

АГРОЕКОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ПРОГНОЗУВАННЯ ВРОЖАЙНОСТІ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР

Г. П. Жемела, доктор сільськогосподарських наук;

М. М. Маренич, кандидат сільськогосподарських наук;

В. С. Шкурко

Полтавська державна аграрна академія

В. В. Гангур, кандидат сільськогосподарських наук;

Полтавський інститут агропромислового виробництва ім. М. І. Вавилова

Спираючись на аналіз багаторічних погодних умов, статистичних даних врожайності та валових зборів зерна, розроблено методику прогнозування господарських показників на основі регресійних моделей. За рахунок методів множинної регресії побудовано ряд рівнянь для прогнозування врожайності зернових культур для зони нестійкого зволоження Лісостепу. Повторний математичний аналіз прогнозованої і фактичної врожайності доводить досить високу ефективність запропонованого методу для прогнозування врожайності і валових зборів зернових культур для різних ґрунтово-кліматичних зон України.

Ключові слова: прогнозування, врожайність, регресія, рівняння, пшениця озима, ячмінь, кукурудза.

Метеорологічні умови є головним чинником нестабільності рівня врожайності зернових культур. Слід визнати, що незважаючи на потенційні можливості сучасного рослинництва, дію природних сил важко, а часто й неможливо контролювати. В Україні виробникам зерна не вдається отримати стабільні врожаї зернових культур, що відповідно впливає на валові збори продукції і, в кінцевому результаті – на ведення внутрішньої і зовнішньої аграрної політики.

За результатами багатьох досліджень екстенсивне землеробство майже на 60% залежить від ґрунтово-кліматичних умов, тимчасом як в інтенсивному частка впливу цих факторів зменшується майже в тричі [1]. Тому найбільш актуальним питанням вітчизняного сільського господарства є інтенсифікація виробництва продукції рослинництва, саме вона забезпечує в розвинених країнах отримання врожаїв, що досягають 70–80% від потенційних [2, 3]. Основними факторами інтенсифікації вирощування сільськогосподарських культур, як відомо, є удобрення рослин та прийоми їх захисту (протруєння насіння, внесення гербіцидів, інсектицидів, фунгіцидів). Однак ці заходи лише пом'якшують вплив екологічних факторів. Досі не вдається запобігти варіабельності врожаїв в просторовому і часовому вимірі, причиною цього є зниження стійкості ценозів до факторів навколишнього середовища в зв'язку з впровадженням інтенсивних сортів, які мають значно нижчу адаптивність порівняно з екстенсивними.

Наявність значного обсягу експериментального матеріалу змушує науковців до пошуку шляхів розробки нових методів прогнозування врожайності сільськогосподарських культур. Щоправда сучасні методи прогнозування не завжди мають задовільну точність, оскільки в практиці для аналізу досить часто беруть середні значення метеорологічних факторів, які можуть зовсім не корелювати з господарськими показниками [4]. До того ж метеорологічні спостереження ведуть в переважній більшості синоптики, а відсутність мережі метеомайданчиків заважає отриманню точних показників для конкретних територій. В глобальному плані для прогнозування необхідно спиратися на зміни клімату, аномальні та екстремальні явища, які мають місце в цілому на земній кулі, з метою створення інформаційних систем і проведення своєчасного моніторингу небажаних явищ [5]. Використання прогнозів для окремо взятих територій потребує створення широкої бази даних агроекологічних факторів, які їм характерні.

Застосування регресійних моделей дає можливість описати особливості формування урожайності більш досконало, особливо в разі використання методів множинної регресії,

коли аналізується вплив великої кількості факторів [6]. Тісна залежність між метеорологічними факторами і показниками врожайності дає можливість передбачити зростання коливань урожайності в разі збільшення впливу екстремальних факторів навколишнього середовища. За даними І. Г. Нетіса можливо передбачити зміни врожайності у зв'язку з високосними роками – у такі роки обсяги виробництва зерна знижуються, що пов'язане з посушливими умовами осені перед високосним роком [7].

