

# 碳酸氢根和铵态氮共同对菜豆生长及养分吸收的影响

田霄鸿 李生秀 宋书琴

(西北农林科技大学资源环境学院, 杨凌 712100)

**摘要:** 以菜豆为材料进行水培试验, 探讨了高浓度  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  与  $\text{HCO}_3^-$  共存介质对菜豆生长发育及其营养吸收的影响, 结果表明: 以  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  为主要氮源时, 菜豆生长状况最好; 以  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  为主要氮源且无  $\text{HCO}_3^-$  存在时, 培养前期菜豆根系就发生受害现象, 叶片出现萎蔫; 但加入  $\text{HCO}_3^-$  后, 随着营养液中  $\text{HCO}_3^-$  浓度从 0 升高到 13.0 mmol/L, 菜豆长势逐渐改善, 表明  $\text{HCO}_3^-$  与  $\text{NH}_4^+$  以较合适的比例共存于介质中可明显减轻二者非共存对菜豆生长的抑制作用。同一处理, 菜豆整株对主要营养元素吸收量的次序为:  $\text{N} > \text{K} > \text{P} > \text{Ca} > \text{Mg} > \text{Fe} > \text{Mn}$ , 以  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  为主要氮源时, 随  $\text{HCO}_3^-$  浓度升高, 菜豆对 N、P、Ca、Mn 的吸收量逐渐增大。以  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  为主要氮源, P、Fe、Mn 元素在根部出现累积, 而以  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  为主要氮源时, 随  $\text{HCO}_3^-$  浓度增加, N、P、Ca、Mn 在根部亦有累积现象。

**关键词:** 水培;  $\text{HCO}_3^-$ ;  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ; 离子拮抗; 菜豆

**中图分类号:** S 643.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 0513-353X (2002) 04-0337-06

多数蔬菜偏好  $\text{NO}_3^-\text{-N}$ , 因而无土栽培所使用的营养液配方中氮源大多以  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  为主,  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  为辅<sup>[1-3]</sup>。另一方面, 蔬菜也极易累积  $\text{NO}_3^-\text{-N}$ <sup>[4]</sup>。水培期间, 蔬菜体内累积的  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  完全来自营养液。以  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  为主要 N 源虽有利于蔬菜的生长, 但累积的  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  尽管无害于蔬菜本身, 却会大大降低它的卫生品质, 危害摄食它的人和其它动物的健康<sup>[5]</sup>。多供应  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ , 蔬菜体内就会减少  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  积累。一般认为高浓度  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  对植物生长有毒害作用, 会使植物生长发育严重受阻<sup>[5]</sup>。我们的研究表明<sup>[6]</sup>, 以蒸馏水作水培介质, 与单独供应  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  相比, 等量供应  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  与  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  或单独供应  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  时, 莴笋和菠菜的生长均受到极显著的抑制, 且单独供应  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  时生长量最低。既要尽可能多供应  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ , 以降低蔬菜体内  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  含量, 又要设法使作物正常生长免受氨害, 是一项很有意义的工作。我们发现: 以普通自来水作为水培介质, 先用  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  为唯一氮源培养, 再以  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  为主要氮源培养, 会大大促进莴笋和菠菜的生长发育, 以完全用  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  为 N 源时生长量最大<sup>[6]</sup>。值得深入探讨的是, 采用自来水为水培介质为什么能拮抗高浓度  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  对作物生长的抑制作用, 究竟自来水中哪种成分缓解或抵消了铵态氮毒害。弄清这些问题, 有助于深化对离子间相互作用及对  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  营养作用的认识, 拓宽  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  在营养液中的应用范围。

据报道, 石灰性土壤地区灌溉水中  $\text{HCO}_3^-$  浓度较高时对作物生长十分不利, 原因之一是  $\text{HCO}_3^-$  能减少根系吸收的养分由茎向叶片和生殖器官的转移, 对 P、Ca、Mg、Fe、Mn 的影响极大<sup>[7]</sup>; 石灰性土壤地区的水稻田中发生的缺 Zn 现象, 通常是水中存在  $\text{HCO}_3^-$  的缘故<sup>[8]</sup>。过多的  $\text{HCO}_3^-$  既影响蛋白质合成和呼吸作用, 也降低养分的吸收量, 导致不少植物发生失绿<sup>[9-11]</sup>。根据过去的试验, 我们设想, 高浓度的  $\text{HCO}_3^-$  和高浓度的  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  共存于生长介质中时, 对植物生长的胁迫作用未必会加剧, 也许二者共存可以在一定程度上减轻对植物生长的危害, 甚至促进作物生长。为此, 我们选择菜豆作为供试作物进行水培, 在蒸馏水中添加  $\text{NaHCO}_3$ , 形成不同浓度的  $\text{HCO}_3^-$ , 以研究  $\text{HCO}_3^-$  是否可

