

# 秸秆集中深还田两年后对土壤主要性状及玉米根系的影响

王胜楠, 邹洪涛, 张玉龙, 虞娜, 张玉玲, 范庆锋, 黄毅

(沈阳农业大学土地与环境学院, 农业部东北耕地保育重点实验室, 土肥资源高效利用国家工程实验室, 辽宁 沈阳 110866)

**摘要:** 采用翻转犁开沟的方式, 在秋收后将秸秆集中深还田, 探讨该模式实施两年后对土壤主要理化性质及玉米根系的影响。结果表明, 随着秸秆还田量的增加, 各层次土壤容重较 CK 处理降低了 2.42% ~ 10.67%; 土壤含水量较 CK 处理增加了 3.99% ~ 14.68%; 土壤有机质及全氮含量较 CK 处理均有显著提高, 提高幅度分别为 4.34% ~ 97.97%、1.53% ~ 44.36%; 玉米根系总根长、总根表面积、总根体积以及平均根系直径均大于 CK 处理, 以 12 000 kg·hm<sup>-2</sup> 处理效果最为显著。综上, 秸秆集中深还田对降低土壤容重, 提高土壤蓄水量、有机质和氮素含量, 促进根系生长效应明显。

**关键词:** 秸秆深还田; 秸秆还田量; 土壤理化性质; 土壤含水量; 玉米根系

**中图分类号:** S152.3; S341.7 **文献标志码:** A

## Effects of deeply and concentratedly returned straw on soil main properties and corn root system

WANG Sheng-nan, ZOU Hong-tao, ZHANG Yu-long, YU Na, ZHANG Yu-ling, FAN Qing-feng, HUANG Yi

(College of Land and Environment, Shenyang Agricultural University, Key Open Laboratory of Northeastern Soil and Environment of Ministry of Agriculture, National Engineering Laboratory for Efficient Utilization of Soil and Fertilizer Resources, Shenyang, Liaoning 110866, China)

**Abstract:** Straw was deeply and concentratedly returned to field after harvest in fall by a turnover plow to furrow method. Based on this, the resulting effects over a two-year term on soil main physical and chemical properties and corn root system were investigated. The results indicated that with the increment of straw returned, the bulk density in each soil layer was reduced by 2.42% ~ 10.67% and the water content of soil became increased by 3.99% ~ 14.68%, compared with the control treatment. The contents of soil organic carbon and total nitrogen were significantly improved by 4.34% ~ 97.97% and 1.53% ~ 44.36%, respectively. The length, surface area, volume and average diameter of corn root system were all greater than the control treatment, reaching the most significant level with 12 000 kg·hm<sup>-2</sup> treatment. In conclusion, straw deep returning had obvious effects on reducing soil bulk density, increasing water content, soil organic carbon and total nitrogen, and promoting corn root growth.

**Keywords:** straw deep returning; amount of straw returning; soil properties; soil water content; corn root system

我国是农业大国, 秸秆年产量丰富, 覆盖面广, 且呈增长趋势, 但其中很大一部分被就地焚烧, 这不仅造成了严重的环境污染, 也是对资源的极大浪费。作物秸秆归还土壤对农田生态系统的养分循环起着重要作用, 也是农业生产中重要的肥源之一<sup>[1-3]</sup>, 秸秆还田是秸秆资源最直接、最有效的利用途径, 有利于农业可持续发展。大量研究表明, 秸秆还田能够

提高土壤有机碳含量, 改善土壤结构, 提升土壤生产力, 增加作物产量, 维持农田生态系统平衡<sup>[4-6]</sup>。马勇良等<sup>[7]</sup>研究结果表明, 秸秆整株全量还田后表层土壤容重比清茬处理降低了 0.17 ~ 0.25 g·cm<sup>-3</sup>, 有效改善了土壤结构。赵伟等<sup>[8]</sup>研究得出: 黑土区秸秆还田能够使土壤容重降低 0.09 ~ 0.19 g·cm<sup>-3</sup>, 总孔隙度提高 18.23% ~ 22.26%。徐萌等<sup>[9]</sup>研究发

