

# 铵态氮和硝态氮对谷子形态和生物量的影响研究

崔纪菡<sup>1,2§</sup>, 赵 静<sup>1§</sup>, 孟 建<sup>3</sup>, 刘 猛<sup>1</sup>, 赵 宇<sup>1</sup>,  
宋世佳<sup>1</sup>, 夏雪岩<sup>1\*</sup>, 李顺国<sup>1\*</sup>

(1.河北省农林科学院谷子研究所, 河北省杂粮研究实验室, 石家庄 050035;  
2.河北农业大学农学院, 河北 保定 071000; 3.河北省农业技术推广站, 石家庄 050000)

**摘 要:**为了明确铵态氮和硝态氮营养对谷子形态和生物量的影响,合理选择谷子施氮形式,采用蛭石浇灌不同氮形态营养液的方法培养谷子植株。结果表明:两种氮形态显著影响了谷子形态和生物量累积,氮形态对根形态、穗长的促进作用无显著差异。氮形态在生物量、株高、叶面积、叶绿素含量方面的影响存在显著差异:相比铵态氮,硝态氮分别提高了 17% 的根重、32% 的茎重、39% 的叶重和 40% 的总生物量,硝态氮还提高了 38% 的株高和 40% 的叶面积;相比硝态氮,铵态氮提高了 173% 的叶绿素含量和 12% 的穗重。氮形态在根冠比和穗比重也存在极显著差异,相比硝态氮,铵态氮显著提高了 8% 的根冠比和 44% 的穗比重。以上结果表明,硝态氮显著促进谷子株高、叶面积、生物量的提高,在株体扩建方面发挥重要的作用,铵态氮显著促进谷子叶绿素合成和生殖器官建成,在功能建成方面发挥重要作用。

**关键词:**铵态氮;硝态氮;谷子;形态;生物量

**doi:**10.13304/j.nykjdb.2017.0097

**中图分类号:**S515      **文献标识码:**A      **文章编号:**1008-0864(2017)10-0066-07

## Effect of Ammonium Nitrogen and Nitrate Nitrogen on the Morphology and Biomass of Foxtail Millet (*Setaria italic* L.)

CUI Jihan<sup>1,2§</sup>, ZHAO Jing<sup>1§</sup>, MENG Jian<sup>3</sup>, LIU Meng<sup>1</sup>, ZHAO Yu<sup>1</sup>,  
SONG Shijia<sup>1</sup>, XIA Xueyan<sup>1\*</sup>, LI Shunguo<sup>1\*</sup>

(1.Minor Cereal Crops Research Laboratory of Hebei Province, Institute of Millet Crops, Hebei Academy of Agricultural and Forestry Sciences, Shijiazhuang 050035; 2.College of Agronomy, Hebei Agricultural University, Hebei Baoding 071000;  
3.Hebei Agricultural Technology Extension General Station, Shijiazhuang 050011, China)

**Abstract:** In order to study the effect of ammonium nitrogen and nitrate nitrogen on morphology and biomass of foxtail millet (*Setaria italic* L.), and to provide effective references for reasonable selection of suite nitrogen form to foxtail miller, vermiculite cultivation method was adopted with nutrient solution. The results showed that the 2 nitrogen forms could significantly affect the morphology and biomass of foxtail millet, and nitrogen forms had no significant influence on root morphology and spike length. But, there were significant differences in influence of nitrogen form on plant height, biomass, leaf area and leaf chlorophyll content. Compared with ammonium nitrogen, nitrate nitrogen increased root weight by 17%, stem weight by 32%, leaf weight by 39%, total biomass by 40%. Besides, nitrate nitrogen increased plant height by 38%, leaf area by 40%. Compared with nitrate nitrogen, ammonium nitrogen increased chlorophyll content by 173%, and spike weight by 12%. There were significant differences in root/shoot ratio and spike proportion. Compared with nitrate nitrogen, ammonium nitrogen had increased root/shoot ratio by 8% and spike proportion by 44%. The above mentioned results indicated that nitrate nitrogen could significantly promote plant

**收稿日期:**2017-02-28; **接受日期:**2017-04-24

**基金项目:**公益性行业(农业)科研专项(201303133-1-6);河北省渤海粮仓科技示范工程项目;河北省科技研发计划项目(17236405D);石家庄市科学技术研究与发展计划项目(171490248A);河北省农林科学院农业科技创新人才队伍建设项目(F17E04)资助。

**作者简介:** § 崔纪菡与赵 静为本文共同第一作者。崔纪菡,助理研究员,博士,研究方向为作物栽培。E-mail:cuijihancu@126.com; 赵 静,本科生,研究方向为生物科学。E-mail:821959754@qq.com。\* 通信作者:李顺国,研究员,硕士,研究方向为谷子栽培与经济。E-mail:lishunguo76@163.com;夏雪岩,研究员,硕士,研究方向为作物栽培与育种。E-mail:xyxia7808@126.com

height, leaf area and biomass. While, ammonium nitrogen could significantly stimulate the synthesis of chlorophyll and construction of reproductive organ.

