

不同秸秆覆盖量对春玉米田蓄水保墒及节水效益的影响

蔡太义^{1,2}, 贾志宽^{1*}, 黄耀威³, 黄会娟², 孟蕾⁴, 杨宝平¹, 李涵¹

(1. 西北农林科技大学中国旱区节水农业研究院, 杨凌 712100; 2. 河南理工大学测绘与国土信息工程学院, 焦作 454000; 3. 河南省农业厅, 郑州 450008; 4. 农业部规划设计研究院, 北京 100026)

摘要: 为了探明不同秸秆覆盖量对渭北旱原春玉米田蓄水保墒及节水效益的影响, 2007—2009 年度在合阳旱农试验站设置 3 个水平玉米秸秆覆盖量: 4 500 (S1)、9 000 (S2)和 13 500 kg/hm² (S3), 以不覆盖为对照(CK)。结果表明, S1、S2 和 S3 处理 2 m 土层 2 年(2008 和 2009)平均土壤贮水量, 与 CK 相比, 冬闲末分别高 13.9、22.6 和 33.5 mm; 播种~拔节期分别高 20.2、32.6 和 42.1mm; 收获期分别高 15.6、19.1 和 21.0 mm。不同覆盖处理延缓了春玉米前期的生长, 但加快了中后期的生长速度。S1、S2 和 S3 处理 2008 年籽粒产量, 较 CK 分别增产 7.65%、16.19%和 17.84%, 增幅均达显著水平($P<0.05$), 2009 年籽粒产量增长趋势和 2008 年相似, 但前者整体低于后者。与 CK 相比, S1、S2 和 S3 处理 2 年平均纯收益分别增加 6.53%、16.89%和 15.95%, 同等产量节水率分别提高 5.14%、8.35%和 7.44%, 节水效益分别增长 50.07、81.31 和 72.30 元/hm²。本研究表明, 春玉米生育期降水量低于 390 mm 时, 9 000 kg/hm² 秸秆覆盖量综合表现较优, 是渭北旱原及同类生态区适宜的覆盖量。

关键词: 土壤水分, 秸秆, 覆盖量, 春玉米, 产量, 节水效益, 渭北旱原

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2011.z1.047

中图分类号: S152.7, F316.1

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2011)-Supp.1-0238-06

蔡太义, 贾志宽, 黄耀威, 等. 不同秸秆覆盖量对春玉米田蓄水保墒及节水效益的影响[J]. 农业工程学报, 2011, 27(增刊 1): 238—243.

Cai Taiyi, Jia Zhikuan, Huang Yaowei, et al. Effects of different straw mulch rates on soil water conservation and water-saving benefits in spring maize field [J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(Supp.1): 238—243. (in Chinese with English abstract)

0 引言

渭北旱原属黄土高原典型旱作农区, 春玉米是该区重要的粮食作物, 其产量高低, 对陕西乃至中国粮食安全具有较大影响^[1]。因干旱缺水和无霜期短等原因, 春玉米一年一熟, 多实行冬季休闲。冬闲地土壤多采用传统翻耕, 易形成裸露的地表和疏松的耕层结构^[2], 在多风少雨的冬春, 经常会造成大量土壤水分无效损失, 影响春玉米产量潜力的提高。

许多研究表明, 秸秆覆盖在旱地蓄水保墒^[3-5]、提高作物产量方面效果显著^[6-7]。而有关秸秆覆盖量的研究, 多集中在农田环境和作物增产效应上^[8-11], 不同秸秆覆盖量春玉米田不同降水年型的蓄水保墒效应及节水效益问题, 鲜见报道, 渭北旱原春玉米田适宜的秸秆覆盖量没有明确。本研究通过对连续 2 年试验数据的分析, 探讨秸秆覆盖量对土壤水分及春玉米生长发育的影响机理,

比较不同秸秆覆盖量的产量和经济效益, 旨在为半湿润易旱区秸秆覆盖技术的完善提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验设在陕西省合阳县甘井镇西北农林科技大学旱农基地(34°15'N, 106°30'E, 海拔 900 m), 是黄土高原中南部典型的半湿润易旱区。多年平均降水量为 538.2 mm, 主要集中在 6~8 月份, 年内自然降水时间分布不均和强度不匀(表 1), 年际间降水变异系数(8.8%)较大, 年蒸发量 1 832.8 mm, 干燥度为 1.5。当地塬面平坦开阔, 光热资源充足, 年平均温度为 10.5 °C, 无霜期 169~180 d。供试土壤为中壤质壤土, 2007 年基础土壤, 0~100 cm 土层, 田间持水率、饱和含水率、土壤平均体积分量和孔隙度分别为 22.11%, 31.27%, 1.33 g/cm³, 49.3%, 耕层 0~20 cm 土壤, 全有机质、全氮、全磷和全钾质量分数分别为 11.36, 0.84, 0.53 和 7.08 g/kg; 硝态氮、氨态氮、速效磷和速效钾质量分数分别为 24.61, 1.95, 11.57 和 113.79 mg/kg, PH 值为 8.1。

