

УДК 632:11; 641+346.7

ВЗАИМОСВЯЗЬ СОДЕРЖАНИЯ БЕЛКА И МИКОТОКСИНОВ В ЗЕРНЕ ИНТЕНСИВНЫХ СОРТОВ ПШЕНИЦЫ

INTERCONNECTION OF PROTEIN AND PROTEIN AND MICOTOXIN CONTENT IN GRAIN OF INTENSIVE WHEAT CULTIVARS

О.А. Монастырский, Н.Н. Алябьева, Всероссийский НИИ биологической защиты растений, Краснодар-39, Россия, 350039, тел. +7 (861) 228-17-70, e-mail: omon36@mail.ru

O.A. Monastyrsky, N.N. Alyabieva, All-Russian Research Institute of Biological Plant Protection, Krasnodar-39, Russia, 350039, tel. +7 (861) 228-17-70, e-mail: omon36@mail.ru

Исследована зависимость содержания белка в зерне пшеницы, зараженном *Fusarium graminearum* и *F. verticillioides*, от уровня накопления дезоксиниваленона и зеараленона. Обнаружена сортоспецифичность как по содержанию белка, так и по способности накапливать микотоксины.

Ключевые слова: пшеница, сорта, зерно, содержание белка, фузариум, заражение, дезоксиниваленон, зеараленон, накопление в зерне.

The dependency of protein in the wheat grain infected with *Fusarium graminearum* and *F. verticillioides* on the level of deoxynivalenon and zearalenon, was studied. Cultivar specificity regarding protein content, as well as the ability to accumulate mycotoxins, was revealed.

Key words: wheat, cultivars, grain, protein content, *Fusarium*, infection, deoxynivalenon, zearalenon, accumulation in wheat.

По данным ФАО и статистическим данным Комиссии по продовольствию ЕС, в последние 10 лет более 30% продукции мирового зернового хозяйства теряется в результате заражения видами токсигенных грибов. В нашей стране особенно актуальным является поражение зерна пшеницы в колосе и при хранении фузариями, доминирующими видами которых являются *Fusarium graminearum* и *F. verticillioides*. Потеря биологической полноценности и безопасности пораженным зерном зависит от степени заражения и уровня накопления фузариотоксинов [1], а также от воздействия грибных ферментов, ингибирующих синтез конститутивных и защитных белков [2]. Фузариотоксины могут присутствовать в зерне и продуктах его переработки в замаскированной форме, что значительно затрудняет их выявление [3, 4]. На уровень накопления фузариотоксинов в зерне большое влияние оказывает сорт [5, 6].

Исследования канадских ученых обнаружили количественные связи у пшеницы между поражённостью фузариозом колоса, содержанием в зерне дезоксиниваленола (ДОН) и белка [7, 8]. У зерновых культур наибольшие потери от фузариоза несут посевы и хранящееся зерно пшеницы.

В нашей стране в среднем в год производится 50 млн т пшеницы. Ее зерно дает 80% белка от общего потребления. Около 90% производимого и хранящегося зерна находится в условиях континентального климата, благоприятствующего поражению фузариозом. На прошедшем осенью 2008 г. в С.-Петербурге конгрессе «Зерно и хлеб России» было отмечено, что 90% проверенных партий зерна заражено токсигенными грибами, в основном фузариозом и аспергиллезом. Около 2% партий в связи с высоким содержанием микотоксинов представляют реальную угрозу здоровью человека и сельскохозяйственных животных.

Серьезной проблемой является заражение фузариозом хранящегося зерна. Потери зерна при хранении составляют 25%. Если учесть, что в России ежегодно в течение 3—12 мес. хранится 12—15 млн т зерна, то потери могут достигать 3—3,8 млн т. Такой размер потерь определяется тем, что более 60% собираемого зерна хранится в зернохранилищах приспособленного типа — амбарах и механизированных токах, где подвергается воздействию неблагоприятных погодных условий (изменения температуры и влажности), способствующих поражению многими видами плесневых грибов. Положение осложняется тем, что в стране нет нормативной документации по безопасности хранения и подработки зерна.

Колонизация зерна токсигенными грибами приводит к потере его биологических и технологических качеств, необходимых для производства полноценных крупяных и хлебобулочных изделий, полноценных и безопасных зерновых кормов.

Усвояемость непораженного зерна и продуктов его переработки составляет 78%. С увеличением поражения до 20% его усвояемость снижается до 25% за счет утраты биологической полноценности и безопасности.

Известно, что продовольственная безопасность на государственном уровне обеспечивается, прежде всего, за счет зерна [9, 10]. Зерно и продукты его переработки являются основой питания 85% россиян. В России зерно в цене хлеба составляет 20% (в США — 5%). Однако в результате поражения токсигенными грибами для хлебопечения используется более 65% муки с ухудшенными свойствами — сниженными массовой долей белка и количеством сырой клейковины.

