

四川盆地丘陵区秸秆还田少免耕对土壤水分特征的影响

刘定辉^{1,2}, 陈尚洪¹, 舒 丽¹, 张玉兰³, 张 冀¹

(1. 四川省农业科学院土壤肥料研究所, 四川 成都 610066; 2. 四川农业大学, 四川 雅安 625014;

3. 中国测试技术研究院, 四川 成都 610021)

摘 要: 四川盆地丘陵区季节性干旱严重, 为了阐明秸秆还田少免耕对土壤持水保水性能的影响和抗旱节水效果, 采用压力膜法, 测定了 4 年定位试验田的土壤水分及其能态变化特征。结果表明: 秸秆还田少免耕土壤水吸力与土壤含水量之间具有明显的幂函数关系, 可用幂函数方程 $\theta = a S^b$ 进行拟合; 秸秆还田免耕增加了 10~20 cm 土层通气孔隙的当量孔径, 降低了无效孔隙的当量孔径, 改善了心土层土壤结构; 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; 秸秆还田提高土壤耐旱性能和供水能力, 不同耕作方式的耐旱性秸秆还田免耕优于秸秆还田间耕。

关键词: 秸秆还田; 少免耕; 水分特征曲线; 当量孔径; 比水容量

中图分类号: S153.6; S152.7 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2009)06-0119-04

盆地丘陵区涉及 16 市 67 个县(市、区), 占四川幅员面积约 1/5, 而其耕地面积、主要农产品生产均占全省 2/3 左右, 在四川农业生产中占有非常重要的地位。但该区域季节性干旱问题突出, 严重制约了农业生产的稳定发展, 稻田生产尤为突出, 常因干旱不能插秧或秧苗枯死, 提高稻田土壤抗旱能力至关重要。秸秆还田循环利用不仅可以培肥地力、保障稻田生态健康、提高稻田综合生产能力, 更是提高稻田土壤抗旱能力的重要途径^[1,2]。本文通过丘陵区两季稻田秸秆还田定位试验, 探讨秸秆还田少免耕对土壤水分特征曲线、土壤持水和供水性能的影响, 阐明秸秆还田少免耕技术的节水抗旱机理, 为该技术的示范推广提供理论依据和科技支撑。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

四川丘陵区是四川省农业的主体区域, 人口、耕地、粮食总产分别占全省的 59.7%、57.6% 和 63.8%; 其中稻田面积 123 万 hm^2 , 是保证粮食安全的重要耕地资源。

定位试验田设在四川省简阳市东溪镇万古村七组。气候属亚热带湿润气候, 海拔 400~500 m, 年平均气温 17.1℃, 零度以上积温为 6 270.9℃, 相对湿度

77%, 多年平均降雨量为 882.9 mm, 无霜期 300 d (简阳气象局多年观测资料统计)。试验地土壤是由第四纪更新统江北期、雅安期古河道冲积物发育而成的老冲积黄壤, 0~20 cm 耕层土壤的有机质含量为 11.61 g/kg, 全氮 0.75 g/kg, 全磷 0.73 g/kg, 碱解氮 77 mg/kg, 有效磷 7.8 mg/kg, 有效钾 113 mg/kg, pH 6.4~6.8, 土壤中物理性粘粒含量为 60.5% (2003 年取样测定)。

1.2 材料与方法

定位试验始于 2003 年 5 月, 种植制度为水稻—小麦一年两熟制。设 3 个处理: ①秸秆全量还田, 全年免耕(还田免耕, SMNT); ②秸秆全量还田, 小春免耕, 大春旋耕(还田间耕, SMT); ③对照, 秸秆不还田, 全年旋耕(CK)。三次重复, 随机区组排列。小区面积 7 m×7 m=49 m^2 。

2007 年 5 月 2 日, 小麦收获前(前 10 d 无降雨)采集土样, 大春水稻尚未栽插, 此时取样分析更能反映秸秆还田对提高土壤抗旱能力的影响。用 100 cm^2 环刀在每试验小区取 0~10 cm, 10~20 cm 的原状土, 测定土壤容重和土壤水分特征曲线。土壤水分特征曲线用压力膜法测定^[3,4]。

数据分析采用 Excel 和 SPSS11.0。

收稿日期: 2009-07-18

基金项目: 国家科技支撑计划“四川季节性干旱区粮食作物综合节水技术与示范”(2007BDA88B08); “沃土工程关键支撑技术研究”(2006BDA25B04); “农田循环高效生产模式关键技术与集成示范”(2007BAD89B15)

