

不同耕作方式对土壤环境及玉米产量与效益的影响

李 宏¹, 张作刚², 薛金爱², 李友莲²

(1. 山西农业大学生命科学学院, 山西 太谷 030801; 2. 山西农业大学农学院, 山西 太谷 030801)

摘 要: 通过免耕(MF)、传统旋耕(CK)、深松+旋耕(SS)和深松深施肥+旋耕(SF)4种耕作处理方法, 对比研究不同耕作方式对土壤环境、玉米根系分布、产量及经济效益的影响。结果表明, SS处理较CK和MF处理能够降低土壤紧实度, 在0~40 cm土层, 土壤紧实度由9 948.1 kPa降低到909.8 kPa, 土壤容重从2.31 g/cm³降到1.28 g/cm³; 在41~60 cm土层中, SS处理根系占总根重的23.55%以上, 增加农田>30 cm深层土壤中的总根量。玉米产量由高到低依次为SF>SS>CK>MF处理, 最大产量2019年为15 517.8 kg/hm²。SS和SF处理比CK处理分别增加净收益20.16%和12.54%, 单位产出效益显著高于CK($P<0.05$); MF处理净利润较CK降低了24.93%。研究结果表明, 深松耕作可有效打破土壤犁底层, 增加深层土壤养分, 提高作物产量, 增加效益。

关键词: 玉米; 耕作方式; 土壤环境; 产量; 效益

中国分类号: S513.047

文献标识码: A

Effects of Different Tillage Methods on Soil Environment, Maize Yield and Economic Benefit

LI Hong¹, ZHANG Zuo-gang², XUE Jin-ai², LI You-lian²

(1. College of Life Sciences, Shanxi Agricultural University, Taigu 030801;

2. College of Agriculture, Shanxi Agricultural University, Taigu 030801, China)

Abstract: Four cultivation methods of mechanical cultivation(CK), no-tillage(MF), subsoiling + rotary tillage(SS) and subsoiling fertilizing + rotary tillage(SF) were adopted to determine the effects of different tillage methods on soil environment, soil nutrients, vertical distribution of root dry weigh, maize growth and economic benefit. The results showed, compared with CK and MF treatment, SS breaks the plow pan and increases soil permeability, soil compaction remained almost unchanged and less than 909.8 kPa at 0-40 cm depth in subsoiling fertilizing, whereas that in control plots was significantly higher and up to 9 948.1 kPa at >20 cm depth, and soil bulk density decreases from 2.31 g/cm³ to 1.28 g/cm³. In the 41-60 cm soil layer, deep-till tillage roots accounted for more than 23.55% of the total root weight, increasing the total root amount in the deep soil of the farmland > 30 cm; the maize yield from high to low were in the order of SF>SS>CK>MF, the maximum yield is 14 775.8 kg/ha; SS and SF treatment increase net income by 12.85% and 18.57% respectively compared to CK, and the unit output benefit is significantly higher than CK($P<0.05$), the net profit of MF decreased by 24.93% compared with CK.

Key words: Maize; Tillage method; Soil environment; Yield; Economic benefit

土壤是农业生产的重要资源, 农田耕作是农作物生产的重要环节, 是调节土壤环境、改善土壤耕层结构, 优化水肥供应能力的有效措施^[1-3]。近年来,

人们种植作物大多仍采用传统耕作方式^[4]对农田进行耕、耙、耱、中耕和镇压等作业, 频繁利用大型农机具对农田进行碾压, 使土壤犁底层变厚, 耕层有效土壤数量减少, 加剧了农田土壤的水分胁迫^[5]。与此同时, 人们为了满足经济需求和追求利益最大化, 长久对耕地进行连续高强度开发和利用^[6], 加速土壤有机质的氧化分级, 导致土壤有机质含量下降, 土壤退化严重, 从而降低作物的产量和品质^[7]。不合理的耕作方式已成为限制作物增产、稳产的主要瓶颈因素之一。

录用日期: 2021-02-03

基金项目: 国家自然科学基金(31471502)、山西省基础研究项目(2013011028-1)

作者简介: 李 宏(1975-), 实验师, 硕士, 研究方向为农学、植物保护及实验室管理。E-mail: lihongsx6668@163.com

李友莲为本文通讯作者。

良好的土壤环境是保证作物出苗和生长的关键因素,建立合理的耕作制度,有利于充分和持续发挥土壤蓄水、固肥、增产增收,不同耕作措施对土壤生态环境、土壤养分及土壤硬度改善不同,对作物生长发育的影响也不相同^[8]。前人研究多集中在不同耕作方式对土壤改良和作物生长发育的影响等方面。本研究以代表性的玉米农田为研究对象,基于3年的定点试验,探讨该地区传统旋耕、免耕、深松、深松深施肥4种不同耕作方式对农田土壤硬度、作物根系深扎、作物品质和经济效益的影响,明确玉米生产适宜的高产高效耕作方式,加强农业的可持续发展,以确定有利于本地区玉米合理耕种的土壤耕作制度

