

类诺卡氏属放线菌的研究进展

杜慧竟, 余利岩, 张玉琴*

中国医学科学院, 北京协和医学院医药生物技术研究所, 北京 100050

摘要: Prauser H. 最初于 1976 年从土壤中分离到 17 株诺卡氏形态放线菌, 综合形态、生理生化特性和部分化学分类特征的研究结果, 提议建立了一个新属——类诺卡氏属 (*Nocardioideae*), 并以新种白色类诺卡氏菌 (*N. albus*) 为典型种。之后, 随着分离、纯培养和分类方法的发展, 越来越多的新成员从各种不同环境中分离得到。尽管这些菌来源广泛, 形态和生理生化等特征各异, 但他们拥有共同的属的特征。过去的 50 年中, 随着放线菌研究的发展, 该属中部分成员历经了分类地位的变迁和修订。到目前为止, 该属共收纳了 56 个有效描述种。类诺卡氏属 (*Nocardioideae*) 放线菌在农业、工业、化工业等方面也曾有应用研究报道。本文就类诺卡氏属放线菌的建立依据, 属的特征, 属内种的分布和变更以及它们在工农业上的应用研究前景及进展进行了综述。

关键词: 类诺卡氏 放线菌, 分类

中图分类号: Q939 文献标识码: A 文章编号: 0001-6209 (2012)06-0671-08

类诺卡氏属 (*Nocardioideae*) 是细菌域——放线菌门 (*Actinobacteria*)——放线菌纲 (*Actinobacteria*)——放线菌亚纲 (*Actinobacteridae*)——放线菌目 (*Actinomycetales*)——丙酸杆菌亚目 (*Propionibacterineae*)——类诺卡氏科 (*Nocardioideaceae*) 的典型属。是一类进化相近、形态相似的放线菌, 其细胞化学分类特征是: 胞壁肽聚糖主要为 LL-DAP (左旋 2,6 二氨基庚二酸), 全细胞水解液中不含有特征性糖和枝菌酸。类诺卡氏属自建立到现在发展迅速, 目前已有 56 个有效描述种。最初的分类研究只有形态、生理生化、肽聚糖和 GC 含量分析, 其中部分成员与其他属有所交叉, 但随着分类学技术的发展, 尤其是近代放线菌多相分类研究手段的应用, 一些菌株的分类地位被重新修

订, 也为后续相关成员的分类研究提供了参考和依据。

对类诺卡氏菌的研究不仅对放线菌的系统分类研究有所贡献, 该属中菌株还表现出多种活性, 在工业、农业和人类日常生活中显示出了广泛的应用前景。例如可以用于降解原油、污水治理、生物防护等。而且到目前为止该属尚未被报道发现致病菌株, 使其作为一类资源微生物比较安全。

1 类诺卡氏属 (*Nocardioideae*) 的建立和研究现状

1.1 类诺卡氏属的建立

类诺卡氏属 (*Nocardioideae*) 是放线菌目

基金项目: 国家自然科学基金 (30970008); 国家微生物资源平台建设项目

* 通信作者。Tel/Fax: +86-10-83167110; E-mail: zhyuqin@126.com

作者简介: 杜慧竟 (1985 -), 女, 山西省太原市人, 硕士研究生, 从事微生物与生化药学研究。E-mail: dujing5555@gmail.com

收稿日期: 2012-01-18; 修回日期: 2012-02-17

(Actinomycetales) 丙酸杆菌亚目 (Propionibacterineae) 中类诺卡氏科 (Nocardioideae) 的典型属。最初由 Prauser H. 于 1976 年建立,他从土壤中分离得到 60 株放线菌并研究,选择了其中的 17 株做为代表从分布来源、形态学、生理生化特性、噬菌体敏感性以及化学分类学角度做了细致的分析和讨论。最终确定他们同属于一个新属中的一个新种, *Nocardioides albus* (白色类诺卡氏菌)。该属属于诺卡氏菌型放线菌,但拥有自身独特的分类学特性,区别于其他的诺卡氏菌型放线菌,如特征性具有 LL-DAP,无分枝菌酸。相对于含有 LL-DAP 的一类放线菌,类诺卡氏菌具有特

殊的形态特征,产生基丝和气丝(区别于游鱼孢菌属),依靠气丝断裂繁殖(区别于链霉菌属)。这一类菌还具有特征性的生理活性和噬菌体敏感性。在当时的分类研究条件下 Prauser H. 认为类诺卡氏属不属于任何已建立的科,最终以放线菌目中一个独立的属发表^[1]。直到 1985 年 Nesterenko 等人又建立了以类诺卡氏属为典型属的类诺卡氏科^[2]。

