

УДК 633:581.19

ИССЛЕДОВАНИЯ ПО БИОХИМИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ НА КАФЕДРЕ АГРОНОМИЧЕСКОЙ И БИОЛОГИЧЕСКОЙ ХИМИИ

Б. П. ПЛЕШКОВ

(Кафедра агрономической и биологической химии)

Биохимия и смежные с ней направления давно уже вышли за рамки общетеоретической науки; в настоящее время они проникают во многие области сельскохозяйственных и биологических наук и оказывают существенное влияние на сельскохозяйственное производство.

Биохимия сельскохозяйственных растений должна сыграть важную роль в решении ряда задач, представленных в Продовольственной программе, особенно в повышении качества урожая сельскохозяйственных культур, борьбе с их потерями при хранении, а также в селекционной работе при создании новых высокопродуктивных сортов растений. Но чтобы оказывать нужное влияние на формирование урожая и его качества, на накопление в урожае большого количества тех ценных химических веществ, ради которых выращиваются растения (белков, жиров, крахмала, сахаров, витаминов и других химических соединений), необходимо возможно более глубоко познать существо процессов обмена веществ в растениях, развивать биохимию сельскохозяйственных культур и смежные с ней направления науки. Определяя значение развития этих направлений для сельского хозяйства, тов. Л. И. Брежнев еще в 1974 г. указывал, что «сельское хозяйство нуждается в новых идеях, способных революционизировать сельскохозяйственное производство, в постоянном притоке фундаментальных знаний о природе растений и животных, которые могут дать биохимия, генетика, молекулярная биология»¹.

Разработка важных проблем в области биохимии сельскохозяйственных растений в Тимирязевской академии самым тесным образом связана с деятельностью кафедры агрономической и биологической химии, которую длительное время возглавлял Дмитрий Николаевич Прянишников. Хорошо известно, что Д. Н. Прянишников — не только основатель школы советских агрохимиков, но и крупнейший биохимик нашего века. Он является основоположником современных представлений о роли азота в жизни растений и химизме превращения азотистых соединений в растениях. Его работы в этих направлениях признаны классическими, они не потеряли своего значения и в настоящее время.

Первые исследования по азотному обмену в растениях Д. Н. Прянишников выполнил еще в 90-е годы прошлого столетия.

Молодой ученый опроверг господствовавшую в то время теорию крупного физиолога В. Пфелфера, считавшего аспарагин транспортной формой азота в растениях и допускавшего возможность синтеза белков за счет аспарагина, и доказал, что аспарагин в растениях представляет собой вторичный продукт обмена веществ, подобный мочеvine, которая в организме животных образуется путем вторичного синтеза за счет аммиака. Эти работы послужили началом серии многочисленных исследований азотного обмена в растениях. Дальнейшие опыты с растениями, содержащими различный запас углеводов, показали, что аспарагин — это не только характерный продукт, образующийся путем вторичного синтеза, но и один из продуктов синтеза при усвоении аммиака, поступающего в растения из внешней среды. Д. Н. Прянишниковым впервые была установлена взаимная связь превращений азота и углеводов в растениях.

В сборнике, посвященном К. А. Тимирязеву его учениками (1916 г.), была опубликована замечательная статья Д. Н. Прянишникова «Аммиак как альфа и омега обмена азотистых веществ в растениях», в которой дана итоговая формулировка роли аммиака в обмене азотистых веществ. В ней показано, что путь от аммиака к белку и от белка к аммиаку — общий для всех растений и что с аммиака начинается синтез и им кончается распад всех азотистых соединений в растениях.

Выявление роли аммиака в азотном обмене — это основа, на которой строятся наши представления об особенностях аммиачного и нитратного питания растений и разрабатываются мероприятия по эффективному применению аммиачных и нитратных удобрений под различные сельскохозяйственные культуры. Таким образом, теоретические биохимические исследования оказались теснейшим образом связанными с практикой.

Крупные биохимические исследования были выполнены Д. Н. Прянишниковым и его учениками, главным образом И. Г. Дикусаром, в области механизма восстановления нитратов в растениях. Эти исследования показали, что аммиак образуется вследствие редукции нитратов, а не вследствие дезаминирования аминокислот или дезамидирования амидов. При повышенном уровне нитратного питания в растениях наряду с увеличением содержания органических форм азота накапливаются промежуточные продукты — нитриты и аммиак.

