

Univerza
v Ljubljani

Biotehniška
fakulteta
Oddelek za agronomijo



**Katedra za pedologijo
in varstvo okolja**
Jamnikarjeva 101
1000 Ljubljana

Tel.: 01 320 32 04
Fax: 01 423 10 88
Davčna št.: 94761795
Matična št.: 1626914

Marjetka SUHADOLC
e_mail: marjetka.suhadolc@bf.uni-lj.si
<http://www.bf.uni-lj.si/>

Datum: 28. september 2021
Datoteka: V4-2022-Izroček DS1 Obdelava tal,
vezava C v tla in emisije TGP

PREGLED SISTEMOV OBDELAVE TAL V FUNKCIJI ZMANJŠEVANJA EMISIJ TGP IN POVEČANE VEZAVE C V TLA

Poročilo projekta (DS1 – 2, CRP V4-2022)

Avtorji:

Marjetka Suhadolc, izr. prof. dr., univ. dipl. ing. agr.

Anton Govednik, mag. biotehnol.

Rok Mihelič, doc. dr., univ. dipl. ing. agr.

Ljubljana, september 2021

Kazalo

1 UVOD	2
2 SISTEMI OBDELAVE TAL	3
3 UČINKI ZMANJŠANE INTENZITETE OBDELAVE TAL NA VEZAVO C V TLA	6
4 UČINKI ZMANJŠANE INTENZITETE OBDELAVE TAL NA EMISIJE TGP	6
4 ZAKLJUČEK	8
5 LITERATURA	9

1 UVOD

Obdelava tal stremi k ustvarjanju optimalnih pogojev za kalitev ter rast rastlin. Ne glede na način obdelave želimo obvladovati razrast plevelov, ustvariti za rast primerne razmere v tleh ter poskrbeti za rastlinske ostanke na in v tleh. Pri konvencionalni obdelavi tal, t. j. pri klasičnem oranju, v prvem delu s plugom tla obrnemo ter plevela in rastlinske ostanke zadelamo v tla, v drugem delu pa z brananjem razbijemo večje grude, ki so nastale zaradi oranja in tako ustvarimo primerno setveno posteljico. Ornica, ki nastane, je homogen, fino strukturiran horizont.

Vendar pa s konvencionalnim oranjem povečamo ranljivost tal za erozijo ter zbitost tal, omeniti je potrebno tudi velike energetske vložke za mehanske operacije obdelave. Za blaženje omenjenih negativnih učinkov in ohranjanje vsebnosti organske snovi tal se v zadnjih desetletjih spodbuja manj intenzivne prakse obdelave tal (t.i. minimalna ali ohranitvena obdelava tal) in direktna setev oz. *no-till* (odsotnost mehanskih motenj tal).

Ker v literaturi opredelitve različnih sistemov obdelave tal niso dosledne, v tem pregledu uporabljamo naslednjo terminologijo: sisteme obdelave tal na najvišji ravni razvrstimo bodisi v sisteme „**brez obdelave**“ (direktna setev oz. *no-till*) bodisi sisteme »**z obdelavo tal**“ (Preglednica 1). Sisteme z obdelavo tal nadalje razvrščamo v sistem brez obračanja tal (*non-inversion tillage*) in z obračanjem tal (*inversion tillage*), v katerega spada konvencionalno oranje. Med sisteme brez obračanja tal (*non-inversion tillage*) uvrščamo minimalno in ohranitveno obdelavo tal. Za minimalno obdelavo je značilna manj pogosta, plitva obdelava (v splošnem 0-10 cm) brez obračanja tal. Za ohranitveno obdelavo tal pa morata biti izpolnjena še naslednja pogoja: po obdelavi tal ostane vsaj 30 % površine tal pokrite z rastlinskimi ostanki ter pester kolobar. Med sisteme zmanjšane intenzivnosti obdelave tal uvrščamo tako nično obdelavo (direktno setev) kot tudi vse sisteme obdelave tal brez obračanja.

Preglednica 1: Razvrščanje sistemov obdelave tal glede na intenzivnost

Sistem brez obdelave tal	Sistemi z obdelavo tal	
direktna setev oz. <i>no-till</i>	Brez obračanja tal (<i>non-inversion tillage</i>)	Z obračanjem tal (<i>inversion tillage</i>)
	• minimalna obdelava • ohranitvena obdelava	oranje s plugom

Pomembno je omeniti, da je konvencionalno oranje še vedno najpogostejše uporabljen sistem obdelave tal v EU, zato bi prehod iz konvencionalnega na manj intenzivne sisteme obdelave tal lahko imel pomemben potencial za blaženje podnebnih sprememb v EU preko povečane vezave C v tla.

