

10.12737/article\_599acb10016b31.61741080  
УДК 633.11:631.559:581.1

**СПЕКТР РАСТВОРИМЫХ БЕЛКОВ ЛИСТЬЕВ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ  
ПРИ НЕКОРНЕВОЙ ОБРАБОТКЕ ХЕЛАТНЫМ МИКРОУДОБРЕНИЕМ ЖУССС-2  
Пахомова В.М., Даминова А.И., Кузнецова Н.А.**

**Реферат.** Изучался спектр растворимых белков листьев яровой пшеницы при некорневой обработке хелатным медь, молибденсодержащим микроудобрением марки ЖУССС-2 (0,1% раствор). Электрофоретически обнаружены полипептиды с молекулярными массами 13,2 - 145 кД. Качественный состав растворимых белков в листьях растений пшеницы под действием некорневой обработки в ходе вегетации не изменялся, однако, наблюдались их количественные изменения. При однократной обработке пшеницы в фазу кушения регистрировалось увеличение полипептидов с молекулярными массами 145 и 94 кД; содержание полипептидов с молекулярными массами 13,2 - 66 кД уменьшалось по сравнению с контролем. При двукратном опрыскивании растений в фазы кушения и выхода в трубку увеличивалось содержание этих же полипептидов, а также полипептидов с молекулярными массами 45 и 41 кД. Содержание других обнаруженных полипептидов также снижалось по сравнению с контролем. При трехкратной обработке растений пшеницы в фазы кушения, выхода в трубку и колошения-цветения препаратом ЖУССС-2 количество всех обнаруженных полипептидов возрастало по сравнению с контролем. Таким образом, ответная реакция метаболизма растворимых белков в клетках листьев яровой пшеницы на действие некорневой подкормки медь, молибденсодержащим хелатным микроудобрением марки ЖУССС-2 в разные фазы вегетации различна и зависит от дозы воздействия. Особое внимание следует обратить на роль двух полипептидов при обработке вегетирующих растений ЖУССС-2 с М.м. 94 кД и, главным образом 145 кД. Есть основания полагать, что медь, молибденсодержащее хелатное микроудобрение ЖУССС-2 проявляет действие абιοгенного элиситора, приводящего к активизации генного аппарата клеток. Обсуждается возможная функциональная роль этих белков.

**Ключевые слова:** спектр полипептидов, листья, яровая пшеница, некорневая обработка, хелатное микроудобрение, марка ЖУССС-2.

**Введение.** Общеизвестно, что функциональная активность клеток обусловлено активностью растворимых белков, проявляющих ферментативную, регуляторную, защитную и другие функции [1,2,3]. В настоящее время практически не изученным остается вопрос о спектре растворимых белков сельскохозяйственных растений при некорневой обработке микроудобрениями в ходе вегетации. Это и явилось целью настоящей работы.

**Условия, материалы и методы исследований.** Объектом исследования являлась яровая пшеница. Полевые опыты проведены на опытных полях учебного хозяйства Казанского государственного аграрного университета. Технология возделывания описана нами ранее [4]. Полевые опыты были проведены по следующей схеме: в первом варианте – пшеница в посеве без обработки; во втором варианте растения пшеницы опрыскивали хелатным медь, молибденсодержащим микроудобрением марки ЖУССС-2 в концентрации 0,1 % однократно в фазу кушения; в третьем варианте растения обрабатывали этим препаратом двукратно в фазах кушения и выхода в трубку; в четвертом варианте некорневая обработка растений данным препаратом проводилась трехкратно в фазах кушения, выхода в трубку и колошения-цветения. Лиганд ЖУССС-2 – моноэтаноламин [5].

