

## АДАПТИВНАЯ РОЛЬ ЦИРКОНА ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ В УСЛОВИЯХ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВЫ КАДМИЕМ

*И.И. Серегина, д.б.н., С.Л. Белопухов, д.с.-х.н., И.И. Дмитриевская, д.с.-х.н.,  
К.Э. Меренков, А.И. Булдыгин, РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева  
Москва, ул. Тимирязевская, д.49 [seregina.i@inbox.ru](mailto:seregina.i@inbox.ru)*

*В условиях вегетационных исследований в почвенной культуре изучено влияние различных способов применения регулятора роста циркон на рост и развитие яровой пшеницы сорта Лада в условиях загрязнения почвы кадмием. Установлено, что адаптивная роль циркона при выращивании пшеницы в условиях загрязнения почвы кадмием проявилась в стимулирующем действии регулятора роста на ростовые функции растений в течение вегетационного периода. Полученные закономерности свидетельствуют об эффективном влиянии действующего вещества препарата на активность фотосинтетического аппарата, что способствовало увеличению устойчивости растений пшеницы.*

*Ключевые слова:* адаптивная роль, кадмий, циркон, яровая пшеница.

Для цитирования: Серегина И.И., Белопухов С.Л., Дмитриевская И.И., Меренков К.Э., Булдыгин А.И. Адаптивная роль циркона при выращивании яровой пшеницы в условиях загрязнения почвы кадмием// Плодородие. – 2022. – №3. – С. 77-79. DOI: 10.25680/S19948603.2022.126.20.

Одной из основных культур, выращиваемых в России, является пшеница, занимающая более 55 % посевных площадей [1, 2].

Один из самых опасных поллютантов – кадмий, главным образом потому, что его техногенное накопление в окружающей среде идет особенно высокими темпами [3-5]. Кадмий считается одним из основных загрязнителей. Видимыми симптомами, которые вызывают токсические концентрации кадмия в почвах – это задержка роста растений, повреждение корневой системы, хлороз листьев. Фитотоксичность кадмия проявляется в тормозящем действии фотосинтеза, нарушении транспирации, фиксации CO<sub>2</sub>, изменении проницаемости клеточных мембран. Основными причинами его токсичности являются нарушение ферментативной активности клеток, а также затруднение поступления и метаболизма в растениях основных элементов питания и микроэлементов [6, 7]. Кадмий обладает большим сродством к физиологически важным органическим соединениям и способен подавлять наиболее значимые процессы метаболизма, повышает подверженность растений к грибным инвазиям. В сельскохозяйственном производстве это приводит к снижению продуктивности и ухудшению качества продукции [9, 10]. Кадмий, являясь загрязняющим веществом, обуславливает изменение окружающей среды, способен передвигаться по трофическим цепям и накапливаться в организме человека и животных, вызывая тяжелые заболевания [10-13].

Следует отметить, что до настоящего времени приемы, обеспечивающие в условиях загрязненной почвы уменьшение накопления тяжелых металлов, а также токсичности поступления их в растения и получение растительной продукции, соответствующей санитарно-гигиеническим нормам, разработаны недостаточно. Изучение вопросов повышения устойчивости растений к воздействию тяжелых металлов с помощью различных агрохимических приемов требует дальнейшего исследования.

**Цель наших исследований** – изучить возможности применения регулятора роста циркон для повышения устойчивости яровой пшеницы при выращивании в условиях загрязнения почвы кадмием. В задачу исследований входила оценка действия циркона на фотосинтетическую активность яровой пшеницы при загрязнении почвы кадмием.

**Методика.** Для решения поставленных задач был заложен вегетационный опыт с яровой пшеницей в вегетационном домике РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева. Объект исследований – яровая мягкая пшеница сорта Лада (ФГБНУ ФИЦ «Немчиновка» совместно с Рязанским НИИСХ, Владимирским НИИСХ и АОЗТ «Агропрогресс»). Закладку и проведение исследований проводили по общепринятым методикам [14]. Растения выращивали в сосудах Вагнера вместимостью 5 кг почвы. В исследованиях использовали верхний пахотный горизонт урбанозема типичного, взятого с опытного участка РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева. Агрохимическая характеристика почвы: содержание гумуса (по Тюрину) – 2,8 % (ГОСТ 26213-91), pH<sub>KCl</sub> 4,8 (ГОСТ 26483-85); Нг (по Каппену) – 2,5 мг-экв/100 г почвы (ГОСТ 26212-91); S (по Каппену-Гильковицу) – 19,8 мг-экв/100 г почвы (ГОСТ 27821-88); V – 88,8 %, N<sub>пг</sub> – 92,5 мг/кг почвы (ГОСТ 26107-84). Содержание подвижных форм кадмия – 0,31 мг/кг почвы (РД 52.18.289-90). Обеспеченность почвы подвижными формами фосфора и калия (по Кирсанову) составляла 70 (3-й класс) и 27 (1-й класс) мг/кг почвы соответственно (ГОСТ 54650-2011). Агрохимический анализ почвы проводили по общепринятым методикам [15].

