

粘细菌生态多样性的初步研究

方晓梅 张利平*

(河北大学生命科学学院, 河北保定 071002)

摘要:通过对河北、云南、青藏高原不同地区的粘细菌进行生态多样性研究,从42个样品中分离得到了10个属(*Archangium*、*Myxococcus*、*Cystobacter*、*Corallocooccus*、*Melittangium*、*Sorangium*、*Polyangium*、*Chondromyces*、*Angiococcus*、*Stigmatella*)的150余株粘细菌,其中包括一些尚未有描述的菌株,有待鉴定。根据这些菌株的子实体结构、菌落形态、营养细胞、粘孢子形态等特征将它们初步鉴定到属。对这些特有自然生态环境的粘细菌按不同地点、植被、营养基质进行统计比较,结果表明粘细菌生态分布极为广泛,具有丰富的生态多样性。以上结果为粘细菌生物资源的有效开发利用奠定了基础。

关键词:粘细菌,生态分布,多样性

中图分类号:Q938, Q949.31

文献标识码:A

文章编号:1005-0094(2001)03-0207-07

A preliminary study on ecological diversity of myxobacteria

FANG Xiao-Mei, ZHANG Li-Ping*

College of Life Sciences, Hebei University, Baoding, Hebei 071002

Abstract: Through study on ecological diversity of myxobacteria in some areas of Hebei, Yunnan, and the Qinghai-Tibet Plateau, more than 150 strains of 10 genera (*Archangium*, *Myxococcus*, *Cystobacter*, *Corallocooccus*, *Melittangium*, *Sorangium*, *Polyangium*, *Chondromyces*, *Angiococcus* and *Stigmatella*) of *Myxococcales* were isolated from 42 samples, including some special strains that have never been described before. These strains were preliminary identified to generic level by their fruiting bodies, swarms, myxospores and vegetative cells. Comparison of myxobacteria statistics with the different sites, vegetations and nutrition sources of these special habitats shows wide distribution and variety of ecological diversity of myxobacteria. This sets a strong base for developing and utilizing myxobacteria efficiently.

Key words: myxobacteria, ecological distribution, diversity

微生物多样性及微生物资源的研究工作不仅涉及整个基础学科的发展,也是微生物基因工程及微生物基因资源产业化研究的基础。由于微生物的微观性,尤其是由于原核生物简单单细胞结构、繁殖快、无准确的基线用于统计等原因,对于它们的生物多样性研究远没有宏观生物那样受到重视(东秀珠,洪俊华,2001)。如何最大限度地认识、保护和开发这些微生物资源已经成为微生物工作者刻不容缓的任务。

粘细菌(myxobacteria)是一类高等的原核生物类群,具有复杂的多细胞行为和形态发生。它的营

养生长和分化过程是截然分开的,可分别进行研究,且其分化程序分明,便于同步培养及生化分析,因此在细胞分化、发育和生物进化研究中占有重要的地位(Dworkin & Kaiser, 1985; Shimkets, 1990)。另外,粘细菌的次级代谢产物在药物开发方面具有很好的潜力(李健等,1998),其抗生素产生菌比例高于放线菌(某些粘细菌类群如纤维素堆囊菌甚至可达到100%),且能够产生许多全新结构的抗性物质(Reichenbach & Hofle, 1989; Reichenbach et al., 1988),有可能成为生物活性物质的新的微生物来源。美国植物学家 Thaxter (1892)首先阐述了粘细

菌奇特的生活史,引起了科学界对粘细菌的注意。一个多世纪以来,许多科学家对粘细菌的分布进行了调查和研究。欧洲和美洲的资源调查已经较为深入,研究者们已分离了热带雨林、北极苔原、草原、沙漠、沼泽及海面水平和高纬地区的许多样品。但由于粘细菌难以分离纯化,极大地限制了对这类微生物物种资源的开发,以致其应用研究较其他的微生物类群更为落后。目前已知的粘细菌只有 12 个属,40 多种,并且有关粘细菌的研究资料大部分来自纯化和分离都较易进行的黄色粘球菌(*Myxococcus xanthus*) (Reichenbach & Dworkin, 1992)。

