

# Программирование урожайности озимой пшеницы в зависимости от почвенно-климатических условий и системы применения удобрений

Устименко Е.А., Есаулко А.Н.

Показано, что оптимизация питания растений азотом, фосфором и калием – это мощный фактор повышения урожайности и качества зерна при возделывании озимой пшеницы на черноземах выщелоченных Ставропольского края. Так, внесение минеральных удобрений в максимальной дозе (N126P80K72) способствовало росту урожайности зерна на 87-93%. Изученные методы расчета доз удобрений обеспечили получение планируемого уровня урожайности 4 т/га. Исходя из средней урожайности за 3 года, планируемые уровни урожайности 5.0 и 6.0 т/га не были достигнуты, но наибольшая точность программирования урожайности получена при расчете доз удобрений по методике В.В. Агеева.

**П**рограммирование урожайности сельскохозяйственных культур – это комплекс взаимосвязанных мероприятий, своевременное и качественное выполнение которых обеспечивает получение рассчитанного уровня урожайности заданного качества при одновременном повышении плодородия почвы и удовлетворении требований в области охраны окружающей среды (Есаулко и др., 2013). Задача программирования урожайности состоит в том, чтобы определить потенциальные возможности определенной культуры или сорта применительно к конкретным почвенно-климатическим условиям (Есаулко и Устименко, 2012). Такие данные можно получить при непосредственном проведении полевого эксперимента, но можно также использовать сортовые особенности, выявленные по результатам сортоиспытаний (Есаулко и др., 2012; Устименко, 2013).

Для апробации разработанных подходов к программированию урожайности озимой пшеницы в Учебно-опытном хозяйстве Ставропольского государственного аграрного университета в 2010-2012 гг. были проведены полевые опыты. Возделывался сорт озимой пшеницы Зустріч – среднеспелый (273-282 дня), среднерослый и устойчивый к полеганию. Это сорт степного экотипа, обладающий высокой экологической пластичностью, засухоустойчивостью и морозостойкостью. По качеству он относится к сильным пшеницам (содержание белка – 12.0-13.5%, клейковины – 27-28%).

Почва опытного участка – чернозем выщелоченный мощный тяжелосуглинистый. Реакция почвенного раствора близка к нейтральной. Величина  $pH_{KCl}$  в среднем составила 6.70. Почва характеризуется средней обеспеченностью гумусом (5.1-5.6%), а также подвижными формами фосфора (в среднем 22 мг  $P_2O_5$ /кг почвы) и калия (240-260 мг  $K_2O$ /кг почвы) по методу Мачигина. Предшественник – горох. Делянки размещались по методу рандомизированных повторений, повторность опыта – 3-х кратная. Общая площадь делянки составила 40 м<sup>2</sup> (10 м × 4 м), а учетная – 22 м<sup>2</sup>.

Расчет доз минеральных удобрений на планируемую урожайность озимой пшеницы 4.0, 5.0 и 6.0 т/га проводился по двум методикам. В соответствии с первым подходом, разработанным В.В. Агеевым (Агеев и Подколзин, 2006), дозы фосфорных и калийных удобрений рассчитывались следующим образом:

$$D = \frac{(B - BK_n)}{K_y} 100, \text{ где:}$$

D – доза  $P_2O_5$  и  $K_2O$ , кг/га;

B – вынос  $P_2O_5$  и  $K_2O$  с планируемым урожаем зерна с учетом побочной продукции, кг/га;

$K_n$  – коэффициент использования фосфора и калия из почвы от выноса с планируемым урожаем зерна с учетом побочной продукции (0.47-0.66 для фосфора и 0.58-0.70 для калия с учетом содержания в почвах подвижных форм фосфора и калия и планируемой урожайности);

$K_y$  – коэффициент использования фосфора и калия из удобрений (40 и 70% соответственно).

Дозы азотных удобрений рассчитывались по преобразованной формуле:

$$D = \frac{B_{(N)} - B_{(P_2O_5)} K_{n(P_2O_5)} K}{K_y} 100, \text{ где:}$$

K – отношение выноса N с планируемым урожаем зерна к выносу  $P_2O_5$  с планируемым урожаем зерна (с учетом побочной продукции);

$K_y$  – коэффициент использования азота из удобрений (70%).

