

引文格式: 练华山, 周艾玲, 梁乐, 等. 叶面喷施壳聚糖缓解低温处理对丝瓜幼苗的影响[J]. 云南农业大学学报(自然科学), 2023, 38(2): 298–305. DOI: [10.12101/j.issn.1004-390X\(n\).202209018](https://doi.org/10.12101/j.issn.1004-390X(n).202209018)

叶面喷施壳聚糖缓解低温处理对丝瓜幼苗的影响*

练华山^{1,2}, 周艾玲³, 梁乐³, 李焕秀⁴, 唐懿^{4**}

(1. 成都农业科技职业学院 农学院园艺学院, 四川 成都 611130;

2. 成都农业科技职业学院 园艺研究所, 四川 成都 611130;

3. 四川农业大学 园艺学院, 四川 成都 611130;

4. 四川农业大学 果蔬研究所, 四川 成都 611130)

摘要:【目的】探究低温处理下外源壳聚糖对丝瓜幼苗生理特性的影响, 并筛选外源壳聚糖的最佳缓解质量浓度。【方法】通过盆栽试验, 研究不同质量浓度外源壳聚糖对低温处理下(8℃)丝瓜幼苗叶片光合色素含量、相对电导率、丙二醛(MDA)含量、渗透调节物质含量、抗氧化酶活性以及矿质元素含量的影响。【结果】低温处理下, 丝瓜幼苗叶片的叶绿素a、叶绿素b、类胡萝卜素、总叶绿素、可溶性蛋白、游离脯氨酸以及氮和磷元素的含量降低或显著降低, 超氧化物歧化酶、过氧化物酶和过氧化氢酶活性显著降低, 而相对电导率、MDA和钾含量均显著升高。施加外源壳聚糖后, 丝瓜幼苗叶片光合色素、渗透调节物质和矿质元素含量增加, 3种抗氧化酶活性增强, 相对电导率和MDA含量降低, 且当外源壳聚糖质量浓度为25 mg/L时对各指标的缓解效果最好。【结论】叶面喷施25 mg/L壳聚糖对提高丝瓜幼苗耐冷性效果最佳, 同时可促进丝瓜幼苗的生长以及氮、磷、钾的吸收。

关键词: 丝瓜; 壳聚糖; 低温; 氧化损伤; 矿质元素含量

中图分类号: S642.401

文献标志码: A

文章编号: 1004-390X(2023)02-0298-08

Effects of Foliar Spraying Chitosan on Relieving Low Temperature Stress on Loofah Seedlings

LIAN Huashan^{1,2}, ZHOU Ailing³, LIANG Le³, LI Huanxiu⁴, TANG Yi⁴

(1. School of Agronomy and Horticulture, Chengdu Agricultural College, Chengdu 611130, China;

2. Horticulture Research Institute, Chengdu Agricultural College, Chengdu 611130, China;

3. College of Horticulture, Sichuan Agricultural University, Chengdu 611130, China;

4. Institute of Pomology & Olericulture, Sichuan Agricultural University, Chengdu 611130, China)

Abstract: [Purpose] To investigate the effects of exogenous chitosan on physiological characteristics of loofah seedlings under low temperature treatment, screening the optimal mass concentration of exogenous chitosan. [Methods] A pot experiment was conducted to study the effects of different mass concentrations of exogenous chitosan on photosynthetic pigment content, relative conductiv-

收稿日期: 2022-09-14

修回日期: 2023-04-15

网络首发日期: 2023-05-06

*基金项目: 四川省科技厅应用基础研究项目(2021YJ0307); 四川省教育厅2022—2024年职业教育人才培养和教育教学改革研究项目(GZJG2022-105)。

作者简介: 练华山(1979—), 男, 四川大竹人, 硕士, 副教授, 主要从事蔬菜遗传育种及栽培技术研究。

E-mail: 49939450@qq.com

**通信作者 Corresponding author: 唐懿(1984—), 女, 四川内江人, 博士, 教授, 主要从事蔬菜遗传育种及栽培技术研究。E-mail: 95459425@qq.com

网络首发地址: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/53.1044.S.20230505.1051.003.html>



ity, malondialdehyde (MDA) content, osmotic adjust substance content, antioxidant enzyme activity and mineral element content in leaves of loofah seedlings under low temperature treatment (8 °C).

[**Results**] Under low temperature treatment, the contents of chlorophyll a, chlorophyll b, carotenoids, total chlorophyll, soluble protein, free proline, nitrogen and phosphorus in the leaves of loofah seedlings decreased or decreased significantly, and the activities of superoxide dismutase, peroxidase and catalase also decreased significantly, while the relative conductivity, MDA and potassium content increased significantly. After the application of exogenous chitosan, the contents of photosynthetic pigments, osmotic adjust substance and mineral elements in the leaves of loofah seedlings increased, the activities of three antioxidant enzymes increased, and the relative conductivity and MDA content decreased. When the mass concentration of exogenous chitosan was 25 mg/L, the mitigation effect on each index was the best. [**Conclusion**] Foliar spraying 25 mg/L chitosan has the best effect on improving the cold tolerance of loofah seedlings, and it can promote the growth of loofah seedlings and the absorption of nitrogen, phosphorus and potassium.

