



Дослиництво

УДК 631.52.4

В.В. Чернуський,
кандидат сільсько-
господарських наук

Т.А. Чернуська

*Інститут сільського
господарства Полісся НААН*

ПРИНЦИПИ І МЕТОДОЛОГІЯ АПРОКСИМАЦІЇ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДАНИХ ВІДПОВІДНО ДО КОНЦЕПЦІЇ КОМПЛЕКСНОЇ СЕЛЕКЦІЇ ТРАДИЦІЙНИХ КУЛЬТУР ПОЛІССЯ НА ПРОДУКТИВНІСТЬ І АДАПТИВНІСТЬ

Вступ. В останні роки у зв'язку з глобальними змінами клімату стратегічні напрями селекції все більше набувають взаємопов'язаного дуалізму у вигляді необхідності створення високопродуктивних сортів з системною стійкістю до біотичних та абіотичних факторів зовнішнього середовища. Саме тому принцип дослідження даних систем все більше повинен переходити у галузь нелінійних динамічно-стохастичних, біфуркаційно-дисипативних, фрактальних методів аналізу. *Умови та методика досліджень.* Розроблено та запропоновано принципи нелінійно динамічного аналізу експериментальних результатів досліджень у вигляді багатофакторних, багатоваріантних, багаторівневих даних завдяки застосуванню програмно апаратних можливостей сучасних ІТ — технологій. *Результати досліджень.* За результатами багаторічних досліджень в селекційних розсадниках різних рівнів, з різною інтенсивністю добору, під тиском факторів середовища різної інтенсивності нами сформовано колекцію аналітично-геометричних поверхонь, яка розкриває узагальнювальну лінійно-нелінійну сутність, зокрема можливих синергетично-об'єднаних напрямів добору компонентних ознак при формуванні продуктивно-адаптивних властивостей комплексної. *Висновки.* Сформовано концепцію мультиколінеаризованого формування системи фенотипу, яка включає генотипову, паратипову й епігенетичну складові та розроблено і практично реалізовано оптимізований принцип добору ідентифікованих генотипів на еко-градієнтних фонах.

Ключові слова: апроксимація, комплексна селекція, гіперкомплексні матриці, адитивний, мультиплікативний, фрактальний принципи аналізу, ознаки сортів рослин.

Обов'язковою вимогою до результатів експериментальної роботи є їх достовірність, яка характеризується суворими, об'єктивними статистичними критеріями точності та суттєвості. Без них наукова цінність і практичне значення дослідних даних дуже сумнівні. Наука тільки тоді удосконалюється, коли вона використовує математику. Математичні методи аналізу дають можливість перевірити робочі гіпотези, оцінити експериментальні дані і зробити об'єктивні висновки, вірно

спланувати експерименти, що дасть можливість отримувати достовірні дані з мінімальними витратами [1].

Селекціонеру-практику в процесі проведення експериментальних досліджень доводиться мати справу з великою масою інформації, яка, як правило, зазнає усереднення, стискання та архівації, тобто виведення середніх числових значень. Водночас під час проведення цих операцій втрачається якісно-аналітична складова отриманої інформації.

Сучасна аналітична база комп'ютерного способу обробки інформації, дає змогу проводити операційну роботу безпосередньо з повним не урізаним числовим масивом, причому завдяки високій швидкодії операційних систем власне обробка інформації займає невеликий проміжок часу.

Вперше концептуально-стратегічну основу ідентифікації видів шляхом побудови математичних моделей заклав М.І. Вавилов у законі гомологічних рядів. Зокрема він запропонував матричну форму представлення і аналізу даних. На його думку лінеони і види відповідно відрізняються не лише ознаками, а також і їх специфічною комплексною морфологічною, фізіологічною і генетичною природою. Ці специфічні відмінності мають назву *радикали*. Можуть бути радикали видів, родів і цілих сімейств. Таким чином, для трьох близьких, споріднених лінеонів того самого роду ми маємо такі вирази їх особливостей морфологічних та фізіологічних властивостей:

$$L_1 (a_1 + b_1 + c_1 + d_1 + e_1 + i_1 + g_1 + h_1 + l_1 + k_1 \dots);$$

$$L_2 (a_2 + b_2 + c_2 + d_2 + e_2 + i_2 + g_2 + h_2 + l_2 + k_2 \dots);$$

$$L_3 (a_3 + b_3 + c_3 + d_3 + e_3 + i_3 + g_3 + h_3 + l_3 + k_3 \dots),$$

де L_1, L_2, L_3 — радикали, які розрізняють лінеони один від одного; a, b, c, \dots — різні варіюючі ознаки, як забарвлення, форма луски, листя, стебла.

