

不同硝铵比下钼对小白菜产量和品质的影响

朱伟堃 胡承孝 谭启玲 聂兆君 汤亚芳 孙学成

华中农业大学微量元素研究中心, 武汉 430070

摘要 采用营养液培养试验研究不同硝铵比下钼对硝酸盐高、低积累小白菜品种产量和品质的影响。结果表明,硝铵比、品种和钼处理均对各指标有极显著的影响;除可溶性蛋白含量外,硝铵比和钼互作对其他各指标也均有显著的影响。随着营养液中硝铵比的降低,小白菜产量和硝酸盐含量呈显著降低趋势,钼含量也有所降低,而Vc、可溶性糖、游离氨基酸和可溶性蛋白含量呈增加的趋势。各硝铵比处理下,施钼均能够促进小白菜生长,提高其产量,且在硝铵比100/0(全 NO_3^- -N,无 NH_4^+ -N)和50/50(NO_3^- -N和 NH_4^+ -N含量比例为1:1)处理达显著水平;各硝铵比处理下,施钼均可显著提高钼含量;硝铵比100/0和50/50处理中,施钼均提高了小白菜Vc、可溶性糖、游离氨基酸和可溶性蛋白含量,尤其在硝铵比100/0处理中除L18可溶性蛋白含量外均达显著水平;施钼显著降低硝铵比100/0处理中硝酸盐含量,而在10/90(NO_3^- -N和 NH_4^+ -N含量比例为1:9)处理中则无显著影响。施钼能够一定程度地协调不同硝铵比下小白菜高产和优质的矛盾。

关键词 小白菜; 硝铵比; 钼; 产量; 硝酸盐; 品质

中图分类号 S 634.3 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2015)04-0044-07

钼是植物必需的营养元素之一^[1],对植物生长的影响与其是硝酸还原酶(NR)、黄嘌呤脱氢酶(XDH)、醛氧化酶(AO)等含钼酶的重要组分有关^[2]。施钼不仅能够促进蔬菜生长还可改善其营养品质^[3]。研究表明,施用钼肥能够提高作物体内可溶性糖^[4]、抗坏血酸^[5]、可溶性蛋白^[6]、游离氨基酸总量^[6]和钼含量^[7];显著降低硝酸盐含量,且施钼水平越高,降低作用越明显^[3]。 NO_3^- -N和 NH_4^+ -N是植物吸收利用的主要氮素形态^[8]。研究表明,单纯施用硝态氮肥在提高蔬菜产量的同时,也使得蔬菜中累积大量的硝酸盐^[9]。还有研究表明,随着铵态氮肥施用量的增加,蔬菜中硝酸盐累积量虽呈显著下降趋势,产量及一些品质指标如Vc却较全硝处理有所降低^[10]。因此,不同硝铵比处理下,如何协调蔬菜产量和品质间的矛盾是生产实践中值得重视的问题。有关营养液培养条件下钼能够降低蔬菜硝酸盐积累的研究,多以硝态氮(霍格兰营养液-全硝配方)^[11]或大部分硝态氮(日本园试配方)^[12-13]为氮源,存在一定的局限性。硝酸盐含量是评价蔬菜可食用部位安全性的重要指标,其对人类健康存在极大的潜在威胁^[14]。因此,本试验以硝酸盐高、低

积累小白菜品种为材料,分析不同硝铵比下钼对蔬菜产量、Vc等品质指标的影响,旨在更为全面地探讨钼对蔬菜中硝酸盐积累的作用,为钼协调小白菜产量与品质间的矛盾提供理论依据,也为不同硝铵比下钼能够提高小白菜的食用安全性提供技术支持。

1 材料与方法

1.1 试验材料

笔者所在课题组前期筛选的硝酸盐高低积累小白菜(*Brassica rapa chinensis*)品种,H96(硝酸盐高积累品种)和L18(硝酸盐低积累品种)。

1.2 试验设计

采用营养液培养试验,于华中农业大学微量元素研究中心盆栽场进行培养。大量元素采用改良霍格兰营养液为基础配方,各处理中N、P、K、Ca、Mg含量一致,分别为15、1、6、5、2 mmol/L;微量元素采用阿农(Arnon,1938)营养液稀释1 000倍使用,营养液中均加入7 $\mu\text{mol/L}$ 的硝化抑制剂双氰胺(DCD),防止 NH_4^+ 的硝化作用,营养液pH控制为 6.0 ± 0.2 。试验设-Mo(0 $\mu\text{mol/L}$)和+Mo(0.1

