

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2024.08.003

赵丝雨, 王思宇, 王文艳, 等. 低温和荫蔽双重胁迫对大豆光合特性的影响 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2024, 46(8): 22-30.

低温和荫蔽双重胁迫对大豆光合特性的影响

赵丝雨, 王思宇, 王文艳, 许梅, 肖启银, 刘卫国

四川农业大学 农学院, 成都 611130

摘要: 为了探究低温和荫蔽双重胁迫对大豆苗期生长及光合特性的影响, 设计 T_1L_1 (正常温度、正常光)、 T_1L_2 (正常温度、荫蔽)、 T_2L_1 (低温、正常光)、 T_2L_2 (低温、荫蔽) 4 种处理, 对川西高原地区种植玉米、大豆带状间作进行研究. 结果表明: 低温和荫蔽双重胁迫显著影响大豆幼苗的生长和光合特性, T_2L_2 处理的株高、茎粗、叶面积和干物质积累量较 T_1L_1 、 T_1L_2 和 T_2L_1 处理减小. 且 T_2L_2 处理大豆叶片的净光合速率(P_n)、气孔导度(G_s)和蒸腾速率(T_r)较 T_1L_1 、 T_1L_2 和 T_2L_1 处理减小, 胞间二氧化碳浓度(C_i)增加, 其中, 较 T_1L_1 处理变化最显著($p < 0.05$). 双重胁迫条件下, T_2L_2 处理的 PSII 最大光化学量子产量(F_v/F_m)、光化学荧光猝灭系数(qP)和 PSII 实际光化学效率(F'_q/F'_m)较 T_1L_1 处理下降了 25.97%、60.87% 和 50.00%, 较 T_1L_2 处理下降了 19.72%、31.82% 和 10.00%, 较 T_2L_1 处理下降了 17.39%、33.33% 和 25.00%; 非光化学荧光猝灭系数(NPQ)较 T_1L_1 处理上升了 89.05%, 较 T_1L_2 处理上升了 26.43%, 较 T_2L_1 处理上升了 16.42%. 叶绿素 a(Chla)、叶绿素 b(Chlb)和类胡萝卜素(Car)较 T_1L_1 、 T_1L_2 和 T_2L_1 处理减小, 叶绿素 a/b(Chla/b)增加. 综上, 低温和荫蔽双重胁迫会抑制大豆幼苗的生长和光合特性, 且相比于低温和荫蔽单因素胁迫, 抑制作用更显著.

关键词: 低温; 荫蔽; 大豆; 光合特性

中图分类号: S565.1

文献标志码: A

文章编号: 1673-9868(2024)08-0022-09

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



The Effects of Dual Stresses of Low Temperature and Shade on the Photosynthetic Characteristics of Soybean

ZHAO Siyu, WANG Siyu, WANG Wenyan,

XU Mei, XIAO Qiyin, LIU Weiguo

College of Agriculture, Sichuan Agricultural University, Chengdu 611130, China

Abstract: In order to investigate the effects of dual stresses of low temperature and shade on the growth and photosynthetic characteristics of soybean seedlings, this study designed four treatments: T_1L_1 (normal temperature, normal light), T_1L_2 (normal temperature, shade), T_2L_1 (low temperature, normal light),

收稿日期: 2024-05-17

基金项目: 国家现代农业产业技术体系四川创新团队项目(SCCXTD-2020-20); 雷波县肉牛高效养殖技术集成与示范国家重点研发计划项目课题(2022YFD1601606).

作者简介: 赵丝雨, 主要从事植物逆境生理及调控研究.

通信作者: 刘卫国, 博士, 教授, 博士研究生导师.

and T_2L_2 (low temperature, shade), researched the strip intercropping of corn and soybean in the western Sichuan Plateau region. The results showed that the dual stresses of low temperature and shading significantly affected the growth and photosynthetic characteristics of soybean seedlings. The plant height, stem diameter, leaf area, and dry matter accumulation of T_2L_2 treatment were reduced compared to T_1L_1 , T_1L_2 , and T_2L_1 treatments. The net photosynthetic rate (P_n), stomatal conductance (G_s), and transpiration rate (T_r) of soybean leaves treated with T_2L_2 decreased compared to T_1L_1 , T_1L_2 , and T_2L_1 treatments, while the intercellular carbon dioxide concentration (C_i) increased. Among those, the differences were significant compared to T_1L_1 treatment ($p < 0.05$). Under dual stresses conditions, the maximum photochemical quantum yield (F_v/F_m), photochemical fluorescence quenching coefficient (qP), and PSII actual photochemical efficiency (F_q'/F_m') of PSII in T_2L_2 treatment decreased by 25.97%, 60.87%, and 50.00% compared to T_1L_1 treatment, and decreased by 19.72%, 31.82%, and 10.00% compared to T_1L_2 treatment, and decreased by 17.39%, 33.33%, and 25.00% compared to T_2L_1 treatment, respectively. The non photochemical fluorescence quenching coefficient (NPQ) increased by 89.05% compared to T_1L_1 treatment, 26.43% compared to T_1L_2 treatment, and 16.42% compared to T_2L_1 treatment. Chlorophyll a (Chla), chlorophyll b (Chlb), and carotenoids (Car) decreased compared to T_1L_1 , T_1L_2 , and T_2L_1 treatments, while chlorophyll a/b (Chla/b) increased. In summary, the dual stresses of low temperature and shade can inhibit the growth and photosynthetic performance of soybean seedlings, and the inhibitory effect is more significant compared to single factor stress of low temperature and shade.

Key words: low temperature; shade; soybean; photosynthetic characteristics

大豆是全球重要的粮食、经济作物, 具有丰富的蛋白质和油分, 全球超过 56% 的油脂、25% 的人类食品及动物饲料所用蛋白由大豆提供^[1]. 大豆原产于我国, 早在 5000 年前, 我国就已经开始栽培大豆^[2], 但随着我国经济的不断发展, 城市建筑征用的土地面积逐渐增大, 耕地面积大量减少, 且大豆与玉米、水稻等作物相比, 产量和效益都没有优势, 农民种植大豆的积极性不高, 大豆年产量严重不足. 然而我国大豆消费需求量大, 平均每年所需总量约 1.1 亿 t, 其中进口 9 000 万 t 左右, 对国外输入依赖程度较高, 达 80% 以上^[3]. 为了促进我国大豆产业的发展, 保障粮食安全, 应该扩大种植面积, 增加大豆产量.

