

Nutritional Assessment and Flavor Compounds Analysis of Muscles of *Coregonus peled*

Chu Xu¹, Xichang Wang^{1*}, Yujun Hou², Zhiping Zhang², Fuyang Bi², Zhuang Ma²

¹College of Food Science, Shanghai Ocean University, Shanghai

²Xinjiang Engineering Technology Research Center for Coregonus & Trout, Xinjiang Saihu Fishery Technology Development Co., Ltd., Wenqian Xinjiang

Email: 1525199833@qq.com, *xcwang@shou.edu.cn

Received: Dec. 25th, 2019; accepted: Jan. 9th, 2020; published: Jan. 16th, 2020

Abstract

In this paper, the content and composition of the basic nutrient composition, amino acid and fatty acid of muscles of *Coregonus peled* were analyzed, and its nutritional analysis and quality evaluation were carried out, and the composition characteristics of flavor substances were discussed. The results showed that: The higher content of protein and fat of muscles of *Coregonus peled* is respectively 18.93% and 13.87%. The content and composition of amino acids fully conform to FAO/WHO standards, among which the essential amino acids are complete and well balanced. The content of unsaturated fatty acid is higher than that of saturated fatty acid, and the content of n-3 PUFAs is as high as 38.17%, especially EPA and DHA. 28 kinds of volatile flavor compounds were detected, of which aldehydes accounted for 48.13%. The content of flavor amino acids is abundant, accounting for 6.1% of the total free amino acids. The content of IMP in nucleotides is higher, which has the most obvious effect on the delicious taste of muscles of *Coregonus peled*. The research results will provide some theoretical basis and reference value for the fresh-keeping processing of *Coregonus peled* in the future.

Keywords

Coregonus peled, Nutritional Composition, Flavor Compounds, Quality Evaluation

高白鲑肌肉营养评价及风味物质分析

徐 楚¹, 王锡昌^{1*}, 侯玉军², 张治平², 毕福洋², 马 壮²

¹上海海洋大学食品学院, 上海

²新疆鲑鳟鱼工程技术研究中心, 新疆赛湖渔业科技开发有限公司, 新疆 温泉

*通讯作者。

摘要

本文以高白鲑为研究对象, 分析其肌肉的基本营养成分以及氨基酸和脂肪酸的含量及其组成, 对其进行营养分析及品质评价, 并探讨风味物质的组成特征。研究表明, 高白鲑肌肉中蛋白质和脂肪含量较高, 分别为18.93%和13.87%。氨基酸的含量及其组成完全符合FAO/WHO标准, 其中, 必需氨基酸种类齐全且均衡性好。不饱和脂肪酸含量高于饱和脂肪酸含量, 其中n-3 PUFAs含量高达38.17%, 尤其EPA和DHA含量较高。检测出28种挥发性风味物质, 其中醛类物质所占比重较大, 达48.13%。呈味氨基酸含量丰富, 占总游离氨基酸含量的6.1%。核苷酸中IMP含量较高, 对高白鲑肌肉的鲜美滋味影响程度最明显。研究结果将对今后高白鲑的保鲜加工提供一定的理论依据和参考价值。

关键词

高白鲑, 营养成分, 风味物质, 品质评价

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

高白鲑肉味鲜美, 肉质细嫩, 无肌间刺, 含有丰富的蛋白质、脂肪、维生素以及矿物质等营养物质, 并且必需氨基酸种类齐全, 多不饱和脂肪酸如DHA和EPA含量较高, 而胆固醇含量几乎为零[1], 因此属于一类经济价值和营养价值均较高的优质增养殖品种。

近些年来, 有关高白鲑的文献只是集中于对其形态特征、胚胎发育以及人工繁殖等方面进行研究[2][3][4], 而对于其营养品质的分析评价较为稀少[1], 特别是有关高白鲑风味方面的研究目前还是空白。因此, 本文以高白鲑为研究对象, 分析其肌肉中的水分、灰分、蛋白质、脂肪等基本营养成分以及氨基酸和脂肪酸的含量及其组成, 对其进行系统全面的营养评价, 并探讨其滋味物质和挥发性气味物质的组成特征, 以期高白鲑的保鲜加工及物流运输提供理论支持和参考依据。

2. 材料与方法

2.1. 材料与仪器

高白鲑 新疆赛湖渔业科技开发有限公司, 采集10尾作为实验材料, 平均体重(650.9 ± 34.2) g, 体长(37.5 ± 1.3) cm, 冰藏条件下运回实验室。

五水硫酸铜, 饱和氯化钠, 甲醇, 硫酸钾, 石油醚(30~60℃), 氢氧化钠, 浓硫酸, 正己烷, 重蒸苯酚, 浓盐酸, 三氯甲烷, 三氟化硼均为分析纯, 国药集团化学试剂公司; 17种氨基酸混合标准溶液、37种脂肪酸甲酯混合标准溶液、14% BF₃-CH₃OH溶液, Sigma-Aldrich公司; 0.22 μm水相滤膜, 上海安谱科学仪器有限公司。

