



Генетика, селекція, біотехнологія

УДК 631.522/524

© 2019

ФРАКТАЛЬНИЙ АНАЛІЗ ЯК ЕЛЕМЕНТ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ЕКСПЕРТНОЇ СИСТЕМИ В СЕЛЕКЦІЇ РОСЛИН

М.В. Роїк¹, В.В. Чернуський²

¹доктор сільськогосподарських наук, професор, академік НААН

²кандидат сільськогосподарських наук

Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН

вул. Клінічна, 25, м. Київ, 03141, Україна

e-mail: ¹roiknik@ukr.net, ²wadimchernysky58@meta.ua

Надійшла 27.08.2018

Мета. Сформувати методологію і методику створення системи накопичення та аналітично верифікованого використання інформації матриць цифрової фотографії для формування статистикотеки параметричних станів селекційних зразків у різних умовах вегетаційного періоду для подальшої комплексної уніфікованої її оцінки та аналізу в рамках інтелектуальної експертної системи. **Методи.** Інструментально-камеральний, матрично-цифровий, фрактальний, математико-статистичний. **Результати.** Відповідно до інноваційної наукової концепції «третьої» форми мінливості рослин сформовано статистикотеку параметрів онтогенетичних станів селекційних зразків провідних сільськогосподарських культур у вигляді регресійних рівнянь фрактальної розмірності. **Висновки.** Запропоновано методологію експертної оцінки динамічної системи формування морфометричних параметрів рослин селекційних зразків сільськогосподарських культур у вигляді фрактальної розмірності найбільш цінних продуктивних елементів у загальному стеблостой. Розроблено верифіковану технологію стиснення даних матриці цифрової фотографії селекційного об'єкта (5–6 мегабайт інформації) до узагальненої аналітичної функції регресійного рівняння. У селекційній практиці реалізовано принцип автоматизації камеральної обробки, побудований на математично коректних алгоритмах програм сегментації цифрових візуалізованих зображень, та подальшого стиснення отриманих сегментів до рівня інваріантних фрактальних канонічних систем. Як перспективу подальших досліджень запропоновано принципи формування системи метаданих у вигляді фазово-параметричних портретів, фракталів Ляпунова, кубічних сплайнів для створення надсистеми опису онтогенетичного розвитку рослин в умовах конкретного вегетаційного періоду. У цій надсистемі є можливість встановлення емерджентно — синергетичних закономірностей формування продуктивного фенотипу

під дією епігенетично-тригерних механізмів ВГС, що відкриває реальні перспективи довгострокового прогнозування врожайності.

Ключові слова: епігенетика, селекційні зразки, цифрова матриця, самоафінні перетворення, фрактальна розмірність.

<https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201902-06>

Помітні зміни клімату, впровадження концепції «Цифрової економіки України» зумовлюють перехід на сучасні технології в селекції рослин. Зокрема, у ході досліджень опрацьовано дані метеоспостережень на дослідних полях ІСГП в с. Грозине Житомирської обл. За характером амплітудно-динамічних змін температури (рис. 1) та кількості опадів за вегетаційні періоди 1990–2017 рр. (рис. 2) встановлено, що ці системи повільні в часі, забуферені за впливаючими компонентними факторами. При цьому відповідно до тренду поліноміальної кривої середня подекадна температура вегетаційних періодів зросла з 13 до 16°C, а середньодекадна сума опадів знизилася з 22 до 18 мм.

Саме тому в системі новітніх технологій як базову слід застосовувати інноваційну наукову концепцію «третьої» форми мінливості рослин, розроблену академіками М.В. Роїком, В.А. Драгавцевим та В.С. Малецьким, яка власне і передбачає застосування кібернетичного принципу

оберненого зв'язку при онтогенетичному формуванні фенотипу на платформі підсистем генотип — взаємодія «генотип — середовище» — фактори зовнішнього середовища [1]. Основні методологічні підходи до сучасних уявлень емерджентно-синергетичних принципів розвитку складних нелінійних систем, запропоновані авторами, показано на рис. 3.

