УДК 631.315:629.315.783:525

Т.Н. Болотова, канд. экон. наук
Е.Н. Лушникова
Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет.

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ФУНКЦИИ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР И СЕВООБОРОТ

Постановка проблемы. Одна из возможностей повысить урожайность сельскохозяйственных культур и не нарушать экологию окружающей среды – это правильное чередование сельскохозяйственных культур в севообороте.

Обычно в Украине севооборотный цикл многолетний (5-6 лет) и окончательное решение о его структуре принимается на основе обработки экспериментальных данных на базе 3-4 циклов. Современные агротехнологии, которые существуют в передовых развитых странах, например в США, позволяют значительно сократить число сельскохозяйственных культур в севообороте и существенно сократить сроки для принятия решений, подобрав оптимальное их чередование с точки зрения биохимических и агрохимических процессов происходящих в системе “растение + окружающая среда”.

Технологический и алгоритмический инструментарий этих технологий - это агроэкономическая система “cropping system”, которая позволяет определить как производственные функции сельскохозяйственных культур, так и их изменения в результате воздействия окружающей среды на физиологическое состояние растений [1-5]. Физиологическое состояние растений – основной индикатор “здоровья растения“, отображающий генетическую совместимость растения с предшественником в условиях реального поля сельскохозяйственного назначения.

Поэтому одной из актуальных задач в растениеводстве Украины является внедрение агроэкономической системы “cropping system” в практику.

Анализ последних исследований и публикаций. В работах [1-5] был разработан новый эффективный технологический и алгоритмический инструментарий определения производственных функции зерновых культур в реальных полевых условиях органически связанный со существующими технология производства зерна озимой пшеницы и ярового ячменя. Основой, объединяющей технологический и

алгоритмический инструментарий в единую систему, являются установленные связи многофакторной функции реакции растений на внешние условия с ее геометрическим отображением в NPK-пространстве.

Формулирование цели статьи. Методом математического моделирования продемонстрировать эффективность использования производственных функций зерновых культур для подбора предшественников в севообороте с учетом их экономической выгодности.

Изложение основного материала исследования. В работах [1-5] на базе экспериментальных данных были определены трехфакторные производственные функции для ряда сортов озимой пшеницы и ярового ячменя.

Предложен метод математического моделирования для подбора предшественников для двух сортов озимой пшеницы “Харьковская-81“ и “Крыжинка“ на базе трехфакторных производственных функций.

Трехфакторные производственные функции озимой пшеницы “Харьковская-81“ в погодных условиях 1979 г. и 1980 г.(Харьковская область) были определены в работах [1,3]:

$$Y(N,P,K)_{1979LT} = 23{,}431 + 15{,}51N - 7{,}226N^2 + 5{,}96P - 3{,}881P^2 - \\ - 4{,}565K + 1{,}933K^2 - 1{,}344NP + 2{,}73NK + 2{,}92PK \quad (1)$$

$$Y(N,P,K)_{1980LT} = 33{,}437 - 0{,}414N - 0{,}502N^2 + 4{,}358P - 0{,}963P^2 + \\ + 9{,}815K - 3{,}175K^2 - 2{,}5NP - 1{,}976NK - 3{,}05PK \quad (2)$$

Производственные функции озимой пшеницы “Крыжинка“ в погодных условиях 2011 г.(Львовская область) были определены в работе [4]:

$$Y(N,P,K)_{2011LT} = 35.62 + 26.554N - 12.485N^2 + 14.7P - \\ - 8.77P^2 - 12.08K + 6.48K^2 - 4.278NP + 1.01NK - 0.754PK \quad (3)$$

Производственные функции озимой пшеницы “Харьковская-81“ $Y(N,P,K)_{1979LT}$, $Y(N,P,K)_{1980LT}$ и “Крыжинка” $Y(N,P,K)_{2011LT}$ были получены при основной обработке почвы способом LT – отвальная вспашка на 22-25 см.

Проведенный экономический анализ агротехнологий производства зерна озимой пшеницы и ярового ячменя на базе трехфакторных производственных функций показал, что при существующих ценах на удобрения и зерно экономически оправдано, как правило, использование одного вида удобрений [3-5].