1.2 试验设计

试验于 2007 年秋季开始, 连续 2 个生产年度(2007—2009)进行定位试验。共设置 3 个秸秆覆盖量水平: 4 500、9 000 和 13 500 kg/hm², 分别以 S1、S2 和 S3 表示, 以不覆盖为对照(CK), 共 4 个处理, 随机区组排列。小区面积 24 m² (3 m×8 m)。覆盖方式为整秸秆全程(休

收稿日期: 2010-11-09 修订日期: 2011-02-14

基金项目: “十一五”国家科技支撑课题“农田集雨保水关键技术研究”(2006BAD29B03); “渭北旱原旱作农田集雨保水关键技术研究”(2010NKC-03)

作者简介: 蔡太义(1972—), 男, 河南南阳人, 博士研究生, 研究方向为土地资源管理和节水农业。杨凌 西北农林科技大学中国旱区节水农业研究院, 712100。Email: caity2008@nwsuaf.edu.cn

*通信作者: 贾志宽(1962—), 男, 山西朔州人, 博士, 教授。博士生导师, 主要从事旱地农业方面研究。杨凌 西北农林科技大学中国旱区节水农业研究院, 712100。Email: Zhikuan@tom.com

闲期和生育期)覆盖。休闲期覆盖是在前茬玉米收获后,先将上茬覆盖未腐解的秸秆铡碎翻耕还田,然后按照试验设计再进行整秆均匀覆盖,同一小区位置及秸秆覆盖量不变。

覆盖处理播前先将覆盖的秸秆搂到地边,然后进行人工翻耕、整地、施肥,不同处理小区统一施肥水平:施尿素(总氮 $\geq 46.4\%$) 532.6 kg/hm^2 ,磷酸二铵(总养分 $\geq 60.0\%$) 326.7 kg/hm^2 ,KCl($\text{K}_2\text{O} \geq 60.0\%$) 326.8

kg/hm^2 。为防治地下害虫,在整地前撒施呋喃丹 27.8 kg/hm^2 。

供试品种为豫玉 22 号,南北行种植,人工穴播,行株距 $67.5 \text{ cm} \times 30 \text{ cm}$,种植密度为每公顷 49 500 株,每年 4 月 23—25 日播种;播种后将每一小区搂到地边的秸秆重新均匀覆盖到原来小区。所有处理小区生育期不追肥,无补充灌溉。每年 9 月 17—20 日进行人工收获。

表 1 合阳试验站 1976~2009 年逐月降水量

Table 1 The distribution of monthly precipitation in 1976~2009 at Heyang experimental station

年份	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	年降水量	生育期降水量
2007	0.0	26.0	46.1	5.6	19.9	71.9	196.1	83.2	55.9	48.3	1.6	9.5	564.1	466.6
2008	29.1	8.3	13.0	31.7	23.5	95.7	54.4	123.5	65.2	15.0	0.0	0.0	459.4	315.0
2009	1.2	23.5	19.8	12.8	136.5	46.8	46.6	96.8	52.4	24.8	37.4	2.4	501.0	390.0
1976—2006	5.6	9.3	19.6	31.2	44.1	57.4	111.9	114.7	77.3	46.7	15.3	5.2	538.2	380.0
CV/%	151.9	55.4	59.6	64.8	97.7	31.2	67.5	17.3	17.7	48.8	127.4	95.4	8.8	16.0