Мета досліджень – розробити методику прогнозування врожайності та валових зборів зерна на основі регресійних моделей. Аналізуючи статистичну звітність і провівши власні експериментальні дослідження, встановлено, що навіть за існуючої «об'єктивності» української статистики між валовими зборами зерна пшениці озимої існує істотна кореляційна залежність. Коефіцієнти кореляції між врожайністю і валовими зборами становлять 0,80–0,98, а це свідчить, що валові збори зерна пшениці озимої формуються залежно від урожайності на рівні 64–96%. Тобто можна говорити про певний рівень інтенсифікації виробництва, найвищі коефіцієнти кореляції між врожайністю і валовими зборами у АР Крим – $r = 0,92$; у таких областях, як Вінницька $r = 0,93$, Дніпропетровська $r = 0,91$, Закарпатська $r = 0,94$, Полтавська $r = 0,98$, Сумська $r = 0,94$, Харківська $r = 0,95$, Черкаська, Кіровоградська і Одеська $r = 0,96$. Вказані коефіцієнти свідчать про високу ймовірність прогнозування валових зборів за врожайністю.

За результатами багаторічних даних встановлено, що головними метеорологічними факторами впливу на рівень урожайності пшениці озимої є: кількість днів з температурою нижче -17°C ($r = -0,40$), кількість днів з температурами понад 0°C ($r = 0,22$), кількість опадів за квітень і травень ($r = 0,18$).

Для підзони нестійкого зволоження основою характеристики прогнозування врожайності пшениці озимої є температурний режим зимового періоду, впродовж якого фіксується несприятлива дія низьких температур – нижче -17°C та позитивна дія плюсових, які, очевидно, значно пом'якшують умови зимівлі цієї культури. Рівняння, за якими можливе прогнозування врожайності озимини, можуть бути встановлені методом простої і множинної регресії:

$$\begin{aligned} Y &= 3,43 - 0,081 D_{t < -17^{\circ}\text{C}}; \\ Y &= 2,39 - 0,086 D_{t < -17^{\circ}\text{C}} + 0,011 O_{\text{ХІІ}}; \\ Y &= 2,87 - 0,099 D_{t < -17^{\circ}\text{C}} + 0,01 O_{\text{ХІІ}} + 0,0059 O_{\text{V}}; \\ Y &= 3,14 - 0,095 D_{t < -17^{\circ}\text{C}} + 0,01 O_{\text{ХІІ}}, \end{aligned}$$

де: $D_{t < -17^{\circ}\text{C}}$ – кількість днів з температурою нижче -17°C ;
 $O_{\text{ХІІ}}$ – кількість опадів у грудні, мм;
 O_{V} – кількість опадів у грудні, травні, мм.

Якщо між прогнозованою за першим рівнянням і реальною врожайністю коефіцієнт кореляції становить 0,73, то для решти трьох рівнянь він коливається в межах 0,86–0,89. Іншими словами, за цими рівняннями імовірність прогнозу врожайності може становити 53–91%.

В підзоні нестійкого зволоження можливо прогнозувати врожайність ячменю ярого за рівняннями простої регресії, які містять змінні температури травня і червня. Коефіцієнти кореляції між розрахованою за рівнянням регресії урожайністю і фактичною коливаються в межах 0,80–0,94. Отже, навіть використовуючи тільки взяті нами фактори, можливо прогнозувати врожайність з точністю до 64–88 %, якщо для цього спиратися на коефіцієнт детермінації (табл.).

В умовах нестійкого зволоження Лісостепу для прогнозування врожайності ячменю озимого необхідно враховувати тривалість морозного періоду з температурами нижче -15°C . Коефіцієнт кореляції в даному випадку між простим рівнянням прогнозованої врожайності і фактичною становить 0,85. Множинні рівняння регресії, де враховуються опади та відлиги, мають ще більші значення коефіцієнтів кореляції. Як і у випадку з пшеницею озимою, для

ячменю в цій підзоні важливе значення має тривалість відлиг з температурами вище 5°C, які, очевидно, ще більше зменшують рівень загартування рослин.

Коефіцієнти кореляції між прогнозованою і реальною врожайністю ячменю ярого

Рівняння	r
підзона нестійкого зволоження Лісостепу	
$Y = 4,81 - t_{\min V}$	0,82
$Y = 5,56 - 0,149 t_{\max V}$	0,80
$Y = 4,397 - 0,083 t_{\min VI}$	0,80
$Y = 3,23 - 0,07 D_{t < -15^{\circ}C}$	0,85
$Y = 2,23 - 0,077 D_{t < -15^{\circ}C} - 0,054 D_{t > 5^{\circ}C} + 0,0046 O_{IX} + 0,0146 O_{XII}$	0,93
$Y = 2,077 - 0,082 D_{t < -15^{\circ}C} + 0,014 O_{XII} + 0,0077 O_{XI} + 0,0046 O_{IX} - 0,042 D_{t > 5^{\circ}C}$	0,94
$Y = 2,89 - 0,071 D_{t < -15^{\circ}C} + 0,012 O_{XII}$	0,90

