




## Морфология и биохимия растений Morphology and biochemistry of plants

DOI: 10.22363/2312-797X-2022-17-4-425-436

УДК 633.16 «321»: 631.87

Научная статья / Research article

### Влияние биоудобрений и осмотического стресса на морфологические показатели проростков ярового ячменя

А.Л. Панфилов  , Р.Р. Абдрашитов Федеральный научный центр биологических систем  
и агротехнологий Российской академии наук, г. Оренбург, Российская Федерация  
 panfilov-1@mail.ru

**Аннотация.** Один из путей повышения устойчивости сельскохозяйственных растений к абиотическим стрессам — применение биоудобрений, обладающих антистрессовыми и рострегулирующими свойствами. Они способствуют улучшению усвоения азота и фосфора из органических удобрений и почвенных запасов. Цель исследований — изучение посевных качеств семян, морфологических показателей проростков ярового ячменя при предпосевной обработке семян биоудобрениями в условиях достаточного увлажнения и на фоне осмотического стресса. Приведены данные лабораторного опыта по действию биоудобрений на проростки ярового ячменя (*Hordeum vulgare* L.) сорта Губернаторский в условиях достаточного и недостаточного увлажнения. Обработку семян ячменя проводили однократно по следующей схеме: 1) контроль (дистиллированная вода) 10 л/т; 2) Гуми 20 М калийный (0,4 л/т); 3) Борогум-М комплексный (0,2 л/т); 4) ПЭГ-6000 (100 г/л); 5) Гуми 20 М (0,4 л/т) + ПЭГ-6000 (100 г/л); 6) Борогум-М комплексный (0,2 л/т) + ПЭГ 6000 (100 г/л). Обработка семян ярового ячменя биоудобрениями повышала энергию прорастания на 3...5 %, всхожесть на 2 %. При моделировании засухи с помощью препарата ПЭГ-6000 посевные качества семян снижались на 4 %. Изучаемые биоудобрения в условиях достаточного увлажнения оказывали комплексное положительное влияние на массу ростков и корней 3-дневных проростков ячменя, при этом увеличивались средняя длина 1 корешка, ростка и суммарная длина корней. Количество корешков существенно не изменялось. При недостатке влаги эффективность биоудобрения Борогум-М комплексный снижалась, в то время как биоудобрение Гуми 20 М калийный

© Панфилов А.Л., Абдрашитов Р.Р., 2022

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License  
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode>

в условиях индуцированного водного стресса оказывало положительное влияние на изученные показатели проростков ячменя.

**Ключевые слова:** яровой ячмень, семена, биоудобрения, энергия прорастания, всхожесть, осмотический стресс, проростки ячменя, *Hordeum vulgare* L.

**Заявление о конфликте интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Финансирование. Благодарности.** Исследования проведены в соответствии с планом НИР на 2021—2030 гг. ФГБНУ «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук» по теме № 0526-2022-0014.

**Вклад авторов:** А.Л. Панфилов — анализ полученных данных, написание рукописи статьи, Р.Р. Абдрашитов — обработка экспериментальных данных.


**История статьи:** поступила в редакцию 21 июня 2022 г., принята к публикации 2 ноября 2022 г.

**Для цитирования:** Панфилов А.Л., Абдрашитов Р.Р. Влияние биоудобрений и осмотического стресса на морфологические показатели проростков ярового ячменя // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2022. Т. 17. № 4. С. 425—436. doi: 10.22363/2312-797X-2022-17-4-425-436

## Effect of biofertilizers and osmotic stress on morphological parameters of spring barley seedlings

Alexander L. Panfilov  , Rinat R. Abdrashitov 

Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies  
of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russian Federation

 panfilov-1@mail.ru

**Abstract.** One of ways to increase resistance of agricultural plants to abiotic stresses is the use of biofertilizers with anti-stress and growth-regulating properties. They improve absorption of nitrogen and phosphorus from organic fertilizers and soil. The purpose of the research was to study sowing qualities of seeds, morphological indicators of spring barley seedlings after presowing seed treatment with biofertilizers under conditions of sufficient humidification and osmotic stress. The laboratory experiment was carried out to study the effect of biofertilizers on seedlings of spring barley (*Hordeum vulgare* L.) cv. Gubernatorsky under conditions of sufficient and insufficient humidification. The barley seeds were treated once according to the following scheme: 1. control (distilled water) 10 L/t; 2. Gumi 20 M potash (0.4 L/t); 3. Borogum-M complex (0.2 L/t); 4. PEG 6000 (100 g/L); 5. Gumi 20 M (0.4 L/t) + PEG 6000 (100 g/L); 6. Borogum-M complex (0.2 L/t) + PEG 6000 (100 g/L). Treatment of spring barley seeds with biofertilizers increased the germination rate and germination capacity by 3...5 and 2 %, respectively. When modeling drought using PEG-6000, the sowing qualities of seeds decreased by 4 %. Under conditions of sufficient humidification, the studied biofertilizers had a complex positive effect on shoot and root weight of barley seedlings. In addition, the average length of roots, shoots and the total root length increased. The number of roots did not change significantly. Lack of moisture decreased the effectiveness of Borogum-M complex biofertilizer, while Gumi 20 M potassium biofertilizer had a positive effect on the parameters of barley seedlings under water stress conditions.

