

# 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

战秀梅<sup>1,2</sup>, 彭靖<sup>2</sup>, 李秀龙<sup>2</sup>, 李亭亭<sup>2</sup>, 韩晓日<sup>2</sup>, 宋涛<sup>2</sup>, 潘全良<sup>2</sup>

(1. 农业部植物营养与肥料重点实验室, 北京 100081; 2. 沈阳农业大学 土地与环境学院, 辽宁 沈阳 110866)

**摘要:** 通过进行 2 年的田间小区定位试验, 研究了不同耕作措施及秸秆还田方式对春玉米产量及土壤理化性状的影响。结果表明: 各种秸秆还田方式均可显著提高玉米产量; 秸秆连年还田方式最有利于改善土壤的物理性质、提高土壤养分和有机质含量, 玉米增产幅度最大; 秸秆连年还田配施尿素处理及秸秆隔年还田处理在改善土壤理化性质方面没有表现出明显的优势。深翻、深松耕作方式与普通旋耕相比, 可显著降低深层土壤容重, 提高土壤孔隙度及土壤田间持水量, 增加土壤有机质、氮磷钾含量, 促进春玉米产量提高。深翻耕作方式在改善土壤理化性质和提高玉米产量方面的效果显著优于深松, 并且这种优势在秸秆连年还田条件下达到最大。

**关键词:** 耕作方式; 深翻; 深松; 秸秆还田; 产量; 土壤理化性质

**中图分类号:** S344; S153.01 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7091(2014)03-0204-06

## Effects of Tillage and Crop Residues Incorporation on Spring Maize Yield and Physical and Chemical Properties of Soil

ZHAN Xiu-mei<sup>1,2</sup>, PENG Jing<sup>2</sup>, LI Xiu-long<sup>2</sup>, LI Ting-ting<sup>2</sup>, HAN Xiao-ri<sup>2</sup>,  
SONG Tao<sup>2</sup>, PAN Quan-liang<sup>2</sup>

(1. Key Laboratory of Plant Nutrition and Fertilizer, Ministry of Agriculture, Beijing 100081, China;

2. College of Land and Environment Science, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110161)

**Abstract:** A 2-year located field plot experiment was conducted to study the influences of different tillage methods and crop residues incorporation on the yield of spring maize and physical and chemical properties of soil. The results showed that no matter under what kind of way of crop residues incorporation, the yield of maize with crop residues incorporation was higher than that of without. It was best to improve the physical properties of soil, the contents of soil nutrient and organic matter under crop residues incorporation every year, the increasing range of maize yield was highest of all. The physical and chemical properties of soil under crop residues incorporation with urea and crop residues incorporation once every two years were not better than that of without crop residues incorporation. Compared with the tillage method of normal plowing, it can decrease the soil bulk density remarkable in deep soil layer, increase soil porosity, field capacity, soil organic matter content, N, P and K content in the soil, the yield of spring maize under the tillage methods of subsoiling and subsoiling with mixing the soil in different layer. Subsoiling with mixing the soil in different layer can get more good effects on improving soil physical and chemical properties and maize yield than subsoiling in addition, the effects would be best with crop residues incorporation every year.

**Key words:** Tillage methods; Subsoiling; Subsoiling with mixing the soil in different layer; Crop residues incorporation; Yield; Physical and chemical properties of soil

我国秸秆资源丰富, 2009 年全国农作物秸秆理论资源量为 8.20 亿 t (风干, 含水量为 15%)<sup>[1]</sup>, 但

目前这些秸秆除小部分用作燃料、造纸、畜牧饲料外, 大部分秸秆被就地焚烧, 还田率极低, 仅占总产

收稿日期: 2014-03-26

基金项目: 农业部植物营养与肥料重点实验室开放基金项目(2012-05); 国家科技支撑计划项目(2011BAD16B12; 2012BAD04B03; 2013BAD07B03)

