

УДК 631: 581. 19: 633.11

АКТИВНОСТЬ РАЗЛИЧНЫХ ФОРМ БЕЛКА ИЗ РАСТЕНИЙ ПШЕНИЦЫ И КАЧЕСТВО КЛЕЙКОВИНЫ

Е. И. Маркс, кандидат биологических наук
Е. Л. Лейболт, кандидат сельскохозяйственных наук
И. Г. Заушицына, специалист агроэколог

Новосибирский государственный аграрный университет
E-mail: marks @ nsau. edu. Ru

Ключевые слова: ионно-связанные белки, свободные и связанные аминокислоты, хроматограммы, клейковина пшеницы, качество.

Реферат. Физиологически активные фракции белков экстрагировали из растений пшеницы буфером и определяли их активность с различными конформационными агентами. Более высокую активность проявляли фракции белков, определяемые с хлористым калием. Ксенобиотики наиболее сильно активировали ионно-связанную форму фракций физиологически активных белков растений пшеницы. Методами хроматографии изучено влияние ксенобиотиков на аминокислотный состав растений пшеницы. Установлено, что аминокислотный состав белков в растениях пшеницы во время вегетации включал свободные и связанные, в т.ч. заменимые и незаменимые аминокислоты. Наиболее существенное влияние ксенобиотики оказывают на свободный и связанный триптофан пшеницы, являющийся незаменимой аминокислотой. В зерне твердой пшеницы, выращенной в условиях применения ксенобиотиков, увеличивалось содержание белка и клейковины, улучшилось качество теста и хлеба. Реологические свойства клейковины (упругость, эластичность, растяжимость), в значительной степени определяющие хлебопекарное достоинство пшеничной муки, улучшались под действием ксенобиотиков.

THE ACTIVITY OF DIFFERENT FORMS OF PROTEIN FROM PLANTS WHEAT AND GLUTEN QUALITY

E. I. Marks, candidate of biological Sciences
E. L. Leibolt, the candidate of agricultural Sciences
I. G. Zaushitsyna, specialist Agroecology

Key words: ion-related proteins, free and bound amino acids, chromatograms, wheat gluten, quality.

Abstract. Physiologically active fractions of proteins extracted from plants of the wheat buffer and determined their activity with different conformational agents. Higher activity was shown by fractions of proteins, determined with potassium chloride. Xenobiotics are most strongly activated ion-bound fractions form the physiologically active proteins of wheat plants. Using chromatography we studied the influence of xenobiotics on the amino acid composition of wheat plants. It is established that the amino acid composition of proteins in wheat plants during the growing season included free and bound, including essential and non-essential amino acids. The most significant influence xenobiotics have on free and bound tryptophan wheat, which is an essential amino acid. In the grain of durum wheat grown in conditions of use of xenobiotics, increased protein content and gluten has improved the quality of dough and bread. Rheological properties of gluten (elasticity, flexibility), largely determine the baking advantage of wheat flour were improved by the action of xenobiotics.

Содержание белков в пшеничной муке колеблется от 10 до 26% в зависимости от сорта пшеницы и условий ее выращивания. В зерне твердой пшеницы на хорошем агрофоне синтезируется больше белка и клейковины, чем в зерне мягкой. В твердой пшенице 1-го класса по стандарту содержится 15% белка, а в мягкой – 14%.

Белки – наиболее сложные по строению и составу органические соединения. Белковые вещества муки на 80% состоят из проламинов и глютелинов. Остальные белки – это альбумины, глобулины и протеиды. Альбумины относятся к белкам, растворимым в воде, глобулины – к солерастворимым белкам зерна. Растворимость в воде альбуминов и глобулинов имеет большое значение для прорастания семени в почве. Протеиды – двухкомпонентные белки, в которых помимо пептидных цепей содержится компонент неаминокислотной природы – простетическая группа [1].

Проламины – это группа простых белков, растворимых в 60–80%-м этиловом спирте. Все белки этой группы при гидролизе дают значительное количество гетероциклической аминокислоты пролина.

Проламины разных злаков имеют специфический состав и свойства, различные родовые названия: у пшеницы – глиадин, ржи – секалин, ячменя – гордеин.

Фракции α - и β -глиадинов растворимы в спирте в малом процентном соотношении; γ -глиадины – древняя форма, обогащенная цистином; ω -глиадины – растворимые в ацетоне в высоком процентном соотношении.

