

黑土肥沃耕层构建效应*

韩晓增^{1,*} 邹文秀^{1,2} 王凤仙¹ 王凤菊¹

(¹ 中国科学院东北地理与农业生态研究所, 哈尔滨 150081; ² 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要 东北黑土区粘重的耕地土壤, 经多年不合理耕作后产生了较厚的“犁底层”, 成为该地区农业生产的主要限制因子。本研究利用田间试验, 分析了构建肥沃耕层对作物产量、土壤物理性质、土壤含水量和微生物数量的影响。结果表明: 肥沃耕层构建后, 土壤形成了一个深厚的耕层, 作物产量增加。与常规耕作法相比, 向 20~35 cm 土层施用秸秆和有机肥使土壤容重分别降低了 9.88% 和 6.20%, 总孔隙度分别增加了 9.58% 和 6.02%, 饱和导水率分别增加了 167.99% 和 73.78%, 表明肥沃耕层的构建能够有效地改善土壤的通气透水性, 提高大气降水的入渗能力; 向“犁底层”施用秸秆和有机肥处理 0~100 cm 土层土壤含水量和水分利用效率均显著高于常规耕作法, 该处理玉米出苗率与 0~35 cm 土层土壤含水量之间呈显著正相关关系。肥沃耕层的构建由于增加了土壤中的有机碳源和透气性, 从而增加了土壤中的微生物数量。

关键词 黑土 肥沃耕层 构建效应

文章编号 1001-9332(2009)12-2996-07 中图分类号 S152.4 文献标识码 A

Construction effect of fertile cultivated layer in black soil. HAN Xiao-zeng¹, ZOU Wen-xiu^{1,2}, WANG Feng-xian¹, WANG Feng-ju¹ (¹ Northeast Institute of Geography and Agro-ecology, Chinese Academy of Sciences, Harbin 150081, China; ² Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China). -Chin. J. Appl. Ecol. 2009 20(12):2996-3002.

Abstract: The clayey farmland soil in black soil region of Northeast China, due to the existence of thicker plough pan created by unreasonable tillage, is a main limiting factor for local agricultural production. In this paper, a field experiment was conducted to study the construction effect of fertile cultivated layer on crop yield, soil physical properties, soil moisture content, and soil microbial number. After the construction of fertile cultivated layer, the soil had a thicker cultivated layer, and the crop yield was increased. Comparing with traditional tillage, applying straw and organic manure into 20-35 cm soil layer decreased soil bulk density by 9.88% and 6.20%, increased soil porosity by 9.58% and 6.02%, and enhanced soil saturated hydraulic conductivity by 167.99 and 73.78%, respectively, indicating that the construction of fertile cultivated layer could improve soil aeration and water permeability, and enhance the infiltration of rainfall. The soil moisture content and water use efficiency under the application of straw and organic manure into plough pan were higher than those under traditional tillage, and a positive correlation was observed between the moisture content in 0-35 cm soil layer and the emergence of maize seedlings. Due to the increased organic carbon source and aeration in the constructed fertile cultivated layer, soil microbial number was also increased.

Key words: black soil; fertile cultivated layer; construction effect.

黑土成土母质为第三纪砂砾和粘土层、第四纪更新世砂砾和粘土层以及第四纪全新世砂砾和粘土层。黑土成土母质由粘土和亚粘土组成, 机械组成比

较粘细、均匀一致, 小于 0.002 mm 的粘粒占 30% 以上^[1]。在粘重母质上发育的黑土, 其土壤水分物理性质由土壤有机质和土壤矿质颗粒形成的团聚体所决定, 土壤有机质含量高, 水稳性团聚体含量也高, 土壤结构好, 水分物理性质优良。黑土开垦后, 由于有机物料投入少及水蚀、风蚀等因素导致耕地土壤

* 中国科学院知识创新工程项目(KSCX1-YW-09-09, KZCX3-SW-NA3-27)和国家科技支撑计划项目(2006BAD05B05)资助。

* * 通讯作者。E-mail: xzhan@neigaeherb.ac.cn

2009-02-19 收稿, 2009-10-08 接受。

有机质锐减,粘重的黄土母质成分增多,再加上不合理的耕作,使优良的团粒结构被破坏,导致土壤水分物理性状变劣,水、热、气在土体内运行受阻^[2-4],这样的土壤称为退化黑土,又称为土壤“板结”,约占黑土总面积的30%以上^[5],严重制约了黑土区的粮食生产.因此,建设黑土肥沃耕层,对黑土地表层土壤流失后土壤肥力的恢复重建和退化黑土定向快速肥力培育具有重大的理论意义和生产价值.为了解决因土壤有机质降低和不合理耕作导致的黑土结构变劣,即土壤“板结”问题,许多学者对秸秆还田和施用有机肥以及耕作措施对土壤质量的影响做了大量的研究^[6-9],但是秸秆和有机肥大多在土壤耕层施用,在土壤亚耕层即犁底层的施用研究还鲜见报道.本研究在黑土耕层以下15 cm的亚耕层中添加秸秆和有机肥,试图在提高黑土有机质含量的基础上,快速改善亚耕层(犁底层)的土壤水分物理性质,以促进作物根系生长发育,从而达到高产,最终形成黑土肥沃耕层,提高土壤的生产能力.

