

短期亚适宜温光对黄瓜氮吸收运转相关酶活性和基因表达的影响

姚娟^{1,2}, 李衍素², 郭允娜², 贺超兴², 闫妍², 于贤昌^{2,*}

(¹山东农业大学林学院, 山东泰安 271018; ²中国农业科学院蔬菜花卉研究所, 北京 100081)

摘要: 以‘中农 106’黄瓜为试材, 对其进行不同温度和光照强度[正常温光 25/15 °C, 光强 (700 ± 30) μmol · m⁻² · s⁻¹; 亚适宜温光 18/12 °C, 光强 (200 ± 20) μmol · m⁻² · s⁻¹; 低温弱光 12/8 °C, 光强 75 ~ 100 μmol · m⁻² · s⁻¹]处理, 研究亚适宜温光条件对结果期黄瓜生长、生理特性和氮(N)吸收的影响。结果表明, 与正常温光处理相比, 亚适宜温光和低温弱光处理下黄瓜株高、叶面积、果实大小与产量均明显下降, 根系活力、叶绿素含量、果实品质和谷氨酰胺合成酶(GS)、谷氨酸合成酶(GOGAT)、谷氨酸脱氢酶(GDH)活性也随处理温度和光照强度降低而降低。亚适宜温光条件下, 结果期黄瓜根系、叶片、果实中N含量均有所下降, 亚适宜温光和低温弱光处理降低了结果期黄瓜N运转蛋白基因的表达, 且温度和光照强度越低, 黄瓜根系、叶片和果实中N运转蛋白基因表达量越低。说明亚适宜温光可能通过降低N运转蛋白基因的表达, 抑制了N的吸收, 降低N含量, 进而抑制了黄瓜生长。

关键词: 黄瓜; 亚适宜温光; 结果期; 氮; 产量

中图分类号: S 634.1

文献标志码: A

文章编号: 0513-353X (2013) 07-1289-09

Effects of Suboptimum Temperature and Suboptimum PFD in a Short Time on Enzymes Activities and Genes Expression Related to Nitrogen Absorption of the Cucumber Plants

YAO Juan^{1,2}, LI Yan-su², GUO Yun-na², HE Chao-xing², YAN Yan², and YU Xian-chang^{2,*}

(¹College of Forestry, Shandong Agricultural University, Tai'an, Shandong 271018, China; ²The Institute of Vegetables and Flowers, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract: Cucumber of ‘Zhongnong 106’ in fruiting period was used as material, after 7, 14 and 21 days treatment of different temperature and light intensity [the normal temperature and light intensity is 25/15 °C, (700 ± 30) μmol · m⁻² · s⁻¹; the suboptimum temperature and light intensity is 18/12 °C, (200 ± 20) μmol · m⁻² · s⁻¹; the low temperature and weak light is 12/8 °C; 75 - 100 μmol · m⁻² · s⁻¹], the growth, physiological characteristics and nitrogen absorption of the cucumber were detected. The results showed that, compared with the normal temperature and light intensity, under the suboptimum temperature and light intensity and the low temperature and weak light, the height, leaf area, fruit size and yield of cucumber were significantly decreased. The cucumber root activity, chlorophyll content, fruit quality and

收稿日期: 2013-03-18; **修回日期:** 2013-05-26

基金项目: 农业部园艺作物生物学与种质创制重点实验室项目; 国家现代农业产业技术体系建设专项资金项目(CARS-25-C-01); 国家自然科学基金项目(31272212); 国家科技支撑计划项目(2011BAD12B03); 公益性行业(农业)科研专项(201203005)

* 通信作者 Author for correspondence (E-mail: xcyu1962@163.com)

glutamine synthetase (GS), glutamate synthase (GOGAT), glutamate dehydrogenase (GDH) activity were decreased with the temperature and light intensity decreasing. Under the suboptimum temperature and light intensity condition, the N content of the cucumber during the fruiting period in the roots, leaves and fruits were declined. The suboptimum temperature and light intensity and the low temperature and weak light treatment reduced the expression of nitrogen transporters protein gene of the cucumber during the fruiting period, and the expression of nitrogen transporters protein gene were suppressed by lower temperature and light intensity. The results indicated that the suboptimum temperature and light intensity may decrease N content by suppressing nitrogen transporters protein gene expression, and then inhibit the growth of cucumber.

Key words: cucumber; suboptimum temperature and suboptimum PFD; the fruiting period; nitrogen; yield

日光温室和塑料大棚是中国北方冬春季节最主要的蔬菜栽培设施, 由于缺乏加温和补光设备, 对于喜温的黄瓜来说, 设施内长期存在亚适宜温度(亚适温, 昼 15~18 °C/夜 10~12 °C)和亚适宜光照强度(亚适光, 200~300 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)环境(刘玉梅, 2006)。促进冬春季节设施内亚适宜温光条件下黄瓜的生长与发育, 获得高产优质的黄瓜, 是当前面临的技术难题之一。

