

## 氮素胁迫对枳生长发育及其氨基酸含量的影响

卢晓鹏<sup>1,2</sup>, 李静<sup>1,2</sup>, 黄成能<sup>1,2</sup>, 肖玉明<sup>1,2</sup>, 谢深喜<sup>1,2\*</sup>

(1.湖南农业大学园艺园林学院, 湖南 长沙 410128; 2.国家柑橘改良中心长沙分中心, 湖南 长沙 410128)

**摘 要:**以枳为试材, 分析了氮素过量和氮素缺乏胁迫下枳的生长量和叶绿素、IAA、氨基酸含量的变化。结果表明: 胁迫 120 d 后, 氮过量处理叶绿素含量较对照升高了 29.3%, 氮缺乏处理较对照降低了 29.9%; 氮过量和氮缺乏胁迫下枳地上部鲜重和当年生枝梢长度均低于对照; 氮过量胁迫后枳茎尖 IAA 含量比对照高 9.9%, 新梢的抽发和生长受到抑制。叶片为枳各组织中氨基酸含量最丰富的组织; 天冬氨酸为枳中含量最多的氨基酸, 含量(干重)达 1.7 g/(100 g), 半胱氨酸、酪氨酸、甲硫氨酸在各组织中的含量极少或检测不到; 叶片和二年生茎中多数氨基酸含量在氮过量胁迫后下降, 在氮缺乏胁迫后增加; 当年生茎中多数氨基酸含量于氮过量胁迫后比对照增加 0.8%~48.3%, 氮缺乏胁迫后比对照减少 15.0%~54.3%; 氮过量和氮缺乏胁迫后须根中氨基酸含量均较对照减少, 减少幅度为 6.2%~30.2%, 而氮胁迫下主根和侧根中各氨基酸未呈现统一的变化趋势。

**关 键 词:** 柑橘; 氮胁迫; 叶绿素; 吲哚-3-乙酸(IAA); 氨基酸

中图分类号: S666

文献标志码: A

文章编号: 1007-1032(2013)06-0615-06

## Effects of nitrogen stress on the development and amino acid content of trifoliate orange (*Poncirus trifoliata* (L.) Raf.)

LU Xiao-peng<sup>1,2</sup>, LI Jing<sup>1,2</sup>, HUANG Cheng-neng<sup>1,2</sup>, XIAO Yu-ming<sup>1,2</sup>, XIE Shen-xi<sup>1,2\*</sup>

(1.College of Horticulture and Landscape, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China; 2.National Center of Citrus Improvement, Changsha Subcenter, Changsha 410128, China)

**Abstract:** The object of this study was to elucidate the effect of excess and deficiency nitrogen (N) on citrus growth, development and amino acid content. Using trifoliate orange as materials, the change of chlorophyll, growth, IAA and amino acid content were analyzed. The results showed, compare with CK, chlorophyll content increased 29.3% and decreased 29.9% respectively after 120 d excess and deficiency N stress; under both excess and deficiency N stress, the treated plant fresh weight of leaves and stems were lowered and new shoot length was shorter than that of CK; due to the IAA content in stem tip was 9.9% higher than that of CK, the growth of new shoot was restricted significantly under excess N stress. Amino acids analysis indicated that leaves possessed most of the amino acids among all tissues. Aspartate which the content was 1.7 g/(100 g) (dry weight) was the richest amino acid in trifoliate orange, but the content of cysteine, tyrosine and methionine were little or under detected. The content of most amino acids in leaves and biennial stems decreased under excess N stress, but increased under deficiency N stress. Compare to CK, the content of most amino acids in annual stems increased 0.8%~48.3% under excess N stress, but decreased 15.0%~54.3% under deficiency N stress. Under excess and deficiency N stress, the content of most amino acids in fibrous roots decreased 6.2%~30.2% compared to CK. However, the content of different amino acids in taproot and lateral roots did not showed congruous change trend under excess and deficiency N stress.

