

供氮水平对芦荟幼苗生长、硝酸盐和次生代谢产物含量的影响

汪吉东, 刘兆普*, 郑青松, 刘玲, 潘凤芷

(南京农业大学资源与环境科学学院, 江苏南京 210095)

摘要: 采用温室砂培试验研究了不同氮素水平(5.0、7.5、10.0、15.0、17.5 mmol/L)对二年生库拉索芦荟生长和蒽醌、芦荟甙等次生代谢产物及硝酸盐含量的影响。结果表明, 供氮水平由 5.0 mmol/L 增加到 10.0 mmol/L, 库拉索芦荟地上部产量和总生物量显著增加, 继续提高氮水平芦荟地上部产量和总生物量没有显著增加; 芦荟根干重及其根冠比则随着氮水平的提高而下降; 叶片和根系的硝酸盐含量则随施氮浓度的提高呈增加趋势。供氮浓度从 5.0 mmol/L 增加到 10.0 mmol/L 时, 叶片的维生素 C (Vc) 含量显著增加, 继续提高供氮水平, 叶片 Vc 含量则明显下降; 蒽醌含量则随施氮水平的上升而不断增大, 但施氮 10.0、15.0、17.5 mmol/L 的处理间没有显著性差异。芦荟甙含量变化趋势和 Vc 含量相似, 以施氮 10.0 mmol/L 为最高, 其含量分别是其它处理的 1.4、1.2、1.4、1.3 倍。由此可见, 芦荟在供氮 10.0 mmol/L 时能够获得较高的产量和蒽醌含量, 较低的硝酸盐含量和高 Vc 和芦荟甙含量, 表明适宜的供氮水平是芦荟高产优质的保证。

关键词: 芦荟; 氮素; 硝酸盐; 蒽醌; 芦荟甙

中图分类号: S682.3; S606+.2 文献标识码: A 文章编号: 1008-505X(2006)06-0864-05

Effects of different nitrogen levels on seedling growth, nitrate and its secondary metabolites content in *Aloe vera* seedling

WANG Ji-dong, LIU Zhao-pu*, ZHENG Qing-song, LIU Ling, PAN Feng-zhi

(College of Resources and Environmental Sciences, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

Abstract: A pot experiment was carried out to investigate the effects of different N levels (5.0, 7.5, 10.0, 15.0, 17.5 mmol/L) on plant growth, nitrate accumulation and its secondary metabolites content in two-year old *Aloe vera* seedlings. The results indicated that shoot fresh weight and total biomass increased drastically with N supply level increasing from N 5.0 to 10.0 mmol/L, while above 10.0 mmol/L, no significant difference in plant growth was observed. Root biomass and root/shoot ratio decreased with the increasing of N supply rate. Nitrate concentration in leaf and root showed an upward tendency with increasing N supply rate. The highest content of leaf Vitamin C was obtained at N 10.0 mmol/L supply level, while a strong decrease in the content of leaf Vitamin C occurred when N supply level was higher than 10.0 mmol/L. Within the range of N 5.0 to 10.0 mmol/L, anthraquinone content increased with the increasing of N supply level. However, anthraquinone content was rather identical at higher N supply levels. Aloin content show the same trend as Vitamin C, with the highest aloin content found at N 10.0 mmol/L. Taken together, we recommended N level 10.0 mmol/L for *Aloe vera* under sandy culture.

Key words: *Aloe vera*; nitrogen; nitrate; anthraquinone; aloin

库拉索芦荟 (*Aloe vera*) 是百合科 (Liliaceae) 芦荟属植物, 具有食疗、药用及很高的观赏价值。被联合

收稿日期: 2005-08-08 修改稿收到日期: 2005-10-31

基金项目: 国家 863 项目 (2004AA2Z4061; 2003AA627040)

