

# 耕作模式对黄土高原地区新增耕地土壤紧实度、养分含量及玉米产量的影响

马建业<sup>1,2,3,4</sup>, 张 扬<sup>1,2,3,4</sup>, 刘 哲<sup>1,2,3,4</sup>, 张乐涛<sup>5</sup>

(1. 陕西省土地工程建设集团有限责任公司, 陕西 西安 710075; 2. 自然资源部退化及未利用土地整治工程重点实验室, 陕西 西安 710075; 3. 陕西地建土地工程技术研究院有限责任公司, 陕西 西安 710075; 4. 陕西省土地整治工程技术研究中心, 陕西 西安 710075; 5. 河南大学 环境与规划学院, 河南 开封 475004)

**摘 要:** [目的] 探明不同耕作模式对以生土为构建材料的新增耕地的改良效应, 为该类土地的高产高效利用提供科学依据。[方法] 于 2017 年 6—9 月分别在免耕、深松、翻耕 3 种耕作处理模式下的玉米地开展定位监测试验, 分析耕作模式对土壤紧实度、养分含量以及作物产量的影响。[结果] 0—20 cm 土层紧实度在免耕模式下最低, 分别较深松和翻耕低约 37.49 和 38.48 kPa/cm<sup>2</sup>, 且各模式下 0—20 cm 土层均呈分层紧实的状态。玉米出苗期土壤紧实度最小, 喇叭口期紧实度最高。0—40 cm 土层有机质、全氮和有效磷含量在深松模式下均最高, 分别为免耕的 1.20, 1.22, 1.36 倍, 是翻耕的 1.18, 1.08, 1.34 倍。深松和翻耕模式下的速效钾含量相近, 均为免耕的 1.09 倍。从出苗期到灌浆期, 有机质和全氮含量增加, 有效磷和速效钾含量减小。深松耕作模式下玉米产量最高, 是免耕和翻耕条件下的 1.30, 1.19 倍。[结论] 深松耕作模式土壤紧实度适中, 能有效增加土壤养分含量, 提高作物产量, 是新增耕地最理想的耕作改良方式。

**关键词:** 耕作模式; 新增耕地; 土壤养分; 产量

文献标识码: B

文章编号: 1000-288X(2019)06-0129-07

中图分类号: S365

**文献参数:** 马建业, 张 扬, 刘 哲, 等. 耕作模式对黄土高原地区新增耕地土壤紧实度、养分含量及玉米产量的影响[J]. 水土保持通报, 2019, 39(6): 129-135. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2019.06.019; Ma Jianye, Zhang Yang, Liu Zhe, et al. Effects of tillage patterns on soil compaction, nutrient content and yield of newly cultivated land in Loess Plateau[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2019, 39(6): 129-135.

## Effects of Tillage Patterns on Soil Compaction, Nutrient Content and Yield of Newly Cultivated Land in Loess Plateau

Ma Jianye<sup>1,2,3,4</sup>, Zhang Yang<sup>1,2,3,4</sup>, Liu Zhe<sup>1,2,3,4</sup>, Zhang Letao<sup>5</sup>

(1. Shaanxi Land Engineering Construction Group Co., Ltd., Xi'an, Shaanxi

710075, China; 2. Key Laboratory of Degraded and Unused Land Consolidation Engineering,

Ministry of Natural Resources, Xi'an, Shaanxi 710075, China; 3. Institute of Land Engineering and Technology, Shaanxi Provincial Land Engineering Construction Group Co., Ltd., Xi'an, Shaanxi

710075, China; 4. Shaanxi Land Consolidation Engineering Technology Research Center, Xi'an, Shaanxi

710075, China; 5. College of Environment and Planning, He'nan University, Kaifeng, He'nan 475004, China)

**Abstract:** [Objective] The improvement effect of different tillage modes on the newcultivated land with raw soil as construction material was explored in order to provide scientific basis for high-yield and efficient utilization of this kind of land. [Methods] During the period from June to September in 2017, a location monitoring experiment was conducted in maize fields under three tillage modes of no-tillage, subsoiling and plowing, respectively. And the effects of tillage modes on soil compactness, nutrient content and crop yield were analyzed. [Results] The compactness of 0—20 cm soil layer was the lowest under the no-tillage mode, which was 37.49 and 38.48 kPa/cm<sup>2</sup> lower than that of subsoiling and plowing, respectively. And the

收稿日期: 2019-08-08

修回日期: 2019-09-05

资助项目: 陕西省土地工程建设集团内部项目“泥质页岩风化物对新增耕地稳定性的影响研究”(DJNY2018-19); 国家自然科学基金项目(41807066)

第一作者: 马建业(1995—), 男(汉族), 甘肃省陇南市人, 硕士, 助理工程师, 主要从事水土保持方面的研究。E-mail: 1093616915@qq.com。

