

不同加工方式的鹿茸脂肪酸的气相色谱分析

王燕华^{1,2}, 金春爱², 孙印石^{1,2*}, 肖利和¹, 赵海平¹, 陈宝^{1,2}, 祁玉丽^{1,2}

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** 研究不同加工方式及不同部位的梅花鹿鹿茸脂肪酸的差异及变化趋势。**方法** 采用氢氧化钾皂化、甲醇甲酯化与正己烷萃取相结合的前处理方法得到待测样品的脂肪酸甲酯, 对其进行气相色谱(GC)分析。**结果** 排血茸蜡片、粉片、蜂片的脂肪酸分别为 16.00、10.32、5.51 g/kg; 带血茸蜡片、粉片、蜂片的脂肪酸分别为 14.81、6.04、4.88 g/kg; 煮炸茸蜡片、粉片、蜂片的脂肪酸分别为 9.06、6.20、4.23 g/kg; 冻干茸蜡片、粉片、蜂片的脂肪酸分别为 9.46、7.54、6.23 g/kg。**结论** 不同加工方式鹿茸中的脂肪酸量有所差异, 排血茸高于带血茸, 煮炸茸低于冻干茸; 同一加工方式不同部位的鹿茸脂肪酸呈现蜡片、粉片、蜂片依次降低的趋势。鹿茸中的饱和脂肪酸以棕榈酸和硬脂酸为主, 单不饱和脂肪酸主要为油酸, 多不饱和脂肪酸组分中亚麻酸、二十碳二烯酸、花生四烯酸的量较高。

关键词: 鹿茸; 脂肪酸; 加工方式; 不同部位; 气相色谱

中图分类号: R286.023 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-2670(2017)12-2431-11

DOI: 10.7501/j.issn.0253-2670.2017.12.011

Analysis on fatty acids of *Cervi Cornu Pantotrichum* with different processing methods by gas chromatography

WANG Yan-hua^{1,2}, JIN Chun-ai², SUN Yin-shi^{1,2}, XIAO Li-he¹, ZHAO Hai-ping¹, CHEN Bao^{1,2}, QI Yu-li^{1,2}

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

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

Abstract: **Objective** To study the differences and the trends of fatty acids content in different parts of *Cervi Cornu Pantotrichum* (CCP) with different processing methods. **Methods** KOH-CH₃OH esterification and *n*-hexane extraction were combined as the pretreatment method to obtain the fatty acid samples, and then the samples were analyzed by gas chromatography. **Results** The fatty acids content in wax slices, powder slices, and bee slices of CCP without blood were 16.00, 10.32, and 5.51 g/kg. The fatty acids contents in wax slices, powder slices, and bee slices of CCP with blood were 14.81, 6.04, and 4.88 g/kg. The fatty acids contents in wax slices, powder slices, and bee slices of CCP with boiling processing were 9.06, 6.20, and 4.23 g/kg. The fatty acids contents in wax slices, powder slices, and bee slices of CCP with freeze-drying were 9.46, 7.54, and 6.23 g/kg. **Conclusion** The contents of fatty acids in CCP with different processing methods are different. The content of fatty acids in CCP without blood is higher than that in CCP with bloods, and the content of fatty acids in CCP with boiling processing is lower than that in CCP with freeze-drying. The trend of different parts of antlers with the same processing method shows decreasing one by one from wax slices to bee slices. The main saturated fatty acids in the antlers are palmitic acid (C16:0) and stearic acid (C18:0). The mono unsaturated fatty acids are mainly oleic acid (C18:1, *cis*-9). The content of γ -linolenic acid (C18:3, *cis*-9,12,15), twenty C two acid (C20:2, *cis*-11,14), and four arachidonic acid (C20:4, *cis*-5,8,11,14) in polyunsaturated fatty acids are higher than others.

Key words: *Cervi Cornu Pantotrichum*; fatty acid; processing method; different parts; gas chromatography

收稿日期: 2017-01-11

基金项目: 吉林省科技发展计划项目(20170309002YY); 中国农业科学院科技创新工程项目(CAAS-ASTIP-2016-ISAPS)

作者简介: 王燕华(1990—), 女, 在读硕士研究生, 研究方向为中药质量评价。E-mail: yhwangsdic@126.com

*通信作者 孙印石(1980—), 男, 博士, 研究员, 主要从事特种动植物加工。E-mail: sunyinshi2015@163.com

鹿茸 *Cervi Cornu Pantotrichum* 是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, 具有壮肾阳、益精血、强筋骨、调冲任、托疮毒的功效^[1]。鹿茸中含无机元素、氨基酸、脂质类、芳香族化合物、酶类、多胺、糖类、维生素、激素、核酸、碱基、生长因子等多种有效成分^[2], 具有抗炎、抗氧化、抗疲劳、抗应激、抗肿瘤、保护肝脏、缓解骨质疏松、促进伤口愈合等作用^[3-7]。

脂肪酸 (fatty acid, FA) 是指一端含有 1 个羧基的脂肪族碳氢链, 根据脂肪酸分子结构中碳碳键的类型和数目可分为饱和脂肪酸 (saturated fatty acid, SFA)、单不饱和脂肪酸 (monounsaturated fatty acid, MUFA) 和多不饱和脂肪酸 (polyunsaturated fatty acid, PUFA)。脂肪酸最基本的生物学功能是提供能量。现代医学研究表明, 脂肪酸具有调血脂、降血压、抗血栓、影响脑神经和视神经以及抗癌、免疫调节的作用, 对过敏反应、炎症反应和抑郁症也有一定的抑制效果^[8-16], 脂肪酸的摄入量、摄入比例与人类的健康密切相关^[17-23]。目前, 对不同加工方式的鹿茸脂肪酸组分的比较研究尚无报道, 本实验通过对不同加工方式鹿茸的 37 种脂肪酸组分进行分析, 旨在为鹿茸的加工及综合利用提供理论依据。

1 仪器与材料

7890A 气相色谱 (GC) 仪, 美国 Agilent; MS 204S 电子分析天平, 瑞士 Mettler Toledo 公司; JP-100ST 超声清洗机, 深圳市洁盟清洗设备有限公司; XW-80A 微型漩涡混合仪, 上海沪西分析仪器有限公司; 低速台式大容量离心机, 上海菲恰尔分析仪器有限公司; 多样品平行蒸发仪, 瑞士 BUCHI Syncore; DHG-9123A 电热恒温鼓风干燥箱, 上海精宏实验设备有限公司; HGC-36A 氮吹仪, 天津市恒奥科技发展有限公司; WP-UP-WF-40 微量分析型超纯水机, 四川沃特水处理设备有限公司。

50 mL 离心管、多样品瓶、50 mL 具塞试管、移液枪、移液管、小试管、0.22 μm 有机系针头式过滤器 (天津市津腾实验设备有限公司)。

37 种脂肪酸甲酯混标, 上海安谱实验科技股份有限公司, 混标液总浓度 10 mg/mL; 氮气, 纯度 99.999% (质量分数); 甲醇、正己烷, 色谱纯, 美国 Fishser; 三氯甲烷、冰乙酸, 分析纯, 北京化工厂; 氯化钾、氢氧化钾、无水硫酸钠, 优级纯, 北

