

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



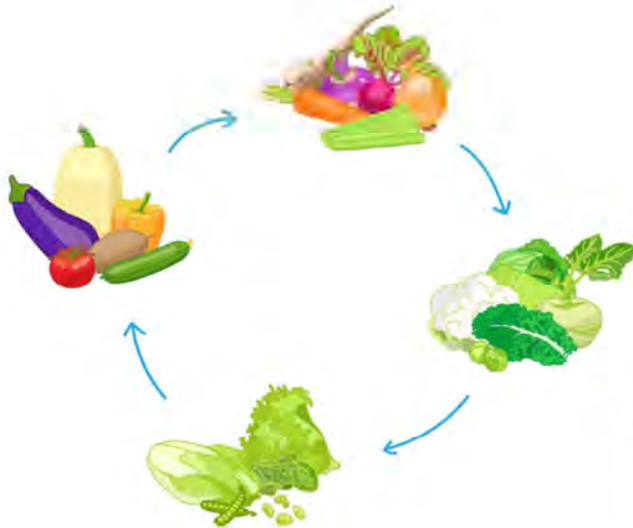
СІВОЗМІНА



Павло Арданов
pavlo.ardanov@gmail.com



ВИЗНАЧЕННЯ



Tariq M, Ali H, Hussain N, Nasim W, Mubeen M, Ahmad S & Hasanuzzaman M (2019) Fundamentals of Crop Rotation in Agronomic Management. In: Hasanuzzaman M (ed) Agronomic Crops. Singapore, Springer.
 Anderson RL (2005) Agronomy journal 97: 1579-1583.
 Campbell R (1994) Crop Protection 13(1): 4-13.
 Andrew J. Garrison, Adam D. Miller, Matthew R. Ryan, et al (2014) Weed Science 62: 166-176.
 Dury J, Schaller N, Garcia F, et al (2012) Agronomy for Sustainable Development 32: 567-580.

Table 24.1 Five-year crop rotation plan of 5 acres field

Years	Field No. 1	Field No. 2	Field No. 3	Field No. 4	Field No. 5
1st	Winter cereals	Summer cereals	Summer legumes	Winter legumes	Cotton
2nd	Summer cereals	Summer legumes	Cotton	Winter cereals	Winter legumes
3rd	Summer legumes	Winter legumes	Winter cereals	Cotton	Summer cereals
4th	Winter legumes	Cotton	Summer cereals	Summer legumes	Winter cereals
5th	Cotton	Winter cereals	Winter legumes	Summer cereals	Summer legumes

Сівозміна – це вирощування різних культур на одній ділянці у систематичній та повторюваній послідовності. Розробка сталого циклу зміни культур є початковим кроком розробки стабільної в довготерміновій перспективі системи. В цикл сівозміни можна включати безперервне вирощування економічно чи агрономічно важливої культури впродовж кількох послідовних років. Наприклад, послідовне вирощування певних монокультур може сприяти формуванню супресивних ґрунтів, ймовірно як результат збільшення популяції флуоресцентних псевдомонад чи інших антагоністів патогенів цих рослин. Прикладом є формування ґрунту, що пригнічує розвиток випрівання злаків в повторюваній монокультурі пшениці. Іншою гіпотезою є збільшення конкуренції між певними видами бур'яну в повторюваній монокультурі, оскільки зміна культур з сівозміни змінює умови надаючи кожного разу перевагу різним групам бур'янів. Проте ця гіпотеза потребує експериментального підтвердження.

Сівозміна може включати випас свійських тварин або внесення гною. Хоча сівозміна є основою органічного господарювання, існує також проміжна або перехідна опція між індустріальним та органічним фермерством що зветься інтегрованою або маловитратною сівозміною. Її метою є оптимізувати

зовнішні витрати, покращити біоконтроль та загальний стан довкілля.
Сівозміна часто включає фазу вирощування основних культур та фазу
відновлення родючості ґрунту – наприклад, пасовище з багаторічниками чи
вирощування ґрунтопокривних культур.

ФУНКЦІЇ

Weißhuhn P, Reckling M, Stachow U, et al (2017) Sustainability 9: 2267.

Взаємозв'язок принципів сівозміни з екосистемними функціями та послугами.

Основні принципи сівозміни	Екосистемні функції	Екосистемні послуги
Включення культур із великою кореневою системою	Колообіг вуглецю, аерація ґрунту, водний баланс	<i>Регуляторні:</i> родючість ґрунту, захист ґрунту, пом'якшення мікроклімату, покращення водопроникності та водоутримуючих властивостей ґрунту
Включення бобових культур	Колообіг нітрогену	<i>Регуляторні:</i> родючість ґрунту; <i>Продовольчі:</i> нарощування біомаси
Сидерати та парина	Колообіг нітрогену, колообіг вуглецю	<i>Регуляторні:</i> родючість ґрунту; <i>Продовольчі:</i> нарощування біомаси
Чергування культур, що підвищують та що знижують вміст органічної речовини у ґрунті	Колообіг вуглецю, водний баланс	<i>Регуляторні:</i> родючість ґрунту, пом'якшення мікроклімату; <i>Продовольчі:</i> нарощування біомаси
Включення ущільнюючих та покривних культур	Колообіг вуглецю, колообіг нітрогену	<i>Регуляторні:</i> захист ґрунту, родючість ґрунту; <i>Продовольчі:</i> нарощування біомаси
Чергування ярих та озимих культур, включення кормових культур	Створення менш сприятливого середовища для шкідників, хвороб та бур'яну, зменшення запасу насіння бур'яну у ґрунті, створення оселища для корисних тварин	<i>Регуляторні:</i> контроль шкідників, пригнічення бур'яну
Зменшення частоти вирощування культур та груп рослин	Створення менш сприятливого середовища для шкідників, хвороб та бур'яну	<i>Регуляторні:</i> контроль шкідників, пригнічення бур'яну



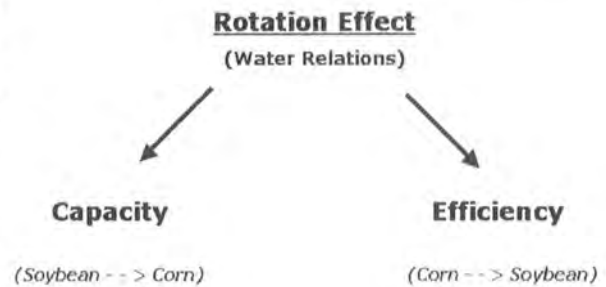
Основними задачами сівозміни є порушення циклів життєдіяльності паразитів та бур'яну (для чого часто висаджують сидерати), відновлення резерву поживних речовин у ґрунті, покращення ефективності їх використання та протидія їх втраті внаслідок вимивання із ґрунту, покращення структури ґрунту та зниження комерційних ризиків для фермера через можливість неврожаю окремих культур та коливання їх ринкових цін. На цьому слайді показано взаємозв'язок принципів сівозміни з екосистемними функціями та послугами.

FUNCTIONS

Tariq M, Ali H, Hussain N, Nasim W, Mubeen M, Ahmad S & Hasanuzzaman M (2019) Fundamentals of Crop Rotation in Agronomic Management. In: Hasanuzzaman M (ed) Agronomic Crops. Singapore, Springer.
 Anderson RL (2005) Agronomy journal 97: 1579-1583.
 Campbell R (1994) Crop Protection 13(1): 4-13.
 Andrew J. Garrison, Adam D. Miller, Matthew R. Ryan, et al (2014) Weed Science 62: 166-176.

Table 24.2 Yield benefits due to crop rotations in various crops

Rotation	Name of beneficial crop	Yield improvement over continuous cropping
Corn-cotton	Cotton	13%
Clusterbean-millet	Millet	100%
Soybean-corn	Corn	6%
Fababean-wheat	Wheat	46%
Canola-wheat	Wheat	19%
Soyabean-cotton	Cotton	6%



Звичайно, важливою функцією сівозміни є збільшення загальної продуктивності ферми, зокрема завдяки використанню надврожайних полікультур, коли родючість культур в поєднанні (у просторі та/або в часі) є більшою аніж при вирощуванні їх поодинці.

[] Така синергія часто пов'язана з покращенням здатності культур до мобілізації ресурсів. Наприклад, ефективність використання води в сівозміні пшениці та проса звичайного покращується при включенні в цю сівозміну кукурудзи.

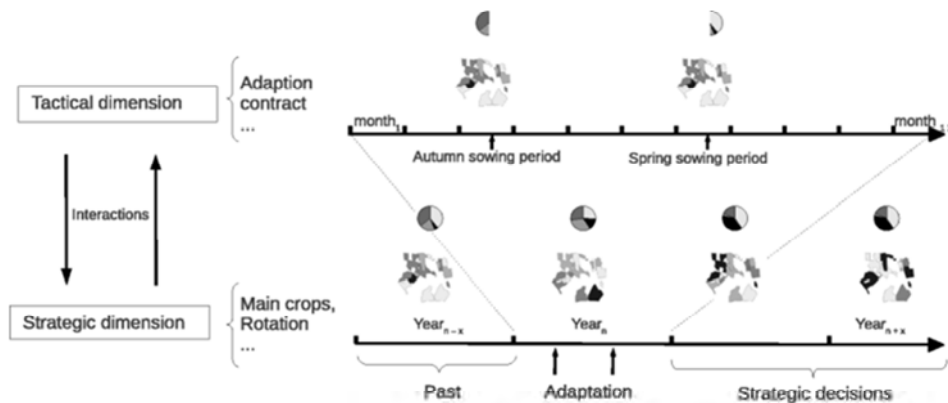
Часто сівозміна сприяє більшій рівномірності розподілу сезонних робіт на фермі та сприяє створенню постійних робочих місць зменшуючи залежність від більш дорогих та дефіцитних сезонних працівників. Також сівозміна дозволяє адаптуватися до змінних погодних умов.



CONSTRAINTS

- Complicated planning and management
- Higher labor input
- More challenging mechanization and marketing
- Negative impact of preceding crop (e.g. high weed pressure, volunteers, harboring pests)

Tariq M, Ali H, Hussain N, Nasim W, Mubeen M, Ahmad S & Hasanuzzaman M (2019) Fundamentals of Crop Rotation in Agronomic Management. In: Hasanuzzaman M (ed) Agronomic Crops. Singapore, Springer.
Dury J, Schaller N, Garcia F, et al (2012) Agronomy for Sustainable Development 32: 567-580.



Можливий конфлік між окремими з численних функцій, які має виконувати сівозміна.

Основними складнощами є складність планування та догляду, менша кількість опцій з пізньостиглими культурами, часто більші працевитрати та більш складна механізація, ризик того, що попередня культура забур'янить посів наступної культури, можливість пригнічення росту наступної культури поживними рештками попередньої або ж підвищення ризику забур'яненості у певних чергуваннях культур. Отже, ретельно розроблена сівозміна має запобігати цим негативним ефектам або зменшувати їх вплив. У випадку проблемних ґрунтів з обмеженими варіантами планування сівозмін пріоритетом має бути покращення якості ґрунту з отриманням достатньої прибутковості.

Варто уникати культур з неглибоким корінням в місцевостях з неглибокими поверхневими водами та глибоким заляганням ґрунтових вод. У посушливих місцевості варто орієнтуватися на посухостійкі зернобобові культури (коров'ячий горох, пшоно та овес) а також на культури, що утворюють багато решток для мульчування ґрунту. У вологих місцевостях варто збільшувати долю водолюбних культур (таких, як ріпак).

В місцевостях, де заборонено використання азотних та фосфорних добрив, не можна вирощувати культури, що потребують великої кількості цих макроелементів. Також потрібно зважати на місцеві регуляторні норми, що, наприклад, можуть обмежувати вирощування просапних культур на крутих схилах.

В місцевостях з великим ризиком ерозії в сівозміні потрібно включати коренеплоди та злаки – це знижує ризик ерозії в середньому на 30%. Додатковим протиерозійним заходом є вирощування пасовищних культур у сівозміні.

ПРИНЦИПИ

Tariq M, Ali H, Hussain N, Nasim W, Mubeen M, Ahmad S & Hasanuzzaman M (2019) Fundamentals of Crop Rotation in Agronomic Management. In: Hasanuzzaman M (ed) Agronomic Crops. Singapore, Springer.

