

# 不同铵硝比对叶用莴苣生长及氮磷钾养分积累的影响

雷玉玲 陈紫妍 宋世威\* 陈日远 刘厚诚 孙光闻

(华南农业大学园艺学院, 广东广州 510642)

**摘要:** 采用水培方法, 研究不同铵硝配比 (CK, 0 : 100; T1, 10 : 90; T2, 25 : 75; T3, 50 : 50) 对叶用莴苣生长及 N、P、K 养分积累的影响。结果表明: 与对照相比, T1 处理显著促进了叶用莴苣的生长, 植株地上部鲜质量和经济产量分别增加了 15.77% 和 15.21%; 而 T2、T3 处理的地上部鲜质量、经济产量则显著降低。不同铵硝配比处理叶用莴苣植株的 N、P、K 积累量均表现为 T1 > CK > T2 > T3, 且各处理间差异显著。不同铵硝配比处理的氮素损失率在 20.17% ~ 65.31% 之间; 与对照相比, T1 处理的氮素损失量和损失率分别下降了 14.79% 和 4.24 个百分点, 而 T2 和 T3 处理的氮素损失量和损失率均显著增加。综上, 营养液增铵 10% 可以促进叶用莴苣植株的生长及对 N、P、K 的积累, 且显著降低氮素损失。

**关键词:** 铵硝配比; 叶用莴苣; 养分吸收; 氮素损失

水培营养液中添加适当比例的铵态氮较单一硝态氮营养更有优势, 可以获得较高的生物量和良好的品质, 并且能显著降低产品器官的硝酸盐含量 (Demsar & Osvald, 2003), 已在菠菜 (汪建飞等, 2007; 孙园园等, 2009)、菜心 (伊灵燕, 2011)、芥蓝 (钟丽华等, 2012) 等作物上得到证实。不同铵硝配比还显著影响作物对 N、P、K 等养分的吸收和累积 (汪建飞等, 2010)。

施入土壤中的氮素利用率只有 30% ~ 50% (Finck, 1982), 氮肥利用率低的主要原因是其通过氨挥发、硝化、反硝化及硝酸盐的淋溶等途径损失到环境中。水稻和油菜水培试验结果均表明系统存在氮素损失 (李生秀等, 1995; 黄见良等, 2004)。不同氮素水平处理的水稻植株氮损失占总吸收量的 11% ~ 22% (王巧兰等, 2010a); 与供应单一铵态氮相比, 铵硝混合态氮处理降低了氮素损失 (王巧兰等, 2010b)。

雷玉玲, 女, 硕士研究生, 专业方向: 蔬菜生理, E-mail: 1157800831@qq.com

\* 通讯作者 (Corresponding author): 宋世威, 男, 副教授, 硕士生导师, 专业方向: 蔬菜生理与分子生物学, E-mail: swsong@scau.edu.cn

收稿日期: 2015-03-04; 接受日期: 2015-07-28

基金项目: 广州市科技计划项目 (201300000203), 大宗蔬菜产业技术体系专项 (CARS-25-C-04)

目前, 对蔬菜铵硝态氮营养的研究主要集中在生物量和品质等方面, 对植株营养吸收特别是氮素利用方面研究较少。在保证作物产量、品质不降低的前提下, 通过营养调控措施提高养分的利用效率, 对于降低生产投入、减少氮素损失及对环境的污染具有重要意义。本试验采用水培方法研究了不同铵硝比对叶用莴苣 (*Lactuca sativa* L.) 生长和 N、P、K 吸收及氮素损失的影响。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验设计