京化工厂; 超纯水, 电阻率 $\geq 18.25 \text{ M}\Omega$ 。

鲜鹿茸 6 对, 由中国农业科学院特产研究所老家试验站提供, 经中国农业科学院特产研究所李春义研究员鉴定为梅花鹿 *Cervus nippon* Temminck 的茸角 (二杠)。参照文献方法^[24], 随机选取其中 3 对进行排血茸 (P) 与带血茸 (D) 的对比加工, 另外 3 对进行沸水煮炸 (boiling processing, B) 与冷冻干燥 (freeze-drying processing, F) 的对比加工。将加工完的鹿茸按蜡片 (wax slices, w)、粉片 (powder slices, p)、蜂片 (bee slices, b) 分别进行分段、切片、粉碎、过筛 (40 目)、装袋, 标记对应的符号名称 (表 1)。

表 1 样品名称与符号简写

Table 1 Sample names and corresponding shorthand symbols

样品名称	符号表示	样品名称	符号表示
排血茸蜡片	Pw	带血茸蜡片	Dw
排血茸粉片	Pp	带血茸粉片	Dp
排血茸蜂片	Pb	带血茸蜂片	Db
煮炸茸蜡片	Bw	冻干茸蜡片	Fw
煮炸茸粉片	Bp	冻干茸粉片	Fp
煮炸茸蜂片	Bb	冻干茸蜂片	Fb

2 方法与结果

2.1 标准溶液的配制

37 种脂肪酸组分名称及质量浓度如下: 丁酸甲酯 (C4:0) 402.4 $\mu\text{g/mL}$ 、己酸甲酯 (C6:0) 392.2 $\mu\text{g/mL}$ 、辛酸甲酯 (C8:0) 395.2 $\mu\text{g/mL}$ 、癸酸甲酯 (C10:0) 394.9 $\mu\text{g/mL}$ 、十一烷酸甲酯 (C11:0) 196.5 $\mu\text{g/mL}$ 、月桂酸甲酯 (C12:0) 384.0 $\mu\text{g/mL}$ 、十三烷酸甲酯 (C13:0) 198.2 $\mu\text{g/mL}$ 、肉豆蔻酸甲酯 (C14:0) 398.8 $\mu\text{g/mL}$ 、肉豆蔻脑酸甲酯 (C14:1 *cis*-9) 199.1 $\mu\text{g/mL}$ 、十五烷酸甲酯 (C15:0) 199.4 $\mu\text{g/mL}$ 、顺-10-十五碳烯酸甲酯 (C15:1 *cis*-10) 199.1 $\mu\text{g/mL}$ 、棕榈酸甲酯 (C16:0) 595.9 $\mu\text{g/mL}$ 、棕榈油酸甲酯 (C16:1 *cis*-9) 207.6 $\mu\text{g/mL}$ 、十七烷酸甲酯 (C17:0) 200.1 $\mu\text{g/mL}$ 、顺-10-十七碳烯酸甲酯 (C17:1 *cis*-10) 199.5 $\mu\text{g/mL}$ 、硬脂酸甲酯 (C18:0) 401.3 $\mu\text{g/mL}$ 、反油酸甲酯 (C18:1 *trans*-9) 198.3 $\mu\text{g/mL}$ 、油酸甲酯 (C18:1 *cis*-9) 401.2 $\mu\text{g/mL}$ 、反亚油酸甲酯 (C18:2 *trans*-9,12) 195.1 $\mu\text{g/mL}$ 、亚油酸甲酯 (C18:2 *cis*-9,12) 218.8 $\mu\text{g/mL}$ 、 α -亚麻酸甲酯 (C18:3 *cis*-6,9,12) 199.6 $\mu\text{g/mL}$ 、 γ -亚麻酸甲酯 (C18:3 *cis*-9,12,15) 199.6

μg/mL、花生酸甲酯 (C20:0) 400.6 μg/mL、顺-11-二十碳烯酸甲酯 (C20:1 *cis*-11) 209.7 μg/mL、顺-11,14-二十碳二烯酸甲酯 (C20:2 *cis*-11,14) 198.2 μg/mL、二十一烷酸甲酯 (C21:0) 199.8 μg/mL、顺-8,11,14-二十碳三烯酸甲酯 (C20:3 *cis*-8,11,14) 198.1 μg/mL、花生四烯酸甲酯 (C20:4 *cis*-5,8,11,14) 197.4 μg/mL、顺-11,14,17-二十碳三烯酸甲酯 (C20:3 *cis*-11,14,17) 208.1 μg/mL、二十二烷酸甲酯 (C22:0) 398.5 μg/mL、二十碳五烯酸 (EPA) 甲酯 (C20:5 *cis*-5,8,11,14,17) 201.2 μg/mL、芥酸甲酯 (C22:1 *cis*-13) 199.8 μg/mL、顺-13,16-二十二碳二烯酸甲酯 (C22:2 *cis*-13,16) 203.5 μg/mL、二十三烷酸甲酯 (C23:0) 199.9 μg/mL、木蜡酸甲酯 (C24:0) 396.0 μg/mL、神经酸甲酯 (C24:1 *cis*-15) 199.1 μg/mL、二十二碳六烯酸 (DHA) 甲酯 (C22:6 *cis*-4,7,10,13,16,19) 188.1 μg/mL。将混合标准溶液准确稀释 10 倍, 上机备用。

2.2 GC 条件

DB-23 气相毛细管色谱柱 (100 m×0.25 mm, 0.15 μm, 美国 Superco 公司); 载气为高纯氮气, 体积流量 0.5 mL/min, 进样量 1 μL, 分流比 40:1。标准品升温程序: 130 °C 保持 5 min; 4 °C/min 升温到 240 °C, 保持 20 min。样品升温程序: 50 °C 保持 1 min; 25 °C/min 升温到 175 °C; 3 °C/min