1.2 类诺卡氏属的分类简史及研究现状

类诺卡氏属中有部分种和菌株随着放线菌分类学研究手段的发展而发生了变更:其中 2 个种是从其他属修订而来,3 株菌和 1 个种转到其他属中,有 3 个种名和 1 个菌株号有所更改。具体变更情况如表 1。

表 1 1982-2011 年类诺卡氏属的变更情况

Table 1 The changes of members in *Nocardioides* from 1982 to 2011

Original taxonomic position and species name	Reference	Emendatory taxonomic position and species name	Reference
<i>Arthrobacter simplex</i>	[3]	<i>Nocardioides simplex</i>	[4]
<i>Pimelobacter jensenii</i>	[5]	<i>Nocardioides jensenii</i>	[6]
<i>Nocardioides simplex</i> ATCC 13260, ATCC 19565, and ATCC 19566	[4]	<i>Rhodococcus erythropolis</i> ATCC 13260, ATCC 19565, and ATCC 19566	[7]
<i>Nocardioides fastidiosa</i>	[8]	<i>Nocardioides fastidiosus</i>	[9]
<i>Nocardioides fastidiosus</i>	[8]	<i>Aeromicrobium fastidiosum</i>	[10]
<i>Nocardioides tritolerans</i> DSM 19320	[11]	<i>Nocardioides tritolerans</i> DSM 19319	[12]
<i>Nocardioides islandiensis</i>	[13]	<i>Nocardioides islandensis</i>	[12]
<i>Nocardioides dilutes</i>	[14]	<i>Nocardioides dilutus</i>	[12]

1982 年 Anthony G, O'Donnell 等人将 *Arthrobacter simplex* (简单节杆菌) 修订为 *N. simplex*, 依据是典型菌的极性脂分析结果, *Arthrobacter simplex* 中的极性脂与类诺卡氏属相似, 含有双磷脂酰甘油和磷脂酰甘油以及 5 个相同的未知极性脂, 不同于节杆菌属的另一个种 *Arthrobacter tumescens* (肿胀节杆菌), 没有磷脂酰肌醇和另外的 3 个未知极性脂^[4]; 1997 年, 依据化学分类数据和 16S rRNA 基因序列的相似度, 该种内的 ATCC 13260, ATCC 19565 和 ATCC 19566 三株菌被 Yoon Jung-Hoon 等人修订到了 *Rhodococcus erythropolis* 中^[7]; 1989 年 Collins 等人基于对以 *Pimelobacter jensenii* (詹氏脂肪杆菌) 和当时所有类诺卡氏属中典型菌(即 *N. albus*, *N. luteus* 和 *N. simplex*) 的 16S rRNA 基因序列为基础构建的系统进化树的分析, 认为 *Pimelobacter jensenii* 与类诺卡氏属共同形成了一个清晰独立的分支, 故将其归到类诺卡氏属中修订为 *N. jensenii* (詹氏类诺卡氏菌)^[6]; 1990 年根据拉丁词性规则, *N. fastidiosa*^[8] 被更名为 *N.*

Fastidiosus^[9], 后在 1994 年 Tamura 等人依据 16S rRNA 基因序列的同源性分析结果将其归到 *Aeromicrobium* 属内修订为 *Aeromicrobium fastidiosum*, 数据显示 *N. Fastidiosus* 与 *Aeromicrobium erythreum* 的同源性超过了 98%, 但两者分别与当时类诺卡氏属内所有典型菌比较, 序列同源性均在 96% 以下, 且化学分类数据也支持此修订^[10]; 另外, *N. tritolerans* 典型菌的 DSM 菌种保藏号从 19320 修改为 19319^[12]; *N. islandiensis* 更名为 *N. islandensis*^[12]; *N. dilutes* 更名为 *N. dilutus*^[12]。

到目前为止, 类诺卡氏属内共有 56 个有效描述种, 即 *N. aestuarii*, *N. agariphilus*, *N. albus*, *N. alkalitolerans*, *N. alpinus*, *N. aquaticus*, *N. aquiterrae*, *N. aromaticivorans*, *N. basalti*, *N. bigeumensis*, *N. caeni*, *N. caricicola*, *N. daedukensi*, *N. daejeonensis*, *N. daphniae*, *N. dilutes*, *N. dokdonensis*, *N. dubius*, *N. exalbidus*, *N. fonticola*, *N. furvisabuli*, *N. ganghwensis*, *N. ginsengagri*, *N. ginsengisoli*, *N. halotolerans*, *N. hankookensis*, *N. humi*, *N.*

