

# 培肥和耕作措施季节性干旱下对红壤剖面水分变化和产量的影响

李亚贞<sup>1</sup>, 肖国滨<sup>1</sup>, 肖小军<sup>1</sup>, 钟义军<sup>1</sup>, 陈明<sup>1</sup>, 夏桂龙<sup>2</sup>, 黄欠如<sup>1</sup>

(1. 国家红壤改良工程技术研究中心 农业部江西耕地保育科学观测实验站

江西省红壤研究所, 江西 进贤 331717; 2. 江西省邓家埠水稻原种场, 江西 余江 335200)

**摘要:**为了探讨培肥和耕作措施下红壤旱地的土壤剖面水分变化和产量对季节性干旱的响应规律,本研究在大田试验条件下系统分析了稻草覆盖、有机肥和常免耕对土壤剖面含水量、表层土壤温度及作物产量变化趋势。结果表明,在猪粪施用、常耕和免耕处理的土壤含水率不存在显著差异。而在相同耕作和猪粪条件下,稻草覆盖与否对土壤含水量影响较大,在春玉米和秋玉米季中连续干旱条件下,稻草覆盖处理下 0—5, 5—10, 10—20 cm 土壤含水量均高于不覆盖处理,稻草覆盖处理下 0—5, 5—10, 10—20 cm 土壤含水量均高于不覆盖处理,春玉米季的增幅分别为 27.93%, 5.91%, 1.41%, 秋玉米季分别为 15.74%, 7.71%, 2.59%。同时,稻草覆盖可以显著影响表层土壤的温度变化,在春玉米开花期,0—10 cm 和 10—20 cm 的土壤温度覆盖比不覆盖分别降低了 13.92% 和 2.26%。在秋玉米开花期 0—10 cm 和 10—20 cm 的土壤温度覆盖比不覆盖分别降低了 0.30% 和 2.69%。在所有处理中,春玉米和秋玉米季均表现出稻草覆盖+施猪粪+常耕的秸秆和籽粒产量最高。

**关键词:**季节性干旱; 红壤; 稻草覆盖; 土壤剖面水分; 玉米产量

中图分类号: S152.7; S344

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2014)06-0078-06

## Effects of Fertilization and Tillage Patterns on the Dynamic of Soil Profile Moisture Content and Corn Yield in Red Soil Under Seasonal Drought Conditions

LI Ya-zhen<sup>1</sup>, XIAO Guo-bin<sup>1</sup>, XIAO Xiao-jun<sup>1</sup>, ZHONG Yi-jun<sup>1</sup>,

CHEN Ming<sup>1</sup>, XIA Gui-long<sup>2</sup>, HUANG Qian-ru<sup>1</sup>

(1. National Engineering and Technology Research Center for Red Soil Improvement, Scientific Observational and Experimental Station of Arable Land Conservation in Jiangxi, Ministry of Agriculture, Jiangxi Institute of Red Soil, Jinxian, Jiangxi 331717, China; 2. Plantation of Dengjia Town of Jiangxi Province, Yujiang, Jiangxi 335200, China)

**Abstract:** In order to explore effects of different fertilization and cultivation ways on soil profile moisture content and corn yield in red soil under seasonal drought conditions, the field experiment was launched in 2012 which includes treatments of straw coverage, pig manure, tillage. Soil profile moisture content, soil temperature in continuous drought and grain yield of spring and autumn corns were analyzed. The results showed that under the same cultivation and pig manure condition, soil profile moisture content was affected significantly by straw cover or no cover. Compared with no straw cover, the soil water contents in 0—5 cm, 5—10 cm, 10—20 cm of straw coverage increased by 27.93%, 5.91% and 1.41%, respectively, in the period of spring corn growth, and the increment rates were 15.74%, 7.71%, 2.59% in autumn corn. Meanwhile, the straw coverage could significantly increase surface soil temperature at corn flowering stage, the soil temperatures in 0—10 cm and 10—20 cm of straw coverage reduced by 13.92% and 2.26%, respectively, in spring corn, and they decreased by 0.30% and 2.69% respectively in autumn corn. In all treatments, the biomass and grain yield were the highest when straw coverage, pig manure and tillage were combined in spring and autumn corn.

