

doi:10.11937/bfyy.20173895

## 低温和寡照单因素胁迫对温室黄瓜叶片光合、器官干物质分配及果实品质的影响

赵和丽<sup>1</sup>, 杨再强<sup>1,2</sup>

(1. 南京信息工程大学 气象灾害预报预警与评估协同创新中心, 江苏 南京 210044;

2. 南京信息工程大学 江苏省农业气象重点实验室, 江苏 南京 210044)

**摘要:**以黄瓜品种“南杂系列二号”(‘Nan Za II’)为试材,2017年4—5月在南京信息工程大学农业气象试验站利用人工气候箱分别对黄瓜进行低温和寡照单因素胁迫处理,持续1、3、5、7 d。日最低气温设置为4.0℃;寡照设置光合有效辐射为250  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ;以昼/夜温度分别为25℃/18℃,光合有效辐射800  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 为对照(CK);研究了不同低温和寡照单因素胁迫对黄瓜叶片光合、器官干物质分配以及果实品质的影响。结果表明:短期低温处理后,黄瓜叶片的光合参数变化并不显著,低温处理5 d和7 d的最大光合速率显著降低,分别较CK下降33.8%、41.4%;随着低温时间的持续,果实干物质分配比值降低,根、茎、叶分到了较多的光合产物;黄瓜单果质量、果长、最大果径、最小果径随处理时间呈下降趋势;果实含水率和维生素C含量随低温处理的延长呈下降趋势,可溶性蛋白质含量先增加后减少,可溶性糖含量先减少后增加。寡照胁迫后,黄瓜叶片的各项光合参数显著降低,处理7 d的最大光合速率较CK下降84.4%;果实干物质分配比值显著降低,处理1、3、5、7 d果实干物质比值分别较CK降低21.2%、21.8%、26.5%和18.3%;果实外在品质发生显著变化,单果质量、果长、最大果径、最小果径显著降低,寡照处理7 d的畸形果比例为100%;含水率和维生素C含量随处理时间的延长显著降低,处理7 d较CK分别下降了20.6%、52.3%,可溶性糖和可溶性蛋白质含量有增加的趋势,但变化幅度不显著。该研究结果可为设施黄瓜栽培温光调控提供科学依据。

**关键词:**黄瓜;低温;寡照;光合特性;果实品质

**中图分类号:**S 642.201 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2018)10-0001-08

黄瓜(*Cucumis sativus* L.)属葫芦科一年生蔓生或攀援草本植物,是我国主要的设施作物之

一。黄瓜喜温喜湿,属冷敏植物,冷害温度为0~7℃<sup>[1]</sup>;对光强的要求较高:光饱和点为900  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,光补偿点为35  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ <sup>[2]</sup>。低温和寡照是限制黄瓜生长、造成减产的重要因素,它们对黄瓜的生长、发育及果实品质造成不同程度的影响。

近年来,国内外关于光温环境对黄瓜的光合和生理特性研究较多。黄瓜在低温条件下,叶片的叶绿素含量降低,叶绿素a/b呈下降的趋势<sup>[3]</sup>,光化学反应活性和暗反应酶活性降低,光合作用净光合速率降低<sup>[4]</sup>,另外细胞中的叶绿体和线粒

**第一作者简介:**赵和丽(1994-),女,硕士研究生,研究方向为设施农业气象灾害预警。E-mail: zhaoheli3020@fox-mail.com.

**责任作者:**杨再强(1967-),男,四川安岳人,博士,教授,博士生导师,研究方向为设施环境调控。E-mail: yzq6751@163.com.

**基金项目:**国家自然科学基金面上资助项目(41475107);“十二五”国家支撑计划资助项目(2014BAD10B07)。

**收稿日期:**2018-03-12

体的活性在低温环境中也会受到抑制<sup>[5]</sup>;在长期低温,中、高光强条件下,植株净光合速率逐渐下降最终停止生长<sup>[6]</sup>。程雅茹等<sup>[7]</sup>研究发现,寡照条件下,黄瓜叶片的叶绿素 a(Chl a)含量、光合参数、过氧化氢酶(CAT)活性和可溶性蛋白质(Soluble proteins)含量等均呈减小的趋势;而叶绿素 b 含量(Chl b)、类胡萝卜素含量和丙二醛(MDA)含量趋势相反,最终导致产量降低。贾士芳等<sup>[8]</sup>认为,寡照胁迫后,玉米的净光合速率显著下降。国外学者研究发现,寡照胁迫导致芹菜、茄子等植株光合能力和生长发育均减缓,干物质积累受到抑制<sup>[9-10]</sup>。

