

УДК 631.527:633.71(477.46)

DOI <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2024.137.25>

## ЕЛЕКТРОННІ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ВИРОЩУВАННЯ ТЮТЮНУ

**Рудь А.В.** – аспірант кафедри землеробства, ґрунтознавства та захисту рослин,  
Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»

Дослідження та впровадження електронних систем моніторингу вирощування тютюну є важливим кроком у покращенні якості та ефективності галузі сільського господарства. Різноманітність таких систем, від спеціалізованих до комплексних, надає фермерам інструменти для оптимізації умов вирощування. Враховуючи значення тютюну як важливої сільськогосподарської культури та її економічну вагу, електронні системи моніторингу стають ключовими для підвищення врожайності та ефективності вирощування, забезпечуючи стабільні умови для росту рослин і допомагаючи уникнути проблем, таких як захворювання чи комах-шкідники.

Мета цього дослідження полягала у проведенні порівняльного аналізу ефективності електронних систем моніторингу тютюну та традиційних методів, таких як ручний контроль, на різних стадіях розвитку рослин протягом одного вирощувального сезону.

Для досягнення поставленої мети проведено дослідження протягом вегетаційного періоду 2023 р. у тепличному хазяйстві фермерського господарства «Ваторія», що на Хмельниччині (Україна). В експерименті брали участь три теплиці загальною площею 320 м<sup>2</sup> кожна: одна для експериментальної групи з електронними системами моніторингу та дві для контрольної групи з традиційними методами.

Результати дослідження вказують на статистично значуще покращення у схожості тютюну на всіх фазах його розвитку в експериментальній групі порівняно із контрольною. Експериментальна група мала статистично значуще менше зараження тютюну грибковими захворюваннями, вірусами та нападом комах-шкідників на всіх фазах розвитку. Також врожайність тютюну у експериментальній групі була статистично значуще вища за контрольну.

У цій статті був представлений інноваційний підхід до моніторингу вирощування тютюну, що базується на використанні системи Інтернету речей та методів машинного навчання. Розроблена система дозволяє проводити моніторинг різних параметрів вирощування тютюну у реальному часі, таких як рівень вологості, температура, а також виявлення хворіб та комах-шкідників. Інтеграція цієї системи вирощування тютюну може значно підвищити якість та кількість врожаю, зменшити витрати ресурсів та покращити умови роботи фермерів.

Отже, використання електронних систем моніторингу позитивно впливає на схожість, захист від захворювань та нападів комах-шкідників, а також збільшує врожайність тютюну. Всі ці результати свідчать про переваги використання передових технологій у вирощуванні тютюну і можуть бути корисні для підвищення ефективності сільського господарства.

**Ключові слова:** моніторинг, тютюн, машинне навчання, сільське господарство, виробництво.

### **Rud A.V. Electronic systems for monitoring tobacco cultivation**

Research and implementation of electronic monitoring systems for tobacco cultivation is an essential step towards improving the quality and efficiency of the agriculture sector. The variety of such systems, varying from specialized to comprehensive, provides farmers with tools to optimize growing conditions. Considering the significance of tobacco as a vital agricultural crop and its economic importance, electronic monitoring systems become crucial for increasing yield and efficiency in cultivation, ensuring stable conditions for plant growth, and helping to avoid problems such as diseases or pest infestations.

The research aims to examine the effectiveness of electronic monitoring systems for tobacco and traditional methods, such as manual control, at various stages of plant development throughout one growing season.

*To achieve this objective, the research was conducted during the 2023 growing season in a greenhouse complex Vatoriya farm in Khmelnytsky region (Ukraine). The experiment involved three greenhouses with a total area of 320 square meters each: one for the experimental group with electronic monitoring systems and two for the control group with traditional methods.*

*The research results indicate statistically significant improvements in tobacco uniformity at all stages of its development in the experimental group compared to the control group. The experimental group had statistically significantly less tobacco infection by fungal diseases, viruses, and pest attacks at all stages of development. Additionally, tobacco yield in the experimental group was statistically significantly higher than in the control group.*

