

十种常见氨基酸对蔬菜生长及品质影响的研究进展

王宝驹¹, 王洪旭², 曲明山³, 蔡梦梦², 聂青³, 王琦³, 李婷³

(1. 北京市农林科学院蔬菜研究所·农业农村部都市农业(北方)重点实验室 北京 100097;

2. 北京农学院 北京 102206; 3. 北京市农业技术推广站 北京 100029)

摘要: 氨基酸类生物刺激素属于生物刺激素大类下的一个分支, 在农业生产中有广泛的应用, 可一定程度缓解非生物胁迫对植物造成的伤害。氨基酸肥料在植物养分吸收、植物生长、改善植物产量及品质等方面具有一定的促进作用。氨基酸是氨基酸肥料的基础, 通过了解各氨基酸对植物产生的影响, 为将来配制氨基酸肥料提供理论支撑。对蔬菜生长和品质具有一定作用的十种常见氨基酸, 包括色氨酸、甘氨酸、谷氨酸、精氨酸、天冬氨酸、脯氨酸、赖氨酸、丙氨酸、亮氨酸和缬氨酸, 综述其各自对蔬菜生长及品质产生影响的研究进展, 以期对氨基酸类肥料的研究及其在蔬菜生产中的应用奠定基础。

关键词: 氨基酸; 蔬菜; 生长; 品质

中图分类号: S63

文献标志码: A

文章编号: 1673-2871(2025)03-012-06

Research progress on the effects of ten common amino acids on vegetable growth and quality

WANG Baoju¹, WANG Hongxu², QU Mingshan³, CAI Mengmeng², NIE Qing³, WANG Qi³, LI Ting³

(1. Vegetable Research Institute, Beijing Academy of Agricultural and Forestry Sciences/Key Laboratory of Urban Agriculture of North China, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Beijing 100097, China; 2. Beijing University of Agriculture, Beijing 102206, China; 3. Beijing Agricultural Technology Extension Station, Beijing 100029, China)

Abstract: Amino acid belong to a branch of bio-stimulants, which are widely used in agriculture. They can alleviate the damage caused by abiotic stress to plants to a certain extent. Amino acid fertilizers have a certain role in promoting plant nutrient absorption, plant growth, and improving yield and quality. Amino acids are the basis of amino acid fertilizers. By understanding the effects of various amino acids on plants, which provides theoretical support for the future configuration of amino acid fertilizers. Ten common amino acids that have a certain effect on improving vegetable growth and quality include tryptophan, glycine, glutamic acid, arginine, aspartic acid, proline, lysine, alanine, leucine, and valine, and review the research progress on their respective effects on vegetable growth and quality in order to lay the foundation for the research and development of amino acid fertilizers and their application in vegetable production.

Key words: Amino acid; Vegetable; Growth; Quality

氨基酸由羧基和氨基组成, 是蛋白质的基本组成单位, 因其侧链不同, 具有不同的性质, 是植物生长不可或缺的重要成分^[1]。氨基酸是蛋白质的最小分子, 不用通过任何的转换能直接被作物吸收, 施到土壤中, 根系接触之后就会被快速吸收, 是不通过任何转换而被吸收的一种肥料。氨基酸肥料通常用动植物边角料作为原料, 经过水解、发酵等多道工序制成^[2]。笔者主要关注氨基酸作为生物刺激

素大类中一个小类的根本元素, 即单质氨基酸对蔬菜生长及品质产生的影响。

1 概述

1.1 生物刺激素在农业生产中的作用

在 1976 年的西班牙, “生物刺激素”一词被格莱西姆矿业公司提出, 但该公司没有对“生物刺激素”进行明确的定义, 当时“生物刺激素”也没有引

收稿日期: 2024-05-28; 修回日期: 2024-12-02

基金项目: 北京市农林科学院“瓜类协同创新中心建设”(XTCX202301); 北京市特色作物创新团队(BAIC04-2024); 北京市农林科学院蔬菜研究所改革与发展项目(KYCX202406)

