

不同氮形态对草莓植株生长和果实品质的影响

郝福玲, 王巧巧, 袁玲玲, 王宋奇, 方芳, 方从兵*

(安徽农业大学园艺学院, 合肥 230036)

摘要: 以‘红颜’草莓砂培苗为材料, 采用无氮、硝态氮、铵态氮和硝态氮-铵态氮处理, 通过对株高、功能叶和不同发育时期果实生理指标的测定, 探讨不同氮形态处理对植株生长发育和果实品质特征的影响。结果表明, 硝态氮促进植株生长, 提高果实品质, 成熟果色泽佳, 糖酸比为 14.58, 多酚含量为 2.77%; 铵态氮延缓植株生长, 但有助于叶片色素合成和果实产量提高, 平均单果重可达 12.64 g, 成熟果可滴定酸含量达 1.12%, 多酚含量为 0.47%; 硝态氮-铵态氮处理时, 植株生长和果实发育较为均衡, 平均株高可达 32.47 cm, 单果重可达 11.07 g, 成熟果干物质含量和可溶性固形物含量分别为 12.12% 和 13.10%, 糖酸比为 14.22, 多酚含量为 2.32%。在草莓生产中, 施用硝态氮有助于果实品质的提高, 硝态氮-铵态氮处理对植株生长、果实产量和品质提升均有良好效果。

关键词: 草莓; 氮形态; 果实品质; 植株生长

中图分类号: S668.4

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X(2018)04-0762-06

Effects of different nitrogen forms on plant growth and fruit quality in strawberry

HAO Fuling, WANG Qiaoqiao, YUAN Lingling, WANG Songqi, FANG Fang, FANG Congbing

(School of Horticulture, Anhui Agricultural University, Hefei 230036)

Abstract: In order to explore the effects of different nitrogen forms on plant growth and fruit quality in strawberry, sand-grown seedlings of cultivar ‘Benihoppe’ were treated by N-deficiency, nitrate, ammonium, and mixture of nitrate and ammonium, and then the plant height, physiological indexes of functional leaf and different development periods of fruits were measured. The results indicated that nitrate could promote plant growth and improve fruit color and quality. The sugar-acid ratio was 14.58, and the polyphenol content was 2.77% in red-ripening fruits derived from nitrate-treated seedlings. Ammonium was beneficial for the synthesis of leaf pigment and improvement of the fruit yield, but it delayed the plant growth. The average weight of single fruit could reach up to 12.64 g, and the contents of titratable acids and polyphenols were 1.12% and 0.47%, respectively, in the experiment of ammonium treatment. Interestingly, the mixture of nitrate and ammonium was more suitable for the plant growth and fruit development compared to the other two nitrogen forms and the N-deficiency, and the average plant height and single fruit weight were 32.47 cm and 11.07 g, respectively. Moreover, the sugar-acid ratio was 14.22, and the contents of dry matters, soluble solids and polyphenols were 12.12%, 13.10% and 2.32%, respectively, in the red-ripening fruits. Therefore, in strawberry production, application of nitrate will benefit for improving fruit quality, and the mixture of nitrate and ammonium is suitable for the plant growth, fruit yield and quality of strawberry.

Key words: *Fragaria × ananassa* Duch; nitrogen forms; fruit quality; plant growth

氮素是植物最重要的营养元素之一, 约占植物干重的 0.3%~5%^[1]。植物对氮素需求量较大, 总氮量、不同形态和比例的氮素均影响植物的生长发育、产量和品质。研究表明, 施用氮肥不仅能提高植物叶片叶绿素含量, 改善光合性能, 达到“以氮增

碳”的效果, 还能增强果实库活力, 延长果实发育期, 从而影响果实产量与品质^[2]。氮素失调对草莓等水果的品质影响较大, 氮素不足会导致草莓等水果口感不佳、果形变小; 氮素过多则会导致其含糖量的降低。铵态氮和硝态氮是 2 种植物的主要矿质氮源,

