

渭北旱塬不同秸秆覆盖量对土壤水分和春玉米产量的影响

蔡太义^{1,2}, 贾志宽^{1*}, 孟蕾³, 郭芳倩³, 杨宝平¹, 黄耀威⁴, 任小龙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, 焦作 454000;
3. 农业部规划设计研究院(中国农业工程研究设计院), 北京 100026; 4. 河南省农业厅, 郑州 450008)

摘要: 为了探明不同秸秆覆盖量对渭北旱塬土壤水分及春玉米产量的影响, 于 2008—2009 年在陕西合阳县旱农试验站进行了 3 个水平的秸秆覆盖量(4 500、9 000 和 13 500 kg/hm²) 试验, 以不覆盖为对照(CK)。2 a 结果表明, 3 个处理 0~200 cm 土层平均土壤贮水量较 CK 均显著提高, 分别增加 16.52、25.52 和 34.04 mm ($P<0.05$); 播后 0~60 d, 农田蒸散量较 CK 分别减少 4.43、8.23 ($P<0.05$) 和 6.96 mm ($P<0.05$); 9 000 kg/hm² 处理 2 年平均籽粒产量及水分利用效率表现最优, 较 CK 分别提高 11.03% ($P<0.05$) 和 9.25% ($P<0.05$), 13 500 kg/hm² 处理次之, 4 500 kg/hm² 处理最差。本研究表明, 渭北旱塬春玉米生育期降水量低于 390 mm 时, 不同秸秆覆盖量处理蓄水保墒及增产效应明显, 且以 9 000 kg/hm² 覆盖量为宜。

关键词: 土壤, 含水率, 秸秆, 覆盖量, 渭北旱塬, 春玉米, 产量

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2011.03.008

中图分类号: S152, S161

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2011)-03-0043-06

蔡太义, 贾志宽, 孟蕾, 等. 渭北旱塬不同秸秆覆盖量对土壤水分和春玉米产量的影响[J]. 农业工程学报, 2011, 27(3): 43-48.

Cai Taiyi, Jia Zhikuan, Meng Lei, et al. Effects of different rates of straw mulch on soil moisture and yield of spring maize in Weibei Highland area of China[J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(3): 43-48. (in Chinese with English abstract)

0 引言

Hallsted 等^[1]从 1936 年首次开展秸秆覆盖研究以来, 秸秆覆盖在改善土壤物理条件、蓄水保墒和增加作物产量方面, 已被大量研究和生产实践所证明^[2-4]。在此基础上, Duley 等^[5]最早进行的不同秸秆覆盖量的试验表明, 覆盖 4 500 kg/hm² 秸秆处理较对照(不盖秸秆)土壤贮水量增加了 2 倍; 在热带气候条件下, Lai^[6]研究发现, 覆盖 4 000~6 000 kg/hm² 秸秆对保水及增产效果明显; 刘英等^[7]研究认为, 覆盖 6 000 kg/hm² 玉米秸秆处理的 2 m 土壤贮水量较不覆盖处理增加了 30 mm。关于秸秆覆盖抑制土壤蒸发的效果, 梅旭荣等^[8]研究表明, 4 500 kg/hm² 玉米秸秆覆盖量, 不仅能有效抑制土壤蒸发, 而且使作物蒸腾耗水在总耗水中占的比重提高 10%~15%。不同秸秆覆盖量的增产效应, 目前研究尚无定论, Cook 等^[9]研究表明, 2 000~4 000 kg/hm² 小麦秸秆覆盖可使玉米增产, 但覆盖量增至 60 000~80 000 kg/hm², 玉米大幅减产; 卜玉山等^[10]研究认为, 10 000 kg/hm² 小麦秸秆覆盖进行的玉米盆栽和大田试验, 分别增产 62.5% 和 19.1%。

苏衍涛等^[11]研究指出, 5 000 kg/hm² 的稻草覆盖能使春玉米增产 13.1%; 刘超等^[12]研究表明, 渭河平原露天旱区覆盖 6 000 kg/hm² 小麦秸秆, 可使夏玉米增产 5.61%。然而, 高亚军等^[13]多年多点试验结果表明, 9 000 kg/hm² 覆盖量处理的冬小麦出现不同程度减产; 王昕等^[14]在宁南旱区的试验结果表明, 覆盖小麦秸秆超过 9 000 kg/hm² 以上时, 春玉米才具有显著的增产效果。