作者简介: 战秀梅(1974-), 女, 辽宁朝阳市人, 副教授, 博士, 主要从事植物营养与施肥研究。

通讯作者: 韩晓日(1960-), 男, 辽宁营口市人, 教授, 博士, 博导, 主要从事植物营养与新型肥料研究。

量的 1/4, 这意味着我国秸秆资源利用潜力巨大。秸秆还田具有显著的培肥改土作用和巨大的生态环境效益, 在一定的气候条件及土壤肥力水平下, 秸秆还田及配套耕作方式对农作物的生长及产量、对土壤的肥力状况等都有不同的影响<sup>[2-3]</sup>, 因此, 针对一定的气候、土壤和作物条件, 应具有相应的秸秆还田理论及技术指导。

一定的耕作深度是保证作物生长的重要条件, 长期以来, 我国在农田耕种上都采用小型拖拉机带灭茬机或双铧犁耕地以及畜力步犁耕地, 这些耕作方式耕深一般较浅, 长此以往, 使土壤耕层变浅, 犁底层加厚变硬, 土壤理化性质变劣<sup>[4]</sup>, 不利于根系伸展发育及对养分的吸收, 从而限制粮食产量的提高<sup>[5]</sup>。深松和深翻是对土壤进行一定深度翻耕, 均可有效的打破犁底层, 降低土壤容重, 增加土壤的通透性<sup>[6]</sup>, 改善土壤结构, 从而有利于植物生长发育状况的改善和产量的提高<sup>[7]</sup>。但 2 种耕作方式所采用的犁具不同: 土壤深翻是通过铧式犁疏松土壤, 扰动土层, 使得上下土层翻转、混合, 是一种有效的农田耕作措施; 土壤深松是利用专用深松旋耕机(深松铲)将土壤耕松而不翻转表土层, 进而打破传统耕作留下的坚实犁底层, 但不会造成上下土层的混合。

耕作方式和秸秆还田是农业生产过程中一项重要的技术措施, 大量研究表明<sup>[8-9]</sup>, 合理的耕作方式和秸秆还田组合既可以消化作物残留秸秆, 改善土壤的水、肥、气、热状况, 增加作物产量, 同时还可提高环境质量和安全性, 生态、社会和经济效益都非常显著, 是确保农业长期可持续发展的有效措施和途径之一<sup>[10]</sup>。因此, 研究不同的深耕措施与秸秆还田方式对作物生长及对土壤理化性质的影响, 进而明确最佳的耕作和秸秆还田组合, 对当地秸秆资源的利用及土壤培肥具有重要的理论和现实意义。本研究基于这一目的, 通过田间小区定位试验, 研究了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, 以期对辽宁省中等偏上肥力水平棕壤区及气候与土壤条件相近区域的春玉米高产及土壤培肥提供技术指导及理论参考。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验区概况

春玉米田间小区定位试验于 2011 年在辽宁省海城市耿庄镇农技推广服务站开始。海城市位于辽宁南部, 辽东半岛北端, 属暖温带大陆性季风气候区, 年平均气温 10℃ 以上, 年积温在 3 000 ~

3 100℃, 无霜期 170 d 左右, 年降雨量在 600 ~ 800 mm。土壤类型为棕壤, 耕层平均厚度为 15 cm, 该地块多年来一直采用玉米连作、普通旋耕(旋耕深度为 15 ~ 20 cm)的耕作栽培方式。试验前土壤基本理化性状为: pH 值 5.14、有机质含量 22.3 g/kg、碱解氮 129.6 mg/kg、速效磷 27.4 mg/kg、速效钾 122.8 mg/kg; 各土层土壤容重分别为: 0 ~ 15 cm 为 1.43 g/cm<sup>3</sup>, 15 ~ 20 cm 为 1.51 g/cm<sup>3</sup>, 25 ~ 30 cm 为 1.45 g/cm<sup>3</sup>。

