

## ЗЕМЛЯРОБСТВА І РАСЛІНАВОДСТВА

УДК 631.524.84:633.17:631.82

В. В. ЛАПА, М. М. ЛОМОНОС

### ИНТЕНСИВНОСТЬ ПРОДУКЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ РАСТЕНИЙ ПРОСА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УСЛОВИЙ МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ

*Институт почвоведения и агрохимии*

*(Поступила в редакцию 09.01.2009)*

Фотосинтез – основной процесс жизнедеятельности растений, тесно связанный с минеральным питанием и потреблением воды.

Основной результат фотосинтеза – аккумуляция солнечной энергии в виде органического вещества. Зеленые растения осуществляют процесс обновления биосферы Земли, включающий регенерацию кислорода, связывание углекислого газа, образование органической массы, пополнение энергетического потенциала земли.

Оптимизация условий минерального питания и влагообеспеченности растений обеспечивает лучшее использование продуктов фотосинтеза на процессы роста и развития растений, формирование урожая [1].

Вносимые питательные элементы активно используются растениями для биосинтеза органического вещества, формирования ассимиляционного аппарата, активации ферментативных систем, повышения устойчивости растений к неблагоприятным условиям внешней среды, что способствует повышению урожайности и улучшению качества получаемой продукции [2, 3].

Просо как представитель культур типа  $C_4$  обладает очень высокой продуктивностью и повышенной устойчивостью к воздействию неблагоприятных условий среды обитания и представляет несомненный интерес в изучении фотосинтетической деятельности [4–6].

Цель настоящей работы – изучить особенности развития продукционного процесса растений проса в зависимости от условий минерального питания.

**Материалы и методы исследований.** Исследования проводили в 2005–2007 гг. в РУП «Экспериментальная база им. Суворова» Узденского района Минской области. Почва опытного участка дерново-подзолистая, оглеенная внизу, супесчаная, развивающаяся на рыхлой водно-ледниковой супеси, подстилаемой с глубины 29 см рыхлым песком, а с глубины 115 см легким моренным суглинком. Пахотный горизонт характеризовался следующими агрохимическими показателями:  $pH_{KCl}$  6,3–6,5, содержание гумуса 2,40–2,56%,  $P_2O_5$  – 206–241 мг/кг,  $K_2O$  – 162–192 мг/кг,  $N_{усв}$  – 27,2–32,4 мг/кг,  $N-NO_3$  – 6,9–8,5 мг/кг,  $N-NH_4$  – 12,8–14,1 мг/кг почвы. Схема опыта предусматривала различное сочетание доз минеральных удобрений под просо сорта Галинка.

Повторность вариантов в опыте четырехкратная. Общая площадь делянки – 39 м<sup>2</sup>, учетная – 22 м<sup>2</sup>. Предшественник – овес. Минеральные удобрения (карбамид, аммофос, хлористый калий) вносили согласно схеме опыта под предпосевную обработку почвы. В варианте с дробным внесением азота подкормку проводили в фазу кущения карбамидом в дозе 30 кг/га д.в.

Обработка почвы включала зяблевую вспашку, осеннюю и две весенние культивации, предпосевную обработку.

Посев проса проводили сплошным рядовым способом сеялкой СПУ-4 с нормой высева 4 млн всхожих семян на 1 га во II декаде мая.

Уход за посевами включал 2-кратную обработку гербицидами: дезормон, 0,5 л/га + лонтрел–300, 200 г/га в фазу 2–3 листочков проса; диален супер, 0,7 л/га + лонтрел–300, 500 г/га через 2 недели после первой обработки.

Уборку проводили комбайном «Сампо-500» в фазу полной спелости зерна. Данные урожайности приводили к 14%-ной влажности и 100%-ной чистоте.

Растительные образцы отбирали в фазу кущения, выхода в трубку, выметывания метелки, полной спелости для определения площади листовой поверхности, накопления биомассы, расчета фотосинтетического потенциала и чистой продуктивности фотосинтеза, определения содержания и потребления основных элементов питания (азота, фосфора, калия).

