

## 弱光下提高铵态氮比例对小白菜生长的影响\*

张攀伟 陈巍<sup>†</sup> 薛峰 沈其荣

(南京农业大学资源与环境科学学院, 南京 210095)

**摘要** 通过水培实验研究了弱光下提高铵态氮比例对小白菜生长的影响。结果表明: (1) 相对于自然光强, 50% 与 25% 自然光强下全硝培养的小白菜生物量、光合速率和叶片面积分别下降了 63%、31% 和 13% 与 76%、33% 和 24%; (2) 弱光降低了小白菜根系的总长度、表面积和体积, 增加了根系平均直径, 但三个光强间差异不显著; (3) 50% 自然光强下增加  $0.75 \text{ mmol L}^{-1}$  铵态氮使小白菜获得最大的生物量、光合速率和叶面积, 三者分别增加了 90%、12% 和 19%; 25% 自然光强下增加  $0.50 \text{ mmol L}^{-1}$  铵态氮时, 三者的增加量最大, 分别为 33%、15% 和 27%; (4) 弱光下适当地增铵可以显著地提高各项根系参数, 促进根系生长。所以弱光通过降低小白菜的光合速率和叶面积从而抑制其生长, 但是适当提高铵态氮比例可以缓解这种抑制作用达到增产的效果。

**关键词** 弱光; 铵态氮; 小白菜; 生长; 根系形态

**中图分类号** S143.1<sup>+</sup>2 **文献标识码** A

利用温室栽培蔬菜是解决蔬菜周年均衡供应的有效途径。大多蔬菜类为强光型或中光型作物, 所以在设施栽培中, 光照强度很容易成为作物生长的限制因子, 尤其是在冬季。

寒冷季节大棚的光强明显低于外界, 新棚膜的透光率也只有 80%~90%。通常情况下, 塑料温室大棚的平均透光率多在 50% 左右, 遇到连阴雪天, 室内光照条件更差。在立体栽培的大棚中, 下部蔬菜获光更少<sup>[1]</sup>。所以, 冬春季节, 弱光逆境是日光温室生产中常见的逆境条件, 成为冬春季日光温室生产的主要限制因素之一, 它常和低温相伴出现, 直接影响蔬菜的生长发育、产量和品质<sup>[2~5]</sup>。

目前, 实际生产中补光的手段主要是人为地增加光照强度、延长光照时间, 但是这种做法耗能太大, 大大提高了生产成本。对于喜硝的旱生作物而言, 在自然光照条件下适当地增铵营养可以显著提高作物产量并改善品质<sup>[6~8]</sup>。那么弱光条件下增铵营养是否具有同样的效果呢? 如果是, 则不仅节约了生产投入成本, 降低了环境压力, 还提高了生产输出。因此研究弱光及弱光下增铵营养对作物生长的影响, 进而寻找弱光下适宜植物生长的最适硝铵比例对农业生产具有理论和实践的指导意义。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验设计

本实验在南京农业大学温室进行, 以不结球小白菜品种上海青为供试材料。实验设置 3 个光照强度和 4 个硝铵配比。光照强度设置 3 个处理: 100% 自然光(约 20 000 lx 即  $357 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), 50% 自然光(约 10 000 lx 即  $179 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) 和 25% 自然光(约 5 000 lx 即  $89 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )。通过黑色遮阳网和白炽灯共同调解实现对光强的控制。氮素处理设置 4 个处理, 即  $\text{NO}_3^- : \text{NH}_4^+$  浓度比为 5.00: 0.00、4.50: 0.50、4.25: 0.75 和 3.75: 1.25 ( $\text{mmol L}^{-1}$ )。Fe 以 Fe-EDTA 配入, 浓度为  $2.8 \text{ mg L}^{-1}$ , 其他 14 种营养元素按照 Hoagland-Arnon 配方配入。于 3 月 28 日将在石英砂中育至两叶一心的幼苗移栽至 5 L 的周转箱内进行水培, 每箱定植 10 棵, 每处理重复 3 次。营养液每周更换一次, 加入二氰胺( $\text{C}_2\text{H}_4\text{N}_4$ ) 抑制铵态氮硝化, 浓度为  $7 \mu\text{mol L}^{-1}$ 。每天用增氧泵连续增氧, 并用稀  $\text{H}_2\text{SO}_4$  和  $\text{NaOH}$  将 pH 调至 6.4 左右。于 4 月 26 日收获。

