

罗友进,王 武,余 端,等. 土壤压实对土壤生化循环和生态效应的影响[J]. 江苏农业科学,2014,42(2):317-319.

土壤压实对土壤生化循环和生态效应的影响

罗友进,王 武,余 端,胡佳羽,程玥晴,陈 霞,谢永红

(重庆市农业科学院,重庆 401329)

摘要:土壤压实改变了土壤的物理属性,从而对土壤化学属性、生物性状等产生影响。对国内外关于土壤压实对土壤物质生化循环、生态效应研究进行了回顾,重点阐述了土壤压实对土壤碳氮循环的影响,并对下一步的研究方向进行了展望。

关键词:土壤压实;生化循环;生态效应

中图分类号: S154.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2014)02-0317-03

土壤是一个复杂多层次的开放性体系,它在各种因素的共同作用下,处于不断变化之中。土壤压实是指土壤颗粒重新排列达到更紧密结合、降低孔隙度、增加密度的过程。土壤压实会引起土壤物理属性的改变,进一步对土壤化学属性、土壤生物性状以及植物生长产生影响。只有在极少数情况下,轻微的土壤压实会对土壤性质、生产性能产生正面影响^[1],绝大多数都是负面影响。在耕作土壤中,机械压实主要集中于土壤表层,随着农业机械化的发展,耕作机械的牵引力、载重逐渐增加,压实作用也随之增加,从而对心土层土壤产生影响。心土层压实后难以恢复^[2]。土壤机械压实问题若得不到解决,土壤环境将遭到严重破坏,农田生产力严重下降,从而对农业可持续发展产生影响。土壤机械压实对农业的主要危害表现为土壤密度增加、通气孔隙减少、水渗透能力降低,从而对土壤生化属性、生物多样性产生影响,进而导致作物生

长受阻、产量降低、土壤环境遭到破坏^[3]。近年来,不少学者对土壤机械压实的诱因、特征、危害以及消除或避免措施进行了大量研究^[3-5]。本研究对国内外有关机械压实对土壤生化属性、生态环境的影响研究进行了归纳,旨在为我国土壤机械压实研究提供参考。

1 土壤物理属性

在农机重力、剪切力的作用下,土壤大孔隙、充气孔隙逐渐减少,团聚体相互靠近,甚至发生变形,土壤密度明显增加。经耕作机械压实后,黏性土壤密度从 $1.1 \sim 1.3 \text{ g/cm}^3$ 增至 $1.5 \sim 1.7 \text{ g/cm}^3$,沙性土壤密度可以增至 2.2 g/cm^3 ^[6]。土壤压实造成土壤表面局部土壤密度明显增加,大孔隙减少,持水能力、水分渗透率明显降低,导致水土流失加剧。目前,土壤压实已成为农田土壤水土流失加剧的主要因素之一。Singh 等研究表明,随着土壤密度的增加,水分渗漏率由 12.35 cm/h 降为 3.46 cm/h ,导致土壤水分减少^[7]。土壤压实后,充气孔隙明显减少,气体扩散率下降,进而影响土壤溶液流动。土壤严重压实后,土壤通气大孔隙降为 3% 以下,团聚体相互靠近并发生摩擦,稳定性明显降低,土壤环境质量下降。Nadian

收稿日期:2013-06-04

基金项目:国家科技支撑计划(编号:2013BAJ10B07-04B)。

作者简介:罗友进(1984—),男,浙江玉环人,博士,助理研究员,主要从事土地利用与生态变化研究。E-mail: luoyoujin1984@163.com。

[3]王 鹏,孙剑秋,臧 威,等. 磷细菌研究进展[J]. 河南农业科学,2008(9):5-9.

[4]陈廷伟. 解磷巨大芽胞杆菌分类名称、形态特征及解磷性能述评[J]. 土壤肥料,2005(1):7-9,38.

[5]王英健. 解磷细菌的分离纯化鉴定与生物学特性研究[J]. 安徽农业科学,2008,36(32):13932-13933.

[6]Richardson A E. Soil microorganism and phosphorus availability [M]//Pankhurst C E, Double B E, Gupta V V S R, et al. Soil biota management in sustainable farming system. CSIRO: Melbourne, 1994:50-62.