收稿日期: 2017-11-02

基金项目: 国家自然科学基金青年科学基金项目(31601741)和安徽省高等学校自然科学研究重点项目(KJ2016A221)资助。

作者简介: 郝福玲, 讲师。E-mail: haofuling@ahau.edu.cn

* 通信作者: 方从兵, 博士, 教授。E-mail: fcb_ah@ahau.edu.cn

对植物的生长发育和果实品质形成具有不同的效应^[3]。但不同氮形态对草莓植株生长和果实品质的确切效应尚未明确。本研究以‘红颜’草莓砂培苗为试材, 研究不同氮形态对草莓生长发育和果实品质的影响, 以期对草莓栽培过程中氮肥种类的选择, 以及进一步探讨不同氮形态影响草莓生长发育的生理机制提供试验依据。

1 材料与方法

1.1 材料与处理

供试草莓品种为‘红颜’(*Fragaria × ananassa* Duch ‘Benihoppe’), 取自安徽省合肥市长丰县草莓基地。采用砂培法栽植, 选取 240 株生长一致、现花

蕾的草莓苗, 栽植于基质为石英砂和珍珠岩(1:1)的花盆中, 放置于湿度 70%, 日温(25±2)℃, 夜温(16±1)℃的玻璃温室, 用 1/2 Hoagland 营养液^[4]缓苗 7 d。开花时, 将草莓苗分成 4 组, 每组 60 棵, 分别用无氮、硝态氮、铵态氮和硝态氮-铵态氮营养液进行处理, Hoagland 营养液配方见表 1, 均添加 Arnon 微量元素^[4], pH 5.8; 每 3 d 浇 1 次营养液, 直至果实成熟。依次在开花当天、花后 10 d (小绿果期)、花后 15 d (大绿果期)、花后 20 d (绿白果期)、花后 25 d (白果期)、花后 30 d (转色果期)、花后 35 d (成熟果期)、花后 40 d (过熟果期)^[5]进行采样分析, 3 次重复。

表 1 不同氮形态处理营养液配方

Table 1 Nutrient formula of different nitrogen forms

处理 Treatment	(NH ₄) ₂ SO ₄	Ca(NO ₃) ₂	KH ₂ PO ₄	K ₂ SO ₄	FeSO ₄ -EDTA
无氮 N-deficiency	0	0	1	2	0.005
硝态氮 Nitrate	0	7	1	2	0.005
铵态氮 Ammonium	7	0	1	2	0.005
硝态氮-铵态氮 Nitrate and ammonium	3	4	1	2	0.005

1.2 检测方法

分别选取不同氮形态处理草莓苗 3 株, 在处理后的 0、10、20、30 和 40 d 进行株高和叶片指标的测定。株高采用钢尺进行测定。在处理后的不同时间点, 均选取展叶 10 d 的草莓功能叶进行叶片指标的测定; 选取草莓三出复叶的中间小叶, 测量小叶长和小叶宽; 去除叶柄, 采用干重法进行干物质含量测定; 采用乙醇提取法进行色素含量测定; 采用色差仪(美能达 CR400)分别测定处理后 0 和 40 d 时功能叶的色坐标值(*L*、*a*、*b*)。3 次重复。

选取不同发育时期的典型草莓果实 5 个, 分别在处理后的 10、15、20、25、30、35 和 40 d, 用游标卡尺测定纵径和横径, 用万分之一电子天平测定单果重。选取不同氮处理的成熟期果实 3 个, 用色差仪分别测量果实的色坐标值, 以处理前的色坐标值(*L*、*a*、*b*)为对照, 分别计算色差 ΔL 、 Δa 、 Δb 值; 采用干重法测定果实干物质含量。选取不同氮处理成熟期果实 3 个, 采用手持式折光仪测定可溶性固形物含量, 采用 NaOH 标准溶液滴定法测定可滴定酸含量, 采用没食子酸标曲法测定多酚含量, 3 次重复。