前人研究表明,低温寡照对黄瓜的生长发育<sup>[11-13]</sup>、生理特性<sup>[14]</sup>及果实品质<sup>[15]</sup>有很大的影响,但研究大多是低温寡照双因素在不同处理天数下黄瓜的生长情况,对于低温和寡照单因素的研究却不多。因此,该研究以黄瓜为试验材料,利用人工气候箱对黄瓜分别进行单一低温和寡照单因素的胁迫处理,研究不同低温和寡照胁迫处理天数对黄瓜的光合特性、器官干物质分配比例和果实品质包括外在形态(单果质量、果长、最大最小果径、畸形果比例)和内在品质(含水率、维生素C、可溶性糖及可溶性蛋白质)的变化,以期更好地设计研究下一步低温寡照双因素对黄瓜影响的试验,为设施黄瓜低温、寡照的防御及黄瓜温室栽培

环境管理提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

供试黄瓜品种为“南杂系列二号”(‘Nan Za II’ )。

### 1.2 试验方法

试验于 2017 年 4—5 月在南京信息工程大学农业气象试验站进行,当黄瓜苗高长至约 7~10 cm 时,选取长势一致的植株移植至规格 22 cm(高)×32 cm(上口径)×16 cm(底径)。当黄瓜苗长至约 50 cm 时,将整株黄瓜苗移植人工气候箱(TPG-2009, Australian)中。试验设计为低温和寡照的单因素胁迫设计,叶龄 4~5 叶期开始处理。日最低气温设置 4℃,日最高气温 14℃(表 1),寡照设置 08:00—18:00 光合有效辐射为  $250 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,其它时段为 0。低温和寡照持续时间设计 1、3、5、7 d。以昼/夜温度分别为 25℃/18℃,光合有效辐射以  $800 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  为对照(CK)。试验处理后再在温室适宜环境(温度在 18~25℃,日总辐射在 6~10  $\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2}$ )中生长至成熟,试验期间各处理水分适宜,灌水量一致。

表 1 低温处理不同时间温度设置

Table 1 Low temperature treatment at different times

	时刻 Time							
	20:00	21:00	22:00	23:00	24:00	01:00	02:00	03:00
温度 Temperature/℃	9.5	8.8	7.8	7.1	6.5	5.9	5.0	4.6
	时刻 Time							
	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00
温度 Temperature/℃	4.4	4.0	4.7	5.3	6.2	7.8	9.1	11.0
	时刻 Time							
	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00
温度 Temperature/℃	12.0	12.5	14.0	12.2	11.7	11.1	10.5	9.8

### 1.3 项目测定

#### 1.3.1 黄瓜叶片光合参数的测定

采用 LI-6400 便携式光合作用系统(LI-COR Biosciences Inc., USA)来测定叶片的光合参数。选取顶端以下 4~5 片成熟的功能叶,测定其光合参数,每处理 3 次重复。设定叶室的  $\text{CO}_2$  浓度为  $380 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,温度为 25℃。

采用 SPSS 软件对光响应曲线进行拟合,得到光饱和点(light saturation point, LSP)、光补偿点(light compensation point, LCP)、表观量子效率(apparent quantum yield, AQE)和最大光合速率(maximum photosynthetic, Pmax)。每个处理选择 3 株。

### 1.3.2 黄瓜器官干物质分配比例的测定

成熟后分别抽样 3 株测定器官干质量,计算各器官干物质分配比例。

### 1.3.3 黄瓜果实外在品质的测定

从黄瓜坐果开始,摘取成熟的果实进行外在形态的测定,用天平测量果实的鲜质量为单果质量,用直尺测量果实底部到顶部的长度为果长,用游标卡尺测量果实的径粗得到果实的最大果径、最小果径;统计黄瓜果实的畸形果和正常果的个数,畸形果与总果实的比值为畸形果比例。每个处理测 3 株。

### 1.3.4 黄瓜果实内在品质的测定

黄瓜果实含水率为样品的鲜质量与干质量的差与鲜质量的比值;维生素 C 含量可采用 2,6-二氯酚靛酚钠方法测定<sup>[16]</sup>;可溶性糖含量采用蒽酮法测定<sup>[17]</sup>;可溶性蛋白质含量采用考马斯亮蓝染色法测定<sup>[18]</sup>。每个处理测 3 株。

## 1.4 数据分析

采用 SPSS 19.0 统计软件进行光响应曲线拟合和方差分析,采用 Microsoft Excel 2010 软件进行数据处理和图表绘制。

## 2 结果与分析

### 2.1 低温和寡照对黄瓜叶片光合参数的影响

由表 2 可知,随着低温处理时间的延长,黄瓜叶片的光饱和点(Light saturation point, LSP)、表观量子效率(Apparent quantum yield, AQE)和