Глутелины – белки, нерастворимые в воде, солевых растворах и этаноле. В них содержится значительно больше, чем в проламинах, аргинина и пролина. Эти белки растворимы в слабых (0,2–2,0%-х) растворах щелочей. Содержание глютелинов в зерне пшеницы, ячменя и овса составляет 25–40% от общего количества белков. Глутелин пшеницы называется *глютенином*.

Глиадины и глютелины образуют клейковину, или глютен, т. е. нерастворимые в воде белки. Соотношение глиадина и глютелина в пшеничной муке примерно одинаковое. Глютены играют роль при хранении семян и выпечке хлеба. Область концентрации глиадина и глютелина – центральная часть эндосперма, которая биологической ценности для человека не представляет. Биологическую ценность для человека имеет цельное зерно пшеницы. Использование в пищу нерафинированного зерна пшеницы способствует профилактике ожирения, сахарного диабета, заболеваний сердца и сосудов, аллергических реакций.

Твердая пшеница содержит больше белка и клейковины (глютена), в сортовой муке их больше, чем в обойной.

После удаления из теста водорастворимых веществ, крахмала и клетчатки получается комплекс белковых веществ муки, способных при набухании в воде образовывать связную эластичную массу – клейковину муки. Мука содержит 20–35% сырой клейковины. В клейковине 65–70% влаги и 30–35% сухих веществ, состоящих на 90% из белков и других веществ муки, поглощенных белками при набухании. В сырой клейковине содержится 6–16% крахмала, 2–2,8 – жира, 3–5 – небелковых азотистых веществ, 1–2 – сахаров и 0,9–2% минеральных соединений. Основную массу белков клейковины составляют глиадин и глютелин.

Белковые фракции зерна различаются по аминокислотному составу, в том числе по содержанию незаменимых аминокислот, от которых зависит биологическая ценность белков. Глютаминная кислота составляет около 39% клейковины, пролин – 14 и лейцин – 8%.

Наиболее высокую биологическую ценность имеют водорастворимые белки – альбумины. В их составе содержатся все незаменимые аминокислоты в оптимальных соотношениях, отмечается лишь дефицит метионина.

Солерастворимые белки зерна – глобулины также сбалансированы по аминокислотному составу, кроме метионина, триптофана, лейцина. Их содержание ниже, чем у альбуминов. Щелочерастворимые белки – глютелины у пшеницы характеризуются дефицитом метионина, триптофана, лизина.

Самую низкую биологическую ценность имеют спирторастворимые белки – проламины, которые накапливаются в семенах злаковых растений.

Пшеница отличается низким содержанием незаменимых аминокислот – метионина, триптофана, лизина и высокой концентрацией глутаминовой кислоты и пролина, на долю которых приходится до 40–55 % от этих белков.

Проламины пшеницы используют как белковые маркеры или молекулярные метчики для определения видовой и сортовой принадлежности при выведении новых сортов [2]. Белками проламинов маркируют хозяйственные признаки зерна, такие как урожайность, засухоустойчивость (рис. 1) [3, 4].

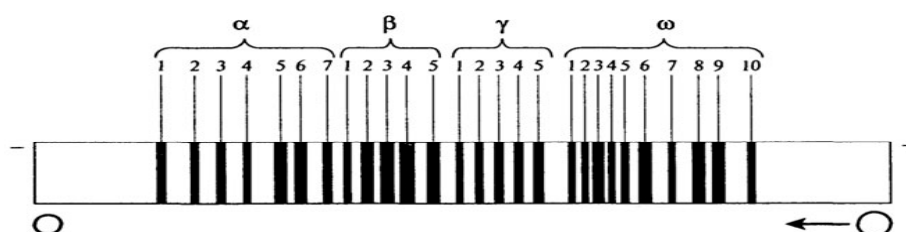


Рис. 1. Электрофоретический спектр глиадина пшеницы [4]

Количество и качество клейковины в пшеничном зерне генетически зависят от сорта, экологически – от того, в каких условиях пшеница росла и созревала.

Белки глиадинов построены в виде полипептидной цепи с молекулярной массой 30–45 кД и внутримолекулярными дисульфидными связями (рис. 2).