Такая экономическая ситуация значительно упрощает процесс математического моделирования в подборе предшественников в

севообороте.

Было показано [3,4], что с экономической точке зрения выгодно подкормку озимых пшениц “Харьковская-81” урожая 1979 г. и “Крыжинка“ урожая 2011г. проводить только азотными удобрениями, а подкормку озимой пшеницы “Харьковская-81” урожая 1980 г. только калийными удобрениями.

На рис. 1 приведены результаты моделирования на основе производственной функции озимой пшеницы “Харьковская-81” $Y(N,P=0,K)_{1979LT} = = Y(N,K)_{1979LT}$ (формула 1) для двух полей с разными предшественниками: первый из которых мало выносит калий (кривая 1) и второй, который выносит много калия (кривая 2).

Из рис.1. видно, что обедненная почва по обменному калию позволяет получить значительно большую величину урожая, чем почва содержащая больше обменного калия.

Из зависимостей, приведенных на рис.1, следует, что экономическую эффективность определяют обнаруженные два эффекта.

Первый эффект. Увеличение урожая озимой пшеницы “Харьковская-81” на величину ΔY_{1979}:

$$\Delta Y_{1979} = \max Y(N,K=-1)_{1979LT} - \max Y(N,K=0)_{1979LT} = 3{,}83 \text{ц/га},$$

где $\max Y(N,K=0)_{1979LT}$ (точка А) и $\max Y(N,K=-1)_{1979LT}$ (точка В). Эта разность составляет 12,06 % от величины урожая $\max Y(N,K=0)_{1979LT}$=31,75 ц/га.

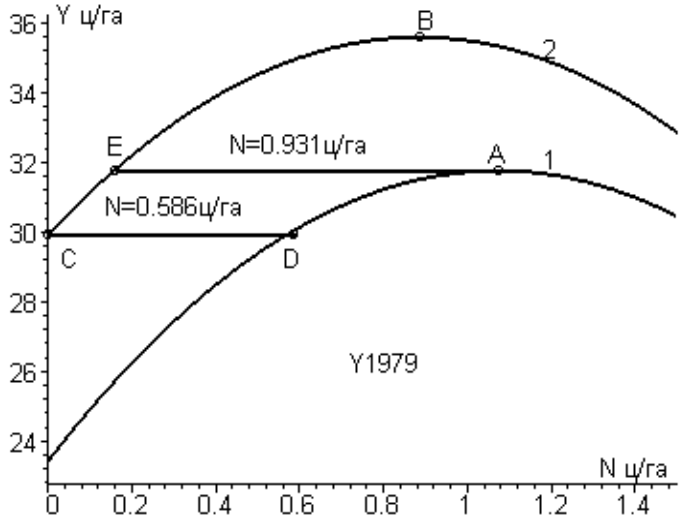
Второй эффект. Смещение максимума урожайность в область меньших доз азотных д.в. ΔN=(1,073-0,884) = 0,189ц/га, что приводит к смещению максимума функции прибыли на такую же величину ΔN=(0,676-0,487)ц/га, а, следовательно, и к экономии средств на закупку удобрений.

Первый и второй эффект значительно увеличивают получаемую прибыль:

$\Delta W_{1979LT} = \max W(N,K=-1)_{1979LT} - \max W(N,K=0)_{1979LT}$ =4905,24-4144,33= 760,91грн/га, что составляет 18,63% от величины $\max W(N,K=0)_{1979LT}$.

Из рис.1 видно, что обедненная почва на 1ц/га по калию, может обеспечить урожай 29,93ц/га без внесения удобрений (точка С), что эквивалентно обогащению ее азотными д.в. на величину равную 0,586ц/га (точка D). В этом случае максимум урожая 31,75ц/га (точка А)

достигается внесением азотного д.в. равного 0,142 ц/га (точка Е). Прибыль, получаемая на обедненной почве на 1ц/га по калию, равная 4639 грн/га больше, чем прибыль получаемая на обогащенной почве по калию при внесении азотного д.в равного 0,676ц/га.



Кривая 1 – зависимость производственной функции $Y(N,K=0)_{1979LT}$ от количества азотного д. в.;

Кривая 2 – зависимость производственной функции $Y(N,K=-1)_{1979LT}$ от количества азотного д. в. при уменьшенной величине обменного калия в почве предшественником.