及生产模式。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于山西省太谷县侯城乡(东经112°28′~113°01′,北纬37°12′~37°32′)。该地的年平均气温达10.4℃,属于温带大陆性气候;年平均降水量397.1 mm;年均日照时数2 527.5 h;年平均无霜期179 d。

试验地上一茬农作物为玉米(并单72),常规种植,土壤属于砂壤土,肥力水平中等,种植田间管理措施同当地农户大田生产管理。

表1 试验田土壤理化性质
Table 1 Chemical properties of experimental soil

土壤深度 Soil depth	全氮(%) Total nitrogen	有效磷(mg/kg) Available phosphorus	速效钾(mg/kg) Available potassium	有机质(g/kg) Organic matter	pH值 pH value
0~20 cm	0.125	43.50	202.88	19.74	8.18
21~40 cm	0.081	10.85	86.21	10.91	8.02

1.2 试验设计

试验于2017年4月至2019年10月连续3年在山西省太谷县侯城乡试验基地进行。试验设大田随机区组试验,4种耕作处理,每个处理3次重复。每个小区面积为2.5 m×40 m,株距30 cm,行距60 cm,种植密度为55 550株/hm²。各处理均施氮肥(尿素,N含量45%)、磷肥(磷酸二铵,P₂O₅含量44%)及钾肥(氯化钾K₂O)。施用量相同,均为尿素240 kg/hm²、磷酸二铵175 kg/hm²、氯化钾150 kg/hm²,其中70%氮肥和全部磷、钾肥作为基肥随播种一次性施入,剩余

30%氮肥拔节期追肥。每年耕作处理、种植密度及施肥水平和上年相同。

深松深施肥处理在0~40 cm土层,另均匀施入复合肥1 050 kg/hm²(N-P₂O₅-K₂O 24-14-7,总养分≥45%),随深松作业一起施入。每年4月26日播种,播种前于4月18日进行1次漫灌以补充墒情,其他田间管理措施均同大田常规种植,9月25日在田间采用土钻挖取土样,并用传统挖掘法挖取根系,3次重复,测定土壤硬度、养分含量及根系指标,10月10日以小区记产收获。

表2 试验设计
Table 2 Experimental design

处 理 Treatment	耕作方法 Cultivation method
传统旋耕(CK)	传统耕作方法,秋季玉米收获后,传统旋耕机旋耕20~25 cm,第二年春季播种前旋耕犁旋8~10 cm
免耕(MF)	秋季玉米收获后不做任何处理,第二年春季原茬播种,除追肥外,对土壤不进行任何操作
深松+旋耕(SS)	玉米在秋季收获后,用自主研发的深松犁全面深松土壤0~45 cm,保持原有土层基本不变,第二年春季播种前旋耕犁浅旋8~10 cm
深松深施肥+旋耕(SF)	玉米在秋季收获后,用自主研发的深松犁全面深松土壤0~45 cm,复合肥随着深松的同时均匀施入0~45 cm土层内,第二年春季播种前旋耕犁浅旋8~10 cm

1.3 测定项目与方法

土壤硬度(紧实度)测定:在玉米收获期采用土壤紧实度测定仪TJSD-750-II对4种耕作处理的小

区土壤进行田间硬度测定,每1 cm记录1次,测定深度40 cm,5次重复^[16]。

土壤容重测定:在玉米苗期和收获期用特制取

土钻(直径5.0 cm,侧向开口)取土,每5 cm为1个取样土层,分层测定土壤容重,5次重复,取其平均值。测定方法,将土样风干称重,取出部分样品在105℃温度下烘干称重,根据烘干土质量、土钻内径和采样深度计算土壤容重^[17]。

土壤养分含量测定:全氮用半微量凯氏定氮法采用1 mol/L的碳酸氢钠浸提,钼锑抗比色法的测定方法测定速效磷含量;用1 mol/L醋酸铵浸提,火焰光度计方法测定速效钾含量;采用重铬酸钾加热的方法测定有机质含量^[18,19]。

玉米根系垂直分布测定:在玉米成熟期,采用挖掘法对玉米根系进行取样,对长势一致并且位置连续的5株玉米植株及根系取样。以玉米植株为中心,20 cm为半径画圆,取样深度为0~60 cm,每20

cm为1个取样层。将所取样品带回实验室,把挖取的根系放在双层纱布内冲洗干净,放在105℃的烘箱中,烘24 h,称取根系干重,直至恒重,计为根系生物量^[20]。

采用小区实收的方式进行记产。在玉米成熟期,各试验小区连续选取长势一致的玉米10株,进行风干考种,调查有效穗数,测量穗长、穗粗、秃尖长、行粒数、千粒重、出籽率等产量指标。

