

免耕对土壤物理性质及作物产量的影响

郭晓霞¹, 刘景辉¹, 张星杰¹, 李立军¹, 陈勤², Surya N. ACHARYA²

(1. 内蒙古农业大学农学院, 内蒙古呼和浩特 010019; 2. 加拿大农业食品部列桥研究中心)

摘要: 在位于黄河流域半干旱区清水河县, 设置免耕不同轮作方式对土壤物理性质及作物产量的影响试验。对免耕不同耕作方式下, 土壤团粒结构、总孔隙度、水热变化及作物产量进行了测定。结果表明: 经 3 a 的免耕 + 轮作后, 土壤团粒结构, 总孔隙度和水分含量均有逐年增加的趋势, 其中留茬覆盖处理尤为明显。秸秆覆盖处理土壤团聚体在 0.25 ~ 0.5 mm 之间含量最高; 常规耕作与留茬不覆盖在 0.1 ~ 0.25 mm 之间达到最高值。说明, 留茬覆盖有利于形成大粒径的团聚体颗粒, 留茬不覆盖处理对于土壤微结构的形成有良好的促进作用。同时, 土壤总孔隙度在不同年际间均表现为留高茬覆盖 > 留低茬覆盖 > 留高茬 > 留低茬 > 常规耕作, 可见, 免耕不同轮作方式对土壤的改善有一定的积极作用。实施免耕的前 2 a, 作物产量不稳定, 甚至造成减产, 第 3 年免耕增产效应有所显现。

关键词: 免耕; 土壤团粒结构; 土壤总孔隙度; 水热变化; 作物产量

中图分类号: S342.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2010)05-0038-05

土地利用方式可改变土壤状况并影响很多生态过程^[1], 合理的土地利用方式可改善土壤结构, 增强土壤对外界环境变化的抵抗力^[2]。不合理的土地利用方式会降低土壤质量^[3]。免耕秸秆覆盖可减少耕作次数, 改变土壤结构和容重, 调节土壤水气分配, 进而使土壤的水、肥、气、热状况重新组合^[4,5], 这一系列的变化可以反映免耕覆盖条件下土壤性质及作物产量。许多研究^[6-8]结果表明免耕对土壤容重的影响不大。Mieke (1984)、Unger (1984)^[9,10] 和 Mahboubi (1993) 等人^[11] 曾指出, 免耕土壤的物理条件等同或优于传统耕作土壤; 然而, 也有少数人^[12,13] 曾报道过免耕条件下土壤容重有所增加的情况, 但是秸秆覆盖保持水土的效果非常明显。因此, 在作物产量上也有不同的结果。针对内蒙古水资源缺乏、水土流失较严重等方面的问题, 以保持土壤水分、防止土壤退化为目的, 本试验研究了 5 种不同耕作方式下燕麦—大豆—玉米顺序种植后, 免耕农田土壤结构变化, 农田保水机理与水热调控技术, 探讨其增产技术原理, 旨在为深入了解半干旱地区农业活动对土壤性质的影响机制, 确立产量的变化趋势, 为我国旱作区免耕措施的推广提供理论依据。

行, 试验地土壤为栗褐土, 养分含量见表 1。试验地前茬为燕麦, 采用免耕耕作法进行试验, 常规耕作采用翻耕。试验采取燕麦、大豆、玉米顺序轮作, 设免耕留低茬(NL)、免耕留低茬覆盖(NLS)、免耕留高茬覆盖(NHS)、免耕留高茬(NH)、常规耕作(T)5 个处理, 重复 3 次。常规耕作处理分别于作物收获后和播种前各耕作一次, 耕深 15 cm 左右; 免耕处理在作物收获后至播种前, 不搅动土壤, 利用前作残茬和秸秆覆盖地表, 采用中国农业大学研发的 2MB-5 型免耕播种机进行播种, 燕麦、玉米留高茬高度为 20 cm(大豆以不留荚为主, 因为大豆有的不含荚秸秆不足 20 cm), 3 种作物留低茬高度均为 5 cm, 3 种作物是用各自的秸秆覆盖, 秸秆覆盖率为 90% 以上, 秸秆覆盖量为 6 000 kg/hm²。

