

## 紫茎泽兰内生菌的农用活性潜力研究进展

缪志杨<sup>1</sup>, 何江波<sup>2</sup>, 何菁<sup>1</sup>, 董廷发<sup>3</sup>, 牛燕芬<sup>1\*</sup> (1. 昆明学院农学与生命科学学院, 云南昆明 650214; 2. 昆明学院医学院, 云南昆明 650214; 3. 西南野生动植物资源保护教育部重点实验室/西华师范大学生命科学学院, 四川南充 637009)

**摘要** 作为我国首批入侵外来物种之一, 紫茎泽兰给入侵地带来了巨大的生态灾害和经济损失。对紫茎泽兰的研究多年来一直受到相关领域研究者的广泛关注, 但其丰富的内生菌资源一直被忽视。对近年来植物内生菌相关研究进行了综述, 对植物内生菌农用活性进行了介绍, 并基于现有研究成果通过类比、推理等手段探讨紫茎泽兰内生菌农用活性潜力, 进而对紫茎泽兰内生菌资源在农业生产中的研究和应用前景进行了展望。

**关键词** 紫茎泽兰; 内生菌; 农用活性; 农业生产; 应用潜力

**中图分类号** S451 **文献标识码** A

**文章编号** 0517-6611(2023)10-0016-05

**doi**: 10.3969/j.issn.0517-6611.2023.10.004



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

### Research Progress on the Potential of Agricultural Activity of Endophytes of *Eupatorium adenophorum*

MIAO Zhi-yang<sup>1</sup>, HE Jiang-bo<sup>2</sup>, HE Jing<sup>1</sup> et al (1. College of Agronomy and Life Science, Kunming University, Kunming, Yunnan 650214; 2. School of Medicine, Kunming University, Kunming, Yunnan 650214)

**Abstract** As one of the first invasive alien species in China, *Eupatorium adenophorum* has brought great ecological disasters and economic losses to its invasive areas. Although the researches on *Eupatorium adenophorum* have been widely concerned by scholars in related fields for many years, its abundant endophytic resources have often been neglected. The related researches on endophytes were reviewed adequately, and the agricultural activity of endophyte were also introduced in detail. Whereafter, based on the existing research conclusions, the potential in agricultural activity of endophytes of *Euphoram adenophorum* was discussed by analogy and inference. Furthermore, this paper also presents some research and application perspectives on the field in endophytes of *Eupatorium adenophorum* based on work already carried out or currently under way.

**Key words** *Eupatorium adenophorum*; Endophyte; Agricultural activity; Agricultural production; Application potential

我国是一个以种植业为主的农业大国, 化肥、农药作为农业生产过程中的两种重要生产资料对我国农业安全生产做出了巨大贡献<sup>[1-2]</sup>。但是长期过量使用化肥和农药带来的土壤板结、土壤养分结构失调、有害生物抗药性增加、药物残留等问题和农产品品质下降、食品安全、环境污染等负效应日益凸显, 严重制约我国农业的可持续发展<sup>[3-4]</sup>。寻找新型资源替代传统化肥、农药促进农业健康发展已刻不容缓。

2019年, 美国国家科学院、工程院和医学院联合发布了一份研究报告, 提出应该重视微生物对农业生产的影响。而植物内生菌作为植物微生态系统重要的组成部分, 具有促进植物生长、提高植物抗逆性等生物活性, 在农业生产领域的应用潜力巨大<sup>[5-6]</sup>。

植物内生菌是指全程或暂时生活在健康植物中, 不会(至少暂时不会)感染宿主植物致其出现明显外部症状的一类微生物, 主要包括内生细菌、内生真菌和内生放线菌三大类<sup>[7]</sup>。内生菌主要通过2个途径对宿主植物的生长起到促进作用: 一方面, 内生菌通过自身代谢分泌植物所需的生长物质, 如吲哚乙酸、赤霉素以及细胞分裂素等<sup>[8-9]</sup>; 另一方面, 内生菌通过调节促进植物生长的代谢以及酶活性等途径提高宿主植物对生长所需养分的积累, 如内生菌感染植物后可

以促进植物对矿物质的吸收, 提高植物对养分的利用率, 从而达到促进植物生长的效果<sup>[10-11]</sup>。同时, 内生菌感染植物可以增强宿主植物的抗逆性<sup>[12]</sup>, 主要表现在: 第一, 内生菌可以产生生物碱类、吲哚双萜碱、双吡咯烷类生物碱和麦角碱等多种有毒物质来提高植物对有害生物的抵抗能力<sup>[13]</sup>; 第二, 内生真菌可以通过调节植物激素水平(如水杨酸、茉莉酸等)和活性氧浓度来协助植物抵御不良环境<sup>[14]</sup>。由此可见, 内生菌感染的植物在抵抗病、虫、植食性动物等生物胁迫和对高温、干旱、水淹、高盐碱以及重金属污染等非生物胁迫的耐受能力都显著强于未被感染的植物。

紫茎泽兰(*Eupatorium adenophorum*)是一种原产于南美洲墨西哥至哥斯达黎加一带的菊科(Compositae)泽兰属多年生草本或亚灌木植物, 是一种世界性恶性杂草<sup>[15]</sup>。19世纪时, 紫茎泽兰作为观赏性植物被引入欧洲多个国家, 后来又引种至亚洲和大洋洲, 凭借其生态适应性广、繁殖能力强、传播速度快、化感作用强等特点, 现已传播至30多个热带和亚热带国家及地区<sup>[16-17]</sup>。紫茎泽兰在我国的传播始于20世纪40年代, 由缅甸、越南通过自然传播的方式传入我国云南临沧, 随后迅速蔓延至贵州、四川、重庆、广西、广东、湖北、西藏和台湾等省市区, 并仍在继续向东部和北部地区迅速蔓延<sup>[15, 18]</sup>。据统计, 四川省凉山州受紫茎泽兰危害的面积达14%<sup>[19]</sup>; 在云南, 有文献报道超过80%以上范围都有紫茎泽兰的分布, 每年农业和畜牧业因紫茎泽兰的入侵造成的直接经济损失高达8亿元, 间接损失更是不可估量<sup>[20-21]</sup>。紫茎泽兰入侵造成的危害不可忽视, 也因此紫茎泽兰被我国列入外来入侵物种中最为严重的入侵植物之一, 在国家环境保护局