- I. Після культури зі **стрижневою** кореневою системою висаджуйте культуру з **мичкуватим** корінням для більш ефективного споживання поживних речовин з ґрунту.
- II. Після **небобової** культури висаджуйте **бобову** для підвищення вмісту нітрогену в ґрунті.
- III. **Повільноросла** культура має чергуватися зі **швидкорослою** для більш ефективного пригнічення бур'яну.
- IV. У **посушливих умовах** **водолюбна** культура має чергуватися з **посухостійкою** (напр. злакові, просо).
- V. **Вразлива** до хвороб культура має чергуватися зі **стійкою** для зменшення захворюваності.
- VI. Обирайте культури для **вирішення ваших проблем**. Наприклад, для захисту ґрунту від ерозії чергуйте прямостоячі культури з бобовими.
- VII. **Уникайте** чергування культур **з однієї родини** або схожих за будовою, оскільки вони можуть слугувати господарями для тих самих шкідників та хвороб.
- VIII. Обирайте культури у відповідності до **місцевого клімату** та фінансових потреб фермера.
- IX. Обирайте культури відповідно до потреб **місцевого ринку**. Наприклад, кормові культури варто вирощувати у місцевості з розвиненим тваринництвом, а квіти – поблизу міст.
- X. Обирайте культури для сівозміни відповідно до **поточного попиту** задля збільшення прибутковості.



Основними принципами сівозміни є чергування культур із різних родин, що мають різні та протилежні риси будови їх надземних та підземних органів. Завдяки цьому збільшується розмаїтість екологічних ніш, і, відповідно, розмаїття симбіотичних мікро- та макрорганізмів, тоді як кількість шкідників зменшується внаслідок конкуренції, поїдання корисними організмами та переривання циклів розвитку, що виникає коли відсутні рослини-господарі чи внаслідок механічних пошкоджень (тому для зниження кількості збудників захворювань до безпечного рівня посадки споріднених культур зазвичай розносять у часі на 2–3 роки). Варто зважати, що різний час проведення сільськогосподарських операцій у сівозміні може також порушувати життєві цикли корисних організмів, зокрема для птахів, що гніздяться на землі.

Сівозміна також сприяє взаємодоповнюваності ніш та збільшує ефективність використання ресурсів, що дає перевагу культурам у протидії бур'янам та сприяє зменшенню забруднення довкілля.

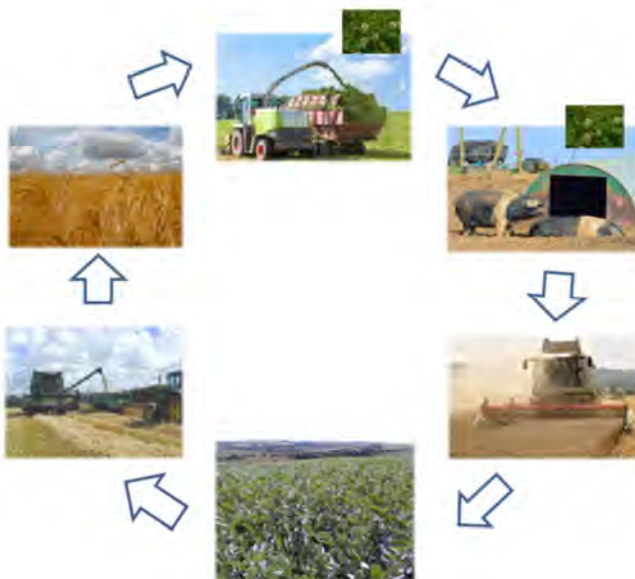
Для уникання накладання періодів пікової потреби ресурсів для різних культур у паралельних сівозмінах потрібно зважати на пікову завантаженість техніки, працівників, складів та доступність води (як в масштабі ферми, так і

на рівні місцевості).

Коли важливим є забезпечення регулярного грошообігу, можна збільшити регулярність та зменшити інтервали між посадками культур та збільшити долю культур з недетермінованим (неперервним) ростом, які ростуть та родять протягом тривалого часу (наприклад, томатів). При плануванні сівозміни також потрібно враховувати місцеві та довготермінові ринкові тенденції.

ЧЕРГУВАННЯ РІЛЛІ ТА ПАСОВИЩА

Franzuebbers AJ & Gastal F (2018)
Agroecosystem diversity: 109-121.



За 2 роки вирощування люцерна збагачує ґрунт нітрогеном на 150 кг/га, чого вистачить для вирощування культур протягом наступних 3 – 4 років.

Триваліша сівозміна збільшує врожайність зернових на 10% - 12%:

- 4 роки чергування кукурудзи з вівсом та пшеницею, 2 роки червоної конюшини / тимофіївки лучної;
- 8-річна сівозміна – 4 роки кукурудзи, 4 роки люцерни.
- В 10-річній сівозміні з 3 – 6 роками пасовища та 7 – 4 роками кукурудзи середньорічна врожайність кукурудзи становила 42-93 т/га, тоді як в монокультурі врожайність кукурудзи була 67 т/га.



Чергування вирощування культур із випасом свійських тварин є однією з найбільш цілісних та традиційно поширених схем сівозміни. Таку взаємодію можна змодельювати у формі стадії пасовища, вирощування кормових чи біоенергетичних культур. В цій сівозміні значно покращується колообіг поживних речовин, життєдіяльність ґрунту, зменшується забруднення довкілля, підвищується ринкова стабільність тваринництва та прибутковість фермерства, оптимізується використання відновлюваних ресурсів, в більшій мірі підтримується біорозмаїття.

Чергування однорічних основних культур (які найбільше вражаються однорічними бур'янами) та багаторічних кормових культур (в яких переважають багаторічні бур'яни) не дає панувати бур'яну жодній з цих груп. Худоба дозволяє перетворювати рештки рослинництва на комерційний продукт, пришвидшує мінералізацію рослинних решток та допомагає зменшити кількість бур'яну та шкідників. Кормові культури добре структурують ґрунт, а багаторічні трави особливо ефективно протидіють ерозії, покращують колообіг води, протидіють формуванню безкисневого середовища на затоплених ґрунтах, створюють постійне середовище існування для корисних організмів, ефективно протидіють вимиванню поживних речовин з ґрунту протягом усього року (на відміну від однорічних

культур), збільшують кількість органічної речовини у ґрунті та зв'язують атмосферний вуглець. Пасторальні ландшафти покращують загальний естетичний вигляд місцевості.

Для отримання екологічних переваг від кормової культури нею можна засаджувати усе поле, або висаджувати цю культуру смугами. Однією з таких екологічних переваг є поглинання нітратів – так, коріння люцерни проникає на глибину до 150 см і поглинає нітрати допоки вони мігрують нижче кореневої зони. На відміну від однорічних культур, багаторічні кормові культури здатні зв'язувати нітрати протягом усього року.

[] При зміні пасовища стадією ріллі позитивний вплив на культури зберігається протягом 3-4 років, в міру вивільнення поживних речовин з ґрунтової органіки та через покращення біологічних та фізичних властивостей ґрунту. [] Через покращення врожайності сумарна (багаторічна) продуктивність зернових у сівозміні з пасовищем може не відрізнятися від врожайності безперервної монокультури зернових. До того ж така сівозміна дозволяє отримувати додатковий продукт – корми чи біопаливо. У сівозміні (в т.ч. з вирощуванням двох культур на рік) після стадії пасовища важливо чергувати комерційні та покривні культури з різною будовою кореневих систем та забезпечувати постійний ґрунтопокриття зменшуючи оранку. Такі стратегії дають змогу максимально синхронізувати доступність поживних речовин з потребою у них культур та запобігатимуть втраті поживних речовин, накопичених під час стадії пасовища. Для протидії руйнуванню ґрунтів рекомендовано цикл сівозміни, що має понад 3 роки пасовища та не більше 7 років ріллі. Для підвищення вмісту карбону в органічній речовині ґрунту пасовище має становити половину циклу сівозміни, а культури потрібно вирощувати безорним методом.

СТРУКТУРА ҐРУНТУ

Ball BC, Bingham I, Rees RM, et al (2005)
Canadian Journal of Soil Science 85: 557-577.



Структура піщаного суглинку при вирощуванні:

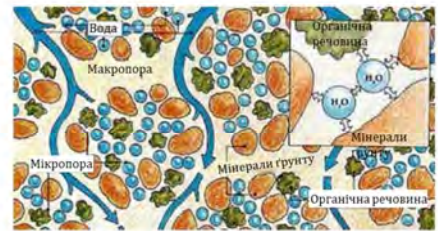
Трав (перший рік)
Неоднорідна, масивна структура
Велика пористість та аерація



Вівса
Гострокутно-глибчаستا структура
Більш складна структура пор та краща мікроаерація



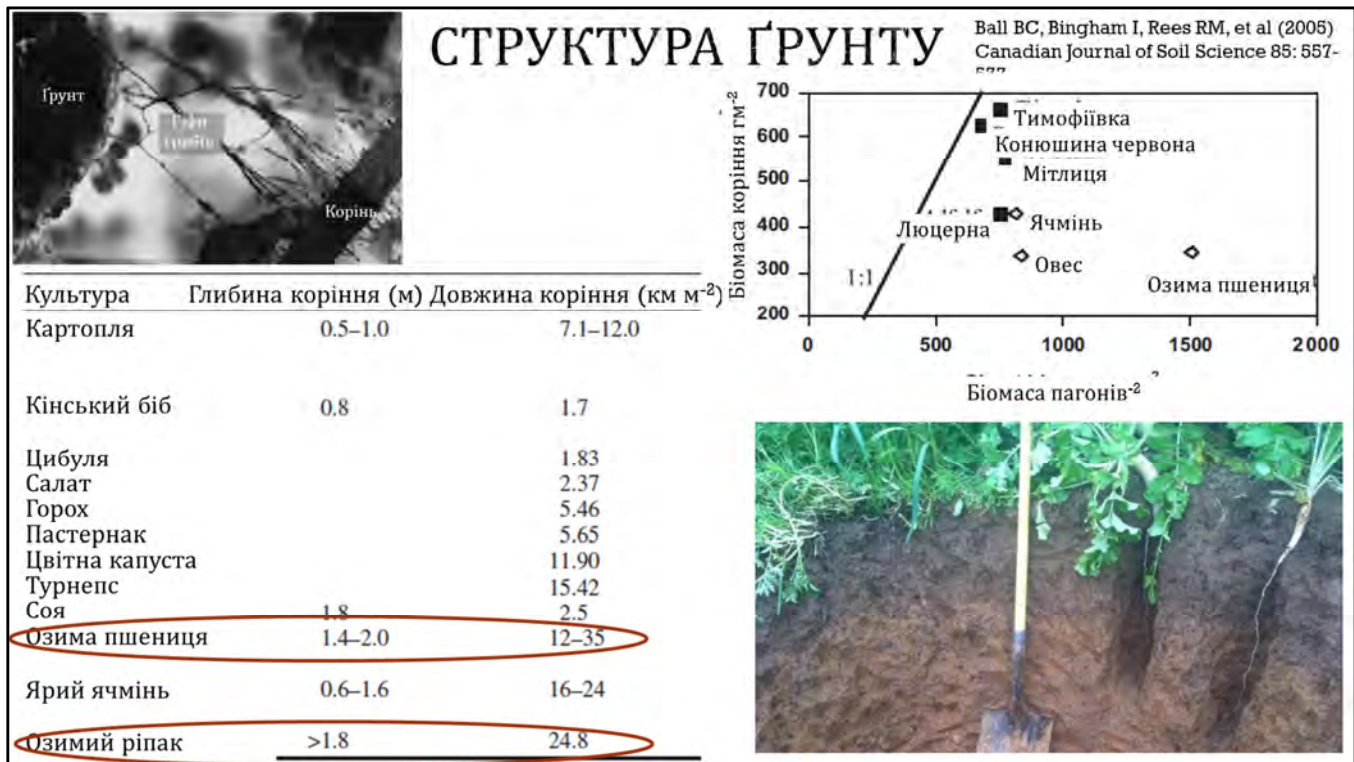
Картоплі
Суміш зернистої та глибчостої структур



Різні культури сівозміни поглинають з ґрунту різну кількість на набір поживних речовин лишаючи після себе різну кількість та характер поживних решток. Послідовність культур у сівозміні впливає на структуру ґрунту та на утворення і розподіл ґрунтових біопор. Біопори впливають на швидкість руху води та повітря в ґрунті а також визначають характер оселищ та динаміку мікробної спільноти ґрунту.

