

不同有机物料还田对土壤结构与玉米光合速率的影响

张久明^{1,2}, 迟凤琴^{1,2}, 宿庆瑞^{1,2}, 匡恩俊^{1,2}, 张磊^{1,2}, 金梁^{1,2}, 郭文义³, 徐军生⁴

(1.黑龙江省农业科学院土壤肥料与环境资源研究所, 黑龙江 哈尔滨 150086; 2.黑龙江省土壤环境与植物营养重点实验室, 黑龙江 哈尔滨 150086; 3.沈阳军区空军克东副食品生产基地, 黑龙江 克东 161000; 4.沈阳军区空军司令部克山农副业基地, 黑龙江 克山 161600)

摘要:为解决由于长期不合理耕作及有机物料利用率低而导致土壤养分贫瘠和土壤物理性状恶化情况,本试验针对黑土宜板结和肥力保持等问题设置了不同技术措施,研究在玉米生育时期不同有机物料还田模式对土壤结构特性及玉米光合速率的影响。结果表明:收获后浅翻深松+秸秆还田和有机肥处理较常规处理,土壤容重下降了 $0.13 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 和 $0.09 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$,浅翻深松+秸秆还田、有机肥、翻压绿肥和生物肥均能降低土壤紧实度,改善土壤三相比,增加土壤通气透水性,使得土壤物理结构得到改善。有机肥、秸秆还田和生物肥处理提高玉米喇叭口期光合速率,较常规处理提高 $2.1 \sim 7.6 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$;秸秆还田和生物肥较常规施肥处理,蒸腾速率下降 57% 和 56%;在玉米喇叭口期各处理气孔导度均小于对照,灌浆期秸秆还田处理较常规处理气孔导度增加,导致叶片胞间 CO_2 浓度下降,说明气孔阻力的降低导致叶片胞间 CO_2 浓度降低。有机物料还田后可以降低土壤容重、紧实度,土壤三项比达到合理范围,并且可以提高作物的光合速率,降低蒸腾速率,尤其是秸秆还田和有机肥处理好于其他处理。保护性耕作和有机物料还田对于提高土壤肥力、改善土壤物理特性,提高作物光合速率,增加作物产量均起到积极促进作用。

关键词:有机物料还田;黑土;光合速率;土壤结构;玉米

中图分类号:S181

文献标志码:A

文章编号:2095-6819(2014)01-0056-06

doi: 10.13254/j.jare.2013.0201

Effect of Different Organic Material Turnover on Soil Structure and Maize Photosynthetic Rate

ZHANG Jiu-ming^{1,2}, CHI Feng-qin^{1,2}, SU Qing-rui^{1,2}, KUANG En-jun^{1,2}, ZHANG Lei^{1,2}, JIN Liang^{1,2}, GUO Wen-yi³, XU Jun-sheng⁴

(1. Soil Fertilizer and Environment Resources Institute, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin 150086, China; 2. Key Laboratory Soil Environment and Plant Nutrition of Heilongjiang Province, Harbin 150086, China; 3. Agricultural Nonstaple Food Production Kedong Base in Air Force of the Shenyang Military Command Area, Kedong 161000, China; 4. Agricultural Nonstaple Food Production Keshan Base in Air Force of the Shenyang Military Command Area, Keshan 161000, China)

Abstract: The effect of different organic material turnover on soil structure and maize photosynthetic rate was researched in this paper. The results showed that comparing the control treatment, the soil bulk density of two treatments of shallow reversing and chiseling plow with straw returning and organic fertilizer were decreased by $0.13 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ and $0.09 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$, respectively. The application of shallow reversing and chiseling plow with straw turnover, organic fertilizer, green organic fertilizer and bio-fertilizer could reduce soil hardness, change the soil three phase state, improve the soil physics structure. Organic fertilizer and green organic fertilizer and bio-fertilizer increased the maize photosynthetic rate at trumpet period by $2.1 \sim 7.6 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. The transpiration rate of straw turnover and bio-fertilizer treatments was decreased by 57% and 56% separately. Conductances of all treatments were lower than that of the control treatment at trumpet period. Meanwhile stomatal conductance was increased at filling stage which may lead to the decreasing CO_2 concentration with the reason that reducing of stomatal booster caused the lower CO_2 concentration. Returning of organic materials could reduce soil bulk density and compaction, make the soil

收稿日期:2013-11-11

基金项目:国家科技支撑计划(2013BAD07B01, 2012BAD05B01);公益性行业(农业)科研专项(201303126);国家自然科学基金(41171244);黑龙江省自然科学基金(ZD201113)

作者简介:张久明(1980—),男,黑龙江绥滨人,助理研究员,在读博士,主要从事土壤肥力和 3S 应用方面研究。E-mail: zjm_8049@163.com

three phase state having a reasonable range, improve crop photosynthetic rate, decrease the transpiration rate, especially the treatments of straw returning and organic fertilize. In short, protection tillage and organic materials returning to field play a positive role for improving soil fertility, soil physical characteristics, crop photosynthetic rate and crop yields.

