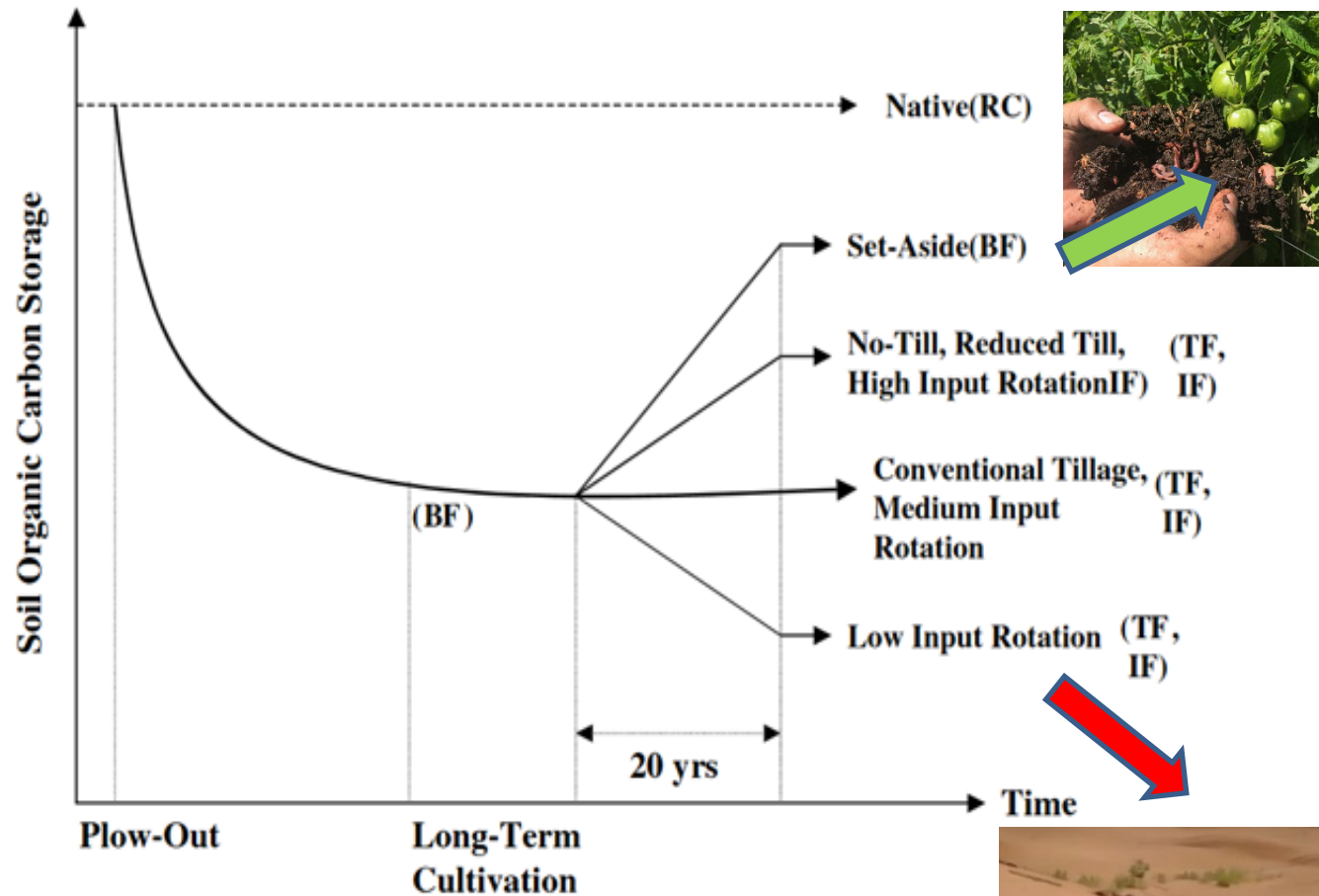


Karel KLEM

# Technologie zpracování půdy jako nástroj šetrného zacházení s organickou hmotou

# Jaký dopad mělo zpracování půdy na půdní organickou hmotu?



- Intenzivní zemědělství = jednoznačný trend poklesu půdního uhlíku za posledních 100-150 let
- Poslední šance na zvrácení tohoto trendu – jinak nás čekají dramatické poklesy výnosů – především „desertifikace“ (živiny jsme schopni dodat, vodu jen ve velmi omezené míře)

# To přináší řadu dalších negativních efektů

## Soil organic matter



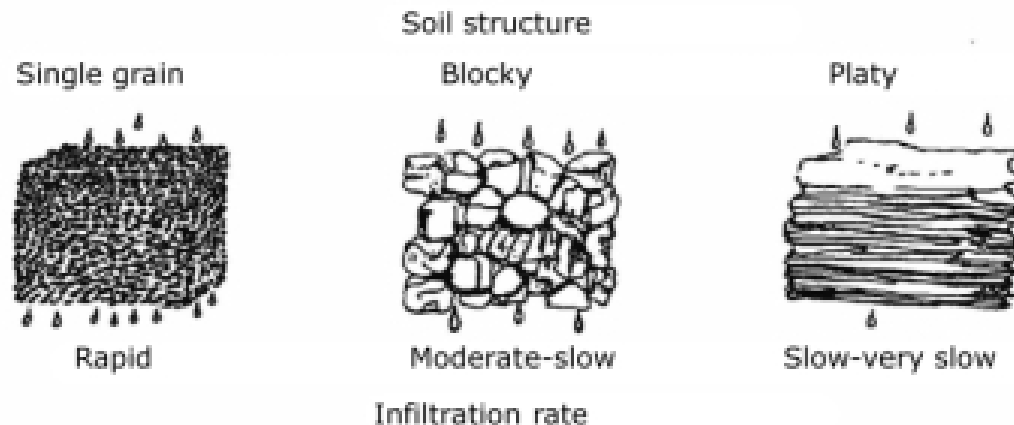
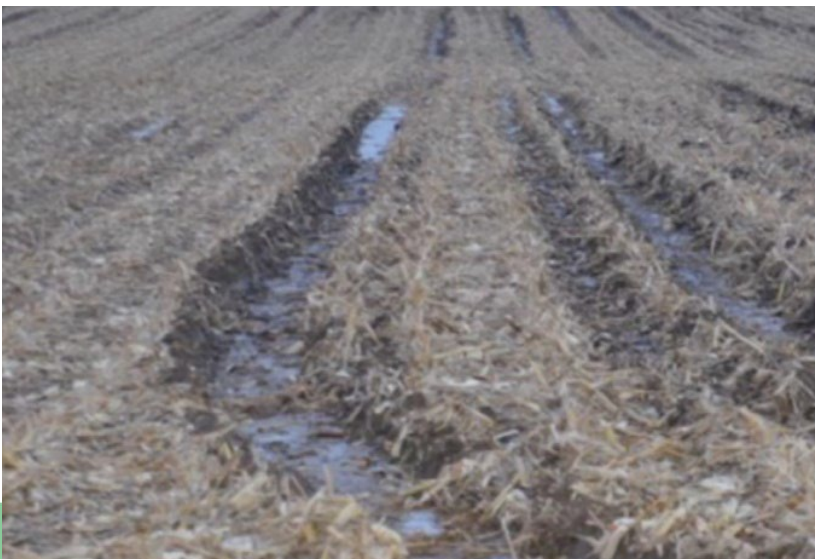
Brick = high bulk density,  
low pore space

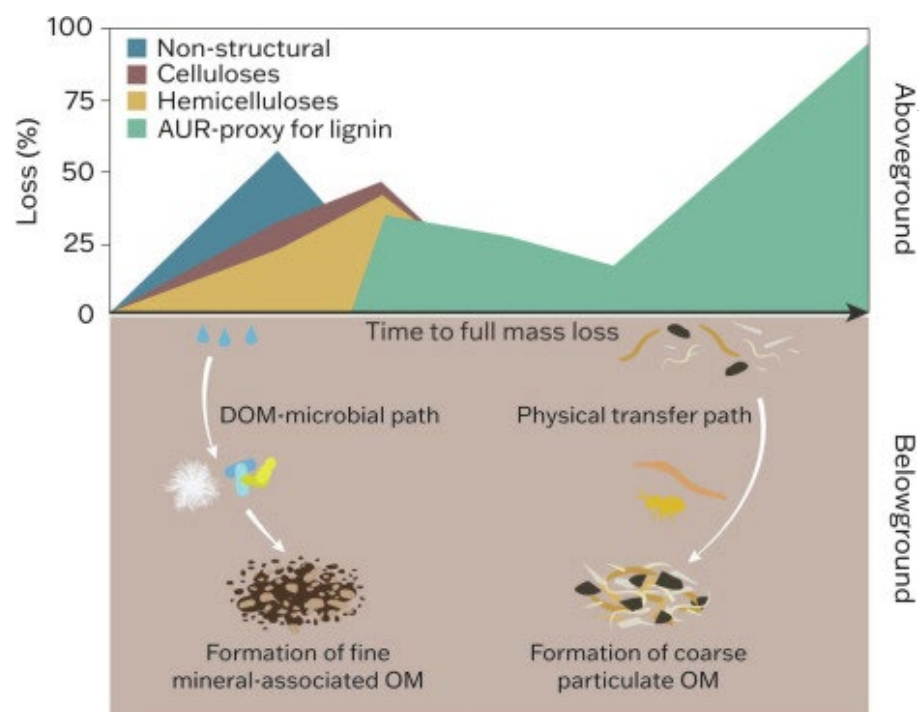


Sponge = low bulk density,  
high pore space

Organická hmota představuje indikátor všech fyzikálních a chemických vlastností a funkcí půdy zajišťující úrodnost:

- Stabilita agregátů a nižší náchylnost k erozi
- Infiltrace a zadržetí vody – odolnost k suchu
- Rovnováha mezi provzdušněním a zdržením vody
- Rovnoměrné uvolňování živin
- Nižší náchylnost půdy k utužení



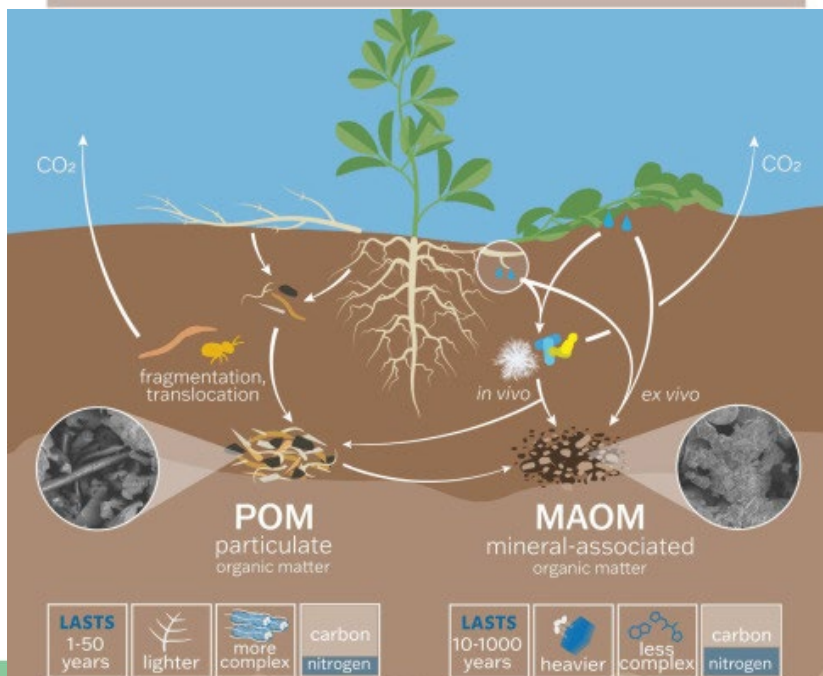


Aboveground

Belowground

## Je humus stabilní organická hmota?

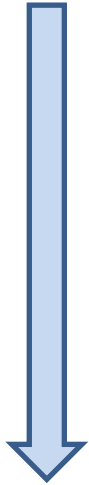
- Převažujícím kritériem pro definování humusových látek je jeho rozpustnost v silně alkalickém prostředí (pH 13)
- Ačkoliv byly humusové látky extrahované v alkalickém prostředí považovány za velmi stabilní, mohou být rozkládány překvapivě velmi rychle (v řádu dnů)
- Zbytky rostlin s vysokým obsahem ligninu se rozkládají sice pomaleji, ale z pohledu dlouhodobé životnosti to má minimální význam
- Komplexita organických látek není zárukou jejich dlouhé životnosti, spíše dokonce naopak – priming efekt
- Dlouhou životnost má naopak organický uhlík ve formě jednoduchých organických sloučenin poutaných na minerální částice (MAOM), nejlépe pokud je ještě fyzikálně chráněný v agregátech



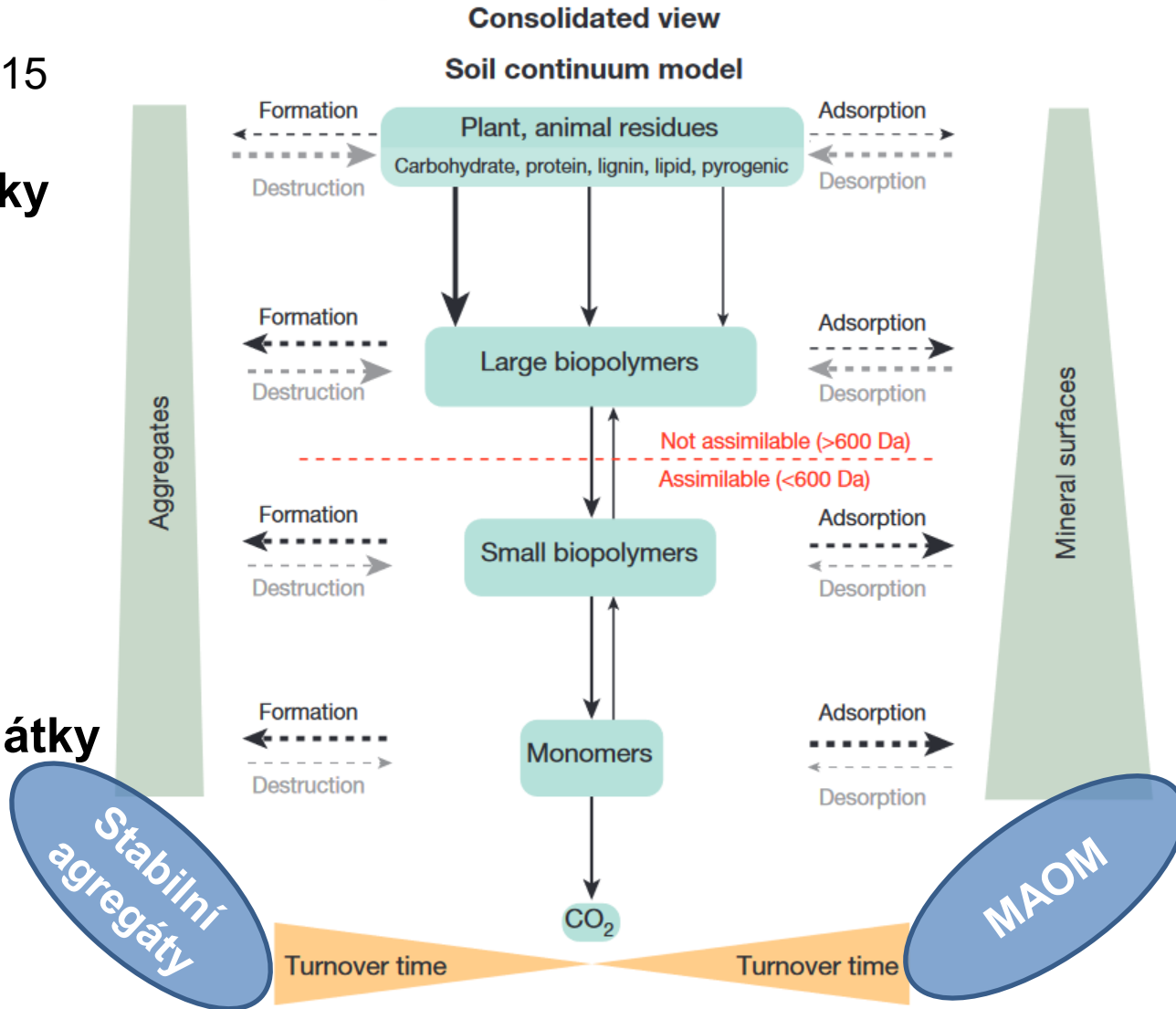
# Model půdního kontinua

Lehmann a Kleber, Nature 2015

Složité organické látky



Jednoduché organické látky



ii) ochranou v půdních agregátech

**Stabilita (délka života) C se prodlužuje**

i) vazbou na minerální povrchy (jíl a prach)

## Fyzikální a dekompoziční (pevná) dráha uhlíku

CO<sub>2</sub>  
>90%

Odumírající rostlina

Rostlinné zbytky

Fyzikální přenos

Mikrobiální rozklad

## Mikrobiální (tekutá) dráha uhlíku

Živá rostlina

CO<sub>2</sub>  
<50%

Exsudáty

Bakterie

Mikrobiální uhlíková pumpa

Mykorhizní houby (AMF)



