

植物提取物活性成分的提取工艺及 抑菌活性研究进展

张晶 邢媛媛 徐元庆 史彬林*

(内蒙古农业大学动物科学学院,呼和浩特 010018)

摘要: 植物提取物因其能够抵抗外源性致病菌而备受关注,大量的植物提取物被开发并应用在药品、天然防腐剂和饲料添加剂中。本文综述了近年来国内外学者关于植物提取物中主要活性成分——挥发油、多糖、黄酮、多酚、生物碱和三萜类化合物的提取工艺及抑菌活性的研究进展,并分析了目前研究中存在的一些问题,展望了植物提取物的发展前景,旨在为天然植物提取物的进一步开发应用提供参考依据。

关键词: 植物提取物;活性成分;提取工艺;抑菌活性

中图分类号: S816.7

文献标识码: A

文章编号: 1006-267X(2019)12-5461-07

近些年来,植物提取物作为一种绿色、无污染、无残留的饲料添加剂,因其具有一定抗氧化、免疫调节和促进生长作用受到了广泛的关注^[1-2]。研究表明,植物提取物不仅能够选择性抑制外源性有害菌的生长,还能通过调控肠道微生物菌群的组成最终达到改善肠道功能和提高宿主免疫力的目的^[3-4]。本文主要综述了植物提取物中主要活性成分的提取工艺及抑菌活性方面的研究进展,为植物提取物的综合开发利用提供理论依据。

1 植物提取物的提取工艺及其活性成分

用物理萃取或提取法、化学试剂浸泡法和生物发酵法处理植物性原料的全株或部分,从而得到有效成分结构未发生改变的液体或固体物质称为植物提取物。近年来,植物提取物因具有含量稳定、安全、高效、无污染、无残留及不产生抗药性等优点,被用作动物饲料添加剂。现已研究的植物提取物的来源主要有药用植物包括中草药、水果和蔬菜。而常用的植物提取工艺有传统的水提法、醇提法,还有能使效率提高的微波辅助法、超

声波辅助法、酸化法、酶解法和超临界二氧化碳(CO₂)萃取法等。这些方法有利有弊。传统方法具有操作简单且成本低的常见优点,对水提法而言,还有安全环保以及最大程度上保护多糖的结构等特性^[5],对醇提法而言则更易于实现工业化生产^[6],但这2种方法均具有提取时间长、需要溶剂量大、提取率低及提取物中含有杂质多等不可忽视的缺点^[7-8]。其他效率更高的提取工艺也各有所长。水蒸汽蒸馏法除包含水提法的优点外,还有蒸馏设备较易获取、得到的成分易与水分离等优点,但在提取活性成分过程中,多糖等热不稳定成分容易被破坏,挥发油则容易与水发生水合反应而导致变味,此外,除水仪器价格昂贵,还会产生高生物需氧量的废水^[9-10]。微波辅助法具有提取时间短、溶剂利用率高和提取效率高等优点,但对细胞结构的破坏作用较大,易造成溶剂残留以及导致多糖结构变化等影响,此外,微波设备较贵,目前仅限于实验室研究^[6-7,11-13]。超声波辅助法在保留微波法优点的同时,还可以不破坏活性成分的结构,而且提取温度低、耗能低,很适合用

收稿日期:2019-05-09

基金项目:国家自然科学基金项目(31660674)

作者简介:张晶(1996—),女,内蒙古包头人,硕士研究生,研究方向为动物环境与营养。E-mail: jingyuer96@163.com

*通信作者:史彬林,教授,博士生导师,E-mail: shibinlin@yeah.net

于极性和热不稳定性组分的萃取,但目前已有的超声仪容量无法实现工业化生产^[8,14-16]。超临界CO₂萃取法同时具有微波法和超声法的优点,可有效防止热敏性物质氧化和逸散,此外,因为无溶剂残留,所以提取后的原料可用以充当饲料或继续提取其他成分,但此法会因高压使物性数据缺失,且投资费用极高,还对安全要求高^[12-13]。虽然酸化法的结果可靠,但是大量的提取液使得浓缩困难,其中的水溶性杂质多,还需进行纯化富集^[12]。酶解是另一种提取温度低的方法,而且提取条件最温和,反应速度极快,杂质容易被除去,

