

地膜覆盖对胶园间种珠芽黄魔芋光合生理特性及产量的影响

原慧芳^{1,2}, 岩香甩^{1,2}, 李金威^{1,2}, 田耀华^{1,2*}

1. 云南省热带作物科学研究所, 云南景洪 666100; 2. 云南省天然橡胶可持续利用研究重点实验室, 云南景洪 666100

摘要: 为了解不同地膜覆盖对胶园间种的珠芽黄魔芋 (*Amorphophallus muelleri*) 叶片光合生理特性、土壤物理性状及产量的影响, 本研究设置银色地膜、黑色地膜、白色地膜、防草席、加厚黑色地膜、微孔黑色地膜和无覆盖 (CK) 共 7 个处理, 测定分析魔芋换头期、膨大期和成熟期 3 个时期叶片的光合特性参数: 净光合速率 (P_n)、气孔导度 (G_s)、蒸腾速率 (T_r)、胞间 CO_2 浓度 (C_i)、电子传递速率 (ETR), 生理特性参数: 可溶性蛋白 (SP) 含量、可溶性糖 (SS) 含量、叶绿素 (Chl) 含量、叶绿素 a/b (Chl a/b), 土壤原位物理性状参数: 土壤含水量 (SMC)、土壤电导率 (SC)、土壤温度 (ST), 并测定魔芋地下球茎产量的变化。结果表明: 同一时期不同地膜覆盖处理均提高了魔芋叶片的光合参数 (P_n 、 G_s 、 T_r 和 ETR), 换头期和膨大期防草席处理的 P_n 、 G_s 和 T_r 均显著高于其他处理 ($P<0.05$), 而其他处理间不规律上下变幅, 其间有显著差异; 除了成熟期, 同一时期不同地膜覆盖处理魔芋叶片的 SP 和 Chl 均显著高于对照, 各处理间无显著差异; 同一时期不同处理魔芋叶片的 SS 和 Chl a/b 变化趋势稍有不同, 成熟期各处理的 SS 均显著高于对照, 3 个时期对照的 SS 均最低, 而成熟期地膜处理的 Chl a/b 较对照均无显著差异; 同一时期不同地膜覆盖的 SMC 和 SC 均高于对照, 加厚黑色地膜处理保水效果最好, 膨大期微孔黑色地膜处理和成熟期防草席处理的 SC 均显著最高, 其他处理间的 SMC 和 SC 无显著差异。同一地膜覆盖处理不同时期的 P_n 、 G_s 、 T_r 、ETR、SP、和 Chl 均表现为换头期>膨大期>成熟期, 而各处理的 SS 和 Chl a/b 表现为成熟期>膨大期>换头期。经所有指标和产量相关性分析的结果来看, 除了 ST 与产量呈负相关外, 其他指标与产量均呈正相关。不同地膜覆盖较对照均提高了珠芽黄魔芋产量, 银色地膜、黑色地膜、防草席和加厚黑色地膜处理增产效果明显, 而白色地膜和微孔黑色地膜处理增产不明显。因此, 在实际生产中, 采用银色地膜、黑色地膜、防草席和加厚黑色地膜都是魔芋增产增效的可行选择。

关键词: 地膜覆盖; 珠芽黄魔芋; 胶园; 光合生理特性; 产量

中图分类号: S513; S152 文献标识码: A

Effects of Plastic Film Mulching Treatments on Photosynthetic Characteristics and Yield of *Amorphophallus muelleri* Intercropped in Rubber Plantations

YUAN Huifang^{1,2}, YAN Xiangshuai^{1,2}, LI Jinwei^{1,2}, TIAN Yaohua^{1,2*}

1. Yunnan Institute of Tropical Crops, Jinghong, Yunnan 666100, China; 2. Yunnan Key Laboratory of Sustainable Utilization Research on Rubber Tree, Jinghong, Yunnan 666100, China

Abstract: The aim of the study is to estimate the effects of different mulching treatments on the photosynthetic characteristics of leaves, soil physical properties and yield of *Amorphophallus muelleri* intercropped in rubber plantations. Seven treatments (silver film, black film, white film, straw mat, thickened black film, microporous black film and no mulch (CK)) were set up in this experiment. Photosynthetic characteristics of *A. muelleri* leaves at the three stages of head changing, corm and maturity were measured and analyzed. Net photosynthetic rate (P_n), stomatal conductance (G_s), transpiration rate (T_r), intercellular CO_2 concentration (C_i), electron transfer rate (ETR), physiological characteristics pa-

收稿日期 2022-08-02; 修回日期 2022-11-30

基金项目 云南省创新引导与科技型企业培育计划项目 (No. 202104AR040005); 云南省科研基本业务费热带作物科技创新专项资金项目 (No. RF2022-3); 云南省农业基础研究联合专项 (No. 202101BD070001-102)。

作者简介 原慧芳 (1978—), 女, 硕士, 副研究员, 研究方向: 植物生理生态。*通信作者 (Corresponding author): 田耀华 (TIAN Yaohua), E-mail: 115500286@qq.com。

rameters including soluble protein(SP) content, soluble sugar(SS) content, chlorophyll(Chl) content, chlorophyll a/b(Chl a/b). soil in situ physical properties including soil moisture content (SMC), soil conductivity(SC), soil temperature (ST), and underground corm yield of *A. muelleri* were assayed. The photosynthetic parameters (P_n , G_s , T_r and ETR) of *A. muelleri* leaves increased by different plastic film mulching treatments at the same period. P_n , G_s and T_r of straw mat treatment at the head changing stage and expansion stage were significantly higher than those of the other treatments ($P<0.05$), the amplitude of the other treatments fluctuated irregularly and there were significant differences among them. At the mature stage, SP and Chl of *A. muelleri* leaves under different treatments were significantly higher than those under the control in the same period, and there was no significant difference among all treatments. In the same period, the SS and Chl a/b of *A. muelleri* leaves under different treatments were slightly different. The SS of each treatment at the maturity stage was significantly higher than that of the control, and the SS of the control at the three stages was the lowest, while the Chl a/b of e plastic film treatment at the maturity stage was not significantly different from that of the control. In the same period, SMC and SC by different plastic films were higher than those of the control. The water retention effect of thickened black film treatment was the best, the SC of microporous black film treatment in the expansion stage and straw mat treatment in the maturity stage were significantly the highest, but there was no significant difference in SMC and SC among other treatments. P_n , G_s , T_r , ETR, SP, and Chl of the same mulch treatment at different stages were all in the following order: head changing stage>expansion stage>maturity stage, while the SS and Chl a/b of each treatment were in the following order: maturity stage>expansion stage>head changing stage. According to the results of correlation analysis between all indexes and yield, except ST and yield were negatively correlated, other indexes were positively correlated with yield. Compared with the control, different plastic film mulches increased the yield of *A. muelleri*. Black mulching, straw mat and thickened black mulching treatments significantly increased the yield, while white mulching and microporous black mulching treatments did not significantly increased the yield. Therefore, silver plastic film, black plastic film, straw mat and thickened black plastic film are suitable choices for *A. muelleri* to increase the production and efficiency in practical production.

