

## 不同耕作方式对黑土农田土壤温湿效应的影响

陈学文<sup>1,2</sup>, 张晓平<sup>1</sup>, 梁爱珍<sup>1</sup>, 贾淑霞<sup>1</sup>, 时秀焕<sup>1,2</sup>, 范如芹<sup>1,2</sup>, 魏守才<sup>1,2</sup>

(1. 中国科学院 东北地理与农业生态研究所, 吉林 长春 130012; 2. 中国科学院 研究生院, 北京 100049)

**摘要:** 2005~2007年以中层黑土土壤为研究对象, 研究免耕和秋翻处理对黑土农田土壤温湿效应的影响。结果表明: 不同耕作处理对春季播种期土壤含水量影响较大, 玉米田和大豆田免耕处理分别显著高于秋翻6.2%和6.6%。在玉米抽雄期, 玉米田和大豆田2种耕作处理条件下土壤含水量均没有显著差异, 但与秋翻相比, 免耕保持了较好的耕层土壤水分。春季播种期耕层免耕处理的土壤温度明显低于秋翻。对玉米出苗期到抽雄期玉米田和大豆田土壤温度动态监测表明: 5、10和15 cm免耕处理土壤温度均小于秋翻, 并且在5和15 cm处达到差异显著性水平( $P < 0.05$ )。免耕由于秸秆覆盖抑制水分蒸发, 对保持土壤墒情具有重要作用, 秸秆腐烂后能增加土壤有机质含量, 有利于提高土壤的持续生产能力。

**关键词:** 免耕; 秋翻; 黑土农田; 土壤温湿效应; 玉米; 大豆

**中图分类号:** S152.7 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-9841(2011)05-0764-05

## Impact of Different Tillage Methods on Black Soil Temperature and Humidity in Northeast China

CHEN Xue-wen<sup>1,2</sup>, ZHANG Xiao-ping<sup>1</sup>, LIANG Ai-zhen<sup>1</sup>, JIA Shu-xia<sup>1</sup>, SHI Xiu-huan<sup>1,2</sup>, FAN Ru-qin<sup>1,2</sup>, WEI Shou-cai<sup>1,2</sup>

(1. Northeast Institute of Geography and Agroecology, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130012, Jilin; 2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

**Abstract:** The impact of no tillage (NT) and mouldboard plow (MP) on black soil temperature and humidity in northeast China were studied from 2005 to 2007. The result showed that tillage methods greatly affected soil moisture content in spring sowing stage. In the corn and soybean farmland, the soil moisture of NT was significantly higher than MP for 6.2% and 6.6%, respectively. In corn tasseling stage, there was no significant difference between two tillage methods in different crop farmland. Compared with MP, NT maintained a better soil moisture content level. Soil temperature under NT was significantly lower than MP in spring sowing stage. Effects of different tillage treatments on soil temperature from corn seedling to tasseling stage reflected that soil temperature under NT was less than MP in 5, 10 and 15 cm soil horizons, and the difference reached the significant level in 5 cm and 15 cm ( $P < 0.05$ ). Crop residue played an important role in keeping soil moisture due to inhibition of water evaporation and decayed crop residue could increase soil organic matter content. NT treatment was beneficial in improving the sustainable production capacity of soil.

**Key words:** No tillage; Mouldboard plow; Black farmland; Soil temperature and humidity effect; Corn; Soybean

土壤温湿度作为土壤的重要参数, 在作物生长发育过程中起到重要的调控作用<sup>[1-2]</sup>。土壤温度是太阳辐射平衡、土壤热量平衡和土壤热学性质共同作用的结果<sup>[3]</sup>。土壤温度的变化, 直接影响着播种日期、种子萌发以及作物苗期生长状况<sup>[4]</sup>。土壤湿度决定农作物的水分供应状况。土壤湿度过低, 土壤干旱造成光合作用不能正常进行, 降低作物的产量和品质; 严重缺水时导致作物凋萎和死亡; 土壤湿度过高, 恶化土壤通气性, 影响土壤微生物的活

动, 使作物根系的生命活动受到阻碍, 从而影响作物地上部分的正常生长, 造成徒长、倒伏、病害滋生等现象; 土壤湿度状况还影响田间耕作措施和播种质量, 并影响土壤温度的变化。