1.4 数据处理与分析

采用Microsoft Excel2010、SPSS18.0软件进行统计分析;差异显著性采用LSD法进行比较。

2 结果与分析

2.1 深松耕作处理对不同深度土壤的硬度分析

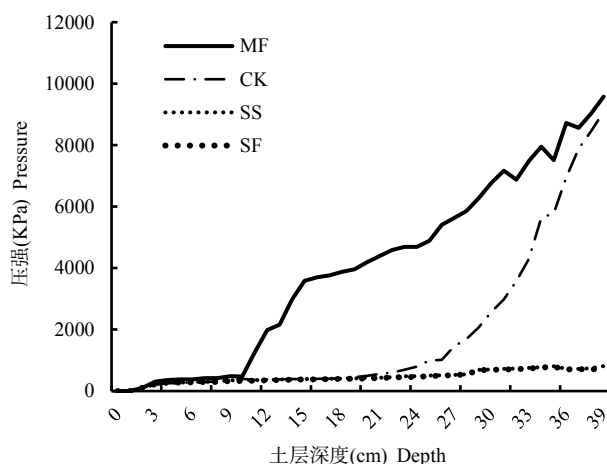


图1 不同耕作处理0~40 cm土壤垂直面硬度曲线图

Fig.1 Hardness curve of different tillage on 0-40 cm soil vertical cross section

从图1可以看出,玉米收获期,SS和SF耕作处理在0~40 cm深层土壤压强从0~909.8 KPa,变化趋势缓慢;MF处理在>10 cm土层处急剧增加,从500 KPa增加到10 000 KPa;CK在≥25 cm处急剧增加。MF和CK处理试验区由于耕作深度≤25 cm,>30 cm处土壤硬度过大,仪器最大测量硬度为10 000 KPa,无法探测到该土层深度的实际土壤硬度。

从表3中可以看出,在玉米苗期,4种耕作处理在0~10 cm的土壤容重差异不显著;21~30 cm处3种处理之间土壤容重达显著差异,免耕(MF)>传统旋耕(CK)>深松(SS),SS和SF之间差异不显著。传统旋耕和免耕的耕作深度为≤25 cm,两个测点的土壤容重均大于深松;31~40 cm处,SS和SF与CK、MF处理间达显著差异,CK和MF处理间差异不显著。玉米收获后,11~40 cm处土壤容重相对播种前均有

所降低,这是由于玉米根系深扎能起到疏松土壤,降低土壤容重的作用。

深松(SS和SF)处理在土壤深层31~40 cm处,土壤容重最大仅为1.32 g/cm³,且在玉米播种前与玉米收获后土壤容重相差不大。MF处理土壤容重最大达到2.31 g/cm³,与SS和SF处理间达显著差异,说明深松能够起到打破土壤犁底层、降低土壤容重的作用。

2.2 深松耕作处理对深层土壤养分含量的影响

深松深施肥处理把肥料直接均匀施入土壤深层0~40 cm处,对玉米根域深层土壤养分的分布及含量产生了较大的影响(图2~图5)。

在土层0~20 cm处,土壤养分含量之间变化不显著,根域土壤≥20 cm以下土层中养分含量显著增加,SF耕作处理显著高于其他3种处理。全氮含量和速效磷含量变化趋势基本一致,在11~20 cm

处,土壤含量达到最大值,之后逐渐降低,到71~80 cm土层处,4种处理间含量差异不显著。速效钾含量在0~10 cm处达到最大值,之后逐渐降低,71~80 cm处,SF处理的速效钾含量还能达到103 mg/kg,与其他3种处理间达显著差异。有机质

含量中,由于SS和SF处理均进行了深松耕作,耕作时秸秆也深施入土壤中,秸秆在土壤中腐烂后形成腐殖酸,增加了土壤中有机质的含量,在0~80 cm处,SS和SF处理的有机质含量都显著高于其他2种处理,达显著差异。

表3 不同土层深度的土壤容重比较
Table 3 Bulk density of different measuring points on soil g/cm³

处 理 Treatment		土层深度(cm) Soil depth			
		0~10	11~20	21~30	31~40
苗 期	CK	1.15±0.14 a	1.27±0.22 b	1.78±0.11 b	2.15±0.24 ab
	MF	1.21±0.13 a	1.35±0.21 a	2.03±0.18 a	2.31±0.56 a
	SS	1.16±0.08 a	1.24±0.15 bc	1.27±0.23 c	1.30±0.17 c
	SF	1.15±0.12 a	1.22±0.14 c	1.28±0.17 cd	1.28±0.31 c
收获期	CK	1.29±0.11 a	1.30±0.15 a	1.56±0.14 b	1.99±0.21 ab
	MF	1.31±0.23 a	1.33±0.31 a	1.92±0.23 a	2.12±0.19 a
	SS	1.27±0.19 a	1.26±0.12 a	1.29±0.24 c	1.32±0.16 c
	SF	1.25±0.13 a	1.27±0.15 a	1.30±0.15 c	1.31±0.22 c

注:同列不同小写字母表示差异显著(P<0.05)。下表同。
Note: Different capital letters show significant difference at the 0.05 level in the same row. The same below.

