УДК 634.8+[57.08:581.1/.5+519.7]

Є.В. Бабенко, *канд. с.-г. наук*
Інститут кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України
e-mail: sarakhan2006@ukr.net

СУЧАСНІ РОЗРОБКИ ТА НОВІ ТЕХНОЛОГІЇ, ПЕРСПЕКТИВИ ДЛЯ ВИНОГРАДАРСЬКОЇ ГАЛУЗІ

Представлені сучасні дослідження та досягнення у виноградарській галузі. Розглянуто ключові питання економічного, екологічного розвитку та наукових підходів галузі. Запропоновано нову систему розподілених, неінвазійних сенсорів на основі штучного інтелекту.

Ключові слова: штучний інтелект, фотосинтез, сенсори, виноград, землеробство.

Сучасні економічні та природні умови приносять нові виклики. За даними продовольчої та сільськогосподарської організації ООН, щоб прогодувати населення світу у 2050 році, світове виробництво продовольства має збільшитися на 70%. Для подолання харчової кризи та покращення світової продовольчої безпеки у сільське господарство мають прийти на допомогу нові технологічні розробки та інновації. З новим витком розвитку штучного інтелекту (AI) та високопродуктивних обчислень (HPC) з'явилися широкі можливості для збирання, аналізу та обробки даних. Останні технологічні досягнення у прецизійному землеробстві спростили моніторинг посівів, дрони та трактори, обладнані датчиками, надають інформацію з більш високою точністю про стан посівів. За даними Світового економічного форуму, як один із десяти перспективних напрямів майбутнього – це моніторинг окремих рослин. Так звані wearable plant sensors покращать стан рослин та підвищать продуктивність сільського господарства [1]. Датчики рослин – це невеликі, неінвазійні пристрої, які можна прикріпити до рослин для постійного моніторингу температури, вологості, вологи та рівнів поживних речовин. Модерні технології вже зазначили перевагу у застосуванні таких датчиків на рослинах, що може з часом оптимізувати врожайність, знизити використання води, добрив та пестицидів, а також виявити ранні ознаки хвороби.

Сучасний стан досліджень у виноградарстві. Для розуміння де саме в галузі можуть прийти на допомогу сучасні інформаційні технології з використанням штучного інтелекту, важливо розглянути останні розробки світової науки.

З огляду на постійно триваючи кліматичні зміни, що постійно відбуваються,на часі розглянути усі можливі інструменти та взаємозв'язки для подальшого успішного розвитку виноградарства та виноробства. Вплив сільськогосподарського середовища, в якому вирощуються рослини, формує смак продуктів харчування та напоїв. Місце проростання та екологічні особливості виноградника надають вину характерних ароматів та смаків. Ґрунт є важливим фактором, що сприяє унікальності вина, виробленого з лоз, вирощених у певних умовах. Важливу роль у цих питаннях виробництва вина від виноградника до виноробні відіграє зростання мікроорганізмів та метаболізм, впливаючи на здоров'я виноградної лози, ферментацію вина, а також на смак, аромат та якість вин. Останні дані показують, що склад, різноманітність та функції ґрунтових мікробних угруповань можуть відігравати важливу роль у визначенні якості вина та опосередковано впливати на його економічну цінність, описує комплексний сценарій мікробної біогеографії вина [2]. Неоднорідність навколишнього середовища (зміст фосфору, доступного для рослин у ґрунті, висота над рівнем моря, кількість опадів, температура, відстань між рядами та відстань між лозами) викликали більше мікробних відмінностей, ніж географічна відстань. Відмінності у складі мікробної спільноти були значною мірою пов'язані з відмінностями в характеристиках ягід, а

