

ВЛИЯНИЕ ОСНОВНЫХ ПИГМЕНТНЫХ СИСТЕМ НА ОБЕСПЕЧЕННОСТЬ РАСТЕНИЙ ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ АЗОТНЫМ ПИТАНИЕМ

Р.А. Афанасьев, д.с.-х.н., К.В. Белоусова, В.А. Литвинский, ВНИИА,
О.А. Щуклина, к.с.-х.н., РГАУ-МСХА

Рассмотрена взаимосвязь содержания основных растительных пигментов и обеспеченности растений азотным питанием, определяемой различными методами растительной диагностики (химическим и фотометрическим). Установлено, что показания фотометрических приборов, используемые для определения обеспеченности растений азотным питанием, зависят в основном от содержания темно-зеленого пигмента хлорофилла *a*.

Ключевые слова: фотометрия, стеблевая диагностика, азотные удобрения, яровой ячмень, хлорофилл *a*, хлорофилл *b*, каротиноиды.

Пигментная система всех высших растений представлена двумя основными пигментными комплексами: зелеными (хлорофиллы *a* и *b*) и оранжевыми (каротиноиды). Основная роль среди этих веществ по выполняемым функциям отводится хлорофиллу *a*. Он входит в состав реакционных центров I и II фотосистем [4], а, значит, его содержание в растениях и количественное соотношение по сравнению с другими пигментами определяет характер протекания фотосинтеза, интенсивность флуоресценции и зеленой окраски листовой пластины, от которых зависят показания фотометрических приборов [5].

В связи с тем, что основная часть зеленых пигментов находится в растениях в составе пигментно-белковых комплексов, между концентрацией хлорофиллов в растениях и уровнем азотного питания существует тесная корреляционная зависимость [2, 3].

Соотношение между содержанием зеленых и оранжевых пигментов во многом определяется условиями, в которых произрастают растения, причем концентрации основных пигментов изменяются в течение вегетационного периода, в частности с течением времени отмечается закономерное снижение как самого содержания пигментов, так и их соотношения [1].

Цель исследований – выявить взаимосвязь содержания основных пигментов при различных уровнях азотного питания растений и определить степень зависимости показаний фотометрических приборов от концентрации этих пигментов.

Объекты исследований и методика. Основным объектом исследований служил посев ярового ячменя сорта Михайловский в полевом опыте, проводимом на Полевой опытной станции РГАУ-МСХА в 2012 г. на окультуренной дерново-подзолистой среднесуглинистой почве при возрастающих дозах азотных удобрений (аммиачной селитры), внесенных согласно схеме опыта, на фоне азофоски ($N_{48}P_{48}K_{48}$): контроль (фон), N_{30} , N_{60} , N_{90} , N_{120} , N_{60+60} , N_{150} , N_{90+60} . Агрохимические показатели пахотного слоя почвы: рН – 5,5, содержание щелочно-гидролизующего азота – 67,1 мг/кг, подвижных форм фосфора – 304, калия – 84 мг/кг. Площадь учетной делянки – 16,7 м², повторность опыта – четырехкратная, размещение вариантов – рендомизированное. Обеспеченность растений азотным питанием определяли химическим и фотометрическим методами в фазе начала колошения. Стеблевую диагностику посева осуществляли модифицированным прибором В.В. Церлинг, а фотометрию проводили с использованием N-тестера «Спектролюкс». В эти же сроки проведено аналитическое определение содержания основных пигментов: хлорофиллов *a* и *b*, каротиноидов.

Наряду с этим, для достижения поставленной цели в условиях фитотрона был заложен вегетационный опыт с пророст-

ками ярового ячменя, в котором изучали влияние разных форм азотных удобрений (нитратной, аммонийной и нитратно-аммонийной) на содержание пигментов при разных спектрах облучения растений. Проростки ячменя выращивали в чашках Петри в течение 3 нед. Субстратом для проращивания семян служил песок, промытый в слабом растворе соляной кислоты. Полив растений проводили отдельно растворами кальциевой селитры, сульфата аммония и аммиачной селитры по мере иссушения корнеобитаемого слоя одинаковыми порциями во все чашки Петри. Концентрация питательных растворов составила 10 г/л N. Кроме того, схемой опыта предусмотрен контрольный вариант, в котором проростки поливали только дистиллированной водой. Проростки ежедневно по 8 ч в сутки в течение трёхнедельного периода облучали белым, красным, зеленым и синим светом с целью выявления действия спектрального состава облучения на содержание основных пигментов при различных источниках азотного питания растений. Аналитическое определение содержания различных пигментов (хлорофилла *a*, *b* и каротиноидов) в проростках проводили по методике А.М. и Д.М. Гродзинских (1973) в прописи кафедры физиологии растений РГАУ-МСХА. Статистическую обработку данных осуществляли с использованием программы «STRAZ».