[] Водна плівка на поверхні ґрунтових мікропор слугує для переміщення ґрунтових нематод, найпростіших та бактерій. Також мікропори та мікроагрегати надають прихисток ґрунтовим мікроорганізмам від їхніх хижаків.

[] В структурованому ґрунті можуть співіснувати аеробні або кисневмісні та анаеробні або безкисневі зони. Тому більш неоднорідний структурований ґрунті здатен забезпечувати більше розмаїття метаболічних процесів. Наприклад, відновний безкисневий процес денітрифікації може проходити одночасно з окисним, киснезалежним процесом нітрифікації. Сполученість ґрунтових пор забезпечує кращий газообмін між атмосферою та ґрунтом.



Сівозміна впливає на структуру ґрунту як через вплив різних видів рослин, так і в результаті розмаїття агротехнічних заходів.

Зменшення пошкодження ґрунту через оранку та зменшення ущільнення завдяки рідшому проїзду техніки має більший позитивний вплив на ґрунтові організми (зокрема на дощових хробаків) аніж розмаїття та характер культур у сівозміні.

На колообіг поживних речовин переважно впливають такі ознаки, що різняться у різних видів рослин, як тип кореневої системи та співвідношення між біомасою пагонів та коріння. Так, пшенична солома краще сприяла стабільності ґрунту аніж рештки конюшини. Поживні речовини з надземних решток швидше стають доступними для наступної культури, оскільки пагони розпадаються швидше за відмерле коріння. Проте кореневі екsudати або виділення та відмерлі кореневі рештки складають близько половини від кількості вуглецю, засвоєного рослиною, який більш однорідно розподіляється по товщі ґрунту, тому є важливим для забезпечення життєдіяльності ґрунтових мікроорганізмів. Карбон з коріння більше впливає на структуру ґрунту та накопичення карбону в ґрунті, аніж карбон стебел. [] Тому відношення маси стебел до маси коріння та швидкість нарощування біомаси є важливими параметрами, що визначають колообіг

речовин, і зазвичай сівозміни з великою кількістю ґрунтових решток знижують питому вагу ґрунту. Зазвичай види з більшою масою коріння краще сприяють стабілізації ґрунтових агрегатів. Винятками є люпин та конюшина, які незважаючи на невелику довжину коріння та біомасу суттєво сприяли стабілізації ґрунтових агрегатів та збільшували вміст вуглецю в мікробній біомасі ґрунту.

[] Гіфи грибів також відіграють важливу роль у структуруванні ґрунту. Тому мікоризні рослини обов'язково мають входити до складу сівозміни. Формування мікоризи полегшує ріст коріння у щільному ґрунті. Зауважте, що немікоризні рослини, такі, як ріпак, сповільнюють формування мікоризи на корінні наступної культури, наприклад, для кукурудзи.

[] Дводольні рослини зазвичай мають глибшу кореневу систему. Наприклад, коріння люпину і сафлору краще проникає у товщу ущільненого ґрунту. Люцерна та очеретянка (*Phalaris aquatica*) збільшують кількість великих пор і можуть використовуватись для «біологічного буріння». Деревні рослини ефективніше утворюють біопори, проте їх коріння повільніше мінералізується та звільняє простір утворених ним біопор. Зменшення розміру пор призводить до формування «поглинальної» кореневої системи з більшою кількістю бічного коріння на відміну від «розвідувальної» кореневої системи з глибшим стрижневим коренем.

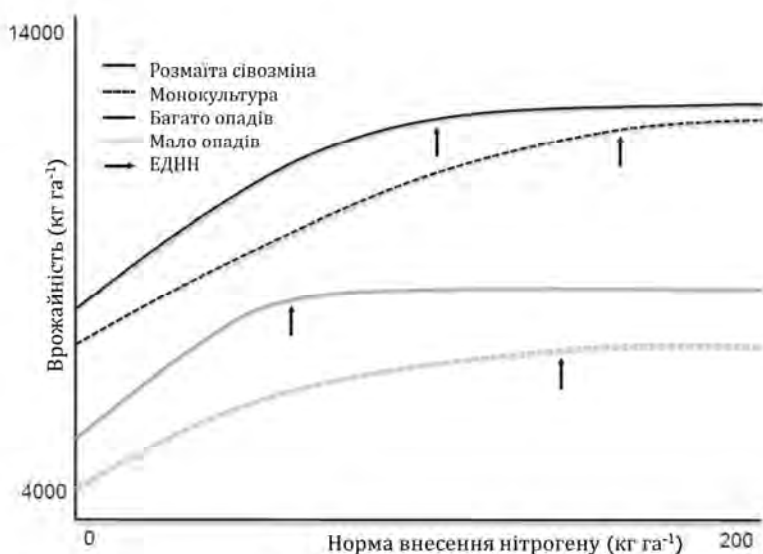
[] Ріст рослин на щільних ґрунтах переважно покращується завдяки мережі вузьких біопор. Макропори не забезпечують достатній контакт коріння з ґрунтом проте дозволяють корінню досягати води в глибших шарах підґрунтя. Хоча органіка біопор сприяє росту та активності корисних мікроорганізмів, патогени також можуть проявляти більшу активність в біопорах.

В ідеалі для збереження структури підґрунтя культури з неглибоким корінням повинні чергуватися з культурами, що мають глибоке коріння. Серед основних посівних культур озимі злаки та озимий ріпак мають найбільшу загальну довжину коріння, глибину кореневої системи та біомасу, тому вони здатні збагачувати органічними речовинами глибокі шари підґрунтя.

Ріст коріння у підґрунті обмежуються щільністю та поганою структурованістю підґрунтя, анаеробними умовами, що формуються через високу вологість, або низькою кислотністю. В таких ситуаціях в сівозміну важливо вводити багаторічники та інші культури, що є менш чутливими до цих умов і здатні покращувати структуру підґрунтя для інших типів культур сівозміни.

КОЛООБІГ РЕЧОВИН

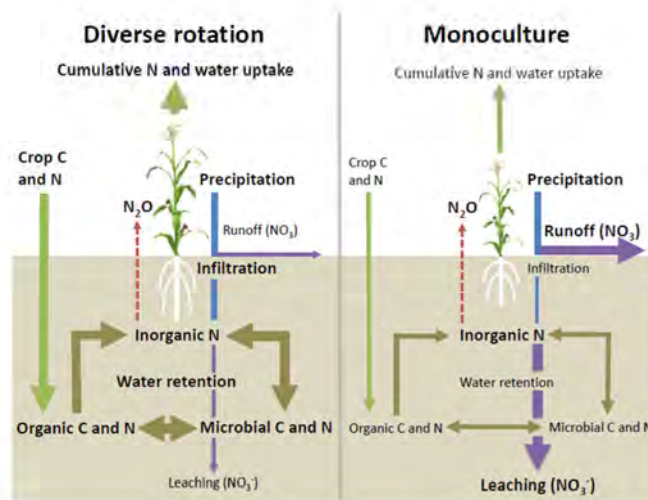
Renwick LLR, Bowles TM, Deen W, et al
(2018) Agroecosystem diversity: 55-73.



Прогнозована різниця між кривими відповіді на внесення нітрогену в залежності від розмаїтості сівозміни та кількості опадів. Економічно доцільна норма внесення нітрогену (ЕДНН) зменшується в розмаїтій сівозміні порівняно з монокультурою та при малій кількості опадів порівняно з великою їх кількістю.

Завдяки більш ефективному використанню нітрогену та води більш розмаїті посадки допомагають знизити потребу в азотних добривах. Узагальнений результат різних експериментів доводить, що додавання кожної наступної культури до сівозміни збільшує вміст вуглецю у ґрунті на 3.6%, а вміст нітрогену – на 5.3%, причому ці показники можна вдвічі збільшити (до 7.8% та 12.8%, відповідно) додавши до сівозміни ґрунтопокривну культуру. Більш розмаїта сівозміна з більшим різноманіттям пожнивних решток збільшує кількість «активного» вуглецю, який активно засвоюється і підвищує ефективність мікробіологічних процесів ґрунту, результатом чого є зменшення втрат поживних речовин з ґрунту та швидший розпад органіки. Тому більше різноманіття культур у сівозміні підвищує метаболічну активність ґрунтових мікроорганізмів та активізує колообіг нітрогену, зокрема в умовах нестачі води.

NUTRIENT CYCLING



Renwick LLR, Bowles TM, Deen W, et al (2018) Agroecosystem diversity: 55-73. Tariq M, Ali H, Hussain N, Nasim W, Mubeen M, Ahmad S & Hasanuzzaman M (2019) Fundamentals of Crop Rotation in Agronomic Management. In: Hasanuzzaman M (ed) Agronomic Crops. Singapore, Springer.

Generalized influence of crop rotation complexity (diversification of cash crops and addition of cover crops) on water, nitrogen (N), and carbon (C) fluxes that affect N and water use efficiency. Arrow width indicates magnitude of flux. Dotted line indicates mixed effects of crop rotation (partially dependent on component crops) on nitrous oxide (N₂O) emissions.

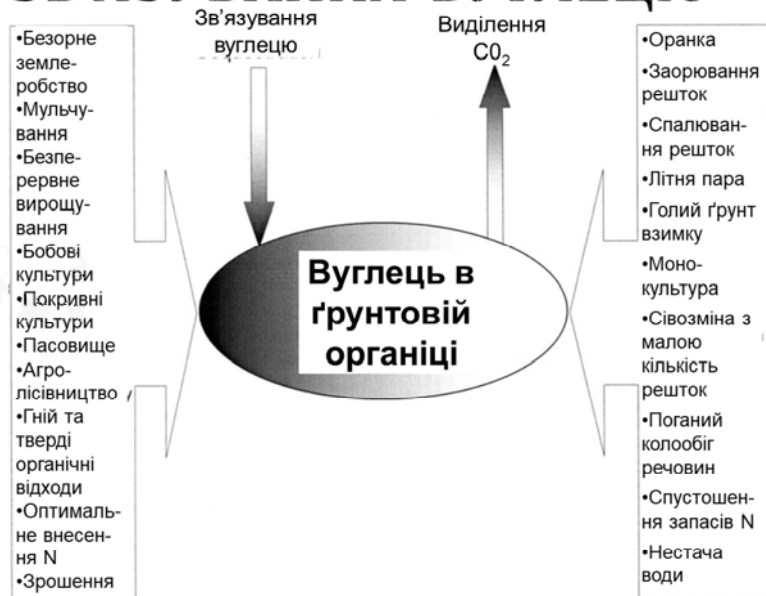
В період відсутності на полі рослинності або в час низької потреби рослин а нітрогені (напр. при підживленні молодих рослин навесні) основним поглиначем нітрогену слугує біомаса мікроорганізмів. Збільшення кількості органічної речовини в ґрунті, зокрема завдяки розмаїтій сівоzmіні, сприяє підвищенню активності мікробної спільноти, що здатна у вищеприказаній ситуації поглинати нітроген з ґрунту перетворюючи його на власну біомасу. Згодом нітроген повільно вивільняється при розкладанні мікробної біомаси, отже збільшується проміжок його доступності для поглинання рослинами аніж при внесенні синтетичних добрив за відсутності активної мікробної спільноти.

Завдяки покращенню фізичних властивостей ґрунту розмаїта сівоzmіна також зменшує негативний вплив посухи на активність ґрунтових мікроорганізмів. Отже покращується поглинання мікроорганізмами нітрогену та зменшуються його витрати. Також розмаїта сівоzmіна покращує аерацію та водоутримуючі здатності ґрунту, завдяки чому зменшується анаеробна денітрифікація та втрати нітрогену через вивільнення монооксиду вуглецю. Окрім того, розмаїта сівоzmіна покращує розмаїття ґрунтових мікроорганізмів, особливо коли чергуються культури з високою та з низькою пропорцією вуглецю до нітрогену в біомасі. В свою чергу, мікроорганізми регулюють синтез

рослинами білків аквапоринів та виробництво ними гормону абсцизової кислоти. В результаті покращується гідравлічна провідність та поглинання рослинами води у пересихаючому ґрунті. Також за розмаїтої сівозміни збільшується пропорція грибків до бактерій серед ґрунтових мікроорганізмів. Як відомо, грибки підвищують функційну спроможність рослин та їх стійкість до стресів.

