

Подбор концентрации осмотика ПЭГ 6000 для определения засухоустойчивости генотипов проса в период прорастания семян

DOI: 10.30901/2227-8834-2021-3-30-36

УДК 633.171:631.527:581.19

Поступление/Received: 04.12.2020

Принято/Accepted: 02.09.2021



О. В. ГОРЛАЧЕВА*, С. Н. ГОРБАЧЕВА,
В. С. ЛЮТЕНКО, О. В. АНЦЫФЕРОВА

Институт растениеводства имени В.Я. Юрьева
Национальной академии аграрных наук Украины,
61060 Украина, г. Харьков, пр. Московский, 142
* ✉ dr_forester@ukr.net

Identification of PEG 6000 concentrations for assessing drought resistance in millet genotypes during the seed germination phase

O. V. GORLACHOVA*, S. N. GORBACHOVA,
V. S. LUTENKO, O. V. ANCEFEROVA

Plant Production Institute named after V.Ya. Yuriev,
National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine,
142 Moskovskiy Ave., Kharkiv 61060, Ukraine
* ✉ dr_forester@ukr.net

Актуальность. Использование для определения засухоустойчивости генотипов проса осмотика полиэтиленгликоля (ПЭГ) 6000 по сравнению с растворами сахарозы является наиболее простым и экономически оправданным. Применение ПЭГ 6000 при полуплетальной дозе (LD_{50}) для отбора на засухоустойчивость проса на ранних этапах онтогенеза в наибольшей степени дифференцирует генотипы по изучаемому признаку, позволяя проводить оценку в соответствии с международными стандартами и дает возможность сравнения полученных результатов с данными зарубежных исследований.

Материалы и методы. Для проведения исследования в качестве исходного материала использовали сорта 'Омрияне', 'Харьковское 57', 'Константиновское', 'Слобжанское' и образец IR 5. Готовили пять концентраций растворов ПЭГ 6000: 11,5%, 15,3%, 19,6%, 23,5%, 28,9%, 0,0% (контроль). Проращивали по 50 семян в трехкратной повторности. На шестые сутки снимали показания всхожести семян проса. Для теоретического обоснования подбора оптимальной концентрации осмотика применяли регрессионный метод оценки LD_{50} (полуплетальной дозы) В. Б. Прозоровского.

Результаты и выводы. На степень прорастания семян проса раствор ПЭГ 6000 в концентрации от 15,3% до 28,9% оказывал негативное влияние. Резкое падение всхожести семян проса наблюдали при 23,5-процентной концентрации ПЭГ 6000 – всхожесть семян у всех сортообразцов (кроме IR 5) была ниже 50%. Результаты расчета по логистической кривой Ферхюльста и пробит-анализу методом В. Б. Прозоровского показали, что среднее значение концентрации LD_{50} раствора ПЭГ 6000 у всех изучаемых образцов равнялось 23,03%. Таким образом, в результате анализа наших экспериментальных данных и их статистических обработок мы рекомендуем использовать 23,0-процентную концентрацию LD_{50} раствора ПЭГ 6000 как наиболее дифференцирующую просо по засухоустойчивости в фазе прорастания.

Ключевые слова: *Panicum miliaceum* L., устойчивость к засухе, LD_{50} , логистическая кривая, пробит-анализ.

Background. Using LD_{50} concentrations of the osmotic PEG 6000 to select millet genotypes during seed germination for drought resistance breeding is the best way of millet genotype differentiation according to the studied trait.

Materials and methods. The millet cultivars 'Omriyane', 'Kharkovskoe 57', 'Konstantinovskoe', 'Slobzhanskoe', and the accession IR 5 were selected as the test material. Water stress was applied through five concentrations of PEG (6000 MW): 11.5%, 15.3%, 19.6%, 23.5%, 28.9%, and 0.0% (control). On the sixth day of incubation, millet seed germination was measured. The regression method for assessing LD_{50} (half-lethal dose) by V. B. Prozorovskii was used to theoretically substantiate the selection of an optimal osmotic concentration, which would be most accurate in identifying the level of drought tolerance in millet genotypes during seed germination.

Results and conclusions: The 15.3% to 28.9% concentrations of PEG 6000 solutions had a negative effect on seed germination of millet genotypes. A strongly suppressed seed germination rate was observed at the PEG concentration of 23.5%: germination percentage in all cultivars (except for IR 5, with 56.0%) fell below 50%. Calculations according to the Verhulst logistic curve and the probit analysis by V. B. Prozorovskii's technique showed that the mean LD_{50} concentration of PEG 6000 solutions for all studied genotypes was 23.03%. Thus, as a result of the analysis of our experimental data and their statistical processing, we recommended the 23.0% concentration of PEG 6000 solution as the most differentiating in terms of drought resistance in the millet seed germination phase.

