

## МЕТОДИКА ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЙСТВИЯ СТИМУЛЯТОРОВ ПРОРАСТАНИЯ СЕМЯН

Г.Н. Федотов<sup>1</sup>, В.С. Шалаев<sup>2</sup>, Ю.П. Батырев<sup>2</sup>, И.В. Горепекин<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, 119991, г. Москва, ГСП-1, Ленинские горы, д. 1, стр. 12

<sup>2</sup>МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), 141005, Московская область, г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1

gennadiy.fedotov@gmail.com

Проведен анализ проблемы разработки стимуляторов прорастания семян. Показана необходимость создания высокопроизводительной и достаточно простой лабораторной методики, выделены ключевые моменты подобной методики. Обращено внимание на необходимость применения системного подхода к разработке стимуляторов, определяя на его основе направление действия стимуляторов. Сделаны выводы о том, что разработанная методика позволяет быстро определять общую длину проростков больших массивов семян, в частности, проводить проверку действия стимуляторов прорастания семян в лабораторных условиях; при использовании разработанной методики необходимо проводить проверку действия стимуляторов при прорастании семян на почвах, на которых их планируется применять; проверку действия стимуляторов на семенах сельскохозяйственных и лесохозяйственных культур следует проводить при совместном использовании стимуляторов с фунгицидами.

**Ключевые слова:** семена сельскохозяйственных культур, семена лесохозяйственных культур, стимуляторы прорастания семян, методика, оценка эффективности, действие стимуляторов, системный подход

**Ссылка для цитирования:** Федотов Г.Н., Шалаев В.С., Батырев Ю.П., Горепекин И.В. Методика для оценки эффективности действия стимуляторов прорастания семян // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2018. Т. 22. № 6. С. 95–101. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-6-95-101

Улучшение посевных качеств семян является одним из основных факторов повышения урожайности сельскохозяйственных и лесохозяйственных культур. Среди наиболее перспективных методов повышения посевных качеств семян следует выделить их стимулирующую обработку физическими воздействиями или биологически активными препаратами [1].

Считается, что при предпосевной обработке семян начальные процессы прорастания протекают интенсивнее. Особенно это сказывается на развитии корневой системы. Зародышевые корни быстро входят в контакт с фронтом почвенной влаги и по мере роста растений не отрываются от него. У необработанных семян прорастание задерживается и протекает недружно. Это приводит к тому, что медленно растущие корни могут отрываться от фронта влаги и потерять возможность нормально обеспечивать растения водой [2].

Кажущаяся простота и дешевизна получения результатов подобным способом привлекала многих исследователей, но добиться значимого и воспроизводимого результата до настоящего времени не удалось.

Одной из основных причин неудач разработки препаратов для стимуляции прорастания семян, по-видимому, является отсутствие высокопроизводительной и простой лабораторной методики, позволяющей получать статистически значимые результаты [2]. Связано это с достаточно небольшим влиянием стимулирующих воздействий на прорастание семян, величина которых редко пре-

вышает 10–15 % [2], и при значительной ошибке метода эффект стимуляции такой величины обнаружить практически невозможно.

В течение длительного времени при проведении исследований оценку проводили по конечному результату — урожайности [3–6], изменению размеров и массы вегетативных органов растений [7], по всхожести (энергии прорастания) [8] или по физиологическим показателям (активности ферментов, содержанию биологически активных веществ и т. д.) [5]. Однако все эти исследования достаточно трудоемки, длительны и требуют от недели (по всхожести) до месяцев (по урожайности) временных затрат.

### Цель работы

В работе проведен анализ проблемы разработки стимуляторов прорастания семян. Показана необходимость создания высокопроизводительной и достаточно простой лабораторной методики, выделены ключевые моменты подобной методики.