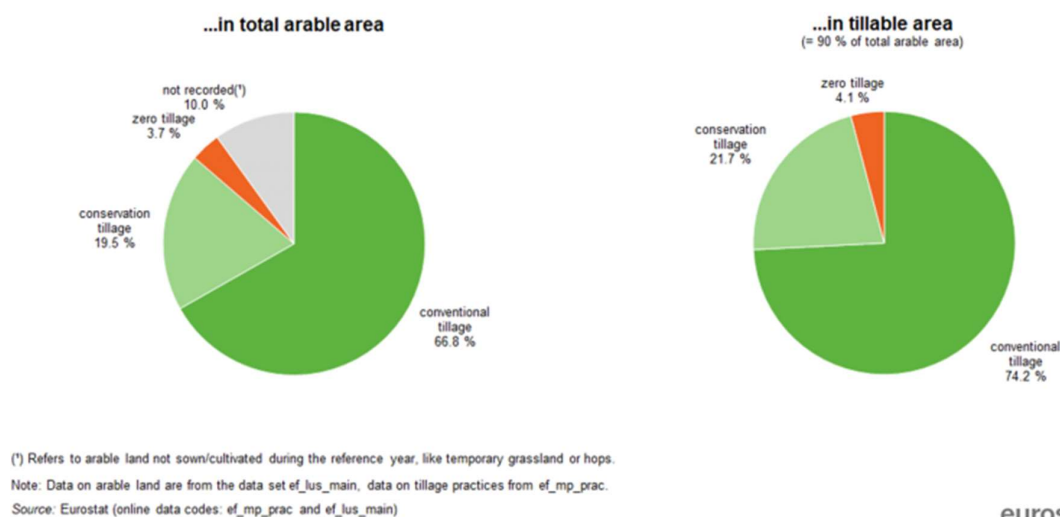
Pregled literature kaže na večinoma ugodne učinke zmanjšane intenzivnosti obdelave tal na vsebnost organskega ogljika (C_{org}) v tleh, vendar ostaja vprašanje: **Kakšni so učinki različne intenzitete obdelave tal na vsebnost C_{org} in kakšni so v tem primeru kompromisi pri emisijah toplogrednih plinov (TGP)?** Zato se v tem poročilu osredotočamo zlasti na študije, ki hkrati ocenjujejo vpliv obdelave tal na vsebnost C_{org} in emisije TGP.

2 SISTEMI OBDELAVE TAL

Znano je, da način obdelave tal na dolgi rok značilno vpliva na kakovost tal (M. Abdalla in sod., 2013; Kaurin in sod., 2015; Lagnoul in sod., 2017; Six in sod., 1999). Ohranitveni načini obdelave tal namreč zmanjšujejo posege v talni ekosistem, kar zmanjša oksidacijo organskih snovi in poveča vsebnosti stabilne organske snovi zgornjega sloja tal v primerjavi s konvencionalnim oranjem. Posledično sta večji obstojnost strukturnih agregatov in infiltracija vode, kar preprečuje razpad strukturnih agregatov ob nalivih in s tem tudi odnašanje suspendiranih talnih delcev (Larsen in sod., 2014), zmanjšana erozija tal minimizira onesnaževanje in izgubo hranil. Ohranitveni načini obdelave tal z dopolnjujočimi praksami ohranitvenega kmetijstva (minimalni posegi v tla, minimalna pokritost tal 30 %, pester kolobar) nadalje povečujejo biološko aktivnost.

Konvencionalna obdelava tal je najbolj razširjena praksa obdelave tal v EU (Slika 1). Dve tretjini obdelovalnih površin je obdelanih na konvencionalen način (z oranjem), skoraj petina pa z zmanjšano intenziteto obdelave, direktna setev oz. nična obdelava tal (*no-till*) pa je redka.