收稿日期: 2014-02-22

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2014BAD14B02)

朱伟堃,硕士研究生. 研究方向: 植物营养与农产品安全. E-mail: wkz2011@126.com

通信作者: 孙学成,博士,副教授. 研究方向: 植物微量元素机理. E-mail: sxccn@mail.hzau.edu.cn

$\mu\text{mol/L}$ 2个钼水平, 100/0(全 NO_3^- -N, 无 NH_4^+ -N)、50/50(NO_3^- -N 和 NH_4^+ -N 含量比例为 1:1)和 10/90(NO_3^- -N 和 NH_4^+ -N 含量比例为 1:9)3个硝铵比(N水平 15 mmol/L), 2个小白菜品种, 共 12个处理, 每处理 3个重复。

试验所用器皿均用 2 mol/L HCl 浸泡 48 h, 依次用自来水和去离子水冲洗干净。试验于 2013 年 3 月 7 日育苗, 种子先于 30 °C 恒温催芽, 待全部露白后播于衬有纱布的塑料盘中, 2013 年 3 月 13 日移苗于塑料盒(56 cm×38 cm×8 cm)中, 每盒定植 30 株。营养液均用去离子水配制, 所用试剂纯度均为分析纯, 每 4 d 更换 1 次营养液, 每盒装营养液 8 L, 于 2013 年 4 月 10 日取样。

1.3 分析方法

取样后立即清洗、测产后, 一部分样品 105 °C 杀青 30 min 后, 于 70 °C 烘干, 测定干物质质量并用催化极谱法测定植株钼含量^[15]; 另一部分样品及时放入 -20 °C 冰箱中, 测定相应的指标。Vc 采用二联吡啶比色法测定^[16]; 硝酸盐采用硫酸-水杨酸比色法测定, 可溶性糖采用蒽酮比色法测定, 游离氨基酸总量采用茚三酮比色法测定, 可溶性蛋白采用考马斯亮蓝比色法测定^[17]。取样时, 各处理小白菜均分为叶片和叶柄 2 个部分, 为求称样均匀, 叶片和叶柄分别进行各项指标的测定, 文中地上部各指标含量均为叶片和叶柄含量的加权平均值。

1.4 数据处理

地上部钼累积量=地上部钼含量×单株地上部干物质质量。用 Excel 2003 进行数据处理, DPS 7.05 进行方差分析, Sigmaplot 10.0 绘图。

2 结果与分析

2.1 不同硝铵比下钼对小白菜产量和地上部钼含量的影响

硝铵比、品种及施钼对 2 个小白菜品种单株地上部鲜质量和单株地上部干物质质量均有显著的影响(表 1)。与 100/0 各处理相比, 50/50 和 10/90 中 2 个小白菜品种单株地上部鲜质量和单株地上部干物质质量均呈下降趋势, 且单株地上部鲜质量达显著水平, 说明铵的施入抑制了小白菜的生长及干物质的累积。硝铵比和钼互作对 2 个小白菜品种单株地上部鲜质量和单株地上部干物质质量有显著的影响, 说明钼的作用受到硝铵比的影响; 各硝铵比处理下, 施钼均能够提高 2 个小白菜品种单株地上部鲜

质量和单株地上部干物质质量, 但仅在 100/0 和 50/50 处理中达显著水平, 说明在一定硝铵比范围内, 施钼才能够促进小白菜生长, 提高其产量, 在一定程度上缓解铵态氮含量过高造成的减产现象。各处理中, L18 单株地上部鲜质量和单株地上部干物质质量均高于 H96, 50/50 缺钼处理中 L18 比 H96 的单株地上部鲜质量高 50.42%, 50/50 施钼处理中 L18 比 H96 的产量高 31.63%, 即施钼能够缩小 2 个小白菜品种间产量的差异。

试验结果表明, 硝铵比、品种和施钼处理对地上部钼含量和钼累积量的影响均是极显著的; 两因素间及三因素间的互作对地上部钼含量和钼累积量的影响也是极显著的(表 1), 说明各处理下小白菜地上部钼含量和钼累积量的差异是三者共同作用的结果。各硝铵比处理下, 施钼均能够显著增加小白菜的钼含量和钼累积量。缺钼条件下, 随着营养液中硝铵比的降低, 小白菜钼含量和钼累积量无明显变化; 施钼条件下, 2 个小白菜品种钼含量和钼累积量则均呈先显著增加后显著下降的趋势, 说明适量的铵态氮施入有利于钼的累积(即 50/50 处理中铵与钼互作对钼含量和累积量表现为协同作用), 而过量铵的施入则不利于钼的累积。100/0 和 50/50 处理中, L18 地上部钼含量均高于 H96, 且在施钼时达显著水平, 说明 2 个小白菜品种钼含量和累积量存在差异, 且差异显著与否受到了硝铵比的影响。

