ISSN 0002-3558 (print)
УДК 58.04

Поступила в редакцию 24.08.2016
Received 24.08.2016

Н. А. Ламан, К. Р. Кем, А. Ф. Судник

Институт экспериментальной ботаники им. В. Ф. Купревича НАН Беларуси, Минск, Республика Беларусь

РОСТОВЫЕ РЕАКЦИИ ПРОРОСТКОВ ОТДЕЛЬНЫХ ВИДОВ И СОРТОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ НА ОБРАБОТКУ СЕМЯН ГЛИФОСАТОМ (N-ФОСФОНОМЕТИЛГЛИЦИНОМ)

Изучены физиологические эффекты малых доз глифосата на проростках трех различных сельскохозяйственных культур – ярового ячменя, льна-долгунца и озимого рапса. Установлена зависимость доза–эффект для каждой исследуемой культуры в широком диапазоне концентраций N-фосфонометилглицина. Выявлена видовая и сортовая специфичность ростовых реакций на инкрустацию семян глифосатом.

Ключевые слова: ячмень, лен-долгунец, рапс, глифосат, N-фосфонометилглицин, инкрустация, гормезис, доза–эффект, рост, ингибирование, стимуляция.

N. A. Laman, K. R. Kem, A. F. Sudnik

V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Republic of Belarus

GROWTH RESPONSES OF SEEDLINGS OF CERTAIN SPICIES AND CROP VARIETIES IN TREATMENT GLYPHOSATE (N-PHOSPHONO-METHYLGLYCINE)

Physiological effects of low doses of glyphosate are studied on the seedlings of three different crops – spring barley, flax and winter rape. The dose-response dependence is found for each culture in a wide range of concentrations of N-phosphonomethylglycine. Specific and varietal specificity of growth responses to incrustation of seed by glyphosate is identified.

Keywords: barley, flax, rape, glyphosate, N-phosphonomethylglycine, incrustation, hormesis, dose–response, growth, inhibition, stimulation.

Введение. Одним из основных постулатов классической токсикологии утверждается, что взаимодействие химического вещества и обрабатываемого биологического объекта по принципу доза–эффект предполагает однонаправленное усиление наблюдаемых показателей метаболических процессов, физиологических функций и морфологической структуры биологической системы (клетки, органы, ткани, организм) при повышении действующих доз и концентраций [1, 2].

В то же время начиная с конца 1960-х годов шло интенсивное накопление экспериментальных данных, которые послужили основой для формирования нового самостоятельного направления современной токсикологии. Речь идет о гормезисе (hormesis), представляющем собой двухфазовое действие химических веществ (ксенобиотиков, лекарств, природных ядов), которые в малых дозах вызывают стимуляцию изучаемых биологических показателей, тогда как большие их дозы ингибируют эти показатели.

Разработка концепции гормезиса связана в первую очередь с именем одного из ее основателей – профессора Массачусетского университета Edward James Calabrese [3, 4]. На основе анализа многочисленных данных научной литературы Калабриз и сотр. пришли к выводу, что гормезис – это генерализованный воспроизводимый феномен, который является фундаментальным обобщенным отражением зависимости доза–ответная реакция.

Многочисленными последователями концепции гормезиса констатируется настоятельная необходимость проведения всесторонних исследований этого феномена как общебиологического явления и обоснования использования его в практической деятельности.

© Ламан Н. А., Кем К. Р., Судник А. Ф., 2016

Интенсивное развитие такие исследования (а именно по выявлению стимулирующего эффекта сублетальных доз 2,4-дихлорфеноксиуксусной кислоты на ряде овощных культур [5]) получили в 1980-е годы. В работе [6] 13 из 16 исследованных гербицидов стимулировали рост корней и побегов овса.

Пристальное внимание в последнее десятилетие привлекли гербицидные препараты на основе N-фосфонометилглицина (глифосата), широко используемые в настоящее время. Впервые глифосат синтезирован и тестирован как гербицид в 1970 г. сотрудниками фирмы Монсанто [7]. В 1974 г. в продажу поступила его первая препаративная форма под названием Раундап, включающая изопропиламинную соль глифосата. Через 20 лет после истечения срока действия патента фирмы Монсанто на рынке появилось огромное количество дженериков, действующим веществом которых является глифосат. Однако особенно большие объемы производства и использования глифосатов связаны с созданием, начиная с 1996 г., генно-инженерными методами устойчивых к глифосату форм сои, кукурузы, хлопчатника и других культур. В это же время в ряде лабораторий мира у N-фосфонометилглицина выявлен эффект гормезиса [8]. Так, бразильские исследователи зафиксировали воспроизводимое в экспериментах с эвкалиптом стимулирующее действие глифосата в дозе 16 г/га на рост саженцев этой древесной породы [9].