试验于 2014 年在华南农业大学温室中进行, 供试叶用莴苣品种为意大利耐抽薹叶用莴苣。3 月 26 日用海绵块育苗, 子叶展平后适量浇灌 1/4 Hoagland 营养液。4 月 12 日移栽, 用去离子水洗净幼苗根部, 定植到规格为 57 cm × 38 cm × 8 cm (长 × 宽 × 高) 的水培箱中。营养液大量元素配方以全硝态氮的 1/2 Hoagland 配方为基础, 等氮量下设置 4 个铵硝比: CK, 0 : 100; T1, 10 : 90; T2, 25 : 75; T3, 50 : 50, 具体营养液配方如表 1 所示。微量元素采用通用配方。每处理 3 次重复, 每重复 9 株。每个水培箱中装入 16 L 营养液, 栽培过程中每天加去离子水至初始体积, 整个生长期不

表 1 不同铵硝配比的大量元素配方

mmol · L<sup>-1</sup>

处理	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> : NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	KNO <sub>3</sub>	Ca (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> · 4H <sub>2</sub> O	KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	MgSO <sub>4</sub> · 7H <sub>2</sub> O	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	CaCl <sub>2</sub>
CK	0 : 100	2.50	2.5	0.5	1.4	0	0	0
T1	10 : 90	1.75	2.5	0.5	1.4	0.375	0.375	0
T2	25 : 75	0.63	2.5	0.5	1.4	0.938	0.938	0
T3	50 : 50	0	1.9	0.5	1.4	1.875	1.250	0.625

更换营养液、不通气。

## 1.2 项目测定

4月12日定植时,选取生长健壮、整齐一致的幼苗300株,每100株作为1次重复,共3次重复,测定生物量和营养指标。

5月10日采收,每重复随机取3株,测定生物量和营养指标;然后用去离子水将营养液补充至初始体积,取25 mL,测定其硝态氮和铵态氮含量。

1.2.1 生物量指标 植株用去离子水洗净,吸干水分,用电子天平测定地上部鲜质量、根系鲜质量、经济产量(可食用部分)等;鲜样105℃杀青15 min后,75℃烘干至恒重,测定地上部干质量及根系干质量,留干样。

1.2.2 植株全氮、全磷、全钾含量的测定 准确称取0.5 g植株干样,H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>硝化,全氮含量采用凯氏定氮法测定,全磷含量采用钼锑抗比色法测定,全钾含量采用火焰光度法测定(鲍士旦,2000)。

1.2.3 营养液中铵态氮、硝态氮含量的测定 硝态氮含量采用硫酸联氨法测定(Downes,1978);铵态氮含量采用靛酚蓝比色法测定(鲍士旦,2000)。

氮素损失量(NL)=营养液中氮素减少量-植株氮素增加量

植株氮素增加量=采收后植株氮素含量-定植时幼苗氮素含量

营养液中氮素减少量=营养液初始总氮量-采收后营养液中总氮量

氮素损失率=氮素损失量/营养液中氮素减少量×100%

## 1.3 数据处理

采用SPSS 14.0软件对试验数据进行统计分析,采用Excel 2007软件作图。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同铵硝比对叶用莴苣生长的影响

从表2可以看出,与对照相比,T1处理叶用莴苣地上部鲜质量、经济产量分别增加了15.77%和15.21%,差异均达显著水平;T2、T3处理的地上部鲜质量、经济产量则显著降低。T1处理的根系鲜质量与对照差异不显著,但显著高于T2、T3处理;各处理的根系干质量差异不显著。T1处理的地上部干质量比对照增加了14.21%;而T2、T3处理的地上部干质量比对照分别降低了25.14%和39.93%,差异均达到显著水平。这表明营养液增铵10%促进了叶用莴苣植株的生长,而增铵超过25%则会抑制其生长。

表 2 不同铵硝比对叶用莴苣生物量的影响

g · 株<sup>-1</sup>

处理	地上部鲜质量	根系鲜质量	经济产量	根系干质量	地上部干质量
CK	65.32 ± 2.92 b	8.47 ± 0.40 a	60.30 ± 2.83 b	0.39 ± 0.04 a	2.88 ± 0.12 a
T1	75.62 ± 3.70 a	8.30 ± 0.38 a	69.47 ± 4.02 a	0.39 ± 0.03 a	3.29 ± 0.23 a
T2	30.23 ± 2.73 c	5.33 ± 0.61 b	26.45 ± 2.36 c	0.39 ± 0.07 a	2.16 ± 0.29 b
T3	15.25 ± 1.43 d	3.05 ± 0.23 c	11.73 ± 1.31 d	0.36 ± 0.04 a	1.73 ± 0.12 b