Для моделирования уровней загрязнения почвы кадмием использовали нитрат кадмия Cd(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>·4H<sub>2</sub>O с содержанием действующего вещества 37 %, из расчета: контрольный (фоновый) вариант – без дополнительного внесения нитрата кадмия, Cd<sub>1</sub> – 5 мг/кг почвы, Cd<sub>2</sub> – 50 мг/кг почвы.

Регулятор роста циркон применяли путем предпосевной обработки семян и фолиарной обработки ве-

тирующих растений. Концентрация препарата составляла 0,1 мг/л воды. Контролем служили варианты без применения регулятора роста.

Уровень минерального питания создавали путем внесения солей  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  (35,5 %),  $\text{K}_2\text{HPO}_4$  ( $\text{P}_2\text{O}_5$  – 52,2 %,  $\text{K}_2\text{O}$  – 34 %),  $\text{KCl}$  (60 %). Во всех вариантах в почву вносили азот, фосфор и калий из расчета  $\text{N}_{150}\text{P}_{100}\text{K}_{100}$ .

Во всех вариантах растения выращивали в оптимальных условиях увлажнения – 60 % ПВ. Повторность опыта 4-кратная.

Посев осуществляли сухими семенами по 30 шт. с последующим прореживанием в фазе кушения до 20 растений. Для оценки влияния изучаемых условий выращивания на фотосинтетическую активность растений пшеницы определяли площадь ассимиляционной поверхности и накопление биомассы растений в фазе выхода в трубку. Для оценки достоверности полученных результатов проводили статистическую обработку однофакторным дисперсионным методом анализа [14].

**Результаты и их обсуждение.** Известно, что тяжелые металлы способствуют нарушению в растительных организмах обмена веществ, что определяет показатели их роста и развития, особенно в начальных стадиях, но также и в течение всего периода вегетации. Так же было выявлено, что у растений в условиях загрязнения сокращается биомасса надземных органов [16, 17]. В наших исследованиях показатели фотосинтетической деятельности растений использованы при оценке фитотоксичности почвы [18].

Для изучения влияния различных способов применения циркона на фотосинтетическую активность растений яровой пшеницы сорта Лада в зависимости от уровня загрязнения почвы кадмием определяли площадь ассимиляционной поверхности и накопление биомассы в фазе выхода в трубку растений.

Как показали результаты исследований, применение циркона положительно воздействует на накопление биомассы надземной части растений в фазе выхода в трубку на фоне  $\text{Cd}_1$  (табл. 1). Показано возрастание биомассы растений в 1,46 раза при применении фоллиарной обработки вегетирующих растений, в 1,21 раза при использовании обработки семян перед посевом.

**1. Влияние обработки регулятором роста на накопление биомассы растениями яровой пшеницы в фазе выхода в трубку в зависимости от уровня загрязнения почвы кадмием**

Вариант опыта			Масса, г/растение		
Уровень кадмия, мг/кг почвы	Обработка растений	Способ обработки	стебель	листья	надземная часть растений
Фоновый	Без обработки		0,17	0,22	0,39
Cd <sub>1</sub>	Без обработки		0,23	0,33	0,56
	Циркон	Фолиарная	0,39	0,43	0,82
		Семена	0,27	0,41	0,68
НСР <sub>05</sub>			0,04	0,08	-
Cd <sub>2</sub>	Без обработки		0,28	0,40	0,68
	Циркон	Фолиарная	0,29	0,43	0,72
		Семена	0,28	0,38	0,66
НСР <sub>05</sub>			0,05	0,06	-

Эффективность циркона на отдельные составляющие биомассы надземной части растений зависела от способа его применения. Наибольшая прибавка массы стеблей в 1,69 раза по сравнению с контрольным вариантом (без обработки) отмечена при фоллиарной обработке растений цирконом. Масса листьев в данном варианте возросла в 1,3 раза по сравнению с контрольным вариантом без обработки регулятором роста.

При применении обработки семян цирконом перед посевом биомасса надземной части растений возросла в большей степени за счет нарастания массы листьев – в 1,24 раза. Масса стебля в данном варианте увеличилась в 1,17 раза.

