

不同耕作深度对红壤坡耕地耕层土壤特性的影响

蒲 境, 史东梅, 娄义宝, 段 腾, 宋 鸽

(西南大学资源环境学院, 重庆 400715)

摘要: 红壤坡耕地不同耕作深度对耕层质量和作物产量具有重要影响。以江西红壤坡耕地示范区耕层为研究对象, 从土壤属性角度, 对红壤坡耕地不同耕作深度处理下垂直深度土壤水分、容重、孔隙度、土壤紧实度、土壤抗剪强度、土壤有机质、有效磷和速效钾等进行分析。结果表明: (1) 不同耕作深度对土壤孔隙度、饱和含水量和田间持水量的影响为免耕 < 翻耕 20 cm < 翻耕 10 cm < 常规耕作 < 翻耕 30 cm, 对容重的影响为翻耕 30 cm < 常规耕作 < 翻耕 10 cm < 免耕 < 翻耕 20 cm; 与常规耕作比较, 翻耕 30 cm 使土壤饱和含水量、田间持水量和土壤孔隙度分别提高了 18.17%, 12.67%, 5.94%, 土壤容重降低 6.90%。(2) 不同耕作深度下土壤紧实度表现为翻耕 30 cm < 翻耕 10 cm < 翻耕 20 cm < 免耕 < 常规耕作, 土壤抗剪强度表现为翻耕 30 cm < 常规耕作 < 翻耕 10 cm < 免耕 < 翻耕 20 cm; 与常规耕作对照, 翻耕 30 cm 使土壤紧实度和抗剪强度分别降低 27.07% 和 24.82%。(3) 土壤有机质含量以翻耕 20 cm 处理下最高 (13.48 g/kg), 免耕处理含量最低 (9.39 g/kg), 土壤速效养分主要集中分布在 0—20 cm 土层, 但 20—40 cm 土层中翻耕处理较免耕处理有不同程度的增加, 以翻耕 20 cm 和常规耕作表现显著。(4) 主成分分析结果表明, 翻耕 30 cm 处理对红壤坡耕地土壤的综合改善效果最好。研究结果可为红壤坡耕地耕层土壤改善和合理耕层构建提供技术参考。

关键词: 耕作深度; 坡耕地; 耕层; 土壤特性; 红壤; 主成分分析

中图分类号: S157.1

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2019)05-0008-07

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcbx.2019.05.002

Effect of Different Tillage Depth on Soil Properties of Ploughing Layer in Slope Cultivated Land of Red Soil

PU Jing, SHI Dongmei, LOU Yibao, DUAN Ten, SONG Ge

(College of Resources and Environment, Southwest University, Chongqing 400715)

Abstract: The different tillage depth of red soil slope farmland has an important effect on the quality of ploughing layer and crop yield. From the point of view of soil properties, the vertical depth soil moisture, bulk density, porosity, soil compactness, soil shear strength and soil organic matter under different tillage depth treatments in red soil slope cultivated land were studied in Jiangxi Province. Available phosphorus and available potassium were also analyzed. The results showed that: (1) The effects of different tillage depth on soil porosity, saturated water content and field water holding capacity were no tillage < tillage 20 cm < tillage 10 cm < conventional tillage < tillage 30 cm, the effect on bulk density was tillage 30 cm < conventional tillage < tillage 10 cm < no tillage < tillage 20 cm; compared with the conventional tillage, the soil saturated water content, field water holding capacity and soil porosity were increased by 18.17%, 12.67% and 5.94%, respectively after 30 cm tillage. Soil bulk density decreased 6.90%. (2) The soil compactness under different tillage depths was tillage 30 cm < tillage 10 cm < tillage 20 cm < no tillage < conventional tillage; soil shear strength was tillage 30 cm < conventional tillage < conventional tillage 10 cm < no tillage 20 cm. Compared with the conventional tillage, ploughing for 30 cm reduced soil compactness and shear strength by 27.07% and 24.82%, respectively. (3) The average content of soil organic matter was the highest under 20 cm tillage (13.48 g/kg), and lowest under no tillage treatment (9.39 g/kg). Soil available nutrients were mainly distributed in 0—20 cm soil layer. Compared with the no tillage treatment, soil available nutrients contents increased under the tillage treatments, among which tillage 20 cm and conventional tillage

收稿日期: 2019-03-12

资助项目: 公益性行业(农业)科研专项(201503119-01-01)

第一作者: 蒲境(1994—), 男, 四川巴中人, 硕士研究生, 主要从事土壤侵蚀与流域治理研究。E-mail: 547479872@qq.com

通信作者: 史东梅(1970—), 女, 甘肃灵台人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事水土生态工程、土壤侵蚀与流域治理、生产建设项目土壤侵蚀与水土保持研究。E-mail: shidm_1970@126.com

gave the significant differences. (4) The results of principal component analysis showed that the treatment of tillage 30 cm had the best effect on the comprehensive improvement of soil properties in red soil slope cultivated land. These results could provide reference for the improvement of ploughing layer soil and the construction of rational tillage layer in slope cultivated land of red soil.