采用 SPSS 软件 (Version 14.0) 进行差异显著性测验。

2 结果与分析

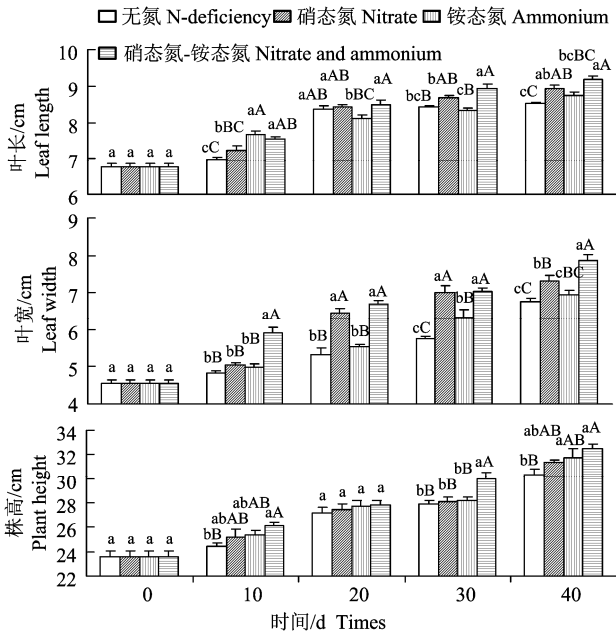
2.1 不同氮形态处理对草莓株高和叶片生长影响

选取展叶 10 d 后功能叶的中间小叶, 测定叶长和叶宽, 如图 1 所示。不同氮形态处理 40 d 后叶长增加约 1.8~2.4 cm, 叶宽增加约 2.2~3.3 cm; 其中, 铵态氮处理草莓叶长在第 10 天增加最快, 后期增加缓慢; 硝态氮处理草莓叶长、叶宽在第 10 天时增加较慢, 但后期增加较快; 铵态氮-硝态氮处理草莓叶长、叶宽增加均较快。处理 40 d 时, 硝态氮处理和硝态氮-铵态氮处理的草莓叶长、叶宽均与无氮处理呈极显著性差异 ($P < 0.01$)。处理 40 d 时, 与无氮处理相比, 硝态氮处理叶长和叶宽分别增加 0.40 和 0.53 cm; 铵态氮处理叶长和叶宽增加 0.20 和 0.17 cm; 硝态氮-铵态氮处理叶长和叶宽增加 0.63 和 1.10 cm。

如图 1 所示, 不同氮形态处理后硝态氮-铵态氮处理的草莓株高增加最快。从处理后 10 d 开始, 不同氮形态处理的草莓苗株高存在差异; 与无氮处理相比, 在处理 40 d 时, 硝态氮处理的草莓株高无显著差异, 铵态氮处理株高差异显著 ($P < 0.05$), 硝态氮-铵态氮处理的草莓株高呈极显著性差异 ($P < 0.01$)。

2.2 不同氮形态处理对草莓叶片干物质含量影响

由图2可知, 无氮处理和硝态氮处理的单位鲜重草莓功能叶中干物质含量持续增加。在铵态氮和硝态氮-铵态氮处理10 d后, 干物质含量急剧下降, 之后缓慢上升; 至处理后40 d时, 干物质含量从处理前的31.6%分别上升到38.9%和35.6%。与无氮处理相比, 硝态氮处理、铵态氮处理和硝态氮-铵态氮处理均呈极显著性差异 ($P < 0.01$)。结合图1分析可以发现, 无氮处理草莓植株营养生长受到抑制, 叶片最小、植株最矮, 但单位鲜重草莓功能叶中干物质含量最高。



在不同氮形态处理草莓样品同一时间点的分析数据中, 柱状图上面的字母不同者差异显著, a 和 A 分别表示 $P < 0.05$ 和 $P < 0.01$ 水平 (新复极差测验)。下同

The values in the same time point from strawberry samples treated with different nitrogen forms within each group differ significantly, and “a” and “A” show $P < 0.05$ and $P < 0.01$ differences, respectively (Duncan method). The same below

图1 不同氮处理对草莓株高和叶片大小的影响

Figure 1 Effects of different nitrogen forms on strawberry plant height and leaf size