升温到 230 °C, 保持 8 min。进样口温度 250 °C; FID 温度 280 °C。

2.3 样品前处理

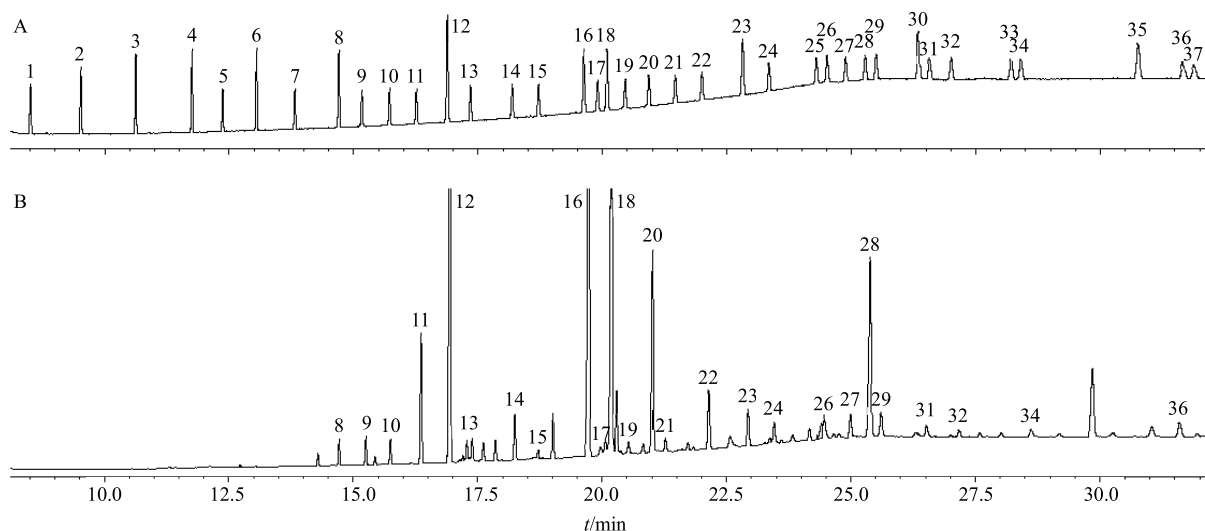
准确称取鹿茸样品粉末 1 g, 每个样品 3 份, 置于 50 mL 具塞试管。参考文献方法^[25-26], 加 1% KOH-CH₃OH 溶液 10 mL, 空白对照加入等量的蒸馏水, 涡旋混匀, 室温静置 2 h; 滴加 10% 乙酸溶液 10 滴 (0.5~1.0 mL) 和正己烷 5 mL, 静置分层; 上层有机相转移至小试管, N₂ 吹干, 正己烷定容至 2 mL, 通过 0.22 μm 针头式过滤器至样品瓶, 上机备用。

2.4 标准谱图的绘制

采用标准对比法对 37 种脂肪酸甲酯进行定量分析, 得到 37 种脂肪酸甲酯混合标准品谱图。如图 1-A 所示, 混合标准溶液中的 37 种脂肪酸甲酯彼此之间完全分离, 达到较好的基线分离效果, 而且峰形完整、对称。

2.5 鹿茸脂肪酸的测定

2.5.1 排血茸与带血茸脂肪酸的比较 排血茸与带血茸中脂肪酸的量见表 2, 鹿茸典型 GC 图见图 1-B。由表 2 可知, 鹿茸中的饱和脂肪酸以棕榈酸和硬脂酸为主。排血茸蜡片、粉片、蜂片部位棕榈酸的量分别为 3.41、2.15、1.19 g/kg, 带血茸相应部位棕榈酸的量分别为 3.22、1.30、1.11 g/kg。排血茸与带



1-C4:0 2-C6:0 3-C8:0 4-C10:0 5-C11:0 6-C12:0 7-C13:0 8-C14:0 9-C14:1 *cis*-9 10-C15:0 11-C15:1 *cis*-10 12-C16:0 13-C16:1 *cis*-9 14-C17:0 15-C17:1 *cis*-10 16-C18:0 17-C18:1 *trans*-9 18-C18:1 *cis*-9 19-C18:2 *trans*-9,12 20-C18:2 *cis*-9,12 21-C18:3 *cis*-6,9,12 22-C18:3 *cis*-9,12,15 23-C20:0 24-C20:1 *cis*-11 25-C20:2 *cis*-11,14 26-C21:0 27-C20:3 *cis*-8,11,14 28-C20:4 *cis*-5,8,11,14 29-C20:3 *cis*-11,14,17 30-C22:0 31-C20:5 *cis*-5,8,11,14,17 32-C22:1 *cis*-13 33-C22:2 *cis*-13,16 34-C23:0 35-C24:0 36-C24:1 *cis*-15 37-C22:6 *cis*-4,7,10,13,16,19

图 1 脂肪酸甲酯混标 (A) 和鹿茸样品脂肪酸 (B) 典型 GC 图

Fig. 1 GC of fatty acid methyl ester mixed standard (A) and fatty acids of CCP (B)

表 2 排血茸与带血茸中脂肪酸的质量分数与占比
Table 2 Fatty acids content and percentage of CCP without and with blood

脂肪酸组分	Pw		Pp		Pb	
	质量分数/(mg·kg ⁻¹)	占比/%	质量分数/(mg·kg ⁻¹)	占比/%	质量分数/(mg·kg ⁻¹)	占比/%
饱和脂肪酸						
C4:0	—	—	—	—	—	—
C6:0	—	—	—	—	—	—
C8:0	—	—	—	—	—	—
C10:0	—	—	—	—	—	—
C11:0	—	—	—	—	—	—
C12:0	—	—	—	—	—	—
C13:0	—	—	—	—	—	—
C14:0	152.57± 12.00	0.95	76.03± 1.20	0.74	43.68± 2.13	0.79
C15:0	113.42± 4.89	0.71	79.22± 1.11	0.77	44.26± 1.25	0.80
C16:0	3 410.10± 191.60	21.32	2 148.00± 30.87	20.82	1 190.02± 30.50	21.60
C17:0	224.76± 16.13	1.41	146.82± 2.38	1.42	88.80± 3.38	1.61
C18:0	2 386.76± 199.33	14.92	1 562.78± 46.24	15.15	1 108.34± 37.02	20.11
C20:0	137.63± 15.82	0.86	101.38± 5.88	0.98	79.40± 3.93	1.44
C21:0	71.87± 4.45	0.45	38.19± 7.29	0.37	22.84± 0.99	0.41
C22:0	65.35± 2.92	0.41	38.05± 3.44	0.37	31.09± 1.67	0.56
C23:0	101.58± 4.83	0.64	51.27± 1.24	0.50	22.77± 0.39	0.41
C24:0	87.85± 10.91	0.55	64.07± 5.49	0.62	41.72± 6.12	0.76
单不饱和脂肪酸						
C14:1, <i>cis</i> -9	70.77± 13.99	0.44	47.03± 2.26	0.46	47.93± 0.78	0.87
C15:1, <i>cis</i> -10	430.26± 27.69	2.69	311.50± 14.97	3.02	227.27± 1.20	4.12
C16:1, <i>cis</i> -9	354.40± 8.66	2.22	97.23± 1.65	0.94	40.99± 1.70	0.74
C17:1, <i>cis</i> -10	144.88± 22.43	0.91	42.88± 2.41	0.42	15.71± 0.71	0.29
C18:1, <i>trans</i> -9	79.36± 4.02	0.50	40.24± 0.55	0.39	28.61± 4.72	0.52
C18:1, <i>cis</i> -9	4 309.07± 169.79	26.94	2 121.14± 13.06	20.56	1 108.97± 15.88	20.12
C20:1, <i>cis</i> -11	110.57± 13.85	0.69	86.20± 2.24	0.84	45.31± 1.29	0.82
C22:1, <i>cis</i> -13	76.53± 16.40	0.48	41.10± 3.38	0.40	22.13± 0.59	0.40
C24:1, <i>cis</i> -15	142.66± 29.00	0.89	110.15± 7.33	1.07	68.01± 0.09	1.23
多不饱和脂肪酸						
C18:2, <i>trans</i> -9,12	67.83± 3.64	0.42	22.44± 1.19	0.22	34.85± 1.03	0.63
C18:2, <i>cis</i> -9,12	1 200.90± 34.29	7.51	786.51± 21.50	7.62	425.50± 13.67	7.72
C18:3, <i>cis</i> -6,9,12	48.74± 6.90	0.30	32.38± 3.34	0.31	15.54± 0.27	0.28
C18:3, <i>cis</i> -9,12,15	195.76± 19.35	1.22	157.76± 15.00	1.53	127.65± 0.87	2.32
C20:2, <i>cis</i> -11,14	429.51± 31.72	2.69	1 003.46± 77.19	9.73	51.70± 2.64	0.94
C20:3, <i>cis</i> -8,11,14	199.36± 20.96	1.25	110.90± 0.97	1.07	60.11± 1.83	1.09
C20:4, <i>cis</i> -5,8,11,14	1 265.40± 86.57	7.91	871.05± 8.07	8.44	457.44± 22.60	8.30
C20:3, <i>cis</i> -11,14,17	83.78± 7.87	0.52	70.48± 7.33	0.68	59.97± 2.55	1.09
C20:5, <i>cis</i> -5,8,11,14,17	33.79± 3.54	0.21	17.89± 1.57	0.17	—	—
C22:2, <i>cis</i> -13,16	—	—	—	—	—	—
C22:6, <i>cis</i> -4,7,10,13,16,19	—	—	42.11± 1.60	0.41	—	—
总脂肪酸/(mg·kg ⁻¹)	15 995.46± 537.45	100.00	10 318.27± 109.04	100.00	5 510.61± 111.10	100.00