Статистическую обработку результатов исследований проводили при помощи дисперсионного и корреляционно-регрессионного анализа по Б. А. Доспехову [7].

Показатели фотосинтетической деятельности посевов (площадь листьев, фотосинтетический потенциал, чистая продуктивность фотосинтеза, накопление биомассы) определяли по общепринятым методикам. Площадь листьев вычисляли по формуле

$$S_{\text{л}} = 0,67ab,$$

где  $a$  – наибольшая ширина листа, м;  $b$  – длина листа, м;  $S_{\text{л}}$  – площадь одного листа, м<sup>2</sup>; 0,67 – коэффициент, отражающий конфигурацию листа.

Фотосинтетический потенциал определяли следующим образом:

$$\text{ФП} = \frac{Л_1 + Л_2}{2 \cdot 1000} T,$$

где  $Л_1, Л_2$  – площадь листовой поверхности в определяемые стадии развития, тыс. м<sup>2</sup>/га;  $T$  – длительность межфазного периода, дни; 1000 – коэффициент перевода.

Чистую продуктивность фотосинтеза рассчитывали по выражению

$$\text{ЧПФ} = \frac{У_{с1} - У_{с2}}{0,5(Л_1 + Л_2)T} 100,$$

где  $У_{с1}$  и  $У_{с2}$  – биомасса растений в изучаемые стадии развития, ц/га; 100 – коэффициент [3].

**Результаты и их обсуждение.** Основной показатель, характеризующий состояние посевов с точки зрения их фотосинтетической деятельности, – развитие поверхности листьев (площадь листовой поверхности по фазам роста и развития растений), – оказывает непосредственное влияние на накопление биомассы растений в процессе вегетации [8].

На основании проведенных нами исследований было установлено, что основным фактором, определяющим нарастание листовой поверхности, является уровень минерального питания растений (рис. 1). Так, применение фосфорных и калийных удобрений способствовало увеличению листовой поверхности на 3,73–8,15 тыс. м<sup>2</sup>/га в зависимости от фазы роста и развития растений проса по сравнению с вариантом без удобрений. Однако наибольшее влияние на образование листовой поверхности проса оказали азотные удобрения. Внесение  $N_{60}$  под предпосевную культивацию обеспечивало увеличение данного показателя в зависимости от фазы роста и развития на 0,77–9,16 тыс. м<sup>2</sup>/га по отношению к  $P_{40}K_{90}$ . Увеличение дозы азота до  $N_{120}$ , из которых 30 кг/га д. в. применяли в подкормку, способствовало увеличению площади листьев на 17,8% в фазу выхода в трубку, на 9,4% в фазу выметывания метелок и на 35,3% в фазу полной спелости.

Максимальная площадь листовой поверхности в исследуемых вариантах была отмечена при основном внесении  $N_{90}P_{40}K_{90}$  и применении  $N_{30}$  в виде подкормки в фазу кущения культуры и составляла 59,31 тыс. м<sup>2</sup>/га в фазу выметывания метелок.

Если проследить изменение площади листьев по фазам роста и развития растений проса, то наиболее значительный прирост данного показателя наблюдался от фазы кущения до фазы выметывания метелок. Так, в варианте без удобрений площадь листовой поверхности увеличилась на 30,80 тыс. м<sup>2</sup>/га, при внесении  $P_{40}K_{90}$  – на 35,22 тыс. м<sup>2</sup>/га, а при применении  $N_{90+30}P_{40}K_{90}$  – на 46,74 тыс. м<sup>2</sup>/га. К фазе полной спелости по всем изучаемым вариантам отмечено сокращение