通讯作者: 张 扬(1984—), 女(蒙古族), 内蒙古自治区通辽市人, 博士, 工程师, 主要从事土地工程方面的研究。E-mail: 104071897@qq.com。

compactness of 0—20 cm soil layer in each mode presented a stratified state. The soil compactness was the lowest at maize seedling stage and the highest at bell stage. The contents of organic matter, total nitrogen and available phosphorus in the 0—40 cm soil layer were the highest in the subsoiling mode, which were 1.20, 1.22, 1.36 times of no-tillage mode, and 1.18, 1.08, 1.34 times of plowing mode, respectively. The content of available potassium in subsoiling and plowing was similar, which was 1.09 times of that in no-tillage. From the seedling stage to the filling stage, the content of organic matter and total nitrogen increased, while the content of available phosphorus and available potassium decreased. The maize yield under subsoiling mode was the highest, which were 1.30 and 1.19 times of that under no-tillage and plowing, respectively. [Conclusion] The soil compactness of subsoiling mode is moderate, which can effectively increase the soil nutrient content and crop yield. It is the most ideal tillage and improvement method for the new cultivated land.

**Keywords:** tillage mode; new cultivated land; soil nutrient; yield

随着我国经济社会的快速发展,建设活动所占土地的面积逐渐增加,难免要占用耕地,从而造成耕地面积锐减。为适时补充耕地资源,我国开展了一系列的土地整理项目<sup>[1]</sup>,虽然基本实现了耕地占补平衡,但土壤熟化程度低、土壤贫瘠、生产力低下等问题严重制约了我国新增耕地的可利用化程度。为提高新增耕地的产能,不少学者对其土体改良措施进行了研究,如武晓莉等<sup>[2]</sup>探讨了不同肥料类型对新增耕地的培肥效果和改良机理,结果表明有机肥对土壤的改良效果最好。杨尽等<sup>[3]</sup>基于盆栽试验提出了利用矿物改良新增耕地质量的优化比选方案。但是目前这些措施主要集中于通过施肥方式的改进和土壤改良剂的添加等方式来实现土壤质量提升的目的。而耕作措施作为一种传统的土壤改良方式,可以改变土壤的理化性状,调节水、肥、气、热等因子,从而提高作物产量<sup>[4]</sup>,尤其是近年来免耕、深松等保护性耕作技术逐渐兴起<sup>[5]</sup>,在增加土壤有机质,改善土壤结构等方面效果显著<sup>[6-7]</sup>。研究表明,深松耕作可以打破犁底层,降低土壤容重,提高其保水能力,创造有利于作物生长的疏松耕作层<sup>[8]</sup>。而免耕虽然能够增加表层土壤容重,但有助于提升下层土壤有机质和微生物活性<sup>[9]</sup>。因此国内外学者在耕作模式和覆盖措施对土壤理化性状改良和作物产量提升方面做了大量研究<sup>[10-11]</sup>,但是多集中于探讨耕作措施对传统农田的改良效果,新增耕地作为一种在土体结构和土壤肥力等方面均与传统农田存在较大的差异可利用土地,有关耕作措施对其土壤改良效果的研究并不多见。因此,为了探究耕作措施对新增耕地的土壤改良效果,本研究以陕西省土地工程建设集团秦岭野外监测中心为研究基地,利用生土构建的试验小区,通过研究不同耕作模式下玉米地土壤紧实度、养分和作物产量的变化特征,探究适宜于新增耕地的耕作改良措施,为该类型土地的高产高效利用提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

本研究在陕西省土地工程建设集团秦岭野外监测中心生土熟化小区进行试验开展,研究区地处东经 107°39′—108°00′,北纬 33°59′—34°19′,属暖温带大陆性半湿润气候,海拔高度在 442~3 767 m 之间,年平均气温 12.9 ℃,平均降水 609.5 mm,平均日照 2 015.2 h,无霜期 218 d。秋季受冷空气影响,昼夜温差较为明显,是关中地区秋雨最多的区域之一,能基本满足小麦、玉米的正常生长。

### 1.2 试验设计

该试验于 2017 年 6 月份开始实施,采取以耕作模式为单一因素的试验设计。试验田为 2016 年新建生土埋埋小区,生土厚度为 50 cm,第一年种植作物为春玉米,作物收获后,试验田闲置,直至 2017 年 6 月份开始本次试验研究,共选取 9 个立地条件基本相似的试验小区,每个小区面积为 33 m<sup>2</sup>,采用翻耕、免耕、深松三种耕作模式,每种耕作模式分别在 3 个小区进行重复试验,具体处理措施详见表 1。试验中,根据陕西省农业厅推荐的农田施肥方案,本试验施肥以平衡施肥为主,各试验田施肥量一致,其中氮肥、磷肥、钾肥分别为尿素、磷酸二铵、氯化钾,施肥量分别为 150,120 和 90 kg/hm<sup>2</sup>,在播种前,采用人工均匀撒施肥料,试验田全部采用人工播种。玉米品种为户单 4 号,按 49 500~52 500 株/hm<sup>2</sup> 的密度种植。播种深度 4~6 cm。在出苗期、拔节期、抽穗(雄)期、灌浆期和成熟期各灌水 1 次,其他管理和当地大田管理一致。