**Key words:** nitrate nitrogen; ammonium nitrogen; foxtail millet; morphology; biomass

谷子(*Setaria italic* L.)起源于中国,是传统的粮食作物,在我国农业发展的历史上,谷子一度作为主要粮食作物在农业生产中占据重要地位<sup>[1]</sup>。谷子因其抗旱耐瘠的特性,广泛种植于我国北方的干旱半干旱地区,尤其是其他植物难以生长的山区丘陵地带<sup>[2]</sup>,在旱地农业中发挥重要作用<sup>[3]</sup>。

氮素是植物生长发育主要元素之一,对于植物的生长发育有重要的作用<sup>[4-6]</sup>。硝态氮和铵态氮是植物氮源的主要吸收形式,植物吸收  $\text{NH}_4^+$  和  $\text{NO}_3^-$  的量占其吸收阳离子和阴离子总量的 70%<sup>[7]</sup>。在 pH 较高的土壤中,铵态氮的硝化作用较强,施加的铵态氮会迅速转化为硝态氮<sup>[8]</sup>,在 pH 较低的土壤中,铵态氮的硝化作用较弱,土壤氮素主要以铵态氮的形式存在<sup>[9]</sup>。铵态氮和硝态氮在不同土壤类型中含量差别极大,灰钙土(蒙古戈壁)土壤中  $\text{NH}_4^+$  含量为 0.3 mg/kg,但栗钙土(鄂托克旗市)土壤中  $\text{NH}_4^+$  的含量高达 111.3 mg/kg<sup>[10]</sup>。河南地区的碳酸盐褐土和黄潮土中  $\text{NH}_4^+$  含量为 0.3 ~ 3.2 mg/kg;  $\text{NO}_3^-$  含量为 17.9 mg/kg<sup>[11]</sup>。谷子作为农田作物,仅仅依靠吸收土壤中的氮素远远达不到生产要求<sup>[12]</sup>。

植物对铵态氮和硝态氮的吸收,因为植物种类的不同而有所差异<sup>[13]</sup>。有些植物喜铵态氮,如水稻<sup>[14]</sup>;有些植物喜硝态氮,如番茄<sup>[15]</sup>;也有植物喜铵硝混合氮源,如甘草<sup>[16]</sup>。铵态氮和硝态氮虽然同是植物可吸收利用的氮素形态,但植物对二者的吸收、运输、储藏和同化存在很大差异,这必然会影响到植物的生长发育和其他生理过程。郭亚芬等<sup>[17]</sup>的研究表明硝态氮能够显著促进侧根的生长和发育。唐晓清等<sup>[18]</sup>研究发现,硝态氮对菘蓝叶片中叶绿素含量的影响最大。周毅等<sup>[19]</sup>的研究结果表明,单一供应铵态氮处理的水稻生物量最大。目前,大田中的施氮类型主要以尿素为主,尿素在土壤中易氨化和硝化,逐步转化为铵态氮、硝态氮<sup>[20]</sup>,关于谷子的研究大部分集中在施氮量和施氮时间等方面<sup>[21,22]</sup>,氮形态对谷子形态和生物量影响的研究还未见报道。本实验通过研究两种无机氮源对谷子生长的影响,明确

铵态氮和硝态氮在谷子形态和生物量方面各自发挥的作用,为合理选择谷子施氮形式提供有效的理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料

本研究所用试验材料冀谷 38 由河北省农林科学院谷子研究所培育并提供。

### 1.2 试验方法

本试验在人工气候室进行,谷子种子用 10% (v/v) 的  $\text{H}_2\text{O}_2$  表面消毒 30 min 后用去离子水洗净,转移到预装有蛭石的塑料花盆(直径 15 cm、高 13 cm)中进行播种,蛭石用量为 450 g/盆,每盆种 5~7 颗种子,出苗后定苗为每盆两株。除氮以外的其他大量元素和微量元素均采用改良霍格兰营养液配方配置<sup>[23]</sup>,pH 调至 6.0,作为无氮营养液;另设两种氮素形态供应处理,即无氮营养液分别添加了等浓度硝态氮(硝酸钙)和铵态氮(硫酸铵),两处理营养液的氮浓度均为 140 mmol/L,并加入 7  $\mu\text{mol/L}$  的双氰胺做硝化抑制剂。每个处理 8 次重复,4 盆用于测定叶绿素含量、叶面积和根系形态扫描,4 盆用于测定根、茎、叶、穗部称重。每 2 d 浇灌 1 次营养液,每盆浇 200 mL。试验在温室内进行,0~14 h 光照强度为 300  $\mu\text{mol}/\text{dm}^2\cdot\text{s}$ ,温度为 25℃,14~24 h 为黑暗,温度为 18℃,湿度为 40%~75%。