Відповідну роботу по уніфікації і стандартизації результатів експертної оцінки сортів провели спеціалісти Інституту експертизи сортів рослин України. Зокрема, ними розроблено оптимізовану форму паспортної системи занесення і зберігання опису сортів, що проходять випробування.

Нами в розвиток цих ідей опрацьовано матричну форму занесення і зберігання цифрових даних у вигляді багаторівневих складних матриць, в якості елементів яких використані вектори, диференціали, а також підматриці. Завдяки цій формі багаторівневого розгалуженого ієрархічного багатолістового способу зберігання інформації існує можливість прямої її обробки та отримання функціональних залежностей і взаємозв'язків багатьох факторів експерименту у вигляді багатозв'язаних областей, моделей станів з мінімаксними параметрами управління оптимізацією компонентних ознак при фор-

муванні комплексної ознаки продуктивності сорту.

Водночас власне матричні форми аналізу більш адекватні для характеристики статичних завершених систем без подальшого розвитку на часових рядах. Відповідно до сучасної концепції і особливо адаптивної та епігенетичної селекції, сорт — це динамічна популяційно-структурно диференційована система, якій притаманні зміни на часових рядах.

Останніми роками у зв'язку з глобальними змінами клімату стратегічні напрями селекції все більше набувають взаємопов'язаного дуалізму у вигляді необхідності створення високопродуктивних сортів з системною стійкістю до біотичних та абіотичних факторів зовнішнього середовища. Ув'язати в єдиній системі дані властивості, які в біологічному сенсі, як правило, взаємовиключають одне одного надзвичайно складно. Саме тому принцип дослідження цих систем все більше повинен переходити у галузь нелінійних динамічно-стохастичних, біфуркаційно-дисипативних, фрактальних методів аналізу.

Паралельно з цим природа вже потурбувалася про значні потенційні резерви механізмів адаптивності рослин на онтогенетичному та популяційному рівнях. Зокрема, останнім часом все більшого визнання в наукових колах набуває епігенетична теорія розвитку, яка пов'язана з ідеєю оперативного адекватного управління онтогенетичними процесами за принципом оберненого зв'язку з умовами зовнішнього середовища. На думку [2], епігенетична парадигма спадковості повернула біології системний стиль мислення, даючи можливість розглядати спадкову мінливість не лише окремих генів або блоків генів в популяціях, а й спадкову мінливість цілісних систем (наприклад, репродуктивних ознак рослин). До епігенетичної форми мінливості у рослин можна віднести ротаційну мінливість макроознак в популяціях, тобто перепрограмування онтогенезу і системних ознак особин на базі альтернативних програм розвитку.

Таким чином, метою наших досліджень було встановлення можливості способом перебирання варіантів апроксимації лінійних або нелінійних методів аналізу в системі взаємозв'язків компонентних ознак при формуванні комплексної підібрати адекватну модель, яка найбільш повно відображає весь динамічний цикл онтогенетичного формування ознаки, в тому числі, в епігенетичному

плані під впливом умов зовнішнього середовища.

В процесі проведення досліджень паралельно до практичної роботи по створенню сортів виконували такі завдання:

- вивчення можливості впровадження в систему багатфункціональну схему селекції принципів епігенетної мікроеволюційної теорії, еколого-градієнтних диференціюючих ландшафтів, методів математико-статистичного аналізу динамічних систем, у тому числі, з використанням сучасних ІТ технологій;
- встановлення можливості використання комплексу даних методів і технологій загалом під час створення системи експертної оцінки бази знань для оптимального управління технологічним селекційним ланцюжком створення сортів.