春玉米是渭北旱塬主要的粮食作物, 其生产方式主要依赖自然降水, 但该区降水年际间波动剧烈, 且季节分布不均, 加之土壤贫瘠, 产量经常低而不稳, 已严重影响了该区的粮食安全和农业可持续发展。前人研究结果表明, 秸秆覆盖可能是提高该区春玉米产量的关键措施, 但缺少适宜的秸秆覆盖量数据, 在不同降水年型不同秸秆覆盖量能否增产, 更是鲜见报道。鉴此, 本研究在不同降水年型(2007—2009 年生产年度)进行了春玉米秸秆覆盖定量定位试验, 旨在为完善半湿润易旱区(玉米生育期降水量 310~400 mm)秸秆覆盖技术提供科学依据和技术支撑。

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, 试验地坡度 0.42%), 降水量历年平均为 538.2 mm, 主要集中在 7、8 和 9 月, 年蒸发量 1 832.8 mm, 干燥度为 1.5, 是黄土高原中南部典型的半湿润易旱区。当地塬面平坦开阔, 光热资源充足, 年平均温度为 10.5℃, 无霜期 169~180 d。

收稿日期: 2010-09-15 修订日期: 2011-03-15

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

作者简介: 蔡太义(1972—), 男, 河南南阳人, 博士生, 主要从事节水农业和土地资源管理方面研究。杨凌 西北农林科技大学中国旱区节水农业研究院, 712100。Email: 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

供试土壤为中壤质壤土。2007年试验前土壤, PH 值为 8.1, 0~100 cm 土层的田间持水率、土壤平均体积质量和孔隙度分别为 22.11%、1.33 g/cm³ 和 49.3%, 耕层 0~20 cm 土壤, 全有机质、全氮、全磷和全钾质量分数依次为 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。

试验期间 2007—2008 生产年度降水 483.5 mm, 生育期降水 315 mm; 2008—2009 生产年度降水 495.3 mm, 生育期降水 390.0 mm。

1.2 试验设计

试验于 2007 年秋季开始, 连续进行 2 个生产年度 (2008—2009)。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), 小区间设置 2 m 保护行。覆盖方式为整秸秆全程 (生育期和休闲期) 覆盖。休闲期覆盖是在前茬玉米收获后, 将上茬覆盖未腐解的秸秆铡碎翻耕还田, 按照实验设计再进行整秆均匀覆盖, 同一处理小区 3 a 秸秆覆盖量不变。

秸秆覆盖量设置依据: 是结合旱地春玉米秸秆产量多在 9 000 kg/hm² 左右, 即 1 hm² 玉米生产的秸秆可覆盖 1 hm² 土地, 故设计中间覆盖量为 9 000 kg/hm²; 为了探讨不同秸秆覆盖量的规律性变化, 设置了中间量减半处理 (4 500 kg/hm²) 和中间量加半处理 (13 500 kg/hm²)。

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: 尿素 (总氮≥46.4%) 532.6 kg/hm²; 磷酸二铵 (总养分≥60.0%, N-P-K: 17-43-0) 326.7 kg/hm²; KCl (K₂O≥60.0%) 326.8 kg/hm²。为防治地下害虫, 在整地前撒施呋喃丹 27.8 kg/hm²。

供试品种为豫玉 22 号, 南北行种植, 人工穴播, 行株距 67.5 cm×30 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。所有处理生育期不追肥, 无补充灌溉。每年 9 月 17—20 日进行人工收获。

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, 取样时间分别在休闲末期 (播后 0 d)、拔节期 (播后 0~60 d)、大喇叭口期 (播后 60~90 d)、孕穗期 (播后 90~120 d) 和成熟期 (播后 120~150 d), 3 次重复。试验地坡度较小, 且渭北旱塬地下水深度多在 50 m 以下, 地下水供给可忽略不计, 故农田水分平衡计算公式可简化为式 (2)。

玉米产量测定, 玉米成熟期, 剔除边行植株, 在每个小区中间两行人工收获。收获后的玉米秸秆和风干籽粒均在 70℃ 条件下烘干 48 h, 称质量计算玉米生物产量 (籽粒产量与秸秆产量之和) 及籽粒产量, 籽粒产量水分控制在 12.0% 以下。