### 1.3 测定指标

常规测定不同处理的株高、根长、穗长。用 95% 的酒精提取叶绿素 a、叶绿素 b 和类胡萝卜素含量,分别在 665 nm、649 nm 和 470 nm 的波长测定吸光度,通过比色计算公式计算得到叶绿素含量<sup>[20]</sup>。用叶面积扫描仪(AM-300)测定叶面积。利用根系扫描仪(Winrhizo 2003b)测定根系总表面积、平均直径、根系总体积和根尖数。将谷子植株用蒸馏水洗净,擦干,称单株鲜重,计算其平均单株重,将其分成根部、茎部、叶部、穗部,然后在 105℃ 下杀青 5 min,并于 60℃ 下烘至恒重,称其干重。

1.4 数据分析

根冠比=根部生物量/总生物量;  
穗比重=穗部生物量/总生物量。

试验数据采用 Excel 2010 和 SPSS 18.0 软件进行处理与分析,单因素方差分析采用 Ducan 检验。

2 结果与分析

2.1 氮形态对谷子伸长生长的影响

硝态氮和铵态氮均有利于谷子地上部、地下部和穗部的伸长生长,硝态氮处理对于株高的影响大于铵态氮处理(图 1)。由表 1 可知,与无氮对照相比,硝态氮处理的谷子总根长提高了 14.72%,铵态氮处理的谷子总根长提高了 16.72%。施氮处理的株高与无氮处理的株高有极显著差异( $P<0.01$ ),硝态氮和铵态氮处理的株高有极显著差异;与无氮对照相比,硝态氮和铵态氮处理的株高分别提高了 146.01%和 102.19%。这表明施氮对地上部伸长有重要的作用,硝态氮的作用优于铵态氮的作用。与对照相比,施氮显

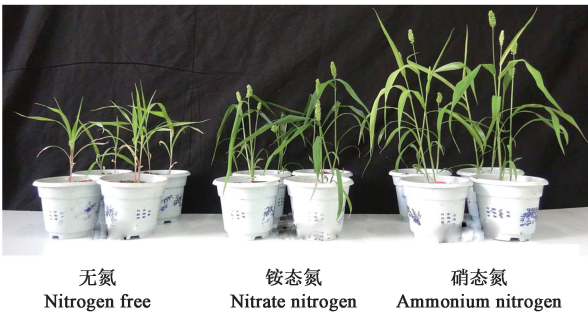


图 1 不同氮形态处理的同期谷子植株

Fig.1 Foxtail millet treated with different nitrogen forms at same stage.

著提高了谷子穗长( $P<0.05$ ),硝态氮和铵态氮处理无显著差异,二者对穗长的增幅分别为 110.27%和 113.6%。

2.2 氮形态对谷子生物量累积与分配的影响

由表 2 可知,施氮处理的根、茎、叶、穗、总生物量与无氮对照有极显著差异,施氮处理的根、茎、叶、穗、总生物量分别高于无氮对照 90.52%~122.41%、116.81%~186.73%、59.04%~120.90%、143.33%~172.22%、55.08%~117.54%。氮形态

表 1 氮形态对谷子生长的影响

Table 1 Effect of nitrogen forms on growth of foxtail millet.

处理 Treatments	总根长 (cm) Root length (cm)	株高 (cm) Plant height (cm)	穗长 (cm) Spike length (cm)
无氮对照 Nitrogen free	1 101.34±84.37 Ab	15.975±1.73 Cc	1.100±0.11 Bb
硝态氮 Nitrate nitrogen	1 264.16±111.84 Aab	44.033±6.23 Aa	2.313±0.35 Aa
铵态氮 Ammonium nitrogen	1 285.45±58.34 Aa	32.3±4.51 Bb	2.350±0.05 Aa

注:同列中不同小写字母表示差异达  $P<0.05$  显著水平,不同大写字母表示差异达  $P<0.01$  极显著水平。  
Note: Different small letters in the same column following the numbers denote the significance at  $P<0.05$  level, and different capital letters following the numbers denote the significance at  $P<0.01$  level.