FOSS Soxtec2050 型全自动索氏脂肪浸提仪, FOSS Kjelttec8400 型全自动凯氏定氮仪(丹麦 FOSS 中国上海有限公司); Avanti J-26xP 型冷冻离心机(贝克曼库尔特商贸(中国)有限公司); L-8800 型氨基酸自动分析仪(日本日立公司); TRACE GC ULTRA 型气相色谱仪(美国 Thermo 公司); Agilent 7890B-5977A-GC/MSD 型气相色谱-质谱联用仪(美国安捷伦公司); Waters e2695 型高效液相色谱仪(美国 Waters 公司)。

2.2. 实验方法

2.2.1. 基本营养成分测定

水分是依据 GB 5009.3-2016 方法, 选用直接干燥法。

蛋白质是依据 GB 5009.5-2016 方法, 选用凯氏定氮法。

粗脂肪是依据 GB 5009.6-2016 方法, 选用索氏提取法。

灰分是依据 GB 5009.4-2016 方法, 选用马弗炉灰化法。

2.2.2. 总氨基酸组成分析

根据 Adeyeye 方法[5]并作修改。将鱼肉去除肌间刺后切碎, 用组织粉碎机或研磨机粉碎, 搅匀后称取 0.15 g 置于水解管内, 加入 15 mL 6 mol/L 盐酸和 3 滴重蒸苯酚后冷冻 5 min, 接到真空泵上抽真空, 再冲入氮气, 重复操作 3~4 次, 充氮气状态下封口, 然后置于 110°C 恒温箱中水解 22 h。取出冷却后转移至 50 mL 容量瓶, 用水定容至刻度, 取滤液 1.0 mL 放入 50°C 真空干燥箱内, 反复操作 2~3 次, 最后蒸干, 加 2.0 mL pH = 2.2 柠檬酸钠缓冲液进行溶解, 经 0.22 μm 滤膜过滤, 用氨基酸自动分析仪测定。

2.2.3. 脂肪酸组成分析

参照 Bligh-Dyer 方法[6]并作修改。准确称取经研磨机粉碎的鱼肉 10.00 g, 加入 10 mL 三氯甲烷和 20 mL 甲醇, 置于磁力搅拌器上搅拌 20 h, 经 4000 r/min 离心 5 min 后取出下层溶液置于圆底烧瓶, 然后连接旋转蒸发仪, 70°C 水浴加热。加入 5 mL 0.5 mol/L NaOH-CH₃OH 溶液, 连接冷凝回流装置, 每间隔 60 s 晃动接收瓶一次。加入 5 mL 14%三氟化硼-甲醇溶液, 100°C 水浴加热 5 min。然后加 2 mL 正己烷萃取 2 min。取出冷却后加入 10 mL 饱和 NaCl 溶液, 静置后取出上清液。经 0.22 μm 有机相滤膜过滤, 用气相色谱仪分析。

气相色谱条件: 色谱柱: Agilent SP-2560 毛细管柱(0.2 μm, 100 m × 0.25 mm)。色谱柱初温为 70°C; 70°C 升至 140°C, 升温速率 50°C/min, 保持 1 min; 140°C 升至 180°C, 升温速率 4°C/min 保持 1 min; 180°C 升至 225°C, 升温速率 3°C/min, 保持 30 min。汽化室温度 250°C, 载气 N₂, 色谱柱流速 1 mL/min, 分流比 45:1, 进样体积 1.0 μL。

2.2.4. 挥发性成分测定

准确称取样品 2.50 g, 加入 2.5 mL 0.18 g/mL NaCl 溶液后匀浆, 然后置于 15 mL 顶空瓶中[7], 以备进样测定。

顶空固相微萃取条件: 采用 65 μm PDMS/DVB 萃取头, 萃取温度 45°C, 萃取时间 40 min [8]。

色谱条件: 色谱柱: HP-5MS 弹性毛细管柱(0.25 μm, 30 m × 0.25 mm)。不分流模式进样, 程序升温: 色谱柱初温为 40°C; 40°C 升至 70°C, 升温速率 1°C/min, 保持 5 min; 70°C 升至 100°C, 升温速率 2°C/min, 无保留; 100°C 升至 180°C, 升温速率 4°C/min, 无保留; 最后 180°C 升至 250°C, 升温速率 5°C/min, 保持 5 min。进样口温度 250°C, 载气 He, 流速 1.0 mL/min。

质谱条件: 电子电离离子源; 解吸时间 5 min, 解吸温度 250°C; 电子能量 70 eV; 灯丝发射电流 200 μA; 离子源温度 230°C; 四极杆温度 150°C; 传输线温度 280°C; 检测器电压 1.2 kV; 质量扫描范围 m/z:

35~350。

2.2.5. 游离氨基酸测定

根据文献方法[9]并作修改。准确称取样品 0.50 g, 加入 15 mL 5%三氯乙酸, 匀浆后静置 1 h, 取上清液 10 mL, 经 4℃ 15000 r/min 冷冻离心 10 min, 取上清液 5 mL, 然后用 6 mol/L NaOH 溶液调节 pH 至 2.0, 最后定容至 10 mL, 经 0.22 μm 水相滤膜过滤, 用氨基酸自动分析仪检测。

