

阿胶及其制品质量检测方法研究进展

Research progress of quality detection methods for donkey-hide gelatin and its products

林晓伊 李 亘 王冯宇 陈 毓

LIN Xiao-yi LI Gen WANG Feng-yu CHEN Yu

(杭州医学院检验医学院, 浙江 杭州 310053)

(School of Laboratory Medicine, Hangzhou Medical College, Hangzhou, Zhejiang 310053, China)

摘要:文章综述了目前有关阿胶及其制品真伪鉴别、优劣鉴定的方法和技术的最新研究进展,包括:红外光谱法、蛋白电泳法、高效液相色谱法、超高效液相色谱—质谱联用法、聚合酶链式反应、DNA 条形码技术、低场核磁共振技术,探讨了目前阿胶及其制品检测技术研究中存在的问题与局限,并对各技术发展前景进行了总结与展望。

关键词:阿胶;制品;真伪鉴别;现代分析方法

Abstract: This paper summarizes the current related gelatin and its products identification, quality evaluation of the research progress of methods and techniques, including the spectrometry, electrophoresis, high performance liquid chromatography, polymerase chain reaction and DNA barcode technology, and discusses the problems and limitations in the current donkey-hide gelatin products detection technology. The development prospect of the technique is summarized and prospect.

Keywords: donkey-hide gelatin; products; authenticity identification; modern analytical methods

阿胶又名驴皮胶、盆覆胶、傅致胶,是由马科动物驴的干燥皮或鲜皮经煎煮、浓缩制成的固体胶^[1],含有丰富的糖类、必需氨基酸、多不饱和脂肪酸^[2]、脂质及人体所必需的多种微量元素^[3],具有益智健脑、改善皮肤^[4]、补血止血、强抗氧化性^[5]和提高免疫^[6]等功效,既可作为保健品食用,也可用于药膳中达到治疗与营养双重目的^[7],因而身价倍增。

随着消费升级,中国老龄人口数量逐步增多,阿胶需求量不断增加,而驴皮原料供不应求^[8]。据《2021 年中国

阿胶行业分析报告—市场竞争现状与发展趋势分析》^[9]

显示,中国阿胶行业产量约为 6 000 t,需要驴皮约 480 万张,而国内可供的驴皮不足 200 万张,这促使部分生产企业从海外谋取驴皮,使得驴皮原料成本大大增加。而不法分子为谋高利,通过缩减驴皮使用量或者使用猪皮、马皮等其他动物皮代替驴皮来制造假劣阿胶^[10],不利于行业良性发展。

研究^[11]表明,不同动物皮熬制的胶有着与阿胶不同甚至相悖的功效,食用假冒劣质的阿胶存在安全隐患。由于阿胶制作工艺复杂^[12],原料结构破坏、成分改变致使阿胶的质量鉴定变得相对困难^[13]。因此,如何准确测定阿胶及其各种衍生制品的驴皮成分及如何对产品中动物源性成分进行检测一直是阿胶鉴定研究过程中的难点与重点。

目前,阿胶及其制品的主要检测方法有红外光谱法、蛋白质电泳法、高效液相色谱法、液相色谱—质谱法^[14]、聚合酶链反应(PCR)、DNA 条形码技术、低场核磁共振技术^[15]等。其中,液相色谱—质谱法是中国测定阿胶制品中氨基酸含量的标准方法,光谱法主要应用于快速检测,而多重 PCR、荧光实时定量 PCR、DNA 条形码技术等可通过靶标物质的鉴别进行物种溯源,为阿胶检测提供了新的方向;电泳法、高效液相色谱法有强大的分离分析能力,可对掺假的阿胶制品进行进一步的定量。文章拟综述近年来常见阿胶制品的各种质量检测方法,旨在为高效检验阿胶质量、完善阿胶质量标准、加强阿胶市场监管提供参考。

1 阿胶及其制品质量检验

1.1 红外光谱法

红外光谱法以无损、快速的检测优点在阿胶快速检测领域有着较广泛应用^[16]。张仁霞等^[17]运用傅立叶变换红外光谱(FTIR)法,对加入了 KBr 粉末的样品供试片进

基金项目:国家级大学生创新创业训练计划项目(编号:202013023015)

