

ОТ ЧЕГО ЗАВИСИТ СОДЕРЖАНИЕ ФОСФОРА В СЕМЕНАХ ПШЕНИЦЫ**Андрей БАБИЦКИЙ***Славянский университет, г. Кишинев, Молдова***FACTORI CE DETERMINĂ CONȚINUTUL DE FOSFOR ÎN SEMINȚELE DE GRÂU**

În condiții de câmp a fost studiată acțiunea nutriției minerale la trei regimuri de umiditate a solului asupra conținutului de fosfor în semințele de grâu și capacității lor de rodnicie. Acumularea excesivă a fosforului în semințele cu capacități diminuate de rodnicie are loc în condițiile de deficit hidric în sol. În condiții optime de hidratare a solului se formează semințe cu conținut mediu de fosfor și cu capacități excelente de rodnicie. În condițiile surplusului de umiditate a solului semințele posedă cel mai redus conținut de fosfor. Rezultatele obținute interpretează procesul de descompunere a țesutului vegetativ în faza finală a ontogenezei și transportul hidrolizatelor substanțelor organice în semințe.

Cuvinte-cheie: grâu, nutriție minerală, umiditate a solului, conținut de fosfor în semințe, capacitate de rodnicie a semințelor.

WHAT DETERMINES THE PHOSPHORUS CONTENT IN WHEAT SEEDS

The phosphorus content and yielding capacity of the wheat seed produced during field experiments under the influence of 13 variants of mineral nutrition upon 3 modes of soil moisture have been studied. The greatest accumulation of phosphorus in seeds with their less yielding capacity occurs upon water deficit soil. The intermediate phosphorus content in seeds with the higher yielding capacity of the seeds are formed at the optimum soil moisture. The lowest phosphorus accumulated in waterlogged soil. Between the phosphorus content in the seeds and soil phosphorus level is no direct relationship. These data are interpreted as the result of the decay of vegetative tissues in the final stages of ontogeny and transfer the products of hydrolysis of organic compounds into the wheat seeds.

Keywords: wheat, mineral nutrition, soil moisture, seed phosphorus, seed yielding capacity.

Введение

Одним из важнейших показателей, определяющих как алиментарное качество зерна пшеницы, так и посевные и урожайные качества (УК) ее семян, является содержание в них фосфора. Более 80% всего фосфора семян находится в виде фитиновой кислоты [15].

Продукты питания из зерна пшеницы с высоким содержанием фитина у людей с низкой активностью фермента фосфатазы в слюне вызывают отложение камней на зубах, и этим людям необходимо диетическое питание продуктами из низкофитиновой пшеницы. Младенцам также противопоказано одностороннее питание пшеничной манной кашей из-за того, что фитиновая кислота блокирует всасывание кальция в пищеварительной системе [15] и это создает дефицит кальция в организме и может создать рецидив рахита. Напротив, людям с онкологическими заболеваниями в области толстой кишки необходима диета с продуктами питания из высокофитиновой пшеницы, поскольку фитин проявляет протекторное действие вследствие его антиоксидантной активности.

Сведения о содержании фосфора в семенах имеют важное значение и для семеноводов, поскольку среди них широко распространено мнение [11,16-18], что семена с высоким содержанием фосфора и белка обладают высокими УК. Поэтому в сельском хозяйстве во всех научно-исследовательских институтах и на опытных станциях по заказу агрономов и селекционеров проводятся десятки тысяч анализов образцов семян пшеницы, чаще всего под номерным шифром без указания условий репродукции и сорта, на содержание в них белка и фосфора. Более того, эти образцы, как правило, представляют собой произвольно отобранную порцию семян из валовой партии, поскольку агрономы исходят из того, что содержание фосфора в семенах, главным образом, определяется генотипом сорта и в некоторой степени варьирует в зависимости от условий их репродукции. Как правило, такой фактор, как фракционный размер семян, представленных на анализ, агрономами не учитывается. Однако по нашим данным это существенный фактор, что и демонстрируют нижеприведенные данные.

Результат анализа каждого образца представляется при этом одной цифрой и в таком виде выдается агрономам. Далее эти данные в неосмысленном виде, как полученные ими лично, публикуются в табличной форме и такими таблицами в течение многих десятилетий переполняются страницы журнала «Агрохимия». Таким образом, обесмысливается напряженный труд квалифицированных биохимиков.

