

## 不同氮素形态和配比对菘蓝根的生长及含氮成分含量和总量的影响

吕婷婷, 施晟璐, 唐晓清<sup>①</sup>, 赵雪玲, 王康才

(南京农业大学园艺学院, 江苏 南京 210095)

**摘要:** 以来源于安徽亳州、甘肃张掖、安徽阜阳、山西运城和陕西商洛的 5 个种源菘蓝 (*Isatis indigotica* Fort.) 为实验材料, 采用田间试验法对不施氮素 (对照), 仅施用  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  (T1) 或  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  (T2), 混合施用氮素 [ $n(\text{NH}_4^+ - \text{N}) : n(\text{NO}_3^- - \text{N}) = 75:25$  (T3),  $n(\text{NH}_4^+ - \text{N}) : n(\text{NO}_3^- - \text{N}) = 50:50$  (T4) 和  $n(\text{NH}_4^+ - \text{N}) : n(\text{NO}_3^- - \text{N}) = 25:75$  (T5)] 以及仅施用  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$  (T6) 条件下各种源菘蓝的单株根鲜质量和干质量, 根折干率, 根中游离总氨基酸、可溶性蛋白质和总氮含量, 以及单株根中游离总氨基酸、可溶性蛋白质和总氮总量的差异进行了比较分析。结果表明: 在同一施氮条件下不同种源间菘蓝根的各项指标均有一定差异; 而与各自的对照相比, 不同施氮条件下同一种源菘蓝根的各项指标也有一定差异。总体来看, 安徽亳州和山西运城种源菘蓝根的生长指标均在 T6 组中较高, 甘肃张掖种源根的生长指标则在 T2 组中相对较高, 安徽阜阳种源根的生长指标在 T5 组中最高, 陕西商洛种源根的生长指标在 T4 组中较高。各施氮条件下安徽亳州种源菘蓝的单株根中游离总氨基酸、可溶性蛋白质和总氮总量均低于其对照, 并在 T6 组中相对较高; 甘肃张掖和陕西商洛种源根的上述 3 项指标分别在 T2 和 T3 组中最高, 而安徽阜阳和山西运城种源根的上述 3 项指标则分别在 T5 和 T1 组中较高。研究结果显示: 不同氮素形态和配比对菘蓝根生长和根中含氮成分积累的影响效应存在种源间的差异, 并且对同一种源根生长和根中含氮成分积累有益的氮素形态和配比也不同。因此, 为了获得高产优质的板蓝根药材, 建议在菘蓝的栽培过程中针对不同种源采取适宜的施氮措施, 并兼顾生长量和有效成分含量。

**关键词:** 氮素形态; 氮素配比; 菘蓝; 种源; 根生长; 含氮成分

中图分类号: Q945.79; S567.2; R282.2 文献标志码: A 文章编号: 1674-7895(2016)01-0062-09

DOI: 10.3969/j.issn.1674-7895.2016.01.08

**Effect of nitrogen with different forms and ratios on growth, and content and total amount of nitrogen component in root of *Isatis indigotica*** LYU Tingting, SHI Shenglu, TANG Xiaoqing<sup>①</sup>, ZHAO Xueling, WANG Kangcai (College of Horticulture, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China), *J. Plant Resour. & Environ.*, 2016, 25(1): 62-70

**Abstract:** Taking five provenances of *Isatis indigotica* Fort. from Bozhou of Anhui, Zhangye of Gansu, Fuyang of Anhui, Yuncheng of Shanxi and Shangluo of Shaanxi as experiment materials, differences in fresh and dry weights of root per plant, root drying rate, contents of free total amino acids, soluble protein and total nitrogen in root, and total amounts of free total amino acids, soluble protein and total nitrogen in root per plant of different provenances of *I. indigotica* under conditions of without applying nitrogen (CK), only applying  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  (T1) or  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  (T2), mixed applying nitrogen [ $n(\text{NH}_4^+ - \text{N}) : n(\text{NO}_3^- - \text{N}) = 75:25$  (T3),  $n(\text{NH}_4^+ - \text{N}) : n(\text{NO}_3^- - \text{N}) = 50:50$  (T4) and  $n(\text{NH}_4^+ - \text{N}) : n(\text{NO}_3^- - \text{N}) = 25:75$  (T5)], and only applying  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$  (T6) were compared and analyzed by field experiment method. The results show that under same nitrogen applying condition, there is a certain difference in various indexes in root of *I. indigotica* from different provenances. While, compared with their own control, there is also a certain difference in various indexes in root of *I. indigotica* from the same

收稿日期: 2015-04-27

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(31171486); 国家大学生创新创业训练计划(201310307026)

作者简介: 吕婷婷(1990—), 女, 江西吉安人, 硕士研究生, 主要从事药用植物栽培与中药质量控制方面的研究。

<sup>①</sup>通信作者 E-mail: xqtang@njau.edu.cn

provenance under different nitrogen applying conditions. In general, root growth indexes of *I. indigotica* from Bozhou of Anhui and Yuncheng of Shanxi provenances are all higher in T6 group, those from Zhangye of Gansu provenance are relatively higher in T2 group, those from Fuyang of Anhui provenance are the highest in T5 group, and those from Shangluo of Shaanxi provenance are higher in T4 group. Under different nitrogen applying conditions, total amounts of free total amino acids, soluble protein and total nitrogen in root per plant of *I. indigotica* from Bozhou of Anhui provenance are all lower than those of its control, and the three indexes are relatively higher in T6 group. The above three indexes in root from Zhangye of Gansu and Shangluo of Shaanxi provenances are the highest in T2 and T3 groups, respectively, while those from Fuyang of Anhui and Yuncheng of Shanxi provenances are higher in T5 and T1 groups, respectively. It is suggested that there is difference among provenances in effect of nitrogen with different forms and ratios on root growth and root nitrogen component accumulation of *I. indigotica*, and nitrogen form and ratio beneficial to growth and nitrogen component accumulation of root from the same provenance are also different. Therefore, in order to obtain high yield and good quality indigowoad root medicinal materials, it is suggested to take appropriate nitrogen applying measure for different provenances during cultivation process, and take into account growth amount and effective component content.

