

增施 CO₂ 对设施马铃薯生长及氮素积累的影响

李晓静 樊明寿

(内蒙古农业大学 农学院, 内蒙古 呼和浩特 010019)

摘要: 选用马铃薯 (*Solanum tuberosum* L.) 为试材, 研究增施 CO₂ 能否降低马铃薯块茎中硝酸盐含量并减缓土壤次生盐碱化, 为提供安全的马铃薯产品同时延长温室土壤的可持续利用。试验采用传统氮素施肥和温室 CO₂ 气体施肥结合的方法, 研究了增施 CO₂ 条件下氮素水平对马铃薯生长、氮素积累量、硝酸盐含量的影响。结果表明: 增施 CO₂, 施氮量是 48、96 kg/hm² 在播种后第 130 天马铃薯全株干物质质量和氮素积累量、全株硝酸盐含量均高于不增施 CO₂ 处理; 施氮量是 96、144 kg/hm² 时块茎生物量、硝酸盐含量和氮素积累量显著降低。

关键词: CO₂; 硝酸盐; 氮素积累量; 马铃薯

中图分类号: S158.3 文献标识码: A 文章编号: 1000-7091(2011)04-0174-04

Effect of Elevated CO₂ on Nitrate and Nitrogen Accumulation of Potato at Different Nitrogen Level

LI Xiao-jing, FAN Ming-shou

(College of Agronomy, Inner Mongolia Agricultural University, Huhhot 010019, China)

Abstract: Recently, cultivated area of potato in greenhouse expanded. The secondary-salinization soil under greenhouse is accelerated and becomes the key factor influencing vegetable production. The effect of elevated CO₂ on the nitrate metabolism and N accumulation of potato (*Solanum tuberosum* L.) was studied in order to relief secondary-salinization soil and reduce nitrate of tuber. So safety potato is provided and the use of greenhouse is prolonged. The paper based on utilization of carbon dioxide fertilizer and traditional manuring of nitrogen in greenhouse. It was concluded that the dry matter, nitrate content of plant and nitrogen accumulation of plant were higher than control group with the nitrogen application rate of 48 kg/ha and 96 kg/ha under elevated CO₂ in 130 d after sowing. The dry matter, nitrate content of tuber and nitrogen accumulation of tuber decreased compared with control group when nitrogen application rate was 96, 144 kg/ha under elevated CO₂.

Key words: CO₂; Nitrate; Nitrogen accumulation amount; Potato

随着我国设施农业的发展, 近几年设施栽培面积发展迅猛, 2006 年我国设施栽培面积达到 260 万 hm²^[1]。伴随设施栽培的工业化, 对设施环境调控等配套技术研究方面的关注加剧, 其中设施栽培中 CO₂ 施肥已成为研究的热点。提高 CO₂ 浓度能否促进植物的生长依赖于氮素营养的有效性和植物利用氮素的能力^[2], 也就是说, 无机氮素的供应影响着植物对 CO₂ 的利用^[3]。本研究以马铃薯为试材, 研究在大气条件下提高 CO₂ 浓度后马铃薯的氮素吸收能力, 以及硝酸盐的代谢能力, 以阐明改变植物生长环境中 CO₂ 浓度能否提高植物还原 NO₃⁻ → N 的

能力, 从而降低因过量施用氮肥造成对环境的污染^[4], 减缓土壤次生盐渍化, 同时降低植物中硝酸盐的含量。

1 材料和方法

试验是在内蒙古农业大学试验农场大棚中进行。供试土壤为壤土, 耕作层 0~20 cm。土壤中有有机质含量 8.69 g/kg, 全氮含量 0.56 g/kg, 速效钾含量 87.5 mg/kg、硝态氮含量 19.99 mg/kg、铵态氮含量 11.20 mg/kg。供试品种为克新 1 号。

收稿日期: 2011-05-03

基金项目: 农业部公益性行业专项 (201103003)