最大光合速率(Maximum photosynthetic, Pmax)呈下降趋势,低温处理 5 d 和 7 d 下光饱和点显著降低,分别较 CK 下降了 31.5% 和 45.4%;低温处理 5 d 和 7 d 后表观量子效率显著降低,分别较 CK 下降了 16.3% 和 26.3%;低温处理 5 d 和 7 d 的最大光合速率显著降低,分别较 CK 下降了 33.8% 和 41.4%。而黄瓜叶片的光补偿点(Light compensation point, LCP)呈上升趋势,低温处理 7 d 的光补偿点较 CK 增加了 36.9%。随低温胁迫时间的延长呈下降趋势,表明低温胁迫可导致光饱和点、表观量子效率和最大光合速率的降低,而光补偿点呈上升趋势,在低温胁迫持续 5 d 时,黄瓜的光饱和点、表观量子效率和最大光合速率开始显著下降,且随胁迫时间的持续,光合参数的变化更加显著,从而抑制了黄瓜光合性能。

黄瓜叶片的光饱和点、表观量子效率和最大光合速率随着寡照处理时间的持续而不断降低(表 2),寡照处理 5 d 和 7 d 后的光饱和点较 CK 显著降低,分别下降了 36.2% 和 38.7%;寡照处理 3、5、7 d 的表观量子效率显著降低,分别较 CK 下降了 13.8%、21.3% 和 31.3%;寡照处理 7 d 的最大光合速率较 CK 下降了 84.4%。黄瓜叶片的光补偿点呈上升趋势,寡照处理 3、5、7 d 的光补偿点分别较 CK 增加了 47.7%、58.8% 和 111.7%。表明寡照胁迫导致光饱和点、表观量子效率和最大光合速率的显著降低,而光补偿点显著上升,且寡照时间越长,影响越显著,即黄瓜光合性能受到明显抑制。

表 2 低温和寡照处理对黄瓜叶片光合参数的影响

Table 2 Effect of low temperature and weak light treatments on photosynthetic parameters of cucumber leaves

处理 Treatments	天数 Days/d	光饱和点 Light saturation point /( $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )	光补偿点 Light compensation point /( $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )	表观量子效率 Apparent quantum yield /( $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )	最大光合速率 Maximum photosynthetic /( $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )
低温 Low temperature	0(CK)	1 436.0 $\pm$ 36.45a	32.5 $\pm$ 2.6c	0.080 $\pm$ 0.002a	26.3 $\pm$ 1.5a
	1	1 432.8 $\pm$ 27.1a	35.7 $\pm$ 3.4b	0.079 $\pm$ 0.001a	23.0 $\pm$ 1.6a
	3	1 382.3 $\pm$ 70.5a	37.7 $\pm$ 4.1b	0.072 $\pm$ 0.002ab	20.4 $\pm$ 1.4ab
	5	983.8 $\pm$ 39.3b	41.3 $\pm$ 4.9a	0.067 $\pm$ 0.003b	17.4 $\pm$ 1.6bc
	7	783.5 $\pm$ 65.2c	44.5 $\pm$ 3.0a	0.059 $\pm$ 0.001c	15.4 $\pm$ 1.0c
寡照 Weak light	0(CK)	1 436.0 $\pm$ 36.45a	32.5 $\pm$ 2.6c	0.080 $\pm$ 0.002a	26.3 $\pm$ 1.5a
	1	1 415.8 $\pm$ 39.3a	34.4 $\pm$ 1.8c	0.072 $\pm$ 0.002ab	6.1 $\pm$ 0.6b
	3	1 406.0 $\pm$ 23.55a	48.0 $\pm$ 2.5b	0.069 $\pm$ 0.002b	5.8 $\pm$ 0.5b
	5	916.8 $\pm$ 35.8b	51.6 $\pm$ 2.3b	0.063 $\pm$ 0.003bc	5.5 $\pm$ 0.3b
	7	879.6 $\pm$ 40.7b	68.8 $\pm$ 3.4a	0.055 $\pm$ 0.003c	4.1 $\pm$ 0.4b

## 2.2 低温和寡照对黄瓜器官干物质分配比例的影响

表3为不同低温和寡照处理后的黄瓜器官干物质分配比例变化。随着低温处理天数的持续,黄瓜的根干物质分配比例先降低后增加,比例从大到小的处理时间顺序为:7 d>CK>5 d>1 d=3 d;低温处理7 d的根干物质分配比值显著增加,较CK增加61.9%。茎干物质分配比例随低温处理天数的增加也是先降低后增加的趋势,比例从大到小的处理时间顺序为:7 d>CK>1 d>3 d>5 d;低温处理7 d,茎干物质分配比例显著增加,较CK增加71.4%。叶干物质分配比例随低温处理天数的增加先降低后增加,从大到小的处理时间顺序为:7 d>CK>3 d>1 d>5 d;低温处理7 d叶干物质分配比例显著增加,较CK增加102.3%。果实干物质分配比例随低温处理天数的增加先增加后降低,比例从大到小的处理时间顺序为:5 d>3 d>1 d>CK>7 d,低温处理7 d果实干物质分配比例显著降低,较CK降低20.0%。可以看出,短期低温胁迫后,黄瓜的根、茎、叶干物质分配比例下降,而果实的干物质分配比例上升;而低温处理超过7 d果实的干物质分配比例显著降低。