### Материалы и методы

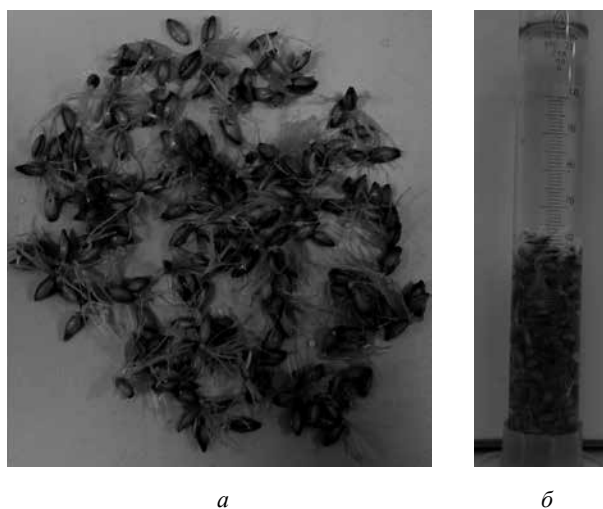
Для повышения производительности труда исследователей необходима надежная лабораторная методика, но при ее разработке следует учитывать несколько проблем, без решения которых успех не может быть достигнут.

Во-первых, физиологи растений выделяют 3 стадии развития семян [9]: набухание, проклеивание и развитие проростков (корней и

ростков). При этом считается, что для первых двух этапов питательные вещества и гормоны уже присутствуют (запасены) в созревших семенах, а для третьего этапа (роста проростков) они должны синтезироваться. Можно предположить, что эффективно действовать стимуляторы могут лишь на третьем этапе развития семян, когда возникает потребность в синтезируемых веществах. В связи с этим получить корректные данные по действию стимуляторов, используя гостированные методики по проклевыванию (определение всхожести или энергии прорастания), не представляется возможным. Таким образом, основным лабораторным методом, на который следует ориентироваться, становится измерение длины проростков (суммарной длины корней и ростков).

Во-вторых, семена обладают свойством разнокачественности, которая бывает трех видов: генетическая, матриакальная и экологическая [1]. Генетическая разнокачественность не требует пояснений, и ее вклад в общую разнокачественность не очень велик. Матриакальная разнокачественность связана в первую очередь с размещением наиболее сильных семян в центральной части колоса. Кроме того, существуют колосья разных порядков (первого, второго, третьего и т. д.). В колосьях второго порядка семена, сохраняя неоднородность по расположению в колосе, слабее, чем в колосьях первого порядка и т. д. Дополнительная вариабельность обусловлена неоднородностью рельефа полей. В понижениях в сухой год семена будут крупнее, во влажный год — мельче. Все эти семена при уборке попадают в бункер комбайна, где не очень хорошо перемешиваются. В результате вариабельность в свойствах семян достаточно велика, поэтому для получения приемлемой ошибки экспериментов требуется использовать в опыте более 500–1000 семян. В противном случае добиться ошибки менее 5 % не представляется возможным.

Таким образом, надо измерять длину проростков, а для уменьшения ошибки ниже 5 % использовать в опыте и контроле до 1000 семян. Однако для измерения длины проростков одной зерновки ячменя или тритикале вручную надо затратить около 40–60 с, а для замера проростков в двух опытах по 1000 семян — несколько дней рабочего времени. Современные технологии дают возможность применять для измерения длины проростков компьютерную обработку изображений, но универсальные подходы и программы для их реализации пока не созданы [10–12]. Это заставляет исследователей идти на компромисс, используя в опытах до 100 семян. Подобных работ достаточно много [13, 14], но в результате такого компромисса не удастся оценить стимуляцию из-за малой значимости эффекта по сравнению с ошибкой.



