

不同氨基酸处理对西蓝花芽苗生长及品质的影响

张艾^{1,2}, 魏学军², 谢龙¹, 李宁¹, 裴宝路^{1,2}, 刘伟¹

(1. 农业农村部华北都市农业重点实验室·北京市农林科学院蔬菜研究所 北京 100097;

2. 河北工程大学园林与生态工程学院 河北邯郸 056038)

摘要:为探究不同氨基酸种类对西蓝花芽苗生长及品质特性的影响,采用6种氨基酸(甘氨酸、色氨酸、苯丙氨酸、甲硫氨酸、酪氨酸和谷氨酸)对西蓝花芽苗进行根施处理,以处理后西蓝花芽苗的生长指标(芽苗长度和含水率)和品质指标(可溶性糖、可溶性蛋白、总黄酮、总酚、硝态氮、光合色素、总硫苷和萝卜硫素含量)为评价依据,筛选适宜西蓝花芽苗生长的氨基酸种类。结果表明,与CK(蒸馏水)相比,不同氨基酸处理提高了西蓝花芽苗中的可溶性糖、可溶性蛋白、总黄酮、叶绿素a、叶绿素b和类胡萝卜素含量,显著降低了硝态氮含量,抑制了总硫苷的积累,其中甲硫氨酸处理后西蓝花芽苗中可溶性糖含量(w,后同)(650.64 mg·g⁻¹)、萝卜硫素含量(904.17 μg·g⁻¹)增加最为显著,分别比CK显著提高28.42%和123.71%。研究结果可为氨基酸处理在西蓝花芽苗提质增效生产中的应用提供理论依据。

关键词:西蓝花;氨基酸;芽苗;生理生化;萝卜硫素

中图分类号:S635.3

文献标志码:A

文章编号:1673-2871(2024)05-151-06

Effects of different amino acid treatments on the growth and quality of broccoli sprouts

ZHANG Ai^{1,2}, WEI Xuejun², XIE Long¹, LI Ning¹, PEI Baolu^{1,2}, LIU Wei¹

(1. North China Key Laboratory of Urban Agriculture, Ministry of Agriculture and Rural Affairs/Beijing Vegetable Research Institute, Beijing Academy of Agricultural and Forestry Sciences, Beijing 100097, China; 2. College of Landscape and Ecological Engineering, Hebei University of Engineering, Handan 056038, Hebei, China)

Abstract: In order to explore the effects of different amino acids on the growth and quality characteristics of broccoli sprouts. In this study, six amino acids (glycine, tryptophan, phenylalanine, methionine, tyrosine and glutamic acid) were applied to the roots of broccoli sprouts to improve the growth index (sprout length and moisture content) and quality index (soluble sugar, soluble protein, total flavonoids, total phenols, nitrate nitrogen, light and pigment, total glucosinolate and sulforaphane) of the treated broccoli sprouts. The results showed that different amino acid treatments increased the soluble sugar, soluble protein, total flavonoids, chlorophyll a, chlorophyll b and carotenoids content, significantly decreased the nitrate content, and inhibited the accumulation of total glucosinolates. Among them, the soluble sugar content (650.64 mg·g⁻¹) and sulforaphane content (904.17 μg·g⁻¹) in broccoli sprouts after methionine treatment significantly increased the most, and increased significantly 28.42% and 123.71%, respectively, compared with CK. The research results can provide theoretical basis for the application of amino acid treatment in the production of broccoli sprouts.

Key words: Broccoli; Amino acid; Sprouting vegetable; Physiology and biochemistry; Sulforaphane

西蓝花(*Brassica oleracea* L. var. *italica* Plenck)是十字花科芸薹属一年生或二年生草本植物,别名青花菜、绿花菜、青花菜、绿花椰,为甘蓝中以绿色花球为产品的一个变种。西蓝花芽苗富含抗坏血酸、花色苷、可溶性糖、可溶性蛋白、萝卜硫素、硫代

