

ФОТОСИНТЕТИЧЕСКАЯ ПРОДУКТИВНОСТЬ РАСТЕНИЙ ГОЛОЗЁРНОГО ОВСА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ДОЗ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ

В.В. Лапа, М.С. Лопух

Институт почвоведения и агрохимии, г. Минск, Беларусь

ВВЕДЕНИЕ

Голозёрный овёс является относительно новой и перспективной зерновой культурой, интерес к которой возрос в последнее время. Зерно голозёрного овса – это биологически и энергетически ценное сырьё для производства диетических продуктов и комбикормов. Разноплановость его использования обуславливает необходимость разработки и совершенствования системы питания, на долю которой в формировании урожая приходится 35-40% [1, 2].

Повышение урожайности голозёрного овса невозможно без изучения и регуляции одного из важнейших физиологических процессов – фотосинтеза. Минеральное питание, наряду с другими факторами внешней среды, играет важную роль в формировании фотосинтетического аппарата, синтезе пигментов, ферментативных процессах. Фотосинтез и минеральное питание составляют в целом единую систему питания растений. Вместе с тем минеральное питание растений – это та сторона их жизнедеятельности, которую можно регулировать и через посредство которой наиболее легко и эффективно влиять на ход формирования и размеры урожая [3, 4].

В связи с этим одной из поставленных нами задач являлось определить влияние условий минерального питания на фотосинтетические параметры голозёрного овса.

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования по изучению влияния комплексного применения макро- и микроудобрений на урожайность и качество овса голозёрного проводились в 2007-2009 гг. на опытном участке, расположенном на территории РУП «Экспериментальная база имени Суворова» Узденского района Минской области. Почва участка дерново-подзолистая контактно-оглеенная, развивающаяся на водноледниковой супеси, рыхлосупесчаная подстилаемая с глубины 1,15 м морен-

ным суглинком, сменяемым песком. Агрохимические показатели пахотного горизонта следующие: $pH_{КС1}$ – 6,5-6,7, содержание гумуса – 2,12-2,44%, содержание подвижного P_2O_5 – 203-221 мг/кг, K_2O – 182-200 мг/кг. Схема опыта предусматривала различные дозы и сочетание макроудобрений, сроки внесения азотных удобрений, их комплексное применение с микроэлементами и фунгицидом.

Полевой опыт заложен в четырёхкратной повторности. Метод размещения вариантов в повторении рендомизированный. Общая площадь одной делянки составляет 39 м², учётная – 22 м². Предшественник овса – просо.

Фосфорные и калийные удобрения вносили согласно схеме опыта в основное внесение, азотные – в основное внесение и в подкормки (в фазу первого узла и в фазу флагового листа голозёрного овса). Некорневая подкормка микроэлементами проводилась в фазу 1 узла культуры в дозе 200 г/га сернокислой меди и сернокислого марганца. Из минеральных удобрений использовали карбамид, аммофос, хлористый калий.

Обработка почвы включала: зяблевую вспашку, осеннюю культивацию, весеннюю культивацию, предпосевную обработку.

Посев овса голозёрного сорта Вандроўнік осуществлялся во второй декаде апреля сплошным рядовым способом сеялкой СПУ-4 с нормой высева 5,5 млн. всхожих семян на гектар. Глубина заделки семян 4-5 см.

Уход за посевами включал обработку гербицидами: диален супер 0,6 л/га + лонтрел – 500 г/га в фазу кущения голозёрного овса. Сплошная обработка инсектицидом Децис экстра (0,05 л/га) проводилась в фазу выхода в трубку культуры. Фунгицидная обработка препаратом Импакт (0,5 л/га) осуществлялась согласно схеме опыта при появлении признаков болезни на втором сверху листе овса голозёрного.

Для определения площади листовой поверхности и биомассы проводился отбор растительных образцов поделяночно, с площади 0,25 м², при наступлении следующих фенологических фаз развития растений овса голозёрного: кущение, 1 узел, флаговый лист, выметывание метёлок.

Площадь листовой поверхности определялась по формуле:

$$S_n = a \cdot b \cdot 0,67 \quad (1)$$

где: a – наибольшая ширина листа, м;

b – длина листа, м;

S_n – площадь одного листа, м²;

0,67 – коэффициент, отражающий конфигурацию листа.