**Key words:** nitrogen form; nitrogen ratio; *Isatis indigotica* Fort.; provenance; root growth; nitrogen component

氮素是作物生长发育过程中必需的大量元素之一,能够参与植物体内多种有机物(如氨基酸、小分子多肽、酶类及生物碱等)的合成,对作物产量和品质具有关键作用,并且,氮素还是植物体内蛋白质、核酸、磷脂和某些生长激素的重要组成元素<sup>[1]</sup>。硝态氮( $\text{NO}_3^--\text{N}$ )和铵态氮( $\text{NH}_4^+-\text{N}$ )是植物根系能够吸收的2种主要无机氮素形态<sup>[2]</sup>。研究表明,配施一定比例的 $\text{NO}_3^--\text{N}$ 和 $\text{NH}_4^+-\text{N}$ 能够显著促进植物生长,明显提高作物的生物量和产量<sup>[3-4]</sup>。在石灰性黄壤中种植的枳砧脐橙‘纽荷尔’(*Citrus sinensis* ‘Newhall’)幼树根系更易吸收 $\text{NO}_3^--\text{N}$ ,混合施用 $n(\text{NO}_3^--\text{N}):n(\text{NH}_4^+-\text{N})=75:25$ 能够明显促进脐橙幼树的生长发育<sup>[5]</sup>;不同氮素形态和对比对半夏[*Pinellia ternata* (Thunb.) Breit.]的氮代谢指标、产量和主要化学成分等均有显著影响,其中,混合施用 $n(\text{NH}_4^+-\text{N}):n(\text{NO}_3^--\text{N})=75:25$ 利于其块茎、珠芽及合计产量的提升,而混合施用 $n(\text{NH}_4^+-\text{N}):n(\text{NO}_3^--\text{N})=50:50$ 则利于总有机酸的积累<sup>[6]</sup>。此外,生产中常用的氮肥尿素[ $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ ]也是氮素的一种重要有机形态,是农业生产中常用的化肥之一。

十字花科(Cruciferae)菘蓝属(*Isatis* Linn.)植物菘蓝(*I. indigotica* Fort.)的干燥根为重要的中药材板蓝根<sup>[7]</sup>,其中所含的蛋白质是一类具有生物活性的非免疫蛋白,此蛋白质含量可作为板蓝根药材质量评价的指标之一<sup>[8]</sup>。相关实验结果显示:施用不同组合的 $\text{NH}_4^+-\text{N}$ 和 $\text{NO}_3^--\text{N}$ 及 $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ 以及采用不同的氮

肥施用方式均能够对菘蓝植株的生长、叶片的光合效率以及生理代谢、矿质元素吸收和活性成分积累等产生影响<sup>[9-12]</sup>。但目前仅了解大田生产过程中这3种形态氮素对菘蓝叶片叶绿素和光合效率的影响<sup>[13]</sup>。

为了更加深入地了解 $\text{NH}_4^+-\text{N}$ 和 $\text{NO}_3^--\text{N}$ 以及 $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ 这3种氮素形态对板蓝根药材产量和品质的影响,采用大田实验法,以来源于5个主要产地的菘蓝种源为研究对象,通过仅施用 $\text{NH}_4^+-\text{N}$ 、 $\text{NO}_3^--\text{N}$ 或 $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ 以及混施不同配比 $\text{NH}_4^+-\text{N}$ 和 $\text{NO}_3^--\text{N}$ ,研究不同氮素形态和混施比例对菘蓝的单株根鲜质量和干质量、根折干率、游离总氨基酸含量、可溶性蛋白质含量和总氮含量的影响,并综合分析不同形态氮素对菘蓝根生长及根中含氮成分总量的影响,旨在为菘蓝栽培生产过程中合理有效施用氮肥提供基础研究数据。

## 1 材料和方法

### 1.1 材料

供试的菘蓝角果(生产中称种子)来源于安徽亳州、甘肃张掖、安徽阜阳、山西运城和陕西商洛5个菘蓝主要产地,由南京农业大学中药材研究所王康才教授鉴定。实验地设在南京农业大学江浦农场园艺试验站,土壤为壤土,0~30 cm土层土壤的有机质含量为 $0.907 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、全氮含量为 $1.5 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、碱解氮含量为 $136 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、有效磷含量为 $19.5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、速

效钾含量为  $0.16 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , pH 6.35。使用的试剂均为分析纯。

## 1.2 方法

1.2.1 实验设计及处理方法 于2013年5月21日,采用随机区组法对来源于不同种源的菘蓝角果进行条播,行距25 cm、株距7 cm;每个小区面积为  $3.75 \text{ m}^2$  ( $1.5 \text{ m} \times 2.5 \text{ m}$ );小区间距40 cm、沟深30 cm,小区四周设1 m保护行。

共设置7个施氮处理组,包括  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、 $\text{NO}_3^- - \text{N}$  和  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$  单独施用以及  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  和  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  混合施用2种方式。其中,对照组(CK)不施氮肥,T1组仅施用  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  (由  $\text{KNO}_3$  提供),T2组仅施用  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  [由  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  提供],T3组混合施用氮素 [ $n(\text{NH}_4^+ - \text{N}) : n(\text{NO}_3^- - \text{N}) = 75 : 25$ ],T4组混合施用氮素 [ $n(\text{NH}_4^+ - \text{N}) : n(\text{NO}_3^- - \text{N}) = 50 : 50$ ],T5组混合施用氮素 [ $n(\text{NH}_4^+ - \text{N}) : n(\text{NO}_3^- - \text{N}) = 25 : 75$ ],T6组仅施用  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ 。各处理组的磷肥和钾肥用量相同(磷肥和钾肥均由  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  提供)且施氮量一致(氮肥用量为  $675 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  [14];每个种源每处理各3个小区,每个小区视为1个重复,共105个小区;采用常规田间管理,正常施用磷肥和钾肥,并分别于2013年7月下旬和9月下旬施入氮肥,每次施氮量均为0.253 kg。施肥时,在行间挖浅沟浇入各处理组对应的处理液后覆土,所有处理液中均加入硝化抑制剂双氰胺(DCD),其用量为处理液中氮含量的0.4%。

1.2.2 生长指标的测定方法 于2013年12月8日取样进行根系生长指标测定。每个小区随机选取10株样株,根系均挖至土壤表层下约30 cm处,且保证根系完整。分别去除各植株的芦头和茎叶,将根系清洗干净并吸干表面水分,使用电子天平称量单株根鲜质量;然后于  $105 \text{ }^\circ\text{C}$  杀青15 min,并置于  $60 \text{ }^\circ\text{C}$  条件下烘干至恒质量,准确称量单株根干质量;并按照公式“折干率 = (单株根干质量/单株根鲜质量)  $\times 100\%$ ”计算根系的折干率。

1.2.3 含氮成分的测定和计算方法 将各种源10株样株的干燥根混合后粉碎,并过60目筛,备用。采用茚三酮比色法 [15] 测定游离总氨基酸含量;采用Bradford法 [16] 测定可溶性蛋白质含量;采用凯氏定氮法 [17],使用 Kjeltec™ 8400 FOSS 全自动凯氏定氮仪 [福斯赛诺分析仪器(苏州)有限公司] 测定总氮含量。每个指标均重复测定3次。根据游离总氨基酸

含量、可溶性蛋白质含量和总氮含量以及单株根干质量分别计算单株根中游离总氨基酸、可溶性蛋白质和总氮的总量,计算公式分别为:单株根中游离总氨基酸总量 = 根中游离总氨基酸含量  $\times$  单株根干质量;单株根中可溶性蛋白质总量 = 根中蛋白质含量  $\times$  单株根干质量;单株根中总氮总量 = 根中总氮含量  $\times$  单株根干质量。

## 1.3 数据统计和分析

采用 EXCEL 2007 和 SPSS 17.0 统计分析软件对相关实验数据进行处理和分析,并采用 Duncan's 新复极差法对各处理组间的数据进行多重比较。