Keywords: organic material turnover; black soil; photosynthetic rate; soil structure; maize

土壤物理性质的好坏源于土壤结构,并最终影响到土壤物理质量^[1]。大量研究表明^[2-6],以少免耕和秸秆还田为代表的各种保护性耕作措施在增加土壤有机质、改善土壤结构、提高土壤各级水稳性团聚体含量、增加土壤持水性和通透性等方面具有明显效果;而且,秸秆还田能够增加地表糙度,减少土壤水侵蚀,从而更有利于土壤物理质量的维持和提高,防治土壤质量退化^[7-8]。土壤容重、孔隙度和紧实度是重要的土壤物理因子,其大小不仅影响着土壤的持水和溶解矿质元素的性能,而且影响着植物的扎根和根系的吸水性能,进而影响土壤肥力状况和植物的生长^[9]。Russell^[10]认为,作物根系的穿透率同土壤的容重密切相关。Trowse 等^[11]也指出,植物根系可以穿透粘土的最高容重为 $1.46\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 。

光合作用是绿色植物吸收光能,把 CO_2 和 H_2O 转化成有机物,同时释放 O_2 的过程。光合作用是作物产量形成的基础。近年来国内外对作物光合速率、蒸腾速率和水分利用效率的研究十分活跃^[12-13]。随着光合性状测定仪器的不断改进,越来越多不同领域的学者把光合生理指标的研究与产量提高联系起来。其中不乏把光合速率、气孔导度等光合生理指标与土壤施肥、培肥等各种措施进行相关性分析^[14]。光合速率与气孔导度、蒸腾速率的相关性较大,它们是影响光合速率的重要因素,光合与蒸腾分别是 CO_2 和 H_2O 通过叶片气孔的内外物质交换过程,叶片的气孔行为对光合与蒸腾都产生直接影响^[15-18]。为此在黑土地地区研究不同有机物料还田条件下对土壤结构和玉米生育时期叶片光合速率的影响,以期对东北黑土地土壤结构改善和玉米的再增产提供一定理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

试验地点位于哈尔滨市道外区民主乡黑龙江省

农科院现代农业科技示范园区。地理坐标为东经 $126^{\circ}48'\sim 126^{\circ}51'$,北纬 $45^{\circ}49'\sim 45^{\circ}51'$,属于寒温带大陆季风气候,土壤类型为黑土。其土壤基本物理性状土壤容重为 $1.25\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$;田间持水量为 27.34%,孔隙度为 34.34%,土壤固相率较高,造成土壤比较紧实,物理性状相对较差(表 1)。

1.2 试验设计

2011 年共设计 5 个技术模式:(1)测土施肥+深松+生物肥 ($600\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$);(2)测土施肥+深松+有机肥 ($22\,500\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$);(3)测土施肥+深松+秸秆还田 ($7\,500\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$);(4)测土施肥+深松+翻压绿肥 ($30\,000\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$);(5)当地常规施肥方式(对照),采用大区对比试验无重复,每个处理面积 $10\text{ 垄}\times 0.7\text{ m}\times 45\text{ m}=315\text{ m}^2$,种植作物为玉米。常规施肥方式为:基肥施磷酸二铵 $250\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、尿素 $75\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、硫酸钾 $100\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,拔节至孕穗期每 667 m^2 追施 $300\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 尿素。模式(1)、(2)、(3)的玉米的施肥量为玉米常规施肥量减掉各自其他措施带入的养分量。

