

柠条秸秆和地膜覆盖措施对玉米生长 光合特性和水分利用效率的影响

陈 林^{1,2,3}, 杨新国^{1,2,3}, 宋乃平^{1,2,3}, 李学斌^{1,2,3}, 翟德苹⁴

(1. 宁夏大学 西北退化生态系统恢复与重建教育部重点实验室, 宁夏 银川 750021;

2. 宁夏大学 西北土地退化与生态恢复省部共建国家重点实验室培育基地, 宁夏 银川 750021;

3. 宁夏大学 西部生态与生物资源开发联合研究中心, 宁夏 银川 750021;

4. 华东师范大学生态与环境科学学院, 上海 200241)

摘 要:以甘农 118 玉米为试验材料,于 2013 年和 2014 年在宁夏盐池进行了大田试验,设置单膜平作(single film mulching and flat planting, SFP)、双膜平作(double film mulching and flat planting, DFP)、柠条粉沟覆平作(*Caragana intermedia* powder ditch mulching and flat planting, CPDP)和裸地(Uncovered and flat planting, CK)4 个处理,比较了其对于旱地玉米生长、光合特性及水分利用效率的影响。结果表明,在降雨量较多和玉米生长末期,各处理玉米的株高、茎粗和叶面积间无显著差异($P > 0.05$);在降雨量较少时,覆膜处理(SFP 和 DFP)各生长特性间显著高于 CK 和 CPDP 处理($P < 0.05$),而 CPDP 和 CK 处理间则无显著差异($P > 0.05$)。在玉米建植后的中后期,覆膜处理(SFP 和 DFP)光合速率和蒸腾速率高于 CPDP 和 CK 处理。总体看来,CPDP 处理的水分利用效率(叶片水平和产量水平)均低于 SFP 和 DFP 处理。因此,不建议在研究区采取 CPDP 处理措施。

关键词:玉米;覆盖措施;生长特性;光合特性;水分利用效率

中图分类号:S216;S282 **文献标志码:**A

Effects of *Caragana intermedia* powder and plastic film mulching measures on growth, photosynthetic characteristics and water use efficiency of maize

CHEN Lin^{1,2,3}, YANG Xin-guo^{1,2,3}, SONG Nai-ping^{1,2,3}, LI Xue-bin^{1,2,3}, ZHAI De-ping⁴

(1. Key Laboratory for Restoration and Reconstruction of Degraded Ecosystem in Northwest China

of Ministry of Education, Ningxia University, Yinchuan, Ningxia 750021, China; 2. Breeding Base for State Key Laboratory of

Land Degradation and Ecological Restoration in Northwest China, Ningxia University, Yinchuan, Ningxia 750021, China;

3. Union Research Center for Ecology and Exploitation of Biological Resources in Western China, Ningxia University, Yinchuan, Ningxia 750021, China; 4. College of Ecological and Environmental Science, East China Normal University, Shanghai 200241, China)

Abstract: Using the maize cultivar Gannong 118 as material, a field experiment was conducted in Yanchi County, Ningxia Hui Autonomous Region in 2013 and 2014, with the purpose to investigate the effects of different treatments, including single film mulching and flat planting (SFP), double film mulching and flat planting (DFP), *Caragana intermedia* powder ditch mulching and flat planting (CPDP), and uncovered and flat planting (CK), on the growth, photosynthetic characteristics and water use efficiency (WUE) of dryland maize. The results showed that, when the rainfall was abundant, there was no significant difference in plant height, stem diameter and leaf area at late growth stage of maize among different treatments; however, when the rainfall was deficient, all the growth parameters of maize under SFP and DFP were significantly better than those under CK and CPDP ($P < 0.05$), and there was no significant difference between CK and CPDP. In the middle and late period of maize, the photosynthetic rate and transpiration rate of SFP and

收稿日期:2015-12-15

基金项目:国家自然科学基金项目(31460123,31460161,41461046);国家重点基础研究计划(973)前期专项(2012CB723206);宁夏自然科学基金(NZ14006)

作者简介:陈 林(1983—),男,湖南湘乡人,宁夏大学助理研究员,博士研究生,主要从事干旱半干旱地区资源与环境研究。E-mail: chenlin198388@163.com。

通信作者:宋乃平(1963—),男,陕西扶风人,宁夏大学教授,博士,博士生导师,主要从事土地利用与生态过程研究。E-mail: songnp@163.com。

DFP were significantly higher than those of CPDP and CK ($P < 0.05$). The WUE (including both leaf WUE and yield WUE) of CPDP was generally lower than that of SFP and DFP. Therefore, CPDP is not suggested to be applied in the study area.