Keywords: film mulching; *A. muelleri*; rubber plantations; physiological ecology; yield

DOI: 10.3969/j.issn.1000-2561.2024.01.014

目前,全世界魔芋(Konjac)精粉年需求量在 20 万 t 以上,短期内有望扩大 3 倍以上,但全球年总产不足 5 万 t。随着魔芋精粉价格的不断提高和国内外需求的不断增加,我国西南地区农民种植魔芋的积极性日益高涨,魔芋产业已成为这一地区农村经济发展中最具竞争优势和发展潜力的特色产业之一^[1-3]。目前,广泛种植于我国亚热带或暖温带的魔芋主要是花魔芋(*Amorphophallus konjac*)和白魔芋(*Amorphophallus albus*),但这 2 个种易感染软腐病、白绢病和根腐病,多年连作导致减产甚至绝产^[4]。而原生于我国西南边境及临近的南亚、东南亚国家的珠芽黄魔芋(*Amorphophallus muelleri*)类群具有抗病性强、生长速度快、耐热耐湿能力强、产量高、加工品质优良等优点^[5-7]。

近年来,天然橡胶价格持续低迷,植胶企业和农户生产积极性严重受挫,且生产中存在着单一种植产出效益低、生态服务功能弱等问题,以致胶农增收和国家天然橡胶生产保护区建设面临严峻挑战。若利用珠芽黄魔芋耐阴的生物学特性,把橡胶林作为天然的“遮阴”,省去了搭建遮阴网的成本投入,在橡胶林保护带间种珠芽黄

魔芋,不仅能有效提高土地利用率和增加生物多样性,而且能增加胶园单位面积产出,进而调动胶农生产积极性。因此,珠芽黄魔芋是热区进一步巩固天然橡胶产业、发展林下经济的优良资源植物之一,推广应用前景十分广阔。

但珠芽黄魔芋生长期恰逢热区高温高湿季节,若采用传统无覆盖种植模式,易发生土壤板结、杂草滋生等问题,导致产量受损。有不少报道如玉米、花生、枣树等作物^[8-10],采用不同地膜覆盖后达到增产的研究结论。关于橡胶林下间种魔芋的光合生理特性及产量变化的研究也有少量报道^[11-13],但将不同材质地膜统一在同一试验样地上进行光合生理特性及产量的比较研究尚未涉及。而作物产量的高低依赖于光合效率大小和光合产物在源器官的积累与分配情况^[14],往往植株叶片在生长中进行复杂的代谢活动,叶片的代谢活动中主要的调节者是各种酶,这些酶活性的高低决定叶片的生理代谢功能的强弱,而叶片中各种酶的活性可以用可溶性蛋白(SP)含量来反映。光合效率的高低和光合产物积累的多少可以用叶绿素(Chl)含量和可溶性糖(SS)含量高低来反映^[15-16]。因此,本研究通

过比较不同地膜覆盖处理下珠芽黄魔芋（以下简称“魔芋”）光合生理特性、土壤物理性状指标和产量的变化情况，拟筛选适宜的地膜类型，为热区魔芋增产增效的栽培技术提供理论依据和数据支撑。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

试验地选择在云南省西双版纳州云南省热带

作物科学研究所 1985 年定植的宽行密株（20 m×2 m）橡胶林下进行（22°00′49″N，100°45′51″E），该地海拔 570 m，属于热带西南季风气候，一年中有明显的旱季（11 月至次年 4 月）和雨季（5~10 月）之分，年平均气温 18.6~21.9℃，年平均降水量 1200~1700 mm，年平均日照 1800~2300 h，相对湿度 80%~86%，≥10℃的年平均积温 5062~8000℃，土壤基础理化性状见表 1。

表 1 试验地土壤基础理化性状

Tab. 1 Physical and chemical properties of soil foundation in experimental sites

土层 Soil layer	pH	有机质 OM /(g·kg ⁻¹)	全氮 TN /(g·kg ⁻¹)	全磷 TP /(g·kg ⁻¹)	全钾 TK /(g·kg ⁻¹)	碱解氮 AN /(mg·kg ⁻¹)	有效磷 AP /(mg·kg ⁻¹)	有效钾 AK /(mg·kg ⁻¹)
0~20 cm	4.34	21.27	1.86	0.42	11.04	88.09	12.03	212.16
20~40 cm	4.20	17.75	1.71	0.39	12.27	83.12	10.25	202.93

1.2 方法

1.2.1 试验设计

试验以珠芽黄魔芋优势栽培种弥勒魔芋（*A. muelleri*）的叶面珠芽（规格为 5 g/颗）为种植材料。采用随机区组设计，设置 6 个地膜覆盖材料处理：T₁（银色地膜，厚 0.01 mm）、T₂（黑色地膜，厚 0.01 mm）、T₃（白色地膜，厚 0.01 mm）、T₄（防草席，厚 0.02 mm）、T₅（加厚黑色地膜，厚 0.015 mm）、T₆（微孔黑色地膜，厚 0.01 mm），所有材料打孔规格一致，宽度均为 120 cm，以无覆盖（CK）为对照，共 7 个处理。于 2021 年 6 月 9 日在橡胶林行间空地距离橡胶树种植行 2.5 m 进行平行起垄种植，以 1.2 m 宽的垄基起垄，垄面 1 m，垄高 30 cm，沟宽 30 cm，共 9 垄，每垄长 47 m；垄上种植按株行距 20 cm×25 cm，深度 10 cm 双行播种。每处理 300 株，3 次重复。每 666.7 m² 施复合肥 50 kg（N：P：K=15：10：12）、有机肥 1000 kg、钙镁磷肥 50 kg、石灰 50 kg。试验地田间其他管理措施均一致。

1.2.2 测定指标与方法 （1）光合特性。分别在换头期（7 月）、膨大期（9 月）、成熟期（11 月）采用 Li-6400 便携式光合测定仪（LI-COR，USA）对主干顶蓬角度基本一致的健康叶片进行标记测定：净光合速率 P_n [μmol/(m²·s)]、气孔导度 G_s [mol/(m²·s)]、蒸腾速率 T_r [mmol/(m²·s)] 和胞间 CO₂ 浓度 C_i (μmol/mol)。测定时使用开放气路，空气流速为 500 μmol/s，叶温 28℃，相对湿度 70%，CO₂ 浓度设定在 400 (μmol/mol)，光强 800 [μmol/(m²·s)]，每处理选 3 株，3~5 次重复。

测定时间为晴天上午 8：30—12：00。（2）叶绿素荧光。采用 PAM-2500 便携式荧光仪（WALZ，DEU）对以上标记的健康叶进行光合电子传递速率（ETR）测定。每次测定前首先将叶片暗适应 20 min 后，测定时间为晴天上午 8：30—12：00。

（3）生理特性。早上 8：30 对各处理标记好的健康叶片剪至冰壶的密封袋中，迅速带回室内进行测定。SP 含量采用考马斯亮蓝法，SS 含量采用蒽酮比色法，Chl 含量测定采用直接浸提法^[17]。

（4）土壤物理性状。采用野外便携式速测仪（HH₂+WET-2 型，Delta-T Devices Ltd., Cambridge, UK）对各处理土壤原位测定土壤含水量（SWC）、土壤电导率（SC）和土壤温度（ST）3 个参数。（5）球茎产量。于 12 月份魔芋倒苗 2 周后，将魔芋地下球茎挖出，每处理选 20 株进行称重，3 次重复，最后统计平均值。

1.3 数据处理

采用 SPSS 19.0 软件对试验数据进行统计分析。以单双因素方差（ANOVA）分析不同处理的各项参数，以 Duncan's 法进行方差多重比较（ $P<0.05$ ）。使用 Sigmaplot 10.0 软件完成绘图。

2 结果与分析

2.1 不同地膜覆盖处理对魔芋叶片光合特性的影响

不同地膜覆盖处理对 3 个时期魔芋叶片光合特性的影响见表 2。同一时期不同处理魔芋叶片的 P_n 、 G_s 、 T_r 和 ETR 均高于 CK，换头期和膨大期 T₄ 处理的 P_n 均显著最高（ $P<0.05$ ），较 CK 分