注:表中同列数据后不同小写字母表示差异显著(α=0.05);下表同。

### 2.2 不同铵硝比对叶用莴苣 N、P、K 含量及积累量的影响

由图1可知,叶用莴苣植株地上部和根系的全氮含量均随着铵态氮比例的增加呈下降趋势;对照和T1处理间植株地上部全氮含量差异不显著,但均显著高于T2、T3处理;根系全氮含量各处理间

差异显著。与对照相比,T1处理显著提高了植株地上部和根系的全磷含量,而T2、T3处理则降低。对照和T1处理植株地上部全钾含量差异不显著,但均显著高于T2、T3处理;根系全钾含量T1处理显著高于其他各处理。

由图2可知,不同铵硝配比处理叶用莴苣植

株的 N、P、K 积累量均表现为 T1 > CK > T2 > T3, 且各处理间差异均达显著水平。这表明营养液增铵 10% 提高了叶用莴苣植株的 N、P、K 积累量, 但增铵 25% 和 50% 则显著降低。

### 2.3 不同铵硝配比对营养液中硝态氮和铵态氮含量的影响

从表 3 可以看出, 采收后 T2 和 T3 处理的营养液中只存在少量的 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N, 分别为 2.53 mg · L<sup>-1</sup> 和 1.98 mg · L<sup>-1</sup>; T1 处理只存在少量的 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N,

为 0.16 mg · L<sup>-1</sup>, 而 T3 处理剩余 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 较高, 为 28.78 mg · L<sup>-1</sup>。

营养液中 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 的减少量随着铵态氮比例的增加呈现下降趋势, 对照 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 减少量最大, 并显著高于其他各处理; NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 减少量则呈相反的规律, 随着铵态氮比例的增加呈上升趋势, T3 处理减少量最大, 显著高于 T1 和 T2 处理; 总氮减少量以 T1 和 T2 处理显著高于对照, 但 T3 处理显著低于对照 (表 3)。