Key words: *Panicum miliaceum* L., drought resistance, LD_{50} , logistic curve, probit analysis.

Введение

Просо (*Panicum miliaceum* L.) является основной крупной культурой на Украине. Прежде всего, ценится эта культура своими пищевыми качествами крупы и высокими кормовыми свойствами зерна и соломы для птиц и домашних животных. Отходы крупяного производства используют в лакокрасочном, фармацевтическом, спиртовом производствах (Yashovskiy, 1987).

На Украине просо выращивают на площади 156 400 га, средняя урожайность составляет 3,5 т/га. Для получения устойчиво высоких урожаев решающее значение имеет приспособленность сортов к неблагоприятным факторам среды (Yashovskiy, 1987; Tadele, 2016). Несмотря на то что просо является засухоустойчивой культурой, лимитирующим фактором для нее является содержание воды в почве, что приводит к снижению основных компонентов продуктивности и в конечном итоге урожая зерна. На Украине в последние годы эта культура особенно страдает от почвенной и воздушной засухи в период «посев – всходы». В результате чего можно наблюдать неравномерные всходы, задержку развития вторичной корневой системы, общее угнетение растений. Если засуха продолжается, то происходит усыхание нижних листьев, замедляется развитие генеративных органов. Cheng Bingwen и Xie Zhiming (2012) доказали, что наибольший расход воды (28,6% от нормы периода вегетации) потребляется растениями в фазу налива зерна. По данным M. J. Seghatoleslami и M. Govindaraj с соавторами (Seghatoleslami et al., 2007; Govindaraj et al., 2010), водный стресс имеет сильное негативное влияние на структуру урожая. Засуха в период цветения метелки уменьшает процент завязи семян и массу 1000 зерен, высоту растения, количество листьев на стебле. Установлено (Keshavars et al., 2012), что недостаток воды в почве приводит к замедлению передвижения минеральных веществ из почвы в растение. Также в этот период сильно страдает фотосинтез растения, наблюдается сильное уменьшение содержания хлорофиллов *a* и *b* в листьях.

Многие ученые (Yashovskiy, 1987; Blum, 2005; Seghatoleslami et al., 2007; Govindaraj et al., 2010; Gorchachova, 2011; Demuyakor, 2013) изучали генотипы разных видов проса на способность адаптации к засухе. В своих исследованиях авторы отмечают, что степень устойчивости сортов, линий и гибридов к недостатку влаги в почве неодинаковая, что дает возможность селекционеру создавать более устойчивые формы проса в селекции на засухоустойчивость. Высказано мнение (Mitra, 2001), что в селекции проса на адаптивность к засухе важную роль играет предварительная лабораторная оценка засухоустойчивости образцов. Для массового первичного отбора необходимо разрабатывать методы, наиболее полно имитирующие действие почвенной засухи.

Долгое время на Украине одним из широко используемых способов определения относительной засухоустойчивости образцов проса являлся метод проращивания семян в растворах сахарозы (Chernyshova, 1987). Эта методика позволяла провести оценку на ранних этапах развития растения, когда просо наиболее требовательно к влаге. Так как сахароза является питательным субстратом для грибной микрофлоры, то семена необходимо перед опытом обрабатывать раствором антисептика (однопроцентный раствор марганцовокислого калия) либо формалина; кроме того, раствор сахарозы следует прокипятить в течение 5 минут, а затем добавить антисептик

нистатин. Для разделения образцов по группам устойчивости по степени прорастания семян в растворе осмотика, имитирующего действие почвенной засухи, использовали раствор сахарозы с осмотическим давлением 13 атмосфер, что соответствует концентрации раствора 14,9% (149 г/л).

Другим известным осмотиком, имитирующим почвенную засуху в условиях *in vitro*, является полиэтиленгликоль с молекулярной массой $M_g \geq 6000$ (ПЭГ 6000) (Radhouane, 2007). Молекулы ПЭГ 6000 инертные, нетоксичные, достаточно большие, чтобы не быть абсорбированными растениями, и не разрушают структуру воды в течение периода постановки эксперимента. Для определения засухоустойчивости генотипов используют этот осмотик на разных культурах, таких как просо (*Panicum miliaceum* L.) (Zhang et al., 2012), африканское просо (*Pennisetum glaucum* L.) (Govindaraj et al., 2010), пшеница (*Triticum aestivum* L.) (Bayoumi, 2008), сорго (O'Donnell et al., 2013). Ученые приводят разную концентрацию полиэтиленгликоля 6000 в своих исследованиях. Так, Govindaraj et al. (2010) в своих исследованиях готовили раствор ПЭГ 6000 с осмотическим давлением -3.0, -5.0, -7.5, и -10.0 бар, растворяя 115, 196, 235, 289 г вещества в 1000 мл дистиллированной воды соответственно по методу Хадаса. Засухоустойчивость мягкой пшеницы определяли, используя 15- и 25-процентный раствор ПЭГ 6000 (Bayoumi, 2008), а растения сорго выращивали при концентрациях раствора ПЭГ 6000: 2,5%, 5,0%, 10,0%, 15,0%, 20,0%. (O'Donnell, 2013).