Имеющиеся в англоязычной научной литературе материалы показывают, что эффект мягкого химического стресса (5–10 % от применяемой для уничтожения сорной растительности дозы) при обработке глифосатом может достигать от 5 до 100 % по сравнению с вариантом без обработки. Например, в опытах с яровым ячменем обработка растений глифосатом в начале фазы колошения в дозах от 1,6 до 12 г/га статистически достоверно повышала два года подряд урожай зерна на 12 % [10].

Вместе с тем успешное использование в практических целях явления гормезиса у глифосата и других пестицидов требует решения ряда фундаментальных вопросов: 1) выявления механизмов стимуляции роста и продуктивности растений малыми дозами гербицида; 2) определения условий, при которых гарантированно реализуется потенциальная возможность активации роста и устойчивости растений с использованием малых доз пестицидов; 3) разработки методологии и методов исследования явления гормезиса у разных по химической природе биологически активных веществ; 4) определения видовой и сортовой реакции растений на действие малых доз пестицидов.

В наших опытах ставилась задача установить зависимость доза–эффект на основе показателей роста корневой системы проростков ряда сельскохозяйственных растений при обработке семян растворами N-фосфонометилглицина в широком диапазоне концентраций [11]. Анализ полученного экспериментального материала позволил сделать вывод о том, что кривую зависимости доза–эффект в диапазоне использованных в опытах концентраций можно разделить на четыре зоны: зону стимуляции, зону постепенного усиления ингибирования роста, зону резкого ингибирования ростовых процессов, зону практически полного подавления роста проростков (рис. 1).

Цель данного исследования – изучение физиологических эффектов малых доз глифосата на проростках различных сельскохозяйственных культур и выявление видовой и сортовой специфичности ростовых реакций на инкрустацию семян глифосатом.

Материалы и методы исследования. Объектами исследования были семена и проростки льна-долгунца (*Linum usitatissimum* L., сорта Ласка и Веста), ярового ячменя (*Hordeum vulgare* L., сорта Радзимич и Фэст) и озимого рапса (*Brassica napus* L., сорт Империал).

Диапазон концентраций глифосата, используемых в опыте, составлял от $6{,}55 \cdot 10^{-5}$ до $1{,}55 \cdot 10^{-2}$ М (изменение в 236 раз) и был получен методом разбавления с шагом 1,25 раза в 1 %-ном водном растворе пленкообразователя Гисинар (сополимер акриламида и натриевой соли акриловой кислоты).

Опыты включали по 26 вариантов в 4-кратной повторности, контроль (1 %-ный р-р Гисинара) в 8-кратной повторности. Инкрустацию семян проводили вручную в стеклянной посуде. Расход рабочего раствора – 20 мкл/г семян.

Семена проращивали в бумажных рулонах по методике проращивания плоских и мелких семян [12] с модификацией, приведенной в [13, 14], физиологическое состояние проростков оценивали, как описано в работе [15]. Всхожесть определяли по ГОСТ 12038-84 [16]. Рулоны выдерживали