Keywords: maize; mulching measure; growth characteristics; photosynthetic characteristics; water use efficiency

玉米是重要的粮食作物^[1],大力发展玉米是确保我国今后粮食安全和饲料粮有效供给的途径之一,也是我国农业科学研究的重点和热点^[2]。但我国玉米约有 2/3 种植在干旱半干旱地区,其对水分状况反应较为敏感,在生长期极易出现由于干旱引起的水分胁迫,同时受水资源季节分配与作物生长需求关键期错位的影响,产量低而不稳,常年受旱面积高达 40%,减产幅度为 30%^[3],这成为影响玉米生长发育和产量提高的第一限制因素和主要非生物限制因素。栽培技术能高效集雨并合理利用^[4],其中覆盖技术是大面积推广的田间管理技术,能够蓄积土壤水和减少土壤水分蒸发,显著改善耕层土壤水热状况^[5],是一项行之有效的农业节水抗旱增产措施。因此,研究在不同覆盖方式下作物生理变化特征及其机理,对寻求提高作物水分利用效率和抵御干旱灾害新途径有一定的积极意义^[6]。

据统计,宁夏天然柠条林面积为 2.62 万 hm^2 ,生物量为 5.79 万 t,人工种植的柠条林面积累计达到 41.97 万 hm^2 ,生物量合计为 71.24 万 t。定期平茬是其生命得以延续的主要技术措施,有研究表明复壮更新利用周期按 3 年计算,年均更新利用面积将达到 14.87 万 hm^2 ,预测年生产柠条约 50~56 万 t^[7]。因此其资源可再生、来源丰富,但柠条秸秆通过覆盖还田的效果及其作用机制如何,目前相关研究较少。

本研究从不同覆盖措施出发,以旱地玉米为研究对象,初步研究了不同降雨年型下旱地玉米生长状况、光合作用和水分利用效率(叶片水平和产量水平)对不同覆盖措施的响应,以揭示不同降雨条件及不同时期玉米生长状况、光合速率、蒸腾速率、气孔导度等参数以及叶片水分利用效率和产量水分利用效率的变化特征,为该区玉米抗旱节水生理研究提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

试验在宁夏盐池县皖记沟行政村($37^{\circ}47'46'' \sim 37^{\circ}53'31''\text{N}$, $107^{\circ}24'54'' \sim 107^{\circ}33'11''\text{E}$)进行。该村位于盐池县城东北约 3 km,地貌为鄂尔多斯缓坡起伏高原。气候特点为干旱少雨,蒸发量大,冬春两季风

大沙多,属典型的中温带大陆性气候,年日照时数为 2862.6 h,作物一年一熟。试验地选择地势相对平坦,地力均匀一致的地块。土壤为风沙土,肥力较差,2013 年播种前土壤基础肥力和机械组成见文献[8]。2013 年生长季内(5 月 20 日—10 月 1 日)降雨量为 249.154 mm,占全年降雨量的 87.55%,且有几次较大的有效降雨,对玉米生长有利。在 8 月份,降雨量仅为 19.55 mm,且只有一次 9.21 mm 的有效降雨,月平均气温达到了月平均最高值 23°C 。2014 年生长季内(6 月 1 日—9 月 30 日)降雨量为 91.590 mm,而玉米生长的中后期降雨量仅为 23.9 mm,且多为 $< 5 \text{ mm}$ 的小降雨事件。在生长季内气温无较大的波动,且昼夜温差相对较大,有利于玉米生长和营养物质的积累。经统计,2013 和 2014 年 5—10 月份月平均气温均在 10°C 以上,且播种至出苗日平均气温为 $10^{\circ}\text{C} \sim 15^{\circ}\text{C}$,出苗至拔节为 $14^{\circ}\text{C} \sim 22^{\circ}\text{C}$,拔节至抽雄为 $22^{\circ}\text{C} \sim 25^{\circ}\text{C}$,抽雄至授粉为 $24^{\circ}\text{C} \sim 29^{\circ}\text{C}$,授粉至成熟为 $15^{\circ}\text{C} \sim 26^{\circ}\text{C}$ 。可以看出,在玉米的各个时期,气温适宜其生长发育。因此,该地区试验期内气温不是玉米生长的限制性因子。

1.2 试验设计

试验以甘农 118 玉米为研究材料,布设单膜平作(SFP)、双膜平作(DFP)、柠条粉沟覆平作(CPDP)和裸地(CK)4 个处理,其中 SFP 处理为小区面积内全部用地膜覆盖 1 层,DFP 处理为小区面积内全部用地膜覆盖 2 层,地膜均为青铜峡华龙塑料工业有限责任公司生产的聚乙烯农用覆盖薄膜(白色),厚度 0.01 mm、膜宽 90 cm。考虑到平作覆膜不利于降水入渗而导致减产^[9]以及由于地膜覆盖具有导热性差和不透气的缺点,会导致多种覆膜作物生长发育中后期出现不同程度的早衰现象,影响作物产量和品质^[10],因此在玉米种植处预留直径 20 cm 的圆孔。CPDP 处理,在玉米地间隔 50 cm 开沟 30~40 cm 深,在沟内覆盖长为 1~3 cm 的柠条秸秆,然后回填土镇压 1~3 cm 厚,柠条施用量为 $7\ 816.5 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。CK 处理为常规种植方式。4 个处理种植玉米的株行距均为 50 cm。各处理 3 次重复,采用随机区组排列,各小区长宽各为 4 m,中间间隔 1 m 作为保护行,共 12 个小区。由于 2012 年 10 月 2 日西瓜收获后对土地进行翻耕并实施覆膜,所以 2013 年播