Таким образом, использование осмотика полиэтиленгликоля 6000 на ранних стадиях развития для определения засухоустойчивости образцов проса является наиболее простым и экономически оправданным методом в селекции на засухоустойчивость. Более того, этот осмотик используют во всем мире для определения устойчивости селекционного материала к засухе. Это позволяет проводить оценку в соответствии с международными стандартами, что дает возможность сравнивать полученные нами результаты с данными зарубежных исследований.

Одним из точных количественных методов оценки активности любого вещества в токсикологии и фармакологии, для прогнозирования воздействия повреждающих факторов (излучений, химических средств и т. д.) на растения и для расчета и моделирования влияния ингибиторов и стимуляторов в процессе прорастания семян, традиционно используют метод пробит-анализа, логистических кривых «доза – эффект» для вычисления LD_{50} , LD_{16} и LD_{84} (LD – летальные дозы) (Korosov, Kalankina, 2003; Bukharov, 2017). Но наибольший интерес для исследователей представляет концентрация LD_{50} , возле которой наилучшим образом распределяются или варьируют средние значения объекта (Lakin, 1990). Также, согласно методике оценки засухоустойчивости проса способом проращивания семян в растворах сахарозы, образцы делили по степени устойчивости к стрессовому фактору. Среднеустойчивыми к засухе считались сорта проса, у которых процент прорастания составлял около 50%; генотипы с более высоким процентом прорастания считали высокоустойчивыми (Chernyshova, 1987). Таким образом, методы пробит-анализа, логистических кривых «доза – эффект» для вычисления LD_{50} вполне приемлемы также для определения степени засухоустойчивости образцов проса с использованием концентрации LD_{50} ПЭГ 6000, которая в наибольшей степени будет дифференцировать генотипы по этому признаку.

Цель настоящей работы – определить LD_{50} -концентрации осмотика ПЭГ 6000 для выделения засухоустойчивых образцов проса.

Материалы и методы

Исследования проводили в Институте растениеводства имени В.Я. Юрьева НААН в 2018–2019 гг. Изучали четыре сорта ('Омрияне', 'Харьковское 57', 'Константиновское', 'Слобожанское') украинской селекции, занесенных в Реестр сортов растений Украины, и образец IR 5 (был взят из генобанка Украины). Готовили пять концентраций растворов ПЭГ 6000: 0,0% (контроль), 11,5%, 15,3%, 19,6%, 23,5% и 28,9%. Для проведения опытов брали из каждого образца случайно отобранные, здоровые, нормально выполненные семена. Проращивали семена в чашках Петри, которые перед этим прокалывали в течение трех часов в термостате с фильтровальной бумагой, нарезанной по внутреннему диаметру нижней чашки. Приготовленные семена раскладывали на фильтровальную бумагу по 50 шт. В каждую чашку наливали по 7 мл раствора осмотика ПЭГ 6000 или дистиллированной воды (для контроля). В опытном варианте и в контроле повторность была трехкратная. Чашки помещали в термостат и проращивали семена при температуре 25°C в темноте. Подсчет проросших семян проводили на шестые сутки. К числу всхожих семян относили те, которые имели нормально развитый корешок или проросток не менее 5 мм.

Для теоретического обоснования подбора оптимальной концентрации осмотика для определения засухоустойчивости образцов проса применяли регрессионные методы оценки LD_{50} (средние летальные дозы):

1. логистическим уравнением кривой Ферхюльста (Prozorovskii, 2007):

$$y = C + \frac{A}{1 + e^{ax+b}}$$

где C – нижний предел изменения зависимой переменной y ;

A – верхний предел;

a, b – коэффициенты пропорциональности.

В нашем случае $C = 0$ (нет гибели в низких концентрациях), $A = 1$ (полная гибель в высоких концентрациях);

2. пробит-анализом (взвешенным и невзвешенным) В. Б. Прозоровского с использованием программы Microsoft Excel (Babich et al., 2003).

Экспериментальные данные всхожести семян проса обрабатывали в Statistica 13 Trail с помощью двухфакторного дисперсионного анализа. Первым фактором является генотип, а вторым – концентрация раствора осмотика ПЭГ 6000.