作者简介: 李晓静 (1974-), 女, 河北阜城人, 讲师, 博士, 主要从事设施蔬菜营养生理研究。

通讯作者: 樊明寿 (1965-), 男, 内蒙古四子王旗人, 教授, 主要从事植物营养生理研究。

1.1 试验设计及方法

试验共设 6 个处理:即在增施 CO₂ (900 μ L/L) 条件下和在大气 CO₂ 浓度 (360 μ L/L) 条件下同设 3 个氮素水平施肥处理。增施 CO₂ 下的 3 个处理分别是:低氮 (N1C) 48 kg/hm²、中氮 (N2C) 96 kg/hm² 和高氮 (N3C) 144 kg/hm², 以大气 CO₂ 浓度条件下的 3 个氮素水平作为对照, 分别是低氮 (N1) 48 kg/hm²、中氮 (N2) 96 kg/hm² 和高氮 (N3) 144 kg/hm², 试验期间不施有机肥。试验采用随机区组排列, 3 次重复, 小区面积为 25 m²。马铃薯种植行距 50 cm, 株距 25 cm。

CO₂ 施肥: 试验在带有间隔的同一大棚内进行, 大棚一侧作增施 CO₂ 的试验, 另一侧作为对照区。CO₂ 在马铃薯播种后的第 30 天开始追施。方法: 晴天 8:00–10:00 持续以压缩 CO₂ 钢瓶供给 CO₂。利用 CO₂ 监测仪 (Hoyt Electrical Instrument Works Inc., NH, USA) 监测, 当 CO₂ 需要补充到目标浓度时, 自动补足。

氮肥施用: 供试氮肥为尿素 (N 46%)。氮肥总量的 60% 作种肥, 40% 作追肥, 播种后的第 55 天开始追肥。

1.2 测试项目及方法

植株干物质质量测定: 取样后清洁样品并于 105℃ 杀青 15 min, 70℃ 烘干至恒质量后测定干物质质量。

硝酸盐含量采用水杨酸硝化法测定^[5]; 马铃薯全株全氮含量采用 H₂SO₄-H₂O₂ 混合催化剂硝化, 半微量凯氏定氮法测定, 然后计算植株不同部位氮素积累量。

马铃薯播种后第 50、70、90、110、130 天时各处理分别选取 3 株进行相关指标的测定。

1.3 数据分析

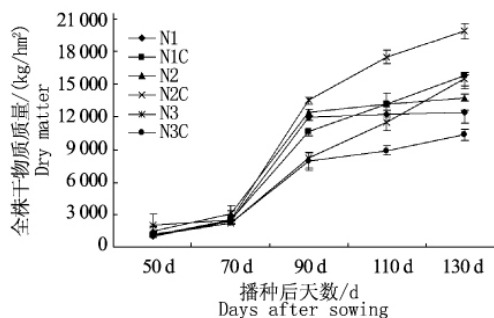
试验数据利用 Excel 和 SAS 软件进行处理统计分析, 处理间差异显著性分析采用 LSD 检验法。

2 结果与分析

2.1 马铃薯生物量变化

图 1 表明, 马铃薯全株干物质积累各处理随着生育期的推移总体呈慢-快-慢的变化趋势增长。对照组中随着氮肥水平的提高, 马铃薯全株干物质和块茎的干物质积累增加 (图 1, 表 1), 当供氮水平为 144 kg/hm² (N3C) 时, 马铃薯全株干物质质量显著高于其他处理, 达到 19 838.38 kg/hm²。与对照相比, 增施 CO₂ 能显著增加播种后 130 d 时 N1C、N2C 处理全株干物质积累量, 而高氮 (N3C) 处理全株干

物质积累则低于对照 (图 1)。表 1 的结果表明增施 CO₂ 没有促进马铃薯块茎的干物质积累。



误差线表示数据平均数的标准误。

Vertical bars represent \pm SD of the mean where these exceed the size of the symbol.