种前没有进行施肥,且全年无施肥。为防止玉米连作导致作物生长不良、产量下降,防止造成试验的过失误差,本试验在第二年选择临近的试验样地内进行。2014 年 5 月 15 日一次性施底肥后实施覆膜, N、P₂O₅、K₂O 施肥量分别为 225、150、135 kg·hm⁻²。2013 年 5 月 20 日进行人工点播播种玉米,10 月 1 日收获;2014 年 6 月 1 日人工点播播种,9 月 30 日收获。为保证玉米的发芽,2013 年种植时每穴灌水 2.5 kg,折合成降雨量为 13.25 mm,2014 年种植时每穴灌水 5.0 kg,折合成降雨量为 26.50 mm,此后则均无灌溉。试验期间进行 2~3 次人工除草。

1.3 测定指标及方法

1.3.1 生长特性测定 株高测定:用卷尺自地上根茎结合处至茎秆最高处的平均高度,用 cm 表示;茎粗采用游标卡尺量测茎秆直径,用 mm 表示;叶面积为取全部展开叶片,测定叶长、最大叶宽,根据公式:叶面积=长×最大宽度×0.75(叶面积系数),得出叶面积值,用 cm² 表示。2013 年分别在 6 月 9 日、8 月 5 日和 8 月 20 日,2014 年分别在 6 月 7 日和 6 月 28 日在每个小区随机选取(除边行)9 株生长发育基本一致的植株,对以上生长特性进行测量。

1.3.2 光合特性测定 在田间自然空气条件下,每个小区选 3~4 株有代表性的健康玉米植株,每个处理共 9~12 株,用 CIRAS-2 便携式光合测定仪(PP-Systems,英国)在晴朗无云的天气于 9:00—11:00 活体测定不同处理玉米叶片的光合特性,叶片被测部位均在叶片的中上部,并且避开中脉,测定参数包括净光合速率(*P_n*)、蒸腾速率(*T_r*)和气孔导度(*G_s*)。

1.3.3 水分利用效率计算 试验期间采用 TRIME-T3 型 TDR 测量系统(德国 IMKO 公司)不定期测定 0~100 cm 土层土壤含水量。土壤贮水量和玉米全生育期耗水量的计算及结果参见文献[8]。玉米成熟期每个小区随机选取(除边行)9 株,收取生长发育基本一致的植株装入样品袋后带回室内,晾干,称重,并计算产量。产量、土壤贮水量和耗水量的计算以及结果参见文献[8]。产量水分利用效率(YWUE)的计算公式为:玉米产量(kg·hm⁻²)与玉米生育期耗水量(mm)的比值表示,单位为 kg·hm⁻²·mm⁻¹。叶片水分利用效率(LWUE)以净光合速率与蒸腾速率的比值表示,单位为 μmol·mmol⁻¹。

1.4 数据处理

采用 Excel 2010 和 SPSS 19.0 软件进行数据的统计、分析和比较:在数据正态分布检验和数据转换的基础上,计算均值和标准差,对各项指标进行单因

素方差分析(one-way ANOVA),利用 LSD 法进行差异显著性比较。

2 结果与分析

2.1 对生长的影响

2013 年不同覆盖方式下玉米株高、茎粗和叶面积在生长前期(T1)有显著差异,覆膜处理(SFP 和 DFP)均显著高于 CK 处理(*P* < 0.05),而 CPDP 和 CK 处理间差异不显著(*P* > 0.05),CPDP 处理仅株高与覆膜处理(SFP 和 DFP)无显著差异,茎粗和叶面积分别较覆膜处理(SFP 和 DFP)显著低 22.85%~34.74%和 39.77%~45.49%(*P* < 0.05);随着生育期推进(T2 和 T3),降雨量增多的同时,土壤含水量也有所改善,各处理间玉米株高、茎粗和叶面积无显著差异(*P* > 0.05)。

2014 年在玉米苗期(T4),覆膜处理(SFP 和 DFP)株高和茎粗较 CK 处理分别高 32.70%~33.33%和 20.55%~23.12%,达到了显著差异(*P* < 0.05),CPDP 处理玉米株高仅比 CK 处理高 4.05%,茎粗则高 11.71%,但均未达到显著差异(*P* > 0.05);到 T5 时期,覆膜处理(SFP 和 DFP)株高和茎粗较 CK 处理的增幅进一步加大,分别高 38.81%~46.39%和 34.02%~39.16%,叶面积则较 CK 处理显著高达 143.01%和 189.96%(*P* < 0.05)。CPDP 处理叶面积高于 CK 处理 93.99%,达到了显著差异(*P* < 0.05)。

