МАТЕМАТИКА И ИНФОРМАТИКА

УДК 519.8-633.111.1

А.А. Городов, Л.В. Городова, Л.В. Плеханова

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ЗЕРНА ПШЕНИЦЫ С ПОМОЩЬЮ СИСТЕМ ЭКОНОМЕТРИЧЕСКИХ УРАВНЕНИЙ

В статье приведены результаты моделирования технологических свойств зерна мягкой яровой пшеницы районированных сортов. Даны рекомендации по составлению систем эконометрических уравнений в условиях недостатка данных. Решена актуальная задача, которая позволяет рассчитывать показатели качества пшеницы без проведения дополнительных исследований. Результаты исследований имеют важное значение при отборе селекционного материала.

***Ключевые слова**: моделирование, яровая мягкая пшеница, система уравнений, качество, сорт, удобрения.*

A.A. Gorodov, L.V. Gorodova, L.V. Plekhanova

MODELING OF THE WHEAT QUALITY INDICES WITH THE HELP OF ECONOMETRIC EQUATIONS SYSTEMS

The results on the modeling of technological properties of the soft spring wheat grain in the district varieties are presented in the article. The recommendations for econometric equation system composing in the conditions of the data lack are given. The relevant task that allows to calculate the indices of the wheat quality without conducting additional research is solved. The research results have great value in the selection material choice.

Key words: modeling, spring soft wheat, equation system, quality, variety, fertilizers.

Введение. Яровая пшеница по сравнению с другими яровыми зерновыми культурами (овёс, ячмень) при одинаковых условиях возделывания менее урожайна. Однако возделывание этой культуры необходимо и экономически выгодно в связи с тем, что она является ценнейшим пищевым продуктом. Причём использование её в хлебопечении, макаронном или кондитерском производствах возможно лишь при условии определённого качества зерна. Таким образом, одной из основных задач при возделывании продовольственной пшеницы является не просто получение высокого урожая зерна, но и получение зерна высокого качества [1].

Цель исследований. Использование математического моделирования при отборе селекционного материала.

Для построения оптимизационной многофакторной модели можно воспользоваться многофакторным корреляционно-регрессионным анализом, посредством которого возможно определить среднее изменение результативного показателя (x_i) под влиянием комплекса факторов, оценив тесноту связи результативного показателя ($x_i^{(j)}$) со всем комплексом включенных в регрессионную модель факторов (z_k). В общем виде данную модель можно представить следующим образом:

$$\begin{cases} x_i = \sum_{j=1}^{n} \rho_j x_i^{(j)}, \quad \rho_j = \dfrac{R_{(j)}^2}{\sum_{j=1}^{n} R_{(j)}^2}, \\ x_i^{(j)} = a_i + \sum_{k=1}^{h} b_{ik} z_k + \sum_{k=1}^{h} c_{ik} x_k, \end{cases} \qquad (1)$$

где ρ_j – весовые коэффициенты в результирующей модели; $R^2_{(j)}$ – коэффициент детерминации j-й модели регрессии; x_k – эндогенный фактор; z_k – факторные переменные.

Объекты и методы исследований. Объектом исследований послужил среднеранний сорт сильной пшеницы Тулунская 12. Реакцию сорта на удобрения изучали по 4 фонам: 1) контроль без удобрений; 2) с удобрением N_{60}; 3) с удобрением N_{60} P_{60}; 4) с удобрением N_{60} P_{60} K_{60}. Технологическую оценку сорта проводили в лаборатории технологической оценки зерна Красноярского НИИСХ в соответствии с национальными стандартами Российской Федерации и методами ИСО, методическими рекомендациями.

Результаты исследований и их обсуждение. Исследования показали, что в наших условиях нет определённой закономерности в изменении технологических качеств зерна мягкой пшеницы от внесения различных доз удобрений. Наблюдается лишь их улучшение от низких доз к более высоким. В общем виде данная модель может быть представлена согласно [2].

