

垄膜沟播与平膜侧播对冬小麦 光合特性及产量的影响

张 鹏, 张晓芳, 卫 婷, 贾志宽*, 任小龙, 丁瑞霞

(西北农林科技大学中国旱区节水农业研究院/农业部旱地作物生理生态与耕作重点开放实验室, 陕西 杨凌 712100)

摘 要: 为了探索我国西北半湿润易旱区合理覆膜种植方式, 为该区作物生产及覆膜种植制度的建立提供参考, 本研究以传统平作为对照, 设两种覆膜方式: 垄膜沟播(R)与平膜侧播(F)。结果表明, 与传统平作(CK)相比, 垄沟宽均为 40 cm(R40)和 60 cm(R60)的沟播处理全生育期 0~200 cm 土壤平均含水量分别提高 8.82% ($P < 0.05$) 和 10.84% ($P < 0.01$), 膜宽为 40 cm(F40)和 60 cm(F60)的侧播处理提高 4.40% 和 3.96%, 沟播处理较侧播处理平均提高了 5.42% ($P < 0.05$)。不同覆膜方式处理的旗叶叶绿素相对含量(SPAD)、净光合速率(P_n)、蒸腾速率(T_r)和气孔导度(G_s)均较传统平作(CK)显著增加, 同宽度的沟播处理较对应的侧播处理提高幅度明显, 但胞间 CO_2 浓度显著低于传统平作(CK)。不同覆膜方式处理的小麦经济产量和水分利用效率均较传统平作(CK)显著提高, 平均提高幅度达 21.52% 和 30.97%, 同宽度沟播处理的生物产量、经济产量和作物水分利用效率显著 ($P < 0.05$) 高于对应的侧播处理。试验表明, 在半湿润旱作区冬小麦垄膜沟播是一种高效栽培模式。

关键词: 覆膜; 土壤水分; 光合特性; 冬小麦

中图分类号: S352.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-7601(2012)06-0032-06

垄覆膜通过在田间修筑沟垄, 垄面覆膜, 沟里种植作物, 使降水由垄面向沟内汇集, 可改善作物水分供应状况^[1-2]; 平覆膜通过覆盖部分地表, 减少土壤无效蒸发, 提高土壤水分含量, 可减轻干旱胁迫对作物的危害^[3]; 二者常作为旱区重要的抗旱、提高作物水分利用效率的措施。目前, 该技术在中国已有较广泛的应用, 特别是在完全依靠自然降水的旱作农区应用较广。

水分是影响植物光合生理特性的一个重要因子^[4], 干旱缺水可降低植物的光合速率^[5]。许多研究表明^[6-7], 作物遭受水分胁迫后叶片气孔阻力增加, 叶绿素含量减少^[8], 净光合速率、蒸腾速率、气孔导度等均下降, 使作物的经济产量受到影响^[9]。李友军等指出^[10], 提高土壤含水量有利于小麦光合特性和籽粒产量的提高, 小麦旗叶的光合速率会随着土壤含水量的减少而降低^[11]。牛一山等的研究指出^[3], 垄覆膜沟播可增加小麦叶绿素含量, 推迟小麦衰老进程。丁瑞霞等研究也表明^[12], 垄覆膜沟播具有良好的蓄水保墒作用, 可以提高作物生育期的土壤贮水量^[13], 进而提高作物叶绿素含量、作物光合能力及籽粒产量^[12-14]。

目前覆膜种植系统的研究多集中垄覆膜沟播,

如韩清芳^[15]和王俊鹏^[16]等在宁南旱区的试验结果表明沟垄宽度均为 60 cm, 垄覆膜更利于蓄水保墒, Li^[2]等研究也指出垄宽和沟宽均为 60 cm 的覆膜集雨组合增产效果最好。这些研究多与不覆膜平作进行比较, 对于同一雨量区垄膜沟播及其对应的平膜侧播种植系统之间的比较研究鲜见报道。合理的平覆膜侧播方式不仅利于蓄水保墒, 且免去起垄作业成本, 相比垄膜沟播操作更为简便, 农户易接受。因此本研究选择经前人大量研究后认为最为合理的两种覆膜宽度^[1, 15-17], 以研究不同覆膜种植系统对冬小麦主要生育期土壤水分、旗叶光合特性及产量的影响, 其目的是为旱作区建立合理的覆膜种植模式提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验设在西北农林科技大学农作试验一站(108°04'E, 34°20'N), 该站位于秦岭北麓、渭河平原西部的头道塬上, 海拔 454.8 m。近 20 年年均气温 13.5℃, 极端最高气温 42℃, 极端最低气温 -19.4℃, 年均日照时数为 2 196 h, 无霜期 220 d, 光照充足, 属暖温带半湿润偏旱型气候, 春季降水偏

收稿日期: 2012-05-28

基金项目: “十二五”国家科技支撑计划“西北旱区农业水土资源潜力与高效利用模式集成及应用”(2011BAD29B09); 国家“十二五”科技支撑课题“西北旱作区抗逆稳产旱作农业技术集成与示范”(2012BAD09B03)

作者简介: 张 鹏(1987—), 男, 陕西榆林人, 硕士研究生, 主要从事旱地节水农业研究。E-mail: pengzhang121@hotmail.com。