Інші важливі складові цих технологій — це формування великих баз даних (big data) та застосування адекватних нелінійних математико-статистичних платформ аналізу значних масивів цих даних у вигляді нейромереж, фазово-параметричних портретів, аналітичних геометричних поверхонь, отриманих методом топологічного змішування, фрактально-перколяційних кластерів тощо (рис. 4).

На цьому етапі в системі Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН відбувається формування бази метаданих із паралельним залученням їх у систему великої інформаційної моделі кластерно-ієрархічного дерева розвитку

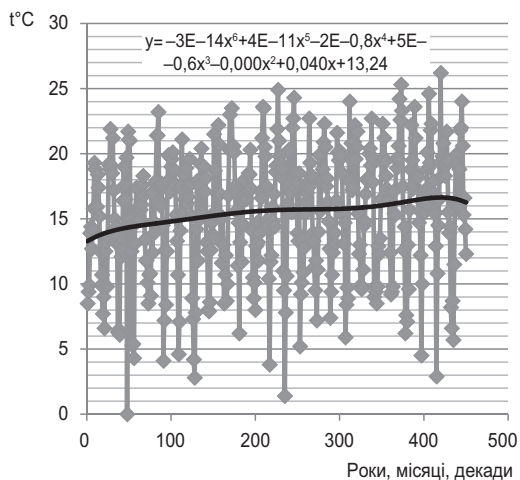


Рис. 1. Характер амплітудно-динамічних змін температури за вегетаційні періоди 1990–2017 рр.

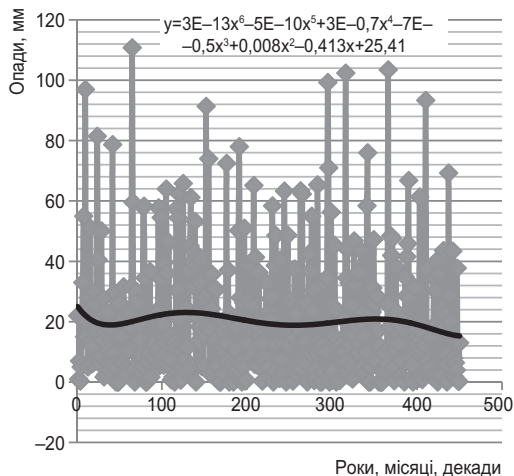


Рис. 2. Характер динамічних змін опадів за вегетаційні періоди 1990–2017 рр.

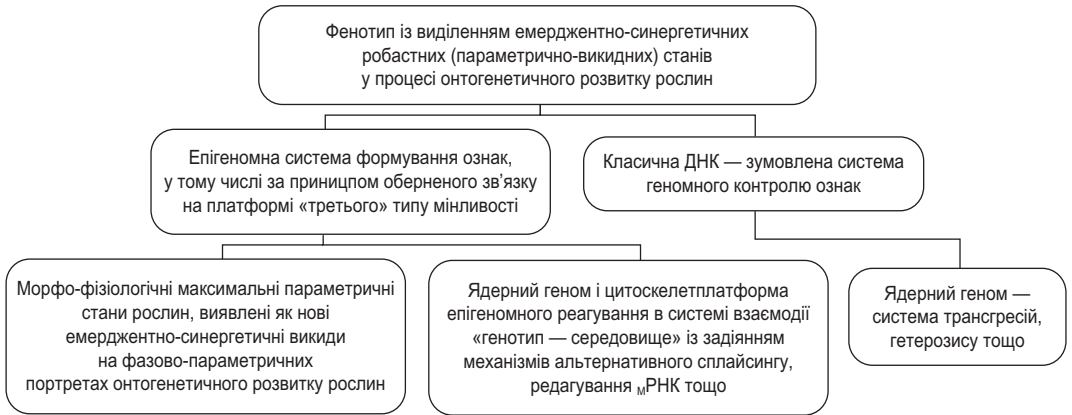


Рис. 3. Принципова схема формування фенотипу згідно із сучасними уявленнями емерджентно-синергетичних принципів розвитку складних нелінійних систем за концепцією «третьої мінливості» Малецького-Роїка-Драгавцева

фенотипу на часових рядах онтогенезу і філогенезу з метою прогнозування можливості появи емерджентно-синергетичних поєднань цінних компонентних селекційних ознак і встановлення характеру їх успадкування в поколіннях.

