

翟挺楷,郝思怡,林碧英,等.愈合期不同光照度对亚低温胁迫下黄瓜嫁接苗生长和生理的影响[J].江苏农业科学,2023,51(1):129-135.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2023.01.019

愈合期不同光照度对亚低温胁迫下黄瓜嫁接苗生长和生理的影响

翟挺楷¹,郝思怡¹,林碧英¹,熊伟任¹,钟路明¹,储玉凡²,林黄昉¹

(1. 福建农林大学园艺学院/福建农林大学蔬菜研究所,福建福州 350002;

2. 华中农业大学园艺林学学院/园艺植物生物学教育部重点实验室,湖北武汉 430070)

摘要:为探究愈合期不同光照度对黄瓜嫁接苗接受亚低温胁迫的影响,设置愈合期 6 个不同光照度处理,待嫁接苗完成愈合且到达 2 叶 1 心定植时期,模拟南方设施大棚春早熟茬定植时常遭遇的亚低温胁迫温度。结果表明,与传统黑暗相比,愈合期 1~3 d 补光有利于促进黄瓜嫁接苗综合形态指标提升,降低相对电导率,减少丙二醛(MDA)积累,增加脯氨酸(Pro)含量与叶绿素总量,提升光保护能力与光合效率。验证了愈合期 1~3 d 补光可提升黄瓜嫁接商品苗质量。其中,在愈合期 1~3、4~6、7~8 d 分别给予 45、90、135 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 光照度,黄瓜嫁接苗根冠比与壮苗指数最佳,定植后嫁接苗耐亚低温胁迫能力最强,促进叶绿素总量积累,且叶片的光保护能力与光合效率也最优,面对长时间亚低温胁迫时耐寒性最强。在亚低温胁迫下,愈合期补光以 45 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ - 90 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ - 135 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 为界限,低于界限光照度则促进黄瓜嫁接苗地上部生长与叶绿素积累,并提升光合效率;高于界限光照度则促进黄瓜嫁接苗根系生长与 Pro 积累。

关键词:亚低温;愈合期;黄瓜嫁接苗;光照度

中图分类号:S642.201

文献标志码:A

文章编号:1002-1302(2023)01-0129-07

黄瓜(*Cucumis sativus* L.)作为全球各国广泛栽培的园艺作物,近年来市场需求量日渐提高,但栽培过程中的连作障碍严重影响黄瓜的产量与品质,而嫁接技术的应用可有效克服蔬菜生产过程中连作障碍问题,提高植株抗逆性^[1-2],在黄瓜、番茄等蔬菜中应用广泛^[3-4],其中黄瓜嫁接苗的应用率更是达到 70% 以上^[5]。温度是影响黄瓜生长的首要因素,制约黄瓜栽培时间及分布范围,如何提高黄瓜嫁接苗的抗低温能力已成为目前主要研究方向^[6-8]。随着黄瓜设施温室、大棚栽培快速发展,同时为满足市场需要和提高黄瓜栽培的经济效益,南方地区常进行黄瓜春早熟设施大棚栽培。然而,春早熟设施栽培在实际生产中常受到“倒春寒”等天气影响而导致亚低温环境,从而影响黄瓜生长。因

此,探究亚低温胁迫对黄瓜嫁接苗的响应,对黄瓜春早熟栽培期间提升抗亚低温能力具有重大意义。

嫁接口的愈合直接决定嫁接苗的质量。近年来研究发现,光环境的调控可有效促进蔬菜嫁接口的愈合。刘方园等通过试验筛选出在 1~3、4~6、7~8 d 给予光照度处理 75、150、225 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 时西瓜嫁接苗成活率较高,且幼苗生长形态与光合特性较佳^[9];廖自月等对黄瓜嫁接苗愈合期光照度进行筛选,得出在 1~3、4~6、7~10 d 分别给予 45、90、135 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 的光照度,黄瓜嫁接苗愈合速度最快,且幼苗综合生长指标较好,可溶性糖与可溶性蛋白积累较多^[10-11]。然而,目前并未见关于愈合期最佳光照度下的黄瓜嫁接苗在后期(定植期)对逆境响应的相关研究报道。为此,本试验采用愈合期不同梯度的光照度对黄瓜进行嫁接愈合,将不同光照度下已愈合且达到定植标准的黄瓜嫁接苗进行亚低温胁迫,从植株形态、抗性指标、叶绿素含量和叶绿素荧光特性方面进行指标测定分析,旨在获得既能提高嫁接苗质量,进而又能提升定植后黄瓜嫁接苗对亚低温胁迫耐抗性的愈合最佳光照度梯度,为黄瓜嫁接苗耐抗性研究提供一些理论参考。

收稿日期:2022-03-11

基金项目:福建省科技重大专项(编号:2018NZ0002-2);福建农林大学创新专项(编号:CXZX2020141C);福建农林大学设施种苗工程服务团队项目(编号:11899170126)。

作者简介:翟挺楷(1999—),男,内蒙古呼和浩特人,研究方向为蔬菜学与设施园艺。E-mail:1318347546@qq.com。

通信作者:林碧英,教授,研究方向为蔬菜栽培生理与设施环境调控及无土栽培技术。E-mail:lby3675878@163.com。

1 材料与方法

1.1 材料

本试验在 2021 年 8—12 月于福建农林大学园艺学院设施农业科学与工程系人工气候室中进行。试验材料以南瓜壮士作砧木,黄瓜冬青作接穗,采购于福州市昌育农业开发有限公司。试验光源为 LED 白色荧光灯条,定制于福州市塔洛斯生物科技有限公司。试验 MDA(丙二醛)、Pro(脯氨酸)含量检测试剂盒采购于北京索莱宝科技有限公司。