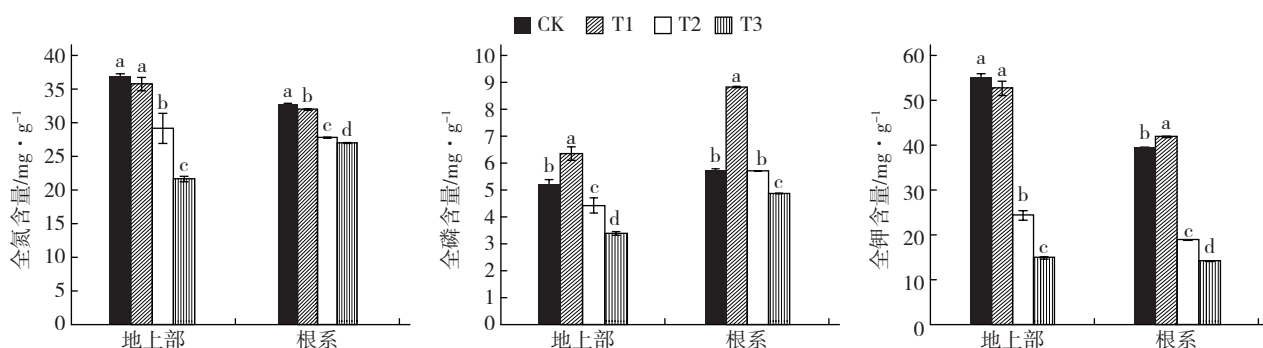


图 1 不同铵硝配比对叶用莴苣 N、P、K 含量的影响  
图柱上不同小写字母表示差异显著 (α=0.05), 下图同。

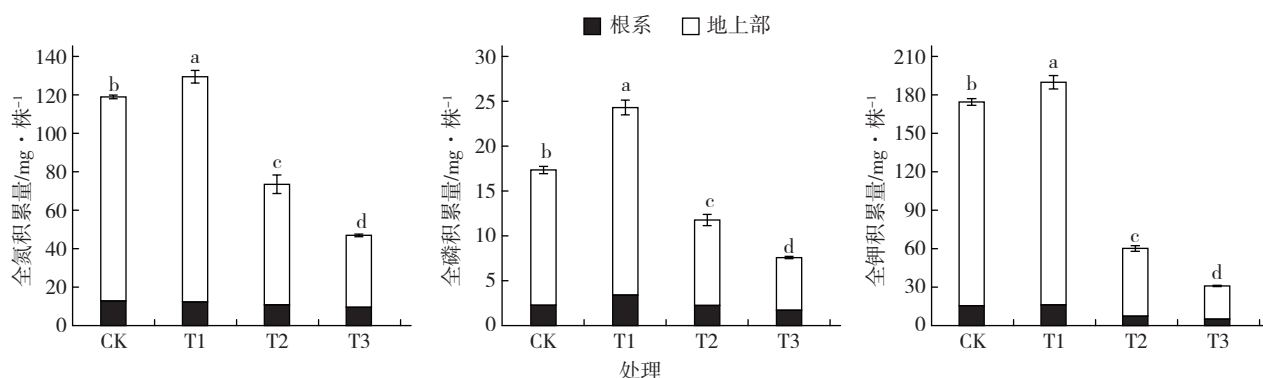


图 2 不同铵硝配比对叶用莴苣 N、P、K 养分积累量的影响

表 3 不同铵硝配比对营养液中氮素含量及其减少量的影响

处理	初始含量/mg · L <sup>-1</sup>		采收后含量/mg · L <sup>-1</sup>		营养液中氮素减少量/mg · L <sup>-1</sup>		
	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	总氮
CK	105.00	—	17.49 ± 0.02 a	—	87.56 ± 0.51 a	—	87.56 ± 0.51 c
T1	94.50	10.50	14.63 ± 0.10 b	0.16 ± 0.01 c	79.94 ± 0.15 b	10.34 ± 0.01 c	90.28 ± 0.14 b
T2	78.75	26.25	2.53 ± 0.02 c	11.01 ± 0.07 b	76.17 ± 0.07 c	15.20 ± 0.07 b	91.37 ± 0.14 a
T3	52.50	52.50	1.98 ± 0.16 d	28.78 ± 0.19 a	50.51 ± 0.16 d	23.72 ± 0.19 a	74.23 ± 0.34 d

### 2.4 不同铵硝配比对叶用莴苣氮素损失的影响

不同铵硝配比处理的氮素损失率在 20.17% ~ 65.31% 之间 (表 4), 表明水培栽培的氮素损失率较高。与对照相比, T1 处理的氮素损失量和损失率分别降低了 14.79% 和 4.24 个百分点, 差异均达到显著水平; 但 T2 和 T3 处理的氮

表 4 不同铵硝配比的氮素损失量及损失率

处理	氮素损失量/mg · L <sup>-1</sup>	氮素损失率/%
CK	21.37 ± 0.61 c	24.41 ± 0.68 c
T1	18.21 ± 0.05 d	20.17 ± 0.04 d
T2	50.69 ± 0.48 a	55.48 ± 0.45 b
T3	48.47 ± 0.19 b	65.31 ± 0.39 a

