

▶ КОНКУРС НАУЧНЫХ РАБОТ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ И СПЕЦИАЛИСТОВ

УДК 574.583:582.263:574.63

DOI: 10.36946/0869-7922-2020-4-44-48

ВЛИЯНИЕ СТОЙКИХ ОРГАНИЧЕСКИХ ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ И БЕНЗ[А]ПИРЕНА НА ПРОРАСТАНИЕ СЕМЯН ЯЧМЕНЯ ОБЫКНОВЕННОГО (*HORDÉUM VULGÁRE L.*)

Е.А. Белинская¹, С.Е. Мазина^{2,3},
Е.К. Пичугина³, Г.В. Зыкова¹

¹ФГУП Научно-технический центр
радиационно-химической безопасности и
гигиены ФМБА России, 126182, г. Москва,
Российская Федерация

²Московский государственный университет
им. М.В. Ломоносова, химический
факультет, 119991, г. Москва, Российская
Федерация

³Российский университет дружбы народов,
Экологический факультет, 115093, г.
Москва, Российская Федерация

В работе рассмотрено влияние на прорастание семян ячменя присутствия в среде культивирования полихлорированных дибензо-*n*-диоксинов, дибензофуранов, бифенилов и бенз[а]пирена, а также влияние загрязнителей на хранения семян. В результате проведенных опытов, было отмечено отрицательное действие полихлорированных бифенилов на прорастание семян при концентрации 100 мкг/кг, что может объясняться высоким накоплением семенами низкохлорированных загрязнителей. Зарегистрировано отрицательное влияние бенз[а]пирена на прорастание семян при концентрации 20, 100 мкг/кг.

Ключевые слова: стойкие органические загрязнители, бенз[а]пирен, прорастание, семена ячменя, всхожесть, загрязнение почвы.

Цит: Е.А. Белинская, С.Е. Мазина, Е.К. Пичугина, Г.В. Зыкова. Влияние стойких органических загрязнителей и бенз[а]пирена на прорастание семян ячменя обыкновенного (*Hordéum Vulgáre L.*). Токсикологический вестник. 2020; 4:44-48

Введение. При проведении оценки воздействия загрязнителей одним из важных объектов исследования является почва, где происходит накопление химических веществ и реализуется цепочка передачи их по трофической цепи с помощью растительности в организм человека. Наиболее чувствительны к воздействию молодые растения, и особенно их семена.

В литературе известны эксперименты по прорастанию семян под влиянием, в основном, таких загрязнителей, как нефть [1,2,3]. О влиянии стойких органических загрязнителей (СОЗ), являющихся предметом Стокгольмской кон-

венции (2001 год), и полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) на прорастание семян, а особенно о механизмах действия их низких концентраций, в литературе имеется недостаточно сведений.

В перечень СОЗ входит группа таких высокотоксичных соединений, как полихлорированные дибензо-*p*-диоксины и дибензофураны (ПХДД и ПХДФ) – группа гетероциклических полихлорированных соединений, основу которых составляют два ароматических кольца, связанных между собой кислородными мостиками, самым токсичным представителем ко-

Белинская Екатерина Александровна (Belinskaya Ekaterina Alexandrovna), старший научный сотрудник ФГУП НТЦ РХБГ ФМБА России, eabelinsk@yandex.ru;

Мазина Светлана Евгеньевна (Mazina Svetlana Evgen'evna), кандидат биологических наук, старший научный сотрудник кафедры радиохимии химического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, доцент экологического факультета Российского университета дружбы народов, solopryutum@mail.ru;

Пичугина Елизавета Константиновна (Pichugina Elizaveta Konstantinovna), магистр экологического факультета Российского университета дружбы народов, pichugina94@inbox.ru;

Зыкова Галина Васильевна (Zykova Galina Vasil'evna), кандидат химических наук, заведующий лабораторией физико-химических исследований ФГУП НТЦ РХБГ ФМБА России, gvzykova@yandex.ru.

торых является 2,3,7,8-тетрахлордибензо-п-диоксин (2,3,7,8-ТХДД) [4]. Они характеризуются высокой устойчивостью в окружающей среде и способностью к накоплению в трофических цепях [5].