**Key words:** spring barley, seeds, biofertilizers, germination rate, germination capacity, osmotic stress, seedlings

**Conflicts of interest.** The authors declared no conflicts of interest.

**Acknowledgment.** The research was performed in accordance with the research plan for 2021—2030 of Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences (no. 0526-2022-0014).

**Authors contribution.** ALP designed the experiments; RRA collected the data; ALP analyzed the data; ALP wrote the paper.

**Article history:** Received: 21 June 2022. Accepted: 2 November 2022.

**For citation:** Panfilov AL, Abdrashitov RR. Effect of biofertilizers and osmotic stress on morphological parameters of spring barley seedlings. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2022;17(4):425—436. (In Russ.). doi: 10.22363/2312-797X-2022-17-4-425-436

## Введение

Ячмень яровой — важнейшая продовольственная и кормовая культура России [1]. Его посевная площадь в РФ в 2020 г. по данным Росстата составила 9,8 млн га при урожайности 24,7 ц с 1 га, валовой сбор — 18,9 млн т, или 14,0 % от общего валового сбора зерна в стране [2].

В зерне ячменя содержится: белка — от 7 до 15 %, углеводов — 65 %, жира — 2 %, клетчатки — 5...5,5 %. Белок ячменя ценен содержанием всех незаменимых аминокислот, особенно лизина и триптофана [3].

Ячмень выращивается во многих развивающихся странах, где часто подвергается сильной засухе, что существенно влияет на его продуктивность [4]. Согласно прогнозам, интенсивность засухи будет постепенно увеличиваться, что в сочетании с ростом населения планеты лишь усугубляет эту проблему и угрожает продовольственной безопасности страны [5].

Вызванные засухой нарушения физиолого-биохимических процессов отражаются на росте, анатомии и морфологии растения [6].

Лабораторные методы диагностики состояния проростков растений путем проращивания семян в растворах осмотиков, имитирующих засуху, позволяют ускорить оценку засухоустойчивости растений по сравнению с полевыми исследованиями [7].

Длина и масса ростков, развитие корневой системы проростков относятся к одним из основных критериев при создании засухоустойчивых сортов. Ухудшение перечисленных показателей приводит к значительному снижению урожайности сельскохозяйственных культур [8].

Для имитации недостатка влаги широко используется полимерный препарат полиэтиленгликоль (ПЭГ), который практически не проникает в ткани растений [9].

Под воздействием дефицита влаги изменяются форма и структура корней — они становятся более длинными, но при этом диаметр их сокращается, что приводит к снижению проводящей способности ксилемных сосудов [10] и возможности поглощать питательные вещества [11].

Хотя растения и обладают различными механизмами защиты для противодействия внешним негативным факторам, этого все же недостаточно для предотвращения губительного воздействия засушливых условий [12].

Повышение устойчивости растений к абиотическим стрессам возможно лишь на основе детального изучения физиологических особенностей формирования продуктивности и качества сельскохозяйственных культур, что является актуальной задачей [13]. Один из путей решения данной задачи — применение биостимуляторов, обладающих иммуностимулирующими свойствами и антистрессовой активностью [14].

Особенно представляют интерес препараты на основе гуминовых кислот, обладающие антистрессовыми и рострегулирующими свойствами. Они способствуют улучшению усвоения азота и фосфора из органических удобрений и почвенных запасов, повышают засухоустойчивость растений [15].

Применение органоминеральных удобрений и препаратов, содержащих гуминовые кислоты, усиливает устойчивость растений к неблагоприятным факторам внешней среды [16].

**Цель исследований** — изучение посевных качеств семян, морфологических показателей проростков ярового ячменя при предпосевной обработке семян биоудобрениями в условиях достаточного увлажнения и на фоне осмотического стресса.

## Материалы и методы исследования

Материалом для опытов послужили биоудобрения Гуми 20 М калийный и Борогум-М комплексный. Засушливые условия моделировались с помощью полимерного препарата ПЭГ 6000 (полиэтиленгликоль).

Характеристика препаратов:

Гуми 20 М калийный — гуминовое биоудобрение, обладающее антистрессовым, ростоускоряющим и иммуностимулирующим действием на растения. Состав: калийные соли биоактивированные по молекулярному весу гуминовых кислот; макро- и микроэлементы, %: N — 1; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> — 1; K<sub>2</sub>O — 2; B — 0,15; S — 0,3; Cu — 0,01; Zn — 0,01; Mn — 0,05; Co — 0,002; Mo — 0,007; Ni — 0,002; Li — 0,0005; Se — 0,0002; Cr — 0,0007. Cu, Zn, Mn, Co, Cr, Ni и Li содержатся в хелатной форме.

