

О.Д. Петровская, аспирант
 С.В. Барановский, кандидат технических наук
 ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет»
 РФ, 660041, г. Красноярск, пр-т Свободный, 79
 А.В. Демиденко, кандидат биологических наук
 Т.Г. Волова, доктор биологических наук, профессор
 ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет»
 Институт биофизики СО РАН, ФИЦ «Красноярский научный центр СО РАН»
 РФ, 660036, г. Красноярск, Академгородок, 50/50
 E-mail: olga.petrovskaya.96@mail.ru

УДК 632.954

DOI:10.30850/vrsn/2022/1/47-51

ДЕЙСТВИЕ ДЕПОНИРОВАННЫХ ГЕРБИЦИДНЫХ ПРЕПАРАТОВ НА ЗЕРНОВЫЕ КУЛЬТУРЫ*

Изучено влияние депонированных гербицидных препаратов метрибузина (МЕТ) и трибенурон-метила (ТРИБ) на основе биоразлагаемого поли-3-гидроксибутирата на яровую пшеницу сорта Новосибирская 15 (*Triticum aestivum*) и яровой ячмень – Биом (*Hordeum vulgare*). Исследование (2019 год) провели в условиях полевого стационара Красноярского государственного агроуниверситета на лугово-черноземной мощной тяжелосуглинистой почве. Внесение депонированных гербицидных препаратов способствовало лучшему контролю численности сорных растений, повышению урожайности культур. При внесении препаратов МЕТ количество сорных растений снизилось более чем на 70 % (20 шт/м²) по сравнению с отрицательным контролем. Гербицидное действие ТРИБ и МЕТ, депонированных в матрицу из поли-3-гидроксибутирата в смеси с опилками более выраженное по сравнению с опрыскиванием свободными формами пестицидов. В результате исследования установили, что применение экспериментальных форм с ТРИБ увеличило биологическую урожайность зерновых культур. Максимальное количество продуктивных стеблей (712 шт/м²) и наибольшая урожайность (6,12 т/га) зафиксированы у ярового ячменя с внесением депонированного трибенурон-метила.

Ключевые слова: метрибузин, трибенурон-метил, депонированные гербицидные препараты, яровая пшеница, яровой ячмень, урожайность, структура урожая.

O.D. Petrovskaya, PhD student
 S.V. Baranovskiy, PhD in Engineering sciences
 Siberian Federal University
 RF, 660041, g. Krasnoyarsk, pr-t Svobodnyj, 79
 A.V. Demidenko, PhD in Biological sciences
 T.G. Volova, Grand PhD in Biological sciences, Professor
 Siberian Federal University
 Institute of Biophysics SB RAS, FRC «Krasnoyarsk Scientific Center SB RAS»
 RF, 660036, g. Krasnoyarsk, Akademgorodok, 50/50
 E-mail: olga.petrovskaya.96@mail.ru

THE EFFECT OF DEPOSITED HERBICIDAL PREPARATIONS ON GRAIN CROPS

The aim of the study was to study the effectiveness of deposited herbicidal preparations metribuzin and tribenuron-methyl based on biodegradable poly-3-hydroxybutyrate in micro-field crops of grain crops (spring wheat variety «Novosibirskaya 15» (*Triticum aestivum*) and spring barley variety «Biom» (*Hordeum vulgare*). The research was carried out in the growing season of 2019 in a field station of the Krasnoyarsk State Agricultural University, located in the vicinity of Krasnoyarsk on meadow-chnozem thick heavy loamy soil. As a result of the study, it was shown that the introduction of deposited herbicidal preparations contributed to a better control of the number of weeds in comparison with their free forms, which contributed to a greater formation of productive stems and, as a consequence, an increase in crop yields. The maximum decrease in the number of weeds was recorded with the introduction of MET preparations, where the number of weeds on August 20 decreased by more than 70 % (20 pcs/m²) in comparison with the negative control. Similar effects of herbicides in free and deposited form are shown in crops of spring barley varieties «Biom». The herbicidal effect of TRIB and MET deposited in a matrix of P (3GB) mixed with sawdust was more pronounced compared to spraying with free forms of pesticides. The results of the study showed that the use of experimental forms with TRIB increased the biological yield of grain crops by improving the indicators of the yield structure and effective control of weeds. The maximum number of productive stems was recorded on spring barley with the addition of deposited tribenuron-methyl (712 pcs/m²), where the highest yield was formed (6.12 t/ha).

