

# 氮素形态及配比对夏播菘蓝生长及活性成分含量的影响

唐晓清, 杨月, 吕婷婷, 张毅, 李艳, 王康才

(南京农业大学中药材研究所, 江苏南京 210095)

**摘要:** 以来自山西的菘蓝(*Isatis indigotica* Fort.)为实验对象,采用盆栽法研究铵态氮( $\text{NH}_4^+-\text{N}$ )、硝态氮( $\text{NO}_3^--\text{N}$ )和酰胺态氮 $[\text{CO}(\text{NH}_2)_2]$ 的不同配比对夏播菘蓝生长,叶和根中的可溶性蛋白质及总氮含量,根中多糖含量,叶中叶绿素相对含量,以及叶中靛玉红和靛蓝、根中(R,S)-告依春的含量和积累量的影响。结果表明:各施氮处理组的单株叶干质量均高于对照(不施用氮素)组,但单株根干质量或高于或低于对照组,其中,T4[n(铵态氮):n(硝态氮):n(酰胺态氮)=25:75:0]处理组的单株叶和根干质量均最大,且总体上显著高于对照组及其他施氮处理组( $P<0.05$ );而施氮处理组的根冠比均显著低于对照组。各施氮处理组叶中的可溶性蛋白质含量与对照均无显著差异,但各施氮处理组根中的可溶性蛋白质含量、叶和根中的总氮含量以及叶中的叶绿素相对含量总体上显著高于对照组,而根中的多糖含量或高于或低于对照组,其中,T6[n(铵态氮):n(硝态氮):n(酰胺态氮)=0:75:25]处理组根中的多糖含量和叶中的叶绿素相对含量均最高,T3[n(铵态氮):n(硝态氮):n(酰胺态氮)=50:50:0]处理组叶和根中的可溶性蛋白质含量均较高。各施氮处理组叶中靛玉红含量总体上显著高于对照组,多数施氮处理组叶中靛蓝含量则显著低于对照组,但各施氮处理组的单株叶中靛蓝和靛玉红积累量总体上高于对照组;其中,T2[n(铵态氮):n(硝态氮):n(酰胺态氮)=75:25:0]处理组叶中靛玉红含量及其单株积累量均最高,T6处理组叶中靛蓝含量最高,而单株叶中靛蓝积累量则以T3处理组最高。各施氮处理组根中(R,S)-告依春含量总体上显著低于对照组,其中,以T1[n(铵态氮):n(硝态氮):n(酰胺态氮)=100:0:0]处理组根中(R,S)-告依春含量最高,T4处理组单株根中(R,S)-告依春积累量最高。综合分析结果表明:按不同配比施用不同形态氮素,夏播菘蓝的生长及活性成分含量有明显差异,因此,若以收获叶为目的,结合叶中靛玉红含量,建议施用铵态氮和硝态氮物质的量比为75:25的复合氮肥;若以收获根为目的,结合根中(R,S)-告依春含量,建议施用铵态氮和硝态氮物质的量比为25:75的复合氮肥。

**关键词:** 夏播菘蓝; 氮素形态; 氮素比例; 生长性状; 靛玉红含量; (R,S)-告依春含量

中图分类号: Q945.3; Q945.79; S567.2 文献标志码: A 文章编号: 1674-7895(2017)01-0021-09

DOI: 10.3969/j.issn.1674-7895.2017.01.03

**Effects of nitrogen form and ratio on growth and active component content in summer-planted *Isatis indigotica*** TANG Xiaqing, YANG Yue, LYU Tingting, ZHANG Yi, LI Yan, WANG Kangcai (Institute of Chinese Medicinal Materials, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China), *J. Plant Resour. & Environ.*, 2017, 26(1): 21-29

**Abstract:** Taking *Isatis indigotica* Fort. from Shanxi as experimental object, effects of ammonium nitrogen ( $\text{NH}_4^+-\text{N}$ ), nitrate nitrogen ( $\text{NO}_3^--\text{N}$ ) and amide nitrogen  $[\text{CO}(\text{NH}_2)_2]$  with different ratios on seedling growth, contents of soluble protein and total nitrogen in leaf and root, polysaccharide content in root, relative chlorophyll content in leaf, contents and accumulations of indigo and indirubin in leaf and (R,S)-epigotritin in root of summer-planted *I. indigotica* were investigated by pot culture method. The results show that leaf dry weight per plant in all nitrogen treatment groups is higher than that in the

收稿日期: 2016-06-13

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

作者简介: 唐晓清(1970—),女,四川威远人,博士,副教授,主要从事药用植物栽培与中药质量控制方面的研究。

control (without applying nitrogen) group, but root dry weight per plant is higher or lower than that in the control group. In which, in T4 [ $n(\text{ammonium nitrogen}) : n(\text{nitrate nitrogen}) : n(\text{amide nitrogen})$ ] = 25:75:0] treatment group, dry weights of leaf and root per plant are the highest, and are generally significantly higher than those in the control group and other nitrogen treatment groups ( $P < 0.05$ ). While root/shoot ratio in all nitrogen treatment groups is significantly lower than that in the control group. There is no significant difference of soluble protein content in leaf between all nitrogen treatment groups and the control group, but soluble protein content in root, total nitrogen content in leaf and root and relative chlorophyll content in leaf in all nitrogen treatment groups are generally significantly higher than those in the control group, while polysaccharide content in root is higher or lower than that in the control group. In which, in T6 [ $n(\text{ammonium nitrogen}) : n(\text{nitrate nitrogen}) : n(\text{amide nitrogen})$ ] = 0:75:25] treatment group, polysaccharide content in root and relative chlorophyll content in leaf are the highest, and in T3 [ $n(\text{ammonium nitrogen}) : n(\text{nitrate nitrogen}) : n(\text{amide nitrogen})$ ] = 50:50:0] treatment group, soluble protein content in leaf and root is relatively high. Indirubin content in leaf in all nitrogen treatment groups is generally significantly higher than that in the control group, indigo content in leaf in most nitrogen treatment groups is significantly lower than that in the control group, while accumulations of indirubin and indigo in leaf per plant in all nitrogen treatment groups are generally higher than those in the control group. In which, content and accumulation per plant of indirubin in leaf in T2 [ $n(\text{ammonium nitrogen}) : n(\text{nitrate nitrogen}) : n(\text{amide nitrogen})$ ] = 75:25:0] treatment group are the highest, indigo content in leaf in T6 treatment group is the highest, while indigo accumulation in leaf per plant in T3 treatment group is the highest. ( $R, S$ )-epigoitrin content in root in all nitrogen treatment groups is generally significantly lower than that in the control group, in which, that in T1 [ $n(\text{ammonium nitrogen}) : n(\text{nitrate nitrogen}) : n(\text{amide nitrogen})$ ] = 100:0:0] treatment group is the highest, and ( $R, S$ )-epigoitrin accumulation in root per plant in T4 treatment group is the highest. The comprehensive analysis result shows that there are obvious differences in growth and active component content in summer-planted *I. indigotica* by applying nitrogen with different ratios and forms. Therefore, it is suggested that combined indirubin content in leaf, ammonium nitrogen and nitrate nitrogen with molar ratio of 75:25 can be used as compound nitrogen fertilizer for the purpose of harvesting leaf, and combined ( $R, S$ )-epigoitrin content in root, ammonium nitrogen and nitrate nitrogen with molar ratio of 25:75 can be used as compound nitrogen fertilizer for purpose of harvesting root.