作者简介: 王宝驹, 男, 副研究员, 研究方向为蔬菜设施栽培与育苗技术。E-mail: wangbaoju@nercv.org

通信作者: 李婷, 女, 正高级农艺师, 主要从事西瓜甜瓜栽培与养分管理技术研究。E-mail: litingdream@126.com

起广泛关注,直到2010年,“生物刺激素”才重新进入大家的视线^[3]。在2012年的法国,第一届国际生物刺激素大会成功召开,从那时起生物刺激素迅猛发展^[4]。2019年,欧洲生物刺激素行业委员会(EBIC)认为生物刺激素是包含功能性物质和微生物及其次生代谢产物的一类物质,可促进作物养分吸收、提高养分利用效率、作物抗逆性和农作物产量等^[5]。有研究表明,生物刺激素具有提高植物对肥料有效成分的利用、调控植物生长发育并促进植物二次新陈代谢、提高植物抗非生物胁迫能力、改善土壤环境、提高植物光合作用、提升作物产量及品质等功能,并对病虫害有一定的防治作用^[6-7]。一般将生物刺激素分为九大类,包括腐殖质、复杂有机材料(来自农业、工业和城市废弃物、污水污泥提取物、堆肥和粪肥)、有益化学元素(Al、Co、Na、Sc和Si)、无机盐(包括磷酸盐)、藻类提取物(棕色、红色和绿色大型藻类)、甲壳素和壳聚糖的衍生物、止汗剂(高岭土和聚丙烯酰胺)、游离氨基酸和含氮物质(多肽、多胺和甜菜碱),以及促进植物生长的根际细菌(PGPR)、丛枝菌根真菌(AMF)和木霉^[8]。

在植物生长过程中补充植物必需的氨基酸,氨基酸态氮主要是指存在于土壤有机质中的蛋白质和多肽中被微生物降解成的小分子氨基酸,易被植物吸收,是植物可利用氮的潜在来源^[9]。其能为植物的生长提供有机氮,同时刺激和调节植物快速生长,促使植物生长健壮,促进植物对营养物质的吸收,增加干物质的积累和从植物根部或叶部向其他部位的运转速度和数量,调节大量元素、微量元素以及各种营养成分的比例和平衡状态,从而起到调节植物正常生长的作用,还能一定程度提高植物抵抗非生物胁迫的能力,提高植物的产量^[3-4]。

1.2 氨基酸类生物刺激素对蔬菜的影响

1.2.1 氨基酸对蔬菜抗逆方面的影响

随着社会的进步以及科技的发展,当今环境条件日益严峻,这对蔬菜的生长非常不利,众多学者为了在不利条件下栽植出良好的蔬菜而做了一系列研究,他们发现在蔬菜受到非生物胁迫时使用氨基酸处理可以有效缓解逆境对蔬菜造成的伤害,并能一定程度提高蔬菜对逆境胁迫的耐受能力。

土壤中高矿化率往往容易影响植物对氨基酸的吸收,且土壤微生物与植物对氨基酸的吸收存在一定的竞争关系^[10]。在菜心经历高温胁迫时添加脯氨酸,能降低其体内丙二醛含量,提高体内抗氧化酶活性和脯氨酸含量^[11]。研究表明,在水培甜瓜盐

胁迫时施用不同浓度脯氨酸,低浓度脯氨酸施用能缓解甜瓜幼苗盐胁迫状态,增加其生物量及叶绿素含量,而高浓度脯氨酸施用则会加重甜瓜幼苗盐胁迫损伤^[12]。研究表明,色氨酸能缓解镉胁迫对西蓝花幼苗产生的伤害,对西蓝花的生长具有一定的促进作用^[13]。以上研究表明,在蔬菜生长受到非生物胁迫时,施用氨基酸能有效缓解非生物胁迫对蔬菜造成的伤害,氨基酸对蔬菜非生物胁迫具有一定的缓解作用。