注:表中 CV 为变异系数。

1.3 测定指标及方法

土壤含水率测定 采用常规土钻取土烘干法。测定深度为 0~200 cm 土层,取样间隔为 20 cm,取样时间分别为播前、拔节期、大喇叭口期、孕穗期、成熟期,3 次重复。春玉米收获前进行生物产量和经济产量测定,并根据市场价格计算产量及节水效益。各指标计算公式如下^[12-13]:

$$W=H \times D \times B \times 10$$

式中, W 为土壤贮水量, mm; H 为土层深度, cm; D 为土壤平均体积质量, g/cm^3 ; B 为土壤含水率, %。

$$\Delta W=W_1-Y_1 \times W_2/Y_2,$$

式中, ΔW 为同等产量下覆盖处理比不覆盖处理节水量, m^3/hm^2 ; W_1 为不覆盖处理的耗水量, m^3/hm^2 ; Y_1 为不覆盖处理的经济产量, kg/hm^2 ; W_2 为覆盖处理的耗水量, m^3/hm^2 ; Y_2 为覆盖处理的经济产量, kg/hm^2 。

$$\beta_w=\Delta W/W_1 \times 100,$$

式中, β_w 为同等产量下覆盖处理比不覆盖处理节水率, %; W_1 为不覆盖处理的耗水量, m^3/hm^2 ; Y_1 为不覆盖处理的经济产量, kg/hm^2 ; W_2 为覆盖处理的耗水量, m^3/hm^2 ; Y_2 为覆盖处理的经济产量, kg/hm^2 。

利用 Logistic 生长方程 $y=k_m/(1+e^{a+bt})$ ^[14] 对 2 年玉米株高进行曲线拟合,并估算方程的特征值。 t 为株高生长天数, d ; y 为玉米某一时期的株高, cm; a 、 b 、 k_m 是 3 个待定系数 ($a > 0$, $b < 0$)。 k_m 为株高最大值; 当 $t_0=-a/b$ 时, 有 $d^2y/d^2t=0$, 此时玉米株高达最大值, 即: $V_m=dy/dt=-bk_m/4$; t_0 表示株高生长最快的时刻, 此时的株高速率 (V_m) 又叫作“速度特征值”。当 $t_1=[\ln(2+1.732)-a]/b$, $t_2=[\ln(2-1.732)-a]/b$ 时, 有 $d^3y/d^3t=0$, 即在 t_1 时刻 d^2y/d^2t 达到最大值, 在 t_2 时刻 d^2y/d^2t 达到最小值。 $\Delta t=t_2-t_1$ 被称为“时间特征值”, 表示了株高快速生长期的时间长短; 在 t_1-t_2 时间内, $G_t=-bk_m/4 \times \Delta t$, G_t 又被称为“生长特征值”, 它表示株高增长已达到最大增长量的 65.8% 以上。

1.4 数据统计与分析

采用 SAS 8.01 对试验数据进行单因素方差 (ANOVA) 分析、The least significant difference (LSD) 法显著性检验 ($P < 0.05$), Sigmaplot 11.0 制图。

2 结果与分析

2.1 土壤水分效应

冬闲末 (播前) 土壤水分 冬闲期 (长达近半年的时间内) 土壤水分对旱地春玉米非常重要, 良好的水分条件可保证春玉米及时播种及苗期健壮生长。因覆盖量不同, 不同处理 2 m 土层土壤水分的保墒效应存在明显差异 (表 2)。2008 及 2009 年冬闲末各覆盖处理土壤水分变化趋势一致, 均以 S3 的保墒效果最好, S2 次之, S1 最差, 但 2008 年各覆盖处理保墒效应明显优于 2009 年, 这可能与不同年度冬闲期降水有关。S1、S2 和 S3 处理 2 m 土层 2 年冬闲末平均土壤贮水量, 较 CK 分别高 13.9、22.6 和 33.5 mm, 差异均达显著水平 ($P < 0.05$)。

拔节期土壤水分 2009 年拔节期覆盖处理 2 m 土层土壤水分与 CK 差异在全生育期最大, 2008 年次之。2 年平均在全生育期与 CK 的差异最大, 且 2 m 土层土壤贮水量呈现随覆盖量增加而升高的趋势 (表 2), S1、S2 和 S3 处理 2 m 土层 2 年平均土壤贮水量较 CK 分别提高 20.2、32.6 和 42.1 mm, 差异均达显著水平 ($P < 0.05$)。

收获期土壤水分状况 收获期土壤水分经过一个周期的水分循环, 各覆盖处理土壤水分基本稳定, 差异最小。2 年数值比较接近, S1、S2 和 S3 处理 2 m 土层 2 年平均土壤贮水量较 CK 分别提高 15.6、19.1 和 21.0 mm, 差异均达显著水平 ($P < 0.05$), 各覆盖处理间则无显著差异。

S1、S2 和 S3 处理 2 m 土层 2 年平均土壤贮水量, 全生育期较 CK 分别提高 16.2、24.5 和 33.0 mm, 差异均达显著水平 ($P < 0.05$), 说明覆盖处理无论在干旱年 (2008) 还是丰水年 (2009) 均表现出了良好的蓄水保墒效应。

