

文章编号: 1674-5566(2017)06-0888-12

DOI:10.12024/jsou.20161001885

不同产地虹鳟鱼肉风味物质的比较

吴永俊^{1,2}, 王玉涛^{1,2}, 施文正^{1,3}, 马海建³, 王 莉^{1,2}, 任小娜^{1,2}

(1. 喀什大学 生命与地理科学学院, 新疆 喀什 844000; 2. 叶尔羌绿洲生态与生物资源研究高校重点实验室, 新疆 喀什 844000; 3. 上海海洋大学 食品学院, 上海 201306)

摘 要: 分析了北京、新疆和青海 3 个地区养殖虹鳟鱼背肉和腹肉中基本营养成分、呈味核苷酸、游离氨基酸和挥发性成分的不同, 结果表明: 青海虹鳟鱼的水分显著低于北京和新疆 ($P < 0.05$), 而粗脂肪含量显著高于北京和新疆, 相同产地虹鳟鱼背肉和腹肉的基本营养成分差别相对较小; 新疆和青海虹鳟鱼背肉中 IMP 含量显著高于腹肉, 不同产地间 AMP、IMP 和游离氨基酸的含量均有显著性差异, 且均表现为: 新疆 > 北京 > 青海; 电子鼻分析表明北京和新疆虹鳟鱼气味较为接近, 而和青海虹鳟鱼有明显区别, 且其背肉和腹肉也有所不同; GC-MS 检测分析表明虹鳟鱼中挥发性物质主要以醛酮类和醇类为主, 青海虹鳟中醛酮类相对含量显著高于北京和新疆, 而醇类显著低于其他两地。

关键词: 虹鳟鱼; 呈味核苷酸; 游离氨基酸; 挥发性物质

中图分类号: S 965.122 **文献标志码:** A

虹鳟 (*Oncorhynchus mykiss*) 也称为麦奇钩吻鳟, 属硬骨鱼纲 (Osteichthyes), 鲑形目 (Salmoniformes), 鲑科 (Salmonidae), 太平洋鲑属 (*Oncorhynchus*) 的一种冷水性鱼类, 由于从鳃盖起有一条沿两侧线延伸至尾柄的紫红色彩带而被称为虹鳟, 有陆封型、降海型和湖沼型 3 种, 我国淡水养殖的主要是陆封型^[1]。虹鳟鱼产于北美洲的太平洋西岸, 栖息于清澈无污染、溶氧较多的冷水中, 以食鱼虾等为主, 现在被引入世界各地广泛的养殖^[2]。随着人民生活水平的不断提高, 淡水鱼等水产品已成为人们生活中补充蛋白质不可或缺的一种食品。虹鳟鱼是联合国粮农组织向世界推广的品质优良的四大淡水鱼种之一, 其肉质鲜美, 无小骨刺, 蛋白含量较高, 还含有丰富的氨基酸、矿物质、维生素、DHA 和 EPA 等^[1,3]。美国在 1874 年开始了虹鳟鱼的人工养殖, 我国于 1959 年引进虹鳟鱼进行养殖, 如今虹鳟鱼的养殖已得到了广泛推广和迅速发展, 2014 年我国虹鳟鱼产量为 28 万吨, 养殖地区主要分布在新疆、青海、甘肃、北京和黑龙江等省市^[3]。

风味是消费者选购水产品的重要指标之一, 主要包括滋味和气味两部分, 分别由人体味觉和嗅觉器官感知。滋味物质包括呈味核苷酸、游离氨基酸、小分子肽和有机酸等; 气味主要是由羰基化合物、醇类化合物等一些挥发性物质构成^[4]。本实验选取了北京、新疆和青海 3 个养殖产地的虹鳟鱼 (麦奇钩吻鳟 *Oncorhynchus mykiss*) 为原料, 分析比较了 3 种不同产地虹鳟鱼的背部和腹部鱼肉中基本营养成分、呈味核苷酸、游离氨基酸和挥发性成分的不同, 通过对虹鳟鱼风味物质的研究, 旨在为我国虹鳟鱼养殖产业的不断发展提供一些理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

鲜活虹鳟鱼, 2015 年 10 月分别购于北京市怀柔区、新疆喀什地区塔什库尔干塔吉克自治县和青海西宁市水产品批发市场, 体质量均为 2.0~3.0 kg/尾, 各 6 尾。3 种不同产地的虹鳟鱼分别在采集市场经去头急杀、去内脏后冰鲜空运

收稿日期: 2016-10-24 修回日期: 2017-07-02

基金项目: 国家自然科学基金面上项目 (31471685); 新疆维吾尔自治区科技创新团队建设项目 (2014751002)

作者简介: 吴永俊 (1979—), 女, 硕士研究生, 研究方向为食品生物工程。E-mail: 1325266255@qq.com

通信作者: 施文正, E-mail: wzshi@shou.edu.cn

回实验室,在实验室立即分别对3种样品沿脊椎剖开,取其背部鱼肉和腹部鱼肉,分别将其切成碎肉混合均匀,共6组样品冷冻贮藏于 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$,测定前取出于 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下过夜解冻。

标准品三磷酸腺苷(ATP)、二磷酸腺苷(ADP)、一磷酸腺苷(AMP)、肌苷酸(IMP)、次黄嘌呤核苷(HxR)、次黄嘌呤(Hx),购于Sigma公司;甲醇、磷酸二氢钠和磷酸氢二钠为色谱纯,购于上海安谱实验科技股份有限公司。

1.2 仪器与设备

主要仪器及设备:BGZ-140 电热鼓风干燥箱(上海博讯实业有限公司);马弗炉SX-2.5-12(上海博讯实业有限公司);K9840 自动凯氏定氮仪(青岛海能仪器有限公司);Soxtec2050 型索氏抽提系统(丹麦 FOSS 福斯分析仪器公司);LC-2010CHT 高效液相色谱仪(日本岛津公司);L-8800 氨基酸全自动分析仪(日本 Hitachi 公司);FOX-4000 气味指纹分析仪(电子鼻,法国 Alpha M. O. S 公司);7890A-5975C 气相色谱-质谱联用仪(美国 Agilent 公司);SPME 手动进样手柄、 $65\text{ }\mu\text{m}$ PDMS/DVB(聚二甲基硅氧烷/二乙烯基苯)萃取头(美国 Supelco 公司)。

1.3 实验方法

1.3.1 基本营养成分的测定

水分:采用直接干燥法,参照 GB 5009.3—2010^[5]进行测定;灰分:采用马弗炉灰化法,参照 GB 5009.4—2010^[6]进行测定;总蛋白:采用凯氏定氮法,参考 GB 5009.5—2010^[7]进行测定;粗脂肪:采用索氏提取法,参考 GB/T 14772—2008^[8]进行测定。

1.3.2 ATP 关联物的测定

参考 YOKOYAMA 等^[9]的方法,略有改动。分别称鱼肉样品 5.0 g ,加 10 mL 10%预冷的高氯酸,匀浆, $10\text{ }000\text{ r/min}$ 离心 15 min ,取上清液,沉淀加入 5 mL 5%的高氯酸,再次离心取上清液,重复操作两次,合并上清液,用 10 mol/L 和 1 mol/L 的KOH溶液调节pH至6.5,静置 30 min 后取上清液定容至 50 mL ,摇匀,过 $0.45\text{ }\mu\text{m}$ 膜后待测。整个过程均在 $0\sim 4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下操作。

高效液相色谱仪(HPLC)分析条件:GL Sciences 公司 Inertsil ODS-SP C18($4.6\times 250\text{ mm}$, $5\text{ }\mu\text{m}$)液相色谱柱;保护柱柱芯 Inertsil ODS-SP($4\times 10\text{ mm}$, $5\text{ }\mu\text{m}$);流动相:A为 0.05 mol/L 磷

酸二氢钾和磷酸氢二钾(1:1)溶液,用磷酸调节pH至6.5,B为甲醇溶液, $V(A):V(B)=95:5$,等度洗脱;流速: 1 mL/min ;柱温: $28\text{ }^{\circ}\text{C}$;进样量: $10\text{ }\mu\text{L}$;检验波长: 254 nm 。

1.3.3 游离氨基酸的测定

参考姚志勇等^[10]的方法,略有改动。分别称取鱼肉样品 1.0 g ,加入 15 mL 15%的三氯乙酸,匀浆后静置 2 h , $10\text{ }000\text{ r/min}$ 离心 15 min ,取 5 mL 上清液,用 3 mol/L NaOH 溶液调节pH至2.0,定容至 10 mL ,摇匀后过 $0.22\text{ }\mu\text{m}$ 膜待测。

