文章编号:1000-7601(2019)04-0208-07

doi:10.7606/j.issn.1000-7601.2019.04.28

覆膜对宁南山区马铃薯光合特性和产量的影响

吴佳瑞,康建宏,吴 娜,禄兴丽,慕 宇,孙建波

(宁夏大学农学院,宁夏 银川 750021)

摘 要:以青薯 9 号原种为材料,采用大田单因素随机区组设计,以不覆膜为对照,研究了覆盖黑膜和白膜对马铃薯光合特性、荧光参数、干物质积累以及产量的影响。结果表明:与不覆膜相比,覆膜条件下马铃薯净光合速率提高 0.4~3.0 个百分点,气孔导度和胞间 CO2 浓度平均增加 31.45%和 6.58%, Fv/Fm、Fv/Fo、PI 分别提高了2.47%、12.18%、20.93%;蒸腾速率在马铃薯生育前期覆膜比不覆膜降低 20.82%,而后期却比对照增加 8.55%,热耗散量子比率 Fo/Fm 覆膜较不覆膜处理降低 7.11%,差异达显著水平;覆膜比不覆膜处理条件下马铃薯干物质积累量增加0.25~1.86 个百分点,大薯率和中薯率分别增加 33.78%,15.73%,每公顷产量增加 43.08%,其中黑膜处理的各项指标优于白膜,黑膜比白膜和不覆膜增产 16.86%、54.20%,差异达显著水平。因此,覆膜处理可以显著提高马铃薯的光合性能、荧光参数和产量,有效缓解干旱等逆境引起的马铃薯的衰老,减轻干旱对马铃薯的危害。在宁南山区,马铃薯采用黑色地膜覆盖栽培技术具有延缓叶片衰老和增加产量的作用。

关键词:覆膜;马铃薯;光合特性;产量;黑膜;白膜

中图分类号:S532 文献标志码:A

Effects of film mulching on photosynthetic characteristics and yield of potato in hilly area of Southern Ningxia

WU Jia-rui, KANG Jian-hong, WU Na, LU Xing-li, MU Yu, SUN Jian-bo (College of Agriculture, Ningxia University, Yinchua, Ningxia 750021)

Abstract: In order to study the effects of different mulching materials on the photosynthetic characteristics and yield of potato in dry lands of Ningxia, the study used Qingshu No.9 as the experimental material with single-factor randomized block field experiment. In contrast to no coverage, the effects of black and white film covering on photosynthetic characteristics, fluorescence parameters, dry matter accumulation, and yield of potato were investigated. The results showed that covered conditions increased the net photosynthetic rate of potato by $0.4\% \sim 3.0\%$, the stomatal conductance and the intercellular CO2 concentration increased by an average of 31.45% and 6.58%, and the Fv/Fm, Fv/Fo, and PI significantly increased by 2.47%, 12.18%, and 20.93%, respectively, compared with the control. Under the condition of film covering, the transpiration rate was significantly reduced by 20.82% in the preharvest potato, and increased by 8.55% in the later period over the control. The heat dissipation quantum ratio (Fo/Fm) was 7.11% lower than that of the control. Compared with the non-mulching treatment, the dry matter accumulation of potato increased by $0.25\% \sim 1.86\%$, the rate of large and medium potato increased by 33.78%, 15.73%, and the yield per hectare increased by 43.08% under the condition of film mulching. Among them, the black film treatment index was better than the white film, and the yield of the black film was significantly higher than that of the white film and the control by 16.86% and 54.20%, respectively. Therefore, the film treatment can significantly improve the photosynthetic performance, fluorescence parameters, and yield of potato, effectively alleviate the potato senescence caused by adversity such as drought, thus reducing the harm of drought to potato. In the

收稿日期:2018-04-14 修回日期:2018-05-29

基金项目:"十二五"国家支撑计划(2015BAD22B01);国家自然科学基金(31660376);中国气象局旱区特色农业气象灾害监测预警与风险管理重点实验室开放研究项目(CAMF-201702)

作者简介:吴佳瑞(1994-),女,宁夏灵武人,在读研究生,研究方向为作物生态生理。E-mail:916358144@ qq.com

通信作者:康建宏(1968-),男,宁夏青铜峡人,教授,主要从事作物高产生理研究工作。E-mail;kangjianhong@163.com

hilly area of southern Ningxia, the use of black mulching techniques for potato cultivation can delay leaf senescence and increase yield.