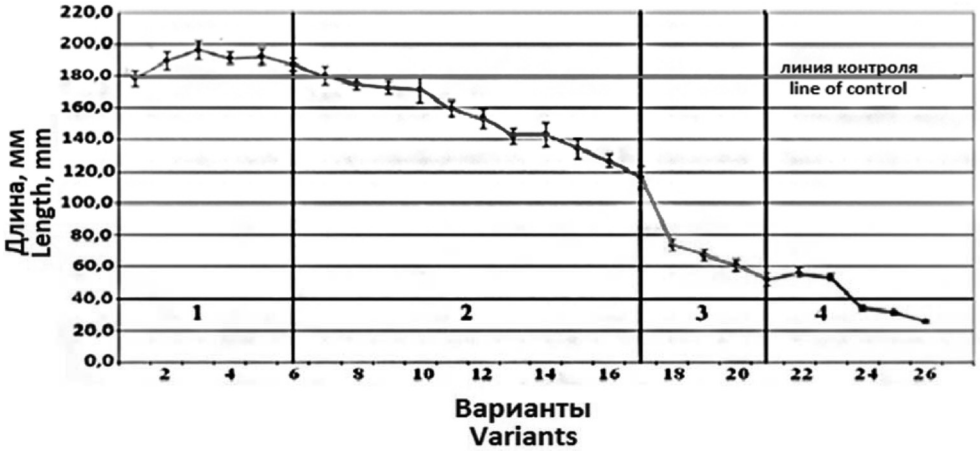


Рис. 1. Кривая зависимости доза–эффект при действии N-фосфонометилглицина на рост корневой системы проростков ярового ячменя: *1* – зона стимуляции (гормезиса) (концентрации, при которых показатели длины корня/надземной части проростка достоверно превосходят контроль); *2* – зона постепенного усиления ингибирования роста (концентрации, при которых наблюдается плавное нарастание угнетения роста корня/надземной части); *3* – зона резкого ингибирования ростовых процессов (концентрации, при которых происходит резкое торможение роста проростков); *4* – зона полного подавления роста проростков

Fig. 1. The curve of dose-effect dependence in the action of N-phosphonomethylglycine on seedlings root growth of spring barley: *1* – stimulation zone (hormesis) (the concentration at which the length of roots/aerial part of the seedling was significantly superior to control); *2* – zone of gradual strengthening of growth inhibition (concentration at which there is gradual increase in the oppression of root/aerial part growth); *3* – zone of sharp inhibition of growth processes (concentration at which there is a sharp deceleration of seedlings growth); *4* – zone of complete suppression of seedlings growth

2 сут в термостате ТПС-2 при постоянной температуре 22 °С и на 3-и сутки помещали в условия искусственного освещения интенсивностью 7,5 тыс. лк (16 ч – свет, 8 ч – темнота).

Измерение длины корня и надземной части проводили на 3, 5, 7 и 9-е сутки. Содержание сухого вещества и массу 10 проростков измеряли на 7-е сутки. Для определения биометрических показателей при каждом учете брали по 15 проростков из каждого варианта и по 30 проростков из контролей.

Результаты и их обсуждение. В опытах со льном-долгунцом сорта Ласка выявлена зона стимуляции роста корневой системы в диапазоне концентраций глифосата от $7{,}7 \cdot 10^{-5}$ до $1{,}9 \cdot 10^{-4}$ М (на 9-е сутки). Величина стимуляции по отношению к контролю в наивысшей точке имела показатель 109,4 %, который является статистически достоверным. У льна-долгунца сорта Веста эффекта стимуляции не выявлено, при этом для указанного сорта характерна более высокая устойчивость к действию глифосата, чем для сорта Ласка. Выявлены различия в концентрациях, при которых начинается резкое ингибирование роста корня. Для сорта Ласка данная концентрация составила $2{,}6 \cdot 10^{-3}$ М, тогда как для сорта Веста – $5{,}1 \cdot 10^{-3}$ М, что в 1,9 раза выше. Кроме того, концентрация, при которой наблюдалась остановка роста корня у сорта Веста, в 2 раза выше аналогичной концентрации у сорта Ласка (рис. 2).

Для каждого сорта можно выделить диапазон концентраций, при которых отмечаются резкое снижение: у сорта Ласка – от $2{,}6 \cdot 10^{-3}$ до $5{,}1 \cdot 10^{-3}$ М (в 1,9 раза), у сорта Веста – от $5{,}1 \cdot 10^{-3}$ до $1 \cdot 10^{-2}$ М (в 2 раза), а затем и полная остановка роста корней.

Анализ полученных данных показывает, что независимо от сорта и концентрации глифосата всхожесть семян льна-долгунца составила 98 %, как и в контроле. Энергия прорастания была на уровне 95 % для всех вариантов. Изменение длины гипокотилей для обоих сортов незначительны при всем диапазоне концентраций, использованных в эксперименте.

В опыте с яровым ячменем выявлено, что инкрустирование семян раствором N-фосфонометилглицина приводит к статистически достоверному ингибированию роста корневой системы, начиная с концентрации $1{,}4 \cdot 10^{-3}$ М у сорта Радзимич и $1{,}7 \cdot 10^{-3}$ М у сорта Фэст, при концентрациях более 0,17 % активность ростовых процессов незначительна у проростков обоих сортов.