表 2 氮形态对谷子生物量累积与分配的影响

Table 2 Effect of nitrogen forms on dry matter accumulation and distribution of foxtail millet.

处理 Treatment	根 (mg/株) Root (mg/plant)	茎 (mg/株) Stem (mg/plant)	叶 (mg/株) Leaf (mg/plant)	穗 (mg/株) Spike (mg/plant)	总生物量 (mg/株) Total Biomass (mg/plant)	根冠比 Ratio of root and shoot	穗比重 Spike proportion
无氮对照 Nitrogen free	11.6±0.4 Bc	22.6±1.6 Cc	35.4±1.2 Cc	9.0±0.2 Cc	79.0±2.5 Cc	0.172±0.000 9 Aa	0.114%±0.004 3% Bb
硝态氮 Nitrate nitrogen	25.8±0.4 Aa	64.8±1.2 Aa	78.2±2.4 Aa	21.9±1.2 Bb	188.0±5.3 Aa	0.158±0.003 4 Bb	0.112%±0.000 6% Bb
铵态氮 Ammonium nitrogen	22.1±0.6 ABb	49.0±1.4 Bb	56.3±1.1 Bb	24.5±0.1 Aa	152.0±3.1 Bb	0.170±0.001 Aa	0.161%±0.003 1% Aa

注:同列中不同小写字母表示差异达  $P<0.05$  显著水平,不同大写字母表示差异达  $P<0.01$  极显著水平。  
Note: Different small letters in the same column following the numbers denote the significance at  $P<0.05$  level, and different capital letters following the numbers denote the significance at  $P<0.01$  level.

对根、茎、叶、穗、总生物量的影响有极显著差异,硝态氮处理的根、茎、叶、总生物量分别高于铵态氮处理 16.74%、32.24%、38.90%、40.27%,而铵态氮处理的穗生物量高于硝态氮处理 11.87%。氮形态对根冠比和穗比重的影响有极显著差异,相比硝态氮,铵态氮显著提高了 7.59% 的根冠比和 43.75% 的穗比重。该结果表明,施氮形态影响谷子生物量累积和分配,硝态氮更有利于谷子根、茎、叶的生长,铵态氮更有利于穗的生长。

2.3 氮形态对谷子叶绿素含量和叶面积的影响

施氮处理有助于谷子叶片面积增加和叶绿素的合成,铵态氮显著提高了叶片叶绿素含量,硝态氮显著提高了叶片面积(图 2)。如表 3 所示,相比无氮与硝态氮处理,铵态氮显著提高了叶绿素 a 含量,增幅分别为 116.75% 和 173.50%,硝态氮处理与无氮处理的叶绿素 a 含量无显著差异。相比无氮与硝态氮处理,铵态氮显著提高了类胡萝卜素含量,增幅分别为 90.20% 和 86.54%,硝态氮处理与无氮处理的类胡萝卜素含量无显著差异。施氮极显著提高了叶面积,氮形态对叶面积也有显著影响,相比无氮和铵态氮,硝态氮显著提高了叶面积,增幅分别为 117.54% 和 40.27%。



图 2 不同氮形态处理下的谷子叶片

Fig.2 Leaves of foxtail millet with two nitrogen forms.

2.4 氮形态对谷子根系形态的影响

由表 4 可知,与无氮对照相比,硝态氮处理的根系总表面积增加了 58.9%,铵态氮处理的根系总表面积增加了 64.98%,施氮处理的根系总表面积与无氮处理有极显著差异;施氮处理的平均直径相较于无氮处理增加了 35.71%,差异极显著;施氮处理下的根系总体积与无氮对照差异极显著,硝态氮处理的根系总体积相较于无氮对照增

表 3 氮形态对谷子叶绿素含量和叶面积的影响

Table 3 Effect of nitrogen forms on chlorophyll content and leaf area of foxtail millet.

处理 Treatment	叶绿素 a(mg/g) Chlorophyll a(mg/g)	叶绿素 b(mg/g) Chlorophyll b(mg/g)	类胡萝卜素(mg/g) Carotenoids(mg/g)	叶面积(cm <sup>2</sup> /株) Leaf area(cm <sup>2</sup> /plant)
无氮对照 Nitrogen free	3.17±1.08 Bb	0.33±0.05 Aa	1.02±0.36 Ab	17.9±6.89 Bc
硝态氮 Nitrate nitrogen	4.00±0.54 Bb	0.30±0.02 Aa	1.04±0.47 Ab	38.94±5.14 Aa
铵态氮 Ammonium nitrogen	8.67±0.57 Aa	—	1.94±0.11 Aa	27.76±4.36 ABb

注:—表示数据缺失。同列中不同小写字母表示差异达  $P<0.05$  显著水平,不同大写字母表示差异达  $P<0.01$  极显著水平。  
Note:—indicates data missing. Different small letters in the same column following the numbers denote the significance at  $P<0.05$  level, and different capital letters following the numbers denote the significance at  $P<0.01$  level.