### 1.2 试验设计

试验设普通旋耕 20 cm、隔年深松和隔年深翻 30 cm 后旋耕 3 种耕作方式以及分别在这 3 种耕作方式基础上进行的无秸秆还田、秸秆连年还田、秸秆隔年还田、秸秆连年还田 + 尿素 4 种秸秆还田方式, 共 12 个处理, 分别为: 旋耕(P)、隔年深松(S)、隔年深翻(SM)、旋耕 + 秸秆隔年还田(PSR1)、隔年深松 + 秸秆隔年还田(SSR1)、隔年深翻 + 秸秆隔年还田(SMSR1)、旋耕 + 秸秆连年还田(PSR2)、隔年深松 + 秸秆连年还田(SSR2)、隔年深翻 + 秸秆连年还田(SMSR2)、旋耕 + 秸秆连年还田 + 尿素(PSR2 + N)、深松 + 秸秆连年还田 + 尿素(SSR2 + N)、深翻 + 秸秆连年还田 + 尿素(SMSR2 + N), 3 次重复, 小区面积 35 m<sup>2</sup>, 随机区组排列。其中深松为下翻 30 cm, 但上下土层的土壤不混合; 深翻为下翻 30 cm, 同时将上下土层土壤混合。秸秆粉碎至约 2 ~ 3 cm 长, 各处理还田量均为 6 000 kg/hm<sup>2</sup>; 各处理施肥量相同, 尿素 525 kg/hm<sup>2</sup>、二铵 150 kg/hm<sup>2</sup>、氯化钾 150 kg/hm<sup>2</sup>, 其中 PSR2 + N、SSR2 + N、SMSR2 + N 3 个处理在秸秆还田的同时, 将作为基肥的尿素分出 96 kg/hm<sup>2</sup>与秸秆混匀后通过旋耕翻入土壤, 其目的为调节 C/N, 其余氮素施用方法同其他处理; 施肥方法同当地, 其中尿素分基肥(300 kg/hm<sup>2</sup>)和大喇叭口期追肥(225 kg/hm<sup>2</sup>)2 次施用, 二铵作口肥施用, 氯化钾作基肥施用。供试玉米品种为郑单 958, 种植密度为 60 000 株/hm<sup>2</sup>, 行距 57 cm, 株距 29.6 cm。田间管理方式与当地相同。

### 1.3 测定项目及方法

本研究中为 2012 年玉米产量及土壤数据。玉米于 5 月 5 日播种, 5 月 16 日出苗, 9 月 25 日收获。收获时各小区取 4 行共 12 m<sup>2</sup>计产、考种。

土壤样本于 11 月 10 日采集, 土壤容重、田间持水量和土壤孔隙度的测定采用环刀法, 分别在 10 ~ 15 cm(耕层)、20 ~ 25 cm(犁底层)和 30 ~ 35 cm(心土层)土层处, 用标准体积为 100 cm<sup>3</sup>环刀采取土壤样本测定。土壤碱解氮的测定采用碱解扩散法; 土

壤速效磷采用 0.5 mol/L  $\text{NaHCO}_3$  浸提, 钼锑抗比色法测定; 土壤速效钾采用  $\text{NH}_4\text{OAc}$  浸提, 火焰光度计测定; 土壤全氮和有机质采用元素分析仪测定; 土壤全磷采用  $\text{NaOH}$  熔融, 钼锑抗比色法测定; 土壤全钾采用  $\text{NaOH}$  熔融, 火焰光度计测定。

#### 1.4 数据处理

采用 Excel 2003 与 SPSS 13.0 软件对试验数据进行方差分析和显著性检验。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同耕作及秸秆还田方式对春玉米产量的影响

由表 1 可见, 不同处理间春玉米产量差异显著, 其中旋耕无秸秆还田处理产量最低, 以深翻配合秸秆连年还田产量最高; 在各秸秆还田方式下, 玉米产量均以深翻 > 深松 > 旋耕, 且各耕作方式下产量差异多数达到显著水平; 在各耕作方式下, 产量总体以秸秆连年还田 > 连年还田 + 尿素 > 隔年还田 > 无秸秆还田。说明在连续多年旋耕的基础上进行适当的深耕, 可有效提高春玉米产量; 在施用化肥的基础上进行一定量的秸秆还田, 也可提高产量; 将 2 种措施