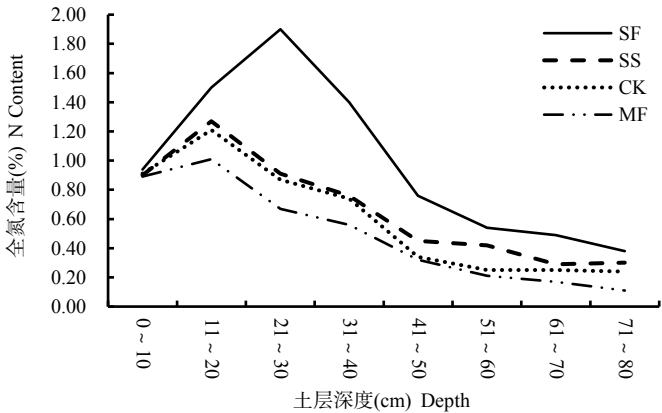


图2 不同耕作处理土壤全氮含量比较

Fig.2 Comparison of total N content in different treatment on soil

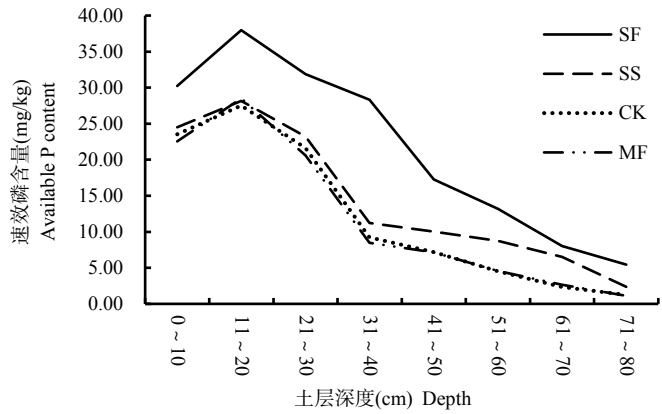


图3 不同耕作处理土壤速效磷含量比较

Fig.3 Comparison of available P content in different treatment on soil

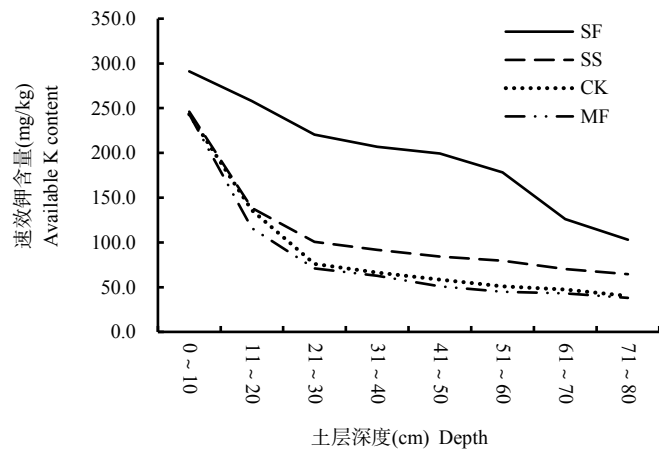


图4 不同耕作处理土壤速效钾含量比较

Fig.4 Comparison of available K content in different treatment on soil

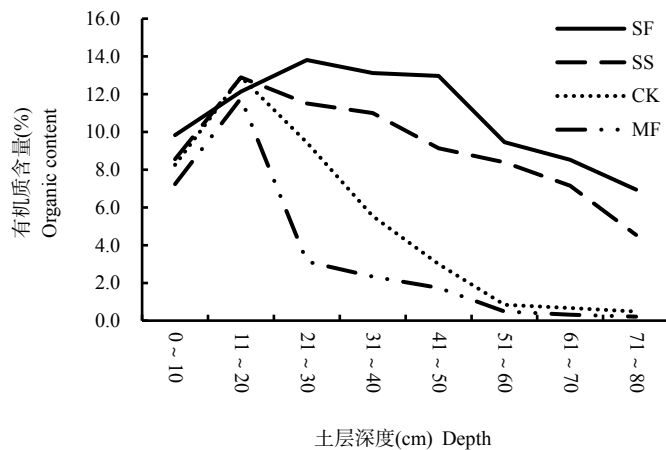


图5 不同耕作处理土壤有机质含量比较

Fig.5 Comparison of organic matter content in different treatment on soil

2.3 深松耕作处理对玉米根系垂直分布的影响

从表4可以看出,耕作方式影响玉米根系的分布及根系重量,4种耕作处理总根干重由高到低分别为SF>SS>CK>MF,且处理间均达显著差异水平。在0~20 cm土层中,MF处理根干重为20.4 g,占总根干重的66.02%;SF处理根干重为18.5 g,占总根干重的28.29%;MF处理的根大部分分布在0~20 cm土层中。21~40 cm土层中,CK、MF、SS、SF 4种处

理所占比例分别为37.25%、34.63%、46.46%、47.55%,MF处理所占比例下降,SS和SF处理所占比例上升;41~60 cm土层中,MF处理所占比例仅为13.59%,SF、SS、CK处理分别为24.16%、23.55%、20.84%。MF处理的根系主要分布在0~20 cm土层中,CK处理根系主要分布在21~40 cm土层中,SS和SF处理根系主要分布在21~60 cm土层中,说明深松能促进玉米根系深扎。

表4 不同耕作处理对玉米根干重垂直分布影响

Table 4 Effects of different treatments on the vertical distribution of dry root weight

g

处 理 Treatment	总根干重 Total root dry weight	根干重 Root dry weight		
		0~20 cm	21~40 cm	41~60 cm
CK	45.1±1.19 c	18.9	16.8	9.4
MF	30.9±2.21 d	20.4	10.7	4.2
SS	60.7±1.32 b	18.2	28.2	14.3
SF	65.4±1.78 a	18.5	31.1	15.8

2.4 深松耕作处理对玉米产量及经济效益分析

从表5可以看出,不同耕作处理穗长、穗粒数、千粒重、产量由高到低分别为深松深施肥(SF)>深松(SS)>传统旋耕(CK)>免耕(MF)。穗粒数,2017~2019年不同处理的变化,CK处理为548.1、551.2、549.7粒/穗,MF处理为537.2、524.9、521.8粒/穗,SS处理为591.2、591.8、594.7粒/穗,SF处理为644.4、649.5、652.7粒/穗,3年均依次为SF>SS>CK>MF。产量,2017~2019年不同处理的变化,CK处理为12 658.4、12 848.7、13 009.7 kg/hm²,MF处理为10 694.9、