表 4 氮形态对谷子根系形态的影响

Table 4 Effect of nitrogen forms on root morphology of foxtail millet.

处理 Treatment	总表面积(cm <sup>2</sup> ) Surf area(cm <sup>2</sup> )	平均直径(mm) Average diam(mm)	根系总体积(cm <sup>3</sup> ) Root volume(cm <sup>3</sup> )	根尖数 Tips number
无氮对照 Nitrogen free	46.54±6.51 Bb	0.14±0.01 Bb	0.17±0.02 Bb	4 660.5±770.04 Bb
硝态氮 Nitrate nitrogen	73.95±11.57 Aa	0.19±0.01 Aa	0.36±0.07 Aa	5 859±642.52 Aa
铵态氮 Ammonium nitrogen	76.78±5.64 Aa	0.19±0.01 Aa	0.37±0.04 Aa	5 894.5±521.39 Aa

注:同列中不同小写字母表示差异达  $P<0.05$  显著水平,不同大写字母表示差异达  $P<0.01$  极显著水平。  
Note: Different small letters in the same column following the numbers denote the significance at  $P<0.05$  level, and different capital letters following the numbers denote the significance at  $P<0.01$  level.



加了 111.76%, 铵态氮处理的根系总体积相较于无氮对照增加了 111.65%; 施氮处理下的根尖数与无氮对照差异极显著, 硝态氮处理的根尖数较无氮对照增加了 25.72%, 铵态氮处理的根尖数较无氮对照增加了 26.48%。施氮形态对根系总表面积、直径、根系总体积和根尖数的影响无显著差异。

### 3 讨论

在农业生产上, 施氮是提高作物生物量累积的主要手段之一。在本研究中, 施氮后总生物量提高了 55%~118%, 施氮还提高了谷子各器官生物量累积, 增幅在 59%~186% 之间。谷子产量的高低决定于有效叶面积、净光合速率和有效时间, 施氮后促进叶绿素含量的提高和叶片面积增加, 在其他研究中也有相似的结论<sup>[24,25]</sup>。施氮还对根系的表面积、直径和根尖数等都有提高作用, 这有利于延展根系的养分吸收功能, 供给地上部物质的合成。

氮形态对谷子叶绿素 a 含量的影响存在较大差别。在本研究中, 相比硝态氮处理, 铵态氮处理的叶绿素 a 含量显著提高了 173.50%, 表明铵态氮在叶片功能构建方面发挥着重要作用。铵态氮提高叶绿素 a 含量的结论也出现在水稻的研究上<sup>[26]</sup>, 但在对烤烟的研究中, 铵态氮处理的叶绿素含量比硝态氮处理低<sup>[27]</sup>。一般来说, 同物种不同品种对氮形态的响应基本一致<sup>[28]</sup>, 这表明物种差异是引发不同叶绿素含量响应的重要因素。

有研究表明, 硝态氮累积多的植物生长良好, 生育期也得到延长<sup>[29]</sup>, 这有利于累积更多的光合产物。在本研究中, 相比铵态氮, 硝态氮处理的谷子株高和叶面积显著增加了 36% 和 40%, 这表明在植株建成方面, 硝态氮发挥重要的作用。在王小丽等<sup>[30]</sup>的研究中, 硝态氮处理对小白菜地上部分的干重和鲜重质量均最大, 可能是由于小白菜具有喜硝的特性。在本研究中难以对谷子的氮偏好简单定性, 因为硝态氮虽然促进了谷子生物量的增加, 但是叶绿素含量与无氮处理叶片无明显差别, 对光合作用无益, 铵态氮虽然有益于叶部叶绿素含量的构建和穗部的累积, 但对植株整体生物量建成无优势, 这表明谷子对不同氮形态的利用是复杂的、值得深入研究的过程。

在一些研究中, 硝态氮处理对植株根系的生长发育的促进作用比铵态氮显著<sup>[31]</sup>。本研究中没有观察到氮形态在谷子根系上差异, 可能的原因是不同物种对硝态氮确实有不同的响应, 另一个可能的原因是盆栽种植限制了根系的生长发育, 我们以后的研究将会采用更加适宜根系延展的栽培环境。综上所述, 硝态氮和铵态氮在谷子生长发育中各有作用, 硝态氮显著促进谷子株高、叶面积、生物量的提高, 铵态氮显著促进谷子叶绿素含量和穗部累积。