随着寡照天数的持续,黄瓜根干物质分配比例波动变化,从大到小的处理时间顺序为:1 d>5 d>3 d>7 d>CK,寡照处理1、3、5、7 d的黄瓜根干物质分配比例均显著高于CK,分别较CK增加109.5%、76.2%、88.1%、61.9%。茎干物质分配比例随寡照天数增加呈波动上升趋势,从大到小的处理时间顺序为:1 d>5 d>3 d>7 d>CK,寡照处理1、3、5、7 d的茎干物质分配比例均显著高于CK,分别较CK增加112.7%、101.6%、109.5%、88.9%。叶干物质分配比例也随寡照天数增加呈波动上升趋势,从大到小的处理时间顺序为:5 d>3 d>7 d>1 d>CK,寡照处理1、3、5、7 d的黄瓜叶干物质分配比例均显著高于CK,分别较CK增加61.4%、90.9%、122.7%、75.0%。果实干物质分配比例随寡照天数增加呈波动下降,从大到小的处理时间顺序为:CK>7 d>1 d>3 d>5 d,寡照处理1、3、5、7 d的黄瓜果实干物质比例均显著低于CK,分别较CK降低21.2%、21.8%、26.5%、18.3%。可以看出,寡照处理后的根、茎、叶干物质分配比例有不同程度的上升,果实干物质分配比例则显著降低。可能是寡照胁迫对黄瓜果实干物质分配的影响更大。

表3 低温和寡照处理对黄瓜干物质分配比例的影响

Table 3 Effect of low temperature and weak light treatments on the ratio of dry weight of cucumber

%

处理 Treatments	天数 Days/d	根 Root	茎 Stem	叶 Leaf	果实 Fruit
低温 Low temperature	0(CK)	4.2±0.01b	6.3±0.01b	8.8±0.02b	80.7±0.03a
	1	3.4±0.01b	5.7±0.01b	6.1±0.01b	84.9±0.03a
	3	3.4±0.01b	4.7±0.01b	6.3±0.01b	85.6±0.04a
	5	3.6±0.01b	4.1±0.01b	5.6±0.01b	86.7±0.03a
	7	6.8±0.01a	10.8±0.01a	17.8±0.01a	64.6±0.02b
寡照 Weak light	0(CK)	4.2±0.01b	6.3±0.01b	8.8±0.02c	80.7±0.03a
	1	8.8±0.01a	13.4±0.02a	14.2±0.01b	63.6±0.04b
	3	7.4±0.01a	12.7±0.01a	16.8±0.01ab	63.1±0.02b
	5	7.9±0.01a	13.2±0.02a	19.6±0.02a	59.3±0.03b
	7	6.8±0.01a	11.9±0.01a	15.4±0.02b	65.9±0.04b

## 2.3 低温和寡照对黄瓜果实外在品质的影响

果实的质量、长度、最大果径、最小果径和畸形果比例是衡量黄瓜果实生长形态的重要的指标。表4为低温和寡照单因素处理后,黄瓜的质量、长度、最大果径、最小果径及畸形果比例的变化。随着低温处理天数的增加,黄瓜单果质量出

现先下降后上升,再下降的趋势,低温处理1、5、7 d的单果质量变化显著,分别较CK降低22.0%、61.0%、74.2%。黄瓜果长随着低温处理天数的持续呈降低的趋势,但低温胁迫1 d和3 d的果长变化不显著;5 d和7 d下降显著,分别较CK降低36.2%和50.8%。随着低温处理天数

的增加,黄瓜果实的最大果径和最小果径均呈下降的趋势,最大果径变化与 CK 相比不显著;低温处理 5 d 和 7 d 的最小果径显著降低,分别较 CK 降低 59.8%和 71.6%。畸形果随着低温处理天数的增加比例增加,CK 和低温处理 1 d 的畸形果为 0;而低温处理 7 d 的畸形果比例最高,为 43%。低温胁迫天数不超过 1 d 时,并不会导致黄瓜畸形果的出现。

寡照胁迫后,果实质量显著降低,且随胁迫天数持续,黄瓜单果质量变化更加显著。低温处理 1、3、5、7 d,分别较 CK 降低 22.8%、43.4%、54.4%、56.3%。寡照胁迫后黄瓜果长呈下降趋

势,低温处理 3、5、7 d 的黄瓜果长显著下降,分别较 CK 降低 37.4%、52.2%、56.7%。黄瓜果实的最大果径和最小果径随寡照时间的增加呈降低趋势,低温处理 7 d 的黄瓜果实最大果径显著降低,较 CK 降低 26.4%;低温处理 5 d 和 7 d 的黄瓜果实最小果径变化显著,分别较 CK 降低 77.5%和 76.5%。随着寡照时间的延长,黄瓜的畸形果比例迅速增大,CK 的畸形果比例为 0;而低温处理 7 d 的畸形果比例最高,为 100%。寡照处理对畸形果影响较大,胁迫天数超过 7 d 时黄瓜果实全部畸形。