1 研究地区与研究方法

1.1 研究区自然概况

试验田位于东北黑土带中部黑龙江省海伦市国家野外科学观测研究站示范区(47°27' N,126°41' S)内.该区作物生产每年一季,主产大豆和玉米.试

验区属温带大陆性季风气候,冬季寒冷干燥,夏季高温多雨,雨热同季,年平均气温1.5℃,极端最高气温37.0℃,极端最低气温-39.5℃,年降水量500~600 mm,主要集中在7、8、9月,年均有效积温2450℃,年均日照时数2600~2800 h,无霜期125 d^[10].土壤类型为中厚层黑土,是在第四纪形成的黄土状母质上发育起来的地带性土壤.土壤的化学性质为:有机质42.2 g·kg⁻¹,全氮1.9 g·kg⁻¹,全磷1.6 g·kg⁻¹,全钾19.8 g·kg⁻¹,速效氮205 mg·kg⁻¹,速效磷39.7 mg·kg⁻¹,速效钾198 mg·kg⁻¹,pH 6.8.物理性质为:耕层(0~20 cm)容重1.14 g·cm⁻³,亚耕层(20~35 cm)容重1.31 g·cm⁻³,土壤机械组成为粒径在2.0~0.02 mm、0.02~0.002 mm、<0.002 mm的粒级分别占36%、31%和33%,土壤质地以粘性土为主.试验当年2007年全年降雨量为441.6 mm,作物生长季降雨量为378.8 mm,比多年平均降雨量^[11](444.7 mm)减少了14.85%,属于气象上的干旱年份^[12].

1.2 研究方法

1.2.1 试验设计 以试验区的主要粮食作物玉米和大豆为指示性作物,玉米品种为海玉6,大豆品种为黑农35,每种作物设8个处理,4次重复,随机区组排列,共64个小区,每个小区的面积为20.4 m²,各处理名称和处理方式见表1.玉米和大豆的化肥施

表1 试验设计
Tab.1 Experimental design

处理代码 Treatment code	简称 Abbreviation	管理方式 Management method
TT	常规耕作 Traditional tillage	翻(0~20 cm)-耙-起垄 Plowing(0~20 cm)-harrowing-ridge forming
ST	深松耕作 Subsoil tillage	翻(0~20 cm)-耙-起垄+深松(20~35 cm) Plowing(0~20 cm)-harrowing-ridge forming + deep loosening(20~35 cm)
TT+S	表层施用秸秆 Applying straw on the topsoil	翻(0~20 cm)-耙-起垄+秸秆(7500 kg·hm ⁻²) Plowing(0~20 cm)-harrowing-ridge-forming + straw(7500 kg·hm ⁻²)
ST+S	肥沃耕层 I Fertile cultivated layer I	翻(0~20 cm)-耙-起垄+深松(20~35 cm)+秸秆(7500 kg·hm ⁻¹) Plowing(0~20 cm)-harrowing-ridge forming + deep loosening(20~35 cm)+ straw(7500 kg·hm ⁻²)
TT+OM	表层施用有机肥 Appling organic matter on the top-soil	翻(0~20 cm)-耙-起垄+猪粪(15000 kg·hm ⁻²) Plowing(0~20 cm)-harrowing-ridgeforming + pig effluent(15000 kg·hm ⁻²)
ST+OM	肥沃耕层 II Fertile cultivated layer II	翻(0~20 cm)-耙-起垄+深松(20~35 cm)+猪粪(15000 kg·hm ⁻²) Plowing(0~20 cm)-harrowing-ridge forming + deep loosening(20~35 cm)+ pig effluent(15000 kg·hm ⁻²)
TT+F	表层增施化肥 Applying additional chemical fertilizer on the topsoil	翻(0~20 cm)-耙-起垄+化肥(纯N 76.8 kg·hm ⁻² ,P ₂ O ₅ 55.2 kg·hm ⁻² ,K ₂ O 40 kg·hm ⁻²) Plowing(0~20 cm)-harrowing-ridge forming + chemical fertilizer(N 76.8 kg·hm ⁻² ,P ₂ O ₅ 55.2 kg·hm ⁻² ,K ₂ O 40 kg·hm ⁻²)
ST+F	肥沃耕层 III Fertile cultivated layer III	翻(0~20 cm)-耙-起垄+深松(20~35 cm)+化肥(纯N 76.8 kg·hm ⁻² ,P ₂ O ₅ 55.2 kg·hm ⁻² ,K ₂ O 40 kg·hm ⁻²) Plowing(0~20 cm)-harrowing-ridge forming + deep loosening(20~35 cm)+ chemical fertilizer(N 76.8 kg·hm ⁻² ,P ₂ O ₅ 55.2 kg·hm ⁻² ,K ₂ O 40 kg·hm ⁻²)