收稿日期: 2014-04-29

基金项目: 国家 973 项目 (2011CB100502); 农业部公益性行业专项 (201303125); 国家科技支撑计划项目 (2012BAD05B01, 2011BAD09B02); 辽宁省科技农业攻关重大项目 (2011213001)

作者简介: 王胜楠 (1989—), 女, 辽宁海城人, 硕士研究生, 研究方向为生态环境建设与农业减灾。E-mail: wangshengnan7310@126.com。

通信作者: 邹洪涛 (1975—), 男, 辽宁营口市人, 博士, 教授, 博士生导师, 从事土壤改良与农业节水研究。E-mail: zouhongtao2001@163.com。

现,在东北风沙半干旱褐土区秸秆还田能够显著提高土壤有机质及全氮含量,提高幅度分别为 1.9%~19%、0.7%~14.4%。秸秆翻耕还田不仅能提高有机碳数量,同时也改善了有机碳质量<sup>[10]</sup>。本研究针对当前旱田土壤耕层变浅,犁底层增厚、容重变大,有机质含量下降,免耕、传统秸秆还田影响春播的生产实际,采用深开沟打破土壤犁底层、降低土壤容重,改善土壤结构,秸秆集中深还田提升土壤有机质模式,探讨该模式实施两年后对土壤主要理化性质及玉米根系的影响,以期为当前旱田土壤地力提升、改善土壤质量及秸秆还田新模式探讨提供基础理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试土壤

本试验在沈阳农业大学后山科研基地进行。试验地属于温带湿润半湿润季风气候,年降雨量为 574~684 mm。土壤类型为棕壤,质地为粘土。其基本理化性质为有机质 13.83 g·kg<sup>-1</sup>,全氮 0.80 g·kg<sup>-1</sup>,全磷 0.38 g·kg<sup>-1</sup>,全钾 20.1 g·kg<sup>-1</sup>,碱解氮 105.5 mg·kg<sup>-1</sup>,速效磷 6.5 mg·kg<sup>-1</sup>,速效钾 97.9 mg·kg<sup>-1</sup>,pH 6.5。

### 1.2 供试玉米

供试玉米品种为郑单 958,为当地常规种植品种。

### 1.3 试验设计

2011 年 10 月玉米收获后,采用自主研发的“深开沟-覆土-合垄”翻转犁开沟,深度为 40 cm,将玉米整秸秆分不同秸秆量直接深还田,后用翻转犁覆土合垄。2011 年秋至 2013 年秋不再扰动土层,即秸秆为一次性施入多年利用,采用免耕方式播种。试验采用田间小区进行,共设 4 个处理(如表 1 所示),3 次重复,小区面积 32 m<sup>2</sup>,随机排列,翌年春采用大垄双行的方式在垄台播种玉米。

表 1 试验处理

Table 1 Different treatments employed in this research

处理代号 Treatment codes	处理方式 Methods of the treatments
CK	深开沟后未施秸秆 A deep ditch without straw
S1	整秸秆施入量 6000 kg·hm <sup>-2</sup> Amount of straw returning is 6000 kg·hm <sup>-2</sup>
S2	整秸秆施入量 12000 kg·hm <sup>-2</sup> Amount of straw returning is 12000 kg·hm <sup>-2</sup>
S3	整秸秆施入量 18000 kg·hm <sup>-2</sup> Amount of straw returning is 18000 kg·hm <sup>-2</sup>

2013 年秋收后,按 S 形 5 点取土法,以秸秆腐烂残留层为界线,在秸秆层向上 3~10 cm(U 土层)、秸秆层向上、向下各 3 cm(M 土层)、秸秆层向下 3~10 cm(D 土层)三个土层采集土样,在小区各层 3 次重复,自然风干,过筛备用。

### 1.4 测定项目及方法

(1) 土壤容重:环刀法<sup>[11]</sup>测定;

(2) 土壤有机质和全氮:元素分析仪(Elementar III,德国)测定;

(3) 玉米根系:用 WinRHIZO 根系扫描仪扫描。采用 SPSS 18.0 和 Excel 2010 处理数据。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同秸秆还田量对土壤容重及含水量的影响