Хотя результат этого анализа только тогда представляет ценность и достоверность, когда он непосредственно исходит от первоисточника с указанием всех факторов, влияющих на содержание фосфора в функционально-графическом виде.

Имея один показатель, график построить невозможно, ибо через одну точку можно провести бесчисленное число линий с различной степенью наклона и кривизны. Поэтому традиционно представленные в литературе данные в табличной форме бессмысленны, и в них почти невозможно отделить главные факторы, определяющие содержание фосфора в семенах, от второстепенных.

Материалы и методы исследования

Опыты по выявлению влияния различных доз внесения минеральных удобрений и их сочетаний и режимов влажности почвы на взаимосвязь между урожаем зерна и содержанием в нем белка были проведены на яровой твердой пшенице Харьковская 46 в полевых условиях Одесской области. Норма высева 5 млн. семян/га, глубина заделки 4 см, ширина междурядьев 15 см. Опыт состоял из 13 вариантов различных сочетаний минеральных удобрений, обозначенных номерами от 1 до 13 в следующем порядке: 1 - без удобрения; 2 - N30P30K30; 3 - N60P60K60; 4 - N90P90K90; 5 - N0P60K60; 6 - N30P60K60; 7 - N90P60K60; 8 - N60P60K0; 9 - N60P60K30; 10 - N60P60K90; 11 - N60P0K60; 12 - N60P30K60; 13 - N60P90K60. Удобрения вносились поздней осенью под зяблевую вспашку после парового предшественника. Выращивание растений производилось при трех режимах влажности почвы: 1 - без полива (дефицит влаги); 2 - 75% от полной почвенной влагоемкости (ППВ) (оптимум почвенной влаги); 3 - 90% ППВ (избыток влаги). Итого было 39 вариантов сочетаний уровней минерального питания и режимов влажности почвы. Каждый вариант засевался в 6-кратной повторности при рандомизированном размещении вариантов в пределах однородного уровня влажности почвы. Итого было засеяно 234 делянки по 18 квадратных метров каждая. Необходимый режим влажности почвы обеспечивали поливом водопроводной водой с помощью передвижной дождевальной установки, навешенной на трактор ДТ - 54. Уборку урожая осуществляли комбайном Сидмайстер.

Очищенное зерно взвешивали для учета урожая по вариантам. Зерно с каждого варианта фракционировали на зерновых решетках и обозначали серединой интервала между ширинами ячеек проходного и задерживающего решет. Так, фракция 2,6 мм получалась при проходе зерна через ячейки решета 2,75 мм и задержке на сите с шириной ячеек 2,5 мм. Полученные образцы семян высушивали до постоянного веса при 105°C в термостате в течение 4 часов. Затем зерна измельчали на мельнице "Пируэт" и на аналитических весах брали навеску муки для определения фосфора.

Чаще всего содержание фосфора в растительной ткани определяется путем сухого сжигания образцов в тиглях в муфельной печи. При этом происходит значительная потеря анализируемого материала за счет вылетающих при этом дымовых частиц и отсюда погрешности анализа превышают 10-15% и содержание фосфора дается в виде миллиграммов P₂O₅ на общий вес золы или в процентах на сухой вес биологического образца.

Для увеличения точности анализа применен метод минерализации в серной кислоте с катализатором – перекисью водорода. При этом фосфор определяли фотометрически, с использованием дифференциальной колориметрии на ФЭК - 56 по методу Таусски и Шора [1, 2]. Результаты представлены в классических биохимических единицах измерения количества фосфора в биологическом материале – в микромолях неорганического фосфата на один грамм сухого веса биологического материала.

Однако при выяснении взаимосвязи содержания фосфора с урожаем и УК эти данные приведены к общепринятой агрохимиками единице измерения – в процентах P₂O₅ на сухой вес. Окончательные данные представлены на рисунках в графическом виде с помощью компьютера по программам Excel и Paint.

Результаты и их обсуждение

Во-первых, найдено, что размер фракции семян пшеницы, представленных на анализ, существенно влияет на полученные результаты содержания фосфора в них. Таким образом, размер семян можно обозначить как геометрический или конфигурационный фактор их изменчивости по содержанию фосфора. Из факторов внешней среды наиболее существенным является уровень влажности почвы, при котором выращивались материнские растения, на которых были репродуцированы эти семена. Влияние уровней и доз минеральных удобрений не имеет четкой функциональной зависимости и также в сильной степени модифицируется условиями влажности почвы.