hungaricus, *N. hwasunensis*, *N. insulae*, *N. iriomotensis*, *N. islandiensis*, *N. jensenii*, *N. kongjuensis*, *N. koreensis*, *N. kribbensis*, *N. lentus*, *N. lianchengensis*, *N. luteus*, *N. maradonensis*, *N. marinisabuli*, *N. marinus*, *N. mesophilus*, *N. nitrophenolicus*, *N. oleivoran*, *N. panacihumi*, *N. panacisoli*, *N. plantarum*, *N. pyridinoliticus*, *N. salarius*, *N. sediminis*, *N. simplex*, *N. terrae*, *N. terrigena*, *N. tritolerans*, *N. ultimimeridianus*。另外还有 *N. ginsengisegetis* 是发表在 *The Journal of Microbiology* 48 卷第 5 期上, 尚未被 IJSEM 收录。这些菌分布广泛, 主要是从海洋岛屿^[15-17]、海水^[18]、海洋沉积物^[19-20]、海边沙地^[21-22]、冰川^[23]、植物根际^[24-25]、植物体内^[26-27]、动物体内^[28]、地衣^[29]、森林土壤^[30]、碱性土^[31] 或岩石内^[32] 等分离得到。其中海洋环境来源的最多, 其次是根际土壤环境。

最近本室从经过表面消毒处理的药用植物紫苏根中分离得到菌株 I10A-01402^T, 通过 16S rRNA 基因序列比对和形态学、细胞化学、生理生化等特性的比较, 发现该株菌与类诺卡氏属有很大的相关性, 但又具有较低的 16S rRNA 基因序列相似性 (< 97.0%) 和区别于属内其他种的特性。综合表型和基因型分类学研究数据, 我们拟提议在类诺卡氏属内建立一个新种。相关研究即将另文发表。

2 类诺卡氏属的多相分类特征

2.1 形态和生理生化特征

最初 Prauser 建立这个属时描述其形态特征为菌丝分支而且生长丰富, 菌丝体在培养基表面和内部均有分布, 断裂成为不规则到短杆或球形孢子; 气生菌丝几乎不分支或形成稀疏的不规则分支, 类似诺卡氏菌属的气丝形态, 气丝断裂成短杆或球形表面光滑的孢子; 孢子再形成新菌丝^[1]。但 1982 年 Anthony 等将简单节杆菌修订为鉴定类诺卡氏菌的同时, 重新描述了属的形态特征: 类诺卡氏属可能是多形态单细胞放线菌或形成分支菌丝体, 基生菌丝和气生菌丝均断裂形成短杆到球形孢子; 单细胞形态的菌株可能具有运动性; 菌落或呈浆状, 表面光滑或褶皱, 哑光或明亮; 或产气丝, 厚而浓密^[4]。而到目前为止类诺卡氏属中大多数种的细胞形态呈短杆或球状, 无气生菌丝和基生菌丝的分化, 可能有

运动性; 菌落表面光滑有光泽, 呈圆形, 边缘整齐。细胞革兰氏染色阳性, 菌株的生长均需氧, 不耐酸, 嗜中温, 中性 pH, 有一定程度的盐耐受性。可利用多种有机化合物作为唯一碳源。

2.2 细胞化学分类特征

类诺卡氏属菌株的胞壁肽聚糖主要是 LL-DAP, 无特征性糖, 属 A3 γ 型细胞壁; 不含有分枝菌酸; 细胞磷酸类脂主要含有磷脂酰甘油, 尚未发现含有磷脂酰胆碱; 主要的甲基萘醌异戊二烯单位是 MK-8(H₄); iso-C_{16:0} 为优势脂肪酸, 属于 FA3a 类型; 菌株 DNA 中 G+C 摩尔百分含量范围是 66.5 - 78.7 mol%。

2.3 分子分类特征

类诺卡氏属成员在分子分类学特征上都共同拥有类诺卡氏科的 16S rRNA 特征性核苷酸, 比如 328 (C), 407: 435 (A-U), 451 (G), 453 (C), 819 (U), 825: 875 (G-C), 827 (U), 828 (A), 832: 854 (G-G), 833: 853 (U-C), 844 (C)^[33]。在基于 16S rRNA 基因序列分析而构建的系统进化树上, 类诺卡氏科 (Nocardioideae) 与丙酸杆菌科 (Propionibacteriaceae) 为近邻, 二者共形成一个共同的分支, 但这两个科的成员又分别聚类于两个相对独立的亚分支^[34]。其中, 相对于类诺卡氏科中其他属, 类诺卡氏属与 *Marmoricola* 属最为接近, 共形成一个系统进化分支。

3 类诺卡氏属与近源属

在最初建立类诺卡氏属时, Prauser H. 从细胞壁氨基酸成分角度比较, 类诺卡氏属与链霉菌科最接近, 但类诺卡氏属与链霉菌科中各个属的成员在发育周期和细胞形态上完全不同, 是典型的诺卡氏菌型放线菌; 从形态上, 类诺卡氏属的典型种与诺卡氏属 (*Nocardia*) 很相似 (形成断裂分支菌丝), 但诺卡氏属胞壁不含有 LL-DAP, 而类诺卡氏属也不产生诺卡氏菌酸, 细胞化学组分的差异使这 2 个属相互区别开来^[1]。