氨基酸自动分析仪条件:分离柱 $4.6\text{ mm I. D.}\times 60\text{ mm}$,分离树脂为阳离子交换树脂;分离柱温度: $57\text{ }^{\circ}\text{C}$;检测波长: 570 nm (脯氨酸为 440 nm);缓冲溶液流速: 0.40 mL/min ;反应液:茚三酮试剂;反应液流量: 0.35 mL/min ;反应单元温度: $135\text{ }^{\circ}\text{C}$;进样量 $20\text{ }\mu\text{L}$ 。

1.3.4 电子鼻分析

分别准确称取各组样品 1.0 g ,加 1.0 mL 0.18 g/mL NaCl 溶液,匀浆,置于 10 mL 进样瓶中封盖待测,每组分别做5个平行。

电子鼻参数:以干燥洁净空气为载气,流速 150 mL/min ;顶空平衡温度 $50\text{ }^{\circ}\text{C}$,顶空平衡时间 300 s ,振荡速度 500 r/min ;注射针温度 $60\text{ }^{\circ}\text{C}$,进样体积 $2\text{ }500\text{ }\mu\text{L}$,注射速度 $2\text{ }500\text{ }\mu\text{L/s}$,即 1 s 完成;数据采集时间 120 s ,获取延滞时间 10 min 。

1.3.5 挥发性成分的测定

顶空固相微萃取(HS-SPME)条件^[11]:分别称量鱼肉样品 2.5 g ,加 2.5 mL 0.18 g/mL NaCl 溶液,匀浆后置于 15 mL 顶空瓶内。选取 $65\text{ }\mu\text{m}$ PDMS/DVB 萃取头,于 $45\text{ }^{\circ}\text{C}$ 萃取 40 min ,然后将其迅速插入气相色谱仪的进样口,解吸 5 min 后取出。

色谱条件:DB-5MS 弹性毛细管柱($60\text{ m}\times 0.32\text{ mm}\times 1\text{ }\mu\text{m}$),不分流模式;程序升温:柱初温 $40\text{ }^{\circ}\text{C}$,保持 5 min ,以 $3\text{ }^{\circ}\text{C/min}$ 升至 $100\text{ }^{\circ}\text{C}$,保持 1 min ,而后以 $5\text{ }^{\circ}\text{C/min}$ 升至 $180\text{ }^{\circ}\text{C}$,保持 2 min ,然后以 $8\text{ }^{\circ}\text{C/min}$ 升至 $200\text{ }^{\circ}\text{C}$,保持 3 min ;进样口温度 $250\text{ }^{\circ}\text{C}$;载气(He)流量 1.0 mL/min 。

质谱条件:电子轰击(EI)离子源;电子能量 70 eV ;传输线温度 $280\text{ }^{\circ}\text{C}$;离子源温度 $230\text{ }^{\circ}\text{C}$;四极杆温度 $150\text{ }^{\circ}\text{C}$;质量扫描范围 $m/z:35\sim 350$ 。

挥发性物质通过 NIST 2008 和 Wiley 谱库进行定性,通过面积归一化法求得各挥发性物质的

相对百分含量。

1.4 数据处理

实验数据均由 Excel、SPSS 20.0 等软件进行分析处理。

2 结果与分析

2.1 基本营养成分分析

由表 1 可知,相同产地虹鳟鱼的背肉和腹肉间基本营养成分差异相对较小,其中北京养殖虹鳟鱼的腹肉脂肪含量显著高于背肉 ($P < 0.05$),是背肉的 1.78 倍,而水分、灰分和总蛋白含量差异均不显著 ($P > 0.05$);新疆虹鳟鱼腹肉的水分含量相比背肉显著高出 1.32%,而背肉的蛋白质含量是腹肉的 1.08 倍;青海虹鳟鱼背肉的水分含量显著高于腹肉,分别为 63.71% 和 57.09%。对于相同部位的鱼肉,青海虹鳟鱼的水分含量显

著低于北京和新疆虹鳟鱼,其中青海虹鳟鱼背肉的水分含量相比北京和新疆的虹鳟鱼分别减少了 10.56% 和 10.36%,腹肉分别减少了 17.94% 和 18.27%;青海虹鳟鱼的灰分含量显著高于北京和新疆养殖的虹鳟鱼;3 个产地虹鳟鱼相同部位蛋白质的含量差异相对较小;而不同产地虹鳟鱼的脂肪含量有着显著差异,含量大小:青海 > 新疆 > 北京。这表明相同地区虹鳟鱼背部和腹部鱼肉的基本营养成分差异相对较小,而不同养殖产地会对虹鳟鱼肉的基本营养成分产生一定的影响,这可能和不同养殖地区的饲养条件如水体环境和所用饲料等的差异有关。王术娥等^[12]对罗非鱼的研究也表明不同的养殖产地可对其营养成分有所影响,湖北省养殖的罗非鱼背肉中脂肪含量要高于广东省。

表 1 不同产地虹鳟鱼背肉和腹肉的营养组成

Tab. 1 The basic nutritional composition in dorsal and belly meat of rainbow trout in different regions %

| | 北京 Beijing | | 新疆 Xinjiang | | 青海 Qinghai | |
|-------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------------------|
| | 背肉 Dorsal meat | 腹肉 Belly meat | 背肉 Dorsal meat | 腹肉 Belly meat | 背肉 Dorsal meat | 腹肉 Belly meat |
| 水分 Water | 74.27 ± 0.51 ^{aA} | 75.03 ± 0.31 ^{aA} | 74.04 ± 0.39 ^{bA} | 75.36 ± 0.39 ^{aA} | 63.71 ± 1.79 ^{aB} | 57.09 ± 1.14 ^{bB} |
| 灰分 Ash | 1.44 ± 0.03 ^{aB} | 1.37 ± 0.14 ^{aB} | 1.34 ± 0.26 ^{aB} | 1.36 ± 0.05 ^{aB} | 1.87 ± 0.11 ^{aA} | 1.91 ± 0.09 ^{aA} |
| 总蛋白 Protein | 21.26 ± 0.26 ^{aA} | 20.83 ± 0.39 ^{aA} | 20.89 ± 0.63 ^{aA} | 19.36 ± 1.22 ^{bB} | 21.23 ± 1.49 ^{aA} | 20.22 ± 0.83 ^{aAB} |
| 粗脂肪 Fat | 1.41 ± 0.13 ^{bC} | 2.51 ± 0.62 ^{aB} | 2.77 ± 0.44 ^{aB} | 2.59 ± 0.11 ^{aB} | 12.26 ± 1.17 ^{aA} | 12.13 ± 0.85 ^{aA} |

注:同一行上不同小写字母表示同一产地不同部位间有显著性差异 ($P < 0.05$),不同大写字母表示同一部位不同产地间有显著性差异,表 2、3 同

Note: In the same line, there are significant differences between different lowercase letters in different parts of the same region ($P < 0.05$), and different capital letters indicate significant differences between different regions of the same part. The same in tab. 2,3

2.2 呈味核苷酸含量分析

ATP 及其降解产物是鱼肉中核苷酸及其关联化合物的重要组成部分,ATP 的降解是一个相对复杂的动态过程,一般认为,鱼类死后肌肉中 ATP 的降解途径为^[10]: $ATP \rightarrow ADP \rightarrow AMP \rightarrow IMP \rightarrow HxR \rightarrow Hx$ 。其中对鱼肉滋味有主要贡献的是 IMP 和 AMP,IMP 降解生成 HxR 的速度相对较慢,因此 IMP 会在新鲜的鱼肉中得到积累,是鱼类的一种重要呈味核苷酸类物质,是鲜味极强的风味增强剂,与谷氨酸共存时有显著的风味协同作用^[13];AMP 有抑制苦味的特性,能使食品产生理想的咸味与甜味,而且和 IMP 结合能提高鲜味强度^[10]。

滋味活性值 (taste active value, TAV) 为样品中呈味物质浓度的测量值与其本身味道阈值的

比值, $TAV \geq 1$ 时,表明此呈味物质对于样品的整体滋味有明显影响,数值越大其贡献越大; $TAV < 1$ 时,此呈味物质对整体滋味贡献不明显^[14]。AMP 和 IMP 的味道阈值分别为 50 和 25 mg/100g^[15],由图 1 和 2 可知,虹鳟鱼鱼肉中 AMP 的 TAV 值小于 1,而 IMP 的 TAV 值大于 1,对虹鳟鱼的滋味有着重要的贡献。相同产地虹鳟鱼的背肉和腹肉中 AMP 的含量均无显著性差异 ($P > 0.05$);而对于同一部位鱼肉,尽管采用同样的方式对不同产地虹鳟鱼进行处死取肉分装等处置步骤,结果表明不同产地间虹鳟鱼的 AMP 含量仍存在显著性差异 ($P < 0.05$),其中新疆虹鳟鱼含量最高,北京次之,青海虹鳟鱼含量最低,这可能是由于其生长发育环境的不同等原因所导致,新疆虹鳟鱼背肉和腹肉的 AMP 含量分别是青海

