

**Cite this article:** Gorlachova O.V., Gorbachova S.N., Yegorov D.K., Ansyferova O.V., Prodanyk A.M., Samborska O.V. Drought and smut resistance of millet (*Panicum miliaceum* L.) seedlings. The Journal of V. N. Karazin Kharkiv National University, Series "Biology", 2021, 36, 83–93.

УДК: 633.171:631.527:581.19:632.9

## Стійкість проростків проса (*Panicum miliaceum* L.) до посухи та сажки О.В. Горлачова, С.Н. Горбачова, Д.К. Єгоров, О.В. Анциферова, А.М. Проданик, О.В. Самборська

Метою досліджень було вивчити вплив посухи на схожість насіння і морфологічні параметри проростків проса (*Panicum miliaceum* L.) та виділити генотипи проса, що мають нормальний ризо- та органогенез в умовах посухи, у посушливих умовах. Оскільки нестача вологи у ґрунті послаблює імунітет рослини в фазі проростання і провокує розвиток хвороб, особливо сажки (*Sorosporium destruens* (Schlecht) Yanki), необхідно визначити генотипи, які не втрачають стійкості до вірулентних рас сажки. Вивчено стійкість 28 генотипів проса до ідентифікованих в Україні 13 рас сажки. Для моделювання ґрунтової посухи в період проростання проса використовували осмотик ПЕГ 6000 у концентрації 23 %. Оцінку схожості насіння та параметрів проростків проводили на 6-ту добу. Ступінь стійкості сортів проса до стресового фактора оцінювали за відношенням довжина кореня/довжина пагона (ДК/ДП). При нестачі вологи схожість насіння проса знижується до 50,12 %. Більші зміни відбуваються у пагонах, ніж у коренів (довжина пагона знижується на 77,3 %, кореня – на 37,7 %). При сприятливих погодних умовах спостерігали рівномірний ризо- та органогенез у проростків (ДК/ДП дорівнює 0,75±0,02). При дії посухи значення ДК/ДП дорівнює 2,19±0,03. Досліджені зразки, в основному, стійкі до рас *Rs 1*, *Rs 5–Rs 7*, *Rs 9–Rs 11*, і лише у 10 % досліджених сортозразків спостерігали високу стійкість (9–8 балів) до *Rs 2*, *Rs 8*, *Rs 12*, *Rs 13* рас сажки. До *Rs 3* раси сажки не було встановлено стійкого генотипу проса. Отже, найбільш цінним генетичним матеріалом у доборі на посухостійкість слід вважати зразки, у яких значення ДК/ДП наближається до одиниці. Це сорти Заповітне (ДК/ДП – 1,77), Золушка (1,54), Олітан (1,4), Скадо (1,79), Данило (1,79). Сорти Олітан і Данило показали високу стійкість до *Rs 1*, *Rs 4*, *Rs 7*, *Rs 9–Rs 11* рас сажки; сорти Новокиївське 01 (ДК/ДП – 2,17) і Константинівське (ДК/ДП – 2,22) мали високу стійкість до *Rs 1*, *Rs 4–Rs 7*, *Rs 9–Rs 12*, сорт Біла Альтанка (ДК/ДП – 2,68) не уражувався найбільш вірулентними расами *Rs 2*, *Rs 8* та *Rs 13*. Ці генотипи проса ми рекомендуємо залучати в селекційні програми за посухостійкістю та стійкістю до сажки.

**Ключові слова:** просо, посухостійкість, ПЕГ 6000, схожість, довжина пагона, довжина кореня, сажка.

### Про авторів:

О.В. Горлачова – Інститут рослинництва імені В.Я. Юр'єва НААН України, Московський проспект, 142, Харків, Україна, 61060, dr\_forester@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-1234-8368>

С.Н. Горбачова – Інститут рослинництва імені В.Я. Юр'єва НААН України, Московський проспект, 142, Харків, Україна, 61060, gorbachovasvetlana1960@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-7835-822x>

Д.К. Єгоров – Інститут рослинництва імені В.Я. Юр'єва НААН України, Московський проспект, 142, Харків, Україна, 61060, yuriev1908rye@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-0218-3827>

О.В. Анциферова – Інститут рослинництва імені В.Я. Юр'єва НААН України, Московський проспект, 142, Харків, Україна, antsyferova.olya@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-1466-1294>

А.М. Проданик – НСЦ Інститут землеробства НААН України, вул. Машинобудівників, 2Б, Чабани, Україна, 08163, prodanyk.a@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-1712-5064>

О.В. Самборська – НСЦ Інститут землеробства НААН України, вул. Машинобудівників, 2Б, Чабани, Україна, 08163, elenasamborskay@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-9345-2433>

### Вступ

Просо (*Panicum miliaceum* L.), через високий рівень пристосування до різних кліматичних умов та короткий вегетаційний період (85–110 днів), вирощують в багатьох країнах світу (на півночі Китаю, Монголії, Кореї, Росії, Афганістані, Пакистані, Індії, Америки, на півдні Європи та в Україні) (Wang et al., 2016). Останні дослідження біохімічного складу зерна проса свідчать, що загальний вміст крохмалю в зерні становить близько 70 % та характеризується низьким глікемічним індексом (GI) та вмістом стійкого крохмалю (RS) – від 2,8 до 3,2 % (McSweeney et al., 2017; Mikulíková et al., 2005). Загальний вміст білка в зерні проса складає від 11 до 19 %, але його амінокислотний склад більш цінний у порівнянні з білком пшениці (Kalinova, Moudry, 2006; Vetriventhan, Uradhuaya, 2018). Дослідження свідчать про високий вміст Glu, Leu та Ala-амінокислот у зерні. До загального вмісту жиру проса входять ліноленова та олеїнова жирні кислоти. Зерно проса має високий рівень антиоксидантної та антипроліферативної дії (Shen et al., 2018). Різні генотипи проса показують

широкий спектр вмісту таких елементів, як Fe – 41–73 мг/кг, Zn – 26–47 мг/кг, Ca – 91–241 мг/кг (Vettriventhan, Upadhyaya, 2018). Таким чином, просо є цінною харчовою культурою та має антиоксидантні, протидіабетичні, протиракові властивості.

В Україні, зі зміною клімату від помірного до різкоконтинентального, ключовим стресовим фактором впливу на рослини проса є нестача вологи в ґрунті, тобто ґрунтова посуха. При несприятливих умовах (ґрунтова та повітряна посуха) сходи з'являються на 15–20 добу після сівби. Польова схожість насіння проса може знижуватися до 25 %. Якщо нестача вологи в ґрунті зберігається і після фази сходів, то рослини не сформують вторинні корені, відбувається засихання нижніх листків, уповільнюється розвиток вегетативної маси та генеративних органів. Це призводить до зниження основних компонентів продуктивності та якості зерна (Яшовский, 1987; Tadele, 2016; Govindaraj et al., 2010). Нестача вологи в ґрунті призводить до сповільнення переміщення мінеральних речовин з ґрунту до рослини, і дуже уповільнюється процес фотосинтезу рослин, спостерігається сильне зменшення вмісту хлорофілів *chl a* та *chl b* в листках (Keshavars et al., 2012).