Розроблені й активно застосовуються для формування бази даних принципи

самоафінного переформатування матриць цифрової фотографії з аналогової візуальної форми в математико-статистичну інформаційну модель.

Мета досліджень — сформувати методологію і методику створення системи накопичення та аналітично верифікованого використання матриць цифрової фотографії для формування статистикотеки параметричних станів селекційних зразків у різних умовах вегетаційного періоду для подальшої комплексної уніфікованої її оцінки та аналізу в рамках інтелектуальної експертної системи.

Одним із дієвих та швидкодіючих аналітичних і апаратних комплексів сучасності для інтелектуальної класифікації експериментальних об'єктів є метод порівняння візуальних образів матриць цифрових фотографій (у тому числі з еталонами з відомими параметричними характеристиками ознак). Значного поширення в системі класифікації біологічних об'єктів останнім часом дістав метод фрактального аналізу.

Однією з найважливіших характеристик фрактала є масштабна інваріантність (самоподібність у широкому діапазоні масштабів). Дробове значення фрактальної розмірності характеризує ступінь заповнення простору фрактальною структурою [2].

Створені комп'ютерні програми розрахунку фрактальної розмірності методами трикутних призм, box-counting, варіацій, варіограм, ізаритм, ітераційних



Рис. 4. Методологія й аналітичні платформи виявлення синергетичних геномно-епігеномних станів фенотипів рослин

покриттів, Пентланд та імовірнісним методом [3, 4].

У системі отримання матриці фрактальних статистик зображень важливим елементом є етап сегментації власне матриці цифрової фотографії [5, 6]. Значна практика використання цифрової фотографії в технологічних схемах селекції різних сільськогосподарських культур накопичена науковцями Селекційно-генетичного інституту, зокрема для визначення ступеня відповідності оцінок ознак зерна різних генотипів пшениці за широкорядної і суцільної схем посіву [7].

Певна практика використання методу сегментації візуальних образів селекційних зразків також набула нами на культурах жита озимого, гороху польового та люпину вузьколистого [8, 9].

Методика досліджень. Визначення фрактальної розмірності параметрів цінних господарських ознак, виділених за кольором у системі RGB, проводилося в селекційних розсадниках різних ієрархічних рівнів (колекційних, доборів родовивідних рослин, конкурсному сортовипробуванні) різних сільськогосподарських культур (жита озимого, люпину вузьколистого, пелюшки, галеги східної, буряків столових і цукрових). Аналізували цінні генеративні й вегетативні ознаки, які становлять господарський інтерес (довжину колоса, кількість зерен у колосі, довжину і ширину бобу або квітконосу, ступінь залістяності, площу листової поверхні, індекс жилкування листка тощо). За кольоровими характеристиками ознаки розрізнялися в значному інтервалі на шкалі RGB і у вузькому діапазоні.

Основні методичні підходи застосовували відповідно до загальноконцептуальних класичних робіт із фрактальної геометрії та в модифікаціях різних авторів відповідно до специфіки галузі (медицина, цитологія, матеріалознавство, гляціологія, ГІС — системи аналізу земної поверхні, лісового господарства [10] тощо).

Зокрема, нами використано методику, запропоновану авторами [11]. Загальна формула для всіх систем згідно з теоремою «островів» Мандельброта така:

$$S=P^D, \quad (1.1)$$

де S — площа, P — периметр, D — фрактальна розмірність фігури (елемента зображення), виділеної за ізопіксельними характеристиками. Формула (1.1) приведена до лінійного вигляду методом логарифмічної апроксимації:

$$D = \ln S / \ln P. \quad (1.2)$$

Відповідно до цієї методики нами проведено перевірку та настроювання апаратного комплексу на достовірність, верифікованість методу та точність установлення рівнів фрактальної розмірності еталонних фрактальних фігур — трикутника Серпінського і ковра Серпінського, які характеризуються теоретичними рівнями ФР відповідно до розмірності Хаусдорфа. Отже, параметри абсолютної теоретичної і апаратно-експериментальної фрактальної розмірності математичної абстракції «трикутника Серпінського» збігаються на 96,5%.

