

新疆特色药食两用植物恰玛古内生放线菌的分离与鉴定

郑倩¹, 孙玉萍², 魏婕³, 张晓波³, 熊文娟¹, 马燕⁴, 倪萍², 陈锋^{2*}

- (1. 新疆医科大学 第五附属医院检验科, 新疆 乌鲁木齐 830011;
2. 新疆医科大学 基础医学院, 新疆 乌鲁木齐 830011;
3. 新疆医科大学 公共卫生学院, 新疆 乌鲁木齐 830011;
4. 新疆医科大学 第二附属医院检验科, 新疆 乌鲁木齐 830063)

摘要: 恰玛古(*Qamgur*, *Brassica rapa* L.) 内生菌的研究主要集中在内生真菌, 内生放线菌的研究报道较少。通过研究新疆药食两用植物恰玛古内生放线菌多样性, 以期发现产新活性物质的放线菌或新种放线菌, 为研究微生物药物奠定基础。从恰玛古根、茎和叶三个部位分离培养获得内生放线菌, 对其菌落与个体形态进行观察, 并利用序列测定方法进行鉴定, 以获取其分类地位。从恰玛古三个部位共分离得到17株内生放线菌, 其中12株为革兰氏阳性杆菌, 3株为革兰氏阳性球菌, 2株为革兰氏阳性丝状菌; 17株内生放线菌分属于红球菌属(*Rhodococcus*)、拟诺卡氏菌属(*Nocardiopsis*)、链霉菌属(*Streptomyces*)、短杆菌属(*Brevibacterium*)、小短杆菌属(*Brachybacterium*)、两面神菌属(*Janibacter*)和微杆菌属(*Microbacterium*)。从新疆药食两用植物恰玛古中分离获得17株内生放线菌以稀有放线菌为主。

关键词: 恰玛古; 内生放线菌; 分离鉴定

中图分类号: R379.1

文献标识码: A

文章编号: 2096-3491(2020)06-0691-07

Isolation and identification of endophytic actinomycetes from medicinal and edible plant Qamgur in Xinjiang

ZHEN Qian¹, SUN Yuping², WEI Jie³, ZHANG Xiaobo³, XIONG Wenjuan¹, MA Yan⁴,
NI Ping², CHEN Feng²

- (1. Department of Clinical Laboratory, the Fifth Affiliated Hospital of Xinjiang Medical University, Urumqi 830011, Xinjiang, China; 2. College of Basic Medical, Xinjiang Medical University, Urumqi 830011, Xinjiang, China;
3. School of Public Health, Xinjiang Medical University, Urumqi 830011, Xinjiang, China;
4. Department of Clinical Laboratory, the Second Affiliated Hospital of Xinjiang Medical University, Urumqi 830063, Xinjiang, China)

Abstract: Endophytic actinomycetes can produce a variety of secondary metabolites and are important sources of new antibiotics. At present, the study of the endophytic actinomycetes from Qamgur (*Brassica rapa* L.) mainly focuses on endophytic fungi, and there are few reports of endophytic actinomycetes. In order to find new actinomycetes or new active substances, the diversity of endophytic actinomycetes from Qamgur, a dual-purpose plant for medicine and food in Xinjiang, was studied. Endophytic actinomycetes were isolated and cultured from the roots, stems and leaves of Qamgur, subjected to morphological observation, 16S rDNA sequencing and phylogenetic tree analysis. 17 strains were iso-

收稿日期: 2020-06-03 修回日期: 2020-07-05 接受日期: 2020-11-25

作者简介: 郑倩(1988-), 女, 主管检验师, 硕士生, 研究方向: 环境微生物资源开发和利用。E-mail: 115168538@qq.com

* 通讯联系人: 陈锋(1970-), 女, 博士, 副教授, 研究方向: 环境微生物资源开发和利用。E-mail: 464230407@qq.com

基金项目: 新疆维吾尔自治区自然科学基金(2017D07C212)

引用格式: 郑倩, 孙玉萍, 魏婕, 等. 新疆特色药食两用植物恰玛古内生放线菌的分离与鉴定[J]. 生物资源, 2020, 42(6): 691-697.