川西高原地区总面积约为 23.6 万 km^2 , 其中约有一半的面积可以开发用作耕地. 但当地气温低, 冬季长, 主要农作物青稞的生物量小, 营养价值低, 导致牦牛冬春季饲草短缺, 掉膘严重, 死亡率高^[4]. 玉米、大豆饲用价值高, 可以作为优质原料进行青贮饲料的生产, 其中高原豆类种植鲜质量可超过 80 t/ hm^2 , 产量前景乐观^[5]. 因而, 玉米、大豆等做成的青贮饲草能有效缓解川西高原地区饲草原料短缺问题. 且川西高原地区日照条件充足, 适宜进行玉米、大豆带状间作种植, 但当地气温低、昼夜温差大, 大豆易遭受低温胁迫, 导致大豆生育期延后, 株高、叶片鲜质量、茎鲜质量显著降低^[6], 光合作用的性能和活性被抑制^[7]. 此外, 在川西高原地区进行玉米、大豆带状间作种植过程中, 高位作物玉米会对低位作物大豆产生荫蔽胁迫, 影响大豆植株的生长和光合特性^[8], 使其光合能力及光合产物合成受到抑制, 植株茎秆纤细、陡长、易倒伏, 产量显著下降^[9].

综上所述, 在已有研究的基础上, 本文旨在探究低温和荫蔽双重胁迫对大豆光合特性的影响, 为川西高原地区乃至全国进行玉米、大豆带状间作种植提供一定的依据.

1 材料与方法

1.1 试验材料

大豆: 中黄 311(课题组前期研究表明该品种适宜高海拔地区进行净作种植), 共处理 120 盆.

1.2 试验设计

本试验在四川农业大学成都校区第三教学楼的恒温培养箱中进行, 为双因素随机试验, 因素一为温度(T), T_1 为正常温度、 T_2 为低温; 因素二为光环境(L), L_1 为正常光、 L_2 为荫蔽. 各处理的温度、光

强等数据见表 1。选择若干外形完整、大小均一旦饱满的大豆种子，用 75% 的酒精浸泡 2~3 min 消毒，在流水下冲洗至无酒精味后，将其放在打湿的纱布上进行暗萌发。待长出 1 cm 左右胚根后，移栽至 7 cm×7 cm×10 cm(长×宽×高)的花盆中。每隔 1 d 施用 0.1% 浓度的花多多 1 号水溶肥(氮磷钾比例为 20:20:20)，保证大豆苗期水肥供应充足。所有大豆幼苗在 T₁L₁ 处理下生长，待第一片三出复叶完全展开且第二片复叶刚露尖时，将部分幼苗分别移至其他 3 个处理下。隔 5 d 调查株高、茎粗、节间长动态，在 V3、V5 时期取样测定大豆叶面积和干物质积累，并取倒二功能叶测定光合特性。

表 1 盆栽试验的光温处理

处理	温度(昼/夜)/ ℃	光量子通量密度(PPFD)/ [μmol·(m ² ·s) ⁻¹]	处理	温度(昼/夜)/ ℃	光量子通量密度(PPFD)/ [μmol·(m ² ·s) ⁻¹]
T ₁ L ₁	25/20	550	T ₂ L ₁	15/5	550
T ₁ L ₂	25/20	75	T ₂ L ₂	15/5	75

注：正常温度为大豆生长所需的适宜温度，低温参考高海拔地区 4—6 月的最高、最低温度；PPFD 值表示室内盆栽大豆荫蔽处理前后的光强变化。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 生长动态

将大豆幼苗置于不同处理条件下，每个处理选取 5 株生长状况相近的大豆植株，调查其株高、茎粗和节间长的动态变化，每次调查间隔 5 d，共 5 次，重复 3 次。

1.3.2 叶面积

大豆 V3 和 V5 期时，每个处理挑选 3 株长势一致的大豆幼苗，将每株所有叶片摘下，平整且不重叠地放置在黑布上，同时放上标尺和编号牌，对其进行拍照，用 Image-Pro Plus 6.0 软件计算叶面积，重复 3 次。

1.3.3 干物质积累

大豆 V3 和 V5 期时，每个处理选取 3 株长势一致的大豆幼苗，称取茎、叶的鲜质量，装进牛皮纸袋中于烘箱 105 ℃杀青 1 h，80 ℃烘干至恒重，再称量并记录干重，重复 3 次。

1.3.4 光合参数

大豆 V3 和 V5 期时，每个处理选取 3 株长势一致的大豆幼苗，使用 LI-6800 高级光合荧光测量系统于当日 08:00 至 12:00 对其倒二功能叶中间叶片的净光合速率(P_n)、气孔导度(G_s)、蒸腾速率(T_r)和胞间二氧化碳浓度(C_i)进行测定，设定风扇转速(Fan Speed)=1 000 r/min，流量=500 μmol·mol⁻¹，CO₂ 浓度=400 μmol·mol⁻²，重复 3 次。

1.3.5 叶绿素荧光参数

大豆 V3 和 V5 期时，每个处理挑选 3 株长势一致的大豆幼苗，使用 LI-6800 高级光合荧光测量系统和叶绿素荧光成像系统 CFI 对其倒二功能叶中间叶片的荧光参数进行测定，测定指标包括大豆叶片的光系统 II(PSII)最大光化学量子产量(F_v/F_m)、光化学荧光猝灭系数(qP)、PSII 实际光化学效率(F'_q/F'_m)和非光化学荧光猝灭系数(NPQ)。测定过程中，使大豆叶片充分暗处理 15 min 稳定后获得暗反应数据，开启光照设置光强为 1 000 μmol/(m²·s)，光处理叶片 15 min 稳定后获得光处理数据，重复 3 次。