* 通信作者: 贾志宽(1962—), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事旱区农业水分高效利用研究。E-mail: zhikuan@tom.com。

少、干旱,年平均降水量 578.9 mm,雨量主要集中在 7、8、9 三个月,平均蒸发量 993.2 mm,干旱指数为 1.3~1.59,2010 年试验期间全年降雨量 642.9 mm,冬小麦生育期降雨量 188.01 mm。

试验田为旱平地,土壤类型为黑垆土,前茬作物为苜蓿。小麦播种前耕层 0~40 cm 有机质含量为 13.27 g/kg,碱解氮 38.43 mg/kg,速效磷 6.95 mg/kg,速效钾 127.90 mg/kg,pH 值为 8.5,属中等肥力水平。

1.2 试验设计

本试验设置垄膜沟播(R,垄高 15 cm)和平膜侧播(F)两种覆膜种植方式,覆膜宽度分别为 40、60 cm,种植区和覆膜区宽度比均为 1:1,种植区内不覆膜。试验共 5 个处理,分别是,R40:垄膜沟播,垄沟宽均为 40 cm;R60:垄膜沟播,垄沟宽均为 60 cm;F40:平膜侧播,膜宽 40 cm;F60:平膜侧播,膜宽 60 cm;对照(CK):传统平作,不覆膜,不起垄。每处理 3 次重复。

田间试验中各小区面积为 30 m²。小麦播前 20 d 整地、起垄、覆膜,播前不施基肥,播种方式为开沟条播,播种小麦品种为小偃 22,播种密度为 202.5 kg/hm²。2010 年 10 月 22 日种植冬小麦,2011 年 6 月 2 日收获。小麦生长期不施肥、不灌溉。

1.3 试验方法

1.3.1 测定项目

(1) 土壤含水量的测定:土壤水分含量测定深度为 0~200 cm 土层,取样方法为 0~20 cm 每 10 cm 取 1 个土样,20 cm 以下每 20 cm 取 1 个土样,取样位置在种植区中(非覆膜区),采用烘干法测定。在小麦各主要生育期内测定,最后一次水分的测定为小麦收获时,每次测定重复 3 次。其公式为:土壤含水量=(土壤鲜质量-土壤干质量)/土壤干质量×100%。

(2) 光合测定:在小麦的主要生育期(抽穗期、扬花期、灌浆期),选晴朗天气的 9:00~11:00,用美国生产的 LI-6400 光合仪分别测定旗叶的净光合速率(P_n)、气孔导度(G_s)、蒸腾速率(T_r)和胞间 CO₂ 浓度(C_i),重复 10 次。

(3) 叶绿素相对含量(SPAD)测定:在小麦返青后的每个生育期内(抽穗期、扬花期和灌浆期),选择 5 个晴朗天气,用美产 CM-1000 非接触式叶绿素仪测定叶片叶绿素相对含量(SPAD 值)。

(4) 产量和产量构成因素:收获后各重复小区选取 10 株有代表性的植株进行室内考种。以小区为单位实收晒干,换算出单位面积产量,所有指标均

3 次重复。

1.3.2 计算方法

(1) 土壤耗水量:全生育期耗水量 ET_a (mm) = $W_1 - W_2 + P$ 。式中, W_1 为播前土壤贮水量(mm); W_2 为收获后土壤贮水量(mm); P 为生育期有效降水量(mm)。

(2) 水分利用效率:产量水平水分利用效率 WUE_y [kg/(mm·hm²)] = Y/ET_a 。式中, WUE_y 为水分利用效率; Y 为作物籽粒产量(kg/hm²)。

1.3.3 数据处理 采用 Excel 2003 进行数据处理和绘图,SPSS 13.0 统计分析软件进行单因素方差(One-Way ANOVA)分析,不同处理之间多重比较采用 Duncan 新复极差方法($P < 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 不同覆膜种植方式对土壤水分含量的影响

试验表明(图 1),冬小麦各生育阶段因降水条件的不同,各处理在不同时期 0~200 cm 土壤水分含量的垂直分布情况不同,总体呈先减后增的趋势,但在同一时期各处理的变化趋势相似。因播前为该区域降雨集中期,各处理 0~200 cm 土层苗期(图 1a)土壤含水量平均高达 17.23%,且各覆膜处理均高于传统平作(CK)。其中 0~60 cm 土层,R40、R60 和 F40 处理的水分含量显著($P < 0.05$)高于 CK,R60 处理较 F60 处理差异显著,R40 与 F40 间无明显差异。返青期(图 1b)各处理的水分状况与苗期相似。

