

# 不同氮素及硝化抑制剂对叶菜用甘薯光合特性、茎叶产量及硝酸盐含量的影响<sup>\*</sup>

邱永祥, 谢小珍, 蔡南通, 吴秋云, 罗文彬, 汤 浩

(福建省农业科学院 作物所, 福建 福州 350013)

**[摘 要]** 研究了铵态氮肥 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 、硝态氮肥 $\text{NaNO}_3$ 及硝化抑制剂双氰铵(DCD)对叶菜用甘薯光合特性、茎叶产量以及硝酸盐含量的影响。结果表明, 不同氮肥类型和施氮量对叶菜用甘薯植株叶绿素含量及光合特性均有显著影响, 其中硝态氮肥对叶绿素a含量、光合速率的影响大于铵态氮肥。施氮量对叶绿素a含量的影响达显著水平。单独施用铵态氮茎尖产量较其他氮肥类型低。纯氮用量在 $450\text{ kg}/\text{hm}^2$ 范围内, 增加施氮量可提高茎叶产量, 但超过此范围继续增加施氮量则增产效应不明显。硝态氮比铵态氮更容易提高硝酸盐含量; 施氮量极显著影响硝酸盐含量, 在低中施用量( $150\sim 450\text{ kg}/\text{hm}^2$ )条件下, 硝酸盐含量的峰值大约出现在8~9 d, 而高施用量( $600\sim 750\text{ kg}/\text{hm}^2$ )条件下, 硝酸盐含量的峰值在7~8 d; DCD可以使施用铵态氮的叶菜用甘薯硝酸盐含量显著下降, 但对施用硝态氮的叶菜用甘薯影响不显著。综合考虑产量与硝酸盐含量两因素, 叶菜用甘薯最佳施肥采摘方案为: 施纯氮 $450\text{ kg}/\text{hm}^2$ , 采用铵态氮结合DCD的方式施用, 在施肥后第9天或第10天进行采摘。

**[关键词]** 叶菜用甘薯; 光合特性; 茎叶产量; 硝酸盐积累

**[中图分类号]** S531.062

**[文献标识码]** A

**[文章编号]** 1671-9387(2006)12-0058-07

甘薯鲜嫩茎叶由于口味好, 营养平衡, 具有抗癌等多种保健功能, 以及生长旺盛、栽培简单, 产品容易达到有机食品标准等优点, 近年来在国内外市场广受欢迎, 成为高档宾馆的时尚菜, 并逐渐进入普通家庭<sup>[1]</sup>。然而, 随着种植面积的扩大, 受市场压力和经济利益的驱使, 叶菜用甘薯生产中化肥特别是氮肥的施用量大大增加, 导致其硝酸盐含量提高。硝酸盐对人体健康有很大危害, 在人体内可转化成亚硝胺, 而亚硝胺是当前国内外医学公认的强致癌物质之一。因此, 硝酸盐对人体健康的危害以及对生态环境的污染已受到人们的普遍关注。从植物生理角度看, 硝酸盐含量决定于植物对 $\text{NO}_3\text{-N}$ 的吸收、向地上器官输送及同化等过程, 而上述过程的强度和相互关系直接或间接地决定于植物的生物学特性, 并与其周围环境因子有密切关系。在环境因子中, 氮素化肥用量与蔬菜中硝酸盐含量呈正相关, 偏施和滥用氮肥, 是造成蔬菜品质下降的重要原因。如果生产中按获得最高产量的施氮量进行施肥, 蔬菜中就含有相当高的硝酸盐<sup>[2-3]</sup>。因此, 科学施氮、合理采收成为控制硝酸盐含量的有效手段。叶菜用甘薯作为一

种具有广阔市场潜力的新型蔬菜, 其栽培及采收方式与普通甘薯和蔬菜完全不同。邱永祥等<sup>[4]</sup>在室内实验室条件下研究了叶菜用甘薯单一施用氮肥情况下硝酸盐的积累及2~10 d内的消长情况。在此基础上, 本试验在田间种植条件下, 进一步研究了铵态氮肥 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 、硝态氮肥 $\text{NaNO}_3$ 及硝化抑制剂双氰铵(DCD)对叶菜用甘薯光合特性、茎叶产量以及硝酸盐含量的影响, 以明确不同氮素和硝酸盐抑制剂与叶菜用甘薯生长及其硝酸盐含量的关系, 以为制定叶菜用甘薯无公害高产栽培技术提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

叶菜专用型甘薯品种福薯7-6, 由福建省农业科学院作物所提供; 铵态氮肥 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 、硝态氮肥 $\text{NaNO}_3$ , 均由上海久谦化学试剂有限公司生产; 硝化抑制剂双氰铵(DCD), 由国药集团化学试剂有限公司生产。

<sup>\*</sup> [收稿日期] 2006-09-28

[基金项目] 福建省自然科学基金项目(B0410023); 福建省科技重点项目(2006N0030)

[作者简介] 邱永祥(1971-), 男, 福建顺昌人, 助理研究员, 硕士, 主要从事甘薯育种及栽培生理研究。E-mail: qyxlm2003@yahoo.com.cn