1.3.6 叶绿素含量

大豆 V3 和 V5 期时，每个处理挑选 3 株长势一致的大豆幼苗，剪碎其倒二功能叶，称取 0.5 g 放入装有丙酮:乙醇(体积比 1:1)10 mL 溶液的试管中，置于恒温箱 25 ℃黑暗环境下浸提 48 h，并每隔数小时对其进行震荡，浸提至叶片成乳白色后，对浸提液进行过滤，之后置于 663 nm、645 nm、470 nm 波长下测定上清液的吸光度^[10-12]得出总叶绿素含量、叶绿素 a/b 以及类胡萝卜素的数值，重复 3 次。

叶绿素 a 含量(mg·g⁻¹)=(12.71×A₆₆₃−2.59×A₆₄₅)×(V/W) (1)

叶绿素 b 含量(mg·g⁻¹)=(22.88×A₆₄₅−4.67×A₆₆₃)×(V/W) (2)

类胡萝卜素含量(mg·g⁻¹)=(4.37×A₄₇₀+1.94×A₆₆₃−10.35×A₆₄₅)×(V/W) (3)

其中: A_{663} 、 A_{645} 、 A_{470} 分别代表波长 663 nm、645 nm 和 470 nm 所得的吸光度值. V 为稀释后的溶液体积, 单位为 mL. W 为称取的大豆叶片鲜质量, 单位为 g.

1.4 数据处理与分析

试验数据采用 Microsoft Excel 2021 进行汇总整理, 用 OriginLab Origin 2022 进行数据分析与作图.

2 结果与分析

2.1 低温和荫蔽双重胁迫对大豆苗期生长的影响

2.1.1 株高、茎粗和节间长

低温和荫蔽胁迫显著改变大豆的表型(图 1). 荫蔽胁迫会使大豆幼苗株高和节间长徒增, 在胁迫第 20 d 时, T_1L_2 (荫蔽)处理的株高较 T_1L_1 (正常温度正常光, 简称 CK)处理增加了 165.68%, 但会抑制茎粗, 较 T_1L_1 (CK)处理降低了 26.02%. 低温胁迫显著抑制大豆幼苗的株高、茎粗和节间长, 在胁迫第 20 d 时, T_2L_1 (低温)处理的株高和茎粗较 T_1L_1 (CK)处理分别降低了 50.91%和 25.77%. 低温和荫蔽双重胁迫显著抑制大豆幼苗株高和茎粗, 但由于荫蔽的影响, 对大豆节间长的抑制不明显, 且相比于低温单胁迫, 株高和节间长依旧徒增, 在胁迫第 20 d 时, T_2L_2 (低温和荫蔽)处理的株高和茎粗较 T_1L_1 (CK)处理降低了 47.64%和 31.89%.