2.2 对光合速率、蒸腾速率和气孔导度的影响

不同处理下玉米叶片光合特性见图 1。2013 年生长前期(T1)CK 处理玉米叶片光合速率、蒸腾速率和气孔导度均显著低于 SFP、DFP 和 CPDP 处理(*P* < 0.05),叶片光合速率较之分别低 18.42%、19.89%和 24.08%,蒸腾速率则低 27.99%、29.02%和 38.56%,气孔导度为 31.30%、30.77%和 40.15%;而 SFP、DFP 和 CPDP 处理间叶片光合速率、蒸腾速率和气孔导度未达到显著差异(*P* > 0.05)。随着气温升高和降雨量增多,到 T2 时期,CPDP 处理玉米叶片光合速率和蒸腾速率最高,显著高于其他三个处理(*P* < 0.05),分别较 CK 处理高达 44.58%和 50.72%;而 DFP 处理的气孔导度显著高于其他三个处理(*P* < 0.05)。玉米生长的中后期(T3),SFP 和 DFP 处理的光合速率和蒸腾速率分别较 CK 处理高 12.46%~13.19%和 14.23%~17.15%,达到了显著差异(*P* < 0.05),CPDP 处理叶片光合速率和蒸腾速率低于 CK 处理 11.73%和 9.62%,但未达到显著差异(*P* > 0.05);CPDP 处理

叶片气孔导度最高,较 CK、SFP 和 DFP 处理高 达到了显著差异($P < 0.05$)。
63.66%、29.36%和 13.17%,与 CK 处理和 SFP 处理

表 1 不同处理玉米生长特性
Table 1 Growth characteristics of maize under different treatments

测定指标 Parameter	处理 Treatment	2013			2014	
		T1	T2	T3	T4	T5
株高/cm Plant height	CK	17.40 ± 2.23b	180.57 ± 6.11a	184.54 ± 8.56a	11.10 ± 2.23b	28.50 ± 3.55b
	SFP	21.22 ± 3.24a	182.81 ± 12.52a	183.48 ± 11.76a	14.80 ± 4.09a	39.56 ± 5.67a
	DFP	24.70 ± 5.91a	183.15 ± 14.66a	182.44 ± 11.13a	14.73 ± 2.49a	41.72 ± 6.84a
	CPDP	19.11 ± 4.04ab	182.56 ± 11.06a	184.89 ± 13.49a	11.55 ± 2.00b	32.26 ± 5.71ab
茎粗/mm Stem diameter	CK	8.57 ± 1.22b	24.27 ± 2.05a	24.45 ± 2.55a	5.45 ± 0.67b	12.64 ± 1.23b
	SFP	10.81 ± 1.24a	24.06 ± 1.55a	23.84 ± 2.52a	6.57 ± 0.16a	16.94 ± 2.71a
	DFP	12.78 ± 2.31a	24.58 ± 2.85a	24.22 ± 1.69a	6.71 ± 0.26a	17.59 ± 2.47a
	CPDP	8.34 ± 0.82b	24.11 ± 1.82a	24.92 ± 2.68a	6.10 ± 1.01ab	14.12 ± 2.03b
叶面积/cm² Leaf area	CK	45.01 ± 9.86b	441.15 ± 51.23a	431.68 ± 78.47a	—	65.06 ± 11.43c
	SFP	78.47 ± 8.70a	457.84 ± 79.71a	436.57 ± 80.66a	—	158.10 ± 27.45ab
	DFP	86.70 ± 9.67a	436.05 ± 70.68a	416.43 ± 44.64a	—	188.65 ± 26.64a
	CPDP	47.26 ± 9.59b	403.48 ± 65.00a	424.72 ± 54.74a	—	126.21 ± 21.00b

注:T1 为 2013 年 6 月 9 日(苗期);T2 为 2013 年 8 月 5 日(拔节期);T3 为 2013 年 8 月 20 日(抽雄期);T4 为 2014 年 6 月 7 日(苗期);T5 为 2014 年 6 月 28 日(拔节期),下同。同列不同小写字母表示不同处理间在 5%水平上差异显著。
Note: T1: 2013-06-09 (seedling stage), T2: 2013-08-05 (jointing stage), T3: 2013-08-20 (tasseling stage), T4: 2014-06-07 (seedling stage), T5: 2014-06-28 (jointing stage), the same below. Different lowercase letters in each column mean significant difference at 0.05.

