

Научная статья

Original article

УДК 332.3

DOI 10.55186/25880209_2024_8_6_46

**ВЛИЯНИЕ ПОЛЕЗНЫХ МИКРООРГАНИЗМОВ НА СОДЕРЖАНИЕ
ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ЗЕРНЕ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ**
INFLUENCE OF BENEFICIAL MICROORGANISMS ON THE CONTENT OF
CHEMICAL ELEMENTS IN WINTER WHEAT GRAIN



Замана Светлана Павловна, доктор биологических наук, доцент, профессор кафедры цифрового земледелия и ландшафтной архитектуры, ФГБОУ ВО «Государственный университет по землеустройству» (105064, Россия, г. Москва, ул. Казакова, д.15), тел. 8 (499)2616335, ORCID: [http:// orcid.org/ 0000-0001-7927-364X](http://orcid.org/0000-0001-7927-364X), svetlana.zamana@gmail.com

Кондратьева Татьяна Дмитриевна, кандидат биологических наук, ВНИИ агрохимии им. Прянишникова (434127, Россия, Москва, ул. Прянишникова, д. 31 а), тел. 89037222735, ORCID: [http://orcid.org/ 0000-0001-9638-7550](http://orcid.org/0000-0001-9638-7550), t-alpina@mail.ru

Рубанов Алексей Александрович, аспирант кафедры цифрового земледелия и ландшафтной архитектуры, ФГБОУ ВО «Государственный университет по землеустройству» (105064, Россия, г. Москва, ул. Казакова, д.15), тел. 89686734353, arubanov88@yandex.ru

Svetlana P. Zamana, Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Digital Agriculture and Landscape Architecture, Federal State

Budgetary Educational Institution of Higher Education "State University of Land Management" (105064, Russia, Moscow, Kazakova St., 15), tel. 8 (499)2616335, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7927-364X>, svetlana.zamana@gmail.com

Tatjana D. Kondratjeva Candidate of Biological Sciences, All-Russian Research Institute of Agrochemistry named after Pryanishnikov (434127, Russia, Moscow, Pryanishnikova St., 31a), tel. 89037222735, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9638-7550>, t-alpina@mail.ru

Alexey A. Rubanov, graduate student of the Department of Digital Agriculture and Landscape Architecture, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "State University of Land Management" (105064, Russia, Moscow, Kazakova St., 15), tel. 89686734353, arubanov88@yandex.ru

Аннотация. Проведенные исследования показали, что внесение полезных бактерий *Bacillus subtilis*, *Bacillus megaterium*, *Azotobacter chroococum*, грибов-фитопатогенов *Trichoderma viride*, *Trichoderma harzianum* и арбускулярно-микоризных грибов *Glomus intraradices* способствовало повышению содержания большинства из определяемых 40 химических элементов в зерне озимой пшеницы сорта Федор.

Abstract. The conducted studies showed that the introduction of beneficial bacteria *Bacillus subtilis*, *Bacillus megaterium*, *Azotobacter chroococum*, phytopathogenic fungi *Trichoderma viride*, *Trichoderma harzianum* and arbuscular mycorrhizal fungi *Glomus intraradices* contributed to an increase in the content of most of the 40 chemical elements determined in the grain of winter wheat of the Fedor variety.

Ключевые слова: полезные бактерии и грибы, озимая пшеница, сорт Федор, зерно, 40 химических элементов

Key words: beneficial bacteria and fungi, winter wheat, Fedor variety, grain, 40 chemical elements

Введение. Приоритетным направлением развития сельского хозяйства 21 века является разработка экологически безопасных способов повышения урожая,

увеличения устойчивости растений к заболеваниям и улучшения качества продукции.

Взаимодействие микроорганизмов (бактерий и грибов) с растениями является одним из основных факторов, влияющих на жизнеспособность растений. Многие ученые отмечают, что использование в сельском хозяйстве непатогенных почвенных бактерий, живущих на корнях растений, является весьма перспективным направлением и открывает значительные возможности особенно для органического земледелия [1]. Ризобактерии, стимулирующие рост растений, многофункциональны и влияют на все стороны жизни растений, такие как питание, морфогенез и развитие, реакцию на биотический и абиотический стресс, взаимодействие с другими организмами в агроэкосистемах [2-8]. Бактерии, принадлежащие к роду *Bacillus*, и особенно штаммы *Bac. subtilis* эффективны для биологической борьбы со многими болезнями растений, вызываемыми почвенными патогенами [9-11].