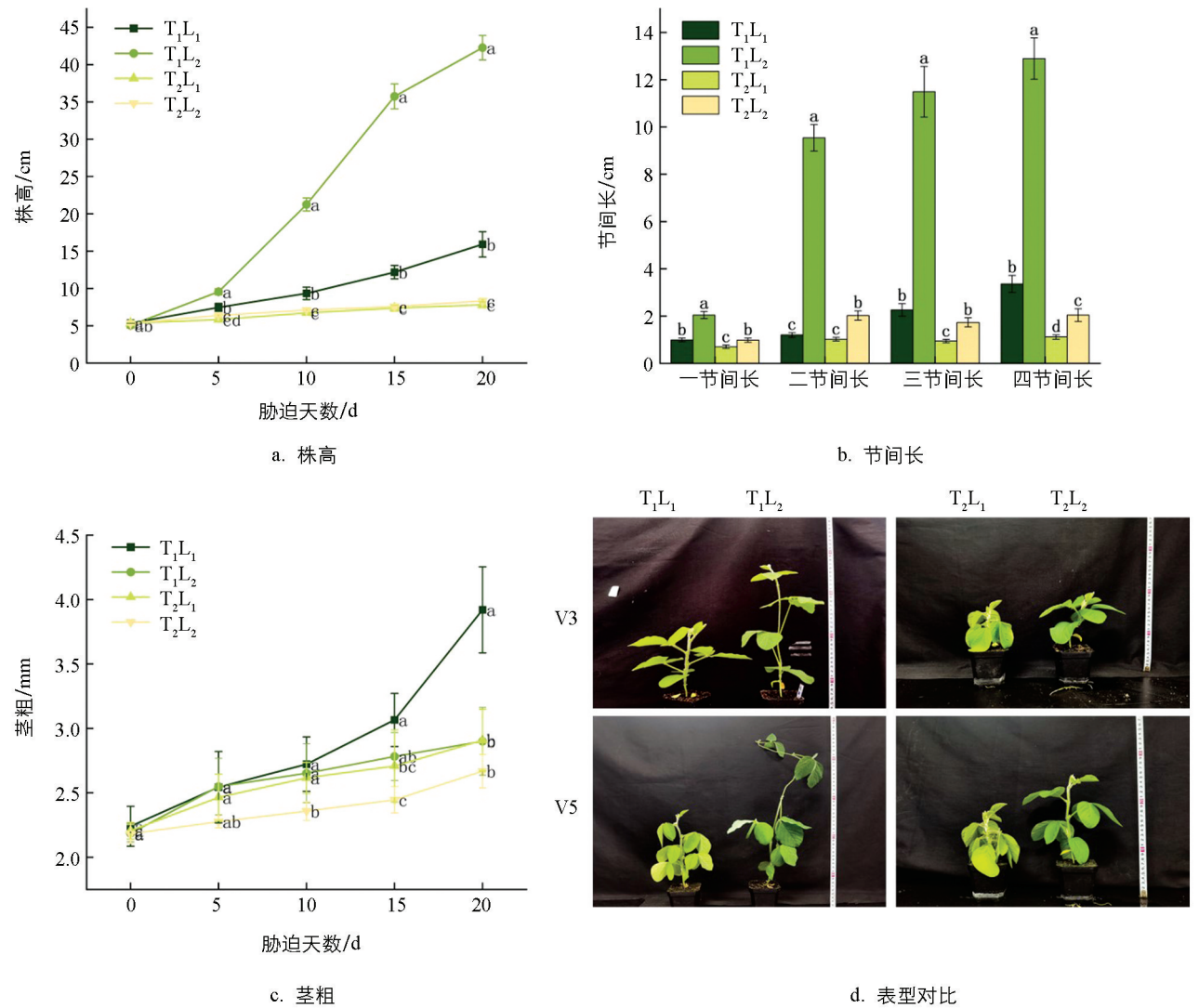


图 1 低温和荫蔽胁迫对大豆幼苗株高、茎粗和节间长的影响

2.1.2 叶面积和干物质积累

低温和荫蔽胁迫抑制大豆的光合作用，从而抑制叶面积的增加和干物质的积累(图 2)。荫蔽胁迫抑制大豆幼苗叶面积和干物质积累，V5 时期， T_1L_2 (荫蔽)处理的叶面积和干物质积累量较 T_1L_1 (CK)处理降低了 20.44%和 22.26%。低温胁迫也抑制大豆幼苗叶面积和干物质积累，V5 时期， T_2L_1 (低温)处理的叶面积和干物质积累量较 T_1L_1 (CK)处理降低了 30.19%和 32.83%。低温和荫蔽双重胁迫显著抑制大豆幼苗叶面积和干物质积累，在 V5 时期， T_2L_2 (低温和荫蔽)处理的叶面积和干物质积累量较 T_1L_1 (CK)处理降低了 35.85%和 45.28%。

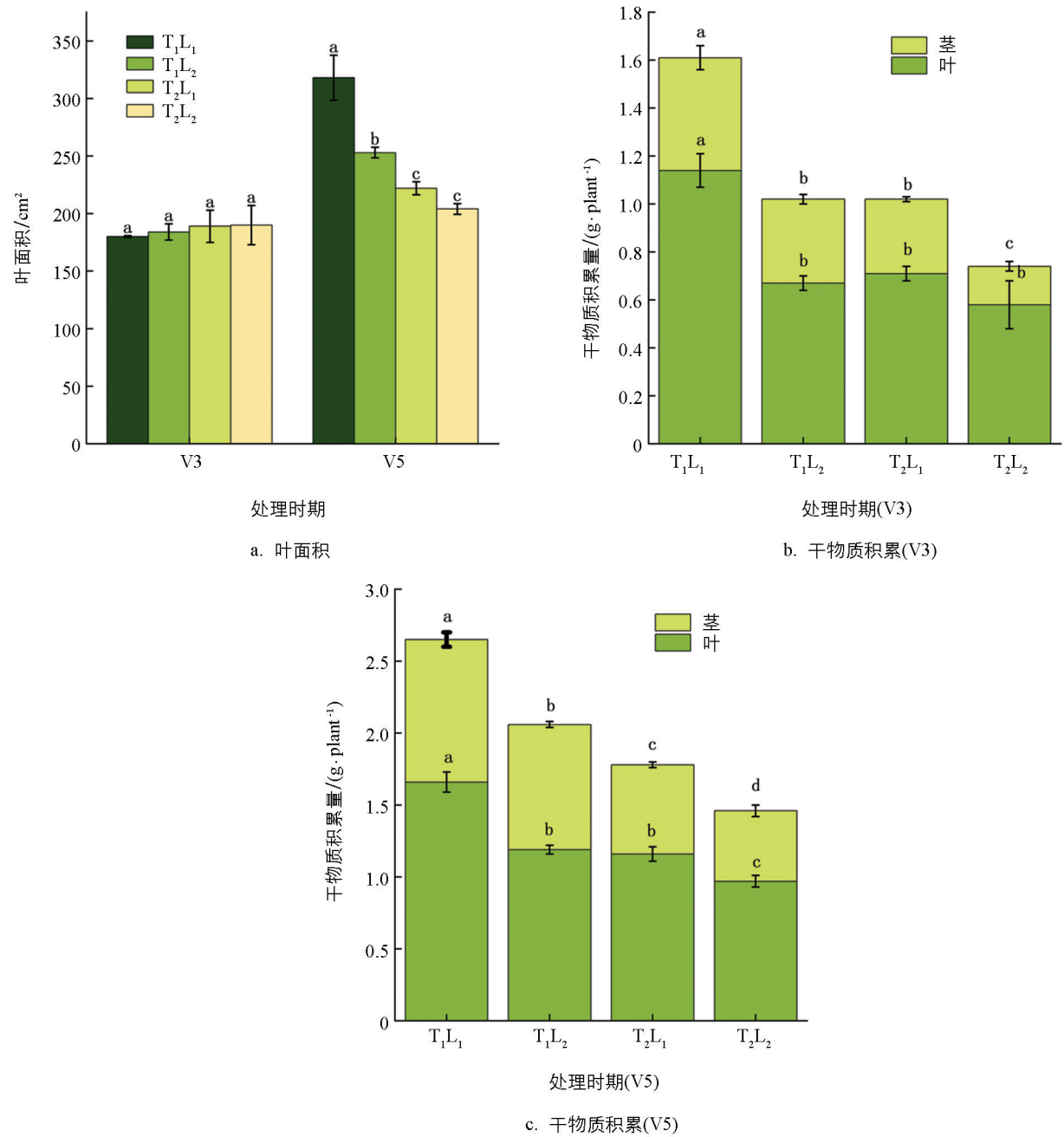


图 2 低温和荫蔽胁迫对大豆幼苗叶面积和干物质积累的影响

2.2 低温和荫蔽双重胁迫对大豆苗期光合特性的影响

2.2.1 光合参数

低温和荫蔽会抑制大豆幼苗的光合速率，使得 P_n 、 G_s 和 T_r 下降， C_i 上升(图 3)。荫蔽胁迫下， P_n 、

G_s 和 T_r 显著下降, C_i 显著上升, V5 时期, T_1L_2 (荫蔽) 处理的 P_n 、 G_s 和 T_r 较 T_1L_1 (CK) 处理分别降低 35.27%、70.37% 和 54.32%, C_i 上升 14.49%。低温胁迫下, P_n 、 G_s 和 T_r 显著下降, C_i 显著上升, V5 时期, T_2L_1 (低温) 处理的 P_n 、 G_s 和 T_r 较 T_1L_1 (CK) 处理分别降低 35.59%、69.14% 和 30.19%, C_i 上升 11.76%。低温和荫蔽双重胁迫下, 大豆幼苗的光合参数值较单胁迫变化更明显, 对光合速率的抑制程度更严重, V5 时期, T_2L_2 (低温和荫蔽) 处理的 P_n 、 G_s 和 T_r 较 T_1L_1 (CK) 处理分别降低 60.33%、70.37% 和 57.69%, C_i 上升 30.08%。