作者简介:林晓伊,女,杭州医学院在读本科生。

通信作者:陈毓(1986—),男,杭州医学院副教授,博士。

E-mail: chenyl124@163.com

收稿日期:2021-02-26

行扫描,在波数为 $4\ 000\sim 400\text{ cm}^{-1}$ 的范围内对阿胶配方颗粒进行成分分析。其特定成分在特定区域具有强而复杂的吸收峰群,通过对比吸收峰特征的差异,可有效鉴别出各种阿胶样品的辅料成分;高凤伟等^[18]采用近红外光谱技术结合 Fisher 模型,在波数为 $12\ 820\sim 4\ 000\text{ cm}^{-1}$ 的范围内对猪皮明胶、牛皮明胶和驴皮明胶进行了主成分(PCA)分析,其预测识别率可达 100%,可用于驴皮阿胶的快速鉴定;Li 等^[19]采用 Antars II FT-NIR 光谱仪对福牌阿胶样品进行检测,可有效分析阿胶存放年限与其中营养物质含量的相关性,但在定性和定量方面有待提升。

在红外光谱测定中,波数范围在 $12\ 500\sim 4\ 000\text{ cm}^{-1}$ 的近红外(NIR)区以及波数范围在 $4\ 000\sim 400\text{ cm}^{-1}$ 的中红外(MIR)区均可应用于食品的检测分析,其中 MIR 比 NIR 有着更加清楚可辨别的光谱峰值,因此相比近红外光谱技术,傅立叶变换红外光谱法具有更优的鉴别能力。傅立叶变换红外光谱法检测速度快,但检测灵敏度低,对于驴皮成分含量较低的阿胶制品难以检测,不适合做痕量分析;而近红外光谱法虽然需要大量已知的代表性样品作模型,但其检测仪器便携且成本较低,作为小批量样品现场快速检测分析方法较为普遍。

1.2 蛋白质电泳法

阿胶中含有核心蛋白聚糖、双糖链蛋白聚糖等富含亮氨酸的活性蛋白^[20],其中带电荷的成分(胶原蛋白及其水解产物)能够在电场的作用下泳动,因此可采用电泳法进行胶类药材的鉴别。付英杰等^[21]基于 Tricine-SDS-PAGE 法,采用硫酸铵盐析法对样品进行纯化处理,并利用胃蛋白酶、胰蛋白酶、糜蛋白酶和木瓜蛋白酶 4 种不同的蛋白酶分别对样品进行酶解处理,通过对酶解液电泳所得电泳条带经银染色后对比分析,最后对不同胶类药材按氨基酸排列顺序进行有效分类,发现硫酸铵盐析法处理样品所得条带不清晰,仅用脱脂棉过滤便可进行样品纯化。而对比不同的蛋白酶处理样品时发现木瓜蛋白酶会干扰检查结果,不建议用于阿胶测定。由于各种动物胶氨基酸排列顺序不同,其酶解产物的电泳图也大不相同,可提示胶类药材种类的差异;李楠等^[22]利用 Tricine-SDS-PAGE 法,制备了聚丙烯酰胺凝胶对 3 种不同胶类药材进行分离,并用考马斯亮蓝染色后观察电泳图谱,以实现蛋白质在胶类药材加工过程中的动态变化规律的分析。结果显示,驴皮、龟甲、鹿角的蛋白质在 $10\sim 250\text{ kDa}$ 区域内均有分布,其中驴皮样品的条带数较多,其中有 3 条较为清晰的条带可与其他胶类药材进行区别,而不同加工程度的胶类药材中的蛋白质降解程度不同,仅可通过蛋白质在泳道中呈现的弥散现象初步判定。

阿胶中蛋白质的相对分子质量为 $15\sim 250\text{ kDa}$,经过

酶解处理后易形成小分子多肽,在对电泳产物的染色上,考马斯亮蓝染色法难以清楚染色,银染色法相对更好。在 Tricine-SDS-PAGE 法中,一些相对分子质量低于 10 kDa 的小分子多肽在电泳分析的过程中容易丢失,分辨率较低。且 Tricine-SDS-PAGE 法无法清晰区分较为相近的特征条带,只能作为胶类药材粗略分类判读的依据,如将阿胶与龟甲胶、鹿角胶等进行区分,然而该技术无法准确辨别出阿胶制品是否存在掺伪现象。总的来说,电泳技术在对阿胶原料基源鉴别上尚缺乏论证,目前在阿胶检测方面往往是作为其他检测方法的辅助手段。

1.3 高效液相色谱法

高效液相色谱法在阿胶及其制品质量检测中应用较为普遍,主要是对于阿胶制品中含有的 4 种主要氨基酸成分(*L*-羟脯氨酸、甘氨酸、丙氨酸、*L*-脯氨酸)进行分析鉴定^[23],以作为阿胶真伪优劣判定的主要依据。另外,该法还可以对阿胶中核苷类化合物含量进行对比分析^[24]。