目前, 氮素形态对植物品质影响已有一定的进展。对小白菜进行不同氮形态处理, 铵态氮处理的小白菜的可溶性糖、游离氨基酸含量比硝态氮含量处理高, 硝态氮处理的硝酸盐、可溶性蛋白含量比铵态氮处理高<sup>[32]</sup>。对番茄进行不同氮形态处理, 硝态氮处理可提高果实维生素 C 含量及糖酸比, 提高营养品质<sup>[33]</sup>。对生菜进行不同氮形态处理, 硝态氮处理提高了菜叶总酚量<sup>[34]</sup>。也有研究表明, 硝铵混合氮源更有利于药用植物生长和品质形成。目前, 氮形态对谷子品质影响的研究尚未起步, 也缺乏对于铵硝混合氮对谷子生长作用的深入研究, 这是氮营养学亟待深化的研究课题。

### 参 考 文 献

- [1] 刁现民. 中国谷子产业与产业技术体系 [M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2011.
- [2] 张锦鹏. 谷子在干旱逆境中差异表达基因的分离与表达谱分析 [D]. 北京: 中国农业大学, 博士学位论文, 2006.  
Zhang J P. Isolation and expression analysis of differentially expressed genes in foxtail millet under drought stress [D]. Beijing: China Agricultural University, Doctoral Dissertation, 2006.
- [3] 李荫梅. 谷子育种学 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1997.
- [4] 谭万能, 李秧秧. 不同氮素形态对向日葵生长和光和功能的影响 [J]. 西北植物学报, 2005, 25(6): 1191-1194.  
Tan W N, Li Y Y. Effects of different nitrogen forms on the growth and photosynthesis of sunflower (*Helianthus annuus*) [J]. Acta Boreal. Occident. Sin., 2005, 25(6): 1191-1194.
- [5] 王海红, 束良佐, 周秀杰, 等. 局部根区水分胁迫下氮对玉米生长的影响 [J]. 核农学报, 2011, 25(1): 149-154, 168.  
Wang H H, Shu L Z, Zhou X J, et al. Effect of nitrogen on maize growth under partial root-zone water stress [J]. Acta Agric. Nucl. Sin., 2011, 25(1): 149-154, 168.
- [6] 张春, 何伟, 周冀衡, 等. 施氮形态及方式对烤烟生长及烟碱含量的影响 [J]. 湖北农业科学, 2010, 49(5): 1075-1077, 1088.