玉米播种时间:2011 年 5 月 3 日。玉米品种:阳光 1 号。

生物肥的施用:施用黑龙江省科学院微生物所提供的生物肥;养分含量为氮(N)12.21%,磷(P_2O_5)10.65%,钾(K_2O)5.32%。

有机肥的施用:播种前将腐熟的牛粪均匀撒施于垄上,有机质含量为 14.4%。

绿肥的翻压:翻压绿肥区于 2010 年春种植草木樨,秋季机械翻压至土壤中。养分含量为:氮(N)2.657%,磷(P_2O_5)0.238%,钾(K_2O)2.854%。

玉米秸秆的施用:玉米秸秆采用覆盖方式,养分含量为:氮(N)0.907%,磷(P_2O_5)0.932%,钾(K_2O)1.31%。

1.3 测定方法

土壤紧实度采用美国 SC-900 土壤紧实度仪进

表 1 试验示范区土壤物理性状

Table 1 Soil physical properties of experimental and demonstration zone

项 目	深度/cm	容重/ $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	田间持水量/%	土壤孔隙度/%	固相/%	液相/%	气相/%
平均值	0~20	1.25	27.34	34.34	65.66	26.79	7.55

行田间测定,土壤容重和土壤孔隙度采用环刀法测定(环刀规格是 100 cm^3),田间持水量采用烘干法测定,土壤三项比采用日本 DIK1130 土壤三项仪测定;光合速率(喇叭口期 2011-07-02、灌浆期 2011-08-12、收获期 2011-09-28)采用 PP SYSTEMS 公司 CIRAS-2 光合测定系统测定,天气均在上午晴朗无云天气情况下测定玉米最上面完全展开叶;样品采用多点取样,土壤容重及硬度采集土壤表层 $0\sim 20\text{ cm}$,垄台侧面,数据分析采用 Excel 2003 进行处理,统计分析利用 DPS 2000,单因素多重比较 Duncan 新复极差法进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 不同技术模式对土壤物理性质的影响

从图 1 可以看出,不同技术模式当年就对土壤物理性质产生一定影响。收获后不同处理与播种前比较除了常规处理外,秸秆还田、有机肥和绿肥处理随着作物的生长土壤容重都有不同程度的下降,收获后秸秆还田和有机肥处理较常规处理,下降了 $0.13\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 和 $0.09\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$,其次是绿肥处理。说明浅翻深松+秸秆还田、有机肥及绿肥翻压和施入微生物肥等改土措施均能降低土壤容重,改善其物理性状。

土壤的三相比是指土壤固相、液相、气相分别占土壤容积的比例。其中,构成土壤固相部分的主要组成物质比较复杂,包括土壤微生物、动植物的残体、砂石、矿物质和有机质等等。对于某一种土壤,土壤固相率是相对稳定的数值,同一种类土壤,影响固相率大小的主要因素是外力的作用,如耕作、压实等。土壤固相率的大小反映了土壤的紧实程度,影响土壤的透水性能。对于多数旱作土壤来说,适宜的三相比为:固相率 $40\%\sim 50\%$,液相率 $25\%\sim 30\%$ 左右,气相率 $15\%\sim 25\%$ 左右。如果气相率低于 8% ,会妨碍土壤通气而抑

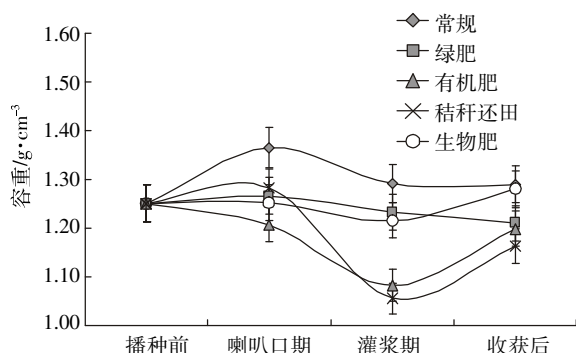


图 1 不同处理模式土壤容重变化

Figure 1 Changes of soil bulk density in different treatment modes

制植物根系生长和好气微生物的活动。

图 2 是供试土壤在玉米不同生长阶段的三相比,玉米播种前土壤固相率达 65% 以上,气相率仅为 7.55% ,表明土壤硬度较大,土壤的通气透水性明显低下,作物根系生长会受阻。然而,在大喇叭口期有机肥处理能明显降低土壤固相率,土壤固相率在 52% 左右,达到了一个合适的范围,气相率增加,土壤紧实状况得到改善;其次是秸秆还田和绿肥处理也相应降低了土壤固相率,导致土壤通透性增加。在玉米灌浆期,4 种有机物料还田处理均较对照固相率呈下降趋势;在玉米收获后测定结果显示,除了常规处理增加了土壤固相率外,其他 4 个处理土壤固相率都在 50% 左右,液相和气相率也在适宜的范围。因此,上述结果表明,深松后秸秆还田、绿肥翻压、施用有机肥和生物肥都能改善土壤紧实状况,增加土壤的通透性,促进作物根系生长。