Xie 等^[25]采用高亚胶束液相色谱梯度洗脱法,以十二烷基硫酸钠溶液—乙酸铵作为流动相 A,乙腈作为流动相 B 有效分离出阿胶中的氨基酸,并对梯度洗脱条件进行优化,利用氨基酸含量的差异进行阿胶的区分;汪明志等^[26]将异硫氰酸苯酯作为衍生剂,采用柱前衍生—反相高效液相色谱法分析阿胶补血口服液主要氨基酸含量。该方法虽会受阿胶组成成分的影响,但其氨基酸的平均回收率高,操作简便,对阿胶中氨基酸的检测分析有重大参考价值。

对于高效液相色谱法分离测定氨基酸来说,流动相的组成及配比对氨基酸的分离效果有着较大的影响,优化后的亚胶束液相色谱法可实现对混合物快速准确分离,对于分析阿胶这种成分复杂的制品具有较好的应用价值,但分析时间相对较长。经典的氨基酸分析方法是采用柱后衍生法,随着反相柱柱前衍生化法的产生和发展,免去的柱后衍生化法的复杂仪器装备,柱前衍生—反相高效液相色谱法以异硫氰酸苯酯作为衍生剂,可形成较为稳定的产物供测定用,使混合物更容易分离,具有较高的准确性、灵敏度,但需要注意衍生化试剂峰对结果的影响,进行区分辨别。

1.4 超高效液相色谱—质谱联用法

随着相关物种特异性肽的发现及联用技术的日趋成熟,胶类制品的真伪鉴别也逐步趋向于仪器联用技术,对动物胶制品的质量评价有重大意义^[27]。王超等^[28]采用 UPLC-MS 法对市售阿胶保健食品中 4 种主要氨基酸成分进行测定,结果显示阿胶中的阿胶主成分与阿胶中药材相近,且对于部分保健品中的阿胶含量难以测定,表明该法虽检测灵敏度高,但区分度较低,尚缺乏专项测定能

力;Cheng 等^[29]采用超高效液相色谱—四极—飞行时间质谱法结合了胰酶消化样品进行 PCA 分析,鉴定 PCA 载荷图给出的标记肽对 5 种胶类药材进行了有效分类。该方法有较强的专属性,可对常用明胶的变异鉴别提供有效的技术支持。

总的来说,色谱—质谱技术的联用比单一的色谱技术进一步提高了灵敏度和准确性,专属性强^[30],能更好地对成分进行定量,但该类方法仪器价格高昂,难以推广应用。其中超高效液相色谱—四极—飞行时间质谱法易受胶类制品中的辅料的影响,容易对检测结果造成偏差,还需改进样品前处理技术,通过富集蛋白质以减少辅料影响。

1.5 聚合酶链式反应

目前,在阿胶制品中 DNA 提取及物种源性分析方面主要依靠分子生物学手段。张全芳等^[31]基于阿胶中的 DNA 因加工工艺而发生降解的变化规律,建立了用 SDS-蛋白酶 K 结合 Chelex-100 法对市面上所售的阿胶制品如阿胶补血口服液进行微量 DNA 的提取,并用琼脂糖凝胶电泳法对阿胶 DNA 提取方法进行成功验证,为阿胶及其制品 DNA 提取困难开辟新道路。但对于掺假的阿胶样品来说,能从中检测出驴 DNA 并无法说明阿胶中是否含有其他动物的皮胶,因此,同时对阿胶中所含有的 DNA 进行种源的分析也是阿胶鉴定的关键所在^[32]。湛阳等^[33]采用多重 PCR,基于核质遗传原理进行皮张种源性分析,特异性高,可有效排除样品中非目的成分的干扰。

Zhang 等^[34]选择了高特异性、高敏感性的探针/引物对多种阿胶制品中驴的 DNA 进行分析,并同时寻找出可能进行掺杂的其他动物源 DNA,如马、牛、猪等;Liu 等^[35]采用了含有指定含量的驴皮、猪皮混合物来建立体系,并基于单拷贝内胆核作为参考引物,使用实时荧光定量 PCR 法对阿胶样品进行检测评价;赵云东等^[36]提取、克隆市售阿胶制品中目的 DNA 片段,以重组质粒 pGMT-Equ66bp 作为阳性对照,并将检测结果与质谱检测结果作对比,建立了阿胶中动物源性 DNA 成分的定量检测方法。

综合来说,实时荧光定量 PCR 方法可在混合动物产品中特异地鉴定出驴皮并量化驴皮明胶的含量。TaqMan 探针法在纯度的鉴定上具有较大优势,可实时检测,免去了对扩增产物的电泳分析,避免了后续分析操作对结果造成的影响,然而 TaqMan 探针法中所使用的探针设计较复杂,价格昂贵,检测成本相对偏高。

1.6 DNA 条形码技术

DNA 条形码技术作为一种新的生物识别技术,常利用线粒体基因如细胞色素 b 基因、12S rDNA、16S rRNA 等来鉴定动物源性^[37],可更加高效地对阿胶制品的成分