别提高了 60%和 39%，除了膨大期 T_1 和 T_3 处理的 P_n 较 CK 无显著差异外，其他处理的 P_n 均显著高于 CK，其间无显著差异。成熟期 T_1 处理的 P_n 显著最高，较 CK 提高了 84%，其次 T_2 、 T_5 和 T_6 处理显著高于 CK，C 和 T_4 处理较 CK 均无显著差异。同一时期 T_4 处理的 G_s 均显著最高，各时期较 CK 分别提高了 61%、70%、50%，其次是 T_5 处理，其他处理间无显著差异。同一时期 T_4 处理的 T_r 均显著最高，各时期较 CK 分别提高了 53%、7%、140%，其中膨大期不同处理间无显著差异。同一时期不同处理的 C_i 变化趋势不一，换头期 T_6 处理的 C_i 最高，较 CK 提高了 3%，其间无显著差异，而 T_3 和 T_1 均显著低于 CK 的 20%。膨大期不同处理间的 C_i 无显著差异。成熟期 T_3 处理的 C_i 显著最高，而 T_4 处理的 C_i 显著最低，其他处理间不规律变幅，但其间无显著差异。同一时期不同处理的 ETR 变化趋势不一，换头期 T_2 处理的 ETR 显著最高，较 CK 提高了 46%。膨大期各处理的 ETR 不规律变幅，其间无显著差异。成熟期 T_3 处理的 ETR 显著最高，较 CK 提高了 50%，其他处理间无显著差异；同一处理不同时期魔芋叶片的 P_n 、 G_s 、 T_r 、ETR 变化趋势基本一致，均为换头期显著最高，其次为膨大期，成熟期最低。综合比较各参数来看，不同地膜覆盖处理的高低顺序依次表现为： $T_4>T_5>T_1>T_2>T_6>T_3>CK$ 。

2.2 不同地膜覆盖处理对魔芋叶片生理特性的影响

不同地膜覆盖处理对 3 个时期魔芋叶片生理特性的影响见图 1。换头期和膨大期各处理魔芋叶片的 SP 和 Chl 均高于 CK，换头期 T_2 、 T_4 和 T_6 处理的 SP 显著高于 CK，分别提高了 35%、36% 和 35%，而 T_1 、 T_3 和 T_5 处理的 SP 较 CK 无显著差异。膨大期 T_6 处理的 SP 显著高于 C 和 CK，其他处理较 CK 无显著差异。除了换头期 T_5 处理的 Chl 显著高于 CK 外，其他处理较 CK 无显著差异。膨大期 T_3 处理的 Chl 较 CK 无显著差异，而其他处理均显著高于 CK，成熟期 T_1 处理的 Chl 显著最高，较 CK 提高了 48%，其他处理的 Chl 不规律变幅，其间无显著差异。同一时期不同处理魔芋叶片的 SS 与 Chl a/b 变化趋势稍有不同，除了 3 个时期 CK 的 SS 均最低外，其他处理的 SS 均为成熟期显著最高，而换头期各处理的 SS

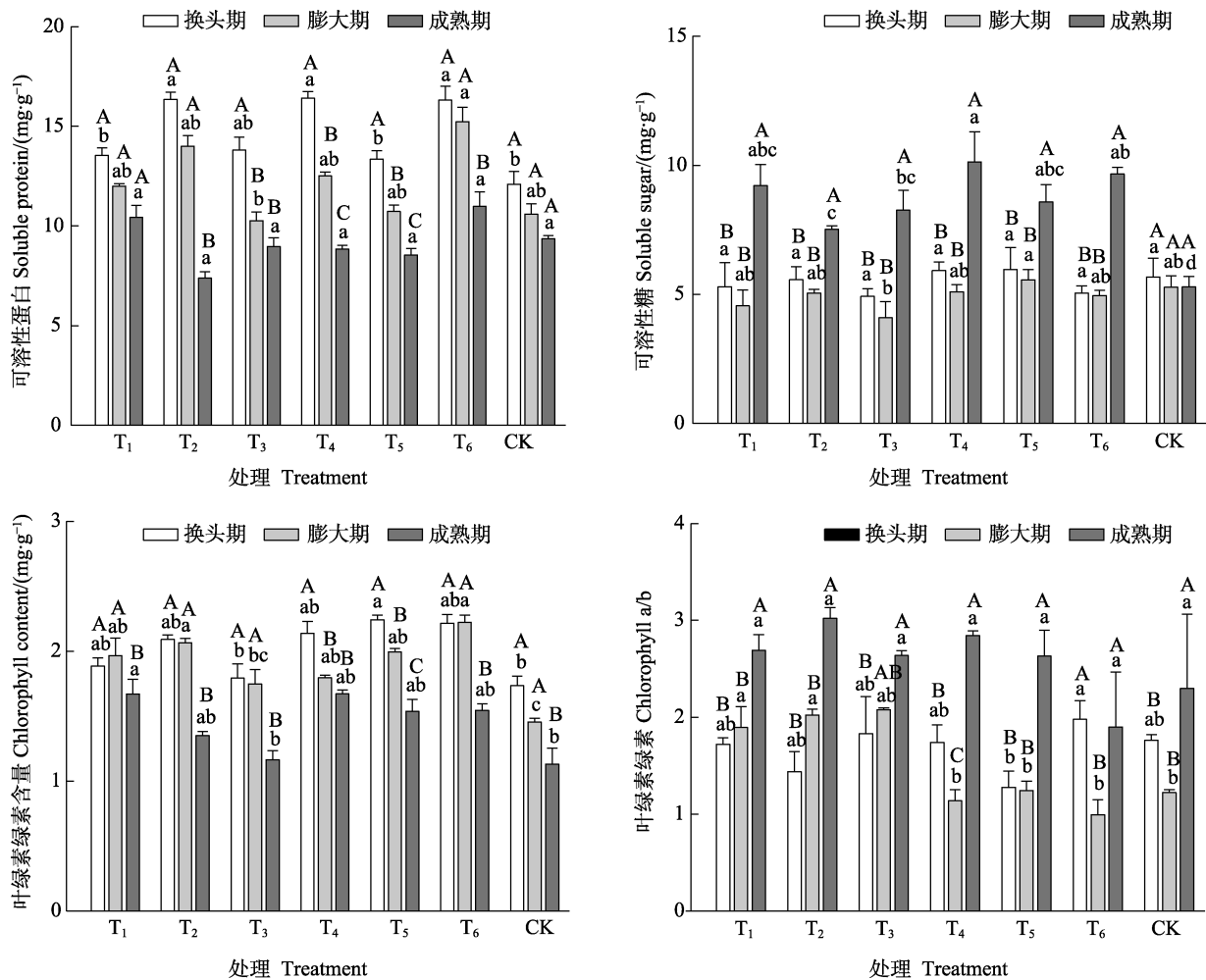
表 2 不同地膜覆盖处理对 3 个时期魔芋叶片光合特性的影响

Tab. 2 Effects of different film mulching treatments on photosynthetic characteristics of leaves of *A. muelleri* in three stages