10 398.9、10 172.8 kg/hm²,SS处理为13 880.1、14 391.6、14 907.1 kg/hm²,SF处理为14 428.0、14 391.6、15 517.8 kg/hm²,3年均依次为SF>SS>CH>MF,差异显著。从2017~2019连续3年的产量变化得出,MF处理产量逐年下降,从2017年减产15.51%至2019年减产21.81%;SF和SS处理为逐年上升,从2017年增产9.65%、13.98%到2019年增产14.58%、19.28%,表明SF和SS处理能改善土壤深层的土壤结构,增加土壤深层养分,促进根系深扎,有利于提高玉米产量。

表5 不同耕作处理对玉米产量构成因素的影响
Table 5 Effect of different cultivation treatment on maize yield components

年 份	处 理	穗 长	穗行数(行)	穗粒数	千粒重(g)	产 量	比CK增产(%)
Year	Treatment	(cm)	Number	(粒/穗)	1 000-grain	(kg/hm ²)	More money
		Spike length	of spikes	Number of rows	weight	Yield	than CK
2017	CK	17.1±1.51 b	16±0.56 b	548.1±15.61 c	254.6±2.17 c	12 658.4±125.97 c	—
	MF	15.9±1.12 c	16±0.23 b	537.2±12.78 d	247.1±1.96 d	10 694.9±209.78 d	-15.51
	SS	17.9±2.07 b	18±0.42 a	591.2±20.14 b	298.7±2.01 b	13 880.1±177.54 b	9.65
	SF	18.7±1.54 a	18±0.21 a	644.4±16.84 a	331.4±1.79 a	14 428.0±96.81 a	13.98
2018	CK	16.5±1.26 c	16±0.12	551.2±13.78 c	251.9±3.11 c	12 848.7±141.41 c	—
	MF	15.7±1.34 d	16±0.78 b	524.9±21.12 d	241.9±2.46 d	10 398.9±156.78 d	-19.07
	SS	18.1±1.52 b	18±1.56 a	591.8±19.56 b	301.7±2.56 b	14 391.6±201.97 b	12.01
	SF	18.5±1.78 a	18±1.24 a	649.5±19.57 a	337.8±3.14 a	14 907.5±178.64 a	16.03
2019	CK	16.7±1.23 c	16±0.33 b	549.7±17.6 c	259.7±1.97 c	13 009.7±200.1 c	—
	MF	15.5±2.01 d	16±0.57 b	521.8±15.98 d	239.4±1.49 d	10 172.8±169.1 d	-21.81
	SS	18.4±1.97 b	18±0.94 a	594.7±20.14 b	304.8±3.12 b	14 907.1±139.7 a	14.58
	SF	18.9±1.62 a	18±1.11 a	652.7±19.54 a	340.7±2.19 a	15 517.8±149.72 a	19.28

