

不同形态梅花鹿鹿茸的化学成分对比研究

刘松鑫^{1,2}, 宫瑞泽², 王泽帅², 张磊², 刘畅², 孙印石^{2*}

1. 吉林农业大学中药材学院, 吉林 长春 130118

2. 中国农业科学院特产研究所, 吉林 长春 130112

摘要: **目的** 研究不同形态梅花鹿鹿茸化学成分的差异。**方法** 采用紫外分光光度计、杜马斯定氮仪、全自动氨基酸分析仪、超高效液相色谱仪、高效液相色谱仪、气相色谱仪、电感耦合等离子体质谱仪、原子荧光光度计等测定并比较了梅花鹿毛桃茸、二杠茸、三岔茸中多糖、粗蛋白、氨基酸、胶原蛋白、脂肪酸、矿物质元素、生物胺、核苷、硫酸软骨素9类化学成分的含量差异,用主成分分析(PCA)法综合评价不同形态梅花鹿鹿茸的质量。**结果** 多糖、粗蛋白、氨基酸、胶原蛋白、脂肪酸、矿物质元素、生物胺、核苷、硫酸软骨素在毛桃茸中质量分数分别为8.40 mg/g、44.82%、42.24%、23.23%、6 234.69 mg/kg、145.69 mg/g、55.12 mg/kg、2 271.87 mg/kg、0.74 mg/g;在二杠茸中质量分数分别为8.14 mg/g、52.12%、48.57%、21.50%、8 684.27 mg/kg、126.40 mg/g、76.14 mg/kg、3 438.37 mg/kg、1.94 mg/g;在三岔茸中质量分数分别为8.64 mg/g、51.86%、45.49%、22.31%、9 100.78 mg/kg、138.36 mg/g、70.75 mg/kg、2 507.82 mg/kg、1.84 mg/g。**结论** 不同形态梅花鹿鹿茸的化学成分有差异,PCA结果显示,二杠茸质量最好,三岔茸次之,毛桃茸质量最差。该研究为不同形态鹿茸质量评价及分等、分级标准提供参考。

关键词: 不同形态;梅花鹿;鹿茸;主成分分析;毛桃茸;二杠茸;三岔茸;多糖;粗蛋白;氨基酸;胶原蛋白;脂肪酸;矿物质元素;生物胺;核苷;硫酸软骨素;质量评价

中图分类号: R284.2 文献标志码: A 文章编号: 0253-2670(2020)01-0067-09

DOI: 10.7501/j.issn.0253-2670.2020.01.011

Comparative study on chemical constituents of *Cervi Cornu Pantotrichum* in different forms of *Cervus nippon*

LIU Song-xin^{1,2}, GONG Rui-ze², WANG Ze-shuai², ZHANG Lei², LIU Chang², SUN Yin-shi²

1. College of Chinese Medicinal Materials, Jilin Agricultural University, Changchun 130118, China

2. Institute of Special Animal and Plant Sciences, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Changchun 130112, China

Abstract: **Objective** In order to study the differences in chemical constituents of *Cervi Cornu Pantotrichum* in different forms of *Cervus nippon*. **Methods** The content of polysaccharides, crude protein, amino acids, collagen, fatty acids, mineral elements, biogenic amines, nucleosides, and chondroitin sulfate composition of *Cervi Cornu Pantotrichum* in different forms of *C. nippon* was determined and compared by using UV spectrophotometer, Dumas azotometer, automatic amino acid analyzer, UPLC, HPLC, gas chromatograph, inductively coupled plasma mass spectrometer and atomic fluorescence photometer. Principal component analysis was used to evaluate the quality of *Cervi Cornu Pantotrichum*. **Results** The content of polysaccharide, crude protein, amino acid, collagen, fatty acid, mineral element, biogenic amine, nucleoside and chondroitin sulfate in one-branched velvet antler was 8.40 mg/g, 44.82%, 42.24%, 23.23%, 6 234.69 mg/kg, 145.69 mg/g, 55.12 mg/kg, 2 271.87 mg/kg, and 0.74 mg/g, respectively; The content in two-branched velvet antler was 8.14 mg/g, 52.12%, 48.57%, 21.50%, 8 684.27 mg/kg, 126.40 mg/g, 76.14 mg/kg, 3 438.37 mg/kg, and 1.94 mg/g, respectively; The content in three-branched velvet antler was 8.64 mg/g, 51.86%, 45.49%, 22.31%, 9 100.78 mg/kg, 138.36 mg/g, 70.75 mg/kg, 2 507.82 mg/kg, and 1.84 mg/g, respectively. **Conclusion** The chemical composition of *Cervi Cornu Pantotrichum* in different forms of *C. nippon* was different. The results of principal component analysis showed that the quality of the

收稿日期: 2019-09-16

基金项目: 国家重点研发计划(2018YFC1706604); 国家重点研发计划(2018YFC1706605); 中国农业科学院科技创新工程项目(CAAS-ASTIP-2016-ISAPS); 吉林省科技发展计划项目(20180201076YY); 吉林省科技发展计划项目(20170309002YY)

作者简介: 刘松鑫(1995—),男,硕士研究生,研究方向为鹿茸质量评价与药理活性研究。E-mail: liusx2018@163.com

*通信作者 孙印石(1980—),男,内蒙古兴安盟人,研究员,博士,主要从事特种动植物贮藏与产品研发。E-mail: sunyinshi2015@163.com

two-branched velvet antler was the best, the three-branched velvet antler was the second, the one-branched velvet antler was the worst. This study provides a reference for the quality evaluation and grading standards of different forms of *Cervi Cornu Pantotrichum*.

Key words: different forms; *Cervus nippon* Temminck; *Cervi Cornu Pantotrichum*; principal component analysis; one-branched velvet antler; two-branched velvet antler; three-branched velvet antler; polysaccharides; crude protein; amino acids; collagen; fatty acids; mineral elements; biogenic amines; nucleosides; chondroitin sulfate; quality evaluation

鹿茸在我国有悠久的药用历史,常被用作补益类中药使用,具有壮肾阳、益精血、强筋骨、调冲任、托疮毒的功效。现代研究表明,鹿茸中含有蛋白质、多肽、氨基酸、糖类、无机元素、生物胺、核苷等多种化学成分^[1-4],药理作用包括增强免疫力、抗炎、抗氧化、抗肿瘤、促进细胞增殖、抗肥胖等^[4-8]。