Dráha tekutého uhlíku je až 30x účinnější

**až 4 t C/ha/rok**

**0.15 t C/ha/rok**

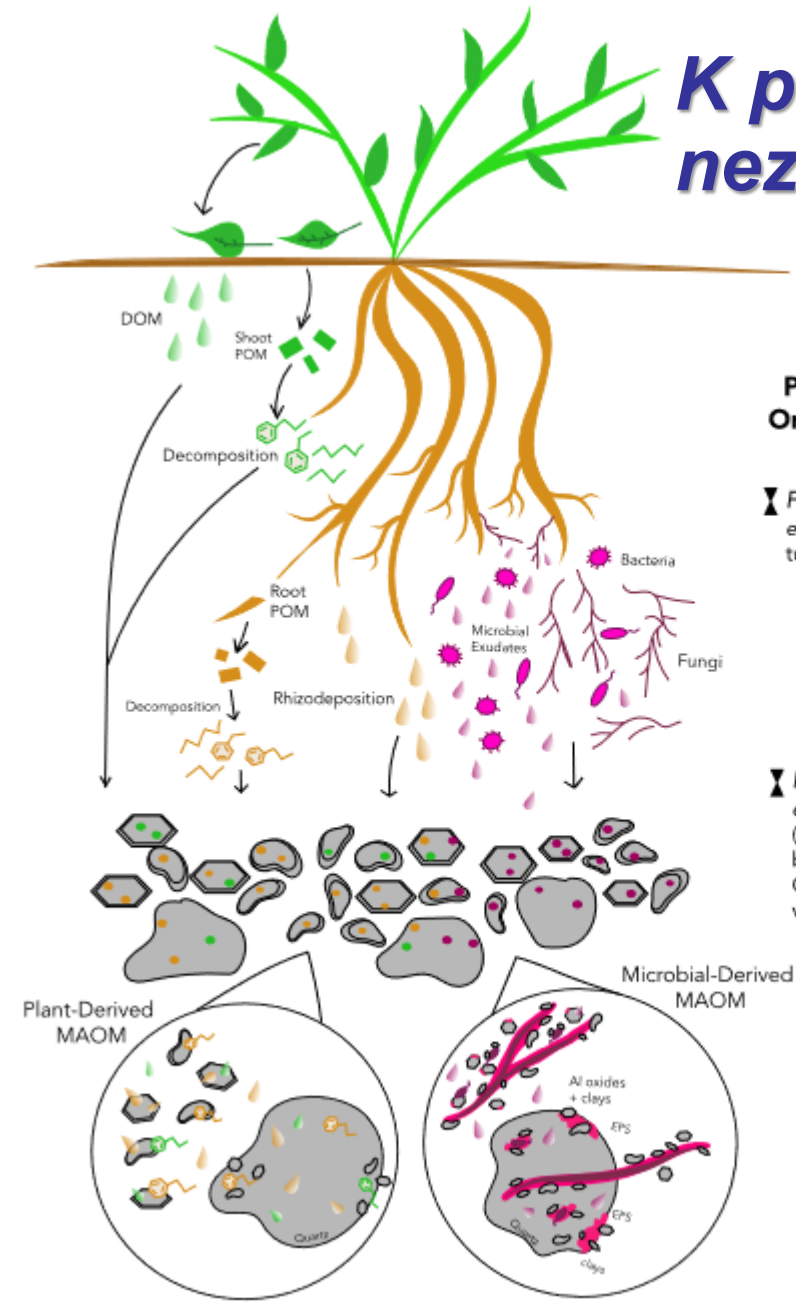
Hrubý částicový organický uhlík (POM)

- Vysoký poměr C:N
- Celulóza, hemicelulóza, lignin
- Není poután na minerální částice
- 1-10 let životnost

Na minerály poutaný organický uhlík (MAOM)

- Nižší poměr C:N (klíčový význam leguminóz) <10:1
- Cukry, organické kyseliny, polyfenoly, polymery
- Fyzikálně a chemicky poutané na minerální částice
- 10-1000 let životnost (prokázáno radioizotopy)

# K poutání organického uhlíku na minerální částice je nezbytný metabolismus rostlin a mykorrhizních hub



## Plant and Microbial Organic Matter Inputs ('Feedstock')

⚡ Feedstock Traits  
examples: carbon-use efficiency, turnover rate, growth rate

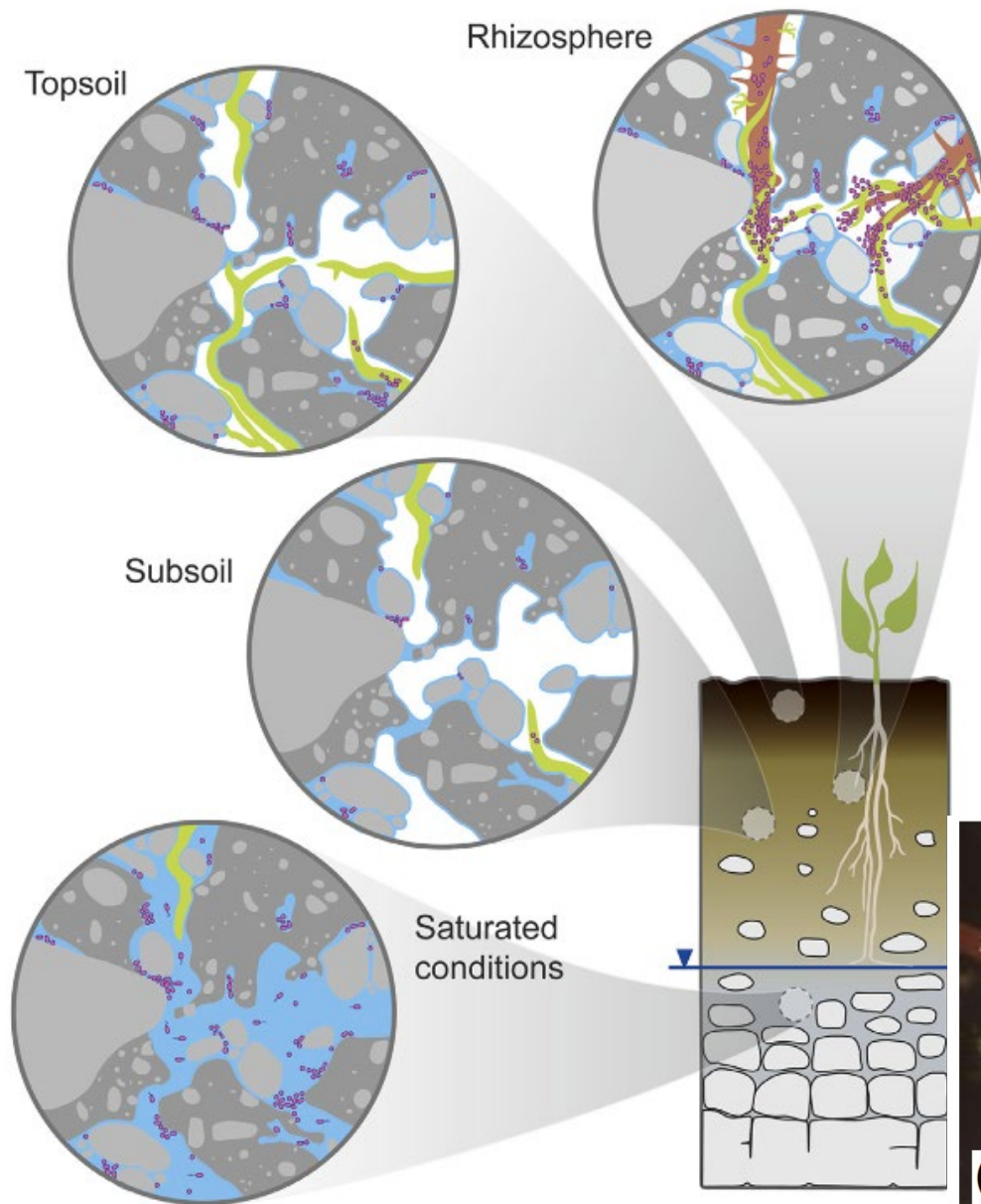
## MAOM Formation

⚡ MAOM Formation Traits  
examples: carbon allocation (e.g., rhizodeposition vs. litter), biochemical composition (e.g., C:N ratio), morphology (dense vs. diffuse hyphal networks)

### Legend

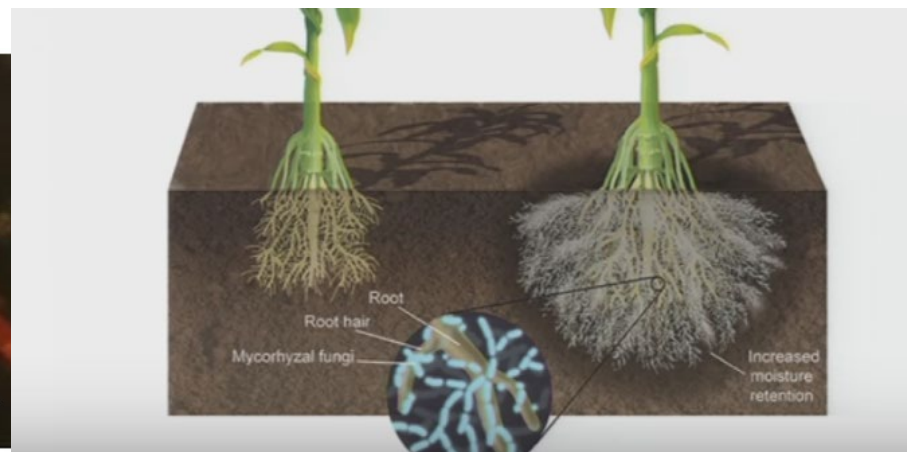
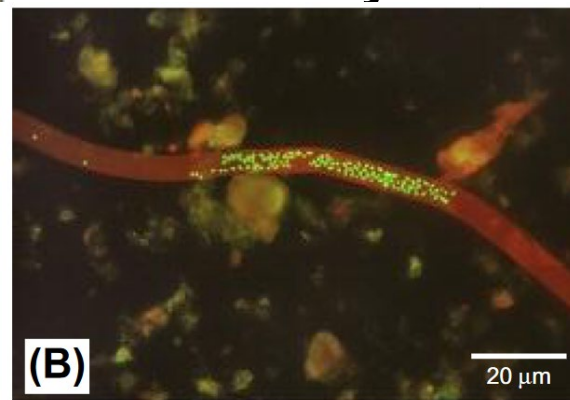
- = root compound
- = shoot compound
- = Al oxides
- = Silicates
- = dead hyphae
- = dead bacteria
- = EPS