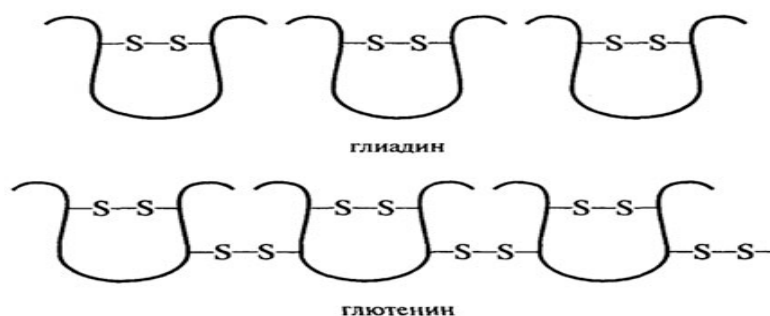


Рис. 2. Дисульфидные связи в глиадине и глютенине

В состав глиадина входят также белки с молекулярной массой от 22 до 80 кД и одноцепочными димерами из молекул от 36 и 44 кД. Электрофоретические фракции глиадинов имеют высокое содержание глутамина, глутаминовой кислоты, пролина, гидрофобных остатков аминокислот, не содержат цистина и метионина и внутримолекулярных дисульфидных связей.

В питательном отношении глиадины являются ценными как источники $-NH_2$ групп и пролина, необходимых для биосинтеза аминокислот и азотистых оснований. Также в состав глиадина входят низкомолекулярные белки (5–10%) типа альбуминов, глобулинов (11–12 кД) и низкомолекулярный глютенин с молекулярной массой 104–125 кД (6%). Альфа-глиадины представляют белки с высокой электрофоретической подвижностью и небольшой молекулярной массой. Молекулярная масса этих белков варьирует от 30 до 75 кД [5, 6].

Глютенин пшеницы – более гетерогенная белковая фракция по сравнению с глиадином [7] с молекулярной массой от 50 до 3000 кД.

Он разделяется при электрофоретическом анализе не менее чем на 15 компонентов, состоящих из одной полипептидной цепи с молекулярными массами от 11 до 133 кД. Некоторые из них идентичны молекулам глиадина от 36 до 44 кД, другие – молекулам альбуминов и глобулинов размером 11 кД, третьи представляют собой специфические высокомолекулярные субъединицы (102, 124, 133 кД). Глютенин – это белок, построенный из многих полипеп-

тидных цепей, соединенных между собой дисульфидными связями. Глютенин состоит из белковых частиц с молекулярной массой 100–300 кД, на долю частиц сверхвысокой молекулярной массы и одноцепочных молекул приходится 20%. Линейная структура глютеина обосновывает реологические свойства клейковины и теста. Вязкость теста из пшеницы объясняется сильным раскручиванием гибких цепей и перемещением их относительно друг друга. Эластичность возникает из-за незакрученных полипептидных цепей, возвращающихся к их прежнему состоянию. Выраженное влияние на реологические свойства клейковины и качество хлеба оказывают высокомолекулярные субъединицы глютеина массой 100 кД или соотношение высоко- и низкомолекулярных субъединиц. Всего обнаружено около 25 субъединиц с высокой молекулярной массой, при этом от 3 до 5 из них присутствует в каждом сорте. Реологические свойства клейковины и качество пшеничного хлеба зависят не только от присутствия высокомолекулярных субъединиц (60%), но и от низкомолекулярного глютеина, глиаина (α -, β -, γ -, ω -).

Глютенин придает клейковине упругость, а глиаин обуславливает растяжимость и связность. Ни глютенин, ни глиаин в отдельности не обладают реологическими свойствами клейковины, но вместе эти фракции создают клейковинный белок с его свойствами [8, 9].

Помимо ковалентных дисульфидных связей, в структуре клейковины играют значительную роль нековалентные взаимодействия: водородные, электростатические (ионные) связи и гидрофобное взаимодействие. Этим объясняется различие в реологических свойствах крепкой и слабой клейковины. Клейковина разного качества имеет одинаковый аминокислотный состав, но разную структуру молекул. Реологические свойства клейковины (упругость, эластичность, растяжимость) определяют хлебопекарное достоинство пшеничной муки. Качество клейковины характеризуется цветом, способностью растягиваться на определенную длину и почти полностью восстанавливать свою форму после растягивания.

Среднее содержание сырой клейковины в пшеничной муке 20–30%.

Высококлейковинными пшеницами считаются такие, в которых сырой клейковины более 28%. Сырая клейковина содержит 30–35% сухих веществ и 65–70% влаги. В белках пшеницы найдено 20 аминокислот, из них 19 входят в состав клейковинного белка. Глутаминовая кислота составляет около 39%, пролин – 14 и лейцин – около 8%. Аминокислоты – это структурные химические единицы, которые на 16% состоят из азота.

Некоторые аминокислоты в организме человека не могут синтезироваться из-за отсутствия соответствующего фермента. Такими незаменимыми аминокислотами для взрослого человека являются валин, лейцин, изолейцин, треонин, метионин, триптофан, лизин и фенилаланин и по некоторым классификациям гистидин. У детей к незаменимым аминокислотам также добавляются аргинин и гистидин.