结合起来, 即在深耕的基础上, 每年进行适量的秸秆还田, 可将 2 种措施的增产效果扩大, 从而更加显著的提高玉米产量。

### 2.2 不同耕作及秸秆还田方式对土壤物理性质的影响

2.2.1 不同土层土壤容重 由表 2 可见, 各土层容重表现为犁底层 > 心土层 > 耕层, 可见, 常年旋耕处理会使犁底层变硬, 容重增大。不同秸秆还田方式下, 耕层土壤容重整体表现为秸秆连年还田 < 秸秆隔年还田 < 无秸秆还田, 说明秸秆还田能够降低土壤容重, 且秸秆连年还田表现显著。在无秸秆还田和秸秆隔年还田条件下, 深松、深翻处理的土壤容重均比旋耕处理有所增加, 而深翻与深松两者之间, 总体上深松 < 深翻, 但进行秸秆还田后两者差异不显著, 可能原因是深松处理条件下深松铲在疏松下层土壤的同时对上层土壤有一定的挤压作用所致, 而深翻处理使得上下土层混合, 下层相对较大容重土壤上移, 导致表层土壤容重增大; 而秸秆连年还田条件下, 深松、深翻则相对旋耕有所降低, 分别降低了 2.24% 和 1.23%, 说明深松、深翻处理结合秸秆连年还田能够显著改善表层土壤容重。

表 1 不同耕作及秸秆还田方式对春玉米产量的影响

Tab. 1 Effects of different tillage managements and maize straw-returning on yield of spring maize

处理 Treatments	产量/(kg/hm <sup>2</sup> ) Yield	较旋耕增产 Compared with P		较无秸秆还田增产 Compared with non-straw-return	
		增产量/(kg/hm <sup>2</sup> ) Amount of increased yield	增产率/% Rate of increased yield	增产量/(kg/hm <sup>2</sup> ) Amount of increased yield	增产率/% Rate of increased yield
P	11 010.9g	—	—	—	—
S	11 208.1f	197.2	1.79	—	—
SM	11 455.4e	444.5	4.04	—	—
PSR1	11 118.5g	107.6	0.98	107.6	0.98
SSR1	11 464.8e	453.9	4.12	256.7	2.29
SMSR1	11 491.2e	480.4	4.36	35.9	0.31
PSR2	11 659.2c	648.4	5.89	648.4	5.89
SSR2	11 789.5b	778.6	7.07	581.4	5.19
SMSR2	12 055.6a	1044.7	9.49	600.2	5.24
PSR2 + N	11 296.8f	286.0	2.60	286.0	2.60
SSR2 + N	11 591.3d	580.4	5.27	383.2	3.42
SMSR2 + N	11 744.2b	733.3	6.66	288.8	2.52

注: 同列不同字母表示处理间差异达 5% 显著水平。表 2 ~ 3 同。

Note: Different letters in a column mean significant at the 5% level. The same as Tab. 2 - 3.

在犁底层 (20 ~ 25 cm 土层), 不同耕作方式下土壤容重差异显著。比较发现, 无论有无秸秆还田, 土壤容重均表现为深翻 < 深松 < 旋耕; 不同的秸秆还田方式对该土层的容重影响不显著。在心土层 (30 ~ 35 cm 土层), 不同耕作方式下, 深松、深翻处理对下层土壤容重的降低作用显著, 其中深松处理表现最优, 深翻次之; 各秸秆还田方式间差异不显

著。说明深松、深翻因打破犁底层, 并扰动了心土层, 因此显著降低了下层土壤的土壤容重, 且深翻处理对犁底层影响显著, 而深松处理对心土层影响更大; 而进行秸秆连年还田可显著降低表层土壤容重, 但对深层土壤容重作用不明显。因此深松、深翻处理配合秸秆还田能够显著改善土壤容重。

2.2.2 不同土层土壤孔隙度 孔隙度是土壤物理

性质的重要组成部分,它关系到土壤水、气、热的流通和贮存状况,并影响着作物的根系生长和养分吸收。由表2可见,在10~15 cm土层,秸秆连年还田处理的土壤孔隙度明显高于秸秆隔年还田和无秸秆还田,但在20~25,30~35 cm土层则表现不显著,这是由于仅在耕层进行了秸秆还田,说明进行秸秆还田有利于提高相应深度土层土壤的孔隙度,而对下层土壤孔隙度的影响相对较小,且秸秆连年还田的作用效果最为显著。在不同耕作方式下,无秸秆和秸秆隔年还田下深松、深翻处理在10~15 cm土层土壤孔隙度低于旋耕处理,而秸秆连年还田下则比旋耕有所增加,且在20~25,30~35 cm土层均明显高于旋耕处理。由此说明深松、深翻能够明显提

高下层土壤孔隙度,结合秸秆还田后可有效改善表层土壤孔隙度。

2.2.3 不同土层土壤田间持水量 比较不同层次土壤田间持水量可以发现,无论是否有秸秆还田,不同耕作方式下,深松、深翻处理均比旋耕处理田间持水量有所增加,且深翻略优于深松;说明深松、深翻因打破犁底层,改变土壤孔隙结构,增强了土壤的蓄水能力。在秸秆还田条件下,10~15 cm土层田间持水量整体表现为秸秆连年还田>秸秆隔年还田>无秸秆还田,而在20~25,30~35 cm土层差异不显著,说明秸秆还田处理能够提高表层土壤田间持水量,且连年还田优于隔年还田;短期的秸秆还田对下层土壤田间持水量作用不明显。

表2 不同处理对各土层土壤容重、土壤孔隙度和田间持水量的影响

Tab. 2 Effects of different treatments on bulk density, soil porosity and moisture capacity of different soil layers

处理 Treatments	土壤容重/(g/cm <sup>3</sup> ) Soil bulk density			土壤孔隙度/% Soil porosity			田间持水量/% Soil moisture capacity		
	10~15 cm	20~25 cm	30~35 cm	10~15 cm	20~25 cm	30~35 cm	10~15 cm	20~25 cm	30~35 cm
P	1.42c	1.50ab	1.46ab	46.5c	43.4d	44.9e	23.41d	26.51c	27.61c
S	1.45b	1.48c	1.39d	45.3d	44.0c	47.5b	25.91c	27.59bc	28.37b
SM	1.47a	1.46d	1.45b	44.5e	44.9b	45.4d	27.39bc	28.01b	28.35b
PSR1	1.41cd	1.51a	1.47a	46.8bc	43.0d	44.5e	26.48c	26.37c	27.13c
SSR1	1.44bc	1.48c	1.40d	45.7d	44.0c	47.3b	26.82c	27.15bc	27.98bc
SMSR1	1.45b	1.47cd	1.44bc	45.3d	44.4c	45.8cd	28.03bc	27.14bc	29.05ab
PSR2	1.40d	1.50ab	1.43c	47.0bc	43.3d	46.1c	28.94b	26.42c	28.51b
SSR2	1.37f	1.48c	1.39d	48.2a	44.2c	47.7b	28.54b	26.49c	29.90a
SMSR2	1.39e	1.43e	1.36e	47.6b	46.0a	48.7a	30.33a	29.85a	29.85a

## 2.3 不同耕作及秸秆还田方式对土壤养分含量的影响

2.3.1 土壤有机质含量 由表3可见,深松、深翻相对旋耕处理的土壤有机质均显著增加。不同秸秆还田方式下有机质含量也有所改变,秸秆隔年还田比无秸秆还田处理降低了3.42%;而秸秆连年还田相对无秸秆还田增加了8.42%,秸秆连年还田+尿素比无秸秆还田增加了9.80%。由此可见,连年还田能够显著提高土壤有机质含量,其中秸秆连年还田+尿素略优于秸秆连年还田,但秸秆隔年还田在短时间内并未提高土壤有机质含量。

2.3.2 土壤碱解氮、速效磷、速效钾含量 由表3可见,在相同的秸秆处理方式下,除隔年还田深松处理的碱解氮含量显著低于相应的旋耕处理外,总体上深松和深翻处理碱解氮含量均显著高于相同秸秆还田方式下的旋耕处理,而深松、深翻两者相比,深翻处理碱解氮含量显著高于深松处理;在不同的秸秆处理方式下,以秸秆连年还田及连年还田+尿素处理的碱解氮含量最高;秸秆隔年还田处理对碱解氮含量的提高作用不明显,可能是由于秸秆一次还田后经2年腐解,氮素大部分已释放。

各处理间土壤速效磷含量差异显著,无论有无秸秆还田,速效磷含量均以深翻>深松>旋耕,且相差幅度较大,深翻和深松处理整体相对旋耕处理分别增加了49.83%和22.18%,由此说明深翻、深松处理能够显著提高土壤速效磷含量,且深翻优于深松。在相同的耕作方式下,除秸秆连年还田+尿素处理速效磷含量有增加外,其他秸秆还田方式均使得速效磷含量不同程度降低,这可能是由于秸秆施入土壤后,促进了微生物的繁殖及对秸秆和土壤中磷的吸收,故使得速效磷含量降低。

不同耕作方式下,土壤速效钾含量有很大差异,表现为深翻>深松>旋耕,深翻、深松相对旋耕处理土壤速效钾显著增加,增幅分别为49.97%和48.32%;不同秸秆还田方式下,秸秆连年还田条件下土壤速效钾较无秸秆还田处理显著增加,秸秆隔年还田与无秸秆处理间差异不显著。说明深松、深翻促进了土壤速效钾的释放,秸秆连年还田可使土壤速效钾含量显著提高,秸秆隔年还田对土壤速效钾的提高作用不明显。

2.3.3 土壤全氮、磷、钾养分含量 由表3可见,在

不同的耕作及秸秆还田条件下,土壤全氮、磷、钾含量表现出相同的趋势,即深翻和深松条件下其含量高于旋耕处理,且总体上深翻>深松;秸秆还田条件

下其含量高于无秸秆还田的相应处理,且以秸秆连年还田处理含量较高,秸秆连年还田同时施尿素的处理没有表现出明显的优势。

表3 不同耕作及秸秆还田方式对土壤养分含量的影响

Tab.3 Effects of different tillage managements and maize straw-returning on soil nutrient content

处理 Treatments	碱解氮 /(mg/kg) Avail. N	速效磷 /(mg/kg) Avail. P	速效钾 /(mg/kg) Avail. K	全氮/(g/kg) Total N	全磷/(g/kg) Total P	全钾/(g/kg) Total K	有机质/(g/kg) Organic matter
P	112.80h	32.20e	85.24g	0.80d	0.49f	18.98e	21.08c
S	140.10e	39.44d	117.37de	0.86c	0.58e	20.60d	22.68b
SM	141.91d	47.03b	111.22e	0.90b	0.68c	20.92d	22.22b
PSR1	139.07e	27.56f	87.75fg	0.85c	0.57e	21.75bc	20.02d
SSR1	120.27g	31.77e	122.74d	0.85c	0.57e	22.00b	21.29c
SMSR1	149.63c	43.65c	108.54e	0.89b	0.69c	22.32b	22.40b
PSR2	129.54f	31.77e	107.33e	0.86c	0.58e	22.24b	21.96bc
SSR2	146.54cd	37.50d	182.17a	0.87bc	0.64d	23.43a	24.92a
SMSR2	161.09a	46.46b	182.69a	0.95a	0.85a	22.70ab	24.64a
PSR2 + N	137.01e	32.72e	94.51f	0.83d	0.58e	21.73bc	21.79bc
SSR2 + N	154.27b	43.08c	133.66c	0.94a	0.67c	23.18a	25.08a
SMSR2 + N	143.45d	49.00a	159.65b	0.92ab	0.78b	23.54a	25.58a

### 3 讨论与结论

由于秸秆还田改善了土壤理化性质,进而影响了作物生长,目前这一观点得到了国内外众多学者的普遍认同<sup>[11-12]</sup>。前人关于秸秆还田对作物产量的影响进行了大量的研究,多数研究认为秸秆还田可以提高作物产量<sup>[13-14]</sup>,也有增产效果不显著及减产的报道。分析减产的原因可能是秸秆的单独还田导致土壤碳、氮比例失衡<sup>[15]</sup>,或者是耕作方式不当或播种质量差导致出苗质量下降<sup>[16]</sup>。本研究结果表明,进行秸秆还田的处理,无论是以哪种方式还田,其产量总体上显著高于相同耕作方式下的无秸秆还田处理,且以秸秆连年还田>连年还田+尿素>隔年还田,其中秸秆连年还田较无秸秆还田产量提高幅度为5.19%~5.89%,其他秸秆还田方式下产量的提高幅度较小;各秸秆还田方式对土壤各理化性质的影响规律有所不同,总体上是以连年还田最有利于改善土壤的物理性质、提高土壤养分和有机质含量,连年还田+尿素处理在协调土壤养分含量方面没有比连年还田处理表现出优势,而秸秆隔年还田较无秸秆还田处理不但没有增加土壤养分含量,反而使得土壤有机质和速效磷含量显著降低。在我国北方的气候条件下,秋收后土壤温度低,此时至第2年春播期间,还田的秸秆基本未腐解,在收获后进行秸秆还田的同时,将部分尿素同时施入,虽然调节了C/N,但减少基施氮肥量所产生的负面影响大于调节C/N所产生的有益影响,故秸秆还田+尿素处理没有表现出促进作物增产及调节土壤理化性质的明

显优势;外源加入的有机物质,促进了土壤微生物的繁殖与活动,刺激了土壤原有机质的分解,即发生了正激发效应,在秸秆隔年还田条件下,第2年没有外源有机物质的加入,因而导致土壤有机质含量降低,而在秸秆连年还田条件下,由于后续又有大量秸秆加入,从而掩盖了激发效应所导致的有机质含量的降低。因此,秸秆连年还田更有利于培肥地力及提高作物产量,而秸秆隔年还田在短时期内尚不能表现出其调节土壤养分状况的作用。相关研究还表明,秸秆还田可以增加土壤有机质和缓解土壤氮流失,提高土壤微生物碳、氮的固持及供给效果,增加土壤微生物量C/N,提高土壤供肥水平<sup>[17]</sup>;增施秸秆使氮素归还于土壤的同时激发了土壤固有氮微生物的活性,土壤氮素提高<sup>[18]</sup>;人们不仅观察到碳、氮的激发效应,也观察到磷<sup>[19]</sup>元素的激发效应。

现行的耕作制度会造成耕层变薄,耕层与犁底层之间形成较明显的界限,犁底层紧实、坚硬<sup>[20]</sup>,成为耕作层与深层土壤之间水、肥、气、热等交流的障碍,严重影响了土壤功能的充分发挥<sup>[21]</sup>。土壤耕作是农业生产中的一项重要措施,以不同外部机械力形式作用于土壤并从本质上改变土壤物理化学性状,调节土壤的水、肥、气、热等因子,达到提高作物产量的目的。本研究结果也表明,深翻和深松与普通旋耕相比,可显著降低深层土壤容重和增加孔隙度,提高土壤田间持水量,增加土壤有机质、氮磷钾含量,促进春玉米产量提高。因此可以在适当年限进行深耕处理,相关研究也曾提出相同的建议<sup>[9-10]</sup>。

深翻和深松 2 种耕作方式相比,在无秸秆还田条件下,深翻处理的犁底层和心土层土壤容重显著低于深松处理,土壤孔隙度、全量及有效氮、磷含量均显著高于深松处理,这一结果与相关研究报道<sup>[22]</sup>相似;进行秸秆还田后,这些理化指标在深翻和深松耕作方式之间的差异扩大,并且在秸秆连年还田条件下达到最大;同时在各秸秆还田条件下,深翻耕作方式下的玉米产量总体显著高于深松处理;在各秸秆还田条件下,深翻与深松处理间的田间持水量、全钾和速效钾以及有机质含量均没有表现出明显的差异。土壤深翻较深松表现出来的更加显著的改善土壤理化性质和提高玉米产量的优势,是由于深翻不仅打破了犁底层,而且还可将耕层较肥沃的土壤带入下层,可促进深层土壤的熟化,加速土壤氮素的转化<sup>[23]</sup>,且在秸秆还田条件下,深翻与深松相比更有利于较深土层根系的生长<sup>[5]</sup>,根系残体及大量的根系分泌物也加剧了微生物的繁殖,改善了土壤微生物环境,促进了有机质分解及所施用秸秆的腐解,增加了土壤养分含量,从而促进玉米产量提高。总之,深翻使得受扰动土层土壤三相比更加协调<sup>[24]</sup>,更有利于作物的生长发育和产量的提高,并且在连年秸秆还田条件下,这种优势表现得更加明显。

综上所述,在本试验条件下及土壤和气候相近区域,在施肥及田间管理相同的情况下,在普通旋耕的基础上采取隔年深耕或在适当的年限进行深耕处理,同时每年进行玉米秸秆还田,还田量在 6 000 kg/hm<sup>2</sup>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;并且深翻配合秸秆连年还田的效果显著优于深松条件下进行秸秆还田。