用量均按当地最佳施肥量,玉米 :N 150 kg · hm⁻² , P₂O₅ 60 kg · hm⁻² ,K₂O 40 kg · hm⁻² ,1/3 的氮肥和全部磷钾肥作为基肥在播种前施入 ,2/3 的氮肥作为追肥在玉米大喇叭口期施入 ;大豆 :N 60 kg · hm⁻² ,P₂O₅ 60 kg · hm⁻² ,K₂O 30 kg · hm⁻² ,所有化肥均在播种前作为基肥施入. 秸秆均选用玉米秸秆 ,切割后的长度 < 2 cm ;有机肥选用猪粪. 在前一年秋季整地时对土壤实施不同的管理方式(表 1).

1.2.2 测定方法 在 2007 年玉米出苗后(5 月 22 日)记录各处理的出苗率,同时采用土钻法测定 10、30、45、60、85 cm 各层土壤的质量含水量,再根据各层土壤容重换算成土壤容积含水量. 于 9 月 20 日作物成熟期采用土钻法测定与 5 月 22 日相同土层的土壤含水量,同时采用环刀法测定 0 ~ 20、20 ~ 35、35 ~ 70 和 70 ~ 100 cm 各土层的容重,同样应用环刀法测定 0 ~ 20 和 20 ~ 35 cm 土层的饱和导水率. 在每个小区设 3 个采样点,每点 2 m² 进行测产. 根据韩晓增等^[13]对海伦地区黑土农田水分动态特征的研究,农田蒸散量的计算采用以下公式:

$$ET = P + \Delta W$$

(1)

式中:ET 为蒸散量(mm);P 为降水量(mm);ΔW 为观测期始、末土壤储水量的差值(mm).

作物水分利用效率(WUE)的计算采用以下公式^[14]:

$$WUE = GY / (P + \Delta W)$$

(2)

式中:GY 为产量(kg);P 为降水量(mm);ΔW 为观测期始、末土壤储水量的差值(mm). 玉米常规耕作法、肥沃耕层 I 和肥沃耕层 II,在生长旺盛期(7 月 25 日)分别在 0 ~ 20 和 20 ~ 35 cm 土层取样,用于测定土壤微生物数量,土壤微生物数量采用混合平

板法测定.

1.3 数据处理

采用 SPSS 10.0 软件进行数据统计分析,采用 LSD 法进行多重比较,采用 Excel 2003 软件绘图.

2 结果与讨论

2.1 黑土肥沃耕层构建对各层土壤水分、物理性质的影响

2.1.1 对土壤容重的影响 由图 1 可知,常规耕作法、肥沃耕层 I 和肥沃耕层 II 除 20 ~ 35 cm“犁底层”容重差异较大外,各层容重差异均较小. 与常规耕作法相比,肥沃耕层 I 和肥沃耕层 II 在 20 ~ 35 cm 土层容重分别减小了 9.88% 和 6.20%,表明经肥沃耕层构建后犁底层的土壤容重得到了明显的改善. 粘重的黑土在经历了多年小型拖拉机耕作后,在 20 ~ 35 cm 形成了很硬的犁底层,这是常规耕作法在该层容重高的原因^[15]. 犁底层的存在阻碍了土体内水和气的运行,严重影响了土壤的水分和物理性质,进而限制了作物产量. 当打破“犁底层”(20 ~ 35 cm)并向其中施入秸秆和有机肥以后,它们在土壤中起到了“楔子”的作用,能够有效地改善犁底层的三相比,降低土壤容重. 该结果与许多研究结果相一致^[16-19]. 肥沃耕层 I 的容重比肥沃耕层 II 减小了 3.93%,说明向犁底层施用秸秆比施用有机肥对土壤容重的改良效果更好,其主要原因是秸秆属于完全未腐解的物质,而有机肥属于半腐解的物质,秸秆的改良效果要明显优于有机肥^[20].

