

粉垄耕作对土壤性质及马铃薯产量的影响

刘江汉, 何文寿*

(宁夏大学农学院, 银川 750021)

摘要:针对连年旋耕而引起犁底层上移、耕层变浅、土壤质量退化导致作物产量低下等问题,研究粉垄耕作技术对土壤性状的改良效应。本试验设置粉垄耕作(F30:耕作深度0~30 cm)、粉垄耕作(F45:耕作深度0~45 cm),以传统旋耕(C15:耕作深度0~15 cm)为对照,探究粉垄耕作对马铃薯产量、土壤物理性质及微生物数量的影响。结果表明:与C15处理相比,粉垄耕作后可有效降低土壤容重,增大土壤孔隙度,提高土壤含水量,协调土壤三相,有助于增加土壤速效养分含量及微生物数量;F30、F45处理马铃薯产量分别较对照增产6.48%、10.19%,商品薯率分别提高4.46%、6.83%。此外,经过主成分分析综合评分后,以0~45 cm耕作深度进行粉垄耕作对土壤的综合改良效果最佳。可见,粉垄耕作技术可为雨养农业区提供一种有效的新型耕作措施。

关键词:粉垄耕作;产量;土壤物理性状;土壤微生物

中图分类号:S341.1;S532 文献标识码:A

文章编号:2096-5877(2020)02-0020-06

Effects of Smash-ridging Technology on Soil Properties and Potato Yield

LIU Jianghan, HE Wenshou*

(School of Agriculture, Ningxia University, Yinchuan 750021, China)

Abstract: In order to solve the problems such as plow bottom moving up, plough layer becoming shallow and soil quality degradation, the improvement effect of smash-ridging on soil properties was studied. In this experiment, the effects of smash-ridging cultivation (F30: tillage depth 0 ~ 30 cm), smash-ridging cultivation (F45: tillage depth 0 ~ 45 cm) were set, and conventional rotary tillage (C15: tillage depth 0 ~ 15 cm) was used as control to explore the effect of smash-ridging cultivation on potato yield, soil physical properties and microbial quantity. The results showed that compared with C15 treatment, the soil bulk density could be effectively reduced, the soil porosity and the soil water content could be increased, and soil available nutrients and microbial quantity could be significantly improved. The potato yield of F30 and F45 increased by 6.48% and 10.19% respectively, the commercial potato rate increased by 4.46% and 6.83%, respectively. In addition, after the comprehensive score of principal component analysis, the effect of 0 ~ 45 cm tillage depth on the comprehensive improvement of soil is the best. It can be seen that the smash-ridging technology can provide an effective new tillage measure for rain fed agricultural areas.

Key words: Smash-ridging technology; Yield; Soil properties; Soil microorganisms

土壤作为作物生长的载体,土壤结构、耕层深度、保水蓄肥能力对作物能否增产丰收有着重要的影响。由于连年旋耕作业,犁底层上移等问题,土壤结构发生一定改变,养分流失,耕地质量变差,从而影响土地持续生产力^[1-2]。改进土壤耕作方式是改善土壤理化性质的有效途径^[3-4]。为此在宁夏南部地区引进粉垄耕作技术(又称深旋

耕技术),其作为一种新型的耕作方式^[5],可根据不同地区与作物的需求,在专用的粉垄机械上并列多个垂直螺旋型钻头(两个钻头为一组、或多组钻头为一组),通过控制钻头的入土深度(可在30~50 cm之间调节),高速旋转垂直入土进行耕作^[6],将土壤旋磨粉碎、自然悬浮成垄,一次性完成传统耕作中犁、耙等程序达到直接播种的整地要求。粉垄后能够打破部分坚硬犁底层,使土粒粉碎均匀、疏松透气、不乱土层,更利于天然降水的快速下渗与贮存^[7]。研究表明,粉垄耕作对提高土壤水分利用率,改善作物品质、田间群体微环境有一定的促进作用^[8]。对小麦、玉米、水稻、

收稿日期:2019-01-21

基金项目:宁夏回族自治区重点研发计划项目(2018BFF02002);
公益性行业(农业)科研专项经费项目(201503120)

