

农艺措施和保水剂对土壤蒸发和夏玉米水分利用效率的影响

赵霞^{1,2}, 黄瑞冬¹, 李潮海³, 唐保军², 常文风³

(1. 沈阳农业大学农学院, 辽宁 沈阳 110866;

2. 河南省农业科学院粮食作物研究所/河南省玉米生物学重点实验室, 河南 郑州 450002;

3. 河南省粮食作物生理生态与遗传改良实验室, 河南 郑州 450002)

摘要:为进一步研究黄淮海地区免耕夏玉米栽培节水问题,于2011年进行大田试验,研究了农艺措施(播后镇压、秸秆覆盖)和保水剂对土壤蒸发和夏玉米水分利用效率的影响。结果表明,夏玉米整个生育期平均,处理A(播后镇压)、B(播后镇压+秸秆覆盖)、C(播后镇压+保水剂)和处理D(播后镇压结合秸秆平茬覆盖和保水剂)比处理E(播种后覆土)在0~40 cm土层,土壤含水量增加了4.78%、7.96%、5.50%和11.08%,水分蒸发减少了16.33%、103.78%、28.37%和128.77%,产量提高了9.68%、17.60%、11.78%和24.01%,水分利用效率也增加了9.64%、17.55%、11.71%、23.96%,效益增加了1 536.34、2 516.42、801.74、2 553.10元/hm²。这种作用在夏玉米的生长前期更明显,拔节前的土壤水分比较,处理A、B、C、D比E增加了8.74%、15.81%、10.48%和20.28%,水分蒸发减少了17.81%、164.68%、40.35%和209.43%。处理D集成了镇压、秸秆覆盖、保水剂的作用,能够充分提高土壤水分含量和抑制水分蒸发。建议在黄淮海地区夏玉米实行播后镇压结合秸秆覆盖等农艺措施,有条件的地方可以再结合增加保水剂的应用。

关键词:夏玉米;农艺措施;保水剂;土壤蒸发;水分利用效率

中图分类号: S375;S152.7+3;S513.01 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-7601(2013)01-0101-06

Effects of agronomic measures and water-retaining agent on soil evaporation and water use efficiency of summer maize (*Zea mays* L.)

ZHAO Xia^{1,2}, HUANG Rui-dong¹, LI Chao-hai³, TANG Bao-jun², CHANG Wen-feng³

(1. College of Agronomy, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, China;

2. Institute of Cereal Crops, Henan Academy of Agricultural Sciences / Henan Provincial Key Laboratory of Maize Biology, Zhengzhou 450002, China;

3. Henan Provincial Key Laboratory of Food Crops Eco-physiology and Genetic Improvement, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: In order to improve the water-saving cultivation of no-tillage summer maize (*Zea mays* L.) in Huang-Huai-Hai area, the effects of agronomic measures (including compacting after sowing and straw mulching) and water-retaining agent on soil evaporation and water use efficiency (WUE) of maize were explored with field tests in 2011. The results showed that the average soil water content in 0~40 cm during the whole growth period of maize under the treatments of A (compacting after sowing), B (compacting after sowing + straw mulching), C (compacting after sowing + water-retaining agent) and D (compacting after sowing + straw mulching + water-retaining agent) was increased by 4.78%, 7.96%, 5.50% and 11.08% respectively, compared to that under E (covering soil after sowing); the soil evaporation was inhibited by 16.33%, 103.78%, 28.37% and 128.77% respectively; the yield was improved by 9.68%, 17.60%, 11.78% and 24.01% respectively; and the water use efficiency was raised by 9.64%, 17.55%, 11.71% and 23.96% respectively. The benefit increased by 1 536.34, 2 516.42, 801.74, 2 553.10 yuan/hm². The

收稿日期:2012-03-05

基金项目:河南省玉米产业技术体系建设专项(S2010-02-G04)

作者简介:赵霞(1973—),女,河南开封人,助理研究员,在读博士生,主要从事玉米生理生态及品种评价研究。E-mail: zhaoxia1007@126.com。