到目前为止,对粘细菌研究最为深入的实验室要属德国国家生物研究中心(GBF)。我国对粘细菌的研究才刚刚起步,其中山东大学生命科学学院微生物技术国家重点实验室作了大量分离工作,已卓有成效。但这对于我国这样一个微生物资源大国来说还远远不够。本实验对我国一些地区的粘细菌资源进行调查,并统计了其区域分布多样性,以期对粘细菌物种资源的保护奠定基础,并为其开发和利用提供实验材料。

1 材料和方法

1.1 样品来源

云南土样 18 个(1999 年 1 月采);河北保定南市区土样 2 个(1999 年 5 月采);青藏高原地区土样 9 个(1999 年 7 月采);河北大学门前土样 2 个(1999 年 8 月采);涑源、涑水、易县样品 11 个(1999 年 9 月采)。

为了避免霉菌干扰,采集后的样品在室温下自然风干,土样于室温保存,在一个月内存作分离处理。

1.2 培养基(Reichenbach & Dworkin, 1992)

WCX 培养基:CaCl₂ · 2H₂O 0.1%; Agar 1.5%; pH 7.2。灭菌后,加入 25 μg/mL 乙醚灭菌的放线菌酮。

在 VY/2 培养基的基础上改良配制的 VY/4 培养基:安琪酵母 0.25%; CaCl₂ · 2H₂O 0.1%; V_{B12} 0.5 μg/ml; Agar 1.5%; pH 7.2。V_{B12} 灭菌后加入。

CY 培养基:Casitone 0.3%; 酵母浸膏 0.1%; CaCl₂ · 2H₂O 0.1%; Agar 1.5%; pH 7.2。

EBS 培养基:酶解酪素 0.5%; 蛋白胨 0.5%; 肉胨 0.1%; 酵母浸膏 0.1%。

1.3 被试菌的分离(子实体诱导法)

采用 Reichenbach 等(1992)的方法,并进行改

进。

1.3.1 土样中子实体的诱导 将风干的土样盛在培养皿内,在土样表面半埋入 3~4 个灭过菌的兔粪,加入放线菌酮溶液(75 μg/mL),浸泡 6 h 后,倒去残液,30℃ 保温培养,48 h 后开始观察粪球上子实体的形成。

1.3.2 腐木上子实体的诱导 将风干的腐木样品放在已铺有 3 层滤纸的平皿上,同样用放线菌酮溶液处理,倒去残液后,30℃ 保存 1 星期后观察腐木上子实体形成情况。

1.4 被试菌的纯化

在 WCX 培养基上划厚密的酵母(本实验室的假丝酵母)交叉线。将诱导出的粘细菌子实体挑下,点在酵母交叉线的中心。第二天观察 WCX 划线上粘细菌菌落的扩张情况。一旦有特征性的菌落迁徙,立即用 VY/4 划线,纯化至出现单菌落。将此单菌落接入 VY/4 斜面,培养 2 天后,-70℃ 冰箱中冷冻 48 h,取出后 20℃ 水浴化冻,转管,培养 48 h,重复冻融 4~5 次。

1.5 被试菌纯度的检验

1) 用 VY/4 培养基验纯,粘细菌在 VY/4 培养基上形成特征性菌落;

2) 将菌接入 EBS 液体培养基振荡过夜,培养液澄清即可(粘细菌在 EBS 中不能生长)。

1.6 被试粘细菌的保存

1) CY 培养基保存:将纯化菌株在 CY 培养基上划线,室温保存。

2) 1% NaCl 溶液保存:将菌体接种至 1% NaCl 溶液的 1 mL 离心管中,室温保存。

3) 干燥保存:将粘细菌在滤纸上诱导出子实体,将子实体带滤纸片一并放入菌种保藏管,干燥保存。

1.7 分类鉴定

根据《Bergey's Manual of Systematic Bacteriology》第 9 版的粘细菌分类标准,主要以形态特征确定菌株归属(McCurdy, 1989)。粘细菌的形态特征主要包括营养细胞、粘孢子形态和子实体形态,以及它们特征性的菌落结构。营养细胞可分为两端削尖、细长、可屈挠的杆状(细胞 I 型)或两端钝圆、较硬的圆柱形(细胞 II 型)。营养细胞为细胞 I 型的粘孢子(myxospore),缩成杆状或球形,并有外壁层包裹,通常被称为“小孢囊”;营养细胞为细胞 II 型