Борогум-М комплексный — органогуминовое биоудобрение — способствует стимуляции роста и быстрому корнеобразованию с выраженными иммуностимулирующими свойствами. Состав: калийные соли биоактивированные по молекулярному весу гуминовых кислот — 1 %. Фитоспорин-М — титр не менее 5×10<sup>8</sup> КОЕ/мл. B — 4; S — 0,17; Fe — 0,05; Cu — 0,2; Zn — 0,01; Mn — 0,02; Mo — 0,05; Co — 0,005; Ni — 0,001; Li — 0,0002; Se — 0,0001; Cr — 0,0002. Fe, Cu, Zn, Mn, Co, Ni, Li, Cr — в хелатной форме.

Полиэтиленгликоль (ПЭГ 6000) — полимер на основе этиленгликоля с молярной массой в 6000 единиц в виде воскообразных чешуек или плотной массы белого цвета.

Семена ячменя проращивали в растильнях между слоями фильтровальной бумаги в термостате ТСО-1М при температуре  $+20 \pm 2$  °С, в темноте, предварительно обработанными изучаемыми препаратами по схеме:

1. Контроль (дистиллированная вода)— 10 л/т семян.
2. Гуми 20 М калийный— 0,4 л/т семян.
3. Борогум-М комплексный— 0,2 л/т семян.
4. Полиэтиленгликоль (ПЭГ 6000)— 100 г/л, что соответствует осмотическому давлению 0,15 МПа.
5. Гуми 20 М (0,4 л/т) + ПЭГ 6000 (100 г/л).
6. Борогум-М комплексный (0,2 л/т) + ПЭГ 6000 (100 г/л).

Повторность опыта четырехкратная, по 25 семян в каждом повторении. Объект исследования— сорт ярового ячменя (*Hordeum vulgare* L.) Губернаторский, который характеризуется устойчивостью к засухе и корневым гнилям.

На третьи сутки проводили учет энергии прорастания, на седьмые— определяли всхожесть (ГОСТ 12038—84). Одновременно с определением энергии прорастания проводили подсчет числа, массы и длины корешков, количества и массы ростков.

Оценка достоверности выборочных средних проведена по Б.А. Доспехову (1985). Статистическая обработка полученных данных выполнена с помощью программы NCSS and PASS 2000.

## Результаты исследований и обсуждение

Обработка семян ярового ячменя биоудобрениями положительно повлияла на посевные качества. Энергия прорастания увеличивалась на 3 % при обработке семян Борогумом-М комплексным и на 5 % при использовании Гуми 20 М калийного. Всхожесть семян при применении данных биоудобрений повышалась на 2 % (рис. 1). Под воздействием «искусственной засухи», смоделированной препаратом ПЭГ 6000, энергия прорастания и всхожесть семян ярового ячменя снижались на 4 %.

Биоудобрения уменьшали негативное влияние полиэтиленгликоля на посевные качества семян ячменя: энергия прорастания увеличивалась на 1 % по сравнению с контрольным вариантом и на 5 % относительно варианта с обработкой семян ПЭГ 6000; всхожесть повышалась при обработке семян Борогумом-М комплексным на 2...6 %, а при применении Гуми 20 М калийного— на 3 %— только по сравнению с вариантом с обработкой семян ПЭГ 6000.

Применение биоудобрений способствовало увеличению массы ростков и корней ярового ячменя (рис. 2).

Наибольшую эффективность показала обработка семян Гуми 20 М калийным: масса ростков 10 семян увеличивалась на 0,04 г (6 %), масса корешков 10 семян на 0,11 г (18,6 %). При обработке семян Борогумом-М комплексным масса ростков повышалась на 0,03 г (4,5 %), масса корешков— на 0,04 г (6,8 %).

Индукцированная засуха оказывала негативное влияние на развитие ростков ячменя. Под ее воздействием масса корешков 10 семян снижалась на 22,0 %, масса 10 ростков— на 35,8 %. Использование Гуми 20 М калийного

сглаживало ее отрицательное воздействие на развитие корешков ярового ячменя (масса корешков 10 семян увеличивалась на 15,2 %), но не оказывало влияния на развитие ростков. Применение биоудобрения Борогум-М комплексный в условиях засухи усиливало ее отрицательное влияние на развитие корешков 3-дневных проростков ярового ячменя (-0,02 г), масса 10 ростков при этом увеличивалась на 0,03 г.

При оптимальном уровне увлажнения количество корешков одного проростка ярового ячменя при обработке семян биоудобрениями увеличивалось не существенно (+0,1 шт.) (табл. 1). В условиях «искусственной засухи» обработка семян Гуми 20 М и Борогум-М комплексный приводила к незначительному сокращению среднего числа корешков.