Zhen Q, Sun Y P, Wei J, et al. Isolation and identification of endophytic actinomycetes from medicinal and edible plant Qamgur in Xinjiang [J]. Biotic Resources, 2020, 42(6): 691-697.

lated, and 12 were G^+ bacilli, 3 were G^+ cocci and 2 were G^+ filaments. Sequence analysis and phylogenetic tree show that 17 strains belong to *Rhodococcus*, *Nocardiopsis*, *Streptomyces*, *Brevibacterium*, *Brachybacterium*, *Janibacter* and *Microbacterium*, and most of them are rare actinomycetes.

Key words: *Brassica rapa* L.; endophytic actinomycetes; isolation and identification

0 引言

人们对于新抗生素的需求越来越大,而现有的抗生素也越来越无法满足临床需要。放线菌是寻找和发现天然活性物质的生物资源之一^[1],从微生物中发现的8 000多种生物活性物质中,近50%是由放线菌产生的^[2]。目前为止,越来越难发现新的放线菌以及新的活性物质,研究学者开始对之前研究较少的特殊环境进行研究,从中寻找有用的放线菌以及有效的活性物质。

植物内生菌主要包括内生细菌、内生真菌以及内生放线菌^[3]。作为植物微生态系统中不可或缺的组成部分,它们因长期生存于宿主体内,与其之间相互提供所需要的营养,同时能通过某些方式,如信号传导或者自身新陈代谢的方式对植物宿主的生长产生一定作用,且有利于增强植物宿主对于周围环境的适应能力。人们对于内生菌的研究,最早始于19世纪中叶^[4]。有研究指出,能从内生菌中分离得到51%的具有生物活性的新物质,而从土壤中只能分离得到38%的新物质^[5]。因此从植物内生菌中分离得到的天然产物可能是新抗生素的来源。

内生放线菌是植物内生菌的一大类,广泛存在于植物组织内部,对于宿主植物不会引起明显伤害。它们在植物组织内部能促进植物吸收养分,维持植物体内的微生态的平衡。现已发现植物内生放线菌能够产生抗生素、酶类和植物激素等多种生物活性物质,对农药、医药的研制具有重要意义^[6,7],已经成为人们利用的新兴生物资源^[8]。

恰玛古(Qamgur),学名芜菁(*Brassica rapa* L.),属十字花科(Brassicaceae)芸薹属(*Brassica*)两年生草本植物,在新疆南北疆均有栽培,其肉质根为主要的食用和药用部分,是新疆少数民族传统的药食两用植物,具有润肺止咳、利尿消肿、润肠通便、抗菌、抗氧化、抗疲劳、降血糖及免疫调节等作用^[9~11]。临床方面,恰玛古的根部提取物已经被制作为“恰玛古胶囊”和“恰玛古蜜膏”,用于辅助治疗肿瘤和干预大肠癌患者后期化疗的疗效^[12,13]。目前对恰玛古的研究主要集中在其活性物质的功能方面,而对于恰玛古内生放线菌的研究报道相对较少。

本研究对恰玛古内生放线菌进行分离培养,得

到可培养的内生放线菌菌株,对其进行形态学观察,并通过16S rDNA扩增及系统发育分析,确定其分类地位。本文研究新疆药食两用植物恰玛古内生放线菌多样性,以期发现产新活性物质的放线菌或新种放线菌,为研究微生物药物奠定基础。

1 材料和方法

1.1 植物样品

恰玛古植物组织样本(根、茎、叶)于2018年10月15日采集自新疆乌鲁木齐三坪农场(43°54'58''N, 87°19'52''E),于4℃环境下保存备用。

1.2 培养基与试剂

高氏一号培养基购自青岛日水生物科技有限公司。细菌基因组DNA提取试剂盒、PCR试剂盒和琼脂糖凝胶DNA回收试剂盒均购自北京索莱宝生物科技有限公司,快速革兰染液购自珠海贝索生物科技有限公司。

1.3 恰玛古样本预处理

将恰玛古的根、茎和叶用流水冲洗干净,晾干。称取各组织部位标本1 g,进行表面消毒灭菌,用无菌水冲洗2次,用滤纸吸干水分后经75%的乙醇浸泡30~60 s,再用2%的次氯酸钠浸泡3 min,最后用无菌水冲洗3~5次,将表面消毒好的标本放入无菌研钵,充分研磨后均匀涂布于培养基上。将最后一次冲洗恰玛古的无菌液体收集涂布,作为对照。