收稿日期: 2001-07-10; 修回日期: 2001-09-24

基金项目: 国家自然科学基金重大项目 (49890330); 农业倾斜项目 (30070429); 国家重点基础研究项目资助 (G1999011707)

以拮抗高浓度  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  对植物的毒害作用。

## 1 材料与方 法

供试菜豆品种为‘地豆王一号’。精选大小一致、饱满的种子，用 55℃ 热水浸泡 15 min，0.1%  $\text{HgCl}_2$  溶液浸泡 10 min，再在室温下用自来水浸泡 3 h。取出种子，平铺在吸水纸上，上盖一层湿纱布，保湿透气过夜。处理好的种子点播在装有蛭石的塑料大盆中。出苗后认真进行水分和温度管理。3 周后从蛭石中取生长一致的幼苗，洗净根部，定植于盛有 3.5 L 营养液的棕色塑料盆中，每盆 13 株，放在室内阴暗处缓苗 2 d，期间进行通气，然后在温室中进行预培养。

预培养阶段（3 周）：以自来水配制营养液， $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 、 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 、 $\text{KH}_2\text{PO}_4$ 、 $\text{K}_2\text{SO}_4$ 、 $\text{MgSO}_4$  浓度分别是 7.683、1.795、2.574、1.437、4.475 mmol/L<sup>[1]</sup>； $\text{H}_3\text{BO}_3$ 、 $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{H}_2\text{MoO}_4$  分别为 2.86、1.81、0.22、0.08 和 0.02 mg/L（原配方中的  $\text{H}_2\text{MoO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  用  $\text{H}_2\text{MoO}_4$  代替<sup>[12]</sup>）， $\text{EDTA-Fe}$  2.8 mg/L<sup>[6]</sup>。

正式培养阶段（亦为 3 周）：以蒸馏水配制营养液，共设 4 个处理（表 1），重复 4 次。处理 1 为营养液原配方，处理 2、3、4 调整了原配方中的  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$  浓度，减少的  $\text{Ca}^{2+}$  用  $\text{CaCl}_2$  补充（加入量为 799.76 mg/L）。 $\text{HCO}_3^-$  由  $\text{NaHCO}_3$  提供<sup>[8,9]</sup>；低浓度  $\text{HCO}_3^-$  为 6.5 mmol/L，相当于平时当地自来水中  $\text{HCO}_3^-$  含量<sup>[6]</sup>；高浓度加倍到 13.0 mmol/L。

预培养及正式培养阶段前期每 2 d 每盆加 10 滴 3%  $\text{H}_2\text{O}_2$ ，后期每天加 6 滴，加入后搅拌，使营养液中有足够氧气<sup>[12]</sup>。营养液每周更换 1 次。培养后期根据营养液消耗情况每天及时补充蒸馏水。进行正式处理前，根据预培养阶段的长势，把菜豆分成 4 组（每组为 1 次重复），试盆采用随机区组方式排列，放置在自然的光温条件下，下雨前搬回温室。

收获时分根、茎、叶 3 部分（其中根先用自来水再用蒸馏水洗净、吸干），经 105℃ 杀青 15 min 后，在 60℃ 下烘干，称质量，粉碎备用。样品用  $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}_2$  消解后（包括  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  的消解），分别用奈氏比色法、钼钒黄比色法和火焰光度计法测定全 N、全 P、全 K<sup>[13]</sup>。定量称取样品，在 550℃ 下灰化 6 h 后，用 2 mL 浓  $\text{HNO}_3$  溶解灰分并用 2%  $\text{HNO}_3$  溶液转移、洗滤、定容至 50 mL 容量瓶中，用日立 180-80 原子吸收分光光度计测定 Ca、Mg、Fe、Mn。用奈氏比色法、紫外分光光度计法、双指示剂滴定法分别测定营养液中的  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$  和  $\text{HCO}_3^-$ <sup>[13]</sup>。