**Key words:** citrus; nitrogen stress; chlorophyll; IAA; amino acids

收稿日期: 2013-07-16

基金项目: 国家现代农业(柑橘)产业技术体系专项基金(CARS-27); 湖南农业大学青年基金项目(12QN18)

作者简介: 卢晓鹏(1984—), 男, 河南郑州人, 讲师, 主要从事柑橘营养生理与果实品质研究, puninglu@126.com; \*通信作者, shenxixie@163.com

中国柑橘多栽培在丘岗山地,自然条件下土壤中的氮素营养十分匮乏。氮素营养缺乏影响柑橘的生长发育和产量及果实的品质。氮素营养与柑橘树体和果实间的密切关系又导致生产过程中常为追求高产而过度施用氮肥。氮肥过量容易导致柑橘树体代谢紊乱和果实内在、外观品质下降。柑橘产区氮肥过量和氮肥缺乏现象严重制约柑橘生产的安全,因此,研究氮胁迫对柑橘生长发育的影响对指导柑橘科学和安全生产有重要意义。土壤中的有机氮和无机氮被植物吸收后同化为氨基酸,再转化为其他有机物加以利用,所以,氮素胁迫直接影响柑橘包括氨基酸在内的有机养分的形成,进而影响到柑橘的生长发育和果实品质<sup>[1-4]</sup>。氮胁迫下果实品质下降是柑橘树体有机营养失衡的综合体现。氨基酸是树体有机营养的重要组成。柑橘体内氨基酸含量与水分胁迫<sup>[5]</sup>、花芽分化<sup>[6-7]</sup>、树体营养状况<sup>[8]</sup>等生理、生化过程及树体营养丰缺程度明显相关。枳(*Poncirus trifoliata* (L.) Raf.)作为柑橘最常用的砧木,是柑橘氮素吸收的直接参与者,也是柑橘最先感知土壤中氮肥丰缺的部分。笔者以枳为材料,研究氮素胁迫对枳生长发育及其氨基酸含量的影响,旨在为研究柑橘氮素吸收和合理施用氮肥提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

以二年生枳为材料,采用体积比 1:1 的河沙与珍珠岩混合基质及营养液培养。试验材料移入基质培养时统一修剪为地上部主干高 25 cm 和地下部主根长 10 cm。

### 1.2 试验设计及取样

参考文献[12]中柑橘氮过量(氮含量 > 3.3%)和氮缺乏(氮含量 < 2.5%)的划分标准设计试验处理。以标准 Hoagland 营养液配方<sup>[9]</sup>为依据,以浇施氮含量 210 mg/L 的营养液为对照(CK);以浇施氮含量 630 mg/L 的营养液为氮素过量胁迫处理(+N);以浇施氮 0 mg/L 的营养液为氮缺乏胁迫处理(-N)。将生长状况一致的枳苗分别移栽于不同氮水平处理的盆栽基质中,每盆 5 株,每个处理 3 盆,重复 3

次。所有处理每 2 天浇 250 mL 营养液,处理 120 d 后分别取根、茎、叶样品。各处理材料于同一时间取样,并将其叶片、当年生茎、二年生茎、须根、侧根和主根分开,于 -20 °C 保存,待用。

### 1.3 测定指标及方法

植株生长量测定方法:待各处理材料培养 120 d 后,准确量取各处理各植株地上部分当年生枝梢的长度。同一植株的多条枝梢分别测量,结果取其平均值。用天平(精确到万分之一)分别称量植株根、茎、叶的质量。

叶片叶绿素含量测定采用分光光度法;叶片全氮含量测定采用蒸馏滴定法。具体操作方法参照文献[10]中的方法。

取当年生枝条顶部茎段及叶片测定 IAA 含量,使用中国农业大学作物化学控制研究中心提供的试剂盒进行测定。具体操作方法参照文献[11]中的方法。

氨基酸含量测定采用 GB/T5009.124—2003 中的方法。

### 1.4 数据处理

采用 Excel 2003、SAS 13.0 软件进行数据处理;用邓肯氏新复极差法进行显著性分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 各处理植株的氮和叶绿素含量

处理 120 d 后,对照、氮过量和氮缺乏处理植株叶片的氮含量分别为 3.2%、3.6%和 2.1%,各处理氮含量间的差异显著。氮过量和氮缺乏处理植株的氮含量符合对柑橘氮过量(氮含量>3.3%)和氮缺乏(氮含量<2.5%)划分标准,表明各处理植株分别达到了氮过量和氮缺乏水平。氮过量胁迫的总叶绿素含量比对照增加了 29.3%,氮缺乏胁迫的总叶绿素含量比对照减少了 29.9%,这与植株氮过量胁迫后叶片浓绿,而缺氮胁迫后叶片黄化的表现一致。各处理的叶绿素 a、叶绿素 b 及总叶绿素含量均呈现氮过量后显著升高、氮缺乏后显著降低的变化趋势(表 1)。