土壤贮水量 (W) 和水分利用效率 (WUE) 计算公式如下^[15-17]

$$W = H \times D \times B\% \times 10 \quad (1)$$

$$ET = (W_1 - W_2) + P \quad (2)$$

$$WUE_G = Y/ET \quad (3)$$

式中, W 为土壤贮水量, mm; H 为土层深度, mm; D 为土壤平均体积质量, g/cm³; $B\%$ 为土壤含水率; ET 为农田蒸散量, mm; W_1 、 W_2 为相邻两次取样时 0~200 cm 土层储水量, mm; P 为作物生育期降水量, mm; WUE_G 为籽粒产量水分利用效率, kg/(hm²·mm); Y 为经济产量, kg/hm²。

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 土壤贮水量 (0~200 cm) 的时空变化

2.1.1 土壤含水率空间变化特征

图 1 为 2 a 不同处理 0~200 cm 土层全生育期平均土壤含水率。各处理 0~20 cm 土层土壤含水率差异最大, 且明显高于 CK, 同时, 2008 年各覆盖处理较 CK 增幅高于 2009 年。

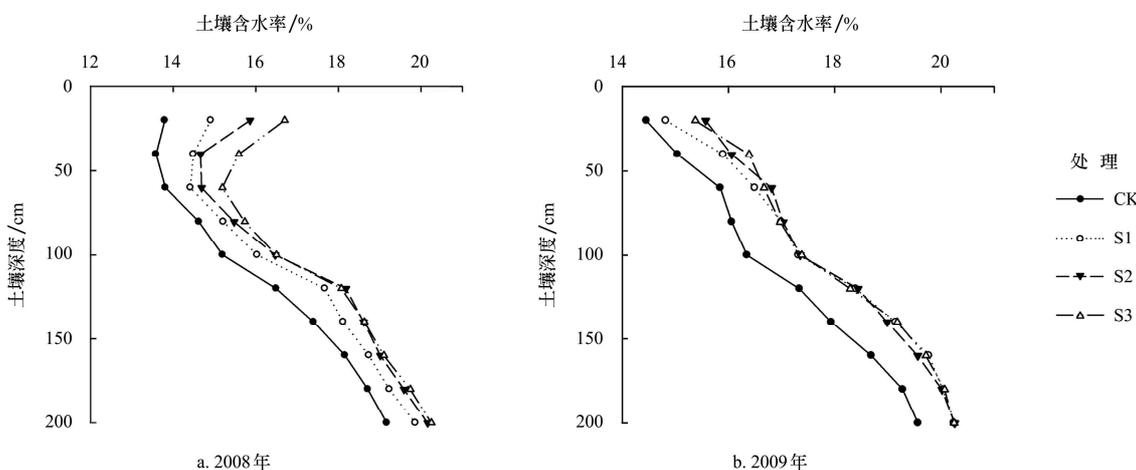


图 1 2008—2009 年不同处理全生育期 0~200 cm 土壤含水率分布

Fig.1 Distribution of moisture of 0~200 cm soil layers for the whole maize growing season with different treatments in 2008 and 2009

统计分析表明, 0~20 cm 土层 2 a 平均土壤含水率, S1、S2 和 S3 较 CK 分别提高 5.24%、11.26% ($P<0.05$) 和 13.60% ($P<0.05$); >20~60 cm 土层, 各覆盖处理土壤含水率与 CK 差异逐渐缩小, S1、S2 和 S3 较 CK 分别提高 5.15%、6.73% 和 9.54% ($P<0.05$); >60~120 cm 土层, 各覆盖处理间无显著差异, 但仍明显高于 CK, S1、S2 和 S3 较 CK 分别提高 4.80%、5.77% 和 6.06%。0~

200 cm 土层整体来看, S1、S2 和 S3 处理 2 年平均土壤含水率较 CK 分别提高 4.95%、6.46% 和 7.36%。

2.1.2 土壤贮水量的时间变化特征

由于 2008 年和 2009 年降水量不同, 不同处理 2 m 土层土壤贮水量在各生育时期存在明显差异, 但 2 年覆盖处理较 CK 均能显著提高土壤贮水量, 且呈现随秸秆覆盖量增加而增加的趋势 (表 1)。

表 1 2008—2009 年不同处理不同生育时期 0~200 cm 土壤贮水量
Table 1 Soil water storage of 0–200 cm at different growth stage under different treatments in 2008–2009

