

<https://visegrad.permakultura.sk/polycultures/>



ПОЛІКУЛЬТУРИ – ПРИНЦИПИ СТВОРЕННЯ ТА ПОЛІКУЛЬТУРНІ СИСТЕМИ

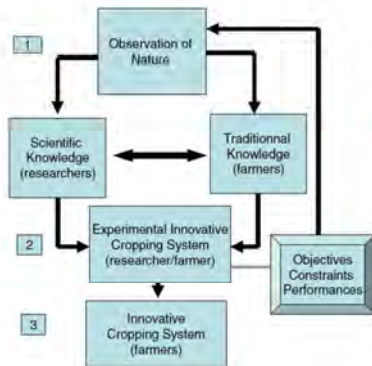


Павло Арданов
pavlo.ardanov@gmail.com



GENERAL PRINCIPLES

Malézieux E & Malézieux E (2012) *Agron Sustain Dev* 32: 15-29.
 Bergen SD, Bolton SM & L. Fridley J (2001). *Ecological Engineering* 18(2): 201-210.
 Altieri MA, Letourneau DK & Davis JR (1983) *Bioscience* 33: 45-49.



A three-step framework for designing cropping systems from nature

Species substitution design in Costa Rica

Wild species	Functionally similar crop species
Heliconia spp.	Plantain
Cucurbitaceous vines, <i>Ipomoea</i> spp.	Squash varieties, yams, sweet potatoes
Legume vines	Local bean crops
Shrubs	<i>Cajanus cajan</i>
Grasses	Corn/sorghum/rice
Small trees	Papaya, cashew, and <i>Cassava</i> spp.

Design principles of ecological engineering:

- (1) design consistent with ecological principles,
- (2) design for site-specific context,
- (3) maintain the independence of design functional requirements,
- (4) design for efficiency in energy and information,
- (5) acknowledge the values and purposes that motivate design.



Продовжимо розгляд принципів створення полікультур. На додачу до попередньо розглянутих принципів функційного доповнення або комплементарності та екологічного сприяння або фасилітації, третім принципом є підбір видів, що мають певні функційні риси, або ефект вибірки. Згідно цієї гіпотези системи з великим набором видів мають більшу ймовірність отримати високоадаптовані види до місцевих обмежуючих факторів або з високою ефективністю виконувати певні функції (наприклад, як ефективні паразитоїди шкідників). Збільшити ефект вибірки можна поєднуючи заплановане різноманіття культурних посадок та асоційоване біорізноманіття напівприродних середовищ.

[] Існує кілька підходів до розробки агроєкосистем з досить схожими керівними принципами. Прикладом таких підходів є екологічна інженерія, що визначається як дизайн сталих екосистем, що поєднують людське суспільство з природним довкіллям задля взаємної користі. Одними з основних принципів такого дизайну є багатофункційне сільське господарство, а також важливість створення оселищ для дикої природи в сільськогосподарській місцевості. *При цьому важливо забезпечувати БЕЗПЕРЕВНІСТЬ РЕСУРСІВ, особливо для надавачів екосистемних послуг, що*

мешкають в недовговічних оселищах. На орних полях таке оселище часто створюють сервісні культури (до яких відносять покривні культури), що висаджують для неперервності рослинного розмаїття в просторі та часі.

Існують різні способи поєднання рослин в полікультурі, зокрема для збільшення розмаїття видів, домінування, просторової та вікової структури спільноти. Одним з методів є дизайн методом додавання сільгоспкультур до природних спільнот, наприклад, вирощування імбиру в лісі в системі лісового фермерства. Іншим методом є дизайн методом заміщення природним видів функційно подібними культивованими формами, що може поєднуватися з першим методом. *Прикладом дизайну методом заміщення експеримент у Коста Ріці із заміщенням диких видів ботанічно, структурно чи(та) екологічно подібними у просторі та часі культивованими видами (схема зображена на слайді) задля створення багатоярусної системи, забезпечення постійного ґрунтопокриву, запобігання деградації та втраті поживних речовин та забезпечення безперервної врожайності протягом усього року.*

Однією з закономірностей природних екосистем, що можна використовувати у дизайні, є позитивний вплив трав на широколистяні рослини, що реалізується через ґрунт.

Загальним принципом розробки культивованих систем методом імітації природних систем є визначення функцій, що мають бути покращені, та визначення ключових видів у природних екосистемах, що виконують ці функції. Отже, основний акцент полягає не в імітації набору видів природних систем, а в повторенні ФУНКЦІЙНИХ характеристик та взаємозв'язків між рослинами та тваринами у системах.

GUILDS AND COMMUNITY ASSEMBLY RULES

Approach	Short description of the (competition-induced) pattern addressed	Community data	Trait data	Typical test
Co-occurrence	Competitive exclusion reduces the number of possible species co-occurrences	Presence-absence matrices	Not needed	Test whether there are fewer species co-occurrences than expected by chance
Niche limitation	The restricted number of niches and competitive exclusion limits the number of species (or amount of biomass) that can coexist in the same patch	Presence-absence or abundance matrices (cover, biomass)	Not needed	Test whether the ratio of observed to expected variance in species diversity is lower or higher than expected under the null model
Guild proportionality	Because competitive exclusion occurs mainly within functional guilds, the number of species within different guilds (<i>i.e.</i> occupying similar niches), or the total abundance of a particular guild in a community, are constant among patches	Presence-absence or abundance matrices (cover, biomass)	Groups of species, usually categorical trait data (life form etc.)	Test whether the ratio of observed to expected variance in guild proportions is lower or higher than expected under the null model
Limiting similarity	Traits of coexisting species are more dissimilar due to the avoidance of competitive exclusion through niche differentiation. However, at large spatial scales and in heterogeneous environments, one may detect more similarity among species inhabiting similar environmental conditions (habitat filtering).	Species lists, presence-absence or abundance matrices (cover, biomass)	Usually continuous variables reflecting functionally important traits	Test whether trait values in a community are more dissimilar or more similar than expected under the null model

Götzenberger L, de Bello F, Bräthen KA, et al (2012) *Biological reviews* 87: 111-127. Perfecto I & Vandermeer J (2015) *Perspect Plant Ecol Evol Syst* 17: 522-530. Atsatt PR & O'dowd DJ (1976) *Science* 193: 24-29.

Overview of the major approaches used to study ecological assembly rules in plant communities.

Різні школи сталого сільського господарства часто оперують такими термінами, як рослини-компаньйони та рослинні гільдії що відображають не випадкове поєднання рослин в природних екосистемах. Це бачення відповідає екологічним правилам поєднання ніш та поєднання поширень, правилам поєднання видів за біотичними та абіотичними характеристиками, що обумовлюють не випадкову структуру екосистем згідно повторюваних організаційних модулів. Дослідники виділяють 3 основні модулі поєднання видів в екосистемах: (1) модуль трофічної системи (харчової мережі), (2) поширення шкідників та хвороб у просторі та часі та (3) каскади функційних ознак видів. Часто організми можна поєднати в гільдії. Одним з різновидів є гільдії спільного споживання ресурсу організмами різних видів, наприклад, це група запилювачів квітів певної будови. Така гільдія характеризується високим рівнем дублювання та конкуренції. Іншим різновидом є функційні гільдії (саме їх зазвичай мають на увазі практики агроекології) – це група організмів, поєднана спільною екологічною функцією, в межах якої спостерігається висока диференціація ніш та екологічне сприяння.

GENERAL PRINCIPLES

Malézieux E & Malézieux E (2012) Agron Sustain Dev 32: 15-29.
Pronk TE, Schieving F, Anten N, et al (2007) Ecological Complexity 4: 182-191.

