

连年深松和施用有机肥对土壤肥力及玉米产量的影响^①

宫亮, 安景文, 邢月华, 刘艳, 孙文涛*

(辽宁省农业科学院植物营养与环境资源研究所, 沈阳 110161)

摘要:通过 8 年的田间定位试验, 研究了不同耕作方法及有机肥用量对春玉米产量和土壤理化性状的影响。结果表明, 连年深松能显著降低 10~20 cm 和 20~30 cm 土壤体积质量, 施用有机肥 30 000 kg/hm² 以上能显著降低 10~20 cm 土壤体积质量; 深松导致耕层土壤有机质、全氮和全磷含量呈下降趋势, 碱解氮和速效磷略有增加; 耕层土壤有机质、全氮、碱解氮和速效磷含量随有机肥用量的增加而显著增加, 全磷、全钾和速效钾含量增加幅度与有机肥用量无关; 深松和施用有机肥均能显著增加玉米产量, 施用有机肥的增产效果好于深松, 但其增产速率随有机肥用量增加而降低。连年深松对改善土壤理化性质和提高玉米产量的效果好于隔年深松, 且在施用有机肥的条件下效果更好。

关键词:耕作; 体积质量; 有机肥; 玉米

中图分类号: S344; S513.01

玉米具有产量高、适应性强、用途广泛等特点而被广泛种植。我国玉米种植面积和总产量在全球位居第二, 仅次于美国, 其产业对我国农业的稳定与发展起着重要的作用^[1-2]。北方春玉米种植制度多以连作为主, 耕作方式常为小型农机具为主的旋耕灭茬, 导致土壤耕层变浅, 犁底层增厚上移, 有效耕层土壤量减少, 土壤结构变差, 蓄水保墒能力和生产力下降等问题, 严重制约了我国玉米产业的发展^[3-5]。

土壤耕作是农业生产中的一项重要措施。以不同的外部机械力形式作用于土壤并从本质上改变土壤的物理化学性状, 调节土壤中水、肥、气、热等因子, 达到提高作物产量的目的^[6-8]。深松是一种适合于旱地作业的保护性耕作方法, 深松深度通常为 30~40 cm, 能够有效打破“犁底层”而不扰乱土壤层次分布, 达到调节土壤三相、改善耕层土壤结构的目的^[9-10]。大量研究表明, 深松耕作能够降低耕层土壤体积质量, 改善土壤通透性, 增加土壤孔隙度和渗透强度, 提高接纳雨水的能力^[11-15], 增加有效耕层土壤量^[15-17], 提高土壤温度^[18], 改善玉米根系生长的生态条件, 提高 0~40 cm 土层玉米根系质量和根系表面积^[19-20], 促进根系向水平和垂直方向的生长分布, 提高玉米生长后期的根系活力和抗逆性^[21-22], 并且有利于土壤养分的转化和利用^[23-24], 有效增加玉米产量, 提高

水分利用效率^[17, 22]。施用有机肥对保证土壤的可持续利用具有重要意义。有机肥料主要来源于动植物残体, 含有大量的腐殖质类物质, 对储存和活化土壤养分、改善土壤结构等方面具有重要的作用^[25-26]。目前的研究结论一致认为, 有机肥对提高土壤有机质含量和土壤有机碳库储量有显著作用^[27-30]。同时有助于改善土壤的物理结构, 提高大于 0.25 mm 土壤水稳性团聚体数量和质量^[31-33], 降低土壤体积质量, 提高土壤含水量^[34-36], 调节土壤 pH, 改善作物生长环境^[37-38], 显著增加土壤全氮和有效氮含量^[39-40], 提高土壤速效磷的含量^[41-42], 增强土壤钾的有效性^[43-44], 提高作物产量^[45]。综上所述, 前人对耕作方法和有机培肥等单项措施对改良土壤理化性状和增加玉米产量方面做了系统的研究, 但在耕作方式与有机培肥的交互作用对土壤理化性状的影响却鲜有报道。为此, 本文依托棕壤连续 8 年的耕作培肥试验, 研究了不同耕作措施与不同有机肥用量对耕层土壤的理化性状及玉米产量的影响, 为科学施用有机肥、减少化肥施用量、构建合理耕层、实现农田的可持续利用奠定基础。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验地点位于辽宁省昌图县老城镇(42°46'33" N,

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2011BAD16B12、2012BAD09B02、2013BAD05B07)和辽宁省科技攻关项目(2015020049-202)资助。

* 通讯作者(wentaosw@163.com)

作者简介: 宫亮(1981—), 男, 辽宁本溪人, 硕士, 副研究员, 主要从事土壤与肥料研究工作。E-mail: gongliang1900@sina.com

