

不同 $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ 比例的氮素营养对棉花氮素代谢的影响*董海荣^{1,2} 李金才^{1**} 李存东¹⁽¹河北农业大学农学院,保定 071001;² 中国农业大学农学与生物技术学院,北京 100094)**Influence of different $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ ratios on nitrogen metabolism of cotton.** DONG Hairong, LI Jincai, LI Cundong (Hebei Agricultural University, Baoding 071001, China). -Chin. J. Appl. Ecol., 2004, 15(4): 728~730.

The influence of different $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ ratios on nitrogen metabolism of cotton was studied under controlled hydroponics. The results showed that compared with single nitrate nutrition, solutions with 25/75, 50/50, 75/25 and 100/0 of $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ significantly increased the soluble protein accumulation in leaves and roots of cotton, and the maximum content of soluble protein in leaves and roots appeared respectively in the solution with 50/50 and 75/25 of $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$. The soluble protein content in roots was increased with the increase of NH_4^+ percentage, but was slightly less in the solution of 100/0 than 75/25, which was probably related to the excess NH_4^+ limiting root metabolism. With the increase of NH_4^+ percentage, the nitrate content in petiole and the nitrate reductase activity in functional blade declined, but ammoniac nitrogen content increased in every organ of cotton. These results showed that foreign nitrogen affected the nitrogen metabolism of cotton in a different way, and the nitrogen absorption by cotton was probably related to different forms of foreign nitrogen.

Key words Cotton, NH_4^+ , NO_3^- , Nitrogen, Metabolism.

文章编号 1001-9332(2004)04-0728-03 中图分类号 S562.01 文献标识码 A

1 引言

近些年来,我国氮素化肥的施用量一直雄居世界之首,然而氮素化肥的利用率却很低^[6],这已经成为一个不争的事实.对于许多旱地作物而言(如小麦、玉米等),施入土壤中的氮素化肥(包括硝态氮、铵态氮和酰胺态氮)在尿酶和硝化细菌的作用下,主要以 NO_3^- 形式被作物吸收或者在土壤中残留下来随水流失,过量的施用化肥造成硝酸盐对水源和食物的污染也就日益引起人们的重视^[1,12,14].混合态氮素营养^[2~4]是近年来国内外学者提出的一个既有利于提高土壤氮素化肥利用率又有利于减少土壤硝酸盐流失及污染的一种新方法.在温室水培条件下通过改变 $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ 比例、大田条件下通过使用硝化抑制剂来达到此目的.棉花是一种陆续开花结铃的双子叶植物,生长在高温多雨的季节,棉田过量施用氮肥更容易造成硝酸盐污染和氮素化肥的浪费,而有关混合态氮素营养在棉田中应用的研究国内外尚属少见.本项研究利用控制条件下的水培试验方法,旨在探讨棉花生长发育过程中其氮素代谢与不同形态氮素比例的关系,确定适合棉花生长发育的氮素营养比例,为改善棉田施肥技术,实现棉田高产高效低污的氮素管理目标提供理论依据.

2 材料与方法

2.1 植株培养

本试验在光照培养室内进行,冀棉 20 为供试品种,将其砂培幼苗移植在 $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ 比例分别为 0/100、25/75、50/50、75/25 和 100/0 的 5 种营养液中,总氮浓度为 5.0 $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$,生物效应灯补充光照 8 $\text{h}\cdot\text{d}^{-1}$ (8:00~16:00),真叶出

现前温度控制在 18~22 $^{\circ}\text{C}$,真叶出现后温度控制在 25~30 $^{\circ}\text{C}$ (整个室内温度由空调控制,棉花叶面温度通过调整灯的高度控制),室内 CO_2 浓度为 330~340 $\mu\text{l}\cdot\text{L}^{-1}$,光通量密度为 1 500 $\mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$.试验采取随机区组设计,3 次重复.水培容器为长 45 cm、宽 33 cm、高 20 cm 的培养箱,上面覆 8 孔泡沫板,每孔定植 1 株棉苗,用海绵包茎以固定植株,现蕾时结束培养.