2.2 不同硝铵比下钼对小白菜地上部硝酸盐累积的影响

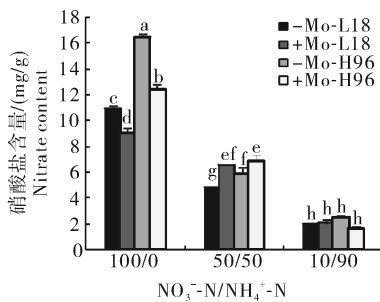
由图 1 可知, 硝铵比、品种和施钼处理及两两因素互作对 2 个小白菜品种硝酸盐含量的影响均是极显著的, 三因素互作则不显著。随着营养液中硝铵比的降低, 2 个小白菜品种硝酸盐含量均显著下降, 说明硝铵比能够显著影响小白菜的硝酸盐含量。100/0 处理中, 施钼降低了 2 个小白菜品种地上部硝酸盐的含量且达显著水平, 其中 L18 和 H96 的下降幅度分别为 16.41% 和 24.09%(图 1); 50/50 处理中, 施钼显著增加了 2 个小白菜品种硝酸盐的含量; 而 10/90 处理中, 钼对 2 个小白菜品种硝酸盐含量则无显著影响。说明虽然钼能够显著影响小白菜硝酸盐含量, 但其影响效果受硝铵比的影响。除 10/90 施钼处理外, 其他各处理中 H96 硝酸盐含量均高于 L18, 说明 2 个小白菜品种间硝酸盐含量存在一定的差异。100/0 缺钼处理中, L18 硝酸盐含量比 H96 低 51.37%; 100/0 施钼处理中, L18 硝酸

表 1 不同硝铵比下钼对小白菜产量和地上部钼含量的影响¹⁾Table 1 Effects of Mo application on fresh weight and shoot Mo content of Chinese cabbage under different ratios of NO_3^- -N to NH_4^+ -N

硝铵比 NO_3^- -N/ NH_4^+ -N	品种 Cultivars	处理 Treatments	单株地上部 鲜质量/g Fresh weight	单株地上部 干质量/g Dry weight	地上部钼含量/ ($\mu\text{g/g}$) Mo content	单株地上部 钼累积量/ μg Mo accumulation
100/0	L18	-Mo	17.35±0.93 b	0.57±0.04 bc	0.157±0.008 e	0.077±0.015 f
		+Mo	19.44±0.33 a	0.70±0.02 a	3.819±0.134 b	2.669±0.139 b
	H96	-Mo	10.83±0.07 e	0.38±0.03 d	0.066±0.009 e	0.026±0.004 f
		+Mo	13.27±0.27 d	0.57±0.05 bc	2.230±0.039 d	1.341±0.181 d
50/50	L18	-Mo	15.45±0.44 c	0.53±0.02 bc	0.054±0.010 e	0.029±0.004 f
		+Mo	17.42±0.54 b	0.60±0.01 b	5.101±0.216 a	3.045±0.034 a
	H96	-Mo	7.66±0.44 f	0.29±0.05 d	0.045±0.010 e	0.014±0.004 f
		+Mo	11.91±1.24 de	0.51±0.05 bc	3.625±0.336 b	1.901±0.123 c
10/90	L18	-Mo	8.43±0.56 f	0.50±0.02 bc	0.097±0.022 e	0.048±0.005 f
		+Mo	8.55±0.81 f	0.49±0.03 c	2.292±0.285 d	1.119±0.016 d
	H96	-Mo	5.04±1.11 g	0.31±0.04 d	0.143±0.065 e	0.043±0.008 f
		+Mo	5.92±1.75 g	0.32±0.05 d	2.932±0.081 c	0.839±0.074 e
F 值 F-value	N		232.21 **	18.73 **	83.23 **	95.89 **
	Variety		270.91 **	70.82 **	55.38 **	111.71 **
	Mo		36.58 **	27.00 **	3 403.28 **	1 599.42 **
	N × Variety		12.89 **	0.13	46.64 **	14.09 **
	N × Mo		5.63 *	6.81 **	98.31 **	100.91 **
	Variety × Mo		3.05	4.37 *	50.55 **	100.84 **
	N × Variety × Mo		0.83	0.84	38.82 **	12.33 **

