

# 不同形态氮素配施对娃娃菜根系及氮素代谢相关酶活性的影响

杨兵丽,郁继华,张国斌\*,周箬涵,胡琳莉,薛 娟,王 博  
(甘肃农业大学 园艺学院,甘肃 兰州 730070)

**摘要:** 设置 10:0、7:3、5:5、3:7、0:10 的硝铵比,100% 尿素处理,当地施肥和不施肥处理,分析不同氮素形态配施对娃娃菜根系及氮素代谢相关酶活性的影响,以期为探明娃娃菜氮素营养的调控机制及提高氮素营养的利用效率提供理论依据。结果表明,全部施硝态氮时地上部干物质积累量最大,随着铵态氮比例增加地上部干物质积累量总体降低;硝铵比在(10:0)~(5:5)时娃娃菜地下部干质量较大,以硝铵等比配施时最大。硝铵比 3:7 时的总根长、根系总表面积和根尖数高于其他处理,说明硝铵比 3:7 时植株能更好地吸收土壤中的养分,也更有利于侧根的发生;硝铵比 5:5 处理的根系总体积和平均直径大于其他处理,但根尖数最少,根系生长最健壮。硝铵比在(10:0)~(5:5)时,氮素代谢关键酶活性、游离氨基酸含量较高,更有利于氮素的代谢利用。

**关键词:** 氮素配施;娃娃菜;硝酸还原酶;谷氨酰胺合成酶;转氨酶

**中图分类号:** S143.1;S634.1      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1004-3268(2015)09-0036-04

## Effects of Combined Application of Different Forms of Nitrogen on Root and Nitrogen Metabolizing Enzymes Activity of Mini Chinese Cabbage

YANG Bingli, YU Jihua, ZHANG Guobin\*, ZHOU Ruohan, HU Linli, XUE Juan, WANG Bo  
(College of Horticulture, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China)

**Abstract:** The treatments, 10:0, 7:3, 5:5, 3:7, 0:10 of nitrate ammonium ratios, 100% urea treatment, local fertilization and blank as control were designed to investigate the effects of combined application of different forms of nitrogen on root and activities of enzymes related to nitrogen metabolism in Mini Chinese cabbage (*Brassica pekinensis*). The results showed that plants treated with only nitrate had maximum accumulation of shoot dry matter, and the accumulation of shoot dry matter reduced with the increase of the proportion of ammonium nitrogen. The root dry matter of plants fertilized with nitrate nitrogen: ammonium nitrogen of 5:5 reached the highest, and that of (10:0)—(5:5) reached higher. Total root length, root surface area and root tips number of plants treated with nitrate nitrogen: ammonium nitrogen of 3:7 were higher than those of plants under other treatments, indicating that plants treated with nitrate nitrogen: ammonium nitrogen of 3:7 had more lateral root and easily absorbed more water and nutrients. The root volume and average diameter of plants treated with nitrate nitrogen: ammonium nitrogen of 5:5 were greater than those of plants under other treatments, indicating that the growth of root was rather robust, although

收稿日期:2015-02-10  
基金项目:国家自然科学基金(31260473);国家大宗蔬菜产业技术体系项目(CARS-25-C-07);甘肃省自然科学基金(145RJZA201)  
作者简介:杨兵丽(1989-),女,甘肃天水人,在读硕士研究生,研究方向:蔬菜生理与栽培技术。  
E-mail:892756428@qq.com  
\* 通讯作者:张国斌(1977-),男,甘肃武威人,副教授,博士,主要从事蔬菜栽培生理及设施作物栽培方面的研究。  
E-mail:zhanggb@gsau.edu.cn

the number of root tip was the minimum under this treatment. When the nitrate nitrogen: ammonium nitrogen ranged from (10:0)—(5:5), free amino acids and activities of key enzymes involved in nitrogen metabolism were higher, so it was more beneficial for plant nitrogen metabolism.