参数 Parameter	处理 Treat ment	换头期 Head-changing stage	膨大期 Corm expansion stage	成熟期 Maturity stage
P_n / ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	T_1	15.85±0.76 ^{Abc}	9.40±0.77 ^{Bbc}	8.47±0.59 ^{Ba}
	T_2	15.16±0.44 ^{Ac}	10.52±0.81 ^{Bab}	7.66±0.64 ^{Ca}
	T_3	17.50±0.63 ^{Aab}	9.22±0.77 ^{Bbc}	5.46±0.52 ^{Cb}
	T_4	18.95±0.69 ^{Aa}	11.25±0.81 ^{Ba}	5.78±0.73 ^{Cb}
	T_5	17.66±1.03 ^{Aab}	10.13±0.76 ^{Bab}	7.70±0.62 ^{Ca}
	T_6	14.21±0.88 ^{Ac}	10.50±0.74 ^{Bab}	7.44±0.82 ^{Ca}
	CK	11.83±0.93 ^{Ad}	8.08±0.71 ^{Bc}	4.60±0.64 ^{Cb}
G_s / ($\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	T_1	0.14±0.01 ^{Ac}	0.12±0.02 ^{Bb}	0.11±0.01 ^{ABab}
	T_2	0.16±0.01 ^{Abc}	0.13±0.02 ^{Bb}	0.12±0.01 ^{Bab}
	T_3	0.14±0.01 ^{Ac}	0.13±0.02 ^{Ab}	0.13±0.01 ^{Aab}
	T_4	0.21±0.01 ^{Aa}	0.17±0.02 ^{Ba}	0.15±0.02 ^{Ca}
	T_5	0.17±0.01 ^{Ab}	0.14±0.02 ^{Bb}	0.13±0.02 ^{Bab}
	T_6	0.14±0.01 ^{Ab}	0.13±0.02 ^{Ab}	0.14±0.01 ^{Aab}
	CK	0.13±0.01 ^{Ac}	0.10±0.02 ^{Ab}	0.10±0.02 ^{Ab}
T_r / ($\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	T_1	1.80±0.14 ^{Abc}	1.73±0.18 ^{Aa}	1.12±0.14 ^{Bb}
	T_2	1.99±0.12 ^{Ab}	1.68±0.19 ^{ABa}	1.36±0.15 ^{Bb}
	T_3	2.02±0.14 ^{Ab}	1.45±0.18 ^{Ba}	1.38±0.12 ^{Bb}
	T_4	2.41±0.14 ^{Aa}	1.94±0.19 ^{Ba}	1.73±0.16 ^{Ba}
	T_5	2.01±0.14 ^{Ab}	1.87±0.16 ^{Aa}	1.21±0.14 ^{Bb}
	T_6	1.87±0.12 ^{Ab}	1.95±0.17 ^{Aa}	1.26±0.17 ^{Bb}
	CK	1.57±0.14 ^{Ac}	1.80±0.16 ^{Aa}	0.72±0.14 ^{Bc}
C_i / ($\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$)	T_1	182.79±34.60 ^{Bc}	201.68±26.33 ^{Ba}	265.25±27.05 ^{ABc}
	T_2	224.02±36.29 ^{Bab}	245.14±28.69 ^{Ba}	280.17±23.42 ^{ABab}
	T_3	179.54±34.60 ^{Cc}	247.84±23.42 ^{Ba}	300.89±27.05 ^{Aa}
	T_4	228.51±36.29 ^{Ba}	265.53±31.83 ^{Aa}	254.50±27.83 ^{Ad}
	T_5	206±31.83 ^{Bb}	224.33±27.83 ^{Ba}	266.76±27.05 ^{ABc}
	T_6	235.50±33.13 ^{Ba}	212.87±27.05 ^{Ba}	285.71±23.93 ^{ABab}
	CK	228.45±31.83 ^{Ba}	223.40±31.96 ^{Ba}	295.68±27.85 ^{ABab}
ETR	T_1	87.57±7.75 ^{Aab}	62.1±13.67 ^{Ba}	48.33±9.52 ^{Bab}
	T_2	102.77±21.60 ^{Aa}	64.63±23.45 ^{ABa}	49.6±12.65 ^{Bab}
	T_3	73.27±17.48 ^{Ab}	67.3±10.74 ^{Aa}	70.53±20.97 ^{Aa}
	T_4	86.20±19.19 ^{Aab}	80.53±15.62 ^{Aa}	65.27±25.51 ^{ABab}
	T_5	72.2±10.24 ^{Ab}	61.4±15.50 ^{ABa}	38.77±6.60 ^{Bb}
	T_6	78.47±5.78 ^{Aab}	53.59±8.40 ^{Ba}	48.23±17.45 ^{Bab}
	CK	70.83±6.26 ^{Ab}	62.4±21.58 ^{Aa}	34.97±7.45 ^{Bb}

注：同列数据后不同大写字母表示不同时期间差异显著 ($P<0.05$)，同列数据后不同小写字母表示不同处理间差异显著 ($P<0.05$)。

Note: The capital letters in the same column indicate significant difference in different stages ($P<0.05$); The lowercase letters in the same column data indicate significant difference between different treatments ($P<0.05$).



不同大写字母表示不同时期差异显著 ($P < 0.05$), 不同小写字母表示不同处理间差异显著 ($P < 0.05$)。

The capital letters indicate significant difference in different stages ($P < 0.05$); The lowercase letters indicate significant difference between different treatments ($P < 0.05$).

图 1 不同地膜覆盖处理对 3 个时期魔芋叶片生理特性的影响

Fig. 1 Effects of different plastic film mulching treatments on physiological characteristics of leaves of *A. muelleri* in three stages

间无显著差异。膨大期 T₅ 处理的 SS 显著高于 T₃ 处理, 其他处理间无显著差异。换头期 T₆ 处理的 Chl a/b 显著高于 T₅ 处理外, 其他处理间的 Chl a/b 无显著差异。3 个时期各处理的 Chl a/b 均为成熟期显著高于其他 2 个时期。同一处理不同时期魔芋叶片的 SP、SS、Chl 和 Chl a/b 变化趋势不一, 各处理的 Chl 和 SP 均为换头期最高, 其次为膨大期, 成熟期明显最低。而各处理的 SS 和 Chl a/b 为成熟期显著最高, 而换头期和膨大期间的 SS 无显著差异。

2.3 不同地膜覆盖处理对土壤物理性状的影响

不同地膜覆盖处理对 3 个时期魔芋土壤原位物理性状的影响见表 3。同一时期不同地膜覆盖处理的 SMC、SC 和 ST 变化趋势不一, 各处

理的 SMC 均高于 CK, 3 个时期 T₅ 处理的 SMC 均显著高于 CK, 分别提高了 25%、59% 和 51%, 其他处理 3 个时期不规则上下变幅, 其间无显著差异。换头期不同处理的 SC 均高于 CK, 但其间无显著差异。膨大期 T₆ 处理和成熟期 T₄ 处理的 SC 均明显最高, 较 CK 分别提高了 61% 和 53%, 其他处理间的 SC 无显著差异。不同地膜覆盖处理的 ST 在 3 个时期变化趋势不一, 换头期 T₃ 处理的 ST 显著高于 CK, 膨大期和成熟期 F、CK 处理的 ST 最高, 其他处理间也有小幅度变化, 但无显著差异。同一处理不同时期魔芋叶片的 SMC、SC 和 ST 变化趋势基本一致, 均为换头期显著最高, 其次为膨大期, 成熟期最低。