Poutání organického uhlíku na minerální povrchy je možné jen přes kapalnou fázi – proto jednoduché organické sloučeniny  
Rostliny a mykorrhizní houby vylučují v exudátech velké množství organických kyselin (kys. glukonová, citronová, mléčná, ketoglutarová, šťavelová, vinná, octová)  
Nízké pH vede ke vzniku multivalentních kovů (FeIII), vzniku reaktivních minerálů, které pak reagují s organickými ligandy za vzniku pevné vazby – MAOM  
Množství uhlíku poutaného v MAOM může být saturováno, nicméně míra saturace v orné půdě ve střední Evropě (údaje z Bavorska) činí jen 25



## Jaká je úloha mykorrhizních hub a bakterií?

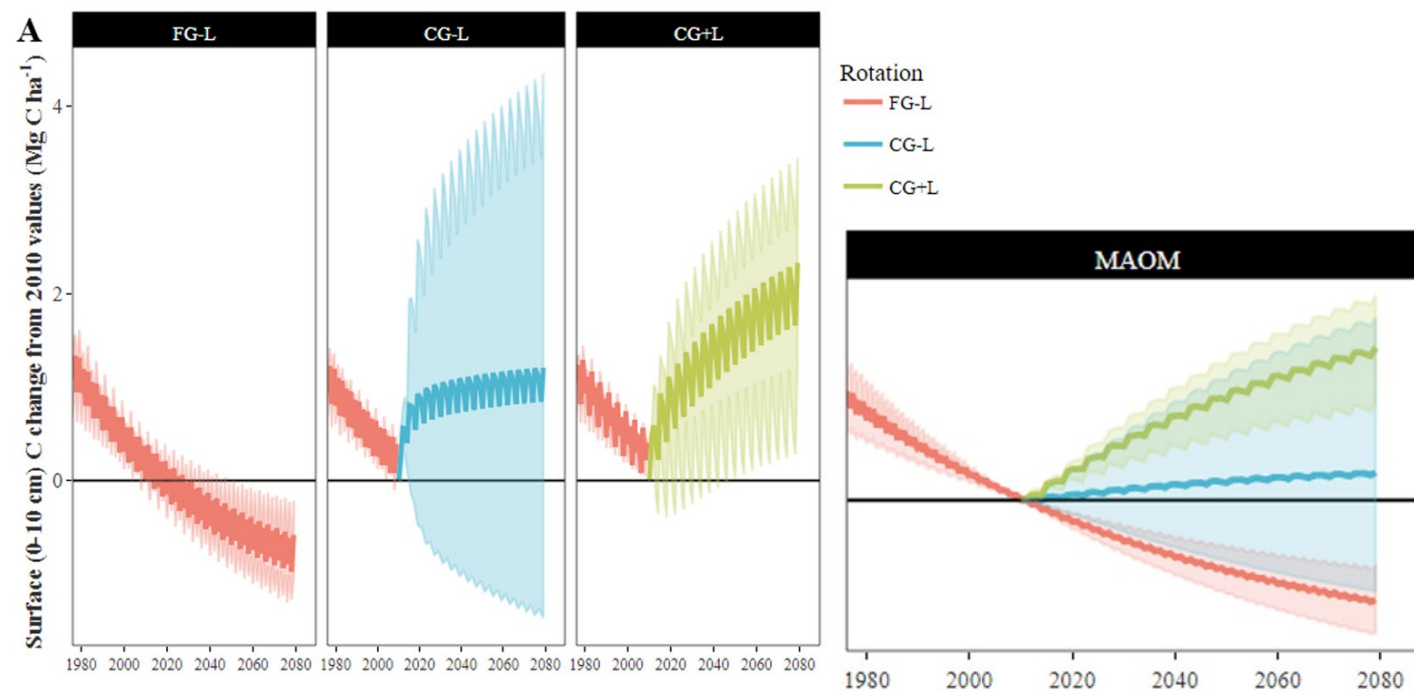
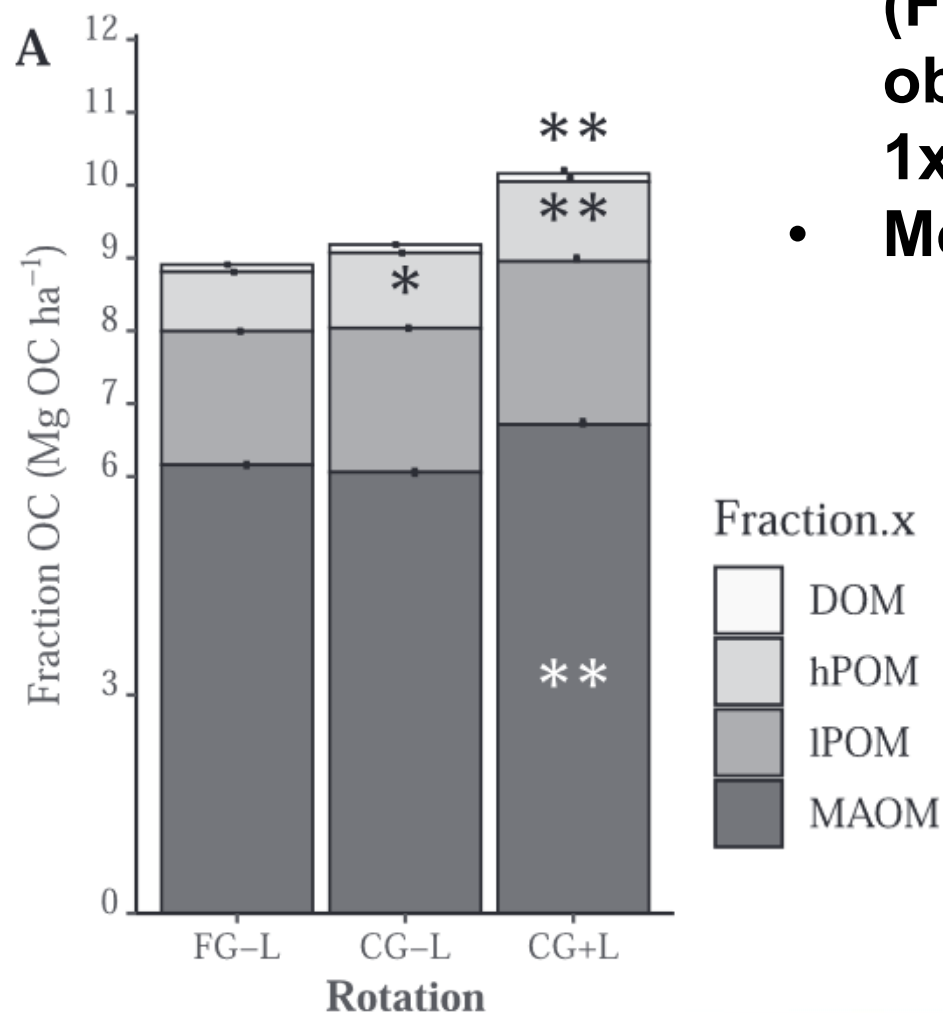
- Objem půdy, který je v kontaktu s kořeny je jen asi 1%
- Mykorrhizní houby zvyšují tento podíl až na 20% - jsou proto klíčovým zdrojem uhlíku pro formování MAOM
- Bakterie vyžadují dostatek vody a proto dlouhodobě přežívají pouze v mikropórech nebo v rhizosféře (obvykle ve shlucích)
- V půdě s vysokým podílem makropórů kolonizují okolí hyf hub