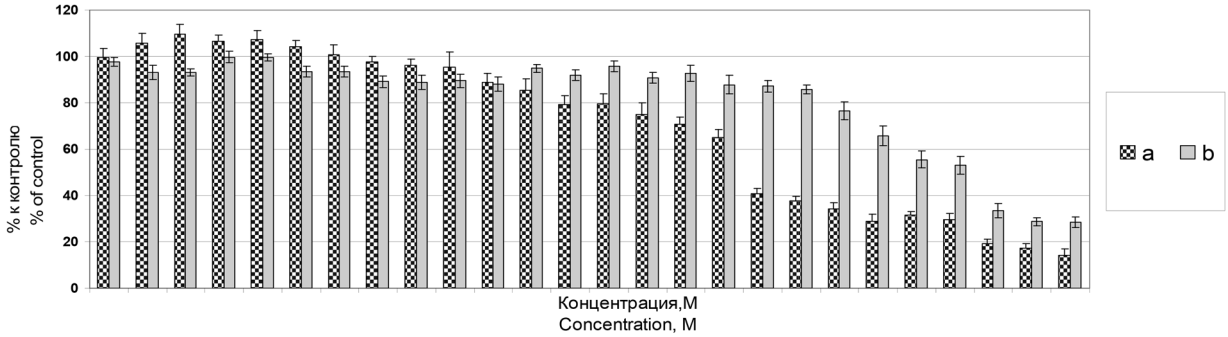


Рис. 2. Зависимость длины корня проростков льна-долгунца (*a* – сорт Ласка, *b* – сорт Веста) от концентрации глифосата (9-е сутки)

Fig. 2. The dependence of the seedlings root length of flax (*a* – cv. Laska, *b* – cv. Vesta) on the glyphosate concentration (9 days)

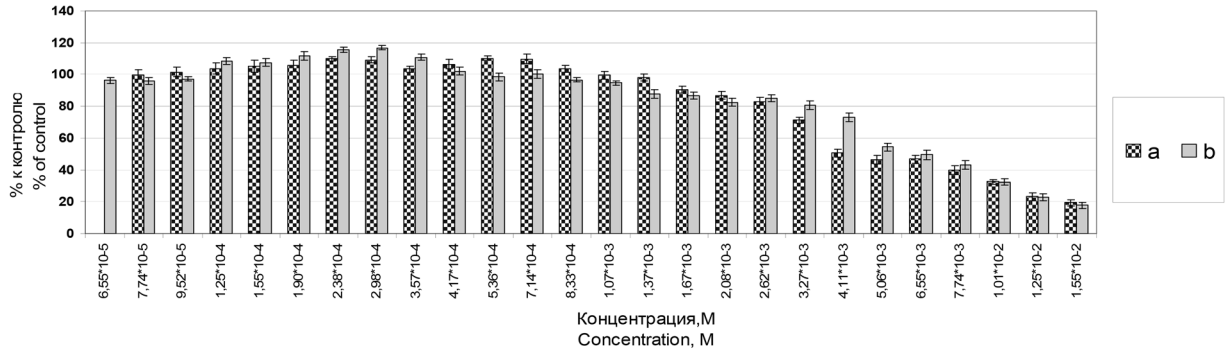


Рис. 3. Зависимость длины корня проростков ярового ячменя (*a* – сорт Фэст, *b* – сорт Радзимич) от концентрации глифосата (9-е сутки)

Fig. 3. The dependence of the seedlings root length of spring barley (*a* – cv. Fest, *b* – cv. Radzimich) on the glyphosate concentration (9 days)

Для сорта Радзимич в диапазоне концентраций от $1{,}3 \cdot 10^{-4}$ до $3 \cdot 10^{-4}$ М выявлена стимуляция роста корня, являющаяся статистически значимой. Следует отметить, что для сорта Фэст этот диапазон шире – от $1{,}3 \cdot 10^{-4}$ до $7{,}1 \cdot 10^{-4}$ М (рис. 3).

Резкое снижение роста корня наблюдалось у сорта Радзимич при концентрации глифосата $4{,}1 \cdot 10^{-3}$ М, у сорта Фэст – $5{,}1 \cdot 10^{-3}$ М, что может характеризовать его как более устойчивый к воздействию N-фосфонометилглицина.

