



Еко-інжиніринг водного та теплогового режиму агроекосистем

Інноваційні рішення для стійкості сільського господарства в
умовах зміни клімату

Вступ: Чому водно-тепловий режим агроєкосистем критично важливий?

Ключові фактори росту

Вода і тепло є **фундаментальними лімітуючими факторами** для росту, розвитку та формування врожайності сільськогосподарських культур.

Вплив клімату

Зміна клімату **загострює проблеми** водного дефіциту, посух та екстремальних температур, ставлячи під загрозу продовольчу безпеку.

Визначення Еко-інжинірингу

Еко-інжиніринг — це стратегічний підхід, що інтегрує природні процеси та технологічні інновації для досягнення **стабільного** та стійкого агровиробництва.



Сучасні виклики: Вплив кліматичних змін на агроєкосистеми

Наслідки підвищення температур

- Підвищення температури повітря і ґрунту знижує продуктивність фотосинтезу та прискорює фази дозрівання культур.
- Часті посухи та нерівномірний розподіл опадів вимагають адаптивних систем зрошення.

30%

Втрати врожаю, спричинені водним стресом і тепловими хвилями (за оцінками FAO, 2025).

Тепловий та водний стрес є основними причинами зниження якості та кількості врожаю у глобальному масштабі.

Інноваційна система з тепловим менеджментом для водо- та енергопостачання

Дослідження Но (2025) демонструє проривну технологію, що поєднує керування водним та тепловим режимами з генерацією енергії.



Теплоаккумуляція

Використання гідрогелевих мікрокапсул для ефективного накопичення і збереження сонячного тепла та води.



Ефективна Евалорація

Показники випаровування: $1.91 \text{ кг/м}^2/\text{год}$ при сонячному освітленні та $0.54 \text{ кг/м}^2/\text{год}$ у темряві, забезпечуючи стабільну вологість.



Генерація Енергії

Інтеграція зворотного електродіалізу для генерації електроенергії ($\sim 0.3 \text{ Вт/м}^2$) з дренажних вод.



Беззабруднене Зрошення

Використання очищеної дренажної води для зрошення пшениці, мінімізуючи екологічний вплив.

Контроль температури води в рисових полях: чисельне моделювання

Дослідження Nishida (2022) показує, що температура води в іригаційних системах є критичним параметром, що впливає на ріст і якість рису, особливо в період цвітіння.

1

ІСТ-системи

Застосування інформаційно-комунікаційних технологій для автоматичного і дистанційного управління рівнями зрошення.

2

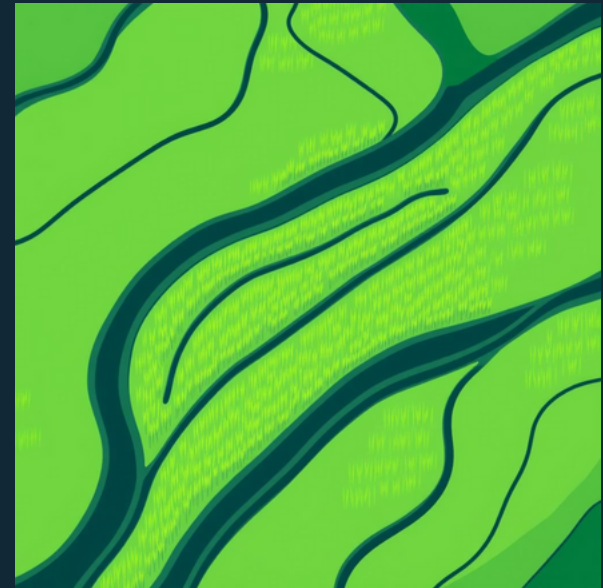
Оптимізація поливу

Регулювання режимів для активного зниження теплового стресу рослин і запобігання перегріву.

3

Проточна іригація

Використання постійного потоку води для ефективного охолодження рисових полів.



Взаємодія температури і вологості в агроєкосистемах



Тепловий вплив

Ґрунтова і рослинна температура є основними детермінантами швидкості фотосинтезу та дихання.

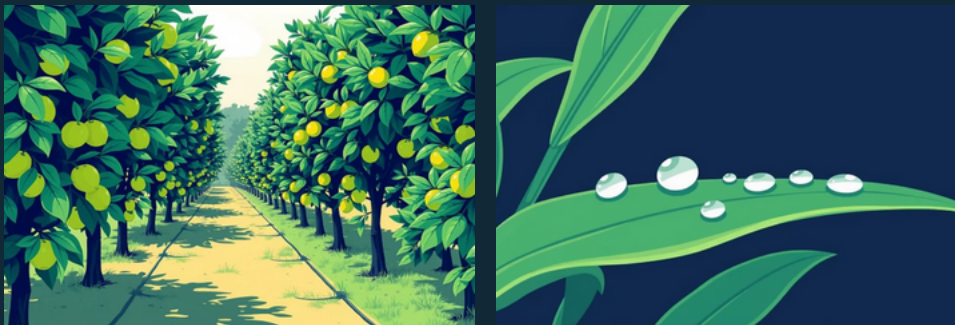
Методи зрошення

Різні технології (краплинне, бордюрне) мають унікальний вплив на водний баланс, теплообмін та мікроклімат.

Синергія

Комплексне управління водою і теплом дозволяє підвищити продуктивність навіть у складних кліматичних умовах (Wang et al., 2023).

Екологічна роль іригаційного охолодження агроєкосистем



Іригація — це не лише про воду, а й про ефективний кліматичний менеджмент. Вона **знижує температуру поверхні ґрунту** на 1-2°C, пом'якшуючи негативний вплив теплового стресу.