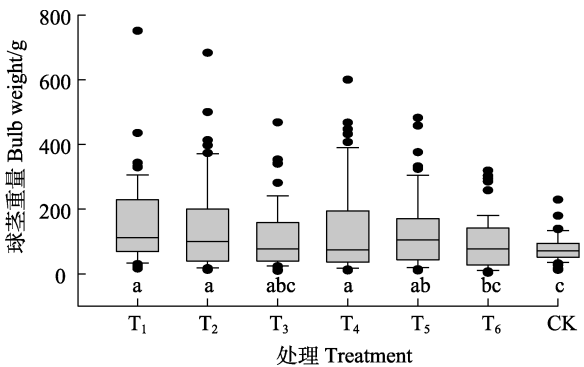
表 3 不同地膜覆盖处理对 3 个时期魔芋
土壤物理性状的影响
Tab. 3 Effects of different film mulching treatments on
soil physical properties of *A. muelleri* in three stages

参数 Parameter	处理 Treatment	换头期 Head-changing stage	膨大期 Corm expansion stage	成熟期 Maturity stage
土壤含水 量/%	T ₁	21.77±1.15 ^{Aab}	18.26±0.93 ^{Bbc}	18.64±0.37 ^{Ba}
	T ₂	23.77±1.97 ^{Aab}	17.76±1.26 ^{Bbc}	17.41±0.92 ^{Ba}
	T ₃	22.44±1.49 ^{Aab}	18.98±1.61 ^{Bbc}	18.76±1.78 ^{Ba}
	T ₄	22.60±1.92 ^{Aab}	18.69±1.96 ^{Bbc}	18.30±1.87 ^{Ba}
	T ₅	25.02±1.80 ^{Aa}	21.50±1.69 ^{Ba}	18.79±1.93 ^{Ca}
	T ₆	24.37±1.81 ^{Aab}	19.58±1.82 ^{Bab}	17.60±1.14 ^{Ca}
	CK	19.90±1.66 ^{Ab}	13.46±0.83 ^{Bc}	12.40±1.46 ^{Bb}
土壤电导 率/%	T ₁	193.04±24.53 ^{Aa}	123.62±18.95 ^{Bab}	110.67±16.81 ^{Bab}
	T ₂	230.81±35.03 ^{Aa}	122.82±16.85 ^{Bab}	118.33±16.45 ^{Bab}
	T ₃	222.73±47.88 ^{Aa}	110.61±12.67 ^{Bb}	103.03±15.54 ^{Bb}
	T ₄	210.38±32.73 ^{Aa}	131.88±16.87 ^{Bab}	136.79±13.12 ^{Ba}
	T ₅	204.44±29.33 ^{Aa}	111.81±28.95 ^{Bb}	112.66±16.18 ^{Bab}
	T ₆	180.84±17.73 ^{Aa}	151.54±16.85 ^{Ba}	115.36±16.45 ^{Bab}
	CK	179.81±31.13 ^{Aa}	94.06±12.67 ^{Bb}	89.13±15.54 ^{Bb}
土壤温度/ ℃	T ₁	27.54±0.12 ^{Aab}	26.32±0.10 ^{Bb}	24.89±0.24 ^{Cab}
	T ₂	27.49±0.06 ^{Aab}	25.93±0.12 ^{Bbc}	24.45±0.24 ^{Bb}
	T ₃	27.67±0.10 ^{Aa}	25.71±0.21 ^{Bbc}	24.97±0.17 ^{Bab}
	T ₄	27.51±0.15 ^{Bab}	25.68±0.25 ^{Bc}	25.30±0.20 ^{Bab}
	T ₅	27.26±0.11 ^{Aab}	25.54±0.20 ^{Bc}	24.99±0.46 ^{Bab}
	T ₆	27.48±0.14 ^{Aab}	27.18±0.16 ^{Ba}	25.44±0.21 ^{Ba}
	CK	27.11±0.07 ^{Ab}	27.34±0.25 ^{Aa}	25.53±0.27 ^{Ba}

注：同列数据后不同大写字母表示不同时期间差异显著 ($P<0.05$)，同列数据后不同小写字母表示不同处理间差异显著 ($P<0.05$)。
Note: The capital letters in the same column indicate significant differences in different stages ($P<0.05$); The lowercase letters in the same column data indicate significant difference between different treatments ($P<0.05$).

2.4 不同地膜覆盖处理对魔芋球茎产量的影响

不同地膜覆盖处理对魔芋球茎产量的影响见图 2，不同处理的产量均高于 CK，CK 球茎平均重为 80 g，T₁、T₂、T₃ 和 T₅ 处理的球茎平均重均显著高于 CK，分别为 153、145、138、127 g，较 CK 分别提高了 92%、81%、73% 和 58%，但其间无显著差异。C 和 T₆ 处理的平均重与 CK 均无显著差异，分别为 111 g 和 92 g，较 CK 分别提高了 39% 和 15%，其间无显著差异。可见，不同地膜覆盖处理均提高了魔芋产量，而 T₁、T₂、T₄ 和 T₅ 处理的增产效果较明显，不同地膜覆盖处理地下球茎平均重量高低顺序依次为 T₁>T₂>T₄>T₅>T₃>T₆>CK。



不同小写字母表示处理间差异显著 ($P<0.05$)。
Different lowercase letters indicate significant difference among treatments ($P<0.05$).

图 2 不同地膜覆盖处理对魔芋地下球茎产量的影响

Fig. 2 Effects of different plastic film mulching treatments on yield of underground corm of *A. muelleri*

2.5 不同地膜覆盖处理魔芋光合生理指标、土壤物理性状与球茎产量的相关性

将不同地膜覆盖处理下魔芋 3 个时期光合生理指标、土壤物理性状与球茎产量进行相关性分析，结果可见表 4，SS 和 Chl a/b 间呈极显著正相关 ($P<0.01$)，SS、Chl a/b 与 G_s 间均无显著差异，但与其他指标呈显著负相关。魔芋 3 个时期的 SS 和 ST、Chl a/b 和 ST 间呈极显著负相关， G_s 和 C_i 、SS 和 SM、Chl a/b 和 SM、Chl a/b 和 SC 间无显著相关外，其他指标之间呈显著或极显著相关。但所有指标与球茎产量均未达到显著相关。

3 讨论

光合作用是植物生长发育的基础，光合作用强弱反映了光合产物转化多少进而影响作物最终的产量^[18-19]。本研究发现，不同地膜覆盖处理均提高了魔芋叶片的净光合速率、气孔导度、蒸腾速率和电子传递速率，在一定程度上降低了胞间二氧化碳浓度，有效增强了光合作用，与白魔芋、芋艿和油菜^[20-22]等作物地膜覆盖的研究结论相类似。这表明地膜覆盖处理可促进魔芋叶片光合作用利用的 CO₂ 增多，生长代谢增强，进而提高叶片光合速率。随着魔芋生长期的推进，各处理的光合参数呈下降趋势，且 3 个时期有显著差异。从不同地膜覆盖处理的光合参数相比较来看，防草席处理的光合速率明显最高，这可能因为防草席的透气效果最明显，加快了气体交换速度，进而显著增强了叶片的光合作用，与石艳艳等^[23]研究中渗水和麻纤维地膜的通气特性明显改善了土

表 4 全周期珠芽黄魔芋光合生理指标、土壤物理性状与球茎产量相关性分析
Tab. 4 Correlation analysis of photosynthetic indexes, soil physical properties and corm yield of *A. muelleri*