容重是土壤结构的重要指标,土壤容重的大小直接表现为总孔度和通气孔度的多少,土壤通气透水条件良好能够促进土壤微生物活动,从而增强土壤养分的供应,有利于作物生长<sup>[12]</sup>。秸秆深还田两年后对土壤容重及含水量的影响如表 2 所示。在 U 土层中,秸秆还田各处理土壤容重较 CK 处理分别降低了 6.67%、10.67%、8.7%,其中 S2 处理土壤容重下降最为明显,各秸秆还田处理与 CK 处理之间均达到了 5% 的差异显著性水平。在 D 土层中,秸秆还田各处理土壤容重较 CK 处理分别降低了 3.64%、6.06%、2.42%,且与 CK 处理之间达到了 5% 的差异显著性水平。各处理土壤容重均随土层深度的增加而增大,不同秸秆还田量对土壤容重的影响程度不同,但都显著降低了土壤容重,且 S2 处理效果最为显著。

表 2 不同处理土壤容重及含水量的显著性检验

Table 2 Significance tests on soil bulk densities and water content with different treatments

处理 Treatments	容重 Bulk density/(g·cm <sup>-3</sup> )		含水量 Water content/%	
	U 土层	D 土层	U 土层	D 土层
CK	1.50a	1.65a	22.96c	22.53c
S1	1.40b	1.59b	24.33b	23.43b
S2	1.34c	1.55c	26.92a	25.60a
S3	1.37bc	1.61b	24.91b	23.55b

注:不同小写字母间差异显著( $P < 0.05$ )。下同。

Note: The small letters indicated  $P < 0.05$ , and hereinafter.

水分是作物生长发育过程中一个不可或缺的重要物质,土壤含水量是衡量土壤结构好坏的重要指标之一。秸秆还田后能够显著提高土壤含水量,在 U 土层中,秸秆还田各处理土壤含水量较 CK 处理分别提高了 5.97%、14.68%、8.49%,土壤含水量大

小顺序为  $S2 > S3 > S1 > CK$ 。D 土层中, 秸秆还田各处理土壤含水量较 CK 处理分别提高了 3.99%、13.63%、4.53%, 土壤含水量大小顺序为  $S2 > S3 > S1 > CK$ 。在同一土层中, 各秸秆还田处理与 CK 处理之间均达到了 5% 差异显著性水平, 且 S2 处理效果最好。这是由于秸秆集中深还田后, 降低了土壤容重, 改善了土壤的通气透水能力, 使自然降水更多的向下渗透, 而埋于地下的秸秆能够吸收自然降水, 减少了水分流失, 起到了蓄水保水的作用, 能够提高水分利用效率, 更好地为作物生长提供所需水分。

## 2.2 不同秸秆还田量对土壤有机质、全氮及 C/N 的影响

### 2.2.1 不同秸秆还田量对土壤有机质的影响

土壤有机质是农田土壤的重要组成部分, 能够为作物生长发育提供养分及营养元素, 是表征土壤肥力的重要指标之一。对秋收后的土壤有机质进行测定, 结果如图 1 所示。由图 1 可知, 各处理土壤有机质含量较对照处理均有所增加, 其中以 M 土层土壤有机质含量增加最为明显, 各秸秆还田处理较 CK 处理分别增加了 64.94%、97.97%、74.33%, 且与 CK 处理之间均达到了 5% 的差异显著性水平, 但各处理之间差异不显著。U 土层和 D 土层中, S3 处理与 CK 处理之间达到了 5% 的差异显著性水平, 其它各处理与 CK 之间差异不显著。

从整体来看, CK 处理不同土层之间土壤有机质含量变化不大, 为  $13.83 \sim 14.71 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 其它各处理不同土层之间土壤有机质含量变化较大, S1 处理为  $14.43 \sim 23.52 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ; S2 处理为  $16.58 \sim 28.23 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ; S3 处理为  $17.24 \sim 24.86 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。在 U 土层、D 土层中以 S3 处理土壤有机质含量最高, 各处理土壤有机质含量表现为  $S3 > S2 > S1 > CK$ , 而 M 土层中则以 S2 处理土壤有机质含量最高, 各处理土壤有机质含量表现为  $S2 > S3 > S1 > CK$ 。