关于亚低温亚弱光、低温、亚低温、弱光亚适温对蔬菜生长和发育的影响, 前人已做了大量的研究工作(于贤昌和邢禹贤, 1999), 但多限于光合特性等方面, 对亚适宜温光条件黄瓜矿质养分吸收和运转了解甚少。日光温室内冬季的低温弱光环境抑制了黄瓜根系生长发育, 从而影响 N 的吸收利用(艾希珍等, 2004)。亚适宜温光可能影响 N 的吸收与运转使黄瓜产生一系列的生理生化变化, 进而影响到黄瓜的产量与品质。试验中用人工气候室模拟亚适宜温光环境, 通过测定结果期黄瓜生长、生理以及根、叶和果实中的 N 含量和 N 运转蛋白基因表达变化, 明确亚适宜温光环境对黄瓜 N 吸收规律与运转特性的影响。为进一步完善黄瓜亚适宜温光适应的生理机制, 调控亚适宜温光下黄瓜的生长与发育提供理论依据。

1 材料与amp;方法

1.1 试验材料及其处理

试验材料为中国农业科学院蔬菜花卉研究所选育的黄瓜品种‘中农 106’。

将催芽后的种子播种于育苗穴盘内, 基质为草炭和蛭石(2:1, 体积比), 另添加 10% (体积比)的腐熟鸡粪作为基肥。于正常温光条件下培养。幼苗培养至两叶一心时定植到塑料花盆中(直径 25 cm, 高度 20 cm, 体积 10 dm^3)。继续于正常光温条件下培养至结果期, 然后开始处理。

处理前将幼苗搬到正常温光处理(对照)人工气候室预处理 2 d, 预处理条件为 25 °C/15 °C, (700 ± 30) $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 光照, 光周期为 16 h/8 h, 相对湿度 80%。然后将 1/3 幼苗搬入亚适宜温光处理人工气候室, 温度与光照强度分别为 18 °C/12 °C, (200 ± 20) $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 光照, 将另外 1/3 幼苗搬入低温弱光处理人工气候室, 温度和光照强度分别为 12 °C/8 °C, 75~100 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 剩余 1/3 幼苗作为对照。

于处理后 0、7、14 和 21 d 取样测量生长量、叶绿素含量、N 代谢相关酶活性、N 含量和 N 运转蛋白基因表达量, 处理 14 d 测量根系活力和果实品质。每个试验处理共 50 株, 每个试验处理每次取样 6 株。

1.2 测定项目及测定方法

1.2.1 生长量指标与果实指标的测定

测量茎基部到生长点的长度记为株高, 称量黄瓜根、叶和果实的干、鲜质量, 测量叶片长宽后按照公式(张宪政, 1992)计算叶面积并统计叶片数, 统计坐瓜数和称量单瓜质量后计算产量。

利用氯化三苯基四氮唑(TTC)法测定根系活力, 用丙酮浸提法测定叶绿素含量(张宪政, 1992)。

果实干、鲜样质量之比即为含水量, 考马斯亮蓝 G-250 染色法(张志良和瞿伟菁, 2003)测定果实可溶性蛋白含量, 蒽酮比色法(张志良和瞿伟菁, 2003)测定果实可溶性糖含量。

1.2.2 N 含量和 N 代谢相关酶活性的测定

使用凯氏定氮法(赵世杰, 1998)测定黄瓜根、叶和果中 N 含量。

谷氨酰胺合成酶(GS)活性参照孔祥生(2008)的方法测定, 以反应后 540 nm 处的吸光度值表示酶活性; 谷氨酸合成酶(GOGAT)活性参照 Singh 和 Srivastava(2006)的方法测定, 谷氨酸脱氢酶(GDH)活性用 Loulakakis 和 Roubelakis-angelakis(1990)的方法测定。

1.2.3 N 运转蛋白的实时荧光定量 PCR

分别采取黄瓜根尖、嫩叶、果实各 0.2 g 作为组织样本。RNA 具体提取方法按照 Invitrogen 公司的说明书进行。

从 <http://www.tcdb.org/> 上查找所有的植物 N 运转蛋白基因, 得到 N 运转蛋白的氨基酸序列后, 从葫芦科基因组数据库(<http://www.icugi.org/>)的 tblastn 软件进行比对, 搜索黄瓜 N 运转蛋白的 EST 序列。根据获得的 EST 序列在 NCBI 上与其他植物比对后, 选择相似性高的序列, 一共 5 条作为黄瓜 N 运转蛋白基因序列, 分别命名为 N1、N2、N3、N4 和 A1。

实时荧光定量 PCR(real-time quantitative RT-PCR): 采用 SYBR PrimeScript™ RT-PCR Kit (TaKaRa, 日本)试剂盒, 利用 MX3000P 荧光定量 PCR 仪(Agilent Technologies Stratagene, 德国)进行, 采用的内参为 alpha tubulin, 荧光定量 PCR 引物由 TaKaRa 公司合成设计。荧光定量 PCR 序列分别为: 内参引物 a-F: 5'-CACTACACCGTTGGAAAGGAAA-3'; 内参引物 a-R: 5'-CAAAAGGAGGGAGCCGAGA-3'; N1-R: 5'-ATCTGTGTCAACGGGCTACC-3'; N2-F: 5'-GCTCCGACGGTGTTTTG TAT-3'; N2-R: 5'-CCCGTTCACAAGCCCTATTA-3'; N3-F: 5'-AACGGCTCTCAGTGGCTAAA-3'; N3-R: 5'-GCTCTTCACAACCTGCAACCA-3'; N4-F: 5'-GTATCGGGTCGTTGTTTGCT-3'; N4-R: 5'-TC ACTGTGAGAGGGCTTCCT-3'; A1-F: 5'-GTGTCCCATTGGTTCTGGTC-3'; A1-R: 5'-GCCAATTCG TGGACCTTCTA-3'。

