

增铵对小白菜生长和叶绿素含量的影响*

罗金葵 陈 巍 张攀伟 茆泽圣 沈其荣[†]

(南京农业大学资源与环境科学学院, 南京 210095)

摘 要 在营养液中添加一定量的铵态氮能提高作物生物量和叶绿素含量。为研究增铵对植物生长及叶绿素含量的影响机理, 采用了 6 个 $\text{NO}_3^- : \text{NH}_4^+$ 浓度比为 5.0:0.0、5.0:2.5、5.0:5.0、5.0:7.5、5.0:10.0 和 0.0:5.0 的处理对小白菜进行培养试验。结果表明, 在 5 mmol L^{-1} 硝态氮存在时, 适当添加一定量的铵态氮 (2.5 mmol L^{-1}) 小白菜生物量和叶面积分别增加 39.6% 和 16.3%, 叶面积与生物量显著相关 ($r = 0.941, p < 0.01$)。营养液中铵态氮浓度与叶片 SPAD 值、活性铁及叶绿体蛋白质含量均显著相关, 相关系数 r 分别为 0.914、0.954 和 0.964。适当提高铵态氮浓度增加小白菜产量的机制在于其促进了叶片扩展, 提高了总光合面积, 其原因可能是适当提高铵态氮浓度促进了叶片细胞分裂。进一步研究表明, 提高铵态氮浓度提高叶绿素含量的原因, 可能在于其促进了小白菜体内全铁的再利用, 从而提高了叶片活性铁含量和叶绿体蛋白质含量。

关键词 铵态氮; SPAD 值; 叶面积; 活性铁; 叶绿体蛋白质

中图分类号 S143.1⁺2 文献标识码 A

硝态氮是农业旱地土壤的主要氮素形态, 但硝态氮肥易从土壤表层流失而导致水体和地下水的污染^[1]。近年来许多科研工作者都着眼于增铵营养 (Enhanced ammonium nutrition, EAN, 即混合形态氮营养) 的研究, 希望通过增施铵态氮肥以减少硝态氮肥的施用, 从而提高氮肥的利用率, 减少流入水体的硝酸盐量。近年来的许多研究结果表明, 增铵营养下许多作物生长较单一形态氮营养更具优势, 不仅具有较高的干物质积累量, 而且具有较高的经济学产量和良好的品质^[2~5]。

有报道表明, 同等氮水平下提高铵态氮比例能够提高叶绿素的含量^[2, 4, 6, 7]。汪李平与郭世伟等认为, 铵态氮能够提高叶片内活性铁含量^[6, 8]; 邹春琴等利用玉米和菜豆进行的研究表明, 叶片内活性铁含量与叶绿素含量的相关系数分别达 0.976 和 0.851^[9]。Raab 和 Terry 报道, 纯铵培养的甜菜叶绿素含量、叶绿体体积及叶片可溶性蛋白分别较纯硝培养的甜菜增加 62%、1 倍和 4.3 倍^[7]。以上结果表明, 生物量和叶绿素含量均取决于营养液中铵态氮含量, 而不是总氮水平。但这些结果似乎还不足以说明增铵促进作物生长和提高叶绿素含量的机理。

为了研究增铵对植物生长及叶绿素含量的影响机理, 本实验在固定硝态氮浓度的条件下, 利用不同铵态氮浓度的营养液对小白菜进行培养, 测定了小白菜生物量、叶面积、叶片 SPAD 值、活性铁及全铁、叶绿体蛋白质含量。希望能为增铵促进叶绿素合成的机理研究提供理论依据, 同时结合增铵对叶面积、光合速率等生理指标的研究, 探讨作物在适当增铵条件下的增产机理。