葡萄糖苷等活性成分,具有极高的营养价值和保健作用^[1-2]。研究表明,西蓝花芽苗具有抗氧化、降低血糖、降低心血管疾病、调节机体免疫力、消炎等功能,这取决于西蓝花芽苗中富含的萝卜硫素^[3-4]。萝卜硫苷为萝卜硫素的前体物质,细胞破碎后在黑芥

收稿日期:2023-10-09;修回日期:2024-01-18

基金项目:现代农业产业技术体系北京市创新团队(BAIC01-2023);北京市农林科学院科技创新能力建设专项(KJCX20210402);北京市农林科学院蔬菜研究所改革与发展项目(KYCX202306)

作者简介:张艾,男,硕士,主要从事蔬菜栽培生理研究。E-mail:zhangai0301@163.com

通信作者:刘伟,女,研究员,研究方向为蔬菜栽培生理与品质调控。E-mail:liuwei@nercv.org

魏学军,男,副教授,研究方向为设施蔬菜生理与栽培技术。E-mail:weixuejun@hebeu.edu.cn

子酶的作用下形成萝卜硫素^[5],因此如何通过栽培技术创新提高西蓝花芽苗中萝卜硫素的含量,已成为当今研究的热点之一。

氨基酸是植物生长必需的化合物,是蛋白质的组成部分、氮(N)素主要的呈现形式和信号分子。氨基酸作为一种有机氮源可以被作物直接吸收利用,外源施用氨基酸可以显著提高作物产量、品质以及抗逆性^[6]。王峻等^[7]以小白菜为试材,探究 $0.2\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 的7种氨基酸对白菜生长及品质的影响,发现赖氨酸处理组白菜生物量、可溶性蛋白质含量均最高,丝氨酸处理白菜叶绿素含量最高。丁双双等^[8]以小白菜为试材,探究氨基酸和硝酸钙单独喷施、配合喷施,对小白菜生长、品质和养分吸收以及对钙有效性的影响,发现喷施氨基酸可增加小白菜生物量、可溶性糖和可溶性蛋白含量,明显促进小白菜生长和养分吸收,并改善品质。于俊红等^[9]以菜心为试材,研究3种氨基酸以及6个浓度梯度对菜心生长及品质的影响,结果表明, $50\sim 200\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 的组氨酸、甘氨酸和甲硫氨酸喷施能不同程度促进菜心生长和增产,提高菜心地上部蛋白质和可溶性糖含量,降低硝酸盐含量。梁志雄等^[10]以油麦菜为试材,研究不同喷施浓度的3种氨基酸对油麦菜生长的影响,结果表明,丙氨酸喷施处理增产效果最优,喷施浓度为 $20\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,油麦菜产量显著高于对照,适量氨基酸喷施均能增加油麦菜总蛋白含量,同时降低硝酸盐含量。Shekari等^[11]以西蓝花为试材,研究氨基酸类别、施加方式对西蓝花生理及品质特性的影响,结果表明,叶面喷施 $100、200\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 半胱氨酸和 $200\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 甲硫氨酸显著增加了干质量,喷施 $200\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 半胱氨酸的酚类化合物含量最高,喷施 $100\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 半胱氨酸的维生素C含量最高。翟志亭等^[12]以甘蓝为试材,研究叶面喷施6种氨基酸对甘蓝硫代葡萄糖苷组分及其含量的影响,结果表明,氨基酸对甘蓝硫苷含量有一定的影响,半胱氨酸和甲硫氨酸显著提高硫苷的总含量、脂肪族硫苷的含量和4-甲基硫氧丁基硫苷含量,其中半胱氨酸处理含量最高。Pérez-balibrea等^[13]以西蓝花为试材,在发芽过程中喷洒不同浓度的氨基酸,发现甲硫氨酸能提高7d苗龄西蓝花芽的脂肪族硫苷含量,色氨酸则能使吲哚族硫苷含量增加近2倍,同时使萝卜硫素含量升高。研究表明,硫苷是萝卜硫素的前体物质,并且硫苷的生物合成均源于氨基酸,苯丙氨酸、甲硫氨酸和色氨酸分别是芳香族硫苷、脂肪族硫苷和吲哚族硫苷的合成前体^[14]。