1.4 内生放线菌的分离与纯化

恰玛古样本经表面消毒处理后接种于高氏一号培养基平板,28℃培养后观察并记录菌落的形态特征;取少许菌丝经革兰染色后在显微镜下观察其特征。挑单个菌落以分区划线法接种于琼脂培养基进行纯化,纯化后接种斜面培养基4℃环境下保存备用;同时以20%(V/V)的甘油作为保护剂,将菌株进行保种。

1.5 内生放线菌DNA的制备及16S rRNA基因序列分析

采用细菌基因组DNA提取试剂盒提取菌株DNA,并对其16S rDNA序列进行扩增。扩增引物为细菌通用引物,27F(5'-AGAGTTTGATCCTGGCTCAG-3')和1492R(5'-GGTTACCTTGT-TACGACTT-3')。PCR反应体系(25 μL):2×

Taq PCR MasterMix 12.5 μ L,引物 27F 1 μ L,引物 1492R 1 μ L,DNA 模板 2 μ L,灭菌双蒸水 8.5 μ L,制成总体积为 25 μ L 的反应体系。PCR 反应条件:预变性,温度 95 $^{\circ}$ C,反应时间为 3 min;变性温度 95 $^{\circ}$ C,反应时间为 30 s;55 $^{\circ}$ C 退火,反应时间为 30 s;72 $^{\circ}$ C 延伸,反应时间为 90 s;设置 30 个循环;72 $^{\circ}$ C 延伸,反应时间为 10 min。用 1% 琼脂糖凝胶电泳分析 PCR 产物。将得到的 PCR 扩增产物送至上海美吉生物医药科技有限公司进行测序。

将获得菌株的 16S rDNA 序列,在 NCBI 数据库中利用 BLAST 分析软件进行比对分析,以同源性较高的序列为参考,获得其菌株序列的相似度。选取相似度高的序列,使用 MEGA 7.0 软件的邻接法(neighbour-joining)^[14]。根据 N-J 法聚类,选择 1 000

个重复,作 Bootstrap 值的分析,构建系统发育树,以此评价获得恰玛古内生放线菌株的亲缘关系及其分类状况。

2 结 果

2.1 恰玛古内生放线菌的分离与纯化

通过传统分离培养方法共获得恰玛古内生放线菌 17 株,对其进行形态学的描述,见表 1 和图 1。

2.2 恰玛古内生放线菌 16S rRNA 基因序列系统分析

分离培养获得 17 株内生放线菌,与 NCBI Blast 中已公布的相关菌种之间的相似度均在 99.0%~100% 之间,分属于 4 亚目、7 科、7 属,其中红球菌属(*Rhodococcus*)1 株、拟诺卡氏菌属(*Nocardiopsis*)1

表 1 恰玛古内生放线菌的形态特征
Table 1 Morphology of endophytic actinomycetes from Qamgur

菌株编号	来源	菌落形态描述	革兰氏染色和形态
L7	叶	圆形淡黄色,菌落干燥有突起	G ⁺ 球状
L9	叶	圆形淡黄色,菌落扁平,粗糙且干燥	G ⁺ 杆状
L13	叶	淡黄色圆形,菌落光滑透明	G ⁺ 球状
L14	叶	黄色不透明,圆形小菌落	G ⁺ 杆状
L16	根	淡黄色圆形,光滑不透明	G ⁺ 杆状
L21	茎	淡黄色圆形,光滑不透明	G ⁺ 杆状
L24	根	黄色圆形较大菌落,光滑不透明	G ⁺ 杆状
L31	茎	灰黄色圆形小菌落,光滑、干燥,有突起	G ⁺ 丝状
L33	茎	淡黄色圆形,菌落光滑透明	G ⁺ 球状
L35n	根	白色圆形,不透明,干燥且粗糙,边缘不整齐,有毛刺状	G ⁺ 丝状
T3	叶	黄色圆形,干燥,不透明,有突起	G ⁺ 杆状
T6	根	圆形淡黄色,光滑透明	G ⁺ 杆状
T9	茎	淡黄色不透明,圆形大菌落,干燥,菌落扁平	G ⁺ 杆状
T11	茎	圆形淡黄色,光滑透明	G ⁺ 杆状
T27	根	黄色不透明大菌落,干燥有突起	G ⁺ 杆状
R10	根	圆形黄色,光滑不透明	G ⁺ 杆状
25R	茎	圆形灰白色,不透明,干燥	G ⁺ 杆状