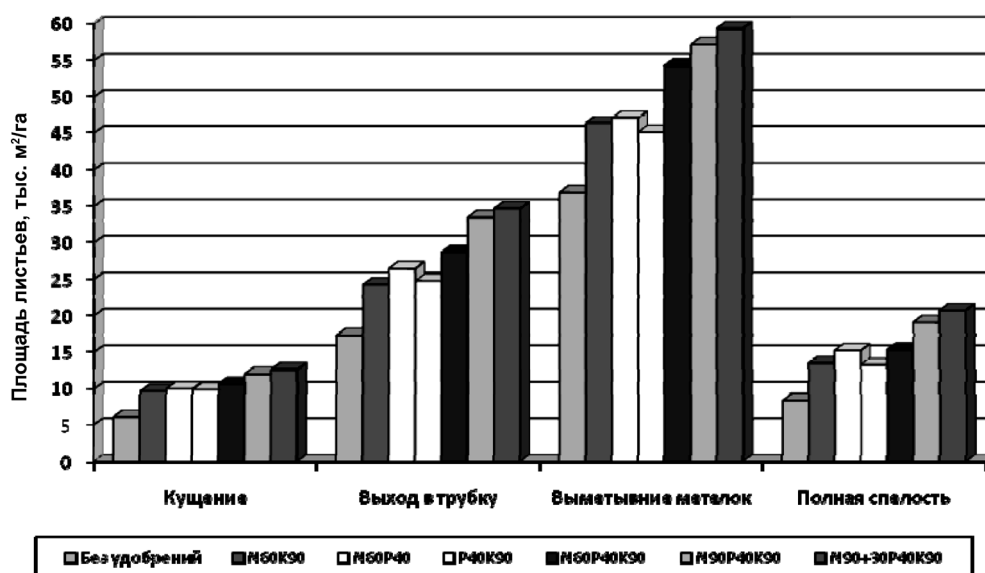


Рис. 1. Динамика накопления листовой поверхности растениями проса в зависимости от уровня минерального питания

лиственной поверхности в 2,9–4,4 раза, хотя в вариантах с внесением азотных удобрений данный показатель был несколько ниже: листовая поверхность уменьшалась в 2,9–3,5 раза.

Некоторые ученые считают, что урожайность зерна находится в тесной зависимости от размеров и продуктивности листовой поверхности. Для формирования высоких урожаев зерновых культур она должна довольно быстро достигать максимума, сохраняться какое-то время на данном уровне, а затем отмереть с одновременной передачей пластических веществ в репродуктивные органы. По мнению А. А. Ничипоровича, посевами, обладающими оптимальной площадью листьев и хорошей динамикой ее развития и формирования, считаются такие, в которых листовая поверхность быстро вырастает до 40–50 тыс. м<sup>2</sup>/га, затем долго сохраняется в активном состоянии на этом уровне и в конце вегетационного периода значительно уменьшается или полностью отмирает [9]. В наших исследованиях данная зависимость подтверждается достоверной корреляционной связью урожайности зерна с площадью листьев растений проса. В фазу выхода в трубку уравнение имело следующий вид:  $Y = -0,4878S^2 + 1,3658S + 7,2647$ ,  $R^2 = 0,97$ . В фазу выметывания метелок  $Y = -0,0088S^2 + 1,4685S - 14,4458$ ,  $R^2 = 0,97$ . В вышеуказанных случаях примерно 97% варьирования урожайности зерна проса определяется величиной площади листьев растений проса.

Минеральные удобрения способствовали более интенсивному накоплению сухой биомассы растений по всем фазам роста и развития. При этом от фазы кущения до фазы полной спелости происходило увеличение общей биомассы посевов. Помимо этого с развитием растений возрастали различия в накоплении биомассы по изучаемым вариантам.

Однако наибольшее влияние на накопление сухой биомассы растений, как и на формирование листовой поверхности, оказали азотные удобрения.

Нами установлена корреляционно-регрессионная зависимость накопления сухой биомассы растениями проса в основные фазы роста и развития растений в зависимости от доз минерального азота (рис. 2).

Здесь установлено достоверное повышение урожайности сухой биомассы при внесении возрастающих доз азотных удобрений, а средний прирост на каждые 10 кг/га азота в фазу выхода в трубку составил 1,2 ц/га сухого вещества, выметывания метелок – 1,8, полной спелости – 2,1 ц/га сухого вещества.

Наиболее полно действие удобрений на формирование урожая проса можно оценить, учитывая размеры фотосинтетического потенциала (ФП) растений. Данный показатель характеризует фотосинтетическую мощность посевов за весь вегетационный период или за отдельный промежуток времени.