**基金项目** 西南野生动植物资源保护省部共建教育部重点实验室开放基金项目(XNYB17-7); 云南省应用基础研究计划高校联合面上项目(2018FH001-052)。

**作者简介** 缪志杨(1992—), 男, 云南宣威人, 硕士研究生, 研究方向: 资源利用与植物保护研究。\* 通信作者, 副教授, 博士, 从事生物入侵生态学 research。

**收稿日期** 2022-07-06

2003 年公布的首批入侵外来物种名单中位列第一<sup>[22]</sup>。

在消耗大量人力和物力却未有效控制紫茎泽兰的蔓延与危害的情况下,研究者们开始致力于研究如何对其进行开发利用,例如做染料<sup>[22]</sup>、食用菌栽培<sup>[23]</sup>、有机肥生产<sup>[24]</sup>、饲料生产<sup>[25]</sup>、活性炭生产<sup>[26]</sup>、清洁燃料生产<sup>[27]</sup>、建材生产<sup>[28]</sup>等。这些研究为紫茎泽兰的利用提供了宝贵的理论依据,但紫茎泽兰的内生菌资源却一直被忽视。近年来,随着对植物内生菌的认识不断加深,有研究发现紫茎泽兰具有丰富多样的内生菌,且具有良好的农用生物活性,这为紫茎泽兰的“变废为宝”提供了新的思路。如果能将紫茎泽兰内生菌潜在农用活性应用于农业生产,不但可以弥补紫茎泽兰入侵造成的损失,对我国农业可持续发展也具有重要的意义。

## 1 植物内生菌的农用活性

植物内生菌具有种类多、分布广的特点,它们系统地分布于宿主植物健康的根、茎、叶、花、果实以及细胞和细胞间隙中,并且涵盖低等的藻类植物、苔藓植物,高等的裸子植物和被子植物整个植物界<sup>[29-32]</sup>。目前,有许多研究证明植物内生菌具有多种潜在农用活性,是一类极具开发潜力的宝贵微生物资源。

### 1.1 内生细菌的农用活性

目前在植物内生细菌农用活性方面的研究已取得了丰硕的成果,学者们着眼于植物内生细菌对病虫害的抑制作用进行了深入研究。彭双等<sup>[33]</sup>发现,经济作物内生芽孢杆菌可以产生能使线虫虫体发生渗漏或消解的活性物质,对松材线虫的致死率达到 100%。李晓璐等<sup>[34]</sup>发现,水黄皮内生细菌中分别有 3 株和 2 株的乙醇提取物对稻纵卷叶螟、稻飞虱的致死率高于 80%,并且 5 种内生细菌间并无重叠。马东丽等<sup>[35]</sup>从曼陀罗叶片中分离到的内生细菌 MY1 对 14 种植物病原菌的抑菌率均超过 50.00%,其中对桃褐腐病菌的抑菌率达到 98.95%,而且 10 倍稀释的 MY1 发酵液对 14 种植物病原菌的抑制率也高达 76.65%~99.84%,通过盆栽试验发现,5 倍稀释的 MY1 发酵液对番茄灰霉病和番茄早疫病的预防、治疗效果分别达到 86.40%、80.20%和 88.90%、82.60%。梁子宁等<sup>[36]</sup>从鸭胆子根部分离得到内生细菌 YGB-11,该菌对 12 种植物病原菌有广谱抑菌性,抑菌率均高于 55.00%,对柑橘绿霉病菌的抑制效果最佳,抑菌率超过 95.00%。田间试验发现,用 YGB-11 的菌悬液和发酵液处理柑橘活体组织,可将柑橘绿霉病的发病率限制在 34.00% 以下。赵龙飞等<sup>[37]</sup>研究地黄根块内生细菌过程中发现,部分菌株在平板对峙试验中可以使棉花枯萎病原菌出现菌丝打结、弯曲和断裂现象等现象,具有较好的抑菌活性。通过盆栽试验发现,接种地黄内生细菌 DH92 和 DH9 使棉花植株发病率低于 32%,且内生细菌 DH92 具有较高的产植物激素 IAA 的能力、较高的脱氨酶 ACC 活性和较强的溶磷能力。

### 1.2 内生真菌的农用活性

植物内生真菌是植物内生菌中的重要组成部分,植物内生真菌的农用活性也是相关学者研究的重点之一。郑喜等<sup>[38]</sup>从昆明山海棠分离到一株筒青霉属内生真菌,该菌产生的代谢产物 Penicillic acid 48 h 对秀丽

隐杆线虫的半数致死浓度 (LC<sub>50</sub>) 为 453.40 mg/L,表现出较好的杀线虫活性。朱虹等<sup>[39]</sup>研究发现,苦楝内生真菌对马尾松毛虫有触杀活性,而内生菌次生代谢产物对马尾松毛虫兼具触杀和胃毒活性。其中 KL042 菌株触杀活性的 5 d 校正死亡率达到 100%,代谢产物触杀活性 48 h 校正死亡率达 76.67%,KL017 菌株代谢产物胃毒活性的 48 h 校正死亡率达 90.09%。王贵生等<sup>[40]</sup>从亳菊中分离得到 1 株内生柄孢壳菌属真菌,该菌对玉米弯孢菌、黄瓜枯萎菌、茶叶轮斑菌、小麦赤霉菌、串珠镰刀菌、瓜炭疽菌 6 种植物病原菌的抑菌率均超过 50%。杨秀芳等<sup>[41]</sup>研究发现,黑枸杞内生真菌 RER4 能够产生 9 种对尖孢镰孢菌、小麦赤霉病菌、苹果树腐烂病菌、番茄灰霉病菌等病原菌有不同程度抑制效应的活性物质,有 1 种化合物具有广谱抑菌活性。高克祥等<sup>[42]</sup>利用筛选来自杨树和苹果树皮部的 2 个木霉菌株,在田间分别进行了杨树烂皮病、苹果树腐烂病和苹果轮纹病的防治试验,取得了良好的效果。刘军生等<sup>[43]</sup>发现,用杠柳内生真菌的发酵液浇灌小麦幼苗可以提高小麦对重金属镉的耐受能力。詹寿发等<sup>[44]</sup>从蕨类植物——芒苣中分离到 2 株能溶磷、解钾和分泌 IAA 的内生真菌,并且 2 株菌都能在玉米上定殖,并能通过提高玉米光合速率、蒸腾速率对玉米的生长产生促生效应。郎宸用<sup>[45]</sup>通过连续 3 年的大田试验,发现野生植物内生链格孢菌具有促进玉米生长发育、养分积累和调节激素含量的生物活性,最终通过增加玉米的穗粒数,达到增产的效果。