¹ Л. И. Брежнев. Ленинским курсом, т. 4, с. 452.

Последующие исследования подтвердили правильность мнения Д. Н. Прянишникова о биологической редукции нитратов. Было выявлено, что восстановление нитратов до аммиака через нитрит, гипонитрит и гидроксилламин происходит под действием соответствующих ферментов. В 60-е годы на кафедре агрономической и биологической химии А. А. Собачкиным и Э. А. Муравиным были проведены исследования нитратредуктазы — фермента, катализирующего первый этап восстановления нитратов до нитритов. В результате установлено, что нитратредуктаза, выделенная из растений и очищенная методом адсорбции на фосфате кальция, является металлофлавопротеидом. В опытах с использованием радиоактивных изотопов было показано, что в состав фермента входит молибден. В настоящее время на кафедре продолжается изучение этого фермента.

Известно, что избыточное содержание нитратов в продовольственных и кормовых растениях крайне нежелательно и может приводить к отрицательным последствиям. Нитраты, попадая в организм человека и животных с пищей и кормом, всасываются в желудочно-кишечном тракте до нитритов, которые, поступая в кровь, превращают гемоглобин в метгемоглобин, неспособный обратимо функционировать в качестве переносчика кислорода. С увеличением содержания метгемоглобина резко сокращается перенос кислорода кровью, наступает кислородное голодание организма. Кроме этого, нитраты считаются предшественниками N-нитрозосоединений (нитрозаминов), которые являются сильнейшими канцерогенами.

Повышенное количество нитратов может накапливаться в овощных культурах, особенно при выращивании в условиях защищенного грунта. В 70—80-е годы рядом сотрудников кафедры изучалось влияние различных факторов на аккумуляцию нитратов в овощных культурах, выращенных в открытом и защищенном грунте. Было установлено, что накопление нитратов в растениях во многом зависит от их вида и сорта. Наибольшее количество нитратов накапливают растения семейства капустных. По способности аккумулировать нитратный азот в тканях семейства овощных культур располагаются в следующем порядке: капустные, маревые (свекла), тыквенные (огурцы, кабачки, патиссоны), зонтичные или сельдерейные (морковь) и пасленовые (томаты, картофель). Последние накапливают нитратов на 2 порядка меньше, чем капустные. Содержание нитратов у всех культур в более ранний период значительно выше, чем в период хозяйственной зрелости. Наибольшее количество нитратов в растениях содержалось при выращивании их в теплице в условиях недостаточной освещенности. Возрастающие нормы азотных удобрений вызывали значительное повышение концентрации нитратного азота в растениях. Эти работы продолжаются.

Д. Н. Прянишников, исследуя пути связывания аммиака в растениях и образования азотистых органических соединений, показал, что главную роль в этом играют

насыщенная фумаровая кислота и дикарбоновые кетокислоты — щавелевоуксусная и кетоглутаровая, в ходе реакций которых с аммиаком образуются аспарагиновая и глутаминовая кислоты, а после присоединения второй молекулы аммиака — аспарагин и глутамин. Д. Н. Прянишников указывал также, что аммиак в растениях с кислым клеточным соком может обезвреживаться и путем образования аммиачных солей органических кислот, поэтому аммиачного отравления тканей растений не наблюдается. Наши опыты с кукурузой и шавелем, проведенные в 50-е годы, подтвердили это положение. При определенных условиях питания в листьях шавеля накапливалось в виде аммиака до 1000 мг N на 1 кг свежей массы без каких-либо признаков аммиачного отравления, в то время как повышение концентрации аммиачного азота в листьях кукурузы до 400 мг на 1 кг приводит к интоксикации и к их отмиранию.

Как известно, Д. Н. Прянишников установил, что избыток аммиака, поступающего в растения из почвы или образующегося при распаде белков, связывается в основном амидами — аспарагином и глутамином. В 1957 г. в опытах с фасолью и горчицей мы показали, что поступающий в некоторые растения аммиак может связываться не только в виде амидов, но и в виде аминокислоты аргинина.