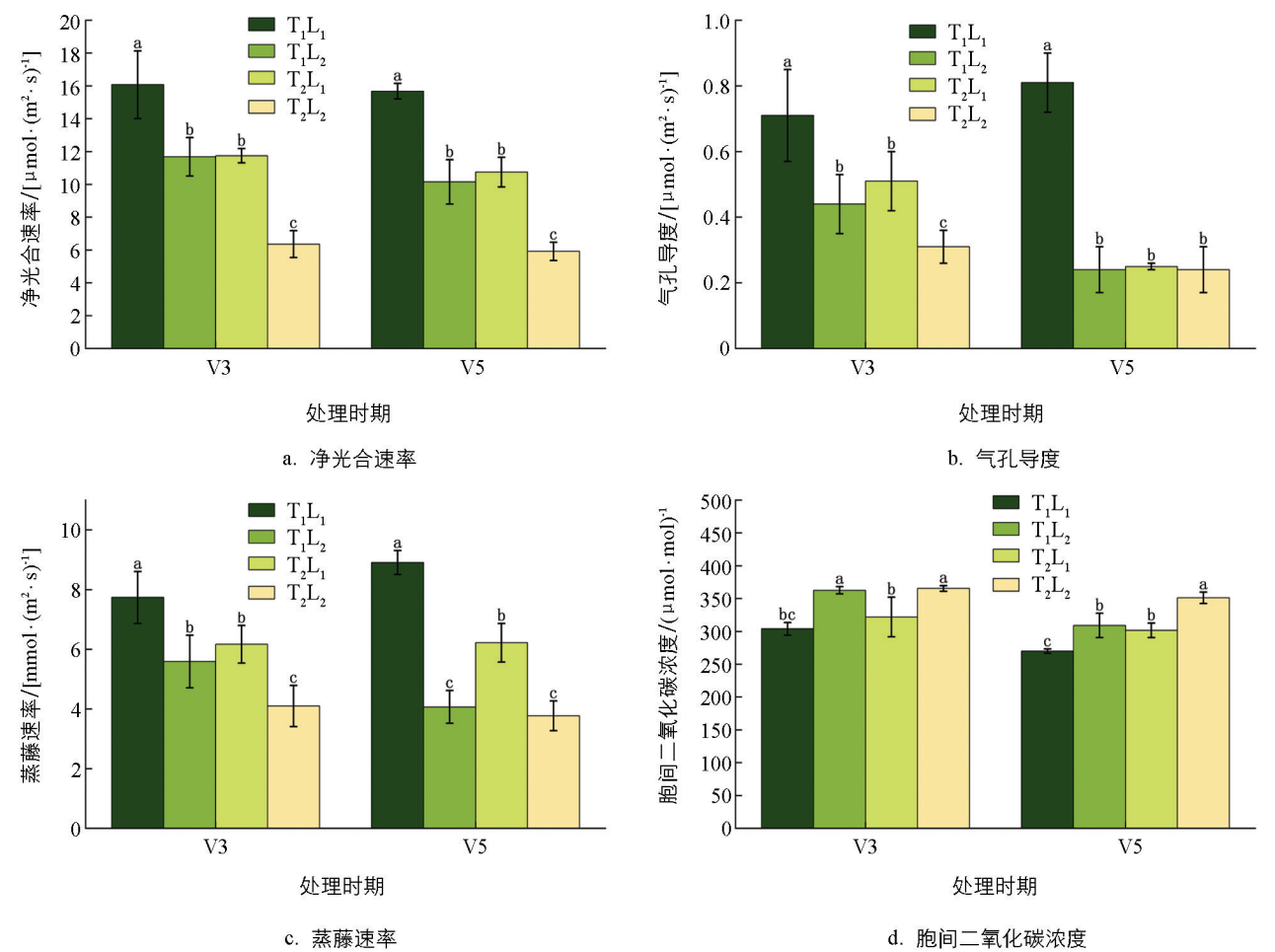


图 3 低温和荫蔽胁迫对大豆幼苗光合参数的影响

2.2.2 叶绿素荧光参数

低温和荫蔽胁迫下大豆幼苗的 F_v/F_m 、 qP 和 F'_q/F'_m 呈下降趋势, NPQ 呈上升趋势(图 4、图 5)。V5 时期, T_1L_2 (荫蔽) 处理的 F_v/F_m 、 qP 和 F'_q/F'_m 较 T_1L_1 (CK) 处理分别降低 7.79%、52.17% 和 44.44%, NPQ 上升 49.52%。 T_2L_1 (低温) 处理的 F_v/F_m 、 qP 和 F'_q/F'_m 较 T_1L_1 (CK) 处理分别降低 10.39%、41.30% 和 33.33%, NPQ 上升 62.38%。 T_2L_2 (低温和荫蔽) 处理的 F_v/F_m 、 qP 和 F'_q/F'_m 较 T_1L_1 (CK) 处理分别下降了 25.97%、60.87% 和 50.00%, 较 T_1L_2 处理下降了 19.72%、31.82% 和 10.00%, 较 T_2L_1 处理下降了 17.39%、33.33% 和 25.00%; NPQ 较 T_1L_1 (CK) 处理上升了 89.05%, 较 T_1L_2 处理上升了 26.43%, 较 T_2L_1 处理上升了 16.42%。