В почву диоксины могут поступать при попадании в нее отходов и загрязненных продуктов различных производственных процессов, в результате осаждения из загрязненного атмосферного воздуха.

При попадании в почву диоксины сорбируются на частицах в поверхностном слое и практически не мигрируют во внутренние слои. Установлено, что период полураспада в почвах составляет около 9-15 лет в поверхностном слое и 25-100 лет на глубине [6].

Как правило, ПХДД и ПХДФ образуются как примеси в процессе разнообразных неуправляемых химических реакций с применением хлора. Они формируются при производстве некоторых хлорированных фенолов (пентахлорфенол, 2,4,5-трихлорфенол) и их производных, а также в процессе горения хлорорганических соединений. Диоксины могут находиться в потребительских товарах таких, как целлюлозно-бумажная продукция, хлорсодержащие гербициды и хлорированные фенолсодержащие продукты, обнаруживаются в низких концентрациях в табачном дыме и в автомобильных выхлопах дизельных двигателей. Кроме того, они поступают в атмосферу при неправильной эксплуатации термических установок для сжигания твердых бытовых, промышленных и медицинских отходов, при открытом сжигании мусора на свалках [7-11], при производстве стали, плавлении различных металлов (железо, магний, никель, свинец и алюминий) и при горении древесины.

В настоящее время в России действуют нормативы ориентировочных допустимых количеств (ОДК) диоксинов в почвах. На заседании комиссии по нормированию Роспотребнадзора в апреле 2015 года было утверждено, в том числе значение норматива ОДК диоксинов в почве селитебной территории, равное 50 нг/кг [12].

Помимо ПХДД/ПХДФ, к группе СОЗ относятся полихлорированные бифенилы (ПХБ), которые насчитывают 209 индивидуальных конгенов, представляющих собой хлорированные соединения двух ароматических колец. ПХБ принадлежат к веществам, не образующимся в природных условиях, а попадающим в окружающую среду в результате деятельности человека. Этот класс органических соединений был специально синтезирован в промышленных целях (фирма Монсанто, США) и получил широкое распространение как технический продукт [13], начиная с 1929 г. Вследствие высокотем-

пературного сжигания бытового мусора, эксплуатации конденсаторов и трансформаторов, содержащих промышленные смеси ПХБ с различной степенью хлорирования, они поступают в природные среды и негативно на них воздействуют.

Высокие концентрации ПХБ обнаружены на территориях, прилегающих к местам, где возможно использование или нахождение ПХБ-содержащих или загрязненных ими материалов: объекты хранения или захоронения, станции по ремонту электротехнического оборудования, свалки.

Значение ОДК в почве ПХБ (суммарно) – 0,06 мг/кг. Кроме того, отдельно нормируется ОДК для трихлорбифенилов – 0,03 мг/кг, тетрахлорбифенилов – 0,06 мг/кг и пентахлорбифенилов – 0,1 мг/кг [14].

Серьезную опасность здоровью населения несут ПАУ – группа органических соединений, содержащих два или более конденсированных бензольных кольца. ПАУ характеризуются высокой канцерогенной, мутагенной и тератогенной активностью. Наибольшей канцерогенной токсичностью среди них обладают бенз[а]пирен и дибенз[а,h]антрацен [15]. Международное агентство по изучению рака (МАИР) относит бенз[а]пирен к группе 1 (безусловно канцерогенные для человека).

Источниками образования и поступления в окружающую среду ПАУ являются природные высокотемпературные и микробиологические процессы, а также антропогенные факторы, связанные с производством энергии, выбросами промышленных предприятий и автомобильного транспорта [15]. Использование в металлургическом производстве металлолома приводит к выбросу ПАУ. В дымовых газах заводов по производству асфальтовых смесей для дорожного строительства содержится бенз[а]пирен и другие ПАУ. При термической обработке твердых бытовых и медицинских отходов ПАУ постоянно поступают в окружающую среду. Для снижения содержания ПАУ в выбросах таких заводов применяют системы очистки дымовых газов и пылеуловители. ПАУ, находящиеся в окружающей среде, сами по себе не проявляют канцерогенную активность. Только после проникновения в организм, они биотрансформируются в канцерогенные формы.