所得数据按 Bubner 和 Baldwin(2004)的 Ct ($2^{-\Delta\Delta Ct}$) 法计算目的基因的相对表达量。

采用 DPS v7.05 版(Refine Information Tech. Co., Ltd, 杭州)软件对数据进行显著差异性检验, 用 Microsoft Office Excel 2003 版(USA)软件对数据进行作图。

2 结果与分析

2.1 短期亚适宜温光条件对结果期黄瓜生理特性的影响

2.1.1 短期亚适宜温光条件对结果期黄瓜生长的影响

温度和光照强度降低使结果期黄瓜的生长受到明显抑制。正常温光条件下的黄瓜有明显的增长趋势, 株高每天增长量最大, 平均为 $1.50 \text{ cm} \cdot \text{d}^{-1}$ 。亚适宜温光条件下有所下降, 平均增长 $0.66 \text{ cm} \cdot \text{d}^{-1}$ 。低温弱光条件下受抑制最为明显, 只平均增长 $0.43 \text{ cm} \cdot \text{d}^{-1}$ 。正常温光处理的单株叶面积和叶片数高于亚适宜温光处理, 低温弱光处理下单株叶面积最小, 叶片数最少(表 1)。

表 1 短期亚适宜温光条件对结果期黄瓜生长的影响

Table 1 Effects of suboptimum temperature and suboptimum PFD in a short time on growth of the cucumber plants during the fruiting period

| 温光处理 Treatment | 株高增长量/ ($\text{cm} \cdot \text{d}^{-1}$) Increase of plant height | 单株叶面积/ m^2 Leaf area | | | 叶片数 Leaf number | | |
|----------------------|--|----------------------------------|---------------|---------------|--------------------|----------------|----------------|
| | | 0 d | 7 d | 14 d | 0 d | 7 d | 14 d |
| 正常 Normal | 1.50 ± 0.24 a | 0.26 ± 0.01 a | 0.31 ± 0.01 a | 0.32 ± 0.01 a | 12.88 ± 1.56 a | 14.71 ± 0.98 a | 14.52 ± 2.54 a |
| 亚适宜 Suboptimum | 0.66 ± 0.12 b | 0.25 ± 0.01 b | 0.28 ± 0.01 a | 0.28 ± 0.02 b | 12.56 ± 2.01 b | 13.67 ± 1.21 b | 13.48 ± 1.73 b |
| 低温弱光 Low and weak | 0.43 ± 0.11 c | 0.21 ± 0.01 c | 0.22 ± 0.02 b | 0.20 ± 0.01 c | 12.42 ± 1.29 c | 13.17 ± 1.14 c | 13.11 ± 1.05 c |

黄瓜果实直径以正常温光处理最高，亚适宜温光处理次之，低温弱光处理最低。正常温光、亚适宜温光和低温弱光处理的果实直径每天平均增长量分别为 1.22、1.09、0.96 $\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$ 。不同温光条件处理下果实长度每天平均增长量也有相同的趋势。温度越低、光照强度越弱，处理间单株产量越低（表 2）。

表 2 短期亚适宜温光条件对结果期黄瓜果实和处理间单株产量的影响

Table 2 Effects of 14 days suboptimum temperature and suboptimum PFD in a short time on fruit and yield per plant of the cucumber plants during the fruiting period

| 温光处理 Treatment | 果实直径平均增长量/ ($\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$) Fruit diameter growth on average | 果实长度平均增长量/ ($\text{cm} \cdot \text{d}^{-1}$) Fruit length growth on average | 处理间单株产量/g Yield per plant |
|-------------------|---|---|------------------------------|
| 正常 Normal | 1.22 ± 0.09 a | 1.54 ± 0.06 a | 194.12 ± 7.89 a |
| 亚适宜 Suboptimum | 1.09 ± 0.05 b | 1.13 ± 0.04 b | 118.15 ± 4.17 b |
| 低温弱光 Low and weak | 0.96 ± 0.04 c | 1.07 ± 0.04 b | 68.46 ± 1.87 c |

2.1.2 短期亚适宜温光条件对结果期黄瓜根系活力和叶绿素含量的影响

随着温度和光照强度的降低，根系活力也随之降低。处理 14 d 时，正常温光条件下根系活力最高，亚适宜温光条件次之，低温弱光条件根系活力最低，分别为 408、225、199 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ 。叶绿素含量直接影响光合作用的强弱。3 个处理的叶绿素 a、b 和类胡萝卜素含量均随时间的增长而降低，变化差异显著。处理 14 d 时，正常温光条件下叶绿素 a、b 和类胡萝卜素含量略高于亚适宜温光和低温弱光处理（表 3）。