表6 不同耕作处理下年玉米投入、产出及净利润分析
Table 6 Analysis of different tillage methods on input, output and net revenue in maize production

年 份	处 理	产 值	耕作费用	管理及肥料费用	净利润	比CK增收
Year	Treatment	Output value	Cost of cultivation	Cost of management and fertilizer	Net profit	(%)
2017	CK	17974.93 c	975	5 250	11 749.93 c	—
	MF	15186.76 d	0	5 250	9 936.76 d	-15.43
	SS	19 709.74 b	1 200	5 250	13 259.74 a	12.85
	SF	20 487.76 a	1 200	7 050	12 237.76 b	4.15
2019	CK	18 473.77 c	975	5 250	12 248.77 c	—
	MF	14 445.38 d	0	5 250	9 195.38 d	-24.93
	SS	21 168.08 b	1 200	5 250	14 718.08 a	20.16
	SF	22 035.28 a	1 200	7 050	13 785.28 b	12.54

收获后的玉米市场价按1.42元/kg计算;大型机械耕作时,传统旋耕费用为975元/hm²;免耕费用为0元/hm²;深松和深松深施肥耕作费用为1 200元/hm²。深松两种处理由于耕作深度较深,需要采

用120马力以上的拖拉机进行耕作,油耗大,耕作成本高;免耕处理不进行任何耕作,耕作成本较深松降低了100%。其他田间管理成本相同,种子费用为600元/hm²,水电、除草、打药、收获及人工等所需费

用共计4 650元/hm²,深松深施肥在进行深松作业的同时需要施入复合肥,肥料成本增加1 800元/hm²。以3年连续耕种进行综合效益分析表明,SF比CK处理增加净收益1 536.51元/hm²,SS比CK处理增加净收益2 469.31元/hm²,单位产出效益显著高于CK($P<0.05$)。由于SF耕作增加了深层施肥的成本,产量比SS处理增加的多,但净收益相对减少,所以4种耕作处理中SS处理的净收益最高。

3 结论与讨论

3.1 深松耕作处理对土壤硬度和容重的影响

土壤硬度能够测量土壤的承载能力,对作物根系水平和垂直方向伸展所产生的阻力。土壤硬度过大会阻碍水分渗入,降低肥料的利用率,从而影响玉米根系的深扎和生长发育,导致作物减产^[21]。大型农业机械对农田土壤进行耕、耙、耱、中耕和镇压等作业,在一定生长周期内提高了作物产量,但频繁的碾压使土壤深层的犁底层加厚,土壤硬度加大,农田耕作耗能也进一步增加。

深松深施肥+旋耕(SF)技术通过较少的耕作面积、较低的耕作能耗,打破土壤厚实的犁底层,疏松土壤,使土壤孔隙变大,促进根系向土壤深处延伸,达到作物产量增加的效果。使用深松深施肥+旋耕(SF)技术,可使土壤耕作深度达到45 cm以上,使土壤硬度降低,容重减少。试验结果证实,在土壤深度31~40 cm土层,深松(SS和SF)处理土壤硬度<1 000 KPa,变化趋势缓慢,土壤容重最大仅为1.32 g/cm³,且在玉米苗期与玉米收获后土壤容重相差不大;MF处理土壤硬度>10 000 KPa,土壤容重最大达到2.31 g/cm³,与SS和SF处理间达显著差异,说明深松能够起到打破土壤犁底层、降低土壤容重的作用。

3.2 深松处理对玉米根系垂直分布的影响

根是植物的营养器官,为植株发育提供更充分的营养,同时根系饱满发达,能起到支撑的作用,使作物不容易出现倒伏现象^[22]。研究根系在土壤空间分布情况可知,根系垂直生长越长,分布在下层空间的数量就越多,越容易从土壤深层吸收养分和水分。使用深松深施肥+旋耕(SF)技术,可显著增加41~60 cm土层深处玉米根系干重质量,提高≥30 cm土层中根系生物量占总根系生物量的百分比,为玉米地上部分提供充足的水分与营养,促进地上部分的生长发育,从而提高产量。