关于耕作方式对土壤温湿特性产生的影响, 已有大量的研究。常旭虹等<sup>[5]</sup>研究表明保护性耕作土壤含水量比常规翻耕处理有所增加, 地温的变化规律表现为玉米大喇叭口期以前保护性耕作各土层地温均低于常规翻耕处理, 保护性耕作特别是免

收稿日期: 2011-04-29

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40801071); “十一五”国家科技支撑计划资助项目(2009BADB3B01); 中国科学院知识创新工程重要方向资助项目(KZCX2-EW-QN307)。

第一作者简介: 陈学文(1982-), 男, 在读博士, 研究方向为保护性耕作和土壤环境。E-mail: chenxuewen@yahoo.com.cn。

通讯作者: 张晓平(1957-), 男, 研究员, 博士生导师, 研究方向为土壤管理和土壤有机碳。E-mail: zhangxiaoping@neigae.ac.cn。

耕秸秆覆盖对光辐射吸收转化和热量传导均有影响<sup>[6-9]</sup>。周凌云等<sup>[10]</sup>研究表明,覆盖秸秆(与不覆盖秸秆相比)可使冬季 0~20 cm 土壤温度提高 0.5~2.5℃,可以减轻小麦冻害。朱文珊等<sup>[11]</sup>研究表明免耕土壤含水量总是比常规耕作高。这主要是由于在作物生长到足以覆盖土壤以前,地表覆盖大大减少了土壤蒸发所致,在作物冠层完全覆盖地面后,免耕和常规耕作土壤蒸发无明显差异。许迪等<sup>[12]</sup>研究表明,在干旱年份,免耕始终保持了较高土壤含水量,特别是在苗期。李玲玲等<sup>[13-14]</sup>研究表明,免耕秸秆覆盖对表层土壤水分含量影响较大,在作物播种期可以减少表层水分蒸发,显著增加表层土壤含水量。

中国东北地区主要耕作土壤为黑土,自开垦以来,过度垦殖对黑土生态环境造成了严重损害<sup>[15-17]</sup>,并且东北地区早春地温低、十春九旱,恶劣的土壤温湿环境对作物生长发育产生较大的影响。通过合理的耕作方式可以对土壤温湿效应起到调节的作用,但是鉴于东北黑土区保护性耕作研究起步较晚,有关不同耕作方式对黑土农田温湿效应的影响还鲜有报道。因此,该研究基于中国科学院东北地理与农业生态研究所黑土保护性耕作长期定位试验平台,考察不同耕作方式对黑土农田温湿效应的影响,旨在为黑土区农田科学管理、促进农业可持续发展,进而推广保护性耕作提供理论和实践参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料

玉米品种吉单 28,大豆品种长农 13,分别由吉林省农业科学院和长春市农业科学院提供。

表 1 试验区各土层土壤理化性质

Table 1 Physical and chemical characters of tested soil under different depths

土层深度 Soil depth/cm	pH	粘粒 Clay/% (<2 μm)	粉粒 Silt/% (2~20 μm)	砂粒 Sand/% (20~200 μm)	容重 Bulk weight/g·cm <sup>-3</sup>	总有机碳 TOC /g·kg <sup>-1</sup>	总氮 TN/g·kg <sup>-1</sup>
0-5	6.48	36.03	24.00	39.97	1.24	16.48	1.42
5-10	6.45	35.83	23.78	40.39	1.38	16.29	1.39
10-20	6.51	35.68	24.35	39.98	1.36	16.08	1.37
20-30	7.03	36.56	25.00	38.72	1.38	14.22	1.16

### 1.3 测定项目与方法

1.3.1 土壤含水量的测定 在每个小区内各埋设 1 个直径为 3 cm,长为 30 cm 的圆柱形土壤时域反射仪(TDR)测管,采用德国产 TRIME 土壤时域反射仪(TDR)<sup>[18]</sup>插入 TDR 测管里观测记录 2005~2007 年春季播种期、玉米抽雄期玉米田和大豆田 0~30 cm 的土壤体积含水量,每小区测 3 次,取平均值。

