

# $\gamma$ -聚谷氨酸在农业应用中的研究进展

王 萌<sup>1</sup>, 许孝瑞<sup>2</sup>

(1. 烟台泓源生物肥料有限公司, 山东 烟台 264000; 2. 烟台市果茶工作站, 山东 烟台 264000)

**摘要:**  $\gamma$ -聚谷氨酸作为一种微生物发酵产物, 具有良好的水溶性、生物降解性和水解性, 且可以食用。目前已经在食品、化妆品、医药和农业等多个领域进行开发利用。着重综述了  $\gamma$ -聚谷氨酸在农业应用(保水剂、肥料增效剂)中的研究进展。

**关键词:**  $\gamma$ -聚谷氨酸; 生物合成; 农业应用; 研究进展

**中图分类号:** TQ922<sup>+</sup>.1

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1002-2767(2014)10-0161-03

自 1942 年 Bovarnick 等发现  $\gamma$ -聚谷氨酸作为一种发酵产物能自由地分泌到培养基中后, 人们发现多种芽孢杆菌能在胞外积累  $\gamma$ -聚谷氨酸<sup>[1]</sup>。20 世纪 90 年代以来, 国内外对  $\gamma$ -聚谷氨酸的微生物法制备研究越发活跃。近年来, 人们根据  $\gamma$ -聚谷氨酸独特的理化和生物学特性, 不断开发其在水凝胶、保湿剂、成膜剂、增稠剂、分散剂、药物控释载体、基因载体、化妆品、烟草、植物种子保护、食品添加剂及肥料增效剂等方面的应用。该文概述了聚谷氨酸的结构性质、合成及农业应用, 以期对聚谷氨酸在农业方面的应用推广提供理论参考。

## 1 $\gamma$ -聚谷氨酸的结构和性质

聚谷氨酸(PGA)主要由 D-谷氨酸和/或 L-谷氨酸通过酰胺键聚合而成。由于聚合方式不同, 聚谷氨酸主要由两种构型:  $\alpha$ -聚谷氨酸(通过  $\alpha$ -酰胺键聚合,  $\alpha$ -PGA)和  $\gamma$ -聚谷氨酸(通过  $\gamma$ -酰胺键聚合,  $\gamma$ -PGA)。生物合成的  $\gamma$ -聚谷氨酸通常由 500~5 000 个谷氨酸单体组成, 相对分子量为 10~10 000 KD<sup>[3]</sup>。 $\gamma$ -PGA 分子主链上含有大量游离的亲水性羧基, 可以发生螯合、交联及衍生化等反应, 因此, 具有良好的水溶性、生物降解性和水解特性。在生理功能方面可防止细胞脱水, 保护细胞免受蛋白酶的降解等<sup>[4]</sup>。

## 2 $\gamma$ -聚谷氨酸的生物合成

### 2.1 $\gamma$ -PGA 的合成菌

$\alpha$ -PGA 主要由化学合成法得到, 工艺复杂,

副产物多, 且得率低<sup>[2]</sup>;  $\gamma$ -PGA 多由微生物发酵法得到。目前发现的  $\gamma$ -PGA 生产菌株主要是芽孢杆菌属, 包括枯草芽孢杆菌(*Bacillus subtilis*)、炭疽芽孢杆菌(*B. anthracis*)、地衣芽孢杆菌(*B. licheniformis*)、短小芽孢杆菌(*B. brevis*)、耐热芽孢杆菌(*B. thermotolerant*)和解淀粉芽孢杆菌(*B. amyloliquefaciens*)<sup>[5]</sup>。还有研究表明其它菌种如古生菌<sup>[6]</sup>、细菌<sup>[7]</sup>和真核生物<sup>[8]</sup>发酵也可得到  $\gamma$ -PGA。根据培养基是否添加谷氨酸, 将  $\gamma$ -PGA 产生菌分为非谷氨酸依赖菌和谷氨酸依赖菌两类<sup>[9]</sup>。

### 2.2 $\gamma$ -PGA 可能的合成机制

$\gamma$ -PGA 合成所需的底物谷氨酸的来源可分为两部分, 内源底物和外源底物。内源底物是指微生物通过自身合成谷氨酸底物, 最广泛的途径是葡萄糖经过糖酵解, 生成丙酮酸, 进入 TCA 循环, 然后通过  $\alpha$ -酮戊二酸转化成谷氨酸<sup>[2]</sup>。而外源底物是直接添加的 L-或 D-谷氨酸, 一般直接在培养基中添加 L-谷氨酸, L-谷氨酸在消旋酶的作用下先转化为 D-谷氨酸, D-谷氨酸和 L-谷氨酸再在聚谷氨酸合成酶基因(*Pg, BCA*)的作用下合成  $\gamma$ -PGA,  $\gamma$ -PGA 在培养过程中可能在内切酶(解聚酶)的作用下分解成低分子量的  $\gamma$ -PGA<sup>[10]</sup>。