Кліматичний стрес

Активне пом'якшення локального мікроклімату через випаровування.

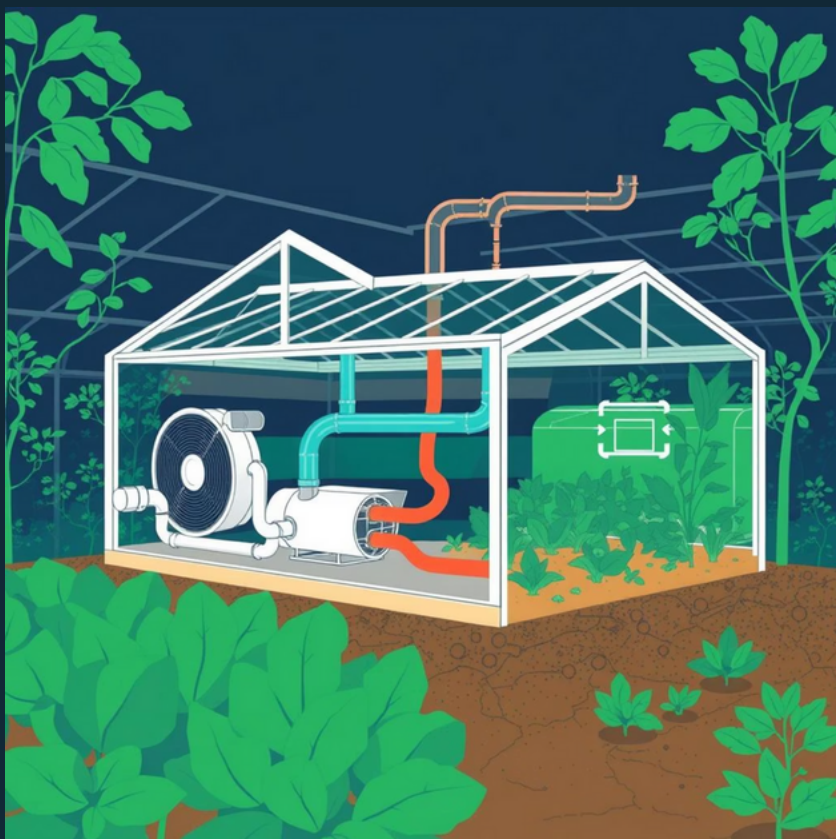
Зростання врожаю

Приклад успіху: підвищення врожайності цитрусових у посушливих регіонах Іспанії (Martínez-Paz, 2020).

Оцінка ефективності

Використання моделей просторової регресії для точного вимірювання охолоджувального ефекту.

Використання геотермальної енергії для теплового регулювання в агросистемах



Система ЕАНЕ (Ghani, 2019)

Земля-повітряний теплообмінник використовує стабільну температуру ґрунту для пасивного охолодження або підігріву повітря в теплицях, знижуючи енергоспоживання.

Переваги

Зниження експлуатаційних витрат та екологічний, стабільний контроль температури.

Виклики

Високі початкові інвестиції, необхідність контролю конденсації вологи та забезпечення якості повітря.

Перспективи

Інтеграція геотермальних систем з передовими технологіями зрошення та теплового менеджменту.

Стратегія сталого управління водно-тепловим режимом агроєкосистем

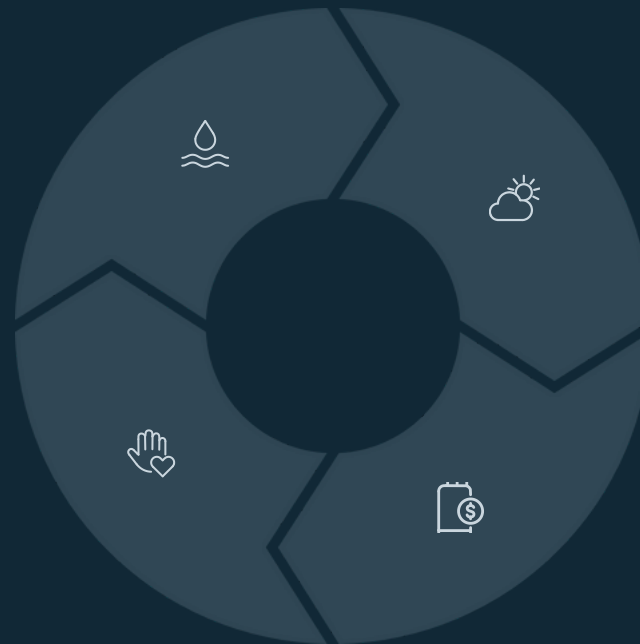
Стійкість агроєкосистем вимагає холістичного підходу, що об'єднує ресурси та технології.

WEF Nexus

Інтеграція води, енергії та харчування (Water-Energy-Food nexus) для максимальної ефективності ресурсів (Kourgialas, 2025).

Партнерство

Співпраця між наукою, бізнесом (аграріями) та державними структурами для масштабування інновацій.



Адаптивне управління

Гнучке реагування на кліматичні зміни та локальні умови за допомогою постійного моніторингу.

Цифрові технології

Використання ШІ, сенсорів та чисельного моделювання для точної оптимізації режимів зрошення та обігріву/охолодження.

Висновок: Майбутнє еко-інжинірингу агроєкосистем

Еко-інжиніринг пропонує життєздатну стратегію для **збереження продуктивності сільського господарства** в умовах глобального потепління.

- Сучасні технології дозволяють точно та ефективно управляти водним і тепловим режимом.
- Комплексний підхід підвищує врожайність та значно знижує екологічний вплив.
- Виклики клімату вимагають не просто вирішень, а **інтегрованих та інноваційних систем**.

Впровадити Еко-Інжиніринг

