



氨基酸与植物抗逆性关系的研究进展

邢芳芳^{1,2},高明夫¹,周传志¹,徐春英¹,范玲超^{1,2}

(1.金正大生态工程集团股份有限公司,山东 临沂 276700;2.养分资源高效开发与综合利用国家重点实验室,山东 临沂 276700)

摘要:氨基酸是生物体必需的重要活性分子,作物体内氨基酸的变化涉及诸多生理调节活动,与生长、发育、抗逆性密切相关。文章综述了作物在盐、干旱、低温、低氧、病虫害等逆境胁迫下,外源和植物内源氨基酸的作用,对土壤氨基酸及植物对氨基酸的吸收利用进行了概述。并对氨基酸与植物抗逆性关系未来的研究方向和应用前景进行了讨论和展望。

关键词:氨基酸;抗逆性;胁迫

植物所遇到的逆境可分为两类,即生物胁迫(细菌、真菌、病毒和虫害等)和非生物胁迫(高盐、干旱、低温和低氧等)。国内每年因各类胁迫所造成的作物减产极为严重,以大豆为例,在开花期受涝 2~10 d,将造成减产 11.19%~42.84%^[1]。近年来,氨基酸在提高植物抗逆性研究领域受到国内外的广泛关注,相关研究取得许多进展。传统观点认为土壤有机氮只有转化为无机氮后才能被植物吸收利用,但随着科学技术的不断发展进步,越来越多的研究证据表明,植物可以直接吸收氨基酸、可溶性蛋白、核酸等小分子有机营养物质^[2-4],尤其是氨基酸。本文就氨基酸的植物吸收和氨基酸与植物抗逆性的关系进行综述,为使用氨基酸调控植物生长发育及肥料化生产提供科学依据。

1 植物对土壤氨基酸的吸收利用

土壤中的氨基酸是主要的有机氮化合物,占土壤全氮的 15%~60%,主要来源于微生物、动植物及其代谢产物^[5]。自由态和吸附态是氨基酸在土壤中存在的两种主要形式,前者多溶于土壤溶液中,可被植物和土壤微生物直接利用,一般只有 1~2 mg·kg⁻¹,但根际土壤所含氨基酸要远高于非根际土壤,后者常被土壤颗粒吸附,一般只有在脱离土壤颗粒物的吸附后才能被植物和土壤微

生物利用^[6-7]。一般来说,土壤中谷氨酸、甘氨酸、天冬氨酸的含量较高^[8-11],有些土壤中的赖氨酸、精氨酸、丙氨酸及亮氨酸含量也比较高^[9,11-13]。对于不同的土壤类型及生态系统,土壤氨基酸含量及组成存在较大差异。研究发现,高山生态系统、北方极地森林生态系统和草原生态系统土壤中氨基酸含量及组成差异显著^[14-17]。土壤氨基酸的产生、组成和降解是一个动态变化过程,不但受植物和土壤的直接影响,还与土壤中微生物活动、相关酶的活性及温度等因素有关^[18]。土壤中自由态氨基酸的含量很低,但其半衰期仅为 1.7~28.7 h^[19-20],在土壤中转化十分迅速。

传统观点认为有机氮需要矿化成无机氮后才能被植物吸收利用,但越来越多的研究表明植物可直接吸收利用土壤中的氨基酸。研究发现,利用 N¹⁵ 标记甘氨酸和亮氨酸对水稻进行无菌栽培,处理 15 d 后,已有 70% 的 N¹⁵ 从营养液转移到水稻体内,证明氨基酸分子可直接进入植物体内^[21]。氨基酸在植物体内通过木质部和韧皮部运输到不同器官,转运过程中需要特异氨基酸转运蛋白参与^[22-23]。ATF(amino acid transporter family)家族(又称 AAP 家族)和 APC(amino acid, polyamine and choline transporters)家族是目前研究报道较多的植物氨基酸转运蛋白家族,ATF 家族由 6 个亚家族构成,AtAAPs(amino acid permeases)是其中之一,AtAAP1 主要负责转运带负电荷和中性的氨基酸,AtAAP2 和 AtAAP4 主要运输脯氨酸、苯丙氨酸和缬氨酸,AtAAP3 和 AtAAP5 主要运输精氨酸、赖氨酸等^[24]。APC 家族可分为两个亚家族:AtCATs(cationic amino acid transporters)和 At-

