

# 不同浓度的 $\text{NO}_3^-$ 对黄瓜幼苗光合特性的影响

苏秀荣<sup>1</sup>, 王秀峰<sup>2\*</sup>, 丁方军<sup>3</sup>, 杨凤娟<sup>2</sup>

(1 山东农业大学化学与材料科学学院, 泰安 271018; 2 山东农业大学园艺科学与工程学院, 作物生物学国家重点实验室, 泰安 271018; 3 山东农业大学资源与环境学院, 泰安 271018)

**摘要:** 水培条件下, 不同浓度的  $\text{NO}_3^-$  处理黄瓜幼苗 7d, 测定了黄瓜幼苗光合速率及相关参数的变化, 揭示了黄瓜幼苗光合作用功能对高浓度  $\text{NO}_3^-$  胁迫响应机理。结果表明, 营养液中  $\text{NO}_3^-$  浓度在较低范围(14 ~ 98 mmol/L)内时, 适当增加  $\text{NO}_3^-$  有利于净光合速率的提高, 光饱和点的升高, 羧化效率增大, 淀粉粒增加, 叶面积增加, 有利于黄瓜幼苗光合物质的积累及植株的生长; 营养液中  $\text{NO}_3^-$  浓度进一步增加(> 98 mmol/L)时, 黄瓜幼苗叶绿素的含量降低, 净光合速率显著降低, 光饱和点、羧化效率均降低; 182 mmol/L  $\text{NO}_3^-$  的处理, 叶绿体的结构受到损伤, 基粒数、基粒片层数、淀粉粒均减少, 且淀粉粒变小, 干重和叶面积均降低。所以,  $\text{NO}_3^-$  浓度过高时, 黄瓜幼苗利用强光、弱光、 $\text{CO}_2$  的能力减弱, 叶肉细胞被损伤, 非气孔限制造成光合速率降低, 不利于黄瓜幼苗的生长。

**关键词:**  $\text{NO}_3^-$  胁迫; 净光合速率; 黄瓜幼苗

中图分类号: S642.2; Q945.11

文献标识码: A

文章编号: 1008-505X(2008)06-1110-08

## Effects of different $\text{NO}_3^-$ concentration on photosynthetic characteristics in cucumber seedling

SU Xiu-rong<sup>1</sup>, WANG Xiu-feng<sup>2\*</sup>, DING Fang-jun<sup>3</sup>, YANG Feng-juan<sup>2</sup>

(1 College of Chemistry and Material Science, Shandong Agricultural University, Taian 271018, China; 2 College of Horticulture Science and Engineering, Shandong Agricultural University, State Key Laboratory of Crop Biology, Taian 271018, China;

3 College of Resources and Environment, Shandong Agricultural University, Taian 271018, China)

**Abstract:** Cucumber plants grew in nutrient solution under different  $\text{NO}_3^-$  concentration for 7 d at hydroponic system. The changes of photosynthesis rate and related parameters in cucumber seedling leaves were studied in order to reveal the response mechanism of the photosynthetic functions of plants to  $\text{NO}_3^-$  stress in cucumber seedling. The results indicated that when available  $\text{NO}_3^-$  concentration was low(14 to 98 mmol/L  $\text{NO}_3^-$ ), the net photosynthesis rate(Pn), light saturation point(LSP), carboxylation efficiency(CE), number of starch grains and absolute increment of leaf area were increased by proper supplement of  $\text{NO}_3^-$ . Supplement of  $\text{NO}_3^-$  at appropriate range improved the accumulation of photosynthates and the growth of plants. With further increase of  $\text{NO}_3^-$  concentration(> 98 mmol/L  $\text{NO}_3^-$ ) in the medium, the pigment contents in cucumber seedling leaves were lower; the apparent quantum yield(AQY), Pn, LSP, CE all significantly decreased compared to control. When  $\text{NO}_3^-$  concentration increased to as high as 182 mmol/L, the ultra-structure of chloroplasts were damaged, and the number of grana in cells and number of lamellae in granas, the number of starch grains in cells as well as starch grain size all decreased. Leaf area was reduced and dry weight was significantly lower than that of control plants. Consequently, the capabilities of cucumber seedlings using light and  $\text{CO}_2$  were lower than control. Factors caused reduction of Pn was no-stomatal limitation because mesophyll cell were damaged.

**Key words:**  $\text{NO}_3^-$  stress; net photosynthesis rate; cucumber seedling

收稿日期: 2007-07-23 接受日期: 2008-01-23

基金项目: 国家自然科学基金项目(批准号 30471187); 山东农业大学青年科技创新基金(23472)资助。

作者简介: 苏秀荣(1965—), 女, 山东莱芜人, 副教授, 主要从事无机化学与无土栽培研究。Tel: 0538-8241570; E-mail: xrsu@sdau.edu.cn

\* 通讯作者 E-mail: xfwang@sdau.edu.cn

土壤次生盐渍化是温室蔬菜生长的主要障碍<sup>[1]</sup>,严重制约生产的可持续性。温室土壤盐分组成阴离子主要是  $\text{NO}_3^-$ ,约占阴离子总量的 67%~76%,阳离子则以  $\text{Ca}^{2+}$  为主<sup>[2]</sup>。大多数植物对盐胁迫是敏感的<sup>[3]</sup>,植物受到盐胁迫时,产生光合速率下降<sup>[4]</sup>、叶绿素对光的吸收能力下降、碳同化能力下降<sup>[5]</sup>、植株生长受到抑制<sup>[6]</sup>等一系列的响应变化。