### 1.2 测定内容

#### 1.2.1 小白菜生物量测定 收获时用去离子水

\* 国家自然科学基金项目(30270790)和南京农业大学 SRT 项目(0507A02)资助

<sup>†</sup> 通讯作者, E-mail: chenwei@njau.edu.cn

作者简介: 张攀伟(1982~), 女, 山东人, 硕士研究生, 主要从事水培蔬菜的氮素营养研究

收稿日期: 2006-06-12; 收到修改稿日期: 2006-08-28

将根系洗净,用吸水纸擦干后称重。

**1.2.2 光合速率测定** 在收获前一天,用 LF 6400 便携式光合速率仪测定光合速率,叶温控制在  $23 \pm 1^\circ\text{C}$ ,相对湿度为  $40\% \pm 2\%$ ,叶室内光照强度控制在  $800 \pm 1 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ,每箱测定 3~6 片最上部完全展开叶片。

**1.2.3 叶面积测定** 在收获当日,用叶面积/根系分析系统(EPSON EXPRESSION 1680)测定,每箱取 4 片最上面完全展开叶。

**1.2.4 根系总长度、表面积、平均直径和体积测定** 收获后用 EPSON® COLOR IMAGE SCANNER LA1600+ 扫描根系,再用根系图像分析软件 WinRHIZO 2003B 处理分析,得到根系形态参数。

### 1.3 数据分析

所有数据采用 SAS8.2 软件统计,方差分析采用 Fisher's test (LSD)。

## 2 结果与分析

### 2.1 弱光下提高铵态氮比例对小白菜生物量的影响

弱光显著抑制了小白菜的生长(图 1)。在同一硝铵比下,小白菜生物量随着光强的持续减弱而下降。相对于自然光强,50% 自然光强下的小白菜生

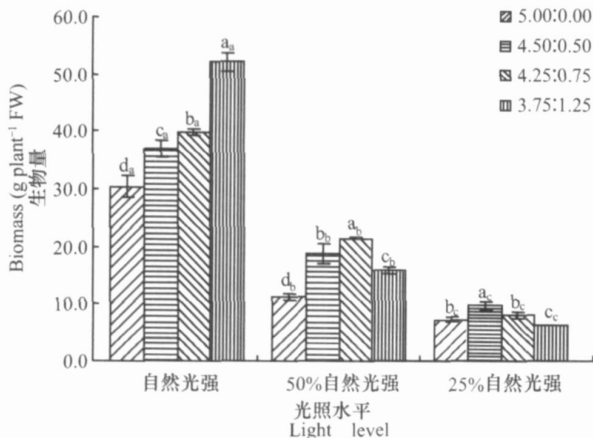


图 1 弱光下提高铵态氮比例对小白菜生物量的影响(柱图上的误差线表示标准偏差,  $n = 3$ ; 柱图上的字母表示差异显著性达  $p < 0.05$  (LSD), 上标字母表示不同硝铵浓度比间差异, 下标字母表示不同光照强度间差异)

Fig. 1 Effects of increasing ammonium rate on biomass of pakchoi growing under light low in intensity (Vertical bars represent standard deviation,  $n = 3$ ; letters mean a significant difference at  $p < 0.05$  by LSD. Letters in superscript correspond to comparison between treatments different in  $\text{NO}_3^- : \text{NH}_4^+$  ratio but the same in light intensity, while letters in subscript to comparison between treatments different in light intensity, but the same in  $\text{NO}_3^- : \text{NH}_4^+$  ratio)

物量平均减少了 57.7%, 而 25% 自然光强下的生物量平均下降幅度高达 80.3%。

弱光下提高铵态氮比例对小白菜生物量的影响显著(图 1)。50% 自然光强下,硝铵浓度比为 4.25:0.75 ( $\text{mmol L}^{-1}$ ) 的处理生物量最大(增产 90%), 继续提高铵态氮比例,生物量反而下降,但是仍显著高于全硝处理;而 25% 自然光强时,最大生物量出现在硝铵浓度比为 4.50:0.50 ( $\text{mmol L}^{-1}$ ) 时(增产 33%), 继续增加铵态氮生物量下降,当铵增加到  $1.25 \text{ mmol L}^{-1}$  时,生物量反而低于全硝处理。