Реакція на стресові фактори (посуха та зниження температури) є сортоспецифічною ознакою, яка змінює фізіологічні функції рослин (Яшовский, 1987; Blum, 2005; Seghatoleslami et al., 2008; Govindaraj et al., 2010; Demuyakor et al., 2013). Використання стійких до стресових умов зразків дає можливість селекціонеру створювати сорти, більш стійкі до посушливих умов. Для масового первинного добору в селекції проса на адаптивність до посухи важливу роль відіграє лабораторна оцінка сортозразків на посухостійкість (Mitra, 2001).

Під час впливу стресового фактору на рослину в період сходів патогени досить легко проникають в ослаблений організм, що призводить до повного його знищення. Зараження рослин сажкою (*Sorosporium destruens* (Schlecht) Yanki) відбувається при проростанні насіння навесні протягом усього досходового періоду. Це найбільш розповсюджена і шкодочинна хвороба проса, яка значно впливає на рівень врожайності та якості продукції в Україні (Яшовский, 1987). Ураження посівів в окремих областях може досягати 15–20 % (Волкодав, 1990). Коли теліоспори проростають, то вони проникають у паростки молоді рослини біля кореневого вузла, де швидко досягають точки росту рослини і продовжують рости разом із нею. Найбільш сприятливими умовами для розвитку та розповсюдження сажки проса є дефіцит тепла і вологи, особливо в першій половині вегетації рослин (Sikora, Schonbeck, 1975). На сьогодні в Україні ідентифіковано 13 рас сажки, найбільш вірулентними є 2, 3 і 12 раси (Проданик та ін., 2015; Kaminskyi et al., 2020).

Таким чином, наведені літературні дані свідчать, що нестача вологи є одним з критичних чинників довкілля, які визначають здатність проса формувати повноцінний проросток, що може бути вирішальним для продуктивності та якості врожаю. На тлі цього чинника істотним негативним фактором для росту, розвитку і продуктивності проса є враження сажкою. У зв'язку з цим необхідне подальше поглиблене вивчення стійкості вихідного матеріалу до цих чинників довкілля з метою створення нових сортів проса.

Метою наших досліджень є встановлення впливу стресового фактору (посуха) на ріст та розвиток рослин проса на ранніх етапах онтогенезу та визначення рівня стійкості сучасного селекційного матеріалу до найбільш шкодочинного біотичного фактору – сажки; виділення генотипів проса, що мають нормальний ризо- та органогенез в умовах посухи, а також виявляють високу стійкість до поширених найбільш вірулентних рас сажки, що стануть цінним вихідним матеріалом для селекції проса на адаптивність і стійкість до біотичних та абіотичних факторів в умовах України.

### Матеріали і методи

Вивчення впливу посухи на схожість насіння проса, ріст та розвиток пагона та кореня проводили в лабораторних умовах Інституту рослинництва імені В.Я. Юр'єва НААН у 2019–2020 рр. Як експериментальний матеріал використовували насіння 28 сортозразків проса (60 % сортів з Реєстру сортів України), одного року урожаю та однієї репродукції зі схожістю 98–100 %. Для моделювання ґрунтової посухи та отримання найбільшої диференціації генотипів за посухостійкістю в період проростання проса використовували оптимальну концентрацію осмотика ПЕГ 6000 – 23 % (Gorlachova et al., 2020). Насіння проса в кількості 50 шт. пророщували в чашках Петрі в триразовій повторності. В кожну чашку Петрі наливали по 7 мл осмотика ПЕГ 6000 або дистильованої води (для контролю). Насіння пророщували в термостаті при температурі 25°C в умовах відсутності світла. Схожим вважали насіння, яке мало нормально розвинутий корінець або

пагін не менше 5 мм. Кількість схожого насіння та морфометричні аналізи всіх проростків проса проводили на 6 добу (Чернышева, 1987).

З метою вивчення расоспецифічної стійкості 28 генотипів до 13 рас сажки вченими Інституту землеробства НААН у 2019–2020 році було висіяно насіння цих зразків у спеціальному фітоімунологічному розсаднику. З кожного селекційного зразка брали по 100 насінин у дворазовій повторності і обробляли споровим матеріалом відповідних рас сажки у кількості 0,3–0,7 % від маси насіння. Зразки висівали з обліковою площею ділянки 0,7 м<sup>2</sup>. Підрахунок кількості уражених рослин на кожній ділянці проводили в період досягання волоті, коли замість волоті з'являються соруси сажки. Ступінь стійкості до різних рас сажки визначали шляхом визначення відношення кількості уражених рослин до кількості всіх рослин на ділянці, у відсотках (Проданик та ін., 2015). Згідно з міжнародною класифікацією, сортозразки розподіляли за ступенем стійкості до сажки за 9-бальною шкалою (Кириченко, Петренкова, 2012):

- 1 бал – уражено рослин сажкою більше 76–100 %;
- 2 бали – уражено рослин від 68 до 75 %;
- 3 бали – уражено рослин від 51 до 67 %;
- 4 бали – уражено рослин від 39 до 50 %;
- 5 балів – уражено рослин від 26 до 38 %;
- 6 балів – уражено рослин від 19 до 25 %;
- 7 балів – уражено рослин від 11 до 18 %;
- 8 балів – уражено рослин до 10 %;
- 9 балів – не має уражених рослин, 0 %.

Статистичний аналіз проведено за допомогою програмного забезпечення "Statistica 13 Trail". Використовували дисперсійний аналіз ANOVA. Обчислювали найменш суттєву різницю на рівні  $p < 0,05$ .

### Результати досліджень

За результатами досліджень, незважаючи на те, що просо є посухостійкою культурою (Яшовский, 1987; Tadele, 2016), в умовах високого осмотичного тиску (модель дефіциту вологи в ґрунті) відбувалось пригнічення проростання насіння проса та подальшого росту та розвитку рослин (табл. 1). При концентрації розчину ПЕГ 6000 23 % середня схожість у всіх генотипів зменшувалась на 50,12±1,53 %. Варіювання схожості насіння зразків проса спостерігалось від 16,3±4,23 % до 63,1±13,64 %. Найбільш істотною здатністю проростати в посушливих умовах характеризувалися зразки Долинське (59,2±7,51 %), Сонечко Слобідське (60,7±4,73 %), Заповітне (56,0±4,91 %), Золушка (54,6±8,81 %), Олітан (56,9±4,70 %), Новокиївське 01 (54,4±0,64 %), Скадо (61,4±2,62 %), Данило (60,0±5,15 %), Біла Альтанка (55,4±10,11 %), Константинівське (63,1±13,64 %). Практично 38,0 % генотипів, що вивчались, мали підвищений рівень стійкості до посухи.