1.2 试验设计

以冬青 + 壮士为嫁接组合进行催芽育苗与嫁接,嫁接采用改良顶插固定法^[12]。在福建农林大学蔬菜研究所课题组相关研究结果基础上,于嫁接后 1~3、4~6、7~10 d 分别按梯度对应光照度设置 5 个试验处理 T1~T5,并以嫁接后 1~3、4~6、7~10 d 光照度梯度 0、30、45 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 为对照(表 1)。除光照外,其他环境条件为:昼夜温 25 $^{\circ}\text{C}/18^{\circ}\text{C}$,湿度 90%、80%、70%,光周期 12 h/12 h。嫁接后 10 d 完全愈合,将每处理嫁接苗 45 株移入温室大棚 3 d,并继续保持昼夜温 25 $^{\circ}\text{C}/18^{\circ}\text{C}$ 缓苗,其他依常规生产管理。缓苗结束后嫁接苗已长至 2 叶 1 心(即商品苗定植期)时,将苗移入人工气候室模拟我国南方地区春早熟设施大棚栽培模式下易出现的亚低温环境,以昼夜温 18 $^{\circ}\text{C}/12^{\circ}\text{C}$ 、光照度 80 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 、光周期 12 h/12 h 环境进行亚低温胁迫处理 8 d。分别在亚低温处理后 0、4、8 d 测定相关指标,每处理随机取样 10 株测形态指标与第 1 张真叶叶绿素荧光参数,随后迅速对叶片取样通过液氮冷冻并保存在 -80 $^{\circ}\text{C}$ 超低温冰箱,用于后期相关生理指标测定,每处理设 3 次重复。

1.3 测定方法

1.3.1 生长指标测定 使用 PD-151 数显游标卡尺测量接穗茎粗、株高、结合部直径数据,其中株高为植株基部到最高处长度。使用电子天平(精确度为 0.000 1 g)称量嫁接苗地上部与地下部干质量。根系指标使用 EPSON Expression 110000XL 扫描仪进行测定。全株干质量 = 地上部干质量 + 地下部干质量;根冠比 = 地下部干质量/地上部干质量 $\times 100\%$;嫁接壮苗指数 = 结合部茎粗/接穗茎粗 \times 全株干质量^[13]。

1.3.2 抗性指标测定 采用电导仪器法^[14]测定相对电导率;采用植物 MDA、Pro 含量检测试剂盒测定

表 1 愈合期不同光照度梯度处理设计

处理	光照度 [$\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]	嫁接时间 (d)
CK	0-30-45	1~3、4~6、7~10
T1	15-30-45	1~3、4~6、7~10
T2	30-60-90	1~3、4~6、7~10
T3	45-90-135	1~3、4~6、7~10
T4	60-120-180	1~3、4~6、7~10
T5	75-150-225	1~3、4~6、7~10

注:CK 表示嫁接后 1~3 d 给予 0 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 光照度,嫁接后 4~6 d 给予 30 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 光照度,嫁接后 7~10 d 给予 45 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 光照度,其他处理依此类推。

黄瓜嫁接苗抗性指标。

1.3.3 叶绿素含量测定 取嫁接苗真叶部分,采用丙酮、无水乙醇 1:1 体积混合液浸提叶绿素 12 h,分光光度计测定 663、645 nm 处吸光度^[15]。计算公式:叶绿素 a 含量(mg/g ,FW) = $(12.7D_{663\text{nm}} - 2.69D_{645\text{nm}}) \times V/1\,000 \times m$;叶绿素 b 含量(mg/g ,FW) = $(22.9D_{645\text{nm}} - 4.68D_{663\text{nm}}) \times V/1\,000 \times m$;叶绿素总量(mg/g ,FW) = 叶绿素 a 含量 + 叶绿素 b 含量。式中:V 表示丙酮与无水乙醇混合溶液的体积;m 表示样品质量。

1.3.4 叶绿素荧光参数测定 各处理随机取嫁接苗 5 株并进行 30 min 暗适应处理,用 IMAGING-PAM 荧光成像仪测定,叶片统一选择第 1 张真叶,并记录 F_0 (初始荧光)、 F_m (最大荧光产量)、Y(II)(PS II 实际光化学量子速率)、Y(NO)(PS II 非调节性能量耗散)和 NPQ(非光化学猝灭系数)相关参数。 $F_v/F_m = (F_m - F_0)/F_m$ ^[16]。

1.4 数据处理

采用 Excel 2019 进行数据处理与图表绘制;植株形态、抗性指标与叶绿素含量去除最大值与最小值后 3 次重复进行分析,叶绿素荧光特性去除最大值与最小值后 12 次重复进行分析;数据单因素方差分析采用 IBM SPSS Statistics 20 软件 Duncan's 法($\alpha = 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 愈合期不同光照度对黄瓜嫁接苗定植后亚低温胁迫下综合形态的影响

