

НАМАЛЕНИ ПОЧВООБРАБОТКИ В БИОЛОГИЧНОТО ЗЕМЕДЕЛИЕ

Милен Чанев

*Институт по земеделие – Карнобат, Селскостопанска академия България
отдел „Растителна защита и технологии“
email: m_apiaster@abv.bg*

Ключови думи: *reduced tillage systems, no-till, organic farming*

Резюме: *Намалените почвообработки в биологично земеделие датират от началото на 50 -те години, когато Rusch развива своите идеи. Може да се каже, че са възприети два подхода към консервационните почвообработки - Северно Американски и Европейски. Изследванията в Северна Америка са насочени главно върху нулевите почвообработки, като този тип почвообработки почти не се практикува в Европа, а тези в Европа са насочени върху намалената обработка на почвата чрез намаляване на дълбочината на обработка или прилагането на неинверсионни практики за обработка на почвата. Основните проблеми са свързани с контрола на заплевяването, усвояването на хранителните вещества, както и добивите. Системите с нулева и намалената обработка на почвата се считат за устойчиви варианти за консервационна на почвообработка. Дългосрочното прилагане на намалените почвообработки са ефективна стратегия за намаляване на емисиите на парниковите газове в сравнение с конвенционалната почвообработка, подобрява се структурата на почвата, благоприятства усвояването на CH₄ и инхибиране на емисиите на N₂O.*

REDUCED TILLAGE IN ORGANIC FRMING

Milen Chanev

*Institute of Agriculture - Karnobat, Agricultural Academy Bulgaria
Department of „Plant Protection and Technology“
email: m_apiaster@abv.bg*

Keywords: *reduced tillage systems, no-till, organic farming*

Abstract: *Reduced start-up processing in organic farming dates back to the early 1950s, when Rusch developed his ideas. It can be said that two approaches have been taken to conservation start-up processing - North American and European. Research in North America focuses mainly on zero soil processing, with this type of soil treatment barely practised in Europe, and those in Europe focusing on reduced soil treatment by reducing the depth of processing or applying non-inverting soil treatment practices. The main problems are related to the control of entanglation, absorption of nutrients, as well as yields. No-till and reduced till soil treatment systems are considered sustainable soil conservation options. Long-term implementation of reduced soil treatments is an effective strategy to reduce greenhouse gas emissions compared to conventional soil processing, improve soil structure, favour CH₄ absorption and inhibit N₂O emissions.*

Въведение

Намалените почвообработки в биологично земеделие датират от началото на 50-те години, когато Rusch развива своите идеи. Rusch (1968) развива тезата, че е необходимо да се имитира стабилна, естествена екосистема и счита, че всеки почвен слой има своя адаптирана биоценоза, която не трябва да се нарушава от дълбока инверсионна оран. Основната концепция на фермерите от това време, които са обработвали земята по биологичен начин е била „плитка оран и дълбоко разрохкване“ (Mäder & Berner 2011). Van Kessel et al., (2012) считат, че в агроценозите се насърчават практики за управление без почвообработка и намалена почвообработка, като целта е да се намали ерозията, да се натрупа допълнителен въглерод (C) и да се намалят производствените разходи. Консервационните системи, с нулева и намалена

обработка на почвата, се считат за най-устойчиви. Този тип на управление на почвите се смята за по-устойчива от конвенционалната система и поради тази причина всяка година площите се увеличават с около 10.5 милиона хектара (Kassam et al., 2019), които преминават в система на намалени и/или нулеви почвообработки (Peixoto et al. 2020). Най-общо може да се каже, че са възприети два подхода към консервационни почвообработки - Северно Американски и Европейски. Изследванията в биологично земеделие в Северна Америка са насочени главно върху нулевите почвообработки, като те почти не се практикуват в Европа (Soane et al. 2012), а тези в Европа са насочени към намалената обработка на почвата чрез намаляне на дълбочината на обработка или прилагането на неинверсионни практики за почвообработка (Mäder & Berner 2011). Тези нововъведения често идват от земеделските производители, целящи да намалят входящите ресурси за стопанството, като спестяване разходите за гориво и труд и в същото време повишават плодородието на почвата (Mäder & Berner 2011).

