

植物根际促生菌促生机理研究*

余 斐 苏 艳 李吉跃 陈晓阳 何 茜

(华南农业大学 林学与风景园林学院 / 广东省森林植物种质创新与利用重点实验室 / 广东省普通高校木本饲料工程技术研究中心, 广东 广州 510642)

摘要 化肥与农药的使用虽能促进植物的生长发育, 但剂量过大会造成成本上升、土壤质量下降、环境恶化等不良反应。近年来研究发现存在一类自生型细菌称为植物根际促生菌 (Plant growth-promoting rhizobacteria, PGPR), 能忍受或抵抗植物所遭受的不利环境, 进而促进种子萌发和促进植物生长。文章从 PGPR 的促进植物吸收营养功能、植物生长调节功能、生物防治性能和环境修复功能 4 个方面阐述, 旨在了解 PGPR 促进植物生长的原理, 找出能改善植株抗逆性, 缩短生长周期, 促进植株更好更快繁殖的方法。

关键词 植物根际促生菌; 生长调节; 生物防治

中图分类号: S182 **文献标识码:** A **文章编号:** 2096-2053 (2017) 02-0107-06

Plant Growth-promoting Rhizobacteria Promoting Mechanism Research

YU Fei SU Yan LI Jiyue CHEN Xiaoyang HE Qian

(College of Forestry and Landscape Architecture, South China Agricultural University/Guangdong Key Laboratory for Innovative Development and Utilization of Forest Plant Germplasm/Woody Feed Engineering Technology Research Center Affiliated to Universities in Guangdong, Guangzhou, Guangdong 510642, China)

Abstract The use of chemical fertilizers and pesticides could promote the growth and development of plants, however, the excessive doses cause costs to rise, decline in soil quality, environmental degradation and other adverse reactions. Recent studies have found that the PGPR (Plant growth-promoting rhizobacteria, PGPR) could tolerate or resist plant suffered an adverse environment, thus contributing to the promotion of seed germination and plant growth. This article explains the growth promoting mechanism from the PGPR of four aspects, which are about plant nutrition absorption promoting function, plant growth regulating function, biological control performance and environmental restoration function. Understanding the principles of PGPR could promote the growth of plants, find out the method to improve the plant's own resistance, shorten the growth cycle and promote better and faster plant propagation method.

Key words plant growth-promoting rhizobacteria; growth promoting mechanism; biological disease control

林地面积的逐年递减和人口数量的不断增加导致对林业资源的获取量不断扩增。我国林业的栽培技术仍大量依赖化肥和农药, 而化肥与农药

的残留物大多具有剧烈的毒性和致癌作用, 且不易分解。过分利用农药会造成成本过高、土质污染和环境恶化等一系列不良反应。近年来, 许多

* 基金项目: 2014 年广东省公益研究与能力建设专项资金“速生树种黄梁木内生真菌多样性及开发应用”(2014A020208096)。

第一作者: 余斐 (1991—), 女, 在读博士研究生, 研究方向为森林培育与栽培生理生态, E-mail: fishing_ok@163.com。

通信作者: 何茜 (1981—), 女, 副教授, 主要从事森林培育与栽培生理生态研究, E-mail: heqian69@126.com。

学者尝试利用微生物改善农林业产量较低、生长较慢、质量较差的情况,建立一种既能降低化肥和农药使用量,又能够促进植物生长的可持续种植方式^[1]。

1866年,DeBary将生活在植物组织内部的微生物命名为内生菌。至今为止,所有植物中均发现有内生菌^[2],每株植物中内生菌数量为100株至数百株不等^[3],广泛分布于热带地区到北极圈、野生环境到农业生态系统^[4]。在不断探索中发现,植物在生长过程中存在一类定殖于植物根系的细菌,能忍受或抵抗植物所遭受的不利环境,进而促进种子萌发和促进植物生长。近年来,我们把这一类能促进种子萌发、促进植物生长、提高植物抗性的自生型细菌称为植物根际促生菌(Plant growth-promoting rhizobacteria, PGPR),因其促进植物生长、防治病害的优势从而日益受到关注^[1]。