续表 2

脂肪酸组分	Dw		Dp		Db	
	质量分数/(mg·kg ⁻¹)	占比/%	质量分数/(mg·kg ⁻¹)	占比/%	质量分数/(mg·kg ⁻¹)	占比/%
饱和脂肪酸						
C4:0	—	—	—	—	—	—
C6:0	—	—	—	—	—	—
C8:0	—	—	—	—	—	—
C10:0	—	—	—	—	—	—
C11:0	—	—	—	—	—	—
C12:0	—	—	—	—	—	—
C13:0	—	—	—	—	—	—
C14:0	161.44± 20.92	1.09	60.31± 9.30	1.00	38.78± 1.82	0.79
C15:0	109.22± 6.89	0.74	47.63± 5.00	0.79	38.38± 1.91	0.79
C16:0	3 215.83±243.94	21.72	1 295.23±134.66	21.44	1 105.98± 40.05	22.66
C17:0	210.52± 7.44	1.42	78.95± 5.63	1.31	71.92± 2.31	1.47
C18:0	2 153.95± 59.18	14.55	998.80± 86.07	16.53	1 103.40± 38.23	22.61
C20:0	116.41± 5.23	0.79	60.72± 5.72	1.00	67.61± 3.01	1.39
C21:0	33.99± 2.63	0.23	39.31± 2.60	0.65	23.88± 0.39	0.49
C22:0	34.37± 9.09	0.23	28.67± 2.38	0.47	26.69± 4.33	0.55
C23:0	81.48± 12.58	0.55	37.04± 2.52	0.61	—	—
C24:0	74.14± 4.42	0.50	—	—	—	—
单不饱和脂肪酸						
C14:1, <i>cis</i> -9	113.71± 5.85	0.77	28.75± 3.18	0.48	41.47± 1.63	0.85
C15:1, <i>cis</i> -10	370.93± 26.52	2.51	185.77± 11.39	3.07	178.78± 6.99	3.66
C16:1, <i>cis</i> -9	340.92± 26.90	2.30	67.86± 8.37	1.12	36.39± 2.93	0.75
C17:1, <i>cis</i> -10	142.28± 4.68	0.96	30.42± 3.63	0.50	12.02± 0.89	0.25
C18:1, <i>trans</i> -9	64.46± 2.42	0.44	27.73± 1.85	0.46	26.77± 0.67	0.55
C18:1, <i>cis</i> -9	4 150.71±131.95	28.03	1 164.16± 75.55	19.27	985.47± 35.80	20.19
C20:1, <i>cis</i> -11	118.52± 4.12	0.80	41.68± 4.85	0.69	34.05± 1.07	0.70
C22:1, <i>cis</i> -13	43.39± 8.61	0.29	17.42± 1.61	0.29	16.91± 0.89	0.35
C24:1, <i>cis</i> -15	123.55± 7.44	0.83	—	—	—	—
多不饱和脂肪酸						
C18:2, <i>trans</i> -9,12	70.92± 4.02	0.48	18.05± 3.47	0.30	32.30± 2.16	0.66
C18:2, <i>cis</i> -9,12	1 106.89± 7.34	7.48	750.39± 22.57	12.42	325.81± 19.74	6.68
C18:3, <i>cis</i> -6,9,12	37.51± 0.99	0.25	19.77± 1.28	0.33	16.68± 0.98	0.34
C18:3, <i>cis</i> -9,12,15	164.42± 5.33	1.11	71.55± 8.53	1.18	106.20± 1.41	2.18
C20:2, <i>cis</i> -11,14	598.23± 7.81	4.04	446.48± 32.18	7.39	236.84± 12.44	4.85
C20:3, <i>cis</i> -8,11,14	161.49± 6.76	1.09	42.07± 4.41	0.70	41.71± 5.99	0.85
C20:4, <i>cis</i> -5,8,11,14	860.62±237.19	5.81	371.38± 20.55	6.15	265.66± 6.65	5.44
C20:3, <i>cis</i> -11,14,17	56.92± 14.01	0.38	24.32± 1.90	0.40	47.14± 1.35	0.97
C20:5, <i>cis</i> -5,8,11,14,17	90.69± 4.97	0.61	87.48± 2.28	1.45	—	—
C22:2, <i>cis</i> -13,16	—	—	—	—	—	—
C22:6, <i>cis</i> -4,7,10,13,16,19	—	—	—	—	—	—
总脂肪酸/(mg·kg ⁻¹)	14 807.50±379.12	100.00	6 041.95±252.12	100.00	4 880.84±128.25	100.00

“—” 未检出

“—” not check out

血茸蜡片部位硬脂酸的量分别为 2.39、2.15 g/kg。带血茸中棕榈酸和硬脂酸的量均低于排血茸。单不饱和脂肪酸组分以油酸为主,排血茸蜡片、粉片、蜂片部位油酸的量分别为 4.31、2.12、1.11 g/kg,带血茸相应部位油酸的量分别为 4.15、1.16、0.99 g/kg。多不饱和脂肪酸组分以亚油酸、亚麻酸、二十碳二烯酸、花生四烯酸为主。以亚油酸为例,排血茸蜡片、粉片、蜂片部位的量分别为 1.20、0.79、0.43 g/kg,带血茸相应部位的量分别为 1.11、0.75、0.33 g/kg。带血茸二十碳五烯酸(EPA)的量明显高于排血茸。脂肪酸的量呈现蜡片、粉片、蜂片依次降低的趋势,排血茸脂肪酸的量高于带血茸,其中排血茸蜡片部位与带血茸蜡片部位差异极显著($P=0.0007$),排血茸粉片部位与带血茸粉片部位差异极显著($P<0.0001$),排血茸蜂片部位与带血茸蜂片部位差异显著($P=0.0415$)。本研究检测出鹿茸中含有 10 种饱和脂肪酸(SFA)、9 种单不饱和脂肪酸(MUFA)以及 10 种多不饱和脂肪酸(PUFA),带血茸和排血茸中这几类脂肪酸的质量分数如表 3 所示。