参数 Parameter	P_n	G_s	C_i	T_r	ETR	SP	SS	Chl	Chl a/b	SM	SC	ST	产量 Yield
P_n	1	0.595**	0.774**	0.698**	0.701**	0.812**	-0.472*	0.746**	-0.500*	0.711**	0.869**	0.793**	0.218
G_s		1	0.389	0.531*	0.293	0.563**	-0.61	0.590**	-0.423	0.588**	0.452*	0.384	0.166
C_i			1	0.510*	0.706**	0.687**	-0.491*	0.557**	-0.497*	0.579**	0.806**	0.754**	0.026
T_r				1	0.621**	0.625**	-0.629**	0.664**	-0.470*	0.572*	0.445*	0.710**	0.128
ETR					1	0.563**	-0.547*	0.507*	-0.450*	0.623**	0.635**	0.609**	0.188
SP						1	-0.579**	0.825**	-0.629**	0.544*	0.680*	0.821*	0.042
SS							1	-0.477*	0.684**	-0.127	-0.217	-0.650**	0.174
Chl								1	-0.590**	0.623**	0.484*	0.630**	0.270
Chl a/b									1	-0.189	-0.267	-0.683**	0.221
SM										1	0.708**	0.450*	0.235
SC											1	0.710**	0.117
ST												1	-0.212
产量													1

注：*表示显著相关 ($P<0.05$)，**表示极显著相关 ($P<0.01$)。
Note: * indicates significant correlation ($P<0.05$), ** indicates extremely significant correlation ($P<0.01$).

壤环境条件，进而促进了光合产物形成的结论类似。而其他地膜处理间的光合参数变化不明显，这可能与其透气性相类似有关。一般植物生理状况、光合能力、光合产物积累分配等的高低变化，均直接影响了作物的产量^[24-25]。本研究发现，换头期和膨大期不同地膜覆盖处理魔芋叶片的可溶性蛋白和叶绿素含量均高于对照。各处理魔芋叶片的可溶性糖和叶绿素 a/b 变化趋势稍有不同，成熟期各处理的可溶性糖显著高于对照，而叶绿素 a/b 较对照无显著差异，但成熟期各处理的可溶性糖和叶绿素 a/b 均高于换头期和膨大期。可见，随着魔芋生长期的推进，各处理的可溶性蛋白和叶绿素含量逐渐降低，而可溶性糖和叶绿素 a/b 升高。与前人学者^[26-28]研究结果相类似，这暗示着换头期和膨大期魔芋叶片的氮素吸收与同化利用过程较旺盛，使得魔芋生长与物质转化速度加快，而在成熟期代谢速度降低，魔芋地上部分生长逐渐停滞，进而积累了大量光合产物。总之，不同地膜覆盖处理均促进了魔芋叶片的生理代谢活动，进而提高了魔芋叶片光合产物的分配。

地膜覆盖可以降低土壤水分蒸发，提高土壤含水量，改善土壤温度状况，促进植株生长进而提高作物产量^[29-31]。本研究发现，不同地膜覆盖处理均提高了土壤含水量和土壤电导率，加厚黑色地膜处理的土壤含水量在全周期均最高，这可能由于地膜材质偏厚保水性更强，明显抑制了水

分和热量从地表向大气的散失^[32]。膨大期微孔地膜处理和成熟期防草席处理的土壤电导率均最高，这可能由于两种材质地膜均具有透气的特性，使土壤中的盐分随着土壤水分蒸发的升高迁移至土壤表层，进而土壤电导率呈现增加趋势。而其他地膜材质均具有与外界空气阻断的特点，致使其处理间无显著差异。不同地膜覆盖处理的土壤温度在 3 个时期变化趋势不一，换头期白膜处理的土壤温度最高，膨大期和成熟期微孔地膜和对照处理的土壤温度最高，其他处理间无显著差异。这可能是因为换头期魔芋植株矮小，白色地膜透光强，进而增温效果也最明显，与多个学者^[33-35]研究中白膜增温作用大于黑色地膜的结论相似，而在膨大期和成熟期时植株遮光强后引起土壤温度降低。无覆盖的对照在膨大期和成熟期的土壤温度均最高，这可能是与当地气温和土壤含水量的变化趋势相一致原因所致。

经不同地膜覆盖处理魔芋叶片的光合生理指标、土壤物理性状与地下球茎产量的相关性分析发现，除了土壤温度与产量呈负相关外，其他指标与产量均呈正相关，但未达到显著相关。经济作物的主要价值直接由产量体现^[36-38]。本研究发现，不同地膜覆盖处理较对照均提高了魔芋产量，银色地膜、黑色地膜、防草席、加厚黑色地膜处理的增产效果显著，而白色地膜和微孔地膜增产效果不明显，这与前人的研究结论相似，可能是

由于白色地膜透光性强、地温升高迅速, 植株生长过快, 生育期缩短, 导致产量降低; 另一方面白色地膜容易引起作物生长前期土壤水分和养分损耗严重, 后期脱水脱肥, 致使作物产量降低^[39-40]。关于微孔地膜增产不明显, 可能由于试验布置中微孔地膜处理均距离橡胶树最近, 水肥竞争导致减产。研究结果可见, 不同覆盖处理均明显调控了珠芽黄魔芋自身的光合特性、生理特性和土壤物理性状, 而这些因素又进一步决定了珠芽黄魔芋产量高低, 在魔芋实际生产中, 采用银色地膜、黑色地膜、防草席和加厚黑色地膜都是魔芋增产增效的可行选择。