1.2.2 氨基酸对蔬菜生长、品质及产量方面的影响

研究表明,适宜浓度外源氨基酸能促进果蔬生长、提高产量及品质^[8,14]。适宜浓度色氨酸处理油菜,对油菜体内生长调节物质的增加具有刺激作用,从而促进油菜叶片和根系的生长^[15]。将氨基酸肥料应用于番茄时,对番茄植株及根系的生长、生物量的增加具有促进作用^[16]。此外,研究表明,氨基酸在植物养分吸收和产量方面也具有一定的促进效果。研究人员施用氨基酸肥料显著提高了番茄开花结果期的根长、地上部鲜质量和果实产量,增幅分别为19%、18%、26%^[17]。在盆栽油麦菜时配施氨基酸,能一定程度增加油麦菜氮、磷和钾的积累量,达到对养分吸收的促进效果^[18]。此外,还有部分学者研究认为,氨基酸肥料可以增强作物对养分的吸收能力,有效促进番茄功能叶片生长,促进蛋白质、淀粉、糖等干物质的积累,改善果实品质,提高产量^[19]。喷施氨基酸,尤其是喷施甘氨酸有利于提高菜心产量,改善品质^[20]。而氨基酸叶面肥对蔬菜品质的改善也具有积极影响,可显著提高黄瓜、茄子、空心菜的总糖含量,此外,维生素C含量也有不同程度的提高^[21]。于俊红等^[22]明确了氨基酸对菜心产量与品质提升的作用效果。大量研究证实,氨基酸等小分子物质作为水溶性肥料,不仅能促进作物生长,还能显著提高茄子、芹菜、豇豆、番茄等蔬菜的品质,作物净光合速率、叶绿素含量、株高、茎粗等指标显著高于未施加氨基酸肥料的对照组^[23-26]。研究表明,在植物生长过程中施用氨基酸,能在植物体内经过复杂的生化反应,经过糖酵解、三羧酸循环等代谢途径转变成多种糖类及有机酸,从而促进蔬菜产量及品质的提升^[27]。

2 十种常见氨基酸对蔬菜的影响

上述内容分析了氨基酸肥料在蔬菜生长发育、产量及品质方面具有一定的影响,笔者推测单质氨基酸在改善蔬菜生长发育、品质与产量方面也应当

具有类似的作用,并将十种具有代表性的氨基酸进行了详细总结。

2.1 色氨酸

色氨酸(Trp)是动植物生长所必需的氨基酸之一,还是蔬菜生长素、芥子油苷等的前体物质^[28],因此色氨酸在蔬菜生长方面具有重要作用,众多研究者也关注其对蔬菜品质提升方面产生的影响。研究表明,在羽扇豆的生长过程中叶面喷施色氨酸,可以促进羽扇豆种子的氮、磷、钾、可溶性糖、粗蛋白和游离氨基酸的积累,并提高种子产量和质量^[29]。在甘蓝中发现适当浓度的外源色氨酸处理可以促进甘蓝的生长,提高产量和品质^[30]。Pérez-balibrea等^[31]以西蓝花为试材,在发芽过程中喷洒不同浓度的氨基酸,发现色氨酸能使吡啶族硫苷含量增加近2倍,同时使萝卜硫素含量升高。在番茄的生长过程中喷施色氨酸,提高了果实中生长素、可溶性糖、可溶性蛋白和可溶性固形物含量,并降低可滴定酸含量,能达到改善番茄品质的效果^[32]。将色氨酸应用在秋葵的生产中,对秋葵的株高、节间距、产量及品质均具有一定的提升效果^[33]。