作者简介:刘江汉(1995-),男,在读硕士,从事土壤肥料研究。

通讯作者:何文寿,男,硕士,教授,E-mail: hews@nxu.edu.cn

甘蔗等作物有较好的增产效果^[9-10]。目前,粉垄技术在增加作物产量、改善作物品质等方面有较多研究,而关于土壤性质方面的研究较少。因此,研究粉垄耕作后土壤性质的变化,探寻改善土壤结构的新型耕作模式,筛选出适宜宁南山区的粉垄耕作技术,实现土壤良性生产。

1 材料与方 法

1.1 试验点概况

试验于2018年在宁夏回族自治区西吉县新营乡白城村(北纬36°15',东经105°59')进行,属于半干旱偏旱区,海拔2 232 m,年均降水量392 mm,无霜期130 d左右,年均气温5.5℃,≥10℃有效积温2 000~2 300℃·d, pH为8.35。试验地0~15 cm土层土壤有机质15.14 g/kg、碱解氮79.43 mg/kg、速效磷16.21 mg/kg、速效钾129.63 mg/kg。

1.2 试验材料与方法

采用单因素随机区组设计,以传统旋耕(耕作深度0~15 cm, C15)为对照,设2个粉垄耕作处理:粉垄耕作(耕作深度0~30 cm, F30)、粉垄耕作(耕作深度0~45 cm, F45),每个处理3次重复,小区面积为9 m×30 m=270 m²。采取单垄双行全覆膜(黑膜)种植,膜宽120 cm,行距50 cm,株距40 cm,种植深度10~15 cm。施肥后按试验方案耕作深度进行粉垄、旋耕,之后整地、覆膜、人工播种,其他试验条件均与当地习惯保持一致。

供试马铃薯品种为青薯9号原种,4月30日播种、9月29日收获。供试肥料为尿素(N≥46%)、磷酸二铵(P₂O₅≥12%)、硫酸钾(K₂O≥50%),70%氮肥、全部磷肥和钾肥作基肥,30%氮肥在现蕾期追施,用量为尿素150 kg/hm²、磷酸二铵225 kg/hm²、硫酸钾90 kg/hm²,现蕾期追施尿素120 kg/hm²。

1.3 测定项目及方法

1.3.1 土壤容重、含水率

在2018年9月29日马铃薯成熟期,各小区用环刀、土钻分别采集0~15 cm、15~30 cm、30~45 cm土层土样,采用环刀法测定土壤容重、烘干法测定土壤含水率。

1.3.2 土壤孔隙度及土壤三相比例

根据文献[11]计算土壤总孔隙度,土壤密度近似值取2.65 g/cm³。土壤总孔隙度=(1-容重/密度)×100%。气相比例=总孔隙度-水分含量,固相比例=1-总孔隙度,液相比例=水分含量。

1.3.3 土壤微生物数量

在2018年9月29日马铃薯成熟期,各小区分别

采集0~15 cm、15~30 cm、30~45 cm土层土样,装入塑封袋低温保存带回实验室进行测定。土壤微生物数量分析采用平板稀释法^[12],各种微生物培养基分别是:细菌采用牛肉膏蛋白胨琼脂培养基,真菌采用孟加拉红培养基,放线菌采用改良高氏一号培养基。

1.3.4 土壤化学性质

在2018年9月29日马铃薯成熟期,各小区分别采集0~15 cm、15~30 cm、30~45 cm土层土样,测定土壤有机质(重铬酸钾-硫酸氧化法)、土壤全氮(半微量凯氏法)、碱解氮(碱解扩散法)、有效磷(NaHCO₃浸提-钼锑抗比色法)、速效钾(醋酸铵浸提-火焰光度法)、pH值(酸度计法)。

1.3.5 马铃薯产量

按小区实收记录马铃薯产量,折算成公顷产量,分别记录大(>75 g)、中(75~50 g)、小薯(<50 g)个数及质量,并计算商品薯率,商品薯率=(单薯50 g以上的产量/马铃薯总产量)×100%。