然而此法成本较高,对设备和技术要求也高,具有很大的局限性^[7-8]。

用上述方法得到的植物提取物中的主要生物活性成分有挥发油、多糖、黄酮、多酚、生物碱、三萜类化合物、有机酸、皂甙和植物单宁等,多是较为稳定的次生代谢产物。它们的化学结构常包含酚、醚、萜和酮等基团^[17],这些有机官能团虽然化学性质不同,但可相互作用以维持机体健康。近年来不同学者报道的植物提取物中活性成分的来源及提取工艺见表1。

表1 植物提取物中活性成分的来源及提取工艺

Table 1 Source and extraction technology of active ingredients in plant extracts

活性成分 Active ingredients	来源 Source	提取工艺 Extraction technology	参考文献 References
挥发油 Volatile oil	艾叶、姜黄、沉香花、印楝种子	水蒸汽蒸馏法、超声波辅助法、酶法、超临界CO ₂ 萃取法	[9,18-20]
多糖 Polysaccharide	藜麦、枸杞、地桃花、水芹	水提醇沉法、酶解法、超声波法、微波法	[14,21]
黄酮 Flavone	紫苏叶、橄榄树的枝和叶及山药	醇提法、微波辅助法、超声波辅助法	[11,22-23]
多酚 Polyphenol	山药、葡萄籽、辣木籽	醇提法、微波法、超声波法	[24]
生物碱 Alkaloid	苦参、山楂、长春花、白头翁	水提法、酸化法、酶解法、超临界CO ₂ 萃取法、醇提法、超声辅助法、微波法	[6,12]
三萜类化合物 Triterpenoid	积雪草、牛樟芝、炒王不留行、紫苏叶	水提法、醇提法、环糊精提取法、索氏提取法、超声波法	[5,15-16,25]

2 植物提取物的抑菌活性

研究表明,在动物饲料中添加植物提取物可以提高动物免疫力,其原因之一可能是植物提取物影响了肠道内微生物的活性。韦嫔等^[26]选择煎煮黄连、金银花、艾叶和五倍子,得到的提取物不仅可抑制大肠杆菌活性,而且可以减弱此菌对庆大霉素的耐药性。而周杨杨等^[27]统计了共96种清热解暑类的中药材,已报道有57种具有抗菌作用,其中42种经过不同提取方法(水煎、乙醇提取和有机溶媒提取)得到的液体均可抵抗常见革兰氏阳性和阴性菌,如金黄色葡萄球菌和大肠埃希菌。其中,黄连、黄芩、蒲公英和金银花的水煎剂均具有广谱抗菌性,而连翘水煎剂可抵抗5种以上常见的革兰氏阴性菌的活性,贯众、大黄、大青叶、苦玄参的水煎剂及苦玄参和菊花的乙醇提取

物对3~4种革兰氏阳性菌具有抗菌活性。大量研究表明,植物提取物中的生物活性成分具有抗菌功效,但是其详尽的抗菌作用机理仍不十分明确。就目前研究成果而言,植物提取物可能通过以下方式发挥抗菌作用:1)破坏和降解细菌细胞壁中的果胶和纤维素或抑制细胞壁中肽聚糖的合成^[28];2)改变细菌细胞膜的通透性或直接破坏细胞膜^[29-30];3)在分子方面减弱质子的运动力,弱化细菌活性^[31-32];4)使细胞质发生凝集继而使细菌失活^[33];5)通过作用于细菌细胞内的酶系统、功能性蛋白、遗传物质或者遗传微粒结构,来抑制甚至杀死细菌^[34-35];6)增强肠上皮细胞的抵抗力^[36]。以下将按植物提取物的活性成分分类,阐述国内外近年来植物提取物中主要活性成分对微生物群的抑制作用。