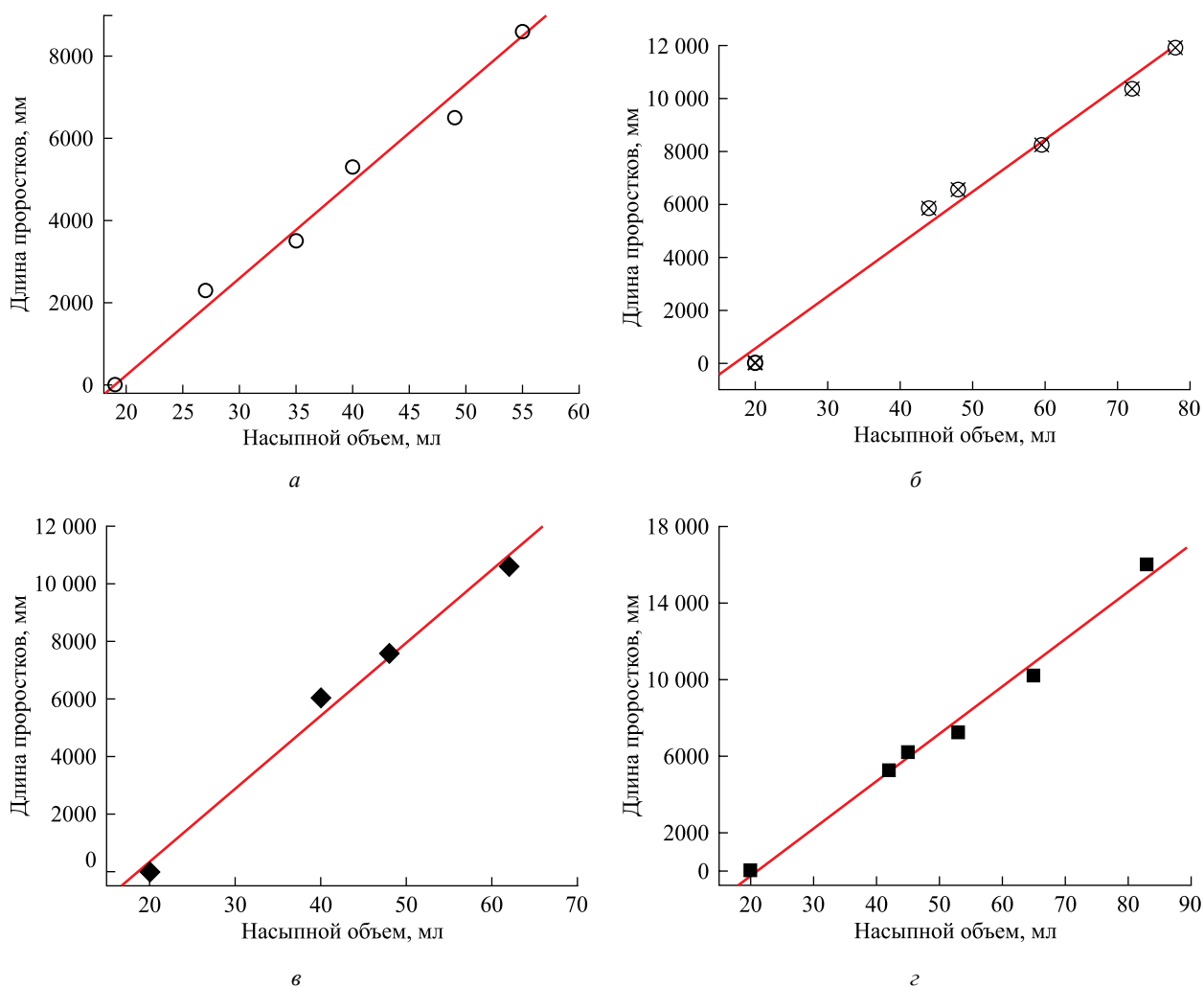
**Рис. 1.** Проросшие семена ярового ячменя сорт «Нур» (исходный вес 7,5 г) россыпью (а) и в цилиндре с водой после виброуплотнения (б)

**Fig. 1.** Spring barley sprouted seeds “Nur” variety (initial weight 7.5 g) in bulk (a) and in a cylinder with water after vibrocompaction (b)

В-третьих, в большинстве исследований по изучению и разработке стимуляторов отсутствует системный подход. Семена рассматривают отдельно (сами по себе) и пытаются изучать их отклик на те, или иные воздействия на инертных субстратах. Вместе с тем семена представляют собой систему, в которую входят (кроме плодовых и семенных оболочек, алейронового слоя, эндосперма и зародыша) симбиотные и фитопатогенные эндофитные и эпифитные микроорганизмы [15–19]. Стимулятор может действовать не на сами семена, а на микроорганизмы семян, которые, выделяя биологически активные вещества, влияют на развитие семян [20, 21].

На самом деле ситуация является еще более сложной. Обработанные стимулятором семена попадают в почвы, в которых содержится на несколько порядков больше микроорганизмов, чем в самих семенах. При этом у семян при созревании нарушаются клеточные оболочки [1]. Это приводит к выделению в прилегающую к семенам почву большого количества питательных веществ (сахара, органические кислоты и т. д.), которые должны стимулировать развитие почвенных микроорганизмов. Среди почвенных микроорганизмов находятся и фитопатогены, способные тормозить прорастание семян и развитие из них растений. В связи с этим необходимо учитывать взаимодействие семян с почвенными микроорганизмами. Поэтому проверять эффект от действия стимуляторов на инертных субстратах, а не на почвах, на которых их планируется использовать — некорректно.