Characteristics of ecosystem resilience (different classifications):

- **Elasticity** (time needed for restoration),
- **Amplitude** (degree of modification reached before restoration),
- **Hysteresis** (varying degree of asymmetry in alteration and restoration paths).
- **Malleability** (capacity to undergo frequent modifications)

- **Latitude** (deformation limit beyond which a return to the initial state is impossible),
- **Resistance** (varying degree of a system's ability to change),
- **Precarity** (closeness of the current state of the system to a "point of no return"),
- **Panarchy** (dependency of the system in relation to hazards and factors outside the system).

- **Inertia** (capacity of an ecosystem to resist a change in its structure and its function after a disturbance).



Агроекосистеми повинні мати високу екологічну пружність – здатність відповідати на зміни чи збурення протидіючи пошкодженням та швидко від них відновлюючись. В основі екологічної пружності лежить стабільність ФУНКЦІЙ завдяки численним взаємодіям та регуляторним взаємозв'язкам складних харчових мереж, що є більш значущою аніж структурна стабільність або підтримання набору видів. Функційна стабільність систем, що зазнають частих збурень, підтримується завдяки гетерогенності або неоднорідності системи та мозаїчності.

Неоднорідне або плямисте розповсюдження насіння чи розміщення рослин сприяє підтриманню більшого розмаїття видів зменшуючи конкуренцію між видами з різною швидкістю росту, які можуть тривалий час співіснувати в мозаїчних системах. Системи з багаторічниками та лісові системи зазвичай мають більшу еластичність та ефективність екологічних функцій. Однак багаторічники зазвичай мають меншу врожайність за однорічники, оскільки більшість біомаси багаторічників зосереджена в структурі рослини і менша - у плодах в порівнянні з однорічниками. Проте якщо зважати водночас на харчову, економічну та соціальну цінність багаторічників, то вони є досить продуктивними.

GENERAL PRINCIPLES

Malézieux E & Malézieux E (2012) Agron Sustain Dev
32: 15-29.

Principles for cropping system design based on natural ecosystem mimicry:

- Use complementary functional traits to ensure production and resilience
- Maintain soil fertility through soil cover
- Favor facilitation vs. competition between plants
- Use plant properties and biological alternatives to control pests:
 - Contain pests through complex trophic levels
 - Promote habitats that are suitable for the native useful fauna and unsuitable for harmful fauna
- Use plant properties and biological alternatives to control pests
- Reproduce ecological successions after disturbance

Application of these principles for intercropping

- Grow tall-growing crops along with bushy crops.
- Select shallow-rooted crops as inter crop in the deep-rooted crop.
- Long duration crops should be intercropped with short duration crops.
- Grow slow-growing crops in vacant spaces of fast-growing crops.
- Selected main crops and inter crops should show a very negligible allelopathic effect.
- Need to intercrop non-legumes with intercrops.
- Crops selected should be of different families to avoid various pests and diseases



Отже, основним принципом екологічної інженерії є копіювання або мімікрія природних структур та процесів. Цей принцип базується на самоорганізації екосистем на основі складності та різноманітності.

Існує 2 гіпотези мімікрії в дизайні агроекосистем на основі природних систем:

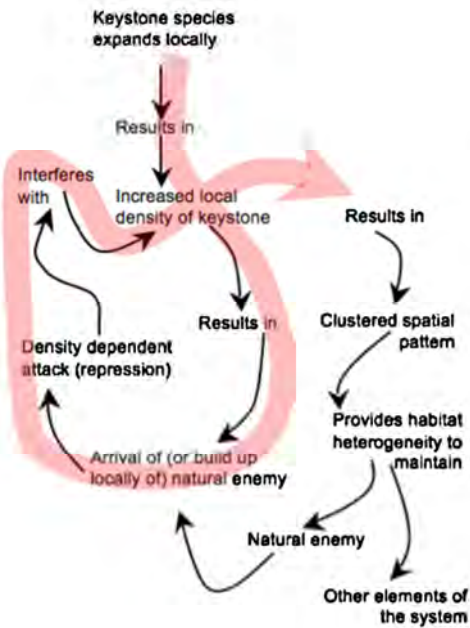
1. Агроекосистеми мають копіювати структуру та функції природної екосистеми, що існує в даній ґрунто-кліматичній зоні;
2. Агроекосистеми мають наслідувати розмаїття видів природних систем.

При копіюванні динаміки природних екосистем доцільно виділяти 4 фази у циклі природного розвитку або сукцесії екосистем: фаза росту (r), фаза збереження або підтримання (K), фаза старіння (Ω) та фаза реорганізації (α). Кожен виток такого циклу може повторювати попередній або відрізнятись. Рослини r типу або рудерали колонізують екосистему протягом фази росту – зазвичай це швидкорослі однорічники, що пристосовані до пошкодженого середовища. Їх змінюють рослини K типу, що адаптовані до сильнішої конкуренції та меншої кількості ресурсів. Рослини цих 2 типів відрізняється за плодючістю, швидкістю дозрівання та продуктивністю.

Прикладом застосування такого підходу є перелогова система землеробства в тропіках, в якій постійно чергуються періоди пару та вирощування культур. Під час тривалого періоду пару ділянку заселяє місцева рослинність, що змінюється в міру сукцесії. Цієї рослинністю можна різним чином управляти та її використовувати. Іншим прикладом є вирощування швидкорослих покривних культур з родин хрестоцвіті та роду кроталярія з родини бобові, що біологічно запрограмовані швидко нарощувати біомасу та швидко помирати. Такі культури можна використовувати для підтримання постійного ґрунтопокриву та запобігання втраті поживних речовин між періодами вирощування комерційних культур.

GENERAL PRINCIPLES

Perfecto I & Vandermeer J (2015) *Perspect Plant Ecol Evol Syst* 17: 522-530.
Martin AR & Isaac ME (2015) *J Appl Ecol* 52: 1425-1435.

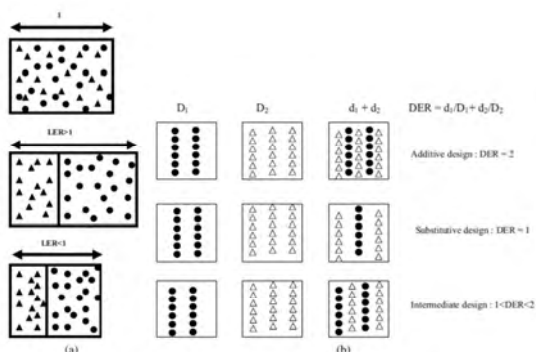


The basic modularity of self-organized spatial heterogeneity. The proposed generalization of a keystone species forming the habitat heterogeneity for other elements in the system.

Структура та динаміка рослинних спільнот може сильно залежати від попередніх впливів, зокрема це ефекти збірки та старшинства. Домінуючі види на проміжній стадії сукцесії залежить від характеру видів на ранній стадії сукцесії в цій спільноті. Також виділяють так звані ключові види, що визначають розмаїття та кількість інших видів в екосистемі зазвичай шляхом створення певного мікроклімату.

OVERYIELDING

Malézieux E, Crozat Y, Dupraz C, et al (2009) *Agronomy for Sustainable Development* 29: 43-62.
 Franco JG, King SR, Masabni JG, et al (2015) *Agric Ecosyst Environ* 203: 1-10.



Harvest of a wheat crop in an 8-year-old poplar-cereal intercropping system in the South of France. The poplar density is 75% of the density of a forestry plantation, and wheat is grown on 85% of the plot area, resulting in a high relative density, indicating a design that is closer to an additive than a substitutive design. The land equivalent ratio (LER) is over 1.3.