收稿日期:2017-12-07

基金项目:山东省重大科技专项(新兴产业)资助项目(2015 ZDXX0502B02);中国科学院科技服务网络(STS)计划区域重点资助项目。

第一作者简介:邢芳芳(1982-),女,硕士,工程师,从事发酵工程与新型肥料研究。E-mail: xingfangfang@kingenta.com。

通讯作者:范玲超(1974-),男,学士,高级工程师,从事发酵工程与新型肥料研究。E-mail: fanlingchao@kingenta.com。

LATs(L-type amino acid transporters), AtCATs 亚家族中的 AtCAT5 对碱性氨基酸的亲合力较高,而 AtCAT3、AtCAT6 和 AtCAT8 则倾向于转运中性或酸性氨基酸^[25]。植物对氨基酸的吸收因氨基酸种类不同而异。研究表明,植物对氨基酸的吸收能力与氨基酸分子量呈负相关;不同种类植物对于氨基酸吸收利用能力也不同,甚至同一作物不同品种间也存在差异^[26]。在低肥力的土壤中,相对于无机氮源,植物会优先选择氨基酸等有机氮源,高肥力土壤中相反^[27]。在植物体内通过转氨基、脱氨基作用及其它过程,氨基酸可转化形成不同种类的氨基酸,同时还能通过三羧酸循环、糖酵解和其它代谢途径形成有机酸和糖类^[28],因此氨基酸的存在对提高和改善作物品质具有重要作用。

2 氨基酸在植物适应逆境中的作用

随着环境问题的日益凸显,植物面临着越来越严峻的生存挑战,在生长过程中将不可避免地受到逆境的影响。氨基酸通过参与植物生理代谢,调节相关基因表达和关键酶的活性等途径提高植物对逆境的适应性。

2.1 在盐胁迫环境下氨基酸对植物的作用

氨基酸或以氨基酸为前体合成的某些多胺能够提高植物对盐胁迫的适应能力。外源脯氨酸处理可提高盐胁迫下甜瓜幼苗植株各器官中 Ca^{2+} 、 K^{+} 、 Mg^{2+} 等离子含量,降低 Na^{+} 和 Cl^{-} 含量,提高根向茎和茎向叶选择性运输 K^{+} 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 的能力,可以增强甜瓜的光合作用从而促进生长,减轻盐胁迫对植株的伤害。给予适量脯氨酸可增强幼苗的鸟氨酸合成,但对谷氨酸合成有一定的抑制作用,进一步提高脯氨酸含量,从而增强幼苗耐盐胁迫能力^[29-31]。研究发现,施加外源脯氨酸或苯丙氨酸能够明显解决由盐害引起的作物干重、含水量、光合色素、可溶性糖、可溶性蛋白等下降的问题,并限制 Na^{+} 吸收,增加 K^{+} 吸收,提高 $\text{K}^{+}/\text{Na}^{+}$ ^[32-33]。利用 γ -氨基丁酸(GABA)浸泡甜瓜种子,能提高过氧化物酶、过氧化氢酶和 GABA 转氨酶活性,显著降低丙二醛含量,缓解盐胁迫对甜瓜种子萌发的抑制作用,显著提高种子的发芽率、发芽势、活力指数、总鲜质量、胚根和胚芽长^[34]。此外,适宜浓度的谷氨酸和天冬氨酸对盐胁迫下的荞麦种子萌发及幼苗生长亦具有促进作用^[35]。

亚精胺是由腺苷甲硫氨酸和腐胺合成的一种

多胺,Parvin 等^[36]研究发现外源亚精胺(Spd)可缓解盐胁迫对人参幼苗的影响,表现为防止叶绿素降解,促进幼苗生长,提高过氧化物酶、过氧化氢酶、愈创木酚过氧化物酶活性,并有效降低腐胺的积累。Zhang 等^[37]指出,亚精胺可通过影响光合速率、清除氧自由基、控制离子平衡和渗透势,缓解盐胁迫对菊花造成的损伤。