1.3.2 土壤温度的测定 2005~2007 年春季播种期玉米田和大豆田的土壤温度采用点式温度计测

### 1.2 试验设计

试验于 2005~2007 年在吉林省德惠市米沙子乡(44°12'N,125°33'E)中国科学院东北地理与农业生态研究所黑土农业试验示范基地进行。试验区土壤类型为中层典型黑土,壤质粘土,表层 0~20 cm 土壤的 pH 值为 6.5 左右,属中性或微酸性。试验区土壤理化性质详见表 1。试验区气候属于中温带大陆性季风气候,年平均气温 4.4℃,年降水量为 520 mm,且主要集中在 6~8 月。试验地块在建立长期定位试验之前以传统耕作方式玉米连作为主,共设免耕玉米、免耕大豆、秋翻玉米和秋翻大豆 4 个处理,同一地块的耕作方式保持不变,次年玉米和大豆进行轮作。每个小区的面积为 105 m<sup>2</sup>(7 行区,行长 20 m,垄宽 0.75 m)。玉米地氮肥作为底肥和追肥,施肥量为 150 kg·hm<sup>-2</sup>,磷肥和钾肥只在播种时作为底肥施入,施用量分别为 45.5 和 80 kg·hm<sup>-2</sup>。大豆地只施底肥,氮肥(N)、磷肥(P)和钾肥(K)的施用量分别为 40、60 和 80 kg·hm<sup>-2</sup>。

1.2.1 免耕处理 收获后至播种前不搅动土壤,利用前作残留物覆盖地表,借以减轻风侵水蚀。采用可以联合作业牵引式免耕播种机(KINZE3000)播种。播种机前部装有切刀,在不拖移地表残留物的前提下开沟播种、施底肥、覆土和镇压,一次完成作业。应用广谱性除草剂于播种前、后进行土壤处理和苗期喷洒。

1.2.2 秋翻处理 秋收后耕翻土地,翻动土层深度大约为 20 cm,耕翻后耙平,作物残留物扣于地表之下,春季进行整地(深度约 7.5~10 cm),播种和施肥同时进行,中耕的同时起垄,人工除草。

量表层 0~10 cm 的土壤温度。玉米出苗期到抽雄期采用 Watch dog 对玉米出苗期到抽雄期玉米田和大豆田 07:00 和 14:00,土层 5、10 和 15 cm 的土壤温度进行全面观测,分析耕作方式对不同深度土壤温度的影响,具体测定时间为 2005~2007 年每年的 5 月 7 日~7 月 7 日<sup>[19]</sup>。

### 1.4 数据分析

采用 Excel 2003 和 SPSS 13.0 软件处理数据。显著性差异采用方差分析中的 LSD 检验,显著性检验水平为 0.05。采用 Origin 7.5 软件作图。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同耕作方式对土壤含水量的影响

2.1.1 春季播种期土壤含水量情况 不同耕作方式对春季播种期的土壤含水量影响较大(表2)。从平均值来看,种植玉米和大豆下的免耕土壤含水量分别比秋翻处理高 6.2% 和 6.6%,差异显著( $P < 0.05$ )。从各年份测定值来看,无论是种植玉米还是大豆,免耕的土壤含水量均显著高于秋翻( $P < 0.05$ )。这表明相对于秋翻而言,春季免耕有助于

保持土壤水分,保墒效果显著。

2.1.2 玉米抽雄期土壤含水量情况 玉米抽雄期各处理的土壤含水量测定结果表明(表3),2005~2007 年各年度数值及总体平均值均表现为同一作物免耕处理的土壤含水量均高于秋翻,但没有达到显著水平( $P > 0.05$ )。

玉米抽雄期免耕土壤含水量高于秋翻,说明免耕相对秋翻具有良好的抗旱效果,可以增加作物对土壤中储存水分的利用,这在于旱年份可以在一定程度上缓解由于干旱造成的减产。

表2 不同耕作方式对春季播种期土壤含水量的影响

Table 2 Effect of different tillage methods on soil moisture content of spring(%)

测定时间 Measurement date	玉米 Corn		大豆 Soybean	
	免耕 NT	秋翻 MP	免耕 NT	秋翻 MP
2005.04.26	29.0a	22.3b	28.7a	22.5b
2006.04.27	27.5a	21.3b	29.3a	22.2b
2007.04.29	26.3a	20.5b	28.0a	21.4b
平均 Average	27.6a	21.4b	28.6a	22.0b

相同字母表示同行数值在 0.05 置信水平上没有显著性差异,下表同。

Values followed by the same letter in the same row had no significant difference at 0.05 level, the same as below.

