

不同部位西伯利亚鲟鱼的营养成分分析

王煜坤¹, 李来好¹, 郝淑贤^{1*}, 杨贤庆¹, 黄卉¹, 翟红蕾¹, 魏涯¹, 岑剑伟¹, 许式见²

(1. 中国水产科学研究院南海水产研究所, 农业部水产品加工重点实验室,

国家水产品加工技术研发中心, 广东广州 510300;

2. 衢州鲟龙水产食品科技开发有限公司, 浙江衢州 324000)

摘要:本研究测定西伯利亚鲟鱼背部肌肉、腹部肌肉和尾部肌肉的基本营养成分、脂肪酸、氨基酸以及矿物元素含量, 分析不同部位肌肉的品质差异。结果表明: 西伯利亚鲟鱼背部肌肉蛋白含量高于腹部肌肉和尾部肌肉, 脂肪、灰分含量则显著低于腹部肌肉和尾部肌肉 ($p < 0.05$); 氨基酸总量 (16.1 g/100 g) 及必需氨基酸含量 (6.85 g/100 g) 均高于腹部肌肉和尾部肌肉。各部位鲜味氨基酸含量基本一致, 腹部肌肉鲜味氨基酸比值略高于背部肌肉和尾部肌肉。西伯利亚鲟鱼尾部肌肉和背部肌肉各脂肪酸组成含量均高于腹部肌肉, 但差异不显著 ($p > 0.05$)。二十碳五烯酸 (EPA) 含量背部肌肉较高 (2.67 mg/g), 二十二碳六烯酸 (DHA) 含量尾部肌肉较高 (4.89 mg/g), 但不同部位差异不显著 ($p > 0.05$)。不同部位肌肉的矿物元素含量存在差异, 尾部肌肉中 Na、Fe 元素含量最高 ($p < 0.05$), K 元素在背部、尾部的含量均高于腹部 ($p < 0.05$), 而 Ca、Mg、Zn 元素在不同部位含量差异不显著 ($p > 0.05$)。总体上看, 西伯利亚鲟背部肌肉营养价值高于腹部肌肉和尾部肌肉。尾部由于不饱和脂肪酸和 Fe 含量较背部和腹部高, 更易发生脂质氧化而产生腥味。

关键词: 鲟鱼, 营养成分, 不同部位

Analysis on Nutritive Components of Siberian Sturgeon in Different Parts

WANG Yu-kun¹, LI Lai-hao¹, HAO Shu-xian^{1*}, YANG Xian-qing¹,
HUANG Hui¹, ZHAI Hong-lei¹, WEI Ya¹, CEN Jian-wei¹, XU Shi-jian²

(1. South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences,
National R&D Center For Aquatic Product Processing, Key Laboratory of Aquatic Product
Processing, Ministry of Agriculture, Guangzhou 510300, China;

2. Quzhou Xunlong Aquatic Products Sci-tech Development Co., Ltd., Quzhou 324000, China)

Abstract: In order to analyze the nutritional composition of muscle in different parts of sturgeon, and provide a reference for sturgeon deep processing. The experimental determined the basic nutrients, fatty acids, amino acids and mineral elements in the back, belly and tail meat of Siberian sturgeon, and analyzed the differences of muscle quality in different parts. The results showed that fat and ash contents of Siberian sturgeon back muscle were lower and the content of protein was higher ($p < 0.05$). The total amino acid content (16.1 g/100 g) and essential amino acid content (6.85 g/100 g) were higher than that of belly and tail meat. There little difference of the flavor amino acid content, but belly meat flavor amino acid ratio slightly higher than others. Fatty acid content of Siberian sturgeon meat was not significantly different among different parts ($p > 0.05$), while fatty acid contents of tail meat and dorsal meat were higher than that of abdominal meat, with the higher content of Eicosapentaenoic acid (EPA) in back part (2.67 mg/g), and the higher content of Docosahexaenoic acid (DHA) in tail part (4.89 mg/g). There was difference of the mineral elements in different parts. The contents of sodium and iron element were the highest in the tail muscle ($p < 0.05$), and the content of potassium in the back and tail were higher than that in the abdomen ($p < 0.05$). No significant difference was observed of the contents of calcium, magnesium and zinc elements in different parts ($p > 0.05$). In general, the back part was nutritionally higher than abdomen part and tail part. Due to higher unsaturated fatty acid and iron content, the tail part could produce more smell than the back part and the abdomen part.

Key words: *Acipenser*; nutritive components; different part

中图分类号: TS254.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2018)21-0207-06

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2018.21.037

收稿日期: 2018-02-25

作者简介: 王煜坤 (1991-), 男, 硕士研究生, 研究方向: 水产品加工与质量安全控制, E-mail: yukunwong@163.com。

* 通讯作者: 郝淑贤 (1972-), 女, 博士, 研究员, 研究方向: 水产品加工与质量安全控制, E-mail: susanhao2001@163.com。

基金项目: 中国水产科学研究院基本科研业务费资助 (2016HY-ZD0802); 现代农业产业技术体系专项资金资助 (CARS-46); 浙江省重点研发计划项目 (2017C02035)。

引文格式:王煜坤,李来好,郝淑贤,等.不同部位西伯利亚鲟鱼肉的营养成分分析[J].食品工业科技,2018,39(21):207-211,217.

鲟鱼(*Acipenser*)是目前地球上最原始的脊椎动物之一,属鲟形目(*Acipenseriformes*),是食用价值极好的经济鱼类,除了体表骨板外,其他部位都可食用。作为淡水鱼中个体最大的鱼类,鲟鱼骨刺少,非常适合加工。

随着鲟鱼养殖业的迅猛发展^[1],对养殖鲟鱼营养价值的报道也逐渐增多。尹洪滨^[2]分析了6种养殖鲟鱼肌肉的营养成分,宋超^[3]比较了野生及人工养殖中华鲟幼鱼的肌肉营养成分,程波^[4]研究了施氏鲟(*Acipenser schrencki*)鱼鳍的营养成分,高露姣^[5]比较分析了两种鲟鱼卵的鲜味相关物质含量,郝淑贤^[6]综述了鲟鱼卵的加工产品及其保鲜技术,刘晓勇^[7]比较分析了三种养殖鲟鱼卵的营养成分,此外,对鱼皮^[8-9]、软骨^[10-11]等组织的研究也有报道。一方面,鲟鱼子酱加工产业的发展虽然在一定程度上提升了鲟的经济价值,但仍有大量的加工副产物没有得到充分利用。尽管已有研究针对鲟鱼产品的开发^[12],但仍处于探索阶段。另一方面,由于消费习惯等问题,目前国内市场上鲟鱼鲜食多为幼鱼,其正处于生长旺盛时期,这不仅是对鲟资源的极大浪费,而且大大增加了养殖成本^[13]。

西伯利亚鲟生长速度快,食性广,是鲟鱼的主要养殖品种,目前已在多个国家和地区广泛养殖^[14]。不同部位肌肉的营养成分差异可能是鲟鱼精深加工的关键因素,目前国内对鲟鱼肉的报道大多针对背肌,而对不同部位鲟鱼肉的分析还比较少见。因此,本文对不同部位鲟鱼肉的营养成分进行分析比较,为鲟鱼肉的精细加工和产品开发利用提供参考。

1 材料与amp;方法

1.1 材料与仪器

鲟鱼 西伯利亚鲟鱼(*Acipenser baeri*),体重12~18 kg,体长130~145 cm,千岛湖鲟龙鱼科技有限公司;浓硫酸、硫酸钾、硫酸铜、氢氧化钠、氯化钠、硼酸、盐酸 均为分析纯,广州化学试剂厂;石油醚、甲醇、氯仿、正己烷 均为分析纯,天津市富宇精细化工有限公司;68%硝酸 优级纯,苏州晶瑞化学股份有限公司;三氟化硼-甲醇溶液 优级纯,上海安普科学仪器有限公司;混合氨基酸标准品、十一烷酸标准品 优级纯,美国Sigma-Aldrich公司。

ZRD-A780 全自动鼓风干燥箱 上海智诚分析仪器制造有限公司;B180 马弗炉 德国纳博热公司;Soxtec2050 脂肪自动分析仪、Kjeltec2300 蛋白自动分析仪 丹麦FOSS公司;QP-2010 Plus 气相色谱质谱联用仪 日本岛津公司;L-8900 全自动氨基酸分析仪 日本HITACHI公司;Agilent 7900 电感耦合等离子体质谱联用仪 美国Agilent公司 CEM MARS 5 高通量微波消解仪 美国CEM公司。