2.2.6. 核苷酸测定

依照文献方法[10]并作修改。准确称取样品 5.00 g, 加入 30 mL 预冷的 5%高氯酸, 匀浆后超声处理 5 min, 静置 2 h, 经 4℃ 10000 r/min 冷冻离心 10 min, 取上清液, 沉淀用 10 mL 5% PCA 重复提取 3 次, 合并上清液, 用 1 mol/L KOH 调节 pH 至 5.75, 最后用 1% pH 5.75 高氯酸定容至 50 mL, 经 0.22 μm 滤膜过滤, 用 HPLC 分析测定。

HPLC 指标: 色谱柱: 岛津 ODS-3 C18 柱(5 μm, 4.6 mm × 250 mm); 流动相: A 为 0.02 mol/L K₂HPO₄ 和 KH₂PO₄ (1:1), 用磷酸调节 pH 至 5.8, B 为纯甲醇溶液; 检验波长 254 nm; 流速 1.0 mL/min; 柱温 30℃; 进样量 10 μL。梯度洗脱程序: 0~8 min, 缓冲液为 100%流动相 A; 8~10 min, 流动相 B 线性延长到 3%; 10~15 min, 流动相 B 线性延长到 6%; 15~23 min, 流动相 B 线性延长到 15%; 23~28 min, 流动相 B 线性延长到 30%; 28~30 min, 流动相 A 恢复为 100%, 平衡 5 min 后进下一个样品[11]。

2.2.7. 营养价值评价方法

按照联合国粮食及农业组织/世界卫生组织(FAO/WHO)建议的氨基酸评分标准和鸡蛋蛋白质的氨基酸模式, 分别计算氨基酸评分(AAS)、化学评分(CS)和必需氨基酸指数(EAAI) [12], 公式如下所示:

$$AAS = \frac{\text{待测蛋白质中某种必需氨基酸含量}(\text{mg/g N})}{\text{FAO/WHO 评分模式中相应必需氨基酸含量}(\text{mg/g N})} \quad (2-1)$$

$$CS = \frac{\text{待评蛋白质中某种必需氨基酸含量}(\text{mg/g N})}{\text{鸡蛋蛋白质中相应必需氨基酸含量}(\text{mg/g N})} \quad (2-2)$$

$$EAAI = n \sqrt{\frac{Lys(t)}{Lys(s)} \times 100 \times \frac{Met(t)}{Met(s)} \times 100 \times \dots \times \frac{Val(t)}{Val(s)} \times 100} \quad (2-3)$$

式中: n 为比较氨基酸数; t 为实验蛋白质氨基酸; s 为标准蛋白质氨基酸。

2.3. 数据处理

每个样品重复测量三次, 数据用 SPSS 21.0 进行处理分析, 实验结果均采用平均值 ± 标准偏差(mean ± SD, n = 3)的形式表示。

3. 结果与分析

3.1. 高白鲑肌肉基本营养成分分析

高白鲑与其他鱼类肌肉基本营养成分比较结果如表 1 所示。从表 1 可以看出, 与其他养殖鱼类肌肉营养成分相比, 高白鲑肌肉中的水分含量最低, 为 69.55%。粗蛋白含量为 18.93%, 仅次于大西洋鲑[12], 与虹鳟[14]等鲑科鱼类测定结果相近, 且略高于某些淡水鱼类(青鱼[15], 草鱼[15], 鲢鱼[16], 鳙鱼[16])。而粗脂肪含量远高于其他养殖鱼类, 可达 13.87%, 是一种高脂肪鱼类, 因此在贮藏运输过程中要特别注意脂肪氧化酸败导致的鲜度品质下降。此外, 高白鲑肌肉中灰分含量也低于其他养殖鱼类, 为 1.14%。

研究表明, 高白鲑属于一类高蛋白、高脂肪的优质增养殖品种, 具有良好的营养价值, 应用前景广阔。

Table 1. Comparison of proximate nutritional components among the muscle of *Coregonus peled* and other fish species (%)
表 1. 高白鲑与其他鱼类肌肉基本营养成分比较(%)

品种	水分	粗蛋白	粗脂肪	灰分
高白鲑	69.65 ± 1.48	18.93 ± 0.29	13.87 ± 0.20	1.14 ± 0.05
大西洋鲑[12]	74.74 ± 1.05	20.20 ± 0.58	4.73 ± 0.18	1.95 ± 0.07
哲罗鲑[13]	78.01 ± 0.23	17.44 ± 0.39	2.08 ± 0.10	2.09 ± 0.17
虹鳟[14]	74.50 ± 0.58	18.70 ± 0.46	5.11 ± 0.43	1.26 ± 0.12
青鱼[15]	78.10	18.50	1.69	1.25
草鱼[15]	82.71	15.10	1.50	1.71
鲢鱼[16]	76.48	15.80	5.56	1.77
鳙鱼[16]	76.50	15.30	2.20	1.30