表3 不同耕作方式对玉米抽雄期土壤含水量的影响

Table 3 Effect of different tillage methods on soil moisture content in tasseling stage(%)

测定时间 Measurement date	玉米 Corn		大豆 Soybean	
	免耕 NT	秋翻 MP	免耕 NT	秋翻 MP
2005.07.20	22.9a	22.7a	17.6b	16.6b
2006.07.20	18.4a	17.4a	16.0b	14.9b
2007.07.20	20.1a	18.3a	15.7b	15.4b
平均 Average	20.5a	19.5a	16.4b	15.6b

### 2.2 不同耕作方式对土壤温度的影响

2.2.1 春季播种期的土壤温度 从表4可知,2005~2007 年同一作物免耕处理的土壤温度明显低于

秋翻,除 2005 年玉米田差异不显著外,其它处理间差异均达到显著水平。3 a 间平均值免耕处理的土壤平均温度显著低于秋翻。

表4 不同耕作方式对春季播种期土壤温度的影响

Table 4 Effects of different tillage methods on soil temperature in sowing stage of spring(°C)

测定时间 Measurement date	玉米 Corn		大豆 Soybean	
	免耕 NT	秋翻 MP	免耕 NT	秋翻 MP
2005.04.26	8.6b	8.7b	7.5b	9.4a
2006.04.27	5.7b	7.5a	3.7c	7.5a
2007.04.29	9.4b	12.5a	7.4c	12.5a
平均 Average	7.9b	9.6a	6.2c	9.8a

2.2.2 玉米出苗期到抽雄期的土壤温度 玉米出苗期至抽雄期上午 07:00 土壤观测结果显示,5 cm 土层土壤温度玉米和大豆均表现出免耕处理显著低于秋翻(图1);10 和 15 cm 土层土壤温度均为免耕处理低于秋翻处理,且 15 cm 时达到显著差异水平( $P < 0.05$ ,图略)。

下午 14:00 与 07:00 土壤温度的变化规律相同,5、10 和 15 cm 时同一作物免耕处理土壤温度均低于秋翻,在 5 和 15 cm 达到显著性差异水平( $P <$

0.05,图略)。

土壤温度对耕作方式的响应不同,在春季播种期由于气温差异且大量秸秆覆盖地表导致免耕的土壤温度低于秋翻;玉米出苗期到抽雄期玉米田和大豆田 5、10 和 15 cm 免耕的土壤温度均低于秋翻,且在 5 和 15 cm 土层差异显著( $P < 0.05$ ),而 10 cm 未出现显著性差异的原因应归结为 10 cm 位于冻融交替的换气层,土壤温度受到冻融交替的影响。

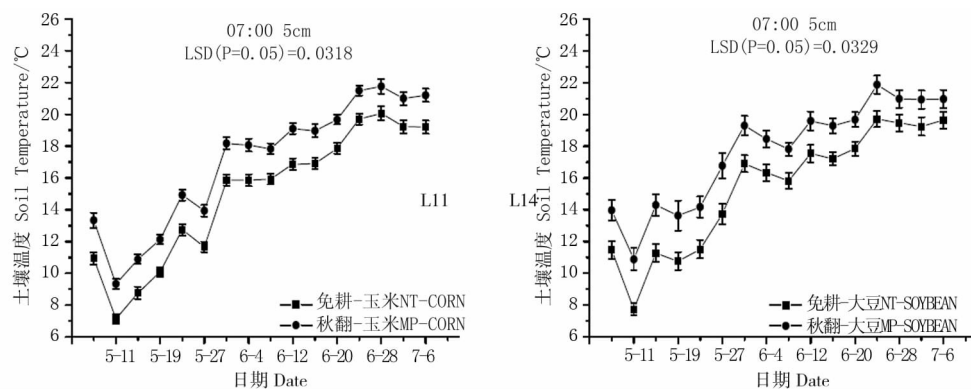


图1 2005~2007年玉米出苗期到抽雄期5 cm 土层土壤温度变化

Fig.1 Temperature change of 5 cm soil horizon from corn seedling to tasseling stage(2005-2007)