**Key words:** seasonal drought, red soil, straw coverage, soil profile moisture content, corn yield

收稿日期: 2014-04-14

修回日期: 2014-05-24

资助项目: “十二五”国家科技支撑“红壤耕地次生障碍修复修复技术与集成示范”(2011BAD41B01-3)。

作者简介: 李亚贞(1984—), 女, 河南虞城人, 硕士, 助理研究员, 研究方向: 作物生理生态。E-mail: liyazhen626@163.com

通信作者: 黄欠如(1966—), 男, 江西樟树人, 博士, 研究员, 研究方向: 主要从事资源与环境研究。E-mail: qianruhuang@163.com

红壤是我国南方地区重要的土地资料,红壤耕地占南方总耕地面积的 36%。但是,由于红壤本身存在酸、粘、瘦、保水性差等特点,严重制约了该地区的粮食生产。尤其是近年来在全球气候变化影响下,中国南方地区的干旱发生频率和强度呈现出明显的增加趋势,其中以春旱和秋旱为重<sup>[1]</sup>,特别是 7—8 月份和 11—12 月份的季节性干旱已经严重影响了红壤地区的玉米、芝麻等作物的生长<sup>[2]</sup>。

土壤水分变化规律是影响作物水分利用的重要因子,大量研究表明,不同耕作措施可以改善土壤水分状况和土壤温度,秸秆覆盖对土壤水分和温度也有一定的影响<sup>[3-5]</sup>。且作物产量、土壤理化性状和土壤养分平衡等对土壤培肥方式的响应差异较大。王晖等<sup>[6]</sup>研究表明,秸秆覆盖可显著增加超高产夏玉米农田的土壤水分含量,吕美蓉等<sup>[7]</sup>研究表明,免耕、深松耕、耙耕与秸秆还田的交互效应能够增加集雨,提高冬小麦产量。刘庚山等<sup>[8]</sup>研究留残茬和覆盖表明该方式能明显提高夏玉米叶片水平上的水分利用效率,肖孔操等<sup>[9]</sup>表明稻草覆盖是亚热带红壤旱地季节性干旱防御的有效措施。同时,加大有机肥投入已经被证明是提高土壤肥力的重要环节<sup>[10]</sup>。宫亮等<sup>[11]</sup>研究表明有机培肥处理的产量和水分利用率明显提高。

但目前有关耕作培肥措施下土壤水分运移规律的研究主要集中在北方干旱半干旱区和黄土丘陵区,而关于季节性干旱条件下耕作培肥措施下土壤的水分变化规律方面的研究还涉入较浅,特别是在红壤旱地上。因此,本研究基于典型红壤旱地深入分析耕作和培肥措施下土壤剖面含水量的变化规律,并结合表层土壤温度和作物产量变化趋势,探讨土壤含水量、土壤温度和作物产量的相互关系,以期对季节性干旱

红壤旱地的作物生产提供理论依据和技术支持。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

试验于 2012 年 3 月在江西省红壤研究所(116°20′24″E,28°15′30″N)试验站进行,本试验所测结果于 2013 年 3—11 月之间取样测定。该地气候温和、雨量丰富、日照充足、无霜期长,属中亚热带季风气候,年均降雨量 1 537 mm,年蒸发量 1 100~1 200 mm。干湿季节明显,3—6 月为雨季,降雨量占全年雨量 61%~69%,7—9 月为旱季,蒸发量占全年蒸发量的 40%~59%。年均气温 17.7~18.5℃,最冷月气温(1 月)为 4.6℃,最热月(7 月)平均气温一般在 28.0~29.8℃。地形为典型低丘,土壤为第四纪黏土母质发育的红壤旱地,质地较黏重,肥力中等。2011 年试验开始时耕层土壤 pH5.61,有机碳 12.13 g/kg,全氮 1.26 g/kg,全磷 0.58 g/kg,全钾 11.34 g/kg。

### 1.2 试验设计

试验为三因素完全交互随机区组设计,3 个试验调控因素分别为:稻草(覆盖与否)、猪粪(施用与否)和耕作措施(常耕和免耕)。每个处理 3 次重复,小区长 6 m,宽 4 m。氮肥、磷肥和钾肥全部作基肥施用。供试品种为掖单 13 号,4 月 2 日春季播种,播种覆土后全田喷施 50%乙草胺乳油,防止杂草生长。7 月 25 日收获,秋玉米 8 月 5 日播种,11 月 19 日收获。秋玉米播种后灌水 2 次。具体的有机肥和化肥用量见表 1,所有处理均施用化肥,但为了统一各处理的氮肥用量,所以各处理的氮磷钾肥施用量不同。种植制度为春玉米—秋玉米—冬闲。