1) 同列数据不同字母表示处理间差异达 5% 显著水平 ($n=3$) Values followed by different letters in a column are significant among treatments at 5% level ($n=3$); N×Variety: 硝铵比与品种互作 The ratio of NO_3^- -N to NH_4^+ -N-Variety interaction; N×Mo: 硝铵比与钼互作 The ratio of NO_3^- -N to NH_4^+ -N-Mo interaction; Variety×Mo: 品种和钼互作 Variety-Mo interaction; N×Variety×Mo: 硝铵比、品种和钼互作 The ratio of NO_3^- -N to NH_4^+ -N-Variety-Mo interaction, the same as below; ** 和 * 分别表示 F-test 在 $P<0.01$ 和 $P<0.05$ 水平下显著, 下同。Indicate significant at $P<0.01$ and $P<0.05$ levels from test, the same as below.

盐含量比 H96 低 37.45%。50/50 缺钼处理中, L18 硝酸盐含量比 H96 低 24.41%; 50/50 施钼处理中, L18 硝酸盐含量比 H96 低 4.64%, 说明施钼缩小了 2 个小白菜品种间硝酸盐含量的差异。



方柱上不同字母表示差异达 5% 显著水平 ($n=3$), 下同。Different letters above the bars indicate significant at 5% level ($n=3$), the same as below.

图 1 不同硝铵比下钼对小白菜硝酸盐含量的影响

Fig.1 Effects of Mo application on nitrate content of Chinese cabbage under different ratios of NO_3^- -N to NH_4^+ -N

2.3 不同硝铵比下钼对小白菜地上部 Vc 和可溶性糖含量的影响

硝铵比、品种、钼处理及硝铵比和钼互作对小白菜 Vc 含量的影响均是极显著的 (图 2)。随着营养液中硝铵比的降低, 2 个小白菜品种 Vc 含量均呈增加的趋势, 其中缺钼条件下, 硝铵比 100/0 至 50/50 的增加幅度最大, L18 和 H96 分别达 66.94% 和 109.30%, 说明硝铵比能够显著影响小白菜的 Vc 含量。各硝铵比处理下, 施钼均能够增加 2 个小白菜品种地上部 Vc 的含量, 且在硝铵比 100/0 处理中达显著水平, L18 和 H96 增加幅度分别为 64.39% 和 91.05%, 说明施钼能够显著影响小白菜的 Vc 含量, 且该作用受硝铵比的影响。各处理中, H96 地上部 Vc 含量均高于 L18, 且在 50/50 施钼处理中差异最大, 达 38.02%。

硝铵比、品种和钼处理对小白菜可溶性糖含量的影响均是极显著的, 硝铵比和品种互作及硝铵比和钼互作对小白菜可溶性糖含量的影响也是显著的

(图 3)。缺钼条件下,随着营养液中硝铵比的降低, L18 可溶性糖含量呈先降低后显著增加的趋势; H96 均呈一直增加的趋势,且在 100/0 处理中达显著水平。施钼条件下,2 个小白菜品种则均呈显著增加的趋势。说明小白菜品种间可溶性糖含量存在一定的差异,且该差异受硝铵比高低的影响。各硝铵比处理下,施钼均能够提高 2 个小白菜品种可溶性糖的含量,除 10/90-H96 处理外,其他处理均达显著水平, H96 和 L18 分别在硝铵比 100/0 和 50/50 处理中增幅最大,分别为 71.42% 和 67.10%,说明施钼能够显著影响小白菜可溶性糖的含量,且硝铵比不同影响效果也不同。50/50 缺钼处理中, L18 可溶性糖含量比 H96 低 44.93%; 50/50 施钼处理中, L18 可溶性糖含量比 H96 低 30.14%,说明施钼缩小了 2 个小白菜品种间可溶性糖含量的差异。

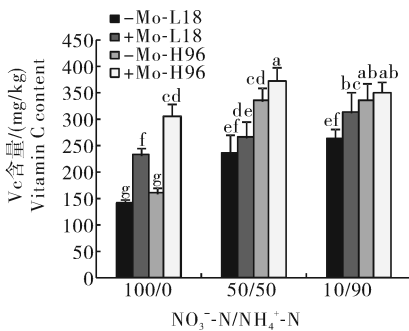


图 2 不同硝铵比下钼对小白菜 Vc 含量的影响

Fig.2 Effects of Mo application on vitamin C content of Chinese cabbage under different ratios of NO₃⁻-N to NH₄⁺-N

