

文章编号: 168085 (2021) 06-0046-05

氮素形态及对比对栝楼幼苗生长和氮代谢的影响

乔晓燕¹, 吴 燕², *高青海¹

(1.安徽科技学院农学院, 安徽, 凤阳 233100; 2.安徽科技学院建筑学院, 安徽, 蚌埠 233000)

摘 要: 为探明氮素形态及对比对不同品种栝楼幼苗氮代谢生理特性的影响, 本研究采用盆栽方法, 以 ‘W3’ 和 ‘JX’ 两种栝楼幼苗为试验材料, 设置 6 种硝铵比的氮素营养处理, 测定栝楼幼苗生长量、根系活力、氮代谢关键酶活力、氨基酸含量和可溶性蛋白含量等。结果显示, 与对照相比, 硝态氮和铵态氮混合处理可提高栝楼幼苗氮代谢水平, 提高栝楼氨基酸和可溶性蛋白含量, 硝铵态氮配比为 50:50 处理 ‘W3’ 品种表现较好, 其地上部和根系鲜重分别为 45.4、5.68 g·plant⁻¹, 氮代谢酶 GS、GOGAT、GDH 活性最高; 而 ‘JX’ 品种, 硝铵态氮配比为 70:30 处理表现较好, 植株鲜重和根系活力, 氮代谢酶活性、氨基酸和可溶性蛋白含量高于其它处理。总之, 硝态氮和铵态氮混合使用有利于栝楼幼苗生长, 不同品种氮素比例有所不同。

关键词: 氮素形态; 栝楼; 氮代谢; 硝酸还原酶

中图分类号: S567

文献标志码: A

DOI:10.3669/j.issn.1674-8085.2021.06.009

EFFECT OF NITROGEN FORMS AND RATIOS ON THE GROWTH AND NITROGEN METABOLISM OF *TRICHOSANTHES KIRILOWII* SEEDLINGS

QIAO Xiao-yan¹, WU Yan², *GAO Qing-hai¹

(1. College of Agriculture, Anhui Science and Technology University, Fengyang, Anhui 233100, China;

2. College of Construction, Anhui Science and Technology University, Bengbu, Anhui 233000, China)

Abstract: To investigate the effect of nitrogen forms and ratios on the physiological characteristics of nitrogen metabolism of the seedlings of *Trichosanthes kirilowii* among different varieties, ‘W3’ and ‘JX’ seedlings were cultured under six nitrate and ammonium ratios in the pot, the plant growth, the activity of key enzymes in nitrogen metabolism, the content of amino acids and soluble proteins were detected. The results showed that, compared with the control group, the nitrogen metabolism, amino acid and soluble protein content of seedlings were increased by a mixture of NO₃⁻-N/ NH₄⁺--N ratio of 50:50. However, the treatment of ‘JX’ with NO₃⁻-N/ NH₄⁺--N ratio of 70:30 had a better performance, and the plant fresh weight, root activity, enzyme activity of nitrogen metabolism, amino acid and soluble protein content were higher than those of other treatments. In short, a mixture of nitrate and ammonium nitrogen favored the growth of seedlings of *T. kirilowii*, and the proportion of nitrogen in different varieties varied.

Key words: nitrogen forms; *trichosanthes kirilowii*; nitrogen metabolism; nitrate reductase

收稿日期: 2021-01-23; 修改日期: 2021-02-21

基金项目: 安徽高校自然科学研究重点项目(KJ2020A0079)

作者简介: 乔晓燕(1982-), 女, 安徽阜南人, 硕士, 主要从事瓜类蔬菜栽培生理研究(E-mail:1010190956@qq.com);

吴 燕(1978-), 女, 山东禹城人, 副教授, 硕士, 主要从事栝楼栽培相关研究(E-mail:wuyansd@163.com);

*高青海(1977-), 男, 山东金乡人, 教授, 博士, 硕士生导师, 主要从事瓜类蔬菜优质高产栽培研究(E-mail:gaoqh1977@163.com).