Keywords: loofah; chitosan; low temperature; oxidative damage; mineral element content

低温是影响植物地理分布的主要因素之一, 也会影响作物的生长发育和产量, 威胁作物的生产和粮食安全^[1]。低温胁迫 (0~15 °C) 可刺激植物质膜中的冷受体触发细胞反应, 对细胞、代谢和分子功能造成慢性或长期损伤^[2-3]; 可对植物叶片叶绿素含量的积累造成影响, 从而影响植物对光的吸收, 降低光合作用^[4]; 还会打破植物体内活性氧的动态平衡, 积累过量的活性氧和丙二醛 (MDA), 导致植物受到低温损伤甚至死亡。为了适应低温环境, 植物通过多种因子的调节作用重塑植物代谢系统和抗氧化系统。渗透调节是植物对低温环境的适应性, 植物通过控制渗透调节物质 (如可溶性糖、可溶性蛋白质和游离脯氨酸等) 保持细胞正常代谢和维持细胞膨压, 缓解低温对植物的伤害^[5]。在长期环境适应中, 植物可以通过多种途径清除活性氧自由基, 其中, 超氧化物歧化酶 (SOD)、过氧化物酶 (POD) 和过氧化氢酶 (CAT) 是植物体内自由基清除剂, 它们共同作用使植物体内自由基维持正常水平, 从而防止自由基对植物造成氧化损伤^[6]。矿质元素是影响植物生长的主要因素之一, 其中氮 (N) 和磷 (P) 是植物体内许多重要有机化合物的主要组成部分, 如蛋白质、核酸、叶绿素、酶以及一些植物激素, 低温会限制植物对矿质元素的吸收, 进而影响植物的耐冷性^[7]。另外, 钾 (K) 是植物细胞内重要的阳离子, 也参与维持细胞内外的渗透压和酸碱平衡。目前, 已经发现多种提高植物耐冷性

的方法, 其中, 外源喷施植物激素或植物生物刺激素是简单可行的方法之一。

植物生物刺激素是一种不同于其他肥料的物质, 低剂量应用可以促进植物生长, 为植物体内许多复杂的生化反应提供有益元素或有机化合物, 并且通过影响多种代谢途径直接调控植物的生命进程^[8-9]。植物刺激素是缓解生物^[10]和非生物胁迫^[11-13]及提高作物品质^[14]的物质或微生物, 主要包含腐植酸、壳聚糖、几丁质及其衍生物和海藻提取物等。壳聚糖具有溶解性、低毒性、可被生物降解性、诱导抗病性和食用性等特性, 被广泛应用于工业、农业和医药等^[8]。壳聚糖可通过增加植物细胞渗透性来提高营养物质吸收, 促进根系发育、提高植物光合作用、调节作物生长和诱导植物抗逆性^[8]。在辣椒^[15]、黄瓜^[12, 16]、水稻^[11]和草莓^[13]的研究中发现: 外源壳聚糖能够诱导植物的防御反应, 提高植株耐冷性, 促进植物生长。外源壳聚糖通过增加光合作用速率、调节可溶性糖和脯氨酸含量、提高抗氧化酶活性和相关基因的表达量等途径降低活性氧含量^[17]。壳聚糖处理一方面可以促进光合色素和蛋白质等合成; 另一方面, 能够增加 MDA 含量、提高抗氧化酶以及氮代谢有关的酶活性, 提高植物对非生物胁迫的抗逆性^[18-19]。此外, 壳聚糖在许多植物中通过叶面施用而被用作防潮剂, 从而减少了用水量并确保免受其他不利影响, 基于这种有益特性, 壳聚糖被用于可持续农业实践中^[20]。

丝瓜 (*Luffa cylindrical*) 是葫芦科 (Cucurbitaceae) 丝瓜属 (*Luffa*) 一年生攀缘草本植物, 又名布瓜、天罗等, 根系发达, 且再生能力较强^[21], 具有顺气健脾、清凉解毒和润肤美容等功效, 是一种具有良好保健功效的蔬菜^[22]。丝瓜原产于印度, 广泛栽培于热带和温带地区, 不耐低温^[23]。在实际生产过程中, 春季提早栽培会遭遇“倒春寒”, 不仅影响丝瓜幼苗生长发育, 也会影响其后期的产量和品质。因此, 本研究以丝瓜幼苗为材料, 探讨低温处理下叶面喷施不同质量浓度壳聚糖对丝瓜幼苗光合色素、渗透调节物质含量、抗氧化酶活性以及矿质元素吸收的影响, 以期筛选出提高丝瓜幼苗耐冷性的最适壳聚糖质量浓度, 并为壳聚糖的实践应用提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 试验材料

以四川省内江市威远县地方品种铁丝瓜为试验材料, 其果肉不易褐变, 品质佳, 种子由成都农业科技职业学院提供。壳聚糖购自成都市科隆化学品有限公司。

1.2 试验设计

试验于 2021 年 9—11 月在四川农业大学成都校区进行。2021 年 9 月, 选择籽粒饱满的丝瓜种子, 在质量分数为 10% 的过氧化氢溶液中消毒 10 min, 随后用超纯水洗净, 均匀放置于垫有滤纸的培养皿中, 保持充足水分, 于 28 ℃ 人工培养箱中进行催芽, 露白后种植于装有基质 ($V_{珍珠岩} : V_{蛭石} = 1 : 1$) 的 55 孔穴盘中, 待幼苗长至两叶一心时, 挑选长势一致的幼苗移栽至装有上述基质的营养钵中 (直径 9 cm, 高 7.5 cm), 每盆 1 株, 放入平底穴盘中, 每个平盘 18 盆幼苗。移栽后进行常规管理, 每 2 d 用改良 Hoagland 营养液浇灌 1 次, 每次每个穴盘 1 L。改良 Hoagland 营养液配方为: 四水硝酸钙 945.000 mg/L、硝酸钾 506.000 mg/L、硝酸铵 80.000 mg/L、磷酸二氢钾 136.000 mg/L、七水硫酸镁 493.000 mg/L、铁盐溶液 2.500 mg/L、碘化钾 0.830 mg/L、硼酸 6.200 mg/L、硫酸锰 22.300 mg/L、硫酸锌 8.600 mg/L、钼酸钠 0.250 mg/L、硫酸铜 0.025 mg/L、氯化钴 0.025 mg/L。待丝瓜幼苗长到 4~5 片真叶时, 叶片均匀喷施不同质量浓度 (0、25、50、100 和