[多囊菌科(Polyangiaceae)]的粘孢子与其营养细胞形态相似,且总是包在孢子囊内。子实体形态随粘细菌种类的不同而异,有的仅为简单的堆团,有的则形成具有特征性状和大小孢子囊的复杂结构;孢子囊无柄或有分支或不分支的孢子囊柄,孢子囊单个或成簇地着生在囊柄顶端。

2 结果和讨论

2.1 分类鉴定结果

大多数样品中均发现有粘细菌的子实体结构,但在种类和数量上却有着显著差异。迄今为止已初步分离到已知12个属中的10个属,其中*Myxococcus*的出现频率最高。此外还得到了一些未被记载的子实体,等待鉴定。

粘细菌的分类仍主要保持在形态特征上,主要有两方面原因:一是粘细菌研究起步较晚,粘细菌的生理特征的描述只限于个别种属,大多为*Mx. xanthus*(李季伦等,1993);另外粘细菌形态的复杂性意味着形态分类比其他细菌更为可靠(Reichenbach & Dworkin, 1992)。虽然粘细菌依照营养细胞、粘孢子形态和菌落特征可划分纲、亚纲,甚至可鉴定到属,但确切的鉴定仍需有特征性子实体的形成。因此,现有的粘细菌分类鉴定主要依靠子实体的形态特征。本次分离的大多数粘细菌已经鉴定到属,也有一些典型菌株鉴定到种。其子实体种类多样,形态各异,如图1、图2。

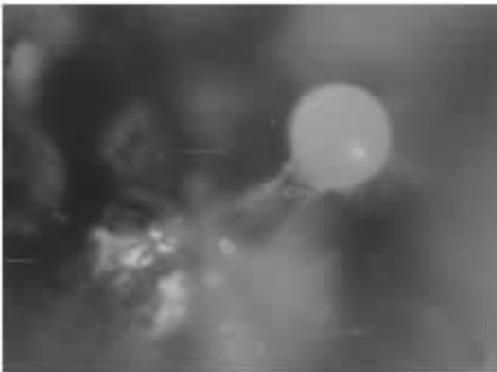


图1 *Myxococcus stipitatus*(立体解剖镜显微摄影,70X)。形成于兔粪上,子实体头为白色球状,有一长的无色透明茎
Fig.1 *Myxococcus stipitatus* (dissecting microscope 70X). On rabbit dung. Fruiting body is white and round with a transparent long stalk

尤其值得一提的是图2中的(a)、(b)均为*Chondromyces*属的菌株,与报道已知种类(Reichenbach & Dworkin, 1992)有相似之处,但又不完全相

同。已知种*Chondromyces pediculatus*形成橙色子实体,孢囊钟形,有细长的粘茎,孢囊与粘茎由一小梗连接。图2中的(a)与该已知种极为类似,但它形成的孢囊为椭圆形。另外,已知种*Chondromyces apiculatus*有亮橙色的子实体,能够在初始子实体上连续形成新的子实体,粘茎分枝或不分枝,孢囊呈大头菜状,无更小的梗。而图2中的(b)整体形态类似于该种,但它形成较细的粘茎,并且有更小的梗将