Аргинин — весьма важный регулятор азотного обмена, так как он содержит 32,2 % азота, т. е. значительно больше, чем любая другая аминокислота и чем амиды, и, следовательно, связывает значительно большее количество азота, чем аспарагин или глутамин. Аргинин нетоксичен для растений, он без всякого вреда может накапливаться в тканях в довольно высоких концентрациях, предотвращая их аммиачное отравление. В некоторых растениях он играет роль основного запасного азотистого вещества. Например, в молодых побегах яблони на долю аргинина приходится до 60 % общего содержания азотистых веществ.

Д. Н. Прянишников одним из первых высоко оценил открытие реакции переаминирования, сделанное в 1937 г. отечественными биохимиками А. Е. Браунштейном и М. Г. Крицман, доказавшими в опытах на животных возможность переноса аминной группы аспарагиновой или глутаминовой кислот на кетокислоты с образованием новых аминокислот. Еще в 1924 г. он указывал на единство основных превращений азотистых веществ в растительном и животном организмах и высказал предположение, что реакции переаминирования должны протекать и в растениях. Через два года это предположение было подтверждено в опытах с различными растениями. Д. Н. Прянишников впервые отметил центральную роль дикарбоновых аминокислот и их амидов в азотном обмене растений.

С точки зрения современных представлений о процессах обмена веществ обмен белков и аминокислот имеет определяющее значение в жизни растений. Наиболее эффективным и быстродействующим фактором, оказывающим влияние на обмен ве-

ществ и приводящим к изменению химического состава растений (качества урожая), являются удобрения. Этот вывод был сделан на основании длительной, кропотливой работы многих исследователей, главным образом школы академика Д. Н. Прянишникова.

Следует заметить, что до начала 50-х годов исследователи, как правило, ограничивались определением содержания в растениях лишь суммарного количества отдельных групп азотистых соединений — белков, аминокислот или амидов, не анализируя их качественного состава. Позднее, в связи с развитием и совершенствованием методов исследования аминокислот и белков, широким использованием в биохимии физико-химических методов стало возможным детально изучать, как влияют условия питания не только на общее содержание, но и на состав отдельных групп азотистых соединений, в частности на фракционный, компонентный и аминокислотный состав белков и содержание отдельных свободных аминокислот.

В 50—60-е годы нами совместно с Е. М. Савицкайте, О. Л. Тавровской, Ш. Иванко, Т. В. Шмыревой, М. В. Вильямс, Е. В. Седовой и другими сотрудниками кафедры была проведена большая серия экспериментов, в которых изучалось влияние условий питания на аминокислотный состав растений и синтез аминокислот. Применяв новую методику определения аминокислот, мы обнаружили в растениях в свободном состоянии гораздо больше аминокислот, чем это утверждали другие исследователи. Например, в листьях ячменя было найдено 25 аминокислот, причем впервые гомосерин, β-аланин, α-аминоадипиновая кислота и О-ацетилгомосерин. Считалось, что в листьях и семенах пшеницы присутствует от 16 до 19 аминокислот, мы определили 25, в том числе впервые — цитруллин, орнитин и α-аминомасляную кислоту. В листьях и клубнях картофеля обычно обнаруживали 20—22 аминокислоты, мы нашли 28. В созревающих бобах фасоли, в которых ранее не определялось содержание аминокислот, нами обнаружено 25, а в семенах фасоли — 23 вместо 15—20 аминокислот. Таким образом, были получены более полные и достоверные сведения об аминокислотном составе растений.

При исследовании интенсивности синтеза аминокислот в корнях кукурузы, фасоли и других растений было показано, что корни являются активным синтезирующим органом и способны в короткие сроки образовывать все аминокислоты, характерные для данного растения. Первичными продуктами ассимиляции минерального азота в растениях являются аланин, аспарагиновая и глутаминовая кислоты, аспарагин и глутамин. Эти выводы были сделаны на основании экспериментов, проведенных в 1957—1958 гг. Позднее к такому же заключению пришли и другие исследователи.

При изучении интенсивности биосинтеза аминокислот в листьях было установлено, что скорость этого процесса в зеленых

фотосинтезирующих листьях может достигать 10 мг аминокислот азота за 1 ч на 100 г свежей массы, причем отдельные аминокислоты, синтезируются с различной скоростью. В первую очередь синтезируются аминокислоты, наиболее легко образующиеся путем прямого аминирования кетокислот аммиаком, — аланин, аспарагиновая и глутаминовая кислоты, а также амиды — аспарагин и глутамин, т. е. соединения, которые, как указывал Д. Н. Прянишников, играют центральную роль в азотном обмене растений.