**Key words:** summer-planted *Isatis indigotica* Fort.; nitrogen form; nitrogen ratio; growth trait; indirubin content; ( $R, S$ )-epigoitrin content

硝态氮( $\text{NO}_3^- - \text{N}$ )和铵态氮( $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ )是植物体吸收的主要无机氮素形态,而酰胺态氮[ $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ ]则是植物吸收的有机态氮。研究表明:适宜的氮素形态及配比能有效提高甘草(*Glycyrrhiza uralensis* Fisch.)<sup>[1]</sup>、半夏[*Pinellia ternata* (Thunb.) Breit.]<sup>[2]</sup>和川芎(*Ligusticum chuanxiong* Hort.)<sup>[3]</sup>等药用植物的生长发育、品质和产量,因此,适宜的施肥方案对药用植物的生产具有重要意义。

十字花科(Cruciferae)植物菘蓝(*Isatis indigotica* Fort.)的干燥根入药为板蓝根,叶入药为大青叶<sup>[4]21-22</sup>。板蓝根中所含的( $R, S$ )-告依春和大青叶中所含的靛玉红及其衍生物有显著的药理活性<sup>[5-7]</sup>。在菘蓝的栽培生产中,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效应差异较大,如酰胺态氮对菘蓝生物量的影响最大,但生物量并不随着总氮量提高而增加,而与氮素形态有关<sup>[8]</sup>;氮素水平相

同但形态不同,对菘蓝活性成分积累及4种矿质元素吸收的影响效应也存在差异<sup>[9]</sup>。在菘蓝生产中,为有效提高土地利用效率,部分产区会在麦收后采用夏播的方式栽培菘蓝,但相对春播菘蓝,夏播菘蓝的生长时间缩短,其生长过程中对氮素的需求以及体内药用活性成分的积累与春播菘蓝是否有差异,需要通过大量的研究数据加以确认。

作者在前期针对不同栽培群体的夏播菘蓝开展了干物质和活性成分积累特征的研究<sup>[10]</sup>,认为不同区域夏播菘蓝的活性成分积累存在差异。为进一步明确不同氮素形态及配比对夏播菘蓝生长和活性成分含量的影响效应,作者以产自山西的夏播菘蓝为研究对象,采用盆栽方式,设置铵态氮、硝态氮和酰胺态氮的不同配比,对夏播菘蓝叶和根的干质量及可溶性蛋白质和总氮含量,叶中的叶绿素含量及靛蓝和靛玉红含量,以及根中的多糖和( $R, S$ )-告依春含量进行

比较分析,以期为夏播苕蓝栽培生产中氮素的合理利用提供基础数据。

## 1 材料和方法

### 1.1 材料

供试苕蓝种子来自于山西栽培群体<sup>[11]</sup>,于2013年8月24日播种。实验地设在南京农业大学园艺学院实验基地的塑料大棚内,采用盆栽(栽培盆外口径44 cm、底直径30 cm、高35 cm)方式,栽培基质为蛭石和珍珠岩(体积比2:1)混合基质。待幼苗长至4或5枚真叶时适时间苗,选择长势一致的幼苗,每盆8株,共78盆。所用试剂均为分析纯(AR)。

### 1.2 方法

1.2.1 实验设计及处理方法 采用单因素完全随机处理,参照文献[9,12]设置13个处理组,即CK,  $n(\text{铵态氮}):n(\text{硝态氮}):n(\text{酰胺态氮})=0:0:0$ ; T1,  $n(\text{铵态氮}):n(\text{硝态氮}):n(\text{酰胺态氮})=100:0:0$ ; T2,  $n(\text{铵态氮}):n(\text{硝态氮}):n(\text{酰胺态氮})=75:25:0$ ; T3,  $n(\text{铵态氮}):n(\text{硝态氮}):n(\text{酰胺态氮})=50:50:0$ ; T4,  $n(\text{铵态氮}):n(\text{硝态氮}):n(\text{酰胺态氮})=25:75:0$ ; T5,  $n(\text{铵态氮}):n(\text{硝态氮}):n(\text{酰胺态氮})=0:100:0$ ; T6,  $n(\text{铵态氮}):n(\text{硝态氮}):n(\text{酰胺态氮})=0:75:25$ ; T7,  $n(\text{铵态氮}):n(\text{硝态氮}):n(\text{酰胺态氮})=0:50:50$ ; T8,  $n(\text{铵态氮}):n(\text{硝态氮}):n(\text{酰胺态氮})=0:25:75$ ; T9,  $n(\text{铵态氮}):n(\text{硝态氮}):n(\text{酰胺态氮})=0:0:100$ ; T10,  $n(\text{铵态氮}):n(\text{硝态氮}):n(\text{酰胺态氮})=25:0:75$ ; T11,  $n(\text{铵态氮}):n(\text{硝态氮}):n(\text{酰胺态氮})=50:0:50$ ; T12,  $n(\text{铵态氮}):n(\text{硝态氮}):n(\text{酰胺态氮})=75:0:25$ 。除CK(对照)组外,各处理组均按照上述不同氮素形态的配比在基本营养液中添加不同形态氮素,配制成处理液,并控制处理液中总氮量一致(氮浓度 $14\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ );CK组则采用去氮基本营养液。基本营养液与去氮基本营养液参照肖云华等<sup>[8]</sup>的方法进行配制;每处理组6盆,视为6个重复,随机区组排列。

播种出苗后首先浇灌基本营养液,之后每隔10 d浇灌1次,每次500 mL,共浇灌4次。在播种出苗后40 d开始进行处理,第1天浇灌处理液,每10 d浇灌1次,每次500 mL;第6天浇灌去氮基本营养液,每10 d浇灌1次,每次500 mL;即处理液和去氮基本营养液各浇灌5次,相隔5 d交替进行。CK组则全部

采用去氮基本营养液进行浇灌,共浇灌10次。于2014年1月7日进行采样分析。

### 1.2.2 各指标测定方法

1.2.2.1 干质量测定 每个处理组随机采集10株,清洗干净;将地上部分(叶)和地下部分(根)分开,先于 $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ 杀青15 min,之后于 $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 烘干至恒质量,分别准确称量叶和根的干质量,并计算根冠比。将干燥的叶和根分别粉碎,叶样品过60目筛并混合均匀,根样品过100目筛并混合均匀,用于后续多项指标的测定。

1.2.2.2 叶中叶绿素含量测定 于采样前一天的8:00至11:00,在每处理组中随机选取由里至外全展开且无破损的第3轮叶片,用SPAD-502便携式叶绿素测定仪测量叶中上部的叶绿素相对含量(SPAD),每处理重复测定8次。

1.2.2.3 叶中靛蓝和靛玉红含量测定 采用高效液相色谱法<sup>[4]21-22</sup>测定叶中靛蓝和靛玉红的含量,略作修改。超高效液相色谱(UPLC)条件:Acclaim RSLC120  $\text{C}_{18}$ 分析柱( $3.0\text{ mm}\times 100\text{ mm}, 2.2\text{ }\mu\text{m}$ ),以甲醇-水(体积比72:28)混合溶液为流动相,流速 $0.400\text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$ ,柱温 $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;紫外线检测波长 $289\text{ nm}$ ,进样量 $5\text{ }\mu\text{L}$ 。

分别用甲醇配制质量浓度 $20\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 的靛蓝和靛玉红标准品母液,测定前采用逐级稀释法用甲醇将标准品母液配制成一系列质量浓度的单标标准品溶液,微孔滤膜过滤,备用;分别吸取靛蓝和靛玉红标准品溶液 $5\text{ }\mu\text{L}$ ,按上述色谱条件进样测定。以峰面积为纵坐标( $y$ )、对应的进样量为横坐标( $x$ )拟合回归方程,靛蓝的回归方程为 $y=0.1179x-0.0373(n=3, r=0.9997)$ ,靛玉红的回归方程为 $y=0.1844x-0.0351(n=3, r=0.9999)$ 。