Результаты и обсуждение

Для решения поставленной задачи – определения концентрации LD_{50} раствора ПЭГ 6000 для селекции на засухоустойчивость проса в период прорастания семян – необходимо подобрать крайние значения раствора осмотика, при котором варьирование всхожести семян наблюдалось от 100% и приближалось к 0%. В наших исследованиях выбор концентраций ПЭГ 6000 (11,5%, 15,3%, 19,6%, 23,5% и 28,9%) основывался на научных разработках ученых, которые определяли засухоустойчивость африканского проса (Govindaraj et al., 2010). Результаты наших опытов показали, что обработка семян проса растворами ПЭГ 6000 в концентрациях от 15,3% до 28,9% негативно влияла на их всхожесть (табл. 1). Осмотический стресс под действием 15,3–19,6-процентного раствора угнетал прорастание до 79,3%. Но наиболее резкое падение всхожести семян проса наблюдали при концентрации ПЭГ 6000 23,5%: всхожесть семян у всех образцов (кроме IR 5) упала ниже 50%. А при концентрации 28,9% раствора ПЭГ 6000 колебание всхожести семян было от 4,0 до 18,0%, при этом сорт 'Харьковское 57' выделялся высоким показателем прорастания – 18,0%. Таким образом, для получения достоверных статистических данных в наших исследованиях нам удалось получить крайние значения концентрации ПЭГ 6000 – 11,5% и 28,9%, что соответствовало 100-процентному и 10,67-процентному среднему прорастанию семян всех образцов проса.

Чтобы установить достоверные различия полученных данных, проводили дисперсионный анализ (табл. 2).

Таблица 1. Всхожесть семян сортообразцов проса в зависимости от концентрации раствора ПЭГ 6000

Table 1. The effect of PEG 6000 solution concentrations on seed germination of millet genotypes

Концентрация ПЭГ 6000, %	Прорастание семян, %					Среднее значение по концентрации, $HCP_{0,05} = 3,02$
	Омрияне	Харьковское 57	Константиновское	IR 5	Слобожанское	
0,0	99,33	100,00	100,00	100,00	98,67	99,60
11,5	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
15,3	92,67	97,33	98,00	85,33	92,00	93,07
19,6	79,33	86,67	86,00	90,00	78,00	84,00
23,5	44,67	36,67	43,33	56,00	37,33	43,60
28,9	8,67	18,00	4,00	10,00	12,67	10,67
Среднее по генотипу $HCP_{0,05} = 2,76$	70,78	73,11	71,89	73,56	69,78	71,82

Примечание: $HCP_{0,05}$ для частных средних = 6,75

Note: $LSD_{0,05}$ for specific means = 6.75

Таблица 2. Дисперсионный анализ по всхожести и концентрации раствора ПЭГ 6000
Table 2. Analysis of variance for seed germination and PEG 6000 solution concentration

Эффект	Степени свободы	Сумма квадратов	Средний квадрат	F-критерий
Св. член	1	64,94	64,94	16381,63
Генотип	4	0,061	0,01	3,84
Концентрация ПЭГ	5	21,78	4,35	1099,23
Генотип × концентрация ПЭГ	20	0,30	0,01	3,84
ошибка	120	0,475	0,0039	
всего		27,44		

$P < 0,01$

Так как $F_{\phi} > F_{st}$, нулевая гипотеза опровергается на высоком уровне значимости ($P < 0,001$). Таким образом, на значение всхожести семян влияют как генотипические различия проса, так и уровень концентрации раствора ПЭГ 6000, что дает возможность продолжить статистические обработки данных.

Одним из графических методов определения концентрации осмотика для LD_{50} может служить расчет кривых логистической зависимости «доза – эффект» (Kogorov, 2002). В наших исследованиях кривая «доза – эффект» описывает процесс постепенного увеличения общего числа непроросших семян или падения показателя всхожести по мере увеличения концентрации раствора осмотика ПЭГ 6000.

Зависимость «доза – эффект» представлена графически на рисунке, где на оси абсцисс отложена концентрация раствора ПЭГ 6000 (от 0% до 35,0%), на оси ординат – единичные доли (от 0,1 до 1,0). Так как единичные доли (ЕД) общепринято считать совпадающими со средним арифметическим (М), то в статистике их разрешено применять для вычисления и характеристики LD_{50} , используя ED_{50} . Поэтому для построения накопленной кривой вероятности по оси ординат мы применили ЕД.