由此可见, 秸秆集中深还田能够有效增加土壤有机质含量, 这是由于秸秆中含有大量的有机物质, 秸秆腐解后能够将有机物质及各种营养元素释放到土壤中, 从而有效提高土壤有机质含量。在 M 土层中, S2 处理土壤有机质含量最高, 而 U 土层和 D 土层中, S3 处理土壤有机质含量最高, 这可能是由于 S2 处理秸秆腐解量大于 S3 处理, 在 M 土层中, S3 处理仍有大量秸秆未腐解, 因此导致 S3 处理在 M 土层中土壤有机质含量低于 S2 处理。

### 2.2.2 不同秸秆还田量对土壤全氮的影响

秋收后采集不同处理不同土层土壤样品, 处理后测定其全氮含量, 结果如图 2。在 U 土层中, S3 处理与 CK

处理、S3 处理与 S1 处理之间达到了 5% 的差异显著性水平, 而其它各处理之间差异不显著。M 土层中, 秸秆还田各处理与 CK 处理之间均达到了 5% 的差异显著性水平, 但各秸秆还田处理之间差异不显著。D 土层中, S3 处理与 CK 处理之间达到了 5% 的差异显著性水平, 其它各处理之间差异不显著。

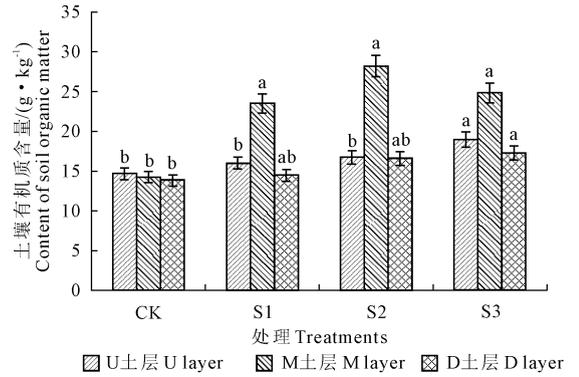


图 1 土壤有机质

Fig.1 Organic matters in soil

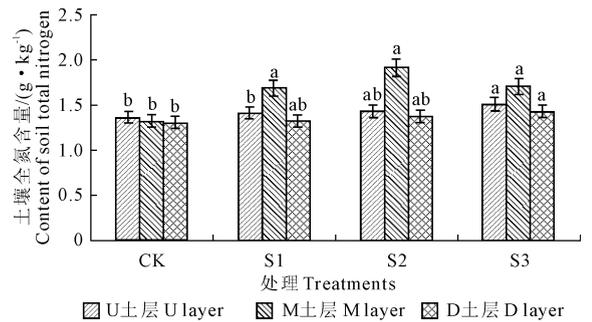


图 2 土壤全氮

Fig.2 Total nitrogen contents in soil

从土壤全氮含量的土层梯度变化来看, 与土壤有机质含量变化相似, 除 CK 处理之外, 其它各处理全氮含量均随土层深度的增加而呈先增加后减少的趋势, 而 CK 处理土壤全氮含量则随土层深度的增加呈减少趋势。在 U 土层和 D 土层土壤全氮含量以 S3 处理最高, 各处理土壤全氮含量表现为  $S3 > S2 > S1 > CK$ , M 土层则以 S2 处理土壤全氮含量最高, 各处理土壤全氮含量表现为  $S2 > S3 > S1 > CK$ 。

### 2.2.3 不同秸秆还田量对土壤 C/N 的影响

图 3 为各处理土壤 C/N, 由于秸秆本身含有大量有机质及氮素, C/N 较大, 因此各秸秆还田处理土壤 C/N 均显著高于 CK 处理, 且秸秆还田各处理与 CK 处理土壤碳氮比均随土层深度的增加而呈先增加后减少的变化趋势, 变化范围是 S1 处理为 6.55 ~ 8.37, S2 处理为 6.77 ~ 9.62, S3 处理为 7.26 ~ 10.00, 而 CK 处理各土层碳氮比几乎没有变化, 该处理碳氮比变