1 材料与方法

1.1 植物培养

本实验在南京农业大学温室进行, 以不结球小白菜品种抗热 605 为供试材料, 采用水培法。实验设置 6 个处理, $\text{NO}_3^- : \text{NH}_4^+$ 浓度比为: 5.0:0.0、5.0:2.5、5.0:5.0、5.0:7.5、5.0:10.0 和 0.0:5.0 (mmol L^{-1}), Fe 以 Fe-EDTA 配入, 浓度为 2.8 mg L^{-1} , 其他 14 种营养元素按照 Hoagland-Amon 配方配入。2003 年 8 月 30 日, 将已催芽的种子播于含蛭石的穴盘中, 浇以完全营养液。9 月 15 日移栽于 5 L 的周转箱内进行水培, 每箱定植 8 株苗, 每处理重复 3 次。

* 国家自然科学基金项目(30270790)资助

[†] 通讯作者, E-mail: qshen@njau.edu.cn

作者简介: 罗金葵(1978~), 男, 硕士研究生, 研究方向为蔬菜氮素营养

收稿日期: 2004-06-16; 收到修改稿日期: 2004-12-10

营养液每周换一次, 加入二氰胺 ($C_2H_4N_4$) 抑制铵态氮硝化, 浓度为 $7 \mu\text{mol L}^{-1}$ 。用增氧泵连续增氧, 每天用稀 H_2SO_4 和 $NaOH$ 将 pH 调至 6.4 左右。10 月 20 日收获。

1.2 测定方法

1.2.1 叶片 SPAD 值测定 收获前采用日产 SPAD-502 型叶绿素仪测定最上部完全展开叶片的 SPAD 值, 每箱测定 16 片叶。

1.2.2 光合速率测定 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 采用 CF-203 LASER AREA METER 测定, 每个周转箱选用 8 片最上部完全展开叶片。

1.2.4 全铁和活性铁测定 干灰化法测定小白菜整株全铁^[10]; 取切碎的叶片鲜样 2.00 g, 按 1:10 的重量体积比加入 $1 \text{ mol L}^{-1} \text{HCl}$ 浸提, 连续振荡 5 h, 过滤后用 AAS 法测定活性铁^[8]。

1.2.5 叶绿体蛋白质含量测定 称取 10 g 叶片, 加入 50 ml 冰冷的制备缓冲液冲洗入预冷的研钵中经研磨后, 4 层纱布过滤, 滤液在 0°C 下 $1000 \times g$ 离心 10 min, 留取沉淀, 再加入 40 ml 制备缓冲液, 再次离心(条件同上)后用 10 ml 制备缓冲液冲洗, 将沉淀匀成匀浆即得叶绿体悬浮液^[11]。取 5 ml 叶绿体悬浮液于 $60\sim 80^\circ\text{C}$ 烘至恒重, 测定叶绿体干重, 另取 0.2 ml 叶绿体悬浮液用考马斯亮蓝 G-250 法测定蛋白质含量^[12]。

1.3 数据分析

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

2 结果与分析

2.1 增铵对小白菜生物量的影响

增铵对小白菜的生长影响显著(图 1)。在 5.0 mmol L^{-1} 硝态氮基础上分别加入 2.5 和 5.0 mmol L^{-1} 铵态氮分别增产 39.6% 和 8.9%, 当铵态氮浓度达到 7.5 mmol L^{-1} 时已开始减产。这说明在硝态氮存在的条件下, 小白菜生物量随铵态氮浓度的增大先增加后减少, 因而适当地增加铵态氮能够增产。 5.0 mmol L^{-1} 纯硝培养小白菜生物量是 5.0 mmol L^{-1} 纯铵培养小白菜生物量的 8 倍, 即使当铵态氮浓度达 10.0 mmol L^{-1} 时, 加入 5.0 mmol L^{-1} 硝态氮仍增产 6.4 倍,

这说明 5.0 mmol L^{-1} 硝态氮的存在能明显缓解铵毒。图中数据还表明, 生物量并没有随着总氮浓度的升高而增大, 在 5.0 mmol L^{-1} 硝态氮存在的情况下, 7.5 mmol L^{-1} 铵态氮已对小白菜的生长起到抑制作用, 再提高铵态氮浓度对小白菜生长已经不利。