表 1  不同氮素胁迫植株的叶绿素含量

Table1  Chlorophyll content in trifoliate orange under different

nitrogen stress		mg/g	
处理	叶绿素 a 含量	叶绿素 b 含量	总叶绿素含量
CK	(2.5 ± 0.10)b	(1.2 ± 0.06)b	(3.7 ± 0.17)b
+N	(3.3 ± 0.04)a	(1.6 ± 0.07)a	(4.9 ± 0.09)a
- N	(1.8 ± 0.04)c	(0.8 ± 0.01)c	(2.6 ± 0.07)c

2.2  氮胁迫对枳生长量的影响

氮过量和氮缺乏处理 120 d 后植株鲜叶质量均显著低于对照,分别比对照减少了 43.5%和 62.2%;茎质量低于对照,分别比对照减少了 34.6%和 46.7%;根系质量与对照间的差异无统计学意义。氮缺乏胁迫后植株的当年生枝梢长度显著低于对照,比对照减少了 38.5%;氮过量处理也比对照减少了 40.1%(表 2)。

表 2  不同氮素胁迫植株的生长量

Table 2  Growth of trifoliate orange under different nitrogen stress

处理	鲜叶质量/g	茎质量/g	根质量/g	枝梢长/cm
CK	(5.5±0.9)a	(10.8±2.2)a	9.8±1.5	(25.1±11.4)b
+N	(3.1±0.2)b	(7.1±2.5)ab	8.4±2.9	(23.5± 7.5)b
- N	(2.1±0.8)b	(5.8±0.9)b	7.6±1.5	(36.4±11.8)a

2.3  氮胁迫对枳茎和叶中 IAA 含量的影响

由表 3 可见,氮过量胁迫下茎中的 IAA 含量显著高于对照(高 9.9%),达 116.2 ng/g (鲜重。下同。);氮缺乏胁迫下茎 IAA 含量与对照间的差异无统计学意义。枳叶片中的 IAA 含量远低于茎。氮胁迫后

叶片 IAA 含量均显著高于对照,氮过量处理较对照高 46.9%,氮缺乏处理较对照高 58.9%。

表 3  不同氮素胁迫植株茎和叶片的 IAA 含量

Table 3  IAA content in stem and leaves under nitrogen stress

处理	IAA 含量/(ng·g <sup>-1</sup> )	
	茎	叶
CK	(105.8 ± 3.9)b	(45.8 ± 1.3)c
+N	(116.2 ± 3.0)a	(67.3 ± 2.1)b
- N	(100.4 ± 1.4)b	(72.8 ± 2.4)a

2.4  氮胁迫对枳叶片中氨基酸含量的影响

由表 4 可知,叶片中氨基酸含量较高,不同氮胁迫对叶片中氨基酸含量的影响不同。对照组中,氨基酸含量除组氨酸含量为 0.35 g/(100 g) (干重,下同。)外,其他氨基酸组分含量为 0.7~1.7 g/(100 g)。氮胁迫处理中,多数氨基酸的变化趋势为:氮过量处理的含量降低,氮缺乏处理的升高。天冬氨酸在氮过量和氮缺乏胁迫后分别较对照减少 0.605 g/(100 g)和增加 0.696 g/(100 g),减少和增加的比例分别为 35.5%和 40.8%;脯氨酸在氮过量和氮缺乏胁迫后分别较对照减少 0.54 g/(100 g)和增加 0.389 g/(100 g),减少和增加的比例分别为 34.1%和 24.5%;亮氨酸在氮过量和氮缺乏胁迫后分别较对照减少 0.479 g/(100 g)和增加 0.399 g/(100 g),减少和增加的比例分别为 32.8%和 27.3%。各处理中均没有检测到半胱氨酸和酪氨酸。

表 4  各处理叶片的氨基酸含量

Table 4  Amino acids content in the leaves of trifoliate orange in each treatment