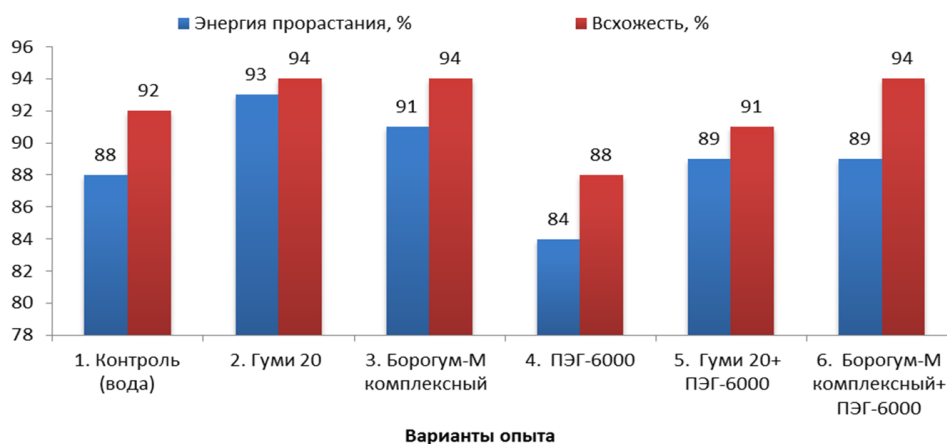


Рис. 1. Влияние обработки семян ярового ячменя биоудобрениями и полиэтиленгликолем на посевные качества

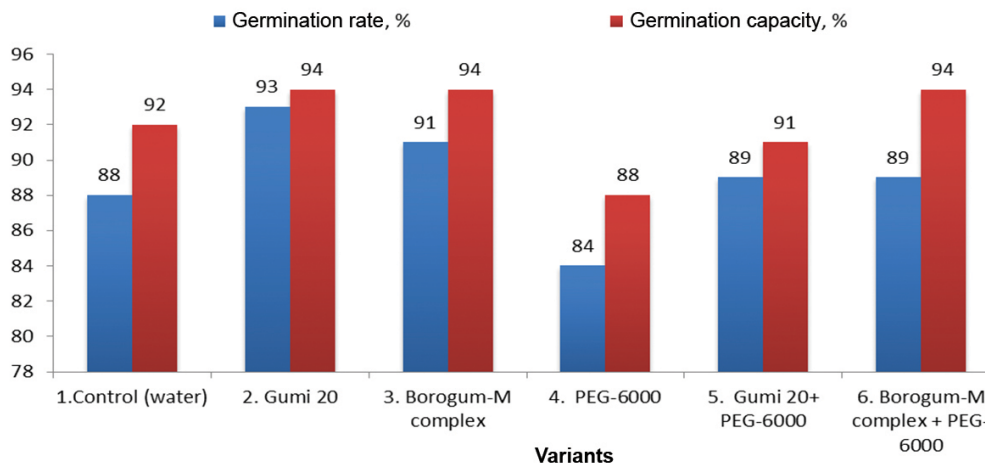


Fig. 1. Effect of biofertilizers and polyethylene glycol on spring barley seeds

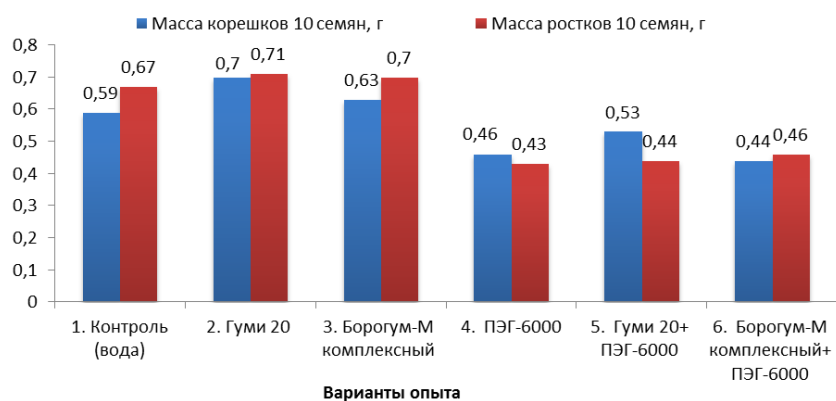


Рис. 2. Влияние биоудобрений и препарата ПЭГ 6000 на развитие проростков ярового ячменя

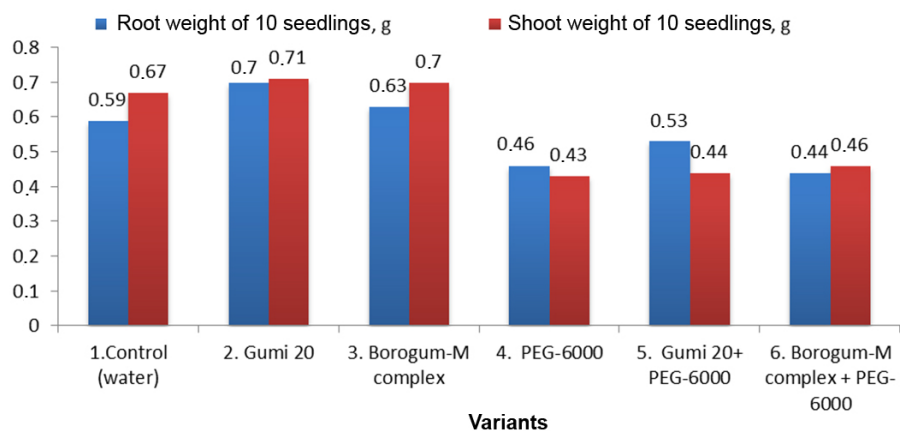


Fig. 2. Effect of biofertilizers and PEG 6000 on the development of spring barley seedlings