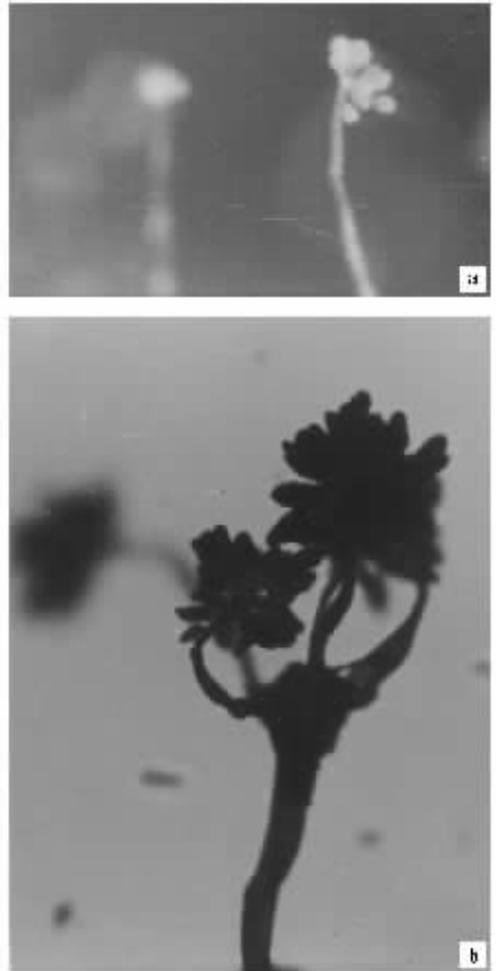


图2 *Chondromyces* (a~b):(a)(立体解剖镜显微照相,45X)形成于兔粪上,子实体橙黄色,产生椭圆形孢囊,有一细长的茎,不分枝,茎与孢囊由小梗连接;(b)X光学显微镜摄影,100X)子实体亮橙色,有明显的茎,茎顶部有成堆的望天椒状孢囊。有的小孢囊明显连有小梗。子实体中间膨大处以下为第一次形成的子实体,以上为再次形成的子实体
Fig.2 *Chondromyces* (a~b):(a)(Dissecting microscope, 45X) On rabbit dung. Fruiting body is orange, with elliptical sporangioles on exceptionally long single peduncle. Peduncle and sporangioles are connected with smaller stems;(b)X Optics microscope, 100X) On filter paper. Fruiting body is bright orange, with chili-shaped sporangioles on long peduncle. It's the primer fruiting body under the inflated part of fruiting body, and the latter's above

表 1 粘细菌在不同地区与不同生态条件下的分布
Table 1 Distribution of myxobacteria in different site and habitat

采样地点 Sample source	植被 Vegetation	样品数 No. of samples	分离到粘细菌的各属内菌株数 No. of strains isolated from each genus									
			<i>Angiococcus</i>	<i>Myxococcus</i>	<i>Corallococcus</i>	<i>Archangium</i>	<i>Cystobacter</i>	<i>Melittangium</i>	<i>Stigmatella</i>	<i>Polyangium</i>	<i>Sorangium</i>	<i>Chondromyces</i>
小勐养野象谷 Xiaomengyang Wild Elephant Valley	原始森林 Virgin forest	3	-	4	1	-	-	3	3	-	-	2
勐仑园边地保护区 Menglun nature reserve	次生林 Secondary forest	11	-	30	2	-	-	3	1	-	-	-
小勐养野象谷—大瘟岗 Xiaomengyang Wild Elephant Valley—Dawengang	次生林 Secondary forest	4	-	10	-	-	-	-	1	-	-	-
保定 Baoding	菜园腐木 Rotten wood in garden	1	-	-	1	1	-	1	-	1	1	1
	菜园土 Garden soil	1	-	1	-	-	-	-	-	-	1	3
	树下土 Soil under trees	2	-	2	1	-	-	-	-	-	-	-
易县 Yixian County	紫荆关次生林 Secondary forest of Zijingguan	1	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-
	南款次生林 Secondary forest of Nankuan	1	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-
涞源 Laiyuan County	森林公园腐质层 Humus of virgin forest	2	-	1	-	-	1	1	-	-	-	-
涞水 Laishui County	山水边桥次生林 Secondary forest of Shanshuibianqiao	1	-	1	2	-	-	1	-	-	-	-
	原始森林路边腐木 Rotten wood of virgin forest	3	1	2	1	1	1	2	-	1	1	-
	原始森林路边土 Soil of virgin forest	1	-	1	1	-	-	-	1	-	-	-
	原始森林树下土 Soil undertrees of virgin forest	2	-	4	1	-	1	1	-	1	1	-
兰州 Lanzhou	沙土 Sandy soil	1	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-
青海 Qinghai	沙土 Sandy soil	6	-	1	4	-	-	-	-	-	-	
青海 Qinghai	盐地土 Solonchak	2	-	1	-	-	-	-	-	-	-	

注：数字表示各属菌株数，“-”表示没有分离到粘细菌子实体，小勐养野象谷、勐仑园边地保护区、小勐养野象谷—大瘟岗属云南省，保定、易县、涞源、涞水属河北省，兰州、青海属青藏高原。

Note: The numbers indicate strain numbers; “-” indicates no fruiting body was isolated. Xiaomengyang Wild Elephant Valley, Xiaomengyang Wild Elephant Valley and Menglun Protected Place belong to Yunnan Province. Baoding, Yixian, Laiyuan, Laishui belong to Hebei Province. Lanzhou and Qinghai belong to Qinghai-Tibet Plateau.