注: 平均值 ± 标准差, n=3。以下同。

3.2. 高白鲑肌肉氨基酸组成及营养评价

本实验测定出 17 种氨基酸, 包含 7 种必需氨基酸(EAA)、2 种半必需氨基酸(SEAA)和 8 种非必需氨基酸(NEAA)。从表 2 中数据结果可以发现, 高白鲑肌肉中谷氨酸所占比重较大, 天冬氨酸次之, 赖氨酸含量也较高, 因而与谷类一起搭配食用, 填补赖氨酸含量缺乏, 从而提升蛋白质利用价值。此外, 从表 2 能够看到, 高白鲑肌肉中 EAA 含量较高, 可达 7.64 g/100g, 而 EAA/TAA 为 42.42%, EAA/NEAA 为 73.67%, 由此可见, 高白鲑肌肉中氨基酸的含量及其组成完全达到 FAO/WHO 规定的蛋白质优良级别标准[17], 能够提供氨基酸均衡较好的优良蛋白质。

根据 FAO/WHO 理想模式可知, 质量较好的蛋白质所含的总必需氨基酸含量占总氨基酸含量之比($\Sigma\text{EAA}/\Sigma\text{AA}$)在 40%左右, 而总必需氨基酸含量与总非必需氨基酸含量之比($\Sigma\text{EAA}/\Sigma\text{NEAA}$)在 60%以上[17]。

由表 3 能够发现, 高白鲑肌肉中 $\Sigma\text{EAA}/\Sigma\text{AA}$ 为 42.42%, $\Sigma\text{EAA}/\Sigma\text{NEAA}$ 为 73.67%, 这与袁小敏等[18]研究高白鲑肌肉中必需氨基酸的测定结果基本一致, 说明高白鲑肌肉中氨基酸的含量及其组成均完全符合上述 FAO/WHO 标准规定。因此, 高白鲑肌肉中氨基酸的营养价值较高, 能够提供氨基酸较好的优质蛋白质。

从营养学角度分析可知, 食品蛋白质的营养价值很大程度上取决于其所含必需氨基酸的含量及其组成[19]。因此, 将必需氨基酸含量与 FAO/WHO 建议的氨基酸评分标准和鸡蛋蛋白的氨基酸模式进行比较, 然后根据相应公式分别计算出氨基酸评分(AAS)、化学评分(CS)以及必需氨基酸指数(EAAI), 计算结果如表 4 和表 5 所示。

从表 4 可以发现, 高白鲑肌肉中必需氨基酸除了赖氨酸含量比鸡蛋蛋白模式高, 其余的含量均较低, 但是 7 种必需氨基酸的含量均高于 FAO/WHO 规定标准。由表 5 能够得到, 高白鲑肌肉中必需氨基酸的 AAS 均大于 1, CS 均大于 0.6, 因此, 高白鲑肌肉中必需氨基酸的均衡性较好, 能够提供较为优质全面的蛋白质。除此之外, 高白鲑的 EAAI 与几种鲑科鱼类(大西洋鲑 80.12, 虹鳟 84.58, 山女鳟 81.46)测定结果相近[20], 且明显高于某些淡水鱼类(鲢鱼 60.73, 草鱼 62.71, 鲤鱼 65.92) [21]。因此, 高白鲑肌肉中必需氨基酸含量丰富、种类齐全且均衡性好, 具有较高的营养价值和食用价值。

Table 2. Amino acid composition and content of the muscle of *Coregonus peled* (g/100g)
表 2. 高白鲑肌肉氨基酸组成与含量(g/100g)

氨基酸种类	氨基酸含量
苯丙氨酸(Phe)	0.76 ± 0.02
缬氨酸(Val)	1.07 ± 0.13
蛋氨酸(Met)	0.75 ± 0.12
异亮氨酸(Ile)	0.86 ± 0.10
亮氨酸(Leu)	1.55 ± 0.22
赖氨酸(Lys)	1.77 ± 0.04
苏氨酸(Thr)	0.88 ± 0.08
精氨酸(Arg)	1.21 ± 0.11
组氨酸(His)	0.49 ± 0.06
脯氨酸(Pro)	0.54 ± 0.07
酪氨酸(Tyr)	0.68 ± 0.12
天冬氨酸(Asp)	1.88 ± 0.09
丝氨酸(Ser)	0.81 ± 0.04
谷氨酸(Glu)	2.73 ± 0.16
甘氨酸(Gly)	0.88 ± 0.10
丙氨酸(Ala)	1.08 ± 0.21
胱氨酸(Cys)	0.07 ± 0.01
ΣAA	18.01
ΣEAA	7.64
ΣNEAA	10.37

注: ΣAA 表示总氨基酸含量; ΣEAA 表示总必需氨基酸含量; ΣNEAA 表示总非必需氨基酸含量。

Table 3. Proportion and percentage content of amino acid of the muscle of *Coregonus peled*

表 3. 高白鲑肌肉氨基酸比例及其百分含量

氨基酸比例	百分含量(%)
ΣEAA/ΣAA	42.42
ΣEAA/ΣNEAA	73.67

注: ΣEAA/ΣAA 表示总必需氨基酸含量与总氨基酸含量之比; ΣEAA/ΣNEAA 表示总必需氨基酸含量与总非必需氨基酸含量之比。

Table 4. Evaluation of essential amino acid composition of the muscle of *Coregonus peled*