表 2 所示为愈合期不同光照度处理获得的黄瓜嫁接苗,在 2 叶 1 心时受亚低温胁迫下综合形态指标的影响。亚低温处理当天,各处理嫁接苗接穗茎

粗从大到小为 T3 > T2 > T4 > T5 > T1 > CK,株高各处理间无显著差异;总根长、根表面积和分根数以 T3 最高。亚低温胁迫处理后 4 d,各处理嫁接苗接穗茎粗从大到小均为 T3 > T1 > T2 > T5 > T4 > CK;嫁接后 8 d,各处理嫁接苗接穗茎粗从大到小为 T3 > T1 > T5 > T4 > CK > T2、株高从大到小均为 T3 > T1 > T2 > T5 > CK > T4,且在处理后 8 d 达最大值,此时 T3 的接穗茎粗、株高分别比 CK 提升 5.08%、7.38%,且与 CK 存在显著差异;T3、T4、T5 的总根长、根表面积和分根数总体高于 CK、T1、T2,且以 T3 最大。

亚低温处理当天,各处理嫁接苗根冠比均无显

著差异;嫁接壮苗指数从大到小为 T3 > T4 > T5 > T2 > T1 > CK,各处理与 CK 均存在显著差异。亚低温胁迫处理后 4 d,根冠比从小到大为 T3 < T2 < T1 < CK < T4 < T5,且各处理间还是无显著差异;嫁接壮苗指数从大到小 T3 > T1 > T2 > CK > T5 > T4,最大值 T3 与各处理均存在显著差异。亚低温胁迫处理后 8 d,各处理间根冠比从小到大为 T3 < T2 < T1 < CK = T5 < T4,其中 T3 较 CK 降低 34.4%,呈显著性差异;嫁接壮苗指数从大到小为 T3 > T5 > T2 > T1 > T4 > CK,其中 T3 较 CK 提升 75.24%,呈显著性差异。

表 2 愈合期不同光照度对黄瓜嫁接苗定植后亚低温胁迫下综合形态的影响

亚低温处理 时间(d)	处理	接穗茎粗 (mm)	株高 (mm)	总根长 (cm)	根表面积 (cm ²)	分根数 (个)	根冠比	嫁接壮苗指数
0	CK	3.75 ± 0.32c	84.58 ± 1.21a	447.08 ± 4.74d	60.89 ± 12.48d	968.33 ± 8.02d	0.118 ± 0.006a	0.103 ± 0.003c
	T1	3.78 ± 0.12bc	84.25 ± 2.32a	453.67 ± 10.97d	60.79 ± 2.94d	984.67 ± 17.62d	0.117 ± 0.012a	0.106 ± 0.002bc
	T2	4.11 ± 0.06a	84.21 ± 2.71a	493.71 ± 5.81bc	70.50 ± 0.58cd	1 102.00 ± 70.55c	0.110 ± 0.005a	0.107 ± 0.002bc
	T3	4.22 ± 0.06a	84.12 ± 1.11a	510.53 ± 2.47a	89.46 ± 3.06a	1 646.00 ± 18.08a	0.108 ± 0.005a	0.113 ± 0.004a
	T4	4.09 ± 0.10a	84.91 ± 1.50a	494.97 ± 7.50b	83.83 ± 2.54ab	1 301.67 ± 41.68b	0.116 ± 0.008a	0.110 ± 0.002ab
	T5	4.03 ± 0.05ab	84.50 ± 1.24a	482.00 ± 4.62c	76.82 ± 4.38bc	1 168.33 ± 95.50c	0.121 ± 0.006a	0.109 ± 0.002ab
4	CK	4.24 ± 0.08a	85.00 ± 4.11a	575.42 ± 31.28ab	78.13 ± 7.48b	1 337.67 ± 1.58b	0.099 ± 0.015a	0.251 ± 0.031b
	T1	4.43 ± 0.03a	88.31 ± 2.98a	455.57 ± 101.49b	61.76 ± 10.52b	1 072.00 ± 304.56b	0.092 ± 0.021a	0.320 ± 0.039b
	T2	4.42 ± 0.01a	88.17 ± 4.12a	512.93 ± 92.57ab	79.32 ± 9.01ab	1 215.67 ± 195.44b	0.088 ± 0.004a	0.316 ± 0.036b
	T3	4.50 ± 0.08a	91.67 ± 5.18a	799.63 ± 243.83a	105.09 ± 3.43a	1 956.33 ± 673.79a	0.082 ± 0.010a	0.450 ± 0.011a
	T4	4.34 ± 0.32a	84.93 ± 1.48a	668.16 ± 225.64ab	96.22 ± 28.66ab	1 749.67 ± 54.42ab	0.103 ± 0.024a	0.233 ± 0.035b
	T5	4.35 ± 0.33a	86.04 ± 5.01a	604.61 ± 132.06ab	85.42 ± 20.77ab	1 683.67 ± 476.62ab	0.104 ± 0.031a	0.242 ± 0.095b
8	CK	4.33 ± 0.11b	85.47 ± 1.24d	578.43 ± 3.28ab	78.58 ± 2.86ab	1 359.00 ± 1.53b	0.090 ± 0.004a	0.202 ± 0.017c
	T1	4.51 ± 0.13a	89.55 ± 0.32b	530.69 ± 119.03c	74.33 ± 17.26b	1 370.00 ± 360.65b	0.087 ± 0.003a	0.250 ± 0.028bc
	T2	4.32 ± 0.08ab	89.32 ± 0.75b	650.93 ± 92.35b	90.77 ± 13.92ab	1 567.33 ± 311.29ab	0.086 ± 0.004a	0.253 ± 0.017bc
	T3	4.55 ± 0.08a	91.78 ± 0.98a	820.86 ± 15.30a	105.75 ± 29.43a	1 962.33 ± 372.83a	0.059 ± 0.022b	0.354 ± 0.075a
	T4	4.34 ± 0.02b	84.97 ± 0.23d	770.59 ± 14.90a	103.48 ± 10.79a	1 895.33 ± 59.59a	0.108 ± 0.027a	0.242 ± 0.011bc
	T5	4.43 ± 0.07ab	87.42 ± 0.25c	802.08 ± 9.67a	102.99 ± 2.55a	1 698.00 ± 45.51ab	0.090 ± 0.004a	0.303 ± 0.026ab