笔者通过研究不同种类氨基酸对西蓝花芽苗生长和品质的影响,分析处理后西蓝花芽苗中生理指标(芽苗长度、含水量)及品质指标(可溶性糖、可溶性蛋白、总黄酮、总酚、光合色素、硝态氮、总硫苷和萝卜硫素的含量)的变化,并以功能性成分萝卜硫素含量为指标筛选显著提升西蓝花芽苗品质的氨基酸种类,为氨基酸在西蓝花芽苗提质增效生产中的应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试品种为绿健西芽1号F₁西蓝花芽苗专用品种,由北京市农林科学院京研益农(北京)种业科技有限公司提供;甘氨酸、L-酪氨酸、L-甲硫氨酸、L-苯丙氨酸、L-色氨酸、L-谷氨酸购自国药集团上海化学试剂有限公司;可溶性糖试剂盒和硝态氮试剂盒购自北京索莱宝科技有限公司。

1.2 试验设计

试验于2023年4—5月在北京市农林科学院蔬菜研究所日光温室内进行,温室内环境可控,温度控制在 $20\sim 26\text{ }^{\circ}\text{C}$,湿度控制在 $50\%\sim 60\%$ 。

采用无土栽培育苗盘方式种植。取10g西蓝花种子播种在育苗托盘中,托盘内加入1.4L蒸馏水,前3d避光萌发,第4天开始进行不同种类氨基酸根施处理,第12天采收,进行相关指标分析。不同氨基酸试验处理如表1所示。

表1 不同氨基酸处理
Table 1 Different amino acid treatment

处理 Treatment	氨基酸种类 Amino acid type	c(氨基酸) Amino acid concentration/ $(\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1})$
CK	蒸馏水 Water	0.0
T1	甘氨酸 Glycine	0.5
T2	色氨酸 Tryptophan	0.5
T3	苯丙氨酸 Phenylalanine	0.5
T4	甲硫氨酸 Methionine	0.5
T5	酪氨酸 Tyrosine	0.5
T6	谷氨酸 Glutamic acid	0.5

1.3 生理指标测定

芽苗长度:取出20株西蓝花芽苗,用直尺测量整根芽长,取平均值。

含水量:取培养12d后的西蓝花芽苗,测定西蓝花芽苗地上部鲜质量,放入冻干机中冻干,取出后及时测定干质量,并计算含水量。含水量 $\%=(\text{地上部鲜质量}-\text{地上部干质量})/\text{地上部鲜质量}\times 100$ 。

1.4 品质指标测定

用试剂盒方法测定可溶性糖含量,采用考马斯亮蓝 G-250 法测定可溶性蛋白含量^[15],采用没食子酸比色法测定总黄酮含量^[16],采用福林酚比色法测定总酚含量^[16]。使用试剂盒方法测定硝态氮含量,采用乙醇浸提法测定光合色素含量^[13],参照吴谋成等^[17]的方法测定总硫苷含量,参照余静等^[18]的方法并稍做修改,采用高效液相色谱法(HPLC)测定萝卜硫素含量。

1.5 数据分析

试验数据采用 Excel 2019 软件处理,采用 Origin 2021 软件绘图,采用 SPSS 25.0 软件 Duncan's 多重比较法进行差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 不同种类氨基酸对西蓝花芽苗生理指标的影响

由表 2 可知,与 CK 相比,不同种类氨基酸处理后西蓝花芽苗的芽长均受到抑制,T2、T4 和 T6 处理对芽长有显著的抑制作用;芽苗含水量在不同种类氨基酸处理下均与 CK 无显著差异。

表 2 不同种类氨基酸对西蓝花芽苗生长的影响

Table 2 Effects of different amino acids on the growth of broccoli sprouts

处理 Treatment	芽长 Bud length/cm	含水量 Water content/%
CK	8.11±0.18 a	91.56±0.15 ab
T1	7.57±0.26 ab	91.02±0.32 ab
T2	6.73±0.34 c	90.12±0.33 b
T3	7.58±0.25 ab	90.69±0.44 ab
T4	7.30±0.19 bc	91.13±0.92 ab
T5	7.72±0.32 ab	91.93±0.60 a
T6	6.79±0.22 c	91.64±0.30 ab