表2 2008~2009年不同处理不同生育时期0~200 cm土壤贮水量

Table 2 Soil water storage in 0~200 cm soil depths at different growth stage under different treatments in 2008 and 2009

生育时期	mm							
	2008年				2009年			
	CK	S1	S2	S3	CK	S1	S2	S3
播前	485.81±0.97c	500.81±2.63b	514.63±2.10a	523.80±2.40a	426.00±0.77c	438.89±3.12b	442.37±2.36b	455.02±1.91a
拔节期	442.53±1.43c	464.81±2.43b	476.44±3.73b	488.81±2.99a	493.02±0.52c	511.10±0.31b	524.37±1.09a	530.96±2.75a
大喇叭口期	445.56±2.26c	463.08±2.38b	490.10±1.87b	490.75±2.55a	432.60±0.17d	437.56±3.20c	441.66±2.64b	464.68±1.83a
孕穗期	379.58±0.17c	398.48±0.32b	403.06±0.49a	407.32±0.09a	376.46±0.91c	397.84±0.17b	395.89±1.29b	408.72±0.60a
成熟期	413.34±0.96b	432.47±3.01a	433.58±2.95a	435.08±2.00a	412.70±1.58d	424.81±2.02c	430.70±0.82b	432.92±1.09a
生育期均值	433.36±1.26d	451.93±2.09c	463.56±3.74b	469.15±1.87a	428.16±0.98c	442.04±2.14b	446.99±2.15ab	458.46±1.67a

注：相同年度，同一行内数据后不同小写字母表示在0.05水平上差异显著

2.2 春玉米 Logistic 生长模型

利用 Logistic 生长模型 $H=Km/(1+\exp(a+bt))$ 对 2 年不同处理的株高平进行曲线拟合，并计算出方程的特征值（表 3）。2 年覆盖处理进入旺盛生长期，较 CK 均明显滞后，尤以 2008 年更为明显，这不仅与不同年份降水量有关，可能受秸秆覆盖的“低温效应”影响更大^[15]，S1、S2 和 S3 进入旺盛生长期 (t_1) 2 年平均滞后天数较 CK 分别推迟 7、12 和 13 d，而结束旺盛生长期基本一致（推迟天数分别为 7.5、8.5 和 7.0 d），说明不同覆盖量处理结束旺盛生长期 (t_2) 基本一致，即均在播后 90 d 左右（玉米抽雄前后）。各覆盖处理最大生长速率大约在播后

65~75 d（玉米拔节前后），且表现为 2008 年整体较 2009 年滞后。2 年的“时间特征值” (Δt) 变化趋势一致，均缩短了春玉米快速生长时间，S1、S2 和 S3 处理 2 年平均 Δt 较 CK 分别缩短了 0.5、4.5 和 6.5 d，这表明不同秸秆覆盖量均有效地促进了土壤—作物水分的良性循环，为作物的生长发育提供了有利条件，进而提高了作物产量潜力。

表 3 同时表明，Logistic 生长模型较好的模拟了春玉米株高在不同秸秆覆盖量下的生长状况，对于直观比较不同覆盖量在不同时期的蓄水保墒效果及作物增产预测提供了理论参考。

表3 不同覆盖量春玉米株高生长的 Logistic 模型及其特征值

Table 3 The Logistic model and trait of spring maize plant height of different straw mulching quantity

年份	处理	G_r	t_1/d	t_0/d	t_2/d	$\Delta t/d$	$V_{max}/(cm \cdot d^{-1})$	生长方程	R^2
2008	CK	148.1	36	57	79	44	3.4	$H=224.8737/(1+\exp(3.4618-0.060378t))$	0.9956**
	S1	179.7	48	70	93	45	4.0	$H=272.8451/(1+\exp(4.1325-0.058814t))$	0.9892**
	S2	188.6	56	77	97	38	4.9	$H=286.3716/(1+\exp(5.3274-0.068777t))$	0.9842**
	S3	176.1	58	75	94	38	4.7	$H=267.4779/(1+\exp(5.1899-0.069467t))$	0.9914**
2009	CK	146.9	45	65	86	41	3.6	$H=223.1623/(1+\exp(4.2143-0.064437t))$	0.9964**
	S1	156.6	47	67	87	39	4.0	$H=237.8301/(1+\exp(4.4994-0.067029t))$	0.9970**
	S2	159.3	47	66	85	38	4.2	$H=241.9548/(1+\exp(4.6025-0.069665t))$	0.9978**
	S3	172.4	51	68	85	34	5.0	$H=261.7903/(1+\exp(5.2236-0.076637t))$	0.9975**