# Nízký poměr C:N který zajišťují bobovité je zásadní pro formování MAOM

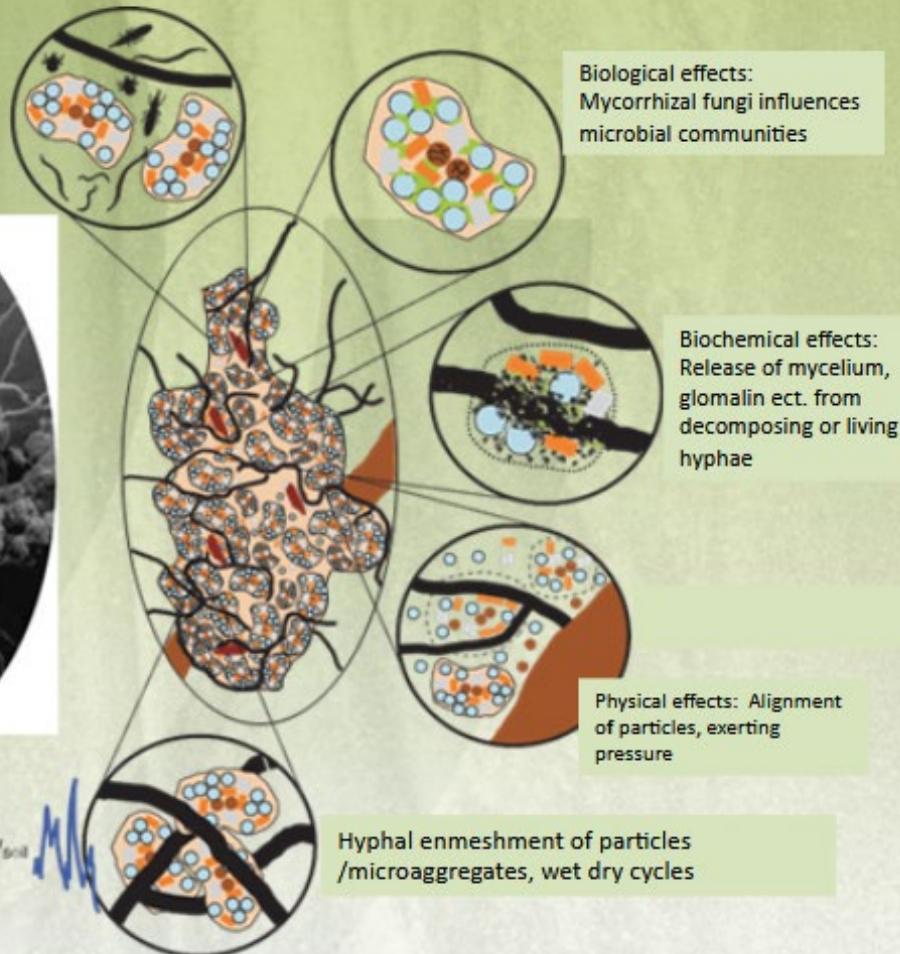
- 8-leté porovnání sledu obilnin s černým úhorem (FG-L), kontinuálního pěstování obilnin (CG-L) a obilnin se zařazením leguminózy (CG+L) – hrách 1x za 4 roky
- Modelování MEMS



# *Druhou klíčovou podmínkou pro ukládání organického uhlíku je stabilita půdních agregátů*

## BUILDING A SOIL AGGREGATE

unlock the  
SECRETS  
IN THE  
SOIL



Involves both:

Biological

- AMF communities form
- Release of Glues

Physical

- Hyphae entangle soil particles
- Create dry wet cycles
- Squeeze particle together

- Naprosto zásadní úloha mykorhizních hub
- Glomalin – lepidivé látky
- Hyfy provazují pevně půdní částice
- Stlačují částice k sobě

# Co děláme pro dráhu tekutého uhlíku a stabilitu půdních agregátů špatně? Prakticky všechno....

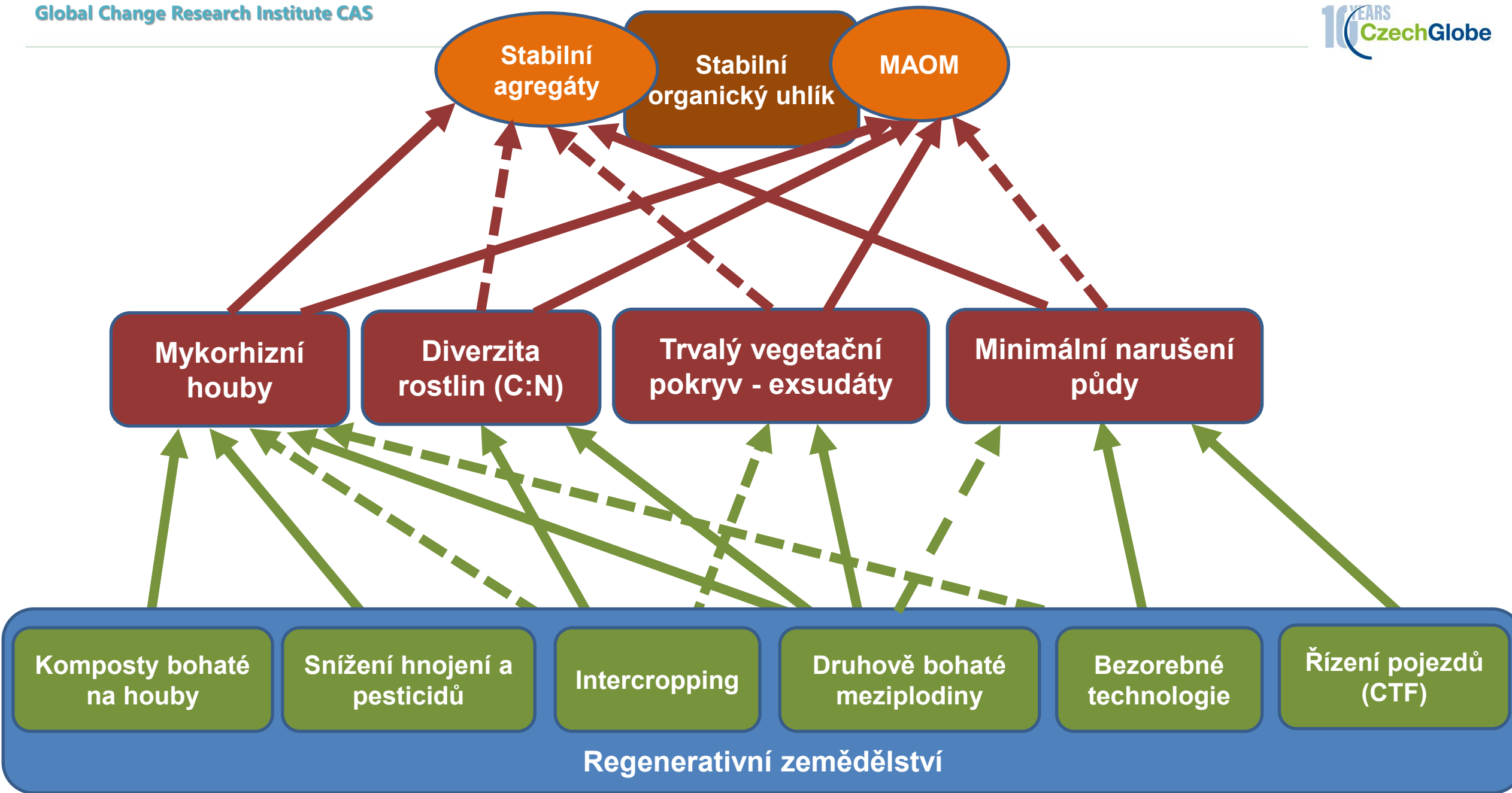


- **Dlouhé období bez vegetace** mezi dvěma plodinami – cyklus tekutého dusíku je přerušen
- **Intenzivní zpracování půdy** orbou nebo kypřením – umrtvení často ještě živých kořenů, narušení agregátů, mechanické narušení hyf, proschnutí, .....a k tomu navíc ještě podpora dekompozice – provzdušnění
- **Pěstování monokultur** – arbuskulární mykorrhiza funguje především mezi rostlinami různých druhů, které propojuje a všechny organismy pak profitují
- **Intenzivní používání fungicidů a průmyslových hnojiv** – přímo houby zabíjíme nebo je potlačujeme