[7]王俭珍,韩建国,周 禾,等. 品种及施肥对草地早熟禾种子产量要素和产量的影响[J]. 草业科学,2006,23(7):90-95.

[8]张瑞麟,赵 清,范 敏,等. 我国草地早熟禾的研究进展[J]. 草业科学,2005,22(7):67-70.

[9]赵小强,马晖玲,林 栋,等. 草地早熟禾新格莱德胚性愈伤组织原生质体培养及植株再生的研究[J]. 草业学报,2010,19(2):55-60.

[10]Hafeez F Y, Malik K A. Manual on biofertilizer technology [M]. NIBGE, Pakistan, 2000.

[11]韩玉竹,赵建军,曾 兵,等. 多花黑麦草根际解磷菌的分离及解磷能力测定[J]. 草地学报,2011,19(5):766-770.

[12]林启美,赵小蓉,孙焱鑫,等. 四种不同生态环境土壤中溶磷细菌的数量及种群分布[J]. 土壤与环境,2000,9(1):34-37.

[13]沈萍等. 微生物学实验 [M]. 3 版. 北京:高等教育出版社,1999:2-6.

[14]东秀珠,蔡妙英等. 常见细菌系统鉴定手册 [M]. 北京:科学出版社,2001.

[15]徐晓东,李莉芳. 无机磷细菌的分离、筛选和鉴定[J]. 环境科学导刊,2008,27(4):1-3.

[16]李晓芹,马利青,王戈平,等. 磷细菌的分离培养与筛选[J]. 青海畜牧兽医杂志,2010,40(5):7-8.

[17]姚晓惠,刘秀花,梁 峰. 土壤中磷细菌的筛选和鉴定[J]. 河南农业科学,2002(7):28-31.

[18]郝 晶,洪坚平,谢英荷,等. 石灰性土壤磷细菌的分离、筛选及解磷效果[J]. 山西农业科学,2005,33(4):56-59.

[19]郑世仲,江胜滔,黄燕翔,等. 土壤中有机磷解磷细菌的分离筛选及鉴定[J]. 安徽农学通报,2009,15(15):24-26.

等在作物收获前测定土壤空气中的氧气含量,压实土壤为 10%,未压实土壤为 18%^[8]。在寒温带地区,压实土壤中表层土壤白天地温均较未压实的低。总之,机械压实对土壤物理属性的影响主要表现为土壤密度增大,土壤孔隙度、通气性下降,水渗透能力下降等,从而对土壤物质循环、抗侵蚀性能、生态环境产生影响,进而影响作物生长。

2 土壤生化循环

2.1 还原性

土壤压实导致土壤物理属性发生改变,如土壤水分渗透率、通气性降低,进而影响着土壤化学属性。土壤压实会导致土壤中氧气扩散速度下降,当土壤氧气消耗快于扩散时,土壤趋于缺氧环境^[9]。拖拉机及其牵引的机具在农田行走作业时,轮胎及机具对土壤产生碾压作用,导致土壤水分渗透率下降。压实土壤中,地表水滞留以及厌氧环境降低了土壤溶液的还原势,形成还原性铁,增加了土壤溶液中氢氧化铁含量,从而形成复杂的含铁化合物,可以在压实土壤中看到含铁矿物如纤铁矿。Herbauts 等研究发现,经过采伐作业后,森林表层土壤(0~30 cm)易还原性铁含量显著增加^[10]。