2.2.3 叶绿素含量

由表 2 可知, V5 时期, T_1L_2 (荫蔽) 处理的 Chla、Chlb、Car 和 Chla/b 较 T_1L_1 (CK) 处理分别上升了 67.82%、37.84%、17.39% 和 18.67%, 其中, 荫蔽胁迫对 Car 影响显著, 对 Chla、Chlb 和 Chla/b 的影响

极显著。T₂L₁(低温)处理 Chla 和 Chlb 较 T₁L₁(CK)处理下降了 13.79%和 24.32%，Car 和 Chla/b 上升了 4.35%和 12.45%，其中，低温胁迫对 Chla/b 的影响显著，对 Chla、Chlb 和 Car 的影响极显著。T₂L₂(低温和荫蔽)处理 Chla、Chlb 和 Car 较 T₁L₁(CK)处理分别降低 20.69%、37.84%和 13.04%，Chla/b 上升 25.73%，其中，低温和荫蔽双重胁迫对 Chla、Chlb 和 Car 的影响极显著。

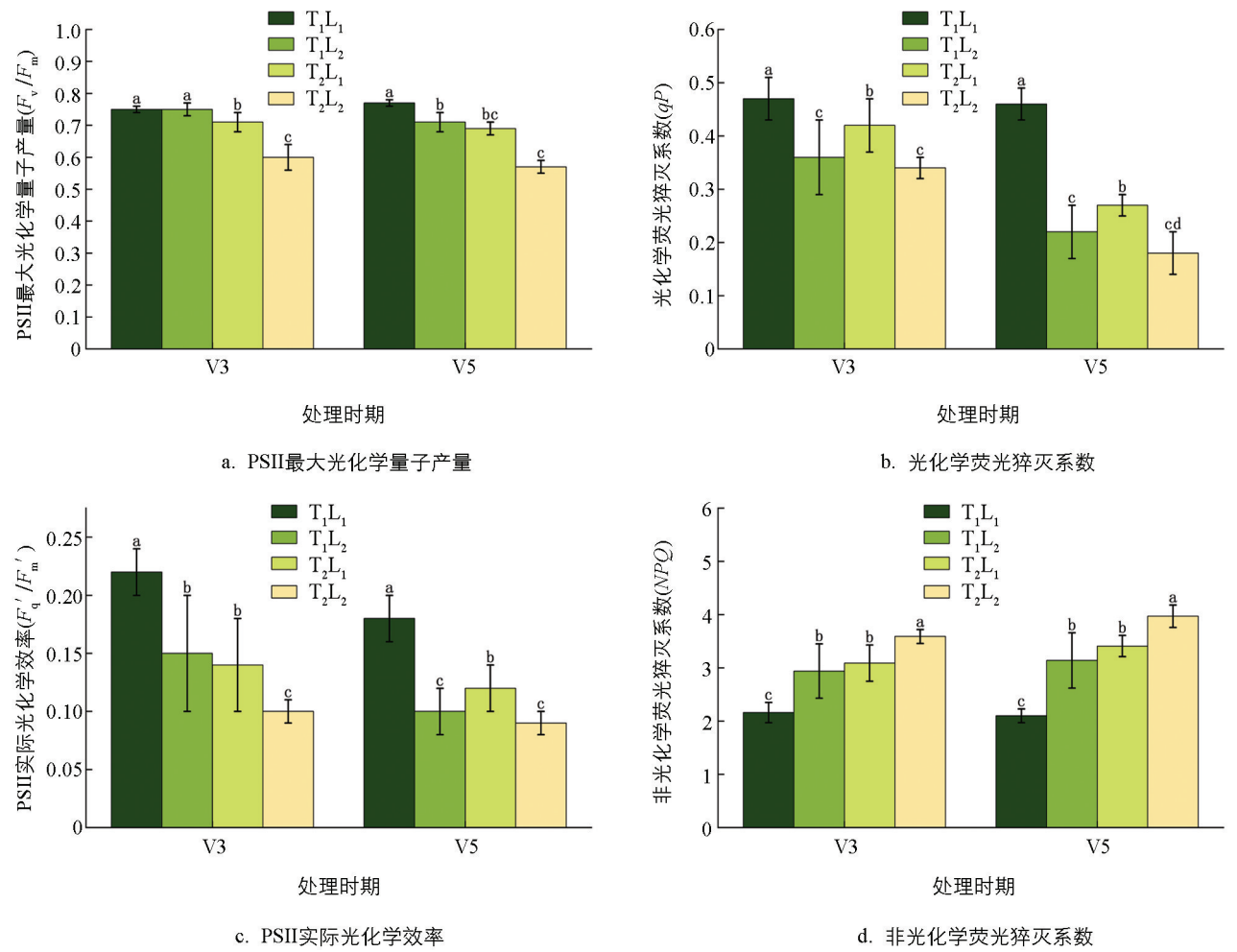


图 4 低温和荫蔽胁迫对大豆幼苗叶绿素荧光参数的影响

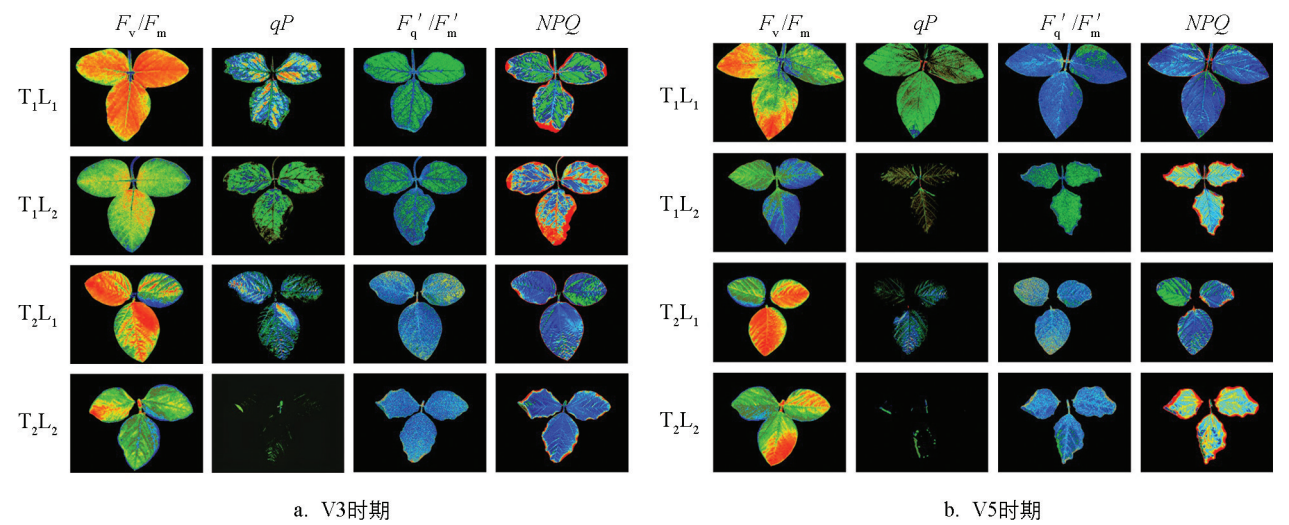


图 5 低温和荫蔽胁迫下大豆幼苗叶绿素荧光

表 2 低温和荫蔽胁迫对大豆幼苗叶绿素含量的影响

单位: $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$

时期	处理	Chla	Chlb	Car	Chl(a+b)	Chla/b
V3	T ₁ L ₁	0.66±0.05a	0.21±0.03ab	0.18±0.02a	0.87±0.07ab	3.26±0.37a
	T ₁ L ₂	0.68±0.04a	0.22±0.01a	0.12±0.01c	0.90±0.05a	3.07±0.14a
	T ₂ L ₁	0.49±0.02b	0.18±0.02c	0.16±0.01b	0.76±0.04c	1.92±0.41b
	T ₂ L ₂	0.48±0.02b	0.15±0.01d	0.11±0.01c	0.63±0.02d	3.29±0.38a
	T	* *	* *	* *	* *	* *
	L	\	\	* *	* *	* *
	T×L	\	* *	*	* *	* *
V5	T ₁ L ₁	0.87±0.02b	0.37±0.07b	0.23±0.01bc	1.24±0.07b	2.41±0.44c
	T ₁ L ₂	1.46±0.04a	0.51±0.02a	0.27±0.02a	1.97±0.05a	2.86±0.11ab
	T ₂ L ₁	0.75±0.02c	0.28±0.01c	0.24±0.02b	1.03±0.02c	2.71±0.15b
	T ₂ L ₂	0.69±0.05d	0.23±0.01cd	0.20±0.02d	0.92±0.05d	3.03±0.22a
	T	* *	* *	* *	* *	*
	L	* *	* *	*	* *	* *
	T×L	* *	* *	* *	* *	\