На графике видно, что экспериментальные точки ЕД непроросших семян при различных концентрациях осмотика образцов проса совпадают или группируются около их логистических кривых. В свою очередь, значения ло-

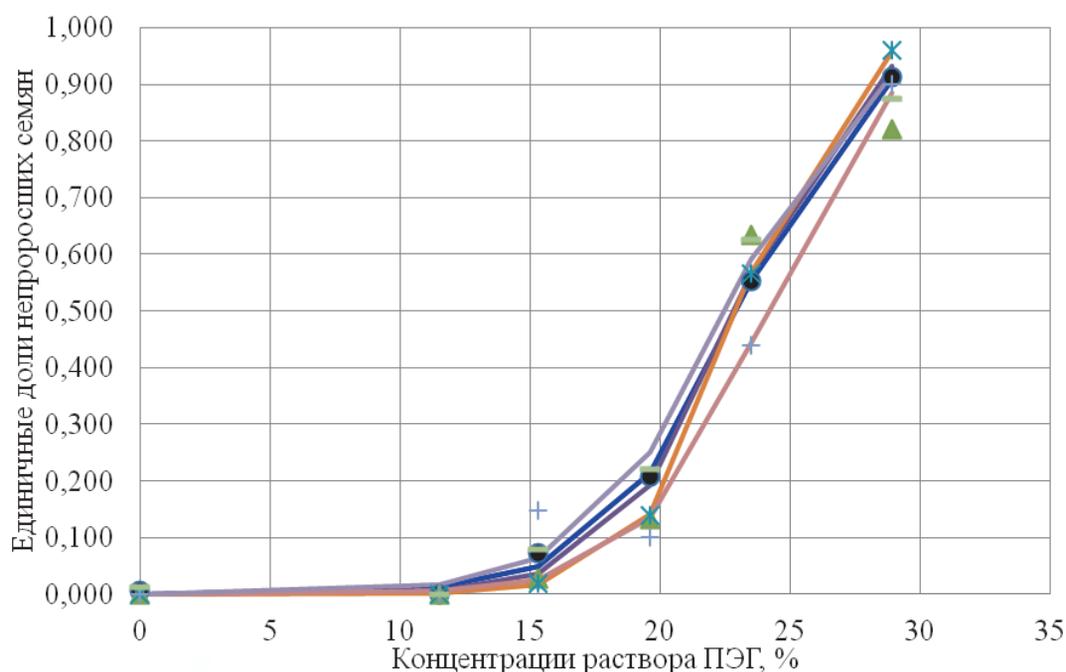


Рисунок. Кривые «доза – эффект» непроросших семян образцов проса, полученные при влиянии различных концентрациях раствора осмотика:

- – 'Омрияне', — логистическая кривая сорта; ▲ – 'Харьковское 57', — логистическая кривая сорта;
- Ж – 'Константиновское', — логистическая кривая сорта; + – IR 5, — логистическая кривая образца;
- – 'Слобожанское', — логистическая кривая сорта

Figure. Dose-effect curves for non-germinated seeds of millet genotypes under the effect of different osmotic solution concentrations:

- – cv. 'Omriyane', — its logistic curve; ▲ – cv. 'Kharkovskoe 57', — its logistic curve;
- Ж – cv. 'Konstantinovskoe', — its logistic curve; + – acc. IR 5, — its logistic curve;
- – cv. 'Slobozhanskoe', — its logistic curve

гистических кривых сортообразцов проса аппроксимируют к одним величинам. Так, при 10,0-процентной концентрации раствора ПЭГ 6000 кривые слабо наклоняются и затем, при 20,0-процентной, наблюдается резкий подъем. Начиная с 20-процентной концентрации осмотика, кривые «доза – эффект» становятся все более горизонтальными, что свидетельствует о все большем влиянии концентрации ПЭГ 6000 на задержку роста семян проса. Почти полное прекращение прорастания семян проса, как показано на графике, может происходить уже при 30-процентной концентрации раствора осмотика.

Для решения поставленной задачи – определить концентрацию LD_{50} осмотика ПЭГ 6000 для селекции на засухоустойчивость проса в период прорастания семян – нам необходимо найти среднее значение концентрации раствора при ED_{50} для всех генотипов. Согласно проведенным расчетам экспериментальных данных по пробит-анализу (табл. 3), среднее значение сорта 'Омряне' было 22,94%, сорта 'Харьковское 57' – 22,89%, сорта 'Константиновское' – 23,0%, образца IR 5 – 24,05, сорта 'Слобожанское' – 22,51%. Таким образом, среднее значение по генотипам равняется 23,08.