表 3 短期亚适宜温光条件在第 14 天对结果期黄瓜根系活力和叶绿体色素含量的影响

Table 3 Effects of 14 days suboptimum temperature and suboptimum PFD on root activity and chloroplast pigments of the cucumber plants during the fruiting period

| 温光处理 Treatment | 根系活力/ ($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$) Root activity | 叶绿素 a 含量/ ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$) The content of chlorophyll a | 叶绿素 b 含量/ ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$) The content of chlorophyll b | 类胡萝卜素含量/ ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$) The content of carotenoids |
|-------------------|---|--|--|---|
| 正常 Normal | 408 ± 8.03 a | 24.50 ± 2.01 a | 5.56 ± 0.48 a | 6.56 ± 0.52 a |
| 亚适宜 Suboptimum | 225 ± 17.78 b | 16.30 ± 1.72 b | 4.31 ± 0.43 b | 4.83 ± 0.42 b |
| 低温弱光 Low and weak | 199 ± 37.44 b | 17.70 ± 1.48 b | 4.48 ± 0.55 b | 5.30 ± 0.39 b |

2.2 短期亚适宜温光条件对结果期黄瓜品质的影响

低温弱光胁迫在不同程度上降低了黄瓜的含水量。正常温光条件下含水量最高，亚适宜温光和低温弱光条件下含水量较低。处理间黄瓜可溶性蛋白质和可溶性糖含量差异明显，其中正常温光条件下可溶性蛋白质和可溶性糖含量最低，亚适宜温光条件次之，低温弱光条件下可溶性蛋白质和可溶性糖含量最高。说明亚适宜温光环境抑制了根系活力，使黄瓜的水分吸收量减少，提高了可溶性蛋白质和可溶性糖含量，使黄瓜的抗胁迫能力增强（表 4）。

表 4 短期亚适宜温光条件对结果期黄瓜品质的影响

Table 4 Effects of suboptimum temperature and suboptimum PFD in a short time on fruit quality of the cucumber plants during the fruiting period

| 温光处理 Treatment | 含水量/% Water content | 可溶性蛋白含量/ $(\text{mg} \cdot \text{g}^{-1})$ The content of soluble protein | 可溶性糖含量/% The content of soluble sugar |
|-------------------|------------------------|--|--|
| 正常 Normal | 94.45 ± 10.12 a | 100.79 ± 10.28 c | 0.63 ± 0.09 c |
| 亚适宜 Suboptimum | 93.09 ± 10.61 b | 111.69 ± 11.41 b | 1.04 ± 0.14 b |
| 低温弱光 Low and weak | 92.11 ± 10.27 b | 155.59 ± 12.13 a | 1.15 ± 0.13 a |

2.3 短期亚适宜温光条件对结果期黄瓜 N 代谢相关酶活性和 N 含量的影响

正常温光条件下结果期黄瓜 GS 活性较高, 亚适宜温光条件次之, 低温弱光条件下 GS 活性最低。且随处理时间增长, GS 活性下降幅度越大 (图 1)。亚适宜温光处理下结果期黄瓜根系、叶片、果实中 GOGAT 活性和 GDH 活性变化规律与 GS 活性变化规律基本一致 (图 2, 图 3)。

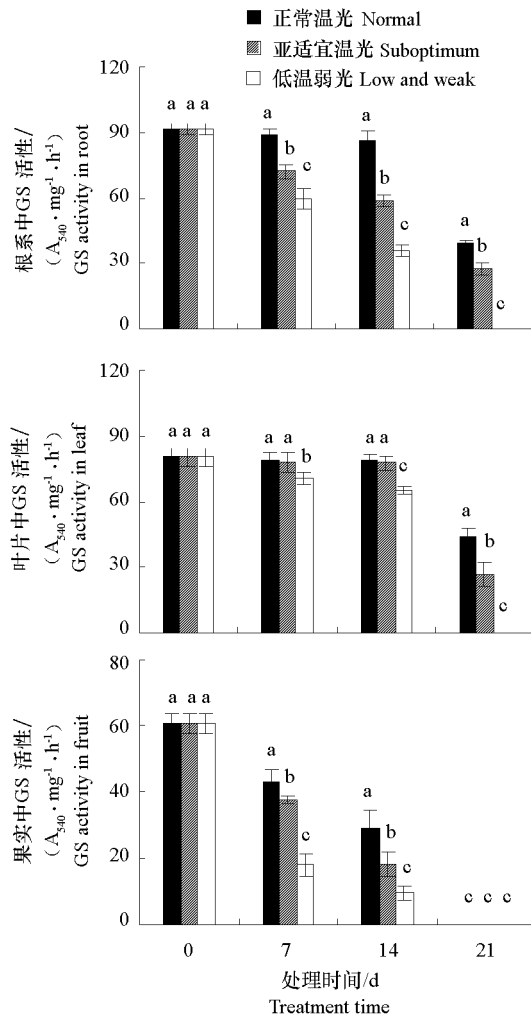


图 1 短期亚适宜温光条件对结果期黄瓜 GS 活性的影响
Fig. 1 Effects of suboptimum temperature and suboptimum PFD in a short time on GS activities of the cucumber plants during the fruiting period