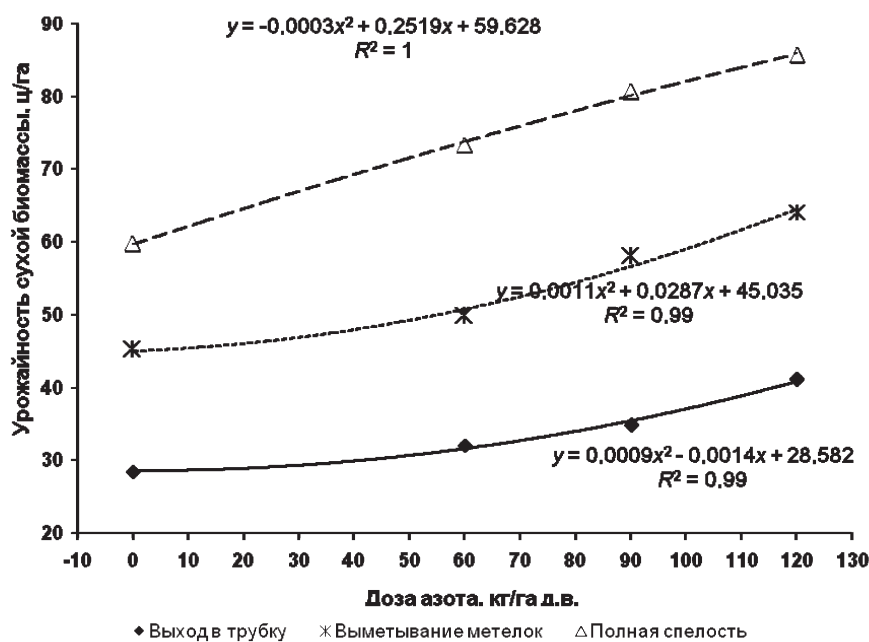


Рис. 2. Зависимость урожайности сухой биомассы по фазам роста и развития растений проса в зависимости от дозы минерального азота

Фотосинтетический потенциал посевов проса тесно связан как с площадью листовой поверхности, так и с продолжительностью тех или иных фенологических фаз: чем более продолжительный период времени листовая поверхность растений остается в функциональном состоянии, тем выше темпы продукционных процессов в растении. По мнению А. А. Ничипоровича, ФП должен составлять не менее 2 млн м<sup>2</sup>/га в сутки в расчете на каждые 100 дней фактической вегетации [9].

Фотосинтетический потенциал посевов проса напрямую зависит от применения минеральных удобрений и продолжительности межфазного периода (табл. 1). Так, применение P<sub>40</sub>K<sub>90</sub> способствовало увеличению фотосинтетического потенциала на 29,7–54,5% по всем фазам роста и развития по сравнению с контрольным вариантом. Возрастающие дозы азота увеличили данный показатель на 0,02–0,28 млн м<sup>2</sup>/га в сутки. Максимального значения фотосинтетического потенциала (1,11 млн м<sup>2</sup>/га в сутки) посевы проса достигали в межфазный период выметывание метелок – полная спелость на фоне применения N<sub>90+30</sub>P<sub>40</sub>K<sub>90</sub>, где 30 кг/га д. в. применяли в качестве подкормки в фазу кущения.

Таблица 1. Фотосинтетический потенциал и урожайность зерна проса, млн м<sup>2</sup>/га в сутки

Вариант опыта	Межфазный период			Урожайность зерна, ц/га
	кущение – выход в трубку	выход в трубку – выметывание метелок	выметывание метелок – полная спелость	
Без удобрений	0,11	0,26	0,64	27,8
N <sub>60</sub> K <sub>90</sub>	0,16	0,34	0,89	35,0
N <sub>60</sub> P <sub>40</sub>	0,18	0,36	0,90	35,2
P <sub>40</sub> K <sub>90</sub>	0,17	0,34	0,83	34,0
N <sub>60</sub> P <sub>40</sub> K <sub>90</sub>	0,19	0,40	0,97	38,5
N <sub>90</sub> P <sub>40</sub> K <sub>90</sub>	0,22	0,44	1,04	42,3
N <sub>90+30</sub> P <sub>40</sub> K <sub>90</sub>	0,23	0,46	1,11	41,2
НСР <sub>0,05</sub>				1,5