Key words: metribusin, tribenuron-methyl, deposed herbicidal preparations, spring wheat, spring barley, yield, harvest structure.

* Работа выполнена при финансовой поддержке Проекта «Агропрепараты нового поколения: стратегии конструирования и реализации» (Соглашение № 074-02-2018-328) в соответствии с Постановлением Правительства Российской Федерации от 9 апреля 2010 г. № 220 «О мерах по привлечению ведущих ученых в вузы России» / The work was financially supported by the Project «New Generation Agricultural Products: Design and Implementation Strategies» (Agreement No. 074-02-2018-328) in accordance with Decree of the Government of the Russian Federation of April 9, 2010 No. 220 «On measures to attract leading scientists to Russian universities».

Пестициды предназначены для борьбы с вредителями и болезнями, однако в основном они аккумулируются в растениях и животных, загрязняют почву, водоемы и грунтовые воды. [4, 8, 15] Один из способов повышения эффективности использования пестицидов – инкапсулирование в матрицы из синтетических и природных полимеров. [2, 3, 5, 7, 9]

Применение биоматериалов в качестве систем доставки имеет множество преимуществ: биосовместимость, нетоксичность, эффективная инкапсуляция, пролонгированное высвобождение. [10] Особое место среди биоразлагаемых полимеров занимают полигидроксиалканоаты (ПГА), свойства которых (медленная биоразлагаемость, возможность получения полимерных изделий в различных физических состояниях) открывают перспективу построения долгосрочных форм препаратов на их основе. [6, 11, 13, 14]

Исследований по применению пестицидных препаратов на основе ПГА в посевах пшеницы и ячменя практически не было.

Цель работы – изучить действие депонированных гербицидных препаратов метрибузина и трибенурон-метила на основе разрушаемого поли-3-гидроксибутирата (П(ЗГБ)) на яровую пшеницу *Новосибирская 15* (*Triticum aestivum*) и яровой ячмень *Биом* (*Hordeum vulgare*).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Метрибузин (МЕТ) – системный избирательный гербицид из группы 1,2,4-триазинов. Трибенурон-метил (ТРИБ) – системный селективный гербицид из группы сульфонилмочевин. Механизм действия первого основан на ингибировании реакции Хилла, второго – фермента ацетолактатсинтазы. В качестве носителя для гербицида использовали смесь полимера поли-3-гидроксибутирата и березовых опилок. Формы в виде гранул получены в соответствии с методикой, описанной в предыдущих исследованиях. [12]

Таблица 1.
Общее количество сорных растений в посадках зерновых культур с различной доставкой гербицидов, шт/м²

Вариант опыта	31 мая	12 июля	22 июля	17 августа
Пшеница <i>Новосибирская 15</i>				
Контроль «-»	17±3	348±16	136±10	115±9
Контроль «+» ТРИБ	10±2	267±13	100±8	81±6
Контроль «+» МЕТ	6±1	260±12	115±8	75±6
Гранулы ТРИБ	11±2	168±11	60±5	80±6
Гранулы МЕТ	4±1	220±13	100±9	20±3
Ячмень <i>Биом</i>				
Контроль «-»	19±3	403±28	180±13	79±6
Контроль «+» ТРИБ	8±2	309±18	148±10	44±3
Контроль «+» МЕТ	7±1	272±21	124±10	52±3
Гранулы ТРИБ	10±2	250±20	120±10	28±3
Гранулы МЕТ	12±2	125±11	100±8	28±3

Опыты провели в 2019 году в условиях полевого стационара Красноярского государственного агроуниверситета на лугово-черноземной мощной тяжелосуглинистой почве. Варианты применения гербицидов для каждой зерновой культуры (яровая пшеница *Новосибирская 15* и ячмень *Биом*): контроль «-» отрицательный (выращивание растений без применения гербицидов); контроль «+» положительный (опрыскивание растений водными растворами МЕТ и ТРИБ); экспериментальные группы (внесение депонированных форм МЕТ и ТРИБ в виде гранул в почву одновременно с посевом).