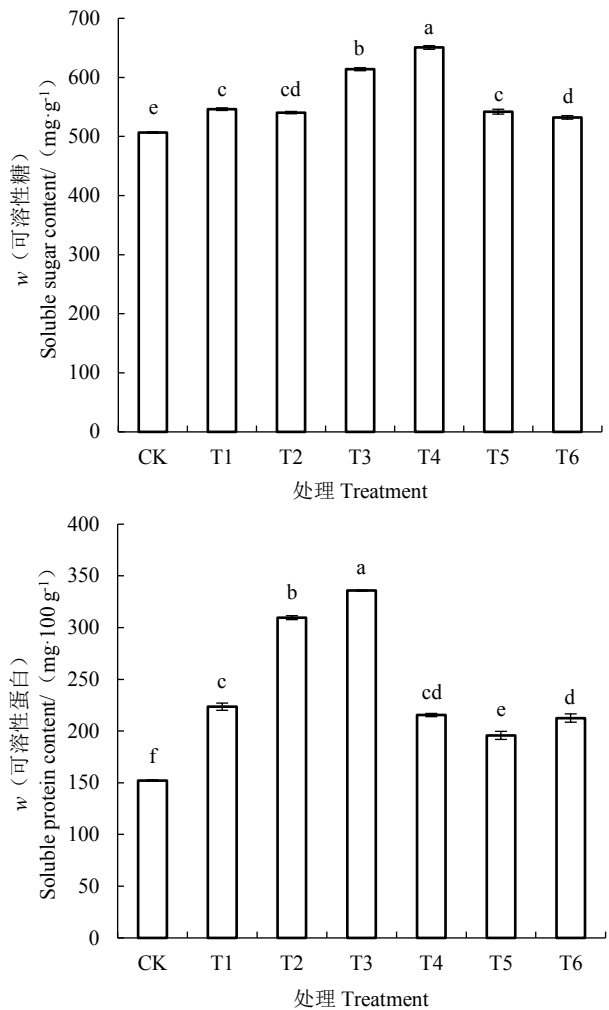
注:同列不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著。下同。

Note: Different small letters in the same column indicate significant difference at 0.05 level. The same below.

2.2 不同种类氨基酸对西蓝花芽苗品质指标的影响

由图 1 可知,经过氨基酸处理后,西蓝花芽苗的可溶性糖和可溶性蛋白含量均显著高于 CK,其中,T4 处理可溶性糖含量(w,下同)最高,为 650.64 mg·g⁻¹,与 CK 相比显著提高了 28.42%;T3 处理可溶性蛋白含量最高,为 335.78 mg·g⁻¹,与 CK 相比显著提高了 120.56%。

由图 2 可知,经过氨基酸处理后,西蓝花芽苗的总黄酮含量均高于 CK,T3 处理总黄酮含量最



注:不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著。下同。

Note: Different small letters mean significant difference at 0.05 level. The same below.

图 1 不同种类氨基酸对西蓝花芽苗可溶性糖和可溶性蛋白含量的影响

Fig. 1 Effects of different amino acids on soluble sugar and soluble protein content of broccoli sprouts

高,为 25.82 mg·g⁻¹,与 CK 相比显著提高了 29.29%。经过氨基酸处理后,西蓝花芽苗的总酚含量在 T2 处理下相比于 CK 显著提高了 12.69%,T4 处理下相比于 CK 显著提高了 7.26%,而 T1、T3、T5、T6 处理后的总酚含量均低于 CK,但差异不显著。

由图 3 可知,经过氨基酸处理后,西蓝花芽苗的硝态氮含量均显著低于 CK,T3 处理硝态氮含量最高,为 22.37 μg·g⁻¹,与 CK 相比显著降低了 46.24%,T5、T4、T1、T6、T2 处理下硝态氮含量分别为 18.53、15.11、12.40、11.85、8.45 μg·g⁻¹,与 CK 相比分别显著降低了 55.47%、63.69%、70.20%、71.52%、79.69%。