Підсумовуючи, розмаїта сівозміна сприяє кращому поглинанню рослинами води та нітрогену завдяки підвищенню частки транспірації в евапотранспірації, зменшенню впливу шкідників та покращенню поглинальної здатності коріння. Оскільки нітроген з бобових майже не підлягає вимиванню на відміну від синтетичних добрив, сівозміна з бобовими також знижує забруднення довкілля.

ЗВ'ЯЗУВАННЯ ВУГЛЕЦЮ



Jarecki MK & Lal R (2003) Critical reviews in plant sciences 22: 471-502.
Renwick LLR, Bowles TM, Deen W, et al (2018) Agroecosystem diversity: 55-73.

Вплив сільськогосподарських практик на зв'язування вуглецю в ґрунті.

Вплив сівозміни на зв'язування вуглецю у ґрунті визначається підбором видів та способом обробітку ґрунту.

Ґрунтопокровні культури покращують ефективність використання вуглецю ґрунтовими мікроорганізмами збільшуючи долю стабілізованого мікроорганізмами органічного вуглецю у ґрунті. Тому покривні культури є основним рушієм зв'язування атмосферного карбону у сівозмінах. Сівозміна із чергуванням ріллі та пасовища забезпечує найвищий рівень зв'язування вуглецю у органічній речовині ґрунту. Інтенсивна сівозміна без стадії ріллі для отримання максимальної врожайності також може сприяти підвищенню вмісту карбону в ґрунті.

C SEQUESTRATION

Increase in Soil Carbon Pool by Changing to an Improved Crop Rotation

Location	Crop or Land Use	Increase in SOC Sequestration (kg ha ⁻¹ y ⁻¹)	Depth (cm)	Duration (Years)	
Canada (1) Ontario	Corn-oat-alfalfa-alfalfa rotation compared to continuous corn on clay loam:				
	Unfertilized	703	70	35	
(2) Miscellaneous regions	Fertilized	403	70	35	
	Cereal-fallow versus continuous cropping:				
	Cereals in semiarid	200			
	Cereals in subhumid	170			
	Cereals in boreal	520	30	50	
	Hay in semiarid	510			
(3) Miscellaneous regions	Hay in subhumid	760			
	Hay in boreal	480			
	Conversion wheat-wheat-fallow to continuous wheat	164	20	20	
Spain	Rotation versus wheat monoculture:				
	Barley vetch	91	30	11	
	Barley sunflower	82			
Syria (International Center for Agricultural Research in Dry Areas)	Various rotation versus wheat-fallow:				
	Wheat-wheat	160			
	Wheat-vetch	220			
	Wheat-lentil	170	20	10	
	Wheat-chickpea	160			
USA (1) North Dakota	Wheat-medic (<i>Medicago spp.</i>)	380			
	Rotations on loam:				
	Spring wheat-winter wheat-sunflower versus Spring wheat-fallow with no-till	642			
	Spring wheat-winter wheat-sunflower versus Spring wheat-fallow with minimum till	283	30.4	12	
	Spring wheat-winter wheat-sunflower versus Spring wheat-fallow with conventional till	-125			
	(2) Ohio	Rotations on clay loam:			
		Corn-oats-meadow versus continuous corn	66	30	30
	(3) Texas	Corn-soybean versus continuous corn	-433	30	30
		Increasing crop intensity from wheat to Wheat/soybean with no-till management	550	20	9
	World database 67 long-term agricultural experiments	Enhancing rotation: Monoculture to continuous cropping, crop fallow to continuous cropping, increasing number of crops in rotation with exception of continuous corn to corn-soybean rotation	200 ± 120	Various depth	Various time

Зв'язування карбону залежить від умов довкілля: температури, опадів та вмісту карбону в ґрунті. Більший внесок сівозміни у підвищення вмісту карбону спостерігається на ґрунтах з невеликим вмістом органічної речовини. Також перехід від простої до складнішої сівозміни збільшує тривалість зв'язування карбону в ґрунті на 40-60 років.

C SEQUESTRATION

Jarecki MK & Lal R (2003) Critical reviews in plant sciences 22: 471-502.

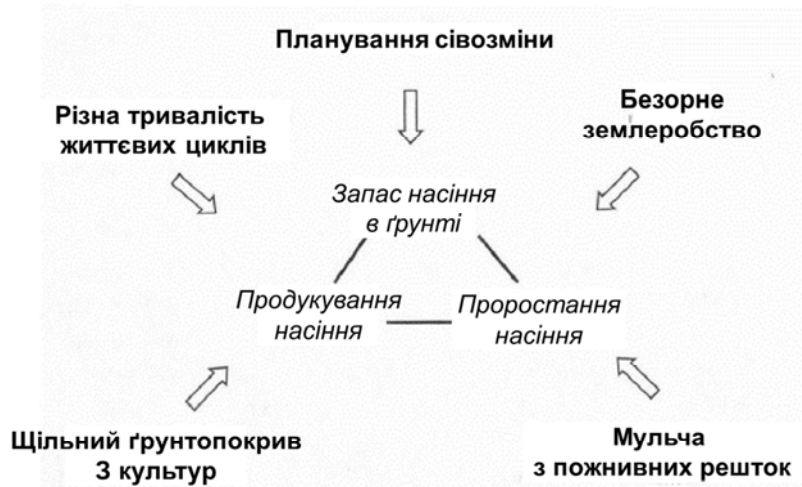
Potential of Soil Carbon Sequestration by Crop Residues

Crop	Input C with Residues (t ha ⁻¹) ³	SOC Sequestration ¹ (kg C ha ⁻¹) ³
Barley	1.65	247
Cassava	3.35	503
Corn	1.95	292
Cotton	1.13	170
Millet (<i>Panicum miliaceum</i> L.)	0.47	71
Oats	0.92	138
Potatoes (<i>Solanum tuberosum</i> L.)	1.80	270
Rapeseed (canola)	0.96	144
Rice	2.67	401
Rye	1.46	220
Sorghum	0.88	133
Soybeans	1.02	153
Sugarbeet (<i>Beta vulgaris</i> L.)	4.61	692
Sugarcane	7.35	1102
Wheat	1.82	272



Пропорція карбону до нітрогену та лігніну до нітрогену в рослинних рештках визначає швидкість їх розкладання, а отже вивільнення поживних речовин або перехід карбону в стабільну форму ґрунтового гумусу. Немає однозначної думки щодо впливу заорювання решток на швидкість їх розкладання. Проте безорний обробіток ґрунту загалом сприяє зв'язуванню вуглецю.

ПРИГНІЧЕННЯ БУР'ЯНУ



Five components of an ecologically based weed management system.



Сівозміна є одним з найпотужніших агротехнічних прийомів зменшення кількості насіння і паростків бур'яну у ґрунті. В індустріальному фермерстві сівозміна дозволяє наполовину скоротити витрати на гербіциди. 3- та 4-річна сівозміна дозволяє скоротити витрати на гербіциди на 88% порівняно із 2-річною сівозміною.

Екологічні методи боротьби з бур'яном спрямовані на зменшення запасів його насіння у ґрунті, пригнічення проростання і зменшення утворення насіння.

Основними факторами, що визначають ефективність є дизайн сівозміни, послідовність у ній культур, безорний обробіток ґрунту, характер поводження з рослинними рештками та формування ґрунтопокриву, що пригнічує ріст бур'яну.

ПРИГНІЧЕННЯ БУР'ЯНУ

Основні принципи сівозміни для пригнічення бур'яну:

- (a) Чергуйте **озимі та ярі** культури;
- (b) Чергуйте **однорічні та багаторічні** культури;
- (c) Чергуйте культури, які щільно вкривають та **затіняють ґрунт** з культурами, що **пропускають** до землі багато **світла** (типу кукурудзи, поміж яких росте більше бур'яну);
- (d) Чергуйте культури, що потребують **різних методів обробітку** ґрунту та збирання врожаю (зокрема традиційні поживні культури, пасовищні культури та сидерати);
- (e) Чергуйте культури **різних типів**: листові культури (салат, шпинат, капуста тощо), коренеплоди (картопля, буряк, кореневий цикорій тощо), бульбоплоди (напр. картопля), цибулини (цибуля, часник тощо) плодові культури (пасльонові, гарбузові) та насінневі культури (багато різних видів);
- (f) За можливості включайте до сівозміни **злакові** (озимі злаки, кукурудзу, просо тощо);
- (g) Уникайте монокультур;**
- (h) Чергуйте культури з **низькою** (цибуля, часник, цибуля-порей, салат) та **високою** (картопля, гарбузові) **конкуренцією** з бур'янами;
- (i) Чергуйте культури, у яких **просто та дешево**, та у який **складно та дорого боротися з бур'яном**.

R.L. Anderson (2005) *Agronomy journal* 97: 7-10.
Mamolos AP & Kalburtji KL (2001) *J Crop Prod* 4: 197-218.
Weisberger D, Nichols V, Liebman M, et al (2019) *PLOS ONE* 14: e0219847.
Zimdahl RL (2018) *Methods of Weed Management and Control*. In: Zimdahl RL (ed) *Fundamentals of Weed Science*. US, Elsevier Science.
Bohan DA, Powers SJ, Champion G, et al (2011) *Weed Research* 51: 422-432.
Pannacci E, Lattanzi B & Tei F (2017) *Crop Protection* 96: 44-58.



Аби створити несприятливе середовище для розмноження бур'яну до сівозміни включають культури, що відрізняються за термінами посадки та збирання, здатністю до конкуренції та алелопатії (або пригнічення сусідніх рослин), та що потребують різних агротехнічних заходів (оранки, скошування та випасу).

Групи бур'янів зі схожими життєвими циклами та характером росту притаманні певним групам культур (так, пасльонові часто забур'янюють картоплю, томати та боби; мітільник та лобода часто ростуть серед цукрових буряків). Такі притаманні певним культурам бур'яни особливо ефективно контролюються сівозміною, в якій чергуються культури з різними життєвими циклами. Наприклад, посаджений після бобів буряк завжди менше забур'янений, оскільки боби садять наприкінці весни, при цьому оранка знищує більшість літніх однорічних бур'янів. Сівозміна з соняшником знижує забур'яненість озимих злаків.

Доведено, що сівозміна культур з різними посадковими термінами краще пригнічує бур'ян аніж просте збільшення розмаїття культур. Тому для простоти розробки сівозміни доцільно об'єднувати культури у групи різного

догляду, що визначатимуться періодом посадки, типом культури та типовими для неї бур'янами.

Завдяки різним датам посадки та збирання врожаю чергування холодостійких та теплолюбних культур знижує ефективність проростання, зменшує утворення насіння бур'янами та загальну їх кількість. Причому ці культури потрібно поєднувати в чотирирічний цикл, коли два роки вирощуються холодостійкі культури, і наступні два роки – теплолюбні, оскільки дворічний цикл навпаки, збільшує кількість бур'яну. Така стратегія сприятиме поступовому зниженню запасів насіння бур'яну в ґрунті.

ПРИГНІЧЕННЯ БУР'ЯНУ

R.L. Anderson (2005) *Agronomy journal* 97: 7-10.
Mamolos AP & Kalburtji KL (2001) *J Crop Prod* 4: 197-218.



В кожній з дворічних послідовностей холодостійких та теплолюбних культур рекомендовано підбирати культури з різними термінами посадки, що дає додаткову можливість механічно знищувати від 35 до 50% паростків бур'яну, який проростає перед датою посадки.

[] Сівозміна в безорному землеробстві дозволяє ще ефективніше боротися з бур'яном, оскільки в цій системі, починаючи з 2 року, кількість бур'яну буде поступово знижуватись через швидшу втрату життєздатності насіння та швидше поїдання насіння з поверхні ґрунту аніж тоді, коли воно заорюється в землю отримуючи при цьому додатковий захист. Отже, поєднання безорного обробітку з 2-річними циклами чергування культур теплого та прохолодного сезонів дозволяє ще більше знизити кількість бур'яну. Причому будь-яка оранка в цій системі сприятиме проростанню винесеного з глибини ґрунту насіння бур'яну знижуючи ефективність біологічного контролю забур'яненості в сівозміні.