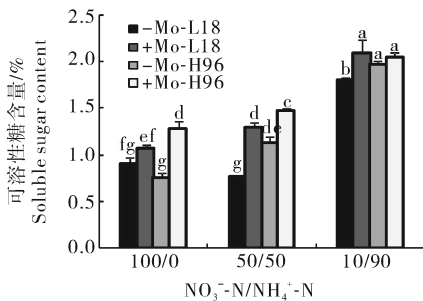


图 3 不同硝铵比下钼对小白菜可溶性糖含量的影响

Fig.3 Effects of Mo application on soluble sugar content of Chinese cabbage under different ratios of NO₃⁻-N to NH₄⁺-N

2.4 不同硝铵比下钼对小白菜地上部游离氨基酸总量和可溶性蛋白含量的影响

硝铵比、品种、钼处理、硝铵比和品种互作及硝铵比和钼互作对小白菜游离氨基酸总量的影响均是极显著的(图 4)。随着营养液中硝铵比的降低,2 个小白菜品种游离氨基酸总量均呈增加的趋势,硝铵比 10/90 中游离氨基酸总量显著高于 100/0 和 50/50,说明硝铵比能够显著影响小白菜游离氨基酸总量。硝铵比 100/0 处理中,施钼显著增加了 L18 和 H96 游离氨基酸总量,增幅分别为 45.05% 和 29.88%;而 10/90 处理中,施钼则显著降低了 L18 和 H96 的游离氨基酸含量,降幅分别为 16.85% 和 21.16%,说明施钼能够显著影响小白菜游离氨基酸总量,且不同硝铵比下钼的作用是不同的。

硝铵比、品种和钼处理均对小白菜可溶性蛋白含量有极显著的影响,但两两互作及三因素互作对其均无显著影响(图 5)。随着营养液中硝铵比的降低, L18 可溶性蛋白含量呈缓慢增加的趋势;随着营养液中硝铵比的降低, H96 可溶性蛋白含量则呈先降低后升高的趋势,说明硝铵比能够影响小白菜可溶性蛋白的含量,且品种间的变化趋势不同。缺钼条件下, 100/0-H96 处理中可溶性蛋白含量比 50/50-H96 低 16.94%;施钼条件下, 100/0-H96 处理中可溶性蛋白含量比 50/50-H96 低 8.05%,说明施钼可缓解不同形态氮素施用对可溶性蛋白含量的不利影响。各硝铵比处理下,施钼均能够增加 2 个小白菜品种地上部的可溶性蛋白含量, L18 和 H96 分别在 50/50 和 100/0 处理中增幅达最大,增幅分别为 39.44% 和 24.34%,且差异显著,说明施钼能够显著影响小白菜的可溶性蛋白含量。

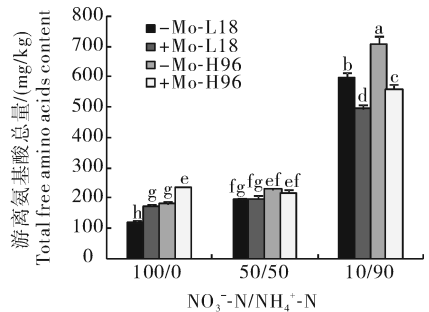


图 4 不同硝铵比下钼对小白菜游离氨基酸总量的影响

Fig.4 Effects of Mo application on total free amino acids content of Chinese cabbage under different ratios of NO₃⁻-N to NH₄⁺-N

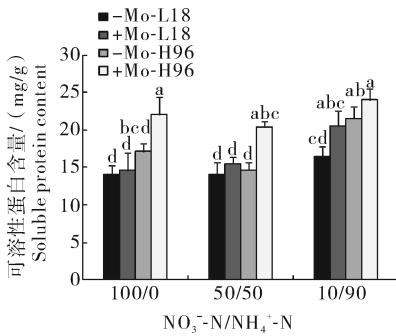


图 5 不同硝铵比下钼对小白菜可溶性蛋白含量的影响

Fig.5 Effects of Mo application on soluble protein content of Chinese cabbage under different ratios of NO₃⁻-N to NH₄⁺-N