## 2 试验结果

### 2.1 不同形态 N 素配比及 $\text{HCO}_3^-$ 对菜豆生长发育的影响

试验结果表明（表 2），以  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  为主要氮源的处理（处理 1， $\text{NH}_4^+\text{-N} \text{ NO}_3^-\text{-N} = 19 \ 81$ ），根、茎、叶及整株生长量显著高于其它处理。以  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  为主要氮源，但未加入  $\text{HCO}_3^-$  时（ $\text{NH}_4^+\text{-N} \text{ NO}_3^-\text{-N} = 95 \ 5$ ， $\text{HCO}_3^-$  浓度为 0，即处理 2），根、茎、叶及整株生长量分别仅为处理 1 的 47.7%、45.2%、35.0% 及 40.3%，生长受到抑制。以  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  为主要氮源的 3 个处理（处理 2、3、4， $\text{NH}_4^+\text{-N} \text{ NO}_3^-\text{-N}$  均为 95 5），营养液中  $\text{HCO}_3^-$  浓度 0~13.0 mmol/L 的范围内，随浓度升高生长量有一定程度增加，根系增加趋势最为明显。这表明与高浓度  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  而不添加  $\text{HCO}_3^-$ （处理 2）相比，高浓度  $\text{HCO}_3^-$  与高浓度  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  共存（处理 4）可能首先改善了根系的生长条件，使根系获得了较高的生长量， $\text{HCO}_3^-$  与  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  在一定程度上彼此缓解或抵消了对植物的毒害作用。当  $\text{HCO}_3^-$  加入量为

表 1 试验各处理中  $\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{NH}_4^+$ 、 $\text{NO}_3^-$  的起始浓度

处理编号 Treat. No.	$\text{HCO}_3^-$	$\text{NH}_4^+\text{-N}$	$\text{NO}_3^-\text{-N}$	$\text{NH}_4^+\text{-N} \text{ NO}_3^-\text{-N}$
1	0	3.60	15.36	19 81
2	0	18.01	0.95	95 5
3	6.5	18.01	0.95	95 5
4	13.0	18.01	0.95	95 5

当地自来水中通常含量的 2 倍时 (13.0 mmol/L, 处理 4), 根、茎、叶及整株的生长量分别为处理 1 的 77.3 %, 66.3 %, 46.3 % 及 57.5 %。除根系外,  $\text{HCO}_3^-$  对茎、叶及整株生长量的影响并未达到 5 % 的差异显著性水准。

试验中也观察到, 主要供应  $\text{NO}_3^-$ -N (处理 1), 菜豆根系和茎叶生长发育均正常, 主要供应  $\text{NH}_4^+$ -N 而不添加  $\text{HCO}_3^-$  (处理 2), 菜豆根系最早变黑, 培养后期叶片大量脱落; 而高浓度  $\text{HCO}_3^-$  与高浓度  $\text{NH}_4^+$ -N 共存时 (处理 4), 根系发育接近正常, 培养后期叶片脱落较少。有研究表明, 高浓度  $\text{HCO}_3^-$  对菜豆生长有显著抑制作用<sup>[7]</sup>, 但本试验中高浓度  $\text{HCO}_3^-$  与高浓度  $\text{NH}_4^+$ -N 共存于营养液中时菜豆长势却较好。从根冠比来看, 高浓度  $\text{NH}_4^+$ -N 对茎叶生长的抑制程度更大。

表 2 不同形态 N 素配比及  $\text{HCO}_3^-$  对菜豆生长的影响

处理 Treat.	根 Root	茎 Stem	叶 Leaf	整株 Whole plant	根冠比 Ratio of Root/ Shoot
1	4.4 ±1.3 a	10.4 ±2.9 a	16.0 ±3.9 a	30.8 ±8.0 a	0.17
2	2.1 ±0.2 c	4.7 ±0.3 b	5.6 ±0.8 b	12.4 ±1.1 b	0.20
3	2.5 ±0.3 bc	6.0 ±1.1 b	6.3 ±0.5 b	14.8 ±1.7 b	0.20
4	3.4 ±0.9 b	6.9 ±2.0 b	7.4 ±2.3 b	17.7 ±5.0 b	0.24

注: 用 LSD 法进行处理间平均数的多重比较<sup>[12]</sup>,  $\alpha=0.05$ , 以下各表同。 Note: The same letter in each column indicating not significant at 0.05 level using LSD for multiple comparison. This indication is true for all the following tables.