### 1.3 内生放线菌的农用活性

植物内生放线菌作为植物内生菌的一个主要类群,虽然研究起步相对较晚,还远远没有达到对内生细菌和真菌的研究深度,但近年来也取得了一系列研究成果并逐渐成为相关领域的研究热点。陶玲等<sup>[46]</sup>从红树林植物木榄中分离出一株放线菌,该菌株产生一种不饱和脂肪酸对秀丽隐杆线虫的半数致死浓度 (LC<sub>50</sub>) 值为 162.80 mg/L,致死效果优于市场上的杀线虫制剂甲胺磷的 3 282.46 mg/L。史赞等<sup>[47]</sup>从番茄根茎结合部分离到的内生放线菌 St24,其发酵原液对小菜蛾幼虫的 24 h 选择拒食率和非选择拒食率分别是 100% 和 97.86%,对朱砂叶螨的触杀校正死亡率和产卵忌避率分别是 55.90% 和 74.19%。祁鹤兴等<sup>[48]</sup>从苦豆子内生放线菌中筛选出 3 株高拮抗活性的菌株,菌株 NDZKDS22 具有广谱抑菌性,对 5 种植物病原菌的抑菌带宽度均大于 10.00 mm,菌株 NDZKDS65 对黄瓜枯萎病菌的抑菌带宽度为 18.54 mm,菌株 YWZKDS4 对稻瘟病菌的抑菌带宽度为 15.12 mm。郜佐鹏等<sup>[49]</sup>研究发现,用 3 株来自黄瓜根部、1 株来自辣椒叶部、1 株来自牛腥草茎部的内生放线菌发酵液原液对果园中刮除苹果树腐烂病病斑后的伤口处进行涂抹处理,90 d、180 d 和 270 d 苹果树腐烂病复发率均为 0。梁亚萍等<sup>[50]</sup>研究发现,野生植物内生放线菌能在目标农作物上定殖,并且具有防病促生的功能,菌株 SF20 对病原菌灰葡萄孢的抑菌率高达 88.00%,菌株 SF6 对粉红聚端孢菌、菌株 SG2 对黄瓜枯萎病菌和大丽轮枝菌的孢子萌发抑制率都达到 100%,SG2 发酵液对茄链格孢和大丽轮枝菌的抑菌圈直径均大于 30.00 mm、对温室番茄早疫病的防治效果达

89.72%,菌株 SF4 发酵液对温室黄瓜白粉病的防治效果达 89.61%,菌株 SF4 和 SF20 的菌悬液对温室黄瓜白粉病的防治效果均高于 84.00%,菌株 SF20 侵染的黄瓜株高、叶片数、叶片面积鲜重、干重以及叶绿素 a、叶绿素 b 均显著高于对照。

## 2 紫茎泽兰内生菌的研究现状

由于紫茎泽兰的强危害性,基于“变废为宝”的考虑,多年来已有众多学者对紫茎泽兰的利用进行了深入研究。早期对紫茎泽兰的利用研究多停留在对植物本身的利用,随着近年来植物内生菌研究的不断丰富,有研究发现紫茎泽兰内生菌资源丰富,且具有良好的农用生物活性。

**2.1 紫茎泽兰内生菌多样性研究** 蒋欢<sup>[51]</sup>通过传统组织培养法和过夜冰冻组织法从云南、四川不同样地紫茎泽兰叶片中分离得到可培养的内生真菌 840 株,通过分子鉴定,发现这些真菌涵盖了 47 个真菌属。陈诚<sup>[52]</sup>对矿区紫茎泽兰内生菌进行 PCR-DGGE(变性梯度凝胶电泳)分析,发现紫茎泽兰根、茎、叶内生菌香农多样性指数都很高,其中内生真菌在 1.62~2.07、内生细菌在 2.07~2.38、内生放线菌在 2.07~2.63。王义聪<sup>[53]</sup>通过对矿区紫茎泽兰根内生细菌进行 16S rDNA 基因的 PCR 扩增以及克隆测序,发现紫茎泽兰根内生细菌 16S rDNA 基因文库表现出很高的基因多样性,其香农多样性指数高达 3.82。苗一方<sup>[54]</sup>通过传统分离培养法和高通量测序对云南 6 个地区紫茎泽兰根、茎、叶内生真菌进行调查,发现不同组织的内生菌多样性指数都很高,其中香农指数最低为 2.50,最高为 4.00,而且发现分离出的内生菌香农多样性指数也高达 2.88。刘欢<sup>[55]</sup>通过高通量测序分析个旧矿区紫茎泽兰根内生真菌多样性,发现 4 个根样内生真菌多样性和丰富程度都很高,香农多样性指数为 3.381~3.888、ACE 丰富度指数为 450.794~558.309。保朱寿能<sup>[56]</sup>从紫茎泽兰根内分离得到 150 株内生细菌(固氮菌),其物种组成多样,涵盖了 3 个细菌门,25 个种属<sup>[56]</sup>。

**2.2 紫茎泽兰内生菌负向效应研究** 紫茎泽兰种子带菌率仅为 7.45%,其内生菌是在入侵过程中感染的,并且数量及物种多样性与侵入时间呈正相关<sup>[51,57]</sup>。但是在其内生菌中却有一定比例的常见植物病原菌,有成为本土植物病原库的风险。研究发现,紫茎泽兰在入侵过程中富集了大量的本土植物病原菌,虽然这些病原菌在紫茎泽兰体内是以内生菌的形式存在,对紫茎泽兰的致病力总体较弱,不但没有影响紫茎泽兰的正常生长,还间接增加了紫茎泽兰的入侵能力,但是却大大增加了本土植物爆发病害的可能<sup>[58-59]</sup>。例如紫茎泽兰优势内生炭疽菌属(*Collectotrichum*)、链格孢属(*Alternaria*)、炭角菌属(*Xylaria*)、间座壳属(*Diaporthe*)、拟支点霉属(*Phomopsis*)都是很多植物的常见病原菌,这些病原菌的寄生范围很广,涵盖了藤本植物、草本植物以及灌木,而且对植物的种子萌发、生长发育以及采后果实都有较强的致病力<sup>[60-63]</sup>。

**2.3 紫茎泽兰内生菌正向效应研究** 紫茎泽兰内生菌对本土植物的负反馈效应突出,但是不能以点概面,忽视其正向效应。杨晨<sup>[64]</sup>研究发现,紫茎泽兰内生菌对紫茎泽兰幼苗

存活率正反馈效应高达 8.7 倍。刘欢<sup>[55]</sup>在紫茎泽兰内生真菌离体培养过程中,发现部分菌株对重金属胁迫具有较高的耐受能力,其中菌株 G19A2 可以定植于玉米植株上,通过增强玉米对重金属 Cd 的耐受性,进而增加玉米地下部分的生物量。保朱寿能<sup>[56]</sup>研究发现,紫茎泽兰内生细菌对紫茎泽兰具有明显的促生效应,其中内生菌 XS-3-7 侵染对紫茎泽兰的促进效应最明显,地下鲜重和干重分别是对照组的 25.7 和 31.0 倍。康宇<sup>[65]</sup>研究发现,紫茎泽兰根内生丛枝菌根真菌和深色有隔真菌有助于增强紫茎泽兰超氧化物歧化酶(SOD)活性从而增强其对重金属耐受能力。杨欢<sup>[61]</sup>研究发现,虽然紫茎泽兰内生菌对其生长更有利,但是也具有促进本土植物生长的潜力,其中优势炭疽菌可以缩短苘草、何首乌、土牛膝的发芽时间,增加土牛膝的发芽数量;优势链格孢菌可以缩短苘草和土牛膝的发芽时间,增加何首乌的发芽数量;优势碳垫菌对尾穗苋的茎长生长具有显著促进作用;优势链格孢菌对何首乌地下部分鲜重具有促进作用。