3 讨论

3.1 钼与硝铵比配合能够协调小白菜高产优质的矛盾

研究表明,合适的硝铵配比对小白菜产量和品质具有十分重要的作用。与全硝处理相比,合适的硝铵配比能够显著降低作物体内硝酸盐含量^[9],增加 Vc^[18]、可溶性糖^[19]、游离氨基酸总量^[20]和可溶性蛋白含量。本试验结果表明,50/50 和 10/90 处理中,小白菜体内可溶性糖、游离氨基酸总量和可溶性蛋白的含量均高于全硝处理,且 10/90 均达显著水平;Vc 含量也有所增加但未达显著水平,硝酸盐含量显著降低,与前人^[9,18-21]研究结果一致。但与全硝处理相比,铵的施入有降低小白菜产量的趋势,说明各硝铵比处理下,小白菜产量与品质间存在一定的矛盾。

硝铵比、品种和钼处理均对各指标有显著的影响。各硝铵比处理下,施钼能够提高小白菜 Vc 和可溶性糖含量。说明施钼促进了小白菜碳水化合物的代谢,从而提高了相关代谢产物的含量,进而提高了可溶性糖的含量。研究表明,施钼能够增加小麦^[22]、小白菜^[23-24]等作物中可溶性糖的含量。聂兆君等^[23]研究表明,Vc 含量与可溶性糖含量呈极显著的正相关。因此,施钼提高小白菜 Vc 含量可能与施钼提高可溶性糖含量密切相关。各硝铵比处理下,钼对小白菜中游离氨基酸总量的影响不一致。100/0 处理中,施钼显著增加了 2 个小白菜品种中游离氨基酸的含量,这一试验结果在小麦^[22]等作物中已得到证实;10/90 处理中,施钼更多地促进了游离氨基酸向蛋白氮的转化^[25],从而钼显著降低了

2 个小白菜品种地上部游离氨基酸总量。在本试验中,各硝铵比处理下施钼均能够提高小白菜可溶性蛋白含量,且在 100/0-H96 和 50/50-H96 中达显著水平。研究表明,施钼不仅能够提高硝酸还原酶的活性^[26],还能提高谷氨酰胺合成酶和天冬酰胺合成酶的活性^[27],促进有机氮的合成。且钼对蔬菜氨基酸和可溶性蛋白含量均有显著影响^[28],说明 100/0 处理中,在硝态氮的诱导下,施钼更多促进了硝酸还原酶活性的增加,从而显著降低了硝酸盐含量,即更多促进了硝态氮的还原及向游离氨基酸的转化。而 10/90 处理中,外界氮源以铵态氮为主,硝酸还原酶活性降低,施钼对其活性增加贡献不大,为防止铵毒害的发生,小白菜体内大量的铵态氮转化为游离氨基酸,且施钼能够促进非蛋白氮向蛋白氮的转化^[29],进而提高了小白菜的营养品质,从而进一步解释了 10/90 施钼处理中游离氨基酸总量降低的原因。综上所述,钼与硝铵比配合能够协调小白菜高产优质的矛盾。

3.2 钼能够显著降低全硝营养小白菜中硝酸盐含量

硝酸盐含量是评价蔬菜可食用安全性的重要指标,小白菜为易于积累硝酸盐的叶菜类蔬菜。营养液培养条件下,氮源多以硝态氮为主或为全硝^[11-13],更加剧了小白菜体内硝酸盐的积累。本研究结果表明,硝铵比和钼互作能够极显著地影响小白菜硝酸盐的含量,说明不同硝铵比下钼对小白菜硝酸盐含量的影响是不同的。其中 100/0 处理中,施钼能够显著降低小白菜硝酸盐含量,与汤亚芳^[21]研究结果一致。这与钼是硝酸还原酶的重要辅基有关,施钼能够提高硝酸还原酶的活性,从而促进植物硝态氮的还原^[2]。50/50 处理中,施钼反而有增加 2 个小白菜品种硝酸盐含量的趋势。门中华等^[25]研究称,在硝铵共存条件下,施钼能够更多地促进植物对于硝态氮的吸收而相对降低了其对铵态氮的吸收,进而解释了本试验中 50/50 处理中施钼对于硝态氮含量的增加作用。10/90 处理中,外界氮源以铵态氮为主,高铵能够诱导植物膜去极化^[30],从而影响了离子的吸收,因此,10/90 处理下施钼对小白菜硝酸盐含量无显著影响,这也解释了施钼对 10/90 处理下小白菜无显著影响的原因。