Keywords: film mulching; potato; photosynthetic fluorescence parameters; yield; black film; white film

宁夏是我国马铃薯主要产区之一^[1],全区马铃薯种植面积已经超过 26.7 万 hm²,种植地区主要集中在宁南山区,栽培面积达 21 万 hm²^[2]。宁南山区属于干旱地区,该区无灌溉条件,依靠自然降雨,属于典型的雨养农业区,南部山区降水稀少且年降雨量分配不均,气候干燥,蒸发强烈,水资源短缺是制约干旱地区农业发展的主要因素^[3]。马铃薯是喜冷凉需水较多的作物,植株遭受水分胁迫影响正常生长发育,最终导致减产^[4]。

地膜覆盖栽培技术的采用,能有效蓄集降雨、 减少地表蒸发、保墒增温、提高降水利用效率和水 分利用率,进而提高作物的产量[5-6]。覆膜栽培在 玉米生产中得到广泛的应用,增产效果显著[7]。随 着马铃薯主粮化战略的提出,一些学者们也在研究 提高马铃薯产量的措施,其中覆盖栽培技术被大量 采用[8]。近年来,黑色地膜与白色地膜覆盖成为马 铃薯增产的主要技术手段。有研究表明,在暖温带 半湿润气候带,覆盖白色地膜比黑色地膜更能提高 马铃薯的水分利用效率和产量[9-10]。但普通的白色 地膜由于透光性好致使土壤温度过高,在马铃薯生 育早期,会出现烧苗现象,对其生长造成胁迫作用, 而且白色地膜膜下容易长杂草,与作物争夺养分, 使马铃薯的产量降低,绿薯率提高[11]。在干旱半干 旱地区,黑色地膜覆盖栽培技术被更广泛地应用到 农业生产中。研究发现,黑膜能够平抑地温,控温 和降温效果较白膜好,具有抑制杂草的作用,能够 改善田间作物生长环境,进一步提高马铃薯的薯块 数,增加产量,提高土壤温度和水分利用效率[12]。

叶片的光合作用是作物生长发育、产量形成的基础,光合作用受多种环境因子的影响,土壤水分是影响光合作用最主要的因子。目前,针对覆盖地膜条件下对马铃薯光合特性、土壤水热条件的变化以及增产效应都有了大量的研究,尤其在干旱半干旱地区对黑膜覆盖条件下马铃薯光合特性更有较多研究[12-13]。但以无膜覆盖为对照,探讨黑膜和白膜条件下马铃薯光合特性、荧光参数及产量的变化规律较少。本研究以"青薯9号"为试验材料,以不覆膜为对照,研究覆盖黑色地膜、白色地膜条件下马铃薯的光合参数、荧光参数、干物质积累及产量构成因素,试验结果将为探讨宁南山区马铃薯高产高效栽培技术提供理论支持。

1 试验设计与方法

1.1 试验设计

试验于2016年4-10月在宁夏海原县树台乡大 嘴村大坝台试验基地进行,海拨高度为 2 166 m,年 平均降水量 286 mm。无霜期为 149~171 d,年均气 温 7℃。属于干旱半干旱带,土壤类型为侵蚀黑垆 土。土壤有机质含量为 8.6 g·kg⁻¹,速效磷含量 11.5 mg·kg⁻¹, 速效钾 229.8 mg·kg⁻¹, pH 值为 8.01,碱解氮 36.4 $\mathrm{mg} \cdot \mathrm{kg}^{-1}$ 。试验采用单因素随机 区组试验设计,共设3个处理,分别为:覆黑膜、覆白 膜和不覆膜,每个处理 4 次重复,共计 12 个小区,面 积为 4 m×10 m=40 m²。4 月底起垄,按试验设计进 行覆黑膜、白膜和不覆膜种植, 垄宽 60 cm, 垄距 40 cm,每垄种植两行,种植深度 20~25 cm。供试马铃 薯品种为宁南山区主栽品种青薯9号原种。种植密 度 50025 株·hm⁻²,每小区 300 株,用种量 1 800 kg · hm⁻²。根据试验设计,翻地前1天按照小区面积 称好各类肥料,全部磷肥、钾肥、农家肥和70%氮肥 基施,在马铃薯播种前结合整地撒施后翻耕入土 (深度 10~30 cm);追肥:30%氮肥作追肥,于现蕾期 结合培土追施尿素。苗期3~4叶第一次中耕,6~8 叶二次中耕,结合中耕培土。

1.2 测定项目与方法

1.2.1 叶片光合参数与荧光参数 在晴天早上9:00—11:00,选择马铃薯上部功能叶片,每隔20d测定各项光合指标,用美国汉莎公司生产的TPS-2型便携式光合测定系统在田间直接测定马铃薯功能叶片的净光合速率(Pn)、蒸腾速率(Tr)、气孔导度(Gs)、胞间 CO_2 浓度,每个处理测5片,每片叶记录两次稳定数据。马铃薯功能叶片荧光参数于晴天早上9:00—11:00测定,先用夹子夹住其功能叶片暗处理15 min后,拉开暗室板再用 FMS-2型便携式荧光仪接到夹子接口处测定系统在田间直接测定马铃薯的荧光参数,PS II 最大光化学效率(Fv/Fm)、PS II 潜在活性(Fv/Fo)、热耗散量子比率(Fo/Fm)、PS II 潜在活性(Fv/Fo)、热耗散量子比率(Fo/Fm)、PI 指标,每个处理重复测5片叶。