## 1.2 试验设计

试验在福建省农业科学院作物所试验基地进行。试验地土壤为沙壤土, 全氮 $0.82\text{ g/kg}$ , 全磷 $0.63\text{ g/kg}$ , 速效氮 $30.28\text{ mg/kg}$ , 有效磷 $132.7\text{ mg/kg}$ , 速效钾 $114.8\text{ mg/kg}$ , pH 值 $6.35$ 。07-02 栽插薯苗, 采用单层遮阳网防护, 07-04 返苗。

根据蔡南通等<sup>[5]</sup>对叶菜用甘薯栽培施氮量的研究, 本试验设肥料类型和施用量两因素, 共 20 个处理。4 个肥料类型处理分别是: A 1,  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ; A 2,  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + \text{DCD}$ ; A 3,  $\text{NaNO}_3$ ; A 4,  $\text{NaNO}_3 + \text{DCD}$ 。5 个施用量处理分别为: B 1, 施纯氮  $150\text{ kg/hm}^2$ ; B 2, 施纯氮  $300\text{ kg/hm}^2$ ; B 3, 施纯氮  $450\text{ kg/hm}^2$ ; B 4, 施纯氮  $600\text{ kg/hm}^2$ ; B 5, 施纯氮  $750\text{ kg/hm}^2$ 。DCD 施用量为纯氮的 $10\%$ <sup>[6]</sup>。大田宽畦种植, 种植密度为 $1.8\text{ 万株/hm}^2$ 。试验采用随机区组设计, 3 次重复, 每小区 250 株。于处理后 7, 8, 9, 10, 11 d 每小区取 50 株测定茎叶产量及硝酸盐含量, 并于 11 d 时测定叶菜用甘薯叶绿素及光合速率、气孔导度和细胞间 $\text{CO}_2$ 含量。

## 1.3 测定指标及方法

叶绿素含量的测定参考文献[7]的方法。取 $0.5\text{ g}$ 叶菜用甘薯鲜叶, 加少量石英砂, 用体积分数 $80\%$ 丙酮于研钵中匀浆, 并定容至 $15\text{ mL}$ 。浸提 $10\text{ min}$ , 离心后取上清液 $2\text{ mL}$ 稀释至 $10\text{ mL}$ , 用分光光度计分别测定 $663$ ,  $645$ 和 $440\text{ nm}$ 处吸光度, 计算叶绿素a和叶绿素b含量。

光合速率、气孔导度和细胞间 $\text{CO}_2$ 浓度用美国C D公司生产的CI-30L PS 便携式光合作用测定仪测定。采用开放式气路测定心叶下第1片完全展开的功能叶, 每重复测10株。

硝酸盐含量的测定采用紫外吸收法<sup>[8]</sup>。取 $1\text{ g}$ 叶菜用甘薯样品, 加入少量蒸馏水, 研磨匀浆后转入 $25\text{ mL}$ 试管, 加入 $0.1\text{ g}$ 活性炭, 振荡静置 $20\text{ min}$ , 然后加入蛋白质沉淀剂I、II各 $0.2\text{ mL}$ , 充分混合后定容至 $25\text{ mL}$ , 摇匀, 放置 $5\sim 10\text{ min}$ , 于 $4800\times g$ 离心 $10\text{ min}$ 。吸取上清液 $0.3\text{ mL}$ , 加 $4.7\text{ mL}$ 蒸馏水, 摇匀, 在紫外分光光度计上于 $219\text{ nm}$ 处比色, 根据标准曲线计算硝酸盐含量。

产量测定: 采收叶菜用甘薯茎尖 $10\text{ cm}$ 左右的可食鲜嫩茎叶, 计算产量。

## 1.4 数据处理

以 $A B_j$  ( $i=1, 2, 3, 4; j=1, 2, 3, 4, 5$ ) 表示肥料类型因素和肥料施用量因素共 20 个处理。用 EX-CEL 计算不同处理的平均效应值:

$$\bar{A}_i = A B_1 + A B_2 + A B_3 + A B_4 + A B_5;$$

$$\bar{B}_j = A B_j + A B_j + A B_j + A B_j + A B_j。$$

式中,  $\bar{A}_i$  表示 $A_i$  ( $i=1, 2, 3, 4$ ) 肥料类型因素的平均效应值,  $\bar{B}_j$  表示 $B_j$  ( $j=1, 2, 3, 4, 5$ ) 肥料施用量的平均效应值。

试验数据用DPS 数据处理系统软件进行方差分析及显著性测验。

## 2 结果与分析

### 2.1 氮肥类型和施用量对福薯 7-6 光合特性的影响

2.1.1 对叶片叶绿素含量的影响 从表1可知, 氮肥类型、施肥量两因素共 20 个处理 ( $A B_j$ ) 福薯 7-6 叶片叶绿素a、b 含量变化很大, 部分处理间差异达到极显著水平。可见这两因素的共同作用对叶片叶绿素含量有较大影响。因此, 要提高叶菜用甘薯叶片叶绿素水平以增强植株光合能力, 对氮肥的类型和施肥量要进行严格筛选。

由表1还可以看出, 施用硝态氮肥(A 3)叶绿素a含量极显著高于施用铵态氮肥(A 1); 铵态氮加DCD (A 2)处理叶绿素a含量极显著高于未加DCD 处理(A 1), 但显著低于A 3; 硝态氮加DCD (A 4)处理, 叶绿素a含量与A 3无显著差异。