Содержание белка в зерне является важнейшим показателем его качества при международных сделках по поставкам российского зерна в другие страны, т.к. он входит во все зарубежные стандарты по пшенице. Пшеница является наиболее торгуемой зерновой культурой и основным экспортным товаром отечественного сельского хозяйства.

В стране до сих пор не принят технический регламент «Требования к зерну, его производству, хранению, перевозкам, реализации и утилизации». В настоящее время регламентирование содержания белка осуществляется в соответствии с ГОСТ Р 52554-2006 «Пшеница. Технические условия», в котором определены массовая доля белка, массовая доля сырой клейковины, натура зерна и содержание фузариозных зерен в пшенице 1, 2, 3, 4 и 5 классов.

Другим регламентирующим документом является СанПиН 2.3.2.1078-01, который регламентирует содержание белка и отдельных фузариотоксинов в зерне пшеницы и продуктах его переработки, а также содержание фузариозных зерен.

Для разработки технического регламента необходимо установление характера влияния заражения хранящегося зерна фузариозом и загрязнения фузариотоксинами на снижение биологической полноценности и безопасности, что дает возможность достоверно прогнозировать изменения качества зерна в процессе хранения и разработать стратегию защиты. В связи с этим была проведена работа по изучению влияния заражения токсигенными штаммами *Fusarium graminearum* и *F. verticillioides* и накопления микотоксинов на содержание белка в зерне интенсивных сортов пшеницы.

Определение белка проводили экспресс-методом на приборе Сорбфил-белок. Загрязнение зерна микотоксинами исследовали методом тонкослойной хроматографии с последующим денситометрированием пластин на спектрофлуориметре Хитачи-138.

Влияние заражения и накопления микотоксинов на содержание белка изучали при искусственном заражении зерна

ряда интенсивных сортов. В лабораторных условиях зерно каждого сорта заражали токсигенными штаммами *Fusarium graminearum* и *F. verticillioides* и инкубировали при 22°C до поражения зерна $14 \pm 1\%$. До и после инкубации измеряли в зерне содержание белка, а в зараженном зерне и содержание микотоксинов.

В первом эксперименте зерно пшеницы 13 районированных сортов заражали токсигенным штаммом *Fusarium graminearum*. Результаты исследований приведены в табл. 1. Была изучена корреляция содержания в зерне пшеницы фузариотоксинов дезоксиниваленола (ДОН), зеараленона (Ф-2) и их суммы с содержанием в зерне белка.

Сорт	Содержание белка в здоровом зерне, %	Содержание белка в зараженном зерне, %	Содержание в зерне ДОН, %	Содержание в зерне Ф-2, %	Содержание микотоксинов, всего, мг/кг
Веда	15,7	14,6	2,4	2,5	4,9
Кума	16,8	14,2	2,1	0,5	2,6
Восторг	16,0	14,8	1,9	1,5	3,4
Дока	15,4	13,8	2,7	0,8	3,5
Таня	14,9	13,2	1,5	0,6	2,1
Ласточка	15,2	13,1	2,4	1,2	3,6
Нота	17,3	12,9	3,2	1,3	3,5
ПалПич	14,9	12,6	1,0	4,0	5,0
Спартанка	15,8	12,3	2,1	2,1	4,2
Батько	14,6	12,1	2,2	2,7	4,9
Краснодарская 99	16,0	12,1	4,1	1,3	5,4
Москвич	15,2	11,4	2,1	1,7	3,8
Память	15,8	10,2	5,6	2,6	8,2

Наибольшую устойчивость к накоплению суммы токсинов при заражении хранящегося зерна проявили сорта Кума и Таня (табл. 1). По сумме токсинов самым устойчивым оказался сорт Таня (2,1 мг/кг). Наибольшее количество ДОН накапливали сорта Память, Краснодарская 99, Нота, Дока, Ласточка и Веда. Зеараленон в наибольшей концентрации был обнаружен в сортах ПалПич, Батько, Память, Веда и Спартанка. При сравнении уровней накопления микотоксинов в зерне сортов при искусственном заражении со средними уровнями накопления микотоксинов в зерне этих же сортов при естественном заражении в зернохранилищах (3–4%) были обнаружены те же закономерности, что и при искусственном заражении.

Схожие тенденции наблюдались и при сравнении величин снижения содержания белка в зараженном зерне.

Анализ содержания белка в зараженном зерне показывает, что максимальное его количество содержится в зерне сорта Веда, а минимальное — в зерне сорта Память. При заражении меньше других снижали содержание белка сорта Веда, Кума, Восторг, Дока. В наибольшей степени снижали содержание белка сорта Память, Москвич, Краснодарская 99 и Батько.