表 1 不同处理的有机肥和化肥用量

稻草	猪粪	耕作	鲜稻草/ (kg·hm <sup>-2</sup> )	干猪粪/ (kg·hm <sup>-2</sup> )	尿素/ (kg·hm <sup>-2</sup> )	钙镁磷肥/ (kg·hm <sup>-2</sup> )	氯化钾/ (kg·hm <sup>-2</sup> )
覆盖	施	深耕	3 001.50	1 500.75	156.08	30.69	180.09
		免耕	3 001.50	1 500.75	156.08	30.69	180.09
	不施	深耕	3 001.50	0.00	186.09	51.15	199.62
		免耕	3 001.50	0.00	186.09	51.15	199.62
不覆盖	施	深耕	0.00	1 500.75	177.05	35.81	205.56
		免耕	0.00	1 500.75	177.05	35.81	205.56
	不施	深耕	0.00	0.00	207.07	56.27	225.09
		免耕	0.00	0.00	207.07	56.27	225.09

注:稻草的氮磷钾含量分别是 N0.7%,P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>0.15%,K<sub>2</sub>O0.85%,猪粪的氮磷钾的含量(干样)分别是 N2%,P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>1.2%,K<sub>2</sub>O1.3%,所有肥料均作基肥一次性施用。氮肥为尿素,含氮量为 46.4%;磷肥为钙镁磷肥,含磷量 12.5%;钾肥为氯化钾,含钾量为 60%。

### 1.3 测定项目及方法

1.3.1 土壤剖面含水率 在 2013 年春玉米和秋玉

米季生长阶段,于季节性干旱阶段内一次降水后开始,每隔 3 d 用土钻采样+烘干法测定 0—5,5—10,

10—20,20—40,40—60,60—80,80—100 cm 土层含水率,连续测定 5 次。

1.3.2 土壤温度测定 分别在 2013 年春玉米开花期(6.14)和秋玉米开花期(10.18)用 TZS-IW 土壤温度水分速测仪仪器测定 0—10 cm 和 10—20 cm 的土壤温度变化,每个小区测定 10 个点。

1.3.3 产量测定 在玉米成熟期,每个小区单独收割,晒干脱粒称重,并换算成标准产量。

### 1.4 统计分析方法

数据统计和方差分析采用 Spss 13.9 软件进行,开花期的土温、土壤水分与产量的相互关系采用 Spss 13.0 软件进行分析,所用图件采用 Orgin 7.5 软件进行。

## 2 结果与分析

### 2.1 季节性干旱大气温度及降雨量变化

图 1 为玉米季节性干旱期间的温度变化及降雨量,图中季节性干旱天数为 7 月 1 日至 10 月 28 日,温度为 12~39℃,总降雨量为 239.5 mm,由图 1 可知,在玉米生育期间雨水分布不均,7 月 15 日一次大的降雨外,生长后期降雨较少。

