

三种氨基酸对菜心产量和品质的影响

于俊红, 彭智平*, 黄继川, 杨少海, 徐培智

(广东省农业科学院农业资源与环境研究所, 农业部南方植物营养与肥料重点实验室,

广东省养分资源循环利用与耕地保育重点实验室, 广州 510640)

摘要:【目的】氨基酸能被作物吸收利用,影响作物的养分吸收和品质形成。采用盆栽试验,通过三种氨基酸组氨酸(His)、甘氨酸(Gly)和甲硫氨酸(Met)喷施,研究三种氨基酸对菜心生长及品质的影响。【方法】试验设置六个浓度梯度为0、50、100、200、400、800 mg/kg。氨基酸喷施时间为3~4叶期、7~8叶期和抽苔期。喷施5天后测定株高、倒4叶叶长、叶宽等生长指标。收获期地上部测重,测定Vc含量、可溶性糖含量、蛋白质含量,离子色谱法测定硝酸盐和草酸含量。【结果】三种氨基酸对菜心生长、产量、地上部蛋白质、硝酸盐和草酸的影响如下,1) 50~400 mg/kg的组氨酸和甲硫氨酸有增产效果,其中喷施100 mg/kg甲硫氨酸菜心产量增幅最大,达17.3%,氨基酸高浓度(800 mg/kg)喷施时,产量下降。2)三种氨基酸处理的菜心地上部蛋白质含量明显升高,且氨基酸喷施浓度和蛋白质含量之间呈极显著正相关关系($r=0.4026$)。3)菜心地上部硝酸盐含量随氨基酸喷施浓度的提高先下降后上升,其中喷施100 mg/kg的甘氨酸对降低菜心地上部硝酸盐含量的效果最显著,比对照降低30.7%;喷施高浓度氨基酸(800 mg/kg)其硝酸盐含量反而比对照高。4)草酸在植物体中普遍存在会影响蔬菜的品质,喷施氨基酸后菜心地上部草酸含量均下降,甲硫氨酸处理与对照相比可降低54.5%~68.3%。【结论】50~200 mg/kg的组氨酸、甘氨酸和甲硫氨酸喷施能在不同程度上促进菜心生长和增产,提高菜心地上部蛋白质含量,降低硝酸盐和草酸含量。该研究结果可为氨基酸在蔬菜生产上的应用,尤其是如何降低草酸含量、提高蔬菜品质提供依据。

关键词: 氨基酸; 菜心; 产量; 蛋白质; 硝酸盐; 草酸

中图分类号: S634.3; S606+.2

文献标识码: A

文章编号: 1008-505X(2014)04-1044-07

Effects of three amino acids on yield and quality of Chinese cabbage

YU Jun-hong, PENG Zhi-ping*, HUANG Ji-chuan, YANG Shao-hai, XU Pei-zhi

(1 Institute of Agricultural Resources and Environment, GAAS/Key Laboratory of Plant Nutrition and Fertilizer in South Region, Ministry of Agriculture/Guangdong Key Laboratory of Nutrient Cycling and Farmland Conservation, Guangzhou, Guangdong 510640, China)

Abstract:【Objectives】Crops could absorb and use amino acids, which could influence the yield and quantity of crops. In this study, a pot culture experiment was carried out to determine the changes of yield and quantity of Chinese cabbage after the treatment of histidine, glycine and methionine.【Methods】Chinese cabbage was respectively sprayed by histidine, glycine and methionine solutions at 3–4 leaf stage, 7–8 leaf stage and bolting stage, and the spraying concentration of each amino acid was composed of 50 mg/kg, 100 mg/kg, 200 mg/kg, 400 mg/kg and 800 mg/kg. At the 5th day after spraying, the height, the length of fall four foliage and blade width were measured to determine the influences of amino acids on the growth. At the harvest period, the weight, Vc content, soluble sugar content, protein content, nitrate and oxalate content of aboveground were measured to determine the influences of amino acids on the yield and quality.【Results】The effects of histidine, glycine and methionine on Chinese cabbage are concluded as the following: 1) Application of 100 mg/kg methionine solution

收稿日期: 2013-08-27

接受日期: 2014-01-20

基金项目: 广东省重点团队项目(2012A02000001); 国家科技支撑计划项目(2011BAD11B05-22); 广东省重点科研基地建设项目(2009A060800026)资助。

作者简介: 于俊红(1978—), 女, 河南许昌人, 硕士, 助理研究员, 主要从事作物营养生理与品质方面的研究。E-mail: yujunhonggd@163.com