Заменимые аминокислоты синтезируются организмом из других аминокислот: аргинин, аланин, аспарагин, аспарагиновая кислота, глицин, глутамин, глутаминовая кислота, пролин, серин, тирозин, цистеин. Условно-незаменимые: аргинин, глутамин, глицин, тирозин, цистеин.

Максимально дефицитны для человека три аминокислоты: лизин, триптофан и метионин, у пшеницы основными лимитирующими аминокислотами являются триптофан и треонин.

Три ароматические аминокислоты: фенилаланин, тирозин и триптофан – играют значительную роль в синтезе белковых веществ.

В пищевой промышленности в наибольшей степени используется пшеница твердая (*Triticum durum* Desf). В ней содержится значительно больше незаменимых аминокислот, особенно триптофана и фенилаланина, чем в мягкой.

В зерновках злаковых, кроме белков, содержатся и другие азотистые соединения: свободные аминокислоты и их амиды, пептиды, азотистые основания и нуклеотиды, нуклеиновые кислоты и другие вещества [10].

В процессе химического превращения атмосферного газообразного азота образуются нитраты или аммиак. Аммиак не полностью связывается в корнях и направляется в надземные органы растений. Поэтому часть аминокислот белка пшеницы образуется переаминированием за счет аминогрупп ароматических и основных аминокислот.

На первом этапе синтеза белков растений активируются аминокислоты. Для каждой из 20 аминокислот имеется особый вид РНК- переносчика. Аминокислоты содержат карбоксильные $-\text{COOH}$ и амино $-\text{NH}_2$ группы и являются продуктами распада белковых веществ в растениях. У яровых зерновых после цветения зерновых поглощение минерального азота корнями сокращается [11, 12].

При формировании зерна в нём сначала содержится много аминокислот, а также легко-растворимых белков – альбуминов и глобулинов. В дальнейшем увеличивается накопление запасных белков – проламинов и глютелинов.

В процессе созревания зерна содержание альбуминов и глобулинов снижается, а количество проламинов и глютелинов увеличивается. При созревании в зерновках увеличивается доля запасных белков с низким содержанием лизина, триптофана и метионина, и биологическая ценность суммарного белка снижается.

Синтез новых молекул белка происходит с меньшей скоростью, чем обновление «старых» молекул. Синтез и накопление белков в зерновках злаковых культур происходит в основном за счёт оттока азотистых веществ, главным образом аминокислот, из вегетативных органов. Наибольшее количество азотистых веществ поступает в формирующиеся зерновки из листьев, особенно верхнего яруса. Также усиливается отток образующихся низкомолекулярных продуктов в зерно.

В начале вегетации происходит в основном образование водо -и солерастворимых белков, а затем к концу вегетации образуются нерастворимые в воде проламины.

Лучшим сортом яровой пшеницы по качеству клейковины и содержанию аминокислот до настоящего времени считается сорт Саратовская 29.

В наших опытах сорт яровой пшеницы Саратовская 29 выращивался на выщелоченном черноземе с применением ксенобиотиков.

Активность различно связанных форм белка из растений пшеницы определяли в различных конформационно- активных агентах: свободную форму экстрагировали 0,15М фосфатным буфером с рН 5,8; растворимую, несвязанную форму определяли в цитозоле; ионно-связанную – в 2М хлористом калии; гидрофобно-связанную форму – 0,2%-м растворе тритона X-100; ковалентно-связанную – в 0,5%-м растворе папаина.

Triton X – 100 добавляется к экстракционному буферу для разрушения мембран и растворения белков или их комплексов.

Папаин – это полипептид, протеолитический фермент, катализирующий гидролиз, используемый для растворения мембран путем удаления мембранных фосфолипидов. Используется в частности, в комбинации с трис-буфером для солюбилизации гидрофобных белков и гидрофобных молекул, для растворения цитоплазматических мембран без денатурации белка, а также для разрушения гидрофобных белковых агрегатов [13, 14]. В этих фракциях определяли ферментативную функцию белка пероксидазы.

Аминокислотный состав пшеницы определяли методом бумажной хроматографии [15]. При разделении аминокислот бумагу обрабатывали 0,5%-м раствором нингидрина в ацетоне с последующим прогреванием в течение нескольких минут при 90–110 °С.

Качество зерна оценивали по полной схеме технологического анализа.