В результате проведенных анализов получены три семейства графиков (рис. 1), определяемых размером семян, уровнями и дозами внесенных удобрений и режимом влажности почвы. При этом все графики имеют седловидную форму такого вида, что более мелкие и более крупные фракции семян показывают большее содержание фосфора, чем средняя наиболее массовая фракция семян в интервале 2,5- 2,75 мм их ширины. Следовательно, агрономы должны четко понимать, что представлять в лабораторию на биохимический анализ не откалиброванные по размеру семена пшеницы не имеет смысла, поскольку различия по условиям выращивания перекрываются различиями фракционного состава, так что различия, вызванные в минеральном питанием окажутся меньше, чем различия, вызванные величиной крупности семян. Что касается уровня влажности почвы, то самый высокий уровень фосфора наблюдается в партии семян, выращенных без дополнительного полива при естественном увлажнении за счет атмосферных осадков.

Ранее такой же характер функциональной зависимости нами был найден при анализе семян пшеницы на содержание в них белка [7,8] и дана схожая рекомендация по предоставлению образцов зерна на анализ по содержанию белка. Учитывая, что основным белком семян пшеницы является глиадин [8] и основным фосфорсодержащим компонентом является фитин [15], можно считать, что глиадин и фитин образуют единый глиадино-фитиновый комплекс в эндосперме зерна.

Семена, репродуцированные при 75% ППВ почвы, на графике зависимости содержания фосфора от размера семян также показывают характерную впадину на уровне фракции средних семян, но семейство этих кривых несколько опущено вниз по оси ординат. Семена, полученные при избыточном увлажнении почвы 90% ППВ, имеют пониженное содержание фосфата при наименее выраженной седловине в районе средних размеров семян.

Из рис.1 явствует, что наибольшее влияние на содержание фосфора в семенах наиболее массовой фракции 2,5-2,75 мм оказывает не минеральное питание, а режим влажности почвы. Наиболее четко вышеописанные закономерности видны на графике содержания среднего значения фосфора в пределах каждой влажности семян. При этом наибольшие различия между каждым режимом влажности видны на фракции крупных семян. Это является дальнейшим подтверждением того факта, что крупные семена в колосе пшеницы поглощают питательные вещества не только из стержня колоса, но и перекачивают их из фракции средних семян [3, 4]. Уровень минерального питания имеет слабое влияние на содержание фосфора в семенах и перекрывается факторами размера семян и на графике наблюдается как некий разброс кривых вокруг их усредненных данных, представленных с правой стороны и внизу рис.1.

Повышенные величины содержания белка и фосфора в семенах, полученных в условиях дефицита влаги, показывают, что главным фактором, определяющим эти показатели, является отток питательных веществ из листьев в семена при дегидратации листьев и стебля пшеницы. Дефицит влаги усиливает процесс дегидратации вегетативной ткани растения и вызывает апоптоз клеток и тканей с переносом в подвижном виде по флоэмной сосудистой системе продуктов распада биологического материала к репродуктивным органам и поглощение их семенами. При этом сосуды ксилемы закупориваются, и это усиливает состояние дегидратации листьев и стебля, которое необходимо для заключительной стадии налива семян и их обезвоживания.

Важность онтогенетически управляемого отмирания некоторых клеток и тканей и использования продуктов их распада как источника энергетического и информационного материала для формирования органов размножения растений, начиная с процессов гаметогенеза и до заключительных стадий формирования зародышей и семян, обстоятельно описана в многочисленных исследованиях С.Колесникова [12,13]. На заключительной стадии жизни растения при формировании репродуктивных органов эти процессы охватывают все органы и ткани вегетативной системы и имеют главенствующее значение [12,13].

