



Фізичні основи режиму агроекосистем. Математичне моделювання та оптимізація.

Лектор: Воронова Наталія Валентинівна

Радіаційний баланс та його інженерна корекція.

1. Радіаційний баланс та його інженерна корекція.



Компоненти балансу

Пряме та дифузне випромінювання, відбиття (алеbedo), довгохвильова емісія, конвективні та латентні потоки.



Інженерна корекція

Зміна аліbedo через мульчування/покровні матеріали як пасивний важіль для зниження або підвищення поглинання енергії.



Інтеграція в автоматизацію

Алгоритми використовують датчики радіації й температури для вибору матеріалів або активації рухомих покривів, додаючи пасивні елементи до системи терморегулювання.





Тепло- та масовіддача в ґрунтово-рослинному покриві.



Взаємозв'язок

Транспірація відводить латентну теплоенергію; конвекція забезпечує перенесення теплоти від поверхні до атмосфери.



Вплив вітру

Підвищення швидкості вітру зменшує товщину прикореневого пограничного шару, підвищуючи масообмін і випаровування.



Вплив вологості

Зростання вологості повітря знижує парціальний градієнт водяної пари, що зменшує випаровування.



Кількісна оцінка

Використовують формули масо- та теплопередачі (наприклад, коефіцієнти тепло- та масопередачі, залежні від швидкості вітру) та параметри вологісного дефіциту для розрахунку швидкості випаровування.

Водний потенціал ґрунту та доступність вологи.

Концепція

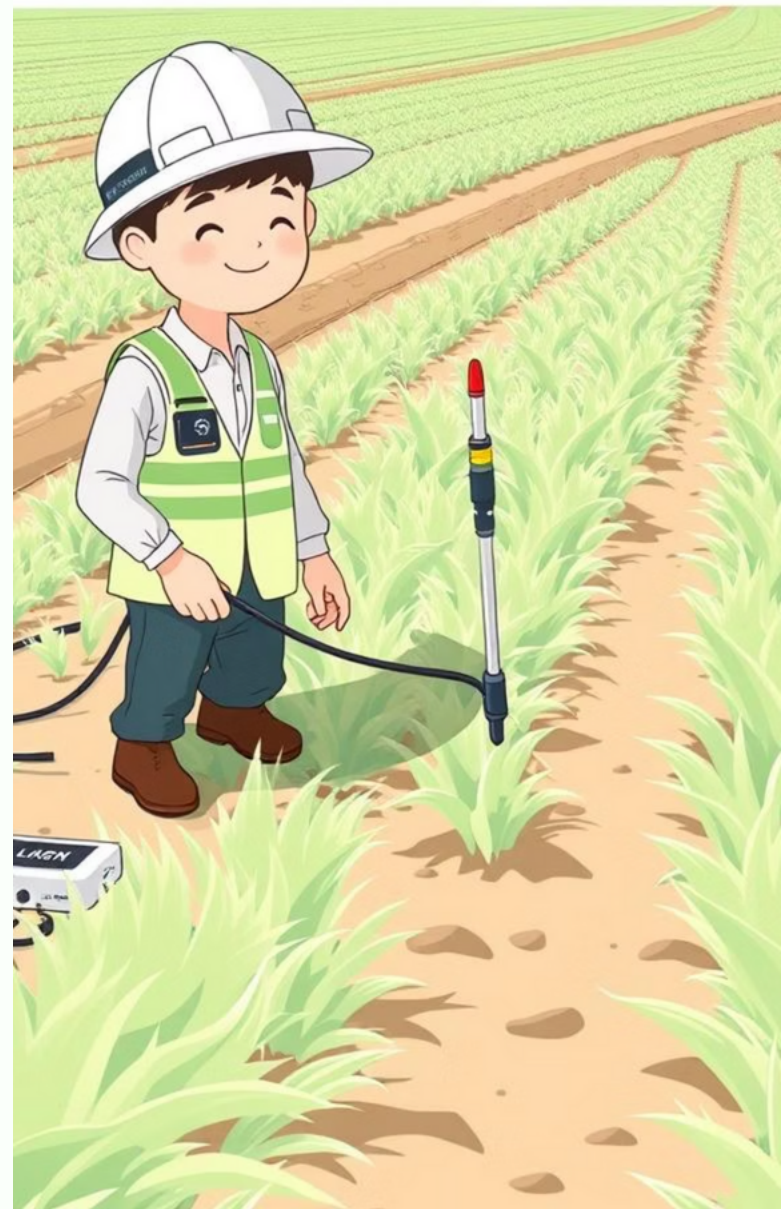
Водний потенціал визначає енергію, доступну для рослин; критичні пороги — точка в'янення, оптимальний діапазон водного забезпечення.