## 3 紫茎泽兰内生菌的农用活性潜力

**3.1 紫茎泽兰内生菌资源丰富** 研究表明,内生菌的组成和数量受宿主影响很大,宿主地理分布造成内生真菌所生存的微生态环境不同,会导致内生菌的种类和数量发生改变<sup>[66-68]</sup>。作为一种已大规模蔓延的入侵植物,紫茎泽兰分布范围广泛,给内生菌提供了多样的微生态环境,为其内生菌种群多样性提供了有利的先决条件。同时,虽然目前对紫茎泽兰内生菌的研究还不完善,但现有研究已发现紫茎泽兰内生菌中包含一些人类尚未认知的新种<sup>[69]</sup>。Zhang 等<sup>[70]</sup>研究发现,紫茎泽兰有丰富的内生细菌,其中根内生细菌可鉴定到种的就多达 350 种,包含 1 个新种;周扬阳等<sup>[71-72]</sup>通过传统分离培养方法从紫茎泽兰中分离到的可离体培养内生炭疽菌多达 500 余株,涵盖 30 余个真菌种,新种比例超过 30%,除此之外还有一些现阶段无法鉴定的未知种。然而,对紫茎泽兰内生菌进行深入研究却受到传统分离技术的制约,例如苗一方<sup>[54]</sup>、周婕等<sup>[73]</sup>通过分离培养和高通量测序对紫茎泽兰内生菌研究时发现,可离体培养的内生菌在种类和数量上都远少于高通量测序得到的,重叠很少且优势种并不相同。

**3.2 紫茎泽兰内生菌之间的拮抗作用** 研究证明,紫茎泽兰虽然在入侵过程中富集了大量的植物病原菌,但是这些病原菌却以内生菌的形式存在于紫茎泽兰体内。例如,王义聪<sup>[53]</sup>发现植物病原细菌 *Candidatus* Phytoplasma 在紫茎泽兰根内的累积量大约是本土植物的 10 倍,但并不引起紫茎泽兰发生病害。Jiang 等<sup>[74]</sup>研究发现,紫茎泽兰内生菌之间的相互关系总体表现为中性偏抑制作用。陈莉敏<sup>[75]</sup>研究发现,紫茎泽兰叶优势内生真菌 *Colletotrichum* 对病原菌 *D.helianthi* 有抑制效应。基于上述研究结论,可以推测内生菌间的拮抗作用可能是病原菌在紫茎泽兰体内以内生菌形式存在的关键因素。

**3.3 紫茎泽兰提取物具有农用开发潜力** 研究证明,植物内生菌在其宿主体内特定的环境和生理条件下能够产生与宿

主相同或相似,以及一些新的代谢产物<sup>[76-77]</sup>。例如从雷公藤内生真菌次生代谢物中分离出1种多肽化合物和1种生物碱类物质,有抑制菌核病菌、稻瘟病以及其他多种植物病原菌的生物活性<sup>[78]</sup>。目前,从紫茎泽兰植株内分离到的化合物已多达数百种,主要包括单萜类、倍萜类、三萜类、苯丙素类、黄酮类、香豆素及各种衍生物<sup>[79]</sup>,很多物质具有抑菌<sup>[80]</sup>、除草<sup>[81]</sup>、杀虫<sup>[82-83]</sup>、杀鼠<sup>[84]</sup>等农用活性。可以推断,紫茎泽兰内生菌也能产生具有与从紫茎泽兰中提取到的化合物相同或相似农用活性的代谢产物,值得相关领域学者进一步研究、发现和探索。

**3.4 紫茎泽兰内生菌具有农用活性** 目前已有研究证明,紫茎泽兰内生菌中包含具有农用活性的功能菌。杜欣等<sup>[85]</sup>发现紫茎泽兰根内生细菌侵染可以通过调节小麦多酚氧化酶(PPO)和过氧化氢酶(CAT)的活性,来提高小麦对NaCl的耐受能力。王静等<sup>[86]</sup>通过紫茎泽兰茎内生真菌次生代谢物对4种植物生长情况的影响研究,发现占比60%的菌株所产生的次生代谢物对75%的供试植物的生长抑制率超过80%,所以推测紫茎泽兰内生菌具有较好的除草潜力。Zhang等<sup>[70]</sup>发现紫茎泽兰内生细菌同时具有分泌植物生长素(IAA)促进植物生长和产生杀线虫活性物质的功能。陈莉敏<sup>[75]</sup>发现紫茎泽兰叶优势内生真菌*Colletotrichum*对紫茎泽兰抵抗昆虫啃食表现出积极效应,天敌斜纹夜蛾啃食紫茎泽兰叶片的面积与叶片带菌率呈负相关。保朱寿能等<sup>[56,87]</sup>从紫茎泽兰根部分离到150株内生细菌,发现100%的菌株可以产生植物激素(IAA)、45.3%的菌株能溶解磷酸盐、74.7%的菌株具有产铁载体的能力,从研究结果看,紫茎泽兰根部是挖掘固氮菌的潜在资源库。

## 4 结论与展望

紫茎泽兰因其生态适应性广、抗逆性强等特点给入侵地带来巨大的生态灾害和经济损失,也因此成为国内外研究的热点。由于长期被忽视和受传统分离技术的制约,目前对紫茎泽兰内生菌的深入研究尚不完善,但从现阶段的研究成果可以看出,紫茎泽兰具有丰富的内生菌资源,且其中不乏具有农用活性的资源菌。同时,常规微生物被重复开发研究,利用价值逐年下降,新微生物已成为迫切需求。而紫茎泽兰分布范围广,给内生菌提供了多样的微生态环境,为其内生菌种群多样性提供了有利的先决条件。此外,紫茎泽兰是一种有毒植物,其特殊的内部环境可能存在一些特殊的乃至人类未知的微生物新物种,具有极大的研究潜力和研究价值。