化范围为 6.23 ~ 8.02。在 U 土层中,不同处理碳氮比值大小为 S3 > S2 > S1 > CK, M 土层为 S2 > S3 > S1 > CK, D 土层为 S3 > S2 > S1 > CK。

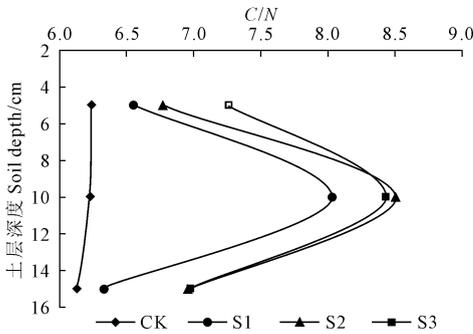


图3 土壤碳氮比的剖面分布

Fig.3 The distribution of C/N in soil profiles

对土壤 C/N 比进行差异显著性分析,结果如表 3 所示,U 土层中,S3 处理与 CK 处理间达到了 5% 的差异显著性水平,其它各处理之间差异不显著,M 土层中,秸秆还田各处理与 CK 处理间均达到了 5% 的差异显著性水平,而其它秸秆还田处理之间差异不显著,D 土层中各处理之间差异均不显著。

表3 不同处理土壤 C/N

Table 3 Soil C/N with different treatments

处理 Treatments	U 土层	M 土层	D 土层
CK	6.24b	6.23b	6.13a
S1	6.55b	8.03a	6.33a
S2	6.77ab	8.50a	6.96a
S3	7.26a	8.43a	6.98a

### 2.3 不同秸秆还田量对玉米根系的影响

玉米收获后,采集不同处理根系,利用 WinRHIZO 根系扫描仪进行扫描分析,结果如表 4 所示,秸秆深还田各处理总根长均显著高于 CK 处理,且较 CK 处理分别增加了 40.39%、65.47%、52.13%;各处理总根表面积均大于 CK 处理,其中 S2、S3 处理较 CK 处理分别增加 107.37%、70.04%,均达到了 5% 差异显著性水平,而 S1 处理较 CK 处理增加了 37.36%,差异不显著;从总根体积来看,S1 处理和 S3 处理分别较 CK 处理增加了 34.03% 和 89.49%,但差异不显著,而 S2 处理较 CK 处理增加了 132.13%,达到了 5% 差异显著性水平;从各处理的平均根系直径来看,S2 处理较 CK 处理增加了 46.05%,达到了 5% 差异显著性水平,S1 和 S3 处理较 CK 处理分别增加了 25% 和 22.37%,但差异不显著。

表4 不同处理玉米根系

Table 4 Root data with different treatments

处理 Treatments	总根长 Total root length/cm	总根表面积 Total root surface/cm <sup>2</sup>	总根体积 Total root volume/cm <sup>3</sup>	平均根系直径 Average root diameter/mm
CK	2296.92c	581.18c	15.22b	0.76b
S1	3224.54b	798.31bc	20.40ab	0.95ab
S2	3800.69a	1205.21a	35.33a	1.11a
S3	3494.34ab	988.25ab	28.84ab	0.93ab

综上,秸秆深还田后,各秸秆还田处理根系的总根长、总根表面积、总根体积以及平均根系直径均大于 CK 处理,其中以 S2 处理差异最为显著。这是由于秸秆还田后,降低了土壤容重,增大了土壤孔隙度,增加了土壤中有机质等营养元素含量,使根系能够更好地吸收养分以及向地下延伸。由此说明,秸秆深还田能够促进作物根系生长发育,有利于作物扎根和作物产量的增加。

### 3 结论

1) 秸秆集中深还田后,能够显著降低土壤容重,提高土壤蓄水能力。秸秆集中深还田土壤容重较 CK 处理降低幅度为 2.32% ~ 10.67%,含水量增加幅度为 3.99% ~ 14.68%。其中 12 000 kg·hm<sup>-2</sup> 处理效果最好,与 CK 处理达到了 5% 的差异显著性水平。