2.3 不同氮形态处理对草莓叶片叶绿素和类胡萝卜素含量的影响

叶绿素含量的高低是反映植株叶片光合作用强弱的重要指标。如图3所示, 在不同氮形态处理40 d后, 草莓功能叶中叶绿素含量呈极显著性差异 ($P < 0.01$); 其中, 铵态氮处理功能叶中叶绿素含量达到 $13.18 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ (FW), 高于处理前的 $9.28 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ FW, 是无氮处理 $5.33 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ (FW) 的2.47倍; 硝态氮和硝态氮-铵态氮处理功能叶中叶绿素含量分别达到

8.29 和 $8.14 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ (FW), 是无氮处理的1.56倍和1.53倍, 但均低于处理前。

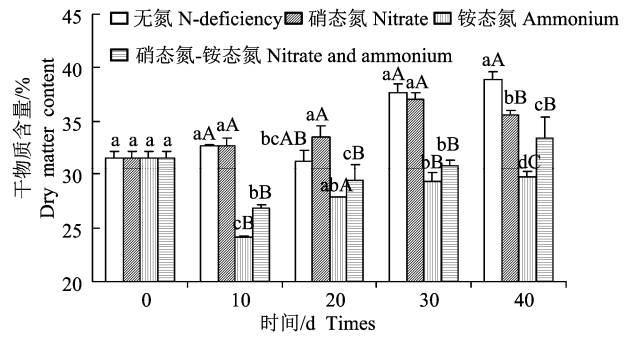


图2 不同氮处理对草莓功能叶干物质含量的影响

Figure 2 Effects of different nitrogen forms on dry matter contents in strawberry functional leaves

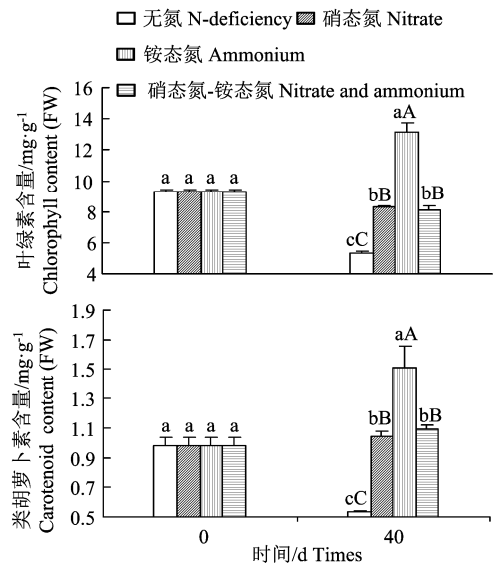


图3 不同氮处理对草莓功能叶中叶绿素和类胡萝卜素含量的影响

Figure 3 Effects of different nitrogen forms on the contents of chlorophyll and carotenoid in strawberry leaves

类胡萝卜素作为叶绿体光合天线的辅助色素, 同时高温、强光下能通过叶黄素循环, 以非辐射的方式耗散光系统II (PS II) 的过剩能量保护叶绿素免受破坏^[6]。如图3所示, 在不同氮形态处理40 d后, 铵态氮处理功能叶中类胡萝卜素含量达到 $1.51 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ (FW), 硝态氮和硝态氮-铵态氮处理分别达到 1.05 和 $1.09 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ (FW), 均与无氮处理 ($0.54 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ (FW)) 呈极显著性差异 ($P < 0.01$)。

2.4 不同氮形态处理对草莓叶色的影响

对不同氮形态处理草莓叶片的色坐标值进行测定, L 值表示亮度, L 值越大, 亮度越大; a 值为正值时表示红色色度, 为负值时表示绿色色度; b 值为正值时表示黄色色度, 为负值时表示蓝色色度。