作者简介: 汪吉东 (1979—), 男, 湖北黄石人, 硕士研究生, 主要从事植物耐盐营养生理研究。* 通讯作者

国粮农组织确定为 21 世纪的最佳保健品之一^[1]。已有许多研究证明,库拉索芦荟叶片内累积有大量的酚类衍生物如蒽醌、芦荟甙等^[2]。以芦荟甙和蒽醌为主的次生代谢产物和芦荟叶内多糖类配合应用具有清热,通便,抗炎,抗病毒,抗辐射,抗肿瘤等显著功效^[3-4]。目前芦荟产业在西方经半个多世纪的经营已经得到高度的发展,国内芦荟产业也当作一项非常有活力和充满发展潜力的产业被人们所关注,经营芦荟的企业不断增多。但对库拉索芦荟的研究多集中在芦荟化学成分的分离、提取、鉴定和临床药理等方面^[1,3]。

氮素营养水平对作物生长、产量和品质的影响报道很多^[5-8],蒋林等^[9]研究也表明,氮素是影响芦荟产量与品质的首要因素;参与植物体内酚类和蒽醌类次生代谢产物的生物前体合成^[10];而氮素对芦荟、芦荟甙、蒽醌类等代谢产物和硝酸盐积累效应的研究目前尚无报道。因此,我们在温室以砂培试验研究了氮素营养水平对库拉索芦荟生长及其品质的影响,以期为优质库拉索芦荟的栽培提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 试验设计

取生长基本一致的芦荟幼苗(幼苗来自南京农业大学海南滩涂农业研究所乐东太阳城“863”基地)移栽于下部具孔、内装细砂的塑料盆中,每盆栽芦荟 1 株。先用 1/2 Hoagland 培养液培养至七叶期,然后转入含氮营养液进行处理。营养液是在 Bar 等^[11-12]的配方的基础上略作改动:以阿农营养液配制微量元素取代其复合微量元素肥料。试验设氮($\text{NO}_3^- - \text{N}$)用量为 5.0、7.5、10.0、15.0 和 17.5 mmol/L 5 个水平,以及 KH_2PO_4 0.6 mmol/L, MgSO_4 0.2 mmol/L, CaSO_4 1.0 mmol/L,以去离子水配制,每个处理 4 株,重复 3 次,共 12 株。试验期间以稀 H_2SO_4 调节 pH 为 6.0。整个培养过程自然光照,昼夜温度 $25 \pm 2^\circ\text{C}/18 \pm 2^\circ\text{C}$,每 2 d 更换一次培养液,并早晚各通气 0.5 h。试验共处理 20 d。

1.2 测定项目与分析方法

干重和相对生长速率的测定:每重复取 2 株,带回室内用蒸馏水洗净并吸干水分,称鲜重,110℃ 杀青 20 min,70℃ 烘至恒重称量得干重。余下各重复的 2 株作为鲜样样品。分别在处理前后用直尺测量各株芦荟第二叶(从上往下数)的叶片长度。

相对生长速率 = (处理后长度 - 处理前长度)/

处理天数

地上部叶片的 Vc 采用 2,6-二氯酚靛酚滴定法; NO_3^- 采用流动注射法测定^[13]。

总蒽醌含量的测定:采用郭澄等^[14]改进方法。称取芦荟地上部干样(过 0.25 mm 筛) 0.1500 g,甲醇回流完全提取,提取液浓缩、蒸干,加冰醋酸 - 25% 盐酸(v/v, 10:2) 20 mL,沸水浴回流水解 2 h,酸液用氯仿萃取,萃取液蒸干氯仿后用甲醇溶解加 0.8% 醋酸镁-甲醇液显色,于 510 nm 处比色测定。

芦荟甙含量测定:高效液相色谱法^[15]。称取 100 mg 干样(过 0.25 mm 筛),甲醇超声提取 30 min,滤膜过滤后测定(流动相及浸提剂为色谱纯)。色谱柱:Waters symmetry C18, 3.9 mm i. d. \times 150 mm, 5 μm ; 流动相:甲醇-水(v/v, 80:20) 溶液; 流速:0.8 mL/min; 检测波长:298 nm; 外标法定量。