施肥量对叶绿素a含量也有明显影响。当施肥量在 $150\sim 450\text{ kg/hm}^2$  (B 1~ B 3)时, 叶绿素a含量逐步提高, 施用量超出这一水平继续增加时, 叶绿素a含量反而快速下降, 这一趋势在单独施用铵态氮处理(A 1)下更为明显。铵态氮在高用量下叶绿素a含量下降较快, 这可能是由于多余的铵态氮容易扩散穿过生物膜而破坏膜结构造成的<sup>[9]</sup>。

在氮肥类型(A)或施氮量(B)单一因素条件下, 叶绿素b含量的变化幅度较叶绿素a小, 仅A 1, B 1和B 5与同类型其他处理差异达显著或极显著水平, 说明在不同处理条件下叶绿素b较叶绿素a含量稳定, 这与以往的研究<sup>[10]</sup>相一致。

2.1.2 对叶片光合特性的影响 表2结果表明, 不同处理对叶片光合速率、气孔导度及细胞间 $\text{CO}_2$ 浓度这几个指标影响较大, 每个指标中均有部分处理差异达到极显著水平, 说明氮肥类型及施用量两种因素的综合效应能显著影响叶菜用甘薯植株的光合特性, 确定最优的肥料类型及施氮量对提高光合能力有重要作用。

分析肥料类型因素(A)对光合速率的影响, 从表2可以看出, 单独施用铵态氮(A 1)时, 福薯 7-6 叶

片光合速率较其他处理低,而硝态氮与DCD混合使用(A4)光合速率最高,显著高于单独施用铵态氮(A1)处理。肥料类型因素对福薯7-6叶片气孔导度和细胞间CO<sub>2</sub>浓度无显著影响。

施氮量因素(B)对福薯7-6叶片光合特性的影响要大于肥料类型因素。B1光合速率极显著低于其余4个肥料水平。当氮肥使用量在一定水平内(B1~

B3),增加施氮量有提高植株的光合速率的作用,但如果使用量超出这一水平,光合速率反而下降。不同施氮量对细胞间CO<sub>2</sub>浓度变化有较大影响,B3,B2处理胞间CO<sub>2</sub>浓度均极显著地低于其他处理,这可能与植株光合能力增强从而使细胞间隙CO<sub>2</sub>的利用率提高有关。不同处理间气孔导度变化很小,说明光合速率变化并不是由气孔机械因素造成的。

表1 氮肥类型和施用量对福薯7-6叶片叶绿素含量的影响

| Table 1 Effects of different treatments on the leaf chlorophyll content in Fushu 7-6 |                       |                       |                 |                       |                       | mg/g |
|--------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------|-----------------------|-----------------------|------|
| 处理<br>Treatment                                                                      | 叶绿素a<br>Chlorophyll a | 叶绿素b<br>Chlorophyll b | 处理<br>Treatment | 叶绿素a<br>Chlorophyll a | 叶绿素b<br>Chlorophyll b |      |
| A1B1                                                                                 | 0.801 F               | 0.398 D               | A4B1            | 0.825 EF              | 0.392 E               |      |
| A1B2                                                                                 | 0.933 BCD             | 0.413 BCD             | A4B2            | 0.944 BCD             | 0.401 CDE             |      |
| A1B3                                                                                 | 1.032 AB              | 0.421 AB              | A4B3            | 0.985 BC              | 0.403 CDE             |      |
| A1B4                                                                                 | 0.922 CDE             | 0.426 AB              | A4B4            | 1.033 AB              | 0.435 A               |      |
| A1B5                                                                                 | 0.763 F               | 0.338 F               | A4B5            | 0.943 BCD             | 0.422 AB              |      |
| A2B1                                                                                 | 0.807 F               | 0.398 D               | A1              | 0.890 cB              | 0.399 bA              |      |
| A2B2                                                                                 | 0.942 BCD             | 0.418 ABC             | A2              | 0.936 bA              | 0.408 aA              |      |
| A2B3                                                                                 | 1.107 A               | 0.425 AB              | A3              | 0.951 aA              | 0.409 aA              |      |
| A2B4                                                                                 | 0.976 BC              | 0.403 CDE             | A4              | 0.946 aA              | 0.411 aA              |      |
| A2B5                                                                                 | 0.846 DEF             | 0.396 E               | B1              | 0.813 cC              | 0.397 bB              |      |
| A3B1                                                                                 | 0.819 EF              | 0.399 D               | B2              | 0.938 cB              | 0.411 aA              |      |
| A3B2                                                                                 | 0.931 BCDE            | 0.413 BCD             | B3              | 1.057 aA              | 0.420 aA              |      |
| A3B3                                                                                 | 1.103 A               | 0.430 AB              | B4              | 0.977 bAB             | 0.420 aA              |      |
| A3B4                                                                                 | 0.977 BC              | 0.414 BCD             | B5              | 0.870 dC              | 0.386 bB              |      |
| A3B5                                                                                 | 0.926 BCDE            | 0.389 E               |                 |                       |                       |      |

注:不同小写字母表示差异显著(P<0.05),不同大写字母表示差异极显著(P<0.01)。下表同。  
Note: Different capital or small letters indicate significant differences at 0.01 or 0.05 level. The same below.