2.2 碳氮循环

土壤中 CO₂ 含量,有机碳、氮的矿化过程都受到土壤压实的影响。Jensen 等认为,土壤呼吸或氮矿化对土壤压实的敏感性要优于土壤物理属性^[11]。Tan 等对北方森林土壤压实现象研究发现,压实作用影响土壤中碳、氮等矿质元素的矿化^[12]。室内模拟试验发现,将沙壤土压实,其土壤密度从 1.1 g/cm³ 升至 1.5 g/cm³,9 个月后,土壤中有机碳矿化速度、净硝化速率明显下降。Pengthamkeeratia 等通过田间试验、室内模拟试验发现,适度的压实会增加土壤总有机碳含量,增强转化酶活性,降低可溶性碳含量^[13]。卢伟等调查采伐方式对土壤理化性质影响发现,表层土壤 pH 值增大,有机质、氮素含量增加,可溶性 FeO 含量明显下降^[14]。土壤压实最明显的后果是土壤排放 CO₂ 量减少。Jensen 等研究发现,土壤压实后土壤呼吸强度下降了 57%~69%,但是由于使用机械翻耕会消耗化石燃料从而产生更多的 CO₂,因此,土壤压实最终会导致更多的 CO₂ 排放^[11]。同时,Ruser 等研究指出,施用硝态氮肥的土壤 CO₂ 排放量与土壤含水量关系并不密切,只有当其受到压实,90% 以上的土壤孔隙充满水时,CO₂ 排放量才会显著下降^[15]。压实导致土壤趋于厌氧环境,土壤中产甲烷细菌数量增加,甲烷营养细菌数量减少,土壤产甲烷速率明显高于其氧化速率。土壤压实同时也会增强土壤反硝化作用过程,使得 N₂O 排放量增加。由土壤压实引起 N₂O 排放的增加量要远远大于施用氮肥所引起的增加量。Ruser 等研究指出,在施用硝态氮肥的土壤中,N₂O 排放量随着土壤含水孔隙率的增加而增加^[15]。另外,当压实土壤回润时,其 N₂O 产生速率最高。Sitaula 等研究发现,与不施肥的土壤相比,在施用氮、磷、钾肥的土壤中,由压实导致的 N₂O 排放量增加了 3 倍,但室内模拟表明,这种效应并非永久^[16]。Uchida 等研究了压实与团聚体粒径大小对土壤 N₂O 排放量的影响,结果表明,在施用牛粪肥培养试验中,粒径为 0~1 mm 团聚体在土壤压实最强时 N₂O 排放量最大^[17]。事实上,在土壤

中,不论是硝化作用还是反硝化作用都会产生 N₂O,在同一土壤团聚体中也可能同时存在着硝化、反硝化反应。土壤压实导致土壤含水量增加,从而增强土壤的反硝化作用^[18]。Soane 等研究指出,土壤压实使得土壤反硝化作用以及 N₂O 排放量增加 4~5 倍。在压实土壤中同时也导致土壤向大气排放 N₂O 过程受阻^[19]。Ball 等通过研究压实土壤在降雨条件下土壤 N₂O 排放量情况,发现施用氮肥之后,与未压实土壤相比,降雨使得压实土壤中 N₂O 的排放量明显增加^[20]。Bessou 等尝试模拟土壤压实后 N₂O 的排放量,但其得到的模型不能用于模拟种植周期^[21]。土壤压实导致土壤水含量增加、反硝化过程增强、减少了 NO_x 的排放,同时增强氨的挥发。

3 土壤生物

土壤压实对土壤生物多样性的影响取决于土壤本身性质、气候以及土壤压实程度。Beylich 等研究指出,当土壤密度大于 1.7 g/cm³ 时,压实会导致土壤微生物量减少以及碳矿化速率降低^[22]。土壤压实使得土壤通气性下降 13%~36%,土壤微生物数量下降^[23-26]。Shestak 等研究指出,当土壤强度为 75~3 800 kPa 时,土壤物理性状将发生改变,但不会对土壤的生物属性产生影响^[27]。任何干扰都会对土壤的酶活性产生影响^[28]。土壤压实引起土壤理化性质的改变,最终导致土壤磷酸酶、脲酶、酰胺酶、脱氢酶活性下降,但在有些情况下土壤磷酸酶活性会提高。在缺氧条件下,土壤微生物群落发生改变。因此,压实土壤中 Fe、S 还原性增强,产甲烷细菌含量增加。土壤动物在土壤有机物降解、形成中扮演着重要角色。土壤动物居住于土壤孔隙中,土壤压实会改变这些孔隙的大小、分布,从而对线虫、大型土壤动物的活动产生影响。土壤线虫类动物生活习惯不同,在土壤食物链中扮演着重要角色。土壤压实严重时可能会影响着线虫的数量及其分布。严重压实土壤中食细菌性、杂食性线虫数量减少,食草性线虫数量增加^[1]。土壤中蚯蚓数量、分布同样受到土壤压实的影响,其数量随着土壤压实程度的增加而减少。