进行生物物种识别。目前用于鉴定动物皮张源性的条形码技术通常使用 680 bp 的线粒体 COI 序列作为靶标,结合 PCR 技术,可有效解决阿胶 DNA 数量少的检测难题。其常用的通用引物序列是 LCO1490 (5'-GGTCAA-CAAATCATAAAGATATTGG-3') 及 LCO2198 (5'-TAAACTTCAGGGTGACCAAAAAATCA-3')^[38]。

严华等^[39]通过供试品处理、DNA 提取、PCR 扩增线粒体 COI 上的目的片段、PCR 产物的纯化测序、序列拼接及进行序列比对和遗传距离分析等一系列流程,进行阿胶原料的基源鉴别。该法将扩增序列与 BOLD 数据库、GenBank 数据库等进行比对,能快速、准确地检测阿胶的原料来源,如能将其与数据库结合,构建起方便、可靠的信息溯源系统,便可实现阿胶制造流通过程中的监管。但如何对样品进行处理、采取的引物浓度是多少、PCR 程序如何设计等都还需要进一步探索研究。

尽管 DNA 条形码技术仍存在一些缺陷:如线粒体基因向核内转移导致无法有效检测、难依据单基因片段实现所有物种鉴定、相关数据库不够完善等,但对比传统物种鉴定法,它采用数字化形式,利用有机体的残片,减少经验依赖,并能够快速进行阿胶信息的采集比对并加以应用,现已在多数动植物中药材中得以成功应用^[40],而更多相关数据库的创建扩充对阿胶检测也有着重要意义。

近期,Bohmann 等^[41]主张无需进行任何计算的密集型预处理,就可将完整的核酸序列用于确认生物身份(称为“DNA-mark”),这进一步完善了以 DNA 为基础的分类鉴定,甚至可以用基因组略读来替代条形码 PCR。

1.7 低场核磁(LF-NMR)技术

LF-NMR 技术以其简便的操作过程,无需进行复杂的预处理能节约试剂及样本的优点,在食品中得以普及应用,在阿胶掺伪鉴定上也有着较大应用价值。

姜娇娇^[42]采用 LF-NMR 仪对阿胶进行快速检验,用主成分分析法和逐步判断分析法分析了纯阿胶与掺伪阿胶间的差别,并对掺伪阿胶不同掺伪比例进行区分。结果表明所测 7 个厂家不同阿胶样品的弛豫时间与峰面积均不相同,结合主成分分析法,可推测出不同辅料及加工工艺会引起 H 质子状态的差异,对快速鉴定不同品牌阿胶有着较大意义。通过逐步判断分析法,依据得分模型可对各个掺伪阿胶中掺假物质的最低检出限进行确定。对于测定数据的分析,逐步判断分析法比主成分分析法在分析类别间差异上有着更加显著的区分效果。

2 结论与展望

阿胶及其制品质量检测技术主要是针对于阿胶中的特异性成分(氨基酸、核酸)采用合理方法进行成分测定。目前阿胶及其制品因深加工工艺致使阿胶性状改变、结构破坏、核酸降解,提取、浓缩、富集、测定等环节存在干

扰因素影响检测技术的发展。

通过对阿胶质量检测评估方法的总结发现,红外光谱法易受深加工制品加工程度的影响,导致准确性较低,已不能完全满足日常监督检验的需求;Tricine-SDS-PAGE 法存在着特异性和灵敏度较低的局限,仅作为胶类药材粗略分类判读的依据。近年来,随着相关科学研究的深入,阿胶检验技术趋于多样化,在分子生物学检验领域取得了有效成果。荧光实时定量 PCR 在阿胶检测方面的应用灵敏度高并且鉴别结果特异性强,为阿胶真伪鉴别、优劣鉴定提供有效手段。随着生物信息学数据库的不断更新完善,DNA 条形码技术也愈发成熟,为国内外食品安全保驾护航。同时,HPLC 技术因不破坏样品结构的优点而被广泛应用于阿胶等中药材的鉴别,也是目前国际上普遍认可的食药制品质量评价与控制的先进技术,具有操作简便、结果准确、分析时间短及重复性好的优势,可对阿胶掺假检测进行定量分析。而 LF-NMR 技术也以其能快速高效地鉴定阿胶掺伪程度,为阿胶鉴定提供了新方向。

对于阿胶质控来说,应在鉴别时综合考虑多方面因素,重点在于驴皮与其他动物皮之间专属性成分的鉴定,并探索建立多学科、多面检测技术集成的方法,例如:用 HPLC 法联合 DNA 条形码技术来进行阿胶真伪的鉴别,通过对 DNA 序列的差异性、样品中氨基酸的含量平均值和 RSD 进行综合判别,不仅重复性好,分析时间也较短,能够明确驴皮与其他动物皮基因序列的差异以及氨基酸含量与质量优劣的关联性,将成为阿胶检测方法中较有应用前景的鉴别方式之一。