粘茎与孢囊连接起来。因此，图 2 中的两个菌株都与已知种均有不同之处，需要进一步研究判断其确切归属。

2.2 粘细菌在不同地区与不同生态条件下的分布统计结果

粘细菌广泛地存在于土壤、腐殖质及腐木中，它

表 2 不同地点菌种分布总计

Table 2 Distribution of species in different sites

取样地点 Sample source	样品数 No. of samples	分离到的 属数 Genus number isolated	分离到的 菌株数 Strain number isolated	平均每个样 品分离到 的菌属数 Average genus number from each sample	平均每个样 品分离到 的菌株数 Average strain number from each sample	<i>Mycococcus</i> 属的菌株数 Strain number of <i>Mycococcus</i>	平均每个样 品分离到 的 <i>Mycococcus</i> 属 的菌株数 Average strain number of <i>Mycococcus</i> each sample	其他属 菌株数 Strain number of other genera	平均每个样品 分离到的其他 属菌株数 Average strain number of other genera each sample
云南 Yunna	18	5	62	0.28	3.44	46	2.56	16	0.89
河北 Hebei	15	10	50	0.67	3.33	19	1.27	31	2.07
青藏高原 Qinghai-Tibet Plateau	9	2	7	0.22	0.78	2	0.22	5	0.56

们的营养谱与一般的细菌不同,以不溶于水的有机物(如纤维素、微生物的细胞壁、细菌和一些酵母菌的蛋白质等)为营养物质(李季伦等,1993)。因此它的分布与周围环境有着密切的关系。环境中腐殖质的有机成分越复杂,生物类群组成越丰富,粘细菌的种类也就越多。

各种动物粪便,尤其是草食性动物如家兔、野兔、绵羊、山羊等都是粘细菌的优良底物。该实验采用家兔的粪便作为诱导物,起到了很好的效果。

本文将河北、云南、青藏高原部分地区的粘细菌分布进行了统计,见表1。

从表中很容易看出粘细菌在各样品中的分布存在着相当大的差异,其中 *Mycococcus* 属的粘细菌分布最为广泛。

2.3 粘细菌区系分布与地理位置的关系

将河北、云南、青藏高原部分地区的粘细菌分离情况进行对比,得出表2。

通过对比,得出以下结论:

(1)河北、云南、青藏高原的地理位置不同,气候和植被有着很大的差异,因而粘细菌分布差异悬殊。河北省地处北部地区,山地面积广阔,植被种类繁多,省内样品中粘细菌的资源丰富,分离到10个属的50个菌株;云南西双版纳地处热带与亚热带交界处,水分、热量充足,自然条件对植物生长十分有利,粘细菌的物种资源也十分丰富,分离到5个属的62个菌株;青藏高原位于中国的西北部,地势高耸,地形复杂,具有气温低,昼夜温差较大,降水量少而集中,太阳辐射强烈等特点,环境比较恶劣,植被覆盖率低,微生物资源贫乏,该地区仅分离到2个属的7个种的粘细菌。

(2)河北、云南两省的粘细菌资源都很丰富,但

因具体环境不同,粘细菌种属分布情况不同,各具特色。河北省样品中粘细菌的属很丰富,平均每个样品0.67个属,较云南(0.28)和青藏高原(0.22)高出许多(见表2)。但属内种的多样性相对差一些,每个样品中分离到的同一个属内,一般只含1~2个种(见表1)。而云南西双版纳地区各样品中分离到的粘细菌在属的水平上比较单一,主要偏重于 *Mycococcus* 属,但该属内的种却很多样,18个样品中分离得到46个该属菌株,平均每个样品分离到2.56株该属菌株,较河北(1.27)和青藏高原(0.22)丰富。

总之,云南和河北省地形多样,气候温和,有多样的生境,支持更多样的物种生存,适于粘细菌的生长繁殖,粘细菌种类丰富。然而由于云南、河北采样地点处于不同地理位置,气候、植被各不相同,导致粘细菌数量和种类分布的很大差异。青藏高原海拔高,常年受紫外线辐射,粘细菌的数量和种类少得多。这些都体现了粘细菌区域分布的多样性。