Результати досліджень. Як апаратно-апробаційна проведена експериментальна перевірка методу на кормовій культурі галезі східній. Зокрема, способом диференціації і фракталізації генеративних органів (візуалізована аналогова форма цифрової матриці) отримано матрицю (після самоафінних перетворень і статистичних перебудов) фрактальної наповненості травостою генеративними органами рослин (рис. 6, 7). Цей показник ступеня фрактальної наповненості 1,198 практично відповідає результатам структурного аналізу травостою, зокрема питома частка генеративних органів сягала 20,1%.

Різний ступінь фрактальної розмірності за колосами та зернівками встановлено нами в селекційних зразках жита озимого з різною густиною посіву (суцільним і з індивідуальним стоянням рослин). Зокрема за суцільного способу сівби рівняння регресії становить $D = 1,4183 + 0,7705 \cdot x - 0,9259 \cdot y$, а в посіві з індивідуальним розміщенням рослин статистика рівняння регресії сягає значно менших показників $D = 1,0978 + 0,6566 \cdot x - 0,7017 \cdot y$). Цей метод демонструє високу роздільну здатність стосовно диференціації зразків з різними умовами вирощування. Крім того, він може бути потужною альтернативою окомірній оцінці зразків у межах одного розсадника. Так, нами побудовано

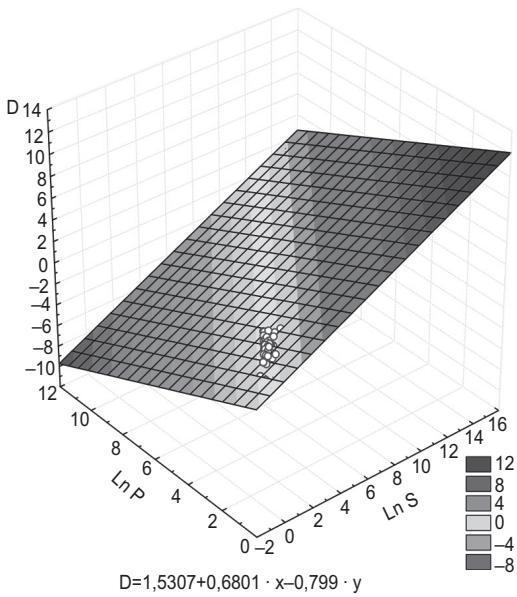


Рис. 5. Графік фрактальної розмірності трикутника Серпінського

шкалу градієнтної оцінки зразків у розсаднику добору елітних колосів із шагом, рівним статистичній похибці варіаційного ряду. Зокрема, у межах розподілу цього ряду нами виділено дискретні кластери селекційного ядра на рівні 3δ при значеннях $D = 1,31 - 1,44$.

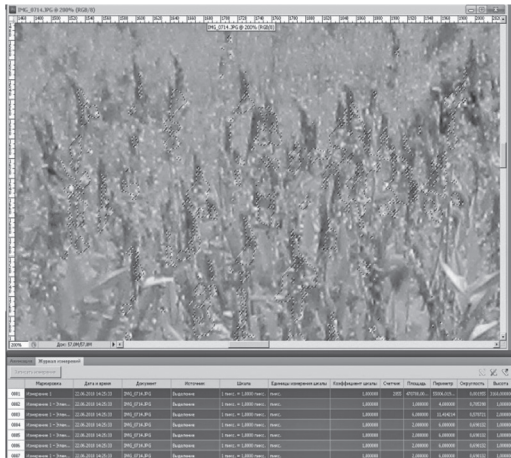


Рис. 6. Диференціація і фракталізація (з елементами методики) генеративних органів галеги східної (візуалізована аналогова форма цифрової матриці), 2018 р.

Фрактальна перколяція (нелінійна) жилок листа буряку столового в системі виділення за кольоровою гамою RGB має складний характер взаємодій площі, периметра та фрактальної розмірності, що виражається в ускладненій системі регресійного рівняння $D = 0,1793 - 1,2832 \cdot x + 1,565 \cdot y$ (рис. 8, 9). Ці фрактальні структури потребують свого подальшого вивчення.