1.2.2 物质分配 每次取样带回实验室的植株样品,首先冲洗根系与块茎上粘附的泥土,然后按照不同器官(地上茎、叶、块茎)分开,再用水分别冲洗干净,用滤纸吸干后,立即分别称取鲜重:将各器官

剪成小段,薯块切成薄片,无损失放入已恒重的大烧杯中,置于烘箱,在105℃条件下杀青,烘30 min,然后将温度降至85℃条件下烘12~14 h,冷却,称重;再用相同方法烘干2h,再称重,至恒重为止。1.2.3 产量 收获时每小区选取中间两垄测定实产,分别测定单株薯重、单株薯个数、大薯数、中薯数和小薯数,计算大中小薯率,换算小区产量及每公顷产量。

1.3 数据统计与分析

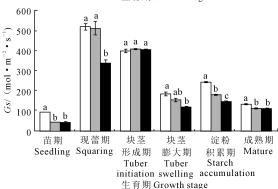
采用 Microsoft Excel 2010 和 SPSS 22.0 统计分析软件对试验数据进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 覆膜对马铃薯光合特性的影响

不同处理下马铃薯功能叶片的净光合速率呈单峰曲线变化,三种处理均在块茎形成期达到峰值(图1)。在马铃薯的各个生育时期,黑膜覆盖处理的叶片净光合速率与白膜和不覆膜处理存在显著差异。与白膜和不覆膜处理相比,黑膜覆盖的马铃薯叶片净光合速率平均提高了25.05%、74.27%。马铃薯功能叶片的蒸腾速率与净光合速率变化趋势一致,蒸腾速率在现蕾期达到最大值。在马铃薯块茎膨大期之前,黑膜和白膜覆盖处理的叶片蒸腾速

25 $Pn/(\mu \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$ 20 15 10 5 0 现蕾期 块茎 块茎 成熟期 苗期 淀粉 Seedling Squaring 形成期 积累期 Mature 膨大期 Tuber Tuber Starch initiation swelling accumulation 生育期 Growth stage 600

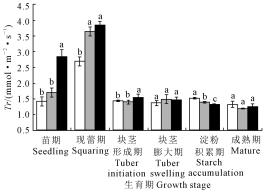


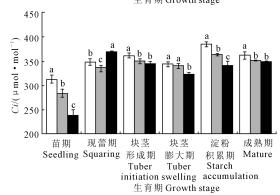
注:不同字母表示处理间差异显著(P<0.05),下同。

白膜覆盖处理的蒸腾速率显著高于不覆膜处理。与不覆膜处理相比,黑膜和白膜覆盖处理的马铃薯叶片蒸腾速率平均降低 21.98%、10.38%。因此,覆膜可以提高马铃薯功能叶片净光合速率,降低蒸腾速率,更有利于马铃薯的生长和光合产物的积累,进一步提高马铃薯的产量。

率都明显低于对照;在马铃薯淀粉积累期,黑膜和

气孔是植物叶片与外界进行气体交换、水分散 失的主要通道,气孔导度的大小是衡量气体通过气 孔的难易程度,气孔导度大则说明气体、水分子等 容易通过气孔。马铃薯的块茎形成期三种处理之 间均无显著差异,在马铃薯的其他生育时期,黑膜 处理的气孔导度 Gs 比对照升高 110%、57.7%、 40.4%、65.7%、17.3%。 苗期、淀粉积累期、成熟期黑 膜显著高于白膜,白膜与对照只有在现蕾期和淀粉 积累期有显著的差异,气孔导度在马铃薯的现蕾期 达到最大(图1)。马铃薯功能叶片胞间 CO2浓度在 238.6~384.4 μmol·mol⁻¹之间波动,在淀粉积累期 达到峰值。在现蕾期黑膜和白膜比对照降低 5.6% 和 8.8%,其他时期黑膜显著高于白膜和对照,白膜 与对照在块茎形成期和成熟期没有明显的差异,在 苗期、块茎膨大期、淀粉积累期比对照高 19.2%、 6.0%、6.4%。气孔导度与净光合速率的变化一致,





□ 黑膜 Black film ■ 白膜 White film ■ 不覆

Note: Different letters indicate significant differences among treatments. The same below.