光合作用是植物最重要的生命活动之一,目前在探讨植物光合机构对盐胁迫的响应机理方面的研究已取得了长足进展,但大多是以  $\text{NaCl}$  盐胁迫为条件的研究,对于温室土壤  $\text{NO}_3^-$  盐类胁迫下蔬菜光合作用的响应研究相对较少。研究  $\text{NO}_3^-$  胁迫下的光合作用的变化规律,对于阐明盐逆境对蔬菜的伤害机理和提高蔬菜的产量和品质十分必要。

## 1 材料与方法

供试黄瓜品种为“新泰密刺”( *Cucumis sativus* L. ),由新泰市祥云种业有限公司提供。

### 1.1 试验方法

1.1.1 试材的培养 试验于 2005 年 1~4 月在山东农业大学玻璃温室进行。按常规方法浸种催芽,挑选发芽整齐的种子播于装有洗净沙子的营养钵(8 cm × 8 cm)中,子叶展平后,用营养液代替自来水浇灌,待幼苗长到 3 叶 1 心时,选取生长一致的健壮幼苗转移至栽培槽中,每槽(3.5 m × 0.4 m × 0.1 m)装营养液 100 L,定植两行,株行距 20 cm × 22.5 cm,用充氧机充气。营养液中大量元素参照山崎配方<sup>[7]</sup>略加修改,其中磷酸二氢铵改为磷酸二氢钾,微量元素参照常规配方<sup>[7]</sup>。pH 值用  $\text{H}_2\text{SO}_4$  调节,保持在 5.5~6.5 之间。

1.1.2 试验设计 试验设 5 个处理,水培条件下,在常规营养液( $\text{NO}_3^-$  浓度为 14 mmol/L)中加入  $\text{NO}_3^-$  浓度分别为:0、42、84、126、168 mmol/L。处理后的  $\text{NO}_3^-$  最终浓度分别为:14(CK)、56、98、140、182 mmol/L。

以  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  和  $\text{KNO}_3$  各 1/2 提供  $\text{NO}_3^-$ ,调整  $\text{NO}_3^-$  的浓度。对应各处理溶液渗透势见表 1。

1.1.3 定植后试材培养 黄瓜幼苗在常规营养液中缓苗两天后,为防止盐刺激, $\text{NO}_3^-$  浓度按每天递增总浓度的 1/4,直至达到各处理预定浓度。当达到处理浓度时,重新更换 1 次处理营养液。

### 1.2 测定方法

1.2.1 光合速率及相关参数的测定<sup>[8]</sup> 光合速率与气体交换参数的测定:用重新更换的处理营养液,处理幼苗 6 d 后,在各处理区生长一致的黄瓜幼

苗 5 株上各选取光照一致的功能叶(上数第 4~5 片叶)一片,于上午 10:00~12:00 用 Ciras-1 型光合仪(英国)测定光合参数。测定叶室选择内源光强为  $600 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ,接近同期温室内自然光强, $\text{CO}_2$  浓度为 350~360  $\mu\text{L}/\text{L}$ ,温度为 25℃。

表 1 各处理溶液渗透势及其变化

$\text{NO}_3^-$ 浓度 Concentr. (mmol/L)	渗透势 Osmotic potential (MPa)	
	处理前溶液 Solution before treatment	胁迫 7 d 溶液 Solution of stress for 7 days
14	-0.220	-0.198
56	-0.307	-0.298
98	-0.442	-0.430
140	-0.534	-0.527
182	-0.656	-0.636

光响应曲线的测定:用 Ciras-2 型光合仪(英国)测定  $\text{CO}_2$  浓度为 350~360  $\mu\text{L}/\text{L}$  下的光合速率( $P_n$ )—光响应曲线,PFDF(Photo flux density)范围 20~1400  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ,由 P-PFD 曲线利用回归法求光合作用表观量子效率(AQY)、光补偿点(LCP)、光饱和点(LSP)。重复 3~5 次,取平均值。

$\text{CO}_2$  响应曲线的测定:用 Ciras-2 型光合仪(英国)测定叶室选择内源光强为  $600 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  时的 P- $\text{CO}_2$  曲线, $\text{CO}_2$  的浓度梯度为 400、350、300、250、200、150、100、50  $\mu\text{L}/\text{L}$ ,用回归法求得  $\text{CO}_2$  的补偿点(CCP),由 P-Ci 最初的直线部分( $\text{CO}_2$  为 0~250  $\mu\text{L}/\text{L}$ )通过线性回归求羧化效率(CE)。重复 3~5 次,取平均值。

1.2.2 叶绿体色素含量的测定 叶绿素采用 80% 丙酮提取,分光光度计测定吸光度<sup>[9]</sup>。

1.2.3 植株生长势的测定 处理前每处理随机取样 10 株,测定株高与叶面积,作好标记,处理第 7 d 再分别测定上述 10 株黄瓜幼苗的株高与叶面积。测定叶片的长(L)与宽(W),按以下公式计算叶片面积(A): $A = 14.16 - 5.0 \times (L) + 0.94 \times (L^2) + 0.47 \times (W) + 0.63 \times (W^2) - 0.62(L \times W)$ <sup>[10]</sup>。处理第 7 d,测定黄瓜幼苗每株的干重,重复 3~5 次,取平均值。

1.2.4 黄瓜幼苗叶片叶绿体超微结构 每处理选取具有代表性的生长一致的两株,取其上数第 4 叶,用刀片在叶中间主脉两侧取 25 mm<sup>2</sup> 大小的叶片为固定材料,按常规方法制备电镜切片,TEM-1200EX 型透射电镜观察、测量并照相,每处理至少观测 20