**Key words:** combined application of nitrogen; Mini Chinese cabbage; nitrate reductase; glutamine synthetase; transaminase

氮素在植物生长发育和品质形成中具有重要作用,大部分作物生长于好气土壤条件下,在生长发育过程中,作物吸收的氮素都以硝态氮为主<sup>[1]</sup>。氮肥的生产和应用有力地促进了农业生产,但同时也带来许多弊端,因施硝态氮植物体内亚硝酸盐积累过高,这会对人体健康造成威胁<sup>[2]</sup>。将铵态氮与硝态氮配合施用成为解决这个问题的一個途径。近年来,一些学者也做了相关研究,但大部分集中于其对作物生长、养分利用、光合特性、产量和品质的影响方面<sup>[3-5]</sup>,对根系和氮素代谢酶活性的影响方面鲜见报道。我国东南沿海地区夏秋季气候炎热,不利于蔬菜生产,导致这些地区 6—9 月蔬菜供需矛盾突出,高原夏菜是利用高原夏季凉爽、日照充足、昼夜温差大等气候特点,在高海拔灌溉农业区生产的优质蔬菜,可满足东南沿海城市 6—9 月的淡季蔬菜需求<sup>[6]</sup>。娃娃菜 (*Brassica pekinensis*) 是国内广泛种植的高原夏菜之一,近些年来,国内外很多学者开展了娃娃菜栽培管理等研究,但主要集中在无公害和优质栽培技术<sup>[7-8]</sup>、病虫害的发生与综合防治<sup>[9-10]</sup>、品种的引进与选育<sup>[11-12]</sup>等方面,而关于氮素营养的形态对娃娃菜根系和氮素代谢酶的影响尚不可知。为此,探讨了不同氮素形态配施对娃娃菜根系、游离氨基酸含量和氮素代谢关键酶活性的影响,以期为探明娃娃菜氮素营养的调控机制及提高氮素营养的利用效率提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 研究区概况

试验于 2014 年 3 月在兰州市榆中县三角城乡化家营村 (104°12'E, 35°85'N) 进行。试验地土壤为壤土,地势平坦,地力中等、均匀。该地区平均海拔 1 717 m,年均气温 6.57 ℃,年降雨量 400 mm 以上,无霜期 150 d 左右。试验地耕层 (0~20 cm) 土壤含全氮 1.2 g/kg、全磷 6.4 g/kg、全钾 27.75 g/kg、速效磷 31.69 mg/kg、速效钾 179.3 mg/kg, pH 值为 8.03,电导率为 240 μS/cm。

1.2 试验设计

试验共设 8 个处理 (表 1),小区面积为 24 m<sup>2</sup>,3 次重复,随机区组排列。供试娃娃菜为金城夏黄。3

月初育苗,4 月下旬定植,同年 7 月中旬完成大田试验。采用一垄双行半膜栽培模式,垄宽 50 cm,沟宽 40 cm,株距 25 cm;根据当地施肥习惯,磷肥 (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 143.9 kg/hm<sup>2</sup>)、钾肥 (K<sub>2</sub>O 149.9 kg/hm<sup>2</sup>) 作底肥一次施入,氮肥 (纯氮 275.8 kg/hm<sup>2</sup>) 总量的 30% 作为底肥,35% 于莲座期追施,35% 于结球初期追施,整个生育期浇水和病虫害防治等管理措施一致。

表 1 不同形态氮素配施处理及用量

处理	氮素形态配比	肥料用量
CK1		不施肥
T1	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> - N: NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> - N = 10:0	硝酸钾 2 121 kg/hm <sup>2</sup>
T2	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> - N: NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> - N = 7:3	硝酸钾 1 485 kg/hm <sup>2</sup> + 碳 酸氢铵 481 kg/hm <sup>2</sup>
T3	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> - N: NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> - N = 5:5	硝酸钾 1 060 kg/hm <sup>2</sup> + 碳 酸氢铵 801 kg/hm <sup>2</sup>
T4	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> - N: NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> - N = 3:7	硝酸钾 636 kg/hm <sup>2</sup> + 碳酸 氢铵 1 122 kg/hm <sup>2</sup>
T5	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> - N: NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> - N = 0:10	碳酸氢铵 1 603 kg/hm <sup>2</sup>
T6	CO (NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> - N	尿素 600 kg/hm <sup>2</sup>
CK2	当地施肥 (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> - N)	复合肥 600 kg/hm <sup>2</sup> + 磷酸 二胺 974 kg/hm <sup>2</sup>