采用Excel 2016、SPSS 21软件进行数据分析,采用LSD法检验 $P<0.05$ 水平上的差异性。

2 结果与分析

2.1 粉垄耕作对土壤物理性状的影响

如图1所示,0~15 cm土层的土壤容重表现为F30较C15、F45分别显著降低4.01%和2.42% ($P<0.05$,下同),F45较对照无明显差异;15~30 cm土层F30、F45土壤容重较C15显著降低,分别降低11.1%、10.2%;30~45 cm土层F30、F45土壤容重较C15分别降低4.9%、11.4%,且F45降幅显著大于F30。0~15 cm土层土壤含水量F30较C15、F45分别提高17.8%、9.5%;15~30 cm土层土壤含水量,F30、F45较C15分别显著提高17.68%、10.52%;30~45 cm土层的土壤含水量表现为F45显著高于C15、F30,分别提高20.58%、14.39%。0~15 cm土层土壤孔隙度,F30较C15、F45显著提高,分别提高3.7%、2.2%;15~30 cm土层表现为F45、F30均显著高于C15,分别增加8.06%、7.69%;30~45 cm土层土壤孔隙度F45、F30较C15显著提高,分别提高4.78%、9.44%,且F45土壤孔隙度增幅最高。整体上来说,粉垄耕作可有效降低0~45 cm土层土壤容重,提高土壤含水量,增加土壤孔隙度。

2.2 粉垄耕作对土壤三相比例的影响

从图2可以看出,在0~15 cm土层中,与C15相比粉垄后F30、F45土壤气相显著上升,分别上升17.89%、7.65%,其中F30气相最大,较F45上升

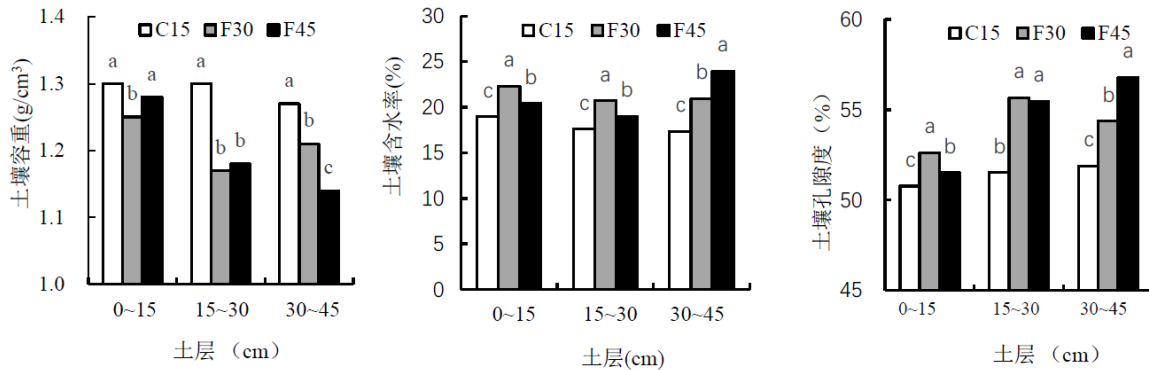


图1 不同耕作处理对土壤容重、含水量及孔隙度的影响

9.5%;液相方面,仅F45有显著差异,较C15提升4.9%;F30、F45较C15固相比比例显著下降,分别下降8.47%、5.96%,其中F30固相最小,较F45下降2.4%。在15~30 cm土层中,与C15相比粉垄后F30、F45土壤气相显著上升,分别上升17.68%、10.52%,其中F30气相最大,较F45上升6.48%;液相方面,F45、F30较C15显著升高,分别上升3.07%、6.22%,且各处理间差异显著;固相方面

C15最高,F30、F45较C15分别降低9.36%、8.89%。在30~45 cm土层中,土壤气相比比例F30、F45显著升高,分别较C15上升20.58%、37.93%,各处理间差异显著,其中F45气相比比例最大,较F30上升14.39%;液相方面,仅F45有显著差异,较C15提升5.1%;F30、F45较C15固相比比例显著下降,分别下降19.89%、9.07%,其中F45固相下降最显著,较F30下降9.92%。