В России для оценки загрязненности почв установлен норматив предельно-допустимой концентрации (ПДК) для самого токсичного представителя группы ПАУ – бенз[а]пирена. Значение этого норматива составляет 20 мкг/кг [16]. Соответствующая величина европейского норматива в 5 раз выше и составляет 100 мкг/кг [17 – 19].

Цель работы – выявить влияние различных концентраций, в том числе низких, ПХДД/ПХДФ, ПХБ и бенз[а]пирена на прорастание семян ячменя обыкновенного (*Hordéum vulgáre* L.) в случае присутствия загрязнителей при хранении сухих семян или при прорастании семян в среде с загрязнителями.

Материалы и методы исследования. Объектом исследования являлись семена ячменя обыкновенного (*Hordéum vulgáre* L.). Эксперимент проводили по методике [20]. В первой серии опытов проращивали семена ячменя в крахмальной среде. Наносили 5 см³ раствора с загрязнителем в этаноле на 10 г крахмала, высушивали на воздухе, крахмал заливали горячей (65-70°C) дистиллированной водой по 10 см³ и разливали полученный гель в чашки Петри по 15 см³.

Так как для отдельных конгенов ПХБ санитарно-гигиенические нормативы отсутствуют, а установленные величины ПДК касаются только промышленных смесей ПХБ, то в данном исследовании на крахмал наносили смесь Арохлор 1254 (табл. 1), которая принята в качестве стандартной для расчета ПДК [7].

Загрязнители вносили из расчета конечных концентраций: бенз[а]пирена – 200 мкг/кг, 100 мкг/кг и 20 мкг/кг; ПХДД – 50 нг/кг и 25 нг/кг; Арохлор 1254 – 100 мкг/кг и 50 мкг/кг; смеси 100 мкг/кг бенз[а]пирена, 50 нг/кг ПХДД и 100 мкг/кг Арохлора 1254; смеси 20 мкг/кг бенз[а]пирена, 25 нг/кг ПХДД и 50 мкг/кг Арохлора 1254. На густой крахмал в чашку Петри раскла-

дывали по 25 штук предварительно промытых водой семян ячменя, сходных по размеру.

Во второй серии опытов семена хранили в крахмале с добавками бенз[а]пирена и ПХДД/ПХДФ в течение 6 месяцев при комнатной температуре в темном месте, после чего извлекали из смеси, промывали и проращивали на среде из крахмала без добавок. В контрольном эксперименте семена хранили в чистом крахмале.

Семена проращивали при комнатной температуре (23°C), с закрытыми крышками чашек Петри, при ежедневном подсчете прорастающих семян в течение 7 дней. Эксперименты проведены дважды, каждый вариант опыта в четырехкратной повторности. Статистическая значимость полученных результатов оценивалась с использованием критерия Стьюдента, достоверными считались различия при $p \leq 0,05$. Результаты обработаны статистически с помощью пакета программ Microsoft Excel 2003.

Результаты и обсуждение. В результате проведенных исследований выявлено, что на всхожесть семян оказывало влияние наличие в среде прорастания бенз[а]пирена (с концентрацией 20 мкг/кг и 100 мкг/кг) и Арохлора 1254. Однако при концентрации бенз[а]пирена в 200 мкг/кг достоверного снижения всхожести семян не обнаружено, что может быть связано с нестабильностью бенз[а]пирена под действием различных внешних факторов [7]. Что касается других экспериментов, то не отмечено явного воздействия загрязнителей на количество проросших семян (табл.2). Сниже-

Таблица 1

Состав технической смеси Арохлор 1254 (в %) [13]

Эмпирическая формула	Число атомов хлора в конгенере ПХБ	Арохлор 1254
$C_{12}H_{10}$	0	
$C_{12}H_9Cl$	1	
$C_{12}H_8Cl_2$	2	
$C_{12}H_7Cl_3$	3	1
$C_{12}H_6Cl_4$	4	15
$C_{12}H_5Cl_5$	5	53
$C_{12}H_4Cl_6$	6	26
$C_{12}H_3Cl_7$	7	4
$C_{12}H_2Cl_8$	8	
$C_{12}HCl_9$	9	
Приблизительная молекулярная масса		328,4

Таблица 2

Влияние ПХДД/ПХДФ, ПХБ и бенз[а]пирена на проращение семян, отмечены эксперименты, в которых $p \leq 0,05$