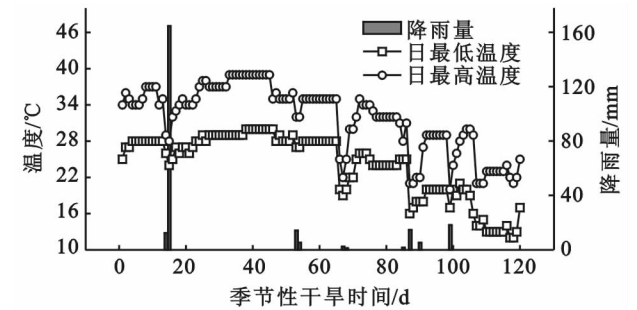


图 1 季节性干旱大气温度及降雨量变化

### 2.2 培肥和耕作措施下红壤剖面含水率对连续干旱的响应

不同培肥和耕作措施下土壤含水量变化对连续干旱的响应见图 2 和图 3。在相同覆盖和耕作方式条件下,施猪粪与否对 0—100 cm 的土壤含水量不存在显著影响;相同猪粪和覆盖条件下,常耕和免耕处理的土壤含水率也不存在显著差异。而在同一耕作和猪粪条件下,稻草覆盖与否对土壤含水量影响较大,在春玉米和秋玉米季中连续干旱条件下,稻草覆盖处理下 0—5,5—10,10—20 cm 土壤含水量均高于不覆盖处理,春玉米季的增幅分别为 27.93%,5.91%,1.41%,秋玉米季分别为 15.74%,7.71%,2.59%。而 40—80 cm 和 80—100 cm 的土壤含水量不存在明显差异。连续干旱时期对土壤含水量的影响也存在差异,图 1 显示,在 7 月 2 至 7 月 13 号 13 d 干旱期

内,同一耕作方式和施猪粪条件下,7 月 2 日(降雨 2 d 后)时稻草覆盖处理下 0—5,5—10,10—20,20—40,40—60,60—80,80—100 cm 土壤含水量分别比不覆盖处理提高了 9.09%,3.38%,1.38%,1.16%,2.60%,2.18%,1.34%,而在连续干旱 13 后(7 月 13 日),稻草覆盖处理下 0—5,5—10,10—20,20—40,40—60,60—80,80—100 cm 土壤含水量比不覆盖处理分别提高了 29.51%,2.41%,0.05%,2.51%,1.94%,0.11%,0.25%。秋玉米季土壤含水量也表现同样趋势。这表明除 0—5 cm 土层外,随干旱时间的延长,覆盖处理与不覆盖处理的土壤含水量差异逐渐降低。

### 2.3 玉米开花期表层土壤温度对耕作培肥措施的响应

表层土壤温度是影响玉米开花期土壤含水率的重要指标之一。在红壤旱地上,玉米开花期的 0—10 cm 和 10—20 cm 土壤温度有明显差异,在春玉米开花期,0—10 cm 和 10—20 cm 的土壤温度覆盖比不覆盖分别降低了 13.92%和 2.26%。在秋玉米开花期 0—10 cm 和 10—20 cm 的土壤温度覆盖比不覆盖分别降低了 0.30%和 2.69%(表 2)。在所有处理中,稻草覆盖可以显著影响表层土壤的温度变化,在春玉米开花期,稻草覆盖处理下 0—10 cm 的土壤温度比不覆盖处理降低了,在秋玉米开花期,稻草覆盖下 0—10 cm 的土壤温度没有显著降低,但 10—20 cm 的土壤温度比不覆盖处理减少了 2.69%。从表 2 同时可以看出,施猪粪与否与耕作方式在本实验中并没有显著影响到土壤耕层温度。

表 2 耕作培肥措施对玉米开花期 0—20cm 土壤温度的影响

稻草	猪粪	耕作	春玉米开花期		秋玉米开花期	
			0—10 cm	10—20 cm	0—10 cm	10—20 cm
不盖	不施	常耕	26.7a	25.6a	33.6a	32.0 a
		免耕	26.5a	25.2a	33.2b	31.8 ab
	施	常耕	26.3ab	24.6b	33.4a	32.1 a
		免耕	26.3ab	25.0a	33.4a	32.1 a
覆盖	不施	常耕	25.8b	24.3b	32.3b	30.9 b
		免耕	26.2ab	24.8ab	32.5a	31.4 ab
	施	常耕	25.7b	24.3b	32.4b	30.8 b
		免耕	25.8b	24.4b	32.8ab	31.4 ab
稻草	不盖	覆盖	23.7a	25.9a	32.9a	32.5b
		不盖	27.0b	26.5a	33.0a	33.4a
猪粪	施	常耕	25.2a	26.0a	32.5b	33.0a
		免耕	25.4a	26.3a	33.4a	32.9a
耕作	常耕	常耕	25.4a	26.1a	33.0a	32.9a
		免耕	25.2a	26.2a	33.0a	33.0a