Условия высокой влажности почвы или дожди в конце онтогенеза на стадии созревания зерна препятствуют процессу заключительной стадии дегидратации вегетативной ткани и ее ксилемные сосуды продолжают функционировать, тормозится процесс распада ее клеток и тканей и отток в колос веществ, состоящих из продуктов распада, значительно снижается, что вызывает пониженное содержание в семенах азота и фосфора. Таким образом, для получения высококачественного зерна пшеницы на конечных стадиях роста растений, в заключительный момент формирования семян, должны проходить согласованные процессы распада вегетативной ткани [19,20-23], ее дегидратации и переноса

продуктов распада в семена и их последующая дегидратация. Именно эти заключительные процессы формирования семян и являются главными в продуктивности пшеницы, но не первоначальные стадии прорастания семян, выхода в трубку, колошения, и процессы фотосинтеза и дыхания являются главными для формирования продуктивности пшеницы, содержания белка и фосфора в семенах.

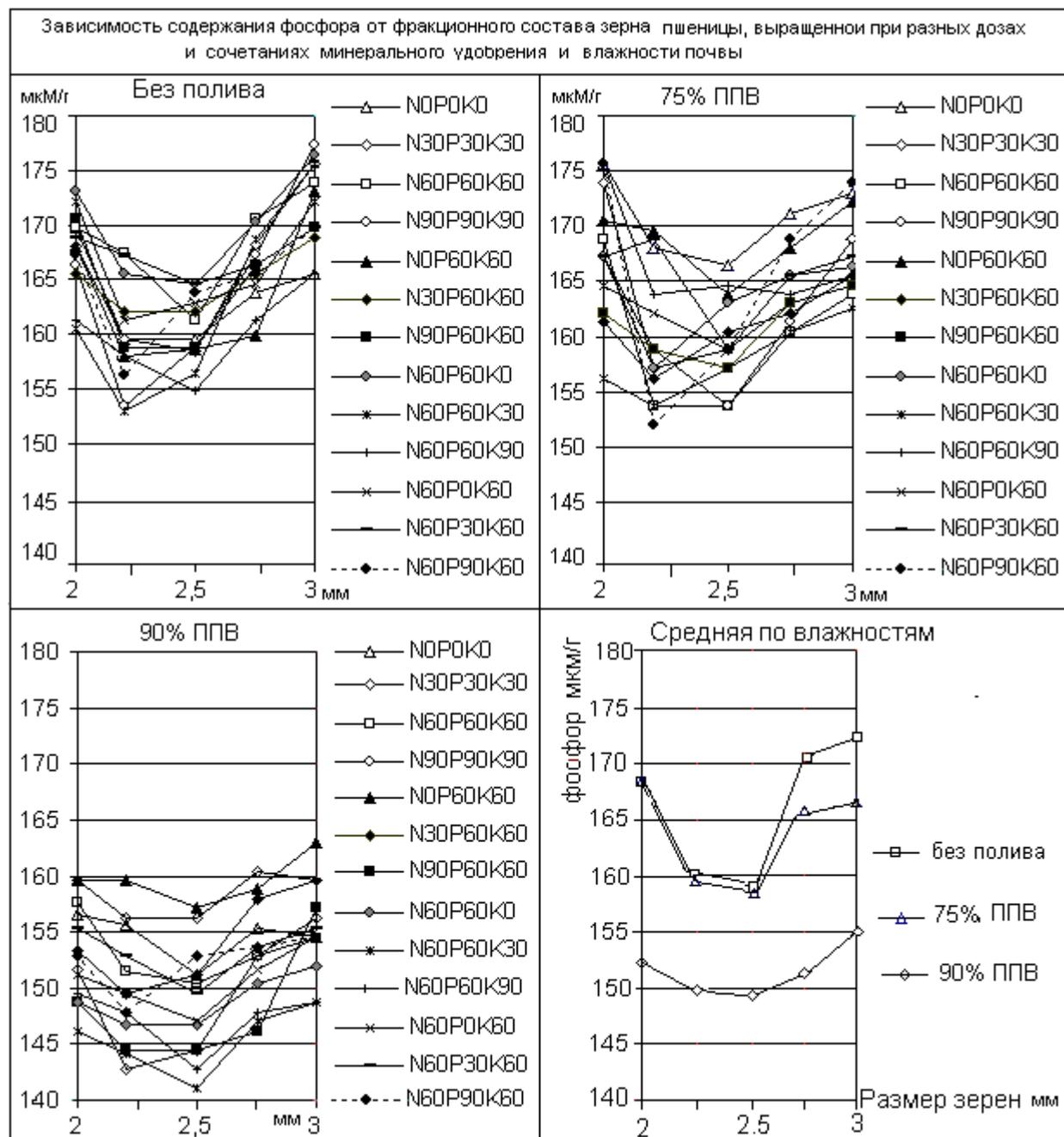


Рис.1. Взаимосвязь содержания фосфора в семенах пшеницы в зависимости от их размера, уровней и сочетаний минерального удобрения и режима влажности почвы.