PGPR根据定殖根际位置可分为胞内促生菌(iPGPR)和胞外促生菌(ePGPR)^[5],其中ePGPR又可分为紧邻但不接触根系、定居在根系表面和定居在植物根系皮层与细胞之间^[6]这3种,这样细分可更好了解PGPR的促生机制^[7]。以下通过几个方面介绍PGPR的促生机理。

1 促进植物营养吸收功能

1.1 生物固氮功能

大部分植物的固氮能力无法满足自身生长对氮元素的需求,部分PGPR可产生固氮酶,固定空气中的氮素并传递给植物利用。因此,在长期缺乏氮素的环境中,PGPR对植物生长具有极大的促进作用。从水稻根际土壤中分离的*Bacillus altitudinis*和*Rhizobium daejeonense*具有固氮活性^[8]。但在氮元素充足的环境中,外源氮素增加会反作用于来自生物自身固氮的氮素,削减生物固氮功能^[9]。

生物固氮功能分为自生、共生和联合固氮。其中,内生菌参与的联合固氮是介于其余两种固氮体系的中间类型^[10],与相应植物之间密切联系,但又不形成根瘤等共生结构^[11],是未来农林业中一个潜在的稳定氮源,其经济、生态效益是不可估量的^[12]。

1.2 解磷、解钾,风化矿物功能

部分PGPR可分泌甲酸、乙酸、乙醇酸等有机酸,降低附着植物根际土壤的pH值,使磷可

溶性化且有效化,供植物吸收和利用。内生菌可以提高水稻对磷肥的吸收^[13]。有些细菌具有解磷、解钾功能,可以通过风化矿物的方式来促进植物对矿物营养的吸收,可应用于珍稀濒危兰科(Orchidaceae)植物的引种和保育研究^[14]。

不同植物根系会分泌不同的酸,不同的PGPR亦是如此。假单胞菌CHA0能在铁素缺乏的条件下自然产生水杨酸(Salicylic acid, SA),同时还可以诱导烟草(*Nicotiana tabacum*)增加抵抗花叶病毒的能力^[15]。许多氢氧化细菌都存在ACC脱氨酶基因,能够合成ACC脱氨酶,将ACC水解成氨和 α -丁酮酸^[16],利用土壤内的ACC作为氮源,增强自身的竞争力,对植物有促生作用。假单胞菌属(*Pseudomonas*)可产生氢氰酸抑制病原真菌*Thielaviopsis basicola*引起的烟草黑根病,许多植物促生菌如*Cladosporium werneckii*、*Pseudomonas cepacia*和*Pseudomonas solanacearum*通过分解茛菪酸进而减轻植物受害程度^[17]。

1.3 提供铁元素

PGPR对植物的独特作用之一是能为植物提供铁元素。土壤中的铁元素大部分以难溶性的 Fe^{3+} 形式存在,植物缺乏铁元素会导致不能合成叶绿素,进而引发黄叶病。部分细菌可产生一种与 Fe^{3+} 具有较高螯合特性的低分子量化合物^[14],为自身和宿主植物提供铁元素并与病原菌争夺铁元素,该小分子蛋白叫嗜铁素,与铁结合成可溶性铁—嗜铁素复合体,这种复合体转移到细胞体内就会水解,铁被还原从而被细胞吸收^[17]。这些植物受到铁—嗜铁素复合体的影响,与病原菌争夺铁元素使病原菌减少,因此得到更多PGPR传送的铁营养。

2 植物生长调节功能

许多PGPR通过代谢产物间接作用于植物生长。部分细菌可产生生长素、赤霉素、细胞分裂素等植物所必须的激素来促进植物生长和调控植物其他生命活动^[18]。许多微生物(包括病原菌和促生菌)同时会通过干扰内源激素与提供外源激素两个途径来影响植物生长。PGPR可合成植物生长素IAA及其类似物,为宿主植物提供外源生长素,增加初生根、次生根和不定根数量,促进植物生长^[18]。同时,假单胞菌属可显著($P < 0.05$)提高植物的株高、根长、生物量和氮磷含

量^[13]。PGPR 产生 ACC 脱氨酶, 可分解乙烯合成前体 ACC, 降低乙烯合成浓度, 同时提高植物抗性, 减轻环境胁迫对植株的影响^[19]。在遇到逆境时, PGPR 同时也会释放出植物病程相关蛋白 (PRs)^[5]、植保素、紫杉醇或其他次生代谢产物^[20-21], 通过次生代谢产物的积累对植物进行生长调节。例如荧光假单胞菌 WCS 417r 在诱导香石竹 (*Dianthus caryophyllus*) 的同时可伴随植保素的积累^[20]。