表 3 排血茸与带血茸不同种类脂肪酸的比较

Table 3 Comparison on different kinds of fatty acids of CCP without and with blood

样品	质量分数/(mg·kg ⁻¹)					
	SFA		MUFA		PUFA	
Pw	6 753.89±	65.18	5 718.49±	61.05	3 525.08±	211.20
Pp	4 307.81±	46.13	2 897.48±	5.39	3 114.98±	77.42
Pb	2 674.92±	76.09	1 604.94±	11.68	1 232.76±	40.11
Dw	6 193.34±	187.39	5 468.47±	66.83	3 147.70±	256.74
Dp	2 648.66±	213.63	1 563.80±	74.37	1 831.49±	21.68
Db	2 478.64±	76.84	1 331.86±	30.22	1 072.35±	36.29

结果表明,排血茸蜡片、粉片、蜂片部位饱和脂肪酸的量分别为 6.75、4.31、2.67 g/kg,蜡片部位分别是粉片、蜂片部位的 1.57 倍和 2.53 倍。带血茸蜡片、粉片、蜂片部位饱和脂肪酸的量分别为 6.19、2.65、2.48 g/kg,蜡片部位分别是粉片、蜂片部位的 2.34 倍和 2.50 倍。排血茸蜡片部位与带血茸蜡片部位饱和脂肪酸量的差异极显著($P=0.0008$),排血茸粉片部位与带血茸粉片部位差异极显著($P<0.0001$),排血茸蜂片部位与带血茸蜂片部位差异不显著($P=0.1707$)。

排血茸蜡片、粉片、蜂片部位单不饱和脂肪酸的量分别为 5.71、2.90、1.61 g/kg,蜡片部位分别

是粉片、蜂片部位的 1.97 倍和 3.55 倍。带血茸蜡片、粉片、蜂片部位单不饱和脂肪酸的量分别为 5.47、1.56、1.33 g/kg,蜡片部位分别是粉片、蜂片部位的 3.51 倍和 4.11 倍。排血茸蜡片部位与带血茸蜡片部位单不饱和脂肪酸量的差异显著($P=0.0254$),排血茸粉片部位与带血茸粉片部位差异极显著($P<0.0001$),排血茸蜂片部位与带血茸蜂片部位差异显著($P=0.0160$)。

排血茸蜡片、粉片、蜂片部位多不饱和脂肪酸的量分别为 3.53、3.12、1.23 g/kg,蜡片部位分别是粉片、蜂片部位的 1.13 倍和 2.87 倍。带血茸蜡片、粉片、蜂片部位多不饱和脂肪酸的量分别为 3.15、1.83、1.07 g/kg,蜡片部位分别是粉片、蜂片部位的 1.72 倍和 2.94 倍。排血茸蜡片部位与带血茸蜡片部位多不饱和脂肪酸量的差异极显著($P=0.0027$),排血茸粉片部位与带血茸粉片部位差异极显著($P<0.0001$),排血茸蜂片部位与带血茸蜂片部位差异不显著($P=0.1518$)。

2 种不同加工方式的鹿茸饱和脂肪酸、单不饱和脂肪酸与多不饱和脂肪酸的量均以蜡片部位最高,粉片部位次之,蜂片部位最低。

2.5.2 煮炸茸与冻干茸脂肪酸的比较 煮炸茸与冻干茸脂肪酸的量见表 4。可知,煮炸茸蜡片、粉片、蜂片部位棕榈酸的量分别为 2.37、1.57、1.02 g/kg,冻干茸相应部位棕榈酸的量分别为 3.18、2.74、2.23 g/kg。煮炸茸与冻干茸蜡片部位硬脂酸的量分别为 1.19、1.13 g/kg,粉片部位分别为 0.90、0.97 g/kg,蜂片部位分别为 0.75、0.98 g/kg。单不饱和脂肪酸组分以油酸为主,煮炸茸蜡片、粉片、蜂片部位油酸的量分别为 2.04、1.29、0.79 g/kg,冻干茸相应部位油酸的量分别为 2.07、1.42、1.00 g/kg。多不饱和脂肪酸主要包括 C₁₈ 和 C₂₀,以花生四烯酸为例,煮炸茸蜡片、粉片、蜂片部位的量分别为 0.48、0.36、0.27 g/kg,冻干茸相应部位的量分别为 0.51、0.43、0.32 g/kg。2 种不同方式的鹿茸脂肪酸的量均呈现蜡片、粉片、蜂片依次降低的趋势,冻干茸脂肪酸含量高于煮炸茸,其中煮炸茸蜡片部位与冻干茸蜡片部位差异不显著($P=0.1211$),煮炸茸粉片部位与冻干茸粉片部位差异极显著($P<0.0001$),煮炸茸蜂片部位与冻干茸蜂片部位差异极显著($P<0.0001$)。

煮炸茸与冻干茸中饱和脂肪酸、单不饱和脂肪酸、多不饱和脂肪酸的量见表 5。

表 4 煮炸茸与冻干茸脂肪酸的量与占比

Table 4 Fatty acids content and percentage of CCP with boiling and freeze-drying processing methods