2) 秸秆集中深还田对土壤有机质含量的提高具有促进作用。M 土层以 12 000 kg·hm<sup>-2</sup> 处理土壤有机质含量最高,为 28.23 g·kg<sup>-1</sup>,U 土层、D 土层以 S3 处理土壤有机质含量最高。秸秆集中深还田处理土壤有机质较 CK 处理提高幅度为 4.36% ~ 98.01%。

3) 秸秆集中深还田后,各秸秆集中深还田处理土壤全氮含量均高于 CK 处理,其中以 M 土层土壤全氮含量提高最为显著。秸秆集中深还田处理土壤全氮较 CK 处理提高幅度为 3.65% ~ 98.07%。

4) 秸秆集中深还田能够提高土壤 C/N,但只有 M 土层中各秸秆集中深还田处理土壤 C/N 与 CK 处理之间达到了 5% 的差异显著性水平,其余土层各处理之间差异不显著。各秸秆集中深还田处理土壤 C/N 较 CK 处理提高幅度为 3.26% ~ 36.44%。

5) 秸秆集中深还田后能够改善土壤质量,促进作物根系生长,因此各秸秆还田处理根系的总根长、总根表面积、总根体积以及平均根系直径均大于 CK 处理,且 12 000 kg·hm<sup>-2</sup> 处理效果最为显著。

(下转第 78 页)

- 粒锌含量的理论与技术途径[J]. 中国土壤与肥料, 2006, (4): 10-15.
- [2] 胡 焰, 韩光宇, 王 健. 微量元素锌与人体健康初探[J]. 当代医学, 2011, 17(31): 152-153.
- [3] 石荣丽, 邹春琴, 张福锁. 籽粒铁、锌营养与人体健康研究进展[J]. 广东微量元素科学, 2006, 13(7): 1-8.
- [4] 张 勇, 王德森, 张 艳, 等. 北方冬麦区小麦品种籽粒主要矿物质元素含量分布及其相关性分析[J]. 中国农业科学, 2007, 40(9): 1871-1876.
- [5] 孙慧生. 马铃薯育种学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2003: 11.
- [6] 李 华, 毕如田, 程芳琴, 等. 钾锌锰配合施用对马铃薯产量和品质的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2006, (4): 46-50.
- [7] 高 凌, 崔彦红. 对锌营养与人体健康的新认知[J]. 国外医学卫生学分册, 2009, 36, (5): 299-302.
- [8] 田 丰, 张永成, 师 理, 等. 马铃薯不同品系贮藏期品质分析[J]. 中国马铃薯, 2006, 20(1): 19-23.
- [9] 卢建武, 邱慧珍, 张文明, 等. 半干旱雨养农业区马铃薯干物质和钾素积累与分配特性[J]. 应用生态学报, 2013, 24(2): 423-430.
- [10] 孟品品, 刘 星, 邱慧珍, 等. 连作马铃薯根际土壤真菌种群结构及其生物效应[J]. 应用生态学报, 2012, 23(11): 3079-3086.
- [11] 侯叔音, 张春红, 邱慧珍, 等. 高钾肥力土壤增施钾肥对马铃薯的生物效应[J]. 干旱地区农业研究, 2013, 31(4): 172-176.
- [12] 曹玉贤, 田霄霄, 杨习文, 等. 土施和喷施锌肥对冬小麦籽粒锌含量及生物有效性的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2010, 16(6): 1394-1401.
- [13] Obrador A, Alvarez J M, Lopez-Valdivia L M. Relationships of soil properties with Mn and Zn distribution in acidic soils and their uptake by a barley crop[J]. Geoderma, 2007, 137: 432-443.
- [14] 赵 娜, 张振洲, 贾景丽. 硫酸锌浸种对马铃薯生长发育及产量的影响[J]. 杂粮作物, 2010, 30(3): 202-205.
- [15] Tyler G, Olsson T. Plant uptake of major and minor mineral elements as influenced by soil acidity and liming[J]. Plant and Soil, 2001, 230: 307-321.
- [16] Hänsch R, Ralf R M. Physiological function of mineral micronutrients (Cu, Zn, Mn, Fe, Ni, Mo, B, Cl)[J]. Plant Biology, 2009, 12: 259-266.
- [17] 刘宪明, 李 梅, 崔 伟. 硫酸锌浸种对马铃薯品质的影响[J]. 黑龙江农业科学, 2011, (6): 34-36.
- [18] 马光恕, 廉 华, 冯云霞, 等. 叶面喷施硫酸锌对马铃薯淀粉合成和积累的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2010, (4): 46-52.
- [19] 石元值, 马立峰, 韩文炎. 茶叶中磷、钾、铅、锌等 17 种元素的快速测定方法研究[J]. 食品科学, 2006, 27(1): 193-196.
- [20] 鲍士旦. 土壤农业化学分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [21] 平 安, 杨国亭, 高 方. 木醋液叶面喷洒对人参产量及人参皂苷含量的影响[J]. 华北农学报, 2010, 25(4): 235-238.
- [22] 王瑞霞, 王乐丰. 水稻的锌素营养及其吸收利用规律的研究[J]. 延边大学农学学报, 1998, 20(1): 25-27.
- [23] 王永勤, 赵鸿钧. 施用钾肥对青花菜产量品质影响机理的研究[J]. 山西农业大学学报, 1999, 17(3): 218-221.
- [24] 贾景丽, 张振洲, 周 芳, 等. 硫酸锌浸种对马铃薯产量和品质的影响研究[J]. 中国马铃薯, 2010, 24(1): 18-21.
- [25] 宋春风, 徐 坤. 芋对铁锰铜锌吸收分配规律的研究[J]. 西北农业学报, 2004, 13(3): 114-117.
- [26] 白艳姝. 马铃薯养分吸收分配规律及施肥对影响品质的影响[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2007.
- [27] 习 敏. 马铃薯不同品种锰锌吸收、积累、分配规律及施肥响应[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2011.