短序脆兰 (*Acampe papillosa*) 和构唇石斛 (*Dendrobium nobile*) 的基生根中均有以念珠蓝细菌属 (*Nostoc*) 为主的蓝细菌 (Cyanobacteria)^[21]。这种细菌与真菌菌丝相互交织在所附生兰科植物的气生根表面, 形成一种鞘状物, 鞘的空隙里充满了单细胞的光养生物, 可进行光合作用, 为植物提供营养。

3 生物防治功能

从目前世界常用具有生物防治功能的促生菌^[17]中可以看出, 假单胞菌属、芽孢杆菌属 (*Bacillus*) 和农杆菌属 (*Agrobacterium*) 根际微生物大多具有防病促生潜能, 可以有效防治植物病害。把有效的微生物进行商品化, 同时利用正确的方法作用于植物上, 可以起到一定生物防治性能。

假单胞菌属主要作用于蘑菇和经济林植物, 利用喷施等方法可防治霜霉病、*Pseudomonas talossii* 等各种病害^[22]。芽孢杆菌属主要应用在大田作物, 可对其种子进行处理, 防治出现的各种苗期病害^[23]。农杆菌属则应用在树木栽培中比较多, 可防治病原 *Agrobacterium tumefaciens* 引起的冠瘿病^[24]。

3.1 分泌抗生素和抗菌代谢产物

抗生素和抗菌代谢产物在植物防治病虫害、抵抗逆境时起到重要的作用。通过大量的研究表明, 部分 PGPR 能分泌抗生素和抗菌代谢产物, 起到抵制病害发生、维持植株正常生长发育的作用。Weller^[25]首次发现荧光假单胞杆菌类产生抗生素吩嗪 (phenazines) 及其衍生物。随后发现了更多由不同属 PGPR 产生的抗生素, 包括藤黄绿脓菌素 (pyolnteorin)、托酚酮 (tropolone)、苯二酚 (phyloglucinol)、硝吡咯菌素 (pyrrolnitrin)、土壤杆菌素 (agrocine) 84、434 等^[26]。这些由 PGPR 分泌出来的物质能抵御病虫害, 提高植株的抗逆

性, 有效地促进植株的生长发育。如荧光假单胞菌 (*P. fluorescens*) 产生的硝吡咯菌素 (pyrrolnitrin) 可有效抑制病原真菌 *Rhizoctonia solani* 所引起的棉花猝倒病^[17]。

3.2 产生次生代谢产物

部分 PGPR (如 *Pseudomonas* 属类) 可产生氢氰酸或通过代谢活动分解萜类酸来减轻植物受害程度 (如被植物病菌 *Pythium* 所侵染)。PGPR 可合成一些酶类 (如几丁质酶、蛋白酶、脂肪酶等), 通过酶类可分解致病真菌菌丝。由 PGPR 分泌的植保素和其他次生代谢产物的积累可抵御病害。细菌外膜的脂多糖 (lipopolysaccharides, LPS) 含量以及细菌产生嗜铁素和水杨酸 (salicylic acid, SA) 的能力均决定 PGPR 诱导体系抗性强度的大小^[5]。

3.3 营养与空间的竞争

PGPR 对于植物的保护是从对植株营养的提供和对病原菌营养与空间的竞争两方面来进行。PGPR 所固定的营养元素部分会转移到植株中, 促进植株生长, 另一部分则为自身供给。PGPR 消耗病原菌萌发所必须的营养物质, 与病原菌进行营养元素的竞争, 从而抑制病原菌生长。PGPR 占据病原菌所要侵入的位置来减少病原菌侵入的可能性, 或是占据有效生态位点。某些 PGPR 会占据植物根表面有利于自身生长与繁殖的有利位点, 同时和病原菌竞争根际营养和根分泌物^[27]。

