

钙素对叶用莴苣营养吸收和生长发育的影响

范双喜¹ 伊东 正²

(¹北京农学院园艺系, 北京 102206; ²千叶大学园艺学部, 日本松户市 271-648)

摘要: 采用 NFT 栽培, 研究了叶用莴苣钙素与主要无机成分间的相互关系, 以及对叶用莴苣生长发育的影响。结果表明, 缺钙胁迫引起叶绿素含量降低, 缘腐病发病率上升, 叶片干、鲜样质量降低。生长中后期, 特别是新生内叶易发生钙素营养失调症。营养液中钙浓度过高会降低钾、镁的吸收, 而对氮、磷吸收影响不大。提高营养液中 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 比例会抑制钙吸收, 降低其有效性。

关键词: NFT 水培; 莴苣; 缺钙胁迫; 营养特性; 生长发育

中图分类号: S 636. 2 文献标识码: A 文章编号: 0513-353X (2002) 02-0149-04

钙素营养失调会引起许多蔬菜、水果作物生理性病害发生, 造成产量品质大幅度下降。Bangerth^[1]曾从钙的生理功能出发, 分析了与钙有关的生理失调症发生机理。安志信^[2]等进行了大白菜干烧心病发生和心叶补钙效果的研究; 国内外对缺钙引起番茄、叶用莴苣的生理失调症也有一些报道^[3,4]。但研究多集中于钙素营养与病症发生的关系, 而对尚未引起缺钙症时钙素对生长发育的影响, 特别是钙与主要营养元素吸收的关系报道较少。作者应用 NFT 水培技术, 以叶用莴苣为材料, 分析不同生长期、不同叶位钙素吸收与分布动态变化, 钙素营养与其他无机营养吸收的关系及对生长发育的影响, 旨在为钙营养在蔬菜作物生长发育中的功能研究提供依据。

1 材料与方法

供试材料为日本 NFT 水培散叶莴苣 (*Lactuca sativa* var. *longifolia* Lam) 主栽品种 ‘绿叶散’。1999 年 5~ 7 月在日本千叶大学园艺学部附属农场进行 NFT 栽培。营养液大量元素组成为 $\text{N } 12 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ (单位下同); $\text{P } 1.33$; $\text{K } 8.00$; $\text{Mg } 2.00$; 微量元素采用园试均衡培养液。设缺 Ca (不加 Ca, 但营养液配制用水为地下水, 含 $\text{Ca } 1.1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$) 和供 Ca (以 CaCl_2 为 Ca 源, 配成 Ca 浓度 80、160、240 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$) 处理, 分析不同 Ca 素水平对无机养分吸收及生长发育的影响; 在钙 Ca 浓度为 80 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 上述营养液组成不变, 保持总 $\text{N } 12 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 基础上, 以 NaNO_3 与 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 调节营养液中 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 与 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 比例, 研究氮素形态对 Ca 素营养及生长发育影响。

叶用莴苣穴盘育苗采用 1/4 倍园试均衡营养液^[5], 幼苗 4 片真叶时定植于 NFT 栽培床。株行距为 20 cm × 20 cm, 每处理 50 株。定植后一周开始生育调查, 用手持 SPAD-502 叶绿素仪检测各处理叶色值, 依叶绿素定量测定法换算成叶绿素含量。分株采收, 记载单株质量, 折算出单位面积产量。植株烘干灰化, 硫酸—过氧化氢分解后, 利用原子吸收法测定 Ca、K、Mg 含量; 钼酸铵比色法测定 P; 紫外吸收法测定 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 。各项指标均随机取样, 并进行 Duncan's 新复极差测验。

2 结果与分析

2.1 营养液 Ca 素水平对叶用莴苣生长发育的影响

当叶用莴苣达适宜采收标准时, 随机从 NFT 栽培床上、中、下游抽取样本进行分析, 结果 (表

收稿日期: 2001-09-04; 修回日期: 2001-11-20

基金项目: 国家留学基金委资助项目 (97811034)

1) 表明, 叶用莴苣缺 Ca 胁迫引起缘腐病大量发生是导致产量降低的重要原因。定植后一周内各处理间生长发育无显著差异。其后缺钙处理植株外叶叶缘开始黄化, 继而叶病部坏死, 定植后 12~ 15 d, 幼叶卷曲发硬, 叶缘呈烧灼状, 新老叶叶绿素含量均极显著低于各供 Ca 处理。此外缺 Ca 胁迫还制约着根的伸长, 根冠比显著低于其他处理。提高营养液 Ca 浓度可有效防止缘腐病发生, 当 Ca 浓度为 80 和 160 mg•L⁻¹时, 叶用莴苣生长良好, 产量极显著高于对照。进一步提高 Ca 浓度至 240 mg•L⁻¹, 生长反而受到抑制, 但仍优于缺 Ca 处理。