Рис. 1. Зависимости производственных функций $Y(N,K=K_0)_{1979LT}$ озимой пшеницы "Харьковская-81" урожая 1979г. от количества азотного д. в. при фиксированных значениях обменного калия в почве К=0 и К=-1,0 ц/га

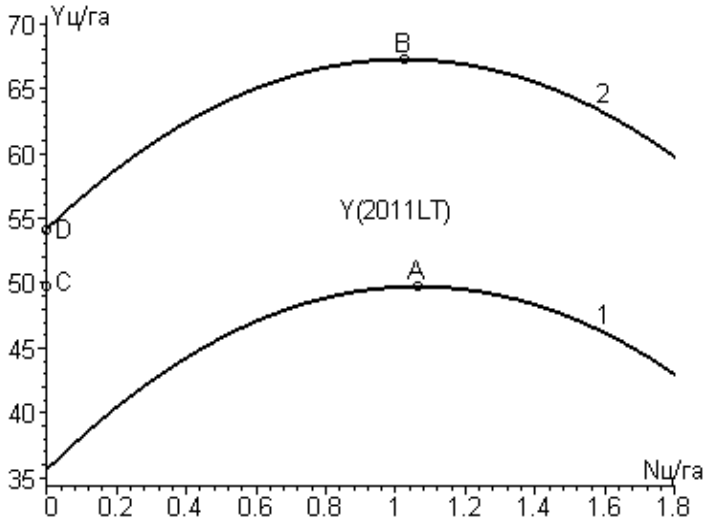
Максимальные значения функции прибыли определялись из стандартно- го выражения, которое для рассматриваемого случая имеет вид[6]:

$$W = P_Y Y(N,K) - P_N N - P_K K \qquad (4)$$

где P_Y – цена реализации продукции и P_i – стоимости азотного и калийного д.в. соответственно. Стоимость действующего вещества P_i определяется по формуле:

$$P_i = P_{F_i}/\alpha_i \qquad (5)$$

где P_{F_i} – стоимость удобрения, которое содержит i-ое действующее вещество, α_i – доля i-го действующего вещества в удобрении F_i.



Кривая 1- зависимость производственной функции $Y(N,K=0)_{2011LT}$ от количества азотного д. в.;

Кривая-2- зависимость производственной функции $Y(N,K=-1)_{2011LT}$ от количества азотного д. в. при уменьшенной величине обменного калия в почве предшественником.

Рис. 2. Зависимости производственных функций $Y(N,K=K_0)_{2011LT}$ озимой пшеницы "Крыжинка" урожая 2011г. от количества азотного д. в. при фиксированных значениях обменного калия в почве К=0 и К=-1,0 ц/га

При расчете величин P_i были использованы данные сметы расходов фермерского хозяйства "Восход А" (Шевченковский район, Харьковская область) за 2012г. на производство зерна озимой пшеницы. Цена реализации зерна пшеницы P_Y=155грн/ц, цена аммиачнойселитры $P_{F_{a.c}}$ = 320 грн/ц и цена калия хлористого $P_{F_{kcl}}$ = 520грн/ц. Доли д. в., согласно паспорту, в указанных удобрениях, следующие: $\alpha_{a.c}$=0,36 и α_{kcl}=0,6.

На рис. 2 приведены результаты моделирования на основе производственной функции озимой пшеницы "Крыжинка" урожая 2011г. $Y(N,P,K)_{2011LT} = = Y(N,0,K)_{2011LT} = Y(N,K)_{2011LT}$ (формула 3) для двух полей с разными предшественниками: первый, из которых мало выносит калий (кривая 1) и второй, который выносит много калия (кривая 2).

Из рис.2. видно, что обедненная почва по обменному калию позволяет получить значительно большую величину урожая, чем почва содержащая больше обменного калия.

Из зависимостей, приведенных на рис.2, следует, что экономическую эффективность определяют обнаруженные два эффекта.

Первый эффект. Увеличение урожая озимой пшеницы “Крыжинка” на величину ΔY_{2011}:

$$\Delta Y_{2011} = \max Y(N, K=-1)_{2011LT} - \max Y(N, K=0)_{2011LT} = 17{,}51 \text{ц/га, что}$$

составляет 35,2% от величины урожая $\max Y(N, K=0)_{2011LT}$=49,74ц/га.

