

秸秆深还田两年对东北半干旱区土壤 有机质、pH 值及微团聚体的影响

闫洪亮, 王胜楠, 邹洪涛, 马迎波, 虞娜, 张玉玲, 黄毅, 张玉龙

(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, 沈阳 110866)

摘要:采用田间小区定位试验,探讨秸秆深还田 2 a 对东北半干旱区旱田土壤有机质、pH 值、微团聚体的影响。结果表明:秸秆深还田后降低了土壤的 pH 值,且随土层深度的增加 pH 值逐渐增大;土壤有机质含量和微团聚体的团聚度在秸秆深还田各处理中分别高于 CK 和 DT 处理 3.4%~32.7%和 16.4%~53.7%,土壤分散系数较 CK 和 DT 处理显著降低,均以秸秆深还田用量 12 000 kg/hm² 效果最好。秸秆深还田 2 a 后能够显著提高东北半干旱区土壤有机质含量,降低土壤 pH 值,改善颗粒组成状况,降低土壤分散系数,提高微团聚体的团聚度。

关键词:秸秆深还田;有机质;pH;土壤微团聚体

中图分类号:S153

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2013)04-0044-05

Effects of Two Years of Stalk Deeply Returned to the Field on Soil Microaggregates and Soil Organic Matter and pH Value after in Semiarid Region of the Northeastern China

YAN Hong-liang, WANG Sheng-nan, ZOU Hong-tao,

MA Ying-bo, YU Na, ZHANG Yu-ling, HUANG Yi, ZHANG Yu-long

(Key Laboratory of Northeastern Soil and Environment of Ministry of

Agriculture/National Engineering Laboratory for Efficient Utilization of Soil and Fertilizer

Resources, College of Land and Environment, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, China)

Abstract: A field experiment was conducted. Soil microaggregate and mechanical property was separated by pipette and sieve analysis, and soil organic matter, pH and soil micro-aggregate were measured. The effects of stalk deeply returned to the field after two years on oil organic matter, pH and soil microaggregate in semiarid region of the northeastern China. The Results indicate that stalk deeply returned to the field decreased the soil of pH. As the depth of soil layers increased, pH value increased gradually. The amount of soil organic matter and soil microaggregate degree were higher than the CK and DT treatments of stalk deeply returned to the field 3.4%~32.7% and 16.4%~53.7%, respectively. Dispersion coefficient of soil was lower than the CK and DT treatments, 12 000 kg/ha treatment of stalk deeply returned to the field was the most significant. In summary, after two years of stalk deeply returned to the field could improve the amount of soil organic matter, decrease the soil of pH, improve the characteristics of particle composition of soil, positive effects on soil microaggregation degree.

Key words: stalk deeply returned to the field; soil organic matter; pH; soil microaggregate

我国年产秸秆量约为 7.6 亿 t,并且呈增长趋势,预计到 2012 年可达 8.27 亿 t^[1-2],但其大部分被就地

焚烧,不仅造成了极大的资源浪费,而且给生态环境带来大量的负面效应。大量研究表明,秸秆还田不但

收稿日期:2012-11-13

修回日期:2013-01-03

资助项目:国家科技支撑计划子课题资助(2012BAD05B01,2011BAD09B02);农业部公益性行业专项(201303125,200903007);国家 973 项目(2011CB100502);辽宁省科技攻关重大项目(2011213001)

作者简介:闫洪亮(1988—),男,辽宁朝阳人,硕士研究生,主要从事土壤结构及水分运动研究。E-mail:y545206988@126.com

通信作者:邹洪涛(1975—),男,辽宁营口人,博士,副教授,主要从事旱作农业和环境保护的教学和科研工作。E-mail:zouhongtao2001@163.com