Согласно второй методике, разработанной специалистами Ставропольского НИИСХ и ГЦАС «Ставропольский» (Петрова и др., 1987), дозы удобрений были рассчитаны по формуле:

$$D = UVK_k, \text{ где:}$$

U – планируемая урожайность зерна, ц/га;

V – вынос N,  $P_2O_5$  и  $K_2O$  с 1 ц планируемого урожая зерна с учетом побочной продукции, кг;

$K_k$  – коэффициент компенсации выноса элементов питания основной и побочной продукцией за счет удобрений (0.49-0.52 для азота, 1.10-1.36 для фосфора и 0.30-0.43 для калия в зависимости от планируемого уровня урожайности).

Кроме того, был включен контрольный вариант (без удобрений) и вариант со средне-рекомендованными дозами удобрений для данной почвенно-климатической зоны. Хлористый калий вносили под вспашку, аммофос – при посеве, аммиачную селитру – в ранневесеннюю подкормку.

Погодные условия в годы проведения исследований

| Годы               | Сумма осадков, мм |    |    |    |     |    |    |     |    |    |     |     | за год |
|--------------------|-------------------|----|----|----|-----|----|----|-----|----|----|-----|-----|--------|
|                    | по месяцам        |    |    |    |     |    |    |     |    |    |     |     |        |
|                    | VIII              | IX | X  | XI | XII | I  | II | III | IV | V  | VI  | VII |        |
| 2009-2010          | 85                | 70 | 13 | 68 | 21  | 53 | 36 | 68  | 25 | 94 | 22  | 70  | 625    |
| 2010-2011          | 5                 | 67 | 83 | 19 | 24  | 19 | 17 | 46  | 52 | 87 | 107 | 54  | 580    |
| 2011-2012          | 75                | 11 | 10 | 20 | 20  | 37 | 17 | 37  | 13 | 38 | 96  | 83  | 457    |
| Средне-многолетнее | 54                | 43 | 46 | 41 | 32  | 27 | 34 | 53  | 70 | 90 | 80  | 53  | 623    |

| Вариант опыта                                     | Методика расчета** | Планируемая урожайность, т/га | Количество продуктивных стеблей на 1 м, шт. | Число зерен в колосе, шт. | Масса зерна с колоса, г | Масса 1000 зерен, г |
|---|--------------------|-------------------------------|---|---------------------------|-------------------------|---------------------|
| Контроль  | -                  | -                             | 373   | 23                        | 0.98                    | 34.0                |
| N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>30</sub> * | -                  | -                             | 394   | 25                        | 0.97                    | 35.2                |
| N <sub>60</sub> P <sub>34</sub> K <sub>34</sub>   | 1                  | 4.0                           | 402   | 27                        | 1.04                    | 36.4                |
| N <sub>68</sub> P <sub>44</sub> K <sub>24</sub>   | 2                  |                               | 404   | 25                        | 1.00                    | 36.1                |
| N <sub>105</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>  | 1                  | 5.0                           | 403   | 26                        | 1.04                    | 36.7                |
| N <sub>90</sub> P <sub>67</sub> K <sub>40</sub>   | 2                  |                               | 425   | 28                        | 1.03                    | 37.1                |
| N <sub>126</sub> P <sub>80</sub> K <sub>72</sub>  | 1                  | 6.0                           | 432   | 28                        | 0.99                    | 37.2                |
| N <sub>110</sub> P <sub>82</sub> K <sub>51</sub>  | 2                  |                               | 431   | 30                        | 1.07                    | 37.5                |

\* Усредненная рекомендация для почвенно-климатической зоны.  
 \*\* 1 – по В.В. Агееву, 2 – согласно разработкам СНИИСХ и ГЦАС «Ставропольский».

| Вариант опыта                                    | Методика расчета | Планируемая урожайность, т/га | Урожайность, т/га |           |           |         | Клейковина, % | ИДК, ед. | Белок, % |
|--|------------------|-------------------------------|-------------------|-----------|-----------|---------|---------------|----------|----------|
|  |                  |                               | 2009-2010         | 2010-2011 | 2011-2012 | Среднее |               |          |          |
| Контроль   | -                | -                             | 3.06              | 3.12      | 2.63      | 2.94    | 17.1          | 80       | 10.5     |
| N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>30</sub>  | -                | -                             | 4.59              | 4.30      | 3.60      | 4.16    | 22.3          | 73       | 11.3     |
| N <sub>60</sub> P <sub>34</sub> K <sub>34</sub>  | 1                | 4.0                           | 3.82              | 4.15      | 3.72      | 3.90    | 23.7          | 75       | 11.0     |
| N <sub>68</sub> P <sub>44</sub> K <sub>24</sub>  | 2                |                               | 4.18              | 4.39      | 3.93      | 4.17    | 24.3          | 72       | 11.3     |
| N <sub>105</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> | 1                | 5.0                           | 5.22              | 4.63      | 4.34      | 4.73    | 25.5          | 72       | 11.5     |
| N <sub>90</sub> P <sub>67</sub> K <sub>40</sub>  | 2                |                               | 4.63              | 5.17      | 4.21      | 4.67    | 24.9          | 73       | 11.1     |
| N <sub>126</sub> P <sub>80</sub> K <sub>72</sub> | 1                | 6.0                           | 5.86              | 6.02      | 4.91      | 5.60    | 27.0          | 75       | 12.5     |
| N <sub>110</sub> P <sub>82</sub> K <sub>51</sub> | 2                |                               | 5.68              | 5.80      | 4.61      | 5.36    | 26.3          | 73       | 12.7     |
| НСР <sub>0.05</sub>                              | -                | -                             | 0.37              | 0.27      | 0.32      |         |               |          |          |