* 通信作者 E-mail: folnut@sohu.com; Tel: 020-85161220

increased significantly the yield of leaves by 17.3%, while in the treatment with 800 mg/kg histidine or glycine or methionine solution, the yields of leaves decreased. 2) The protein contents in aerial part increased after treatment, and there were positive correlations between the concentration of amino acid solution and protein contents ($r=0.4026$). 3) With the increase of the concentration of amino acid solution, the nitrate content decreased and then increased, an decrease of 30.7% was detected when 100 mg/kg glycine solution was supplied, but it was higher than control after the application of 800 mg/kg amino acid solution. 4) After the application of histidine, glycine and methionine solution, the oxalate content declined, and an decrease of 54.5% – 68.3% was detected in methionine treatment. **【Conclusions】**The application of 50 – 200 mg/kg histidine, glycine and methionine solution could improve the yield and quality of Chinese cabbage. This study will provide a new approach in reducing oxalate content in vegetables, and supply scientific evidences for the application of amino acids in vegetable production.

Key words: amino acid; Chinese cabbage; yield; protein; nitrate; oxalate

氨基酸是一种小分子有机氮化合物,越来越多的实验证明农作物能够吸收利用氨基酸^[1-5],其吸收量随着使用量的增加而增加^[6]。有研究表明,甘氨酸^[4-5]、亮氨酸^[4]、谷氨酸^[5]、色氨酸^[7]、丙氨酸^[1]、谷氨酰胺^[1]和组氨酸^[1]等的吸收能促进作物物质积累。甘氨酸、异亮氨酸、脯氨酸单独或者三者混合使用可降低不结球白菜和生菜的硝酸盐含量,提高可溶糖和蛋白质含量^[8]。谷氨酸、谷氨酰胺或者两者混合能显著降低小白菜的硝酸盐含量^[9],甘氨酸和丙氨酸能降低菜心的硝酸盐含量^[10]。色氨酸能促进植株对氮、磷、钾的吸收^[7]。甘氨酸、谷氨酸和赖氨酸能提高高温胁迫下水稻的抗性^[11]。甲硫氨酸是乙烯生物合成的前体^[12],参与植物的生长发育,合适的浓度处理能促进黄瓜种子萌发、幼苗生长及离体子叶成花^[13]。氨基酸影响植物物质的积累、转化以及植物的生长发育,不同种类的氨基酸有不同的生理效应。

目前,蔬菜中硝酸盐和草酸含量对人体健康的影响受到关注,氮素的形态和用量影响蔬菜的硝酸盐和草酸含量。研究表明,施用铵态氮能降低蔬菜的硝酸盐含量,且随供铵比例的升高硝酸盐含量显著下降^[14];氨基酸部分替代硝态氮也能显著降低蔬菜的硝酸盐含量^[8]。菠菜叶片的草酸含量随着硝态氮水平的提高呈先下降后上升的趋势^[15];配施铵态氮后菠菜的草酸积累量减少,且随着铵硝比值的上升显著下降^[14,16]。但有关氨基酸对菜心体内草酸含量的影响少见报道。本文通过盆栽试验,研究甘氨酸、组氨酸和甲硫氨酸对菜心产量和品质的影响,旨在阐明氨基酸对菜心生长的影响及其对硝酸盐和草酸累积的效应,为氨基酸在蔬菜安全生产上的应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验于2009年在广东省农业科学院农业资源与环境研究所网室进行。供试菜心品种为“油青45天”菜心。供试土壤为河流冲积物发育的水稻土,质地砂壤,土壤有机质含量10.3 g/kg、碱解氮66.6 mg/kg、有效磷102.3 mg/kg、速效钾78.3 mg/kg、pH 5.4。

试验设置16个处理。以喷清水为对照,组氨酸(His)、甘氨酸(Gly)和甲硫氨酸(Met)各设5个喷施浓度,分别为50、100、200、400、800 mg/kg。每个处理4盆,每盆装土2.0 kg,盆高16 cm,盆口直径18 cm。每盆施液体肥料3.4 mL(含N 20%、P₂O₅ 6%、K₂O 9%),其中基肥1.4 mL、苗期追施1.0 mL、抽苔期追施1.0 mL,施肥时稀释100倍均匀施入。每盆15粒菜心种子直播,出苗后间至6株。氨基酸喷施时间为3~4叶期、7~8叶期和抽苔期,叶面叶背均匀喷施,至叶片滴水为止。