### 3 结论与讨论

耕作方式显著影响春季播种期土壤含水量,3 a 间免耕玉米地和大豆地土壤含水量平均值均显著高于秋翻,说明免耕较秋翻保持了较高的土壤含水量。出现这种情况的原因应归结为免耕对土壤不进行扰动,秸秆覆盖地表,具有减少水分的蒸发、保墒蓄水、提高水分利用效率的综合作用,这与朱文珊<sup>[11]</sup>、许迪等<sup>[12]</sup>研究结论一致。孙东宝等<sup>[20]</sup>研究表明,玉米生长期,免耕与翻耕相比,蒸腾量增多,蒸发量减少,大大提高了水分利用效率。Gouranga 等<sup>[21]</sup>同样指出在印度东部少耕和免耕,使土壤蓄水量由 102 mm 增加到 157 mm,蓄水量占降水量比例由原来的 19% 提高到 33%。刘定辉等<sup>[22]</sup>在四川盆地丘陵区的研究结果表明免耕秸秆还田提高稻田耕层土壤持水性能,增加土壤水分库容量;秸秆还田后通过增加土壤有机质提高了土壤毛管孔隙含量,提高土壤有效水含量,提高了土壤的耐旱性能和供水能力。而在玉米抽雄期,玉米和大豆 2 种耕作处理的土壤含水量未出现显著差异,原因可能为随着生育期的推移,玉米的群体生长覆盖了地面,导致不同耕作措施的土壤水分含量差异减小。

无论是种植玉米还是大豆,在春季播种期还是玉米出苗期到抽雄期,均表现出免耕处理的土壤温度小于秋翻,这与 Drury 等<sup>[23]</sup>在加拿大类似土壤和气候条件下得出的研究结果一致。出现这种结果的原因可能是免耕秸秆覆盖造成的低温效应,免耕由于秸秆覆盖较其它耕作方式相比表现出较冷的土壤环境。多数研究认为免耕秸秆覆盖造成低温效应的原因是多方面的,首先是由于地表有残茬等物覆盖减少了太阳辐射,降低了地表风速,减少了地表蒸发<sup>[24]</sup>;其次是土壤含水量增加,加快了热量的向下传递<sup>[25]</sup>;第三就是水的热容量大,使得土壤吸收相同的热量,地温升高幅度偏低<sup>[26]</sup>。姜益娟

等<sup>[27]</sup>对荒漠绿洲棉田土壤温度的影响研究表明:免耕与传统耕作相比较,上午 8:00 时仅相差 0.19℃,到下午 20:00 时免耕地比传统耕作地的地表温度低 3.03℃,表明在白天阳光照射下,免耕地比传统耕作地表温度升温慢。

3 a 的田间试验数据表明,免耕较秋翻保持了较多的土壤水分,并且在春季播种期出现了显著性差异。无论是春季播种期还是出苗期到抽雄期,免耕由于秸秆覆盖有效的拦截了太阳辐射,故土壤温度均低于秋翻。与秋翻相比实施免耕后,虽然春季土壤温度较低、升温较慢,但因其秸秆覆盖地表,有效地抑制了土壤水分蒸发,这对土壤蓄水保墒、增强抗旱能力、缓解春季播种土壤墒情起着至关重要的作用,并且由于秸秆腐烂后能增加土壤有机质含量,减少土壤养分损失,对提高土壤的持续生产能力具有重要的现实意义。