试验数据采用 SPSS10.0 软件中的 Duncan's 多重比较法进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 氮素水平对芦荟幼苗生长的影响

表 1 结果表明,施氮量从 5.0 提高到 10 mmol/L 时,芦荟地上部干重、总生物量以及叶片相对生长速率显著增加,施氮 10 mmol/L 的处理总生物量、叶片相对生长速率分别是施氮 5.0 mmol/L 的 1.3 和 1.1 倍。当氮水平大于 10.0 mmol/L 时,芦荟地上部干重、总生物量、叶片相对生长速率没有显著增加。根系和根冠比则随着施氮水平的提高而不断下降。

表 1 供氮对芦荟幼苗干重、叶片生长速率和根冠比的影响

Fig.1 Effects of supplemental nitrogen on dry weight, relative growth rate of leaf and root / shoot ratio of Aloe vera seedlings

氮水平 N level (mmol/L)	生物量 Biomass (g/plant, DW)			RGR (cm/d)	根冠比 R/S ratio
	地上部 Shoot	根系 Root	植株 Plant		
5.0	6.14 c	0.84	6.97 c	0.29 b	0.130 a
7.5	7.49 b	0.76 ab	8.25 b	0.31 ab	0.100 b
10.0	8.28 ab	0.72 bc	9.00 a	0.33 a	0.087 c
15.0	8.55 a	0.68 c	9.23 a	0.34 a	0.081 c
17.5	8.59 a	0.66 c	9.25 a	0.34 a	0.077 c

注(Note): RGR—相对生长速率 Relative growth rate. 同列中不同字母表示差异达 5% 显著水平, 下同 Different letters in the same column mean significant at 5% level, same as follows.

随着氮素水平的提高,和施氮 5.0 mmol/L 的处理相比,施氮 7.5、10、15、17.5 mmol/L 的处理的根冠比分别下降了 23%、33% 和 38%。

2.2 氮素营养水平对芦荟幼苗叶片和根系 NO_3^- 积累的影响

叶片和根系的 NO_3^- 含量随着供氮水平的提高都呈上升趋势(图 1),且供氮水平与 NO_3^- 的含量呈显著的正相关关系,相关系数分别为 0.9703** 和 0.9967**。与施氮 5.0 mmol/L 的处理相比,施氮 10.0、15.0 mmol/L 处理叶片的 NO_3^- 含量显著增加,分别为 5.0 mmol/L 处理的 1.6、1.9 倍。根系的 NO_3^- 含量大于对应施氮水平下的叶片 NO_3^- 含量,其各处理间的趋势和叶片相同。

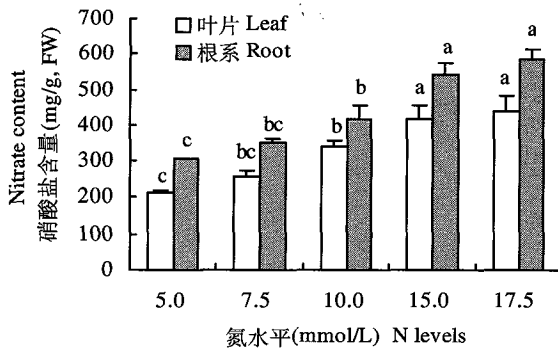


图 1 不同氮水平对芦荟幼苗叶片和根系硝酸盐含量的影响

Fig.1 Effects of different N levels on nitrate content in leaves and roots of *Aloe vera*

2.3 不同氮素水平对芦荟幼苗叶片 Vc、蒽醌和芦荟甙含量的影响

不同氮用量对芦荟叶片 Vc 含量的影响极为显著(表 2)。当供氮水平由 5.0 提高到 10.0 mmol/L 时,叶片的 Vc 含量显著增加,而后随着氮水平的进一步提高,Vc 含量显著下降,施氮量为 15.0 mmol/L 时,其叶片 Vc 含量为 10.0 mmol/L 处理的 95%;施氮量为 7.5、15、17.5 mmol/L 的处理间没有显著差异。各个处理中,以施氮量为 10.0 mmol/L 最高,其含量比 Vc 含量最低的 5.0 mmol/L 处理高出 11% 左右。

