

不同铵硝比营养液对生菜生长发育影响的研究*

王 波^{1,2} 沈其荣^{1†} 赖 涛¹ 陈爱群¹ 魏 晋¹

(1 南京农业大学资源与环境科学学院, 南京 210095)
(2 苏州大学园艺系, 江苏苏州 215006)

EFFECTS OF NH₄⁺-N/NO₃⁻-N RATIO IN NUTRIENT SOLUTION
ON GROWTH OF LETTUCE IN HYDROPONICS

Wang Bo^{1,2} Shen Qirong^{1†} Lai Tao¹ Chen Aiqun¹ Wei Jin¹

(1 College of Resources and Environmental Sciences, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)
(2 Faculty of Horticulture, Soochow University, Suzhou, Jiangsu 215006, China)

关键词 生菜; 铵硝比; 营养液; 净光合速率; SPAD
中图分类号 S641.3 文献标识码 A

氮素是作物生长所必需的营养元素之一。在一般情况下, 作物能够吸收利用的氮素形态有多种。但从营养学角度来说, 植物生长的主要氮源为 NH₄⁺-N 和 NO₃⁻-N^[1, 2]。由于作物本身遗传特性和营养特点以及环境条件的差异, 作物对 NH₄⁺-N 和 NO₃⁻-N 的吸收利用和适宜性也有不同^[3, 4]。对蔬菜作物来说, 大多数蔬菜喜好 NO₃⁻-N, 但它们的喜硝特性并不是绝对的, 许多喜硝作物在 NO₃⁻-N 供应充足的前提下, 如果同时供应适量的 NH₄⁺-N, 作物生长可以得以明显改善^[5-8]。其最佳配比随作物生育期不同而不同^[9]。

生菜(*Lactuca sativa* L., 属菊科, 莴苣属)被认为是一种喜硝作物。它在我国不少地区均有栽培, 以食叶为主, 味道鲜美, 营养丰富, 并有保健功能, 如预防贫血, 抗衰老, 降低血压和血清胆固醇等作用。国内对生菜吸收无机养分特性报道较少。本试验采用铵硝不同配比的营养液(NH₄⁺-N:NO₃⁻-N 分别为 0:100, 10:90, 25:75, 50:50), 对在本地有代表性的 5 种不同的生菜品种吸收无机养分的特性进行研究, 希望通过对生菜生物量、叶绿素含量(SPAD 值)及净

光合作用速率等指标的比较分析, 为生菜氮素营养的最佳配比和筛选较优的基因型提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

奶油生菜(Ny), 申选 1 号(Sx 1), 软尾生菜(Rw), 耐抽苔生菜(Nct)及耐热耐抽苔生菜(NrNct)。

1.2 试验方法

将所选取五个生菜品种种子消毒后播于盛有干净石英砂的育苗箱中, 将育苗箱放在 18℃ 的恒温培养箱中发芽, 15 d 后移到日光温室中, 1 周后选择长势均匀的生菜苗移栽到有供氧装置的 20 L 周转箱中水培, 周转箱上覆盖 26 孔的塑料盖板, 每块板上栽同一品种的 24 株苗(另 2 个孔用来通气)。水培营养液采用专门适用生菜培育的山崎营养液(配方: Ca(NO₃)₂·4H₂O 236 mg L⁻¹, KNO₃ 404 mg L⁻¹, NH₄H₂PO₄ 57 mg L⁻¹, MgSO₄ 123 mg L⁻¹, 微量元素采用 Amon 营养液通用配方)。在此基础上依据氮素形态的不同, 设 4 个处理, NH₄⁺-N:NO₃⁻-N 分别为: 0:100, 10:90, 25:75 和 50:50, NO₃⁻-N 用 Ca(NO₃)₂·4H₂O、KNO₃ 及

