

液相色谱-串联质谱法测定植物提取物的研究进展

王 博, 张 婧, 吴剑平, 严 凤*

(上海市兽药饲料检测所, 上海 201103)

摘 要: 2020 年国家实行畜牧业全面减抗、禁抗, 寻找到替抗物质对于畜牧业持续稳定发展至关重要。植物提取物因其具有的抗菌、抗氧化等作用成为研究重点, 准确测定植物提取物含量至关重要。液相色谱-串联四极杆质谱(liquid chromatography tandem quadrupole-mass spectrometry, LC-MS)技术作为近年来前沿的分离分析检测技术被应用到很多行业。本文综述了近几年 LC-MS 对植物提取物含量的测定研究, 以期能为植物提取物作为替抗物质应用到畜牧业中, 其用法用量的确定提供技术理论支撑, 也为植物提取物含量测定标准建立提供参考。

关键词: 液相色谱-串联质谱法; 植物提取物; 替抗物质

Research progress on the determination of plant extracts by liquid chromatography tandem quadrupole mass spectrometry

WANG Bo, ZHANG Jing, WU Jian-Ping, YAN Feng*

(Shanghai Municipal Supervisory Institute Veterinary Drugs and Feedstuff, Shanghai 201103, China)

ABSTRACT: In 2020, the state will implement a comprehensive reduction and ban of animal husbandry antibiotics. Finding substitute for antibiotics is of great importance to the sustainable and stable development of animal husbandry. Plant extract has become the focus of research due to its antibacterial and antioxidant effects. Accurate determination of plant extract content is very important. Liquid chromatography tandem quadrupole-mass spectrometry (LC-MS) has been applied to many industries in recent years as a frontier separation, analysis and detection technology. This paper reviewed the research on the determination of plant extract content by LC-MS in recent years, in order to provide technical and theoretical support for the application of plant extract as a substitute antibacterial substance in animal husbandry and the determination of its usage and dosage, and also to provide reference for the establishment of the determination standard of plant extract content.

KEY WORDS: liquid chromatography tandem quadrupole-mass spectrometry; plant extracts; substitute for antibiotics

1 引 言

植物提取物指采用适当的溶剂和方法, 从植物中提取出或加工的一系列物质, 具有增进健康或其他功效, 部分标准对植物提取物的提取作出了规定^[1,2]。植物提取物范围

广泛, 包括生物碱类、苷类、精油等类, 不同类植物提取物具有不同的功效, 如小檗碱具有抗菌的作用^[3], 麻黄碱具有平喘的作用^[4]等, 自 2020 年 1 月 1 日起, 国家实行养殖业全面减抗、禁抗^[5], 植物提取物因其具有的独特作用作为目前替抗物质研究的重点和热点。现行国内《饲料添

*通讯作者: 严凤, 硕士, 畜牧师, 主要研究方向为兽药残留分析。E-mail: yan508@163.com

*Corresponding author: YAN Feng, Master, Engineer, Shanghai Municipal Supervisory Institute Veterinary Drugs and Feedstuff, Shanghai 201103, China. E-mail: yan508@163.com

加剂品种目录》^[6]和《饲料原料目录》^[7]中规定允许使用约 527 种植物提取物,但对于植物提取物的用量和检测方法并未作出明确规定。欧盟在(EC)1831/2003 号法规中^[8]提到“除抗球虫剂或组织滴虫抑制剂以外,抗生素不得批准为饲料添加剂”,并于 2006 年 1 月 1 日起规定将作为饲料添加剂的抗生素从注册表中删除。此后常用的替代品包括有植物提取物、植物精油等物质,但是对于植物提取物的检测方法并未作出明确规定。作为抗生素的重要替代品,植物提取物在养殖业中发挥作用时,其含量测定的准确性至关重要。液相色谱-串联四极杆质谱(liquid chromatography tandem quadrupole-mass spectrometry, LC-MS)作为近年热门的检测技术,因其检测速度快、结果准确、精密度高等优点广泛应用于多种物质的定量检测。本文综述了 LC-MS 对于植物提取物含量的测定,以期能为植物提取物含量测定提供理论支撑。

2 LC-MS 技术联用技术

联用技术是采用具有强分离性能的仪器和准确度高、灵敏度高的检测器联用进行定量检测,其选择性、灵敏度与单一的检测技术相比更高^[9]。

液相色谱适用于样品中较难挥发的化合物的分析,具有分析速度快、准确度高等优点^[10]。质谱的分析建立在物质离子化的基础上,按照荷质比分离离子,通过测量离子谱峰的强度实现分析目的。通过色谱纯化后的样品气离子化形成的离子在电场和磁场的综合作用下,按照质量数和电荷数的比值大小依次排列成谱被记录。质谱因其定量准确、快速、低检测限等优点被广泛应用^[11-13]。

3 LC-MS 法测定不同类植物提取物

3.1 生物碱

生物碱即植物碱,具有显著的生物活性或毒性,是中草药的有效成分,常见的生物碱有小檗碱、麻黄碱、利血平等,因其具有多种功效被当作替抗的重要产品。包怡红等^[14]指出小檗碱对 4 种供试菌具有一定的抑菌作用,李姿娇等^[15]指出麻黄中的麻黄碱和非麻黄碱部分均具有一定的溶栓作用,高雪松等^[16]指出利血平对动物抑郁症具有一定缓解和治疗作用。

如表 1 所示,不同组织中生物碱测定采用了不同的处理方法,血浆中成分复杂,蛋白质多,因此提取前需要沉淀蛋白质,而植物中的生物碱只需要直接提取进样即可,结果显示 LC-MS 能有效测定不同组织中的生物碱。植物碱大多存在于植物中,且含量较低,但一种植物往往含有几种甚至几十种植物碱,将其一一分离出来,需要色谱具有较强选择性和通用性,而硅胶是最广泛的色谱填料,其可以通过成熟的硅烷化技术键合范围很广的配基,制成反相、离子交换、疏水作用、亲水作用或分子排阻色谱。硅