1.2 实验方法

1.2.1 样品处理 取成熟西伯利亚鲟鱼三尾,放血

宰杀后,分别取背部、腹部和尾部肌肉,用绞肉机打成匀浆,于-20℃冻藏备用。

1.2.2 基本营养成分测定 水分含量依据GB/T 5009.3-2016,用103℃常压烘干法测定;灰分含量依据GB/T 5009.4-2016,用高温灰化法测定;蛋白质含量依据GB/T 5009.5-2016,用凯氏定氮法测定;粗脂肪含量依据GB/T 5009.6-2016,用索氏抽提法测定。

1.2.3 脂肪酸分析 根据Folch等^[15]的方法略作修改,取1.0 g样品,加入内标物十一烷酸5 mg,然后加入15 mL氯仿-甲醇(2:1),冰浴中用高速分散均质机均质两次,移入50 mL容量瓶中定容,静置1 h后过滤,加入0.2倍体积生理盐水,于3000 r/min离心15 min,弃去上层液体,将余液用氮气吹扫浓缩,有机试剂挥发后得到固体脂质。向脂质中加入质量分数为14%的三氟化硼-甲醇溶液2 mL,于60℃恒温水浴处理30 min,冷却至室温后,加入1 mL蒸馏水和1 mL正己烷,振荡,静置分层完全后,吸取上层有机层,挥干溶剂后用1 mL正己烷溶解,用GC-MS分析。

GC-MS条件:HP-5MS色谱柱(30 m×0.25 mm, 0.25 μm),进样口温度230℃,检测器温度200℃,升温程序:110℃保留4 min,以10℃/min升温到160℃,保留1 min,再以4℃/min升温到210℃,保留1 min,再以4℃/min升温到240℃,保留8 min,进样量1 μL,分流比为1:30。

脂肪酸分析:利用计算机NIST 0.5谱库数据库检索,通过于MS图库中的标准谱图进行比较,来确认鲟鱼中的脂肪酸成分,通过内标十一烷酸定量。

1.2.4 矿物元素分析 参考曾海英等^[16]的方法略作修改,采用高压微波消解-ICP-MS法进行测定。取0.5 g样品于聚四氟乙烯管中,加入10 mL浓硝酸(68%),密封后放入MARS 5高通量微波消解仪进行消解。具体参数如下:最大功率800 W,坡道20 min,温度控制180℃,保持30 min。消解结束后于通风橱中冷却、放气,然后用超纯水定容至50 mL,待测。

1.2.5 氨基酸测定 依据GB/T 5009.124-2016食品中氨基酸的测定,采用酸水解法进行测定。

1.2.6 营养价值评价 根据FAO/WHO的氨基酸评分标准和鸡蛋蛋白模式,按下列公式计算氨基酸评分(AAS)和化学评分(CS)^[17]:

$$AAS = \text{试样中每克氮中的氨基酸量}(\text{mg/g N}) / \text{FAO/WHO 评分标准模式中同种氨基酸含量}(\text{mg/g N});$$

$$CS = \text{试样中每克氮中的氨基酸量}(\text{mg/g N}) / \text{全鸡蛋蛋白质中同种氨基酸含量}(\text{mg/g N}).$$

1.3 数据分析

采用Excel 2010和SPSS 20进行数据处理。采用方差分析(One-way-ANOVA)Duncan's对数据进行显著性分析。

2 结果与分析

2.1 基本营养成分测定结果

鲟鱼不同部位基本营养成分如表1所示。不同部位的蛋白质、脂肪及灰分含量差异显著($p < 0.05$),水分含量差异不显著($p > 0.05$)。其中蛋白质含量背部肌肉最高,腹部肌肉最低;脂肪含量腹部最高,其次是尾部,背部最低($p < 0.05$)。灰分含量则以尾部最高,腹部次之,背部最低($p < 0.05$)。

表1 不同部位的鲟鱼肉基本营养成分比较(湿重%)

Table 1 Comparison of nutritional components in muscle of sturgeon from different part(wet weight %)

基本营养成分	背部	腹部	尾部
水分	65.91 ± 2.23 ^a	64.16 ± 1.93 ^a	67.72 ± 1.07 ^a
脂肪	14.21 ± 0.98 ^a	20.37 ± 1.09 ^c	15.03 ± 0.39 ^b
蛋白质	17.63 ± 0.37 ^c	14.02 ± 0.87 ^a	16.78 ± 0.41 ^b
灰分	1.09 ± 0.04 ^a	1.37 ± 0.01 ^b	1.61 ± 0.11 ^c

注:不同小写字母表示同一行数值差异显著($p < 0.05$),相同小写字母表示同一行数值差异不显著($p > 0.05$),表5同。

鲟鱼肌肉蛋白质含量为14.02%~17.63%,高于鸡蛋蛋白质含量(14%)^[18],特别是背部蛋白质含量为17.63%,与军曹鱼蛋白含量(17.59%)基本相当^[19],高于大黄鱼(15.84%)、大口黑鲈(16.70%)等名优养殖鱼类^[20]。

2.2 氨基酸组成及营养评价

西伯利亚鲟鱼不同部位氨基酸组成及含量如表2所示。氨基酸总量14.7~16.1 g/100 g,其中必需氨基酸5.78~6.85 g/100 g,鲜味氨基酸5.39~5.87 g/100 g。含量最高的三种氨基酸为谷氨酸、天冬氨酸和赖氨酸,含量最低的几种氨基酸为脯氨酸、蛋氨酸、酪氨酸和组氨酸,结果与王念民等^[21]的分析一致。由表2还可以看出,背部肌肉的氨基酸含量高于腹部和尾部肌肉。测定的16种氨基酸中,天冬氨酸、苏氨酸、丝氨酸、谷氨酸、缬氨酸、蛋氨酸、异亮氨酸、亮氨酸、酪氨酸、苯丙氨酸、赖氨酸含量均为背部肌肉最高,腹部和尾部的氨基酸含量较接近,背部和尾部肌肉必需氨基酸与总氨基酸的比值相当,而腹部肌肉此比值较低。

根据FAO/WHO建议的理想蛋白模式,必需氨基酸/总氨基酸的比值在40%左右的蛋白质质量较好。本实验背部肌肉和尾部肌肉EAA/TAA比值均高于40%,腹肌较低(38.53%),不同部位必需氨基酸含量从高到低依次为背部肌肉,尾部肌肉以及腹部肌肉。另外,脯氨酸、甘氨酸在腹部肌肉中的含量明显高于背部肌肉和尾部肌肉。可能是由于腹部脂肪和肌肉之间存在许多结缔组织,而脯氨酸、甘氨酸是构成结缔组织重要氨基酸,因此其在腹部肌肉中的含量较高。

鱼肉的鲜美程度取决于4种鲜味氨基酸(谷氨酸、天冬氨酸、丙氨酸和甘氨酸)的含量。本研究中,谷氨酸(2.51 g/100 g)和天冬氨酸(1.68 g/100 g)在背部肌肉的含量较高,甘氨酸(1.19 g/100 g)在腹部

表2 不同部位的鲟鱼肌肉氨基酸

组成及含量(湿重 g/100 g)

Table 2 Comparison of amino acid in muscle of sturgeon from different part(wet weight g/100 g)

氨基酸	背部	腹部	尾部
天冬氨酸(Asp) [*]	1.68	1.48	1.52
苏氨酸(Thr) ^Δ	0.75	0.65	0.71
丝氨酸(Ser)	0.7	0.68	0.68
谷氨酸(Glu) [*]	2.51	2.23	2.32
脯氨酸(Pro)	0.49	0.68	0.48
甘氨酸(Gly) [*]	0.73	1.19	0.68
丙氨酸(Ala) [*]	0.94	0.97	0.87
缬氨酸(Val) ^Δ	0.87	0.74	0.82
蛋氨酸(Met) ^Δ	0.52	0.44	0.45
异亮氨酸(Ile) ^Δ	0.8	0.67	0.74
亮氨酸(Leu) ^Δ	1.38	1.16	1.29
酪氨酸(Tyr) ^Δ	0.59	0.48	0.52
苯丙氨酸(Phe) ^Δ	0.90	0.76	0.81
赖氨酸(Lys) ^Δ	1.63	1.36	1.39
组氨酸(His)	0.56	0.45	0.46
精氨酸(Arg)	1.01	1.02	0.94
必需氨基酸(EAA)	6.85	5.78	6.21
鲜味氨基酸(DAA)	5.86	5.87	5.39
氨基酸总量(TAA)	16.1	15.0	14.7
DAA/TAA(%)	36.40	39.13	36.67
EAA/TAA(%)	42.55	38.53	42.24

注:色氨酸因酸水解被破坏,未作分析;*表示鲜味氨基酸;Δ表示必需氨基酸;DAA/TAA表示鲜味氨基酸占总氨基酸的比值;EAA/TAA表示必需氨基酸占总氨基酸的比值。