注： G_r 为生长特征值， Δt 为时间特征， t_1 、 t_2 为进入、结束旺盛生长期的时间， t_0 为生长速率达最大的时间， V_{max} 为速度特征值， H 为株高， t 为生长天数， R^2 为决定系数，**表示 0.01 水平显著相关。

2.3 产量

不同覆盖处理有效调控了土壤水分，促进了土壤—作物水分的良性循环，提高了春玉米的籽粒和生物产量（图 1a 和 1b）。图 1a 表明，S1、S2 和 S3 处理 2008 年籽粒产量，较 CK 分别增产 7.65%、16.19% 和 17.84%，其中，S3 产量最高，较 S2 增产 1.42%，但 S3 和 S2 无显著差异；2009 年籽粒产量，S1、S2 和 S3 分别较 CK 增产 4.51%、6.04% 和 7.17%。图 1a 同时表明，不同覆盖量处理 2008 年的增产效果明显优于 2009 年，这可能与渭北旱塬春玉米关键生育期降水较多有关（表 1）：2008

年生育期降水量为 315 mm，2009 为 390 mm，后者较前者增加了 75 mm，然而，6~8 月份依次是春玉米的拔节期、孕穗期和灌浆期等关键时期，2008 年 6~8 月份降水量为 273.6 mm，较 2009 年同期降水量 190.2 mm 多出 83.4 mm。可见，春玉米产量的高低与全生育期的降水量有关，同时受生育期内降水分配的影响。

图 1b 表明，S2 和 S3 的生物产量，2008 年较 S1 和 CK 均显著 ($P<0.05$) 增产，2009 年较 CK 均显著 ($P<0.05$) 增产，但与 S1 无显著差异。S1 的生物产量，2008 年较 CK 显著 ($P<0.05$) 增产，2009 年却与 CK 无显著差异。

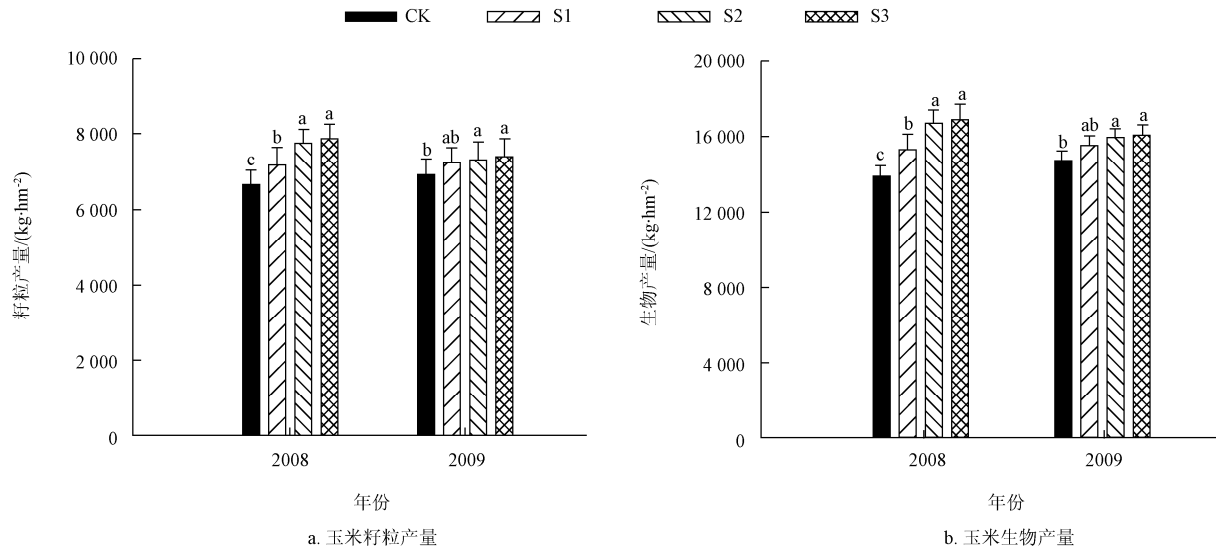


图 1 不同覆盖量下春玉米籽粒产量 (a) 和生物产量 (b)

Fig.1 Grain yield (a) and biomass yield (b) of spring maize under different treatments