胶基质填料适用广泛的溶剂,从极性到非极性,适合多种植物碱的分离检测。而且植物碱大多有似碱的性质,因此在质谱分析中通常选用正离子模式进行分析。考虑到植物碱在植物内含量低,因此,含量的准确测定较难,对检测设备的要求更高,故需发展快速的 LC-MS 技术。

3.2 苷类

苷类又称配糖体,主要由糖类组成,常见的苷类包括有强心苷、人参皂苷、芸香苷和黄芪苷等。郭杏花^[23]指出,强心苷类对急性心力衰竭效果显著,蒋晴等^[24]指出,黄芩苷不仅具有清热解毒作用,还能表现出良好的抗炎活性。龙江宜等^[25]指出柚皮苷改善 CCL2 所致大鼠学习记忆障碍。表 2 列举了不同组织中糖苷的提取方法和测定结果,表明 LC-MS 能有效测定不同组织中的苷类。糖苷是植物的重要组成成分之一,广泛存在于植物的各组织器官中。其是一种由糖或糖衍生物的端基碳原子与另一类非糖物质(称为苷元、配基或甙元)连接形成的化合物。糖苷种类较多,结构复杂,多数甙可溶于水、乙醇,有些甙可溶于乙酸乙酯与氯仿,硅胶柱能满足实际检测需求。多数甙呈中性或酸性,少数呈碱性,且为极性化合物,因此 ESI 源需要根据具体物质选择正离子模式或负离子模式。甙类易被稀酸或酶水解生成糖与甙元,这会对实际检测带来困扰,因此要求检测方法快速、准确,LC-MS 才能满足实际检测需求。

3.3 精油

精油是一种具有香气和挥发性的油状液体,由多种化合物组成,因其具有增强适口性、止咳、镇痛、抗菌等多种作用得到广泛应用。董菲等^[34]的实验表明满山精油和金橘精油具有较强抗氧化性。杨建平等^[35]认为八角茴香精油和百里香精油能显著提高鸡产蛋率。牛彪等^[36]认为茶树精油对金黄色葡萄球菌具有一定抑制作用。

Sonmedag 等^[37]对开心果油中挥发性成分进行了测定,结果表明各物质检出浓度为 0.07~2.26 mg/kg,检出限和定量限均能满足检测要求。Napolitano 等^[38]对榛子中油脂类进行了测定,结果表明,约 82 种油脂被检测出,其中部分油脂是第一次被证实存在于其中。周希雷^[39]对油中胆固醇进行检测,结果表明,方法定量限为 50 ng/mL,回收率在 90%左右, RSD 均满足要求。

精油又被称为液体黄金,因其作用广泛、副作用小而被应用广泛。由于其独特的性质,目前国内外对其研究多聚焦于风味和抗氧化性等方面,因此,植物精油或许能够作为饲料添加剂应用到畜牧养殖中来。目前国内外对植物精油的检测方式也多采用气相色谱^[40-42],结果准确、快速,但是气相色谱检测也有一定的局限性,其只适合检测易挥发的物质。目前已经有研究将精油添加到猪日粮中去^[43],而气相色谱无法对饲料中精油进行准确测定,因此将 LC-MS 法引入植物精油检测是必然的。

表 1 不同组织中生物碱的测定
Table 1 Determination of alkaloids in different tissues

参考文献	样品	测定目标	前处理方法	流动相	色谱柱	离子源	精密度 (RSD)/%	回收率/%	检测限 (ng/mL)	定量限 (ng/mL)
[17]	血浆	小檗碱	乙腈沉淀蛋白, 取上清	0.2%醋酸水溶液+乙腈 (V/V)	C ₁₈ 柱(2.1 mm×50 mm, 3.5 μm)	ESI	≤10.0	/	5.0	/
[18]	血浆	四种生物碱	乙腈沉淀蛋白, 取上清	乙腈+水(含 2 mmol/L 乙 酸铵和 0.05%甲酸) (V/V)	C ₁₈ 柱(2.1 mm×50 mm, 1.7 μm)	ESI	≤10.0	103.9~115.5	/	0.2~0.8
[19]	左金丸和 香连丸	六种生物碱	甲醇超声提取	乙腈+(4 mmol/L 乙酸 铵-0.08%甲酸)(V/V)	C ₁₈ 柱(4.6 mm×250 mm, 5 μm)	ESI	≤5.0	99.6~101.6	/	/
[20]	罗芙菜属 植物根	利血平	甲醇萃取	0.1%甲酸水+乙腈(V/V)	C ₁₈ 柱 (4.6 mm×250 mm, 5 μm)	ESI	/	97.0~106.0	13.0	39.3
[21]	植物和 蜂蜜	四种吡咯里 嗪生物碱	植物: 80%甲醇提取; 蜂 蜜: 0.05M 硫酸	0.1%甲酸水+0.1%甲酸 乙腈(V/V)	C ₁₈ 柱 (3.0 mm×100 mm, 2.5 μm)	ESI	/	84.6~124.6	1.2~1.8	/
[22]	车前草	麦角新碱	80%甲醇提取 5 次	0.1%甲酸水+0.1%甲酸 乙腈(V/V)	C ₁₈ 柱(2.1 mm×100 mm, 1.9 μm)	ESI	≤3.5	77.0~90.6	0.2~1.8	0.8~6.0