Различная величина фотосинтетического потенциала была отмечена по фазам роста и развития растений. Минимальное значение фотосинтетического потенциала наблюдалось в межфазный период кущение – выход в трубку (0,11–0,23 млн м<sup>2</sup>/га в сутки), а наибольшее – в период выметывание метелок – полная спелость (0,64–1,11 млн м<sup>2</sup>/га в сутки).

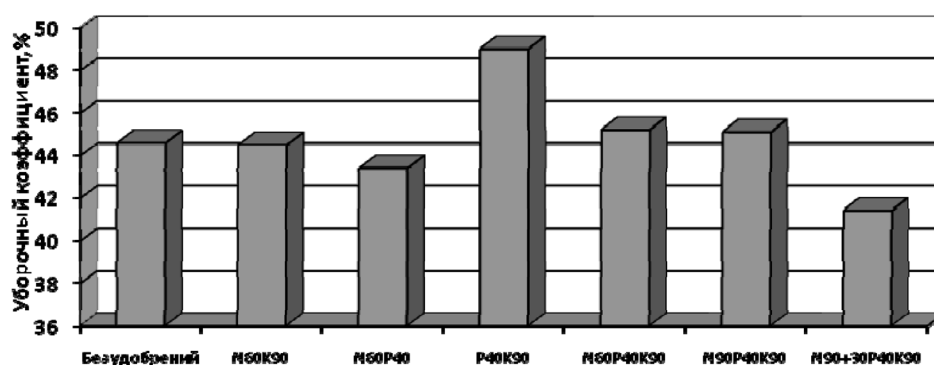


Рис. 3. Коэффициент хозяйственной эффективности фотосинтеза

По результатам многих исследований установлено, что рост урожайности зерновых культур обусловлен преимущественно увеличением доли фотосинтетического потенциала, приходящейся на период колошение – спелость [2]. В наших исследованиях отмечается такая же закономерность, а оптимальным вариантом по величине фотосинтетического потенциала и полученной урожайности зерна проса является внесение  $N_{90}P_{40}K_{90}$ . Значение ФП для данного варианта в период выметывания метелок – полная спелость составляет 1,04 млн  $m^2/ga$  в сутки при урожайности зерна проса 42,3 ц/га.

Результирующим показателем продукционного процесса является чистая продуктивность фотосинтеза, которая позволяет учесть не только темпы образования органического вещества на единицу листовой поверхности, но и потери органического вещества в результате процесса дыхания, отмирания и опадания части листьев в течение вегетации. ЧПФ непосредственно определяет уровень получаемых урожаев и тесно коррелирует с количеством органического вещества, образованного в отдельных вариантах опыта [10].

В нашем случае на 64% варьирование урожайности зерна проса определялось различиями величины чистой продуктивности фотосинтеза:  $Y = -0,4878 \text{ ЧПФ}^2 + 1,3658 \text{ ЧПФ} + 7,2647$ ,  $R^2 = 0,64$ .

В настоящее время рядом исследований установлено, что важным преимуществом считается достоверное повышение коэффициента хозяйственной эффективности, который характеризует распределение пластических веществ между хозяйственной частью урожая и общей биомассой.

Коэффициент хозяйственной эффективности фотосинтеза был рассчитан следующим образом:

$$K_{\text{хоз}} = (З/НБ)100\%,$$

где  $K_{\text{хоз}}$  – коэффициент хозяйственной эффективности фотосинтеза (уборочный коэффициент), %; З – урожай сухого вещества зерна, ц/га; НБ – урожайность сухого вещества надземной биомассы (зерна и соломы), ц/га [11].

Коэффициент хозяйственной эффективности фотосинтеза по исследуемым вариантам (рис. 3) оказался в некоторой степени выравненным и колебался от 43,5 до 48,9%. В оптимальном по урожайности варианте  $N_{90}P_{40}K_{90}$  коэффициент хозяйственной эффективности фотосинтеза составил 45,2%.