注:不同的小写字母表示同一列存在显著差异( $p<0.05$ )。

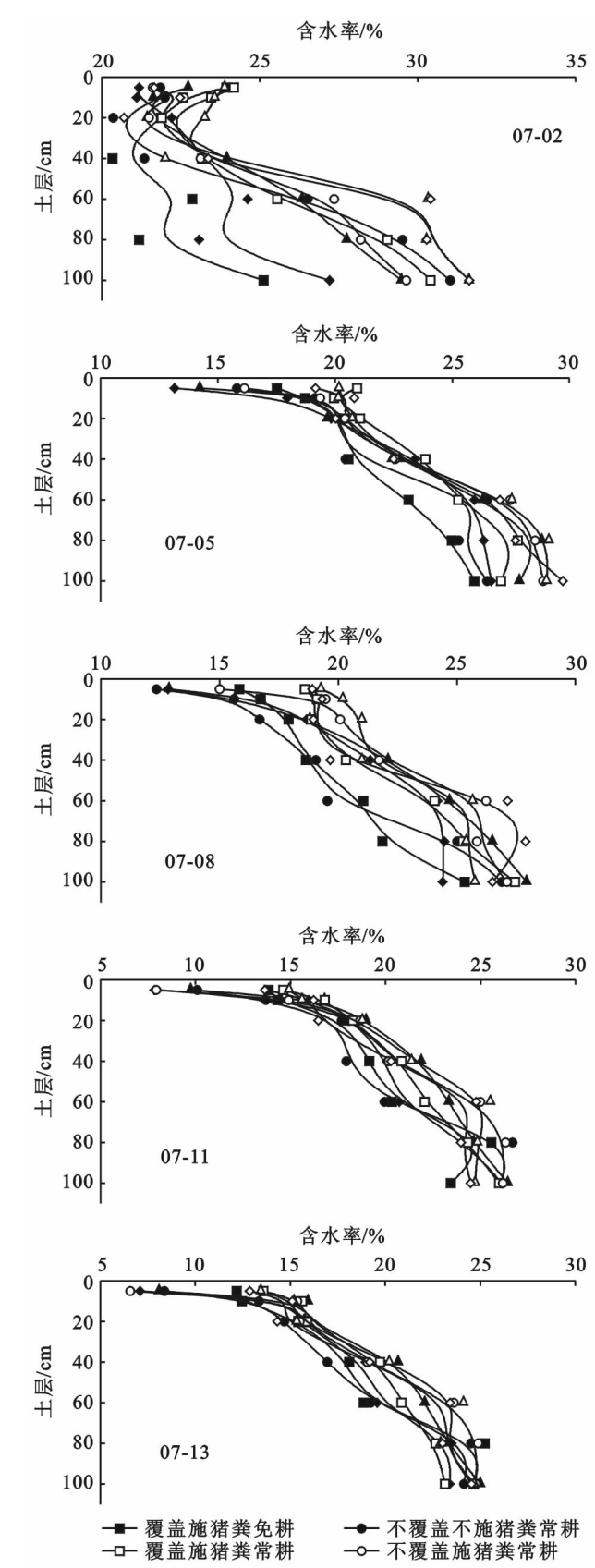


图 2 春玉米季耕作培肥下土壤含水率对连续干旱的响应

2.4 培肥和耕作措施对玉米产量的影响

培肥和耕作措施可以显著影响红壤旱地上的玉米产量变化(表 3), 在所有处理中, 春玉米和秋玉米

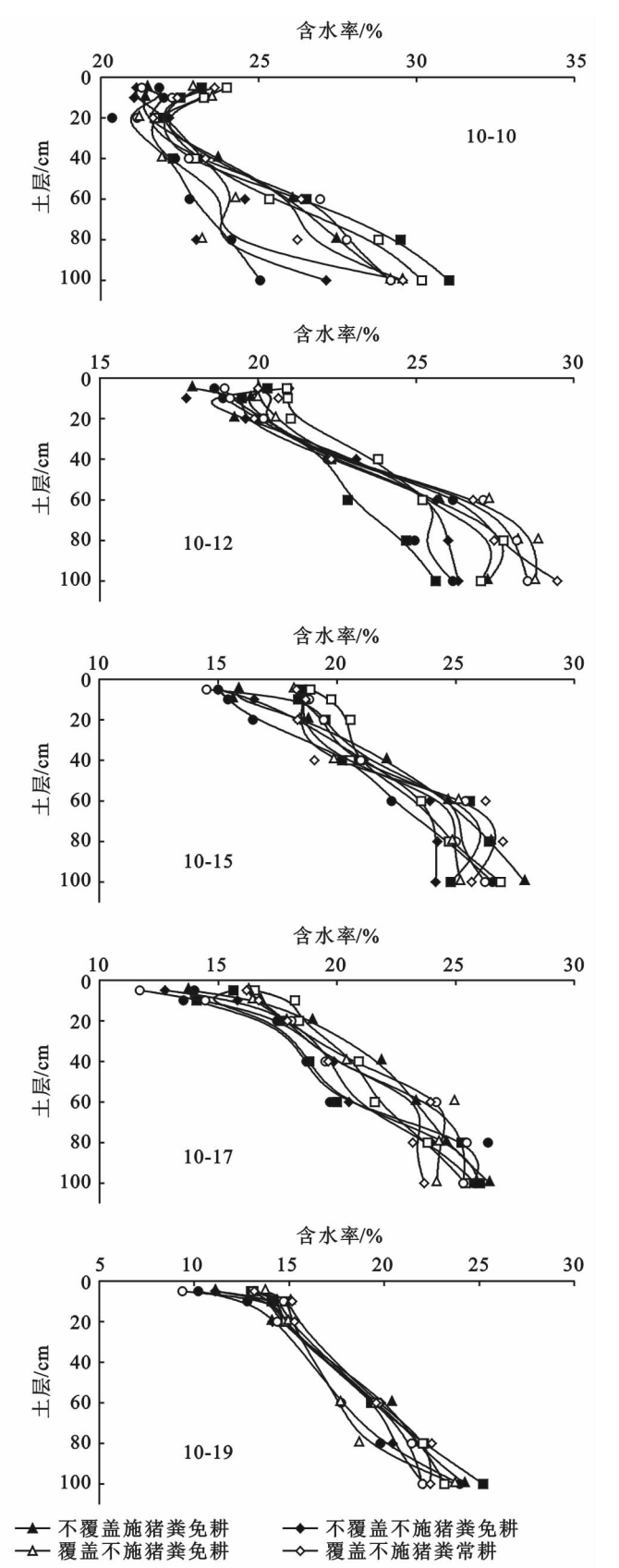


图 3 秋玉米季耕作培肥下土壤含水率对连续干旱的响应

季均表现出稻草覆盖+施猪粪+常耕的秸秆和籽粒产量最高。在不同处理之间, 稻草覆盖与否可以显著

影响玉米的产量,而猪粪施用与否和耕作方式对产量的影响不显著。在春玉米季,稻草覆盖的秸秆产量和籽粒产量比不覆盖增加了 6.49%和 4.72%,在秋玉

米季,稻草覆盖的秸秆和籽粒产量分别比不覆盖提高 21.75%和 14.84%。这说明稻草覆盖是提高红壤旱地玉米产量的重要途径。

表 3 耕作培肥措施对玉米产量的影响

试验处理			春玉米		秋玉米	