Для нахождения значения концентрации раствора осмотика при LD_{50} в селекции проса на засухоустойчивость мы применили пробит-анализ, который широко

используется для нахождения LD_{16} , LD_{50} , LD_{84} в токсикологии и фармакологии (Babich et al., 2004.). В таблице 3 приведены результаты расчета концентраций осмотика при LD_{50} , LD_{10} , LD_{16} , LD_{84} , LD_{100} методом взвешенного пробит-анализа. Данным методом можно более точно вычислить любую концентрацию осмотика для получения необходимой всхожести или отсутствия всхожести семян. Так, крайними концентрациями раствора ПЭГ 6000, при которых будет наблюдаться 100-процентное угнетение всхожести семян проса, являются 33,6% и 31,8% (среднее значение – 32,75%). Вычисление значения концентрации LD_{50} этим методом у сорта 'Омряне' равнялось 23,12%, у сорта 'Харьковское 57' – 23,70%, у сорта 'Константиновское' – 23,28%, у образца IR 5 – 23,91%, у сорта 'Слобожанское' – 22,86%; при этом средняя величина концентрации LD_{50} по всем генотипам равнялась 23,46%

Методом невзвешенного пробит-анализа также была найдена концентрация LD_{50} для всех генотипов (табл. 4). Значение концентраций LD_{50} варьировала в пределах от 22,03% до 23,23%. Среднее значение концентрации LD_{50} равнялось 22,54%.

В таблице 5 приведены расчеты значений концентрации раствора ПЭГ 6000 при LD_{50} по пробит-анализу (невзвешенный и взвешенный) и логит-анализу. Среднее значение по трем способам расчета составило 23,03%.

Таблица 3. Результаты оценки влияния различных концентраций ПЭГ 6000 на всхожесть семян проса методом взвешенного пробит-анализа

Table 3. Assessment results for the effect of different PEG 6000 solution concentrations on millet seed germination using the weighted probit analysis technique

Значение LD	Концентрации ПЭГ 6000 по образцам проса					Среднее по образцам
	Омряне	Харьковское 57	Константиновское	IR 5	Слобожанское	
LD_{50}	23,12	23,70	23,27	23,91	22,85	23,46
LD_{10}	14,96	15,92	15,99	15,64	14,29	15,36
LD_{16}	16,75	17,63	17,59	17,46	16,17	17,12
LD_{84}	29,48	29,77	28,95	30,36	29,53	29,62
LD_{100}	32,67	32,81	31,79	33,59	32,87	32,74
Стандартная ошибка LD_{50}	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	

Таблица 4. Результаты расчета показателей концентрации ПЭГ 6000 при LD_{50} методом невзвешенного пробит-анализа пяти образцов проса

Table 4. Results of calculating the LD_{50} concentration of PEG 6000 solutions using the unweighted probit analysis of five millet genotypes

Генотипы	Коэффициенты		Значение концентрации LD_{50}	Стандартная ошибка
	b_1	b_0		
Омряне	0,096	0,866	22,14	4,9
Харьковское 57	0,097	0,879	23,23	5,3
Константиновское	0,083	0,928	22,03	4,2
IR 5	0,096	0,874	22,56	5,0
Слобожанское	0,099	0,852	22,19	5,1
Среднее значение	0,088	0,912	22,54	4,6

Таблица 5. Значения концентраций LD₅₀ раствора ПЭГ 6000, полученные различными способами расчета для пяти генотипов проса**Table 5.** PEG 6000 solution concentration values (LD₅₀) obtained by different calculation techniques for five millet genotypes

Название образца	Концентрация раствора ПЭГ при LD ₅₀ , %			Среднее значение по трем способам расчета, %
	Пробит-анализ		Логит-анализ	
	невзвешенный	взвешенный		
Омряне	22,14	23,12	22,94	22,73
Харьковское 57	23,23	23,70	22,89	23,27
Константиновское	22,03	23,28	23,00	22,77
IR 5	22,56	23,91	24,05	23,51
Слобожанское	22,19	22,86	22,51	22,52
Среднее значение по генотипам	22,54	23,46	23,08	23,03%

Примечание: НСР по образцам = 6,75
 Note: LSD_{0.05} for millet genotypes = 6.75

Таким образом, для определения засухоустойчивости образцов проса при прорастании семян необходимо использовать концентрацию LD₅₀ ПЭГ 6000 23,0%, которая в наибольшей степени дифференцирует генотипы по этому признаку.