Land (LER) and density (DER) equivalent ratios. The symbols represent the plant population density.

$$LER = mixed\ yield_1/pure\ yield_1 + mixed\ yield_2/pure\ yield_2$$

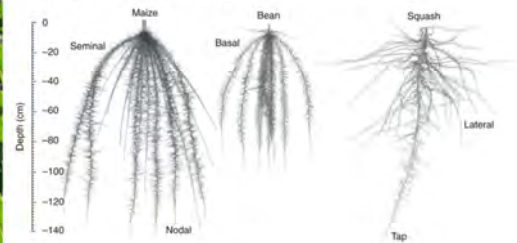
$$DER = mixed\ density_1/pure\ density_1 + mixed\ density_2/pure\ density_2$$

Ефективність полікультур описують за допомогою еквіваленту землекористування (ЕЗ) – це площа ділянки, необхідна для виробництва такої самої кількості продукту в полікультурі, як і одиниця площі в монокультурі. Якщо $EЗ > 1$, тоді говорять про феномен надврожайності, коли продуктивність виду в полікультурі перевищує його продуктивність в монокультурі. Найвигідніша ситуація в сумісній посадці називається трансгресивним відхиленням, коли врожайність усіх компонентів перевищує врожайність найпродуктивнішого компонента полікультури, якби той сам займав усю ділянку.

OVERYIELDING



Malézieux E, Crozat Y, Dupraz C, et al (2009) *Agronomy for Sustainable Development* 29: 43-62.
Chaochun Zhang, Johannes A. Postma, Larry M. York, et al (2014) *Annals of Botany* 114: 1719-1733.
Evers JB, Werf VD, Wopke, Stomph TJ, et al (2019) *Journal of Experimental Botany* 70: 2381-2388.



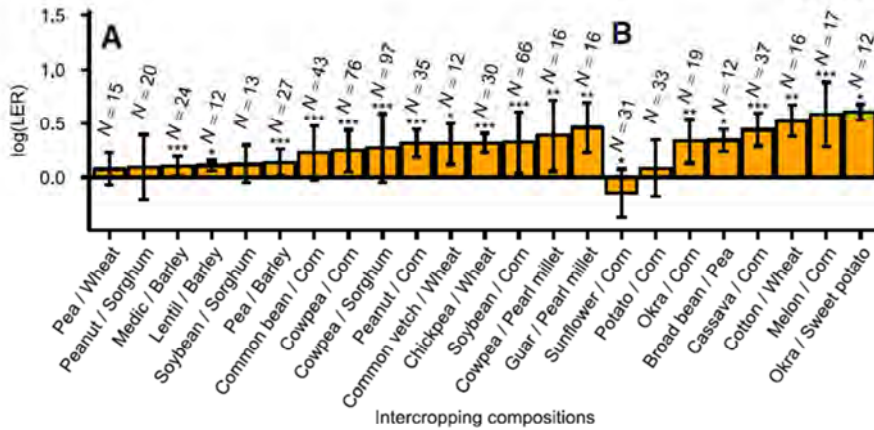
Прикладом надврожайної полікультури є сумісне вирощування кукурудзи, бобів та гарбузів – це поєднання зветься «три сестри».

Одним з механізмів надврожайності полікультур може бути уникнення конкуренції, що забезпечує взаємодоповнюваність ніш та ефективніше споживання ресурсу. Так, для уникнення затінення рослини можуть формувати довші меживузля на стеблі.

[] Тривимірне моделювання коріння полікультури трьох сестер продемонструвало просторову диференціацію ніш завдяки різній будові кореневої системи цих трьох рослин. Завдяки цьому рослини полікультури ефективніше споживають нітроген, тоді як покращення споживання менш мобільного фосфору не було відмічено в цій полікультурі.

OVERYIELDING

Martin-Guay M, Paquette A, Dupras J, et al (2018) Science of The Total Environment 615: 767-772.
Li L, Tilman D, Lambers H, et al (2014) The new phytologist. 203: 63-69.

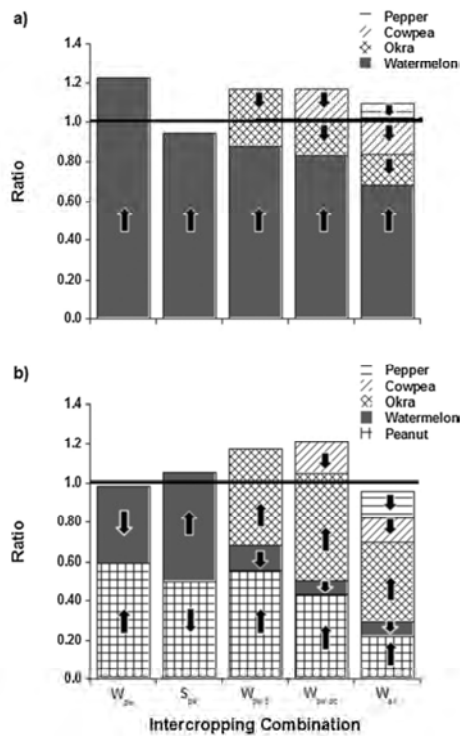


Average land equivalent ratio (LER) for all distinct intercropping compositions with N10 occurrences in the dataset. A=legume/non legume; B=other intercropping compositions. LER is log-transformed, meaning that positive values represent beneficial intercrops.

Аналіз досліджень надврожайності продемонстрував зв'язок цього феномену за мобілізацію фосфору та мікроелементів (заліза, цинку та магнію) одним з компонентів полікультури. Інше дослідження, результати якого наведено на слайді, продемонструвало, що надврожайність також часто спостерігається в полікультурах без бобових.

OVERYIELDING

Franco JG, King SR, Masabni JG, et al (2015) *Agric Ecosyst Environ* 203: 1-10.



Land equivalent ratios (LERs) calculated based on total yield for (a) 2011 and (b) 2012 and broken down by species. Under- and over-yielding of individual species are indicated by up or down arrows, respectively.

Можна застосовувати концепцію полікультури трьох сестер і до інших структурно та функційно подібних культур, наприклад, використовуючи бамію як структурну опору, кавун як ґрунтопокривник та арахіс та курячий горох в ролі бобових азотфіксаторів. В цій системі лише бамія та кавун були найбільш конкурентноздатними видами, що постійно демонстрували надврожайність. Дослідники визначили, що відстань між рослинами визначає баланс між конкуренцією та сприянням, а правильно підібрані терміни посадки визначають успішність росту рослин у полікультурі та суттєво впливають на її загальну врожайність.

MODELLING

Malézieux E, Crozat Y, Dupraz C, et al (2009) *Agronomy for Sustainable Development* 29: 43-62.
 Gaudio N, Escobar-Gutiérrez AJ, Casadebaig P, et al (2019) *Agron Sustain Dev* 39: 1-20.

Comparison of some multispecies models designed for intercropping, agroforestry and forestry.