在小麦进入拔节期后,一直到灌浆期(图 1c-e),此阶段小麦生长迅速,需水量加大,各处理 0~200 cm 土层土壤含水量明显减小,各处理间差异逐渐增大,垄膜沟播处理均较其他处理表现出明显优势,在抽穗期(图 1d),R40 和 R60 处理 0~200 cm 土层土壤含水量分别较 CK 处理提高了 13.66% ($P < 0.01$)和 14.83% ($P < 0.01$),较对应宽度的 F 处理显著提高了 6.31% 和 5.04%。在灌浆期(图 1e)R40 和 R60 处理较 CK 提高 9.86% ($P < 0.05$)和 12.81% ($P < 0.01$),F40 和 F60 较 CK 提高 4.32% 和 5.71%,各 R 处理较相应 F 处理虽有提高,但均未达显著水平;在成熟期(图 1f)各处理 0~200 cm 土层土壤含水量迅速增加,R 和 F 处理间的差异逐渐变大,各 R 处理较对应 F 处理分别提高了 6.79% ($P < 0.05$)和 9.55% ($P < 0.05$),各覆膜处理较 CK 的提高幅度比抽穗期和灌浆期有所降低,平均比 CK 仅提高了 7.23%。

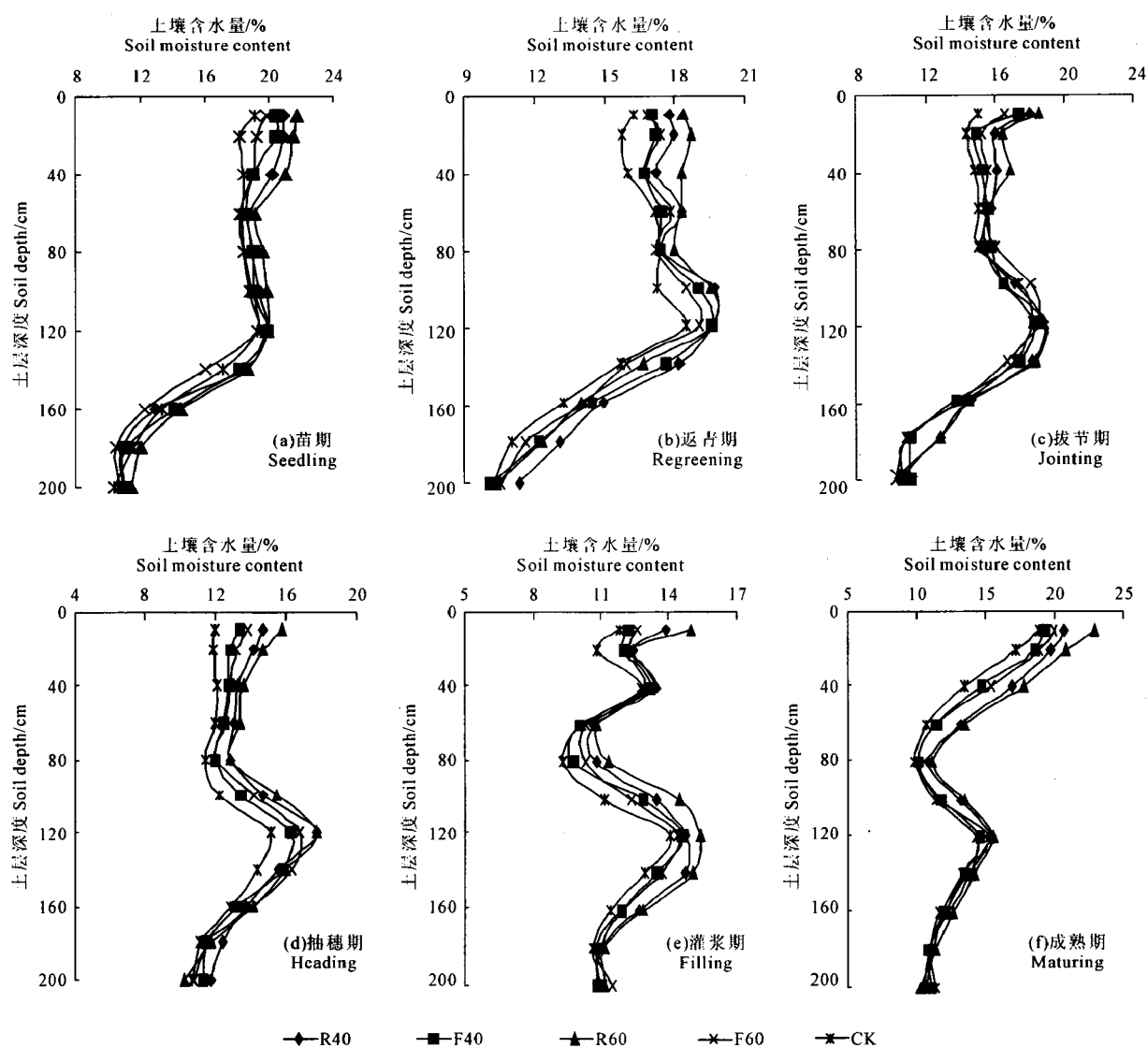


图 1 冬小麦生长不同时期不同覆膜种植方式 0~200 cm 土层土壤水分含量变化

Fig.1 Changes of soil moisture content in 0~200 cm soil layer of different film mulching treatments during at various growth stages of winter wheat