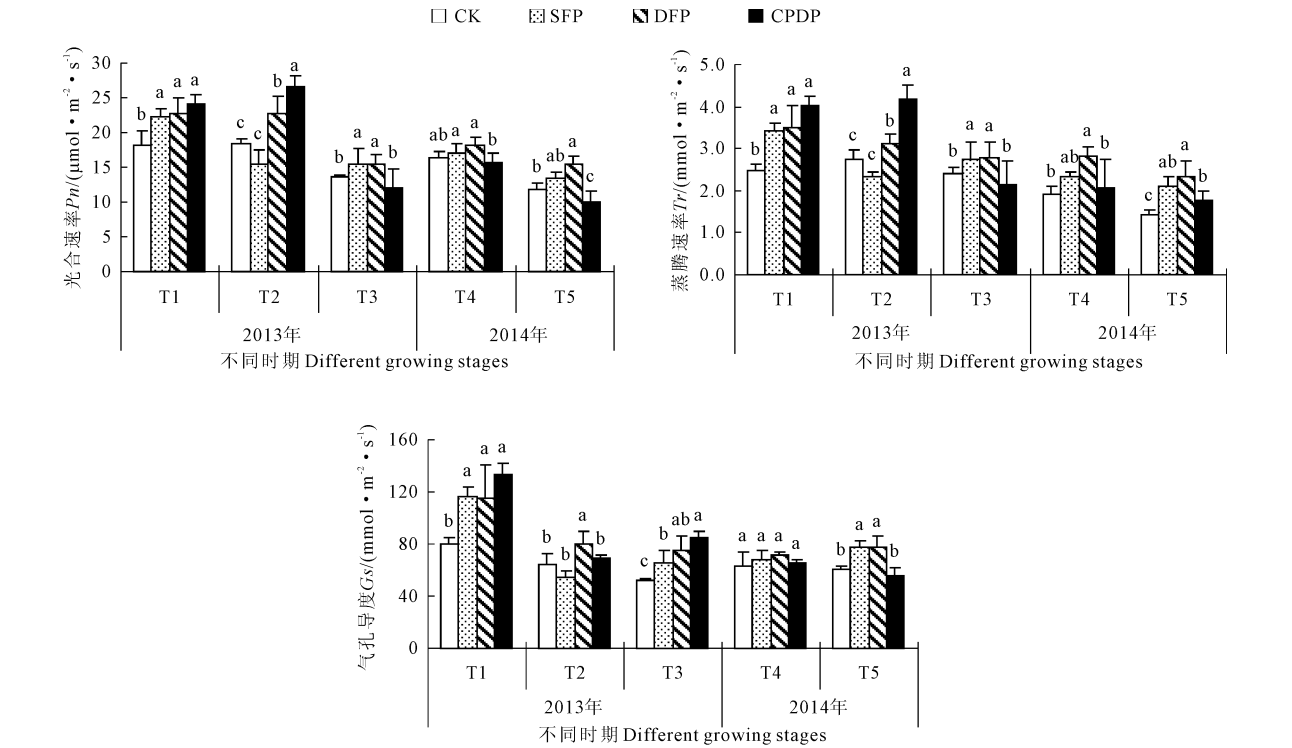


图 1 不同处理不同时期玉米光合特性
Fig.1 Photosynthetic characteristics of maize under different treatments

2014 年玉米建植初期(T4), CPDP 处理的光合速率较 CK 处理低 3.72%, 而蒸腾速率则高 7.29%, 均未达到显著差异($P > 0.05$); SFP 和 DFP 处理光合速率和蒸腾速率较 CPDP 处理显著高 8.36% ~ 15.33% 和 13.11% ~ 36.41% ($P < 0.05$); DFP 处理的光合速率和蒸腾速率较 SFP 处理分别高 6.43% 和 20.60%, 均未达到显著差异($P > 0.05$); CK 处理的气孔导度较 SFP、DFP 和 CPDP 处理分别低 7.94%、11.97% 和 3.95%, 但 4 个处理间均无显著差异($P > 0.05$)。随着生育期的推进(T5), 各处理光合特性发生明显变化, CK 处理光合速率较 SFP 处理低 12.73% ($P > 0.05$), 较 DFP 处理低 24.53% ($P < 0.05$), CPDP 处理比 CK 处理低 13.74% ($P < 0.05$); SFP 处理光合速率比 DFP 处理低 13.52% ($P > 0.05$)。蒸腾速率方面, DFP 处理分别较 CK 和 CPDP 处理高 63.38% 和 31.82% ($P < 0.05$), 仅比 SFP 处理高 9.95% ($P > 0.05$); SFP 处理较 CPDP 处理高 19.89% ($P > 0.05$), 比 CK 处理高 48.59% ($P < 0.05$); 而 CPDP 处理较 CK 处理高 23.94% ($P < 0.05$)。在气孔导度方面, SFP 和 DFP 处理分别较 CK 和 CPDP 处理高 27.78% ~ 29.23% 和 39.70% ~

41.29% ($P < 0.05$); 而 CK 处理仅比 CPDP 处理高 9.33%, 未达到显著差异($P > 0.05$)。

2.3 对水分利用效率的影响

叶片水分利用效率方面, 在 2013 年玉米建植初期(T1), CK 处理显著高于 SFP、DFP 和 CPDP 处理 ($P < 0.05$), 分别高 13.29%、12.87% 和 23.55%; CPDP 处理则显著低于 SFP 和 DFP 处理 ($P < 0.05$), 分别低 8.31% 和 8.64%; 而 SFP 和 DFP 处理间无显著差异($P > 0.05$)。到 T2 时期, 仅 DFP 处理显著高于 CK、SFP 和 CPDP 处理 ($P < 0.05$), 分别高 9.12%、9.27% 和 13.76%。而在玉米生长的中后期(T3), 各处理间均无显著差异($P > 0.05$)。次年的叶片水分利用效率各处理间差异较大, 在 T4 时期, CK 处理显著高于其他三个处理 ($P < 0.05$), 增幅为 11.44% ~ 31.81%; DFP 处理显著低于 SFP 和 CPDP 处理 ($P < 0.05$), 分别低 11.75% 和 15.45%。到了 T5 时期, CK 处理较其他处理的增幅高达 23.30% ~ 43.68% ($P < 0.05$); 而 CPDP 处理则显著低于 SFP 和 DFP 处理 ($P < 0.05$), 降幅分别为 9.75% 和 14.19%; SFP 和 DFP 处理间无显著差异($P > 0.05$)。