注:除 CK1 外各处理施总 N、P、K 量相等,用硫酸钾平衡了各处理间的钾肥差异。

1.3 测定项目及方法

1.3.1 生物量 于莲座期,每个处理取 9 株娃娃菜,称量植株地上部分和根的干、鲜质量,操作时保证根的完整。

1.3.2 根系活力 用 TTC 法测定根系活力<sup>[13]</sup>。

1.3.3 根系性状 于莲座期,每个处理取 9 株娃娃菜,用根系扫描仪 Epson Perfection 4990 PHOTO 扫描根系,采用根系形态学和结构分析应用系统 WinRHIZO 分析总根长、总表面积、总体积、平均直径、根尖数 (主根、侧根与不定根数)。

1.3.4 游离氨基酸含量 用水合茚三酮法测定娃娃菜游离氨基酸含量<sup>[14]</sup>。

1.3.5 氮素代谢相关酶活性 参照邹琦<sup>[15]</sup>的方法测定硝酸还原酶 (NR) 和谷氨酰胺合成酶 (GS) 的活性,参照吴良欢等<sup>[16]</sup>的方法测定谷氨酸草酰乙酸转氨酶 (GOT) 和谷氨酸丙酮酸转氨酶 (GPT) 的活性。

1.4 数据分析

试验数据运用 Excel 2010 作图,运用 SPSS 17.0

分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同氮素形态配施对娃娃菜根系质量及活力的影响

由表 2 可以看出,T1、T2、T3 处理地上部干质量高于 T4、T5、T6 处理,即铵硝比超过 50% 时地上部干物质积累量降低;T3 处理的根干质量与其他处理有显著差异,分别比全硝态氮处理 T1、全铵态氮处理 T5 高 80%、93%,其他处理间差异不显著,说明铵硝等比配施更有利于根系干物质的积累。T1 处理根冠比较其他处理都低,生长旺盛;T3 处理根干质量最大,根冠比也最大,说明根系与地上部分处于生长的平衡状态。根系活力 CK1 最低,其余各处理之间差异不显著,以 T2 处理最高,说明不同氮素形态的配施对娃娃菜根系活力影响不显著。

表 2 不同氮素形态配施对娃娃菜根系质量及活性的影响

处理	地上部分干质量/(g/株)	根干质量/(g/株)	根冠比	根系活力/[ $\mu\text{g}/(\text{g}\cdot\text{h})$ ]
CK1	7.730cd	0.510b	0.066b	2 662.79b
T1	10.193a	0.450b	0.045b	2 737.07ab
T2	9.240abc	0.477b	0.052b	2 819.30a
T3	9.563ab	0.810a	0.087a	2 769.14ab
T4	7.293d	0.450b	0.064b	2 760.57ab
T5	8.143bcd	0.387b	0.048b	2 798.98a
T6	7.943bcd	0.387b	0.049b	2 724.06ab
CK2	9.660ab	0.443b	0.047b	2 814.22a

注:同列数据后不同小写字母表示处理间差异显著( $P<0.05$ ),下同。

### 2.2 不同氮素形态配施对娃娃菜根系形态的影响

如表 3 所示,CK1、T1 处理的总根长虽大,但根系总体积和平均直径较小,说明侧根与不定根数量多,但不健壮;根系总表面积与根系总体积变化不一致,说明根系总表面积除了与根系总体积有关外还与根系总数有关;T4 处理的总根长、根系总表面积和根尖数总体上均较大,根系总表面积分别比 T1、T5 处理高 39%、47%,说明相比单独施硝态氮或铵态氮处理,T4 处理的植株能更好地吸收土壤中的养分,

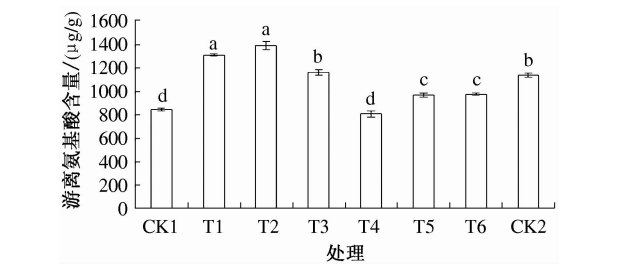
表 3 不同氮素形态配施对娃娃菜根系形态的影响

处理	总根长/cm	总表面积/ $\text{cm}^2$	总体积/ $\text{cm}^3$	平均直径/mm	根尖数/个
CK1	817.99ab	101.41b	1.01c	0.39b	4 201.00ab
T1	864.15ab	112.84b	1.17c	0.42ab	4 926.66ab
T2	679.69b	103.63b	1.26abc	0.49ab	3 663.00b
T3	638.31b	113.73b	1.66a	0.58a	3 283.66b
T4	1 231.86a	156.92a	1.63ab	0.42ab	7 319.33a
T5	722.47b	106.45b	1.29abc	0.50ab	5 115.33ab
T6	765.77b	113.05b	1.36abc	0.49ab	4 187.00ab
CK2	701.33b	104.45b	1.25bc	0.47ab	3 511.66b