注: * 表示 $p<0.05$, * * 表示 $p<0.01$.

3 讨论

3.1 低温和荫蔽双重胁迫对大豆苗期生长的影响

遭受低温冷害的大豆生育期延后,生育日数明显增加^[12],其株高、主茎节数、叶片鲜质量、茎鲜质量都显著降低^[6].荫蔽胁迫下的大豆植株茎秆纤细、陡长、易倒伏^[13],总生物量和叶面积显著降低^[14].在本试验中,低温和荫蔽双重胁迫处理下,大豆的生育期延长,株高、茎粗显著降低,二节间长显著升高,叶面积和干物质积累随着时间的延长下降趋势明显.可能是由于大豆在低温和荫蔽的双重胁迫下,地上部分光合作用受到的阻碍更加严重,导致大豆的生长受到严重伤害,且相比于低温和荫蔽单一胁迫处理所受到的伤害更严重.

3.2 低温和荫蔽双重胁迫对大豆苗期光合特性的影响

影响光合速率降低的因素有两种,分别是气孔限制因素和非气孔限制因素,当 C_i 随着 P_n 、 G_s 及 T_r 的下降而下降,则气孔因素占主导^[15];当 C_i 随着 P_n 、 G_s 及 T_r 下降而升高,则非气孔因素占主导^[16].本试验中,低温和荫蔽双重胁迫处理下,大豆叶片的 P_n 、 G_s 、 T_r 显著降低, C_i 显著升高,且相较于低温和荫蔽单一胁迫处理,变化幅度更大.可能是由于双重非气孔因素(低温和荫蔽)对大豆光合速率的抑制作用更严重.

叶绿素荧光参数反映植物在胁迫条件下,光能的分配、耗散及光合机构的损伤^[17].逆境环境下, F_v/F_m 降低表示 PSII 发生了光抑制^[18],光化学猝灭系数 qP 是光化学反应所引起的荧光产额的下降,反映 PSII 原初电子受体(QT)的还原状态及开放的反应中心占总 PSII 反应中心的比例^[19].本试验中,低温和荫蔽双重胁迫处理下,大豆叶片的 F_v/F_m 、 qP 和 F'_q/F'_m 均显著降低,可能是由于大豆叶片的 PSII 功能下降,发生光抑制,且相较于低温和荫蔽单一胁迫处理, F_v/F_m 、 qP 和 F'_q/F'_m 降低更显著,说明在低温和荫蔽双重胁迫下,光抑制程度可能更明显. NPQ 是指 PSII 天线色素吸收的光能不能用于光合电子传递而以热能的形式耗散掉的光能部分,对光合系统起一定的保护作用^[20],可用来衡量植物对光系统损害的抵御程度, NPQ 值越高,则对外界的不良光系统损害抵抗力越强^[21].本试验中,低温和荫蔽双重胁迫处理下,大豆叶片的 NPQ 显著升高,说明大豆在受到低温和荫蔽双重胁迫时可能开启自我保护机制,通过 NPQ 的升高来抵御外界不良光系统.

光合色素包括叶绿素和类胡萝卜素^[22],具有吸收、传递和转化光能的作用.叶绿素含量常作为叶绿体发育、光合能力的指标,与光合速率呈正相关^[23],类胡萝卜素可以起到光能捕获和光破坏防御的作用^[24].本试验中,低温和荫蔽双重胁迫处理下,大豆叶片的 Chla、Chlb 和 Car 均显著降低,且均低于低温和荫蔽单一胁迫处理,可能是由于在低温和荫蔽双重胁迫下,对大豆叶片中叶绿素合成酶活性的抑制作用更显著,导致叶绿素含量降低,影响大豆幼苗的光合作用.