Заключение

Для селекции проса на засухоустойчивость крайними значениями концентрации раствора осмотика ПЭГ 6000 являются 11,5% и 28,9%, что соответствует 100-процентному и 10,67-процентному среднему прорастанию семян всех изучаемых генотипов. Резкое падение всхожести семян образцов проса (ниже 50%) наблюдали при концентрации ПЭГ 6000 23,5%. Способом расчета кривых всех генотипов логистической зависимости «доза – эффект» определена концентрация LD₅₀ осмотика – 23,08%. Методом взвешенного пробит-анализа получена средняя величина концентрации LD₅₀ по всем генотипам – 23,46%, а методом невзвешенного пробит-анализа – 22,54%. Среднее значение по трем способам расчета составило 23,03%. Для определения засухоустойчивости генотипов проса при прорастании семян необходимо использовать концентрацию LD₅₀ ПЭГ 6000 23,0%, которая в наибольшей степени дифференцирует генотипы по этому признаку.

Работа выполнена в рамках государственного задания 13.00.10.01 Ф согласно рабочей программе на 2021 год «Разработка методологических основ селекции проса на засухоустойчивость, выделение источников и создание урожайных сортов проса с улучшенным качеством зерна и устойчивостью к стрессовым факторам среды».

The work was carried out within the framework of State Task 13.00.10.01 F according to the working program for 2021 "Development of methodological foundations for breeding of millet for drought resistance, identification of sources, and development of high-yielding millet cultivars with improved grain quality and resistance to environmental stressors".

References / Литература

- Babich P.N., Chubenko P.N., Lapach S.N. Application of probit analysis in toxicology and pharmacology using the Microsoft Excel program for assessing pharmacological activity in an alternative form of reaction accounting. *Modern Problems of Toxicology*. 2003;(4):80-88. [in Russian] (Баби́ч П.Н., Чубенко А.В., Лапач С.Н. Применение пробит-анализа в токсикологии и фармакологии с использованием программы Microsoft Excel для оценки фармакологической активности при альтернативной форме учета реакции. *Сучасні проблеми токсикології*. 2003;(4):80-88).
- Bayoumi T.Y., Eid M.H., Metwali E.M. Application of physiological and biochemical indices as a screening technique for drought tolerance in wheat genotypes. *African Journal of Biotechnology*. 2008;7(14):2341-2352.
- Blum A. Drought resistance, water use efficiency, and yield potential – are they compatible, dissonant, or mutually exclusive? *Australian Journal of Agricultural Research*. 2005;56(11):1159-1168. DOI: 10.1071/AR05069
- Bukharov A.F., Baleyev D.N., Bukharova A.R. Kinetics of seed germination. Research methods and parameters. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2017;(2):5-19. [in Russian] (Бухаров А.Ф., Балеев Д.Н., Бухарова А.Р. Кинетика прорастания семян. Методы исследования и параметры. *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 2017;(2):5-19).
- Cheng B., Xie Z. Advance in water-saving culture of proso millet (*Panicum miliaceum* L.). In: Y. Chai, B. Feng (eds). *Advances in Broomcorn Millet Research: Proceedings of the 1st International Symposium on Broomcorn Millet (Yangling, August 25–31, 2012)*. Yangling, Shaanxi: Northwest A&F University Press; 2012. p.203-209.
- Chernyshova S.V. Determination of relative drought resistance in millet accessions by germinating seeds in sucrose solutions (Guidelines) (Opredeleniye otnositel'noy zasukhoustoychivosti obraztsov prosa sposobom prorashchivaniya semyan v rastvorakh sakharozy [Metodicheskiye ukazaniya]). Leningrad; 1987. [in Russian] (Чернышова С.В. Определение относительной