			秸秆/(10 <sup>4</sup> kg·hm <sup>-2</sup> )	籽粒/(10 <sup>3</sup> kg·hm <sup>-2</sup> )	秸秆/(10 <sup>4</sup> kg·hm <sup>-2</sup> )	籽粒/(10 <sup>3</sup> kg·hm <sup>-2</sup> )
覆盖	施猪粪	常耕	2.97a	5.35a	1.41a	5.48a
		免耕	2.82abc	4.93ab	1.27ab	5.42ab
	不施猪粪	常耕	2.81abc	5.06ab	1.33a	5.17ab
		免耕	2.81abc	4.71ab	1.20abc	5.31ab
不覆盖	施猪粪	常耕	2.88ab	4.91ab	1.23abc	4.79abc
		免耕	2.62bc	4.97ab	1.03cd	4.75abc
	不施猪粪	常耕	2.67abc	4.88ab	1.08bcd	4.71bc
		免耕	2.54c	4.38b	0.94d	4.37c
稻草	覆盖	2.85a	5.01a	1.30e	5.35a	
	不覆盖	2.68b	4.79a	1.07b	4.65b	
猪粪	施猪粪	2.82a	5.04a	1.24a	5.11a	
	不施猪粪	2.71a	4.76a	1.14a	4.89a	
耕作	常耕	2.83a	5.05a	1.26a	5.04a	
	免耕	2.70a	4.75a	1.11b	4.96a	