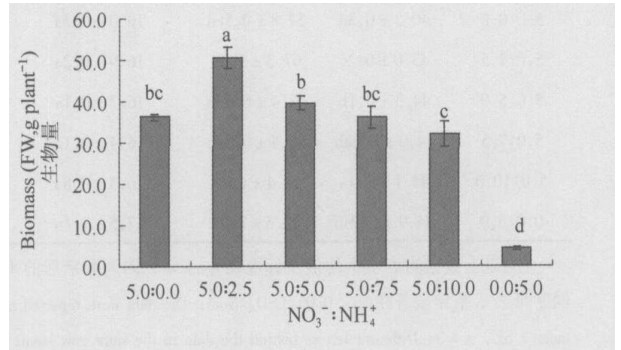


图 1 增铵对小白菜生物量的影响(柱图上的误差线表示标准误差, $n=3$; 图中的不同字母表示差异显著性($p < 0.05$, LSD))

Fig. 1 Effect of enhanced ammonium on the biomass of Chinese cabbage (Vertical bars represent standard error, $n=3$; Different letters mean a significant difference at $p < 0.05$ by Fisher's test (LSD))

2.2 增铵对小白菜叶片 SPAD 值、光合速率及叶面积的影响

增铵对小白菜叶片 SPAD 值影响显著(表 1)。硝态氮存在时, 在溶液中分别增加 2.5、5.0、7.5 和 10.0 mmol L^{-1} 铵态氮, 叶片 SPAD 值分别增加 7.0%、10.2%、11.7% 和 12.2%, 即叶片 SPAD 值随着铵态氮浓度的增大而增大, 相关系数 $r=0.914$, 达到显著水平($p < 0.05$, $F=15.32$, $n=6$), 增铵显著提高叶片叶绿素含量。对比 5.0 mmol L^{-1} 纯铵处理, 5.0 mmol L^{-1} 纯硝及 $5.0:5.0$ 硝铵两个处理的小白菜叶片 SPAD 值均较小, 因而铵态氮较硝态氮更能促进叶绿素含量的提高。

增铵对小白菜的叶面积影响显著(表 1)。与前人的研究结果相似, 纯铵培养显著抑制了小白菜叶片的生长, 而硝态氮则有利于叶片的生长^[4,5,7]。在 5.0 mmol L^{-1} 硝态氮存在时, 在溶液中分别增加 2.5、5.0 和 7.5 mmol L^{-1} 铵态氮, 叶面积分别增加 16.3%、9.6%、2.7%, 当铵态氮达到 10.0 mmol L^{-1} 时, 叶片已开始变小。说明硝态氮存在的条件下低浓度的铵态氮更能促进叶片的生长。

5.0 mmol L^{-1} 纯硝培养的小白菜光合速率最低(表 1), 而 5.0 mmol L^{-1} 纯铵培养的小白菜光合速率最高, 这说明铵态氮能略微提高小白菜光合速率, 但处理间不存在显著性差异。

表1 增铵对小白菜叶片 SPAD 值、叶面积及光合速率的影响

Table 1 Effects of enhanced ammonium on SPAD readings, leaf area and photosynthetic rates

NO ₃ ⁻ : NH ₄ ⁺	SPAD 值 SPAD readings	叶面积 Leaf area (cm ² leaf ⁻¹)	光合速率 Photosynthetic rates (CO ₂ μmol m ⁻² s ⁻¹)
5.0:0.0	40.2±0.3d	57.8±0.5cd	16.0±0.2a
5.0:2.5	43.0±0.2c	67.3±1.2a	16.9±0.2a
5.0:5.0	44.3±0.1b	63.4±0.4ab	16.7±0.1a
5.0:7.5	44.9±0.2ab	59.4±0.6bc	16.4±0.1a
5.0:10.0	45.1±0.1a	54.4±0.7d	16.5±0.8a
0.0:5.0	44.9±0.2ab	22.6±2.9e	17.5±1.1a

注: 以上数据均表示平均值±标准误差, n=3; 同列数字后的不同字母表示差异显著性(p<0.05, LSD) Note: The data were reported as mean±SE, n=3; Different letters behind the data in the same row mean a significant difference at p<0.05 by Fisher's test (LSD)