通信作者:黄瑞冬(1960—),博士,教授,主要研究方向为作物生理生态。E-mail: r_huang@126.com。

李潮海(1956—),博士,教授,主要研究方向为作物生理生态。E-mail: lichao hai2005@yahoo.com.cn。

effects of different treatments were most significant in the early growth stage of maize. Before jointing stage, the average soil water content under A, B, C and D was increased by 8.74%, 15.81%, 10.48% and 20.28% respectively, and the soil evaporation was inhibited by 17.81%, 164.68%, 40.35% and 209.43% respectively, compared to that under E. The treatment of D, which integrated the effects of compacting after sowing, straw mulching and water-retaining agent, could fully enhance the soil water content and inhibit soil evaporation. It is recommended that compacting after sowing and straw mulching be practiced in summer maize cultivation in Huang-Huai-Hai area, and water-retaining agent be added in the conditional place.

Keywords: summer maize; agronomic measures; water-retaining agent; soil evaporation; water use efficiency (*WUE*)

水资源利用问题已成为我国粮食生产发展的主要制约因素,农业节水是保障粮食安全的关键措施之一^[1-3]。近年来,农艺节水和化控节水得到普遍重视,国内外学者开展了大量研究,其中,镇压、秸秆覆盖和保水剂是其中重要研究内容^[4-19]。夏玉米是我国主要粮食作物之一,其高产稳产对于保障我国粮食安全至关重要。研究证明,镇压后可以提高土壤容重和土壤水分^[6],秸秆覆盖有利于提高土壤含水率、平衡和改善耕层土壤温度^[7-16],保水剂能改善土壤的供水状况,提高根系活力和玉米抗旱能力^[17-21]。正确应用镇压、秸秆覆盖、保水剂等任一单一因素都对农作物有明显节水增产效果,但3种因素在玉米上的集成研究还不多见。近年来,在小麦玉米一年二熟的黄淮海地区,夏玉米生育期间经常受到干旱胁迫^[22],严重影响了夏玉米的高产稳产。鉴于此,研究了农艺措施(播后镇压、秸秆覆盖)和保水剂对土壤蒸发和夏玉米水分利用效率的影响,以期为我国黄淮海地区的节水农业以及夏玉米的高产稳产研究提供理论依据和技术支持。

1 材料与方法

1.1 试验材料与设计

2011年试验安排在河南省现代农业研发基地(简称研发基地)和河南省新乡市桥北区刘庵村(简称刘庵村)进行。试验地均为潮土,地势平坦,排灌方便,地力均匀一致,2个试验点耕层有机质含量分别为 $1.68 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $1.27 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,水解氮分别为 $85.37 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 74.156 mg ,速效磷分别为 $25.54 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $21.69 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,速效钾分别为 $94.42 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $87.43 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

设置镇压(玉米生产中一般用机械化播种机后面的镇压轮,以压力 $\text{kg} \cdot \text{cm}^{-2}$ 计量,这里选用人工脚踩 $0.5 \text{ kg} \cdot \text{cm}^{-2}$)、小麦秸秆平茬覆盖(把麦秸秸秆打成 $2 \sim 3 \text{ cm}$ 后抛撒于田间)^[9]、保水剂(选用河南省农业科学院植物营养与资源环境研究所生产的保水

剂)3种因子。设置5个处理:A,播后镇压;B,播后镇压+秸秆覆盖;C,播后镇压+保水剂;D,播后镇压+秸秆平茬覆盖+保水剂;E,播种后只覆土。秸秆覆盖处理的麦秸量均为 $9600 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$;保水剂依照 $60 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 的使用量^[21],与土混合后,在玉米播种行间开沟(沟深 $10 \sim 15 \text{ cm}$)使用。试验采用条播,郑单958为试验品种,60cm等行距种植。种植密度 $67500 \text{ 株} \cdot \text{hm}^{-2}$,6行区,行长6m,小区面积为 21.6 m^2 ,重复4次。2个试验点均在6月14日免耕机械播种,播种机为河南省石家庄布谷农机销售有限公司生产的2BQ-4玉米播种机。10月13日收获。播后及时浇水。试验定苗后施河南省农业科学院植物营养与资源环境研究所肥料厂生产的玉米专用复合肥(N:P:K为28:6:6) $750 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,其它管理同一般大田。