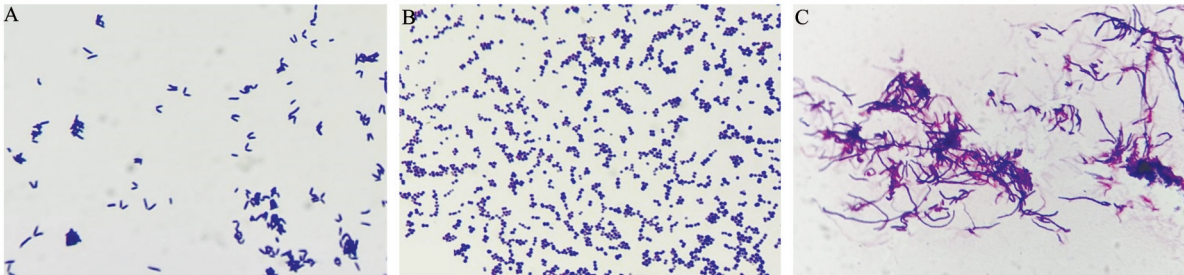


图 1 恰玛古内生菌革兰氏染色油镜下的形态

Fig. 1 Morphology of endophytes from Qamgur under microscope with Gram staining

注:A,革兰氏阳性杆菌(L14);B,革兰氏阳性球菌(L7);C,革兰氏阳性丝状菌(L31)

Note: A, Gram positive rods (L14); B, Gram positive cocci (L7); C, Gram positive filamentous bacteria (L31)

株、链霉菌属(*Streptomyces*)1株、短杆菌属(*Brevibacterium*)2株、小短杆菌属(*Brachybacterium*)3株、两面神菌属(*Janibacter*)3株和微杆菌属(*Microbacterium*)6株,详见表2和图2。

3 讨 论

植物内生放线菌是内生菌群落组成中的重要部分^[15]。从药用植物中分离得到的内生菌,尤其是内生放线菌,是一个能产生具有多种生物学活性产物的宝库,因此发掘新的放线菌资源,尤其是药用植物的内生放线菌,仍然是研究的热点之一^[16]。多项研究结果均表明,具有极强环境适应性的链霉菌属(*Streptomyces*)和小单孢菌属(*Micromonospora*)在各个不同地区的不同植物中均是优势菌群,而且这两个菌属也是土壤放线菌的优势菌属^[17]。Kim等^[18]

从11种韩国本土植物分离的内生放线菌中,链霉菌属是优势菌群;此外还有小单孢菌属、微杆菌属、微球菌属和红球菌属。Salam等^[19]从中国江西萍乡和云南西双版纳采摘的龙血树根、茎及叶中共分离得到304株内生放线菌,链霉菌属占86.84%。Shan等^[20]从福建19株茶树样本中分离得到46株内生放线菌,其中链霉菌属占51.1%,还分离出马杜拉放线菌属(*Actinomadura*)、韩国生工菌属和诺卡菌属(*Nocardia*)。祁付云等^[21]从新疆酿酒葡萄中分离得到14株内生放线菌,分属于链霉菌属和诺卡氏菌属,其中链霉菌属占78.57%。本实验共分离获得17株内生放线菌,分属于链霉菌属、红球菌属、拟诺卡氏菌属、短杆菌属、小短杆菌属、两面神菌属和微杆菌属等。与其他文献报道不同的是,本实验分离的恰玛古内生放线菌以稀有放线菌数目较多,链霉

表2 恰玛古内生放线菌 16S rDNA 序列 BLAST 比对结果
Table 2 BLAST alignment results of 16S rDNA sequences of endophytic actinomycetes from Qamgur

