

УДК 633.11:631.53.027
© 2015

Є.О. ДОМАРАЦЬКИЙ,
В.І. ПІЧУРА,
О.О. ДОМАРАЦЬКИЙ,
кандидати сільськогосподарських наук

Херсонський державний
аграрний університет, Україна
E-mail: jdomar1981@mail.ru;
pichura@yandex.ru

ОЦІНКА ТА МОДЕЛЮВАННЯ
ФОРМУВАННЯ ВРОЖАЙНОСТІ
СОРТІВ ПШЕНИЦІ
М'ЯКОЇ ОЗИМОЇ
ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ
МЕТОДУ ШТУЧНИХ
НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ

Представлено результати аналізу, оцінки та нейромодельовання впливу біологічних протруйників на формування врожайності різних сортів пшениці в умовах змін клімату степової та сухостепової зон. Прибавка врожайності пшениці становила 0,36–4,7 %. Від'ємний баланс урожаю спостерігався при застосуванні хімічного протруйника Раксил ультра – 6,01 %. Застосування біопрепарату Триходермін у передпосівній обробці забезпечило найвищу енергію проростання насіння. Найбільший вклад у реалізацію врожайності вніс фактор – роки досліджень (кліматичні умови) – 42,26 %. Метод штучних нейронних мереж дозволив визначити нелінійні закономірності впливу досліджуваних факторів та створити адаптивну багатоваріантну регресійну модель для високоточного прогнозування врожайності (90,4 %).

Ключові слова: біопрепарати, пшениця м'яка озима, урожай, моделювання, дисперсійний аналіз, нейронні мережі.

Збільшення кількості за високої якості продукції рослинництва – центральне завдання сільськогосподарського комплексу. Головна стратегічна сільськогосподарська культура України – пшениця м'яка озима, яка займає до 6,5 млн га посівних площ, що становить понад 40 % загальної площі зернових [1]. У формуванні врожайності цієї культури значна роль належить сорту, при цьому вплив сорту пшениці м'якої озимої може сягати 50 % [2]. Отримання високих урожаїв та якісного зерна залежить від якості посівного матеріалу. Значна роль у вирішенні цього питання належить сучасним біопрепаратам, регуляторам росту, що містять комплекс біологічно активних речовин, які посилюють обмінні процеси в рослинних організмах, підвищують їхню стійкість до несприятливих погодних умов.

Огляд публікацій за темою досліджень. Фахівці галузі сільського господарства постійно вдосконалюють і розробляють нові аг-

ротехнічні заходи для передпосівної обробки насіння біопрепаратами, регуляторами росту з метою поліпшення їх посівних якостей. На продуктивність рослин мають вплив саме ті процеси, які протікають на початку їх розвитку та забезпечують підготовку і перехід до генеративного періоду.

Природні умови не завжди виявляються сприятливими для нормального розвитку і росту рослин в ембріональний період, тому значна кількість насіння не має необхідної життєвої активності. Це потребує проведення обов'язкової передпосівної підготовки посівного матеріалу, щоб забезпечити високу схожість, як запоруку майбутнього врожаю [3].

У багатьох розвинених країнах світу останнім часом зростає увага до впровадження регуляторів росту і біопрепаратів для обробки насіння рослин. Створені стимулюючі препарати нового покоління відрізняються високою ефективністю та екологічною безпекою [4, 5].

Застосування біопрепаратів і регуляторів росту на посівах пшениці м'якої озимої позитивно впливає на ріст рослин, прискорює і стимулює розвиток кореневої системи, підвищує зимо- та посухостійкість, стійкість до вилягання, хвороб і шкідників [6, 7].

Основа біопрепаратів складають мікроорганізми – гриби або бактерії. Принцип дії таких препаратів побудований на антагонізмі організмів, оскільки корисні мікроорганізми попадають на рослину й витісняють шкочинних “співбратів”. Обробка насіння зернових культур біопрепаратами дозволяє знезаразити їх від виникнення корневих гнилей та інших хвороб за рахунок антагоністичної мікрофлори. Приймати рішення про використання біопрепаратів необхідно після фітоекспертизи насіння [8–10].