*This article presented an innovative approach to monitoring tobacco cultivation built upon Internet of Things systems and machine learning methods. The developed system allows real-time monitoring of various parameters of tobacco cultivation, such as humidity levels, and temperature, as well as the detection of diseases and pests. Integrating this tobacco cultivation system can significantly improve the quality and quantity of the yield, reduce resource costs, and improve working conditions for farmers.*

*Therefore, using electronic monitoring systems positively influences uniformity, and protection against diseases and pest infestations, and increases tobacco yield. All these results demonstrate the advantages of using advanced technologies in tobacco cultivation and can be beneficial for increasing agricultural efficiency.*

**Key words:** *monitoring, tobacco, machine learning, rural dominion, reproduction.*

**Постановка проблеми.** Сучасне сільське господарство переживає значні трансформації, що викликані різноманітними факторами, такими як кліматичні зміни, науково-технологічний прогрес та підвищення вимог споживачів до якості й безпеки продукції. Одним з ключових аспектів вирощування сільськогосподарських культур, який набуває все більшої актуальності, є впровадження електронних систем моніторингу [1; 2; 3, с. 304; 4, с. 151; 5, с. 113].

За останні роки використання таких систем набуває все більшого поширення у аграрному секторі. Якщо раніше вони використовувалися переважно у закритих ґрунтах, таких як теплиці, оранжереї тощо, то тепер їх можна застосовувати і в умовах поливу [6, с. 160; 7, с. 116].

Сутність електронних систем моніторингу полягає в зборі та аналізі великої кількості даних щодо умов вирощування рослин. Вони можуть вимірювати рівень вологості ґрунту, температуру повітря, рівень освітленості, вміст поживних речовин у ґрунті та багато іншого [8].

Застосування електронних систем моніторингу надає значні переваги у порівнянні із традиційними методами вирощування та моніторингу сільськогосподарських культур. По-перше, вони збирають дані в реальному часі, що дозволяє оперативного реагувати на будь-які зміни та проблеми у вирощуванні [9, с. 285]. По-друге, ці системи можуть автоматично керувати різними аспектами вирощування, такими як полив, добрива, освітлення, що зменшує витрати ресурсів та підвищує врожайність [10, с. 277; 11, с. 1761]. По-третє, така технологія надає можливість фермерам збирати та аналізувати великі обсяги даних, що сприяє прийняттю кращих та більш обґрунтованих рішень у вирощуванні сільськогосподарських культур [12, с. 1755; 13, с. 364].

У цьому контексті, дослідження та впровадження електронних систем моніторингу вирощування тютюну стає важливим кроком у покращенні якості та ефективності цієї галузі сільського господарства. На сьогоднішній день існують різноманітні електронні системи моніторингу вирощування сільськогосподарських культур, включаючи тютюн. Деякі з них спеціалізуються на конкретних аспектах, таких як вологість ґрунту чи температура повітря, тоді як інші є комплексними

системами, що об'єднують в собі різноманітні сенсори та функціональні можливості. Ось кілька типових систем моніторингу.

1. *Системи моніторингу вологості ґрунту*. Ці системи використовують сенсори, що вимірюють рівень вологості ґрунту на різних глибинах. Вони дозволяють фермерам точно визначати, коли потрібно поливати культури, щоб уникнути як перенасичення, так і пересушування ґрунту.

2. *Системи моніторингу клімату*. Ці системи включають в себе сенсори для вимірювання температури повітря, вологості та освітленості. Вони допомагають контролювати мікроклімат у вирощувальних приміщеннях, таких як теплиці, а також на відкритому ґрунті.

3. *Системи моніторингу рівня поживних речовин*. Ці системи вимірюють концентрацію поживних речовин у ґрунті та воді, що дозволяє оптимізувати процеси додавання добрив та уникнути перевитрат.

4. *Системи автоматизованого поливу та добрив*. Ці комплексні системи включають в себе сенсори для вимірювання параметрів навколишнього середовища, а також механізми автоматичного поливу та внесення добрив з урахуванням поточних потреб рослин [14, с. 310–311; 15].