2.1 挥发油

从植物中提取和分离得到的具有芳香味的油状物质即为挥发油,又称植物精油。近年来,越来越多的研究集中于挥发油的抗菌作用上。潘百明等^[19-20]用超声波提取艾叶及姜黄,得到的挥发油能够抑制金黄色葡萄球菌、大肠杆菌和白色葡萄球菌等病原菌。此外连翘挥发油具有更加广泛的抑菌作用,且不同产地的连翘挥发油均可抑菌^[37]。冯栋梁等^[38]研究发现,精油中主要化合物成分是发挥抑菌活性的关键,如百里香精油中的麝香草酚和香芹酚,肉豆蔻精油中的丁香酚,紫苏精油的紫苏醛,藿香、桂皮、风信子精油中的肉桂醛,茜草精油中的丁香酚、大叶茜草素及多种蒽醌类等物质。以上试验结果反映了单一植物提取物中挥发油的抑菌效果,而韩乾杰等^[39]则将植物精油与丁酸钠混合,研究其协同抑菌效果,结果表明相对于只添加挥发油而言,混合物增强了对大肠杆菌的抑制作用,却对乳酸菌没有影响。

权美平^[31]利用水蒸气蒸馏提取法和超临界CO₂流体萃取法处理茜草,体外抑菌试验结果表明2种方法得到的茜草精油均具有广谱抑菌性,相对于革兰氏阴性菌,茜草植物精油对革兰氏阳性菌的破坏和抑菌效果更好,进而推敲了精油的抑菌机制:随茜草精油作用于细菌细胞膜时间的延长,逐渐使细胞膜渗透性增强,进而导致胞内钠、钾、钙离子的泄露,菌液电导率上升,细菌死亡。通过扫描电镜可以观察到,黄连精油在对大肠杆菌发挥抑菌作用时也同样作用于细胞膜,将表面规则光滑的大肠杆菌细胞膜造成不同程度的破裂,使细胞膜通透性改变,导致细胞内蛋白质的泄漏和钾离子的释放,从而使大肠杆菌死亡。细胞膜破裂的原因可能是黄连精油通过影响细胞膜表面气孔的形成导致细胞膜受损,而且随着黄连精油浓度的增大,细胞膜损伤更加明显^[32]。杜鹃花精油的抑菌作用机制包括3个方面:一方面可以破坏细胞结构,不仅具有类似于茜草和黄连精油对有害菌细胞膜的破坏作用,而且还有对有害菌细胞壁结构和功能的破坏作用,使核酸泄露;另一方面能够通过降低生物膜生物量和生物膜细胞活性来阻止新生物膜的形成,从而破坏预先形成的生物膜;此外,细菌表面疏水性试验表明,杜鹃花精油可降低菌株黏附能力^[29]。以上这些抗菌机制具体的作用路径仍不明确,还需要深入探索。

2.2 多糖

多糖类化合物是由醛基和酮基通过苷键连接的高分子聚合物,广泛存在于动物细胞膜和植物、微生物的细胞壁中^[40]。研究表明,从植物中提取的多糖也具有很强的抗菌活性,将地木耳进行超声波处理得到的多糖对大肠杆菌抑菌效果较好^[41]。150~300 mg/mL 禹白附多糖提取物同样对大肠杆菌也有明显的抑菌作用,但对绿脓杆菌的抑菌作用却不明显^[42]。薛淑静等^[43]也发现,莲子红皮多糖能够有效抑制大肠杆菌以及金黄色葡萄球菌的生长,而且莲子红皮多糖在酸性条件下对大肠杆菌的抑制作用比金黄色葡萄球菌更强,表明多糖具有选择性抑制不同菌种的作用。但是杜恒裔等^[44]研究则发现10~100 mg/mL 的浒苔多糖对大肠杆菌、金黄色葡萄球菌和沙门氏菌均无抑菌作用。此外,研究发现乙醇浓度会影响罗勒多糖的抑菌效果,30%醇沉多糖可以抑制常见8种致病菌,50%醇沉多糖抑菌效果较弱,80%醇沉多糖抑菌效果最弱^[45]。不仅如此,党参脱硫多糖的抗菌活性远高于含硫多糖,说明植物多糖的抑菌活性也与其结构密切相关^[46]。而石斛多糖调控微生物菌群的作用机理则与代谢途径有关,石斛多糖在小鼠的胃肠道中被降解为 β -D-吡喃葡萄糖残基,这些小分子物质中未被吸收的部分被肠道微生物利用,导致微生物产生短链脂肪酸的含量增加,从而改善了肠道微生物的生存环境,使结肠中双歧杆菌等有益菌数量增加成为优势菌,有益菌竞争性地抑制大肠杆菌等有害菌的生长,进而改善了肠道微生物的组成结构^[47]。