表 2 不同组织中苷类的测定
Table 2 Determination of glycosides in different tissues

参考文献	样品	测定目标	前处理方法	流动相	色谱柱	离子源	精密度 (RSD)/%	回收率/%	检测限 (ng/mL)	定量限 (ng/mL)
[26]	血浆	槲子苷、山柰苷及京 尼干龙胆双糖苷	干血浆采样法 (DPS)	甲醇+20 mmol/L 甲酸铵 (0.1%甲酸)(V/V)	C ₁₈ 柱(4.6 mm×150 mm, 5 μm)	ESI	15.0	79.9~104.0	/	0.01~0.02
[27]	仙人掌提取物	地黄苷	甲醇和乙腈沉淀蛋 白后取清液进样	乙腈-0.1%甲酸(V/V)	C ₁₈ 柱(2.1 mm×100mm, 1.8 μm)	ESI	15.0	校正后能达 100%	/	/
[28]	槲子	山柰苷、京尼平龙胆 双糖苷、槲子苷	50%乙腈提取	0.1%乙酸水+0.1%乙酸乙 腈(V/V)	C ₁₈ 柱(4.6 mm×100 mm, 5 μm)	ESI	1.8	103.0~103.7	/	/
[29]	毛前胡	紫花前胡苷	甲醇超声提取	乙腈+0.1%甲酸溶液(V/V)	C ₁₈ 柱(4.6 mm×150 mm, 3.9 μm)	ESI	0.7	96.4~98.2	/	/
[30]	蓝芩口服液	槲子苷、黄芩苷	甲醇稀释直接进样	乙腈+0.1%甲酸水	C ₁₈ 柱(2.1 mm×50 mm, 1.7 μm)	ESI	1.2	97.6~100.1	1.5~5.0	5.0~15.0
[31]	血液和肝组织	欧夹竹桃苷	乙醚提取	乙腈+20 mmol/L 乙酸铵 (含 0.1%甲酸)(V/V)	C ₁₈ 柱(2.1 mm×150 mm, 5 μm)	ESI	10.7	均大于 70.5	1.0~2.0	/
[32]	黄芪桂枝 五物汤	黄芪甲苷、芍药苷、 肉桂酸	80%甲醇超声提取	甲醇+0.1%甲酸水(V/V)	C ₁₈ 柱(2.1 mm × 150 mm, 1.9 μm)	ESI	2.7	99.2~99.8	/	/
[33]	双黄连口服液	黄芩苷和连翘苷	直接进样	甲醇+0.2%醋酸铵(V/V)	C ₁₈ 柱 (2.1 mm×150 mm, 5 μm)	ESI	3.5	95.7~103.6	1.4 和 0.2	4.5 和 0.7

表 3 不同组织中鞣质的测定
Table 3 Determination of Tannin in different tissues

参考文献	样品	测定目标	前处理方法	流动相	色谱柱	离子源	精密度(RSD)/%	回收率/%	检测限/(ng/mL)	定量限/(ng/mL)
[48]	血浆	儿茶酚胺	弱阳离子固相萃取	0.01%甲酸甲醇+0.01%甲酸	C ₁₈ (2.1 mm×150 mm, 3 μm)	ESI	9.0	85.0~89.6	0.1	/
[49]	刺五加	山奈酚	甲醇超声提取	25%甲醇+90%甲醇	C ₁₈ (2.1 mm×50 mm, 1.7 μm)	ESI	1.2	90.8~93.6	/	/
[50]	丹参	丹参提取物中 5 种酚酸类	抗坏血酸和乙酸乙酯	0.1%甲酸+甲醇和乙腈	C ₁₈ (4.6 mm×250 mm, 5 μm)	ESI	13.8	92.0~111.4	0.4~0.8	/
[51]	椰子	儿茶素	经凝胶洗脱后, 50%甲醇提取	水+甲醇	C ₁₈ (4.6 mm×250 mm, 5 μm)	APCI	5.1	90.0~98.0	7.8 和 15.6	/
[52]	血浆	儿茶素和表儿茶素	60%乙醇提取	乙腈+0.1%甲酸	C ₁₈ (4.6 mm×100 mm, 1.8 μm)	ESI	12.0	均大于 78.9	2.1 和 2.4	/

表 4 不同组织中有机的测定
Table 4 Determination of organic acid in different tissues

参考文献	样品	测定目标	前处理方法	流动相	色谱柱	离子源	精密度(RSD)/%	回收率/%	检测限/(ng/mL)	定量限/(ng/mL)
[56]	蜜柚	蜜柚中 9 种有机酸	石英砂+双蒸水提取	0.1%甲酸水+0.1%乙腈溶液	T3 色谱柱	ESI	3.4	82.4~96.1	/	/
[57]	4 种果蔬	4 种果蔬中 6 种有机酸	均质后纯净水提取	0.1%甲酸水+0.1%甲酸乙腈	T3 色谱柱	ESI	12.0	77.9~104.0	0.02~0.05	0.1~0.3
[58]	血浆	血浆中甘草酸和甘草次酸	乙腈沉淀蛋白	甲醇+1%的甲酸水,	C ₁₈ (2.1 mm×150 mm, 5 μm)	ESI	10.7	99.6~109.7	/	/
[59]	桑杏汤	桑杏汤中绿原酸	水提取	乙腈+ 0.1%甲酸	C ₁₈ (2.1 mm×150mm, 3 μm)	ESI	2.0	平均回收率为 98.0	/	/
[60]	细胞和线粒体	苹果酸、琥珀酸、甲酸和柠檬酸	经 PBS 洗涤后, 用甲醇: 乙腈 1:1 处理	0.2%甲酸水+乙腈	Phenyl(4.6 mm×150 mm, 3.5 μm)	ESI	10.8	88.0 ~ 105.0	1.5~20.0	/
[61]	金银花	金银花中有机酸	80%乙醇中浸提 6 h	甲醇+0.1%的甲酸水,	C ₁₈ (4.6 mm×250 mm, 5 μm)	API+ESI	4.3	96.6~104.3	0.2~1.2	0.8~3.8
[62]	桃果实	葡萄糖酸、草酸、苹果酸、柠檬酸和富马酸	获得的果汁直接进样	甲醇+0.1%的甲酸水,	C ₁₈ (4.6 mm×150 mm, 3 μm)	ESI	3.4	/	0.1~0.8	0.1~1.0