Для прогнозування урожайності кукурудзи необхідно застосовувати екологічні параметри, найголовніші з них: сума ефективних температур за підрахунком нижніх (нижче 10°C) і верхніх (вище 20°C) баластних температур. Особливо важливим є спостереження за температурами в першу половину вегетації кукурудзи, оскільки саме в цей період температурний режим є найбільш впливовим. Ще однією перевагою цього показника є незначні його зміни по роках з різними погодними умовами. Суму ефективних температур Г. Л. Філіпов і П. П. Домашнев [8] рекомендують обраховувати за формулою:

$$\sum t_{\text{еф}} = \sum t > 10 - \sum t > 20 - 22 [1 + 0,03 (A - 10)],$$

де: $\sum t > 10$ – сума середньодобових температур, за винятком фізіологічного мінімуму в 10 °C;
 $\sum t > 20 - 22$ – сума балансових температур за вегетацію (від сівби до фази 9–10 листків і від фази формування зерна до повної стиглості середньодобова температура 20 °C, а від фази 9–10 листків до фази формування зерна – 22 °C);
A – амплітуда коливаль.

Математичний аналіз даних 2001–2009 рр. дав можливість встановити, що критичними факторами, які впливають на формування врожайності кукурудзи є максимальні температури червня.

Незважаючи на те, що біологічними особливостями кукурудзи є посухо- і жаростійкість, на формування її урожайності негативний вплив мають високі температури липня і серпня. Так, між максимальною температурою липня і врожайністю існує зворотна кореляція середньої сили ($r = -0,42$), а щодо серпня, то цей зв'язок залишається в цій же градації ($r = -0,33$).

Отже, в період цвітіння і формування зерна високі температури можуть негативно позначитися на рівні врожаю. Небажаною є також і тривалість спекотного періоду в ці місяці – коефіцієнти кореляції між показником врожайності і кількістю спекотних днів вище 25°C становили відповідно -0,37 та -0,29. Крім вказаних факторів, негативно діють і весняні приморозки, оскільки вони можуть завдавати значної шкоди посівам.

У 2001 р. умови вирощування склалися не дуже сприятливо для кукурудзи. Зокрема, негативно впливали високі температури літніх місяців. Коефіцієнт кореляції між врожайністю і температурами становив -0,67, в липні – $r = -0,71$, а в серпні – $r = -0,66$. Тривалість спекотного періоду впливала неоднаково – у червні між тривалістю жаркого періоду і врожайністю зв'язку не було, але щодо липня і червня, простежувалася сильна зворотна кореляція ($r = -0,73$ і $r = 0,75$).

На фоні негативного впливу вищевказаних чинників врожайність сформувалася за рахунок весняних запасів вологи та опадів впродовж червня і липня; коефіцієнти кореляції для цих трьох факторів становили 0,43; 0,52; 0,42 відповідно. Цього року врожайність по країні була на рівні 1,0–5,6 т/га. При цьому найнижчі її показники були в південних і східних

регіонах АР Крим. Середня врожайність кукурудзи в цілому по країні становила 3,33 т/га, а коефіцієнт варіації – 33,1 %, що свідчить про значну мінливість. Валовий збір зерна в середньому дорівнював 145,84 тис. т, а мінливість валових зборів – 88%, або у 2,5 раза перевищувала аналітичні статистичні параметри врожайності.

За даними Держкомстату, у 2002 р. середня врожайність по Україні становила 3,52 т/га, мінливість цього показника була значною (28,6%). Критичними виявилися ті ж самі фактори, що негативно впливали на формування врожайності кукурудзи у попередньому році, за винятком того, що їхній негативний вплив посилювався ще й за рахунок тривалої спеки в червні. Коефіцієнти кореляції коливалися від -0,43 до -0,64. Позитивну дію проявили опади травня ($r = 0,53$). Практично в усі роки досліджень спостерігався подібний вплив метеорологічних факторів на формування урожайності.

Щодо врожайності кукурудзи в Україні, то за роки досліджень простежувалася стійка тенденція до її зростання.

Аналіз багаторічних даних врожайності кукурудзи показує, що найнижчі врожаї були в Чернівецькій, Чернігівській та Закарпатській областях, внаслідок меншої варіабельності погодних умов на їхній території. Найбільша врожайність була відмічена в АР Крим – $V \% = 50,4$, однак такий показник варіювання зумовлений різким зростанням урожайності культури – від 1,42 т/га у 2001 р. до 8,81 т/га у 2009 р.