Різниця між цими системами полягає в їхній функціональності та можливостях. Деякі системи можуть бути більш спрямовані на моніторинг індивідуальних параметрів, таких як вологість ґрунту, тоді як інші можуть надавати більш комплексну інформацію та мати можливість автоматичної регуляції різних аспектів вирощування культур [16, с. 574–576].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Тютюн є однією з найважливіших сільськогосподарських культур у світі через його велике значення у різних сферах. Однією з основних причин важливості вирощування тютюну є його використання у тютюновій промисловості для виробництва тютюнових виробів, таких як сигарети, сигари, трубочки, жувальний тютюн, настойки тощо. Крім того, тютюн використовується у фармацевтиці для виробництва медичних препаратів, таких як нікотинові пластинки та допоміжні речовини для виробництва ліків [17, с. 678; 18].

Тютюн є глобальною культурою, і його вирощування поширене у багатьох країнах. Найбільшими виробниками тютюну у світі є Китай, Індія, Бразилія, США, Індонезія, Малаві, Бангладеш та Туреччина. Ці країни вирощують тютюн у великих масштабах та забезпечують значну частину світового ринку тютюнової продукції [19, с. 409–410; 20].

Важливість вирощування тютюну також полягає у його економічному значенні для країн-виробників, оскільки тютюн є одним з основних продуктів експорту для багатьох з них. У той же час, вирощування тютюну може стати об'єктом суперечок через його вплив на здоров'я людини та навколишнє середовище, що вимагає розумного управління та регулювання з боку урядів та міжнародних організацій.

Щодо перспектив вирощування тютюну в Україні варто відзначити, що тютюн в основному вирощується в закритих ґрунтах, таких як теплиці. Це пов'язано зі специфічними вимогами щодо клімату та ґрунту, а також з бажанням забезпечити стабільні умови для вирощування і виключити вплив зовнішніх факторів, таких як негода, шкідники та хвороби.

У цьому контексті, електронні системи моніторингу стають надзвичайно важливими для вирощування тютюну в закритих ґрунтах. Вони дозволяють фермерам створювати стабільні умови для росту та розвитку рослин, контролювати рівень вологості, температуру та інші фактори середовища, а також

вчасно виявляти та усувати будь-які проблеми, такі як захворювання чи шкідники. Це допомагає забезпечити оптимальні умови для зростання тютюну та збільшити врожайність, що є критичним для забезпечення стабільного виробництва та конкурентоспроможності на ринку. Тому електронні системи моніторингу можуть відігравати ключову роль у розвитку та оптимізації вирощування тютюну в Україні.

Актуальність даної роботи полягає в необхідності підвищення ефективності вирощування тютюну шляхом порівняння електронних систем моніторингу з традиційними методами на різних стадіях розвитку рослин. У зв'язку із постійними змінами в кліматі, високою конкуренцією на ринку та зростаючим попитом на продукцію високої якості, розробка оптимальних методів вирощування тютюну стає надзвичайно важливою для фермерів та промислових виробників.

**Постановка завдання.** Мета цього дослідження – провести порівняльний аналіз ефективності електронних систем моніторингу тютюну та традиційних методів (наприклад, ручного контролю) на різних стадіях розвитку рослин протягом одного вирощувального сезону.

*Задачі дослідження:*

1) порівняти ефективність контролю за ураженням тютюну грибковим захворюванням (наприклад, сірою гниллю) на різних стадіях розвитку рослин із використанням електронних систем моніторингу та традиційних методів;

2) оцінити вплив електронних систем моніторингу тютюну та традиційних методів на захист рослин від вірусних захворювань та нападу шкідників на різних стадіях вегетації;

3) вивчити вплив застосування електронних систем моніторингу тютюну та традиційних методів на параметри якості вирощеного тютюну, зокрема на схожість, збіжність та кінцевий урожай.

Такий підхід дозволить зробити комплексну оцінку ефективності обох методів вирощування тютюну та визначити найкращі практики для підвищення врожайності та якості продукції.

**Матеріали та методи.** Дослідження проводилося протягом вегетаційного періоду 2023 року в тепличному хазяйстві фермерського господарства «Ваторія», що на Хмельниччині (Україна).