表 1 不同耕作方法处理措施

耕作模式	处理方法
翻耕	用单犁铧全面深翻 20~25 cm
深松	单深松铲耕作深度为 30~35 cm,宽度为 40~60 cm
免耕	无其他措施

### 1.3 测定项目及方法

在玉米的出苗期、喇叭期、灌浆期和成熟期(2017年6月14日、7月14日、8月29日和9月18日),采用紧实度仪对0—20 cm土层紧实度分别进行测定,土层间距为2.5 cm,每个小区重复3次。同时分别于6月14日和8月29日,沿着每个小区对角线各选取3个样点,采集0—10 cm,10—20 cm,20—30 cm,30—40 cm土层土样,测定土壤有机质、全氮、有效磷、速效钾等养分指标。有机质的测定采取重铬酸钾外加热法,全氮的测定采取凯氏定氮法,速效钾采取 $\text{NH}_4\text{OAc}$ 浸提,火焰光度计法测定,有效磷采取 $\text{NaHCO}_3$ 浸提,分光光度计法测定。在玉米收获时期,分别对其穗粒数、千粒重和产量进行统计。

### 1.4 数据处理

采用Excel进行数据处理,用SPSS 19.0数据处理软件对数据进行方差分析,利用Excel和Sigma-plot 10.0绘制图表。

## 2 结果分析

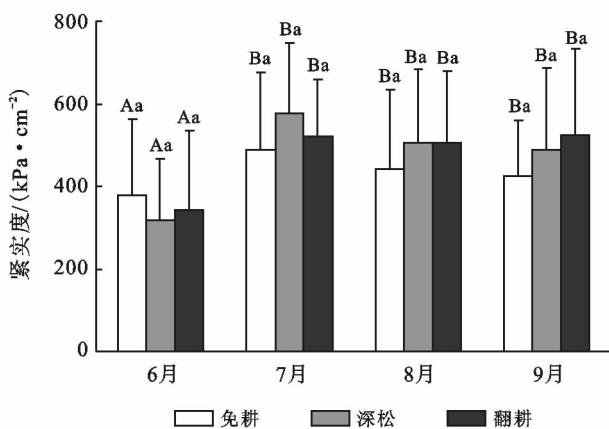
### 2.1 不同耕作模式对土壤紧实度的影响

对不同耕作模式下6—9月份玉米地0—20 cm土层紧实度进行统计分析(如表2所示)。由表2可知,翻耕条件下土壤紧实度最大,分别比免耕和深松

条件下高38.48和0.59  $\text{kPa}/\text{cm}^2$ ,并且3种耕作模式下土壤紧实度变异系数较为相近,约为0.40。同时对不同月份各耕作模式下的土壤紧实度进行比较分析,如图1所示。6月份,免耕、深松、翻耕条件下土壤紧实度分别为380.44,317.93和342.30  $\text{kPa}/\text{cm}^2$ ,土壤紧实度相较于其他月份整体偏小,7月份土壤紧实度整体偏大,分别为489.11,575.96,519.83  $\text{kPa}/\text{cm}^2$ ,8和9月份土壤紧实度相对偏低,且两月份差异较小。6月份为玉米出苗期,作物根系较浅,对土壤结构的影响较小,耕作模式是影响土壤紧实度的主要因素,免耕对土体的破坏较小,土体结构较为完整,土壤紧实度整体偏大,而深松对土壤扰动较大,使得土体结构趋于均一化,土壤紧实度最小,而翻耕条件下土体中仍然存在部分团粒结构,紧实度居中。免耕条件下,各月份土壤紧实度差异不显著,深松和翻耕条件下,虽然6月份和其他月份差异均显著,但7—9月份土壤紧实度统计学差异不显著。6—9月份,免耕条件下土壤紧实度增幅最小,翻耕条件下增幅最大,约为181.44  $\text{kPa}/\text{cm}^2$ ,是免耕条件下增幅的4.16倍,深松条件下虽然6—7月份土壤紧实度出现骤增的趋势,但在8和9月份呈持续减小的趋势,导致土壤紧实度整体偏低,说明深松耕作下土壤对紧实度的调控能力较强。

表2 不同耕作模式下0—20 cm土层紧实度统计

耕作模式	极小值/ $(\text{kPa} \cdot \text{cm}^{-2})$	极大值/ $(\text{kPa} \cdot \text{cm}^{-2})$	标准差	均值/ $(\text{kPa} \cdot \text{cm}^{-2})$	变异系数
免耕	103.00	770.33	171.82	434.22	0.40
深松	34.00	747.00	192.73	472.11	0.41
翻耕	115.00	856.67	189.48	472.70	0.40



注:图中大写字母表示不同月份之间的紧实度差异显著性,小写字母表示不同耕作模式之间的紧实度差异显著性,含有相同字母,表示差异不显著,否则差异显著。

图1 不同耕作模式下不同时间的土壤紧实度

图2为0—20 cm土层不同深度的紧实度变化规律。3种耕作模式下,6—8月份土壤紧实度均在5 cm和15~17.5 cm深度处出现极大峰值,并且分别在免耕和深松条件下峰值达到最大,10~12.5 cm深度处出现极小峰值,在免耕条件下峰值达到最小。9月份5 cm处的峰值发生下移,10~12.5 cm处峰值上移,15~17.5 cm处峰值位置不变,说明9月份的土壤紧实化有所改善,低紧实化的土层范围扩大。0—20 cm土层土壤紧实化呈分层紧实的状态,深松和翻耕条件下下层土壤的紧实度峰值较上层土壤偏高,而免耕条件下则相反。