后来 Nesterenko 等以类诺卡氏属为典型属建立了类诺卡氏科, 到目前为止该科已包含 9 个属。类诺卡氏属与他们有许多相似的特征, 但也有明显清晰的区分。在系统进化方面, *Marmoricola* 属以及 *Aeromicrobium* 属是与类诺卡氏属最近源的两个属,

表 2 类诺卡氏属的分类学特征

Table 2 Taxonomy Characteristics of *Nocardioides*

Characteristics	Properties	Note	
Morphology	Cell	Pleomorphic: rods, cocci, no mycelium, motile and non-motile strains occur; Or produce mycelium: the hyphae of both the substrate and aerial mycelia are branched and fragment into rod-to coccus-like elements which give rise to new mycelia	Only <i>N. albus</i> forms mycelium
	Colony	Pasty with smooth to wrinkled and dull to bright; Or the aerial mycelium is thick, dense and chalky	
Chemotaxonomy	Diagnostic diamino acid and sugar	LL-DAP; no diagnostic sugar; A3γ-type peptidoglycan	
	Major phospholipid	Phosphatidylglycerol (no phosphatidylcholine)	
	Predominant menaquinone	MK-8 (H ₄)	
Physiology	Major fatty acids	iso-C _{16:0} ; FA3a-type	
	DNA G + C content (mol%)	Aerobic, G ⁺ , non-acid-fast, mesophilic, tolerant of a certain extent of NaCl, ability to utilization of divers organisms as the sole carbon source	
		66.5 - 78.7	

如图 1。类诺卡氏属与 *Marmoricola* 属在细胞化学分类特征上具有较大的共性,但在形态上有明显区别: *Marmoricola* 属的菌呈球形,不存在球—杆菌形态上的生长周期 (rod/coccus life cycle),且无运动性,不产孢子,菌落圆形凸起表面光滑有光泽,但到菌龄较老的阶段,菌落会变成坚硬的火山形^[35];在类诺卡氏科内, *Aeromicrobium* 属与 *Nocardioides* 属也很接近,形态上, *Aeromicrobium* 细胞为短杆和球杆共存,细胞无运动性,胞壁肽聚糖以 LL-DAP 为主,脂肪酸以 10-methyl C_{18:0} 或 C_{18:1} ω_{9c} 为主,这些特征与类诺卡氏属相似;但是 *Aeromicrobium* 属的主要甲基萘醌异戊二烯单位是 MK-9 (H₄) 不同于类诺卡氏属的 MK-8 (H₄)^[36]。

4 类诺卡氏属的应用研究

类诺卡氏属不仅分布广,种类多,而且其中很多菌株具有许多实际用途。如 *N. aromaticivorans* 的典型菌株分离自被二氧芑污染的环境中,能够降解二苯吡啶^[37],应用于环境治理; *N. oleivorans* 典型株来自德国油田,能够降解原油^[38]; *N. nitrophenolicus* 典型菌株是从工业废水中分离得到,能够降解 *p*-硝基酚^[39],而应用于治理污水; *N. pyridinolyticus* 的典型菌分离自氧化的油页岩柱,可降解吡啶^[32]; *N. luteus* 内菌株 BAFB 能够降解航空燃料^[40]。还有报道表明类诺卡氏属菌株 C190 广泛分布在种植农作物的土壤中,具有一种新的三嗪水解酶,能分解代谢一系列甲硫代三嗪除草剂^[41],用于生物防护; 菌株 JS614 可以利用氯乙烯和乙烯作唯一碳源,用于治

理被污染的地下水^[42],防止危害人类健康; 菌株 CF8 从富含丁烷的混合培养基中分离得到,可以利用 C₂ - C₁₆ 一系列烷烃以及苯酚等做碳源^[43]。

5 类诺卡氏属研究中存在的问题及未来研究趋势的应用研究

随着微生物纯培养手段的不断改进以及多相分类研究方法的广泛应用,越来越多的放线菌菌株被分离、培养,类诺卡氏属家族成员不断被人们发现并得到应用,人们对这些菌株的研究也更加重视。因此,进一步完善类诺卡氏属的分类研究方法的必要性也日益凸显。