试验表明,深松深施肥+旋耕(SF)处理将复合肥随着土壤深松的同时均匀施入0~45 cm土层内,使

土壤不同深层养分含量和分布均有所变化,在≥20 cm土层中,SF处理土壤养分含量均高于其他3种耕作处理,并形成显著差异。MF处理没有进行任何耕作处理,玉米根系主要分布在0~20 cm土层中,占总根重的66.02%;CK根系主要分布在21~40 cm土层中,占总根重的37.25%;SS和SF处理根系主要分布在21~60 cm土层中,占总根重的70.0%以上,绝大部分根系分布在这个土层中。说明深松能促进玉米根系深扎,增加农田>30 cm深层土壤中的总根量,利于根系吸收土壤深层的水分和养分。

3.3 深松处理对玉米产量及效益的影响

试验结果表明,从2017~2019连续3年的产量变化得出,MF处理产量逐年下降,从2017年的10 694.9 kg/hm²降到2019年的10 172.8 kg/hm²;SF和SS处理为逐年上升,从2017年的13 880.1 kg/hm²、14 428.0 kg/hm²增加到2019年的14 907.1 kg/hm²、15 517.8 kg/hm²,处理间产量均达显著差异。穗行数CK和SF处理平均为16行,SS和SF处理穗行数为18行,这可能是由于深松能够打破土壤犁底层,利于根系深扎,吸收土壤深处的水分和养分,使得玉米能够更好地生长发育。目前参考文献中还未发现深松能够增加玉米穗行数的研究,具体原因还需要进一步试验研究。综合效益分析表明,SS和SF深松耕作处理比CK处理分别增加净收益20.16%和12.54%,单位产出效益显著高于CK($P<0.05$),MF处理虽然降低了耕作费用,但是产量降低,净利润较CK降低了24.93%,不利于进行推广实施。

耕作试验表明,深松耕作处理具有打破土壤犁底层,降低土壤容重,诱导根系垂直向下深扎,取得较高产量并获得较高效益的作用。作为一项新的实用技术,能否顺利推广还要考虑是否能进行机械化操作和具有较高的经济效益,并保护生态环境。全面深松能改善土壤环境,但消耗动能较大,需要配套大马力的机械设施。为了能够进一步减少深松耕作的面积,降低土壤风蚀、水蚀,避免大面积深松破坏土壤结构,应深入研究深松机械,将全面深松改成局部定点深松,同时增加深松深度,为作物根系深扎、提高产量创造更省力、省时的条件,同时为该技术的应用提供可操作便捷化的机械工具,使该技术能够大面积应用于实际推广中。

参考文献:

- [1] 王雅.晋西北两种耕作方式下玉米产量及土壤水分养分模拟研究[D].太谷:山西大学,2019.
- [2] 张丽.深松和培肥对旱地农田土壤水分保蓄能力及玉米生长的影响[D].北京:中国农业大学,2014.