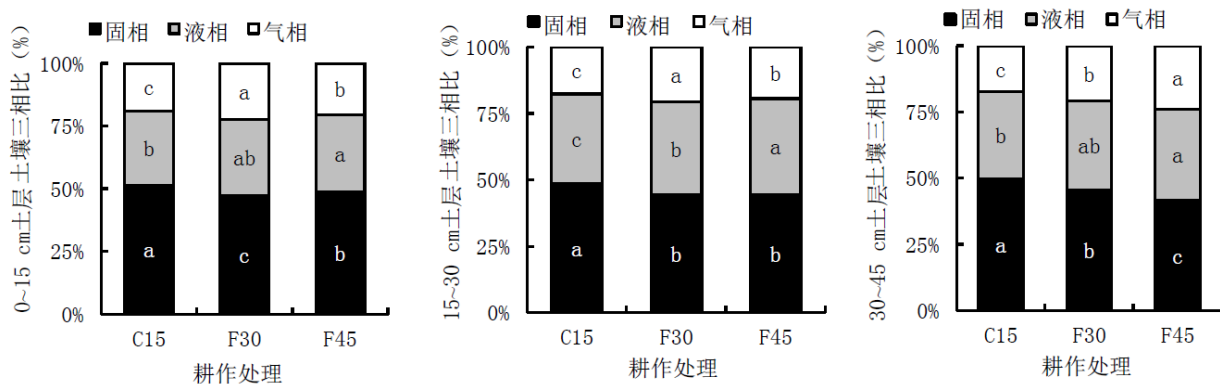


图2 不同耕作处理对土壤三相比的影响

2.3 粉垄耕作对土壤微生物数量的影响

由表1可知,不同处理下,0~45 cm土壤微生物数量发生了显著变化。总趋势是土壤细菌、真菌、放线菌数量均表现为表层最佳,中层次之,深层最低。F30表层、中层土壤细菌数量较C15分别显著增加61.91%、25.13%,表层、中层、深层土壤放线菌数量较C15显著增加16.91%、19.15%、27.78%,表层、中层、深层土壤真菌数量较C15增加不显著;F45较C15表层土壤细菌、放线菌、真菌数量显著增加83.33%、38.02%、50%,中层土壤细菌显著增加75.12%,放线菌显著增加23.41%,真菌数量增加不显著,深层土壤细菌数量增加差异不显著,但土壤放线菌、真菌较C15显著增加。从C15到F45来看,各层土壤微生物数量呈逐步上升的趋势,F45各层土壤微生物总量最大,表层、中层和深层土壤微生物总量较C15分别提高

76.75%、66.46%、16.29%,F30表层、中层较C15提高55.35%、23.97%,但深层效果不明显。

2.4 粉垄耕作对速效养分的影响

由表2可知,粉垄处理后0~15 cm土层F45、F30土壤碱解氮含量分别较C15显著提高8.19%、7.34%;F45 15~30 cm、30~45 cm土层土壤碱解氮较C15分别显著提高9.72%、12.74%,F30 15~30 cm、30~45 cm土层土壤碱解氮较C15分别显著提高5.91%、4.72%。各土层下碱解氮含量表现依次为F45>F30>C15,且随土层深度增加逐渐呈下降趋势。F45和F30在0~15 cm、15~30 cm土层土壤速效钾含量较C15显著提高8.21%、6.09%、10.23%、7.85%,在30~45 cm土层F45土壤速效钾含量较C15显著提高8.15%,F30较C15无明显差异。F45在0~15 cm、15~30 cm、30~45 cm土层土壤速效磷含量最高,较C15显著提高8.78%、

10.83%、13.31% ;F30 在 0 ~ 15 cm、15 ~ 30 cm 土层土壤速效磷含量较 C15 显著提高 5.63%、10.01%,在 30 ~ 45 cm 土层 F30 较 C15 无明显差异。总体趋势

表现为 F45、F30 土壤速效钾、速效磷含量较 C15 显著提高,但 F45 增幅显著高于 F30。

表 1 不同耕作处理对土壤微生物数量的影响

处理	深度 (cm)	细菌	放线菌	真菌	微生物总量
		数量(×10 ⁴)	数量(×10 ³)	数量(×10 ²)	数量(×10 ²)
C15	0~15	42c	71c	6b	4 916c
	15~30	24c	47b	3a	2 873c
	30~45	18a	18c	2b	1 982b
F30	0~15	68b	83b	7b	7 637b
	15~30	30b	56a	3a	3 563b
	30~45	18a	23b	2b	2 032b
F45	0~15	77a	98a	9a	8 689a
	15~30	42a	58a	4a	4 784a
	30~45	20a	30a	5a	2 305a

表 2 不同耕作处理对土壤速效养分的影响

mg/kg

指标	处理	土层		
		0~15 cm	15~30 cm	30~45 cm
碱解氮	C15	69.91±0.55b	60.12±0.77c	40.95±0.25c
	F30	75.04±0.72a	63.67±1.57b	42.88±1.02b
	F45	75.64±1.24a	65.96±0.43a	46.17±0.41a
速效钾	C15	116.91±0.55b	96.12±0.77c	78.75±0.25b
	F30	124.04±0.72a	103.67±1.57b	79.88±1.02b
	F45	126.64±1.24a	105.96±0.43a	85.17±0.41a
速效磷	C15	14.02±0.39c	10.89±0.21b	4.43±1.96b
	F30	14.81±0.83b	11.98±1.05a	4.68±2.01b
	F45	15.25±0.75a	12.07±1.57a	5.02±1.11a