素损失量和损失率均显著增加。这表明营养液增铵 10% 能显著降低水培叶用莴苣系统中氮素的损失量和损失率, 但增铵比例超过 25% 则提高了氮素损失。

### 3 结论与讨论

水培条件下, 与  $\text{NO}_3^-$ -N 营养相比, 单一  $\text{NH}_4^+$ -N 营养显著抑制植株生物量的积累 (邱慧珍和张福锁, 2003; 邹春琴等, 2004); 但在  $\text{NO}_3^-$ -N 营养液中添加适当比例的  $\text{NH}_4^+$ -N 会明显改善作物的生长 (Heuer, 1991; 孙权等, 2003)。本试验结果表明, 营养液增铵 10% 提高了叶用莴苣的生物量, 与前人研究结果一致 (罗金葵等, 2005); 增铵 25% 和 50% 则抑制了叶用莴苣的生长, 抑制程度随铵态氮比例的提高而增加。田霄鸿和李生秀 (2000) 研究表明, 当铵态氮加入量占到全氮量 50% 时, 莴苣、菠菜、小白菜、大青菜生长均受到一定程度的抑制, 其中莴苣最为显著。在无菌条件下, 以铵态氮为唯一氮源, 大豆植株表现出铵盐毒害, 而硝态氮对解除铵盐毒害有很强的作用 (董守坤等, 2012)。本试验未更换营养液, 叶用莴苣采收期 T2 和 T3 处理铵态氮含量与硝态氮含量的比值分别为 4.35 和 14.53, T3 处理的硝态氮含量仅为  $1.98 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ , 可能会产生一定程度的铵盐毒害而抑制了叶用莴苣的生长。

华南农业大学南方蔬菜生理研究中心前期研究表明, 采用 1/2 Hoagland 营养液培养叶用莴苣, 与定期更换营养液相比, 不更换营养液处理的植株生长无显著差异, 并提高了产品器官的品质 (李嘉佳等, 2012)。本试验采用叶用莴苣定植后不更换营养液的方式, 进一步研究了植株养分积累状况。营养液增铵 10% 提高了叶用莴苣 N、P、K 的积累, 但增铵 25% 和 50% 则显著降低了养分的积累。营养液适量增铵也提高了烟草植株对氮、磷的吸收和积累 (刘世亮等, 2010)。当外源铵离子浓度高于  $0.1 \sim 0.5 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  时, 就会发生铵盐毒害, 直接影响植株对氮的吸收 (van Katwijk et al., 1997)。本试验中, 营养液增铵 25% 和 50% 显著抑制了叶用莴苣对 N、P、K 的积累, 可能是因为后期营养液中剩余  $\text{NH}_4^+$ -N 比例过高, 产生了铵盐毒害。

在作物生长过程中存在不同程度的氮素损失,

目前的研究主要集中在农田生态系统 (王朝辉等, 2001; 苏成国等, 2003; 叶世超等, 2011), 无土栽培系统的研究较少。前人利用封闭海绵块的方式研究了黄瓜营养生长和生殖生长阶段氮素的气态损失, 结果表明有 12.4% 的氮素以  $\text{N}_2\text{O}$  和  $\text{N}_2$  的形式损失 (Daum & Schenk, 1996)。小麦植株通过叶片释放  $\text{N}_2\text{O}$ , 且硝态氮处理比铵态氮处理的释放量高几十倍, 表明气态氮化物的损失与氮素形态密切相关 (Smart & Bloom, 2001)。Husted 等 (2000) 报道, 供给铵态氮源的大麦和油菜氮挥发量显著高于供给硝态氮源的处理。对喜铵作物水稻的研究表明, 单一供应铵态氮源氮素损失最大, 而供给铵硝复合氮源则氮素损失显著下降 (王巧兰等, 2010b)。不同氮素形态对作物的氮素损失有不同影响, 可能与作物对氮素形态的吸收偏好有关。一般情况下, 适宜比例的铵硝混合态氮素营养会降低系统中氮素的气态损失。本试验的水培系统中存在较高比例的氮素损失, 相比全硝态氮营养液, 低量增铵 (10%) 处理能降低叶用莴苣氮素损失, 而中、高量增铵 (25% 和 50%) 处理则增加了氮素损失, 这可能是由于作物生长和生理机能受到抑制。具体铵硝配比对氮素损失影响的机理, 尚需进一步研究。