123°57'39" E), 属于中温带亚湿润季风大陆性气候, 年均日照时数 2 775.5 h, 作物生长期有效日照时数 1 748.8 h。多年平均降雨 607.8 mm, 年平均气温 7.0℃, 无霜期 148 天。供试土壤为黄土母质发育的棕壤, 耕层深度 12~15 cm, 0~20 cm 土壤的理化性质为 pH 6.1、有机质 18.5 g/kg、全氮 1.23 g/kg、全磷 1.08 g/kg、全钾 13.8 g/kg、碱解氮 114.0 mg/kg、有效磷 18.2 mg/kg、速效钾 156.0 mg/kg, 土壤体积质量 1.28 g/cm³。试验区玉米生育期内(5—9 月)年际降雨量和日照时数见图 1。

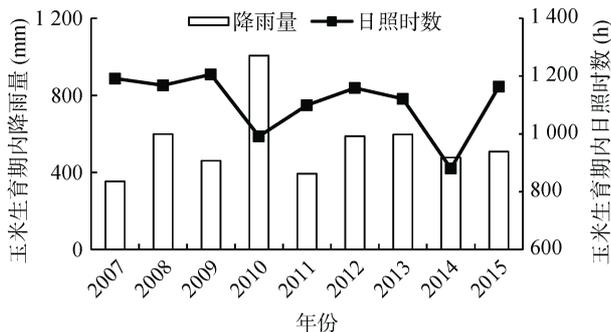


图 1 试验区年际降雨量和日照时数

Fig. 1 Interannual variations of precipitation and sunshine duration in tested pilot area

1.2 试验设计

试验采用裂区设计, 以耕作处理为主区, 设置旋耕、连年深松和隔年深松 3 种耕作方式, 分别用 T1、T2 和 T3 表示, 秋整地, 从 2007 年开始进行。旋耕处理为常规耕作方式, 耕作深度 15 cm, 灭茬起垄同时进行。连年深松处理在旋耕处理基础上使用深松犁进行垄沟深松, 深度为 30 cm, 每年进行一次。隔年深松处理内容与连年深松处理相同, 隔年进行一次, 耕作年份为 2007、2009、2011、2013、2015。每个试验区面积 600 m², 3 次重复。有机培肥处理作为副区, 从 2010 年开始进行。设置 4 个有机肥用量水平, 分别为每公顷施鸡粪 0、15 000、30 000 和 45 000 kg, 分别用 M0、M1、M2 和 M3 表示, 试验区面积 150 m²。在整地前, 将风干腐熟鸡粪均匀撒施地表, 然后进行耕作处理。鸡粪养分含量为: 全氮 30.35 g/kg、全磷 41.48 g/kg、全钾 19.8 g/kg、有机质 58.7 g/kg、pH 7.6。各处理化肥施用量相同, 分别为 N 210 kg/hm², P₂O₅ 90 kg/hm², K₂O 90 kg/hm²。肥料种类为普通尿素(N 46%), 磷酸二铵(N 18%、P₂O₅ 46%), 氯化钾(K₂O 60%), 全部磷钾肥料和 50%氮肥在播种时一次性施入, 剩余氮肥在玉米拔节期追施。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 测定项目 玉米收获后测定 0~20 cm 土壤

有机质、全量氮磷钾、速效氮磷钾, 10~20 cm 和 20~30 cm 土壤体积质量, 从 2007 年开始, 隔年测定一次。每年在玉米成熟后测定产量。

1.3.2 测定方法 土壤养分: 有机质用重铬酸钾-浓硫酸外加热法测定; 碱解氮用水解扩散指示剂溶液吸收法测定; 速效钾用火焰光度法测定; 速效磷用钼锑抗比色法测定; 全氮用半微量凯氏全自动凯氏定氮法测定; 全钾用氢氧化钠熔融火焰光度法测定; 全磷用浓硫酸-高氯酸消解, 钼锑抗比色法测定。土壤体积质量: 采用环刀法测定。作物产量: 以小区为单位实收, 测定籽粒含水量, 按籽粒含水量 16% 来折算出公顷面积玉米产量。

1.4 数据统计

试验数据用 Excel 2007 进行作图, 用 SPSS19.0 软件作裂区试验的统计分析, 采用 Duncan 法进行多重比较, 显著水平为 0.05。

2 结果与分析

2.1 不同处理对土壤体积质量的影响

土壤的物理性状主要是指土壤体积质量、水分、通气性、热特性等, 各因素之间互相影响、相互作用, 其中, 体积质量更为重要。在土壤质地相似条件下, 体积质量大小可反映土壤的松紧度、孔隙度、水分入渗率和持水力。土壤体积质量过大会妨碍根系生长, 过小则漏风跑墒。一般作物根系生长适宜的土壤体积质量范围在 1.1~1.3 g/cm³。各处理 10~20 cm 土层土壤体积质量年际间变化趋势见图 2。从图 2 可见, T1M0 处理土壤体积质量年际间有波动但无明显变化趋势, 其他处理土壤体积质量逐年下降, 且 T2M2、T2M3 处理土壤体积质量下降幅度显著大于其他处理。