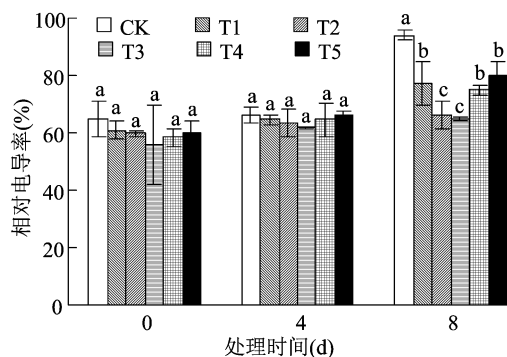
注:n=3。同列数据后不同小写字母表示处理间在 0.05 水平上差异显著。

2.2 愈合期不同光照度对黄瓜嫁接苗定植后亚低温胁迫下抗性的影响

2.2.1 对嫁接苗相对电导率的影响 图 1 为愈合期不同光照度处理获得的黄瓜嫁接苗,在 2 叶 1 心时受亚低温胁迫下相对电导率的影响。随着亚低温胁迫时间延长,不同光照度处理获得的嫁接苗相对电导率均呈现上升趋势。亚低温处理当天,各处理嫁接苗相对电导率从小到大为 T3 < T4 < T2 < T5 < T1 < CK,且各处理间无显著差异;亚低温处理后 4、8 d,不同光照度处理获得的黄瓜嫁接苗的相对

电导率从小到大均为 T3 < T2 < T4 < T1 < T5 < CK,处理后 4 d 各处理间依旧无显著差异,而处理后 8 d 时 CK 与其他处理相比均出现显著性差异,其中最小值 T3 较 CK 降低 30.82%。

2.2.2 对嫁接苗丙二醛含量的影响 图 2 为愈合期不同光照度处理获得的黄瓜嫁接苗,在 2 叶 1 心时受亚低温胁迫下 MDA 含量的影响。随着亚低温胁迫时间延长,不同光照度处理获得的嫁接苗 MDA 含量均呈现上升趋势。亚低温处理当天,各处理嫁接苗 MDA 含量从小到大为 T3 < T2 < T1 < T4 < T5 <



图中数值为同一处理 3 次重复平均值, 误差为标准差; 柱上不同小写字母表示处理间在 0.05 水平上差异显著。下同

图1 愈合期不同光照度对黄瓜嫁接苗定植后亚低温胁迫下相对电导率的影响

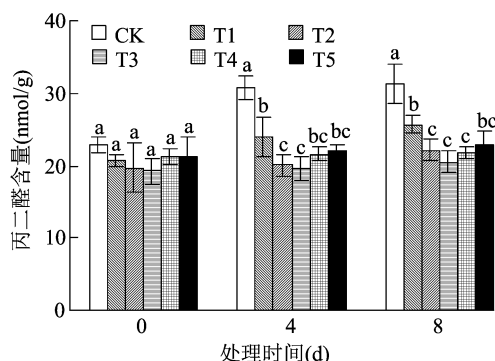


图2 愈合期不同光照度对黄瓜嫁接苗定植后亚低温胁迫下丙二醛含量的影响

CK, 且各处理间无显著差异; 亚低温处理后 4 d, 不同处理嫁接苗 MDA 含量从小到大为 T3 < T2 < T4 < T5 < T1 < CK, 但其他处理与 CK 相比均开始出现显著性差异。处理后 8 d, 不同处理嫁接苗的 MDA 含量从小到大为 T3 < T4 < T2 < T5 < T1 < CK, 最小值 T3 较 CK 减少 34.38%, 其他处理与 CK 相比均存在显著性差异。

2.2.3 对嫁接苗脯氨酸含量的影响 图 3 为愈合期不同光照度处理获得的黄瓜嫁接苗, 在 2 叶 1 心时受亚低温胁迫下 Pro 含量的影响。在亚低温胁迫下, 随着光照度的增强, 不同光照度处理获得的嫁接苗 Pro 含量呈上升趋势。亚低温处理当天, 各处理嫁接苗 Pro 含量从大到小为 T5 > T3 > T4 > T2 > T1 > CK, 各处理间无显著差异。亚低温处理后 4 d, 不同处理嫁接苗 Pro 含量从大到小为 T5 > T4 > T3 > T2 > T1 > CK, 其他各处理与 CK 相比均存在显著差异。亚低温处理后 8 d, 不同处理嫁接苗的 Pro 含量从大到小为 T4 > T5 > T3 > T2 > T1 > CK, 其中最大值 T4 较 CK 提升 33.28%, 呈显著性差异。