Материал и метод

В настоящото изследване е направен обзор и е приложен сравнителен анализ на статии, доклади и материали, публикувани в интернет в следните научни база данни Scopus, ResearchGate, Google Scholar, OrganicEprints. При търсене в научните и специализирани база данни е използвана комбинация от ключови думи с логически заявки за периода от началото на 60-те години на миналия век до 2021 г. Основните ключови думи на латиница, които са ползвани са: "reduced tillage systems", "no-till" AND "organic farming", "reduced tillage systems", "no-till" AND "weed control", "pest control", "reduced tillage" AND "yields".

Резултати

В Европа най-често система на намалени почвообработки се прилага като се извършва култивиране и/или дисковане на малка дълбочина преди засаждане на културата, като това се използва главно при зърнени култури и маслодайна рапица (Melander, B., et al., 2013). Този тип плитка обработка на почвата може да улесни засяването на по-голяма площ от култури по-близо до оптималните дати през есента и през пролетта, което спестява разходи за гориво и труд (Cannell, 1985;). Като основни проблеми, които стоят пред земеделските производители, които желаят да преминат в системата на намалените почвообработки са уплътняване на почвата (Blanco-Canqui и Ruis, 2018; Peixoto et al., 2019a; Reichert et al., 2009), управление на плевелите (Bajwa, 2014; Dang et al., 2015a, Dang et al., 2015b ; Nichols et al., 2015) и стратификация на почвения органичен въглерод и хранителни вещества (Barth et al., 2018; Blanco-Canqui and Wortmann, 2020; Cade-Menun et al., 2010; Peixoto et al. 2020).

Факторите, които могат да повлияят на успешното прилагане на намалените почвообработки могат да се разделят на две групи агрономически и екологични (Soane et al. 2012). Избора за типа на почвообработката на земеделските производители, ще бъдат продиктуван предимно от агрономически фактори и големината на стопанството. Счита се че големите стопанства са по-подходящи за прилагане на нулеви или намалени почвообработки (Cannell, 1985; Morris et al., 2010; Soane et al. 2012).

Както биологичното земеделие, така и намалените почвообработки предоставят много ползи, както по отношение на почвеното плодородие, така и на биоразнообразието (Mäder, P., et al 2002; Mäder & Berner 2011; Triplett & Dick 2008).

Системата за биологично земеделие се различава фундаментално по нивото на почвеното плодородие, по борбата с вредителите, болестите и плевели и има по-високи изисквания за качеството на продукцията и стабилността на добивите в сравнение с конвенционалното земеделие (Lammerts van Bueren, E., et al., 2002). В биологичното земеделие не се допускат минерални торове, както и пестициди и основната цел е да се поддържа постоянно затворен хранителен цикъл във фермите, да се защитят качеството на околната среда и да се подобрят благоприятните биологични взаимодействия и процеси (Altieri, 1995).

Друг много важен аспект при биологично отглежданите културите е поддържането на почвеното плодородие и ползите, които то дава на почвата, на растенията и на качеството на произведената продукция. Дефицитът на азот (N) е основен проблем в системите за биологично земеделие (Alagu et al., 2017). Методите на култивиране в биологичното земеделие, разнообразните ротации на културите и прилагане на органичен тор, имат дългосрочен ефект, особено върху физичните, биологичните и микробните параметри на почвите (Raupp, J., et al, 2006). Дългосрочното приложение на животински тор подобрява качеството на почвата, натрупва се повече органична материя и микробна биомаса, като така се подобрява кръговрата на хранителни вещества в тази система на земеделие (Birkhofer, K., et al., 2008). Почвата в биологично земеделие има значително по-високо съдържание на органични вещества, по-мощен

почвен хоризонт, по-високо съдържание на органичен въглерод, по-нисък модул на разрушаване и по-малко ерозия в сравнение с почвата в конвенционалното земеделие. Редица проучвания показват, че системите за биологично земеделие редовно водят до положителен азотен (N) баланс (т.е. входът е по-голям от износа) (Watson et al., 2002; Pappa et al., 2006).