2.2 在干旱环境下氨基酸对植物的作用

干旱胁迫下,植物体内的脯氨酸含量会上升,以缓解胁迫对植株带来的损伤^[38],杨善^[39]、赵宏伟等^[40]分别以分蘖期甘蔗、水稻为试验材料,在一定时间范围内,经干旱处理的时间越长,植株体内脯氨酸含量越高。一般情况下,抗旱作物品种具有更强的铵离子通化能力,可增加游离氨基酸含量用以渗透调节,尤其是提高脯氨酸含量,更有助于抗旱能力的提高^[41]。在荒漠地区,少浆旱生植物体内含有大量游离脯氨酸,是中浆旱生植物的 6~16 倍,是多浆旱生植物的 1.8~25 倍,后两者中脯氨酸积累不占主导地位,所以二者在调节渗透势上并不主要依靠脯氨酸的积累^[42]。Mwadzingeni 等^[43]在育种过程中通过测定脯氨酸积累量筛选抗旱小麦,是一种有效筛选小麦抗旱基因型的方法。赖氨酸在植物抵抗干旱胁迫中也可能发挥着重要作用,马兴林等^[44]以玉米为试验材料,分为正常供水、轻度干旱胁迫和中度干旱胁迫 3 种处理方式,结果显示中度干旱胁迫下玉米赖氨酸含量最高,这说明伴随着干旱强度的加大,赖氨酸含量呈上升趋势。

2.3 在低温环境下氨基酸对植物的作用

脯氨酸的积累在植物适应低温环境过程中发挥重要作用,张怀山^[45]、王淑杰等^[46]研究表明,随着温度的降低,脯氨酸含量呈升高趋势。在低温胁迫下,番茄幼苗叶片中脯氨酸脱氢酶(ProDH)基因表达量显著降低,使叶片中脯氨酸加速积累^[47]。Nanjo 等^[48]将脯氨酸脱氢酶反义基因 *AtproDH* 的 cDNA 导入拟南芥中,通过降低该酶的翻译水平抑制脯氨酸的降解,从而提高细胞内脯氨酸的含量,试验显著提高了该拟南芥转基因植株对低温胁迫的耐受性。在小麦抗寒品种选育过程中,通常抗寒性能强的品种在低温胁迫下可以更快地积累游离脯氨酸,这也为小麦抗寒品种选育方法提供了借鉴^[49]。

2.4 在低氧环境下氨基酸对植物的作用

低氧胁迫会抑制植物生长,对植株形态、生物

量积累、根系呼吸和光合作用等方面产生不良影响^[50-52]。 γ -氨基丁酸(GABA)对缓解植物低氧胁迫损伤有重要作用。外源 GABA 可以提高甜瓜幼苗光合色素含量、净光合速率、气孔导度、 CO_2 羧化率,降低气孔限制值^[52],促进根系抗氧化酶和同工酶基因表达,提高抗氧化酶活性^[53],还能提高根系中硝酸还原酶活性,促进硝酸盐、K、Ca、Mg、Zn 的吸收,减少 Mn、Fe、Cu 的吸收^[54],从而缓解低氧胁迫对甜瓜幼苗的损伤。低氧胁迫下,植物内源 GABA 和丙氨酸会得到积累,并且二者的积累存在关联性^[55]。

2.5 氨基酸对植物抵抗病虫害的作用

在提高植物病虫害抗性方面, β -氨基丁酸(BABA)发挥着重要作用。研究发现,BABA 通过诱导烟草体内水杨酸生成、过氧化氢的积累以及产生 PR 蛋白,有效降低了烟草花叶病的发病率和发病指数^[56]。Ömür^[57]、Cohen 等^[58]指出 BABA 可有效抑制番茄细菌性叶斑病和生菜卵菌病害的发生。在虫害防治方面,豌豆经 BABA 蘸根处理后,其蚜虫虫害得以减轻。通过代谢组学分析发现,BABA 对蚜虫的生理活动可能具有直接的抑制作用。在 BABA 的诱导下,豌豆可能产生植物性毒素来抵抗蚜虫^[59]。Sahebani 等^[60]的研究表明,BABA 可提高黄瓜根系的防御应答能力,有效降低根结线虫的感染水平。