Model	Specific diversity (number of species)	Spatial pattern heterogeneity (horizontal)	Time step and scale	Aboveground interactions	Belowground interactions	Type of system	Objectives	General comments
CROPSYS (Calvet and Itier, 1991)	2 [empirical]		Day time step n cycles	Canopy: 1D, 2 layers Soil: 1D, n layers Light/balance	Water and N competition	Tropical forest intercropping systems	Growth and yield of annual species Risk evaluation/decisions making	Dedicated to crop/soil interactions
WALCA (Cazaux, Naudin and Lemaire, 2005)	> 2 [empirical]		Day time step n cycles	Canopy: 1D x 3 layers Soil: 1D, n compartments Light/balance	Water, N and P competition	Tropical forest intercropping systems, regional agroforestry	Growth and yield of annual and perennial species	Tree management (Cecery model)
MUSICA (Boussin et al., 2006)	2 [empirical] or [descriptive]		Day time step n cycles	Canopy: 1D, geometric shape Light/balance	Macronutrient feedback implemented	Temperate and tropical forest intercropping systems	Growth and yield of annual/perennial species No tree management (spring)	Sustainability - SEM (Cecery model) Limits of the STELLA programming platform
GENM (Boussin et al., 2005)	2 [empirical]		Day time step n cycles	Canopy: 1D, n vertical layers Light/balance	Soil: 1D, n vertical layers Water and N uptake	Temperate grassland	Standard species competition, dynamics and productivity Explicit description of the plant stress and root morphology and architecture Crop management (optimal model)	Simulation of phenotypic plasticity in response to shade and nitrogen deprivation
MARAFY (Van der Werf et al., 2005)	2 [descriptive]		Annual time step Long term production dynamics	Canopy: 1D, n vertical layers Light/balance	Soil: 1D, n vertical layers Water and N uptake	Temperate forest intercropping systems	Growth and yield of annual and perennial species Evaluation of profitability of agroforestry systems	Plant growth and yield of crop and tree species Crop management (optimal model)
WALCA (Cazaux, Naudin and Lemaire, 2005)	> 2 [descriptive] and [descriptive]		Day time step n cycles	Canopy: 3D Light/balance	Soil: 3D Water and Nitrogen balance	Temperate agroforestry systems with any depth annual and perennial species	Growth and yield of crop and tree species Carbon, nitrogen and water balance for agroforestry systems Flexibility of tree mix systems	Tree management (Cecery model)
GENM (Boussin et al., 2005)	> 2 [descriptive]		Year time step Long term production dynamics	Canopy: 3D Light/balance	Soil: 3D Water and Nitrogen balance	Temperate agroforestry systems with any depth annual and perennial species	Growth and yield of crop and tree species Carbon, nitrogen and water balance for agroforestry systems Flexibility of tree mix systems	Tree management (Cecery model)
WALCA (Cazaux, Naudin and Lemaire, 2005)	> 2 [descriptive]		Year time step Long term production dynamics	Canopy: 3D Light/balance	Soil: 3D Water and Nitrogen balance	Temperate agroforestry systems with any depth annual and perennial species	Growth and yield of crop and tree species Carbon, nitrogen and water balance for agroforestry systems Flexibility of tree mix systems	Tree management (Cecery model)

Існує кілька моделей аналізу, прогнозування та розробки полікультурних систем на основі розмаїття видів, перекривання вегетаційних періодів та функційних рис рослин. Найбільш широко застосовуються 2 моделі: (1) моделювання процесів культивованих систем на рівні поля та (2) моделювання поведінки окремих рослин на різних рівнях їх архітектурної організації.

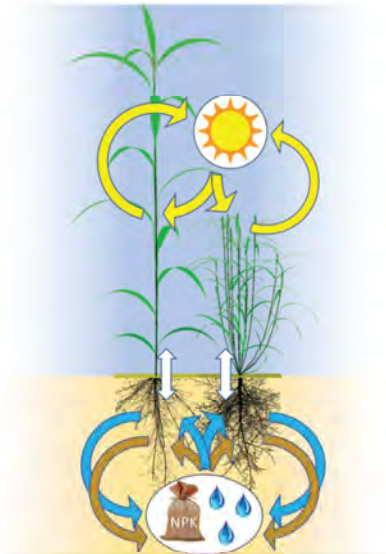
Моделі поведінки окремих індивідів представляють місцеві взаємодії, мінливість в межах виду та нерівномірний розподіл ресурсів в межах ділянки. Такі моделі вимагають численних параметрів, копінного збору даних та складних обчислень, що обмежує їх використання. Також моделі поведінки індивідів не враховують дати посадки, підживлення, оранку та полив.

Ці моделі досить точно симулюють колообіг поживних речовин, менш точно - ріст надземної частини, і зазвичай вони погано відображають конкуренцію коріння за ресурси, що може мати більше значення, ніж конкуренції надземних частин рослин. Те, що ці моделі зазвичай не враховують численні біотичні стреси, обмежує їх використання для розробки маловитратного

органічного сільського господарства. Для врахування взаємодій рослин зі шкідником можна комбінувати моделі росту культур та моделі враженості шкідниками, і для поєднання різних моделей було розроблено кілька платформ.

MODELLING

Evers JB, Werf VD, Wopke, Stomph TJ, et al (2019) Journal of Experimental Botany 70: 2381-2388.



Visual output of a maize-wheat intercrop canopy simulated using functional-structural plant modelling.

A number of main feedback cycles in the growth and resource acquisition of plants determine the overall growth process of individual plants.

Функційно-структурні моделі (ФСМ) поєднують взаємодію між структурно та функційною відповідями рослини на наявність ресурсів та дію конкуренції, що визначає споживання ресурсів та ріст окремими рослинами у полікультурі.

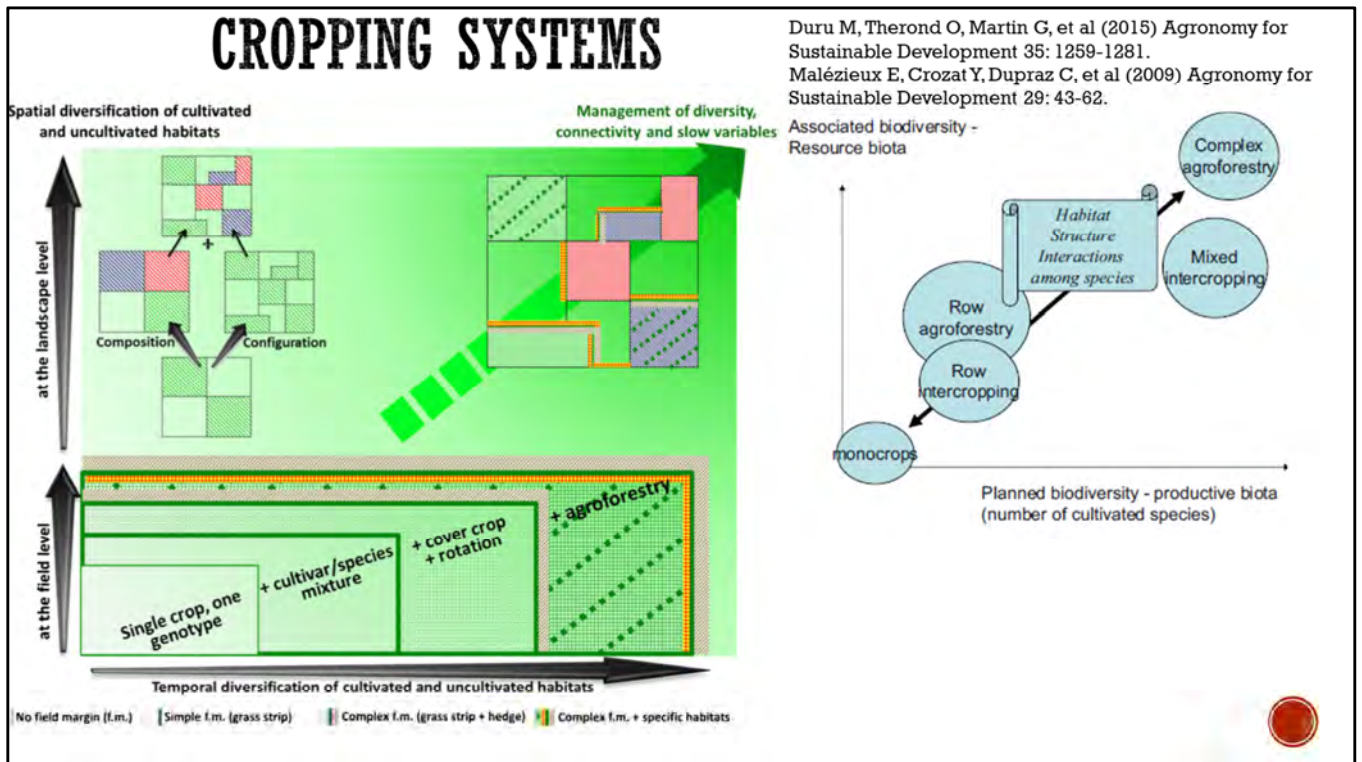
Більшість моделей припускають, що взаємодоповнювальне споживання ресурсів різними видами визначається вродженими відмінностями між видами та структурою рослинного угруповання. Проте пластичність рослин дозволяє їм підлаштовувати вигляд або фенотип та характер використання ресурсів до умов, що формуються іншими видами.