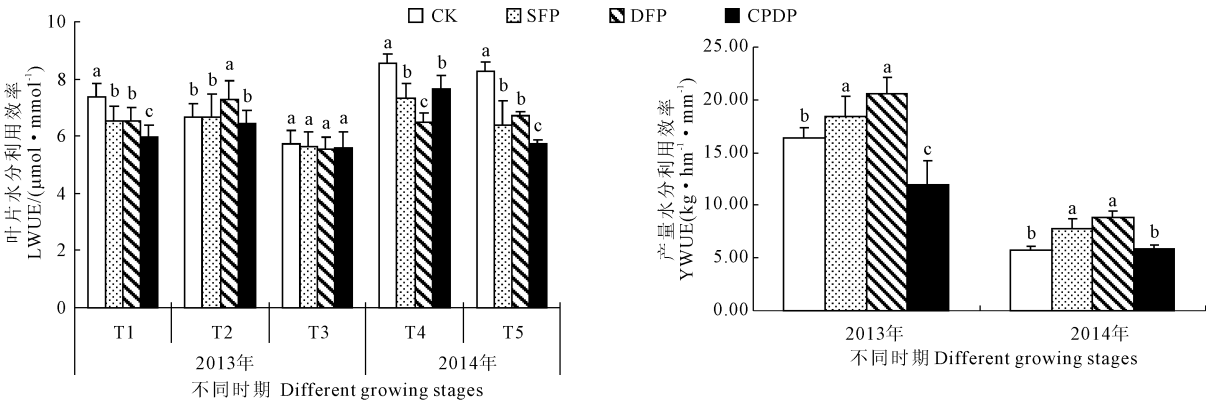


图 2 不同处理不同时期叶片水分利用效率和产量水分利用效率

Fig.2 Leaf water use efficiency (LWUE) and yield water use efficiency (YWUE) of maize under different treatments

玉米产量水分利用效率方面, 2013 年 CPDP 处理产量水分利用效率显著低于 CK、SFP 和 DFP 处理 ($P < 0.05$), 较之分别低 27.22%、35.32% 和 41.82%; CK 处理显著低于 SFP 和 DFP 处理 ($P < 0.05$), 分别低 11.12% 和 20.06%; SFP 和 DFP 处理产量水分利用效率无显著差异 ($P > 0.05$)。2014 年 SFP 和 DFP 处理产量水分利用效率显著高于 CPDP 和 CK 处理 ($P < 0.05$), SFP 处理高出 32.04% ~ 35.84%, DFP 处理则高 50.57% ~ 54.90%; DFP 处理较 SFP 处理高 14.03%, 但无显著差异 ($P > 0.05$); 而 CPDP 和 CK 处理间仅差 2.88%, 也无显著

差异 ($P > 0.05$)。

3 结论与讨论

覆盖措施主要集中在西北、东北和内蒙古等积温不足、土壤水分亏缺的地区^[9], 并被认为是一种有效的节水技术, 在一定程度上可有效地增大光合势^[11]、降低蒸散和棵间蒸发、提高水分利用效率^[12]、显著提高作物产量^[13]。而适量的秸秆覆盖同样能促进玉米生长和提高产量; 李荣^[14]等研究得出, 采用玉米秸秆覆盖, 具有较好的降温 and 保水保墒效果, 土壤养分含量明显增加, 显著促进了玉米前期

的生长;朱自玺^[15]等认为,夏玉米进行小麦秸秆和残茬覆盖可改变玉米耗水规律,减少前期棵间蒸发,增加后期植株蒸腾,促进干物质积累,使玉米产量和水分利用效率明显提高;殷涛^[16]等对秸秆地膜双覆盖的效果研究后认为,在玉米生育前期秸秆地膜双覆盖可以增加表层土壤温度,提高表层土壤含水率,为玉米生长提供了良好的水热条件,并最终实现了玉米产量和水分利用效率的大幅提高。但本研究中关于秸秆覆盖并未能得出以上的结论,CPDP 处理玉米的生长、光合性能以及水分利用效率(叶片水平和产量水平)均相对较低,这可能与覆盖方式不同有关,也可能是秸秆产生了与作物争夺水分现象^[17]或者与其对玉米具有一定的化感作用有关^[18]。

水分利用效率是全面反映玉米植株水分利用状况的综合指标,一般在叶片水平、群体水平和产量水平的水分利用效率三个层次上研究,其中叶片水分利用效率指水的生理利用效率或蒸腾效率,反映了作物生产过程中单位水分的能量转化效率,在其它层次水分利用效率研究中处于基础地位,为水分利用效率的理论值^[19],而产量水平水分利用效率最接近实际生产,是目前研究最多的一个层次,也是农业生产的目的指标。但多数学者研究只集中在某一个层次上,本研究从叶片水平和产量水平水分利用效率两个方面进行了相关研究:总体看来,CK 处理的叶片水分利用效率较高,这可能和适度的水分胁迫条件下,玉米叶片水分利用效率的降幅低于光合、蒸腾速率和气孔导度的降幅,甚至有时会高于水分条件较好下的水分利用效率,适当的水分胁迫能使玉米叶片的水分利用效率提高,从而增强叶片对水分的利用能力,抵御干旱的逆境有关^[20];在产量水分利用效率方面,同一处理的产量年际间有明显波动,这与生育期降水量、降雨格局有关,但不同处理间产量水分利用效率均表现为覆膜(SFP 和 DFP)处理高于 CK 和 CPDP 处理,这可能是覆膜发挥了蓄水保墒、增进产量的作用。然而,有研究认为高产能否掩盖高耗水,高耗水的累加是否导致土壤水分亏缺加剧,引起土壤干化、影响作物生产及生态安全,针对干旱半干旱区多变亏水环境,只以高产、增产作用评价农业技术的效益存在一定的片面性^[21]。