Едновременно с това съществуват и достатъчно данни, които сочат, че намаляването на интензивността на използване и прилагането на намалени почвообработки в системата на биологичното земеделие повишава устойчивостта и качеството на почвата и я предпазва от ерозия (Bernier et al., 2008; Carter, M., 1992; Krauss, M., 2017; Stockdale et al., 2006). Това се подкрепя и от факта, че при системите за намалени почвообработки органичният въглерод, микробната активност и структурата на почвата се подобряват в горния почвен слой в сравнение с изораните почви (Feng, et al., 2018; Mäder & Bernier 2011; Ussiri, et al., 2009). В допълнение може да се добави и факта, че в повърхностният почвен слой на системите с намалени почвообработки относително бързо се натрупват органични вещества (Carter, M., 1991; Carter, M., 1992). При проведен десет годишен експеримент, свързан с намалени почвообработки в биологично земеделие Armengot et al., (2014) установяват, че намалената обработка на почвата не се отразява на добивите в сравнение с конвенционалната и поддържа нивото на заплевяване във фермата на приемливи нива.

Предимства и проблеми на системите за намалени почвообработки

Управлението на плевелите е основен проблем на системите за намалени почвообработки, тъй като екологията и динамиката на плевелите са различни от тези в конвенционалните системи за обработка на почвата. Неправилно съставените сеитбообращения и натрупването на растителни остатъци намалява алелопатичните и физическите ефекти върху плевелите (Bajwa, 2014; Chauhan et al., 2012; Lee and Thierfelder, 2017; Nichols et al., 2015; Peixoto et al. 2020). Установено е, че многогодишните плевели са най-големия проблем в системата на намалените почвообработки, когато тя се прилага при отглеждане на зърнени култури (Cannell 1985; Melander, B., et al., 2013). Melander, B., et al., (2013) предлага борбата със заплевяването в тези случаи да се извършва чрез разнообразни сеитбообращения, използване на покривни култури, използване на различни стратегии за управление на стърнищата, както и прилагане на методи които да подсилват растежа на културите спрямо плевелите. По отношение на дългосрочното приложение на намалените почвообработки в биологичното земеделие и защитата от заплевяване Melander, B., et al., (2013) счита, че най-голям проблем е появата и борбата с многогодишните плевели. Според същия автор (Melander, B., et al., 2013) е необходимо провеждане на по нататъшни проучвания по отношение на борбата с плевелите в системите на намалените почвообработки в биологично земеделие. Успехът при борбата с вредителите в системите за намалени почвообработки зависи от комплекса от агротехническите мероприятия, които се използват в комбинация с намалената обработката на почвата. Murell (2020) предлага борбата с вредителите в системите на намалени почвообработки да се извършва чрез съставяне на подходящи сеитбообращения, използването на устойчиви на вредители сортове, използване на различни дати на засяване и прибиране на реколтата, задържане на растителните остатъци и сеитба на междинни култури. Това са алтернативни практики, които са напълно интегрирани със системите за намалени почвообработки и биологичното земеделие. Baldivieso-Freitas et al., (2015), както и Peixoto et al. (2020) стигат до извода, че намалените почвообработки в комбинация с торене с оборски тор не влияят отрицателно на добивите при зърнено-житни култури. Mäder & Bernier (2011) съобщават за по-ниските добиви в някои случаи и повишаване нивото на заплевяване. Също според тях често не е възможно да се определи дали и до каква степен намаляването на добива се дължи на конкуренцията с плевели или на недостиг на азот, поради забавената азотна минерализация през пролетта в системи за намалени почвообработки. Според Vichi et al. (2018) при правилен подбор на покривната култура дори при употребата и само за два месеца, тя би могла да увеличи драстично съдържанието на органичен въглерод и на общ азот в почвата, когато покривната култура се засява между две реколти на зимна пшеница, като тя поддържа заплевяването ниско дори и в условията на намалени почвообработки. Същият автор счита, че е най-удачно употребата на бобова култура в комбинация с редуцирана почвообработка. Според Mäder & Bernier (2011) в Европа системите за намалени почвообработки винаги се комбинират с прилагане на оборски тор и фуражни култури. Особено предизвикателство за системата за биологично земеделие е да се проучи до каква степен намалените почвообработки могат да повишат почвеното плодородие, без да се дисбалансира други аспекти на управлението, като борба с плевелите (Stockdale et al., 2006). Може да се каже, че намалената обработка на почвата може да осигури еквивалентни и дори по-високи добиви в сравнение с конвенционалната обработка на почвата при биологичното земеделие, ако управлението на плевелите се подобри и се осигури добро подхранване с оборски тор (Hofmeijer