由表 3 可知,经过氨基酸处理后,西蓝花芽苗

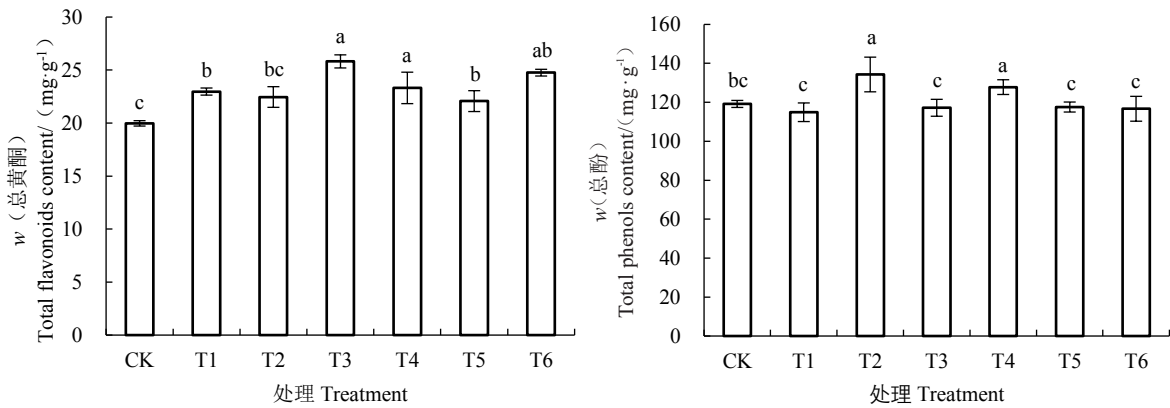


图2 不同种类氨基酸对西蓝花芽苗总黄酮和总酚含量的影响

Fig. 2 Effects of different amino acids on the contents of total flavonoids and total phenols in broccoli sprouts

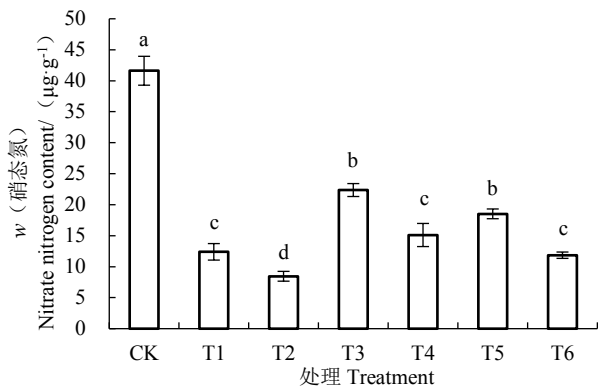


图3 不同种类氨基酸对西蓝花芽苗硝态氮含量的影响

Fig. 3 Effects of different amino acids on nitrate nitrogen content in broccoli sprouts

的叶绿素 a、叶绿素 b、类胡萝卜素和总叶绿素含量均显著高于 CK, 其中, T2 处理的叶绿素 a、叶绿素 b、总叶绿素和类胡萝卜素含量均最高, 分别比 CK 显著提高 40.91%、87.88%、49.20%、24.00%。

由图 4 可知, 和 CK 相比, 经过氨基酸处理后, 西蓝花芽苗的总硫苷含量均有不同程度下降, 除 T1 处理与 CK 差异不显著外, 其他处理均与 CK 呈显著差异。西蓝花芽苗的萝卜硫素含量在 T3、T4、T5、T6 处理下均高于 CK, T4 处理下的含量最高, 为 904.17 μg·g⁻¹, 与 CK 相比显著提高了 123.71%; 在 T1、T2 处理下, 萝卜硫素含量显著低于 CK, T2 处理下的含量最低, 为 127.96 μg·g⁻¹, 与 CK 相比显

表3 不同种类氨基酸对西蓝花芽苗光合色素含量的影响

Table 3 Effects of different amino acids on photosynthetic pigment content of broccoli sprouts