个视野,取平均值。试验在山东农业大学电镜实验室完成,结果见附图。

数据采用 DPS 数据处理系统进行统计分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 叶片净光合速率与气体交换参数的变化

由表 2 可知,NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 浓度为 56 和 98 mmol/L 处理的黄瓜幼苗叶片净光合速率(P<sub>n</sub>)、胞间 CO<sub>2</sub> 浓度(C<sub>i</sub>)、气孔限制值(L<sub>s</sub>)、气孔导度(G<sub>s</sub>)均与对照差异

不显著,说明在低浓度时,增加 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 的浓度,短时间内对黄瓜幼苗生长不会造成不良影响。140、182 mmol/L NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 处理的幼苗,P<sub>n</sub> 分别比对照降低 35% 和 78%,差异极显著。随 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 处理浓度的增大,G<sub>s</sub> 逐渐降低,140 mmol/L 处理的胞间 C<sub>i</sub> 比对照下降 18%,L<sub>s</sub> 比对照上升 33%,说明 P<sub>n</sub> 的降低是由气孔因素造成的;182 mmol/L 处理的 C<sub>i</sub> 比对照上升 17%,L<sub>s</sub> 比对照下降 32%,说明净光合速率的降低是由非气孔因素造成的。

表 2 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 胁迫对黄瓜幼苗叶片净光合速率与气体交换参数的影响

Table 2 Effects of NO<sub>3</sub><sup>-</sup> stress on parameters of P<sub>n</sub>, G<sub>s</sub>, C<sub>i</sub> and L<sub>s</sub> in cucumber seedling leaves

NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 浓度 NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> concentr. (mmol/L)	净光合速率 P <sub>n</sub> [CO <sub>2</sub> μmol/(m <sup>2</sup> ·s)]	气孔导度 G <sub>s</sub> [mmol/(m <sup>2</sup> ·s)]	胞间 CO <sub>2</sub> 浓度 C <sub>i</sub> (μL/L)	气孔限制值 L <sub>s</sub>
14	12.30 ± 0.71 aAB	248.5 ± 10.61 aA	235.5 ± 13.44 bAB	0.3458 ± 0.0373 bAB
56	12.50 ± 1.41 aAB	233.5 ± 20.51 aA	215.0 ± 8.49 bcB	0.4028 ± 0.0235 abA
98	13.85 ± 1.34 aA	217.0 ± 25.46 aA	225.5 ± 12.02 bB	0.3736 ± 0.0334 bA
140	7.95 ± 1.34 bB	114.0 ± 8.49 bB	194.0 ± 12.73 cB	0.4611 ± 0.0354 aA
182	2.70 ± 0.99 cC	85.0 ± 4.24 bB	275.0 ± 8.49 aA	0.2361 ± 0.0236 cB

注 (Note): 不同大、小写字母分别表示在 0.01 和 0.05 水平差异显著性,下同。Different capital and small letters meant significant difference at 0.01 and 0.05 level, respectively. The same indication is used for other tables.

### 2.2 光补偿点与饱和点及表观量子效率的变化

表 3 表明,NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 浓度为 56、98 和 140 mmol/L 处理的黄瓜幼苗叶片光补偿点(LCP)与对照差异不显著;182 mmol/L 处理的光补偿点增大,与对照差异显著,说明高浓度 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 会导致幼苗对弱光的适应与利用能力下降。NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 浓度为 56 和 98 mmol/L 处理的黄瓜幼苗叶片光饱和点(LSP)的大小比对照高,140 mmol/L、182 mmol/L 处理的光饱和点比对照低,差异显著,说明适当增大 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 浓度,可提高幼苗对

强光的适应与利用范围,当 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 浓度进一步增大时,幼苗对强光适应与利用范围降低。

在光饱和点下最大光合作用速率,同 LSP 的变化规律一致,140、182 mmol/L 处理的 P<sub>n</sub> 下降 33%、77%;NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 浓度为 56~140 mmol/L 处理的黄瓜幼苗叶片表观量子效率(AQY)与对照差异不显著,但 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 浓度为 182 mmol/L 处理的 AQY 减小,与对照差异显著,下降幅度达 50%,说明随浓度增大幼苗光能转化最大效率显著降低。

表 3 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 胁迫对黄瓜幼苗叶片光补偿点、饱和点及表观量子效率的影响

Table 3 Effects of NO<sub>3</sub><sup>-</sup> stress on light saturation point(LSP), light compensation point(LCP) and apparent quantum yield(AQY) in cucumber seedling leaves

NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 浓度 NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> concentr. (mmol/L)	光饱和点 LSP [μmol/(m <sup>2</sup> ·s)]	最大净光合速率 P <sub>nmax</sub> [CO <sub>2</sub> μmol/(m <sup>2</sup> ·s)]	光补偿点 LCP [μmol/(m <sup>2</sup> ·s)]	表观量子效率 AQY
14	817 ± 10.6 bB	12.12 ± 0.68 bA	55.3 ± 5.0 bcB	0.0348 ± 0.0016 aA
56	901 ± 8.48 aA	14.10 ± 0.28 aA	57.5 ± 2.0 bB	0.0320 ± 0.0028 aA
98	903 ± 23.3 aA	13.15 ± 1.06 abA	54.6 ± 4.1 bcB	0.0313 ± 0.0012 aA
140	649 ± 18.0 cC	8.10 ± 0.42 cB	48.3 ± 5.5 cB	0.0310 ± 0.0014 aA
182	570 ± 28.3 dD	2.75 ± 0.21 dC	76.0 ± 1.7 aA	0.0174 ± 0.0018 bB