2.3 增铵对小白菜全铁及叶片中活性铁含量的影响

增铵能够显著地提高叶片活性铁含量(表2)。在硝态氮存在时, 在溶液中分别增加 2.5、5.0、7.5 和 10.0 mmol L⁻¹ 铵态氮, 叶片活性铁含量分别增加 13.4%、20.9%、23.6% 和 48.7%。活性铁含量随营养液中的铵态氮浓度的升高而增加, 相关系数 r = 0.954, 达显著水平(p<0.05, F=30.40, n=5)。5.0 mmol L⁻¹ 纯铵培养小白菜叶片活性铁含量较等浓度纯硝培养小白菜叶片活性铁增加了 59.0%, 这与汪李平等在总氮量相等情况下的实验结果相似^[6]。

实验结果表明, 小白菜全铁含量各处理间不存在显著差异(表2), 但在硝态氮存在条件下提高铵态氮的浓度似乎能降低全铁含量, 这有待进一步验证。

表2 增铵对小白菜全铁及叶片活性铁含量的影响

Table 2 Effects of enhanced ammonium on total iron content and active iron in leaf blade

NO ₃ ⁻ : NH ₄ ⁺	活性铁	全铁
	Active iron (FW, mg kg ⁻¹)	Total iron (DW, mg kg ⁻¹)
5.0:0.0	0.90±0.02c	54.39±5.40a
5.0:2.5	1.02±0.01bc	49.52±6.48a
5.0:5.0	1.08±0.04b	54.47±2.51a
5.0:7.5	1.11±0.01b	46.14±7.65a
5.0:10.0	1.33±0.07a	43.17±1.01a
0.0:5.0	1.43±0.08a	54.06±1.05a

注: 以上数据均表示平均值±标准误差, n=3; 同列数字后的不同字母表示差异显著性(p<0.05, LSD) Note: The data were reported as mean±SE, n=3; Different letters behind the data in the same row mean a significant difference at p<0.05 by Fisher's test (LSD)

2.4 增铵对小白菜叶绿体蛋白质含量的影响

硝态氮存在条件下, 叶绿体蛋白质含量随营养液中铵态氮浓度的提高而增加, 两者相关性显著(图2), 提高铵态氮浓度显著提高叶绿体蛋白质含量。在溶液中分别增加 2.5、5.0、7.5 和 10.0 mmol L⁻¹ 铵态氮, 叶绿体蛋白质含量分别增加 1.9%、3.4%、10.6% 和 14.1%, 这说明增铵能促进叶绿体蛋白质的积累。

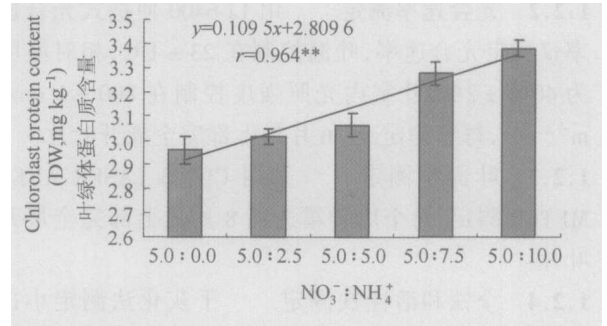


图2 增铵对叶绿体蛋白质含量的影响(柱图上的误差线表示标准误差, n=3; 图中数字背后“*”表示差异显著性 p<0.01)

Fig 2 Effect of enhanced ammonium on the chloroplast protein content (Vertical bars represent standard error, n=3; “*” means a significant difference at p<0.01)