Концентрация отдельных аминокислот в растениях в зависимости от условий питания изменяется неодинаково. Как правило, нестабильна концентрация лишь небольшой группы соединений, прежде всего аспарагиновой и глутаминовой кислот и их амидов — аспарагина и глутамин; в большинстве случаев существенно изменяется концентрация аланина, серина, глицина, зачастую — лейцина, валина, аминокислоты. В зависимости от условий питания может резко увеличиваться или снижаться содержание аргинина, а иногда лизина и гистидина. Таким образом, в растениях самыми лабильными оказываются 8—12 аминокислот; концентрация остальных более стабильна.

Изменение условий питания прежде всего отражается на содержании тех аминокислот, которые образуются в растениях путем прямого аминирования кетокислот аммиаком и переаминирования (аланин, дикарбоновые аминокислоты и их амиды), а также содержат повышенное количество азота. Концентрация некоторых свободных аминокислот в условиях недостаточного питания растений фосфором, калием и другими элементами повышается, поскольку при этом прежде всего тормозится биосинтез белков и образующиеся аминокислоты остаются в растениях в свободном состоянии.

С самого начала своей научной деятельности Д. Н. Прянишников уделял очень большое внимание изучению белков растений. Еще в прошлом веке этим вопросам были посвящены две крупнейшие его работы: «О распадении белковых веществ при прорастании» (1895) и «Белковые вещества и их превращения в растениях в связи с дыханием и ассимиляцией» (1899). Первая из них явилась магистерской, а вторая — докторской диссертацией. Основные положения этих его работ вошли во многие учебники.

Проблема увеличения производства белка для удовлетворения потребностей в нем населения и животноводства, по всеобщему признанию, является одной из наиболее острых и трудных проблем нашего времени и имеет первостепенное практическое значение. Белок не может быть заменен в питании человека и животных другими веществами, и человек ежедневно должен получать от 70 до 120 г белка. По материалам ФАО, в настоящее время примерно половина всего населения Земли испытывает белковое голодание, вследствие чего наблюдаются различные серьезные заболевания.

В СССР острой проблемой является недостаток растительного белка в животноводстве, в кормлении скота и птицы. По данным ВАСХНИЛ, недостаток белка в кормах составляет примерно 20 % потребности, а при таком дефиците недобор продуктов животноводства достигает 30 % и резко возрастают расход кормов и себестоимость продукции.

Основные источники белков в нашей стране — зерновые и зернобобовые культуры. Многочисленные агрохимические исследования и практика сельскохозяйственного производства показывают, что путем правильного применения удобрений в сочетании с другими агротехническими приемами можно резко повысить урожайность этих культур и значительно увеличить содержание белков в зерне. В результате можно увеличить сбор белка с единицы площади в два и более раза.

Однако на современном этапе развития науки нельзя говорить просто о белках или о растительных белках. Белки можно разделить на фракции — альбумины, глобулины, проламины, глютелины, характеризующиеся различной растворимостью в разных растворителях. Эти фракции отличаются разными свойствами и различной питательной ценностью, которая определяется главным образом их аминокислотным составом.

Изучение аминокислотного состава белков имеет весьма важное значение, так как известно, что из 20 аминокислот, входящих в состав белков, 8 не синтезируются в организме человека. Это незаменимые аминокислоты (лизин, валин, метионин, триптофан, треонин, фенилаланин, лейцин и изолейцин). При недостатке или отсутствии одной из них в пище серьезно нарушается обмен веществ, иногда приводящий к гибели организма. Почти все растительные белки дефицитны по ряду незаменимых аминокислот. Чаще всего в них содержится мало лизина, триптофана, треонина и метионина, в связи с чем биологическая питательная ценность белков растений значительно ниже, чем белков животного происхождения, которые характеризуются сбалансированным аминокислотным составом.

Начиная с 60-х годов нами совместно с Е. М. Савицкайте, О. Л. Тавровской, З. Ц. Шебшелевой, Н. Н. Новиковым, В. Ф. Волобуевой и другими сотрудниками кафедры проводятся широкие исследования состава и свойств белков различных сельскохозяйственных культур с использованием современных методов белковой химии. Было показано, что ценность растительных белков в значительной степени определяется их фракционным составом. Наиболее полноценны, наиболее сбалансированы по аминокислотному составу белки фракций альбуминов и глобулинов, наименее полноценны — спирторастворимые белки — проламины. В проламинах пшеницы, например, по сравнению с суммарными белками содержится намного больше амидов, глутаминовой кислоты, пролина и меньше лизина, аргинина, гистидина, валина, метионина, треонина и триптофана. В связи с этим их биологиче-

ская питательная ценность ниже, чем суммарных белков.