2.4 粘细菌区系分布与植被的关系

2.4.1 森林土壤 从原始森林样品中分离到10个属的粘细菌,种类十分丰富。由表3可看出原始森林粘细菌区系组成的显著特点是粘细菌组成复杂,种属分布较均匀。而不同地区次生林粘细菌的种类相对单一,但总数量很多。分离出的粘细菌多为 *Mycococcus* 属的菌株,18个样品中分离到的58个菌株中就有48株该属菌株。

造成以上现象的原因可能是由于原始森林群落比较古老,进化时间较长,很少遭受灾害性气候变化及人为破坏,物种丰富,自身形成了稳定的生态体系。因而有机组成复杂,适合多种粘细菌的生长和繁殖。次生林由于人为干扰,林中树种构成简单,腐

表 3 不同植被类型粘细菌分布总计
Table 3 Distribution of myxobacteria under different vegetation

植被类型 Vegetation type	样品数 No. of samples	分离到的属数 Genus number isolated	平均每个样品的属数 Average genus number each sample	分离到的各属内的菌株总数 No. of strains isolated from each genus									
				<i>Archangium</i>	<i>Myxococcus</i>	<i>Cystobacter</i>	<i>Corallocooccus</i>	<i>Melittangium</i>	<i>Sorangium</i>	<i>Polyangium</i>	<i>Angiocooccus</i>	<i>Chondromyces</i>	<i>Stigmatella</i>
原始森林 Virgin forest	11	10	0.91	-	12	2	4	7	2	2	1	2	4
次生林 Secondary forest	18	4	0.22	-	48	-	4	4	-	-	-	-	2
沙地和盐地 Sandy and salt soil	9	2	0.22	-	2	-	4	-	-	-	-	-	-
蔬菜地 Vegetable field	2	7	3.5	1	1	-	2	1	1	2	-	4	-

注：“-”表示没有分离到粘细菌子实体。
Note：“-”indicates no fruiting body was isolated.

表 4 不同营养基质中粘细菌的分布
Table 4 Distribution of myxobacteria with different nutrition source

营养基质 Nutrition source	样品数 No. of samples	分离到粘细菌的属 Genus isolated										
		<i>Angiocooccus</i>	<i>Myxococcus</i>	<i>Corallocooccus</i>	<i>Archangium</i>	<i>Cystobacter</i>	<i>Melittangium</i>	<i>Stigmatella</i>	<i>Polyangium</i>	<i>Sorangium</i>	<i>Chondromyces</i>	
土样 Soil sample	36	-/-	62/1.72	8/0.22	-/-	-/-	8/0.22	6/0.17	1/0.03	2/0.06	5/0.14	
腐木 Rotten wood	4	1/0.25	2/0.50	-/-	2/0.50	3/0.75	3/0.75	-/-	2/0.50	2/0.50	1/0.25	
腐质层 Humus	2	-/-	1/0.50	-/-	-/-	-/-	1/0.50	-/-	2/1.00	-/-	-/-	

注：“-”表示没有分离到粘细菌子实体，斜线左边的数字表示各属菌株数，斜线右边的数字表示各种样品中出现各属粘细菌的平均值。
Note：“-”indicates no fruiting body was isolated；A/B，A indicates total strain number，B indicates average strain number.

质层有机成分相对一致，故而微生物群落组成简单，粘细菌种属分布差异不明显。

2.4.2 沙地和盐地 由于周围环境不适合植被生长，微生物菌群不丰富，粘细菌难以繁殖，故分离到的粘细菌种类单一，数量极少。

2.4.3 蔬菜地 一般来说，蔬菜地耕作水平高，土壤肥沃，水分充足，植被随季节变化而更替，土壤的有机组成非常复杂，微生物群系十分丰富。我们从保定市菜园中的土壤和腐木仅 2 个样品中就分离到了 7 个属的粘细菌。其中，形态最复杂的软骨霉菌属(*Chondromyces*) 4 株。

这充分证实了粘细菌多样性与植被组成正相关，植被越多样，能提供的生存途径越多，粘细菌种类也越丰富。

2.5 物种区系分布与营养基质的关系

粘细菌是一类腐生菌，能产生多种攻击性酶，对一些微生物或纤维物质有降解作用，可分为溶菌群和溶纤维群两个生理类群，几乎全部为依附寄生物(*Reichenbach & Dworkin, 1992*)。由于营养基质的