2.2 营养液配制

营养液采用略做修改的 Hoagland 营养液(表 1).微量元素参照 Hammer 等^[5]的方法配制.为了维持 NH_4^+ 和 NO_3^- 的浓度及离子平衡,每天用 0.1 $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 的 KOH 或 HCl 调节 pH 值至 6.0~6.5,每周更换营养液一次.

表 1 同一总氮浓度(5.0 $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$)下不同 $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ (%)比例的营养液组成Table 1 Composition of nutrient solution for varied $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ percentages at total same nitrogen of 5.0 $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$

项目 Item	$\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ (%)				
	0/100	25/75	50/50	75/25	100/0
$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	1.5	1.0	0.5	0.5	0
KNO_3	2.0	1.75	1.5	0.25	0
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	0	0.625	1.25	1.875	2.5
K_2SO_4	0	0.125	0.25	0.875	1.0
CaSO_4	0	0.25	0.5	0.5	1.0
CaCl_2	0	0.25	0.5	0.5	0.5
KH_2PO_4	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
MgSO_4	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
NaCl	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5

* 河北省自然科学基金资助项目(399119).

** 通讯联系人.

2002-10-25 收稿,2003-03-25 接受.

2.3 氧气供应系统

采用 ACO-008 型小型空气压缩机,每天通气 2 次,每次 1 h.

2.4 测定项目及方法

可溶蛋白含量参照 Read 等^[9]的考马斯亮蓝法测定.硝态氮含量用比色法测定^[15].氨基态氮含量参照文献^[10]介绍的方法测定.植株总氮含量采用半微量凯氏滴定法测定^[8].硝酸还原酶活性采用紫外分光光度法测定^[15].

3 结果与分析

3.1 不同形态氮比例对棉花苗期可溶蛋白含量的影响

与单一 NO_3^- -N 营养相比,增加氨基态氮营养明显提高了根和叶中可溶蛋白含量,而且其对根蛋白的促进效应大于叶蛋白.随着营养液中 NH_4^+ 比例的增加,根中可溶蛋白含量呈明显的增加趋势,只是在单一 NH_4^+ -N 营养下略有下降.而叶片中可溶蛋白含量在 $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ 比例为 50/50 时出现最大值.这表明 NH_4^+ 在营养液中的存在及比例对根和叶中可溶蛋白合成起着十分重要的作用,但棉花根、叶器官对营养液中 $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ 比例的敏感程度不同(图 1).

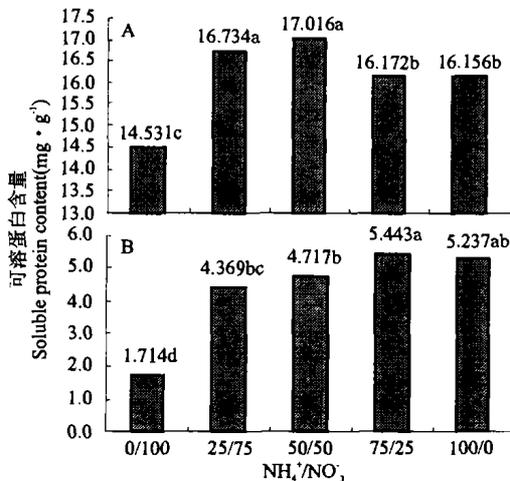


图 1 不同 $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ 比例下叶片(A)和根(B)中可溶蛋白含量
Fig.1 Soluble protein content in leaves and roots under different $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ ratios.

注:a,b,c,d 为在 5% 显著水平下的差异 a, b, c and d were significant at 5% levels of probability, respectively. 下同 The same below.