试验结果表明,不仅硝铵比和钼处理对小白菜硝酸盐含量有极显著影响,品种对其也有极显著的影响。100/0 各处理下,H96 硝酸盐含量均显著高

于L18,且施钼均显著降低了L18和H96的硝酸盐含量,降幅分别为16.41%和24.09%。Tang等^[11]研究称,H96有较强的硝态氮吸收能力,故其为硝酸盐高积累品种;而L18有较强的硝酸盐还原能力,是其硝酸盐含量较低的主要原因。本试验结果表明,H96的钼含量均低于L18,说明2个小白菜品种间钼吸收量的差异可能也是导致两者硝酸盐高低积累的主要原因,具体机制仍需深入探讨。因此,进一步说明全硝处理下施钼能够显著降低小白菜的硝酸盐含量。此外,100/0处理中,施钼均提高了2个小白菜品种的产量、钼含量和各品质指标,且除L18可溶性蛋白含量未达显著水平外,其他均达显著水平。由此进一步说明,100/0处理下,施钼不仅能够提高小白菜的食用安全性,还能协调小白菜产量和品质间的矛盾。

参 考 文 献

- [1] KAISER B N, GRIDLEY K L, BRADY J N, et al. The role of molybdenum in agricultural plant production [J]. *Annals of Botany*, 2005, 96(5): 745-754.
- [2] MENDEL R R. Cell biology of molybdenum in plants [J]. *Plant Cell Reports*, 2011, 30(10): 1787-1797.
- [3] 聂兆君, 胡承孝, 孙学成, 等. 钼对小白菜抗坏血酸氧化还原的影响 [J]. *植物营养与肥料学报*, 2008, 14(5): 976-981.
- [4] 施木田, 陈如凯. 锌钼营养对苦瓜产量、品质及叶片氮素代谢的影响 [J]. *热带作物学报*, 2003, 24(4): 57-61.
- [5] 李军, 李祥东, 张殿军. 硼钼营养对马铃薯鲜薯产量及活性氧代谢的影响 [J]. *中国马铃薯*, 2002, 16(1): 10-13.
- [6] 胡承孝, 王运华, 谭启玲, 等. 钼、氮肥配合施用对冬小麦子粒蛋白质及其氨基酸组成的影响 [J]. *植物营养与肥料学报*, 2002, 8(2): 224.
- [7] 甘巧巧. 施钼对冬小麦钼酶、碳代谢相关酶类及细胞壁组分的影响 [D]. 武汉: 华中农业大学图书馆, 2005.
- [8] 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.
- [9] 王强, 姜丽娜, 符建荣, 等. 氮素形态、用量及施用时期对小青菜产量和硝酸盐含量的影响 [J]. *植物营养与肥料学报*, 2008, 14(1): 126-131.
- [10] 卢凤刚, 郭丽娟, 陈贵林, 等. 不同氮素形态及配比对韭菜产量和品质的影响 [J]. *河北农业大学学报*, 2006, 29(1): 27-30.
- [11] TANG Y F, SUN X C, HU C X, et al. Genotypic differences in nitrate uptake, translocation and assimilation of two Chinese cabbage cultivars [*Brassica campestris* L. ssp. *chinensis* (L.)]. *Plant Physiology and Biochemistry*, 2013, 70: 14-20.
- [12] 聂兆君. 钼对小白菜抗坏血酸代谢及品质的影响 [D]. 武汉: 华中农业大学图书馆, 2007.
- [13] 刘选明, 赵小英, 刘明月, 等. 氮钾钼对蔬菜硝酸盐积累和硝酸还原酶活性的影响 [J]. *湖南农业大学学报: 自然科学版*, 2003, 29(3): 239-242.
- [14] 黄道友, 黄新, 刘钦云, 等. 湖南省主要蔬菜土壤的肥力特征与蔬菜硝酸盐污染现状研究 [J]. *农业现代化研究*, 2008, 29(6): 747-750.
- [15] 鲍士旦. 土壤农化分析 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [16] KAMPFENKEL K, VANMONTAGU M, INZE D. Extraction and determination of ascorbate and dehydroascorbate from plant tissue [J]. *Analytical Biochemistry*, 1995, 225(1): 165-167.
- [17] 李合生, 孙群, 赵世杰, 等. 植物生理生化实验技术原理 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.
- [18] 张春兰, 高祖明, 张耀栋, 等. 氮素形态 NO_3^- -N 与 NH_4^+ -N 对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.
- [19] 张锡洲, 王永东, 李廷轩, 等. 氮肥种类和用量对川西蒙山春茶产量和品质的影响 [J]. *土壤通报*, 2010(1): 138-141.
- [20] 汪建飞, 董彩霞, 沈其荣. 不同钼硝比对菠菜生长、安全和营养品质的影响 [J]. *土壤学报*, 2007, 44(4): 683-688.
- [21] 汤亚芳. 小白菜低硝酸盐积累品种筛选及其生理特征研究 [D]. 武汉: 华中农业大学图书馆, 2014.
- [22] 孙学成. 钼提高冬小麦抗寒力的生理基础及分子机制 [D]. 武汉: 华中农业大学图书馆, 2006.
- [23] 聂兆君, 胡承孝, 孙学成, 等. 钼对小白菜叶色、营养品质及硝酸盐含量的影响 [J]. *中国蔬菜*, 2008(8): 7-10.
- [24] NIE Z J, HU C X, SUN X C, et al. Effects of molybdenum on ascorbate-glutathione cycle metabolism in Chinese cabbage (*Brassica campestris* L. ssp. *pekinensis*) [J]. *Plant and Soil*, 2007, 295(12): 13-21.
- [25] 门中华, 李生秀. 钼对冬小麦硝态氮代谢的影响 [J]. *植物营养与肥料学报*, 2005, 11(2): 205-210.
- [26] WEI L P, LI Y R, YANG L T. Effects of molybdenum on nitrogen metabolism of sugarcane [J]. *Sugar Tech*, 2007, 9(1): 36-42.
- [27] O'CONNOR G A, GRANATO T C, BASTA N T. Bioavailability of biosolids molybdenum to soybean grain [J]. *Journal of Environmental Quality*, 2001, 30(5): 1653-1658.
- [28] KEVRESAN S, PETROVIC N, POPOVIC M, et al. Nitrogen and protein metabolism in young pea plants as affected by different concentrations of nickel, cadmium, lead, and molybdenum [J]. *Journal of Plant Nutrition*, 2001, 24(10): 1633-1644.
- [29] 王运华, 许松林. 湖北省黄棕壤冬小麦缺钼和施钼研究 [J]. *土壤肥料*, 1995(3): 24-28.
- [30] AYLING S M. The effect of ammonium ions on membrane potential and anion flux in roots of barley and tomato [J]. *Plant Cell & Environment*, 1993, 16(3): 297-303.