综上所述,从紫茎泽兰内生菌中筛选具有农用活性资源菌的潜力巨大,但目前对紫茎泽兰内生菌的研究还远远滞后于其他植物内生菌的研究。未来可以从以下几个方面开展研究。

**4.1 加强对紫茎泽兰内生菌的活性研究** 目前针对紫茎泽兰内生菌的研究,主要包括多样性调查、揭示紫茎泽兰入侵机制和对入侵地的影响等方面,对其生物活性研究还很少。虽然已有研究报道紫茎泽兰内生细菌、内生真菌具有农用活性潜力,但是没有内生放线菌的相关研究报道,而且主要围

绕紫茎泽兰根和叶2个部位的内生菌进行研究。未来应加强对紫茎泽兰各组织的内生细菌、真菌和放线菌进行系统地研究调查,从中挖掘出具有农用活性的资源微生物。

**4.2 加强紫茎泽兰内生菌生物活性的机理研究** 目前的研究局限于探索单菌株生物活性,而对内生菌之间的相互作用关系研究较少,缺乏活性机制和活性物质深层次的研究。今后应加强机制研究,只有掌握其活性机理,才能更好地应用于实际生产中。

随着对紫茎泽兰内生菌研究的不断深入,挖掘其具有农用活性的资源微生物,将其应用于农业生产,不仅可以达到“变废为宝的目的”,而且可以为农业可持续发展做出贡献,最终实现经济效益、生态效益、社会效益同步提升。

## 参考文献

- [1] 谢邵文,杨芬,冯含笑,等.中国化肥农药施用总体特征及减施效果分析[J].环境污染与防治,2019,41(4):490-495.
- [2] 崔元培,魏子鲲,王建忠,等.“双减”背景下化肥、农药施用现状与发展路径[J].北方园艺,2021(9):164-173.
- [3] 丛晓男,单菁菁.化肥农药减量与农用地土壤污染治理研究[J].江淮论坛,2019(2):17-23.
- [4] 杨普云,王凯,厉建萌,等.以农药减量控害助力农业绿色发展[J].植物保护,2018,44(5):95-100.
- [5] KHAN A L, GILANI S A, WAQAS M, et al. Endophytes from medicinal plants and their potential for producing indole acetic acid, improving seed germination and mitigating oxidative stress[J]. Journal of Zhejiang University: Science B, 2017, 18(2): 125-137.
- [6] ZHOU Y, LI X, GAO Y, et al. Plant endophytes and arbuscular mycorrhizal fungi alter plant competition[J]. Functional ecology, 2018, 32(5): 1168-1179.
- [7] 常恺莉,张琳,周红英,等.药用植物内生菌资源在农业中的应用与研究进展[J].山东农业科学,2021,53(7):135-141.
- [8] 易婷,缪煜轩,冯永君.内生菌与植物的相互作用:促生与生物薄膜的形成[J].微生物学通报,2008,35(11):1774-1780.
- [9] 石瑛.内生真菌对植物生长发育的影响[J].现代农业科技,2010(6):36-38.
- [10] DE MATOS NOGUEIRA E, VINAGRE F, MASUDA H P, et al. Expression of sugarcane genes induced by inoculation with *Gluconacetobacter diazotrophicus* and *Herbaspirillum rubrisubalbicans*[J]. Genetics and molecular biology, 2001, 24(1/2/3/4): 199-206.
- [11] VARGAS C, DE PÁDUA V, DE MATOS NOGUEIRA E, et al. Signaling pathways mediating the association between sugarcane and endophytic diazotrophic bacteria: A genomic approach[J]. Symbiosis, 2003, 35(1/2/3): 159-180.
- [12] FAN D, SUBRAMANIAN S, SMITH D L. Plant endophytes promote growth and alleviate salt stress in *Arabidopsis thaliana* [J]. Scientific reports, 2020, 10(1): 1-18.
- [13] 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.
- [14] DUBEY A, MALLA M A, KUMAR A, et al. Plants endophytes: Unveiling hidden agenda for bioprospecting toward sustainable agriculture[J]. Critical reviews in biotechnology, 2020, 40(8): 1210-1231.
- [15] 周启武,杨国琴,王朝雯,等.紫茎泽兰入侵与防控现状及生物活性物质研究进展[J].安徽农业科学,2021,49(6):26-29.
- [16] LIAO F, WANG Y F, HUANG Y, et al. Isolation and identification of bacteria capable of degrading euptox A from *Eupatorium adenophorum* Spreng [J]. Toxicon, 2014, 77: 87-92.
- [17] GIRI S, SAHU R, PAUL P, et al. An updated review on *Eupatorium adenophorum* Spreng. [ *Ageratina adenophora* ( Spreng. ) ]: Traditional uses, phytochemistry, pharmacological activities and toxicity [J/OL]. Pharmacological research-modern Chinese medicine, 2022, 2 [ 2022-03-25 ]. https://doi.org/10.1016/j.prmcm.2022.100068.
- [18] 邓建梅,余传波.复合菌剂强化紫茎泽兰堆肥试验[J].北方园艺,2017(2):172-174.
- [19] 隋宗明,殷洁,李轩,等.紫茎泽兰堆肥的质量及对土壤有机质、养分和微生物的影响[J].土壤,2017,49(3):527-533.
- [20] 杨宏.家畜紫茎泽兰中毒的控制[J].云南畜牧兽医,2013(1):44-46.