处理	天冬氨酸(Asp)	苏氨酸(Thr)	丝氨酸(Ser)	谷氨酸(Glu)	脯氨酸(Pro)	甘氨酸(Gly)	丙氨酸(Ala)	缬氨酸(Val)
CK	1.706 ± 0.001	0.772 ± 0.001	0.858 ± 0.003	1.621 ± 0.003	1.585 ± 0.004	1.027 ± 0.003	1.052 ± 0.0	0.981 ± 0.002
+N	1.101 ± 0.003	0.519 ± 0.001	0.640 ± 0.004	1.200 ± 0.002	1.045 ± 0.004	0.729 ± 0.001	0.724 ± 0.001	0.635 ± 0.008
-N	2.402 ± 0.024	0.982 ± 0.011	1.060 ± 0.016	2.070 ± 0.028	1.974 ± 0.008	1.286 ± 0.012	1.323 ± 0.010	1.232 ± 0.011
处理	甲硫氨酸(Met)	异亮氨酸(Ile)	亮氨酸(Leu)	苯丙氨酸(Phe)	赖氨酸(Lys)	组氨酸(His)	精氨酸(Arg)	
CK	0.112 ± 0.002	0.697 ± 0.001	1.459 ± 0.001	0.901 ± 0.001	0.950 ± 0.011	0.351 ± 0.001	0.931 ± 0.005	
+N	0.057 ± 0.001	0.478 ± 0.007	0.980 ± 0.003	0.597 ± 0.011	0.713 ± 0.001	0.241 ± 0.001	0.561 ± 0.00	
-N	0.128 ± 0.011	0.856 ± 0.007	1.858 ± 0.018	1.158 ± 0.016	1.172 ± 0.005	0.438 ± 0.005	1.242 ± 0.018	

2.5  氮胁迫对枳茎中氨基酸含量的影响

枳茎中氨基酸含量较叶片少,在当年生茎和二年生茎中的分布有较大差异,不同氮胁迫后茎中氨基酸含量变化各异。对照组当年生茎氨基酸含量总

体较叶片少,天冬氨酸、谷氨酸、脯氨酸和亮氨酸的含量较高,均在 0.7 g/(100 g)以上;对照组的二年生茎中氨基酸含量总体低于当年生茎,除天冬氨酸外,其余均低于 0.65 g/(100 g)。当年生茎氮过量胁

胁迫后氨基酸含量增加，增加幅度为 0.8%~48.3%，氮缺乏胁迫后氨基酸含量减少，减少幅度为 15%~54.3%。二年生茎中各氨基酸含量在氮过量和氮缺乏胁迫后含量均减少，过量胁迫后减少幅度为 3%~16.8%，氮缺乏胁迫后减少幅度为 17.3%~54.5%。当年生和二年生茎中均检测不到半胱氨酸和酪氨酸；甲硫氨酸在二年生茎中检测不到，在当年生茎中少量存在(表 5)。

表 5 各处理枳茎中的氨基酸含量

Table 5 Amino acids content in different stems of trifoliate orange in each treatment									g/(100 g)
生长时间	处理	天冬氨酸(Asp)	苏氨酸(Thr)	丝氨酸(Ser)	谷氨酸(Glu)	脯氨酸(Pro)	甘氨酸(Gly)	丙氨酸(Ala)	缬氨酸(Val)
当年生	CK	1.273±0.001	0.434±0.001	0.507±0.007	0.898±0.001	1.119±0.005	0.515±0.001	0.541±0.001	0.560±0.002
	+N	1.759±0.003	0.440±0.001	0.513±0.002	0.940±0.001	1.659±0.001	0.534±0.003	0.566±0.001	0.574±0.002
	-N	0.596±0.013	0.263±0.006	0.299±0.012	0.551±0.012	0.566±0.017	0.331±0.009	0.354±0.008	0.327±0.003
生长时间	处理	甲硫氨酸(Met)	异亮氨酸(Ile)	亮氨酸(Leu)	苯丙氨酸(Phe)	赖氨酸(Lys)	组氨酸(His)	精氨酸(Arg)	
当年生	CK	0.020±0.004	0.363±0.005	0.773±0.004	0.421±0.002	0.515±0.003	0.177±0.001	0.512±0.011	
	+N	0.029±0.001	0.378±0.001	0.798±0.001	0.456±0.005	0.519±0.004	0.179±0.001	0.629±0.005	
	-N	0.017±0.002	0.237±0.001	0.474±0.008	0.267±0.008	0.354±0.006	0.120±0.003	0.234±0.001	
生长时间	处理	天冬氨酸(Asp)	苏氨酸(Thr)	丝氨酸(Ser)	谷氨酸(Glu)	脯氨酸(Pro)	甘氨酸(Gly)	丙氨酸(Ala)	缬氨酸(Val)
二年生	CK	0.930±0.005	0.269±0.001	0.314±0.001	0.555±0.001	0.635±0.002	0.306±0.003	0.322±0.001	0.351±0.001
	+N	0.855±0.004	0.234±0.001	0.268±0.001	0.500±0.001	0.616±0.001	0.267±0.001	0.285±0.001	0.293±0.001
	-N	0.472±0.004	0.202±0.001	0.234±0.002	0.408±0.006	0.418±0.001	0.247±0.001	0.256±0.003	0.234±0.004
生长时间	处理	甲硫氨酸(Met)	异亮氨酸(Ile)	亮氨酸(Leu)	苯丙氨酸(Phe)	赖氨酸(Lys)	组氨酸(His)	精氨酸(Arg)	
二年生	CK	—	0.217±0.001	0.461±0.003	0.238±0.001	0.324±0.003	0.108±0.001	0.358±0.001	
	+N	—	0.188±0.001	0.399±0.002	0.198±0.001	0.284±0.001	0.093±0.001	0.320±0.001	
	-N	—	0.171±0.004	0.342±0.001	0.184±0.002	0.268±0.001	0.087±0.001	0.163±0.002	