### 2.3 $\text{CO}_2$ 补偿点与羧化效率的变化

由表 4 可知,  $\text{NO}_3^-$  浓度为 56 和 98 mmol/L 时, 幼苗叶片羧化效率(CE)随  $\text{NO}_3^-$  浓度的增加而增大, 且增幅分别为 13%、90%。但当  $\text{NO}_3^-$  浓度为 140 mmol/L 和 182 mmol/L 时, 幼苗叶片的 CE 随浓度增大而下降, 下降幅度分别为 13.5%、68% ; 在  $\text{NO}_3^-$  浓度为 182

mmol/L 时, 幼苗叶片的 CE 与对照的 CE 差异极显著。 $\text{NO}_3^-$  浓度为 56 和 98 mmol/L 处理, 幼苗叶片的  $\text{CO}_2$  的补偿点(CCP)低于对照, 56 mmol/L 处理, 黄瓜幼苗的 CCP 最低。当  $\text{NO}_3^-$  浓度为 140 mmol/L 和 182 mmol/L 时, 幼苗叶片的 CCP 随  $\text{NO}_3^-$  浓度增大而升高。

表 4  $\text{NO}_3^-$  胁迫下黄瓜幼苗叶片  $\text{CO}_2$  补偿点(CCP)与羧化效率(CE)

Table 4  $\text{CO}_2$  compensation point(CCP) and carboxylation efficiency(CE) in cucumber seedling leaves under  $\text{NO}_3^-$  stress

$\text{NO}_3^-$ 浓度 $\text{NO}_3^-$ concentr. (mmol/L)	羧化效率 CE [ $\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ]	$\text{CO}_2$ 补偿点 CCP ( $\mu\text{L}/\text{L}$ )
14	$0.0577 \pm 0.0077$ bcB	$124.0 \pm 7.07$ cBC
56	$0.0653 \pm 0.0011$ bB	$99.4 \pm 2.90$ dD
98	$0.1098 \pm 0.0087$ aA	$109.5 \pm 2.12$ dCD
140	$0.0499 \pm 0.0011$ cB	$138.5 \pm 4.94$ bB
182	$0.0185 \pm 0.0014$ dC	$201.0 \pm 1.41$ aA

### 2.4 黄瓜幼苗叶绿体色素含量的变化

图 1 表明,  $\text{NO}_3^-$  浓度为 56、98 mmol/L 时, 黄瓜叶片的叶绿体各色素含量比对照稍高, 98 mmol/L 处理的除类胡萝卜素高于对照外, 其他色素和总含量均比对照低; 当  $\text{NO}_3^-$  浓度为 140 mmol/L 时, 各种色素的含量均比对照低, 差异显著; 98 与 140 mmol/L 处

理的两者差异不显著, 可能 140 mmol/L 处理的叶片含水量低, 相同鲜重中叶绿素含量相对较高; 182 mmol/L 处理的, 各种色素的含量下降幅度进一步加大, 叶绿素含量的降低应是导致该浓度胁迫的黄瓜幼苗光合速率降低的原因之一。

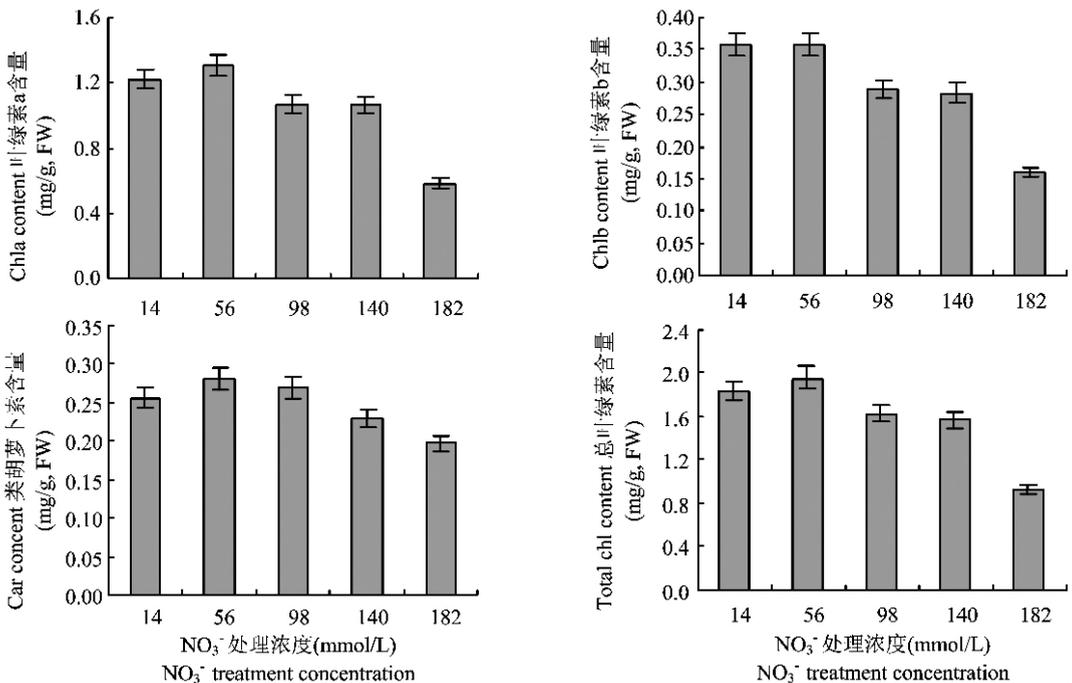


图 1  $\text{NO}_3^-$  胁迫下黄瓜幼苗叶片叶绿体色素含量的变化

Fig.1 Changes of pigment contents in cucumber seedling leaves under  $\text{NO}_3^-$  stress