播后天数/ d	2008 年				2009 年				mm
	CK	S1	S2	S3	CK	S1	S2	S3	
0	485.81±0.97c	500.81±2.63b	514.63±2.10a	523.80±2.42a	426.00±0.77c	438.89±3.12b	442.37±2.36b	455.02±1.91a	
60	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	
90	445.56±2.26c	473.08±2.38b	500.10±1.87b	500.75±2.55a	432.60±0.17d	437.56±3.20c	441.66±2.64b	464.68±1.83a	
120	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±0.60 a	
150	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	
均值	433.36±1.26d	453.93±2.09c	463.56±3.74b	471.15±1.87a	428.87±0.98c	446.76±2.14b	449.19±2.15ab	456.86±1.67a	

注: 相同生育时期, 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。

休闲期土壤水分对旱地春玉米播种及苗期生长非常重要, 良好的水分条件可保证春玉米按时播种及苗期健壮生长。不同处理对 0~200 cm 土壤的蓄水效应在 2008 年明显优于 2009 年。S1、S2 和 S3 处理 0~200 cm 土壤贮水量 2 a 均值较 CK 均显著提高, 分别增加 13.95、22.60 和 33.51 mm ($P<0.05$); 播后 0~60 d, 该时期地面裸露面积大, 农田土壤水分蒸散以棵间蒸发为主, 不同覆盖处理均有抑制土壤水分蒸发, 从而使土壤贮水量明显高于对照, 抑制蒸发效果以 S3 最好, S2 次之, S1 最差。2 m 土壤贮水量 2 a 均值, S1、S2 和 S3 较 CK 均显著提高, 分别增加 20.18、32.63 和 42.11 mm ($P<0.05$); 播后 60~90 d, 玉米叶面积指数逐渐增大, 秸秆覆盖的效应开始减弱, 但覆盖处理土壤水分仍明显高于对照。S1、S2 和 S3 较 CK 均显著提高, 分别增加 16.24、31.80 和 43.64 mm ($P<0.05$); 播后 90~120 d, 玉米叶面积指数达最大值, 封垄封行后, 农田水分蒸散由棵间土壤蒸发为主转换为作物蒸腾为主, 致使不同覆盖处理的土壤贮水

量与 CK 差异逐渐减小, 不同覆盖量处理间无显著差异。S1、S2 和 S3 较 CK 均显著提高, 分别增加 16.64、21.46 和 30.00 mm ($P<0.05$); 播后 90~120 d, 春玉米经过整个生育期的水分平衡, 覆盖处理间差异更小, 但仍显著高于 CK。S1、S2 和 S3 较 CK 均显著提高, 分别增加 15.62、19.12 和 20.98 mm ($P<0.05$)。

全生育期 2 m 土壤贮水量 2 a 均值, S1、S2 和 S3 较 CK 均显著提高, 分别增加 16.52、25.52 和 34.04 mm ($P<0.05$), S2 和 S3 较 S1 分别增加 8.99 和 18.00 mm ($P<0.05$), S3 较 S2 增加 8.53 mm。

2.2 农田蒸散量动态变化

秸秆覆盖对农田蒸散量动态变化的影响见表 2。玉米生长前期, 不同覆盖量处理明显的抑制了以土壤棵间蒸发为主的农田蒸散量, 比 CK 耗水少, 生育中后期, 由于秸秆覆盖的集水及抑制蒸发作用增加了土壤储水量, 因而, 覆盖处理以蒸腾为主的农田蒸散量大于 CK, 为玉米光合积累和产量形成提供了有利条件^[18]。

表 2 2008—2009 年不同处理玉米生长不同时期农田蒸散量
Table 2 Field evapotranspiration (ET) in 0–200 cm soil layers at days after sowing under different treatments in 2008–2009

播后天数/ d	2008 年				2009 年				mm
	CK	S1	S2	S3	CK	S1	S2	S3	
0~60	90.58±2.77a	87.3±1.66a	89.49±0.42a	86.29±2.78a	96.68±1.84a	91.10±2.45a	81.31±2.34b	87.06±1.08b	
>60~90	88.57±0.86a	85.33±2.34a	69.94±2.78b	81.66±3.50a	97.97±2.17b	111.04±0.46ab	120.21±0.34a	103.7±0.718b	
>90~120	100.68±1.21b	108.9±2.22b	131.34±0.56a	127.73±0.35a	95.34±0.45a	80.92±2.89b	84.97±3.43b	95.16±3.42a	
>120~150	101.64±1.34a	102.41±0.79a	105.89±0.61a	108.64±3.66a	112.96±3.45b	122.04±1.34a	114.09±1.89b	125.00±2.67a	
总计	381.47±1.27b	384.93±1.89b	408.66±0.73a	404.32±3.48a	402.95±3.16b	405.11±2.77b	400.58±3.06b	410.92±1.89a	