在经典的分类学研究方法中,依据菌株的表型特征,类诺卡氏属与很多相近属存在交叉;结合细胞化学分类研究方法,一些菌株的分类地位得到了重新确认,例如由于化学分类方法的建立,依据胞壁肽聚糖类型使得类诺卡氏属区别于形态相似的诺卡氏属形成一个独立的属;依据细胞极性脂分析结果使得原属于节杆菌属的 *N. simplex* 重新分类归为类诺卡氏属中;随着分子生物学的发展,依据 16S rRNA 基因序列的比对和对基于此构建的系统进化树的分析,使得对类诺卡氏相关菌株的系统发育地位的确 定更为客观,例如 *N. jensenii*、*N. Fastidiosus* 等的重新分类。

尽管多相分类研究手段(包括形态学、生理生化特性、细胞化学分类特征、分子分类研究)已经应用于类诺卡氏属的研究中,但最近的研究依然发现,以 16SrRNA 基因序列信息为主要依据的分类研究

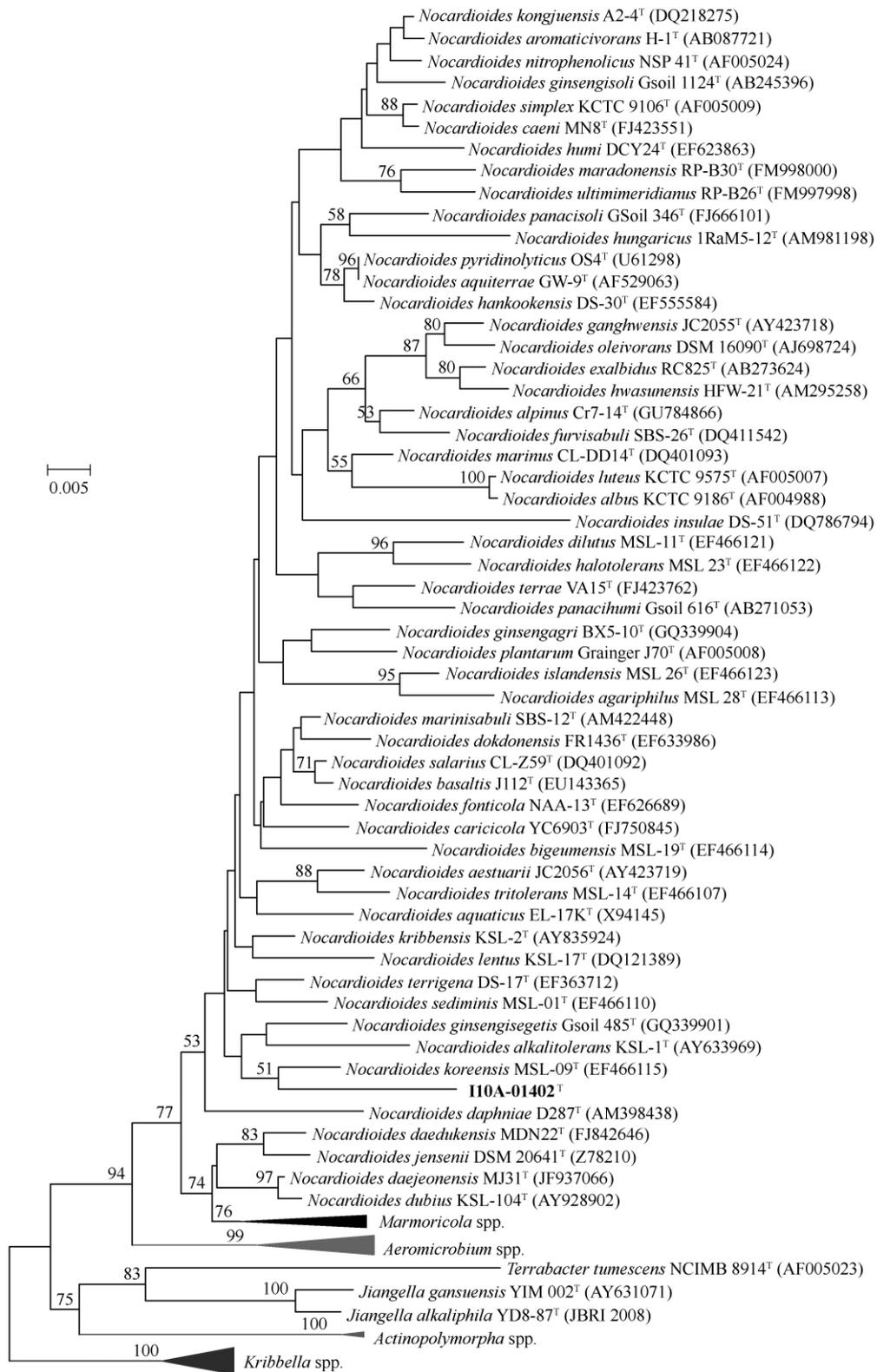


图 1 基于类诺卡氏属菌株及其近源菌的 16S rRNA 基因序列构建的系统进化树

Fig. 1 Phylogenetic dendrogram obtained by neighbor-joining based on the analysis of 16S rRNA gene sequences of strains of the genus *Nocardioideae* and the related strains. Numbers on branch nodes are bootstrap values. Bar 0.5% sequence divergence.