200 mg/L) 的壳聚糖溶液, 直至叶面形成水滴而不滴落, 每盆喷施约 25 mL。每 2 d 喷施 1 次, 连续喷 3 次, 喷施处理后自然生长 48 h 进行低温处理。

低温处理前, 将丝瓜幼苗置于人工智能气候箱中进行预培养 (培养期间每 2 d 浇灌 1 次改良 Hoagland 营养液), 环境条件为: 昼/夜温度 25 ℃/18 ℃, 光照周期 12 h/12 h (昼/夜), 光照强度 300 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, 相对湿度 75%。预培养 24 h 后进行低温处理, 环境条件为: 昼/夜温度 8 ℃/8 ℃, 光照周期、光照强度和相对湿度同预培养。丝瓜幼苗在智能人工培养箱内随机排列, 低温处理 24 h 后取样进行指标测定。试验同时设置不喷施壳聚糖溶液的常温对照处理。每个处理 6 盆, 每盆设置 3 个重复。

1.3 指标测定

1.3.1 光合色素含量

称取叶片 0.2 g, 采用浸泡法 ($V_{乙醇} : V_{丙酮} = 1 : 1$) 测定并分别计算叶绿素 a、叶绿素 b、类胡萝卜素和总叶绿素的含量^[24]。

1.3.2 相对电导率和渗透调节物质含量

称取 0.1 g 用 0.5 cm 直径打孔器打孔的叶片, 放入 50 mL 离心管中, 加入去离子水 30 mL, 放在摇床上 150 r/min 遮光摇 6 h。用电导仪测定去离子水电导率 (S_0) 和浸泡液电导率 (S_1), 再将浸泡液沸水浴 30 min, 冷却至室温后测定溶液电导率 (S_2), 并计算相对电导率: 相对电导率 = $(S_1 - S_0) / (S_2 - S_0) \times 100\%$ 。可溶性糖含量采用蒽酮比色法测定; 可溶性蛋白含量采用考马斯 G-250 法测定; 脯氨酸含量采用酸性茚三酮法测定; MDA 含量采用硫代巴比妥酸法测定^[25]。

1.3.3 抗氧化酶活性

取叶片 1.0 g, 加入预冷的 50 mmol/L 磷酸缓冲液 (pH 7.8 含有聚乙烯吡咯烷酮 1.0 g、2 mmol/L 二硫苏糖醇和 0.1 mmol/L 乙二胺四乙酸) 于冰上研磨, 定容至 8 mL。在 10000 r/min 下低温离心 10 min, 取上清液进行酶活性测定。SOD 活性采用氮蓝四唑光化还原法测定; POD 活性采用愈创木酚法测定, 以每分钟内 A470 变化 0.1 为 1 个酶活单位; CAT 活性采用高锰酸钾滴定法测定, 以每克鲜质量样品 1 min 内分解 H_2O_2 的毫克数表示^[25]。

1.3.4 N、P、K 含量

取烘干、粉碎并过筛的幼苗叶片 0.2 g, 加少量水和浓 H_2SO_4 溶液 5 mL, 摇匀过夜, 采用硫酸—过氧化氢消煮法进行消煮, 过滤后定容至 100 mL。分别用凯氏定氮法、钼锑抗比色法和火焰分光光度法测定 N、P、K 含量^[26]。

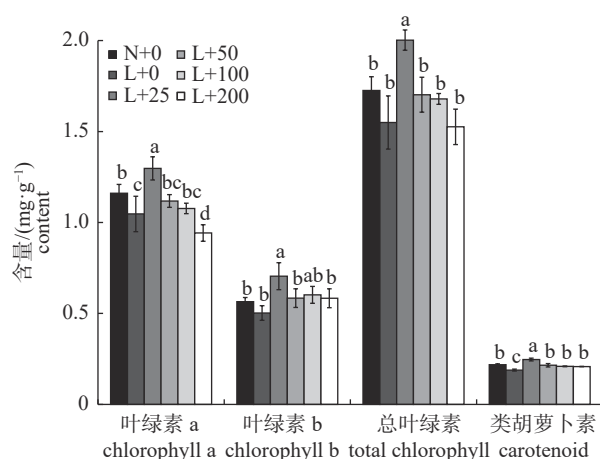
1.4 数据处理

采用 Excel 2010 绘图, 用 SPSS 22.0 进行数据处理, 并进行 Duncan's 差异显著性分析。数据均以“平均值±标准差”表示。

2 结果与分析

2.1 壳聚糖对低温处理下丝瓜幼苗光合色素含量的影响

由图 1 可知: 与常温对照相比, 低温处理后丝瓜幼苗叶片中的叶绿素 a 和类胡萝卜素含量显著降低, 叶绿素 b 和总叶绿素含量也降低, 但差异未达到显著水平; 与常温和低温对照相比, 叶面喷施 25 mg/L 壳聚糖可显著提高丝瓜幼苗叶片的光合色素含量, 较低温对照分别增加 23.90%、40.30%和30.80%; 当叶面喷施50、100和200 mg/L 壳聚糖时, 丝瓜幼苗叶片的光合色素含量较常温和低温对照无显著变化或显著降低, 且均低于



注: N: 常温, L: 低温; 0、25、50、100 和 200 分别为对应的壳聚糖质量浓度, mg/L; 不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$); 下同。

Note: N: normal temperature, L: low temperature; 0, 25, 50, 100 and 200 indicate mass concentration of chitosan, mg/L; different lowercase letters indicate significant differences ($P < 0.05$); the same as below.