参照文献[4]21-22的方法制备叶样品提取液,每个样品重复3次。按照上述色谱条件进样测定,并依据各自的回归方程分别计算叶样品中靛蓝和靛玉红的含量。

1.2.2.4 根中(R,S)-告依春含量测定 参照文献[4]205-206的方法测定根中(R,S)-告依春的含量,略作修改。超高效液相色谱(UPLC)条件:Acclaim RSLC120  $\text{C}_{18}$ 分析柱( $3.0\text{ mm}\times 100\text{ mm}, 2.2\text{ }\mu\text{m}$ ),以甲醇-质量分数0.02%磷酸溶液(体积比7:93)为流动相,流速 $0.400\text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$ ,柱温 $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;紫外线检测波长 $245\text{ nm}$ ,进样量 $5\text{ }\mu\text{L}$ 。

用甲醇配制质量浓度  $40 \mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$  ( $R, S$ )-告依春标准品母液,微孔滤膜滤过,备用;测定前采用逐级稀释法用甲醇将 ( $R, S$ )-告依春标准品母液配制成质量浓度  $1.0, 2.5, 5, 10, 20$  和  $40 \mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$  的 ( $R, S$ )-告依春标准品溶液,按上述色谱条件进样测定,进样量  $5 \mu\text{L}$ 。以峰面积为纵坐标 ( $y$ )、对应的进样量为横坐标 ( $x$ ) 拟合回归方程, ( $R, S$ )-告依春的回归方程为  $y = 0.4534x - 0.8976$  ( $n = 3, r = 0.9990$ )。

参照文献[4] 205-206 的方法制备根样品提取液,每个样品重复 3 次。按照上述色谱条件进样测定,并依据回归方程计算根样品中 ( $R, S$ )-告依春的含量。

1.2.2.5 多糖和可溶性蛋白质的含量测定 采用苯酚-浓硫酸法<sup>[13]205-206</sup>测定根中多糖含量,采用考马斯亮蓝 G-250 法<sup>[13]190-192</sup>测定叶和根中可溶性蛋白质含量,每个样品重复 3 次。

1.2.2.6 叶和根中总氮含量测定 定量称取叶和根样品,用浓硫酸-过氧化氢消解;参照王学奎<sup>[13]196-198</sup>的方法,用 Kjeltec 2003 凯氏定氮仪(丹麦 FOSS 公司)分别测定叶和根中的总氮含量,每个样品重复 3 次。

### 1.3 数据处理

依据样品中靛蓝、靛玉红和 ( $R, S$ )-告依春含量,按照公式“单株积累量 = 单株不同部位干质量 × 有效成分含量”分别计算靛蓝、靛玉红和 ( $R, S$ )-告依春的单株积累量。

采用 EXCEL 2010 和 SAS 9.2 统计分析软件对实验数据进行分析,采用最小显著性差异法 ( $LSD$ ) 进行多重比较。

## 2 结果和分析

### 2.1 氮素形态及配比对夏播菘蓝叶和根干质量及根冠比的影响

不同氮素形态及配比对夏播菘蓝叶和根的干质量及根冠比的影响见表 1。

由表 1 可见:施氮处理组夏播菘蓝的单株叶干质量均高于对照 (CK, 不施用氮素) 组,其中, T4 [ $n$ (铵态氮): $n$ (硝态氮): $n$ (酰胺态氮) = 25:75:0] 处理组的单株叶干质量最大,且显著高于其他处理组 ( $P < 0.05$ ); T2 [ $n$ (铵态氮): $n$ (硝态氮): $n$ (酰胺态氮) = 75:25:0] 和 T5 [ $n$ (铵态氮): $n$ (硝态氮): $n$ (酰胺态氮) = 0:100:0] 处理组的单株叶干质量次之,说明铵态氮和硝态氮配合施用或单施硝态氮有利于夏播菘蓝叶干质量的积累。

由表 1 还可见:不同氮素形态及配比对夏播菘蓝单株根干质量的影响与其对单株叶干质量的影响存在差异。T1 [ $n$ (铵态氮): $n$ (硝态氮): $n$ (酰胺态氮) = 100:0:0]、T6 [ $n$ (铵态氮): $n$ (硝态氮): $n$ (酰胺态氮) = 0:75:25]、T7 [ $n$ (铵态氮): $n$ (硝态氮): $n$ (酰胺态氮) = 0:50:50]、T8 [ $n$ (铵态氮): $n$ (硝态氮):

表 1 铵态氮 ( $\text{NH}_4^+-\text{N}$ )、硝态氮 ( $\text{NO}_3^--\text{N}$ ) 和酰胺态氮 [ $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ ] 的不同配比对夏播菘蓝叶和根的干质量及根冠比的影响 ( $n = 10$ )<sup>1)</sup>

Table 1 Effects of ammonium nitrogen ( $\text{NH}_4^+-\text{N}$ ), nitrate nitrogen ( $\text{NO}_3^--\text{N}$ ) and amide nitrogen [ $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ ] with different ratios on dry weights of leaf and root, and root/shoot ratio of summer-planted *Isatis indigotica* Fort. ( $n = 10$ )<sup>1)</sup>

处理 Treatment	不同氮素形态的物质的量比 Molar ratio of different nitrogen forms	单株叶干质量/g Leaf dry weight per plant	单株根干质量/g Root dry weight per plant	根冠比 Root/shoot ratio
CK	$n(\text{NH}_4^+-\text{N}) : n(\text{NO}_3^--\text{N}) : n[\text{CO}(\text{NH}_2)_2] = 0:0:0$	0.50±0.07e	1.25±0.22bcde	2.49±0.09a
T1	$n(\text{NH}_4^+-\text{N}) : n(\text{NO}_3^--\text{N}) : n[\text{CO}(\text{NH}_2)_2] = 100:0:0$	0.53±0.14e	0.57±0.17f	1.07±0.08de
T2	$n(\text{NH}_4^+-\text{N}) : n(\text{NO}_3^--\text{N}) : n[\text{CO}(\text{NH}_2)_2] = 75:25:0$	1.62±0.15b	1.71±0.24ab	1.06±0.10e
T3	$n(\text{NH}_4^+-\text{N}) : n(\text{NO}_3^--\text{N}) : n[\text{CO}(\text{NH}_2)_2] = 50:50:0$	1.43±0.18bcd	1.71±0.23ab	1.20±0.09bc
T4	$n(\text{NH}_4^+-\text{N}) : n(\text{NO}_3^--\text{N}) : n[\text{CO}(\text{NH}_2)_2] = 25:75:0$	2.46±0.42a	2.50±0.28a	1.02±0.07ef
T5	$n(\text{NH}_4^+-\text{N}) : n(\text{NO}_3^--\text{N}) : n[\text{CO}(\text{NH}_2)_2] = 0:100:0$	1.60±0.16b	1.59±0.11bc	1.00±0.10ef
T6	$n(\text{NH}_4^+-\text{N}) : n(\text{NO}_3^--\text{N}) : n[\text{CO}(\text{NH}_2)_2] = 0:75:25$	1.05±0.21d	1.20±0.10cde	1.15±0.13cd
T7	$n(\text{NH}_4^+-\text{N}) : n(\text{NO}_3^--\text{N}) : n[\text{CO}(\text{NH}_2)_2] = 0:50:50$	1.15±0.20cd	1.07±0.21de	0.94±0.10f
T8	$n(\text{NH}_4^+-\text{N}) : n(\text{NO}_3^--\text{N}) : n[\text{CO}(\text{NH}_2)_2] = 0:25:75$	1.01±0.15d	1.21±0.22cde	1.20±0.08bc
T9	$n(\text{NH}_4^+-\text{N}) : n(\text{NO}_3^--\text{N}) : n[\text{CO}(\text{NH}_2)_2] = 0:0:100$	1.13±0.21cd	1.08±0.04de	0.96±0.10f
T10	$n(\text{NH}_4^+-\text{N}) : n(\text{NO}_3^--\text{N}) : n[\text{CO}(\text{NH}_2)_2] = 25:0:75$	1.21±0.22bcd	1.52±0.09bcd	1.26±0.10b
T11	$n(\text{NH}_4^+-\text{N}) : n(\text{NO}_3^--\text{N}) : n[\text{CO}(\text{NH}_2)_2] = 50:0:50$	1.36±0.54bcd	0.91±0.22ef	0.67±0.09g
T12	$n(\text{NH}_4^+-\text{N}) : n(\text{NO}_3^--\text{N}) : n[\text{CO}(\text{NH}_2)_2] = 75:0:25$	1.51±0.20cd	1.49±0.21bcd	0.99±0.08ef