## 2.5 黄瓜幼苗叶片叶绿体超微结构的变化

如表 5 所示,叶绿体超微结构的各种参数中,多数随  $\text{NO}_3^-$  浓度的增加,呈先增加后降低趋势,当  $\text{NO}_3^-$  浓度为 98 mmol/L 时,除淀粉粒数、基粒数和叶绿体宽度外其他各参数达最大值,然后随  $\text{NO}_3^-$  浓度的进一步增加,多数参数呈降低趋势,这种变化规律基本与光合速率的变化一致。当  $\text{NO}_3^-$  浓度为 182 mmol/L 时,除叶绿体长度外,其他参数低于对照,且

差异显著。

如图 2 所示, $\text{NO}_3^-$  浓度为 14~140 mmol/L 时,叶绿体超微结构未受损伤; $\text{NO}_3^-$  浓度为 182 mmol/L 时,叶绿体中基粒片层有所紊乱,有的部位较严重,有的部位较轻,表明该浓度已经破坏了叶绿体结构的完整性,这可能是该浓度处理后造成幼苗叶片净光合速率显著下降的主要原因。

表 5  $\text{NO}_3^-$  胁迫对黄瓜幼苗叶片叶绿体超微结构的影响

Table 5 Effects of  $\text{NO}_3^-$  stress on the ultrastructure of chloroplasts of cucumber seedling leaves

$\text{NO}_3^-$ 浓度 / $\text{NO}_3^-$ Concentr. (mmol/L)	叶绿体个数 /细胞 No. of chloroplast (No./Cell)	淀粉粒数 /细胞 No. of starch grains (No./Cell)	基粒数 /叶绿体 No. of grana (No./Chloroplast)	片层数 /基粒 No. of lamellae (No./Grana)	叶绿体大小 Chloroplast size		淀粉大小 Starch grain size	
					长 Length ( $\mu\text{m}$ )	宽 Width ( $\mu\text{m}$ )	长 Length ( $\mu\text{m}$ )	宽 Width ( $\mu\text{m}$ )
14	14.6 bB	14.5 cC	19.1 aA	7.5 abA	16.0 cB	6.4 cB	3.3 cC	2.0 cC
56	13.5 bcB	33.9 aA	15.0 bBC	8.6 abA	19.0 bAB	8.7 bA	5.0 bB	3.4 bB
98	18.6 aA	32.9 aA	17.8 aAB	12.0 aA	21.8 aA	9.4 abA	8.6 aA	4.5 aA
140	14.6 bcB	24.6 bB	18.4 aA	11.4 abA	18.2 bcB	10.0 aA	4.7 bB	3.5 bBC
182	12.4 cB	10.5 cC	13.5 bC	7.0 bA	17.6 bcB	5.8 cB	1.6 cC	1.4 dD

## 2.6 黄瓜幼苗生长势的变化

表 6 表明, $\text{NO}_3^-$  浓度为 56 mmol/L 时,株高增加,其他浓度处理下,黄瓜幼苗的株高随处理浓度的增加而逐渐下降,且与对照差异显著。 $\text{NO}_3^-$  浓度为 56 mmol/L 和 98 mmol/L 时,叶面积均比对照增加程度大,但浓度进一步增加时,叶面积的绝对增加值减

小;182 mmol/L 处理的显著低于对照,而且呈负增长,可能是由于渗透势较大,随着新叶的形成,老叶逐渐枯萎,新叶也不能像对照营养液中的一样正常生长变大。 $\text{NO}_3^-$  浓度为 56 mmol/L 时,幼苗干重高于对照,随着  $\text{NO}_3^-$  浓度的增加,各处理幼苗干重均低于对照。

表 6  $\text{NO}_3^-$  胁迫对黄瓜幼苗生长与干物质积累的影响

Table 6 Effects of  $\text{NO}_3^-$  stress on growth and dry matter accumulation of cucumber seedlings

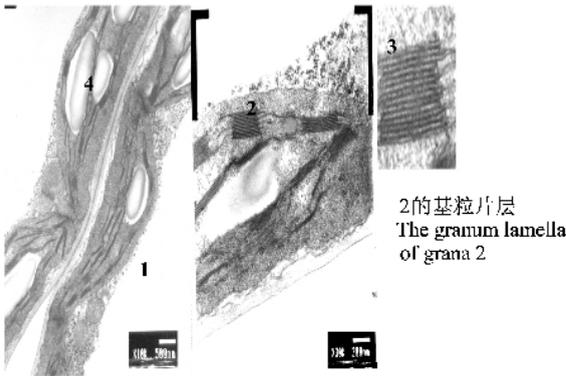
$\text{NO}_3^-$ 浓度(mmol/L) / $\text{NO}_3^-$ concentr.	株高绝对增加值(cm) Absolute increment of plant height	叶面积绝对增加值( $\text{cm}^2$ ) Absolute increment of leaves area	干重(g/plant) Dry weight
14	11.27 bAB	80.93 cC	1.690 aA
56	13.40 aA	156.27 aA	1.740 aA
98	8.85 bBC	93.20 bB	1.510 abAB
140	6.14 cCD	70.95 cC	1.370 bcAB
182	4.80 cD	-0.4300 dD	1.155 cB