注:不同的小写字母表示同一列存在显著差异( $p<0.05$ )。

3 讨论

在红壤旱地,秸秆覆盖是实现稻草循环利用的重要途径之一,很多研究表明,秸秆覆盖可以降低表层土壤的蒸发量、提高土壤含水量<sup>[12-14]</sup>是干旱地区保障作物需水的重要措施之一。在本研究中,在相同耕作和猪粪条件下,稻草覆盖与否对土壤含水量影响较大,在春玉米和秋玉米季中连续干旱条件下,稻草覆盖处理下 0—20 cm 土壤含水量均高于不覆盖处理,0—5,5—10,10—20 cm 土层覆盖较不覆盖春玉米季的增幅分别为 27.93%,5.91%,1.41%,秋玉米季分别为 15.74%,7.71%,2.59%。这与前人的研究结果相一致。苏衍涛等<sup>[15]</sup>研究表明,稻草覆盖能明显提高 0—5 cm 表土层的水分保持能力,且土壤水分随稻草覆盖量的增加而增加,当覆盖量为 5 000~10 000 kg/hm<sup>2</sup>时,高温干早期表土层的最低含水量平均可提高 3.3%~3.6%;稻草覆盖量为 15 000 kg/hm<sup>2</sup>时,表土层最低含水量平均提高 6.1%。李新举和张志国等研究表明<sup>[16]</sup>,秸秆覆盖可明显降低土壤水分蒸发速度,从不覆盖的 0.74 mm/d 降到覆盖 12 t/hm<sup>2</sup>的 0.29 mm/d,相对降低了 60.81%。王昕等<sup>[17]</sup>研究发现,不同秸秆覆盖量对土壤含水量影响存在季节性、层次性差异;0.9 kg/hm<sup>2</sup> 覆盖量处理,在玉米大喇叭口期以前,对保持 0—40 cm 土层的土壤含水量有显著效果,较对照土壤水分含量提高了 14.2%;秸

秆覆盖量达到 1.35 万 kg/hm<sup>2</sup> 时,土壤含水量不再显著增加。0.9~1.35 万 kg/hm<sup>2</sup> 覆盖量处理较对照增产显著,幅度达 16.9%。但是,本研究中上猪粪施用与否和免耕等对土壤剖面含水量变化影响较小,这可能与红壤旱地本身的土壤特性有关,具体原因还有待进一步研究。

稻草覆盖能显著降低高温时段(15:00)10 cm 以内土层的温度,降幅可达 1.6~4.1℃,且降温效应随覆盖量增加而增加<sup>[15]</sup>。马春梅等<sup>[18]</sup>研究发现,秸秆覆盖量越多,土壤温度降低越多;而 4 000 kg/hm<sup>2</sup> 秸秆覆盖在耕作层(15 cm 以上)温度要高于不覆盖,对玉米种子萌发和出苗有利。在本试验中,在春玉米开花期,0—10 cm 和 10—20 cm 的土壤温度覆盖比不覆盖分别降低了 13.92%和 2.26%。在秋玉米开花期 0—10 cm 和 10—20 cm 的土壤温度覆盖比不覆盖分别降低了 0.30%和 2.69%。黄高宝等<sup>[19]</sup>研究认为,与传统耕作相比,免耕秸秆覆盖可以稳定土壤温度,白天升温较慢,下午至夜间降温更慢。免耕秸秆覆盖降低春小麦全生育期的平均温度 0.5~1.6℃,拔节至成熟期降低得更多,但对休闲期土壤温度影响不大。

在本试验中春玉米和秋玉米季均表现出稻草覆盖+施猪粪+常耕的秸秆和籽粒产量最高。在春玉米,稻草覆盖的秸秆产量和籽粒产量比不覆盖增加了 6.49%和 4.72%,在秋玉米,稻草覆盖的秸秆和籽粒产量分别比不覆盖提高 21.75%和 14.84%。而猪粪

施用与否和耕作方式对产量的影响不显著。这说明秸秆覆盖是提高红壤旱地作物产量的重要途径,这与很多人的研究相一致<sup>[20]</sup>,这主要是秸秆覆盖改善了农田的小气候特征。