差异，某些菌在土壤和粪便中较易得到，而另一些菌则常见于腐木上。我们从 36 个土壤样品中分离到 7 个属的 92 个菌株，从表 4 的粘细菌分离菌株平均值可看出，其中土壤样品中 *Myxococcus*、*Corallocooccus* 属的菌株出现频率较腐木样品高得多，而腐木样品中 *Archangium*、*Cystobacter*、*Melittangium*、*Polyangium*、*Sorangium* 属菌株出现频率较高。

在不同气候和土壤环境中特殊的种所喜好的底物可能不同，如在美国中心区域，*Chondromyces* 属的种通常栖息于树皮和腐木中，而很少生存于土壤(*Nellis & Garner, 1964*)；而在印度，它们有规律地分布于土壤、植物根际、腐木、树皮和粪便中(*Agnihotru et al., 1959*；*Singh & Singh, 1971*)；在欧洲，尽管有某些地区气候条件与美国类似，但它们分离的几率很小，只有少数在粪便、腐木和树皮中被发现(*Jahn, 1924*)；在我国它们的分布范围也较小，国内尚未有分离到该属的报道。本次实验分离到该属菌株的几率也很低，它们仅存在于云南省小勐养野象谷的土样和河北省保定市的土样和腐木样品中。

由此可见粘细菌特殊种的营养基质可能由于周围环境的不同而发生改变,使粘细菌呈现丰富的多样性分布。

综上所述,粘细菌生态分布多样,它的物种分布因地理位置、植被、营养基质的不同,有着极大的差异。本研究对粘细菌生态分布多样性的研究积累了素材,也为粘细菌资源的开发利用提供了基础。

参考文献

- 东秀珠,洪俊华, 2001. 原核微生物的多样性. 生物多样性, **9** (1): 18 ~ 24
- 李季伦,张伟心,杨启瑞,许耀才,赵良启, 1993. 微生物生理. 535 ~ 541
- 李健,李越中,王臻圻, 1998. 粘细菌生物活性物质研究进展. 中国新药杂志, **7**(2): 84 ~ 89
- Agnihotrudu V, Barua G C S and Barua K C, 1959. Occurrence of *Chondromyces* in the rhizosphere of plants. *Indian Phytopathol*, **12**: 158 ~ 160
- Dworkin M and Kaiser D, 1985. Cell interactions in myxobacterial growth and development. *Science*, **230**: 18 ~ 24
- Jahn E, 1924. Beitrage zur botanischen Protisotologie. I. Die polyangiden. Gebruder Borntraeger, Leipzig
- McCurdy H D, 1989. Order *Myxococcales*. *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology*. Baltimore: Williams and Wilkins. 2139 ~ 2170
- Nellis L F and Garner H R, 1964. Methods of isolation and purification of *Chondromyces*. *Journal of Bacteriology*, **87**: 230 ~ 231
- Reichenbach H and Dworkin M, 1992. The Myxobacteria. In: Balous A, Truper H G, Dworkin M, Harder W, Schleifer K H. *The Prokaryotes* (Second Edition). New York: Springer-Verlag. 3418 ~ 3487
- Reichenbach H, Gerth K, Irschik H, Kunze B and Hofle G, 1988. Myxobacteria: a source of new antibiotics. *Trends in Biotechnology*, **6**: 115 ~ 121
- Reichenbach H and Hofle G, 1989. The gliding bacteria a treasury of secondary metabolites, In: Bushell M E, Grafe U (eds.), *Bioactive Metabolites from Microorganisms*. Amsterdam: Elsevier Science Publishers, 79 ~ 100
- Shimkets L J, 1990. Social and development biology of myxobacteria. *Microbiological Reviews*, **54**: 473 ~ 501
- Singh B N and Singh N B, 1971. Distribution of fruiting myxobacteria in India soils, bark of trees and dung of herbivorous animals. *Indian Journal of Microbiology*, **11**: 47 ~ 92
- Thaxter R, 1892. On the Myxobacteriaceae, a new order of Schizomycetes. *Bot Gax*, **17**: 389 ~ 406

(责任审稿人 赵之伟 ; 责任编辑 : 时意专)