结果依然表现出了不足之处,属间的交叉现象仍然存在,而且属内各个种之间的系统发育关系也依然以 DNA-DNA 杂交值为金标准来确定^[44]。因此,不仅现存的分类方法需要不断改进,新的分类研究方法也需要建立。目前,在基因序列为基础的系统发育学研究方面所用的分析。方法主要分为“序列分析法(sequence-based method)”,除 16S rRNA 基因序列外,选用多种单一序列指示物相结合进行系统发育分析,如 23S rRNA 基因和一些保守的功能蛋白基因序列(如 GYB 基因);以及“全基因组特征(whole-genome features, WGFs)分析法”,最近很多研究人员提出的依据全基因组序列分析,多位点序列分析(MLST)等对放线菌进行分类研究^[45]。笔者认为,元转录组学(Metatranscriptomics)等新方法也将不失为类诺卡氏属等放线菌研究的一种得力方法。通过翔实的结构基因和相关功能信息相结合,有助于更加客观地确定各菌株的“自然”进化地位;同时,进一步发挥放线菌分类学研究在放线菌应用中的向导作用。

参考文献

- [1] Prauser H. *Nocardioidea*, a new genus of the order Actinomycetales. *International Journal of Systematic Bacteriology*, 1976, 26(1): 58-65.
- [2] Nesterenko O, Krassilnikov EI, Nogina TM. Nocardioideaceae fam. nov., a new family of the order Actinomycetales Buchanan 1917. *Mikrobiol Zhurnal*, 1985, 47: 3-12.
- [3] Jensen HL. Studies on saprophytic mycobacteria and corynebacteria. *Proceedings of the Linnean Society of New South Wales*, 1934, 59: 19-61.
- [4] Anthony G, O'Donnell, Goodfellow M, Minnikin DE. Lipids in the classification of *Nocardioidea*: reclassification of *Arthrobacter simplex* (Jensen) Loehhead in the genus *Nocardioidea* (Prauser) emend. O'Donnell et al. as *Nocardioidea simplex* comb. nov. *Archives of Microbiology*, 1982, 133: 323-329.
- [5] Suzuki K, Komagata K. *Pimelobacter* gen. nov., a new genus of coryneform bacteria with LL-diaminopimelic acid in the cell wall. *The Journal of General and Applied Microbiology*, 1983, 29: 59-71.
- [6] Collins MD, Dorsch M, Stackebrandt E. Transfer of *Pimelobacter tumescens* to *Terrabacter* gen. nov. as *Terrabacter tumescens* comb. nov. and of *Pimelobacter jensenii* to *Nocardioidea* as *Nocardioidea jensenii* comb. nov. *International Journal of Systematic Bacteriology*, 1989, 39: 1-6.
- [7] Yoon JH, Lee JS, Shin YK, Park YH, Lee ST. Reclassification of *Nocardioidea simplex* ATCC 13260, ATCC 19565, and ATCC 19566 as *Rhodococcus erythropolis*. *International Journal of Systematic Bacteriology*, 1997, 47: 904-907.
- [8] Collins MD, Stackebrandt E. Molecular taxonomic studies on some LL-diaminopimelic acid-containing coryneforms from herbage: description of *Nocardioidea fastidiosa* sp. nov. *FEMS Microbiology Letters*, 1989, 57: 289-294.
- [9] Euzéby JP. Taxonomic note: necessary correction of specific and subspecific epithets according to Rules 12c and 13b of the International Code of Nomenclature of Bacteria (1990 Revision). *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 1998, 48: 1073-1075.
- [10] Tamura T, Yokota A. Transfer of *Nocardioidea fastidiosa* Collins and Stackebrandt 1989 to the Genus *Aeromicrobium* as *Aeromicrobium fastidiosum* comb. nov. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 1994, 44: 608-611.
- [11] Dastager SG, Lee JC, Ju YJ, Park DJ, Kim CJ. *Nocardioidea tritolerans* sp. nov., isolated from soil in Bigeum Island, Korea. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, 2008, 18: 1203-1206.
- [12] Associate editor of IJSB. Validation List n° 128. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 2009, 59: 1555-1556.
- [13] Dastager SG, Lee JC, Ju YJ, Park DJ, Kim CJ. *Nocardioidea islandiensis* sp. nov., isolated from soil in Bigeum Island Korea. *Antonie Van Leeuwenhoek*, 2008, 93: 401-406.
- [14] Dastager SG, Lee JC, Ju YJ, Park DJ, Kim CJ. *Nocardioidea dilutes* sp. nov. isolated from soil in Bigeum Island, Korea. *Current Microbiology*, 2008, 56: 569-573.
- [15] Dastager SG, Lee JC, Pandey A, Kim CJ. *Nocardioidea mesophilus* sp. nov., isolated from soil. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 2010, 60: 2288-2292.
- [16] Yoon JH, Kang SJ, Lee MH, Oh TK. *Nocardioidea hankookensis* sp. nov., isolated from soil. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 2008, 58: 434-437.