Установлена достоверная отрицательная корреляция между содержанием белка и дезоксиниваленола ($r = -0,58$) и суммы токсинов ($r = -0,64$), накапливаемых

в зерне при искусственном заражении. В то же время не установлено достоверной связи между этими показателями при естественных условиях заражения, что возможно объясняется более низкой степенью заражения зерна.

Полученные результаты позволили заключить, что часто наблюдаемая степень заражения зерна фузариозом в приспособленных зернохранилищах, воспроизведенная в данном эксперименте, может приводить к значительному накоплению микотоксинов и снижению содержания белка. Обнаружилась четкая сортоспецифичность по этим параметрам, а также по уровню снижения содержания белка.

Во втором эксперименте исследовали влияние сорта и вида фузария при степени искусственного заражения 8% на снижение содержания белка в зерне 10 районированных сортов, а также в зерне сортосмеси. Результаты исследований приведены в табл. 2.

В зараженном *F. graminearum* зерне наименьшее снижение содержания белка было у сорта Старшина (на 9,6%), наибольшее — у сорта Таня (25,5%). При этом больше всего белка в зараженном зерне было у сортов Дока (13,8%) и Нота (13,7%), меньше всего — у сортов Батько (10,8%) и Таня (11,1%). В зараженном *F. verticillioides* зерне наименьшее снижение содержания белка было у сорта Батько (снизилось на 12,4%), наибольшее снижение содержания белка — у сортов Нота (32,4%) и Победа (30,2%). Причем наибольшее содержание белка в зараженном зерне было у сортов Дока (12,6%) и Таня (12,2%), наименьшее — у сортов Старшина (10,2%), Победа и Батько (11,3%).

Обнаружена сортовая специфика в снижении содержания белка в зерне при заражении его *F. graminearum* и *F. verticillioides*, т.е. наибольшее снижение содержания белка вследствие заражения отмечено в зерне сортов с высоким и средним содержанием белка, а наименьшее снижение — в зерне сортов с низким и средним содержанием белка. В смеси 10 сортов здорового зерна содержание белка было высоким (16,1%), причем это значение одинаково уменьшалось при заражении *F. graminearum* (содержание белка 13,4%) и *F. verticillioides* (13,6%). В общем, с учетом снижения содержания белка в зараженном зерне разных сортов наиболее сильное снижение вызвало заражение *F. verticillioides*.

В результате изучения факторов, влияющих на содержание белка в сортах озимой пшеницы, установлено, что заражение зерна штаммами токсигенных грибов *F. graminearum* и *F. verticillioides* вызвало достоверное снижение содержания в нем белка ($P < 0,001$).

С учетом всех сортов содержание белка в здоровом и зараженном токсигенными штаммами фузариев зерне не коррелировало. Однако при группировке восьми сортов со сходным содержанием белка установлена высокая корре-

Сорт	Содержание белка в здоровом зерне, %	Содержание белка в зерне, зараженном <i>F. graminearum</i> , %	Снижение содержания белка в зерне, зараженном <i>F. graminearum</i> , %	Содержание белка в зерне, зараженном <i>F. verticillioides</i> , %	Снижение содержания белка в зерне, зараженном <i>F. verticillioides</i> , %
Нота	17,3±0,4	13,7±0,1	20,8	11,7±0,1	32,4
Победа	16,2±0,4	12,1±0,2	25,3	11,3±0,2	30,2
Память	15,8±0,3	12,1±0,3	23,4	12,0±0,3	24,1
Дока	15,4±1,0	13,8±0,3	10,4	12,6±0,4	18,2
Москвич	15,2±0,1	11,7±0,2	23,0	11,5±0,1	24,3
Таня	14,9±0,3	11,1±0,1	25,5	12,2±0,2	18,1
Зимородок	14,6±0,7	11,9±0,4	18,5	11,6±0,3	20,5
Старшина	14,2±0,3	12,9±0,2	9,6	10,2±0,3	28,2
Краснодарская 99	14,0±0,4	12,0±0,1	14,3	—	—
Батько	12,9±0,2	10,8±0,1	16,3	11,3±0,2	12,4
Смесь 10 сортов	16,1±0,4	13,4±0,3	16,8	13,6±0,3	15,5

ляция ($r = 0,82$) содержания белка в чистом и зараженном *F. graminearum* зерне. Это указывает на сортовую специфику снижения содержания белка в результате заражения токсиногенными штаммами фузариев.