1.2 测定项目与方法

1.2.1 土壤水分 用土钻取土,铝盒烘干法测定土壤含水量。各处理于玉米各生育期中的同一天取土,即苗期(6月25日)、拔节期(7月14日)、大口期(8月5日)、吐丝期(8月24日)、成熟期(10月10日),20cm为1层,测定地表下 $0 \sim 40 \text{ cm}$ 的土壤含水量。

1.2.2 土壤棵间蒸发 用自制的 micro-lysimeter (MLS) 测定土壤棵间蒸发,重复3次。测定的方法参见孙宏勇等^[23]、陈素英等^[24], micro-lysimeter 用PVC管制作,内径为 10.4 cm ,高 15 cm 。配有相同材料的内径为 12 cm 的外套固定于土壤,每天用 0.001 kg 的电子天平称重,2d内质量的差值为其蒸发量。为保证精度,使 micro-lysimeter 内部的土壤水分剖面与周围土壤相一致,玉米拔节前每天更换 micro-lysimeter 内的原状土,玉米拔节后以后,每 $3 \sim 5 \text{ d}$ 更换1次,降雨和灌水后更换土体。

1.2.3 考种计产 收获时每小区收中间4行进行计产,第3行连续10穗进行考种,并根据降雨和灌溉量计算产量水平上的水分利用效率(*WUE*)。

1.3 数据处理

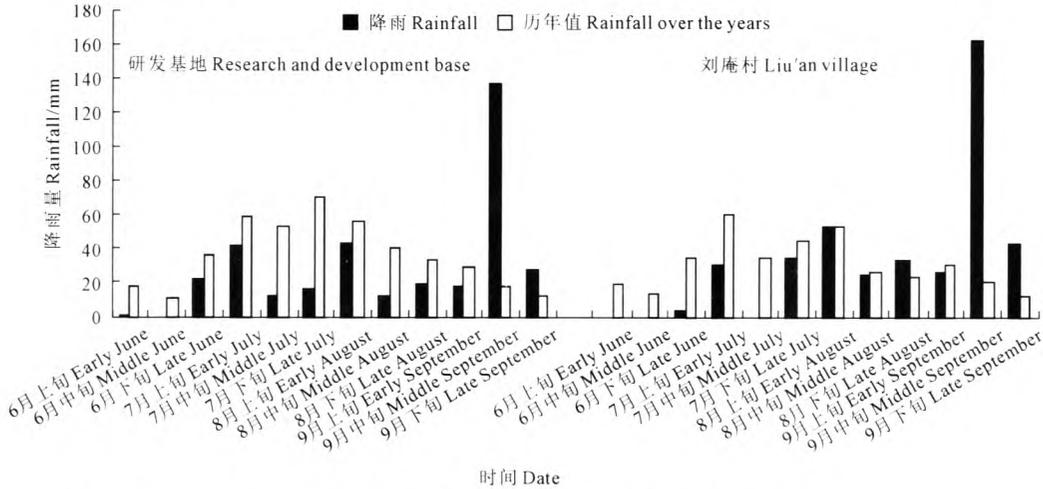
采用 DPS6.55 和 Excel 2003 对数据进行分析。

2 结果与分析

2.1 试验期间降雨特征

由图 1 可知,与历年降雨量相比,6、7 月的降雨量都比常年有所减少,降雨主要集中在 8、9 月。研发基地和刘庵村 2 个试验点都是 6 月降雨量最少,

分别为 23.3、3.9 mm。研发基地试验点 9 月中旬降雨量达到 136.6 mm,比常年多 119.5 mm,刘庵村试验点在 8 月中旬、9 月中旬、9 月下旬降雨量比常年多 10.6、144.5、32.3 mm,其余时间降雨量都比常年少。就总降雨量而言,研发基地试验点为 352.7 mm,比常年少 80.8 mm,而刘庵村试验点为 415.4 mm,比常年少 39.5 mm,2 个试验点均为平水年。



注:历年值指近 30a 降雨的平均值。 Note: Rainfall over the years means the average data in recent 30 years.