虹鳟鱼的 3.92 和 4.33 倍。北京养殖的虹鳟鱼背肉和腹肉中 IMP 含量差异不显著,而新疆和青海虹鳟鱼背肉的 IMP 含量均显著高于腹肉,分别是腹肉的 1.20 和 1.22 倍,施文正等^[16]研究草鱼不同部位中的滋味物质含量,结果也表明草鱼背肉中 IMP 含量高于腹肉,AMP 含量差别较小;不同养殖产地虹鳟鱼鱼肉的 IMP 含量也存在明显差别,其中北京和青海虹鳟鱼 IMP 含量差异相对较小,且均显著低于新疆虹鳟鱼的 IMP 含量,新疆虹鳟鱼背肉和腹肉中 IMP 含量分别是 1 895.65 mg/kg 和 1 569.70 mg/kg,是北京虹鳟鱼的 1.33 和 1.13 倍。这表明新疆养殖的虹鳟鱼有更高的 AMP 和 IMP 含量,可能使虹鳟鱼的滋味更加鲜美。

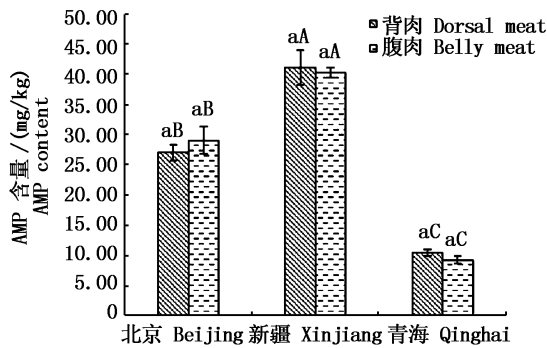


图 1 不同产地虹鳟背肉和腹肉中 AMP 含量

Fig. 1 The AMP content in dorsal and belly meat of rainbow trout in different regions

不同小写字母表示同一产地不同部位间有显著性差异 ($P < 0.05$),不同大写字母表示同一部位不同产地间有显著性差异,图 2-4 同

There are significant differences between different lowercase letters in different parts of the same region ($P < 0.05$), and different capital letters indicate significant differences between different regions of the same part. The same in Fig. 2-4

2.3 游离氨基酸含量分析

游离氨基酸 (free amino acid, FAA) 是一类重要的滋味成分,分别呈现出酸、甜、苦以及鲜味等

独特的滋味,其含量会直接影响食品的鲜美程度,但 FAA 对滋味的影响又十分复杂,不仅与种类和含量有关,还与其本身阈值有关,而且不同的氨基酸之间以及氨基酸与肌苷酸等其他成分之间还存在相互协同作用^[17]。表 2 为不同产地虹鳟鱼背肉和腹肉中游离氨基酸的含量(除色氨酸因酸性条件受到破坏外,共检测到 17 种游离氨基酸)。虹鳟鱼鱼肉中含量较高的游离氨基酸主要有谷氨酸 (Glu)、甘氨酸 (Gly)、丙氨酸 (Ala)、赖氨酸 (Lys) 和组氨酸 (His) 等,其中谷氨酸为重要的鲜味氨基酸,且与 IMP 有着显著的协同增强作用,因此对鱼肉的滋味有相对重要的贡献,3 种虹鳟鱼中谷氨酸的含量均在 200 mg/kg 左右,新疆虹鳟鱼含量最高,青海最小,要明显高于草鱼、白鲢等常见淡水鱼鱼肉中的谷氨酸含量^[4,16],表明虹鳟鱼的味道相比我国大宗淡水鱼可能会更鲜一些;Gly 和 Ala 对鱼肉的甜味有贡献,与 Glu、肌苷酸等其他呈味物质也有协同作用^[10];His 本身呈苦味,但起到增强风味的效果,形成某些水产品中的“肉香”特征^[4],其味道阈值为 200 mg/kg,6 组样品 His 的含量均超过阈值,表明 His 对虹鳟鱼的滋味有重要贡献,其中青海虹鳟鱼的 His 含量要显著高于北京和新疆养殖的虹鳟鱼,这可能与水温、光照等生长环境和养殖方式等有关;虹鳟鱼中 Lys 含量也相对较高,表明虹鳟鱼具有丰富的营养价值。

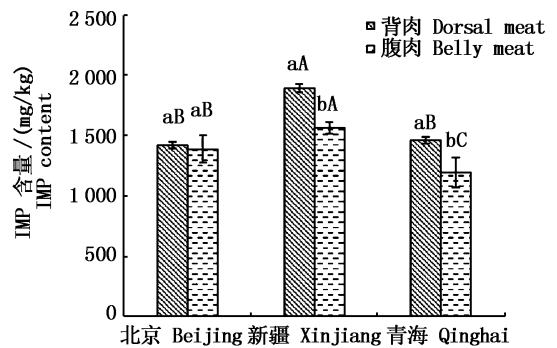


图 2 不同产地虹鳟背肉和腹肉中 IMP 的含量

Fig. 2 The IMP content in dorsal and belly meat of rainbow trout in different regions

表2 不同产地虹鳟鱼背肉和腹肉中游离氨基酸的含量

| 氨基酸种类 The kinds of amino acid | 北京 Beijing | | 新疆 Xinjiang | | 青海 Qinghai | |
|-------------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| | 背肉 | 腹肉 | 背肉 | 腹肉 | 背肉 | 腹肉 |
| | Dorsal meat | Belly meat | Dorsal meat | Belly meat | Dorsal meat | Belly meat |
| 天冬氨酸(Asp)★ | 46.00 ± 2.40 ^{bb} | 77.68 ± 7.66 ^{aa} | 107.38 ± 22.30 ^{aa} | 102.85 ± 19.04 ^{aa} | 5.92 ± 0.17 ^{ac} | 7.66 ± 1.64 ^{ab} |
| 苏氨酸(Thr)★ | 54.34 ± 1.30 ^{ac} | 55.64 ± 0.09 ^{ac} | 102.59 ± 19.17 ^{ab} | 95.91 ± 6.58 ^{ab} | 161.56 ± 23.88 ^{aa} | 156.33 ± 15.07 ^{aa} |
| 丝氨酸(Ser)★ | 95.93 ± 6.65 ^{ab} | 96.23 ± 2.14 ^{ab} | 150.25 ± 26.32 ^{aa} | 156.25 ± 12.99 ^{aa} | 22.25 ± 3.13 ^{ac} | 25.65 ± 5.91 ^{ac} |
| 谷氨酸(Glu)★ | 235.17 ± 12.87 ^{ab} | 210.64 ± 3.47 ^{ab} | 305.01 ± 18.63 ^{aa} | 286.50 ± 1.43 ^{aa} | 181.01 ± 15.02 ^{bc} | 212.55 ± 52.11 ^{ab} |
| 甘氨酸(Gly)★ | 568.08 ± 8.35 ^{aa} | 592.66 ± 16.73 ^{aa} | 617.87 ± 50.68 ^{aa} | 540.93 ± 56.32 ^{bb} | 92.22 ± 2.61 ^{ab} | 114.52 ± 16.72 ^{ac} |
| 丙氨酸(Ala)★ | 384.73 ± 4.02 ^{ab} | 334.62 ± 5.42 ^{bb} | 637.52 ± 48.45 ^{aa} | 611.74 ± 41.60 ^{aa} | 230.28 ± 19.92 ^{ac} | 238.31 ± 8.40 ^{ac} |
| 半胱氨酸(Cys) | - | - | - | - | 21.44 ± 1.76 ^b | 34.63 ± 2.52 ^a |
| 缬氨酸(Val) | 94.14 ± 0.03 ^{aa} | 99.46 ± 2.55 ^{aa} | 90.35 ± 7.21 ^{aa} | 88.50 ± 5.10 ^{aa} | 66.18 ± 9.13 ^{bb} | 92.22 ± 9.95 ^{aa} |
| 蛋氨酸(Met) | 83.31 ± 3.79 ^{aa} | 94.96 ± 10.13 ^{aa} | 75.63 ± 16.61 ^{aa} | 73.66 ± 11.24 ^{ab} | 47.34 ± 1.73 ^{bb} | 75.01 ± 17.54 ^{ab} |
| 异亮氨酸(Ile) | 122.95 ± 2.60 ^{aa} | 128.88 ± 3.28 ^{aa} | 88.46 ± 19.00 ^{ab} | 89.22 ± 18.79 ^{ab} | 61.83 ± 4.62 ^{bc} | 129.14 ± 12.09 ^{aa} |
| 亮氨酸(Leu) | 119.36 ± 0.31 ^{aa} | 125.22 ± 6.91 ^{aa} | 91.62 ± 18.50 ^{ab} | 90.65 ± 18.05 ^{ab} | 69.84 ± 0.87 ^{bc} | 129.10 ± 11.75 ^{aa} |
| 酪氨酸(Tyr) | 124.08 ± 1.36 ^{aa} | 137.30 ± 6.00 ^{aa} | 100.94 ± 17.09 ^{ba} | 92.31 ± 21.60 ^{bb} | 58.19 ± 0.32 ^{ab} | 142.86 ± 8.73 ^{ba} |
| 苯丙氨酸(Phe) | 24.42 ± 5.07 ^{bb} | 59.88 ± 17.01 ^{aa} | 28.40 ± 8.58 ^{ab} | 29.89 ± 0.07 ^{ab} | 160.04 ± 20.82 ^{aa} | 50.88 ± 8.54 ^{ba} |
| 赖氨酸(Lys) | 702.78 ± 28.39 ^{aa} | 611.15 ± 24.20 ^{ba} | 559.53 ± 36.12 ^{bb} | 580.19 ± 35.44 ^{ba} | 200.60 ± 42.75 ^{bc} | 309.57 ± 42.19 ^{ab} |
| 组氨酸(His) | 312.31 ± 43.34 ^{bb} | 395.58 ± 70.50 ^{ab} | 313.71 ± 59.97 ^{bb} | 425.17 ± 21.62 ^{ab} | 898.05 ± 28.68 ^{aa} | 741.47 ± 25.95 ^{ba} |
| 精氨酸(Arg) | 101.15 ± 1.64 ^{aa} | 70.42 ± 26.46 ^{ba} | 81.05 ± 7.97 ^{ab} | 76.76 ± 5.79 ^{aa} | 52.73 ± 1.86 ^{bc} | 73.68 ± 12.39 ^{aa} |
| 脯氨酸(Pro)★ | 16.72 ± 1.22 ^{ac} | 16.63 ± 0.52 ^{ac} | 27.83 ± 2.41 ^{bb} | 26.38 ± 1.90 ^{bb} | 69.12 ± 12.44 ^{ba} | 72.63 ± 4.42 ^{ba} |