表 4. 高白鲑肌肉必需氨基酸组成的评价

必需氨基酸种类	必需氨基酸含量 (mg/g N)	FAO/WHO 标准 (mg/g N)	鸡蛋蛋白 (mg/g N)
Thr	284.83	250	292
Lys	469.65	340	441
Val	356.03	310	410
Ile	310.72	250	331
Leu	498.45	440	534
Met + Cys	236.28	220	386
Phe + Tyr	498.45	380	565

Table 5. AAS、CS and EAAI of essential amino acids of the muscle of *Coregonus peled*
表 5. 高白鲑肌肉必需氨基酸的氨基酸评分(AAS)、化学评分(CS)和必需氨基酸指数(EAAI)

必需氨基酸种类	AAS	CS
Thr	1.14	0.98
Lys	1.68	1.29
Val	1.15	0.87
Ile	1.24	0.94
Leu	1.13	0.93
Met + Cys	1.07	0.61
Phe + Tyr	1.31	0.88
EAAI		88.23

3.3. 高白鲑肌肉脂肪酸组成分析

由实验中可以看出,高白鲑肌肉中共检测出 30 种脂肪酸(FA)。根据表 6 能够发现,饱和脂肪酸(SFA)为 13 种,占总脂肪酸含量的 27.92%,其中棕榈酸含量最高,可达 60.17%。

不饱和脂肪酸含量高于饱和脂肪酸含量,其中单不饱和脂肪酸(MUFA)为 7 种,占总脂肪酸含量的 28.67%。多不饱和脂肪酸(PUFA)为 10 种,占总脂肪酸含量的 43.41%,这一结果与袁小敏等[18]研究高白鲑肌肉中脂肪酸的测定结果基本一致。此外,PUFA 中 n-3 PUFAs 含量相对较高,可达 38.17%,具有抑制癌细胞增加、调节免疫功能、促进婴幼儿神经元生长等重要作用[22] [23],而 n-3 PUFAs 中 EPA 和 DHA 含量丰富,分别占总脂肪酸含量的 13.28%和 23.12%,对于提高人体记忆力和反应能力、预防老年痴呆症等有良好功效[24]。因此,高白鲑肌肉中脂肪酸具有良好的营养价值和保健价值。

3.4. 高白鲑肌肉挥发性成分分析

高白鲑肌肉挥发性成分含量及组成如表 7 所示。由表 7 可知,高白鲑肌肉中挥发性物质共有 28 种,包括醛类 10 种、醇类 5 种、酮类 4 种、烷烃类 9 种,其中醛类物质所占比重较大,可达 48.13%。一些相对分子质量低的醛类物质具有较高阈值,因而对鱼肉的特征性风味有所影响。饱和直链醛如己醛、庚醛、辛醛、壬醛等对高白鲑鱼肉的气味有着重要作用,特别是实验中相对含量较高的己醛,含量可达 21.28%,认定存在于淡水鱼和海水鱼体内[25]。而由于烯醛等不饱和醛的含量较低,但其阈值也偏小,因此对高白鲑的风味产生影响。除此之外,从实验中检测出来的醇类物质和烷烃类物质,由于其阈值偏高,对整体风味的作用较小,这一结果与蔡原等[26]研究虹鳟肌肉中挥发性风味物质组成的结果基本一致,说明醛类物质对高白鲑的风味影响显著,而醇类物质和烷烃类物质作用较小。

3.5. 高白鲑肌肉游离氨基酸分析

鱼肉味道的鲜美程度与其肌肉中呈味氨基酸(谷氨酸、天冬氨酸、甘氨酸、丙氨酸、丝氨酸、脯氨酸)的含量及其组成有着密切关系[27]。谷氨酸和天冬氨酸是对鲜味起作用的特征性氨基酸,尤其是谷氨酸对鲜味的贡献作用最显著[28]。而甘氨酸、丙氨酸是对甘味起作用的特征性氨基酸,丝氨酸、脯氨酸也与甘味的形成存在一定的联系[29]。

由表 8 能够得出,高白鲑肌肉中总游离氨基酸含量较高,为 1.06 g/100g,其中呈味氨基酸含量丰富,可达 0.06 g/100g,占总游离氨基酸含量的 6.1%。这与杨欣怡等[29]对鱼肉中呈味物质进行分析评价的结论基本相符,说明呈味氨基酸的含量及其组成是导致高白鲑味道鲜美的重要原因之一。

Table 6. Fatty acid composition of the muscle of *Coregonus peled* (mg/100g)
表 6. 高白鲑肌肉脂肪酸组成(mg/100g)

脂肪酸种类	脂肪酸含量
C4:0	0.06 ± 0.03
C6:0	0.05 ± 0.02
C8:0	0.03 ± 0.01
C10:0	0.04 ± 0.02
C12:0	0.17 ± 0.04
C14:0	28.21 ± 0.13
C15:0	14.39 ± 0.16
C16:0	176.47 ± 0.29
C17:0	12.28 ± 0.14
C18:0	36.70 ± 0.17
C20:0	13.66 ± 0.11
C21:0	0.79 ± 0.05
C22:0	10.45 ± 0.09
ΣSFA	293.30
C14:1	6.22 ± 0.23
C15:1	6.37 ± 0.11
C16:1n7	64.48 ± 0.13
C17:1n7	6.09 ± 0.07
C18:1n9	163.45 ± 0.30
C20:1	3.27 ± 0.06
C24:1n9	51.24 ± 0.08
ΣMUFA	301.12
C18:2n6	16.97 ± 0.24
C18:3n6	11.34 ± 0.16
C18:3n3	17.42 ± 0.12
C20:2n6	1.87 ± 0.07
C20:3n6	1.35 ± 0.10
C20:3n3	1.24 ± 0.05
C20:4n6	22.37 ± 0.11
C20:5n3(EPA)	139.48 ± 0.28
C22:2n6	1.16 ± 0.02
C22:6n3(DHA)	242.82 ± 0.24
ΣPUFA	456.02