### 2.2 弱光下提高铵态氮比例对小白菜光合速率的影响

弱光对小白菜光合速率的抑制作用显著(图 2)。在同一硝铵比下,自然光强下小白菜的光合速率显著高于 50% 和 25% 自然光强的两个处理,但两个弱光处理间的光合速率差异不显著。相对于自然光强,50% 和 25% 自然光强下全硝培养的小白菜光合速率分别下降了 31%~33%。

弱光下提高铵态氮比例可以提高小白菜叶片的光合速率(图 2)。50% 自然光强下,最大光合速率出现在硝铵浓度比为 4.25:0.75 ( $\text{mmol L}^{-1}$ ) 时(增加了 12%), 其他两个处理相对于全硝处理不显著增加;25% 自然光强也是类似的趋势,只是硝铵浓度比 4.50:0.50 ( $\text{mmol L}^{-1}$ ) 的光合速率最大(增加了 15%)。

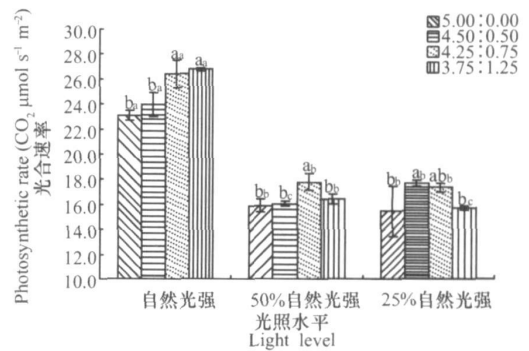


图 2 弱光下提高铵态氮比例增铵营养对小白菜光合速率的影响(柱图上的误差线表示标准偏差,  $n = 3$ ; 柱图上的字母表示差异显著性达  $p < 0.05$  (LSD), 上标字母表示不同硝铵浓度比间差异, 下标字母表示不同光照强度间差异)

Fig. 2 Effects of increasing ammonium rate on photosynthetic rate of pakchoi growing under light low in intensity (Vertical bars represent standard deviation,  $n = 3$ ; letters mean a significant difference at  $p < 0.05$  by LSD. Letters in superscript correspond to comparison between treatments different in  $\text{NO}_3^- : \text{NH}_4^+$  ratio, but the same in light intensity, while letters in subscript to comparison between treatments different in light intensity, but the same in  $\text{NO}_3^- : \text{NH}_4^+$  ratio)

### 2.3 弱光下提高铵态氮比例对小白菜叶面积的影响

弱光对小白菜叶面积的影响显著(图3)。在同一硝铵比下,弱光显著抑制了小白菜叶面积。与自然光强相比,50%和25%自然光强下全硝培养的小白菜叶面积分别下降了13%和24%。

弱光下提高铵态氮比例对小白菜叶面积的影响显著(图3)。50%自然光强下,硝铵浓度比为4.25:0.75( $\text{mmol L}^{-1}$ )时小白菜具有最大叶面积(增加了19%),且各处理间达到显著差异;而25%自然光强时,最大叶面积出现在硝铵浓度比为4.50:0.50( $\text{mmol L}^{-1}$ )时(增加了27%)。

### 2.4 弱光下提高铵态氮比例对小白菜根系形态的影响

弱光影响了小白菜根系的生长(图4)。弱光使小白菜的根系总长度、表面积和体积减小,但使根系平均直径略有增加,但是三个光强处理间差异不显著( $p < 0.05$ , LSD)。

弱光下提高铵态氮比例对根系形态的影响较为显著(图4)。50%自然光强下,硝铵浓度比为4.25:0.75( $\text{mmol L}^{-1}$ )时根系生长最好,根长(图4A)、根表面积(图4B)、根径(图4C)及根体积(图4D)四个指标