如图 4 所示, 不同氮形态处理 40 d 时, 无氮处理和硝态氮处理草莓叶片 L 值均增大, 叶片变亮, 而铵态氮处理和硝态氮-铵态氮处理草莓叶 L 值降低, 叶片变暗; 无氮处理和硝态氮处理叶片 Δa 值分别为 21.37 和 21.63, 表明叶片的红色色度增加, 而铵态氮处理和硝态氮-铵态氮处理的草莓叶片 Δa 值分别为 1.11 和 1.13, 表明叶片的绿色色度减少较少; 不同氮形态处理草莓叶片的 b 值存在显著差异 ($P < 0.05$), 无氮处理和硝态氮处理草莓叶片的黄色色度 (正值) 分别增加了 9.84 和 2.44, 而铵态氮处理和硝态氮-铵态氮处理的草莓叶片黄色色度分别减少了 3.72 和 4.30。

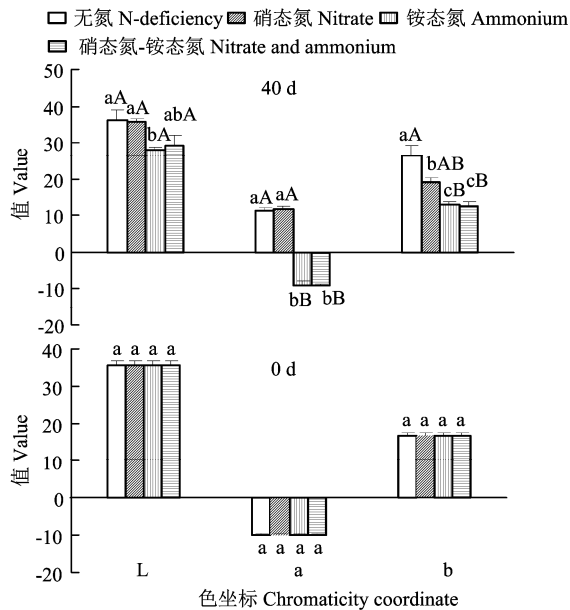


图 4 不同氮处理草莓叶片色坐标值

Figure 4 Chromaticity coordinate value of strawberry leaves treated with different nitrogen forms

结合图 3 和图 4 可知, 无氮处理草莓叶的叶绿素和类胡萝卜素含量减少, 叶色偏红偏黄。而硝态氮处理草莓叶的叶绿素和类胡萝卜素含量变化不大, 叶色也偏红偏黄, 可能受到其他机制影响。

2.5 不同氮形态处理对草莓单果重和果实生长动态的影响

如图 5 所示, 7 个不同发育时期果实的纵横径和单果重均逐渐上升。不同氮形态处理对草莓果实生长有着不同的影响, 在花后 20 和 35 d, 无氮处理的草莓果实纵径增加最大; 在花后 30 d, 无氮处理的果实横径和单果重增加最大; 在花后 15 d 和 25 d, 硝态氮处理的果实横径增加最大; 在花后 35 和 40 d, 铵态氮处理的果实纵径、横径和单果重增加最多; 在硝态氮-铵态氮处理中, 花后 25 d 果实纵径增加