Одномерный электрофорез растворимых белков листьев пшеницы через 1 сутки после

опрыскивания проводили в 12% полиакриламидном геле в присутствии 2% додецилсульфата натрия [6]. Электрофореграммы получали сканированием на денситографе с последующей обработкой программой Scion Image version. Относительное содержание (в %) полипептидов определяли по программе Scion Image [4]. В качестве белков-маркеров для электрофореза использовали стандартный набор белков с молекулярными массами 14,2 - 66 кД (фирма-поставщик «Helicon»).

**Анализ и обсуждение результатов.** Электрофоретически обнаружены полипептиды с молекулярными массами 13,2 - 145 кД (рис. 1 - 4). Качественный состав растворимых белков в листьях растений пшеницы под действием некорневой обработки в ходе вегетации не изменялся, однако, наблюдались их количественные изменения. При однократной обработке регистрировалось увеличение полипептидов с молекулярными массами 145 и 94 кД (рис. 2; табл. 1); содержание полипептидов с молекулярными массами 13,2 - 66 кД уменьшалось по сравнению с контролем (рис. 2, табл. 1). При двукратном опрыскивании увеличивалось содержание этих же полипептидов, а также полипептидов с молекулярными массами 45 и 41 кД (рис. 3; табл. 1). Содержание других обнаруженных полипептидов снижалось по сравнению с контролем. При трехкратной обработке растений препаратом ЖУССС-2 количество всех обнаруженных по-

липептидов возрастало по сравнению с контролем (рис. 4; табл. 1). Следует обратить внимание, что наибольшее увеличение было характерно для полипептидов с молекулярными массами 145 и 94 кД при двух- и трехкратной обработке посевов пшеницы; при однократной обработке максимальное увеличение содержания было характерно только для белка с молекулярной массой 145 кД (рис. 2 - 4; табл. 1).

Анализ представленных результатов показывает, что некорневая обработка растений яровой пшеницы хелатным микроудобрением ЖУСС-2 не сопровождается образованием новых полипептидов, что обычно характерно для условий абиогенного и биогенного патогенеза [7].

На наш взгляд, количественное изменение отдельных полипептидов обусловлено следующими причинами. В связи с тем, что данная

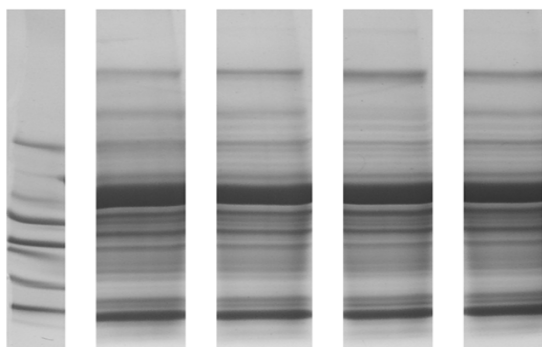


Рисунок 1 – Электрофореграмма растворимых белков в листьях пшеницы (на первом геле отображены белки-маркеры)

Примечание: на первом (слева) геле представлены треки белков-маркеров с М.м. (сверху вниз) 66; 45; 36; 29; 24; 20,1; 14,2 кД. На втором (слева) геле представлены треки полипептидов листьев пшеницы контрольного варианта; на третьем – при однократном опрыскивании растений препаратом ЖУСС-2; на четвертом – при двукратном опрыскивании; на пятом – при трехкратном опрыскивании.

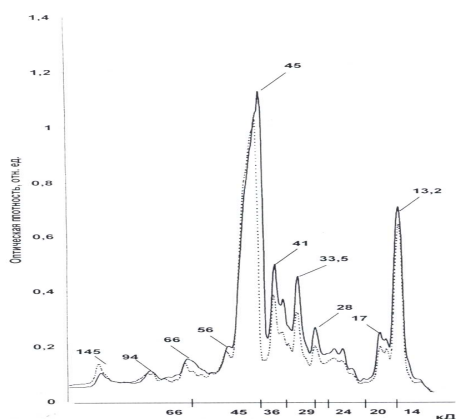


Рисунок 2 – Денситограмма полипептидов листьев пшеницы

Примечание: сплошная линия – контроль (пшеница без обработки); пунктирная линия – однократная обработка пшеницы раствором ЖУСС-2

некорневая обработка приводит к увеличению водоудерживающей способности клеток растений пшеницы [4, 5], есть основание полагать, что при этом возрастает количество гидрофильных белков, обуславливающих повышенное содержание наиболее прочно связанной воды [8, 9, 10].

