

Kulkeutuminen biosfäärissä

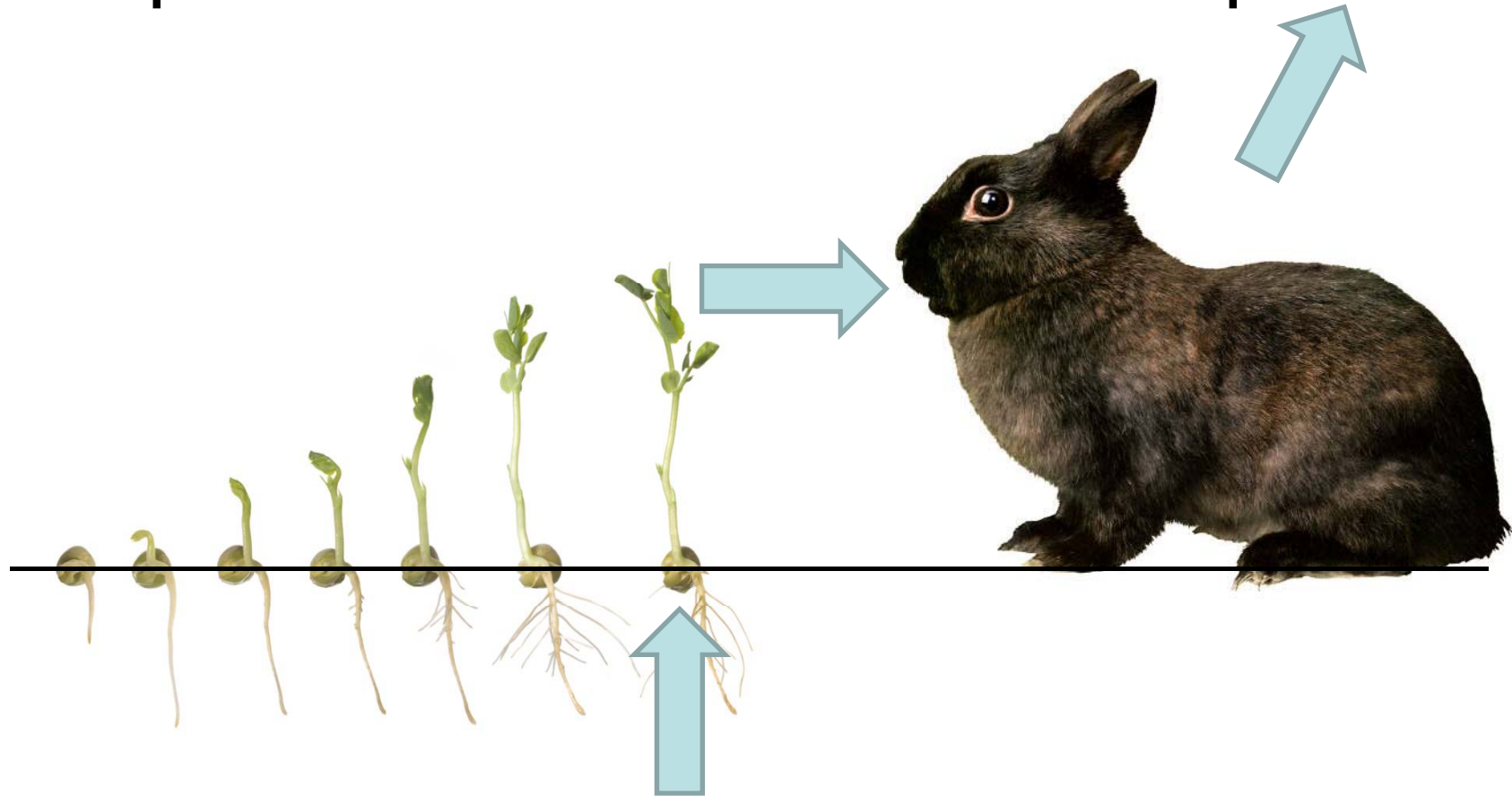
Jukka Juutilainen

18.3.2011



ITÄ-SUOMEN
YLIOPISTO

Radioekologiaa loppusijoituksen näkökulmasta: radionuklidien siirtyminen maaperästä kasveihin on tärkeä prosessi



Siirtokerroin

- Radioekologisessa mallinnuksessa siirtymistä kuvataan yleisesti siirtokertoimella eli pitoisuussuhteella mallin eri osien (esim. maaperä, kasvi) välillä (CR=concentration ratio; TF=transfer factor)
- Siirtokertoimeen liittyy tyypillisesti suurta vaihtelua
- Vaihtelua lisäävät monet tekijät, kuten maaperän ominaisuudet ja kyseisen radionuklidin spesiaatio eli kemiallinen olomuoto.

Lineaarisuusoletus

- Siirtokertoimeen liittyy lineaarisuusoletus, jonka mukaan kasvin pitoisuus kasvaa lineaarisesti maaperäpitoisuuden kasvaessa (funktion kuvaaja kulkee origon kautta) ja siirtokerroin on vakio kaikissa maaperäpitoisuuksissa.
- Lineaarisuusoletuksen kritiikkiä on esitetty jo usean vuosikymmenen ajan. Siirtokerrointa käytetään kuitenkin yleisesti, sillä näin malleista saadaan yksinkertaisia

Kasveille välttämättömät ja ei-välttämättömät alkuaineet

- On esitetty ajatus, että lineaarisuusoletus pitäisi paikkansa vain ei-välttämättömillä alkuaineilla
- Välttämättömiä alkuaineita kasvit ottavat pienissä maaperäpitoisuuksissa tehokkaammin kuin suurissa maaperäpitoisuuksissa → lineaarisuusoletus ei toteudu

Tutkimuksen tarkoitus

- Ydinjätteen radionuklidien siirtokerrointen tarkastelu etenkin metsäekosysteemissä ja Suomen oloissa on ollut vähäistä.
- Hankkeen tavoitteet:
 - Tutkia loppusijoituksen kannalta tärkeiden alkuaineiden kulkeutumista maaperän ja kasvien välisissä prosesseissa.
 - Empiirisen tiedon valossa tarkentaa suomalaiseseen metsäekosysteemiin soveltuvaa radioekologista mallintamista ja sen käyttöä loppusijoituksen mahdollisten riskien arvioinnissa.