表2 不同处理对福薯7-6叶片光合特性的影响

| Table 2 Effects of different treatments on the leaf photosynthetic in Fushu 7-6 |                                                                               |                                                                           |                                                                                                                            |                 |                                                                               |                                                                           |                                                                                                                            |
|---------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 处理<br>Treatment                                                                 | 光合速率/<br>( $\mu\text{mol} \cdot \text{s}^{-1}$ )<br>Photo syn-<br>thetic rate | 气孔导度/<br>( $\text{mmol} \cdot \text{s}^{-1}$ )<br>Stomatal<br>conductance | 细胞间CO <sub>2</sub> 浓度/<br>( $\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ )<br>Intercellular<br>CO <sub>2</sub> concen-<br>tration | 处理<br>Treatment | 光合速率/<br>( $\mu\text{mol} \cdot \text{s}^{-1}$ )<br>Photo syn-<br>thetic rate | 气孔导度/<br>( $\text{mmol} \cdot \text{s}^{-1}$ )<br>Stomatal<br>conductance | 细胞间CO <sub>2</sub> 浓度/<br>( $\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ )<br>Intercellular<br>CO <sub>2</sub> concen-<br>tration |
| A1B1                                                                            | 14.73 EF                                                                      | 1.27 BC                                                                   | 355.72 A                                                                                                                   | A4B1            | 14.83 CDEF                                                                    | 1.34 AB                                                                   | 356.94 A                                                                                                                   |
| A1B2                                                                            | 14.78 EF                                                                      | 1.25 C                                                                    | 311.25 EFG                                                                                                                 | A4B2            | 15.12 BC                                                                      | 1.33 AB                                                                   | 324.16 CDEFG                                                                                                               |
| A1B3                                                                            | 15.31 B                                                                       | 1.32 AB                                                                   | 303.72 G                                                                                                                   | A4B3            | 15.22 BC                                                                      | 1.28 BC                                                                   | 307.18 FG                                                                                                                  |
| A1B4                                                                            | 15.01 BCDE                                                                    | 1.26 BC                                                                   | 342.87 ABC                                                                                                                 | A4B4            | 15.03 BCDE                                                                    | 1.25 C                                                                    | 349.81 ABC                                                                                                                 |
| A1B5                                                                            | 14.69 F                                                                       | 1.37 A                                                                    | 350.81 AB                                                                                                                  | A4B5            | 15.67 A                                                                       | 1.31 B                                                                    | 336.37 ABCD                                                                                                                |
| A2B1                                                                            | 14.81 DEF                                                                     | 1.35 AB                                                                   | 350.17 AB                                                                                                                  | A1              | 14.9 bA                                                                       | 1.294 aA                                                                  | 332.87 aA                                                                                                                  |
| A2B2                                                                            | 15.03 BCDE                                                                    | 1.26 BC                                                                   | 312.75 EFG                                                                                                                 | A2              | 15.01 abA                                                                     | 1.304 aA                                                                  | 330.64 aA                                                                                                                  |
| A2B3                                                                            | 15.26 BC                                                                      | 1.33 AB                                                                   | 307.24 FG                                                                                                                  | A3              | 14.95 abA                                                                     | 1.292 aA                                                                  | 338.07 aA                                                                                                                  |
| A2B4                                                                            | 15.14 BC                                                                      | 1.3 B                                                                     | 335.96 ABCD                                                                                                                | A4              | 15.17 aA                                                                      | 1.302 aA                                                                  | 334.89 aA                                                                                                                  |
| A2B5                                                                            | 14.82 CDEF                                                                    | 1.28 BC                                                                   | 347.08 ABC                                                                                                                 | B1              | 14.75 cB                                                                      | 1.31 aA                                                                   | 353.39 aA                                                                                                                  |
| A3B1                                                                            | 14.62 F                                                                       | 1.28 BC                                                                   | 350.72 AB                                                                                                                  | B2              | 14.93 bA                                                                      | 1.27 bA                                                                   | 319.83 bB                                                                                                                  |
| A3B2                                                                            | 14.79 DEF                                                                     | 1.24 C                                                                    | 331.16 BCDEF                                                                                                               | B3              | 15.19 aA                                                                      | 1.31 aA                                                                   | 309.09 cB                                                                                                                  |
| A3B3                                                                            | 14.98 CDEF                                                                    | 1.31 B                                                                    | 318.23 DEFG                                                                                                                | B4              | 15.11 aA                                                                      | 1.29 aA                                                                   | 342.25 aA                                                                                                                  |
| A3B4                                                                            | 15.26 BC                                                                      | 1.34 AB                                                                   | 340.35 ABCD                                                                                                                | B5              | 15.07 abA                                                                     | 1.31 aA                                                                   | 346.03 aA                                                                                                                  |
| A3B5                                                                            | 15.11 BCD                                                                     | 1.29 B                                                                    | 349.87 ABC                                                                                                                 |                 |                                                                               |                                                                           |                                                                                                                            |

## 2.2 氮肥类型和施用量对叶菜用甘薯茎尖产量的影响

由表3可以看出,不同处理7~11 d 福薯7-6 鲜

嫩茎叶产量差异达极显著水平(F=68.32<sup>\*\*</sup>)。说明产量受肥料类型、肥料用量及不同采摘时期的影响很大,要获得高产,应从这3个因素综合考虑。