В многочисленных опытах с пшеницей, ячменем, овсом, кукурузой, фасолью и картофелем изучалось влияние различных норм и соотношений азота, фосфора, калия и кальция на аминокислотный состав суммарных белков и отдельных белковых фракций, выделенных из листьев, семян, бобов или клубней. Несмотря на различные урожаи и содержание белков в растениях, выращенных при разных условиях питания, аминокислотный состав суммарных белков листьев характеризовался большим постоянством. Колебания в содержании отдельных аминокислот в суммарных белках зерна пшеницы, клубней картофеля, бобов и семян фасоли были крайне незначительны и по существу не имели практического значения. Биологическая питательная ценность белков под действием удобрений также не изменялась: например, в зерне пшеницы разных вариантов она составляла 64—66 % к биологической ценности белков яйца. Оставался постоянным при изменении условий питания и аминокислотный состав отдельных белковых фракций.

В наших исследованиях было показано, что, хотя аминокислотный состав суммарных белков различных растений практически не изменяется, в содержании отдельных аминокислот под действием удобрений могут наблюдаться некоторые сдвиги. Это происходит не вследствие изменчивости аминокислотного состава индивидуальных белков, а в связи с изменением в общем белковом комплексе данного растения соотношения между отдельными белковыми фракциями, имеющими разный аминокислотный состав.

В настоящее время установлено, что биосинтез индивидуальных, специфичных для данного организма белков определяется генетическими факторами. Поэтому, для того чтобы вызвать изменчивость аминокислотного состава индивидуальных белков, необходимы такие воздействия, которые затрагивали бы генетический аппарат растения. Разумеется, указанный эффект не может быть достигнут при внесении различных удобрений в полевых или вегетационных опытах. Мы считаем, что под действием удобрений аминокислотный состав индивидуальных растительных белков не может быть изменен. Это положение было нами сформулировано впервые еще в 1964 г. в статье «О стабильности аминокислотного состава растительных белков»².

Для получения высоких урожаев ценных и сильных пшениц, содержащих 12,5—14 % белка в зерне, необходимо применение повышенных норм азотных удобрений — до 120—150 кг азота на 1 га. Однако их внесение в начале вегетации часто приводит к полеганию растений. Поэтому в последнее время для увеличения белковости и улучшения технологических качеств зерна пшеницы часть азота вносят

² Б. П. Плешков. Доклады ТСХА, 1964, вып. 99, с. 349—353.

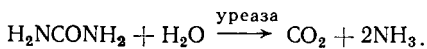
в виде поздней некорневой подкормки растений растворами мочевины. В результате содержания клейковины в зерне пшеницы при благоприятных погодных условиях увеличивается на 6—10 %, что позволяет получать сильные пшеницы с содержанием клейковины более 28 %.

Э. А. Муравиным, Н. Н. Новиковым, Т. Ф. Миляевой и другими сотрудниками кафедры были проведены опыты с использованием меченой ^{15}N мочевины. Было установлено, что азот, внесенный в поздние сроки, включался в основном в белки клейковины — проламины и глютелины, вследствие чего и повышалось качество зерна.

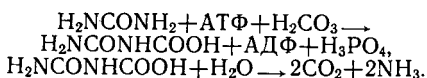
Мочевина, нанесенная на листья, служит дополнительным источником азота. Однако исследования, проведенные нами совместно с Э. Е. Хавкиным и З. Ц. Шелшелевой, показали, что она является также физиологически активным веществом. Под действием мочевины повышается активность протеолитических ферментов в листьях, в результате чего белки листьев более интенсивно расщепляются до растворимых азотистых соединений и относительный отток азотистых соединений из листьев в формирующуюся зерновку значительно усиливается.