4 修复环境功能

在实际栽植培养中, PGPR 可起到部分农药、化肥的作用, 缓解土壤富营养化, 改善土壤质量, 防止农药、化肥残留物过多从而对栽培植株产生毒性和致癌作用。同时可以保持水土, 增强植物抗洪、抗旱、抗酸等抗性^[28-29], 林业中可提高木质产量^[30]。在一定程度上可以吸收、降低或者固定环境中的有毒物质。一些植物接种 PGPR 后, 单位质量植物体的污染物积累量不会增加, 但总生物量增加。近几年 PGPR 对修复重金属土壤也是颇有成效, 不仅能减轻植物受到逆境带来的伤害, 还可以提高植株抗逆性, 改善土地质量^[31]。

植物根际促生菌 LL2012 菌株在适宜的培养基中能够生长, 并产生高浓度的生长素、赤霉素和水杨酸^[32]。芽孢杆菌属对芥菜 (*Brassica juncea*)

的作用则是促进 Ni 的积累^[33]。在温室中栽培油菜 (*Brassica napus*), 假单胞菌属能提高油菜对 Cd 的积累总量, 促进植物生长^[34]。

5 结论与讨论

植物内生细菌具有抗菌、促生、增强宿主植物的抗逆性^[35-37]等生物学作用, 具有较高的经济、生态和社会效益。持续探求 PGPR 的各种功能, 不仅能帮助我们了解 PGPR 促进植物生长的原理, 同时也能为改善植株自身的抗逆性, 缩短生长周期, 促进植株更好更快繁殖提供理论基础。

我国北方石油污染土壤问题较为严重, 筛选出含 ACC 脱氢酶的 PGPR 通过促生作用对土壤进行修复^[38]是一种环保的解决方法。同时, 重金属污染也成为了新时代生活的热点问题, 利用 PGPR 也可较有效减少重金属对人体伤害^[39-41]。PGPR 能提高植物的抗性, 同时可以提高土壤、环境, 甚至整个生态系统的自我修复能力。但针对植物促生菌的定殖情况还并没有具体的测定指标, 检测系统也不够完善。在机理研究当中, 较多从 PGPR 的次生代谢产物以及植物变化开始研究, 未能深入到机制层面。从分子、化学水平上寻找规律, 可以深入了解促生菌能力。不仅如此, 现今的植物根际促生菌研究还在起步阶段, 未能很明确地寻找到特定植物与其促生菌之间的关系, 更未能找出植物所具有的特定菌种。同时, 在基因库中促生菌的信息也较为缺乏, 不利于科研工作的深入开展。因此, 植物根际促生菌的研究还需要科研工作者的不断努力。幸运的是在现实生产中, 已有部分商家把 PGPR 做成了肥料并投入生产^[42], 能否配备出最佳配比方案也是今后的研究目标。如何设置一套 PGPR 促生作用的检测体系, 计算出植物不同生长时期促生效果函数, 是对以后植物内生菌研究学者的考验。

未来的研究方向, 可从植物的根、茎、叶、果实、花等不同部位、器官中提取内生菌, 接种到同种或不同种类苗木中生长, 了解不同菌株的特定作用。可结合市场挑选菌种制作针对性菌肥, 并应用于实际生产中, 为农林业开辟一个新的施肥方向。