表 2 还看出,随着氮素用量的增大,芦荟叶片中的蒽醌含量不断增大,但增幅逐渐减小。施氮 17.5 mmol/L 处理的蒽醌含量比施氮 5.0 mmol/L 处理增加了 53%;但施氮量大于 5.0 mmol/L 的处理间蒽醌含量都没有显著差异。

施氮浓度小于 10.0 mmol/L 时,芦荟叶片中芦荟甙含量随氮浓度增大上升,10.0 mmol/L 施氮量处理的芦荟甙含量比 5 mmol/L 处理提高了 14%。继续增大施氮量,芦荟甙含量出现下降趋势,当施氮量为 15.0 mmol/L 时,其含量仅为 10.0 mmol/L 处理的 76%(表 2)。

表 2 不同氮水平对芦荟幼苗叶片 Vc、蒽醌和芦荟甙含量的影响

Table 2 Effects of different N levels on Vc, total anthraquinone and aloin contents in *Aloe vera* leaves

氮水平 N levels (mmol/L)	Vc (mg/g, FW)	蒽醌含量 Anthraquinone (mg/g, DW)	芦荟甙 Aloin (%, DW)
5.0	77.77 ± 3.79 b	52.99 ± 1.67 b	0.25 ± 0.01 b
7.5	82.05 ± 1.79 ab	73.68 ± 3.46 a	0.28 ± 0.01 b
10.0	86.99 ± 3.97 a	79.52 ± 4.26 a	0.34 ± 0.03 a
15.0	83.41 ± 2.39 ab	79.93 ± 10.51 a	0.26 ± 0.01 b
17.5	82.35 ± 0.52 ab	80.98 ± 6.78 a	0.27 ± 0.01 b

3 讨论

本研究表明,芦荟叶片的生长速率,地上部和全株生物量随氮素营养水平的提高而增加,但施氮量大于 10 mmol/L 后,芦荟叶片和生物量均没有显著提高。由此可见,供应充足的氮素营养,满足芦荟正常生长对养分的需求,能获得较高的芦荟产量;过高的氮供应水平易造成植物的奢侈吸收,增产幅度和效益下降。根系的生物量和根冠比随氮量增加呈下降趋势(表 1)。这与其它研究结果一致^[6,16-19]。

硝酸盐含量偏高是制约芦荟等农产品出口创汇的主要因子^[20]。本试验表明,芦荟叶片和根系的 NO_3^- 含量和施氮量呈极显著正相关,因此严格控制施氮量,在不大于 10 mmol/L 时,硝酸盐能维持在较低的水平,对芦荟原料的生产和加工产品的出口是安全的。

据报道,人类膳食中 90% 以上的维生素 C 来自水果和蔬菜,因此维生素 C 含量是许多园艺作物重要的营养品质指标之一^[21]。氮对蔬菜作物维生素 C 含量的影响已有很多报道,但结果不尽一致^[22]。在结球莴苣中氮水平与维生素含量呈正相关^[21],在大白菜^[21]中却发现维生素 C 含量与供氮水平呈负相关。本试验结果表明,适当提高氮水平能显著提高叶片维生素 C 含量,以施氮 10 mmol/L 的最高,再增加氮用量,则导致维生素 C 含量下降,这与卢凤