有助于提高雨水资源利用率和旱地蓄水保墒性能,提高土壤入渗能力,增加作物的产量,达到抗旱增产的目的,还可以改善土壤结构、提高土壤肥力和有机质的积累^[3-10]。微团聚体作为构成土壤结构的颗粒单位,与土壤理化性质等存在着密切关系^[11],土壤团聚状况和土壤有机质含量可作为评价土壤肥力的综合指标^[12]。谢锦升等^[13]的研究表明,有机物质输入的增加促进了团聚体的形成,从而改变了土壤团聚体有机碳含量和分配比例。Wright 等^[14]研究发现不同的耕作措施对土壤团聚体稳定性有较大的影响。杨长明等^[12]研究了土地利用方式对土壤水稳性团聚体分布特征及其有机碳含量的影响。不同粒级的土壤微团聚体的组成密切影响着土壤的保水保肥性能,在土壤水分和养分保贮释供及转化等方面发挥着重要作用,影响着土壤肥力水平的高低和土壤结构的改善^[15-22]。土壤团聚体及微团聚体受到不同的土地利用方式的影响^[23-24]。目前,有关东北半干旱地区秸秆深还田对土壤有机质及团聚体影响的研究甚少。鉴于此,本研究以东北干旱区辽宁西部阜新国家旱作农业示范区为研究对象,探讨秸秆深还田 2 a 后对有机质、pH 值及微团聚体组成的影响,以期为该地区旱田土壤地力提升和土壤改良提供理论依据和技术指导。

1 材料与方法

1.1 试验地基本概况

试验于辽宁省阜新市阜蒙县阜新镇(北纬 42°10',东经 122°00')进行,试验地属于北温带大陆性半干旱季风气候,位于内蒙古高原和东北辽河平原的中间过渡带,属低山丘陵区。试验区四季分明、光照充足且昼夜温差较大,但降水偏少,年降水量 450~500 mm,全年蒸发量高达 1 599.6 mm,蒸发量约为降雨量的 3.5 倍,多年平均气温为 7.1~7.6℃,≥0℃积温为 3 764℃,无霜期 154 d,年日照时数 2 762.4 h^[25]。

1.2 试验材料

供试土壤:试验区土壤为褐土,质地为粉砂土。土壤容重 1.45 g/cm³,pH 值 7.7,有机质 23.3 g/kg,全氮 1.18 g/kg,硝态氮 7.37 mg/kg,铵态氮 10.16 mg/kg。供试作物:玉米,品种为郑单 958。

1.3 试验方案

于 2009 年 10 月玉米收获后,采用翻转犁开沟深度 40 cm,将整秸秆分别按照 6 000,12 000,18 000 kg/hm² 和 24 000 kg/hm² 的用量埋入,秸秆层厚度为 10~15 cm,同时设未施秸秆的深耕(DT,deep tillage)及未开沟处理作为对照(CK),共计 6 个处理,每

个处理重复 3 次。每个试验小区面积为 60 m²,随机排列。

1.4 测定项目与方法

1.4.1 取样方法 采样时期为 2011 年 10 月收获后,按 S 型 5 点取土法在 0—15,15—25,25—35,35—50 cm 4 个土层采集土样,自然风干,过筛备用。

1.4.2 土壤理化性质测定 pH 值用水浸提(1:2.5)玻璃电极法测定;有机质用元素分析仪(Elementar Vari,德国)测定^[26]。

1.4.3 土壤机械组成和土壤微团聚的测定 均采用吸管法^[27]。土壤微团聚体的计算公式如下^[28]:

$$A_s = n_1 - m_1 \quad (1)$$

$$D_c = n_2 / m_2 \quad (2)$$

$$A_d = A_s / n_1 \times 100\% \quad (3)$$

式中: A_s ——土壤团聚状况(aggregate state)(%); n_1 ——>0.05 mm 微团聚体分析值; m_1 ——>0.05 mm 机械组成分析值; A_d ——土壤团聚度(aggregate degree)(%); D_c ——分散系数(dispersion coefficient)(%); n_2 ——<0.001 mm 微团聚体分析值; m_2 ——<0.001 mm 机械组成分析值。

1.5 统计方法

采用 SPSS 18.0 数据处理系统对试验数据进行统计分析,采用 Excel 2010 进行图表制作。

2 结果与分析

2.1 对不同土层深度土壤有机质、pH 值、物理性黏粒含量的影响

秸秆深还田 2 a 后对不同土层深度土壤有机质、pH 值、物理性黏粒含量的影响见表 1。从表 1 中可以看出,不同的耕作处理一定程度上均能调节土壤肥力,各处理土壤物理性黏粒综合含量多少依次为 12 000 kg/hm²(22.3%)>24 000 kg/hm²(19.9%)>DT(19.6%)>18 000 kg/hm²(18.3%)>6 000 kg/hm²(18.2%)>CK(18.0%);不同耕作处理有机质显著高于 DT 和 CK,0—25 cm 土层以 12 000 kg/hm²处理有机质含量最高,其次为 6 000,18 000,24 000 kg/hm²;CK 和 DT 处理有机质含量显著低于秸秆还田各组含量。25—50 cm 土层呈现相似规律。这表明,由于秸秆深还田过程中的深耕作用,增加了土壤物理性黏粒的含量,物理性黏粒含量多的土壤含有大量细小的孔隙,而且往往被水占据,通气不畅,好氧性微生物活动受到抑制,有机质分解缓慢,因而秸秆深还田后埋入秸秆剂量较少的(6 000,12 000 kg/hm²)土壤有机质容易积累,这与乔照华^[29]关于物理性黏粒和有机质关系的研究结果一致,而埋入秸