## 4 结 论

在红壤旱地上,稻草覆盖与否对土壤含水量和温度影响较大,在春玉米和秋玉米季中连续干旱条件下,稻草覆盖处理下 0—5,5—10,10—20 cm 土壤含水量均高于不覆盖处理,春玉米的增幅分别为 27.93%,5.91%,1.41%,秋玉米季分别为 15.74%,7.71%,2.59%。在春玉米开花期,0—10 cm 和 10—20 cm 的土壤温度覆盖比不覆盖分别降低了 13.92%和 2.26%。在秋玉米开花期 0—10 cm 和 10—20 cm 的土壤温度覆盖比不覆盖分别降低了 0.30%和 2.69%。在春玉米,稻草覆盖的秸秆产量和籽粒产量比不覆盖增加了 6.49%和 4.72%,在秋玉米,稻草覆盖的秸秆和籽粒产量分别比不覆盖提高 21.75%和 14.84%。

### 参考文献:

[1] 黄晚华,杨晓光,李茂松,等. 基于标准化降水指数的中国南方季节性干旱近 58a 演变特征[J]. 农业工程学报, 2010,26(7):50-59.

[2] 黄道友,彭廷柏,陈桂秋,等. 亚热带红壤丘陵区季节性干旱成因及其发生规律研究[J]. 中国生态农业学报, 2004,12(1):124-126.

[3] 李玲玲,黄高宝,张仁陟,等. 免耕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.

[4] 王晓燕,陈洪松,王克林,等. 不同利用方式下红壤坡地土壤水分时空动态变化规律研究[J]. 水土保持学报, 2006,20(2):110-113.

[5] 苏衍涛,王凯荣,刘迎新. 稻草覆盖对红壤旱地土壤温度和水分的调控效应[J]. 农业环境科学学报,2008,27(2): 670-676.

[6] 王晖,刘泉汝,张圣勇,等. 秸秆覆盖下超高产夏玉米农田产量和土壤水分的动态变化[J]. 水土保持学报,2011,

25(5):261-264.

[7] 吕美蓉,李增嘉,张涛,等. 少免耕与秸秆还田对极端土壤水分及冬小麦产量的影响[J]. 农业工程学报,2010,26 (1):41-46.

[8] 刘庚山,郭安红,任三学,等. 不同覆盖对夏玉米叶片光合和水分利用效率日变化的影响[J]. 水土保持学报, 2004,18(2):152-156.

[9] 肖孔操,黄道友,刘守龙,等. 不同轮作制度下红壤旱地水分时空变化对稻草覆盖的响应[J]. 水土保持学报, 2009,23(2):220-222.

[10] 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.

[11] 宫亮,孙文涛,隗英华,等. 不同培肥方式对辽西春玉米土壤水分及产量的影响[J]. 杂粮作物,2010,30(4): 278-280.

[12] 孙进,王义炳. 稻草覆盖对旱地小麦产量与土壤环境的影响[J]. 农业工程学报,2001,17(6):53-55.

[13] 古汉虎,李玲,肖润林,等. 红壤丘陵旱地作物覆盖保水效应研究[J]. 水土保持研究,1996,3(3):47-51,69.

[14] 李玲玲,黄高宝,张仁陟,等. 免耕秸秆覆盖对旱作农田土壤水分的影响[J]. 水土保持学报,2006,19(5):94-96.

[15] 苏衍涛,王凯荣,刘迎新,等. 稻草覆盖对红壤旱地土壤温度和水分的调控效应[J]. 农业环境科学学报,2008, 27(2):670-676.

[16] 李新举,张志国. 秸秆覆盖对土壤水分蒸发及土壤盐分的影响[J]. 土壤通报,1999,30(6):257-258.

[17] 王昕,贾志宽,韩清芳,等. 半干旱区秸秆覆盖量对土壤水分保蓄及作物水分利用效率的影响[J]. 干旱地区农业研究,2009,27(4):196-202.

[18] 马春梅,纪春武,唐远征,等. 保护性耕作土壤肥力动态变化的研究:秸秆覆盖对土壤温度的影响[J]. 农机化研究,2006(4):137-139.

[19] 黄高宝,李玲玲,张仁陟,等. 免耕秸秆覆盖对旱作麦田土壤温度的影响[J]. 干旱地区农业研究,2006,24(5): 1-4.

[20] 卜玉山,苗果园,邵海林,等. 对地膜和秸秆覆盖玉米生长发育与产量的分析[J]. 作物学报,2006,32(7):1090-1093.