表 4 低温和寡照处理对黄瓜果实外在品质的影响  
Table 4 Effects of low temperature and weak light treatments on fruit external quality of cucumber

处理 Treatments	天数 Days /d	单果质量 Fruit weight /g	果长 Fruit length /cm	最大果径 Maximum fruit diameter/cm	最小果径 Minimum fruit diameter/cm	畸形果比例 Proportion of deformed fruit/%
低温 Low temperature	0(CK)	374.9±8.4a	35.6±5.3a	14.8±2.5a	10.2±1.5a	0±4c
	1	292.5±4.5b	34.3±2.4a	14.6±1.5a	10.5±1.6a	0±4c
	3	356.9±7.9a	32.3±3.7ab	14.3±1.1a	10.1±1.2a	20±3b
	5	146.2±13.3c	22.7±1.8bc	13.5±0.8a	4.1±0.9b	29±3b
	7	96.9±15.8d	17.5±2.2c	12.7±2.6ab	2.9±1.5b	43±2a
寡照 Weak light	0(CK)	374.9±8.4a	35.6±5.3a	14.8±2.5a	10.2±1.5a	0±4d
	1	289.3±10.6b	25.8±3.1ab	14.4±2.1a	10.1±1.2a	64±6c
	3	212.1±15.9c	22.3±3.5b	13.3±1.3a	7.8±1.1a	75±2c
	5	171.0±8.7d	17.0±2.4b	11.3±1.8ab	2.3±0.8b	75±4b
	7	163.8±11.3d	15.4±2.5b	10.9±2.7b	2.4±0.6b	100±4a

2.4 低温寡照对黄瓜果实内在品质的影响

植物含水率的多少可以反映植物组织水分状况,从而间接反映植物生长状况;维生素 C 是抗氧化剂,参与植物体内许多新陈代谢的过程,是抗逆性的重要指标<sup>[19]</sup>;可溶性糖和可溶性蛋白质都是通过渗透调节来提高对外界环境的抵抗能力,维持植物蛋白的稳定<sup>[20]</sup>。表 5 为不同低温和寡照处理对黄瓜果实中含水率及维生素 C、可溶性糖和可溶性蛋白质含量变化情况。随着低温天数的增加,黄瓜果实的含水率呈下降趋势,低温处理 5 d 和 7 d 的含水率下降显著,较 CK 降低 7.7%和 10.5%。黄瓜果实的维生素 C 含量随低温天数的增加,呈逐渐降低的趋势,低温处理 3、5、7 d 的维生素 C 含量显著降低,分别较 CK 降低 23.3%、34.1%和 41.1%。黄瓜果实的可溶性糖含量随低温天数的增加,呈先降低后波动上升趋

势,可溶性糖含量从高到低的处理时间顺序为:5 d>7 d>CK>3 d>1 d,低温处理 5 d 和 7 d 的可溶性糖含量显著增加,较 CK 增加 23.1%和 16.6%;低温处理 1 d 和 3 d 的可溶性糖含量变化不显著。黄瓜果实的可溶性蛋白质含量随低温天数的增加,先增加后降低,可溶性蛋白质含量从高到低的处理时间顺序为:1 d>3 d>CK>5 d>7 d,低温处理 1 d 的可溶性蛋白质含量显著增加,较 CK 增加 54.8%;低温处理 7 d 的可溶性蛋白质含量显著下降,较 CK 降低 14.3%;低温处理 3 d 和 5 d 的可溶性蛋白质含量变化不显著。

随着寡照天数的增加,黄瓜果实的含水率呈下降趋势,寡照处理 1、3、5、7 d 的含水率显著降低,分别较 CK 降低 10.7%、13.2%、16.0%、20.6%。黄瓜果实的维生素 C 含量随寡照天数的增加而下降,寡照处理 1、3、5、7 d 的维生素 C 含量显著降低,分别较 CK 降低 20.3%、24.1%、

表5 低温和寡照处理对黄瓜果实内在品质的影响

Table 5 Effect of low temperature and weak light treatments on fruit intrinsic quality of cucumber