Очень важную роль в функционировании почвенной экосистемы играют микоризные грибы. Арбускулярная микориза является распространенным растительно-микробным симбиозом у подавляющего большинства видов наземных растений с грибами отдела *Glomeromycota* [12]. Арбускулярно-микоризные грибы обеспечивают растение питательными веществами и водой, а растение-хозяин, в свою очередь, предоставляет этим грибам продукты фотосинтеза.

Глубокая и частая вспашка, применение большого количества минеральных удобрений и особенно пестицидов могут значительно повлиять на микробное сообщество почвы, преобразуя его структуру и сокращая разнообразие видов. Поэтому в почвы сельскохозяйственных угодий необходимо добавлять полезные бактерии и микоризные грибы, поскольку зараженные этими микроорганизмами растения, являясь более здоровыми, имеют лучшие биохимические характеристики и элементный состав [13]. В работе [14] показано, что при применении микоризных грибов при выращивании пшеницы, гороха и лука наиболее отзывчивой культурой на их внесение

оказалась пшеница. В будущем использование арбускулярно-микоризных грибов станет таким же распространенным, как в настоящее время использование минеральных удобрений.

Целью нашего исследования являлась оценка влияния полезных бактерий и грибов на содержание 40 химических элементов в зерне озимой пшеницы сорта Федор.

Объекты и методы исследования

Полевые исследования были проведены с озимой мягкой пшеницей (*Triticum aestivum* L.) сорта Федор в Северо-Кавказском районе РФ на выщелоченном сверхмощном черноземе с содержанием гумуса 3,8 %; pH = 6,7. Среднеспелый сорт Федор является сортом мягкой озимой пшеницы, устойчивым к полеганию. Vegetационный период составляет 212-300 дней. Высота растений - 82-90 см. Сорт устойчив к мучнистой росе и к септориозу листьев, но восприимчив к твердой головне пшеницы. Морозостойкость повышенная, засухоустойчивость - на уровне стандарта. Максимальная урожайность зерна пшеницы этого сорта составляет около 100 ц/га, а хлебопекарные качества отличные.

Подготовка поля к посеву пшеницы данного сорта проводилась с учетом паспорта плодородия земельного участка. Предшественником являлся горох. В течение вегетации выращиваемой пшеницы погодные условия были следующими: март и апрель - холодные с большим количеством осадков; май - с низкими ночными температурами в первых двух декадах месяца и с большим количеством осадков в течение всего месяца.

В контрольном и опытном вариантах на земельных участках проводились два раза дискование и предпосевная культивация. Посев производили на глубину 5 см с одновременным прикатыванием. В период кущения пшеницы была проведена азотная подкормка аммиачной селитрой из расчета 200 кг/га как в контрольном, так и в опытном варианте.

В опытном варианте несколько раз вносили биопрепараты, содержащие полезные микроорганизмы. В фазу всходов (2-3 настоящие листа) применяли

микоризный гриб *Glomus intraradices*, спорообразующие почвенные бактерии *Bacillus subtilis* (подавляют развитие возбудителей инфекций) и симбиотические азотфиксирующие бактерии из рода *Azotobacter*. При весеннем кушении вносили бактерии *Bacillus subtilis*, бактерии *Bacillus megaterium* (стимулируют активизацию антиоксидантных ферментов и индукцию иммунного ответа растений) и гриб - антагонист фитопатогенов *Trichoderma harzianum*. При колошении и в начале цветения вносили бактерии *Bacillus subtilis*, *Bacillus megaterium*, *Azotobacter chroococcum* и гриб *Trichoderma viride* (обладает высокой ферментативной активностью и подавляет развитие почвенных фитопатогенов). В контрольном варианте полезные бактерии и грибы не вносились. Урожайность зерна выращенной озимой пшеницы в опытном варианте составляла 70 ц/га, что на 16 ц/га выше, чем в контрольном варианте.

Химический элементный состав зерна выращенной в опыте пшеницы определяли с помощью атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой на приборе Optima 2000 DV (Perkin Elmer, США) и с помощью масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой на приборе Elan 9000 (Perkin Elmer, США).

Результаты исследования и их обсуждение

Результаты определения содержания 40 химических элементов в зерне озимой пшеницы сорта Федор представлены в таблице. Известно, что в составе растений обнаружено более 80 химических элементов, в том числе макро- и микроэлементы, как эссенциальные (жизненно-важные), так и токсичные. К макроэлементам относятся элементы, содержание которых в растениях исчисляется целыми процентами или десятыми их долями; к микроэлементам - элементы, содержание которых исчисляется сотыми и тысячными долями процента.