Все изложенное выше позволяет сделать вывод о том, что одной из основных проблем разработки стимуляторов прорастания семян является



**Рис. 2.** Зависимость насыпного объема 7,5 г проросших семян от длины проростков (корней и ростков) озимого тритикале сорт «Немчиновский 56» (а), яровой пшеницы сорт «Лиза» (б), озимой ржи сорт «Татьяна» (в) и ярового ячменя сорт «Нур» (г)

**Fig. 2.** The dependence of bulk volume of 7.5 g of sprouted seeds on the length of seedlings (roots and sprouts) of winter triticale «Nemchinovsky 56» (a), spring wheat, «Lisa» (б), winter rye, «Tatiana» (в) and spring barley «Nur» (г)

создание высокопроизводительной и точной лабораторной методики, позволяющей проводить проверку эффективности применения препаратов-стимуляторов не в модельных условиях на инертных субстратах, а на конкретных почвах, используя большие массивы семян, оценивая развитие семян на третьем этапе их прорастания и при необходимости применяя стимуляторы совместно с фунгицидами.

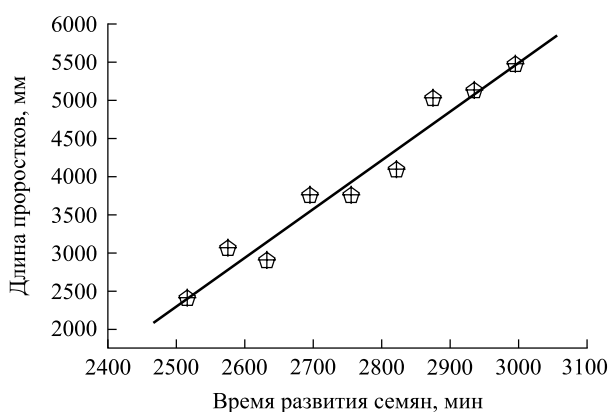
## Результаты и обсуждение

При работе с семенами мы обратили внимание на то, что насыпной объем проросших семян (семян с проростками) намного превышает объем набухших семян, так как проростки семян, цепляясь друг за друга, создают достаточно рыхлую структуру (рис. 1). Проведенные исследования ряда зерновых культур разных сортов показали,

что разность между насыщенными объемами в воде проросших семян и только набухших семян прямо пропорциональна общей длине проростков, которую измеряли вручную.

Основной проблемой в возможности практического использования данного эффекта было создание однородной структуры из проросших семян, но этого легко удалось добиться, помещая проросшие семена в воду (в мерный цилиндр), используя вибрацию и располагая на поверхности семян небольшой грузик (резиновую пробку размером немного меньшим диаметром используемого цилиндра). Следует отметить, что наличие пробки на поверхности проросших семян упрощает измерение величины насыпного объема, делая границы семян со свободной водой четко видимой. Результаты для некоторых из изученных зерновых культур представлены на рис. 2. Обнаруженная

закономерность давала возможность, используя измерение насыпного объема проросших семян, определять суммарную длину их проростков. При этом, учитывая линейное увеличение длины проростков во времени (рис. 3), данный метод фактически позволяет определять среднюю скорость развития проростков массива семян.



**Рис. 3.** Кинетическая зависимость изменения длины проростков 7,5 г семян тритикале сорт «Немчиновский 56» при их прорастании и развитии в дерново-подзолистой почве

**Fig. 3.** Kinetic dependence of the change in the length of seedlings 7.5 g of seeds of triticale variety «Nemchinovsky 56» during their germination and development in sod-podzolic soil

Необходимо отметить, что для определения влияния стимуляторов на развитие семян можно не строить зависимости длина проростков — насыпной объем для каждого сорта или культуры зерновых, измеряя длину проростков вручную. Учитывая существование линейной зависимости и то, что насыпные объемы набухших семян разных культур зерновых имеют близкие значения (для 7,5 г семян — 19,5–20 мл), метод дает возможность определять стимуляцию (ингибирование) в процентах увеличения длины проростков ( $A$ ) по отношению разностей между насыпными объемами проросших семян, подвергшихся действию стимуляторов или ингибиторов ( $V_{\text{ст}}$ ) и контрольного образца ( $V_{\text{контр}}$ ) с объемом набухших семян ( $V_{\text{наб}}$ )

$$A = 100 \cdot [(V_{\text{ст}} - V_{\text{наб}}) / (V_{\text{контр}} - V_{\text{наб}})].$$