У функційно-структурних моделях відбувається тривимірне моделювання росту та розвитку рослин на основі перебігу фізіологічних процесів, які обумовлюються такими факторами довкілля, як освітленість, доступність поживних речовин та наявність сигналів конкуренції. Такі моделі можуть передбачати, які фенотипи рослин (або комбінації рис) даватимуть найкращі результати за певних умов.

Важливо, щоб такі механістичні моделі симуляції росту рослин базувалися на притаманних рослинам характеристиках, доступних рослинні ресурсах та впливі рослини на сусідів. Якщо характер або рівень функційних рис рослини залежить від сусідства, це також потрібно враховувати. Функційні риси можна розділити на архітектурні (напр. довжина стебла та кут кореневих відгалужень), фізіологічними (напр. ефективність фотосинтезу чи швидкість поглинання поживних речовин), або

це може бути інтенсивність відповіді на певний вплив, наприклад, уникнення затінення.

[] Також моделі мають враховувати обмежуючий вплив найповільнішого регуляторного циклу та взаємний вплив характеру сусідів на характер поглинання ресурсів.



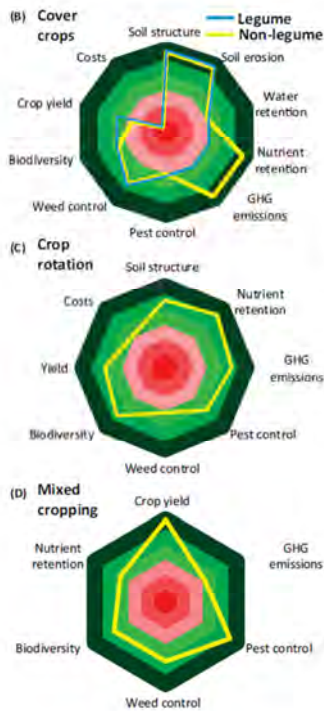
Полікультурні системи можуть включати сільгоспкультури, пасовищні види тварин, лісгосподарські види дерев та будь-яку їх комбінацію. Їх можна класифікувати наступним чином:

1. За постійністю набору культур та частотою зміни характеру використання землі.
2. За інтенсивністю суміщених посадок – кількістю, типом та рівнем знаходження культур у просторі та часі.
3. За відсотком листового покриття на ділянці.

Полікультурні системи різняться за рівнем видового розмаїття (це як культивоване, так і асоційоване розмаїття), рівнем взаємодії між видами, розмаїтстю та рівнем організації у просторі та часі.

CROPPING SYSTEMS

Kleijn D, Bommarco R, Fijen TPM, et al (2019) Trends in Ecology & Evolution 34: 154-166.




Radar Plots Graphically Summarising the Effects of the Most Frequently Implemented Management Practices to Increase Sustainability of Farming on Multiple Ecosystem Services. Dark green/red: consistent positive/negative effects found in meta-analyses, reviews, and individual studies. Intermediate green/red: positive/negative effects dominate but some studies show no effects. Light green/red: positive/negative effects dominate but many studies show no effect and some even negative effects.


Як результат, полікультурні системи різняться за складністю догляду та ефективністю надання різних екосистемних послуг.

Malézieux E, Crozat Y, Dupraz C, et al (2009) *Agronomy for Sustainable Development* 29: 43-62.

CROPPING SYSTEMS




Simultaneous intercropping




Temporal intercropping

Bybee-Finley, K. & Ryan, M. *Agriculture*, 8.6 (2018): 80.

Relay Cropping

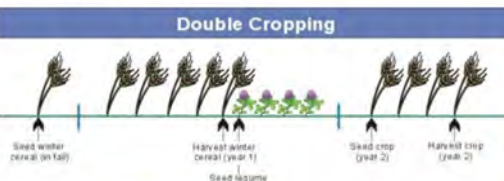


University of Manitoba <http://www.umanitoba.ca/>




Red clover relay cropped with winter wheat

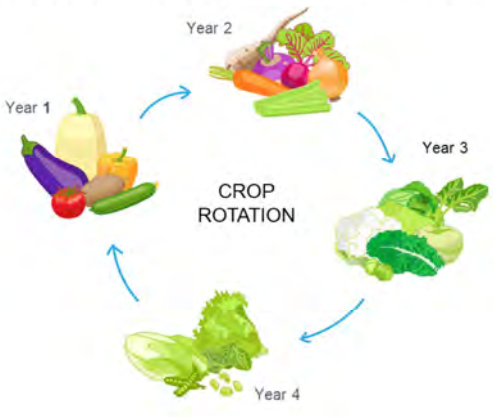
Double Cropping



University of Manitoba <http://www.umanitoba.ca/>



Chickling vetch double cropped after fall rye.



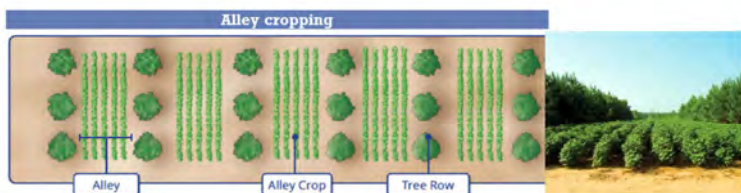
CROP ROTATION

Основними способами поєднання однорічників в часі є наступні:

- [] **Ущільнені посадки або одночасне змішування культур** – різні культури чи сорти одночасно висаджуються в одному рядку чи в одній смузі, врожай цих культур також збирають водночас.
- [] **Тимчасове змішування культур** – посадка швидкорослої культури з повільнорослою, при якій швидкорослу культуру збирають перед дозріванням повільнорослої.
- [] **Змінні ущільнені посадки або естафетне вирощування** – коли другу культуру підсавають під час росту (ближче до часу дозрівання) першої культури, і друга культура отримає простір для росту після збирання першої культури.
- [] **Два врожаї на рік** – коли різні культури послідовно вираджують на полі протягом року, при цьому в кожен момент часу росте лише одна культура.
- [] **Та сівозміна** – коли в різні роки поле засівають різними культурами (комерційними, покровними чи кормовими).

CROPPING SYSTEMS

Malézieux E, Crozat Y, Dupraz C, et al (2009) *Agronomy for Sustainable Development* 29: 43-62.



National Agroforestry Center U.S. <https://www.fs.usda.gov/>



Row intercropping

Lithourgidis, A.S. "Annual Intercrops: An Alternative Pathway for Sustainable Agriculture." *Australian Journal of Crop Science* 5.4 (2011): 396-410.