Корни растений и почвенные микроорганизмы усваивают из почвы, главным образом, те элементы, в которых они нуждаются, причем многие микроорганизмы потребляют для питания те же элементы, что и растения. К необходимым для живых организмов макроэлементам относятся азот, сера,

калий, кальций, фосфор, натрий, магний, к необходимым микроэлементам - железо, йод, медь, марганец, цинк, кобальт, молибден, селен, ванадий, никель, хром, кремний, олово [15].

В зерне озимой пшеницы, выращенной с применением полезных микроорганизмов, по сравнению с контрольным вариантом, среднее содержание калия увеличилось с 4654 до 5370 мкг/г сух. в-ва, магния – с 3000 до 3107 мкг/г сух. в-ва, кальция – с 384 до 411 мкг/г сух. в-ва, натрия - с 5,11 до 8,34 мкг/г сух. в-ва, а содержание фосфора уменьшилось с 2641 до 2609 мкг/г сух. в-ва. Под воздействием вносимых микроорганизмов в зерне увеличивалось содержание практически всех определяемых жизненно-важных микроэлементов: железа в 1,34 раза, цинка – в 1,08 раза, кремния – в 2,31 раза, меди – в 1,05 раза, хрома – в 1,46 раза, никеля – в 1,47 раза, ванадия – в 1,60 раза, йода – в 1,05 раза, кобальта – в 1,10 раза; а содержание марганца уменьшилось. Также уменьшилось содержание токсичных элементов – ртути и кадмия.

Таблица. Элементный состав зерна озимой пшеницы сорта Федор, мкг/г

Химические элементы	Контрольный вариант	Опытный вариант	Во сколько раз увеличилось содержание элемента при внесении полезных микроорганизмов
Ag	0,0074±0,00074	0,012±0,0012	1,62
Al	0,45±0,045	0,95±0,095	2,11
As	<0,0002	<0,0002	-
Au	0,0012±0,00012	0,0035±0,00035	2,92
B	0,82±0,082	1,09±0,109	1,33
Ba	3,94±0,394	4,89±0,489	1,24
Be	0,0025±0,00025	0,0048±0,00048	1,92
Bi	0,0011±0,00011	0,0013±0,00013	1,18
Ca	384±38,4	411±41,1	1,07
Cd	0,021±0,0021	0,013±0,0013	-
Co	0,0069±0,00069	0,0076±0,00076	1,10
Cr	0,013±0,0013	0,019±0,0019	1,46

Cu	4,81±0,481	5,05±0,505	1,05
Fe	37,3±3,73	50,1±5,01	1,34
Ga	0,033±0,0033	0,036±0,0036	1,09
Ge	0,015±0,0015	0,024±0,0024	1,60
Hg	0,068±0,0068	0,051±0,0051	-
I	0,037±0,0037	0,039±0,0039	1,05
K	4654±465,4	5370±537	1,15
La	0,0013±0,00013	0,0021±0,00021	1,62
Li	0,07±0,007	0,12±0,012	1,71
Mg	3000±300	3107±310,7	1,04
Mn	51,8±5,18	46±4,6	-
Mo	0,33±0,033	0,55±0,055	1,67
Na	5,11±0,511	8,34±0,834	1,63
Ni	0,17±0,017	0,25±0,025	1,47
P	2641±264,1	2609±260,9	-
Pb	0,03±0,003	0,048±0,0048	1,60
Pt	0,00073±0,000073	0,0018±0,00018	2,47
Rb	1,88±0,188	1,5±0,15	-
Sb	0,0068±0,00068	0,011±0,0011	1,62
Se	0,062±0,0062	0,069±0,0069	1,11
Si	26±2,6	60,1±6,01	2,31
Sn	0,0021±0,00021	0,015±0,0015	7,14
Sr	2,49±0,249	2,82±0,282	1,13
Tl	0,00047±0,000047	0,0012±0,00012	2,55
V	0,015±0,0015	0,024±0,0024	1,60
W	0,006±0,0006	0,0065±0,00065	1,08
Zn	25,1±2,51	27±2,7	1,08
Zr	0,25±0,025	0,027±0,0027	-

Заклучение

Определение 40 химических элементов в зерне мягкой озимой пшеницы сорта Федор показало, что внесение полезных бактерий *Bacillus subtilis*, *Bacillus megaterium*, *Azotobacter chroococcum*, грибов-фитопатогенов *Trichoderma viride*, *Trichoderma harzianum* и арбускулярно-микоризных грибов *Glomus intraradices* при выращивании пшеницы способствовало увеличению содержания

подавляющего большинства элементов, кроме фосфора, марганца, мышьяка, кадмия, ртути, рубидия и циркония.