Семена высевали 23 мая 2019 года вручную по общепринятой схеме: расстояние между рядками – 15 см, зернами – 1,5...2,0, глубина – 5...6 см. Площадь опытной делянки – 1 м², повторность – трехкратная, размещение – систематическое. Гранулы вносили в междурядья на глубину 5...6 см (315 шт/м²). Однократно опрыскивали раствора-

Таблица 2.

Структура урожая зерновых культур

Показатель	Контроль «-»	Контроль «+» ТРИБ	Контроль «+» МЕТ	Гранулы ТРИБ	Гранулы МЕТ
пшеница <i>Новосибирская 15</i>					
Число растений, шт/м ²	147±12	158±13	148±13	159±13	149±13
Количество продуктивных стеблей, шт/м ²	215±19	192±16	159±14	179±14	143±12
Высота растения, см	79±6	81±7	78±7,2	84±7,1	77±7,1
Длина колоса, см	5,6±0,7	5,5±0,4	5,4±0,6	5,5±0,04	5,2±0,4
Количество колосков в главном колосе, шт	11±0,9	10±0,6	10±0,9	10±0,6	10±0,6
Количество зерен в колосе, шт	23±1,2	22±1,1	21±1,6	21±1,6	19±1,1
Масса зерна одного колоса, г	0,7±0,06	0,7±0,05	0,7±0,06	0,8±0,06	0,6±0,04
Масса 1000 зерен, г	36,3±2,9	36,2±3,2	35,8±3,2	36,1±3,2	34,1±3,2
ячмень <i>Биом</i>					
Число растений, шт/м ²	176±15,4	182±16,3	170±16	198±17,5	182±17
Количество продуктивных стеблей, шт/м ²	600±54	667±56	621±48	712±65	541±46
Высота растения, см	55±4,3	55±4,5	54±4,3	57±4,9	56±4,5
Длина колоса, см	4,9±0,5	4,9±0,5	4,9±0,5	5,1±0,5	4,4±0,5
Количество зерен в колосе, шт	14±1,1	14±1,1	14±0,9	15±0,9	14±0,9
Масса зерна одного колоса, г	0,79±0,06	0,85±0,07	0,77±0,05	0,86±0,06	0,81±0,06
Масса 1000 зерен, г	55,3±4,9	56,4±5,1	52,7±4,6	57,4±5,1	54,9±4,3



Биологическая урожайность зерновых культур.

ми гербицидов во время посева согласно нормам (МЕТ – 140 г/га, ТРИБ – 25 г/га). Урожай собирали 17 августа.

В ходе эксперимента регистрировали сроки начала гибели сорных растений и их количество. Биологическую урожайность зерновых культур определяли в фазе полной спелости (с пересчетом на 14-процентную влажность). Анализировали ее структуру в соответствии с общепринятыми методиками. [1]

Результаты статистически обрабатывали в программах Microsoft Excel (Windows 10) и Statgraphics Centurion 8. Варианты сравнивали с помощью дисперсионного анализа (ANOVA).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Сорные растения появились 31 мая: лебеда (*Atriplex*), желтушник (*Erysimum*), одуванчик (*Taraxacum*), жерушник (*Rorippa*), осот (*Sonchus*), звездчатка средняя (*Stellaria media*), пырей (*Elytrigia*). Максимальное их количество зафиксировано 12 июля. Доминирующий вид на делянках с пшеницей в конце июля – звездчатка средняя (160 шт/м²). Общая численность сорняков в отрицательном контроле – 348 и 403 шт/м² соответственно (табл. 1). Состав сорных растений в посевах пшеницы: лебеда – 4,59 %, звездчатка средняя – 45,97, одуванчик – 21,84, осот – 4,59, желтушник – 22, 99; в посевах ячменя – лебеда – 22, желтушник – 19, звездчатка средняя – 22, одуванчик – 32, осот – 4 %.