《中国药典》2015 年版记载的鹿茸 *Cervi Cornu Pantotrichum* 为鹿科鹿属动物梅花鹿 *Cervus nippon* Temminck 或马鹿 *Cervus elaphus* Linnaeus 的雄鹿未骨化密生茸毛的幼角,前者习称“花鹿茸”,后者习称“马鹿茸”^[9]。花鹿茸产量低,较为稀少,医家对花鹿茸的认可度高于马鹿茸^[10]。花鹿茸在实际应用中按不同形态可分成毛桃茸(初角茸)、二杠茸、三岔茸等。毛桃茸为 8~10 月龄雄性仔鹿生长的无侧枝的鹿茸,二杠茸和三岔茸分别含有 1 个、2 个侧枝,两者均为 2 周龄以上的成年公鹿生长的鹿茸。人们一般认为二杠茸较毛桃茸和三岔茸骨化程度低,营养价值高,但这种说法缺乏实验数据支持。仅有个别学者简单比较了二杠茸和三岔茸之间的氨基酸和矿物质元素的差异^[11-13],无法较为全面地评价三者之间的品质状况。基于此,本研究对不同形态梅花鹿鹿茸中的糖类、粗蛋白、氨基酸、胶原蛋白、脂肪酸、无机元素、生物胺、核苷、硫酸软骨素 9 类成分进行测定,为鹿茸质量标准体系的建立提供参考。

1 材料

1.1 样品

梅花鹿毛桃茸、梅花鹿二杠茸、梅花鹿三岔茸各 5 副,均购自吉林省吉林市左家镇,经中国农业科学院特产研究所魏海军研究员鉴定为鹿科鹿属动物梅花鹿 *Cervus nippon* Temminck 毛桃茸(简称毛桃茸)、梅花鹿二杠茸(简称二杠茸)、梅花鹿三岔茸(简称三岔茸)。所有鹿茸样品均经切片、烘干、粉碎,过 80 目筛,备用。

1.2 仪器与设备

Thermo Scientific ISQ 气质联用仪,美国 Thermo Fisher Scientific 公司; 752N 紫外-可见分光

光度计,上海仪电分析仪器有限公司; NDA701 杜马斯快速定氮仪,意大利 VELP 公司; L-8900 全自动氨基酸分析仪,日本 Hitachi 公司; 7890 A 气相色谱仪,美国 Agilent 公司; NexION 350X 电感耦合等离子体质谱仪,美国 PerkinElmer 公司; ZEE nit700 原子吸收光谱仪,德国 Analytik Jena AG 公司; PF6-3 原子荧光分光光度计,北京普析通用仪器有限公司; Speed Wave MSW-4 微波消解仪,德国 Berghof 公司; Acquity UPLC H-Class 超高效液相色谱仪,美国 Waters 公司; XS205DU 电子天平,瑞士 Mettler Toledo 公司; XW-80 A 微型漩涡混合仪,上海沪西分析仪器厂有限公司; TGL-16G 高速台式离心机,上海安亭科学仪器厂; 多样品平行蒸发仪,瑞士 Buchi 公司; DHG-9123 A 电热恒温鼓风干燥箱,上海精宏实验设备有限公司; DZF-6090 真空干燥箱,上海浦东荣丰科学仪器有限公司。

1.3 试剂

单糖对照品,质量分数均 $\geq 98\%$,上海源叶生物技术有限公司; D-甘露糖(批号 C25D8H51117)、D-盐酸氨基葡萄糖(批号 S27M7I15344)、D-核糖(批号 J03D7R26100)、D-葡萄糖醛酸(批号 K14J7S9017)、D-半乳糖醛酸(批号 S03A9I67246)、D-盐酸氨基半乳糖(批号 H05M7X14253)、D(+)-无水葡萄糖(批号 S08J6G1)、D-半乳糖(批号 Z22J9H64187); 氨基酸混合标准液, H 型,日本 Woke 公司; 天冬氨酸、苏氨酸、丝氨酸、谷氨酸、甘氨酸、丙氨酸、半胱氨酸、缬氨酸、甲硫氨酸、异亮氨酸、亮氨酸、酪氨酸、苯丙氨酸、赖氨酸、组氨酸、精氨酸、脯氨酸(Asp、Thr、Ser、Glu、Gly、Ala、Cys、Val、Met、Ile、Leu、Tyr、Phe、Lys、His、Arg、Pro); 37 种脂肪酸甲酯混合标准液, 10 g/L, 上海安谱实验科技股份有限公司; 铜、锌、锰、铁、镍、钴、铬、镉、铅、钾、钙、钠、镁、砷、汞(Cu、Zn、Mn、Fe、Ni、Co、Cr、Cd、Pb、K、Ca、Na、Mg、As、Hg) 单元素标准储备液, 1 000 $\mu\text{g/L}$, 国家有色金属及电子材料分析测试中心; 生物胺对照品,质量分数 $\geq 98\%$,上海源叶

生物技术有限公司：色胺（批号 KM0522YB14）、2-苯乙胺（批号 T28M6C1）、腐胺（批号 L05D6S7162）、尸胺二盐酸盐（批号 P1069349）、组胺（批号 Y12A8J41698）、5-羟色胺盐酸盐（批号 BO1022DA14）、酪胺盐酸（批号 XJ0704XA14）、亚精胺（批号 A29M7L12090）、多巴胺盐酸盐（批号 S05J6G2）、精胺（批号 B10D7L26660）；核苷类成分对照品，质量分数 $\geq 98\%$ ，上海源叶生物科技有限公司：尿嘧啶（批号 TM0313XB13）、胞嘧啶（批号 TN1128XA13）、腺嘌呤（批号 X18N6M6005）、鸟嘌呤（批号 KM0522CA14）、次黄嘌呤（批号 TM0313XC13）、黄嘌呤（批号 AJ0722MA14）、尿苷（批号 TM0313XA13）、胸腺嘧啶（批号 140708-200401）、肌苷（批号 TJ0623XA13）、鸟苷（批号 AJ0609NA14）、腺苷（批号 KM0529CA14）、2'-脱氧鸟苷（批号 N07A7W12580）、 β -胸苷（批号 DN1122WB13）；苯基-3-甲基-5-吡唑啉酮（PMP），分析纯，上海源叶生物科技有限公司；三氟乙酸，色谱纯，美国 Thermo Fisher Scientific 公司；硫酸软骨素标准品（批号 X02N7H23970，质量分数 $\geq 98\%$ ）、硫酸软骨素 ABC 酶（5 U，批号 S28J8I38812），均购自上海源叶生物科技有限公司；盐酸、氢氧化钠、三羟甲基氨基甲烷、氯化钠、醋酸钠、无水乙醇、甲醇、乙腈、正己烷、石油醚、硫酸、苯酚、三氯甲烷、冰乙酸、丙酮、高氯酸、氨水，分析纯，均为北京化工厂生产。

2 方法

2.1 多糖及单糖组成的测定

多糖及单糖组成的测定方法参考宫瑞泽等^[14]的测定方法。分别采用水提醇沉法、硫酸-苯酚法提取、测定鹿茸中多糖含量，多糖经水解、衍生后采用 UPLC 法测定其中单糖含量。

2.2 粗蛋白的测定

粗蛋白的测定方法参考王燕华等^[15]的测定方法。准确称取鹿茸样品 50 mg，置于锡箔纸中，紧密包裹压实，用杜马斯定氮仪测定其粗蛋白含量。

2.3 氨基酸的测定

氨基酸的测定方法参考王燕华等^[15]的测定方法。准确称取鹿茸样品 30 mg，加盐酸水解后挥干溶剂，用稀盐酸溶解定容，过 0.22 μm 水系滤膜，用全自动氨基酸分析仪测定其氨基酸含量。