2.6 氮胁迫对枳根系中氨基酸含量的影响

枳根系中各氨基酸的总含量也低于叶片。天冬氨酸仍为根系中含量最丰的氨基酸，含量为 1.383 g/(100 g)，而其他氨基酸含量均在 1 g/(100 g)以下。氮过量和氮缺乏胁迫后须根中各种氨基酸含量均减少，减少幅度为 6.2~30.2%。氮胁迫下主根和侧根中氨基酸含量变化大致分为 2 种类型：一种是氮过量胁迫后增加，氮缺乏胁迫后减少，该类氨基酸

包括天冬氨酸、丝氨酸、谷氨酸、脯氨酸、苯丙氨酸和精氨酸；另一种是在氮过量和氮缺乏后氨基酸含量均减少，且在氮缺乏胁迫后降低幅度较大，该类氨基酸包括苏氨酸、甘氨酸、丙氨酸、缬氨酸、异亮氨酸、亮氨酸赖氨酸和组氨酸。氮过量胁迫后主根和侧根中可检测到甲硫氨酸，而对照和缺氮胁迫处理检测不到。与叶片和茎中类似，根系中也检测不到半胱氨酸和酪氨酸(表 6)。

表 6 各处理枳根系中的氨基酸含量

Table 6 Amino acids content in the roots of trifoliate orange in each treatment									g/(100 g)
根系	处理	天冬氨酸(Asp)	苏氨酸(Thr)	丝氨酸(Ser)	谷氨酸(Glu)	脯氨酸(Pro)	甘氨酸(Gly)	丙氨酸(Ala)	缬氨酸(Val)
须根	CK	1.383±0.007	0.439±0.001	0.556±0.008	0.998±0.004	0.838±0.009	0.461±0.002	0.569±0.005	0.557±0.009
	+N	1.280±0.004	0.353±0.001	0.453±0.001	0.763±0.001	0.697±0.004	0.348±0.001	0.402±0.001	0.422±0.001
	-N	0.965±0.017	0.410±0.008	0.510±0.004	0.864±0.017	0.578±0.013	0.445±0.012	0.499±0.013	0.488±0.013
根系	处理	甲硫氨酸(Met)	异亮氨酸(Ile)	亮氨酸(Leu)	苯丙氨酸(Phe)	赖氨酸(Lys)	组氨酸(His)	精氨酸(Arg)	
须根	CK	0.049±0.002	0.362±0.005	0.650±0.008	0.409±0.009	0.635±0.010	0.205±0.001	0.372±0.001	
	+N	0.036±0.001	0.274±0.001	0.497±0.001	0.311±0.002	0.520±0.003	0.172±0.001	0.349±0.001	
	-N	0.039±0.003	0.334±0.008	0.593±0.018	0.393±0.012	0.610±0.016	0.189±0.006	0.328±0.003	