1.2 测定项目和方法

每次喷施后5 d测定株高,倒4叶叶长、叶宽。收获期测定地上部鲜重即为产量。

菜心待花时收获地上部,洗净晾干,切碎混匀,用于品质指标的测定。Vc含量采用2,6-二氯酚滴定法^[17];可溶糖采用蒽酮比色法^[18];蛋白质含量采用考马斯亮兰G-250法测定^[18]。草酸和硝酸盐采用离子色谱法测定^[19]:取5 g混匀样品,研磨定容至50 mL,10000 r/min离心10 min,取上清液5 mL,稀释至25 mL的容量瓶,过0.45 μm滤膜后上机测定。色谱仪为美国戴安DX-120型离子色谱仪, IonPacAS11 阴离子柱, IonPacAG11 保护柱;淋洗液为12 mmol/L NaOH;流速1.0 mL/min。

1.3 数据处理

试验数据用 Excel 软件处理, SAS 软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同浓度氨基酸对菜心生长的影响

从表 1 可以看出, 喷施组氨酸 (His) 可提高菜心的株高, 随着组氨酸浓度的增加株高呈先上升后下降趋势, 对叶长和叶宽的影响为低浓度时有促进作用而高浓度时可抑制其生长, 与对照相比高浓度组

氨酸处理可促进菜心的株高, 抑制叶长和叶宽。各浓度甘氨酸 (Gly) 对菜心的影响呈波动状态, 400 和 800 mg/kg 处理的株高高于对照, 叶长和叶宽低于对照。3~4 叶期 100 mg/kg 甲硫氨酸 (Met) 处理的菜心叶长和株高显著高于对照, 400 和 800 mg/kg 浓度则抑制菜心生长; 7~8 叶期, 400 和 800 mg/kg 浓度处理仍抑制菜心生长; 抽苔期 400 mg/kg 浓度处理的菜心株高比对照提高 1.3 cm, 由抑制生长转化为促进生长, 而 800 mg/kg 浓度处理其株高显著高于对照, 但叶长和叶宽明显低于对照。

表 1 不同浓度氨基酸对菜心生长的影响 (cm)

Table 1 Effect of different amino acid concentrations on growth of Chinese cabbage

氨基酸 Amino acid	浓度 Concentration (mg/kg)	3~4 叶期 3-4 leaf stage			7~8 叶期 7-8 leaf stage			抽苔期 Bolting stage		
		株高 PH	叶长 LL	叶宽 LW	株高 PH	叶长 LL	叶宽 LW	株高 PH	叶长 LL	叶宽 LW
His	0	0.70 a	7.61 a	5.95 a	3.27 a	9.12 a	6.92 a	7.72 b	10.11 ab	7.52 a
	50	0.67 a	7.62 a	5.44 a	2.92 a	8.82 a	6.20 a	7.65 b	10.45 a	7.48 a
	100	0.87 a	7.74 a	5.47 a	3.51 a	9.12 a	6.24 a	9.11 b	10.44 a	7.32 a
	200	0.78 a	7.80 a	5.72 a	3.74 a	8.92 a	6.44 a	11.91 a	10.01 ab	6.94 a
	400	1.00 a	7.55 a	5.60 a	3.51 a	8.50 a	6.47 a	9.27 b	10.48 a	7.47 a
	800	0.77 a	7.45 a	5.48 a	3.21 a	8.92 a	6.30 a	9.35 b	8.57 b	6.84 a
Gly	0	0.70 a	7.61 a	5.95 a	3.27 a	9.12 a	6.92 a	7.72 b	10.11 a	7.52 a
	50	0.91 a	7.32 a	5.41 a	3.35 a	9.34 a	6.62 a	10.10 a	10.11 a	7.50 a
	100	0.85 a	8.07 a	5.61 a	3.58 a	8.97 a	6.77 a	9.98 a	10.35 a	7.54 a
	200	0.75 a	7.30 a	5.62 a	3.48 a	8.94 a	6.52 a	10.20 a	10.45 a	7.37 a
	400	0.68 a	8.12 a	5.95 a	3.34 a	9.47 a	6.37 a	8.95 ab	9.52 a	7.41 a
	800	0.72 a	7.91 a	6.02 a	3.17 a	9.15 a	6.85 a	9.68 ab	9.70 a	7.50 a
Met	0	0.70 b	7.61 b	5.95 a	3.27 ab	9.12 abc	6.92 ab	7.72 c	10.11 bc	7.52 ab
	50	0.71 b	8.27 ab	5.92 a	3.30 ab	10.42 a	7.34 a	10.54 bc	11.37 ab	8.32 a
	100	1.08 a	8.94 a	6.34 a	4.02 a	9.92 ab	7.01 ab	16.27 a	11.98 a	8.07 b
	200	0.78 b	7.78 b	5.81 a	3.40 ab	8.64 bc	6.70 ab	12.05 b	10.14 bc	7.02 bc
	400	0.64 b	7.30 b	5.51 a	3.10 ab	9.05 bc	6.40 bc	9.02 bc	10.45 b	7.11 bc
	800	0.61 b	7.75 b	5.35 a	3.04 b	8.11 c	5.77 c	11.07 b	8.75 c	6.05 c