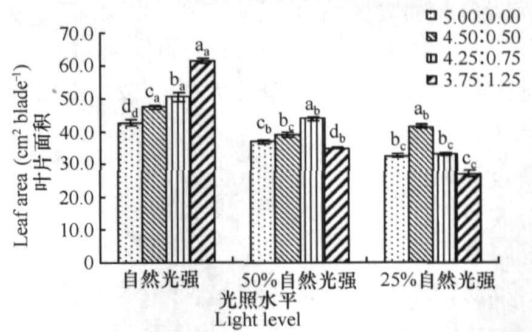


图3 弱光下提高铵态氮比例增铵营养对小白菜叶面积的影响(柱图上的误差线表示标准偏差,  $n = 3$ ; 柱图上的字母表示差异显著性达  $p < 0.05$  (LSD), 上标字母表示不同硝铵浓度比间差异, 下标字母表示不同光照强度间差异)

Fig 3 Effects of increasing ammonium rate on leaf area of pakchoi growing under light low in intensity (Vertical bars represent standard deviation,  $n = 3$ ; letters mean a significant difference at  $p < 0.05$  by LSD. Letters in superscript correspond to comparison between treatments different in  $\text{NO}_3^- : \text{NH}_4^+$  ratio, but the same in light intensity, while letters in subscript to comparison between treatments different in light intensity, but the same in  $\text{NO}_3^- : \text{NH}_4^+$  ratio)

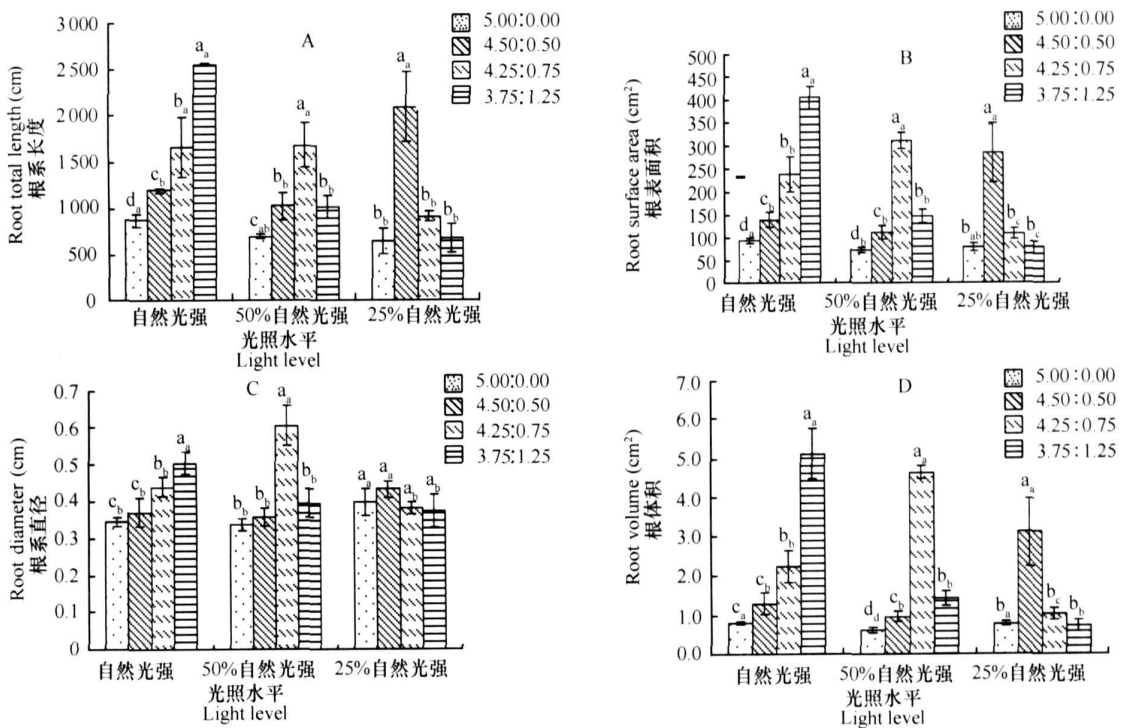


图4 弱光下提高铵态氮比例增铵营养对小白菜根系总长度(A), 表面积(B), 直径(C) 和体积(D) 的影响(柱图上的误差线表示标准偏差,  $n = 3$ ; 柱图上的字母表示差异显著性达  $p < 0.05$  (LSD), 上标字母表示不同硝铵浓度比间差异, 下标字母表示不同光照强度间差异)