植物在遇到根系病虫害时,易感植株与抗性植株相比,总氨基酸的分泌水平较高^[61],但不同氨基酸与植株抗性的相关性却呈现不同情况。以大豆孢囊线虫病为例,苯丙氨酸含量与抗性呈正相关,色氨酸、赖氨酸、缬氨酸等 13 种氨基酸呈负相关^[62]。再以黄瓜枯萎病为例,苯丙氨酸、异亮氨酸等 13 种氨基酸含量与病情指数呈正相关,精氨酸、丝氨酸、赖氨酸呈负相关^[63],说明在不同情况下,植物可能采取不同防御应答机制来应对生物胁迫。

3 氨基酸的肥料化生产

工业上大多数氨基酸采用生物合成法、化学合成法、蛋白质水解法等技术进行生产,廉价原料是控制生产成本的关键环节之一。毛发、菜粕、羽毛、血粉、皮革和鱼虾下脚料、味精废液等工业生产中的副产物,都是比较理想的用以生产氨基酸肥料的廉价蛋白质或氨基酸来源。王永红^[64]等人以菜粕为主要基质,并添加 14.1% 的麸皮,利

用嗜麦芽糖寡养单胞菌和短小芽孢杆菌进行混合固体发酵,周期 6 d,培养物中游离氨基酸含量为 5.4%,并增加了小肽含量,可作为有机肥料使用。李小杏^[65]等人利用膨化羽毛生产氨基酸的水溶肥料,膨化羽毛经过酸解、添加 N、P、K、微量元素、过滤和浓缩后,即可得到含氨基酸水溶肥料,剩余残渣经中和可作为有机肥料使用。通过对花生施用浓缩味精废液(游离氨基酸 8.45%,有机质 35.8%,全氮 9.64%,全磷 1.09%,全钾 1.53%,pH5.43)可显著增加花生荚果产量和营养器官生物量,提高游离氨基酸和可溶性蛋白的积累^[66],是一种生产氨基酸液体肥的良好原料。

4 展望

氨基酸是植物体内一种重要的生理活性物质,对生长过程具有重要的调节作用,当遇到逆境胁迫时,植物会通过对氨基酸吸收、合成和降解的控制,来减少逆境胁迫所带来的危害。近年来,关于氨基酸提高植物抗逆性的研究受到广泛关注,其中以脯氨酸和氨基丁酸类研究较多,并在作用机制上取得了一定的进展。当植物遇到非生物胁迫时,常会引起过氧化反应,造成植物细胞膜损伤,脯氨酸和氨基丁酸可以提高过氧化物酶、过氧化氢酶等抗氧化酶的活性,减轻过氧化损伤;其它种类氨基酸的含量变化,同样也是植物面对逆境胁迫的防御应答表现,但是缺乏相关机制的研究。因此在未来的探索中,各氨基酸的作用机制有待进一步研究,这其中包括氨基酸自身起到的具体作用、氨基酸含量变化的信号传递过程、氨基酸作用的发挥是一个相对独立的过程还是一个联合作用的结果等。氨基酸已在农业中得到广泛应用,例如氨基酸水溶肥、氨基酸叶面肥等,可提高作物产量改善作物品质,有着良好的使用效果。但对于氨基酸用途的定位主要还是其营养价值,缺乏使用的针对性。随着氨基酸在农业应用研究的不断深入,氨基酸在农业中的使用应该多一些侧重,例如适当提高脯氨酸含量,既可以发挥其营养价值,同时也可加强植物的抗逆性;亦或可添加适量 γ -氨基丁酸或 β -氨基丁酸,二者虽为非蛋白质氨基酸,但在诱导植物抗性上却有着重要作用。关于甘氨酸与植物抗逆性关系的研究鲜有报道,但它能够螯合金属元素,促进植物对土壤中金属离子的吸收。综上,氨基酸在农业中的应用还有更大的探索空间。

参考文献:

- [1] 程伦国,朱建强,刘德福,等. 涝渍胁迫对大豆产量性状的影响[J]. 长江大学学报(自科版),2006,3(2): 109-112.
- [2] 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.
- [3] Nasholm T, Ekblad A, Nordin A, et al. Boreal forest plants take up organic nitrogen[J]. Nature, 1998, 392: 914-916.
- [4] 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(5): 61-66.
- [5] 孙敬,侯松岷,何红波,等. 土壤中氨基酸分析方法的研究进展[J]. 化学研究与应用,2007,19(1): 17-23.
- [6] 马林. 植物对氨基酸的吸收和利用[J]. 西南科技大学学报,2004,19(1): 102-107.
- [7] Werdin P F, Kielland K, Boone R D. Soil amino acid composition across a boreal forest successional sequence[J]. Soil Biology Biochemistry, 2009, 41: 1210-1220.
- [8] Raab T K, Lipson D A, Monson R K. Soil amino acid utilization among species of the Cyperaceae: plant and soil processes[J]. Ecology, 1999, 80: 2408-2419.
- [9] Kielland K. Landscape patterns of free amino acids in arctic tundra soils[J]. Biogeochemistry, 1995, 31: 85-98.
- [10] Raab T K, Lipson D A, Monson R K. Non-mycorrhizal uptake of amino acids by roots of the alpine sedge *Kobresia myosuroides*: Implications for the alpine nitrogen cycle[J]. Oecologia, 1996, 108: 488-494.
- [11] Turnbull M H, Schmidt S, Erskine P D, et al. Root adaptation and nitrogen source acquisition in natural ecosystems[J]. Tree Physiology, 1996, 16: 941-948.
- [12] Schmidt S, Stewart G R. *Glycine* metabolism by plant roots and its occurrence in Australian plant communities[J]. Functional Plant Biology, 1999, 26: 253-260.
- [13] Bradley R, Burt A J, Read D J. The biology of *mycorrhiza* in the Ericaceae[J]. New Phytologist, 1982, 91: 197-209.
- [14] Bennett S N, Olson J R, Kershner J L, et al. Propagule pressure and stream characteristics influence introgression: Cutthroat and rainbow trout in British Columbia[J]. Ecological Applications, 2010, 20: 263-277.
- [15] Öhlund J. Organic and inorganic nitrogen sources for conifer seedlings: Abundance, uptake and growth[D]. Umeå: Swedish University of Agricultural Sciences, 2004: 1-38.
- [16] Jones D L, Shannon D, Junvee-Fortune T, et al. Plant capture of free amino acids is maximized under high soil amino acid concentrations[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2005, 37: 179-181.
- [17] Zhong Z, Makeschin F. Soluble organic nitrogen in temperate forest soils[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2003, 35: 333-338.
- [18] Vinolas L C, Vallejo V R, Jones D L. Control of amino acid mineralization and microbial metabolism by temperature[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2001, 33(7): 1137-1140.
- [19] Jones D L, Shannon D, Murphy D V, et al. Role of dissolved organic nitrogen (DON) in soil N cycling in grassland soils[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2004, 36: 749-756.
- [20] Lipson D A, Raab T K, Schmidt S K, et al. An empirical model of amino acid transformations in an alpine soil[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2001, 33: 189-198.
- [21] 许玉兰,刘庆城. 用 N^{15} 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.
- [22] Williams L E, Nelson S J, Hall J L. Characterization of solute/proton cotransport in plasma membrane vesicles from *Ricinus* cotyledons, and a comparison with other tissues[J]. Planta, 1992, 186(4): 541-550.
- [23] Fischer W N, André B, Rentsch D, et al. Amino acid transport in plants [J]. Trends in Plant Science, 1998, 3: 188-195.
- [24] Fischer W N, Loo D D F, Koch W, et al. Low and high affinity amino acid H^+ -cotransporters for cellular import of neutral and charged amino acids[J]. Plant Journal, 2002, 29: 717-731.
- [25] Su Y H, Frommer W B, Ludewig U. Molecular and functional characterization of a family of amino acid transporters from *Arabidopsis* [J]. Plant Physiology, 2004, 136: 3104-3113.
- [26] 张敬敏,桑茂鹏,朱哲,等. 植物对氨基酸的吸收研究进展[J]. 氨基酸和生物资源, 2013, 35(2): 19-22.
- [27] Hu G Q, He H B, Zhang W, et al. The transformation and renewal of soil amino acids induced by the availability of extraneous C and N[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2016, 96: 86-96.
- [28] 宋奇超,曹凤秋,巩元勇,等. 高等植物氨基酸吸收与转运及生物学功能的研究进展[J]. 植物营养与肥料学报, 2012, 18(6): 1507-1517.
- [29] 颜志明,魏跃,胡德龙,等. 盐胁迫下外源脯氨酸对甜瓜幼苗体内 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 和 Cl^- 含量及分布的影响[J]. 江苏农业学报, 2014, 30(3): 612-618.
- [30] 颜志明,孙锦,郭世荣. 外源脯氨酸对盐胁迫下甜瓜幼苗生长、光合作用和光合荧光参数的影响[J]. 江苏农业学报, 2013, 29(5): 1125-1130.
- [31] 颜志明,冯英娜,韩艳丽,等. 外源脯氨酸对盐胁迫下甜瓜脯氨酸代谢的影响[J]. 西北植物学报, 2015, 35(10): 2035-2041.
- [32] El-samad H M A, Shaddad M A K, Barakat N. Improvement of plants salt tolerance by exogenous application of amino acids[J]. Journal of Medicinal Plants Research, 2011, 5(24): 5692-5699.
- [33] Cuin T A, Shabala S. Amino acids regulate salinity-induced potassium efflux in barley root epidermis[J]. Planta, 2007, 225: 753-761.
- [34] 赵宁,徐志然,曲斌,等. 外源 γ -氨基丁酸对盐碱胁迫下甜瓜种子萌发的影响[J]. 浙江大学学报, 2016, 42(1): 40-46.
- [35] 杨洪兵. 氨基酸对盐胁迫荞麦种子萌发及幼苗生长的影