2.2 不同覆膜种植方式对小麦旗叶叶绿素相对含量(SPAD)的影响

从图 2 看出,各处理 SPAD 值均随生育进程的推进呈先小幅上升而后迅速下降的趋势,且均在扬花期达到最高,灌浆期最低。相同时期不同处理间相比,各覆膜处理的 SPAD 值均高于 CK,且膜宽 60 cm 处理大于膜宽 40 cm 处理,在抽穗期差异最为明显,各处理较 CK 提高了 12.64%~65.47%,各 R 处理和 F 处理均较 CK 差异显著($P < 0.05$),且各 R 处理较相应 F 处理也表现出明显差异($P < 0.05$)。说明覆膜保墒种植方式可有效提高冬小麦生育前期叶片的叶绿素含量,且 R 处理较 F 处理提高幅度明显。

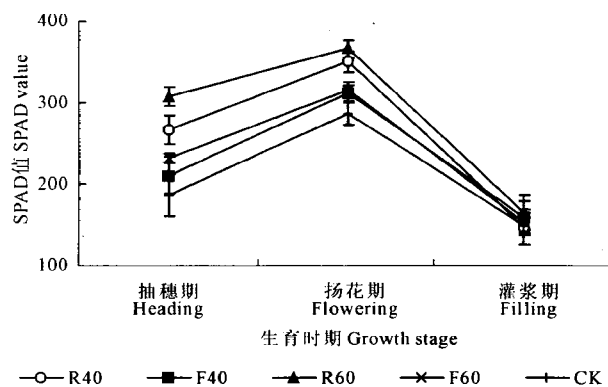


图 2 不同覆膜种植对冬小麦生育期叶绿素相对含量(SPAD)的影响

Fig.2 Effects of different film mulching treatments on SPAD at various growth stages of winter wheat

2.3 不同覆膜种植方式对小麦旗叶光合参数的影响

小麦籽粒中有机物质的积累主要是来自于小麦生育后期旗叶的光合作用,因而维持这一时期较高的光合速率,对于小麦高产具有重要作用^[18]。由表 1 可知,在小麦全生育期内,不同处理下旗叶净光合速率随生育进程的推进逐渐降低,各处理的净光合速率较传统平作明显提高。抽穗期 R40 和 R60 处理的净光合速率分别较 CK 显著提高 25.56% 和 32.14% ($P < 0.01$), F40 和 F60 处理分别较 CK 提高 10.33% 和 19.21% ($P < 0.05$), 扬花期 R40 和 R60 处理分别提高 34.38% 和 37.58%, F40 和 F60 处理

提高 17.09% 和 15.67%,而在灌浆期,仅 R40 和 R60 处理较 CK 差异显著,分别提高 35.13% 和 39.93%, F 处理均较 CK 无明显差异。

小麦旗叶的蒸腾速率变化与净光合速率表现较为一致,各处理蒸腾速率抽穗期 > 扬花期 > 灌浆期(表 1)。各处理小麦旗叶蒸腾速率均较 CK 有所提高,但差异并不明显,且随着生育进程的推进,各处理较传统平作处理的差异逐渐减小,在整个生育期内, R40 和 R60 处理分别较 CK 处理平均提高 15.16% 和 17.05%, F40 和 F60 处理平均提高 3.66% 和 5.76%。

表 1 不同覆膜种植处理对冬小麦旗叶净光合速率、蒸腾速率、气孔导度和胞间 CO_2 浓度的影响

Table 1 Effects of different film mulching treatments on P_n , T_r , G_s and C_i , of flag leaf at various growth stages of winter wheat

生育时期 Growth stage	处理 Treatment	光合指标 Photosynthetic indexes			
		净光合作用效率 P_n $/(\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$	蒸腾速率 T_r $/(\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$	气孔导度 G_s $/(\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$	胞间 CO_2 浓度 C_i $/(\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$
抽穗期 Heading	R40	$19.13 \pm 1.01\text{abAB}$	$5.04 \pm 0.41\text{aA}$	$0.43 \pm 0.04\text{aA}$	$172.63 \pm 17.65\text{bBC}$
	F40	$16.81 \pm 0.49\text{bcAB}$	$4.48 \pm 0.33\text{abA}$	$0.41 \pm 0.02\text{abA}$	$188.59 \pm 11.17\text{aAB}$
	R60	$20.13 \pm 2.16\text{aA}$	$5.074 \pm 0.74\text{aA}$	$0.44 \pm 0.04\text{aA}$	$165.83 \pm 17.41\text{bC}$
	F60	$18.16 \pm 1.11\text{abAB}$	$4.51 \pm 0.78\text{abA}$	$0.40 \pm 0.06\text{abA}$	$189.83 \pm 20.46\text{aAB}$
	CK	$15.24 \pm 1.25\text{cB}$	$4.21 \pm 0.43\text{cA}$	$0.29 \pm 0.04\text{bA}$	$202.24 \pm 22.83\text{aA}$
扬花期 Flowering	R40	$16.78 \pm 0.85\text{aAB}$	$3.41 \pm 0.45\text{aA}$	$0.20 \pm 0.01\text{abAB}$	$187.67 \pm 17.32\text{bcB}$
	F40	$14.62 \pm 1.05\text{bBC}$	$3.12 \pm 0.74\text{aA}$	$0.17 \pm 0.01\text{bcB}$	$204.86 \pm 8.46\text{abAB}$
	R60	$17.18 \pm 0.66\text{aA}$	$3.54 \pm 0.20\text{aA}$	$0.24 \pm 0.03\text{aA}$	$185.67 \pm 19.54\text{cB}$
	F60	$14.44 \pm 0.48\text{bC}$	$3.32 \pm 0.54\text{aA}$	$0.19 \pm 0.02\text{bcAB}$	$202.5 \pm 19.22\text{abcAB}$
	CK	$12.48 \pm 1.08\text{cC}$	$3.02 \pm 0.85\text{aA}$	$0.15 \pm 0.02\text{cB}$	$216.5 \pm 21.62\text{aA}$
灌浆期 Filling	R40	$7.01 \pm 1.24\text{aA}$	$2.05 \pm 0.19\text{aA}$	$0.12 \pm 0.06\text{abA}$	$229.8 \pm 18.34\text{bcAB}$
	F40	$5.98 \pm 1.12\text{abA}$	$1.84 \pm 0.24\text{aA}$	$0.10 \pm 0.07\text{abA}$	$239.5 \pm 39.74\text{abA}$
	R60	$7.84 \pm 0.48\text{aA}$	$2.08 \pm 0.24\text{aA}$	$0.13 \pm 0.05\text{aA}$	$216.00 \pm 32.53\text{cB}$
	F60	$6.01 \pm 0.65\text{abA}$	$1.83 \pm 0.62\text{aA}$	$0.11 \pm 0.09\text{abA}$	$240.83 \pm 27.73\text{abA}$
	CK	$5.60 \pm 1.60\text{bA}$	$1.79 \pm 0.27\text{aA}$	$0.09 \pm 0.03\text{bA}$	$251.9 \pm 29.51\text{aA}$