<sup>1)</sup> 同列中不同的小写字母表示各处理间差异显著 ( $P < 0.05$ ) Different lowercases in the same column indicate the significant difference among different treatments ( $P < 0.05$ ).

$n$ (酰胺态氮) = 0:25:75]、T9 [ $n$ (铵态氮): $n$ (硝态氮): $n$ (酰胺态氮) = 0:0:100] 和 T11 [ $n$ (铵态氮): $n$ (硝态氮): $n$ (酰胺态氮) = 50:0:50] 6 个处理组的单株根干质量低于对照组; T4 处理组的单株根干质量最大, 且总体上显著高于其他处理组; T2 和 T3 [ $n$ (铵态氮): $n$ (硝态氮): $n$ (酰胺态氮) = 50:50:0] 处理组的单株根干质量次之。上述研究结果显示: T4 和 T2 处理组(即铵态氮和硝态氮配合施用)能有效促进夏播苕蓝的生长, 有利于其单株根和叶干质量的积累。3 种形态氮素单独施用处理中以硝态氮对夏播苕蓝单株根和叶干质量的促进作用最大。

由表 1 还可见: 施氮处理组夏播苕蓝的根冠比均显著低于对照组。对照组缺乏氮素营养, 导致其单株叶干质量显著低于施氮处理组, 说明可通过施氮提高夏播苕蓝叶的生长, 从而促进植株的生长; T1、T5 和 T9 处理组的根冠比分别较对照组降低了 57.03%、59.84% 和 61.45%, 说明 3 种形态氮素对夏播苕蓝根冠比影响由大到小依次为酰胺态氮、硝态氮和铵态氮。

## 2.2 氮素形态及对比对夏播苕蓝叶和根中可溶性蛋白质和总氮含量的影响

不同氮素形态及对比对夏播苕蓝根和叶中可溶性蛋白质和总氮含量的影响见表 2。

由表 2 可见: 不同氮素形态和对比对夏播苕蓝叶和根中可溶性蛋白质含量的影响不同。T9 [ $n$ (铵态氮): $n$ (硝态氮): $n$ (酰胺态氮) = 0:0:100]、T3 [ $n$ (铵态氮): $n$ (硝态氮): $n$ (酰胺态氮) = 50:50:0] 和 T7 [ $n$ (铵态氮): $n$ (硝态氮): $n$ (酰胺态氮) = 0:50:50] 处理组叶中可溶性蛋白质含量均高于对照(CK, 不施用氮素)组, 但差异不显著 ( $P > 0.05$ )。除 T12 [ $n$ (铵态氮): $n$ (硝态氮): $n$ (酰胺态氮) = 75:0:25] 处理组外, 其他处理组根中可溶性蛋白质含量均显著高于对照组 ( $P < 0.05$ ), 其中, T3 处理组根中可溶性蛋白质含量最高, 说明施氮有利于夏播苕蓝根中可溶性蛋白质合成, 且铵态氮和硝态氮配合施用 [ $n$ (铵态氮): $n$ (硝态氮) = 50:50] 最有利于提高夏播苕蓝叶和根中可溶性蛋白质含量。

由表 2 还可见: 施氮处理后夏播苕蓝叶和根中总氮含量均显著高于对照组。其中, T1 [ $n$ (铵态氮): $n$ (硝态氮): $n$ (酰胺态氮) = 100:0:0] 处理组夏播苕蓝叶中总氮含量最高, 说明铵态氮对夏播苕蓝叶中总氮含量影响较大; 夏播苕蓝根中总氮含量则以 T11 [ $n$ (铵态氮): $n$ (硝态氮): $n$ (酰胺态氮) = 50:0:50] 处理组最高, 为对照组的 2.19 倍。由此可见, 施氮处理后夏播苕蓝的叶和根能够比较有效地积累氮素。

表 2 铵态氮 ( $\text{NH}_4^+-\text{N}$ )、硝态氮 ( $\text{NO}_3^--\text{N}$ ) 和酰胺态氮 [ $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ ] 的不同对比对夏播苕蓝叶和根中可溶性蛋白质和总氮含量的影响 ( $n=3$ )<sup>1)</sup>

Table 2 Effects of ammonium nitrogen ( $\text{NH}_4^+-\text{N}$ ), nitrate nitrogen ( $\text{NO}_3^--\text{N}$ ) and amide nitrogen [ $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ ] with different ratios on contents of soluble protein and total nitrogen in leaf and root of summer-planted *Isatis indigotica* Fort. ( $n=3$ )<sup>1)</sup>