注:★为鲜、甜味氨基酸,-表示未检测到

Note:“★”indicate the content of umami amino acids and sweet amino acids,“-”indicate not detected

北京和新疆虹鳟鱼的背肉和腹肉中游离氨基酸总量差异不显著($P > 0.05$),而青海养殖的虹鳟鱼腹肉中游离氨基酸总量显著高于背肉($P < 0.05$);对于同一部位鱼肉,3个产地的虹鳟鱼存在显著性差异,游离氨基酸总量的高低依次为:新疆 > 北京 > 青海,新疆虹鳟鱼背肉的游离氨基酸总量分别是北京和青海的1.09和1.41倍(图3)。

鲜、甜味氨基酸主要包括 Asp、Thr、Ser、Glu、Gly、Ala 和 Pro 7种,其中 Asp 和 Glu 是呈鲜味的特征氨基酸,其他5种和甜味相关^[18]。相同养殖产地的虹鳟鱼背肉和腹肉中鲜甜味氨基酸的含量相差较小,无显著性差异($P > 0.05$);而不同产地对鱼肉中鲜甜味氨基酸有显著影响,含量大小顺序和游离氨基酸总量相同,新疆虹鳟鱼含量最高,北京次之,青海最低,其中新疆虹鳟鱼背肉的鲜甜味氨基酸含量分别是北京和青海虹鳟鱼的1.39和2.55倍(图4)。综合分析表明,背肉和腹肉中游离氨基酸差别相对较小,3种产地中新疆养殖的虹鳟鱼鱼肉的游离氨基酸水平相对更好。

2.4 电子鼻分析

电子鼻是一种新型的气味指纹采集仪器,由气敏传感器阵列、模式识别系统、信号处理器系

统等部分组成,利用响应曲线识别样品的气味,对其进行判别和分析^[19]。主成分分析(PCA)是对传感器响应的特征向量矩阵进行数据转换和降维,并做线性分类,在损失很少信息的前提下将多个指标转变为几个重要综合指标,最后结果以二维散点图形式显示^[20]。水产品风味形成是一个极其复杂的过程,其中生长环境因素对其风味的影响最为复杂,也最难控制^[21]。不同产地虹鳟鱼背肉和腹肉电子鼻数据的主成分分析如图5所示,第一主成分(PC1)贡献率达到了98.85%,第一主成分(PC1)和第二主成分(PC2)贡献率之和达99.46%,这表明这个主成分分析可以很好地反映样品鱼肉原有的多指标信息。判别指数(Discrimination index, DI)表示对样品的判别质量给出的一个评价,判别指数为正,表明各个组间相互独立,判别指数最大值是100,越接近100说明效果越好;判别指数为负,表明各组间轮廓有所重叠,不能很好区分。本实验的DI值为-26,表明存在不能有效区分的样品组。由图5可知,北京虹鳟鱼和新疆虹鳟鱼的气味轮廓相距较近,且背肉和腹肉间也有相互重叠,不能有效区分,说明北京和新疆虹鳟鱼鱼肉的气味较为接近,且背肉和腹肉之间气味无明显差别;而青海虹鳟鱼样品的数据点相距其他几组数据点距离

相对较大,可以得到有效区分,且背肉和腹肉的气味轮廓也可被区分开,这表明青海养殖的虹鳟鱼鱼肉的气味和北京及新疆虹鳟鱼相比有明显区别,且其背肉和腹肉有所不同。

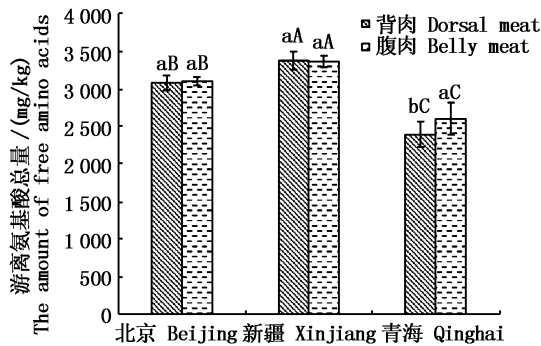


图3 不同产地虹鳟鱼背肉和腹肉中游离氨基酸的总量

Fig. 3 The amount of free amino acids of dorsal and belly meat of rainbow trout in different regions

2.5 挥发性物质的分析

采用顶空固相微萃取(HS-SPME)结合气质联用仪(GC-MS)对不同产地虹鳟鱼鱼肉的挥发性物质进行分析检测,得到挥发性物质的总离子流图如图6所示。

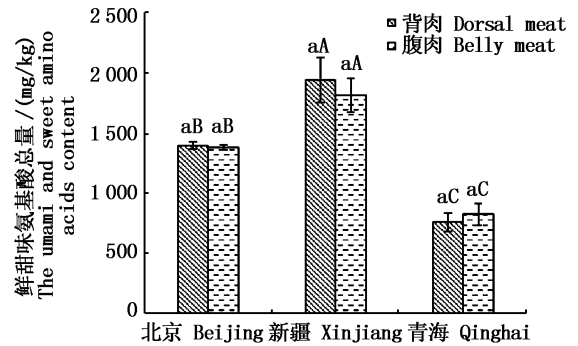


图4 不同产地虹鳟鱼背肉和腹肉中鲜甜味氨基酸的总量

Fig. 4 The umami and sweet amino acids content of dorsal and belly meat of rainbow trout in different regions