С помощью однофакторного дисперсионного анализа установили достоверное различие между вариантами обработки препаратами. Гербицидный эффект проявился в середине июля. Внесение свободных форм ТРИБ и МЕТ в посева пшеницы снизило количество сорных растений на 20...25 % (267 и 260 шт/м² соответственно) относительно отрицательного контроля. К концу июля численность сорняков резко сократилась до 100 и 115 шт/м² из-за обработки свободными формами ТРИБ и МЕТ (в отрицательном контроле – 136 шт/м²), 20 августа – 81 и 75 шт/м².

Наиболее эффективное подавление сорняков в посевах пшеницы *Новосибирская 15* наблюдали при внесении депонированных препаратов ТРИБ и МЕТ – на 50 и 37 % (168 и 220 шт/м²) соответствен-

но. Максимальное снижение (70 %) численности сорных растений зафиксировано 20 августа при внесении МЕТ в свободной форме, депонированного в гранулы из карбоксиметилцеллюлозы-каолинита – 76,1 %.

В посевах ярового ячменя сорта *Биом* гербицидное действие ТРИБ и МЕТ, депонированных в матрицу из П(ЗГБ) в смеси с опилками было более выраженным по сравнению с опрыскиванием свободными формами. При максимальной численности сорных растений (403 шт/м²) в июле внесение свободных форм ТРИБ и МЕТ снизило их количество до 309 и 272 шт/м², депонированных – 250 и 125 шт/м² соответственно. Высокое гербицидное действие депонированных препаратов можно объяснить выраженным пролонгированным эффектом в связи с их постепенным высвобождением из полимерной основы из-за замедленной деградации П(ЗГБ).

Структура урожая пшеницы и ячменя представлена в таблице 2. При внесении депонированного МЕТ число и высота растений пшеницы, количество продуктивных стеблей, длина колоса и масса зерна были наименьшими среди всех вариантов обработки пестицидами. Наибольшее число растений и продуктивных стеблей ячменя сформировалось в опыте с применением гранул ТРИБ – 198 и 712 шт/м² соответственно. Внесение гранул МЕТ отрицательно повлияло на количество продуктивных стеблей и длину колоса – 541 шт/м² и 4,4 см соответственно.

Свободные формы и гранулы МЕТ показали хорошую гербицидную эффективность, но их использование негативно отразилось на элементах структуры урожая зерновых культур, что привело к наименьшей урожайности (см. рисунок).

При внесении экспериментальных форм ТРИБ биологическая урожайность ячменя увеличилась до 6,12 т/га.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Серёгин, М.В. Учебная практика по растениеводству и кормопроизводству: учебное пособие / М.В. Серёгин, А.А. Скрябин. – Пермь: ПГСХА, 2009. – С. 113.
2. Ashitha, A. Characteristics and Types of Slow / A. Ashitha, M. Jyothis // Controlled Release of Pesticides for Sustainable Agriculture – Springer International Publishing, 2020. – P. 141–153. DOI:10.1007/978-3-030-23396-9_6