续  表

根系	处理	天冬氨酸(Asp)	苏氨酸(Thr)	丝氨酸(Ser)	谷氨酸(Glu)	脯氨酸(Pro)	甘氨酸(Gly)	丙氨酸(Ala)	缬氨酸(Val)
主根和侧根	CK	1.082±0.011	0.281±0.003	0.338±0.002	0.575±0.006	0.792±0.009	0.297±0.003	0.345±0.003	0.369±0.005
	+N	2.430±0.001	0.282±0.002	0.356±0.004	0.616±0.004	0.900±0.004	0.272±0.001	0.309±0.001	0.355±0.001
	-N	0.563±0.016	0.251±0.008	0.287±0.011	0.491±0.014	0.551±0.008	0.264±0.007	0.291±0.005	0.307±0.006
根系	处理	甲硫氨酸(Met)	异亮氨酸(Ile)	亮氨酸(Leu)	苯丙氨酸(Phe)	赖氨酸(Lys)	组氨酸(His)	精氨酸(Arg)	
主根和侧根	CK	ND	0.212±0.003	0.421±0.004	0.219±0.014	0.362±0.007	0.120±0.002	0.331±0.008	
	+N	0.018±0.001	0.200±0.001	0.397±0.001	0.363±0.215	0.360±0.002	0.120±0.001	0.332±0.016	
	-N	ND	0.192±0.005	0.356±0.008	0.201±0.008	0.344±0.001	0.110±0.005	0.166±0.005	

3  讨论与结论

以改良 Hoagland 营养液处理枳 120 d，结果表明，氮缺乏胁迫后植株长势变化明显，其地上部分高度、叶质量和茎质量均低于对照。这是由于氮素供给不足直接影响了植株生物量的形成<sup>[13-16]</sup>。氮过量胁迫后，不仅叶质量和茎质量均低于对照，且由于植株新梢抽发和生长受抑，其地上部分高度和当年生枝梢长度也低于对照。这是由于过量的氮营养造成植株茎尖 IAA 含量过高，抑制了新梢的抽发和生长。本研究结果与温州蜜柑中氮营养过量引起柑橘体内 ABA、IAA 含量及 ABA、IAA 含量比变化的结论<sup>[17]</sup>一致。

本研究中氮缺乏胁迫后枳叶片明显表现出黄化，氮过量胁迫后表现浓绿，二者的叶绿素含量分别比对照减少了 29.9%和增加了 29.3%。这与其他作物中氮素水平与叶绿素合成有密切关系的研究结果<sup>[18-20]</sup>一致。虽叶绿素含量与光合作用的强弱及光合产物的积累呈明显正相关关系，但氮肥施用量超过一定阈值后光合作用不能继续增强<sup>[21]</sup>，因此，在柑橘生产中适当增施氮肥对提高叶绿素含量及光合效率有一定作用。

氮素被植物吸收后首先同化生产氨基酸，然后再向其他有机物质转化，因此，充足的氮素营养是保障柑橘树体有机营养丰富的前提。本研究结果表明，天冬氨酸、谷氨酸、脯氨酸和亮氨酸为枳叶片、茎和根系中主要的氨基酸种类，其中天冬氨酸的含量最高。这一结果与文献<sup>[22]</sup>报道一致。半胱氨酸和酪氨酸在枳的各组织部位均监测不到，为柑橘树体氮缺乏的氨基酸。这与半胱氨酸为柑橘果实的第一限制氨基酸结论<sup>[23]</sup>一致。氮过量和氮缺乏胁迫后，叶片中多数氨基酸含量分别降低和增加。这可

能是氮过量和氮缺乏胁迫后植株叶绿素合成发生剧烈变化而导致大量氨基酸消耗或积累。二年生茎中氮过量和氮缺乏胁迫后氨基酸含量均减少，可能是由于柑橘主茎不是氨基酸合成和贮藏的主要部位，其氨基酸的含量主要由游离氨基酸的转移来实现。氮过量和氮缺乏胁迫后氨基酸向植株不同组织部位的迅速转移导致二年生茎中氨基酸残存量较少。与茎中不同，枳根系是氨基酸合成和贮藏的主要部位，主根和侧根中氨基酸含量的变化可能与氮供应情况相关。

综上所述，枳经氮胁迫 120 d 后，氮过量胁迫使叶片叶绿素含量显著增加，氮缺乏胁迫使叶绿素含量显著减少，2 种胁迫均显著抑制了枳正常生长发育。氮过量胁迫后枝梢顶端 IAA 积累明显增加，抑制了植株新梢的抽发和生长。这是氮过量胁迫抑制植株生长的重要原因。枳叶片为氨基酸含量最丰的组织，天冬氨酸为枳中含量最多的氨基酸，而半胱氨酸、酪氨酸和甲硫氨酸的含量极少。叶片和二年生茎中多数氨基酸含量在氮过量胁迫后减少，在氮缺乏胁迫后增加；当年生茎中多数氨基酸含量于氮过量胁迫后增加，氮缺乏胁迫后减少；氮过量和氮缺乏胁迫后须根中氨基酸含量减少，而主根和侧根中各氨基酸未呈现统一的变化趋势。

参考文献：

[1] 鲁剑巍, 陈防, 王运华, 等. 氮磷钾肥对红壤地区幼龄柑橘生长发育和果实产量及品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2004, 10(4): 413-418.