脂肪酸组分	Bw			Bp			Bb		
	质量分数/(mg·kg ⁻¹)		占比/%	质量分数/(mg·kg ⁻¹)		占比/%	质量分数/(mg·kg ⁻¹)		占比/%
饱和脂肪酸									
C4:0	—		—	—		—	—		—
C6:0	—		—	—		—	—		—
C8:0	—		—	—		—	—		—
C10:0	—		—	—		—	—		—
C11:0	—		—	—		—	—		—
C12:0	—		—	—		—	—		—
C13:0	—		—	—		—	—		—
C14:0	87.95±	3.25	0.97	58.12±	2.25	0.94	33.28±	0.20	0.79
C15:0	62.65±	2.10	0.69	56.40±	2.93	0.91	38.11±	0.83	0.90
C16:0	2 374.23±	88.75	26.20	1 570.02±	81.61	25.32	1 015.23±	17.64	24.03
C17:0	108.47±	4.83	1.20	83.51±	4.76	1.35	61.43±	3.34	1.45
C18:0	1 186.17±	51.38	13.09	901.40±	81.16	14.54	745.92±	45.58	17.65
C20:0	85.22±	5.03	0.94	66.82±	3.54	1.08	57.69±	8.07	1.37
C21:0	77.24±	1.22	0.85	62.15±	3.71	1.00	49.74±	2.21	1.18
C22:0	77.45±	2.51	0.85	28.40±	1.16	0.46	25.52±	3.32	0.60
C23:0	53.93±	5.82	0.60	18.41±	1.39	0.30	—		—
C24:0	47.86±	2.39	0.53	28.54±	1.20	0.46	—		—
单不饱和脂肪酸									
C14:1, <i>cis</i> -9	27.08±	0.57	0.30	36.29±	2.34	0.59	28.23±	0.37	0.67
C15:1, <i>cis</i> -10	229.84±	10.36	2.54	224.91±	8.54	3.63	179.35±	6.96	4.24
C16:1, <i>cis</i> -9	207.77±	5.68	2.29	92.24±	3.57	1.49	47.90±	1.74	1.13
C17:1, <i>cis</i> -10	44.14±	1.54	0.49	35.89±	1.31	0.58	18.49±	0.76	0.44
C18:1, <i>trans</i> -9	—		—	—		—	—		—
C18:1, <i>cis</i> -9	2 040.89±	87.94	22.52	1 287.90±	69.01	20.77	790.17±	19.31	18.70
C20:1, <i>cis</i> -11	68.29±	3.58	0.75	28.53±	1.11	0.46	21.92±	0.60	0.52
C22:1, <i>cis</i> -13	34.81±	2.55	0.38	—		—	—		—
C24:1, <i>cis</i> -15	94.49±	3.36	1.04	85.33±	3.87	1.38	65.53±	1.60	1.55
多不饱和脂肪酸									
C18:2, <i>trans</i> -9,12	410.99±	13.71	4.53	237.54±	18.09	3.83	148.42±	0.99	3.51
C18:2, <i>cis</i> -9,12	359.88±	11.58	3.97	325.64±	24.68	5.25	294.27±	24.21	6.96
C18:3, <i>cis</i> -6,9,12	41.09±	1.83	0.45	19.68±	1.02	0.32	16.43±	0.95	0.39
C18:3, <i>cis</i> -9,12,15	102.14±	6.92	1.13	78.69±	4.69	1.27	73.87±	10.42	1.75
C20:2, <i>cis</i> -11,14	523.78±	41.82	5.78	319.38±	18.14	5.15	131.48±	4.68	3.11
C20:3, <i>cis</i> -8,11,14	56.30±	1.67	0.62	38.61±	2.66	0.62	31.02±	3.31	0.73
C20:4, <i>cis</i> -5,8,11,14	475.09±	14.65	5.24	361.57±	24.28	5.83	274.23±	25.91	6.49
C20:3, <i>cis</i> -11,14,17	47.81±	1.87	0.53	37.72±	3.40	0.61	47.60±	2.77	1.13
C20:5, <i>cis</i> -5,8,11,14,17	95.17±	4.39	1.05	82.77±	2.96	1.33	—		—
C22:2, <i>cis</i> -13,16	42.21±	3.13	0.47	34.40±	2.14	0.55	29.56±	1.20	0.70
C22:6, <i>cis</i> -4,7,10,13,16,19	—		—	—		—	—		—
总脂肪酸/(mg·kg ⁻¹)	9 062.94±	368.51	100.00	6 200.86±	306.34	100.00	4 225.37±	101.17	100.00

续表 4

脂肪酸组分	Fw		Fp		Fb	
	质量分数/(mg·kg ⁻¹)	占比/%	质量分数/(mg·kg ⁻¹)	占比/%	质量分数/(mg·kg ⁻¹)	占比/%
饱和脂肪酸						
C4:0	—	—	—	—	—	—
C6:0	—	—	—	—	—	—
C8:0	—	—	—	—	—	—
C10:0	—	—	—	—	—	—
C11:0	—	—	—	—	—	—
C12:0	—	—	—	—	—	—
C13:0	—	—	—	—	—	—
C14:0	122.16± 14.91	1.29	102.85± 2.37	1.36	69.42± 4.76	1.11
C15:0	80.97± 10.08	0.86	68.18± 1.44	0.90	52.99± 2.07	0.85
C16:0	3 175.58± 167.49	33.58	2 742.49± 35.06	36.40	2 230.05± 189.26	35.80
C17:0	110.95± 14.85	1.17	86.63± 6.09	1.15	74.46± 7.22	1.20
C18:0	1 132.92± 167.57	11.98	966.45± 29.95	12.83	981.71± 100.29	15.76
C20:0	91.50± 14.65	0.97	60.38± 4.18	0.80	78.61± 12.48	1.26
C21:0	61.63± 2.91	0.65	60.65± 4.41	0.80	74.19± 5.08	1.19
C22:0	44.26± 6.79	0.47	33.76± 1.11	0.45	46.65± 5.59	0.75
C23:0	31.49± 2.63	0.33	26.75± 1.27	0.36	22.48± 3.35	0.36
C24:0	93.12± 3.19	0.98	82.15± 10.87	1.09	97.43± 3.71	1.56
单不饱和脂肪酸						
C14:1, <i>cis</i> -9	26.44± 3.80	0.28	24.52± 2.18	0.33	19.78± 1.30	0.32
C15:1, <i>cis</i> -10	147.11± 20.52	1.56	121.04± 2.69	1.61	125.86± 8.81	2.02
C16:1, <i>cis</i> -9	198.08± 23.61	2.09	156.37± 3.26	2.08	67.78± 2.56	1.09
C17:1, <i>cis</i> -10	51.49± 6.91	0.54	37.73± 1.84	0.50	21.75± 0.81	0.35
C18:1, <i>trans</i> -9	24.38± 3.13	0.26	—	—	—	—
C18:1, <i>cis</i> -9	2 073.94± 6.30	21.93	1 424.34± 27.38	18.90	1 001.80± 49.26	16.08
C20:1, <i>cis</i> -11	63.23± 8.88	0.67	34.13± 3.47	0.45	33.23± 3.57	0.53
C22:1, <i>cis</i> -13	38.79± 6.12	0.41	22.15± 0.68	0.29	18.80± 1.21	0.30
C24:1, <i>cis</i> -15	81.10± 10.76	0.86	64.01± 6.66	0.85	72.27± 5.52	1.16
多不饱和脂肪酸						
C18:2, <i>trans</i> -9,12	276.58± 32.28	2.92	295.10± 2.82	3.92	175.50± 16.00	2.82
C18:2, <i>cis</i> -9,12	304.83± 42.79	3.22	240.43± 3.07	3.19	227.62± 12.62	3.65
C18:3, <i>cis</i> -6,9,12	38.37± 5.87	0.41	19.42± 0.74	0.26	20.07± 1.41	0.32
C18:3, <i>cis</i> -9,12,15	85.66± 13.42	0.91	66.06± 5.74	0.88	82.01± 12.95	1.32
C20:2, <i>cis</i> -11,14	422.84± 9.90	4.47	268.12± 7.07	3.56	117.11± 8.78	1.88
C20:3, <i>cis</i> -8,11,14	41.75± 5.12	0.44	35.56± 3.09	0.47	24.14± 1.00	0.39
C20:4, <i>cis</i> -5,8,11,14	511.18± 16.32	5.41	426.84± 16.79	5.66	323.02± 19.58	5.19
C20:3, <i>cis</i> -11,14,17	56.18± 9.97	0.59	31.80± 2.07	0.42	62.91± 2.12	1.01
C20:5, <i>cis</i> -5,8,11,14,17	22.86± 0.29	0.24	—	—	50.80± 44.07	0.82
C22:2, <i>cis</i> -13,16	46.50± 8.95	0.49	37.23± 1.90	0.49	57.33± 9.40	0.92
C22:6, <i>cis</i> -4,7,10,13,16,19	—	—	—	—	—	—
总脂肪酸/(mg·kg ⁻¹)	9 455.89± 415.96	100.00	7 535.14± 109.51	100.00	6 229.81± 446.48	100.00