Найбільша середня врожайність кукурудзи була у Київській, Житомирській областях та АР Крим і становила за роки досліджень більше 5 т/га, найменша – в Одеській, Луганській та Запорізькій областях – не перевищувала 3 т/га. Однак за валовими зборами кращі показники отримані в Полтавській, Черкаській та Дніпропетровській областях за рахунок посівних площ культури. В цілому ж слід відмітити, що практично вся територія України придатна для отримання високих врожаїв кукурудзи.

Аналіз взаємозв'язків урожайності кукурудзи з її валовими зборами показує, що за умовами років кореляції між цими господарськими показниками не було. На нашу думку, це свідчить про значне коливання врожайності залежно від умов вирощування, оскільки кожного року вони різняться.

Отже, перспективними є напрямки досліджень з розробки і впровадження адаптивних технологій вирощування.

Одночасно слід відмітити і позитивні зміни у динаміці зростання врожаїв кукурудзи. На основі цього встановлено, що між валовими зборами і врожайністю кукурудзи в регіонах існує сильна пряма кореляція, що говорить про значні перспективи прогнозування.

Для умов недостатнього зволоження виявлена дещо видозмінена дія факторів:

$$Y = 4,11 - 0,11 D_{VII\ t\ max} + 0,25 D_{VI\ t\ max} + 0,032 O_{IV} - 0,138 D_{IV\ t < 0} + 0,0115 O_V.$$

З рівняння видно, що для цієї підзони критичними факторами, що обмежують урожайність кукурудзи, є тривалість спекотного періоду в липні та приморозки в квітні. Натомість простежується позитивна дія опадів протягом квітня – травня і тривалого теплого періоду в червні. Кореляція результатів обчислень урожайності за цим рівнянням з фактичною врожайністю становить 0,91, тобто зв'язок тут наближається до функціонального.

Висновки

При прогнозуванні рівня врожайності і величини валових зборів зерна треба обов'язково враховувати силу впливу агрометеорологічних факторів. В основному вони зумовлюють значну варіабельність врожаїв культурних рослин. На нашу думку, слід також враховувати, що в критичні роки, коли в традиційно зернових регіонах внаслідок впливу екстремальних метеорологічних факторів існує ризик значного зменшення врожайності культур, в зоні Західного Лісостепу та на Закарпатті ймовірність негативних наслідків набагато менша. Таку тенденцію необхідно враховувати при розробці зернової політики нашої держави.

Бібліографічний список

1. Лукин С. В. Влияние удобрений и погодных условий на урожайность озимой пшеницы / С. В. Лукин, В. П. Сушков // Зерн. хоз-во. – 2005. – № 3. – С. 2–4.
2. Cassman K.G. Ecological intensification of cereal production systems: yield potential, soil quality and precision agriculture / Kenneth Cassman G. // Proc. Nat. Acad. Sci. USA. – 1999. – № 11. – P. 5952–5959.
3. Славов Н. Оценка на агрометеорологичната база за развитие на зимна пшеница и царевица в България / Н. Славов, В. Александров // Bulg. Meteorology and Hydrology. – 1997. – № 3–4. – P. 140–147.
4. Николаев Е. В. Система погодного адаптирования основных элементов технологии выращивания озимой пшеницы / Е. В. Николаев, А. М. Изотов, Б. А. Тарасенко // Вісн. аграр. науки. – 1999. – № 12. – С. 26–29.
5. Игнатъев В. М. Модели урожайности сельскохозяйственных культур при определенных метеоусловиях / В. М. Игнатъев, И. Н. Ильинская / Материалы 2 Междунар. науч.-практ. конф. [«Моделирование. Теория, методы и средства»], (Новочеркасск, 5 апр. 2002 г.). – В 3-х частях. – Новочеркасск, 2002. – С. 21–24. – (Ч. 3).
6. Жарінов В. В. Вплив екологічних і технологічних змін на виробництво зерна в Херсонській області / В. В. Жарінов, О. І. Ярмак, О. О. Федорчук // Таврійський наук. вісн. – 2004. – Вип. 33. – С. 87–91.
7. Нетіс І. Т. Умови вегетації і продуктивність озимої пшениці у високосні роки / І. Т. Нетіс // Таврійський наук. вісн. – 2004. – Вип. 32. – С. 34–37.
8. Філіпов Г. Л. Уніфікація гібридів кукурудзи за тривалістю вегетаційного періоду / Генріх Леонідович Філіпов // Хранение и перераб. зерна. – 2010. – № 11. – С. 19–20.