Перспективи подальших досліджень. За результатами проведених експериментальних досліджень на платформі створеної бази даних розгорнуто перший етап (лінійний) інтелектуальної експертної системи як апроксимованої самоафінної моделі реальної нелінійної системи. У подальшому з накопиченням значного масиву даних і формуванням багатовимірної системи регресійних рівнянь раціональним є застосування нелінійних принципів статистико-математичного аналізу, зокрема у вигляді фазово-параметричних портретів динамічних систем. Формування цих експертних систем дасть змогу оптимізувати інформаційні сингулярні горизонти подій і відповідно до емерджентно-

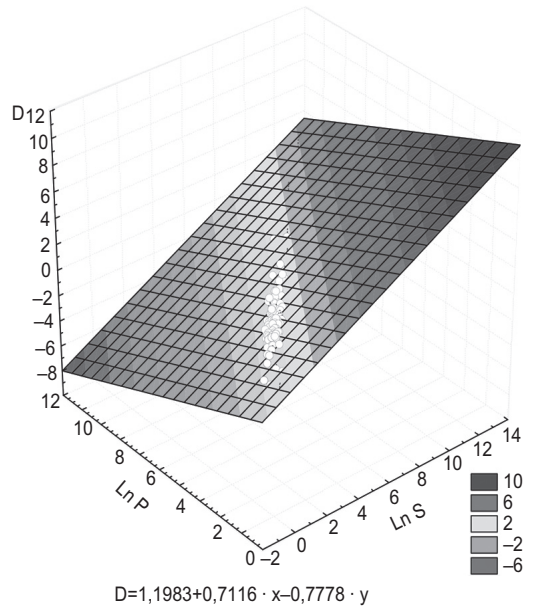


Рис. 7. Та сама матриця після самоафінних перетворень і статистичних перебудов у вигляді фрактальної наповненості генеративними органами, 2018 р.

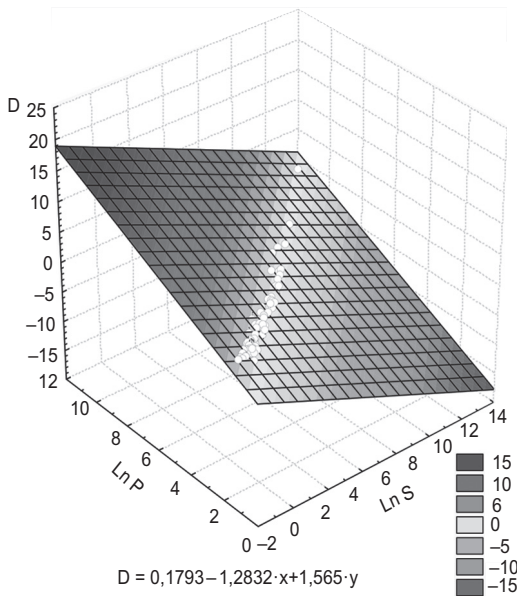


Рис. 8. Фрактальна розмірність жилок листкової пластинки буряку столового (2018 р.)

синергетичних правил формування стохастичних систем отримувати прогнози

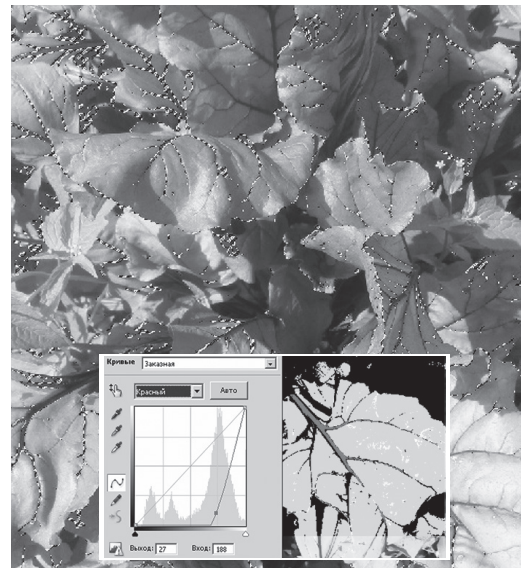


Рис. 9. Сегментація жилок листа буряку столового в системі виділення за кольоровою гамою RGB із підсиленням у червоній зоні (2018 р.)