Точность определения, обеспечиваемая этим методом при шестикратной повторности, составляет около 7 %. Время измерения насыпного объема примерно 200 проросших семян (навеска 7,5 г исходных семян) с учетом отмывки семян от почвы — около 10 мин. Определение проводили, используя мерный цилиндр объемом 100 мл и обеспечивая однородность возникающей в нем структуры из проросших семян с помощью вибрации.

Большим достоинством данного метода является то, что при увеличении количества семян в образцах сложность определения насыпного объема проросших семян практически не меняется, а точность определения длины проростков или действия стимуляторов (ингибиторов) заметно возрастает.

Проведенная экспериментальная проверка показала, что данный метод пригоден для определения длины проростков не только семян зерновых культур, но и для мелких семян других культур.

## Выводы

1. Разработана методика, позволяющая быстро определять общую длину проростков больших массивов семян, в частности, проводить проверку действия стимуляторов проращивания семян в лабораторных условиях.

2. При использовании разработанной методики необходимо проводить проверку действия стимуляторов при проращивании семян на почвах, на которых их планируется применять.

3. Проверку действия стимуляторов на семенах сельскохозяйственных и лесохозяйственных культур следует проводить при совместном использовании стимуляторов с фунгицидами.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, проект № 37.8809.2017/8.9.*

## Список литературы

- [1] Экология семян пшеницы / Сечняк Л.К. и др. М.: Колос, 1983. 349 с.
- [2] Дмитриев А.М., Страцкевич Л.К. Стимуляция роста растений / под ред. Н.Ф. Батыгина. Минск: Ураджай, 1986. 118 с.
- [3] Альбит на зерновых культурах и сахарной свекле / Алевин В.Т., Сергеев В.Р., Злотников А.К., Попов Ю.В., Рябчинская Т.А., Рукин В.Ф. // Защита и карантин растений, 2006. № 6. С. 26–27.
- [4] Влияние комплексного препарата гуминовых кислот и микроэлементов на урожайность и устойчивость к болезням яровой пшеницы / Бурмистрова Т.И., Удинцев С.Н., Терещенко Н.Н., Жилиякова Т.П., Сысоева Л.Н., Трунова Н.М. // Агрохимия, 2011. № 9. С. 64–67.
- [5] Кожухарь Т.В., Кириченко Е.В., Кохан С.С. Влияние минеральных удобрений и предпосевной обработки семян биологическими препаратами на содержание хлорофилла в листьях озимой пшеницы // Агрохимия, 2010. № 1. С. 61–67.
- [6] Предпосевная обработка семян яровой пшеницы гуминовым препаратом из торфа / Кравец А.В., Бобровская Д.Л., Касимова Л.В., Зотикова А.П. // Вестник Алтайского государственного аграрного университета, 2011. № 4. С. 22–24.
- [7] Полифункциональное действие препарата Альбит при предпосевной обработке семян яровой пшеницы / Рябчинская Т.А., Харченко Г.Л., Саранцева Н.А., Бобрецова И.Ю., Злотников А.К. // Агрохимия, 2009. № 10. С. 39–47.