Aineiston keräys

- Kasvi- ja maaperänäytteet (550 kpl) kerättiin kahdelta uraniesiintymältä Itä-Suomesta (Kuopio ja Nilsiä) kesällä 2007.
- Lisäksi kerättiin liero- ja maakiitäjäisnäytteitä vuosina 2007-2008.
- Maaperänäytteet kerättiin 100 mm syvyydeltä.

Kasvinäytteet

- Kasvilajit:
 - pihlaja
 - kuusi
 - metsäalvejuuri
 - oravanmarja
 - mustikka
- Kenttäkerroksen kasvien osat
 - juuri, varsi, lehti
- Puiden kasvinosat
 - hienojuuri, juuri, lehti/neulanen



Metsäalvejuuri keräyspaikalla

Analyysit

- Alkuainepitoisuudet määritettiin ICP-MS – menetelmällä HNO_3 -hajotuksen jälkeen (EPA 3051).
 - 34 alkuainetta analysoitiin. Siirtymistä kasveihin tutkittiin: **Co, Mo, Ni, Pb, U ja Zn**
- Maaperän helppoliukoinen pitoisuus määritettiin NH_4Ac -uutolla (pH 5).
- Maaperänäytteistä määritettiin myös
 - pH
 - orgaanisen aineksen osuus
 - partikkelikokojakauma.

Siirtokerroin

Siirtokertoimet (CR) laskettiin pitoisuuksista kuivapainoa kohti.

$$CR = C_{\text{kasvi}}/C_{\text{maaperä}}$$

Maaperän pitoisuuksina käytettiin

1. kokonaispitoisuuksia
2. helppoliukoisia pitoisuuksia

Havaitut siirtokertoimet

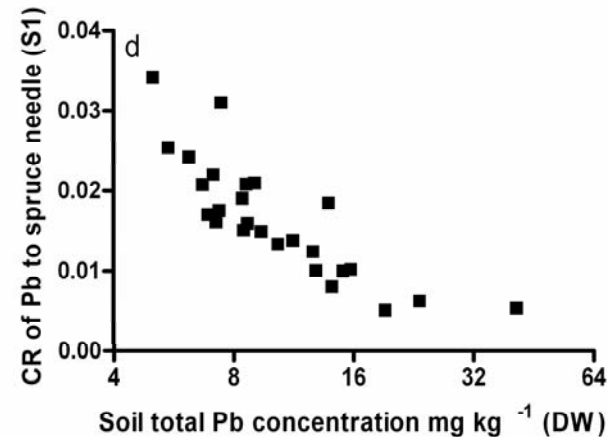
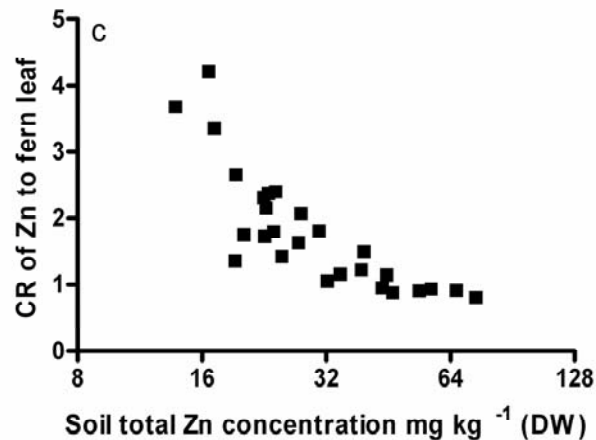
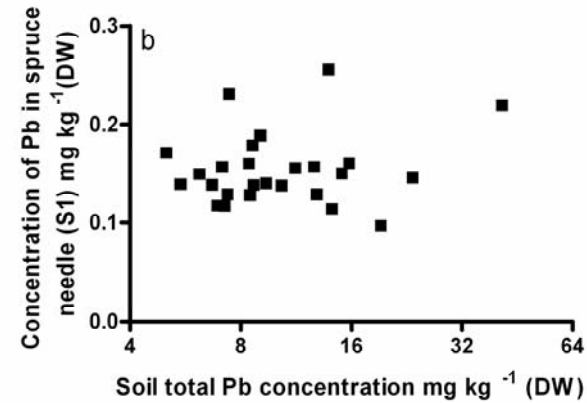
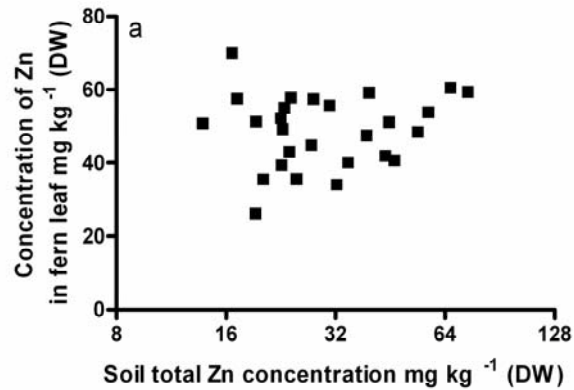
Eliö	Co	Mo	Ni	Pb	U
lehti, aluskasvillisuus	0.04 (2.48)	0.17 (3.66)	0.30 (1.68)	0.01 (2.43)	0.005 (3.18)
juuri, aluskasvillisuus	0.19 (3.04)	0.33 (3.23)	0.63 (1.82)	0.14 (2.18)	0.06 (3.49)
lehti/neulanen, puut	0.05 (2.11)	0.07 (4.49)	0.28 (2.44)	0.01 (2.09)	0.004 (3.77)
hienijuuri, puut	0.64 (2.94)	0.43 (2.88)	0.77 (1.87)	0.54 (2.35)	0.27 (4.27)
liero	0.85 (1.83)	0.49 (2.59)	0.26 (2.11)	0.24 (3.74)	0.52 (4.59)
maakiitäjäinen	0.03 (1.65)	0.69 (3.55)	0.05 (1.49)	0.008(1.66)	0.005 (1.93)

Koboltin, lyijyn, molybdeenin, nikkelin ja uraanin siirtokertoimet aluskasvillisuuteen (n=69), puihin (n=70), lieroihin (n=11) ja maakiitäjäisiin (n=29). Taulukossa esitetään maaperän kokonaispitoisuuteen perustuvien kerrointen geometrinen keskiarvo ja keskihajonta.