Effects of molybdenum application on yield and quality of Chinese cabbages under different ratios of NO_3^- -N to NH_4^+ -N

ZHU Wei-kun HU Cheng-xiao TAN Qi-ling NIE Zhao-jun TANG Ya-fang SUN Xue-cheng

Microelement Research Center, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China

Abstract A solution culture experiment was conducted to investigate the effects of molybdenum (Mo) on yield and quality of two Chinese cabbage cultivars (low nitrate accumulator L18 and high accumulator H96) under different ratios of NO_3^- -N to NH_4^+ -N. The results showed that fresh weight, contents of Mo and nitrate decreased significantly with the decrease of ratio of NO_3^- -N to NH_4^+ -N. Contents of vitamin C, soluble sugar, total free amino acids and soluble protein in Chinese cabbage increased with the decrease of ratio of NO_3^- -N to NH_4^+ -N. Mo application increased the fresh weight of Chinese cabbage under different ratios of NO_3^- -N to NH_4^+ -N. When the ratio of NO_3^- -N to NH_4^+ -N was 100/0 and 50/50, Mo significantly increased fresh weight of Chinese cabbage. Mo application significantly increased the Mo content of Chinese cabbage under different ratios of NO_3^- -N to NH_4^+ -N. Mo application increased the contents of vitamin C, soluble sugar, total free amino acids and soluble proteins (with L18 soluble protein excepted) in Chinese cabbage, especially under single nitrate nutrition. Mo application significantly decreased the nitrate content in Chinese cabbage when the ratio of NO_3^- -N to NH_4^+ -N was 100/0. However, there was an opposite effect when the ratio of NO_3^- -N to NH_4^+ -N was 50/50. There was no significant effect when the ratio of NO_3^- -N to NH_4^+ -N was 10/90. To a certain extent, Mo could coordinate the contradictions of yield and quality of Chinese cabbages under different ratios of NO_3^- -N to NH_4^+ -N.

Key words Chinese cabbage; ratios of NO_3^- -N to NH_4^+ -N; molybdenum; yield; nitrate; quality

(责任编辑:陆文昌)