Результаты и их обсуждение. Как видно из рисунка 1, в полевом опыте урожайность ячменя несколько возросла до варианта с внесением 120 кг/га азота в первую подкормку. При дальнейшем увеличении дозы азота до 150 кг/га и дроблении суммарной дозы азота 120 кг/га на две вегетационные подкормки отмечено снижение урожайности. Однако полученные прибавки урожая по сравнению с контролем были недостоверными, за исключением варианта с дозой 60 кг/га N. Такая ситуация могла быть вызвана избыточным внесением азофоски (3 ц/га) в качестве фонового удобрения опытного участка. Сравнительно низкая величина коэффициента аппроксимации ($R = 0,51$), выражающего связь фактических данных с теоретически рассчитанными, подтверждает отсутствие четко выраженной зависимости между дозами азотных удобрений и урожайностью ярового ячменя.

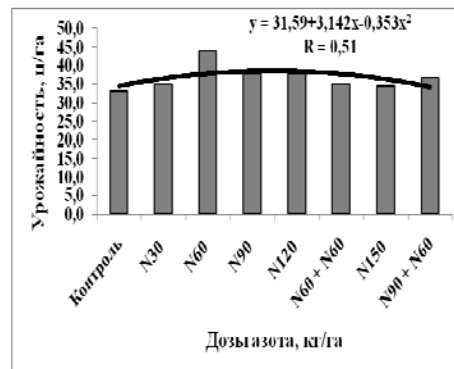


Рис. 1. Зависимость урожайности ярового ячменя в полевом опыте от доз азотных удобрений

Соотношение величин флуоресценции хлорофилла (F) и прозрачности листа (R) ярового ячменя при проведении фотометрической диагностики азотного питания растений в фазе начала колошения (рис. 2) характеризовалось

увеличением показаний однолучевого фотометра «Спектролюкс» (отношения интенсивности флуоресценции хлорофилла к светопрозрачности листьев растений) с увеличением дозы вносимых азотных удобрений. Это подтверждается достаточно высокими значениями коэффициента линейной корреляции ($r = 0,74$), а также коэффициента аппроксимации ($R = 0,79$). Увеличение показаний N-тестера с 1,61 в контрольном (фоновом) варианте до 2,1 в варианте N_{90+60} свидетельствует об улучшении азотного статуса растений. При этом происходили усиление интенсивности флуоресценции хлорофилла и снижение величины прозрачности листа за счет активного биосинтеза зеленого пигмента. Максимальная (оптимальная) статистически достоверная урожайность ячменя получена при 60 кг/га N, значение диагностического показателя фотометра «Спектролюкс» для этого варианта составило 2,0 условных единицы. Это значит, что показания N-тестера выше этой величины говорят об избыточной концентрации азота, а ниже – о недостаточной.

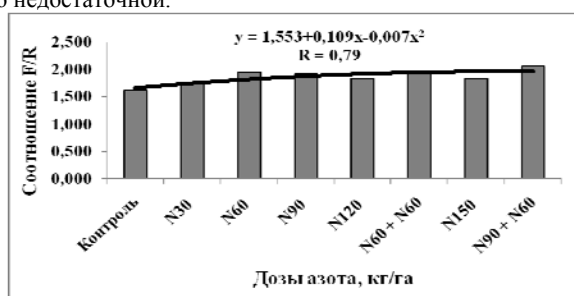


Рис. 2. Зависимость показаний фотометра «Спектролюкс» в начале колошения ячменя от доз азотных удобрений

Дробление суммарной дозы азота на две вегетационные подкормки дало положительный эффект, повысив обеспеченность растений азотом. При этом в вариантах с суммарной дозой азота 120 и 150 кг/га, в которых была проведена вторая подкормка в дозе 60 кг/га N, отмечались самые высокие значения фотометрического прибора.

Определение обеспеченности растений ячменя азотом в фазе начала колошения с помощью полуколичественного метода стеблевой диагностики, проведенной по модифицированному методу В.В. Церлинг [6] (рис. 3), показало, что с увеличением суммарной дозы азота нитратный индекс возрастал, как и в случае показаний фотометра. При этом по показаниям прибора растения в варианте N_{30} испытывали острое азотное голодание, в варианте N_{60} нуждались в дополнительной подкормке дозой 60 кг/га азота, в варианте N_{90} – дозой 30 кг/га. Обеспеченность растений в остальных вариантах (N_{120} , N_{60+60}) представлялась достаточной для данной фазы развития ячменя. Единовременное внесение высокой дозы азота весной (N_{150}) привело к снижению нитратного индекса, что прослеживалось также по результатам фотометрии прибором «Спектролюкс».