3.2 不同形态氮比例对棉花苗期硝态氮含量的影响

棉花根系吸收到的未被还原的硝态氮,能够向地上部输送,通过叶柄到达叶片,由于白天光合作用旺盛,在叶片中硝态氮很快被还原,形成氨基酸和蛋白质,因此叶片中硝态氮含量比较少.叶柄是硝态氮运输的通道,硝态氮在其中不被同化.因此,叶柄中硝态氮含量比较多,所以人们常常以叶柄中硝态氮含量来评价棉株体内的氮营养状况.棉花现蕾前,测定其功能叶叶柄中 NO_3^- -N 含量(图 2).营养液中 NO_3^- 所占比例越大,棉花叶柄中 NO_3^- -N 含量越大,而随着 NH_4^+ 比例的增加,棉花叶柄中 NO_3^- -N 含量减少,单一 NH_4^+ -N 营养下达到最小值,充分显示了植物营养环境与其体内生理状态的密切关系.

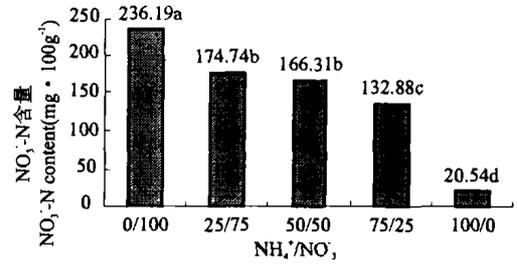


图 2 不同 $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ 比例下叶柄中 NO_3^- -N 含量
Fig.2 NO_3^- -N content in petioles under different $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ ratios.

3.3 不同形态氮比例对棉花苗期各器官中氨基态氮含量的影响

氨基态氮在作物体内氮的运输和储藏方面有重要的作用.与器官中硝态氮含量变化相反,氨基态氮在棉株各器官中的含量随 NH_4^+ 在营养液中所占比例的增加呈增加的趋势,只是其绝对含量最大值出现在 $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ 比例为 75/25 时,而不是 100/0.可能是由于单一 NH_4^+ -N 营养中过多的 NH_4^+ 对棉株的毒害作用影响了对 NH_4^+ 的吸收与同化.从而再度证明,棉株对某种形态氮素的吸收积累量,与这种形态的氮素在根际环境中所占的比例有密切的关系(表 2).

表 2 不同 $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ 比例下棉花各器官中氨基态氮含量比较
Table 2 Comparison of ammoniac nitrogen content in different organs of cotton under different $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ ratios

项目 Item	$\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$	0/100	27/75	50/50	75/25	100/0
相对含量 Relative content (mg·100 g ⁻¹ DW)	根 Root	3.61	18.11	230.61	371.28	367.00
	茎 Stem	2.08	3.56	45.46	73.09	75.31
	叶 Leaf	4.99	7.89	76.22	105.62	97.99
	叶柄 Petiole	4.29	4.11	46.99	74.19	118.56
	绝对含量 Absolute content (mg·plant ⁻¹)	根 Root	0.013 ^c	0.073 ^c	0.941 ^b	1.448 ^a
	茎 Stem	0.019 ^d	0.053 ^b	0.466 ^{bc}	0.630 ^a	0.430 ^c
	叶 Leaf	0.061 ^d	0.127 ^b	1.019 ^{bc}	1.240 ^a	0.880 ^c
	叶柄 Petiole	0.017 ^c	0.025 ^c	0.234 ^b	0.319 ^a	0.230 ^b

注 1:表中统计分析结果用 SAS 所做,且只限于横向分析比较. The statistic analyses in table were done with SAS, and the results were just used to compare the absolute contents among varied $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ ratios in the same organ.

注 2:a, b, c, d 为在 5% 显著水平下的差异. a, b, c and d significant at 5% levels of probability, respectively. 下同 The same below.

3.4 不同形态氮比例对棉花苗期全氮积累与分配的影响

表 3 为不同形态氮比例下棉株各器官中全氮含量.与单一 NO_3^- -N 营养相比, $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ 比(25/75)较低的水平下显著促进了棉株各器官中氮素的积累,使其绝对含量显著增加,但是随着 $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ 比例的增加,这种效应被削弱,这在叶柄中表现尤为明显.同时可以看出,单一 NH_4^+ 营养也不利于各器官中氮素的积累.与此相对应,棉株各器官中氮素的相对含量却没有表现出明显的规律性,这可能与不同处理条件下,各器官的生长效应不同所致.