Установлено также, что воздействие глифосата на рост надземной части проростков значительно слабее, чем на рост корневой системы. Так, для обоих сортов ячменя ингибирование роста первого листа начинается при концентрации $5{,}1 \cdot 10^{-3}$ М, увеличиваясь с ее повышением. Стимуляцию роста надземной части наблюдали в диапазоне концентраций от $9{,}5 \cdot 10^{-5}$ до $4{,}1 \cdot 10^{-3}$ М.

Энергия прорастания семян независимо от концентрации глифосата сохранялась для всех вариантов на уровне 97 %, всхожесть – на уровне 99 %.

В свою очередь экспериментальные данные, полученные в опыте с озимым рапсом, свидетельствуют об отсутствии эффекта стимуляции роста корневой системы (рис. 4) и надземной части проростков этой культуры при инкрустации семян N-фосфонометилглицином. При этом для рапса характерна более высокая устойчивость к действию глифосата, чем для других исследуемых культур.

Так, концентрация, при которой начинается резкое ингибирование роста корня, равна $1 \cdot 10^{-2}$ М, тогда как у других исследуемых культур она на порядок ниже (рис. 5) и составляет для растений ярового ячменя $5{,}1 \cdot 10^{-3}$ М (Радзимич) и $4{,}1 \cdot 10^{-3}$ М (Фэст), для льна-долгунца $2{,}6 \cdot 10^{-3}$ М (Ласка) и $5{,}1 \cdot 10^{-3}$ М (Веста).

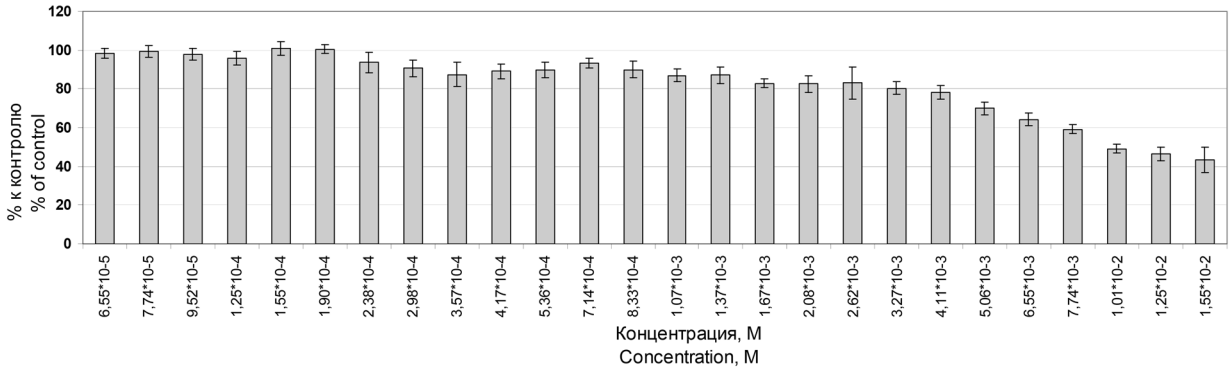


Рис. 4. Зависимость длины корня проростков озимого рапса (сорт Империал) от концентрации глифосата (9-е сутки)

Fig. 4. The dependence of the seedlings root length of winter rape (cv. Imperial) on the glyphosate concentration (9 days)