## 3 $\gamma$ -聚谷氨酸在农业中的应用

### 3.1 $\gamma$ -PGA 作为保水剂在农业中的应用

3.1.1  $\gamma$ -PGA 在作物种子萌发及苗期生长中的应用 我国是一个人均水资源占有量偏少和水资源空间分布极不平衡的国家, 干旱和半干旱地区约占国土面积的一半以上, 且季节性干旱也给我农业生产带来严重的影响。用电子束轰击  $\gamma$ -PGA 制成的树脂, 对种子进行包埋处理后, 种子能够在沙漠和缺水地区顺利发芽<sup>[10]</sup>。南京工业

收稿日期: 2014-05-24

第一作者简介: 王萌(1983-), 女, 山东省滨州市人, 硕士, 农艺师, 从事作物栽培管理技术指导及新型肥料的示范推广研究。E-mail: menghuan.yudi@163.com。

大学研制的吸水材料  $\gamma$ -PGA 的最大自然吸水倍数可达 1 108.4 倍,对土壤水分的吸收倍数为 30~80 倍,与土壤湿度有关。施用  $\gamma$ -PGA 水浸液或直接拌种,可提高小麦出苗率,增加株高<sup>[11]</sup>。在干土中直接施用  $\gamma$ -PGA 水浸液 150、300 和 500 mL,相当于 5.0、10.0 和 16.5 mm 降水量,能够提前小麦的出苗期,增加苗高,加深根系的深度。随着  $\gamma$ -PGA 水浸液用量的增加,对小麦生长的促进效果也越明显<sup>[12]</sup>。用 0.10~0.30 g·L<sup>-1</sup> 的  $\gamma$ -PGA 溶液浸种 1~3 d,烟草种子的发芽率和种子活力均提高,出苗时间缩短。同时种子的淀粉酶、过氧化物酶和过氧化氢酶的活性均有不同程度的提高<sup>[13]</sup>。因此, $\gamma$ -PGA 在种子萌发及苗期生长中具有重要的作用,能够促进种子发芽。

3.1.2 在果蔬鲜花保鲜贮藏中的应用 为了提高果蔬鲜花的保鲜质量,延长货架期,人们也开展了  $\gamma$ -PGA 在保鲜领域的应用研究。张新民<sup>[12]</sup>等研究指出,用  $\gamma$ -PGA 水溶液浸泡可延长鲜花保鲜时间。徐速<sup>[14]</sup>等研究表明,以 10 g·L<sup>-1</sup> 的  $\gamma$ -PGA 溶液处理过的生菜和菠菜等叶型蔬菜,蔬菜保鲜期可延长 2 d 左右,保水性能有一定程度的提升。用浓度为 6 g·L<sup>-1</sup> 的  $\gamma$ -PGA 对新鲜荔枝涂膜处理后,可延长常温下荔枝的货架期。这是因为涂膜处理后,果皮增加了保护层,减少了果皮表面的机械损伤,减缓花色素苷的降解,降低果实呼吸速率和多酚氧化酶的活性,从而推迟了褐变的发生与果实的衰老<sup>[15]</sup>。因此用  $\gamma$ -PGA 处理果蔬鲜花,可以延缓其衰老,延长货架期。

### 3.2 $\gamma$ -PGA 作为肥料增效剂在农业中的应用

$\gamma$ -PGA 作为肥料增效剂,具有促进作物养分吸收、减少肥料的使用、增加作物产量、改善作物品质和增强作物抗病能力等功效。叶面喷施、根部灌施  $\gamma$ -PGA 水剂或施用  $\gamma$ -PGA 增效复合肥,均能增加温州蜜柑单果重,提高果实可溶性固形物和维生素含量,改善大棚栽植柑橘的外观品质,使露地的果实整齐一致,果形圆正,着色均匀,具有天然打蜡的效果,外观表现最好<sup>[16]</sup>。对草莓进行  $\gamma$ -PGA 灌根处理,可增加根系生长量、叶片厚度和果实可溶性固形物的含量,提高单果重和单位面积产量;增加成花量,增强连续结果能力,同时增强植株的抗病能力<sup>[17]</sup>。水稻施用  $\gamma$ -PGA 增效剂、增效复合肥及增效尿素,增加地上和地下部分的生长量、植株有效穗数和穗实粒数<sup>[18]</sup>。与常用化肥、普通复合肥相比,施用  $\gamma$ -聚谷氨酸增效