4 结论

综上,与正常温度正常光、正常温度荫蔽和低温正常光相比,低温和荫蔽双重胁迫下,大豆的株高、茎粗、叶面积和干物质积累量显著降低。净光合速率(P_n)、气孔导度(G_s)和蒸腾速率(T_r)显著降低,胞间二氧化碳浓度(C_i)显著升高;PSII 最大光化学量子产量(F_v/F_m)、光化学荧光猝灭系数(qP)和 PSII 实际光化学效率(F'_q/F'_m)显著降低,非光化学荧光猝灭系数(NPQ)显著升高;叶绿素 a(Chla)、叶绿素 b(Chlb)和类胡萝卜素(Car)显著降低,叶绿素 a/b(Chla/b)显著升高。说明低温和荫蔽双重胁迫会抑制大豆的生长和光合特性,且相比于低温或荫蔽单一胁迫下,抑制作用更加明显。

参考文献:

- [1] 马念念. 大豆氮磷转移效率与产量、品质性状的 QTL 共定位 [D]. 福州: 福建农林大学, 2023.
- [2] 全基因组关联研究剖析大豆农艺性状的遗传网络 [J]. 黑龙江粮食, 2018(3): 43.
- [3] 孙磊. 新时代背景下发展中国大豆科技和振兴大豆产业策略分析 [J]. 大豆科技, 2020(4): 20-23, 31.
- [4] 肖启银, 张祯勇, 高明文, 等. 川西高原青贮用玉米和大豆品种的筛选试验 [J]. 中国农技推广, 2020, 36(3): 22-24.
- [5] 卢俊吉. 川西高原播期和玉米豆类间作对青贮原料产量与饲用品质的影响 [D]. 成都: 四川农业大学, 2022.
- [6] 盖志佳, 张敬涛, 刘婧琦, 等. 低温胁迫对大豆幼苗形态生理指标及籽粒产量的影响 [J]. 农学学报, 2019, 9(12): 1-4.
- [7] 田鑫, 钟程, 李性苑. 春大豆苗期低温胁迫下叶绿素荧光响应 [J]. 安徽农业科学, 2019, 47(24): 28-31, 38.
- [8] 梁英兰. 玉米大豆间作行距对大豆生长及品质的影响 [J]. 特种经济动植物, 2023, 26(2): 38-40.
- [9] 程彬, 刘卫国, 王莉, 等. 种植密度对玉米—大豆带状间作下大豆光合、产量及茎秆抗倒的影响 [J]. 中国农业科学, 2021, 54(19): 4084-4096.
- [10] 李得孝, 郭月霞, 员海燕, 等. 玉米叶绿素含量测定方法研究 [J]. 中国农学通报, 2005, 21(6): 153-155.
- [11] 舒展, 张晓素, 陈娟, 等. 叶绿素含量测定的简化 [J]. 植物生理学通讯, 2010, 46(4): 399-402.
- [12] 张勇. 冷害对黑龙江克拜地区大豆农艺性状及产量的影响 [J]. 黑龙江农业科学, 2013(10): 16-19.
- [13] 刘婷, 刘卫国, 任梦露, 等. 遮荫程度对不同耐荫性大豆品种光合及抗倒程度的影响 [J]. 中国农业科学, 2016, 49(8): 1466-1475.
- [14] 鲁兆宏, 谭婷婷, 滕一鸣, 等. 大豆和花生表型及光合特性对荫蔽的响应 [J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2023, 49(4): 526-534.
- [15] HAO S X, CAO H X, WANG H B, et al. The Physiological Responses of Tomato to Water Stress and re-Water in Different Growth Periods [J]. Scientia Horticulturae, 2019, 249: 143-154.
- [16] 关思慧, 柴亚倩, 崔洪鑫, 等. 低温胁迫对 2 个石榴品种幼苗光合参数和生理特性的影响 [J]. 果树学报, 2023, 40(5): 946-958.
- [17] 张兴民, 池小娜, 顾文媛, 等. 低温下不同光照对芸豆幼苗生长与光合特性的影响 [J/OL]. 甘肃农业大学学报, 2023: 1-13. (2023-12-06) [2024-04-18]. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/62.1055.s.20231205.1912.136.html>.
- [18] MAZUR M, MATOŠA KOČAR M, JAMBROVIĆ A, et al. Crop-Specific Responses to Cold Stress and Priming: Insights from Chlorophyll Fluorescence and Spectral Reflectance Analysis in Maize and Soybean [J]. Plants, 2024, 13(9): 1204.
- [19] CONSTANT S, PEREWOSKA I, ALFONSO M, et al. Expression of the psbA Gene during Photoinhibition and Recovery in Synechocystis PCC 6714: Inhibition and Damage of Transcriptional and Translational Machinery Prevent the Restoration of Photosystem II Activity [J]. Plant Molecular Biology, 1997, 34(1): 1-13.
- [20] 王兆, 刘晓曦, 郑国华. 低温胁迫对彩叶草光合作用及叶绿素荧光的影响 [J]. 浙江农业学报, 2015, 27(1): 49-56.
- [21] 师生波, 李和平, 王学英, 等. 高山植物唐古特山茛菪和唐古特大黄对强太阳辐射光能的利用和耗散特性 [J]. 植物生态学报, 2007, 31(1): 129-137.
- [22] 罗晓峰, 孟永杰, 刘卫国, 等. 大豆响应荫蔽胁迫的形态及生理机制研究 [J]. 分子植物育种, 2018, 16(3): 979-988.
- [23] LING Q H, HUANG W H, JARVIS P. Use of a SPAD-502 Meter to Measure Leaf Chlorophyll Concentration in Arabidopsis Thaliana [J]. Photosynthesis Research, 2011, 107(2): 209-214.
- [24] 张振花, 孙胜, 刘洋, 等. 增施 CO_2 对温室番茄结果期叶片光合特性的影响 [J]. 生态学杂志, 2018, 37(5): 1398-1402.