Table 7. The composition of the volatile components of the muscle of *Coregonus peled*
表 7. 高白鲑肌肉挥发性成分组成

序号	保留时间(t_r)	挥发性物质名称	相对含量(%)
1	2.718	1-戊烯-3-醇(1-Penten-3-ol)	22.36 ± 0.28
2	2.885	2,3-戊二酮 (2,3-Pentanedione)	6.54 ± 0.17
3	4.258	(Z)-2-戊烯-1-醇((Z)-2-Penten-1-ol)	3.95 ± 0.09
4	4.893	己醛(Hexanal)	21.28 ± 0.30
5	5.126	1-己醇(1-Hexanol)	1.17 ± 0.12
6	5.549	庚醛(Heptanal)	5.83 ± 0.24
7	7.880	(Z)-4-庚烯醛((Z)-4-Heptenal)	3.22 ± 0.06
8	7.938	苯甲醛(Benzaldehyde)	1.89 ± 0.11
9	10.517	3,5,5-三甲基-2-己烯(3,5,5-trimethyl-2-Hexene)	6.67 ± 0.15
10	10.734	1-辛烯-3-醇(1-Octen-3-ol)	5.45 ± 0.08
11	10.920	2,5-辛二酮(2,5-Octanedione)	10.40 ± 0.23
12	11.048	2,2,4,6,6-五甲基-庚烷(2,2,4,6,6-pentamethyl-Heptane)	0.88 ± 0.07
13	11.345	(E,E)-2,4-庚二烯醛((E,E)-2,4-Heptadienal)	2.76 ± 0.14
14	11.837	辛醛(Octanal)	3.65 ± 0.26
15	14.141	2,7-辛二烯-1-醇(2,7-Octadien-1-ol)	8.81 ± 0.26
16	14.927	(E,E)-3,5-辛二烯-2-酮((E,E)-3,5-Octadien-2-one)	2.84 ± 0.09
17	15.332	壬醛(Nonanal)	6.59 ± 0.14
18	17.381	(E,Z)-2,6-壬二烯醛((E,Z)-2,6-Nonadienal)	0.97 ± 0.07
19	17.714	癸醛(Decanal)	1.25 ± 0.13
20	18.999	5-亚甲基环丙基-戊醛 5-Methylenecyclopropyl-Pentanal)	1.72 ± 0.18
21	23.329	2-十一酮(2-Undecanone)	0.93 ± 0.10
22	25.516	十四碳烷(Tetradecane)	0.78 ± 0.06
23	28.014	1-十五烯(1-Pentadecene)	4.56 ± 0.25
24	28.619	十五碳烷(Pentadecane)	2.11 ± 0.17
25	33.421	1-溴-5-十七烯(1-bromo-5-Heptadecene)	1.19 ± 0.12
26	33.512	8-十七烯(8-Heptadecene)	6.20 ± 0.23
27	33.955	十七碳烷(Heptadecane)	1.57 ± 0.11
28	33.998	(E,Z)-5,6-二(2,2-亚丙基二甲酯)-癸烷 (E,Z)-5,6-bis(2,2-dimethylpropylidene)-Decane)	0.64 ± 0.05

3.6. 高白鲑肌肉核苷酸分析

滋味物质对鱼肉滋味的影响取决于味道强度值(TAV), 即该物质在样品中的测定值与其本身味道阈值之比[30]。有研究表明, 当味道强度值大于 1 时, 该物质对鱼肉的滋味有着重要作用, 且数值越大, 作用效果越明显[31]。从表 9 可以看到, 高白鲑肌肉中 IMP 含量可达 246.07 mg/100g, 这与鲑鱼(235 mg/100g) [32]研究结果相近, 但高于草鱼(142 mg/100g) [33]、海产鲈鱼(188 mg/100g) [32]等某些淡水鱼类。此外, 根据查阅文献可知, IMP、AMP 和 GMP 味道阈值分别为 25、50 和 12.5 mg/100g, 因此通过计算能够发现, 三种核苷酸中只有 IMP 的 TAV > 1, 说明 IMP 对高白鲑肌肉的鲜美滋味影响程度最明显。

Table 8. The free amino acid composition of the muscle of *Coregonus peled* (mg/100g)
表 8. 高白鲑肌肉游离氨基酸组成(mg/100g)