Действующий агент	Процент всхожести семян			
	Проращивание		Хранение	
	Среднее, %	Стандартное отклонение	Среднее, %	Стандартное отклонение
Дистиллированная вода	81,33	7,87	82,41	5,23
Этиловый спирт (95 %)	84,00	9,47	-	-
Бенз[а]пирен - 200 мкг/кг	86,00	6,57	8,33	2,34
Бенз[а]пирен - 100 мкг/кг	69,33	6,53	79,33	1,63
Бенз[а]пирен - 20 мкг/кг	68,67	4,68	80,83	3,82
ПХДД/ПХДФ - 50 нг/кг	79,33	4,68	79,67	1,51
ПХДД/ПХДФ - 25 нг/кг	71,33	11,15	79,51	2,17
Арохлор 1254 - 100 мкг/кг	59,33	5,32	-	-
Арохлор 1254 - 50 мкг/кг	69,33	4,84	-	-
100 мкг/кг бенз[а]пирена, 50 нг/кг ПХДД и 100 мкг/кг Арохлора 1254	73,67	3,67	-	-
20 мкг/кг бенз[а]пирена, 25 нг/кг ПХДД и 50 мкг/кг Арохлора 1254	74,00	7,04	-	-

ние всхожести семян при их проращивании в присутствии ПХДД/ПХДФ статистически незначимо. Возможно, что слабое влияние загрязнителей на всхожесть семян злаков связано с тем, что проросток на начальном этапе питается в основном запасами зерновки, получая из внешней среды воду и водорастворимые вещества. В этом случае поступление к проростку загрязнителей задерживается. Обнаруженное в исследовании снижение всхожести семян в присутствии Арохлора 1254, вероятно, объясняется избирательной биоаккумуляцией конгенов с низким содержанием атомов хлора вследствие более высокой растворимости в воде. Поэтому они в первую очередь поглощаются растениями [21].

При хранении зерен в присутствии загрязнителей в сухих условиях воздействия на статистически достоверном уровне не выявлено (табл. 2).

Заключение. В результате проведенного эксперимента по оценке действия различных загрязнителей на зерновки овса выявлено, что хранение семян в течение 6 месяцев с загрязняющими агентами в сухом состоянии не влияет на их всхожесть. Наибольшее снижение прорастания оказывают ПХБ и бенз[а]пирен, причем в случае с последним веществом-загрязнителем, необходимо проводить дальнейшие исследования по выявлению концентраций, оказывающих наибольшее угнетающее действие.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Донец Е.В. Влияние нефти на проращение семян хвойных лесобразующих видов древесных растений подзоны южной тайги Омской области: Автореф. канд. дисс. Омск: Изд-во ОмГПУ; 2009: 19.
2. Полонский В.И., Полонская Д.Е., Бородулина Т.С. Воздействие нефтезагрязнения почвы на проращение семян салат. Вестник КрасГАУ: Экология; 2013. № 2: 72 - 76.
3. Шарипова А.К., Донец Е.В. Влияние нефтяного загрязнения на проращение семян ели сибирской (*Picea obovata* Ledeb.). Вестник Омского ГАУ: Биологические науки. Омск; 2017. № 1 (25): 65 - 70.
4. Фёдоров, Л.А. Диоксины как экологическая опасность: ретроспектива и перспектива. М.: Наука; 1993: 266.
5. Поздняков С.П., Румак В.С., Софронов Г.А., Уманова Н.В. Диоксины и здоровье человека. С-Пб.: Наука; 2006: 273.
6. Puri R.K., Clevenger R.K., Kapila S.,

Yanders A.F., Malhotra A.F. Studies of parameters affecting translocation of tetrachlorodibenzo-p-dioxin in soil. *Chemosphere*; 1989. v.18: 1291-1296.

7. Майстренко В.Н., Ключев Н.А. Эколого-аналитический мониторинг органических загрязнителей. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний; 2004: 323.

8. Цибульский В.А. Факторы эмиссии и выбросы ПХДД/ПХДФ при сжигании органического топлива. Экологическая химия. Т. 12. № 1; 2003: 13 – 22.