作者简介: 刘定辉(1969—), 男, 四川绵阳人, 在读博士, 副研究员, 主要从事水土资源保护利用与节水农业技术研究。E-mail: dinghui.liu@163.com。

2 结果与分析

2.1 秸秆还田少免耕对土壤水分特征曲线的影响

2.1.1 土壤水分特征曲线变化 从图 1 和图 2 可知,不同处理之间相同土层的土壤水分特征曲线存在比较明显的差异。同一吸力下,0~10 cm 土层,秸秆还田后水分特征曲线明显高于秸秆不还田,免耕和间耕之间差异不明显;10~20 cm 土层与 0~10 cm 土层趋势一致,但间耕高于免耕。上述分析表明,秸秆还田后土壤持水能力增强,提高了耕层土壤含水量,有利于作物生长;不同耕作方式下,秸秆还田免耕能增加 0~10 cm 土层含水量,秸秆还田间耕可以增加 10~20 cm 土层含水量,翻耕有利于深层土壤的培肥,能提高整个耕作层的蓄保水能力。

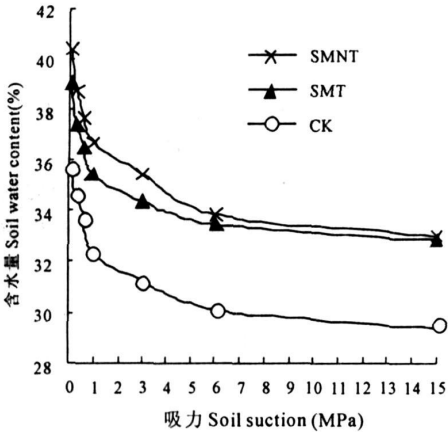


图 1 0~10 cm 土层土壤水分特征曲线

Fig.1 Soil water characteristic curve of soil depth 0~10cm

2.1.2 土壤水分特征曲线拟合 土壤的水分特征曲线反映了土壤含水量与土壤水吸力之间存在着幂函数关系,可以用函数关系 $\theta = a S^b$ 进行较好拟合

(相关系数 R^2 均在 0.99 以上)。式中 S 为土壤吸力, θ 为土壤体积含水量, a, b 为参数。用实测土壤含水量与土壤吸力(0.1~15 MPa)资料,拟合的参数及数学模型见表 1。由于不同作物根系抵御干旱胁迫的能力不同且多以土壤吸力表述,土壤水吸力较难测定获取,而土壤体积含水量可通过 TDR 等土壤水分测定仪快速获取,利用拟合模型计算土壤吸力,即可指导作物灌水时间与定额。

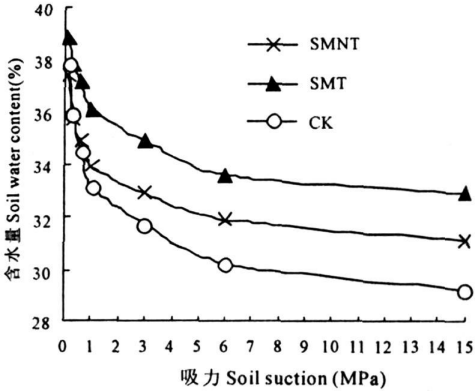


图 2 10~20 cm 土层土壤水分特征曲线

Fig.2 Soil water characteristic curve of soil depth 10~20cm

2.2 秸秆还田少免耕对土壤当量孔径的影响

利用土壤水分特征曲线计算相应吸力下的当量孔径,可以反映在一定吸力下,土壤水在不同大小空隙的分布状况,当量孔径分布反映了土壤的通气性、透水性、保水性以及土壤水分的动态情况。其计算公式为 $D=3/s$, 式中, D 为当量孔径(mm); s 为土壤的吸力值(MPa), 由此可以求出当量孔径的分布情况,即与一定的土壤水吸力相应的孔隙的容积占总的土体容积的百分比。

表 1 土壤含水量与土壤水吸力的关系及其拟合方程(2007 年,简阳)

Table 1 Power function of the relationship between soil water content and soil suction