2.4 经济效益

衡量某项节水技术是否有实际应用价值，不仅要看它的增产效果，还要看他的经济效益^[13,16]。表 4 可知，不同处理的产量效益和产投比存在明显差异。覆盖处理的产量效益和产投比在 2008 和 2009 年均以 S2 最高，S3

次之，但和 S2 无显著差异，S1 最低，且和 CK 无显著差异。与 CK 相比，S1、S2 和 S3 处理 2 年平均产量收入分别增长 5.99%、10.85% 和 12.23%，纯收益分别提高 6.53%、16.89% 和 15.95%，产投比分别增长 1.19%、5.07% 和 3.28%。

表 4 2008 和 2009 年不同处理产量效益和产投比

Table 4 Yield benefits, value to cost ratio under different treatments in 2008 and 2009

年份	处理	农资投入/ (元·hm ⁻²)	其它投入/ (元·hm ⁻²)	总投入/ (元·hm ⁻²)	玉米单价 元/kg	产量收入/ (元·hm ⁻²)	纯收益/ (元·hm ⁻²)	产投比
2008	CK	2782.00	1141.53	3923.53	1.40	9338.00d	5414.47c	1.70c
	S1	2782.00	1416.83	4198.83	1.40	10052.00c	5853.17b	1.71c
	S2	2782.00	1476.24	4258.24	1.40	10850.00ab	6591.76a	1.82a
	S3	2782.00	1658.68	4440.68	1.40	11004.00a	6563.32a	1.77b
2009	CK	2815.00	1368.64	4183.64	1.50	10354.50b	5752.50d	1.65c
	S1	2815.00	1479.05	4294.05	1.50	10821.00a	6043.52c	1.68b
	S2	2815.00	1490.88	4305.88	1.50	10980.00a	6461.48a	1.70a
	S3	2815.00	1562.51	4377.51	1.50	11097.00a	6384.90ab	1.69a
2 年平均	CK	2802.50	1412.70	4215.20	1.47	9831.05c	5613.13d	1.60c
	S1	2802.50	1560.62	4363.12	1.47	10308.65b	5932.00c	1.61c
	S2	2802.50	1654.50	4457.00	1.47	10951.52a	6530.00a	1.68a
	S3	2802.50	1743.57	4546.07	1.47	10989.73a	6461.37ab	1.65b

注：表中农资投入包括种子、化肥和农药，其中，磷酸二铵为 3.1 元/kg，尿素为 2 元/kg，氯化钾为 5.2 元/kg。其它投入包括机械作业和人工投入，秸秆为试验区自身产品，故未计进投入。2008 年，玉米市场价格为 1.40 元/kg，陕西省发改委公布农业灌溉用水平均单价为 0.25(元/m³)。同一年度，同列内数据后不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著。

表 5 可知，不同覆盖处理在不同降水年份的同等产量节水量及其节水率不同，致使节水效益存在明显差异，其中，2008 年的节水效益明显高于 2009 年，这可能在干旱条件下秸秆覆盖的效应更为显著有关，但两年的节水

效益均以 S2 最高，S3 次之，S1 最低。与 CK 相比，S1、S2 和 S3 处理 2 年平均同等产量节水率分别提高 5.14%、8.35% 和 7.44%，节水效益分别提高 50.07、81.31 和 72.30 元/hm²。

表5 2008和2009年不同处理节水效益
Table 5 Water-saving benefits under different treatments in 2008 and 2009

年份	处理	经济产量/ (kg·hm ⁻²)	耗水量/ (m ³ ·hm ⁻²)	同等产量节水 量 ΔW/ (m ³ ·hm ⁻²)	同等产量节水 率 β _w /%	农业用水单价/ (元·m ⁻³)	节水效益/ (元·hm ⁻²)
2008	CK	6670.00c	3815.91c	/	/	/	/
	S1	7180.00b	3840.92b	247.81c	6.49c	0.25	61.95c
	S2	7750.00a	3968.98a	400.02a	10.48a	0.25	100.01a
	S3	7860.00a	4045.02a	383.30b	10.04b	0.25	95.83ab
2009	CK	6903.00b	4032.02b	/	/	/	/
	S1	7214.00ab	4054.03b	152.77c	3.79b	0.25	38.19c
	S2	7320.00a	4010.00b	250.45a	6.21a	0.25	62.61a
	S3	7398.00a	4112.06a	195.10b	4.84b	0.25	48.78b
2年平均	CK	6786.50c	3923.96b	/	/	/	/
	S1	7197.00b	3947.47b	200.29c	5.14c	0.25	50.07c
	S2	7535.00ab	3989.49ab	325.24a	8.35a	0.25	81.31a
	S3	7629.00a	4078.54a	289.20b	7.44ab	0.25	72.30ab