参考文献

- [1] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典: 一部[S]. 2020 版. 北京: 中国医学科技出版社, 2020: 197-198.
National Pharmacopoeia Commission. Pharmacopoeia of the people's republic of China[S]. 2020 edition. Beijing: China Medical Science and Technology Press, 2020: 197-198.
- [2] 曹菲薇. 阿胶糕及其主要原料阿胶的抗氧化作用及机理研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2019: 10-11.
CAO Fei-wei. Study on the antioxidant effect and mechanism of ejiao cake and its main raw material[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2018: 10-11.
- [3] 姜一朴, 邸志权, 王延涛, 等. 小分子阿胶抗疲劳、抗氧化及止血作用研究[J]. 中国药理学通报, 2019, 35(2): 203-208.
JIANG Yi-pu, DI Zhi-quan, WANG Yan-tao, et al. Study on anti-fatigue, anti-oxidation and hemostasis of small molecule donkey-hide gelatin[J]. Chinese Pharmacology Bulletin, 2019, 35(2): 203-208.
- [4] XIAO Li, FENG Liao, FAN Yu-mei, et al. Enzyme-digested Colla Corii Asini (E'jiao) accelerates wound healing and prevents ultra-violet a-induced collagen synthesis decline and wrinkle formation in three-dimensional skin equivalents[J]. Human Cell, 2020, 15(12): 2 270-2 272.
- [5] 杜博玮, 徐晓冰, 郭尚伟, 等. 高抗氧化性小分子阿胶的研究[J]. 北京化工大学学报(自然科学版), 2019, 46(6): 15-20.
DU Bo-wei, XU Xiao-bing, GUO Shang-wei, et al. Study on high antioxidant activity of small molecule of donkey-hide gelatin[J]. Journal of Beijing University of Chemical Technology (Natural Science), 2019, 46(6): 15-20.
- [6] 杨琳, 张朝绅. 中药阿胶临床应用分析及药理作用[J]. 中国实用医药, 2020, 15(24): 192-194.
YANG Lin, ZHANG Chao-shen. Analysis of clinical application and pharmacological effect of chinese traditional medicine jiao[J]. China Practical Medicine, 2020, 15(24): 192-194.
- [7] 庞清洋, 刘成祥, 庞保珍, 等. 弘扬中药道地药材优势 提高药膳食疗养生水平[J]. 光明中医, 2015, 30(10): 2 230-2 233.
PANG Qing-yang, LIU Cheng-xiang, PANG Bao-zhen, et al. Carry forward the advantages of traditional chinese medicine and improve the level of medicated diet therapy and health maintenance [J]. Bright Chinese Medicine, 2015, 30(10): 2 230-2 233.
- [8] 王春洪. 2020 年度驴业生产形势分析与 2021 年展望[J]. 畜牧产业, 2021(3): 37-41.
WANG Chun-hong. Analysis on the production situation of donkey industry in 2020 and outlook of 2021[J]. Animal Husbandry, 2021 (3): 37-41.
- [9] 观研天下(北京)信息咨询有限公司. 2021 年中国阿胶行业分析报告—市场竞争现状与发展趋势分析[R]. 北京: 中国报告网, 2021.
GUAN YAN TIAN XIA (Beijing) Information Consulting Co., Ltd. Analysis report of China E-Jiao industry in 2021: Analysis of market competition status and development trend[R]. Beijing: China Reports.com, 2021.
- [10] 夏文. 阿胶行业潜规则: 驴皮不够 牛皮来凑[J]. 农村农业农民 (B 版), 2016(9): 27-28.
XIA Wen. The unwritten rule of ejiao industry: donkey skin is not enough for cowhide skin [J]. Monthly of Rural Agriculture and Farmers, 2016(9): 27-28.
- [11] 伊娜, 杨铎, 武勇, 等. 阿胶药理药效研究进展[J]. 世界最新医学信息文摘, 2017, 17(54): 12-15.
YI Na, YANG Hua, WU Yong, et al. Progress in pharmacological and pharmacological effects of donkey-hide gelatin [J]. World Latest Medical Information Abstract, 2017, 17(54): 12-15.
- [12] 张金聚, 张英, 孟江, 等. 阿胶历史沿革考[J]. 中国中药杂志, 2020, 45(10): 2 464-2 472.
ZHANG Jin-ju, ZHANG Ying, MENG Jiang, et al. A study on the historical evolution of donkey-gelatin[J]. China Journal of Chinese Materia Medica, 2020, 45(10): 2 464-2 472.
- [13] 刘艳艳, 董书光, 耿加亮, 等. 阿胶加工工艺过程中降解规律研究[J]. 药学研究, 2016, 35(9): 501-507.
LIU Yan-yan, DONG Shu-guang, GENG Jia-liang, et al. Study on