Литература

1. Whipps JM. Microbial interactions and biocontrol in the rhizosphere. // J Exp Bot. 2001 Mar; 52 (Spec Issue):487-511. doi: 10.1093/jexbot/52.suppl_1.487. PMID: 11326055.

2. Babalola OO. Beneficial bacteria of agricultural importance. // Biotechnol Lett. 2010 Nov; 32 (11):1559-70. doi: 10.1007/s10529-010-0347-0. Epub 2010 Jul 16. PMID: 20635120.

3. Berendsen RL, Pieterse CM, Bakker PA. The rhizosphere microbiome and plant health. //Trends Plant Sci. 2012 Aug;17(8):478-86. doi: 10.1016/j.plants.2012.04.001. Epub 2012 May 5. PMID: 22564542.

4. Bhattacharyya PN, Jha DK. Plant Growth-Promoting Rhizobacteria (PGPR): emergence in agriculture. // World J Microbiol Biotechnol. 2012 Apr;28(4):1327-50. doi: 10.1007/ s11274-011-0979-9. Epub 2011 Dec 24. PMID: 22805914.

5. Vacheron J, Desbrosses G, Bouffaud ML, Touraine B, Moëgne-Loccoz Y, Muller D, Legendre L, Wisniewski-Dyé F, Prigent-Combaret C. Plant growth-promoting rhizobacteria and root system functioning. // Front Plant Sci. 2013 Sep 17;4:356. doi: 10.3389/fpls.2013.00356. PMID: 24062756; PMCID: PMC3775148.

6. Gaiero JR, McCall CA, Thompson KA, Day NJ, Best AS, Dunfield KE. Inside the root microbiome: bacterial root endophytes and plant growth promotion. //Am J Bot. 2013 Sep;100(9):1738-50. doi: 10.3732/ajb.1200572. Epub 2013 Aug 8. PMID: 23935113.

7. Philippot L, Raaijmakers JM, Lemanceau P, van der Putten WH. Going back to the roots: the microbial ecology of the rhizosphere. // Nat Rev Microbiol. 2013 Nov;11(11):789-99. doi: 10.1038/nrmicro3109. Epub 2013 Sep 23. PMID: 24056930.

8. Berg G, Grube M, Schloter M, Smalla K. Unraveling the plant microbiome: looking back and future perspectives. // Front Microbiol. 2014 Jun 4;5:148. doi: 10.3389/ fmicb.2014.00148. PMID: 24926286; PMCID: PMC4045152

9. Asaka O, Shoda M. Biocontrol of *Rhizoctonia solani* Damping-Off of Tomato with *Bacillus subtilis* RB14. //Appl Environ Microbiol. 1996 Nov;62(11):4081-5. doi: 10.1128/ AEM.62.11.4081-4085.1996. PMID: 16535440; PMCID: PMC1388978.

10. Backman PA, Wilson M, Murphy JF. Bacteria for biological control of plant diseases. Environmentally safe approaches to crop disease control. 1997;95-109. 11. Brannen PM, Kenney DS. Kodiak-a successful biological-control product for suppression of soil-borne plant pathogens of cotton. // J Ind Biotechnol. 1997;19, 169-171. <https://tinyurl.com/pbfhtcut>.

12. Karatygin I.V., Snigirevskaya N.S., Demchenko K.N. Species of the Glomites as plant mycobionts in Early Devonian ecosystems // Paleontol. J. – 2006. – V. 40, N5. – P. 572-579.

13. Nadezhda Golubkina, Zarema Amagova, Visita Matsadze, Svetlana Zamana, Alessio Tallarita and Gianluca Caruso Effects of Arbuscular Mycorrhizal Fungi on Yield, Biochemical Characteristics, and Elemental Composition of Garlic and Onion under Selenium Supply //Plant. - 2020, 9 (1), 84.

14. Курамшина З.М., Свиридова К.В. Влияние биоудобрения на основе микоризных грибов на рост и микоризацию корней культурных растений //Успехи современного естествознания. – 2021. – № 12 – С. 39-43.

15. Ленинджер А. Основы биохимии. - М.: Мир, 1985. - Т.1. - 365 с.

References

1. Whipps JM. (2001) Microbial interactions and biocontrol in the rhizosphere. // J Exp Bot.; 52 (Spec Issue):487-511. doi: 10.1093/jexbot/52.suppl_1.487. PMID: 11326055.