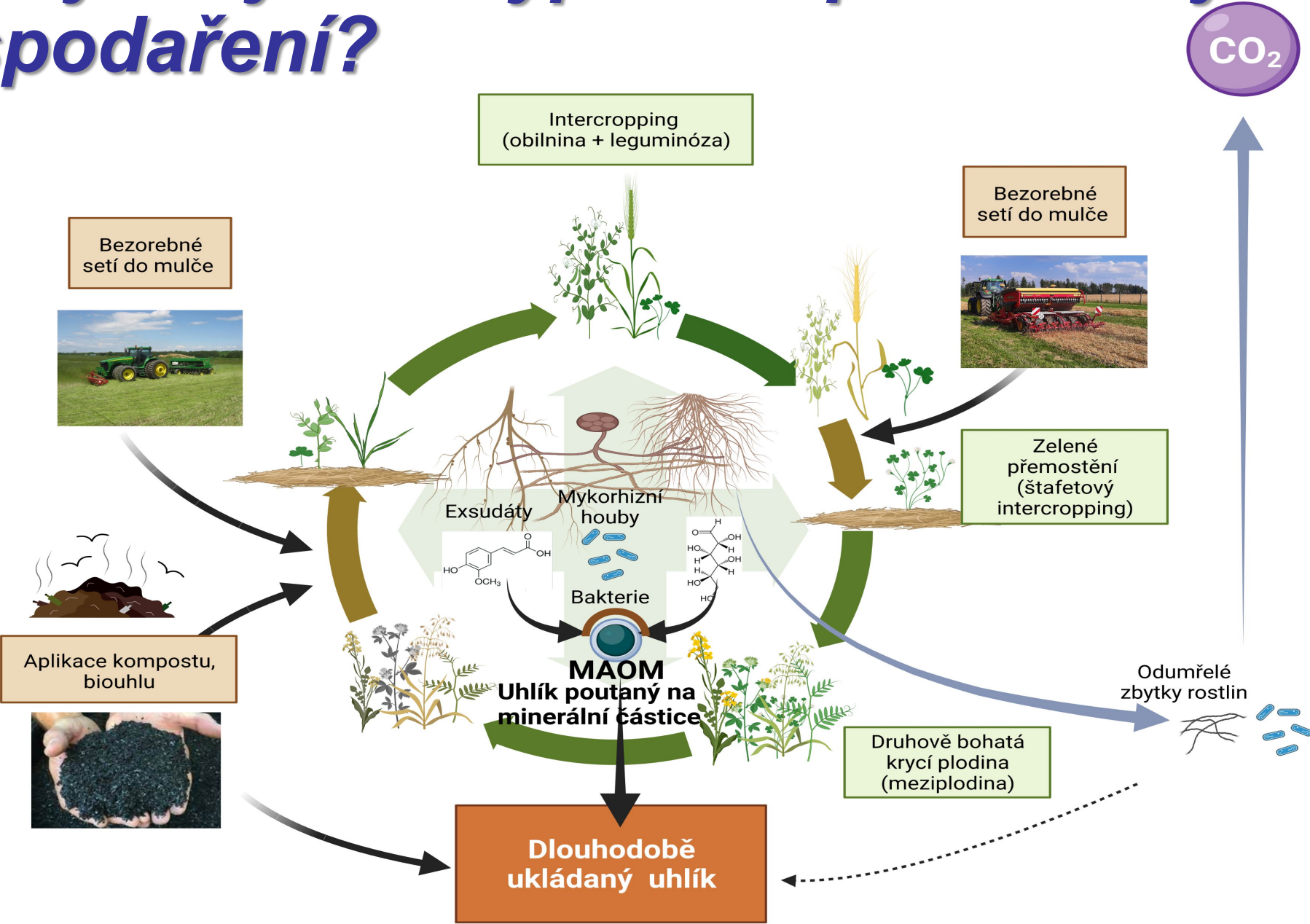
# ***Máme možnost nápravy? Rozhodně ano***

- **Více jak 30 let bez zpracování půdy, bez hnojení, a bez použití pesticidů**





# Jak by tedy měl vypadat optimální systém hospodaření?



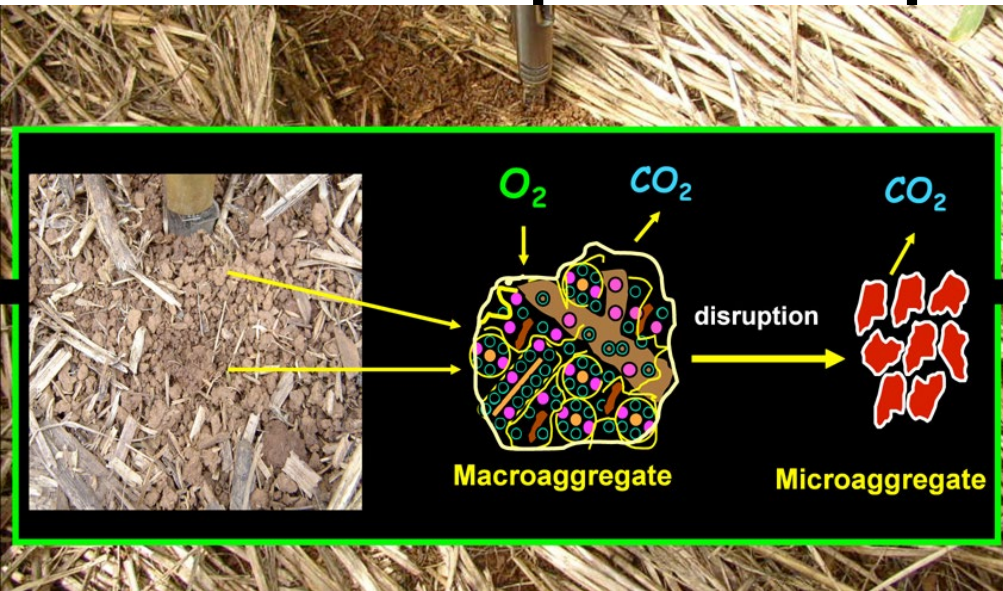
# 1. Udržovat kontinuální zelený pokryv vegetací

- Pěstování druhově bohatých meziplodin (lépe krycích plodin) a bezorebné setí plodiny do mulče (ideálně zeleného)
- Setí meziplodiny okamžitě po sklizni, při sklizni, nebo před sklizní



## 2. *Důsledně uplatňovat bezorebné technologie*

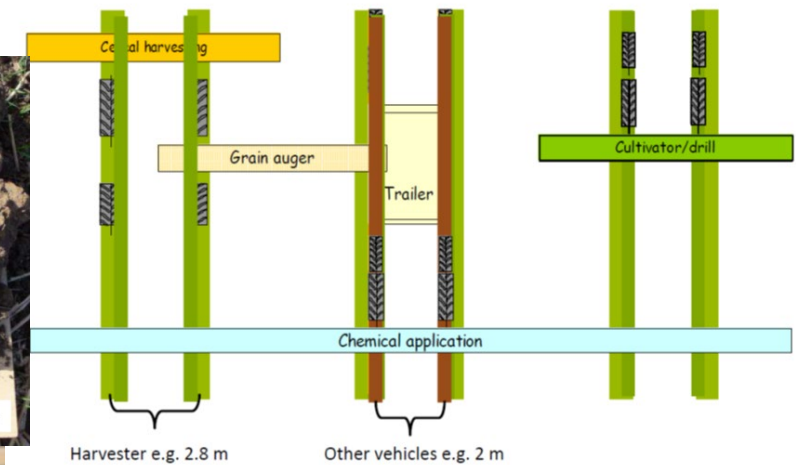
- Jen v případě určitých plodin (kukuřice – teplota půdy), nebo specifických problémů s plevely či škůdci lze zařadit strip-till či dokonce zpracování půdy (výjimečně)





# 3. Používat technologie „Controlled Traffic Farming“ - CTF

- Důležité opatření především z pohledu omezení narušení struktury půdy a zhutnění – zlepšení infiltrace (až 4x), zvýšení retence vody v půdě
- Vede v kombinaci s bezorebnými technologiemi a meziplodinami k omezení ztrát vody o více jak 100 mm/rok



## 4. Začít uplatňovat biodiverzitu v rámci jedné kultury tzv. „intercropping“

- Intercropping - společné pěstování dvou plodin současně – nižší výnos obou komponent ale zvýšení celkové produktivity ca o 20%
- Společně s arbuskulární mykorrhizou - významné benefity pro obě plodiny a stimulace ukládání stabilního uhlíku
- Zlepšení přístupnosti živin (včetně fixovaného dusíku leguminózami), zlepšení odolnosti k suchu, omezení šíření chorob a škůdců, lepší potlačení plevelů atd.
- Je ovšem nutný vývoj způsobu setí, posunu setí plodin, druhových synergií apod.