### 2.2 耕作模式对土壤养分的影响

分别对不同耕作模式下,玉米生长初期6月份和灌浆期8月底,0—40 cm土层有机质、全氮、有效磷和速效钾含量进行分析(图3)。由图3中不同耕作模

式下各土层有机质含量变化可知,6 月份,有机质含量排序为:深松(3.63 g/kg) > 免耕(2.43 g/kg) > 翻耕(2.35 g/kg)。8 月份有机质含量整体偏高,较 6 月份分别增加了:翻耕(2.73 g/kg) > 免耕(2.47 g/kg) > 深松(1.53 g/kg)。虽然翻耕条件下有机质的增幅最大,但 6 月和 8 月,深松条件下土壤有机质含量均最高。深松和翻耕条件下,表层土壤有机质均高于下层,其中深松条件下各土层土壤有机质差异较小,免耕条件下,除 6 月份 0—10 cm 土层较为异常外,其他土层有机质均呈现由表层向下层逐渐增加的趋势。可能是由于免耕处理下,上一期作物部分残茬存留在土壤表层,未能进入下层土体,在种植过程中由于微生物分解作用,导致表层有机质偏高,而深松条件下,各层土壤透水透气结构较好,微生物活性较强,有机物分解较多,使得各层土壤有机质含量均较高,且差异较小,而翻耕条件下,土壤扰动深度较小,造成 0—20 cm 土层有机质高于 20—40 cm。但是 20—40 cm 为土壤有机质的主要增加层。可能是因为玉米根系较为发达,0—40 cm 土层是其根系主要分布区,在灌浆期,位于土壤表层生物量较少,下层植物根系的生长更新较快,增加了土壤有机质含量。由图 3 不同土层全氮的含量变化可知,6 月份,0—40 cm 土壤全氮分别为深松(0.57 g/kg) > 翻耕(0.46 g/kg) > 免耕(0.42 g/kg),8 月份,全氮含量分别为:深松(0.63 g/kg) > 翻耕(0.62 g/kg) > 免耕(0.57 g/kg),从 6 月到 8 月,深松条件下土壤全氮含量最高,但是翻耕条件下全氮的增幅最大,约为 0.18 g/kg。0—10 cm 土层全氮含量普遍较大,且增幅最高,这可能与玉米撒播方式和土壤氮沉降有关。深松条件下,10—40 cm 土层土壤全氮随土层深度和时间的变异均较小,免耕主要增加 20—40 cm 土壤全氮,翻耕主要增加 10—20 cm

全氮含量。6 月份免耕条件下,全氮含量随土层深度的增加而减小,免耕条件下下层土壤不能和肥料接触,只能随水分下下层输移,导致下层全氮含量较低,翻耕 10—40 cm 土层全氮含量随深度的增加而增加,可能是由于在翻耕过程中将表土层整体翻至下层,附着在表层的肥料颗粒多数进入下层土壤,导致下层土壤全氮含量偏高。随着玉米生长和根系的调节作用,8 月份,各土层全氮含量趋于减小。由图 3 不同土层有效磷的含量变化可知,6 月份,有效磷含量分别为免耕(50.18 mg/kg) < 翻耕(56.05 mg/kg) < 深松(59.28 mg/kg),免耕条件下,土壤有效磷主要集中于 30—40 cm 土层,0—30 cm 土层含量较低,深松条件除 20—30 cm 外,其他土层含量均较高,翻耕条件下在 10—20,30—40 cm 存在两个有效磷的高峰值。8 月份翻耕(28.39 mg/kg) < 免耕(33.06 mg/kg) < 深松(54.21 mg/kg),0—10 cm 和 30—40 cm 土层 3 种耕作模式下含量均发生了降低,但 20—30 cm 均呈现增加的趋势。10—20 cm 土层有效磷含量在免耕和深松条件下增加,翻耕条件下减小。由图 3 不同土层速效钾的含量变化可知,6 月份,速效钾翻耕(0.17 g/kg) < 免耕(0.19 g/kg) = 深松(0.19 g/kg)。免耕条件下 0—10 cm 土层速效钾含量最高,10—40 cm 土层含量较为稳定,且差异较小,深松条件下各土层速效钾含量均呈从上层到下层逐渐减小的趋势,翻耕条件下各土层差异较小,但也呈随土层增加而逐渐减小的趋势。8 月份速效钾含量为翻耕(0.14 g/kg) < 免耕(0.15 g/kg) = 深松(0.15 g/kg),不同耕作模式下各土层含量均发生了降低,免耕条件下 0—10 cm 土层降低幅度最大,其他各土层降幅较为接近。深松和翻耕条件下,各土层降幅接近,分别约为 0.04, 0.03 g/kg。