氮素是影响植物产量和品质的重要因素,是植物体内核酸、蛋白质、维生素、酶以及生物碱等次生代谢产物的重要组成部分,而且在植物生理代谢过程中起催化作用^[1]。植物主要吸收的氮素形态是铵态氮(NH_4^+-N)和硝态氮(NO_3^--N),研究表明不同氮素形态对植物生长与代谢过程有显著影响,从而对植物产生不同的生理效应^[2]。国内外学者关于氮素形态及配比对植物生理特性研究比较多^[3-6],黄东静等^[7]研究表明铵硝比为 25:75 混合施用增强了银杏的碳氮代谢能力;周箬涵^[8]研究指出,硝态氮肥与铵态氮肥在 5:5-3:7 内时,娃娃菜可获得较高品质和经济效益;韩浩章^[9]研究了不同氮素形态配比对猴樟的影响,得出最适合猴樟生长发育的是铵态氮和硝态氮比例为 5:5,猴樟幼苗茎叶和根系生长量最大,根系活力和叶绿素含量最高。

近年来对栝楼(*Trichosanthes kirilowii* Maxim)施肥方面研究多集中在氮磷钾配方对栝楼产量与幼苗生长的研究^[10-11],而关于氮素对栝楼生理特性研究未见报道。本研究以栝楼幼苗为研究对象,采用基质和营养液相结合的无土栽培方式,通过设置不同硝铵配比实验,研究氮素形态对不同基因型栝楼幼苗的叶片和根系长势及硝酸还原酶(NR)、谷氨酰胺合酶(GOGAT)和谷氨酰胺合成酶(GS)等的影响,为栝楼科学施肥提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验所用栝楼品种为‘W3’和‘JX’,由安徽科技学院农学院园艺教研室提供。试验时挑选颗粒饱满、无病虫害、外表完好的栝楼种子,2 g·L⁻¹高锰酸钾溶液表面消毒 30 min,去离子水清洗干净后,置于室温(25℃)用蒸馏水浸泡 24 h。2020 年 1 月 29 日播种于装有基质的育苗盘中生长,基质中蛭石、珍珠岩比例为 1:1。育苗盘放置于日光温室中进行自然培养,待出苗后加强温度、光照管理。待栝楼幼苗长至 4~5 片真叶时,选取无病虫害、长势一致的栝楼幼苗进行试验。

1.2 试验设计

试验采用塑料盆栽(15cm×15cm 塑料盆,装 1 L 基质)和营养液浇灌方式,2 种不同形态 N 肥:硝态氮和铵态氮,其中硝态氮由硝酸钾和硝酸钙提

供,铵态氮由硫酸铵提供。试验共设置 6 组 $\text{NO}_3^--\text{N}:\text{NH}_4^+-\text{N}$ 比例:对照 CK (0:0)、T1 (100:0)、T2 (70:30)、T3 (50:50)、T4 (30:70)、T5 (0:100) 每处理总氮水平为 14 mmol·L⁻¹。于 2020 年 4 月 28 日进行试验处理,称取各处理需添加的硝铵所需量配置成营养液,营养液其它元素参照 Hoagland 营养液^[12]。试验处理前将选择好的栝楼幼苗从穴盘中定植于塑料盆中,浇灌 1/2 常规 Hoagland 营养液培养 10 d。10 d 后将配置好的不同氮素形态及配比营养液浇入栝楼苗的盆土中,塑料盆中装有配置好的基质(珍珠岩:蛭石=1:1),试验前适量控水以利于养分在盆土中的扩散,每盆底下放置一只托盘,以防止盆土中营养的流失。所有盆栽苗均随机摆放,无重叠叶片,各盆配有托盘,防止养分流失,营养液内加入硝化抑制剂($\text{C}_2\text{H}_4\text{N}_4$)防止 NH_4^+-N 硝化。用 1 mol·L⁻¹NaOH 或 H_2SO_4 调节营养液 pH = 6.0 左右,试验处理期间每 3 d 浇一次营养液,每株浇 100 mL,所有施肥处理均采用单株半月形沟施法,均匀浇入处理液。每个处理 20 株,重复 3 次。在处理 15 d 时进行相关指标的测定。

1.3 测定方法

1.3.1 栝楼地上部和根系鲜重测定

处理 15 d 后,将取样的栝楼苗用清水洗净,植株表面的水分用纸巾吸干,尽量避免损坏根系与叶片,分别称量根系和叶片的鲜重,每个处理取 5 株,重复 4 次,取平均值。