4 土壤生态环境

区域土壤压实不仅影响土壤本身,同时也影响区域环境。在一些土壤中由于提高了机械翻耕效率,也会起到节能的效果^[29]。厌氧环境下,除草剂降解速率会降低,最终导致其进入地下水或蓄水层^[30]。同时,导水性能下降也会降低水体下渗速度。在陡坡上,土壤压实会导致其径流增加,最终导致土壤流失严重^[31]。此外,在泥浆区域,径流增加会导致进入水体的泥浆增加,使得水体含氧量下降,影响水生植物生长。在沙土等土壤中,土壤压实提高了土壤强度、侵蚀度,在径流量相同的情况下,土壤流失量会减少。因此,土壤压实所引起土壤物理属性的改变对环境是否呈正效应,主要取决于土壤的物理性状、环境条件^[32]。

5 结论

随着农业机械化发展,农业机械压实已成为现代农业发展过程中无法回避的问题。只有首先弄清压实危害及其产生的原因,才能为避免或减轻土壤机械压实提供依据,避免土壤

资源被破坏。目前我国主要农业种植区已基本实现机械化耕作,但各地区发展不均衡,如西南丘陵山区受其地形地貌的限制,农业机械化水平仍然较低。西南丘陵山区土地整治、土地复垦等工程的开展,为实现农业机械化提供了基本保障,但由于西南丘陵山区处于生态脆弱区,其机械化耕作带来的危害,尤其在水土流失等方面的危害要较其他区域严重,如何避免或减轻农业机械化压实带来的危害是该区域实施机械化耕作所必须面对的问题。现今普遍采用的保护性耕作如“少耕法”“免耕法”是减少耕作次数、有效降低或避免机械压实的措施之一。

参考文献:

- [1] Bouwman L A, Arts W B M. Effects of soil compaction on the relationships between nematodes, grass production and soil physical properties[J]. *Apply Soil Ecology*, 2000, 14(3): 213–222.
- [2] Jones R J A, Spoor G, Thomasson A J. Vulnerability of subsoils in Europe to compaction: a preliminary analysis[J]. *Soil & Tillage Research*, 2003, 73(1/2): 131–143.
- [3] 张兴义, 隋跃宇. 土壤压实对农作物影响概述[J]. *农业机械学报*, 2005, 36(10): 161–164.
- [4] 陈 浩, 杨亚莉. 农业机械土壤压实影响因素分析[J]. *农机化研究*, 2011, 33(6): 245–248.
- [5] Nawaz M F, Guilhem B, Fabienne T. Soil compaction impact and modeling. A review [J]. *Agronomy for Sustainable Development*, 2013, 33(2): 291–309.
- [6] Neve S De, Hofman G. Influence of soil compaction on carbon and nitrogen mineralization of soil organic matter and crop residues [J]. *Biology and Fertility of Soils*, 2000, 30(5/6): 544–549.
- [7] Singh K K, Gyatri V, Verma G. Effect of soil compaction on physical properties of loamy sand soil and yield of groundnut[J]. *Research on Crops*, 2001, 2(2): 145–147.
- [8] Nadian H, Smith S E, Alston A M, et al. The effect of soil compaction on growth and P uptake by *Trifolium subterraneum*: interactions with mycorrhizal colonization[J]. *Plant and Soil*, 1996, 182(1): 39–49.
- [9] Schnurr–Pütz S, Bååth E, Guggenberger G, et al. Compaction of forest soil by logging machinery favours occurrence of prokaryotes [J]. *FEMS Microbiology Ecology*, 2006, 58(3): 503–516.
- [10] Herbauts J, Bayad J El, Gruber W. Influence of logging traffic on the hydromorphic degradation of acid forest soils developed on loessic loam in middle Belgium[J]. *Forest Ecology Management*, 1996, 87(1/2/3): 193–207.
- [11] Jensen L S, Mcqueen D J, Shepherd T G. Effects of Soil compaction on N–mineralization and microbial–C and–N. I. Field measurements[J]. *Soil and Tillage Research*, 1996, 38(3/4): 175–188.
- [12] Tan X, Chang S. Soil compaction and forest litter amendment affect carbon and net nitrogen mineralization in a boreal forest soil[J]. *Soil & Tillage Research*, 2007, 93(1): 77–86.
- [13] Pengthamkeeratia P, Motavallib P P, Kremere R J. Soil microbial activity and functional diversity changed by compaction, poultry litter and cropping in a claypan soil[J]. *Applied Soil Ecology*, 2011, 48(1): 71–80.
- [14] 卢 伟, 高峰, 周泽民. 采伐方式对森林土壤理化性质的影响[J]. *森林工程*, 2001, 17(3): 17–18.
- [15] Ruser R, Flessa H, Russow R, et al. Emission of N₂O, N₂ and CO₂ from soil fertilized with nitrate: effect of compaction, soil moisture and rewetting [J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 2006, 38(2): 268–274.
- [16] Sitaula B K, Hansen S, Sitaula J B, et al. Effects of soil compaction on N₂O emission in agricultural soil[J]. *Chemosphere – Global Change Science*, 2000, 2(3/4): 367–371.
- [17] Uchida Y, Clough T J, Kelliher F M, et al. Effects of aggregate size, soil compaction, and bovine urine on N₂O emissions from a pasture soil[J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 2008, 40(4): 924–931.
- [18] Maag M, Vinther F P. Nitrous oxide emission by nitrification and denitrification in different soil types and at different soil moisture contents and temperatures[J]. *Applied Soil Ecology*, 1996, 4(1): 5–14.
- [19] Soane B, Van Ouwerkerk C. Implications of soil compaction in crop production for the quality of the environment[J]. *Soil & Tillage Research*, 1995, 35(1/2): 5–22.
- [20] Ball B, Scott A, Parker J. Field N₂O, CO₂ and CH₄ fluxes in relation to tillage, compaction and soil quality in Scotland[J]. *Soil & Tillage Research*, 1999, 53(1): 29–39.
- [21] Bessou C, Mary B, Léonard J, et al. Modeling soil compaction impacts on nitrous oxide emissions in arable fields [J]. *European Journal of Soil Science*, 2010, 61(3): 348–363.
- [22] Beylich A, Oberholzer H, Schrader S, et al. Evaluation of soil compaction effects on soil biota and soil biological processes in soils[J]. *Soil & Tillage Research*, 2010, 109(2): 133–143.
- [23] Frey B, Kremer J, Rüdert A, et al. Compaction of forest soils with heavy logging machinery affects soil bacterial community structure [J]. *European Journal of Soil Biology*, 2009, 45(4): 312–320.
- [24] Pupin B, Freddi O, Nahas E. Microbial alterations of the soil influenced by induced compaction[J]. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 2009, 33(5): 1207–1213.
- [25] Jordan D, Ponder F, Hubbard V C. Effects of soil compaction, forest leaf litter and nitrogen fertilizer on two oak species and microbial activity[J]. *Applied Soil Ecology*, 2003, 23(1): 33–41.
- [26] Tan X, Chang S, Kabzems R. Soil compaction and forest floor removal reduced microbial biomass and enzyme activities in a boreal Aspen forest soil [J]. *Biology and Fertility of Soils*, 2008, 44(3): 471–479.
- [27] Shestak C, Busse M. Compaction alters physical but not biological indices of soil health[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 2005, 69(1): 236–246.
- [28] Buck C, Langmaack M, Schrader S. Influence of mulch and soil compaction on earthworm cast properties[J]. *Applied Soil Ecology*, 2000, 14(3): 223–229.
- [29] O’sullivan M, Simota C. Modeling the environmental impacts of soil compaction: A review[J]. *Soil & Tillage Research*, 1995, 35(1/2): 69–84.
- [30] Alletto L, Coquet Y, Benoit P, et al. Tillage management effects on pesticide fate in soils. A review [J]. *Agronomy for Sustainable Development*, 2010, 30(2): 367–400.
- [31] Zink A, Fleige H, Horn R. Verification of harmful subsoil compaction in loess soils [J]. *Soil & Tillage Research*, 2011, 114(2): 127–134.
- [32] 杨金玲, 汪景宽, 张甘霖. 城市土壤的压实退化及其环境效应[J]. *土壤通报*, 2004, 35(6): 688–694.