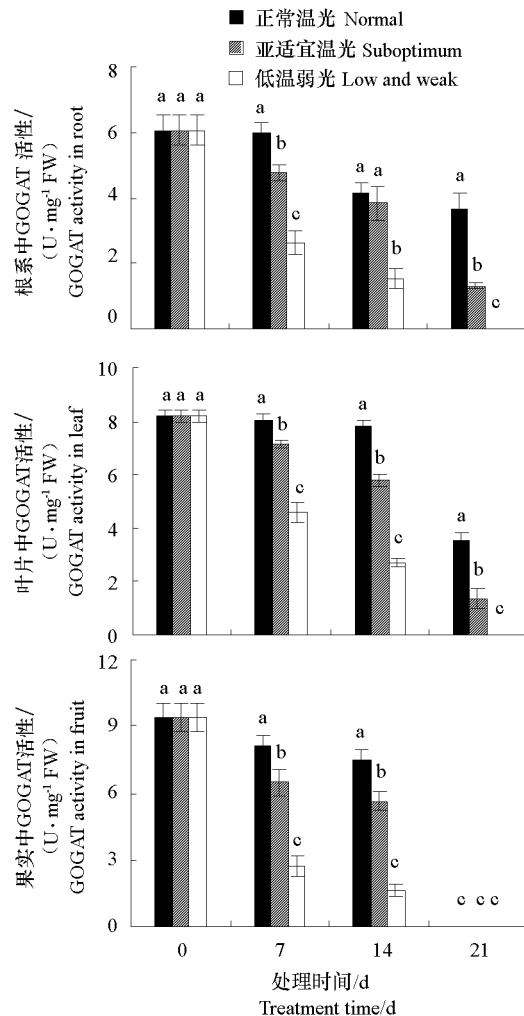


图 2 短期亚适宜温光条件对结果期黄瓜 GOGAT 活性的影响
Fig. 2 Effects of suboptimum temperature and suboptimum PFD in a short time on GOGAT activities of the cucumber plants during the fruiting period

随着处理时间增长,根系、叶片和果实中的N含量均逐渐减少,且亚适宜温光条件下N含量低于正常温光条件,低温弱光条件下N含量最低(图4)。

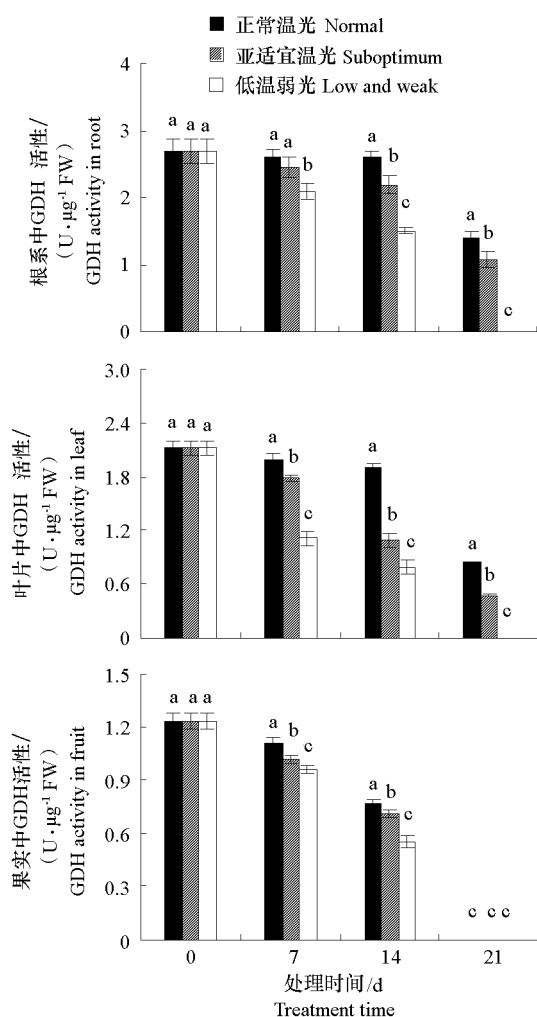


图3 短期亚适宜温光条件对结果期黄瓜 GDH 含量的影响
Fig. 3 Effects of suboptimum temperature and suboptimum PFD in a short time on GDH activities of the cucumber plants during the fruiting period

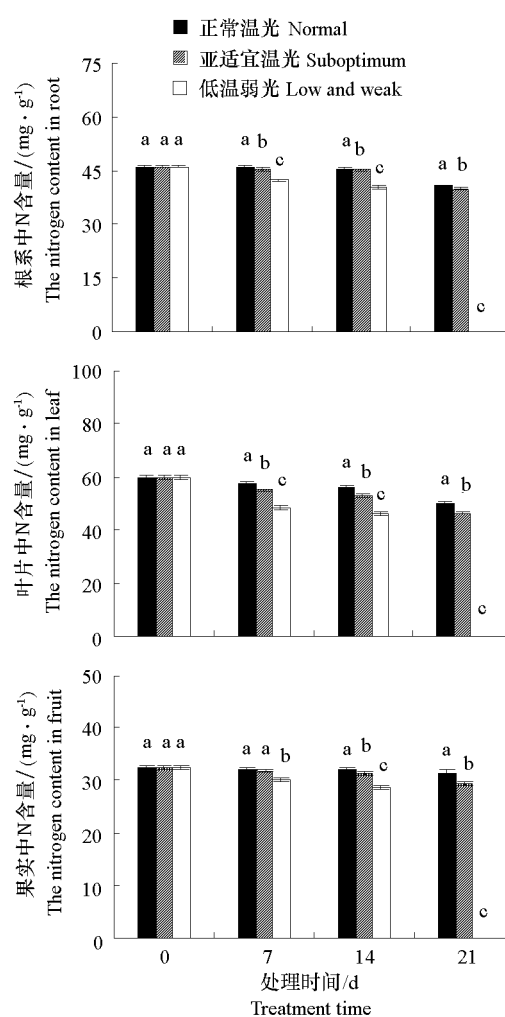


图4 短期亚适宜温光条件对结果期黄瓜 N 含量的影响
Fig. 4 Effects of suboptimum temperature and suboptimum PFD in a short time on nitrogen contents of the cucumber plants during the fruiting period