2.5 粉垄耕作对马铃薯产量性状的影响

不同处理马铃薯产量及其构成要素表现不同(表 3),F30 和 F45 的总产量显著高于 C15,分别增产 6.48%、10.19%,说明粉垄处理可以明显提高马铃薯产量。在不同粉垄条件下,F45 增产效果高于 F30,较 F30 总产量提升 3.48%,且 F30、F45 总薯数较 C15 显著提高 47.71%、18.93%。各处理大薯

数、中薯数、小薯数依次表现为 F30>F45>C15,大薯产量以 F45 较 C15、F30 分别显著提高 8.84%、7.98%,中薯、小薯产量则各处理表现为 F30>F45>C15。以单个马铃薯重 50 g 以上作为商品薯标准,F30、F45 较 C15 商品薯率均显著增加,分别增加 3.6%、5.51%。

表 3 不同耕作处理对马铃薯产量及产量构成要素的影响

处理	总产量 (kg/hm ²)	公顷 总薯数	大薯		中薯		小薯		商品薯率 (%)
			薯数	产量(kg/hm ²)	薯数	产量(kg/hm ²)	薯数	产量(kg/hm ²)	
C15	39 819.6c	246 292c	178 451c	37 179.7c	29 496c	1 513.1c	38 345c	1 126.7c	80.74b
F30	42 400.5b	363 784a	231 052a	37 477.1b	62 679a	3 269.1a	70 053a	1 654.2a	84.34a
F45	43 875.3a	292 912b	217 123b	40 468.2a	35 504b	2 157.6b	40 284b	1 249.5b	86.25a

2.6 粉垄耕作对土壤性质影响的综合评分结果

经过粉垄处理后对土壤性质有多方面的影响,为了使影响因素更加清晰,本研究针对收获

时土壤容重、土壤含水量等 9 项指标进行主成分分析法进行降维,筛选出不同土层的主成分,以评价不同耕作处理对土壤性质的综合影响。如表

4所示,0~15 cm土层主成分1、2的方差贡献率分别为75.992%、24.078%,累计贡献率达100%。因此,第一、第二主成分可综合衡量0~15 cm土层9项指标信息。第一主成分中碱解氮、速效钾、速效磷等有较大的特征向量值,因此这一主成分为粉垄后影响0~15 cm土层土壤性质的主要方面。第二主成分中特征向量值最大的是土壤容重,真菌数量次之;15~30 cm土层主成分1、2的方差贡献率为87.800%、12.200%,累计贡献率100%。土壤孔隙度、速效磷、放线菌在此第一主成分中特征向量值较大,因此这一主成分为粉垄

后影响15~30 cm土层土壤性质的主要方面。第二主成分中真菌数量特征向量值最大,土壤含水率次之;30~45 cm由于各因素差异性较大,筛选出一个主成分,累计贡献率为96.041%。按照累计贡献率≥85%的原则,这一主成分为粉垄后影响30~45 cm土层土壤性质的主要方面,其中土壤孔隙度(0.997)、速效磷(0.994)、放线菌(0.993)、土壤含水率(0.992)、碱解氮(0.991)等特征向量值较大。分别求出各土层对应主成分的综合得分值,对其综合评价并进行排序。由表5可以看出F45得分最高,为0.74,依次是F30,而C15得分最低。

表4 主成分分析结果

指标	土层				
	0~15 cm		15~30 cm		30~45 cm
	第一主成分	第二主成分	第一主成分	第二主成分	第一主成分
X ₁ :土壤含水率	0.820	-0.740	0.918	0.397	0.992
X ₂ :土壤容重	-0.800	0.762	-0.998	-0.063	-0.999
X ₃ :孔隙度	0.801	-0.761	0.999	0.034	0.997
X ₄ :碱解氮	0.998	0.019	0.967	-0.256	0.991
X ₅ :速效钾	0.978	0.220	0.982	-0.189	0.981
X ₆ :速效磷	0.982	0.183	0.998	-0.062	0.994
X ₇ :细菌	-0.999	0.198	-0.973	0.233	0.980
X ₈ :放线菌	0.796	0.415	0.984	-0.179	0.993
X ₉ :真菌	0.574	0.672	0.506	0.863	0.910
特征值 CV	6.833	2.167	7.902	1.098	9.604
方差贡献率(%)VCR	75.992	24.078	87.800	12.200	96.041
累计贡献率(%)CCR	75.992	100.000	87.700	100.000	96.041