Фотосинтетический потенциал (ФП) и чистая продуктивность фотосинтеза (ЧПФ) определялись по следующим формулам:

$$\Phi\Pi = \frac{L_1 + L_2}{2 \times 1000} \times T \quad (2)$$

где: L_1 и L_2 – площадь листовой поверхности в определяемые стадии развития, тыс.м²/га;

T – длительность межфазного периода, дней;

1000 – коэффициент перевода;

$$\text{ЧПФ} = \frac{(U_{c2} - U_{c1}) \times 100}{0,5(L_1 + L_2) \times T} \quad (3)$$

где: U_{c1} и U_{c2} – сухая биомасса растений в изучаемые стадии развития, ц/га;

100 – коэффициент перевода [5, 6].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Важным показателем фотосинтетической продуктивности посевов, оказывающим влияние на накопление биомассы и урожайность является площадь листовой поверхности [4]. Обеспечение развития в посевах оптимальной площади листьев имеет большое значение. А.А. Ничипорович считает, что для получения высоких урожаев необходимо заботиться о том, чтобы площадь листьев в посевах по возможности быстро достигала размеров в 40-50 тыс. м²/га и достаточно долго сохранялась в активном состоянии на этом уровне, а затем уменьшалась за счёт постепенного отмирания листьев [7, 8].

Результаты исследований показали, что ассимиляционная поверхность листьев голозёрного овса варьировала в достаточно широких пределах в зависимости от этапов онтогенеза и условий минерального питания (табл. 1).

Таблица 1

**Площадь листовой поверхности голозёрного овса
по фазам развития, тыс. м²/га**

Вариант	Фазы развития			
	Кущение	Первый узел	Флаговый лист	Вымётывание
Без удобрений	6,92	22,12	30,77	19,71
N ₆₀ P ₄₀	11,28	33,08	46,39	27,61
N ₆₀ P ₄₀ K ₆₀	11,75	33,95	45,82	27,43
N ₆₀ P ₄₀ K ₁₂₀	11,82	34,33	46,54	28,15
N ₆₀ K ₉₀	11,72	32,91	43,88	25,13
N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀	12,02	34,00	47,65	28,04
N ₆₀ P ₈₀ K ₉₀	11,92	34,13	47,61	28,27
P ₄₀ K ₉₀	9,24	26,17	34,88	22,55
N ₆₀ P ₄₀ K ₉₀	11,98	34,30	47,24	28,23
N ₆₀₊₃₀ P ₄₀ K ₉₀	11,46 (10,86*)	34,29 (39,22*)	50,86 (59,31*)	30,93 (34,18*)
N ₉₀ P ₄₀ K ₉₀ *	12,59*	42,12*	54,96*	31,47*
N ₆₀₊₃₀₊₂₀ P ₄₀ K ₉₀	11,61	34,55	51,25	31,93
N ₆₀₊₃₀₊₂₀ P ₄₀ K ₉₀ +Cu+Mn+фунгицид	11,93	34,41	51,57	33,28

* – среднее за 2008-2009 гг.

Максимальная площадь листовой поверхности формировалась к фазе флагового листа культуры и составила от 30,77 тыс. м²/га в варианте без удобрений до 51,57 тыс. м²/га в варианте N₆₀₊₃₀₊₂₀P₄₀K₉₀+Cu+Mn+фунгицид. К фазе вымётывания метёлки из-за отмирания листьев нижних ярусов фотосинтезирующая поверхность несколько снижалась, но оставалась ещё на достаточно высоком уровне 19,71-33,28 тыс. м²/га.

Наименьшие значения данного показателя по всем фазам роста и развития отмечались в варианте без удобрений. Внесение фосфора и калия повысило площадь листьев на 2,32 тыс. м²/га в фазу кущения, на 4,05 тыс. м²/га в фазу 1

узла, на 4,11 тыс. м²/га в фазу флагового листа и на 2,84 тыс. м²/га в фазу вымётывания метёлки по отношению к варианту без удобрений.