Strip intercropping

<https://www.stripillfarmer.com/articles/2529-strip-cropping-experiments-yielding-economic-environmental-advantages>



Checkboard intercropping

<https://www.no-tillfarmer.com/articles/2042-organic-research-weighs-in-on-cover-crop-benefits>

Основними способами поєднання як однорічних, так і багаторічних культур у просторі ї наступні:

- [] **Алейні посадки** – вирощування дерев, в широких міжряддях яких висаджують інші культури.
- [] **Черезрядкове суміщення культур** – при якому чергуються рядки різних культур (переважно при вирощуванні однорічників)
- [] **Черезсмугове суміщення культур** – різні культури або комбінації культур об'єднані у смуги
- [] **Суміщення за принципом шахівниці** – може застосовуватися як для підвищення розмаїття однорічників, так і багаторічників, зокрема коли молоді та зрілі ділянки, як у садівництві, вимагають різного догляду та дозволяють різні опції збільшення розмаїття (як, наприклад, випасання худоби).



ЕСТАФЕТНЕ ВИРОЩУВАННЯ ЧИ ЧЕРЕЗСМУГОВЕ СУМІЩЕННЯ КУЛЬТУР?

Lamichhane, J. R. *et al.* Relay cropping for sustainable intensification of agriculture across temperate regions: Crop management challenges and future research priorities. *Field Crops Research* 291, (2023).



An overview of wheat-soybean relay-strip intercropping (a) and relayintercropping (b) configurations. The two configurations differ in the row number (4:2 and 2:1 in Fig. a & b for wheat and soybean, respectively) sown to each crop. This has an important effect on the competition phase for resources (mainly water and light intensity due to shading between two crops of the relay cropping sequence). Besides the two crop species chosen for the relay cropping sequence, the number of rows sown for each crop and their row width (i.e. the distance between: primary crops, relay crops, and the primary and relay crops) affect the competition phase and the subsequent crop performance. The width of the traffic lane can be adjusted based on different factors including the crop species chosen for the relay-intercropping and the type of equipments to be used for crop management (Photo 5a is the courtesy of Wopke van der Werf while photo 5b belongs to INRAE)



Compared to a crop grown in pure stands, three critical phases characterize the relay crop: (i) the crop establishment phase, to ensure a uniform and robust stand under no tillage and limited soil moisture; (ii) the competition phase where the undersown relay crop is severely exposed to shading and water deficit; and (iii) the recovery phase following the primary crop harvest where the challenge is to rapidly compensate for the reduced early growth.

There are three major constraints for SDC (sequential double cropping) to be successfully implemented across higher latitudes of temperate regions. First, severe heat and drought stresses alone or in combination affect development of the second crop, either during early growth phase or during flowering and seed setting (Liu *et al.*, 2019; Soba *et al.*, 2022), especially under rainfed conditions. Second, when the second crop is grown for grain harvest purpose, the mature crop cannot be harvested as the harvesting time coincides with autumn rainfalls limiting field access or increasing the grain moisture content. Third, the second crop may not attain the optimal maturity level due to the lack of sufficient thermal time cumulation hindering the harvest of the crop.

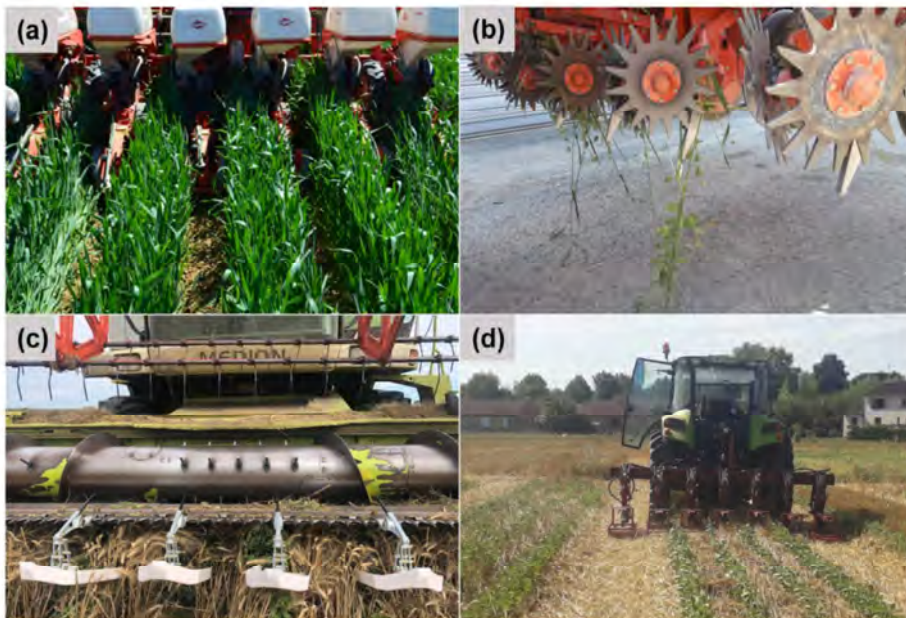
Compared to conventional row-crops, RC has potential to control soil erosion and thus to serve as a proxy for conservation measure on too steep slopes. Due to an early sowing date, the second crop in RC may be at an advanced phenological stage compared to SDC.

Ideal species as the primary crop for RC should be early maturing and short strawed

(provided that at the primary crop harvest, the relay crop height is not similar to that of the primary crop, which otherwise damage the relay crop) with an upright growth habit and not spread out too much on the rows.

Key characteristics for a relay crop species include high drought tolerance (especially in the early stages), when used under water-limited environments, shade tolerance, no or least sensitivity to phytotoxicity (due to herbicides applied on the primary crop), capacity to resist to mechanical crushing, adapted maturity group to the sowing date, slow growth habit during the early crop phase (i.e. during the competition phase) and an accelerated growth recover after the harvest of the primary crop. In particular, Ramification or indeterminate growth habit – capability to quickly recover after the damage during harvesting.

СГ ТЕХНІКА ДЛЯ СУМІЩЕНИХ ПОСАДОК



Lamichhane, J. R. *et al.* Relay cropping for sustainable intensification of agriculture across temperate regions: Crop management challenges and future research priorities. *Field Crops Research* 291, (2023).

An overview of agricultural equipment adaptations to manage wheat-soybean RC. use of a no-till drill to plant the relay crop (a); implementation of tines to till the seed line superficially just in front of the seeding units of the drill (b); implementation of skids on the front of the combine to limit damage to the relay crop during harvesting of the primary crop (c), and prototype of an inter-row shredder to mechanically control weeds (and shred straw from the primary crop); d). Photo courtesy of ©INRAE, Toulouse-Auzeville experimental unit.



CROPPING SYSTEMS

Survey "Increasing Agricultural Stability with High-Performance Polycultures"

Classification based on a character of components.

Agroforestry - mixed-species system, where woody perennials (trees and shrubs) are grown in association with agricultural crops and pastures on the same land and at the same time.

- Systems with all commercial crop components
- Intensive grazing in orchard/vineyard
- Multi-storied intercropping with grazing
- Multi-storied intercropping aka forest garden (trees and several layers of lower vegetation, may include livestock)
- Agriculture crops among resident tree species ("gardening in the forest")

Cover crop in orchard/vineyard

- In **immature** orchard/vineyard
- In **mature** orchard/vineyard

Hedgerows, windbreaks, and riparian buffers on field edges

- With commercial crops
- Only subsidiary crops

Polyculture field (with no or little woody perennials)

- Commercial crops
- Cover crops
- Wildlife plants (intentionally cultivated or intentionally allowed to grow)

Livestock

- Poultry
- Ruminants
- Other livestock (please, specify)

Тут наведена інша система класифікації полікультурних систем, яку ми розробили для нашого опитування садівників, що базується на характері та стадії розвитку компонентів полікультури, використанню багаторічних культур, природної рослинності та сервісних культур, а також на поєднанні садівництва з тваринництвом.