注：同一年度，同列内数据后不同小写字母表示在0.05水平上差异显著。

3 结论

1) 不同降水年度各覆盖处理2 m土层土壤贮水量，在冬闲期、拔节期和收获期均表现为随覆盖量增加而升高的趋势。其中，S1略高于CK，S2和S3均明显高于CK，但S3和S2无显著差异。

2) 覆盖处理2年籽粒产量均显著高于CK，其中，S3产量最高，S2次之，S1最低，但S3和S2无显著差异。与CK相比，S1、S2和S3处理2年平均纯收益分别增加6.53%、16.89%和15.95%，同等产量节水率分别提高5.14%、8.35%和7.44%，节水效益分别增长50.07、81.31和72.30元/hm²。

3) 综合考虑土壤水分、玉米生长发育、产量及节水效益，结合渭北旱原降水资源和生产实际（每公顷旱地春玉米生产的秸秆量大约为9 000 kg，即可覆盖一公顷农田）。故此，渭北旱原及同类生态区春玉米秸秆覆盖量以9 000 kg/hm²为宜。

[参 考 文 献]

- [1] 康绍忠, 蔡焕杰, 冯绍元. 现代农业与生态节水的技术创新与未来研究重点[J]. 农业工程学报, 2004, 20(1): 1-6.
Kang Shaozhong, Cai Huanjie, Feng Shaoyuan. Technique innovation and research fields of modern agricultural and ecological water-saving in the future[J]. Transactions of the CSAE, 2004, 20(1): 1-6. (in Chinese with English abstract)
- [2] 李立群, 薛少平, 王虎全, 等. 渭北高原旱地春玉米不同种植模式水温效应及增产效益研究[J]. 干旱地区农业研究, 2006, 24(1): 33-38.
Li Liqun, Xue Shaoping, Wang Huquan, et al. Effects of different planting patterns on soil moisture, temperature and yield of spring maize on Weibei plateau[J]. Agricultural Research In The Arid Areas, 2006, 24(1): 33-38. (in Chinese with English abstract)
- [3] Sharma P, Abrol V, Sharma R K. Impact of tillage and mulch management on economics, energy requirement and crop

performance in maize-wheat rotation in rainfed subhumid inceptisols, india[J]. European Journal of Agronomy, 2011, 34(1): 46-51.

- [4] Wang Y, Xie Z, Malhi S S, et al. Effects of rainfall harvesting and mulching technologies on water use efficiency and crop yield in the semi-arid loess plateau, China[J]. Agric. Water Manage, 2009, 96(3): 374-382.
- [5] 胡芬, 梅旭荣. 秸秆覆盖对春玉米农田土壤水分的调控作用[J]. 中国农业气象, 2001, 22(1): 15-18.
Hu Fen, Mei Xurong. Effect of mulching with straw on water regulation in dry land of maize[J]. Agricultural Meteorology 2001, 22(1): 15-18. (in Chinese with English abstract)
- [6] Cook H, Valdes G, Lee H. Mulch effects on rainfall interception, soil physical characteristics and temperature under *Zea mays* L.[J]. Soil and tillage research, 2006, 91(1/2): 227-235.
- [7] Liu Y, Li S Q, Chen F, et al. Soil water dynamics and water use efficiency in spring maize (*Zea mays* L.) fields subjected to different water management practices on the loess plateau, China[J]. Agric. Water Manage, 2010, 97(5): 769-775.
- [8] 方文松, 朱自玺, 刘荣花, 等. 秸秆覆盖农田的小气候特征和增产机理研究[J]. 干旱地区农业研究, 2009, 27(6): 123-128.
Fang Wensong, Zhu Zixi, Liu Ronghua, et al. Study on microclimate characters and yield-increasing mechanism in straw mulching field[J]. Agricultural Research In The Arid Areas, 2009, 27(6): 123-128. (in Chinese with English abstract)
- [9] 蔡太义, 贾志宽, 杨宝平, 等. 不同秸秆覆盖量对春玉米冠气温差和叶水势日变化的影响[J]. 灌溉排水学报, 2010, 29(6): 10-13.
Cai Taiyi, Jia Zhikuan, Yang Baoping, et al. Effects of different straw mulch amounts on diurnal variation of difference between canopy temperature and air temperature and leaves water potential of spring maize[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2010, 29(6): 10-13. (in Chinese with English abstract)