2.3 黄酮

目前针对植物黄酮类化合物的研究主要集中在黄酮抵抗外源菌的体外试验上,而有关其具体成分和体内抗菌试验的研究却鲜见报道。30和40 μ g/mL 的荷叶黄酮提取物能分别有效抑制金黄色葡萄球菌和假单胞菌的生长,还可促进乳酸杆菌和双歧杆菌的生物活性,而且对酵母菌的最低杀菌浓度为0.626 mg/L^[48]。马齿苋黄酮对多种细菌和真菌均有抑制作用,被誉为“天然抗生素”。马齿苋黄酮提取物可通过细胞凋亡途径诱导金黄色葡萄球菌死亡,即马齿苋黄酮通过金黄色葡萄球菌的细胞膜孔进入细胞质,随后发生了2个平行反应——活性氧的累积和DNA断裂,导致细胞周期阻滞,继而死亡^[49]。陈国妮^[30]的研究表

明,马齿苋黄酮类化合物通过破坏菌体细胞膜,进而对大肠杆菌、金黄色葡萄球菌、啤酒酵母和黑曲霉进行抑制。随着菌体细胞膜破坏程度的逐步加深,首先是其中的小分子电解质渗出,电导率迅速上升,细胞生长受阻,然后分泌的还原糖逐渐外渗,最后大分子蛋白质等被完全释放。此外,黄芩根也具有广谱抗菌性,山银花黄芩提取物低、中和高浓度组对大肠杆菌和金黄色葡萄球菌的生长均有抑制作用,最小抑菌浓度分别为 12.50 和 6.25 mg/mL^[50]。黄芩根的主要有效成分黄芩素是黄酮类化合物,黄芩素的作用机理是黄芩素将细胞表面的 ATP 合酶作为分子靶点,连接到此酶的抑制剂结合位点,进而抑制 ATP 合酶的合成,使大肠杆菌无法通过氧化磷酸化或光合磷酸化作用产生供自身生长代谢所使用的能量,继而使大肠杆菌死亡^[51]。综上,植物提取物中的黄酮具有抗菌活性,但同种植物对同一细菌的抗菌机制可能不止一种途径,不同植物对同一细菌的抗菌机制也不同。

2.4 多酚

多酚按照结构分为类黄酮和非类黄酮化合物两大类,前者包括花色苷、黄酮醇和黄烷酮等,后者包括咖啡酸、阿魏酸和绿原酸等小分子酚酸以及正反式白藜芦醇等^[52]。大部分多酚在大肠中被微生物分解代谢,变成小分子物质且具有更高的生物活性,反过来多酚混合物及单体也会显著影响肠道菌群的组成,其中双歧杆菌属最易被提高丰度,其他有益菌属乳酸菌、*Akkermansia muciniphila* 也会明显被促进生长,而大肠杆菌和梭菌属等致病菌的生长会被抑制,还会改变肠道菌群的代谢表达^[53]。Xue 等^[54]将儿茶素、槲皮素和葛根素 3 种植物多酚单体加入到液体培养基与人粪便菌群共同发酵 1 d,研究其对病原菌、共生菌和益生菌的不同作用,结果显示 3 种植物多酚不仅可以抑制拟杆菌门和厚壁菌门的生长,还可下调 2 种菌的比例,儿茶素具有最强的抑制活性,槲皮素效果仅次于前者。但另一项研究则发现槲皮素及柚皮素的抑菌能力最强,而芦丁的最弱,此外他们还注意到相比于革兰氏阴性菌,多酚对革兰氏阳性菌的作用更加敏感,更容易抑制其生长^[55]。除上述报道外,Firman 等^[56]发现槲皮素具有疏水基团,通过与细菌细胞膜上的靶点结合,打开磷脂双分子层,细胞结构被破坏,其中内容物泄露,大肠