Учені [11, 12] виявили, що кожен літр біопрепарату Альбіт забезпечує одержання в середньому 6,3 ц/га додаткового врожаю пшениці озимої. За біологічною ефективністю він не поступається регуляторам росту та фунгіцидам, підвищує стійкість рослин до посухи, хвороб, прискорює проходження фенологічних фаз від 4 до 6 днів.

За даними наукових досліджень [4, 9], встановлено, що використання допосівної обробки насіння регуляторами росту (Вимпел, Агат) та бактеріальними препаратами (поліміксобактерин, ліазофіт, гаупсин) збільшує на 10,8–10,9 % виживаність рослин пшениці м'якої озимої. Крім цього, спостерігалось формування більш довгого колеоптилю, ранніх сходів і кращий розвиток за умов дефіциту вологи в ґрунті.

На формування врожаю значно впливають умови вирощування насіння. Надзвичайно актуальним при вирощуванні насіння пшениці м'якої озимої є правильним вибір строків сівби, які б давали змогу сформуванню здорові, добре розвинені рослини, здатні витримувати несприятливі умови доквілля протягом вегетації. Це потребує подальшого вдосконалення теоретичних підходів і розробки комплексу практичних заходів [13, 14], а також використання об'єктивних нелінійних заходів для забезпечення достовірних результатів моделювання та прогнозування врожайності сільськогосподарських культур

із застосуванням сучасних нейротехнологічних підходів і методів.

Нейронні мережі (НМ) знайшли широке застосування при побудові прогнозних моделей поведінки складних динамічних систем у взаємодії з різними характеристиками навколишнього середовища [15–20]. Основними перевагами НМ є [17, 20]: незалежність методів їх синтезу від розмірності простору ознак; висока допустимість до використання складних взаємозв'язків даних і низький коефіцієнт помилок; паралельна обробка інформації одночасно всіма нейронами, що робить можливим апаратний аналіз складних сигналів у реальному часі; апроксимація будь-якої неперервної функції; самоорганізація і відмовостійкість структури НМ; коригування синоптичних вагових коефіцієнтів при надходженні нової інформації і т.д.

Мета досліджень – визначити вплив біологічних протруйників на формування врожайності різних сортів пшениці м'якої озимої в умовах змін клімату та застосування багат шарових нелінійних штучних нейронних мереж, щоб у подальшому оптимізувати агротехнологічні заходи для зон степової та сухого Степу.

Матеріали і методика досліджень. Вивчали сорти пшениці м'якої озимої (Дріада 1, Вікторія одеська, Селянка, Пошана, Писанка) з числа занесених до Державного реєстру. Площа посівної ділянки становила 40,5, облікової – 25 м², повторність чотирикратна. Для забезпечення високої точності досліди розміщували в полях, вирівняних за рельєфом і родючістю, що підтверджується матеріалами ґрунтових і агрохімічних обстежень. Основним методом досліджень був порівняльний польовий дослід. Сівбу проводили у другій декаді вересня. Перед сівбою насіння обробляли біологічними протруйниками Триходермін, Планриз, Фітоспорин (по 2 л/т), контроль – без обробки; хімічний протруйник Раксил ультра (0,2 л/т). Із зібраного насіння в лабораторних умовах, згідно з ДСТУ 4138-2002 [21], визначали енергію проростання, лабораторну схожість і підраховували кількість рослин після відновлення вегетації.

Експериментальні дані обробляли методом багат факторного дисперсійного аналізу [22]. Для моделювання формування врожайності

**СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКА ЕКОЛОГІЯ.
РОСЛИННИЦТВО. ЗЕМЛЕРОБСТВО.
СЕЛЕКЦІЯ**

Оцінка та моделювання формування врожайності сортів пшениці м'якої озимої із застосуванням методу штучних нейронних мереж

використовували багатосаровий перцептрон модуля Statistics Neural Networks (SNN) програмного продукту STATISTICA 10.0, який, на відміну від інших архітектур нейронних мереж, має можливість визначати природу розвитку і зв'язків досліджуваних показників або об'єктів на невеликих навчальних вибірках. Це дає можливість з досить високою досто-

вірністю реалізувати нейронні мережі за відсутності великих масивів емпіричних даних.

Аналіз результатів досліджень та їх обговорення. Встановлено, що обробка насіння хімічним протруйником і бактеріальними препаратами по-різному впливала на формування врожайності різних сортів пшениці м'якої озимої (табл. 1).