1.3.2 叶片氮代谢酶活性测定

在处理 15 d 后选择天气晴朗的上午,采集新鲜且无病虫害的上数第 4 功能叶片,用冰块泡沫箱迅速带回实验室,待处理并测定,每个处理重复 3 次,每个重复 10 片。

NR、GS、GAOGAT、GDH 酶活性利用栝楼叶片鲜样进行测定,参照^[13]方法。具体参照北京索莱宝科技有限公司提供试剂盒说明进行测定。

1.3.3 根系活力的测定

根系去掉根尖和上部老根,取根 0.5 g,剪成 2 cm 长的段,放入试管中,对照先加 2 mL,1 mol/L 的 H_2SO_4 ,其余试管中加 0.4%TTC 和磷缓(1/15 mol/L, pH = 7.0)等体积混合 10 mL,封口,放入 37℃ 恒温箱中 4 h,取出,于 485 nm 下比色。具体操作方法参考文献^[13]。

1.3.4 栝楼叶片氨基酸和可溶性蛋白含量的测定

取处理 15 d 的栝楼植株上数第 4 片, 且放在起保鲜作用的冰块泡沫箱, 迅速带回实验室, 氨基酸含量采用茚三酮比色法, 可溶性蛋白含量测定采用考马斯亮兰 G-250 染色法, 具体方法参照文献[13]。每个处理 10 株, 重复 3 次。

1.4 数据处理与统计分析

数据用 Excel 2010 和 SPSS19.0 软件进行处理和统计分析。

2 结果与分析

2.1 氮素形态及配比对栝楼幼苗地上部鲜重和根系鲜重的影响

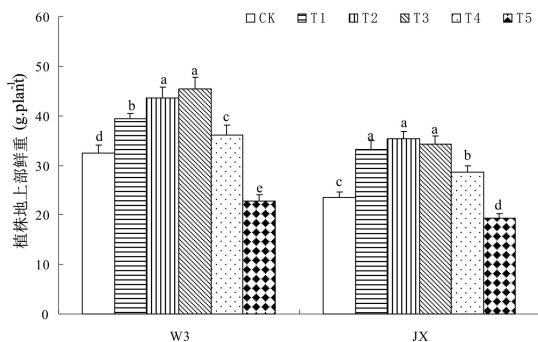


图 1 氮素形态及配比对栝楼幼苗地上部鲜重的影响

Fig.1 Effect of nitrogen form and ratio on shoot fresh weight in *Trichosanthes kirilowii*

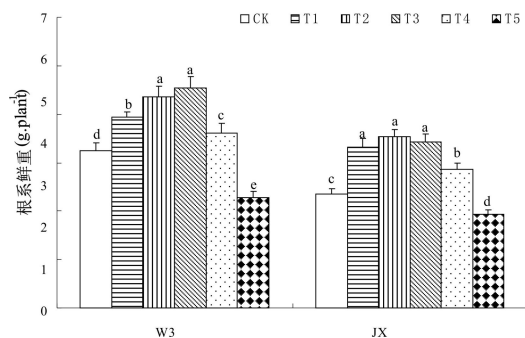


图 2 氮素形态及配比对栝楼幼苗根系鲜重的影响

Fig.2 Effect of nitrogen form and ratio on root fresh weight in *Trichosanthes kirilowii*

注: a、b、c 等字母表示在 0.05 水平上显著差异, 下同。

如图 1 所示, 氮素形态及配比对 2 种栝楼地上部分鲜重具有显著影响。与对照相比, 单一硝态氮比铵态氮有利于栝楼幼苗地上部的生长, 硝态氮和铵态氮混合后更有利于栝楼幼苗生长; 不同栝楼品种对氮素形态和配比响应也有所区别, 其中 ‘W3’ 栝楼幼苗地上部鲜重在 T3 (硝: 铵=50:50) 处理达

到最大值为 $43.6 \text{ g} \cdot \text{plant}^{-1}$, 且 T3 处理与 T2 处理间差异不显著 ($P < 0.05$); 而 ‘JX’ 栝楼幼苗在 T2 处理达到最大值为 $35.3 \text{ g} \cdot \text{plant}^{-1}$, 且 T1、T2、T3 之间差异不显著 ($P < 0.05$)。