2.2 甘氨酸

甘氨酸(Gly)是结构最简单、分子质量最小的氨基酸,是蔬菜体内重要的氨基酸之一,是蔬菜螯合肽、谷胱甘肽等物质的合成前体,还是硝态氮的代谢产物^[34]。研究表明,甘氨酸对植物的光合作用有独特的效果,并利于植物的生长,在农业中还常被用作增糖剂^[18],笔者推测甘氨酸不仅在提高蔬菜糖含量方面有一定作用,在改善蔬菜其他品质方面也有一定的促进作用。研究表明,在香菜的生长中添加适量浓度的甘氨酸,可以提高叶片中蛋白质的含量,以及叶片中氮、钾、锌等的浓度,并改善香菜的生长和营养品质^[35]。Mohammadipour等^[36]的研究也有类似的结果,适量浓度的甘氨酸对香菜叶片中可溶性固形物和维生素C含量也有一定的提升作用。甘氨酸对小白菜体内硝酸盐含量具有降低作用,对维生素C和叶绿素含量具有提升作用,并能提高产量^[37]。沈欣等^[38]的研究也得到相同的结果,施用甘氨酸能提高小白菜体内可溶性糖含量。将甘氨酸应用于黄瓜的生长中,能提高叶片中抗氧化酶活性,并提高黄瓜果实维生素C及可溶性糖含量,达到促进黄瓜增产,并改善品质的效果^[39]。甘氨酸能促进生菜地上部生长,提高生菜体内可溶性糖和游离氨基酸含量,该研究者还将甘氨酸应用在不结球白菜的生长中,都能起到改善品质的作用^[40]。

10%甘氨酸水溶肥处理可促进菠菜叶片的生长,提高叶片叶绿素含量及氮含量,提高植株干物质积累量,但对菠菜的株高生长具有抑制作用;不同浓度处理均对菠菜根系生长有一定的促进作用^[41]。

2.3 谷氨酸

谷氨酸(Glu)是多种氨基酸的合成前体,当外源补充谷氨酸后,不仅可以促进谷氨酸本身参与蛋白质的合成,而且还能促进谷氨酸转变为其他多种氨基酸,再参与蛋白质的合成,并能促进其他氨基酸的吸收^[42]。谷氨酸对蔬菜生长发育及品质影响的研究较多,使用 $160\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 的谷氨酸能够提高芹菜叶片叶绿素、可溶性糖、可溶性蛋白和脯氨酸含量及产量^[43]。研究表明,谷氨酸能降低蔬菜体内硝酸盐含量,提高叶绿素含量,促进蔬菜叶片的光合作用。研究表明,谷氨酸除了降低小白菜体内硝酸盐含量,提高维生素C和叶绿素含量外,还对小白菜地上部磷、氮等元素的积累具有一定的促进作用^[37]。沈欣等^[38]的研究也得到相同的结果,施用谷氨酸还能提高小白菜体内可溶性糖含量。邓子越等^[43]研究表明,谷氨酸处理能提高芹菜的产量。张艾等^[44]研究表明,包含谷氨酸的6种不同氨基酸对西蓝花芽苗进行根施处理,均不同程度提高了可溶性糖、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。将谷氨酸应用在草莓的生长中,能促进草莓成熟及果实增大^[45]。在无土栽培韭菜营养液中添加 $1\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 谷氨酸,能够有效改善韭菜品质,提高产量,并显著提高辛辣度,改善韭菜风味^[46]。

2.4 精氨酸

精氨酸(Arg)在植物体内是多胺、一氧化氮等物质的合成前体^[13],在蔬菜生长过程中起重要作用。精氨酸能促进蔬菜根系发育,提高蔬菜在盐胁迫下的耐受能力等,众多研究者经常将精氨酸应用于改善采后果实的贮藏品质,也有部分研究将精氨酸应用在植物的生长过程中。研究表明,将精氨酸应用在芦笋的低温贮藏时,能提高芦笋的抗氧化能力,并能降低芦笋的失重率及腐烂率等,对芦笋采后品质的提升具有积极作用^[47]。在草莓生长过程中添加精氨酸,对果实可溶性固形物、维生素C和可溶性糖含量等指标均具有提升效果,还能增加草莓的果实质量及数量,达到改善草莓品质和提高产量的双重效果^[48]。在番茄的生长过程中添加精氨酸,通过调节植株氮素的吸收能力,促进植株及根系的生长,提高番茄中维生素C和番茄红素含量,对改