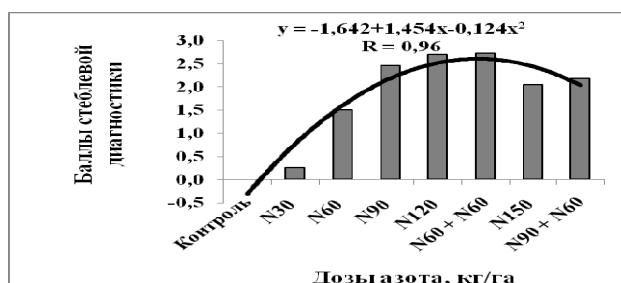


Рис. 3. Влияние доз азотных удобрений на показатели стеблевой диагностики ячменя в фазе начала колошения

Интерес представляет сравнение результатов стеблевой диагностики в вариантах N_{60+60} и N_{90+60} : нитратный индекс в варианте N_{60+60} был выше, чем в варианте N_{90+60} . Данный факт может объясняться тем, что при большей начальной дозе у ячменя к фазе колошения надземная биомасса развивалась более интенсивно, а концентрация азота в стеблях при этом

уменьшалась (эффект «разбавления»), следовательно, увеличивалась потребность в азоте. При этом, как и при фотометрической диагностике, стеблевая диагностика выявила положительное влияние подкормок на улучшение азотного питания растений в вариантах N_{60+60} и N_{90+60} по сравнению с вариантами N_{120} и N_{150} . В целом же коэффициент парной линейной корреляции между данными химического и фотометрического методов диагностики составил $r = 0,76$.

При аналитическом определении концентрации основных пигментов листьев ячменя (рис. 4) установлено, что больше всего в листовых пластинках содержалось хлорофилла *a*, причем его концентрация увеличивалась при внесении азотных удобрений в дозах до 90 кг/га. Дальнейшее увеличение дозы азотных удобрений уменьшало содержание этого пигмента при снижении урожайности ячменя при дозах свыше 120 кг/га N. Коэффициент парной линейной корреляции (r) между содержанием хлорофилла *a* и урожайностью ячменя составил $r = 0,62$. Содержание оранжевых пигментов и хлорофилла *b* было почти в 3 раза ниже по сравнению с хлорофиллом *a*, но в целом зависимость концентрации хлорофилла *b* и каротиноидов от доз азотных удобрений идентична зависимости хлорофилла *a*. Коэффициент парной линейной корреляции (r) между концентрацией хлорофилла *b* и урожайностью ячменя составил 0,62, а для каротиноидов и урожайности – 0,72. При дробном внесении азотных удобрений в варианте N_{60+60} концентрация пигментов меньше, чем при такой же общей дозе в варианте N_{120} . Но в варианте N_{90+60} , наоборот, содержание пигментов увеличивалось по сравнению с содержанием пигментов в варианте N_{150} , что может быть связано с особенностью метаболизма азота.

Своеобразные результаты получены в вегетационном опыте, проведенном в условиях фитотрона. На рисунке 5 видно, что содержание хлорофилла *a* увеличивалось при подкормке проростков нитратной формой в виде кальциевой селитры, составив для белого света излучения – 1,1 мг/г, синего – 0,5, зеленого – 0,6 и красного – 0,8 мг/г сырой массы растений. Биосинтез хлорофилла *b* по сравнению с хлорофиллом *a* при поливе проростков раствором кальциевой селитры шел менее активно, однако коэффициент парной линейной корреляции между содержанием хлорофиллов *a* и *b* составил $r = 0,99$. Зависимость содержания каротиноидов от форм азотных удобрений и характера светового излучения аналогична их влиянию на хлорофиллы *a* и *b*. Подкормка проростков ячменя аммиачной селитрой несколько уступала по эффективности биосинтеза пигментов кальциевой селитре, однако также была одной из наиболее результативных форм азотных удобрений при всех цветах облучения.