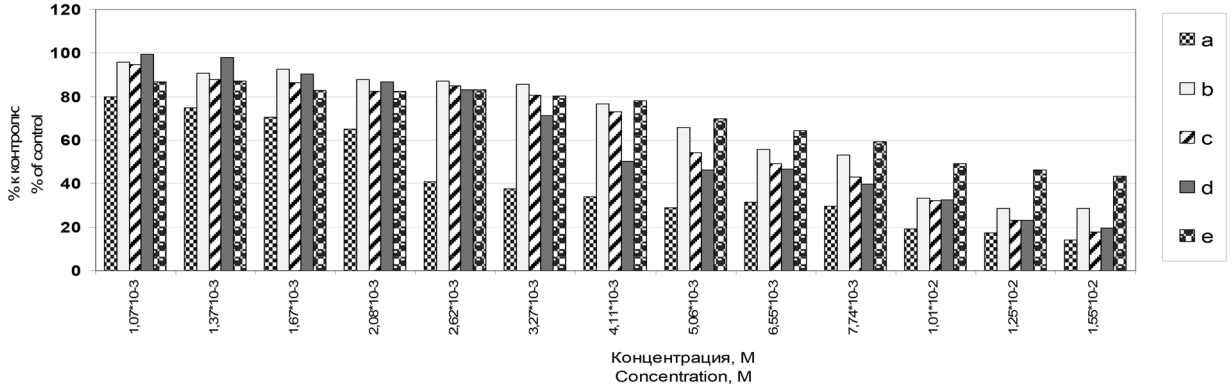


Рис. 5. Показатели роста корневой системы проростков различных культур и сортов в диапазоне концентраций глифосата от $1{,}07 \cdot 10^{-3}$ до $1{,}55 \cdot 10^{-2}$ М (*a* – лен-долгунец сорта Ласка, *b* – лен-долгунец сорта Веста, *c* – ячмень сорта Радзимич, *d* – ячмень сорта Фэст, *e* – рапс сорта Империал)

Fig. 5. Root growth indices of seedlings of different crops and varieties in a range of glyphosate concentrations of $1{,}07 \cdot 10^{-3}$ to $1{,}55 \cdot 10^{-2}$ M (*a* – flax cv. Laska, *b* – flax cv. Vesta, *c* – barley cv. Radzimich, *d* – barley cv. Fest, *e* – rape cv. Imperial)

Заключение. Таким образом, установлена зависимость доза–эффект для каждой исследуемой культуры в широком диапазоне концентраций N-фосфонометилглицина. Результаты исследования указывают на наличие видовой и сортовой специфичности ростовых реакций проростков на инкрустацию семян данным гербицидом. Следовательно, для обоснования практического использования наблюдаемых эффектов необходимо детальное изучение влияния глифосата на сельскохозяйственные культуры не только разных видов, но и разных сортов.

Следует отметить, что выявленный диапазон концентраций, при которых наблюдалась стимуляция роста корневой системы, был устойчивым и воспроизводился от опыта к опыту, что рассматривается нами как проявление эффекта гормезиса.

Список использованных источников

1. К обоснованию гормезиса как фундаментальной биомедицинской парадигмы (обзор литературы и результатов собственных исследований) / Л. М. Шафран [и др.] // Совр. проблемы токсикол. – Киев: Медицина Украины. – 2010. – № 2/3. – С. 13–23.

2. Криштопенко, С. В. Доза–эффект / С. В. Криштопенко, М. С. Тихов, Е. Б. Попова. – М.: Медицина, 2008. – 288 с.

3. Calabrese, E. J. Hormesis: why it is important to toxicology and toxicologists / E. J. Calabrese // Environ. Toxicol. Chem. – 2008. – Vol. 27. – P. 1451–1474.

4. Calabrese, E. J. The hormetic dose-response model is more common than the threshold model in toxicology / E. J. Calabrese, L. A. Baldwin // Toxicol. Sci. – 2003. – Vol. 71. – P. 246–250.

5. Hemphill, D. D. Response of Vegetable Crops to Sublethal Application of 2,4-D / D. D. Hemphill, Jr. Montgomery, M. L. Montgomery // Weed Sci. – 1981. – Vol. 29, N 6. – P. 632–635.

6. Wiedman, S. J. Plant growth stimulation by sublethal concentrations of herbicides / S. J. Wiedman, A. P. Appleby // Weed res. – 1972. – Vol. 12. – P. 65–74.

7. Duke, S. O. Glyphosate: a once-in-a-century herbicide / S. O. Duke, S. B. Powles // Pest Management Sci. – 2008. – Vol. 64. – P. 319–325.

8. Glyphosate applied at low doses can stimulate plant grouth / E. D. Velini [et al.] // Pest Management Sci. – 2008. – Vol. 64. – P. 489–496.

9. Response of Eucalyptus (*Eucalyptus urograndis*) plants at different doses of glyphosate / F. C. M. Pereira [et al.] // J. of Agricult. Sci. – 2013. – Vol. 5, N 1. – P. 66–74.

10. Chemical stress can increase crop yield / N. Cedergreen [et al.] // Field Crops Res. – 2009. – Vol. 114. – P. 54–57.

11. Исследование зависимости «доза–эффект» по реакции роста проростков при обработке семян 6-фосфонометилглицином (глифосатом) / Н. А. Ламан [и др.] // Регуляция роста, развития и продуктивности растений: материалы VIII Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 28–30 октября 2015 г. / НАН Беларуси, Ин-т эксперим. ботаники им. В. Ф. Купревича, Белорус. обществ. объединение физиологов растений; науч. ред. Н. А. Ламан. – Минск: Колоград, 2015. – С. 69.