2.4 胶原蛋白的测定

胶原蛋白的测定方法参考宫瑞泽等^[16]的测定

方法。方法同“2.3”项。

2.5 脂肪酸的测定

2.5.1 供试品溶液制备 参考 GB 5009.168-2016^[17]的方法，并略有改动。称取鹿茸样品 5 g 至 250 mL 平底烧瓶中，加入 100 mg 焦性没食子酸、2 mL 95% 乙醇和 4 mL 水，混匀。加入 10 mL 盐酸溶液（8.3 mol/L），将烧瓶放入 70 $^{\circ}\text{C}$ 水浴，水解 40 min。水解后的试样加入 10 mL 95% 乙醇和 50 mL 乙醚-石油醚（1:1）混合液振摇 5 min，静置 10 min 后将醚层提取液收集到 250 mL 烧瓶中。将提取液至旋转蒸发仪中浓缩，残留物为脂肪提取物。向脂肪提取物中加入 2% 氢氧化钠甲醇溶液 8 mL，置于回流冷凝器，80 $^{\circ}\text{C}$ 水浴直至油滴消失，加 15% 三氟化硼甲醇溶液 7 mL，80 $^{\circ}\text{C}$ 水浴 2 min，冷却至室温后加 10 mL 正庚烷，振摇 2 min，再加入饱和氯化钠水溶液，静置分层。吸取上层正庚烷提取溶液至 25 mL 试管中，加入 3 g 无水硫酸钠，振摇 1 min，静置 5 min，吸取上层溶液到进样瓶中待测定。

2.5.2 气相色谱条件 DB-23 毛细管柱（60 mm $\times$ 0.25 mm，0.25 μm ），载气为氦气，体积流量 1 mL/min，进样量 1 μL ，初温 60 $^{\circ}\text{C}$ ，1 min 后以 6 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升至 180 $^{\circ}\text{C}$ ，保持 1 min 后以 2 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升至 220 $^{\circ}\text{C}$ 继续保持 2 min，进样口温度 230 $^{\circ}\text{C}$ 。

2.5.3 质谱条件 电子轰击源（EI），能量为 70 eV，四级杆温度 150 $^{\circ}\text{C}$ ，传输线温度 280 $^{\circ}\text{C}$ ，离子源温度 230 $^{\circ}\text{C}$ ，检测方式为选择离子监测（SIM）。

2.6 无机元素的测定

无机元素的测定参考王燕华等^[18]的测定方法。K、Ca、Na、Fe 用原子吸收光谱法测定；P 用紫外分光光度法测定；As、Hg、Mg、Cu、Zn、Mn、Ni、Co、Cr、Cd、Pb 用 ICP-MS 测定。

2.7 生物胺的测定

生物胺的测定参考王燕华等^[19]的测定方法。准确称取鹿茸样品 200 mg，加入高氯酸提取后用丹磺酰氯衍生，用 1.0 mL 乙腈萃取目标物，过 0.22 μm 滤膜，用 UPLC 法测定其生物胺含量。

2.8 核苷的测定

核苷的测定参考孙印石等^[20]的测定方法。准确称取鹿茸样品 100 mg，加蒸馏水超声提取，上清液过 0.22 μm 水系滤膜，用 UPLC 法测定其核苷含量。

2.9 硫酸软骨素的测定

参考《中国药典》2015 年版^[21]的方法，并略有改动。称取鹿茸粉末 50 mg，置于 1.5 mL 离心管中，

加水 100 μL , Tris 缓冲液(取三羟甲基氨基甲烷 6.06 g 与醋酸钠 8.17 g, 加水 900 mL 溶解, 用稀盐酸调节 pH 至 8.0, 用水稀释至 1 000 mL) 800 μL , 硫酸软骨素 ABC 酶液(取硫酸软骨素 ABC 酶适量, 按标示单位用 Tris 缓冲液稀释成每 100 毫升含 0.1 单位的溶液) 100 μL , 37 $^{\circ}\text{C}$ 水浴反应 1.5 h, 取出, 100 $^{\circ}\text{C}$ 加热 5 min, 冷却至室温, 10 000 r/min 离心 20 min, 过 0.22 μm 滤膜, HPLC 检测 6-硫酸化软骨素二糖和 4-硫酸化软骨素二糖含量, 以两者之和作为鹿茸中硫酸软骨素总含量。另称取硫酸软骨素对照品 1 mg, 分别稀释到 1/2、1/5、1/10、1/20、1/200, 按以上步骤反应, 以 6-硫酸化软骨素二糖和 4-硫酸化软骨素二糖总峰面积为纵坐标绘制标准曲线, 得回归方程 $Y=26\,189X+605\,577$, $R^2=0.995$ 。

色谱条件: 色谱柱为 Hypersil SAX 柱 (250 mm $\times$ 4.6 mm, 5 μm), 以水(用稀盐酸调节 pH 至 3.5)为流动相 A, 以 2 mol/L 氯化钠溶液(用稀盐酸调节 pH 至 3.5)为流动相 B, 检测波长为 232 nm, 梯度洗脱程序: 0~4 min, 100% A; 4~25 min, 100%~75% A; 柱温 40 $^{\circ}\text{C}$, 体积流量 1 mL/min, 进样量 20 μL 。以 4-硫酸化软骨素二糖计算, 理论塔板数应不低于 50 000。

表 1 不同形态梅花鹿鹿茸粗多糖中多糖及其单糖质量分数 ($\bar{x} \pm s$, $n=5$)

Table 1 Polysaccharides and monosaccharide content of crude polysaccharide of *Cervi Cornu Pantotrichum* in different forms of *C. nippon* ($\bar{x} \pm s$, $n=5$)

样品	质量分数/(mg $\cdot$ g $^{-1}$)								
	多糖	甘露糖	盐酸氨基葡萄糖	核糖	葡萄糖醛酸	半乳糖醛酸	盐酸氨基半乳糖	葡萄糖	半乳糖
毛桃茸	8.40 $\pm$ 1.14 ^a	21.28 $\pm$ 3.81 ^b	55.96 $\pm$ 10.88 ^a	—	6.24 $\pm$ 1.43 ^a	—	31.42 $\pm$ 6.06 ^b	23.80 $\pm$ 3.72 ^c	20.96 $\pm$ 5.01 ^a
二杠茸	8.14 $\pm$ 1.25 ^a	22.68 $\pm$ 2.41 ^b	53.54 $\pm$ 11.14 ^a	—	6.62 $\pm$ 0.81 ^a	—	27.50 $\pm$ 3.45 ^b	33.80 $\pm$ 1.29 ^a	19.89 $\pm$ 1.16 ^a
三岔茸	8.64 $\pm$ 0.73 ^a	31.59 $\pm$ 3.71 ^a	72.16 $\pm$ 11.18 ^a	—	8.13 $\pm$ 1.84 ^a	—	50.56 $\pm$ 3.29 ^a	28.88 $\pm$ 7.10 ^b	25.79 $\pm$ 7.67 ^a