肌肉中的含量较高,而丙氨酸含量在不同部位鲟鱼肉中基本一致,不同部位的西伯利亚鲟鱼肉鲜味氨基酸总量基本一致,腹部肌肉鲜味氨基酸所占比例略低于背部肌肉和尾部肌肉。

鲟鱼不同部位肌肉必需氨基酸的氨基酸评分和化学评分如表3所示。不同部位肌肉的必需氨基酸组成一致,含量差别不大。AAS和CS评分显示,含量最高的必需氨基酸为赖氨酸,第一限制氨基酸为蛋氨酸、第二限制氨基酸为缬氨酸。AAS评分中,除蛋氨酸外,其他6种氨基酸的得分均大于或接近1,说明鲟鱼肌肉的必需氨基酸含量丰富,其营养价值较高。

2.3 脂肪酸组成及含量

西伯利亚鲟鱼脂肪酸组成及含量如表4所示,脂肪酸总量29.07~37.26 mg/g,其中饱和脂肪酸(SFA)7.03~8.50 mg/g,主要为C16:0和C18:0,单不饱和脂肪酸(MUFA)11.21~13.85 mg/g,主要为C16:1和C18:1,多不饱和脂肪酸(PUFA)10.82~14.91 mg/g,主要为C18:2、C20:5和C22:6,其脂肪酸组成种类与多种淡水鱼相似^[22-23],但脂肪酸含量更高。据报道,欧洲鳊鱼的肌肉中单不饱和脂肪酸是其最主要的一类脂肪酸^[24],而本次测定的西伯利亚鲟鱼肉中SFA:MUFA:PUFA比值约为1:1.48:1.66,不饱和脂肪

表3 不同部位鲟鱼肌肉的必需氨基酸组成评价

Table 3 Evaluation on essential amino acid of sturgeon from different part

	Thr	Val	Met + Cys	Ile	Leu	Phe + Tyr	Lys
FAO/WHO 模式 (mg/g N)	250	310	220	250	440	380	340
鸡蛋蛋白模式 (mg/g N)	292	411	386	331	534	565	441
背部 (mg/g N)	266	309	184	284	489	528	578
AAS	1.06	1.00	0.84	1.13	1.11	1.39	1.70
CS	0.91	0.75	0.48	0.86	0.92	0.94	1.31
腹部 (mg/g N)	290	330	196	299	518	554	607
AAS	1.16	1.07	0.89	1.20	1.18	1.46	1.79
CS	0.99	0.80	0.51	0.90	0.97	0.98	1.38
尾部 (mg/g N)	264	305	167	275	480	494	517
AAS	1.06	0.98	0.76	1.10	1.09	1.30	1.52
CS	0.90	0.74	0.43	0.83	0.90	0.88	1.17

表4 不同部位的鲟鱼肌肉脂肪酸组成及含量(湿重 mg/g)

Table 4 Fatty acid contents in muscle of sturgeon from different part (wet weight mg/g)

脂肪酸	背部	腹部	尾部
肉豆蔻酸 (C14:0)	0.80 ± 0.06	0.80 ± 0.01	0.91 ± 0.19
十五酸 (C15:0)	0.14 ± 0.01	0.11 ± 0.02	0.17 ± 0.04
棕榈酸 (C16:0)	5.47 ± 0.04	4.84 ± 0.51	5.70 ± 0.61
十七酸 (C17:0)	0.12 ± 0.01	0.07 ± 0.01	0.13 ± 0.06
硬脂酸 (C18:0)	1.73 ± 0.10	1.22 ± 0.25	1.60 ± 0.35
饱和脂肪酸 (SFA)	8.25 ± 0.16	7.03 ± 0.78	8.50 ± 1.25
棕榈油酸 (C16:1)	2.31 ± 0.22	2.11 ± 0.11	2.56 ± 0.39
十七碳一烯酸 (C17:1)	0.08 ± 0.01	0.07 ± 0.00	0.12 ± 0.04
油酸 (C18:1)	9.09 ± 0.04	8.46 ± 0.88	10.34 ± 1.34
二十碳一烯酸 (C20:1)	0.65 ± 0.12	0.53 ± 0.13	0.78 ± 0.27
二十二碳一烯酸 (C22:1)	0.06 ± 0.01	0.06 ± 0.00	0.06 ± 0.02
单不饱和脂肪酸 (MUFA)	12.19 ± 0.40	11.21 ± 1.13	13.85 ± 2.06
亚麻酸 (C18:3)	0.83 ± 0.07	0.70 ± 0.05	1.08 ± 0.47
亚油酸 (C18:2)	4.87 ± 0.31	4.48 ± 0.74	5.43 ± 0.57
花生四烯酸 (C20:4)	0.57 ± 0.08	0.35 ± 0.05	0.54 ± 0.19
二十碳五烯酸 (C20:5)	2.67 ± 0.41	1.90 ± 0.04	2.25 ± 0.59
二十二碳三烯酸 (C20:3)	0.38 ± 0.08	0.27 ± 0.06	0.44 ± 0.14
二十碳二烯酸 (C20:2)	0.24 ± 0.01	0.26 ± 0.06	0.30 ± 0.08
二十二碳六烯酸 (C22:6)	4.17 ± 0.50	2.87 ± 0.30	4.89 ± 1.77
多不饱和脂肪酸 (PUFA)	13.72 ± 0.84	10.82 ± 1.17	14.91 ± 3.80
脂肪酸总量 (FAs)	34.15 ± 1.40	29.07 ± 3.08	37.26 ± 7.11

酸占总脂肪酸的比例超过 2/3, 多不饱和脂肪酸含量最高。与脂肪含量较高的大黄鱼相比^[25], 其不饱和脂肪酸占比更高。与其他经济鱼类相比, 西伯利亚鲟鱼的脂肪营养价值更高。

不同部位的西伯利亚鲟鱼肌肉各脂肪酸组含量均无显著性差异 ($p > 0.05$)。背部肌肉和尾部肌肉的 C20:5 (EPA) 含量分别为 2.67 和 2.25 mg/g, 高于腹部肌肉 (1.90 mg/g), 但差异不显著 ($p > 0.05$); C22:6 (DHA) 含量背部肌肉 (4.17 mg/g) 和尾部肌肉 (4.89 mg/g) 也高于腹部肌肉 (2.87 mg/g), 差异不显著 ($p > 0.05$)。鲟鱼肉贮藏过程中产生的腥味是影响其深加工的关键因素之一。目前研究普遍认为鱼肉气味的产生与不饱和脂肪酸氧化有关^[26-27], 刘奇^[28]研究了鲟鱼腥味物质产生与脂肪酸氧化的关

系, 发现从鲟鱼提取的脂肪氧合酶 (LOX) 能显著催化 n-6 脂肪酸 (C18:2、C20:4) 和 n-3 脂肪酸 (C22:6) 的氧化, 产生醛、酮类物质。一方面, 腹部肌肉由于游离脂肪含量较高, 其发生脂肪氧化往往也更早更快; 另一方面, 背部肌肉和尾部肌肉的多不饱和脂肪酸 (亚油酸、花生四烯酸、DHA 等) 含量明显高于腹部肌肉, 其在贮藏加工过程中发生的脂肪氧化也不容忽视。

2.4 矿物元素

测定了 6 种矿物元素含量, 具体结果见表 5。其中 K 元素含量最高 (3384.31~4082.68 $\mu\text{g/g}$), Mn 元素含量最低 0.22~0.31 $\mu\text{g/g}$ 。吴燕燕等^[20]测定了海鲈鱼和大口黑鲈的营养成分, 其 K 元素含量 (296.92~307.66 mg/100 g) 显著低于 ($p < 0.05$) 本次测定的

鲟鱼;除了Ca含量差异较大外,大口黑鲟的Na、Mg、Fe、Zn等矿物元素含量与本次测定结果较为接近。

表5 不同部位的鲟鱼矿物元素含量(湿重 $\mu\text{g/g}$)

Table 5 Comparison of mineral element contents in muscle of sturgeon from different part(wet weight $\mu\text{g/g}$)

矿物元素	背部	腹部	尾部
Na	615.84 \pm 67.04 ^a	629.66 \pm 70.46 ^{ab}	700.09 \pm 43.95 ^b
Mg	279.12 \pm 23.74 ^a	239.40 \pm 45.38 ^a	282.97 \pm 21.63 ^a
K	4082.68 \pm 273.84 ^b	3384.31 \pm 512.93 ^a	3920.24 \pm 111.58 ^b
Ca	11.56 \pm 2.81 ^a	9.00 \pm 1.79 ^a	8.28 \pm 2.87 ^a
Mn	0.31 \pm 0.06 ^b	0.26 \pm 0.05 ^{ab}	0.22 \pm 0.02 ^a
Fe	9.05 \pm 1.63 ^a	6.26 \pm 1.90 ^a	16.63 \pm 2.46 ^b
Zn	4.94 \pm 0.91 ^a	3.71 \pm 0.92 ^a	4.24 \pm 0.43 ^a