土壤紧实度是土壤结构的一个重要指标,紧实度值越大,根系几乎不能完全穿透土壤。从图 3 中可以看出,在玉米生长的重要时期喇叭口期,与常规处理

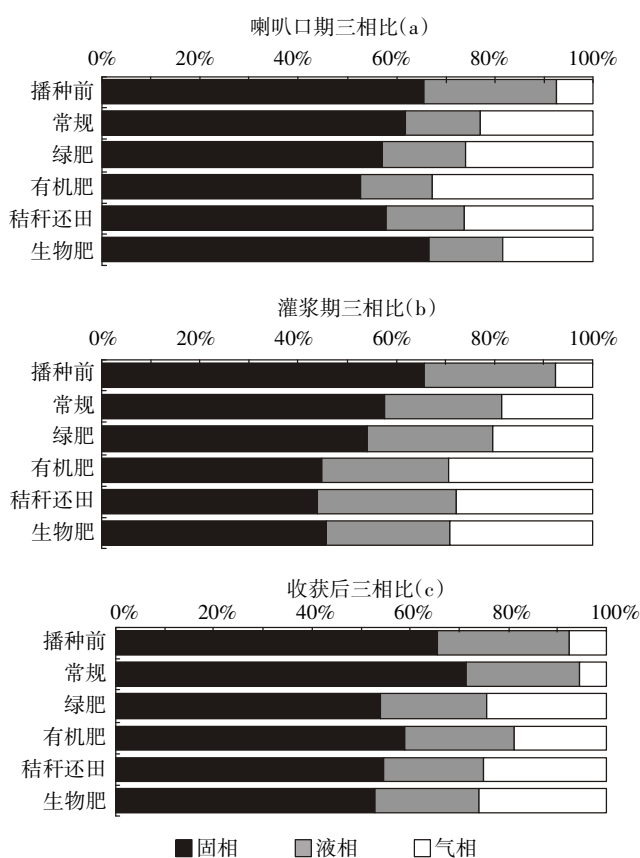


图 2 各处理土壤三相比状况

Figure 2 Situations of three-phase ratio of soils in treatments

比较,有机肥、秸秆还田和生物肥处理土壤紧实度下降 32%~46%,土壤疏松程度远大于其他处理,这个时期有利于玉米根系的下扎;绿肥翻压效果不明显。后期各处理间差别越来越小,几乎趋于一致。

2.2 不同技术模式对作物光合作用的影响

研究结果显示,在供试 5 个处理中,不同有机物料还田方式对提高作物光合生理指标都有明显的作用。图 4 表明,在玉米重要的 2 个生育时期喇叭口期和灌浆期与常规处理比较,除绿肥处理外其他 3 个处理都能明显提高玉米的光合速率,较常规处理提高 2.1~7.6 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$,尤其是有机肥处理最高为 9.13 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$,喇叭口期有机肥与常规施肥处理 5% 区间差异显著,灌浆期有机肥和秸秆还田处理与常规施肥处理差异明显。蒸腾速率和叶片水分散失有关,在本研究中,常规处理蒸腾速率最高为 7.42 $\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$,其他 4 个处理中,喇叭口期秸秆还田和生物肥处理较常规处理降低 57% 和 56%,灌浆期与喇叭口期蒸腾速率趋势相同,但差异明显减小。

从图 5 中可以看出,在玉米喇叭口期,常规和有机肥气孔导度较高为 639.67 $\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 、523.67 $\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$,所以叶片胞间 CO_2 浓度较其他处理低;

而在灌浆期秸秆还田处理气孔导度较高为 341.67 $\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$,叶片胞间 CO_2 浓度较其他处理下降,说明气孔阻力的降低导致叶片胞间 CO_2 浓度降低,并且常规施肥处理气孔导度在玉米喇叭口期与秸秆还田和生物肥处理之间 5% 区间内差异显著,叶片胞间 CO_2 浓度与气孔导度成负相关。