同一行上标字母相同表示没有显著性差异 ($P>0.05$), 否则有显著性差异 ($P<0.05$); “—” 表示含量低于定量限或检出限, 下同

The superscripts in the same line containing the same letter indicates no significant difference ($P>0.05$), otherwise there is significant difference ($P<0.05$); “—” indicates that the content is lower than quantitation limit or detection limit, same as below

茸中盐酸氨基葡萄糖含量均为最高, 占 8 种单糖总量 30% 以上, 提示含有大量盐酸氨基葡萄糖的鹿茸多糖对治疗各类骨关节病有较好的研究前景。

3.2 粗蛋白的含量分析

鹿茸中蛋白质、多肽含量丰富, 具有提高免疫力、抗炎、抗骨质疏松等多种药理活性^[24], 王燕华等^[25]研究表明鹿茸片中粗蛋白质量分数在 52.75%~55.92%。本实验采用杜马斯定氮仪测定不同形态梅花鹿鹿茸的粗蛋白含量, 结果见表 2。3 种鹿茸粗蛋白质量分数在 44.82%~52.12%, 其中二

3 结果与分析

3.1 多糖及单糖的组成分析

鹿茸多糖是鹿茸中活性物质之一, 主要以蛋白聚糖的形式存在, 具有增强免疫力、促进创伤愈合、抗炎镇痛、抗肿瘤等作用^[22]。本实验采用浓硫酸-苯酚法测定不同形态梅花鹿鹿茸的多糖含量, 结果见表 1。毛桃茸、二杠茸、三岔茸粗多糖中多糖质量分数分别为 8.40、8.14、8.64 mg/g, 三岔茸多糖含量略高于毛桃茸和二杠茸, 差异不显著 ($P>0.05$)。

在测得鹿茸多糖的含量后, 本实验用 UPLC 法测定并比较了不同形态梅花鹿鹿茸多糖中 8 种单糖含量差异, 结果见表 1。毛桃茸、二杠茸、三岔茸多糖中单糖种类均包括甘露糖、盐酸氨基葡萄糖、葡萄糖醛酸、氨基半乳糖盐酸盐、葡萄糖、半乳糖, 其质量分数在 6.24~72.16 mg/g, 而核糖和半乳糖醛酸均未检出。进一步比较发现三岔茸中甘露糖、盐酸氨基葡萄糖、葡萄糖醛酸、氨基半乳糖盐酸盐和半乳糖含量均高于二杠茸和毛桃茸。现代研究表明, 氨基葡萄糖是软骨组织的主要组成成分, 能提高骨与软骨组织的代谢功能与营养, 具有保护关节软骨, 治疗骨关节炎等作用^[23]。本实验测得 3 种鹿

表 2 不同形态梅花鹿鹿茸粗蛋白、胶原蛋白、硫酸软骨素质量分数 ($\bar{x} \pm s$, $n=5$)

Table 2 Crude protein, collagen, chondroitin sulfate content of *Cervi Cornu Pantotrichum* in different forms of *C. nippon* ($\bar{x} \pm s$, $n=5$)

样品	质量分数/(mg $\cdot$ g $^{-1}$)		
	粗蛋白	胶原蛋白	硫酸软骨素
毛桃茸	448.15 $\pm$ 0.08 ^c	232.31 $\pm$ 0.06 ^a	0.74 $\pm$ 0.01 ^b
二杠茸	521.18 $\pm$ 0.28 ^a	214.95 $\pm$ 0.09 ^c	1.94 $\pm$ 0.24 ^a
三岔茸	518.58 $\pm$ 0.94 ^b	223.12 $\pm$ 0.11 ^b	1.84 $\pm$ 0.16 ^a

杠茸粗蛋白质量分数为 52.12%，高于三岔茸 51.86% 和毛桃茸 44.82%，表明二杠茸具有较高的粗蛋白含量。蛋白质是生命活动的主要承担者，是与生命及与各种形式的生命活动紧密联系在一起的物质，不同形态梅花鹿鹿茸中二杠茸粗蛋白含量最高，说明二杠茸新陈代谢旺盛，骨化程度低。

3.3 氨基酸的含量分析

氨基酸是构成动物营养所需蛋白质的基本物质，在动物体内发挥着不可替代的生理调节作用。本实验采用氨基酸自动分析仪对不同形态梅花鹿鹿茸氨基酸含量进行测定，结果见表 3。

在不同形态梅花鹿鹿茸氨基酸含量的比较中，

发现不同形态梅花鹿鹿茸所含种类相同，包括人体必需的 8 种氨基酸在内的 17 种氨基酸均被检出，且含量最高的氨基酸均为 Gly、Glu、Pro、Asp，在 3 种鹿茸中的平均质量分数分别为 7.34%、5.63%、4.59%、3.69%，四者约占鹿茸中氨基酸总量的 45%~50%，与张嵩等^[26]、赵卉等^[27]研究结果相似。鹿茸中 17 种氨基酸质量分数在 0.18%~7.53%，最高值与最低值相差约 40 倍。二杠茸氨基酸总量为 48.57%，高于三岔茸 45.49% 和毛桃茸 42.24%。除 Gly、Met 和 Pro 外，其余 14 种氨基酸在不同形态梅花鹿鹿茸中的含量均表现出二杠茸>三岔茸>毛桃茸的规律。

表 3 不同形态梅花鹿鹿茸氨基酸质量分数 ($\bar{x} \pm s, n = 5$)

Table 3 Amino acid content of *Cervi Cornu Pantotrichum* in different forms of *C. nippon* ($\bar{x} \pm s, n = 5$)

样品	质量分数/%								
	Asp	Thr	Ser	Glu	Gly	Ala	Cys	Val	Met
毛桃茸	3.29±0.05 ^c	1.45±0.02 ^c	1.76±0.03 ^c	5.25±0.13 ^c	7.53±0.05 ^a	3.76±0.03 ^c	0.18±0.01 ^c	1.78±0.00 ^c	0.20±0.01 ^b
二杠茸	4.07±0.04 ^a	1.88±0.02 ^a	2.11±0.02 ^a	6.07±0.03 ^a	7.32±0.03 ^b	4.14±0.02 ^a	0.28±0.00 ^a	2.38±0.00 ^a	0.18±0.00 ^c
三岔茸	3.71±0.04 ^b	1.74±0.01 ^b	1.95±0.02 ^b	5.58±0.04 ^b	7.16±0.05 ^c	3.90±0.02 ^b	0.26±0.00 ^b	2.18±0.02 ^b	0.22±0.00 ^a