\* Усредненная рекомендация для почвенно-климатической зоны.  
 \*\* 1 – по В.В. Агееву, 2 – согласно разработкам СНИИСХ и ГЦАС «Ставропольский».  
 Для качественных показателей зерна даны средние значения за 3 года.

характеризовались неравномерным выпадением осадков (табл. 1). Годовая сумма осадков была ниже средне-многолетней величины за исключением 2009-2010 гг. В годы исследований наблюдался повышенный температурный режим – среднегодовая температура воздуха была на 1.1-1.4°C выше среднемноголетнего показателя. Наиболее благоприятные агрометеорологические условия для формирования урожая культуры сложились в 2010-2011 гг. При этом сумма осадков за август-июль была ниже среднемноголетних значений (на 7%), однако их более равномерное распределение способствовало оптимальной влагообеспеченности посевов и формированию наибольшей урожайности озимой пшеницы. Среднегодовая температура воздуха в 2010-2011 гг. оказалась на 1.4°C выше среднемноголетнего значения, достигнув 10.6°C. Крайне неблагоприятные погодные условия складывались в 2011-2012 гг. Не-

равномерное распределение осадков в весенне-летний период оказало негативное влияние на формирование урожая озимой пшеницы в данном сезоне.

В табл. 2 представлены данные по влиянию изученных доз минеральных удобрений на структуру урожая озимой пшеницы – плотность продуктивного стеблестоя, массу зерна с колоса, число зерен в колосе и массу 1000 зерен в среднем за 3 года. Согласно полученным результатам, густота продуктивного стеблестоя изменялась в наибольшей степени (диапазон: 373-432 шт./м<sup>2</sup>) в зависимости от уровня минерального питания растений по сравнению с остальными показателями продуктивности озимой пшеницы. При внесении изученных доз минеральных удобрений отмечалось увеличение густоты продуктивных стеблей на 21-59 шт./м<sup>2</sup> по сравнению с естественным агрохимическим фоном. Наибольшая густота продуктивных сте-

блей (431-432 шт./м<sup>2</sup>) получена в вариантах опыта, где дозы удобрений рассчитывались на максимальную планируемую урожайность 6.0 т/га (варианты с внесением N126P80K72 и N110P82K51).

Применение минеральных удобрений способствовало увеличению числа зерен в колосе – разница с контролем составила 2-7 шт. Наибольшее число зерен в колосе (30 шт.) было сформировано в варианте с внесением N110P82K51. Применение всех изученных доз удобрений, за исключением среднерекомендованных для зоны (N60P60K30), также улучшало массу зерна с колоса. Разница по сравнению с контролем при этом составила от 1 до 9% в зависимости от расчетных доз удобрений. Аналогично озерненности колоса, наибольшая масса зерна с колоса (1.07 г) была получена в варианте с внесением N110P82K51. Применение всех изученных доз удобрений повышало и массу 1000 зе-

рен. Однако в меньшей степени этому способствовала усредненная для зоны система применения удобрений (N60P60K30) – масса 1000 зерен в данном варианте возросла лишь на 4%, тогда как в остальных вариантах данный показатель вырос на 6-10% по сравнению с контролем. Наиболее полновесное зерно было сформировано при внесении N110P82K51. Масса 1000 зерен в данном варианте была максимальной (37.5 г).