Fig 4 Effects of increasing ammonium rate on root total length (A), surface area (B), diameter (C) and volume (D) of Pakchoi growing under light low in intensity (Vertical bars represent standard deviation,  $n = 3$ ; letters mean a significant difference at  $p < 0.05$  by LSD. Letters in superscript correspond to comparison between treatments different in  $\text{NO}_3^- : \text{NH}_4^+$  ratio, but the same in light intensity, while letters in subscript to comparison between treatments different in light intensity, but the same in  $\text{NO}_3^- : \text{NH}_4^+$  ratio)

分别增加了 142%、323%、80% 和 645%；而 25% 自然光强时, 硝铵浓度比为 4: 50: 0. 50 ( $\text{mmol L}^{-1}$ ) 时根系长的最好, 四个指标分别增加了 222%、258%、10% 和 296%。

### 3 讨论

光是光合作用的能量源泉, 同时又是控制光周期的一种信号。所以, 光是植物生长中的一个很重要的环境因子。多数蔬菜需要较强的光照条件, 光照不足不能进行较为旺盛的光合作用, 蒸腾作用减弱, 从而植株形成纤弱徒长状态, 直接影响产量和质量。鲁福成等<sup>[10]</sup>对番茄的研究发现, 遮荫处理后番茄的根茎叶及全株鲜重均较对照大幅度降低, 下降幅度达 46% ~ 77%。此外在甜椒、黄瓜、茄子等作物上也得到相似的结论<sup>[11~13]</sup>。光、氮互作对作物生长具有显著的作用<sup>[14]</sup>。虽然大多数旱生作物为喜硝作物, 但是硝态氮在吸收同化的过程中消耗能量较多, 所以在弱光下硝态氮的吸收容易受到抑制, 引起氮素的供应不足<sup>[15]</sup>。使用或部分使用铵态氮成为解决的一个方法。近年的研究表明, 增铵营养下许多作物生长较单一形态氮营养更具优势。戴廷波等的结果表明, 增铵营养促进了小麦氮素吸收, 提高光合速率<sup>[16]</sup>。Smiciklas 等的研究表明, 相对于单一氮素营养, 50: 50 (%)  $\text{NO}_3^- \text{-N}/\text{NH}_4^+ \text{-N}$  配比处理提高了玉米产量<sup>[17]</sup>, 50: 50 (%) 和 75: 25 (%) 的  $\text{NO}_3^- \text{-N}/\text{NH}_4^+ \text{-N}$  栽培菠菜产量最高而草酸含量低、含糖量和 Vc 含量高<sup>[18]</sup>。本试验结果表明, 弱光显著降低了小白菜的生物量, 抑制其生长, 光越弱, 生物量越低(图 1)。在三个光强下, 适当的提高铵态氮比例, 均能增加小白菜的生物量, 说明在实际生长中可以通过适当地提高铵态氮比例来缓解弱光对作物生长的抑制作用。本试验结果还指出: 不同光强下, 获取最大生物量所需的硝铵比例不同: 自然光强下, 增加  $1.25 \text{ mmol L}^{-1}$  铵获得最大生物量(增幅 71%); 50% 自然光强下, 增加  $0.75 \text{ mmol L}^{-1}$  铵使生物量达到最大(增幅 90%); 25% 自然光强下, 增加  $0.50 \text{ mmol L}^{-1}$  铵生物量达到最大(增幅 33%)。这说明了光越弱, 增铵营养的补偿作用越小, 而且达到最大生物量所需增加的铵比例也越小。我们认为原因是铵态氮是在植物根部同化的, 同化的能量来源于地上部同化后运到根部的光合产物。光照不足, 地上部同化能力下降, 运到根部的产物也随之减少,

所以铵的同化量也减少。

沈秀瑛等<sup>[19]</sup>认为, 光合生产的干物重总量取决于叶片的光合速率、维持光合功能的时间和光合面积(叶面积)的大小。本研究结果表明: 弱光对生物量的抑制作用通过对光合速率和叶面积的抑制来实现。本试验结果表明, 弱光显著降低了小白菜的光合速率和叶面积(图 2, 图 3)。这与前人的研究相一致<sup>[5, 20]</sup>。试验数据还说明弱光主要是通过降低叶片的光合速率来实现对小白菜生物量的抑制, 而增加铵态氮主要是通过增加了叶片面积来实现小白菜生物量的增加。在三个光强下, 小白菜叶片面积与单株鲜重呈显著的正相关性(图 5)。