Весьма важно изучение возможности утилизации мочевины растениями. Этому вопросу посвящены исследования З. Ц. Шелшелевой. Мочевина, нанесенная на листья пшеницы и гороха, быстро проникала в растения: максимальное содержание азота в листьях при опрыскивании в фазу цветения наблюдалось через 24 ч, в фазу молочной спелости — через 18 ч после обработки. При этом увеличивалось содержание всех форм азота и особенно аммиачного. Это служит доказательством использования мочевины растениями путем ее расщепления до аммиака.

Однако пути утилизации мочевины горохом и пшеницей оказались различными. В листьях гороха уже через 30 мин после опрыскивания индуцировался фермент уреазы. Через 2 ч его активность повышалась более чем в 3 раза, а через 24 ч достигала максимума. Таким образом, мочевина усваивается горохом под действием фермента уреазы по следующей схеме:



В листьях пшеницы после подкормки мочевиной уреазы не была обнаружена, следовательно, в расщеплении мочевины до аммиака в пшенице этот фермент не участвует. Дальнейшие исследования показали, что при добавлении АТФ в гомогенаты из листьев пшеницы, предварительно обработанных мочевиной, мочевина интенсивно расщепляется до аммиака. Весьма вероятно, что этот процесс проходит в две стадии с образованием в качестве промежуточного соединения аллофановой кислоты:



Изучение путей утилизации мочевины пшеницей продолжается.

В связи с тем, что аминокислотный состав белков, их качество и биологическая питательная ценность определяются генетическими факторами, необходимо искать гены, ответственные за синтез белков иного аминокислотного состава, искать мутанты растений, в которых присутствуют такие гены. Биохимики в содружестве с генетиками проводят интенсивную работу в этом направлении, которая уже увенчалась первыми успехами. В 60-е годы были найдены мутанты кукурузы Опейк-2 и Флаури-2, которые синтезируют белки, значительно отличающиеся от белков обычной кукурузы по аминокислотному составу и, что особенно важно, по содержанию лизина и триптофана, которых очень мало в обычной кукурузе.

Нами совместно с В. Ф. Волобуевой в течение ряда лет изучаются особенности действия гена Опейк-2 на белковый комплекс эндосперма зерна кукурузы. Работа проводится с двойными межлинейными гибридами кукурузы ВИР 42, Краснодарский 309, Краснодарский 303 и их Опейк-2 аналогов. Эти исследования показали, что введение гена Опейк-2 в генотип обычной кукурузы приводит к резкому сокращению накопления зеина — спирторастворимого, наименее ценного белка — уже на ранних фазах развития зерна. Одновременно усиливается синтез глютелинов и в меньшей степени альбуминов и глобулинов. В зрелом зерне количество спирторастворимых белков у Опейк-2 аналога было в 2,5 раза меньше, чем у обычного гибрида. Например, в зрелом зерне у гибрида ВИР 42 +/- содержание зеина составляло 35 % белкового азота против 13 % у Опейк-2 аналога, а глютелинов — соответственно 41 и 58 %. Лизина было значительно больше в белках зерна Опейк-2 аналога. Содержание лизина увеличивалось не только за счет повышения доли глютелинов, альбуминов и глобулинов в белках, но и за счет более высокого содержания лизина во фракции глютелинов: у обычного гибрида ВИР 42—2,3 %, у Опейк-2 аналога — 3,8 %.

Электрофорезом в полиакриламидном геле и гель-хроматографией на сефадексе G-100 было показано, что введение гена опейк-2 в генотип обычного гибрида кукурузы приводит к качественным изменениям белков эндосперма зерна. Например, в составе легкорастворимых белков у Опейк-2 аналога гибрида Краснодарский 303 была идентифицирована отсутствовавшая у обычного гибрида белковая фракция с молекулярной массой около 50 тыс. Изменился и компонентный состав зеина. Так, у обычного гибрида через 16 и 21 день после опыления в зеине обнаружено 7 электрофоретических компонентов, а через 31 день — 8, в зерне Опейк-2 аналога во все фазы созревания — только 5. Очевидно, ген Опейк-2 вызывает репрессию синтеза ряда белковых компонентов зеина уже на ранних фазах созревания зерна, т. е. под его воздействием синтезируется совершенно иной набор белков.

Вследствие резкого изменения фракционного состава белков под действием гена Опейк-2 аминокислотный состав суммарных белков значительно изменяется: заметно возрастает содержание лизина, триптофана, гистидина, аргинина и соответственно снижается количество менее ценных аминокислот. Аминокислотный состав белков под действием гена опейк-2 становится более сбалансированным.