## 2 结果和分析

### 2.1 不同氮素形态及配比对菘蓝根质量的影响

施用不同形态及配比的氮素后菘蓝根质量的比较结果见表1。由表1可见:T1组(仅施用  $\text{NO}_3^- - \text{N}$ )中甘肃张掖、安徽阜阳和山西运城种源的单株根鲜质量和干质量均略高于各自的对照,但总体上均与对照无显著差异 ( $P > 0.05$ );T2组(仅施用  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ )中甘肃张掖和安徽阜阳种源,T3组 [ $n(\text{NH}_4^+ - \text{N}) : n(\text{NO}_3^- - \text{N}) = 75 : 25$ ] 中安徽阜阳和陕西商洛种源,T4组 [ $n(\text{NH}_4^+ - \text{N}) : n(\text{NO}_3^- - \text{N}) = 50 : 50$ ] 中甘肃张掖、安徽阜阳、山西运城和陕西商洛种源,T5组 [ $n(\text{NH}_4^+ - \text{N}) : n(\text{NO}_3^- - \text{N}) = 25 : 75$ ] 中安徽阜阳种源以及T6组[仅施用  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2 - \text{N}$ ] 中甘肃张掖、安徽阜阳、山西运城和陕西商洛种源的单株根鲜质量和干质量也均高于各自的对照,且大多与对照无显著差异;此外,T5组中甘肃张掖种源的单株根鲜质量和T6组中安徽亳州种源的单株根干质量也略高于各自的对照。

由表1还可见:各处理条件下安徽亳州种源的单株根鲜质量和干质量基本上均低于其对照,而安徽阜阳种源的单株根鲜质量和干质量则均高于其对照;在多数处理条件下,甘肃张掖种源的单株根鲜质量和干质量也高于其对照。各处理条件下,安徽亳州种源的单株根鲜质量最高值较对照下降1.57%,其单株根干质量最高值较对照升高7.82%;而甘肃张掖、安徽阜阳、山西运城和陕西商洛种源的单株根鲜质量最高值分别较各自对照升高73.22%、85.83%、56.02%和44.96%,单株根干质量最高值分别较各自对照升高77.64%、96.48%、54.81%和45.04%。

从各处理组中的菘蓝根折干率(表1)来看,在多

表 1 不同氮素形态及配比对不同种源菘蓝单株根质量的影响 ( $\bar{X}\pm SD$ )<sup>1)</sup>Table 1 Effect of nitrogen with different forms and ratios on root weight per plant of *Isatis indigotica* Fort. from different provenances ( $\bar{X}\pm SD$ )<sup>1)</sup>

处理组 <sup>2)</sup> Treatment group <sup>2)</sup>	各种源的单株根鲜质量/g Root fresh weight per plant of different provenances				
	安徽亳州 Bozhou of Anhui	甘肃张掖 Zhangye of Gansu	安徽阜阳 Fuyang of Anhui	山西运城 Yuncheng of Shanxi	陕西商洛 Shangluo of Shaanxi
CK	17.15±5.04a	15.16±4.83bc	9.81±1.85b	10.64±5.42bc	20.24±5.10b
T1	12.77±3.17ab	15.96±7.16bc	12.55±6.84ab	13.66±3.20ab	15.40±6.15bc
T2	11.37±3.75bc	26.26±7.49a	15.62±1.95ab	8.15±0.92c	9.72±2.19c
T3	11.78±3.85abc	13.10±7.04c	13.95±2.80ab	8.86±1.22bc	28.46±7.24a
T4	10.58±1.30bc	16.96±9.30abc	14.07±5.99ab	16.44±3.21a	29.34±11.30a
T5	7.23±1.56c	16.32±5.54bc	18.23±4.57a	9.26±2.68bc	18.70±3.15b
T6	16.88±6.03a	23.71±7.37ab	11.20±1.42b	16.60±5.38a	12.46±3.27bc

  

处理组 <sup>2)</sup> Treatment group <sup>2)</sup>	各种源的单株根干质量/g Root dry weight per plant of different provenances				
	安徽亳州 Bozhou of Anhui	甘肃张掖 Zhangye of Gansu	安徽阜阳 Fuyang of Anhui	山西运城 Yuncheng of Shanxi	陕西商洛 Shangluo of Shaanxi
CK	3.58±0.98ab	3.22±1.17ab	1.99±0.52b	2.39±1.59abc	5.04±1.44ab
T1	2.30±0.59c	3.96±2.15ab	2.65±1.44ab	3.31±0.93ab	3.74±1.83bc
T2	2.44±0.76bc	5.72±1.97a	2.82±0.66ab	1.65±0.23c	2.13±0.84c
T3	2.37±0.87bc	3.03±2.20ab	2.95±0.85ab	1.88±0.27bc	7.31±2.32a
T4	2.20±0.30c	4.14±2.63ab	2.85±0.94ab	3.48±0.93a	7.21±3.46a
T5	1.65±0.41c	2.74±0.93b	3.91±1.80a	2.36±1.01abc	4.61±0.70bc
T6	3.86±1.70a	5.20±1.60ab	2.42±0.39ab	3.70±1.51a	3.04±1.17bc

  

处理组 <sup>2)</sup> Treatment group <sup>2)</sup>	各种源的根折干率/% Root drying rate of different provenances				
	安徽亳州 Bozhou of Anhui	甘肃张掖 Zhangye of Gansu	安徽阜阳 Fuyang of Anhui	山西运城 Yuncheng of Shanxi	陕西商洛 Shangluo of Shaanxi
CK	0.21±0.02ab	0.21±0.03ab	0.20±0.02a	0.21±0.04a	0.25±0.03a
T1	0.18±0.01b	0.24±0.04a	0.21±0.02a	0.24±0.04a	0.24±0.03a
T2	0.22±0.02a	0.21±0.02ab	0.18±0.03a	0.20±0.02a	0.21±0.04a
T3	0.20±0.04ab	0.22±0.05ab	0.21±0.02a	0.21±0.01a	0.26±0.05a
T4	0.21±0.02ab	0.23±0.04a	0.21±0.02a	0.21±0.02a	0.24±0.03a
T5	0.23±0.03a	0.17±0.01b	0.21±0.05a	0.27±0.15a	0.25±0.02a
T6	0.22±0.02a	0.22±0.04a	0.21±0.01a	0.22±0.03a	0.24±0.04a

<sup>1)</sup> 同列中不同的小写字母表示差异显著 ( $P<0.05$ ) Different small letters in the same column indicate the significant difference ( $P<0.05$ ).

<sup>2)</sup> CK: 对照 (不施氮素) The control (without applying nitrogen); T1: 仅施用  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  Only applying  $\text{NO}_3^- - \text{N}$ ; T2: 仅施用  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  Only applying  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ ; T3: 混合施用氮素 [ $n(\text{NH}_4^+ - \text{N}) : n(\text{NO}_3^- - \text{N}) = 75 : 25$ ] Mixed applying nitrogen [ $n(\text{NH}_4^+ - \text{N}) : n(\text{NO}_3^- - \text{N}) = 75 : 25$ ]; T4: 混合施用氮素 [ $n(\text{NH}_4^+ - \text{N}) : n(\text{NO}_3^- - \text{N}) = 50 : 50$ ] Mixed applying nitrogen [ $n(\text{NH}_4^+ - \text{N}) : n(\text{NO}_3^- - \text{N}) = 50 : 50$ ]; T5: 混合施用氮素 [ $n(\text{NH}_4^+ - \text{N}) : n(\text{NO}_3^- - \text{N}) = 25 : 75$ ] Mixed applying nitrogen [ $n(\text{NH}_4^+ - \text{N}) : n(\text{NO}_3^- - \text{N}) = 25 : 75$ ]; T6: 仅施用  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$  Only applying  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ .

数处理条件下,甘肃张掖和安徽阜阳种源的根折干率基本上均高于各自的对照,陕西商洛种源的根折干率则基本上均低于其对照;T5 和 T6 组中,安徽亳州和山西运城种源的根折干率均高于各自的对照。但总体来看同一种源各处理组间菘蓝的根折干率无显著差异。

## 2.2 不同氮素形态及配比对菘蓝根中含氮成分含量的影响

施用不同形态及配比的氮素后菘蓝根中游离总氨基酸、可溶性蛋白质和总氮含量见表 2。结果表明:同一处理条件下,不同种源间菘蓝根中的游离总氨基

酸、可溶性蛋白质和总氮含量均有差异;而同一种源菘蓝根中的游离总氨基酸、可溶性蛋白质和总氮含量在不同处理条件下也有差异。

2.2.1 对根中游离总氨基酸含量的影响 由表 2 可以看出:T1 组 (仅施用  $\text{NO}_3^- - \text{N}$ ) 中甘肃张掖、安徽阜阳、山西运城和陕西商洛种源菘蓝根中游离总氨基酸含量均高于各自的对照;T2 组 (仅施用  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ ) 中安徽阜阳、山西运城和陕西商洛种源, T3 组 [ $n(\text{NH}_4^+ - \text{N}) : n(\text{NO}_3^- - \text{N}) = 75 : 25$ ] 中甘肃张掖、山西运城和陕西商洛种源, T4 组 [ $n(\text{NH}_4^+ - \text{N}) : n(\text{NO}_3^- - \text{N}) = 50 : 50$ ] 中安徽亳州、安徽阜阳、山西运城和陕西商洛种源, T5

组[ $n(\text{NH}_4^+-\text{N}):n(\text{NO}_3^--\text{N})=25:75$ ]中安徽亳州、安徽阜阳和山西运城种源根中的游离总氨基酸含量也均高于或显著( $P<0.05$ )高于各自的对照;而T6组[仅施用 $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ ]中5个种源的游离总氨基酸含量均显著低于各自的对照。

由表2还可以看出:安徽亳州种源菘蓝根中的游离总氨基酸含量仅在T4和T5组中高于其对照,甘肃张掖种源根中的游离总氨基酸含量仅在T1和T3组中高于其对照,安徽阜阳种源根中的游离总氨基酸含量在T1、T2、T4和T5组中均高于其对照,山西运城种源根中的游离总氨基酸含量在T1、T2、T3、T4和T5组

中均高于其对照,陕西商洛种源根中的游离总氨基酸含量则在T1、T2、T3和T4组中均高于其对照。安徽亳州、甘肃张掖、安徽阜阳、山西运城和陕西商洛种源根中游离总氨基酸含量最高值分别较各自对照升高3.46%、6.91%、20.19%、45.82%和11.90%。

2.2.2 对根中可溶性蛋白质含量的影响 由表2可见:不同处理条件下,大多数种源根中可溶性蛋白质含量低于各自的对照,仅T1组中安徽阜阳和陕西商洛种源,T2组中甘肃张掖种源,T3组中安徽亳州、安徽阜阳和陕西商洛种源,T4和T5组中甘肃张掖和安徽阜阳种源,T6组中安徽阜阳种源根中的可溶性蛋

表2 不同氮素形态及配比对不同种源菘蓝根中游离总氨基酸、可溶性蛋白质和总氮含量的影响( $\bar{X}\pm SD$ )<sup>1)</sup>

Table 2 Effect of nitrogen with different forms and ratios on contents of free total amino acids, soluble protein and total nitrogen in root of *Isatis indigotica* Fort. from different provenances ( $\bar{X}\pm SD$ )<sup>1)</sup>

处理组 <sup>2)</sup> Treatment group <sup>2)</sup>	各种源根中游离总氨基酸含量/ $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$					Content of free total amino acids in root of different provenances				
	安徽亳州 Bozhou of Anhui	甘肃张掖 Zhangye of Gansu	安徽阜阳 Fuyang of Anhui	山西运城 Yuncheng of Shanxi	陕西商洛 Shangluo of Shaanxi	安徽亳州 Bozhou of Anhui	甘肃张掖 Zhangye of Gansu	安徽阜阳 Fuyang of Anhui	山西运城 Yuncheng of Shanxi	陕西商洛 Shangluo of Shaanxi
CK	6.64±0.17ab	5.64±0.12b	6.24±0.11c	3.71±0.09d	4.62±0.01c	8.35±0.05d	3.92±0.18d	3.11±0.15d	5.10±0.08a	3.80±0.13bc
T1	6.12±0.08c	6.03±0.08a	7.40±0.10a	4.06±0.10c	4.65±0.04c	3.71±0.06g	3.45±0.08e	3.95±0.05b	4.10±0.08c	4.44±0.12a
T2	6.55±0.16b	5.58±0.01b	7.08±0.05b	4.76±0.10b	5.17±0.06a	6.34±0.11d	9.05±0.13a	2.78±0.14e	3.85±0.11d	3.59±0.21c
T3	5.82±0.14d	5.74±0.07b	5.67±0.15d	5.41±0.09a	4.86±0.04b	8.61±0.10a	3.91±0.06d	6.17±0.15a	4.52±0.04b	3.93±0.04b
T4	6.87±0.11a	5.13±0.10c	6.89±0.05b	3.85±0.11cd	4.82±0.04b	7.41±0.06c	4.89±0.14b	3.53±0.12c	3.58±0.08e	3.79±0.10bc
T5	6.66±0.07ab	4.39±0.09d	7.50±0.11a	4.00±0.11c	3.95±0.11c	4.97±0.04e	4.18±0.10c	3.48±0.18c	4.03±0.15c	3.66±0.02c
T6	4.90±0.13e	4.05±0.03e	4.13±0.17e	2.82±0.12e	3.77±0.02d	4.78±0.01f	3.46±0.14e	3.13±0.18d	5.07±0.07a	3.66±0.08c

  