表 1 营养液中 Ca 浓度对水培叶用莴苣生长发育的影响

Table 1 Effects of Ca concentration in nutrient solution on the growth and development of lettuce

Ca (mg•L ⁻¹)	叶数 Leaf number	叶形比 Leaf shape ratio	叶鲜样 质量 Leaf fresh mass (g•plant ⁻¹)	叶干样 质量 Leaf dry mass (g•plant ⁻¹)	根鲜样 质量 Root fresh mass (g•plant ⁻¹)	根干样 质量 Root dry mass (g•plant ⁻¹)	根冠 比 R/T (%)	叶绿素 Chl. (mg•g ⁻¹ FM)	株干鲜比 Percentage of dry matter (%)	产量 Yield (kg•m ⁻²)	缘腐病 Tipburn (%)
对照 Control	19a	1.39a	87.2a	3.92a	5.69A	0.239aA	6.5a	0.85A	4.45a	2.180A	62.8A
80	23a	1.30a	112.6b	4.83b	8.47C	0.361cC	7.52b	1.23B	4.30a	2.815B	12.6B
160	23a	1.22b	118.3b	5.26b	9.15C	0.397c	7.7b	1.26B	4.44a	2.958B	9.7B
240	22a	1.19b	92.4a	4.05a	6.91B	0.272bA	7.5b	1.19B	4.35a	2.310A	8.9B

2.2 营养液 Ca 素水平对叶用莴苣无机养分吸收的影响

营养液中 Ca 浓度不仅关系到叶用莴苣对钙的吸收, 也影响到植株中其他无机成份的含量。从表 2 看出, 不同 Ca 浓度对叶用莴苣 N、P 的吸收无显著影响。随着培养液中 Ca 浓度的提高, 植株中 Ca 积累速率由快变慢, Ca 160 mg/L 和 240 mg/L 处理间地上部 Ca 含量无显著差异。当营养液 Ca 浓度为 80 mg•L⁻¹时, K 吸收量显著高于其他处理, Mg 吸收量也最高; Ca 浓度继续提高, 抑制了 K、Mg 的吸收。而缺 Ca 胁迫, 植株各种无机成份含量较低, 可能与植株生长发育不良, 导致养分吸收能力下降有关。

表 2 营养液中 Ca 浓度对植株无机成份含量的影响

Table 2 Effects of Ca concentration in nutrient solution on the contents of nutrient elements in lettuce plants

Ca (mg•L ⁻¹)	地上部 Top (% DM)					地下部 Root (% DM)				
	NO ₃ ⁻ N	PO ₄ ⁻ P	K	Ca	Mg	NO ₃ ⁻ N	PO ₄ ⁻ P	K	Ca	Mg
对照 Control	5.63a	0.96a	7.78a	0.12A	0.48a	4.95a	0.83a	6.54a	0.15A	0.35a
80	6.18a	1.05a	9.26b	1.03B	0.62b	5.27a	0.94a	8.72b	0.81B	0.51c
160	6.22a	1.02a	8.35a	1.48C	0.60b	5.39a	0.89a	7.58a	1.35C	0.46bc
240	6.04a	0.99a	7.83a	1.54C	0.54b	5.02a	0.86a	6.60a	1.67D	0.40ab

2.3 不同生长期不同叶位叶片中 Ca 含量变化

在营养液 Ca 浓度 80 mg•L⁻¹的 NFT 栽培床上, 于生长初期 (7 月 4 日)、中期 (7 月 10 日) 和采收前 (7 月 16 日) 分别选取叶用莴苣各 6 株, 分析不同叶位叶片 Ca 含量变化, 结果 (图 1) 表明: 随着叶位提高, 叶片含 Ca 量迅速下降, 即内叶含 Ca 量较外叶低。同一叶位的叶片, 随着生长发育进程含 Ca 量逐渐增加。不同生长期新生叶大小相近, 但含 Ca 量有显著差异。如图 1, 生长初期、中期和采收前新生叶分别为第 9 片叶、第 15 片叶和第 23 片叶, 平均含 Ca 量依次为 0.52、0.31 和 0.12 mg•L⁻¹。叶用莴苣内外叶片含 Ca 量差异显著, 特别是生长中后期内叶含 Ca 量迅速降低是造成 Ca 缺乏症的主要原因。