2.1.2 对土壤孔隙度的影响 孔隙度是土壤的基本物理性质之一,直接影响土壤的通气性和根系的穿插能力,同时对土壤的肥力因素和作物生长状况也

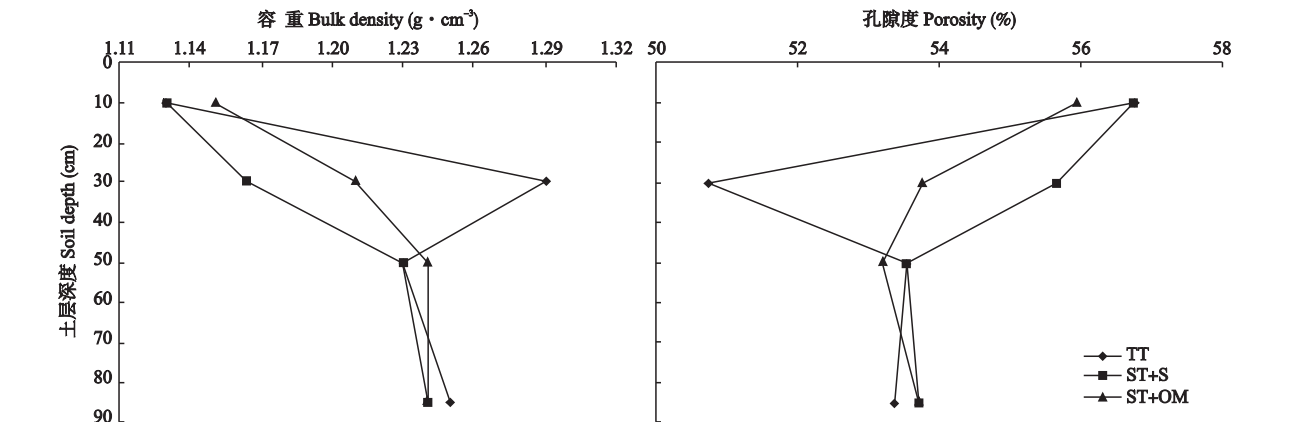


图 1 不同处理各剖面土壤容重和孔隙度

Fig. 1 Soil bulk density and porosity in profile under different treatments.

有一定的影响,是评价土壤板结的指标之一^[21]。向亚耕层(20~35 cm)施入秸秆和有机肥极大地增加了肥沃耕层Ⅰ和肥沃耕层Ⅱ在该层次的土壤孔隙度(图1)。与常规耕作法相比,肥沃耕层Ⅰ和肥沃耕层Ⅱ在20~35 cm 土层土壤孔隙度分别增加了9.58%和6.02%,说明打破“犁底层”并向其中施用秸秆和有机肥能够改善土壤的孔隙状况,缓解土壤的板结问题^[22]。其中,秸秆对犁底层孔隙度的改善效果好于有机肥。

2.1.3 对土壤饱和导水率的影响 从图2可以看出,各处理的饱和导水率在0~20 cm 土层差异很小,但是在20~35 cm 土层差异较大,与常规耕作法相比,肥沃耕层Ⅰ和肥沃耕层Ⅱ在20~35 cm 土层的饱和导水率分别增加了1.67倍和0.73倍,其主要原因是在耕作过程中向20~35 cm 亚耕层施用了秸秆和有机肥,打破了犁底层,创造了良好的土壤孔隙状况。东北黑土区属于“雨养农业”,降雨具有年际间不均和年内季节性不均的特点^[13 23],为农业生产带来许多负面作用。打破犁底层的同时向其中添加秸秆和有机肥能够促进大气降水的入渗,减少地表径流带来的水分损失,提高土壤的蓄水能力和作物对大气降水的利用,特别是在本试验这样一个气象上的干旱年份,通过改善20~35 cm 犁底层土壤的水分入渗状况,能够增加作物对土壤中储存水分的利用,以缓解干旱带来的作物减产。黑土肥沃耕层构建对大豆土壤容重、孔隙度和饱和导水率的影响趋势与玉米相同(数据未列出)。