3.4 鞣 质

鞣质是一种多元酚类混合物,具有止泻、止汗等作用^[44]。潘正波等^[45]认为石榴皮鞣质对癌细胞具有一定的抑制作用。王思彤等^[46]认为儿茶素能抑制菌体聚集和黏附,具有一定的抑菌功能。汪雪睿等^[47]认为茶多酚具有一定抗氧化性。如表 3 所示,针对不同组织中的鞣质均采用 LC-MS 法进行测定,结果表明方法适合检测不同组织中的鞣质。植物中鞣质分布广泛,尤以树皮中为多,大多表现为涩味,具有收敛、止血、抗菌作用。鞣质是一类结构复杂的酚类化合物,结构中羟基和酚羟基多,极性较大,溶于水及乙醇,易溶于甘油,几乎不溶于乙醚、氯仿或苯。鞣质多为强还原剂,其在提纯过程中易被氧化,且在碱性条件下氧化的更快,因此,对鞣质的分离检测应是快速、准确的。有研究表明,凝胶柱能有效分离不同聚合度的鞣质,而通常鞣质的分子量为 500~3000, LC-MS 完全能准确测定,因此, LC-MS 适合于鞣质的检测。

3.5 有机酸类

有机酸类包括有柠檬酸、乳酸、抗坏血酸、绿原酸等,其目前看作是抗生素最有效的替代品。李杨等^[53]指出绿原酸具有一定的抗氧化性。杨秀伟^[54]指出甘草酸具有一定的抗病毒作用。张婷婷等^[55]指出柠檬酸具有一定的抗氧化作用。

如表 4 所示, LC-MS 对不同组织中有有机酸进行了测定,结果表明, LC-MS 适合测定不同组织中的有机酸。植物中有着非常丰富的天然有机酸,这些有机酸中的一部分参与动植物代谢的生命过程,有些是代谢的中间产物,有些具有显著的生物活性,能防病、治病,有些是有机合成、工农业生产和医药工业原料。植物中的有机酸除少数以游离状态存在外,一般都与钾、钠、钙等结合成盐,有些与生物碱类结合成盐。由于游离的有机酸(分子量小的除外)易溶于有机溶剂而难溶于水,有机酸盐则易溶于水而难溶于有机溶剂,所以一般可先酸化使有机酸游离,然后选用合适的有机溶剂提取。有机酸的种类较多,含量较低,因此 LC-MS 能满足良好分离、准确检测的要求,适合检测有机酸。

4 展 望

随着社会的进步和人们对生活水平要求越来越高,健康已不仅局限在人类自身上,环境、生态、动物等各方面都朝着绿色、健康方向发展,而 2020 年我国畜牧业逐渐实行减抗、禁抗则正是响应这一号召。在保持绿色发展的前提下同时也要保障养殖业持续蓬勃发展,因此寻找的新的抗生素替代品是非常重要的。和传统的抗生素相比,植物提取物自身的药效会低一些,但是其药性温和,对动物

的伤害小,且植物提取物中还存在有一些其他的活性成分和营养物质,这更使得动物能健康、快速生长。但植物提取物如何真正实现替抗的作用还得到用法用量上,因此,其含量测定的准确性非常重要。近年来, LC-MS 技术快速发展,更准确、分辨率更高、适用范围更广的色谱和质谱不断更新换代,在未来很长一段时间内, LC-MS 也将作为主流仪器进行一系列的检测工作,发现未知添加物、未知残留物和已知物的准确定性定量将是其工作重点。将分离性能强、准确度高的 LC-MS 引入到植物提取物含量测定是有必要的,本文也为植物提取物含量测定建立标准提供参考。

参考文献

- [1] T/CCCMHPIE 1. 19-2016 植物提取物 葡萄籽提取物(葡萄籽低聚原花青素)[S].
T/CCCMHPIE 1. 19-2016 Plant extract Grape seed extract (grape seed oligoprocyanidins) [S].
- [2] T/CCCMHPIE 1. 30-2018 植物提取物槲皮素[S].
T/CCCMHPIE 1. 30-2018 Plant extract quercetin [S].
- [3] 钟慈平, 骞宇, 舒畅, 等. 小檗碱及其衍生物抑菌作用研究进展[J]. 食品科学, 2013, 34(7): 321-325.
Zhong CP, Qian Y, Shu C, et al. Research progress in the Bacteriostasis of berberine and its derivatives [J]. Food Sci, 2013, 34(7): 321-325.
- [4] 农业农村部公告第 194 号[Z].
Announcement No. 194 of the Ministry of agriculture and rural areas [Z].
- [5] 刘赟, 石倩, 杨洋, 等. 麻黄碱与伪麻黄碱平喘效果及机制比较研究[J]. 中草药, 2009, 40(5): 771-774.
Liu Z, Shi Q, Yang Y, et al. Comparative study on antiasthmatic effect and mechanism of ephedrine and pseudoephedrine [J]. Chin Tradit Herbal Drugs, 2009, 40(5): 771-774.
- [6] 农业农村部第 658 号公告《饲料添加剂品种目录》[EB].
Announcement No. 658 of the Ministry of agriculture and rural areas List of feed additives [EB].
- [7] 农业农村部第 1773 号公告《饲料原料目录》[EB].
Announcement No. 1773 of the Ministry of agriculture and rural areas List of feed ingredients [EB].
- [8] European Commission. No 1831/2003 On additives for use in animal nutrition [EB].
- [9] Maher WA, Krikowa F, Ellwood MJ, et al. Overview of hyphenated techniques using an ICP-MS detector with an emphasis on extraction techniques for measurements of metalloids by HPLC-ICP-MS [J]. Microchem J, 2012, 105: 15-31.
- [10] Wang L, Wei W, Xia Z, et al. Recent advances in materials for stationary phases of mixed-mode high-performance liquid chromatography [J]. Trends Anal Chem, 2016: 495-506.
- [11] 乔艺飘, 张龙飞, 顾润润, 等. 高效液相色谱-电感耦合等离子体质谱法测定水产品中砷形态的研究进展[J]. 环境化学, 2020, (4): 1-14.
Qiao YQ, Zhang LF, Gu RR, et al. Progress in the determination of arsenic in aquatic products by high performance liquid chromatography inductively coupled plasma mass spectrometry [J]. Environ Chem, 2020, (4): 1-14.