2.5 短期亚适宜温光条件对结果期黄瓜 N 运转蛋白基因表达的影响

以正常温光处理(对照)基因表达量为1,亚适宜温光处理14 d,结果期黄瓜根系中 *N1*、*N2*、*N3*、*N4* 和 *A1* 基因表达量为 0.26、0.37、0.65、0.28 和 0.79,分别比正常温光处理(对照)的下降了 74%、63%、35%、72%和 21%;而叶片中 *N1*、*N2*、*N3*、*N4* 和 *A1* 基因表达量为分别为 0.24、0.46、0.27、0.44 和 0.88,较正常温光处理分别下降了 76%、54%、73%、56%和 12%。与根系和叶片中基因表达量的变化趋势相似,亚适宜温光处理下黄瓜果实中基因的表达量也呈明显的下降趋势。说明亚适宜温光处理降低了黄瓜 N 运转蛋白基因的表达,且温度与光照强度越低,处理时间越长,结果期黄瓜根系、叶片和果实中 N 运转蛋白基因表达量越低(图 5)。

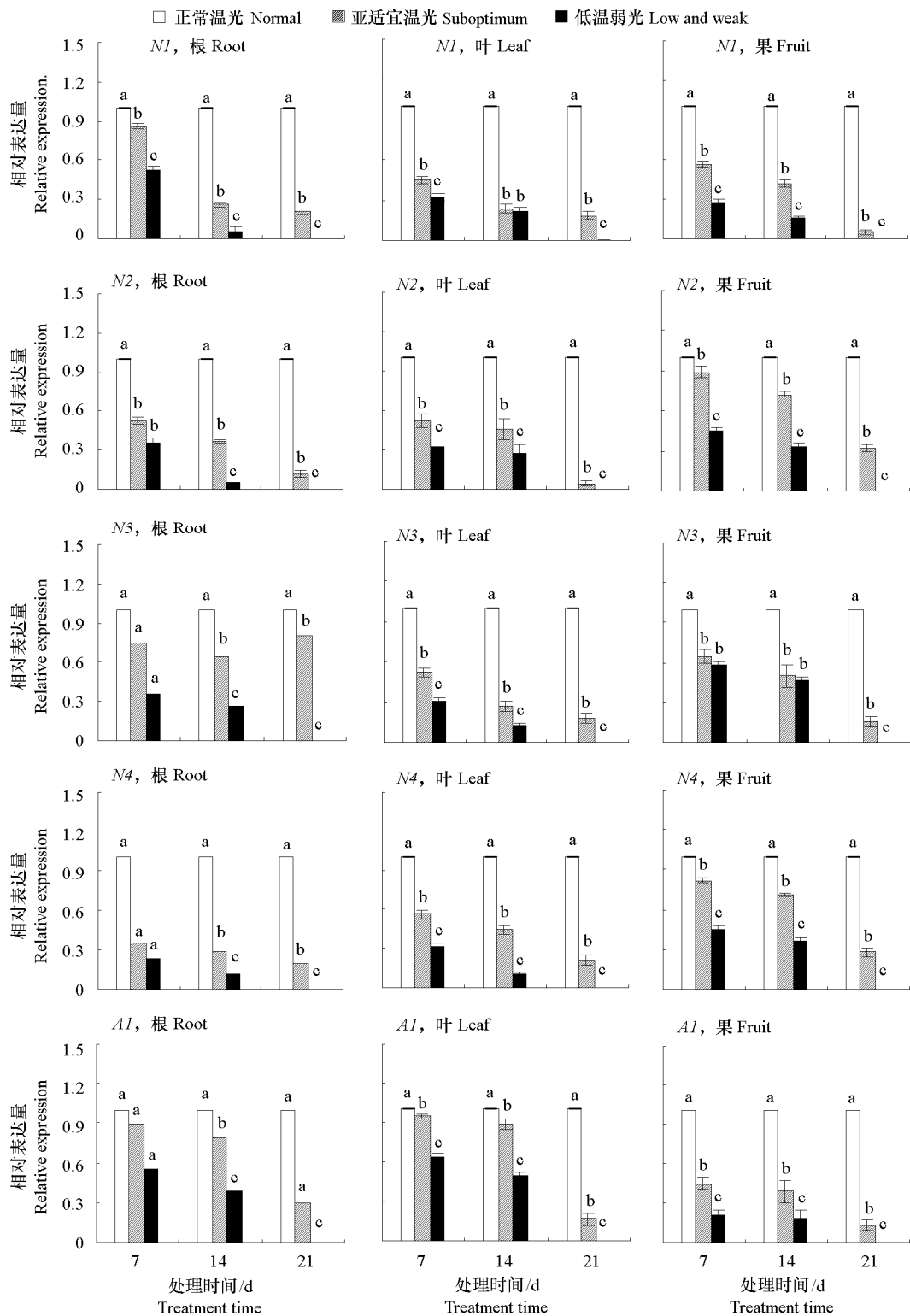


图 5 短期亚适宜温光条件对结果期黄瓜 N 转运蛋白基因 *N1*、*N2*、*N3*、*N4* 和 *A1* 表达的影响

Fig 5 Effects of suboptimum temperature and suboptimum PFD in a short time on nitrogen transport protein gene *N1*, *N2*, *N3*, *N4* and *A1* expression of the cucumber plants during the fruiting period