Шляхом створення бази реальних статистичних матриць, отриманих, зокрема, на масивах цифрових фотографій селекційних об'єктів відповідно по культурах, компонентних ознаках (у тому числі в системі взаємозв'язків при формуванні комплексної ознаки), по роках досліджень, формування відповідного методу аналізу поверхонь, які за своїми характеристиками тотожні розрахунковим ідеальним моделям, що базуються на стандартних канонічних рівняннях.

Умови та методика досліджень. Опрацьовано дані метеоспостережень на дослідних полях ІСГП в с. Грозине. За характером амплітудно-динамічних змін температури (рис. 1) та кількості опадів за вегетаційні періоди 1990–2014 рр. (рис. 2) встановлено, що дані системи повільні у часі, забуферені за впливаючими компонентними факторами, тому для них спостерігаються низькі коефіцієнти детермінації поліноміальної апроксимації, але тенденція підвищення температури (на 2,8%) і зменшення кількості опадів (на 0,7%) за період вегетації відмічається. Відповідно до тренду поліноміальної кривої середня подекадна температура вегетаційних періодів зростає від 13 до 16°C, а середньодекадна сума опадів знизилася від 22 до 18 мм.

Провідні селекціонери ІСГП в своїх селекційних програмах завжди враховували фактор впливу метеоумов на характер і параметри прояву цінних господарських ознак особливо в процесі добору й ідентифікації селекційних зразків з комплексною стійкістю до біотичних і абіотичних факторів зовнішнього середовища в розрізі власних селекційних розсадників усіх рівнів. Крім того, конкурсно екологічне випробування номерів картоплі проводиться протягом 3-х років у трьох різних еколого-географічних пунктах ще двох областей, зокрема на ділянках Інституту кар-

Температура, °С

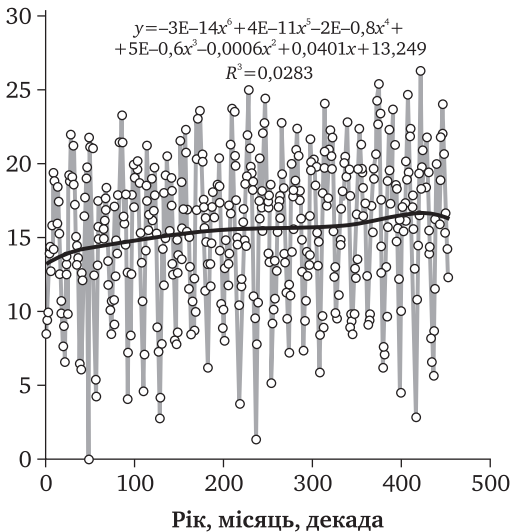


Рис. 1. Характер амплітудно-динамічних змін температури за вегетаційні періоди, 1990–2014 рр.

Опади, мм

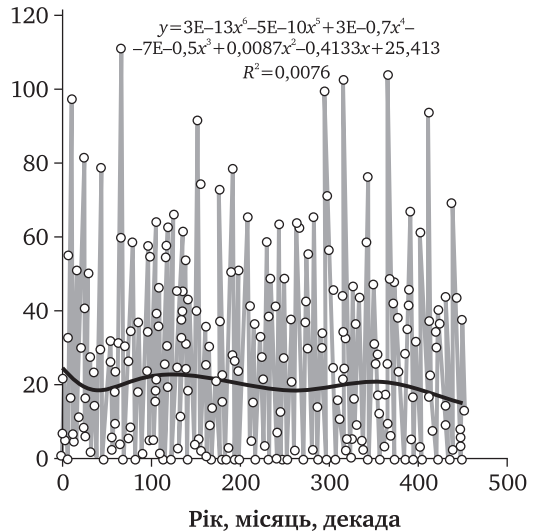


Рис. 2. Характер динамічних змін опадів за вегетаційні періоди, 1990–2014 рр.

топлярства. На постійній основі налагоджено роботу по обміну селекційними зразками жита озимого з науковцями провідного методичного центру Інституту рослинництва ім. В.Я. Юр'єва з метою визначення широти норм адаптивних реакцій на диференціюючих фонах Полісся і Слобожанщини. Подібну творчу співдружність по селекційній роботі з люпином жовтим і вузьколистим проводять зі спеціалістами ННЦ "Інститут землеробства".