Mg、Ca、Zn含量在不同部位肌肉中差异不显著($p > 0.05$),说明这三种元素在不同部位鲟鱼肉的富集能力基本相同。Na元素含量尾部(700.09 $\mu\text{g/g}$)显著高于背部($p < 0.05$);K元素含量则背部肌肉和尾部肌肉基本一致,显著高于腹部肌肉($p < 0.05$);Mn元素含量背部肌肉高于尾部肌肉($p < 0.05$)。Fe元素含量则尾部(16.63 $\mu\text{g/g}$)显著高于($p < 0.05$)背部和腹部,其原因可能是尾部运动较多,肌红蛋白含量较高。另外,Fe²⁺在脂肪氧化过程中也扮演着重要角色^[29],表明鲟鱼尾部肌肉可能更易发生脂肪氧化。

3 结论

本次实验测定了西伯利亚鲟鱼不同部位肌肉的水分、脂肪、蛋白质、灰分、脂肪酸、氨基酸以及矿物元素Na、K、Mg、Ca、Mn、Fe、Zn含量。结果表明,鲟鱼肉营养组成均衡,多不饱和脂肪酸占总脂肪酸比例较高,矿物元素含量丰富,必需氨基酸与总氨基酸的比值符合FAO/WHO的建议,具有较高的营养价值。西伯利亚鲟鱼背部肌肉蛋白含量更高,氨基酸总量、必需氨基酸含量均高于腹部肌肉和尾部肌肉,水分、脂肪以及灰分含量更低($p < 0.05$);不同部位鲟鱼肉脂肪酸含量差异不显著($p > 0.05$),其中尾部肌肉脂肪酸含量最高,其次为背部肌肉,腹部肌肉最低。尾部肌肉中Na、Mg、Fe等元素的含量较高,其中Na、Fe为尾部最高($p < 0.05$),K元素含量背部肌肉与尾部肌肉差异不显著($p > 0.05$),Ca、Mg、Zn含量在不同部位中差异不显著($p > 0.05$)。综上分析,从营养价值的角度看,鲟鱼背部肌肉的营养价值高于腹部肌肉和尾部肌肉。另外,尾部肌肉由于含有更多不饱和脂肪酸和Fe元素,可能是鲟鱼腥味产生的主要来源。

参考文献

[1] 杨德国,危起伟,王凯,等.淡水养殖中华鲟成鱼的3种方式及效果比较[J].南方水产科学,2006(2):1-5.
 [2] 尹洪滨,孙中武,孙大江,等.6种养殖鲟鳇鱼肌肉营养成分的比较分析[J].大连水产学院学报,2004(2):92-96.
 [3] 宋超,庄平,章龙珍,等.野生及人工养殖中华鲟幼鱼肌肉营养成分的比较[J].动物学报,2007,53(3):502-510.

[4] 程波,户业丽,张翌,等.施氏鲟鱼鳍营养成分的分析[J].水产养殖,2006(1):6-8.
 [5] 高露姣,夏永涛,黄艳青,等.两种鲟鱼卵的鲜味相关物质含量比较分析[J].食品科学,2012(24):230-233.
 [6] 郝淑贤,何丹,魏涯,等.鱼卵加工产品类型与鱼籽酱保鲜技术研究进展[J].南方水产科学,2014(3):104-108.
 [7] 刘晓勇,李鹭鹭,赵明军.中国鲟鱼养殖产业发展战略思考[J].中国渔业经济,2013(6):69-76.
 [8] Liang C, Jia M, Tian D, et al. Edible sturgeon skin gelatine films: Tensile strength and UV light-barrier as enhanced by blending with esculine[J]. Journal of Functional Foods, 2017, 37: 219-228.
 [9] Wang L, Liang Q, Chen T, et al. Characterization of collagen from the skin of Amur sturgeon (*Acipenser schrenckii*) [J]. Food Hydrocolloids, 2014, 38: 104-109.
 [10] 郝淑贤,石红,杨贤庆,等.鲟鱼软骨成分分析及营养评价[J].食品与发酵工业,2006(9):72-74.
 [11] Maccari F, Ferrarini F, Volpi N. Structural characterization of chondroitin sulfate from sturgeon bone [J]. Carbohydrate Research, 2010, 345(11): 1575-1580.
 [12] 孔春丽,王回忆,罗永康.低盐低糖处理鲟鱼片冷藏过程中品质变化规律[J].南方水产科学,2016(2):95-101.
 [13] 郝淑贤,李晓燕,李来好,等.鲟营养组成、高值化加工利用及质量安全研究进展[J].南方水产科学,2014(6):101-106.
 [14] 宋超,庄平,章龙珍,等.不同温度对西伯利亚鲟幼鱼生长的影响[J].海洋渔业,2014(3):239-246.
 [15] Folch J, Lees M, Slonane S G H. A simple method for the isolation and purification of total lipides from animal tissues [J]. J Biol Chem, 1957, 226(1): 497-509.
 [16] 曾海英,王家磊,沈萍萍,等.微波消解-ICP-MS法测定食品、水产品及其动物组织中33种金属元素[J].食品安全质量检测学报,2015(3):953-961.
 [17] 李国治,鲁绍雄,严达伟,等.云南裂腹鱼肌肉生化成分分析与营养品质评价[J].南方水产科学,2009(2):56-62.
 [18] 朱飞.草鸡蛋和洋鸡蛋蛋白质与脂肪含量的比较[J].现代商贸工业,2013(2):192-193.
 [19] 李德涛.军曹鱼营养价值评价及其内脏鱼油的提取和酶解蛋白制备[D].湛江:广东海洋大学,2010.
 [20] 吴燕燕,李冰,朱小静,等.养殖海水和淡水鲟鱼的营养组成比较分析[J].食品工业科技,2016(20):348-352.
 [21] 王念民,杨贵强,彭涛,等.三种鲟鱼及其杂交种肌肉营养成分分析[J].吉林农业大学学报,2010(S1):53-56.
 [22] 罗永康.7种淡水鱼肌肉和内脏脂肪酸组成的分析[J].中国农业大学学报,2001(4):108-111.
 [23] 丁海燕,孙晓杰,盛晓凤,等.几种主要养殖淡水、海水经济鱼类肌肉营养组成及对比分析[J].食品科技,2016(3):150-155.
 [24] Ghomi M R, Nikoo M, Pourshamsian K. Omega-6/omega-3 essential fatty acid ratio in cultured beluga sturgeon [J]. Comparative Clinical Pathology, 2012, 21(4): 479-483.
 [25] 郭全友,宋炜,姜朝军,等.两种养殖模式大鲟鱼营养品