3 讨论

3.1 短期亚适宜温光条件对结果期黄瓜生理特性的影响

温度和光照是设施栽培中影响作物产量和品质的重要因素(Schoner & Krause, 1990; 王克安 等, 2000; Ensminger et al., 2006); 弱光使黄瓜生长变慢, 化瓜率升高, 产量下降; 低温不仅限制根系对水分的吸收, 而且随着温度下降, 细胞内原生质的流动性降低, 光合速率下降, 同时还导致植物呼吸异常。本研究结果表明, 正常温光条件下植株的生长量、叶面积、果实大小和产量均为最大, 亚适宜温光条件下次之, 低温弱光条件下最小, 说明随着温度的降低和光照强度的减弱, 黄瓜的光合作用降低, 生长与发育也受到一定程度的影响。从本试验可以看出, 随着温度和光照强度的降低, 黄瓜根系活力也随之降低, 亚适宜温光条件下的根系活力明显低于正常温光条件。本试验研究表明, 随着处理时间的延长, 叶绿素 a、b 和类胡萝卜素含量均在一定程度上有所下降, 这与前人的研究结果也是相一致的, 说明温度降低和光照强度减弱使叶绿素含量下降, 进而影响黄瓜的光合作用。

试验结果表明, 温度越低, 光照强度越弱, 黄瓜含水量越低。而细胞内总含水量减少有利于加强植物抗寒性(余纪梓 等, 2000)。植物体内的可溶性蛋白质大多数是参与各种代谢的酶类, 其含量是了解植物体总代谢的一个重要指标(王楠 等, 2008)。可溶性糖的含量与植物抗寒性之间呈正相关(王富, 2001)。本试验结果表明, 亚适宜温光条件下和低温弱光条件下可溶性蛋白和可溶性糖含量均高于正常温光条件, 且低温弱光条件下含量最高。这说明在逆境条件下, 可溶性蛋白和可溶性糖类的积累, 可以提高植株耐低温的能力。

3.2 短期亚适宜温光条件对结果期黄瓜 N 代谢相关酶的活性、N 含量、N 运转蛋白表达量的影响

氮在谷氨酰胺合成酶(GS)、谷氨酸合成酶(GOGAT)的催化下转化成为谷氨酰胺或者谷氨酸, 然后, 或在根部被同化为蛋白质、核酸等, 或被运输到叶片再被同化为蛋白质、核酸等含氮化合物(Miflin & Habash, 2002)。在这个过程中 GS 和 GOGAT 同时发挥作用, 因此被称为 GS/GOGAT 循环, 谷氨酸脱氢酶(GDH)在该循环中起到辅助作用(裴孝伯 等, 2002)。从本试验可以看出, 随着温度和光照强度的降低, 结果期黄瓜 N 代谢相关酶活性也随之降低, 其中亚适宜温光条件下的 N 代谢相关酶活性明显低于正常温光条件。而亚适宜温光条件下结果期黄瓜根系、叶片和果实中的氮含量明显下降。这可能是因为亚适宜温光条件下黄瓜光合强度降低, 水分运输受抑, 抑制了氮的吸收与运输。

与氮吸收和运转相关的基因家族主要有 NRT(硝酸盐运转蛋白基因)家族和 AMT(铵盐运转蛋白基因)家族(Crawford & Glass, 1998)。硝酸盐运转蛋白负责将外源的 NO_3^- 转移到细胞内, 而铵盐运转蛋白可以使细胞从环境中吸收 NH_4^+ (Glass & Shaff, 1992)。本试验从 NRT 家族和 AMT 家族分别找到 4 条和 1 条黄瓜高亲和性 N 运转蛋白基因, 发现在亚适宜温光条件下其表达量均低于正常温光, 且低温弱光条件下最低。这与氮含量下降的结果相一致。

从本试验可以看出, 亚适宜温光处理使黄瓜根系、叶片和果实中的 N 运转蛋白基因的表达量减少, 进而降低了黄瓜 N 代谢相关酶活性和 N 含量, 最终降低了黄瓜的生长量与产量。该结果只是初步探索了亚适宜温光对结果期黄瓜生理生长和 N 吸收的影响。而设施内亚适宜温光环境下栽培黄瓜究竟需要多少养分, 亚适宜温亚适宜光是如何影响黄瓜矿质养分吸收与运转的, 还有待以后进一步的研究。

References

- Ai Xi-zhen, Ma Xing-zhuang, Yu Li-ming, Xing Yu-xian. 2004. Effect of long-term suboptimal temperature and short-term low temperature under low light density on cucumber growth and its photosynthesis. *Applied Ecology*, 15: 2091 - 2094. (in Chinese)