- [12] 张子庚, 张爱芝, 邢家溧, 等. 高效液相色谱-串联质谱法测定芒果中六种链格孢霉素残留 [EB/OL]. 食品工业科技, <https://kns.cnki.net/KCMS/detail/11.1759.TS.20200408.1617.041.html>
Zhang ZG, Zhang AZ, Xing JL, *et al.* Determination of six *Alternaria* toxin residues in Mango by high performance liquid chromatography tandem mass spectrometry [EB/OL]. Sci Technol Food Ind, <https://kns.cnki.net/KCMS/detail/11.1759.TS.20200408.1617.041.html>
- [13] 李金宝. 高效液相色谱和液相色谱串联质谱技术在检测苹果制品中展青霉素的研究进展 [J]. 食品安全质量检测学报, 2020, 11(5): 1347–1353.
Li JB. Research progress in the detection of patulin in apple products by high performance liquid chromatography and liquid chromatography tandem mass spectrometry [J]. J Food Saf Qual, 2020, 11(5): 1347–1353.
- [14] 包怡红, 张俊顺, 符群, 等. 细叶小檗果小檗碱抑菌性能及机理 [J]. 食品科学, 2019, (3): 1–13.
Boa YH, Zhang JS, Fu Q, *et al.* Bacteriostatic properties and mechanism of *Berberine* [J]. Food Sci, 2019, (3): 1–13.
- [15] 李姿娇, 杨屹, 丁明玉, 等. 麻黄成分的分离及其非麻黄碱部分溶栓作用的研究 [J]. 中国药理学杂志, 2004, (6): 23–25.
Li ZJ, Yang Y, Ding MY, *et al.* Study on the separation of *Ephedra* components and partial thrombolysis of non ephedrine [J]. Chin Pharm J, 2004, (6): 23–25.
- [16] 高雪松, 王永志, 李丽, 等. 利血平致抑郁样啮齿类动物模型的研究进展 [J]. 实验动物科学, 2017, 34(2): 57–61.
Gao XS, Wang YZ, Li L, *et al.* Research progress of reserpine induced depressive rodent model [J]. Lab Animal Sci, 2017, 34(2): 57–61.
- [17] 李艺, 蒋建东. LC-MS/MS 方法快速检测血浆中小檗碱的浓度 [J]. 化学通报, 2010, 73(8): 757–760.
Li Y, Jiang JD. Rapid determination of *Berberine* in plasma by LC-MS/MS [J]. Chem Bull, 2010, 73(8): 757–760.
- [18] 陈健龙, 张玉玲, 董宇, 等. LC-MS/MS 同时测定大鼠血浆中 4 种黄连生物碱的含量 [J]. 中国实验方剂学杂志, 2013, 19(13): 174–178.
Chen JL, Zhang YL, Dong Y, *et al.* Simultaneous determination of four Coptis alkaloids in rat plasma by LC-MS/MS [J]. Chin J Exp Tradit Med Formulae, 2013, 19(13): 174–178.
- [19] 张新峰, 裴福荣, 蒋健, 等. LC-MS/MS 同时测定左金丸和香连丸中 6 种生物碱的含量 [J]. 中成药, 2010, 32(4): 597–600.
Zhang XF, Qiu FR, Jiang J, *et al.* Simultaneous determination of six alkaloids in Zuojin Wan and Xianglian Wan by LC-MS/MS [J]. Chin Tradit Patent Med, 2010, 32(4): 597–600.
- [20] Bindu S, Rameshkumar KB, Brijesh K, *et al.* Distribution of reserpine in *Rauvolfia* species from India-HPTLC and LC-MS studies [J]. Ind Crops Prod, 2014, 62: 430–436.
- [21] Mudge E, Jones AM, Brown PN, *et al.* Quantification of pyrrolizidine alkaloids in North American plants and honey by LC-MS: single laboratory validation [J]. Food Addit Contam: Part A, 2015, 32(12): 2068–2074.
- [22] Simone V, Aaron C, Elkins, *et al.* A simple LC-MS method for the quantitation of alkaloids in endophyte-infected perennial ryegrass [J]. Toxins, 2019, 11(11): 649.
- [23] 郭杏花. 冻干重组人脑利钠肽联合强心苷类正性肌力药治疗急性心力衰竭患者的临床效果 [J]. 河南医学研究, 2019, 28(24): 4501–4502.
Guo XH. Clinical effect of lyophilized recombinant human brain natriuretic peptide combined with cardiotonic positive inotropic drugs on patients with acute heart failure [J]. Henan Med Res, 2019, 28(24): 4501–4502.
- [24] 蒋晴, 罗煜, 朱正文, 等. 基于中效方程的黄芩苷与小檗碱抗炎协同作用研究 [J]. 中国药理学通报, 2020, (3): 443–444.
Jiang Q, Luo Y, Zhu ZW, *et al.* Study on the synergistic effect of baicalin and berberine on anti-inflammatory [J]. Chin Pharm Bull, 2020, (3): 443–444.
- [25] 龙江宜, 陈健民, 廖苑君, 等. 柚皮苷改善 CCL2 所致大鼠学习记忆障碍及其机制 [J]. 中国药理学通报, 2020, (3): 372–379.
Long JY, Chen JM, Liao YJ, *et al.* Naringin improves learning and memory impairment induced by CCL2 in rats and its mechanism [J]. Chin Pharm Bull, 2020, (3): 372–379.
- [26] 蔡悠悠, 谷元, 王新刚, 等. LC-MS/MS 同时测定犬干血浆样品中栀子苷、山栀子及京尼平龙胆双糖苷的浓度 [J]. 中国临床药理学与治疗学, 2014, 19(10): 1126–1131.
Cai YY, Gu Y, Wang XG, *et al.* Simultaneous determination of geniposide, geniposide and gentiopinoside in dried dog plasma by LC-MS/MS [J]. Chin J Clin Pharm Therap, 2014, 19(10): 1126–1131.
- [27] Lv TT, Ju C, Liu B, *et al.* Determination of orcinolglucoside by LC-MS in *Curculigoorchoides* and its application to a pharmacokinetic study [J]. Revista Brasileira de Farmacognosia, 2019, 29(6): 744–748.
- [28] 常瑞蕊, 陈卫东, 周婷婷. 用 LC-MS/MS 法同时测定栀子中 3 种环烯醚萜苷类成分的含量 [J]. 药学实践杂志, 2019, 37(1): 19–22.
Chang RR, Chen WD, Zhou TT. Simultaneous determination of three iridoid glycosides in *Gardenia jasminoides* Ellis by LC-MS/MS [J]. J Pharm Pract, 2019, 37(1): 19–22.
- [29] 刘航, 刘雨竺, 余敏灵. LC-MS/MS 法测定毛前胡中的紫花前胡苷 [J]. 华西药理学杂志, 2020, (1): 1–3.
Liu H, Liu YZ, Yu ML. Determination of echinoside in *Peucedanum* by LC-MS/MS [J]. West China J Pharm Sci, 2020, (1): 1–3.
- [30] 张丹丹, 董晶晶, 于海波, 等. LC-MS/MS 同时测定蓝芩口服液液中 6 种化学成分的含量 [J]. 中国现代应用药学, 2019, 36(23): 2899–2902.
Zhang DD, Dong JJ, Yu HB, *et al.* Simultaneous determination of six chemical components in Lanqin oral liquid by LC-MS/MS [J]. Chin J Mod Appl Pharm, 2019, 36(23): 2899–2902.
- [31] 翟金晓, 严慧, 沈敏, 等. LC-MS/MS 测定血液、肝组织中的欧夹竹桃苷 [J]. 法医学杂志, 2018, 34(6): 585–589.
Zhai JX, Yan H, Shen M, *et al.* Determination of oleagin in blood and liver by LC-MS/MS [J]. J Forensic Med, 2018, 34(6): 585–589.
- [32] 熊德庆. LC-MS 测定黄芩桂枝五物汤中 3 种活性成分的含量 [J]. 贵州医药, 2018, 42(11): 1396–1397.
Xiong DQ. Determination of three active components in HuangqiGuizhiWuwu Decoction by LC-MS [J]. Guizhou Med J, 2018, 42(11): 1396–1397.
- [33] Yang L, Yan Q, Yu J, *et al.* Simultaneous determination baicalin and forsyth in Shuanghuanglian oral liquid by HPLC/DAD and LC-ESI-MS [J]. J Chin Chem Soc, 2013, 60(8): 1050–1054.
- [34] 董菲, 田玉红, 周旭凯, 等. 满山香精油和金橘精油的成分分析及其抗氧化性能研究 [J]. 应用化工, 2020, (5): 1–8.
Dong F, Tian YH, Zhou XK, *et al.* Composition analysis and antioxidant activity of essential oil from kumquat essential oil and kumquat oil [J]. Appl Chem Ind, 2020, (5): 1–8.