### 参考文献

- [1] 杨晓娟,李春俭.机械压实对土壤质量、作物生长、土壤生物及环境的影响[J].中国农业科学,2008,41(7):2008-2015. (Yang X J, Li C J. Impacts of mechanical compaction on soil properties, growth of crops, soil-borne organisms and environment[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2008, 41(7): 2008-2015.)
- [2] 邹文秀,韩晓增,王守宇,等.长期施肥对大豆地土壤蒸发和水分利用效率的影响[J].大豆科学,2009,28(3):487-490,494. (Zou W X, Han X Z, Wang S Y, et al. Effect of long-term fertilization on soil evaporation and water use efficiency in soybean field[J]. Soybean Science, 2009, 28(3): 487-490, 494.)
- [3] 黄昌勇.土壤学[M].北京:中国农业出版社,2000:127-128. (Huang C Y. Soil science[M]. Beijing: China Agricultural Press, 2000: 127-128.)
- [4] 张少良,张兴义,于同艳,等.黑土区耕作措施对春季耕层温度的影响[J].农业现代化研究,2009,30(1):113-117. (Zhang S L, Zhang X Y, Yu T Y, et al. Effects of tillage on soil temperature of plough layer in spring of black soil regions of China[J]. Research of Agricultural Modernization, 2009, 30(1): 113-117.)
- [5] 常旭虹,赵广才,孟祥云,等.农牧交错区保护性耕作对土壤含