12. Ламан, Н. А. Проращивание мелких, плоских и долго прорастающих семян рулонным методом с использованием синтетической вентиляционной сетки / Н. А. Ламан, С. И. Будай, О. Э. Барнатович // Вес. Акад. аграр. навук РБ. – 2000. – № 4. – С. 57–61.

13. Особенности действия брассиностероидов в составе инсекто-фунгицидных композиций на рост проростков рапса (*Brassica napus* L.) в условиях низкотемпературного стресса / А. Ф. Судник [и др.]; Ин-т эксперим. ботаники НАН Беларуси // Ботаника (исследования). – Вып. 40. – Минск: Право и экономика, 2011. – С. 560–574.

14. Судник, А. Ф. Методика проращивания семян льна-долгунца и рапса и создания низкотемпературного стресса для проростков / А. Ф. Судник, Н. А. Ламан, Л. Б. Куканего // Регуляция роста, развития и продуктивности растений: материалы VII Междунар. научн. конф., Минск, 26–28 октября 2011 г. – Минск, 2011. – С. 198.

15. Алексейчук, Г. Н. Сила роста семян зерновых культур и ее оценка методом ускоренного старения / Г. Н. Алексейчук; Ин-т эксперим. ботаники НАН Беларуси; под ред. Н. А. Ламана. – Минск: Право и экономика, 2009. – 44 с.

16. ГОСТ 12038-84. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести. – Введ. 19.12.84. – М.: Изд-во стандартов, 1985. – 57 с.

References

1. Shafran, L. M., Mokienko, A. V., Petrenko, N. F., Gozhenko, A. I. and Nasibullin, B. A. (2010) “To substantiation hormesis as a fundamental biomedical paradigm (literature review and the own research results)”, *Sovremennye problemy toksikologii* [Current problems of toxicology], no. 2/3, pp. 13-23.

2. Krishtopenko, S. V., Tikhov, M. S. and Popova, E. B. (2008) *Doza-effekt* [Dose-response], Medicine, Moscow, RU.

3. Calabrese, E. J. (2008) “Hormesis: why it is important to toxicology and toxicologists», *Environmental Toxicology and Chemistry*, vol. 27, pp. 1451-1474.

4. Calabrese, E. J. and Baldwin, L. A. (2003) “The hormetic dose-response model is more common than the threshold model in toxicology”, *Toxicological Sciences*, vol. 71, pp. 246–250.

5. Hemphill D. D., Montgomery, Jr. and Montgomery, M. L. (1981) “Response of Vegetable Crops to Sublethal Application of 2,4-D”, *Weed Science*, vol. 29, no. 6, pp. 632-635.

6. Wiedman, S. J. and Appleby, A. P. (1972) “Plant growth stimulation by sublethal concentrations of herbicides”, *Weed research*, vol. 12, pp. 65-74.

7. Duke, S. O. and Powles, S. B. (2008) “Glyphosate: a once-in-a-century herbicide», *Pest Management Science*, vol. 64, pp. 319-325.

8. Velini, E. D., Alves, E., Godoy, M. C., Meschede, D. K., Souza, R. T. and Duke, S. O. (2008) “Glyphosate applied at low doses can stimulate plant grouth”, *Pest Management Science*, vol. 64, pp. 489-496.

9. Pereira, F. C. M., Nepomuceno, M. P., Pires, R. N., Parreira, M. C. and Alves, P. L. da C. A. (2013) “Response of Eucalyptus (*Eucalyptus urograndis*) plants at different doses of glyphosate», *Journal of Agricultural Science*, vol. 5, no. 1, pp. 66-74.

10. Cedergreen, N. N., Felby, C., Porter, J. R. and Streibig, J. C. (2009) “Chemical stress can increase crop yield”, *Field Crops Research*, vol. 114, pp. 54-57.

11. Laman, N. A., Kem, K. R., Khripach, A. V. and Sudnik, A. F. (2015) “The investigation of the “dose-response” dependence by the reaction of seedling growth on the seed incrustation by 6-phosphonomethylglycine (glyphosate)”, *Regulyatsiya rosta, razvitiya i produktivnosti rastenii: Materialy VII Mezhdunarod. nauch.-praktich. konf., Minsk, 28-30 oktyabrya 2015 g.* [The regulation of growth, development and productivity of plants: Materials VIII Intern. scientific-practical. conf., Minsk, 28-30 October 2015], V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany of the National Academy of Sciences of Belarus, Kolograd, Minsk, BY, p. 69.