Посушливі умови більш негативно впливали на ріст та розвиток надземної маси, ніж на довжину корінця рослин (табл. 1). У середньому, пригнічення росту довжини пагона відбувалось на 77,3 %, а кореня – на 37,7 %. При концентрації розчину ПЕГ 23,0 % довжина проростка коливалась від 6,91±1,31 до 21,7±1,46 мм. Сорти Жодинське (19,3±1,64 мм), Сож (16,6±1,23 мм), Аскольдо (17,8±1,57 мм), Заповітне (18,0±1,47 мм), Орех (17,3±1,35 мм), Полто (16,4±1,38 мм), Л.80-67 (19,5±2,34 мм), Золушка (18,7±1,30 мм), Олітан (21,7±1,46 мм), Данило (20,3±1,49 мм), Свіцязанське (19,2±1,56 мм) характеризувалися значним перевищенням довжини пагонів, ніж інші зразки в стресових умовах. Довжина кореня в умовах нестачі вологи в ґрунті (високий осмотичний тиск розчину ПЕГ 6000) була в межах 22,5±3,34 – 42,4±2,67 мм. У цих дослідженнях вдалося виділити зразки, які значно перевищували за довжиною кореня інші генотипи проса: Жодинське (42,4±2,67 мм), Слобожанське (36,3±2,35 мм), Аскольдо (33,7±2,74 мм), Заповітне (32,0±1,82 мм), Золотисте (35,0±2,28 мм), Орех (33,7±2,34 мм), Полто (36,2±2,34 мм), Незалежне (40,2±3,34 мм), Новокиївське 01 (32,2±2,24 мм), Скадо (32,8±1,73 мм), Данило (36,5±2,06 мм), Біла Альтанка (33,2±2,54 мм), Омріяне (40,4±2,92 мм), Константинівське (32,4±1,69 мм), Довське (40,4±3,58 мм), Богатирське (33,2±2,46 мм).

Цінними в селекції на посухостійкість є генотипи, які зберігають високу схожість насіння та в яких встановлюється відношення ризо- та органогенезу у проростках, як і при оптимальних умовах. У наших дослідженнях виділено такі сорти: Заповітне, Золушка, Олітан, Новокиївське 01, Скадо,

Біла Альтанка, Данило та Константинівське, що мають підвищену схожість насіння і найменший рівень пригнічення лінійного росту довжини пагона та кореня в умовах посухи.

Табл. 1. Схожість насіння і довжина пагона та кореня проростків проса за дії штучної посухи, створеної осмотиком ПЕГ 6000 (2019–2020 рр.)

Table 1. Seed germination and length of shoot and root of seedlings at the influence of drought, simulated with osmotic PEG 6000 (2019–2020)

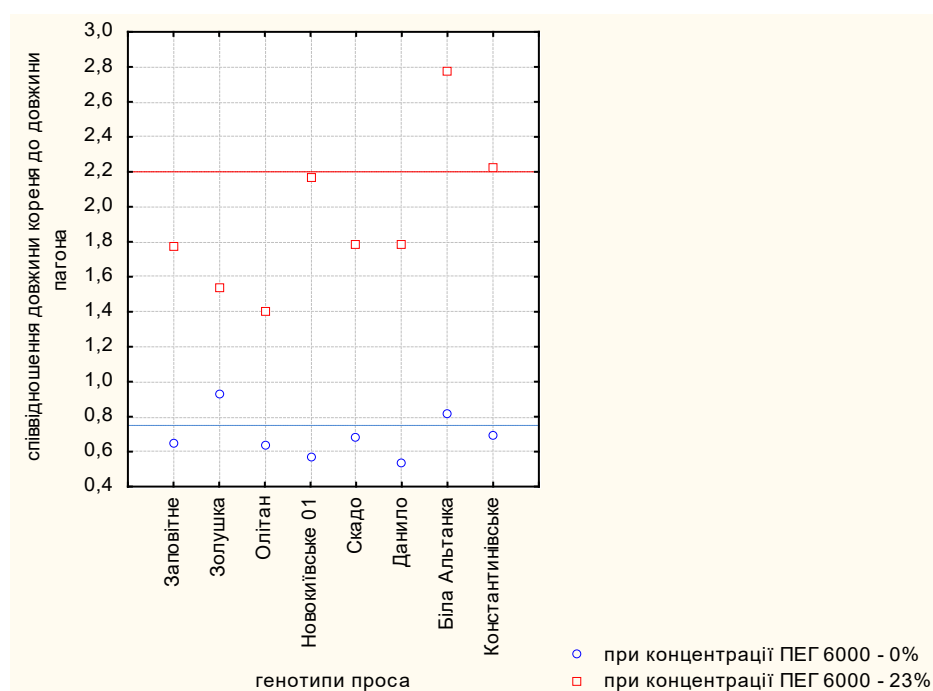
№ п/п	Походження, назва зразка	Схожість насіння за посухи**, %	Довжина, мм			
			пагона		кореня	
			контроль*	посуха**	контроль*	посуха**
<b>Україна</b>						
1	Харківське 57-st	50,0±5,03	73,8±4,59 <sup>1)</sup>	13,5±1,24	71,3±3,98 <sup>1)</sup>	29,4±2,04
2	Слобожанське	57,7±4,91	68,3±4,44	11,7±1,25	57,8±5,77	36,3±2,35 <sup>1)</sup>
3	Сонечко Слобідське	60,7±4,73 <sup>1)</sup>	68,1±3,43	15,4±1,15	59,3±5,79	28,8±1,61
4	Казкове джерело	48,9±1,73	75,0±5,03 <sup>1)</sup>	15,7±1,42	56,6±6,14	30,3±2,08
5	Незалежне	44,8±9,38	73,3±5,43 <sup>1)</sup>	14,4±1,28	60,8±8,76 <sup>1)</sup>	40,2±3,34 <sup>1)</sup>
6	Константинівське	63,1±13,64 <sup>1)</sup>	68,0±5,45	14,6±1,28	47,5±7,01	32,4±1,69 <sup>1)</sup>
7	Богатирське	43,7±5,44	62,8±5,72	15,6±1,38	53,7±6,66	33,2±2,46 <sup>1)</sup>
8	Омріяне	52,1±4,59	68,0±3,96	10,8±1,25	55,3±4,91	40,4±2,92 <sup>1)</sup>
9	Заповітне	56,0±4,91 <sup>1)</sup>	69,2±5,74 <sup>1)</sup>	18,0±1,47 <sup>1)</sup>	45,0±8,04	32,0±1,82 <sup>1)</sup>
10	Новокиївське 01	54,4±0,64 <sup>1)</sup>	61,4±5,83	14,8±1,55	34,8±6,70	32,2±2,24 <sup>1)</sup>
11	Біла Альтанка	55,4±10,11 <sup>1)</sup>	47,6±4,86	12,0±1,34	39,3±5,90	33,2±2,54 <sup>1)</sup>
12	Полтавське золотисте	51,3±4,67	58,9±5,70	13,1±1,34	31,7±5,57	29,4±2,31
13	Золотисте	48,6±4,66	65,7±5,83	13,0±1,47	49,3±3,71	35,0±2,28 <sup>1)</sup>
14	Аскольдо	46,4±4,21	74,1±4,67	17,8±1,57 <sup>1)</sup>	59,4±6,45	33,7±2,74 <sup>1)</sup>
15	Полто	51,1±1,11	67,6±4,25	16,4±1,38 <sup>1)</sup>	56,8±5,77	36,2±2,34 <sup>1)</sup>
16	Золушка	54,6±8,81 <sup>1)</sup>	64,0±4,61	18,7±1,30 <sup>1)</sup>	59,8±4,77	28,8±1,38
17	Скадо	61,4±2,62 <sup>1)</sup>	67,2±4,94	14,1±1,12	46,1±7,80	32,8±1,73 <sup>1)</sup>
18	Олітан	56,9±4,70 <sup>1)</sup>	61,2±5,36	21,7±1,46 <sup>1)</sup>	39,4±5,23	30,4±1,36
<b>Білорусь</b>						
19	Орех	47,3±4,81	61,7±3,17	17,3±1,35 <sup>1)</sup>	35,6±4,39	33,7±2,34 <sup>1)</sup>
20	Жодинське	48,0±4,97	71,6±4,24 <sup>1)</sup>	19,3±1,64 <sup>1)</sup>	67,0±5,61 <sup>1)</sup>	42,4±2,67 <sup>1)</sup>
21	Сож	44,1±8,32	75,2±4,46 <sup>1)</sup>	16,6±1,23 <sup>1)</sup>	60,3±5,31 <sup>1)</sup>	24,1±1,84
22	Свіцязанское	44,2±8,74	56,9±5,79	19,2±1,56	33,2±6,50	24,5±1,81
23	Довское	39,3±4,66	69,0±4,27	6,91±1,31	52,1±4,80	40,4±3,58 <sup>1)</sup>
<b>Росія</b>						
24	Данило	60,0±5,15 <sup>1)</sup>	62,8±6,23	20,3±1,49 <sup>1)</sup>	33,8±5,88	36,5±2,06 <sup>1)</sup>
25	К-177 Туркменія	46,9±2,84	80,5±3,20 <sup>1)</sup>	11,2±1,26	75,2±4,20 <sup>1)</sup>	26,9±2,00
<b>Казахстан</b>						
26	Долинське 39	59,2±7,51 <sup>1)</sup>	81,1±5,17 <sup>1)</sup>	11,1±1,16	63,9±6,59 <sup>1)</sup>	28,7±2,43
<b>Китай</b>						
27	Л.80-67	27,6±6,62	61,1±5,58	19,5±2,34 <sup>1)</sup>	42,7±8,76	22,5±3,34
28	Юйлин 1	16,3±4,23	65,1±5,31	14,2±2,50	37,5±5,67	27,3±2,77
Середнє значення		50,12±1,53	67,5±0,94	15,3±0,26	51,1±1,16	32,1±0,42
Порівняння середніх значень в %		50,12	100,0	22,7	100,0	62,3