杆菌、肠球菌和溶组织梭菌死亡。

2.5 生物碱

生物碱主要存在于茄科和百合科植物当中。所有天然生物碱都来自植物中,但并非所有植物都能生成生物碱^[57]。黄连抗菌活性的主要成分是生物碱。黄连总碱的抗菌活性很强,但对于不同细菌会表现出不同的抗菌活性,在同浓度下,其对大肠杆菌的抑制活性明显弱于金黄色葡萄球菌。由黄连总碱分离得到小檗碱、黄连碱、巴马亭和表小檗碱 4 个生物碱的抗菌活性强弱不等,其中小檗碱和黄连碱的抑菌活性最强^[58],且小檗碱能增强抗生素的杀菌活性^[59]。进一步研究表明,马钱子生物碱和氨苄西林联合后,对耐氨苄青霉素金黄色葡萄球菌产生抑菌作用的机理之一是对此耐药菌造成形态上的损伤,破坏细胞膜并抑制细胞壁中肽聚糖的合成,从而达到抑菌的目的^[28]。

2.6 三萜类化合物

三萜类又名灵芝酸,广泛存在于自然界,牛樟芝、金合欢、紫苏叶等许多植物提取物均含有三萜类这种有效成分。杨开等^[16]研究表明,牛樟芝总三萜可抑制革兰氏菌,抑菌效果为:大肠杆菌>金黄色葡萄球菌>枯草芽胞杆菌,且浓度增大抑菌活性增强。此外,Amoussa 等^[60]研究了有刺金合欢中总三萜的抑菌活性,发现其对金黄色葡萄球菌、绿脓杆菌和肠球菌均可产生抑制作用。之后,景炳年等^[25]对炒王不留行进行超声波提取得到总三萜类化合物,研究了总三萜类化合物对所选 10 种常见致病菌的抑制作用,结果表明最小抑菌浓度的范围在 1.25~20.00 mg/mL,其中对大肠杆菌、金黄色葡萄球菌、肺炎链球菌和化脓性链球菌的制作用最有效。而紫苏叶总三萜对大肠杆菌和金黄色葡萄球菌的最小抑菌浓度分别为 0.48 和 0.97 mg/mL^[15],说明紫苏叶总三萜的抑菌活性更强,且对革兰氏阳性和阴性菌均有良好的抑制活性。上述研究报道的三萜类化合物可抑制的菌类多为革兰氏阳性菌,而对革兰氏阴性菌的抑制作用较弱,仅对枯草芽胞杆菌、绿脓杆菌、肺炎链球菌和化脓性链球菌等阴性菌有抑制作用,今后应加强抗革兰氏阴性菌植物提取物的研发。

3 小 结

采用水提法、醇提法、微波辅助法、超声波辅助法、酸化法、酶解法和超临界 CO₂ 萃取法等不同

提取方法,可以从药用植物包括中草药、水果和蔬菜等植物中提取到挥发油、多糖、黄酮、多酚、生物碱、三萜类化合物、有机酸、皂甙和植物单宁等主要生物活性成分。多种活性成分都具有抗菌特性,对常见的金黄色葡萄球菌、大肠杆菌和沙门氏菌等动物肠道病原微生物均可产生抑制作用,因此可作为潜在的饲用抗生素替代品在动物饲料中添加应用,前景十分广阔。但目前植物提取物在应用过程中还存在诸多问题,如提取物因植物种类、植株部位、采收时间、提取工艺等因素的不同而使作用效果存在差异,产品质量参差不齐;提取物抗菌、抑菌的作用机制尚不完全明了;此外,提取物的质量检测和控制标准尚未制定。因此,今后还需要在上述几个方面加大研究力度。

参考文献:

- [1] KUMARI R, KUMAR S, KUMAR A, et al. Antibacterial, antioxidant and immuno-modulatory properties in extracts of *Barleria lupulina* Lindl [J]. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 2017, 17(1): 484.
- [2] OH S, GADDE U D, BRAVO D, et al. Growth-promoting and antioxidant effects of magnolia bark extract in chickens uninfected or co-infected with *Clostridium perfringens* and *Eimeria maxima* as an experimental model of necrotic enteritis [J]. *Current Developments in Nutrition*, 2018, 2(4): nzy009.
- [3] DENG X L, LIU Q, FU Y J, et al. Effects of *Lycium barbarum* polysaccharides with different molecular weights on function of RAW264.7 macrophages [J]. *Food and Agricultural Immunology*, 2018, 29(1): 808-820.
- [4] THANGARASU M, TIEN-FEN K, YUEH-CHEN W, et al. Herbal remedies for coccidiosis control: a review of plants, compounds, and anticoccidial actions [J]. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2016, 2016: 2657981.
- [5] 常春, 赵亚南, 曾爱国. 环糊精水提法提取积雪草中的三萜类化合物 [J]. *西北药学杂志*, 2018, 33(4): 432-435.
- [6] 韩高伟, 高子怡, 赵二劳. 苦参中生物碱的提取及纯化工艺研究进展 [J]. *现代食品*, 2018(15): 163-166.
- [7] 杜萌, 李晓花. 秦艽多糖的提取工艺研究进展 [J]. *中外企业家*, 2019(11): 133.
- [8] 赵强, 杨洁, 赵三虎, 等. 鱼腥草总黄酮提取及其药理作用研究进展 [J/OL]. *分子植物育种*: 1-7 [2019-05-16]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/46.1068.S.20190125.0931.002.html>.
- [9] SWAPNA SONALE R, RAMALAKSHMI K, UDAYA SANKAR K. Characterization of Neem (*Azadirachta indica* A. Juss) seed volatile compounds obtained by supercritical carbon dioxide process [J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2018, 55(4): 1444-1454.
- [10] 黄梦竹. 橘皮有效成分提取及关键技术研究 [D]. 硕士学位论文. 哈尔滨: 东北农业大学, 2018.
- [11] ALARA O R, ABDURAHMAN N H, OLALERE O A. Ethanolic extraction of bioactive compounds from *Vernonia amygdalina* leaf using response surface methodology as an optimization tool [J]. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 2018, 12(2): 1107-1122.
- [12] 陈祥云, 彭财英, 卢健, 等. 含小檗碱类中草药总生物碱的提取工艺及其药理研究进展 [J]. *江西中医药*, 2018, 49(9): 68-72.
- [13] 郭琳琳, 范小振, 李煦, 等. 盐地碱蓬有效成分提取方法及工艺研究进展 [J]. *食品工业科技*, 2018, 39(4): 324-328, 336.
- [14] 张倩, 李书启. 不同提取方法对枸杞多糖提取率及抗氧化活性的影响 [J]. *江苏农业科学*, 2019, 47(3): 169-173.
- [15] 魏磊, 李晓, 王学方, 等. 紫苏叶总三萜超声提取工艺优化及对 10 种常见致病菌的抑菌作用研究 [J]. *中国药房*, 2018, 29(16): 2193-2197.
- [16] 杨开, 徐梦婷, 王功崇, 等. 牛樟芝总三萜超声提取及体外活性研究 [J]. *核农学报*, 2018, 32(1): 112-122.
- [17] SHEN Y W, SUN Z L, SHI P Y, et al. Anticancer effect of petroleum ether extract from *Bidens pilosa* L. and its constituent's analysis by GC-MS [J]. *Journal of Ethnopharmacology*, 2018; 217: 126-133.
- [18] TURGUMBAYEVA A A, USTENOVA G O, YESKALIEVA B K, et al. Volatile oil composition of *Carthamus tinctorius* L. flowers grown in Kazakhstan [J]. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, 2018, 25(1): 87-89.
- [19] 潘百明, 何彩梅, 梁昌祥, 等. 艾叶挥发油对禽致病性大肠杆菌的药敏试验 [J]. *中国家禽*, 2017, 39(17): 67-68.
- [20] 潘百明, 何彩梅, 梁昌祥, 等. 姜黄挥发油对禽致病性大肠杆菌的药敏试验 [J]. *中国兽医杂志*, 2018, 54(7): 99-100.
- [21] 李佳妮, 白宝清, 金晓第, 等. 酶解超声波协同提取藜