В свою очередь, знание содержания фосфора и белка в семенах пшеницы для агрономов является важным диагностическим признаком посевных и урожайных качеств семян, поскольку такие мнения бытуют в целом ряде научных публикаций [9,10,13,15-17]. Поэтому мы провели подобные исследования как для выяснения взаимосвязи величины урожая семян с содержанием в них фосфора, так и выяснения возможности прогнозирования УК семян по содержанию в них фосфора. Эти данные пред-

ставлены на рис.2, в котором содержание фосфора дано в $P_2O_5\%$ на сухое вещество, как это принято среди агрономов и селекционеров, чтобы данные рис.2 можно было сравнить с данными других исследователей при оценке достоверности прогнозирования УК семян по содержанию в них фосфора.

Из левой части рис.2 видно, что непосредственной связи как между урожаем зерна в период воздействия различных доз и уровней минерального питания и режимов влажности почвы и содержанием в нем фосфора не наблюдается, однако видна некоторая тенденция к уменьшению содержания фосфора при повышении урожая. Однако это можно объяснить скорее тем, что самая высокая урожайность достигается за счет усиления влажности почвы, и это является косвенным влиянием режима влажности почвы на фосфор в зерне. Представленная в правой части рис.2 взаимосвязь между содержанием фосфора в семенах, взятых из зерна, полученного, как описано выше, и определенных во втором году их УК при выращивании без удобрений и при естественной влажности почвы, также не показывает непосредственной связи. Однако точки на графике группируются согласно уровням влажности почвы. Это свидетельствует, что неурожай не определяет содержание фосфора в зерне, а некие другие факторы вегетации растений. Отсюда следует главный вывод, что прогнозировать УК семян по содержанию в них фосфора невозможно.

Это расхождение двух процессов – формирование биомассы семян и содержание в них фосфора, можно разрешить только признанием наличия иного фактора, влияющего на содержание фосфора в семенах, которым является отток питательных веществ из вегетативной ткани в процессе гибели клеток при апоптозе, активации гидролитических и протеолитических ферментов [20-23] при водном дефиците в вегетативной ткани, последующей ее дегидратации на заключительных стадиях онтогенеза растений при формировании семян, косвенно связанной с величиной биомассы урожая, которая определяется интегральной длительностью роста и развития растения. Стресс растений пшеницы, вызванный водным дефицитом, индуцирует активацию многих генов, среди которых находятся и гены, кодирующие эндопротеазы [22,23].

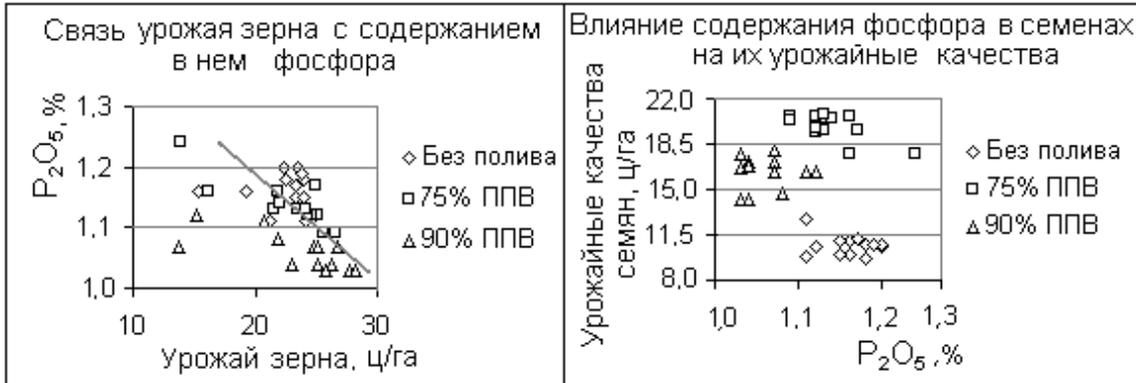


Рис.2. Взаимосвязь между урожаем семян и содержанием в них фосфора и между содержанием фосфора в семенах и их урожайными качествами.