2.4 施用 N 素形态对叶用莴苣含 Ca 量的影响

在营养液 Ca 素浓度为 80 mg•L⁻¹, 其他营养液组分不变并保持总 N 12 mmol•L⁻¹前提下, 设置 4

种不同 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 与 NO_3^-N 比例, 分析 N 素形态对叶用莴苣植株中 Ca 含量的影响。由表 3 看出, 当营养液中 N 源全为 NO_3^-N 时, 植株中各器官 Ca 含量最高。随着 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 比例提高, 植株中 Ca 含量迅速降低, 叶片中尤以新生内叶 Ca 含量受 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 制约最大, 其次为中位叶, 外叶受影响最小。N 素形态与 Ca 素营养间的消长关系及对叶用莴苣生长发育的影响随生长期不同而异。一般定植后 10 d 内, 叶用莴苣生长发育并无异常现象; 从第 12 天开始, 全 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 处理新生叶片开始呈现缺 Ca 典型症状, 且中位叶有轻度缘腐病发生; 采收前缘腐病率高达 46.8%。而 $\text{NH}_4^+\text{-N}$: NO_3^-N 分别为 7: 5、5: 7、0: 12 的处理缘腐病发病率分别为 12.4%、9.6%和 4.3%。根系全 Ca 量变化与叶片类似, 随 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 浓度提高而降低, 但变化幅度比外叶大, 比中位叶和内叶小。

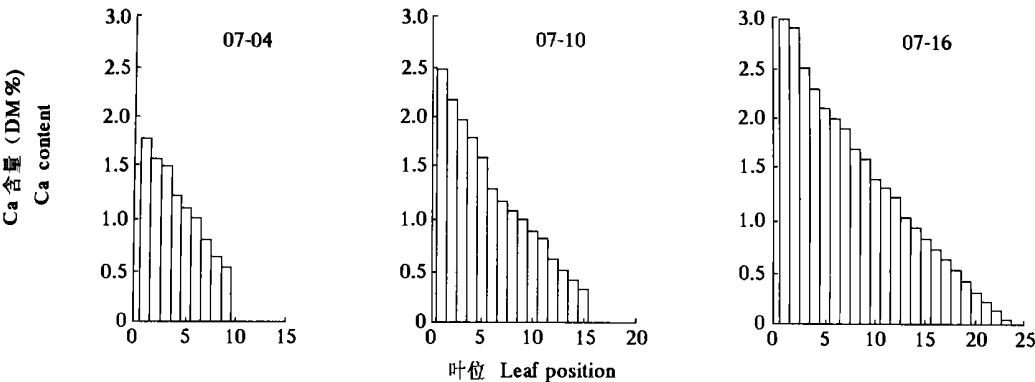


图 1 叶用莴苣不同生长期不同叶位叶片 Ca 含量的变化
Fig. 1 Variation of Ca content in lettuce leaves of different position

表 3 氮素形态对叶用莴苣植株中 Ca 含量的影响
Table 3 Effects of Forms of N on Ca contents in lettuce plants

$\text{NH}_4^+\text{-N}$: NO_3^-N	Ca 含量 Ca content (% DM)			
	外叶 Outer leaves	中位叶 Mid leaves	内叶 Inner leaves	根 Roots
12: 0	1.73aA (60.5%)	0.95aA (53.4%)	0.24aA (42.9%)	1.06aA (56.1%)
7: 5	2.25bA (78.7%)	1.26bAB (70.8%)	0.31abA (55.4%)	1.37bAB (72.5%)
5: 7	2.58bAB (90.2%)	1.41bB (79.2%)	0.42bBC (75%)	1.58cB (83.6%)
0: 12	2.86cB (100%)	1.78cC (100%)	0.56cC (100%)	1.89dC (100%)

3 讨论

由 NFT 水培中叶用莴苣生长发育与 Ca 营养的关系可以看出, Ca 缺导致新叶分化速度减慢, 叶片狭长, 肉薄, 叶干鲜样质量降低, 产量降低。即植株中 Ca 积累与植株生长量不成正比, 说明 Ca 素营养的复杂性。缺 Ca 导致缘腐病发生是制约水培叶用莴苣高产优质, 周年均衡供应的关键。李式军等^[6]曾以水培叶用莴苣为材料进行耐缺 Fe 胁迫品种的筛选及其生理特性研究, 为提高营养有效性, 拓展叶用莴苣种植范围提供了依据。与 Fe 营养类似, 研究 Ca 素与其它元素间的相互关系及其对叶用莴苣生长发育的影响, 对解决叶用莴苣 Ca 营养失调, 克服生理病症, 无疑具有重要作用。研究表明, 同一植株越靠近内叶, Ca 含量越低, 说明 Ca 素极难移动, 缺 Ca 现象常发生在生长中后期的新生叶上, 从而导致叶用莴苣中心叶附近易产生缘腐病, 这与人^[7]报道一致。