## 3 讨论

### 3.1 低浓度 $\text{NO}_3^-$ 下黄瓜幼苗叶片光合特性

氮素是作物营养的三大要素之一<sup>[11]</sup>,植物叶片氮素含量的 75% 用于构建叶绿体,其中大部分参与光合作用,所以氮素缺乏常常会成为植物生长的限

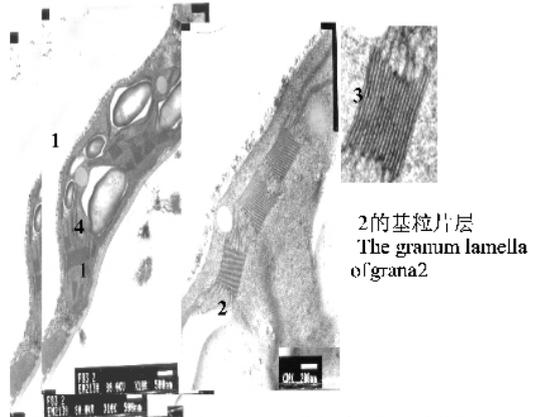
制因子<sup>[12]</sup>。许多试验表明,增施  $\text{NO}_3^-$  可提高叶片叶绿素含量<sup>[13]</sup>(图 1),延长绿叶面积持续期,增大叶面积(表 6),同时增施氮肥可使光饱和点上升<sup>[14]</sup>(表 3),叶肉细胞光合活性<sup>[15]</sup>和叶片吸光强度增加,净光合速率增加。本试验采用不同浓度  $\text{NO}_3^-$  处理黄瓜幼苗,当其浓度在较低基础上增加(14~98 mmol/L)



叶绿体全貌(x10000)  
The whole picture of chloroplast(x10000)

叶绿体片层(x30000)  
The granum lamella of chloroplasts(x30000)

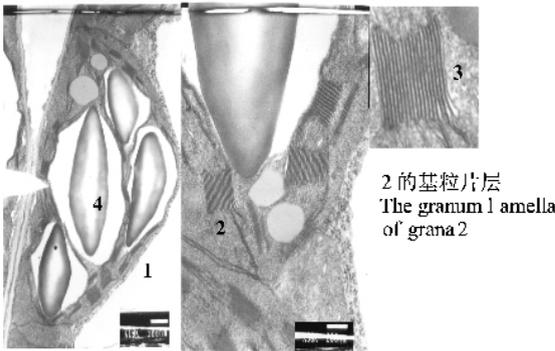
14 mmol/L  $\text{NO}_3^-$  处理  
The treatment under 14 mmol/L  $\text{NO}_3^-$  concentration



叶绿体全貌(x10000)  
The whole picture of chloroplast(x10000)

叶绿体片层(x30000)  
The granum lamella of chloroplasts(x30000)

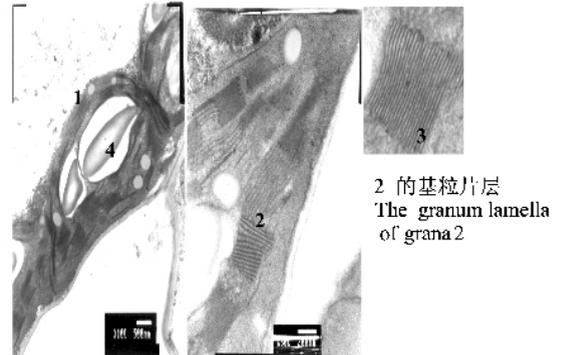
56 mmol/L  $\text{NO}_3^-$  处理  
The treatment under 56 mmol/L  $\text{NO}_3^-$  concentration



叶绿体全貌(x10000)  
The whole picture of chloroplast(x10000)

叶绿体片层(x30000)  
The granum lamella of chloroplasts(x30000)

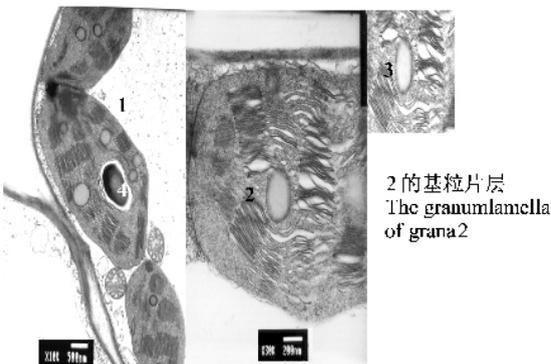
98 mmol/L  $\text{NO}_3^-$  处理  
The treatment under 98 mmol/L  $\text{NO}_3^-$  concentration



叶绿体全貌(x10000)  
The whole picture of chloroplast(x10000)

叶绿体片层(x30000)  
The granum lamella of chloroplasts(x30000)

140 mmol/L  $\text{NO}_3^-$  处理  
The treatment under 140 mmol/L  $\text{NO}_3^-$  concentration



叶绿体全貌(x10000)  
The whole picture of chloroplast(x10000)

叶绿体片层(x30000)  
The granum lamella of chloroplasts(x30000)

182 mmol/L  $\text{NO}_3^-$  处理  
The treatment under 182 mmol/L  $\text{NO}_3^-$  concentration

图2  $\text{NO}_3^-$  胁迫下黄瓜幼苗叶片的叶绿体超微结构  
Fig.2 Chloroplast ultrastructure of cucumber seedling-leaf under  $\text{NO}_3^-$  stress

