

Технології та методи вимірювання кислотності ґрунту

Анотація

У статті представлено огляд сучасних технологій вимірювання рН ґрунту, зокрема традиційних лабораторних методів, електрохімічних, оптичних, сенсорів на основі нанотехнологій та твердотільних сенсорів. Проаналізовано принципи їх роботи, переваги та обмеження, а також розглянуто перспективи розвитку методів моніторингу рН ґрунту.

Ключові слова: Моніторинг ґрунту, вимірювання рН ґрунту, електрохімічні сенсори, оптичні сенсори, нанотехнології, точне землеробство, екологічний контроль.

Abstract

The article presents an overview of modern technologies for measuring soil pH, including traditional laboratory methods, electrochemical, optical, nanotechnology-based sensors, and solid-state sensors. Their operating principles, advantages, and limitations are analyzed, and the prospects for the development of soil pH monitoring methods are considered.

Keywords: Soil monitoring, soil pH measurement, electrochemical sensors, optical sensors, nanotechnology, precision agriculture, environmental control.

Вступ

Кислотність ґрунту впливає на родючість, розвиток рослин і екосистем, визначаючи розчинність поживних речовин і активність мікроорганізмів. Традиційні методи вимірювання рН точні, але потребують часу та спеціальних умов. Сучасне сільське господарство потребує швидкого моніторингу ґрунту, що сприяло розвитку сенсорних технологій. Точне землеробство використовує сенсори та бездротові технології для підвищення ефективності й оптимізації ресурсів. Завдяки мікросистемам і новітнім сенсорам стало можливим оперативне визначення рН у польових умовах. [1].

Технології та методи вимірювання кислотності ґрунту

Швидкість хімічних реакцій та розчинність речовин у ґрунті безпосередньо залежать від рівня рН. Вимірювання рН є важливим фактором для розуміння хімічних і біологічних процесів у ґрунті. Ріст і врожайність більшості культур знижуються за низьких значень рН та підвищуються при наближенні до оптимального рівня. Більшість сільськогосподарських культур найкраще розвиваються в нейтральному середовищі (рН 6–7,5), хоча деякі види надають перевагу кислим або лужним ґрунтам [2].

Існують лабораторні методи вимірювання рН, електрохімічні, оптичні. Лабораторні методи мають ряд переваг, серед яких можемо виділити можливість виявлення концентрації окремих радикалів, точність вимірювання, недоліком даного методу є низька оперативність вимірювання, обмеженість кількості проб, необхідність лабораторно локалізованого обладнання та специфічних умов проведення вимірювання. Для проведення експрес вимірювання на місцевості, що забезпечують можливість отримання карт ґрунтів з високим розширенням, є оптичні, електрохімічні методи, які дозволяють використання первинних чутливих елементів на основі напівпровідникових та наноматеріалів [3,4].

Таблиця 1. Основні характеристики методів вимірювання кислотності ґрунту

Метод	Точність	Час вимірювання	Вплив зовнішніх факторів	Додаткові особливості
Традиційні лабораторні методи	Висока (± 0.01 – 0.1 рН)	Довгий (години/дні)	Мінімальний, але вимагає стабільних умов	Надійний, підходить для детального аналізу
Електрохімічні сенсори (ISE, скляні електроди)	Висока (± 0.01 – 0.1 рН)	Швидкий (секунди/хвилини)	Вплив вологості та температури ґрунту	Потребує регулярного калібрування

Продовження таблиці 1

Оптичні сенсори	Середня ($\pm 0.1-0.2$ pH)	Швидкий (секунди/хвилини)	Чутливість до органічних речовин	Безконтактний, придатний для дистанційного моніторингу
Сенсори на основі нанотехнологій	Дуже висока ($\pm 0.001-0.01$ pH)	Дуже швидкий (миттєвий/секунди)	Мінімальний вплив зовнішніх умов	Висока чутливість, інтеграція в «розумні» аграрні системи, дороговартісні
Твердотільні pH-сенсори (ISFET)	Висока ($\pm 0.01-0.1$ pH)	Дуже швидкий (миттєвий/секунди)	Вплив температури та електричних умов	Не потребують калібрування, висока стабільність та чутливість

У традиційних агротехнологіях найпоширенішими залишаються лабораторні методи та електрохімічні сенсори. Однак оптичні, нанотехнологічні та твердотільні сенсори активно впроваджуються в сучасні системи точного землеробства завдяки їхнім перевагам. Після розгляду різних методів, було обрано твердотільний pH-сенсор (ISFET), який працює на принципі перетворення, оскільки він має високу довговічність, чутливість, швидкість реакції та стабільність, а також можливість бездротової інтеграції, що робить його перспективним рішенням для точного контролю кислотності та вологості ґрунту [5].

Висновок

У роботі було розглянуто різноманітні технології вимірювання кислотності ґрунту, серед яких традиційні лабораторні методи, електрохімічні, оптичні, сенсори на основі нанотехнологій та твердотільні сенсори. Описано їхні основні характеристики, переваги та недоліки, що стало підставою для вибору сенсору на твердотільній основі як оптимального варіанту для подальшої розробки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Arousian, A., Gill, E., Arshak, K., Korostynska, O., & Cunniffe, C. (2007). Drop-Coated Polyaniline Composite Conductimetric pH Sensors. ISSE2007.
2. Khan, M. I., Khan, A. M., Nouman, A., Azhar, M. I., & Saleem, M. K. (2012). pH Sensing Materials for MEMS Sensors and Detection Techniques. International Conference on Solid-State and Integrated Circuit, 32, 18-22.
3. Thomas, J. D. R. (2001). Devices for Ion Sensing and pH Measurements. Pure and Applied Chemistry, 73(1), 31-38.
4. Bergveld, P. (1970). Development of an Ion-Sensitive Solid-State Device for Neurophysiological Measurements. IEEE Transactions on Biomedical Engineering, BM17(1), 70.
5. Eftekhari, A. (2003). pH Sensor Based on Deposited Film of Lead Oxide on Aluminium Substrate Electrode. Sensors and Actuators B: Chemical, 88(3), 234-238.

Кропив'янський Євгеній Олександрович – аспірант, факультет інформаційних електронних систем, ВНТУ, Вінниця, e-mail: machete325@gmail.com.

Kropyvianskyi Yevhenii O. — postgraduate, faculty of information electronic systems, VNTU, Vinnytsia, e-mail: machete325@gmail.com.

Науковий керівник: Савицький Антон Юрійович — канд. техн. наук, доцент кафедри інформаційних радіоелектронних технологій і систем, ВНТУ, Вінниця, e-mail: savitskyant@gmail.com

Supervisor: Savitsky Anton Y. — Cand. Sc., Assistant Professor of the Department of Information Radioelectronic Technologies and Systems, VNTU, Vinnytsia, email: savitskyant@gmail.com