Поглощение растениями элементов питания находится в определенной взаимосвязи с фотосинтетической деятельностью растений.

По результатам корреляционно-регрессионного анализа установлено, что с ростом листовой поверхности увеличивается потребление основных элементов питания по фазам роста и развития растений проса (табл. 2).

Таблица 2. Корреляционная связь площади листьев с потреблением элементов питания

Элемент питания	Уравнение регрессии	Коэффициент детерминации, $R^2$
<i>Фаза выхода в трубку</i>		
Азот	$Y = 0,035x^2 + 1,2875x + 4,36$	0,96
Фосфор	$y = -0,0112x^2 + 1,643x - 16,505$	0,91
Калий	$y = -0,0086x^2 + 5,67x - 33,131$	0,93
<i>Фаза выметывания метелок</i>		
Азот	$y = 0,0821x^2 - 5,5146x + 162,61$	0,91
Фосфор	$y = 0,0126x^2 - 0,4635x + 19,907$	0,91
Калий	$y = 0,0595x^2 - 1,1561x + 88,071$	0,94

Потребление растениями элементов питания изменяется в течение периода вегетации, что в первую очередь объясняется изменением протекания биохимических процессов в растениях [12–14].

Оценивая динамику поступления макроэлементов в растения проса по основным фазам роста и развития, можно увидеть, что их потребление растениями определяется дозами внесения минеральных удобрений (рис. 4).

В среднем за три года исследований к фазе кушения потребление азота в контрольном варианте без внесения удобрений не превышало 26,4 кг/га, фосфора – 8,2 и калия – 42,8 кг/га. На фоне  $P_{40}K_{90}$  потребление азота возрастало на 12,3 кг/га, фосфора – на 6,8, калия – на 30,9 кг/га, а при внесении полного минерального удобрения  $P_{40}K_{90}+N_{60}$  – на 15,5, 6,8 и 30,2 кг/га соответственно.

Увеличение дозы внесения азотных удобрений приводило к дальнейшему нарастанию потребления элементов питания растениями проса. Наиболее высокий уровень потребления просом азота, фосфора и калия по всем фазам роста и развития растений был отмечен в варианте  $P_{40}K_{90}+N_{90+30}$ .

Потребление макроэлементов просом на протяжении вегетации было неравномерным. Так, если в варианте  $P_{40}K_{90}+N_{60}$  в среднем за три года исследований потребление элементов питания