Таблица 1

**Влияние обработки семян биоудобрениями на развитие корней проростков ярового ячменя при различных режимах увлажнения**

| Варианты опыта                   | Среднее число корешков 1 проростка |              | Средняя длина 1 корешка |              | Суммарная длина корешков 1 проростка |              |
|----------------------------------|------------------------------------|--------------|-------------------------|--------------|--------------------------------------|--------------|
|                                  | штук                               | ± к контролю | см                      | ± к контролю | см                                   | ± к контролю |
| Контроль                         | 4,8                                | —            | 5,4                     | —            | 26,3                                 | —            |
| Гуми 20 М калийный               | 4,9                                | +0,1         | 6,6                     | +1,2         | 32,0                                 | +5,7         |
| Борогум-М комплексный            | 4,9                                | +0,1         | 6,1                     | +0,7         | 29,6                                 | +3,3         |
| ПЭГ 6000                         | 4,7                                | -0,1         | 5,4                     | 0,0          | 25,2                                 | -1,1         |
| Гуми 20 М калийный + ПЭГ 6000    | 4,7                                | -0,1         | 5,8                     | +0,4         | 27,1                                 | +0,8         |
| Борогум-М комплексный + ПЭГ 6000 | 4,6                                | -0,2         | 5,3                     | -0,1         | 24,5                                 | -1,8         |
| $HCP_{05}$                       |                                    | 0,2          |                         | 0,6          |                                      | 3,5          |

Table 1

**Effect of seed treatment with biofertilizers on the development of roots of spring barley seedlings under different humidification conditions**

| Variants                     | Average number of roots per seedling |                  | Average root length |                  | Total root length per seedling |                  |
|------------------------------|--------------------------------------|------------------|---------------------|------------------|--------------------------------|------------------|
|                              | roots                                | ± to the control | cm                  | ± to the control | cm                             | ± to the control |
| Control                      | 4.8                                  | —                | 5.4                 | —                | 26,3                           | —                |
| Gumi 20 M potash             | 4.9                                  | +0.1             | 6.6                 | +1,2             | 32,0                           | +5,7             |
| Borogum-M complex            | 4.9                                  | +0.1             | 6.1                 | +0,7             | 29,6                           | +3,3             |
| PEG 6000                     | 4.7                                  | -0.1             | 5.4                 | 0,0              | 25,2                           | -1,1             |
| Gumi 20 M potash + PEG 6000  | 4.7                                  | -0.1             | 5.8                 | +0,4             | 27,1                           | +0,8             |
| Borogum-M complex + PEG 6000 | 4.6                                  | -0.2             | 5.3                 | -0,1             | 24,5                           | -1,8             |
| LSD <sub>05</sub>            | 0.2                                  |                  | 0.6                 |                  | 3.5                            |                  |

Суммарная длина зародышевых корешков 3-дневных проростков ячменя складывается из двух показателей: числа корешков и средней длины одного корешка. Использование биоудобрений для обработки семян ячменя существенно увеличивало среднюю длину 1 корешка (на 0,7...1,2 см) и суммарную длину корешков 1 проростка на 5,7 см (Гуми 20 М калийный). Влияние Борогум-М комплексного на суммарную длину корешков было несущественным (+3,3 см). Полиэтиленгликоль не влиял на длину 1 корешка, суммарная длина корешков одного проростка при этом снижалась на 1,1 см за счет уменьшения их количества.

В условиях искусственной засухи гуминовое биоудобрение (Гуми 20 М) снижало ее отрицательное воздействие на длину корневой системы 3-дневных проростков ярового ячменя: длина 1 корешка увеличивалась на 0,4 см, суммарная длина корешков — на 0,8 см. Использование органогуминового биоудобрения (Борогум М комплексный) сокращало среднюю длину 1 корешка на 0,1 см, суммарную длину корешков 1 проростка на 1,8 см.

Проведенный статистический регрессионный анализ влияния факторов, детерминирующих суммарную длину зародышевых корешков ярового ячменя, показал, что в условиях оптимального увлажнения на контроле доля влияния фактора количество корешков составляло 25,1 %, доля фактора средняя длина 1 корешка — 74,1 %, что детерминировало 99,2 % общей длины корешков проростка (табл. 2).