Таким чином, за роки досліджень накопичено значну кількість багатфакторних, багатоваріантних, багаторівневих даних з якими аналітико-статистична робота постійно велась, але в зв'язку з істотним збільшенням останнім часом програмно апаратних можливостей застосування сучасних ІТ-технологій, виникла необхідність узагальнення отриманих даних з метою розроблення оптимізованої стратегії і тактики добору в технології селекційного процесу.

Результати досліджень. За результатами багаторічних досліджень в селекційних розсадниках різних рівнів, з різною інтенсивністю добору, під тиском факторів середовища різної інтенсивності нами сформовано колекцію поверхонь, яка розкриває узагальнюючу лінійно-нелінійну сутність, в тому числі, можливих синергетично-об'єднаних напрямів добору компонентних ознак при формуванні продуктивно-адаптивних властивостей комплексної.

На перших етапах аналізу ми диференціюємо поверхні за типом зв'язків. У першу чергу, виділяємо системи з лінійним характером зв'язку, як найбільш стабільні і прогнозовані. Також за їх характеристиками можна визначати екстраполяційне збільшення параметрів та виявляти прогностичний вектор добору за простою залежністю $Z = aX \pm bY + c$, де a, b, c — постійні коефіцієнти. Приклад: параметрична оцінка зразків жита озимого по ознаках кількість зерен в колосі (КЗК), маса 1000 зерен (МТЗ), маса зерен з колосу (МЗК) (рис. 3).

Нелінійний характер залежностей встановлено між компонентними ознаками кількість зерен в колосі (КЗК), щільність колосу (ЩК), маса зерен з колосу (МЗК) (рис. 4). Відповідно до сучасної концепції моделі біологічних систем позиціонуються як динамічно-стохастичні. Математичний апарат аналізу даних систем розроблено доволі досконало. Один із методів — розведення траєкторії руху системи через біфуркацію (а),

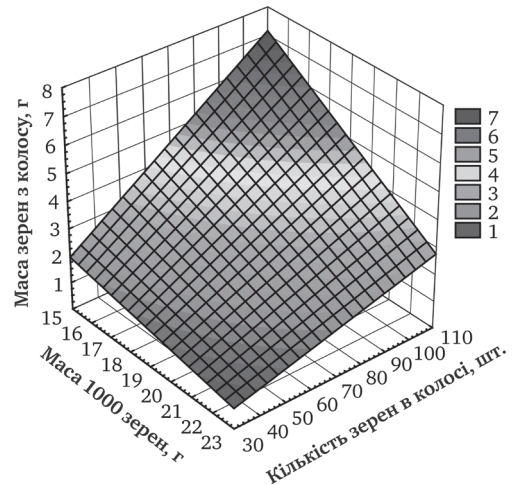


Рис. 3. Лінійний характер залежностей між компонентними ознаками. На прикладі зразків жита озимого по ознаках кількість зерен в колосі (КЗК), маса 1000 зерен (МТЗ), маса зерен з колосу (МЗК)

стосовно селекції — це можливість диференціації зразків на міжпопуляційному рівні. В математичному сенсі — спосіб рішення через топологічну особливість (збірку Уїтні) та її проекцію на площину (Брус, Джиблін, 1988; цит. за В.В. Ісаєвою, 2003).

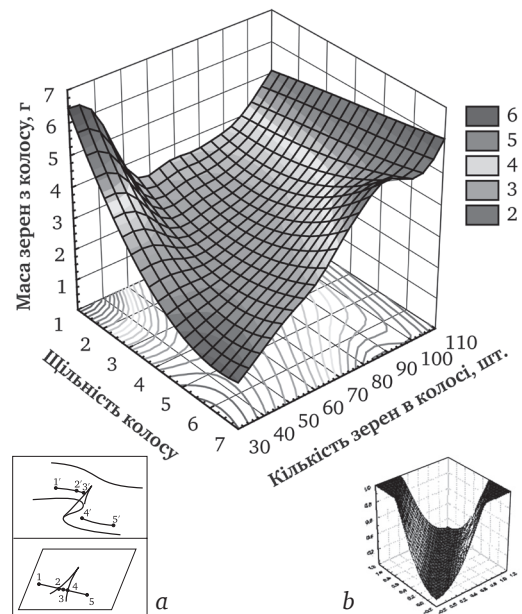


Рис. 4. Нелінійний характер залежностей між компонентними ознаками кількість зерен в колосі (КЗК), щільність колосу (ЩК), маса зерен з колосу (МЗК)