Таблица 3. Содержание белка и фузариотоксинов в зерне сортосмеси, зараженной *Fusarium graminearum* или *F. verticillioides*

Зерносмесь	Заражено патогеном	Содержание белка		Содержание микотоксинов, мг/кг	
		Здоровое зерно	Зараженное зерно	ДОН	Ф-2
Смесь зерна	<i>F. graminearum</i>	14,6	12,8	0,8	2,2
Смесь зерна	<i>F. verticillioides</i>	14,8	12,8	0,4	2,6

Следовательно, заражение зерна озимых сортов пшеницы токсиногенными грибами *F. graminearum* и *F. verticillioides* приводит к достоверному снижению содержания в нем белка. При этом высокобелковые сорта теряют его больше, чем низкобелковые. Установленная корреляция показывает, что зерно со средним и высоким содержанием белка, несмотря на снижение содержания его уровня

вследствие заражения, все равно содержит белка больше, чем зараженное зерно низкобелковых сортов. Можно также сделать вывод, что снижение изучаемого показателя в результате заражения токсиногенным грибом зависит как от штамма гриба, так и от сорта пшеницы.

Другая картина наблюдалась при заражении сортосмеси из хозяйственного зернохранилища токсиногенными штаммами *F. graminearum* и *F. verticillioides* (табл. 3).

Как видно из приведенных данных, зерносмесь по устойчивости к заражению, выраженной в степени снижения содержания белка, не отличается значительно от устойчивости наиболее восприимчивого сорта.

Таким образом, заражение хранящегося зерна токсиногенными штаммами доминирующих видов фузариев и накопление в нем микотоксинов способно резко снизить содержание белка. Этот вывод следует учитывать при планировании и осуществлении стратегии защиты зерна при длительном хранении как в стационарных зернохранилищах, так и при дальних перевозках. Как показали наши исследования, при создании благоприятных погодных-климатических условий для развития фузариев в приспособленных зернохранилищах степень поражения зерна 8% и более может достигаться в течение месяца. [7]

Литература

1. Mesterhazy Akos. Role of deoxynivalenol in aggressiveness of *Fusarium graminearum* and *F. culmorum* and in resistance to Fusarium head blight // Eur. J. Plant Pathol. (КЭ). — 2002. — 108. № 7. — P. 675—684.
2. Sella L. Polygalacturonase from an isolate of *Fusarium Moniliforme* escapes inhibition by plant PGIPs: Тез. [10 National Meeting of the Italian Society for Plant Pathology (SIPaV), Sorrento, 1-3 Oct., 2003] / L.Sella, S. Roberti, C. Castogioni // J. Plant Pathol. — 2003. — 85. № 4. — P. 290.
3. Beyer M. Fusarium-Mykotoxine und di Rolle der Phytomedizin und der Lebensmitteltechnologie // Mitt. Julius Kuhn-Inst. — 2008. — № 417. — P. 58—61.
4. Hamzehzarghani H. Metabolic profiling and factor analysis to discriminate quantitative resistance in wheat cultivars against fusarium head blight / H. Hamzehzarghani, A.C. Kushalappa, Y. Dion, S. Rioux, A. Cimeau, V. Yaylayan, W.D. Marshall, D.E. Mather // Physiol. and Mol. Plant Pathol. — 2005. — 66. — № 4. — P. 119—133.
5. Tamburic-Ilicic L. Deoxynivalenol production by *Fusarium graminearum* isolates in four winter wheat cultivars: Тез. [3 Canadian Workshop on Fusarium Head Blight, Winnipeg, 2003] / L. Tamburic-Ilicic, A.W. Schaatsma // Can. J. Plant Pathol. — 2004. — 26. — № 2. — P. 219.
6. Ludewig A. Comparative deoxynivalenol accumulation and aggressiveness of isolates of *Fusarium graminearum* on wheat and the influence on yield as affected by fungal isolate and wheat cultivars / A. Ludewig, U. Kabsch, I.A. Verreet // Z. Pflanzenkrankh. and Pflanzenkrankh. — 2005. — 112. — № 4. — P. 329—342.
7. Guo X.W. Interactions of weather factors and fusarium head blight, and its effect on wheat grain quality: Тез. [3 Canadian Workshop on Fusarium Head Blight, Winnipeg, 2003] / X.W. Guo, P. Bullock, H. Sapirstein, I. Dexter, T. Nowicki, W.G.D. Fernando // Can. J. Plant Pathol. — 2004. — 26. — № 2. — P. 212.
8. Soltanloo H. Efficiency of cycloheximide and deoxynivalenol for in vitro screening of resistance to fusarium head blight in wheat / H. Soltanloo, S. Kamesanpour, M. Seraj // Can. J. Plant Pathol. — 2005. 27. — № 3. — P. 477.
9. Сизенко Е.И. Актуальные проблемы повышения качества зерна, муки и хлеба // Россия - зерновая держава. Материалы всероссийской конференции. М. МПА. — 2003. — С. 86-89.
10. Монастырский О.А. Зерновое хозяйство — основа продовольственной безопасности страны / О.А. Монастырский, М.П. Селезнева // Агро XXI. — 2008. — № 4—6. — С. 3—6.