样品	质量分数/%								
	Ile	Leu	Tyr	Phe	Lys	His	Arg	Pro	总量
毛桃茸	0.87±0.01 ^c	2.60±0.01 ^c	0.73±0.01 ^c	1.53±0.01 ^c	2.44±0.01 ^c	0.83±0.01 ^c	3.44±0.01 ^c	4.59±0.05 ^b	42.24±0.39 ^c
二杠茸	1.06±0.00 ^a	3.55±0.00 ^a	0.93±0.00 ^a	1.99±0.00 ^a	3.04±0.01 ^a	1.21±0.00 ^a	3.71±0.00 ^a	4.66±0.03 ^a	48.57±0.21 ^a
三岔茸	0.97±0.00 ^b	3.17±0.01 ^b	0.89±0.00 ^b	1.81±0.00 ^b	2.84±0.02 ^b	1.07±0.00 ^b	3.51±0.02 ^b	4.52±0.04 ^c	45.49±0.30 ^b

3.4 胶原蛋白的含量分析

胶原蛋白是动物组织中一种特有的、含量最多、分布最广的功能性蛋白，广泛分布在结缔组织、软骨等部位，能使组织具有一定的结构与机械力学性质^[28-29]。宫瑞泽等^[16]测定了鹿茸中羟脯氨酸含量，进而换算成胶原蛋白含量，结果表明鹿茸中含有丰富的胶原蛋白，且不同部位和不同加工炮制方式的鹿茸胶原蛋白含量有差异。本实验运用相同的方法测定了不同形态梅花鹿鹿茸胶原蛋白含量，结果如表 2 所示。毛桃茸胶原蛋白质量分数为 232.31 mg/g，高于三岔茸 223.12 mg/g 和二杠茸 214.95 mg/g。胶原蛋白在不同形态梅花鹿鹿茸中的含量规律与粗蛋白相反，推测二杠茸中有大量用于新陈代谢和生长发育的其他蛋白质而用于支持、保护作用的胶原蛋白含量较低。

3.5 脂肪酸的含量分析

脂肪酸是一类含有一个羧基的脂肪族有机物，是机体主要能量来源之一^[30]。本实验采用 GC-MS

对不同形态梅花鹿鹿茸中脂肪酸含量进行测定，结果见表 4。毛桃茸、二杠茸、三岔茸分别含有 24、25、26 种脂肪酸。与毛桃茸相比，二杠茸不含 C12:0 而有 C18:3,*cis*-6,9,12 和 C20:5,*cis*-5,8,11,14,17。与二杠茸相比，三岔茸多 C12:0。3 种鹿茸中饱和脂肪酸均以 C16:0 和 C18:0 为主，单不饱和脂肪酸均以 C18:1,*cis*-9 为主，多不饱和脂肪酸均以 C18:2,*cis*-9,12、C20:4,*cis*-5,8,11,14 为主，显示出鹿茸中脂肪酸组成有一定规律性，此结果与王燕华等^[30]研究结果相似。毛桃茸、二杠茸、三岔茸 37 种脂肪酸总量分别为 6 234.69、8 684.27、9 100.78 mg/kg，含量顺序为三岔茸>二杠茸>毛桃茸。在检测到的 26 种脂肪酸中，有 14 种脂肪酸在不同形态梅花鹿鹿茸中含量顺序为三岔茸>二杠茸>毛桃茸。在不同形态梅花鹿鹿茸的 37 种脂肪酸中，C16:0 含量均为最高，其次为 C18:1,*cis*-9 和 C18:0，三者总和约占脂肪酸总量的 70%~75%，说明鹿茸中脂肪酸以饱和脂肪酸和单不饱和脂肪酸为主。

3.6 矿质元素的含量分析

矿质元素是膳食中 6 大营养素之一, 在鹿茸中含量丰富。王燕华等^[18]研究表明不同部位鹿茸中矿

质元素含量差异显著, 能反映鹿茸的骨化程度。本实验采用 ICP-MS、UV、AFS 对不同形态梅花鹿鹿茸 16 种矿质元素进行测定, 结果见表 5。毛桃茸、

表 4 不同形态梅花鹿鹿茸脂肪酸质量分数 ($\bar{x} \pm s, n = 5$)Table 4 Fatty acid content of *Cervi Cornu Pantotrichum* in different forms of *C. nipport* ($\bar{x} \pm s, n = 5$)

样品	质量分数/(mg·kg ⁻¹)							
	C4:0	C6:0	C8:0	C10:0	C11:0	C12:0	C13:0	C14:0
毛桃茸	16.08±0.01 ^b	—	—	—	—	5.73±0.04	—	78.01±1.15 ^b
二杠茸	12.63±0.29 ^c	—	—	—	—	—	—	63.35±5.53 ^c
三岔茸	20.28±1.53 ^a	—	—	—	—	4.99±0.48	—	101.15±7.32 ^a

样品	质量分数/(mg·kg ⁻¹)							
	C14:1, <i>cis</i> -9	C15:0	C15:1, <i>cis</i> -10	C16:0	C16:1, <i>cis</i> -9	C17:0	C17:1, <i>cis</i> -10	C18:0
毛桃茸	—	49.50±0.49 ^b	—	1 888.75± 27.37 ^c	136.72± 2.33 ^c	81.18± 1.10 ^b	20.86±0.13 ^c	1 269.35± 36.84 ^c
二杠茸	—	76.00±6.27 ^a	—	2 203.55±150.54 ^b	143.29±11.30 ^b	116.56±10.49 ^a	36.85±1.21 ^a	1 694.45±125.09 ^b
三岔茸	—	76.92±5.35 ^a	—	2 517.80±255.12 ^a	172.47±16.34 ^a	117.66±10.01 ^a	32.64±1.66 ^b	1 953.10±166.74 ^a

样品	质量分数/(mg·kg ⁻¹)							
	C18:1, <i>trans</i> -9	C18:1, <i>cis</i> -9	C18:2, <i>trans</i> -9,12	C18:2, <i>cis</i> -9,12	C18:3, <i>cis</i> -6,9,12	C18:3, <i>cis</i> -9,12,15	C20:0	C20:1, <i>cis</i> -11
毛桃茸	—	1 483.70± 22.34 ^c	—	519.72±10.27 ^c	—	5.81±0.04 ^c	67.68±1.26 ^c	34.37±0.19 ^c
二杠茸	—	2 126.45±174.87 ^a	—	778.15±44.09 ^a	7.07±0.34	7.55±0.37 ^b	98.62±8.99 ^b	44.46±3.34 ^b
三岔茸	—	2 073.25±165.39 ^b	—	701.49±69.02 ^b	6.09±0.36	9.31±0.88 ^a	122.15±9.33 ^a	55.52±4.65 ^a

样品	质量分数/(mg·kg ⁻¹)						
	C20:2, <i>cis</i> -11,14	C21:0	C20:3, <i>cis</i> -8,11,14	C20:4, <i>cis</i> -5,8,11,14	C20:3, <i>cis</i> -11,14,17	C20:5, <i>cis</i> -5,8,11,14,17	C22:0
毛桃茸	25.98±0.59 ^c	8.01±0.10 ^c	27.44±0.25 ^c	325.18±10.49 ^c	—	—	44.96±0.19 ^b
二杠茸	64.79±4.50 ^a	9.56±0.51 ^b	70.29±6.10 ^a	774.15±71.47 ^a	—	9.56±0.81	74.10±6.51 ^a
三岔茸	55.48±5.39 ^b	11.19±0.54 ^a	60.20±5.02 ^b	624.22±31.29 ^b	—	7.39±0.37	75.85±2.27 ^a