处理 Treatment	w(叶绿素 a) Chlorophyll a content/(mg·g ⁻¹)	w(叶绿素 b) Chlorophyll b content/(mg·g ⁻¹)	w(总叶绿素) Total chlorophyll content/(mg·g ⁻¹)	w(叶绿素 a)/w(叶绿素 b) Chlorophyll a content/Chlorophyll b content	w(类胡萝卜素) Carotenoids content/(mg·g ⁻¹)
CK	1.54±0.03 c	0.33±0.01 b	1.87±0.03 b	4.69±0.14 a	0.50±0.02 b
T1	2.04±0.02 ab	0.56±0.03 a	2.60±0.01 a	3.65±0.18 b	0.59±0.02 a
T2	2.17±0.05 a	0.62±0.04 a	2.79±0.09 a	3.53±0.18 b	0.62±0.01 a
T3	2.12±0.03 ab	0.58±0.02 a	2.70±0.04 a	3.63±0.07 b	0.61±0.01 a
T4	2.00±0.01 b	0.60±0.09 a	2.61±0.08 a	3.43±0.45 b	0.58±0.01 a
T5	2.05±0.01 ab	0.57±0.02 a	2.62±0.03 a	3.62±0.13 b	0.61±0.01 a
T6	2.07±0.10 ab	0.57±0.06 a	2.64±0.16 a	3.70±0.22 b	0.61±0.02 a

著降低了 68.34%。

3 讨论与结论

可溶性糖是许多植物为了适应胁迫环境而主动积累的一种渗透调节剂。总黄酮和总酚可以帮助植物对抗氧化反应, 减少因氧化反应而引起的细胞损伤和氧化应激。植物体内硝态氮的含量, 不仅

能够反映出植物的氮素营养状况, 而且对鉴定蔬菜及其加工品的品质也有重要意义。硫代葡萄糖苷和萝卜硫素是重要的生物分子, 具有多种生物学功能。

在本研究中, 与 CK 相比, 根施氨基酸显著提高了西蓝花芽苗可溶性糖、可溶性蛋白含量, 整体来看, 根施苯丙氨酸和甲硫氨酸作用较明显。同时, 根施氨基酸显著降低了硝态氮含量, 这与前人的研

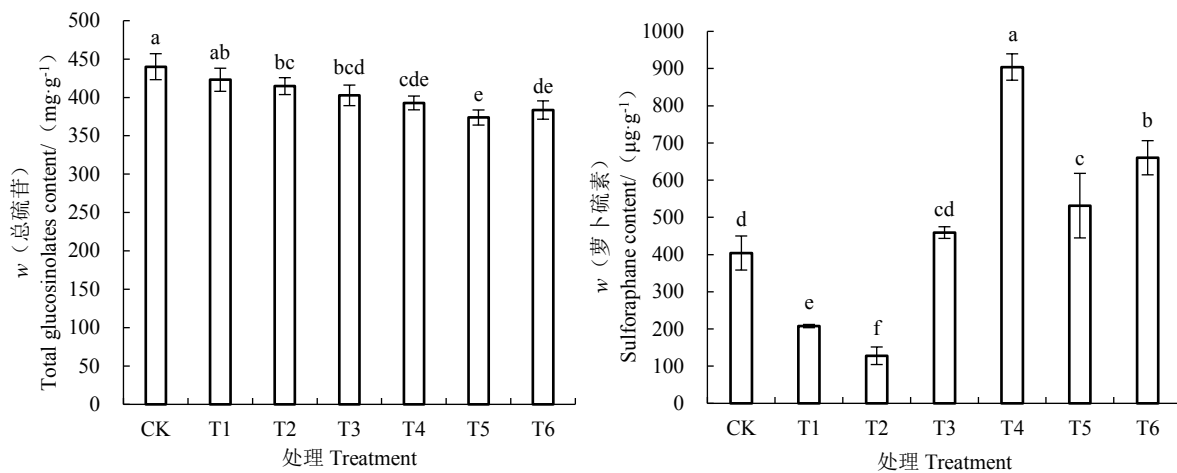


图4 不同种类氨基酸对西蓝花芽苗总硫苷和萝卜硫素含量的影响

Fig. 4 Effects of different amino acids on the contents of total glucosinolates and sulforaphane in broccoli sprouts