最大, 花后 35 和 40 d 果实横径和单果重增加仅次于铵态氮处理。

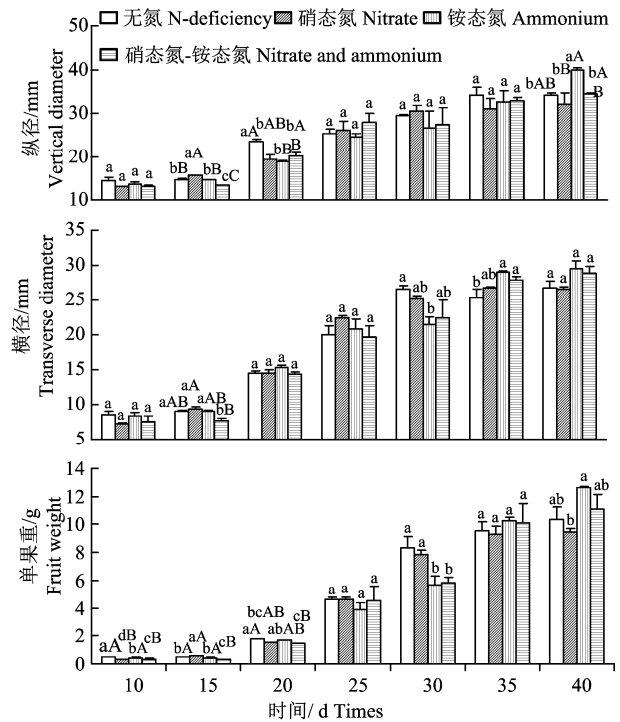


图 5 不同氮处理对草莓单果重和果实生长动态的影响

Figure 5 Effects of different nitrogen forms on strawberry fruit weight and characteristics

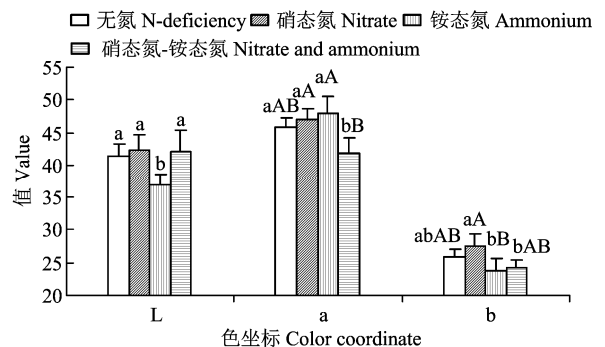


图 6 不同氮处理草莓成熟期果实的色坐标值

Figure 6 Chromaticity coordinate value of red-ripening fruits treated with different nitrogen forms

2.6 不同氮形态处理对草莓果色的影响

如图 6 所示, 在花后 35 d, 不同氮形态处理的果实颜色也存在一定差异。其中, 铵态氮处理果实最红 (a 值最大), 但果实色泽最暗 (L 值最小); 硝态氮-铵态氮处理果实红色度最小 (a 值最小); 硝态氮处理果实色泽最亮 (L 值最大)、黄色度最大 (b 值最大); 无氮处理果实色彩居中。一般来说, 草莓果实色彩包含的红色成分、黄色成分和亮度成分越多越受人们喜爱, 因此, 以硝态氮处理的草莓

果实色泽最为美观。

2.7 不同氮形态处理对果实品质的影响

如表 2 所示, 不同氮形态处理成熟期果实主要品质指标存在一定差异。硝态氮-铵态氮处理可溶性固形物含量最高, 硝态氮处理次之, 无氮处理再次之, 铵态氮处理最低。铵态氮处理与硝态氮-铵态氮处理间存在显著性差异 ($P<0.05$)。铵态氮处理可滴定酸含量最高, 与其他处理间差异极显著 ($P<0.01$)。硝态氮处理果实糖酸比最高, 铵态氮处理果

实糖酸比最低; 铵态氮处理与硝态氮处理和硝态氮-铵态氮处理间差异极显著 ($P<0.01$), 与无氮处理间差异显著 ($P<0.05$)。硝态氮-铵态氮处理果实干物质含量最高, 无氮处理和铵态氮处理次之, 硝态氮处理最低; 硝态氮-铵态氮处理与硝态氮处理间显著差异 ($P<0.05$)。不同氮形态处理成熟期果实的多酚含量均存在极显著差异 ($P<0.01$); 硝态氮处理和硝态氮-铵态氮处理果实多酚含量高, 分别达到 2.77% 和 2.32%, 而铵态氮处理仅为 0.47%。

表 2 不同氮形态处理对草莓果实品质的影响
Table 2 Effects of different nitrogen forms on strawberry fruit quality