样品	质量分数/(mg·kg ⁻¹)						
	C22:1, <i>cis</i> -13	C22:2, <i>cis</i> -13,16	C23:0	C24:0	C22:6, <i>cis</i> -4,7,10,13,16,19	C24:1, <i>cis</i> -15	总量
毛桃茸	12.87±0.42 ^c	—	15.30±0.17 ^c	72.40± 0.29 ^c	12.31±0.84 ^c	32.78±0.06 ^c	6 234.69±116.98 ^c
二杠茸	20.22±1.08 ^b	—	25.32±1.69 ^b	128.57±10.69 ^b	22.89±0.35 ^a	75.83±6.09 ^b	8 684.27±652.50 ^b
三岔茸	28.17±2.29 ^a	—	27.32±1.50 ^a	147.77± 6.75 ^a	20.40±0.56 ^b	77.99±2.87 ^a	9 100.78±773.04 ^a

表 5 不同形态梅花鹿鹿茸矿质元素质量分数 ($\bar{x} \pm s, n = 5$)Table 5 Mineral elements content of *Cervi Cornu Pantotrichum* in different forms of *C. nipport* ($\bar{x} \pm s, n = 5$)

样品	常量元素/(g·kg ⁻¹)					微量元素/(mg·kg ⁻¹)			
	K	Ca	Na	Mg	P	Cu	Zn	Fe	Mn
毛桃茸	3.10±0.08 ^c	53.00±0.50 ^b	8.07±0.07 ^c	4.05±0.01 ^a	77.08±0.04 ^a	7.66±0.48 ^b	68.35±1.18 ^b	303.39± 6.86 ^c	1.32±0.01 ^a
二杠茸	4.39±0.02 ^a	46.37±0.79 ^c	8.54±0.07 ^a	3.19±0.04 ^c	63.28±0.09 ^c	8.99±0.20 ^a	86.89±1.51 ^a	528.73± 6.02 ^a	1.03±0.01 ^b
三岔茸	4.07±0.01 ^b	56.13±0.32 ^a	8.27±0.01 ^b	3.40±0.01 ^b	65.91±0.15 ^b	6.30±0.07 ^c	60.83±0.13 ^c	511.78±10.17 ^b	0.99±0.01 ^c

样品	微量元素/(mg·kg ⁻¹)			有害元素/(μg·kg ⁻¹)				矿质元素总量/(mg·g ⁻¹)
	Cr	Ni	Co	Pb	Cd	Hg	As	
毛桃茸	1.65±0.01 ^b	4.37±0.01 ^a	0.25±0.01 ^a	226.47±1.17 ^b	5.61±0.31 ^b	3.58±0.19 ^a	71.65±0.97 ^a	145.69±0.71 ^a
二杠茸	1.81±0.02 ^a	3.96±0.08 ^b	0.23±0.01 ^b	153.85±1.34 ^c	2.95±0.27 ^c	3.68±0.23 ^a	36.95±0.41 ^c	126.40±0.58 ^c
三岔茸	1.44±0.03 ^c	4.03±0.03 ^b	0.22±0.01 ^c	487.81±5.81 ^a	8.36±0.47 ^a	3.05±0.18 ^b	42.40±0.28 ^b	138.36±0.45 ^b

二杠茸、三岔茸 16 种矿质元素总量差异显著 ($P < 0.05$), 分别为 145.69、126.40、138.36 mg/g。毛桃茸骨化程度最高, 二杠茸骨化程度最低。其中 Ca、P 在鹿茸的 5 种常量元素中含量最高, Zn、Fe 在 7 种微量元素中含量最高, 与张经华等^[13]研究结果相似。在 3 种鹿茸矿质元素的比较中, 发现 Ca、P 含量在二杠茸中均为最低, 而 Zn、Fe 含量在二杠茸中均为最高, 由于 Ca、P 多集中在骨骼, Zn、Fe 多集中于肌肉, 说明二杠茸中纤维组织和软骨组织较多, 骨化程度较低。以上结果充分验证了从二杠茸到三岔茸的生长过程中是一个不断骨化的过程。

3.7 生物胺的含量分析

生物胺是一类具有生物活性、含氨基的小分子有机化合物的总称, 广泛存在于生物体内, 是合成蛋白质、核苷酸、生物碱等分子的前体物质^[19]。本实验采用 UPLC 测定了不同形态梅花鹿鹿茸中 10 种生物胺含量, 结果见表 6。3 种鹿茸中均检测到 9 种生物胺, 质量分数在 0.19~61.01 mg/kg, 尸胺均

未检出。不同形态梅花鹿鹿茸中 10 种生物胺总量差异显著 ($P < 0.05$), 其中二杠茸生物胺总量最高, 为 76.14 mg/kg, 毛桃茸生物胺总量最低, 为 55.12 mg/kg。在 13 种生物胺中, 腐胺、组胺、亚精胺、精胺和 2-苯乙胺含量较高, 约占 10 种生物胺总量 50%、15%、6%、3%、3%。

3.8 核苷的含量分析

核苷是含氮碱基与糖组分缩合成的小分子化合物, 是核酸的主要组分, 是生物细胞维持生命活动的基本组成元素, 有多位学者以核苷为指标, 评价鹿茸质量^[31-33]。本实验采用 UPLC 测定不同形态梅花鹿鹿茸的 13 种核苷含量, 结果见表 7。3 种鹿茸 13 种核苷总量差异显著 ($P < 0.05$), 其中二杠茸 13 种核苷总量为 3 438.37 mg/kg, 显著高于三岔茸 2 507.82 mg/kg 和毛桃茸 2 271.87 mg/kg。13 种核苷在鹿茸中含量较高的有鸟嘌呤、次黄嘌呤、尿苷、尿嘧啶等, 约占 13 种核苷总量的 20%、20%、18%、17%, 含量最低的为 2'-脱氧鸟苷。二杠茸中尿苷、

表 6 不同形态梅花鹿鹿茸的生物胺质量分数 ($\bar{x} \pm s, n = 5$)

样品	质量分数/(mg·kg ⁻¹)					
	色胺	2-苯乙胺	腐胺	尸胺	组胺	5-羟色胺
毛桃茸	0.78±0.09 ^c	1.91±0.64 ^b	30.98±1.14 ^c	—	10.40±1.72 ^a	0.26±0.08 ^a
二杠茸	1.08±0.13 ^b	1.32±0.35 ^b	61.01±1.95 ^a	—	10.04±0.53 ^a	0.21±0.03 ^a
三岔茸	2.59±0.07 ^a	3.20±0.31 ^a	47.13±0.34 ^b	—	9.71±0.67 ^a	0.22±0.02 ^a