- [9] Bhat R V, Gould G W, Gross R, et al. Joint FAO/IAEA/WHO study group on high-dose irradiation (Wholesomeness of food irradiated with doses above 10 kGy) [R]. World Health Organization-Technical Report Series, 1999.
- [10] Fernandes N, Antonio A L, Barreira J O C M, et al. Effects of gamma irradiation on physical parameters of *Lactarius deliciosus* wild edible mushrooms[J]. Post-harvest Biology and Technology, 2012, 74: 79-84.
- [11] 李华佳, 单楠, 杨文建, 等. 食用菌保鲜与加工技术研究进展[J]. 食品科学, 2011, 32(23): 364-368.
- [12] 刘斌, 熊善柏, 熊光权, 等. 辐照技术在食品污染物控制方面的研究进展[J]. 核农学报, 2010(4): 784-789.
- [13] Fernandes A, Barreira J C M, Antonio A L, et al. Effects of gamma irradiation on chemical composition and antioxidant potential of processed samples of the wild mushroom *Macrolepiota procera* [J]. Food Chemistry, 2014, 149(8): 91-98.
- [14] 徐丽婧, 高丽朴, 王清, 等. 辐照保鲜技术及其在双孢蘑菇保鲜中的应用[J]. 食品工业科技, 2014(9): 392-395.
- [15] Lescano G. Extension of mushroom (*Agaricus bisporus*) shelf life by gamma radiation [J]. Post-harvest Biology and Technology, 1994, 4(3): 255-260.
- [16] Jiang T, Luo S, Chen Q, et al. Effect of integrated application of gamma irradiation and modified atmosphere packaging on physicochemical and microbiological properties of shiitake mushroom (*Lentinus edodes*) [J]. Food Chemistry, 2010, 122(3): 761-767.
- [17] 曹蓓. 美味牛肝菌挥发性风味物质的研究 [D]. 天津: 天津科技大学, 2013.
- [18] 张世奇, 阙建全. 会东块菌香气成分的 GC-MS 分析 [J]. 食品科学, 2011(8): 281-285.
- [19] 方三平, 蒲彪, 陈安均, 等. 成熟度对印度块菌香气成分的影响 [J]. 菌物学报, 2013, 32(6): 1020-1027.
- [20] 李小林, 陈诚, 黄羽佳, 等. 顶空固相微萃取-气质联用分析 4 种野生食用菌干品的挥发性香气成分 [J]. 食品与发酵工业, 2015, 41(9): 174-180.
- [21] 曹蓓, 齐玉刚, 张春霞, 等. 固相微萃取-气相色谱-质谱及气相色谱-嗅闻技术分析美味牛肝菌风味活性物质 [J]. 食品工业科技, 2013, 34(10): 133-137.
- [22] Alasalvar C, Shahidi F, Cadwallader K R. Comparison of natural and roasted Turkish tumbled hazelnut (*Corylus avellana* L.) volatiles and flavor by DHA/GC/MS and descriptive sensory analysis [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2003, 51(17): 5067-5072.
- [23] 王学敬, 李聪, 王玉峰, 等. SPME-GC-MS 法分析德州扒鸡挥发性风味成分的条件优化及成分分析 [J]. 南京农业大学学报, 2016, 39(3): 495-501.
- [24] 张明琪, 郭贝贝, 孙丰义, 等. 蓝波奶酪挥发性风味成分的分离与鉴定 [J]. 食品科学, 2015, 36(16): 132-136.
- [25] Ayseli M T, Filik G, Selli S. Evaluation of volatile compounds in chicken breast meat using simultaneous distillation and extraction with odour activity value [J]. Journal of Food and Nutrition Research, 2014, 53(2): 137-142.
- [26] 余祥英, 胡军, 曾世通, 等. Maillard 反应中杂环香味化合物形成机理的研究进展 [J]. 香料香精化妆品, 2012(4): 46-53.
- [27] de Cássia Ramos Do Egypto Queiroga R, Santos B M, Gomes A M P, et al. Nutritional, textural and sensory properties of Coalho cheese made of goats', cows' milk and their mixture [J]. LWT-Food Science and Technology, 2013, 50(2): 538-544.
- [28] Alasalvar C, Taylor K D, Shahidi F. Comparison of volatiles of cultured and wild sea bream (*Sparus aurata*) during storage in ice by dynamic headspace analysis/gas chromatography-mass spectrometry [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2005, 53(7): 2616.
- [29] 陈万超, 杨焱, 李文, 等. 香菇挥发性成分 SPME-GC-MS 分析及特征指纹图谱的建立 [J]. 食品与生物技术学报, 2016(10): 1074-1080.
- [30] 杜欢, 宋乐莲, 谈忠琴, 等. Brønsted 酸性功能离子液体催化合成棕榈酸乙酯 [J]. 中国食品学报, 2016, 16(1): 139-146.
- [31] 蔡明沂, 黄绍华. γ -丁内酯类化合物的合成与应用 [J]. 江西化工, 2002(4): 5-10.
- [32] 李文, 谷镇, 杨焱, 等. GC-MS 分析鸡油菌中挥发性成分 [J]. 食品科学, 2013(8): 149-152.
- [33] 高鹏, 王艳, 黄敏, 等. 辐照对软罐头包装凤爪的杀菌作用和品质的影响 [J]. 核农学报, 2011(3): 502-505.
- [34] 孙晓宇, 李斌元, 马云, 等. 耐辐射奇球菌的辐射损伤修复机制研究进展 [J]. 辐射研究与辐射工艺学报, 2012(2): 71-75.
- [35] 姜天甲. 主要食用菌采后品质劣变机理及调控技术研究 [D]. 杭州: 浙江大学, 2010.
- [36] Jaehun K, Nakyun S, Sunkyu K, et al. γ -Irradiation improves the color and antioxidant properties of Chaga mushroom (*Inonotus obliquus*) extract [J]. Journal of Medicinal Food, 2009, 12(6): 1343-1347.
- [37] 张莹, 于士军, 张鹏飞, 等. 金针菇与茶树菇挥发性成分的研究 [J]. 食品与发酵工业, 2011(7): 188-192.
- [38] Aprea E, Romano A, Betta E, et al. Volatile compound changes during shelf life of dried *Boletus edulis*: Comparison between SPME-GC-MS and PTR-ToF-MS analysis [J]. Journal of Mass Spectrometry, 2015, 50(1): 56.
- [17] 曹蓓. 美味牛肝菌挥发性风味物质的研究 [D]. 天津: 天津科技大学, 2013.
- [18] 张世奇, 阙建全. 会东块菌香气成分的 GC-MS 分析 [J]. 食品科学, 2011(8): 281-285.
- [19] 方三平, 蒲彪, 陈安均, 等. 成熟度对印度块菌香气成分的影响 [J]. 菌物学报, 2013, 32(6): 1020-1027.
- [20] 李小林, 陈诚, 黄羽佳, 等. 顶空固相微萃取-气质联用分析 4 种野生食用菌干品的挥发性香气成分 [J]. 食品与发酵工业, 2015, 41(9): 174-180.
- [21] 曹蓓, 齐玉刚, 张春霞, 等. 固相微萃取-气相色谱-质谱及气相色谱-嗅闻技术分析美味牛肝菌风味活性物质 [J]. 食品工业科技, 2013, 34(10): 133-137.
- [22] Alasalvar C, Shahidi F, Cadwallader K R. Comparison of natural and roasted Turkish tumbled hazelnut (*Corylus avellana* L.) volatiles and flavor by DHA/GC/MS and descriptive sensory analysis [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2003, 51(17): 5067-5072.
- [23] 王学敬, 李聪, 王玉峰, 等. SPME-GC-MS 法分析德州扒鸡挥发性风味成分的条件优化及成分分析 [J]. 南京农业大学学报, 2016, 39(3): 495-501.
- [24] 张明琪, 郭贝贝, 孙丰义, 等. 蓝波奶酪挥发性风味成分的分离与鉴定 [J]. 食品科学, 2015, 36(16): 132-136.
- [25] Ayseli M T, Filik G, Selli S. Evaluation of volatile compounds in chicken breast meat using simultaneous distillation and extraction with odour activity value [J]. Journal of Food and Nutrition Research, 2014, 53(2): 137-142.
- [26] 余祥英, 胡军, 曾世通, 等. Maillard 反应中杂环香味化合物形成机理的研究进展 [J]. 香料香精化妆品, 2012(4): 46-53.
- [27] de Cássia Ramos Do Egypto Queiroga R, Santos B M, Gomes A M P, et al. Nutritional, textural and sensory properties of Coalho cheese made of goats', cows' milk and their mixture [J]. LWT-Food Science and Technology, 2013, 50(2): 538-544.
- [28] Alasalvar C, Taylor K D, Shahidi F. Comparison of volatiles of cultured and wild sea bream (*Sparus aurata*) during storage in ice by dynamic headspace analysis/gas chromatography-mass spectrometry [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2005, 53(7): 2616.