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。

播后 0~60 d, 农田蒸散量以土壤棵间蒸发为主, 覆盖处理抑制蒸发作用明显, 且随覆盖量的增加抑制蒸发

作用愈增强。S1、S2 和 S3 处理 2 年农田蒸散量均值, 较 CK 分别减少 4.43、8.23 ($P<0.05$) 和 6.96 mm ($P<0.05$);

播后 60~90 d, 农田蒸散转变成以蒸腾为主, 覆盖处理耗水量赶上并超过 CK, S1、S2 和 S3 处理 2 年平均农田蒸散量较 CK 分别增加 4.92、8.31 ($P<0.05$) 和 9.41 mm ($P<0.05$); 播后 90~120 d, 是覆盖处理农田蒸散量与 CK 差异的最大时期, S1、S2 和 S3 处理 2 年平均农田蒸散量, 较 CK 分别增加 4.52、17.76 ($P<0.05$) 和 21.05 mm ($P<0.05$); 播后 120~150 d, 除了 S3 显著高于 CK 外, 其他处理间均无显著差异。

全生育期, S1、S2 和 S3 处理 2 年平均农田蒸散量较 CK 皆显著提高, 分别增加 9.92、25.53 和 33.03 mm ($P<0.05$), S2 和 S3 较 S1 均显著提高, 分别增加 15.60 和 23.10 mm ($P<0.05$), S3 较 S2 增加 7.50 mm。

2.3 产量和水分利用效率

2.3.1 产量及构成要素

不同处理株高、产量及构成要素, 因土壤水分条件不同表现出明显的差异 (表 3)。2 a 株高平均值, S1、S2 和 S3 较 CK 分别增加 6.09%、8.93% ($P<0.05$) 和 14.82% ($P<0.05$)。

不同处理穗位高、穗长和穗粗产量性状以 S2 和 S3 较优, S1 最差。各处理穗行数、行粒数和百粒质量三要素协调性以 S3 最好, S2 次之, S1 最差。

玉米产量是秸秆覆盖对土壤水分有效调控的最终体现。表 3 可知, 2 a 覆盖处理均表现出随覆盖量递增而产量逐渐增加的趋势, 且 2008 年增幅明显高于 2009 年。2 a 平均籽粒产量, S1、S2 和 S3 较 CK 分别增产 6.05%、11.03% ($P<0.05$) 和 12.41% ($P<0.05$), S2 和 S3 较 S1 分别增产 4.70% 和 6.00%, S3 较 S2 略增产 1.25%。

各处理生物产量的增幅高于籽粒产量增幅, 2 a 生物产量均值, S1、S2 和 S3 较 CK 分别增长 7.72%、13.98% ($P<0.05$) 和 15.28% ($P<0.05$)。

2.3.2 水分利用效率

不同处理导致 2 m 土层水分状况不同, 因而对玉米耗水系数和水分利用效率也产生不同影响 (表 4)。各覆盖处理玉米耗水系数, 2 a 总体上表现出随覆盖量增加而逐渐减小的趋势, 以 S2 最小, S3 次之, S1 最高。

各覆盖处理玉米水分利用效率, 2 a 总体表现出随覆盖量增加而逐渐递增的趋势, 以 S2 最高, S3 次之, S1 最低。S1、S2 和 S3 处理玉米的 2 a 平均水分利用效率, 较 CK 分别提高 5.49%、9.25% ($P<0.05$) 和 8.09% ($P<0.05$), S2 和 S3 较 S1 分别提高 3.56% 和 2.47%, S3 较 S2 下降 1.06%。

表 3 2008—2009 年不同处理春玉米产量特征值

Table 3 Data of spring maize quantitative characters with different treatments in 2008–2009