图 1 增施 CO₂ 对不同氮素水平下马铃薯植株干物质积累的影响

Fig. 1 The effect of elevated CO₂ on the dry matter of potato at different nitrogen level

表 1 增施 CO₂ 对不同氮素水平马铃薯块茎干物质积累量的影响

Tab. 1 Effects of elevated CO₂ on dry matter of tuber and leaves at different nitrogen level kg/hm²

处理 Treatment	播种后天数 Days after sowing			
	70	90	110	130
N1	1 424.5b	6 358.3a	7 416.3a	7 237.0bc
N1C	918.3c	4 068.0b	4 855.2b	7 032.5bc
N2	1 578.4a	6 826.9a	7 615.6a	8 071.8b
N2C	859.9c	2 843.6c	4 177.9b	6 226.2c
N3	1 261.7b	7 200.6a	8 235.8a	10 517.5a
N3C	827.0c	2 839.4c	3 703.3b	4 530.2d

注: 表中不同字母表示处理间达 0.05 水平显著性差异。下同。

Note: The same letters on error bars represent no difference of probability at the $P = 0.05$ level in treatment. The following is same as below.

由图 2 可知, 对照组中马铃薯的产量随氮素供应水平的提高而增加。增施 CO₂, N1C 产量低于对照, 但差异不显著 ($P < 0.05$); N2C、N3C 产量显著低于对照组 ($P < 0.05$)。增施 CO₂, 产量随氮素供应水平的提升而降低。

2.2 马铃薯硝酸盐含量变化

随着生育期的推移, 各处理马铃薯植株及块茎 NO₃⁻ 含量总体呈下降趋势。马铃薯全株 NO₃⁻ 积累, 除处理 N3C 在播种后第 130 天低于对照外, 其他增施 CO₂ 处理均促进马铃薯全株 NO₃⁻ 积累 (图 3)。其中 N1C 处理全株 NO₃⁻ 含量在播种后 50 ~ 130 d 均显著高于对照 N1, N2C 处理全株 NO₃⁻ 含量在播种后 50 ~ 110 d 内显著高于对照 N2, N3C 处理全株 NO₃⁻ 含量仅在播种后 50、110 d 2 个阶段显著

高于对照 N3。

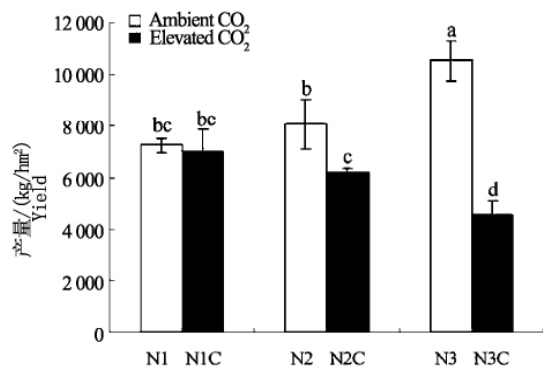


图2 增施 CO₂ 对不同氮素水平下马铃薯产量变化
Fig.2 Change of potato yield at different nitrogen level under elevated CO₂

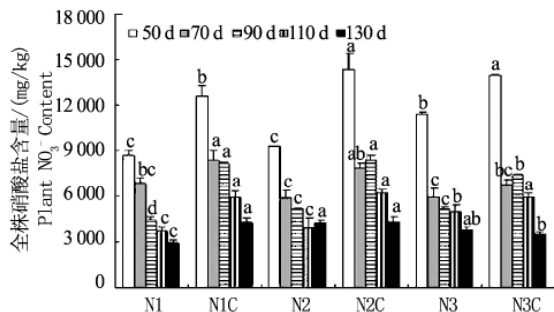


图3 不同氮肥水平下增施 CO₂ 对马铃薯植株硝酸盐含量的影响

Fig.3 Effects of elevated CO₂ on nitrate of potato at different nitrogen level

马铃薯块茎 NO₃⁻ 含量在不增施 CO₂ 条件下随氮素水平的提高而增加,且在生育期中呈降低趋势。增施 CO₂ 后,块茎 NO₃⁻ 含量在生育期内呈先增高后降低的变化趋势,其中在播种后 130 d, N2C 和 N3C 处理块茎 NO₃⁻ 含量均显著低于相应对照, N2C 处理块茎 NO₃⁻ 含量相比对照降低 144.3%。在播种后 130 d, N1 水平下增施 CO₂ 没有降低块茎 NO₃⁻ 含量(图 4)。