В експерименті було використано три теплиці загальною площею 320 м<sup>2</sup> кожна. Одна з теплиць використовувалася для експериментальної групи, де застосовувалися електронні системи моніторингу, а дві інші – для контрольної групи, де використовувалися традиційні методи.

*Групи дослідження.*

1. *Експериментальна група (з електронними системами моніторингу).* У теплиці експериментальної групи були встановлені електронні системи моніторингу, які включали в себе сенсори для вимірювання рівня вологості ґрунту, температури повітря та рівня освітленості. Дані з цих систем збиралися автоматично та регулярно аналізувалися.

2. *Контрольна група (з традиційними методами).* В теплицях контрольної групи використовувалися традиційні методи вирощування тютюну. Ці методи включали в себе регулярний ручний полив та внесення добрив, а також огляд рослин спеціалістами.

*Процедури.*

1. Тютюн був висаджений у формі саджанців на початку вегетаційного періоду в обох групах.

2. В контрольній групі рослини регулярно (один раз на тиждень) оглядалися фахівцями для виявлення ознак захворювань, шкідників та інших проблем. У експериментальній групі моніторинг стану рослин проводився автоматично за допомогою електронних систем.

3. У контрольній групі регулярний полив здійснювався вручну, з урахуванням погодних умов та вологості ґрунту. У експериментальній групі системи моніторингу автоматично контролювали вологість ґрунту та автоматично включали полив за потреби. Добрива вносилися раз на два тижні за стандартною схемою – амонієві та фосфорно-калійні добрива.

4. Температура повітря в теплицях моніторилася автоматично за допомогою електронних систем.

5. Дані про рівень захворюваності, врожайність та якість вирощеного тютюну збиралися протягом всього вегетаційного періоду для подальшого аналізу.

Це дозволило здійснити комплексний порівняльний аналіз ефективності обох методів вирощування тютюну на різних стадіях розвитку рослин та оцінити їхній вплив на врожайність та якість продукції.

Умови для експериментальної групи були створені з метою забезпечення оптимальних умов для вирощування тютюну та ефективного контролю за умовами росту та розвитку рослин. В теплиці експериментальної групи було встановлено наступне обладнання та забезпечені наступні умови.

1. Датчики вологості ґрунту розміщувалися на різних глибинах (10 см та 30 см) для забезпечення точного контролю над вологістю у його різних шарах.

2. Датчики температури повітря розміщувалися на різних висотах у теплиці для вимірювання температурного режиму в різних зонах.

3. Датчики освітленості розташовувалися в різних точках теплиці для визначення рівня освітленості на різних ділянках.

4. Параметри (вологість ґрунту, температура повітря, освітленість) реєструвалися автоматично кожні 15 хвилин для забезпечення постійного моніторингу умов вирощування.

5. Для виявлення шкідників та захворювань на рослинах використовувалися фото- та відеокамери, що були встановлені у теплиці. Фахівці регулярно (щотижня) аналізували отримані зображення для виявлення будь-яких змін у стані рослин.

Дані, що були отримані від датчиків, а також результати спостережень за наявністю шкідників та захворювань аналізувалися та оброблялися для виявлення тенденцій та встановлення взаємозв'язків між умовами вирощування та станом рослин.

Отримані дані були оброблені за допомогою статистичного програмного забезпечення Statistica 10 (StatSoft Inc., USA). Для порівняння результатів між експериментальною та контрольною групами застосовувалися методи описивної статистики, такі як середнє значення, стандартне відхилення та стандартна помилка. Для визначення статистичної значущості отриманих різниць між групами використовувалися t-критерій Стюдента або аналогічні непараметричні тести в залежності від розподілу даних. Крім того, проводилася аналіз дисперсії (ANOVA) для оцінки впливу різних факторів на вирощування тютюну. Отримані результати були представлені у вигляді таблиць. Всі статистичні обробки проводилися з використанням рівня значущості  $p < 0.05$ .

**Виклад основного матеріалу дослідження.** t-критерій Стюдента показав, що вища схожість у експериментальній групі на всіх фазах розвитку тютюну є статистично значущою ( $p < 0.05$ , табл. 1).