Результаты исследований показали, что при использовании фоллиарной обработки растений цирконом на фоне  $\text{Cd}_2$  имеется положительная тенденция к изменению биомассы надземной части растений. Прибавка составила менее 5 % и оказалась не достоверной в данных условиях выращивания.

Оценка нарастания ассимиляционной поверхности растений так же показала наибольшую эффективность препарата при применении фоллиарной обработки растений при обоих уровнях загрязнения почвы кадмием (табл. 2).

**2. Влияние обработки регулятором роста на площадь ассимиляционной поверхности растений в фазе начала выхода в трубку в зависимости от условий выращивания**

Вариант опыта			Площадь ассимиляционной поверхности, см <sup>2</sup> / раст.		
Уровень кадмия, мг/кг почвы	Обработка растений	Способ обработки	стебель	листья	надземная часть растений
Фоновый	Без обработки		16,66	51,44	68,10
Cd <sub>1</sub>	Без обработки		22,37	85,50	107,87
	Циркон	Фоли-арная	28,94	97,25	126,20
		Семена	24,46	88,08	112,54
НСР <sub>05</sub>			2,43	7,15	-
Cd <sub>2</sub>	Без обработки		22,15	74,43	96,58
	Циркон	Фоли-арная	25,10	86,33	111,43
		Семена	22,96	72,66	95,62
НСР <sub>05</sub>			2,78	6,76	-

Установлено увеличение площади ассимиляционной поверхности надземной массы растений на 15-16 %. На фоне  $\text{Cd}_1$  получено нарастание площади ассимиляционной поверхности растений за счет более активного нарастания длины стебля. Ассимиляционная поверхность стебля возросла почти на 30 %. При этом ассимиляционная поверхность листьев в данном варианте возросла только на 14 %. Применение фоллиарной обработки растений цирконом при выращивании на фоне  $\text{Cd}_2$  увеличило надземную часть растений по сравнению с вариантом без использования регулятора роста. Отмечено, что размеры нарастания отдельных, определяющих общую ассимиляционную поверхность, растений пшеницы были близкими и составляли 13 % для стеблей и 16 % для листьев по сравнению с вариантами без обработки растений.

Применение обработки семян регулятором роста перед посевом оказало положительное действие на фотосинтетическую поверхность растений в данных условиях выращивания при загрязнении почвы кадмием.

Таким образом, показано положительное действие циркона на фотосинтетическую активность растений яровой пшеницы в условиях загрязнения почвы кадмием. Установлена наибольшая эффективность регулятора роста при фоллиарной обработке при выращивании растений на фоне  $Cd_1$ . При использовании данного способа внесения циркона выявлено наибольшее нарастание биомассы надземной части растений и ее ассимиляционной поверхности. Фотосинтетическая активность растений яровой пшеницы при использовании циркона увеличивалась под влиянием его действующего вещества. В первую очередь это повлияло на рост стебля, а затем на нарастание листовой поверхности пшеницы, что также получено в исследованиях и с другими культурами [19, 20].

**Выводы.** 1. Установлено существенное стимулирующее действие регулятора роста на растения при обоих уровнях загрязнения почвы кадмием, что способствовало увеличению ассимиляционной поверхности и биомассы по сравнению с тем же уровнем загрязнения, но без обработки препаратом. 2. Выявлена наибольшая эффективность препарата при применении фоллиарной обработки растений на обоих уровнях загрязнения почвы кадмием. 3. Показано увеличение фотосинтетической активности растений яровой пшеницы при использовании циркона, которое обеспечивалось положительным влиянием его действующего вещества в первую очередь на рост стебля и затем на нарастание листовой поверхности пшеницы.

#### Литература

1. Медведев, А.М., Васюткин А.С. О проблемах и научных достижениях российских ученых по зерновым и другим сельскохозяйственным культурам // Зерновое хозяйство России. – 2015. – № 1. – С. 19-24.
2. Литвиненко В. В. Изменение структуры посевных площадей под зерновыми культурами как один из факторов увеличения валового сбора зерна в Российской Федерации // Вестник Международной академии наук (Русская секция). – 2018. – №1. – С. 45-48.
3. Лукин С. В., Явтушенко В. Е., Солдат И. Е. Накопление кадмия в сельскохозяйственных культурах в зависимости от уровня загрязнения почвы // Агрохимия. – 2000. – № 2. – С. 73-77.