3 讨论

Raab 和 Terry 的甜菜研究结果表明, 纯铵培养显著地降低了总光合表面积(叶面积), 但并没有降低光合速率, 相反略微提高了净光合 CO₂ 交换率^[7]。Walch 和 Liu 等的氮形态对烟草叶片影响的实验结果表明, 在 NO₃⁻: NH₄⁺ 等比例(浓度比 1:1) 下, NO₃⁻: NH₄⁺ 的净吸收比例为 6:4, 纯铵培养使地上部鲜重减小在于铵态氮抑制了叶片的生长, 叶片生长受抑主要不在于 NH₄⁺ 毒害, 而在于 NO₃⁻ 的供应不足^[13]。总氮浓度不变时, 适当提高营养液中铵态氮的比例能提高产量^[14, 15]。因此, 在铵态氮浓度不引起毒害条件下, 小白菜产量的增加, 主要不在于总氮浓度的提高, 而在于合理的 NO₃⁻: NH₄⁺ 供应比例。本实验结果表明, 提高铵态氮浓度小白菜叶片光合速率并没有显著提高(表1), 小白菜叶面积与生物量存在极显著相关性(图3), 因此, 增铵条件下小白菜生物量取决于叶面积, 而不是光合速率。

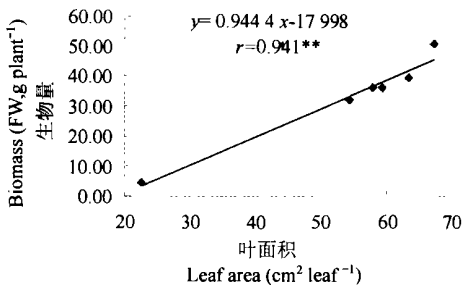


图3 叶面积与小白菜单株生物量的关系(图中数字背后“***”表示差异显著性 $p < 0.01$)

Fig 3 Relationship between leaf area and biomass per plant (“***” behind the date means a significant difference at $p < 0.01$)

Gao 和 Kende 等的结果表明, 氮素形态影响植物的形态可能是由于不同形态氮素影响了细胞分裂素等内源植物激素的水平^[16,17]。Walch-Liu 等的结果还表明, 24h 纯铵培养后的烟草木质部汁液细胞分裂素浓度下降了 60%, 这抑制了叶片细胞的分裂^[13]。氮素形态对单位叶面积内细胞数量和细胞体积没有显著影响^[7]。本实验结果表明, 在 5.0 mmol L^{-1} 硝态氮的基础上加入 2.5 和 5.0 mmol L^{-1} 铵态氮, 叶面积显著增大, 而当铵态氮含量大于 7.5 mmol L^{-1} 时, 叶面积则显著变小。因此作者认为, 适当添加一定量的铵态氮促进叶片扩展的原因在于促进了叶片细胞的分裂。

Raab 和 Terry 的甜菜研究结果则表明, 纯铵培养甜菜叶绿素含量、叶绿体体积及叶片可溶性蛋白分别较纯硝培养的甜菜增加 62%、1 倍和 4.3 倍^[7]。Tam 和 Wong 的实验结果也表明, 高浓度铵态氮培养的绿藻有较高的叶绿素和蛋白质含量^[18]。叶片 SPAD 值(叶绿素含量)与叶面积并不存在负相关性(表 1), 因此, 作者认为提高铵态氮浓度使叶绿素含量提高的原因并不是由于叶片缩小而引起的浓缩效应所导致, 而在于增铵促进了叶绿素的形成。

郭世伟等的玉米生根实验表明, 与供应硝态氮相比, 缺铁条件下供应铵态氮使新叶的全铁含量及活性铁含量分别增加了 36% 和 34%, 两者增加幅度基本一致^[8], 而铵态氮并没有提高植物体内全铁含量, 因此, 铵态氮使叶片活性铁含量提高的原因可能在于铵态氮提高了铁的再利用, 使铵态氮培养的植物体内大部分铁转化为活性铁^[8]。有报道表明, 成熟叶片中 63% 的铁是以植物铁蛋白的形式储存的^[4]。Winter 等在 5.0 mmol L^{-1} 纯铵培养的 *Moricandia arvensis* 叶绿体基质中发现有簇状植物铁蛋白颗粒存在, 而在混合