图 1 2 个试验点夏玉米生育期间降雨分布

Fig. 1 The rainfall distribution in growth period of summer maize

2.2 不同处理对土壤水分含量的影响

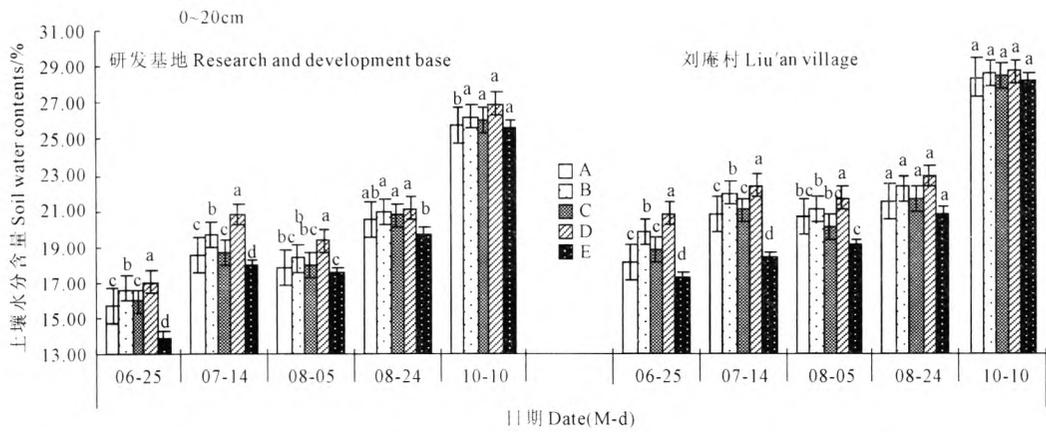
图 2、图 3 表示的是不同处理下不同土壤层次的含水量。2 个试验点的趋势相同,在苗期,玉米植株小,5 个处理的土壤含水量为 $D > B > C > A > E$,且处理间差异显著,其中 D 在研发基地和刘庵村等 2 个试验点的 0~20 cm 土壤水分分别为 17.08% 和 20.86%,比 E 分别增加了 22.62% 和 20.92%,比 A 分别增加了 8.24% 和 14.83%,比 B 分别增加了 2.55% 和 5.30%;而在 20~40 cm 土层,D 在 2 个试验点的土壤水分分别为 17.14% 和 22.40%,比 E 增加了 20.11% 和 15.87%,比 A 增加了 6.59% 和 7%,比 B 增加了 1.96% 和 4%;随着生育期的推进,夏玉米植株的增高和冠层的扩大,不同处理各层次含水量的差异在减小,到吐丝期,处理间的差异已经不显著,但处理间平均含水量的趋势还仍表现为 $D > B > C > A > E$,而且这种趋势在不同时间和土层中表现出相似的规律性。2 个试验点夏玉米整个生育期平均,在 0~20 cm 和 20~40 cm 土层,处理 A、B、C 和处理 D 比处理 E 土壤含水量增加了 4.88% 和 4.68%、8.78 和 7.14%、5.63 和 5.37%、11.90% 和 10.27%。综合两个土层,2 个试验点夏玉米整个生

育期平均 0~40 cm 的土壤含水量,处理 A、B、C 和处理 D 比处理 E 增加了 4.78%、7.96%、5.50% 和 11.08%。这种作用在夏玉米的生长前期更明显。拔节前的土壤水分比较,2 个试验点 0~40 cm 的土壤含水量平均,处理 A、B、C、D 比 E 增加了 8.74%、15.81%、10.48% 和 20.28%。

同时,分析图 2、图 3 还可以得出,玉米播后镇压、秸秆覆盖和保水剂 3 种措施的集成对土壤水分的影响比单一因素更能发挥作用,但其集成效应并不是简单叠加。在研发基地和刘庵村,处理 A 比 E 土壤含水量(0~20 cm)分别增加 4.1% 和 6%,而 B 比 E 增加 7.6% 和 9.82%,去除播后镇压的作用,秸秆覆盖的作用使土壤含水量比 E 增加 3.5% 和 3.82%;C 比 E 增加 5% 和 6.24%,去除播后镇压的作用,保水剂的作用使土壤含水量比 E 增加 0.9% 和 0.24%,而 D 则比 E 增加 11.2% 和 25.14%,远远大于单因素叠加的 8.6% 和 10.06%。

2.3 不同处理对土壤蒸发的影响

不同处理对不同生长期夏玉米田土壤蒸发的影响不同(图 4)。处理 D 和 B 的棵间蒸发量远远小于其他 3 个处理,特别是幼苗期。6 月中下旬,5 个处理



注:小写字母表示 5% 水平的显著差异 (LSD), 下同。 Note: Different letters represent significance at $P < 5\%$. The same as below.