* 国家自然科学基金项目(30270790)和江苏省政府项目(R2317169)资助
† 通讯作者, E-mail: shenqirong@njau.edu.cn
作者简介: 王 波(1965~), 男, 江苏扬州人, 副教授, 博士研究生, 主要研究蔬菜氮素营养
收稿日期: 2006-12-20; 收到修改稿日期: 2006-04-03

HNO_3 , NH_4^+-N 用 $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ 及 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, 总氮浓度均为 91 mgL^{-1} 。保持所有处理配方中的 K、Ca、Mg 的比例与原始配方一致, 在营养液中加入 $7\text{ }\mu\text{mol L}^{-1}$ 硝化抑制剂二氰胺(DCD), 以防止营养液中 NH_4^+ 转化为 NO_3^- 。植株的根基部分用海绵包裹, 使其固定在板上。每一处理设 4 个重复, 每 2d 测定一次 pH 值, 并用稀 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 和 H_2SO_4 溶液调节 pH 到 6.5, 每周换一次营养液。

1.3 收获与测定

生菜生长至九叶一心时收获, 吸干表面水分后, 称量植株地上、地下部的鲜重, 迅速杀青, 并在 $60\sim 80\text{ }^\circ\text{C}$ 烘干备用。

叶绿素相对含量的测定(SPAD 值), 每处理选取具有代表性的生菜 12 株(即每个重复取 3 株), 在每株第 5 完全展开叶的中部, 于移栽 30 d 后的上午 10 时左右, 用叶绿素计(日本产 SPAD-502)测定叶片的 SPAD 读数值, 每叶片测定 10 次, 取平均值。

光合作用测定(Li Cor 6400), 每处理选取具有代表性的生菜 8 株(即每个重复取 2 株), 选第 5 完全展开叶, 并固定在叶片上中间近主脉部位, 于移栽

31 d 后的上午 10 时左右, 用 Li Cor 6400 测定叶片净光合速率(Pn), 每叶片测定 10 次, 取平均值。

1.4 数据处理

试验所获得的数据均经过 SPSS11.5 统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同铵硝比对生菜生物量的影响

2.1.1 不同铵硝比对不同品种生菜地上部生物量的影响 不同铵硝比对生菜地上部干重有显著的影响(图 1), 随着 NH_4^+-N 比例的增加(NH_4^+-N 含量从 0%、10% 到 25%) 而逐步增加, 在铵硝配比为 25:75 时, 所有供试 5 个品种的地上部干重均达到最大。除了耐热耐抽苔生菜以外, 其他 4 个品种与铵硝配比为 25:75 与 0:100 处理的差异均达到显著水平。铵硝配比 25:75 处理中生菜地上部干重比 0:100 平均增加 20.7%, 其中以申选 1 号增加幅度为最大(29.0%), 以耐热耐抽苔生菜增加幅度为最小(9.5%), 说明耐热耐抽苔生菜的地上部表现出对增铵营养不敏感的特性, 而申选 1 号的地上部表现出对增铵营养敏感的特性。