菌目	菌科	菌属	相似菌	菌株编号	相似度/%
棒状菌亚目 (Corynebacterineae)	诺卡氏菌科 (Nocardiaceae)	红球菌属 (<i>Rhodococcus</i>)	红平红球菌(<i>Rhodococcus erythropolis</i>)	L9	99.00
链孢囊菌亚目 (Streptosporangineae)	拟诺卡氏菌科 (Nocardiopasaceae)	拟诺卡氏菌属 (<i>Nocardiopsis</i>)	达氏拟诺卡氏菌达氏亚种(<i>Nocardiopsis dassonvillei</i> subsp. <i>dassonvillei</i>)	L35n	99.00
链霉菌亚目 (Streptomycineae)	链霉菌科 (Streptomycetaceae)	链霉菌属(<i>Streptomyces</i>)	淡紫褐链霉菌(<i>Streptomyces enissocaesilis</i>)	L31	99.00
微球菌亚目 (Micrococcineae)	短杆菌科 (Brevibacteriaceae)	短杆菌属 (<i>Brevibacterium</i>)	短杆菌(<i>Brevibacillus agri</i>)	25R	99.00
			短杆菌属(<i>Brevibacterium</i> sp.)	L14	100.00
	皮杆菌科 (Dermabacteraceae)	小短杆菌属 (<i>Brachybacterium</i>)	小短杆菌属 (<i>Brachybacterium</i> sp.)	L24, T11, T27	99.00
	间孢囊菌科 (Intrasporangiaceae)	两面神菌属 (<i>Janibacter</i>)	柠檬两面神菌(<i>Janibacter melonis</i>)	L33	99.00
			两面神菌 HRG7 (<i>Janibacter</i> sp.)HRG7	L13	99.00
			两面神菌(<i>Janibacter</i> sp.)Ho-13	L7	99.00
	微杆菌科 (Microbacteriaceae)	微杆菌属 (<i>Microbacterium</i>)	叶片微杆菌(<i>Microbacterium foliorum</i>)	T9	99.00
			微杆菌属(<i>Microbacterium</i> sp.)EP10	T6	99.00
			微杆菌属(<i>Microbacterium</i> sp.)	R10, T3	99.00
			氯化烃微杆菌(<i>Microbacterium hydrocarbonoxydans</i>)	L16, L21	99.00

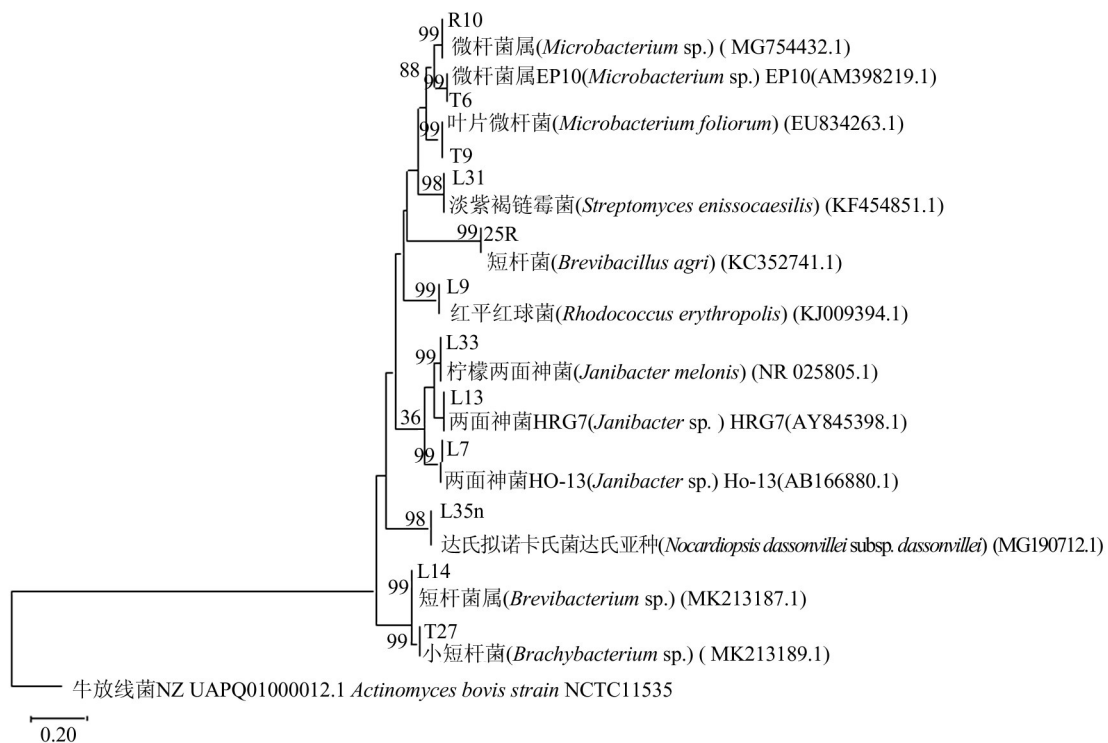


图2 恰玛古内生放线菌系统发育树(邻接法)