Share of tillage practices in the EU-27, 2016

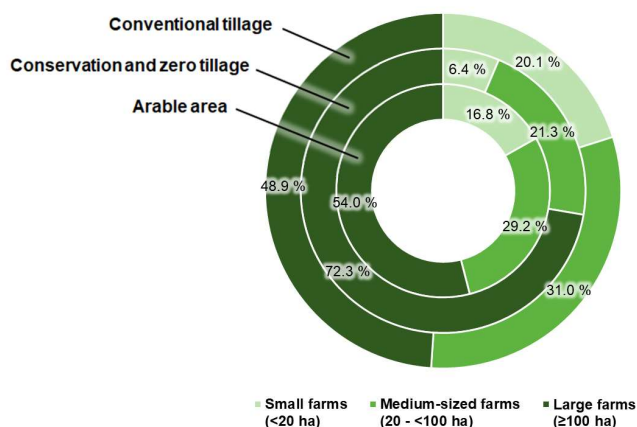


Slika 1: Delež glavnih sistemov obdelave tal v EU-27: konvencionalno oranje (*conventional tillage*), ohranitvena obdelava tal (*conservation tillage*), direktna setev oz. sistem brez obdelave tal (*no-till*) (Vir podatkov: Eurostat 2016)

Zdi se, da velikost posestva vpliva na sistem obdelave tal v EU-27 (Slika 2). Več kot polovica njiv (54,0 %) pripada velikim kmetijam (≥ 100 ha) in zanimivo je, da na teh kmetijah najdemo

sorazmerno večji delež površin z zmanjšano intenziteto obdelave tal (72,3 % vseh zemljišč v EU z zmanjšano intenziteto obdelave tal). Majhne kmetije (<20 ha), ki upravljajo s 16,8 % njiv, pa nekoliko večji delež površin obdelajo s plugom (20,1 % vseh oranih zemljišč v EU), in manjši delež z zmanjšano intenziteto obdelave (6,4 % vseh zemljišč z zmanjšano intenziteto obdelave tal). Na srednje velikih kmetijah, ki upravljajo 29,2 % obdelovalnih površin, prispevajo 31,0 % k vsem oranim površinam in 21,3 % k vsem površinam z zmanjšano intenziteto obdelave tal. Deleže glavnih sistemov obdelave tal v EU-27 in Veliki Britaniji prikazujemo na sliki 3.

Share of tillage practices by size of holding in the EU-27, 2016
(Size refers to the arable area of the holding)



Note: The following data of some countries and categories is not available or confidential and therefore not included: Bulgaria: 10-99.9 ha farms of 'zero tillage'; Denmark: <2 ha farms of 'zero tillage'; Germany: 0 ha farms of 'conservation tillage'; Ireland: 0 ha farms of all categories and 2-4.9 ha farms of 'zero tillage'; Cyprus: 10-19.9 ha farms of 'zero tillage'; Luxembourg: <2 ha farms of all categories and 2-19.9 ha farms of 'zero tillage'; Malta: medium-sized farms and large farms; Slovenia: large farms.

Source: Eurostat (online data code: ef_mp_prac and ef_lus_main).

eurostat

Slika 2: Deleži glavnih sistemov obdelave tal v EU-27 po velikosti kmetijskih gospodarstev. Legenda: konvencionalno oranje (*conventional tillage*), ohranitvena obdelava tal (*conservation tillage*), direktna setev oz. sistem brez obdelave tal (*no-till*) (Vir podatkov: Eurostat 2016)

Share of tillage practices in arable area, EU-27 and UK, 2016



(*) Refers to arable area not sown/cultivated during the reference year, like temporary grassland or hops.

Note: Data on arable land are from the data set ef_lus_main, data on tillage practices from ef_mp_prac.

Source: Eurostat (online data codes: ef_mp_prac and ef_lus_main)

eurostat 

Slika 3: Deleži glavnih sistemov obdelave tal v EU-27 in Veliki Britaniji po velikosti kmetijskih gospodarstev. Legenda: konvencionalno oranje (*conventional tillage*), ohranitvena obdelava tal (*conservation tillage*), direktna setev oz. sistem brez obdelave tal (*no-till*) (Vir podatkov: Eurostat 2016)