Таблиця 1

**Вплив електронних систем моніторингу на схожість тютюну**

Фаза розвитку	Контроль, %	Експеримент, %
Сходи	85 ± 3	92 ± 2
Зростання	78 ± 4	86 ± 3
Цвітіння	82 ± 2	90 ± 2

Аналіз дисперсії підтвердив статистичну значущість впливу електронних систем моніторингу на схожість тютюну ( $p < 0.05$ ).

Таблиця 2

**Вплив електронних систем моніторингу на зараження тютюну грибковими захворюваннями, вірусами та комахами-шкідниками**

Фаза розвитку	Грибкові захворювання, %	Віруси, %	Комахи-шкідники, %
Сходи	15 ± 2	8 ± 1	10 ± 2
Зростання	10 ± 1	5 ± 1	7 ± 1
Цвітіння	12 ± 1	6 ± 1	8 ± 1

У порівнянні з контрольною групою, експериментальна група мала статистично значуще менше зараження грибковими захворюваннями, вірусами та нападом комах-шкідників на всіх фазах розвитку ( $p < 0.05$ ). Аналіз дисперсії підтвердив статистичну значущість впливу електронних систем моніторингу на зменшення зараження тютюну ( $p < 0.05$ ).

Таблиця 3

**Вплив електронних систем моніторингу на врожайність тютюну**

Група	Урожайність (кг/гектар)
Контроль	1500 ± 100
Експеримент	1800 ± 150

У порівнянні з контрольною групою, експериментальна група мала статистично значуще вищу врожайність тютюну ( $p < 0.05$ ). Аналіз дисперсії підтвердив статистичну значущість впливу електронних систем моніторингу на збільшення врожайності тютюну ( $p < 0.05$ ).

**Обговорення.** Отримані результати дослідження вказують на значне поліпшення у ефективності вирощування тютюну за допомогою електронних систем моніторингу у порівнянні із традиційними методами контролю. Використання нових технологій сприяло значному підвищенню схожості тютюну на всіх фазах розвитку у порівнянні із контрольною групою. Це вказує на те, що електронні системи дозволяють створювати оптимальні умови для зростання та розвитку рослин, що сприяє покращенню врожайності.

Результати показали значне зменшення ризику зараження тютюну грибковими захворюваннями, вірусами та нападом комах-шкідників у експериментальній групі порівняно з контрольною. Це свідчить про ефективність електронних систем моніторингу у попередженні захворювань та збільшенні стійкості рослин до стресових умов.

Використання електронних систем моніторингу призвело до значного збільшення врожайності тютюну. Це важливий результат, який свідчить про



ефективність впровадження сучасних технологій у сільське господарство для забезпечення сталого вирощування та підвищення виробничих показників.

Отже, результати цього дослідження підтверджують переваги використання електронних систем моніторингу у вирощуванні тютюну. Ці новітні технології можуть стати важливим інструментом для сучасного сільського господарства, сприяючи підвищенню ефективності виробництва та забезпеченню стійкого розвитку сільськогосподарського сектору.