处理 Treatment	不同氮素形态的物质的量比 Molar ratio of different nitrogen forms	不同部位的可溶性蛋白质 含量/ $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ Soluble protein content in different parts		不同部位的总氮含量/ $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ Total nitrogen content in different parts	
		叶 Leaf	根 Root	叶 Leaf	根 Root
		CK	$n(\text{NH}_4^+-\text{N}):n(\text{NO}_3^--\text{N}):n[\text{CO}(\text{NH}_2)_2]=0:0:0$	59.28±4.44abc	62.22±5.01f
T1	$n(\text{NH}_4^+-\text{N}):n(\text{NO}_3^--\text{N}):n[\text{CO}(\text{NH}_2)_2]=100:0:0$	51.43±4.22c	69.62±3.87de	269.82±3.67a	162.72±2.40b
T2	$n(\text{NH}_4^+-\text{N}):n(\text{NO}_3^--\text{N}):n[\text{CO}(\text{NH}_2)_2]=75:25:0$	54.99±2.77bc	67.19±3.35de	216.15±4.85e	122.49±3.72g
T3	$n(\text{NH}_4^+-\text{N}):n(\text{NO}_3^--\text{N}):n[\text{CO}(\text{NH}_2)_2]=50:50:0$	63.08±4.49a	79.40±4.19a	234.68±2.67c	154.30±3.49c
T4	$n(\text{NH}_4^+-\text{N}):n(\text{NO}_3^--\text{N}):n[\text{CO}(\text{NH}_2)_2]=25:75:0$	59.12±3.22abc	71.26±3.48bcde	215.67±3.62e	143.36±3.78e
T5	$n(\text{NH}_4^+-\text{N}):n(\text{NO}_3^--\text{N}):n[\text{CO}(\text{NH}_2)_2]=0:100:0$	55.28±3.88bc	76.98±4.12ab	211.78±2.76e	146.62±3.50de
T6	$n(\text{NH}_4^+-\text{N}):n(\text{NO}_3^--\text{N}):n[\text{CO}(\text{NH}_2)_2]=0:75:25$	56.40±6.09abc	73.24±5.72bcde	217.48±3.39e	136.53±2.98f
T7	$n(\text{NH}_4^+-\text{N}):n(\text{NO}_3^--\text{N}):n[\text{CO}(\text{NH}_2)_2]=0:50:50$	59.74±3.60ab	74.88±1.61abcd	235.70±3.30c	151.38±3.73cd
T8	$n(\text{NH}_4^+-\text{N}):n(\text{NO}_3^--\text{N}):n[\text{CO}(\text{NH}_2)_2]=0:25:75$	58.67±4.10ab	70.64±2.69cde	226.43±2.27d	143.72±4.18e
T9	$n(\text{NH}_4^+-\text{N}):n(\text{NO}_3^--\text{N}):n[\text{CO}(\text{NH}_2)_2]=0:0:100$	63.19±4.93a	75.89±5.44abc	236.45±3.00c	156.03±3.60c
T10	$n(\text{NH}_4^+-\text{N}):n(\text{NO}_3^--\text{N}):n[\text{CO}(\text{NH}_2)_2]=25:0:75$	55.38±3.74bc	68.60±5.74e	203.54±1.26f	122.21±2.08g
T11	$n(\text{NH}_4^+-\text{N}):n(\text{NO}_3^--\text{N}):n[\text{CO}(\text{NH}_2)_2]=50:0:50$	57.48±3.64abc	69.40±3.88bcd	252.21±2.17b	174.20±4.46a
T12	$n(\text{NH}_4^+-\text{N}):n(\text{NO}_3^--\text{N}):n[\text{CO}(\text{NH}_2)_2]=75:0:25$	59.11±4.21ab	60.30±2.30f	212.09±5.46e	131.39±2.30f

<sup>1)</sup> 同列中不同的小写字母表示各处理间差异显著 ( $P < 0.05$ ) Different lowercases in the same column indicate the significant difference among different treatments ( $P < 0.05$ ).

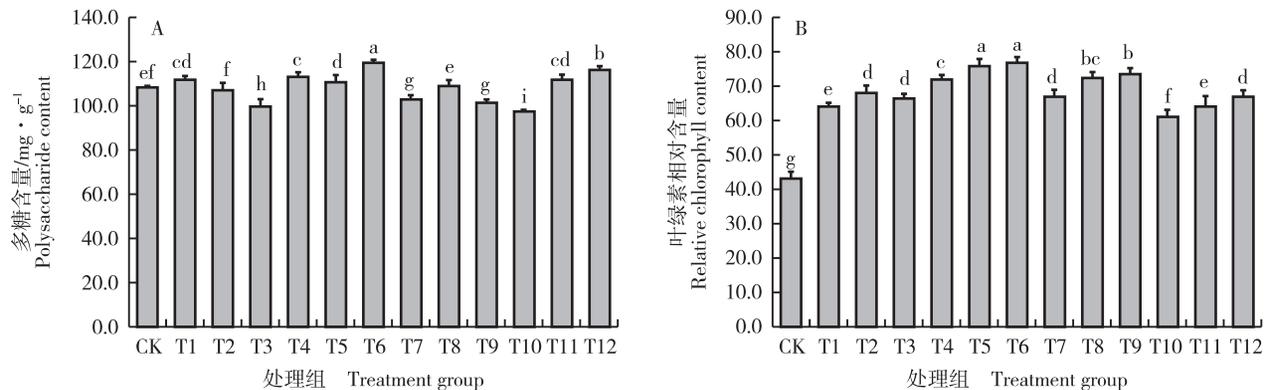
### 2.3 氮素形态及对比对夏播菘蓝根中多糖含量和叶中叶绿素相对含量的影响

不同氮素形态及对比对夏播菘蓝根中多糖含量和叶中叶绿素相对含量的影响见图1。

2.3.1 对根中多糖含量的影响 由图1-A可见:T6 [ $n(\text{铵态氮}) : n(\text{硝态氮}) : n(\text{酰胺态氮}) = 0 : 75 : 25$ ]处理组夏播菘蓝根中多糖含量最高,为对照(CK,不施用氮素)组的1.10倍,显著高于对照组及其他处理组( $P < 0.05$ )。T1 [ $n(\text{铵态氮}) : n(\text{硝态氮}) : n(\text{酰胺态氮}) = 100 : 0 : 0$ ]和T5 [ $n(\text{铵态氮}) : n(\text{硝态氮}) : n(\text{酰胺态氮}) = 0 : 100 : 0$ ]处理组根中的多糖含量分别较对照组升高了3.18%和2.42%,T9 [ $n(\text{铵态氮}) : n(\text{硝态氮}) : n(\text{酰胺态氮}) = 0 : 0 : 100$ ]处理组根中的

多糖含量则较对照组降低了6.10%,说明3种形态氮素单独施用处理中,单施铵态氮和硝态氮对提高夏播菘蓝根中多糖含量有促进作用,而单施酰胺态氮不利于夏播菘蓝根中多糖含量的合成。

2.3.2 对叶中叶绿素相对含量的影响 由图1-B可见:各施氮处理组的叶中叶绿素相对含量均显著高于对照组,说明施氮有利于夏播菘蓝叶中叶绿素的积累;T6和T5处理组的叶中叶绿素相对含量显著高于对照组及其他施氮处理组,且二者间差异不显著( $P > 0.05$ ),其中,T6处理组的叶中叶绿素相对含量最高(77.217)。在3种形态氮素单施处理组中,T5处理组的叶绿素相对含量最高,T9处理组次之,T1处理组最低。



CK:  $n(\text{NH}_4^+-\text{N}) : n(\text{NO}_3^--\text{N}) : n[\text{CO}(\text{NH}_2)_2] = 0 : 0 : 0$ ; T1:  $n(\text{NH}_4^+-\text{N}) : n(\text{NO}_3^--\text{N}) : n[\text{CO}(\text{NH}_2)_2] = 100 : 0 : 0$ ; T2:  $n(\text{NH}_4^+-\text{N}) : n(\text{NO}_3^--\text{N}) : n[\text{CO}(\text{NH}_2)_2] = 75 : 25 : 0$ ; T3:  $n(\text{NH}_4^+-\text{N}) : n(\text{NO}_3^--\text{N}) : n[\text{CO}(\text{NH}_2)_2] = 50 : 50 : 0$ ; T4:  $n(\text{NH}_4^+-\text{N}) : n(\text{NO}_3^--\text{N}) : n[\text{CO}(\text{NH}_2)_2] = 25 : 75 : 0$ ; T5:  $n(\text{NH}_4^+-\text{N}) : n(\text{NO}_3^--\text{N}) : n[\text{CO}(\text{NH}_2)_2] = 0 : 100 : 0$ ; T6:  $n(\text{NH}_4^+-\text{N}) : n(\text{NO}_3^--\text{N}) : n[\text{CO}(\text{NH}_2)_2] = 0 : 75 : 25$ ; T7:  $n(\text{NH}_4^+-\text{N}) : n(\text{NO}_3^--\text{N}) : n[\text{CO}(\text{NH}_2)_2] = 0 : 50 : 50$ ; T8:  $n(\text{NH}_4^+-\text{N}) : n(\text{NO}_3^--\text{N}) : n[\text{CO}(\text{NH}_2)_2] = 0 : 25 : 75$ ; T9:  $n(\text{NH}_4^+-\text{N}) : n(\text{NO}_3^--\text{N}) : n[\text{CO}(\text{NH}_2)_2] = 0 : 0 : 100$ ; T10:  $n(\text{NH}_4^+-\text{N}) : n(\text{NO}_3^--\text{N}) : n[\text{CO}(\text{NH}_2)_2] = 25 : 0 : 75$ ; T11:  $n(\text{NH}_4^+-\text{N}) : n(\text{NO}_3^--\text{N}) : n[\text{CO}(\text{NH}_2)_2] = 50 : 0 : 50$ ; T12:  $n(\text{NH}_4^+-\text{N}) : n(\text{NO}_3^--\text{N}) : n[\text{CO}(\text{NH}_2)_2] = 75 : 0 : 25$ . 不同的小写字母表示各处理间差异显著 ( $P < 0.05$ ) Different lowercases indicate the significant difference among different treatments ( $P < 0.05$ ).