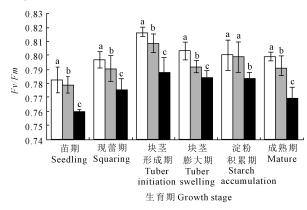
图 1 覆膜对马铃薯光合参数的影响

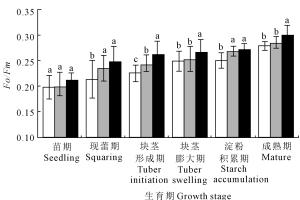
Fig.1 Effects of film mulching on photosynthetic parameters of potato

说明光合速率的降低是由气孔限制的。黑膜覆盖 由于显著增加了叶片的气孔导度,有利于提高马铃 薯的净光合速率,最终表现为产量的增加。

覆膜对马铃薯荧光参数的影响

随着马铃薯生育期的推进,PSⅡ最大光化学效 率(Fv/Fm)呈现先增加后下降的趋势,在块茎形成 期三种处理都达到峰值,依次是0.82、0.81、0.79(图 2)。除淀粉积累期黑膜与白膜没有差异,在马铃薯 的其他生育时期,黑膜覆盖显著高于白膜和对照处 理。苗期和现蕾期,黑膜处理的最大光化学效率比 白膜和对照分别增加 0.44%、2.98% 和 0.84%、 2.73%。块茎形成期和块茎膨大期,黑膜和白膜覆 盖分别比对照提高 3.60%、2.48%和 2.67%、0.92%。 可变荧光(Fv)与固定荧光(Fo)的比值(Fv/Fo)表 示 PSⅡ的潜在活性,马铃薯功能叶片 PSⅡ潜在活 性呈现逐渐下降的趋势,黑膜覆盖的下降趋势慢。 在马铃薯全生育期内黑膜处理的 PS II 的潜在活性 与白膜和对照处理之间存在显著的差异,在马铃薯 的主要生育期,黑膜比对照的 Fv/Fo 增加 9.18%、 18.04%、17.36%、23.15%、17.50%、22.89%。 白膜覆 盖在现蕾期、块茎膨大期和成熟期与对照存在显著 的差异,依次提高 1.88%、0.92%、2.78%。





□ 黑膜 Black film ■ 白膜 White film ■ 不 覆 膜 No film

20

16

12

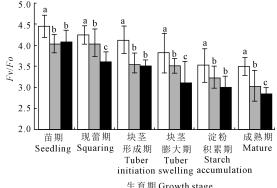
10

图 2 覆膜对马铃薯荧光参数的影响

随着马铃薯叶片的衰老,叶片热耗散量子比率 (Fo/Fm)值呈现逐渐增加的趋势。苗期三种处理 没有显著差异,但在马铃薯的其他生育时期,黑膜 显著低于对照,依次降低 13.60%、13.98%、6.44%、 7.74%、6.98%(图 2)。黑膜与白膜在现蕾期、块茎 形成期、淀粉积累期有显著的差异,说明黑膜覆盖 可延缓马铃薯叶片的衰老。马铃薯全生育期内 PI 与 PS II 最大光化学效率的变化趋势一致,块茎形成 期达到最大。黑膜和白膜显著高于对照处理,在苗 期和现蕾期黑膜与白膜有显著的差异,但在后期两 种处理之间没有差异。说明黑膜由于比白膜和不 覆膜更显著提高马铃薯功能叶的 PS Ⅱ 最大光化学 效率、PSⅡ潜在活性和 PI,显著降低了热耗散量子 比率,所以更有利于干物质的积累和产量的提升。

2.3 覆膜对马铃薯干物质积累的影响

不同处理马铃薯植株地上部干物质变化趋势 呈现先增加后下降的趋势,在淀粉积累期出现峰值 (表1)。马铃薯的全生育期内黑膜处理的叶和地上 茎分别较对照提高 251.53%、88.21%、32.63%、 35.88%、52.07%、46.48% 和 466.67%、44.19%、 75.84%、98.46%、195.06%、20.68%。 黑膜处理的叶显 著高于白膜处理,地上茎在苗期和现蕾期黑膜和白膜



生育期 Growth stage

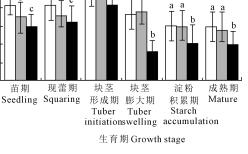


Fig.2 Effects of film covering on fluorescence parameters of potato

表 1 覆膜对马铃薯干物质积累的影响

Table 1	Efforts	of film	mulahing	on dry	matter	accumulation	of	notato
rabie i	Enects of	oi iiim	muiching	on arv	matter	accumulation	OI	potato