Huomioita siirtokertoimista

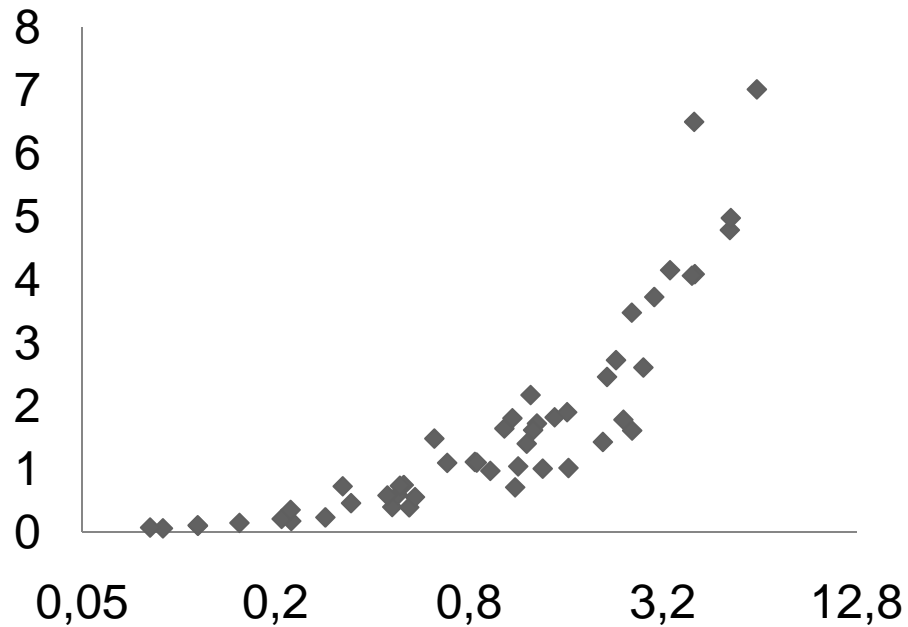
- Siirtokertoimet maaperästä juuriin olivat suurempia kuin muihin kasvin osiin → eri siirtokerroin
- Vaihtelu oli suurta. Lajien välillä ei ollut suurempaa vaihtelua kuin lajien sisällä → sama siirtokerroin käyttökelpoinen eri lajeille
- Lierojen ja juurten siirtokertoimet samaa suuruusluokkaa; samoin maakiitäjäisten ja lehtien.
- Maaperän fosforipitoisuus oli tärkein siirtokertoimiin vaikuttava ravinne.
- Monessa tapauksessa havaitut siirtokertoimet poikkesivat nykyään malleissa käytetyistä

Pitoisuuksien ja siirtokerrointen hajontakuviot välttämättämälle (Zn) ja ei-välttämättömälle (Pb) alkuaineelle

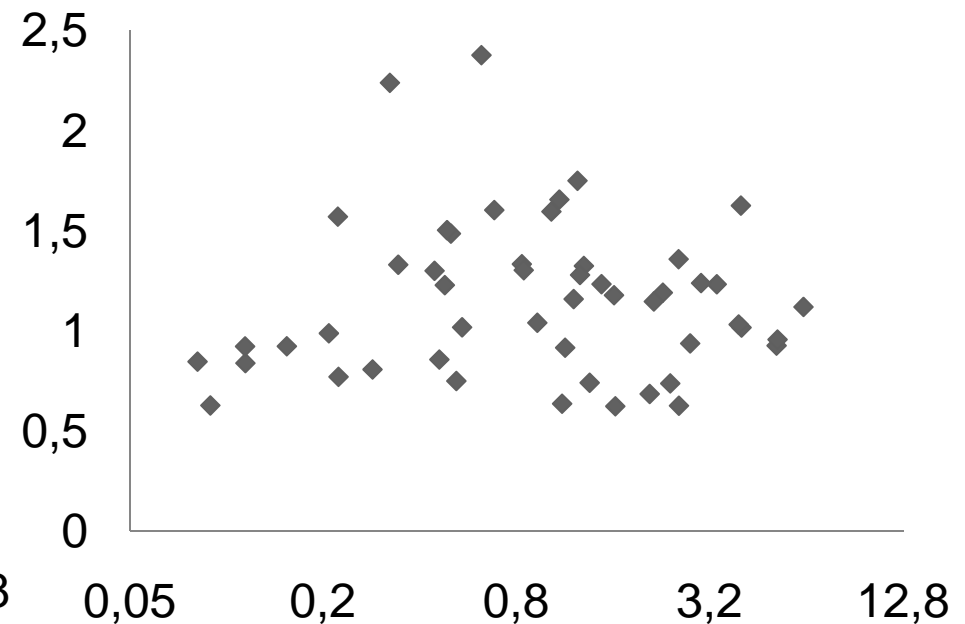


Simulaatio: miltä hajontakuvioiden pitäisi näyttää, jos lineaarisuusoletus pätee?

1. Kasvin pitoisuus maaperän pitoisuuden funktiona



2. Siirtokerroin maaperän pitoisuuden funktiona



Pitäisikö siirtymisen olla lineaarinen?

Kasveihin otton epälineaarisuus on tunnettu ja tunnustettu asia muilla tieteen aloilla