Fig. 2 Phylogenetic tree of endophytic actinomycetes from Qamgur (neighbour-joining)

菌只有1株。王丽^[22]在对福建红树林的研究中用14种选择性分离培养基分离得到诺卡菌属、红球菌属等数个稀有放线菌属,其中2株疑似新种。陈名洪等^[23]从福建红树林分离得到放线菌,其中链孢囊菌亚目中的菌株可能存在新种。本实验从恰玛古中同样分离得到链孢囊亚目中的菌株以及红球菌属的菌株,但未发现新种。用于本实验分离培养的培养基较为单一,因此获得的菌株数量及种类较少。目前已经报道过的植物内生菌的研究表明,植物的根、茎、叶、花及果实等各个部位都可存在内生菌^[24-25],而植物内生菌在植物组织各个部位中的分布具有多样性,其中植物根中分布最为广泛,多是由于根是其主要的生活部位^[26]。廖敏等^[27]从四川阿坝地区狼毒中分离到的内生放线菌,在根中分布最多。祁付云等^[21]从新疆酿酒葡萄中分离得到14株内生放线菌,也主要来自根部,约占总数的64.29%。本实验分离得到17株内生放线菌,根中分离得到6株,茎中6株,叶中5株,分布并无明显差异,原因可能是由于培养环境的不同造成的,也可能是本实验研究分离得到的内生菌仅是可分离培养获得的内生菌中的一部分,已有研究已经证实,存在于自然界中的很多微生物还不能通过目前的培养技术获取,因而实验采用的不同的样本处理方法和样本分离培养基能得到的菌种种属的多样性差异较大^[28]。

恰玛古(羌薺)富含的多种营养物质均高于同为根菜类的萝卜,它的多种营养物质为人体所需成分,具有很好的营养价值^[29]。本研究针对新疆特色药食植物恰玛古,利用传统分离培养方法分离获得内生放线菌,分离所得的稀有放线菌较多。用于治疗人类疾病的抗生素,它的产生菌大多数为放线菌,故开发新的放线菌的生物活性,可以为新型药物的研究奠定一定基础,特别是稀有放线菌,而稀有放线菌产生的某些抗菌化合物,早已广泛应用于临床,如红霉素、万古霉素、庆大霉素等^[30]。本研究为进一步筛选多种生物活性及开发利用提供了良好的菌种资源。

参考文献

- [1] 倪静姝, 汪焰胜, 吴杭, 等. 放线菌中与抗生素合成相关 TetR 家族转录因子的研究进展[J]. 微生物学通报, 2019, 46(2): 407-414.
Ni J S, Wang Y S, Wu H, et al. Progress in TetR family transcriptional regulator related to antibiotic synthesis in actinomycetes [J]. Microbiology China, 2019, 46(2): 407-414.
- [2] 廖敏, 张波, 范中菡, 等. 唐古特大黄内生放线菌分离鉴定及生防作用研究[J]. 四川大学学报(自然科学版), 2017, 54(2): 381-386.
Liao M, Zhang B, Fan Z H, et al. Isolation of endophytic actinomycetes from *Rheum tanguticum* and its ap-