В дальнейшем будет рассмотрен сорт сильной пшеницы Тулунская 12 при различных дозах удобрений [3]. В качестве факторов выбраны следующие показатели (табл. 1–2):

x_1 – масса 1000 зерен, г; x_2 – натура, г/л; x_3 – общая стекловидность, %; x_4 – протеин, %; x_5 – количество клейковины в муке, сырой, %; x_6 – отношение упругости к растяжимости, р-с; x_7 – сила муки, е.а; x_8 – ВПС, %; x_9 – время до начала разжижения теста, мин; x_{10} – разжижение теста, ед. фаринографа; x_{11} – валориметрическая оценка, %; x_{12} – объем из 100 г муки см^3; x_{13} – общая хлебопекарная оценка, балл.

Таблица 1

Влияние удобрений на физико-химические свойства зерна сорта сильной пшеницы Тулунская 12 при различных дозах удобрений (ОПХ «Минино», 2012 г.)

Вариант опыта	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5
Тулунская 12	32,98	765	49	13,49	34,0
Тулунская 12 N_{60}	33,4	768	50	14,1	34,8
Тулунская 12 N_{60} P_{60}	34,1	769	51	14,44	34,8
Тулунская 12 N_{60} P_{60} K_{60}	32,1	753	49	14,25	36,4
Среднее	33,14	763,75	49,75	14,07	35,0

Таблица 2

Влияние удобрений на физические свойства клейковины и хлебопекарные качества зерна яровой пшеницы Тулунская 12 (ОПХ «Минино», 2012 г.)

Вариант опыта	Показатель альвеографа		Показатель фаринографа				Выпечка	
							с сахаром	с сахаром + бромат
	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	x_{11}	x_{12}	x_{13}
Тулунская 12	1,1	353	66,6	6	50	62	630	3,9
Тулунская 12 N_{60}	1,2	294	67,6	6	50	66	610	3,8
Тулунская 12 N_{60} P_{60}	1,5	289	66,6	8,3	90	70	640	3,9
Тулунская 12 N_{60} P_{60} K_{60}	0,8	310	67,2	5	50	60	630	3,9
Среднее	1,15	311,5	67	6,32	60	64,5	627,5	3,87

В начале расчетов следует оценить коэффициенты парной линейной корреляции для оценки силы взаимосвязи [4]. Построение одного уравнения зависимости результативного признака от всех фактор-

ных признаков невозможно из-за малости данных (всего 4 показателя). Также при построении данного вида модели из-за сильной взаимосвязи ряда факторов может возникнуть эффект мультиколлинеарности, поэтому было принято решение перейти к созданию системы одновременных рекурсивных эконометрических уравнений [5].

Построение эконометрической системы. Поясним способ создания данной системы. В первую очередь нас интересует построение уравнений для факторов x_{13}, x_4 и x_5, так как они напрямую характеризуют качество производимого зерна.

Так, фактор x_{13} зависит в наибольшей степени от x_{12} и x_8, но x_{12} сильно взаимосвязан с x_8. Поэтому строим два уравнения регрессии. Получим (использовалась программа Excel):

$$x_{13}^{(1)} = 1{,}5632 + 0{,}0037x_{12};$$
$$x_{13}^{(2)} = 9{,}4583 - 0{,}0833x_8.$$

Полученные уравнения построены для x_{13}, так как одновременно они выполниться не всегда могут, введем третье уравнение их связующее, используя (1):

$$x_{13} = \rho_1 x_{13}^{(1)} + \rho_2 x_{13}^{(2)},$$

где ρ_1 и ρ_2 – понижающие весовые коэффициенты, рассчитанные по формулам:

$$\rho_1 = \frac{R_{(1)}^2}{R_{общ}^2},\ \rho_2 = \frac{R_{(2)}^2}{R_{общ}^2},\ R_{общ}^2 = R_{(1)}^2 + R_{(2)}^2.$$

Тогда получим:

$$x_{13} = 0{,}5632x_{13}^{(1)} + 0{,}4368x_{13}^{(2)}.$$

Влияние на x_{12} учтем через уравнение зависимости x_{12} от x_8.