1. Урожайність різних сортів пшениці м'якої озимої залежно від біологічних препаратів (2010–2011 рр.), т/га

Сорт (A)	Біологічні протруйники (B)	Рік (C)		Середня врожайність, т/га
		2010-й	2011-й	
Вікторія одеська	Триходермін	4,28	4,95	4,61
	Планриз	4,05	4,82	4,43
	Раксил ультра	4,01	4,31	4,16
	Без обробки	3,33	4,72	4,02
	Фітоспорин	4,14	4,69	4,41
Пошана	Триходермін	4,56	5,23	4,89
	Планриз	4,01	4,95	4,48
	Раксил ультра	3,48	4,42	3,95
	Без обробки	4,23	4,83	4,53
	Фітоспорин	3,77	4,67	4,22
Дріада 1	Триходермін	4,33	4,79	4,56
	Планриз	3,81	4,59	4,20
	Раксил ультра	3,33	4,10	3,71
	Без обробки	4,17	4,24	4,20
	Фітоспорин	4,09	4,68	4,38
Селянка	Триходермін	4,42	4,93	4,67
	Планриз	4,20	4,82	4,51
	Раксил ультра	4,51	4,41	4,46
	Без обробки	4,56	4,73	4,64
	Фітоспорин	4,55	4,74	4,64
Писанка	Триходермін	3,61	4,92	4,26
	Планриз	4,09	4,76	4,42
	Раксил ультра	4,46	4,26	4,36
	Без обробки	4,52	4,62	4,57
	Фітоспорин	4,51	4,59	4,55
НІР _{0,5}		Фактори: A=0,59; B = 0,37; C = 0,59. Взаємодія: АВ = 0,83; АС = 1,31; ВС = 0,83; АВС = 1,86		

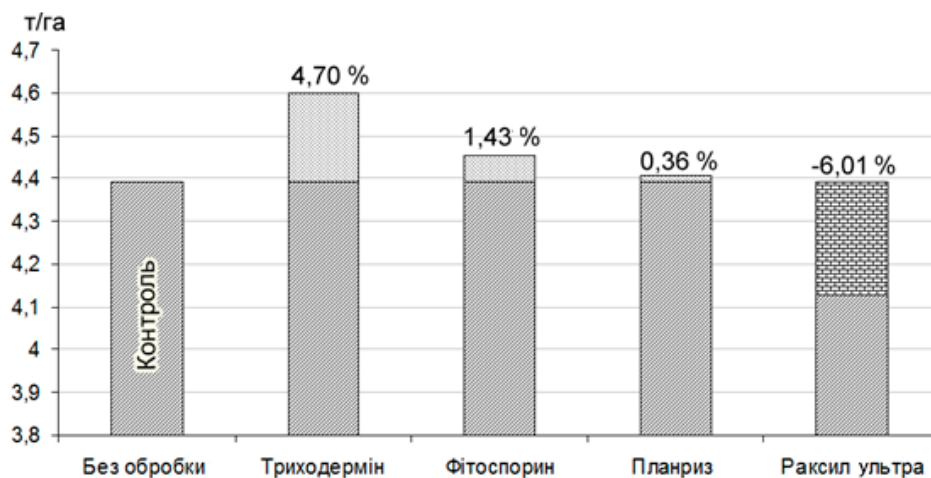


Рис. 1. Вплив біологічних та хімічного протруйників на прибавку врожаю пшениці м'якої озимої (середнє за 2010–2011 рр.)

У варіанті з інокуляцією насіння біологічним протруйником Триходерміном зростали посівні якості, що забезпечило підвищення врожайності практично у всіх досліджуваних сортів, окрім сорту Писанка. Середня врожайність у сортів коливалась у межах 4,56–4,67 т/га, що перевищило контроль на 0,13–0,54 т/га, а хімічний протруйник Раксил ультра на 0,12–0,84 т/га. Вплив інших біологічних препаратів (Планриз, Фітоспорин) був практично на рівні хімічного протруйника, хоча в окремих випадках спостерігалася тенденція покращення посівних якостей насін-

ня і в деякій мірі підвищення врожайності.