3 UČINKI ZMANJŠANE INTENZITETE OBDELAVE TAL NA VEZAVO C V TLA

Glavni učinek zmanjšane intenzitete obdelave tal je zagotovo prerazporeditev C_{org} proti vrhnjim slojem tal (Guenet in sod., 2021; Haddaway in sod., 2017). Tako se vsebnost C_{org} v zgornji plasti tal praviloma poveča, medtem ko je njen vpliv na skupne zaloge C_{org} , t.j. v celotnem profilu tal, še predmet raziskav. Žal številne meta-študije, ki vključujejo rezultate večjega števila poljskih poskusov, niti ne poročajo o globini tal, ki so bile upoštevane v njihovih analizah vpliva obdelave tal na C_{org} . Poročan neto učinek spremenjene obdelave na vezavo organskega C v tla je odvisen od mnogih dejavnikov (podnebje, tip tal, tip posevkov, globina vzorčenja ter metodologija, začetna vsebnost C_{org} , čas od spremembe sistema obdelave tal). Tako je razpon lahko od -0.15 Mg/ha/leto (centralno zahodna ZDA) do $+0.93 \text{ Mg/ha/leto}$ (Brazilija), odvisno od raziskave in lokacije (Page in sod., 2020).

Med študijami, ki smo jih upoštevali v našem pregledu (t.j. študije, ki hkrati preučujejo tako vezavo C v tla kot emisije TGP) sta samo dve študiji s popolnimi seti podatkov, ki omogoča izračun skupne zaloge C_{org} v tleh (Krauss in sod., 2017; Tiefenbacher in sod., 2021); več študij poroča o zalogah C_{org} v zgornjih 0-30 cm (Aguilera in sod., 2013; Autret in sod., 2019; Dignac in sod., 2017; Guenet in sod., 2021; Haddaway in sod., 2017; Payen in sod., 2021); medtem ko številne meta-študije niti ne poročajo o globini tal, ki so bile upoštevane v njihovih analizah. Zato vprašanje skupnih zalog C v tleh v odvisnosti od intenzitete obdelave tal ostaja odprto in ga je potrebno nadalje raziskati, posebno z vidika pedo-klimatskih razmer kot tudi spremljajočih kmetijskih praks.

V nekaterih raziskavah so bile poleg obdelave tal hkrati preučene tudi druge kmetijske prakse s potencialnim vplivom na C_{org} , kot so vnosi organskega snovi, gnojenje in namakanje. Na primer, Krauss in sod., (2017) so primerjali zmanjšano intenziteto obdelave tal s konvencionalnim oranjem v interakciji z dvema sistemoma gnojenja (samo goveja gnojevka v primerjavi s kompostom in gnojevko iz govejega gnoja). Kombinirani učinek, ki vključuje zmanjšano intenzivnost obdelave tal in dodatno uporabo komposta iz gnoja, je po trinajstih letih pokazal največje povečanje zalog C_{org} v tleh ($+8,1 \text{ Mg C ha}^{-1}$, v globini 0-0,5 m). Rezultati te študije nakazujejo pomen preučevanja kombiniranih učinkov obdelave tal in dopolnilnih praks na zaloge C_{org} .

4 UČINKI ZMANJŠANE INTENZITETE OBDELAVE TAL NA EMISIJE TGP

4.1 Emisije N_2O

Ali različni sistemi obdelave tal vplivajo na emisije N_2O še ni jasnega odgovora. Ker so emisije N_2O produkt mikrobiološkega procesa, nanj vplivajo številne lastnosti tal, spremenjene skozi obdelavo tal, kot so vsebnost C_{org} in hranil, sposobnost zadrževanja vode, poroznost in struktura tal ter zračno-vodne razmere v tleh. Na heterotrofno denitrifikacijo kot glavnega vira emisij N_2O v tleh vplivajo predvsem razpoložljivi organski ogljik ter anoksični pogoji v tleh. Oba parametra se običajno povečata zaradi zmanjšane intenzivnosti obdelave tal ter zaradi povečane vezave C_{org} v tla. Poleg tega lahko izboljšana sposobnost zadrževanja vode v tleh, poroznost in hidrofilnost povečajo zadrževanje dušika in vode (Guenet in sod., 2021). Obenem

lahko sistem brez obdelave tal (*no-till*) kratkoročno vodi v večjo volumsko gostoto tal, kar povzroči manjšo poroznost in večjo vsebnost vode v tleh, kar ustvarja ugodne pogoje za denitrifikacijo. Dodatno naj bi povečana mikrobna biomasa v tleh, ki je v splošnem posledica povečane vsebnosti organskega ogljika, bila bolj povezana z emisijami N_2O in manj s CO_2 ali CH_4 (Mangalassery in sod., 2014). Podobno so Krauss in sod. (2017) ugotovili, da emisije N_2O dobro korelirajo z mikrobno biomaso in C_{org} , zato so bile pri zmanjšani intenziteti obdelave tal opažene večje emisije kot pri oranju. Večje emisije N_2O pri zmanjšani intenzivnosti obdelave tal so bile zaznane tako v ekoloških (Krauss in sod., 2017) kot v konvencionalnih (Tellez-Rio in sod., 2015) kmetijskih sistemih.