також у хімічних профілях вина, що наголошує на потенційному впливі мікробних співтовариств на фенотип виноградних лоз [3]. Специфічне мікробне біорізноманіття, пов'язане з конкретним розташуванням виноградника, є вирішальним аспектом у поєднанні з ґрунтовими, кліматичними та людськими факторами. Географія сильно впливає на склад мікробних спільнот у глобальному масштабі. Прогностична модель, що дозволяє розрізняти мікробні закономірності та з достатньою точністю визначати географічне джерело зразків, може становити великий інтерес для адаптації виноградарства у контексті зміни клімату [4]. Органи рослин містять різну мікробіоту, яка змінюється у відповідь зміни як у розвитку, так у кліматі. Великі дослідження мікробної екології винограду перед збиранням урожаю з оглядом на дрібджі може покращити розуміння деяких компонентів мінливості. Розуміння того, що мікробіом поверхні винограду постійно змінюється, може вплинути на те, як ми керуємо епіфітним мікробіомом ягід, що потенційно впливає на боротьбу з хворобами та рішення щодо вініфікації [5]. Комерційні виноградні лози – це здебільшого щеплений рослинний матеріал, складаються з генетично різних часток кореня (підщепи), щепленого системою пагонів (прищепи), що додає додатковий рівень складності. Коріння містить специфічні для кожної ділянки бактеріальні співтовариства, які відображали генотип підщепи та вплив навколишнього середовища, тоді як бактеріальні співтовариства листя та ягід демонстрували асоціації з часом [6]. Розуміння того, як коренева система модулює фенотипи пагонів, є фундаментальним питанням біології рослин і буде корисним при розробці стійких сільськогосподарських культур. Умови навколишнього середовища та додаткові фенотипи, необхідні для визначення, як найкраще використовувати взаємовідносини між підщепою та прищеплю для адаптації виноградної лози до клімату, що змінюється [7].

Від виноградника до виноробні мікробна активність впливає на здоров'я та продуктивність виноградної лози, на перетворення цукру на етанол під час ферментації, на аромат вина, на якість та неординарність вина. Основний мікробіом має пріоритет над простором та часом. Існує складна екологічна динаміка, що відбувається у мікробних співтовариствах протягом вегетаційного періоду. Результати не тільки збагачують розуміння створення регіональної неординарності вина, але й можуть стати основою у боротьбі з глобальною зміною клімату [8].

Наступний напрям, який також перспективний з огляду на кліматичні зміни та екологічне землеробство – це використання покривних культур у боротьбі з бур'янами і додаткове затримання ґрунтової вологи. Покривні культури вважаються цінним інструментом комплексної боротьби з бур'янами. Однак за даними [9] для довгострокової боротьби з бур'янами за допомогою покривних культур на виноградниках потрібні додаткові методи боротьби.

Інформаційні технології, досягнення та перспективи для аграріїв. Оцінка врожайності сільськогосподарських культур у великих масштабах стала можливою завдяки наявності пристроїв для збирання даних дистанційного зондування, що дозволяють здійснювати безперервний моніторинг сільськогосподарських культур протягом усього періоду їхнього зростання. Застосування цих методів та пристроїв дає можливість приймати рішення у режимі реального часу, щоб максимізувати потенціал урожайності. Розроблено нову модель під назвою YieldNet [10], яка прогнозує врожайність та одночасно враховує взаємодію між урожайністю кількох культур. Модель використовує нову структуру глибокого навчання (DL), яка працює перенесенням навчання між прогнозами врожайності кукурудзи та сої шляхом спільного використання впливу основних ознак і точно прогнозує врожайність за один-чотири місяці до збору. Методи машинного навчання (ML), що ростуть, застосування алгоритмів глибокого навчання є потужним інструментом для моделювання величезних обсягів даних. В основному, коли йдеться про великі обсяги даних, ці дані нам може надати геномом рослини. У роботі з геномною інформацією виникають нові виклики. Наприклад, такі питання, як конфіденційності геному в моделях машинного навчання – Лассо та згорткова нейронна мережа (CNN) [11]. Розробляється нова глибока нейронна

мережа під назвою Residue Activation Network (ResActNet) для реалізації точного алгоритму машинного навчання, що зберігає конфіденційність та забезпечує низький рівень помилок апроксимації у задачах класифікації та регресії [12].

Наступний перспективний напрям в генетичних дослідженнях, де використовують алгоритми штучного інтелекту – це вивчення локусів кількісних ознак експресії (eQTL), як важливого інструменту для розуміння генетики експресії генів складних фенотипів. У дослідженні використовувалися модельні види 10 генотипів винограду, проведено комплексний біоінформаційний конвеєр з використанням даних геноміки та експресії (бази UniProtKB або DAVID). Фактори, що впливають на експресію генів під час дозрівання плодів Vitis vinifera L., можуть стати важливим ресурсом для майбутніх досліджень, у створенні необхідних баз даних, спрямованих на розуміння механістичної основи варіацій регуляції генів [13].