Датчики

Тензіометри та TDR/FDR дають часові ряди по водозабезпеченню на різних глибинах.

Алгоритми зрошення

Алгоритми використовують пороги водного потенціалу, прогноз погоди та економічну функцію витрат/врожайності для прийняття рішень про обсяги і час поливу.





Модель Пенмана-Монтейта в контексті автоматизації.

- Адаптація: використання локальних даних (радіація, температура, вологість, швидкість вітру) та корекція коефіцієнтів за допомогою калібрування для конкретних культур і місцевості.
- Чутливі параметри: глобальна радіація, коефіцієнт аеродинамічної провідності, характеристична провідність рослинного покриву — помилки в цих вимірюваннях сильно впливають на ET_0 .
- Урахування в оптимізації: використовувати байєсові підходи або техніки масиву моделей (ensemble) та включати невизначеність вимірювань у цільову функцію і обмеження для робастної оптимізації.

6. Моделювання стійкості агроєкосистем.



Індекс водної ефективності

Відношення продукції до сумарного водоспоживання (kg/m³).



Індекс температурного стресу

Інтеграл перевищення температурного порогу, нормований по тривалості вегетації.



Композитний індекс стійкості

Зважена комбінація показників водоспоживання, температурного стресу та продуктивності з часовою динамікою і невизначеністю.

Оптимізаційні задачі керування.

Цільова функція	$\text{Max } \Pi = \sum (\text{Yield}_t * \text{Price} - \text{Cost_water}_t - \text{Cost_energy}_t - \text{Maintenance})$
Обмеження	Water_budget: $\sum \text{water}_t \leq W_max$; Energy_budget: $\sum \text{energy}_t \leq E_max$; Temp_limits: $T_soil_min \leq T_soil_t \leq T_soil_max$
Рішення	Використати MIP/LP або методи оптимізації з обмеженнями та врахуванням невизначеності (stochastic/robust optimization).

Калібрування та валідація моделей. Системна динаміка та зворотний зв'язок.

- Калібрування: використання оптимізації параметрів (непрямі методи, MCMC, інверсні методи) на основі польових спостережень.
- Валідація: крос-валідація по часових та просторових вибірках; критерії: RMSE для абсолютних помилок, R^2 для поясненої варіації, NSE (Nash–Sutcliffe) для потоків; додаткові метрики для перевірки структури помилок.
- Системна динаміка: будувати модель із запасами (органічна речовина, вологість) та потоками, включити зворотні зв'язки (наприклад, вплив мікробіому на доступність поживних речовин, що впливає на продуктивність і потреби в управлінні).
- Зворотний зв'язок: моделювати адаптивні алгоритми керування, які оновлюють політику на підставі стану рослини (фітоіндикатори) та стану ґрунту, включаючи часові запізнення та нелінійності.



Імітаційне моделювання та прийняття рішень.

1 Імітаційне моделювання дозволяє тестувати політики управління у віртуальних сценаріях кліматичних стресів, оцінюючи розподіл результатів і ризиків.

1 Результати перетворюються в рішення через: сценарний аналіз, політики на основі порогів, ймовірнісні правила активації та інструменти візуалізації ризиків для користувача.

1 Рекомендації для фермерів: інтегрувати прогнози погоди, показники стану ґрунту і моделі ризику у прості правила (trigger points) або використовувати автоматичні агентні системи, які діють згідно з оптимізованими стратегіями.