处理组 <sup>2)</sup> Treatment group <sup>2)</sup>	各种源根中可溶性蛋白质含量/ $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$					Content of soluble protein in root of different provenances				
	安徽亳州 Bozhou of Anhui	甘肃张掖 Zhangye of Gansu	安徽阜阳 Fuyang of Anhui	山西运城 Yuncheng of Shanxi	陕西商洛 Shangluo of Shaanxi	安徽亳州 Bozhou of Anhui	甘肃张掖 Zhangye of Gansu	安徽阜阳 Fuyang of Anhui	山西运城 Yuncheng of Shanxi	陕西商洛 Shangluo of Shaanxi
CK	8.35±0.05d	3.92±0.18d	3.11±0.15d	5.10±0.08a	3.80±0.13bc	27.63±0.99ab	23.94±0.85bc	25.23±0.98d	24.44±1.06cd	21.03±0.96e
T1	3.71±0.06g	3.45±0.08e	3.95±0.05b	4.10±0.08c	4.44±0.12a	25.95±1.21c	24.75±1.72ab	32.43±1.65a	26.93±1.54ab	25.26±1.36bc
T2	6.34±0.11d	9.05±0.13a	2.78±0.14e	3.85±0.11d	3.59±0.21c	26.24±1.86bc	25.43±1.22a	30.70±0.72b	27.90±2.47a	27.53±1.12a
T3	8.61±0.10a	3.91±0.06d	6.17±0.15a	4.52±0.04b	3.93±0.04b	25.03±2.11c	25.96±1.26a	30.95±1.11b	26.11±1.12b	25.59±1.15b
T4	7.41±0.06c	4.89±0.14b	3.53±0.12c	3.58±0.08e	3.79±0.10bc	28.55±1.27a	24.34±1.24ab	28.49±2.07c	24.86±1.34cd	24.84±1.12cd
T5	4.97±0.04e	4.18±0.10c	3.48±0.18c	4.03±0.15c	3.66±0.02c	28.40±2.51a	21.80±2.23c	28.89±1.94c	23.13±2.27d	23.24±1.32d
T6	4.78±0.01f	3.46±0.14e	3.13±0.18d	5.07±0.07a	3.66±0.08c	22.31±1.33d	20.28±1.81cd	24.17±2.43d	19.57±1.24e	20.12±2.69e

  

处理组 <sup>2)</sup> Treatment group <sup>2)</sup>	各种源根中总氮含量/ $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$					Content of total nitrogen in root of different provenances				
	安徽亳州 Bozhou of Anhui	甘肃张掖 Zhangye of Gansu	安徽阜阳 Fuyang of Anhui	山西运城 Yuncheng of Shanxi	陕西商洛 Shangluo of Shaanxi	安徽亳州 Bozhou of Anhui	甘肃张掖 Zhangye of Gansu	安徽阜阳 Fuyang of Anhui	山西运城 Yuncheng of Shanxi	陕西商洛 Shangluo of Shaanxi
CK	27.63±0.99ab	23.94±0.85bc	25.23±0.98d	24.44±1.06cd	21.03±0.96e	27.63±0.99ab	23.94±0.85bc	25.23±0.98d	24.44±1.06cd	21.03±0.96e
T1	25.95±1.21c	24.75±1.72ab	32.43±1.65a	26.93±1.54ab	25.26±1.36bc	25.95±1.21c	24.75±1.72ab	32.43±1.65a	26.93±1.54ab	25.26±1.36bc
T2	26.24±1.86bc	25.43±1.22a	30.70±0.72b	27.90±2.47a	27.53±1.12a	26.24±1.86bc	25.43±1.22a	30.70±0.72b	27.90±2.47a	27.53±1.12a
T3	25.03±2.11c	25.96±1.26a	30.95±1.11b	26.11±1.12b	25.59±1.15b	25.03±2.11c	25.96±1.26a	30.95±1.11b	26.11±1.12b	25.59±1.15b
T4	28.55±1.27a	24.34±1.24ab	28.49±2.07c	24.86±1.34cd	24.84±1.12cd	28.55±1.27a	24.34±1.24ab	28.49±2.07c	24.86±1.34cd	24.84±1.12cd
T5	28.40±2.51a	21.80±2.23c	28.89±1.94c	23.13±2.27d	23.24±1.32d	28.40±2.51a	21.80±2.23c	28.89±1.94c	23.13±2.27d	23.24±1.32d
T6	22.31±1.33d	20.28±1.81cd	24.17±2.43d	19.57±1.24e	20.12±2.69e	22.31±1.33d	20.28±1.81cd	24.17±2.43d	19.57±1.24e	20.12±2.69e

<sup>1)</sup> 同列中不同的小写字母表示差异显著( $P<0.05$ ) Different small letters in the same column indicate the significant difference ( $P<0.05$ ).

<sup>2)</sup> CK: 对照(不施氮素) The control (without applying nitrogen); T1: 仅施用 $\text{NO}_3^--\text{N}$  Only applying  $\text{NO}_3^--\text{N}$ ; T2: 仅施用 $\text{NH}_4^+-\text{N}$  Only applying  $\text{NH}_4^+-\text{N}$ ; T3: 混合施用氮素[ $n(\text{NH}_4^+-\text{N}):n(\text{NO}_3^--\text{N})=75:25$ ] Mixed applying nitrogen [ $n(\text{NH}_4^+-\text{N}):n(\text{NO}_3^--\text{N})=75:25$ ]; T4: 混合施用氮素[ $n(\text{NH}_4^+-\text{N}):n(\text{NO}_3^--\text{N})=50:50$ ] Mixed applying nitrogen [ $n(\text{NH}_4^+-\text{N}):n(\text{NO}_3^--\text{N})=50:50$ ]; T5: 混合施用氮素[ $n(\text{NH}_4^+-\text{N}):n(\text{NO}_3^--\text{N})=25:75$ ] Mixed applying nitrogen [ $n(\text{NH}_4^+-\text{N}):n(\text{NO}_3^--\text{N})=25:75$ ]; T6: 仅施用 $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$  Only applying  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ .

白质含量均高于各自的对照。

由表2还可见:安徽亳州种源根中的可溶性蛋白质含量仅在T3组中显著高于其对照,甘肃张掖种源根中的可溶性蛋白质含量在T2、T4和T5组中均显著高于其对照,安徽阜阳种源根中的可溶性蛋白质含量在T1、T3、T4、T5和T6组中均高于或显著高于其对照,山西运城种源根中的可溶性蛋白质含量在供试的6个处理组中均低于其对照,陕西商洛种源根中的可溶性蛋白质含量在T1和T3组中均高于其对照。安徽亳州、甘肃张掖、安徽阜阳和陕西商洛种源根中的可溶性蛋白质含量最高值分别较各自对照升高3.11%、130.87%、98.39%和16.84%,而山西运城种源根中的可溶性蛋白质含量最高值则较其对照降低0.59%。

**2.2.3 对根中总氮含量的影响** 由表2可见:T1、T2和T3组中甘肃张掖、安徽阜阳、山西运城和陕西商洛种源根中的总氮含量均显著高于各自的对照,T4组各种源根中的总氮含量均高于或显著高于各自的对照,T5组中安徽亳州、安徽阜阳和陕西商洛种源根中的总氮含量也均高于各自的对照,T6组中各种源根中的总氮含量则大多显著低于各自的对照。

由表2还可见:安徽亳州种源根中的总氮含量仅在T4和T5组中高于其对照,甘肃张掖和山西运城种源根中的总氮含量在T1、T2、T3和T4组中均高于各自的对照,而安徽阜阳和陕西商洛种源根中的总氮含量则在T1、T2、T3、T4和T5组中均高于各自的对照。安徽亳州、甘肃张掖、安徽阜阳、山西运城和陕西商洛种源根中的总氮含量最高值分别较各自对照升高3.33%、8.44%、28.54%、14.16%和30.91%。