У середньому прибавка до врожаю відносно контролю із застосуванням біопрепаратів становила 0,36–4,7 %. Від'ємний баланс урожаю по всіх сортах пшениці м'якої озимої спостерігався у разі застосування хімічного протруйника Раксил ультра – 6,01 % (рис. 1). Найбільший вклад в реалізацію врожайності в середньому за роки досліджень вніс фактор роки досліджень, суттєві результати показали фактор сортовий склад пшениці м'якої озимої, фактор дії біологічних препаратів і взаємодія цих факторів – рис. 2.

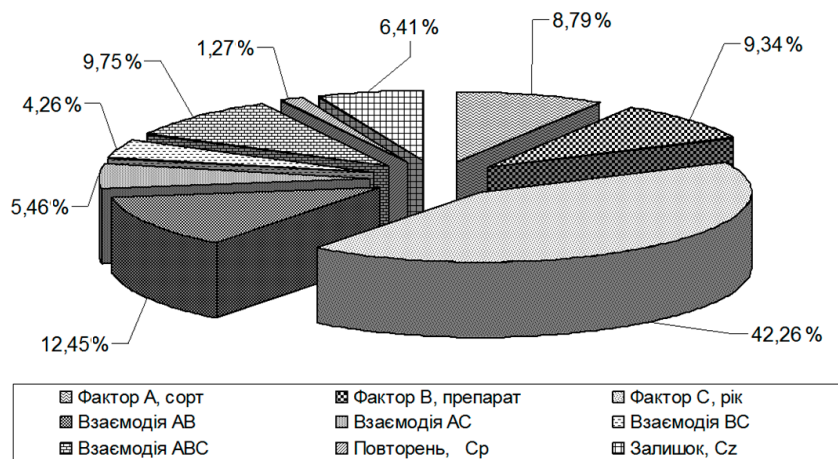


Рис. 2. Вплив досліджуваних факторів на врожайність сортів пшениці м'якої озимої за результатами дисперсійного аналізу (середнє за 2010–2011 рр.)

**СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКА ЕКОЛОГІЯ.
РОСЛИНИЦТВО. ЗЕМЛЕРОБСТВО.
СЕЛЕКЦІЯ**

Оцінка та моделювання формування врожайності сортів пшениці м'якої озимої із застосуванням методу штучних нейронних мереж

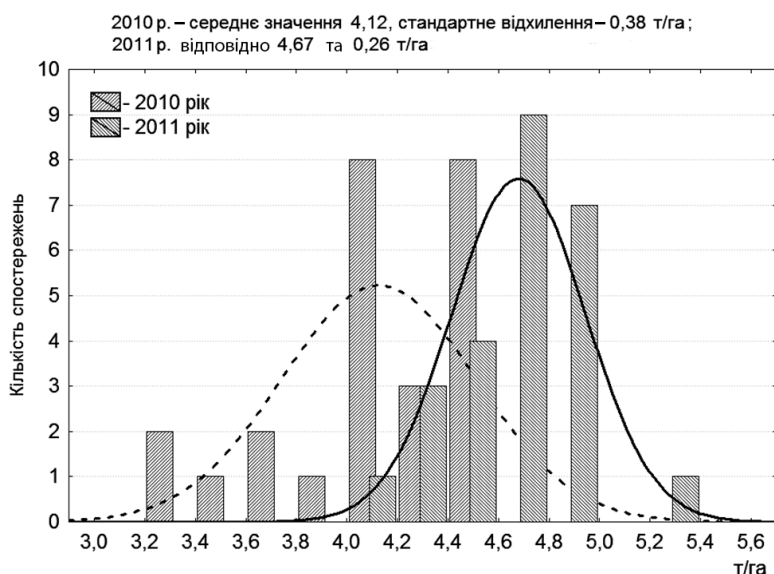


Рис. 3.
Порівняльна оцінка врожайності сортів пшениці м'якої озимої за роки досліджень

У контрастні за погодними умовами роки досліджень виявили діаметрально протилежний вплив досліджуваних факторів на реалізацію врожайності пшениці озимої. Так, у помірний за погодними умовами 2010 р. реалізація врожайності за рахунок сортового складу становила 33,79 %, біологічних протруйників – 5,75, а у сприятливий 2011 р. – відповідно 10,41 і 52,48 %.