秆剂量较大的(12 000,24 000 kg/hm²)由于秸秆自身分解较慢或孔隙较大,土壤有机质分解较快使得有机质含量较少。由表 1 可知,5 种耕作处理和 CK 处理土壤均呈弱碱性,pH 值一般在 7.0~7.8 之间,

25—50 cm 土层要明显高于 0—25 cm 土层;6 000 kg/hm² 处理最低,DT 和 12 000,18 000,24 000 kg/hm²处理之间相差不明显,CK 处理 pH 值最高,可见秸秆深还田能在一定程度上降低土壤碱性。

表 1 不同耕作处理的土壤基本理化性质

处理	0—25 cm			25—50 cm		
	有机质/(g·kg ⁻¹)	pH 值	物理性黏粒/%	有机质/(g·kg ⁻¹)	pH 值	物理性黏粒/%
CK	17.36Aab	7.72Aa	18.11Aa	15.61Ab	7.80Aa	18.18Aa
DT	16.87Ab	7.36Aab	19.15Ab	14.99Aa	7.55Aa	20.11Bb
6000 kg/hm ²	21.65Dd	7.05Ab	16.14Cc	19.33Dd	7.31Ab	20.33Bb
12000 kg/hm ²	22.39Ee	7.63Aa	20.44Bd	17.43Cc	7.36Ab	24.14Cc
18000 kg/hm ²	20.00Cc	7.41Aa	18.56Aa	16.57Bb	7.30Ab	18.04Aa
24000 kg/hm ²	18.41Aab	7.16Ab	19.42Ab	16.15Bb	7.42Aa	20.51Bb

注:各列不同大写字母间表示差异极显著($P<0.01$),不同小写字母间差异显著($P<0.05$)。下同。

2.2 不同秸秆深还田处理对旱地土壤分散系数的影响

土壤分散系数是用来表示土壤团聚体在水中被破坏的程度,是衡量土壤团聚体稳定性的重要指标,土壤分散系数越大,则表明土壤的质地越差^[30]。图 1 表明,不同的土壤耕作措施对土壤分散系数的影响很大。在无秸秆还田时,CK 处理免耕了 2 a 的土壤分散系数显著($P<0.01$)小于各个处理;在秸秆深还田的各个处理中,0—25 cm 土层以 6 000 kg/hm²处理下的土壤分散系数最小,显著低于其他处理;总体呈现 24 000 kg/hm²>18 000 kg/hm²>12 000 kg/hm²>DT>6 000 kg/hm²。25—35 cm 土层以 12 000 kg/hm²处理下的土壤分散系最低,其次是 6 000 kg/hm²,DT 和 18 000 kg/hm²处理没有显著差异,均高于 12 000 kg/hm²和 6 000 kg/hm²低于 24 000 kg/hm²。35—50 cm 土层各个处理间土壤分散系数没有显著性差异。可见,CK 处理 2 a 后土壤分散系数显著小于深还田处理,秸秆深还田条件下 6 000 kg/hm²和 12 000 kg/hm²的土壤分散系显著低于 DT。这说明,在秸秆深还田条件下,不同的土壤耕作措施对土壤分散系数的影响受到秸秆效应和深松效应的共同作用,由于深松作用破坏了水稳性团聚体,使得土壤分散系数增大,但秸秆深还田后能够增加土壤有机质,有利于形成水稳性团聚体,从而减少土壤团聚体被破坏的程度,降低土壤分散系数。秸秆还田剂量越小的土壤水稳性团聚体形成越快,土壤分散系数也越小。随着土层深度的加深,各处理之间的差异变小。

2.3 不同秸秆深还田处理对旱地土壤微团聚体组成的影响

土壤微团聚体是土壤自动调节能力的物质基础^[30]。不同粒径的团聚体的稳定性不同,对土壤稳定性的影响也不同,其性质与数量密切关系着土壤的功

能^[31]。由表 2 可知,0—15 cm 土层各处理>0.25 mm、0.05~0.001 mm 微团聚体含量与 CK 处理相比的粒级含量分别平均增加了 8.1%,1.1%~25.5%;0.25~0.05 mm 和<0.001 mm 平均降低了 3.2%和 22.9%。15—25 cm 土层 6 000 kg/hm²处理下>0.25 mm 团聚体数量显著大于 CK 处理 37.8%($P<0.01$);DT,12 000,18 000,24 000 kg/hm²处理均较 CK 处理减少了 18.7%~78.2%;6 000,12 000,18 000 kg/hm²处理<0.001 mm 微团聚体数量均较 CK 处理显著($P<0.01$)减少了 14.7%,27%,11.7%;DT 和 24 000 kg/hm²处理<0.001 mm 微团聚体数量均比 CK 处理显著增加了 20.7%和 18.6%。25—50 cm 土层大部分处理>0.25 mm 团聚体数量较 CK 处理显著($P<0.01$)减少了 11.8%~60.45%;25—35 cm 土层 DT、24 000 kg/hm²处理<0.001 mm 微团聚体数量均比 CK 处理显著增加了 22.7%和 3.5%;35—50 cm 土层各处理<0.001 mm 微团聚体数量无显著性差异。

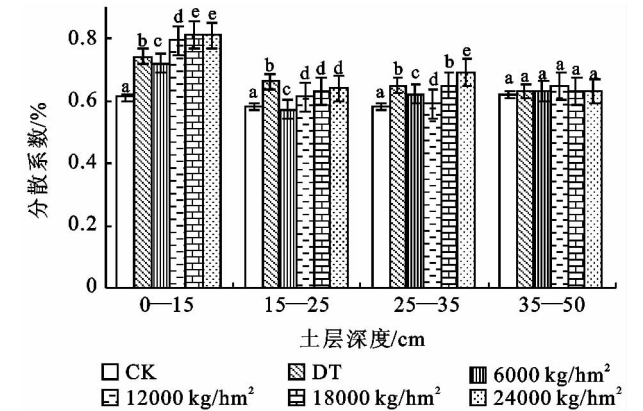


图 1 不同耕作处理对 0—50 cm 土层土壤分散系数的影响

微团聚体的团聚状况表示土壤机械成分团聚的程度,团聚度是指小的土壤颗粒中发生团聚作用,转化为更大的团聚体的百分数,其值越大表示土壤稳定

性越强,团聚体越多,保水的能力也相应越强^[32]。0—15 cm 土层团聚状况呈现为 6 000 kg/hm²>12 000 kg/hm²>18 000 kg/hm²>24 000 kg/hm²>DT>CK,团聚度呈 12 000 kg/hm²>6 000 kg/hm²>18 000 kg/hm²>24 000 kg/hm²>DT>CK。6 000 kg/hm²和 12 000 kg/hm²处理增加最为显著,分别增加了 55.6%和 59.2%;15—25 cm 土层团聚状况和团聚度均呈现为:12 000 kg/hm²>6 000 kg/hm²>18 000 kg/hm²>24 000 kg/hm²>CK,显著($P<0.05$)增加了 4.1%~91.2%;25—35 cm 土层各处理团聚状况和团聚度增加趋势与 15—25 cm 土层大致

相同,团聚状况呈现为:6 000 kg/hm²(41.5%)>12 000 kg/hm²(28.8%)>18 000 kg/hm²(26.1%)>24 000 kg/hm²(1.1%),团聚度呈现为:12 000 kg/hm²(58.7%)>6 000 kg/hm²(41.5%)>18 000 kg/hm²(31.9%)>24 000 kg/hm²(8.4%);35—50 cm 土层各处理团聚状况差异不显著,团聚度呈现为:6 000 kg/hm²(19.4%)>12 000 kg/hm²(15.8%)>24 000 kg/hm²(8.8%)>18 000 kg/hm²(5.4%)。说明,秸秆深还田 2 a 后的土壤团聚状况明显改善,较大团聚体增多,团聚度增大,土壤的稳定性增强。其增强效果随秸秆埋入量的增加先增大后减小。

表 2 不同耕作处理对 0—50 cm 土层微团聚体组成的影响

土层深度/ cm	处理	土壤微团聚体各径级含量/%						团聚 状况	团聚度/ %
		>0.25 mm	0.25~ 0.05 mm	0.05~ 0.02 mm	0.02~ 0.002 mm	0.002~ 0.001 mm	<0.001 mm		
0—15	CK	5.21a	30.57a	48.37a	6.88a	2.71a	6.26a	5.61a	18.32a
	DT	6.13b	29.99a	48.34a	7.20b	3.07ab	5.27b	6.13b	20.44b
	6000 kg/hm ²	6.75b	30.19a	49.20b	7.57b	1.36c	4.93b	8.62c	28.49c
	12000 kg/hm ²	6.12b	28.12b	48.83a	8.65c	4.06b	4.22b	8.23c	29.16c
	18000 kg/hm ²	5.18a	30.13a	48.78a	5.76d	4.32b	5.83ab	7.54d	24.89b
	24000 kg/hm ²	3.98c	29.79a	49.33b	7.49b	4.20b	5.21b	7.13d	23.83b
15—25	CK	5.72a	29.55a	49.94a	7.24a	2.52a	5.03a	6.67a	22.57a
	DT	4.65ab	30.49a	48.32b	7.61a	2.86a	6.07b	5.69b	18.66b
	6000 kg/hm ²	7.88c	28.92a	50.56c	7.14a	1.21c	4.29c	6.95a	23.86c
	12000 kg/hm ²	2.98b	31.60ab	48.47b	9.20b	4.08b	3.67d	12.75c	40.35d
	18000 kg/hm ²	3.19b	30.89a	49.96a	8.21c	3.31ab	4.44c	9.59d	31.05e
	24000 kg/hm ²	1.24d	32.01b	47.07b	8.46c	5.25d	5.97b	8.73e	27.27f
25—35	CK	4.31a	32.23a	48.73a	6.88a	2.67a	5.18a	7.23a	22.43a
	DT	3.80a	31.13a	50.34b	7.2ab	1.17b	6.36b	6.92b	22.17a
	6000 kg/hm ²	1.56b	32.24a	51.22c	7.57b	3.12c	4.29c	10.23c	31.73b
	12000 kg/hm ²	1.37b	26.15b	52.23d	8.65c	6.92d	4.68c	9.31d	35.60c
	18000 kg/hm ²	8.57c	30.79c	49.56ab	5.76d	1.11b	4.21c	9.12d	29.56d
	24000 kg/hm ²	2.50d	30.05c	49.43ab	7.49b	5.17e	5.36d	7.31a	24.33e
35—50	CK	3.06a	32.18a	48.64a	7.24a	3.60a	5.28a	7.23a	22.37a
	DT	1.24b	32.41a	47.13b	7.61a	6.43b	5.18a	7.55a	23.14b
	6000 kg/hm ²	2.09c	29.56b	48.43a	9.14b	5.75c	5.03a	7.91a	26.73c
	12000 kg/hm ²	1.21b	29.34b	48.67a	9.2b	5.99c	5.59a	7.84a	26.58c
	18000 kg/hm ²	1.93b	30.53c	47.66b	8.21c	5.91c	5.76a	7.26a	23.58b
	24000 kg/hm ²	2.44c	29.58b	47.25b	8.46c	6.84b	5.43a	7.25a	24.34d

3 结 论

(1) 秸秆深还田 2 a 后,不同耕作处理有机质含量随土层深度增加而降低,随秸秆深还田用量增加呈先增加后降低的趋势,12 000 kg/hm²处理含量较高;能够在一定程度上降低土壤碱性,但土壤依旧呈弱碱性,且随土层深度增加而增加;土壤物理性黏粒受深耕作用影响显著,综合含量以 12 000 kg/hm²处理下

为最高,与秸秆深还田用量共同影响有机质分布。
(2) 秸秆深还田 2 a 后,显著降低了土壤分散系数,其系数随秸秆埋入量的增加先减小后增大;土壤团聚作用增强,土壤的稳定性增加,团聚度增大。

参考文献:

[1] Lal R. World crop residues production and implications of its use as a biofuel[J]. Environment International,