氮素形态及配比对栝楼幼苗根系生长影响较大 (图 2), 随着铵态氮比例增加, ‘W3’ 和 ‘JX’ 栝楼根系鲜重均呈现先升高后降低趋势。同一处理下, ‘W3’ 栝楼根系鲜重高于 ‘JX’ 栝楼幼苗根系鲜重。不同氮素配比对不同品种的栝楼根系生长影响有所差异, 其中 ‘W3’ 栝楼在 T3 (硝: 铵=50:50) 处理时根系鲜重达到最大值 $5.68 \text{ g} \cdot \text{plant}^{-1}$, ‘JX’ 幼苗根系鲜重在 T2 (硝: 铵 = 70:30) 处理时达到最大 $4.89 \text{ g} \cdot \text{plant}^{-1}$ 。单一铵态氮 T5 处理 ‘W3’ 栝楼幼苗根系鲜重高于对照, 而 ‘JX’ 栝楼幼苗根系鲜重低于对照。不同栝楼幼苗对氮素形态及配比响应有所不同, 混合态氮有利于栝楼幼苗地上部和根系生长。

2.2 氮素形态及配比对栝楼幼苗根系活力的影响

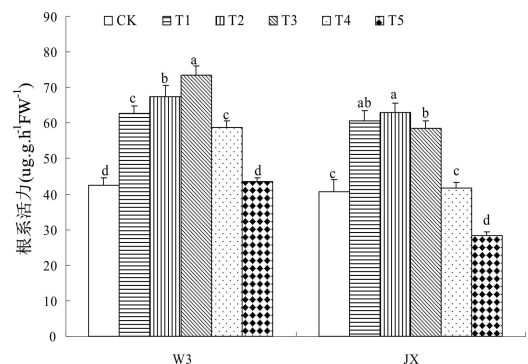


图 3 氮素形态及配比对栝楼幼苗根系活力的影响

Fig.3 Effect of nitrogen form and ratio on root activity in *Trichosanthes kirilowii* seedling

从图 3 中看出, 在等氮量条件下, 随着铵态氮比例增加和硝态氮比例降低, 栝楼根系活力呈现先升高后降低趋势, 其中 ‘W3’ 栝楼幼苗根系活力在 T3 处理时达到最大值为 $73.5 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW} \cdot \text{h}^{-1}$, ‘JX’ 栝楼幼苗根系活力在 T2 处理时达到最大值 $63.1 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW} \cdot \text{h}^{-1}$ 。与对照处理相比, 单一铵态氮处理 ‘W3’ 栝楼幼苗根系活力差异不大, 而 ‘JX’ 栝楼幼苗根系活力显著低于对照。混合态氮有利于提高栝楼幼苗根系活力, 不同品种栝楼所需的配比有所不同。

2.3 氮素形态及配比对栝楼幼苗叶片硝酸还原酶和谷氨酰胺合成酶活性的影响

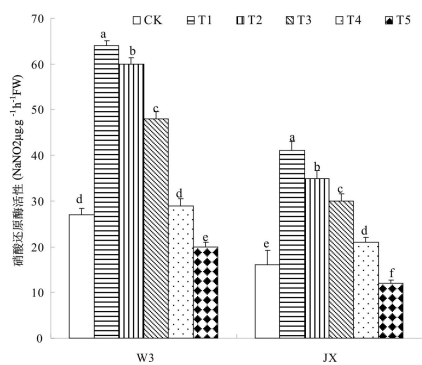


图4 氮素形态及配比对栝楼叶片硝酸还原酶活性的影响

Fig.4 Effect of nitrogen form and ratio on nitrate reductase activity in *Trichosanthes kirilowii* seedlings leaves

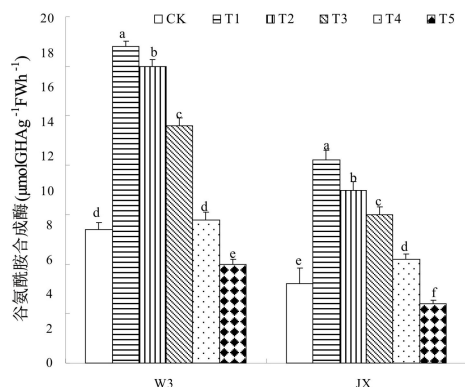


图5 氮素形态及配比对栝楼叶片谷氨酰胺合成酶的影响
Fig.5 Effect of nitrogen form and ratio on GS activity in *Trichosanthes kirilowii* seedlings leaves