游离氨基酸种类	游离氨基酸含量
Asp	3.13 ± 0.21
Ala	24.04 ± 0.08
Gly	12.78 ± 0.09
Glu	18.91 ± 0.17
Ser	5.75 ± 0.24
Thr	8.12 ± 0.13
Cys	3.56 ± 0.02
Val	11.27 ± 0.07
Met	14.08 ± 0.13
Ile	15.54 ± 0.10
Leu	18.39 ± 0.26
Tyr	25.16 ± 0.12
Phe	27.02 ± 0.11
Lys	19.58 ± 0.25
His	779.66 ± 0.88
Arg	69.04 ± 0.49
ΣFAA	1060

Table 9. The nucleotide composition of the muscle of *Coregonus peled* (mg/100g)
表 9. 高白鲑肌肉核苷酸组成(mg/100g)

核苷酸种类	核苷酸含量
GMP	2.73 ± 0.06
IMP	246.07 ± 0.84
AMP	12.84 ± 0.15
Σ(GMP + IMP + AMP)	261.64

4. 结论

通过对高白鲑肌肉中营养物质分析得出结论：1) 与其他养殖鱼类相比，高白鲑肌肉中水分和灰分含量较少，分别为 69.55%和 1.14%；粗蛋白含量仅次于大西洋鲑，可达 18.93%；而粗脂肪含量远高于其他鱼类，为 13.87%，属于高蛋白、高脂肪鱼类；2) 高白鲑肌肉中氨基酸的含量及其组成均完全符合 FAO/WHO 标准，根据 AAS、CS 和 EAAI 的评价结果可知，必需氨基酸含量丰富、种类齐全且均衡性较好，是优质的蛋白质来源；3) 高白鲑肌肉中不饱和脂肪酸含量高于饱和脂肪酸含量，其中 n-3 PUFAs 含量高达 38.17%，尤其 EPA 和 DHA 含量丰富，具有良好的营养价值和保健价值。

此外，对高白鲑肌肉中风味物质研究可知：1) 从高白鲑肌肉中检测出 28 种挥发性风味物质，其中醛类物质所占比重较大，达 48.13%，对鱼肉的特征性气味产生影响；2) 呈味氨基酸含量较高，占总游离氨基酸含量的 6.1%，这是导致高白鲑味道鲜美的重要原因之一；3) 三种核苷酸中只有 IMP 的 TAV > 1，

说明 IMP 对高白鲑肌肉的鲜美滋味影响程度最明显。研究表明, 高白鲑是一类味道鲜美、营养价值较高的优质增养殖品种, 具有广阔的应用前景。

基金项目

自治区科技支疆项目(D-8005-17-0012): 新疆高白鲑品质评价及保鲜加工物流技术研究与示范。

参考文献

- [1] 郭焱, 马燕武, 蔡林刚, 等. 赛里木湖高白鲑和凹目白鲑肌肉、卵的营养分析评价[J]. 水产学杂志, 2004, 17(1): 62-67.
- [2] Bechtel, P. and Oliveira, A.C.M. (2006) Chemical Characterization of Liver Lipid and Protein from Cold-Water Fish Species. *Sensory and Nutritive Qualities of Food*, **71**, 480-485. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2006.00076.x>
- [3] 张仁铭, 蔡林刚, 吐尔逊, 等. 赛里木湖高白鲑的人工繁殖[J]. 淡水渔业, 2001, 21(5): 12-13.
- [4] 张北平, 杨文荣, 张仁铭, 等. 高白鲑在赛里木湖的生长发育观测[J]. 淡水渔业, 2000, 21(6): 3-5.
- [5] Adeyeye, E. (2009) Amino Acid Composition of Three Species of Nigerian Fish: *Clarias Anguillar*, *Oreochromis Niloticus* and *Cynoglossus Senegalensis*. *Food Chemistry*, **113**, 43-45. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.07.007>
- [6] Bligh, E. and Dyer, W.J. (1959) A Rapid Method of Total Lipid Extraction and Purification. *Canadian Journal of Biochemistry and Physiology*, **37**, 911-917. <https://doi.org/10.1139/v59-099>
- [7] Chen, J.Q. and Wang, X.-C. (2005) Analysis of Odors from Silver Carp by Headspace Solid Phase Microextraction-Gas Chromatography-Mass Spectrometry. *Journal of Chinese Mass Spectrometry Society*, **26**, 76-80.
- [8] 曹静, 张凤桦, 杨欣怡, 等. 顶空固相微萃取-气相色谱-质谱联用分析养殖长吻鮠肌肉挥发性风味成分[J]. 食品与发酵工业, 2015, 40(7): 160-165.
- [9] Chen, D.W., Zhang, M. and Sundar, S. (2007) Compositional Characteristics and Nutritional Quality of Chinese Mitten Crab (*Eriocheir sinensis*). *Food Chemistry*, **103**, 1343-1349. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.10.047>
- [10] Mohan, M., Ramachandran, D., Sankar, T.V. and Anandan, R. (2008) Physicochemical Characterization of Muscle Proteins from Different Regions of Mackerel (*Rastrelliger kanagurta*). *Food Chemistry*, **106**, 451-457. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.05.024>
- [11] 刘姝, 余勃, 王淑军, 等. 沙光鱼肌肉营养成分分析及营养学评价[J]. 食品科学, 2010, 31(17): 381-384.
- [12] Ünal Şengör, G.F., Alakavuk, D.Ü. and Tosun, Ş.Y. (2013) Effect of Cooking Methods on Proximate Composition, Fatty Acid Composition and Cholesterol Content of Atlantic Salmon (*Salmo salar*). *Aquatic Food Product Technology*, **22**, 160-167. <https://doi.org/10.1080/10498850.2011.635839>
- [13] 张超, 佟广香, 匡友谊, 等. 哲罗鲑、细鳞鲑及其杂交种肌肉的营养成分分析[J]. 大连海洋大学学报, 2014, 29(2): 171-174.
- [14] Fallah, A.A., Siavash Saei-Dehkordi, S. and Nematollahi, A. (2011) Comparative Assessment of Proximate Composition, Physicochemical Parameters, Fatty Acid Profile and Mineral Content in Farmed and Wild Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Food Science and Technology*, **46**, 767-773. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2011.02554.x>
- [15] Liu, S., Yu, B., Wang, S.-J., et al. (2010) Composition Analysis and Nutritional Evaluation of *Acanthogobius hasta* Muscle. *Food Science and Technology*, **31**, 381-384.
- [16] 梁志强, 李传武, 欧燎原, 等. 湘华鲮肌肉营养成分分析与评价[J]. 营养学报, 2009, 31(4): 411-413.
- [17] Usydus, Z., Szlinder Richert, J. and Adamczyk, M. (2009) Protein Quality and Amino Acid Profiles of Fish Products Available in Poland. *Food Chemistry*, **112**, 139-145. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.05.050>
- [18] 袁小敏, 郝淑贤, 李来好, 等. 高白鲑肌肉营养成分分析与评价[C]//2016 年中国水产学会学术年会论文摘要集. 中国水产学会、四川省水产学会, 2016: 1.
- [19] Wang, F., Ma, X.Z., Wang, W. and Liu, J.Y. (2012) Comparison of Proximate Composition, Amino Acid and Fatty Acid Profiles in Wild, Pond- and Cage-Cultured Longsnout Catfish (*Leiocassis longirostris*). *International Journal of Food Science and Technology*, **47**, 1772-1776. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2012.03033.x>
- [20] 孙中武, 尹洪滨. 六种冷水鱼肌肉营养组成分析与评价[J]. 营养学报, 2004, 26(5): 386-388.
- [21] 刘哲, 张昌吉, 王欣, 等. 革丽鲆金鱒含肉率及肌肉营养成分分析[J]. 淡水渔业, 2004, 34(6): 23-25.
- [22] Uauy, R., Hoffman, D.R., Peirano, P., Birch, D.G. and Birch, E.E. (2001) Essential Fatty Acids in Visual and Brain Development. *Lipids*, **36**, 885-895. <https://doi.org/10.1007/s11745-001-0798-1>