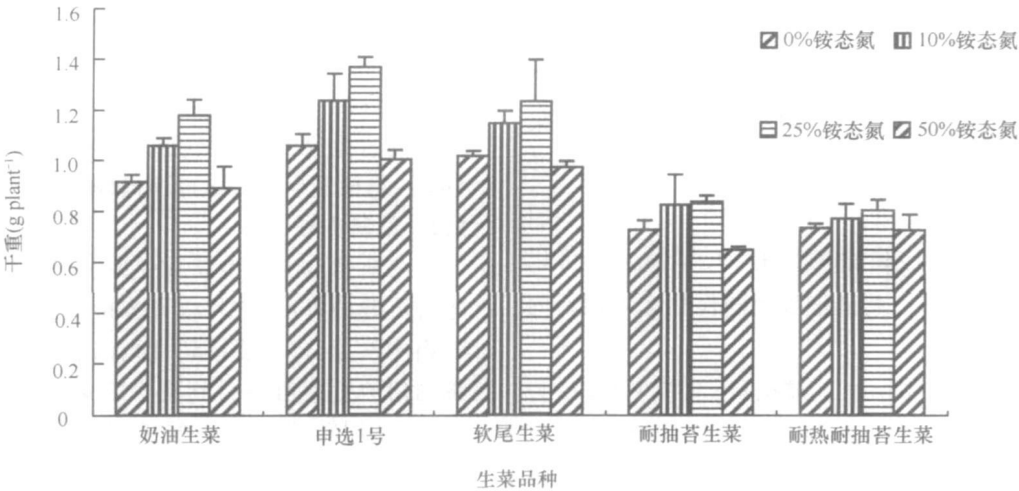


图 1 不同铵硝比对生菜地上部干重的影响

铵硝配比为 50:50 处理的地上部干重与铵硝配比为 25:75 处理相比, 下降了 9.5%~26.4%, 其中以申选 1 号下降幅度为最大(26.4%), 达极显著水平。以耐热耐抽苔生菜下降幅度为最小(9.5%), 差异不显著。申选 1 号再次表现出对增铵营养敏感的特性, 耐热耐抽苔生菜不敏感的特性。

不同铵硝比对生菜地上部鲜重的影响与对干重的影响相类似(表 1)。

2.1.2 不同铵硝比对不同品种生菜地下部生物量的影响 随着 NH_4^+-N 比例的逐步增加(NH_4^+-N 含量从 0%、10% 到 25%), 五个品种生菜的地下部干重均逐步增加(图 2), 在铵硝配比为 25:75 处理时, 供试五个品种地下部的干重均达到最大, 比铵硝配比为 0:100 处理增加 9.7%~35.8%。说明增铵能够促进生菜的地下部生长。其中申选 1 号在铵硝配比为 25:75 处理中的地下部干重与在 0:100 中干

表 1 不同铵硝比对生菜地上部鲜重的影响(FW, g kg⁻¹)

生菜品种	NH ₄ ⁺ -N NO ₃ ⁻ -N			
	0 100	10 90	25 75	50 50
奶油生菜	27.95±1.08b	32.19±1.77a	33.76±1.22a	25.50±0.97c
申选 1 号	30.81±2.15b	36.88±2.52ab	40.20±2.12a	27.33±3.86c
软尾生菜	26.67±2.11bc	29.73±2.85ab	33.55±3.46a	25.28±0.39c
耐抽苔生菜	19.08±1.76b	20.89±2.04b	22.73±2.68a	16.33±1.48c
耐热耐抽苔生菜	23.47±1.11a	23.99±1.60b	24.38±1.89a	19.22±2.23b