## 2.2 不同形态 N 素配比及 $\text{HCO}_3^-$ 对菜豆吸收营养元素的影响

### 2.2.1 对大量元素吸收的影响

从表 3、表 4 可以看出, 同一处理下, 无论是各个器官还是整株, 营养元素吸收量最大的是 N, 依次为 K、P、Ca, Mg 最少。无论哪一种元素的吸收量,  $\text{NO}_3^-$ -N 为主要 N 源时都显著高于  $\text{NH}_4^+$ -N 为主要氮源。

表 3 不同形态 N 素及  $\text{HCO}_3^-$  对菜豆吸收 N、P、K 的影响

处理 Treat.	吸氮量 Nitrogen uptake				吸磷量 Phosphorus uptake				吸钾量 Potassium uptake			
	根 Root	茎 Stem	叶 Leaf	整株 Whole plant	根 Root	茎 Stem	叶 Leaf	整株 Whole plant	根 Root	茎 Stem	叶 Leaf	整株 Whole plant
1	167.5 a	252.5 a	611.8 a	1031.8 a	101.8 a	91.7 a	193.9 a	387.4 a	150.9 a	276.0 a	453.6 a	880.5 a
2	79.3 c	175.0 a	224.7 b	479.0 b	32.6 c	46.6 b	106.3 b	185.5 b	56.6 b	131.8 b	156.4 b	344.8 b
3	81.0 c	255.7 a	222.6 b	559.3 b	65.8 bc	49.1 b	103.8 b	218.7 b	32.1 b	126.1 b	162.5 b	320.7 b
4	123.7 b	262.7 a	304.9 b	691.3 b	98.4 ab	63.3 ab	110.2 b	271.9 b	49.7 b	119.1 b	182.6 b	351.4 b

以  $\text{NH}_4^+$ -N 为主要氮源时,  $\text{HCO}_3^-$  浓度 0 ~ 13.0 mmol/L, 根、茎及整株对 N、P 的吸收量随浓度升高而呈上升趋势, 高浓度  $\text{NH}_4^+$ -N 的营养液中添加  $\text{HCO}_3^-$  有助于 N、P 的吸收, 但这种促进作用主要体现在根及茎中, 根中尤为明显。处理 4 的根部吸 N 量与吸 P 量显著高于处理 2, 表明 N、P 两种元素在根部发生了累积, 而向地上部的运移受到阻碍。P 是植物体中较易迁移的元素, 但本试验中营养液中高浓度  $\text{HCO}_3^-$  与高浓度  $\text{NH}_4^+$ -N 同时存在使得 P 在根、茎部位较多地累积起来, 向叶片的运移变得困难;  $\text{NH}_4^+$ -N 为主要氮源的 3 个处理之间, 叶片的 N、P 吸收量均无显著性差异; 与主要供给  $\text{NO}_3^-$ -N 相比, 主要供给  $\text{NH}_4^+$ -N 时菜豆各器官吸 K 量大幅度下降, 可能是  $\text{K}^+$  与  $\text{NH}_4^+$  在吸收上存在着竞争作用,  $\text{HCO}_3^-$  的添加对吸 K 量未产生明显影响。

以  $\text{NO}_3^-$ -N 为主要氮源时, 植株对 Ca、Mg 两种元素的吸收量高于以  $\text{NH}_4^+$ -N 为主要氮源的处理 (表 4)。以  $\text{NH}_4^+$ -N 为主要氮源,  $\text{HCO}_3^-$  在供试浓度范围内, 随着浓度升高, 根的吸 Ca 量急剧上升, 当营养液中的  $\text{HCO}_3^-$  的浓度分别为 6.5、13.0 mmol/L 时, 根系吸 Ca 量约为  $\text{NO}_3^-$ -N 为主要氮源时的

2 倍和 4 倍。但吸收的 Ca 仅仅累积在根部, 并未向地上部迁移, 茎、叶的吸 Ca 量未受到  $\text{HCO}_3^-$  的影响。处理 2、3、4 中, 菜豆吸 Mg 量虽有上升趋势, 但处理间差异并不显著。