- the degradation law of donkey-gelatin in processing process[J]. Journal of Pharmaceutical Research, 2016, 35(9): 501-507.
- [14] 郭尚伟, 周祥山, 嵇传良, 等. HPLC-MS/MS 法测定阿胶、龟甲胶、鹿角胶中 17 种氨基酸含量[J]. 明胶科学与技术, 2016, 36(2): 86-91.
- GUO Shang-wei, ZHOU Xiang-shan, JI Chuan-liang, et al. Determination of 17 kinds of amino acids in donkey-hide gelatin, tortoise gelatin and staghorn gelatin by HPLC-MS/MS[J]. Gelatin Science and Technology, 2016, 36(2): 86-91.
- [15] 崔莉, 姜娇娇, 王涛, 等. 低场核磁共振技术结合化学计量学快速检测掺假阿胶产品[J]. 时珍国医国药, 2019, 30(7): 1 628-1 633.
- CUI Li, JINAG Jiao-jiao, WANG Tao, et al. Rapid detection of counterfeit donkey-gelatin products by low field NMR combined with stoichiometry[J]. Shizhen Traditional Chinese Medicine and Materia Medica, 2019, 30(7): 1 628-1 633.
- [16] 陈丽云, 甄璐静, 纪硕, 等. 东阿阿胶红外光谱研究[J]. 山东化工, 2019, 48(4): 75-78.
- CHEN Li-yun, ZHEN Lu-jing, JI Shuo, et al. Study on Infrared Spectroscopy of dong e e-Jiao[J]. Shandong Chemical Industry, 2019, 48(4): 75-78.
- [17] 张仁霞, 朱德全, 刘丽萍, 等. 阿胶配方颗粒及其辅料的红外光谱鉴别[J]. 中医药导报, 2016, 22(4): 60-62.
- ZHANG Ren-xia, ZHU De-quan, LIU Li-ping, et al. Identification of gelatin granules and their excipients by infrared spectroscopy[J]. Journal of Traditional Chinese Medicine, 2016, 22(4): 60-62.
- [18] 高风伟, 张东京, 武以敏, 等. 基于近红外光谱技术结合判别分析快速识别阿胶产品[J]. 廊坊师范学院学报(自然科学版), 2017, 17(3): 23-25.
- GAO Feng-wei, ZHANG Dong-jing, WU Yi-min, et al. Rapid identification of gelatin products based on near infrared spectroscopy and discriminant analysis[J]. Journal of Langfang Normal University (Natural Science), 2017, 17(3): 23-25.
- [19] LI Wen-long, HAN Hai-fan, ZHANG Lu, et al. Study on identification method of manufacturers and storage time of dong'e donjiao based on near infrared spectroscopy[J]. Journal of Zhejiang University-Science, 2016, 17(5): 382-390.
- [20] 廖峰, 樊雨梅, 帖航, 等. 阿胶蛋白质组学研究[J/OL]. 食品工业科技. [2021-05-13]. <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020090189>.
- LIAO Feng, FAN Yu-mei, TIE Hang, et al. Gelatin proteomics research[J/OL]. Journal of Food Industry Science and Technology. [2021-05-13]. <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020090189>.
- [21] 付英杰, 侯林, 李艳芝, 等. Tricine-SDS-PAGE 法对阿胶的酶解物鉴别[J]. 中成药, 2013, 35(10): 2 218-2 221.
- FU Ying-jie, HOU Lin, LI Yan-zhi, et al. Identification of enzymatic hydrolysates of donkey-hide gelatin by tricine-SDS-PAGE method [J]. Chinese Patent Medicine, 2013, 35(10): 2 218-2 221.
- [22] 李楠, 郑洁, 陈立群, 等. 3 种胶类中药在加工过程中的动态变化[J]. 中成药, 2018, 40(8): 1 865-1 868.
- LI Nan, ZHENG Jie, CHEN Li-qun, et al. Dynamic changes of three kinds of gum chinese medicines during processing [J]. Chinese Patent Medicine, 2018, 40(8): 1 865-1 868.
- [23] 高卓林, 王莹, 白丽婷, 等. 复方阿胶泡腾片中 4 种氨基酸含量测定[J]. 特产研究, 2019, 41(3): 85-88.
- GAO Zhuo-lin, WANG Ying, BAI Li-ting, et al. Determination of four amino acids in compound ejiao effervescent tablets[J]. Special Products Research, 2019, 41(3): 85-88.
- [24] 王锐轩, 薛海萍, 丁越, 等. HPLC 法测定复合阿胶泡腾片中核苷类化合物的含量[J]. 中国中医药科技, 2019, 26(5): 686-688.
- WANG Rui-xuan, XUE Hai-ping, DING Yue, et al. Determination of nucleoside compounds in the effervescent tablets of donkey-hide gelatin by HPLC[J]. Chinese Journal of Traditional Chinese Medicine Science and Technology, 2019, 26(5): 686-688.
- [25] XIE Yun-fei, LUO Tian, YANG Jing, et al. Rapid determination of amino acids in beer, red wine, and donkey-hide gelatin by gradient elution of HPLC: From micellar liquid chromatography to high submicellar liquid chromatography[J]. Journal of AOAC International, 2018, 101(1): 249-255.
- [26] 汪明志, 张华锋, 周坚, 等. 柱前衍生—反相高效液相色谱法测定阿胶补血口服液液中主要氨基酸的含量[J]. 西北药学杂志, 2020, 35(1): 42-45.
- WANG Ming-zhi, ZHANG Hua-feng, ZHOU Jian, et al. Determination of main amino acids in e-jiao buxue oral liquid by pre-column derivation-reversed-phase high performance liquid chromatography[J]. Northwestern Pharmaceutical Journal, 2020, 35(1): 42-45.
- [27] CAI Shuo, ZHAO Ke-xuan, JIANG Meng-tong, et al. Collagen derived species-specific peptides for distinguishing donkey-hide gelatin (Asini Corii Colla)[J]. Chinese Herbal Medicines, 2021, 13(2): 261-266.
- [28] 王超, 迟少云, 杨钊, 等. 阿胶类保健食品中阿胶成分和牛皮源成分检测及质量评价[J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(1): 224-228.
- WANG Chao, CHI Shao-yun, YANG Zhao, et al. Study on the quality of donkey-hide and Cattle skin source ingredients in health food[J]. Food and Fermentation Industry, 2019, 45(1): 224-228.
- [29] CHENG Xian-long, WEI Feng, XIAO Xin-yue, et al. Identification of five gelatins by ultra performance liquid chromatography/time-of-flight mass spectrometry (UPLC/Q-TOF-MS) using principal component analysis[J]. Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis, 2012, 62: 191-195.
- [30] 王峰, 李广华, 尹雪, 等. 高效液相色谱—三重四极杆质谱法检测益血生胶囊中的阿胶、龟甲胶和鹿角胶[J]. 药物分析杂志, 2020, 40(10): 1 882-1 886.
- WANG Feng, LI Guang-hua, YIN Xue, et al. Determination of gelatin in Yixuesheng capsules by high performance liquid chroma-