2.2 黑土肥沃耕层构建对土壤含水量、作物出苗率 and 水分利用效率的影响

2.2.1 对土壤含水量和作物出苗率的影响 表2为5月22日玉米出苗时测定的常规耕作法、肥沃耕层

Ⅰ和肥沃耕层Ⅱ的土壤含水量。不同处理对土壤含水量的影响不同。与常规耕作法相比,肥沃耕层Ⅰ和肥沃耕层Ⅱ在0~20 cm 土层土壤含水量分别增加了10.92%和4.20%,在20~35 cm 土层分别增加了22.91%和7.82%,在0~100 cm 土层分别增加了11.05%和5.48%。可见,肥沃耕层构建技术的应用能够显著提高土壤的储水能力。方差分析结果表明,在0~20 cm 和20~35 cm 土层肥沃耕层Ⅰ的土壤含水量与常规耕作法和肥沃耕层Ⅱ的差异达显著水平($P<0.05$),在0~100 cm 土层内各处理间的差异也均达显著水平($P<0.05$)。通过向20~35 cm 土层施用秸秆和有机肥显著增加了0~35 cm 土层土壤含水量,这对作物的出苗率具有重要作用。将0~35 cm 土层土壤含水量与玉米出苗率进行相关分析,结果表明,二者之间存在显著正相关关系($r=0.97$ $n=3$),其水分的重要来源是冻融水的提升和土壤中蓄积的水分。犁底层坚硬而又不透水,阻止了降水的入渗和土壤中水分的上移,打破犁底层同时施用秸秆和有机肥能够增加土壤的孔隙度,促进降水的入渗和土壤中水分的运移,恢复和提高土壤原有的蓄水能力,为作物出苗提供可靠的保障。

2.2.2 对作物水分利用效率的影响 不同处理对作物水分利用效率的影响表现为,肥沃耕层Ⅰ>肥沃耕层Ⅱ>常规耕作法(图3)。与常规耕作法相比,肥沃耕层Ⅰ和肥沃耕层Ⅱ的水分利用效率分别提高了31.10%和57.60%。在降雨量相同的条件下,作物水分利用效率的提高说明作物充分利用了土壤中储存的水分,特别是在干旱年份,打破犁底层(20~35 cm)并向其中施用秸秆和有机肥能够促进土壤对大气降水的储存,同时促使土壤中储存的水分向上运移,以使作物度过旱期。黑土肥沃耕层构建对大豆土壤含水量、作物出苗率和水分利用效率的影响趋势与玉米相同(数据未列出)。

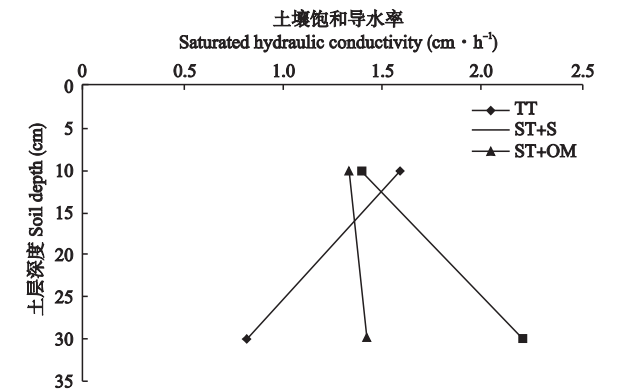


图2 不同处理0~20和20~35 cm 土层土壤饱和导水率
Fig.2 Soil saturated hydraulic conductivity of 0~20 cm and 20~35 cm layers under different treatments.

表2 不同处理的土壤含水量和作物出苗率
Tab.2 Soil moisture and emergency ratio of crop under different treatments

处理 Treat- ment	土壤含水量 Soil moisture (mm)			出苗率 Emergency ratio (%)
	0 ~ 20 cm	20 ~ 35 cm	0 ~ 100 cm	
TT	59.5 ± 1.29b	44.8 ± 2.63b	305.5 ± 4.43c	95.2
ST + S	66.0 ± 2.16a	55.0 ± 2.94a	339.3 ± 4.35a	99.7
ST + OM	62.0 ± 2.94b	48.3 ± 2.50b	322.3 ± 8.46b	97.8

同列不同小写字母表示差异达显著水平($P<0.05$) Different letters in the same column meant significant difference at 0.05 level. 下同 The same below.

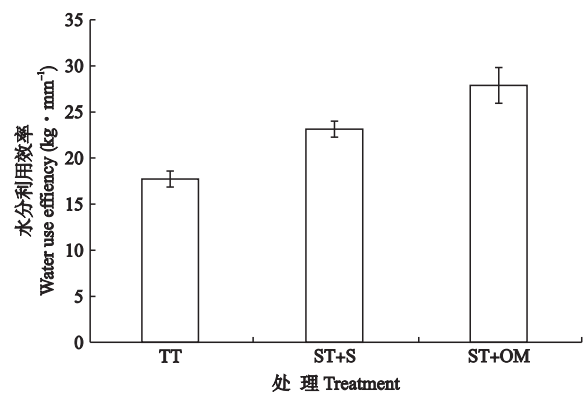


图3 不同处理玉米的水分利用效率

Fig. 3 Water use efficiency of maize under different treatments.