Примітки: \* контроль – пророщування на воді, \*\* посуха – пророщування на розчині ПЕГ 6000, концентрація 23 %; <sup>1)</sup> статистично значуща різниця при  $p < 0,05$ .

Notes: \* control – germination in water, \*\* drought – germination in 23 % solution of PEG 6000; <sup>1)</sup> significant difference at  $p < 0,05$ .

При оцінці генотипів проса на посухостійкість також можна використовувати коефіцієнт співвідношення: довжина кореня/довжина пагона (ДК/ДП) (Govindaraj et al., 2010). В оптимальних для проростання насіння умовах на 6-ту добу ДК/ДП (загальний середній рівень) складав  $0,75 \pm 0,02$ , що вказує на переваги активності розвитку пагона над первинним корінцем (рис. 1). У той же час, у деяких зразків проса (Полтавське золотисте, Орех, Юйлинь 1, Данило, Свіцязанское) в таких умовах відбувався найбільш інтенсивний розвиток пагона. Таким чином, при проростанні насіння в сприятливих умовах у кожного зразка проса встановлені специфічні особливі морфогенезу рослин.

При концентрації ПЕГ 6000 23 %, який моделює умовний ліміт вологи в ґрунті, ДК/ДП (загальний середній рівень) складав  $2,19 \pm 0,03$ . Таким чином, у посушливих умовах рослини проса різко змінюють динаміку морфогенезу, починаючи активно формувати та розвивати кореневу систему. Така реакція на стресові умови проростання спостерігалась в усіх генотипах, що вивчались. На рис. 1 представлено ДК/ДП у 8 генотипів проса, які в стресових умовах характеризувалися високою схожістю насіння та найбільшою інтенсивністю росту кореня. Але оптимальне співвідношення довжини пагонів та коренів у посушливих умовах зберігали не всі рослини виділених генотипів. Лише у сортів Заповітне ( $1,77 \pm 0,15$ ), Золушка ( $1,54 \pm 0,09$ ), Олітан ( $1,4 \pm 0,08$ ), Скадо ( $1,79 \pm 0,12$ ), Данило ( $1,79 \pm 0,16$ ) коефіцієнт ДК/ДП був нижче загального середнього значення при концентрації розчину ПЕГ 6000 23 %. Ці генотипи є найбільш цінним вихідним матеріалом в селекції на посухостійкість. Сорти Новокиївське 01, Біла Альтанка, Константинівське мали значення коефіцієнту ДК/ДП відповідно  $2,17 \pm 0,17$ ,  $2,68 \pm 0,18$ ,  $2,22 \pm 0,18$ , що свідчить про більш інтенсивний розвиток кореневої системи при дефіциті вологи в ґрунті.



— середнє значення ДК/ДП при концентрації ПЕГ 6000 – 0 %  
 — середнє значення ДК/ДП при концентрації ПЕГ 6000 – 23 %  
 — average R/S at concentration of osmotic PEG 6000 – 0 %  
 — average R/S at concentration of osmotic PEG 6000 – 23 %

**Рис. 1. Співвідношення довжина кореня/довжина пагона найбільш цінних генотипів проса за ознакою посухостійкість**

**Fig. 1. The root length/shoot length ratio of the millet genotypes most valuable for drought resistance**

Зараження проростків проса сажкою відбувається тільки одночасно з проростанням насіння, в фазу сходів (Яшовский, 1987; Dyussibayeva et al., 2020). Проміцелій сажки проникає в тканини

проростків проса, де здійснює повний життєвий цикл патогена. В тканинах стійких сортів розвиток сажки пригнічується, і уражені рослини звільняються від хвороби; в тканинах нестійких сортів життєвий цикл патогена завершується повністю (Яшовский, 1987). Наявність патогена в рослині проявляється в період досягання волоті: на уражених рослинах утворюються соруси. В дослідженнях багатьох вчених (Яшовский, 1987, Dyussibayeva et al., 2020) вказується, що сорти, які проявляють середню стійкість до сажки (4–7 балів), в посушливих умовах демонструють ще більший відсоток ураження. Але генотипи, які характеризуються високою стійкістю до сажки (8–9 балів), і в сприятливих для розповсюдження сажки роки показують високий рівень стійкості до цієї хвороби. Таким чином, одним із завдань досліджень було не лише вивчення і виділення посухостійких генотипів проса, а й здійснення аналізу стійкості досліджуваних сортів до збудника сажки. У наших дослідженнях від 3 до 10 % сортів, що вивчались, показали високу стійкість (9–8 балів) до Rs 2, Rs 8, Rs 12, Rs 13 рас сажки, а до Rs 3 не було визначено стійкого жодного генотипу (рис. 2). Більшість даних зразків, в основному, були стійкі до рас Rs 1, Rs 5–Rs 7, Rs 9–Rs 11 (рис. 2).