Пожнивні рештки культур створюють фізичну перепону для паростків бур'яну або пригнічують проростання його насіння завдяки алелопатії. А постійний ґрунтопокритив з сільськогосподарських культур та сидератів пригнічує бур'ян завдяки конкуренції за світло та поживні речовини.

ПРИГНІЧЕННЯ БУР'ЯНУ

- Поєднання різних стратегій зменшення біомаси бур'яну кукурудзи та соняшника. Стратегії включають більш щільне висаджування, звуження міжрядь, зменшення норм внесення добрив та пізніше висаджування.



Для більш ефективного пригнічення бур'яну рослинними рештками можна висаджувати основні культури, наприклад, озиму пшеницю, більш щільно, зменшуючи ширину міжрядь та кількість і норму внесення N та P з добривами, а також можна вирощувати більш високі сорти рослин. Поєднання різних стратегій посилить пригнічення проростання та ріст бур'яну. Оранка знову таки знизить ефект від пожнивних решток.

Для ефективного контролю потрібно поєднувати різні тактики. Так, в сівозміні з однієї культури прохолодного сезону (озимої пшениці) та двох культур теплого сезону (кукурудза та просо звичайне) добре почуваються літні бур'яни. Додавання в цю сівозміну зеленого пару з висаджуванням гороху посівного та сочевиці допомагає покращити постачання культур нітрогеном, пригнічувати ріст бур'яну та зменшити тривалість періоду простою поля перед посадкою озимої пшениці.

ПРИГНІЧЕННЯ БУР'ЯНУ

Franco JG, King SR, Masabni JG, Volder A. HortTechnology. 2018;28(2):172-181.
Liebert JA, DiTommaso A, Ryan MR. Weed science. 2017;65(3):426-439.



Додатковими стратегіями боротьби із бур'яном є висаджування низькорослих баштанних культур, таких, як кавун, та висівання архітектурно складних сумішей, що утворюють щільний ґрунтопокриття (наприклад, поєднання трав з широколистяними рослинами). Наприклад, поєднання хрестоцвітих з озимим житом чи іншими озимими злаковими культурами створює краще затінення ґрунту, і, відповідно, краще пригнічує проростання бур'яну.

На слайді зображено приклади сидератів, які висаджують для пригнічення бур'яну.

ПРИГНІЧЕННЯ БУР'ЯНУ

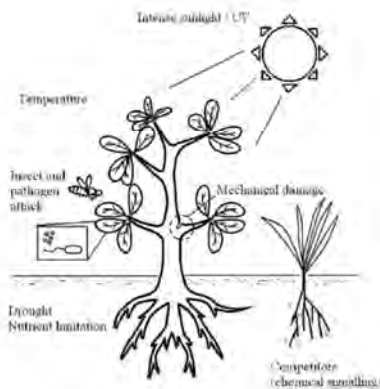
Pannacci E, Lattanzi B & Tei F (2017)
Crop Protection 96: 44-58.



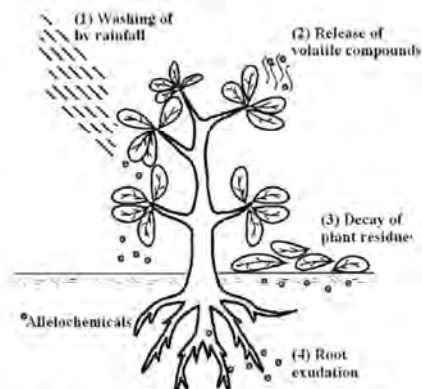
В свою чергу баштанні культури самі легко заростають бур'яном, оскільки машинна чи ручна прополка стають неможливими після розростання їх огудиння у міжряддя. Тому після баштанних культур варто висаджувати культури з коротким вегетаційним періодом (такі, як шпинат та салат), які збирають до того, як бур'яни встигають висіяти насіння, завдяки чому зменшується забур'яненість наступної баштанної культури.

WEED CONTROL

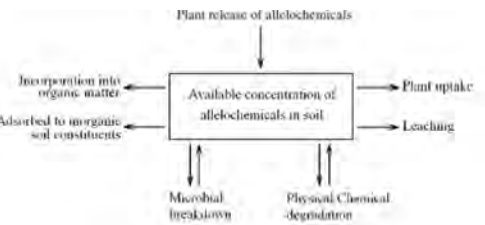
Albuquerque MB, Santos RC, Lima LM, et al (2011) *Agronomy for Sustainable Development* 31: 379-395.
Mamolos AP & Kalburtji KL (2001) *J Crop Prod* 4: 197-218.



Induction of allelochemical production by biotic and abiotic factors.



Possible pathways for release of allelochemicals into the environment.



Input and output dynamics of allelochemicals in soil.

На ефективність алелопатії впливають численні фактори: характер та інтенсивність освітлення, довжина світлового дня, нестача поживних речовин, вологість ґрунту, вік рослинних органів, генотип рослини, вплив інших алелохімікатів та щільність посадки рослин. Ці фактори визначають рівень виробництва та вивільнення алелохімікатів та чутливість до них рослин.

[] Алелохімікати випаровуються в атмосферу або виділяються в ґрунт корінням, при розпаді решток, в результаті вимивання або можуть вироблятися мікроорганізмами.

[] Зниження вмісту алелохімікатів у ґрунті відбувається внаслідок вимивання, хімічної модифікації, розкладання мікроорганізмами та поглинання рослинами. Алелохімікати також інактивуються при зв'язування з часточками ґрунту або глини.



ПРИГНІЧЕННЯ БУР'ЯНУ

Batish DR, Singh HP & Kaur S (2001) J Crop Prod 4: 121-161.

Алелопатичний вплив культур на бур'яни

Crop Species	Weed Species	Allelochemical Source	Crop Species	Weed Species	Allelochemical Source	Crop Species	Weed Species	Allelochemical Source
Allium cepa	Amaranthus spinosus Kochia scoparia	Mature plants	Hemarthra albisama	Desmodium intortum	Plant residues	Sorghum bicolor	Eragrostis tef Lemna minor Abutilon theophrasti Setaria viridis Amaranthus hybridus Striga asiatica	Root exudates, plant residues, germinating seeds, sorgoleone
Avena sativa	Elymus cheiropoides Chenopodium album Decascania sophia Thlaspi arvense Bromus tectorum Brassica kaber	Mature plants, aqueous extracts, root exudates	Hordeum vulgare	Brassica kaber Stellaria media Decascania sophia Thlaspi arvense Bromus tectorum and other weed species	Aqueous extracts, root exudates	Sorghum sudanense	Stellaria media	Aqueous extracts
Beta vulgaris	Agrostemma githago	Seeds Inhibitors	Ipomoea batatas	Cyperus esculentus Medicago sativa and other weed species	Root periderm extracts, aqueous and methanolic extracts, soil	Trifolium incarnatum	Ipomoea lacunosa Amaranthus retroflexus	Residue
Brassica napus	Amaranthus retroflexus Bromus tectorum Chenopodium album Decascania sophia Thlaspi arvense	Residues, aqueous extracts	Lens culinaris	Decascania sophia Thlaspi arvense Bromus tectorum	Aqueous extracts	T. pratense	Straps arvense	Residues
Cajanus cajan	Weeds	Litter	Lupinus albus	Chenopodium album Amaranthus retroflexus	Root secretions	T. subterraneum	Ipomoea lacunosa Amaranthus retroflexus	Residue
Capasium annuum	Weeds	Shoot leachates, root exudates	Manihot esculenta	Weeds	Fresh leaves	Triticum aestivum	Ipomoea purpurea Amaranthus albus Ipomoea hederacea Brassica kaber var. parvifolia Avena fatua Chenopodium album	Wheat straw and residues, root exudates, plant phenolics
Coffea arabica	Festuca spp. Lolium multiflorum Amaranthus spinosus other weeds	Aqueous extracts from leaves, roots and seed, 1,3,7-trimethyl xanthine	Medicago sativa	Chenopodium album Amaranthus spp. Echinochloa crus-galli Bromus secalinus Triticum officinale Dactyloctenium aegyptium	Plant residues and root saponins	Voia villosa	Ipomoea lacunosa 13 Weed species	Residues, seed excretions
Cucumis sativus Cucumis spp.	Brassica hirta Panicum miliaceum	Plants suppress growth	Melilotus alba	Stellaria media Capsella bursa-pastoris Nicotiana tabacum	Aqueous extracts	Zea mays	Chenopodium album Amaranthus retroflexus Amaranthus leucocarpus Echinochloa crus-galli Portulaca oleracea and other weeds	Fresh foliage, root secretions, pollen allelochemicals
Cucurbita moschata	Portulaca oleracea Echinochloa crus-galli Amaranthus leucocarpus	Leachates	Nicotiana tabacum N. rustica	Setaria italica Chromola laevis and other weeds	Root exudates, aqueous extracts			
Paspalum esculentum F. cynosuatum	Stellaria media and other weeds Chenopodium album Brassica kaber var. parvifolia	Aqueous extracts, growing plants and germinating seeds	Oryza sativa (cultivars IR29, IR30, Brown Gora, YH1)	Echinochloa crus-galli Heteranthera limosa Amaranthus cocineus Bacopa rotundifolia Cyperus iria Cyperus difformis	Rice straw, field grown rice seedlings and plants, aqueous extracts			
Festuca elatior (Kentucky-31)	Weeds	Aqueous extracts of root and leaves	Panicum antidotale	Grasses, Setaria italica Sorghum alatum	Aqueous extracts, root exudates			
F. longifolia (Fiebel and Kentucky-31)	Lolium multiflorum Festuca rubra Poa pratensis Lolium perenne Festuca longifolia	Leaf extracts	Phaseolus vulgaris	Portulaca oleracea Echinochloa crus-galli Amaranthus leucocarpus	Fresh Leaves, leachates			
Glycine max	Lemna minor and other weeds	Root exudates and decaying roots	Pisum sativum	Chenopodium album	Mature plants			
Helianthus annuus	Amaranthus retroflexus Brassica kaber Ipomoea purpurea Datura stramonium Chenopodium album Chenopodium album Cuscuta arvensis Setaria faberii Stellaria media Capsella bursa-pastoris Nicotiana tabacum other weeds	Aqueous extracts and leachates, soil amendment of plant parts (root, stem, leaf and seed hulls).	Secale cereale	Stellaria media Avena fatua Amaranthus retroflexus Chenopodium album Ambrosia artemisiifolia Echinochloa crus-galli Tetradymia spp. Ipomoea purpurea Amaranthus albus Brassica kaber var. parvifolia	Aqueous extracts, root exudates, growing plants, residues, plant phenolics			



Озимий Пірій
ріпак



В цій таблиці наведено приклади культур для пригнічення різних видів бур'янів. Наприклад, ріпак використовується для біологічного контролю пірью.

WEED CONTROL

Allelopathic crops suppressing other crops

Batish DR, Singh HP & Kaur S (2001) J Crop Prod 4: 121-161.
Mamolos AP & Kalburtji KL (2001) J Crop Prod 4: 197-218.