气象条件(温度、降雨)等对旱地玉米产量的影响很大^[22]。苏新宏等^[23]研究豫南雨养区夏玉米产量与气象因子的关系表明,降水量是玉米生产中最关键的气候因子;李尚中^[24]等研究表明,在干旱年型,全膜双垄沟播产量较露地提高 76%,平水年型则高达 91%;不同降雨年型及格局会影响到植物生

物量的分配,降雨量主导着植物总生物量和叶茎根各部分生物量,而降雨频次能调节植物地上和地下部分生物量分配的比例^[25]。因此,今后应加强研究降雨格局变化对植物光合作用和生物量分配的影响。

致谢:感谢宁夏大学 2012 级和 2013 级生态学专业的研究生为本研究所做的基础工作。

参 考 文 献:

- [1] 彭辉辉,刘 强,荣湘民,等.稻草覆盖与生态拦截对春玉米光合特性、养分累积及产量的影响[J].中国农学通报,2015,31(21):58-64.
- [2] 卜令铎,张仁和,常 宇,等.苗期玉米叶片光合特性对水分胁迫的响应[J].生态学报,2010,30(5):1184-1191.
- [3] 王泽立,李新征,郭庆法,等.玉米抗旱性遗传与育种[J].玉米科学,1998,6(3):9-13.
- [4] WANG X, DAI K, ZHANG D, et al. Dryland maize yields and water use efficiency in response to tillage/crop stubble and nutrient management practices in China[J]. Field Crops Research, 2011,120(1):47-57.
- [5] DING L, WANG K J, JIANG G M, et al. Diurnal variation of gas exchange, chlorophyll fluorescence, and xanthophyll cycle components of maize hybrids released in different years[J]. Photosynthetica, 2006, 44(1):26-31.
- [6] 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.
- [7] 温学飞,魏耀锋,吕海军,等.宁夏柠条资源可持续利用的探讨[J].西北农业学报,2006,14(5):177-181.
- [8] 陈 林,杨新国,翟德幸,等.柠条秸秆和地膜覆盖对土壤水分和玉米产量的影响[J].农业工程学报,2015,31(2):108-116.
- [9] 刘胜尧,张立峰,李志宏,等.华北旱地覆膜春玉米田水温效应及增产限制因子[J].应用生态学报,2014,25(11):3197-3206.
- [10] 银敏华,李援农,杨 洋,等.水分与覆膜对春玉米光合特性与根系活力的影响[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2014,42(12):1-9.
- [11] 方彦杰,黄高宝,李玲玲,等.旱地全膜双垄沟播玉米生长发育动态及产量形成规律研究[J].干旱地区农业研究,2010,28(4):128-134.
- [12] 王罕博,龚道枝,梅旭荣,等.覆膜和露地旱作春玉米生长与蒸散动态比较[J].农业工程学报,2013,28(22):88-94.
- [13] WANG F X, FENG S Y, HOU X Y, et al. Potato growth with and without plastic mulch in two typical regions of Northern China[J]. Field Crops Research, 2009,110(2):123-129.
- [14] 李 荣,侯贤清,樊小勇,等.不同覆盖材料对土壤性状及玉米前期生长的影响[J].浙江大学学报:农业与生命科学版,2015,41(3):331-339.
- [15] 朱自玺,方文松,赵国强,等.麦秸和残茬覆盖对夏玉米农田小气候的影响[J].干旱地区农业研究,2000,18(2):19-24.
- [16] 殷 涛,何文清,严昌荣,等.地膜秸秆双覆盖对免耕种植玉米田土壤水热效应的影响[J].农业工程学报,2014,30(19):78-87.

作物,2012,(11):137-138.

[9] 田德珍,姜未罢.春播地膜花生高产栽培技术[J].现代农业科技,2005,(21):42.

[10] 刘庆伦,孟宪英.地膜覆盖花生栽培技术[J].现代农业科技,2009,(10):156-157.

[11] 黄少辉,李俊良,金圣爱,等.不同材质地膜对花生产量及土壤中增塑剂含量的影响[J].作物杂志,2015,(3):139-141.

[12] 段广印,秦梅花,凡利清,等.地膜花生管理中的问题与改进[J].河南农业,1998,(6):24.

[13] 李文光.提高地膜花生产量的栽培技术[J].江西农业科技,1997,(6):23-24.

[14] 李大涛,王红雨,王玉霞,等.地膜覆盖花生栽培技术[J].种业导刊,2008,(7):8-9.