器官 Organ	AL TU	生育时期 Growth stage							
	处理 Treatment	苗期 Seedling	现蕾期 Squaring	块茎形成期 Shaping	块茎膨大期 Expanding	淀粉积累期 Accumulating	成熟期 Maturing		
ml.	黑膜 Black film	5.73±0.40a	7.34±1.31a	14.43±5.04a	28.25±1.36a	31.63±2.06a	28.08±3.74a		
叶 Leaf	白膜 White film	2.53 ± 0.86 b	$4.79 \pm 1.45 \mathrm{b}$	$11.58\!\pm\!1.18{\rm b}$	$21.05 \pm 6.38 \mathrm{b}$	$24.36 \pm 2.80 \mathrm{b}$	$24.28 \pm 6.73 \mathrm{b}$		
	不覆膜 No film	$1.63 \pm 0.45 \mathrm{b}$	$3.90 \pm 1.75 \mathrm{b}$	$10.88 \pm 2.08 \mathrm{b}$	$20.79\!\pm\!1.26{\rm b}$	$20.80 \pm 1.48 \mathrm{c}$	$19.17\!\pm\!5.20{\rm c}$		
地上茎 Terrestrial stem	黑膜 Black film	$2.89 \pm 0.04a$	12.79±1.27a	13.54±3.38a	27.15±2.93a	$39.39 \pm 2.32a$	25.15±4.91a		
	白膜 White film	$1.11 \pm 0.40a$	$10.31 \pm 2.98a$	$9.45 \pm 1.31 \mathrm{b}$	$13.85 \pm 5.18 \mathrm{b}$	$27.27 \pm 2.62 \mathrm{b}$	$22.60 \pm 3.18 \mathrm{b}$		
	不覆膜 No film	$0.51 \pm 0.09 \mathrm{b}$	$8.87\!\pm\!1.60\mathrm{b}$	$7.70 \pm 1.65 \mathrm{b}$	$13.68 \pm 5.55 \mathrm{b}$	$13.35 \pm 5.56 c$	$20.84\!\pm\!10.16\rm{b}$		
块茎 Tuber	黑膜 Black film	-	-	3.21±0.04a	8.92±0.25a	55.64±2.42a	97.97±5.84a		
	白膜 White film	-	_	$2.35\pm0.05a$	$2.80 \pm 3.52 \mathrm{b}$	$41.45 \pm 3.12 \mathrm{b}$	$53.18\!\pm\!1.87\mathrm{b}$		
	不覆膜 No film	_	_	3.22±0.58a	2.47±0.38b	21.06±1.23e	50.14±2.72b		

注:同一列不同字母表示差异达显著水平(P<0.05)。

Note: Different letters in the same column mean significant difference at P < 0.05.

无显著变化,但后期黑膜显著高于白膜。白膜与对照处理的叶在前期没有差异,在淀粉积累期和成熟期白膜比对照显著提高17.14%、26.66%。地上茎在块茎形成期、块茎膨大期和成熟期白膜和对照处理均无显著差异,在苗期、现蕾期、淀粉积累期白膜比对照提高117.6%、16.23%、104.3%。地下块茎是马铃薯的经济产量,块茎形成期三种处理均无明显差异,块茎膨大期、淀粉积累期、成熟期黑膜比白膜和不覆膜显著提高218.57%、34.23%、84.57和261.13%、164.20%、84.22%。淀粉积累期白膜比不覆膜显著提高96.82%,其他时期两种处理均无明显差异。

2.4 覆膜对马铃薯产量的影响

覆膜有利于提高马铃薯的产量,且黑膜比白膜增产效果显著(表2)。黑膜比白膜和不覆膜产量显著增加 16.86%、54.20%,白膜比不覆膜产量增加 31.96%。试验研究表明,覆膜对马铃薯的单株薯重、单株薯块数产生了明显的影响,黑膜处理的单株薯重和单株薯块数产生了明显的影响,黑膜处理的单株薯重和单株薯块数比不覆膜提高 54.5%和44.4%。马铃薯的薯块根据重量又可分为大、中、小薯,由上表知,三种处理的大、中薯率依次是黑膜>白膜>不覆膜,小薯率依次是不覆膜>白膜>黑膜,黑膜覆盖的大薯率比白膜和不覆膜显著提高 5.9%和 37.6%,黑膜覆盖的小薯率比白膜和不覆膜显著降低 2.11%和 5.12%。以上结果表明,黑膜覆盖较白膜和不覆膜显著提高了马铃薯的单株薯块数、单株薯重和大薯率,显著降低了小薯率,所以显著地提高了马铃薯的产量。

2.5 产量与光合荧光参数的相关性分析

马铃薯的产量与干物质量、净光合速率、PS II潜在活性和PI呈极显著正相关性,与蒸腾速率呈极显著负相关(表 3)。干物质量也与净光合速率、PSII

表 2 覆膜对马铃薯产量及其构成因素的影响

Table 2 Effects of film mulching on potato yield and its component factors

	处理 Treatment					
项目	黑膜	白膜				
Items	Black film	White film	No film			
单株薯重/kg Weight per plant	0.34±0.06a	0.29±0.05ab	0.22±0.03b			
单株薯块数/(个・株 ⁻¹) The number of blocks per plant	5.20±0.51a	4.68±0.23a	3.60±0.37b			
大薯数/(个・株 ⁻¹) No. of large potatoes	0.41±0.08a	0.34±0.04ab	0.20±0.12b			
中薯数/(个・株 ⁻¹) No. of medium potatoes per plant	0.72±0.08a	0.57±0.08b	0.40±0.06c			
小薯数/(个・株 ⁻¹) No. of small potatoes per plant	4.09±0.10a	3.77±0.60a	2.99±0.25b			
大薯率/% Large potato rate	7.72±0.11a	7.29±0.18b	5.61±0.03c			
中薯率/% Medium potato rate	13.71±1.18a	12.33±1.83a	11.25±0.68a			
小薯率/% Small potato rate	78.68±0.99c	80.38±1.62b	82.93±0.82a			
产量/(kg・hm ⁻²)	17123.42±	14652.93±	11104.42±			
Yield	12.84a	36.61b	6.13c			