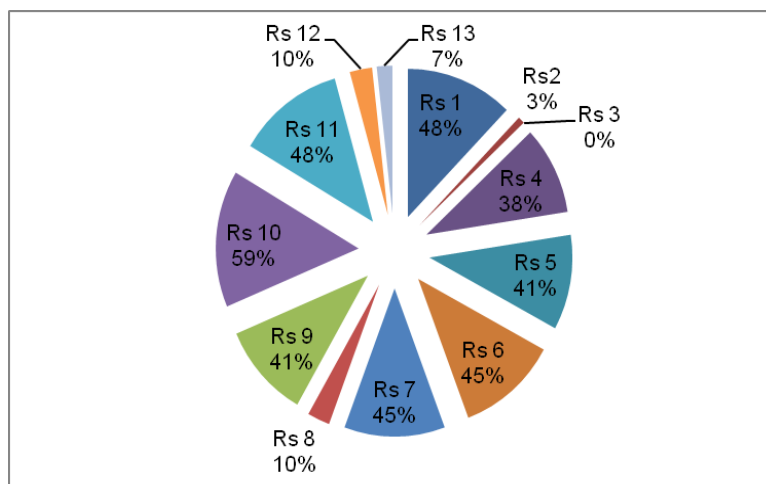


Рис. 2. Частка стійких генотипів проса до тринадцяти рас сажки (%)  
Fig. 2. Proportion of resistant millet genotypes to thirteen smut races (%)

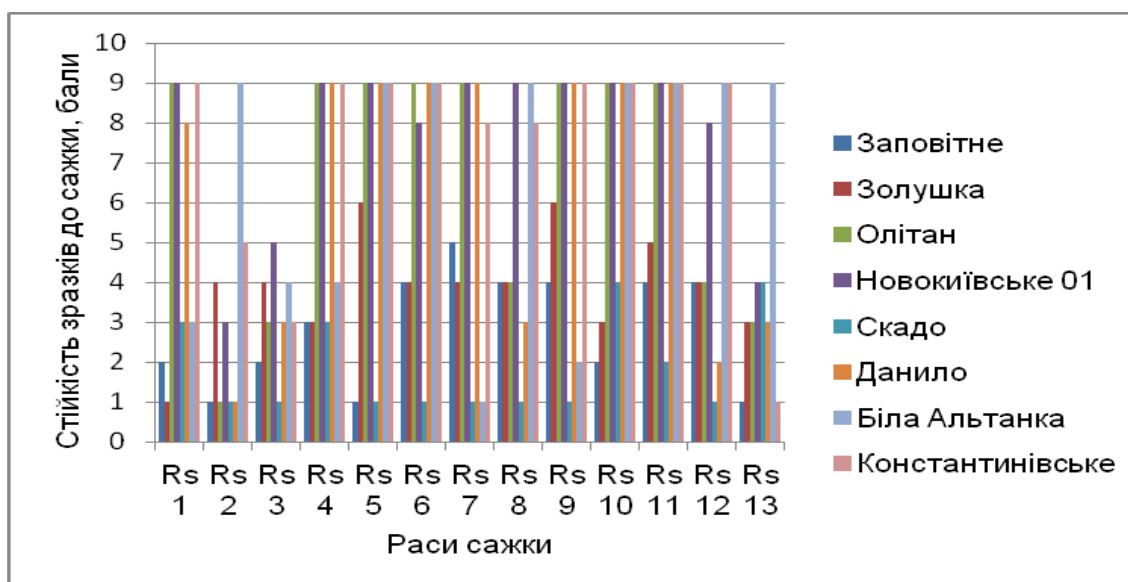


Рис. 3. Стійкість до 13 рас сажки посухостійких генотипів проса  
Fig. 3. Resistance to 13 smut races of drought-resistant millet genotypes

Нами визначено (рис. 3) рівень стійкості зразків Заповітне, Золушка, Олітан, Новокиївське 01, Скадо, Данило, Біла Альтанка, Константинівське до основних рас сажки, які поєднуються з високим рівнем посухостійкості. Груповою стійкістю до рас сажки *Rs 1*, *Rs 4*, *Rs 7*, *Rs 9–Rs 11* характеризувалися сорти Олітан та Данило, а імунітет до рас сажки *Rs 1*, *Rs 4–Rs 7*, *Rs 9–Rs 12* мали сорти Новокиївське 01 та Константинівське. Сорт Біла Альтанка – унікальний генотип серед вивчених зразків, тому що він єдиний не уражувався найбільш вірулентними расами *Rs 2*, *Rs 8* та *Rs 13*. Сорти Заповітне, Золушка та Скадо не мали стійкості до досліджуваних рас (балова оцінка коливалась від 1 до 6). Вірулентний патотип *Rs 3* сорт Новокиївське 01 показав вищу стійкість серед посухостійких зразків (5 балів).

### Обговорення

Одним із найбільш ефективних, економічних та швидких способів визначення рівня посухостійкості генотипів різних сільськогосподарських культур *in vitro* є пророщування насіння в розчині ПЕГ 6000 при різних його концентраціях (Farsiani, Ghobadi, 2009; Kalefetoğlu et al., 2009; Govindaraj et al., 2010; O'Donnell et al., 2013). Для того щоб було можливо порівнювати ступінь посухостійкості сучасних сортів проса української селекції з генотипами світової селекції просовидних, вперше в Україні проведено оцінку 28 сортозразків проса в фазі проростання при концентрації розчину ПЕГ 6000 23 %. За даними відомого вченого М. Говіндарай (Govindaraj et al., 2010), спостерігали суттєвий негативний вплив чотирьох концентрацій ПЕГ 6000 (-3, -5, -7,5, -10 бар) на схожість, довжину пагона ( $r=-0,991$ ) та кореня ( $r=-0,998$ ) у 21 генотипів африканського проса (*Pennisetum glaucum* L.). Для визначення рівня посухостійкості генотипів африканського проса вчені з Тунісу пророщували насіння в розчині ПЕГ 6000 з осмотичним потенціалом -1 та -2 Мра (Radhouane, 2007). При осмотичному тиску 2 Мра схожість насіння зменшувалася, в середньому, до 73 % в порівнянні з контролем, а у деяких генотипів схожість насіння зменшувалась до 50 %. В інших дослідженнях на пшениці (*Triticum aestivum* L.) при вирощуванні насіння в розчинах осмотика ПЕГ 6000 15 % та 25 % також спостерігали сповільнення росту проростка та кореня, в порівнянні з контролем (Bayoumi et al., 2008). У наших дослідженнях виявлено значний негативний вплив 23 % розчину ПЕГ 6000 на схожість, довжину кореня та пагона сортозразків проса: схожість насіння проса, в середньому, знижувалась до  $50,12 \pm 1,53$  %. В посушливих умовах пригнічення довжини пагона відбувалося на 77,3 %, а довжини кореня – на 37,7 %. У африканського проса при осмотичному потенціалі -1,0 Мра довжина пагонів знижувалась на 44 % і при -2,0 Мра – на 84,5 %. Але на ріст і розвиток кореневої системи осмотичний тиск -2 Мра мав більш негативну дію (пригнічення відбувалося на 88,0 %) (Radhouane, 2007). Результати наших досліджень збігаються з даними М. Govindaraj et al. і підтверджують, що дефіцит ґрунтової вологи має менший вплив на розвиток кореневої системи, ніж на пагони.