- [35] 杨建平, 王笑笑, 李新锋, 等. 饲料中添加复合植物精油对 58 周龄海兰褐壳蛋鸡生产性能、蛋品质和肠道菌群结构的影响[J]. 动物营养学报, 2020, (3): 1–11.
- Yang JP, Wang XX, Li XF, *et al.* Effects of compound plant essential oil added to diet on performance, egg quality and intestinal microflora structure of 58 week old Hailan brown shell layer [J]. Chin J Anim Nutr, 2020, (3): 1–11.
- [36] 牛彪, 王玲, 梁剑平, 等. 茶树精油的化学成分检测及其抑菌效果[J]. 甘肃农业大学学报, 2019, 54(5): 17–24.
- Niu B, Wang L, Liang JP, *et al.* Chemical components of tea essential oil and its bacteriostatic effect [J]. J Gansu Agric Univ, 2019, 54(5): 17–24.
- [37] Sonmezdag AS, Kelebek H, Selli S, *et al.* Pistachio oil (*Pistacia vera* L. cv. Uzun): characterization of key odorants in a representative aromatic extract by GC–MS–olfactometry and phenolic profile by LC–ESI–MS/MS [J]. Food Chem, 2018, 240: 24–31.
- [38] Napolitano A, Cerulli A, Pizza C, *et al.* Multi-class polar lipid profiling in fresh and roasted hazelnut (*Corylus avellana* cultivar “Tonda di Giffoni”) by LC–ESI/LTQ Orbitrap/MS/MSn [J]. Food Chem, 2018: 125–135.
- [39] 周希雷. LC/MS/MS 定性定量检测地沟油中的胆固醇[J]. 中国医药指南, 2012, 10(23): 115–117.
- Zhou XL. Determination of cholesterol in gutter oil by LC/MS/MS [J]. Guid China Med, 2012, 10(23): 115–117.
- [40] 于荟, 马文平, 刘延平, 等. 顶空–气相色谱–质谱法分析牡丹鲜花精油中的挥发性成分[J]. 食品科学, 2015, 36(18): 167–171.
- Yu H, Ma WP, Liu YP, *et al.* Analysis of volatile components in the essential oil of peony flowers by headspace gas chromatography–mass spectrometry [J]. Food Sci, 2015, 36(18): 167–171.
- [41] 王进, 曹先爽, 宋丽, 等. 吹扫捕集–热脱附–气相色谱–质谱联用法分析不同产地香樟叶精油成分及抑菌活性比较[J]. 食品科学, 2017, 38(12): 131–136.
- Wang J, Cao XS, Song L, *et al.* Analysis of essential oil components and antimicrobial activity of camphor leaves from different areas by purge and trap thermal desorption gas chromatography–mass spectrometry [J]. Food Sci, 2017, 38(12): 131–136.
- [42] Madhumita M, Guha P, Nag A, *et al.* Extraction of betel leaves (*Piper betle* L.) essential oil and its bio-actives identification: Process optimization, GC–MS analysis and anti-microbial activity [J]. Ind Crops Prod, 2019, 138: 111, 578.
- [43] 孙代鹏, 郭文洁, 郑从森, 等. 日粮添加植物精油对断奶仔猪生长性能和免疫功能的影响[J]. 中国饲料, 2018, (10): 47–51.
- Sun DP, Guo WJ, Zheng CS, *et al.* Effects of essential oil on growth performance and immune function of Weaned piglets [J]. China Feed, 2018, (10): 47–51.
- [44] 杜国成. 中药鞣质成分的药理作用探析[J]. 中国医药科学, 2011, 1(16): 27, 33.
- Du GC. Study on the pharmacological action of tannins in traditional Chinese medicine [J]. China Med Pharm, 2011, 1(16): 27, 33.
- [45] 潘正波, 张海涛, 蔡海荣, 等. 石榴皮鞣质对前列腺癌细胞侵袭转移影响的研究[J]. 实用药物与临床, 2020, (2): 117–121.
- Pan ZB, Zhang HT, Cai HR, *et al.* Effect of pomegranate tannin on invasion and metastasis of prostate cancer cells [J]. Pract Pharm Clin Remed, 2020, (2): 117–121.
- [46] 王思彤, 张彤, 金曼, 等. 罗伊氏菌素与儿茶素协同对变异链球菌的抑制作用[J]. 食品科学, 2020, (3): 1–10.