CROPPING SYSTEMS

Malézieux E, Crozat Y, Dupraz C, et al (2009) *Agronomy for Sustainable Development* 29: 43-62.

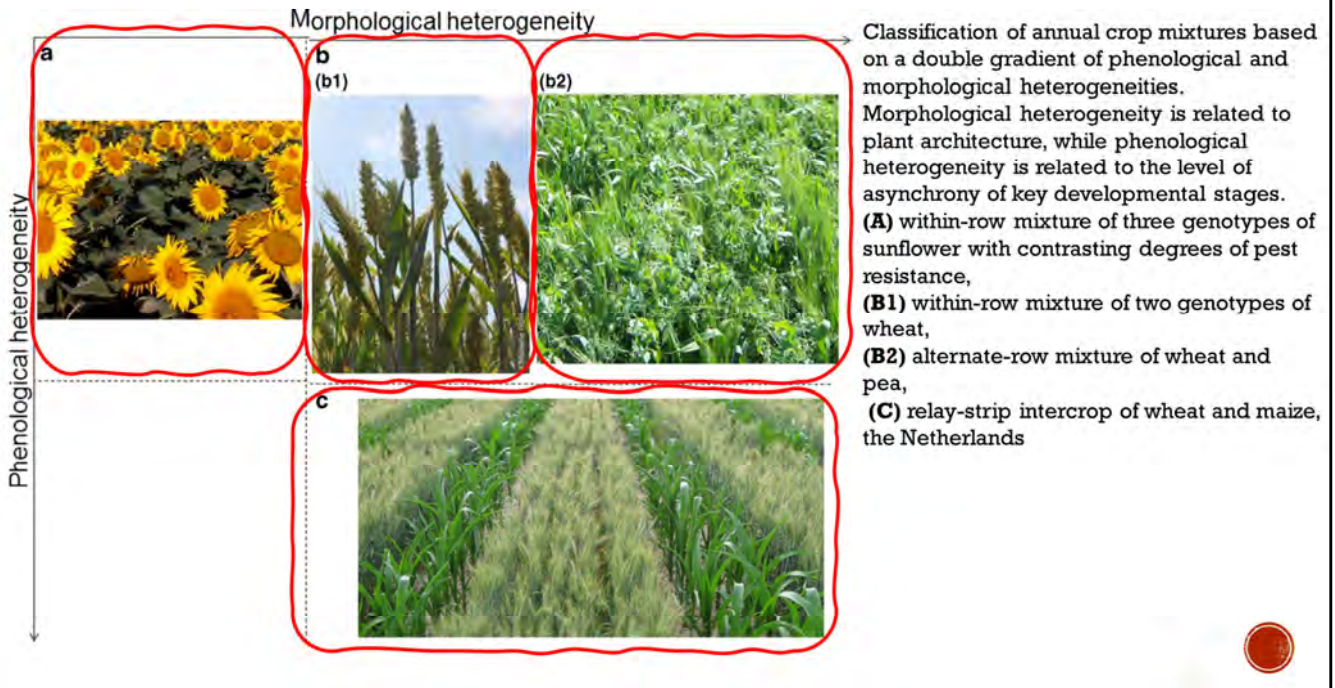
Type of System	Number of species	Horizontal heterogeneity	Number of strata	Duration	Example/location
Perennial crops					
Perennial grasses	2a		1	C	Uprland (North America, Europe, Australia, etc.)
Agroforestry (crop with trees)					
Striped agroforestry (crop/legume with trees)	1		2	S,L	Frangula/olive tree (East of Asia)
Row agroforestry					
Crop under service tree	2		2	S,L	maize/grain maize/legume tree (Tropics)
Herbaceous crop under tree crop	2		2	S,L	Cereal/wood tree (Europe, N. America) Peanut/groundnut tree, pasture/groundnut tree (Humid Asia)
Service plants under tree crop	2a		2	S,L	Parasitoid/puls tree (Asia, Africa), Gross/mayweed (Europe)
Tree crops	2		1 or 5	L	Cocoa/coconut tree (Tropics) Coffee/wood tree (Central America)
Complex agroforestry (trees, shrubs and crops)	1a		2 to 5	S,L	Tropical homogenous, cocoa, coffee, and rubber agroforests (humid tropics)

Different forms of species mixtures in agricultural systems. Systems are classified according to a gradient of complexity, including the number and type of plant species (annual vs. perennial), the horizontal and vertical structure of the mixture, and the life cycle duration of the species (S = short cycle, L = long cycle).

Ця система класифікації диверсифікованих сільгоспсистем базується на кількості видів, горизонтальній та вертикальній структурі спільноти та на тривалості життєвих циклів видів.

CROPPING SYSTEMS

Gaudio N, Escobar-Gutiérrez AJ, Casadebaig P, et al (2019) *Agron Sustain Dev* 39: 1-20.



Можна виділити 3 типи сільгоспсистем однорічників за рівнем гетерогенності:

- [] Тип А, в якому компоненти мають однакову фенологію (або життєві цикли) та однакову морфологію (або будову);
- [] Тип В, в якому компоненти різняться за морфологією, проте мають однакову фенологію;
- [] та Тип С, в якому компоненти різняться як за морфологією, так і за фенологією.

Просторово-часова структура полікультур повинна мати відповідну морфологію та фенологію для можливості збору врожаю та за потреби для механізації. Так, в естафетно-смуговій системі сумісного вирощування пшениці та кукурудзи (тип С) види суттєво різняться за фенологією, тому культури мають різні дати посадки та висіваються смугами для максимізації використання ресурсів, і дозрівають вони неодноразом. Тоді як подібні генотипи різних сортів рису (тип А) [], структурно відмінні генотипи різних сортів пшениці (тип В1) [] або полікультура ячменю та гороху (тип В2) [] мають досить подібну фенологію, що уможлиблює одночасне збирання врожаю в цих полікультурах. Тому ці культури поєднують в межах одного

рядку чи суміжних рядків для максимізації взаємодії між компонентами.

CROPPING SYSTEMS

Gaudio N, Escobar-Gutiérrez AJ, Casadebaig P, et al (2019) *Agron Sustain Dev* 39: 1-20.
Evers JB, Werf VD, Wopke, Stomph TJ, et al (2019) *Journal of Experimental Botany* 70: 2381-2388.

Main ecological processes involved in abiotic resource partitioning in the three types of annual crop mixtures (types A, B, C) in a given environment. Their occurrence in the three types of crop mixtures and the main influencing factors are described. For the schematic representation, Crop 1 = black circle, Crop 2 = black star, Target plant 1 = green, and Target plant 2 = red

	Type A	Type B	Type C
Above- and belowground competition (traits interspecific / genotypes)	occurrence: x	x	x
	influenced by: Sowing density	Sowing density, proportion of each mixture component, and competitive ability (Goldberg 1990)	Sowing density, proportion of each mixture component, competitive ability, and row position in a given strip
Phenotypic plasticity	influence: x	x	x
	influenced by: Each mixture component and direct neighborhood	sensitivity to the environment, their response range	
Spatial complementarity for belowground resources	occurrence: x	x	x
	influenced by:	Root system architecture of each mixture component, and direct neighborhood	
Complementarity for resource use	occurrence: x	x	x
	influenced by:	Functional types characterizing each mixture component	
Facilitation	occurrence: x	x	x
	influenced by:	Functional types characterizing each mixture component, and the direct neighborhood	
Representation from a target plant point of view (direct neighborhood)	A given plant is surrounded by plants with similar characteristics. All plants encounter almost the same environment and neighborhood, i.e. one average plant can be considered as representative of the whole crop. This is true except for plants located at the border of the field	Each plant 1 is at least surrounded by one plant 2 in the case of alternate row mixtures and with a high probability in the case of within-row mixtures. This probability depends on the relative proportion of the two plant types	The direct neighborhood of a target plant 1 growing in a given row can be either plant 1 or plant 2 depending on the position of the row within a given strip. Plants growing on the border rows experience a reduced neighborhood during part of their growing cycle
Schematic representation			



Relay-strip intercrop of maize and wheat.