Keywords: tillage depth; sloping farmland; cultivated layer; soil properties; red soil; principal component analysis

红壤坡耕地是我国南方红壤区重要的土地资源,同时也是江西省重要的商品粮及经济作物的生产基地,然而由于人类的长期不合理耕作,加剧了坡耕地的地力衰退及水土流失,导致农业生产能力下降^[1]。坡耕地土壤是农业可持续生产的重要基础,土壤质量是影响作物生产与产量的直接因素^[2]。不同耕作深度是影响土壤物理性质变化的重要因素,肥沃耕层构建能够改善土壤结构^[3]。研究红壤坡耕地不同耕作深度对耕层质量的调控及提高坡耕地生产力具有重要意义。传统的耕作方式是对土壤进行多次翻耕,这样可以快速除去杂草和混合作物留茬,促进生物养分利用,但造成耕层疏松和土壤结构稳定性减弱,容易导致水土流失的发生,从而使得耕层变薄^[4]。近些年来对免耕技术的大量研究表明,免耕能有效的提高土壤结构稳定性,减少水土流失的发生^[5];但若长期进行免耕种植会使耕作层变薄、土壤容重增大、土壤紧实度增加,从而不利于作物的生长发育^[6]。针对不同耕作措施对坡耕地农业生产带来的影响,许多学者^[7-10]主要从坡耕地土壤理化性质和作物产量等方面深入研究。童文杰^[7]研究得出,深耕处理可明显降低亚表层(20—40 cm)土壤容重,同时明显增加土壤总孔隙度和毛管孔隙度。许迪等^[8]在华北平原地区试验得出,深松耕作处理显著降低了耕层土壤的干容重,增加了孔隙度,土壤孔隙尺度分布状况得以改变,使得土壤饱和时土壤的水分传导性能得到改善,但干旱时土壤的持水能力相对减弱。随着对耕作技术研究和应用的深入,研究不同耕作方式对土壤理化性质方向居多,而不同耕作深度对耕层土壤质量的研究较少,红壤坡耕地水土流失严重,耕层土壤退化,土壤肥力恶化等土壤环境发生变化,不同耕作深度对其水土流失的调控和农业生产有一定的影响。因此,本文选择江西省红壤坡耕地示范区为研究对象,采用实地野外调查、室内试验分析等研究手段,分析了红壤坡耕地不同耕作深度下不同垂直深度的耕层土壤物理性质、耕作性能及养分特征的差异,为明确适于南方红壤区坡耕地推广应用的合理耕作深度及合理耕层质量调控提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

选择江西省南昌市进贤县江西红壤研究所示范区红壤坡耕地耕层土壤为研究对象。地理坐标 28°19′29.7″N,

116°08′4.8″E,该区域土壤类型为第四纪红黏土母质发育的红壤,厚度一般为 3~40 m,属亚热带季风湿润气候,年均降水量 1 537 mm,主要集中在 5—9 月,年蒸发量 1 100~1 200 mm^[11]。海拔 25.1~30.6 m,田面坡度 2°~4°,田面宽度 4 m,田面坡长 88 m。土壤机械组成:黏粒含量 20.62%,粉粒含量 60.08%,砂砾含量 19.30%;试验处理方式为免耕(NT)、翻耕 10 cm(P10)、翻耕 20 cm(P20)、翻耕 30 cm(P30)和常规耕作(CK),其中常规耕作处理为在花生种植前进行深翻 20 cm,然后旋耕 2 次,旋耕深度为 15 cm。种植作物为花生(品种为“粤油 933”),其 90%根系分布深度为 13.5~26.0 cm,2017 年 4 月 10 日播种,8 月 15 日收获;各处理化肥施用量均为当地常规施肥水平(总氮 118.3 kg/hm², P₂O₅ 45 kg/hm², K₂O 180 kg/hm²),基追比 7:3 施肥,追肥在花生苗期始花前进行。另外,各处理增施石灰 2 250 kg/hm²。田间管理参照当地生产管理办法执行。

1.2 样品采集及测定方法

选取红壤坡耕地示范区不同耕作深度处理样地为研究对象,采样时间为 2017 年 7 月,为花生开花下针期。采用 100 cm³ 环刀在 0—10, 10—20, 20—30, 30—40 cm 土层对样地进行分别采样,用于土壤水分、孔隙度、容重的测定,分别做 3 次重复;每层采集 3 kg 左右的散样带回室内风干,用于土壤养分的测定。室内土壤基本理化性质测定方法^[12]:土壤含水率采用烘干法测定,土壤容重和孔隙度采用环刀法测定,土壤机械组成采用吸管法测定,土壤有机质采用重铬酸钾氧化—外加热法测定,土壤有效磷采用 Olsen 法测定,土壤速效钾采用 1 mol/L NH₄Ac 提取—火焰光度法测定。

土壤力学指标测定方法:在采样点开挖约为 100 cm×100 cm 的试坑,分别测定 0—10, 10—20, 20—30, 30—40 cm 土层的土壤抗剪强度和土壤紧实度,每层分别做 6 次重复;土壤抗剪强度采用荷兰产便携式 14.10 Pocket Vane Tester 型三头抗剪仪^[13],土壤紧实度采用杭州托普仪器有限公司生产的数字式仪测定。