- [17] Lee SD, Lee DW, Kim JS. *Nocardioideus hwasunensis* sp. nov. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 2008, 58: 278-281.
- [18] Choi DH, Kim HM, Noh JH, Cho BC. *Nocardioideus marinus* sp. nov. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 2007, 57: 775-779.
- [19] Park SC, Baik KS, Kim MS, Chun J, Seong CN. *Nocardioideus dokdonensis* sp. nov., an actinomycete isolated from sand sediment. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 2008, 58: 2619-2623.
- [20] Dastager SG, Lee JC, Ju YJ, Park DJ, Kim CJ. *Nocardioideus sediminis* sp. nov., isolated from a sediment sample. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 2009, 59: 280-284.
- [21] Lee DW, Hyun CG, Lee SD. *Nocardioideus marinisabuli* sp. nov., a novel actinobacterium isolated from beach sand. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 2007, 57: 2960-2963.
- [22] Kim KH, Roh SW, Chang HW, Nam YD, Yoon JH, Jeon CO, Oh HM, Bae JW. *Nocardioideus basaltis* sp. nov., isolated from black beach sand. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 2009, 59: 42-47.
- [23] Zhang DC, Schumann P, Redzic M, Zhou YG, Liu HC, Schinner F, Margesin R. *Nocardioideus alpinus* sp. nov., a psychrophilic actinomycete isolated from alpine glacier cryoconite. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 2011, in press). <http://dx.doi.org/10.1099/ijms.0.031047-0>.
- [24] Lee SH, Liu QM, Lee ST, Kim SC, Im WT. *Nocardioideus ginsengagri* sp. nov., isolated from soil of a ginseng field. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 2011, in press). <http://dx.doi.org/10.1099/ijms.0.031823-0>.
- [25] Lee DW, Lee SY, Yoon JH, Lee SD. *Nocardioideus ultimimeridianus* sp. nov. and *Nocardioideus maradonensis* sp. nov., isolated from rhizosphere soil. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 2011, 61: 1933-1937.
- [26] Collins MD, Cockcroft S, Wallbanks S. Phylogenetic analysis of a new LL-diaminopimelic acid-containing coryneform bacterium from herbage, *Nocardioideus plantarum* sp. nov. *International Journal of Systematic Bacteriology*, 1994, 44 (3): 523-526.
- [27] Song GC, Yasir M, Bibi F, Chung EJ, Jeon CO, Chung YR. *Nocardioideus caricicola* sp. nov., an endophytic bacterium isolated from a halophyte, *Carex scabrifolia* Steud. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 2011, 61: 105-109.
- [28] Tóth EM, Kéki Z, Homonnay ZG, Borsodi AK, Márialigeti K, Schumann P. *Nocardioideus daphniae* sp. nov., isolated from *Daphnia cucullata* (Crustacea: Cladocera). *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 2008, 58: 78-83.
- [29] Li B, Xie CH, Yokota A. *Nocardioideus exalbidus* sp. nov., a novel actinomycete isolated from lichen in Izu-Oshima Island, Japan. *Actinomycetologica*, 2007, 21 (1): 22-26.
- [30] Yamamura H, Ohkubo S, Nakagawa Y, Ishida Y, Hamada M, Otoguro M, Tamura T, Hayakawa M. *Nocardioideus iriomotensis* sp. nov., an actinobacterium isolated from forest soil. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 2011, 61: 2205-2209.
- [31] Yoon JH, Lee CH, Oh TK. *Nocardioideus lentus* sp. nov., isolated from an alkaline soil. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 2006, 56: 271-275.
- [32] Yoon JH, Rhee SK, Lee JS, Park YH, Lee ST. *Nocardioideus pyridinolyticus* sp. nov., a pyridine-degrading bacterium isolated from the oxic zone of an oil shale column. *International Journal of Systematic Bacteriology*, 1997, 47 (4): 933-938.
- [33] Xiao-Yang Zhi, Wen-Jun Li, Erko Stackebrandt. An update of the structure and 16S rRNA gene sequence-based definition of higher ranks of the class *Actinobacteria*, with the proposal of two new suborders and four new families and emended descriptions of the existing higher taxa. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 2009, 59: 589-608.
- [34] Yarza P, Richter M, Peplies J, Euzéby J, Amann R, Schleifer KH, Ludwig W, Glöckner FO, Rossello-Mora R. The All-Species Living Tree. *Systematic and Applied Microbiology*, 2008, 31: 241-250.
- [35] Urzì C, Salamone P, Schumann P, Stackebrandt E. *Marmoricola aurantiacus* gen. nov., sp. nov., a coccoid member of the family *Nocardioideaceae* isolated from a marble statue. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 2000, 50: 529-536.
- [36] Yoon JH, Lee CH, Oh TK. *Aeromicrobium alkaliterrae* sp. nov., isolated from an alkaline soil, and emended description of the genus *Aeromicrobium*. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 2005, 55: 2171-2175.