复合肥后,油菜产量明显提高<sup>[19]</sup>;小青菜叶绿素、地下部鲜重显著增加,地上部鲜重最大增产幅度达 8.8%,同时还可明显提高土壤铵态氮的含量,氮肥利用率增加 10.6%<sup>[20]</sup>;能提高小白菜的产量,增幅可达 20%以上,改善小白菜的品质,显著提高植株体内氮的累积量,降低地上部硝酸盐的含量,提高氮肥利用率达 19%,提高向地上部的转运  $\text{Ca}^{2+}$  和  $\text{Mg}^{2+}$  的效率,降低根部含量<sup>[21]</sup>。 $\gamma$ -PGA 还可以显著提高玉米幼苗生物量、叶绿素含量及根系活力,增加穗实粒数和百粒重,提高产量<sup>[22-24]</sup>。

施用  $\gamma$ -PGA 后,可增强作物种子对逆境的抵抗能力。在用聚乙二醇-6000(PEG-6000)模拟干旱胁迫下,使用外源  $\gamma$ -PGA 后,可提高小麦和黑麦草的发芽率<sup>[11-12]</sup>,明显减缓干旱胁迫下钾离子含量降低的速率,参与水稻幼苗的渗透调节作用,从而增强水稻幼苗的耐旱性<sup>[13]</sup>。低温胁迫下,无机盐混合试剂与  $\gamma$ -PGA 处理水稻种子可以提高幼苗的耐冷性,增加可溶性糖含量、APX 和 SOD 酶活性,降低 MDA 含量,通过增强水稻低温信号传导转录途径 ICE1-DREB1B 的表达而提高水稻的耐冷性<sup>[25]</sup>。

此外, $\gamma$ -PGA 对酸、碱具有较好的缓冲能力,可有效平衡土壤的酸碱值,避免因长期使用化学肥料造成的土壤酸化和板结<sup>[26]</sup>。基本不影响根对  $\text{Ca}^{2+}$  的积累,有利于根对 Mn、P、Zn 的积累,并且不利于根对  $\text{Cu}^{2+}$  和  $\text{Mg}^{2+}$  的积累;有利于  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Fe}^{3+}$ 、 $\text{K}^{+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  和  $\text{Zn}^{2+}$  由根向叶的转移,但不利于  $\text{Mn}^{2+}$  的转移。施入  $\gamma$ -PGA 活化磷矿粉提高了土壤 pH,增加土壤速效磷含量,有效发挥了固化土壤重金属铅的作用<sup>[27]</sup>。

## 4 结论

综上所述, $\gamma$ -聚谷氨酸广阔的发展前景和巨大的开发潜力是毋庸置疑的。前人对聚谷氨酸的研究主要集中于生物合成、工业和医疗等领域。在农业上的研究多集中于其对植物的增产效果和生理影响阶段,如提高作物种子发芽率、增强抗旱、抗寒及抗病能力,提高肥料利用率,增加作物产量,改善品质,改良土壤和保水保鲜等。台湾味丹集团研发的吸水性能特别高的聚谷氨酸,目前也已在果树蔬菜的生产过程中加以推广应用。随着研究的深入以及人们对绿色环保意识的增强,聚谷氨酸将越来越多的应用于作物生长的各个阶段,包括育苗、栽培以及采后保鲜等领域。