注:同列中不同大、小写字母分别表示差异达 1% 和 5% 显著水平。

Note: Different capital and small letters in same column mean significance at 1% and 5% levels, respectively.

气孔导度(G_s)和胞间 CO_2 浓度(C_i)是与光合作用密切相关的一个重要指标。从表 1 可以看出,随着生育时期的推进,各处理气孔导度逐渐减小,而胞间 CO_2 浓度逐渐变大。抽穗-灌浆期,各覆膜处理气孔导度均明显高于传统平作(CK),而传统平作(CK)在抽穗期有较高的胞间 CO_2 浓度,平均比各集雨处理高 13.22%,在灌浆期各处理 C_i 值明显高于抽穗期和开花期,提高幅度分别达 24.56% ~ 33.11% 和 16.34% ~ 22.45%,而此时各处理旗叶的光合速率最低,平均较抽穗期降低了 177.04%。可见,传统平作(CK)在小麦生育后期土壤水分含量较低,受到一定的干旱胁迫,不利于小麦叶片进行光合作用。各处理尤其是 R40 和 R60 处理相比于传统

平作(CK),在小麦中、后期的蒸腾速率(T_r)和气孔导度(G_s)较大,促进了气体交换,光合速率相对较高。

2.4 不同覆膜种植方式对小麦水分利用效率、产量及构成因素的影响

从表 2 可看出, R40、F40、R60 和 F60 处理生物产量分别较 CK 提高 23.81% ($P < 0.01$)、8.08%、25.64% ($P < 0.01$) 和 6.68%;经济产量分别较 CK 提高 19.54% ($P < 0.01$)、2.90%、40.13% ($P < 0.01$) 和 3.17%;作物水分利用效率分别较 CK 提高 28.46% ($P < 0.01$)、5.91%、56.03% ($P < 0.01$) 和 7.07%。同宽度下各 R 处理较对应 F 处理生物产量、经济产量和作物水分利用效率提高幅度分别达

了 11.97% ~ 38.26%、10.67% ~ 22.86% 和 17.84% ~ 56.43%，差异显著 ($P < 0.05$)。

表 2 不同覆膜种植处理对冬小麦产量和水分利用效率的影响

Table 2 Effects of different film mulching treatments on winter wheat yield and WUE_y

处理 Treatment	有效分蘖数 Effective spikes /(No. · plant ⁻¹)	穗粒数 Kernel /(No. · spike ⁻¹)	千粒重 1000-kernel weight /g	生物产量 Biomass /(kg · hm ⁻²)	经济产量 Grain yield /(kg · hm ⁻²)	耗水量 Water consumption /mm	WUE_y /(kg · mm ⁻¹ · hm ⁻²)
R40	2.58 ± 0.03aA	42.00 ± 2.65aA	39.22 ± 0.77abA	9716.63 ± 174.59aA	4345.47 ± 194.49bB	330.23 ± 16.78abA	13.19 ± 1.15bB
F40	2.41 ± 0.05abA	39.33 ± 1.52aAB	38.24 ± 0.84abA	8482.05 ± 127.47bB	3740.55 ± 215.55cBC	343.66 ± 9.12abA	10.88 ± 0.34cBC
R60	2.79 ± 0.07aA	42.33 ± 2.08aA	42.07 ± 1.22aA	9860.74 ± 135.09aA	5093.63 ± 334.72aA	318.77 ± 17.00bA	16.03 ± 1.66aA
F60	2.35 ± 0.05bA	35.41 ± 2.08bB	37.27 ± 0.98bA	8372.70 ± 184.65bB	3750.30 ± 293.89cBC	341.75 ± 18.59abA	10.99 ± 1.09cBC
CK	2.10 ± 0.08bA	26.67 ± 2.19Cc	37.19 ± 1.78bA	7484.23 ± 143.08bB	3635.04 ± 196.73cC	354.50 ± 16.48aA	10.27 ± 0.77cC

注: WUE_y 为产量水平水分利用效率。同列中不同大、小写字母分别表示差异达 1% 和 5% 显著水平。

Note: WUE_y – Water use efficiency of yield. Different capital and small letters in same column mean significance at 1% and 5% levels, respectively.