3 讨论

浅翻深松+秸秆还田、有机肥等改土措施对降低土壤容重、保持土壤水分和改善土壤的物理性状都有很好的效果,秸秆还田在降低土壤容重方面好于其他处理。有机肥处理能明显降低土壤固相率,使其达到了一个合适的范围;其次是秸秆还田和绿肥处理也能降低土壤的固相率,增加土壤通透性。与常规处理比较,有机肥、秸秆还田和生物肥处理土壤紧实度下降较快,土壤疏松程度好于其他处理。

近年来的研究表明,作物残茬覆盖可以增加反照率和空气动力学阻力,减少潜热能量和水气传输,改变地表层小气候,进而对作物叶片气体交换产生影响,提高作物的净光和速率^[19]。本研究中施入有机肥、秸秆还田和生物肥处理玉米喇叭口期光合速率较高,较常规处理提高 2.1~7.6 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$,与以往的研究结果相一致;另外各处理蒸腾速率较对照降低,这是因为气孔导度较低,气孔阻力增加水汽散出阻力增加,导致蒸腾速率下降。

宫秀杰等^[20]研究不同间作方式对玉米/辣椒光和速率影响表明:单作种植光合速率较高,但是蒸腾速率偏低,这是因为单作处理的气孔导度较低,气孔阻力增加水汽散出阻力增加,导致蒸腾速率的下降。随着气孔阻力的增加, CO_2 进入叶片的阻力也增加,但

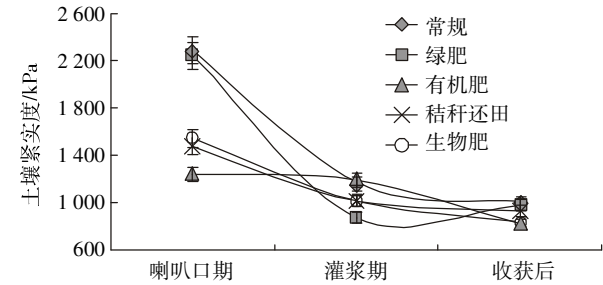
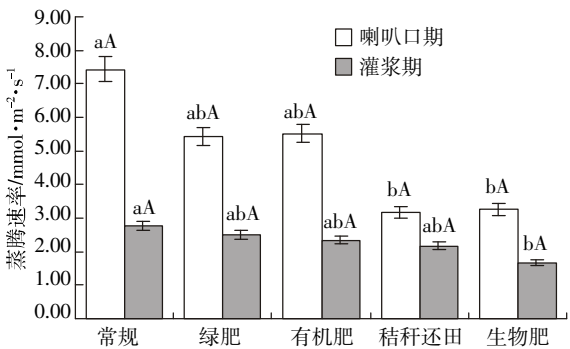
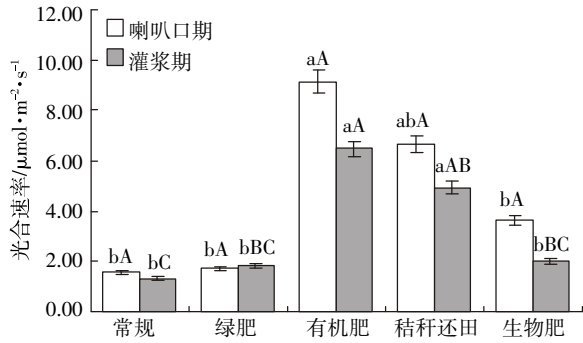


图 3 各处理土壤紧实度状况

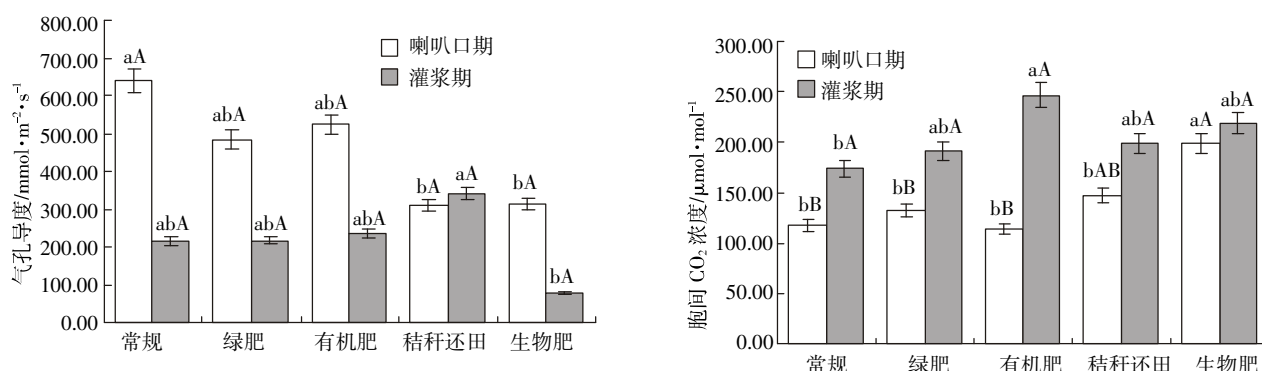
Figure 3 Situations of soil compaction in treatments