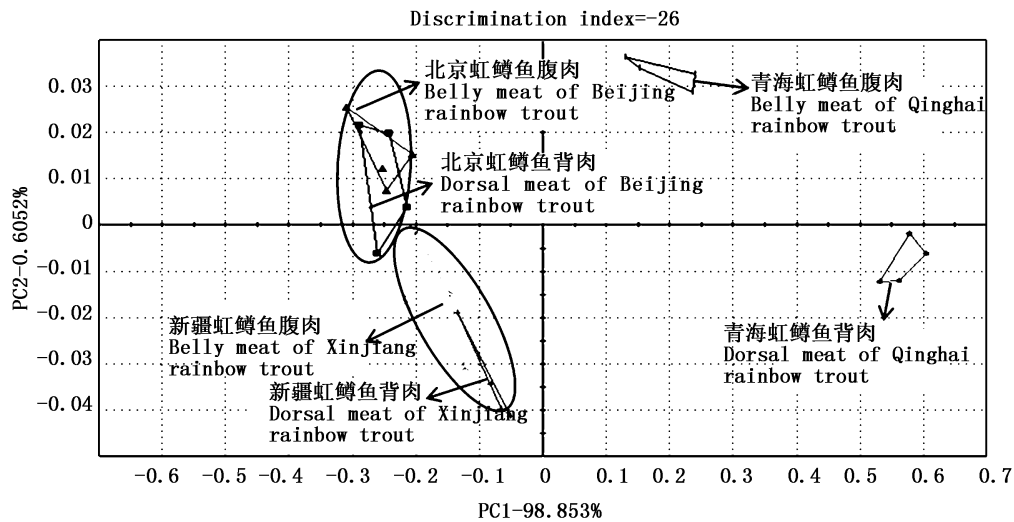


图5 各组样品电子鼻数据的主成分分析(PCA)图
Fig. 5 PCA analysis of E-nose for each sample

各组样品的图谱经计算机谱库检索以及资料分析,对挥发性物质进行分析鉴定。不同产地虹鳟鱼背肉和腹肉中挥发性物质的相对含量如表3所示,北京、新疆和青海虹鳟鱼背肉中分别检测到37、25和32种挥发性物质,腹肉中分别检测到35、24和29种挥发性物质,主要分为醛酮类、醇类、烷烃类、芳香族以及其他类等几类物质,其中以醛酮类和醇类为主,主要来源于多不

饱和脂肪酸的氧化降解、氨基酸的降解或微生物的氧化等^[22],含量相对较高的挥发性物质有己醛、庚醛、壬醛、2,3-辛二酮、1-辛烯-3-醇、1-己醇等,另外,2,6-壬二烯醛、2,4-癸二烯醛等不饱和醛阈值相对较低,也可能对虹鳟鱼气味有一定贡献^[23]。在6组样品中己醛相对含量均为最高,其普遍存在于淡水鱼中,具有青草气味,常常会与八碳或九碳挥发性物质混合在一起共同对其香

味产生贡献^[4],新疆和青海养殖的虹鳟鱼中己醛含量明显高于北京组,青海虹鳟鱼中背肉己醛含量要显著高于腹肉($P < 0.05$);庚醛和辛醛等可能和鱼肉腥味有关;壬醛是油酸氧化的产物呈现出油脂香味^[24];1-辛烯-3-醇是一种亚油酸的氢过氧化物的降解物,具有类似蘑菇的气味^[25],其在

北京和新疆虹鳟鱼肉中的含量显著高于青海虹鳟鱼,其中新疆虹鳟鱼背肉中的含量又显著高于腹肉;1-己醇等醇类与植物性气味和果香相关^[4],但其阈值相对较高,因此可能对虹鳟鱼气味的贡献相对较小;烷烃类物质相对含量较小,对虹鳟鱼鱼肉的气味影响相对较小。

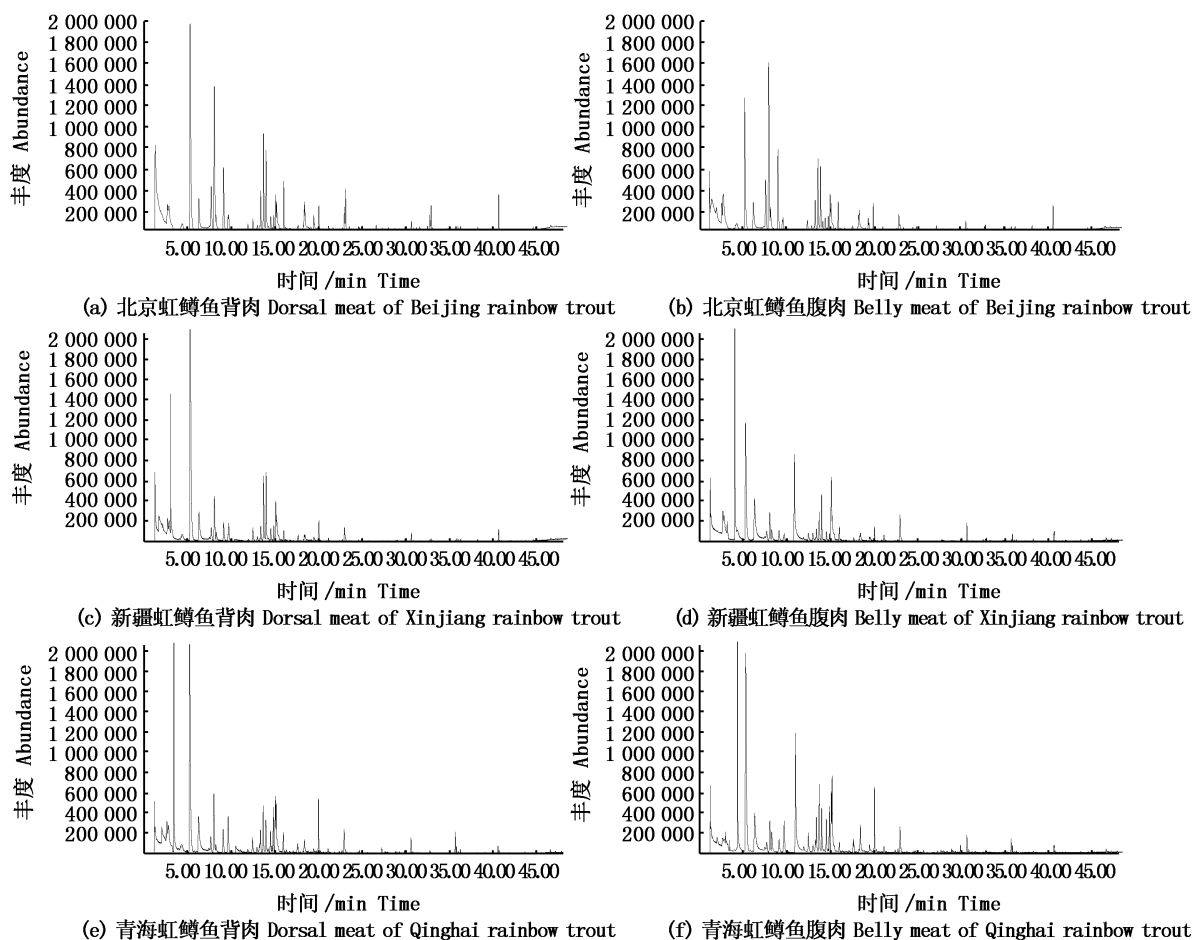


图6 不同产地虹鳟鱼背肉和腹肉中挥发性成分总离子峰图

Fig. 6 TIC of volatile compounds of dorsal and belly meat of rainbow trout in different regions

表 3 不同产地虹鳟鱼背肉和腹肉中挥发性物质的相对含量

Tab.3 The relative contents of volatile compounds of dorsal and belly meat of rainbow trout in different regions %