У африканського проса при проростанні насіння в сприятливих погодних умовах ДК/ДП, який визначає баланс росту пагона та кореня, мав значення 2,2 і при осмотичному тиску ПЕГ 6000 -10 бар значення цього співвідношення практично не змінювалось – 2,5 (Govindaraj et al., 2010). У наших дослідженнях при сприятливих погодних умовах ДК/ДП складало в середньому  $0,75 \pm 0,02$ . Але при нестачі вологи в ґрунті середнє значення ДК/ДП було  $2,19 \pm 0,03$ . Таким чином, у рослин проса в стресових умовах відбувається різке гальмування лінійного росту пагона і навіть його припинення. У період сходів при нестачі вологи всі поживні запаси насіння проса віддає на формування, ріст і розвиток кореня. Лише п'ять сортів проса Заповітне (ДК/ДП  $1,77 \pm 0,15$ ), Золушка ( $1,54 \pm 0,09$ ), Олітан ( $1,4 \pm 0,08$ ), Скадо ( $1,79 \pm 0,12$ ), Данило ( $1,79 \pm 0,16$ ) у стресових умовах мали здатність до нормального розвитку кореня і пагона.

Згідно з даними (Проданик та ін., 2015; Kaminskyi et al., 2020), в Україні найбільш вірулентними та агресивними расами сажки є 2, 3 і 12 раси. В наших дослідженнях лише до 10 % генотипів, що вивчались, показали високу стійкість до *Rs 2* і *Rs 12*, а *Rs 3* расою сажки уражувалися всі сортозразки. Але вдалося виявити сорти, які характеризувалися одночасно високою посухостійкістю та стійкістю до основних рас сажки. Це сорти – Олітан і Данило (стійкість до *Rs 1*, *Rs 4*, *Rs 7*, *Rs 9–Rs 11*), Новокиївське 01 і Константинівське (стійкість до *Rs 1*, *Rs 4–Rs 7*, *Rs 9–Rs 12*), сорт Біла Альтанка (*Rs 2*, *Rs 8* та *Rs 13*).

**Висновки**

Як показують наші дослідження, при нестачі вологи схожість насіння проса знижується до  $50,12 \pm 1,53$  %. Найбільші морфологічні зміни відбуваються у пагоні (пригнічення їх довжини відбувалося на 77,3 %), ніж у кореня (зниження довжини – на 37,7 %). Ступень стійкості сортів проса до стресового чинника можна оцінювати через коефіцієнт – відношення довжини кореня до довжини пагона (ДК/ДП). Встановлено, що при сприятливих для проростання насіння погодних умовах на 6-ту добу ДК/ДП дорівнює  $0,75 \pm 0,02$ , а при дії 23 % розчину ПЕГ 6000 значення ДК/ДП, в середньому, було  $2,19 \pm 0,03$ . Таким чином, найбільш цінним генетичним матеріалом у селекції на посухостійкість слід вважати зразки, у яких баланс росту проростка та кореня наближався до одиниці, тому що такі генотипи проса при нестачі вологи в період проростання здатні формувати не тільки розвинутий корінець, але й пагін. Серед досліджених зразків високу оцінку за цим показником отримали сорти Заповітне (ДК/ДП  $1,77 \pm 0,15$ ), Золушка ( $1,54 \pm 0,09$ ), Олітан ( $1,4 \pm 0,08$ ), Скадо ( $1,79 \pm 0,12$ ), Данило ( $1,79 \pm 0,16$ ). Нестача вологи у ґрунті не тільки негативно впливає на схожість та морфологічні зміни при проростанні насіння, але послаблює імунітет рослини в фазі проростання і тим самим провокує розвиток хвороб, особливо сажки. Результати досліджень показали, що ці зразки, в основному, стійкі до рас *Rs 1*, *Rs 5–Rs 7*, *Rs 9–Rs 11* і лише до 10 % досліджених сортозразків показали високу стійкість (9–8 балів) до вірулентних *Rs 2*, *Rs 8*, *Rs 12*, *Rs 13* рас сажки. До 3 раси сажки не було встановлено стійкого генотипа проса. Ми рекомендуємо залучати в селекційні програми проса посухостійкі сорти Олітан і Данило (стійкість до *Rs 1*, *Rs 4*, *Rs 7*, *Rs 9–Rs 11*) та Новокиївське 01 і Константинівське (стійкість до *Rs 1*, *Rs 4–Rs 7*, *Rs 9–Rs 12*) та стійкий проти найбільш вірулентних рас (*Rs 2*, *Rs 8* та *Rs 13*) сорт Біла Альтанка.

**Список літератури / References**

- Волкодав В.В. (1990). Довідник по апробації сільськогосподарських культур. Київ: Урожай. 496 р. [Volkodav V.V. (1990). *Guide on agricultural crop testing*. Kyiv: Urozhay. 496 p.]
- Кириченко В.В., Петренко В.П. (2012). Основи селекції стійкості до основних шкідників польових культур. Харків: Інститут рослинництва імені В.Я. Юр'єва НААН. 320 с. [Kirichenko V.V., Petrenkova V.P. (2012). *Fundamentals of crop breeding for resistance to pests*. Kharkiv: Plant Production Institute named after V.Ya. Yuriev NAAS. 320 p.]
- Проданик А.М., Перевертун Л.І., Самборська О.В., Мельник Л.А. (2015). Удосконалення методики оцінки расоспецифічної стійкості проса до сажки на штучному інфекційному фоні. Методичні рекомендації. Чабани. 13 с. [Prodanyk A.M., Perevertun L.I., Samborska O.V., Melnik L.A. (2015). *Improving the method of assessing smut resistance of millet on an artificial infectious background*. Guidelines. Chabany. 13 p.]
- Чернышева С.В. (1987). Определение относительной засухоустойчивости образцов проса способом проращивания семян в растворах сахарозы. Методические указания. Ленинград. 12 с. [Chernysheva S.V. (1987). *Determination of drought resistance of millet varieties by seeds germination in sucrose solution*. Guidelines. Leningrad. 12 p.]
- Яшовский И.В. (1987). Селекция и семеноводство проса. Москва: Агропромиздат. 255 с. [Yashovskiy I.V. (1987). *Millet breeding and seed production*. Moscow: Agropromizdat. 255 p.]
- Bayoumi T.Y., Manal H.E., Metwall E.M. (2008). Application of physiological and biochemical indices as a screening technique for drought tolerance in wheat genotypes. *African Journal of Biotechnology*, 7(14), 2341–2352.
- Blum A. (2005). Drought resistance, water-use efficiency, and yield potential – are they compatible, dissonant, or mutually exclusive? *Australian Journal of Agricultural Research*, 56(11), 1159–1168. <https://doi.org/10.1071/AR05069>
- Demuyakor B., Galyon I., Kyereh S., Ahmed M. (2013). Evaluation of agronomic performance of drought-tolerant QTL introgression hybrids of millet (*Pennisetum glaucum* L. R.Br.) in the Guinea Savannah zone of Ghana. *International Journal of Agriculture Sciences*, 5(1), 354–358.
- Dyussibayeva E., Seitkhozhayev A., Rysbekova A. et al. (2020). Studying the world collection of millet with a view to select forms immune to lose smut. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 26(6), 1203–1208.