Принципи і методологія апроксимації експериментальних даних відповідно до концепції комплексної селекції традиційних культур Полісся на продуктивність і адаптивність

Можливе також рішення системи через перцептрон нейронної мережі (b). Теоретичне обґрунтування нейромережевого моделювання [3] ґрунтується на теоремі А.Н. Колмогорова, який довів, що будь-яку безперервну багатовимірну функцію на одиничному відрізку [0;1] можна представити у вигляді кінцевого числа одновимірних

$$f(x_1, x_2, \dots, x_n) = \sum_{p=1}^{2n+1} g \left(\sum_{i=1}^n \lambda_i \varphi_p(x_i) \right),$$

де g і φ_p — безперервні і одновимірні функції, $\lambda_i = \text{const}$.

Звідси, за допомогою будь-якої багатопарової ІНС всього з двома перероблюючими шарами, можна з будь-якою точністю апроксимувати будь-яку багатовимірну функцію на одиничному відрізку.

За результатами мета-аналізу літературних даних нами виявлено можливість використання третього методу, який найбільш повно збігається з поставленими завданнями і принципами селекції, яка реалізується шляхом побудови оптимізованих абстрактних моделей в багатовимірному просторі для визначення параметрів, які в системі функціональних дозволів будуть відповідати ідеальному типу сорту.

На думку [3] величезна більшість процесів в природі може бути описана у вигляді поліномів високого ступеня, що є окремим випадком узагальненого полінома Колмогорова-Габора:

$$y = a_0 + \sum_{i=1}^m a_i x_i + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m a_i a_j x_i x_j + \dots + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^m a_i a_j a_k x_i x_j x_k + \dots$$

Для практичної оцінки синергізму чинників в цих умовах традиційним є шлях комплексного об'єднання тим або іншим способом параметрів функціонування системи в один або кілька індексів, які грають роль інтегрального критерію (формалізованого показника, що узагальнює більш ширші групи показників і який привносить новий інформаційний аспект в опис об'єкта).

Виходячи з цього нами модифікована і апробована в практичній селекції система рішення поліноміальних рівнянь методом аналітичної геометрії, шляхом використання комп'ютерної програми Derive 5.0, спосіб застосування якої буде викладено нижче, як об'єднуючий елемент методу.

Крім того, згідно з [1] графічне зображення даних має перевагу над табличним або

текстовим наочним відображенням результатів дослідницької роботи, фіксує увагу, дає можливість легко знайти потрібне. Особливе значення графіків у разі, коли даних багато. Графік дає змогу легко знайти максимумами, мінімумами, точки перегину, періодичність показників. За допомогою графіка легше знайти і визначити залежності між двома явищами, знайти їх математичні залежності. Графічне зображення базується на принципах аналітичної геометрії. Усі виміри можливо показати в геометричній формі довжиною відрізка, площею поверхні, об'ємом тіла або величиною кута.

Особливий тип поверхонь — поверхні з виділенням параметричних класів лінійної і нелінійної взаємодії (рис. 6). Спосіб рішення систем на думку [4] можливий методом кінцево-різницевої апроксимації (КРА) диференціальних рівнянь (рис. 5), який є заміною системи з розподіленими параметрами набором дискретних елементів таким чином, що характеристики спочатку заданого поля залишаються незмінними. Формою представлення функції може бути таблиця, яка задає значення функції в деяких точках області її визначення. Передбачається, що між вказаними точками області шукана функція змінюється по відомому, наприклад лінійному, закону. При побудові дискретної моделі безперервної величини $F(x, y)$ область визначення ділять на кінцеве число підобластей, званих дискретами; в центрі кожної дискрети фіксуються крапки, які називаються вузлами; значення $F(x, y)$ в кожному вузлі вважається невідомою змінною, що підлягає визначенню; у дискретах визначається середнє значення похідних $F(x, y)$ першого і другого порядку.