[15] 张立军,杜冬梅,王 楫,等.花生覆膜栽培增产效果研究[J].现代农业科技,2010,(13):44-45.

[16] 王 磊.不同地膜覆盖对花生产量及环境影响的试验研究[J].中国果菜,2010,(9):23-24.

[17] 王 战,罗兴录,樊吴静,等.不同地膜覆盖对木薯生长与产量的影响[J].广东农业科学,2015,(20):15-18.

[18] 孙 涛,张智猛,宁堂原,等.有色地膜覆盖对花生叶片光合特性及产量的影响[J].作物杂志,2013,11(6):82-86.

[19] 吕敬军,张贵国,陈香艳,等.不同地膜覆盖栽培对花生经济性状及产量的影响与效益分析[J].花生学报,2010,39(4):38-41.

[20] 张贵国,吕敬军,赵存花,等.不同地膜覆盖栽培对花生经济性状及产量和经济效益的影响[J].山东农业科学,2011,(3):52-53.

[21] 高 波,孙奇泽,刘 辰,等.栽培方式对夏直播花生产量和品质的影响[J].花生学报,2015,44(2):7-11.

[22] 李 楠,任 亮,刘 江.玉米花生间作复合模式防风蚀技术研究[J].生物灾害科学,2013,36(2):213-216.

[23] 苏君伟,王慧新,颜景波,等.玉米花生间作高效复合模式防风蚀技术研究[J].农业科技通讯,2013,(1):72-74.

[24] 李 美,孙智明,李朦朦,等.不同比例玉米花生间作对花生生长及产量品质的影响[J].核农学报,2013,27(3):391-397.

[25] 范清成,王 飞,穆兴民,等.保护性耕作对土壤风蚀的影响[J].中国水土保持科学,2011,9(3):1-5.

[26] 李广芬,吴祥云,刘思莹,等.花生地防风蚀措施效果探究[J].辽宁农业科学,2012,(4):63-65.

[27] 刘 岩.花生地膜覆盖高产栽培技术[J].安徽农学通报,2009,(8):200-201.

[28] 桑选民,常铁牛,胡恩龙,等.地膜花生干物质积累和产量形成规律研究[J].华北农学报,1988,3(3):25-31.

[29] 王 艳.花生新品种阜花 12 号高产栽培技术探讨[J].农业机械化与电气化,2011,(4):12-14.

[30] 史可琳,薛晓萍,宋景义,等.花生品质气象条件初探[J].花生学报,1994,(1):5-7,17

[31] 蔡庆生.皖南地区春季花生地膜覆盖栽培技术[J].现代农业科技,2009,(2):165-169.

[32] 王勤波,徐红丽,吴瑞敏,等.郑州市花生地膜覆盖栽培技术[J].河南农业科学,2007,(4):51-52.

[33] 赵云莉,杨 娟,于世举,等.花生地膜覆盖栽培技术综述[J].北京农业,2007,(27):15-16.

[34] 赵 君,张立峰,刘景辉,等.几种保护性耕作对土壤含水量和风蚀量的影响[J].安徽农业科学,2010,38(9):4720-4728.

[35] 张 杰,任小龙,罗诗峰,等.环保地膜覆盖对土壤水分及玉米产量的影响[J].农业工程学报,2010,26(6):14-19.

[36] Liu C, Wang Y K, Zhang J W, et al. The influence of straw mulch amount to summer maize yield[J]. Irrig Drainag, 2008, 27(4):64-66.

(上接第 30 页)

[17] 赵永敢,王 婧,李玉义,等.秸秆隔层与地覆膜盖有效抑制潜水蒸发和土壤返盐[J].农业工程学报,2013,29(23):109-117.

[18] 陈 林,李学斌,王 磊,等.柠条锦鸡儿茎叶水浸提液对 4 种农作物幼苗生理特性的影响[J].水土保持学报,2013,27(2):164-167.

[19] 李全起,沈加印,赵丹丹.灌溉频率对冬小麦产量及叶片水分利用效率的影响[J].农业工程学报,2011,27(3):33-36.

[20] 于文颖,纪瑞鹏,冯 锐,等.不同生育期玉米叶片光合特性及水分利用效率对水分胁迫的响应[J].生态学报,2015,35(9):2902-2909.

[21] 谢军红,柴 强,李玲玲,等.黄土高原半干旱区不同覆膜连作玉米产量的水分承载时限研究[J].中国农业科学,2015,48(8):1558-1568.

[22] 张仁和,胡富亮,杨晓钦,等.不同栽培模式对旱地春玉米光合特性和水分利用率的影响[J].作物学报,2013,39(9):1619-1627.

[23] 苏新宏,张学林,王 群,等.超高产栽培条件下气象条件对夏玉米产量的影响[J].玉米科学,2009,17(1):105-107.

[24] 李尚中,樊廷录,王 勇,等.不同覆膜集雨种植方式对旱地玉米叶绿素荧光特性、产量和水分利用效率的影响[J].应用生态学报,2014,25(2):458-466.

[25] 吴 玉,郑新军,李 彦,等.荒漠草本植物在不同降雨模式下的光合响应和生物量分配策略[J].生态学杂志,2013,32(10):2583-2590.