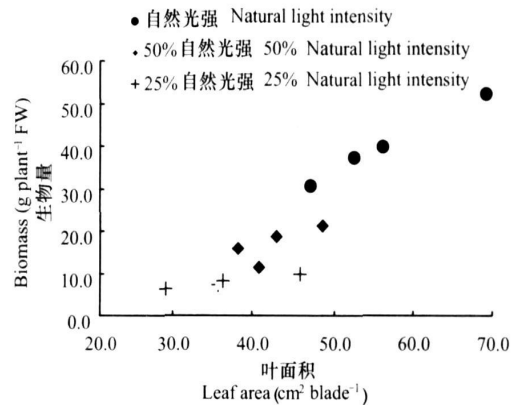


图 5 在同一光照强度下叶面积和单株生物量的关系

Fig 5 Relationship between leaf area and biomass per plant under the same light intensity

根系是吸收水分和养分的重要器官, 其大小分布及活力在很大程度上决定着植物吸收和运输养分的量, 对产量的形成具有很重要的意义。别之龙<sup>[21]</sup>报道弱光一方面降低了辣椒叶片的光合速率, 减少光合产物, 另一方面减慢了光合产物运转的速度, 降低了光合产物向其他器官的分配。光合产物的输出减少导致根系碳水化合物供应受抑制, 也会影响到根系形态的变化。但本试验结果表明, 弱光对根系形态的影响不显著( $p < 0.05$ , LSD), 而硝铵配比对它的影响则达显著水平( $p < 0.05$ , LSD)。矿质养分中以氮素的供应对作物根系的生长、形态的影响最为明显<sup>[22]</sup>。所以弱光下适当增加铵态氮后, 小白菜根系的长度、直径、表面积和体积显著增加, 从而促进根系形态的改变, 有利于根系对养分的更好吸收, 促进作物生长, 在一定程度上缓解弱光的抑制作用。

## 4 结 论

弱光通过降低小白菜的光合速率和叶片面积导致生物量的下降, 抑制其生长。但是通过适当地提高铵态氮比例可以在一定程度上缓解这种抑制作用。在实际生产中可以通过适当增加营养液中铵态氮比例来缓解弱光对作物的减产作用。