В нашому випадку проведено аналіз лінійних або параболічних залежностей на певних інтервалах параметричних полів ознак. Виділено зони оптимізовано максимального розміщення лінійно градієнтно наростаючих параметричних полів ознаки від 0,14 до 0,20 г ВОН.

Останнім часом в якості сучасних інноваційних концепцій та методологічних принципів застосування в селекції рослин не лінеаризованих, а мультиколінеарних нелінійних, зокрема синергетичних методів створення сортів, використовують також комп'ютерно-програми бази і методики для формування математичних моделей фрактальної геометрії. Зокрема, нами використані можливості фрактальних програм по формуванню моде-

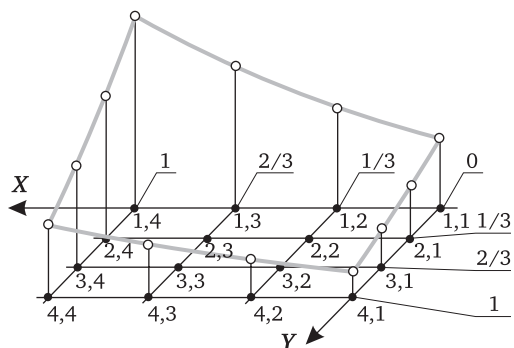


Рис. 5. Рішення систем методом кінцево-різницевої апроксимації

лей ценозів сортів або параметричних комплексів ознак рослин за морфотиповими і архітектонічними принципами. Головне, що алгоритми фрактальних систем відповідають духу і суті архітектонічних принципів побудови рослин, саме тому їх все ширше застосовують в ботаніці.

Щодо селекції актуальною є також думка [6], що існують два взаємодоповнюючі аспекти масштабної інваріантності. З одного боку, самоподібність характерна для активних багатокомпонентних, ієрархічних систем, які демонструють складну поведінку і потребують для реалізації своєї самоподібності широкого діапазону просторово-часових масштабів. З другого боку, математичною

формою скейлінга виступає проста степенева функція

$$f(x) = x^a,$$

де всього одне число — показник ступеня a — характеризує складну ітераційну процедуру народження фрактальної структури — сходження від малого до великого і від простого до складного.

Масштабна інваріантність систем характеризується сильними, спадаючими по степеневому закону кореляціями, які типові для критичних явищ.

Зокрема, за [6] L -системи використовували в біологічних моделях селекції. З їх допомогою можна будувати багато відомих самоподібних фракталів, що і послугувало причиною їх широкого застосування в комп'ютерній графіці для побудови фрактальних дерев і рослин (рис. 7).

Нами також використано можливості функції масштабування програми Chaospro в системі формування морфотипів рослин на онтогенетичному рівні в плані фрактальної організації і структуризації окремих суцвіть і рослин. Зокрема, застосовано можливість формульного моделювання ступеня фрактального заповнення простору квітами на квітконосі, бобами або листям для імітації параметричної різниці сортів люпину вузьколистого різних напрямів господарського призначення (рис. 8).

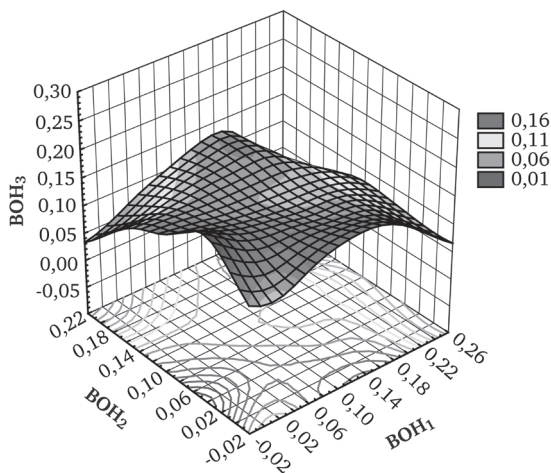


Рис. 6. Реальні поверхні взаємодії ознаки вага однієї насінини (ВОН) у зразків пелюшки різних напрямів господарського використання



Рис. 7. Метод оптимізації фрактального заповнення травостою за рахунок компоненти щільності або габітусу рослини. ССІФ, з використанням T_c, T_1, T_2 (за Ричард М. Кроновер, 2000 р.)