“—” 未检出

“—” not check out

表 5 煮炸茸与冻干茸不同种类脂肪酸的比较

Table 5 Comparison on different kinds of fatty acids of CCP with boiling and freeze-drying processing methods

样品	质量分数/(mg·kg ⁻¹)		
	SFA	MUFA	PUFA
Bw	4 163.16±158.65	2 652.83±110.42	2 154.46±100.67
Bp	2 875.77±171.79	1 705.76± 80.66	1 535.98± 59.56
Bb	2 028.91± 74.37	1 086.05± 17.53	1 046.88± 17.77
Fw	4 946.59±293.80	2 623.45± 67.84	1 806.75± 72.86
Fp	4 232.29± 74.13	1 820.28± 32.61	1 420.55± 22.00
Fb	3 730.00±316.63	1 289.02± 65.96	1 140.53±104.17

结果表明,煮炸茸蜡片、粉片、蜂片部位饱和脂肪酸的量分别为 4.16、2.88、2.03 g/kg,蜡片部位分别是粉片、蜂片部位的 1.44 倍和 2.05 倍。冻干茸蜡片、粉片、蜂片部位饱和脂肪酸的量分别为 4.95、4.23、3.73 g/kg,蜡片部位分别是粉片、蜂片部位的 1.17 倍和 1.33 倍。煮炸茸蜡片部位与冻干茸蜡片部位饱和脂肪酸的量差异极显著 ($P<0.0001$),煮炸茸粉片部位与冻干茸粉片部位差异极显著 ($P<0.0001$),煮炸茸蜂片部位与冻干茸蜂片部位差异极显著 ($P<0.0001$)。

煮炸茸蜡片、粉片、蜂片部位单不饱和脂肪酸的量分别为 2.65、1.71、1.09 g/kg,蜡片部位分别是粉片、蜂片部位的 1.55 倍和 2.43 倍。冻干茸蜡片、粉片、蜂片部位单不饱和脂肪酸的量分别为 2.62、1.82、1.29 g/kg,蜡片部位分别是粉片、蜂片部位的 1.44 倍和 2.03 倍。煮炸茸蜡片部位与冻干茸蜡片部位单不饱和脂肪酸的量差异不显著 ($P=0.5879$),煮炸茸粉片部位与冻干茸粉片部位差异显著 ($P=0.0467$),煮炸茸蜂片部位与冻干茸蜂片部位差异极显著 ($P=0.0015$)。

煮炸茸蜡片、粉片、蜂片部位多不饱和脂肪酸的量分别为 2.15、1.54、1.05 g/kg,蜡片部位分别是粉片、蜂片部位的 1.40 倍和 2.05 倍。冻干茸蜡片、粉片、蜂片部位多不饱和脂肪酸的量分别为 1.81、1.42、1.14 g/kg,蜡片部位分别是粉片、蜂片部位的 1.27 倍和 1.59 倍。煮炸茸蜡片部位与冻干茸蜡片部位多不饱和脂肪酸的量差异极显著 ($P<0.0001$),煮炸茸粉片部位与冻干茸粉片部位差异不显著 ($P=0.0517$),煮炸茸蜂片部位与冻干茸蜂片部位差异也不显著 ($P=0.1075$)。

2 种不同加工方式的鹿茸饱和脂肪酸、单不饱

和脂肪酸、多不饱和脂肪酸的量均呈现蜡片、粉片、蜂片依次降低的趋势。不同部位的鹿茸均表现为饱和脂肪酸的量最高,单不饱和脂肪酸的量次之,多不饱和脂肪酸的量最低。

3 讨论

3.1 排血茸与带血茸的比较

鹿茸的加工可分为排血茸的加工和带血茸的加工。所谓排血茸,是指借用外力先将鹿茸中的血液排出茸体再进行加工的鹿茸^[24]。该加工方式可将茸皮中的瘀血充分排出,加工而成的鹿茸颜色鲜亮均一。将鹿茸血保留在茸体内进行加工得到的鹿茸称为带血茸。带血茸有效保留了鹿茸血液中的营养成分,但颜色发暗,不如排血茸颜色均匀、鲜亮。以质量占比较大的粉片和蜂片部位为例,本研究测得排血茸粉片、蜂片部位的脂肪酸分别是 10.32、5.51 g/kg,带血茸的则分别为 6.04、4.88 g/kg,排血茸脂肪酸的质量分数高于带血茸,这可能是由于鹿茸血液中脂肪酸的量较低^[27]。

3.2 煮炸茸与冻干茸的比较

鹿茸的加工还可分为沸水煮炸与冷冻干燥。其中,沸水煮炸是鹿茸加工领域应用最为广泛的一种加工方式。沸水煮炸所需设备简单易得,而且经过高温水煮可以起到良好的杀菌作用。利用该方法加工而成的鹿茸茸皮颜色鲜艳有光泽,茸头充盈饱满有弹性。目前市场上所售商品茸多为煮炸茸。鹿茸冷冻干燥过程完全在低温环境中进行,可有效避免鹿茸中蛋白质、维生素等热敏性成分的损失,而且其加工周期短,有效提高了鹿茸的加工效率。但冷冻干燥过程中无法杀灭鲜鹿茸中可能携带的结核杆菌、布氏杆菌等病原微生物,因此其在鹿茸加工领域的推广具有局限性。

本研究测得煮炸茸与冻干茸粉片、蜂片部位的脂肪酸分别是 6.20、4.23 g/kg 和 7.54、6.23 g/kg,煮炸茸中的脂肪酸含量低于冻干茸。这是由于传统煮炸法一般采用沸水煮茸、高温烘烤的方法,茸皮中富含皮脂腺,高温作用下皮脂经由皮脂腺排出茸体,冷却后的炸茸水中可明显观察到油状物质,烘烤后茸体表层有油珠渗出,造成包括脂肪酸在内的脂类成分的损失。

3.3 前处理方法的选择

由于多数脂肪酸的沸点较高,进行气相色谱分析时,需将脂肪酸转化成沸点较低的脂肪酸甲酯。本研究对部分样品进行了不同前处理方法比较的预

试验, 试比较氯仿-甲醇超声提取^[28-30]后再进行甲酯化处理与直接甲酯化处理对脂肪酸量的影响。结果表明, 超声提取-甲酯化法与直接甲酯化法所得试样的脂肪酸的量无显著性差异。由于超声提取的前处理方法操作繁琐, 且溶液需经多次转移, 增大了目标提取物损失的概率, 因此最终采用 KOH-CH₃OH 直接皂化甲酯化与正己烷萃取相结合的方法。