注: 表中不同字母表示差异显著性, *p* < 0.05

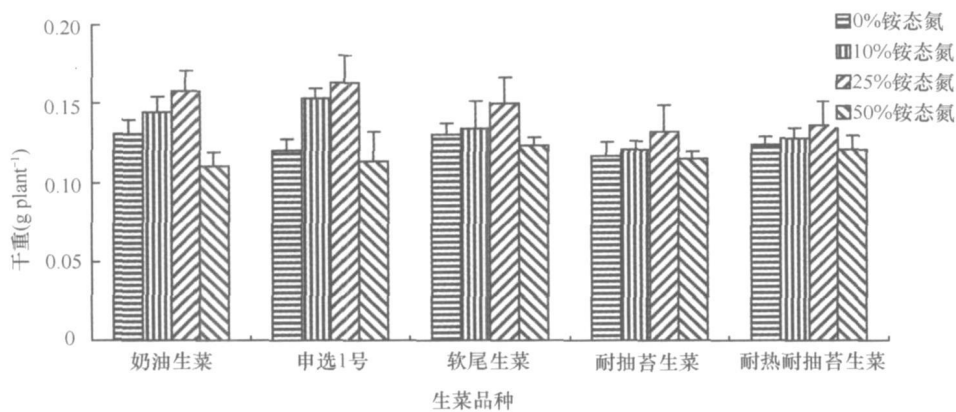


图 2 不同铵硝比对生菜地下部生物量的影响

重的差异达显著水平。而这 2 个处理间比较在其他四个品种(奶油生菜、耐热耐抽苔生菜、软尾生菜及耐抽苔生菜)没有显示出显著性差异。这与铵硝营养对生菜地上部影响不同(图 1),说明增铵对生菜的影响主要表现在地上部。增铵虽然能够促进生菜地下部的生长,但这种促进作用因不同生菜品种对增铵营养敏感程度的不同而表现出不一样的结果,如申选 1 号在铵硝配比为 25: 75 处理中的地下部干重比在 0: 100 中增加 35.8% (在五个品种中增加比例最大),而耐热耐抽苔生菜仅增加 9.7% (在五个品种中增加比例最小),两者比较发现前者表现出对增铵营养更为敏感的特性,而后的敏感程度则较弱。

随着的 NH₄⁺-N 比例进一步增加到 50% 时,与其他 3 个处理比较地下部干重呈下降趋势,平均仅为铵硝配比为 25: 75 处理的 78.8%,且五个品种在铵硝配比为 50: 50 时的地下部干重均较 0: 100 处理低。这说明虽然增铵能够促进生菜的地下部生长,但应有一个适宜量的选择问题,增铵过多反而会影响生菜地下部生长。研究还发现,不同的品种对过

量增铵的敏感程度是不一样的,比较铵硝配比分别为 25: 75 和 50: 50 时,申选 1 号的地下部干重呈显著性差异,50: 50 处理的地下部干重仅为 25: 75 处理时的 69.3%,下降了 30.7%,而耐热耐抽苔生菜在这两个处理中的地下部干重之间的差异不显著,仅下降了 11.0%。在本试验条件下,发现增铵可以促进根系的生长,并以铵硝比 25: 75 为好。申选 1 号的地下部对增铵营养较为敏感,而耐热耐抽苔生菜的地下部对增铵营养不敏感。

2.2 不同铵硝比对不同品种生菜叶绿素含量 (SPAD 值) 及净光合作用速率的影响

不同铵硝比对不同品种的生菜叶绿素相对含量 (SPAD 值) 有很大的影响(表 2),所有品种生菜的 SPAD 值均随着 NH₄⁺-N 比例的增加而增加,并在 NH₄⁺-N: NO₃⁻-N 为 25: 75 时达到最高,然后随着 NH₄⁺-N 比例的进一步增加,SPAD 值反而减小。分析不同铵硝比对生菜净光合作用速率的影响,可以发现铵硝比对净光合作用速率的影响与铵硝比对 SPAD 值的影响类似。这也与五种生菜的生物量变化趋势是一致的。

表 2 不同铵硝比对生菜 SPAD 及净光合作用速率的影响

生菜品种	NH ₄ ⁺ -N NO ₃ ⁻ -N	叶绿素含量(SPAD 值)	净光合速率(CO ₂ μmol m ⁻² s ⁻¹)
奶油生菜	0 100	21.2±1.05	15.70±0.67
	10 90	23.4±1.13	18.99±0.78
	25 75	27.4±1.61	20.21±0.89
	50 50	25.0±1.45	19.35±0.51
申选 1 号	0 100	24.5±1.51	16.80±0.62
	10 90	26.7±1.64	17.74±0.71
	25 75	29.9±1.87	20.64±1.08
	50 50	26.3±1.61	16.16±0.68
软尾生菜	0 100	17.0±0.87	18.58±0.98
	10 90	17.3±0.98	18.68±0.85
	25 75	23.8±1.03	23.21±1.03
	50 50	22.9±1.11	21.64±1.12
耐抽苔生菜	0 100	20.3±0.87	21.93±1.08
	10 90	23.7±1.05	26.08±1.6
	25 75	25.7±1.18	31.07±1.67
	50 50	24.9±1.11	30.63±1.56
耐热耐抽苔生菜	0 100	21.4±0.98	25.67±1.34
	10 90	22.8±1.05	30.52±1.51
	25 75	23.5±1.12	33.62±1.89
	50 50	22.9±1.15	32.85±1.32