Второй эффект. Смещение максимума урожайность в область меньших доз азотных д.в. ΔN =(1,063-1,023) = 0,04ц/га, что приводит к экономии средств на закупку удобрений.

Первый и второй эффект значительно увеличивают получаемую прибыль:

$$\Delta W_{2011LT} = \max W(N, K=-1)_{2011LT} -$$

$\max W(N, K=0)_{2011LT}$=2749,47 грн/га, что составляет 40 % от величины

$$\max W(N, K=0)_{2011LT} = 6866{,}48 \text{ ц/га.}$$

На рис. 3. приведены результаты моделирования на основе производственной функции озимой пшеницы Харьковская-81 урожая 1980 г. (формула 2) для двух полей с разными предшественниками: первый, из которых мало выносит азота (кривая 1) и второй, который выносит много азота (кривая 2).

Из рис. 3 видно, что вынос азотного д.в. 1 ц/га предшественником позволяет получить величину урожая равную максимума 41,03 ц/га (точка А рис. 3) в обедненной почве при внесении калийного д.в. равного 0,846 ц/га (точка С рис. 3).

Из зависимостей, приведенных на рис.3, следует, что экономическую эффективность определяют обнаруженные два эффекта.

Первый эффект. Увеличение урожая озимой пшеницы “Харьковская-81” на величину ΔY_{1980}:

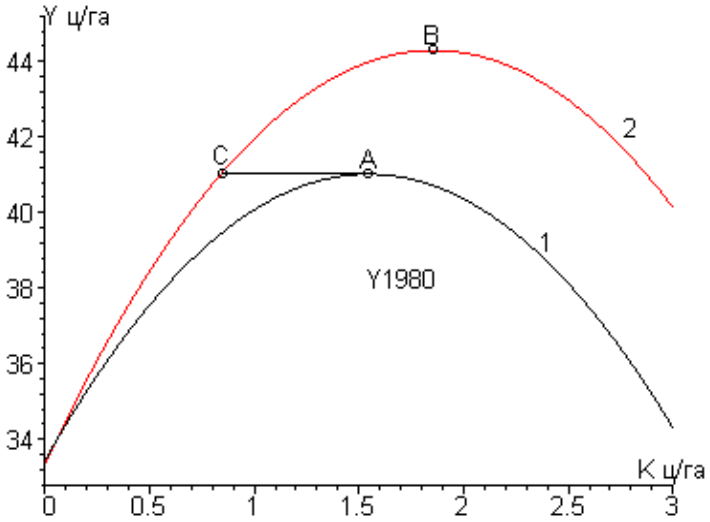
$$\Delta Y_{1980} = \max Y(N=-1, K)_{1980LT} - \max Y(N=0, K)_{1980LT} = 3{,}27 \text{ ц/га,}$$

где $\max Y(N=0, K)_{1980LT}$ = 41,03 ц/га (точка А, рис 3)и

$\max Y(N=-1, K)_{1980LT}$ =44,30 ц/га (точка В, рис. 3), что составляет 7,98 %

от величины урожая $\max Y(N, K=0)_{1980LT}$=41,03 ц/га.

Второй эффект. Смещение максимума урожайность в область больших доз азотных д.в. ΔN =(1,857-1,546) = 0,31 ц/га, что приводит к дополнительным расходам на закупку удобрений.



Кривая 1- зависимость производственной функции $Y(N=0,K)_{1980LT}$ от количества калийного д. в..

Кривая-2- зависимость производственной функции $Y(N=-1,K)_{1980LT}$ от количества калийного действующего вещества при уменьшенной величине калийного действующего вещества предшественником.