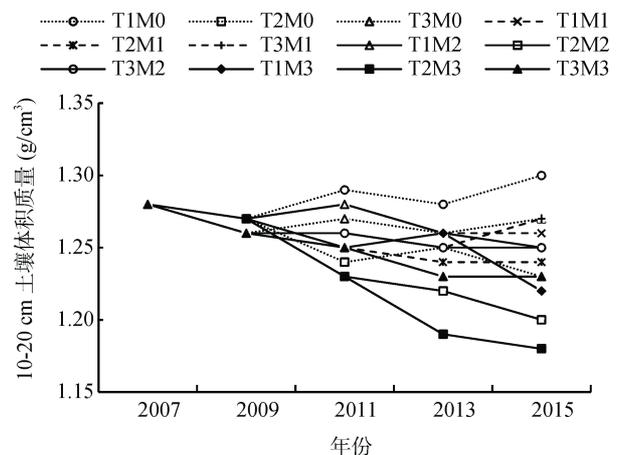


图 2 10~20 cm 土壤体积质量年际间变化趋势

Fig. 2 Interannual variations of soil bulk densities of surface soils (10-20 cm) under different treatments

对 2015 年玉米收获后测定的各处理 10~20 cm 土壤体积质量进行方差分析和多重比较,结果见表 1。从表 1 可见,耕作、培肥及耕作培肥交互作用均能显著降低耕层土壤体积质量。主区间 3 种不同耕作方式相比,T2 处理效果显著好于 T1 处理,T3 处理能够降低土壤体积质量,但与 T1 相比差异不显著,这可能是因为隔年深松周期较长,降雨和土壤自然沉降导致土壤体积质量增加。副区间 4 个有机肥施用量相比,M3 效果最显著,M2 次之,M1 能降低土壤体积质量但与 M0 相比差异不显著,说明施用有机肥能够降低土

壤体积质量,且在一定范围内,土壤体积质量随有机肥用量而降低。比较耕作与培肥交互作用发现,与 T1M0 处理相比,T1、T2 和 T3 三种耕作方式配施 M1、M2 和 M3 三种用量有机肥,分别能够降低土壤体积质量 1.56%~2.34%、3.13%~7.81% 和 2.34%~3.91%。在 20~30 cm 土层,无论是否施用有机肥,只有连年深松土壤体积质量降低,但差异未达到显著水平。说明施用有机肥只能显著降低 0~20 cm 土层体积质量。深松受耕作周期、降雨和土壤自然沉降等因素影响,对降低 20~30 cm 土层体积质量效果不显著。

表 1 2015 年土壤体积质量方差分析结果
Table 1 Variance analyses of soil bulk densities in 2015

处理	体积质量(g/cm ³)		10~20 cm 体积质量分析								
	10~20 cm	20~30 cm	变异来源	区间多重比较	自由度	F 值	P 值				
T1M0	1.28	1.44	耕作	T1	1.258 a	2	34.95	0.000			
T2M0	1.24	1.42		T2	1.216 b						
T3M0	1.26	1.43		T3	1.251 a						
T1M1	1.26	1.44	培肥	M0	1.265 a	3	33.92	0.000			
T2M1	1.24	1.40		M1	1.255 a						
T3M1	1.25	1.45		M2	1.239 b						
T1M2	1.25	1.46	耕作×培肥	M3	1.207 c	6	4.21	0.005			
T2M2	1.20	1.41		重复					2	0.115	0.892
T3M2	1.24	1.45									
T1M3	1.25	1.44	误差		22						
T2M3	1.18	1.41									
T3M3	1.23	1.45									

注:表中大小写字母不同表示区间方差分析差异显著($P<0.05$),下表同。

2.2 不同处理对土壤养分积累的影响

各处理 0~20 cm 土层土壤养分年间变化趋势见图 3。从图 3 可见,T1M0 处理耕层土壤养分含量均无明显变化趋势。T2M0 和 T3M0 处理土壤有机质、全氮和全磷含量呈下降趋势,碱解氮和速效磷呈增加趋势,这可能是由于深松降低了土壤体积质量,增加了土壤孔隙度和含水量,改善了土壤环境,促进土壤微生物活动,加速了有机质、全氮和全磷的矿化分解;全钾和速效钾含量与 T1M0 处理相比无显著差异。T1、T2 和 T3 三种耕作方式配施 M1、M2 和 M3 三个不同用量有机肥的处理,耕层土壤养分呈逐年上升趋势。