et al., 2019; Mäder & Berner 2011). Намлените почвообработки подобряват физическите свойства на почвата с течение на времето и вземайки предвид това и факта, че повишават органично вещество (Carter, M., 1992), те увеличават, както почвената устойчивост, така и устойчивостта на ерозия (Kay, B., 1990; Soane, B., 1990; Carter, M., 1992), водят до намаляване на уплътняването на почвата (Ball, B., et al., 1988) и да подобри макропорьозността на почвата (Carter, M., et al., 1990). В дългосрочен план системата за биологично земеделие в комбинация с намалени почвообработки е по-ефективна от традиционната селскостопанска система по отношение намаляване на почвената ерозия и поддържане на производителността на почвата, както и за по-ефективно използване на ресурсите, което от своя страна да доведе до допълнителни ползи, както за околната среда, така и за хората (Reganold, J., et al 1987; Gadermaier, F., et al., 2012). Дългосрочното прилагане на практиките на нулевите и/или намалените почвообработки са ефективна стратегия за намаляване на емисиите на парниковите газове - CH₄ и N₂O в сравнение с конвенционалната почвообработка (Feng, et al., 2018; Six, et al., 2004; Van Kessel, et al., 2012). Друг аспект на дългосрочното прилагане на нулевите и/или намалените почвообработки е, че се подобрява структурата на почвата и следователно благоприятства усвояването на CH₄ и инхибиране на емисиите на N₂O (Feng, et al., 2018; Ussiri, et al., 2009;).

Заклучение

Консервационните системи, с нулева и намалена обработка на почвата, се считат за по-устойчиви в сравнение с конвенционалните системи за почвообработка. Поради тази причина все повече фермери преминават в система на намалени и/или нулеви почвообработки. Тези системи са предпочитани от фермерите, които обработват големи площи поради факта, че чрез тях те успяват да спестяват от разходите за гориво и труд и в същото време повишават плодородието на почвата. В Европа най-често тези системи на почвообработки се прилага като се извършва култивирание и/или дисковане на малка дълбочина преди засаждане на културата, като се използват главно при зърнени култури и маслодайна рапица. Използване и прилагането на намалени почвообработки в системата на биологичното земеделие повишава устойчивостта и качеството на почвата и я предпазва от ерозия.

Основните проблеми в системите за намалени почвообработки са уплътняване на почвата, управление на плевелите и неприятелите, както и стратификация на почвения органичен въглерод и хранителни вещества. Борбата с плевелите и неприятелите се извежда чрез съставяне на подходящи сеитбообращения, използването на устойчиви на вредители сортове, използване на различни дати на засяване и прибиране на реколтата, задържане на растителните остатъци и сеитба на междинни и покривни култури.

Друг много важен аспект е, че дългосрочното прилагане на практиките на нулевите и/или намалените почвообработки са ефективна стратегия за намаляване на емисиите на парниковите газове в сравнение с конвенционалната почвообработка

Благодарности

Автора изказва своите благодарности към доц. д-р Васелина Манев от ИЗ-Карнобат, ССА за насоките и напътствията, които му даваше при съставянето на този доклад!