Изученные системы применения удобрений достоверно повышали урожайность озимой пшеницы во все годы исследований (табл. 3). Так, прибавка урожайности относительно контроля в 2009-2010 гг. составила 0.76-2.80 т/га (25-92%), в 2010-2011 гг. – 1.03-2.90 т/га (33-93%), а в 2011-2012 гг. – 0.97-2.28 т/га (37-87%). Таким образом, следует отметить, что минеральное питание растений азотом, фосфором и калием имеет огромное значение для формирования урожайности озимой пшеницы.

При оптимизации минерального питания озимой пшеницы, исходя из планируемого уровня урожайности 4.0 т/га, нами установлено, что все изученные методы расчета доз минеральных удобрений показывают довольно высокую точность программирования урожайности. Отмечается более высокий уровень продуктивности культуры (4.17 т/га в среднем за 3 года) при внесении N68P44K24, то есть при использовании 2-ой методики. Аналогичная урожайность (в среднем 4.16 т/га) была достигнута и при внесении среднерекомендованных для зоны доз удобрений (N60P60K30). При расчете доз удобрений по 1-ой методике (N60P34K34) урожайность была ниже на 6% (в среднем 3.90 т/га).

При планировании более высокого уровня урожайности (5.0 т/га) оба метода расчета доз удобрений также достаточно хорошо себя зарекомендовали, так как наблюдалось незначительное отклонение от программируемой урожайности в сторону уменьшения. Несколько лучшая точность программирования урожайности получена при расчете доз удобрений по методике В.В. Агеева.

Однако при планируемой урожайности 6.0 т/га были выявлены достаточно существенные различия в достигнутом уровне урожайности при использовании разных методов расчета доз удобрений. Использование методики В.В. Агеева (N126P80K72) позволило получить 5.60 т/га зерна в среднем за 3 года. При 2-ом подходе к расчету доз удобрений (N110P82K51) урожайность была несколько ниже и составила в среднем 5.36 т/га, то есть разница с планируемым уровнем урожайности достигла 11%. В тоже время статистически значимых различий в урожайности по годам между данными двумя вариантами опытов не наблюдалось. Следует отметить,



Рис. 1. Состояние посевов озимой пшеницы в 2009 г. (4 декабря).



Рис. 2. Снопы растений с 4-х опытных делянок в 2010 г. (пробная площадка для определения биологического урожая – 0.25м<sup>2</sup>). Варианты опыта (слева направо): контроль, усредненная рекомендация для зоны, N126P80K72 и N110P82K51

что в наиболее благоприятном по агрометеорологическим условиям 2010-2011 гг. при использовании обоих методов расчета доз удобрений урожайность озимой пшеницы была наиболее близка к уровню 6.0 т/га.

Повышение качества зерна озимой пшеницы имеет исключительно важное значение. Представленные в табл. 3 результаты свидетельствуют о том, что применение всех изученных доз удобрений способствовало увеличению содержания клейковины в зерне – на 5.2-9.9% в среднем за 3 года исследований по сравнению с контрольным вариантом. При этом наибольшее содержание клейковины (27.0 и 26.3%) было получено в вариантах с внесением максимальных доз удобрений (соответственно N126P80K72 и N110P82K51). Применение всех изученных доз минеральных удобрений также способствовало получению клейковины хорошего качества – показания прибора ИДК составили 72-75 ед. Достоверное повышение содержания белка (на 2.0-2.2%) было получено только при внесении удобрений в максимальных дозах (N126P80K72 и N110P82K51).

Рекомендуемые производству системы удобрений с внесением N110P82K51 и N126P80K72, то есть при расчете на планируемую урожай-

Таблица 4. Экономическая эффективность производства озимой пшеницы (в среднем за 3 года).

| Показатель                                | Вариант опыта |  |  |
|---|---------------|--|--|
|   | Контроль      | N <sub>126</sub> P <sub>80</sub> K <sub>72</sub> | N <sub>110</sub> P <sub>82</sub> K <sub>51</sub> |
| 1. Цена 1 т зерна, руб.                   | 8200          | 9000   | 9000   |
| 2. Денежная выручка с 1 га, руб.          | 24108         | 50400  | 48240  |
| 5. Производственные затраты на 1 га, руб. | 13250         | 22410  | 20880  |
| 6. Себестоимость 1 т зерна, руб.          | 4506          | 4001   | 3895   |
| 7. Прибыль с 1 га, руб.                   | 10858         | 27990  | 27360  |
| 8. Уровень рентабельности, %              | 82            | 125  | 131  |

ность 6 т/га, экономически наиболее выгодны (табл. 4). Уровень рентабельности в указанных вариантах опытов составил соответственно 125 и 131% в среднем за 3 года.