розвитку фенотипів у взаємозв'язку «генотип — епігенотип — ВГС».

Висновки

Запропоновано методологію експертної оцінки динамічної системи формування морфометричних параметрів рослин селекційних зразків сільськогосподарських культур у вигляді фрактальної розмірності найбільш цінних продуктивних елементів у загальному стеблостой.

Розроблено верифіковану технологію стиснення даних матриці цифрової фотографії селекційного об'єкта (5–6 мегабайт інформації) до узагальненої аналітичної функції регресійного рівняння. У селекційній практиці реалізовано принцип автоматизації камеральної обробки, побудований на математично коректних алгоритмах програм сегментації цифрових візуалізованих зображень та

подальшого стиснення отриманих сегментів до рівня інваріантних фрактальних канонічних систем.

Як перспективу подальших досліджень запропоновано принципи формування системи метаданих у вигляді фазово-параметричних портретів, фракталів Ляпунова, кубічних сплайнів для створення надсистеми опису онтогенетичного розвитку рослин в умовах конкретного вегетаційного періоду. У цій надсистемі є можливість установлення емерджентно-синергетичних закономірностей формування продуктивного фенотипу під дією епігенетично-тригерних механізмів ВГС, що відкриває реальні перспективи довгострокового прогнозування врожайності.

Роик Н.В.¹, Чернусский В.В.²

Институт биоэнергетических культур и сахарной свеклы НААН, ул. Клиническая, 25, г. Киев, 03141, Украина; e-mail: roiknik@ukr.net,

wadimchernysky58@meta.ua

Фрактальный анализ как элемент интеллектуальной экспертной системы в селекции растений

Цель. Сформировать методологию и методику создания системы накопления и аналитически верифицированного использования информации матриц цифровой фотографии для формирования статистикотечи параметрических состояний селекционного периода для дальнейшей комплексной унифицированной ее оценки и анализа в рамках интеллектуальной экспертной системы. **Методы.** Инструментально-камеральный, матрично-цифровой, фрактальный, математико-статистический. **Результаты.** Согласно инновационной научной концепции «третьей» формы изменчивости растений сформирована статистикотека параметров онтогенетических состояний селекционных образцов ведущих сельскохозяйственных культур в виде регрессионных уравнений фрактальной размерности. **Выводы.** Предложена методология экспертной оценки динамической системы формирования морфометрических параметров растений селекционных образцов сельскохозяйственных культур в виде фрактальной размерности наиболее ценных продуктивных элементов в общем стеблестое. Разработана верифицированная технология сжатия данных матрицы цифровой фотографии селекционного объекта (5–6 мегабайт информации) до уровня обобщенной аналитической функции регрессионного уравнения. В селекционной практике реализован принцип автоматизации камеральной обработки, построенный на математически корректных алгоритмах программ сегментации цифровых визуализированных изображений, и дальнейшего сжатия полученных сегментов до уровня инвариантных фрактальных канонических систем. В качестве перспективы дальнейших исследований предложены принципы формирования системы метаданных в виде фазово-параметрических портретов, фракталов Ляпунова, кубических сплайнов для создания сверхсистемы описания онтогенетического развития растений в условиях конкретного вегетационного периода. В данной сверхсистеме существует возможность установления эмерджентно-синергетических закономерностей формирования продуктивного фенотипа под действием эпигенетически-триггерных механизмов ВГС, что открывает реальные перспективы долгосрочного прогнозирования урожайности.

Ключевые слова: эпигенетика, селекционные образцы, цифровая матрица, самоафинные преобразования, фрактальная размерность.