3 讨 论

覆膜栽培模式可以有效增加农田土壤的水分含量,改善作物水分状况,提高农田水肥利用状况。王晓凌和任小龙等的研究均表明^[19-20],垄覆膜可明显提高当季降雨的水分利用率,并显著增加土壤的含水率。秦舒浩的研究也指出^[21],起垄覆膜能不同程度提高土壤贮水量。本研究结果表明,与传统平作相比,各覆膜处理均能增加土壤含水量,同时使无效的物理蒸发转化为有效的作物蒸腾,有效抑制了农田水分的非目标性输出^[1],进而改善农田土壤的水分状况^[16,22]。试验中各垄膜沟播处理均较对应平膜侧播处理土壤含水量高,这可能是因为垄覆膜处理较平覆膜处理不仅具有集雨效果,而且可以抑制膜下土壤水分的蒸发,减少了总蒸发面积,强化降水下渗及侧渗,利于雨水保蓄。在覆膜宽度方面,王晓凌等的研究指出^[20],60 cm 垄宽的垄沟覆膜集雨条件下玉米产量和水分利用效率最高,与本试验结果较为一致,但也有人指出^[19],沟垄比一定时,窄带型较宽带型的蓄水、保墒效果更好。这有可能与种植作物不同及试验地降雨条件不同有关。

叶绿素作为吸收、传递和转化光能的主要物质,对光合作用的影响至关重要^[12]。丁瑞霞和桑丹丹等研究发现^[12,23],垄覆膜和平覆膜种植下作物的叶绿素相对含量均显著大于平作,尤其是种植沟内边行的优势更为明显,任小龙等通过模拟降雨试验发现^[14],在偏旱年份,垄覆膜种植较传统平作可以显著增大叶片的叶绿素相对含量。本研究也发现,各覆膜处理小麦旗叶叶绿素相对含量在抽穗期和扬花期均较 CK 明显提高,且各垄膜沟播处理较对应平膜侧播处理差异显著,在此阶段作物耗水量增大,降雨量减少,垄膜沟播处理在前期的抑制水分蒸腾及

保水效果得到体现,缓解了小麦的干旱胁迫,使垄膜处理叶绿素相对含量较高^[1,24]。随着生育进程的推进,各处理间叶绿素相对含量差异逐渐变小。

关于不同覆膜种植方式对小麦光合性能的影响,大量研究表明^[12,14],垄膜沟播可以显著提高作物光合效率,尤其边行的光合速率、蒸腾速率、气孔导度均较平作的差异达极显著水平。孙继颖等对大豆的研究也表明^[25],覆膜种植大豆的叶面积指数、光合性能等显著高于不覆膜种植。本试验结果表明,在小麦全生育期内,不同处理下旗叶净光合速率、蒸腾速率和气孔导度随生育进程的推进逐渐降低,胞间 CO_2 浓度则逐渐增大,各覆膜处理冬小麦各光合指标均较传统平作有明显差异,这主要因垄膜沟播和平膜侧播较传统平作通过提高土壤水分贮蓄和利用能力,为作物生长发育和光合作用的进行提供了良好的土壤环境^[14,26],进而改善了小麦的光合特性。许多研究指出^[27-28],水分亏缺可降低植物的光合速率,土壤贮水量偏低会使作物的净光合速率和蒸腾速率受到影响,随着土壤含水量的下降,叶片的净光合速率和蒸腾速率也明显下降。本试验结果同时表明,垄膜沟播处理下冬小麦各生育阶段的光合能力均强于对应的平膜侧播处理,这主要与垄膜沟播种植方式对土壤水分较平膜侧播的改善更为显著有关,这与李永平等的研究结果较为一致^[29]。

小麦生育期尤其是生育中期土壤水分不足,小麦遭受干旱胁迫,导致作物光合能力下降^[30],小麦产量低而不稳^[31]。李友军^[10]等指出在小麦生育后期,通过增加土壤含水量可延缓叶片衰老,提高抽穗开花后的光合生产能力、干物质积累量和转运效率,对提高产量具有重要意义。王俊鹏等研究表明^[16],采用垄覆膜种植措施后,减轻了水分胁迫对作物生长的不利影响,对旱地春小麦的个体发育有明显的

促进作用,可显著提高小麦穗粒数、千粒重,春小麦产量提高了55.0%~75.1%,水分利用效率也大幅提高。本试验结果表明,垄膜沟播和平膜侧播对冬小麦产量和水分利用效率的提高均较传统平作有明显作用,且各垄膜沟播处理优于对应的平膜侧播处理,顺序为R60>R40>F40,F60>CK。这主要与垄膜沟播改善作物生长水分状况进而提高光合性有关。