Рис. 3. Зависимости производственных функций $Y(N=N_0,K)_{1980LT}$ озимой пшеницы "Харьковской-81" урожая 1980г. от количества калийного д. в. при фиксированных значениях азотного д. в. N=0 и N=-1,0 ц/га

Первый эффект увеличивает получаемую прибыль, второй ее уменьшает:

$$\Delta W_{1980LT} = \max W(N=-1,K)_{1980LT} -$$

$\max W(N=0,K)_{1980LT}$ =237,43 грн/га, что составляет 4,4 % от величины

$$\max W(N=0,K)_{1980LT} = 5400{,}92 \text{ ц/га.}$$

Таким образом, из результатов моделирования с двумя разными производственными функциями озимой пшеницы "Харьковская-81" урожая 1979 г. и 1980 г., а также с производственной функции озимой пшеницы "Крыжинка" следует, что подбор предшественников в севообороте на основе производственных функций озимой пшеницы позволяет значительно повысить урожайность озимой пшеницы и как результат этого эффекта – повысить экономическую эффективность производства зерна.

Идея подбора предшественников на основе производственных функций в растениеводстве не нова. Агрономы и экономисты в США после Второй мировой войны интенсивно экспериментально изучали производственные функции различных сельскохозяйственных культур. В

результате этих исследований была создана агроэкономическая система “cropping system”, основа которой диагностика почвы растением. Идея диагностики почвы растением была сформулирована еще в конце 19 века Жоржем Вилльем – знаменитая восьмерка - N, P, K, NP, NK, PK, NPK и плюс контрольный участок без применения удобрений. Однако, усилиями аграриев США эта идея стала коммерческой.

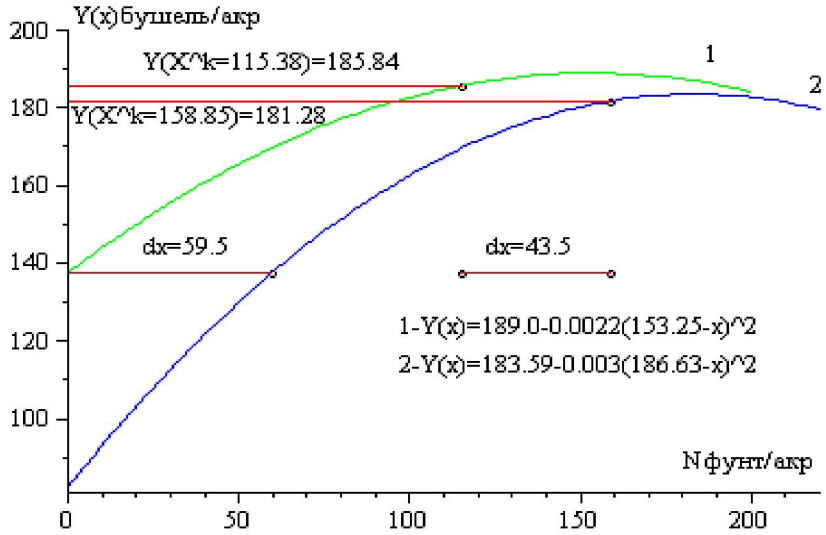
Примером, ярко демонстрирующим экономическую эффективность подбора предшественника на основе производственных функций является производство зерна кукурузы [7].

Были изучены производственные функции кукурузы двух севооборотах: кукуруза – соя и кукуруза – кукуруза (рис. 4).

Из зависимостей, приведенных на рис. 4, следует, что экономическую эффективность определяют обнаруженные два эффекта.

Первый эффект. Увеличение урожая на величину $Y(X_2^K)-Y(X_1^K)=4,56$ бушель/акр, что составляет 2,5 % от среднего значения 186,0 бушель/акр.

Второй эффект. Смещение максимума урожайность в область меньших норм азотных удобрений ($X_1^K - X_2^K$) = 43,47 фунт/акр, что приводит к экономии средств на закупку удобрений.



1 – производственная функция кукурузы в севообороте кукуруза-соя,

2 – производственная функция кукурузы в севообороте кукуруза-кукуруза.

Рис.4. Производственные функции кукурузы от количества азотных удобрений в севообороте кукуруза-соя и в моносевообороте кукуруза-кукуруза [7]

Заметим, что эти два эффекта экономической эффективности наблюдаются и при моделировании с производственными функциями

озимой пшеницы “Харьковская-81” урожая 1979г. и “Крыжинка” урожая 2011г. (рис. 1 и 2).