图 2 不同处理下 0~20 cm 土壤水分含量

Fig.2 Soil water contents in 0~20 cm soil layer under different treatments

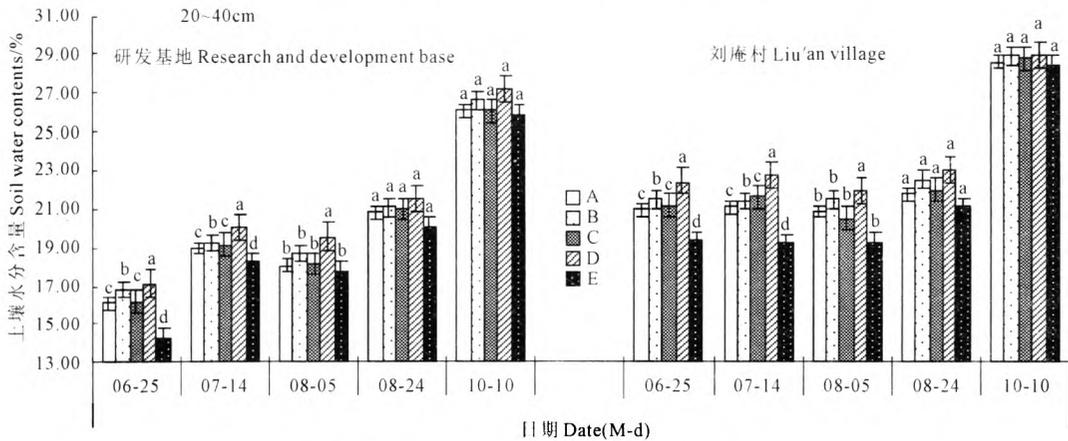


图 3 不同处理下 20~40 cm 的土壤水分含量

Fig.3 Soil water contents in 20~40 cm soil layer under different treatments

在研发基地和刘庵村 2 个试验点的平均日棵间蒸发量分别为 3.68、1.59、3.06、1.31、4.22 $\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$ 和 3.51、1.44、2.90、1.17、4.05 $\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$, 处理间差异达显著水平。2 个试验点平均, 处理 D 的棵间蒸发量是 E 的 29.98%, 是 A 的 34.49%, 是 C 的 41.61%, D 与 B 相差较少, 差异不显著。处理 A、B、C 和处理 D 比处理 E 整个生育期平均, 水分蒸发减少了 16.33%、103.78%、28.37% 和 128.77%; 拔节前, 水分蒸发减少了 17.81%、164.68%、40.35% 和 209.43%。随着生育期的推进, 到吐丝期时, 5 个处理的平均日棵间蒸发量分别为 2.58、2.01、2.43、1.96、2.69 $\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$ 和 2.45、2.02、2.42、1.98、2.71 $\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$, 处理之间差异不显著, 直至成熟。播后镇压、秸秆覆盖结合保水剂的作用随着夏玉米生育进程的推进逐渐减弱, 处理间夏玉米田的土壤蒸发量差距减小。

2.4 不同处理对夏玉米产量、产量构成因素及水分利用效率的影响

表 1 为不同处理下夏玉米的产量、产量构成因素及水分利用效率。D 处理的穗数与其他处理间有差异, 而 5 个处理的穗行数、行粒数均无显著差异。处理 D 在 2 个试验点的产量 10 318.24 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和 9 320.54 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 分别比 A 高 12.81% 和 13.36%, 比 B 高 5.47% 和 5.43%, 比 C 高 11.27% 和 10.58%, 比 E 高 23.06% 和 25.09%, 差异显著; 处理 B 与 A、C、E 差异显著, 处理 A、B、C、D 与 E 差异显著, 而处理 A 与 C 之间差异不显著。