- plication in biological control of *magnaporthe grisea* [J]. Journal of Sichuan University (Natural Science Edition), 2017, 54(2): 381-386.
- [3] 张冬静. 药用植物内生真菌的分离及其抑菌活性筛选[D]. 长春:吉林大学, 2015.
- Zhang D J. Isolation of endophytic fungi from medicinal plants and screening activity strains against pathogenic fungi [D]. Changchun: Jinlin University, 2015.
- [4] 赵旭, 常思静, 景春娥, 等. 我国植物内生菌研究进展[J]. 中国沙漠, 2010, 30(1): 87-90.
- Zhao X, Chang S J, Jing C E, *et al.* Research progress of endophytes in plants in China [J]. Journal of Desert Research, 2010, 30(1): 87-90.
- [5] 宋薇薇, 朱辉, 余凤玉, 等. 植物内生菌及其对植物病害的防治作用综述[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(6): 12-16.
- Song W W, Zhu H, Yu F Y, *et al.* Plant endophytes and their control effects on plant diseases: a review [J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2018, 46(6): 12-16.
- [6] 杨勇, 李昆太. 放线菌资源及其活性物质研究概述[J]. 生物灾害科学, 2019, 42(1): 7-14.
- Yang Y, Li K T. The overview of actinomycetes resources and its active substances [J]. Biological Disaster Science, 2019, 42(1): 7-14.
- [7] 彭卫福, 吴志明, 陈未, 等. 拮抗多种植物病原真菌 *Streptomyces triostinicus* C2 的分离与鉴定[J]. 生物技术通报, 2016, 32(7): 106-111.
- Peng W F, Wu Z M, Chen W, *et al.* Isolation and identification of *Streptomyces triostinicus* C2 antagonizing on a variety of plant pathogenic fungi [J]. Biotechnology Bulletin, 2016, 32(7): 106-111.
- [8] 冯天祥, 王玲, 陈海敏, 等. 植物内生放线菌功能及生物活性物质研究进展[J]. 中国生物工程杂志, 2015, 35(4): 98-106.
- Feng T X, Wang L, Chen H M, *et al.* Research advances on function and bioactive substances of endophytic actinomycetes [J]. China Biotechnol, 2015, 35(4): 98-106.
- [9] 赵学志, 何洪巨, 刘庞源, 等. 芜菁不同生长期硫代葡萄糖苷的变化[J]. 北方园艺, 2018(5): 27-32.
- Zhao X Z, He H J, Liu P Y, *et al.* Glucosinolates variation in different rowing stages of turnip [J]. North Hort, 2018(5): 27-32.
- [10] 李雅双, 连路宁, 阿西娜, 等. 芜菁化学成分及生物活性的研究进展[J]. 时珍国医国药, 2013, 24(9): 2247-2249.
- Li Y S, Lian L N, A X N, *et al.* Advance in the study on the chemical constituents and biological activity of the *Brassica rapa* L [J]. Lishizhen Med Mater Med Res, 2013, 24(9): 2247-2249.
- [11] 李玲, 高新天. 新疆人参恰玛古[J]. 新疆人文地理, 2012(3): 110-111.
- Li L, Gao X T. Ginseng *Brassica* in Xinjiang [J]. Xinjiang Humanities Geography, 2012(3): 110-111.
- [12] 罗玲娟, 黄建国, 雷君, 等. 恰玛古胶囊联合 FOLFIRI 方案对晚期大肠癌患者免疫功能的临床观察[J]. 人参研究, 2013, 25(4): 56-59.
- Luo L J, Huang J G, Lei J, *et al.* Clinical observation on immune function of compound *Brassica campestris* capsules combined with FOLFIRI regimen for patients with colorectal cancer [J]. Ginseng Res, 2013, 25(4): 56-59.
- [13] 杨保求, 唐琪, 蒲云峰. 恰玛古皂苷的提取及清除自由基活性的研究[J]. 中国果菜, 2015, 35(10): 18-21.
- Yang B Q, Tang Q, Pu Y F. Study on free radical scavenging activity of saponins from *Brassica campestris* L [J]. China Fruit Veg, 2015, 35(10): 18-21.
- [14] 刘锁珠, 李龙, 付冠华, 等. 藏猪源高产纤维素酶菌株的筛选及鉴定[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2017, 45(3): 43-50.
- Liu S Z, Li L, Fu G H, *et al.* Screening and identification of high-yield cellulase degrading bacterial strain from Tibetan pigs [J]. J Northwest Sci - Tech Univ Agr, 2017, 45(3): 43-50.
- [15] 夏蕾, 邹晓威, 王娜, 等. 植物内生放线菌生物防治农业病害的研究进展[J]. 绿色科技, 2017(23): 116-118.
- Xia L, Zou X W, Wang N, *et al.* Research progress on biological control of agricultural diseases by endophytic actinomycetes in plants [J]. Journal of Green Science and Technology, 2017(23): 116-118.
- [16] 严佳成, 李艳如, 陈让让, 等. 植物内生放线菌研究进展[J]. 生物资源, 2020, 42(1): 9-21.
- Yan J C, Li Y R, Chen R R, *et al.* Advances on plant endophytic actinomycetes [J]. Biotic Resources, 2020, 42(1): 9-21.
- [17] Hallmann J, Berg G. Spectrum and population dynamics of bacterial root endophytes [M]//Soil Biology. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2006: 15-31.
- [18] Kim T U, Cho S H, Han J H, *et al.* Diversity and physiological properties of root endophytic actinobacteria in native herbaceous plants of Korea [J]. J Microbiol Seoul Korea, 2012, 50(1): 50-57.
- [19] Salam N, Khieu T N, Liu M J, *et al.* Endophytic actinobacteria associated with *Dracaena cochinchinensis* Lour.: isolation, diversity, and their cytotoxic activities [J]. Biomed Res Int, 2017: 1-11.
- [20] Shan W, Zhou Y, Liu H, *et al.* Endophytic actinomycetes from tea plants (*Camellia sinensis*): isolation, abun-