善番茄果实品质有正向作用^[49]。

2.5 天冬氨酸

天冬氨酸(Asp)是一种多功能氨基酸,对金属离子具有一定的螯合能力,还能连接糖代谢和氨基酸代谢^[50-51],因此添加外源天冬氨酸能通过复杂的生化反应在一定程度上参与到糖代谢过程中,在植物的发育过程中发挥作用,对促进植物的生长和发育等方面具有一定作用。笔者主要关注天冬氨酸在改善植物品质方面产生的影响,尽管该方面的研究较少,但仍有部分研究表明,在油麦菜的生长中配施天冬氨酸,能大幅降低油麦菜体内硝酸盐含量,同时提高其对养分的吸收能力,从而对其品质改善具有一定的促进作用^[17]。

2.6 脯氨酸

脯氨酸(Pro)是20种氨基酸中水溶性最强的一种,是植物内部功能的调节剂,在植物应激情况下通常被激活,提高植物对渗透胁迫的耐性,还有研究表明,脯氨酸能提高植物花粉活力^[52]。在开花后叶面喷施脯氨酸,促进了植株生长,并能提高产量及品质特性,还能有效降低坏果率^[53]。

2.7 赖氨酸

赖氨酸(Lys)的分解产物是三羧酸循环中碳元素的重要来源,因此其在植物生长过程中具有一定作用。研究表明,赖氨酸能促进叶绿素合成,增强植物的耐旱性,在植物氮吸收中能起催化剂的作用^[54]。研究表明,用低浓度赖氨酸代替部分肥料应用于白菜的生产中,通过调节白菜代谢及氮素吸收,对白菜可溶性蛋白含量及生物量均有一定的提升效果,并能提高白菜品质^[55]。目前研究者对赖氨酸改善蔬菜品质方面的研究较少,而笔者认为其在改善蔬菜品质方面可能具有一定的促进作用,值得研究者关注。

2.8 丙氨酸

丙氨酸(Gla)在动植物生长中具有重要的生理作用,参与糖代谢的过程^[56]。目前丙氨酸在植物上应用的研究较少,研究表明,丙氨酸能促进叶绿素合成,调节气孔开放,对病菌有抵御作用^[57]。在油麦菜的生长中配施丙氨酸,能达到增产的效果,同时还能提高其体内的总蛋白含量,在一定程度上起到改善品质的作用^[17]。

2.9 亮氨酸

亮氨酸(Leu)是某种芳香物质的前体,研究表明,亮氨酸能提高植物的耐盐性,提高花粉活力和萌发率^[58]。研究表明,将亮氨酸与稀土配施能防止

病虫害,起到增产的作用,其复合物还能有效分解,分解产物能被作物吸收^[59]。

2.10 缬氨酸

缬氨酸(Val)在生命活动中起重要作用,研究表明,缬氨酸能提高种子发芽率,改善作物风味等^[60]。缬氨酸在医药、食品等方面的应用研究较多^[61],而尚未检索到将缬氨酸应用在蔬菜中并起到改善蔬菜品质方面的报道。

3 展望

如今全球农业都在追求绿色、高效、可持续发展,科技的不断进步为农业发展带来了新的机遇与变革,氨基酸类生物刺激素肥料以其独特的优势,如富含多种氨基酸及其他活性物质,能够直接参与植物的新陈代谢过程,对农作物的生长发育产生积极而深远的影响,并能提高作物对养分的吸收利用效率,减少化学肥料的施用量,降低农业生产成本,同时也减少了因过量施用化学肥料对环境造成的污染,符合绿色农业的发展要求^[62]。

随着科学研究的不断深入,氨基酸类生物刺激素的作用机制将得到更全面的揭示,产品的质量和效果也将不断提升。氨基酸与其他肥料(如大量元素肥料、微量元素肥料等)配合使用,发挥协同增效的作用,能提高肥料的整体效果;与其他先进的农业技术相结合,如精准施肥、智能化灌溉等,形成更加完善的农业生产体系,为实现农业可持续发展提供有力支撑^[63]。