分析采收期对茎尖产量的影响结果表明, 处理后第 7 天采摘产量最低, 第 9 天采摘产量最高, 增幅达显著水平; 第 8~ 11 天产量虽有一定变化但差异均不显著, 第 11 天产量比第 9, 10 天略低(表 3)。这是由于随着种植时间的延长, 植株生物产量提高, 但鲜嫩的可食部分(经济产量)产量提高较少, 并且随着时间的推移, 茎尖老化速度加快, 反而造成茎尖产量下降, 增量不增收。因此, 适时采收在叶菜用甘薯种

植中尤为重要。  
从肥料类型因素看, 以单独施用铵态氮(A 1)产量最低, 显著低于其他处理, 说明硝态氮可能更有利于福薯 7-6 的吸收与利用(见表 4)。在本试验条件下, DCD 对铵态氮的增产效应明显, A 2 处理产量最高, 较 A 1 处理显著增加, 特别是在氮肥用量较高(B 4, B 5)的情况下, 可显著提高产量(表 3)。DCD 的使用对硝态氮处理的产量无显著影响。

表 3 氮肥类型和施用量对福薯 7-6 茎尖产量的影响

| Table 3 Effects of N fertility types and application amounts on vine yield in Fushu 7-6 |          |           |          |           |           | g              |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|----------|-----------|----------|-----------|-----------|----------------|
| 处理<br>Treatment                                                                         | 7 d      | 8 d       | 9 d      | 10 d      | 11 d      | 平均<br>A verage |
| A 1B1                                                                                   | 133.2    | 134.7     | 138.7    | 136.5     | 135.4     | 135.7          |
| A 1B2                                                                                   | 137.8    | 135.3     | 139.6    | 139.7     | 140.2     | 138.5          |
| A 1B3                                                                                   | 139.3    | 140.6     | 144.5    | 144.2     | 143.3     | 142.4          |
| A 1B4                                                                                   | 140.1    | 144.3     | 143.2    | 142.1     | 140.7     | 142.1          |
| A 1B5                                                                                   | 136.8    | 142.1     | 142.8    | 142.3     | 139.8     | 140.8          |
| A 2B1                                                                                   | 136.8    | 137.8     | 140.4    | 141.2     | 140.6     | 139.4          |
| A 2B2                                                                                   | 140.1    | 141.6     | 143.3    | 140.8     | 144.2     | 142.0          |
| A 2B3                                                                                   | 140.4    | 144.3     | 146.9    | 145.9     | 143.6     | 144.2          |
| A 2B4                                                                                   | 148.3    | 146.9     | 148.9    | 148.3     | 147.3     | 147.9          |
| A 2B5                                                                                   | 143.5    | 145.2     | 147.5    | 142.6     | 141.5     | 144.1          |
| A 3B1                                                                                   | 134.2    | 136.6     | 136.7    | 140.1     | 140.9     | 137.7          |
| A 3B2                                                                                   | 139.6    | 139.4     | 143.2    | 140.7     | 140.2     | 140.6          |
| A 3B3                                                                                   | 144.7    | 148.7     | 147.5    | 144.6     | 146.6     | 146.4          |
| A 3B4                                                                                   | 142.5    | 146.3     | 145.1    | 148.7     | 147.5     | 146.0          |
| A 3B5                                                                                   | 143.6    | 144.1     | 142.2    | 142.5     | 143.1     | 143.1          |
| A 4B1                                                                                   | 133.7    | 134.1     | 138.8    | 139.7     | 140.1     | 137.3          |
| A 4B2                                                                                   | 135.6    | 138.2     | 144.7    | 146.5     | 145.2     | 142.0          |
| A 4B3                                                                                   | 140.7    | 146.7     | 145.6    | 147.5     | 146.8     | 145.5          |
| A 4B4                                                                                   | 145.2    | 146.6     | 146.7    | 144.3     | 146.7     | 145.9          |
| A 4B5                                                                                   | 140.2    | 143.3     | 144.5    | 142.1     | 140.3     | 142.1          |
| 平均<br>A verage                                                                          | 139.8 bA | 141.8 abA | 143.5 aA | 143.0 abA | 142.7 abA | 142.2          |

2 表 4 氮肥类型和施用量对福薯 7-6 茎硝酸盐含量的影响  
Table 4 Effects of N fertility types and applications on vine yield in Fushu 7-6

| 处理<br>Treatment | 产量<br>Yield | 处理<br>Treatment | 产量<br>Yield |
|-----------------|-------------|-----------------|-------------|
| A 1             | 139.888 bA  | B 1             | 137.5 c B   |
| A 2             | 143.516 aA  | B 2             | 140.8 bc AB |
| A 3             | 142.772 aA  | B 3             | 144.6 a A   |
| A 4             | 142.552 aA  | B 4             | 145.5 a A   |
|                 |             | B 5             | 142.5 ab AB |

氮肥施用量因素(B)对茎尖产量有明显影响(表 4), 其中 B 1, B 2 产量较低, 分别极显著和显著低于 B 3, B 4 处理。可见氮肥施用量对提高福薯 7-6 鲜嫩茎叶产量有明显作用, 但当施用量达到一定程度(B 3)后, 继续提高施用量对产量影响不显著, 且有可能产生负效应。