- dance, antimicrobial, and plant-growth-promoting activities[J]. Biomed Res Int, 2018, 2018: 1470305.
- [21] 祁付云, 吕新莲, 颜海燕, 等. 新疆酿酒葡萄中内生放线菌的分离与初步鉴定[J]. 中国酿造, 2012, 31(6): 77-78.
- Qi F Y, Lv X L, Yan H Y, *et al.* Isolation and primary identification of endophytic actinomycetes in Xinjiang wine grape [J]. China Brew, 2012, 31(6): 77-78.
- [22] 王丽. 福建省红树林稀有放线菌的多样性及筛选[D]. 福州: 福建医科大学, 2015.
- Wang L. Diversity and screening of actinomycetes isolated from the mangroves of Fujian Province [D]. Fuzhou: Fujian Medical University, 2015.
- [23] 陈名洪, 王海龙, 方东升, 等. 福建红树林环境中稀有放线菌的多样性[C]//第十三届全国抗生素学术会议论文集. 福州: 中国药学会抗生素专业委员会, 2017: 247-248.
- Chen M H, Wang H L, Fang D S, *et al.* Diversity of rare actinomycetes in mangrove environment of Fujian Province [C]//The 13th China Antibiotics Conference. Fuzhou: Antibiotic Professional Committee of Chinese, 2017: 247-248.
- [24] 张瀚能, 张金羽, 刘茂柯, 等. 川楝内生放线菌多样性及群落结构研究[J]. 四川大学学报(自然科学版), 2016, 53(6): 1391-1397.
- Zhang H N, Zhang J Y, Liu M K, *et al.* Diversity and community structure of endophytic actinobacteria of *Melia toosendan* [J]. Journal of Sichuan University (Natural Science Edition), 2016, 53(6): 1391-1397.
- [25] Reinhold H B, Hurek T. Living inside plants: bacterial endophytes [J]. Current Opinion in Plant Biology, 2011, 14(4): 435.
- [26] 张盼盼, 秦盛, 袁博, 等. 南方红豆杉内生及根际放线菌多样性及其生物活性[J]. 微生物学报, 2016, 56(2): 241-252.
- Zhang P P, Qin S, Yuan B, *et al.* Diversity and bioactivity of actinomycetes isolated from medicinal plant *Taxus chinensis* and rhizospheric soil [J]. Acta Microbiol Sin, 2016, 56(2): 241-252.
- [27] 廖敏, 张波, 范中茵, 等. 阿坝地区狼毒内生放线菌多样性及抗菌活性[J]. 草业学报, 2016, 25(3): 43-51.
- Liao M, Zhang B, Fan Z H, *et al.* Diversity and antimicrobial activity of endophytic actinomycetes isolated from *Stellera chamaejasme* sampled in Aba, Sichuan [J]. Acta Prataculturae Sin, 2016, 25(3): 43-51.
- [28] 闫晓睿, 杨超, 安明彪, 等. 8种贵州药用植物内生放线菌的分离及多样性研究[J]. 微生物学通报, 2018, 45(12): 2673-2683.
- Yan X R, Yang C, An M B, *et al.* Diversity of endophytic actinobacteria isolated from medicinal plants collected from Guizhou Province [J]. Microbiology China, 2018, 45(12): 2673-2683.
- [29] 王丽君, 马国财, 韩爱芝, 等. 新疆芫菁茎部内生菌的分离鉴定[J]. 中国瓜菜, 2018, 31(4): 19-23.
- Wang L J, Ma G C, Han A Z, *et al.* Isolation and identification of endophytes from stem of haploid turnip in Xinjiang [J]. China Cucurbits and Vegetables, 2018, 31(4): 19-23.
- [30] Ito T, Masubuchi M. Dereplication of microbial extracts and related analytical technologies [J]. The Journal of Antibiotics, 2014, 67(5): 353-360.

□

(编辑: 张丽红)