Crop Species	Test Crop	Source of Allelochemical	Crop Species	Test Crop	Source of Allelochemical	Crop Species	Test Crop	Source of Allelochemical	Crop Species	Test Crop	Source of Allelochemical
<i>Allium cepa</i> <i>A. sativum</i>	-	-	Cruciferous Plants	<i>B. juncea</i> <i>B. nigra</i> <i>Lactuca sativa</i> <i>Triticum aestivum</i>	Volatiles	<i>Medicago sativa</i>	<i>Lycopersicon esculentum</i> <i>Raphanus sativus</i> <i>Goosypium hirsutum</i> <i>Lactuca sativa</i> <i>Zea mays</i> <i>Triticum aestivum</i> Grasses <i>Cucumis sativus</i> <i>Brassica oleracea</i> <i>Trifolium repens</i>	Residue, aqueous extracts, plant parts, root exudates, alfalfa meal, alcoholic extracts, roots, root saponins	<i>S. tuberosum</i>	Crop plants	Aqueous extracts
<i>Arachis hypogaea</i>	<i>Goosypium hirsutum</i>	Residues		<i>Ocimum aethiopicum</i>	Phenolics		<i>Medicago sativa</i>	<i>Lycopersicon esculentum</i> <i>Raphanus sativus</i> <i>Goosypium hirsutum</i> <i>Lactuca sativa</i> <i>Zea mays</i> <i>Triticum aestivum</i> Grasses <i>Cucumis sativus</i> <i>Brassica oleracea</i> <i>Trifolium repens</i>	Residue, aqueous extracts, plant parts, root exudates, alfalfa meal, alcoholic extracts, roots, root saponins	<i>Sorghum bicolor</i>	<i>Triticum aestivum</i> <i>Zea mays</i> <i>Glycine max</i> <i>Synchisa oleracea</i> <i>Senecio vulgaris</i> <i>Sorghum tuberosum</i> <i>Pennisetum americanum</i> <i>Setaria italica</i>
<i>Asparagus officinalis</i>	<i>Lycopersicon esculentum</i> <i>Lactuca sativa</i> <i>Hordeum vulgare</i> <i>Lactuca sativa</i>	Crude aqueous extracts, root tissue amended soil, soil extracts	<i>Ocubita moschata</i>	Leachates	<i>F. cymosum</i>	<i>Brassica kaber var. pinnatifida</i>		Germinating seeds	<i>Sorghum sudanense</i> or Sudan	<i>Lycopersicon esculentum</i> <i>Setaria italica</i> <i>Lepidium sativum</i> <i>Medicago sativa</i> <i>Stellaria media</i> <i>Goosypium hirsutum</i> and others	Aqueous extracts, root leachates, green manure, residues
<i>Avena sativa</i>	<i>Triticum aestivum</i> <i>Oryza sativa</i> <i>Lactuca sativa</i> <i>Zea mays</i> and other crops	Phenolics, Straw and mulches, aqueous extracts, residues	<i>Festuca elatior</i> (Kentucky-31)	Aqueous extracts	<i>Glycine max</i>	<i>Zea mays</i> <i>Triticum aestivum</i> <i>Sorghum vulgare</i>	Residue, aqueous extracts	<i>Melilotus alba</i>	<i>Zea mays</i> <i>Triticum aestivum</i> <i>Sorghum vulgare</i>	Aqueous extracts	
<i>Beta vulgaris</i>	<i>Goosypium hirsutum</i>	Residues	<i>Hedera helix</i>	Root exudates	<i>Helianthus annuus</i>	<i>Triticum aestivum</i> <i>Glycine max</i> <i>Sorghum spp.</i> <i>Medicago sativa</i> <i>Raphanus sativus</i> <i>Hordeum vulgare</i> <i>Phaseolus mungo</i> <i>P. aureus</i> <i>Trifolium alexandrinum</i>	Residues, soil leachates, extracts, stubbles, plant parts mixed in soil,	<i>Nicotiana glauca</i>	<i>Brassica rapa</i> <i>Lactuca sativa</i> <i>Setaria italica</i> <i>Zea mays</i>	Root exudates	
<i>Brassica campestris</i>	<i>Vigna radiata</i>	Residue extracts	<i>Hemarthra altissima</i>	Crop residues	<i>H. tuberosus</i>	<i>Daucus carota</i> <i>Raphanus sativus</i> <i>Isula helenium</i> <i>Plum sativum</i>	Leaf extracts	<i>Oryza perennis</i>	<i>Brassica oleracea</i>	Water extracts	
<i>Br. juncea</i>	<i>Lactuca sativa</i> <i>Triticum aestivum</i>	Volatiles	<i>Hordeum vulgare</i>	Aqueous extracts, residues, growing plants, straw and mulches	<i>O. sativa</i>	<i>Vigna radiata</i> <i>Glycine max</i>	Rice straw, rice callus, phytotoxins	<i>Panicum antidotale</i>	<i>Brassica campestris</i> <i>Pennisetum americanum</i>	Aqueous extracts, root exudates	
<i>Br. napus</i>	<i>Linum usitatissimum</i> <i>Triticum aestivum</i>	Residues	<i>Lenz culinaris</i>	Decaying residues	<i>P. miltaceum</i>	<i>Brassica kaber var. pinnatifida</i>	Plants	<i>Phaseolus vulgaris</i>	<i>Zea mays</i> <i>Manihot esculenta</i> <i>Cucurbita moschata</i>	Fresh leaves, leachates	
<i>Br. nigra</i>	<i>Lactuca sativa</i> <i>Triticum aestivum</i>	Volatiles, aqueous extracts, residues	<i>Limonum batatas</i>	Nearby growing crops	<i>Plum sativum</i>	<i>Triticum aestivum</i> Legumes and other crops	Residue, Hot water extracts	<i>Raphanus sativus</i>	<i>Lactuca sativa</i>	Plant residues	
<i>Br. oleracea var. italica</i>	<i>B. oleracea var. capitata</i>	Aqueous extracts	<i>Lens culinaris</i>	Decaying residues	<i>Sesale cereale</i>	<i>Zea mays</i> <i>Lactuca sativa</i> <i>Lycopersicon esculentum</i> <i>Stellaria media</i> <i>Lepidium sativum</i> <i>Triticum aestivum</i> <i>Brassica kaber var. pinnatifida</i> <i>Nicotiana tabacum</i>	Whole plants, residue, aqueous extracts, root leachates	<i>Solanum myrianthum</i>	<i>Brassica campestris</i>	Aqueous extracts	
<i>Cajanus cajan</i>	<i>Glycine max</i> <i>Dolichos lablab</i> <i>Cajanus cajan</i>	Liter	<i>Manihot esculenta</i>	Fresh leaves	<i>S. tuberosum</i>	<i>Daucus carota</i> <i>Raphanus sativus</i> <i>Isula helenium</i> <i>Plum sativum</i>	Leaf extracts	<i>T. incarnatum</i>	<i>Zea mays</i> <i>Lolium multiflorum</i> <i>Goosypium spp.</i> <i>Sorghum leucostachya</i>	Aqueous extracts	
<i>Camellia sativa</i>	<i>Linum usitatissimum</i>	Growing plants	<i>Manihot esculenta</i>	Fresh leaves	<i>T. repens</i>	Legumes and grasses	Aqueous extracts	<i>Triticum aestivum</i>	<i>Lycopersicon esculentum</i> <i>Avena sativa</i> <i>Hordeum vulgare</i> <i>Sorghum spp.</i> <i>Pennisetum spp.</i> <i>Zea mays</i> <i>Vigna unguiculata</i> <i>Trifolium repens</i> <i>Cyamopsis tetragonoloba</i> <i>Brassica kaber var. pinnatifida</i> and other crops	Straw and mulches, residue, aqueous extracts, phenolics	
<i>Camellia sinensis</i>	-	-	<i>Manihot esculenta</i>	Fresh leaves	<i>Vicia faba</i>	<i>Triticum aestivum</i> <i>Zea mays</i> <i>Lolium multiflorum</i> <i>Goosypium spp.</i> <i>Sorghum leucostachya</i>	Plant parts, exudates	<i>Zea mays</i>	<i>Phaseolus vulgaris</i> <i>Manihot esculenta</i> <i>Cucurbita moschata</i> <i>Citrullus lanatus</i> <i>Triticum aestivum</i> <i>Nicotiana tabacum</i> Other crops	Fresh leaves, aqueous extracts, pollen, residues	
<i>Carthamus tinctorius</i>	<i>Triticum aestivum</i>	Fresh and partly decayed residues	<i>Manihot esculenta</i>	Fresh leaves	<i>Vigna radiata</i>	<i>Lactuca sativa</i> <i>Lycopersicon esculentum</i>	Plant parts, exudates	<i>Zea mays</i>	<i>Phaseolus vulgaris</i> <i>Manihot esculenta</i> <i>Cucurbita moschata</i> <i>Citrullus lanatus</i> <i>Triticum aestivum</i> <i>Nicotiana tabacum</i> Other crops	Fresh leaves, aqueous extracts, pollen, residues	
<i>Cicer arietinum</i>	<i>Triticum aestivum</i>	Dry fresh and partly decayed residues	<i>Manihot esculenta</i>	Fresh leaves	<i>Zea mays</i>	<i>Phaseolus vulgaris</i> <i>Manihot esculenta</i> <i>Cucurbita moschata</i> <i>Citrullus lanatus</i> <i>Triticum aestivum</i> <i>Nicotiana tabacum</i> Other crops	Fresh leaves, aqueous extracts, pollen, residues	<i>Zea mays</i>	<i>Phaseolus vulgaris</i> <i>Manihot esculenta</i> <i>Cucurbita moschata</i> <i>Citrullus lanatus</i> <i>Triticum aestivum</i> <i>Nicotiana tabacum</i> Other crops	Fresh leaves, aqueous extracts, pollen, residues	
<i>Citrus vulgaris</i>	<i>Lactuca sativa</i> <i>Lycopersicon esculentum</i>	Seed exudates	<i>Manihot esculenta</i>	Fresh leaves	<i>Zea mays</i>	<i>Phaseolus vulgaris</i> <i>Manihot esculenta</i> <i>Cucurbita moschata</i> <i>Citrullus lanatus</i> <i>Triticum aestivum</i> <i>Nicotiana tabacum</i> Other crops	Fresh leaves, aqueous extracts, pollen, residues	<i>Zea mays</i>	<i>Phaseolus vulgaris</i> <i>Manihot esculenta</i> <i>Cucurbita moschata</i> <i>Citrullus lanatus</i> <i>Triticum aestivum</i> <i>Nicotiana tabacum</i> Other crops	Fresh leaves, aqueous extracts, pollen, residues	
<i>Coffea arabica</i>	<i>Lactuca sativa</i> <i>Lolium multiflorum</i> <i>Phaseolus mungo</i>	Aqueous extracts, allelochemicals	<i>Manihot esculenta</i>	Fresh leaves	<i>Zea mays</i>	<i>Phaseolus vulgaris</i> <i>Manihot esculenta</i> <i>Cucurbita moschata</i> <i>Citrullus lanatus</i> <i>Triticum aestivum</i> <i>Nicotiana tabacum</i> Other crops	Fresh leaves, aqueous extracts, pollen, residues	<i>Zea mays</i>	<i>Phaseolus vulgaris</i> <i>Manihot esculenta</i> <i>Cucurbita moschata</i> <i>Citrullus lanatus</i> <i>Triticum aestivum</i> <i>Nicotiana tabacum</i> Other crops	Fresh leaves, aqueous extracts, pollen, residues	
<i>Cobocasia esculenta</i>	<i>Vigna radiata</i> <i>Zea mays</i> <i>Hibiscus esculentus</i>	Residue extracts	<i>Manihot esculenta</i>	Fresh leaves	<i>Zea mays</i>	<i>Phaseolus vulgaris</i> <i>Manihot esculenta</i> <i>Cucurbita moschata</i> <i>Citrullus lanatus</i> <i>Triticum aestivum</i> <i>Nicotiana tabacum</i> Other crops	Fresh leaves, aqueous extracts, pollen, residues	<i>Zea mays</i>	<i>Phaseolus vulgaris</i> <i>Manihot esculenta</i> <i>Cucurbita moschata</i> <i>Citrullus lanatus</i> <i>Triticum aestivum</i> <i>Nicotiana tabacum</i> Other crops	Fresh leaves, aqueous extracts, pollen, residues	



Алелохімікати можуть пригнічувати як бур'ян, так і інші культури у сівозміні. Так, кореневі виділення сої пригнічують ріст та врожайність пшениці та тритикале, ріст кукурудзи пригнічує висаджений перед нею соняшник. Зазвичай, алелопатичні культури (зокрема сорго, кукурудза, рис, люцерна) також проявляють автотоксичність, тому їх потрібно змінювати іншими культурами у сівозміні. Пригнічення росту свого та споріднених видів спостерігається і в садівництві (воно зветься проблемою повторного засадження), зокрема для яблунь, персиків, мигдалю та цитрусових.

Table 1
The allelopathic crop cultivars suppressive to weeds.