氮素形态及配比对2种栝楼幼苗叶片硝酸还原酶(NR)活性有显著影响(图4所示)。其中‘W3’栝楼幼苗叶片NR活性均高于‘JX’栝楼幼苗,随着铵态氮比例增加和硝态氮比例降低,栝楼幼苗叶片硝酸还原酶活性降低,如‘JX’栝楼幼苗在T1处理下硝酸还原酶活性高达 $41.08 \text{ NaNO}_2 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1} \text{FW}$,而在T5处理仅为 $12.35 \text{ NaNO}_2 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1} \text{FW}$,下降了69.94%。

氮素形态对栝楼叶片谷氨酰胺合成酶(GS)影响与硝酸还原酶有所不同,其活性大小依次为:T3>T2>T1>T4>CK>T5(如图5所示)。(‘W3’栝楼幼苗在T3(硝:铵=50:50)处理时叶片GS活性达到 $18.4 \mu\text{mol GHAg}^{-1} \text{FW h}^{-1}$,比对照处理栝楼叶片提高1.41倍。由此说明,硝态氮处理下栝楼幼苗硝酸还原酶活性较高,铵态氮处理抑制栝楼幼苗硝酸还原酶活性;栝楼幼苗叶片谷氨酰胺合成酶在硝态氮和铵态氮混合使用时较高,其中硝:铵=50:50处理时叶片谷氨酰胺合成酶达到最大值。

2.4 氮素形态及配比对栝楼幼苗叶片谷氨酸合成

酶和谷氨酸脱氢酶活性的影响

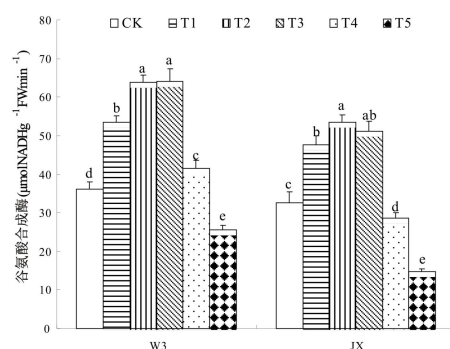


图6 氮素形态及配比对栝楼谷氨酸合成酶活性的影响
Fig.6 Effect of nitrogen form and ratio on GOGAT activity in *Trichosanthes kirilowii* seedlings leaves

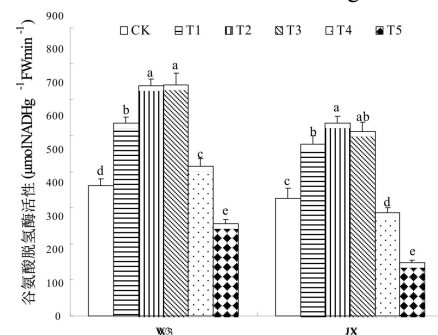


图7 氮素形态及配比对栝楼谷氨酸脱氢酶活性的影响
Fig.7 Effect of nitrogen form and ratio on GDH activity in *Trichosanthes kirilowii* seedlings leaves

如图6示,氮素形态及配比对2种栝楼叶片谷氨酸合成酶(GOGAT)活性影响较大。在同等氮素水平下,随着铵态氮比例增加和硝态氮比例降低,栝楼叶片谷氨酸合成酶活性先升高后降低,‘W3’栝楼幼苗叶片GOGAT活性高于‘JX’栝楼幼苗。在T3(硝:铵=50:50)时,‘W3’栝楼幼苗叶片谷氨酸合成酶活性达到最大值为 $64.1 \mu\text{mol NADHg}^{-1} \cdot \text{FWmin}^{-1}$,‘W3’品种T3处理与T2处理之间差异不大。单一铵态氮处理‘W3’栝楼幼苗叶片谷氨酸合成酶仅为 $25.5 \mu\text{mol NADHg}^{-1} \cdot \text{FWmin}^{-1}$ 。而‘JX’栝楼幼苗在T2处理达到最大值,且T1、T2、T3之间差异不显著($P<0.05$)。