(上接第 71 页)

#### 参 考 文 献:

- [1] 王 应, 袁建国. 秸秆还田对农田土壤有机质提升的探索研究[J]. 山西农业大学学报, 2007, 27(6): 120-126.
- [2] 陆 欣. 土壤肥料科学[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 292-294.
- [3] 万晓晓, 石元亮, 依艳丽. 长期秸秆还田对白浆土有机碳含量及腐殖质组成的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2012, (3): 7-11.
- [4] Zavalloni C, Alberti G, Biasiol S, et al. Microbial mineralization of biochar and wheat straw mixture in soil: A short-term study applied[J]. Soil Ecology, 2011, 50: 45-51.
- [5] 邹聪明, 王国鑫, 胡小东, 等. 秸秆覆盖对套作玉米苗期根系发育与生理特征的影响[J]. 中国生态农业学报, 2010, 18(3): 496-500.
- [6] Bastian F, Bouziri L, Nicolardot B. Impact of wheat straw decomposition on successional patterns of soil microbial community structure[J]. Soil Biol Biochem, 2009, 41(2): 262-275.
- [7] 马永良, 师宏奎, 张书奎, 等. 玉米秸秆整株全量还田土壤理化性状的变化及其对后茬小麦生长的影响[J]. 中国农业大学学报, 2003, 8: 42-46.
- [8] 赵 伟, 陈雅君, 王宏燕, 等. 不同秸秆还田方式对黑土土壤氮素和物理性状的影响[J]. 玉米科学, 2012, 20(6): 98-102.
- [9] 徐 萌, 张玉龙, 黄 毅, 等. 秸秆还田对半干旱区农田土壤养分含量及玉米光合作用的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2012, 30(4): 153-156.
- [10] 陈尚洪. 还田秸秆腐解特征及其对稻田土壤碳库的影响研究[D]. 四川雅安: 四川农业大学, 2007.
- [11] 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, 1983.
- [12] 吴 婕, 朱钟麟, 郑家国, 等. 秸秆覆盖还田对土壤理化性质及作物产量的影响[J]. 西南农业学报, 19(2): 192-195.