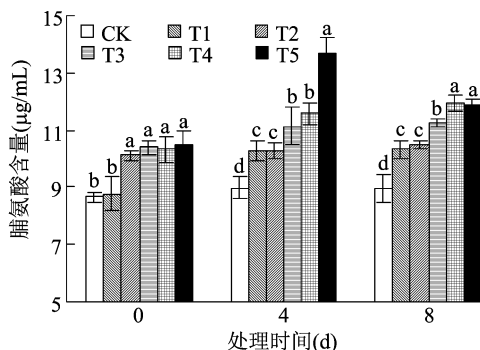


图3 愈合期不同光照度对黄瓜嫁接苗定植后亚低温胁迫下脯氨酸含量的影响

2.3 愈合期不同光照度对黄瓜嫁接苗定植后亚低温胁迫下叶绿素总量的影响

植物光合作用直接关系着生长状态与产量, 是植物最重要的合成代谢途径之一^[17]。图 4 为愈合期不同光照度处理获得的黄瓜嫁接苗, 在 2 叶 1 心时受亚低温胁迫下叶绿素总量的影响。随着亚低温胁迫时间延长, 不同光照度处理获得的嫁接苗叶绿素总量呈现先上升后下降趋势。亚低温处理当天, 各处理嫁接苗叶绿素总量从大到小为 T3 > T4 > T2 > T5 > T1 > CK, 最大值 T3 较 CK 提升 7.89%, 呈显著性差异。亚低温处理后 4 d, 不同处理嫁接苗的叶绿素总量从大到小为 T3 > T2 > T1 > CK > T5 > T4, T4 与 T5 同其他各处理存在显著差异。亚低温处理后 8 d, 不同处理嫁接苗的叶绿素总量从大到小为 T3 > T2 > T4 > T1 > CK > T5, 最大值 T3 较 CK 提升 7.76%, 且差异显著。

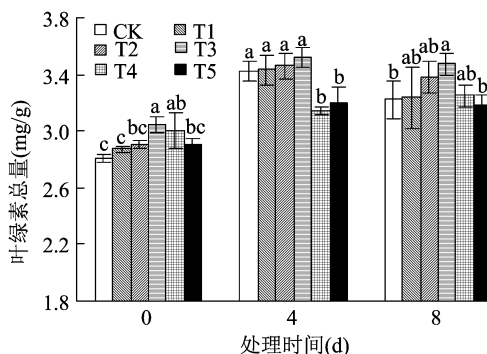
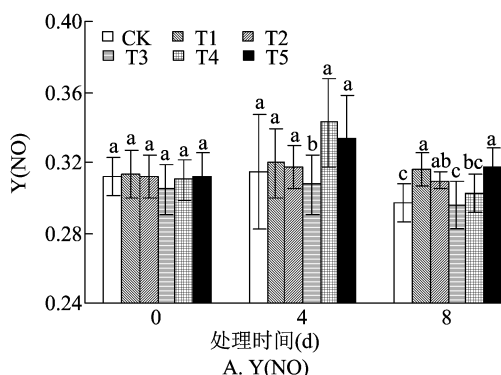


图4 愈合期不同光照度对黄瓜嫁接苗定植后亚低温胁迫下叶绿素总量的影响

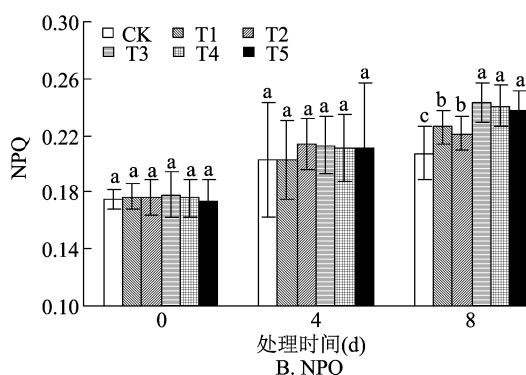
2.4 愈合期不同光照度对黄瓜嫁接苗定植后亚低温胁迫下叶绿素荧光参数的影响

2.4.1 对嫁接苗 Y(NO) 和 NPQ 的影响 叶绿素荧光参数被称为光合作用的探针, 可反映光合机构内部一系列重要的调节过程^[18]。图 5-A 与图 5-B 为愈

合期不同光照度处理获得的黄瓜嫁接苗,在 2 叶 1 心时受亚低温胁迫下 Y(NO) 和 NPQ 的影响。亚低温处理当天,各处理嫁接苗 Y(NO) 和 NPQ 均无显著差异。亚低温后 4 d,各处理 Y(NO) 从小到大为 T3 < CK < T2 < T1 < T5 < T4,只有 T3 与 CK 间差异显著;



NPQ 从大到小为 T2 > T3 > T4 = T5 > CK = T1,各处理无明显差异。亚低温处理后 8 d,各处理间 Y(NO) 以 T3 最低,其次为 CK,二者间无显著差异,而与其他处理相比差异显著;NPQ 以 T3 最高,较 CK 提升 17.2%,且 T1 ~ T5 与 CK 相比均差异显著。



图中数值为同一处理 12 次重复平均值,误差为标准差。图 6 同
图 5 愈合期不同光照度对黄瓜嫁接苗定植后亚低温胁迫下 Y(NO) 和 NPQ 的影响

2.4.2 对嫁接苗 F_v/F_m 和 Y(II) 的影响 图 6 - A 与图 6 - B 为愈合期不同光照度处理获得的黄瓜嫁接苗,在 2 叶 1 心时受亚低温胁迫下 F_v/F_m 和 Y(II) 的影响。亚低温处理当天,各处理嫁接苗 F_v/F_m 从大到小为 T3 > T2 > T1 > T4 > T5 > CK, Y(II) 从大到小为 T3 > T4 > T2 > T1 = T5 > CK。亚