图7显示,在同等氮素水平下,随着铵态氮比例增加和硝态氮比例降低,栝楼幼苗叶片谷氨酸脱氢酶活性(GDH)活性先升高后降低。2个栝楼幼苗叶片GDH活性在T3(硝:铵=50:50)处理时均达到最大值,其中‘W3’叶片GDH活性为 $812.25 \mu\text{mol NADH g}^{-1} \cdot \text{FWmin}^{-1}$,T5处理的‘W3’栝楼幼苗叶片GDH活性仅为 $666.32 \mu\text{mol NADH g}^{-1} \cdot \text{FWmin}^{-1}$ 。与单一氮素形态处理相比,硝态氮和

铵态氮混合处理栝楼幼苗叶片 GOGAT 和 GDH 酶活性显著升高,但是铵态氮比例超过 50%后,其活性有所降低。

2.5 氮素形态对栝楼幼苗叶片氨基酸含量和可溶性蛋白的影响

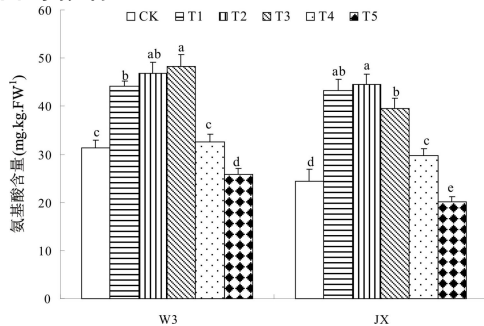


图8 氮素形态及配比对栝楼叶片氨基酸含量的影响

Fig.8 Effect of nitrogen form and ratio on amino acid content in *Trichosanthes kirilowii* seedling

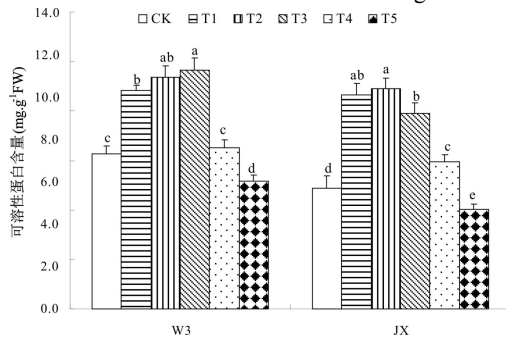


图9 氮素形态及配比对不同基因型栝楼叶片可溶性蛋白含量的影响

Fig.9 Effect of nitrogen form and ratio on soluble protein content in *Trichosanthes kirilowii*

从图8看出,氮素形态及配比对栝楼叶片氨基酸含量和可溶性蛋白含量影响较大。随着铵态氮比例增加和硝态氮比例降低,栝楼幼苗叶片氨基酸含量呈现先升高后降低趋势,‘W3’栝楼叶片氨基酸含量在T3(硝:铵=50:50)处理时达到最大值48.3 mg·kg⁻¹FW;而‘JX’栝楼幼苗叶片氨基酸含量在T2处理达到最大值为44.5 mg·kg⁻¹FW,T2处理与T3处理间差异不显著($P<0.05$),在T5处理时氨基酸含量最低仅为20.2 mg·kg⁻¹FW。在同等处理条件下,‘W3’栝楼幼苗叶片可溶性蛋白含量均高于‘JX’栝楼幼苗(图9显示)。可溶性蛋白含量变化与氨基酸含量变化相似,其中‘W3’栝楼幼苗叶片可溶性蛋白含量在T3处理时达到最大值11.40 mg·g⁻¹FW;而‘JX’栝楼幼苗叶片可溶性蛋白含量在T2处理时达到最大值7.32 mg·g⁻¹FW,在T5处理时达到最低,仅为4.68 mg·g⁻¹FW。与单一

氮素相比,硝铵态氮混合处理更有利于栝楼叶片氨基酸和可溶性蛋白合成,不同栝楼品种所需的配比有所不同。

2.6 氮素形态及配比对栝楼幼苗生长及生理指标相关性分析

对‘W3’与‘JX’栝楼幼苗的叶片鲜重(X1)、根系鲜重(X2)、根系活力(X3)与NR活性(Y1)、GS活性(Y2)、GOGAT活性(Y3)、GDH活性(Y4)、氨基酸含量(Y5)、可溶性蛋白含量(Y6)进行相关分析,结果见表1。栝楼幼苗的叶片鲜重、根系鲜重与根系活力均与NR活性、GS活性、GOGAT活性、GDH活性、氨基酸含量、可溶性蛋白含量等呈显著正相关;尤其是GS活性与地上部和根系鲜重呈极显著相关,地上部鲜重和根系鲜重呈现极显著相关。不同氮素及配比处理,提高栝楼幼苗氮代谢关键酶活性、氨基酸含量、可溶性蛋白含量,可以显著促进栝楼幼苗生长、根系活力及根系鲜重积累。