Количественное увеличение отдельных полипептидов, зависящее от кратности обработки пшеницы препаратом ЖУСС-2, может быть связано также с возрастанием содержания металлсвязывающих белков (металлотронеинов). Это небольшие белки, состоящие на 30% из цистеина и способные связывать до 6 – 7 атомов таких металлов, как медь, цинк и др. [11]. Кроме того, это может быть обусловлено возрастанием активности нитратредуктазы и ферментов темновой стадии фотосинтеза листьев пшеницы, поскольку

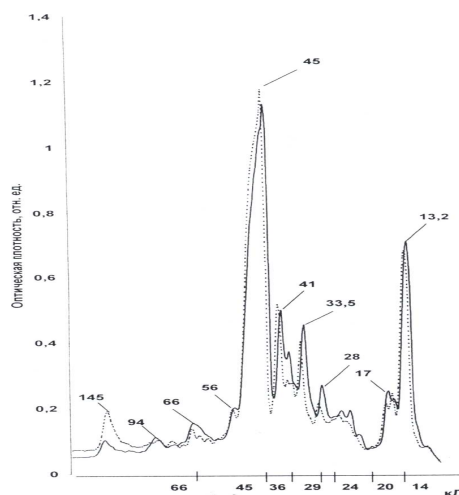


Рисунок 3 – Денситограмма полипептидов листьев пшеницы

Примечание: сплошная линия – контроль (пшеница без обработки); пунктирная линия – двукратная обработка пшеницы раствором ЖУСС-2

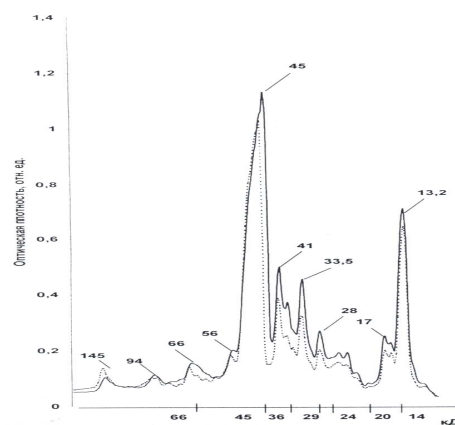


Рисунок 4 – Денситограмма полипептидов листьев пшеницы

Примечание: сплошная линия – контроль (пшеница без обработки); пунктирная линия – трехкратная обработка пшеницы раствором ЖУСС-2

Таблица 1 – Содержание отдельных полипептидов, % от контроля

Мол. масса, кД	145	94	66	56	45	41	33,5	28	17	13,2
2 вариант	129	104	92	88	92	80	76	80	81	82
3 вариант	180	193	93	95	105	108	90	83	98	95
4 вариант	160	181	125	114	118	115	103	102	110	115

ранее нами были показаны активизация фотосинтетической деятельности, в частности, накопления углерода в листьях пшеницы, и увеличение активности нитратредуктазы в них под влиянием данных обработок [4, 5]. Как известно, нитратредуктаза представляет собой Fe,Mo-содержащий фермент [3], поэтому обработка Cu,Mo-содержащим микроудобрением ЖУСС-2 сопровождается возрастанием активности этого фермента. И, наконец, можно предположить, что увеличение некоторых полипептидов в этих условиях может отражать активизацию Cu-содержащих протекторных (защитных) ферментов, таких как супероксиддисмутаза и полифенолоксидаза [11, 12, 13]. Следует подчеркнуть, что возрастание активности этих ферментов показано нами ранее под влиянием ЖУСС-2 [5, 14].