图 1 壳聚糖对低温处理下丝瓜幼苗光合色素含量的影响

Fig. 1 Effects of chitosan on the photosynthetic pigment content of loofah seedlings under low temperature treatments

25 mg/L 壳聚糖处理。

2.2 壳聚糖对低温处理下丝瓜幼苗相对电导率的影响

由图 2 可知: 低温处理后, 丝瓜幼苗的相对电导率较常温对照显著提高 72.10%; 叶面喷施不同质量浓度壳聚糖后, 丝瓜幼苗的相对电导率均较低温对照下降, 但均显著高于常温对照。其中, 与低温对照相比, 叶面喷施 25 mg/L 壳聚糖的丝瓜幼苗相对电导率显著降低 24.60%, 但随着壳聚糖质量浓度的升高, 其相对电导率呈上升趋势, 且与低温对照无显著差异。

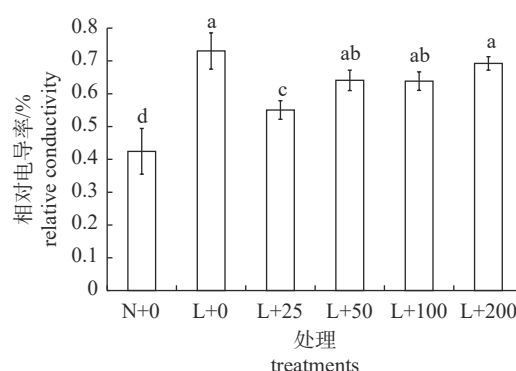


图 2 壳聚糖对低温处理下丝瓜幼苗相对电导率的影响

Fig. 2 Effects of chitosan on the relative conductivity of loofah seedlings under low temperature treatments

2.3 壳聚糖对低温处理下丝瓜幼苗可溶性糖和可溶性蛋白含量的影响

由图 3 可知: 叶面喷施不同质量浓度的壳聚糖可提高丝瓜幼苗叶片中的可溶性糖和可溶性蛋白含量。与常温对照相比, 低温处理后丝瓜幼苗的可溶性糖含量无显著变化, 但可溶性蛋白含量显著降低。低温胁迫下, 叶面喷施不同质量浓度的壳聚糖可提高丝瓜幼苗叶片中的可溶性糖含量, 且各质量浓度处理间无显著差异; 其中, 25 和 50 mg/L 壳聚糖处理后丝瓜幼苗中的可溶性糖含量显著高于常温对照和低温对照, 100 和 200 mg/L 壳聚糖处理后的可溶性糖含量显著高于常温对照。与常温对照和低温对照相比, 叶面喷施 25 mg/L 壳聚糖可显著提高丝瓜幼苗的可溶性蛋白含量; 与低温对照相比, 叶面喷施 100 和 200 mg/L 壳聚糖可显著提高丝瓜幼苗的可溶蛋白含量, 但与常温对照相比无显著差异。

2.4 壳聚糖对低温处理下丝瓜幼苗脯氨酸 (Pro) 和丙二醛 (MDA) 含量的影响

由图 4 可知: 低温处理可显著降低丝瓜幼苗的 Pro 含量, 显著提高其 MDA 含量。与常温对照和低温对照相比, 叶面喷施 25 mg/L 壳聚糖可显著提高丝瓜幼苗的 Pro 含量; 喷施 50、100 和 200 mg/L 壳聚糖时, 各处理间丝瓜幼苗的 Pro 含量无显著差异, 且均显著低于喷施 25 mg/L 壳聚糖处理、显著高于低温对照。此外, 与常温和低温对照相比, 叶面喷施 25 mg/L 壳聚糖后丝瓜幼苗的 MDA 含量分别显著下降 18.60% 和 30.90%; 喷施 50 和 200 mg/L 壳聚糖丝瓜幼苗的 MDA 含量显著高于常温对照, 但与低温对照无显著差异; 喷施 100 mg/L 壳聚糖丝瓜幼苗的 MDA 含量显著低于低温对照, 但与常温对照无显著差异。

2.5 壳聚糖对低温处理下丝瓜幼苗抗氧化酶活性的影响

由图 5 可知: 与常温对照相比, 低温处理可显著降低丝瓜幼苗的 SOD、POD 和 CAT 活性; 与低温对照相比, 叶面喷施 25 mg/L 壳聚糖可显著提高 3 种抗氧化酶的活性; 随着壳聚糖质量浓度的升高, 3 种抗氧化酶活性总体呈下降趋势。

2.6 壳聚糖对低温处理下丝瓜幼苗 N、P、K 含量的影响

图 6 显示: 与常温对照相比, 低温处理可显著降低丝瓜幼苗的 N 和 P 含量 (分别降低 37.90% 和 15.30%)、显著提高 K 含量 (提高 6.69%); 与低温对照相比, 喷施 25 mg/L 壳聚糖可显著提高丝瓜幼苗的 N、P、K 含量; 随着壳聚糖质量浓度的升高, 丝瓜幼苗的 N、P、K 含量总体呈下降趋势。