低温处理后 4 d, F_v/F_m 以 T3 > T2 > T1 > CK > T4 > T5 排序; Y(II) 以 T3 > T2 > CK > T4 > T5 > T1 排序。亚低温处理后 8 d,各处理 F_v/F_m 和 Y(II) 均以 T3 最大,与 CK 相比分别提升 13.8% 与 7.39%,且均差异显著。

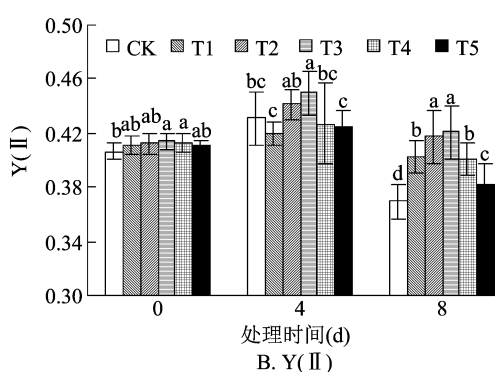
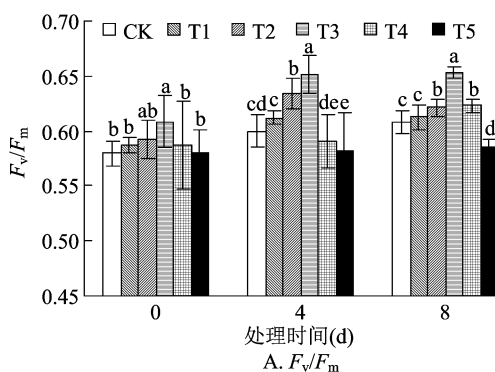


图 6 愈合期不同光照度对黄瓜嫁接苗定植后亚低温胁迫下 F_v/F_m 和 Y(II) 的影响

3 讨论与结论

3.1 愈合期不同光照度对黄瓜嫁接苗定植后亚低温胁迫的形态指标影响

嫁接苗抗逆性的情况直接由嫁接苗生长状况体现^[19],这主要受嫁接苗砧穗亲和性^[20]与嫁接苗愈合程度^[21]所影响,光环境调控主要影响嫁接苗愈合程度。本试验结果表明,愈合后嫁接苗(即亚低温胁迫当天),T1 ~ T5 处理地上部接穗茎粗、地下部总根长、根表面积和分根数明显高于 CK,但株高总

体上低于 CK,说明愈合期 1 ~ 3 d 补光有助于黄瓜嫁接苗生长,这与储玉凡等研究黄瓜嫁接苗愈合期最优光照度结果^[11]一致。愈合期不同光照度处理获得的黄瓜嫁接苗在亚低温胁迫下,T1 ~ T5 处理各基础形态指标均优于 CK,其中以 T3 表现最佳。说明愈合期不同光照度处理获得的黄瓜嫁接苗,在定植后遇到亚低温胁迫时对耐寒性的应答不同,其中以 T3 处理的黄瓜嫁接苗耐寒性最佳。此外,本研究发现,随着亚低温胁迫时间的延长,以 T3 为界限,T1 与 T2 地上部生长优于 T4 与 T5,这与亢亚超

等研究发现“在适宜弱光条件下有利于双色木番茄地上部生长”的研究结果^[22]相似;T4 与 T5 地下部生长优于 T1 与 T2,这与邵明杰等发现“强光下促进生菜根系生长”的结果^[23]一致。说明在亚低温胁迫时,愈合期 1~3 d 补光低于 T3 有利于地上部生长,愈合期 1~3 d 补光高于 T3 可促进地下部生长。

植物的根冠比表现出其地下部与地上部的相关性,壮苗指数表现出植株的壮实情况。本试验结果发现,愈合后嫁接苗(即亚低温胁迫当天),各处理间根冠比无显著差异,且以 T3 最小;T1~T5 处理壮苗指数显著优于 CK,且以 T3 最大。说明愈合期 1~3 d 补光有助于黄瓜嫁接苗维持地上与地下部相关性,且利于壮苗,其中 T3 处理效果最好。随着亚低温胁迫时间的延长,各处理间根冠比不断下降,壮苗指数呈先上升后下降趋势,最终以 T3 最优。说明在亚低温胁迫下,T3 处理黄瓜嫁接苗的根冠比最优,最有利于壮苗形成。

3.2 愈合期不同光照度对黄瓜嫁接苗定植后亚低温胁迫的抗逆指标影响

当植物遭受冷害时,其体内的细胞膜受到损伤而导致选择透过性降低,引起细胞内可溶性物质大量外渗^[24],MDA 含量可有效体现脂质氧化水平,随着 MDA 含量在植株体内逐渐积累,植株电解质渗透率不断上升^[25],加深对植株的伤害。本试验结果发现,在遇到亚低温胁迫时,T1~T5 处理的相对电导率与 MDA 含量均低于 CK,其中以 T3 最低。随着亚低温时间的延长,各处理间相对电导率与 MDA 含量的差异更加明显,仍以 T3 最低。说明愈合期 1~3 d 补光有利于黄瓜嫁接苗受亚低温胁迫时降低细胞膜损伤与 MDA 含量,面对长期亚低温胁迫,各补光处理耐寒性呈增强趋势,其中以 T3 效果最优。