Гибриды кукурузы нового типа с повышенным содержанием белков в зерне и лизина в белках внедряются в сельскохозяйственное производство.

Высоколизиновая кукуруза — не единственный пример качественного изменения состава растительных белков. В 1968 г. был выделен высоколизиновый ячмень, в котором содержание лизина было на 30—40 % больше, чем у обычных сортов. Этот образец ячменя получил название Хайпроли. В настоящее время в нашей стране и за рубежом он используется в качестве генетического источника высокого содержания лизина. Однако несмотря на ряд работ с ячменем Хайпроли, биохимическая природа высокого содержания лизина в белках его зерна оставалась неизвестной, поэтому на кафедре нами совместно с Н. Г. Ракиповым проводились исследования этой культуры. В результате установлено, что в белках Хайпроли и в обычных районированных сортах ячменя (всего изучалось 13 сортов) содержание альбуминов и глобулинов примерно одинаковое, но количество проламинов, характеризующихся наименее сбалансированным аминокислотным составом и ничтожным содержанием лизина, у ячменя Хайпроли резко снижено и соответственно увеличено количество глютелинов.

Более глубокие исследования отдельных белковых фракций электрофорезом в полиакриламидном геле и гель-хроматографией на сефадексах показали, что белки ячменя Хайпроли значительно отличаются от белков районированных сортов по числу и количественному содержанию отдельных белковых компонентов. Например, гель-хроматографией альбуминов на сефадексе G-100 было выявлено, что в белках Хайпроли содержится высоколизиновый белковый компонент с молекулярной массой 28 тыс., содержание лизина в котором достигает 10 %. У обычных ячменей этот компонент отсутствует.

Таким образом, причина низкого содержания лизина в белках обычных сортов ячменя заключается в том, что в них на долю проламинов с очень малым содержанием лизина приходится весьма значительная часть белков. Более высокая концентрация лизина в суммарных белках ячменя Хайпроли обусловлена повышенным содержанием в них фракции глютелинов, в которых довольно много лизина за счет пониженного количества проламинов, а также большим содержанием лизина в альбуминах и глобулинах, чем в аналогичных фракциях районированных сортов. При внесении разных норм азотных удобрений все эти различия сохранялись.

Большое значение имеет повышение качества белков зерна пшеницы, которая дает примерно 70 % общего количества белка, получаемого от всех зерновых культур. Однако использование в селекции только существующих сортов пшеницы не позволяет выйти за пределы круга их биологических возможностей, так как среди пшениц ограничено число видов и сортов, характеризующихся высокой белковостью зерна. Высокая белковость свойственна многим сородичам пшеницы, в частности, пырея и некоторым пшенично-пырейным гибридам, в зерне которых накапливается до 24 % белка. При использовании их в скрещиваниях с лучшими сортами пшеницы могут быть получены новые высококачественные сорта.

В течение ряда лет Н. Н. Новиковым, Т. Ф. Миляевой и другими сотрудниками кафедры проводятся широкие биохимические исследования с большим числом клонов пырея, амфилоидов ПППГ и ППГ в сравнении с пшеницей сорта Мироновская 808. Эти работы показали, что мягкая пшеница, пырей сизый и ППГ заметно различаются по содержанию белков в зерне, что определяется генотипом растений. Пшенично-пырейные гибриды типа ППГ 599, имеющие некоторые гены пырея, по содержанию белков в зерне не отличались от мягкой пшеницы Мироновской 808. Количество белков в зерне ПППГ 153 было примерно на 3 %, а у пырея сизого — почти на 7 % выше, чем у пшеницы. В белках пырея по сравнению с пшеницей содержалось на 13—15 % больше лизина и треонина, заметно выше была концентрация других незаменимых аминокислот — изолейцина, лейцина, фенилаланина и метионина, но меньше глютаминовой кислоты. В белках амфилоидов ПППГ 153 и ПППГ 79 так же, как и у пырея лизина содержалось на 8—11 % больше, чем у пшеницы. Поскольку пырей сизый и ПППГ отличаются повышенной концентрацией лизина в белках, очевидно, на их основе можно вести селекцию не только на повышение белковости, но и на улучшение качества белка пшеницы.