- [10] 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 Zhaowei, Hao Weiping, Gong Daozhi, et al. Effect of straw mulch amount on dynamic changes of soil moisture and temperature in farmland[J]. Agricultural Meteorology 2010, 31(2): 244—250. (in Chinese with English abstract)
- [11] 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.
Wang Xin, Jia Zhikuan, Han Qingfang, et al. Effects of different straw mulching quantity on soil water and WUE in semiarid region[J]. Agricultural Reseach In The Arid Areas, 2009, 27(4): 196—202. (in Chinese with English abstract)
- [12] 尚金霞, 李军, 贾志宽, 等. 渭北旱塬春玉米田保护性耕作蓄水保墒效果与增产增收效应[J]. 中国农业科学, 2010, 43(13): 2668—2678.
Shang Jinxia, Li Jun, Jia Zhikuan, et al. Soil water conservation effect, yield and income increments of conservation tillage measures in spring maize field on Weibei Highland[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2010, 43(13): 2668—2678. (in Chinese with English abstract)
- [13] 赵印英. 不同覆盖技术特点及其节水增产效果与投入产出分析[J]. 山西农业科学, 2004, 32(4): 37—40.
Zhao Yinying. Features of mulching technologies and the effects on output increasing and water saving, and input to output analysis[J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2004, 32(4): 37—40. (in Chinese with English abstract)
- [14] Alexandrov V A, Hoogenboom G. The impact of climate variability and change on crop yield in bulgaria[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2000, 104(4): 315—327.
- [15] 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 Naisheng, Xue Zongrang, Luo Xitu, 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. (in Chinese with English abstract)
- [16] 方日尧, 赵惠青, 方娟. 渭北旱原冬小麦不同覆盖栽培模式的节水效益[J]. 农业工程学报, 2006, 22(2): 46—49.
Fang Riyao, Zhao Huiqing, Fang Juan. Water-saving benefits of different mulching cultivation mode for winter wheat in Weibei Highland[J]. Transactions of the CSAE, 2006, 22(2): 46—49. (in Chinese with English abstract)

Effects of different straw mulch rates on soil water conservation and water-saving benefits in spring maize field

Cai Taiyi^{1,2}, Jia Zhikuan^{1*}, Huang Yaowei³, Huang Huijuan², Meng Lei⁴, Yang Baoping¹, Li Han¹

(1. The Chinese Research Institute of Water-saving Agriculture, Northwest Agriculture and Forestry University, Yangling 712100, China; 2. School of surveying and land information engineering, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454000, China; 3. The Agriculture Department of Henan Province, Zhengzhou 450000, China; 4. Chinese Academy of Agricultural Engineering, Beijing 100026, China)

Abstract: A field experiment (2007–2009) was conducted at the Heyang Dryland Farming Experimental Station in Shaanxi Province of China to determine the effects of straw mulch rates on soil moisture conservation and water-saving benefits of spring maize field. Maize straw at rates of 0 (CK), 4 500 (S1), 9 000 (S2) and 13 500 kg/hm² (S3) was placed on field plots. The results showed that 2-year average soil water storage in 0–200 cm soil layers during of S1, S2 and S3 were 13.9, 22.6 and 33.5 mm, respectively, higher than that of CK at the end of winter fallow, and which were 20.2, 32.6 and 42.1 mm during Sowing and Jointing periods, and which were 15.6, 19.1 and 21.0 mm. All treatments with straw mulch delayed the development of maize, however, accelerated the speed of growth from the late-mid period. Grain yield of S1, S2, S3 were 7.65%, 16.19% and 17.84% respectively, significantly ($P < 0.05$) higher than that of CK in 2008, and which were similar to in 2009, while the latter overall less than the former. Comparing with CK, 2-year average net return of S1, S2, S3 increased by 6.53%, 16.89% and 15.95% respectively, and water-saving rates of unit grain produce increased by 5.14%, 8.35% and 7.44% respectively, and water-saving benefits increased by 50.07, 81.31 and 72.30 yuan/hm², respectively. Results of this study indicated that synthetically performance of S2, with 9 000 kg/hm² of straw mulch, was better than other treatments, which is preferable for Weibei highland area in China and similar ecological region, as the precipitation was below than 390 mm during the spring maize growing season.

Key words: soil moisture, straw, mulch rates, spring maize, yield, water-saving benefit, Weibei Highland area