12. Laman, N. A., Budai, S. I. and Barnatovich, O. E. (2000) “The sprouting of small, flat and long germinating seeds by roll method using a synthetic ventilation grid”, *Vestsi Natsyyanalnai Akademii navuk Belarusi. Ser. biyal. navuk* [Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus], no. 4, pp. 57-61.

13. Sudnik, A. F., Laman, N. A., Doroshchuk, O. V. and Kukanego, L. B. (2011) "Features of action of brassinosteroids as a part of insecticide-fungicide compositions on the growth of seedlings of rape (Brassica napus L.) in the conditions of low-temperature stress", *Botanika (issledovaniya)* [Botany (investigations)], vol. 40, pp. 560-574.

14. Sudnik, A. F., Laman, N. A. and Kukanego, L. B. (2011) "Methods of germination of seeds of flax and rape, and the creation of a low-temperature stress for seedlings", *Regulyatsiya rosta, razvitiya i produktivnosti rastenii: Materialy VII Mezhdunarod. nauch. konf.* [The regulation of growth, development and productivity of plants: Materials of VII International Scientific Conference], Minsk, BY, p. 198.

15. Alekseichuk, G. N. *Sila rosta semyan zernovykh kultur i ee otsenka metodom uskorennogo stareniya* [The power of cereal seeds growth and its valuation by method of accelerated aging], Institut eksperimentalnoi botaniki im. V. F. Kuprevicha NAN Belarusi [V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany of the National Academy of Sciences of Belarus], Minsk, BY.

16. (1985) GOST 12038-84. *Semena sel'skokhozyaistvennykh kultur. Metody opredeleniya vskhozhesti* [State Standard 12038-84. Seeds of agricultural crops. Methods for determining the germination]. Intod. 19.12.84, Standartinform Publ, Moscow, RU.

Информация об авторах

Ламан Николай Афанасьевич – академик, д-р биол. наук, профессор, зав. лаб. роста и развития растений. Институт экспериментальной ботаники им. В. Ф. Купре-вича НАН Беларуси (ул. Академическая, 27, 220072, Минск, Республика Беларусь). E-mail: nikolai.laman@gmail.com

Кем Карина Робертовна – мл. науч. сотрудник лаборатории роста и развития растений. Институт экспериментальной ботаники им. Купревича НАН Беларуси (ул. Академическая, 27, 220072, Минск, Республика Беларусь). E-mail: kem-666@mail.ru

Судник Алла Федоровна – канд. биол. наук, ст. науч. сотрудник лаборатории роста и развития растений. Институт экспериментальной ботаники им. В. Ф. Купревича НАН Беларуси (ул. Академическая, 27, 220072, Минск, Республика Беларусь). E-mail: allasudnik@tut.by

Information about the authors

Laman Nikolai Afanas'evich – academician, D. Sc. (Biol.), Professor, Head of Laboratory of plant growth and development. V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany of the National Academy of Sciences of Belarus (Akademicheskaya str., 27, 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: nikolai.laman@gmail.com

Kem Karina Robertovna – Junior Researcher of laboratory of plant growth and development. V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany of the National Academy of Sciences of Belarus (Akademicheskaya str., 27, 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: kem-666@mail.ru

Sudnik Alla Fedorovna – Ph. D., Senior Researcher of laboratory of plant growth and development. V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany of the National Academy of Sciences of Belarus (Akademicheskaya str., 27, 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: allasudnik@tut.by

Для цитирования

Ламан, Н. А. Ростовые реакции проростков отдельных видов и сортов сельскохозяйственных растений на обработку семян глифосатом (N-фосфонометилглицином) / Н. А. Ламан, К. Р. Кем, А. Ф. Судник // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. біял. навук. – 2016. – № 4. – С. 7–13.

For citation

Laman N. A., Kem K. R., Sudnik A. F. Growth responses of seedlings of certain species and varieties of agricultural plants for seeds incrustation by glyphosate (N-phosphonomethylglycine). *Proceedings of the National academy of sciences of Belarus, biological series*, 2016, no. 4, pp. 7–13.