Таким образом, оптимизация минерального питания растений азотом, фосфором и калием – это мощный фактор повышения урожайности и качества зерна озимой пшеницы при возделывании на черноземах выщелоченных Ставропольского края. Изученные методы расчета доз удобрений обеспечили получение программируемого уровня урожайности озимой пшеницы 4 т/га. Исходя из средней урожайности за 3 года, планируемые уровни урожайности 5.0 и 6.0 т/га не были достигнуты, но наибольшая точность программирования урожайности получена при расчете доз удобрений по методике В.В. Агеева.

Есаулко А.Н. – доктор сельскохозяйственных наук, профессор.

Устименко Е.А. – аспирантка 3-го года обучения. e-mail: ustimenko\_elena\_26@mail.ru.

Кафедра агрохимии и физиологии растений ФГБОУ ВПО Ставропольского государственного аграрного университета (г. Ставрополь).

Авторы признательны региональному директору Международного института питания растений по Югу

и Востоку России В.В. Носову за помощь в подготовке статьи.

## Литература

- Есаулко А.Н., Голосной Е.В., Фурсова А.Ю., Устименко Е.А., Айсанов Т.С. и Донцов А.Ф. 2013. Влияние азотных подкормок различными формами удобрений на урожайность озимой пшеницы на черноземе выщелоченном. В кн.: Применение современных ресурсосберегающих инновационных технологий в АПК. С. 5-8.
- Есаулко А.Н. и Устименко Е.А. 2012. Инновации в науке, 15: 103-107.
- Есаулко А.Н., Устименко Е.А. и Гуруева А.Ю. 2012. Эффективность программирования урожайности озимой пшеницы на черноземе выщелоченном Ставропольской возвышенности. В кн.: Сборник научных трудов Sworld по материалам международной научно-практической конференции. Т. 46. № 4. С. 95-98.
- Устименко Е.А. 2013. Оптимизация применения доз и способов внесения азотных удобрений под озимые культуры в Ставропольском крае. В кн.: Молодые ученые СКФО для АПК региона и России. С. 41-43.
- Агеев В.В. и Подколзин А.И. 2006. Агрохимия (Южно-Российский аспект): Учебник для студентов вузов. Т. 2 (Под ред. В.В. Агеева). Ставрополь: Ставропольский ГАУ. 480 с.
- Петрова Л.Н., Чернов А.Я., Шустикова Е.П., Подколзин А.И., Карандашов Л.Г. и Булавинов А.В. 1987. Методические указания для расчета потребности и распределения фондов минеральных удобрений в колхозах и совхозах Ставропольского края. Ставрополь. 20 С.

## Итоги конкурса научных работ студентов и аспирантов – 2013

Подведены итоги очередного ежегодного конкурса научных работ студентов и аспирантов Scholar Award-2013. Победителем от региона Восточная Европа и Центральная Азия стала Устименко Елена Александровна, аспирант Ставропольского государственного аграрного университета.

В 2006 г. Елена поступила на агрономический факультет Ставропольского государственного аграрного университета, который окончила с отличием в 2011 г. В том же году поступила в аспирантуру на кафедру агрохимии и физиологии растений агрономического факультета и одновременно стала ассистентом кафедры. Тема ее диссертационной работы: «Программирование урожайности озимой пшеницы в зоне умеренного увлажнения на основе оптимизации применения минеральных удобрений». Научный руководитель – проф. кафедры агрохимии и физиологии растений Есаулко А.Н. В работе сравниваются региональные научные подходы к расчету доз минеральных удобрений под озимую пшеницу.

Елена – автор и соавтор 27 научных публикаций, в том числе книги «Физиология и биохимия растений: рабочая тетрадь» (2013 г.). Имеет два акта внедрения результатов научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ. Прошла курсы повышения квалификации в Кубанском и Саратовском государственном аграрном университете, стажировалась в ГЦАС «Ставропольский» и ВНИИ агрохимии.

Елена – участник многих международных научно-практических конференций среди студентов, аспирантов и молодых ученых, включая электронные конференции, всероссийских и международных конкурсов среди молодых специалистов. Имеет несколько грантов на проведение научно-исследовательских работ.



В рамках общественной работы Елена отвечает за патриотическое воспитание студентов агрономического факультета и участвует в волонтерском движении университета.

Главная ее цель на ближайшую перспективу – защита кандидатской диссертации, а затем – продолжение научных исследований по минеральному питанию растений, изучение зарубежного опыта и активное распространение современных агрохимических знаний среди сельхозпроизводителей края.