В агрономической литературе нередко можно встретить сведения о прямо пропорциональной ответной отзывчивости накопления фосфора в семенах на внесенную в почву дозу фосфора. При проведении данного опыта в этом направлении нами найдено, что такой прямой пропорциональности не существует (рис.3). Слабое увеличение содержания фосфора в семенах в ответ на повышенное фосфорное удобрение почвы наблюдается только при ее оптимальной и избыточной влажности.

В условиях дефицита почвенной влаги, воздействие фосфорного удобрения на содержание фосфора в семенах в сильной степени сопряжено с действием элементов питания азота и калия. Наибольшее количество фосфора в семенах накапливается при дефиците азота в почве при оптимальном и избыточном увлажнении, в несколько меньшей степени влияет дефицит калия в почве. Можно предположить, что это вызвано компенсаторной реакцией растения на дефицит этих элементов путем усиления фосфорного обмена и соответственного заключительного переноса этого фосфора в семена.

Ранее отсутствие непосредственной связи между уровнем почвенного фосфора и количеством накопленного в семенах было показано в работах [10,11,17].



Рис.3. Влияние уровней и сочетаний минеральных удобрений на накопление фосфора в семенах пшеницы.

Это дополнительно свидетельствует о том, что начальные этапы роста и развития пшеницы не имеют непосредственной связи с накоплением запасных и минеральных веществ в семенах пшеницы, а главным является процесс дегидратации вегетативной ткани и перенос из нее в семена продуктов распада органического вещества и минеральных соединений. Широко распространенное мнение, что семена с повышенным содержанием фосфора обладают высокими УК, в нашем исследовании не подтвердилось, наоборот, доказано, что такие семена обладают пониженными УК. Это согласуется с данными, что семена, репродуцированные при дефиците влаги в почве, имеют более высокую массу 1000 семян [9], обладают высоким содержанием белка и пониженными УК [5,6].

Выводы

Результаты данного исследования показывают, что из агроэкологических факторов репродукции семян наибольшее значение имеет уровень влажности почвы. Семена, выращенные в условиях дефицита почвенной влаги, имеют самое высокое содержание фосфора и пониженные урожайные качества. Содержание фосфора в семенах не может служить критерием для прогнозирования их урожайных качеств.

Минеральные удобрения имеют косвенное влияние на содержание фосфора и вовсе не влияют на урожайные качества полученных семян. Между уровнем фосфора в почве и накоплением его в семенах имеется слабая положительная связь при оптимальных и избыточных условиях влажности почвы. Наилучшими урожайными качествами обладают семена, репродуцированные при оптимальной влажности почвы.

Полученные результаты интерпретируются исходя из придания важности процессам распада вегетативной ткани на заключительной стадии жизни растения, переноса продуктов гидролиза органических веществ вегетативной ткани в семена, что и является главным процессом, определяющим накопления веществ в семенах пшеницы и ее продуктивность.

Литература:

1. БАБИЦКИЙ, А. Фотофосфорилирование на хлоропластах кукурузы. В: *Труды Всесоюзного Института растениеводства*. Ленинград, 1969. Том 40. Приложение: Методы комплексного изучения фотосинтеза, с.142-154.
2. БАБИЦКИЙ, А. Измерение фосфора методом дифференциальной колориметрии для анализа различий процесса фотофосфорилирования у инбредных линий и гибридов кукурузы. В: *Труды ВНИИООБ, Овощные и бахчевые культуры*. Астрахань, 1970, вып.1, с.159-178.
3. БАБИЦКИЙ, А. и др. Квазидискретные особенности накопления биомассы зерен в колосе пшеницы. В: *Известия Волгоградского государственного педагогического университета. Серия: Естественные и физико-математические науки*. Волгоград, 2004, №4(9), с.23-29.