试验结果表明, Ca 素营养对 N、P 吸收影响较小而对 K^+ 的吸收则具有双重作用, 一方面适量 Ca 能激活质膜上与离子运输有关的酶 (如 ATP 酶), 增强膜上 K^+ 的渗透^[8], 促进 K^+ 吸收; 另一方面, 由于植株对 K^+ 的吸收还与根的生长状况有关^[9], 而 Ca 浓度过高, 抑制了根系生长, 从而使 K^+ 吸收

减少。此外, 由于 Ca 与 Mg 间存在离子拮抗现象, Ca 浓度过高会影响 Mg 的吸收。就 Ca 素营养而言, 适宜 Ca 水平既要满足作物所需 Ca 素含量, 又要与其它无机物不致产生拮抗作用, 以免影响养分均衡吸收。

与大多蔬菜喜 NO_3^- -N 不同, 叶用莴苣可以充分利用 NH_4^+ -N。在适宜 NO_3^- -N 与 NH_4^+ -N 比例内, 提高 NH_4^+ -N 含量, 叶用莴苣生育速度加快, 生长良好。但植株中 Ca 含量降低, 尤以内叶降低最多, 说明 NH_4^+ -N 与 Ca^{2+} 吸收有显著的拮抗关系, NH_4^+ -N 用量过多, 可诱发 Ca 素营养失调, 导致缘腐病发生。因此, 从保证 Ca 素营养, 促进叶用莴苣生长发育的两方面综合考虑, NH_4^+ -N 与 NO_3^- -N 应保持适当比例。具体比值因品种、环境因子、栽培条件等而异, 需进一步研究。

参考文献:

- 1 Bangerth F. Calcium related physiological disorders of plants Annu. Rev. phytopathol., 1979, 17: 97~ 122
- 2 安志信, 鞠佩华, 苏幼梅, 等. 大白菜干烧心的发生和心叶补钙效果的研究. 中国蔬菜, 1985 (2): 13~ 16
- 3 Atherton J G, Rudich J 编著. 番茄. 郑光华, 沈征言译. 北京: 北京农业大学出版社, 1989. 309~ 310
- 4 农耕と园艺編集部. レタス生理と栽培技术. 东京: 诚文堂新光社, 1986. 41~ 42
- 5 板木利隆, 佐佐木皓二, 宇田川雄二. 养液栽培の实用技术. 东京: 农业电化协会, 1995. 26~ 51
- 6 李式军, 汪李平. 水培生菜耐缺铁胁迫品种的筛选及其生理特性研究. 园艺学报, 1995, 22 (2): 147~ 152
- 7 Barta D J, Tibbitts T W. Calcium localization in lettuce leaves with and without tipburn: Comparison of Controlled-environment and field grown plants. J. Am. Soc. Hortic. sci., 1991, 116: 870~ 875
- 8 Lynck J, Cramer G R, Lauchli A. Salinity reduces membrane associated Calcium in corn root protoplasts. Plant physiol., 1987, 83: 390~ 394
- 9 Cramer G R, Lauchli A, Epstein E. Effects of NaCl and CoC/Z on ion activities in Complex nutrient Solutions and root growth of Cotton. Plant physiol., 1986, 81: 792~ 797

Effects of Calcium on Nutrient Absorption and Growth and Development of *Lactuca sativa* var. *longifolia* Lam. in Nutrient Film Technique Culture

Fan Shuangxi¹ and Ito Tadashi²

(¹Department of Horticulture, Beijing Agricultural College, Beijing 102206, China; ²Faculty of Horticulture, Chiba University, Matsudo 271- 648, Japan)

Abstract: Mutual relations between calcium (Ca) and other main elements and the effects of Ca on the growth and development of lettuce in NFT culture were studied. Results showed that Ca deficiency resulted in a reduction of Chlorophyll, an increase in the incidence of tipburn and a decrease of both fresh and dry weigh, all these changes are the major reasons of low yield and bad quality. During the mid- and later growing period, Ca disturbance was easily appeared in inner leaves of plant. Assimilation of potassium (K) and magnesium (Mg) was retarded by excessive Ca, while that of nitrogen (N) and phosphor (P) was little affected. Ca was less effective if the proportion of NH_4^+ -N in nutrient solution was increased.

Key words: Nutrient film technique; Calcium; Lettuce; Nutrient peculiarity; Growth and development