对 2015 年测定的耕层土壤养分含量进行方差分析结果见表 2。从表 2 可见,施用有机肥能显著改善耕层土壤养分含量,不同耕作措施对耕层土壤碱解氮含量有显著影响,耕作培肥交互作用对提高耕层土壤全氮和碱解氮具有显著作用。

对区间内各因素进行多重比较结果见表 3。从表

3 可见,深松能显著提高耕层土壤碱解氮含量,且连年深松的效果好于隔年深松,耕层土壤有机质、全氮、碱解氮和速效磷含量随有机肥施用量的增加而显著增加。M2 和 M3 处理可有效提高土壤全磷含量,但两者间差异不显著。M1、M2 和 M3 处理能显著提高全钾和速效钾含量,但两者增加幅度与有机肥用量无明显相关性。

2.3 不同处理对玉米产量的影响

各处理年间产量变化趋势见图 4。从图 4 可见,T1M0 处理产量年间有波动但无明显变化趋势,其他处理产量均呈增加趋势。各处理产量从大到小依次为:T2M3、T2M2>T3M3、T3M2、T1M3、T1M2>T3M1、T2M1、T1M1,并且 T1M3、T2M1、T3M1 处理产量在施用有机肥的前 3 年增产效果显著。

对 2015 年各处理玉米产量进行方差分析和多重比较结果见表 4。从表 4 可见,耕作、培肥及耕作培肥交互作用均能显著增加玉米产量。主区内耕作方式多重比较结果表明,T2 处理和 T3 处理产量均显著高