表 1 试验地土壤的基本性状

Table 1 Soil properties conditions of the experiment sites

有机质 Org. matter (g/kg)	碱解氮 Available N (mg/kg)	速效磷 Available P (mg/kg)	速效钾 Available K (mg/kg)	全氮 Total N (g/kg)	全磷 Total P (g/kg)
9.29	27.72	3.82	100.60	0.60	0.31

1.2 测定指标

在作物生长期, 温度和水分观测记录方式如下: 每个生育时期观测一次土壤温度日变化(9:00, 12:00, 15:00, 18:00, 21:00, 0:00, 3:00, 6:00); 每隔

1 材料与方法

1.1 试验设计

本试验于 2006 ~ 2008 年在内蒙古清水河县进

收稿日期: 2010-03-01

基金项目: 国家“十一五”科技支撑计划重点课题(2006BAD15B05); 中国农业大学与内蒙古农业大学两校合作基金项目; 挑战计划项目“黄河流域旱作保护性农业研究”, 国际玉米小麦改良中心(CIMMYT)

作者简介: 郭晓霞(1983—), 女, 内蒙古通辽市人, 博士研究生, 主要从事耕作制度与农业生态系统研究。E-mail: guoxiaoxia2008@126.com。

通讯作者: 刘景辉(1965—), 男, 博士生导师, 教授, 主要从事耕作制度与农业生态系统研究。E-mail: cauljh@Yahoo.com.cn。

15~20 d,在上午 9:00~11:00 测定 5、10、20、40、60 cm 土壤温度。在测定地温同时用铝盒测定 1 m 深的土壤含水量(0~10,10~20,20~40,40~60,60~80,80~100 cm)。播前取土,采用机械筛分法测定 0~20 cm 土层的土壤团聚体、微团聚体(粒径小于 0.25 mm 为土壤微团聚体)。同时每个样点用环刀法分别在不同土壤层次 0~20、20~40、40~60 cm 采集新鲜土样,重复采样 3 次,然后分别进行容重(d_1, d_2, d_3)测定和孔隙度($P1\%, P2\%, P3\%$)计算,土壤孔隙度的计算公式为: $P\% = 93.947 - 32.995d$ 。

1.3 数据处理

试验数据均采用 SPSS13.0 软件进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 免耕对土壤团聚体组成的影响

土壤团聚体是土壤养分和水分的“贮藏库”,其含量的多少,在一定程度上反映了土壤供储养分和

保蓄水分能力的高低。由图 1 可知,燕麦-大豆-玉米顺序轮作与免耕相结合,各粒级土壤团聚体含量在不同处理间均表现为逐年增加,且留高茬覆盖 > 留低茬覆盖 > 留高茬 > 留低茬 > 常规耕作。秸秆覆盖处理土壤团聚体在 0.25~0.5 mm 之间含量最高;常规耕作与留茬不覆盖在 0.1~0.25 mm 之间达到最高值。第 3 年,0.25 mm 以上的土壤团聚体含量,留高茬覆盖、留低茬覆盖、留高茬、留低茬分别较常规耕作土壤团聚体含量增加了 89.9%、66.8%、37.5%、18.4%。留高茬、留高茬覆盖、常规耕作三处理土壤团聚体总量 2008 年分别较 2006 年和 2007 年增加 19.52% 和 5.74%、38.23% 和 15.83%、-8.87% 和 -4.4%。由此可见,留高茬覆盖对土壤团聚体的形成有良好的促进作用,随着种植年限延长,不同处理间的差距越来越明显,常规耕作的土壤团聚体含量明显低于免耕各处理。说明免耕有利于促进土壤良好结构的形成,而常规耕作因耕翻形成较多的小土粒,而破坏了土壤结构。