- tography-triple quadrupole mass spectrometry[J]. *Journal of Pharmaceutical Analysis*, 2020, 40(10): 1 882-1 886.
- [31] 张全芳, 刘艳艳, 卞如如, 等. 一种从阿胶及制品中提取的新方法[J]. *食品与药品*, 2015, 17(6): 396-399.
- ZHANG Quan-fang, LIU Yan-yan, BIAN Ru-ru, et al. A new method for extraction of donkey-hide gelatin and its products[J]. *Food and Drug*, 2015, 17(6): 396-399.
- [32] 陈思秀, 张馨方, 刘玫妍, 等. 阿胶中动物源性提取方法的改进及驴源性成分鉴定[J]. *中国药学杂志*, 2019, 54(22): 1 840-1 845.
- CHEN Si-xiu, ZHANG Xin-fang, LIU Wen-yan, et al. Extraction of donkey-derived components from donkey-hide gelatin [J]. *Chinese Journal of Pharmaceutical Science*, 2019, 54(22): 1 840-1 845.
- [33] 湛阳, 王文君, 付明, 等. 基于核质遗传原理建立多重 PCR 检测方法鉴定阿胶中马、驴源性成分及皮种源[J]. *遗传*, 2020, 42(10): 1 028-1 035.
- CHEN Yang, WANG Wen-jun, FU Ming, et al. A multiplex PCR assay based on nucleoplasmic genetic principle for identification of horse and donkey derived components and skin provenance of donkey-hide gelatin[J]. *Genetics*, 2020, 42(10): 1 028-1 035.
- [34] ZHANG Wen-juan, CUI Sheng-hui, CHENG Xian-long, et al. An optimized TaqMan real-time PCR method for authentication of ASINI CORII COLLA (donkey-hide gelatin)[J]. *Journal of Pharmaceutical and biomedical Analysis*, 2019, 170: 196-203.
- [35] LIU Rui, ZHAO Lu-yao, WANG Zhi-ying, et al. Quantitative detection of donkey hide gelatin (Colla Corii Asini) adulteration by Real-Time PCR based on single-copy nuclear genes[J]. *Journal of Food Protection*, 2021, 84(2): 194-199.
- [36] 赵云冬, 王天添, 陈思秀, 等. 阿胶真伪鉴定方法的建立与应用[J]. *食品与发酵工业*. [2021-05-13]. <https://doi.org/10.13995/j.cnki.11-1802/ts.025027>.
- ZHAO Yun-dong, WANG Tian-tian, CHEN Si-xiu, et al. Establishment and application of gelatin authenticity identification method [J]. *Journal of Food and Fermentation Industry*. [2021-05-13]. <https://doi.org/10.13995/j.cnki.11-1802/ts.025027>.
- [37] MISHRA P, KUMAR A, NAGIREDDY A, et al. DNA Barcoding: An efficient tool to overcome authentication challenges in the herbal market[J]. *Plant Biotechnology Journal*, 2016, 14(1): 8-21.
- [38] CHE Jing, CHEN Hong-man, YANG Jun-xiao, et al. Universal COI primers for DNA barcoding amphibians[J]. *Molecular Ecology Resources*, 2012, 12(2): 247-258.
- [39] 严华, 陈俊, 石林春, 等. 基于 COI 序列的阿胶原材料及其混伪品的条形码鉴定研究[J]. *药物分析杂志*, 2018, 38(10): 1 761-1 766.
- YAN Hua, CHEN Jun, SHI Lin-chun, et al. Identification of barcode of donkey-hide gelatin and its counterfeits based on COI sequence[J]. *Journal of Pharmaceutical Analysis*, 2018, 38(10): 1 761-1 766.
- [40] 许亚春, 熊超, 姜春丽, 等. DNA 条形码技术在动物类药材熊胆粉及其混伪品鉴定中的应用[J]. *中国中药杂志*, 2018, 43(4): 645-650.
- XU Ya-chun, XIONG Chao, JIANG Chun-li, et al. Application of DNA barcoding technology in the identification of xiong bile powder and its counterfeits[J]. *China Journal of Chinese Materia Medica*, 2018, 43(4): 645-650.
- [41] BOHMANN K, MIRARAB S, BAFNA V, et al. Beyond DNA barcoding: The unrealized potential of genome skim data in sample identification[J]. *Molecular Ecology*, 2020, 29(14): 2 521-2 534.
- [42] 姜姣姣. 基于低场核磁共振技术的阿胶质量评价研究[D]. 济南: 山东中医药大学, 2018: 17-49.
- ZHANG Jiao-jiao. Study on quality evaluation of donkey-hide gelatin based on low-field NMR technology[D]. Jinan: Shandong University of Traditional Chinese Medicine, 2018: 17-49.