Наиболее существенное влияние на интенсивность ростовых процессов оказали азотные удобрения. Применение азота в дозе N₆₀ на фоне P₄₀K₉₀ увеличило площадь листовой поверхности в среднем за три года по отношению к фону на 25-35% в зависимости от фазы развития. Дополнительная подкормка азотными удобрениями в дозе 30 кг/га д.в. по первому узлу повысила фотосинтезирующую поверхность листьев на 3,62 тыс. м²/га в фазу флагового листа и на 2,7 тыс. м²/га в фазу вымётывания метёлки по сравнению с вариантом N₆₀P₄₀K₉₀. Более длительное функционирование листового аппарата в опыте отмечено в варианте N₆₀₊₃₀₊₂₀P₄₀K₉₀ + Cu + Mn + фунгицид, что, в конечном итоге, обеспечило получение наибольшей урожайности зерна – 48,5 ц/га.

В среднем за 2008-2009 гг. в период кущение – первый узел наибольшей площадью листьев – 12,59*–42,12* тыс. м²/га характеризовался вариант с разовым внесением N₉₀, однако во второй половине вегетации (флаговый лист – вымётывание) преимущество в величине фотосинтезирующей поверхности имел вариант с дробным внесением такой же дозы азота (N₆₀₊₃₀P₄₀K₉₀).

Применение возрастающих доз фосфора на фоне азотных и калийных удобрений не вызывало увеличения листовой поверхности по фазам развития растений. Повышение дозы калия на фоне азотных и фосфорных удобрений также не имело чётко выраженной зависимости размеров листьев от количества внесённых калийных удобрений.

При изучении взаимосвязей между урожайностью зерна голозёрного овса и фотосинтезирующей поверхностью листьев выявлена тесная корреляционная зависимость. Степень сопряжённости этих двух величин увеличивается от фазы кущения к фазе вымётывания. (табл. 2).

Таблица 2

Корреляционная связь площади листьев с урожайностью зерна

Фаза развития	Уравнение регрессии	Коэффициент корреляции, r
Кущение	$y=3,9963x - 7,2366$	0,82±0,18
Первый узел	$y=1,6563x - 16,319$	0,88±0,15
Флаговый лист	$y=1,144x - 14,64$	0,98±0,06
Вымётывание метёлки	$y=1,9525x - 16,642$	0,99±0,04

В первой половине вегетации коэффициенты корреляции составляют 0,82-0,88. В этот период листья работают на свой рост, а также рост стеблей и корней, чтобы обеспечить необходимое минеральное питание и водоснабжение. Затем продукты фотосинтеза главным образом используются на рост репродуктивных и запасующих органов. В фазу флагового листа уже 96% варьирования урожайности обуславливается величиной площади листьев, а к вымётыванию метёлки 98%. Это говорит о ведущей фотосинтетической роли листьев, что в конечном итоге обуславливает рост урожайности.

Для характеристики фотосинтетической мощности посевов за межфазовый или за весь вегетационный период в практике чаще всего используют значение фотосинтетического потенциала – суммы ежедневных показателей площади листьев на гектар посева [5]. Длительностью функционирования фотосинтетического аппарата определяется продуктивность посевов. ФП посева тесно коррелирует как с биологической, так и с хозяйственной продуктивностью растений [9].

В течение вегетации голозёрного овса величина фотосинтетического потенциала была наибольшей в период первый узел – флаговый лист, и составляла 0,36-0,58 млн. м²/га в сутки, а наименьшей в период от флагового листа до вымётывания – 0,15-0,25 млн. м²/га в сутки (табл. 3).

Значение ФП в значительной степени определялось действием азотных удобрений. В начальный период роста и развития (кущение – первый узел) в варианте N₆₀P₄₀K₉₀ в среднем за 2008-2009 гг. он составил 0,38* млн. м²/га в сутки. С увеличением разовой дозы минерального азота до 90 кг/га значение ФП возросло до 0,41* млн. м²/га в сутки.

Отмечено, что при дробном внесении азотных удобрений N₆₀₊₃₀ фотосинтетический потенциал был выше чем при предпосевном N₉₀, и составил, в среднем за два года, 0,69* млн. м²/га в сутки в период первый узел – флаговый лист, и 0,28* млн. м²/га в сутки от фазы флаглиста до фазы вымётывания.