- Wang ST, Zhang T, Jin M, *et al.* Synergistic inhibitory effect of oxytocin and catechin on *Streptococcus mutans* [J]. Food Sci, 2020, (3): 1–10.
- [47] 汪雪睿, 黄保嘉, 李想, 等. 茶多酚对急性镉(II)暴露小鼠红细胞及肝脏损伤的拮抗作用[J]. 中国食品学报, 2020, (4): 1–8.
- Wang XR, Huang BJ, Li X, *et al.* Antagonistic effect of tea polyphenols on red blood cells and liver damage in mice exposed to cadmium (II) [J]. J Chin Inst Food Sci Technol, 2020, (4): 1–8.
- [48] 李泰锋, 刘雪梅, 胡蕾, 等. HPLC–MS/MS 法测定人血浆中儿茶酚胺浓度的方法学建立[J]. 中国新药杂志, 2019, 28(17): 2120–2125.
- Li TF, Liu XM, Hu L, *et al.* Establishment of HPLC–MS / MS method for the determination of catecholamine in human plasma [J]. Chin J New Drugs, 2019, 28(17): 2120–2125.
- [49] 刘杰, 孙成忠, 姚程程, 等. LC–MS/MS 同时测定刺五加根中刺五加苷 B、刺五加苷 E 及黄酮类次生代谢物含量的研究[J]. 吉林林业科技, 2017, 46(4): 7–13.
- Liu J, Sun CZ, Yao CC, *et al.* Simultaneous determination of acanthoside B, e and flavonoids secondary metabolites in *Acanthopanax senticosus* roots by LC–MS/MS [J]. J Jilin Forestry Sci Technol, 2017, 46(4): 7–13.
- [50] 林晓斐, 林力, 张颖, 等. 丹参提取物中 5 种酚酸类成分在大鼠血浆中的 LC–MS/MS 分析[J]. 中国实验方剂学杂志, 2015, 21(8): 93–96.
- Lin XF, Lin L, Zhang Y, *et al.* LC–MS / MS analysis of five phenolic acids in *Salvia miltiorrhiza* extract in rat plasma [J]. Chin J Exp Tradit Med Formula, 2015, 21(8): 93–96.
- [51] Chang C, Wu R. Quantification of (+)-catechin and (–)-epicatechin in coconut water by LC–MS [J]. Food Chem, 2011, 126(2): 710–717.
- [52] Zhang Q, Wang W, Li J, *et al.* Simultaneous determination of catechin, epicatechin and epicatechingallate in rat plasma by LC–ESI–MS/MS for pharmacokinetic studies after oral administration of *Cynomorium songaricum* extract [J]. J Chromatogr B, 2012, 880(1): 168–171.
- [53] 李杨, 闫世长, 齐宝坤, 等. 绿原酸改性黑芸豆蛋白的抗氧化活性与乳化性能[J]. 农业机械学报, 2020, (5): 1–11.
- Li Y, Yan SC, Qi BK, *et al.* Antioxidant activity and emulsifying property of black kidney bean protein modified by chlorogenic acid [J]. Transact Chin Soc Agric Mach, 2020, (5): 1–11.
- [54] 杨秀伟. 甘草酸的抗病毒作用[J]. 中国现代中药, 2020, (4): 1–16.
- Yang XW. Antiviral effect of glycyrrhizic acid [J]. Mod Chin Med, 2020, (4): 1–16.
- [55] 张婷婷, 蒲云峰, 王雷, 等. 曲酸、抗坏血酸及柠檬酸对鲜切苹果褐变的影响[J]. 中国食品学报, 2020, (3): 1–8.
- Zhang TT, Pu YF, Wang L, *et al.* Effect of kojic acid, ascorbic acid and citric acid on browning of fresh cut apple [J]. J Chin Inst Food Sci Technol, 2020, (3): 1–8.
- [56] 郑立峰, 徐世荣, 任奕博, 等. LC–MSn 技术测定琯溪蜜柚果实有机酸方法的建立[J]. 东南园艺, 2018, 6(2): 1–7.
- Zheng LF, Xu SR, Ren YB, *et al.* Determination of organic acids in Guanxi honey pomelo fruit by LC–MSn [J]. Southeast Hortic, 2018, 6(2): 1–7.
- [57] 刘晓雪, 张华, 张志丰, 等. LC–MS 法测定四种果蔬中的有机酸[J]. 食品工业, 2016, 37(5): 283–287.
- Liu XX, Zhang H, Zhang ZF, *et al.* Determination of organic acids in four fruits and vegetables by LC–MS [J]. Food Ind, 2016, 37(5): 283–287.
- [58] 安晓霞, 姜力群, 张贺阳, 等. LC–MS/MS 法同时测定大鼠血浆中甘草