Реалізація врожайності зерна різними сортами пшениці м'якої озимої за роками і різними умовами довкілля та під дією біологічних протруйників наочно представлена на рис. 3, 4.

За результатами досліджень 2010–2011 рр. представлена двофакторна поверхня залежності врожаю пшениці м'якої озимої від сорту та біологічних препаратів (рис. 5).

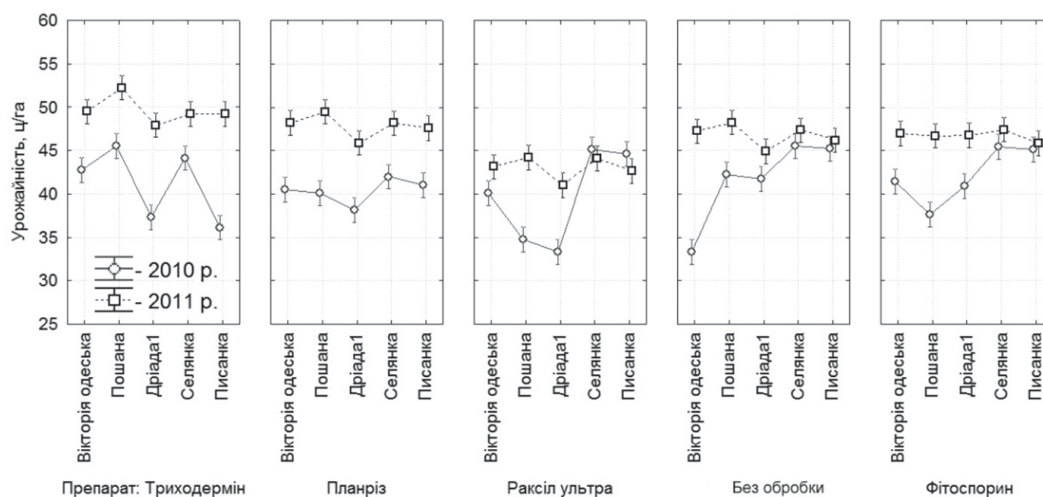


Рис. 4. Урожайність сортів пшениці м'якої озимої під впливом хімічного протруйника і біологічних препаратів за різних погодних умов довкілля

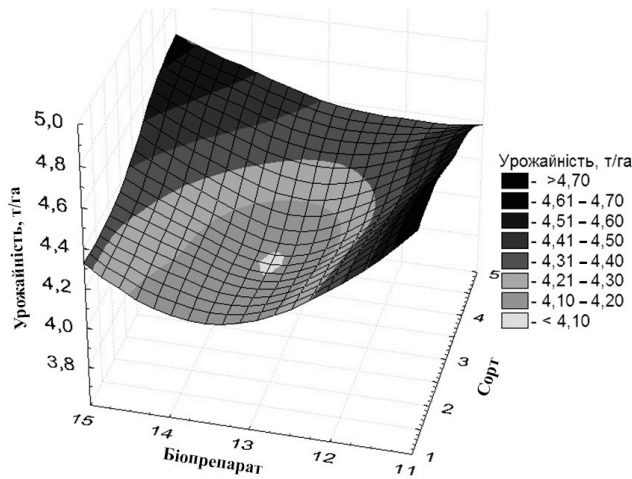


Рис. 5.
Залежність урожайності пшениці м'якої озимої від сорту та біологічного препарату (кодування сорту: 1 – Вікторія одеська; 2 – Пошана; 3 – Дріада 1; 4 – Селянка; 5 – Писанка; кодування препарату: 11 – Триходермін; 12 – Планриз; 13 – Раксил ультра; 14 – без обробки; 15 – Фітоспорин)

Як бачимо більшість сортів позитивно реагувала на препарат Триходермін, хоча відзначимо у сортів різну чутливість до окремих біологічних препаратів. Це стосується сорту Пошана, який здебільшого, ніж інші сорти, реагував на біологічні протруйники Планриз, Фітоспорин.