4 结 论

通过本研究可发现,与传统平作相比,旱地覆膜种植表现出较好的蓄水保墒效果,在一定程度上缓解了小麦生育期的干旱胁迫;同时在冬小麦抽穗和扬花期显著增加了小麦旗叶绿素相对含量,且光合速率和蒸腾速率较高,有效提高了小麦旗叶光合能力,水分利用效率和产量均较传统平作大幅提高,且相同宽度下垄膜沟播处理明显优于平膜侧播。

参 考 文 献:

- [1] Li Xiaoyan, Gong Jiadong, Gao Qianzhao, et al. Incorporation of ridge and furrow method of rainfall harvesting with mulching for crop production under semiarid conditions[J]. *Agricultural Water Management*, 2001,50:173-183.
- [2] Li Xiaoyan, Gong Jiadong. Effects of different ridge furrow ratios and supplemental irrigation on crop production in ridge and furrow rainfall harvesting system with mulches[J]. *Agricultural Water Management*, 2002,54:243-254.
- [3] 牛一川,姚天明,安建平,等.地膜覆盖栽培对冬小麦衰老进程的影响[J]. *麦类作物学报*, 2004,24(3):90-92.
- [4] Boyer J S. Plant productivity and environment[J]. *Science*, 1982, 218:443-448.
- [5] 秦伟,谭浩,翟衡.干旱胁迫对不同葡萄砧木光合特性和荧光参数的影响[J]. *应用生态学报*, 2006,17(5):835-838.
- [6] 黄占斌,山仑.春小麦水分利用效率日变化及其生理生态基础的研究[J]. *应用生态学报*, 1997,8(3):263-269.
- [7] 康绍忠,史文娟,胡笑涛,等.调亏灌溉对于玉米生理指标及水分利用效率的影响[J]. *农业工程学报*, 1998,12(4):88-93.
- [8] Hirasawa T, Hsiao T C. Some characteristics of reduced leaf photosynthesis at midday in maize growing in the field[J]. *Field Crops Research*, 1999,62:53-62.
- [9] Gall A, Flexas J. Gas-exchange and chlorophyll fluorescence measurements in grapevine leaves in the field[J]. *Methodologies and Results in Grapevine Research*, 2010:107-121.
- [10] 李友军,吴金芝,黄明,等.不同耕作方式对小麦旗叶光合特性和水分利用效率的影响[J]. *农业工程学报*, 2006,22(12):44-48.
- [11] 武玉叶,李德全,赵世杰,等.土壤水分胁迫下小麦叶片渗透调节与光合作用[J]. *作物学报*, 1999,25(6):752-758.
- [12] 丁瑞霞,贾志宽,韩清芳,等.宁南旱区微集水种植条件下谷子边际效应和生理特性的响应[J]. *中国农业科学*, 2006,39(3):494-501.
- [13] Ren Xiaolong, Chen Xiaoli, Jia Zhikuan. Effect of rainfall collecting with ridge and furrow on soil moisture and root growth of corn in semi-arid northwest China[J]. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 2010,196(2):109-122.
- [14] 任小龙,贾志宽,陈小莉,等.半干旱区沟垄集雨对玉米光合特性及产量的影响[J]. *作物学报*, 2008,34(5):838-845.
- [15] 韩清芳,李向拓,王俊鹏,等.微集水种植技术的农田水分调控效果模拟研究[J]. *农业工程学报*, 2004,20(2):78-82.
- [16] 王俊鹏,蒋骏,韩清芳,等.宁南半干旱地区春小麦农田微集水种植技术研究[J]. *干旱地区农业研究*, 1999,17(2):11-16.
- [17] 王琦,张恩和,李凤民,等.半干旱地区沟垄微集雨种植马铃薯最优沟垄比的确定[J]. *农业工程学报*, 2005,21(2):38-41.
- [18] Sui Na, Li Meng, Meng Qingwei, et al. Photosynthetic characteristics of a super high yield cultivar of winter wheat during late growth period[J]. *Agricultural Sciences in China*, 2010,9:346-354.
- [19] 王晓凌,陈明灿,易现峰,等.垄沟覆膜集雨系统垄宽和密度效应对玉米产量的影响[J]. *农业工程学报*, 2009,25(8):40-47.
- [20] 任小龙,贾志宽,陈小莉,等.模拟降雨量下沟垄微集雨种植玉米的水温效应[J]. *中国农业科学*, 2008,41(1):70-77.
- [21] 秦舒浩,张俊莲,王蒂,等.覆膜与沟垄种植模式对旱作马铃薯产量形成及水分运移的影响[J]. *应用生态学报*, 2011,22(2):389-394.
- [22] Wang Xiaoling, Li Fengming, Jia Yu, et al. Increasing potato yields with additional water and increased soil temperature[J]. *Agricultural Water Management*, 2005,78:181-194.
- [23] 桑丹丹,高聚林,王志刚,等.不同覆膜方式下超高产春玉米花粒期叶片衰老特性研究[J]. *玉米科学*, 2009,17(5):77-81.
- [24] 王靖,林琪,倪永君.旱地保护性耕作对冬小麦光合特性及产量的影响[J]. *麦类作物学报*, 2009,29(3):480-483.
- [25] 孙继颖,高聚林,王志刚,等.不同覆膜方式对旱作大豆生理特性及水分利用效率的影响[J]. *大豆科学*, 2008,27(2):251-254.
- [26] Ramakrishna A, Ham M M, Wani S P, et al. Effect of mulch on temperature, moisture, weed infestation and yield of ground nut in northern Vietnam[J]. *Field Crops Research*, 2006,95:115-125.
- [27] 高飞,贾志宽,路文涛,等.秸秆不同还田量对宁南旱区土壤水分-玉米生长及光合特性的影响[J]. *生态学报*, 2011,31(3):777-783.
- [28] 侯贤清,韩清芳,贾志宽,等.宁南旱区坡地等高条带轮种对谷子产量及光合特性的影响[J]. *西北农业学报*, 2009,18(5):181-185.
- [29] 李永平,刘世新,贾志宽,等.垄沟集水种植对土壤有效蓄水量及谷子生长-光合特性的影响[J]. *西北农林科技大学学报(自然科学版)*, 2007,35(10):163-167.
- [30] Siddique M, Hamid A, Islam M. Drought stress effects on photosynthetic rate and leaf gas exchange of wheat[J]. *Botanical Bulletin of Academia Sinica*, 1999,40:141-145.
- [31] Trethowan R, Reynolds M, Sayre K, et al. Adapting wheat cultivars to resource conserving farming practices and human nutritional needs[J]. *Annals of Applied Biology*, 2005,146:405-413.