土层 Soil layer	处理 Treatment	拟合曲线 Power function	相关系数 Correlation coefficient
0~10 cm	秸秆还田免耕 SMNT	$y=0.3679x^{-0.0413}$	$R^2=0.994$
	秸秆还田间耕 SMT	$y=0.3578x^{-0.0351}$	$R^2=0.9889$
	秸秆不还田旋耕 CK	$y=0.3268x^{-0.0418}$	$R^2=0.987$
0~20 cm	秸秆还田免耕 SMNT	$y=0.3421x^{-0.037}$	$R^2=0.995$
	秸秆还田间耕 SMT	$y=0.3614x^{-0.035}$	$R^2=0.9877$
	秸秆不还田旋耕 CK	$y=0.3353x^{-0.0534}$	$R^2=0.9951$

由表 2 可以看出,不同处理对稻田土壤当量孔径分析可知,和秸秆不还田旋耕相比,秸秆还田免耕降低了 0~10 cm 土层通气孔隙,增加了土壤毛管孔

隙,表明秸秆还田免耕增加了 0~10 cm 土层蓄水和供水能力;同时秸秆还田免耕增加 10~20 cm 土壤通气孔隙,增加了土壤对入渗雨水的接纳能力;秸秆

还田间耕土壤孔隙分布影响不大。传统耕作下土壤通气空隙和毛管空隙含量随土层加深呈下降趋势,无效孔径呈增加趋势,这一结果与钟兆站等的研究结果具有相似性^[5]。秸秆还田免耕增加了 10~20

cm 土层通气空隙的当量孔径,降低了无效空隙的当量孔径,说明秸秆还田免耕具有改良稻田心土层土壤结构的发展趋势。

表 2 秸秆还田少免耕土壤当量孔径的分布情况(2007 年,简阳)
Table 2 The soil equivalent pore diameter distribution under straw mulching and no-tillage

土层 Soil layer	处理 Treatment	土壤水吸力 Soil suction(MPa)		
		<0.05	0.05~1.5	>1.5
		当量孔径分布 Soil equivalent pore diameter distribution(%)		
		>0.06mm	0.06~0.002mm	<0.002mm
0~10 cm	秸秆还田免耕 SMNT	14.75	5.46	8.64
	秸秆还田间耕 SMT	22.56	4.47	6.90
	秸秆不还田旋耕 CK	22.36	4.91	7.72
0~20 cm	秸秆还田免耕 SMNT	21.03	4.52	7.11
	秸秆还田间耕 SMT	9.49	4.50	7.23
	秸秆不还田旋耕 CK	16.20	4.53	10.15

2.3 秸秆还田对土壤持水性质的影响

土壤持水性是指土壤对水分蓄集和保持的能力。土壤蓄水能力通常以一定土层最大蓄水量和有效蓄水量度量,土壤有效蓄水量更能表明土壤对植物需水的保证程度^[3~6]。由表 1 得知,经验方程^[7] $\theta = \alpha S^{-b}$ 对该地区土壤水分特征曲线有良好的模拟

性,且相关系数较高。方程中的参数 A 决定了曲线的高低,亦即持水能力大小,α 值越大,持水能力越强。不同处理 0~10 cm 参数 A 值大小表现为处理 1>处理 2>处理 3,10~20 cm 表现为处理 2>处理 1>处理 3,秸秆还田提高了稻田耕层土壤持水性能,增加了土壤水分库容量。

表 3 秸秆还田少免耕对土壤水分有效性范围的影响(2007 年,简阳)
Table 3 The range of available soil moisture under straw mulching and no-tillage

土层 Soil layer	处理 Treatment	土壤水吸力 Soil suction(MPa)			
		<0.1	0.1~15	0.1~3	3~15
		重力流出水(%) Gravity flow water	有效水含量(%) Available water	易有速效水(%) Readily available water	难有效水(%) Resistantly available water
0~10 cm	秸秆还田免耕 SMNT	16.00	7.39	6.57	0.82
	秸秆还田间耕 SMT	23.31	6.15	5.55	0.60
	秸秆不还田旋耕 CK	23.67	6.01	5.33	0.68
0~20 cm	秸秆还田免耕 SMNT	21.83	6.31	5.51	0.80
	秸秆还田间耕 SMT	10.76	5.96	5.25	0.71
	秸秆不还田旋耕 CK	17.65	5.70	7.67	1.03

表 3 得出,秸秆还田对 0~10 cm 土层土壤水分有效性范围的影响较为明显,秸秆还田减少了土壤重力流出水,处理 1 和处理 2 分别减少 32.4%和 1.52%;同时,秸秆还田增加了土壤有效水含量,处理 1 和处理 2 分别增加 22.96%和 2.33%。秸秆还田免耕显著提高了稻田耕层土壤有效水含量。秸秆还田后通过增加土壤有机质,提高土壤毛管空隙含量,改变了土壤结构和土壤水分持水性能,进而提高