表5 综合评分结果

处理	土层								综合得分	排名
	0~15 cm			15~30 cm			30~45 cm			
	F1	F2	综合	F1	F2	综合	F1	综合		
C15	-0.82	-0.80	-1.62	-0.82	-0.82	-1.64	-0.90	-0.90	-1.38	3
F30	1.11	-0.31	0.80	0.13	1.15	1.28	-0.19	-0.19	0.63	2
F45	-0.28	1.12	0.84	0.92	-0.69	0.23	1.14	1.14	0.74	1

3 讨 论

相关研究表明^[13],粉垄耕作较传统旋耕可有效降低土壤容重10.56%。韦本辉等^[14]研究也发现,粉垄耕作后土壤容重在连续多年种植后较传统耕作有所降低。本研究结果表明,粉垄耕作后0~45 cm土层土壤容重有不同程度下降,与上述研究结果相一致。这可能是由于粉垄耕作能够打破犁底层,使耕层疏松深厚,土壤容重降低。土壤孔隙度与土壤容重变化趋势相反,F45在0~45 cm土层孔隙度增幅效果最为显著,这与邵云

等^[15]研究结果相一致。
李轶冰等^[16]研究认为粉垄耕作后易于调用深层水分,土壤调蓄水分更通畅。本研究结果表明,粉垄耕作后各处理土壤含水量有显著提升,土壤三相比例有所优化。其中30~45 cm土层以F45效果更好,主要原因可能是粉垄耕作耕作深度较深,深层土壤孔隙度因而提高,水分渗透性得到改善,使得深层土壤含水量显著提高,从而改善底层土壤环境,对底层土壤养分的利用也将有所改善。
梁金凤等^[17-18]研究发现,对土壤进行耕作可增加土壤微生物总体含量,提高土壤微生物数量,

改善深层土壤微生态环境。本研究结果表明,粉垄耕作后有助于土壤微生物数量增加,与上述研究结果一致。分析其原因可能是粉垄耕作后土壤环境的改善、土壤通气性增强等,有助于土壤微生物的繁殖,使得微生物数量提高。

已有研究表明,旱地、水田经粉垄整地处理的土壤,委托有关机构测定结果显示,其有机质和速效氮、磷、钾含量均比未粉垄的原土土壤高^[19-21],多数指标的增加幅度达10%~20%^[22-23]。本研究结果表明,粉垄耕作有助于增加土壤速效养分含量,与上述研究结果一致,且F45效果尤为显著。分析原因可能是粉垄耕作后土壤容重显著降低,使土壤的通透性提高,促进了土壤氮素的矿化分解与缓效钾的释放,且粉垄耕作能够打破部分犁底层,使土壤含水量、孔隙度等土壤环境条件得到改善,有利于土壤中速效磷的有效性提高。

聂胜委等研究发现^[24],粉垄耕作能够增加小麦、玉米两季作物产量,促进作物对养分的吸收,适当增加耕作层的厚度更有助于小麦产量的提高。韦本辉等^[25]研究表明粉垄栽培技术可以增加马铃薯的产量,并提高商品薯的比例。本研究结果表明,粉垄耕作后较传统旋耕可使马铃薯总产量增加6.48%~10.19%,商品薯比例提高3.6%~5.51%,与上述研究结果一致,分析原因可能是粉垄耕作后土壤结构得到明显改善,更加适合马铃薯生长,使马铃薯产量显著增加。

4 结 论

4.1 与传统旋耕相比,粉垄耕作可有效降低土壤容重,增大土壤孔隙度,提高土壤含水量,协调土壤三相。

4.2 粉垄耕作可有助于土壤速效养分及土壤微生物数量的增加,以F45处理效果最佳。

4.3 粉垄耕作后能显著提高马铃薯总产量和商品薯率,且适当地增加粉垄深度有利于马铃薯产量的提高。

综上,粉垄耕作对土壤改善具有良好的作用,且经过主成分分析法综合评分后,F45处理对土壤性质的综合改善效果最佳,对马铃薯增产效果最显著。

参考文献:

[1] 胡钧铭,陈胜男,韦翔华,等.耕作对健康耕层结构的影响及发展趋势[J].农业资源与环境学报,2018,35(2):95-103.
[2] 闫伟平,边少锋,赵洪祥,等.半干旱区深松垄作对春玉米生长及产量的影响[J].东北农业科学,2016,41(6):21-25.
[3] 王春雷,冯 晔,曹 霞,等.深松和密度互作对北方春玉米生长特性的影响[J].东北农业科学,2016,41(4):27-31.