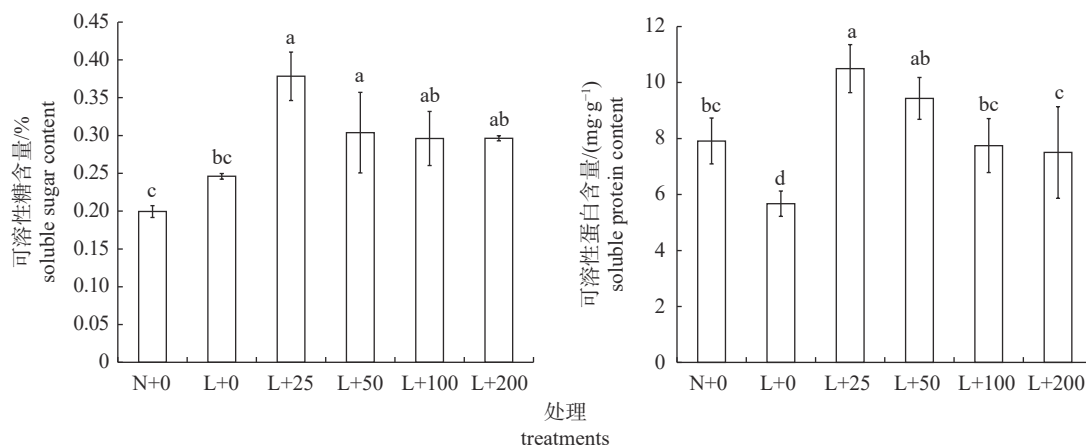


图 3 壳聚糖对低温处理下丝瓜幼苗可溶性糖和可溶性蛋白含量的影响

Fig. 3 Effects of chitosan on the soluble sugar and soluble protein content of loofah seedlings under low temperature treatments

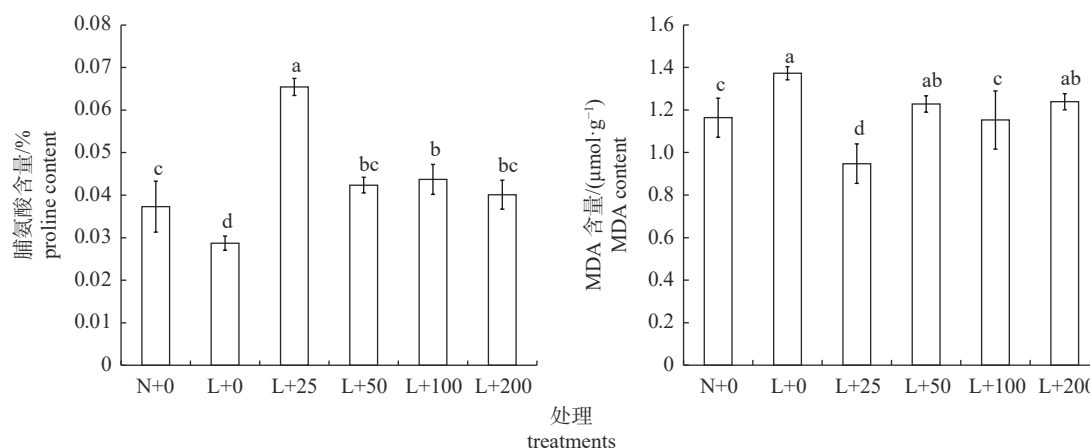


图 4 壳聚糖对低温处理下丝瓜幼苗脯氨酸 (Pro) 和丙二醛 (MDA) 含量的影响

Fig. 4 Effects of chitosan on the contents of proline (Pro) and malondialdehyde (MDA) in loofah seedlings under low temperature treatments

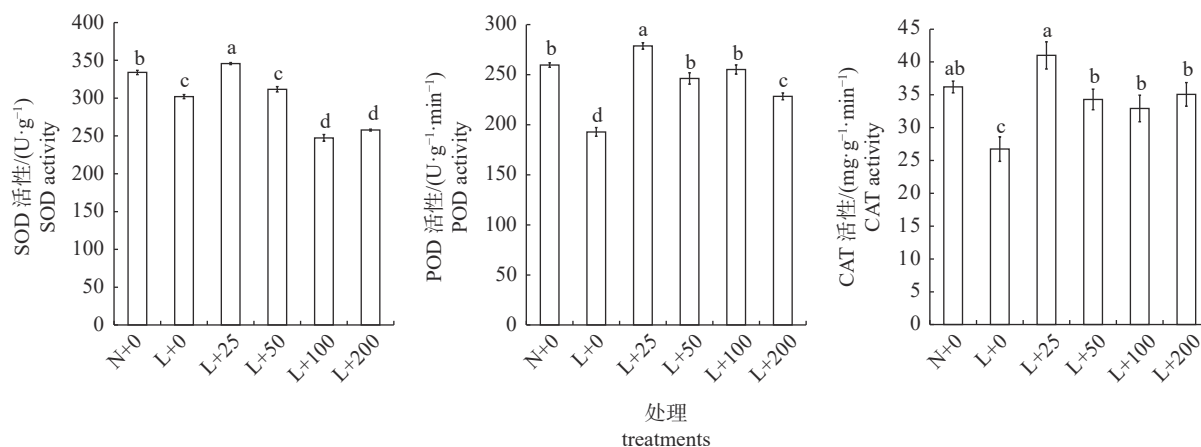


图5 壳聚糖对低温处理下丝瓜幼苗抗氧化酶活性的影响

Fig. 5 Effects of chitosan on the activity of antioxidant enzymes in loofah seedlings under low temperature treatments