- [8] Влияние предпосевной обработки семян пшеницы поверхностно-активными веществами на их прорастание при неблагоприятных условиях / Аксенова Л.А., Зак Е.А., Бочарова М.А., Клячко Н.Л. // Физиология растений, 1990. Т. 37. № 5. С. 1007–1014.
- [9] Обручева Н.В., Антипова О.В. Физиология инициации прорастания семян // Физиология растений, 1997. Т. 44. № 2. С. 287–302.
- [10] Image Analysis Associated with a Fuzzy Neural Network and Estimation of Shoot Length of Regenerated Rice Callus / Honda H., Takikawa N., Noguchi H., Hanai T., Kobayashi T. // J. of fermentation and bioengineering, 1997, v. 84, no. 4, pp. 342–347.
- [11] Judd L.A., Jackson B.E., Fonteno W.C. Advancements in Root Growth Measurement Technologies and Observation Capabilities for Container-Grown Plants // Plants (Basel), 2015, v. 4, pp. 369–392.
- [12] Seedling length in wheat determined by image processing using mathematical tools / Brunet A.P., Araujo A. de S., Dias L.W., Villela F.A., Aumonde T.Z. // Revista Ciência Agronômica, 2016, v. 47, no. 2, pp. 374–379.
- [13] Balakhnina T. The influence of wheat *Triticum aestivum* L. seed pre-sowing treatment with magnetic fields on germination, seedling growth, and antioxidant potential under optimal soil watering and flooding // Acta physiologiae plantarum, 2015, v. 37, no. 3, p. 59.
- [14] Šerá B. New physicochemical treatment method of poppy seeds for agriculture and food industries // Plasma Science and Technology, 2013, v. 15, no. 9, p. 935.
- [15] Проворов Н.А. Растительно-микробные симбиозы как эволюционный континуум // Журнал общей биологии, 2009. Т. 70. № 1. С. 10–34.
- [16] Савинов А.Б. Аутоценоз и деоценоз как симбиотические системы и биологические категории // Журнал общей биологии, 2012. Т. 73. № 4. С. 284–301.
- [17] Rosenberg E., Sharon G., Zilber-Rosenberg I. The hologenome theory of evolution contains Lamarckian aspects within a Darwinian framework // Environ. Microbiol, 2009, v. 11, no. 12, pp. 2959–2962.
- [18] Rosenberg E., Zilber-Rosenberg I. From bacterial bleaching to the hologenome theory of evolution // Proc. 11-th Int. Coral Reef Sympos.: Ft. Lauderdale, Florida, 2008, no. 9, pp. 269–273.
- [19] Zilber-Rosenberg I., Rosenberg E. Role of microorganisms in the evolution of animals and plants: the hologenome theory of evolution // FEMS Microbiol. rev., 2008, v. 32, pp. 723–735.
- [20] Эндوفитные бактерии как перспективный биотехнологический ресурс и их разнообразие / Чеботарь В.К., Щербаков А.В., Щербакова Е.Н., Масленникова С.Н. Заплаткин А.Н., Мальфанова Н.В. // Сельскохозяйственная биология, 2015. Т. 50. С. 648–654.
- [21] Bacterial endophytes: recent developments and applications / Ryan R.P., Germaine K., Franks A., Ryan D.J., Dowling D.N. // FEMS Microbiol Lett, 2007, v. 278, pp. 1–9.

## Сведения об авторах

**Федотов Геннадий Николаевич** — д-р биол. наук, ведущий научный сотрудник факультета почвоведения МГУ имени М.В. Ломоносова, gennadiy.fedotov@gmail.com

**Шалаев Валентин Сергеевич** — д-р техн. наук, профессор, главный научный сотрудник МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), shalaev@mgul.ac.ru

**Батырев Юрий Павлович** — канд. техн. наук, доцент МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), batyrev@mgul.ac.ru

**Горепекин Иван Владимирович** — студент факультета почвоведения МГУ имени М.В. Ломоносова

Поступила в редакцию 26.02.2018.

Принята к публикации 08.08.2018.

## METHODOLOGY FOR ASSESSING SEEDS GERMINATION STIMULANTS EFFECTIVENESS

G.N. Fedotov<sup>1</sup>, V.S. Shalaev<sup>2</sup>, Yu.P. Batyrev<sup>2</sup>, I.V. Gorepekin<sup>1</sup>

<sup>1</sup>M.V. Lomonosov Moscow State University, 119991, Moscow, GSP-1, Leninskie Gory, 1, p. 12, Faculty of Soil Science, Moscow State University

<sup>2</sup>BMSTU (Mytishchi branch), 1, 1st Institutskaya st., 141005, Mytishchi, Moscow reg., Russia