1.3 数据分析

采用 Excel 2007 软件进行作图分析,在 SPSS 19.0 软件相关模块中对耕层土壤理化性质参数进行差异显著性($p < 0.05$)及主成分分析。

2 结果与分析

2.1 耕作深度对红壤坡耕地土壤水分状况的影响

土壤水分是作物生长和生存的物质基础,其中土壤田间持水量在某种程度上可以反映土壤保水的能力,对作物的生长发育和产量有很大的影响^[14]。由图 1 可知,不同翻耕深度处理对 0—40 cm 土层土壤含水量整体上影响不显著,但翻耕 20 cm 对上层(0—20 cm)土壤含水量显著提高;这可能是翻耕太浅未能犁犁底层,不能改变下层土壤结构,翻耕过深使土质变得过于疏松增强土壤透气性,导致土壤水分蒸发。由图 2 可知,红壤坡耕地 0—40 cm 土层的土壤田间持水量介于 22.44%~42.18%,不同耕作深度处理下土壤田间持水量表现为免耕<翻耕 20 cm<翻耕 10 cm<常规耕作<翻耕 30 cm。与常规耕作对照,0—10 cm 土层中翻耕 10 cm、翻耕 20 cm、翻耕 30 cm 和免耕处理使土壤田间持水量分别降低了 26.38%,12.06%,8.07%,23.54%,10—20 cm 土层中仅翻耕 30 cm 处理使土壤田间持水量提高了 17.17%,翻耕 10 cm、翻耕 20 cm 和免耕分别降低了 5.65%,18.33%,28.31%,20—40 cm 土层中翻耕 10 cm、翻耕 30 cm 和免耕处理使田间持水量分别提高了 8.87%,29.18%,2.47%。由此可知,翻耕能提高土壤田间持水量,常规耕作下对提高 0—10 cm 深度土层土壤田间持水量效果较好,但翻耕 30 cm 能显著提高 0—30 cm 土层土壤田间持水量,故翻耕 30 cm 的处理对提高耕层土壤田间持水量效果最佳,说明增加翻耕深度能改善耕层土壤结构,使下层变疏松,提高土壤的持水能力,一定程度有利于作物生长发育。

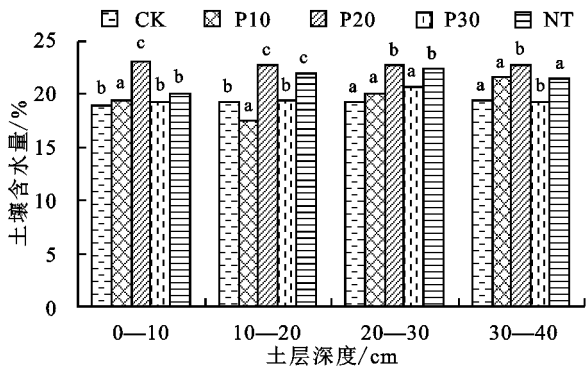


图 1 不同翻耕深度下土壤含水量变化

不同翻耕深度下对红壤坡耕地土壤饱和含水量的影响和田间持水量相似,由图 3 可知,红壤坡耕地 0—40 cm 土层的土壤饱和含水量介于 28.13%~52.01%,不同耕作深度处理下土壤饱和含水量表现为免耕<翻耕 20 cm<翻耕 10 cm<常规耕作<翻耕 30 cm。与常规耕作对照,0—10 cm 土层中翻耕 30 cm、翻耕 20 cm、翻耕 10 cm 和免耕处理下土壤饱和含水量分别降低了 6.59%,25.61%,19.69%,24.43%,10—20 cm 土层中仅翻

耕 30 cm 处理下土壤饱和含水量提高了 24.02%,20—40 cm 土层中仅翻耕 30 cm 处理下土壤饱和含水量提高了 18.16%,翻耕 10 cm、翻耕 20 cm 和免耕处理下土壤饱和含水量分别降低了 0.89%,10.83%,5.66%。由此可得,翻耕 30 cm 能显著提高 0—30 cm 土层土壤饱和含水量,相同土层之间饱和含水量的差异主要是由于不同翻耕深度导致的。