Основные показатели качества зерна, муки, клейковины и хлеба определяли общепринятыми и стандартными методами [16]. Деформацию сжатия ($H_{\text{деф}}$) клейковины определяли на

приборе ИДК-1 (измеритель деформации клейковины), физические свойства теста – на альвеографе и валориграфе.

Исследования показали, что активность свободных белков из растений пшеницы, экстрагированных 0,15М фосфатным буфером, в контроле имела относительную активность, равную 1000 единицам (рис. 3).

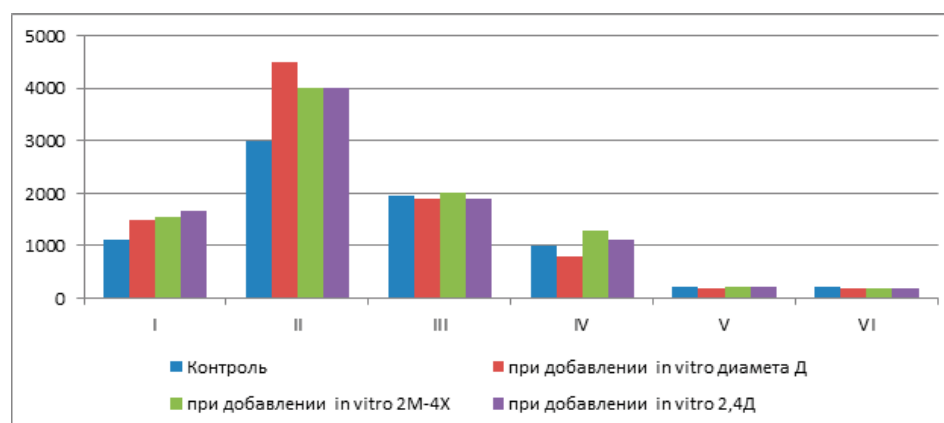


Рис. 3. Активность различных форм фракций белка растений пшеницы с несколькими физиологически активными веществами. Ось ординат – активность белка в относительных единицах, ось абсцисс – формы фракций белка растений пшеницы: I – свободная (буфер); II – ионно-связанная (KCl); III – гидрофобно-связанная (третон Х-100); IV – ковалентно-связанная (папаин); V – общая (гомогенат); VI – растворимая (цитозоль)

Мембранно-связанные формы фракций белка из растений пшеницы с конформационно-активными агентами в контроле показали более высокую относительную активность, чем фракции свободных белков. Так, относительная активность фракций ионно-связанной формы, которую определяли в 2М хлористом калии, составляла 3000 единиц. Активность фракций гидрофобно-связанной формы, определяемая в 0,2%-м растворе третона 100, составляла 2000 единиц. Относительная активность ковалентно-связанной формы, определяемая в 0,5%-м растворе папаина, имела одинаковый уровень с контрольным вариантом, т.е. равнялась 1000 относительных единиц. Относительная активность фракций общей формы в гомогенате и растворимой в цитозоле составляла всего 200 относительных единиц (см. рис. 3).

Активность свободных белков из растений пшеницы, экстрагированных 0,15М фосфатным буфером, при добавлении агрохимикатов возрастала в 1,5 раза по сравнению с контролем.

Мембранно-связанные формы белка из растений пшеницы с конформационно-активными агентами при добавлении агрохимикатов показали увеличение относительной активности по сравнению с исходной, а также со свободными белками в контроле. Так, относительная активность ионно-связанной формы, которую определяли в 2М хлористом калии, составляла 3000 единиц, а при добавлении агрохимикатов – до 4500.

Относительная активность гидрофобно-связанной формы, определяемая в 0,2%-м растворе третона Х-100, составляла 2000 единиц, а при добавлении агрохимикатов оставалась на контрольном уровне. Относительная активность фракций ковалентно-связанной формы белка, определяемая в 0,5%-м растворе папаина, при добавлении агрохимикатов была на уровне контрольного варианта. Относительная активность фракций общей формы белка в гомогенате и растворимой в цитозоле при добавлении агрохимикатов составляла 200 относительных единиц.

Считается, что изменение аминокислотного состава белков зерна возможно только генетическими методами, путем изменения наследственных свойств растительных организмов.

В наших опытах определен аминокислотный состав белков в растениях пшеницы, который включает свободные и связанные аминокислоты, которые, в свою очередь, включают заменимые и незаменимые аминокислоты растений.

Аминокислоты, которые встречаются в растениях в свободном виде и известны как непротеиногенные, не входят в состав белков.

Качественный анализ свободных аминокислот показал, что в контрольных растениях пшеницы присутствуют лизин, аспарагин, аспарагиновая кислота, серин, глутаминовая кислота, глутамин, треонин, аланин, пролин, тирозин, метионин, триптофан, валин, фенилаланин, лейцин, изолейцин (рис. 4).