处理 Treatments	天数 Days/d	含水率 Water content/%	维生素C含量 Vitamin C content /(mg·(100g) <sup>-1</sup> )	可溶性糖含量 Soluble sugar content /(mg·g <sup>-1</sup> )	可溶性蛋白质含量 Soluble protein content /(mg·(100g) <sup>-1</sup> )
低温 Low temperature	0(CK)	95.6±0.02a	84.2±4.7a	113.5±4.3bc	39.8±2.8b
	1	95.0±0.02a	76.9±3.0ab	97.6±4.4b	61.6±3.9a
	3	90.2±0.02ab	64.6±2.9b	110.2±4.6b	49.8±4.3ab
	5	88.2±0.01b	55.5±2.7b	139.7±5.0a	37.3±4.6b
	7	85.6±0.03b	49.6±4.3c	132.3±6.3a	34.1±3.1c
	0(CK)	95.6±0.02a	84.2±4.7a	113.5±4.3bc	39.8±2.8ab
	1	85.4±0.02b	67.1±5.7b	135.7±5.5a	40.1±3.7ab
	3	83.0±0.04bc	63.9±2.7b	126.2±4.1ab	45.8±2.5a
寡照 Weak light	5	80.3±0.01bc	62.4±5.5b	127.3±5.1ab	46.8±2.9a
	7	75.9±0.03c	40.2±3.6c	109.4±4.5c	32.8±2.1b

25.9%、52.3%。黄瓜果实的可溶性糖含量随寡照天数的增加,先增加后波动降低,可溶性糖含量从高到低的处理时间顺序为:1 d>5 d>3 d>CK>7 d,寡照处理1 d的可溶性糖含量显著上升,较CK增加19.6%;寡照处理7 d的可溶性糖含量显著下降,较CK降低3.6%。黄瓜果实的可溶性蛋白质含量随寡照天数的增加,先增加后降低,但变化并不显著,可溶性蛋白质含量从高到低的处理时间顺序为:5 d>3 d>1 d>CK>7 d。

### 3 结论与讨论

该研究证实,低温处理后,黄瓜叶片的光饱和点、表观量子效率和最大光合速率有不同幅度的降低,而光补偿点却随胁迫时间的增加而增加,但短期低温处理后光合参数变化并不显著,低温处理超过5 d黄瓜叶片的最大光合速率显著降低;寡照处理3 d后,黄瓜的各项光合参数较CK相比显著降低。可知,不同处理天数低温和寡照胁迫对黄瓜叶片的光合参数有不同程度的影响。这与有关研究结果是一致的,如低温胁迫后,番茄的各项光合参数与CK相比显著降低<sup>[21]</sup>,寡照条件下,植株的光合速率也受到了明显的抑制<sup>[14,22]</sup>。在不适宜的温度和光照条件下,黄瓜叶片的光合作用受到抑制,各项光合参数显著降低,但低温和寡照对黄瓜叶片光合作用效果又各不相同。在该研究中,短期低温黄瓜叶片的光合参数变化并不显著,寡照胁迫后光合速率显著降低,说明寡照对光合作用的抑制效果比低温明显。

就植株各器官的干物质分配比例而言,大部

分学者认为低温寡照的环境会减少黄瓜光合产物向果实中分配比例,增加向茎中的分配比例<sup>[23]</sup>。该研究显示,低温环境下,黄瓜果实的干物质比例呈现先上升后降低的趋势,在低温处理7 d时,黄瓜果实的干物质比例较CK下降36%。其可能原因是低温处理前期,低温胁迫的程度较低,根、茎、叶的干物质分配比例略有减低,但变化并不显著,光合产物较多的分配到了果实;低温处理7 d后,低温胁迫较严重时,为了维持植物存活或者提高对逆境的抵抗能力,根、茎、叶获得了更多的光合产物<sup>[24]</sup>。在寡照环境下,根、茎、叶的干物质分配比例随胁迫时间的变化趋势相似,整体是随处理时间的延长而上升,黄瓜果实干物质分配比例则不断降低。这与王兴银等<sup>[25]</sup>的研究结果相同。由于寡照抑制了黄瓜叶片的光合速率,导致光合产物减少,叶片生成的干物质优先满足自身需要。另外,寡照胁迫加深后,光合产物分配到茎的比例增加,可使茎保持一定的增长速度,有利于获取光能;寡照导致黄瓜的根系活力降低,根部需要更多的干物质来增大根系功能,保持根部活力<sup>[26]</sup>。

低温和寡照不仅抑制了黄瓜叶片的光合作用,影响了器官干物质的分配,最终导致果实品质变化。该研究表明,短期低温胁迫后,黄瓜单果质量、果长、最大果径及最小果径有所降低,但变化并不显著;低温处理超过5 d,黄瓜果实的外在形态显著降低,畸形果的发生率也增加。寡照胁迫3 d后,黄瓜单果质量、果长、最大果径及最小果径显著降低,畸形果比例显著增加,最终导致黄瓜果实产量、品质的降低。这是由于低温或寡照处

理后,黄瓜的光合效率受到抑制,同化物积累较少,且器官干物质的分配也发生了变化<sup>[27]</sup>。此外,不同低温和寡照处理的畸形果的发生率随胁迫天数的持续而递增,低温处理的畸形果比例随处理天数增长速度小于寡照处理,寡照处理7 d的畸形果比例达到100%。该研究表明,寡照对果实畸形果的影响比低温明显。