- 麦多糖及体外活性评价[J].食品研究与开发,2019,40(8):57-64.
- [22] MARTÍNEZ-PATIÑO J C, GULLÓN B, ROMERO I, et al. Optimization of ultrasound-assisted extraction of biomass from olive trees using response surface methodology [J]. *Ultrasonics Sonochemistry*, 2019, 51: 487-495.
- [23] 胡煌.紫苏叶黄酮提取工艺优化及其抗氧化活性研究[J].发酵科技通讯,2019,48(1):23-28.
- [24] 谭颍,夏国灯,韩杨,等.辣木籽多酚提取工艺优化及其抗氧化活性研究[J].食品科技,2019,44(1):280-285.
- [25] 景炳年,魏磊,王学方,等.超声波提取炒王不留行总三萜的工艺优化及其抑菌活性研究[J].食品工业科技,2018,39(24):157-163.
- [26] 韦嫔,谭艾娟,吕世明,等.中药消除致病性大肠杆菌耐药性的研究[J].江苏农业科学,2017,45(11):127-129.
- [27] 周杨杨,程强,刘昆,等.2015版中国药典清热、解毒类中药材的抗菌作用[J].中国抗生素杂志,2018,43(10):1161-1167.
- [28] TEETHAISONG Y, AUTARKOOL N, SIRICHAIWETCHAKOON K, et al. Synergistic activity and mechanism of action of *Stephania suberosa* Forman extract and ampicillin combination against ampicillin-resistant *Staphylococcus aureus* [J]. *Journal of Biomedical Science*, 2014, 21: 90.
- [29] WANG F, WEI F Y, SONG C X, et al. *Dodartia orientalis* L. essential oil exerts antibacterial activity by mechanisms of disrupting cell structure and resisting biofilm [J]. *Industrial Crops and Products*, 2017, 109: 358-366.
- [30] 陈国妮.马齿苋黄酮类化合物的提取及抗菌特性研究[D].硕士学位论文.西安:西安工程大学,2016.
- [31] 权美平.基于不同方法提取茜草精油的化学组成及功能性研究[D].博士学位论文.西安:陕西师范大学,2018.
- [32] HUANG W, WANG J Q, SONG H Y, et al. Chemical analysis and *in vitro* antimicrobial effects and mechanism of action of *Trachyspermum copticum* essential oil against *Escherichia coli* [J]. *Asian Pacific Journal of Tropical Medicine*, 2017, 10(7): 663-669.
- [33] 程菊.蕨麻多糖干预对镉诱导的神经细胞凋亡和自噬的影响[D].博士学位论文.兰州:兰州大学,2018.
- [34] WU D L, KONG Y H, HAN C, et al. *D*-alanine: *D*-alanine ligase as a new target for the flavonoids quercetin and apigenin [J]. *International Journal of Antimicrobial Agents*, 2008, 32(5): 421-426.
- [35] BOBEREK J M, STACH J, GOOD L. Genetic evidence for inhibition of bacterial division protein ftsZ by berberine [J]. *PLoS One*, 2010, 5(10): e13745.
- [36] ROSELLI M, BRITTI M S, LE HUËROU-LURON I, et al. Effect of different plant extracts and natural substances (PENS) against membrane damage induced by enterotoxigenic *Escherichia coli* K88 in pig intestinal cells [J]. *Toxicology in Vitro*, 2007, 21(2): 224-229.
- [37] JIAO J, FU Y J, ZU Y G, et al. Enzyme-assisted microwave hydro-distillation essential oil from *Fructus forsythia*, chemical constituents, and its antimicrobial and antioxidant activities [J]. *Food Chemistry*, 2012, 134(1): 235-243.
- [38] 冯栋梁,刁蓝宇,邹彩霞,等.植物精油的生物学活性及其在动物生产中的应用[J].动物营养学报,2018,30(11):4334-4341.
- [39] 韩乾杰,张玲玲,陈敏,等.植物精油与丁酸钠的体外协同抑菌效果研究[J].动物营养学报,2017,29(2):712-718.
- [40] 柏明娥,王丽玲,王衍彬,等.青钱柳叶片中活性成分含量的年动态变化[J].浙江林业科技,2018,38(5):21-26.
- [41] 刘丹丹,朱志学,马健,等.地木耳多糖的抗氧化活性与抗菌活性研究[J].食品安全质量检测学报,2019,10(4):921-926.
- [42] 胡建业,吉冰洁,卫夏怡,等.禹白附中多糖的提取及抗氧化抗菌活性研究[J].河南城建学院学报,2018,27(6):82-86.
- [43] 薛淑静,杨德,李露,等.莲子红皮多糖抗氧化与抑菌活性研究[J].湖北农业科学,2015,54(24):6342-6345,6350.
- [44] 杜恒裔,刘浩民,邹玲,等.不同种类浒苔多糖的体外抗菌活性研究[J].中国饲料,2019(3):30-32.
- [45] 王萍,贾晓顺,朱庆均,等.分级醇沉对罗勒多糖体外抑菌及免疫活性的影响[J].中国食物与营养,2019,25(1):63-66.
- [46] ZHAO Y Y, WANG E B. Study on fundamental process of *Codonopsis pilosula* desulfurization and *in vitro* antibacterial activity of its polysaccharide extract on *Escherichia coli* [J]. *Pharmaceutical Chemistry Journal*, 2016, 49(11): 782-787.
- [47] LIU H, MA L, WANG Q. Possible metabolic pathway of a novel bioactive polysaccharide extracted from *Dendrobium aphyllum*: an *in vivo* study [J]. *Journal of Food Science*, 2019, 84(5): 1216-1223.