### 2.3 不同氮素形态及对比对菘蓝单株根中含氮成分总量的影响

施用不同形态及配比氮素后菘蓝单株根中游离总氨基酸、可溶性蛋白质和总氮的总量见表3。结果表明:同一处理条件下,不同种源间菘蓝单株根中游离总氨基酸、可溶性蛋白质和总氮总量均有差异;而同一种源菘蓝单株根中游离总氨基酸、可溶性蛋白质和总氮总量在不同处理条件下也有差异。

**2.3.1 对单株根中游离总氨基酸总量的影响** 由表3可以看出:T1组(仅施用 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ )中甘肃张掖、安徽阜阳和山西运城种源,T2组(仅施用 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ )中甘肃张掖和安徽阜阳种源,T3组[ $n(\text{NH}_4^+ - \text{N}):n(\text{NO}_3^- - \text{N}) = 75:25$ ]中安徽阜阳、山西运城和陕西商洛种

源,T4组[ $n(\text{NH}_4^+ - \text{N}):n(\text{NO}_3^- - \text{N}) = 50:50$ ]中甘肃张掖、安徽阜阳、山西运城和陕西商洛种源,T5组[ $n(\text{NH}_4^+ - \text{N}):n(\text{NO}_3^- - \text{N}) = 25:75$ ]中安徽阜阳和山西运城种源,T6组中甘肃张掖和山西运城种源菘蓝的单株根中游离总氨基酸总量均高于各自的对照。

由表3还可以看出:安徽亳州种源的单株根中游离总氨基酸总量在各处理组中均低于其对照,甘肃张掖种源的单株根中游离总氨基酸总量在T1、T2、T4和T6组中均高于其对照,安徽阜阳种源的单株根中游离总氨基酸总量在T1、T2、T3、T4和T5组中均高于其对照,山西运城种源的单株根中游离总氨基酸总量在T1、T3、T4、T5和T6组中均高于其对照,陕西商洛种源的单株根中游离总氨基酸总量在T3和T4组中均高于其对照。甘肃张掖、安徽阜阳、山西运城和陕西商洛种源的单株根中游离总氨基酸总量最高值分别较各自对照升高75.73%、135.99%、51.81%和52.88%,而安徽亳州种源的单株根中游离总氨基酸总量最高值则较其对照降低20.52%。

**2.3.2 对单株根中可溶性蛋白质总量的影响** 由表3可见:T1组中甘肃张掖、安徽阜阳和山西运城种源,T2组中甘肃张掖和安徽阜阳种源,T3组中安徽阜阳和陕西商洛种源,T4组中甘肃张掖、安徽阜阳、山西运城和陕西商洛种源,T5组中安徽阜阳种源以及T6组中甘肃张掖、安徽阜阳和山西运城种源的单株根中可溶性蛋白质总量均高于各自的对照。

由表3还可见:安徽亳州种源的单株根中可溶性蛋白质总量在各处理组中均低于其对照,甘肃张掖种源的单株根中可溶性蛋白质总量在T1、T2、T4和T6组中均高于其对照,安徽阜阳种源的单株根中可溶性蛋白质总量在6个处理组中均高于其对照,山西运城种源的单株根中可溶性蛋白质总量在T1、T4和T6组中均高于其对照,陕西商洛种源的单株根中可溶性蛋白质总量在T3和T4组中均高于其对照。甘肃张掖、安徽阜阳、山西运城和陕西商洛种源的单株根中可溶性蛋白质总量最高值分别较各自对照升高310.31%、194.50%、54.02%和50.00%,而安徽亳州种源的单株根中可溶性蛋白质总量最高值则较其对照降低31.66%。

**2.3.3 对单株根中总氮总量的影响** 由表3可以看出:T1和T6组中甘肃张掖、安徽阜阳和山西运城种源的单株根中总氮总量均高于其各自的对照;T2和T3组中甘肃张掖和安徽阜阳种源的单株根中总氮总

表3 不同氮素形态及配比对不同种源菘蓝单株根中游离总氨基酸、可溶性蛋白质和总氮总量的影响<sup>1)</sup>Table 3 Effect of nitrogen with different forms and ratios on total amounts of free total amino acids, soluble protein and total nitrogen in root per plant of *Isatis indigotica* Fort. from different provenances<sup>1)</sup>

处理组 <sup>1)</sup> Treatment group <sup>1)</sup>	各种源单株根中游离总氨基酸总量/mg Total amount of free total amino acids in root per plant of different provenances				
	安徽亳州 Bozhou of Anhui	甘肃张掖 Zhangye of Gansu	安徽阜阳 Fuyang of Anhui	山西运城 Yuncheng of Shanxi	陕西商洛 Shangluo of Shaanxi
CK	23.78	18.17	12.42	8.86	23.26
T1	14.08	23.88	19.54	13.45	17.40
T2	15.99	31.93	19.97	7.85	11.01
T3	13.80	17.40	16.72	10.17	35.56
T4	15.12	21.23	19.62	13.40	34.77
T5	10.99	12.04	29.31	9.44	21.25
T6	18.90	21.03	10.00	10.45	11.46

  

处理组 <sup>1)</sup> Treatment group <sup>1)</sup>	各种源单株根中可溶性蛋白质总量/mg Total amount of soluble protein in root per plant of different provenances				
	安徽亳州 Bozhou of Anhui	甘肃张掖 Zhangye of Gansu	安徽阜阳 Fuyang of Anhui	山西运城 Yuncheng of Shanxi	陕西商洛 Shangluo of Shaanxi
CK	29.88	12.61	6.18	12.18	19.16
T1	8.54	13.68	10.43	13.58	16.62
T2	15.47	51.74	7.84	6.35	7.65
T3	20.42	11.84	18.20	8.50	28.74
T4	16.30	20.25	10.06	12.46	27.30
T5	8.21	11.45	13.62	9.52	16.88
T6	18.45	18.00	7.58	18.76	11.13

  

处理组 <sup>1)</sup> Treatment group <sup>1)</sup>	各种源单株根中总氮总量/mg Total amount of total nitrogen in root per plant of different provenances				
	安徽亳州 Bozhou of Anhui	甘肃张掖 Zhangye of Gansu	安徽阜阳 Fuyang of Anhui	山西运城 Yuncheng of Shanxi	陕西商洛 Shangluo of Shaanxi
CK	98.93	77.09	50.20	58.40	106.01
T1	59.68	97.99	85.63	89.13	94.48
T2	64.03	145.47	86.56	46.03	58.64
T3	59.33	78.66	91.30	49.08	187.06
T4	62.80	100.76	81.21	86.52	179.07
T5	46.87	59.74	112.96	54.58	107.14
T6	86.10	105.45	58.48	72.40	61.15

<sup>1)</sup> CK: 对照(不施氮素) The control (without applying nitrogen); T1: 仅施用  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  Only applying  $\text{NO}_3^- - \text{N}$ ; T2: 仅施用  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  Only applying  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ ; T3: 混合施用氮素 [ $n(\text{NH}_4^+ - \text{N}) : n(\text{NO}_3^- - \text{N}) = 75 : 25$ ] Mixed applying nitrogen [ $n(\text{NH}_4^+ - \text{N}) : n(\text{NO}_3^- - \text{N}) = 75 : 25$ ]; T4: 混合施用氮素 [ $n(\text{NH}_4^+ - \text{N}) : n(\text{NO}_3^- - \text{N}) = 50 : 50$ ] Mixed applying nitrogen [ $n(\text{NH}_4^+ - \text{N}) : n(\text{NO}_3^- - \text{N}) = 50 : 50$ ]; T5: 混合施用氮素 [ $n(\text{NH}_4^+ - \text{N}) : n(\text{NO}_3^- - \text{N}) = 25 : 75$ ] Mixed applying nitrogen [ $n(\text{NH}_4^+ - \text{N}) : n(\text{NO}_3^- - \text{N}) = 25 : 75$ ]; T6: 仅施用  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$  Only applying  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ .

量也高于各自的对照; T4 组中甘肃张掖、安徽阜阳、山西运城和陕西商洛种源的单株根中总氮总量均高于各自的对照; T5 组中安徽阜阳和陕西商洛种源的单株根中总氮总量也均高于各自的对照。

由表3 还可以看出: 安徽亳州种源的单株根中总氮总量在供试的6 个处理组中均低于其对照, 甘肃张掖种源的单株根中总氮总量在 T1、T2、T3、T4 和 T6 组中均高于其对照, 安徽阜阳种源的单株根中总氮总量在供试的6 个处理组中均高于其对照, 山西运城种源的单株根中总氮总量在 T1、T4 和 T6 组中均高于其对照, 陕西商洛种源的单株根中总氮总量则在 T3、T4 和 T5 组中均高于其对照。甘肃张掖、安徽阜阳、山西运

城和陕西商洛种源的单株根中总氮总量最高值分别较各自对照升高 88.70%、125.02%、52.62% 和 76.46%, 而安徽亳州种源的单株根中总氮总量则较其对照降低 12.97%。

### 3 讨论和结论

虽然植物能够吸收和利用的氮素形态以  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  为主<sup>[18]</sup>, 但若在生长过程中仅单纯供应  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  往往会导致蔬菜可食部分的硝酸盐含量偏高, 对人体健康构成潜在威胁<sup>[19]</sup>, 因此, 施用适当配比的  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  和  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  混合肥对作物生长和人类健康更为有利。

Libert 等<sup>[20]</sup>认为,适当增施  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  不仅能够提高作物的产量,还能够显著降低菠菜 (*Spinacia oleracea* Linn.) 体内的硝酸盐和草酸含量。本研究中,分别单独施用  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  或  $\text{NO}_3^--\text{N}$  均能够提高甘肃张掖和安徽阜阳种源菘蓝的单株根鲜质量和干质量,并且安徽阜阳种源的单株根鲜质量和干质量在混合施用  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  和  $\text{NO}_3^--\text{N}$  的 T5 处理组 [ $n(\text{NH}_4^+-\text{N}):n(\text{NO}_3^--\text{N}) = 25:75$ ] 中最高,说明在  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  和  $\text{NO}_3^--\text{N}$  混合施用高比例的  $\text{NO}_3^--\text{N}$  对安徽阜阳种源菘蓝的单株根质量的积累具有明显的促进作用,与李霞等<sup>[21]</sup>对黄槿 (*Phellodendron amurense* Rupr.) 的相关研究结果一致。陕西商洛种源菘蓝的单株根鲜质量和干质量以及根折干率在多数处理组中均低于其对照,推测这可能与不同种源存在遗传差异,导致其生理代谢存在差异有关。这一结论与唐晓清等<sup>[22]</sup>的相关研究结果相似。仅施用  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$  能够明显提高安徽亳州、甘肃张掖、安徽阜阳和山西运城种源的单株根干质量和根折干率,说明在菘蓝栽培生产中适时追施  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$  有利于提高其根的产量。

通常,环境中的无机氮被植物吸收后首先被同化为氨基酸,经过一系列生理代谢过程,最终被用于氮源同化和“源—库”转运<sup>[23]</sup>,并直接或间接影响植物的生长和发育。氨基酸是合成蛋白质的前体物质,其含量可直接影响植物体内的蛋白质水平<sup>[24]</sup>,且具有减轻生物体内重金属离子毒害、抗氧化及钝化病原菌毒素等作用<sup>[25]</sup>。总氮含量可作为鉴定板蓝根药材品质的指标之一,能够在一定程度上反映板蓝根中氨基酸和生物碱的含量,同时也能反映菘蓝体内的氮代谢水平<sup>[26]</sup>。因此,外源氮素的供应量与植物体内的氨基酸、蛋白质等含氮成分及总氮水平之间具有十分密切的关系。本研究中,单独施用  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  和  $\text{NO}_3^--\text{N}$  或混合施用不同配比 [ $n(\text{NH}_4^+-\text{N}):n(\text{NO}_3^--\text{N}) = 75:25$  和  $n(\text{NH}_4^+-\text{N}):n(\text{NO}_3^--\text{N}) = 50:50$ ] 均能够提高甘肃张掖、安徽阜阳、山西运城和陕西商洛种源菘蓝根中的总氮含量;仅施用  $\text{NO}_3^--\text{N}$  或者混合施用不同配比  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  和  $\text{NO}_3^--\text{N}$  [ $n(\text{NH}_4^+-\text{N}):n(\text{NO}_3^--\text{N}) = 50:50$  和  $n(\text{NH}_4^+-\text{N}):n(\text{NO}_3^--\text{N}) = 25:75$ ] 后,安徽阜阳种源根中的游离总氨基酸含量、可溶性蛋白质含量和总氮含量均高于对照;仅施用  $\text{NO}_3^--\text{N}$  或者混合施用  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  和  $\text{NO}_3^--\text{N}$  [ $n(\text{NH}_4^+-\text{N}):n(\text{NO}_3^--\text{N}) = 75:25$ ] 后,陕西商洛种源根中的游离总氨基酸含

量、可溶性蛋白质含量和总氮含量也高于对照;在 6 种施氮条件下山西运城种源根中的可溶性蛋白质含量均低于对照;而仅施用  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$  后 5 个种源菘蓝根中的游离总氨基酸、可溶性蛋白质和总氮含量基本上也均低于各自的对照。说明仅施用  $\text{NO}_3^--\text{N}$  或混合施用不同配比  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  和  $\text{NO}_3^--\text{N}$  [ $n(\text{NH}_4^+-\text{N}):n(\text{NO}_3^--\text{N}) = 50:50$  和  $n(\text{NH}_4^+-\text{N}):n(\text{NO}_3^--\text{N}) = 25:75$ ] 均有利于安徽阜阳种源根中含氮成分的积累;而仅施用  $\text{NO}_3^--\text{N}$  或者混合施用不同配比  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  和  $\text{NO}_3^--\text{N}$  [ $n(\text{NH}_4^+-\text{N}):n(\text{NO}_3^--\text{N}) = 75:25$ ] 则有利于陕西商洛种源根中含氮成分含量的提高;但酰胺态氮则对 5 个种源根中含氮成分的积累无促进作用。