注 (Note): His—组氨酸 Histidine; Gly—甘氨酸 Glycine; Met—甲硫氨酸 Methionine. PH—Plant height; LL—Leaf length; LW—Leaf width. 同列数据后不同字母表示氨基酸不同浓度处理间差异达 5% 显著水平 Values followed by different letters in a column are significant among concentrations of amino acid at 5% level.

2.2 不同浓度氨基酸对菜心产量的影响

三种氨基酸对菜心产量的影响见图 1。随着组氨酸 (His) 喷施浓度的上升菜心产量提高, 当浓度达到 800 mg/kg 时有所下降, 比对照减产 1.9%。400 mg/kg 甘氨酸 (Gly) 处理的菜心产量低于对照,

其他浓度处理间无显著差异。50~400 mg/kg 甲硫氨酸 (Met) 处理可显著提高菜心产量, 分别比对照增产 17.1%、17.3%、12.5% 和 12.0%, 800 mg/kg 处理则抑制菜心生长, 比对照减产 2.5%。综合三种氨基酸各浓度的处理结果, 整体表现为低浓度对

菜心生长有促进作用,浓度过高会抑制其生长,其中最佳的浓度范围为 50 ~ 200 mg/kg。高浓度氨基酸处理会降低菜心产量,与其抑制叶片生长(表 1)的

结果相吻合。

2.3 不同浓度氨基酸对菜心品质的影响

表 2 结果显示,组氨酸(His)处理的菜心蛋白质

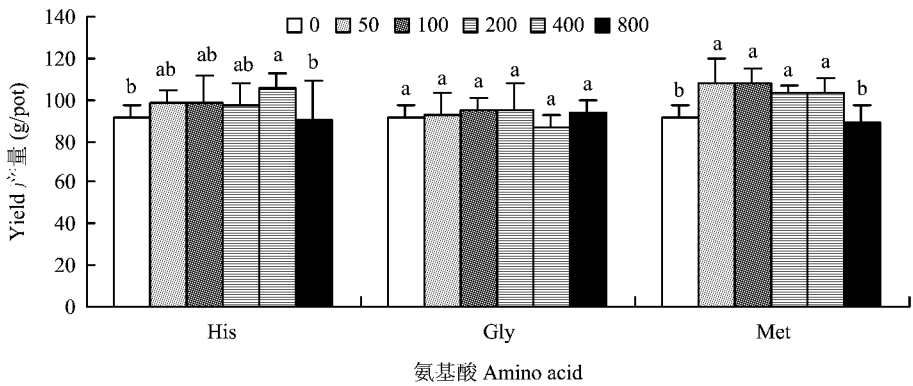


图 1 不同浓度氨基酸对菜心产量的影响

Fig.1 Effect of different amino acid concentrations on yield of Chinese cabbage

[注(Note): His—组氨酸 Histidine; Gly—甘氨酸 Glycine; Met—甲硫氨酸 Methionine. 柱上不同字母表示氨基酸不同浓度处理间差异达 5% 显著水平 Different letters above the bars are significant among concentrations of amino acid at 5% level.]

表 2 不同浓度氨基酸对菜心品质的影响

Table 2 Effect of different amino acid concentrations on quality of Chinese cabbage

氨基酸 Amino acid	浓度 Concentration (mg/kg)	Vc (mg/kg)	蛋白质含量 Protein content (mg/g, FW)	可溶糖含量 Soluble sugar content (mg/g, FW)
His	0	483.0 a	4.49 ab	4.00 a
	50	480.8 a	4.42 b	4.45 a
	100	486.9 a	4.70 ab	3.71 a
	200	462.7 a	4.72 ab	4.15 a
	400	464.4 a	5.09 ab	3.95 a
	800	469.2 a	5.53 a	4.10 a
Gly	0	483.0 a	4.49 c	4.00 b
	50	428.7 b	4.78 bc	2.53 c
	100	456.2 ab	4.74 bc	3.51 bc
	200	485.2 a	5.82 a	5.07 a
	400	457.3 ab	5.34 ab	3.70 b
	800	461.1 ab	5.77 a	3.28 bc
Met	0	483.0 ab	4.49 c	4.00 ab
	50	438.6 c	6.19 b	3.41 b
	100	460.6 bc	6.50 ab	4.21 ab
	200	463.3 bc	6.53 ab	5.25 a
	400	471.0 abc	7.57 a	4.29 ab
	800	501.7 a	6.50 ab	3.93 ab