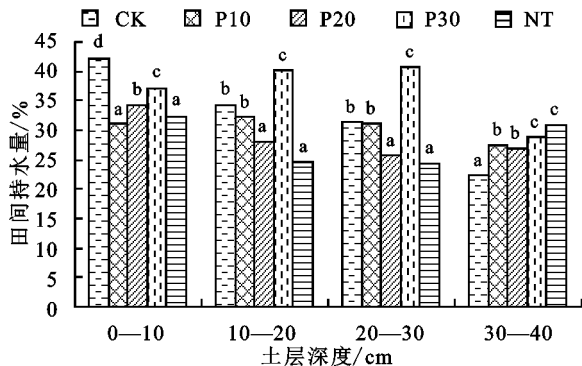


图 2 不同翻耕深度下土壤田间持水量变化

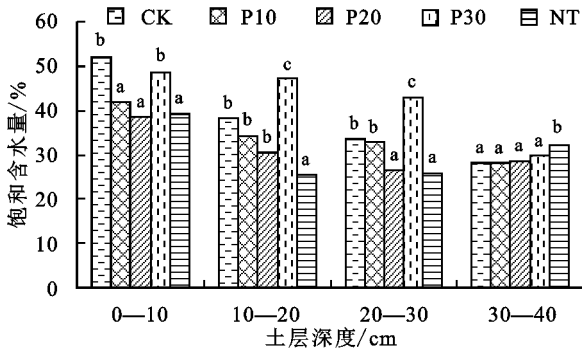


图 3 不同翻耕深度下土壤饱和含水量变化

2.2 耕作深度对红壤坡耕地土壤孔隙状况的影响

土壤容重是土壤的一个基本物理性质,综合反映了土壤孔隙状况、松紧程度和肥力状况等,对土壤的透气性、入渗性能、持水能力、溶质迁移特点及土壤的抗侵蚀性能均有较大的影响^[15]。由表 1 可知,不同耕作深度处理下土壤容重表现为翻耕 30 cm<常规耕作<翻耕 10 cm<免耕<翻耕 20 cm。0—10 cm 土层,翻耕 30 cm 处理下土壤容重最小(1.03 g/cm³),免耕处理下土壤容重最大(1.17 g/cm³),其他翻耕深度处理下土壤容重介于 1.04~1.13 g/cm³,原因是耕作及除草等人为活动将耕层表面板结的土壤破坏成大小不同的土块,使土壤变得疏松;与常规耕作比较,翻耕 30 cm 和翻耕 10 cm 处理下在 10—20 cm 土层中土壤容重分别降低了 11.38%和 0.81%,免耕和翻耕 20 cm 处理使土壤容重分别提高了 14.63%和 16.26%,20—40 cm 土层中仅翻耕 30 cm 处理下土壤容重显著降低了 7.14%,而其他耕作处理下土壤容重提高,幅度介于 2.26%~8.27%,原因是翻耕深度小于 20 cm,由于机械作业对土壤的碾压使下层土壤容重增大。这说明增加翻耕深度对减小深层土壤的容重有更佳的效果;深翻

耕更能充分打破犁底层,使深层次土壤变得疏松,增大了土壤孔隙度,减小了土壤容重。

表 1 不同翻耕深度下不同土层的土壤容重、孔隙度变化

处理	土层深度/cm	容重/ (g·cm ⁻³)	总孔隙度/%	毛管孔隙度/%
CK	0—10	1.04±0.01a	60.69±0.60a	43.71±0.16b
	10—20	1.23 ±0.03b	53.55±1.39ab	42.27±0.60b
	20—30	1.27±0.02b	52.15±0.79b	39.81±0.08b
	30—40	1.39±0.06c	47.43±2.41c	38.94±3.95a
	平均值	1.23	53.46	41.18
P10	0—10	1.13±0.07a	57.35±2.78a	37.27±0.21a
	10—20	1.22±0.09ab	53.85±3.47ab	40.51±1.76ab
	20—30	1.34±0.04ab	49.42±1.22ab	40.75±0.73b
	30—40	1.38±0.02b	48.06±0.92b	38.51±0.13ab
	平均值	1.27	52.17	39.26
P20	0—10	1.12±0.01a	53.84±0.36a	41.89±0.71b
	10—20	1.43±0.05b	46.12±2.25a	38.65±0.04a
	20—30	1.48±0.02b	44.17±0.86a	37.37±0.50a
	30—40	1.40±0.04b	47.23±1.51b	36.57±0.58a
	平均值	1.36	47.84	38.62
P30	0—10	1.03±0.06a	61.13±2.27a	40.43±0.21b
	10—20	1.09±0.04a	58.73±1.80b	42.07±0.21c
	20—30	1.14±0.02a	57.02±0.56b	45.82±0.57d
	30—40	1.33±0.02b	49.64±0.62b	38.81±0.02a
	平均值	1.15	56.63	41.78
NT	0—10	1.17±0.01a	55.85±0.51a	37.65±1.25ab
	10—20	1.41±0.01b	46.64±0.56a	35.08±0.91a
	20—30	1.46±0.02c	44.96±0.69b	35.11±0.10a
	30—40	1.26±0.04c	52.61±1.37c	39.70±0.78b
	平均值	1.33	50.02	36.89

注:表中数据为平均值±标准差;同列不同小写字母表示不同处理间差异显著($p<0.05$)。

土壤孔隙及其组成是表征土壤结构的重要指标之一,直接影响土壤中水、肥、气、热运动及作物根系的生长^[7-15]。对坡耕地土壤来说,其耕层孔隙度为50%或稍大于50%较佳^[16]。由表1可知,总体来看,在0—40 cm土层中,土壤总孔隙度随土层深度的增加呈下降趋势,土壤总孔隙度在0—10 cm土层分别比10—20,20—30,30—40 cm土层提高11.58%,16.61%,17.92%,呈上虚下实的耕层结构,可促进水分入渗。从不同处理来看,不同耕作深度处理下土壤平均总孔隙度表现为翻耕20 cm<免耕<翻耕10 cm<常规耕作<翻耕30 cm;0—10 cm土层的土壤总孔隙度在翻耕30 cm处理下最高(61.13%);10—20 cm土层中,翻耕30 cm处理下土壤总孔隙度比常规耕作明显提高9.67%;20—40 cm土层土壤总孔隙度仅翻耕30 cm处理较常规耕作显著提高7.01%。不同耕作深度处理下土壤毛管孔隙度表现为免耕<翻耕20 cm<翻耕10 cm<常规耕作<翻耕30 cm,