[注(Note): 取样时每处理选取具有代表性的生长一致的两株, 取其上数第4叶, 用刀片在叶中间主脉两侧取25mm<sup>2</sup>大小的叶片为固定材料 Two representative plants were chose, and the part around the main veins of leaf, about 25mm<sup>2</sup> was cut off as fixing materia 1.0

1—叶绿体Chloroplast; 2—基粒Granum; 3—放大2的基粒片层 Magnification of granum lamellae; 4—淀粉粒Starch grain

时,亦有相似的结果。同时结果亦表明,适当增加氮素表观量子效率(表3)和羧化效率(表4)增强且与对照差异显著,说明叶片的含氮量增加,也会相应增加 Rubisco 的含量,CO<sub>2</sub> 同化速率增加<sup>[16]</sup>,有利于光合物质的积累(表5、6),有利于植株的生长。

由于高浓度胁迫的幼苗随培养时间的延长出现干枯,因而试验采用培养7d,可能随胁迫时间的延长,在上述低浓度下也会出现胁迫或不同的症状,有待进一步探讨。

### 3.2 高浓度 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 下黄瓜幼苗叶片的光合特性

在一定施氮范围内增加氮肥施用量,可使叶肉细胞光合活性增加,净光合速率有所增加,但氮素供应失调将导致植物光合能力下降<sup>[13,15]</sup>。本试验结果表明,当 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 浓度为 140 mmol/L 时,净光合速率及其光合作用的各项参数多数出现转折点(表2、表3、表4)。NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 浓度进一步增大时,净光合速率显著下降,同时黄瓜幼苗的生长势与干重都显著低于对照,这种变化的原因之一可能是叶绿素含量的降低(图1),同时由于高浓度的 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 造成渗透胁迫<sup>[6]</sup>,使叶片发生生理干旱,叶绿体的超微结构受到损伤,叶绿体中基粒片层紊乱(图2、表5),叶肉细胞气孔扩散阻抗增加,Rubisco 酶对 CO<sub>2</sub> 的亲合力下降,碳同化能力下降,从而使光合速率降低<sup>[17]</sup>。

NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 浓度为 140、182 mmol/L 时,过量增施氮肥会导致黄瓜幼苗对强光与弱光的利用范围降低(表3),不利于光合速率的提高;同时黄瓜幼苗的羧化效率及低 CO<sub>2</sub> 利用范围均显著降低,且降低幅度随浓度的增大而加大(表4)。植物叶绿体集光合碳、氮同化于一体,吸收的 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 主要运往叶片并在光下进行还原与同化<sup>[18]</sup>,是仅次于碳同化之外的另一重要反应<sup>[19]</sup>。过量增施氮肥会导致植物降低叶片中活化的 Rubisco 量和作物对 CO<sub>2</sub> 的利用能力,碳同化能力降低,原因可能是高浓度 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 胁迫下,植株体内的氮代谢旺盛,与光合碳同化竞争光反应所产生的同化力(ATP 和 NADPH)<sup>[20]</sup>,使 CO<sub>2</sub> 同化速率降低,造成碳、氮代谢失调,使光合速率降低<sup>[21]</sup>,导致植物体内淀粉数目的减少(表5),影响物质的积累,使干重明显降低(表6)。

总之,在营养液中 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 浓度较低时,适当增加 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>,有利于光合物质的积累及其株高和叶面积的增大,短时间内不会造成不良的影响。在营养液中 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 浓度较高时,进一步增加 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 浓度会使净光合速率显著降低,不利于光合物质的积累及其株高和

叶面积的增大,不利于植物生长。

本试验在水培条件下进行,采用 KNO<sub>3</sub> 和 Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>·4H<sub>2</sub>O 以各 1/2 提供 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 调整 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 的浓度,温室土壤盐渍化多为复合盐,试验与实际土壤有一定距离,试验可为土壤盐渍化问题提供一定的理论基础,更为复杂的情况有待进一步研究。

### 参考文献:

- [1] 薛继澄,李家金,毕德义,等. 保护地栽培土壤硝酸盐积累对辣椒生长和锰含量的影响[J]. 南京农业大学学报,1995,18(1):53-57  
Xue J C, Li J J, Bi D Y *et al.* Effects of nitrate accumulation of soil on growth and manganese concentration of pepper in protected cultivation[J]. J. Nanjing Agric. Univ., 1995, 18(1):53-57.
- [2] 董有为,陈淡飞. 温室土壤次生盐渍化的形成和治理途径研究[J]. 园艺学报,1991,18(2):159-162.  
Tong Y W, Chen D F. Study on the cause and control of secondary saline soils in greenhouse[J]. Acta Horticult. Sin., 1991, 18(2):159-162.
- [3] 朱新广,张其德. NaCl 对光合作用影响的研究进展[J]. 植物学通讯,1999,16(4):332-338  
Zhu X G, Zhang Q D. Advances in the research on the effects of NaCl on photosynthesis[J]. Chin. Bull. Bot., 1999, 16(4):332-338.
- [4] 郁继华,杨秀玲,许耀照,等. NaCl 胁迫对黄瓜自根苗和嫁接苗光合速率的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2004,10(5):554-556.  
Yu J H, Yang X L, Xu Y Z *et al.* Effect of salt stress on photosynthesis characteristics in grafted and ow-rooted cucumber seedlings[J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2004, 10(5):554-556.
- [5] 朱新广,王强,张其德,等. 冬小麦光合功能对盐胁迫的响应[J]. 植物营养与肥料学报,2002,8(2):177-180.  
Zhu X G, Wang Q, Zhang Q D *et al.* Response of photosynthetic functions of winter wheat to salt stress[J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2002, 8(2):177-180.
- [6] 史庆华,朱祝军, Khalida Al-aghabary, 等. 等渗 Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> 和 NaCl 胁迫对番茄光合作用的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2004,10(2):188-191.  
Shi Q H, Zhu Z J, Khalida Al-aghabary *et al.* Effects of iso-osmotic Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> and NaCl treatment on photosynthesis in leaves of tomato[J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2004, 10(2):188-191.
- [7] 郭世荣. 无土栽培学[M]. 北京:中国农业出版社,2004. 98-114.  
Guo S R. Soilless culture[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2004. 98-114.
- [8] 艾希珍,马兴庄,于立明,等. 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[J]. 应用生态学报,2004,15(11):2091-2094.  
Ai X Z, Ma X Z, Yu L M *et al.* Effect of long-term suboptimal temperature and short-term low temperature under low light density on cucumber growth and its photosynthesis[J]. Chin. J. Appl. Ecol., 2004, 15(11):2091-2094.