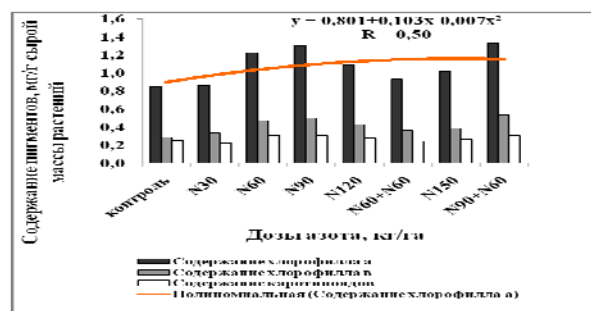


Рис. 4. Влияние доз азотных удобрений на пигментные системы листьев ячменя в фазе начала колошения

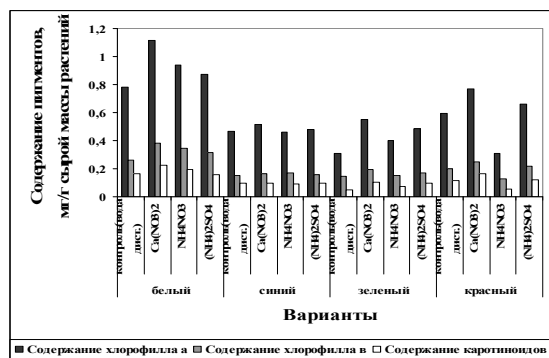


Рис. 5. Зависимость содержания пигментов в проростках ярового ячменя от форм азотных удобрений и спектров светодиодного освещения в условиях фитотрона

Заключение. По результатам полевого опыта установлено, что возрастающие дозы азота от 30 до 150 кг/га на фоне внесения 3 ц/га азофоски ($N_{48}P_{48}K_{48}$) при однократном или дробном внесении (в вариантах N_{60+60} и N_{90+60}) оказывали положительное влияние на урожайность ярового ячменя до дозы N_{60} . Показания прибора «Спектролюкс» также возрастали с увеличением доз азота под ячмень. При этом соотношение интенсивности флуоресценции хлорофилла в листьях ячменя к их прозрачности, являющееся основным показателем фотометрического прибора, в оптимальном варианте опыта (N_{60})

Influence of the main pigment systems on the nitrogen supply of spring barley plants

R.A. Afanas'ev¹, K.V. Belousova¹, V.A. Litvinsky¹, O.A. Shchuklina²

¹Pryanishnikov Research Institute of Agricultural Chemistry, Russian Academy of Agricultural Sciences, ul. Pryanishnikova 31a, Moscow, 127550 Russia

²Russian State Agricultural University – Moscow Agricultural Academy, Russian Academy of Sciences, ul. Timiryazeva 49, Moscow, 127550 Russia

Correlation between the content of basic plant pigments and the nitrogen supply of plants has been determined by different (chemical and photometric) methods of plant diagnostics. It has been established that the readings of photometric instruments used to determine the nitrogen supply of plants depend on the content of dark-green pigment chlorophyll a.

Keywords: photometry, stem diagnostics, nitrogen fertilizers, spring barley, chlorophyll a, chlorophyll b, carotenoids.

составило 2. Индекс стеблевой диагностики возрастал по мере увеличения доз азотных удобрений до варианта N_{120} . В оптимальном варианте N_{60} он равнялся 1,6. Результаты фотометрической и стеблевой диагностики в полевом опыте в значительной мере соответствовали содержанию пигментов в листьях растений. По результатам вегетационного опыта наиболее активный биосинтез пигментов, особенно хлорофилла a, отмечен в основном при обеспечении проростков ячменя нитратной формой азотного питания и облучении белым светом, имитирующим дневное освещение. Аммиачная селитра, используемая в качестве азотного удобрения как в вегетационном, так и в полевом опытах, тоже была весьма эффективной.

Литература

1. Гродзинский А.М. и Гродзинский Д.М. Краткий справочник по физиологии растений. - К.: Наукова думка, 1973. – 591 с.
2. Жизнь растений: в 6-ти томах. — М.: Просвещение/ Под редакцией А. Л. Тахтаджяна, 1974. – 543 с.
3. Мерзляк М.Н., Гительсон А.А., Погосян С.И. и др. Спектры отражения листьев и плодов при нормальном развитии, старении и стрессе // Физиология растений. -1997. -Т. 44.- № 5.- С.707-716.
4. Физиология сельскохозяйственных растений. Т. 1. Физиология растительной клетки. Фотосинтез. Дыхание/ Под ред. А.И. Опарина.- М.: Изд-во МГУ, 1967. – 496 с.
5. Хорошкин А.Б. Управление азотным питанием сельскохозяйственных культур с применением прибора N-тестер, 2006. – 39 с.
6. Церлинг В.В. Диагностика питания сельскохозяйственных культур: справочник.- М.: Агропромиздат, 1990. – 235 с.