2.3 不同铵硝比对不同品种生菜植株体内硝酸盐含量的影响

4 个铵硝配比处理对生菜的硝酸盐积累量(地上部)影响相当大(表 3)。随着铵态氮比例的增加,植株体内的硝酸盐含量也逐渐减少,所有品种硝酸盐的含量均是在铵硝配比为 50: 50 处理时为最低,

在铵硝配比为 0: 100 处理时为最高。五种生菜品种在铵硝配比为 0: 100 处理时植株体内的硝酸盐与在 25: 75 时的差异均达显著水平($p < 0.05$), 25: 75 处理与 50: 50 处理时的差异也均达显著水平($p < 0.05$)。申选 1 号在所有处理间硝酸盐含量均达显著水平($p < 0.05$), 显示出对增铵营养的高度敏感性。

表 3 不同铵硝比对生菜植株体内硝酸盐含量的影响(FW, mg kg⁻¹)

生菜品种	NH ₄ ⁺ -N NO ₃ ⁻ -N			
	0 100	10 90	25 75	50 50
奶油生菜	3 762.31±51.23a	3 327.43±53.78ab	2 782.92±43.78b	1 452.73±37.61c
申选 1 号	3 832.12±62.12a	3 119.84±62.43b	2 473.86±49.82c	1 182.53±24.78d
软尾生菜	4 013.97±72.34ab	3 412.86±68.17ab	2 852.65±51.02b	1 709.48±23.52c
耐抽苔生菜	3 791.39±40.23a	3 392.09±45.07ab	2 739.06±50.86b	1 351.11±34.46c
耐热耐抽苔生菜	3 876.24±60.52a	3 481.28±74.63ab	2 812.36±49.53b	1 576.95±45.87c

注: 表中不同字母表示差异显著性, $p < 0.05$

3 讨 论

研究表明,不同氮素形态显著影响生菜的生长。与全硝营养相比,适量的增铵营养可以显著提高生菜地上部及地下部的干物重,这与前人研究结

果^[10~14]是一致的,在 NH₄⁺-N: NO₃⁻-N 比为 25: 75 时生物量达最高,罗金葵等^[15]在小白菜上得出相同的结论, Schrader 等^[16]在玉米上也得到类似的结论。但是随着营养液中铵态氮的进一步增加,生菜的地上部、地下部的干物重反而减少,这可能是由于过量的 NH₄⁺ 营养阻碍叶片扩展所致^[17]。本研究发现增

铵营养对生菜干物重的促进作用主要表现在地上部, 对地下部促进作用的幅度较小。

已有的研究表明^[18, 19], 当生长介质中保持不同 $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ 比例的混合态氮素营养时, 可能会对许多旱地作物的光合作用产生一定的影响, 作物叶片的净光合速率不仅受到氮肥总量的影响, 而且与不同形态的氮素营养供应有着密切的关系^[18]。本试验结果表明, 与全硝营养相比, 增铵营养能够有效地提高生菜叶片中叶绿素含量 (SPAD 值), 进而提高叶片净光合速率 (P_n)。表现为在营养液中维持适当的 $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ 比例, 有利于促进生菜的生长。因此, 在旱地土壤中通过施用硝化抑制剂的方法, 适当提高土壤中 $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ 比例, 将会有效改善生菜的 N 素营养水平, 提高 N 肥利用效率, 并利于防止因 NO_3^- 的淋溶损失而造成的地下水污染。本研究发现耐抽苔生菜及耐热耐抽苔生菜的生物量 (地上部及地下部) 虽然不高, 但这 2 个品种 SPAD 值及净光合作用速率并不低, 甚至还比较高, 这主要是植株的生物量除了与 SPAD 值及净光合作用速率有关之外, 还存在另一些因素可以影响植株的生物量, 如叶面积, 由于不同的作物对 NH_4^+ 和 NO_3^- 的敏感性和嗜好性不同, 在不同 NH_4^+ 和 NO_3^- 比例的氮素营养下, 不同作物、同一作物的不同器官生长效应不同, 使得生长越慢的作物或器官所积累的物质稀释效应越弱, 从而导致单位面积上物质积累的差异性。另外, 可能与其碳水化合物代谢、叶片衰老的快慢、光合午休的长短等因子有很大的关系。