表 4 不同形态 N 素及  $\text{HCO}_3^-$  对菜豆吸收 Ca、Mg 的影响

Table 4 Influence of nitrogen forms and bicarbonate concentration on calcium and magnesium uptake by kidney bean (mg/pot)

处理 Treat.	吸钙量 Calcium uptake				吸镁量 Magnesium uptake			
	根 Root	茎 Stem	叶 Leaf	整株 Whole plant	根 Root	茎 Stem	叶 Leaf	整株 Whole plant
1	20.9 c	37.9 a	126.9 a	185.6 a	15.9 a	22.9 a	70.1 a	108.9 a
2	9.6 c	16.7 b	52.3 b	78.6 c	5.7 b	14.0 a	28.9 b	48.6 b
3	42.7 b	17.7 b	57.9 b	118.3 bc	6.6 b	16.0 a	34.1 b	56.7 b
4	79.1 a	16.1 b	54.2 b	149.5 ab	10.1 b	16.8 a	36.4 b	63.3 b

### 2.2.2 对 Fe、Mn 吸收的影响

表 5 表明,  $\text{NO}_3^-$ -N 为主要氮源处理的菜豆对 Fe、Mn 的吸收量显著高于以  $\text{NH}_4^+$ -N 为主要氮源的处理。处理 2 中, 菜豆的吸 Fe 量与吸 Mn 量均低于处理 1。 $\text{NH}_4^+$  与  $\text{Mn}^{2+}$  两种离子在吸收上有明显的拮抗作用, 相互竞争根表面阳离子的结合位点<sup>[14]</sup>, 导致根系对 Mn 吸收量降低。但在  $\text{NH}_4^+$ -N 为主要氮源的营养液中加入  $\text{HCO}_3^-$ , 菜豆根的吸 Mn 量随  $\text{HCO}_3^-$  浓度增高而迅速增加, 处理 4 的吸 Mn 量甚至还高于处理 1, 但主要累积在根中, 未向茎、叶中迁移。

表 5 不同形态 N 素及  $\text{HCO}_3^-$  对菜豆吸收 Fe、Mn 的影响

Table 5 Influence of nitrogen forms and bicarbonate concentration on iron and manganese uptake by kidney bean

处理 Treat.	吸铁量 Iron uptake (mg/pot)				吸锰量 Manganese uptake ( $\mu\text{g}/\text{pot}$ )			
	根 Root	茎 Stem	叶 Leaf	整株 Whole plant	根 Root	茎 Stem	叶 Leaf	整株 Whole plant
1	4.24 a	1.94 a	5.39 a	11.57 a	759.5 a	281.4 a	874.5 a	1915.4 a
2	2.32 b	1.02 b	1.85 b	5.19 b	210.7 b	109.9 b	378.4 b	699.0 c
3	1.85 b	1.28 b	1.98 b	5.11 b	615.4 a	90.6 bc	354.8 b	1060.8 b
4	2.18 b	1.29 b	2.01 b	5.48 b	808.9 a	77.9 c	307.8 b	1194.6 b

### 2.3 水培菜豆对铵、硝态氮和碳酸氢根的吸收

对正式培养期间第 2 周培养前后的营养液的测定表明 (表 6): 以  $\text{NO}_3^-$ -N 为主要氮源的处理 (处理 1), 菜豆对  $\text{NO}_3^-$ -N 的吸收率达 75.2%, 吸收量亦十分可观。以  $\text{NH}_4^+$ -N 为主要 N 源的 3 个处理中, 虽然  $\text{NO}_3^-$ -N 均只占总 N 量的 5%, 但菜豆对  $\text{NO}_3^-$ -N 的吸收率最高的达 95.1%, 最低的也达到 75.8%;  $\text{NH}_4^+$ -N 虽然占总 N 量的 95%, 作物最高的吸收率才达到 53.2%。由此看出, 菜豆对  $\text{NO}_3^-$ -N 有极大的偏好性。