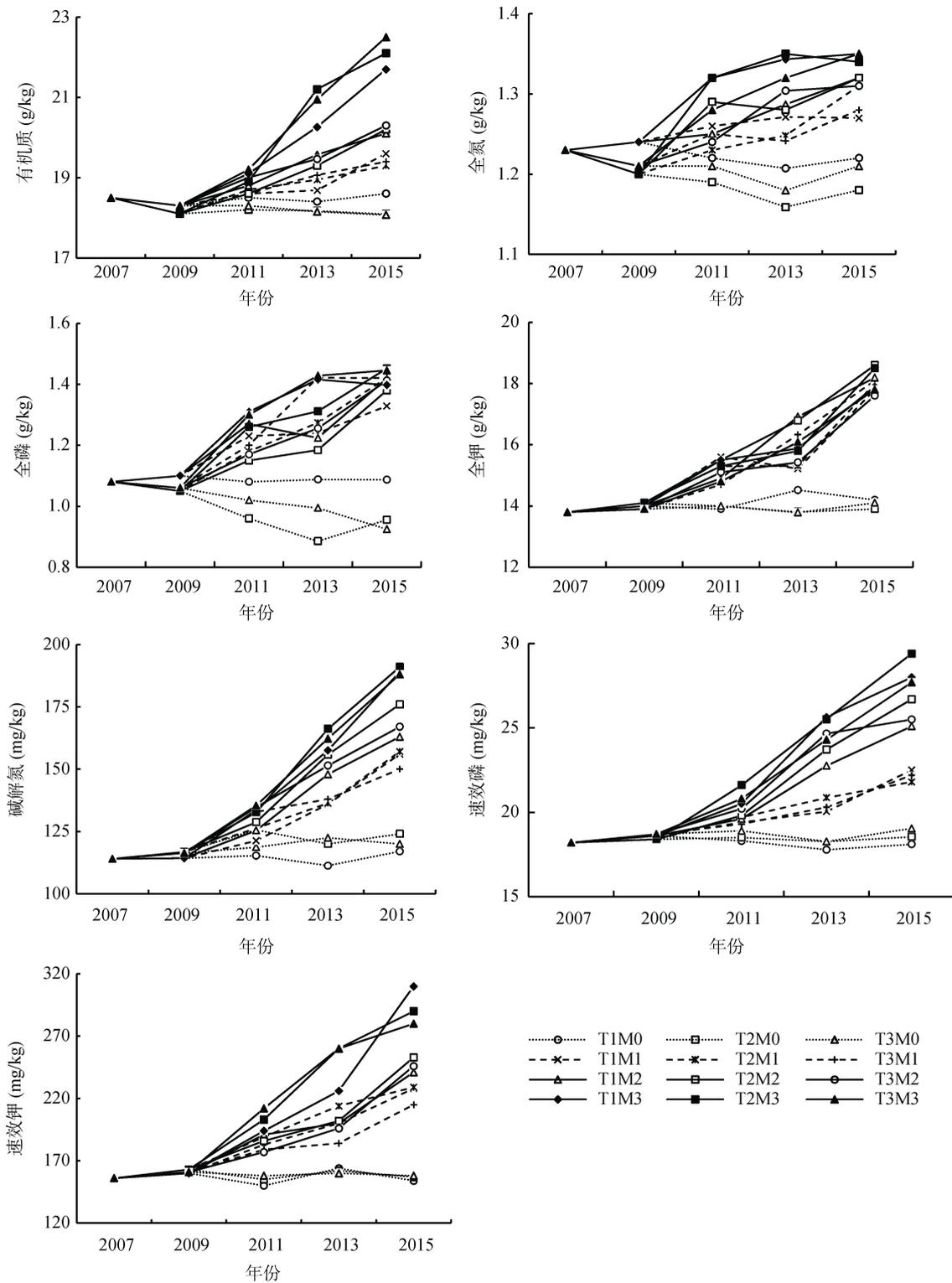


图 3 耕层土壤有机质、全量养分和速效养分含量年际变化

Fig. 3 Interannual variations of contents of organic matter, total and available nutrients of surface soils (0–20 cm) under different treatments

于 T1 处理，T2 处理增产效果好于 T3 处理，但两者间差异不显著。副区内不同有机肥施用量多重比较结果说明，施用有机肥能显著增加玉米产量，增产效果依次为 M3>M2>M1。与 T1M0 相比，T2M0 和 T3M0 分别增产 2.38% 和 2.08%，T1M1、T1M2 和 T1M3 分别

增产 4.72%、7.75% 和 8.51%；与 T2M0 相比，T2M1、T2M2 和 T2M3 分别增产 2.95%、8.41% 和 8.72%；与 T3M0 相比，T3M1、T3M2 和 T3M3 分别增产 3.06%、6.30% 和 6.96%。说明施用有机肥的增产效果好于耕作方式，但其增产速率随有机肥用量增加而降低。

表 2 2015 年土壤养分含量方差分析结果
Table 2 Variance analyses of soil nutrition content in 2015

变异来源	自由度	P 值						
		有机质	全氮	全磷	全钾	碱解氮	速效磷	速效钾
耕作	2	0.171	0.539	0.227	0.516	0.000	0.146	0.652
培肥	3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
耕作×培肥	6	0.059	0.000	0.566	0.860	0.000	0.902	0.903
重复	2	0.132	0.793	0.566	0.840	0.193	0.414	0.213
误差	22							

表 3 区间多重比较结果
Table 3 The results of variance analysis of the plot in 2015

变异来源	处理	有机质 (g/kg)	全氮 (g/kg)	全磷 (g/kg)	全钾 (g/kg)	碱解氮 (mg/kg)	速效磷 (mg/kg)	速效钾 (mg/kg)
耕作	T1	19.88 a	1.29 a	1.31 a	17.01 a	155.75 c	23.68 a	238.92 a
	T2	19.86 a	1.29 a	1.30 a	17.09 a	162.25 a	23.70 a	240.58 a
	T3	19.94 a	1.29 a	1.29 a	17.05 a	157.33 b	23.74 a	238.83 a
培肥	M0	18.11 d	1.21 d	1.00 c	14.07 b	120.00 d	18.42 d	177.33 c
	M1	19.41 c	1.28 c	1.39 b	18.02 a	153.88 c	22.73 c	229.00 b
	M2	20.07 b	1.31 b	1.41 a	18.08 a	168.66 b	25.51 b	245.00 b
	M3	21.97 a	1.35 a	1.42 a	18.13 a	191.22 a	28.25 a	306.44 a

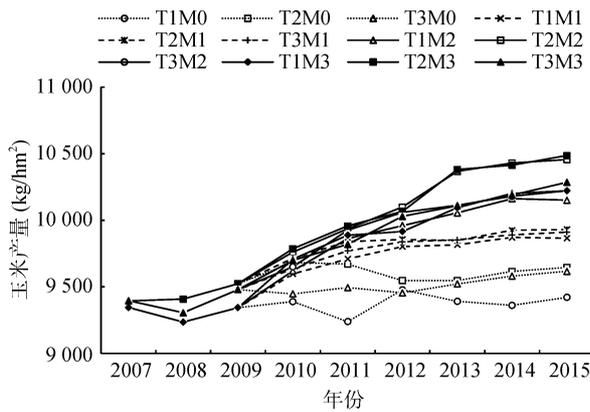


图 4 玉米产量年际变化

Fig. 4 Interannual variations of maize yields under different treatments

3 结论与讨论

近年来,深松耕作方式在我国发展很快,众多学者对其作用进行了研究认为,深松打破了犁底层,降低了深层土壤体积质量,土壤疏松多孔,有利于蓄水、保墒,为作物根系生长创造了良好环境^[46-47]。但边少锋等^[48]研究显示,深松对于 0~50 cm 土层体积质量无显著影响,却使整个土层松紧度趋于一致。也有学者研究认为,深松处理 0~20 cm 土层体积质量略高于旋耕处理^[4,49]。这可能是因为,目前农业生产中主要有间隔深松、垄沟深松、中耕深松、垄翻深松、全面深松等不同的深松方式,农机具又分为凿式犁、