处理 A(播后镇压)、B(播后镇压 + 秸秆覆盖)、C(播后镇压 + 保水剂) 都比 E(播种后只覆土) 产量高, 趋势为 $B > C > A$, B 显著高于 A、C, 而 D(播后镇压覆盖保水剂) 集成了镇压、秸秆覆盖、保水剂的作用, 产量显著高于 E、A、C、B。2 个试验点平均, 处理 A、B、C 和处理 D 比处理 E 产量提高了 9.68%、17.60%、11.78% 和 24.01%。

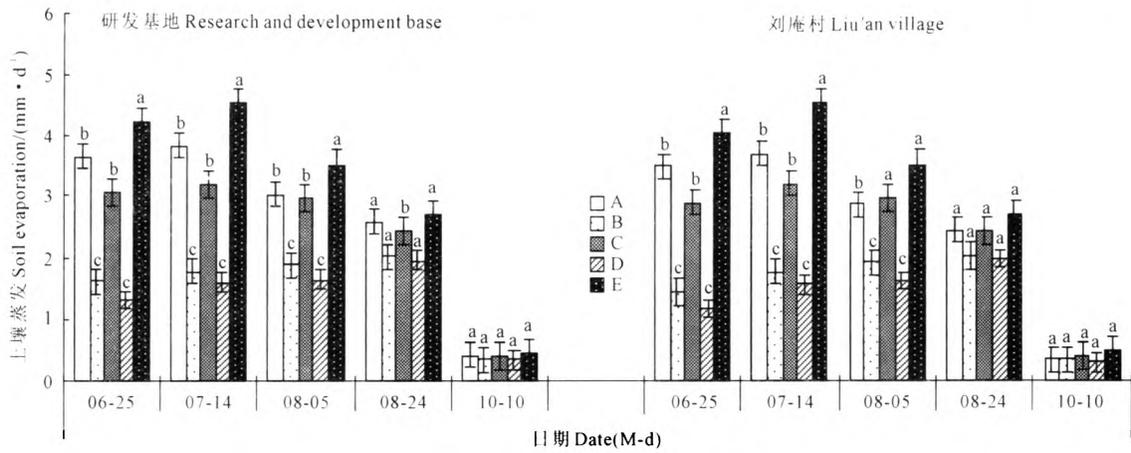


图 4 不同处理对土壤裸间蒸发的影响

Fig. 4 Effects of different treatments on soil evaporation in the field of summer maize

表 1 不同处理对夏玉米产量、产量构成因素及水分利用效率的影响

Table 1 Effects of different treatments on yield, component factors of yield and water use efficiency

试验点 Test location	处理 Treatments	产量 Yield /(kg·hm ⁻²)	产量构成因子 Yield component factors				水分利用效率 WUE /(kg·hm ⁻² ·mm ⁻¹)
			穗数 Spike numbers /(spikes·hm ⁻²)	穗行数 Rows per ear /行	行粒数 Grains per row /粒	千粒重 1000-grain weight /g	
研发基地 Research and development base	A	9146.86c	68251.31b	14.80a	32.27a	355.81cd	16.13b
	B	9782.98b	68244.56b	15.07a	35.17a	364.23ab	17.26b
	C	9272.82c	66524.39bc	14.92a	34.27a	361.27c	16.36b
	D	10318.24a	69320.43a	15.47a	35.47a	368.53a	18.20a
	E	8385.00d	64802.07c	14.37a	31.53a	350.16d	14.79c
刘庵村 Liu'an village	A	8222.14c	61508.06bc	15.87a	28.13a	328.50c	13.06b
	B	8840.64b	64608.91b	15.93a	28.93a	336.91b	14.04b
	C	8428.36c	64329.06b	15.72a	28.36a	334.98bc	13.39b
	D	9320.54a	71264.92a	16.13a	29.53a	364.31a	14.80a
	E	7450.96d	60421.06c	14.79a	27.42a	312.57d	11.83c

分析表 1 还可以看出,处理 A 比 E 分别增加 761.86 kg·hm⁻²和 771.18 kg·hm⁻²,而 B 比 E 增加 1 397.98 kg·hm⁻²和 1 389.68 kg·hm⁻²,去除播后镇压的作用,秸秆覆盖的作用使 B 产量比 E 增加 636.12 kg·hm⁻²和 618.50 kg·hm⁻²;C 比 E 增加 887.82 kg·hm⁻²和 977.40 kg·hm⁻²,去除播后镇压的作用,保水剂的作用使产量 C 比 E 增加 125.96 kg·hm⁻²和 206.22 kg·hm⁻²;而 D 则比 E 增加 1 933.24 kg·hm⁻²和 1 869.58 kg·hm⁻²,大于单因素叠加的 1 523.94 kg·hm⁻²和 1 595.90 kg·hm⁻²。