其各土层变化规律与总孔隙度变化规律基本趋于一致。由此可得,翻耕30 cm处理对提高10—30 cm深度的土壤孔隙度效果最为显著,表明增加一定翻耕深度有助于疏松耕层土壤,增大土壤孔隙,改善土壤的渗透性,促进耕层土壤水分的蓄持,为农作物根系生长创造适宜的土壤环境。

2.3 耕作深度对红壤坡耕地土壤耕性的影响

土壤紧实度是影响农作物生长的重要因素,受多种因素的影响,尤其是农业耕作措施,合理的耕作管理是调控土壤紧实度的有效手段^[14,17]。由图4可知,不同耕作深度处理下土壤紧实度值表现为翻耕30 cm<翻耕10 cm<翻耕20 cm<免耕<常规耕作。总体来看,在0—40 cm土层中,土壤紧实度值总体表现为随土层深度的增加而增加,其值介于63.65~463.6 kg/cm²;但免耕和翻耕20 cm处理下30—40 cm土层土壤紧实度呈下降趋势,原因是长期实施免耕未形成坚硬的犁底层,以及蚯蚓等土壤动物的活动,促进了土壤大孔隙数量的增加,一定程度上降低了土壤紧实度。从不同处理来看,0—10 cm土层,常规耕作的土壤紧实度最小(63.65 kg/cm²),其他翻耕处理下土壤紧实度差异不明显,其值介于123.6~137.3 kg/cm²;与常规耕作对照,10—20 cm土层中,翻耕10 cm、翻耕20 cm和翻耕30 cm处理土壤紧实度值分别度降低了35.2%,7.96%和48.09%,而免耕提高了13.62%;20—40 cm土层中,翻耕10 cm、翻耕20 cm、翻耕30 cm和免耕处理土壤紧实度值分别度降低了25.07%,17.38%,29.23%和26.01%。由此得出,不同翻耕深度处理对表层(0—10 cm)土壤紧实度影响不明显;翻耕30 cm能更有效降低10—30 cm土层的土壤紧实度;而对于同一处理方式不同垂直深度的耕层而言,土壤紧实度有较大的差异,总体上土壤紧实度随着土层深度增加而增大,这主要是长期农业耕作活动而导致上层土壤疏松,而农业机械长期碾压下层土壤且没有翻耕造成土壤更加紧实。

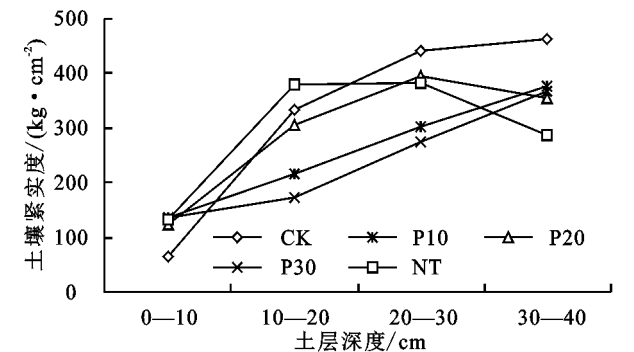


图 4 不同翻耕深度下土壤紧实度变化

土壤抗剪强度是表征土体力学性质的一个重要指标,直接反映了在外力作用下发生剪切变形的难易

程度,对作物的倒伏有一定影响^[13,18]。由图 5 可知,不同耕作深度处理下耕层土壤抗剪强度变化总体表现为翻耕 30 cm<常规耕作<翻耕 10 cm<免耕<翻耕 20 cm。从不同处理来看,0—10 cm 土层,除翻耕 20 cm 外土壤抗剪强度介于 2.37~2.80 kPa,说明不同翻耕深度对表层土在受到外力作用下发生剪切变形的影响不明显;与常规耕作比较,10—20 cm 土层中仅翻耕 30 cm 处理下土壤抗剪强度值降低 8.99%,免耕、翻耕 10 cm 和翻耕 20 cm 处理下土壤抗剪强度分别提高了 79.89%,24.86%,73.54%,20—40 cm 土层,翻耕 20 cm 和翻耕 30 cm 处理下土壤抗剪强度分别降低了 7.53%和 36.42%,而翻耕 10 cm 和免耕处理下分别提高了 11.93%和 18.05%。由此可得,常规耕作和翻耕 30 cm 处理均能有效降低 0—20 cm 耕层土壤抗剪强度,但耕翻 30 cm 能使深度为 20—40 cm 土壤的抗剪强度有效减弱。说明翻耕深度过浅容易使下层土壤被机械作业压实,导致下层土壤抗剪切能力更强,可以通过适当增加翻耕深度降低深层土壤的抗剪切能力。