- [23] Darios, F. and Davletov, B. (2006) Omega-3 and Omega-6 Fatty Acids Stimulate Cell Membrane Expansion by Acting on Syntaxin 3. *Nature*, **440**, 813-817. <https://doi.org/10.1038/nature04598>
- [24] 曹静, 张凤桦, 宋军, 等. 养殖和野生长吻鮠肌肉营养成分比较分析[J]. 食品科学, 2015, 36(2): 126-131.
- [25] Shi, W.Z., Wang, X.C., Liu, Y., Tao, N.-P. and Wu, J.-Y. (2010) Comparison on Volatile Compounds in Cultured Grass Carp at Different Growth Stages. *Food Science*, **33**, 342-347.
- [26] 蔡原, 刘哲, 宋明伟, 等. 虹鳟不同部位鱼肉挥发性风味物质组成比较[J]. 食品科学, 2011, 32(16): 269-273.
- [27] Zhang, C.H., Wu, H.M., Hong, P.Z., *et al.* (2000) Nutrients and Composition of Free Amino Acid Inedible Part of *Pinctada martensii*. *Journal of Fisheries of China*, No. 24, 180-184.
- [28] Hui, Y.H. (1985) Principles and Issues in Nutrition. Wadsworth Health Science Division, Belmon.
- [29] 杨欣怡, 宋军, 赵艳, 等. 网箱海养卵形鲳鲹肌肉中呈味物质分析评价[J]. 食品科学, 2016, 37(8): 131-135.
- [30] Hayashi, T., Asakawa, A., Yamaguchi, K. and Konosu, S. (1979) Studies on Flavor Components in Boiled Crabs Crab-III Sugars, Organic Acids and Minerals in the Extracts. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **45**, 1325-1329. <https://doi.org/10.2331/suisan.45.1325>
- [31] Chiang, P.D., Yen, C.T. and Mau, J.L. (2006) Non-Volatile Taste Components of Canned Mushrooms. *Food Chemistry*, **97**, 431-437. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.05.021>
- [32] Fuke, S. and Konosu, S. (1991) Taste-Active Components in Some Foods: A Review of Japanese Research. *Physiology Behavior*, **49**, 863-868. [https://doi.org/10.1016/0031-9384\(91\)90195-T](https://doi.org/10.1016/0031-9384(91)90195-T)
- [33] 施文正, 陈青云, 万金庆, 等. 冷冻对不同部位草鱼肉鲜度和滋味的影响[J]. 食品工业科技, 2014, 35(16): 334-336.