图1 铵态氮( $\text{NH}_4^+-\text{N}$ )、硝态氮( $\text{NO}_3^--\text{N}$ )和酰胺态氮[ $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ ]的不同对比对夏播菘蓝根中多糖含量(A)和叶中叶绿素相对含量(B)的影响( $n=3$ )

Fig. 1 Effects of ammonium nitrogen ( $\text{NH}_4^+-\text{N}$ ), nitrate nitrogen ( $\text{NO}_3^--\text{N}$ ) and amide nitrogen [ $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ ] with different ratios on polysaccharide content in root (A) and relative chlorophyll content in leaf (B) of summer-planted *Isatis indigotica* Fort. ( $n=3$ )

### 2.4 氮素形态及对比对夏播菘蓝活性成分含量及其单株积累量的影响

不同氮素形态及对比对夏播菘蓝不同活性成分含量及其单株积累量的影响见表3。

2.4.1 对叶中靛蓝和靛玉红含量及其单株积累量的影响 由表3可见:除T3 [ $n(\text{铵态氮}) : n(\text{硝态氮}) : n(\text{酰胺态氮}) = 50 : 50 : 0$ ]和T6 [ $n(\text{铵态氮}) : n(\text{硝态氮}) : n(\text{酰胺态氮}) = 0 : 75 : 25$ ]处理组外,其他施氮处理

组的叶中靛蓝含量均低于对照(CK,不施用氮素)组,其中,T6处理组叶中靛蓝含量最高,为对照组的1.10倍,显著高于对照组及其他施氮处理组( $P < 0.05$ );在3种形态氮素单施处理组中,T1 [ $n(\text{铵态氮}) : n(\text{硝态氮}) : n(\text{酰胺态氮}) = 100 : 0 : 0$ ]、T5 [ $n(\text{铵态氮}) : n(\text{硝态氮}) : n(\text{酰胺态氮}) = 0 : 100 : 0$ ]和T9 [ $n(\text{铵态氮}) : n(\text{硝态氮}) : n(\text{酰胺态氮}) = 0 : 0 : 100$ ]处理组叶中靛蓝含量分别较对照组降低了28.91%、10.94%和15.63%。

表 3 铵态氮 ( $\text{NH}_4^+-\text{N}$ )、硝态氮 ( $\text{NO}_3^--\text{N}$ ) 和酰胺态氮 [ $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ ] 的不同配比对夏播菘蓝活性成分含量及其单株积累量的影响 ( $n=3$ )<sup>1)</sup>  
 Table 3 Effects of ammonium nitrogen ( $\text{NH}_4^+-\text{N}$ ), nitrate nitrogen ( $\text{NO}_3^--\text{N}$ ) and amide nitrogen [ $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ ] with different ratios on content of active components and their accumulation per plant in summer-planted *Isatis indigotica* Fort. ( $n=3$ )<sup>1)</sup>

处理 Treatment	不同氮素形态的物质的量比 Molar ratio of different nitrogen forms	$C_{\text{DL}}$	$C_{\text{DYH}}$	$C_{\text{GYC}}$	$A_{\text{DL}}$	$A_{\text{DYH}}$	$A_{\text{GYC}}$
CK	$n(\text{NH}_4^+-\text{N}) : n(\text{NO}_3^--\text{N}) : n[\text{CO}(\text{NH}_2)_2] = 0 : 0 : 0$	0.128±0.003b	0.027±0.002g	1.124±0.021b	0.064	0.014	1.405
T1	$n(\text{NH}_4^+-\text{N}) : n(\text{NO}_3^--\text{N}) : n[\text{CO}(\text{NH}_2)_2] = 100 : 0 : 0$	0.091±0.002g	0.046±0.001d	1.265±0.005a	0.048	0.024	0.717
T2	$n(\text{NH}_4^+-\text{N}) : n(\text{NO}_3^--\text{N}) : n[\text{CO}(\text{NH}_2)_2] = 75 : 25 : 0$	0.105±0.004e	0.079±0.004a	1.007±0.013fg	0.170	0.128	1.721
T3	$n(\text{NH}_4^+-\text{N}) : n(\text{NO}_3^--\text{N}) : n[\text{CO}(\text{NH}_2)_2] = 50 : 50 : 0$	0.131±0.003b	0.026±0.002g	1.057±0.005d	0.187	0.037	1.805
T4	$n(\text{NH}_4^+-\text{N}) : n(\text{NO}_3^--\text{N}) : n[\text{CO}(\text{NH}_2)_2] = 25 : 75 : 0$	0.072±0.002h	0.042±0.003e	1.053±0.009de	0.177	0.103	2.632
T5	$n(\text{NH}_4^+-\text{N}) : n(\text{NO}_3^--\text{N}) : n[\text{CO}(\text{NH}_2)_2] = 0 : 100 : 0$	0.114±0.003d	0.036±0.002f	1.009±0.011f	0.182	0.057	1.607
T6	$n(\text{NH}_4^+-\text{N}) : n(\text{NO}_3^--\text{N}) : n[\text{CO}(\text{NH}_2)_2] = 0 : 75 : 25$	0.141±0.003a	0.050±0.002cd	0.863±0.004j	0.148	0.053	1.034
T7	$n(\text{NH}_4^+-\text{N}) : n(\text{NO}_3^--\text{N}) : n[\text{CO}(\text{NH}_2)_2] = 0 : 50 : 50$	0.127±0.003bc	0.058±0.003b	1.078±0.022c	0.146	0.067	1.155
T8	$n(\text{NH}_4^+-\text{N}) : n(\text{NO}_3^--\text{N}) : n[\text{CO}(\text{NH}_2)_2] = 0 : 25 : 75$	0.091±0.002g	0.052±0.001c	1.039±0.007e	0.092	0.052	1.254
T9	$n(\text{NH}_4^+-\text{N}) : n(\text{NO}_3^--\text{N}) : n[\text{CO}(\text{NH}_2)_2] = 0 : 0 : 100$	0.108±0.003e	0.057±0.004b	0.992±0.003g	0.122	0.065	1.072
T10	$n(\text{NH}_4^+-\text{N}) : n(\text{NO}_3^--\text{N}) : n[\text{CO}(\text{NH}_2)_2] = 25 : 0 : 75$	0.114±0.003d	0.057±0.001b	1.110±0.012b	0.138	0.069	1.683
T11	$n(\text{NH}_4^+-\text{N}) : n(\text{NO}_3^--\text{N}) : n[\text{CO}(\text{NH}_2)_2] = 50 : 0 : 50$	0.096±0.002f	0.060±0.003b	0.966±0.005h	0.130	0.081	0.881
T12	$n(\text{NH}_4^+-\text{N}) : n(\text{NO}_3^--\text{N}) : n[\text{CO}(\text{NH}_2)_2] = 75 : 0 : 25$	0.123±0.004c	0.032±0.002f	0.946±0.005i	0.186	0.048	1.410