了土壤有效水含量。

2.4 秸秆还田对土壤供水性能的影响

当比水容量达到 10⁻²数量级时,植物所能吸收的水量就显著减少,水分的运动和有效度也显著降低,植物利用已较困难,植物的正常生长已受影响。据表 4 可知,四川盆地丘陵地区稻田土壤的比水容量达到 10⁻²数量级时的吸力在 0.1 MPa 左右,土壤抗旱耐旱能力较差。0~10 cm 土层秸秆还田免耕

处理的比水容量最大,表明其供水容量较高,能够增加土壤的耐旱性;而秸秆还田间耕与对照相比差异不大。秸秆还田免耕和秸秆还田间耕增加了 10~

20 cm 土层比水容量,提高了 10~20 cm 土层的耐旱性能和供水能力,不同耕作方式的耐旱性仍是秸秆还田免耕优于秸秆还田间耕。

表 4 秸秆还田少免耕对土壤比水容量的影响(2007 年,简阳)

Table 4 The change of specific soil water capability under straw mulching and no-tillage										
土层 Soil layer	处理 Treatment	土壤水吸力 Soil suction(MPa)							拟合参数 Parameter	
		0.1	0.3	0.6	1	3	6	15	AB	B+1
0~10 cm	秸秆还田免耕 SMNT	1.67×10 ⁻¹	5.32×10 ⁻²	2.59×10 ⁻²	1.52×10 ⁻²	4.84×10 ⁻³	2.35×10 ⁻³	9.06×10 ⁻⁴	1.52×10 ⁻²	1.0413
	秸秆还田间耕 SMT	1.36×10 ⁻¹	4.37×10 ⁻²	2.13×10 ⁻²	1.26×10 ⁻²	4.03×10 ⁻³	1.97×10 ⁻³	7.61×10 ⁻⁴	1.26×10 ⁻²	1.0351
	秸秆不还田旋耕 CK	1.50×10 ⁻¹	4.79×10 ⁻²	2.33×10 ⁻²	1.37×10 ⁻²	4.35×10 ⁻³	2.11×10 ⁻³	8.13×10 ⁻⁴	1.37×10 ⁻²	1.0418
10~20 cm	秸秆还田免耕 SMNT	1.38×10 ⁻¹	4.41×10 ⁻²	2.15×10 ⁻²	1.27×10 ⁻²	4.05×10 ⁻³	1.97×10 ⁻³	7.63×10 ⁻⁴	1.27×10 ⁻²	1.037
	秸秆还田间耕 SMT	1.37×10 ⁻¹	4.40×10 ⁻²	2.15×10 ⁻²	1.26×10 ⁻²	4.06×10 ⁻³	1.98×10 ⁻³	7.67×10 ⁻⁴	1.26×10 ⁻²	1.035
	秸秆不还田旋耕 CK	2.02×10 ⁻¹	6.36×10 ⁻²	3.07×10 ⁻²	1.79×10 ⁻²	5.63×10 ⁻³	2.71×10 ⁻³	1.03×10 ⁻⁴	1.09×10 ⁻²	1.0534

3 结论与讨论

秸秆覆盖还田后对土壤水分性状的影响是复杂的,在非灌溉土壤上,还田后秸秆腐解的过程中将消耗大量土壤水分,产生与作物争夺水分的现象;腐解过程结束后,增加土壤保水和渗水性,利于土壤水分性状的改善和含水量的增加^[6,7]。秸秆覆盖增加土壤的蓄水、保墒能力,更有利于发挥土壤水库的调蓄作用^[8,9]。四川丘陵地区老冲积黄壤发育的水稻土质地黏重,土壤入渗性能与宜耕性较差,抗旱能力弱,农民俗称“天晴一把刀,下雨一团糟”。本研究结果表明:秸秆还田对提高稻田土壤的蓄水保墒能力与土壤肥力,改善物理性状,增强土壤抗旱能力具有重要作用。

总体而言,秸秆还田免耕在提高稻田土壤抗旱能力方面的效果略优于间耕,从轻简高效栽培的需要出发,免耕无疑是较佳的选择,但在水旱轮作条件下,长期免耕造成土壤大孔隙和裂隙增多,会造成灌溉水的深层渗漏损失。下一步应当系统研究免耕年限问题,回答究竟多少年旋耕一次最合理的现实生

产问题。

参 考 文 献:

[1] 张海林,高旺盛,陈 阜. 保护性耕作研究现状发展趋势对策[J]. 中国农业大学学报,2005,10(1):16—20.