样品	质量分数/(mg·kg ⁻¹)				
	酪胺	亚精胺	多巴胺	精胺	生物胺总量
毛桃茸	0.20±0.12 ^b	7.25±0.55 ^a	0.65±0.13 ^a	2.69±0.54 ^a	55.12±5.01 ^c
二杠茸	0.19±0.08 ^b	1.55±0.08 ^c	0.60±0.09 ^a	0.14±0.01 ^b	76.14±3.25 ^a
三岔茸	0.47±0.02 ^a	4.02±0.01 ^b	0.67±0.07 ^a	2.74±0.29 ^a	70.75±1.80 ^b

表 7 不同形态梅花鹿鹿茸的核苷质量分数 ($\bar{x} \pm s, n = 5$)

样品	质量分数/(mg·kg ⁻¹)						
	胞嘧啶	尿嘧啶	鸟嘌呤	腺嘌呤	次黄嘌呤	黄嘌呤	尿苷
毛桃茸	7.86±0.02 ^a	507.44±19.43 ^b	629.45±16.74 ^a	26.26±0.59 ^a	589.26±13.27 ^b	143.85±5.79 ^b	232.33±22.68 ^b
二杠茸	8.40±0.37 ^a	314.31±2.76 ^c	565.23±13.75 ^b	17.76±1.05 ^c	534.53±8.57 ^c	71.43±5.09 ^c	1 075.50±9.57 ^a
三岔茸	8.15±0.84 ^a	609.49±22.42 ^a	565.23±13.76 ^c	20.05±1.13 ^b	622.40±8.49 ^a	461.49±8.29 ^a	138.79±65.35 ^c

样品	质量分数/(mg·kg ⁻¹)						
	胸腺嘧啶	肌苷	鸟苷	腺苷	2'-脱氧鸟苷	β-胸苷	总量
毛桃茸	34.36±6.08 ^b	16.76±0.19 ^c	16.19±1.14 ^c	18.36±2.06 ^b	5.63±0.06 ^b	44.12±7.64 ^a	2 271.87±95.69 ^c
二杠茸	31.19±0.75 ^b	374.93±8.79 ^a	383.54±14.14 ^a	18.96±0.90 ^b	5.79±0.82 ^b	36.80±1.17 ^a	3 438.37±67.73 ^a
三岔茸	64.25±2.15 ^a	59.15±5.79 ^b	74.12±9.14 ^b	31.89±7.28 ^a	8.07±1.19 ^a	40.65±11.62 ^a	2 507.82±175.84 ^b

肌苷、鸟苷含量与毛桃茸和三岔茸相比差异极为明显,二杠茸中尿苷含量占 13 种核苷总量的 30%以上,而在毛桃茸和三岔茸中这一比例仅为 10%和 5%;二杠茸肌苷质量分数为 374.93 mg/kg,分别是毛桃茸、三岔茸含量的 22 倍和 6 倍,二杠茸鸟苷质量分数为 383.54 mg/kg,分别是毛桃茸、三岔茸含量的 23 倍和 5 倍。

3.9 硫酸软骨素的含量分析

硫酸软骨素广泛存在于人和动物软骨组织中,在鹿茸中含量也很丰富。宫瑞泽等^[34]用酶解法测定了不同部位梅花鹿鹿茸的硫酸软骨素含量,结果显示硫酸软骨素含量由尖端向基部递减,即骨化程度越高的部位硫酸软骨素含量越低。本实验采用酶解法测定不同形态梅花鹿鹿茸硫酸软骨素含量,结果见表 2。毛桃茸、二杠茸和三岔茸硫酸软骨素质量分数分别为 0.74、1.94、1.84 mg/g,其含量顺序为二杠茸>三岔茸>毛桃茸,二杠茸和三岔茸无显著性差异 ($P>0.05$),毛桃茸骨化程度高于二杠茸和三岔茸。

3.10 主成分分析 (PCA)

用 SPSS 24 软件对不同形态梅花鹿鹿茸的多糖、粗蛋白、氨基酸、胶原蛋白、脂肪酸、矿物质、生物胺、核苷、硫酸软骨素 9 类成分进行 PCA。结果表明,第 1 主成分的方差占有主成分方差的 80.61%,第 2 主成分的方差占有主成分方差的 19.39%,前 2 个主成分的特征根均大于 1 且累积方差贡献率达到 100.00%,因此前 2 个主成分已足够描述不同形态梅花鹿鹿茸的 9 类成分含量水平。不同形态梅花鹿鹿茸主成分矩阵见表 8。第 1 主成分在氨基酸、硫酸软骨素、粗蛋白、生物胺、核苷、脂肪酸有较大载荷,说明第 1 主成分和以上 6 类成

表 8 主成分矩阵

Table 8 Principal component load matrix

品质特性指标	第 1 主成分	第 2 主成分
胶原蛋白	-0.99	0.13
氨基酸	0.99	-0.16
硫酸软骨素	0.96	0.28
矿物质	-0.96	0.30
粗蛋白	0.95	0.32
生物胺	0.94	0.35
核苷	0.88	-0.47
脂肪酸	0.88	0.48
多糖	-0.37	0.93

分有较大相关性。第 2 主成分在多糖、胶原蛋白、矿物质有较大载荷,说明第 2 主成分和以上 3 类成分有较大相关性。根据各主成分特征值及特征向量,计算主成分得分和综合得分,能够对不同形态梅花鹿鹿茸质量作出综合评价。由表 9 可知,二杠茸的综合得分最高,质量最好,三岔茸综合得分排名第 2,排名最后的为毛桃茸,质量最差。

表 9 不同形态梅花鹿鹿茸主成分得分及综合得分

Table 9 Main component scores and comprehensive scores of *Cervi Cornu Pantotrichum* in different forms of *C. nippon*

样品	第 1 主成分得分	第 2 主成分得分	综合得分
毛桃茸	-1.08	-0.41	-0.95
二杠茸	0.89	-0.73	0.58
三岔茸	0.19	1.14	0.37

4 讨论

本研究首次系统地比较了不同形态梅花鹿鹿茸所含糖类(多糖和 8 种单糖)、粗蛋白、17 种氨基酸、胶原蛋白、37 种脂肪酸、16 种矿物质、10 种生物胺、13 种核苷、硫酸软骨素含量的差异,建立了一种多成分的指标评价方法,能较为全面地从化学成分方面比较不同形态梅花鹿鹿茸的质量优劣。实验结果显示,毛桃茸、二杠茸、三岔茸中粗蛋白含量均为最高,其次为氨基酸、矿物质、胶原蛋白、多糖、脂肪酸、核苷、硫酸软骨素,含量最低为生物胺。9 类化学成分中的粗蛋白、氨基酸、脂肪酸、核苷、硫酸软骨素、生物胺含量在不同形态梅花鹿茸中均呈现出二杠茸>三岔茸>毛桃茸的趋势,以上结果说明不同形态梅花鹿鹿茸 9 类化学成分含量具有一定的规律性。

毛桃茸来源于未成年的雄鹿,此时雄鹿体内的营养物质率先满足身体生长发育的需求,无法为毛桃茸的生长提供充足的营养物质,因此毛桃茸营养物质含量较低。正常状态下,富含大量营养物质的鹿茸都会经历脱皮过程并最终骨化成营养物质含量较少的鹿角,因此二杠茸生长为三岔茸后其营养物质含量必定会有较大变化,本实验的研究也进一步证实了这一点。