- 水量和温度的影响[J]. 土壤, 2006, 38(3): 328-332. (Chang X H, Zhao G C, Meng X Y, et al. Effect of conservation tillage on soil moisture and temperature in the farming-pasture zone[J]. Soils, 2006, 38(3): 328-332.)
- [6] Fabrizio K P, García F O, Costa J L, et al. Soil water dynamics, physical properties and corn and wheat responses to minimum and no-tillage systems in the southern Pampas of Argentina[J]. Soil and Tillage Research, 2005, 81(1): 57-69.
- [7] Elder J W, Lal R. Tillage effects on gaseous emissions from an intensively farmed organic soil in north central Ohio[J]. Soil and Tillage Research, 2008, 98(1): 45-55.
- [8] Gouranga K, Ashwani K. Evaluation of post-rainy season crops with residual soil moisture and different tillage methods in rice fallow of eastern India[J]. Agricultural Water Management, 2009, 96(6): 931-938.
- [9] 郑华斌, 唐启源, 陈立军, 等. 耕作方式与覆盖物对稻田玉米产量和土壤温度的影响[J]. 农业现代化研究, 2010, 31(3): 338-342. (Zheng H B, Tang Q Y, Chen L J, et al. Effect of tillage and mulch on maize yield and soil temperature in paddy field[J]. Research of Agricultural Modernization, 2010, 31(3): 338-342.)
- [10] 周凌云, 周刘宗. 麦秸秸秆覆盖节水效应研究[J]. 生态农业研究, 1996, 4(3): 49-52. (Zhou L Y, Zhou L Z. The water-saving effects of straw mulch in field[J]. Eco-Agriculture Research, 1996, 4(3): 49-52.)
- [11] 朱文珊, 曹明奎. 秸秆覆盖免耕法的节水培肥增产效益及应用前景[J]. 干旱地区农业研究, 1988(4): 1-2. (Zhu W S, Cao M K. Effects of saving water and bettering land fertility by the stubble mulching no-till and its future utilization[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 1988(4): 1-2.)
- [12] 许迪, Schmi R. 耕作方式对土壤水动态变化及夏玉米产量的影响[J]. 农业工程学报, 1999, 15(3): 101-106. (Xu D, Schmi R. Effects of tillage practices on the variation of soil moisture and the yield of summer maize[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 1999, 15(3): 101-106.)
- [13] 李玲玲, 黄高宝, 张仁陟, 等. 不同保护性耕作措施对旱作农田土壤水分的影响[J]. 生态学报, 2005, 25(9): 2326-2332. (Li L L, Huang G B, Zhang R S, et al. Effects of conservation tillage on soil water regimes in rainfed areas[J]. Acta Ecologica Sinica, 2005, 25(9): 2326-2332.)
- [14] 李玲玲, 黄高宝, 张仁陟, 等. 秸秆覆盖对旱作农田土壤水分的影响[J]. 水土保持学报, 2005, 19(5): 94-96, 116. (Li L L, Huang G B, Zhang R S, et al. Effects of no-till with stubble retention on soil water regimes in rainfed areas[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2005, 19(5): 94-96, 116.)
- [15] 何艳芬, 张柏, 李方, 等. 东北黑土区农业生态环境问题与对策[J]. 干旱地区农业研究, 2004, 22(1): 191-194. (He Y F, Zhang B, Li F, et al. The problems of agro-ecological environment and the countermeasures in black soil zone in northeast China[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2004, 22(1): 191-194.)
- [16] Zhao D S, Zheng D, Wu S H, et al. Climate changes in northeastern China during last four decades[J]. Chinese Geographical Science, 2007, 17(4): 317-324.
- [17] Duan X W, Xie Y, Liu G, et al. Field capacity in black soil region, northeast China[J]. Chinese Geographical Science, 2010, 20(5): 406-413.
- [18] 王兆伟, 郝卫平, 龚道枝, 等. 秸秆覆盖量对农田土壤水分和温度动态的影响[J]. 中国农业气象, 2010, 31(2): 244-250. (Wang Z W, Hao W P, Gong D Z, et al. Effect of straw mulch amount on dynamic changes of soil moisture and temperature in farmland[J]. Chinese Journal of Agrometeorology, 2010, 31(2): 244-250.)
- [19] Sarkar S, Singh S R. Interactive effect of tillage depth and mulch on soil temperature, productivity and water use pattern of rainfed barley (*Hordium vulgare* L.) [J]. Soil and Tillage Research, 2007, 92: 79-86.
- [20] 孙东宝, 孙高东, 王庆锁. 晋北半干旱区免耕对玉米光合和蒸腾特性的影响[J]. 中国农业气象, 2010, 31(2): 235-239. (Sun D B, Sun G D, Wang Q S. Effects of no-tillage on the photosynthesis and transpiration of maize in the semi-arid area of northern Shanxi province[J]. Chinese Journal of Agrometeorology, 2010, 31(2): 235-239.)
- [21] Gouranga K, Ashwani K. Evaluation of post-rainy season crops with residual soil moisture and different tillage methods in rice fallow of eastern India[J]. Agricultural Water Management, 2009, 96(6): 931-938.
- [22] 刘定辉, 陈尚洪, 舒丽, 等. 四川盆地丘陵区秸秆还田少免耕对土壤水分特征的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2009, 27(6): 119-122, 128. (Liu D H, Chen S H, Shu L, et al. Impact of straw mulching and no-tillage on soil water characteristics of paddy field in hilly area of Sichuan basin[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2009, 27(6): 119-122, 128.)
- [23] Drury C F, Tan C S, Reynolds W D, et al. Impacts of zone tillage and red clover on corn performance and soil physical quality[J]. Soil Science Society of America Journal, 2003, 67: 867-877.
- [24] 秦红灵, 高旺盛, 李春阳. 北方农牧交错带免耕对农田耕层土壤温度的影响[J]. 农业工程学报, 2007, 23(1): 40-47. (Qin H L, Gao W S, Li C Y. Impacts of no-tillage on soil temperature of field in ecotone of north China[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2007, 23(1): 40-47.)
- [25] 张乃生, 薛宗让, 洛希图, 等. 旱地玉米免耕覆盖土壤温度效应[J]. 山西农业科学, 1994, 22(3): 13-16. (Zhang N S, Xue Z R, Luo X T, et al. Study on soil temperature under no-tillage with stalks mulching in semi-arid areas[J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 1994, 22(3): 13-16.)
- [26] 于爱忠, 黄高宝, 冯福学. 不同耕作措施对冬小麦农田土壤水分和温度的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2009, 27(1): 84-88. (Yu A Z, Huang G B, Feng F X. The effect of different tillage on soil water and soil temperature of winter-wheat field[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2009, 27(1): 84-88.)
- [27] 姜益娟, 郑德明, 吕双庆, 等. 不同耕作制度对荒漠绿洲土壤物理性质和温度的影响[J]. 塔里木大学学报, 2006, 18(1): 1-5. (Jiang Y J, Zheng D M, Lv S Q, et al. Effect of different cultural system on soil physical property and temperature in desert oasis[J]. Journal of Tarim University, 2006, 18(1): 1-5.)