$$x_{12} = 2116{,}3889 - 22{,}2222x_8.$$

Составим искомую систему, используя остальные соотношения:

$$\begin{cases} x_{13} = 0{,}5632x_{13}^{(1)} + 0{,}4368x_{13}^{(2)} \\ x_{13}^{(1)} = 1{,}5632 + 0{,}0037x_{12} \\ x_{13}^{(2)} = 9{,}4583 - 0{,}0833x_8 \end{cases};$$

$$\begin{cases} x_4 = 0{,}5385x_4^{(1)} + 0{,}4615x_4^{(2)} \\ x_4^{(1)} = -14{,}3615 + 0{,}3490x_3 + 0{,}3163x_5 \\ x_4^{(2)} = 18{,}1452 - 0{,}0131x_7 \end{cases};$$

$$\begin{cases} x_5 = 0{,}5990x_5^{(1)} + 0{,}4010x_5^{(2)} \\ x_5^{(1)} = 39{,}6 - 0{,}9922x_1 + 2{,}0105x_4 \\ x_5^{(2)} = 120{,}4086 - 0{,}1118x_2 \end{cases};$$

$$\begin{cases} x_6 = 0{,}2657x_6^{(1)} + 0{,}2665x_6^{(2)} + 0{,}2192x_6^{(3)} + 0{,}2486x_6^{(4)} \\ x_6^{(1)} = -10{,}2499 + 0{,}3439x_1 \\ x_6^{(2)} = -12{,}6571 + 0{,}0170x_2 + 0{,}1307x_9 \\ x_6^{(3)} = -12{,}4182 + 0{,}2727x_3 \\ x_6^{(4)} = -2{,}8949 + 0{,}0627x_{11} \end{cases};$$

$$\begin{cases} x_{12} = 2116{,}3889 - 22{,}2222x_8 \\ x_{10} = -844{,}5455 + 18{,}1818x_3 \end{cases}.$$

Полученные подсистемы образуют искомую систему одновременных рекурсивных эконометрических уравнений. Тогда, если x_1, x_2, x_3, x_7, x_8, x_9 и x_{11} останутся в пределах их средних значений, т.е.

x_1=33,145; x_2=763,75; x_3=49,75; x_7=311,5; x_8=67; x_9=6,325; x_{11}=64,500,

то мы получим:

x_4=14,07; x_5=35,0093; x_6=1,15; x_{10}=59,9991; x_{12}=627,5015; x_{13}=3,8816.

При этом отклонение от средних значений не превышает 0,01 %.

Заключение. Введение такого класса эконометрических уравнений позволяет рассчитывать наибольшее количество показателей при минимальном наборе неизвестных, что в свою очередь позволит делать предварительный прогноз получения высококачественного зерна пшеницы.

Литература

1. *Разумовский А.Г., Плеханова Л.В.* Качество зерновых культур и пути его повышения в Восточной Сибири / Краснояр. НИИСХ. – Новосибирск, 2005. – 175 с.
2. *Городова Л.В., Городов А.А.* Информационно-математическое обеспечение при прогнозировании показателей качества селекционного материала// Решетневские чтения: мат-лы XV Междунар. науч. конф. – Красноярск: Изд-во СибГАУ, 2012. – С. 535–536.
3. *Плеханова Л.В., Городова Л.В.* Моделирование показателей качества зерна пшеницы с помощью систем одновременных рекурсивных эконометрических уравнении //Проблемы развития АПК Саяно-Алтая: мат-лы Междунар. науч.-практ. конф. – Абакан: Хакас. кн. изд-во, 2012. – Ч. 2. – С. 197–199.
4. *Айвазян С.А., Мхитарян В.С.* Прикладная статистика и основы эконометрики. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 1998. – 1022 с.
5. *Подвальный С.Л., Кравец О.Я.* Развитие методов и средств моделирования сложных объектов и систем // Информационные технологии моделирования и управления. – 2011. – Т. 72. – № 7. – С. 777–780.