- Farsiani A., Ghobadi M.E. (2009). Effects of PEG and NaCl stress on two cultivars of corn (*Zea mays* L.) at germination and early seedling stage. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 57, 382–385.
- Gorlachova O.V., Lyutenko V.S., Antsyferova O.V., Gorbachova S.N. (2020). Seed germination of millet genotypes influenced by PEG 6000 on days 3 and 6. *Plant Varieties Studying*, 16(2) <https://doi.org/10.21498/2518-1017.16.2.2020.209226>
- Govindaraj M., Shanmugasundaram P., Sumathi P., Muthiah Ar. (2010). Simple, rapid and cost effective screening method for drought resistant breeding in pearl millet, *Electronic Journal of Plant Breeding*, 4, 590–599.
- Kalefetoğlu M.T., Turan Ö., Ekmekçi Y. (2010). Effects of water deficit induced by PEG and NaCl on chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars and lines at early seedling stages. *Gazi University Journal of Science*, 22(1), 5–14.
- Kalinova J., Moudry J. (2006). Content and quality of protein in proso millet (*Panicum miliaceum* L.) varieties. *Plant Foods for Human Nutrition (Dordrecht, Netherlands)*, 61(1), 45–49. <https://doi.org/10.1007/s11130-006-0013-9>
- Kaminskyi V.F., Prodanyk A.M., Samborska O.V., Gorlachova O.V., Gorbachova S.N. (2020). Smut resistance in millet (*Panicum miliaceum* L.) genotypes and control of this disease in Ukraine. *Agricultural Science Research Journal*, 10(2), 31–37.
- Keshavars L., Farahbakhsh H., Golkar P. (2012). The effect of drought stress and super absorbent polymer on morpho-physiological traits of pear millet (*Pennisetum glaucum*). *International Research Journal of Applied and Basic Sciences*, 3(1), 148–154.
- McSweeney M.B., Seetharaman K., Ramdath D.D., Duizer L.M. (2017). Chemical and physical characteristics of proso millet (*Panicum miliaceum*)-based products. *Cereal Chemistry*, 4(2), 357–362. <https://doi.org/10.1094/CCHEM-07-16-0185-R>
- Mikulíková D., Čičová I., Antalíková G., Kraic J. (2005). Grains of nontraditional crops as sources of retrograded resistant starch. *Czech Journal of Genetics and Plant Breeding*, 41, 96–104.
- Mitra J. (2001). Genetics and genetic improvement of drought resistance in crop plants. *Current Science*, 80(6), 758–763.
- O'Donnell N.H., Møller B.L., Neale A.D. et al. (2013). Effects of PEG-induced osmotic stress on growth and dhurrin levels of forage sorghum. *Plant Physiology and Biochemistry*, 73, 83–92. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2013.09.001>
- Radhouane L. (2007). Response of Tunisian autochthonous pearl millet (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) to drought stress induced by polyethylene glycol (PEG) 6000. *African Journal of Biotechnology*, 6(9), 1102–1105.
- Seghatoleslami M.J., Kafi M., Majini E. (2008). Effect of drought stress at different growth stages on yield and water use efficiency of five proso millet (*Panicum miliaceum* L.) genotypes. *Pac. J. Bot.*, 40, 1427–1432.
- Shen R., Ma Y., Jiang L. et al. (2018). Chemical composition, antioxidant, and antiproliferative activities of nine Chinese proso millet varieties. *Food and Agricultural Immunology*, 29(1), 625–637. <https://doi.org/10.1080/09540105.2018.1428283>
- Sikora R.A., Schonbeck F. (1975). Effect of vesicular-arbuscular mycorrhiza (*Endogone mosseae*) on the population dynamics of the root knot nematodes (*Meloidogyne incognita* and *M. hapla*). *8th Intern. Plant Protection Cong.* P. 158–166.
- Vetriventhan M., Upadhyaya H.D. (2018). Diversity and trait-specific sources for productivity and nutritional traits in the global proso millet (*Panicum miliaceum* L.) germplasm collection. *The Crop Journal*, 6(5), 451–463. <https://doi.org/10.1016/j.cj.2018.04.002>
- Wang R., Hunt H.V., Qiao Z. et al. (2016). Diversity and cultivation of broomcorn millet (*Panicum miliaceum* L.) in China: a review. *Econ. Bot.*, 70, 332–342. <https://doi.org/10.1007/s12231-016-9357-8>
- Tadele Z. (2016). Drought adaptation in millets, abiotic and biotic stress in plants. In: *Recent Advances and Future Perspectives*. Ed. A.K. Shanker, C. Shanker, IntechOpen. P. 639–662. <https://doi.org/10.5772/61929>

**Drought and smut resistance of millet (*Panicum miliaceum* L.) seedlings**  
O.V. Gorlachova, S.N. Gorbachova, D.K. Yegorov, O.V. Ansyferova, A.M. Prodanyk,  
O.V. Samborska