Литература:

1. Alaru, M., L. Talgre, A. Luik, B. Tein, V. Eremeev, E. Loit, 2017. Barley undersown with red clover in organic and conventional systems: nitrogen aftereffect on legume growth. *Zemdirbyste-Agriculture*, vol. 104, No. 2 (2017), p. 131–138, ISSN 1392-3196, e-ISSN 2335-8947, DOI 10.13080/z-a.2017.104.017
2. Armengot, L., Berner, A., Blanco-Moreno, J. M., Mäder, P., & Sans, F. X. (2014). Long-term feasibility of reduced tillage in organic farming. *Agronomy for Sustainable Development*, 35(1), 339–346. doi:10.1007/s13593-014-0249-y
3. Bajwa, A. A., 2014. Sustainable weed management in conservation agriculture. *Crop Prot.* 65, 105–113. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2014.07.014>.
4. Ball, B. C., Lang, R. W., O'Sullivan, M. F. and Franklin, M. F., (1988). Cultivations and nitrogen requirements for continuous winter barley on a gleysol and a cambisol. *Soil Tillage Res.*, 13: 333–352.
5. Baldovino-Freitas, P.; Armengot, L. and Sans, F.X. (2015) A1-512 Efecto del laboreo mínimo sobre el rendimiento, la abundancia de la flora arvense y el balance energético y económico en una rotación de espelta, garbanzos y trigo en la Región Mediterránea. Paper at: V CONGRESO LATINOAMERICANO DE AGROECOLOGIA SOCLA, La Plata, Argentina, 5-6 October, 2015.
6. Berner, A., I. Hildermann, A. Fließbach, L. Pfiffner, U. Niggli, P. Mäder, 2008. „Crop yield and soil fertility response to reduced tillage under organic management. *Soil and Tillage Research*, 101(1-2), 89–96. doi:10.1016/j.still.2008.07.012