处理之间显著性分析:小写字母为 5% 区间显著,大写字母为 1% 区间显著。下同

图 4 各种技术模式处理对作物光合速率和蒸腾速率的影响

Figure 4 Effects of crop photosynthetic rate and transpiration rate in various technical pattern treatments

图5 各种技术模式处理对作物气孔导度和胞间 CO₂ 的影响Figure 5 Effects of crop stomatal conductance and Intercellular CO₂ in various technical pattern treatments

因其胞间 CO₂ 浓度过高,所以光合速率仍然很高。这与本研究在玉米喇叭口期,常规和有机肥处理气孔导度高于其他处理,因此叶片胞间 CO₂ 浓度较其他处理低,灌浆期秸秆还田处理随着气孔导度增加较快,叶片胞间 CO₂ 浓度较其他处理呈现下降趋势,光合速率较高结果相一致。说明施用有机肥和秸秆还田处理可以改善土壤物理结构和提高作物光合速率,促进作物干物质积累,增加作物产量。

4 结论

土壤深松+有机物料还田后可以降低土壤容重、紧实度;土壤三项比达到合理范围,并且可以提高玉米的光合速率,降低蒸腾速率,尤其是秸秆还田和有机肥处理好于其他处理。表明保护性耕作和有机物料还田对于提高土壤肥力、改善土壤物理特性,提高作物光合速率,增加作物产量均起到积极促进作用。

参考文献:

- [1] Dexter A R. Soil physical quality (Part I, II, III) [J]. *Geoderma*, 2004, 120: 201-239.
- [2] 毛吉贤, 石书兵, 马林, 等. 免耕春小麦套种牧草土壤养分动态研究 [J]. *草业科学*, 2009, 26(2): 86-90.
MAO Ji-xian, SHI Shu-bing, MA Lin, et al. Dynamic change of soil nutrient in free tillage spring wheat-grass intercropping land [J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2009, 26(2): 86-90. (in Chinese)
- [3] 郭清毅, 黄高宝, Li G D, 等. 保护性耕作对旱地麦豆双序列轮作农田土壤水分利用效率的影响 [J]. *水土保持学报*, 2005, 19(3): 165-169.
GUO Qing-yi, HUANG Gao-bao, Guangdi Li, et al. Conservation tillage effects on soil moisture and water use efficiency of two phases rotation system with spring wheat and field pea in dryland [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2005, 19(3): 165-169. (in Chinese)

- [4] 于爱忠, 黄高宝. 保护性耕作对内陆河灌区春季麦田不可蚀性颗粒的影响 [J]. *水土保持学报*, 2006, 20(3): 6-9.

YU Ai-zhong, HUANG Gao-bao. Effects of different tillage treatments on unerodible soil particles of wheat-field in spring in inland irrigation region [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2006, 20(3): 6-9. (in Chinese)

- [5] 常旭虹, 赵广才, 张雯, 等. 作物残茬对农田土壤风蚀的影响 [J]. *水土保持学报*, 2005, 19(1): 28-31.

CHANG Xu-hong, ZHAO Guang-cai, ZHANG Wen, et al. Effect of crop stubble mulch on farmland wind erosion [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2005, 19(1): 28-31. (in Chinese)

- [6] Elliott E T, Coleman D C. Let the soil work for us [J]. *Ecological Bulletins*, 1988, 39: 23-32.

- [7] Lal R. Long term tillage and maize mono culture effects on a tropical Alfisol in western Nigeria: Crop yield and soil physical properties [J]. *Soil & Tillage Research*, 1997, 42: 145-160.

- [8] Moreno F, Pelegrin F, Fernandez J E. Soil physical properties, water depletion and crop development under traditional and conservation tillage in southern Spain [J]. *Soil & Tillage Research*, 1997, 41: 25-42.