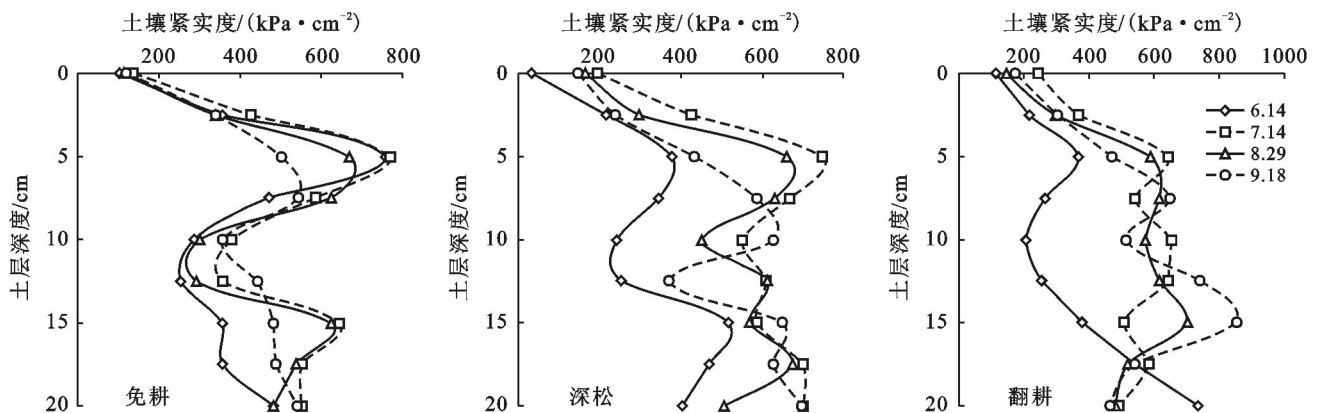


图 2 不同耕作模式下各土层的土壤紧实度

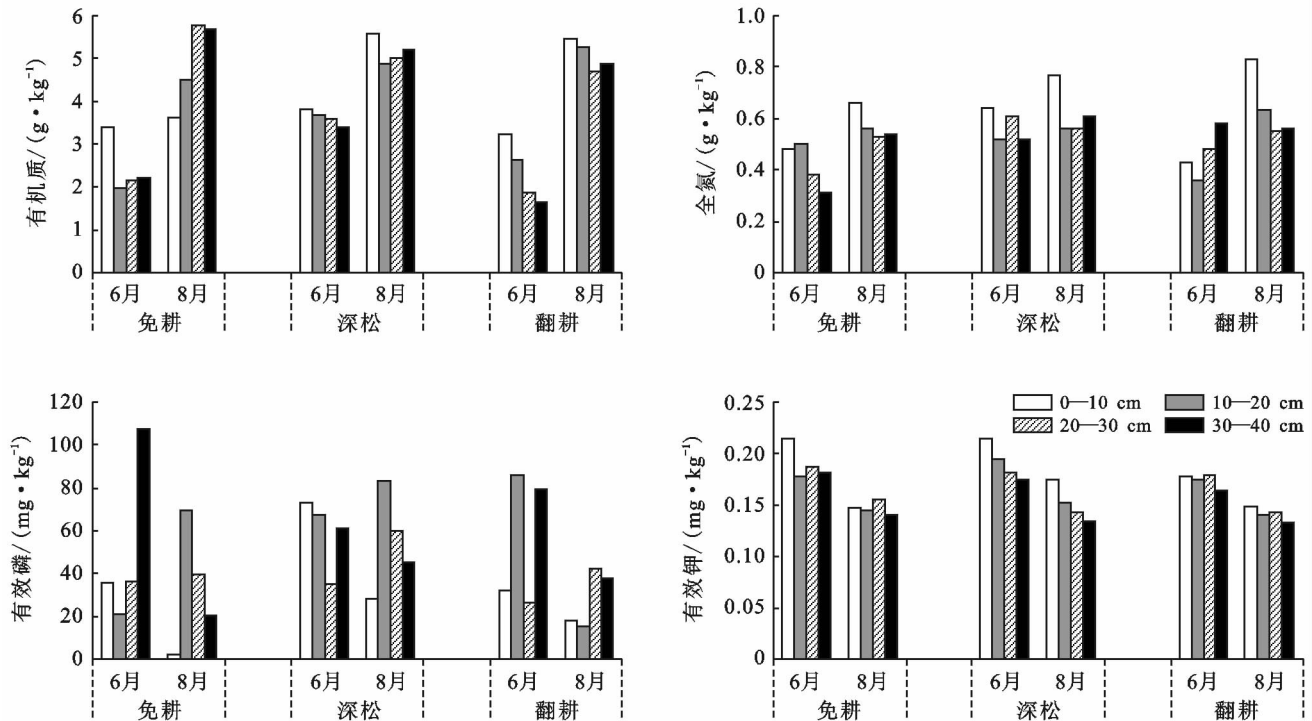


图 3 不同耕作模式下土壤养分的变化特征

### 2.3 不同耕作模式对玉米产量的影响

表 3 为不同耕作模式下的玉米产量统计。对不同耕作模式下玉米产量研究结果表明(表 3),不同耕作模式下,玉米产量存在差异,深松条件下,行粒数、穗粒数、样地穗数和产量均达到最大,是免耕条件下