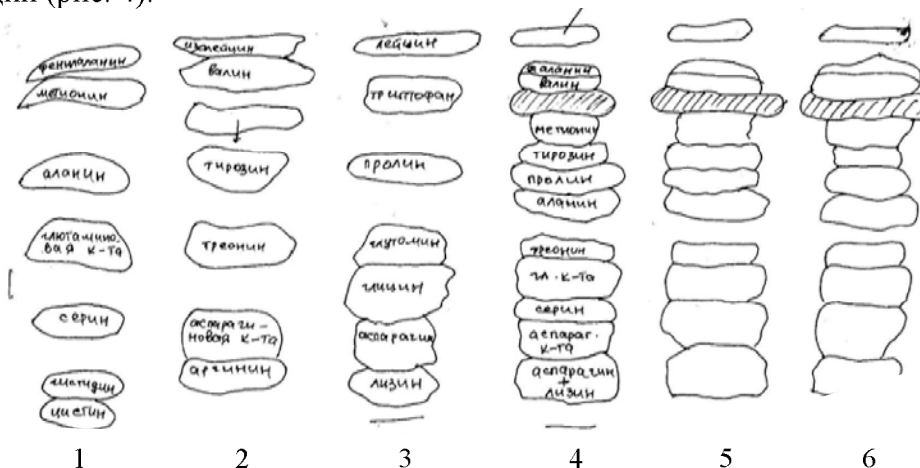


Рис. 4. Свободные аминокислоты в растениях пшеницы: 1 – метчики аминокислот: цистин, гистидин, серин, глутаминовая кислота, аланин, метионин, фенилаланин; 2 – метчики аминокислот: аргинин, аспарагиновая кислота, треонин, тирозин, метионин, валин, изолейцин; 3 – метчики аминокислот: лизин, аспарагин, глицин, глутамин, пролин, триптофан, лейцин; 4 – контрольный вариант аминокислот пшеницы: лизин, аспарагин, аспарагиновая кислота, серин, глутаминовая кислота, глутамин, аланин, пролин, тирозин, метионин, триптофан, валин, фенилаланин, лейцин, изолейцин; 5 – аминокислоты пшеницы, обработанной гербицидами; 6 – аминокислоты пшеницы, выращенной на азотно-фосфорном фоне и обработанной гербицидами

Из связанных аминокислот в контрольных растениях пшеницы присутствовали лизин, аспарагин, аспарагиновая кислота, серин, глицин, глутаминовая кислота, глутамин, треонин, аланин, пролин, тирозин, метионин, триптофан, валин, фенилаланин, лейцин, изолейцин.

При действии на растения пшеницы ксенобиотиков биологически активного характера в растениях увеличивается количество связанного триптофана и аминокислот, близких к нему по подвижности: валина, лизина, фенилаланина, а также аспарагиновой и глутаминовой кислоты.

У большинства злаков, в том числе у пшеницы, основной лимитирующей аминокислотой является триптофан, затем треонин.

Объясняется это, вероятно, перегруппировками фракций белкового комплекса – ростом относительного содержания труднорастворимых белков. В наших опытах количество свободного и связанного треонина при действии ксенобиотиков незначительно уменьшалось (см. рис. 4).

Применение агрохимикатов не снижало товарных качеств зерна пшеницы. При совместном внесении гербицидов и удобрений увеличивалось содержание белка в зерне, количество клейковины, масса 1000 зерен и натура зерна (таблица).

В среднем мука пшеницы содержит 20–35% сырой клейковины. В наших опытах в муке пшеницы в контроле количество клейковины составляло 29,9%, при применении удобрений – 29,4, Диамета Д – 30,3%. При применении гербицида Диамета-Д на фоне азотно-фосфорных удобрений количество сырой клейковины составляло 32,7%, т.е. увеличивалось на 2,8%, или на величину, превышающую НСР_{0,99}.

Содержание и качество сырой клейковины тесно связано с физическими свойствами теста и хлебопекарными достоинствами пшеничной муки. Качество клейковины определяется совокупностью реологических свойств (растяжимостью, упругостью, эластичностью), которые об-

условливают величину деформации сжатия клейковины, сформованной в виде шарика массой 4 г, выражаемую в условных единицах прибора типа ИДК и классифицируемую по группам. Сильная клейковина I группы качества имеет значение 60–70 усл. ед. прибора ИДК-1. Это значение считается лучшим. В нашем опыте у муки показатель ИДК сырой клейковины в контроле равен 63 усл. ед. Раздельное применение удобрений и гербицидов изменяло значение ИДК на 1–2 усл. ед., а применение одних гербицидов на фоне удобрений – на 3 усл. ед. (см. таблицу), что находится в пределах погрешности и в пределах наилучших показателей. Реологические свойства муки прогнозируют поведение теста при замесе и выпечке.