Таблица 2

**Доля влияния факторов, детерминирующих суммарную длину зародышевых корешков ячменя при различных условиях увлажнения, %**

| Факторы             | Оптимальное увлажнение |                    |                       | Недостаточное увлажнение (ПЭГ 6000) |                    |                       |
|---------------------|------------------------|--------------------|-----------------------|-------------------------------------|--------------------|-----------------------|
|                     | Контроль               | Гуми 20 М калийный | Борогум-М комплексный | Контроль                            | Гуми 20 М калийный | Борогум-М комплексный |
| Число корешков      | 25,1                   | 45,8               | 39,5                  | 20,6                                | 41,8               | 52,7                  |
| Средняя длина корня | 74,1                   | 53,3               | 59,8                  | 75,1                                | 57,6               | 46,5                  |
| Итого               | 99,2                   | 99,1               | 99,3                  | 95,7                                | 99,4               | 99,2                  |



Table 2

**Factors determining the total length of germinal roots of barley under different humidification conditions,%**

| Factors             | Optimal humidification |                  |                   | Insufficient humidification (PEG 6000) |                  |                   |
|---------------------|------------------------|------------------|-------------------|--|------------------|-------------------|
|                     | Control                | Gumi 20 M potash | Borogum-M complex | Control                                | Gumi 20 M potash | Borogum-M complex |
| Number of roots     | 25.1                   | 45.8             | 39.5              | 20.6                                   | 41.8             | 52.7              |
| Average root length | 74.1                   | 53.3             | 59.8              | 75.1                                   | 57.6             | 46.5              |
| Total               | 99.2                   | 99.1             | 99.3              | 95.7                                   | 99.4             | 99.2              |

Обработка семян биоудобрениями Гуми 20 М калийный и Борогум М комплексный изменило это соотношение в сторону увеличения доли количества корешков в формировании их суммарной длины до 45,8 и 39,5 % соответственно. В условиях достаточного увлажнения биоудобрения способствовали образованию большего числа корешков по сравнению с контрольным вариантом.

Создание «искусственной засухи» с помощью препарата ПЭГ 6000 показало, что соотношение доли данных показателей в детерминации суммарной длины корешков проростка ячменя в контрольном варианте изменялось незначительно: 20,6 % — от числа корешков и 75,1 % — от средней длины одного корешка. Обработка семян Гуми 20 М калийный увеличивало долю средней длины корешка до 57,6 %, а применение Борогум-М комплексный снижало до 46,5 %.

Таким образом, в засушливых условиях биоудобрения проявляют себя неоднозначно: Гуми 20 М калийный стимулирует рост корешков ячменя в длину, а Борогум-М комплексный способствует образованию большего количества корешков одного проростка.

Предпосевная обработка семян ячменя в условиях достаточного увлажнения Гуми 20 М калийным показала существенное увеличение (+ 0,5 см) средней длины проростка (табл. 3).

Таблица 3

**Влияние обработки семян биоудобрениями на длину ростков ярового ячменя при разных режимах увлажнения**

| Варианты опыта                   | Средняя длина 1 ростка |              |
|----------------------------------|------------------------|--------------|
|                                  | см                     | ± к контролю |
| Контроль                         | 5,0                    | —            |
| Гуми 20 М калийный               | 5,5                    | +0,5         |
| Борогум-М комплексный            | 5,1                    | +0,1         |
| ПЭГ 6000                         | 3,9                    | -1,1         |
| Гуми 20 М калийный + ПЭГ 6000    | 4,1                    | -0,9         |
| Борогум-М комплексный + ПЭГ 6000 | 3,8                    | -1,2         |
| НСР <sub>05</sub> = 0,4          |                        |              |

**The effect of seed treatment with micro fertilizers on the length of spring sprouts  
barley in different humidification modes**

| Experience options           | Average length of 1 sprout |             |
|------------------------------|----------------------------|-------------|
|                              | cm                         | ± k control |
| Control                      | 5,0                        | —           |
| Gumi 20 M potash             | 5,5                        | +0,5        |
| Borogum-M complex            | 5,1                        | +0,1        |
| PEG 6000                     | 3,9                        | -1,1        |
| Gumi 20 M potash + PEG 6000  | 4,1                        | -0,9        |
| Borogum-M complex + PEG 6000 | 3,8                        | -1,2        |
| NSR <sub>05</sub> = 0,4      |                            |             |

Влияние Борогум-М комплексного было незначительным (+0,1 см). При моделировании «искусственной засухи» средняя длина 1 ростка во всех вариантах опыта существенно сокращалась (на 0,9...1,2 см).

### Заключение

Предпосевная обработка семян ярового ячменя биоудобрениями повышала энергию прорастания на 3...5 %, всхожесть — на 2 %. При моделировании засухи с помощью препарата ПЭГ 6000 энергия прорастания и всхожесть семян снижались на 4 %. Биоудобрения нивелировали негативное влияние засухи. Применение Гуми 20 М калийного и Борогум-М комплексного приводило к увеличению массы ростков на 4,5...6,0 %, массы корней на 6,8...18,6 %. Обработка семян полиэтиленгликолем снижала массу десяти 3-дневных ростков ячменя на 35,8 %, массу корешков на 22,0 %. На количество корешков изучаемые варианты опыта существенного влияния не оказали. Гуминовое биоудобрение Гуми 20 М калийное положительно влияло на длину 1 корешка и суммарную длину корней одного проростка как в обычных условиях (+1,2...+5,7 см), так и в засушливых (+0,4...+0,8 см). Органическое биоудобрение Борогум-М комплексный увеличивало длину корней 3-дневных проростков ячменя только при достаточном увлажнении (+0,7...+3,3 см), недостаток влаги приводил к сокращению длины корешков на 0,1...0,8 см. Статистический регрессионный анализ показал, что в засушливых условиях биоудобрения проявляют себя неоднозначно: Гуми 20 М калийный стимулирует рост корешков ячменя в длину, а Борогум-М комплексный способствует образованию большего количества корешков одного проростка. В условиях засухи средняя длина проростков существенно снижалась — на 0,9...1,2 см.