Электрофорезом в полиакриламидном геле легко растворимые белки зерна пырея и ППГ были разделены на 13—19 электрофоретических компонентов. В белковых спектрах пырея и его гибридов оказалось много общих компонентов, однако содержание отдельных компонентов у них было различным. Таким образом, установлена значительная биохимическая и генетическая гетерогенность и достаточно высокая специфичность белковых спектров пырея и ППГ. Все гибриды имели свои характерные спектры легко растворимых белков.

Для создания сортов пшеницы с улучшенным аминокислотным составом необходимо выявление белковых фракций или отдельных компонентов белкового комплекса с повышенным содержанием незаменимых аминокислот. Гель-хроматографией на сефадексе G-100 легко растворимые белки ПППГ 79 и пшеницы Мироновской 808 были разделены на 3 основные фракции, различающиеся по молекулярным массам.

В зависимости от состава электрофоретических компонентов все белки были разделены на 14 фракций. Содержание аминокислот в полученных хроматографических фракциях значительно колебалось. Для каждой из форм выявлены фракции белков с повышенным содержанием отдельных незаменимых аминокислот, причем амфиплоид ПППГ 79 по максимальному содержанию незаменимых аминокислот превосходил пшеницу Мироновскую 808. Эти результаты могут быть использованы в селекционной работе.

Установлено, что в зерне пырея и гибридов содержится большое количество клейковины, и в настоящее время проводятся детальные исследования клейковинных белков.

Для зернового хозяйства большой интерес представляет новая культура — амфидиплоид тритикале — гибрид пшеницы и ржи. Биохимические свойства белков этой культуры до последнего времени оставались мало изученными.

На кафедре биохимические исследования белков этой культуры проводятся Н. Е. Кузнецовой, И. П. Емельяновой и др. При сравнительном изучении фракционного, компонентного и аминокислотного составов белков зерна гексаплоидных тритикале отечественной селекции и белков мягкой пшеницы и ржи было установлено, что по белковости зерна первые превосходят не только рожь Харьковскую 55 (на 2,6—4,9%), но и пшеницу Мироновскую 808 (на 1,5—3,8%). Большинство образцов тритикале по фракционному составу белков занимает промежуточное по-

ложение между рожью и пшеницей. У некоторых образцов (АД 1, АД 332, АД 333) фракционный состав белков пшеничного типа. Методом электрофореза в полиакриламидном геле выявлено, что в спектре альбуминов зерна тритикале АД 206, АД 209 и МХ 1 преобладают компоненты, характерные для зерна ржи, а компонентный состав глиадинов тритикале — пшеничного типа. По аминокислотному составу суммарные белки тритикале близки к мягкой пшенице, а содержание отдельных незаменимых аминокислот в расчете на 100 г зерна у тритикале вследствие более высокой их белковости на 10—25% выше, чем у пшеницы.

При изучении белков тритикале методами гель-хроматографии на сефадексе G-100 и электрофорезом в полиакриламидном геле было установлено, что белковые компоненты с неодинаковыми молекулярными массами существенно различаются и по аминокислотному составу. Выделены фракции с повышенным содержанием лизина и других незаменимых аминокислот и определены электрофоретические свойства белков, входящих в их состав.

На кафедре проводятся и ряд других биохимических исследований, связанных с повышением качества урожая сельскохозяйственных культур. Их результаты будут опубликованы в других сообщениях. Все работы кафедры в области биохимии сельскохозяйственных растений направлены на решение задач, поставленных перед наукой Продовольственной программой СССР.

SUMMARY

Principal direction of biochemical studyings of the chair — exchange of nitrogen compounds in plants and studying of plant protein composition and properties.

It was shown that biochemical studyings of D. N. Prjanishnikov and his colleagues the importance of ammonia and transformation of nitrogen matter in plants were theoretical basis for plant nitrogen nutrition. Later new data on amount of free aminoacids in plants under different conditions of their nutrition and intensity of biosynthesis was received. In experiments with different agricultural crops it was established that aminoacid protein composition did not change in connection of growing conditions, it was concluded that aminoacid composition of plant proteins was stable.

At present studyings on fraction, component and aminoacid protein composition of new forms of grains crops are conducted. Results of studyings of proteins of high lysine corn and barley, different wheat and quack grass hybrids and tritikale were given. Possibilities of improving proteins with the help of biochemical genetics were shown.