4. БАБИЦКИЙ, А. и др. Дискретные взаимодействия зерен в колосе пшеницы. В: *Fiziologia și biochimia plantelor de cultură (Aspecte Ecologice)*. Chișinău, 2004, p.18-21.
5. БАБИЦКИЙ, А. и др. Повышение урожайных качеств семян пшеницы. В: *Аграрная наука*. Москва, 2006, № 9, с.5-7.
6. БАБИЦКИЙ, А. Режим влажности почвы при выращивании пшеницы модифицирует продуктивные качества ее семян. В: *Культурные растения для устойчивого сельского хозяйства в 21 веке (Иммунитет, селекция, интродукция)*. Москва, 2011, том 4, часть 1, с.373-380.
7. БАБИЦКИЙ, А. Главный фактор, определяющий содержание белка и его качество в зерне твердой пшеницы. В: *Studia Universitatis. Universitatea de Stat din Moldova. Seria: Științe reale și ale naturii*. Chișinău, 2011, nr.1 (41), p.92-96.
8. БАБИЦКИЙ, А. Белок зерна пшеницы – от чего зависит и чем является глиадин. В: *Рациональное использование ресурсного потенциала регионов России и сопредельных государств*. Сборник научных статей / Ред. А.А. Афонин. Брянск: Курсив, 2011, с.23-30.
9. БАБИЦКИЙ, А. От чего зависит масса 1000 семян пшеницы. В: *Impactul realizărilor științifice asupra producției și calității cerealelor spicoase: Materialele conferinței internaționale*. Republica Moldova, Bălți, 21 iunie 2013. Chișinău, 2013, p.15-21.
10. ВОЛЛЕЙД, Л. Фосфорный обмен в органах озимой пшеницы в зависимости от уровня азотно-фосфорного питания. В: *Сельскохозяйственная биология*, 1973, том 7, № 4, с.548-553.
11. ЗАДОНЦЕВ, А. и др. К вопросу об использовании физиолого-биохимических показателей для прогнозирования урожайных свойств семян. В: *Сельскохозяйственная биология*, 1972, том 7, № 5, с.653-658.
12. КОЛЕСНИКОВ, С. О роли процессов неполного распада живого в размножении растений, гетерозиса и других проявлениях жизнедеятельности организмов. В: *Биология оплодотворения и гетерозис культурных растений*. Кишинёв: Штиинца, 1965, вып. 3, с.123-201.
13. КОЛЕСНИКОВ, С. Итоги цитозембриологического изучения возделываемых растений в Молдавии. В: *Известия АН Молдавской ССР. Серия биологических и химических наук*, 1967, № 11, с.44-50.
14. СЕЧНЯК, Л. и др. *Экология семян пшеницы*. Москва: Колос, 1981. 349 с.
15. СОБОЛЕВ, А. Образование и накопление фитина в семенах. В: *Физиология растений*, том 11, № 1, с.106-111.
16. СТРОНА, И. и др. Посевные и урожайные свойства семян пшеницы Харьковская 46 на разных фонах. В: *Селекция и семеноводство*, 1974, № 3, с.50-52.
17. СТРОНА, И. К вопросу о разнокачественности семян и методах ее оценки. В: *Труды Украинского НИИ растениеводства, селекции и генетики им. В.Я. Юрьева*. Харьков, 1962, том 7, с.69-76.
18. СТРОНА, И. *Общее семеноведение полевых культур*. Москва: Колос, 1966. 464 с.
19. PLAUT, Z. e.a. Transport of dry matter into developing wheat kernels and its contribution to grain yield under post – anthesis water deficit and evaluated temperature. In: *Field Crop Res.*, 2004, vol. 86, p.185-198.
20. SIMONOVA – STOILOVA, L. e.a. Proteolytic activity in wheat leaves during drought stress and recovery. In: *Gen. Appl. Plant Physiology*, 2006. Special Issue. Vol. 32. No.1-2, p.91-100.
21. DEMIREVSKA, K. e.a. Drought – induced leaf protein alterations in sensitive and tolerant wheat varieties. In: *Gen. Appl. Plant Physiology*, 2008, Special Issue. Vol.34. No.1-2, p.79-102.
22. ZAGRANSKA, B. e.a. Endoproteinase activities in wheat leaves upon water deficit. In: *Acta Biochim. Polon.*, 1996. Vol. 43. No.3, p.515-520.
23. WINIEWSKI, K. e.a. Genotype-dependent proteolytic response of spring wheat to water deficiency. In: *J. Exp. Bot.*, 2001. Vol. 52. No.360, p.1455-1463.

Prezentat la 29.03.2013