氮形态(7 mmol L^{-1} 硝态氮与 1 mmol L^{-1} 铵态氮)培养的则没有^[5]。在新生和衰老的叶绿体中所发现的植物铁蛋白可认为是用于合成叶绿体的一种无毒害的铁贮备^[5]。Vansuyt 等的实验表明, 铁蛋白高度表达的烟草基因型能利用所储存的铁蛋白来提高叶片中铁含量, 从而缓解叶绿素含量下降等缺铁症状^[19,20]。本研究结果表明, 在 5.0 mmol L^{-1} 硝态氮存在时, 叶片中活性铁含量与 SPAD 值及叶绿体蛋白质含量分别达 0.841 和 0.912。因此, 作者推测叶片内活性铁含量的提高有利于植物铁蛋白这一叶绿素组分的形成, 这可能促进了叶绿素的合成, 从而表现为提高营养液中铵态氮浓度使叶绿体蛋白质含量及 SPAD 值(叶绿素)提高。但叶绿体内植物铁蛋白与叶绿素的关系如何则有待进一步研究。

4 结 论

适当增加铵态氮能够显著提高小白菜的生物量, 其增产机理可能是适当增加铵态氮有利于小白菜叶片细胞的分裂, 促进了叶片扩展, 从而提高了总光合面积。增铵提高了叶绿素含量不是由于叶片缩小而引起的浓缩效应所致, 而是由于铵态氮促进了叶绿素的形成, 其进一步的原因可能是增铵提高了小白菜体内铁的再利用率, 从而提高了叶片内活性铁含量及叶绿体蛋白质的含量。

参 考 文 献

- [1] Blanke M M, Bacher W, Pring R J, *et al.* Ammonium nutrition enhances chlorophyll and glaucousness in Kohlrabi. *Annals of Botany*, 1996, 78: 599~ 604
- [2] 罗金葵, 陈巍, 沈其荣. 不同小白菜器官对氮素形态响应的生理差异. *南京农业大学学报*, 2004, 27(3): 50~ 53. Luo J K, Chen W, Shen Q R. Physiological varieties of different organs of Chinese cabbage in response to nitrogen form (In Chinese). *Journal of Nanjing Agricultural University*, 2004, 27(3): 50~ 53
- [3] Dong C X, Shen Q R, Wang G. Tomato growth acid changes in response to partial replacement of NO_3^- -N by NH_4^+ -N. *Pedosphere*, 2004, 14(2): 159~ 204
- [4] Hewitt E J. Essential and functional metals in plants. In: Robb D A, Piepoint W S. eds. *Metals and Micronutrients Uptake and Utilization by Plants*. New York: Academic Press, 1983. 277~ 323
- [5] Winter K, Usuda H, Tsuzuki M, *et al.* Influence of nitrate and ammonia on photosynthetic characteristics and leaf anatomy of *Moricandia arvensis*. *Plant Physiol.*, 1982, 70: 616~ 625
- [6] 汪李平, 李式军. 不同氮素形态及配比对水培生菜铁营养的影响. *安徽农业大学学报*, 1995, 22(3): 266~ 271. Wang L P, Li S J. Influence of N forms and ratio on iron nutrition in hydroponi-