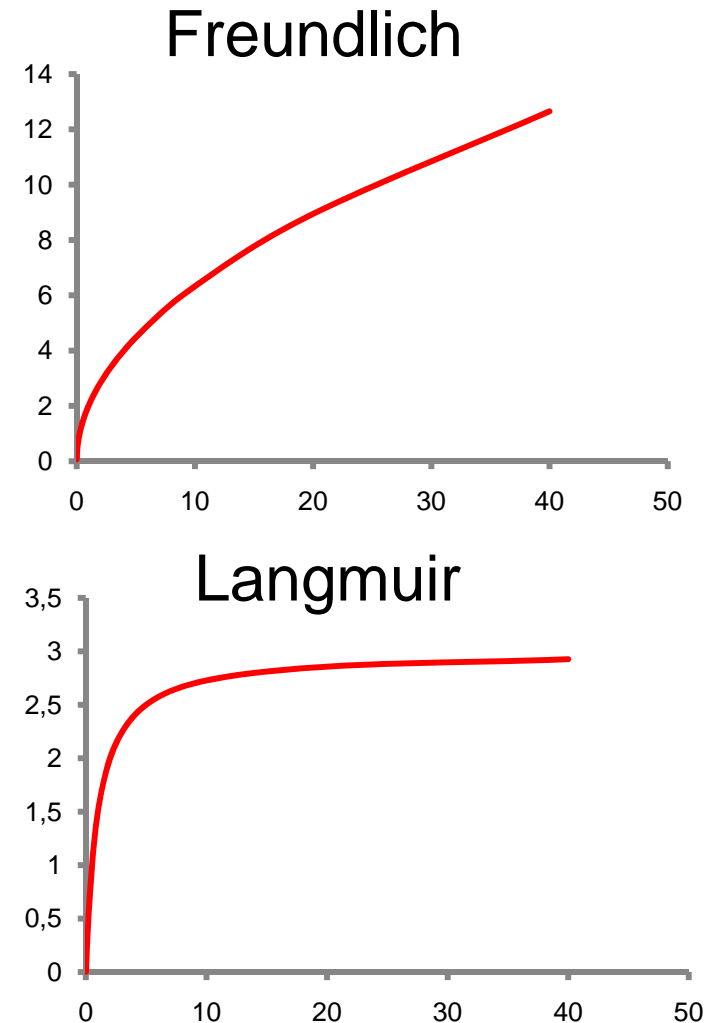
- Ravinteiden otto
- Raskasmetallien otto

Näillä aloilla kasveihin ottoa on kuvattu

- Freundlichin yhtälöllä
 $C_p = aC_s^b$
- Langmuirin yhtälöllä
 $C_p = abC_s/(1 + bC_s)$

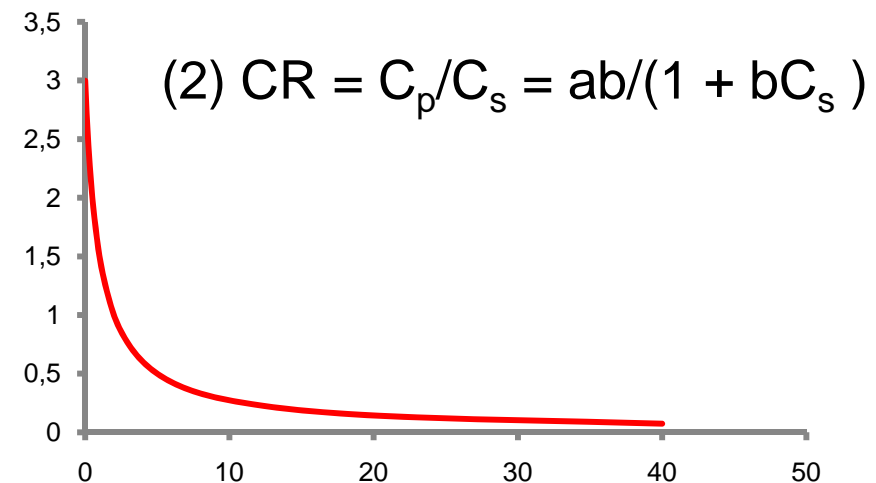
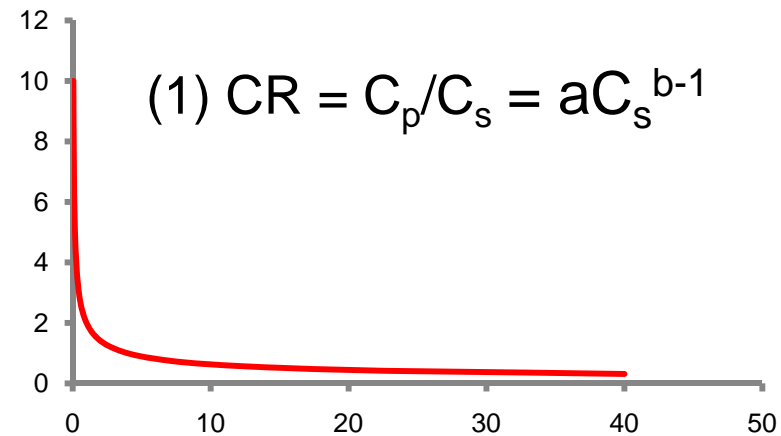
C_p = pitoisuus kasvissa;

C_s = pitoisuus maassa



Siirtokerroin maaperän pitoisuuden funktiona

Freundlichin (1) ja
Langmuirin (2)
yhtälöistä johdettuna
siirtokertoimen
riippuvuus maaperän
pitoisuudesta:



Käytetty yhtälö

$$CR = C_p/C_s = a/(1+bC_s)+c,$$

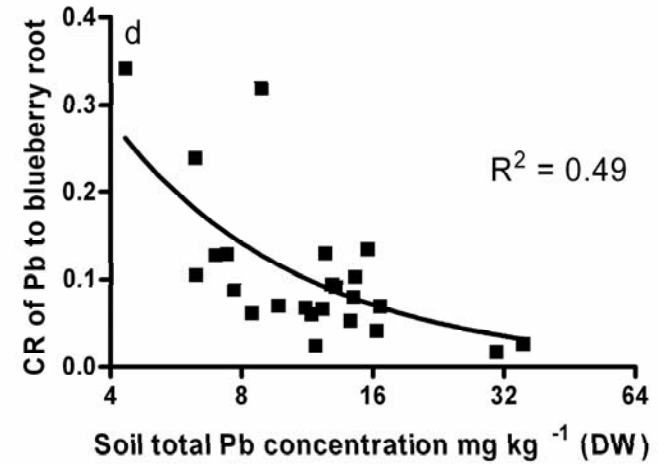
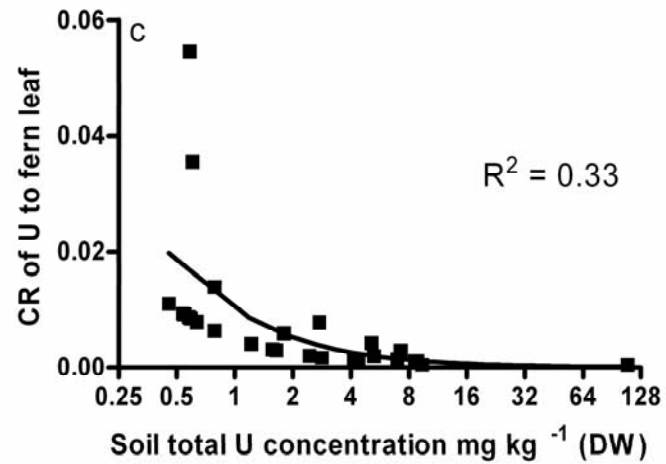
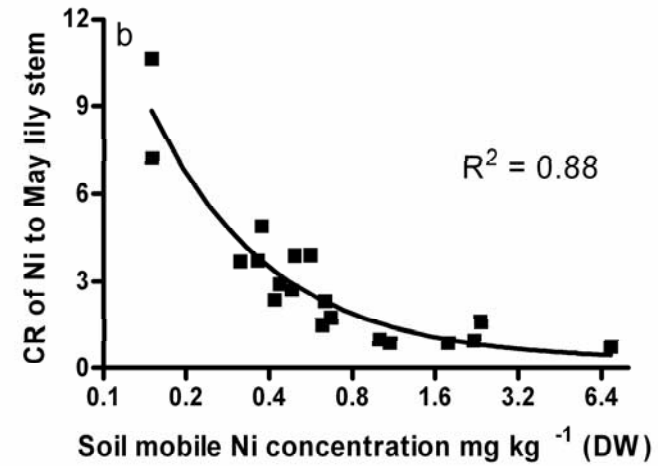
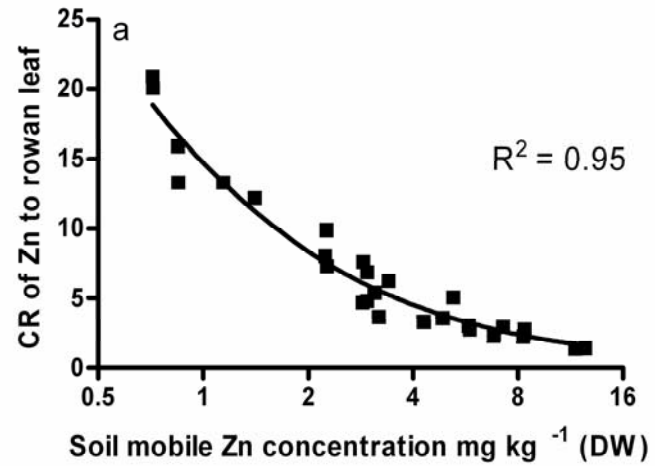
Johdettu Langmuirin yhtälöstä lisäämällä siihen vakiotermi c , joka mahdollistaa kasvin pitoisuuden vähittäisen nousun myös suurilla pitoisuuksilla.