gennadiy.fedotov@gmail.com

Improvement seeds sowing qualities is one of the main factors yield increasing of agricultural and forestry crops. Among the most promising methods of improving seeds sowing qualities should be identified their stimulating treatment with physical effects or biologically active substances. It is believed that the initial processes of germination occur more intensively in the pre-sowing treatment of seeds. This especially affects the development of the root system. For a long time during the research evaluation was carried out according to the final result — yield, changes in the size and weight vegetative organs of plants, germination (germination energy) or physiological parameters (enzyme activity, the content of biologically active substances, etc.). However, all these studies are labor-intensive, long and require from a week (germination) to months (yield) of time costs. The work analyzes problems of development seed germination stimulants. The necessity creation of high-performance and rather simple laboratory technique is shown, the key moments of similar technique are allocated. Attention is drawn to the need a systematic approach to stimulants development, determining on its basis the stimulants direction. Among the conclusions: the developed technique allows to quickly determine the total sprouts length of large seeds arrays, in particular, to check the action seed germination stimulants in the laboratory; when using the developed technique, it is necessary to check the stimulants seeds germinating action on soils which they are planned to be used; check the stimulants action on agricultural and forestry crops seeds should be carried out when using stimulants with fungicides.

**Keywords:** agricultural and forestry crops seeds, seeds germination stimulants, methodology for assessing stimulants effectiveness, a systematic approach

**Suggested citation:** Fedotov G.N., Shalaev V.S., Batyrev Yu.P., Gorepekin I.V. *Metodika dlya otsenki effektivnosti deystviya stimulyatorov prorastaniya semyan* [Methodology for assessing seeds germination stimulants effectiveness] // *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2018, vol. 22, no. 6, pp. 95–101.  
DOI: 10.18698/2542-1468-2018-6-95-101

### References

- [1] Sechnyak L.K., Kindruk N.A., Slyusarenko O.K., Ivashchenko V.G., Kuznetsov E.D. *Ekologiya semyan pshenitsy* [Ecology of wheat seeds] Moscow: Kolos, 1983, 349 p.
- [2] Dmitriev A.M., Stratskevich L.K. *Stimulyatsiya rosta rasteniy* [Stimulation of plant growth] Ed. N.F. Batygin. Minsk: Uradzhay, 1986, 118 p.
- [3] Alekhin V.T., Sergeev V.R., Zlotnikov A.K., Popov Yu.V., Ryabchinskaya T.A., Rukin V.F. *Al'bit na zernovykh kul'turakh i sakharnoy svekle* [Albite on cereals and sugar beet] *Zashchita i karantin rasteniy*, 2006, no. 6, pp. 26–27.
- [4] Burmistrova T.I., Udintsev S.N., Tereshchenko N.N., Zhilyakova T.P., Sysoeva L.N., Trunova N.M. *Vliyanie kompleksnogo preparata guminovykh kislot i mikroelementov na urozhaynost' i ustoychivost' k boleznyam yarovoy pshenitsy* [Complex preparation of humic acids and microelement influence on yield and resistance to diseases of spring wheat] *Agrohimiya* [Agricultural Chemistry], 2011, no. 9, pp. 64–67.
- [5] Kozhukhar' T.V., Kirichenko E.V., Kokhan S.S. *Vliyanie mineral'nykh udobreniy i predposevnoy obrabotki semyan biologicheskimi preparatami na sodержание khlorofilla v list'yakh ozimoy pshenitsy* [Influence of mineral fertilizers and presowing treatment of seeds with biological preparations on chlorophyll content in winter wheat leaves] *Agrohimiya* [Agricultural Chemistry], 2010, no. 1, pp. 61–67.
- [6] Kravets A.V., Bobrovskaya D.L., Kasimova L.V., Zotikova A.P. *Predposevnaya obrabotka semyan yarovoy pshenitsy guminovym preparatom iz torfa* [Presowing treatment of spring wheat seeds with humic peat preparation]. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2011, no. 4 (78), pp. 22–24.
- [7] Ryabchinskaya T.A., Kharchenko G.L., Sarantseva N.A., Bobreshova I.Yu., Zlotnikov A.K. *Polifunktional'noe deystvie preparata Al'bit pri predposevnoy obrabotke semyan yarovoy pshenitsy* [Polyfunctional action Albit preparation at presowing seeds treatment of spring wheat] *Agrohimiya* [Agricultural Chemistry], 2009, no. 10, pp. 39–47.
- [8] Aksenova L.A., Zak E.A., Bocharova M.A., Klyachko N.L. *Vliyanie predposevnoy obrabotki semyan pshenitsy poverkhnostno-aktivnymi veshchestvami na ikh prorastanie pri neblagopriyatnykh usloviyakh* [Effect of presowing treatment of wheat seeds with surfactants on their germination under adverse conditions] *Fiziologiya rasteniy* [Russian Journal of Plant Physiology], 1990, T. 37, no. 5, pp. 1007–1014.
- [9] Obrucheva N.V., Antipova O.V. *Fiziologiya initsiatsii prorastaniya semyan* [Physiology of seed germination initiation] *Fiziologiya rasteniy* [Russian Journal of Plant Physiology], 1997, T. 44, no. 2, pp. 287–302.
- [10] Honda H, Takikawa N, Noguchi H, Hanai T, Kobayashi T. Image Analysis Associated with a Fuzzy Neural Network and Estimation of Shoot Length of Regenerated Rice Callus. *Journal of fermentation and bioengineering*, 1997, v. 84, no. 4, pp. 342–347.
- [11] Judd L.A., Jackson B.E., Fonteno W.C. Advancements in Root Growth Measurement Technologies and Observation Capabilities for Container-Grown Plants. *Plants* (Basel), 2015, v. 4(3), pp. 369–392.