Для оцінки і уточнення ранжування факторів впливу (роки – кліматичні умови, сорт, біопрепарат) на врожайність пшениці м'якої озимої використаний новий підхід із застосуванням нейротехнологій. У результаті моделювання створена регресійна штучна нейронна мережа (рис. 6): чотиришаровий перцептрон (3-5-2-1) з п'ятьма нейронами в першому і двома в другому прихованих шарах; продуктивністю навчання – 0,49, контрольна – 0,35, тестова – 0,55; похибками навчання – 0,10, контрольна – 0,05, тестова – 0,11. Метод навчання: зворотний

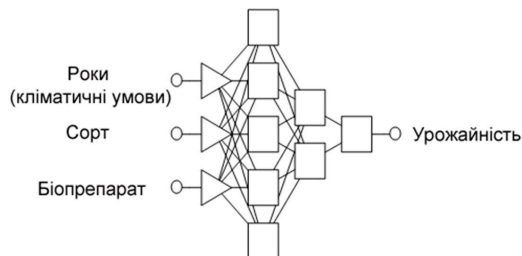


Рис. 6. Архітектура регресійної штучної нейронної мережі

розподіл (100 епох) і пов'язаних градієнтів (20 епох). Множинна кореляція з урахуванням нелінійних закономірностей впливу факторів на врожай пшениці м'якої озимої становила 0,87. Достовірність прогнозування урожайності на контрольній вибірці – 90,4 %.

Відгук регресійної нейромережі визначається за формулою:

$$y_i(t) = f\left(\sum_{m=1}^2 w_m^{(3)}(t) f\left(\sum_{j=1}^5 w_j^{(2)}(t) f\left(\sum_{n=1}^3 w_n^{(1)}(t) x_n^{(i)}\right)\right)\right),$$

де $i = 1,3$; t – дискретний значення часового ряду; w – матриця вагових коефіцієнтів; $x_n^{(i)}$ – n -а координата вхідного вектора в певний

момент часу t ; $f(S_n; S_j; S_m)$: $f(S) = \frac{1}{1 + e^{-S}}$ –

сигмоїдна передаточна функція прихованих і вихідного шарів нейронної мережі.

У результаті оцінки чутливості нейромережі здійснено ранжування факторів на вплив динаміки врожаю пшениці м'якої озимої: на першому місці – роки (кліматичні умови), коефіцієнт впливу становить 2,15; на другому – біопрепарат (1,32); на третьому – сорт (1,11). Нейромоделювання підтверджує наведені результати багатфакторного дисперсійного аналізу (рис. 2).

Висновки

1. Застосування в передпосівній обробці насіння пшениці м'якої озимої біопрепарату Триходермін забезпечує вищу енергію проростання, лабораторну і польову схожість та врожайність, ніж хімічний протруйник Раксил ультра і необроблене контролем насіння (контроль).

2. Придатність конкретного сорту для певної зони, де він може забезпечувати максимальну продуктивність, з метою здійснення сортової технології вирощування, можливо визначити за його адаптивністю до несприятливих умов довкілля. Приймати рішення про використання біологічних протруйників необхідно після фітоекспертизи насіннєвого матеріалу. Це дасть можливість виявити

не тільки видовий, а й кількісний склад патогенів.

3. Уперше для моделювання формування врожайності сортів пшениці м'якої озимої використаний метод штучних нейронних мереж, який дозволив визначити нелінійні закономірності впливу досліджуваних факторів та створити адаптивну багатозварову регресійну модель для високоточного прогнозування (90,4 %) врожайності в умовах Степу та сухого Степу. Множинна кореляція з урахуванням нелінійних закономірностей впливу факторів на врожай пшениці м'якої озимої становила 0,87. У результаті оцінки чутливості нейронної мережі здійснено ранжування факторів на вплив динаміки врожаю пшениці м'якої озимої.