究结果一致。Hassini 等^[19]研究发现,叶面施用甲硫氨酸,显著提高了水稻生物量和酚类化合物的含量。将一定浓度的甘氨酸和甲硫氨酸,对小油菜和小白菜进行叶面喷施,能有效提高小油菜和小白菜的产量,提高维生素 C、可溶性糖和可溶性蛋白的含量,同时降低硝酸盐含量,有效改善其品质^[20-21]。刘繁超等^[22]研究表明,相较于对照组施用 $0.9 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 谷氨酸肥料,水稻秧苗的可溶性糖含量最高。Haghighi 等^[23]研究表明,相较于对照组,在喷施 $300 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 氨基酸时,大白菜的叶绿素、总黄酮、总酚、蛋白质含量均显著提高。所有氨基酸处理组的可溶性蛋白含量均显著高于 CK,这是由于氨基酸是合成蛋白质的前体物质,氨基酸处理组芽苗直接吸收外源氨基酸进行蛋白质合成,缩短了芽苗吸收氮源合成蛋白质的路径,与其他氮源相比,氨基酸氮更容易被植物吸收同化,从而减少植物在进行生理代谢时所消耗的能量^[8],进一步改善产品品质^[24]。

试验结果表明,和 CK 相比,根施所有类别的氨基酸均会不同程度降低西蓝花芽苗中的总硫苷含量,根施苯丙氨酸、甲硫氨酸、酪氨酸和谷氨酸后,萝卜硫素含量均有提高,甲硫氨酸处理萝卜硫素含量最高。硫苷按照组成基团的不同,可分为脂肪族硫苷、芳香族硫苷和吲哚族硫苷,不同类别硫苷由不同的氨基酸前体合成,脂肪族硫苷、芳香族硫苷和吲哚族硫苷的前体物质分别为甲硫氨酸、苯丙氨酸和色氨酸,萝卜硫素是萝卜硫苷(脂肪族硫苷)的降解产物,萝卜硫苷的合成以甲硫氨酸为起始底物^[25],因此根施甲硫氨酸后芽苗中萝卜硫素的含量最高。

综上所述,不同种类氨基酸根施处理,提高了西蓝花芽苗中可溶性糖、可溶性蛋白、总黄酮、叶绿素 a、叶绿素 b 和类胡萝卜素含量,降低了硝态氮含量,抑制了总硫苷物质的积累,其中甲硫氨酸处理后西蓝花芽苗中可溶性糖含量($650.64 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$)、萝卜硫素含量($904.17 \text{ μg} \cdot \text{g}^{-1}$)增加最显著,因此选择甲硫氨酸作为根施西蓝花芽苗的氨基酸种类。研究结果为氨基酸处理在西蓝花芽苗提质增效生产中的应用提供了理论依据。

参考文献

- NGUYEN BAO A V, MCDONALD G, FIORENTION F, et al. Consumption of broccoli sprouts attenuates intracellular p38 map kinase and reactive oxygen species pro-inflammatory activation in human leukocytes: A randomised-controlled trial[J]. *Journal of Clinical Nutrition & Dietetics*, 2017, 3(4): 141-153.
- ZHUANG L, XU K X, ZHU Y L, et al. Calcium affects glucoraphanin metabolism in broccoli sprouts under ZnSO_4 stress[J]. *Food Chemistry*, 2021, 334: 127520.
- LI L Z, MA P H, NIRASAWA S, et al. Formation, immunomodulatory activities, and enhancement of glucosinolates and sulforaphane in broccoli sprouts: A review for maximizing the health benefits to human[J/OL]. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2023: 1- 31[2023- 02- 17]. DOI: 10.1080/10408398.2023.2181311.
- MAHN A, CASTILLO A. Potential of sulforaphane as a natural immune system enhancer: A review[J]. *Molecules*, 2021, 26(3): 752.
- 赵西连, 庄莉, 肖军霞, 等. 白光和红光光周期对西蓝花芽苗菜生理生化和萝卜硫苷代谢的影响[J]. *食品工业科技*, 2021, 42(18): 34-40.
- 韩贝贝, 王宝驹, 佟静, 等. 氨基酸处理对水培韭菜产量、品质及风味的影响[J]. *中国蔬菜*, 2022(5): 74-80.
- 王峻, 马庆旭, 刘梦娇, 等. 不同氨基酸以及赖氨酸与硝态氮不