3. Cao, L. Biodegradable poly (3-hydroxybutyrate-co-4-hydroxybutyrate) microcapsules for controlled release of trifluralin with improved photostability and herbicidal activity/ L. Cao, Y. Liu, C. Xu et al.// *Materials Science and Engineering*, 2019. – V. 102. – P. 134–141. DOI:10.1016/j.msec.2019.04.050
4. Chhipa, H. Nanofertilizers and nanopesticides for agriculture/ H. Chhipa // *Environmental chemistry letters*, 2017. – V. 15. – № 1. – P. 15–22. DOI:10.1007/s10311-016-0600-4
5. Khan, H. Effective control against broadleaf weed species provided by biodegradable PBAT/PLA mulch film embedded with the herbicide 2-methyl-4-chlorophenoxyacetic acid (MCPA) / H. Khan, S. Kaur, T.C. Baldwin, I. Radecka et al. // *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 2020. – V. 8. – № 13. – P. 5360–5370. DOI:10.1021/acssuschemeng.0c00991
6. Kiselev, E.G. The Kinetics of Fungicide and Herbicide Release from Slow-Release Formulations Prepared from Degradable Poly-3-Hydroxybutyrate/ E.G. Kiselev, S.V. Baranovskiy // *Journal of Siberian Federal University*. – 2016. – V. 9. – P. 233. DOI: 10.17516/1997-1389-2016-9-2-233-240
7. Kwiecien, I. Biodegradable PBAT/PLA blend with bioactive MCPA-PHBV conjugate suppresses weed growth / I. Kwiecien, G. Adamus, G. Jiang et al. // *Biomacromolecules*, 2018. – V. 19. – Is. 2. – P. 511–520. DOI: 10.1021/acs.biomac.7b01636
8. Li, Z.Z. Controlled release of avermectin from porous hollow silica nanoparticles: Influence of shell thickness on loading efficiency, UV-shielding property and release/ Z.Z. Li, S.A. Xu, L.X. Wen et al. // *Journal of Controlled Release*. – 2006. – V. 3. – P. 81–88. DOI:10.1016/j.jconrel.2005.10.020
9. Mahmoudian, M. Preparation and investigation of poly (methylmethacrylate) nano-capsules containing haloxyfop-R-methyl and their release behavior/ M. Mahmoudian, S. Torbati, N. Alimirzayi et al. // *Journal of Environmental Science and Health, Part B*. – 2020. – V. 55. – Is. 4. – P. 301–309. DOI: 10.1080/03601234.2019.1692614
10. Roy, A. Controlled pesticide release from biodegradable polymers/ A. Roy, S.K. Singh, J. Bajpai, A. Bajpai // *Open Chemistry*. – 2014. – V. 12 – Is. 4. – P. 453–469. DOI:10.2478/s11532-013-0405-2
11. Volova, T. Biological effects of the free and embedded metribuzin and tribenuron-methyl herbicides on various cultivated weed species/ T. Volova, S. Baranovsky, O. Petrovskaya et al. // *Journal of Environmental Science and Health, Part B*. – 2020. – V. 55. – Is. 11. – P. 1009–1019. DOI: 10.1080/03601234.2020.1807835
12. Volova, T. Efficacy of embedded metribuzin and tribenuron-methyl herbicides in field-grown vegetable crops infested by weeds/ T. Volova, A. Demidenko, N. Kurachenko et al. // *Environmental Science and Pollution Research*. – 2021. – V. 28. – Is. 1. – P. 982–994. DOI: 10.1007/s11356-020-10359-1
13. Volova, T. Constructing slow-release fungicide formulations based on poly (3-hydroxybutyrate) and natural materials as a degradable matrix/ T. Volova, S. Prudnikova, A. Boyandin et al. // *Journal of agricultural and food chemistry*. – 2019. – V. 67. – Is. 33. – P. 9220–9231. DOI: 10.1021/acs.jafc.9b01634
14. Volova, T. Characterization of biodegradable poly-3-hydroxybutyrate films and pellets loaded with the fungicide tebuconazole / T. Volova, N. Zhila, O. Vinogradova et al.// *Environmental Science and Pollution Research*. – 2016. – V. 23. – Is. 6. – P. 5243–5254. DOI: 10.1007/s11356-015-5739-1
15. Wang, P. Nanotechnology: a new opportunity in plant sciences/ P. Wang, E. Lombi, F.-J. Zhao, P.M. Kopittke // *Plant Science*. – 2016. – T. 21. – № 8. – P. 699–712. DOI:10.1016/j.tplants.2016.04.005