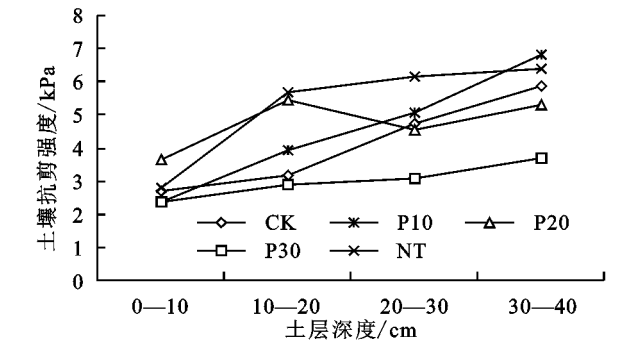


图 5 不同翻耕深度下土壤抗剪强度变化

2.4 耕作深度对红壤坡耕地土壤养分含量的影响

土壤有机质对改善耕层作物生长具有重要的作用,同时在农业环境保护、坡耕地持续利用方面有着重要意义^[13]。由图 6 可知,不同耕作深度处理下红壤坡耕地土壤有机质含量随土层深度的增加呈下降或先增加再下降趋势。不同耕作深度处理下土壤有机质含量表现为免耕<翻耕 30 cm<翻耕 10 cm<常规耕作<翻耕 20 cm。0—10 cm 土层,仅翻耕 30 cm 和免耕处理显著小于其他处理,其降低幅度约为 11.9%;10—20 cm 土层,翻耕 20 cm 和翻耕 10 cm 处理下土壤有机质含量明显上升,分别比常规耕作处理下土壤有机质提高 22.41%和 17.25%;20—40 cm 土层,仅翻耕 20 cm 处理方式下土壤有机质显著高于其他处理,其值比常规耕作处理下提高 25.89%。由此可得,翻耕处理能提高耕层土壤有机质含量,原因是翻耕使得表土层的枯草、落叶翻埋到下层土壤,加

之翻耕增加了土壤的透气性促使土壤有机质的分解;其中翻耕 20 cm 处理对 20—40 cm 土层的土壤有机质提升效果尤为明显。

土壤速效养分是土壤供的作物生长发育所必需的营养元素,土壤养分受母质、气候、生物、时间和人为活动的影响^[13,19]。由图 7 可知,不同翻耕深度处理下红壤坡耕地土壤有效磷含量随土层深度的增加呈下降趋势。以翻耕 20 cm 处理使各层有效磷含量分布更为均匀。由图 8 可知,随土层深度的增加土壤速效钾含量呈下降趋势。不同翻耕深度处理下红壤坡耕地土壤速效钾含量表现为常规耕作<翻耕 10 cm<翻耕 30 cm<免耕<翻耕 20 cm;不同翻耕处理下土壤速效钾含量主要集中分布在 0—20 cm 土层,20—40 cm 土层中速效钾含量相对较小。其中土壤速效钾含量最高(630.00 mg/kg)出现在翻耕 20 cm 处理的 0—10 cm 土层,最低(9.00 mg/kg)出现在常规耕作处理的 30—40 cm 土层;与常规耕作比较,翻耕 20 cm 处理下 0—10,10—20,20—30,30—40 cm 土层的土壤速效钾含量均明显升高,分别高出 1.03,2.61,2.18,2.13 倍。由此可得,翻耕 20 cm 对提升土壤速效钾含量效果最佳,同时对土壤速效钾向下层土壤迁移效果最好,有利于土壤速效钾的均衡分布,而免耕主要使得土壤速效钾集中于表层土,不利于土壤速效钾的均匀分布。

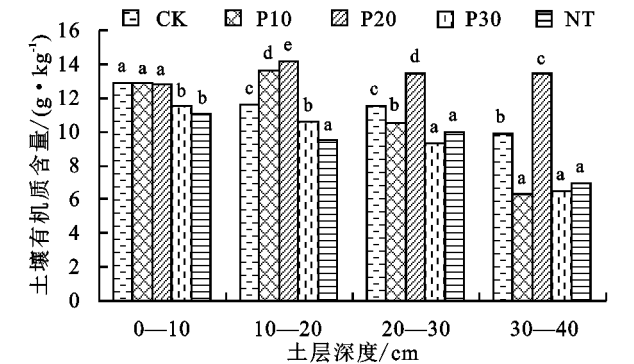


图 6 不同翻耕深度下土壤有机质含量

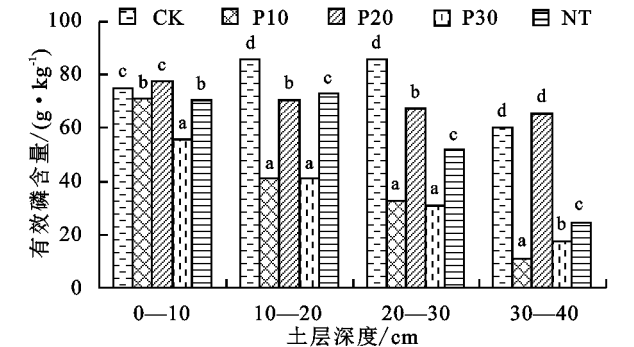


图 7 不同翻耕深度下土壤有效磷含量

2.5 耕作深度对红壤坡耕地耕层质量影响的综合评价
选择土壤容重(X1)、土壤含水率(X2)、田间持

水量(X3)、饱和含水量(X4)、毛管孔隙度(X5)、总孔隙度(X6)、土壤抗剪强度(X7)、土壤紧实度(X8)、有机质含量(X9)、有效磷含量(X10)、速效钾含量(X11)11个指标进行主成分分析,以评价不同耕作深度对红壤坡耕地耕层质量的影响^[20]。经主成分分析得出各主成分的特征值和方差贡献率(表2)。根据统计学原理,当各主成分的累积方差贡献率大于85%时,即可用来反映系统的变异信息^[21]。基于主成分分析结果,红壤坡耕地耕层土壤质量影响指标中特征值大于1的有3个主成分(F1、F2、F3),累计贡献率达85.49%,大于85%,基本上代表了选取因子对红壤坡耕地耕层土壤质量影响。由表2可知,各主成分评价土壤质量的影响力依次为 $F1>F2>F3$,第1主成分方差贡献率达55.798%,是影响红壤坡耕地土壤质量的主要因子。一般认为因子负荷越大,变量在相应主成分中的权重越大^[21-22]。