2 3 1 对硝酸盐含量的影响 从表 5 可以看出, A 3 处理(硝态氮)福薯 7-6 硝酸盐含量显著高于 A 1(铵态氮)处理, 说明硝态氮更有利于硝酸盐的积累。DCD 对硝酸盐含量的影响因配合使用的氮肥类型不同而不同, DCD 与硝态氮(A 4)结合不能降低植株硝酸盐含量, 但 DCD 与铵态氮(A 2)结合极显著降低硝酸盐含量, 说明铵态氮中加入 DCD 是减少植株硝酸盐积累的有效途径。DCD 对不同氮肥施用量处理硝酸盐积累的影响不同, 在低施肥量条件下, DCD 降低硝酸盐含量的效应较低, 而随着氮施用量的增加, DCD 减少硝酸盐含量的效应随之提高。因此, 高施氮量条件对发挥 DCD 减少硝酸盐含量效应更为有利。

随施肥量(B)增加,硝酸盐含量呈线性上升趋势。当施肥量达到B4水平时,硝酸盐含量显著高于B1~B3水平,当施肥量继续增加达到B5水平,硝酸盐含量极显著高于B1和B2处理。

表5 氮肥类型和施用水平对福薯7-6硝酸盐含量的影响

Table 5 Effects of N fertility types and applications on the nitrate content in Fushu 7-6 leaf

|                  |                        | mg/kg            |                        |
|------------------|------------------------|------------------|------------------------|
| 处理<br>Treatment  | 硝酸盐<br>Nitrate content | 处理<br>Treatment  | 硝酸盐<br>Nitrate content |
| A <sup>-</sup> 1 | 749.1 bA               | B <sup>-</sup> 1 | 662.9 Bc               |
| A <sup>-</sup> 2 | 602.9 cB               | B <sup>-</sup> 2 | 685.4 Bbc              |
| A <sup>-</sup> 3 | 796.6 aA               | B <sup>-</sup> 3 | 726.8 ABb              |
| A <sup>-</sup> 4 | 789.2 aA               | B <sup>-</sup> 4 | 779.9 ABa              |
|                  |                        | B <sup>-</sup> 5 | 816.1 Aa               |

2.3.2 对硝酸盐含量变化动态的影响 从表6可以看出,施肥后7~9 d,硝态氮、铵态氮在不同施用量下硝酸盐含量的变化趋势基本一致,均表现出低-高-低的变化。从施用量因素(B)看,在低中施用量条件下(B1, B2, B3)硝酸盐含量的峰值出现在施

表6 采收期对福薯7-6硝酸盐含量的影响

Table 6 Effects of harvest date on the nitrate content in leaf

|                 |       |       |       |       |       | mg/kg           |        |        |       |       |       |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------------|--------|--------|-------|-------|-------|
| 处理<br>Treatment | 7 d   | 8 d   | 9 d   | 10 d  | 11 d  | 处理<br>Treatment | 7 d    | 8 d    | 9 d   | 10 d  | 11 d  |
| A1B1            | 587.6 | 721.4 | 732.8 | 641.3 | 631.6 | A3B1            | 632.2  | 783.6  | 814.6 | 719.6 | 679.9 |
| A1B2            | 592.4 | 765.8 | 674.3 | 664.5 | 657.9 | A3B2            | 665.5  | 806.6  | 827.8 | 730.4 | 571.3 |
| A1B3            | 621.4 | 863.2 | 725.8 | 734.5 | 676.3 | A3B3            | 833.1  | 914.4  | 801.3 | 757.5 | 720.1 |
| A1B4            | 863.1 | 895.7 | 796.3 | 755.4 | 725.6 | A3B4            | 949.4  | 967.8  | 910.2 | 779.2 | 672.8 |
| A1B5            | 966.4 | 946.9 | 854.7 | 820.1 | 787.4 | A3B5            | 1016.3 | 1014.2 | 876.3 | 814.0 | 657.6 |
| A2B1            | 518.8 | 559.2 | 574.6 | 478.9 | 448.8 | A4B1            | 691.3  | 774.6  | 764.5 | 752.3 | 750.4 |
| A2B2            | 522.9 | 582.1 | 590.6 | 536.7 | 569.2 | A4B2            | 740.6  | 821.0  | 827.8 | 768.1 | 792.2 |
| A2B3            | 550.4 | 657.4 | 627.4 | 631.4 | 578.3 | A4B3            | 797.3  | 873.1  | 777.8 | 738.7 | 656.7 |
| A2B4            | 619.6 | 698.3 | 690.1 | 670.8 | 623.4 | A4B4            | 803.1  | 900.0  | 834.7 | 729.8 | 713.5 |
| A2B5            | 627.0 | 708.4 | 747.4 | 719.8 | 541.4 | A4B5            | 934.2  | 903.7  | 872.3 | 786.9 | 726.5 |

### 3 结 论

(1) 氮素是组成叶绿素的重要元素。叶绿素执行植株吸收光能、进行原初反应等重要功能,叶绿素合成能力的高低直接影响光合能力的强弱。本试验结果显示,硝态氮、铵态氮的施用对叶绿素a含量的影响较大,施用硝态氮处理的叶绿素a含量极显著高于施用铵态氮处理,尤其是铵态氮在高施用量条件下叶绿素a含量降低更为显著,这可能与细胞内铵态氮用量过大造成生物膜损伤有关,而DCD使用可以减轻这一影响从而提高叶绿素a含量。