| 化合物名称 The compound name | 保留时间 /min | 阈值 /(μg /kg) | 北京 Beijing | | 新疆 Xinjiang | | 青海 Qinghai | | |
|---|----------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|
| | | | 背肉 Dorsal meat | 腹肉 Belly meat | 背肉 Dorsal meat | 腹肉 Belly meat | 背肉 Dorsal meat | 腹肉 Belly meat | |
| 己醛 hexanal | 5.27 | 4.5 | 40.13 \pm 1.82 ^{ab} | 37.64 \pm 3.20 ^{ab} | 47.01 \pm 1.68 ^{aA} | 47.31 \pm 1.02 ^{aA} | 48.66 \pm 4.16 ^{aA} | 40.74 \pm 2.19 ^{bB} | |
| (Z)-4-庚烯醛 (Z)-4-heptenal | 9.59 | - | 1.33 \pm 0.02 ^{aA} | 1.25 \pm 0.02 ^{aA} | 0.57 \pm 0.03 ^{aC} | 0.58 \pm 0.02 ^{aC} | 0.79 \pm 0.13 ^{ab} | 0.91 \pm 0.05 ^{ab} | |
| 庚醛 heptanal | 9.68 | 3 | 2.39 \pm 0.03 ^{ab} | 2.40 \pm 0.01 ^{ab} | 2.36 \pm 0.09 ^{ab} | 2.21 \pm 0.26 ^{ab} | 5.17 \pm 0.18 ^{bA} | 5.65 \pm 0.33 ^{aA} | |
| 苯甲醛 benzaldehyde | 12.46 | 350 | 1.89 \pm 0.04 ^{ab} | 1.93 \pm 0.08 ^{ab} | 2.03 \pm 0.28 ^B | - | 3.11 \pm 0.07 ^{aA} | 2.47 \pm 0.06 ^{bA} | |
| 2,3-辛二酮 2,3-octanedione | 13.97 | - | 9.89 \pm 0.07 ^{aA} | 10.35 \pm 0.48 ^{aA} | 9.01 \pm 0.13 ^{ab} | 9.09 \pm 0.05 ^{ab} | 4.83 \pm 0.21 ^{bC} | 5.56 \pm 0.31 ^{aC} | |
| (E,E)-2,4-庚二烯醛 (E,E)-2,4-heptadienal | 14.50 | 10 | 1.89 \pm 0.09 ^{ab} | 2.11 \pm 0.11 ^{ab} | 1.80 \pm 0.07 ^{bB} | 2.56 \pm 0.18 ^{aA} | 3.81 \pm 0.05 ^{aA} | 2.60 \pm 0.11 ^{bA} | |
| 辛醛 octanal | 14.85 | 0.7 | 1.66 \pm 0.07 ^{bB} | 2.12 \pm 0.06 ^{ab} | 1.76 \pm 0.05 ^{ab} | 1.52 \pm 0.04 ^{bC} | 3.62 \pm 0.12 ^{bA} | 6.07 \pm 0.08 ^{aA} | |
| 醛酮类 Carbonyl compounds | 2-羟基苯甲醛 2-hydroxybenzaldehyde | 16.67 | - | 0.18 \pm 0.02 ^{aA} | 0.16 \pm 0.01 ^{aA} | 0.03 \pm 0.01 ^{bC} | 0.10 \pm 0.01 ^{ab} | 0.12 \pm 0.02 ^{ab} | 0.15 \pm 0.02 ^{aA} |
| (E)-2-辛烯醛 (E)-2-octenal | 17.65 | 3 | 0.59 \pm 0.06 ^{aC} | 0.62 \pm 0.03 ^{aC} | 0.80 \pm 0.03 ^{ab} | 0.85 \pm 0.04 ^{ab} | 1.48 \pm 0.10 ^{aA} | 1.23 \pm 0.05 ^{bA} | |
| 3,5-辛二烯-2-酮 3,5-octadien-2-one | 18.33 | 150 | 1.95 \pm 0.10 ^{aA} | 1.69 \pm 0.08 ^{bA} | 0.69 \pm 0.04 ^{bB} | 1.08 \pm 0.19 ^{ab} | 0.57 \pm 0.09 ^{ab} | 0.67 \pm 0.08 ^{aC} | |
| 壬醛 nonanal | 20.02 | 1 | 2.49 \pm 0.13 ^{bB} | 3.17 \pm 0.35 ^{ab} | 1.81 \pm 0.19 ^{bC} | 2.69 \pm 0.25 ^{aC} | 4.10 \pm 0.27 ^{aA} | 7.05 \pm 0.19 ^{bA} | |
| (E,Z)-2,6-壬二烯醛 (E,Z)-2,6-nonadienal | 22.40 | 0.01 | 0.18 \pm 0.01 ^{ab} | 0.17 \pm 0.02 ^{ab} | 0.13 \pm 0.02 ^{aC} | 0.14 \pm 0.01 ^{aC} | 0.35 \pm 0.01 ^{aA} | 0.31 \pm 0.03 ^{bA} | |
| 癸醛 decanal | 24.96 | 2 | 0.45 \pm 0.04 ^{aA} | 0.52 \pm 0.10 ^{aA} | 0.35 \pm 0.01 ^{ab} | 0.37 \pm 0.01 ^{ab} | 0.21 \pm 0.05 ^C | - | |
| (E,E)-2,4-癸二烯醛 (E,E)-2,4-decadienal | 28.99 | 0.07 | 0.21 \pm 0.02 ^{aA} | 0.16 \pm 0.01 ^{bB} | 0.14 \pm 0.03 ^{bB} | 0.21 \pm 0.01 ^{aA} | 0.13 \pm 0.04 ^{ab} | 0.15 \pm 0.01 ^{ab} | |
| 十一醛 undecanal | 29.56 | 5 | 0.06 \pm 0.01 ^b | 0.09 \pm 0.01 ^{aA} | - | - | - | 0.07 \pm 0.01 ^A | |
| 小计 Subtotal | | | 65.31 \pm 1.25 ^{aC} | 64.35 \pm 2.03 ^{aC} | 68.50 \pm 2.06 ^{ab} | 68.71 \pm 1.59 ^{ab} | 76.97 \pm 2.81 ^{aA} | 73.62 \pm 1.07 ^{bA} | |
| 醇类 Alcohol compounds | 1-戊烯-3-醇 1-penten-3-ol | 2.66 | - | 2.96 \pm 0.24 ^{bB} | 5.38 \pm 0.36 ^{ab} | 6.51 \pm 0.18 ^{aA} | 6.04 \pm 0.31 ^{bA} | 2.46 \pm 0.48 ^{bC} | 5.41 \pm 0.09 ^{ab} |
| 1-戊醇 1-pentanol | 4.31 | 4000 | 0.74 \pm 0.09 ^{ab} | 0.33 \pm 0.09 ^{bB} | 1.32 \pm 0.08 ^{bA} | 1.84 \pm 0.09 ^{aA} | - | - | |
| 2-戊烯-1-醇 2-penten-1-ol | 4.40 | - | 1.28 \pm 0.13 ^a | 1.15 \pm 0.07 ^{aA} | - | - | - | 1.00 \pm 0.06 ^B | |
| 1-己醇 1-hexanol | 8.23 | 250 | 2.58 \pm 0.01 ^{bA} | 4.94 \pm 0.05 ^{aA} | 2.33 \pm 0.05 ^{bA} | 3.50 \pm 0.10 ^{ab} | 1.81 \pm 0.22 ^{ab} | 1.92 \pm 0.10 ^{aC} | |
| 1-庚醇 1-heptanol | 13.25 | 3 | 0.44 \pm 0.04 ^{ab} | 0.46 \pm 0.06 ^{ab} | 0.35 \pm 0.08 ^{ab} | 0.49 \pm 0.04 ^{ab} | 1.50 \pm 0.17 ^{bA} | 1.80 \pm 0.06 ^{aA} | |
| 1-辛烯-3-醇 1-octen-3-ol | 13.68 | 1 | 11.78 \pm 0.40 ^{ab} | 10.87 \pm 1.26 ^{aA} | 16.56 \pm 1.59 ^{aA} | 11.16 \pm 0.53 ^{bA} | 6.28 \pm 0.58 ^{aC} | 7.47 \pm 0.67 ^{ab} | |
| 四乙基环己醇 tetraethylcyclohexanol | 16.36 | - | 0.22 \pm 0.06 | - | - | - | - | - | |
| (E)-2-辛烯-1-醇 (E)-2-octen-1-ol | 18.23 | 40 | 0.56 \pm 0.08 ^{aA} | 0.38 \pm 0.02 ^{bA} | 0.22 \pm 0.02 ^{bB} | 0.39 \pm 0.05 ^{aA} | 0.22 \pm 0.06 ^{bB} | 0.36 \pm 0.04 ^{aA} | |
| 2,7-辛二烯-1-醇 2,7-octadien-1-ol | 18.39 | - | 4.36 \pm 0.18 ^{aA} | 3.61 \pm 0.06 ^{bA} | 0.51 \pm 0.16 ^{bC} | 2.27 \pm 0.37 ^{ab} | 2.44 \pm 0.20 ^{bB} | 3.36 \pm 0.07 ^{aA} | |
| 1-壬烯-4-醇 1-nonen-4-ol | 19.52 | - | 0.89 \pm 0.08 ^{bA} | 1.29 \pm 0.12 ^{aA} | 0.51 \pm 0.08 ^{bB} | 1.10 \pm 0.13 ^{aA} | - | - | |
| 小计 Subtotal | | | 25.82 \pm 0.61 ^{aA} | 28.43 \pm 1.80 ^{aA} | 28.31 \pm 2.08 ^{aA} | 26.81 \pm 0.56 ^{aA} | 14.71 \pm 1.71 ^{bB} | 21.32 \pm 0.45 ^{ab} | |