<sup>1)</sup>  $C_{\text{DL}}$ : 叶中靛蓝含量 Indigo content in leaf ( $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ );  $C_{\text{DYH}}$ : 叶中靛玉红含量 Indirubin content in leaf ( $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ );  $C_{\text{GYC}}$ : 根中( $R,S$ )-告依春含量 ( $R,S$ )-epigoitrin content in root ( $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ );  $A_{\text{DL}}$ : 单株叶中靛蓝积累量 Indigo accumulation in leaf per plant ( $\text{mg}$ );  $A_{\text{DYH}}$ : 单株叶中靛玉红积累量 Indirubin accumulation in leaf per plant ( $\text{mg}$ );  $A_{\text{GYC}}$ : 单株根中( $R,S$ )-告依春积累量 ( $R,S$ )-epigoitrin accumulation in root per plant ( $\text{mg}$ ). 同列中不同的小写字母表示各处理间差异显著 ( $P < 0.05$ ) Different lowercases in the same column indicate the significant difference among different treatments ( $P < 0.05$ ).

由表 3 还可见:不同氮素形态及配比对夏播菘蓝叶中靛玉红含量的影响效应不同于对靛蓝含量的影响效应。T3 处理组叶中靛玉红含量与对照组无显著差异 ( $P > 0.05$ ),其他施氮处理组的靛玉红含量均显著高于对照组,其中,T2 [ $n(\text{铵态氮}) : n(\text{硝态氮}) : n(\text{酰胺态氮}) = 75 : 25 : 0$ ] 处理组的靛玉红含量最高,为对照组的 2.93 倍。在 3 种形态氮素单施处理组中,按照叶中靛玉红含量由高到低依次为 T9 处理组、T1 处理组、T5 处理组,说明单独施用酰胺态氮有利于叶中靛玉红含量的提高,但铵态氮和硝态氮配合施用 [ $n(\text{铵态氮}) : n(\text{硝态氮}) = 75 : 25$ ] 更有利于靛玉红的积累。

由表 3 还可见:除 T1 处理组外,其他施氮处理组的单株叶中靛蓝积累量均高于对照组,其中,T3 处理组的单株叶中靛蓝积累量最高,为对照组的 2.92 倍。各施氮处理组的单株叶中靛玉红积累量均高于对照组,其中,T2 处理组的单株叶中靛玉红积累量最高,为对照组的 9.14 倍。若以文献[4]21-22 的靛玉红含量为指标,同时考虑夏播菘蓝单株叶干质量,则以 T2 处理组为最佳施氮处理组。

2.4.2 对根中( $R,S$ )-告依春含量及其单株积累量的影响 由表 3 可见:T1 处理组根中( $R,S$ )-告依春含量显著高于对照组,其他施氮处理组根中( $R,S$ )-告依春含量总体上显著低于对照组,说明单独施用铵

态氮有利于夏播菘蓝根中( $R,S$ )-告依春含量的提高。

由表 3 还可见:T4 [ $n(\text{铵态氮}) : n(\text{硝态氮}) : n(\text{酰胺态氮}) = 25 : 75 : 0$ ] 处理组的单株根中( $R,S$ )-告依春积累量最高,为对照组的 1.87 倍。若以文献[4]205-206 的( $R,S$ )-告依春含量为指标,并考虑菘蓝单株根干质量,以 T4 处理组为最佳施氮处理组。

### 3 讨 论

#### 3.1 氮素营养对夏播菘蓝生长的影响

为有效提高土地利用效率,夏播方式是一种有效的生产方式,同时,在适宜营养条件下可以获得优质的板蓝根与大青叶药材,因此,对夏播菘蓝氮素营养的相关研究尤为必要。于曼曼等<sup>[14]</sup>的研究结果表明:以铵硝比 25 : 75 (物质的量比) 施用氮肥,夏枯草 (*Prunella vulgaris* Linn.) 全株干质量最大,且在总氮水平为  $15 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  条件下,适量增加硝态氮比例,有利于夏枯草苗期生长,提高其干物质积累;李灿雯等<sup>[15]</sup>认为,铵态氮和硝态氮复合施用有利于半夏的生长。本研究结果显示:不同形态氮素配施总体上有利于夏播菘蓝单株叶和根干质量的增加,进而提高大青叶与板蓝根的药材产量。在 3 种形态氮素单施处理组中,单独施用硝态氮处理组的夏播菘蓝单株叶和

根干质量最高,与唐晓清等<sup>[16]</sup>的研究结果一致;而生长前期施用酰胺态氮对春播菘蓝叶的生物量影响最大<sup>[8]</sup>,说明播种期不同的菘蓝在各生长阶段对不同形态氮素的需求存在差异,因此,还需要结合氮素对夏播菘蓝生长及其功能叶片的光合效率等生理指标开展动态影响研究,以明确氮素对夏播菘蓝生长调节的生理机制。本研究中,T4[n(铵态氮):n(硝态氮):n(酰胺态氮)=25:75:0]处理组的夏播菘蓝单株叶和根干质量均最高。而晏枫霞等<sup>[12]</sup>则认为,菘蓝生物量随铵硝比(物质的量比)的降低呈先升高后降低的趋势,全铵营养条件下最小,铵硝比为50:50时最大,说明播种期不同会导致菘蓝在不同生长时期对氮素营养的选择性吸收利用出现差异。而对于夏播菘蓝的需氮量以及氮素的有效利用效率还需要进一步研究。

在3种形态氮素单施处理组中,单独施用酰胺态氮处理组的夏播菘蓝叶中可溶性蛋白质含量最高,而单独施用硝态氮其根中可溶性蛋白质含量最高;在不同氮素形态及配比处理组中,T3[n(铵态氮):n(硝态氮):n(酰胺态氮)=50:50:0]处理组的夏播菘蓝叶和根中可溶性蛋白质含量均较高。裴文梅等<sup>[1]</sup>的研究结果显示:硝铵比为50:50(物质的量比)时,甘草整株合成的可溶性蛋白质含量最高,本研究结果与其相似。可见,不同植物对氮素形态的利用效率存在差异,其植株体内的代谢受氮素配比影响。当铵态氮含量较高时,菘蓝体内氮和磷含量较高<sup>[9]</sup>。本研究中,在3种形态氮素单施处理组中,单独施用铵态氮处理组的夏播菘蓝叶和根中总氮含量最高,推测原因为夏播菘蓝对不同氮素形态的吸收存在差异,影响了其对氮素的吸收和利用。

### 3.2 氮素营养对夏播菘蓝活性成分的影响

氮素营养不仅是影响作物产量的重要因素,同时也是影响植物次生代谢过程的重要环境因子之一<sup>[17]</sup>,因而施氮是调控作物生长和调节次生代谢的重要手段。铵态氮和硝态氮配合施用(物质的量比25:75)时对桔梗[*Platycodon grandiflorus* (Jacq.) A. DC.]中桔梗皂苷D的积累有利<sup>[18]</sup>;孙世芹等<sup>[19]</sup>的研究结果表明:喜树碱含量与氮素形态有明显相关性,铵硝比为25:75(物质的量比)时最有利于喜树(*Camptotheca acuminata* Decne.)幼叶中喜树碱的合成与积累。本研究中,在3种形态氮素单施处理组中,单独施用酰胺态氮处理组的夏播菘蓝叶中靛玉红