测定还表明, 当营养液中  $\text{HCO}_3^-$  的起始浓度为 6.5 mmol/L 时, 菜豆对其吸收率达 75.1%; 起始浓度增至 13.0 mmol/L 时, 吸收率增加至 85.2%, 吸收量分别达 4.88 mmol/L 和 11.08 mmol/L, 可见随着  $\text{HCO}_3^-$  浓度的增高, 菜豆对其吸收量大幅度增加。

## 3 讨论

植物对于  $\text{NH}_4^+$ -N 和  $\text{NO}_3^-$ -N 的适应性或偏好取决于许多因素, 除受吸收机制控制外, 还依赖于植物本身特性 (种类、品种及生育期) 和环境条件<sup>[5]</sup>。 $\text{HCO}_3^-$  对植物也许是可有可无的, 但在石灰性

表 6 菜豆对营养液中  $\text{NO}_3^-$ -N 与  $\text{NH}_4^+$ -N 的吸收率与吸收量

Table 6 Uptake percentage and amount of  $\text{NO}_3^-$ -N and  $\text{NH}_4^+$ -N in nutrient solution by beans

处理 Treat.	吸收率 Uptake percentage (%)		吸收量 Uptake amount (mmol/L)	
	$\text{NO}_3^-$ -N	$\text{NH}_4^+$ -N	$\text{NO}_3^-$ -N	$\text{NH}_4^+$ -N
	1	75.2	59.8	11.55
2	94.3	16.7	0.90	3.00
3	95.1	53.2	0.90	9.57
4	75.8	36.7	0.72	6.60

注: 表中数据为 4 次重复的平均值。

Note: The data in the table are the averages of 4 replicates.

土壤溶液或灌溉水中存在的高浓度  $\text{HCO}_3^-$ ，却是植物不能正常生长的重要影响因素之一<sup>[9~11]</sup>。在以蒸馏水为培养水源时，单独供应铵态氮会显著抑制作物生长，这已为许多研究所证实<sup>[6,15~17]</sup>。一般认为单纯供给植物铵态氮将伤害其根系<sup>[5]</sup>，过量的铵态氮还能抑制植物对 K 与 Ca 等元素的吸收<sup>[15,17]</sup>。本试验条件下，处理 2 与处理 3 ( $\text{NH}_4^+-\text{N}$  为主要 N 源) 的菜豆根系受害早而明显，侧根数量减少，后期有的根系腐烂、叶片萎蔫，有的植株死亡。据研究，灌溉水中的高浓度  $\text{HCO}_3^-$  对土壤结构和作物生长都极为有害。它既是石灰性土壤诱导性缺 Fe 的主要原因，也是石灰性土壤水稻缺 Zn 的主要因素。 $\text{HCO}_3^-$  不仅可以抑制 Zn、Fe 的吸收，也能抑制 K、N、P、Mg 的吸收，抑制吸收主要通过削弱根系活力起作用<sup>[5,8~11]</sup>。因此，高浓度  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  和高浓度  $\text{HCO}_3^-$  同为植物生长的限制因素。李春花等<sup>[7]</sup> 研究表明，菜豆对  $\text{HCO}_3^-$  非常敏感，在  $\text{HCO}_3^-$  为 5 mmol/L 时，与无  $\text{HCO}_3^-$  相比菜豆生物产量下降 1 倍多； $\text{HCO}_3^-$  达 15 mmol/L，除根部尚有少量生物量外，植株基本死亡。但本试验结果显示， $\text{NH}_4^+-\text{N}$  和  $\text{HCO}_3^-$  均以高浓度共存时明显减弱对菜豆生长的抑制作用，彼此缓解对方的毒害作用。缓解毒害的生理机制可能是：加入  $\text{NaHCO}_3$  会提高营养液的 pH，使  $\text{OH}^-$  的浓度增加，从而加速  $\text{NH}_4^+$  向  $\text{NH}_3$  转化，而  $\text{NH}_3$  是高浓度  $\text{NH}_4^+$  存在时植物根系受害的直接原因<sup>[5]</sup>。所以，pH 升高能够缓解毒害似乎不能成立。另一种可能是根系吸收  $\text{HCO}_3^-$  与  $\text{NH}_4^+$  时的直接相互作用结果，也可能是加入的  $\text{HCO}_3^-$  与其它离子间发生了复杂的相互作用。营养液配方中一般是不需要  $\text{HCO}_3^-$  这种成分的。总之，试验结果表明  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  为主要 N 源时，随  $\text{HCO}_3^-$  浓度升高，菜豆的生长状况逐渐改善，对 N、P、Ca、Mg、Mn 的吸收量也有不同程度增加，但菜豆的生长并未达到最佳状态，处理间的差异大都未达显著性水准。这是否与生物试验的环境原因有关，或是与  $\text{NH}_4^+$  与  $\text{HCO}_3^-$  的配比是否合适有关，都待进一步说明，而缓解毒害的生理机制更待进一步研究。