参考文献

- [1] Sui Z, Zhang L, Huo Y, et al. Bioactive components of velvet antlers and their pharmacological properties [J]. *J Pharm Biomed*, 2014, 87(5): 229-240.
- [2] 孙伟丽, 赵海平, 王雪华, 等. 基于代谢组学技术分析不同区段鹿茸差异代谢分子物质 [J]. *中草药*, 2019,

- 50(20): 5047-5053.
- [3] 郭晓晗, 程显隆, 李明华, 等. 鹿茸的化学成分及质量控制方法研究进展 [J]. 药物分析杂志, 2018, 38(4): 551-565.
- [4] 桂丽萍, 郭 萍, 郭远强. 鹿茸化学成分和药理活性研究进展 [J]. 药物评价研究, 2010, 33(3): 237-240.
- [5] 黄 伟, 杨世海, 鞠贵春. 梅花鹿茸的化学成分和生理活性研究进展 [J]. 时珍国医国药, 2012, 23(5): 1256-1257.
- [6] Zha E, Li X, Li D, *et al.* Immunomodulatory effects of a 3.2 kDa polypeptide from velvet antler of *Cervus nippon* Temminck [J]. *Int Immunopharmacol*, 2013, 16(2): 210-213.
- [7] Tang Y J, Fan M Q, Choi Y J, *et al.* Sika deer (*Cervus nippon*) velvet antler extract attenuates prostate cancer in xenograft model [J]. *Biosci Biotech Bioch*, 2019, 83(2): 348-356.
- [8] 王 楠, 高晓霞, 代子彦, 等. 鹿茸药效物质基础、药理作用、临床应用及质量控制的研究进展 [J]. 中草药, 2017, 48(22): 4784-4790.
- [9] 中国药典 [S]. 一部. 2015.
- [10] 王奕博, 黄特辉, 许婉琦, 等. 花鹿茸与马鹿茸的生物活性与应用比较研究 [J]. 中国现代中药, 2016, 18(8): 1062-1066.
- [11] 姚玉霞, 蔡建培, 杜 锐, 等. 梅花鹿三杈茸和二杠茸氨基酸含量对比分析 [J]. 中国食品学报, 2003, 3(2): 67-71.
- [12] 李泽鸿, 姚玉霞, 王全凯, 等. 二杠鹿茸与三杈鹿茸中氨基酸含量的比较 [J]. 氨基酸和生物资源, 2003, 25(1): 10-11.
- [13] 张经华, 杨若明, 张林源, 等. 麋鹿、梅花鹿和马鹿鹿茸中微量元素的分析测定 [J]. 微量元素与健康研究, 2000, 17(4): 39-40.
- [14] 宫瑞泽, 王燕华, 祁玉丽, 等. 不同加工方式对鹿茸中水溶性多糖含量及单糖组成的影响 [J]. 色谱, 2019, 37(2): 194-200.
- [15] 王燕华, 张秀莲, 赵 卉, 等. 不同加工方式对鹿茸中粗蛋白与水解氨基酸量的影响研究 [J]. 中草药, 2017, 48(15): 3085-3091.
- [16] 宫瑞泽, 赵 卉, 曲 迪, 等. 不同产地加工及炮制方法对鹿茸中胶原蛋白含量的影响 [J]. 食品科学, 2019, 40(22): 1-6.
- [17] GB 5009. 168-2016 食品安全国家标准食品中脂肪酸的测定 [S]. 2016.
- [18] 王燕华, 姜 英, 孙印石, 等. 不同加工方式的鹿茸无机元素含量的比较 [J]. 药物分析杂志, 2018, 38(1): 104-111.
- [19] 王燕华, 孙印石, 王玉方, 等. UPLC 法测定不同加工方式鹿茸中的生物胺成分 [J]. 分析测试学报, 2018, 37(9): 995-1001.
- [20] 孙印石, 王燕华, 王玉方, 等. UPLC 法测定不同加工方式梅花鹿鹿茸中的核苷类成分 [J]. 中草药, 2018, 49(4): 840-846.
- [21] 中国药典 [S]. 二部. 2015.
- [22] 张传奇, 郑毅男, 张成中, 等. 鹿茸多糖的研究概况 [J]. 经济动物学报, 2013, 17(1): 45-48.
- [23] 周 岚, 李 燕. 氨基葡萄糖对骨关节影响的临床研究进展 [J]. 现代预防医学, 2014, 41(21): 4018-4019, 4022.
- [24] 杨光旭, 魏雪苗, 范红艳, 等. 鹿茸多肽药理学活性的研究进展 [J]. 吉林医药学院学报, 2017, 38(2): 126-129.
- [25] 王燕华, 孙印石, 张 磊, 等. 鹿茸不同炮制品化学成分的对比分析 [J]. 中国中药杂志, 2018, 43(6): 1145-1155.
- [26] 张 嵩, 李 峰. 不同规格鹿茸商品药材中氨基酸含量分析 [J]. 中国中药杂志, 2013, 38(12): 1919-1923.
- [27] 赵 卉, 刘继永, 王 峰, 等. 鹿茸等五种鹿产品中氨基酸含量及组成对比分析 [J]. 时珍国医国药, 2015, 26(5): 1056-1058.
- [28] Price J S, Oyajobi B O, Nalin A M, *et al.* Chondrogenesis in the regenerating antler tip in red deer: Expression of collagen types I, IIA, IIB, and X demonstrated by in situ nucleic acid hybridization and immunocytochemistry [J]. *Dev Dynam*, 1996, 205(3): 332-347.
- [29] Hulmes, David J S. Building collagen molecules, fibrils, and suprafibrillar structures [J]. *J Struct Biol*, 2002, 137(1/2): 2-10.
- [30] 王燕华, 金春爱, 孙印石, 等. 不同加工方式的鹿茸脂肪酸的气相色谱分析 [J]. 中草药, 2017, 48(12): 2431-2441.
- [31] 丁兴杰, 熊 亮, 周勤梅, 等. 天然核苷类成分的化学结构和药理活性研究进展 [J]. 成都中医药大学学报, 2018, 41(2): 102-108.
- [32] 孙伟杰, 王 铭, 杨 洋, 等. 基于化学指纹图谱和多指标成分含量测定的梅花鹿鹿茸质量评价 [J/OL]. 中华中医药学刊: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/21.1546.R.20190912.1631.033.html>.
- [33] 刘雪莹, 刘雨霏, 陈昊媛, 等. 梅花鹿鹿茸和马鹿鹿茸中5种核苷类成分的含量比较 [J]. 中国现代应用药学, 2018, 35(11): 1675-1679.
- [34] 宫瑞泽, 王燕华, 孙印石. 不同加工方式及不同部位鹿茸中硫酸软骨素的含量分析 [J]. 中国中药杂志, 2018, 43(3): 557-562.