含量最高;但肖云华等<sup>[8]</sup>认为,施用铵态氮对春播菘蓝苗期叶中靛玉红的影响最大。可见,在不同播种方式下,氮素营养对菘蓝不同生长阶段次生代谢的影响不同。此外,单独施用铵态氮夏播菘蓝根中(R,S)-告依春含量最高,但其单株积累量最低,且其单株根干质量也最低,推测可能原因是过多的游离氨不利于夏播菘蓝根的生长。

不同形态的氮素配合施用后能总体上提高夏播菘蓝单株叶和根干质量,可基本满足实际生产中增产的要求,但是其叶和根内的活性成分含量变化却与干质量增加不一致,推测可能与夏播菘蓝对氮素的需求水平相关。作为次生代谢产物,靛蓝、靛玉红与(R,S)-告依春等含氮类化合物在菘蓝体内的合成积累受到氮素形态与水平的双重影响。在氮丰富的条件下,植物体内的氮主要用于植株生长,以碳为基础的次生代谢产物减少;在氮贫瘠的条件下,植物生长速率减慢,将较多的碳用于酚类和萜烯类等次生代谢物质的合成<sup>[20]</sup>。本研究中,在对照(不施用氮素)组中,夏播菘蓝叶中靛蓝含量及根中(R,S)-告依春含量总体上高于各施氮处理组,说明夏播菘蓝在生长过程中对氮素的需求主要用于其植株的形态建成,而缺乏氮素则有利于其体内次生代谢成分的积累。由于夏播菘蓝生长时间相对缩短,植株前期生长需要足量施氮以利于其形态建成,为达成一定经济产量奠定基础;后期,为保证其体内活性成分的积累,则需要适当减少氮肥施用。为达到夏播菘蓝生长与活性成分积累均最佳的目的,如何科学施氮有待进一步研究。

同等施氮水平下,不同形态氮素的配合施用能促进夏播菘蓝植株的生长和多种活性成分的积累。在生产上,通过夏播方式并结合氮素的合理使用,不仅能有效提高土地利用效率,而且能有效提高氮素利用率,促进氮素在植物体内的转化,并在一定程度上促进体内多种活性成分的积累,最终保证药材的品质。在夏播菘蓝的栽培中,若以收获大青叶为目的,综合考虑其叶中靛玉红含量,施用铵态氮和硝态氮物质的量比为75:25的复合氮肥最佳;若以收获板蓝根为目的,综合考虑其根中(R,S)-告依春含量,施用铵态氮和硝态氮物质的量比为25:75的复合氮肥最佳。

#### 参考文献:

- [1] 裴文梅,张参俊,王景安.不同氮形态及配比对甘草生长及品质的影响[J].中国农学通报,2011,27(28):184-187.
- [2] 胡龙娇,王康才,李灿雯.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.
- [3] 范巧佳, 张毅, 杨世民, 等. 氮素形态对川芎生长、产量与阿魏酸和总生物碱含量的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2010, 16(3): 720-724.
- [4] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典: 2015 版(一部)[M]. 北京: 中国医药科技出版社, 2015.
- [5] 陈凯, 窦月, 陈智, 等. 板蓝根抗病毒与抗内毒素等清热解毒药效作用及化学基础研究进展[J]. 中国实验方剂学杂志, 2011, 17(18): 275-278.
- [6] XIAO Z J, HAO Y S, LIU B C, et al. Indirubin and meisoindigo in the treatment of chronic myelogenous leukemia in China [J]. *Leukemia and Lymphoma*, 2002, 43: 1763-1768.
- [7] NAM S, SCUTO A, YANG F, et al. Indirubin derivatives induce apoptosis of chronic myelogenous leukemia cells involving inhibition of Stat5 signaling[J]. *Molecular Oncology*, 2012, 6: 276-283.
- [8] 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.
- [9] 晏枫霞, 王康才, 唐晓清, 等. 氮素形态对菘蓝活性成分和矿物质元素含量的影响[J]. 江苏农业学报, 2010, 26(4): 735-739.
- [10] 唐晓清, 杨月, 吕婷婷, 等. 夏播菘蓝不同居群干物质和活性成分积累特征[J]. 西北植物学报, 2014, 34(3): 565-571.
- [11] 唐晓清, 王康才, 温建云. 根部淹水对菘蓝活性成分的影响[J]. 天然产物研究与开发, 2009, 21(5): 832-836.
- [12] 晏枫霞, 王康才, 罗庆云, 等. 氮素形态对菘蓝氮代谢、光合作用及生长的影响[J]. 中国中药杂志, 2009, 34(16): 2039-2042.
- [13] 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.
- [14] 于曼曼, 刘丽, 郭巧生, 等. 氮素不同形态对比对夏枯草苗期生长及光合特性的影响[J]. 中国中药杂志, 2011, 36(5): 530-534.
- [15] 李灿雯, 王康才, 吴健, 等. 氮素形态对半夏生长及生物碱和总有机酸累积的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2012, 18(1): 256-260.
- [16] 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.
- [17] ALMEIDA-CORTEZ J, SHIPLEY B, ARNASON J T. Effects of nutrient availability on the production of pentayne, a secondary compound related to defense, in *Rudbeckia hirta*[J]. *Plant Species Biology*, 2003, 18: 85-89.
- [18] 段云晶, 王康才, 牛灵慧, 等. 不同氮素形态与对比对桔梗生长及桔梗皂苷 D 含量的影响[J]. 中国中药杂志, 2015, 40(19): 3754-3759.
- [19] 孙世芹, 闫秀峰. 氮素形态对喜树幼苗喜树碱含量及喜树碱代谢相关酶类的影响[J]. 中国中药杂志, 2008, 33(13): 1519-1523.
- [20] 苏文华, 张光飞, 周鸿, 等. 氮素对短葶飞蓬生长和次生代谢产物积累的影响[J]. 云南植物研究, 2010, 32(1): 41-46.

(责任编辑: 张明霞)

## 《植物资源与环境学报》2016 年审稿专家名单

《植物资源与环境学报》2016 年审稿专家名单如下(按姓氏的汉语拼音排序):

蔡霞 曹建国 程昕昕 刀志灵 邓贤兰 邓衍明 丁炳扬 段爱国 方升佐 郭水良 郭太君 郭晓思  
 郝成元 何开跃 胡春梅 胡江苗 胡新军 华建峰 黄苏珍 金孝锋 李亚 李中强 练璐愉 梁呈元  
 林树燕 刘金福 刘鹏 刘启新 刘晓静 卢瑛 陆长梅 陆宏芳 吕勇 马永鹏 闵安民 彭祚登  
 乔玉山 郗光发 阮成江 单宇 史小丽 宋春风 苏仕林 田代科 田敏 王长彪 王长庭 王广东  
 王建林 王金彦 王康才 王茂文 闻志彬 吴承祯 吴卫 邢世岩 徐勤松 徐迎春 徐增莱 杨玉珍  
 於虹 虞木奎 于晓南 张大勇 张冬梅 张凤银 张光富 张国防 张救 张卫华 张芸香 张重义  
 赵晋忠 郑玉红 曾波 曾宪锋 邹承武

本刊对各位审稿专家的支持表示诚挚的感谢!