- Zhang C, He W, Zhou J H, *et al.*. Effect of growth and nicotine content of flue-cured tobacco with different fertilizer types [J]. Hubei Agric. Sci., 2010, 49(5): 1075-1077, 1088.
- [7] Caicedo J R, van Der Steen N P, Arce O, *et al.*. Effect of total ammonia nitrogen concentration and pH on growth rates of duckweed (*Spirodela polyrhiza*) [J]. Water Res., 2000, 34(15): 3829-3835.
- [8] 李永梅, 杜彩琼, 林春苗, 等. 铵态氮肥施入土壤中的转化[J]. 云南农业大学学报, 2003, 18(1): 26-29.
- Li Y M, Du C Q, Lin C M, *et al.*. The transformation of ammonium-nitrogen in the soil after fertilizer application [J]. J. Yunnan Agric. Univ., 2003, 18(1): 26-29.
- [9] Smiciklas K D, Below F E. Role of nitrogen form in determining yield of field-grown maize [J]. Crop Sci., 1992, 32(5): 1220-1225.
- [10] 胡璐, 李心清, 黄代宽, 等. 东亚干旱半干旱区域表层土壤铵态氮的地理分布[A]. 见: 中国矿物岩石地球化学学会第11届学术年会论文集[C]. 北京, 2007.
- [11] 苗艳芳, 李生秀, 扶艳艳, 等. 旱地土壤铵态氮和硝态氮累积特征及其与小麦产量的关系[J]. 应用生态学报, 2014, 25(4): 1013-1021.
- Miao Y F, Li S X, Fu Y Y, *et al.*. Characteristics of ammonium N and nitrate N accumulation in dryland soil in relation with wheat yield [J]. Chin. J. Appl. Ecol., 2014, 25(4): 1013-1021.
- [12] 邢瑶, 马兴华. 氮素形态对植物生长影响的研究进展[J]. 中国农业科技导报, 2015, 17(2): 109-117.
- Xing Y, Ma X H. Research progress on effect of nitrogen form on plant growth [J]. J. Agric. Sci. Technol., 2015, 17(2): 109-117.
- [13] 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.
- Cao C L, Li X S. Effect of N form on crop physiological characteristics and growth [J]. J. Huazhong Agric. Univ., 2004, 23(5): 581-586.
- [14] 李素梅, 施卫明. 不同氮形态对两种基因型水稻根系形态及氮吸收效率的影响[J]. 土壤, 2007, 39(4): 589-593.
- Li S M, Shi W M. Effect of nitrogen form on root [J]. Soils, 2007, 39(4): 589-593.
- [15] 张强, 徐飞, 王荣富, 等. 控制性分根交替灌溉下氮形态对番茄生长、果实产量及品质的影响[J]. 应用生态学报, 2014, 25(12): 3547-3555.
- Zhang Q, Xu F, Wang R F, *et al.*. Effects of nitrogen forms on the growth, yield and fruit quality of tomato under controlled alternate partial root zone irrigation [J]. Chin. J. Appl. Ecol., 2014, 25(12): 3547-3555.
- [16] 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.
- Pei W M, Zhang C J, Wang J A. Effect of different nitrogen forms and ratios on yield and quality of licorice [J]. Chin. Agric. Sci. Bull., 2011, 27(28): 184-187.
- [17] 郭亚芬, 米国华, 陈范骏, 等. 硝酸盐供应对玉米侧根生长的影响[J]. 植物生理与分子生物学学报, 2005, 31(1): 90-96.
- Guo Y F, Mi G H, Chen F J, *et al.*. Effect of  $\text{NO}_3^-$  supply on lateral root growth in maize plants [J]. Ann. Rev. Plant Physiol. Mol. Biol., 2005, 31(1): 90-96.
- [18] 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.
- Tang X Q, Xiao Y H, Zhao X L, *et al.*. Effect of different nitrogen forms and their proportion on biological characteristics of *isatis indigotica* fort [J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2014, 20(1): 129-138.
- [19] 周毅, 郭世伟, 沈其荣, 等. 局部根系干旱条件下分蘖期水稻对供氮形态的生物学响应[J]. 水土保持学报, 2005, 19(6): 171-175.
- Zhou Y, Guo S W, Shen Q R, *et al.*. Biological response of rice plants to N form under condition of partial root water stress at tillering stage [J]. J. Soil Water Conserv., 2005, 19(6): 171-175.
- [20] 董燕, 王正银. 尿素在土壤中的转化与植物利用效率[J]. 磷肥与复肥, 2005(2): 76-78.
- Dong Y, Wang Z Y. Conversion of urea in soil and its plant use efficiency [J]. Phos. Comp. Fert., 2005(2): 76-78.
- [21] Zooleh H H, Jahansooz M R, Yunusa I, *et al.*. Effect of alternate irrigation on root-divided foxtail millet (*Setaria italica*) [J]. Aus. J. Crop Sci., 2011, 5(2): 205-213.
- [22] Leblanc V V A, Belanger G, *et al.*. Sweet pearl millet yields and nutritive value as influenced by fertilization and harvest dates [J]. Agron. J., 2012, 104(2): 542-549.
- [23] 王学奎, 黄见良. 植物生理生化实验原理与技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2015.
- [24] 曹翠玲, 李生秀. 氮素形态对小麦中后期的生理效应[J]. 作物学报, 2003, 29(2): 258-262.
- Cao C L, Li S X. Effects of N form on some physiological characteristics and yield of wheat during the vegetative and reproductive growth stage [J]. Acta Agron. Sin., 2003, 29(2): 258-262.
- [25] 姜琳琳, 韩立思, 韩晓日, 等. 氮素对玉米幼苗生长、根系形态及氮素吸收利用效率的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2011, 17(1): 247-253.
- Jiang L L, Han L S, Han X R, *et al.*. Effects of nitrogen on growth, root morphological traits, nitrogen uptake and utilization efficiency of maize seedlings [J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2011, 17(1): 247-253.
- [26] 杜洪艳, 白寅, 柏彦超, 等. NaCl胁迫下氮形态对水稻幼苗营养的影响[J]. 江西农业学报, 2008, 20(7): 7-9.
- Du H Y, Bai Y, Bai Y C, *et al.*. Effects of N form on nutrition of rice seedling under NaCl stress [J]. Acta Agric. Jiangxi, 2008, 20(7): 7-9.
- [27] 郭培国, 陈建军, 郑燕玲. 氮素形态对烤烟光合特性影响的研究[J]. 植物学通报, 1999, 16(3): 262-267.
- Guo P G, Chen J J, Zheng Y L. Study on the effects of nitrogen forms on photosynthetic characteristics in flue-cured tobacco [J]. Chin. Bull. Bot., 1999, 16(3): 262-267.
- [28] 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(S1): 425-428.
- Yu Y, Yang Q C, Liu W K. Spectral absorbance, yield and