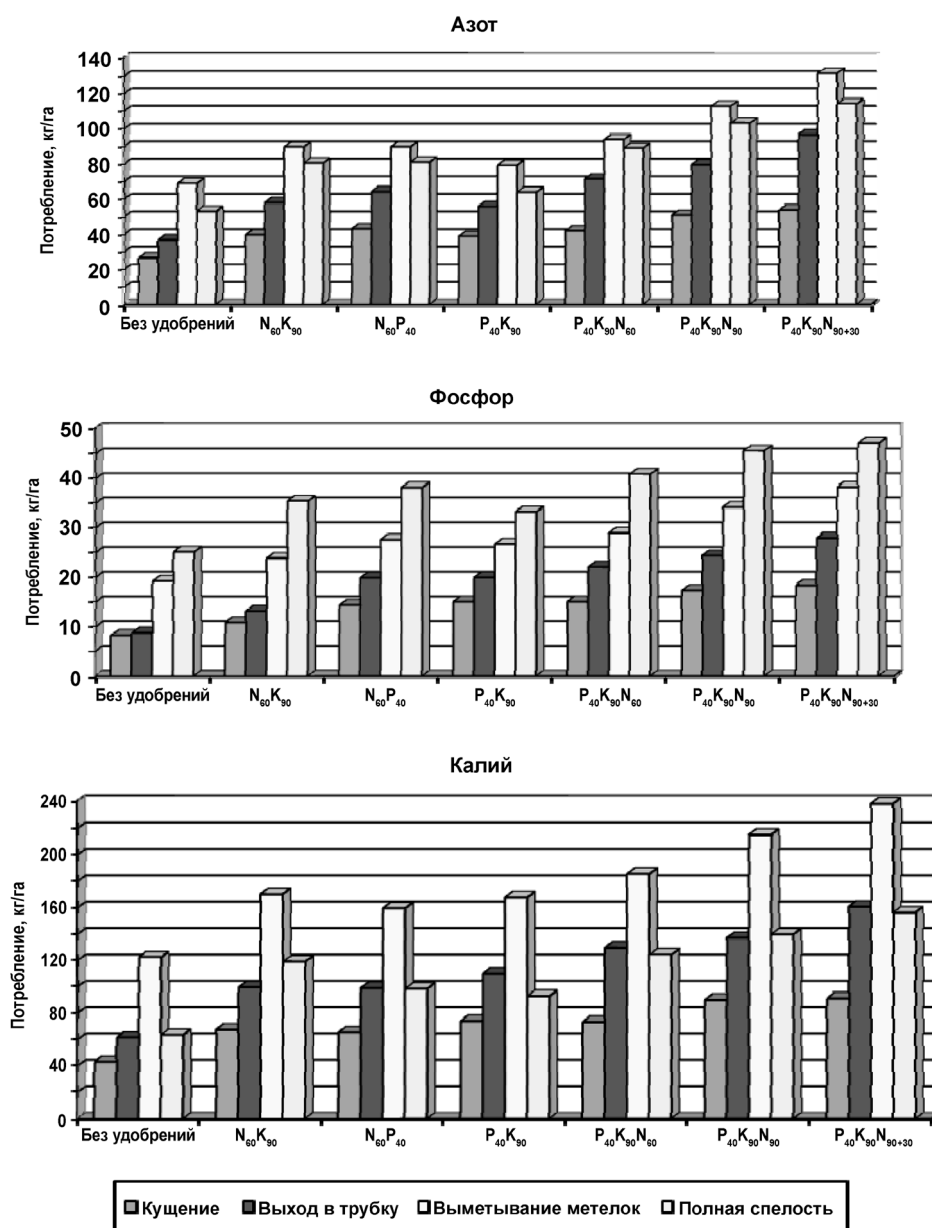


Рис. 4. Динамика потребления основных элементов питания растениями проса, среднее за 2005–2007 гг.



к фазе кущения составило: азота – 41,9, фосфора – 15,0, калия – 73 кг/га, то к фазе выхода в трубку значения данных показателей увеличились на 70,2, 47,3 и 77,4% соответственно. К фазе выметывания метелок данные показатели увеличились на 31,6, 30,8 и 43,2% соответственно по отношению к фазе выхода в трубку. В фазу полной спелости происходило снижение на 5,1 потребления азота и на 61,0 кг/га калия. Потребление фосфора, наоборот, возросло на 12,0 кг/га.

Таким образом, нами установлена тесная корреляционно-регрессионная зависимость урожайности зерна проса от потребления основных элементов питания (табл. 3).

Т а б л и ц а 3. **Корреляционная зависимость урожайности зерна проса от потребления основных элементов питания**

Элемент питания	Уравнение регрессии	Коэффициент детерминации, $R^2$
Азот	$y = -0,0046x^2 + 1,1403x - 28,7022$	0,95
Фосфор	$y = -0,0283x^2 + 2,3609x - 6,9497$	0,91
Калий	$y = -0,0007x^2 + 0,3906x - 9,2684$	0,95

### Выводы

1. Применение минеральных удобрений положительно влияло на фотосинтетическую деятельность растений проса, возделываемого на дерново-подзолистой супесчаной почве. Оптимальная площадь листовой поверхности в фазу выметывания метелок 57,19 тыс. м<sup>2</sup>/га формировалась при внесении N<sub>90</sub>P<sub>40</sub>K<sub>90</sub>. Такая площадь листовой поверхности обеспечила накопление 80,6 ц/га сухого вещества к фазе полной спелости и конечную урожайность зерна 42,3 ц/га. При этом значение фотосинтетического потенциала в данном варианте в межфазный период выметывания метелок – полная спелость составил 1,04 млн м<sup>2</sup>/га в сутки, а чистая продуктивность фотосинтеза – 1,90 г/м<sup>2</sup> в сутки.