**Вывод.** Ответная реакция метаболизма растворимых белков в клетках листьев яровой пшеницы на действие некорневой подкормки медью, молибденсодержащим хелатным микроудобрением марки ЖУСС-2 в разные фазы вегетации различна и зависит от дозы воздействия. При однократной обработке наблюдает-

ся количественное перераспределение содержания отдельных полипептидов, причем резкое увеличение содержания полипептида с М.м. 145 кД происходит за счет снижения количества практически всех других полипептидов (кроме полипептида с М.м. 94 кД). С увеличением дозы воздействия ЖУСС-2 количество полипептидов, для которых характерно увеличение содержания, возрастает: при двукратном опрыскивании оно доходит до четырех полипептидов, а при трехкратном опрыскивании достигает максимального воздействия на содержание полипептидов, то есть имеет место количественное увеличение всех полипептидов в клетках листьев пшеницы. Особое внимание следует обратить на возрастающую роль двух полипептидов с М.м. 94 кД и, главным образом 145 кД, при обработке вегетирующих растений ЖУСС-2, что требует проведения дальнейших исследований. Таким образом, есть основания полагать, что медь, молибденсодержащее хелатное микроудобрение ЖУСС-2 проявляет действие абиогенного элиситора, приводящего к активизации генного аппарата клеток.

Литература

- Алехина Н.Д. Физиология растений: Учебник для студ. вузов / Н.Д. Алехина, Ю.В. Балнокин, В.Ф. Гавриленко и др.; Под ред. И.П. Ермакова. – М.: Издательский центр «Академия», 2005. – 640 с.
- Белки и пептиды. Тезисы докладов IV Российского симпозиума. Казань, 22 – 27 июня 2009 г. - Казань: Изд-во Учреждения РАН Казанский институт биохимии и биофизики КазНЦ РАН, 2009.– 404 с.
- Кузнецов Вл. В. Физиология растений. В 2-х томах: учебник для академического бакалавриата / Вл. В. Кузнецов, Г.А. Дмитриева. 4-е издание перераб. и доп. – М.: Издательство Юрайт, 2016. – Т. 1. - 438 с., Т. 2. - 459 с.
- Кузнецова Н.А. Продукционные и физиолого-биохимические процессы яровой пшеницы в связи с качеством урожая при некорневой обработке микроудобрением ЖУСС-2: диссер. ... к.б.н. / Н.А. Кузнецова. – Казань, 2010. – 221 с.
- Гайсин И.А. Хелатные микроудобрения: практика применения и механизм действия / И.А. Гайсин, В.М. Пахомова. – Казань: Изд-во Казанского университета, 2016. – 316 с.
- Laemmli U.K. Ceevage of structurae proteins during the assembly of the head of bacteriophage / U.K. Laemmli // Nature. – 1970. – Vol. 4. – P. 680-685.
- Максютова Н.Н. Синтез белка растений при стрессе / Н.Н. Максютлова. М.: ТСХА, 1998. – 38 с.
- Жолкевич В.Н. Водный обмен растений / В.Н. Жолкевич, Н.А. Гусев, А.В. Капля и др. – М.: Наука, 1989. – 256 с.
- Bradford K.J. Water stress and the water relations of seed development: a critical review / K.J. Bradford // Crop Science, 1994. - Vol. 34, № 1. – P. 1-11.
- Pandey S.N. Plant physiology / S.N. Pandey, B.K. Sinha. Delhi: Vikas publishing house pvtltd, 2002.-582 p.
- Медведев С.С. Физиология растений: учебник / С.С. Медведев. – СПб.: БХВ-Петербург, 2013.- 512 с.
- Чупахина Г.Н. Природные антиоксиданты (экологический аспект): монография / Г.Н. Чупахина, П.В. Масленников, Л.Н. Скрышник. - Калининград: Изд-во БФУ им. И. Канта, 2011. – 111 с.
- Битюцкий Н.П. Микроэлементы высших растений / Н.П. Битюцкий. – СПб.: Изд-во СПб. Университета, 2011. – 368 с.
- Гайсин И.А. Теоретическое и практическое обоснование защитных свойств полифункциональных хелатных микроудобрений марки ЖУСС / И.А. Гайсин, В.М. Пахомова, А.И. Даминова // Агрехимический вестник, 2017, № 1. – С. 44 – 47.