7. Birkhofer, K., Bezemer, T. M., Bloem, J., Bonkowski, M., Christensen, S., Dubois, D., Ekelund, F., Fließbach, A., Gunst, L., Hedlund, K., Mader, P., Mikola, J., Robin, Ch., Setälä, H., Tatin-Froux, F., Van der Putten, W., Scheu, S. (2008). Long-term organic farming fosters below and aboveground biota: Implications for soil quality, biological control and productivity. *Soil Biology and Biochemistry*, 40(9), 2297–2308. doi:10.1016/j.soilbio.2008.05.007
8. Blanco-Canqui, H., Ruis, S.J., 2018. No-tillage and soil physical environment. *Geoderma* 326, 164–200. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.03.011>.
9. Blanco-Canqui, H., Wortmann, C.S., 2020. Does occasional tillage undo the ecosystem services gained with no-till? A review. *Soil Tillage Res.* 198, 104534. <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.104534>.
10. Barth, V. P., Reardon, C. L., Coffey, T., Klein, A. M., McFarland, C., Huggins, D. R., Sullivan, T. S., 2018. Stratification of soil chemical and microbial properties under no-till after liming. *Appl. Soil Ecol.* 130, 169–177. <https://doi.org/10.1016/J.APSSOIL.2018.06.001>.
11. Cade-Menun, B. J., Carter, M. R., James, D. C., Liu, C. W., 2010. Phosphorus forms and chemistry in the soil profile under long-term conservation tillage: a phosphorus-31 nuclear magnetic resonance study. *J. Environ. Qual.* 39, 1647–1656. <https://doi.org/10.2134/jeq2009.0491>
12. Cannell, R. Q. (1985). Reduced tillage in north-west Europe—A review. *Soil and Tillage Research*, 5(2), 129–177. doi:10.1016/0167-1987(85)90028-5
13. Carter, M. R., (1990). Relative measures of soil bulk density to characterize compaction in tillage studies on fine sandy loams. *Can. J. Soil Sci.*, 70: 425–433.
14. Carter, M. R., (1991). Influence of tillage on the proportion of organic carbon and nitrogen in the microbial biomass of medium textured soils in a humid climate. *Biol. Fertil. Soils*, 11:135- 139.
15. Carter, M. R. (1992). Influence of reduced tillage systems on organic matter, microbial biomass, macro-aggregate distribution and structural stability of the surface soil in a humid climate. *Soil and Tillage Research*, 23(4), 361–372. doi:10.1016/0167-1987(92)90081-I
16. Chauhan, B. S., Singh, R. G., Mahajan, G., 2012. Ecology and management of weeds under conservation agriculture: a review. *Crop Prot.* 38, 57–65. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2012.03.010>.
17. Dang, Y. P., Moody, P. W., Bell, M. J., Seymour, N. P., Dalal, R. C., Freebairn, D. M., Walker, S. R., 2015a. Strategic tillage in no-till farming systems in Australia’s northern grainsgrowing regions: II. Implications for agronomy, soil and environment. *Soil Tillage Res.* 152, 115–123. <https://doi.org/10.1016/j.still.2014.12.013>.
18. Dang, Y. P., Seymour, N. P., Walker, S. R., Bell, M. J., Freebairn, D. M., 2015b. Strategic tillage in no-till farming systems in Australia’s northern grains-growing regions: I. Drivers and implementation. *Soil Tillage Res.* 152, 104–114. <https://doi.org/10.1016/j.still.2015.03.009>.
19. Feng, J., Li, F., Zhou, X., Xu, C., Ji, L., Chen, Z., & Fang, F. (2018). Impact of agronomy practices on the effects of reduced tillage systems on CH₄ and N₂O emissions from agricultural fields: A global meta-analysis. *PLOS ONE*, 13(5), e0196703. doi:10.1371/journal.pone.0196703
20. Hofmeijer, M., M. Krauss, A. Berner, J. Peigné, P. Mäder, L. Armengot, 2019. “Effects of Reduced Tillage on Weed Pressure, Nitrogen Availability and Winter Wheat Yields under Organic Management”, *Agronomy*, 9(4), 180. doi:10.3390/agronomy9040180
21. Gadermaier, F., Berner, A., Fließbach, A., Friedel, J., and Mäder, P. 2012. Impact of reduced tillage on soil organic carbon and nutrient budgets under organic farming. *Renewable Agriculture and Food Systems* 27:68–80.
22. Kassam, A., Friedrich, T., Derpsch, R., 2019. Global spread of conservation agriculture. *Int. J. Environ. Stud.* 76, 29–51. <https://doi.org/10.1080/00207233.2018.1494927>.
23. Kay, B. D., (1990). Rates of change of soil structure under different cropping systems. *Adv. Soil Sci.*, 12: 1-52.
24. 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 & Environment*, 239, 324–333. doi:10.1016/j.agee.2017.01.029
25. Lammerts van Bueren, E. T., Struik, P. C., & Jacobsen, E. (2002). Ecological concepts in organic farming and their consequences for an organic crop ideotype. *NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences*, 50(1), 1–26. doi:10.1016/s1573-5214(02)80001-x
26. Lee, N., Thierfelder, C., 2017. Weed control under conservation agriculture in dryland smallholder farming systems of southern Africa. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 37, 48. <https://doi.org/10.1007/s13593-017-0453-7>.
27. Mäder, P., Fließbach, A., Dubois, D., Gunst, L., Fried, P., and Niggli, U. (2002). Soil fertility and biodiversity in organic farming. *Science* 296:1694–1697.
28. Mäder, P., & Berner, A. (2011). Development of reduced tillage systems in organic farming in Europe. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 27(01), 7–11. doi:10.1017/s1742170511000470
29. Melander, B., Munier-Jolain, N., Charles, R., Wirth, J., Schwarz, J., van der Weide, R., Bonin, L., Jansen, P., Kudsk, P. (2013). European Perspectives on the Adoption of Nonchemical Weed Management in Reduced-Tillage Systems for Arable Crops. *Weed Technology*, 27(01), 231–240. doi:10.1614/wt-d-12-00066.1
30. Morris, N. L., Miller, P. C. H., J.H.Orson, & Froud-Williams, R. J. (2010). The adoption of non-inversion tillage systems in the United Kingdom and the agronomic impact on soil, crops and the environment—A review. *Soil and Tillage Research*, 108(1-2), 1–15. doi:10.1016/j.still.2010.03.004
31. Murrell, G. E. 2020. Challenges and Opportunities in Managing Pests in No-Till Farming Systems. *No-till Farming Systems for Sustainable Agriculture* pp 127-140. DOI: 10.1007/978-3-030-46409-7_8
32. Nichols, V., Verhulst, N., Cox, R., Govaerts, B., 2015. Weed dynamics and conservation agriculture principles: a review. *Field Crops Res.* 183, 56–68. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2015.07.012>.