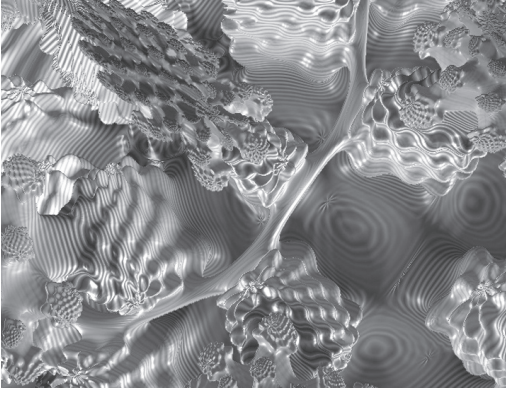


Рис. 8. Наша фрактальна модель зразка люпину вузьколистого зернофуражного напрямку використання. Ступінь фрактального заповнення квітконосами 1,35–1,37

Таким чином, на нашу думку, зазначені вище системи аналізу адекватно узгоджуються з існуючими в селекції загальноприйнятими положеннями про системи контролю кількісних ознак за П.Ф. Рокицьким, Д.С. Фолькнером та сучасноверифікованими за В.А. Драгавцевим та П.П. Літуном.

Загалом шляхом об'єднання методів аналізу і управління адитивного (значною мірою як недолік — мультиколінеарного), мультиплікативного, в тому числі, методу зважування в нейромережах (як недолік сигмоїдно-диференціюючого) та фрактально-ступеневого, нами розроблено та практично застосовано об'єднану систему поліноміального графічного аналізу з можливістю локусного виділення та лінійної апроксимації криволінійних поверхонь (рис. 9).