酸和甘草次酸[J]. 药学与临床研究, 2013, 21(2): 146–149.

An XX, Jiang LQ, Zhang HY, *et al.* Simultaneous determination of glycyrrhizic acid and glycyrrhetic acid in rat plasma by LC–MS/MS [J]. Pharm Clin Res, 2013, 21(2): 146–149.

[59] 张丽君, 杨敏, 刘君怡, 等. LC–MS/MS 同时测定桑杏汤水提液中 5 种成分的含量[J]. 时珍国医国药, 2016, 27(3): 561–563.

Zhang LJ, Yang M, Liu JY, *et al.* Simultaneous determination of five components in water extract of sangxing Decoction by LC–MS/MS [J]. Lishizhen Med Materia Med Res, 2016, 27(3): 561–563.

[60]]Fiori J, Amadesi E, Fanelli F, *et al.* Cellular and mitochondrial determination of low molecular mass organic acids by LC–MS/MS [J]. J Pharm Biomed Anal, 2018: 33–38.

[61] Wang X, Wei F, Wei Z, *et al.* Homogenate–assisted negative–pressure cavitation extraction for determination of organic acids and flavonoids in honeysuckle (*Lonicera japonica* Thunb.) by LC–MS/MS [J]. Separ Purific Technol, 2014, 135: 80–87.

[62] Sandinespana P, Matecomiranda MM, Lopezgoti C, *et al.* Development of a rapid and direct method for the determination of organic acids in peach

fruit using LC–ESI–MS [J]. Food Chem, 2016, 192: 268–273.

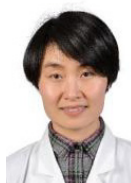
(责任编辑: 王 欣)

作者简介



王 博, 助理畜牧师, 主要研究方向为兽药残留分析。

E-mail: wangbo1839@sina.com



严 凤, 硕士, 畜牧师, 主要研究方向为兽药残留分析。

E-mail: yan508@163.com

“食源性致病微生物”专题征稿函

食源性疾病是指通过摄食而进入人体的有毒有害物质(包括生物性病原体)等致病因子所造成的疾病。近年来,由食源性致病微生物污染食物导致中毒或死亡事件在全球频发,食源性致病微生物引起的疾病已成为危害人类健康的头号杀手。食源性疾病的发病率居各类疾病发病率的前列,是当前世界上最突出的公共健康问题。

鉴于此,本刊特策划“食源性致病微生物”专题,由上海理工大学董庆利教授担任专题主编,主要围绕食源性致病微生物新型快速检测技术、食源性致病微生物的分离与检测、食源性致病微生物的毒力与耐药性、食源性致病微生物风险评估、食源性致病微生物的监测与风险控制等展开论述和研究。本专题计划在 2020 年 12 月正刊出版(学报为中国科技核心, 2019 年知网影响因子 1.201)。

鉴于您在该领域丰富的研究经历和突出的学术造诣,主编吴永宁技术总师及专题主编董庆利教授特别邀请您为本专题撰写稿件,综述、研究论文、研究简报均可,以期进一步提升该专题的学术质量和影响力。请在 2020 年 10 月 10 日前通过网站或 Email 投稿。我们将快速处理并经审稿合格后优先发表。

同时烦请您帮忙在同事之间转发一下,再次感谢您的关怀与支持!

投稿方式:

网站: www.chinafoodj.com(注明“食源性致病微生物”专题)

E-mail: jfoodsq@126.com(注明“食源性致病微生物”专题)

《食品安全质量检测学报》编辑部