参考文献

- [1] 白立伟, 牛义, 刘海利, 张盛林. 魔芋种质资源及育种研究进展[J]. 南方农业, 2016, 10(4): 48-52.
BAI L W, NIU Y, LIU H L, ZHANG S L. Advances in *Amorphophallus konjac* germplasm resources and breeding[J]. Southern Agriculture, 2016, 10(4): 48-52. (in Chinese)
- [2] 张驰. 魔芋资源开发与利用研究[J]. 湖北民族学院学报(自然科学版), 2006(3): 284-287.
ZHANG C. A survey of the research on the development and utilization of *Amorphophallus konjac* resources[J]. Journal of Hubei University for Nationalities (Natural Science Edition), 2006(3): 284-287. (in Chinese)
- [3] 刘佩瑛. 魔芋学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2004.
LIU P Y. *Amorphophallus*[M]. Beijing: China Agricultural Publishing House, 2004. (in Chinese)
- [4] 吴旭, 杨敏, 刘佳妮, 陈泽斌. 珠芽魔芋对细菌性软腐病的抗性鉴定研究[J]. 亚热带植物科学, 2018, 47(2): 176-180.
WU X, YANG M, LIU J N, CHEN Z B. Identification and evaluation of resistance of *Amorphophallus* spp. to *Erwinia carotovora* subsp. *carotovora*[J]. Subtropical Plant Science, 2018, 47(2): 176-180. (in Chinese)
- [5] 李娟, 涂寒奇, 王秀全. 不同橡胶园类型间作珠芽魔芋的种植密度[J]. 热带生物学报, 2022, 13(1): 81-87.
LI J, TU H Q, WANG X Q. Planting density of *Amorphophallus bulbifer* intercropped in different planting systems of rubber plantations[J]. Journal of Tropical Biology, 2022, 13(1): 81-87. (in Chinese)
- [6] 张凤洁, 刘海利, 张洁, 张盛林. 珠芽魔芋资源研究进展[J]. 南方农业, 2013, 7(8): 64-67.
ZHANG F J, LIU H L, ZHANG J, ZHANG S L. Research progress of *Amorphophallus bulbilis* Resources[J]. Southern Agriculture, 2013, 7(8): 64-67. (in Chinese)
- [7] 张东华, 汪庆平, 段志柏, 米开先. 东南亚珠芽魔芋多苗接力生长特性及应用前景[J]. 资源开发与市场, 2009, 25(8): 682-684.
ZHANG D H, WANG Q P, DUAN Z B, MI K X. Mechanism of relay multi-seedling release *Amorphophallus bulbifer* and its application in Southeast Asia[J]. Resource Development & Market, 2009, 25(8): 682-684. (in Chinese)
- [8] 李万峰, 李兆君, 梁永超, 解晓瑜, 魏学智, 杨佳佳. 覆膜对不同施肥条件下玉米拔节期光合参数与荧光参数的影响[J]. 中国生态农业学报, 2009, 17(6): 1086-1089.
LI W F, LI Z J, LIANG Y C, XIE X Y, WEI X Z, YANG J J. Effect of plastic film mulching on photosynthetic and fluorescence characteristics of corn leaf under different fertilization schemes at jointing stage[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2009, 17(6): 1086-1089. (in Chinese)
- [9] 孙涛, 张智猛, 宁堂原, 米庆华, 张学鹏, 冯宇鹏. 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(6): 82-86.
SUN T, ZHANG Z M, NING T Y, MI Q H, ZHANG X P, FENG Y P. Effects of different color plastic film mulching on the leaf photosynthetic characteristics and yield of peanut[J]. Crops, 2013(6): 82-86. (in Chinese)
- [10] 郭丹丹, 马英杰, 马亮. 南疆滴灌枣树不同覆盖条件下地温与叶片光合特性研究[J]. 西南农业学报, 2019, 32(11): 2542-2549.
GUO D D, MA Y J, MA L. Study on soil temperature and photosynthetic characteristics of jujube under drip irrigation in Southern Xinjiang under different mulching conditions[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2019, 32(11): 2542-2549. (in Chinese)
- [11] 许战斌, 董红梅, 罕丽丽, 白小丽. 胶园林下种植珠芽魔芋[J]. 中国热带农业, 2017, 76(3): 48-50.
XU Z B, DONG H M, HAN L L, BAI X L. *Amorphophallus bulbilis* planted under rubber plantation[J]. Tropical Agriculture in China, 2017, 76(3): 48-50. (in Chinese)
- [12] 梁艳丽, 李建, 岩对, 吴诗斌. 橡胶树与魔芋间作对魔芋净光合速率及产量的影响[J]. 长江蔬菜, 2010(24): 35-38.
LIANG Y L, LI J, YAN D, WU S B. Effects of konjac intercropped in rubber plantation on net photosynthetic rate and Yield[J]. Journal of Changjiang Vegetables, 2010(24): 35-38. (in Chinese)
- [13] 李珍, 谢世清, 徐文果, 岩所, 李建, 吴诗斌, 陈军文. 套种于不同树龄橡胶林下谢君魔芋(*Amorphophallus xiei*)的光合特性研究[J]. 热带作物学报, 2016, 37(2): 241-246.
LI Z, XIE S Q, XU W G, YAN S, LI J, WU S B, CHEN J W. Photosynthetic characteristics of *Amorphophallus xiei* intercropped to rubber plantation with different ages[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2016, 37(2): 241-246. (in Chinese)

- nese)
- [14] 邢晋, 张思平, 赵新华, 魏然, 闫贞贞, 张立祯. 不同颜色地膜覆盖对棉花冠层构型及光合特性的调控效应[J]. 核农学报, 2020, 34(12): 2850-2857.
XING J, ZHANG S P, ZHAO X H, WEI R, YAN Z Z, ZHANG L Z. Effects of different color plastic film mulching on the canopy configuration and photosynthetic characteristics of cotton[J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2020, 34(12): 2850-2857. (in Chinese)
- [15] 陆信娟, 刘灿玉, 樊继德, 赵永强, 张碧薇, 杨峰. 不同颜色地膜覆盖对土壤水热状况及大蒜氮代谢的影响[J]. 山东农业大学学报(自然科学版), 2021, 52(5): 789-793.
LU X J, LIU C Y, FAN J D, ZHAO Y Q, ZHANG B W, YANG F. Effects mulching different color plastic films on soil moisture temperature and nitrogen metabolism in garlic[J]. Journal of Shandong Agricultural University (Natural Science Edition), 2021, 52(5): 789-793. (in Chinese)
- [16] 冯营, 胡新燕, 孙亚伟, 赵明明, 张文静, 李卫华. 不同覆膜方式对棉铃对位叶生理特性及产量的影响[J]. 江西农业学报, 2017, 29(9): 15-18.
FENG Y, HU X Y, SUN Y W, ZHAO M M, ZHANG W J, LI W H. Effects of different plastic film mulching ways on physiological characteristics of boll-subtending leaf and yield of cotton[J]. Acta Agriculturae Jiangxi, 2017, 29(9): 15-18. (in Chinese)
- [17] 高俊凤. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006.
GAO J F. Experimental guidance on plant physiology[M]. Beijing: Higher Education Press, 2006. (in Chinese)
- [18] 匡廷云. 作物光能利用效率与调控[M]. 济南: 山东科学技术出版社, 2004.
KUANG T Y. Efficiency and regulation of light energy utilization in crops[M]. Jinan: Shandong Science and Technology Press, 2004. (in Chinese)
- [19] 姜净卫, 董宝娣, 司福艳, 王晓明, 张秋英, 师长海. 地膜覆盖对杂交谷子光合特性、产量及水分利用效率的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2014, 32(6): 154-158.
JIANG J W, DONG B D, SI F Y, WANG X M, ZHANG Q Y, SHI C H. Effect of different plastic mulching patterns on photosynthetic characteristics, yield, and water use efficiency of hybrid millet[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2014, 32(6): 154-158. (in Chinese)
- [20] 廖子杰, 牛义, 刘海利, 张盛林. 不同地膜覆盖与施肥方式对白魔芋生长的影响[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2020, 42(9): 50-56.
LIAO Z J, NIU Y, LIU H L, ZHANG S L. Effect of different plastic film mulching and fertilization on the growth and development of white Konjac(*Amorphophallus albus*)[J]. Journal of Southwest University (Natural Science Edition), 2020, 42(9): 50-56. (in Chinese)
- [21] 白娜玲, 张海韵, 张翰林, 郑宪清, 李双喜. 不同地膜覆盖对土壤环境及芋艿生长的影响[J]. 农业环境科学学报, 2020, 39(11): 2569-2577.
BAI N L, ZHANG H Y, ZHANG H L, ZHENG X Q, LI S X. Effects of different mulching films on soil environment and taro growth[J]. Journal of Agro-Environment Science, 2020, 39(11): 2569-2577. (in Chinese)
- [22] 赵小文, 陈其鲜, 李城德, 崔小茹, 曾秀存, 宋雄儒. 不同覆盖种植模式对春油菜苗期生长和光合特性的影响[J]. 西北农业学报, 2021, 30(9): 1338-1344.
ZHAO X W, CHEN Q X, LI C D, CUI X R, ZENG X C, SONG X R. Effects of different mulching plant modes on seedling growth and photosynthetic characteristics of spring rape[J]. Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica, 2021, 30(9): 1338-1344. (in Chinese)
- [23] 石艳艳, 马志花, 吴春花, 周永瑾, 李荣. 垄作沟覆地膜对旱地马铃薯光合特性及产量形成的影响[J]. 作物学报, 2022, 48(5): 1288-1297.
SHI Y Y, MA Z H, WU C H, ZHOU Y J, LI R. Effects of ridge tillage with film mulching in furrow on photosynthetic characteristics of potato and yield formation in dryland farming[J]. Acta Agronomica Sinica, 2022, 48(5): 1288-1297. (in Chinese)
- [24] 禄兴丽, 段雅欣, 李闪闪, 岳衡, 吴佳瑞, 刘继虎, 康建宏. 覆膜对半干旱地区马铃薯生长生理性状及作物产量的影响[J]. 植物生理学报, 2021, 57(7): 1582-1594.
LU X L, DUAN Y X, LI S S, YUE H, WU J R, LIU J H, KANG J H. Effect of film mulching on potato physiological characters and production in semi-arid area[J]. Plant Physiology Journal, 2021, 57(7): 1582-1594. (in Chinese)
- [25] 左继林, 龚春, 黄建建, 周文才, 赵松子, 高捍东. 夏早期不同管理措施下高产油茶的光合特性[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2013, 37(2): 33-38.
ZUO J L, GONG C, HUANG J J, ZHOU W C, ZHAO S Z, GAO H D. Photosynthetic characteristics of high yield Camellia oleifera during summer drought period under different treatment[J]. Journal of Nanjing Forestry University (Natural Sciences Edition), 2013, 37(2): 33-38. (in Chinese)
- [26] 华国伟. 不同地膜覆盖与施肥水平对辣椒生长及产量的影响[D]. 杭州: 浙江农林大学, 2020.
HUA G W. Effects of different plastic film mulching and fertilization levels on growth and yield of pepper[D]. Hangzhou: Zhejiang Agriculture and Forestry University, 2020.
- [27] 张婷, 李刚波, 赵林. 不同颜色地膜覆盖对草莓生长和果实品质的影响[J]. 湖南农业科学, 2020(12): 14-16, 20.
ZHANG T, LI G B, ZHAO L. Effects of different color film