2. Максимально высокий уровень потребления азота, фосфора и калия по всем фазам роста и развития растений проса установлен в варианте с применением P<sub>40</sub>K<sub>90</sub>+N<sub>90+30</sub>: по азоту – 53,8–131,5, фосфору – 18,3–25,0, калию – 91,1–237,9 кг/га.

### Литература

1. Физиология и биохимия сельскохозяйственных растений / Н. П. Третьяков [и др.]; под общ. ред. Н. П. Третьякова. – М.: Колос, 1998. – 639 с.
2. К у м а к о в, В. А. Биологические основы возделывания яровой пшеницы по интенсивной технологии / В. А. Кумаков. – М.: Росагропромиздат, 1988. – 117 с.
3. Методическое руководство по исследованию смешанных агрофитоценозов / Н. А. Ламан [и др.]; под ред. Н. А. Ламана. – Минск: Навука і тэхніка, 1996. – 101 с.
4. C a r b e r r y, P. S. The grown and development of pearl millet as affected by fotoperiod / P. S. Carberry, L. C. Campbell // Field Crops Res. – 1985. – Vol. 11. – P. 207–218.
5. O n n i s h c L u n i c h c, L. Light – dependent uptake of private bumesophyll cloroplasts of a Cuplant (Panicum milliaceum L.) / L. Onnisch Lunichc, Kanai Ruzi // Plant and Cell Physiology. – 1987. – Vol. 28. – N 2. – P. 249–251.
6. Quantitative relationships for the dependence of growth rate of arable crops on their nitrogen content, dry weight and derail environment / E. A. N. Greenwood [et al.] // Plant and Soil. – 1996. – Vol. 91. – N 13. – P. 281–302.
7. Д о с п е х о в, Б. А. Методика полевого опыта / Б. А. Доспехов. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.
8. К у л а к о в с к а я, Т. Н. Оптимизация агрохимической системы почвенного питания растений / Т. Н. Кулаковская; сост. Л. П. Детковская. – М.: Агропромиздат, 1990. – С. 31–34.
9. Н и ч и п о р о в и ч, А. А. Фотосинтез и теория получения высоких урожаев / А. А. Ничипорович. – М.: Изд-во АН СССР, 1956. – С. 22.
10. К о л о м е й ч е н к о, В. В. Использование показателей продукционного процесса в земледелии, растениеводстве и селекции / В. В. Коломейченко // Земледелие. – 2007. – № 5. – С. 6–7.
11. Б о с а к, В. Н. Краткий нормативный агрохимический справочник / В. Н. Босак. – Минск, 2003. – 68 с.
12. Агрохимия: учебник / И. Р. Вильдфлуш [и др.]; под общ. ред. И. Р. Вильдфлуша. – 2-е изд. – Минск: Ураджай, 2001. – 488 с.
13. Ц е р л и н г, В. В. Агрохимические основы диагностики минерального питания сельскохозяйственных культур / В. В. Церлинг. – М.: Колос, 1978. – 213 с.
14. G r e e n w o o d, E. A. N. Nitrogen stress in plants / E. A. N. Greenwood // Adv. Agron. – 1976. – Vol. 28. – P. 1–35.

V. V. LAPA, M. M. LOMONOS

### INTENSITY OF PRODUCTIVE PROCESSES OF MILLET PLANTS DEPENDING ON THE MINERAL NUTRITION CONDITIONS

#### Summary

The application of mineral fertilizers in doze N<sub>90</sub>P<sub>40</sub>K<sub>90</sub> has ensured formation of a sheet surface in a phase tasseling of panicle – 57.19 thousand m<sup>2</sup>/ha and photosynthetic potential – 1.04 million m<sup>2</sup>/ha per day at final productivity of grain 42.3 c/ha.

The maximum high level of consumption of nitrogen, phosphorus and potassium at all phases of growth and development of plants of millet is established in the variant with application of N<sub>90+30</sub>P<sub>40</sub>K<sub>90</sub>.