#### 参考文献：

- 1 王鹤生编著. 花卉蔬菜无土栽培技术. 长沙: 湖南科学技术出版社, 1993. 35~53
- 2 邢禹贤编著. 无土栽培原理与技术. 北京: 中国农业出版社, 1990. 100
- 3 连兆煌主编. 无土栽培原理与技术. 北京: 中国农业出版社, 1994. 123~126
- 4 王朝辉, 李生秀, 田霄鸿. 不同氮肥用量对蔬菜硝态氮累积的影响. 植物营养与肥料学报, 1998, 4 (1): 22~28
- 5 Mengel K, Kirkby E A. Principles of Plant Nutrition. 4th edition. Wörblauferr-Bern: International Potash Institute, 1987. 247~284
- 6 田霄鸿, 王朝辉, 李生秀. 不同氮素形态及配比对蔬菜生长和品质的影响. 西北农业大学学报, 1999, 27 (2): 6~10
- 7 李春花, 褚天铎, 杨清, 等. 灌溉水中  $\text{HCO}_3^-$  对菜豆吸收利用土壤有效养分的影响. 植物营养与肥料学报, 1997, 3 (4): 329~333
- 8 徐晓燕, 王岗, 关超. P 和  $\text{HCO}_3^-$  对水稻 Zn 吸收速率和 Zn 含量的影响. 山西农业科学, 1998, 26 (3): 52~55
- 9 Garg B K, Garg O P. Influence of sodium bicarbonate on growth, nutrient uptake and metabolism of pea, Annals of Arid Zone, 1986, 25 (1): 69~72
- 10 Yang X, Romheld V, Marschner H. Effect of bicarbonate and root zone temperature on uptake of Zn, Fe, Mn, and Cu by different rice cultivars (*Oryza sativa* L.) growth in calcareous soil. Plant and Soil, 1993, 155/156: 441~444
- 11 Malik R S, Karwasra S P S, Khera A P. Effect of chloride and bicarbonate on sulphur and dry matter yield of Raya. Annals of Arid Zone, 1992, 31 (3): 195~197
- 12 毛达如主编. 植物营养研究方法. 北京: 北京农业大学出版社, 1993. 18, 22, 192~210
- 13 南京农业大学主编. 土壤农化分析. 北京: 农业出版社, 1994. 213~219
- 14 邹春琴, 李春俭, 张福锁, 等. 铁和不同形态氮素对玉米植株吸收矿质元素及其在体内分布的影响. 植物营养与肥料学报, 1996, 2 (3): 224
- 15 张春兰, 高祖明, 张辉栋, 等. 氮素形态和硝态氮与铵态氮比对菠菜生产和品质的影响. 南京农业大学学报, 1990, 13 (3): 70~74
- 16 杜猛军, 张建仪, 赵福康. 不同  $\text{NO}_3^--\text{N}$  与  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  比例对蔬菜的产量和品质的影响. 杭州农业科技, 1992 (4): 1~3
- 17 蒋名川, 解淑贞编著. 蔬菜施肥. 北京: 农业出版社, 1985. 3~4

## Effect of Coexistence of Bicarbonate and Ammonium in Nutrient Solution on Growth and Nutrient Uptake of Kidney Beans

Tian Xiaohong, Li Shengxiu, and Song Shuqin

(College of Resources and Environment sciences, Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, Yangling 712100, China)