Nedavne metaanalize sicer kažejo, da so emisije N_2O v večini primerov bodisi nespremenjene bodisi rahlo zmanjšane pri minimalni in *no-till* obdelavi (Guenet in sod., 2021; Mangalassery in sod., 2014; Mei in sod., 2018; van Kessel in sod., 2013). Na koncu se večina avtorjev strinja, da na emisije toplogrednih plinov vplivajo poleg vseh prej naštetih faktorjev še predvsem vrsta tal, lokalno podnebje, vremenske razmere in trajanje poskusa, zaradi česar je težko delati splošne zaključke ter zaradi česar potrebujemo nadaljnje študije na to temo.

4.2 Emisije CO_2

V splošnem pričakujemo povečane emisije CO_2 v sistemih z zmanjšano intenziteto obdelave tal zaradi večje mikrobne biomase v zgornjem sloju tal, saj je aktivnost mikrobov glavni vir CO_2 emisij (Shakoor in sod., 2021). Vendar so lahko rezultati močno odvisni od lokalnega podnebja, vsebnosti organske snovi tal, fizikalno – kemijskih lastnosti tal, sestave mikrobne združbe in kolobarja (Abdalla in sod., 2016; Shakoor in sod., 2021). Abdalla in sod. (2016) so ugotovili zmanjšane emisije CO_2 v sistemu brez obdelave v primerjavi z oranjem. Poleg tega je bilo opaženo zmanjšanje emisij izrazitejše v suhem podnebju, peščenih tleh z manjšo vsebnostjo C_{org} in pri uporabi kolobarja (v nasprotju z monokulturo).

4.3 Emisije CH_4

Na emisije CH_4 lahko vplivajo sistemi obdelave tal, značilno zmanjšanje emisij pri *no-till* obdelavi je bilo dokazano v riževih poljih, medtem ko je bila na poljih s koruzo opažena statistično neznačilna tendenca višjih CH_4 emisij. Ob tem so imeli ostali faktorji kot so npr. podnebje, tla in čas od spremembe sistema obdelave tal manjši vpliv na regulacijo CH_4 emisij (Maucieri in sod., 2021). Podobno zmanjšanje emisij v riževih poljih so potrdili tudi Huang in sod. (2018), kjer pa so potrdili dodatno odvisnost emisij od pH v tleh ter zmanjšanje učinka z daljšanjem časa od spremembe sistema obdelave tal.

4 ZAKLJUČEK

V poljedelstvu k emisijam toplogrednih plinov poleg obratovanja strojev v veliki meri prispevajo dihanje tal (tok CO₂ iz tal) ter sproščanje dušikovega oksida (N₂O) iz tal. Obseg emisij je odvisen od lastnosti tal, vremenskih razmer in agrotehničnih ukrepov. V konvencionalnem kmetijstvu sproščanje CO₂ povečuje intenzivna mehanska obdelava, zaradi katere je v tleh pospešena razgradnja talne organske snovi.

Številne raziskave potrjujejo, da zmanjšana intenziteta obdelave tal vodi k večjim vsebnostim Corg v zgornjem sloju tal. Ker podatki o vsebnostih C v spodnjih horizontih tal večinoma v raziskavah manjkajo, so učinki na skupne zaloge C v tleh še predmet razprave. V raziskavah je zato potrebno več pozornosti nameniti oceni skupnih zalog C, t.j. v celotnem profilu tal.

Vezava ogljika v tla ni odvisna le od intenzitete obdelave tal, temveč temelji na celovitem sistemu upravljanja, ki poleg obdelave vključuje tudi vnose C v tla, na primer uporabo organskih gnojil, stalno pokritost tal z rastlinami ali organskimi ostanki, pa tudi bolj raznolik kolobar, vključno s prekrivnimi dosevkami.