表 4 玉米产量方差分析结果
Table 4 The results of variance analysis of maize yield in 2015

处理	产量 (kg/hm ²)	变异来源	区间多重比较	自由度	F 值	P 值
T1M0	9 421	耕作	T1	9 918 b	2	771.043
T2M0	9 646		T2	10 125 a		
T3M0	9 617		T3	10 118 a		
T1M1	9 865	培肥	M0	95 71 d	3	6 372.298
T2M1	9 931		M1	9 900 c		
T3M1	9 911		M2	10 345 b		
T1M2	10 151	耕作×培肥	M3	10 399 a	6	55.622
T2M2	10 457					
T3M2	10 222					
T1M3	10 222	重复			2	1.034
T2M3	10 488	误差			22	0.372
T3M3	10 286					

翼铲式犁、鹅掌式犁等，深松虽然能将犁底层破坏，但由于深松方式及深松农具的不同，可能使体积质量较大的下层土壤有上移，或者深松过程中深松犁对上层土壤有一定的挤压作用，如果旋耕不能充分打碎这部分土壤，则会导致表层土壤体积质量增大。本试验采用的是凿式犁进行垄沟深松，对土层结构扰动较小，同时在耕层施入有机肥，并且进行深松一年后测定土壤体积质量，因此对表层土壤体积质量的降低作用大于深层土壤，这与梁金凤等^[50]研究结果一致。

有机肥富含多种营养元素，具有巨大的表面积和表面能，不但是有有机无机养分的储备库，还可以活化土壤中潜在养分^[40,51]，同时降低土壤体积质量，增加田间持水量，改善土壤微环境提升土壤肥力^[52-53]。本研究结果也表明，施用有机肥能够有效降低耕层土壤体积质量，增加土壤养分含量，增加玉米产量，且与深松同时进行，能放大两者的改土培肥效果。但有机肥用量不足则效果不显著，用量过大则降低其培肥增产效率。本试验条件下，施用 30 000 kg/hm² 腐熟鸡粪具有较好的效果，但未考虑化肥与有机肥的交互作用。在当前化肥过量施用现象普遍、农业面源污染风险增加的情况下，应考虑利用有机肥代替化肥，降低化肥用量，提高有机肥用量。在不同的耕作制度下，探讨有机物料与化肥的合理配比，将是今后研究的方向。

正如前文所述，在现行耕作制度下，耕层结构变差的现象已受到广泛关注，深松能够有效打破犁底层也被众多学者所认可，但笔者认为，由于犁底层上移导致耕层物理结构变坏是长期不合理耕作造成的，通过深松虽可以改善这一情况，却不可能通过单一的深松耕作方式，通过一年或几年时间使土壤结构恢复到原来的状态。而应该选择旋耕—深松或免耕—深松等多种耕作方式相结合，对不同层次的土壤结构进行长期修复，同时利用施用有机肥或秸秆还田等措施增加土壤有机质含量，提高耕作方式的改土效果。在本试验条件下及土壤类型和气候相近区域，在旋耕的基础上采取垄沟深松处理，同时每年施用有机肥 30 000 kg/hm² 左右，可显著改善土壤的物理性质及养分状况，提高春玉米产量。

参考文献：

[1] 丰光, 刘志芳, 李妍妍, 等. 中国不同时期玉米单交种产量变化的研究[J]. 中国农业科学, 2010, 43(2): 277-285
 [2] 刘志斋, 宋燕春, 石云素, 等. 中国玉米地方品种的种族划分及其特点研究[J]. 中国农业科学, 2010, 43(5): 899-910