处理 Treatment	可溶性固形物含量/% Soluble solid content	可滴定酸含量/% Titratable acidity	糖酸比 Acid-sugar ratio	干物质含量/% Fruit dry matter content	多酚含量/% Total phenols content
无氮 N-deficiency	12.33 ± 0.38 ^{ab}	0.93 ± 0.04 ^{bB}	13.32 ± 0.74 ^{aAB}	11.56 ± 0.26 ^{ab}	1.59 ± 0.02 ^{cC}
硝态氮 Nitrate	12.83 ± 0.09 ^{ab}	0.88 ± 0.00 ^{bB}	14.58 ± 0.15 ^{aA}	10.86 ± 0.44 ^b	2.77 ± 0.03 ^{aA}
铵态氮 Ammonium	12.13 ± 0.26 ^b	1.12 ± 0.03 ^{aA}	10.83 ± 0.08 ^{bB}	11.55 ± 0.20 ^{ab}	0.47 ± 0.01 ^{dD}
硝态氮-铵态氮 Nitrate and ammonium	13.10 ± 0.12 ^a	0.92 ± 0.03 ^{bB}	14.22 ± 0.64 ^{aA}	12.12 ± 0.23 ^a	2.32 ± 0.05 ^{bB}

3 讨论与结论

无氮处理延缓草莓植株的生长, 降低果实品质, 成熟果果个较小, 糖酸比较低。硝态氮促进草莓植株生长, 延缓果实生长, 提高草莓果实品质, 成熟果色泽最佳, 糖酸比达 14.58, 多酚含量达到 2.77%, 果实品质最优。铵态氮延缓草莓营养生长, 植株较小, 叶片干物质含量最低; 铵态氮有助于叶片色素合成和果实产量提高, 单果重可以达到 12.64 g, 成熟果可溶性固形物为 12.13%, 可滴定酸含量达 1.12%, 多酚为 0.47%, 果实品质最差。硝态氮-铵态氮处理时, 草莓营养生长和果实发育较为均衡, 叶长、叶宽和株高可达 9.16、7.87 和 32.47 cm, 果实纵横径达 34.49 和 28.90 mm, 单果重达 11.07 g, 成熟果干物质和可溶性固形物含量分别为 12.12% 和 13.10%, 糖酸比 14.22, 多酚含量 2.32%, 果实产量较高, 品质稍次于硝态氮处理。

氮素影响植物氮代谢和碳代谢过程^[7], 对草莓生长发育、生理代谢以及产量和品质形成等都具有重要意义。施氮后草莓果实糖度增加, 口感较好, 氮素是草莓最重要的营养元素之一。铵态氮和硝态氮是植物从土壤中吸收利用的主要 2 种矿质氮源^[3,8]。

由于土壤中普遍存在矿化作用和硝化作用, 有机态氮和铵态氮很快转化为硝态氮。硝态氮是植物从土壤或溶液介质中吸收的主要无机态氮素形态^[9-10]。硝态氮可以基本满足草莓生长的需求, 处

理的草莓植株生长良好。铵态氮有利于植物体内淀粉积累, 而硝态氮则有利于植物蔗糖积累^[11]。硝态氮处理草莓果形虽然最小, 但果实品质较好, 糖酸比达 14.58, 果实口感最佳。草莓果实中含有丰富的多酚类物质, 主要包括草莓黄酮、鞣花单宁、原花青素、花青素等, 具有良好的抗氧化、抗衰老、抗炎、保护皮肤、改善消化系统等功能^[12]。硝态氮处理草莓果实多酚含量达到 2.77%, 果实营养价值高。硝态氮处理提高绿叶生菜和红叶生菜^[13]的多酚含量, 也表现出相似的规律。

铵态氮单独使用时会产生毒害, 能够抑制植株生长^[14]。在菜豆中, 用铵态氮代替硝态氮后, 根中干物质含量和水份吸收速率均显著减少^[15]。铵态氮处理草莓植株生长较差, 果实酸含量较高, 糖酸比最低, 口感较差, 可能也和铵盐的毒害有关。

硝态氮和铵态氮有一种联合效应^[8], 混合施用利于番茄^[16]、菠菜^[17]、小麦^[18]和拟南芥^[14,19]等多种植物的生长。在菠菜中, 添加铵态氮可以减少硝态氮吸收, 从而减少草酸积累, 利于菠菜生长^[17]。在小麦中, 添加硝态氮可以降低铵态氮单独使用时腐胺、亚精胺和精胺含量^[18]。硝态氮和铵态氮结合施用可以促进草莓植株生长和果实发育, 提高果实品质。

参考文献:

- [1] 许如意. 氮素营养对网纹甜瓜生长和品质的影响[D]. 武汉: 华中农业大学, 2004.