[2] 廖炜, 李先信, 阳志慧, 等. 氮磷肥对柑橘的影响研究进展[J]. 湖南农业科学, 2010, 24: 34-37.

[3] 刘运武. 施用氮肥对温州蜜柑产量和品质的影响[J]. 土壤学报, 1998, 25(1): 124-128.

[4] 赵智中, 张上隆, 刘拴桃, 等. 高氮处理对温州蜜柑

- 果实糖积累的影响[J]. 核农学报, 2003, 17(2): 119-122.
- [5] 周静, 汪天, 崔键, 等. 红壤水分条件对柑橘叶片氨基酸及多胺含量的影响[J]. 中国生态农业学报, 2009, 17(1): 85-89.
- [6] 何绍兰, 邓烈, 李宜琴, 等. 促抑花处理对柑橘花芽分化期 N 素和氨基酸代谢的影响[J]. 西南农业大学学报, 1995, 17(6): 501-504.
- [7] 李学柱, 邓烈. 甜橙大小年结果与氨基酸代谢对花芽分化的影响[J]. 西南农业大学学报, 1991, 13(1): 82-86.
- [8] Nemec S, Meredith F I. Amino acid content of leaves in mycorrhizal and non-mycorrhizal citrus rootstocks[J]. Annals of Botany, 1981, 47 (3): 351-358.
- [9] Hoagland D R, Arnon D I. The water-culture method for growing plants without soil[M]. California: The College of Agriculture, University of California, Berkeley Press, 1950.
- [10] 王学奎. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006.
- [11] 谢志霞, 张一, 田晓莉, 等. 钙和生长素对棉花幼苗侧根发生的协同调控效应[J]. 棉花学报, 2006, 18(2): 99-103.
- [12] 庄伊美. 柑橘营养与施肥[M]. 北京: 中国农业出版社, 1994.
- [13] 林晓明, 徐程扬, 王奇峰, 等. 氮磷对 107 杨苗木生物量的影响[J]. 东北林业大学学报, 2011, 39(2): 13-16.
- [14] 王子胜, 徐敏, 刘瑞显, 等. 施氮量对不同熟期棉花品种的生物量和氮素累积的影响[J]. 棉花学报, 2011, 23(6): 537-544.
- [15] 郭文琦, 张思平, 陈兵林, 等. 水氮运筹对棉花花后生物量和氮素利用率的影响[J]. 西北植物学报, 2008, 28(11): 2270-2277.
- [16] 刘代平, 宋海星, 官春云, 等. 油菜生物量与氮素吸收量及生理效率的动态变化[J]. 湖南农业大学学报: 自然科学版, 2006, 32(2): 173-176.
- [17] 赵智中. 柑橘果实糖积累的生理基础研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2001.
- [18] 李彩, 彭良志, 党江波, 等. 不同施氮水平纽荷尔脐橙叶绿素含量的季节变化[J]. 中国南方果树, 2012, 41(2): 14-18.
- [19] 徐富贤, 熊洪, 张林, 等. 施氮对冬水田杂交中稻本田生长期叶片叶绿素含量的影响[J]. 杂交水稻, 2012, 27(2): 66-70.
- [20] 赵平, 林克惠, 郑毅. 氮钾营养对烟叶衰老过程中内源激素与叶绿素含量的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2005, 11(6): 379-384.
- [21] 廖育林, 荣湘民, 刘强, 等. 氮肥施用量与莴苣产量和品质及氮肥利用率的关系[J]. 湖南农业大学学报: 自然科学版, 2005, 31(1): 49.
- [22] Kato T. 柑橘氨基酸代谢研究进展[J]. 福建热作科技, 1991(4): 44-48.
- [23] 钱爱萍, 林虬, 余亚白, 等. 闽产柑橘果肉中氨基酸组成及营养评价[J]. 中国农学通报, 2008, 24(6): 86-90.

责任编辑: 王赛群

英文编辑: 王 库