[3] 赵颖, 周桦, 马强, 等. 深松对棕壤农田土壤和玉米产量的影响[J]. 土壤通报, 2014, 45(4): 934-938
 [4] 孔晓民, 韩成卫, 曾苏明, 等. 不同耕作方式对土壤物理性状及玉米产量的影响[J]. 玉米科学, 2014, 22(1): 108-113
 [5] 宫亮, 孙文涛, 包红静, 等. 不同耕作方式对土壤水分及玉米生长发育的影响[J]. 玉米科学, 2011, 19(3): 118-120, 125
 [6] 孙利军, 张仁陟, 黄高宝. 保护性耕作对黄土高原旱地地表土壤理化性状的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2007, 25(6): 207-211
 [7] Dao T H. Tillage and winter wheat residue management effects on water infiltration storage[J]. Soil Sci. Soc. Am. J., 1993, 57: 1 586-1 595
 [8] 傅积平. 机械耕作条件下的土壤改良[M]. 北京: 中国农业出版社, 1978
 [9] 孙涛. 不同耕作方式及施肥对黑土理化性状的影响[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2008: 13-15
 [10] 郭新荣. 土壤深松技术的应用研究[J]. 山西农业大学学报, 2005(1): 74-77
 [11] 宫秀杰, 钱春荣, 于洋, 等. 深松免耕技术对土壤物理性状及玉米产量的影响[J]. 玉米科学, 2009, 17(5): 134-137
 [12] 孙东越. 中耕深松技术保水能力试验研究[J]. 农业科技与装备, 2007(6): 31-32
 [13] 黄健, 王爱文, 张艳茹, 等. 玉米宽窄行轮换种植、条带深松、留高茬新耕作制对土壤性状的影响[J]. 土壤通报, 2002, 33(3): 168-171
 [14] 梁爱珍, 张晓平, 杨学明, 等. 耕作对东北黑土团聚体粒级分布及其稳定性的短期影响[J]. 土壤学报, 2009, 46(1): 154-158
 [15] 秦红灵, 高旺盛, 马月存, 等. 两年免耕后深松对土壤水分的影响[J]. 中国农业科学, 2008, 41(1): 78-85
 [16] 何进, 李洪文, 高焕文. 中国北方保护性耕作条件下深松效应与经济效益研究[J]. 农业工程学报, 2006, 22(10): 62-67
 [17] 王育红, 姚宇卿, 吕军杰, 等. 豫西旱坡地高留茬深松对冬小麦生态效应的研究[J]. 中国生态农业学报, 2004, 12(2): 146-148
 [18] 郑东辉, 王保民, 王雪峰. 机械超深松的作用与发展[J]. 农机化研究, 2005(5): 288
 [19] 张凤路, 刘鑫, 张怡明, 等. 施氮和深松对春玉米根系性状的影响研究[J]. 华北农学报, 2012, 27(增刊): 309-314
 [20] 刘朝巍, 谢瑞芝, 张恩和, 等. 玉米宽窄行交替休闲种植根系分布规律研究[J]. 玉米科学, 2009, 17(2): 120-123
 [21] 宋日, 吴春胜, 牟金明, 等. 深松土对玉米根系生长发育的影响[J]. 吉林农业大学学报, 2000, 22(4): 73-75, 80
 [22] 孟庆秋, 谢佳贵, 胡会军, 等. 土壤深松对玉米产量及其构成因素的影响[J]. 吉林农业科学, 2000, 25(2): 25-28
 [23] Diaz Z M. Effect of deep-tillage and nitrogen fertilization interactions on dry land corn (*Zea mays* L.) productivity[J]. Soil & Tillage Research, 2000, 54: 11-19