**Сведения об авторах:**

Пахомова Валентина Михайловна – доктор биологических наук, профессор, pahomovav@mail.ru  
 Даминова Аниса Илдаровна – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет», г. Казань, Россия.  
Кузнецова Наталья Анатольевна – кандидат биологических наук, зав. отделом заочного обучения  
Чистопольский филиал «Восток» ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ».

**SPECTRUM OF SOLUBLE PROTEINS OF SPRING WHEAT LEAVES FOR FOLIAR TREATMENT BY CHELATE MICROFERTILIZER ZHUSS-2**

**Pakhomova V.M., Daminova A.I., Kuznetsova N.A.**

**Abstract.** The spectrum of soluble proteins of spring wheat leaves was studied for foliar treatment with chelated copper, molybdenum-containing microfertilizer ZhUSS-2 (0.1% solution). Electrophoretically, polypeptides with a molecular mass of 13.2 - 145 kD were detected. The qualitative composition of soluble proteins in the leaves of spring wheat plants under the influence of foliar treatment during the vegetation did not change, however, their quantitative changes were observed. During a single treatment of spring wheat in the tillering phase, an increase in polypeptides with a molecular mass of 145 and 94 kD was recorded; the content of polypeptides with molecular weights of 13.2 - 66 kD decreased in comparison with the control sample. When the plants were sprayed twice in the tillering and tubing phases, the content of these polypeptides as well as polypeptides with molecular weights of 45 and 41 kD increased. The content of other detected polypeptides also decreased compared to the control variant. During a three-fold treatment of spring wheat plants in the tillering, tubing and blossoming-flowering phases with the ZhUSS-2 preparation, the number of all detected polypeptides increased in comparison with the control sample. Thus, the response of the metabolism of soluble proteins in the cells of spring wheat leaves to the action of foliar top dressing with copper, molybdenum-containing chelate microfertilizer of ZhUSS-2 brand in different phases of vegetation is different and depends on the dose of exposure. Particular attention should be paid to the role of two polypeptides in the treatment of vegetative plants by ZhUSS-2 M.M. 94 kD and, mainly, 145 kD. There is a reason to believe that copper molybdenum-containing chelate microfertilizer ZhUSS-2 exhibits the action of an abiotic elicitor, which leads to activation of the gene apparatus of cells. The possible functional role of these proteins is discussed.