- mulchings on growth and fruit quality of strawberry[J]. *Hunan Agricultural Sciences*, 2020(12): 14-16, 20. (in Chinese)
- [28] 王信宏, 王月福, 赵长星, 张晓军, 王铭伦. 不同生育时期断根对花生光合特性及产量的影响[J]. *生态学报*, 2015, 35(5): 1521-1526.
- WANG X H, WANG Y F, ZHAO C X, ZHANG X J, WANG M L. Effects of root cutting at different growth stages on photosynthetic characteristics and yield of peanut *Arachis hypogaea* L.[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2015, 35(5): 1521-1526. (in Chinese)
- [29] 杨永辉, 武继承, 李学军, 潘晓莹, 李宗军, 何方. 耕作和保墒措施对冬小麦生育时期光合特征及水分利用的影响[J]. *中国生态农业学报*, 2014, 22(5): 534-542.
- YANG Y H, WU J C, LI X J, PAN X Y, LI Z J, HE F. Impact of tillage and soil moisture conservation measures on photosynthetic characteristics and water use of winter wheat[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2014, 22(5): 534-542. (in Chinese)
- [30] 徐佳星, 封涌涛, 叶玉莲, 张润泽, 胡昌录, 雷同, 张树兰. 地膜覆盖条件下黄土高原玉米产量及水分利用效应分析[J]. *中国农业科学*, 2020, 53(12): 2349-2359.
- XU J X, FENG Y T, YE Y L, ZHANG R Z, HU C L, LEI T, ZHANG S L. Effects of plastic film mulching on yield and water use of maize in the loess plateau[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2020, 53(12): 2349-2359. (in Chinese)
- [31] 路海东, 薛吉全, 郝引川, 高杰. 黑色地膜覆盖对旱地玉米土壤环境和植株生长的影响[J]. *生态学报*, 2016, 36(7): 1997-2004.
- LU H D, XUE J Q, HAO Y C, GAO J. Effects of black film mulching on soil environment and maize growth in dry land[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2016, 36(7): 1997-2004. (in Chinese)
- [32] REN X L, CAI T, CHEN X L, ZHANG P, JIA Z K. Effect of rainfall concentration with different ridge widths on winter wheat production under semiarid climate[J]. *European Journal of Agronomy*, 2016, 77: 20-27.
- [33] 蒋文君, 康银红, 陈瑶, 汪时机. 不同覆盖方式对土壤水分分布的影响[J]. *土壤通报*, 2022, 53(1): 74-80.
- JIANG W J, KANG Y H, CHEN Y, WANG S J. The influence of different mulching methods on the distribution of soil water and heat[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2022, 53(1): 74-80. (in Chinese)
- [34] 王敏, 王海霞, 韩清芳, 李荣, 张睿, 贾志宽, 杨宝平. 不同材料覆盖的土壤水温效应及对玉米生长的影响[J]. *作物学报*, 2011, 37(7): 1249-1258.
- WANG M, WANG H X, HAN Q F, LI R, ZHANG R, JIA Z K, YANG B P. Effects of different mulching materials on soil water, temperature, and corn growth[J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2011, 37(7): 1249-1258. (in Chinese)
- [35] 曲杰, 庞建新, 程亮, 王素兰, 高建强, 张智猛. 不同材质地膜覆盖对土壤性状及夏花生产量形成的影响[J]. *花生学报*, 2018, 47(1): 64-68.
- QU J, PANG J X, CHENG L, WANG S L, GAO J Q, ZHANG Z M. Effects of different materials plastic film mulching on soil properties and summer peanut yield formation[J]. *Journal of Peanut Science*, 2018, 47(1): 64-68. (in Chinese)
- [36] 王丽丽, 余海龙, 马凯博, 黄菊莹. 不同地表覆盖措施对土壤水热特性及玉米生长发育的影响[J]. *中国农业大学学报*, 2017, 22(1): 12-18.
- WANG L L, YU H L, MA K B, HUANG J Y. Effect of different soil surface mulching measures on characteristics of soil hydro-thermal property and growth of maize[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2017, 22(1): 12-18. (in Chinese)
- [37] 张琳琳, 孙仕军, 陈志君, 姜浩, 张旭东, 迟道才. 不同颜色地膜与种植密度对春玉米干物质积累和产量的影响[J]. *应用生态学报*, 2018, 29(1): 113-124.
- ZHANG L L, SUN S J, CHEN Z J, JIANG H, ZHANG X D, CHI D C. Effects of different colored plastic film mulching and planting density on dry matter accumulation and yield of spring maize[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2018, 29(1): 113-124. (in Chinese)
- [38] 冯晨, 冯良山, 刘琪, 李昊儒, 郑家明. 辽西半干旱区不同类型地膜降解特性及其对魔芋产量的影响[J]. *中国农业科学*, 2021, 54(9): 1869-1880.
- FENG C, FENG L S, LIU Q, LI H R, ZHENG J M. The degradation characteristics of different plastic films and their effects on maize yield in semi-arid area in Western Liaoning[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2021, 54(9): 1869-1880. (in Chinese)
- [39] 董朝阳, 杨晓光, 杨婕, 解文娟, 叶清, 赵锦, 李克南. 中国北方地区春玉米干旱的时间演变特征和空间分布规律[J]. *中国农业科学*, 2013, 46(20): 4234-4245.
- DONG C Y, YANG X G, YANG J, XIE W J, YE Q, ZHAO J, LI K N. The temporal variation characteristics and spatial distribution laws of drought of Spring maize in northern china[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2013, 46(20): 4234-4245. (in Chinese)
- [40] 刘传和, 刘岩, 易干军, 钟云, 姜波. 地膜覆盖对菠萝植株有关生理指标的影响[J]. *热带作物学报*, 2008, 29(5): 546-550.
- LIU C H, LIU Y, YI G J, ZHONG Y, JIANG B. Effects of plastic film mulching on several physiological indexes of pineapple plants[J]. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 2008, 29(5): 546-550. (in Chinese)