注(Note): His—组氨酸 Histidine; Gly—甘氨酸 Glycine; Met—甲硫氨酸 Methionine. 同列数据后不同字母表示氨基酸不同浓度处理间差异达 5% 显著水平 Values followed by different letters in a column are significant among concentrations of amino acid at 5% level.

含量随着组氨酸浓度的增加而升高,50、100、200、400、800 mg/kg 浓度处理分别比对照提高 -1.7%、4.7%、5.2%、13.3% 和 23.2%,对维生素 C 和可溶性糖含量无显著影响。从低浓度到高浓度甘氨酸 (Gly) 各处理的菜心蛋白质含量分别比对照增加 6.5%、5.6%、29.8%、19.0% 和 28.6%,维生素 C 和可溶性糖含量除 200 mg/kg 处理外均下降。甲硫氨酸 (Met) 处理菜心地上部蛋白质含量比对照提高 38.0%~68.7%;可溶性糖含量随着甲硫氨酸浓度的增加先上升后下降,200 mg/kg 浓度处理比对照高 30.9%;50~400 mg/kg 浓度处理 Vc 含量均低于对照。三种氨基酸喷施浓度和菜心蛋白质含量之间的相关分析显示,二者之间有极显著的正相关关

系($r=0.4026$)。

2.4 不同浓度氨基酸对菜心硝酸盐含量的影响

氨基酸对菜心硝酸盐含量的影响见图 2。可以看出,各浓度组氨酸 (His) 处理的菜心硝酸盐含量没有显著差异。50~400 mg/kg 甘氨酸 (Gly) 处理菜心硝酸盐含量分别比对照下降 8.3%、30.7%、26.3% 和 19.1%,800 mg/kg 处理比对照提高了 1.8%。50~400 mg/kg 浓度的甲硫氨酸 (Met) 处理菜心的硝酸盐含量略低于对照,但差异不显著,而 800 mg/kg 浓度处理比对照显著提高 28.4%。综合来看硝酸盐含量随三种氨基酸浓度的提高呈先下降后上升的趋势,其中 100~400 mg/kg 浓度的甘氨酸处理效果最佳。

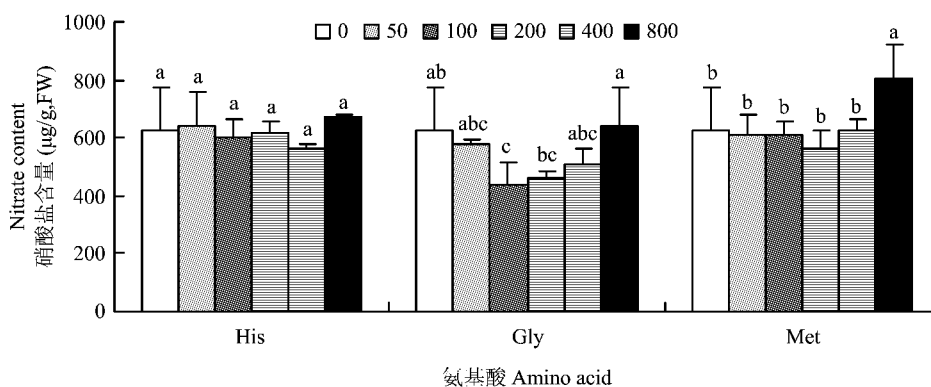


图 2 不同浓度氨基酸对菜心硝酸盐含量的影响

Fig. 2 Effect of different amino acid concentrations on nitrate content of Chinese cabbage

[注 (Note): His—组氨酸 Histidine; Gly—甘氨酸 Glycine; Met—甲硫氨酸 Methionine. 柱上不同字母表示氨基酸不同浓度处理间差异达 5% 显著水平 Different letters above the bars are significant among concentrations of amino acid at 5% level.]