综上, 与全硝态氮营养液处理相比, 增铵 10% 显著促进了叶用莴苣植株的生长, 提高了 N、P、K 养分积累量, 显著降低了氮素的损失量和损失率。

#### 参考文献

- 鲍士旦. 2000. 土壤农化分析. 北京: 中国农业出版社.
- 董守坤, 刘丽君, 马春梅, 孙聪姝, 龚振平, 祖伟. 2012. 利用  $^{15}\text{N}$  标记研究铵态氮与硝态氮对大豆的营养作用. 大豆科学, 31 (6): 911-914.
- 黄见良, 邹应斌, 彭少兵, Buresh R J. 2004. 水稻对氮素的吸收、分配及其在组织中的挥发损失. 植物营养与肥料学报, 10 (6): 579-583.
- 李嘉佳, 宋世威, 陈日远, 刘厚诚, 孙光闻. 2012. 营养液更换频率对水培叶用莴苣产量和品质的影响. 中国蔬菜, (24): 69-72.
- 李生秀, 李宗让, 田霄鸿, 王朝辉. 1995. 植物地上部分氮素的挥发损失. 植物营养与肥料学报, 1 (2): 18-25.
- 刘世亮, 化党领, 介晓磊, 雷广海, 张弘韬, 刘芳, 朱金峰. 2010. 不同铵态氮 / 硝态氮配比营养液对烟草矿质营养吸收与积累的影响. 土壤通报, 41 (6): 17-21.
- 罗金葵, 陈巍, 张攀伟, 茆泽圣, 沈其荣. 2005. 增铵对小白菜生长和叶绿素含量的影响. 土壤学报, 42 (4): 614-618.