续表 3

| 化合物名称 The compound name | 保留时间 /min | 阈值 /(μg /kg) | 北京 Beijing | | 新疆 Xinjiang | | 青海 Qinghai | |
|----------------------------|--|--------------------------------|-------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| | | | 背肉 Dorsal meat | 腹肉 Belly meat | 背肉 Dorsal meat | 腹肉 Belly meat | 背肉 Dorsal meat | 腹肉 Belly meat |
| 烷烃类 Alkane compounds | 十一烷 undecane | 19.81 | - | 0.26 ± 0.05 | - | - | - | 0.25 ± 0.08 |
| | 十二烷 dodecane | 24.70 | - | 0.33 ± 0.04 ^{ab} | 0.23 ± 0.06 ^a | 0.04 ± 0.03 ^A | - | 0.22 ± 0.10 ^B |
| | 十三烷 tridecane | 29.29 | - | 0.19 ± 0.03 ^{ab} | 0.15 ± 0.07 ^{aA} | 0.08 ± 0.01 ^{ab} | 0.13 ± 0.05 ^{aA} | 0.22 ± 0.07 ^{aA} |
| | 十四烷 tetradecane | 32.77 | - | 0.29 ± 0.02 ^{hb} | 0.48 ± 0.06 ^{aA} | 0.18 ± 0.02 ^{ab} | 0.28 ± 0.06 ^{ab} | 0.58 ± 0.08 ^{aA} |
| | 十五烷 pentadecane | 35.67 | - | 0.34 ± 0.06 ^{ab} | 0.27 ± 0.05 ^{ab} | 0.12 ± 0.03 ^{ab} | 0.24 ± 0.09 ^{ab} | 2.18 ± 0.15 ^{aA} |
| | 十六烷 hexadecane | 38.22 | - | 0.33 ± 0.11 ^{aA} | 0.59 ± 0.14 ^{aA} | 0.21 ± 0.03 ^{aA} | 0.38 ± 0.10 ^{aA} | 0.20 ± 0.11 ^A |
| | 十七烷 heptadecane | 40.57 | - | - | - | - | - | 1.01 ± 0.04 ^a |
| | 小计 Subtotal | | | 1.75 ± 0.31 ^{ab} | 1.72 ± 0.09 ^{ab} | 0.63 ± 0.08 ^{aC} | 1.03 ± 0.30 ^{ab} | 4.41 ± 0.55 ^{aA} |
| 其他类 Other compounds | 甲苯 toluene | 4.24 | 200 | 0.49 ± 0.05 ^{aA} | 0.48 ± 0.12 ^{aA} | 0.35 ± 0.06 ^{aA} | 0.31 ± 0.08 ^{aA} | - |
| | D-柠檬烯 D-limonene | 15.99 | 10 | 5.38 ± 0.19 ^{aA} | 4.08 ± 0.14 ^{ba} | 2.01 ± 0.16 ^{bc} | 2.97 ± 0.50 ^{ab} | 3.71 ± 0.52 ^{ab} |
| | 1,2,4,5-四甲苯 1,2,4,5- tetramethylbenzene | 20.36 | - | 0.16 ± 0.07 | - | - | - | - |
| | 萘 naphthalene | 23.50 | 60 | 0.43 ± 0.04 ^{aA} | 0.36 ± 0.09 ^{aA} | 0.02 ± 0.02 ^{ab} | 0.04 ± 0.03 ^{ab} | - |
| | 1-甲基萘 1-methylnaphthalene | 28.70 | - | 0.20 ± 0.02 ^a | 0.14 ± 0.04 ^b | - | - | - |
| | 二丁基羟基甲苯 Dibutylhydroxytoluene | 36.02 | - | 0.19 ± 0.01 ^{aA} | 0.13 ± 0.03 ^{aA} | 0.10 ± 0.09 ^{aA} | 0.13 ± 0.10 ^{aA} | - |
| | 1,2-苯二甲酸丁酯辛酯 1,2-Benzenedicarboxylic acid, butyl octyl ester | 44.56 | - | 0.27 ± 0.04 ^{aA} | 0.31 ± 0.01 ^{aA} | 0.09 ± 0.04 ^C | - | 0.20 ± 0.03 ^{ab} |
| | 小计 Subtotal | | | 7.11 ± 0.33 ^{aA} | 5.50 ± 0.32 ^{ba} | 2.56 ± 0.06 ^{aC} | 3.45 ± 0.72 ^{ab} | 3.91 ± 0.55 ^{ab} |

注: -表示未检出

Note: "-" indicate not detected

由表 3 和图 7 可知,北京和新疆虹鳟鱼背部和腹部的醛酮类和醇类的相对含量均无显著性差异($P > 0.05$);青海虹鳟鱼背肉中醛酮类物质的相对含量显著高于腹肉($P < 0.05$),为腹肉的 1.05 倍,而醇类物质的相对含量则显著低于腹肉,腹肉中含量为背肉的 1.45 倍。不同产地间虹鳟鱼的醛酮类含量有显著性差异,含量大小依次为青海 > 新疆 > 北京,青海虹鳟鱼背肉中醛酮类含量分别是北京和新疆的 1.18 和 1.12 倍,腹肉分别是 1.14 和 1.07 倍,这可能导致青海虹鳟鱼鱼肉的气味相对更腥一些;北京和新疆虹鳟鱼的醇类相对含量无显著性差异,且均显著高于新疆虹鳟鱼,其中北京虹鳟鱼背部和腹部中醇类的相对含量分别是青海组的 1.75 和 1.33 倍。醛酮类和醇类相对含量的变化趋势和电子鼻主成分分析结果相似。北京和新疆虹鳟鱼中有检测到甲苯、萘等芳香族化合物,而青海养殖的虹鳟鱼中未检测到,这表明青海的养殖水域环境可能更加良好,污染较少。

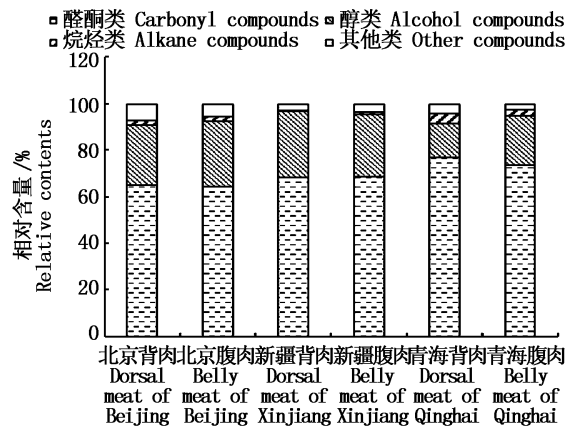


图 7 不同产地虹鳟鱼背肉和腹肉中各类挥发性物质含量的变化

Fig. 7 The relative contents of volatile compounds of dorsal and belly meat of rainbow trout in different regions

3 结论

青海虹鳟鱼的水分显著低于北京和新疆($P < 0.05$),而粗脂肪含量显著高于北京和新疆;

相同产地虹鳟鱼背肉和腹肉的基本营养成分也存在一些较小的差异,北京虹鳟鱼腹肉的粗脂肪含量显著高于背肉,新疆虹鳟鱼背肉的蛋白含量要高于腹肉,青海虹鳟鱼背肉和腹肉的水分含量有显著差异。

相同产地虹鳟鱼背肉和腹肉中 AMP 和游离氨基酸的含量无明显区别 ($P < 0.05$),新疆和青海虹鳟鱼背肉中 IMP 含量显著高于腹肉;3 个产地的虹鳟鱼鱼肉中 AMP、IMP 和 FAA 的含量均有显著性差异,且均表现为新疆 > 北京 > 青海,表明新疆养殖的虹鳟鱼滋味可能更加鲜美。

电子鼻分析表明北京和新疆虹鳟鱼肉的气味较为接近,而与青海虹鳟鱼有明显区别,且青海虹鳟鱼背肉和腹肉也有所不同;GC-MS 分析表明虹鳟鱼鱼肉中挥发性物质主要以醛酮类和醇类物质为主,北京和新疆虹鳟鱼背肉和腹肉中醛酮类和醇类的相对含量无显著性差异,青海虹鳟鱼鱼肉中醛酮类相对含量显著高于北京和新疆,而醇类显著低于其他两地。表明青海养殖虹鳟鱼相比其他两地气味有明显不同。综合分析,3 个不同产地的虹鳟鱼风味品质存在着一定的差异,这可能与其养殖方式、水体环境和投喂饲料等有关,之后我们将进一步深入研究具体养殖环境对虹鳟鱼营养和风味品质的影响,以期优化虹鳟鱼的养殖技术,为虹鳟鱼养殖业的健康快速发展提供一些数据和理论依据。

参考文献:

- [1] 张峰, 权生林. 虹鳟鱼人工繁殖和养殖技术[J]. 水产养殖, 2015, 36(12): 22-24.
ZHANG F, QUAN S L. Artificial propagation and breeding technology of rainbow trout [J]. Journal of Aquaculture, 2015, 36(12): 22-24.
- [2] 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.
CAI Y, LIU Z, SONG M W, et al. Comparative analysis of volatile flavor components in different parts of rainbow trout [J]. Food Science, 2011, 32(16): 269-273.
- [3] 王金娜, 郜定敏, 安苗. 虹鳟鱼养殖发展研究概况[J]. 河北渔业, 2015, (3): 62-65.
WANG J N, TAI D M, AN M. Study of breeding development of rainbow trout [J]. Hebei Fisheries, 2015, (3): 62-65.
- [4] 马海建, 施文正, 付强, 等. 漂洗过程中白鲢鱼糜风味物质变化的分析[J]. 现代食品科技, 2015, 31(7): 355-360.
MA H J, SHI W Z, FU Q, et al. Changes in flavor compounds of silver carp surimi during rinsing [J]. Modern Food Science and Technology, 2015, 31(7): 355-360.
- [5] 中华人民共和国卫生部. GB 5009.3-2010 食品安全国家标准 食品中水分的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2010.
Ministry of Health of the PRC. GB 5009.3-2010 National food safety standard Determination of moisture in foods[S]. Beijing: Standards Press of China, 2010.
- [6] 中华人民共和国卫生部. GB 5009.4-2010 食品安全国家标准 食品中灰分的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2010.
Ministry of Health of the PRC. GB 5009.4-2010 National food safety standard Determination of ash in foods [S]. Beijing: Standards Press of China, 2010.
- [7] 中华人民共和国卫生部. GB 5009.5-2010 食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2010.
Ministry of Health of the PRC. GB 5009.5-2010 National food safety standard determination of protein in foods [S]. Beijing: Standards Press of China, 2010.
- [8] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 14772-2008 食品中粗脂肪的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the PRC, China National Standardization Administration Committee. GB/T 14772-2008 Determination of crude fat in foods[S]. Beijing: Standards Press of China, 2009.
- [9] YOKOYAMA Y, SAKAGUCHI M, KAWAI F, et al. Changes in concentration of ATP-related compounds in various tissues of oyster during ice storage [J]. Nippon Suisan Gakkaishi, 1992, 58(11): 2125-2136.
- [10] 姚志勇, 万金庆, 庞文燕, 等. 真空冷诱导对冰温贮藏罗非鱼片鲜度和滋味的影响[J]. 现代食品科技, 2014, 30(2): 198-203.
YAO Z Y, WAN J Q, PANG W Y, et al. Effect of vacuum cold-induction on freshness and taste of tilapia fillets stored at ice temperature [J]. Modern Food Science and Technology, 2014, 30(2): 198-203.
- [11] 施文正, 陈青云, 尤其嘉, 等. 不同温度条件下草鱼肉挥发性成分的检测[J]. 食品科学, 2014, 35(4): 66-70.
SHI W Z, CHEN Q Y, YOU Q J, et al. Effect of solid-phase microextraction temperature on the determination of volatile compounds of grass carp meat [J]. Food Science, 2014, 35(4): 66-70.
- [12] 王术娥. 罗非鱼营养、挥发性成分及质构特性研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2010: 20-23.
WANG S E. Study of Nutritional composition, volatile compound and texture property of Tilapia [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2010: 20-23.
- [13] 邱伟强, 谢晶, 陈舜胜, 等. 虾类冷藏期间 ATP 关联产物

- 含量的变化及其降解途径的研究[J]. 现代食品科技, 2015, 31(10): 103-108.
- QIU W Q, XIE J, CHEN S S, et al. Changes of ATP-related compounds contents and its degradation pathways in shrimps during chilled storage [J]. Modern Food Science and Technology, 2015, 31(10): 103-108.
- [14] ZHANG C H, WU H M, HONG P Z, et al. Nutrients and composition of free amino acid in edible part of *Pinctada martensii*[J]. Journal of Fisheries of China, 2000, 24(2): 180-184.
- [15] 王雪锋, 李春萍, 吴佳佳, 等. 臭鳊鱼发酵中滋味成分的鉴定与分析[J]. 中国食品学报, 2015, 15(1): 222-229.
- WANG X F, LI C P, WU J J, et al. Identification and analysis of the tasty compounds in stinky mandarin fish (*Siniperca chuatsi*) during fermentation [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2015, 15(1): 222-229.
- [16] 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.
- SHI W Z, CHEN Q Y, WAN J Q, et al. Effect of frozen on freshness and taste of grass carp meat [J]. Science and Technology of Food Industry, 2014, 35(16): 334-336.
- [17] 王曜, 陈舜胜. 野生与养殖克氏原螯虾游离氨基酸的组成及比较研究[J]. 食品科学, 2014, 35(11): 269-273.
- WANG Y, CHEN S S. Comparative composition of free amino acids in wild and cultured *Procambarus clarkii* [J]. Food Science, 2014, 35(11): 269-273.
- [18] 叶鸽, 郝淑贤, 李来好, 等. 不同养殖模式罗非鱼品质的比较[J]. 食品科学, 2014, 35(2): 196-200.
- YE G, HAO S X, LI H L, et al. Comparison of meat quality of tilapia under different culture modes [J]. Food Science, 2014, 35(2): 196-200.
- [19] EL BARBRI N, AMARI A, VINAIXA M, et al. Building of a metal oxide gas sensor-based electronic nose to assess the freshness of sardines under cold storage [J]. Sensors and Actuators B: Chemical, 2007, 128(1): 235-244.
- [20] COSIO M S, BALLABIE D, BENEDETTI S, et al. Geographical origin and authentication of extra virgin olive oils by an electronic nose in combination with artificial neural networks [J]. Analytica Chimica Acta, 2006, 567(2): 202-210, doi: 10.1016/j.aca.2006.03.035.
- [21] 吴薇, 顾赛麒, 陶宁萍. 熟制刀鱼肉挥发性风味轮廓研究[J]. 食品工业科技, 2013, 34(6): 163-166.
- WU W, GU S Q, TAO N P. Volatile flavor profiles of cooked *Coilia ectenes* Jordan meat [J]. Science and Technology of Food Industry, 2013, 34(6): 163-166.
- [22] BRYANT R J, MCCHEM A M. Volatile profiles of aromatic and non-aromatic rice cultivars using SPME/GC - MS [J]. Food Chemistry, 2011, 124(2): 501-513.
- [23] GIRI A, OSAKO K, OHSHIMA T. Identification and characterisation of headspace volatiles of fish miso, a Japanese fish meat based fermented paste, with special emphasis on effect of fish species and meat washing [J]. Food Chemistry, 2010, 120(2): 621-631.
- [24] 王雪锋, 涂行浩, 吴佳佳, 等. 草鱼的营养评价及关键风味成分分析[J]. 中国食品学报, 2014, 14(12): 182-189.
- WANG X F, TU X H, WU J J, et al. Nutritional evaluation and analysis of the volatile flavor component of grass carp [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2014, 14(12): 182-189.
- [25] ALASALVAR C, TAYLOR K D A, 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): 2616-2622.

Comparison of flavor substances of different parts of rainbow trout in different regions

WU Yongjun^{1,2}, WANG Yutao^{1,2}, SHI Wenzheng^{1,3}, MA Haijian³, WANG LI^{1,2}, REN Xiaona^{1,2}

(1. College of Life and Geographic Sciences, Kashgar University, Kashgar 844000, Xinjiang, China; 2. The Key Laboratory of Ecology and Biological Resources in Yarkand Oasis at Colleges & Universities under the Department of Education of Xinjiang Uygur Autonomous Region, Kashgar University, Kashgar 844000, Xinjiang, China; 3. College of Food Science and Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: In this study, the basic nutritional composition, flavor nucleotides, free amino acids and volatile compounds in dorsal and belly meat of rainbow trout from Beijing, Xinjiang and Qinghai provinces were respectively analyzed and compared. The results showed that moisture content of rainbow trout in Qinghai region was significantly less than those in Beijing and Xinjiang region, but content of crude fat was significantly higher than those of the samples of Beijing and Xinjiang. The basic nutritional composition contents of dorsal and belly meat of rainbow trout in same region were different slightly. Meanwhile, the AMP content and free amino acids of dorsal meat of rainbow trout in same region were not observably different from belly meat, however, the IMP content of dorsal meat of rainbow trout exceeded markedly belly meat. On the other hand, contents of AMP, IMP and free amino acids of rainbow trout in different regions had significant differences, and the contents in samples of Xinjiang were the highest. The results of electronic nose showed that the aroma of rainbow trout in Beijing was similar to the rainbow trout in Xinjiang, and was different from that in Qinghai region. At the same time, the volatile odor of dorsal and belly meat could be effectively distinguished. Most of volatile compounds in rainbow trout meat detected by GC-MS were carbonyl compounds and alcohols. The relative contents of carbonyl compounds of rainbow trout in Qinghai region was remarkably higher than those in Beijing and Xinjiang, nevertheless, relative contents of alcohols was lower than the other two regions.

Key words: rainbow trout; flavor nucleotides; free amino acids; volatile compounds