### Библиографический список

1. Седяков М.В. Влияние агротехнологических приемов на хозяйственно — ценные признаки новой перспективной линии ярового ячменя л-1800 // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2021. № 1(62). С. 59—67. doi: 10.24412/2078-1318-2021-1-59-67
2. Сельское хозяйство в России. 2021: стат. сб. / Росстат. М., 2021. 100 с.

3. Тупсина Н.Н., Селезнева Г.К. Использование ячменной муки в производстве хлебобулочных изделий // Вестник КрасГАУ. 2011. № 10. С. 204—208.
4. Ceccarelli S., Grando S., Baum M. Participatory plant breeding in water-limited environments // *Experimental Agriculture*. 2007. Vol. 43. № 4. Pp. 411—435. doi: 10.1017/S0014479707005327
5. Ласточкина О.В. Адаптация и устойчивость растений пшеницы к засухе, опосредованная природными регуляторами роста *Bacillus* spp.: механизмы реализации и практическая значимость (обзор) // *Сельскохозяйственная биология*. 2021. Т. 56. № 5. С. 843—867. doi: 10.15389/agrobiology.2021.5.843rus
6. Лубянова А.Р., Масленникова Д.Р., Шакирова Ф.М. Защитное действие 24-эпибрассинолида на растения пшеницы в условиях нарушения водного режима // *Биомика*. 2021. Т. 13. № 1. С. 47—53. doi: 10.31301/2221-6197.bmcs.2021-5
7. Куликова Н.А., Филиппова О.И., Перминова И.В. Защитное действие гуминовых веществ по отношению к проросткам пшеницы в условиях водного дефицита // Вестник Московского университета. Сер. 17. Почвоведение. 2018. № 2. С. 35—39.
8. Бычкова О.В., Хлебцова Л.П., Совриков А.Б., Титова А.М. Реакция генотипов яровой твердой пшеницы в условиях моделированного осмотического и солевого стресса // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2018. № 2(160). С. 5—11.
9. Kawasaki T., Akiba T., Moritsugu M. Effects of high concentrations of sodium chloride and polyethylene glycol on the growth and ion absorption in plants. I. Water culture experiments in a greenhouse // *Plant Soil*. 1983. Vol. 75. P. 75—85.
10. Шарипова Г.В., Веселова С.В., Веселов Д.С. Динамика показателей водного обмена у растений ячменя на фоне умеренного осмотического стресса // *Биомика*. 2013. Т. 5. № 3—4. С. 130—135.
11. Hellal F.A., El-Shabrawi H.M., Abd El-Hady M., Khatab I.A., El-Sayed S.A.A., Abdelly C. Influence of PEG induced drought stress on molecular and biochemical constituents and seedling growth of Egyptian barley cultivars // *J Genet Eng Biotechnol*. 2018. Vol. 16. № 1. P. 203—212. doi: 10.1016/j.jgeb.2017.10.009
12. Ahmad Z., Waraich E.A., Akhtar S., Anjum S., Ahmad T., Mahboob W., Hafeez O.B.A., Tapera T., Labuschagne M., Rizwan M. Physiological responses of wheat to drought stress and its mitigation approaches // *Acta Physiologiae Plantarum*. 2018. Vol. 40. doi: 10.1007/s11738-018-2651-6
13. Тютчев С.Л. Физиолого-биохимические основы управления стрессоустойчивостью растений в адаптивном растениеводстве // Вестник защиты растений. 2000. № 1. С. 11—33.
14. Яблонская Е.К., Ненько Н.И., Нецадим Н.Н., Сонин К.Е., Богатырёв А.Ю. Применения регулятора роста растений, иммунизатора — препарата фуrolан при возделывании подсолнечника в Краснодарском крае // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2016. № 121. С. 1522—1544. doi: 10.21515/1990-4665-121-093
15. Naveen K.A. *Plant microbe symbiosis: fundamentals and advances*. Springer India; 2013. 459 p. doi: 10.1007/978-81-322-1287-4
16. Наими О.И., Поволоцкая Ю.С. Биологическое земледелие и экологические аспекты применения гуминовых препаратов // *Международный журнал гуманитарных и естественных наук*. 2019. № 3—1. С. 121—123.