- [21] 周启武,于龙凤,王绍梅,等.入侵植物紫茎泽兰的危害及综合防控与利用[J].动物医学进展,2014,35(5):108-113.
- [22] 桂丽梅,苏梅,丁艳芬,等.紫茎泽兰的特征特性与综合开发利用研究进展[J].现代农业科技,2012(19):108-110,112.
- [23] 田果廷,徐学忠,杨琼芬,等.利用紫茎泽兰栽培田头菇的研究[J].中国食用菌,2004,23(4):13-15.
- [24] 罗瑛,刘壮,高玲,等.紫茎泽兰的有机肥品质评价[J].中国农学通报,2009,25(7):179-182.
- [25] SAHOO A, SINGH B, SHARMA O P. Evaluation of feeding value of *Eupatorium adenophorum* in combination with mulberry leaves [J]. Livestock science, 2011, 136(2/3): 175-183.
- [26] ZHENG Z Q, XIA H Y, SRINIVASAKANNAN C, et al. Utilization of Crofton weed for preparation of activated carbon by microwave induced CO<sub>2</sub> activation [J]. Chemical engineering and processing: Process intensification, 2014, 82: 1-8.
- [27] PATRABANSH S, MADAN M. An alternative resource for biogas production [J]. Energy sources, 2000, 22(8): 713-721.
- [28] 达平馥,洪焰泉.紫茎泽兰的危害特性及研究利用近况[J].林业调查规划,2003,28(1):95-99.
- [29] 易晓华.植物内生真菌多样性研究进展[J].安徽农业科学,2009,37(28):13468-13469.
- [30] 王莉薇.植物内生菌及其次生代谢活性物质多样性的研究进展[J].化学与生物工程,2012,29(10):1-3.
- [31] TANAKA M, YOSHIMURA M, SUTO M, et al. Production of lepidimide by an endophytic fungus from polysaccharide extracted from *Abelmoschus* sp.: Identification of the product and the organism producing it [J]. Journal of bioscience and bioengineering, 2002, 93(6): 531-536.
- [32] 张林,侯瑞,罗妮星,等.兔眼蓝莓幼果内生真菌多样性及其抑菌活性鉴定[J].西南林业大学学报(自然科学),2021,41(1):62-69.
- [33] 彭双,闫淑珍,陈双林.具杀线虫活性植物内生细菌的筛选和活性产物[J].微生物学报,2011,51(3):368-376.
- [34] 李晓璐,刘妍,淮亚红.水黄皮内生菌的分离及其杀虫菌株的筛选[J].沈阳农业大学学报,2015,46(5):608-612.
- [35] 马东丽,石玉星,张宝俊,等.植物内生细菌 MY1 的分离、鉴定及其防治效果[J].山西农业科学,2020,48(11):1841-1846.
- [36] 梁子宁,赖开平,朱华,等.药用植物鸦胆子内生细菌分离及其抑菌活性研究[J].南方农业学报,2014,45(3):389-394.
- [37] 赵龙飞,徐亚军,邓振山,等.拮抗棉花枯萎病菌的地黄内生细菌筛选、鉴定和促生潜能[J].微生物学报,2021,61(8):2338-2357.
- [38] 郑喜,李国红,王芯,等.昆明山海棠内生真菌 ThF11 化学成分抗菌杀线虫作用的研究[J].中国药理学通报,2014,30(12):1709-1713.
- [39] 朱虹,单淑芳,李增智,等.苦楝内生真菌及其代谢产物的杀虫活性[J].中国生物防治,2010,26(1):47-52.
- [40] 王贵生,陆娟,唐娟,等.1株毫菊内生菌的分离鉴定及其生物活性分析[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2019,47(4):138-145,154.
- [41] 杨秀芳,王鹏飞,马养民,等.黑果枸杞内生真菌 RER4 次生代谢产物活性研究[J].陕西科技大学学报(自然科学版),2015,33(3):125-129.
- [42] 高克祥,刘晓光,郭润芳,等.木霉菌对五种植物病原真菌的重寄生作用[J].山东农业大学学报(自然科学版),2002,33(1):37-42.
- [43] 刘军生,罗阳兰,解修超,等.抗镉植物内生真菌的筛选及其促生能力研究[J].河南农业科学,2019,48(3):61-69.
- [44] 詹寿发,卢丹妮,毛花英,等.2株溶磷、解钾与产 IAA 的内生真菌菌株的筛选、鉴定及促生作用研究[J].中国土壤与肥料,2017(3):142-151.
- [45] 郎宸用.植物内生菌提取物对玉米生长特性及产量的影响[J].江苏农业科学,2018,46(20):62-65.
- [46] 陶玲,旭格拉·哈布丁,韩宁宁,等.红树林植物内生放线菌 I07A-01824 发酵液中杀线虫活性成分的分离、纯化与鉴定[J].中国医药生物技术,2012,7(1):5-8.
- [47] 史赞,马林,韩巨才,等.植物内生放线菌 St24 发酵液杀虫活性的研究[J].现代农业科技,2008(14):106,108.
- [48] 祁鹤兴,胡美娟,王丽,等.苦豆子内生拮抗放线菌的筛选及活性菌株鉴定[J].北方园艺,2014(8):86-91.
- [49] 郜佐鹏,柯希望,韦洁玲,等.七株植物内生放线菌对苹果树腐烂病的防治作用[J].植物保护学报,2009,36(5):410-416.
- [50] 梁亚萍,宗兆锋,马强.6株野生植物内生放线菌防病促生作用的初步研究[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2007,35(7):131-136.
- [51] 蒋欢.入侵植物紫茎泽兰 (*Eupatorium adenophorum* Spreng) 叶内生真菌多样性研究[D].昆明:云南大学,2010.
- [52] 陈诚.攀枝花矿区 4 种常见植物内生菌群落结构及多样性研究[D].雅安:四川农业大学,2015.
- [53] 王义聪.云南募乃露天铅锌矿区优势植物根内生细菌分子多样性研究[D].昆明:云南大学,2014.