Влияние гербицидов и удобрений на технологические свойства зерна пшеницы

Показатель		Контроль	N ₄₀ P ₁₂₀	Диамет-Д	N ₄₀ P ₁₂₀ ⁺ Диамет-Д	НСР _{0,99}
Масса 1000 зерен, г		28,9	29,8	28,4	29,3	0,8
Натура, г/л		766	763	768	776	7
Стекловидность, %		91	92	88	90	3
Белок, %		16,3	15,76	17,06	16,40	1,4
Сырая клейковина	%	29,9	29,4	30,3	32,7	1,9
	ИДК-1	63	62	62	66	-
Испытание на альвеографе	сила муки е. а.	291	241	232	255	29
	упругость теста, мм	102	104	100	94	4
	P/L	1,4	1,4	1,4	1,4	0,4
Испытание на валори-графе	время образования теста, мин	4,4	4,6	4,7	5,3	0,4
	разжижение теста, е. в.	115	127	105	115	8
	общая оценка, е. в.	52	53	52	55	2
Хлебопекарная оценка	объем хлеба, мл	470	462	490	470	22
	балл	3,6	3,5	3,7	3,6	0,2

Сила муки по альвеографу у пшениц находится в пределах 200–280 е. а., упругость – не менее 80 мм, отношение P/L – 0,8–2,0. В наших опытах показатель силы муки в контроле равен 291 е. а., в остальных – в пределах нормы, т. е. 241, 232 и 255 е. а. Упругость теста в контроле равна 102 мм.

На фоне азотно-фосфорных удобрений при применении гербицида Диамета-Д упругость теста уменьшается до 104; 100; 94 мм, что по стандарту соответствует показателям высшего сорта муки.

Отношение упругости и растяжимости теста в всех вариантах опыта находится в пределах сильной пшеницы и равно 1,4. Исследования на валориграфе муки опытных вариантов показали, что изменения показателей времени образования теста и разжижения теста были в пределах погрешности опыта. Показатели общей оценки теста, полученного из муки пшеницы, выращенной на фоне азотно-фосфорных удобрений при применении гербицида Диамета-Д, увеличивались на величину больше наименьшей существенной разницы. От количества и качества клейковины зависят хлебопекарные свойства муки. Объем хлеба и общая хлебопекарная оценка повышались при внесении гербицидов и удобрений, т. е. хлебопекарные свойства зерна не ухудшались.

Таким образом, ксенобиотики наиболее сильно активировали ионно-связанную форму фракций физиологически активных белков растений пшеницы.

Наиболее существенное влияние ксенобиотики оказывали на свободный и связанный триптофан пшеницы, являющийся незаменимой аминокислотой.