- [12] Brunes A.P., Araujo A. de S., Dias L.W., Villela F.A., Aumonde T.Z. Seedling length in wheat determined by image processing using mathematical tools. *Revista Ciência Agronômica*, 2016, v. 47, no. 2, pp. 374–379.
- [13] Balakhnina T. The influence of wheat *Triticum aestivum* L. seed pre-sowing treatment with magnetic fields on germination, seedling growth, and antioxidant potential under optimal soil watering and flooding. *Acta physiologiae plantarum*, 2015, t. 37, no. 3, p. 59.
- [14] Šerá B. New physicochemical treatment method of poppy seeds for agriculture and food industries. *Plasma Science and Technology*, 2013, t. 15, no. 9, p. 935.
- [15] Provorov N.A. *Rastitel'no-mikrobye simbiozy kak evolyutsionnyy kontinuum* [Plant-microbe symbioses as an evolutionary continuum] *Zhurnal obshhey biologii* [Biology Bulletin Reviews], 2009, t. 70, no. 1, pp. 10–34.
- [16] Savinov A.B. *Autocenozy i democenozy kak simbioticheskie sistemy i biologicheskie kategorii* [Autocenosis and democenosis as symbiotic systems and biological categories] *Zhurnal obshhey biologii* [Biology Bulletin Reviews], 2012, t. 73, no. 4, pp. 284–301.
- [17] Rosenberg E., Sharon G., Zilber-Rosenberg I. The hologenome theory of evolution contains Lamarckian aspects within a Darwinian framework. *Environ. Microbiol.*, 2009, v. 11, no. 12, pp. 2959–2962.
- [18] Rosenberg E., Zilber-Rosenberg I. From bacterial bleaching to the hologenome theory of evolution. *Proc. 11-th Int. Coral Reef Sympos.*: Ft. Lauderdale, Florida, 2008, no. 9, pp. 269–273.
- [19] Zilber-Rosenberg I., Rosenberg E. Role of microorganisms in the evolution of animals and plants: the hologenome theory of evolution. *FEMS Microbiol. rev.* 2008, v. 32, pp. 723–735.
- [20] Chebotar' V.K., Shcherbakov A.V., Shcherbakova E.N., Maslennikova S.N., Zaplatkin A.N., Mal'fanova N.V. *Endofitnye bakterii kak perspektivnyy biotekhnologicheskiy resurs i ikh raznoobrazie* [Endophytic bacteria as a promising biotechnological resource and their diversity] // *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya*, 2015, t. 50, pp. 648–654.
- [21] Ryan R.P., Germaine K., Franks A., Ryan D.J., Dowling D.N. Bacterial endophytes: recent developments and applications. *FEMS Microbiol Lett.*, 2007, v. 278, pp. 1–9.

## Authors' information

**Fedotov Gennadiy Nikolaevich** — Dr. Sci. (Biol.), Senior Researcher, Lomonosov Moscow State University, gennadiy.fedotov@gmail.com

**Shalaev Valentin Sergeevich** — Dr. Sci. (Tech.) Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), shalaev@mgul.ac.ru

**Batyrev Yuriy Pavlovich** — Cand. Sci. (Tech.) Associated Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), batyrev@mgul.ac.ru

**Gorepekin Ivan Vladimirovich** — student of the Lomonosov Moscow State University, gennadiy.fedotov@gmail.com

Received 26.02.2018.

Accepted for publication 08.08.2018.