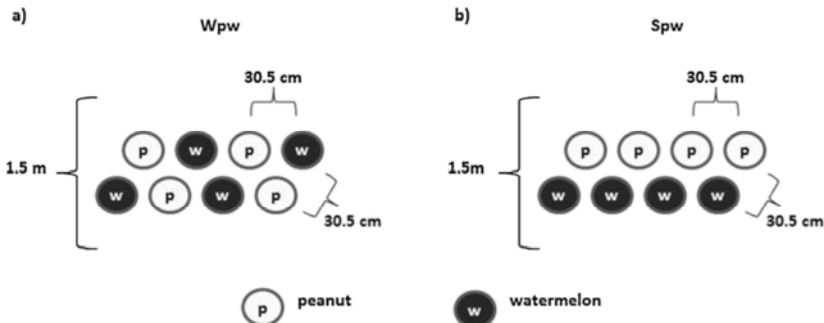
Характер поєднання однорічних культур в просторі та часі визначає врожайність як напряму через розподіл ресурсів так і опосередковано, через регулювання чисельності шкідників. [] У сумішах рослин з подібним генотипом (тип А) усі рослини зазнають досить однакових впливів довкілля, тоді як при поєднанні культур з різною морфологією в одному чи сусідніх рядках (тип В) взаємодії та їх результат є більш складними.

[] На додачу, в смуговій системі спостерігається досить відсутній ефект межового рядка на межі смуг різних культур. Отже, ефекти розподілу ресурсів та екологічного сприяння зменшуються в напрямку центру смуг в залежності від ефективної відстані взаємодії культур. [] Так, надврожайність пшениці в естафетно-смуговій полікультурі з кукурудзою переважно формувалася за рахунок вищої продуктивності крайніх рядків пшениці по межах смуг, що отримували більше освітлення до моменту підростання рядків кукурудзи. Метааналіз показав, що чергування культур є менш ефективним аніж суміщення у вузьких смугах.

Чергування рядків культур чи сортів з різною стійкістю до хвороб чи шкідників зменшує загальну враженість полікультури, оскільки стійкі чи негосподарські рослини слугують бар'єром для поширення шкідників чи

хвороб.

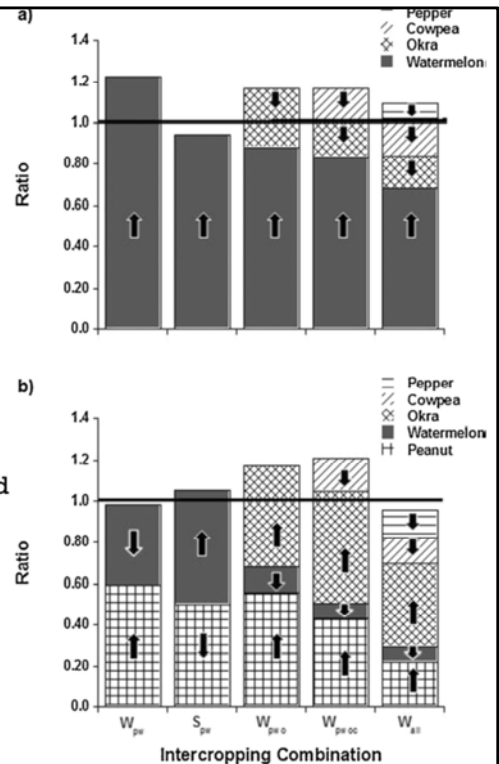
CROPPING SYSTEMS



Planting layout and spacing for the
(a) within-row intercropping system of peanut–watermelon (Wpw) and
(b) strip intercropping system of peanut–watermelon (Spw).

Franco JG, King SR, Masabni JG, et al
 (2015) *Agric Ecosyst Environ* 203: 1-10.
 Franco JG, King SR, Masabni JG, et al
 (2015) *Agric Ecosyst Environ* 203: 1-10.

Land equivalent ratios (LERs)
 calculated based on total yield for:
(a) 2011 and
(b) 2012 and broken down by species



Полікультури, в яких компоненти виконують взаємодоповнюючі екологічні функції, особливо ефективні для зменшення витрат в субоптимальних умовах вирощування.

Ефективність полікультури залежить від ефективного підбору дати, щільності чи відстані посадки, при яких максимально задовольнятимуться потреби усіх компонентів. Це було показано для полікультури з 4 посухостійких видів (арахіс, міні кавуни, бамія, курячий горох та перець чилі). Різниця в кількості опадів між різними роками визначала характер взаємодії, що змінювався від екологічного сприяння до конкуренції.

Однорічники, що підбираються для ущільнених посадок, повинні мати подібні швидкості росту для зменшення конкуренції. Прикладом є полікультура ґрунтопокривників з проса африканського, суданської трави та кроталарії ситникової.

CROPPING SYSTEMS

Managing cover crops profitably. (1998) Beltsville, MD, Sustainable Agriculture Network.



Естафетна полікультура є стратегією підвищення взаємодоповнення між досить відмінними видами при запобіганні конкуренції між ними. Друга культура висівається попід першу культуру допоки її листовий покрив не стане надто щільним і поки до землі дістається достатня кількість світла – зазвичай після прополювання або на початку всихання першої культури перед дозріванням насіння. Для зменшення конкуренції культур друга культура має швидко починати рости та бути посухостійкою або ж навпаки, рости спочатку повільно та бути тіньовитривалою.

CROPPING SYSTEMS

Gaudio N, Escobar-Gutiérrez AJ, Casadebaig P, et al (2019) *Agron Sustain Dev* 39: 1-20.



Within-row mixture of three genotypes of sunflower with contrasting degrees of pest resistance

Для субоптимальних умов вирощування та потребі полегшити догляд за полікультурною компромісним варіантом може стати поєднання різних сортів однієї культури з різною стійкістю до хвороб чи швидкістю росту – це дозволить, відповідно, зменшити використання пестицидів та покращити використання ресурсів. Спільне висаджування ранньо- та пізньостиглих сортів дозволяє гарантувати врожай за умови непередбачуваності сезонних опадів, а розмаїття місцевих сортів дозволяє покращити врожайність на бідних ґрунтах якщо підібрати полікультуру з різних сортів відповідно до типу ґрунту, зволоженості та мікроклімату. Загалом, на схилах зазвичай культують більше розмаїття культур та сортів. Поєднання різних сортів найкраще відповідатиме типу ґрунту, а вирощування стійких сортів на голих схилах дозволить захистити їх від ерозії.

ЗАПИТАННЯ

- До вас звернувся фермер, який вирощує сою, кукурудзу та пшеницю, із запитом розробити диверсифіковану систему із врахуванням його побажань та можливостей. Які полікультурні системи (практики) ви б йому запропонували та яким чином забезпечили їх ефективну розробку та підлаштування? Можете обговорити один або різні сценарії

