

黑土坡耕地秸秆覆盖对表层土壤结构和导气性的影响

陈帅^{1,2}, 陈强^{1,2}, 孙涛¹, 张光辉³, 张兴义¹

(1. 中国科学院 东北地理与农业生态研究所 黑土区农业生态重点研究室, 哈尔滨 黑龙江 150081;

2. 中国科学院大学, 北京 100049; 3. 黑龙江省农垦水务局 哈尔滨 黑龙江 150090)

摘要: [目的] 调查研究秸秆覆盖对黑土坡耕地表层土壤结构和导气性的影响, 揭示秸秆覆盖措施对农田黑土土壤物理性状和功能的影响。[方法] 利用黑土农田保护性耕作连续 7 a 的坡耕地长期定位田间试验, 系统观测秸秆覆盖免耕处理和传统耕作处理的表层 0—10 cm 的土壤容重、孔隙度、饱和含水量、田间持水量和土壤导气率等指标, 并加以分析。[结果] (1) 与秸秆移除传统耕作相比, 秸秆覆盖免耕处理能够显著增加表层土壤容重、饱和含水量以及田间持水量, 减少总孔隙度和非毛管孔隙度; (2) 秸秆覆盖免耕处理使土壤水稳性团聚体显著增加, 水稳性大团聚体(>0.25 mm) 的含量、平均重量直径(MWD)和几何平均直径(GWD)分别提高了 10.41%, 45.28% 和 22.58%, 且土壤表层导气性降低了 30%。[结论] 连续 7 a 的秸秆覆盖免耕改善了表层土壤团粒结构, 增加了保水能力, 但导气性较差。

关键词: 秸秆覆盖; 土壤结构; 导气性; 坡耕地

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2016)01-0017-05

中图分类号: S152.4

文献参数: 陈帅, 陈强, 孙涛, 等. 黑土坡耕地秸秆覆盖对表层土壤结构和导气性的影响[J]. 水土保持通报, 2016, 36(1): 17-21. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2016.01.004

Effects of Straw Mulching on Topsoil Structure and Air Permeability in Black Soil Sloping Farmland

CHEN Shuai^{1,2}, CHEN Qiang^{1,2}, SUN Tao¹, ZHANG Guanghui³, ZHANG Xingyi¹

(1. Key Laboratory of Mollisols Agroecology, Northeast Institute of Geography and Agroecology,

Chinese Academy of Sciences, Harbin, Heilongjiang 150081, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. Water Utilities Bureau of State Farms of Heilongjiang Province, Harbin, Heilongjiang 150090, China)

Abstract: [Objective] The effect of straw mulching (SM) on topsoil structure and air permeability were investigated to reveal the influences of straw mulching on topsoil physical properties and function in black soil sloping farmland. [Methods] This study was based on a long-term (7 years) field observation experiment of conservation tillage on black soil. Topsoil (0—10 cm) bulk density, porosity, saturated water content, field capacity, soil water stable aggregate and air permeability was analyzed and compared between straw mulching and conventional tillage (CT) field experiments. [Results] (1) The topsoil bulk density, saturated water content and field capacity of SM were higher than that of CT, while the soil total porosity and non-capillary porosity of SM was lower than that of CT. (2) Compared to the CT, topsoil water stable aggregate content (>0.25mm), mean weight diameter and geometric weight diameter in the SM soil was increased the by 10.41%, 45.28% and 22.58%, respectively, while soil air permeability was decreased by 30%. [Conclusion] Continuous 7-year SM improved the topsoil aggregate structure and water retention, but decreased the air permeability in black soil sloping farmland.

Keywords: straw mulching; soil structure; soil air permeability; sloping farmland

中国是农业大国, 每年生产大量农作物的同时会产生大量的农作物秸秆。现阶段农民除了将秸秆作

为烧柴和牲畜饲料利用外, 常以田间焚烧或者乱扔乱放的方式处理农作物秸秆。秸秆富含大量有机碳,

收稿日期: 2014-11-25

修回日期: 2014-12-20

资助项目: 国家自然科学基金面上项目“黑土坡长因子”(Y2GJ091001); 国家支撑计划课题“三江平原规模化农业循环技术集成与示范”(2012BAD14B06)

第一作者: 陈帅(1991—), 男(汉族), 山西省长治市人, 博士研究生, 研究方向为土壤保护。E-mail: chenshuai13@mails.ucas.ac.cn.

通讯作者: 张兴义(1966—), 男(汉族), 黑龙江省密山市人, 博士, 研究员, 主要从事黑土生态研究。E-mail: zhangxy@neigaehrb.ac.cn.

N, P, K 等物质, 长期露天堆弃, 秸秆会由于日晒雨淋和微生物的分解逐渐腐烂并随雨水进入地面和地下水, 导致水体的富营养化^[1-2]。田间焚烧秸秆的危害更为严重, 如污染大气、引发火灾以及破坏农田生态环境等^[3-4]。秸秆覆盖还田是秸秆有效利用的重要途径之一, 长时间的秸秆覆盖免耕可以通过改变土壤的结构, 改善土壤的理化性状和增加表层生物多样性, 同时又能解决对秸秆处置不当而带来的环境污染问题^[5-7]。

土壤孔隙中存在着土壤空气和水分, 土壤导水和导气的状况则直接影响着土壤中的微生物活动、物理和化学过程, 进而影响农作物对养分的吸收、生长乃至作物产量, 是土壤功能的重要指标^[8]。国外学者关于土壤导气率已有了大量的研究, 发现非扰动土壤的导气率与土壤孔隙结构的关系密切^[9-10], 并分析了土壤导气率、导水率与土壤含水量之间的关系^[11-12]。国内对于土壤导气率的研究多数集中在对土壤导气率测量的模型及影响土壤导气率的变化特征研究^[13-15], 对于秸秆覆盖后农田土壤导气性变化的研究并不多见, 尤其是东北黑土区鲜见报道。本文通过 7 a 的田间定位试验对土壤物理基本性状指标观测, 分析表层土壤结构和导气率的变化特征, 研究秸秆覆盖对黑土坡耕地表层土壤结构和导气性的影响, 旨在为了解秸秆覆盖措施对黑土土壤理化性状和功能的影响提供依据。

1 材料与方 法

1.1 研究区概况

试验样地为水利部水土保持监测网络骨干站点海伦坡面水土保持监测场, 位于黑龙江省海伦市前进乡光荣村(47°21'N, 126°50'E), 海拔 210 m, 地形为黑土区的典型漫川漫岗, 属温带大陆性季风气候区, 冬季寒冷干燥, 夏季炎热多雨, 年均气温 1.5 °C, 年均降水量 530 mm, 年均有效积温 2 450 °C, 年均日照时数 2 600~2 800 h, 年均总辐射 113 MJ/cm², 地下水位埋深 90 m。土壤为典型黑土, 黑土层厚度(A 层)约为 30 cm, 0—20 cm 土层砂粒、粉粒和黏粒的含量分别为 31.6%, 30.8% 和 37.6%, 土层有机质含量为 42.1 g/kg, 该试验地起始本底数据详见 Chen Y 等^[7]。

1.2 试验设计

本试验为长期定位试验, 始建于 2007 年, 试验设水土保持耕作措施: 少耕和秸秆覆盖免耕, 以传统顺坡垄作为对照。本试验选取秸秆覆盖免耕(SM)和秸秆移除传统耕作(CT)两个处理, 秸秆覆盖免耕处理为除播种外不进行任何耕作, 用除草剂控制杂草, 在

秋季收获后将秸秆人工切割成长 < 20 cm 后覆盖于地表全部还田, 次年原垄种植。秸秆移除传统耕作处理为在传统耕作(顺坡垄作, 苗期人工除草两次, 中耕起垄 2 次)的基础上, 在秋季收获后将秸秆全部移除, 并旋耕起垄。每项措施 3 次重复, 共 6 个小区。小区坡度均为 5°, 面积 20 m × 4.5 m, 玉米—大豆两年轮作。田间观测时间为 2014 年 8—9 月, 当季指示作物为大豆。在 0—10 cm 土层用环刀(高 5 cm, 体积 100 cm³)取样测定土壤的水分物理性状, 同时采集 0—10 cm 土层的土壤样品, 室内风干后用于水稳性团聚体的测定。

1.3 测定项目与方法

土壤容重采用环刀法测定, 饱和含水量、田间持水量、毛管孔隙度均采用环刀浸泡法测定, 土壤孔隙度和非毛管孔隙度采用计算法分别通过公式(1), (2) 计算得出^[16]:

$$f = (1 - \rho_b / \rho_s) \times 100\% \quad (1)$$

$$f_2 = f - f_1 \quad (2)$$

式中: ρ_b ——土壤容重(g/cm³); ρ_s ——土壤比重(取值 2.65 g/cm³); f , f_1 和 f_2 ——土壤总孔隙度(%), 土壤毛管孔隙度(%) 和土壤非毛管孔隙度(%)。

土壤水稳性团聚体采用真空慢速浸润湿筛法测定^[17], 具体操作为: 称取过 10 mm 筛的风干土壤样品 50 g, 通过真空蒸馏水慢速浸润土壤样品, 充分浸润 2~4 min 后, 样品转移至团聚体分析仪(日本 Daiki)套筛顶部(套筛孔径自上而下为 2, 1, 0.5, 0.25, 0.106 mm), 蒸馏水浸泡 8 min, 竖直震荡 2 min, 每分钟循环 30 次, 振动幅度 3 cm。50 °C 烘干 48 h 至恒重, 称重, 计算团聚体的质量分数。利用各粒级团聚体数据分别按照公式(3), (4), (5) 计算大于 0.25 mm 团聚体 $R_{0.25}$, 平均重量直径 MWD 和几何平均直径 GWD,

$$R_{0.25} = \frac{M_{i>0.25}}{M_T} \quad (3)$$

式中: M_T ——团聚体总重量(g); $M_{i>0.25}$ ——粒径大于 0.25 mm 的团聚体的重量(g)。

$$MWD = \frac{\sum_{i=1}^n W_i X_i}{\sum_{i=1}^n W_i} \quad (4)$$

式中: X_i ——筛分出来的任一粒径范围团聚体的平均直径(mm); W_i ——任一粒径范围团聚体的总量占土壤样品干重的分数。

$$GWD = \exp\left(\frac{\sum_{i=1}^n \lg X_i / \sum_{i=1}^n W_i}{\sum_{i=1}^n W_i}\right) \quad (5)$$

式中: W_i ——平均直径为 X_i 的团聚体重量(g); $\sum_{i=1}^n W_i$ ——土壤样品的总重(g)。

田间土壤表层的导气性 K_a 采用 PL-300 型土壤导气率测定仪(德国 Umwelt-Geräte-Technik Gm-bH)中的表层测量室测定,可同时实时测定观测区的土壤含水量^[18],可保持土壤多孔系统完全不被扰动。

土壤表层 0—10 cm 的土壤水分特征曲线采用 HYPROP 系统(德国 UMS)(低吸力范围 0~850 hPa)对土壤脱水过程的持水特性进行测定,在土壤自然蒸发的条件下,通过运用不同深度的 2 个微型张力计系统和精确称重系统测定土壤水分特征曲线^[19]。

1.4 数据分析

采用 SAS 9.2 软件对试验数据进行统计分析,通过 Origin 8.6 完成绘图。

2 结果与分析

2.1 秸秆覆盖对土壤容重和孔隙度的影响

秸秆覆盖对土壤表层的容重和孔隙度均有影响(表 1)。通过统计分析农田黑土表层的容重、总孔隙度和非毛管孔隙度均有显著差异,秸秆覆盖增加了土壤表层的容重和毛管孔隙度,但降低了土壤表层的非毛管孔隙度和总孔隙度。秸秆覆盖免耕和传统耕作处理的土壤表层毛管孔隙度分别为 44.19% 和 42.27%,虽差异不显著,但秸秆覆盖处理的农田土壤表层毛管孔隙度要大于对照组。土壤容重和总孔隙度是反映土壤紧实状况的重要指标,经过 7 a 的秸秆覆盖免耕作业,除播种外未疏松表层土壤,非毛管孔隙度降低,紧实度增加。然而已有对黑土区平地农田进行秸秆覆盖免耕试验的结果显示,与传统旋耕作业相比,在秸秆覆盖免耕到第 7 a 时,土壤表层容重已无显著差异,具有恢复土壤质量作用^[20]。本研究结果表明,坡耕地由于水土流失,导致黑土层变薄,土壤有机质含量降低,土壤退化现象更为严重^[21],实施秸秆覆盖免耕恢复土壤质量所需时间更长。

表 1 秸秆覆盖对土壤表层容重和孔隙度的影响

处理	容重	总孔隙度	毛管孔隙度	非毛管孔隙度
秸秆覆盖	1.27 ^a	52.08 ^a	44.19 ^a	7.88 ^a
传统耕作	1.13 ^b	57.53 ^b	42.27 ^a	15.26 ^b

注:同列不同小写字母表示差异显著($p < 0.05$)。下同。

土壤总孔隙包括毛管孔隙和非毛管孔隙,其大小及比值能够反映土壤结构,进而决定土壤的持水性和导气性。测定结果显示,两种处理的毛管孔隙度均明显大于非毛管孔隙度,说明在黑土农田土壤孔隙中,毛管孔隙占主要地位,非毛管孔隙差异将对土壤通气和排水性的影响较大^[22],因此从土壤孔隙及其

结构判断秸秆覆盖处理较传统耕作导水导气能力降低。

2.2 秸秆覆盖对土壤水稳性团聚体的影响

土壤水稳性团聚体是衡量土壤质量的重要指标,同时也是反映土壤结构的重要指标。黑土中大于 0.25 mm 的大团聚体含量高,秸秆覆盖处理能够显著增加大粒级土壤水稳性团聚体的含量。土壤水稳性团聚体的各粒级中,秸秆覆盖处理大于 2 mm 的粒级所占比例最大为 34.27%,而传统耕作处理中 0.5~1 mm 的粒级占的比例最大为 27.62%(图 1)。

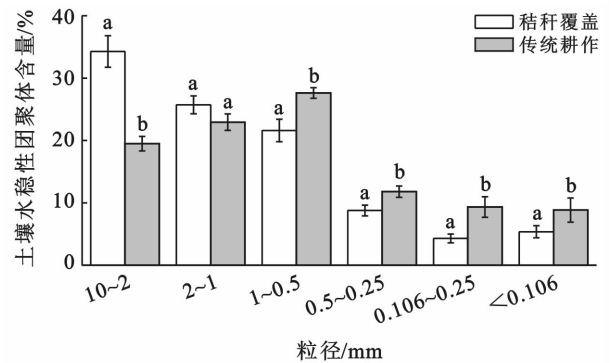


图 1 秸秆覆盖和传统耕作下的各级粒径水稳性团聚体含量

分布大于 0.25 mm 的团聚体一般称为土壤团粒结构体,因为团粒结构是土壤中最优的结构体,且其数量与土壤肥力状况呈正相关^[23],故本试验测定以 >0.25 mm 团聚体的比例($R_{0.25}$)来说明土壤团聚体的数量变化。土壤团聚体的平均重量直径(MWD)和几何平均直径(GWD)是反映土壤团聚体大小分布状况的常用指标,且其值越大表示团聚体的平均粒径团聚度越高、稳定性越强^[24]。秸秆覆盖处理下的农田 0—10 cm 土层中 $R_{0.25}$ 的值为 90.35%,显著高于秸秆移除处理组的 81.83%,说明秸秆覆盖显著提高了农田土壤表层 0—10 cm 内 >0.25 mm 的团聚体数量,使土壤团粒结构体的数量增多(表 2)。

表 2 秸秆覆盖对土壤水稳性团聚体稳定性的影响

处理	$R_{0.25}/\%$	平均质量直径/mm	平均几何直径/mm
秸秆覆盖	90.35 ^a	2.31 ^a	1.14 ^a
传统耕作	81.83 ^b	1.59 ^b	0.93 ^b

注:(1) $R_{0.25}$ 指土壤中 >0.25 mm 的团聚体数量;(2) MWD 指土壤中团聚体的平均质量直径;(3) GMD 指土壤中团聚体的平均几何直径。

秸秆覆盖处理下的农田土壤 0—10 cm 土层中团聚体的 MWD 和 GWD 较秸秆移除传统耕作处理分别提高 45.28% 和 22.58%,说明秸秆覆盖处理农田

土壤表层团聚状况好于秸秆移除处理,可促进良好土壤结构的形成。这是由于秸秆覆盖处理除播种对土壤进行较小的扰动外,无其他耕作处理,极大地降低了常规土壤耕作对土壤的破碎化作用^[24],秸秆覆盖还田还可增加土壤表层有机碳,促进土壤团聚化作用,使土壤大团聚体数量和直径增大^[25]。

2.3 秸秆覆盖对土壤蓄水和持水的影响

两种处理对农田黑土表层土壤的水分特征常数有显著的差异(表 3)。秸秆覆盖处理下的农田表层土壤饱和含水量和田间持水量分别为 49.82% 和 39.36%,显著高于传统耕作处理农田表层土壤饱和含水量和田间持水量 44.21% 和 34.96%。饱和含水量和田间持水量可以反映土壤的最大蓄水持水能力和土壤有效水的上限,因此秸秆覆盖处理相较于传统耕作处理,可以增加农田表层土壤的蓄水和持水能力,并能增加土壤有效水。

表 3 秸秆覆盖对土壤水分特征常数的影响

处理	饱和含水量/%	田间持水量/%
秸秆覆盖	49.82 ^a	39.36 ^a
传统耕作	44.21 ^b	34.96 ^b

2.4 秸秆覆盖对土壤表层导气性的影响

利用 PL-300 型土壤导气率测定仪对田间表层土壤导气率及可测定观测区的土壤含水量进行测定(表 4)。秸秆覆盖免耕农田土壤表层导气率 K_a 较传统耕作处理降低 30%。秸秆覆盖处理总孔隙和非毛管孔隙低(见表 1),且土壤含水量高是其原因所在。在测定土壤导气性的同时,对观测区的农田表层土壤含水量进行了测定,发现秸秆覆盖处理的表层土壤含水量 34.20% 显著高于传统耕作处理的值 30.41%,秸秆覆盖能够增加土壤含水量已得到国内外广泛证实^[9,22]。由于在土壤中空气和水分共同存在于土壤孔隙中,在同一土壤中土壤水分含量的增加必定会导致空气含量的减少,并降低其通透性^[8],因此秸秆覆盖处理相较于传统耕作处理有较高的土壤含水量和较低的土壤导气性。

表 4 秸秆覆盖对土壤导气性的影响

处理	导气性/($\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$)	含水量/%
秸秆覆盖	14.88 ^a	34.20 ^a
传统耕作	21.34 ^b	30.41 ^b

2.5 秸秆覆盖对土壤水分特征曲线的影响

秸秆覆盖影响了农田表层土壤水分特征曲线(图 2)。土壤水分特征曲线是指土壤水的基质势或土壤

水吸力随土壤含水率变化而变化的关系曲线,表示的是土壤水的能量和数量之间的关系^[8]。当土壤的基质势为 0 时,土壤处于饱和状态。测定结果显示,秸秆覆盖处理可提高水分特征曲线,即可增加土壤饱和含水量、田间持水量和土壤有效水量。随着 PF(土水势水柱厘米数的对数值)的不断增加,即水吸力不断增加,2 种处理土壤表层保持的土壤水分均会下降,且在同一 PF 值下,2 种处理土壤表层保持的土壤水分数量不同,秸秆覆盖处理的土壤表层保持的土壤水分数量要大于传统耕作处理。由于土壤水分特征曲线的高低反映了土壤持水能力的强弱,即曲线越高,持水能力越强,因此,从图中可以看出秸秆覆盖处理的表层土壤蓄水和持水能力高于传统耕作处理。

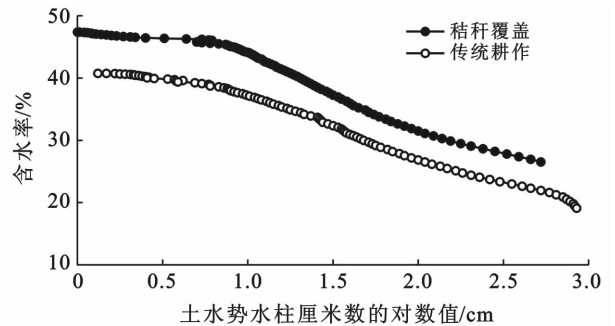


图 2 秸秆覆盖和传统耕作对土壤表层水分特征曲线的影响

3 结论

较传统耕作,侵蚀坡耕地秸秆覆盖(7 a)尚未能降低表层土壤容重,未能增加土壤总孔隙度,但显著提高了表层土壤中 $R_{0.25}$,且 MWD 和 GWD 值也显著高于传统耕作,表明秸秆覆盖可以促进表层土壤大颗粒团聚体的形成,提高土壤团粒结构的稳定性,增加土壤抗侵蚀性。

连续 7 a 秸秆覆盖免耕,坡耕地表层土壤非毛管孔隙度仍低于传统耕作,且土壤含水量高,致使其表层土壤导气性低于传统耕作,有可能对土壤微生物种群和土壤养分转化产生影响。

黑土坡耕地由于水土流失严重,导致黑土层变薄、土壤有机质降低,因此秸秆覆盖免耕恢复土壤结构比平地更为困难。但是与传统耕作相比,秸秆覆盖能够增加土壤表层的蓄水和持水能力,增加水土保持功效。因此秸秆覆盖对黑土坡耕地的表层土壤结构恢复作用还有待于进一步研究。

[参 考 文 献]

- [1] Willcock J, Magan N. Impact of environmental factors on fungal respiration and dry matter losses in wheat

- straw[J]. Journal of Stored Products Research, 2000, 37(1):35-45.
- [2] Ferrier M D, Butler Sr B R, Terlizzi D E, et al. The effects of barley straw(*Hordeum vulgare*) on the growth of freshwater algae[J]. Bioresource Technology, 2005, 96(16):1788-1795.
- [3] 刘天学,纪秀娥. 焚烧秸秆对土壤有机质和微生物的影响研究[J]. 土壤, 2003, 35(4):347-348.
- [4] 刘天学,牛天岭,常加忠,等. 焚烧秸秆不利于玉米幼苗和根际微生物的生长[J]. 植物生理学通讯, 2004, 40(5):564-566.
- [5] Blair N, Faulkner R D, Till A R, et al. Long-term management impacts on soil C, N and physical fertility (I): Broadbalk experiment [J]. Soil and Tillage Research, 2006, 91(1):30-38.
- [6] 孙涛,陈强,张兴义. 东北黑土区耕作措施对地表节肢动物多样性的影响[J]. 昆虫学报, 2014, 57(1):74-80.
- [7] Chen Y, Liu S, Li H, et al. Effects of conservation tillage on corn and soybean yield in the humid continental climate region of Northeast China[J]. Soil and Tillage Research, 2011, 115(5):56-61.
- [8] 邵明安,王全九,黄明斌. 土壤物理学[M]. 北京:高等教育出版社, 2006.
- [9] Brook R H. Properties of porous media affecting fluid flow[J]. Journal of Irrigation and Division, 1966, 92(2):61-89.
- [10] Ball B C. Modelling of soil pores as tubes using gas permeabilities, gas diffusivities and water release[J]. European Journal of Soil Science, 1981, 32(4):465-481.
- [11] Tuli A, Hopmans J W, Rolston D E, et al. Comparison of air and water permeability between disturbed and undisturbed soils [J]. Soil Science Society of America Journal, 2005, 69(5):1361-1371.
- [12] Poulsen T G, Blendstrup H. Predicting air permeability in porous media with variable structure, bulk density, and water content[J]. Vadose Zone Journal, 2008, 7(4): 1269-1275.
- [13] 王卫华,王全九,樊军. 原状土与扰动土导气率、导水率与含水率的关系[J]. 农业工程学报, 2008, 24(8): 25-29.
- [14] 王卫华,王全九,李淑芹. 长武地区土壤导气率及其与导水率的关系[J]. 农业工程学报, 2009, 25(11):120-127.
- [15] 朱敏,张振华,潘英华,等. 土壤质地及容重和含水率对其导气率影响的试验研究[J]. 干旱地区农业研究, 2013, 31(2):116-121.
- [16] 中国科学院土壤研究所. 土壤理化分析[M]. 上海:上海科学技术出版社, 1978:522-523.
- [17] Sun T, Chen Q, Chen Y, et al. A novel soil wetting technique for measuring wet stable aggregates[J]. Soil and Tillage Research, 2014, 141:19-24.
- [18] 王卫华,王全九. 土壤导气率日变化特征分析[J]. 灌溉排水学报, 2011, 30(6):25-30.
- [19] 王晓蕾,黄爽,黄介生,等. 利用 HYPROP 系统测定土壤水分参数的优缺点及改进[J]. 中国农村水利水电, 2012(6):4-7.
- [20] 张兴义,陈强,陈渊,等. 东北北部冷凉区免耕土壤的特性及作物效应[J]. 中国农业科学, 2013, 46(11):2271-2277.
- [21] 宋凤斌,赵兰坡. 东北农业水土资源优化调控理论与实践[M]. 北京:科学出版社, 2010.
- [22] 李映强,曾觉廷. 关于土壤通气孔隙概念及其测定方法的商榷[J]. 土壤通报, 1990(2)87-88.
- [23] Six J, Elliott E T, Paustian K. Soil structure and soil organic matter(II): A normalized stability index and the effect of mineralogy[J]. Soil Science Society of America Journal, 2000, 64(3):1042-1049.
- [24] 郭贤仕,杨如萍,马一凡,等. 保护性耕作对坡耕地土壤水分特性和水土流失的影响[J]. 水土保持通报, 2010, 30(4):1-5.
- [25] 周虎,吕贻忠,杨志臣,等. 保护性耕作对华北平原土壤团聚体特征的影响[J]. 中国农业科学, 2007, 40(9): 1973-1979.