LIST OF SOURCES

1. Seryogin, M.V. Uchebnaya praktika po rastenievodstvu i kormoproizvodstvu: uchebnoe posobie /M.V. Seryogin, A.A. Skryabin. – Perm': PGSKHA, 2009. – С. 113.
2. Ashitha, A. Characteristics and Types of Slow / A. Ashitha, M. Jyothis // *Controlled Release of Pesticides for Sustainable Agriculture* – Springer International Publishing, 2020. – P. 141–153. DOI: 10.1007/978-3-030-23396-9_6
3. Cao, L. Biodegradable poly (3-hydroxybutyrate-co-4-hydroxybutyrate) microcapsules for controlled release of trifluralin with improved photostability and herbicidal activity/ L. Cao, Y. Liu, C. Xu et al.// *Materials Science and Engineering*, 2019. – V. 102. – P. 134–141. DOI:10.1016/j.msec.2019.04.050
4. Chhipa, H. Nanofertilizers and nanopesticides for agriculture/ H. Chhipa // *Environmental chemistry letters*, 2017. – V. 15. – № 1. – P. 15–22. DOI: 10.1007/s10311-016-0600-4
5. Khan, H. Effective control against broadleaf weed species provided by biodegradable PBAT/PLA mulch film embedded with the herbicide 2-methyl-4-chlorophenoxyacetic acid (MCPA) / H. Khan, S. Kaur, T.C. Baldwin, I. Radecka et al. // *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 2020. – V. 8. – № 13. – P. 5360–5370. DOI:10.1021/acssuschemeng.0c00991
6. Kiselev, E.G. The Kinetics of Fungicide and Herbicide Release from Slow-Release Formulations Prepared from Degradable Poly-3-Hydroxybutyrate/ E.G. Kiselev, S.V. Baranovskiy // *Journal of Siberian Federal University*. – 2016. – V. 9. – P. 233. DOI: 10.17516/1997-1389-2016-9-2-233-240
7. Kwiecien, I. Biodegradable PBAT/PLA blend with bioactive MCPA-PHBV conjugate suppresses weed growth / I. Kwiecien, G. Adamus, G. Jiang et al. // *Biomacromolecules*, 2018. – V. 19. – Is. 2. – P. 511–520. DOI: 10.1021/acs.biomac.7b01636
8. Li, Z.Z. Controlled release of avermectin from porous hollow silica nanoparticles: Influence of shell thickness on loading efficiency, UV-shielding property and release/ Z.Z. Li, S.A. Xu, L.X. Wen et al. // *Journal of Controlled Release*. – 2006. – V. 3. – P. 81–88. DOI:10.1016/j.jconrel.2005.10.020
9. Mahmoudian, M. Preparation and investigation of poly (methylmethacrylate) nano-capsules containing haloxyfop-R-methyl and their release behavior/ M. Mahmoudian, S. Torbati, N. Alimirzayi et al. // *Journal of Environmental Science and Health, Part B*. – 2020. – V. 55. – Is. 11. – P. 1009–1019. DOI: 10.1080/03601234.2019.1692614
10. Roy, A. Controlled pesticide release from biodegradable polymers/ A. Roy, S.K. Singh, J. Bajpai, A. Bajpai // *Open Chemistry*. – 2014. – V. 12 – Is. 4. – P. 453–469. DOI: 10.2478/s11532-013-0405-2
11. Volova, T. Biological effects of the free and embedded metribuzin and tribenuron-methyl herbicides on various cultivated weed species/ T. Volova, S. Baranovsky, O. Petrovskaya et al. // *Journal of Environmental Science and Health, Part B*. – 2020. – V. 55. – Is. 11. – P. 1009–1019. DOI: 10.1080/03601234.2020.1807835
12. Volova, T. Efficacy of embedded metribuzin and tribenuron-methyl herbicides in field-grown vegetable crops

- infested by weeds/ T. Volova, A. Demidenko, N. Kurachenko et al. // *Environmental Science and Pollution Research*. – 2021. – V. 28. – Is. 1. – P. 982–994. DOI: 10.1007/s11356-020-10359-1
13. Volova, T. Constructing slow-release fungicide formulations based on poly (3-hydroxybutyrate) and natural materials as a degradable matrix/ T. Volova, S. Prudnikova, A. Boyandin et al. // *Journal of agricultural and food chemistry*. – 2019. – V. 67. – Is. 33. – P. 9220–9231. DOI: 10.1021/acs.jafc.9b01634
14. Volova, T. Characterization of biodegradable poly-3-hydroxybutyrate films and pellets loaded with the fungicide tebuconazole / T. Volova, N. Zhila, O. Vinogradova et al./ *Environmental Science and Pollution Research*. – 2016. – V. 23. – Is. 6. – P. 5243–5254. DOI: 10.1007/s11356-015-5739-1
15. Wang, P. Nanotechnology: a new opportunity in plant sciences/ P. Wang, E. Lombi, F.-J. Zhao, P.M. Kopittke // *Plant Science*. – 2016. – T. 21. – № 8. – P. 699–712. DOI:10.1016/j.tplants.2016.04.005