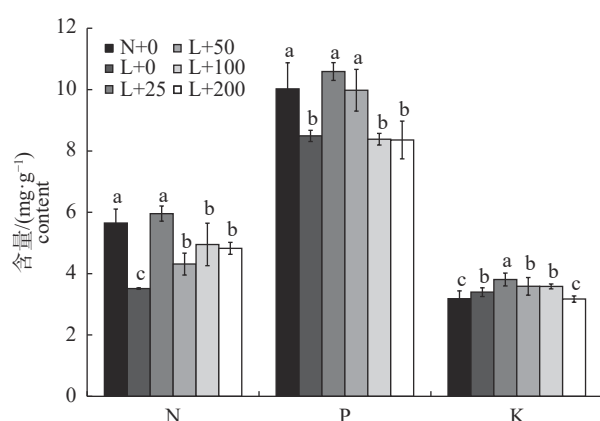


图6 壳聚糖对低温处理下丝瓜幼苗N、P、K含量的影响

Fig. 6 Effects of chitosan on the N, P and K contents of loofah seedlings under low temperature treatments

3 讨论

作为中国常见的瓜类,丝瓜的生长发育和地理分布主要受限于温度。低温环境干扰丝瓜的光合作用、呼吸作用、蒸腾作用等生长和生理活动,使丝瓜代谢紊乱,对丝瓜的品质和产量造成严重影响^[3]。在丝瓜的光合作用中,叶绿素具有吸收和转换光能的作用,从而影响植物光合作用对光能的吸收与转化,并且能够影响植物的衰老程度^[27]。前人研究表明:壳聚糖能够改善蔬菜幼苗的光合作用性能,提高光合色素含量^[9,15]。在本研究中,喷施壳聚糖可缓解低温处理下丝瓜幼苗叶片光合色素含量的下降,但喷施不同质量浓度的壳聚糖表现有所不同,其中,丝瓜幼苗叶片中叶绿素a、叶绿素b、类胡萝卜素和总叶绿素

含量均在25 mg/L壳聚糖处理时最高。这与壳聚糖能显著提高水稻^[11]、草莓^[13]和茄子^[28]等叶片光合色素含量的研究结果一致,其原因可能是壳聚糖可有效抑制低温下叶绿体类囊体片层结构紊乱、被膜内陷或破裂,促进叶绿体形成和叶绿素合成^[29];也有可能是壳聚糖可缓解低温引起的光合电子传递率下降和光合作用相关酶活性降低^[30]。

遭遇低温胁迫时,植物体内会积累渗透调节物质,以提高植物的耐冷性。低温胁迫可提高植物体内的相对电导率以应对植物失水^[31-32],本研究结果与之类似。本研究中,叶面喷施壳聚糖不仅降低了丝瓜幼苗的相对电导率,还提高了低温处理下丝瓜幼苗叶片的可溶性糖、可溶性蛋白和Pro含量,这与前人对水稻幼苗^[33]和黄瓜幼苗^[12]的研究结果类似。与常温对照相比,低温处理使丝瓜幼苗叶片中K元素含量上升,分析其原因可能是 K^+ 为调节细胞渗透势的重要组分,其含量增加有利于提高植株的耐冷性^[34]。在低温胁迫下,胞内的可溶性物质含量增加,而胞内渗透势随之降低,植物可从外界吸收水分,防止细胞过度脱水,从而减少低温对细胞的伤害^[35]。外源壳聚糖能够缓解低温造成的细胞膜破坏而导致的电解质外渗,同时促进可溶性物质的增加。

SOD、POD和CAT作为植物体内重要的抗氧化酶,能够清除活性氧、抑制MDA积累,维持体内氧代谢平衡,保持细胞的稳定性和完整性。在植物的正常发育过程中,植物体内活性氧的产生与清除处于平衡状态,不会使细胞遭受氧化损害。姜秀梅^[36]研究发现:Pro可通过线粒体

电子传递链诱导植物体内抗氧化酶活性增强和保护蛋白含量增加,同时启动抗低温代谢途径,从而缓解植物遭受的低温伤害。本研究中,壳聚糖处理丝瓜幼苗可提高低温下叶片的 Pro 含量和抗氧化酶活性,降低 MDA 含量,表明壳聚糖对低温处理具有缓解作用。该结论与前人对草莓^[13]和水稻^[37]的研究结论一致,即低温处理下,喷施壳聚糖可通过提高叶片的抗氧化酶活性和降低 MDA 含量来提高植物的耐冷性。壳聚糖可能增强了丝瓜幼苗清除活性氧的能力,缓解了其在细胞膜系统上诱发的膜脂过氧化作用,从而保护细胞膜结构的完整性,减缓丝瓜幼苗的氧化损伤。

矿质元素作为植物体的组成成分,参与植物的各种生理代谢,是维持植物生命活动所需的物质。低温导致植物体内部分矿质元素的运输受阻,本研究中,与常温对照相比,低温使得丝瓜幼苗叶片中 N 和 P 元素含量下降,该结果与低温胁迫对番茄^[34]和黄瓜^[7]幼苗矿质元素含量的影响一致,分析其原因可能是低温直接影响根系生长,从而对矿质元素的吸收或使叶片蒸腾作用减弱,导致矿质元素运输减慢^[38]。施用壳聚糖后丝瓜幼苗的 N 和 P 含量增加,说明壳聚糖能缓解低温对矿质元素吸收和运输的影响。

4 结论

叶面喷施壳聚糖可增加丝瓜幼苗叶片的叶绿素含量,提高对光能的吸收和转化,有利于其光合作用;可通过提高抗氧化酶活性、增加渗透调节物质含量以及降低叶片相对电导率和 MDA 含量维持叶片细胞结构完整和增强丝瓜幼苗的耐冷性;可提高对矿质元素的吸收。其中,以 25 mg/L 壳聚糖处理效果最好。本研究结果为壳聚糖的实际应用提供了理论基础。