- [24] 张玉玲, 张玉龙, 黄毅, 等. 辽西半干旱地区深松中耕对土壤养分及玉米产量的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2009, 27(4): 167-170
- [25] 谢德体. 土壤肥料学[M]. 北京: 中国林业出版社, 2004
- [26] 夏其伟, 田阳, 成国祥. 生物有机肥绿色农业的保证[J]. 中国科技成果, 2005(2): 36-38
- [27] 廖宗文, 毛小云, 刘可星. 有机碳肥对养分平衡的作用初探[J]. 土壤学报, 2014, 51(3): 656-659
- [28] 曾骏, 郭天文, 包兴国. 长期施肥对土壤有机碳和无机碳的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2008, 29(2): 11-14
- [29] 王伯仁, 徐明岗, 文石林. 长期不同施肥对旱地红壤性质和作物生长的影响[J]. 水土保持学报, 2005, 19(1): 97-100
- [30] 吴景贵, 任军, 赵欣宇, 等. 不同培肥方式黑土腐殖质形态特征研究[J]. 土壤学报, 2014, 51(4): 709-717
- [31] 徐阳春, 沈其荣. 长期施用不同有机肥对土壤各粒级复合体中 C, N, P 含量与分配的影响[J]. 中国农业科学, 2000, 33(5): 65-71
- [32] Mikha M M, Rice C W. Tillage and manure effects on soil and aggregate-associated carbon and nitrogen[J]. Soil Science Society of America Journal, 2004, 68(3): 809-816
- [33] 朱姝, 窦森, 关松, 等. 秸秆深还对土壤团聚体中胡敏素结构特征的影响[J]. 土壤学报, 2016, 53(1): 127-136
- [34] 荣湘民, 蒋健容. 红壤旱地有机与无机肥料配合施用效果[J]. 湖南农业大学学报, 2001, 27(6): 453-456
- [35] 王立刚, 李维炯, 邱建军, 等. 生物有机肥对作物生长、土壤肥力及产量的效应研究[J]. 土壤肥料, 2004(5): 12-16
- [36] 曲贵伟. 生物有机肥料对土壤物理性质及玉米产量影响的试验初报[J]. 丹东纺专学报, 2004, 11(2): 45-47
- [37] 熊国华, 林咸永, 章永松, 等. 施用有机肥对蔬菜保护地土壤环境质量影响的研究进展[J]. 科技通报, 2005, 21(1): 84-90
- [38] 巨晓棠, 刘学军, 张福锁. 长期施肥对土壤有机氮组成的影响[J]. 中国农业科学, 2004, 37(1): 87-91
- [39] 王淑平, 周广胜, 姜亦梅, 等. 玉米植株残体留田对土壤生化环境因子的影响[J]. 吉林农业大学学报, 2002, 24(6): 54-57
- [40] 王林权, 周春菊, 王俊儒. 鸡粪中的有机酸及其对土壤速效养分的影响[J]. 土壤学报, 2002, 39(2): 268-275
- [41] 向春阳, 马艳梅, 田秀平. 长期耕作培肥对白浆土磷组分及其有效性的影响[J]. 作物学报, 2005, 31(1): 48-52
- [42] 赵明, 赵征宇, 蔡葵, 等. 畜禽有机肥料当季速效氮磷钾养分释放规律[J]. 山东农业科学, 2004(5): 59-61
- [43] 周晓芬, 张彦才. 有机肥料对土壤钾素供应能力及其特点研究[J]. 中国生态农业学报, 2003, 11(2): 61-63
- [44] 刘义新, 韩移旺, 唐坤, 等. 结晶有机肥对土壤供钾能力及钾在烟株的分布特点[J]. 植物营养与肥料学报, 2004, 10(1): 107-109
- [45] 韩晓增, 王凤仙, 王凤菊, 等. 长期施用有机肥对黑土肥力及作物产量的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2010, 28(1): 67-71
- [46] 孔晓民, 韩成卫, 曾苏明, 等. 不同耕作方式对土壤物理性状及玉米产量的影响[J]. 玉米科学, 2014, 22(1): 108-113
- [47] 齐华, 刘明, 张卫健, 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
- [48] 边少峰, 马虹, 薛飞, 等. 吉林省西部半干旱区深松蓄水耕作技术研究[J]. 玉米科学, 2000, 8(1): 67-68
- [49] 战秀梅, 彭靖, 李秀龙, 等. 耕作及秸秆还田方式对春玉米产量及土壤理化性状的影响[J]. 华北农学报, 2014, 29(3): 204-209
- [50] 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[J]. 生态环境学报, 2010, 19(4): 945-950
- [51] 王光华, 齐晓宁, 金剑, 等. 施肥对黑土农田土壤全碳、微生物量碳及土壤酶活性的影响[J]. 土壤通报, 2007, 38(4): 661-666
- [52] 杜相革, 董民, 曲再红, 等. 有机农业和土壤生物多样性[J]. 中国农业通报, 2004, 20(4): 80-83
- [53] 刘畅, 李季, 杨合法. 有机、无公害与常规蔬菜生产模式土壤及植株性状比较研究初报[J]. 中国生态农业学报, 2006, 14(2): 191-194
- [54] 孙文涛, 官亮, 包红静, 等. 不同有机无机配比对玉米产量及土壤物理性质的影响[J]. 中国农学通报, 2011, 27(3): 80-84

Effects of Continuous Subsoiling and Organic Fertilization on Corn Yield and Soil Fertility

GONG Liang, AN Jingwen, XING Yuehua, LIU Yan, SUN Wentao*

(*Institute of Plant Nutrition and Environmental Resources, Liaoning Academy of Agricultural Sciences, Shenyang 110161, China*)

Abstract: A 8-year located field plot experiment was conducted to study the influences of different tillage methods and application of organic manure on the yield of spring maize and physical and chemical properties of soil. The results showed that compared with the tillage method of normal plowing, continuous subsoiling decreased the soil bulk density remarkable in 10–20 cm and 20–30 cm soil layer, particularly in 10–20 cm with the application of organic fertilizer more than 30 000 kg/hm². Continuous subsoiling increased available N and P contents, but reduced soil organic matter, total N and total P contents in the surface soil. The contents of organic matter, Total N, available N and available P increased with the increasing application of organic fertilizer while the increase of total P, total K and available K contents was not affected by the application of organic manure. Organic manure showed better than continuous subsoiling in increasing maize yield, but the yield-increase rate was reduced with the increasing application of organic manure. Continuous subsoiling showed better in improving soil physical and chemical properties and increasing maize yield than biennial subsoiling, particularly with the application of organic fertilizer.

Key words: Tillage methods; Bulk; Organic fertilization; Corn