2.5 不同浓度氨基酸对菜心草酸含量的影响

图 3 显示,三种氨基酸不同浓度处理菜心的草酸含量均下降,整体趋势与硝酸盐相反,随氨基酸浓度的提高先上升后下降;相关分析表明,硝酸盐和草酸的含量呈显著负相关($r = -0.3096$)。50、100、200、400、800 mg/kg 低到高浓度组氨酸 (His) 处理的菜心草酸含量分别比对照下降了 26.1%、12.7%、32.7%、29.8% 和 33.8%。100 mg/kg 浓度甘氨酸 (Gly) 处理菜心草酸含量比对照高 1.55 µg/g, FW,其他处理低于对照,800 mg/kg 处理比对照下降 64.9%。甲硫氨酸 (Met) 从低到高 5 个浓度处理菜心草酸含量分别比对照下降 58.1%、56.5%、62.3%、54.5% 和 68.3%。

3 讨论

氨基酸相对其他氮源能被植物优先吸收,以降

低植物在吸收同化氮源时所消耗的能量^[20],促进增产。本研究发现喷施低于 400 mg/kg 浓度的氨基酸处理能促进菜心增产,其中组氨酸增产幅度为 6.1%~15.4%,甘氨酸增产幅度为 1.1%~3.7%,甲硫氨酸增幅为 12.0%~17.3%。甲硫氨酸增产效果优于其他两种氨基酸,一方面是甲硫氨酸能为菜心代谢提供额外有机硫,另一方面可能是不同氨基酸被菜心吸收后转变为代谢中间产物难易的生理作用不同引起^[1]。氨基酸浓度达到 800 mg/kg 时,菜心产量下降,推测施用浓度过高伤害叶片抑制叶片生长所致。已有无菌培养试验表明,低浓度氨基酸供应可能更适合植物的需要^[5]。

氨基酸态氮进入水稻体内,能促进氨基酸转氨酶和脱氢酶活性,通过转氨基作用形成其他氨基酸^[5],促进蛋白质合成,与本研究结果一致。氨基酸种类对植物体内对应氨基酸转氨酶有不同影

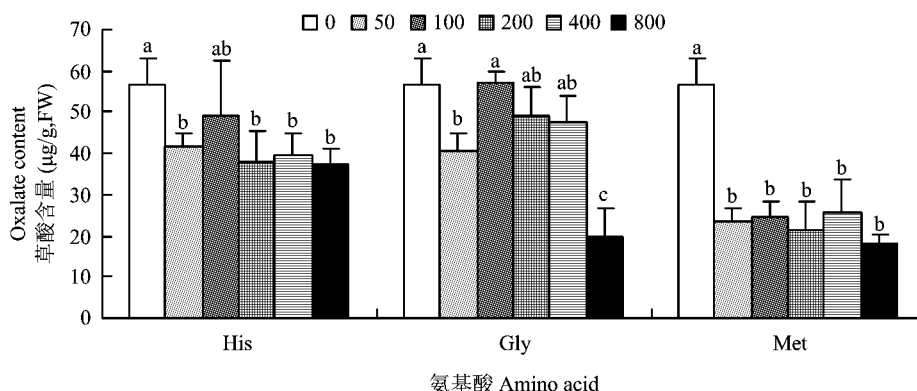


图3 不同浓度氨基酸对菜心草酸含量的影响

Fig.3 Effect of different amino acid concentrations on oxalate content of Chinese cabbage

[注 (Note): His—组氨酸 Histidine; Gly—甘氨酸 Glycine; Met—甲硫氨酸 Methionine. 柱上不同字母表示氨基酸不同浓度处理间差异达 5% 显著水平 Different letters above the bars are significant among concentrations of amino acid at 5% level.]

响^[5,21],甲硫氨酸处理促进蛋白质合成效果更显著可能是对相关酶影响较大所致。陈贵林^[8]采用甘氨酸、异亮氨酸和脯氨酸替代 20% 硝态氮水培蔬菜,发现单独用甘氨酸,或者甘氨酸、脯氨酸、精氨酸以不同比例混合使用,不结球白菜和生菜的蛋白质含量均会升高,且三者不同比例混合使用对蛋白质含量影响不同,也说明氨基酸种类对蛋白质合成有影响。