V splošnem pričakujemo povečane emisije CO₂ v sistemih z zmanjšano intenziteto obdelave tal, medtem ko še ni jasnega odgovora ali različni sistemi obdelave tal vplivajo na emisije N₂O. Dosedanje raziskave kažejo, da je pomembno spremljanje emisij vseh treh toplogrednih plinov (N₂O, CO₂ in CH₄), saj je lahko večji emisijski potencial N₂O v sistemih brez obdelave izravnán z manjšim potencialom za emisije CO₂ in CH₄.

5 LITERATURA

- Abdalla, K., Chivenge, P., Ciais, P., & Chaplot, V. (2016). No-tillage lessens soil CO₂ emissions the most under arid and sandy soil conditions: Results from a meta-analysis. *Biogeosciences*, 13(12), 3619–3633. <https://doi.org/10.5194/BG-13-3619-2016>
- Abdalla, M., Osborne, B., Lanigan, G., Forristal, D., Williams, M., Smith, P., & Jones, M. B. (2013). Conservation tillage systems: a review of its consequences for greenhouse gas emissions. *Soil Use and Management*, 29(2), 199–209. <https://doi.org/10.1111/SUM.12030>
- Aguilera, E., Lassaletta, L., Gattinger, A., & Gimeno, B. S. (2013). Managing soil carbon for climate change mitigation and adaptation in Mediterranean cropping systems: A meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 168, 25–36. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.02.003>
- Autret, B., Beaudoin, N., Rakotovololona, L., Bertrand, M., Grandeau, G., Gréhan, E., Ferchaud, F., & Mary, B. (2019). Can alternative cropping systems mitigate nitrogen losses and improve GHG balance? Results from a 19-yr experiment in Northern France. *Geoderma*, 342(December 2018), 20–33. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.01.039>
- Dignac, M.-F., Derrien, D., Barré, P., Barot, S., Cécillon, L., Chenu, C., Chevallier, T., Freschet, G. T., Garnier, P., Guenet, B., Hedde, M., Klumpp, K., Lashermes, G., Maron, P.-A., Nunan, N., Roumet, C., & Basile-Doelsch, I. (2017). Increasing soil carbon storage: mechanisms, effects of agricultural practices and proxies. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 2017 37:2, 37(2), 1–27. <https://doi.org/10.1007/S13593-017-0421-2>
- Guenet, B., Gabrielle, B., Chenu, C., Arrouays, D., Balesdent, J., Bernoux, M., Bruni, E., Caliman, J. P., Cardinael, R., Chen, S., Ciais, P., Desbois, D., Fouche, J., Frank, S., Henault, C., Lugato, E., Naipal, V., Nesme, T., Obersteiner, M., ... Zhou, F. (2021). Can N₂O emissions offset the benefits from soil organic carbon storage? In *Global Change Biology* (Vol. 27, Issue 2, pp. 237–256). Blackwell Publishing Ltd. <https://doi.org/10.1111/gcb.15342>
- Haddaway, N. R., Hedlund, K., Jackson, L. E., Kätterer, T., Lugato, E., Thomsen, I. K., Jørgensen, H. B., & Isberg, P.-E. (2017). How does tillage intensity affect soil organic carbon? A systematic review. *Environmental Evidence* 2017 6:1, 6(1), 1–48. <https://doi.org/10.1186/S13750-017-0108-9>
- Huang, Y., Ren, W., Wang, L., Hui, D., Grove, J. H., Yang, X., Tao, B., & Goff, B. (2018). Greenhouse gas emissions and crop yield in no-tillage systems: A meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 268, 144–153. <https://doi.org/10.1016/J.AGEE.2018.09.002>
- Kaurin, A., Mihelič, R., Kastelec, D., Schlöter, M., Suhadolc, M., & Grčman, H. (2015). Consequences of minimum soil tillage on abiotic soil properties and composition of microbial communities in a shallow Cambisol originated from fluvioglacial deposits. *Biology and Fertility of Soils* 2015 51:8, 51(8), 923–933. <https://doi.org/10.1007/S00374-015-1037-9>
- Krauss, M., Ruser, R., Müller, T., Hansen, S., Mäder, P., & Gattinger, A. (2017). Impact of reduced tillage on greenhouse gas emissions and soil carbon stocks in an organic grass-clover ley - winter wheat cropping sequence. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 239, 324–333. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.01.029>
- Larsen, I. J., Almond, P. C., Eger, A., Stone, J. O., Montgomery, D. R., & Malcolm, B. (2014). Rapid soil production and weathering in the Southern Alps, New Zealand. *Science*, 343(6171), 637–640. <https://doi.org/10.1126/SCIENCE.1244908>
- Lognoul, M., Theodorakopoulos, N., Hiel, M. P., Regaert, D., Broux, F., Heinesch, B., Bodson, B., Vandenbol, M., & Aubinet, M. (2017). Impact of tillage on greenhouse gas emissions by an agricultural crop and dynamics of N₂O fluxes: Insights from automated closed chamber measurements. *Soil and Tillage Research*, 167, 80–89. <https://doi.org/10.1016/J.STILL.2016.11.008>
- Mangalassery, S., Sjögersten, S., Sparkes, D. L., Sturrock, C. J., Craigan, J., & Mooney, S. J. (2014). To what extent can zero tillage lead to a reduction in greenhouse gas emissions from temperate