的 1.07, 1.02, 1.00 和 1.30 倍,是翻耕条件下的 1.11, 1.10, 1.01 和 1.19 倍,翻耕条件下千粒重最大,深松条件下最小,并且不同耕作模式下玉米千粒重差异显著,但深松条件下由于穗粒数等指标较高,导致整体产量最大。

表 3 不同耕作模式下玉米产量

耕作模式	行数/行	行粒数/个	穗粒数/个	千粒重/g	样地穗数/个	产量/kg
免耕	14	29	401 <sup>a</sup>	292.84 <sup>a</sup>	229 <sup>a</sup>	14.06 <sup>a</sup>
深松	13	31	410 <sup>a</sup>	280.40 <sup>b</sup>	230 <sup>a</sup>	18.19 <sup>b</sup>
翻耕	13	28	374 <sup>b</sup>	326.28 <sup>c</sup>	227 <sup>a</sup>	15.23 <sup>c</sup>

注:表中字母上标字母相同,则差异性不显著,反之则差异显著。

## 3 讨论

土壤紧实度作为影响农田土壤质量和作物生长的关键障碍因子之一,通过影响土壤的水肥气热状况,进而调节作物生长<sup>[12]</sup>。程诗念等<sup>[13]</sup>研究表明,在玉米生长期,黄土表层土壤容重总体呈增加趋势,并且由于黄土具有湿陷性,受降水和灌溉的影响,容重会出现一个陡增阶段<sup>[14]</sup>。进一步验证了本研究中 7 月份土壤紧实度出现骤增这一现象的合理性,尤其是深松处理下土体结构松散,土体沉降严重,土壤紧实度增幅较大,而免耕条件下由于未对土体进行大幅度扰动,其紧实度增幅较小,到灌浆期和成熟期,作物根系对土体结构的穿插破坏作用较强,导致紧实度下

降。本研究中 5 cm 和 15~17.5 cm 深度处存在两个紧实度极大峰值土层,这可能是由于 0~5 cm 是雨滴的主要打击土层<sup>[15]</sup>,并且 7 月和 8 月降水多以暴雨为主,导致表层土体形成致密的结皮层,增大了 5 cm 处的土壤紧实度。而 15~20 cm 是玉米根系的主要存在土层,根系对土粒存在加固作用<sup>[16]</sup>,土壤紧实度较高。成熟期由于植物对水分利用减少,水分容易向深层渗入,土壤颗粒内聚力增强,容易紧实,导致上表层的极大峰值深度加深<sup>[17]</sup>。

土壤紧实情况的不同会导致土壤容重、孔隙结构等物理特性的差异,进而影响土壤的通气透水性和微生物生活环境,使得土壤养分的矿化速率以及植物对养分的吸收强度存在较大变异<sup>[18]</sup>。如张军刚等<sup>[19]</sup>发

现深松条件下土壤有机质和氮、磷、钾含量明显高于传统耕作,特别是对上层土壤全氮及碱解氮和深层土壤的有效磷及速效钾的影响更为明显。本研究中,深松处理下土壤有机质和全氮含量最高,免耕条件下最低,可能与耕作方式以及土壤紧实度密切相关,深松处理下,土壤孔隙结构较好,有利于土壤水分入渗,促进微生物对有机物的分解以及对土壤养分的矿化,增加土壤中有机质和全氮养分的含量,而免耕处理下土壤紧实度较高,水分入渗能力较低,微生物对养分的分解主要集中在表层,难以进入下层,表现为养分含量整体偏低的趋势。6月份出苗期,深松条件下各土层有机质含量差异较小,翻耕土壤有机质下层较为富集,而免耕表层有机质偏高,下层含量较小。可能是因为土壤表层作物残渣的分解,使得农田表层土壤有机质呈富集的趋势,但是深松处理对各层土壤的扰动均较大,对土壤有机质进行了重新分配。翻耕使得富含作物残体的表层土壤进入下层,在微生物的作用下释放有机质,呈现下层有机质偏高的现象,并且武际等<sup>[20]</sup>研究表明,翻耕和深松对深层土壤扰动较大,土壤紧实度较小,孔隙结构较好,有利于水分入渗和养分的下移,使得深松和翻耕处理下土壤有机质随土层深度基本呈增大的趋势。而免耕由于未进行土体的扰动作用,表层的有机质难以进入下层,呈表层土壤偏富集的现象,与本文研究结果一致。而8月份灌浆期,由于根系分泌物的增加以及根系的更新作用,各耕作处理下土壤有机质均呈增加的趋势。王群等<sup>[18]</sup>研究表明,植物在紧实胁迫下会影响根系对土壤养分的吸收,免耕条件下深层土壤较为紧实,植物对其利用较少,使得有机质发生富集,因此免耕条件下有机质增幅最大<sup>[21]</sup>。6—8月份,免耕条件下20—40 cm和翻耕0—20 cm土层全氮含量增幅较大,深松处理下10—40 cm土层全氮增幅较小,可能是由于翻耕深度在20—25 cm左右,微生物活性较好,有利于固氮作用的发生,而免耕条件下,深层土壤有机物质残留较多,通过为微生物的硝化和反硝化作用,使得有机残体中的氮素释放,增加深层土壤全氮含量<sup>[22]</sup>。深松和免耕等保护性耕作措施相对于传统翻耕更能增加0—20 cm土层全氮和速效钾含量<sup>[23]</sup>。有效磷含量则较6月份偏低,符鲜相等<sup>[24]</sup>研究表明,速效磷含量从苗期到灌浆期呈现先增大后减小的趋势,灌浆期达到最小,深松有助于提升土壤全氮、速效磷和速效钾含量,与本文的结论相似。但由于本研究中翻耕条件下土壤10—20 cm和20—40 cm处有效磷存在峰值,导致整体偏大,可能是由于构建土体以及玉米生长过程中,这两层土壤过于紧实,不利于有效磷的运移,导致