9. The Inventory of Sources of Dioxin in the United States, Review. EPA/600/P-98/002Aa. Washington, USA; 1998: 360.

10. Identification of relevant Industrial Sources of Dioxins and Furans in Europe. Materialien N 43. Germany; 1997: 312.

11. Ключев Н.А. Контроль суперэкоксикантов в окружающей среде и источники

их появления. ЖАХ; 1996. Т.51. №2: 163-172.

12. ГН 2.1.7.3298-15 Ориентировочные допустимые концентрации (ОДК) полихлорированных дибензо-п-диоксинов и дибензофуранов (в пересчете на 2,3,7,8-тетрахлордibenzo-п-диоксин и его аналоги) в почве населенных мест, сельскохозяйственных угодий и промышленной площадки. Утверждены постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 15 сентября 2015 года №49. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/420306463>

13. Полихлорированные бифенилы. Супертоксиканты XXI века. Информационный выпуск. № 5. М.: ВИНТИ; 2000: 189.

14. Приказ Госкомэкологии РФ от

13.04.99 № 165 О рекомендациях для целей инвентаризации на территории Российской Федерации производств, оборудования, материалов, использующих или содержащих ПХБ, а также ПХБ-содержащих отходов. Available at: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=EXP&n=278168#09188936640085503>

15. Ровинский Ф.Я., Теплицкая Т.А., Алексеева Т.А. Фоновый мониторинг полициклических ароматических углеводородов. Ленинград: Гидрометеоздат; 1988: 223.

16. ГН 2.1.7.2041-06 Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/901966754>

17. Guidelines on remediation of contaminated sites. Danish Environmental

Protection Agency. Denmark; 2002.

18. Canadian soil quality guidelines. Environment Canada. Canada; 2003.

19. Circular of target values and intervention values for soil remediation. Ministry of Housing, Spatial Planning and Environment. Netherlands; 2000.

20. Иванов В.Б., Плотицкий И.В., Живухина Е.А., Михалевская О.Б., Гуленкова М.А., Кириллова Г.А., Жиленкова О.Г. Практикум по физиологии растений. М.: Изд. Центр «Академия»; 2004: 144.

21. Дёмин Д.В., Севостьянов С.М., Деева Н.Ф., Ильина А.А. Распределение и биологическая активность полихлорбифенилов в системе «почва-растение» при высоких уровнях загрязнения. Теоретическая и прикладная экология. № 3; 2007: 31 – 35.

REFERENCES:

1. Donets E.V. Influence of oil on seed germination of coniferous forest-forming species of woody plants in the southern taiga subzone of the Omsk region. Abstract of the PhD thesis, 2019. – 19 p. (in Russian).

2. Polonsky V.I., Polonskaya D.E., Borodulina T.S. Impact of oil contamination of the soil on the germination of lettuce seeds. *Bulletin KrasSAU: Ecology*. - 2013. – Vol. 2: – Pp. 72 – 76 (in Russian).

3. Шарпова А.К., Донетс Е.В. Influence of oil pollution on seed germination of Siberian spruce (*Picea Obovata* Ledeb.). *Bulletin of Omsk State Agrarian University: Biological Sciences*. Omsk. - 2017. – Vol. 1 (25). – Pp. 65 – 70 (in Russian).

4. Fedorov L.A. Dioxins as an environmental hazard: a retrospective and perspective. М.: Nauka. – 1993. – 266 p. (in Russian).

5. Pozdnyakov S.P., Rumak V.S., Sofronov G.A., Umanova N.V. Dioxins and human health. SPb.: Science. – 2006. – 273 p. (in Russian).

6. Puri R.K., Clevenger R.K., Kapila S., Yanders A.F., Malhotra A.F. Studies of parameters affecting translocation

of tetrachlorodibenzo-p-dioxin in soil. *Chemosphere*. - 1989. - Vol. 18. – Pp. 1291-1296.

7. Maistrenko V.N., Klyuev N.A. Ecological and analytical monitoring of organic pollutants. Moscow: BINOM. Laboratory of knowledge. – 2004. – 323 p. (in Russian).

8. Tsybul'sky V.A. Factors of emission and emissions of PCDD/PCDF from fossil fuels burning. *Environmental chemistry*. – 2003. – Vol. 12. – Iss. 1. – Pp. 13 – 22 (in Russian).