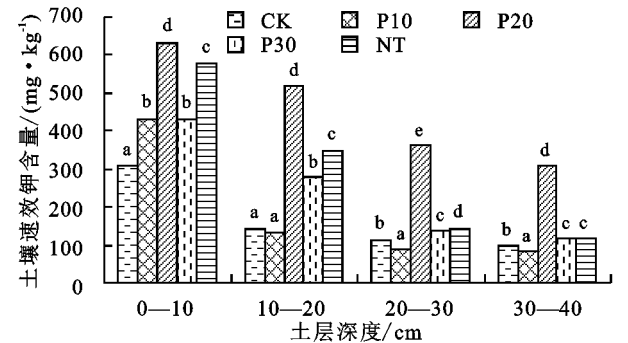


图8 不同翻耕深度下土壤速效钾含量

表2 主成分分析结果

指标	F1	F2	F3
田间持水量 X3	0.973	−0.008	0.037
饱和含水量 X4	0.941	0.135	−0.210
总孔隙度 X6	0.934	0.025	−0.289
土壤容重 X1	−0.933	−0.026	0.294
毛管孔隙度 X5	0.842	−0.109	0.279
土壤抗剪强度 X7	−0.830	−0.335	0.138
土壤紧实度 X8	−0.798	−0.172	0.369
有机质含量 X9	0.106	0.871	−0.127
有效磷含量 X10	−0.145	0.852	−0.067
速效钾含量 X11	0.231	0.805	0.054
土壤含水率 X2	−0.223	−0.080	0.933
特征值	6.138	2.217	1.049
方差贡献率/%	55.798	20.153	9.533
累积贡献率/%	55.798	75.951	85.484

根据分析所得的各变量在相应主成分上的因子负荷、系数矩阵及土壤物理、化学、力学性质指标标准化的数据分别代入相应的主成分函数中^[22],可以得出5种不同翻耕深度处理土壤在各自3个主成

分上的得分情况。通过综合主成分函数模型计算出综合得分平均值(表3)^[22],对不同翻耕处理下土壤质量水平作出综合评价,得分排序为免耕(−1.17)<翻耕10 cm(−1.06)<常规耕作(0.17)<翻耕20 cm(0.34)<翻耕30 cm(1.75)。经过不同翻耕深度处理,耕层土壤的质量水平表现出一定的差异,总体来看,翻耕处理能提高耕层土壤质量水平,以翻耕30 cm处理效果最优。另外,从各土层综合得分来看,免耕主要是对0—10 cm土层土壤质量提高显著,翻耕10 cm对0—20 cm土层土壤质量的提高有一定作用,翻耕20 cm和常规耕作对0—20 cm土层土壤质量提高显著,翻耕30 cm对0—30 cm土层土壤质量提高显著。由此可知,翻耕30 cm处理是提高耕层土壤质量的一种最佳途径,改变原来的土壤属性,改善土壤孔隙,增强土壤通透性,改良土壤松紧,加速有机质分解及速效养分的迁移,提高耕层土壤持水能力和土壤肥力。

表3 不同耕作深度对红壤坡耕地耕层质量影响的综合得分结果

处理	土层深度/cm	F1	F2	F3	F 综合得分	综合得分平均值
CK	0—10	1.78	0.55	0.01	1.29	0.17
	10—20	0.34	0.09	−0.14	0.23	
	20—30	−0.34	−0.04	−0.30	−0.27	
	30—40	−1.65	−0.46	−1.19	−1.08	
P10	0—10	0.30	0.71	−3.19	0.01	−1.06
	10—20	0.21	−0.16	−0.72	0.02	
	20—30	−0.15	−0.81	0.15	−0.27	
	30—40	−0.67	−1.78	0.43	−0.81	
P20	0—10	0.76	1.43	1.29	0.98	0.34
	10—20	−0.65	1.36	1.08	0.02	
	20—30	−1.05	0.85	0.64	−0.41	
	30—40	−1.03	1.57	0.52	−0.24	
P30	0—10	1.36	0.32	−0.39	0.92	1.75
	10—20	1.35	−0.39	−0.01	0.79	
	20—30	1.38	−1.13	0.64	0.71	
	30—40	−0.32	−1.65	−0.49	−0.65	
NT	0—10	0.51	0.93	−0.23	0.43	−1.17
	10—20	−1.19	0.26	0.21	−0.79	
	20—30	−1.29	−0.35	0.27	−0.90	
	30—40	0.35	−1.31	1.45	0.08	

3 结论

(1)翻耕能显著增加土壤孔隙,降低土壤容重,进而增强土壤持水能力;不同的翻耕深度对土壤饱和含水量、田间持水量和土壤孔隙度的影响表现为免耕<翻耕20 cm<翻耕10 cm<常规耕作<翻耕30 cm,对容重的影响表现为翻耕30 cm<常规耕作<翻耕