При применении различных доз калийных удобрений значение фотосинтетического потенциала увеличивалось по межфазным периодам на 0,01 млн. м²/га в сутки, либо не изменялось по сравнению с фоновым вариантом. Внесение возрастающих доз фосфора увеличивало ФП на 0,01-0,03 млн. м²/га в сутки в зависимости от межфазного периода.

В варианте с наибольшей урожайностью в опыте (N₆₀₊₃₀₊₂₀P₄₀K₉₀+Cu+Mn+фунгицид) фотосинтетический потенциал составил 0,32 млн. м²/га в сутки в период кущение – первый узел, 0,58 млн. м²/га в сутки в период первый узел – флаговый лист, 0,25 млн. м²/га в сутки в период флаговый лист – вымётывание.

Таблица 3

**Фотосинтетический потенциал листьев голозёрного овса,
млн. м²/га в сутки**

Вариант	Межфазный период		
	Кущение – первый узел	Первый узел – флаговый лист	Флаговый лист – вымётывание
Без удобрений	0,20	0,36	0,15
N ₆₀ P ₄₀	0,30	0,54	0,22
N ₆₀ P ₄₀ K ₆₀	0,31	0,54	0,22
N ₆₀ P ₄₀ K ₁₂₀	0,31	0,55	0,22
N ₆₀ K ₉₀	0,30	0,52	0,21
N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀	0,31	0,55	0,23
N ₆₀ P ₈₀ K ₉₀	0,31	0,55	0,23
P ₄₀ K ₉₀	0,24	0,41	0,17
N ₆₀ P ₄₀ K ₉₀	0,32 (0,38*)	0,55 (0,66*)	0,23 (0,26*)
N ₆₀₊₃₀ P ₄₀ K ₉₀	0,31 (0,39*)	0,58 (0,69*)	0,25 (0,28*)
N ₉₀ P ₄₀ K ₉₀	0,41*	0,68*	0,26*
N ₆₀₊₃₀₊₂₀ P ₄₀ K ₉₀	0,32	0,58	0,25
N ₆₀₊₃₀₊₂₀ P ₄₀ K ₉₀ +Cu+Mn+фунгицид	0,32	0,58	0,25

* – среднее за 2008-2009 гг.

Рассматривая характер накопления биомассы растениями голозёрного овса, следует отметить, что масса сухого вещества возрастала от фазы кущения к фазе вымётывания по всем вариантам опыта (табл.4). Применение минеральных удобрений оказывало положительное влияние на ростовые процессы и способствовало более интенсивному накоплению биомассы по всем фазам развития

Таблица 4

Динамика накопления биомассы растениями голозёрного овса в течение вегетации, ц/га сухого вещества

Вариант	Фазы развития				Урожайность зерна, ц/га
	Кущение	Первый узел	Флаговый лист	Вымётывание	
Без удобрений	3,6	11,6	25,8	30,0	22,4
N ₆₀ P ₄₀	5,4	18,9	43,1	51,7	36,7
N ₆₀ P ₄₀ K ₆₀	5,6	19,0	43,4	52,1	37,0
N ₆₀ P ₄₀ K ₁₂₀	5,6	19,8	44,2	52,7	37,9
N ₆₀ K ₉₀	5,1	18,6	39,8	46,4	34,4
N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀	5,8	19,4	44,5	53,9	39,5
N ₆₀ P ₈₀ K ₉₀	5,6	19,4	45,1	54,6	38,7
P ₄₀ K ₉₀	4,4	14,5	31,1	37,3	25,2
N ₆₀ P ₄₀ K ₉₀	5,7	19,5	44,8	54,9	38,0
N ₆₀₊₃₀ P ₄₀ K ₉₀	5,5 (5,0*)	19,7 (21,9*)	47,3 (52,1*)	57,7 (64,2*)	44,2 (48,0*)
N ₉₀ P ₄₀ K ₉₀	5,5*	25,2*	55,4*	68,6*	45,9*
N ₆₀₊₃₀₊₂₀ P ₄₀ K ₉₀	5,6	19,5	47,2	57,9	44,7
N ₆₀₊₃₀₊₂₀ P ₄₀ K ₉₀ +Cu+Mn+ фунгицид	5,7 (5,2*)	20,1 (22,5*)	47,3 (52,5*)	58,6 (65,9*)	48,5 (54,4*)

* – среднее за 2008-2009 гг.