(上接第 187 页)

- [30] 赵天惠, 张佰清, 谢旭. 脉冲强光对枯草芽孢杆菌的致死工艺优化[J]. *食品工业科技*, 2017, 38(11): 214-218.
- ZHAO Tian-hui, ZHANG Bai-qing, XIE Xu. Optimization of pulsed light parameters for lethal effect of bacillus subtilis[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2017, 38(11): 214-218.
- [31] VICTORIA M, JAGUS R, BELLOSO M, et al. Surface decontamination of spinach by intense pulsed light treatments: Impact on quality attributes[J]. *Postharvest Biology & Technology*, 2016, 121: 118-125.
- [32] 马海乐, 高梦祥. 介质特性参数对脉冲磁场杀菌效果的影响[J]. *食品科学*, 2004, 25(8): 42-46.
- MA Hai-le, GAO Meng-xiang. Study on medium characteristics parameters of microorganisms on bactericidal effects of pulsed magnetic fields[J]. *Food Science*, 2004, 25(8): 42-46.
- [33] 王蓓. 脉冲强光、紫外和红外辐射对稻谷黄曲霉及其毒素的杀灭降解研究[D]. 镇江: 江苏大学, 2014: 50-55.
- WANG Bei. Effective inactivation and degradation of aspergillus flavus and aflatoxins in rough rice using pulsed light, ultraviolet and infrared radiation [D]. Zhenjiang: Jiangsu University, 2015: 50-55.
- [34] 谢妹鸽, 韩秋漪, 李福生, 等. 脉冲强光杀菌技术综述[J]. *光源与照明*, 2020(11): 31-34.
- XIE Shu-ge, HAN Qiu-yi, LI Fu-sheng, et al. Review on intensive pulsed light sterilization[J]. *Lamps & Lighting*, 2020(11): 31-34.
- [35] CHEIGH C I, HWANG H J, CHUNG M S. Intense pulsed light (IPL) and UV-C treatments for inactivating *Listeria monocytogenes* on solid medium and seafoods[J]. *Food Research International*, 2013, 54(1): 745-752.