整体偏大。6月份免耕条件下土壤有效磷含量较小,但8月份有效磷最低,可能与土壤结构相关,6月份土壤免耕条件下土壤孔隙结构较差,影响有效磷的矿化过程,而8月份土壤根系较为发育,翻耕条件下土壤紧实度较小,有助于根系对养分的吸收。综上,免耕和深松有助于提高表层0—20 cm土层土壤养分含量,免耕有助于有机质和全氮的储存,深松有助于作物对二者吸收。翻耕条件下有效磷消耗最大,深松最小。而耕作措施对速效钾的影响效果较为微弱。

## 4 结论

(1) 不同耕作模式下新增耕地0—20 cm土层紧实度存在差异,翻耕模式下土壤紧实度最大,免耕模式下土壤紧实度最小,深松模式对土壤紧实的调控能力较强。新增耕地在玉米喇叭期土层紧实化最为严重,相对于出苗期的增幅排序表现为:深松>翻耕>免耕,在灌浆期和成熟期免耕和深松紧实化降低,翻耕紧实化变异较小。不同深度土体紧实化呈分层状态,在5 cm和15~17.5 cm处出现紧实化极大峰值,并且深松条件下9月份紧实化峰值深度较其他处理下移2.5 cm。

(2) 3种耕作模式下,0—40 cm土层有机质、全氮、有效磷、速效钾含量在深松模式下均较高,免耕模式下有机质、全氮、有效磷含量达到最低。从玉米出苗期到灌浆期,各处理模式下有机质和全氮发生累积,翻耕模式下增幅最大,有效磷和速效钾含量降低,翻耕条件下有效磷和免耕条件下速效钾降幅最高。深松条件下玉米产量最高,是免耕和翻耕条件下的1.30,1.19倍。

### [参 考 文 献]

- [1] 刘彦随. 科学推进中国农村土地整治战略[J]. 中国土地科学, 2011, 25(4): 3-8.
- [2] 武晓莉. 晋西黄土区新增耕地土壤改良机理及最佳施肥配方研究[D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2015.
- [3] 杨尽. 利用矿物改良土地整理新增耕地贫瘠土壤研究[D]. 四川 成都: 成都理工大学, 2010.
- [4] 刘洋, 孙占祥, 白伟, 等. 不同耕法对土壤含水量、玉米生长发育及产量的影响[J]. 辽宁农业科学, 2011(2): 10-14.
- [5] 颜佩风. 辽西坡耕地不同植物篱对水土流失及土壤养分空间分布的影响[J]. 水土保持应用技术, 2017(2): 4-6.
- [6] 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.
- [7] 李友军, 黄明, 吴金芝, 等. 不同耕作方式对豫西旱区坡耕地水肥利用与流失的影响[J]. 水土保持学报, 2006, 20(2): 42-45.
- [8] 孟庆秋, 谢佳贵. 土壤深松对玉米产量及其构成因素