- [54] 苗一方.紫茎泽兰内生真菌多样性及其在周围环境分布的动态研究[D].昆明:云南大学,2017.
- [55] 刘欢.紫茎泽兰 DSE 多样性及其重金属耐性初探[D].昆明:云南大学,2017.
- [56] 保朱寿能.紫茎泽兰 (*Ageratina adenophora*) 根内生固氮菌的分离及促生效应研究[D].昆明:云南大学,2017.
- [57] 周振歆.入侵植物紫茎泽兰叶链格孢菌生物学多样性研究[D].昆明:云南大学,2010.
- [58] 陶永红,李正跃,何月秋.昆明地区紫茎泽兰叶斑病的发生规律[J].中国生物防治,2007(S1):37-41.
- [59] 姚广博.紫茎泽兰 (*Ageratina adenophora*) 与其优势叶内生真菌的遗传多样性研究[D].昆明:云南大学,2015.
- [60] 郭静.紫茎泽兰 (*Ageratina adenophora*) 优势叶内生真菌对本地植物种子发芽率和生长的影响[D].昆明:云南大学,2015.
- [61] 杨欢.叶内生菌对紫茎泽兰 (*Ageratina adenophora*) 以及本地植物生长的影响[D].昆明:云南大学,2016.
- [62] 陈奕杉.入侵植物紫茎泽兰 (*Ageratina adenophora*) 叶内生优势炭疽真菌 (*Colletotrichum* spp.) 对经济作物影响的研究[D].昆明:云南大学,2016.
- [63] 美亮.入侵植物紫茎泽兰 (*Ageratina adenophora*) 优势叶内生真菌的致病力研究[D].昆明:云南大学,2013.
- [64] 杨晨.紫茎泽兰 (*Eupatorium adenophorum*) 叶内共生菌对入侵地植物群落的影响[D].昆明:云南大学,2010.
- [65] 康宇.紫茎泽兰及其根内生真菌在重金属矿区修复中的基础研究[D].昆明:云南大学,2010.
- [66] BANERJEE D. Endophytic fungal diversity in tropical and subtropical plants [J]. Research journal of microbiology, 2011, 6(1): 54-62.
- [67] CARROLL F E, MÜLLER E, SUTTON B C. Preliminary studies on the incidence of needle endophytes in some European conifers [J]. Sydowia, 1977, 29: 87-103.
- [68] SCHOLTYSIK A, UNTERSEHER M, OTTO P, et al. Spatio-temporal dynamics of endophyte diversity in the canopy of European ash (*Fraxinus excelsior*) [J]. Mycological progress, 2013, 12(2): 291-304.
- [69] YU Z F, JIANG X W, ZHENG H, et al. Fourteen new species of foliar *Colletotrichum* associated with the invasive plant *Ageratina adenophora* and surrounding crops [J]. Journal of fungi, 2022, 8(2): 1-34.
- [70] ZHANG M, WANG H, HUSSAIN M, et al. Identification and functional assessment of endophytic bacterial diversity in *Ageratina adenophora* (Sprengel) and their interactions with the host plant [J]. South African journal of botany, 2020, 134: 99-108.
- [71] 周扬阳.水生植物和紫茎泽兰内生炭疽菌的物种多样性研究[D].昆明:云南大学,2017.
- [72] 常豆.云南紫茎泽兰内生炭疽菌物种多样性研究[D].昆明:云南大学,2018.
- [73] 周婕,苗一方,方楷,等.紫茎泽兰内生真菌及其根际土壤真菌的多样性研究[J].生态科学,2019,38(5):1-7.
- [74] JIANG H, SHI Y T, ZHOU Z X, et al. Leaf chemistry and co-occurring species interactions affecting the endophytic fungal composition of *Eupatorium adenophorum* [J]. Annals of microbiology, 2011, 61(3): 655-662.
- [75] 陈莉敏.优势内生真菌 *Colletotrichum* 对紫茎泽兰 (*Eupatorium adenophorum* Spreng) 的生长和逃逸天敌作用的初步研究[D].昆明:云南大学,2012.
- [76] 郭龙妹,高林怡,孙文静,等.药用植物内生真菌研究进展[J].安徽农业科学,2019,47(9):11-13,18.
- [77] 靳锦,赵庆,张晓梅,等.植物内生菌活性代谢产物最新研究进展[J].微生物学杂志,2018,38(3):103-113.
- [78] 宋萍,洪伟,吴承祯,等.雷公藤内生真菌的抑菌活性研究[J].中国农学通报,2010,26(5):262-266.
- [79] 焦玉洁,杜如万,王剑,等.腐熟紫茎泽兰对土壤细菌、养分和辣椒产量品质的影响[J].微生物学报,2017,57(2):209-219.
- [80] 姚秉富,李明霞,孙雨晴,等.紫茎泽兰对植物病原菌的抑制作用研究进展[J].安徽农业科学,2019,25(11):87-89.
- [81] 马金虎,杨文秀,孙亮亮,等.紫茎泽兰提取物对 3 种杂草的化感胁迫作用[J].生态学学报,2018,38(10):3514-3523.
- [82] NONG X, FANG C L, WANG J H, et al. Acaricidal activity of extract from *Eupatorium adenophorum* against the *Psoroptes cuniculi* and *Sarcoptes scabiei* in vitro [J]. Veterinary parasitology, 2012, 187(1/2): 345-349.