- quality responses of three leaf-color lettuces to various nitrogen forms supply [J]. *Acta Agric. Boreali-Sin.*, 2015 (S1): 425-428.
- [29] Li S X, Wang Z H, Hu T T, *et al.*. Nitrogen in dryland soils of China and its management [J]. *Adv. Agron.*, 2009, 101 (8): 123-181.
- [30] 王小丽, 杨丹妮, 黄丹枫. 氮素形态对小白菜生长和碳氮积累的影响[J]. *应用生态学报*, 2012, 23(4): 1042-1048.  
Wang X L, Yang D N, Huang D F. Effects of different applied nitrogen forms on pakchoi (*Brassica chinensis*) growth and its carbon and nitrogen accumulation [J]. *Chin. J. Appl. Ecol.*, 2012, 23(4): 1042-1048.
- [31] 赵学强, 施卫明. 水稻根系生长对不同氮形态响应的动态变化[J]. *土壤*, 2007, 39(5): 766-771.  
Zhao X Q, Shi W M. Dynamic Responses of rice in root growth to different  $\text{NH}_4^+$  and  $\text{NO}_3^-$  supply [J]. *Soils*, 2007, 39(5): 766-771.
- [32] 马庆旭, 吴良欢, 曹小闯, 等. 营养液 pH 和氮形态对小白菜生长、氮素吸收及品质的影响[J]. *水土保持学报*, 2015, 29(6): 64-68.  
Ma Q X, Wu L H, Cao X C, *et al.*. Effects of pH and nitrogen forms of hydroponic nutrient solution on the growth, nitrogen absorption and edible quality of pakchoi (*Brassica chinensis* L.) [J]. *J. Soil Water Conser.*, 2015, 29(6): 64-68.
- [33] 张强, 徐飞, 王荣富, 等. 控制性分根交替灌溉下氮形态对番茄生长、果实产量及品质的影响[J]. *应用生态学报*, 2014, 25(12): 3547-3555.  
Zhang Q, Xu F, Wang R F, *et al.*. Effects of nitrogen forms on the growth, yield and fruit quality of tomato under controlled alternate partial root zone irrigation [J]. *Chin. J. Appl. Ecol.*, 2014, 25(12): 3547-3555.
- [34] 张迪迪, 张亚玉. 氮形态对药用植物生长及品质影响的研究进展[J]. *中药材*, 2016, 39, (3): 696-698.  
Zhang D D, Zhang Y Y. Effects of nitrogen forms on the growth and quality of medicinal plants [J]. *J. Chin. Med. Mater.*, 2016, 39(3): 696-698.
- [35] 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, 30 (S1): 425-428.  
Yu Y, Yang Q C, Liu W K. Spectral absorbance, yield and quality responses of three leaf-color lettuces to various nitrogen forms supply [J]. *Acta Agric. Boreali-sin.*, 2015, 30 (S1): 425-428.

(责任编辑:温小杰)

## 欢迎订阅 2018 年 *Journal of Integrative Agriculture* (JIA)

《农业科学学报》(*Journal of Integrative Agriculture*, JIA)由农业部主管、中国农业科学院与中国农学会共同主办,是综合性英文学术期刊,月刊。JIA 前身为 2002 年创刊的《中国农业科学》英文版(*Agricultural Sciences in China*, ASC),2012 年更名为 JIA。JIA 2006 年起与 Elsevier 合作,全文数据在 ScienceDirect 平台面向世界发行;2009 年被 SCI 收录,最新影响因子为 1.042,位于 JCR 农业综合类 Q2 区前列位次。JIA 是中国科技核心期刊;连续 5 年获得“中国最具国际影响力学术期刊”称号;2016 年入选中国科协“中国科技期刊国际影响力提升计划”及“中国科技期刊登峰行动计划”项目,是我国农业领域领衔学术期刊,并具有较高国际影响力。

JIA 大 16 开,每月 20 日出版,国内外公开发刊。

每期 180 页,国内订价 80.00 元,全年 960.00 元。国内统一连续出版物号:CN 10-1039/S,国际标准连续出版物号:ISSN 2095-3119,邮发代号:2-851,国外代号:1591M。

全国各地邮局均可订阅,也可直接向编辑部订购。

地址:北京中关村南大街 12 号《中国农业科学》编辑部

邮编:100081

电话:010-82109808

传真:010-82106247

网址:www.ChinaAgriSci.com

E-mail: zgnykx@caas.cn

联系人:林鉴非