В зерне твердой пшеницы, выращенной в условиях применения ксенобиотиков, увеличилось содержание белка и клейковины, улучшалось качество теста и хлеба. Реологические свойства клейковины (упругость, эластичность, растяжимость) улучшались.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кретович В.Л. Биохимия зерна. – М.: Наука, 1981. – 688 с.
2. Конарев В.Г. Морфогенез и молекулярно-биологический анализ растений. – СПб.: ВИР, 2001. – 417 с.
3. Seed proteins in genome analysis, cultivar identification and documentation of cereal genetic resources: a review/ V.G. Konarev, I.P. Gavriljuk, N.K. Gubareva, T.I. Peneva // Cereal Chem. – 1979. – Vol. 56. – P. 272–278.
4. Конарев В.Г. Белки растений как генетические маркеры. – М.: Колос, 1983. – 320 с.
5. Пуккенен В.П., Губарева Н.К., Митрофанова О.П. Поиск возможных дублетов среди коллекционных образцов мягкой пшеницы из Китая // Аграрная Россия. – 2005. – № 2. – С. 31–35.
6. Маркс Е.И., Лейболт Е.Л., Заушицына И.И. Электрофоретические спектры белков и качество урожая пшеницы // Вестн. НГАУ. – 2015. – № 4 (37). – С. 26–34.
7. Biochemical, genetic, and molecular characterization of wheat endosperm proteins/ M.C. Gianebelli, O.R. Larroque, MacRitchie F. [et al.] // Cereal Chem. – 2001. – P. 635–646.
8. Вакар А.Б., Демидов В.С., Забродина Т.М. Исследование физико-химических различий клейковины разного качества // Прикладная биохимия и микробиология. – 1972. – Т. 8, № 3. – С. 15–18.
9. Вакар А.Б., Колтакова В.В. Роль глиаина и глютеина в формировании качества клейковины // Проблемы повышения качества зерна. – М., 1977. – С. 56–65.
10. Кононенко В.В. Белковые компоненты из дифференцированных фракций зерновых культур // Хранение и переработка с.-х. сырья. – 2002. – № 11. – С. 63–67.
11. Маркс Е.И. Динамика нормируемых токсических веществ при перераспределении азота и сухого вещества в зерновых // Проблемы аграрной науки в XXI веке: материалы междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 70-летию агроном. фак. (31 марта 2006 г.). – Новосибирск, 2006. – С. 66–71.
12. Маркс Е.И. Регуляция нормируемых токсических веществ в растениях различными факторами // Проблемы аграрной науки в XXI веке: материалы междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 70-летию агроном. фак. (31 марта 2006 г.) – Новосибирск, 2006. – С. 71–76.
13. Фирсов Н.Н. Микробиология: словарь терминов. – М.: Дрофа, 2006.
14. Картель Н.А., Макеева Е.Н., Мезенко А.М. Белорусская наука. – Минск, 2011.
15. Плешков Б.П. Практикум по биохимии растений. – М.: Колос, 1976. – 254 с.
16. Зерно. Методы анализа. – М.: Изд-во стандартов, 2001. – 108 с.

REFERENCES

1. Kretovich V.L. Biochemistry of grain. – M.: Nauka, 1981. – 688с.
2. Konarev V.G. Morphogenesis and molecular-biological analysis of plants. SPb.: VIR, 2001. – 417 p.
3. V.G. Konarev Seed proteins in genome analysis, cultivar identification and documentation of cereal genetic resources: a review/ G. V. Konarev, I. P. Gavriljuk, N.K. Gubareva, T.I. Peneva // Cereal Chem. – 1979. – Vol. 56. – P. 272–278.
4. Konarev V.G. plant Proteins as genetic markers. – M.: Kolos, 1983. – 320 p.
5. Pukkinen V.P., Gubareva N.K., Mitrofanova O.P. the Search for possible duplications among the collection samples of soft wheat from China // agrarian Russia. – 2005– № 2. – S. 31–35.
6. Marx E.I., Leibold E. L., Saussine I.G. Electrophoretic spectrum of proteins and the quality of the wheat harvest.// Vestn. Ngau. – 2015. – № 4 (37). P. 26–34.

7. M. C. Gianebelli Biochemical, genetic, and molecular characterization of wheat endosperm proteins/ Gianebelli M.C., Larroque O.R., MacRitchie F. [et al.] // *Cereal Chem.*, – 2001. – P. 635–646.
8. Waqar, A. B., Demidov V.S., Zabrodina T.M. a Study of the physico-chemical differences of gluten of different quality // *Applied biochemistry and Microbiology*. – 1972. – Vol. 8, No. 3. – P. 15–18.
9. Waqar, A. B., Kolpakova V.V. the Role of gliadin and glutenin in the formation of gluten quality// *Problems of improving the quality of grain*. – M., 1977. – P. 56–65.
10. Kononenko V. V. Protein components of the differentiated fractions of grain crops // *Storage and processing of agricultural raw materials*. –2002. – No. 11. – P. 63–67.
11. Marx, E. I., Dynamics of regulated toxic substances in the redistribution of nitrogen and dry matter in grain// *Problems of agricultural science in the XXI century: proceedings of the international. scientific. – pract. Conf. internat. The 70th anniversary of the agronomist. FAK. (March 31, 2006) – Novosibirsk, 2006. – P. 66–71.*
12. Marx E. I. Regulation of regulated toxic substances in plants of different factors. // *Problems of agricultural science in the XXI century: proceedings of the international. scientific. – pract. Conf. internat. The 70th anniversary of the agronomist. FAK. (March 31, 2006) – Novosibirsk, 2006. – S. 71–76.*
13. Firsov N. N..Microbiology: Glossary of terms. – M: Bustard 2006.
14. Cartel N.A., Makeeva E.N., Mazenko, A. M. // *Belarusian science*. – Minsk, 2011.
15. Pleshkov, BP Workshop on biochemistry. – M.: Kolos, 1976. – 254 p.
16. Grain. Methods of analysis. – M.: publishing house of standards, 2001. – 108 p.