- 邱慧珍, 张福锁. 2003. 氮素形态对不同磷效率基因型小麦生长和氮素吸收及基因型差异的影响. 土壤通报, 34 (6): 533-538.
- 苏成国, 尹斌, 朱兆良, 沈其荣. 2003. 稻田氮肥的氨挥发损失与稻季大气氮的湿沉降. 应用生态学报, 14 (11): 1884-1888.
- 孙权, 丁福荣, 李鹏, 吕海霞, 胡霞, 刘正军. 2003. 氮肥对大白菜硝酸盐累积的影响及合理施用量研究. 土壤, 35 (3): 255-258.
- 孙园园, 林咸永, 金崇伟, 章永松, 方萍. 2009. 氮素形态对菠菜体内抗坏血酸含量及其代谢的影响. 浙江大学学报: 农业与生命科学版, 35 (3): 292-298.
- 田霄鸿, 李生秀. 2000. 几种蔬菜对硝态氮、铵态氮的相对吸收能力. 植物营养与肥料学报, 6 (2): 194-201.
- 王巧兰, 吴礼树, 赵竹青, 赵林萍. 2010a. 氮水平对水稻植株氮素损失的影响. 植物营养与肥料学报, 16 (1): 14-19.
- 王巧兰, 吴礼树, 赵竹青, 黄利民. 2010b. 氮形态对水稻植株氮素损失的影响. 华中农业大学学报, 29 (3): 312-316.
- 王朝辉, 田霄鸿, 李生秀. 2001. 冬小麦生长后期地上部分氮素的氨挥发损失. 作物学报, 27 (1): 1-6.
- 汪建飞, 董彩霞, 沈其荣. 2007. 不同铵硝比对菠菜生长、安全和营养品质的影响. 土壤学报, 44 (4): 683-688.
- 汪建飞, 周毅, 邢素芝, 陈世勇, 谢越. 2010. 不同铵硝比的氮素营养对菠菜氮磷钾吸收的影响. 安徽科技学院学报, 24 (3): 1-4.
- 叶世超, 林忠成, 戴其根, 贾玉书, 顾海燕, 陈京都, 许露生, 吴福观, 张洪程, 霍中洋, 许轲, 魏海燕. 2011. 施氮量对稻季氨挥发特点与氮素利用的影响. 中国水稻科学, 25 (1): 71-78.
- 伊灵燕. 2011. 不同铵硝配比调控菜心品质及氮素效率的研究 [硕士学位论文]. 广州: 华南农业大学.
- 钟丽华, 宋世威, 刘厚诚, 孙光闻, 陈日远. 2012. 不同铵硝比对芥蓝产量和品质的影响. 中国蔬菜, (8): 63-67.
- 邹春琴, 王晓凤, 张福锁. 2004. 铵态氮抑制向日葵生长的作用机制初步探讨. 植物营养与肥料学报, 10 (1): 82-85.
- Daum D, Schenk M K. 1996. Gaseous nitrogen losses from a soilless culture system in the greenhouse. Plant Soil, 183 (1): 69-78.
- Demsar J, Osvald J. 2003. Influence of  $\text{NO}_3^- : \text{NH}_4^+$  ratio on growth and nitrate accumulation in lettuce (*Lactuca sativa* var. *capitata* L.) in an aeroponic system. Agrochimica, 47 (3-4): 112-121.
- Downes M T. 1978. An improved hydrazine reduction method for the automated determination of low nitrate levels in freshwater. Water Research, 12 (9): 673-675.
- Finck A. 1982. Fertilizers and fertilization: introduction and practical guide to crop fertilization. USA Florida: Verlag Chemie.
- Heuer B. 1991. Growth, photosynthesis and protein content in cucumber plants as affected by supplied nitrogen form. Journal of Plant Nutrition, 14 (4): 363-373.
- Husted S, Sehjoerring J K, Nielsen K H. 2000. Stomatal compensation points for ammonia in oilseed rape plants under field conditions. Agricultural and Forest Meteorology, 105 (4): 371-383.
- Smart D R, Bloom A J. 2001. Wheat leaves emit nitrous oxide during nitrate assimilation. Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA, 98 (14): 7875-7878.
- van Katwijk M M, Vergeer L N T, Schmitz G H W, Roelofs J G M. 1997. Ammonium toxicity in eelgrass *zostera marina*. Marine Ecology Progress Series, 157 (1): 159-173.

## Effects of Different Ammonium and Nitrate Ratios on Lettuce Growth and Accumulation of Plant Nitrogen, Phosphorus and Potassium

LEI Yu-ling, CHEN Zi-yan, SONG Shi-wei\*, CHEN Ri-yuan, LIU Hou-cheng, SUN Guang-wen  
(College of Horticulture, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, Guangdong, China)

**Abstract:** Under hydroponic condition, this paper studies the effect of different ammonium and nitrate ratio (CK, 0 : 100; T1, 10 : 90; T2, 25 : 75; T3, 50 : 50) on lettuce (*Lactuca sativa* L.) growth and N, P, K accumulation. The results showed that compared with the CK, T1 significantly promoted the lettuce growth, and its fresh weight of aerial part and economic yield were increased by 15.77% and 15.21%, while the fresh weight of aerial part and economic yield in T2 and T3 treatments were significantly reduced. The N, P, K accumulation in lettuce plant were behaved as T1 > CK > T2 > T3 under different ammonium and nitrate ratio treatment. There were significant differences existing among treatments. The nitrogen loss ratios of each treatment under hydroponic cultivation were between 20.17%-65.31%. Compared with the CK, the nitrogen loss amount and loss rate under T1 treatment were reduced by 14.79% and 4.24 percentage points, respectively, while the nitrogen loss amount and loss rate under T2 and T3 treatments were significantly increased. The plant growth and N, P, K accumulation were improved by 10% ammonium in nutrient solution, and yet its nitrogen loss was reduced significantly.

**Key words:** Ammonium and nitrate ratio; Lettuce; Nutrient uptake; Nitrogen loss