Pro 作为植物细胞中的渗透物质,可保持原生质渗透平衡。在冷害胁迫条件下,植物体内 Pro 的积累可以保护组织免遭冷害^[26]。本试验结果表明,亚低温胁迫当天,T2~T5 处理 Pro 含量显著提高,且各处理间以 CK 最低。亚低温胁迫后 4、8 d,T1~T5 处理 Pro 含量显著高于 CK。说明愈合期 1~3 d 补光较传统黑暗处理有利于 Pro 的积累,且随着光照度的提升,Pro 含量逐渐增多。

3.3 愈合期不同光照度对黄瓜嫁接苗定植后亚低温胁迫的叶绿素总量影响

植物光合色素含量直接影响着光合作用与光

合电子传递效率^[27],低温环境下对其体内的叶绿素含量产生抑制作用。杜清洁等发现,亚低温胁迫会降低番茄光合色素的积累,同时番茄净光合速率显著下降^[28]。本试验结果表明,亚低温胁迫当天,各处理叶绿素总量存在显著差异,T1~T5 处理高于 CK,其中以 T3 最高。说明愈合期 1~3 d 补光明显有利于黄瓜嫁接苗叶绿素总量的积累,且以 T3 处理积累最多。随着亚低温胁迫时间的延长,T1~T3 叶绿素总量积累始终高于 CK,且以 T3 最大。说明在亚低温胁迫时,愈合期 1~3 d 补光低于 T3 有利于促进地上部叶绿素含量的积累,其中以 T3 处理增加最多。

3.4 愈合期不同光照度对黄瓜嫁接苗定植后亚低温胁迫的叶绿素荧光影响

Y(NO)和 NPQ 均代表着 PS II 非调节性的能量耗散,随着 Y(NO)的提高,植株光化学能量转化能力与自我保护调节机制都不同程度降低;NPQ 值越高,则越有利于植物抵抗外界环境中的不良光系统损害^[29]。本试验结果表明,在遇到亚低温胁迫时,Y(NO)均指向 T3 处理最优,CK 次好之;NPQ 在亚低温胁迫后 4 d,各处理无明显差异,亚低温胁迫后 8 d,T1~T5 处理显著高于 CK,且以 T3 最大。说明在亚低温胁迫下,各处理间 T3 与 CK 的自我保护调节机制较优;而与 CK 相比,愈合期 1~3 d 补光有利于黄瓜嫁接苗定植后提升光保护能力。

F_v/F_m 可有效反映植株光合潜能与最大光合效率^[30];Y(II)表现植株高光合效能,随着 Y(II)的增高,植株高光合效能增大^[31]。本试验结果表明,亚低温胁迫当天, F_v/F_m 与 Y(II)各处理间存在显著性差异,以 T3 最大,CK 最小。说明愈合期 1~3 d 补光有利于提升黄瓜嫁接苗光合效率。在亚低温胁迫 4、8 d, F_v/F_m 呈现同叶绿素总量类似规律,T1~T3 处理始终大于 CK,且以 T3 最高。随着亚低温胁迫时间延长,T1~T5 处理的 Y(II)呈先上升后下降趋势,并在胁迫后 8 d 时显著高于 CK,其中以 T3 最大。说明在亚低温胁迫下,愈合期 1~3 d 补光有利于黄瓜嫁接苗定植后提升光合效率,且各处理间以 T3 的光合潜能与高光合效能最优。同时以 T3 为界限,愈合期光照度梯度低于 T3,则黄瓜嫁接苗最大光合效率较优。

4 结论

总而言之,愈合期 1~3 d 补光的黄瓜嫁接苗与

CK(1~3 d 黑暗)相比,在愈合后进行亚低温胁迫时可有效缓解低温胁迫对生长的影响,促进幼苗综合形态指标提升,同时有利于降低相对电导率,减少丙二醛(MDA)积累,增加脯氨酸(Pro)含量,提升光保护能力与光合效率。验证了“愈合期 1~3 d 补光可有效提升黄瓜嫁接苗质量”的结论。其中,T3 的光照度梯度下愈合的黄瓜嫁接苗根冠比与壮苗指数最佳,抗亚低温胁迫能力最强,叶绿素总量积累最多,光保护能力与光合效率最优,面对长时间亚低温胁迫时耐寒性最强。且愈合期补光低于 T3 可促进黄瓜嫁接苗亚低温环境地上部生长与光合色素积累,并提升光合效率;补光高于 T3 可促进黄瓜嫁接苗亚低温环境下的根系生长与 Pro 积累。然而,本试验仅研究了愈合期不同光照度梯度的黄瓜嫁接苗在定植后亚低温胁迫的响应,对于在其他环境胁迫下是否会得出相同结论,还有待进一步研究探索。

参考文献:

- [1]魏国平,唐于银,张晓青. 嫁接对蔬菜作物生理与抗性影响的研究进展[J]. 江苏农业科学,2012,40(9):135-138.
- [2]de Toledo R C M,Nakada-Freitas P G,Tavares A E B,et al. Seed production and quality in grafted cucumber[J]. International Journal of Vegetable Science,2020,26(4):379-384.
- [3]刘明池,季延海,武占会,等. 我国蔬菜育苗产业现状与发展趋势[J]. 中国蔬菜,2018(11):1-7.
- [4]Sun F Q, Ma S, Gao L H, et al. Enhancing root regeneration and nutrient absorption in double-rootcutting grafted seedlings by regulating light intensity and photoperiod[J]. Scientia Horticulturae, 2020, 264: 109192.
- [5]熊作明,袁伟,陈学好,等. 亚低温对温室黄瓜生长发育的影响[J]. 中国蔬菜,2007(11):19-21.
- [6]张红梅,金海军,丁小涛,等. 不同砧木黄瓜嫁接苗对温度胁迫的生理响应及其抗性评价[J]. 西北植物学报,2019,39(7):1259-1269.
- [7]张自坤,刘世琦,王忠全,等. 低温胁迫对不同砧木黄瓜嫁接苗生理生化指标的影响[J]. 山东农业科学,2009,41(5):36-40.
- [8]鲁军阳,高敏,卫楠楠,等. 南瓜砧木嫁接对低温下西瓜幼苗耐冷性、光合作用及抗逆基因表达的影响[J]. 华中农业大学学报,2019,38(2):55-64.
- [9]刘方园,黄远,万正杰,等. 不同温度和光照处理对西瓜嫁接苗生长的影响[J]. 北方园艺,2016(2):1-5.
- [10]廖自月,林碧英,王悦,等. 不同梯度光照度对黄瓜嫁接苗愈合及幼苗质量影响[J]. 热带作物学报,2020,41(4):701-708.
- [11]储玉凡,翟挺楷,林碧英,等. 愈合期不同光照强度对黄瓜嫁接苗的影响[J]. 中国瓜菜,2021,34(1):49-54.
- [12]林碧英,廖自月,钟路明,等. 一种黄瓜顶插固定的嫁接方法:CN109258157A[P]. 2019-01-25.
- [13]杨凡,郭家彤,马凯. 丛枝菌根真菌对黄瓜双断根嫁接苗生长发育的影响[J]. 中国瓜菜,2020,33(12):61-65.
- [14]王学奎. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 2版. 北京:高等教育出版社,2006:186-280.
- [15]陈福明,陈顺伟. 混合液法测定叶绿素含量的研究[J]. 浙江林业科技,1984,4(1):19-23,36.
- [16]王中玉,逯昀,陈昆. NaCl 胁迫对西瓜幼苗叶绿素荧光、光合特性、渗透调节及酶活性的影响[J]. 山西农业科学,2020,48(12):1909-1912.
- [17]王玉珏,付秋实,郑禾,等. 干旱胁迫对黄瓜幼苗生长、光合生理及气孔特征的影响[J]. 中国农业大学学报,2010,15(5):12-18.
- [18]岑海燕,姚洁妮,翁海勇,等. 叶绿素荧光技术在植物表型分析的研究进展[J]. 光谱学与光谱分析,2018,38(12):3773-3779.
- [19]高方胜,王磊,徐坤. 砧木与嫁接番茄产量品质关系的综合评价[J]. 中国农业科学,2014,47(3):605-612.
- [20]李国英,杨建明,阳筠,等. 薄皮甜瓜嫁接砧木亲和性研究[J]. 长江蔬菜,2018(20):66-68.
- [21]蒋欣梅,田雪,陈映彤,等. 双断根嫁接对辣椒嫁接苗愈合及生长的影响[J]. 北方园艺,2021(2):10-16.
- [22]亢亚超,尹婷,王凌晖,等. 双色木番茄幼苗对弱光的生长响应及综合评价分析[J]. 北方园艺,2019(20):68-74.
- [23]邵明杰,刘文科,周成波,等. LED 红蓝组合光谱下强光照射时长及频率对生菜生长及营养元素吸收的影响[J]. 光谱学与光谱分析,2021,41(9):2853-2858.
- [24]陈禹兴,付连双,王晓楠,等. 低温胁迫对冬小麦恢复生长后植株细胞膜透性和丙二醛含量的影响[J]. 东北农业大学学报,2010,41(10):10-16.
- [25]徐卫平,蒋景龙,任绪明,等. 低温胁迫对 3 种柑橘幼苗细胞膜及渗透调节的影响[J]. 分子植物育种,2017,15(3):1104-1108.
- [26]高添乐,陈丹仪,李云峰,等. 外源赤霉素对盐胁迫下甜玉米幼苗生理性状的影响[J]. 种子,2019,38(6):48-50.
- [27]周振翔,李志康,陈颖,等. 叶绿素含量降低对水稻叶片光抑制与光合电子传递的影响[J]. 中国农业科学,2016,49(19):3709-3720.
- [28]杜清洁,代侃初,李建明,等. 亚低温与干旱胁迫对番茄叶片光合及荧光动力学特性的影响[J]. 应用生态学报,2015,26(6):1687-1694.
- [29]黄丽芳,刘建汀,王彬,等. 低温弱光对西葫芦幼苗生长生理指标的影响[J]. 福建农业科技,2018(7):11-16.
- [30]杨玉凯,陈艺群,林碧英,等. 光质对茄子幼苗光合特性及叶绿素荧光参数的影响[J]. 福建农林大学学报(自然科学版),2018,47(6):673-680.
- [31]Jushkov A N, Borzykh N V, Savelieva N N, et al. Chlorophyll fluorescence imaging in fruit plant breeding for resistance to dehydration and hyperthermia[J]. Journal of Applied Spectroscopy, 2021, 87(6):1087-1093.