- antioxidants in *Portulaca oleracea* [J]. *Phytother Res*, 2009, 23(7): 1032-1035.
- [33] 陈凌, 贺伟强, 曹巧巧. 干与鲜马齿苋多糖抗氧化动力学研究 [J]. *粮食与油脂*, 2021, 34(9): 143-146, 162.
- [34] 王杰, 王瑞芳, 王园, 等. 响应面优化马齿苋黄酮水提工艺及其抗氧化活性评价 [J]. *食品与发酵工业*, 2020, 46(19): 197-204.
- [35] FERNÁNDEZ-POYATOS M D P, LLORENT-MARTÍNEZ E J, RUIZ-MEDINA A. Phytochemical composition and antioxidant activity of *Portulaca oleracea*: Influence of the steaming cooking process [J]. *Foods*, 2021, 10(1): 1-14.
- [36] 赵学志, 宋曙辉, 张俊倩, 等. 栽培型和野生型马齿苋茎叶功能成分分析及抗氧化作用 [J]. *安徽农业科学*, 2021, 49(20): 210-212.
- [37] 张虹. 神经阻滞配合中药马齿苋外敷治疗带状疱疹后神经痛的疗效观察 [J]. *内蒙古中医药*, 2017, 36(4): 64-65.
- [38] FARAG O M, ABD-ELSALAM R M, OGALY H A, et al. Metabolomic profiling and neuroprotective effects of purslane seeds extract against acrylamide toxicity in rat's brain [J]. *Neurochem Res*, 2021, 46(4): 819-842.
- [39] HUSSEIN R M, YOUSSEF A M, MAGHARBEH M K, et al. Protective effect of *Portulaca oleracea* extract against lipopolysaccharide-induced neuroinflammation, memory decline, and oxidative stress in mice: Potential role of miR-146a and miR-let 7 [J]. *J Med Food*, 2022, 25(8): 807-817.
- [40] 康洁. 马齿苋多糖对小鼠大脑神经细胞代谢损伤修复机制的研究 [J]. *湖北农业科学*, 2011, 50(2): 353-357.
- [41] TRUONG H K T, HUYNH M A, VUU M D, et al. Evaluating the potential of *Portulaca oleracea* L. for parkinson's disease treatment using a Drosophila model with DUCH-knockdown [J]. *Park Dis*, 2019, 2019: 1-13.
- [42] TEGEGNE B A, MEKURIA A B, BIRRU E M. Evaluation of anti-diabetic and anti-hyperlipidemic activities of hydro-alcoholic crude extract of the shoot tips of *Crinum abyssinicum* Hochst. ex A. Rich (Amaryllidaceae) in mice [J]. *J Exp Pharmacol*, 2022, 14: 27-41.
- [43] LEE J H, PARK J E, HAN J S. *Portulaca oleracea* L. extract reduces hyperglycemia via PI3k/Akt and AMPK pathways in the skeletal muscles of C57BL/KsJ-db/db mice [J/OL]. *J Ethnopharmacol*, 2020, 260 [2022-03-17]. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2020.112973>.
- [44] PARK J E, HAN J S. *Portulaca oleracea* L. extract lowers postprandial hyperglycemia by inhibiting carbohydrate-digesting enzymes [J]. *J Life Sci*, 2018, 28(4): 421-428.
- [45] SICARI V, LOIZZO M R, TUNDIS R, et al. *Portulaca oleracea* L. (Purslane) extracts display antioxidant and hypoglycaemic effects [J]. *J Appl Bot Food Qual*, 2018, 91: 39-46.
- [46] 黄小强, 丁辉, 刘顺和, 等. 马齿苋多糖对四氯化碳诱导的小鼠急性肝损伤的保护作用 [J]. *食品工业科技*, 2020, 41(23): 315-319, 324.
- [47] 黄晓旭, 张荣超, 张亚伟, 等. 马齿苋对高脂膳食大鼠脂代谢的影响和肝脏保护作用的研究 [J]. *时珍国医国药*, 2012, 23(5): 1166-1167.
- [48] 陈维维, 张小莉, 桑晓林. 马齿苋保肝作用的研究进展 [J]. *中医临床研究*, 2017, 9(35): 142-144.
- [49] PARK J E, HAN J S. A *Portulaca oleracea* L. extract promotes insulin secretion via a  $K_{ATP}^+$  channel dependent pathway in INS-1 pancreatic  $\beta$ -cells [J]. *Nutr Res Pract*, 2018, 12(3): 183-190.
- [50] MOHAMED D A, ESSA H A, MOHAMED R S. Purslane and garden cress seeds as source of unconventional edible oils for prevention of hyperlipidemia [J]. *Pak J Biol Sci*, 2019, 22(11): 537-544.
- [51] 金星文. 马齿苋提取物对大肠杆菌的体外抑菌作用探究 [J]. *南方农业*, 2020, 14(15): 148-150.
- [52] 陈国妮, 孙飞龙, 闫亚茹. 马齿苋类黄酮提取工艺及抑菌效果的研究 [J]. *包装与食品机械*, 2016, 34(1): 6-10.
- [53] 代月, 韩振忠, 杨春佳, 等. 马齿苋多糖对溃疡性结肠炎小鼠肠黏膜 sIgA 及病理表现的影响 [J]. *中国微生态学杂志*, 2016, 28(8): 903-905, 915.
- [54] OTHMAN A S. Bactericidal efficacy of Omega-3 fatty acids and esters present in *Moringa oleifera* and *Portulaca oleracea* fixed oils against oral and gastro enteric bacteria [J]. *Int J Pharmacol*, 2017, 13(1): 44-53.
- [55] DI CAGNO R, FILANNINO P, VINCENINI O, et al. Fermented *Portulaca oleracea* L. juice: A novel functional beverage with potential ameliorating effects on the intestinal inflammation and epithelial injury [J]. *Nutrients*, 2019, 11(2): 1-18.
- [56] 王毅兵. 马齿苋水煎液抗单纯疱疹病毒的实验研究 [J]. *临床合理用药杂志*, 2011, 4(8): 52-53.
- [57] 张宏伟, 王小婷. 马齿苋治疗带状疱疹 [J]. *中国民间疗法*, 2017, 25(1): 78.
- [58] LI Y H, LAI C Y, SU M C, et al. Antiviral activity of *Portulaca oleracea* L. against influenza A viruses [J/OL]. *J Ethnopharmacol*, 2019, 241 [2022-03-17]. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2019.112013>.
- [59] DONG C X, HAYASHI K, LEE J B, et al. Characterization of structures and antiviral effects of polysaccharides from *Portulaca oleracea* L. [J]. *Chem Pharm Bull*, 2010, 58(4): 507-510.
- [60] 张远荣, 蒋企洲. 马齿苋多糖清除羟自由基作用的研究 [J]. *首都医药*, 2009, 16(14): 48-49.
- [61] 葛翎. 马齿苋提取物调节胆固醇转运抗动脉粥样硬化机制研究及其生物学活性测定 [D]. 南京: 南京中医药大学, 2021.
- [62] 王辉敏, 李冠文, 杨金梅, 等. 马齿苋多不饱和脂肪酸对高脂血症大鼠的降脂作用 [J/OL]. *中国粮油学报*, 2022-06-10 [2022-06-11]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2864.TS.20220609.1805.027.html>.
- [63] 吕有为, 潘昱辰, 孙铭键, 等. 马齿苋降尿酸及肾脏保护作用的研究 [J]. *食品工业科技*, 2022, 43(2): 354-359.
- [64] 刘中革, 安玉香, 姜楠. 马齿苋提取物对力竭小鼠骨骼肌乳酸代谢干预特征研究 [J]. *广州体育学院学报*, 2010, 30(2): 80-84.
- [65] XU Z X, SHAN Y. Anti-fatigue effects of polysaccharides extracted from *Portulaca oleracea* L. in mice [J]. *Indian J Biochem Biophys*, 2014, 51(4): 321-325.
- [66] 权美平, 郝晓宁. 马齿苋药用价值及其保健制品的研究进展 [J]. *保鲜与加工*, 2012, 12(5): 44-47.
- [67] 尹爱武, 高鹏飞, 党丽敏. 马齿苋黄酮抗衰老作用研究 (英文) [J]. *天然产物研究与开发*, 2017, 29(6): 988-993.
- [68] KAVEH M, EIDI A, NEMATI A, et al. The extract of *Portulaca oleracea* and its constituent, alpha linolenic acid affects serum oxidant levels and inflammatory cells in sensitized rats [J]. *Iran J Allergy Asthma Immunol*, 2017, 16(3): 256-270.
- [69] KHANAM B, BEGW W, TIPO F A, et al. Effect of *Tukhme khurfa* (Purslane seeds) in abnormal uterine bleeding: A prospective study [J]. *Adv Integr Med*, 2021, 8(3): 193-198.
- [70] HAN T, YE D L, WU Y L, et al. The protective effect of polysaccharide extracted from *Portulaca oleracea* L. against Pb-induced learning and memory impairments in rats [J]. *Int J Biol Macromol*, 2018, 119: 617-623.

(上接第 20 页)

- [83] 李利钊, 李萍, 陈华保, 等. 紫萁泽兰叶水提液对蛭螭的毒杀作用 [J]. *西北农业学报*, 2012, 21(12): 177-180.
- [84] 董强, 赵宝玉, 顾强, 等. 紫萁泽兰全草对小鼠毒性试验 [J]. *西北大学学报 (自然科学版)*, 2011, 41(3): 469-472.
- [85] 杜欣, 杨林美, 姜梦柯, 等. 内生细菌对 NaCl 胁迫下小麦幼苗的缓解作用 [J]. *安徽农学通报*, 2022, 28(1): 15-18.
- [86] 王静, 罗国玖, 蒙远涛, 等. 紫萁泽兰内生菌的分离及其代谢物的除草活性 [J]. *江苏农业科学*, 2013, 41(5): 99-101.
- [87] FANG K, BAO Z S N, CHEN L, et al. Growth-promoting characteristics of potential nitrogen-fixing bacteria in the root of an invasive plant *Ageratina adenophora* [J]. *PeerJ*, 2019, 7: 1-21.