33. Pappa, V., R. Rees, C. Watsaon. 2006. "Nitrogen transfer between clover and wheat in an intercropping experiment", *Aspects of Applied Biology* 79, 2006, pp. 291–295.
34. Peixoto, D. S., Silva, B.M., de Oliveira, G.C., Moreira, S.G., da Silva, F., Curi, N., 2019a. A soil compaction diagnosis method for occasional tillage recommendation under continuous no tillage system in Brazil. *Soil Tillage Res.* 194, 104307. <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.104307>.
35. Peixoto, D. S., de Castro Moreira da Silva, L., de Melo, L. B. B., Azevedo, R. P., Araújo, B. C. L., de Carvalho, T. S., Moreira, S., Curi, N., Silva, B. M. (2020). Occasional tillage in no-tillage systems: A global meta-analysis. *Science of The Total Environment*, 140887. doi:10.1016/j.scitotenv.2020.1408
36. Raupp, J., C.Pekrun, M. Oltmanns, U. Köpke, 2006."Long Term Field Experiments in Organic Farming", ISOFAR Scientific Series, no. 1. Verlag Dr. Köster, Berlin,p.183.
37. Six, J., Ogle, S. M., Jay breidt, F., Conant, R. T., Mosier, A. R., & Paustian, K. (2004). The potential to mitigate global warming with no-tillage management is only realized when practised in the long term. *Global Change Biology*, 10(2), 155–160. doi:10.1111/j.1529-8817.2003.00730.x
38. Soane, B. D., (1990). The role of organic matter in soil compactability: A review of some practical aspects. *Soil Tillage Res.*, 16:179–201.
39. Soane, B. D., B. C. Ball, J. Arvidsson, G. Basch, F. Moreno, and J. RogerEstrade. 2012. No-till in northern, western and south-western Europe: a review of problems and opportunities for crop production and the environment. *Soil Tillage Res.* 118:66–87, <https://doi.org/10.1016/j.still.2011.10.015>
40. Stockdale, E., L. Philipps, C. Watsan, 2006. "Impacts of farming practice within organic farming systems on below-ground ecology and ecosystem function", *Aspects of Applied Biology* 78, 2006, pp. 43–46.
41. Reganold, J. P., Elliott, L. F., & Unger, Y. L. (1987). Long-term effects of organic and conventional farming on soil erosion. *Nature*, 330(6146), 370–372. doi:10.1038/330370a0
42. Reichert, J. M., Suzuki, L.E.A.S., Reinert, D.J., Horn, R., Håkansson, I., 2009. Reference bulk density and critical degree-of-compactness for no-till crop production in subtropical highly weathered soils. *Soil Tillage Res.* 102, 242–254. <https://doi.org/10.1016/j.still.2008.07.002>.
43. Rusch, H. P. 1968. *Bodenfruchtbarkeit. Eine Studie Biologischen Denkens*. Haug, Heidelberg, Germany
44. Triplett, G.B. and Dick, W.A. 2008. No-tillage crop production: a revolution in agriculture! *Agronomy Journal* 100:153–165.
45. Ussiri, D. A. N., Lal, R., & Jarecki, M. K. (2009). Nitrous oxide and methane emissions from long-term tillage under a continuous corn cropping system in Ohio. *Soil and Tillage Research*, 104(2), 247–255. doi:10.1016/j.still.2009.03.001
46. Van Kessel, C., Venterea, R., Six, J., Adviento-Borbe, M. A., Linnquist, B., & van Groenigen, K. J. (2012). Climate, duration, and N placement determine N₂O emissions in reduced tillage systems: a meta-analysis. *Global Change Biology*, 19(1), 33–44. doi:10.1111/j.1365-2486.2012.02779.x
47. Watson, C. A., Atkinson D., Gosling P., Jackson L. R., Rayns F. 2002. "Managing soil fertility in organic farming systems". *Soil Use and Management*, 18:239–247.