年份	处理	株高/ cm	穗位高/ cm	穗长/ cm	秃尖长/ cm	穗粗/ cm	穗行数	行粒数	百粒质量/ g	空秆率*/ %	籽粒产量/ (kg·hm ⁻²)	生物产量/ (kg·hm ⁻²)
2008	CK	216.53	103.00	18.81	1.65	5.1	16.08	34.03	29.04	15.0	6670.0±372.4c	13895.8±582.1c
	S1	231.03	109.90	21.2	2.23	5.32	16.17	35.68	29.13	14.0	7180.0±464.8b	15276.6±854.3b
	S2	236.28	112.39	22.05	2.31	5.38	16.33	37.83	30.98	18.0	7750.0±372.0a	16666.7±750.3a
	S3	255.78	121.67	22.07	2.4	5.48	16.2	38.28	31.12	18.0	7860.0±388.3a	16867.0±808.7a
2009	CK	250.10	110.97	18.46	1.31	4.95	16.6	34.9	28.01	14.0	6903.0±446.4b	14687.2±541.8b
	S1	264.00	115.58	20.64	1.54	5.26	16.7	36.6	29.02	18.0	7214.0±422.4ab	15514.0±513.5ab
	S2	272.00	127.39	22.05	2.37	5.43	16.72	37.11	29.21	18.0	7320.0±466.8a	15913.0±468.0a
	S3	280.00	130.19	21.78	2.63	5.43	16.78	37.29	29.84	19.0	7398.0±480.8a	16082.6±551.5a

注: *空秆率计算标准, 每株果穗 100 个籽粒以下视为空秆。

表 4 不同处理下玉米产量和水分利用效率

Table 4 Effect of straw mulch amounts on cumulative evaporation (ET) and water use efficiencies for grain yield in 2008–2009

年份	处理	籽粒产量/ (kg·hm ⁻²)	播前 2 m 土壤 贮水量/mm	收获 2 m 土壤 贮水量/mm	农田蒸散量/ mm	耗水系数/ (mm·(kg·hm ⁻²) ⁻¹)	水分利用效率/ (kg·(hm ² ·mm) ⁻¹)
2008	CK	6670.0±372.4c	480.9	415.1	381.4	0.057	17.5c
	S1	7180.0±464.8b	500.8	432.5	383.9	0.054	18.7b
	S2	7750.0±372.0a	514.6	433.6	396.7	0.051	19.5a
	S3	7860.0±388.3a	523.8	435.1	404.3	0.051	19.4a
2009	CK	6903.0±446.4b	429.5	415.7	403.0	0.058	17.1b
	S1	7214.0±422.4ab	440.1	424.1	405.2	0.056	17.8ab
	S2	7320.0±466.8a	442.3	430.7	400.8	0.055	18.3a
	S3	7398.0±480.8a	456.1	434.3	411.0	0.056	18.0a

注: 相同年度, 同一列内数据后不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著。

3 讨论

1) 本试验从休闲期开始利用秸秆全程覆盖方式, 将长达半年休闲期蓄积于土壤中的秋冬降水 (雪) 较好地

保蓄于土壤之中, 且具有随秸秆覆盖量增加而呈现提高趋势。2 年临播前土壤水分测定结果表明, S1、S2 和 S3 处理 2 m 土层较 CK 分别多保蓄水分 12.89~15.00 mm、16.37~28.82 mm 和 29.02~37.99 mm。这与前人研究结

论基本一致^[19-20]。

2) 本研究进一步表明,不同秸秆覆盖量对春玉米全生育期的土壤水分均有抑制无效蒸发的效果,可使0~200 cm 土层土壤保持较高的贮水量。同时,春玉米生育前期以0~60 cm 的保蓄效果最明显,而生育后期则以0~40 cm 的保蓄效果最好。王昕等^[14]研究认为,秸秆覆盖对春玉米生育期土壤水分的影响范围在40 cm 土层以内,而生育后期则在0~20 cm 以内。这可能与不同试验区的气候条件有关。

3) 本研究适逢2个不同降水年型,不论干旱年,还是丰水年,不同秸秆覆盖量均有一定的蓄水保墒效果。但春玉米产量在干旱年增产显著,丰水年则不显著。这进一步表明,在渭北旱塬半湿润易旱地区,土壤水分状况是制约旱地春玉米产量高低的主导因素,在干旱年份,秸秆覆盖能够较好的保住有限的自然降水,满足玉米生育需要,和不覆盖相比,可显著增加春玉米产量;而在丰水年,秸秆覆盖的保水效果不明显,即不同生育时期各处理的土壤水分状况总体一致,无显著差异,故秸秆覆盖的增产效果则不显著。

4) 相关试验结果显示^[7,21],渭北旱塬旱地春玉米蕴藏着巨大的生产潜力。本试验连续多年的秸秆全量还田和秸秆全程覆盖,并未使该区春玉米生产潜力得以发挥,其原因,除了与土壤水分和“低温效应”外,还可能与秸秆还田、覆盖在腐解过程中微生物和玉米对氮素吸收利用产生竞争,导致土壤碳氮比失调有关^[22]。然而,从本试验施纯氮量来看(见1.2 试验设计),玉米生长发育并不存在氮素匮乏问题。由此可见,如不采取其他措施,仅靠秸秆覆盖并不能使该区春玉米的巨大生产潜力得到充分挖掘。