#### 参考文献:

- [1] 彭 靖. 对我国农业废弃物资源化利用的思考[J]. 生态环境学报, 2009, 18(2): 794 - 798.
- [2] Dalal R C, Mayer R J. Long-term trends in fertility of soils under continuous cultivation and cereal cropping in southern Queensland II. Total organic carbon and its rate of loss from the soil profile [J]. Australian Journal of Soil Research, 1986, 24(2): 281 - 292.
- [3] 胡代泽. 我国农作物秸秆资源的利用现状与前景[J]. 资源开发与市场, 2000, 16(1): 19 - 20.
- [4] 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.
- [5] 战秀梅, 李秀龙, 韩晓日, 等. 深耕及秸秆还田对春玉米产量、花后碳氮积累及根系特征的影响[J]. 沈阳农业大学学报, 2012, 43(4): 461 - 466.
- [6] Nidal H. Abu-Hamdeh. Compaction and subsoiling effects on corn growth and soil bulk density [J]. Soil Science Society of America, 2003, 67(4): 1212 - 1218.
- [7] 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.
- [8] 江永红, 宇振荣, 马永良. 秸秆还田对农田生态系统及作物生长的影响[J]. 土壤通报, 2001, 32(5): 209 - 213.
- [9] 刘世平, 张洪程, 戴其根, 等. 免耕套种与秸秆还田对农田生态环境及小麦生长的影响[J]. 应用生态学报, 2005, 16(2): 393 - 396.
- [10] 丁昆仑, Hann M J. 耕作措施对土壤特性及作物产量的影响[J]. 农业工程学报, 2000, 16(3): 28 - 31.
- [11] Blanco-Canqui H, Lal R. Soil structure and organic carbon relationships following 10 years of wheat straw management in no-till [J]. Soil and Tillage Research, 2007, 95(1/2): 240 - 254.
- [12] 劳秀荣, 吴子一, 高燕春. 长期秸秆还田对土壤肥力的影响[J]. 农业工程学报, 2002, 18(2): 49 - 52.
- [13] 劳秀荣, 孙伟红, 王 真, 等. 秸秆还田与化肥配合施用对土壤肥力的影响[J]. 土壤学报, 2003, 40(4): 618 - 623.
- [14] 赵 鹏, 陈 阜, 马新明, 等. 麦玉两熟秸秆还田对作物产量和农田氮素平衡的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2010, 28(2): 162 - 166.
- [15] 刘巽浩, 高旺盛, 朱文珊. 秸秆还田的机理与技术模式[M]. 北京: 中国农业出版社, 2001: 14 - 15.
- [16] 李少昆, 王克如, 冯聚凯, 等. 玉米秸秆还田与不同耕作方式下影响小麦出苗的因素[J]. 作物学报, 2006, 32(3): 463 - 465, 478.
- [17] 张 静, 温晓霞, 廖允成, 等. 不同玉米秸秆还田量对土壤肥力及冬小麦产量的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2010, 16(3): 612 - 619.
- [18] 戴志刚. 秸秆养分释放规律及秸秆还田对作物产量和土壤肥力的影响[D]. 武汉: 华中农业大学, 2009.
- [19] Fokin A D, Radzhabova P A. Availability of phosphates in soils as a function of the state and transformation of organic matter [J]. Eurasian Soil Science, 1996, 29: 1216 - 1221.
- [20] 王鸿斌, 陈丽梅, 赵兰坡, 等. 吉林玉米带现行耕作制度对黑土肥力退化的影响[J]. 农业工程学报, 2009, 25(9): 301 - 305.
- [21] 刘绪军, 荣建东. 深松耕法对土壤结构性能的影响[J]. 水土保持应用技术, 2009(1): 9 - 11.
- [22] 李永平, 王孟本, 史向远, 等. 不同耕作方式对土壤理化性状及玉米产量的影响[J]. 山西农业科学, 2012, 40(7): 723 - 727.
- [23] 刘红杰, 习向银, 刘朝科, 等. 深翻耕和连作对植烟土壤养分及其生物活性的影响[J]. 福建农业学报, 2011, 26(2): 298 - 303.
- [24] 李明德, 刘琼峰, 吴海勇, 等. 不同耕作方式对红壤旱地土壤理化性状及玉米产量的影响[J]. 生态环境学报, 2009, 18(4): 1522 - 1526.