参考文献

- [1] TARIQ M, ALI Q, KHAN A, et al. Yield potential study of *Capsicum annuum* L. under the application of PGPR [J]. *Advancements in Life Sciences*, 2014, 1(4): 202-207.
- [2] 王瑞珍. 2株银杏内生真菌的抑菌活性研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2013.
- [3] ANDREWS J H. Biological control in the phyllosphere [J]. *Annual review of phytopathology*, 1992, 30(1): 603-635.
- [4] JHA C K, SARAF M. Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR): A review [J]. *E3 Journal of Agricultural Research and Development*, 2015(5): 108-119.
- [5] 康贻军, 程洁, 梅丽娟, 等. 植物根际促生菌作用机制研究进展[J]. *应用生态学报*, 2010(1): 232-238.
- [6] VESSEY J K. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers [J]. *Plant and soil*, 2003, 255(2): 571-586.
- [7] GRAY E J, SMITH D L. Intracellular and extracellular PGPR: commonalities and distinctions in the plant-bacterium signaling processes [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2005, 37(3): 395-412.
- [8] HABIBI S, DJEDIDI S, PRONGJUNTHUEK K, et al. Physiological and genetic characterization of rice nitrogen fixer PGPR isolated from rhizosphere soils of different crops [J]. *Plant and Soil*, 2014, 379(1): 51-66.
- [9] 袁辉林. 植物促生菌培养优化及作用机理研究[D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2011.
- [10] 刘淑琮, 冯妍, 于洁. 植物根际促生菌的研究进展及其环境作用[J]. *湖北农业科学*, 2009(11): 2882-2887.
- [11] DOBEREINER J, DAY J M, DART P J. Nitrogenase activity and oxygen sensitivity of *Paspalum notatum*-Azotobacter association[J]. *Journal of General Microbiology*, 1972, 71(JUN): 103-116.
- [12] 姚拓. 饲用燕麦和小麦根际促生菌特性研究及其生物菌肥的初步研制[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2002.
- [13] LAVAKUSH, YADAV J, VERMA J P, et al. Evaluation of PGPR and different concentration of phosphorus level on plant growth, yield and nutrient content of rice (*Oryza sativa*) [J]. *Ecological Engineering*, 2014, 62(1): 123-128.
- [14] 张萍, 宋希强. 兰科植物内生细菌物种多样性及其促生机理研究进展[J]. *热带亚热带植物学报*, 2012, 20(1): 92-98.
- [15] MAURHOFFER M, REIMMANN C, SCHMIDLI PS, et al. Salicylic acid biosynthetic genes expressed in *Pseu-*