[4] 冯 晔,王春雷,张玉霞,等.深松对干旱灌区玉米光合特性及产量的影响[J].东北农业科学,2015,40(1):23-28.
[5] 韦本辉.粉垄耕作技术对粮食生产和环境安全的影响[J].安徽农业科学,2015,43(35):60-61,64.
[6] 申章佑,韦本辉,甘秀芹,等.粉垄栽培对旱地作物产量品质的影响[J].中国农业科技导报,2012,14(4):101-105.
[7] Xu X, Zheng F, Wilson G V, et al. Comparison of runoff and soil loss in different tillage systems in the Mollisol region of Northeast China[J]. Soil & Tillage Research, 2018, 177: 1-11.
[8] 聂胜委,张玉亭,汤丰收,等.粉垄耕作后效对夏玉米群体微环境的影响[J].山西农业科学,2016,44(3):348-352.
[9] 周灵芝,韦本辉,甘秀芹,等.粉垄栽培对甘蔗生长和产量的影响[J].安徽农业科学,2017,45(9):29-31.
[10] 曾文伟,李佳临,陈阳峰,等.水稻粉垄栽培技术在隆回县的应用探索[J].作物研究,2016,30(1):89-91.
[11] 鲍士旦.土壤农化分析(第3版)[M].北京:中国农业出版社,2007:30-58.
[12] 许光辉,郑洪源,李凤珍,等.土壤微生物分析方法手册[M].北京:农业出版社,1986:53-56.
[13] 甘秀芹,韦本辉,刘 斌,等.粉垄后第6季稻田土壤变化与水稻产量品质分析[J].南方农业学报,2014,45(9):1603-1607.
[14] 韦本辉,甘秀芹,李艳英,等.稻田粉垄一次持续7年对土壤性状和水稻产量品质的影响(英文)[J]. Agricultural Science & Technology, 2017, 18(12): 2365-2371.
[15] 邵 云,王敬娣,张紧紧,等.耕作和有机物料还田对麦田土壤理化性质及产量效益的影响[J].华北农学报,2017,32(5):208-215.
[16] 李轶冰,逢焕成,杨 雪,等.粉垄耕作对黄淮海北部土壤水分及其利用效率的影响[J].生态学报,2013,33(23):7478-7486.
[17] 梁金凤,齐庆振,贾小红,等.不同耕作方式对土壤性质与玉米生长的影响研究[J].生态环境学报,2010,9(4):945-950.
[18] 隋跃宇,焦晓光,高崇生,等.土壤有机质含量与土壤微生物量及土壤酶活性关系的研究[J].土壤通报,2009,40(5):1036-1039.
[19] 韦本辉.粉垄栽培增产效果及其引发的栽培学新理论探讨[J].广西农学报,2011(2):25-28.
[20] 张文超,王玉凤,张翼飞,等.耕作方式对松嫩平原半干旱区土壤养分含量和玉米产量的影响[J].作物杂志,2017(4):123-128.
[21] 韦本辉,甘秀芹,陈保善,等.农耕新方法粉垄整地土壤速效养分研究[J].广东农业科学,2011,38(17):42-45.
[22] 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,2018,40(5):877-883.
[23] 张 瑜,冯绍元,苏 童,等.不同耕作方式下新复垦区春玉米试验研究[J].灌溉排水学报,2018,37(8):64-70.
[24] 聂胜委,张玉亭,张巧萍,等.粉垄耕作对小麦玉米产量及耕层土壤养分的影响[J].土壤通报,2017,48(4):930-936.
[25] 韦本辉,甘秀芹,陈耀福,等.稻田粉垄冬种马铃薯试验[J].中国马铃薯,2011,25(6):342-344.

(责任编辑:刘洪霞)