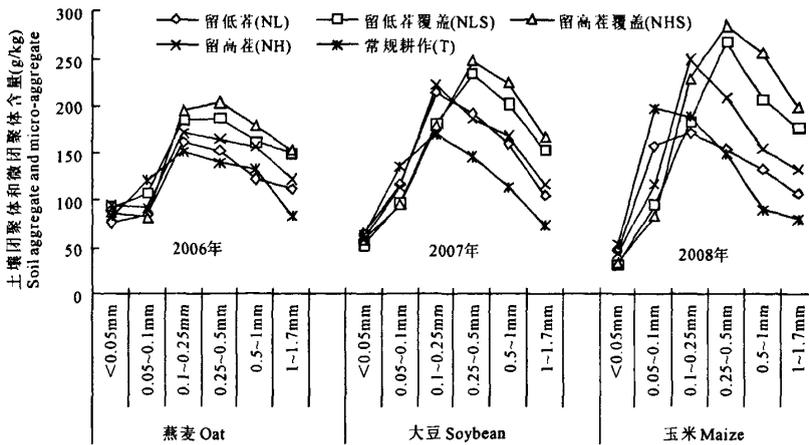


图 1 3 种作物土壤团聚粒结构比例分配

Fig.1 Soil aggregates proportional sharing in three crops

2.2 免耕对土壤总孔隙度的影响

由图 2 可知,免耕各处理土壤总孔隙度均表现为留高茬覆盖 > 留低茬覆盖 > 留高茬 > 留低茬 > 常规耕作,且各处理土壤总孔隙度呈现逐年增加的趋势。随着秸秆覆盖年限的增加,土壤养分逐年增加,土壤生物数量也相应的增加,因而生物活动比较频繁,所以土壤孔隙度有相对增加的趋势。不同土层间土壤总孔隙度为 0~20 cm > 20~40 cm > 40~60 cm。0~20 cm 土壤总孔隙度逐年增加的幅度最大,不同年际间同一处理的土壤总孔隙度均达到了显著

或极显著水平。其中,留茬覆盖处理增加的最为明显,2008 年留高茬覆盖处理在 0~20 cm 土壤总孔隙度分别较 2006 年和 2007 年增加了 10.17% 和 4.82%;而 2008 年 0~20 cm 土层留高茬覆盖、留低茬覆盖、留高茬、留低茬分别较常规耕作增加了 18.42%、17.72%、13.53%、9.96%。由此可见,免耕促进了土壤孔隙的形成,改善了土壤结构,有利于形成植物生长的优良环境。经 SPSS13.0 分析软件分析的不同年际间同一处理土壤总孔隙度的显著性见图 2 标注。

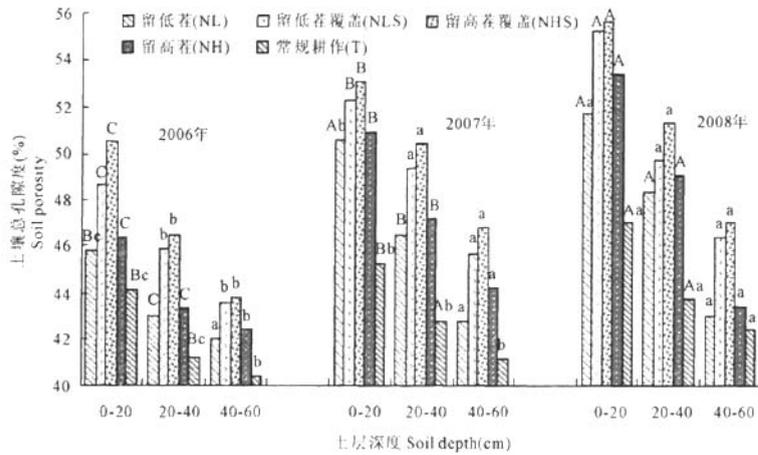


图 2 不同处理对土壤总孔隙度的影响

Fig. 2 Effects of different treatments on soil porosity

2.3 免耕对土壤温度的影响

由苗期 5 cm 地温的日变化可知(图 3),土壤温度在 9:00 ~ 18:00 之间均为常规耕作 > 留低茬 > 留高茬 > 留低茬覆盖 > 留高茬覆盖;在 21:00 ~ 次日 6:00 之间则相反。说明免耕各处理在高温时有降温作用,在低温时有升温作用。9 时后随着地温升高,各处理差异越来越大,到下午 14 点,地温达到一天

中最高时,此时秸秆覆盖的降温效果最明显,覆盖比对照地温降低了 2.2℃,可有效减少土壤蒸发。晚上温度降低时,不覆盖处理的温度迅速降低,覆盖比不覆盖土壤温度高 1℃ ~ 2℃。相对不覆盖,秸秆覆盖的地温在一天中的变化较缓慢,日变化幅度明显减小。可见,免耕能够较长时间的保持作物生长所需要的温度范围,利于植物更好地生长。