Азотные удобрения оказывали преобладающее влияние на накопление сухой биомассы растений. Внесение 60 кг/га азота совместно с P₄₀K₉₀ обеспечило по фазам развития дополнительное получение 1,3-17,6 ц/га сухого вещества по сравнению с фоном. Подкормка азотными удобрениями в дозе 30 кг/га д.в. в стадию первого узла, повысила накопление биомассы к фазе флагового листа на 2,4-2,5 ц/га сухого вещества по сравнению с вариантом N₆₀P₄₀K₉₀. Максимальное значение показателя (58,6 ц/га) в среднем за три года исследований выявлено в фазу вымётывания метёлки в варианте с дробным внесением азота N₆₀₊₃₀₊₂₀ на фоне P₄₀K₉₀ в сочетании с микроэлементами и фунгицидом.

В среднем за 2008-2009 гг. с увеличением разовой дозы азота под предпосевную культивацию до 90 кг/га на фоне P₄₀K₉₀ общая биомасса растений увеличивалась по всем фазам развития и к вымётыванию метёлки достигала наибольшего значения (68,6* ц/га сухого вещества). При этом урожайность зерна в этом варианте была получена на 2,1 ц/га ниже, чем в варианте с дробным внесением азотных удобрений (N₆₀₊₃₀P₄₀K₉₀).

Среднюю эффективность фотосинтеза листьев в посеве характеризует чистая продуктивность фотосинтеза. Однако она слабо коррелирует с конечной урожайностью, и не включает фотосинтез не листовых органов, который в определённых условиях может вносить вклад в формирование урожая. ЧПФ представляет собой комплексный параметр, определяемый интенсивностью не только фотосинтеза, но и дыхания [9].

Внесение минеральных удобрений увеличивало показатель ЧПФ (табл. 5). Его минимальные значения отмечались в варианте без удобрений на протяжении всего вегетационного периода. В варианте с наибольшей урожайностью $N_{60+30+20}P_{40}K_{90}+Cu+Mn+$ фунгицид чистая продуктивность фотосинтеза составляла 4,44 г/м² в сутки (стадия кущение – первый узел), 5,48 г/м² в сутки (первый узел – флаговый лист), 3,64 г/м² в сутки (флаговый лист – вымётывание).

Таблица 5

Чистая продуктивность фотосинтеза растений голозёрного овса в зависимости от условий питания, г/м² в сутки

Вариант	Межфазный период		
	Кущение – первый узел	1 узел – флаговый лист	Флаговый лист – вымётывание
Б/уд. (контроль)	3,95	4,67	2,37
$N_{60}P_{40}$	4,37	5,21	3,21
$N_{60}P_{40}K_{60}$	4,26	5,25	3,25
$N_{60}P_{40}K_{120}$	4,43	5,22	3,06
$N_{60}K_{90}$	4,27	4,76	2,45
$N_{60}P_{60}K_{90}$	4,24	5,33	3,51
$N_{60}P_{80}K_{90}$	4,36	5,43	3,63
$P_{40}K_{90}$	4,13	4,70	2,96
$N_{60}P_{40}K_{90}$	4,33	5,37	3,93
$N_{60+30}P_{40}K_{90}$	4,44 (4,35*)	5,67 (5,31*)	3,50 (3,25*)
$N_{90}P_{40}K_{90}$	4,65*	5,35*	3,85*
$N_{60+30+20}P_{40}K_{90}$	4,35	5,61	3,42
$N_{60+30+20}P_{40}K_{90}+Cu+Mn+$ фунгицид	4,44 (4,41*)	5,48 (5,24*)	3,64 (3,38*)

* – среднее за 2008-2009 гг.