**Abstract :** Solution culture was used to study the effect of different combination between ammonium and bicarbonate coexisted in the medium on growth, nutritional element uptake by different kidney organs kidney beans. The obtained results showed that: supplying nitrate nitrogen as main N source, the growth status was the best; supplying ammonium nitrogen as main N source without bicarbonate in the nutrient solution, the roots of kidney beans were harmed during the early growth period, and the wilting phenomena of leaves took place. In nutrient solution having ammonium as main N source with addition of bicarbonate, the growth status became increasingly better with the increase of bicarbonate concentration. This showed bicarbonate and ammonium coexisting in a moderate proportion could be against the inhibition to beans growth. Under the same treatment, the sequence of uptake amounts of several nutrient elements by whole plants of beans were:  $N > K > P > Mg > Fe > Mn$ ; When the ammonium nitrogen as main N source in the nutrient solution, with increasing bicarbonate concentration in nutrient solution, the N, P, Ca, and Mg uptake amounts were also increased. Mainly supplying  $NO_3^-$ -N in the solution favored for the accumulation of P, Fe, and Mn in the root parts, and mainly supplying  $NH_4^+$ -N, with increasing bicarbonate concentration in the nutrient solution, the accumulation of N, P, Ca, Mn in the roots took place.

**Key words :** Hydroponics experiments; Bicarbonate; Ammonium stress; Ion antagonism; Kidney beans

### 欢迎订阅 2003 年下列期刊

《中国农业科学》(中、英文版) 是中国农业科学院主办的综合性学术刊物。均为月刊, 大 16 开, 120 页。中文版邮发代号: 2-138, 国外代号: BM43, 定价 22 元, 全年 264 元。英文版邮发代号: 2-851, 国外代号: 1519M, 国内定价 25 元, 全年 300 元, 国外定价 25 美元, 全年 300 美元。地址: 100081 北京中关村南大街 12 号, 电话: 010-68919808, 68975146, 68976244 (传真); 电子邮件: zgnykx@mail.caas.net.cn; 网址: <http://www.ChinaAgriSci.com>

《林业科学》 是中国林学会主办的学术刊物。双月刊, 单月 25 日出版, 大 16 开本, 176 页, 定价 22 元, 全年 132 元。邮发代号: 82-6, 全国各地邮局均可订阅; 国外总发行为中国国际图书贸易总公司, 国外邮发代号: BM44。编辑部地址: 北京万寿山后中国林学会, 邮编: 100091, 电话: (010)62889820 E-mail: linykx@caf.forestry.ac.cn

《中国农学通报》 是中国农学会主办的学术期刊。双月刊, 国内外公开发行, 大 16 开本, 150 页, 每期定价 10 元, 全年 60 元。邮发代号 2-772。如错过邮局订阅, 可与本刊直接联系订阅。订购款汇: 北京市朝阳区麦子店街 20 号楼, 中国农学会编辑出版部 (开户银行: 北京农行朝阳支行, 帐号: 873-25428, 户名: 中国农学通报编辑部), 邮政编码: 100026, 电话: (010) 64194480, 传真: (010) 64194705, E-mail: edit@cav.net.cn, 网址: <http://zntb.chinajournal.net.cn>

《果农之友》 是中国农业科学院郑州果树研究所主办的科普刊物。2003 年改为月刊, 大 16 开, 48 页。每期定价 4 元, 全年 48 元。全国各地邮局均可订阅, 邮发代号: 36-225。漏订者可直接汇款到编辑部邮购, 欢迎集体订阅, 每订 5 份, 赠送 1 份。编辑部地址: 河南省郑州市航海东路南, 中国农业科学院郑州果树研究所《果农之友》编辑部; 邮编: 450009; 电子信箱: gnzy@371.net; 电话: 0371-6815740; 传真: 0371-6815771、6815754。

《中国生态农业学报》 是由中国科学院石家庄农业现代化研究所和中国生态经济学会主办的学术刊物。季刊, 大 16 开本, 每期定价 14.6 元, 全年 58.4 元。邮发代号: 82-973, 全国各地邮局均可订阅, 漏订者可直接汇款至编辑部补订 (全年需另加邮资 12 元)。地址: (050021) 河北省石家庄市槐中路 286 号, 中国科学院《中国生态农业学报》编辑部, 电话: (0311) 5818007。E-mail: editor@ms.sjaziam.ac.cn

《中国生物防治》 是中国农科院生物防治研究所主办的学术刊物。季刊, 季中月 8 日出版, 16 开本, 48 页。国内邮发代号: 2-507, 国外代号: Q812。每册定价 5 元, 全年 20 元。编辑部地址: 北京中关村南大街 12 号, 邮政编码: 100081, 电话: 68919774。