a = y-akselin leikkauspiste

c = arvo, jota funktio lähenee suurilla pitoisuuksilla

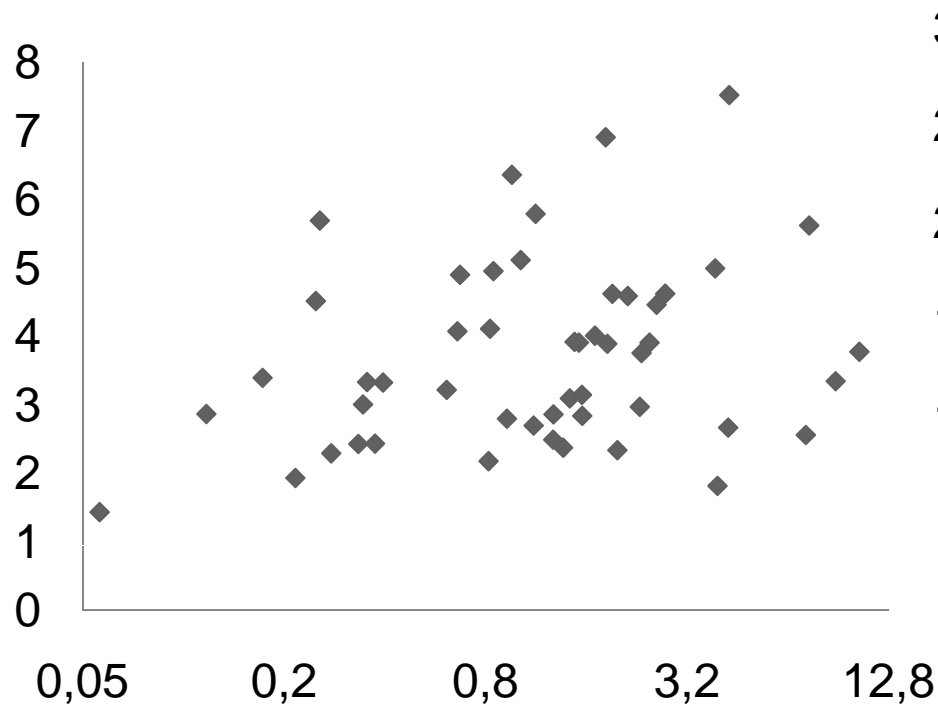
b määrää käyrän muotoa

Epälineaarinen sovitus

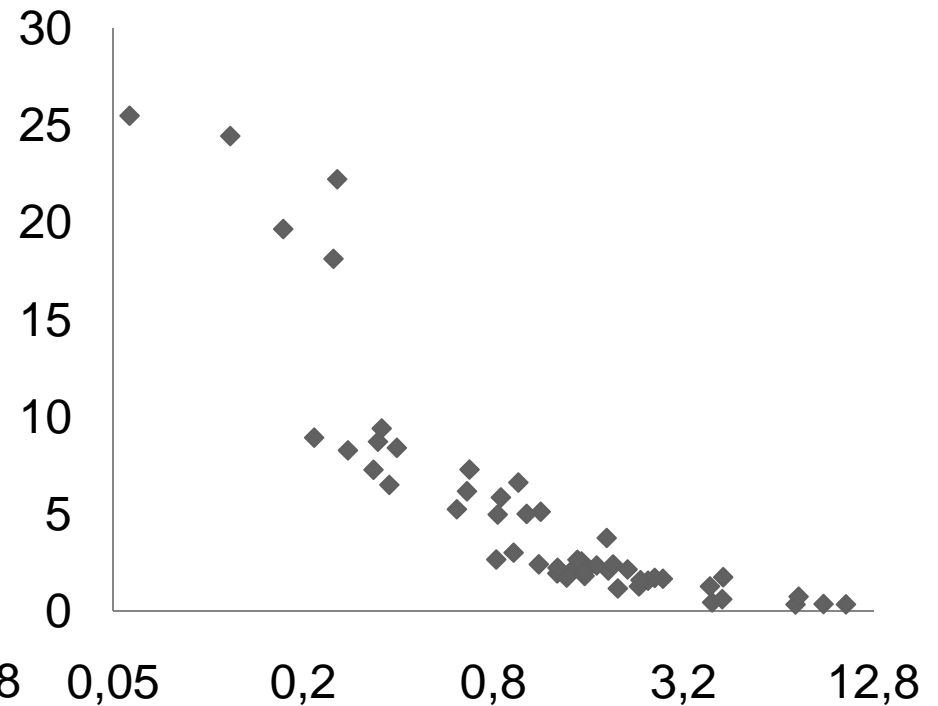


Simulaatio: oletetaan kasvin pitoisuuden määräytyvän Langmuirin yhtälön mukaan, lisäksi satunnaisvaihtelua

1. Kasvin pitoisuus maaperän pitoisuuden funktiona



2. Siirtokerroin maaperän pitoisuuden funktiona



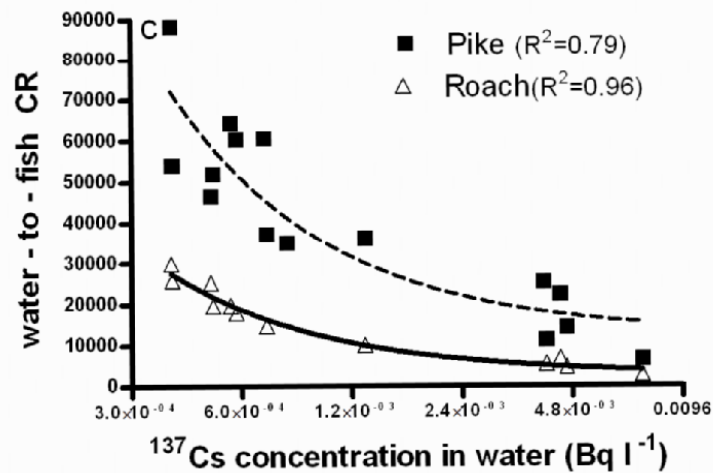
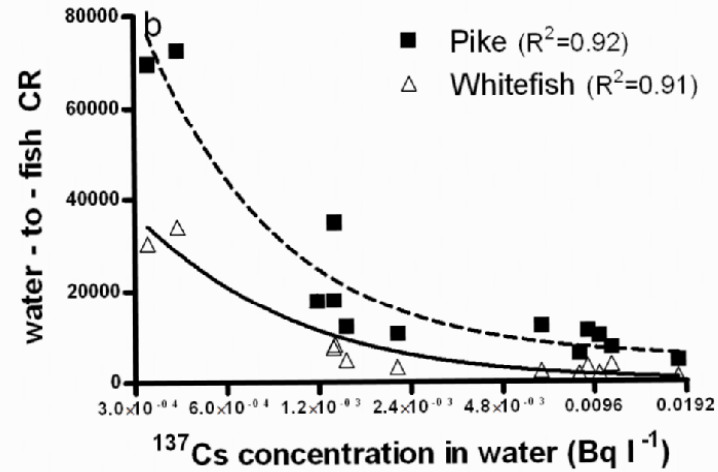
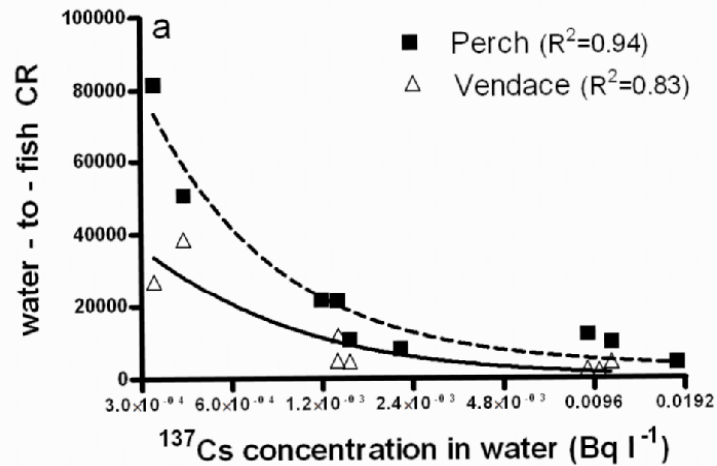
Huomioita lineaarisuudesta

- Siirtokertoimet pienenevät maaperäpitoisuuden kasvaessa kaikissa lajeissa ja kasvinosissa.
- Trendi oli sama sekä kasveille välttämättömillä että ei-välttämättömillä alkuaineilla.
- Epälineaarisen yhtälön sovitusaste (R^2) vaihteli $7.4 \cdot 10^{-8}$ – 0.98 (eri kasvit, kasvinosat, alkuaineet).
- Lineaarisen sovituksen (vakio siirtokerroin) R^2 -arvot olivat kaikissa tapauksissa pienemmät ja alle $5.5 \cdot 10^{-16}$

Lineaarisuus vesiekosysteemissä?

- Aineisto: ^{137}Cs -pitoisuudet kahdessa Lapin järvessä (Inarijärvi ja Apukka) ja niiden kaloissa vuosina 1986-2005.
- Korkeimmat veden ja kalojen ^{137}Cs -pitoisuudet heti vuoden 1986 jälkeen (Tsernobyli)
- Kalalajit
 - Ei-petokalat: muikku, särki ja siika
 - Petokalat: hauki, ahven

Siirtyminen vedestä kalaan



Huomioita kalatuloksista

- ^{137}Cs siirtyminen vedestä kalaan on epälineaarista, kuten maaperästä kasveihinkin.
- ^{137}Cs siirtymisessä vedestä planktonia, pohjaeläimiä ja sekaruokaa syöviin lajeihin ei ollut eroa → voidaan käyttää yhteistä siirtokerrointa.
- Ei-petokalasta petokalaan ^{137}Cs siirtyminen noudatti lineaarisuusoletusta, siirtokerroin noin 3

Johtopäätökset

- Malleissa käytettäviä siirtokertoimien arvoja on tarkasteltava kriittisesti
- Siirtyminen maaperästä ja vedestä epälineaarista (vain kasveihin ja planktoniin?)
- Epälineaarisuuden huomioon ottaminen voi olla tarpeellista, sillä
 - Mallinnettavassa tilanteessa ollaan epälineaarilla alueella (alkuaineen kokonaispitoisuus ja radionuklidin aiheuttama lisäys ovat pieniä)
 - Osa empiirisesti määritettyjen siirtokerrointen suuresta vaihtelusta voi olla systemaattista vaihtelua maaperäpitoisuuden funktiona → epälineaarisuuden huomioon ottaminen voisi tarkentaa mallinnusta
- .