2. Babalola OO. (2010) Beneficial bacteria of agricultural importance. // Biotechnol Lett.; 32 (11):1559-70. doi: 10.1007/s10529-010-0347-0. Epub 2010 Jul 16. PMID: 20635120.

3. Berendsen RL, Pieterse CM, Bakker PA. (2012) The rhizosphere microbiome and plant health. //Trends Plant Sci.; 17(8):478-86. doi: 10.1016/j. plants.2012.04.001. Epub 2012 May 5. PMID: 22564542.

4. Bhattacharyya PN, Jha DK. (2012) Plant Growth-Promoting Rhizobacteria (PGPR): emergence in agriculture. // *World J Microbiol Biotechnol.* ; 28(4):1327-50. doi: 10.1007/s11274-011-0979-9. Epub 2011 Dec 24. PMID: 22805914.
5. Vacheron J, Desbrosses G, Bouffaud ML, Touraine B, Moëgne-Loccoz Y, Muller D, Legendre L, Wisniewski-Dyé F, Prigent-Combaret C. (2013) Plant growth-promoting rhizobacteria and root system functioning. // *Front Plant Sci.*; 4:356. doi: 10.3389/fpls.2013.00356. PMID: 24062756; PMCID: PMC3775148.
6. Gaiero JR, McCall CA, Thompson KA, Day NJ, Best AS, Dunfield KE. (2013) Inside the root microbiome: bacterial root endophytes and plant growth promotion. // *Am J Bot.*;100(9):1738-50. doi: 10.3732/ajb.1200572. Epub 2013 Aug 8. PMID: 23935113.
7. Philippot L, Raaijmakers JM, Lemanceau P, van der Putten WH. (2013) Going back to the roots: the microbial ecology of the rhizosphere. // *Nat Rev Microbiol.*;11(11):789-99. doi: 10.1038/nrmicro3109. Epub 2013 Sep 23. PMID: 24056930.
8. Berg G, Grube M, Schloter M, Smalla K. (2014) Unraveling the plant microbiome: looking back and future perspectives. // *Front Microbiol.*; 5:148. doi: 10.3389/fmicb.2014.00148. PMID: 24926286; PMCID: PMC4045152
9. Asaka O, Shoda M. (1996) Biocontrol of *Rhizoctonia solani* Damping-Off of Tomato with *Bacillus subtilis* RB14. // *Appl Environ Microbiol.*; 62(11):4081-5. doi: 10.1128/AEM.62.11.4081-4085.1996. PMID: 16535440; PMCID: PMC1388978.
10. Backman PA, Wilson M, Murphy JF. (1997) Bacteria for biological control of plant diseases. *Environmentally safe approaches to crop disease control.*; 95-109.
11. Brannen PM, Kenney DS. (1997) Kodiak-a successful biological-control product for suppression of soil-borne plant pathogens of cotton. // *J Ind Biotechnol.*; 19, 169- 171. <https://tinyurl.com/pbfhtcut>.
12. Karatygin I.V., Snigirevskaya N.S., Demchenko K.N. (2006) Species of the Glomites as plant mycobionts in Early Devonian ecosystems // *Paleontol. J.* – V. 40, N5. – P. 572-579.

13. Nadezhda Golubkina, Zarema Amagova, Visita Matsadze, Svetlana Zamana, Alessio Tallarita and Gianluca Caruso (2020) Effects of Arbuscular Mycorrhizal Fungi on Yield, Biochemical Characteristics, and Elemental Composition of Garlic and Onion under Selenium Supply //Plant. - 9 (1), 84.

14. Kuramshina Z.M., Sviridova K.V. (2021) Vliyanie bioudobreniya na osnove mikoriznykh gribov na rost i mikorizatsiyu kornei kul'turnykh rastenii [Effect of biofertilizers based on microbial fungi on the growth and microbial growth of plant roots] //Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya. [Advances in modern natural science] – № 12 – S. 39-43.

15. Lenindzher A. (1985) Osnovy biokhimii [Fundamentals of biochemistry].- M.: Mir. - T.1. - 365 s.

© Замана С.П., Кондратьева Т.Д., Рубанов А.А., 2024. *International agricultural journal*, 2024, №6, 2271-2281

Для цитирования: Замана С.П., Кондратьева Т.Д., Рубанов А.А. Влияние полезных микроорганизмов на содержание химических элементов в зерне озимой пшеницы // *International agricultural journal*. 2024. №6, 2271-2281