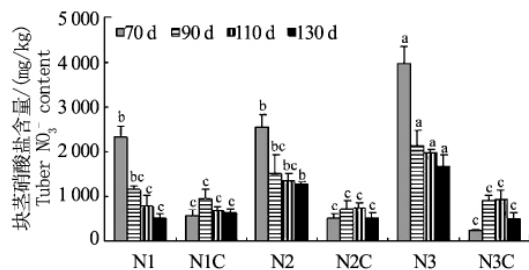


图4 不同氮素水平下增施 CO₂ 对马铃薯块茎硝酸盐含量的影响

Fig.4 Effects of elevated CO₂ on nitrate of tuber and leaves at different nitrogen

2.3 马铃薯氮素积累量变化

由图 5 可以看出,增施 CO₂ 对不同氮素水平下

马铃薯全株氮素积累量的影响不同。增施 CO₂, N1C 处理能够促进马铃薯积累氮素; N2C 处理氮素积累量在播种后 110 d 时比对照 N2 增加 5.1%, 130 d 时显著高于对照;而 N3C 处理氮素积累量则低于对照 N3。图 6 的结果表明,除 N1 处理在 130 d 块茎氮素积累量高于对照之外(两者差异不显著),增施 CO₂ 并没有使马铃薯块茎氮素积累量增加。

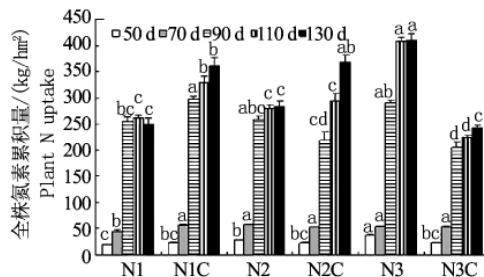


图5 不同氮肥水平下增施 CO₂ 对马铃薯全株氮素积累量的影响

Fig.5 Effects of elevated CO₂ on N uptake of potato at different nitrogen level

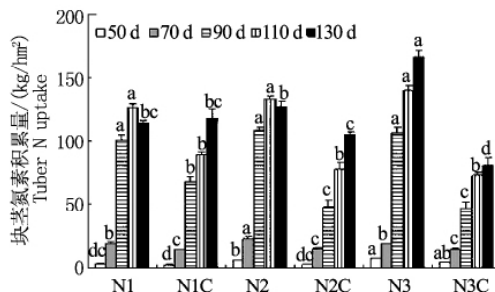


图6 不同氮肥水平下增施 CO₂ 对马铃薯块茎氮素积累量的影响

Fig.6 Effects of elevated CO₂ on N uptake of tuber at different nitrogen level

3 讨论

关于升高 CO₂ 浓度后氮素丰缺与作物氮素含量^[6-8]、NO₃⁻ 的吸收利用^[9]、生长^[10] 之间的关系,前人已分别做过很多研究。Stitt and Krapp^[9] 认为生物量对升高 CO₂ 浓度的响应因植物种类及氮肥的水平发生改变。升高 CO₂ 浓度氮肥不足条件下,大豆^[11]、水稻^[12]、烟草^[13] 的生物量没有显著增加,而小麦、棉花的生物量增加。本试验结果表明,增施 CO₂ 在氮素水平 48, 96 kg/hm² 条件下马铃薯生物量在生育后期增加,当氮素供应量是 144 kg/hm² 时生物量反而降低。本试验中高氮处理并没有使马铃薯的生物量在升高浓度 CO₂ 条件下增加,可能是因为马铃薯在高氮条件没有供应适量其他肥料,某种必要营养元素的缺乏导致生物量的降低。增施 CO₂ 使 N1、N2 水平下马铃薯产量降低,但全株生物量高