[参考文献]

- [1] RITONGA F N, CHEN S. Physiological and molecular mechanism involved in cold stress tolerance in plants[J]. *Plants*, 2020, 9(5): 560. DOI: [10.3390/plants9050560](https://doi.org/10.3390/plants9050560).
- [2] HWARARI D, GUAN Y L, AHMAD B, et al. *ICE-CBF-COR* signaling cascade and its regulation in plants responding to cold stress[J]. *International Journal of Molecular Sciences*, 2022, 23(3): 1549. DOI: [10.3390/ijms23031549](https://doi.org/10.3390/ijms23031549).
- [3] 张健, 田佳星, 张国裕, 等. 瓜类作物耐低温弱光研究进展[J]. *中国瓜菜*, 2020, 33(10): 1. DOI: [10.3969/j.issn.1673-2871.2020.10.001](https://doi.org/10.3969/j.issn.1673-2871.2020.10.001).
- [4] 韩敏, 曹逼力, 刘树森, 等. 低温胁迫下番茄嫁接苗根穗互作对叶片光合作用及氮代谢的影响[J]. *园艺学报*, 2018, 45(5): 897. DOI: [10.16420/j.issn.0513-353x.2017-0600](https://doi.org/10.16420/j.issn.0513-353x.2017-0600).
- [5] RATHINASABAPATHI B. Metabolic engineering for stress tolerance: installing osmoprotectant synthesis pathways[J]. *Annals of Botany*, 2000, 86(4): 709. DOI: [10.1006/anbo.2000.1254](https://doi.org/10.1006/anbo.2000.1254).
- [6] 丁东霞, 李能慧, 李静, 等. 外源褪黑素对低温弱光胁迫下辣椒叶绿素荧光和抗氧化系统的影响[J]. *浙江农业学报*, 2022, 34(9): 1935. DOI: [10.3969/j.issn.1004-1524.2022.09.12](https://doi.org/10.3969/j.issn.1004-1524.2022.09.12).
- [7] 刘洁, 阎世江, 张继宁, 等. 低温弱光对黄瓜矿质元素含量的影响[J]. *河北科技师范学院学报*, 2015, 29(4): 18. DOI: [10.3969/J.ISSN.1672-7983.2015.04.004](https://doi.org/10.3969/J.ISSN.1672-7983.2015.04.004).
- [8] 谢尚强, 王文霞, 张付云, 等. 植物生物刺激素研究进展[J]. *中国生物防治学报*, 2019, 35(3): 487. DOI: [10.16409/j.cnki.2095-039x.2019.03.017](https://doi.org/10.16409/j.cnki.2095-039x.2019.03.017).
- [9] 薛国希, 高辉远, 李鹏民, 等. 低温下壳聚糖处理对黄瓜幼苗生理生化特性的影响[J]. *植物生理与分子生物学学报*, 2004, 30(4): 441. DOI: [10.3321/j.issn:1671-3877.2004.04.012](https://doi.org/10.3321/j.issn:1671-3877.2004.04.012).
- [10] 郭欣, 林育钊, 林河通, 等. 壳聚糖处理对西番莲果实感病指数、抗病相关酶活性和抗病物质含量的影响[J]. *食品科学*, 2021, 42(15): 206. DOI: [10.7506/spkx1002-6630-20200723-315](https://doi.org/10.7506/spkx1002-6630-20200723-315).
- [11] 孙磊, 陈国祥, 吕川根, 等. 壳聚糖对低温处理下水稻剑叶光合特性的影响[J]. *南京师大学报(自然科学版)*, 2010, 33(4): 75. DOI: [10.3969/j.issn.1001-4616.2010.04.016](https://doi.org/10.3969/j.issn.1001-4616.2010.04.016).
- [12] 罗兵, 孙海燕. 壳聚糖对黄瓜幼苗冷害损伤的缓解效应[J]. *安徽农业科学*, 2006, 34(16): 4039. DOI: [10.3969/j.issn.0517-6611.2006.16.088](https://doi.org/10.3969/j.issn.0517-6611.2006.16.088).
- [13] 樊国华, 金芳. 壳聚糖和水杨酸对低温胁迫下草莓抗寒性的影响[J]. *甘肃农业大学学报*, 2008, 43(2): 83. DOI: [10.3969/j.issn.1003-4315.2008.02.019](https://doi.org/10.3969/j.issn.1003-4315.2008.02.019).
- [14] 李丽, 潘仕玉. 壳聚糖处理对鲜切金秋梨的防褐变效果研究[J]. *现代食品*, 2021, 27(4): 118. DOI: [10.16736/j.cnki.cn41-1434/ts.2021.04.034](https://doi.org/10.16736/j.cnki.cn41-1434/ts.2021.04.034).
- [15] 牛云然. 外源物质对低温下辣椒幼苗抗冷性的影响[D]. 邯郸: 河北工程大学, 2020.
- [16] 舒英杰, 时侠清, 张子学, 等. 壳聚糖对黄瓜种子萌发及幼苗抗冷性的效应[J]. *种子*, 2007, 26(1): 22. DOI: [10.16590/j.cnki.1001-4705.2007.01.044](https://doi.org/10.16590/j.cnki.1001-4705.2007.01.044).
- [17] AL-GHAMDI A A. Marjoram physiological and molecular performance under water stress and chitosan treatment[J]. *Acta Physiologiae Plantarum*, 2019, 41(4): 44. DOI: [10.1007/s11738-019-2830-0](https://doi.org/10.1007/s11738-019-2830-0).
- [18] GERMAI M, MAJIDIAN P, GHORBANPOUR A, et al. *Stevia rebaudiana* Berton responses to salt stress and chitosan elicitor[J]. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 2020, 26(5): 965. DOI: [10.1007/s12298-020-](https://doi.org/10.1007/s12298-020-)