## 5. *Postupně snižovat použití pesticidů (zejména fungicidů) a dusíkatých hnojiv na minimum*

- **Přímý účinek fungicidů na mykorrhizní houby - živí se přímo exudáty**
- **Nadbytek živin - omezený vývoj (mělkého) kořenového systému, snížení množství exudátů, nižší potřeba symbiózy mezi mykorrhizními houbami a rostlinou**



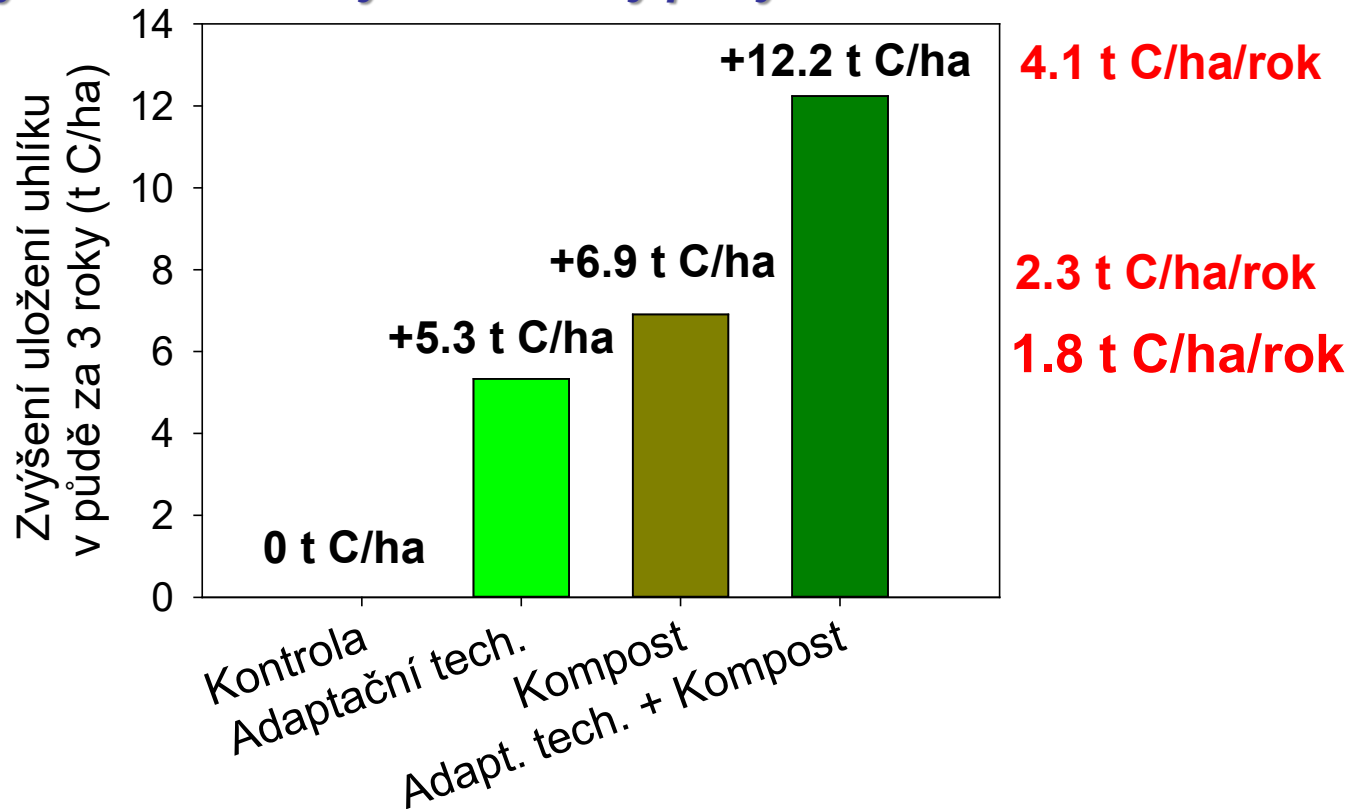
## ***6. Výroba a aplikace forem kompostu podporujících ukládání stabilního uhlíku v půdě***

- a) Johnson-Su bioreaktor – kompost bohatý na houby***
- b) Witte – MC kompost***



# Uhlíkové zemědělství?

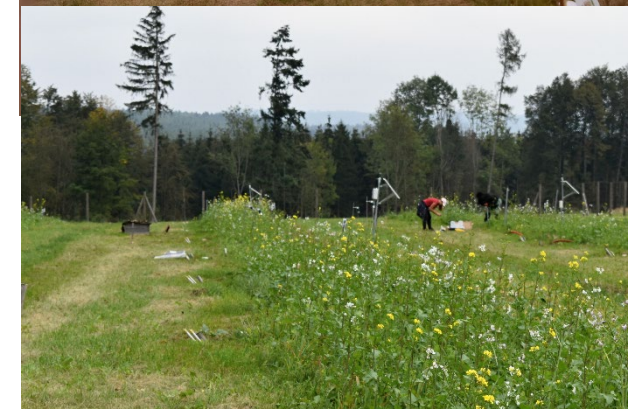
Zvýšení C za 3 roky do hloubky půdy 30 cm:



**Kontrola – orba, bez meziplodin, bez aplikace kompostu**

**Kompost – jednorázově 30 t/ha (ca 8 t C/ha) na začátku experimentu**

**Adaptační technologie – bezorebné setí, pěstování druhově bohatých meziplodin**

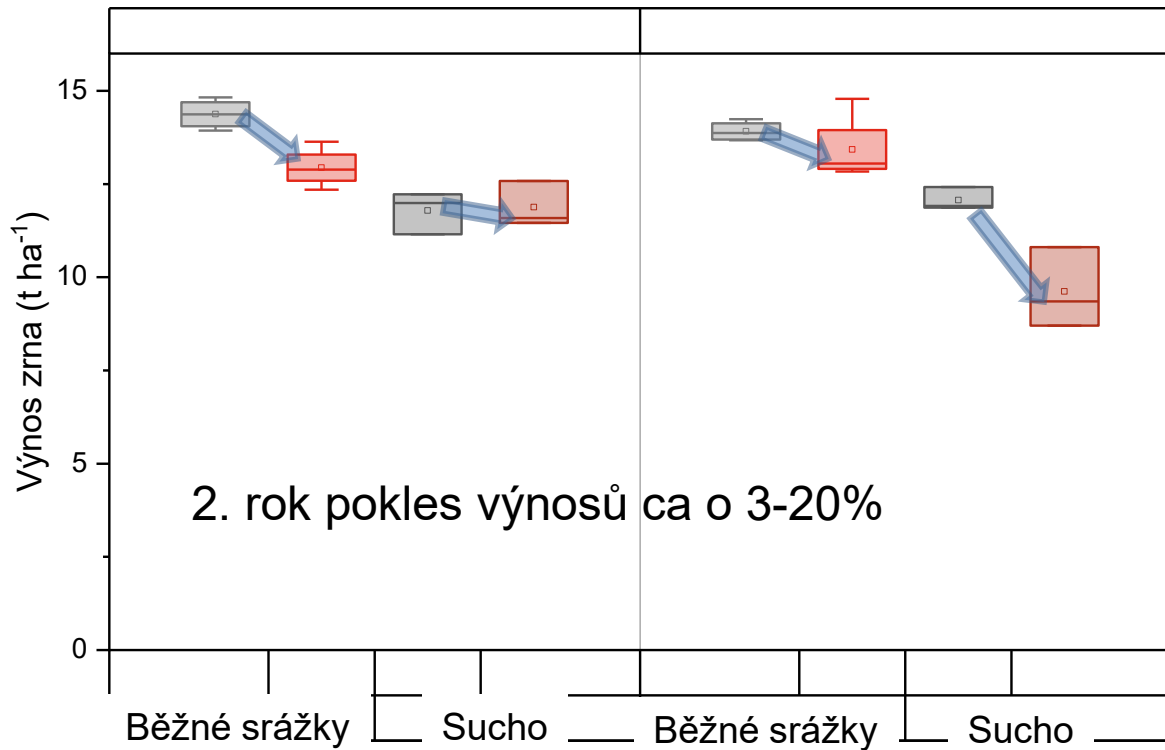


# Výnosy v přechodném období?

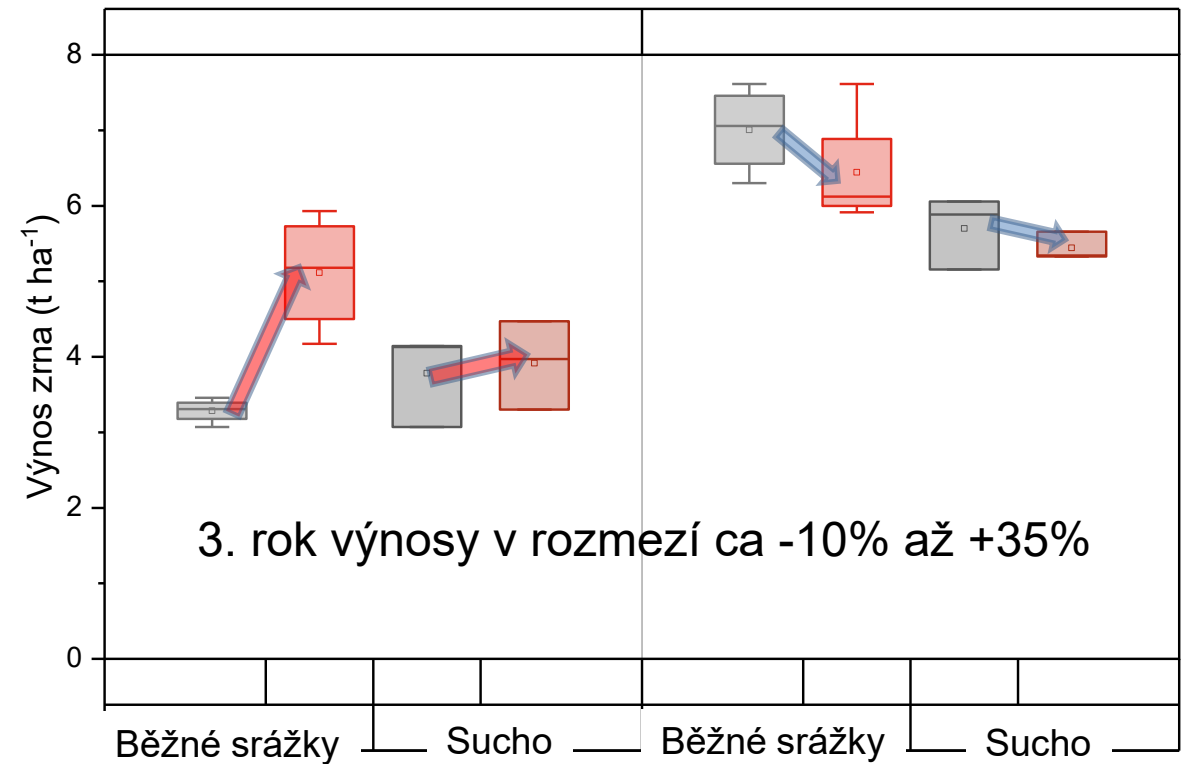


1. rok pokles výnosů o 20-35% (vliv hrabošů)