- domonas fluorescens* strain P3 improve the induction of systemic resistance in tobacco against tobacco necrosis virus[J]. *Phytopathology*, 1998, 88(7): 678-684.
- [16] 蒙渊, 王卫卫, 陈兴都, 等. 氢氧化细菌分离、筛选及促生机制研究进展[J]. *微生物学通报*, 2010, 37(10): 1525-1532.
- [17] IPEK M, PIRLAK L, ESITKEN A, et al. Plant growth-promoting rhizobacteria (Pgpr) increase yield, growth and nutrition of strawberry under high-calcareous soil conditions [J]. *Journal of Plant Nutrition*, 2014, 37(7): 990-1001.
- [18] CASSAN F, VANDERLEYDEN J, SPAEPEN S. Physiological and agronomical aspects of phytohormone production by model Plant-Growth-Promoting Rhizobacteria (PGPR) belonging to the genus *azospirillum*[J]. *Journal of Plant Growth Regulation*, 2014, 33(2): 440-459.
- [19] PORCEL R, ZAMARREÑO Á M, GARCÍA a-Mina J M, et al. Involvement of plant endogenous ABA in *Bacillus megaterium* PGPR activity in tomato plants [J]. *BMC Plant Biology*, 2014, 14(1): 1-12.
- [20] HORMAZABAL E, SCHMEDAHIRSCHMANN G, AS-TUDILLO L, et al. Metabolites from *Microsphaeropsis olivacea*, an endophytic fungus of *Pilgerodendron uviferum*[J]. *Zeitschrift für Naturforschung C*, 2015, 60(1-2): 11-21.
- [21] ZDOR R E, ANDERSON A J. Influence of root colonizing bacteria on the defense responses of bean [J]. *Plant and Soil*, 1992, 140(1): 99-107.
- [22] 杜爱玲, 王进涛. 覆土微生物对双孢蘑菇菌丝体生长的影响[J]. *华中农业大学学报*, 1999, 18(3): 242-244.
- [23] 陶光灿, 王素英, 王玉平, 等. 芽孢杆菌属(*Bacillus* sp.)10株细菌混合制剂对4种作物出苗及苗期生长的影响[J]. *应用与环境生物学报*, 2003, 9(6): 598-602.
- [24] 魏艳丽, Maarten H. Ryder, 李纪顺, 等. 防治果树冠瘿病的农杆菌K1026解磷活性研究[C]// 中国植物病理学会. 中国植物病理学会青年学术研讨会论文选编. [出版单位不详]. 2015.
- [25] WELLER D M. Colonization of wheat roots by a fluorescent pseudo-monad on suppressive to take-all [J]. *Phytopathology*, 1983(73): 1548-1553.
- [26] BALTIMORE D, HEILMAN C. Prospects and challenges [J]. *Scientific American*, 1998(1): 66-72.
- [27] 王帅. 芽孢杆菌及其脂肽类化合物防治植物病害和促进植物生长的研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2009.
- [28] GRICHKO V P, GLICK B R. Amelioration of flooding stress by ACC deaminase-containing plant growth-promoting bacteria [J]. *Plant Physiology and Biochemistry*, 2001, 39(1): 11-17.
- [29] ARIF M S, RIAZ M, SHAHZAD S M, et al. Associative interplay of plant growth promoting rhizobacteria (*Pseudomonas aeruginosa* QS40) with nitrogen fertilizers improves sunflower (*Helianthus annuus* L.) productivity and fertility of aridisol [J]. *Applied Soil Ecology*, 2016, 108(December): 238-247.
- [30] CELY M V T, SIVIERO M A, EMILIANO J, et al. Inoculation of *Schizolobium parahyba* with mycorrhizal fungi and plant growth-promoting rhizobacteria increases wood yield under field conditions [J]. *Frontiers in Plant Science*, 2016, 7(1708).
- [31] 陈佛保, 柏珺, 林庆祺, 等. 植物根际促生菌(PGPR)对缓解水稻受土壤锌胁迫的作用[J]. *农业环境科学学报*, 2012, 31(1): 67-74.
- [32] MASCIARELLI O, LLANES A, LUNA V. A new PGPR co-inoculated with *Bradyrhizobium japonicum* enhances soybean nodulation [J]. *Microbiological Research*, 2014, 169(7-8): 609-615.
- [33] ZAIDI S, USMANI S, SINGH B R, et al. Significance of *Bacillus subtilis* strain SJ-101 as a bioinoculant for concurrent plant growth promotion and nickel accumulation in *Brassica juncea* [J]. *Chemosphere*, 2006, 64(6): 991-997.
- [34] DELL' AMICO E, CAVALCA L, ANDREONI V. Improvement of *Brassica napus* growth under cadmium stress by cadmium-resistant rhizobacteria [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2008, 40(1): 74-84.
- [35] SINGH D, RATHOD V, NINGANAGOUDA S, et al. Optimization and characterization of silver nanoparticle by endophytic fungi *Penicillium* sp. isolated from *Curcuma longa* (Turmeric) and application studies against MDR *E. coli* and *S. aureus* [J]. *Bioinorganic Chemistry & Applications*, 2014, 2014(5251): 408021.
- [36] GOSWAMI D, DHANDHUKIA P, PATEL P, et al. Screening of PGPR from saline desert of Kutch: growth promotion in *Arachis hypogea* by *Bacillus licheniformis* A2 [J]. *Microbiological Research*, 2014, 169(1): 66-75.
- [37] KHAN A L, HUSSAIN J, AL-HARRASI A, et al. Endophytic fungi: resource for gibberellins and crop abiotic stress resistance [J]. *Critical Reviews in Biotechnology*, 2015, 35(1): 62-74.
- [38] XUN F, XIE B, LIU S, et al. Effect of plant growth-pro-

- moting bacteria (PGPR) and arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) inoculation on oats in saline-alkali soil contaminated by petroleum to enhance phytoremediation [J]. Environmental Science and Pollution Research, 2015, 22(1): 598-608.
- [39] NADEEM S M, AHMAD M, ZAHIR Z A, et al. The role of mycorrhizae and plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) in improving crop productivity under stressful environments [J]. Biotechnology Advances, 2014, 32(2): 429-448.
- [40] VERMA C, SINGH P, KUMAR R. Isolation and characterization of heavy metal resistant PGPR and their role in enhancement of growth of wheat plant under metal (cadmium) stress condition [J]. Archives of Applied Science Research, 2015, 7(7): 37-43.
- [41] ISLAM F, YASMEEN T, ALI Q, et al. Influence of *Pseudomonas aeruginosa* as PGPR on oxidative stress tolerance in wheat under Zn stress [J]. Ecotoxicology & Environmental Safety, 2014, 104(5): 285-293.
- [42] KUSARI S, SINGH S, JAYABASKARAN C. Biotechnological potential of plant-associated endophytic fungi: hope versus hype [J]. Trends in Biotechnology, 2014, 32(6): 297-303.