不同形态氮肥对促进福薯7-6光合速率作用有一定的差异,硝态氮对促进植株光合速率作用较铵态氮明显。适当的施氮量可促进光合速率的提高及

肥后8~9 d,到第10~11天呈缓慢下降趋势;在高施用量条件下,硝酸盐含量的峰值出现在施肥后7~8 d,随后以较快的速度下降;DCD的使用对这种曲线变化有明显的平抑作用,峰值不明显。按我国通用标准,新鲜蔬菜中硝酸盐含量 $\leq 432$  mg/kg,定为一级,属轻度污染; $\leq 785$  mg/kg定为二级,属中度污染; $\leq 1440$  mg/kg定为三级,属高度污染;可能中毒的一次剂量为3100 mg/kg,即 $\leq 3100$  mg/kg为四级,属严重污染。本试验不同采收期各处理的硝酸盐含量在448.8~1016.3 mg/kg,属于二至三级污染。其中,第7天采收有12个处理硝酸盐含量在432~785 mg/kg,属二级污染,8个处理硝酸盐含量在785~1440 mg/kg,为三级污染;第8、9、10、11天采收分别有9、10、17和18个处理硝酸盐含量在432~785 mg/kg,其余处理硝酸盐含量均处在785~1440 mg/kg。可见,从施肥后第10天开始采收硝酸盐含量较低。

对胞间CO<sub>2</sub>的利用,进而提高群体的光合能力,但施用量达到一定水平后(B3),继续增施氮肥对提高光合速率作用不大。

本试验中,适宜的氮肥用量明显促进了植株的光合作用,对提高单次采收产量有一定的影响,主要表现在施用量从B1提高到B3时光合效率及产量同时提高。由于福薯7-6茎叶生长量与可食部分产量(经济产量)之间的关系同时还受茎尖老化程度的影响,因此,在一些处理中,光合效率提高植株生长量不能在经济产量上得到充分表现。因此,施肥方式及施肥量对群体光合能力构成及对多次采收产量的影响,有待进一步研究。

(2) 植物细胞内存在两个硝酸根库,即代谢库和储存库。代谢库位于细胞质内,储存库位于液泡内。

只有代谢库内的硝酸根离子可诱导产生硝酸还原酶(NR)并参与 $\text{NO}_3^-$ 的还原,组织内剩余的硝酸根离子即为储存库内硝酸根离子。本试验结果表明,硝态氮比铵态氮更有利于硝酸盐的积累,而DCD和铵态氮配合使用可以极显著降低硝酸盐的积累,但DCD对硝态氮作用不大。因此,慎用硝态氮和配合使用DCD是降低植株硝酸盐含量的有效途径。硝化抑制剂能抑制硝化作用,硝化反应过程被硝化抑制剂抑制后,氮肥将长时间以N的形式保持在土壤中,避免高浓度 $\text{NO}_3^-$ 和 $\text{NO}_2^-$ 的出现,达到减少 $\text{NO}_3^-$ 和 $\text{NO}_2^-$ 的淋溶损失以及减少 $\text{N}_2\text{O}$ 释放的目的<sup>[11-12]</sup>。此外,高利萍等<sup>[13]</sup>研究认为,植物体内硝酸盐的积累是一种奢侈消耗,植物在氮素供应过剩时以超过自身需要的速度吸收硝态氮,并将多吸收的硝态氮储存起来。因此,在其他环境及栽培条件一致的情况下,要尽量减少氮肥施用量。本试验结果也证明,不论是铵态氮或硝态氮,随着施肥量的提高,硝酸盐含量显著增加,硝酸盐污染达到二级的比率明显提高。从硝酸盐含量动态变化来看,在低中施用量条件下(B1,

B2, B3)硝酸盐含量的峰值出现在8~10 d,而高施用量条件下硝酸盐含量的峰值出现在7~8 d。这为安全采摘提供了明确的科学依据。

(3)氮肥对提高叶菜类蔬菜产量作用相当显著,因此加大氮肥的施用量成为提高叶菜类蔬菜产量最直接的选择。从本试验结果来看,当氮肥施用量达到 $450 \text{ kg/hm}^2$ 时,继续增加施用量对提高产量意义不大。针对叶菜用甘薯栽培“一次种植,多次采收”的特点,结合本试验结果及栽培实践经验,在气候及水分管理条件适宜情况下,每7~12 d可采收一次(本试验中在第9天产量最高),在此期间内要做到适时采收,采收时间的推移不能提高单次采收产量反而有可能使产量下降,这主要是由于茎尖老化而降低植株可食部分造成的。

综合分析认为,在考虑产量与硝酸盐积累两因素情况下,叶菜用甘薯最佳施肥采摘方案为:施纯氮 $450 \text{ kg/hm}^2$ ,采用铵态氮结合DCD的方式施用,在施肥后第9或第10天进行采摘。