肖云华等<sup>[14]</sup>的研究结果表明:药用植物的生长量与有效成分含量的积累过程大多不一致,且两者之间常互为消长。例如,胁迫环境通常可导致药用植物体内次生代谢产物含量提高,而良好的生存条件对药用植物的生长和产量提高却较为有利<sup>[27]</sup>。因此,在药用植物的栽培生产中,应该综合考虑药材的产量和质量,以实现药材产量和有效成分含量的最优化。但在本研究中,供试 6 种施氮条件下,安徽阜阳种源菘蓝的单株根中游离总氨基酸、可溶性蛋白质和总氮总量均高于其对照,而其单株根鲜质量和干质量也均高于其对照;仅施用  $\text{NH}_4^+-\text{N}$ 、 $\text{NO}_3^--\text{N}$  和  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$  或者混合施用  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  和  $\text{NO}_3^--\text{N}$  [ $n(\text{NH}_4^+-\text{N}):n(\text{NO}_3^--\text{N}) = 50:50$ ] 后,甘肃张掖种源的单株根中上述 3 种含氮成分总量均较对照有所提高,以仅施用  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  的效应最大,而其单株根鲜质量和干质量也均高于对照;在混合施用不同配比  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  和  $\text{NO}_3^--\text{N}$  [ $n(\text{NH}_4^+-\text{N}):n(\text{NO}_3^--\text{N}) = 75:25$  和  $n(\text{NH}_4^+-\text{N}):n(\text{NO}_3^--\text{N}) = 50:50$ ] 条件下,陕西商洛种源的单株根中 3 种含氮成分总量均高于其对照,并以混合施用  $n(\text{NH}_4^+-\text{N}):n(\text{NO}_3^--\text{N}) = 75:25$  的促进效果最佳,而这 2 个处理组中其单株根鲜质量和干质量也显著高于对照和其他处理组。说明对不同种源菘蓝根生长有利的施氮条件对其根中含氮成分(氨基酸和蛋白质)的合成也有利,一方面这些含氮成分与植株的生长息息相关,另一方面施氮也直接影响植株体内含氮成分的合成及代谢。因此,施氮处理对菘蓝根生长量和含氮成分含量的影响效应与通常植物生长量及其体内次生代谢产物水平的关系有所不同。

综上所述,不同种源菘蓝适宜的施氮条件有一定

差异,而不同的含氮成分对应的施肥条件也有所不同,因此,在菘蓝的栽培生产过程中,应根据不同种源和药材需求而采取各自适宜的氮肥施用措施,以便更好地控制菘蓝植株的生长和发育,并获取高产、优质的板蓝根药材。

#### 参考文献:

- [1] 刘星凡,姜燕琴,韦继光,等. 在不同 pH 值土壤中铵硝比对南方高丛蓝浆果生长的影响[J]. 植物资源与环境学报, 2014, 23(2): 60-64.
- [2] 刘秀杰,宫占元. 植物氮素吸收利用研究进展[J]. 现代化农业, 2012(8): 20-21.
- [3] 王 乾,王康才,郑晨曦,等. 不同形态氮对掌叶半夏生长及块茎主要化学成分的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2014, 20(4): 1038-1043.
- [4] 黄东风,李卫华,球孝煊. 不同硝、铵态氮水平配施对小白菜生长及硝酸盐累积的影响[J]. 土壤通报, 2010, 41(2): 394-398.
- [5] 樊卫国,葛会敏. 不同形态及配比的氮肥对枳椇脐橙幼树生长及氮素吸收利用的影响[J]. 中国农业科学, 2015, 48(13): 2666-2675.
- [6] 胡龙娇,王康才,李灿霞,等. 氮素形态对半夏植株氮代谢及主要化学成分的影响[J]. 中国中药杂志, 2013, 38(13): 2073-2077.
- [7] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典: 2010年版(一部)[M]. 北京: 中国医药科技出版社, 2010: 191.
- [8] 胡兴昌,蒋娇蓉,许 燕. 板蓝根活性蛋白急性毒性研究[J]. 自然杂志, 2000, 22(2): 122-123.
- [9] 唐晓清,肖云华,赵雪玲,等. 不同氮素形态及其比例对菘蓝生物学特性的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2014, 20(1): 129-138.
- [10] 肖云华,赵雪玲,王康才,等. 不同氮素形态和浓度对大青叶生物量与生物碱类成分的影响[J]. 中国中药杂志, 2013, 38(17): 2755-2760.
- [11] 唐晓清,肖云华,王康才,等. 氮素营养对苗期菘蓝叶中硝酸还原酶活性与矿质元素吸收的影响[J]. 西北植物学报, 2013, 33(9): 1851-1858.
- [12] 叶冰竹,施晟璐,张润枝,等. 缺氮和复氮处理对菘蓝幼苗生长及部分生理生化指标的影响[J]. 植物资源与环境学报, 2015, 24(4): 83-88.
- [13] 吕婷婷,施晟璐,唐晓清,等. 氮素营养对不同产地菘蓝的干物质积累、根外形品质及光合作用的影响[J]. 南京农业大学学报, 2015, 38(3): 395-401.
- [14] 肖云华,吕婷婷,唐晓清,等. 追施氮肥量对菘蓝的外形品质、干物质积累及活性成分含量的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2014, 20(2): 437-444.
- [15] 刘冬莲. 不同生长期中菘蓝多糖和氨基酸含量变化规律研究[J]. 分子科学学报: 中英文版, 2010, 26(3): 199-202.
- [16] 王学奎. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 2版. 北京: 高等教育出版社, 2006: 190-192.
- [17] 梅星元,袁均林,吴柏春. 生物化学[M]. 3版. 武汉: 华中师范大学出版社, 2005: 168.
- [18] 沈其荣,汤 利,徐阳春. 植物液泡中硝酸盐行为的研究概况[J]. 土壤学报, 2003, 40(3): 465-470.
- [19] 李会合,王正银,李宝珍. 蔬菜营养与硝酸盐的关系[J]. 应用生态学报, 2004, 15(9): 1667-1672.
- [20] LIBERT B, FRANCESCO V R. Oxalate in crop plants[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1987, 35: 926-938.
- [21] 李 霞,阎秀峰,刘剑锋. 氮素形态对黄堇幼苗生长及氮代谢相关酶类的影响[J]. 植物学通报, 2006, 23(3): 255-261.
- [22] 唐晓清,王康才,陈 暄,等. 不同产地来源菘蓝根生物量、蛋白质和多糖含量比较[J]. 江苏农业学报, 2007, 23(3): 224-228.
- [23] BUCHANAN B B, GRUISSEM W, JONES R L. Biochemistry and molecular biology of plants[J]. Plant Growth Regulation, 2001, 35: 105-106.
- [24] 马秀玲,蒋与刚. 精氨酸和一氧化氮合成的关系及其在免疫调节中的作用[J]. 氨基酸和生物资源, 2002, 24(1): 46-49.
- [25] 李梅云,高家合,张有平,等. L型氨基酸对烟草赤星病菌毒素毒性的影响[J]. 生物技术, 2004, 14(4): 57-59.
- [26] 唐晓清,王康才,陈树兵,等. 板蓝根的生长及碳、氮类化合物的积累规律研究[J]. 中国中药杂志, 2008, 33(5): 573-574.
- [27] 康建宏,吴宏亮,杨 涓,等. 不同施氮水平下枸杞主要次生代谢产物与多糖的关系研究[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(36): 16008-16010.

(责任编辑: 佟金凤)