- soils? *Scientific Reports* 2014 4:1, 4(1), 1–8. <https://doi.org/10.1038/srep04586>
- Maucieri, C., Tolomio, M., McDaniel, M. D., Zhang, Y., Robatjazi, J., & Borin, M. (2021). No-tillage effects on soil CH₄ fluxes: A meta-analysis. *Soil and Tillage Research*, 212, 105042. <https://doi.org/10.1016/J.STILL.2021.105042>
- Mei, K., Wang, Z., Huang, H., Zhang, C., Shang, X., Dahlgren, R. A., Zhang, M., & Xia, F. (2018). Stimulation of N₂O emission by conservation tillage management in agricultural lands: A meta-analysis. *Soil and Tillage Research*, 182(March), 86–93. <https://doi.org/10.1016/j.still.2018.05.006>
- Page, K. L., Dang, Y. P., & Dalal, R. C. (2020). The Ability of Conservation Agriculture to Conserve Soil Organic Carbon and the Subsequent Impact on Soil Physical, Chemical, and Biological Properties and Yield. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 0, 31. <https://doi.org/10.3389/FSUFS.2020.00031>
- Payen, F. T., Sykes, A., Aitkenhead, M., Alexander, P., Moran, D., & MacLeod, M. (2021). Soil organic carbon sequestration rates in vineyard agroecosystems under different soil management practices: A meta-analysis. In *Journal of Cleaner Production* (Vol. 290, p. 125736). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125736>
- Shakoor, A., Shahbaz, M., Farooq, T. H., Sahar, N. E., Shahzad, S. M., Altaf, M. M., & Ashraf, M. (2021). A global meta-analysis of greenhouse gases emission and crop yield under no-tillage as compared to conventional tillage. *Science of the Total Environment*, 750. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142299>
- Six, J., Elliott, E. T., & Paustian, K. (1999). Aggregate and Soil Organic Matter Dynamics under Conventional and No-Tillage Systems. *Soil Science Society of America Journal*, 63(5), 1350–1358. <https://doi.org/10.2136/SSSAJ1999.6351350X>
- Tellez-Rio, A., García-Marco, S., Navas, M., López-Solanilla, E., Rees, R. M., Tenorio, J. L., & Vallejo, A. (2015). Nitrous oxide and methane emissions from a vetch cropping season are changed by long-term tillage practices in a Mediterranean agroecosystem. *Biology and Fertility of Soils*, 51(1), 77–88. <https://doi.org/10.1007/s00374-014-0952-5>
- Tiefenbacher, A., Sandén, T., Haslmayr, H.-P., Miloczki, J., Wenzel, W., & Spiegel, H. (2021). Optimizing Carbon Sequestration in Croplands: A Synthesis. *Agronomy* 2021, Vol. 11, Page 882, 11(5), 882. <https://doi.org/10.3390/AGRONOMY11050882>
- van Kessel, C., Venterea, R., Six, J., Adviento-Borbe, M. A., Linquist, B., & van Groenigen, K. J. (2013). Climate, duration, and N placement determine N₂O emissions in reduced tillage systems: a meta-analysis. *Global Change Biology*, 19(1), 33–44. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2012.02779.x>