刚^[23]在韭菜试验中所得结果相似。

蒽醌和芦荟甙是库拉索芦荟的次生代谢产物,也是芦荟的重要的功效活性成份,其含量的高低对芦荟的药用品质和食疗起决定性的作用。而植物的次生代谢过程及其产物与环境有着极其密切的关系^[14]。研究表明,蒽醌和芦荟甙等次生代谢产物是由磷酸戊糖途径生成的,其中间反应物是各种具有分支结构的芳香族氨基酸^[24]。因此氮素的充足供应是芦荟及大黄属植物蒽醌类物质合成的保证,本试验证明,蒽醌的含量随着施氮量的增加而呈上升趋势。Thomas 等^[24]研究表明,氮素的过量供应也会促进萜类、酚醌类等不含氮次生代谢产物的分解。芦荟甙作为库拉索芦荟中一种不含氮的次生代谢产物,其可能在施氮为 15 mmol/L 和 17.5 mmol/L 的高氮水平下分解,因此在施氮 10 mmol/L 时芦荟甙含量最高。

综上所述,在本试验条件下,供氮水平为 10 mmol/L 时,芦荟具有比较高的产量、维生素 C、蒽醌、芦荟甙含量和相对较低的硝酸盐含量,因此,调节氮素营养状况对于生产低硝酸盐积累的优质芦荟具有重要的作用。

参 考 文 献:

- [1] 李云政,秦海元,王青华. 国内外芦荟应用研究进展[J]. 化工进展, 2000, 2: 16-21.
Li Y Z, Qin H Y, Wang Q H. Progress in research and development of *Aloe vera* [J]. Progress in Chemical Industry, 2000, 2: 16-21.
- [2] Gutterman Y, Chauer Y E. Peripheral defence strategy: Variation of barbaloin content in the succulent leaf parts of *Aloe arborescens* Miller (Liliaceae) [J]. Bot. J. Linnean Soc., 2000, 132: 385-395.
- [3] Reynolds T, Dweck A C. *Aloe vera* leaf gel: A review update[J]. J. Ethnopharmacol, 1999, 68: 3-37.
- [4] Nobuyukio, Masamia, Norikio H *et al.* High performance liquid chromatographic determination of phenolic compounds in aloe species [J]. J. of Chromatography, 1996, 746: 225-231.
- [5] 李俊良,陈新平,李晓林,张福锁. 大白菜氮肥施用的产量效应、品质效应和环境效应[J]. 土壤学报, 2003, 40(2): 261-266.
Li J L, Chen X P, Li X L, Zhang F S. Effect of N fertilizer on yield nitrate content and N apparent losses of Chinese Cabbage [J]. Acta Pedologic Sinica, 2003, 40(2): 261-266.
- [6] 隋方功,吕银燕,稻永醇二. 氮素营养对甜椒果实生长发育的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2004, 10(5): 499-503.
Sui F G, Lu Y Y, Inanag S J. Effect of nitrogen on fruit growth and development of sweet pepper [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2004, 10(5): 499-503.
- [7] 曹承富,孔令聪,汪建来,等. 施氮量对强筋和中筋小麦产量和品质及养分吸收的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2005, 11(1): 46-50.
Cao C F, Kong L C, Wang J L *et al.* Effects of nitrogen on yield, quality and nutritive absorption of middle and strong gluten wheat [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2005, 11(1): 46-50.
- [8] 戴廷波,孙传范,荆奇,等. 不同施氮水平和基追比对小麦籽粒品质形成的调控[J]. 作物学报, 2005, 31(2): 248-253.
Dai T B, Sun C F, Jing Q *et al.* Regulation of nitrogen rates and dressing ratios on grain quality in wheat [J]. Acta Agronomica Sinica, 2005, 31(2): 248-253.
- [9] 蒋林,李凤影,张发宝,徐鸿化. 芦荟 GAP 基地的土壤肥力综合评价[J]. 中草药, 2004, 35(11): 1302-1304.
Jiang L, Li F Y, Zhang F B, Xu H H. Synthesis evaluation of Aloe GAP base fertility [J]. Chinese Traditional and Herbal Drugs, 2004, 35(11): 1302-1304.
- [10] 王伟,钱英长. 紫杉醇生物合成的研究[J]. 植物学通报, 1999, 16(2): 138-144.
Wang W, Qian Y C. A review on taxol biosynthesis [J]. Chinese Bulletin of Botany, 1999, 16(2): 138-144.
- [11] Bar Y, Apelbaum A, Kafkafi U, Goren R. Relationship between chloride and nitrate and its effect on growth and mineral composition of avocado and citrus plants [J]. J. Plant Nutr., 1997, 20: 715-731.
- [12] Bar Y, Apelbaum A. Ethylene association with chloride stress in citrus plants [J]. Scientia Horticulturae, 1998, 73: 99-103.
- [13] 邹瑜. 植物生理生化实验指导 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1995. 27.
Zou Y. A guide for plant physiological biochemical experiment [M]. Beijing: China Agricultural Press, 1995. 27.
- [14] 郭澄,张纯. 蒽醌含量测定方法的探讨[J]. 时珍国药研究, 1998 (9): 223.
Guo C, Zhang C. The discussion of anthraquinones content measurement research [J] Shizhen J. of Traditional Chinese Medicine Research, 1998(9): 223.
- [15] 陈金东,李蔚,李素云. 高效液相色谱法测定芦荟胶囊中的芦荟甙[J]. 色谱, 2002, 20(4): 367-368.
Chen J D, Li W, Li S Y. Quantitative determination of barbalionin aloe capsule by high performance liquid chromatography [J]. Chinese J. of Chromatography, 2002, 20 (4): 367-368.
- [16] 王洋,尚辛亥,陶秀峰. 氮素营养水平对高山红景天生长和红景天苷含量的影响[J]. 植物生理与分子生物学报, 2003, 29(4): 357-359.
Wang Y, Shang X H, Yan X F. Effects of N level on growth and salidroside content in *Rhodiola sachalinensis* [J]. J. of Plant Physiology and Molecular Biology, 2003, 29(4): 357-359.
- [17] Masarovičová E, Welschen R, Lux A *et al.* Photosynthesis, biomass partitioning and peroxi-somicine A1 production of *Karwinskia* species in response to nitrogen supply [J]. Physiol. Plant, 2000, 108: 300-306.
- [18] 张英鹏,徐旭军,林咸永,等. 供氮水平对菠菜产量、硝酸盐和草酸累积的影响 [J]. 植物营养与肥料报, 2004, 10(5): 494-498.
Zhang Y P, Xu X J, Lin X Y *et al.* Influence of different nitrogen levels on biomass, nitrate and oxalate accumulation in spinach [J].

- Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2004, 10(5): 494-498.
- [19] 徐坤, 郑国生, 王秀峰. 施肥量对生姜群体光合特性及产量和品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2001, 7(2): 189-193.
Xu K, Zheng G S, Wang X F. Effects of nitrogen rates on colonial photosynthesis, yield and qualities of ginger [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2001, 7(2): 189-193.
- [20] 巨晓荣, 张福锁. 氮肥利用率的意义及其提高的技术措施[J]. 科技导报, 2003(4): 51-54.
Ju X T, Zhang F S. Correct understanding of nitrogen recovery rate [J]. Science and Technology Review, 2003(4): 51-54.
- [21] Lee S K, Kader A A. Preharvest and postharvest factors influencing vitamin content of horticultural crops [J]. Postharvest Bio. Technol., 2000, 20: 207-220.
- [22] Mozfar A. Nitrogen fertilizers and the ammonium of vitamins in plants: A review [J]. J. of Plant Nutrition, 1993, 16(12): 2479-2506.
- [23] 卢凤刚, 陈贵林, 吕桂云, 任良玉. 不同供氮水平对韭菜产量和品质的影响[J]. 园艺学报, 2005, 32(1): 131-133.
Lu F G, Cheng G L, Yu G Y, Ren L Y. Effect of different nitrogen concentrations on yield and quality of Chinese Chive [J]. Acta Horticulture Sinica, 2005, 32(1): 131-133.
- [24] Thomas M, Oswald O, Graham I A. Arabidopsis seedling growth, storage lipid mobilization, and photosynthetic gene expression are regulated by carbon: Nitrogen availability [J]. Plant Physiol., 2002, 128: 472-480.