水分利用效率为单位耗水量所生产的作物籽粒产量。1 年 2 点的试验均表现为处理 D 的水分利用效率最高,分别为 18.19 kg·hm⁻²·mm⁻¹和 14.80 kg·hm⁻²·mm⁻¹,处理 E 最低,处理 D 与 A、C、E 差异显著,与处理 B 不显著;处理 A、B、C 与 E 差异显著,而处理 A、B、C 处理间差异不显著。2 个试验点平均,处理 A、B、C 和处理 D 比处理 E 水分利用效率增加了 9.64%、17.55%、11.71%、23.96%。

2.5 不同处理下的效益分析

表 2 表示的是不同处理的效益分析。处理 A、B、C、D 比 E 在两个试验点的平均产量分别增加了 766.52、1 393.83、932.61、1 904.41 kg·hm⁻²,玉米依照 2010 年的市场价 2.2 元·kg⁻¹计算,产值分别增加 1 683.34、3 066.42、2 051.74、4 183.10 元·hm⁻²,虽然成本分别增加了 150、550、1 250、1 600 元·hm⁻²(机械镇压作业按 150 元·hm⁻²、小麦秸秆处理按 400 元·hm⁻²、保水剂按 1 100 元·hm⁻²计算),效益分别增加了 1 536.34、2 516.42、801.74、2 553.10 元·hm⁻²。处理 D 增加效益最大。

3 讨论

1) 本试验结果表明,玉米播后镇压、秸秆覆盖和保水剂均能增加土壤含水量,有效地抑制水分蒸发,这种作用在夏玉米的生长前期更明显。这和于希臣等^[6]、李潮海等^[9]、杨永辉等^[18]关于单一因素的研究结果相似。

表 2 不同处理下的效益分析

Table 2 Benefit analysis under different treatments

处理 Treatments	两个试验点 平均产量 Average yield /(kg·hm ⁻²)	比 E 增加产量 Yield increase compared to E /(kg·hm ⁻²)	比 E 增加产值 Output increase compared to E /(yuan·hm ⁻²)	比 E 增加成本 Cost increase compared to E /(yuan·hm ⁻²)	比 E 增加效益 Benefit increase compared to E /(yuan·hm ⁻²)
A	8684.50	766.52	1686.34	150.00	1536.34
B	9311.81	1393.83	3066.42	550.00	2516.42
C	8850.59	932.61	2051.74	1250.00	801.74
D	9819.39	1901.41	4183.10	1650.00	2533.10
E	7917.98				

2) 玉米播后镇压、秸秆覆盖和保水剂 3 种措施的集成对土壤水分和玉米产量的影响比单一因素更能发挥作用,但其集成效应并不是简单叠加,既增加了产量,又提高了效益。

3) 随着农村劳力资源的外迁,近几年部分农田存在玉米播种后没有做到及时镇压或者镇压方法不科学^[6],小麦秸秆仍存在焚烧^[25-26]等不合理利用现象。已有研究表明,平茬秸秆覆盖克服了较长麦秸对播种机的缠绕阻碍作用,有利于提高玉米机播质量和保护环境^[9],建议在黄淮海区夏玉米实行播后镇压结合秸秆覆盖等农艺措施,有条件的地方可以再结合增加保水剂的应用。

4) 本试验是在平水年进行的研究,有关播后镇压、秸秆覆盖和保水剂在干旱或特干旱年份对夏玉米的影响还有待于进一步的研究。

参考文献:

- [1] 翟浩辉. 我国农业节水与国家粮食安全[J]. 中国农业科技, 2011, 2: 42-45.
- [2] 颜加勇. 水资源约束下的我国粮食安全的路径选择[J]. 生态经济, 2010, 12: 151-154.
- [3] 褚琳琳, 陈 菁. 节水农业综合效益价值评估[J]. 灌溉排水学报, 2011, 30(5): 61-66.
- [4] 杜尧东, 王丽娟, 刘作新. 保水剂及其在节水农业上的应用[J]. 河南农业大学学报, 2000, 34(3): 255-259.
- [5] 杜太生, 康绍忠, 魏 华. 保水剂在节水农业中的应用研究现状与展望[J]. 农业现代化研究, 2000, 21(5): 317-320.
- [6] 于希臣, 孙占祥, 郑家明, 等. 不同镇压方式对玉米生长发育及产量的影响[J]. 杂粮作物, 2002, 22(5): 271-273.
- [7] 付国占, 李潮海, 王俊忠, 等. 残茬覆盖与耕作方式对土壤性状及夏玉米水分利用效率的影响[J]. 农业工程学报, 2005, 21(1): 52-56.
- [8] 陈素英, 张喜英, 裴 冬, 等. 玉米秸秆覆盖对麦田土壤温度和土壤蒸发的影响[J]. 农业工程学报, 2005, 21(1): 171-173.
- [9] 李潮海, 赵 霞, 刘天学, 等. 麦茬处理方式对机播夏玉米的生态生理效应[J]. 农业工程学报, 2008, 24(1): 162-166.
- [10] 张俊鹏, 孙景生, 刘祖贵, 等. 不同水分条件和覆盖处理对夏玉米籽粒灌浆特性和产量的影响[J]. 中国生态农业学报, 2010, 18(3): 501-506.
- [11] 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.
- [12] 于舜章, 陈雨海, 周勋波. 冬小麦期秸秆覆盖对夏玉米土壤水分动态变化及产量的影响[J]. 水土保持学报, 2004, 18(6): 175-178.
- [13] 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.
- [14] Hooker B A, Morris T F, Peters R, et al. Long-term effects of tillage and corn stalk return on soil carbon dynamics[J]. Soil Science Society of America Journal, 2005, 69: 188-196.
- [15] 员学锋, 吴普特, 汪有科, 等. 免耕条件下秸秆覆盖保墒灌溉的土壤水、热及作物效应研究[J]. 农业工程学报, 2006, 22(7): 22-26.
- [16] Zhu H H, Wu J S, Huang D Y, et al. Improving fertility and productivity of a highly-weathered upland soil in subtropical China by incorporating rice straw[J]. Plant and Soil, 2010, 331(1): 427-437.
- [17] Tang H M, Tang W G, Xiao P, et al. Effects of Super absorbent polymers on yield and water-saving and drought-escaping mechanism in spring maize[J]. Agricultural Science & Technology, 2009, 10(4): 112-116.
- [18] 杨永辉, 武继承, 吴普特, 等. 保水剂对小麦生长及生理特性的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2011, 29(3): 133-137.
- [19] 谢伯承, 薛绪掌, 王纪华, 等. 保水剂对土壤持水性状的影响[J]. 水土保持通报, 2003, 23(6): 44-46.
- [20] 迟永刚, 黄占斌, 李茂松. 保水剂与不同化学材料配合对玉米生理特性的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2005, 23(6): 132-136.
- [21] 赵玉坤, 武继承. 不同用量保水剂对玉米苗期生理生态特性的影响[J]. 河南农业科学, 2010, 6: 31-34.
- [22] 河南省农业科学院粮食作物研究所. 河南省玉米新品种 2006—2011 年试验报告[R]. 郑州: 河南省农业厅, 2006—2011.
- [23] 孙宏勇, 刘昌明, 张喜英, 等. 华北平原冬小麦田间蒸发的研究[J]. 中国生态农业学报, 2004, 12(3): 62-64.
- [24] 陈素英, 张喜英, 裴 冬, 等. 秸秆覆盖对夏玉米田间蒸腾和土壤温度的影响[J]. 灌溉排水学报, 2004, 23(4): 32-36.
- [25] 郑有飞, 田宏伟, 陈怀亮, 等. 河南省夏季秸秆焚烧污染物排放量的估算与分析[J]. 农业环境科学学报, 2010, 29(8): 1590-1594.
- [26] 董水丽, 王海仓. 焚烧秸秆对土壤养分及水分的影响[J]. 陕西农业科学, 2011, (3): 90-92.