## References

1. Sedyakov MV. Influence of agrotechnological techniques on economically valuable features of a new promising line of spring barley I-1800. *Izvestiya Saint-Petersburg state agrarian university*. 2021;(1):59—67. (In Russ.). doi: 10.24412/2078-1318-2021-1-59-67
2. Russian Federal State Statistics Service. *Sel'skoe khozyaistvo v Rossii* [Agriculture in Russia]. Moscow; 2021. (In Russ.).
3. Tipsina NN, Selezneva GK. Barley flour use for bakery product manufacture. *Bulletin of KSAU*. 2011;(10):204—208. (In Russ.).
4. Ceccarelli S, Grando S, Baum M. Participatory plant breeding in water-limited environments. *Experimental Agriculture*. 2007;43(3):411—435. doi: 10.1017/S0014479707005327
5. Lastochkina OV. Adaptation and resistance of wheat plants to drought mediated by natural growth regulators of *Bacillus* spp.: mechanisms of implementation and practical significance (review). *Agricultural Biology*. 2021;56(5):843—867. (In Russ.). doi: 10.15389/agrobiology.2021.5.843rus
6. Lubyanova AR, Maslennikova DR, Shakirova FM. Protective effect of 24-epibrassinolide on wheat plants under water deficit. *Biomcs*. 2021;13(1):47—53. (In Russ.). doi: 10.31301/2221-6197.bmcs.2021-5

7. Kulikova NA, Filippova OI, Perminova IV. Protective activity of humic substances in relation to wheat seedlings under water deficiency conditions. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 17: Pochvovedenie*. 2018;(2):35—39. (In Russ.).
8. Bychkova OV, Khlebova LP, Sovrikov AB, Titova AM. Reaction of spring durum wheat genotypes under the conditions of simulated osmotic and salt stresses. *Bulletin of the Altai State Agrarian University*. 2018;(2):5—11. (In Russ.).
9. Kawasaki T, Akiba T, Moritsugu M. Effects of high concentrations of sodium chloride and polyethylene glycol on the growth and ion absorption in plants. I. Water culture experiments in a greenhouse. *Plant and Soil*. 1983;75(1):75—85.
10. Sharipova GV, Veselova SV, Veselov DS. Dynamics of features of a water exchange during moderate osmotic stress. *Biomics*. 2013;5(3—4):130—135. (In Russ.).
11. Hella FA, El-Shabrawi HM, Abd El-Hady M, Khatab IA, El-Sayed SAA, Abdely C. Influence of PEG induced drought stress on molecular and biochemical constituents and seedling growth of Egyptian barley cultivars. *J Genet Eng Biotechnol*. 2018;16(1):203—212. doi: 10.1016/j.jgeb.2017.10.009
12. Ahmad Z, Waraich EA, Akhtar S, Anjum S, Ahmad T, Mahboob W, Hafeez OBA, Tapera T, Labuschagne M, Rizwan M. Physiological responses of wheat to drought stress and its mitigation approaches. *Acta Physiologiae Plantarum*. 2018;40:80. doi: 10.1007/s11738-018-2651-6
13. Tyuterev SL. Physiology-biochemical bases for stress resistance management in plants in adaptive agriculture. *Plant protection news*. 2000;(1):11—33. (In Russ.).
14. Yablonskaya EK, Nenko NI, Neshadim NN, Sonin KE, Bogatyrev AY. The application of furolan plant growth regulator and immunizer on sunflower cultivation in the Krasnodar region. *Polythematic online scientific journal of Kuban state agrarian university*. 2016;(121):1522—1544. (In Russ.). doi: 10.215/1990-4665-121-093
15. Naveen KA. (ed.) *Plant microbe symbiosis: fundamentals and advances*. Springer New Delhi; 2013. doi: 10.1007/978-81-322-1287-4
16. Naimi OI, Povolotskaya YS. Biological farming and ecological aspects of the humic preparations application. *International Journal of Humanities and Natural Sciences*. 2019;(3—1):121—123. (In Russ.).

#### Об авторах:

Панфилов Александр Леонидович — кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник отдела технологий зерновых и кормовых культур, ФГБНУ «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук», Российская Федерация, 460051, г. Оренбург, пр-т Гагарина, д. 27/1; e-mail: panfilov-1@mail.ru

ORCID: 0000-0002-1210-6350

SPIN-код: 3694-4614

Абдрашитов Ринат Римович — кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник отдела технологий зерновых и кормовых культур, ФГБНУ «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук», Российская Федерация, 460051, г. Оренбург, пр-т Гагарина, д. 27/1; e-mail: orniish\_tzk@mail.ru

ORCID: 0000-0003-0946-068X

#### About authors:

Panfilov Aleksandr Leonidovich — Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher, Department of Grain and Forage Crops Technologies, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 27/1 Gagarina ave., 460051, Orenburg, Russian Federation; e-mail: panfilov-1@mail.ru

ORCID: 0000-0002-1210-6350

SPIN: 3694-4614

Abdrashitov Rinat Rimovich — Candidate of Agricultural Sciences, Researcher, Department of Grain and Forage Crops Technologies, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 27/1 Gagarina ave., 460051, Orenburg, Russian Federation; e-mail: orniish\_tzk@mail.ru

ORCID: 0000-0003-0946-068X