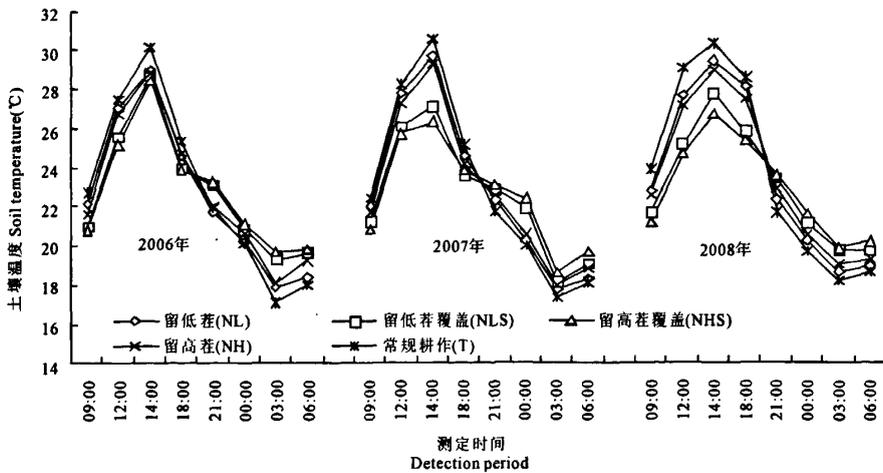


图 3 年际间各处理对土壤温度日变化的影响

Fig. 3 Diurnal changes of soil temperature

2.4 免耕对土壤含水量的影响

由图 4 可知,不同处理 0 ~ 10 cm 土壤含水量的总趋势均呈“V”字型变化,大小依次为留高茬覆盖 > 留低茬覆盖 > 留高茬 > 留低茬 > 常规耕作,且留茬覆盖处理的土壤含水量一直保持较高的水平。6 月 3 日前,土壤含水量变化为留茬覆盖 > 留茬不覆盖 > 常规耕作,说明免耕各处理对作物出苗有很大

促进作用,且为作物苗期的生长创造了良好条件;7 月份以前,土壤含水量为留茬覆盖 > 留茬不覆盖 > 常规耕作,且变化较平稳,原因为玉米生长缓慢,蒸腾耗水较小,土壤覆盖物阻止,减少土壤水分蒸发;7 月初到 8 月中旬的降雨虽较多,但土壤含水量增加不明显,主要是正值玉米耗水临界期;8 月到 9 月,土壤水分上升,9 月中旬达到最高,主要是此时连续

降雨,且植物生长所需水分也减少,再加之气温的下降,而减少了土壤蒸发量。以及植株在田间形成了一种较好的植被覆盖,从

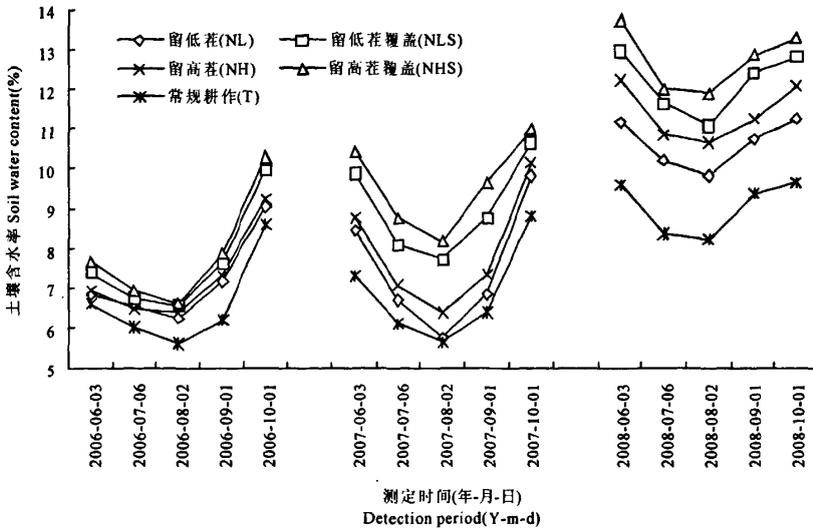


图 4 不同年际土壤水分的季节变化

Fig.4 Seasonal changes of soil water on different stages

2.5 免耕对作物产量的影响

由表 2 可知,在应用免耕措施第 1 年,免耕处理的单产均低于常规耕作,但留茬覆盖处理的产量相对较高,各处理间均达到了极显著水平;第 2 年大豆的产量为免耕留茬覆盖 > 常规耕作 > 留茬不覆盖。原因可能为免耕初期,土壤比较板结,杂草较多,秸秆覆盖形成土壤低温,推延播期甚至影响产量等;第 3 年免耕各处理的单产均高于常规耕作,以留高茬覆盖单产最高,总体表现为留高茬覆盖 > 留低茬覆盖 > 留高茬 > 留低茬 > 常规耕作。原因为长期免耕覆盖增加土壤养分,改善土壤的结构效应要高于低温带来的减产效应,同时杂草的数量有相对减少的趋势。说明,长期免耕秸秆覆盖是旱作农田增产的重要技术环节。