参 考 文 献

[1] Marschner H. Mineral Nutrition of Higher Plants. London: Academic Press, 1995. 229~ 312

[2] 李生秀, 付会芳, 袁虎林, 等. 几种反映旱地土壤供氮能力方法的比较. 土壤, 1990, 22(4): 194~ 197

[3] Haynes R J, Goh K M. Ammonium and nutrition of plants. Biol. Rev., 1978, 53: 465~ 510

[4] 黄继茂, 段昆生, 林碧香, 等. 低硝酸盐优质高产叶菜的营养

配方研究. 土壤, 1990, 22(4): 222~ 225

[5] Hartman P I, Mills H A, Jones J B. The Influence of nitrate: ammonium ratios on growth, fruit development, and element concentration in Floradel tomato plants. J. Am. Soc. Hort. Sci., 1986, 111: 487~ 490

[6] 孙权, 丁福荣, 李鹏, 等. 氮肥对大白菜硝酸盐累积的影响及合理施用量研究. 土壤, 2003, 35(3): 255~ 258

[7] Heuer B. Growth, photosynthesis and protein content in cucumber plants as affected by supplied nitrogen form. J. Plant Nutr., 1991, 14: 363~ 373

[8] 史瑞和, 等. 植物营养原理. 南京: 江苏科学技术出版社, 1989. 254~ 256

[9] Reddy K S, Mills H A, Jones J B J. Com responses to post tasseling nitrogen deprivation and to various ammonium/ nitrate ratios. Agronomy Journal, 1991, 83: 201~ 203

[10] Heberer J A, Below F E. Mixed nitrogen nutrition and productivity of wheat grown in hydroponics. Ann. Bot., 1989, 63: 643~ 649

[11] Below F E, Heberer J A. Time of availability influences mixed nitrogen induced increases in growth and yield of wheat. J. Plant Nutr., 1990, 13: 667~ 676

[12] Wang X, Below F E. Root growth, nitrogen uptake, and tillering of wheat induced by mixed nitrogen source. Crop Sci., 1992, 32: 997~ 1 002

[13] 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

[14] Chen W, Luo J K, Shen Q R. Effect of $\text{NH}_4^+/\text{N}/\text{NO}_3^-/\text{N}$ ratios on growth and some physiological parameters of Chinese cabbage cultivars. Pedosphere, 2005, 15(3): 310~ 318

[15] 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

[16] Schrader L E, Domska D E, Tung D E, et al. Uptake and assimilation of ammonium N and their influence on the growth of corn. Agron. J. 1972, 64: 690~ 695

[17] Raab K T, Terry N. Nitrogen source regulation of growth and photosynthesis in *Beta vulgaris* L. Plant Physiol., 1994, 105: 1 159~ 1 166

[18] 肖凯, 张树华, 邹定辉, 等. 不同形态氮素营养对小麦光合特性的影响. 作物学报, 2000, 26(1): 53~ 58

[19] Amory A M, Cresswell C F. Effect of inorganic nitrogen ions on photosynthesis and carbon dioxide compensation of the *mala triandra* and *Zea mays*. Annual of Botany, 1984, 54: 719~ 727