- 响[J]. 贵州农业科学, 2014, 42(8): 30-33.
- [36] Parvin S, Lee O R, Sathiyaraj G, et al. Spermidine alleviates the growth of saline-stressed ginseng seedlings through antioxidative defense system [J]. Gene, 2014, 537(1): 70-78.
- [37] Zhang N, Shi X, Guan Z, et al. Treatment with spermidine protects chrysanthemum seedlings against salinity stress damage[J]. Plant Physiol Biochem, 2016, 105: 260-270.
- [38] Ximénez-Embún M G, Ortego F, Castañera P. Drought-stressed tomato plants trigger bottom-up effects on the invasive tetranychus evansi [J]. PLoS One, 2016, 11(1): e0145275.
- [39] 杨善, 杨杰文, 叶昌辉, 等. 基于脯氨酸合成积累的甘蔗分蘖期耐旱生理效应分析[J]. 广东海洋大学学报, 2015, 35(6): 87-93.
- [40] 赵宏伟, 王新鹏, 于美芳, 等. 分蘖期干旱胁迫及复水对水稻抗氧化系统及脯氨酸影响[J]. 东北农业大学学报, 2016, 47(2): 1-7.
- [41] 曹让, 梁宗锁, 吴洁云, 等. 干旱胁迫及复水对棉花幼苗根系氮代谢的影响[J]. 水土保持学报, 2012, 26(6): 274-280.
- [42] 张金林, 陈托兄, 王锁民. 阿拉善荒漠区几种抗旱植物游离氨基酸和游离脯氨酸的分布特征[J]. 中国沙漠, 2004, 24(4): 493-499.
- [43] Mwadzingeni L, Shimelis H, Tesfay S, et al. Screening of bread wheat genotypes for drought tolerance using phenotypic and proline analyses[J]. Frontiers in Plant Science, 2016, 7: 1276.
- [44] 马兴林, 崔震海, 陈杰, 等. 玉米苗期干旱胁迫对子粒粗蛋白质和赖氨酸含量的影响[J]. 玉米科学, 2006, 14(2): 71-74.
- [45] 张怀山, 赵桂琴, 栗孟飞, 等. 中型狼尾草幼苗对 PEG、低温和盐胁迫的生理应答[J]. 草业学报, 2014, 23(2): 180-188.
- [46] 王淑杰, 王家民, 李亚东, 等. 氨基酸种类、含量与葡萄抗寒性关系的研究[J]. 葡萄栽培与酿酒, 1998, 2(1): 3-5.
- [47] 任晓平, 张喜春, 张楠, 等. 低温胁迫对番茄幼苗叶片中脯氨酸降解酶的活性及其基因表达量的影响[J]. 中国农学通报, 2012, 28(10): 132-135.
- [48] Nanjo T, Kobayashi M, Yoshida Y, et al. Antisense suppression of proline degradation improves tolerance to freezing and salinity in *Arabidopsis thaliana* [J]. FEBS Letters, 1999, 461: 205-210.
- [49] 陈璇, 李金耀, 马纪, 等. 低温胁迫对春小麦和冬小麦叶片游离脯氨酸含量变化的影响[J]. 新疆农业科学, 2007, 44(5): 553-556.
- [50] 马月花, 郭世荣, 杜南山, 等. 低氧胁迫对黄瓜幼苗生长和形态结构及有关酶活性的影响[J]. 南京农业大学学报, 2016, 39(2): 213-219.
- [51] 徐春梅, 陈丽萍, 王丹英, 等. 低氧胁迫对水稻幼苗根系功能和氮代谢相关酶活性的影响[J]. 中国农业科学, 2016, 49(8): 1625-1634.