Дослідження з вивчення патогенів на рослинах винограду, наприклад інфекцій, спричинені вірусом скручування листя виноградної лози (GLRaV), супроводжуються симптомами різного ступеня тяжкості. Використовуючи спеціальний експериментальний виноградник, вивчали реакцію на GLRaV у дозріваючих ягодах виноградної лози Каберне Фран, щеплених до різних підщеп і з нульовою, однією або парними інфекціями скручування листя. Дані показують, що підщепи впливають на вплив GLRaV та дозрівання ягід [14]. Оцінка відстані на винограднику, на якій патогени поширюються від одного сезону до іншого, має вирішальне значення для розробки ефективних стратегій боротьби з інвазійними патогенами рослин та є важливою віхою у скороченні використання пестицидів у сільському господарстві. Використання параметризованої моделі з використанням ланцюга Маркова Монте-Карло (MCMC) та доповнення даних на основі даних спостереження в основному складаються з двох карт-знімків інфекційного статусу всіх рослин на трьох сусідніх полях протягом двох років поспіль [15].

Вивчення зростаючого числа метагеномних та геномних послідовностей значно покращило розуміння мікробної різноманітності. Для цього було розроблено конвеєр мультигеномної ентропійної оцінки (MEBS). Який є програмною платформою, що призначена для оцінки, порівняння та виведення складних метаболічних шляхів у великих наборах даних. MEBS має відкритий вихідний код та доступний в мережі інтернет за адресою: https://github.com/eead-csic-compbio/metagenome_Pfam_score [16].

Нове покоління розподілених бездротових сенсорів Флоратест. В Інституті кібернетики ім. В.М. Глушкова Національної академії наук України створено сенсорну мережу [17] та алгоритми обробки даних. Система алгоритмів здатна враховувати мінливість змін багатофакторного середовища. Важлива частина роботи присвячена вивченню ефекту індукції флуоресценції хлорофілу (ІФХ) та вивченню методології опрацювання кривих фотосинтезу [18]. Вперше для дослідження може бути використана багаторівнева інформаційна система стану рослин та потреб підприємств, що містить бездротову сенсорну мережу, керований вузол, глобальну базу даних, базу знань, модуль пояснення, модуль управління, комп’ютер та людино-машинний інтерфейс, що дозволяє приймати управлінські рішення. Дані з бездротового зв’язку передаються на комп’ютер або мобільний пристрій, де вони аналізуються для отримання інформації про стан рослин. Таким чином можливо контролювати рослини в режимі реального часу і виконувати точні втручання на основі конкретних потреб, наприклад, коригувати режими зрошення або внесення добрив у відповідь на рівень вологості або дані про наявність чи потребу в поживних речовинах. За управління цією системою відповідає параметр індукції флуоресценції хлорофілу, що вимірюється в реальному часі. Наступним етапом у вдосконаленні інформаційної системи, обробки та прийняття рішень за цим параметром, в її апаратної частини буде використано модуль з вбудованим штучним інтелектом. Удосконалена інформаційна система може стати перспективним засобом коригування режимів зрошення, моніторингу стану рослин та догляду за багаторічниками.

Таким чином, з огляду на вищезазначене, та з огляду на те, який стрімкий розвиток мають інформаційні системи та системи з використанням штучного інтелекту, на часі почати нові розробки із запровадження таких систем в промислове виноградарство.