9. The Inventory of Sources of Dioxin in the United States, Review. EPA/600/P-98/002Aa. Washington, USA. – 1998. – 360 p.

10. Identification of relevant Industrial Sources of Dioxins and Furans in Europe. Materialien N 43. Germany. – 1997. – 312 p.

11. Klyuev N.A. Control of supercotoxicants in the environment and sources of their appearance. *Journal of Analytical Chemistry*. - 1996. -Vol. 51. - Iss. 2. – Pp. 163-172 (in Russian).

12. GN 2.1.7.3298-15. Indicative permissible concentrations of

polychlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans (in terms of 2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-p-dioxin and its analogues) in the soil of populated areas, agricultural land and industrial sites. Approved by Resolution No. 49 of the Chief state sanitary doctor of the Russian Federation dated September 15, 2015. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/420306463>.

13. Polychlorinated biphenyls. Supertoxicants of the XXI century. Informational issue № 5. М.: ВИНТИ. – 2000. – 189 p. (in Russian).

14. Order No. 165 of the State Committee of Ecology of the Russian Federation of 13.04.99 «On recommendations for the purpose of inventory on the territory of the Russian Federation of productions, equipment, materials using or containing PCBs, as well as PCBs-containing waste». Available at: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=EXP&n=278168#09188936640085503>.

15. Rovinskiy F.Ya., Teplicskaya T.A., Alekseeva T.A. Background monitoring of polycyclic aromatic hydrocarbons.

Leningrad: Hydrometeozdat. – 1988. – 223 p. (in Russian).

16. GN 2.1.7.2041-06 Maximum permissible concentrations (MPC) of chemicals in the soil. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/901966754>.

17. Guidelines on remediation of contaminated sites. Danish Environmental Protection Agency. Denmark. - 2002.

18. Canadian soil quality guidelines. Environment Canada. Canada. - 2003.

19. Circular of target values and intervention values for soil remediation. Ministry of Housing, Spatial Planning and Environment. Netherlands. - 2000.

20. Ivanov V.B., Plotnikov I.V., Zhivukhina E.A., Mikhalevskaya O.B., Gulenkova M.A., Kirillova G.A., Zhilenkova O.G. Practicum on plant physiology. – М.: Academy, 2004. – 144 p. (in Russian).

21. Demin D.V., Sevost'yanov S.M., Deeva N.F., Il'ina A.A. Distribution and biological activity of polychlorobiphenyls in the "soil-plant" system at high levels of pollution. *Theoretical and Applied Ecology*. - 2007. - Iss. 3. – Pp. 31 – 35 (in Russian).

E.A. Belinskaya¹, S.E. Mazina^{2,3}, E.K. Pichugina³, G.V. Zyкова¹

IMPACT OF PERSISTENT ORGANIC POLLUTANTS AND BENZ[A]PYRENE ON GERMINATION OF COMMON BARLEY SEEDS (*HORDEUM VULGARE* L.)

¹Research and Technical Center of Radiation Chemical Safety and Hygiene of the Federal Medical Biological Agency, 126182, Moscow, Russian Federation

²M.V. Lomonosov Moscow State University, Faculty of Chemistry, 119991, Moscow, Russian Federation

³Peoples' Friendship University of Russia, Faculty of Ecology, 115093, Moscow, Russian Federation

The paper considers the influence of polychlorinated dibenzo-p-dioxins, dibenzofurans, biphenyls and benz[a]pyrene on the germination of barley seeds, as well as the influence of pollutants on seed storage. As a result of the experiments, the negative effect of polychlorinated biphenyls on seed germination at a concentration of 100 µg/kg has been found, which can be explained by the high accumulation of low-chlorinated pollutants by seeds. The negative effect of benz[a]pyrene on seed germination at concentrations of 20 and 100 µg/kg has been registered.

Keywords: persistent organic pollutants, benz[a]pyrene, germination, barley seeds, viability, soil contamination.

Quote: E.A. Belinskaya, S.E. Mazina, E.K. Pichugina, G.V. Zyкова. Impact of persistent organic pollutants and benz[a]pyrene on germination of common barley seeds (*Hordeum vulgare* L.). *Toxicological Review*. 2020; 4:44-48

Материал поступил в редакцию 29.03.2019 г.