<https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201902-06>

Roik M.¹, Chernuskyi V.²

Institute of biopower crops and sugar beet of NAAS, Clinichna Str., 25, Kyiv, 03141, Ukraine; e-mail: ¹roiknik@ukr.net, ²wadimchernusky58@meta.ua

Fractal analysis as an element of intellectual expert system in plant selection

The purpose. To form methodology and procedure of building system of accumulation and analytically verified use of information of matrixes of digital photo for formation of statistical fund of parametric states of selection samples in various conditions of vegetative period for its further complex unified assessment and analysis within the limits of intellectual expert system. **Methods.** Instrumental-cameral, matrix-digital, fractal, mathematical-statistical. **Results.** According to innovative scientific concept of the “third” form of variability of plants statistical fund is formed of parameters of ontogenetic states of selection samples of leading crops in the form of regression equations of fractal dimensions of quantity. **Conclusions.** Methodology is offered of expert assessment of dynamic system of formation of morpho-metric parameters of plants of selection samples of crops in the form of fractal dimensions of quantity of the most valuable productive elements in general plant stand. The verified technique of compression of data of matrix of digital photo of selection object (5-6 mbyte of information) up to the level of generalized analytic function of regression equation is developed. Principle of automation of cameral processing, built on mathematically correct algorithms of programs of segmentation of digital visualized images, and further compression of the gained segments up to the level of invariant fractal initial systems is realized in selection practice. Principles of formation of system of metadata in the form of phase-parametrical portraits, Liapunov’s fractals, cubic splines for building supersystem of description of ontogenetic development of plants in conditions of definite vegetative period are offered as a prospect for further researches. In the given supersystem there is an opportunity of determination emergent-synergetic regularity of formation of productive phenotype under action of epigenetic-trigger mechanisms of VGS. That opens real prospects of long-term forecasting productivity.

Key words: epigenetics, selection samples, digital matrix, self-affine transformations, fractal dimensions of quantity.

<https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201902-06>

Бібліографія

1. Малецкий С.И., Роик Н.В., Драгавцев В.А. Третья изменчивость. Типы наследственности и воспроизводства семян у растений.

Сельскохозяйственная биология. Проблемы, обзоры. 2013. № 5. С. 3–29.

2. Исаева В.В., Касьянов Н.В. Фрактальность

природних и архитектурных форм. *Вестник ДВО РАН*. 2006. № 5. С. 119–127.

3. Плешанов В.С., Напряшкин А.А., Кибиткин В.В. Особенности применения теории фракталов в задачах анализа изображений. *Автоматрия*. 2010. Т. 46, № 1. С. 86–97.

4. Jobin A., Madhu S. Nair, Tatavarti R. Plant Identification Based on Fractal Refinement Technique (FRT). *Procedia Technology*. 2012. № 6. P. 171–179.

5. Визильтер Ю.В., Желтов С.Ю., Князь В.А. и др. Обработка и анализ цифровых изображений с примерами на LabVIEW IMAQ Vision. Москва: ДМК Пресс, 2007. 464 с.

6. Круглов А.В., Югфельд И.Д. Реализация интерактивной сегментации для сенсорных устройств на базе ОС ANDROID. *Современные наукоемкие технологии*. 2016. № 2. Ч. 2. С. 229–235.

7. Цевма В.М., Хохлов О.М. Ступінь відповідності оцінок ознак зерна різних генотипів пшениці при широкорядній і суцільній схемах посіву.

Збірник наукових праць СГІ — НЦНС. 2013. Вип. 21 (61). С. 53–61.

8. Чернуський В.В. Про можливість уніфікації та автоматизації оковимірної оцінки селекційних зразків шляхом попередньої побудови графічних моделей стеблостою жита озимого і гороху польового. *Агропромислове виробництво Полісся*. 2013. Вип. 6. С. 57–62.

9. Чернуський В.В. Принципи автоматизації і візуалізації технологічних процесів добору в системі селекції шляхом афінного відображення матриць цифрової фотографії на аналітичну площину. *Агропромислове виробництво Полісся*. 2017. Вип. 10. С. 9–13.

10. Галицкий В.В. Фрактальная модель появления проторастения. *Математическая биология и биоинформатика*. 2016. Т. 11. № 2. Doi: 10.17537/2016.11.225

11. Каштанов Н.В., Ляхов А.Ф. Фрактальная размерность визуального образа математической матрицы. *Компьютерные инструменты в образовании*. 2013. № 2. С. 59–66.