(英文摘要下转第49页)

Effects of mulching with film of different materials on soil temperature and photosynthesis of peanut leaf

YIN Guang-Hua¹, TONG Na^{1,2}, HAO Liang^{1,2}, GU Jian¹, LIU Zuo-xin¹

(1. Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang, Liaoning 110016, China;

2. Graduate University, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Tests of mulching with film of different kinds of materials were carried out after flat sowing peanut using watershed microplot. The results indicate that the soil temperature in the field covered by Liquid Microbe Degradable Film (LMDF) increased significantly, by an average of $0.2^{\circ}\text{C} \sim 1.1^{\circ}\text{C}$ on flowering and pegging stage and $0.1^{\circ}\text{C} \sim 1.7^{\circ}\text{C}$ on pod setting stage during the whole day. It was beneficial to peanut because of the better heat preservation. Fiber Black Resin Film (FRF) and Powder Degradable Film (PDF) had similar and relatively poor effect on surface soil temperature preservation. Polyethylene Plastic Film (PPF) had always kept a high soil temperature during the growing period. There were obvious differences between PPF and LMDF in soil temperature preservation, but they were both significantly higher than that of no mulching treatment (CK). The P_n in LMDF and PPF mulching increased respectively by 21% and 17%, and Tr in LMDF and PPF mulching increased respectively by 52% and 15%. Therefore, LMDF and PPF are more conducive to peanut production, and LMDF is suitable to mulching on peanut.

Keywords: peanut; degradable film; soil temperature; photosynthetic rate

(上接第 37 页)

Effects of furrow planting with ridge film mulching and side planting with flat film mulching on photosynthesis and yield of winter wheat

ZHANG Peng, ZHANG Xiao-fang, WEI Ting, JIA Zhi-kuan*, REN Xiao-long, DING Rui-xia

(Chinese Institute of Water-saving Agriculture, Northwest A&F University/Key Laboratory of Crop Physi-ecology and Tillage Science in Northwestern Loess Plateau, Ministry of Agriculture, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: To investigate the rational film-covering planting pattern for sub-humid areas of Loess Plateau, two measures of ridge (R) and flat (F) film mulching are adopted, taking traditional cultivation as the control, on soil moisture, photosynthetic indexes, chlorophyll relative content (SPAD) in flag leaves and grain yield of winter wheat under four film mulching treatments. The results showed that: compared to traditional cultivation (CK), in the whole growth period, the 0 ~ 200 cm soil moisture content in R40 and R60 treatments increased respectively by 8.82% and 10.84%, and the F40 and F60 had 4.40% and 3.96% improvement, while R treatment had averagely 5.42% ($P < 0.05$) more than F treatment. In the film mulching modes, the SPAD value, net photosynthetic rate (P_n), transpiration rate (Tr) and stomatal conductance (G_s) were significantly ($P < 0.05$) higher than those in CK, and the R treatment significantly higher than F under the same film mulching width, and the intercellular CO_2 concentration (C_i) was significantly lower than CK ($P < 0.05$). The economic yield and WUE of winter wheat under different film mulching were significantly higher than CK, and the average increasing rate was 20.18% and 30.97%. Compared to F treatment, the biomass, grain yield and WUE respectively increased under corresponding R treatment. The results indicate that furrow planting with ridge film mulching is a beneficial cultivating model in sub-humid areas of Loess Plateau for winter wheat.

Keywords: film mulching; soil moisture; photosynthesis; winter wheat