Таким образом, метод математического моделирования на основе производственных функций является эффективным инструментом для принятия решений об оптимальном чередовании сельскохозяйственных культур в севообороте, позволяющем существенно сократить сроки его определения.

Выводы. Функциональный экономический подход, алгоритмический и технологический инструментарий которого на основе производственных функций технологического процесса выращивания растений, естественно, объединяет в последовательную, агроэкономическую систему все внешние факторы, которыми может управлять товаропроизводитель: определение оптимальных норм внесения удобрений, оптимальное чередование разных видов растений в севообороте и оптимальных способов основной обработки почвы под урожай [1-5,8,9].

Для внедрения в практику сельского хозяйства Украины функционального подхода анализа экономической эффективности технологических процессов в растениеводстве на основе производственных функций необходимо обновление существующих технологических процессы в растениеводстве на основе системы “cropping system”, которая, как было показано на практике [4,8,9], просто интегрируется существующими технологическими процессами выращивания зерновых культур без их изменения.

Библиографический список: 1.Макаров В.І., Гуков Я.С., Болотова Т.М., Ганн В.В. Нова методологія агроекономічної оцінки ефективності способів обробітку ґрунту // Вісн. аграр. науки. – 2011. – № 5. – С. 61-65. 2. Макаров В.И., Болотова Т.Н. Геометрия и физиология питания растений. – Международная конференция по геометрии. – Одесса, 25-28 мая 2010 г. – С. 85. 3.Макаров В.І., Гуков Я.С., Болотова Т.М., Ганн В.В., Лісовий М.П. Економічні основи визначення оптимальних норм добрив для живлення рослин у технологіях точного рослинництва // Вісн. аграр. науки. – 2011. – № 4. – С. 66-70. 4. Болотова Т.Н., Гуков Я.С., Лушникова Е.Н., Макаров В.И., Пйонтик Л.Д., Ульянченко А.В. Методология агроэкономической оценки эффективности разных способов обработки почвы на основе производственных функций, XII Международная научно-техническая конференция ”Модернизация сельскохозяйственного производства на базе инновационных машинных

технологий и автоматизированных систем»: сб. докл. (10-12 сентября 2012 г. г. Углич). – Ч 2. – С. 741-753. 5. Болотова Т.Н. Об экономической оптимизации норм внесения удобрений для обеспечения растений питанием в условиях рыночной экономики / Т.Н. Болотова, Е.Н. Лушникова, В.И. Макаров // Вестник ХНАУ. – Вып. 10. – Харьков, 2012. 6. Хеди Д., Диллон. Производственные функции в сельском хозяйстве. – М.: Прогресс, 1965. – 608 с. 7. Shanahan J. Integrated Crop and Soil Management Systems for Water Quality Protection and Agricultural Sustainability/ J.Shanahan, J.Schepers, G. Varvel, W. Wilhelm // Presantation, USDA, Lincoln, NE. 2002. 8. Болотова Т.Н. Адаптация агроэкономической системы “cropping system” в фермерском хозяйстве / Т.Н. Болотова, Е.Н. Лушникова, В.И. Макаров // Информационные технологии, системы и приборы в АПКЭАГРОИНФО-2012: 5-я междунар. науч.-практ. конф. (г.Новосибирск, 10-11 октября 2012г., Россия). – С. 462-466. 9. Болотова Т.Н. Опыт внедрения агроэкономической системы “Cropping system” в фермерском хозяйстве / Т.Н. Болотова, Е.Н. Лушникова // Підвищення національної конкурентоспроможності: управлінські, соціально-економічні та науково-технологічні аспекти: Матеріали міжнар. наук.-практ. конф. 7-10 листопада 2012р. – Ялта. – С. 135-140.

Болотова Т.М., Лушнікова О.М. Виробничі функції зернових культур та сівозміна. Показано, що ефективним методом визначення оптимального підбору різних сільськогосподарських культур в сівозміні є математичне моделювання на основі їх виробничих функцій, які визначаються за допомогою агроекономічної системи “cropping system”.

Bolotova T., Lyshnikova E. Production functions of grain-crops and crop rotation. It is rotined that the effective method of determination of optimum selection of different agricultural cultures in a crop rotation is a mathematical design on the basis of their production functions which are determined by the agroekonomicheskoy system of “cropping system”.