**Key words:** spectrum of polypeptides, leaves, spring wheat, foliar treatment, chelate microfertilizer, ZhUSS-2 brand.

**References**

1. Alekhina N.D. *Fiziologiya rasteniy: Uchebnik dlya stud. vuzov*. [Plant physiology: a manual for students of Universities]. / N.D. Alekhina, Yu.V. Balnokin, V.F. Gavrilenko and others; editorship I.P. Yermakov. – M.: Izdatelskiy tsentr "Akademiya", 2005. – P. 640.
2. *Belki i peptidy. Tezisy dokladov IV Rossiyskogo simpoziuma. Kazan, 22 – 27 iyunya 2009g.* (Proteins and peptides. Abstracts of IV Russian Symposium. Kazan, June 22 - 27, 2009). - Kazan: Izd-vo Uchrezhdeniya RAN Kazanskiy institut biokhimii i biofiziki KazNTS RAN, 2009. – Pp. 404.
3. Kuznetsov V.I. *Fiziologiya rasteniy. V 2-kh tomakh: uchebnik dlya akademicheskogo bakalavriata*. [Physiology of plants. In 2 volumes: a manual for academic Bachelor]. / V.I. Kuznetsov, G.A. Dmitrieva. 4<sup>th</sup> edition, revised and added. – M.: Izdatelstvo Yurayt, 2016. – Vol. 1. – P. 438, Vol. 2. – P. 459.
4. Kuznetsova N.A. *Produktivnyye i fiziologo-biokhimicheskie protsessy yarovoy pshenitsy v svyazi s kachestvom urozhaya pri nekornevoy obrabotke mikroudobreniem ZHUSS-2: disser. ... k.b.n.* (Productive and physiological and biochemical processes of spring wheat in connection with the quality of the crop with foliar treatment by ZhUSS-2 microfertilizer: Ph.D. of Biology thesis). / N.A. Kuznetsova. – Kazan, 2010. – P. 221.
5. Gaysin I.A. *Khelatnye mikroudobreniya: praktika primeneniya i mekhanizm deystviya*. [Chelate microfertilizers: practice of application and action mechanism]. / I.A. Gaysin, V.M. Pakhomova. – Kazan: Izd-vo Kazanskogo universiteta, 2016. – P. 316.
6. Laemmli U.K. Ceevage of structurae proteins during the assembly of the head of bacteriophage / U.K. Laemmli // *Nature*. – 1970. – Vol. 4. – P. 680-685.
7. Maksyutova N.N. *Sintez belka rasteniy pri stresse*. [Synthesis of plant protein under stress]. / N.N. Maksyutova. M.: TSKhA, 1998. – P. 38.
8. Zholkevich V.N. *Vodnyy obmen rasteniy*. [Water exchange of plants]. / V.N. Zholkevich, N.A. Gusev, A.V. Kaplya and others. – M.: Nauka, 1989. – P. 256.
9. Bradford K.J. Water stress and the water relations of seed development: a critical review / K.J. Bradford // *Crop Science*, 1994. - Vol. 34, № 1. – P. 1-11.
10. Pandey S.N. *Plant physiology* / S.N. Pandey, B.K. Sinha. Delhi: Vikas publishing house pvt ltd, 2002. - 582 p.
11. Medvedev S.S. *Fiziologiya rasteniy: uchebnik*. [Plant physiology: a manual]. / S.S. Medvedev. – SPb.: BKhV-Peterburg, 2013. – P. 512.
12. Chupakhina G.N. *Prirodnye antioksidanty (ekologicheskii aspekt): monografiya*. [Natural antioxidants (ecological aspect): monograph]. / G.N. Chupakhina, P.V. Maslennikov, L.N. Skrypnik. - Kaliningrad: Izd-vo BFU im. I. Kanta, 2011. – P. 111.
13. Bityutskiy N.P. *Mikroelementy vysshikh rasteniy*. [Microelements of higher plants]. / N.P. Bityutskiy. – SPb.: Izd-vo SPb. Universiteta, 2011. – P. 368.
14. Gaysin I.A. Theoretical and practical justification of the protective properties of polyfunctional chelate microfertilizers of ZhUSS brand. [Teoreticheskoe i prakticheskoe obosnovanie zaschitnykh svoystv polifunktsionalnykh khelatnykh mikroudobreniy marki ZhUSS]. / I.A. Gaysin, V.M. Pakhomova, A.I. Daminova // *Agrokhimicheskii vestnik. - Agrochemical herald*. 2017, № 1. – P. 44 – 47.

**Authors:**

Pakhomova Valentina Mikhaylovna – Doctor of Biological sciences, Professor, e-mail: pahomovav@mail.ru  
Daminova Anisa Ildarovna – Ph.D. of Agricultural sciences, associate professor  
Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia  
Kuznetsova Natalya Anatolevna Ph.D. of Biological sciences, Head of Distance learning Department  
Chistopol branch "Vostok" of Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI.