

华北平原蚯蚓对玉米秸秆直立还田 冬小麦免耕播种的响应

牛新胜¹, 张宏彦², 马永良²

(1 中国农业大学 曲周实验站, 河北 邯郸 057250; 2 中国农业大学 资源与环境学院, 北京 100193)

摘要: 蚯蚓是最古老的耕耘者, 它对于改善土壤结构, 提高土壤肥力具有重要作用。农作措施对蚯蚓产生强烈的影响, 集约化生产降低农田蚯蚓群体数量, 影响土壤质量。本研究旨在弄清我国华北平原冬小麦-夏玉米轮作体系下玉米秸秆直立状态还田冬小麦免耕播种(直免)对蚯蚓的影响。结果表明, 该地区冬小麦-夏玉米轮作体系下, 蚯蚓主要分布于土壤的表层(0~10 cm), 表层蚯蚓数量同时受到秸秆管理和耕作措施的影响, 直免上层数量与下层数量的差异较大; 在10~20 cm土层, 蚯蚓数量主要受耕作措施的影响; 玉米秸秆直立还田免耕播种冬小麦能显著提高土壤蚯蚓数量; 蚯蚓数量季节性变化明显, 9-10月份是该地区小麦玉米轮作体系下的高峰期。秸秆清除及免耕措施下蚯蚓数量季节性波动较大, 数量稳定性较低, 直免蚯蚓数量稳定性相对较高; 在0~10 cm的土层, 蚯蚓数量和土壤水分含量、土壤微生物量碳含量、土壤水稳定性团聚团粒(0.25 mm)含量呈显著正相关, 在10~20 cm土层则没有显著相关。直免措施下, 生物因子和土壤环境之间的互作有利于土壤肥力水平的提高, 为该地区土壤肥力的调控提供了一条重要的途径。

关键词: 冬小麦; 夏玉米; 直立免耕; 蚯蚓

中图分类号: S513.01 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7091(2010)增刊-0182-05

Response of Earthworm to Zero Till Winter Wheat with Maize Straw Retention at Upright State in North China Plain

NIU Xin-sheng¹, ZHANG Hong-yan², MA Yong-liang²

(1 Quzhou Experimental Station, China Agricultural University, Handan 057250 China; 2 College of Resources and Environmental Sciences, China Agricultural University, Beijing 100193 China)

Abstract Earthworm was an old cultivator and its activities impacts on the soil physiochemical and biological properties and so played very important role on ameliorating soil structure and improvement of soil fertility. Cultivation practices such as tillage intensively influenced it and intensive agriculture might decrease the population of earthworm and subsequently decreased the soil quality. The aim of this study the response of the population of earthworm to sowing winter wheat and no-tillage in winter wheat / summer maize rotation system in north China. The result suggested that earthworm mainly lived in lower soil layer of 0-10 cm and the amount of earthworm were affected by straw and tillage measurements and that the difference between upper soil layer and underlayer of amount of earthworm was biggest in treatment of no till sowing winter wheat under maize straw erect condition (NTME); that the amount of earthworm was influenced just by tillage and but straw management, the NTME could improve the amount of earthworm; the amount of earthworm seasonally fluctuated significantly attaining its highest value in Sept and Oct in winter wheat / summer maize rotation system in this region and that the fluctuation was grave or lower stability of amount of earthworm in no maize straw return or no-till and on the contrary was higher stability in NTME; the amount of earthworm was positively correlated with soil moisture content, soil microbial biomass carbon content, water stability soil aggregates content of 0.25 mm, in 0-10 cm of soil layer and was not in 10-20 cm. NTME could benefit the improvement

收稿日期: 2010-10-12

基金项目: 公益性行业科研专项“最佳养分管理技术研究与应用”(200803030)

作者简介: 牛新胜(1971-), 男, 安徽濉溪人, 在读博士, 实验师, 主要从事可持续农业生产研究。

通讯作者: 马永良(1958-), 男, 河北武安人, 研究员, 主要从事可持续农业研究。

of soil fertility due to the interaction between the biological factors soil environmental factors under this condition and put forward a important way to control and regulation soil fertility in this region

Key words Winter wheat Summer maize Zero till with straw retention at upright state

蚯蚓是最早的土壤耕耘者,在耕犁出现之前,土壤耕作由蚯蚓来完成^[1],蚯蚓是耕耘土壤的大力士^[2],被称为生态系统工程师^[3]。蚯蚓在土壤中的活动,强烈影响土壤的理化和生物学性状,能够改善土壤物理结构^[4,5],促进物质循环^[5,6],从而提高土壤肥力水平,有利作物生长发育。它和土壤微生物的互作,有利于养分转化和循环^[4,6-11]。作为土壤动物区系的代表类群,可作土壤及水体环境污染的指示生物^[12];蚯蚓粪具有处理工农业废弃物的良好效果,从而可以资源化利用之^[13]。农田生态系统中,较高的蚯蚓数量是土壤高度肥沃的标志^[14]。蚯蚓粪可以改善作物生长的土壤环境,提高土壤全氮和土壤酶活性等^[15,16]。但是,随着农业生产集约化程度的加强,强烈的耕作,化肥、农药和除草剂的施用等管理措施严重影响土壤生物活动。耕作无疑对土壤中的蚯蚓产生明显影响^[5,17]。同传统耕作比,保护性耕作措施能使蚯蚓保持较高的群体数量^[5,17-19],作物秸秆等残留物能提高蚯蚓数量^[17]。而化肥的施用对蚯蚓数量产生负面的影响,但是在秸秆还田情况下,这种影响较小,施用有机肥有利于蚯蚓数量的提高^[20]。有机物的投入等措施会对蚯蚓种群产生影响^[21-23]。

免耕在我国农业生产中的实践起步较晚^[19]。在我国华北平原地区小麦-玉米轮作体系中的免耕主要运用在玉米免耕播种,冬小麦免耕播种的研究和实践较少,所以该地区冬小麦-夏玉米轮作体系中冬小麦免耕措施对蚯蚓的影响的报道也不多,所以本研究旨在探讨该地区冬小麦免耕播种对蚯蚓数量的影响及蚯蚓同其他土壤因子之间的关系。

1 材料和方法

1.1 概况与试验材料

试验地点在中国农业大学曲周实验站站北玉米秸秆覆盖冬小麦免耕播种长期定位试验地(36°52'01"N, 115°00'38"E)。该长期定位研究始于2002年9月,位于河北省邯郸市曲周县北部,为黑龙港上游地区,属于内陆冲积平原浅层咸水型盐渍化低产地区,这里属于温带半湿润季风气候区^[24]。光、热、水等气候资源比较丰富,但受季风的强烈影响,冬春寒冷干燥,夏季温暖多雨,种植制度为一年两熟制,冬季种植小麦,夏季种植玉米。限制生产的主要因素

是春旱、秋(夏)涝,多年平均降雨量547 mm,主要集中在7-9月,年蒸发量1841 mm,年平均气温13.1℃,具有代表性。本研究开始于2006年4月。试验设4个处理,3次重复,共计12小区,采用随机区组设置。小区面积为18 m × 6 m。

4个处理分别如下:①清茬翻耕(以下简称为清翻):小麦秸秆还田免耕播种夏玉米;玉米秸秆根茬还田,翻耕播种冬小麦。②还田翻耕(以下简称为还翻):小麦秸秆还田免耕播种夏玉米;玉米秸秆全量粉碎还田,翻耕播种冬小麦;③清茬免耕(以下简称为清免):小麦秸秆还田免耕播种夏玉米;玉米秸秆根茬还田、免耕播种冬小麦。④覆盖免耕(以下简称为直免):小麦秸秆还田免耕播种夏玉米;玉米秸秆全量直立还田覆盖,免耕播种冬小麦。

上述免耕播种机是由河北华勤机械股份有限公司生产的2BM SF-5/10型免耕覆盖施肥小麦播种机。

试验田肥水管理见表1和表2。

1.2 指标测定

1.2.1 土壤水稳定性团粒的测定 于2006年6月15日取样1次。取回的原状土样,将其中大的土块按其结构轻轻剥离,使其成为直径为10 mm左右的团块,放在纸上风干,风干后用四分法取样,将样品筛分为3级,即:5~2 mm,然后按照其干筛百分数比称取样品,配成50 g供湿筛用。采用由南京土壤仪器厂生产的FT-3型电动团粒分析器进行测定^[25]。

1.2.2 蚯蚓调查 在每小区内随机选取3个小样点,每一小样点用铁铲小心挖50 cm × 50 cm × 20 cm(长×宽×深)土坑,把挖出土壤置于平展于地的塑料布上,徒手捡取蚯蚓^[21],分成0~10 cm和10~20 cm两个土层进行分拣,放到盛有湿土的塑料袋中带回实验室内计数。2006年5月、6月、9月、10月各调查一次。

1.2.3 土壤含水量测定 烘干法^[26]。

1.2.4 土壤微生物量碳含量测定 采用氯仿熏蒸-浓硫酸-重铬酸钾氧化容量法测定碳含量^[27],数据见牛新胜等^[28]研究报告。

1.3 数据处理和分析

用Excel 2003和SAS 8.0进行数据处理与分析。

表 1 试验田水的管理

Tab 1 Water management on field experiment						m ³ /hm ²
冬小麦 Winter wheat			夏玉米 Summer maize			
越冬期 Overwintering	返青期 Turning	灌浆期 Filling	抽雄期 Tassel stage	吐丝期 Spinning stage		
灌水量 Irrigation	800	800	800	800		

表 2 试验田肥料种类和施肥量

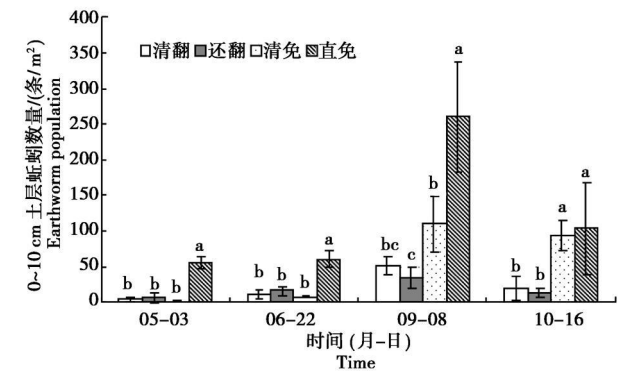
Tab 2 Fertilizer kinds and its applying quantity in field experimental							kg/hm ²
肥料管理 Fertilizer management		肥料种类 Fertilizer kinds	清茬翻耕 TNS	还田翻耕 TS	清茬免耕 NTNS	覆盖免耕 NTS	
冬小麦 Winter wheat	底肥	尿素	277.5	277.5	277.5	277.5	
		磷酸二铵	375	375	375	375	
	追肥	尿素	300	300	300	300	
夏玉米 Summer maize	底肥	尿素	0	0	0	0	
		磷酸二铵	0	0	0	0	
	追肥	尿素	300	300	300	300	

注: 尿素: N% = 46.6%; 磷酸二铵: N% = 18%, P₂O₅% = 46.0%。

2 结果与分析

2.1 不同管理措施对蚯蚓数量的影响

0~10 cm 土层蚯蚓数量变化如图 1 所示, 耕作、秸秆和不同处理之间蚯蚓平均数量差异显著, 免耕显著高于翻耕, 秸秆还田显著高于秸秆清除。秸秆还田显著提高蚯蚓数量, 与前人^[23 21]研究一致。直免高于清免, 清免显著高于清翻和还翻, 清翻和还翻之间则没有显著性差异。覆免蚯蚓平均数量分别是清翻处理的 5.7 倍、还翻处理的 7.2 倍和清免处理的 2.3 倍。特别是在 10 月 16 日, 覆免高于还翻达 8.2 倍。



根据 Duncan's 多重比较不同的字母表示处理之间显著性差异 (字母表示差异在 $P < 0.05$)。下同。
The different letters stand for the significant difference between different treatments according to Duncan's Multiple Range Test (The letter is at $P < 0.05$). The same as followed

图 1 0~10 cm 土层不同处理蚯蚓数量
Fig 1 Earthworm population in different treatments at 0-10 cm soil layer

10~20 cm 土层蚯蚓数量如图 2 所示, 耕作以及不同处理之间蚯蚓平均数量差异显著, 不同秸秆管理之间则没有显著性差异, 免耕平均数量为 24.7 条 /m², 是传统耕作的 4.4 倍, 清免和直免之间没有

显著性差异, 显著高于清翻和还翻处理。

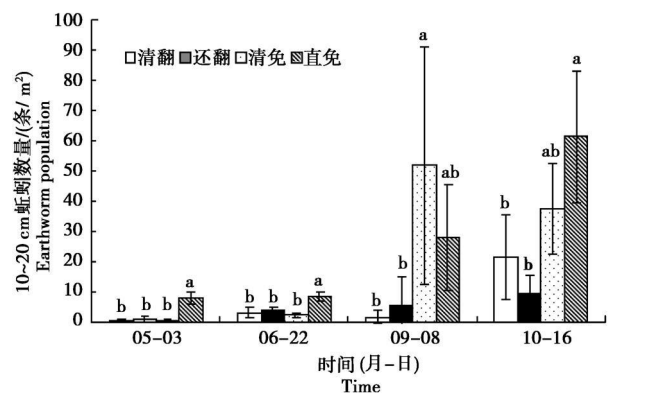


图 2 10~20 cm 土层不同处理蚯蚓数量
Fig 2 Earthworm population in different treatments at 10-20 cm soil layer

4 次取样的蚯蚓平均数量在 0~10 cm 土层和 10~20 cm 土层中有明显的差异, 上层高于下层。直免、清免、还翻和清翻的上下层数量分别是下层数量的 4.5 2.3 3.47 3.27 倍, 直免处理上下层数量差异最大。

耕层土壤中蚯蚓数量受到耕作的影响, 免耕增加其数量, 可能与土壤扰动减少给蚯蚓提供了稳定的生活环境有关, 与前人看法一致。本研究发现秸秆还田的蚯蚓数量只在 0~10 cm 土层能显著高于秸秆不还田的处理, 而在 10~20 cm 土层则与前人研究相异, 如 9 月 18 日, 清免是清翻 (秸秆管理相同, 耕作措施不同) 的 39 倍, 而清免同直免 (耕作措施相同, 秸秆管理不同) 没有差异, 这可能与本研究处理设置有关, 因为本研究中冬小麦免耕播种的秸秆是覆盖在土壤表层的, 觅食等活动使蚯蚓多数分布于表层, 直免秸秆主要在表层, 表层不仅提供丰富食物也提供了恒稳的生活环境如水 (本研究发现蚯蚓数量同土壤水分含量具有显著的相关性) 和温度等, 直免上层是下层的 4.5 倍, 而秸秆不还田的清免处理

上层是下层的 2.3 倍。也可能是秸秆管理措施与蚯蚓品种共同作用的结果,有待于进一步研究证实。

所以,蚯蚓主要分布于土壤的浅表层,浅表层蚯蚓数量同时受到秸秆管理和耕作措施的影响,直立免耕上层数量与下层数量的差异最大;免耕和秸秆还田都能提高 0~10 cm 土层蚯蚓数量,在耕层的较深层则只受耕作措施的影响,秸秆影响不显著,直立免耕措施有利于土壤蚯蚓数量的增加。

2.2 蚯蚓数量的季节性变化

不论是在 0~10 cm 还是在 10~20 cm 土层,蚯蚓数量在一年中都具有明显的波动性。就本研究 4 个时期的取样结果看,9~10 月份可能是蚯蚓数量的高峰期,10 月份则降低;10~20 cm 土层数量的峰值则可以持续到 10 月份。土壤这种不同层次之间蚯蚓波动特点可能与不同土层之间温度的季节性变化不同有关,下层土壤温度在 10 月份仍能保持比上层土壤较为恒定的土壤温度,则蚯蚓数量的变化亦具稳定性的表现。

如果把 5 月和 6 月份的数量平均,用达到高峰值的 9 月和 10 月份数量的均值同前述的平均值比较(即峰值与谷底值相比),这里定义这种值为蚯蚓

数量波动程度的量度,比值大意味着波动程大。分析结果表明,比值受到耕作措施和秸秆管理的影响,秸秆清除的值最高。0~10 cm 层秸秆不还田为 28,还田为 4.6,免耕为 2.7,耕作为 5.7,10~20 cm 秸秆不还田为 1.7,还田为 2.8,免耕为 16.7,翻耕为 3.4。分析表明交互作用显著,不同处理之间如图 3 所示,清免波动性显著高于其他处理,直免的波动性较小。表明秸秆清除且免耕措施下蚯蚓数量稳定性较低,直立免耕蚯蚓数量稳定性相对较高。

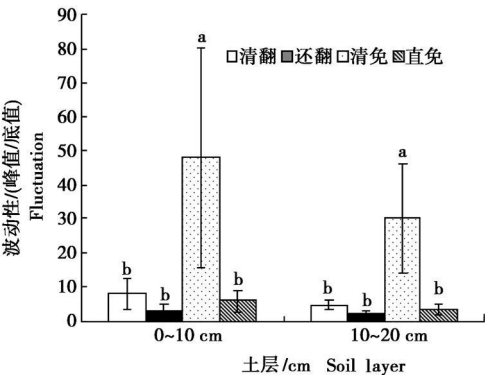


图 3 不同处理蚯蚓数量的季节性波动性

Fig 3 Seasonal fluctuation of earthworm in amount for different treatments

表 3 蚯蚓同土壤因子的相关性

Tab 3 Pearson's correlation coefficients between earthworm and soil factors		不同土层中相关系数及显著性	
土壤环境因子		0~10 cm	10~20 cm
土壤水分含量		0.753 a	0.131
土壤微生物量碳		0.695 a	-0.226
土壤水稳定性团聚体	1mm 团聚体含量	-0.082	-0.370
	0.5mm 团聚体含量	0.296	-0.092
	0.25mm 团聚体含量	0.661 a	0.224

注:根据 Duncan's 多重比较不同的字母表示处理之间显著性差异(字母表示 $P < 0.01$)。

2.3 蚯蚓数量同其他土壤因子之间的关系

蚯蚓数量同各土壤因子进行显著性相关性分析,结果如表 3 所示,在 0~10 cm 的土层中,蚯蚓数量和土壤水分含量、土壤微生物量碳含量、土壤水稳定性团聚团粒(0.25 mm)含量呈显著正相关,在 10~20 cm 层则没有显著相关。土壤含水量的提高有利于蚯蚓数量的增加,秸秆还田有利于土壤蓄水性能提高,特别免耕覆盖能提高土壤含水量^[29-31],所以直立免耕正像前面结果那样提高了蚯蚓数量。蚯蚓数量的提高有利于土壤微生物的活动,很多研究表明蚯蚓能刺激土壤微生物活动。本研究表明,蚯蚓数量同水稳定性团聚体的正相关性可能与蚯蚓吞食排泄粪便有关,数据分析表明直立免耕处理 0.25 mm 水稳性团聚体显著高于其他处理(水稳性团聚数据见牛新胜等^[32]研究报道),所以玉米秸秆覆盖还田下免耕播种冬小麦对于提高土壤肥力具

有重要意义。

3 结论

据本研究结果和前述的分析,可得出以下结论:该地区冬小麦夏玉米轮作体系下,蚯蚓主要分布于土壤的浅表层,浅表层蚯蚓数量同时受到秸秆管理和耕作措施的影响,直立免耕上层数量与下层数量的差异最大;在 0~10 cm 土层,免耕和秸秆还田都能提高蚯蚓数量;在 10~20 cm 层,只受耕作措施的影响,秸秆影响不显著。玉米秸秆直立还田覆盖免耕播种冬小麦能显著提高土壤蚯蚓数量。蚯蚓数量季节性变化非常明显,9~10 月份是该地区小麦玉米轮作体系下的高峰期。秸秆清除和免耕措施下蚯蚓数量季节性波动较大,数量稳定性较低,直立免耕蚯蚓数量稳定性相对较高。在 0~10 cm 的土层,蚯蚓数量和土壤水分含量、土壤微生物量碳含量、土壤水

稳定性团聚团粒 (0.25 mm) 含量呈显著正相关, 在 10~ 20 cm 层则没有显著相关。直立免耕条件下, 生物因子和土壤环境之间的互作有利于土壤肥力水平的提高, 提供了一条重要的土壤肥力的调控途径。秸秆还田条件下, 10~ 20 cm 土层中蚯蚓数量不受影响的原因还有待于进一步深入研究。

参考文献:

[1] Daw in C. The fomation of Vegetable M oukl through the Action of Worm s, w ith Observations of their Hab its [D]. Murray London, 1881.

[2] 任 艺. 蚯蚓的作用 [J]. 首都医药, 2009 3 46- 48

[3] Deãens T, Range l A F, Asakawa N, *et al* Carbon and n+rogen dyna mics in ageing earthworm casts in grasslands of the eastern plains of Columbia [J]. Biology and Fertility of Soils 1999, 30 20- 28

[4] 于建光. 蚯蚓活动对农田土壤有机碳转化的影响研究 [D]. 南京: 南京农业大学, 2007.

[5] Chan K Y. An overview of some tillage inapcts on earthworm population abundance and diversity implications for functioning in soils [J]. Soil& Tillage Research, 2001, (57): 179- 191

[6] 王丹丹, 李辉信, 胡 锋, 等. 蚯蚓活动对锌污染土壤微生物群落结构及酶活性的影响 [J]. 生态环境, 2006 15(3): 538- 542

[7] 张宝贵, 李贵桐, 申天寿. 威廉环毛蚯蚓对土壤微生物量及活性的影响 [J]. 生态学报, 2000, 20(1): 159- 172

[8] 王 霞, 胡 锋, 李辉信, 等. 秸秆不同还田方式下蚯蚓对旱作稻田土壤碳、氮的影响 [J]. 生态环境, 2003 12(4): 462 - 466

[9] 王 霞, 胡 锋, 李辉信, 等. 秸秆还田情况下蚯蚓活动对稻麦轮作土壤磷素的影响 [J]. 农业环境科学学报, 2004 23(2): 341- 344

[10] Hendrix P E, Peterson A C, Beare M H. *et al* Long-term effects of earthworms on microbial biomass nitrogen in coarse and fine textured soils [J]. Applied Soil Ecology, 1998(9): 375- 380

[11] 黄初龙, 张雪萍. 蚯蚓环境生态作用研究进展 [J]. 生态学杂志, 2005, 24(12): 1466- 1470

[12] 李典友, 程仁法. 指示生物蚯蚓对生态环境质量的指示作用 [J]. 安徽农学, 2006 34(18): 4637- 4638

[13] 朱维琴, 贾秀英, 王玉洁, 等. 农业有机废弃物蚯蚓堆制因素优化及堆制产物主要性状变化特征 [J]. 生态与农村环境学报, 2009, 25(4): 77- 82

[14] 申为宝, 杨洪强. 蚯蚓和微生物对土壤养分和重金属的影响 [J]. 中国农业科学, 2008, 41(3): 760- 765

[15] 贺淹才. 蚯蚓对改良土壤和改善农业生态环境的作

用 [J]. 黑龙江农业科学, 2004, (6): 42 - 44

[16] 崔玉珍, 牛明芬. 蚯蚓粪对土壤的培肥作用及草莓产量和品质的影响 [J]. 土壤通报, 1998 29(4): 156 - 157

[17] Mele P M, Carter M R. Impact of crop management factors in conservation tillage fam ingon earthworm density, age structure and species abundance insouth-eastern Australia [J]. Soil& Tillage Research, 1999, 50 1- 10

[18] Eileen J Kladivka Meela M Akhourj Glenn Weesies Earthworm populations and species distributions unders no-till and conventional tillage in Indiana and Illinois [J]. Soil Biology Biochem, 1997, 29(3/4): 613- 615

[19] 蔡典雄, 王小彬, 高绪科. 关于持续性保持耕作体系的探讨 [J]. 土壤学进展, 1993, 21(1): 1- 5

[20] 乔玉辉, 曹志平, 王宝清, 等. 不同培肥措施对低肥力土壤生态系统蚯蚓种群数量的影响 [J]. 生态学报, 2004 24(4): 700- 705

[21] 曹志平, 乔玉辉, 王宝清, 等. 不同土壤培肥措施对华北高产农田生态系统蚯蚓种群数量的影响 [J]. 生态学报, 2004 24(10): 2303- 2306

[22] 乔玉辉, 曹志平, 吴文良. 华北高产农田生态系统中蚯蚓种群次生演替规律 [J]. 生态学报, 2004 24(10): 2308- 2311.

[23] 乔玉辉, 吴文良, 徐 芹, 等. 华北盐渍化改造区蚯蚓种群次生演替与生产投入的关系—以河北省曲周试区为例 [J]. 应用生态学报, 2001, 12(3): 414- 416

[24] 吴文良, 乔玉辉, 徐 芹, 等. 华北盐渍化改造区农田蚯蚓生态学研究—以河北省曲周县为例 [J]. 生态学报, 2001, 21(7): 1109- 1113

[25] 中国科学院南京土壤所编. 土壤理化分析 [M]. 南京: 上海科学技术出版社, 1978a 517- 519

[26] 中国科学院南京土壤所编. 土壤理化分析 [M]. 南京: 上海科学技术出版社, 1978c 466 - 467.

[27] 林启美, 吴玉光, 刘焕龙. 熏蒸法测定土壤微生物量碳的改进 [J]. 生态学杂志, 1999, 18(2): 63- 66

[28] 牛新胜, 张宏彦, 王立刚, 等. 玉米秸秆覆盖冬小麦免耕播种对土壤微生物量碳的影响 [J]. 中国土壤与肥料, 2009(1): 64- 73

[29] 籍增顺, 王盛霞, 洛希图, 等. 旱地玉米免耕覆盖土壤水分研究 [J]. 山西农业科学, 1994, 22(3): 7- 12

[30] 史清亮, 马玉珍, 丁玉川. 旱地玉米免耕整秸秆覆盖栽培的根际固氮生态效应 [J]. 生态学杂志, 1994 13(2): 72- 73

[31] 张海林, 高旺盛, 王广章, 等. 覆盖免耕夏玉米生长及水分利用的研究 [J]. 作物杂志, 2000(4): 7- 9

[32] 牛新胜, 马永良, 牛灵安, 等. 玉米秸秆覆盖冬小麦免耕播种对土壤理化性状的影响 [J]. 华北农学报, 2007, 22(增刊): 158- 163