可溶性糖、可溶性蛋白质是细胞在冷害条件下的保护物质,其含量与其抗冷性呈正相关。黄瓜果实维生素C随低温天数的增加而持续降低;可溶性糖含量随低温处理天数,先降低后增加;可溶性蛋白质含量的变化相反。而寡照处理后的维生素C显著降低,可溶性糖和可溶性蛋白质含量有增加的趋势,但增加幅度不显著。维生素C与光照关系密切,弱光条件不利于维生素C含量的合成<sup>[28]</sup>。低温诱导水解酶,加快了淀粉的分解,从而使得低温胁迫后的可溶性糖含量增加,提高了抗寒性<sup>[29]</sup>。可溶性糖在长期低温处理后增加显著,而短期低温后可溶性蛋白质增加显著。可能是2种物质水解酶的耐冷性不同,导致可溶性糖和可溶性蛋白质含量的变化出现差异。该研究中,维生素C、可溶性糖和可溶性蛋白质的变化与曹克友等<sup>[30]</sup>的研究结果相同,但该研究中,寡照条件下果实的含水率和维生素C的变化比低温条件下更加显著,说明寡照条件对黄瓜果实品质的影响比低温明显。这与程群柱<sup>[31]</sup>的研究结论不一样,可能是不同品种黄瓜对低温弱光逆境的适应性不同。

由于遗传特性的影响,不同种类的黄瓜对逆境有不同程度的抗逆性,该试验以黄瓜“南杂系列二号”品种为材料,其研究结果是否适用于其它黄瓜品种仍有待研究。该试验仅研究了单一低温和寡照单因素对黄瓜叶片光合参数、器官干物质分配及果实品质的影响。在设施农业生产中,寡照伴随低温灾害,因此下一步将研究低温寡照双因素对黄瓜的影响,为黄瓜设施栽培提供科学依据。

## 参考文献

- [1] 许勇,王永健. 黄瓜耐低温研究中几个问题的讨论[C]. 中国科学技术协会青年学术年会园艺学, 1995.
- [2] 邵慧东. 黄瓜特征特性及日光温室栽培技术[J]. 现代农业科技, 2012(23): 92-93.
- [3] FORK D C, SATOH K. The control by state transitions of the distribution of excitation energy in photosynthesis[J]. Annual Review of Plant Physiology, 1986, 37(37): 335-361.
- [4] POWLES S B. Photoinhibition of photosynthesis induced by visible light[J]. Annual Review of Plant Biology, 1984, 35(35): 15-44.
- [5] 王以柔, 李平, 刘鸿先, 等. 低温对不同耐寒力的黄瓜幼苗子叶的各细胞器中NAD<sup>+</sup>-苹果酸脱氢酶的影响[J]. 植物生理学报, 1985(2): 37-44.
- [6] 何洁, 刘鸿先, 王以柔, 等. 低温与植物的光合作用[J]. 植物生理学报, 1986(2): 3-8.
- [7] 程雅茹, 李剑萍, 武万里, 等. 寡照对温室黄瓜叶片光合特性及抗氧化酶活性的影响[J]. 宁夏农林科技, 2015(1): 11-14.
- [8] 贾士芳, 董树亭, 王空军, 等. 弱光胁迫对玉米产量及光合特性的影响[J]. 应用生态学报, 2007, 18(11): 2456-2461.
- [9] FRENCH G T, MOORE K A. Interactive effects of light and salinity stress on the growth, reproduction, and photosynthetic capabilities of *Vallisneria americana* (wild celery)[J]. Estuaries, 2003, 26(5): 1255.
- [10] ISHIDA K. Influence of respiration rate and metabolic substances on nodal position of first flower bud of eggplant seedlings[J]. Engei Gakkai Zasshi, 1989, 58(3): 657-664.
- [11] 王永健, 张海英, 张峰, 等. 低温弱光对不同黄瓜品种幼苗光合作用的影响[J]. 园艺学报, 2001, 28(3): 230-234.
- [12] 张福漫, 马国成. 日光温室不同季节的生态环境对黄瓜光合作用的影响[J]. 华北农学报, 1995, 10(1): 70-75.
- [13] 马德华, 庞金安, 霍振荣, 等. 弱光对黄瓜幼苗光合及膜脂过氧化作用的影响[J]. 河南农业大学学报, 1998(1): 68-72.
- [14] 陈青君, 张福漫, 王永健, 等. 黄瓜对低温弱光反应的生理特征研究[J]. 中国农业科学, 2003, 36(1): 77-81.
- [15] 解静. 低温弱光及嫁接对不同生态型黄瓜生长发育和生理特性的影响[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2007.
- [16] 张志良. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 高等教育出版社, 1990.
- [17] 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.
- [18] 陈建勋, 王晓峰. 植物生理学实验指导[M]. 广州: 华南理工大学出版社, 2006.
- [19] 安华明, 陈力耕, 樊卫国, 等. 高等植物中维生素C的功能、合成及代谢研究进展[J]. 植物学报, 2004, 21(5): 608-617.
- [20] 赵江涛, 李晓峰, 李航, 等. 可溶性糖在高等植物代谢调节中的生理作用[J]. 安徽农业科学, 2006, 34(24): 6423-6425.
- [21] 樊怀福, 蒋卫杰, 郭世荣. 低温对番茄幼苗植株生长和叶片光合作用的影响[J]. 江苏农业科学, 2005(3): 89-91.
- [22] 侯兴亮, 李景富, 许向阳. 弱光处理对番茄不同生育期形态和生理指标的影响[J]. 园艺学报, 2002, 29(2): 123-127.
- [23] 马国成, 张福漫. 日光温室不同光温环境对黄瓜光合产物运输及分配的影响[J]. 中国农业大学学报, 1995(1): 34-38.
- [24] 周艳虹, 黄黎锋, 喻景权. 持续低温弱光对黄瓜叶片气体交换、叶绿素荧光猝灭和吸收光能分配的影响[J]. 分子植物(英文版), 2004, 30(2): 153-160.