*Kukuřice na zrno 2021*

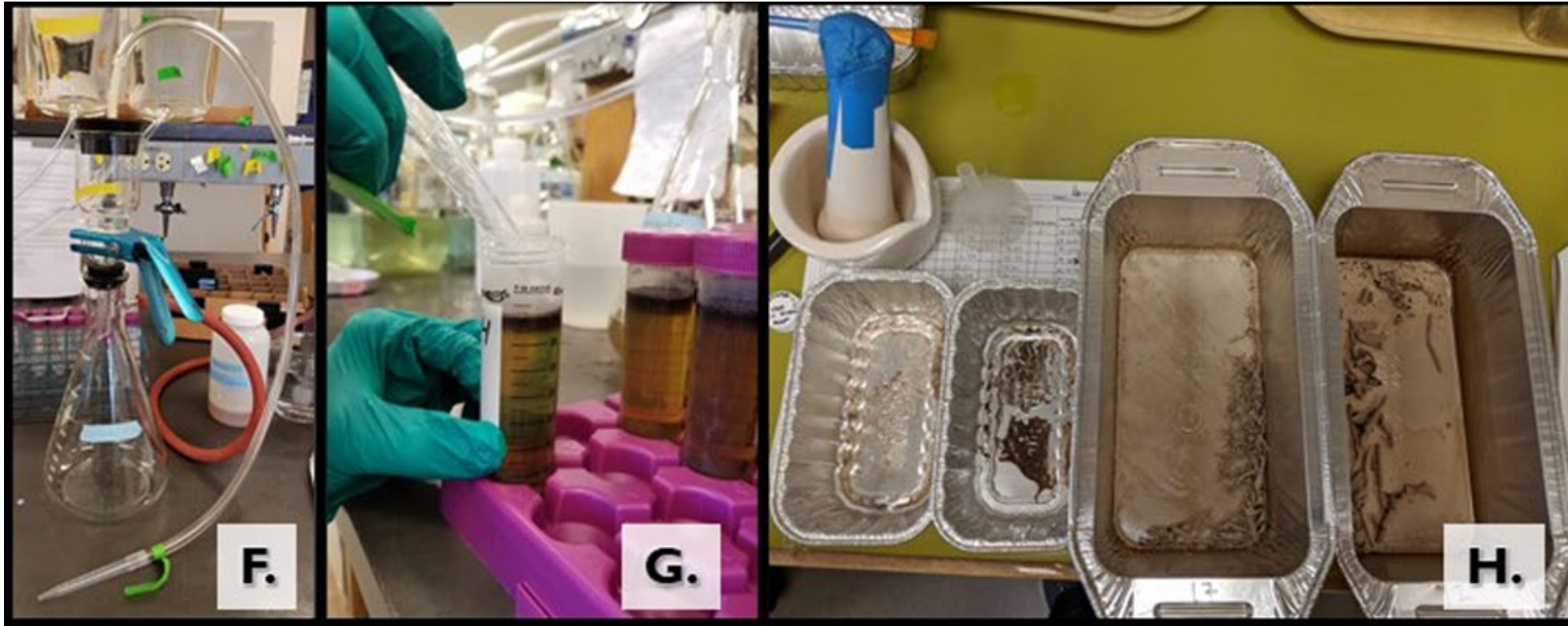


*Jarní triticeale (+ bob) 2022*



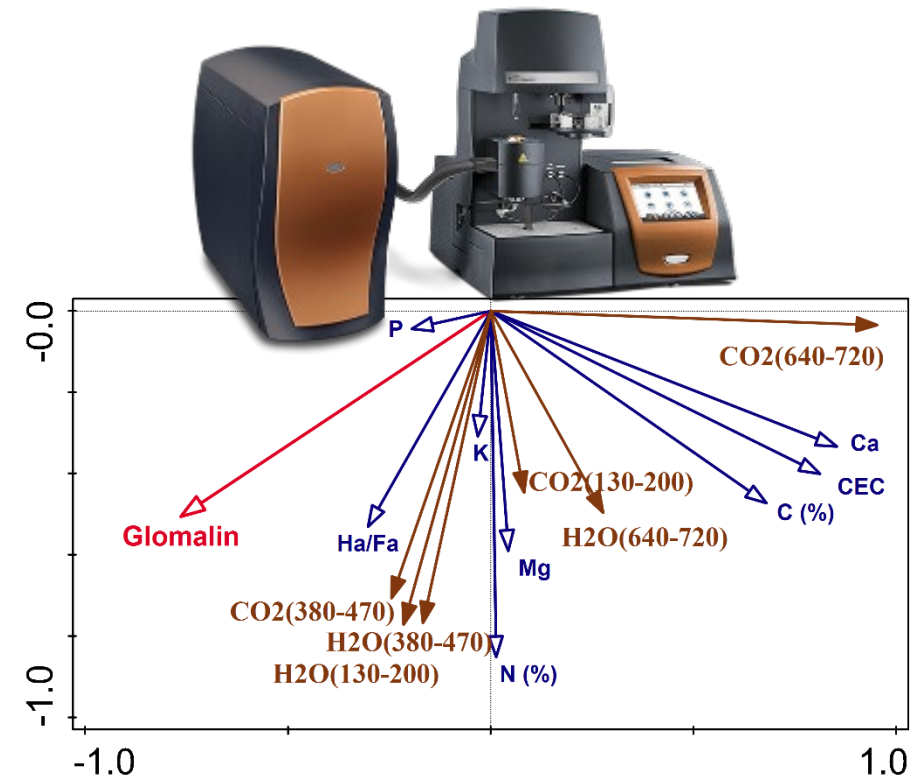
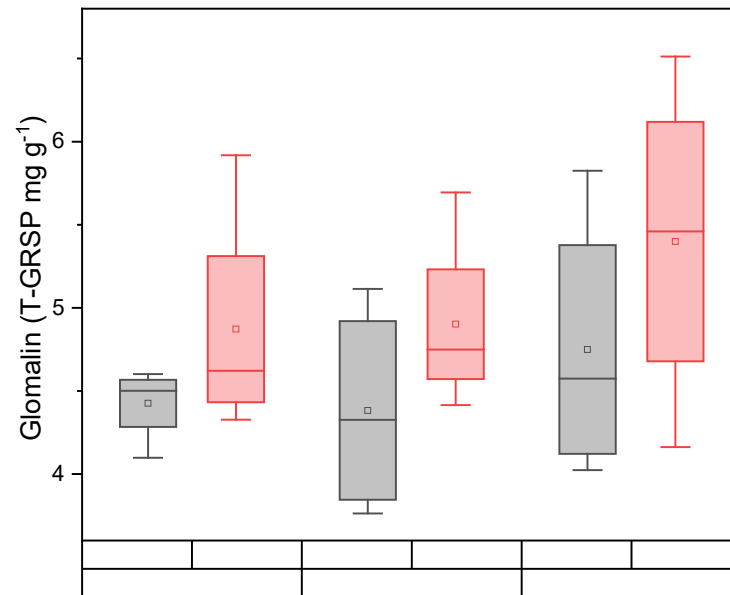
## ***Stanovení frakcí MAOM a POM v půdě***

- G) Roztok polywolframamanu sodného (1.85 g/ml) je určen k oddělení lehké frakce***  
***F) Lehká frakce POM je oddělována odsáváním vakuovou pumpou***  
***H) Zbývající sediment je separován mokrým proséváním (<53  $\mu\text{m}$  – prach a jíl) a vysušen pro následné stanovení TOC***



# Další perspektivní metody pro monitoring a certifikaci ukládání uhlíku

- a) Spektrální odrazivost půdy kombinovaná s elektromagnetickou vodivostí
- b) Stanovení glomalinu (spektrofotometricky – Bradfordova reakce)
- c) Termogravimetrická analýza s hmotnostní spektrometrií (TGA/MS) nebo TGA s diferenční kalorimetrií (TGA/DSG)





***Děkuji za pozornost***