- 2005,31(4):575-584.
- [2] 王洪兵. 浅谈秸秆还田现状及对策研究[J]. 吉林农业, 2011,255(5):163.
- [3] Mobaty M, Saoayopadhyay K K, Painuli D K, et al. Water transmission characteristics of a vertisol and water use efficiency of rainfed soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) under subsoiling and manuring[J]. Soil and Tillage Research, 2007,93(2):420-428.
- [4] 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.
- [5] 高焕文, 李洪文, 王兴文. 旱地深松试验研究[J]. 干旱地区农业研究, 1995,13(4):126-133.
- [6] 张金鑫, 穆兴民, 王飞, 等. 基于土壤质量的保护性农业技术及其政策取向[J]. 水土保持研究, 2009,16(1):264-268.
- [7] 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.
- [8] 秦瑞杰, 郑粉莉, 卢嘉. 草本植物生长发育对土壤团聚体稳定性影响的试验研究[J]. 水土保持研究, 2011,18(3):141-144.
- [9] 秦红灵, 高旺盛, 马月, 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.
- [10] Pereira L S, Cai L G, Hann M J. Farm water and soil management for improved water use in the north China plain[J]. Irrigation and Drainage, 2003,52(4):299-317.
- [11] 储小院, 王玉杰, 刘楠, 等. 重庆缙云山典型林地土壤微团粒特征分析[J]. 土壤通报, 2009,40(6):1240-1244.
- [12] 杨长明, 欧阳竹. 华北平原农业土地利用方式对土壤水稳性团聚体分布特征及其有机碳含量的影响[J]. 土壤, 2008,40(1):100-105.
- [13] 谢锦升, 杨玉盛, 陈光水, 等. 植被恢复对退化红壤团聚体稳定性及碳分布的影响[J]. 生态学报, 2008,28(2):702-709.
- [14] Wright S, Starrand J, Paltineanu I. Changes in aggregate stability and concentration of glomalin during tillage management transition[J]. Soil Science Society of America Journal, 1999,63(6):1825-1829.
- [15] 龚伟, 胡庭兴, 王景燕, 等. 川南天然常绿阔叶林人工更新后土壤微团聚体分形特征研究[J]. 土壤学报, 2007,44(3):571-575.
- [16] 张靓, 梁成华, 杜立宇, 等. 长期定位施肥条件下蔬菜保护地土壤微团聚体组成及有机质状况分析[J]. 沈阳农业大学学报, 2007,38(3):331-335.
- [17] 陈恩凤, 周礼恺, 武冠云. 微团聚体保肥供肥性能及其组成比例在评断土壤肥力水平中的意义[J]. 土壤学报, 1994,31(1):18-25.
- [18] 刘梦云, 常庆瑞, 安韶山, 等. 土地利用方式对土壤团聚体及微团聚体的影响[J]. 中国农学通报, 2005,21(11):247-250.
- [19] Donald R G, Kay B D, Miller M. The effect of soil aggregate size on early shoot and root growth of maize (*Zea mays* L.)[J]. Plant and Soil, 1987,103(2):251-259.
- [20] 杨瑞吉, 牛俊义, 黄文德, 等. 麦茬复种饲料油菜对耕层土壤团聚体的影响[J]. 水土保持学报, 2006,20(5):77-81.
- [21] 王月玲, 蔡进军, 张源润, 等. 半干旱退化山区不同生态恢复与重建措施下土壤理化性质的特征分析[J]. 水土保持研究, 2007,14(1):11-14.
- [22] 高明, 李阳兵, 魏朝富, 等. 稻田长期垄作免耕对土壤肥力性状的影响研究[J]. 水土保持学报, 2005,19(3):29-33.
- [23] 卢金伟, 李占斌. 土壤团聚体研究进展[J]. 水土保持研究, 2002,9(1):81-85.
- [24] 张飞, 陈云明, 王耀凤, 等. 黄土丘陵半干旱区柠条林对土壤物理性质及有机质的影响[J]. 水土保持研究, 2010,17(3):105-110.
- [25] 张玉龙, 邹洪涛, 杨宇, 等. 辽西半干旱地区春播前土壤墒情变化的研究[J]. 水土保持学报, 2004,18(6):179-182.
- [26] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [27] 樊宝凤, 王录. 吸管法测定土壤机械组成及土壤微团聚体吸样时间的探讨[J]. 河南职业技术学院学报, 1994,22(4):69-70.
- [28] 陈恩凤, 周礼恺, 武冠云. 土壤的自动调节性能与抗逆性能[J]. 土壤学报, 1991,28(2):168-176.
- [29] 乔照华. 土壤有机质含量与土壤物理性能参数的相关性分析[J]. 中国农村水利水电, 2008,2(2):3-4.
- [30] 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.
- [31] 郑晓萍. 表征富铁土土壤侵蚀的团聚体稳定性及其物理学机制研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2002.
- [32] 刘玉民, 龙伟, 刘亚敏, 等. 不同种植模式下紫色土养分流失影响因子研究[J]. 水土保持学报, 2005,19(5):27-30.