Бібліографія

1. Бараболя О.В. Вплив попередників на урожайність та якість зерна сортів пшениці м'якої озимої / О.В. Бараболя // Зб. наукових праць Уманського національного університету садівництва. – 2001. – Вип. 76. – С. 102–106.
2. Коломієць Л.А. Формування адаптивних ознак міжсортовими гібридами озимої пшениці (*Triticum aestivum* L.) / Л.А. Коломієць // Сортовивчення та охорона прав на сорти рослин. – 2007. – № 6. – С. 26–34.
3. Базалій В.В. Магнітно-імпульсна обробка насіння як метод підвищення врожайності зернових культур / В.В. Базалій, Б.В. Малигін, О.А. Дудяєва // Таврійський науковий вісник. – 2011. – Вип. 76. – С. 3–10.
4. Герман М.М. Поліпшення посівних якостей насіння пшениці м'якої озимої залежно від передпосівної обробки насіння / М.М. Герман // Вісник Полтавської державної аграрної академії. – 2011. – № 4. – С. 54–57.
5. Аніщин Л. Вплив біостимуляторів на врожай і якість озимої пшениці / Л. Аніщин, С. Аніщин // Новини захисту рослин. – 1999. – № 7–8. – С. 29–30.
6. Пономаренко С.П. Регулятори росту. Екологічні аспекти застосування / С.П. Пономаренко // Захист рослин. – 1999. – № 12. – С. 15.
7. Шевченко А.О. Резерв пшеничної ниви. Біостимулятори росту нового покоління / А.О. Шевченко, Л.А. Аніщин // Захист рослин. – 1997. – № 10. – С. 21с.
8. Завалин А.А. Біопрепарати, добрива і урожай. – М.: Изд-во ВНИИА, 2005. – 302 с.
9. Шаповалов І.В. Высшие технологии – аграрному комплексу Украины / І.В. Шаповалов, В.Ф. Бутенко // Сад Украины. – 2004. – № 3–4. – С. 28–31.
10. Литвиненко Р. Рентабельность применения биопрепаратов на зерновых / Р. Литвиненко // Новый аграрный журнал. – 2011. – № 3. – С. 28–31.
11. Альбит на озимой пшенице / А.К. Золотников, А.И. Дерев, И.И. Бегунов, К.М. Золотников // Земледелие. – 2005. – № 3. – С. 31–32.
12. Филин В.И. Эффективность биопрепарата Альбит при возделывании озимой пшеницы в степной зоне / В.И. Филин, А.П. Тибирьков // Плодородие. – 2009. – № 1(46). – С. 31–32.
13. Насінництво і насіннезнавство зернових культур / За ред. М.О. Кіндрука. – К.: Аграрна наука, 2003. – 240 с.
14. Васильківський С.П. Адаптивні властивості та врожайність сортів пшениці м'якої озимої / С.П. Васильківський, О.В. Семеніхін // Агробіологія. – 2010. – Вип. 4(80). – С. 97–103.
15. Пичура В.И. Применение интеллектуальных искусственных нейронных сетей для прогнозирования химических показателей оросительной воды (на примере Ингулецкого магистрального канала) / В.И. Пичура // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. – Екатеринбург, 2012. – № 2. – С. 17–28.
16. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс. – М.: Издат. дом “Вильямс”, 2006. – 1104 с.
17. Прогнозирование гидрохимического режима низовья Днепра с использованием нейротехнологий / В.И. Пичура, Ю.В. Пилипенко, Ф.Н. Лисецкий, О.Э. Довбыш // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. – Екатеринбург, 2015. – № 2. – С. 20–32.
18. Использование данных дистанционного зондирования Земли и нейротехнологий для совершенствования мониторинга лесных массивов / Э.А. Терехин, Ю.В. Пилипенко, В.И. Пичура, О.А. Чепелев, Д.С. Бреус // Агроэкологический журнал. – 2012. – № 4. – С. 41–47.
19. Кравченко Ю.А. Экстраполяция изменений параметров сложных систем на основе периодической нечеткой клеточной нейронной сети / Ю.А. Кравченко // Известия Таганрогского государственного радиотехнического университета. – 2007. – Т. 73, № 1. – С. 242–246.
20. Пичура В.И. Пространственно-временное прогнозирование изменений параметров агрохимических показателей мелиорируемых почв с использованием ГИС и нейротехнологий / В.И. Пичура // Агрохимия і ґрунтознавство. – 2012. – № 78. – С. 87–95.
21. ДСТУ 4138-2002. Насіння сільськогосподарських культур. Методи визначення якості. – К.: Держспоживстандарт України, 2003. – 173 с.
22. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта / Б.А. Доспехов. – М.: Колос, 1985. – 335 с.

Рецензент – доктор сільськогосподарських наук, професор І.І. Ярчук