注:大薯 \geq 150 g, 75 g \leq 中薯 \leq 150 g,小薯<75 g。表中同一行不同字母表示差异达显著水平(P<0.05)。

Note: Big tuber≥150 g,75 g≤middle tuber≤150 g, small tuber<75 g. Different letters in the same row mean significant differences at P<0.05.

潜在活性和 PI 呈极显著的正相关性。说明 Pn、Fv/Fo 和 PI 的提高可以增加马铃薯的物质积累和产量,从前面的分析可知,黑膜处理的 Pn、Fv/Fo 和 PI 显著高于白膜和不覆膜,对产量的提升作用更大。其他指标之间也有不同的相关性,净光合速率与蒸腾速率有极显著的负相关性,与 PS II 潜在活性和 PI 呈显著的负相关性。蒸腾速率与 PS II 潜在活性和 PI 呈显著的负相关性。气孔导度与胞间 CO₂浓

表 3 产量与光合荧光指标相关性分析

Table 3 Correlation analysis between yield and photosynthetic fluorescence index

指标 Indicator	产量 Yield	干物质积累量 Dry matter accumulation	Pn	Tr	Gs	Ci	Fv/Fm	Fv/Fo	Fo/Fm
干物质积累量									
Dry matter accumulation	0.890 * *								
Pn	0.956 * *	0.879 * *							
Tr	-0.822 * *	-0.556	-0.816 * *						
Gs	-0.109	0.351	-0.04	0.511					
Ci	-0.083	0.379	-0.034	0.431	0.975 * *				
Fv/Fm	0.309	0.126	0.424	-0.464	-0.287	-0.374			
Fv/Fo	0.947 * *	0.796 *	0.848 * *	-0.756*	-0.216	-0.18	0.12		
Fo/Fm	-0.557	-0.335	-0.471	0.661	0.377	0.358	-0.704 *	-0.434	
PI	0.990 * *	0.937 * *	0.969 * *	-0.764*	0.02	0.034	0.315	0.914 * *	-0.511

注:**代表相关性达到1%水平,*代表相关性达到5%水平。

Note: * * represents correlation reaches 1% level, * represents correlation reaches 5% level.

度有极显著的正相关。 $PS \parallel$ 最大光化学效率与热耗散量子比率呈显著的负相关, $PS \parallel$ 潜在活与 PI 呈极显著的正相关。

3 讨论

光合作用是植物物质代谢和能量转化的主要 途径。光合作用通常用叶片净光合速率(Pn)、蒸腾 速率(Tr)、气孔导度(Gs)、胞间CO,浓度(Ci)等参 数来反映植物对光能的利用能力和转化效率[14]。 有研究显示,覆膜栽培较不覆膜能明显提高旱区马 铃薯功能叶片的净光合速率、蒸腾速率和气孔导 度,胞间 CO,浓度则是覆膜低于不覆膜[15]。雷俊 等[12]的研究结果表明黑色地膜覆盖较白膜能提高 半干旱区马铃薯叶片 $Pn \ Gs$, 而 Tr 在分枝期和开花 期较对照提高,在花序形成期较对照降低,在对玉 米覆膜栽培的研究中也有相同的结果。陈芳等[16] 研究结果表明,玉米生育期内叶片的 $Pn \, Tr \, Gs$ 都呈 低-高-低的变化趋势,在抽雄期出现峰值且地膜覆 盖的 Pn、Tr 显著高于露地直播, Gs 在抽雄期之前覆 膜较对照明显降低,但在后期显著高于对照。陆海 东等[17]试验结果显示,黑色地膜覆盖比普通白色地 膜和裸地栽培显著提高了玉米叶片的光合速率和 蒸腾速率,延缓玉米叶片的衰老。本试验研究结果 与前人研究结果一致,不同处理比较,都呈低-高-低的变化, 覆膜显著提高了马铃薯的 $Pn \ Gs$, 但 Tr在块茎膨大期之前覆膜显著低于不覆膜,这与前人 研究结果不同[15],在马铃薯生育前期,由于气孔关 闭、气孔导度下降造成,属于气孔限制,但在块茎膨 大期之后覆膜显著高于不覆膜。Ci 在马铃薯生育 期内变化不明显,但覆膜的总体要高于不覆膜。不 同膜色之间比较,黑膜处理的Pn,Gs,Ci要明显高于 白膜。说明在雨养干旱地区,覆膜能改善马铃薯叶片的光合作用,有利于减缓衰老,且黑膜效果更好。