ВЫВОДЫ

1. Минеральные удобрения оказывали положительное влияние на фотосинтетическую продуктивность растений голозёрного овса. Наиболее мощное развитие листового аппарата отмечалось в варианте $N_{60+30+20}P_{40}K_{90}+Cu+Mn+$ фунгицид в фазу флагового листа (51,57 тыс. м²/га). Такая площадь листьев обеспечила получение урожайности зерна голозёрного овса на уровне 48,5 ц/га, при значениях фотосинтетического потенциала 0,32 млн. м²/га в сутки (фаза куще-

ния – первый узел), 0,58 млн. м²/га в сутки (от стадии первого узла до флагового листа) и 0,25 млн. м²/га в сутки (в период флаглист – вымётывание).

2. Максимальное накопление сухой биомассы в опыте (5,5 – 68,6 ц/га) и значения показателя чистой продуктивности фотосинтеза (5,35 г/м² в сутки) установлены в варианте с разовой дозой азота N₉₀P₄₀K₉₀, это способствовало в большей мере нарастанию побочной продукции, чем урожайности зерна голозёрного овса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лапа, В.В. Минеральные удобрения и пути повышения их эффективности / В.В. Лапа, В.Н. Босак. – Минск: БелНИИПА, 2002. – 184 с.;
2. Лапа, В.В. Эффективность систем применения удобрений в звене севооборота на дерново-подзолистой супесчаной почве / В.В. Лапа [и др.] // Почвенные исследования и применение удобрений: межведомствен. тематич. сб. / Бел. науч.-исслед. институт почвоведения и агрохимии. – Минск, 2001. – Вып.26. – С. 13 – 17;
3. Лебедев, С.И. Физиология растений / С.И. Лебедев. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Колос, 1982. – 463 с.;
4. Кулаковская, Т.Н. Оптимизация агрохимической системы почвенного питания растений / Т.Н. Кулаковская; сост. Л.П. Детковская. – М.: Агропромиздат, 1990. – С.31 – 34;
5. Методическое руководство по исследованию смешанных агрофитоценозов / Н.А. Ламан [и др.]; под ред. Н.А. Ламана. – Минск: Навука і тэхніка, 1996. – 101 с.;
6. Фёдоров, Н.И. Фотосинтез и урожай растений: учеб. пособие / Н.И. Фёдоров. – Саратов, 1987. – 97 с.;
7. Ничипорович, А.А. Фотосинтез и теория получения высоких урожаев / А.А. Ничипорович. – М.: Изд-во АН СССР, 1956. – С. 22;
8. Фотосинтетическая деятельность растений в посевах (Методы и задачи учёта в связи с формированием урожаев) / А.А. Ничипорович [и др.]; АН СССР, Ин-т физиологии растений им. К.А. Тимирязева; отв. ред. А.Л. Курсанов. – Москва, 1961 – 136 с.;
9. Физиология и биохимия сельскохозяйственных растений / Н.П. Третьяков [и др.]; под общ. ред. Н.П. Третьякова. – М.: Колос, 1998. – 639 с.;

PHOTOSYNTHETIC PRODUCTIVITY OF OATS (*AVENA NUDA*) PLANTS DEPENDING MINERAL FERTILIZERS DOZES

V.V. Lapa, M.S. Lopuch

Summary

The studies influence of conditions of mineral nutrition on photosynthetic productivity of plants oats (*Avena nuda*) are resulted in this paper at cultivation on Podzoluvesol loamy sand soil. The system of fertilizer N₆₀₊₃₀₊₂₀P₄₀K₉₀ + Cu + Mn + fungicide provided the maximum area in experience of a sheet surface – 51,57 thousand in m²/ha is formed to a phase sheet last, and value of photosynthetic potential in this phase reaches 0,58 million in m²/ha a day has been found. Active escalating

Почвоведение и агрохимия № 2(43) 2009

of a sheet surface, and also its longer preservation in a functional condition (33,28 thousand in m²/ha to a phase tasseling of panicle) has ensured productivity of grain 48,2 c/ha.

Application of mineral fertilizers promoted more intensive accumulation of a biomass on all phases of development and led to increase in an indicator of pure efficiency of photosynthesis on the variants with fertilizers.

Поступила 28 октября 2009 г.