- засухоустойчивости образцов проса способом проращивания семян в растворах сахарозы (Методические указания). Ленинград; 1987).
- Demuyakor B., Galyuon I., Kyereh S., Ahmed M. 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*. 2013;5(1):354-358. Available from: https://bioinfopublication.org/files/articles/5_1_4_IJAS.pdf [accessed Mar. 10, 2021].
- Gorlachova O.V. The effects of drought stress on growth parameters and grain yields of millet. *The Bulletin of Kharkiv National Agrarian University. Series: Plant Production, Breeding, Seed Production, Fruit and Vegetable Production*. 2011;1:121-127. [in Ukraine] [Горлачова О.В. Особливості формування структури врожаю сортозразків проса в селекції на посухостійкість. *Вісник ХНАУ. Серія «Рослинництво, селекція і насінництво, плодовоовочівництво»*. 2011;1:121-127].
- Govindaraj M., Shanmugasundaram P., Sumathi P., Muthiah A.R. Simple, rapid and cost effective screening method for drought resistant breeding in pearl millet. *Electronic Journal of Plant Breeding*. 2010;1(4):590-599.
- Keshavars L., Farahbakhsh H., Golkar P. The effect of drought stress and super absorbent polymer on morph-physiological traits of pearl millet (*Pennisetum glaucum*). *International Research Journal of Applied and Basic Sciences*. 2012;3(1):148-154. Available from: <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.177.7751&rep=rep1&type=pdf> [accessed Mar. 04, 2021].
- Korosov A.V. Simulation modeling in the MS Excel environment (on examples from ecology): Monograph (Imitatsionnoye modelirovaniye v srede MS Excel [na primerakh iz ekologii]: Monografiya). Petrozavodsk: Petrozavodsk State University; 2002. [in Russian] [Коросов А.В. Имитационное моделирование в среде MS (на примерах из экологии): Монография. Петрозаводск: Петрозаводский государственный университет; 2002].
- Korosov A.V., Kalankina N.M. Quantitative methods of environmental toxicology (Kolichestvennye metody ekologicheskoy toksikologii). Petrozavodsk; 2003. [in Russian] [Коросов А.В., Каланкина Н.М. Количественные методы экологической токсикологии. Петрозаводск; 2003].
- Петрозаводск; 2003).
- Lakin G.F. Biometrics (Biometriya). Moscow; 1990. [in Russian] [Лакин Г.Ф. Биометрия. Москва; 1990].
- Mitra J. Genetics and genetic improvement of drought resistance in crop plants. *Current Science*. 2001;80(6):758-763.
- O'Donnell N.H., Møller B.L., Neale A.D., Hamill J.D., Blomstedt C.K., Gleadow R.M. Effects of PEG-induced osmotic stress on growth and dhurrin levels of forage sorghum. *Plant Physiology and Biochemistry*. 2013;73:83-92. DOI: 10.1016/j.plaphy.2013.09.001
- Prozorovskii V.B. Statistic processing of data of pharmacological investigations. *Psychopharmacology and Biological Narcology*. 2007;7(3-4):2090-2120. [in Russian] [Прозоровский В.Б. Статистическая обработка результатов фармакологических исследований. *Психофармакология и биологическая наркологию*. 2007;7(3-4):2090-2120].
- Radhouane L. Response of Tunisian autochthonous pearl millet (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) to drought stress induced by polyethylene glycol (PEG) 6000. *African Journal of Biotechnology*. 2007;6(9):1102-1105.
- Seghatoleslami M.J., Kafi M., Majini E. Effect of drought stress at different growth stages on yield and water use efficiency of five proso millet (*Panicum miliaceum*) genotypes. *Journal of Crop Production and Processing*. 2007;11(1):215-227.
- Tadele Z. Drought adaptation in millets. In: A. Shanker, C. Shanker (eds). *Abiotic and Biotic Stress in Plants – Recent Advances and Future Perspectives*. London: Intech-Open Ltd.; 2016. p.639-662. DOI: 10.5772/61929
- Yashovskiy I.V. Millet breeding and seed production (Selektsiya i semenovodstvo prosa). Moscow: Agropromizdat; 1987. [in Russian] [Яшовский И.В. Селекция и семеноводство проса. Москва: Агропромиздат; 1987].
- Zhang P., Song H., Ma S., Cui W., Li C., Feng B. Physiological and biochemical indexes of drought resistance of broomcorn millet at seedling stage. In: Y. Chai, B. Feng (eds). *Advances in Broomcorn Millet Research: Proceedings of the 1st International Symposium on Broomcorn Millet (Yangling, August 25–31, 2012)*. Yangling, Shaanxi: Northwest A&F University Press; 2012. p.229-238.

Прозрачность финансовой деятельности / The transparency of financial activities

Авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

The authors declare the absence of any financial interest in the materials or methods presented.

Для цитирования / How to cite this article

Горлачева О.В., Горбачева С.Н., Лютенко В.С., Анцыферова О.В. Подбор концентрации осмотика ПЭГ 6000 для определения засухоустойчивости генотипов проса в период прорастания семян. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2021;182(3):30-36. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-3-30-36

Gorlachova O.V., Gorbachova S.N., Lutenko V.S., Anceferova O.V. Identification of PEG 6000 concentrations for assessing drought resistance in millet genotypes during the seed germination phase. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2021;182(3):30-36. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-3-30-36

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы / The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work

Дополнительная информация / Additional information

Полные данные этой статьи доступны / Extended data is available for this paper at <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2021-3-30-36>

Мнение журнала нейтрально к изложенным материалам, авторам и их месту работы / The journal's opinion is neutral to the presented materials, the authors, and their employer

Авторы одобрили рукопись / The authors approved the manuscript

Конфликт интересов отсутствует / No conflict of interest

ORCID

Gorlachova O.V. <https://orcid.org/0000-0002-1234-8368>

Gorbachova S.N. <https://orcid.org/0000-0001-7835-822x>

Lutenko V.S. <https://orcid.org/0000-0003-3565-1033>

Anceferova O.V. <https://orcid.org/0000-0002-1466-1294>