### [参考文献]

- [1] 王庆南,戎新祥,赵荷娟,等.菜用甘薯研究进展及开发利用前景[J].南京农专学报,2003,19(1):20-23
- [2] 林志刚,赵亿华.叶菜类蔬菜的硝酸盐积累规律及其控制方法研究[J].土壤通报,1993,24(6):253-255
- [3] 庄舜尧,孙秀廷.氮肥对蔬菜硝酸盐积累的影响[J].土壤学进展,1995,23(3):29-34
- [4] 邱永祥,王伟,蔡南通,等.不同N素水平对叶菜型甘薯硝酸盐积累及品质影响的研究[J].福建农林大学学报,2005,34(2):143-145
- [5] 蔡南通,邱永祥,吴秋云,等.叶菜型甘薯栽培技术及施氮安全研究[C]//中国甘薯育种与产业化.北京:中国农业大学出版社,2005:106-109
- [6] 温庆放,薛珠政,李大忠,等.不同氮肥种类及用量对菠菜硝酸盐积累的影响[J].上海农业学报,2005,21(4):71-74
- [7] 邹琦.植物生理学实验指导[M].北京:中国农业出版社,2000:72-75
- [8] 韩雅珊.食品化学实验指导[M].北京:北京农业大学出版社,1992:160-162
- [9] 郭红祥,刘卫群,岳俊勤,等.氮素形态及饼肥浸提液对烤烟功能叶片光合特性的影响[J].华北农学报,2005,20(4):62-65
- [10] 代红军,柯玉琴,潘廷国,等.甘薯蔓割病病原菌的侵染对甘薯光合作用的影响[J].福建农林大学学报,2004,33(3):304-307
- [11] 余光辉,张杨珠,万大娟.几种硝化抑制剂对土壤和小白菜硝酸盐含量及产量的影响[J].应用生态学报,2006,17(2):248-231
- [12] 黄益宗,冯宗伟,王效科,等.硝化抑制剂在农业上应用的研究进展[J].土壤通报,2002,33(4):310-315
- [13] 高利萍,巴特尔,赵秀梅,等.蔬菜硝酸盐污染现状及控制途径[J].内蒙古农业大学学报,2005,26(4):134-138

## Studies on the effects of different fertilizers and nitrification inhibitor on photosynthetic and vine yield and nitrate accumulation in vine-vegetable sweetpotato

QIU Yong-xiang, XIE Xiao-zheng, CAI Nan-tong, WU Qiu-yun, LUO Wen-bin, TANG Hao

(Fujian Academy of Agricultural Sciences, Fuzhou, Fujian 350013, China)

**Abstract:** This paper studied the photosynthetic, edible-vine yields and nitrate accumulation of vine-vegetable sweetpotato character by using the  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ,  $\text{NaNO}_3$  and Nitrification inhibitor DCD. The re-

sults showed that there was a significant effect of applied nitrogen amount and nitrogen type on photosynthetic character and chlorophyll content.  $\text{NO}_3\text{-N}$  had higher effects than  $\text{NH}_3\text{-N}$  on the chlorophyll a and photosynthetic rate, and fertility application amounts evidently affected the content of chlorophyll a. Vine and leaf yield of single application of  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  was lower than that of nitrogen treatment W. Within the range of 450 kg pure nitrogen per hectare, with the increase of applied nitrogen, the yields of vine and leaf improved. But if the amount applied went out of that range, increasing application of nitrogen couldn't notably affect the yield. The  $\text{NO}_3\text{-N}$  application could increase the content of nitrate more easily. The highest nitrate level appeared 8-9 d after treating at medium and lower nitrogen level (150-450 kg/hm<sup>2</sup>) and 7-8 d at higher nitrogen (600-750 kg/hm<sup>2</sup>). The DCD could reduce the  $\text{NH}_3\text{-N}$ -genetic-nitrate content significantly but not significant for  $\text{NO}_3\text{-N}$ . The best means was the combination of  $\text{NH}_4\text{-N}$  and DCD, 450 kg per hectare pure nitrogen and harvest after 9-10 d treatment.

**Key words:** vine-vegetable sweetpotato; photosynthetic; vine yield; nitrate accumulation

(上接第57页)

**Abstract ID:** 1671-9387(2006)12-0053-EA

## Effect of AM F on GSH-Px activity and cell membrane osmosis of tomato

HE Zhong-qun<sup>1,2,3</sup>, ZOU Zhi-rong<sup>1</sup>, HE Chao-xing<sup>2</sup>, ZHANG Zhi-bin<sup>2</sup>, WANG Jun<sup>1</sup>

(1 Department of Horticulture, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2 Institute of Vegetables and Flowers, CAAS, Beijing 100081, China;

3 College of Plant Science and Technology, Tarim University, Alar, Xinjiang 843300, China)

**Abstract:** The effects of arbuscular mycorrhizal fungi (AM F) on  $\text{O}_2^-$  generation rate, malondialdehyde (MDA), cell membrane osmosis, glutathione (GSH-Px) activity and relative water content in tomato were studied in pot culture under different NaCl concentrations (5 g/L and 10 g/L). The results showed that MDA content,  $\text{O}_2^-$  generation rate and cell membrane osmosis increased but relative water content (RWC) decreased continuously in both AM F and non-AM F tomato leaves under salt stress. Compared with non-AM F tomato, AM F tomato significantly reduced accumulation of MDA, decreased  $\text{O}_2^-$  productive rate and cell membrane osmosis, also increased relative water content (RWC) in leaves. So AM F alleviated cell membrane injury and enhanced the tomato salt tolerance. Under NaCl stress, GSH-Px activity in AM F tomato was significantly higher than that in non-AM F ones. The increased GSH-Px activity could alleviate oxygen radical injury to cell membrane and so enhanced AM F tomato salt tolerance.

**Key words:** salt stress; AM F; GSH-Px; cell membrane osmosis; tomato