- [2] 彭福田, 张青, 姜远茂, 等. 不同施氮处理草莓氮素吸收分配及产量差异的研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2006, 12(3): 400-405.
- [3] SOHLENKAMP C, WOOD C C, ROEB G W, et al. Characterization of *Arabidopsis* AtAMT2, a high-affinity ammonium transporter of the plasma membrane[J]. *Plant Physiol*, 2002, 130(4): 1788-1796.
- [4] 申建波, 毛达如. 植物营养研究方法 [M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2011.
- [5] ZHANG J, WANG X, YU O, et al. Metabolic profiling of strawberry (*Fragaria×ananassa* Duch.) during fruit development and maturation[J]. *J Exp Bot*, 2010, 62(3): 1103-1118.
- [6] 陶俊, 张上隆. 园艺植物类胡萝卜素的代谢及其调节 [J]. 浙江大学学报 (农业与生命科学版), 2003, 29(5): 585-590.
- [7] 北京农业大学. 农业化学 (总论) [M]. 2 版. 北京: 中国农业出版社.
- [8] HACHIYA T, SAKAKIBARA H. Interactions between nitrate and ammonium in their uptake, allocation, assimilation, and signaling in plants[J]. *J Exp Bot*, 2016: 68(10):2501-2512.
- [9] 赵爽. 氮素形态及氮素配比对越橘生长发育影响的研究[D]. 长春: 吉林农业大学, 2007.
- [10] 杨阳. 氮素形态对葡萄生长发育的影响[D]. 泰安: 山东农业大学, 2010.
- [11] 田霄鸿, 李生秀. 几种蔬菜对硝态氮、铵态氮的相对吸收能力[J]. 植物营养与肥料学报, 2000, 6(2): 194-201.
- [12] 程然, 生吉萍. 草莓多酚类植物化学物研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2015, 6 (2): 575-584.
- [13] 余意, 杨其长, 刘文科. 氮形态对 3 种叶色生菜光谱吸收及产量品质的影响[J]. 华北农学报, 2015(增刊 1), 425-428.
- [14] HACHIYA T, WATANABE C K, FUJIMOTO M, et al. Nitrate addition alleviates ammonium toxicity without lessening ammonium accumulation, organic acid depletion and inorganic cation depletion in *Arabidopsis thaliana* shoots[J]. *Plant Cell Physiol*, 2012, 53(3): 577-591.
- [15] GUO S, KALDENHOFF R, UEHLEIN N, et al. Relationship between water and nitrogen uptake in nitrate - and ammonium-supplied *Phaseolus vulgaris* L. plants[J]. *J Plant Nutr Soil Sc*, 2007, 170(1): 73-80.
- [16] SOURI M K, NEUMANN G, RÖMHELD V. Nitrogen forms and water consumption in tomato plants[J]. *Hortic Environ Biote*, 2009, 50(5): 377-383.
- [17] LIU X X, LU L L, CHEN Q H, et al. Ammonium reduces oxalate accumulation in different spinach (*Spinacia oleracea* L.) genotypes by inhibiting root uptake of nitrate[J]. *Food Chem*, 2015, 186: 312-318.
- [18] GARNICA M, HOUDUSSE F, YVIN J C, et al. Nitrate supply induces changes in polyamine content and ethylene production in wheat plants grown with ammonium[J]. *J Plant Physiol*, 2009, 166(4): 363-374.
- [19] PATTERSON K, CAKMAK T, COOPER A, et al. Distinct signalling pathways and transcriptome response signatures differentiate ammonium-and nitrate-supplied plants[J]. *Plant Cell Environ*, 2010, 33(9): 1486-1501.