2.3 黑土肥沃耕层构建对土壤微生物的影响

土壤微生物是土壤有机质及各种养分分解与转化的参与者^[24]. 在玉米生长旺盛期测定土壤微生物数量, 结果表明, 不同肥沃耕层构建技术对土壤微生物具有不同的影响, 但是真菌、放线菌、细菌数量和微生物总数均表现为增加趋势(表3). 在0~20 cm 土层, 与常规耕作法的真菌、放线菌、细菌数量和微生物总数相比, 肥沃耕层 I 分别增加了 20.54%、19.93%、11.89%和 12.01%, 肥沃耕层 II 分别增加了 16.31%、8.81%、20.51%和 20.36%, 打破“犁底层”并向其中施用秸秆分别增加了 84.92%、44.48%、28.17%和 28.49%, 向“犁底层”施用有机肥分别增加了 55.56%、24.64%、58.82%和 58.34%. 表明应用肥沃耕层技术以后对 20~35 cm 土层(犁底层)微生物数量的增加效果较显著, 其原因主要是打破犁底层并向其中施用秸秆和有机肥能够为微生物提供可利用碳源^[25], 同时改善了土壤的通气状况, 促进了微生物的生长^[26]. 黑土肥沃耕层构建对大豆土壤微生物的影响趋势与玉米相同(数据未列出).

表3 肥沃耕层构建对玉米土壤微生物数量的影响(7月25日)

Tab.3 Effects of fertility cultivated layer construction on microorganism number in maize soil (25 July) (×10⁵ CFU · g⁻¹)

土层深度 Soil depth (cm)	处 理 Treatment	真 菌 Fungi	放线菌 Actinomy- cetes	细 菌 Bacteria	总 数 Total
0~20	TT	3.31	15.10	1235.74	1254.15
	ST+S	3.99	18.11	1382.63	1404.73
	ST+OM	3.85	16.43	1489.19	1509.46
20~35	TT	1.26	11.24	801.91	814.41
	ST+S	2.33	16.24	1027.83	1046.40
	ST+OM	1.96	14.01	1273.56	1289.53

2.4 黑土肥沃耕层构建对作物产量的影响

不同的肥沃耕层构建技术对玉米和大豆产量具有不同的影响(表4). 与常规耕作法相比, 深松耕作法玉米和大豆产量分别增加了 14.91%和 12.42%, 表明深松打破“犁底层”, 能够协调土壤中气、液、固三相比, 使土壤中的水、热、气更能适应作物根系生长发育的需求. 在常规耕作法的基础上将玉米秸秆施入到 0~20 cm 的耕层(TT+S)中, 玉米和大豆均有增产效果, 但差异不显著, 其原因在于秸秆当年加入到土壤后由于冬季温度低而没有腐解, 造成土壤表层过于疏松, 春天耕地时易跑墒, 影响出苗和造成前期干旱, 秸秆加入土壤的正向作用被抵消. 所构建的肥沃耕层 I 与深松耕作法相比, 玉米和大豆产量分别提高了 22.09%和 16.59%, 其主要原因在于在深松打破“犁底层”的基础上, 向其中加入秸秆能够改善 20~35 cm 土层的土壤性质, 使疏松“犁底层”的效果在时间上得到延长. 所构建的肥沃耕层 II 与深松耕作法和表层施用有机肥(TT+OM)处理相比, 玉米分别增产 63.82%和 33.21%, 大豆分别增产 29.82%和 32.49%, 在亚耕层施用有机肥的效果比表层好, 主要是由于肥沃的亚耕层对作物根系有营养信号作用, 能够促使根系迅速向该层伸展. 在秋季整地时将化肥施入 20~25 cm(犁底层)的肥沃耕层 III 与深松耕作法和表层增施化肥(TT+F)处理相比, 玉米分别增产 8.74%和 12.35%, 大豆分别增产 4.04%和 7.16%, 其主要原因是在农业生产中, 当施肥能够满足作物对养分的需求时, 土壤的物理性状和水分就成为作物增产的主要限制因子. 虽然“犁底层”额外化肥的投入有增产效果, 但是由于该层土壤的物理性状并没有得到明显的改善, 所以增

表4 肥沃耕层构建对作物产量的影响

Tab.4 Effects of fertility cultivated layer construction on crop yield

处 理 Treatment	玉 米 Maize		大 豆 Soybean	
	产 量 Yield (kg · hm ⁻²)	增产率* Increase (%)	产 量 Yield (kg · hm ⁻²)	增产率 Increase (%)
TT	4733 ± 228e		1654 ± 279c	
ST	5438 ± 152cd	14.88	1858 ± 116c	12.35
TT+S	4792 ± 222e	1.24	1725 ± 229c	4.29
ST+S	6638 ± 244b	40.24	2167 ± 159ab	31.00
TT+OM	5821 ± 337c	22.98	1821 ± 92c	10.09
ST+OM	7754 ± 545a	63.83	2413 ± 250a	45.86
TT+F	5263 ± 452d	11.19	1804 ± 214c	9.08
ST+F	5913 ± 107c	24.92	1933 ± 177bc	16.89

* 与常规耕作法相比增产的百分率 Increase percentage of yield compared with traditional tillage.