- [29] 陈万超, 杨焱, 李文, 等. 香菇挥发性成分 SPME-GC-MS 分析及特征指纹图谱的建立 [J]. 食品与生物技术学报, 2016(10): 1074-1080.
- [30] 杜欢, 宋乐莲, 谈忠琴, 等. Brønsted 酸性功能离子液体催化合成棕榈酸乙酯 [J]. 中国食品学报, 2016, 16(1): 139-146.
- [31] 蔡明沂, 黄绍华. γ -丁内酯类化合物的合成与应用 [J]. 江西化工, 2002(4): 5-10.
- [32] 李文, 谷镇, 杨焱, 等. GC-MS 分析鸡油菌中挥发性成分 [J]. 食品科学, 2013(8): 149-152.
- [33] 高鹏, 王艳, 黄敏, 等. 辐照对软罐头包装凤爪的杀菌作用和品质的影响 [J]. 核农学报, 2011(3): 502-505.
- [34] 孙晓宇, 李斌元, 马云, 等. 耐辐射奇球菌的辐射损伤修复机制研究进展 [J]. 辐射研究与辐射工艺学报, 2012(2): 71-75.
- [35] 姜天甲. 主要食用菌采后品质劣变机理及调控技术研究 [D]. 杭州: 浙江大学, 2010.
- [36] Jaehun K, Nakyun S, Sunkyu K, et al. γ -Irradiation improves the color and antioxidant properties of Chaga mushroom (*Inonotus obliquus*) extract [J]. Journal of Medicinal Food, 2009, 12(6): 1343-1347.
- [37] 张莹, 于士军, 张鹏飞, 等. 金针菇与茶树菇挥发性成分的研究 [J]. 食品与发酵工业, 2011(7): 188-192.
- [38] Aprea E, Romano A, Betta E, et al. Volatile compound changes during shelf life of dried *Boletus edulis*: Comparison between SPME-GC-MS and PTR-ToF-MS analysis [J]. Journal of Mass Spectrometry, 2015, 50(1): 56.
- [39] 曹蓓. 美味牛肝菌挥发性风味物质的研究 [D]. 天津: 天津科技大学, 2013.
- [40] 张世奇, 阙建全. 会东块菌香气成分的 GC-MS 分析 [J]. 食品科学, 2011(8): 281-285.
- [41] 方三平, 蒲彪, 陈安均, 等. 成熟度对印度块菌香气成分的影响 [J]. 菌物学报, 2013, 32(6): 1020-1027.
- [42] 李小林, 陈诚, 黄羽佳, 等. 顶空固相微萃取-气质联用分析 4 种野生食用菌干品的挥发性香气成分 [J]. 食品与发酵工业, 2015, 41(9): 174-180.
- [43] 曹蓓, 齐玉刚, 张春霞, 等. 固相微萃取-气相色谱-质谱及气相色谱-嗅闻技术分析美味牛肝菌风味活性物质 [J]. 食品工业科技, 2013, 34(10): 133-137.
- [44] Alasalvar C, Shahidi F, Cadwallader K R. Comparison of natural and roasted Turkish tumbled hazelnut (*Corylus avellana* L.) volatiles and flavor by DHA/GC/MS and descriptive sensory analysis [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2003, 51(17): 5067-5072.
- [45] 王学敬, 李聪, 王玉峰, 等. SPME-GC-MS 法分析德州扒鸡挥发性风味成分的条件优化及成分分析 [J]. 南京农业大学学报, 2016, 39(3): 495-501.
- [46] 张明琪, 郭贝贝, 孙丰义, 等. 蓝波奶酪挥发性风味成分的分离与鉴定 [J]. 食品科学, 2015, 36(16): 132-136.
- [47] Ayseli M T, Filik G, Selli S. Evaluation of volatile compounds in chicken breast meat using simultaneous distillation and extraction with odour activity value [J]. Journal of Food and Nutrition Research, 2014, 53(2): 137-142.
- [48] 余祥英, 胡军, 曾世通, 等. Maillard 反应中杂环香味化合物形成机理的研究进展 [J]. 香料香精化妆品, 2012(4): 46-53.
- [49] de Cássia Ramos Do Egypto Queiroga R, Santos B M, Gomes A M P, et al. Nutritional, textural and sensory properties of Coalho cheese made of goats', cows' milk and their mixture [J]. LWT-Food Science and Technology, 2013, 50(2): 538-544.
- [50] Alasalvar C, Taylor K D, Shahidi F. Comparison of volatiles of cultured and wild sea bream (*Sparus aurata*) during storage in ice by dynamic headspace analysis/gas chromatography-mass spectrometry [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2005, 53(7): 2616.
- [51] 陈万超, 杨焱, 李文, 等. 香菇挥发性成分 SPME-GC-MS 分析及特征指纹图谱的建立 [J]. 食品与生物技术学报, 2016(10): 1074-1080.
- [52] 杜欢, 宋乐莲, 谈忠琴, 等. Brønsted 酸性功能离子液体催化合成棕榈酸乙酯 [J]. 中国食品学报, 2016, 16(1): 139-146.
- [53] 蔡明沂, 黄绍华. γ -丁内酯类化合物的合成与应用 [J]. 江西化工, 2002(4): 5-10.
- [54] 李文, 谷镇, 杨焱, 等. GC-MS 分析鸡油菌中挥发性成分 [J]. 食品科学, 2013(8): 149-152.
- [55] 高鹏, 王艳, 黄敏, 等. 辐照对软罐头包装凤爪的杀菌作用和品质的影响 [J]. 核农学报, 2011(3): 502-505.
- [56] 孙晓宇, 李斌元, 马云, 等. 耐辐射奇球菌的辐射损伤修复机制研究进展 [J]. 辐射研究与辐射工艺学报, 2012(2): 71-75.
- [57] 姜天甲. 主要食用菌采后品质劣变机理及调控技术研究 [D]. 杭州: 浙江大学, 2010.
- [58] Jaehun K, Nakyun S, Sunkyu K, et al. γ -Irradiation improves the color and antioxidant properties of Chaga mushroom (*Inonotus obliquus*) extract [J]. Journal of Medicinal Food, 2009, 12(6): 1343-1347.
- [59] 张莹, 于士军, 张鹏飞, 等. 金针菇与茶树菇挥发性成分的研究 [J]. 食品与发酵工业, 2011(7): 188-192.
- [60] Aprea E, Romano A, Betta E, et al. Volatile compound changes during shelf life of dried *Boletus edulis*: Comparison between SPME-GC-MS and PTR-ToF-MS analysis [J]. Journal of Mass Spectrometry, 2015, 50(1): 56.
- [61] 曹蓓. 美味牛肝菌挥发性风味物质的研究 [D]. 天津: 天津科技大学, 2013.
- [62] 张世奇, 阙建全. 会东块菌香气成分的 GC-MS 分析 [J]. 食品科学, 2011(8): 281-285.
- [63] 方三平, 蒲彪, 陈安均, 等. 成熟度对印度块菌香气成分的影响 [J]. 菌物学报, 2013, 32(6): 1020-1027.
- [64] 李小林, 陈诚, 黄羽佳, 等. 顶空固相微萃取-气质联用分析 4 种野生食用菌干品的挥发性香气成分 [J]. 食品与发酵工业, 2015, 41(9): 174-180.
- [65] 曹蓓, 齐玉刚, 张春霞, 等. 固相微萃取-气相色谱-质谱及气相色谱-嗅闻技术分析美味牛肝菌风味活性物质 [J]. 食品工业科技, 2013, 34(10): 133-137.
- [66] Alasalvar C, Shahidi F, Cadwallader K R. Comparison of natural and roasted Turkish tumbled hazelnut (*Corylus avellana* L.) volatiles and flavor by DHA/GC/MS and descriptive sensory analysis [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2003, 51(17): 5067-5072.
- [67] 王学敬, 李聪, 王玉峰, 等. SPME-GC-MS 法分析德州扒鸡挥发性风味成分的条件优化及成分分析 [J]. 南京农业大学学报, 2016, 39(3): 495-501.
- [68] 张明琪, 郭贝贝, 孙丰义, 等. 蓝波奶酪挥发性风味成分的分离与鉴定 [J]. 食品科学, 2015, 36(16): 132-136.
- [69] Ayseli M T, Filik G, Selli S. Evaluation of volatile compounds in chicken breast meat using simultaneous distillation and extraction with odour activity value [J]. Journal of Food and Nutrition Research, 2014, 53(2): 137-142.
- [70] 余祥英, 胡军, 曾世通, 等. Maillard 反应中杂环香味化合物形成机理的研究进展 [J]. 香料香精化妆品, 2012(4): 46-53.
- [71] de Cássia Ramos Do Egypto Queiroga R, Santos B M, Gomes A M P, et al. Nutritional, textural and sensory properties of Coalho cheese made of goats', cows' milk and their mixture [J]. LWT-Food Science and Technology, 2013, 50(2): 538-544.
- [72] Alasalvar C, Taylor K D, Shahidi F. Comparison of volatiles of cultured and wild sea bream (*Sparus aurata*) during storage in ice by dynamic headspace analysis/gas chromatography-mass spectrometry [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2005, 53(7): 2616.