5) 在玉米生育期降水较少年份,不同秸秆覆盖量均能促进旱地春玉米增产,且产量随秸秆覆盖增加而基本呈递增趋势,这与前人研究结论相似^[9,20,23],但前人的研究结论,多是随覆盖量的增加作物产量持续提高^[12,14],缺失覆盖量上下限的研究数据。本试验结果表明,4 500 kg/hm² 覆盖量处理因覆盖量过少起不到保水增产效果,13 500 kg/hm² 覆盖量处理与9 000 kg/hm² 覆盖量处理相比,因过量覆盖,其水分利用效率2年均呈下降趋势,产量亦无显著差异。本研究认为,渭北旱塬春玉米生育期降水量低于390 mm 时,不同秸秆覆盖量处理蓄水保墒和增产效应明显,且以9 000 kg/hm² 覆盖量为宜。

4 结 论

1) 不同秸秆覆盖量处理在休闲期和播后0~60 d,明显改善了2m 土层土壤水分,且保水效果有随覆盖量递增而逐渐提高趋势。水分环境的优化,致使S1、S2 和S3 处理2年平均籽粒产量较CK 分别增产6.05%、11.03%和12.41%,2年平均水分利用效率较CK 分别提高5.49%、9.25%和8.09%。

2) 不同降水年型导致不同覆盖量处理的节水增长效果存在较大差异。干旱年(2008)处理间差异较大,而丰水年(2009)则无显著差异。

3) 3个秸秆覆盖量水平下,9 000 kg/hm² 处理2年综合表现较优,是渭北旱塬适宜的覆盖量。

[参 考 文 献]

- [1] Hallsted A, Mathews O. Soil moisture and winter wheat with suggestions on abandonment. 1936, Bull. No. 273 Kansas Agric. Exp. Stn.
- [2] Tebrugge F, Daring R A. Reducing tillage intensity - a review of results from a long-term study in germany[J]. Soil & Tillage Research, 1999, 53(1): 15-28.
- [3] Huixiao W, Changming L, Lu Z. Water-saving agriculture in china: An overview[J]. Advances in Agronomy, 2002, 75(2): 135-171.
- [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] Duley F L, J C R. The use of crop residues for soil and moisture conservation[J]. Jour Amer Soc Agron, 1939, 31(3): 703-709.
- [6] Lal R. Soil temperature, soil moisture and maize yield from mulched and unmulched tropical soils[J]. Plant and Soil, 1974, 40(1): 129-143.
- [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] 梅旭荣, 魏中兴. 屯留试验区旱地农田水分供需特征及秸秆覆盖的效果分析[J]. 中国农业气象, 1991, 12(1): 31-33.
- [9] Mei Xurong, Wei Zhongxing. Dryland Tunliu test area water supply and demand characteristics and the effects of straw mulch[J]. Agricultural Meteorology 1991, 12(1): 31-33. (in Chinese with English abstract)
- [9] 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.
- [10] 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.
- [10] Bu Yushan, Miao Guo Yuan, Shao Hailin, et al. Analysis of growth and development and yield of corn mulched with plastic film and straw[J]. Acta Agronomica Sinica, 2006, 32(7): 1090-1093. (in Chinese with English abstract)
- [11] 苏衍涛, 王凯荣, 刘迎新, 等. 稻草覆盖对红壤旱地土壤温度和湿度的调控效应[J]. 农业环境科学学报, 2008, 27(2): 670-676.
- [11] Su Yantao, Wang Kairong, Liu Yingxin, et al. Effects of rice straw mulching on soil temperature and moisture regulation in an upland red soil[J]. Journal of Agro-Environment Science, 2008, 27(2): 670-676. (in Chinese with English abstract)
- [12] 刘超, 汪有科, 湛景武, 等. 秸秆覆盖量对夏玉米产量影响的试验研究[J]. 灌溉排水学报, 2008, 27(4): 64-66.
- [12] Liu Chao, Wang Youke, Zhan Jingwu, et al. The Influence of straw mulch amount to summer maize yield[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2008, 27(4): 64-66. (in Chinese with English abstract)
- [13] 高亚军, 李生秀. 旱地秸秆覆盖条件下作物减产的原因及