T3 处理的根系总体积和平均直径大于其他处理,但根尖数最少,说明 T3 处理的植株虽然根总数少但根系生长最健壮,这也能从表 2 看出,T3 处理的植株根干质量和根冠比最大,根系积累干物质较多。

### 2.3 不同氮素形态配施对娃娃菜体内游离氨基酸含量的影响

由图 1 可知,在所有处理中,T2 处理游离氨基酸含量最高,其次是 T1、T3 处理,T2 处理游离氨基酸含量除与 T1 处理无显著差异外,与其他处理差异均达到显著水平,分别较 T1、T3、T4、T5 处理提高 6.2%、19.6%、72.2%、43.6%,说明当硝铵比介于(10:0)~(5:5)时,相比其他配施处理更有利于游离氨基酸的积累;T4 处理低于 CK1,可能是氮素向游离氨基酸转化受到抑制,也有可能是游离氨基酸向其他物质转化更快所致;T1 处理游离氨基酸含量比 T5 处理显著提高 35.2%,说明与全部施铵态氮处理相比,全部施用硝态氮处理更有利于娃娃菜体内游离氨基酸的积累。



不同小写字母表示处理间差异显著( $P<0.05$ )

图 1 不同氮素形态配施对娃娃菜体内游离氨基酸含量的影响

### 2.4 不同氮素形态配施对娃娃菜体内氮素代谢相关酶活性的影响

植物吸收硝态氮以后,通过 NR 和亚硝酸还原酶(NiR)催化后生成  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NH}_4^+$  在 GS 和谷氨酸合成酶(GOGAT)的作用下形成谷氨酸,谷氨酸再在转氨酶的作用下同化为其他氨基酸,谷氨酸与草酰乙酸在 GOT 的作用下生成天冬氨酸,谷氨酸还可以在 GPT 作用下生成丙氨酸<sup>[1]</sup>。由表 4 可知,T2 处理 NR 活性最高,T3 处理次之,T2 处理与除 T3 处理外的其他处理差异显著;GS 活性随着硝态氮比例的增加而增大,全硝态氮处理 T1 最大;T2 处理 GOT 活性最大,显著高于其他处理,T3 处理次之;GPT 活性在各处理间差异较小。总体来看,当硝铵比介于(10:0)~(5:5)时,NR、GS、GOT 活性较高。

由表 5 可知,游离氨基酸含量与 NR、GS、GOT 活性显著相关,说明 NR、GS、GOT 活性越高,游离氨基酸含量越高。其中,与 NR 活性相关性最高,达

0.879;与 GS 活性次之,达 0.832。

表 4 不同氮素形态配施对娃娃菜氮素代谢关键酶的影响

处理	NR/ [μg/(g·h)]	GS/ [μg/(g·h)]	GOT/ [μmol/(g·h)]	GPT/ [μmol/(g·h)]
CK1	38.41c	10.73f	54.90g	49.72d
T1	50.88b	41.36a	56.58c	49.92cd
T2	59.09a	30.49b	57.10a	50.68abc
T3	52.22ab	24.81bc	56.80b	51.52ab
T4	38.76c	18.68de	56.04e	52.10a
T5	32.87c	14.70ef	56.12e	50.58bed
T6	37.13c	23.10cd	55.70f	50.38bed
CK2	49.49b	23.37cd	56.34d	51.46ab