- [73] 陈万超, 杨焱, 李文, 等. 香菇挥发性成分 SPME-GC-MS 分析及特征指纹图谱的建立 [J]. 食品与生物技术学报, 2016(10): 1074-1080.
- [74] 杜欢, 宋乐莲, 谈忠琴, 等. Brønsted 酸性功能离子液体催化合成棕榈酸乙酯 [J]. 中国食品学报, 2016, 16(1): 139-146.
- [75] 蔡明沂, 黄绍华. γ -丁内酯类化合物的合成与应用 [J]. 江西化工, 2002(4): 5-10.
- [76] 李文, 谷镇, 杨焱, 等. GC-MS 分析鸡油菌中挥发性成分 [J]. 食品科学, 2013(8): 149-152.
- [77] 高鹏, 王艳, 黄敏, 等. 辐照对软罐头包装凤爪的杀菌作用和品质的影响 [J]. 核农学报, 2011(3): 502-505.
- [78] 孙晓宇, 李斌元, 马云, 等. 耐辐射奇球菌的辐射损伤修复机制研究进展 [J]. 辐射研究与辐射工艺学报, 2012(2): 71-75.
- [79] 姜天甲. 主要食用菌采后品质劣变机理及调控技术研究 [D]. 杭州: 浙江大学, 2010.
- [80] Jaehun K, Nakyun S, Sunkyu K, et al. γ -Irradiation improves the color and antioxidant properties of Chaga mushroom (*Inonotus obliquus*) extract [J]. Journal of Medicinal Food, 2009, 12(6): 1343-1347.
- [81] 张莹, 于士军, 张鹏飞, 等. 金针菇与茶树菇挥发性成分的研究 [J]. 食品与发酵工业, 2011(7): 188-192.
- [82] Aprea E, Romano A, Betta E, et al. Volatile compound changes during shelf life of dried *Boletus edulis*: Comparison between SPME-GC-MS and PTR-ToF-MS analysis [J]. Journal of Mass Spectrometry, 2015, 50(1): 56.
- [83] 曹蓓. 美味牛肝菌挥发性风味物质的研究 [D]. 天津: 天津科技大学, 2013.
- [84] 张世奇, 阙建全. 会东块菌香气成分的 GC-MS 分析 [J]. 食品科学, 2011(8): 281-285.
- [85] 方三平, 蒲彪, 陈安均, 等. 成熟度对印度块菌香气成分的影响 [J]. 菌物学报, 2013, 32(6): 1020-1027.
- [86] 李小林, 陈诚, 黄羽佳, 等. 顶空固相微萃取-气质联用分析 4 种野生食用菌干品的挥发性香气成分 [J]. 食品与发酵工业, 2015, 41(9): 174-180.
- [87] 曹蓓, 齐玉刚, 张春霞, 等. 固相微萃取-气相色谱-质谱及气相色谱-嗅闻技术分析美味牛肝菌风味活性物质 [J]. 食品工业科技, 2013, 34(10): 133-137.
- [88] Alasalvar C, Shahidi F, Cadwallader K R. Comparison of natural and roasted Turkish tumbled hazelnut (*Corylus avellana* L.) volatiles and flavor by DHA/GC/MS and descriptive sensory analysis [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2003, 51(17): 5067-5072.
- [89] 王学敬, 李聪, 王玉峰, 等. SPME-GC-MS 法分析德州扒鸡挥发性风味成分的条件优化及成分分析 [J]. 南京农业大学学报, 2016, 39(3): 495-501.
- [90] 张明琪, 郭贝贝, 孙丰义, 等. 蓝波奶酪挥发性风味成分的分离与鉴定 [J]. 食品科学, 2015, 36(16): 132-136.
- [91] Ayseli M T, Filik G, Selli S. Evaluation of volatile compounds in chicken breast meat using simultaneous distillation and extraction with odour activity value [J]. Journal of Food and Nutrition Research, 2014, 53(2): 137-142.
- [92] 余祥英, 胡军, 曾世通, 等. Maillard 反应中杂环香味化合物形成机理的研究进展 [J]. 香料香精化妆品, 2012(4): 46-53.
- [93] de Cássia Ramos Do Egypto Queiroga R, Santos B M, Gomes A M P, et al. Nutritional, textural and sensory properties of Coalho cheese made of goats', cows' milk and their mixture [J]. LWT-Food Science and Technology, 2013, 50(2): 538-544.
- [94] Alasalvar C, Taylor K D, Shahidi F. Comparison of volatiles of cultured and wild sea bream (*Sparus aurata*) during storage in ice by dynamic headspace analysis/gas chromatography-mass spectrometry [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2005, 53(7): 2616.
- [95] 陈万超, 杨焱, 李文, 等. 香菇挥发性成分 SPME-GC-MS 分析及特征指纹图谱的建立 [J]. 食品与生物技术学报, 2016(10): 1074-1080.
- [96] 杜欢, 宋乐莲, 谈忠琴, 等. Brønsted 酸性功能离子液体催化合成棕榈酸乙酯 [J]. 中国食品学报, 2016, 16(1): 139-146.
- [97] 蔡明沂, 黄绍华. γ -丁内酯类化合物的合成与应用 [J]. 江西化工, 2002(4): 5-10.
- [98] 李文, 谷镇, 杨焱, 等. GC-MS 分析鸡油菌中挥发性成分 [J]. 食品科学, 2013(8): 149-152.
- [99] 高鹏, 王艳, 黄敏, 等. 辐照对软罐头包装凤爪的杀菌作用和品质的影响 [J]. 核农学报, 2011(3): 502-505.
- [100] 孙晓宇, 李斌元, 马云, 等. 耐辐射奇球菌的辐射损伤修复机制研究进展 [J]. 辐射研究与辐射工艺学报, 2012(2): 71-75.
- [101] 姜天甲. 主要食用菌采后品质劣变机理及调控技术研究 [D]. 杭州: 浙江大学, 2010.
- [102] Jaehun K, Nakyun S, Sunkyu K, et al. γ -Irradiation improves the color and antioxidant properties of Chaga mushroom (*Inonotus obliquus*) extract [J]. Journal of Medicinal Food, 2009, 12(6): 1343-1347.
- [103] 张莹, 于士军, 张鹏飞, 等. 金针菇与茶树菇挥发性成分的研究 [J]. 食品与发酵工业, 2011(7): 188-192.
- [104] Aprea E, Romano A, Betta E, et al. Volatile compound changes during shelf life of dried *Boletus edulis*: Comparison between SPME-GC-MS and PTR-ToF-MS analysis [J]. Journal of Mass Spectrometry, 2015, 50(1): 56.
- [105] 曹蓓. 美味牛肝菌挥发性风味物质的研究 [D]. 天津: 天津科技大学, 2013.
- [106] 张世奇, 阙建全. 会东块菌香气成分的 GC-MS 分析 [J]. 食品科学, 2011(8): 281-285.
- [107] 方三平, 蒲彪, 陈安均, 等. 成熟度对印度块菌香气成分的影响 [J]. 菌物学报, 2013, 32(6): 1020-1027.
- [108] 李小林, 陈诚, 黄羽佳, 等. 顶空固相微萃取-气质联用分析 4 种野生食用菌干品的挥发性香气成分 [J]. 食品与发酵工业, 2015, 41(9): 174-180.
- [109] 曹蓓, 齐玉刚, 张春霞, 等. 固相微萃取-气相色谱-质谱及气相色谱-嗅闻技术分析美味牛肝菌风味活性物质 [J]. 食品工业科技, 2013, 34(10): 133-137.
- [110] Alasalvar C, Shahidi F, Cadwallader K R. Comparison of natural and roasted Turkish tumbled hazelnut (*Corylus avellana* L.) volatiles and flavor by DHA/GC/MS and descriptive sensory analysis [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2003, 51(17): 5067-5072.
- [111] 王学敬, 李聪, 王玉峰, 等. SPME-GC-MS 法分析德州扒鸡挥发性风味成分的条件优化及成分分析 [J]. 南京农业大学学报, 2016, 39(3): 495-501.
- [112] 张明琪, 郭贝贝, 孙丰义, 等. 蓝波奶酪挥发性风味成分的分离与鉴定 [J]. 食品科学, 2015, 36(16): 132-136.
- [113] Ayseli M T, Filik G, Selli S. Evaluation of volatile compounds in chicken breast meat using simultaneous distillation and extraction with odour activity value [J]. Journal of Food and Nutrition Research, 2014, 53(2): 137-142.
- [114] 余祥英, 胡军, 曾世通, 等. Maillard 反应中杂环香味化合物形成机理的研究进展 [J]. 香料香精化妆品, 2012(4): 46-53.
- [115] de Cássia Ramos Do Egypto Queiroga R, Santos B M, Gomes A M P, et al. Nutritional, textural and sensory properties of Coalho cheese made of goats', cows' milk and their mixture [J]. LWT-Food Science and Technology, 2013, 50(2): 538-544.
- [116] Alasalvar C, Taylor K D, Shahidi F. Comparison of volatiles of cultured and wild sea bream (*Sparus aurata*) during storage in ice by dynamic headspace analysis/gas chromatography-mass spectrometry [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2005, 53(7): 2616.
- [117] 陈万超, 杨焱, 李文, 等. 香菇挥发性成分 SPME-GC-MS 分析及特征指纹图谱的建立 [J]. 食品与生物技术学报, 2016(10): 1074-1080.
- [118] 杜欢, 宋乐莲, 谈忠琴, 等. Brønsted 酸性功能离子液体催化合成棕榈酸乙酯 [J]. 中国食品学报, 2016, 16(1): 139-146.