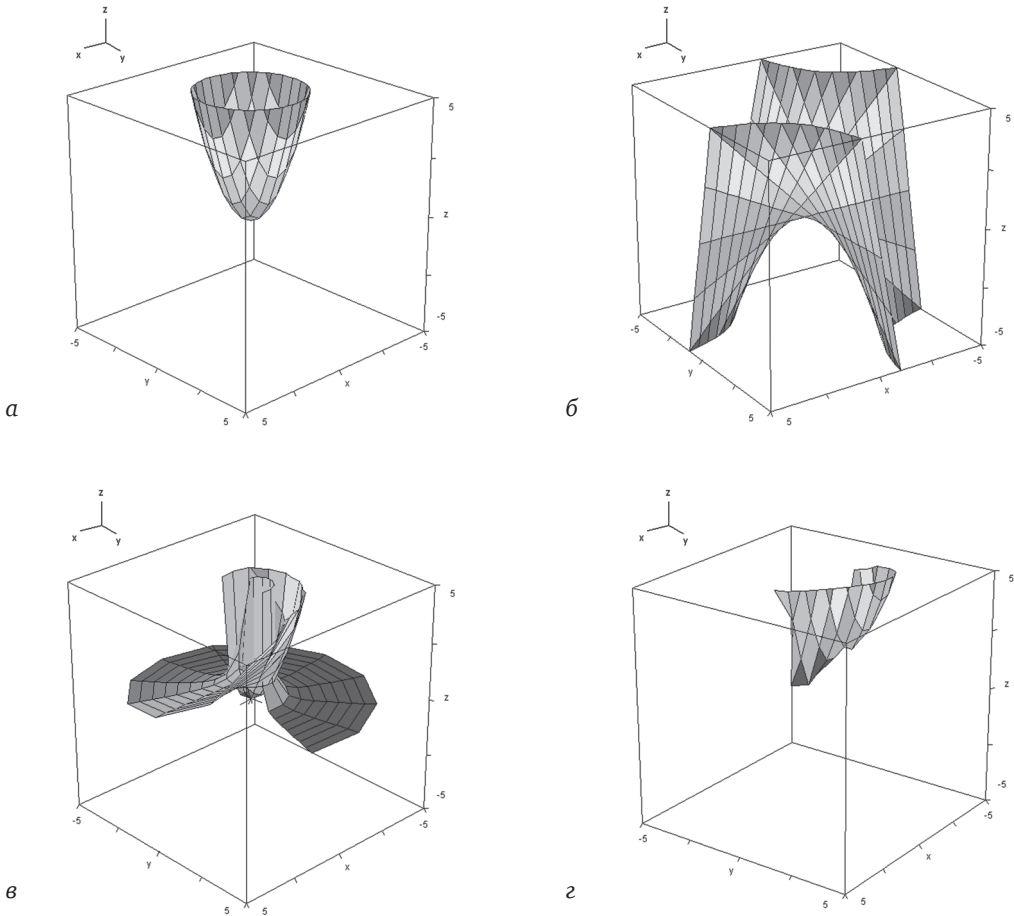


Рис. 9. Адитивний (а), мультиплікативний (б), мультифрактальний (в), загальнополіноміальний (з) графіки аналізу взаємодії ознак

Окремо представлені концептуальні графіки аналізу взаємодії ознак в адитивній (а), мультиплікативній (б), мультифрактальній (в) та об'єднаній загальнополіноміальній (г) системах (рис. 9). Ми використовуємо системний поліноміальний метод кросових оптимізованих блукань на криволінійних геометричних поверхнях. Суть методу кросингу

полягає в пошуку оптимальних об'єднань компонентних ознак шляхом добору варіантів найбільш вдалого поєднання вагових коефіцієнтів компонентних ознак.

Завдяки застосуванню об'єднаних ефектів ознак, у тому числі, мультифрактально, — можливе їх синергетичне управлінське об'єднання.

ВИСНОВКИ

Висунуте припущення, що мультиплікативною частиною системи алейно-неалельного добору в популяції може бути, крім епістатичного, також епігенетичний елемент, який більш адекватний принципам формування емерджентного комплексу фенотипу.

З метою кросингового векторно-градієнтного аналізу системи взаємодії компонентних ознак при формуванні комплексної, можливе застосування візуальних форм аналітичної геометрії у вигляді 3-D криволінійних поверхонь.

Сформована колекція цих поверхонь розкриває узагальнюючу лінійно-нелінійну сутність, в тому числі можливих синергетично-об'єднаних напрямів добору компонентних ознак при формуванні продуктивно-адаптивних властивостей комплексної.

Відповідно до схеми у нашій модифікації при постійному аналізі лім-впливів факторів

зовнішнього середовища нами був проведений добір на оптимізацію взаємовпливів компонентних ознак при створенні сортів різних напрямів господарського використання.

Розроблено математичні моделі, методи та шляхи реалізації селекційної програми стосовно оптимізації систем “алельно-неалельної взаємодії генів”, “генотип – середовище” при формуванні компонентних і комплексних ознак продуктивності та адаптивності на адитивно — мультиплікативній платформі.

Сформовано концепцію мультиколінеаризованого формування системи фенотипу, яка включає генотипову, паратипову та епігенетичну складові та розроблено і практично реалізовано оптимізований принцип добору ідентифікованих генотипів на еко-градієнтних фонах.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Дубовик В.І. Методи і організація досліджень в агрономії. Курс лекцій для студентів спеціальності 7(8).09010101 “Агрономія” денної та заочної форм навчання / В.І. Дубовик. — Суми, 2012. — 50 с.
2. Малецький С.И. Полиплоидия и аналоговая форма наследственности у растений / С.И. Малецький // Фактори експериментальної еволюції організмів: Зб. наук. пр. / Укр. т-во генетиків і селекціонерів ім. М.І. Вавилова. — К.: Логос, 2008. — Т. 4. — С. 15–19.
3. Шитиков В.К. Количественная гидроэкология: методы системной идентификации / В.К. Шитиков, Г.С. Розенберг, Т.Д. Зинченко. — Тольятти: ИЭВБ РАН, 2003. — 463 с.
4. Назаров А.В. Многокомпонентное 3D-проектирование наносистем / А.В. Назаров // Учеб. пособ. — М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. — С. 99, 102.
5. Кроновер Ричард М.. Фракталы и хаос в динамических системах / М. Ричард Кроновер // Основы теории. — М.: ПОСТМАРКЕТ, 2000.
6. Гелашвили Д.Б. Фракталы и мультифракталы в биоэкологии / Д.Б. Гелашвили, Д.И. Иудин, Г.С. Розенберг и др. // Монография. — Нижний Новгород: Изд-во Нижегородского госуниверситета, 2013. — 370 с.