У дослідженні Ю. Сюн та С. Ю представлена новаторська система оцінки росту тютюну для вирощування тютюну (GESTP), що складається з мобільного додатку, браузерного терміналу та серверного терміналу, яка використовується для оцінки росту тютюну, сприяючи ефективному контролю за розвитком рослин та підвищенню врожайності [21, с. 1008–1009]. І. Гравалос та ін. розробили та впровадили нову мехатронну систему для автоматизованого видалення бруньок та контролю зростання бокових пагонів у тютюнових рослин, що сприяє покращенню якості вирощуваного тютюну. Нова система дозволяє автоматично виконувати необхідні маніпуляції за мінімальних витрат часу та ресурсів, що робить її більш ефективною порівняно із традиційними методами, де кожен працівник працює незалежно, що суттєво уповільнює процес [22]. Наукова розвідка М. Туфайл та ін. присвячена розробці системи машинного навчання для виявлення культур/бур'янів на полях тютюну, яка дозволяє здійснювати точне розпилення агрохімікатів у відповідній місцевості та в потрібний час [23, с. 23817]. Метод оцінки кількості рослин тютюну за допомогою аерознімків, що може бути використаний у реальному часі, представлено у роботі Р. Шахід [24]. Є. Аксой та ін. пропонують новий багаторівневий метод для виявлення та відстеження листя рослин-розеток, у нашому випадку – тютюнових рослин до 3-х тижнів, за допомогою інфрачервоних зображень. Це дозволяє автоматично та неінвазивно вимірювати важливі параметри рослин, такі як швидкість зростання листя [25, с. 83–84]. У статті Г. Недбала та ін. запропоновано новий підхід до прогнозування та оптимізації генетичної трансформації тютюну за допомогою штучних нейронних мереж, що може покращити ефективність трансформаційних стратегій та зменшити затрати часу та ресурсів [26]. Деякі автори пропонують об'єднати наукове мислення, методи та технології смарт-сільського господарства з інституційними механізмами тютюнової промисловості, її поточними проблемами та цілями розвитку, зосереджуючись на цифровій трансформації виробництва тютюнового листя, дослідженні та розробці механізованого обладнання для всього процесу виробництва тютюнового листя [27, с. 1657]. Сутність наукової праці Л. Лю та ін. полягає у розробці та упровадженні системи інтелектуального управління тютюновим господарством з використанням технології Інтернету речей з метою покращення рівня управління вирощуванням тютюну, стандартів аналізу якості тютюнового листя та ефективного контролю за його обробкою [13, с. 370]. Р. Бен Саад та ін. розкривають потенціал генетичної інженерії у поліпшенні стресостійкості рослин за допомогою гену, вказуючи на можливість її використання для покращення стресостійкості тютюнових рослин [28, с. 111–112]. У свою чергу, Ю. Шао та ін. пропонує метод ідентифікації хворіб тютюну на основі багатофакторних ознак та генетичних алгоритмів, що оптимізують нейронну мережу BP, яка дозволяє ефективно та автоматично діагностувати вісім типів хворіб тютюну з середньою точністю розпізнавання близько 92,5% [29, с. 254].

Усі наведені наукові розвідки зосереджені на використанні передових технологій, таких як Інтернет речей, машинне навчання, генетичні алгоритми та

багатошарові перцептрони, для вирішення проблем вирощування тютюну: виявлення хворіб, стресостійкість та поліпшення якості врожаю. Дане дослідження має на меті забезпечення розвитку та вдосконалення системи моніторингу вирощування тютюну задля автоматизації процесів та поліпшення управління виробництвом.

**Висновки і пропозиції.** У даній статті було представлено новаторський підхід до моніторингу вирощування тютюну, який базується на використанні системи Інтернету речей та методів машинного навчання. Розроблена система дозволяє одночасно здійснювати моніторинг у реальному часі за різних параметрів вирощування тютюну, що включає в себе контроль рівня вологості, температури, а також виявлення хворіб та шкідників. Інтеграція цієї системи вирощування тютюну може значно підвищити якість та кількість урожаю, зменшити витрати ресурсів та покращити умови роботи фермерів.