3.4 脂肪酸组分

多不饱和脂肪酸中的亚油酸、亚麻酸和花生四烯酸, 人体内不能自发合成, 必须由食物供给, 是人体必需脂肪酸。鹿茸中这几种脂肪酸组分的量相对较高, 以花生四烯酸为例, 煮炸茸蜡片部位的脂肪酸是 0.48 g/kg, 冻干茸的为 0.51 g/kg。本实验检测到鹿茸中的 30 种脂肪酸组分, 实验所用鹿茸样品中均未检测到短链脂肪酸 (C₁~C₆) 及中链脂肪酸 (C₆~C₁₂), 一方面是由于低碳脂肪酸沸点低, 易挥发, 鹿茸加工、样品前处理等环节均可导致其损失^[31]; 另一方面也可能是鹿茸中的低碳脂肪酸的量很低未检测出的缘故。检测出的相对分子质量最小的脂肪酸是 C14:0, 即肉豆蔻酸, 其沸点为 250.5 °C, 测得其在鹿茸中的量为 0.03~0.16 g/kg。

参考文献

- [1] 中国药典 [S]. 一部. 2015.
- [2] 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.
- [3] 胡太超, 刘玉敏, 陶荣珊, 等. 鹿茸的化学成分及药理作用研究概述 [J]. 经济动物学报, 2015, 19(3): 156-162.
- [4] 周冉, 王飞, 郝洁, 等. 超滤浓缩技术分离鹿茸中胰岛素样生长因子-1 [J]. 中草药, 2013, 44(10): 1257-1262.
- [5] 刘克敏, 孙艺平, 王珂萌, 等. 鹿茸的心肌保护作用与 M 受体的相关性研究 [J]. 重庆医学, 2016, 45(31): 4404-4406.
- [6] 徐岩, 李朝政, 李智萌, 等. 鹿茸多肽诱导心肌干细胞分化为心肌细胞研究进展 [J]. 长春中医药大学学报, 2016, 32(3): 653-655.
- [7] 李凤才, 谢海泉, 邸琳, 等. 复方鹿茸健骨胶囊抗骨质疏松作用 [J]. 中草药, 2010, 41(5): 789-791.
- [8] Bridges K M, Gigliotti J C, Altman S, et al. Determination of digestibility, tissue deposition, and metabolism of the omega-3 fatty acid content of krill protein concentrate in growing rats [J]. *J Agric Food Chem*, 2010, 58(5): 2830-2837.
- [9] Rapaport M H, Nierenberg A A, Schettler P J, et al. Inflammation as a predictive biomarker for response to omega-3 fatty acids in major depressive disorder: a proof-of-concept study [J]. *Mol Psychiatr*, 2016, 21(1): 71-79.
- [10] Calder P C. n-3 fatty acids, inflammation and immunity: new mechanisms to explain old actions [J]. *P Nutr Soc*, 2013, 72(3): 326-336.
- [11] Miller P E, Van Elswyk M, Alexander D D. Long-chain omega-3 fatty acids eicosapentaenoic acid and docosahexaenoic acid and blood pressure: A meta-analysis of randomized controlled trials [J]. *Am J Hypertens*, 2014, 27(7): 885-896.
- [12] Molinari C, Risé P, Guerra C, et al. Eight-week consumption of milk enriched with omega 3 fatty acids raises their blood concentrations yet does not affect lipids and cardiovascular disease risk factors in adult healthy volunteers [J]. *Pharm Nutr*, 2014, 2(4): 141-148.
- [13] Calder P C. Marine omega-3 fatty acids and inflammatory processes: effects, mechanisms and clinical relevance [J]. *BBA-Mol Cell Biol L*, 2015, 1851(4): 469-484.
- [14] Bazinet R P, Layé S. Polyunsaturated fatty acids and their metabolites in brain function and disease [J]. *Nat Rev Neurosci*, 2014, 15(12): 771-785.
- [15] Janssen C I F, Kiliaan A J. Long-chain polyunsaturated fatty acids (LCPUFA) from genesis to senescence: the influence of LCPUFA on neural development, aging, and neurodegeneration [J]. *Prog Lipid Res*, 2014, 53(1): 1-17.
- [16] Tavazzi L, Maggioni A P, Marchioli R, et al. Effect of n-3 polyunsaturated fatty acids in patients with chronic heart failure (the GISSI-HF trial): a randomised, double-blind, placebo-controlled trial [J]. *Lancet*, 2008, 372(9645): 1223-1230.
- [17] Simopoulos A P. The importance of the ratio of omega-6/omega-3 essential fatty acids [J]. *Biomed Pharmacother*, 2002, 56(8): 365-379.
- [18] Harris W S, Mozaffarian D, Rimm E, et al. Omega-6 fatty acids and risk for cardiovascular disease [J]. *Circulation*, 2009, 119(6): 902-907.
- [19] Tripathy D, Mohanty P, Dhindsa S, et al. Elevation of free fatty acids induces inflammation and impairs vascular reactivity in healthy subjects [J]. *Diabetes*, 2003, 52(12): 2882-2887.
- [20] Hibbeln J R, Nieminen L R G, Blasbalg T L, et al. Healthy intakes of n-3 and n-6 fatty acids: estimations considering worldwide diversity [J]. *Am J Clin Nutr*, 2006, 83(6): S1483-S1493.
- [21] Iso H, Kobayashi M, Ishihara J, et al. Intake of fish and n3 fatty acids and risk of coronary heart disease among

- Japanese [J]. *Circulation*, 2006, 113(2): 195-202.
- [22] Tsai A C, Lucas M, Okereke O I, *et al.* Suicide mortality in relation to dietary intake of *n*-3 and *n*-6 polyunsaturated fatty acids and fish: equivocal findings from 3 large US cohort studies [J]. *Am J Epidemiol*, 2014, 179(12): 1458-1466.
- [23] Di Angelantonio E, Chowdhury R, Forouhi N G, *et al.* Association of dietary, circulating, and supplement fatty acids with coronary risk. In response [J]. *Ann Med*, 2014, 161(6): 458-459.
- [24] 李和平, 王春生. 生态养鹿 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2011.
- [25] 李 静, 唐纪琳, 尹建元, 等. 气质联机法测定西洋参花蕾及人参花蕾中脂肪酸成分 [J]. 人参研究, 1999, 11(2): 31-32.
- [26] Petrović M, Kezić N, Bolanča V. Optimization of the GC method for routine analysis of the fatty acid profile in several food samples [J]. *Food Chem*, 2010, 122(1): 285-291.
- [27] 李泽鸿, 刘洪章. 梅花鹿茸血中营养成分的分析 [J]. 长春中医药大学学报, 2007, 23(4): 28-29.
- [28] 金春爱, 崔松焕, 王玉方, 等. 不同提取方式和烘干对鹿肉脂肪酸的影响 [J]. 肉类研究, 2016, 30(10): 13-17.
- [29] Cardenia V, Rodriguez-Estrada M T, Cumella F, *et al.* Oxidative stability of pork meat lipids as related to high-oleic sunflower oil and vitamin E diet supplementation and storage conditions [J]. *Meat Sci*, 2011, 88(2): 271-279.
- [30] Santos-Filho J M, Morais S M, Rondina D, *et al.* Effect of cashew nut supplemented diet, castration, and Time of storage on fatty acid composition and cholesterol content of goat meat [J]. *Small Ruminant Res*, 2005, 57(1): 51-56.
- [31] Contarini G, Povolò M, Pelizzola V, *et al.* Interlaboratory evaluation of milk fatty acid composition by using different GC operating conditions [J]. *J Food Compos Anal*, 2013, 32(2): 131-140.