- [52] 夏庆平, 高洪波, 李敬蕊. γ -氨基丁酸(GABA)对低氧胁迫下甜瓜幼苗光合作用和叶绿素荧光参数的影响[J]. 生态应用学报, 2011, 22(4): 999-1006.
- [53] 李敬蕊, 杨丽文, 王春燕, 等. γ -氨基丁酸对低氧胁迫下甜瓜幼苗抗氧化酶活性及表达的影响[J]. 东北农业大学学报, 2014, 45(11): 28-36.
- [54] 宋锁玲, 李敬蕊, 高洪波, 等. γ -氨基丁酸对低氧胁迫下甜瓜幼苗氮代谢及矿质元素含量的影响[J]. 园艺学报, 2012, 39(4): 695-704.
- [55] Miyashita Y, Good AG. Contribution of the GABA shunt to hypoxia-induced alanine accumulation in roots of *Arabidopsis thaliana* [J]. Plant Cell Physiol, 2008, 49(1): 92-102.
- [56] 何小龙, 季学军, 裴洲洋, 等. β -氨基丁酸诱导烟草抗烟草花叶病毒的研究[J]. 合肥工业大学学报, 2015, 38(11): 1547-1552.
- [57] Ömür B, Gürsoy Y Z, Örnek H, et al. Enhanced systemic resistance to bacterial speck disease caused by *Pseudomonas syringae* pv. tomato by dl- β -aminobutyric acid under salt stress [J]. Physiologia Plantarum, 2007, 129(3): 493-506.
- [58] Cohen Y, Rubin A E, Vaknin M. Post infection application of DL-3-amino-butyric acid (BABA) induces multiple forms of resistance against *Bremia lactucae* in lettuce[J]. European Journal of Plant Pathology, 2011, 130(1): 13-27.
- [59] Hodge S, Ward J L, Galster A M, et al. The effects of a plant defence priming compound, β -aminobutyric acid, on multitrophic interactions with an insect herbivore and a hymenopterous parasitoid [J]. Biocontrol, 2011, 56(2): 699-711.
- [60] Sahebani N, Hadavi N S, Zade F O. The effects of beta-amino-butyric acid on resistance of cucumber against root-knot nematode, *Meloidogyne javanica* [J]. Acta Physiologiae Plantarum, 2011, 33(2): 443-450.
- [61] 杨顺强, 杨焕文, 罗家刚, 等. 对黑胙病不同抗性烤烟品种根系分泌氨基酸的比较[J]. 西北农业学报, 2015, 24(8): 68-74.
- [62] 张海平, 王志, 吴书峰. 大豆胞囊线虫 4 号生理小种不同抗性材料根系分泌物对其抗病性的影响[J]. 大豆科学, 2016, 35(2): 285-290.
- [63] 潘凯, 吴凤芝. 枯萎病不同抗性黄瓜(*Cucumis sativus* L.)根系分泌物氨基酸组分与抗病的相关性[J]. 生态学报, 2007, 27(5): 1945-1950.
- [64] 王永红, 冉炜, 张富国, 等. 混合菌种固体发酵菜粕生产氨基酸肥料的条件研究[J]. 中国农业科学, 2009, 42(10): 3530-3540.
- [65] 李小杏, 刘长风. 利用膨化羽毛粉生产含氨基酸水溶肥料[J]. 磷肥与复肥, 2013, 28(4): 56-59.
- [66] 彭志平, 黄继川, 于俊红, 等. 味精废液对花生产量、品质和土壤酶活性的影响[J]. 热带作物学报, 2012, 33(9): 1579-1583.