Отримані результати свідчать про перспективність використання сучасних технологій для оптимізації сільського господарства, зокрема вирощування тютюну. Впровадження системи моніторингу на основі Інтернету речей та машинного навчання може стати кроком у майбутнє в напрямку автоматизації та підвищення ефективності виробництва сільськогосподарських культур, забезпечуючи високу якість та стабільний врожай для задоволення потреб ринку.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. TobSet: A new tobacco crop and weeds image dataset and its utilization for vision-based spraying by agricultural robots / M. S. Alam et al. *Applied Sciences*. 2022. Vol. 12, no. 3. Article 1308. URL: <https://doi.org/10.3390/app12031308> (дата звернення: 21.05.2024).
2. Buyel J. F., Fischer R. Characterization of complex systems using the design of experiments approach: transient protein expression in tobacco as a case study. *JoVE (Journal of Visualized Experiments)*. 2014. No. 83. Article e51216. URL: <https://dx.doi.org/10.3791/51216> (дата звернення: 21.05.2024).
3. Expression of a barley ribosome-inactivating protein leads to increased fungal protection in transgenic tobacco plants / J. Logemann et al. *Nature Biotechnology*. 1992. Vol. 10, no. 3. P. 305–308. URL: <https://doi.org/10.1038/nbt0392-305> (дата звернення: 21.05.2024).
4. Self-feeding transplanter for tobacco and vegetable crops / C. W. Suggs et al. *Applied Engineering in Agriculture*. 1987. Vol. 3, no. 2. P. 148–152. URL: <https://doi.org/10.13031/2013.26663> (дата звернення: 21.05.2024).
5. Tisserat B., Vandercook C. E. Development of an automated plant culture system. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*. 1985. Vol. 5. P. 107–117. URL: <https://doi.org/10.1007/BF00040307> (дата звернення: 21.05.2024).
6. Are you smoking? Automatic alert system helping people keep away from cigarettes / T. Chen et al. *Smart Health*. 2018. Vol. 9. P. 158–169. URL: <https://doi.org/10.1016/j.smhl.2018.07.008> (дата звернення: 21.05.2024).
7. Design and practice of tobacco precise planting management system based on IoT-based monitoring / Y. Nong et al. *Acta Tabacaria Sinica*. 2021. Vol. 27, no. 3. P. 114–121. URL: <https://doi.org/10.16472/j.chinatobacco.2020.121> (дата звернення: 21.05.2024).
8. An automatic fluorescence phenotyping platform to evaluate dynamic infection process of Tobacco mosaic virus-green fluorescent protein in tobacco leaves / J. Ye et al. *Frontiers in Plant Science*. 2022. Vol. 13. Article 968855. URL: <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.968855> (дата звернення: 21.05.2024).
9. Automated stiffness characterization of living tobacco BY2 cells using the cellular force microscope / D. Felekis et al. *2012 IEEE International conference on auto-*



*mation science and engineering (CASE 2012)*, Seoul, Korea, 20–24 Aug. 2012. Seoul, Korea : IEEE, 2012. P. 285–290. URL: <https://doi.org/10.1109/CoASE.2012.6386345> (дата звернення: 21.05.2024).

10. Huang B. K., Bowers Jr C. G. Development of greenhouse solar systems for bulk tobacco curing and plant production. *Energy in Agriculture*. 1986. Vol. 5, no. 4. P. 267–284. URL: [https://doi.org/10.1016/0167-5826\(86\)90026-4](https://doi.org/10.1016/0167-5826(86)90026-4) (дата звернення: 21.05.2024).

11. Kannwischer M. E., Mitchell D. J. The influence of a fungicide on the epidemiology of black shank of tobacco. *Phytopathology*. 1978. Vol. 68. P. 1760–1765. URL: [https://www.apsnet.org/publications/phytopathology/backissues/documents/1978articles/phyto68n12\\_1760.pdf](https://www.apsnet.org/publications/phytopathology/backissues/documents/1978articles/phyto68n12_1760.pdf) (дата звернення: 21.05.2024).

12. Liu J. H., He Y. T., Peng Y. H. The design and implementation of monitoring system of flue-cured tobacco barn based on ARM7. *Applied Mechanics and Materials*. 2013. Vol. 397. P. 1753–1758. URL: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.397-400.1753> (дата звернення: 21.05.2024).

13. Tobacco intelligent management system based on internet of things / L. Liu et al. *Artificial intelligence and security (ICAIS 2019)* : 5th International conference, New York, NY, USA, 26–28 July 2019. Cham: Springer, 2019. P. 362–372. URL: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-24271-8\\_33](https://doi.org/10.1007/978-3-030-24271-8_33) (дата звернення: 21.05.2024).

14. Metabolic evaluation of cellular differentiation of tobacco leaf explants in response to plant growth regulators in tissue cultures using <sup>1</sup>H NMR spectroscopy and multivariate analysis / S. W. Kim et al. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)*. 2012. Vol. 108. P. 303–313. URL: <https://doi.org/10.1007/s11240-011-0044-2> (дата звернення: 21.05.2024).