- [48] 徐燕燕,易阳,田春庄. 荷叶总黄酮提取工艺优化及其抑菌活性评价[J]. 现代农业科技, 2015(21): 289-292.
- [49] DU Y K, LIU J, LI X M, et al. Flavonoids extract from *Portulaca oleracea* L. induce *Staphylococcus aureus* death by apoptosis-like pathway [J]. International Journal of Food Properties, 2017, 20 (Suppl. 1): S534-S542.
- [50] 马绍航. 山银花黄芩提取物对肉鸡生长的影响[D]. 硕士学位论文. 哈尔滨: 东北农业大学, 2018.
- [51] CHINNAM N, DADI P K, SABRI S A, et al. Dietary bioflavonoids inhibit *Escherichia coli* ATP synthase in a differential manner [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2010, 46(5): 478-486.
- [52] 卢烽, 廖小军, 胡小松, 等. 多酚对肠道微生物影响的研究进展及对多酚指示菌的探讨[J]. 食品工业科技, 2018, 39(16): 330-335.
- [53] OZDAL T, SELA D A, XIAO J B, et al. The reciprocal interactions between polyphenols and gut microbiota and effects on bioaccessibility [J]. Nutrients, 2016, 8(2): 78.
- [54] XUE B, XIE J L, HUANG J C, et al. Plant polyphenols alter a pathway of energy metabolism by inhibiting fecal Bacteroidetes and Firmicutes *in vitro* [J]. Food & Function, 2016, 7(3): 1501-1507.
- [55] PARKAR S G, STEVENSON D E, SKINNER M A. The potential influence of fruit polyphenols on colonic microflora and human gut health [J]. International Journal of Food Microbiology, 2008, 124(3): 295-298.
- [56] FIRRMAN J, LIU L S, ZHANG L Q, et al. The effect of quercetin on genetic expression of the commensal gut microbes *Bifidobacterium catenulatum*, *Enterococcus caccae* and *Ruminococcus gauvreauii* [J]. Anaerobe, 2016, 42: 130-141.
- [57] 谢宇婷, 陈昭斌. 植物中生物活性成分抗微生物效果研究新进展 [J]. 中国消毒学杂志, 2018, 35(11): 862-864.
- [58] 谢川东, 文燕, 曾昱伟, 等. 黄连抗菌活性成分研究 [J]. 湖北农业科学, 2018, 57(23): 85-88.
- [59] CHU M, ZHANG M B, LIU Y C, et al. Role of berberine in the treatment of methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* infections [J]. Scientific Reports, 2016, 6: 24748.
- [60] AMOUSSA A M O, LAGNIKA L, BOURJOT M, et al. Triterpenoids from *Acacia ataxacantha* DC: antimicrobial and antioxidant activities [J]. BMC Complementary and Alternative Medicine, 2016, 16(1): 284-292.

Research Progress on Extraction Technology and Bacteriostatic Activity of Active Ingredients in Plant Extracts

ZHANG Jing XING Yuanyuan XU Yuanqing SHI Binlin*

(College of Animal Science, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010018, China)

Abstract: Plant extracts have attracted much attention because of their ability to resist exogenous pathogenic bacteria. A large number of plant extracts have been developed and applied in medicine, natural preservatives and feed additives. In this paper, the research on extraction technology and bacteriostatic activity of main active ingredients such as volatile oil, polysaccharides, flavonoids, polyphenols, alkaloids and triterpenoids in plant extracts were reviewed. Then summarized the problems existing in previous research, and prospected the development of plant derived extracts. The purpose of this paper was to provide theoretical basis for the further development and application of natural plant extracts. [*Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2019, 31(12): 5461-5467]

Key words: plant extracts; active ingredients; extraction technology; bacteriostatic activity