未来还需要进一步加强有关氨基酸类生物刺激素的应用研究和示范推广,规范市场秩序,提高产品质量和效果,同时也要加强对农民的技术培训和指导,让他们正确掌握使用方法和注意事项,实现农业生产的综合效益最大化。展望未来,氨基酸类生物刺激素肥料在农业种植领域的应用前景将更加广阔。

参考文献

- [1] 王学江,李峰,张志凯.植物用生物刺激素的研究进展[J].磷肥与复肥,2021,36(5):21-26.
- [2] 张龙.外源氨基酸对蓝莓生长发育的影响研究[D].长沙:中南林业科技大学,2017.
- [3] 谢尚强,王文霞,张付云,等.植物生物刺激素研究进展[J].中国生物防治学报,2019,35(3):487-496.
- [4] 刘秀秀,冯小亮,吕东波.生物刺激素在农业中的应用现状及发展前景[J].南方农业,2017,11(14):88-89.
- [5] YAKHIN O I, LUBYANOV A A, YAKHIN I A, et al. Biostimulants in plant science: A global perspective[J]. Frontiers in Plant Science, 2016, 7:2049.

- [6] 刘国秀,沈宏.生物刺激素及其在农业中的应用[J].磷肥与复肥,2020,35(11):22-26.
- [7] 陈绍荣.我国生物刺激剂的产业现状及发展方向[J].磷肥与复肥,2017,32(1):16-18.
- [8] GARCIA S F, SIMON G S, NAVARRO P V, et al. Scientific advances in biostimulation reported in the 5th biostimulant world congress[J]. Horticulturae, 2022, 8(7): 665.
- [9] HOFMOCKEL K S, FIERERER N, COLMANB P, et al. Amino acid abundance and proteolytic potential in North American soils[J]. Oecologia, 2010, 163(4): 1069-1078.
- [10] SAUHEITL L, GLASER B, WEIGELT A. Uptake of intact amino acids by plants depends on soil amino acid concentrations[J]. Environmental and Experimental Botany, 2009, 66(2): 145-152.
- [11] 庄泽鑫,周玲艳,潘伟明.热胁迫下添加脯氨酸对菜心生长和生理生化特性的影响[J].农业与技术,2020,40(20):12-15.
- [12] 颜志明,孙锦,郭世荣.外源脯氨酸对NaCl胁迫下甜瓜幼苗生长和活性氧物质代谢的影响[J].江苏农业学报,2011,27(1):141-145.
- [13] 蒋佳.色氨酸对西蓝花镉胁迫抗性的影响[D].哈尔滨:东北农业大学,2021.
- [14] WANG J L, LIU Z M, WNAG Y, et al. Production of a water-soluble fertilizer containing amino acids by solid-state fermentation of soybean meal and evaluation of its efficacy on the rapeseed growth[J]. Journal of Biotechnology, 2014, 187: 34-42.
- [15] 蒋佳,朱星宇,李晶.外源色氨酸对油菜幼苗色氨酸下游代谢网络及生长发育的影响[J].西北植物学报,2020,40(9):1549-1557.
- [16] 王俊鹏,李飞,唐玉海,等.氨基酸肥料对设施砂培番茄生长的影响[J].磷肥与复肥,2022,37(9):46-49.
- [17] 陈琪,董静,周伟伟,等.腐植酸钾和氨基酸肥料对砂培番茄生长与果实品质的影响[J].华北农学报,2023,38(增刊1):300-306.
- [18] 梁志雄,彭智平,涂玉婷,等.3种氨基酸与肥料配施对油菜菜生长、品质和养分积累的影响[J].中国农学通报,2021,37(3):123-128.
- [19] 葛体达,宋世威,姜武,等.不同甘氨酸浓度对无菌水培番茄幼苗生长和氮代谢的影响[J].生态学报,2009,29(4):1994-2002.
- [20] 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.
- [21] 孙梅,孙耿,马颢榴,等.氨基酸叶面肥对不同蔬菜产量和品质的影响[J].湖南农业科学,2018(2):34-37.
- [22] 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.
- [23] 曹洪凤,金丽华,王桂伶.含氨基酸水溶肥在芹菜上的应用效果分析[J].北京农业,2010(增刊1):20-23.