## 参 考 文 献

- [ 1 ] 陈贵林. 蔬菜设施栽培中的环境调控技术. 蔬菜, 1995, 6: 14~15. Chen G L. Environmental control technology in protected cultivation of vegetable ( In Chinese). Vegetable, 1995, 6: 14~ 15
- [ 2 ] 周艳红, 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. 植物生理与分子生物学学报, 2004, 30( 2): 153~ 160. Zhou Y H, Huang L F, Yu J Q. Effects of sustained chilling and low light on gas exchange, chlorophyll fluorescence quenching and absorbed light allocation in cucumber leaves ( In Chinese). Journal of Plant Physiology and Molecular Biology, 2004, 30( 2): 153~ 160
- [ 3 ] 王慧哲, 庞金安, 李淑菊, 等. 弱光对春季温室黄瓜生长发育的影响. 华北农学报, 2005, 20( 1): 55~ 58. Wang H Z, Pang J A, Li S J, *et al.* Effects of low light on growth and development of cucumber in spring greenhouse ( In Chinese). Acta Agriculturae Sinica, 2005, 20( 1): 55~ 58
- [ 4 ] 王家保, 王令霞, 陈业渊, 等. 不同光照度对番荔枝幼苗叶片生长发育和光合性能的影响. 热带作物学报, 2003, 24( 1): 48~ 51. Wang J B, Wang L X, Chen Y Y, *et al.* Effects of different light intensities on the development and photosynthesis of African Pride (*Amnona atemoya* Hort. et West. cv. African Pride) seedling leaves ( In Chinese). Chinese Journal of Tropical Crops, 2003, 24( 1): 48~ 51
- [ 5 ] 黄伟, 任华中, 张福垠. 低温弱光对番茄苗期生长和光合作用的影响. 中国蔬菜, 2002( 4): 15~ 17. Huang W, Ren H Z, Zhang F M. Influences of low temperature and poor light on growth and photosynthesis of tomato seedling ( In Chinese). Chinese Vegetable, 2002( 4): 15~ 17
- [ 6 ] Winter K, Usuda H, Tsuzuki M, *et al.* Influence of nitrate and ammonia on photosynthetic characteristics and leaf anatomy of *Moriandia aversis*. Plant Physiol., 1982, 70: 616~ 625
- [ 7 ] Dong C X, Shen Q R, Wang G. Tomato growth and acid changes in response to partial replacement of  $\text{NO}_3^-$  by  $\text{NH}_4^+$ . Pedosphere, 2004, 14( 2): 159~ 204
- [ 8 ] 陈巍, 罗金葵, 姜慧梅, 等. 不同氮素形态比例对不同小白菜品种生物量和硝酸盐含量的影响. 土壤学报, 2004, 41( 3): 420~ 425. Chen W, Luo J K, Jiang H M, *et al.* Effects of different nitrogen forms on biomass and nitrate content in Chinese cabbage ( In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2004, 41( 3): 420~ 425
- [ 9 ] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术. 北京: 高等教育出版社, 2000. 134~ 138. Li H S. Principles and Techniques of Plant Physiological Biochemical Experiment ( In Chinese). Beijing: Higher Education Press, 2000. 134~ 138
- [ 10 ] 鲁福成, 王明启, 张仲国, 等. 弱光对番茄苗期生长发育影响的研究. 天津农学院学报, 2001, 8( 3): 24~ 27. Lu F C, Wang M Q, Zhang Z G, *et al.* Effects of weak light on growth and development of tomato at seedling stage ( In Chinese). Journal of Tianjin Agricultural College, 2001, 8( 3): 24~ 27
- [ 11 ] 侯国强, 陈端生, 刘步洲. 遮光和整枝对甜椒小气候和生态生理的影响. 园艺学报, 1987, 14( 4): 251~ 256. Hou G Q, Chen D S, Liu B Z. Effects of shading and pruning on microclimate and ecophysiology of sweet paper ( In Chinese). Acta Horticulturae Sinica, 1987, 14( 4): 251~ 256
- [ 12 ] 李长纓, 朱其杰. 光强对黄瓜光合特性及亚适温下生长的影响. 园艺学报, 1997, 24( 1): 97~ 99. Li C Y, Zhu Q J. Effects of light intensity on the photosynthetic characters and growth of cucumber cultivars under suboptimal temperature ( In Chinese). Acta Horticulturae Sinica, 1997, 24( 1): 97~ 99
- [ 13 ] 何明, 张伟春, 孙立春, 等. 茄子耐弱光鉴定指标和耐弱光品种筛选的研究. 辽宁农业科学, 2002( 2): 6~ 9. He M, Zhang W C, Sun L C, *et al.* Study to appraise and screen resisting low light cultivar of eggplant ( In Chinese). Liaoning Agriculture Sciences, 2002( 2): 6~ 9
- [ 14 ] 曾希柏, 青长乐, 谢德体, 等. 作物生长中光照和氮肥施用量的相互关系研究. 土壤学报, 2000, 37( 3): 380~ 387. Zeng X B, Qing C L, Xie D T, *et al.* Interrelationship of light and nitrogen fertilizer application in crop growth ( In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2000, 37( 3): 380~ 387
- [ 15 ] 杨旭, 邹志荣, 李军, 等. 蔬菜无土栽培营养液中的氮素及其调控. 西北植物学报, 2003, 23( 9): 1 644~ 1 649. Yang X, Zou Z R, Li J, *et al.* The solution nitrogen of vegetable in nutrient solution and its regulation ( In Chinese). Acta Botany Boreo Occident Science, 2003, 23( 9): 1 644~ 1 649
- [ 16 ] 戴廷波, 曹卫星, 荆奇. 氮形态对不同小麦基因型氮素吸收和光合作用的影响. 应用生态学报, 2001, 12( 6): 849~ 852. Dai T B, Cao W X, Jing Q. Effects of nitrogen form on nitrogen absorption and photosynthesis of different wheat genotypes ( In Chinese). Chinese Journal of Applied Ecology, 2001, 12( 6): 849~ 852
- [ 17 ] Snicklas K D, Below F E. Role of nitrogen form in determining yield of field grown maize. Crop Science, 1992, 32: 1 220~ 1 225
- [ 18 ] 张春兰, 高祖明, 张耀栋, 等. 氮素形态和  $\text{NO}_3^-$ -N 与  $\text{NH}_4^+$ -N 配比对菠菜生长和品质的影响. 南京农业大学学报, 1990, 13( 3): 70~ 74. Zhang C L, Gao Z M, Zhang Y D, *et al.* The effects of different nitrogen forms and their concentration combinations on the growth and quality of spinach ( In Chinese). Journal of Nanjing Agricultural University, 1990, 13( 3): 70~ 74
- [ 19 ] 沈秀瑛, 戴俊英, 胡安畅, 等. 玉米叶片光合速率与光、养分和水分及产量关系的研究. 玉米科学, 1994, 2( 3): 56~ 60. Shen X Y, Dai J Y, Hu A C, *et al.* Study on relationship between photosynthesis velocity and light, nutrition and water and its effects on yield in maize ( In Chinese). Maize Science, 1994, 2( 3): 56~ 60
- [ 20 ] 邬树桐, 孙小镭, 王冰. 黄瓜不同品种苗期耐低温弱光特性测定初报. 中国蔬菜, 1994( 1): 26~ 28. Wu S T, Sun X L, Wang B. Primary study of tolerate character of low temperature and light of cur