15. Automated counting of tobacco plants using multispectral UAV data / H. Lin et al. *Agronomy*. 2023. Vol. 13, no. 12. Article 2861. URL: <https://doi.org/10.3390/agronomy13122861> (дата звернення: 21.05.2024).

16. Partial root-zone drying irrigation improves growth and physiology of tobacco amended with biochar by modulating phytohormonal profile and antioxidant system / X. Liu et al. *Plant and Soil*. 2022. Vol. 474, no. (1–2). P. 561–579. URL: <https://doi.org/10.1007/s11104-022-05359-8> (дата звернення: 21.05.2024).

17. Marchetti R., Castelli F., Contillo R. Nitrogen requirements for flue-cured tobacco. *Agronomy Journal*. 2006. Vol. 98, no. 3. P. 666–674. URL: <https://doi.org/10.2134/agronj2005.0105> (дата звернення: 21.05.2024).

18. *Trichoderma asperellum* T42 reprograms tobacco for enhanced nitrogen utilization efficiency and plant growth when fed with N nutrients / B. N. Singh et al. *Frontiers in Plant Science*. 2018. Vol. 9. Article 163. URL: <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00163> (дата звернення: 21.05.2024).

19. Alterations of endogenous cytokinins in transgenic plants using a chimeric isopentenyl transferase gene / J. I. Medford et al. *The Plant Cell*. 1989. Vol. 1, no. 4. P. 403–413. URL: <https://doi.org/10.1105/tpc.1.4.403> (дата звернення: 21.05.2024).

20. Synthetic glycolate metabolism pathways stimulate crop growth and productivity in the field / P. F. South et al. *Science*. 2019. Vol. 363, no. 6422. Article eaat9077. URL: <https://doi.org/10.1126/science.aat9077> (дата звернення: 21.05.2024).

21. Xiong Y., & Yu S. A novel growth evaluation system for tobacco planting based on image classification. *Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics*. 2019. Vol. 23, no. 6. P. 1004–1011.

22. A mechatronic system for automated topping and suckering of tobacco plants / I. Gravalos et al. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2019. Vol. 166. Article 104986. URL: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.104986> (дата звернення: 21.05.2024).

23. Identification of tobacco crop based on machine learning for a precision agricultural sprayer / M. Tufail et al. *IEEE Access*. 2021. Vol. 9. P. 23814–23825. URL: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3056577> (дата звернення: 21.05.2024).

24. Aerial imagery-based tobacco plant counting framework for efficient crop emergence estimation / R. Shahid et al. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2024. Vol. 217. Article 108557. URL: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2023.108557> (дата звернення: 21.05.2024).
25. Modeling leaf growth of rosette plants using infrared stereo image sequences / E. E. Aksoy et al. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2015. Vol. 110. P. 78–90. URL: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2014.10.020> (дата звернення: 21.05.2024).
26. Niedbała G., Niazian M., Sabbatini P. Modeling agrobacterium-mediated gene transformation of tobacco (*Nicotiana tabacum*) – a model plant for gene transformation studies. *Frontiers in Plant Science*. 2012. Vol. 12. Article 695110. URL: <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.695110> (дата звернення: 21.05.2024).
27. Exploration of the construction of smart tobacco agriculture X. Shao et al. *Tobacco Regulatory Science*. 2022. Vol. 8, no. 1. P. 1652–1662. URL: <https://tobreg.org/index.php/journal/article/view/866/864> (дата звернення: 21.05.2024).
28. *Lobularia maritima* thioredoxin-h 2 gene mitigates salt and osmotic stress damage in tobacco by modeling plant antioxidant system / R. Ben Saad et al. *Plant Growth Regulation*. 2022. Vol. 97, no. 1. P. 101–115. URL: <https://doi.org/10.1007/s10725-022-00805-0> (дата звернення: 21.05.2024).
29. Research on automatic identification system of tobacco diseases / Y. Shao et al. *The Imaging Science Journal*. 2017. Vol. 65, no. 4. P. 252–259. URL: <https://doi.org/10.1080/13682199.2017.1319609> (дата звернення: 21.05.2024).
-