- 艾希珍, 马兴庄, 于立明, 邢禹贤. 2004. 弱光下长期亚适温和短期低温对黄瓜生长及光合作用的影响. *应用生态学报*, 15: 2091 - 2094.
- Bubner B, Baldwin I T. 2004. Use of real-time PCR for determining copy number and zygosity in transgenic plants. *Plant Cell Reports*, 23 (5): 263 - 271.
- Crawford N M, Glass A D M. 1998. Molecular and physiological aspects of nitrate uptake in plants. *Trends in Plant Science*, 3 (10): 389 - 395.
- Ensminger I, Busch F, Huner N. 2006. Photostasis and cold acclimation: Sensing low temperature through photosynthesis. *Physiol Plant*, 126: 28 - 44.
- Glass A D M, Shaff J E. 1992. Studies of the uptake of nitrate in barley: IV. Electrophysiology. *Plant Physiology*, 99 (2): 456 - 463.
- Kong Xiang-sheng. 2008. *Plant physiology experiment technology*. Beijing: China Agriculture Press. (in Chinese)
- 孔祥生. 2008. *植物生理学实验技术*. 北京: 中国农业出版社.
- Liu Yu-mei. 2006. Regulation principle and technique of photosynthesis of cucumber under suboptimal temperature and suboptimal light. Shandong: Shandong Agricultural University. (in Chinese)
- 刘玉梅. 2006. 亚适温较弱光照条件下调控黄瓜光合作用的原理与技术研究. 山东: 山东农业大学.
- Loulakakis C A, Roubelakis-angelakis K A. 1990. Intracellular localization and properties of NADH-glutamate dehydrogenase from *Vitis vinifera* L.: Purification and characterization of the major leaf isoenzyme. *Journal of Experimental Botany*, 41 (10): 1223 - 1230.
- Miflin B J, Habash D Z. 2002. The role of glutamine synthetase and glutamate dehydrogenase in nitrogen assimilation and possibilities for improvement in the nitrogen utilization of crops. *Journal of Experimental Botany*, 53 (370): 979 - 987.
- Pei Xiao-bo, Zhang Fu-man, Gao Li-hong, Wang Liu. 2002. Study on uptake of NPK of solar greenhouse cucumber in different seasons. *Journal of Anhui Agricultural University*, 29 (1): 68 - 73. (in Chinese)
- 裴孝伯, 张福垠, 高丽红, 王 柳. 2002. 不同季节日光温室黄瓜氮、磷、钾吸收规律的研究. *安徽农业大学学报*, 29 (1): 68 - 73.
- Schoner S, Krause G H. 1990. Protective proteins against active oxygen species in spinach: Response to acclimation in excess light. *Planta*, 180: 383 - 389.
- Singh R P, Srivastava H S. 2006. Increase in glutamate synthase (NADH) activity in maize seedlings in response to nitrate and ammonium nitrogen. *Plant Science*, 66 (3): 413 - 416.
- Wang Fu. 2001. *Studies on cold tolerance in tomato*. Harbin: Northeast Agricultural University. (in Chinese)
- 王 富. 2001. *番茄耐低温研究*. 哈尔滨: 东北农业大学.
- Wang Ke-an, He Qi-wei, Chen Yun-qi, Jiao Zi-gao, Wang Bing. 2000. Effects of low temperature on root activity and biological production of cucumber seedling. *Shandong Agricultural Sciences*, 21 (4): 17 - 19. (in Chinese)
- 王克安, 何启伟, 陈运起, 焦自高, 王 冰. 2000. 低温对黄瓜幼苗根系活力及生物学产量影响的研究. *山东农业科学*, 21 (4): 17 - 19.
- Wang Nan, Kang Jun-mei, Yang Qing-chuan, Xiong Jun-bo, Jin Hou-cong. 2008. Research progress in proteomics researches on plant cold-stress. *Pratacultural Science*, 25 (12): 45 - 47. (in Chinese)
- 王 楠, 康俊梅, 杨青川, 熊军波, 金后聪. 2008. 植物低温胁迫蛋白质组学研究进展. *草业科学*, 25 (12): 45 - 47.
- Yu Ji-zi, Li Jian-wu, Wang Mei-ping, Jin Hai-jun. 2000. Effects of poor light and low temperature on morphological, physiological and biochemical indexes and photosynthetic character and photosynthetic character of cucumber at seedling stage. *Acta Agriculturae Shanghai*, 19 (4): 46 - 50. (in Chinese)
- 余纪梓, 李建吾, 王美平, 金海军. 2000. 低温弱光对不同生态型黄瓜苗期若干测定指标及光合特性的影响. *上海农业学报*, 19 (4): 46 - 50.
- Yu Xian-chang, Xing Yu-xian. 1999. Changes of hormone in grafted and non grafted cucumber seedlings under low temperature stress. *Acta Horticulturae Sinica*, 26 (6): 406 - 407. (in Chinese)
- 于贤昌, 邢禹贤. 1999. 低温胁迫下黄瓜嫁接苗和自根苗内源激素的变化. *园艺学报*, 26 (6): 406 - 407.
- Zhang Xian-zheng. 1992. *Crop physiological method*. Beijing: Agriculture Press. (in Chinese)
- 张宪政. 1992. *作物生理研究法*. 北京: 农业出版社.
- Zhang Zhi-ling, Qu Wei-jing. 2003. *Plant physiology experiment guidance*. Beijing: Higher Education Press. (in Chinese)
- 张志良, 瞿伟菁. 2003. *植物生理实验指导*. 北京: 高等教育出版社.
- Zhao Shi-jie. 1998. *Plant physiology experiment guidance*. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press. (in Chinese)
- 赵世杰. 1998. *植物生理学实验指导*. 北京: 中国农业科技出版社.