- [24] KOUKOUNARAS A, TSOUVALTZIS P, SIOMOS A S. Effect of root and foliar application of amino acids on the growth and yield of greenhouse tomato in different fertilization levels[J]. Journal of Food Agriculture and Environment, 2013, 11(2): 644-648.
- [25] 王军,关新元,陈云,等.含氨基酸水溶肥料在茄子上的施用效果[J].新疆农垦科技,2014,37(12):35-36.
- [26] 王蓓,黄忠阳,徐明喜,等.含氨基酸水溶肥料在设施辣椒和豇豆上的田间效应研究[J].土壤通报,2017,48(3):683-691.
- [27] 邢芳芳,高明夫,周传志,等.氨基酸与植物抗逆性关系的研究进展[J].黑龙江农业科学,2018(3):150-155.
- [28] 蒋佳,朱星宇,李晶.外源色氨酸对油菜幼苗色氨酸下游代谢网络及生长发育的影响[J].西北植物学报,2020,40(9):1549-1557.
- [29] AMIN A A, AWADI M E, DAWOOD M G, et al. Kinetin and tryptophan enhance yield and production efficiency of lupine (*Lupinus Termis* L.) plants[J]. World Rural Observations, 2014, 6(4): 50-56.
- [30] 陈振德,黄俊杰,何金明,等.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.
- [31] PEREZ-BALIBREA S, MORENO D A, GARCIA-VIGUERA C. Improving the phytochemical composition of broccoli sprouts by elicitation[J]. Food Chemistry, 2011, 129(1): 35-44.
- [32] 赵海亮,左璐,侯雷平,等.叶面施用色氨酸对番茄果实品质的改良效应[J].山西农业大学学报(自然科学版),2021,41(4):68-75.
- [33] MUSTAFA A, HUSSAIN A, NAVEED M, et al. Response of okra (*Abelmoschus esculentus* L.) to soil and foliar applied L-tryptophan[J]. Soil and Environment, 2016, 35(1): 76-84.
- [34] WANG X L, YE J, PEREZ P, et al. The impact of organic farming on the soluble organic nitrogen pool in horticultural soil under open field and greenhouse conditions: A case study[J]. Soil Science and Plant Nutrition, 2013, 59(2): 237-248.
- [35] MOHAMMADIPOUR N, SOURI M K. Effects of different levels of glycine in the nutrient solution on the growth nutrient composition and antioxidant activity of coriander (*Coriandrum sativum* L.) [J]. Acta Agrobotanica, 2019, 72(1): 1759.
- [36] MOHAMMADIPOUR N, SOURI M K. Beneficial effects of glycine on growth and leaf nutrient concentrations of coriander (*Coriandrum sativum* L.) plants[J]. Journal of Plant Nutrition, 2019, 42(14): 1637-1644.
- [37] 王华静,吴良欢,陶勤南.夏季秋季喷施氨基酸对小白菜硝酸盐积累及营养品质的影响[J].农业环境科学学报,2004,23(2):224-227.
- [38] 沈欣,李燕婷,袁亮,等.氨基酸与锌配合喷施提高小白菜生物量、品质及锌利用效率[J].植物营养与肥料学报,2017,23(1):181-188.
- [39] 武隆楷,姜玥珊,冯倩,等.根施甘氨酸对日光温室秋冬茬黄瓜生长、产量及品质的影响[J].中国蔬菜,2022(5):68-73.
- [40] 武彦荣,高秀瑞,陈贵林,等.外源氨基酸对不结球白菜和生菜品质的影响[J].西南农业大学学报(自然科学版),2005,27(1):60-63.
- [41] 任鸿濛,任玉敏,周彦超,等.甘氨酸喷施浓度对菠菜生长的影响[J].辽宁农业科学,2022(6):49-53.
- [42] 赵婧.谷氨酸处理对鲜切胡萝卜品质和活性成分积累的影响[D].南京:南京农业大学,2020.
- [43] 邓子越,杨彪,王烁,等.谷氨酸对芹菜生理特性和产量形成的影响[J].现代化农业,2023(2):38-40.
- [44] 张艾,魏学军,谢龙,等.不同氨基酸处理对西蓝花芽苗生长及