Crop	Allelopathic cultivar	Weed/pest species suppressed	Allelochemicals	Weed suppression (%)	Country	
Barley	Alfalfa	<i>Lolium perenne</i> L.	-	-	Sweden	
	Berenson	<i>Echinochloa crus-galli</i> (L.)	-	83	Greece	
	Archevala	<i>P. Beauv.</i> , <i>Setaria verticillata</i> (L.)	-	-	-	
	Alpha	<i>P. Beauv.</i>	-	58	Greece	
	Eubeni	<i>Paspalum ramosum</i> L., <i>Veronica</i>	-	53	-	
Cassia	Super 940	<i>Setaria</i>	-	50	-	
	Terracy	<i>Setaria</i>	-	68	-	
	Castro	<i>Setaria</i>	-	65	-	
	Alfalfa	<i>Lolium rigidum</i> Gaudin	-	80	Australia	
	Alfalfa	<i>Lolium rigidum</i> Gaudin	-	Shoot inhibition = 47-55; Root inhibition = 15-23	-	
Rice	Haagan-9	<i>E. crus-galli</i> , <i>Cyperus difformis</i> L.	-	26-39	China	
	911-2777	<i>Cyperus difformis</i> L., <i>Lolium procerum</i> Steud.	-	27-31	-	
	Ruido	<i>Phalaris amabilis</i> (L.) Br.	-	56	Korea	
	Apodo	<i>E. crus-galli</i>	-	54	Korea	
	Jaeungjunga	<i>E. crus-galli</i>	-	47	Korea	
	Duhango	<i>E. crus-galli</i>	-	47	Korea	
	Caupyeong do	<i>E. crus-galli</i>	-	47	Korea	
	Kangcheongyeon	<i>E. crus-galli</i>	-	43	Korea	
	Naidsuri, Bodeha, Kangjeonggak	<i>E. crus-galli</i> , <i>Monochoria vaginalis</i> , <i>Sida acuta</i> (L.) Gaertn.	<i>Momilactone A</i> , <i>momilactone B</i>	>50	-	
	Honokari	<i>Rargiswei</i>	-	75	Japan	
	Happo-hara	<i>Gartosa setosa</i> L.	<i>Momilactone B</i>	62	-	
	Saenakishi	<i>E. crus-galli</i>	-	63	-	
	Yakuhikari	<i>E. crus-galli</i>	-	60	-	
	Nara 8	<i>E. crus-galli</i>	-	51	-	
	Jangbyeon	<i>E. crus-galli</i>	<i>p-hydroxybenzoic acid</i>	79-84	Korea	
8877	<i>E. crus-galli</i>	<i>2,2-dihydroxy-4-methylpentan-3-one</i>	4,2777	Bangladesh		
Wheat	Donado	<i>E. crus-galli</i>	Phenolic acids	60	Iran	
	Nada	<i>E. crus-galli</i>	-	40	-	
	Domarokh	<i>E. crus-galli</i>	-	36	-	
	Dal	<i>E. crus-galli</i>	-	34	-	
	Mahr	<i>E. crus-galli</i>	-	30	-	
	Usoe	<i>E. crus-galli</i>	-	30	-	
	OM 5890	<i>Ligularia sibirica</i> L., <i>Leguminosae</i>	<i>N-cinnamoyltyramine</i>	-	USA-Vietnam	
	Super Ramad	<i>E. crus-galli</i>	-	-	Pakistan	
	Rye	Wheeler	<i>Setaria arifolia</i> L., <i>Trifolium arvense</i> L., <i>Hieracium vulgare</i> L.	-	-	USA
		Wheat	<i>Setaria arifolia</i> L., <i>Amorpha fruticosa</i> L.	-	5-95	USA
		Vigant	<i>Hieracium pilosella</i> L., <i>Caerula</i>	-	-	Sweden
		Wheat 90	<i>L. perenne</i>	-	42-83	Pakistan
		Wheat 90	<i>A. Java</i>	-	-	-
		Wheat 90	<i>A. Java</i>	-	-	-
		Wheat 90	<i>A. Java</i>	-	-	-
Wheat 90		<i>A. Java</i>	-	-	-	
Wheat 90		<i>A. Java</i>	-	-	-	
Wheat 90		<i>A. Java</i>	-	-	-	
Wheat 90		<i>A. Java</i>	-	-	-	
Wheat 90		<i>A. Java</i>	-	-	-	
Wheat 90		<i>A. Java</i>	-	-	-	
Wheat 90		<i>A. Java</i>	-	-	-	
Sorghum		Wheat	<i>Setaria arifolia</i> L., <i>Trifolium arvense</i> L., <i>Hieracium vulgare</i> L.	-	-	China
	Wheat	<i>Setaria arifolia</i> L., <i>Trifolium arvense</i> L., <i>Hieracium vulgare</i> L.	-	-	China	
	Wheat	<i>Setaria arifolia</i> L., <i>Trifolium arvense</i> L., <i>Hieracium vulgare</i> L.	-	-	China	
	Wheat	<i>Setaria arifolia</i> L., <i>Trifolium arvense</i> L., <i>Hieracium vulgare</i> L.	-	-	China	
	Wheat	<i>Setaria arifolia</i> L., <i>Trifolium arvense</i> L., <i>Hieracium vulgare</i> L.	-	-	China	
	Wheat	<i>Setaria arifolia</i> L., <i>Trifolium arvense</i> L., <i>Hieracium vulgare</i> L.	-	-	China	
	Wheat	<i>Setaria arifolia</i> L., <i>Trifolium arvense</i> L., <i>Hieracium vulgare</i> L.	-	-	China	
	Wheat	<i>Setaria arifolia</i> L., <i>Trifolium arvense</i> L., <i>Hieracium vulgare</i> L.	-	-	China	
	Wheat	<i>Setaria arifolia</i> L., <i>Trifolium arvense</i> L., <i>Hieracium vulgare</i> L.	-	-	China	
	Wheat	<i>Setaria arifolia</i> L., <i>Trifolium arvense</i> L., <i>Hieracium vulgare</i> L.	-	-	China	
	Wheat	<i>Setaria arifolia</i> L., <i>Trifolium arvense</i> L., <i>Hieracium vulgare</i> L.	-	-	China	
	Wheat	<i>Setaria arifolia</i> L., <i>Trifolium arvense</i> L., <i>Hieracium vulgare</i> L.	-	-	China	
	Wheat	<i>Setaria arifolia</i> L., <i>Trifolium arvense</i> L., <i>Hieracium vulgare</i> L.	-	-	China	
	Wheat	<i>Setaria arifolia</i> L., <i>Trifolium arvense</i> L., <i>Hieracium vulgare</i> L.	-	-	China	
	Wheat	<i>Setaria arifolia</i> L., <i>Trifolium arvense</i> L., <i>Hieracium vulgare</i> L.	-	-	China	
Soybean	Alfalfa	<i>Lolium perenne</i> L.	-	74	Iraq	
	Alfalfa	<i>Lolium perenne</i> L.	-	81	-	
	Alfalfa	<i>Lolium perenne</i> L.	-	81	-	
	Alfalfa	<i>Lolium perenne</i> L.	-	53	-	
	Alfalfa	<i>Lolium perenne</i> L.	-	57-67%	Pakistan	

WEED AND PEST CONTROL

Jabran K, Mahajan G, Sardana V, et al (2015) Crop Protection 72: 57-65.



Alfalfa

Suppression of fungal pathogens



Aspergillus niger growing on onion



Fusarium wilt on tobacco (*Fusarium oxysporum*)



Phytophthora cinnamomi on oak



Southern blight On watermelon (*Sclerotium rolfsii*)

Алелопатичний ефект є також сортоспецифічним.

Іноді сорти, що пригнічують ріст бур'яну, можуть також пригнічувати розмноження шкідників. Прикладом є сорти пшениці, ячменю, жита, кукурудзи та тритикале з високим вмістом грамінів або гідроксамових кислот, що важливі для контролю попелиць в регіонах з високою враженістю. Люцерна може пригнічувати розвиток ряду важливих грибкових хвороб, як зображено на слайді.

КОНТРОЛЬ ШКІДНИКІВ

Tariq M, Ali H, Hussain N, Nasim W, Mubeen M, Ahmad S & Hasanuzzaman M (2019) Fundamentals of Crop Rotation in Agronomic Management. In: Hasanuzzaman M (ed) Agronomic Crops. Singapore, Springer.



Заорювання решток



Грибкові захворювання
суниці (фузаріоз)



Біла гниль салату
(*Sclerotinia sclerotiorum*)



Біологічний контроль шкідників у сівоzmіні відбувається завдяки механізмам, подібним до контролю бур'янів, оскільки контроль так само спрямований на переривання життєвих циклів та створення несприятливих умов для хвороботворних організмів завдяки періодам відсутності сприятливих рослин-господарів для шкідників та патогенів.

При розпаді решток деяких культур, наприклад, гірчиці та інших хрестоцвітих, вивільняються хімічні сполуки, токсичні для певних паразитичних нематод, патогенних грибків та бур'яну. Наприклад, заорювання решток броколі є ефективним методом боротьби з білою гниллю салату та контролю грибкових патогенів полуниці. А сівоzmіна з кукурудзою та пшеницею на 50% зменшує враження сої цистоутворюючою нематодою. Популярною стратегією контролю попелиць на пшениці є вирощування поруч хрестоцвітих, які приваблюють сонечок, а ті в свою чергу полюють на попелиць пшениці.

Проте сівоzmіна сприяє переважно контролю культуроспецифічних хвороб та шкідників, тоді як шкідники-генералісти здатні харчуватися різними культурами сівоzmіни.

MODELLING

Dury J, Schaller N, Garcia F, et al (2012)
Agronomy for Sustainable Development
32: 567-580.

Table 1 Crop succession representations in cropping plan models based on the rotational approach

Crop succession representation	Crop succession requirements
Predefined by expert	
Rules and agronomic filter	Rules controlled by model's users using parameters that describe timing, sequence, frequency and farm-specific constraints Predefined forbidden crop sequences Timing and preceding crop supply/demand constraints, exclusion rules Predefined allowed crop sequences (maximum 2 years)
Indicators	Effects of previous crop on the subsequent crop (soil structures, diseases, pests, weeds and nitrogen), recurring crops and their respective recommended minimal return time, crop diversity
Probability of crop occurrence	Probabilities based on observed crop rotations
Reducing factors	Regression analysis to estimate yield influence of preceding crop Timing and sequencing constraints, disease classes associated with yield reduction penalties Predefined yield reducing factors



Розглянемо підходи та інструменти моделювання сівозмін (більше інформації в лекції англійською).

Цілісне моделювання сівозміни має враховувати біофізичні процеси, що лежать в основі вирощування культур, цілі фермера, а також та можливості та обмеження ферми. Для спрощення процесу ці 3 цілі можуть розділятися на 3 різні взаємопов'язані моделі. Модель може базуватися на функційних рисах рослин або на експертній оцінці можливостей певної сівозміни у певних умовах. Ці 2 підходи можна комбінувати. Потрібно передбачити можливість підлаштування моделі залежно від експериментально вимірної ефективності сівозміни. Сівозміна може мати стандартизовану або змінну тривалість циклу, в останньому випадку вона може підлаштовуватися під погодні умови та потреби ринку. Також модель повинна враховувати просторову неоднорідність розподілу ресурсів, наприклад, різні типи ґрунтів на фермі. Це обумовлює потребу визначення доцільного розміру окремого блоку дизайну.

MODELLING

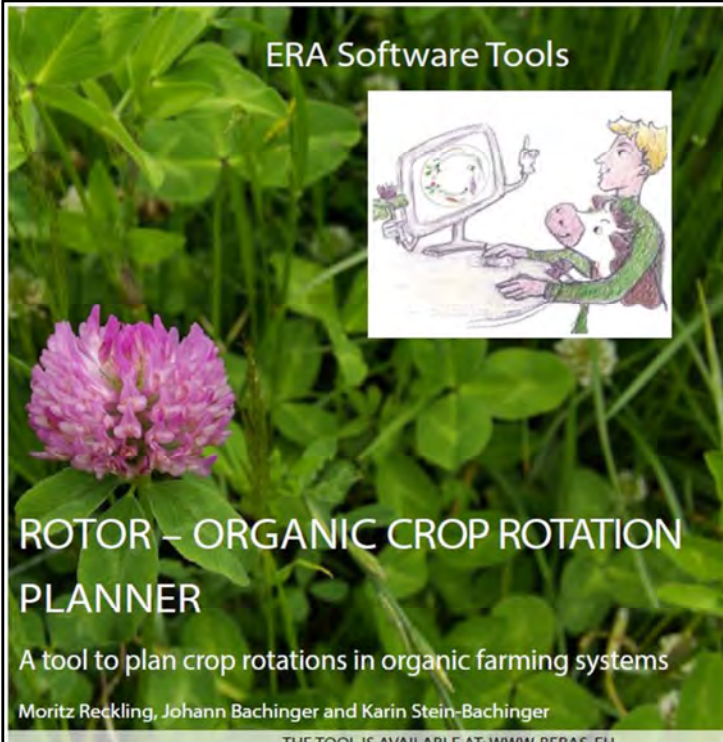
Dury J, Schaller N, Garcia F, et al (2012)
Agronomy for Sustainable Development
32: 567-580.