- 影响[J]. 东北农业科学, 2000, 25(2): 5-28.
- [9] Fernandez-Ugalde O, Virto I, Bescansa P, et al. No-tillage improvement of soil physical quality in calcareous, degradation-prone, semiarid soils[J]. Soil & Tillage Research, 2009, 106(1): 29-35.
- [10] 潘雅文, 樊军, 郝明德, 等. 黄土塬区长期不同耕作、覆盖措施对表层土壤理化性状和玉米产量的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2016, 22(6): 1558-1567.
- [11] Chan K Y, Hecnan D P. Effect of tillage and stubble management on soil water storage, crop growth and yield in a wheat1 upin rotation in southern NSW[J]. Crop and Pasture Science, 1996, 47(3): 479-488.
- [12] 杨世琦, 吴会军, 韩瑞芸, 等. 农田土壤紧实度研究进展[J]. 土壤通报, 2016, 47(1): 226-232.
- [13] 程诗念, 樊贵盛. 玉米生育期内不同覆膜对黄土表层容重变化特性的影响[J]. 节水灌溉, 2017(6): 26-29.
- [14] 吕军杰, 姚宇卿, 王育红, 等. 不同耕作方式对坡耕地土壤水分的影响[J]. 中国农业气象, 2002, 23(3): 40-42.
- [15] 郑子成, 张锡洲, 李廷轩, 等. 玉米生长期土壤抗剪强度变化特征及其影响因素[J]. 农业机械学报, 2014, 45(5): 125-130.
- [16] Comino E, Marengo P, Rolli V. Root reinforcement effect of different grass species: A comparison between experimental and models results[J]. Soil & Tillage Research, 2010, 110(1): 60-68.
- [17] 石彦琴, 陈源泉, 隋鹏, 等. 农田土壤紧实的发生、影响及其改良[J]. 生态学杂志, 2010, 29(10): 2057-2064.
- [18] 王群, 张学林, 李全忠, 等. 紧实胁迫对不同土壤类型玉米养分吸收、分配及产量的影响[J]. 中国农业科学, 2010, 43(21): 4356-4366.
- [19] 张军刚, 郭海斌, 王文文, 等. 深耕对土壤理化性质及生物性状的影响[J]. 农业科技通讯, 2017(11): 186-187.
- [20] 武际, 郭熙盛, 张祥明, 等. 麦稻轮作下耕作模式对土壤理化性质和作物产量的影响[J]. 农业工程学报, 2012, 28(3): 87-93.
- [21] 刘建忠, 师江澜, 雷金银, 等. 毛乌素沙地南缘不同免耕农田土壤理化性质及玉米产量差异分析[J]. 干旱地区农业研究, 2006, 24(6): 29-34.
- [22] 李娅芸. 宁南山区典型植物根系分解特征及其对土壤养分和微生物多样性的影响[D]. 陕西 杨凌: 西北农林科技大学, 2016.
- [23] Mahboubi A A, Lal R, Faussey N R. Twenty-eight years of tillage effects on two soils in Ohio[J]. Soil Science Society of America Journal, 1993, 57(2): 506-512.
- [24] 刘世平, 陈后庆, 聂新涛, 等. 稻麦两熟制不同耕作方式与秸秆还田土壤肥力的综合评价[J]. 农业工程学报, 2008, 24(5): 51-56.
- ~~~~~
- (上接第 128 页)
- [27] Doherty K D, Antoninka A J, Bowker M A, et al. A Novel approach to cultivate biocrusts for restoration and experimentation[J]. Ecological Restoration, 2015, 33(1): 13-16.
- [28] 王伟波. 接种蓝藻修复生物土壤结皮的研究[D]. 湖北武汉: 中国科学院水生生物研究所, 2009.
- [29] 毕永红, 胡子宣. 念珠藻的接种对半荒漠土壤结构稳定性的作用[C]//中国地理学会土地变化科学与生态建设学术研讨会, 2004.
- [30] 周志刚, 程子俊. 土壤藻类对土壤团聚体稳定性的影响[C]//北京: 中国环境科学学会全国青年学者学术交流会, 1996.
- [31] 康磊, 孙长忠, 殷丽, 等. 黄土高原沟壑区藻类结皮的水土保持效应[J]. 水土保持学报, 2012, 26(1): 47-52.
- [32] 曲娜, 闫德仁, 郭成峰, 等. 库布齐沙漠藻类结皮层表面裂隙对水分蒸发的影响[J]. 内蒙古林业科技, 2018(1): 29-32.
- [33] 张丙昌, 王敬竹, 玛依努尔, 等. 生物结皮中几种优势藻和齿肋赤藓(*Syntrichia caninervis* Mitt.) 种间关系研究[C]//生态文明建设中的植物学: 现在与未来: 中国植物学会第十五届会员代表大会暨八十周年学术年会论文集(第2分会场): 植物生态与环境保护, 2013.
- [34] 赵艳敏. 陕北黄土生物结皮种群特征及对土壤生物活性的影响[D]. 北京: 北京林业大学, 2014.
- [35] 李青梅, 陆秀君, 马里, 等. 胶质芽孢杆菌菌剂对四种蔬菜种子发芽及幼苗生长的影响[J]. 北方园艺, 2017(1): 10-13.
- [36] 吕爱英, 王永歧, 沈阿林, 等. 6种微生物肥料在不同作物上的应用效果[J]. 河南农业科学, 2004, 33(4): 49-51.
- [37] 张晓波, 赵艳, 樊俊华. 山西地区褐土胶质芽孢杆菌生物学特性研究[J]. 草原与草坪, 2010, 30(4): 89-92.
- [38] 赵艳, 张晓波, 郭伟. 不同土壤胶质芽孢杆菌生理生化特征及其解钾活性[J]. 生态环境学报, 2009, 18(6): 2283-2286.
- [39] 李茹雪. 撒播苔藓结皮培育恢复技术研究[D]. 陕西 杨凌: 西北农林科技大学, 2017.