- [ 9 ] 赵世杰,刘华山,董新纯. 植物生理学实验指导[ M ]. 北京:中国农业科技出版社,1998. 56-124.  
Zhao S J, Liu H S, Dong X C. Experiment directions of plant physiology[ M ]. Beijing: China Agricultural Sciencetech Press, 1998. 56-124.
- [ 10 ] Suzanne N R, David M P. Leaf area prediction model for cucumber from linear measurements[ J ]. Hort. Sci., 1987, 22( 6 ): 1264-1266
- [ 11 ] Ma B L, Morrison M J, Dwyer L M *et al.* Canopy light reflectance and field greenness to assess nitrogen fertilization and yield of maize [ J ]. Agron. J., 1996, 88( 6 ): 915-920.
- [ 12 ] 关义新,林葆,凌碧莹. 光、氮及其互作对玉米幼苗叶片光合和碳、氮代谢的影响[ J ]. 作物学报, 2000, 26( 6 ): 806-812.  
Guan Y X, Lin B, Ling B Y. The interactive effects of growth light condition and nitrogen supply on maize( *Zea mays* L. ) seedling photosynthetic traits and metabolism of carbon and nitrogen[ J ]. Acta Agron. Sin., 2000, 26( 6 ): 806-812.
- [ 13 ] 曹翠玲,李生秀. 供氮水平对小麦生殖生长期叶片光合速率、NR 活性和核酸含量及产量的影响[ J ]. 植物学通报, 2003, 20( 30 ): 319-324.  
Cao C L, Li S X. Effect of nitrogen level on the photosynthetic rate, NR activity and the contents of nucleic acid of wheat leaf in the stage of reproduction[ J ]. Chin. Bull. Bot., 2003, 20( 3 ): 319-324.
- [ 14 ] 曾希柏,谢德体,青长乐. 氮肥施用量对莴笋光合特性影响的研究[ J ]. 植物营养与肥料学报, 1997, 3( 4 ): 323-327  
Zeng X B, Xie D T, Qing C L. Effects of photosynthetic characteristic of lettuce and nitrogen application[ J ]. Plant Nutr. Fert. Sci., 1997, 3( 4 ): 323-327.
- [ 15 ] 薛青武,陈培元. 土壤干旱条件下氮素营养对小麦水分状况和光合作用的影响[ J ]. 植物生理学报, 1990, 16( 1 ): 49-56.  
Xue Q W, Chen P Y. Effects of nitrogen nutrition on water status and photosynthesis in wheat under soil drought[ J ]. Acta Phytophysiol. Sin., 1990, 16( 1 ): 49-56.
- [ 16 ] Evans J R. Nitrogen and photosynthesis in the flag leaf of wheat( *Triticum aestivum* L. ) [ J ]. Plant Physiol., 1983, 72( 2 ): 297-302.
- [ 17 ] 冯玉龙,张亚杰,朱春全. 根系渗透胁迫时杨树光合作用光抑制与活性氧的关系[ J ]. 应用生态学报, 2003, 14( 8 ): 1213-1217.  
Feng Y L, Zhang Y J, Zhu C Q. Relationship between photo-inhibition of photosynthesis and reactive oxygen species in leaves of poplars suffering root osmotic stress[ J ]. Chin. J. Appl. Ecol., 2003, 14( 8 ): 1213-1217.
- [ 18 ] Minotti P L, Jackson W A. Nitrate reduction in the roots and shoots of wheat seedlings[ J ]. Planta, 1970, 95( 1 ): 36-44.
- [ 19 ] Kaiser W M, Brendle-Behnisch E. Rapid modulation of spinach leaf nitrate reductase activity by photosynthesis[ J ]. Plant Physiol., 1991, 96: 363-367.
- [ 20 ] Penning de Vries F W T, Brunsting A H M, Van Laar H H. Products, requirements and efficiency of biosynthesis: a quantitative approach[ J ]. J. Theor. Biol., 1974, 45: 339-377
- [ 21 ] 王强,钟旭华,黄农荣,等. 光、氮及其互作对作物碳氮代谢的影响研究进展[ J ]. 广东农业科学, 2006 ( 2 ): 37-40.  
Wang Q, Zhong X H, Huang N R *et al.* Interactions of nitrogen with light in the photosynthetic traits and metabolism of carbon and nitrogen of crop[ J ]. Guangdong Agric. Sci., 2006, ( 2 ): 37-40.