表 3 不同 $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ 比例下棉株各器官中全氮含量比较
Table 3 Comparison of total nitrogen content in different organs of cotton under different $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ ratios

项目 Item	$\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$	0/100	25/75	50/50	75/25	100/0
相对含量 Relative content (mg·100 g ⁻¹ DW)	根 Root	3.39	3.97	4.01	3.48	2.79
	茎 Stem	1.86	1.47	1.58	1.77	1.39
	叶 Leaf	3.75	3.80	2.49	2.43	2.28
	叶柄 Petiole	4.44	3.63	2.49	2.43	2.28
	绝对含量 Absolute content (mg·plant ⁻¹)	根 Root	12.20 ^b	16.00 ^a	15.72 ^a	13.57 ^b
	茎 Stem	17.00 ^b	21.89 ^a	16.20 ^b	15.26 ^b	7.94 ^c
	叶 Leaf	45.86 ^b	61.14 ^a	50.54 ^a	44.61 ^b	38.08 ^c
	叶柄 Petiole	17.58 ^b	22.11 ^a	12.40 ^c	10.45 ^c	4.42 ^d

3.5 不同形态氮比例对棉花苗期叶片硝酸还原酶活性的影响

硝酸还原酶是一种诱导酶或称之为适应酶。棉花硝酸还原酶活性强弱与叶柄硝态氮含量呈正相关,可以作为评价棉花氮素丰缺及品种是否耐肥的生化指标^[7]。硝酸还原酶作用的直接底物是 NO_3^- ,随着 NO_3^- 浓度的增加其活力相应加强,图4显示的结果正是如此。随着营养液中 NH_4^+ 比例的增加和 NO_3^- 比例的减小,棉花功能叶片中硝酸还原酶活力表现出明显的下降趋势(图3),与功能叶柄中硝态氮含量在不同营养液处理中的变化趋势一致。

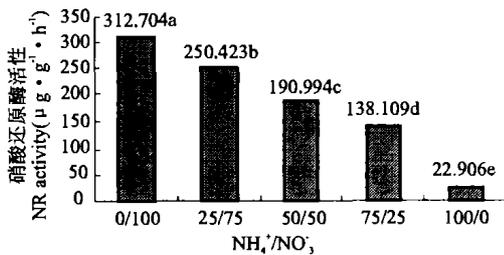


图3 不同 $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ 比例下叶片硝酸还原酶活性

Fig. 3 Nitrate reductase activity in leaves under different $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ ratios.

4 讨论

植株对 NO_3^- 的吸收是逆电化学势进行的,为一主动吸收过程,需要“载体”和能量以克服离子的跨膜电势^[13]。 NO_3^- 进入细胞之后,不仅诱导硝酸还原酶的合成,而且对硝酸还原酶起着稳定作用。关于植株对 NH_4^+ 的吸收机理研究较少,通常认为与 K^+ 的吸收机理相似,可能有共同的载体^[13]。通常棉花叶柄中硝态氮含量与叶片硝态氮含量呈正相关,本研究表明,随着营养液中 NO_3^- 比例的增加和 NH_4^+ 比例的减小,作为硝态氮运输通道的棉花功能叶柄中硝态氮含量相应增加,而功能叶片中吸收氨态氮的量减少。硝酸还原酶作为 NO_3^- 同化过程的第一个酶,其活性受植物生长介质中硝酸盐的诱导,与氮素供应有密切的关系。多数情况下其活性受到产物 NH_4^+ 及某些氨基酸或酰胺的抑制^[11],而随着 NO_3^- 浓度的增加,硝酸还原酶活性增加^[8]。本研究中的水培试验结果表明,随着营养液中 NO_3^- 比例的增加,叶片中硝酸还原酶活性增加,表现了与叶柄中硝态氮含量相同的变化趋势,从而进一步表明,不同形态氮比例可能是通过影响硝酸还原酶活性大小而影响植株对硝态氮的吸收的。