氨基酸替代 20% 硝态氮水培不结球白菜和生菜,两者硝酸盐含量明显下降,单独使用甘氨酸的效果最好^[8],与本文甘氨酸降低硝酸盐效果最好的结论一致。谷氨酸和谷氨酰胺替代硝态氮水培小白菜,硝酸盐含量亦下降^[9]。氨基酸降低蔬菜硝酸盐含量可能是氨基酸对氮代谢反馈调节的结果,当植株具有足量还原态氮时会降低硝态氮吸收^[20],故菜心优先吸收氨基酸,部分抑制根系对硝态氮的吸收,降低体内硝酸盐含量^[8]。当氨基酸浓度达到 800 mg/kg 时,硝酸盐含量比对照提高 1.8%~28.4%,推测氨基酸过量喷施抑制菜心正常生长和体内氨基酸同化,导致硝酸盐含量升高。

草酸在植物细胞液泡中普遍存在,是膨压和渗透调节的重要物质^[22]。铵态氮能降低菠菜^[14,16]、猕猴桃^[23]和荞麦^[24]的草酸含量,氨基酸施用降低植物草酸含量的研究少见报道。氨基酸处理可能引起液泡中游离氨基酸含量上升,为维持细胞膨压和渗透平衡,导致草酸累积量下降。硝酸盐和草酸的含量呈显著负相关,与植物保持细胞内的电荷平衡有关。研究发现滨藜叶片中阴离子(如硝酸根离子)过低引起阳离子过高时,会诱导草酸的合成^[22]。

参 考 文 献:

- [1] 张夫道,孙羲. 氨基酸对水稻营养作用的研究[J]. 中国农业科学, 1984, 15 (5): 61-66.
Zhang F D, Sun X. A study of nutrition of amino acids in rice seedlings[J]. Scientia Agricultura Sinica, 1984, 15 (5): 61-66.
- [2] Jones D L, Darrah P R. Amino acid influx at the soil-root interface of *Zea mays* L. and its implications in the rhizosphere [J]. Plant and Soil, 1994, 163 (1): 1-12.
- [3] Näsholm T, Huss-Danell K, Högborg P. Uptake of glycine by field grown wheat[J]. New Phytologist, 2001, 150 (1): 59-63.
- [4] 许玉兰,刘庆成. 用 N¹⁵ 示踪方法研究氨基酸的肥效作用[J]. 氨基酸和生物资源, 1998, 20 (2): 20-23.
Xu Y L, Liu Q C. A study on fertilizer efficiency of amino acids with N¹⁵ trace[J]. Amino Acids and Biotic Resources, 1998, 20 (2): 20-23.
- [5] 吴良欢,陶勤南. 水稻氨基酸态氮营养效应及其机理研究[J]. 土壤学报, 2000, 37 (4): 464-473.
Wu L H, Tao Q N. Effects of amino acid-N on rice nitrogen nutrition and its mechanism[J]. Acta Pedologica Sinica, 2000, 37 (4): 464-473.
- [6] Reeve J R, Smith J L, Carpenter-Boggs L et al. Glycine, nitrate, and ammonium uptake by classic and modern wheat varieties in a short-term microcosm study [J]. Biology and Fertility of Soils, 2009, 45 (7): 723-732.
- [7] 陈振德,黄俊杰,何金明,蔡葵. 土施 L-色氨酸对甘蓝产量和养分吸收的影响[J]. 土壤学报, 1997, 34(2): 200-205.
Chen Z D, Huang J J, He J M, Cai K. Influence of L-tryptophan applied to soil on yield and nutrient uptake of cabbage[J]. Acta Pedologica Sinica, 1997, 34 (2): 200-205.
- [8] 陈贵林,高秀瑞. 氨基酸和尿素替代硝态氮对水培不结球白菜和生菜硝酸盐含量的影响[J]. 中国农业科学, 2002, 35 (2): 187-191.