表 5 游离氨基酸含量与氮代谢相关酶活性的相关性				
项目	NR	GS	GOT	GPT
游离氨基酸	0.879*	0.832*	0.821*	0.096

注：\* 表示在 0.05 水平显著相关。

### 3 结论与讨论

铵态氮和硝态氮是植物能直接吸收的 2 种主要氮源,但植物对二者的吸收、运输、储藏和同化等方面存在很大差异,这必然会影响到植物的其他生理过程和生长发育<sup>[2]</sup>。本研究结果表明,全部施硝态氮时地上部干物质积累量最大,随着铵态氮比例增加地上部分干物质积累量总体降低;而硝铵等比配施时娃娃菜根干质量最大,说明铵硝等比配施更有利于根系干物质的积累;从娃娃菜的根冠比得出,硝铵比在 5:5 时植株生长更旺盛。

目前,关于硝态氮和铵态氮对植物根系的影响研究未得出统一明确的结论。有研究表明,随着拟南芥根际硝酸盐浓度的提高,侧根生长茂盛,长度增加<sup>[17]</sup>;也有研究表明,高浓度硝酸盐抑制侧根的生长,低浓度促进根的增殖<sup>[18]</sup>。本研究结果表明,硝铵比 3:7 时娃娃菜总根长、根系总表面积和根尖数高于其他处理,说明硝铵比 3:7 时植株能更好地吸收土壤中的养分,也更有利于侧根的发生;硝铵比 5:5 时根系总体积和平均直径大于其他处理,但根尖数最少,说明硝铵比 5:5 时虽然根总数少但根系生长最健壮,植株根干质量和根冠比最大,根系积累干物质更多。

另外,本研究发现,当硝铵比介于(10:0)~(5:5)时,相比其他配施处理更有利于游离氨基酸的积累;游离氨基酸含量与 NR、GS、GOT 活性的相关性均达到显著水平,分别高达 0.879、0.832、0.821。上述结果说明,硝铵比在(10:0)~(5:5)

时氮素代谢关键酶活性较高,游离氨基酸含量较高,更有利于氮素的代谢。

#### 参考文献：

[1] 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.

[2] 曹翠玲,苗芳. 氮素对植物某些生理生化过程影响的研究进展[J]. 西北农业大学学报,1999,27(4):96-101.

[3] 张春兰,高祖明,张耀栋,等. 氮素形态和 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 与 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 配比对菠菜生长和品质的影响[J]. 南京农业大学学报,1990,13(3):70-74.

[4] 武新岩,郭建华,方正,等. 不同氮素形态对黄瓜光合作用及果实品质的影响[J]. 华北农学报,2011,26(2):223-227.

[5] 陈巍,罗金葵,姜慧梅,等. 不同形态氮素比例对不同小白菜品种生物量和硝酸盐含量的影响[J]. 土壤学报,2004,41(3):420-425.

[6] 张凯,张玉鑫,陈年来,等. 甘肃省高原夏菜种植气候区划[J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版,2012,40(5):179-185.

[7] 蒋红英. 娃娃菜农残消降组合方法及对品质的影响[J]. 食品与发酵工业,2011,37(4):92-96.

[8] 滕汉玮. 兰州高寒阴湿区娃娃菜栽培技术[J]. 甘肃农业科技,2008(2):58-59.

[9] 湛长菊. 娃娃菜的特征特性及高产栽培技术[J]. 现代农业科技,2008(19):63,65.

[10] 宋学栋. 娃娃菜无公害栽培技术[J]. 甘肃农业,2004(9):110-111.

[11] 张晓梅,严湘萍. 高寒地区娃娃菜品种引种比较试验初报[J]. 长江蔬菜,2009(2):46-47.

[12] 羊晓琴. 适宜兰州地区种植的娃娃菜新品种[J]. 西北园艺,2005(11):34.

[13] 高俊凤. 植物生理学实验技术[M]. 西安:世界图书出版公司,2000.

[14] 李合生. 植物生理生化实验原理与技术[M]. 北京:高等教育出版社,2006.

[15] 邹琦. 植物生理学实验指导[M]. 北京:中国农业出版社,2000.

[16] 吴良欢,蒋式洪,陶勤南. 植物转氨酶(GOT 和 GPT) 活度比色测定方法及其应用[J]. 土壤通报,1998,29(3):136-138.

[17] 张林. 硝酸盐供应对拟南芥侧根发展的影响[J]. 浙江农业科学,2007(1):12-15.

[18] 胡延章,胡宗利,屈霄霄,等. 氮素供应对植物根系生长发育的影响[J]. 生命的化学,2009,29(3):391-394.