- 作用机制分析[J]. 农业工程学报, 2005, 21(7): 15—19.
Gao Yajun, Li Shengxiu. Cause and mechanism of crop yield reduction under straw mulch in dryland[J]. Transactions of the CSAE, 2005, 21(7): 15—19. (in Chinese with English abstract)
- [14] 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 Research in the Arid Areas, 2009, 27(4): 196—202. (in Chinese with English abstract)
- [15] 赵聚宝, 梅旭荣, 薛军红, 等. 秸秆覆盖对旱地作物水分利用效率的影响[J]. 中国农业科学, 1996, 29(2): 59—66.
Zhao Jubao, Mei Xurong, Xue Junhong, et al. The effect of straw mulch on crop water use efficiency in dryland[J]. Scientia Agricultura Sinica, 1996, 29(2): 59—66. (in Chinese with English abstract)
- [16] 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)
- [17] 段爱旺. 水分利用效率的内涵及使用中需要注意的问题[J]. 灌溉排水学报, 2005, 24(1): 8—11.
Duan Aiwan. Connotation of water use efficiency and its application in water-saving practice[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2005, 24(1): 8—11. (in Chinese with English abstract)
- [18] 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)
- [19] 胡芬, 陈尚模. 寿阳试验区玉米地农田水分平衡及其覆盖调控试验[J]. 农业工程学报, 2000, 16(4): 146—148.
Hu Fen, Chen Shangmo. Shouyang test water balance in maize and its coverage of control test[J]. Transactions of the CSAE, 2000, 16(4): 146—148. (in Chinese with English abstract)
- [20] Unger P. Straw-mulch rate effect on soil water storage and sorghum yield[J]. Soil Sci Soc Am J, 1978, 42(3): 486—491.
- [21] 李立科, 王兆华. 蒸发水—西部开发的新水源[J]. 干旱地区农业研究, 2002, 20(3): 97—100.
Li Like, Wang Zhao Hua. The evaporative water-new water resources for West China development[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2002, 20(3): 97—100. (in Chinese with English abstract)
- [22] Kumar K, Goh K. Nitrogen release from crop residues and organic amendments as affected by biochemical composition[J]. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 2003, 34(17): 2441—2460.
- [23] 李玉鹏, 贾志宽, 杨保平, 等. 秸秆覆盖量对半干旱区旱作春玉米生长及水分利用效率的影响[J]. 灌溉排水学报, 2010(1): 117—120.
Li Yupeng, Jia Zhikuan, Yang Baoping. Effects of straw mulching quantity on growth and water use efficiency of dry farming spring maize in semiarid areas[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2010(1): 117—120. (in Chinese with English abstract)

Effects of different rates of straw mulch on soil moisture and yield of spring maize in Weibei Highland area of China

Cai Taiyi^{1,2}, Jia Zhikuan^{1*}, Meng Lei³, Guo Fangqian³, Yang Baoping¹, Huang Yaowei⁴, Ren Xiaolong¹

(1. The Chinese Arid Area Research Institute of Water-saving Agriculture, Northwest Agriculture and Forestry University,

Yangling 712100, China; 2. Henan Polytechnic University, Jiaozuo, 454000, China;

3. Chinese Academy of Agricultural Engineering, Beijing 100026, China;

4. The Agriculture Department of Henan Province, Zhengzhou 450008, China)

Abstract: A field experiment (2008–2009) 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 and spring maize (*Zea mays* L.) yield. Maize straw at rates of 0 (CK), 4 500, 9 000 and 13 500 kg/hm² was placed on field plots. The results indicated that the average soil water storage in the 0–200 cm soil layers under the three different rates of straw mulch were 16.52, 25.52 and 34.04 mm, respectively, significantly ($P < 0.05$) higher than that of CK, and the average field evapotranspiration (ET) in the 0–200 cm soil layers were 4.43, 8.23 and 6.96 mm, respectively, significantly ($P < 0.05$) lower than that of CK during 0–60 days after sowing. Besides, the average grain yield and water use efficiency (WUE) of the treatment with 9 000 kg/hm² of straw mulch were optimal among the treatments, its grain yield and WUE increased by 11.03% ($P < 0.05$) and 9.25% ($P < 0.05$) compared with the CK, while it was medium with the treatment of 13 000 kg/hm², and lowest with the treatment with 4 500 kg/hm². It is suggested that the treatment with 9 000 kg/hm² of straw mulch is preferable for Weibei highland area in China, as the precipitation is below than 390 mm during the maize growing season.

Key words: soils, moisture, straw, mulch rates, Weibei Highland, spring maize, yield