产效果比向“犁底层”施入秸秆和有机肥小。

3 结 语

采用深松和施用秸秆、有机肥能够改善黑土亚耕层的肥沃程度,建立一个深厚肥沃的耕层,从而提高作物产量。本研究各处理作物产量由高到低的顺序基本为 ST + OM > ST + S > ST + F > ST > TT + OM > TT + F > TT + S > TT。在深松打破“犁底层”的同时施入秸秆和有机肥建立的肥沃耕层增产效果明显。建议在东北黑土区的粘重耕作土壤中,可以通过向亚耕层施用秸秆和有机肥来提高土壤肥力和作物产量。

向 20 ~ 35 cm(犁底层)土层土壤施入秸秆和有机肥可明显改善“犁底层”的土壤组成,减小土壤容重,提高土壤孔隙度,增加土壤的透气性和疏松程度。同时肥沃耕层的构建也增加了土壤的饱和导水率和透水性,减少了地表径流损失,增加了大气降水的入渗。

肥沃耕层的构建能够增加春季 0 ~ 100 cm 土层土壤含水量和表层土壤含水量,保障玉米出苗率,缓解春旱,不同处理 0 ~ 35 cm 土壤含水量与玉米出苗率之间存在显著的正相关关系。20 ~ 35 cm 土层加入秸秆和有机肥可增加作物的水分利用效率,提高作物对土壤水分和大气降水的利用。向“犁底层”加入秸秆和有机肥,在增加土壤透气性的同时也为微生物提供了较为丰富的碳源,促进了土壤中微生物的繁殖,增加了土壤微生物数量。

参考文献

[1] He W-Y(何万云). Heilongjiang Soil. Beijing: China Agriculture Press, 1992 (in Chinese)

[2] Liu X-Y(刘晓昱). Safeguard and sustainable development of the black soil ecosystem. *Research of Soil and Water Conservation* (水土保持研究), 2006, **13**(5): 143-145 (in Chinese)

[3] Meng K(孟凯), Zhang X-Y(张兴义). Mechanism and ecological restoration of degraded black soil in region of Songnen Plain of Northeast China. *Chinese Journal of Soil Science* (土壤通报), 1998, **20**(3): 100-102 (in Chinese)

[4] Wang Q-C(王其存), Qi X-N(齐晓宁), Wang Y(王洋), *et al.* Erosion of black soils and its reclamation. *Scientia Geographica Sinica* (地理科学), 2003, **23**(3): 361-365 (in Chinese)

[5] Guo W-Y(郭文义), Wei D(魏丹), Zhou B-K(周宝库), *et al.* Current situation and comprehensive

control strategies of the mid-low yield land in northeast. *Heilongjiang Agricultural Sciences* (黑龙江农业科学), 2008(6): 52-55 (in Chinese)

[6] Wu Z-J(武志杰), Zhang H-J(张海军), Xu G-S(许广山), *et al.* Effect of returning corn straw into soil on soil fertility. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2002, **13**(5): 539-542 (in Chinese)

[7] Lao X-R(劳秀荣), Wu Z-Y(吴子一), Gao Y-C(高燕春). Effect of long-term returning straw to soil on soil fertility. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering* (农业工程学报), 2002, **18**(2): 49-52 (in Chinese)

[8] Liu J-G(刘建国), Bian X-M(卞新民), Li Y-B(李彦斌), *et al.* Effects of long-term continuous cropping of cotton and returning cotton stalk into field on soil biological activities. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2008, **19**(5): 1027-1032 (in Chinese)

[9] Zhou H-P(周怀平), Yang Z-P(杨治平), Li H-M(李红梅), *et al.* Effect of straw return to field and fertilization in autumn on dryland corn growth and on water and fertilizer efficiency. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2004, **15**(7): 1231-1235 (in Chinese)

[10] Wang F(王风), Han X-Z(韩晓增), Li H-B(李海波), *et al.* Hydro-physical properties of black soil in different type of eco-system. *Journal of Soil and Water Conversation* (水土保持学报), 2006, **20**(6): 67-70 (in Chinese)

[11] Zhang W(张伟), Yan M-H(闫敏华), Chen P-Q(陈泮勤). Analysis on the rainfall resource characteristics in Songnen Plain in the last 50 years. *Journal of Arid Land Resources and Environment* (干旱区资源与环境), 2007, **21**(10): 73-78 (in Chinese)