表1 不同氮素形态及配比处理下栝楼幼苗生物量与氮代谢相关生理指标的相关性分析

Table 1 Correlation analysis of biomass and nitrogen metabolism indexes of *Trichosanthes kirilowii* seedlings under different nitrogen forms and ratios

指标 index	X1	X2	X3	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6
X1	1								
X2	0.980**	1							
X3	0.824**	0.954**	1						
Y1	0.818**	0.935**	0.908**	1					
Y2	0.979**	0.912**	0.874**	0.756**	1				
Y3	0.962**	0.915**	0.903**	0.823**	0.921**	1			
Y4	0.893**	0.848**	0.816**	0.772**	0.835*	0.811**	1		
Y5	0.878**	0.913**	0.886**	0.927**	0.872**	0.846**	0.813**	1	
Y6	0.907**	0.826**	0.814**	0.764**	0.732**	0.709**	0.654**	0.539*	1

注: * 表示 $P<0.05$ 水平显著相关; **表示 $P<0.01$ 水平极显著相关

3 讨论

氮素是植物生长发育所需的重要营养元素之一,不同氮素形态和配比对植物生长发育影响较大。硝态氮和铵态氮按照一定比例混合使用更有利于作物生长,提高产量;但是植物种类不同和环境条件不同对硝态氮和铵态氮的所需比例要求也不同^[14-15]。本研究表明,与对照相比,硝态氮和铵态氮混合有利于栝楼地上部和根系生长,不同品种所

需的氮素形态和配比也有所不同,这与前人在莴笋等作物上研究结果相似^[16]。‘W3’ 栝楼幼苗在 T3 (硝:铵=50:50) 处理表现最佳,地上部鲜重和根系鲜重最大;而‘JX’在 T2 处理(硝:铵=70:30)处理地上部鲜重最大,在单一硝态氮处理根系鲜重最大。由此说明,不同栝楼品种对氮素形态及配比所需有所不同,混合态氮素有利于栝楼幼苗生长。

硝酸还原酶和谷氨酰胺合成酶是氮代谢关键酶,其中硝酸还原酶是硝酸还原过程中的第一个关键酶,同时对该过程中的限速酶和诱导酶起决定性作用^[17]。隋利等人^[18]研究紫苏发现,在单一硝态氮处理下硝酸还原酶活性最高;王瑞等^[19]研究油茶苗木表明,随 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 增加,GS 活性呈先上升后下降,在硝:铵=50:50 时达最大值。本研究结果表明,在单一硝态氮处理时,2 个栝楼品种的叶片硝酸还原酶活性均最高;在硝:铵=50:50 处理时,2 个品种栝楼幼苗 GS 活性均达到最大值,其次是硝:铵=70:30。硝态氮和铵态氮混合处理栝楼幼苗叶片 GOGAT 和 GDH 酶活性显著升高,但是铵态氮比例超过 50%后,其活性有所降低。苏芸芸等^[20]在氮素形态对藿香氮代谢的影响也有相似的研究结果。

黄碧阳等^[21]在叶用甜菜研究中发现硝铵态氮配比为 4:4 处理时,叶用甜菜叶片可溶性蛋白含量最高。本研究发现,与单一氮素形态相比,混合态氮素处理促进了栝楼叶片氨基酸和可溶性蛋白的积累。不同品种栝楼叶片氨基酸和可溶性蛋白含量对氮素配比响应也有所不同,其中‘W3’栝楼幼苗在硝:铵=50:50 处理时叶片氨基酸和可溶性蛋白含量达到最大值;而‘JX’栝楼幼苗叶片则在硝:铵=70:30 处理时其氨基酸和可溶性蛋白含量较高,有利于栝楼幼苗生长。

氮素形态及对比对栝楼幼苗氮代谢影响较大,与单一氮素形态相比,硝态氮和铵态氮混合处理可显著提高栝楼幼苗叶片 NR、GS、GOGAT、GDH 酶的活性,促进氮代谢水平,有利于栝楼叶片氨基酸和可溶性蛋白的积累。不同栝楼品种对氮素形态和配比响应也有所差异,其中硝:铵=50:50 时更有利于‘W3’栝楼幼苗氮代谢和生长,而硝:铵=70:30 则有利于‘JX’栝楼幼苗氮代谢和生长。

参考文献:

[1] 张子义,伊霞,胡博,等. 缺氮条件下燕麦根轴细胞的程序性死亡[J].中国农学通报, 2010, 26(8): 175-178.