- Chen G L, Gao X R. Effect of partial replacement of nitrate by amino acid and urea on nitrate content of nonheading Chinese cabbage and lettuce in hydroponics [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2002, 35 (2): 187–191.
- [9] 王华静, 吴良欢, 陶勤南. 氨基酸部分取代硝态氮对小白菜硝酸盐累积的影响[J]. *中国环境科学*, 2004, 24 (1): 19–23.
- Wang H J, Wu L H, Tao Q N. Influence of partial replacement of nitrate by amino acid on nitrate accumulation in Pakchoi (*Brassica chinensis* L.) [J]. *China Environmental Science*, 2004, 24 (1): 19–23.
- [10] 操君喜, 彭智平, 黄继川, 等. 叶面施用氨基酸对菜心产量和品质的影响[J]. *中国农学通报*, 2010, 26 (4): 162–165.
- Cao J X, Peng Z P, Huang J C, *et al.* Effect of foliar application of amino acid on yield and quality of flowering Chinese cabbage [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2010, 26 (4): 162–165.
- [11] 莫良玉, 吴良欢, 陶勤南. 高温胁迫下水稻氨基酸态氮与铵态氮营养效应研究[J]. *植物营养与肥料学报*, 2002, 8 (2): 157–161.
- Mo L Y, Wu L H, Tao Q N. Effect of different nitrogen forms on rice seedlings under sterilized culture at high temperature [J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2002, 8 (2): 157–161.
- [12] Adams D O, Yang S. F. Ethylene biosynthesis: identification of 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid as an intermediate in the conversion of methionine to ethylene [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 1979, 76 (1): 170–174.
- [13] 王首锋, 方杰, 胡荣飞, 梁海曼. 甲硫氨酸对黄瓜种子萌发、幼苗生长及离体子叶成花的影响[J]. *浙江大学学报(理学版)*, 2007, 34 (2): 219–223.
- Wang S F, Fang J, Hu R F, Liang H M. Effects of methionine on seed germination, growth of cucumber seedling and flowering of detached cucumber cotyledon in vitro [J]. *Journal of Zhejiang University (Science Edition)*, 2007, 34 (2): 219–223.
- [14] 张英鹏, 林咸永, 章永松, 都韶婷. 氮素形态对菠菜硝酸盐及草酸含量的影响[J]. *园艺学报*, 2005, 32 (4): 648–652.
- Zhang Y P, Lin X Y, Zhang Y S, Du S T. Effects of nitrogen forms on content and distribution of nitrate and oxalate in spinach plants [J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2005, 32 (4): 648–652.
- [15] 张英鹏, 徐旭军, 林咸永, 等. 供氮水平对菠菜产量、硝酸盐和草酸累积的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2004, 10 (5): 494–498.
- Zhang Y P, Xu X J, Lin X Y *et al.* Influence of different nitrogen levels on biomass, nitrate and oxalate accumulation in spinach [J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2004, 10 (5): 494–498.
- [16] Zhang Y, Lin X, Zhang Y *et al.* Effects of nitrogen levels and nitrate/ammonium ratios on oxalate concentrations of different forms in edible parts of spinach [J]. *Journal of Plant Nutrition*, 2005, 28 (11): 2011–2025.
- [17] GB/T 6195–1986. 水果、蔬菜制品维生素 C 含量的测定 [S].
- GB/T 6195–86. Vitamin C content of Fruit. vegetables products determination [S].
- [18] 王学奎. 植物生理生化实验原理和技术 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2006.
- Wang X K. Principle and technology of plant physiological and biochemical experiment [M]. Beijing: Higher Education Press, 2006.
- [19] 曾芳, 王荣辉, 刘忠珍, 等. 蔬菜中硝酸盐和草酸盐的同时提取和离子色谱法测定 [J]. *理化检验(化学分册)*, 2009, 45 (7): 772–774.
- Zeng F, Wang R H, Liu Z Z *et al.* IC determination of nitrate and oxalate in vegetables with simultaneous extraction of the analytes [J]. *Physical Testing and Chemical Analysis Part B (Chemical Analysis)*, 2009, 45 (7): 772–774.
- [20] Padgett P, Leonard R. Regulation of nitrate uptake by amino acids in maize cell suspension culture and intact roots [J]. *Plant and Soil*, 1993, 155–156 (1): 159–161.
- [21] 莫良玉, 吴良欢, 陶勤南. 无菌条件下小麦氨基酸态氮及铵态氮营养效应研究[J]. *应用生态学报*, 2003, 14 (2): 184–186.
- Mo L Y, Wu L H, Tao Q N. Effects of amino acid-N and ammonium-N on wheat seedlings under sterile culture [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 14 (2): 184–186.
- [22] Osmond C B. Acid metabolism in *Atriplex* I. Regulation of oxalate synthesis by the apparent excess cation absorption in leaf tissue [J]. *Australian Journal of Biological Sciences*, 1967, 20 (3): 575–587.
- [23] Rinallo C, Modi G. Content of oxalate in *Actinidia deliciosa* plants grown in nutrient solutions with different nitrogen forms [J]. *Biologia Plantarum*, 2002, 45 (1): 137–139.
- [24] 刘涌海, 俞乐, 彭新湘. 不同氮素形态培养下荞麦叶片中草酸积累的变化 [J]. *广西植物*, 2007, 27 (4): 616–621.
- Liu Y H, Yu L, Peng X X. Changes of leaf oxalate content in buckwheat growing under different nitrogen forms [J]. *Guihaia*, 2007, 27 (4): 616–621.