10 cm<免耕<翻耕 20 cm;与常规耕作相比,翻耕 30 cm能显著增加饱和含水量、田间持水量和总孔隙度,分别增加 18.17%,12.67%,5.94%,翻耕 30 cm使土壤容重降低了 6.90%。

(2)翻耕对表层(0—10 cm)土壤紧实度和抗剪强度影响不显著,但对 10—30 cm 土层土壤紧实度和抗剪强度影响显著,不同翻耕深度下土壤紧实度表现为翻耕 30 cm<翻耕 10 cm<翻耕 20 cm<免耕<常规耕作,土壤抗剪强度表现为翻耕 30 cm<常规耕作<翻耕 10 cm<免耕<翻耕 20 cm;与常规耕作相比,翻耕 30 cm 使土壤紧实度和抗剪强度分别降低了 27.07%和 24.82%。

(3)翻耕有助于增加深层(20—40 cm)土壤有机质、有效磷和速效钾含量,而免耕处理下土壤有机质、有效磷和速效钾主要集中于表层(0—20 cm)土壤;其中以翻耕 20 cm 处理效果最佳,与常规耕作相比,翻耕 20 cm 处理使表层土壤有机质、有效磷和速效钾含量分别增加 9.90%,−8.24%,153.31%,使深层土壤有机质、有效磷和速效钾含量分别增加 25.89%,−8.84%,216.03%。

(4)主成分分析结果表明,孔隙度、容重、田间持水量、有机质、有效磷是反映不同耕作深度对红壤坡耕地土壤质量影响的关键因子;翻耕 30 cm 深度对红壤坡耕地土壤的综合改善效果最佳。

参考文献:

- [1] 赵小敏,邵华,石庆华,等.近 30 年江西省耕地土壤全氮含量时空变化特征[J].土壤学报,2015,52(4):298-305.
- [2] 郑洪兵,郑金玉,罗洋,等.长期不同耕作方式下的土壤硬度变化特征[J].农业工程学报,2015,31(9):63-70.
- [3] 韩晓增,邹文秀,陆欣春,等.构建肥沃耕层对沙性土壤水分物理性质及玉米产量的影响[J].土壤与作物,2017,6(2):81-88.
- [4] 彭正凯,李玲玲,谢军红,等.不同耕作措施对旱地作物生育期农田耗水结构和水分利用效率的影响[J].水土保持学报,2018,32(5):215-221.
- [5] Ghosh B N, Dogra P, Sharma N K, et al. Conservation agriculture impact for soil conservation in maize-wheat cropping system in the Indian sub-Himalayas [J]. International Soil and Water Conservation Research,2015,3(2):112-118.
- [6] 龚冬琴,吕军.连续免耕对不同质地稻田土壤理化性质的影响[J].生态学报,2014,34(2):239-246.
- [7] 童文杰.不同耕作深度对土壤物理性状及烤烟根系空间分布特征的影响[J].中国生态农业学报,2016,24(11):1464-1472.
- [8] 许迪,Schmid R, Mermoud A.夏玉米耕作方式对耕层土壤特性时间变异性的影响[J].水土保持学报,2000,14(1):64-70.
- [9] 刘波,吴礼树,鲁剑巍,等.不同耕作方式对土壤理化性质影响研究进展[J].耕作与栽培,2010(2):55-58.
- [10] 刘爽,何文清,严昌荣,等.不同耕作措施对旱地农田土壤物理特性的影响[J].干旱地区农业研究,2010,28(2):65-70.
- [11] 黄尚书,钟义军,叶川,等.深松与压实对红壤坡耕地土壤物理性质的影响[J].土壤通报,2017,48(6):1347-1353.
- [12] 中国科学院南京土壤研究所.土壤理化分析[M].上海:上海科学技术出版社,1978.
- [13] 丁文斌,蒋光毅,史东梅,等.紫色土坡耕地土壤属性差异对耕层土壤质量的影响[J].生态学报,2017,37(19):6480-6493.
- [14] 丁昆仑,Ham M J.耕作措施对土壤特性及作物产量的影响[J].农业工程学报,2000,16(3):28-31.
- [15] 王昭艳,左长清,曹文洪,等.红壤丘陵区不同植被恢复模式土壤理化性质相关分析[J].土壤学报,2011,48(4):715-724.
- [16] 张丽娜,Evans A,张陆勇,等.耕作方式对旱地红壤物理特性的影响[J].水土保持研究,2018,25(3):46-50.
- [17] 齐华,刘明,张卫建,等.深松方式对土壤物理性状及玉米根系分布的影响[J].华北农学报,2012,27(4):191-196.
- [18] 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.
- [19] 武际,郭熙盛,王允青,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.
- [20] 李小飞,孙永明,叶川,等.不同耕作深度对茶园土壤理化性状的影响[J].南方农业学报,2018,49(5):877-883.
- [21] Zheng L Y, Yu H B, Wang Q S. Application of multivariate statistical techniques in assessment of surface water quality in Second Songhua River basin, China [J]. Journal of Central South University,2016,23(5):1040-1051.
- [22] 陈吉,赵炳梓,张佳宝,等.主成分分析方法在长期施肥土壤质量评价中的应用[J].土壤,2010,42(3):415-420.