Список використаних джерел

1. Communications F. S. “Wearable” sensors for plants: World Economic Forum emerging technologies report – Science & research news. *Frontiers*’. Accessed: Sep. 25, 2023. [Online].
2. Liu D., Chen Q., Zhang P., Chen D., and Howell K. S. ‘Vineyard ecosystems are structured and distinguished by fungal communities impacting the flavour and quality of wine’. bioRxiv, p. 2019.12.27.881656, Apr. 06, 2020. DOI: 10.1101/2019.12.27.881656.
3. Zhou J. et al. ‘Wine terroir and the soil microbiome: an amplicon sequencing–based assessment of the Barossa Valley and its sub-regions’. bioRxiv. p. 2020.08.12.246447, Aug. 12, 2020. DOI: 10.1101/2020.08.12.246447.
4. Gobbi A. et al. ‘Microbial map of the world’s vineyards: Applying the concept of microbial terroir on a global scale’. bioRxiv, p. 2020.09.25.313288, Sep. 25, 2020. DOI: 10.1101/2020.09.25.313288.
5. Hall M. E., O’Bryon I., Wilcox W. F. , Osier M. V. , and Cadle-Davidson L. ‘Epiphytic Microbiome of Grapes Berries Varies Between Phenological Timepoints, Growing Seasons and Regions’. bioRxiv, p. 2019.12.20.884502, Dec. 20, 2019. DOI: 10.1101/2019.12.20.884502.
6. Swift J. F., Migicovsky Z., Trello G. E., and Miller A. J. ‘Grapevine bacterial communities across the Central Valley of California’. bioRxiv, p. 2023.07.01.547327, Jul. 02, 2023. DOI: 10.1101/2023.07.01.547327.
7. Z. Migicovsky et al. ‘Rootstock effects on scion phenotypes in a “Chambourcin” experimental vineyard’. bioRxiv, p. 484212, Dec. 03, 2018. DOI: 10.1101/484212.
8. Liu D. and Howell K. ‘Community succession of the grapevine fungal microbiome in the annual growth cycle’. bioRxiv, p. 2020.05.03.075457, May 04, 2020. DOI: 10.1101/2020.05.03.075457.
9. ‘Do native and introduced cover crops differ in their ability to suppress weeds and reduce seedbanks? A Case study in a Table Grape Vineyard | bioRxiv’. Accessed: Sep. 25, 2023. [Online]. Available: https://www.biorxiv.org/content/10.1101/2023.06.20.545823v1.
10. Khaki S. , Pham H. , and Wang L. ‘YieldNet: A Convolutional Neural Network for Simultaneous Corn and Soybean Yield Prediction Based on Remote Sensing Data’. bioRxiv. p. 2020.12.05.413203, Mar. 04, 2021. DOI: 10.1101/2020.12.05.413203.
11. J. Chen, W. H. Wang, and X. Shi, ‘Differential Privacy Protection Against Membership Inference Attack on Machine Learning for Genomic Data’. bioRxiv, p. 2020.08.03.235416, Aug. 04, 2020. DOI: 10.1101/2020.08.03.235416.
12. Song C. and Shi X. ‘Secure Deep Learning on Genomics Data via a Homomorphic Encrypted Residue Activation Network’. bioRxiv, p. 2023.01.16.524344, Jan. 20, 2023. DOI: 10.1101/2023.01.16.524344.
13. Martínez-García P. J., Mas-Gómez J., Wegrzyn J., and Botía J. A. ‘Algorithms for the discovery of cis-eQTL signals in woody species: the vine (Vitis vinifera L.) as a study model’. bioRxiv, p. 2021.07.06.450811, Jul. 06, 2021. DOI: 10.1101/2021.07.06.450811.
14. A. M. Vondras *et al.*, ‘Rootstocks influence the response of ripening grape berries to leafroll associated viruses’. bioRxiv, P. 2021.03.14.434319, Mar. 15, 2021. DOI: 10.1101/2021.03.14.434319.
15. H. K. Adrakey, G. J. Gibson, S. Eveillard, S. Malembic-Maher, and F. Fabre, ‘Bayesian inference for spatio-temporal stochastic transmission of plant disease in the presence of roguing: a case study to estimate the dispersal distance of Flavescence dorée’. bioRxiv, p. 2022.12.14.520426, Dec. 16, 2022. DOI: 10.1101/2022.12.14.520426.
16. Anda V. D., Zapata-Peñasco I., Poot-Hernandez A. C., Eguiarte L. E., Contreras-Moreira B., and Souza V. ‘MEBS, a software platform to evaluate large (meta)genomic collections according to

their metabolic machinery: unraveling the sulfur cycle'. bioRxiv. P. 191288, Sep. 20, 2017. DOI: 10.1101/191288.
17. V. Romanov, I. Galelyuka, and Ye. Sarakhan, 'Wireless sensor networks in agriculture'. in *2015 IEEE Seventh International Conference on Intelligent Computing and Information Systems (ICICIS)*, Dec. 2015, P. 77–80. DOI: 10.1109/IntelCIS.2015.7397200.
18. Y. Babenko, 'Methodical bases of creation and modeling of information system in plant growing'. *International Conference on Electrical, Computer and Energy Technologies (ICECET)*, Jul. 2022, P. 1–5. DOI: 10.1109/ICECET55527.2022.9873509.

Ye.V. Babenko, *Ph.D. of Agr. Scs*
V.M. Glushkov Institute of Cybernetics of National Academy of Sciences of Ukraine

MODERN DEVELOPMENTS AND NEW TECHNOLOGIES, ARE PERSPECTIVES FOR INDUSTRIAL VITICULTURE

Modern research and achievements in the viticulture industry are presented. Key issues of economic and environmental development of scientific approaches in the industry are considered. A new system of distributed, non-invasive wearable plant sensors based on artificial intelligence is proposed.

Keywords: artificial intelligence, photosynthesis, sensors, grapes, agriculture.