The aim of the work was to study the impact of drought on the millet (*Panicum miliaceum* L.) seed germination and morphological parameters of seedlings and to identify millet genotypes with balanced rhizo- and organogenesis under arid conditions. Since the soil drought weakens plant immunity during seed germination and provokes development of various diseases, especially smut (*Sorosporium destruens* (Schlecht) Yanki), it is necessary to identify plant genotypes with high resistance to virulent smut races. We studied resistance of 28 millet varieties to 13 smut races registered in Ukraine. The osmotic PEG 6000 (23 %) was used to simulate soil drought during the seed germination. After six days of incubation, seed germinability was assessed and the length of shoots and roots of seedlings was measured. The stress resistance of millet varieties was evaluated by the root length/shoot length ratio (R/S). Water deficit in the soil decreased seed germinability to 50.12 %. Morphological changes were more pronounced in shoots (decrease in length by 77.3 %) than in roots (decrease by 37.7 %). Under favorable weather conditions, the rhizo- and organogenesis in seedlings was even (R/S=0.75±0.02). In case of soil drought, the ratio R/S dropped to 2.19±0.03. Most of the varieties were resistant to smut races *Rs 1*, *Rs 5–Rs 7*, and *Rs 9–Rs 11*; in addition, around 10 % of the studied varieties was highly resistant (9–8 points) to smut races *Rs 2*, *Rs 8*, *Rs 12*, and *Rs 13*. Millet genotypes resistant to *Rs 3* smut race were not found. Thus, the varieties with R/S ratio around one and higher should be considered the most valuable genetic material in selection for drought resistance. High R/S ratios were observed in the varieties Zapovitne (1.77), Zolushka (1.54), Olitan (1.4), Skado (1.79) and Danilo (1.79). The varieties Olitan and Danilo were highly resistant to the smut races *Rs 1*, *Rs 4*, *Rs 7*, *Rs 9–Rs 11*, while the varieties Novokyivske 0.1 (2.17) and Konstantynivske (2.22) to the smut races *Rs 1*, *Rs 4–Rs 7*, *Rs 9–Rs 12*. The variety Bila Altanka was not affected by the most virulent smut races *Rs 2*, *Rs 8* and *Rs 13*. We recommend to include these millet genotypes in selection for drought and smut resistance.

**Key words:** millet, drought resistance, PEG 6000, germination, shoot length, root length, smut resistance.

**About the authors:**

O.V. Gorlachova – Plant Production Institute named after V.Ya. Yuriev of the NAAS of Ukraine, Moskovskiy Ave., 142, Kharkiv, Ukraine, 61060, dr\_forester@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-1234-8368>

S.N. Gorbachova – Plant Production Institute named after V.Ya. Yuriev of the NAAS of Ukraine, Moskovskiy Ave., 142, Kharkiv, Ukraine, 61060, gorbachovasvetlana1960@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-7835-822x>

D.K. Yegorov – Plant Production Institute named after V.Ya. Yuriev of the NAAS of Ukraine, Moskovskiy Ave., 142, Kharkiv, Ukraine, 61060, yuriev1908rye@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-0218-3827>

O.V. Ansyferova – Plant Production Institute named after V.Ya. Yuriev of the NAAS of Ukraine, Moskovskiy Ave., 142, Kharkiv, Ukraine, 61060, antsyferova.olya@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-1466-1294>

A.M. Prodanyk – NSC Institute of Agriculture of NAAS of Ukraine, Mashinobudivnykiv Str., 2B, Chabany, Ukraine, 08163, prodanyk.a@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-1712-5064>

O.V. Samborska – NSC Institute of Agriculture of NAAS of Ukraine, Mashinobudivnykiv Str., 2B, Chabany, Ukraine, 08163, elenasamborskay@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-9345-2433>

**Устойчивость проростков проса (*Panicum miliaceum* L.) к засухе и головне**  
О.В. Горлачева, С.Н. Горбачева, Д.К. Егоров, О.В. Анцыферова, А.М. Проданик,  
О.В. Самборская

Целью исследований было изучить влияние засухи на всхожесть семян и морфологические параметры проростков проса (*Panicum miliaceum* L.) и выделить генотипы проса, имеющие нормальный ризо- и органогенез в засушливых условиях. Так как недостаток влаги в почве ослабляет иммунитет растения в фазе прорастания и провоцирует развитие болезней, особенно головню (*Sorosporium destruens* (Schlecht) Yanki), необходимо определить генотипы, не утрачивающие стойкости к вирулентным расам головни. Изучена устойчивость 28 генотипов проса к идентифицированным в Украине 13 расам головни. Для моделирования почвенной засухи в период прорастания проса использовали осмотик ПЕГ 6000 в концентрации 23 %. Оценку всхожести семян и параметров проростков проводили на 6-е сутки. Степень устойчивости сортов проса к стрессовому фактору оценивали по отношению длина корня/длина побега (ДК/ДП). При недостатке влаги всхожесть семян проса снижается до 50,12 %. Большие изменения происходят в побегах, чем в корнях (длина побега уменьшается на 77,3 %, корня – на 37,7 %). При благоприятных погодных условиях наблюдали равномерный ризо- и органогенез у проростков (ДК/ДП – 0,75±0,02). При засухе значение ДК/ДП равно 2,19±0,03. Исследуемые образцы, в основном, устойчивы к расам *Rs 1*, *Rs 5–Rs 7*, *Rs 9–Rs 11*, и только у

10 % сортообразцов наблюдали высокую устойчивость (9–8 баллов) к вирулентным *Rs 2*, *Rs 8*, *Rs 12*, *Rs 13* расам головни. К *Rs 3* расе головни не было установлено устойчивого генотипа проса. Таким образом, наиболее ценным генетическим материалом в селекции на засухоустойчивость следует считать образцы, у которых отношение ДК/ДП приближается к единице. Это сорта Заповитне (1,77), Золушка (1,54), Олитан (1,4), Скадо (1,79), Данило (1,79). Сорта Олитан и Данило показали высокую устойчивость к *Rs 1*, *Rs 4*, *Rs 7*, *Rs 9–Rs 11* расам головни; сорта Новокиевское 01 (ДК/ДП – 2,17) и Константиновское (ДК/ДП – 2,22) имели высокую устойчивость к *Rs 1*, *Rs 4–Rs 7*, *Rs 9–Rs 12*. Сорт Белая Альтанка (ДК/ДП – 2,68) не поражен наиболее вирулентными расами *Rs 2*, *Rs 8* и *Rs 13*. Эти генотипы проса мы рекомендуем привлекать в селекционные программы на засухоустойчивость и устойчивость к головне.

**Ключевые слова:** просо, засухоустойчивость, ПЭГ 6000, всхожесть, длина побега, длина корня, головня.

**Об авторах:**

О.В. Горлачева – Институт растениеводства имени В.Я. Юрьева НААН Украины, Московский проспект, 142, Харьков, Украина, 61060, dr\_forester@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-1234-8368>

С.Н. Горбачева – Институт растениеводства имени В.Я. Юрьева НААН Украины, Московский проспект, 142, Харьков, Украина, 61060, gorbachovasvetlana1960@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-7835-822x>

Д.К. Егоров – Институт растениеводства имени В.Я. Юрьева НААН Украины, Московский проспект, 142, Харьков, Украина, 61060, yuriev1908rye@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-0218-3827>

О.В. Анциферова – Институт растениеводства имени В.Я. Юрьева НААН Украины, Московский проспект, 142, Харьков, Украина, 61060, antsyferova.olya@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-1466-1294>

А.М. Проданик – НСЦ Институт земледелия НААН Украины, ул. Машиностроителей, 2Б, Чабаны, Украина, 08163, prodanyk.a@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-1712-5064>

О.В. Самборская – НСЦ Институт земледелия НААН Украины, ул. Машиностроителей, 2Б, Чабаны, Украина, 08163, elenasamborskay@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-9345-2433>

*Подано до редакції / Received: 18.05.2021*

*Прорецензовано / Revised: 30.05.2021*

*Прийнято до друку / Accepted: 04.06.2021*