- [3] Zheng C Y, Jiang Y, Chen C Q, et al. The impacts of conservation agriculture on crop yield in China depend on specific practices, crops and cropping regions[J]. *Crop Journal*, 2014(5): 289–295.
- [4] 刘 爽. 耕作施肥对土壤水热和养分及作物产量影响的模拟研究[D]. 北京: 中国科学院大学, 2013.
- [5] Yang H K, Wu G, Mo P, et al. The combined effects of maize straw mulch and no-tillage on grain yield and water and nitrogen use efficiency of dry-land winter wheat(*Triticum aestivum* L.)[J]. *Soil & Tillage Research*, 2020: 197.
- [6] 白 伟, 孙 占, 郑家明, 等. 辽西地区土壤耕层及养分状况调查分析[J]. *土壤*, 2011, 43(5): 714–719.
- Bai W, Sun Z, Zheng J M, et al. Soil plough layers and soil nutrients in western Liaoning[J]. *Soil*, 2011, 43(5): 714–719. (in Chinese)
- [7] Liu H L, Yang J Y, He P, et al. Optimizing parameters of CSM-CE-RES- Maize model to improve simulation performance of maize growth and nitrogen uptake in Northeast China.[J]. *Journal of Integrative Agriculture*, 2012, 11: 1898–1913. (in Chinese)
- [8] 孟战赢, 李小东, 郭 党, 等. 耕作模式对夏玉米产量及灌浆特性的影响[J]. *作物研究*, 2019, 33(1): 9–14.
- Meng Z Y, Li X D, Guo D, et al. Effects of tillage models on yield of maize and grouting characteristics[J]. *Crop Research*, 2019, 33(1): 9–14. (in Chinese)
- [9] 赵亚丽, 刘卫玲, 程思贤, 等. 深松(耕)方式对砂姜黑土耕层特性、作物产量和水分利用效率的影响[J]. *中国农业科学*, 2018, 51(13): 2489–2503.
- Zhao Y L, Liu W L, Cheng S X, et al. Effects of pattern of deep tillage on topsoil features, yield and water use efficiency in Lime concretion black soil[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2018, 51(13): 2489–2503. (in Chinese)
- [10] 于庆峰, 苗庆丰, 史海滨, 等. 耕作方式对秸秆覆盖玉米田春播期土壤水热盐状况的影响[J]. *水土保持研究*, 2019, 26(3): 265–268.
- Yu Q F, Miao Q F, Shi H B, et al. Effect of tillage methods on soil water, heat and salt of field maize in the period of spring sowing[J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2019, 26(3): 265–268. (in Chinese)
- [11] 刘洪坤, 严贤春. 不同耕作方式对果园土壤养分和微生物活性的影响[J]. *西南农业学报*, 2019, 32(3): 499–504.
- Liu H K, Yan X C. Variation of soil nutrients and soil microbial activity of different tillage system in orchard[J]. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2019, 32(3): 499–504. (in Chinese)
- [12] Fu M, Hao M M, Hu H Y, et al. Responses of soil organic carbon and microbial community structure to different tillage patterns and straw returning for multiple years[J]. *The Journal of Applied Ecology*, 2019, 30(9): 78–79.
- [13] 阎晓光, 李 洪, 董红芬, 等. 4种耕作方式对玉米主要农艺性状的影响[J]. *安徽农业科学*, 2019, 47(12): 38–40.
- Yan X G, Li H, Dong H F, et al. Effects of four cultivation methods on the main agronomic characters of maize[J]. *J. Anhui Agric. Sci.*, 2019, 47(12): 38–40. (in Chinese)
- [14] Devison S P, Bruno M S, Geraldo C O, et al. A soil compaction diagnosis method for occasional tillage recommendation under continuous no tillage system in Brazil[J]. *Soil & Tillage Research*, 2019: 194.
- [15] Pöhl T, Schweiggert R M, Carle R. Impact of cultivation method and cultivar selection on soluble carbohydrates and Pungent Principles in Onions(*Allium cepa* L.)[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2018.
- [16] 焦彩强, 王益权, 刘 军, 等. 关中地区耕作方法与土壤紧实度时空变异及其效应分析[J]. *干旱地区农业研究*, 2009, 27(3): 7–12.
- Jiao C Q, Wang Y Q, Liu J, et al. Spatial-temporal variability of soil hardness and effect of soil hardness on other soil properties in rotary tillage in Guanzhong farmland[J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2009, 27(3): 7–12. (in Chinese)
- [17] 陈学文, 张晓平, 梁爱珍, 等. 耕作方式对黑土硬度和容重的影响[J]. *应用生态学报*, 2012, 23(2): 439–444.
- Chen X W, Zhang X P, Liang A Z, et al. Effects of tillage mode on black soil's penetration resistance and bulk density[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2012, 23(2): 439–444. (in Chinese)
- [18] 贾凤梅, 张淑花, 魏雅冬. 不同耕作方式下玉米农田土壤养分及土壤微生物活性变化[J]. *水土保持研究*, 2018, 25(5): 112–117.
- Jia F M, Zhang S H, Wei Y D. Variation of soil nutrients and soil microbial activities of different tillage systems in farmland[J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2018, 25(5): 112–117. (in Chinese)
- [19] 郭家萌, 刘振朝, 高 强, 等. 深松对玉米产量和养分吸收的影响[J]. *水土保持学报*, 2016, 30(2): 249–254.
- Guo J M, Liu Z C, Gao Q, et al. Effects of subsoiling on yield and nutrient uptake of maize[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2016, 30(2): 249–254. (in Chinese)
- [20] 高 飞, 李 霞, 任佰朝, 等. 小麦玉米周年生产中耕作方式对夏玉米根系特性和产量的影响[J]. *中国农业科学*, 2017, 50(11): 2141–2149.
- Gao F, Li X, Ren B C, et al. Root characteristics and grain yield of summer maize under different winter wheat–summer maize tillage systems[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2017, 50(11): 2141–2149. (in Chinese)
- [21] 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.
- Wang Q, Zhang X L, Li Q Z, et al. Effect of soil compaction stress on nutrient absorption and distribution and yield in maize under different soil types[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2010, 43(21): 4356–4366. (in Chinese)
- [22] 肖继兵, 孙占祥, 杨久廷. 半干旱区中耕深松对土壤水分和作物产量的影响[J]. *土壤通报*, 2011, 42(3): 709–714.
- Xiao J B, Sun Z X, Yang J T. Effect of subsoiling on soil water and crop yield in semi-arid area[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2011, 42(3): 709–714. (in Chinese)

(责任编辑:姜媛媛)