* > *C* > *A^H* > *A*.

Keywords: biogeochemical activity, *Trifolium repens* L., phenotype, heavy metals.