- [119] 蔡明沂, 黄绍华. γ -丁内酯类化合物的合成与应用 [J]. 江西化工, 2002(4): 5-10.
- [120] 李文, 谷镇, 杨焱, 等. GC-MS 分析鸡油菌中挥发性成分 [J]. 食品科学, 2013(8): 149-152.
- [121] 高鹏, 王艳, 黄敏, 等. 辐照对软罐头包装凤爪的杀菌作用和品质的影响 [J]. 核农学报, 2011(3): 502-505.
- [122] 孙晓宇, 李斌元, 马云, 等. 耐辐射奇球菌的辐射损伤修复机制研究进展 [J]. 辐射研究与辐射工艺学报, 2012(2): 71-75.
- [123] 姜天甲. 主要食用菌采后品质劣变机理及调控技术研究 [D]. 杭州: 浙江大学, 2010.
- [124] Jaehun K, Nakyun S, Sunkyu K, et al. γ -Irradiation improves the color and antioxidant properties of Chaga mushroom (*Inonotus obliquus*) extract [J]. Journal of Medicinal Food, 2009, 12(6): 1343-1347.
- [125] 张莹, 于士军, 张鹏飞, 等. 金针菇与茶树菇挥发性成分的研究 [J]. 食品与发酵工业, 2011(7): 188-192.
- [126] Aprea E, Romano A, Betta E, et al. Volatile compound changes during shelf life of dried *Boletus edulis*: Comparison between SPME-GC-MS and PTR-ToF-MS analysis [J]. Journal of Mass Spectrometry, 2015, 50(1): 56.
- [127] 曹蓓. 美味牛肝菌挥发性风味物质的研究 [D]. 天津: 天津科技大学, 2013.
- [128] 张世奇, 阙建全. 会东块菌香气成分的 GC-MS 分析 [J]. 食品科学, 2011(8): 281-285.
- [129] 方三平, 蒲彪, 陈安均, 等. 成熟度对印度块菌香气成分的影响 [J]. 菌物学报, 2013, 32(6): 1020-1027.
- [130] 李小林, 陈诚, 黄羽佳, 等. 顶空固相微萃取-气质联用分析 4 种野生食用菌干品的挥发性香气成分 [J]. 食品与发酵工业, 2015, 41(9): 174-180.
- [131] 曹蓓, 齐玉刚, 张春霞, 等. 固相微萃取-气相色谱-质谱及气相色谱-嗅闻技术分析美味牛肝菌风味活性物质 [J]. 食品工业科技, 2013, 34(10): 133-137.
- [132] Alasalvar C, Shahidi F, Cadwallader K R. Comparison of natural and roasted Turkish tumbled hazelnut (*Corylus avellana* L.) volatiles and flavor by DHA/GC/MS and descriptive sensory analysis [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2003, 51(17): 5067-5072.
- [133] 王学敬, 李聪, 王玉峰, 等. SPME-GC-MS 法分析德州扒鸡挥发性风味成分的条件优化及成分分析 [J]. 南京农业大学学报, 2016, 39(3): 495-501.
- [134] 张明琪, 郭贝贝, 孙丰义, 等. 蓝波奶酪挥发性风味成分的分离与鉴定 [J]. 食品科学, 2015, 36(16): 132-136.
- [135] Ayseli M T, Filik G, Selli S. Evaluation of volatile compounds in chicken breast meat using simultaneous distillation and extraction with odour activity value [J]. Journal of Food and Nutrition Research, 2014, 53(2): 137-142.
- [136] 余祥英, 胡军, 曾世通, 等. Maillard 反应中杂环香味化合物形成机理的研究进展 [J]. 香料香精化妆品, 2012(4): 46-53.
- [137] de Cássia Ramos Do Egypto Queiroga R, Santos B M, Gomes A M P, et al. Nutritional, textural and sensory properties of Coalho cheese made of goats', cows' milk and their mixture [J]. LWT-Food Science and Technology, 2013, 50(2): 538-544.
- [138] Alasalvar C, Taylor K D, Shahidi F. Comparison of volatiles of cultured and wild sea bream (*Sparus aurata*) during storage in ice by dynamic headspace analysis/gas chromatography-mass spectrometry [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2005, 53(7): 2616.
- [139] 陈万超, 杨焱, 李文, 等. 香菇挥发性成分 SPME-GC-MS 分析及特征指纹图谱的建立 [J]. 食品与生物技术学报, 2016(10): 1074-1080.
- [140] 杜欢, 宋乐莲, 谈忠琴, 等. Brønsted 酸性功能离子液体催化合成棕榈酸乙酯 [J]. 中国食品学报, 2016, 16(1): 139-146.
- [141] 蔡明沂, 黄绍华. γ -丁内酯类化合物的合成与应用 [J]. 江西化工, 2002(4): 5-10.
- [142] 李文, 谷镇, 杨焱, 等. GC-MS 分析鸡油菌中挥发性成分 [J]. 食品科学, 2013(8): 149-152.
- [143] 高鹏, 王艳, 黄敏, 等. 辐照对软罐头包装凤爪的杀菌作用和品质的影响 [J]. 核农学报, 2011(3): 502-505.
- [144] 孙晓宇, 李斌元, 马云, 等. 耐辐射奇球菌的辐射损伤修复机制研究进展 [J]. 辐射研究与辐射工艺学报, 2012(2): 71-75.
- [145] 姜天甲. 主要食用菌采后品质劣变机理及调控技术研究 [D]. 杭州: 浙江大学, 2010.
- [146] Jaehun K, Nakyun S, Sunkyu K, et al. γ -Irradiation improves the color and antioxidant properties of Chaga mushroom (*Inonotus obliquus*) extract [J]. Journal of Medicinal Food, 2009, 12(6): 1343-1347.
- [147] 张莹, 于士军, 张鹏飞, 等. 金针菇与茶树菇挥发性成分的研究 [J]. 食品与发酵工业, 2011(7): 188-192.
- [148] Aprea E, Romano A, Betta E, et al. Volatile compound changes during shelf life of dried *Boletus edulis*: Comparison between SPME-GC-MS and PTR-ToF-MS analysis [J]. Journal of Mass Spectrometry, 2015, 50(1): 56.
- [149] 曹蓓. 美味牛肝菌挥发性风味物质的研究 [D]. 天津: 天津科技大学, 2013.
- [150] 张世奇, 阙建全. 会东块菌香气成分的 GC-MS 分析 [J]. 食品科学, 2011(8): 281-285.
- [151] 方三平, 蒲彪, 陈安均, 等. 成熟度对印度块菌香气成分的影响 [J]. 菌物学报, 2013, 32(6): 1020-1027.
- [152] 李小林, 陈诚, 黄羽佳, 等. 顶空固相微萃取-气质联用分析 4 种野生食用菌干品的挥发性香气成分 [J]. 食品与发酵工业, 2015, 41(9): 174-180.
- [153] 曹蓓, 齐玉刚, 张春霞, 等. 固相微萃取-气相色谱-质谱及气相色谱-嗅闻技术分析美味牛肝菌风味活性物质 [J]. 食品工业科技, 2013, 34(10): 133-137.
- [154] Alasalvar C, Shahidi F, Cadwallader K R. Comparison of natural and roasted Turkish tumbled hazelnut (*Corylus avellana* L.) volatiles and flavor by DHA/GC/MS and descriptive sensory analysis [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2003, 51(17): 5067-5072.
- [155] 王学敬, 李聪, 王玉峰, 等. SPME-GC-MS 法分析德州扒鸡挥发性风味成分的条件优化及成分分析 [J]. 南京农业大学学报, 2016, 39(3): 495-501.
- [156] 张明琪, 郭贝贝, 孙丰义, 等. 蓝波奶酪挥发性风味成分的分离与鉴定 [J]. 食品科学, 2015, 36(16): 132-136.
- [157] Ayseli M T, Filik G, Selli S. Evaluation of volatile compounds in chicken breast meat using simultaneous distillation and extraction with odour activity value [J]. Journal of Food and Nutrition Research, 2014, 53(2): 137-142.
- [158] 余祥英, 胡军, 曾世通, 等. Maillard 反应中杂环香味化合物形成机理的研究进展 [J]. 香料香精化妆品, 2012(4): 46-53.
- [159] de Cássia Ramos Do Egypto Queiroga R, Santos B M, Gomes A M P, et al. Nutritional, textural and sensory properties of Coalho cheese made of goats', cows' milk and their mixture [J]. LWT-Food Science and Technology, 2013, 50(2): 538-544.
- [160] Alasalvar C, Taylor K D, Shahidi F. Comparison of volatiles of cultured and wild sea bream (*Sparus aurata*) during storage in ice by dynamic headspace analysis/gas chromatography-mass spectrometry [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2005, 53(7): 2616.
- [161] 陈万超, 杨焱, 李文, 等. 香菇挥发性成分 SPME-GC-MS 分析及特征指纹图谱的建立 [J]. 食品与生物技术学报, 2016(10): 1074-1080.
- [162] 杜欢, 宋乐莲, 谈忠琴, 等. Brønsted 酸性功能离子液体催化合成棕榈酸乙酯 [J]. 中国食品学报, 2016, 16(1): 139-146.
- [163] 蔡明沂, 黄绍华. γ -丁内酯类化合物的合成与应用 [J]. 江西化工, 2002(4): 5-10.
- [164] 李文, 谷镇, 杨焱, 等. GC-MS 分析鸡油菌中挥发性成分 [J]. 食品科学, 2013(8):