- [25] 王兴银,张福漫. 弱光对日光温室黄瓜光合产物分配的影响[J]. 中国农业大学学报,2000,5(5):36-41.
- [26] 别之龙,刘佩瑛,万兆良,等. 弱光对辣椒落花落和光合作用的影响[J]. 核农学报,1998,12(5):314-316.
- [27] BEPETEL M, LAKSO A N. Differential effects of shade on early-season fruit and shoot growth rates in 'empire' apple[J]. Hortscience,1998,33(5):823-825.
- [28] 安华明,陈力耕,樊卫国,等. 高等植物中维生素 C 的功能、合成及代谢研究进展[J]. 植物学报,2004,21(5):608-617.
- [29] 王孝宜,李树德,东惠茹,等. 番茄品种耐寒性与 ABA 和可溶性糖含量的关系[J]. 园艺学报,1998(1):56-60.
- [30] 曹克友,魏佑营,吴静,等. 低温弱光胁迫对辣椒 CMS 三系幼苗光合特性与叶绿素含量的影响[J]. 山东农业科学,2008(6):13-16.
- [31] 程群柱. 低温弱光对黄瓜伤害机制及油菜素内酯诱导抗性研究[D]. 长春:吉林农业大学,2011.

## Effect of Low Temperature and Weak Light Single Factor Stress on Photosynthesis Characteristics, Dry Matter Distribution and Fruit Quality of Greenhouse Cucumber Leaves

ZHAO Heli<sup>1</sup>, YANG Zaiqiang<sup>1,2</sup>

(1. Collaborative Innovation Center on Forecast and Evaluation of Meteorological Disasters, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing, Jiangsu 210044; 2. Jiangsu Key Laboratory of Agricultural Meteorology, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing, Jiangsu 210044)

**Abstract:** In order to study the effects of low temperature and weak light single factor stress on photosynthesis characteristics, dry matter distribution and fruit quality of greenhouse cucumber leaves, artificial environment control tests were conducted to the 'Nan Za II', which was chosen as the plant material in Nanjing University of Information Science and Technology from April to May in 2017. The temperature of the low temperature test was set at 4 °C; the photosynthetically active radiation was 30% of the normal value for  $250 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , for 1, 3, 5, 7 days respectively. The photosynthetic active radiation was  $800 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  as controls (CK) at day/night temperature of 25 °C/18 °C. The results showed that after short-term low temperature treatments, the photosynthetic parameters of cucumber leaves did not change significantly, and the maximum photosynthetic rate for 5 days and 7 days decreased significantly 33.8% and 41.4% that compared with CK; with the persistence of low temperature time, the ratio of dry matter distribution decreased, roots, stems and leaves were assigned to more photosynthetic products; the fruit weight, fruit length, fruit length, maximum fruit diameter and minimum fruit diameter decreased with the treatment time. The fruit water content and vitamin C decreased with the prolongation of low temperature treatment, and the soluble protein presented a trend increasing first and then decreasing, while the soluble sugar decreased first and then increased. The photosynthetic parameters of cucumber leaves decreased significantly with the increase weak light stress and for 7 days decreased the maximum photosynthesis rate 84.4% than that of CK; the dry matter ratio of fruit was decreased that the ratio of dry matter to 1, 3, 5, 7 days were reduced 21.2%, 21.8%, 26.5% and 18.3% than that of CK; fruit weight, fruit length, maximum fruit diameter, the minimum fruit diameter was significantly reduced, and the ratio of deformed fruit treated for 7 days was 100%; water content and vitamin C decreased significantly with the treatment time, that weak light treatment for 7 days decreased by 20.6%, 52.3% compared with CK, and soluble sugar and soluble protein presented increasing trends, but the change was not significant. The results of this study provided scientific basis for the regulation of temperature and light in the cultivation of cucumber.

**Keywords:** cucumber; low temperature; weak light; photosynthetic characteristics; fruit quality