4. Серегина И.И., Чурсина Е.В. Влияние препарата циркон на продуктивность яровой пшеницы и содержание тяжелых металлов в продукции при загрязнении почвы цинком, кадмием, свинцом // Агрохимия. – 2010. – №9. – С. 66-71.
5. Селюкова С.В. Тяжелые металлы в агроценозах // Достижения науки и техники АПК. – 2020. – Т. 34. – № 8. – С. 85-93.
6. Черных Н.А., Овчаренко М.М. Тяжелые металлы и радионуклиды в биогеоценозах. – М.: Агропромиздат, 2002. – 200 с.
7. Шумилин О.А., Серегина И.И., Белопухов С.Л., Дмитриевская И.И. Влияние селена на продуктивность и показатели качества яровой пшеницы в условиях загрязнения почвы кадмием // Агрохимический вестник – 2016. – № 4 – С. 30-33.
8. Lukin S. V., Selyukova S. V., Chernikov V. A., Gaitova N.A. Ecological estimation of cadmium content in agricultural cenosis of the Central Chernozem Region of Russia // Pollution Research. 2020. Vol. 39. No. 2. P. 196-201.
9. Черников В.А., Соколов О.А. ПДК как критерий экологического нормирования содержания тяжелых металлов в окружающей среде // Сб. статей, посвященных 75-летию факультета Почвоведения, агрохимии и экологии «Актуальные проблемы почвоведения, агрохимии и экологии». – М.: Изд-во МСХА, 2004. – С. 234-237.
10. Высоцкая Е.А. Теоретико-методические подходы к изучению биологической продуктивности системы почва-агрофит при влиянии тяжелых металлов на процессы в агроценозе // Актуальные вопросы современной науки. – 2012. – № 24. – С. 146-154.
11. Ковда В.А., Якушевская И.В., Тюрюканов А.И. Микроэлементы в почвах Советского Союза. – М.: МГУ, 1959. – 67 с.
12. Кононенко Л.А., Лукин С.В., Ладонин В.Ф. Влияние кадмия на накопление пигментов в листьях пшеницы // Доклады РАСХН. – 2004. – № 5. – С. 7-8.
13. Hutton M. The environmental, implications of cadmium in phosphate fertilizers // Phosphorus and Potassium. 1983. V. 123. № 1/2. P. 33-36.
14. Кобзаренко В.И., Волобуева В.Ф., Серегина И.И., Ромодина Л.В. Агрохимические методы исследований: Учебник. – М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2015. – 309 с.
15. Кидин В.В., Дерюгин И.П., Кобзаренко В.И. и др. Практикум по агрохимии. Учебник. – М.: КолосС, 2008. – 599 с.
16. Andersson A., Siman G. Levels of Cd and some other trace elements in soils and crops as influenced by lime and fertilizer level // Acta Agric. Scandinavica. 1991. V. 41. P. 3-11.
17. Комарова Н.А. Агроэкологические аспекты формирования урожайности овощных культур и качества их продукции на загрязненных тяжелых металлами почвах // Плодородие. – 2013. – №4. – С. 47-50.
18. Серегина И.И., Ниловская Н.Т., Чурсина Е.В. Рост и развитие растений пшеницы в зависимости от уровня загрязнения почвы тяжелыми металлами при применении регулятора роста циркона // Проблемы агрохимии и экологии. – 2010. – № 2. – С. 27-31.
19. Калабашикина Е.В., Белопухов С.Л., Дмитриевская И.И. Влияние препаратов физиологически активных веществ на основные показатели фотосинтетической деятельности льна-долгунца // Агрохимия. – 2013. – №4. – С. 55-59.
20. Мишина О.С., Белопухов С.Л., Прусакова Л.Д. Физиологические основы применения регуляторов роста циркона и карвитола для увеличения продуктивности гречихи // Агрохимия. – 2010. – № 1. – С. 42-54.

#### ADAPTIVE ROLE OF ZIRCON IN GROWING SPRING WHEAT UNDER CONDITIONS OF SOIL POLLUTION WITH CADMIUM

Seregina Inga Ivanovna, Belopukhov Sergey Leonidovich,  
Dmitrevskaya Inna Ivanovna, Merenkov Konstantin Eduardovich,  
Buldygin Alexey Igorevich

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, st. Timiryazevskaya, 49  
Under the conditions of vegetative studies in soil culture, the influence of various methods of using a growth regulator on the growth and development of spring wheat (*Triticum aestivum* L.) cv. Lada was studied under conditions of soil contamination with cadmium. It was found that the adaptive role of zircon in the cultivation of wheat under conditions of soil contamination with cadmium manifested itself in the stimulating effect of the growth regulator on the growth functions of plants during the growing season. The patterns obtained indicate the effective action of the active substance of the drug on the activity of the photosynthetic apparatus, which contributed to an increase in the resistance of wheat plants.

Keywords: adaptive role, cadmium; zircon; spring wheat.