- 同配比对白菜生长和品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2020, 26(3): 587-593.
- [8] 丁双双, 李燕婷, 袁亮, 等. 糖醇和氨基酸对小白菜钙营养及生长、品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2016, 22(3): 744-751.
- [9] 于俊红, 彭智平, 黄继川, 等. 三种氨基酸对菜心产量和品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2014, 20(4): 1044-1050.
- [10] 梁志雄, 彭智平, 涂玉婷, 等. 3种氨基酸与肥料配施对油麦菜生长、品质和养分积累的影响[J]. 中国农学通报, 2021, 37(3): 123-128.
- [11] SHEKARI G, JAVANMARDI J. Application of cysteine, methionine and amino acid containing fertilizersto replace urea: The effects on yield and quality of broccoli[J]. *Advances in Crop Science and Technology*, 2017, 5(3): 100283-100286.
- [12] 翟志亭, 郭世荣, 刘伟. 氨基酸对甘蓝硫代葡萄糖苷的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2009, 15(2): 447-452.
- [13] PEREZ-BALIBREA S, MORENO D A, GARCIA-VIGUERAC. Improving the phytochemical composition of broccoli sprouts by elicitation[J]. *Food Chemistry*, 2011, 129(1): 35-44.
- [14] 刘哲, 张秋萍, 苏小俊, 等. 萝卜硫苷合成和调节相关基因研究进展[J]. 江苏农业科学, 2015, 43(6): 168-170.
- [15] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.
- [16] 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.
- [17] 吴谋成, 黄荣汉. 油菜籽(饼)中硫代葡萄糖甙总量的快速定量测定[J]. 华中农学院学报, 1983, 2(3): 73-81.
- [18] 余静, 吴新, 冷桃花, 等. 高效液相色谱-串联质谱法测定芝麻菜中萝卜硫素[J]. 食品安全质量检测学报, 2022, 13(7): 2246-2251.
- [19] HASSINI I, RIOS J J, GARCIA-IBANEZ P, et al. Comparative effect of elicitors on the physiology and secondary metabolites in broccoli plants[J]. *Journal of Plant Physiology*, 2019, 239: 1-9.
- [20] 于会丽, 林治安, 李燕婷, 等. 喷施小分子有机物对小油菜生长发育和养分吸收的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2014, 20(6): 1560-1568.
- [21] 张木, 胡承孝, 孙学成, 等. 叶面喷施微量元素和氨基酸对小白菜产量及品质的影响[J]. 华中农业大学学报, 2011, 30(5): 613-617.
- [22] 刘繁超, 方淑梅, 王庆燕, 等. 不同浓度外源氨基酸对水稻秧苗生长及相关生理指标的影响[J]. 作物杂志, [2023-05-16]. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1808.S.20230515.2104.002.html>.
- [23] HAGHIGHI M, SADEGHABAD A B, ABOLGHASEMI R. Effect of exogenous amino acids application on the biochemical, antioxidant, and nutritional value of some leafy cabbage cultivars[J]. *Scientific Reports*, 2022, 12(1): 17720.
- [24] 王莹, 史振声, 王志斌, 等. 植物对氨基酸的吸收利用及氨基酸在农业中的应用[J]. 中国土壤与肥料, 2008(1): 6-11.
- [25] 程坤, 杨丽梅, 方智远, 等. 十字花科植物中主要硫代葡萄糖苷合成与调节基因的研究进展[J]. 中国蔬菜, 2010(12): 1-6.