- [37] Kubota M , Kawahara K , Sekiya K , Uchida T , Hattori Y , Futamatae H , Hiraishi A. *Nocardioide aromaticivorans* sp. nov. , a dibenzofuran-degrading bacterium isolated from dioxin-polluted environments. *Systematic and Applied Microbiology* , 2005 , 28 : 165–174.
- [38] Schippers A , Schumann P , Spröer C. *Nocardioide oleivorans* sp. nov. , a novel crude-oil-degrading bacterium. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology* , 2005 , 55 : 1501–1504.
- [39] Yoon JH , Cho YG , Lee ST , Suzuki K , Nakase T , Park YH. *Nocardioide nitrophenolicus* sp. nov. , a *p*-nitrophenol-degrading bacterium. *International Journal of Systematic Bacteriology* , 1999 , 49 : 675–680.
- [40] Jung CM , Broberg C , Giuliani J , Kirk LL , Hanne LF. Characterization of JP-7 jet fuel degradation by the bacterium *Nocardioide luteus* strain BAFB. *Journal of Basic Microbiology* , 2002 , 42 : 127–131.
- [41] Topp E , Mulbry WM , Zhu H , Nour SM , Cuppels D. Characterization of s-triazine herbicide metabolism by a *Nocardioide* sp. isolated from agricultural soils. *Applied and Environmental Microbiology* , 2000 , 66 (8) : 3134–3141.
- [42] Mattes TE , Coleman NV , Gossett JM , Spain JC. Physiological and molecular genetic analyses of vinyl chloride and ethene biodegradation in *Nocardioide* sp. JS614. *Archives of Microbiology* , 2005 , 183 : 95–106.
- [43] Hamamura N , Arp DJ. Isolation and characterization of alkane-utilizing *Nocardioide* sp. strain CF8. *FEMS Microbiology Letters* , 2000 , 186 : 21–26.
- [44] Wayne LG , Brenner DJ , Colwell RR , Grimont PAD , Kandler O , Krichevsky MI , Moore LH , Moore WEC , Murray RGE , Stackebrandt E , Starr MP , Truper HG. International Committee on Systematic Bacteriology. Report of the ad hoc committee on reconciliation of approaches to bacterial systematics. *Journal of Systematic Bacteriology* , 1987 , 37 : 463–464.
- [45] 刘志恒 , 王剑 , 张立新. 基因组时代的放线菌系统学及其研究进展. *微生物学报 (Acta Microbiologica Sinica)* , 2011 , 51 (2) : 141–153.

Recent advance on the genus *Nocardioide*—A review

Huijing Du , Liyan Yu , Yuqin Zhang*

Institute of Medicinal Biotechnology , Chinese Academy of Medical Sciences & Peking Union Medical College , Beijing 100050 , China

Abstract: The *Nocardioide* genus was established by Prauser H. in 1976 according to morphological and physiological characteristics , as well as partial chemotaxonomic analyses of 17 nocardio-form actinobacteria isolated from soil , based on which a novel species *Nocardioide albus* was proposed as the type species. With the development in the technologies of isolation , purification and taxonomy , more and more members of this genus with varied morphological , physiological and biochemical characteristics were increasingly discovered from different sources , while all of them shared the same diagnostic characteristics of the genus. In the past 50 years , some of the members of the genus *Nocardioide* were ever transferred in or out and then some species description was ever emended. Till date , there were 56 validly described species in this genus. Some members of this genus were used in agriculture and industry. The objective of this review is to summarize the research advances in the genus *Nocardioide* , such as the changes of the taxonomic position and emendation description of the species as well as the application prospect in industry and agriculture.

Keywords: *Nocardioide* , Actinobacteria , taxonomy

(本文责编: 张晓丽)

Supported by the National Natural Science Foundation of China (30970008) and by the National Infrastructure of Microbial Resources (NIMR)

* Corresponding author. Tel/Fax: +86-10-83167110; E-mail: zhyuqin@126.com

Received: 18 January 2012/Revised: 17 February 2012