本试验结果同时也表明, $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ 为 25/75~50/50 的混合态氮营养下较单一 NO_3^- 营养下,棉花植株的氮素积累量增加或者说氮素利用效率提高。棉花作为一种陆续开花结铃的双子叶植物,在我国华北大部分地区生长在高温多雨的7、8月份,施入土壤的氨态氮肥和酰胺态氮肥在自然条件很快就会转化为硝态氮,极易造成土壤或水源的污染。由

此,可以推断,自然大田条件下,棉田中施用混合态氮素营养一方面可以提高限量施肥条件下棉花对氮素化肥的吸收利用效率,另一方面可以相应减少特定面积上棉田氮素化肥的施用量,从而一定程度上减少因氮素化肥的施用而造成的污染。

参考文献

- 1 Cai Z-C(蔡祖聪). 2001. A research progress in nitrogen conversion - Anammox and prospects of its application. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), 12(5): 795~798(in Chinese)
- 2 Chen L-J(陈利军), Shi Y(史奕), Li R-H(李荣华), et al. 1995. Synergistic effect of urease inhibitor and nitrification inhibitor on urea-N transformation and N_2O emission. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), 6(4): 368~372(in Chinese)
- 3 Dai T-B(戴廷波), Cao W-X(曹卫星), Jing Q(荆奇). 2001. Effects of nitrogen form on nitrogen absorption and photosynthesis of different wheat genotypes. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), 12(6): 849~852(in Chinese)
- 4 Dai T-B(戴廷波), Cao W-X(曹卫星), Sun C-F(孙传范). 2002. Effects of enhanced ammonium nutrition on content and accumulation of nitrogen and mineral nutrients in wheat plant. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), 13(2): 382~384(in Chinese)
- 5 Hammer PA, Tibbitts TW, Langhans RW. 1989. Baseline growth studies of 'Grand Rapids' lettuce in controlled environments. *Ann Bot*, 63: 643~649
- 6 He H(何华), Zhao S-W(赵世伟), Chen G-L(陈国良). 2000. Effect of different watering and fertilization on N utilization efficiency. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), 11(2): 235~239(in Chinese)
- 7 Mao S-C(毛树春). 1993. Nutrition of the cotton and applying fertilizer. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press. 17~18(in Chinese)
- 8 Nanjing Agricultural University. 1986. Agricultural Chemical Analysis of Soil(Second edition). Beijing: Agricultural Press. 213~216(in Chinese)
- 9 Read SM, Northcote DH. 1981. Minimization of variation in the response to different protein of the coomassie Blue G dyedinding: assay for protein. *Anal Biochem*, 116(3): 53~64
- 10 Shanghai Plant Physiological Research Institute of the Chinese Academy of Sciences, Shanghai Plant Physiological Association. 1999. Modern Plant Physiologic Experiment Guide. Beijing: Science Press. 138~139(in Chinese)
- 11 Sun X(孙羲). 1995. Nutrition Principle of the Plant. Beijing: China Agricultural Press. 62~69(in Chinese)
- 12 Yan W-J(晏维金), Yin C-Q(尹澄清), Sun P(孙濮). 1999. Phosphorus and nitrogen transfers and runoff losses from rice field wetland of Chaohu Lake. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), 10(3): 312~316(in Chinese)
- 13 Zhang F-S(张福锁), Fan X-L(樊小林), Li X-L(李晓林). 1998. Soil and Plant Nutrition Research Dynamic. Beijing: China Agricultural Press. 42~75(in Chinese)
- 14 Zhang Q-Z(张庆忠), Chen X(陈欣), Shen X-M(沈善敏). 2002. Advances in studies on accumulation and leading of nitrate in farming soil. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), 13(2): 233~238(in Chinese)
- 15 Zou Q(邹琦). 2000. Physiology of the Plant. Beijing: China Agricultural Press. 54~59(in Chinese)

作者简介 董海荣,女,1971年,在读博士,主要从事棉花栽培生理研究,发表论文9篇。
李存东,硕士生导师。