于对照,说明增施 CO₂ 使干物质向地上部分分配增加,即增施 CO₂ 改变了干物质在马铃薯各器官的分配。

作物体内 NO₃⁻ 含量的高低能够很好的反映出其本身的氮素营养状况,比全氮更能敏感地反映作物的氮素营养状况^[4]。增施 CO₂ 后马铃薯全株 NO₃⁻ 含量增加,说明升高 CO₂ 浓度能够促进马铃薯积累硝酸盐,但受氮素水平的影响。当温室气体环境中 CO₂ 浓度升高后,马铃薯的生长速率增快,导致对氮素营养元素的需求增加,而马铃薯吸收和同化氮素的能力又限制了自身对 CO₂ 浓度升高的相应表现为升高氮素水平(N3C),硝酸盐含量降低。升高 CO₂ 浓度,N1C 处理马铃薯氮素积累量高于对照,而 N3C 低于对照,说明低氮处理比高氮处理更能促进马铃薯吸收和同化氮素。NO₃⁻ 作为植物全氮中的重要一部分,NO₃⁻ 含量同时受植物吸收和同化 NO₃⁻ 能力的影响,本研究中增施 CO₂ 后马铃薯全株 NO₃⁻ 含量增高的机理有待于进一步研究。

参考文献:

- [1] 张志斌. 中国设施园艺高新技术的发展探讨[J]. 内蒙古农业大学学报:自然科学版, 2007(3): 252-255.
- [2] Vitousek P M, Howarth R W. Nitrogen limitation on land and sea-how can it occur[J]. Biogeochemistry, 1991, 13: 87-115.
- [3] Stitt M, Krapp A. The interaction between elevated carbon dioxide and nitrogen nutrition: the physiological and molecular background[J]. Plant Cell Environ, 1999, 22: 583-621.
- [4] 张朝春, 江荣凤, 张福锁, 等. 马铃薯氮营养诊断技术研究[C]. 福州: 第八届全国青年土壤暨第三届全国青年植物营养与肥料科学工作者学术讨论会论文集, 2002: 438.
- [5] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.
- [6] Cotrufo M F, Ineson P, Scott A. Elevated carbon dioxide reduces the nitrogen concentration of plant tissues[J]. Global Change Biology, 1998, 4: 43-54.
- [7] Newberry R M, Wolfenden J, Mansfield T A, et al. Nitrogen, phosphorus and potassium demand in *Agrostis capillaris*: the influence of elevated carbon dioxide and nutrient supply[J]. New Phytologist, 1995, 130: 565-574.
- [8] Coleman J S, Rochefort L, Bazzaz F A, et al. Atmospheric carbon dioxide, plant nitrogen status and the susceptibility of plants to an acute increase in temperature[J]. Plant, Cell and Environment, 1991, 14: 667-674.
- [9] Stitt M, Krapp A. The interaction between elevated carbon dioxide and nitrogen nutrition: the physiological and molecular background[J]. Plant Cell Environ, 1999, 22: 583-621.
- [10] Bowes G. Elevated carbon dioxide[M]// Bake N. Advances in Photosynthesis, Environmental Stress and Photosynthesis. Academic Press, Dordrecht, 1996, 3: 387-407.
- [11] Sionit N. Response of soybean to two levels of mineral nutrition in CO₂ enriched atmosphere[J]. Crop Science, 1983, 23: 329-333.
- [12] Ziska L H, Weerakoon W, Namuco O, et al. The influence of nitrogen on the elevated carbon dioxide response in field grown rice[J]. Australian Journal of Plant Physiology, 1996, 23: 45-52.
- [13] Geiger M, Walch-Piu L, Harnecker J, et al. Enhanced carbon dioxide leads to a modified diurnal rhythm of nitrate reductase activity in older plants, and a large stimulation of nitrate reductase activity and higher levels of amino acids in higher plants[J]. Plant, Cell and Environment, 1998, 21: 253-268.
- [14] Wong S C, Osmond C B. Elevated atmospheric partial pressure of CO₂ and plant growth. III Interactions between *Triticum aestivum* (C₃) and *Echinochlea frumentacea* (C₄) during growth in mixed culture under different CO₂, N nutrition and irradiance treatments, with emphasis on below ground responses estimated using the ¹³C value of root biomass[J]. Australian Journal of Plant Physiology, 1991, 18: 137-152.
- [15] Rogers G S, Payne L, Milham P, et al. Nitrogen and phosphorus requirements of cotton and wheat under changing CO₂ concentrations[J]. Plant and Soil, 1993, 155: 231-234.