[2] 赵聚宝. 秸秆覆盖对旱地作物水分利用率的影响[J]. 中国农业大学学报,1996,29(2):59—61.

[3] 中国土壤学会. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京:中国农业科学技术出版社,1999:83—89.

[4] 陈尚洪,朱钟麟,吴 婕,等. 紫色土丘陵区秸秆还田的腐解特征及对土壤肥力的影响[J]. 水土保持学报,2006,20(6):141—144.

[5] 钟兆站,赵聚宝,薛红军. 晋中中山地区褐土土壤水分特征的测定与应用[J]. 中国农业气象,1996,17(3):1—6.

[6] 孔祥旋,任素坤,王生厚. 砂土水分物理特性研究和水分调控对策[J]. 河南科技,1993(1):14—17.

[7] 陈志雄,汪仁真. 中国几种土壤的持水性质[J]. 土壤学报,1979,16(3):277—281.

[8] Glover B, Triplett . Tillage system for cotton on silty upland soils[J]. Agronomy Journal. 1996,88(4):507—512.

[9] Charles A. Water use and yield of dryland row crops as affected by tillage[J]. Agronomy Journal, 1999,91(1):108—115.

(英文摘要下转第 128 页)

Study on microclimate characters and yield-increasing mechanism in straw mulching field

FANG Wen-song, ZHU Zi-xi, LIU Rong-hua, MA Zhi-hong, SHI Li-kui
(He'nan Institute of Meteorology, Key Laboratory of Agrometeorological Safeguard and
Application Technique, CMA, Zhengzhou 45003, China)

Abstract: Taking use of experimental data from 2000~2002 and demonstration & popularization information from 2002~2003, the paper analyzed the microclimate feature and its yield-promoting mechanism under straw mulching. The results showed that: straw mulching had dramatic effects on temperature of field's surface layer, air humidity and soil temperature, but wind speed. Straw mulching increased surface sensible heat flux, but decreased latent heat flux and soil heat flux, so the soil evaporation was restricted. As soil surface evaporation was restricted by covering, the ineffective consumption of soil water was decreased, and accumulation was increased accordingly. This was helpful for plant transpiration in later stage, and for water consumption transforming from physical process to physiological process, and from invalid consumption to availability. So straw mulching could increase yield and advance water use efficiency. For winter wheat, straw mulching enabled yield increasing and water use efficiency by 8.08%~10.71% and 3.5%~8.4% respectively, and for summer maize, it promoted yield and water use by 6.08%~11.97% and 7.8%~14.4% respectively.

Keywords: straw mulching; winter wheat; summer maize; microclimate characters; yield-increasing mechanism

(上接第 122 页)

Impact of straw mulching and no-tillage on soil water characteristics of paddy field in hilly area of Sichuan basin

LIU Ding-hui^{1,2}, CHEN Shang-hong¹, SHU Li¹, ZHANG Yu-lan³, ZHANG Ji¹
(1. Soil and Fertilizer Institute, Sichuan Academy of Agricultural Sciences, Chengdu, Sichuan 610066, China;
2. Sichuan Agricultural University, Ya'an, Sichuan 625014, China;
3. National Institute of Measurement and Testing Technology, Chengdu, Sichuan 610021, China)

Abstract: Seasonal drought is a terrible problem for sustainable development of agriculture in hilly area of Sichuan basin. This study aims to answer the effect of straw mulching and no-tillage on soil moisture keeping of paddy field. Using pressure membrane method, we determined the soil characteristic curve of paddy field soil under straw mulching and no-tillage in Sichuan basin, and analyzed the dynamic characteristic of soil water energy. The results showed that the relationship between soil suction and soil water content could be simulated with the power function $\theta = a S^b$. The soil equivalent pore diameter of aeration porosity of the 10~20 cm soil layer increased under straw mulching and no-tillage and the inactive porosity reduced compared with ck. The water binding capacity and storage capacity of plough layer was improved under straw mulching. The increase of soil organic matter after straw returned to paddy field improved soil capillary porosity and soil available water, and the capacity of soil drought resistance and water supplying were also enhanced under straw mulching. The capacity of soil drought resistance was different between two kinds of tillage operations, and the effect of no-tillage was better than that of tillage at intervals.

Keywords: straw mulching; no-tillage; soil water characteristic curve; equivalent pore diameter; specific soil water capability