Tutkimusryhmä

Jukka Juutilainen, prof.

Toini Holopainen, prof.

Mikko Kolehmainen, prof.

Sari Makkonen, FT

Päivi Roivainen, FM

Tiina Boman, FM

Chutarat Saengkul, MSc

Yhteistyö:

STUK (Dina Solatie, Jarkko Ylipieti)

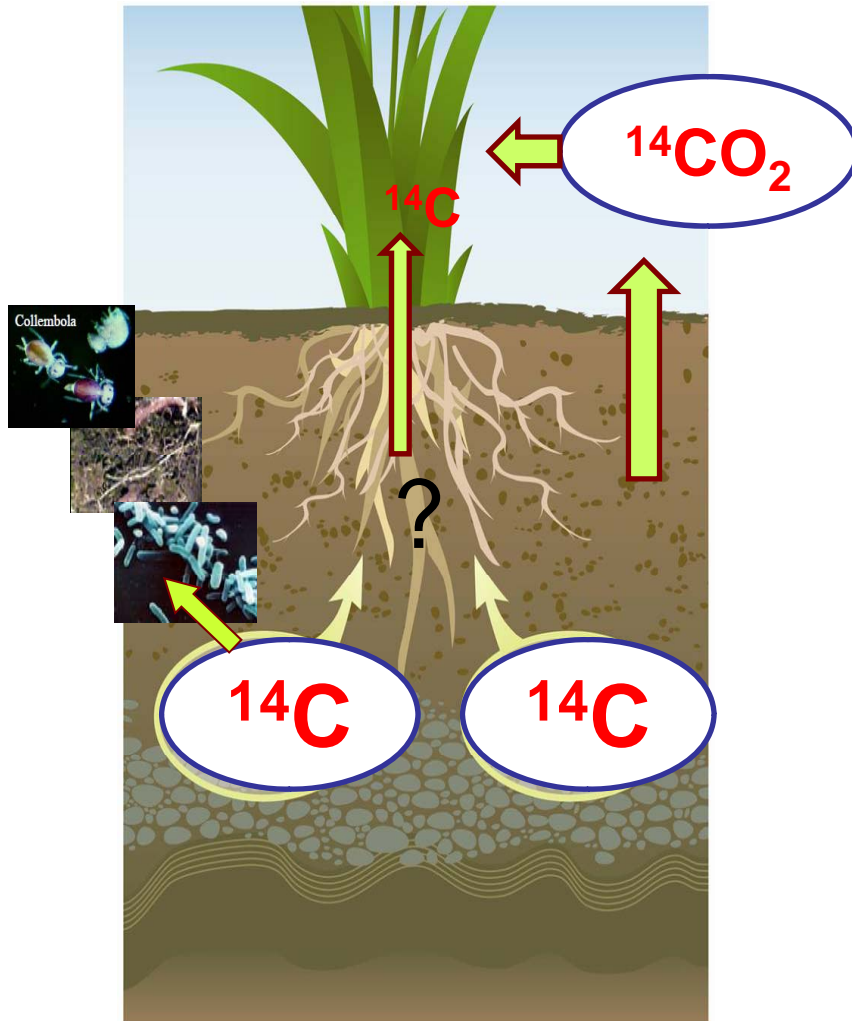


KYT
2010

FATE OF RADIONUCLIDE ^{14}C IN SOIL-PLANT-ATMOSPHERE CONTINUUM

Christina Biasi, Pertti Martikainen, Jukka Juutilainen, Mpamah Promise,
Tatiana Trubnikova, Anne Kasurinen, et al.

University of Eastern Finland, 18.03.2011



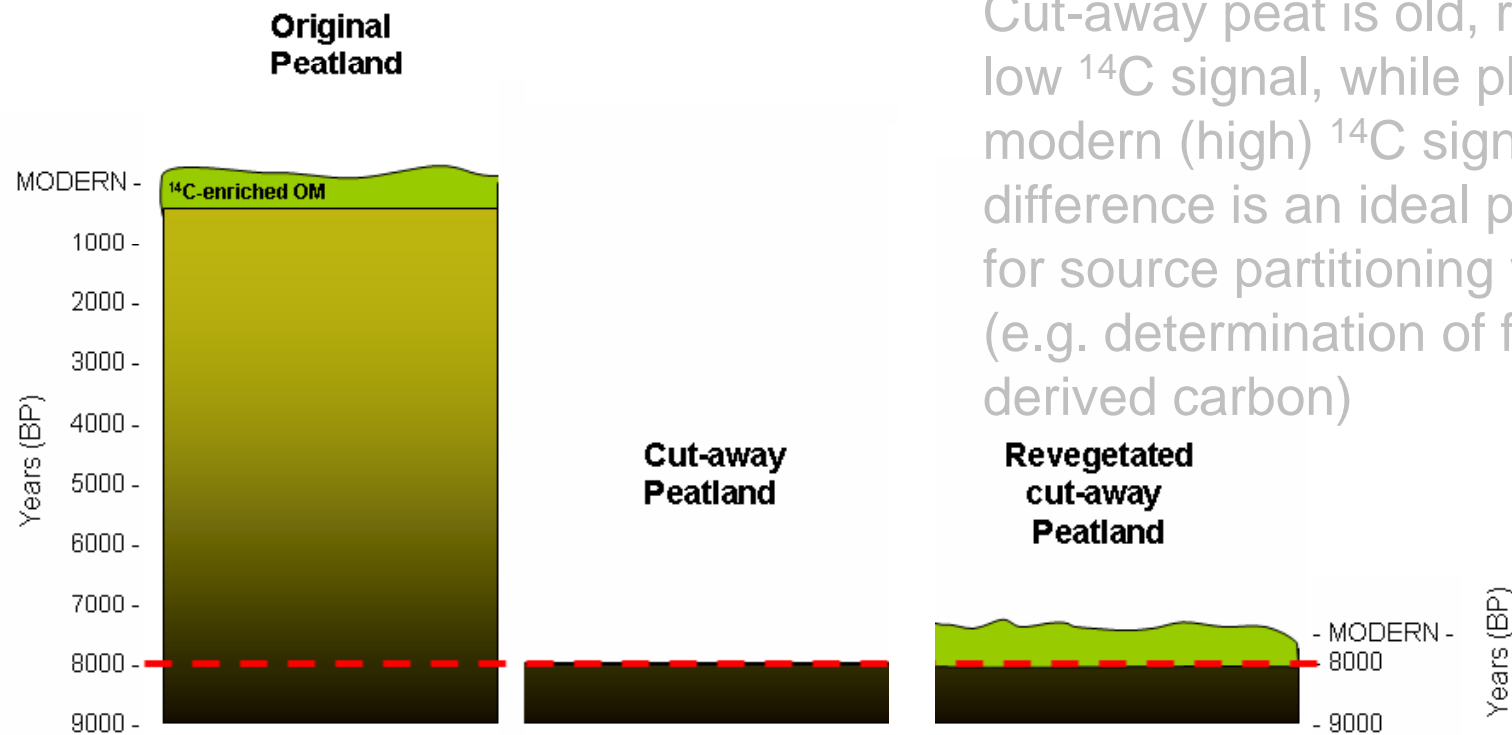
Fate of ^{14}C from soils:

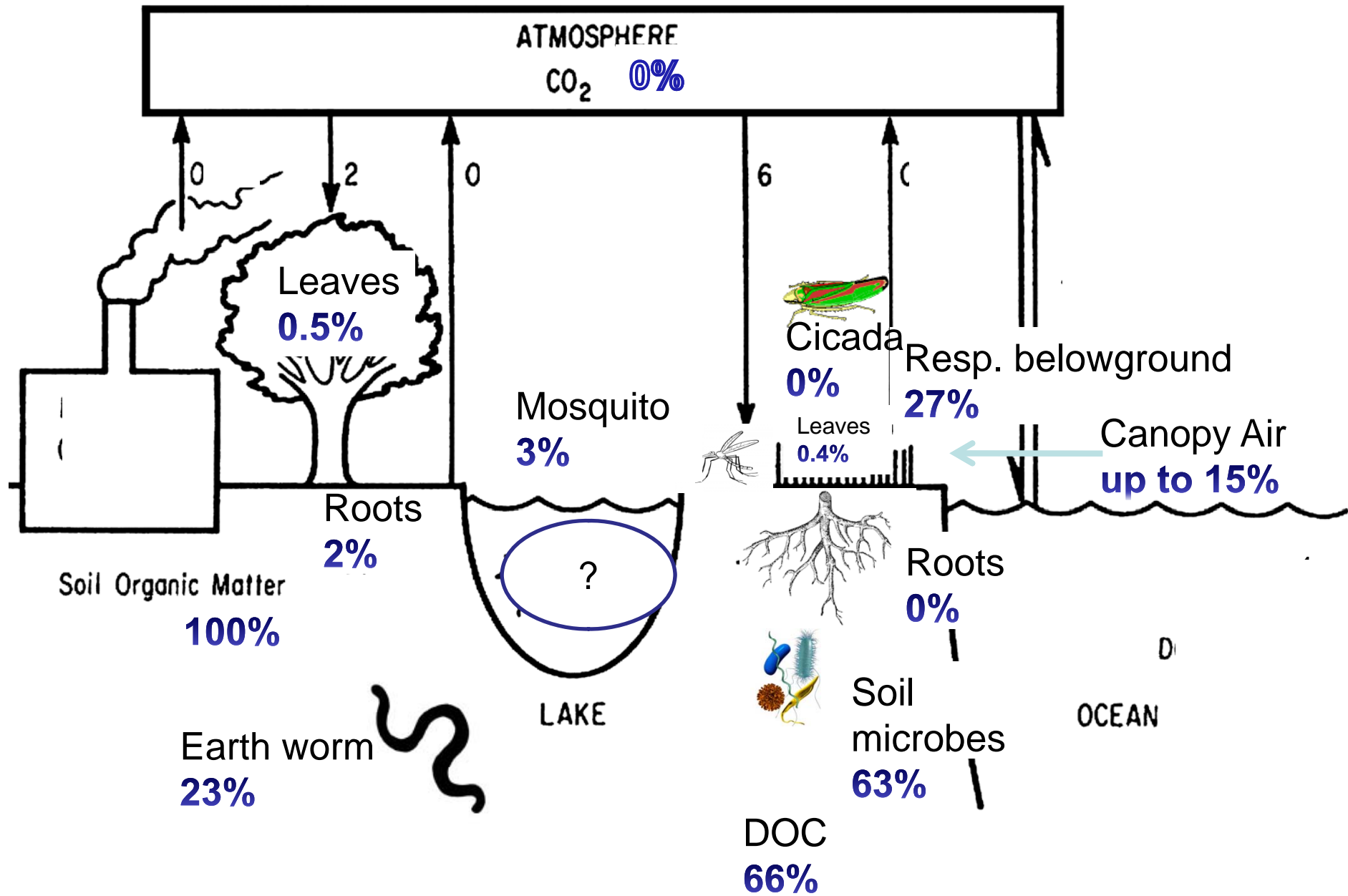
Three major research questions:

- 1) How much of ^{14}C is lost to the atmosphere?
- 2) How much of ^{14}C which is released from soils is taken up by the plants (direct uptake and/or indirect)?
- 3) Is ^{14}C incorporated into the soil fauna?

Experimental approach:

Unique difference in isotope (^{14}C) signal between soils and plants in cultivated cut-away peatlands





Percent soil carbon (%) incorporated into individual ecosystem components in cultivated cut-away peatland. Single arrows indicate CO₂ fluxes.