- cally grown lettuce (In Chinese). Journal of Anhui Agricultural University, 1995, 22(3): 266~ 271
- [7] Raab T K, Terry N. Nitrogen source regulation of photosynthesis in *Beta vulgaris* L. Plant Physiol., 1994, 105: 1 159~ 1 166
- [8] 郭世伟, 邹春琴, 张福锁, 等. 铁营养状况及不同形态氮素对玉米体内不同铁库铁再利用的影响. 土壤学报, 2001, 38(4): 464~ 470. Guo S W, Zou C Q, Zhang F S, et al. Effects of iron supply and different nitrogen form on remobilization of iron from different iron pools in maize plant (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2001, 38(4): 464~ 470
- [9] 邹春琴, 陈新平, 张福锁, 等. 植物活性铁与铁营养状况的研究. 植物营养与肥料学报, 1998, 4(4): 399~ 406. Zou C Q, Chen X P, Zhang F S, et al. Study on the correlation between the active Fe and Fe nutritional status of plants (In Chinese). Plant Nutrition and Fertilizer Science, 1998, 4(4): 399~ 406
- [10] 鲁如坤编. 土壤农业化学分析方法. 北京: 中国农业科技出版社, 2000. 332~ 334. Lu R K. ed. Methods for Agricultural Soil Chemistry Analysis (In Chinese). Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2000. 332~ 334
- [11] 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. 156~ 159. Li H S. Principles and Techniques of Plant Physiological and Biochemical Experiment (In Chinese). Beijing: Higher Education Press, 2000. 156~ 159
- [12] 陈建勋, 王晓峰. 植物生理学实验指导. 广州: 华南理工大学出版社, 2002. 48~ 55. Chen J X, Wang X F. eds. A Guide for Plant Physiological Experiment (In Chinese). Guangzhou: South China University of Technology Press, 2002. 48~ 55
- [13] Walch-Liu P, Neumann G, Fritz B, et al. Rapid effects of nitrogen form on leaf morphogenesis in tobacco. Journal of Experimental Botany, 2000, 51(343): 227~ 237
- [14] 陈巍, 罗金葵, 姜慧梅, 等. 不同形态氮素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 $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ -N ratios on the biomass and nitrate content of different cultivars of Chinese cabbage (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2004, 41(3): 420~ 425
- [15] Gentry L E, Below F E. Maize productivity as influenced form and availability of nitrogen. Crop Science, 1993, 33: 491~ 497
- [16] Gao Y P, Motosugi H, Sugiuma A. Rootstock effects on growth and flowering in young apple trees grown with ammonium and nitrate nitrogen. Journal of American Society of Horticultural Science, 1992, 117: 446~ 452
- [17] Kende H, Zeevaert J A D. The five "classical" plant hormones. The Plant Cell, 1997, 9: 1 197~ 1 210
- [18] Tam N F Y, Wong Y S. Effect of ammonia concentrations on growth of *Chlorella vulgaris* and nitrogen removal from media. Bioresource Technology, 1996, 57: 45~ 50
- [19] Vansuyt G, Souche G, Straczek A, et al. Flux of protons released by wild type and ferritin over-expressor tobacco plants: Effect of phosphorus and iron nutrition. Plant Physiology and Biochemistry, 2003, 4: 27~ 33
- [20] Wuytswinkel O V, Vansuyt G, Grignon N, et al. Iron homeostasis alteration in transgenic tobacco over-expressing ferritin. Plant Journal, 1999, 17: 93~ 97

EFFECTS OF ENHANCED AMMONIUM ON THE GROWTH AND CHLOROPHYLL CONTENT OF CHINESE CABBAGE

Luo Jinkui Chen Wei Zhang Panwei Mao Zesheng Shen Qirong

(College of Resources and Environmental Sciences, Nanjing Agric. Univ., Nanjing 210095, China)

Abstract Chlorophyll content and biomass of plants are usually increased by the addition of certain amount of ammonium to the nutrient solution. In order to study the mechanisms of enhanced effects by ammonium on plant growth and chlorophyll content, Chinese cabbage was hydroponically grown in nutrient solutions with six different ratios of $\text{NO}_3^- : \text{NH}_4^+$, i. e., 5.0:0.0, 5.0:2.5, 5.0:5.0, 5.0:7.5, 5.0:10.0 and 0.0:5.0. The results obtained were as follows. In the presence of 5 mmol L^{-1} nitrate, addition of ammonium (2.5 mmol L^{-1}) to the solution promoted the biomass and leaf area of Chinese cabbage by 39.6% and 16.3% compared with no ammonium addition and the leaf area was significantly correlated with biomass ($r = 0.941, p < 0.01$). There was a significant relationships between ammonium concentration added and SPAD readings, active iron content and chloroplast protein content in the plants with the r values of 0.914, 0.954 and 0.964, respectively. The mechanism of the properly enhanced ammonium on biomass was the facilitated expansion of leaf blade, and thus the increased total photosynthetic area. The facilitated expansion of leaf blade can be attributed to leaf cell division resulting from the enhanced ammonium effect, which should be studied in future. A further study showed that the reason for enhanced ammonium to increase the chlorophyll content was related to the increased reuse of total iron in Chinese cabbage plant, thus increasing the active iron content in leaf blade and chloroplast protein content.

Key words Ammonium; SPAD readings; Leaf area; Active iron; Chloroplast protein