- 品质的影响[J].中国瓜菜,2024,37(5):151-156.
- [45] 高扬,周蓓,王志忠,等.糖、酸和谷氨酸处理对设施草莓果实成熟的影响[C]//中国园艺学会,庆祝中国园艺学会创建80周年暨第11次全国会员代表大会论文摘要集,广州,2009.
- [46] 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.
- [47] 龚佳惠,陈贝莉,董欢欢,等.L-精氨酸对绿芦笋贮藏品质及生理生化特性的影响[J].保鲜与加工,2017,17(1):7-11.
- [48] MOHSENI F, PAKKISH Z, PANAHI B. Arginine impact on yield and fruit qualitative characteristics of strawberry[J]. *Agriculturae Conspectus Scientificus*, 2017, 82(1):19-26.
- [49] WANG T Q, LIU Q Q, WANG N Q, et al. Foliar arginine application improves tomato plant growth, yield, and fruit quality via nitrogen accumulation[J]. *Plant Growth Regulation*, 2021, 95(3):421-428.
- [50] 刘箕箕.天冬氨酸抑制鲜切马铃薯褐变的研究[D].山东泰安:山东农业大学,2019.
- [51] 王丽,杨静,王林嵩.天冬氨酸:新陈代谢中的活跃分子[J].生物学教学,2011,36(9):65.
- [52] 缪旻珉,曹碯生.黄瓜花药和花粉高温伤害与多胺和脯氨酸含量的关系[J].园艺学报,2002,29(3):233-237.
- [53] EL SAYED O M, EL GAMMAL O H M, SALAMA A S M. Effect of proline and tryptophan amino acids on yield and fruit quality of manfalouty pomegranate variety[J]. *Scientia Horticulturae*, 2014, 169:1-5.
- [54] 程晓园.拟南芥根系生长发育响应L-亮氨酸及L-赖氨酸的生物学机理研究[D].北京:中国农业大学,2017.
- [55] 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.
- [56] 陆捷,王国栋,王瑞明,等.丙氨酸制备研究进展[J].食品与发酵工业,2023,49(5):299-305.
- [57] 马彦良,廉华,李丹丹,等.弱光对黄瓜不同品系幼苗叶片中苯丙氨酸代谢相关酶活性的影响[J].现代化农业,2019(11):37-40.
- [58] 王培陈,玉蓉何,萍王峰.亮氨酸对小麦花粉愈伤组织诱导和绿苗分化的影响[J].河北农业科学,1993(4):1-2.
- [59] 张伟国,程功.微生物发酵法生产L-亮氨酸的研究进展[J].食品与生物技术学报,2015,34(2):113-120.
- [60] 丁春霞,王思雨.种子发育过程中的氨基酸代谢[J].黑龙江粮食,2023(11):42-44.
- [61] 刘焕民.L-缬氨酸高产菌株的选育及其特性的初步研究[D].江苏无锡:江南大学,2012.
- [62] 杨云月,马艳,王强锋,等.施用含氨基酸水溶肥料对西瓜产量和品质的影响[J].四川农业科技,2024(11):102-106.
- [63] 卢云峰,王木琳,贾冬冬,等.含氨基酸水溶肥料应用的研究进展[J].浙江农业科学,2022,63(1):1-4.