- [9] Prasertsan S, Saen-Sabv P. Research and development needs and opportunities [J]. *Drying Technology*, 1998(16): 251-270.

- [10] Russell R S. 作物的根系与土壤 [R]. 農山漁村文化協會, 1981: 241-247.

- [11] Trowse A C, Humbert R P. Some effects of soil compaction on the development of sugar cane roots [J]. *Pl Soil*, 1961, 1(9): 75-85.

- [12] 邵新庆, 沈禹颖, 王堃. 水土保持耕作对夏种大豆光合、蒸腾及水分利用效率的影响 [J]. *草业学报*, 2005, 6(3): 82-86.

SHAO Xin-qing, SHEN Yu-ying, WANG Kun. Effects of conservation tillage on the photosynthesis, transpiration and water use efficiency of summer sown Glucine max [J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2005, 6(3): 82-86. (in Chinese)

- [13] 刘庚山,郭安红,任三学,等.不同覆盖对夏玉米叶片光合和水分利用效率日变化的影响[J]. 水土保持学报,2004,18(2):152-156.
- LIU Geng-shan, GUO An-hong, REN San-xue, et al. Effects of different mulching methods on diurnal variation of leaf photosynthesis and water use efficiency for summer maize[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2004, 18(2): 152-156. (in Chinese)
- [14] 张永恩,赵亚丽,王 群,等.多雨寡照年份不同玉米杂交种生育后期光合特性比较[J]. 玉米科学,2005,13(3):65-71.
- ZHANG Yong-en, ZHAO Ya-li, WANG Qun, et al. The comparison between the photosynthetic characteristics of different maize hybrids in overabundant rain and poor sunshine year in later growth stage[J]. *Journal of Maize Sciences*, 2005, 13(3): 65-71. (in Chinese)
- [15] 李友军,吴金芝,黄 明,等.不同耕作方式对小麦旗叶光合特性和水分利用效率的影响[J]. 农业工程学报,2006,22(12):44-48.
- LI You-jun, WU Jin-zhi, HUANG Ming, et al. Effects of different tillage systems on photosynthesis characteristics of flag leaf and water use efficiency in winter wheat[J]. *Transactions of the CSAE*, 2006, 22(12): 44-48. (in Chinese)
- [16] 梁宗锁,康绍忠,高俊风,等.分根交替渗透胁迫对玉米蒸腾效率与根系生长的影响[J]. 作物学报,2000,26(2):250-255.
- LIANG Zong-suo, KANG Shao-zhong, GAO Jun-feng, et al. Effect of abscisic acid (ABA) and alternative split-root osmotic stress on root growth and transpiration efficiency in maize[J]. *Acta Agronomica*, 2000, 26(2): 250-255. (in Chinese)
- [17] 刘德林,刘贤赵.控制性分根交替滴灌对玉米蒸腾日变化和 WUE 的影响[J]. 节水灌溉,2006(1):9-12.
- LIU De-lin, LIU Xian-zhao. Effect of controlled roots-divided alternative drip irrigation for maize on daily variation of transpiration rate and water use efficiency[J]. *Water Saving Irrigation*, 2006(1): 9-12. (in Chinese)
- [18] 孙东宝,孙高东,王庆锁.晋北半干旱区免耕对玉米光合和蒸腾特性的影响[J]. 中国农业气象,2010,31(2):235-239.
- SUN Dong-bao, SUN Gao-dong, WANG Qing-suo. Effects of no-tillage on the photosynthesis and transpiration of maize in the semi-arid area of northern Shanxi Province[J]. *Chinese Journal of Agrometeorology*, 2010, 31(2): 235-239. (in Chinese)
- [19] Freebairn D M, Littleboy M, Smith G D. Models and management in the semi-arid tropics and subtropics [C]. Wallingford, UK: CAB International, 1991:283-305.
- [20] 宫秀杰,滕云飞,钱春荣,等.玉米/辣椒间作复合群体生理效应研究 I.不同间作方式对玉米/辣椒光合速率和产量的影响[J]. 中国农学通报,2010,26(21):111-114.
- GONG Xiu-jie, TENG Yun-fei, QIAN Chun-rong, et al. Physiological effect of maize/chili pepper intercropping I. The influence of different intercropping patterns on photosynthetic rate and yield of maize/chili pepper[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2010, 26(21): 111-114. (in Chinese)