- [2] 曹翠玲,李生秀.氮素形态对作物生理特性及生长的影响[J].华中农业大学学报, 2004, 23(5): 581-586.
- [3] 陈铭,袁军,渠心静,李俊.不同氮素形态对油茶幼苗生长及氮素吸收的影响[J].安徽农业大学学报, 2019, 46(4): 660-664.
- [4] 王兴萌,陈志豪,李永春,等.氮素形态及对比对毛竹和青冈实生苗生长特性的影响[J].生态学杂志, 2019, 38(9): 2655-2661.
- [5] Zhao X J, Bi G H, Harkess R L, et al. Effects of different $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$ ratios on growth and nutrition uptake in *Iris germanica* ‘Immortality’[J].Hort Science, 2016, 51(8): 1045-1049.
- [6] Hachiya T, Sakakibara H. Interactions between nitrate and ammonium in their uptake, allocation, assimilation, and signaling in plants [J]. Journal of Experimental Botany, 2016: 449-462.
- [7] 黄东静,曹福亮,汪贵斌.无机氮素形态对银杏苗期碳氮代谢的影响[J].南京林业大学学报:自然科学版, 2019, 43(2): 197-202.
- [8] 周箬涵,郁继华,杨兵丽,等.不同氮素形态及对比对娃娃菜产量、品质及其养分吸收的影响[J].华北农学报, 2015, 30(3): 216-222.
- [9] 韩浩章,张丽华,王晓立,等.不同氮素形态对比对猴樟幼苗生长发育的影响[J].北方园艺, 2019(6): 96-101.
- [10] 汪宵,李卫文,董玲,等.不同肥料对比对栝楼产量的影响[J].中药材, 2019(10): 2244-2247.
- [11] 杨文杰,郑磊磊,郑云南,等.淮安种植皖栝楼系列品种的农艺性状调查与比较[J].江苏农业科学, 2017, 45(10): 116-118.
- [12] 马万征,李忠芳,邹海明,等.不同营养液浓度下温室黄瓜果实干物质的模拟[J].井冈山大学学报:自然科学版, 2014, 35(6): 41-44.
- [13] 邹琦.植物生理学实验指导[M].北京:中国农业出版社, 2000.
- [14] 杨阳,郑秋玲,裴成国,等.不同硝铵对比对霞多丽葡萄幼苗生长和氮素营养的影响[J].植物营养与肥料学报, 2010, 16(2): 370-375.
- [15] 田亚男,陈国栋,吴潇,等.不同硝铵对比对杜梨幼苗生长和生理特性的影响[J].中国南方果树, 2017, 46(2): 26-30.
- [16] 李会合.氮素形态对比对莴笋品质和养分含量的影响[J].北方园艺, 2011(3): 18-20.
- [17] 张华珍,徐恒玉.植物氮素同化过程中相关酶的研究进展[J].北方园艺, 2011, (20): 180-183.
- [18] 王瑞,陈隆升,王湘南,等.氮素形态对油茶苗木生长及生理指标的影响[J].南京林业大学学报:自然科学版, 2019, 43(4): 26-32.
- [19] 隋利,王康才,易家宁,裯汉美,魏莲,韦宏杰.不同氮素形态对紫苏生长及品质的影响[J].土壤通报, 2018, 49(3): 667- 672.
- [20] 苏芸芸,王康才,薛启.氮素形态对藿香光合作用、氮代谢及品质的影响[J].南京农业大学学报, 2016, 39(4): 543-549.
- [21] 黄碧阳,林碧英,林志斌,等.不同氮素形态及其对比对水培叶用甜菜生长和品质的影响[J].福建农林大学学报:自然科学版, 2017, 46(3): 254-259.