近年来,叶绿素荧光技术被认为是一种快速、 灵敏和无损伤活体探测和分析植物光合作用的探 针[18-19]。目前,叶绿素荧光技术被越来越多地应用 到植物光合生理和逆境生理的研究[20]。在研究逆 境胁迫对果树、蔬菜和一些苗木的光合作用时,叶 绿素荧光参数被作为主要的指标之一[21-22],研究结 果表明,高温干旱等逆境胁迫都会使叶片的 PS II 最 大光化学效率、PSⅡ潜在活性在一定程度上降低。 李尚中等[23]的研究结果显示,覆膜处理较露地可显 著提高玉米叶片的最大光化学效率。张磊等[24]研 究表明黑色地膜覆盖较无膜覆盖明显提高了甘薯 的 Fv/Fm。本研究表明,在马铃薯的生育期中,Fv/Fm 和 PI 呈低-高-低的变化趋势,峰值都出现在块 茎形成期,Fv/Fo 随马铃薯的生育进程呈现逐渐下 降的趋势, Fo/Fm 恰好相反。Fv/Fm、Fv/Fo、PI都 反映马铃薯叶片的光合作用强弱,在马铃薯的全生 育期内,覆膜比不覆膜显著提高马铃薯的 Fv/Fm、 Fv/Fo、PI。不同膜色比较,黑膜比白膜一定程度提 高了叶片的 Fv/Fm、Fv/Fo、PI。热耗散量子比率 (Fo/Fm)是反映植株衰老的重要指标,结果表明覆 膜较不覆膜明显降低,黑膜比白膜低。

本研究表明,覆膜处理增加了马铃薯地上部和地下部的干物质积累,黑膜在一定程度上比白膜增加了马铃薯叶、地上茎和块茎的干物质量。谭雪莲等^[25]也有类似研究,即在各生育期,马铃薯的地上部干物质积累及块茎的干物质都显著高于不覆膜处理。周东亮等^[26]研究发现,黑色地膜覆盖双垄沟播和双垄垄播处理较露地垄作使马铃薯干物质量显著增加31.88%和31.98%。任丽萍^[27]研究表明,覆盖方式对马铃薯的地上部、根和全株干物质的增加量依

次是黑膜>白膜>不覆膜,与本研究结果一致。

马铃薯的产量由收获株数、每株块数和块茎重决定,块茎根据其重量又分为大、中、小薯。根据消费者的需求,大、中薯普遍被接受,所以提高大、中薯数,增加产量是生产的主要目标。黄凯等^[28]研究表明,覆盖可以提高马铃薯的大薯重量和个数,减小中、小薯比例,产量增加顺序依次是黑膜>白膜>不覆膜。周丽娜等^[29]的研究结果也说明,覆盖黑色地膜使马铃薯的大薯率>80%,比白色透明地膜增产7.0%~11.8%。有研究发现^[30],黑色地膜覆盖较露地栽培增产10558.5 kg·hm⁻²。本研究表明,覆膜显著增加了马铃薯的薯块重和薯块数,黑膜和白膜处理的大薯数比不覆膜增加105%和70%,中薯数增加80%和42%,进而增加了马铃薯的产量,不同处理的产量差异显著,依次是黑膜>白膜>不覆膜,与前人研究结果一致^[28-29]。

4 结 论

宁夏南部山区是典型的雨养农业区,该区水资 源短缺,日照强度大,致使土壤表面水分蒸发强烈。 覆膜技术的采用,很大程度上缓解了这一问题。本 试验采用单因素随机区组试验,以不覆膜为对照, 研究了覆盖黑膜和白膜对马铃薯光合荧光参数、干 物质积累以及产量的影响。试验结果表明,在马铃 薯的全生育期,覆膜处理的净光合速率、气孔导度、 胞间 CO,浓度、PS Ⅱ 最大光化学效率、PS Ⅱ 潜在活 性和 PI 都比对照显著增加,而且覆膜处理显著提高 了马铃薯的大、中薯率、地上部和地下部干物质积 累量,减少了小薯率,达到了高产的目的。蒸腾速 率在块茎膨大期覆膜比对照低,之后高于对照,覆 膜处理的热耗散量子比率比对照明显降低,有效地 缓解了马铃薯的衰老。两种膜色比较,黑膜处理较 白膜有利于增加宁南山区马铃薯光合作用和产量, 因此适合在该区推广应用。

参考文献:

- [1] 肖国举,仇正跻,张峰举,等.增温对西北半干旱区马铃薯产量和品质的影响[J].生态学报,2015,35(03):830-836.
- [2] 孙娇,郭鑫年,梁锦秀,等.不同覆膜时期对宁南山区土壤水热环境及马铃薯产量的影响[J].草业学报,2017,26(12):24-34.
- [3] 侯贤清,李荣.免耕覆盖对宁南山区土壤物理性状及马铃薯产量的影响[J].农业工程学报,2015,31(19):112-119.
- [4] 金林雪,李云鹏,李丹,等.气候变化背景下内蒙古马铃薯关键生长期气候适宜性分析[J].中国生态农业学报,2018,26(01);38-48.
- [5] 阎旭东,王秀领,徐玉鹏,等.旱地春玉米不同覆膜种植模式的增产效应[J].中国生态农业学报,2018,26(01):75-82.
- [6] Liu C A, Jin S L, Zhou L M, el at. Effects of plastic film mulch and tillage on maize productivity and soil parameters [J]. European Journal of

- Agronomy, 2009, 31(4): 241-249.
- [7] 王磊,樊廷录,赵刚,等.地膜覆盖对不同株型春玉米产量和水分利用效率的影响[J].灌溉排水学报,2018,37(01):16-20.
- 8] 赵爱琴,魏秀菊,朱明.基于 Meta-analysis 的中国马铃薯地膜覆盖产量效应分析[J].农业工程学报,2015,31(24):1-7.
- [9] 瞿晓苍.不同颜色地膜覆盖对马铃薯生长发育及产量的影响[J].中国马铃薯,2015,29(06):346-350.
- [10] 刘鸿高,李建宾,顾才上,等.间作马铃薯覆盖不同地膜对土壤温湿度和产量的影响[J].云南农业大学学报(自然科学),2017,32 (01);44-51.
- [11] 张淑敏,宁堂原,刘振,等.不同类型地膜覆盖的抑草与水热效应及 其对马铃薯产量和品质的影响[J].作物学报,2017,43(04): 571-580.
- [12] 雷俊, 张凯, 姚玉璧, 等. 半干旱区黑膜覆盖对马铃薯光合特性及产量的影响[J]. 干旱气象, 2017, 35(06): 1036-1041.
- [13] 王红丽,张绪成,于显枫,等.黑色地膜覆盖的土壤水热效应及其对 马铃薯产量的影响[J].生态学报,2016,36(16):5215-5226.
- [14] 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(09):2902-2909.
- [15] 包开花,蒙美莲,陈有君,等.覆膜方式和保水剂对旱作马铃薯光合特性及产量的影响[J].干旱地区农业研究,2016,34(03):139-143.
- [16] 陈芳,谷晓平,于飞,等.不同栽培方式对玉米光合特性及产量的影响[J].中国农学通报,2017,33(10):23-30.
- [17] 路海东,薛吉全,郭东伟,等.覆黑地膜对旱作玉米根区土壤温湿度和光合特性的影响[J].农业工程学报,2017,33(05);129-135.
- [18] Murchie E H, Lawson T.Chlorophyll fluorescence analysis: a guide to good practice and understanding some new applications [J]. Journal of Experimental Botany, 2013, 64(13):3983-3998.
- [19] Maxwell K, Johnson GN. Chlorophyll fluorescence: A practical guide[J]. Journal of Experiment Botany, 2000, 51(345):659-668.
- [20] 赵会杰,邹琦,于振文.叶绿素荧光分析技术及其在植物光合机理研究中的应用[J].河南农业大学学报,2000,34(03):248-251.
- [21] 李泽, 谭晓风, 卢锟, 等. 干旱胁迫对两种油桐幼苗生长、气体交换及叶绿素荧光参数的影响 [J]. 生态学报, 2017, 37(05): 1515-1524.
- [22] 杨世琼,杨再强,王琳,等.高温高湿交互对设施番茄叶片光合特性的影响[J].生态学杂志,2018,37(01):57-63.
- [23] 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(02):458-466.
- [24] 张磊,林祖军,刘维正,等黑色地膜对甘薯光合作用及叶绿素荧光特性的影响[J].中国农学通报,2015,31(18):80-86.
- [25] 谭雪莲,吕军锋,郭天文,等.旱地地膜覆盖和施肥对马铃薯干物质 累积和土壤水分含量的影响[J].灌溉排水学报,2011,30(02): 104-106
- [26] 周东亮,叶丙鑫,王姣敏,等.黑色地膜双垄覆盖对马铃薯干物质和水分利用效率的影响[J].中国蔬菜,2018,(02);47-52.
- [27] 任莉萍.旱作区不同覆盖方式对马铃薯干物质累积的影响[J].甘肃科技纵横,2017,46(09):44-46.
- [28] 黄凯,何小谦,李德明,等陇中半干旱区不同覆盖方式对马铃薯生长指标,产量及品质的影响[J].中国马铃薯,2017,31(05):272-277.
- [29] 周丽娜,于亚薇,孟振雄,等.不同颜色地膜覆盖对马铃薯生长发育的影响[J].河北农业科学,2012,16(09);18-21.
- [30] 王鑫, 张涛, 李树杰, 等. 黑色全膜覆土马铃薯机械种植增产增效试验研究[J]. 中国农机化学报, 2017, 38(06): 89-93.