## 参考文献:

- [1] 陈咏竹,孙启玲.  $\gamma$ -聚谷氨酸的性质、发酵生产及其应用[J]. 微生物学通报, 2004, 31(1): 122-126.
- [2] Joerg M Buescher. Microbial biosynthesis of polyglutamic acid biopolymer and applications in the biopharmaceutical, biomedical and food industries[J]. Critical Reviews in Biotechnol, 2007, 27: 1-19.
- [3] 曹名锋,金映红,解慧,等.  $\gamma$ -聚谷氨酸的微生物合成、相关基因及应用展望[J]. 微生物学通报, 2011, 38(3): 388-395.
- [4] Ashiuchi M, Misono H. biochemistry and molecular genetics of poly- $\gamma$ -glutamate synthesis[J]. Appl Microbiol Biotechnol, 2002, 59: 9-14.
- [5] 王浩,杨丽萍,乔君,等.  $\gamma$ -聚谷氨酸的研究进展[J]. 山东食品发酵, 2011(4): 30-34.
- [6] Hezayen F F, Rehmb H A, Eberhardt R, et al. Polymer production by two newly isolated extremely halophilic archaea: application of a novel corrosion-resistant bioreactor[J]. Applied Microbiology Biotechnology, 2000, 54: 319-325.
- [7] Ashiuehi M, Soda K, Misono H. A poly- $\gamma$ -glutamate synthetic system of *Bacillus subtilis* IFO3336: gene cloning and biochemical analysis of poly- $\gamma$ -glutamate produced by *Escherichia coli* clone cells[J]. Biochemical Biophysical Research Communications, 1999, 263: 6-12.
- [8] Kocianova S, Vuong C, Yao Y F, et al. Key role of polygamma-DL-glutamic acid in immune evasion and virulence of *Staphylococcus epidermidis*[J]. Journal of Clinical Investigation, 2005, 115(3): 688-694.
- [9] 李德衡,赵兰坤,李树标.  $\gamma$ -聚谷氨酸的生物合成及其应用研究进展[J]. 发酵科技通讯, 2012, 41(3): 12-16.
- [10] 彭英云,张涛,缪铭,等.  $\gamma$ -聚谷氨酸的合成、性质和应用[J]. 食品与发酵工业, 2012, 38(6): 133-138.
- [11] 王传海,何都良,郑友飞,等. 保水剂新材料  $\gamma$ -聚谷氨酸的吸水性能和生物学效应的初步研究[J]. 中国农业气象, 2004, 25(2): 19-22.
- [12] 张新民,姚克敏,徐虹. 新型高效吸水材料( $\gamma$ -PGA)的农业应用研究初报[J]. 南京气象学院学报, 2004, 27(2): 224-229.
- [13] 朱安婷,蒋友武,谢国生,等. 外源聚  $\gamma$ -谷氨酸对水稻幼苗耐旱性和渗透调节的影响[J]. 核农学报, 2010, 24(6): 1269-1273.
- [14] 徐速,周工博.  $\gamma$ -PGA 保水性在蔬菜保鲜上的应用[C]. CIFST-中国食品科学技术学会第九届年会论文摘要集, 2012: 75-76.
- [15] 疏秀林,施庆珊,冯劲,等.  $\gamma$ -聚谷氨酸对荔枝常温货架保鲜效果研究[J]. 食品工业科技, 2012, 33(21): 318-321, 325.
- [16] 王润凡,尹业雄,胡世权,等. PGA 增效剂在温州蜜柑中施用效果的评价[J]. 湖北农业科学, 2010, 49(4): 884-887.
- [17] 喻三保,张红艳,陈守文,等. 聚- $\gamma$ -谷氨酸施用穗草莓产量和果实品质的影响[J]. 湖北农业科学, 2010, 49(7): 1638-1641.
- [18] 刘端义,梅金先,张旅峰,等. 聚- $\gamma$ -谷氨酸及其增效肥在水稻上的应用[J]. 湖北农业科学, 2010, 49(10): 2370-2394, 2400.
- [19] 李汉涛,杨国正,柯云,等. 聚- $\gamma$ -谷氨酸增效复合肥对油菜产量及构成因素的影响[J]. 湖北农业科学, 2010, 49(10): 2395-2397.
- [20] 许宗奇,万传宝,许仙菊,等. 肥料增效剂  $\gamma$ -聚谷氨酸对小青菜产量和品质的影响[J]. 生物加工过程, 2012, 10(1): 58-62.
- [21] 孙刚忠. 聚  $\gamma$ -谷氨酸在小白菜上的应用效果及其作用机理[D]. 武汉: 华中农业大学, 2012, 6.
- [22] 尹成红,雍晓丙,冉炜,等. 产  $\gamma$ -聚谷氨酸菌株的筛选及其对玉米幼苗生长的促进作用[J]. 南京农业大学学报, 2011, 34(2): 91-96.
- [23] 尹成红,杭中桥,罗锋,等.  $\gamma$ -聚谷氨酸产生菌发酵的有机肥对玉米生长的促进作用[J]. 农业科技通讯, 2013(6): 43-44, 46.
- [24] 任淑华. 聚谷氨酸保水剂对玉米的影响[J]. 现代农业, 2013(6): 48-49.
- [25] 张言芳,周慧梅,蔡克桐,等. 无机盐混合试剂与  $\gamma$ -PGA 复合处理对早稻苗期耐冷性的引发和分子效应分析[J]. 农业环境科学学报, 2013, 32(12): 2323-2330.
- [26] Doran J W, Zeiss M R. Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality[J]. Appl Soil Ecol, 2000, 15: 3-11.
- [27] 蔡志坚.  $\gamma$ -聚谷氨酸活化磷矿粉对 Pb 污染土壤铅形态及小白菜生长的影响[D]. 武汉: 华中农业大学, 2010.

## Research Progress on Application of $\gamma$ -Polyglutamic Acid in Agriculture

WANG Meng<sup>1</sup>, XU Xiao-rui<sup>2</sup>

(1. Yantai Hongyuan Biological Fertilizer Company Limited, Yantai, Shandong 264000;  
2. Fruit and Tea Workstation of Yantai, Yantai, Shandong 264000)

**Abstract:**  $\gamma$ -polyglutamic acid is a kind of microbial fermentation product, that has good water solubility, biodegradability, hydrolysis and edible. The development and utilization in food, cosmetics, medicine, agriculture and other fields had been carried out, and the research progress on application of  $\gamma$ -polyglutamic acid in agricultural was reviewed emphatically.

**Key words:**  $\gamma$ -polyglutamic; biosynthesis; agricultural application; research progress