- 00788-0.
- [19] 闫晓花. 低温胁迫下壳聚糖对辣椒幼苗生理生化特性影响的研究[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2007.
- [20] HIDANGMAYUM A, DWIVEDI P, KATIYAR D, et al. Application of chitosan on plant responses with special reference to abiotic stress[J]. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 2019, 25(2): 313. DOI: [10.1007/s12298-018-0633-1](https://doi.org/10.1007/s12298-018-0633-1).
- [21] 邵兴云. 丝瓜的生物学特性和开发利用[J]. *生物学通报*, 2004, 39(5): 9. DOI: [10.3969/j.issn.0006-3193.2004.05.004](https://doi.org/10.3969/j.issn.0006-3193.2004.05.004).
- [22] 颜国纲, 郑振佳, 时新刚, 等. 丝瓜的营养价值及其综合利用研究进展[J]. *中国果菜*, 2011(7): 35. DOI: [10.3969/j.issn.1008-1038.2011.07.025](https://doi.org/10.3969/j.issn.1008-1038.2011.07.025).
- [23] 程杰. 我国黄瓜、丝瓜起源考[J]. *南京师大学报(社会科学版)*, 2018(2): 47. DOI: [10.3969/j.issn.1001-4608.2018.02.006](https://doi.org/10.3969/j.issn.1001-4608.2018.02.006).
- [24] 练华山, 李欣欣, 林立金, 等. 表油菜素内酯对夏黑葡萄幼苗生长的影响[J]. *浙江农业学报*, 2021, 33(10): 1889. DOI: [10.3969/j.issn.1004-1524.2021.10.12](https://doi.org/10.3969/j.issn.1004-1524.2021.10.12).
- [25] 熊庆娥. 植物生理学实验教程[M]. 成都: 四川科学技术出版社, 2003.
- [26] 曹建康, 姜微波, 赵玉梅. 果蔬采后生理生化实验指导[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2007.
- [27] 周佩珍. 光合作用中光能被植物色素吸收及光化学反应的机制[J]. *生物学通报*, 1962(4): 14.
- [28] 刘术均, 陶承光, 张伟春, 等. 爱密挺、壳聚糖对低温胁迫下茄子幼苗光合特性的影响[J]. *江苏农业科学*, 2010(2): 150. DOI: [10.15889/j.issn.1002-1302.2010.02.091](https://doi.org/10.15889/j.issn.1002-1302.2010.02.091).
- [29] 李晓靖, 崔海军. 低温胁迫下植物光合生理研究进展[J]. *山东林业科技*, 2018, 48(6): 90. DOI: [10.3969/j.issn.1002-2724.2018.06.027](https://doi.org/10.3969/j.issn.1002-2724.2018.06.027).
- [30] 刘慧民, 苏青, 仇茜, 等. 低温锻炼对两种绣线菊光合作用蛋白及光合能力的影响[J]. *园艺学报*, 2015, 42(2): 321. DOI: [10.16420/j.issn.0513-353x.2014-0221](https://doi.org/10.16420/j.issn.0513-353x.2014-0221).
- [31] 陈锦芬, 侯爽, 顾开元, 等. 外源水杨酸对低温胁迫下低温敏感性不同的烤烟品种烟叶生理特性的影响[J]. *中国烟草学报*, 2022, 28(3): 35. DOI: [10.16472/j.chinatabacco.2021.218](https://doi.org/10.16472/j.chinatabacco.2021.218).
- [32] 马晓华, 胡青荻, 张庆良, 等. 2个蝴蝶兰品种对低温胁迫的生理响应[J]. *西南林业大学学报(自然科学)*, 2021, 41(4): 72. DOI: [10.11929/j.swfu.202009013](https://doi.org/10.11929/j.swfu.202009013).
- [33] 朱云林, 顾大路, 王伟中, 等. 壳聚糖对水稻幼苗抗冷性的影响[J]. *江苏农业科学*, 2017, 45(8): 66. DOI: [10.15889/j.issn.1002-1302.2017.08.018](https://doi.org/10.15889/j.issn.1002-1302.2017.08.018).
- [34] 倪洋, 张雪, 刘玉凤, 等. 夜间低温对番茄幼苗吸收矿质元素的影响[J]. *华北农学报*, 2013, 28(4): 93. DOI: [10.3969/j.issn.1000-7091.2013.04.018](https://doi.org/10.3969/j.issn.1000-7091.2013.04.018).
- [35] 魏晓凯, 何佶弦, 俞世康, 等. 外源亚精胺对低温胁迫下烟草种子萌发及幼苗生理特性的影响[J]. *江苏农业科学*, 2022, 50(7): 94. DOI: [10.15889/j.issn.1002-1302.2022.07.014](https://doi.org/10.15889/j.issn.1002-1302.2022.07.014).
- [36] 姜秀梅. 外源物质处理对低温胁迫下辣椒种子萌发及幼苗抗冷性的影响[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2014.
- [37] 杨文飞, 杜永林, 顾大路, 等. 4种调节物质对水稻耐低温能力的影响[J]. *江苏农业学报*, 2017, 33(4): 739. DOI: [10.3969/j.issn.1000-4440.2017.04.003](https://doi.org/10.3969/j.issn.1000-4440.2017.04.003).
- [38] 张佩茹. 根区低温对番茄幼苗矿质元素吸收运输的影响[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2020.

责任编辑: 何馨成