[12] Qiao Q(乔樵), Shen S-M(沈善敏), Zhou S-Q(周绍权). The characteristics of black soil water and its relationship with process of soil forming. *Acta Pedologica Sinica* (土壤学报), 1963, **11**(2): 143-158 (in Chinese)

[13] Han X-Z(韩晓增), Wang S-Y(王守宇), Song C-Y(宋春雨), *et al.* Research on the feature of the dynamic balance on the soil moisture in farmland of black soil in Hailun District. *System Sciences and Comprehensive Studies in Agriculture* (农业系统科学与综合研究), 2003, **19**(4): 252-255 (in Chinese)

[14] Wang H-X(王会肖), Liu C-M(刘昌明). Advances in crop water use efficiency research. *Advance of Water Science* (水科学进展), 2000, **11**(1): 110-115 (in Chinese)

[15] Zhang X-Y(张兴义), Sui Y-Y(隋跃宇), Meng K

- (孟 凯). The press-hard of field black-soil and its influence on the yield of grain. *Journal of Agricultural Mechanization Research* (农机化研究), 2002(4): 64–67 (in Chinese)
- [16] Bhattacharyya R, Chandra S, Singh RD, *et al.* Long-term farmyard manure application effects on properties of a silty clay loam soil under irrigated wheat-soybean rotation. *Soil & Tillage Research*, 2007, **94**: 386–396
- [17] Wu J (吴 婕), Zhu Z-L (朱钟麟), Zheng J-G (郑家国), *et al.* Influences of straw mulching treatment on soil physical and chemical properties and crop yields. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences* (西南农学报), 2006, **19**(2): 192–195 (in Chinese)
- [18] Han B-J (韩秉进), Chen Y (陈 渊), Qiao Y-F (乔云发), *et al.* Effect of long-term application organic fertilizer on soil physiochemical properties. *System Sciences and Comprehensive Studies in Agriculture* (农业系统科学与综合研究), 2004, **20**(4): 294–296 (in Chinese)
- [19] Zou W-X (邹文秀), Han X-Z (韩晓增), Qiao Y-F (乔云发), *et al.* The effect of both different ecological restorations and fertilization managements on hydro-physical properties of degraded black soil. *Bulletin of Soil and Water Conservation* (水土保持通报), 2008, **28**(6): 37–40 (in Chinese)
- [20] Wu J-G (吴景贵), Wang M-H (王明辉), Liu J (刘洁), *et al.* Effect of undecomposed organic materials on physical and chemical properties of paddy soils. *Journal of Jilin Agricultural University* (吉林农业大学学报), 1998, **20**(1): 49–54 (in Chinese)
- [21] Zhang S-Q (张社奇), Wang G-D (王国栋), Shi X-L (时新玲), *et al.* Improvement of soil hydro-physical properties by artificial *Robinia-Pinus tabulaeformis* Carr. forests in the Loess Plateau. *Agricultural Research in the Arid Areas* (干旱区农业研究), 2005, **23**(1): 60–64 (in Chinese)
- [22] Xu T-P (徐泰平), Zhu B (朱 波), Wang T (汪涛), *et al.* Effects of returned straw on nutrient loss from slope cropland of purple soil. *Journal of Soil and Water Conservation* (水土保持学报), 2006, **20**(1): 30–32 (in Chinese)
- [23] Meng K (孟 凯), Zhang X-Y (张兴义), Sui Y-Y (隋跃宇), *et al.* Black soil water characteristic in Hailun, Heilongjiang. *Chinese Journal of Soil Science* (土壤通报), 2003, **34**(1): 11–14 (in Chinese)
- [24] Li F-D (李阜棣), Hu Z-J (胡正嘉). Microbiology Science. Beijing: China Agriculture Press, 2003 (in Chinese)
- [25] Tan Z-J (谭周进), Zhou W-J (周卫军), Zhang Y-Z (张杨珠), *et al.* Effect of fertilization systems on microbes in the paddy soil. *Plant Nutrition and Fertilizer Science* (植物营养与肥料学报), 2007, **13**(3): 430–435 (in Chinese)
- [26] Cai X-B (蔡晓布), Qian C (钱 成), Zhang Y (张元), *et al.* Microbial characteristics of straw-amended degraded soils in central Tibet and its effect on soil fertility. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2004, **15**(3): 463–468 (in Chinese)

作者简介 韩晓增 男, 1957 年生, 研究员. 主要从事农田土壤生态研究 发表论文 50 多篇. E-mail: xzhan@neigaehrb.ac.cn

责任编辑 张凤丽