- cumber seedling at different cultivar (In Chinese). *China Vegetables*, 1994(1): 26~ 28
- [ 21] 别之龙, 刘佩瑛, 万兆良, 等. 弱光对辣椒落花和光合作用的影响. *核农学报*, 1998, 12(5): 314~ 316. Bie Z L, Liu P Y, Wan Z L, *et al.* Effects of low intensity of light on pepper flower abscission and photosynthesis (In Chinese). *Acta Agricultural Nucleatea Sinica*, 1998, 12(5): 314~ 316
- [ 22] Marschner H, Kirkby E A, Cakmak T. Effect of mineral nutritional status on shoot root partitioning of photoassimilates and cycling of mineral nutrients. *Journal of Experimental Botany*, 1996, 47: 1 255~ 1 263

## EFFECTS OF INCREASING AMMONIUM RATE ON GROWTH OF PAKCHOI

Zhang Panwei Chen Wei<sup>†</sup> Xue Feng Shen Qirong

(College of Resource and Environmental Sciences, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

**Abstract** A hydroponic experiment was carried out to study effects of increased ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) on growth of pakchoi under light low in intensity. Results obtained show: 1) Biomass, photosynthetic rate and leaf area of pakchoi cultured in complete nitrate solution decreased by 63%, 31% and 13%, respectively, in treatment 50% in light intensity and by 76%, 33% and 24%, respectively, in treatment 25%, compared to those under natural light; 2) Total length, surface area and volume of roots were decreased by low light intensity while average diameter was increased, but did not differ much between the three treatments different in light intensity; 3) When  $0.75 \text{ mmol L}^{-1} \text{NH}_4^+$  was added into the solution, biomass, photosynthetic rate, and leaf area of the plant peaked in treatment 50% in light intensity and increased by 90%, 12% and 19%, respectively. In treatment 25% in light intensity, addition of  $0.50 \text{ mmol L}^{-1} \text{NH}_4^+$  increased the biomass, photosynthetic rate, and leaf area of pakchoi by 33%, 15% and 27%, respectively; 4) Root morphological parameters of pakchoi were significantly improved when a proper rate of  $\text{NH}_4^+$  was added, showing that  $\text{NH}_4^+$  helps promote root growth. Pakchoi growth was inhibited by low light intensity through decreasing photosynthetic rate and leaf area. But addition of some  $\text{NH}_4^+$  into the solution could significantly offset this inhibition effect.

**Key words** Low light intensity;  $\text{NH}_4^+$ ; Pakchoi; Growth; Root morphology