表 2 不同处理下三种作物轮作后产量比较 (kg/hm²)

Table 2 Yield comparison under different treatments of rotation in three crops

处理 Treatment	燕麦 Oat	大豆 Soybean	玉米 Maize
留低茬 NL	1701.9eE	1871.3cC	5354.7bB
留低茬覆盖 NLS	1934.1cC	2019.3bB	5972.4aA
留高茬覆盖 NHS	2020.8bB	2195.5aA	6065.8aA
留高茬 NH	1817.3dD	2008.6bB	5474.9bB
常规耕作 T	2253.0aA	1954.6dD	4577.4cC

注:表中同列不同小写或大写字母数值间差异为 0.05 水平显著或 0.01 水平显著。

Note: Lowercase and capital letters in the same row stand for significant difference at 0.05 and 0.01 levels respectively.

3 结论与讨论

土地利用方式是影响土壤物理性质的重要因素^[14,15],李东海^[16]研究了桉树人工林林下植被、地面覆盖物对改善土壤物理性质的作用,周萍^[17]比较草地、果园、乔木林地、灌丛、坡耕地之间的土壤团粒分配。在土壤物理性质特别是土壤团聚体和土壤孔隙度方面的研究大部分集中在农田、林地、果园之间的比较上,而在终年无灌溉的坡耕地旱作农田免耕条件下的研究还较少。本试验着重研究不同免耕措施对旱作农田土壤物理性质的变化作用。

不同免耕措施土壤团聚体粒级比例有较大差异,其中,秸秆覆盖处理的土壤团聚体在 0.25 ~ 0.5 mm 之间含量最高,而常规耕作与留茬不覆盖在 0.1 ~ 0.25 mm 之间达到最高值。说明,留茬覆盖有利于形成大粒径的团聚体颗粒,留茬不覆盖处理对土壤微结构的形成有良好的促进作用。免耕各处理 0 ~ 20 cm 土壤总孔隙度逐年增加的幅度最大。其中,留茬覆盖处理增加的最为明显,总体表现为留高茬覆盖 > 留低茬覆盖 > 留高茬 > 留低茬 > 常规耕作。由此可见,免耕促进了土壤孔隙的形成,改善了土壤结构,有利于形成植物生长的优良环境。在播种和收获较冷凉季节,覆盖处理较常规耕作可升温 1℃ ~ 2℃;在 7 ~ 8 月份,温度较高时,覆盖处理较常规耕作可降温 2℃ ~ 3℃。说明留茬覆盖土壤温度

振幅减少,能够较长时间保持作物生长所需温度。免耕各处理土壤含水量均有逐年增加的趋势,尤其在降水较少的年份或在较干旱的时期这种作用表现突出。免耕留茬及留茬覆盖较常规耕作土壤含水量提高了 16.3%~32.8%。连续应用秸秆覆盖,不仅能节约水分,提高水分利用率,而且对提高农作物产量的效果更明显。

在应用免耕措施第 1 年,免耕各处理作物的单产均低于常规耕作,但留茬覆盖处理的相对较高;第 2 年的产量为免耕留茬覆盖 > 常规耕作 > 留茬不覆盖;第 3 年作物产量总体表现为留高茬覆盖 > 留低茬覆盖 > 留高茬 > 留低茬 > 常规耕作。说明长期免耕秸秆覆盖是旱作农田增产的重要技术环节。

参 考 文 献:

- [1] Turner M G. Landscape ecology: the effect of pattern on process[J]. *Annual Reviews of Ecology and Systematics*, 1989, 20:171—197.
- [2] 傅伯杰,陈利顶,马克明.黄土丘陵区小流域土地利用变化对生态环境的影响[J].*地理学报*,1999,54(3):241—246.
- [3] 巩 杰,陈利顶,傅伯杰,等.黄土丘陵区小流域土地利用和植被恢复对土壤质量的影响[J].*应用生态学报*,2004,15(12):2292—2296.
- [4] 刘鹏涛,冯佰利,慕 芳,等.保护性耕作对黄土高原春玉米田土壤理化特性的影响[J].*干旱地区农业研究*,2009,27(4):171—175.
- [5] 陈兴丽,周建斌,刘建亮,等.不同施肥处理对玉米秸秆碳氮比及其矿化特性的影响[J].*应用生态学报*,2009,20(2):314—319.
- [6] Blevins R L, Thomas G W, Cornelius P L. Influence of no-tillage and nitrogen fertilization on certain soil properties after 5 years of continuous corn[J]. *Agron. J.*, 1977,69:383—386.
- [7] Blevins R L, Thomas G W, Smith M S, et al. Changes in soil properties after 10 years continuous non-tilled and conventionally tilled corn [J]. *Soil and Tillage Research*, 1983,3:135—146.
- [8] Lai R. No-tillage effects on soil properties under different crops in western Nigeria[J]. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 1976,40:762—768.
- [9] Mieke L N, Wilhelm W W, Fenster C R. Soil physical characteristics of reduced tillage in a wheat fallow system[J]. *Trans. ASAE*, 1984, 27:1724—1728.
- [10] Unger P W. Tillage effects on surface soil physical conditions and sorghum emergence[J]. *Soil Sci. Am. J.*, 1984,48:1423—1432.
- [11] Mahboubi A A, Lai R, Faussey N R, Twenty-eight years of tillage effects on two soils in Ohio[J]. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1993,57:506—512.
- [12] Roth C H, Meyer B, Frede J G, et al. Effect of mulch rates and tillage systems on infiltrability and other soil physical properties of an Oxisol in Parana, Brazil[J]. *Soil Tillage Res.*, 1988,11:81—91.
- [13] Gantzer C J, Blake G R. Physical characteristics a Le Sueur clay loam following no-tillage and conventional tillage[J]. *Agron. J.*, 1978,70:853—857.
- [14] 刘世梁,傅伯杰,吕一河,等.坡面土地利用方式与景观位置对土壤质量的影响[J].*生态学报*,2003,23(3):414—420.
- [15] 高雪松,邓良基,张煜熔.不同土地利用方式与坡位土壤物理性质及养分特征分析[J].*水土保持学报*,2005,19(2):53—56.
- [16] 李东海,杨小波,邓运武,等.桉树人工林林下植被、地面覆盖物与土壤物理性质的关系[J].*生态学杂志*,2006,25(6):607—611.
- [17] 周 萍,刘国彬,候喜禄.黄土丘陵区不同土地利用方式土壤团聚结构分形特征[J].*中国水土保持科学*,2008,6(2):75—82.

Effects of no-tillage on soil physical properties and crop yields

GUO Xiao-xia¹, LIU Jing-hui¹, ZHANG Xing-jie¹, LI Li-jun¹, CHEN Qin², Surya N. ACHARYA²

(1. Agronomy College, Inner Mongolia Agricultural University, Huhhot 010019, China;

2. Agriculture and Agri-Food Canada Research Centre, Lethbridge, Alberta T1J4B1, Canada)

Abstract: An experiment about the effects of different methods of crop rotation under no-tillage on soil physical properties and crop yields had been carried out in Qing Shuihe County in semiarid area of the Yellow River valley. Soil aggregate structure, total porosity, climate involvement of water-heat and crop yields were determined. The results showed that after three years of no-tillage and rotation, soil aggregate structure, total porosity and water content all increased year by year, especially the treatment of stubble mulching. The amount of 0.25~0.5 mm soil aggregates is the largest under straw mulch, while the highest value is in 0.1~0.25 mm soil aggregates under conventional tillage and stubble without mulch. It showed that stubble mulch was helpful to form macro-aggregates; Stubble without mulch had a large improvement in soil microstructure-forming. At the same time, soil total porosity in different years revealed an order from bigger to smaller, which ranks as follows: high stubble with mulch, low stubble with mulch, high stubble, low stubble, conventional tillage. It was concluded that different methods of crop rotation under no-tillage had a positive effect on improvement of soil. During the first two years of no tillage, crop yield was unstable; but in the third year, the yield was increased.

Keywords: no-tillage; soil aggregate; soil porosity; hydrothermal change; crop yield