Categories	Objectives	Indicators
Socio-economic	Profit	↑: gross margin, annual profit, income, net benefit
	Equipment	↓: investment
Agronomy Environment	Labour	↓: total labour, casual labour, cost
	Irrigation	↑: irrigated area
	Energy	↓: calories
	Nutrient	↓: nitrogen and phosphorus uses, losses
	Pesticide	↓: herbicide use, losses, pesticide exposures
	Soil	↓: erosion, ↑: organic matter rate of change



Оскільки сівозміна має задовільняти численні цілі, дизайн лише для максимізації прибутку може конфліктувати з агроекологічними цілями, з пріоритетами зниження негативного впливу на довкілля або з досягненням соціо-економічної сталості. Також короткотермінові цілі можуть конфліктувати з довготерміновими. Часто сівозміни розробляють базуючись на обмежуючих факторах (наявності води для зрошення, працівників та техніки протягом сезону) а також з врахуванням граничних рівнів різних цілей та ризиків. Тому складні моделі використовують інструменти оптимізації за багатьма критеріями, зокрема алгоритм еволюційної оптимізації, використовують порівняння субоптимальних рішень (що часто проводиться експертами), а також розраховують ймовірності різних сценаріїв (що дає можливість вибору з кількох варіантів, часто для внесення змін вже під час сезону). Деякі експерти стверджують, що моделі мають бути радше придатними до реальних обставин, аніж враховувати всю розмаїтість можливих факторів.

Підсумовуючи, для прийняття рішень цілісні моделі мають враховувати просторові та часові фактори на різних рівнях, аніж базуватися на статичних та однозначних процедурах.



ERA Software Tools

ROTOR – ORGANIC CROP ROTATION PLANNER

A tool to plan crop rotations in organic farming systems

Moritz Reckling, Johann Bachinger and Karin Stein-Bachinger

THE TOOL IS AVAILABLE AT: WWW.BERAS.EU

Bachinger J, Zander P. ROTOR, a tool for generating and evaluating crop rotations for organic farming systems. *Eur J Agron.* 2007;26(2):130-143.

ROTOR (ROTations in ORganic farming systems) використовується для моделювання сівозмін у небагатій на нітроген системі органічного землеробства. Цей інструмент враховує:

- Продукування потрібної біомаси кормових культур;
- Зменшення забур'яненості;
- Фітосанітарні обмеження щодо поєднання культур;
- Збільшення азотфіксації бобовими та
- Зменшення вимивання нітрогену з ґрунту.

ROTOR

Результат

Table 5
Selected five to seven-crop rotations, for organic stockless farming systems with potato production, evaluated for agronomic validity and economic performance at SRI 38

Crop rotation	1a	1b	2	3	4	5	6	7	Range ^a
Crop 1	SA1	SA1	SA1	SA1	SA1	SA1	SA1	SA1	
Crop 2	POT	POT	POT	POT	POT	POT	POT	POT	
Crop 3	WWH	WWH	WWH ^b	WWH	WWH	WWH	WWH	WWH	
Crop 4	PEA	PEA ^c	WRY	WRY	PEA	WRY ^d	OAT ^d	OAT ^d	
Crop 5	OAT ^e	OAT ^e	SA0	SA0	WRY ^b	SA1	SA1	SA1	
Crop 6					SA0	WWH	WWH	WWH	
Crop 7						WRY ^d	WRY ^d	WRY ^d	
Legume proportion (% dm) in set-aside vegetation	60	80	60	60	60	60	60	60	
(i) Economic parameters									
Gross margin (€ ha ⁻¹ yr ⁻¹)	663		649	599	589	603	650	627	435 to 779
Labour (h ha ⁻¹ yr ⁻¹)	5.9		6.1	5.5	5.6	5.3	5.3	5.3	2.8 to 6.6
(ii) Parameters of the N balance (kg N ha ⁻¹ yr ⁻¹)									
N ₂ fixation	58	67	58	48	48	57	53	53	21 to 72
N removal	43	43	43	27	27	37	34	33	23 to 61
N volatilisation	4	5	4	5	5	4	7	7	3 to 8
N leaching	22	23	17	17	17	23	12	13	10 to 32
ΔN ^e	-8	-2	-3	1	1	-4	3	3	-31 to 14
(iii) Evaluation parameters used to select valid CR									
LNB (%)	-12	-3	-4	3	3	-3	6	5	-140 to 22
WI per	-0.2		-0.2	0.0	-0.6	-0.3	-0.1	-0.1	-2.0 to 1.6
WI SA	1.0		0.8	0.6	0.8	1.2	-0.4	-0.1	-1.8 to 2.2
WI WA	0.0		-0.2	1.2	0.8	0.7	1.4	0.9	-1.0 to 3.1
(iv) Threshold values and resulting evaluation outputs [valid (+), non-valid (-)]									
LNB ≥ -5%	-	+	+	+	+	+	+	+	
WI per ≤ 0	+	+	+	+	+	+	+	+	
WI SA ≤ 1	+	+	+	+	+	-	+	+	
WI WA ≤ 1	+	+	-	+	+	-	+	+	
Overall evaluation result	-	+	+	-	+	-	-	+	

Abbreviations: SA0 = Set-aside with legume-grass-mixture as spring seed, SA1 = Set-aside main year, undersown in preceding crop or following SA0, POT = Potato, WRY = Winter rye, WWH = Winter wheat, PEA = Field pea, OAT = Oat, dm = dry matter, LNB = Limit of N balance in% N input (S N₂-fixation, manure, seeds), WI per = weed infestation risk indices (WI) with perennials, WI SA = WI with summer annuals, WI WA = WI with winter annuals.

^a Range of output values of all generated rotations (n = 10,000) at SRI 38 before application of thresholds.

^b Non-inversion tillage.

^c Grass sown under grain legumes.

^d Establishment of legume-grass sown under cereals in spring to prepare SA1.

^e N input through seeds included.

Option A: Undersowing of legume-grass in oats
Mean legume percentage set to 50 % in the legume-grass sward

Crop	Yield	N ₂ -fixation	N-leaching	N-balance	Weed infestation risk (- reduces, + increases)			Humus reproduction
	[t/ha]	[kg N/ha]			peren.	spring	autumn	%
Legume-grass (50 % leg.)	24	124	3	105	0	-1	-1	
Winter rye	2.6	0	20	-57	-1	-1	3	
Winter rye	2.1	0	14	-44	-1	-1	3	
Lupin	1.5	76	26	-3	0	3	-1	
Oat + leg-grass undersown	1.6	0	33	-54	0	1	-1	
Mean of crop rotation	40	20	-11	-0.2	0.2	0.6	108	

Option B: Inclusion of a catch crop (turnip rape) before oat
Increased legume percentage set to 70 % in the legume-grass sward
→ the changes in option B are marked in green

Crop	Yield	N ₂ -fixation	N-leaching	N-balance	Weed infestation risk (- reduces, + increases)			Humus reproduction
	[t/ha]	[kg N/ha]			peren.	spring	autumn	%
Legume-grass (70 % leg.)	24	167	12	139	0	-1	-1	
Winter rye	2.6	0	20	-57	-1	-1	3	
Winter rye	2.1	0	14	-44	-1	-1	3	
Lupin	1.5	76	26	-3	1	3	-1	
Oat + catch crop + leg-grass undersown	2.0	0	13	-42	-1	1	-2	
Mean of crop rotation	49	17	-1	-0.4	0.2	0.4	117	



Програма пропонує можливі варіанти сівозмін та рекомендовані способи вирощування кожної культури, врожайність, ефективність азотфіксації та ефективність протидії вимивання нітрогену з ґрунту та загальний баланс нітрогену, швидкість нарощування гумусу, ризик забур'яненості для різних груп бур'янів в залежності від заданого типу ґрунту та агротехнічної системи. Можна оцінити загальну ефективність сівозміни та ефективність в ній різних культур. Можна оптимізувати обрану сівозміну змінюючи вхідні параметри (наприклад, долю бобових у сівозміні для збільшення азотфіксації або додати покривні культури та зменшення втрат нітрогену).

ROTOR

Висновок



Перевагою інструменту ROTOR, розробленого для органічного фермерства без внесення азотних добрив, є здатність моделювати складну сівозміну з основними та покривними культурами, період вирощування яких частково збігається.

Crop Rotation Average Net Income		Instructions:							
Location: Oregon 2015		1. Define crops, previous crop, prices and yields in "Crop Prices & Yields" Tab. 2. Input crop budget and cost information in "Crop Costs" Tab. 3. Select crop from drop-down menu, select blank if no crop, in "Crop Rotation Income" Tab. 4. Enter number of years of cover crop (or double-cropping) to correct for years in crop rotation. 5. Worksheet calculates average annual Net Income for each crop rotation. * Only edit blue numbers in entire worksheet.							Enter the number of years with cover crop (or years double cropping), assume cover crop is planted between full crop years.
Crop Rotation Net Income (\$/Ac/Yr)	Year 1	Year 2	Year 3	Year 4	Year 5	Year 6	Year 7	Year 8	
Rotation A \$497.18	FF/Winter Wheat \$170.20	WW/Potato \$824.15	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	0
Rotation B \$163.04	FF/Winter Wheat \$170.20	WW/Canola \$436.32	CA/Fallow \$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	0
Rotation C \$168.72	FF/Winter Wheat \$170.20	WW/Canola \$436.32	CA/Winter Pea \$168.36	WP/Fallow -\$100.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	0
Rotation D \$30.94	FF/Winter Wheat \$170.20	WW/Barley \$40.00	WW/Fallow -\$117.39	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	0
Rotation E \$98.15	EST/Alfalfa-Grass Hay -\$85.00	AH/Alfalfa-Grass Hay \$130.00	AH/Alfalfa-Grass Hay \$130.00	AH/Alfalfa-Grass Hay \$130.00	AH/Alfalfa-Grass Hay \$130.00	AH/Alfalfa-Grass Hay \$130.00	AH/Winter Wheat \$180.20	WW/Barley \$40.00	0
Rotation F \$704.43	PT/Corn (Grain) \$465.00	CN/Potato \$824.15	CN/Potato \$824.15	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	0
Rotation G \$681.31	PT/Corn (Grain) \$465.00	CN/Potato \$824.15	Small Grain Cover Crop -\$69.38	WW/Potato \$824.15	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	1

Crop Budget Summary		Net Income (to VC)	Variable Costs	Gross Returns	Price	Yield	Units	Previous Crop:
AH/Alfalfa-Grass Hay	\$130.00	\$170.00	\$300	\$100.00		3	Ton	AH - Alfalfa Hay
AH/Winter Wheat	\$180.20	\$160.00	\$340	\$5.67		60	Bu	CA - Canola
Alfalfa Hay	\$300.64	\$199.36	\$500	\$125.00		4	Ton	CC - Cover Crop
CA/Fallow	(\$117.39)	\$117.39	\$0	\$0.00		0	Bu	CN - Corn
CA/Winter Pea	\$168.36	\$321.64	\$490	\$0.70		700	Lb	CNS - Corn Silage
CC/Onions	\$411.09	\$2,138.91	\$2,550	\$0.85		3,000	Lb	FF - Fallow
Cereal Rye Cover Crop	(\$75.05)	\$75.05	\$0	\$0.00		0	Lb	ON - Onions
Clover Green Manure Crop	(\$96.49)	\$96.49	\$0	\$0.00		0	Lb	PT - Potato

https://www.nrcs.usda.gov/wps/PA_NRCSCconsumption/download/?cid=STELPRDB1257049&ext=xlsx

Ця таблиця використовується для розрахунку прибутковості сівозмін на основі місцевих ринкових цін на збіжжя, з врахуванням сільгоспвитрат та тривалості циклу сівозміни.