优良基因聚合利用及特用大豆绥无腥豆 2 号的选育

张维耀

(黑龙江省农业科学院 绥化分院,黑龙江 绥化 152052)

摘要:为了探索优质大豆种质资源,选育出适合北方春中早熟区组特用大豆新品种,采用杂交育种,利用基因的互补累加,聚合了丰富的国内外优良遗传基因,创新出既高蛋白又无腥味、高产抗病的大豆新品种绥无腥豆 2 号,蛋白质含量 42.67%,脂肪含量 20.17%,无豆腥味食用口感好,该品种的育成与推广为发展特色农业提供有力的支持。

关键词:特用大豆;绥无腥豆 2 号;基因聚合;高蛋白

随着大豆品质改良育种的深入发展,为了推广发展特色农业,根据大豆的不同用途培育专用型品种在生产上大面积推广,是未来大豆品质育种的发展方向。为此利用脂肪氧化酶缺失型种质材料与当地主栽品种进行杂交、回交、复交等手段进行转育,可以开发一批适应性好,能供区域性种植的低腥大豆品种。利用天然无腥大豆生产豆奶和豆乳粉,可以减少除豆腥味的工艺流程,降低污染,节约成本,从根本上消除豆腥味,食用口感会更好,选育无豆腥味大豆是克服大豆腥味的的重要途径^[1-2]。根据大豆的不同用途培育专用型品种,使之能适于生产,是未来大豆品质育种的发

展方向。

1 选育过程

1.1 主要亲本来源

1.1.1 一级改良核心亲本 北丰 9 号:长叶,白花,亚有限结荚习性,灰色茸毛。株高 80 cm 左右,节短荚密,茎秆粗壮,三、四粒荚多,籽粒黄色有光泽,百粒重 18 g 左右,蛋白质含量 40.32%,脂肪含量 18.53%,中抗灰斑病,生育日数约 115 d。

1.1.2 二级改良核心亲本 绥农 4 号:紫花、长叶、无限结荚习性,灰色茸毛。株高 80 cm 左右,株型收敛,分枝力强,上下着荚均匀,三、四粒荚多,不裂荚,百粒重 20 g 左右,蛋白质含量 39.41%,脂肪含量 21.53%。抗霜霉病,适应性广,喜肥水,秆强不倒,生育日数 116 d 左右。

1.1.3 三级改良核心亲本 绥无腥豆 1 号:白花、长叶、无限结荚习性,灰色茸毛。株高 110 cm

收稿日期:2018-01-15

基金项目:黑龙江省农业科技创新工程资助项目(2014QN021);黑龙江省农业科学院绥化分院 2016 年度所级科研资助项目(SHFYQN-01)。

作者简介:张维耀(1981-),男,硕士,农艺师,从事大豆育种与栽培研究。E-mail: kzw008@163.com。

Advances in the Relationship between Amino Acid and Plant Stress Resistance

XING Fang-fang^{1,2}, GAO Ming-fu¹, ZHOU Chuan-zhi¹, XU Chun-ying¹, FAN Ling-chao^{1,2}

(1. Kingenta Ecological Engineering Group Limited Company, Linyi 276700, China; 2 State Key Laboratory of Nutrition Resources Integrated Utilization, Linyi 276700, China)

Abstract: Amino acids are important bioactive molecules for plants, which are closely related to plant physiology, including growth, development and resistance. This paper reviewed the effects of foreign and endogenous amino acids on plant resistance to stress factors such as salt, drought, low temperature, hypoxia, pathogens and insect pests. And the research progress on soil amino acids and the uptake by plants were summarized. An outlook about research direction on the relationship between amino acids and plant resistance as well as the potential applications were discussed at the end of the paper.

Keywords: amino acids; resistance; stress