

大黄鱼成鱼养殖阶段滋味物质分析

郭全友¹, 张秀洁^{1,2}, 姜朝军¹

(1. 中国水产科学研究院东海水产研究所, 上海 200090) (2. 上海海洋大学食品学院, 上海 201306)

摘要:以深水网箱养殖大黄鱼为对象, 比较在成鱼养殖三个阶段(2016年7月、2016年10月和2017年1月)大黄鱼背部肌肉电子舌电位变化、游离氨基酸和呈味核苷酸差异, 探究深水网箱养殖对大黄鱼风味的提升作用。结果表明, 电子舌能有效区分成鱼养殖不同阶段大黄鱼的味感差异, 鲜味和丰富性均在次年1月份有较大电位变化值; 养殖大黄鱼甜味氨基酸(sweet amino acid, SAA)含量在三个阶段养殖期间呈上升趋势, 鲜味氨基酸(umami amino acids, UAA)和苦味氨基酸(bitter amino acids, BAA)含量在10月份达到最高; 养殖大黄鱼呈味核苷酸受养殖时间影响波动较大, 肌苷酸(inosinic acid, IMP)、腺苷酸(adenosine monophosphate, AMP)和鸟苷酸(guanosine monophosphate, GMP)均在次年1月份达到最高, 养殖至次年1月份时大黄鱼IMP的滋味活性值(taste activity values, TAV)值大于1, 对养殖大黄鱼滋味贡献最大; 味精当量(equivalent umami concentration, EUC)综合评价表明, 养殖至次年1月份时大黄鱼EUC值最高, 鲜味较强, 风味品质改善。综上, 深水网箱养殖对大黄鱼滋味品质具有提升作用, 转移至深水网箱至次年1月时滋味最佳, 可为养殖大黄鱼品质改良与滋味提升提供一定基础。

关键词: 大黄鱼; 电子舌; 主成分分析; 滋味成分; 游离氨基酸; 呈味核苷酸

文章编号: 1673-9078(2019)04-222-229

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2019.4.030

Analysis of Taste Compounds in Adult Stage of the Cultured Large Yellow

Croaker (*Larimichthys crocea*)

GUO Quan-you¹, ZHANG Xiu-jie^{1,2}, JIANG Chao-jun¹

(1. East China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Shanghai 200090, China)

(2. College of Food Science and Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: To explore the enhancement of flavor of the large yellow croaker cultured in deep-water cage, the differences of free amino acids, flavor nucleotides and electronic tongue potential in back muscle of the large yellow croaker cultured in deep-water cages at three stages (July 2016, October 2016 and January 2017) were compared. The results showed that the differences in the taste profile of the cultured large yellow croaker in different stages could be effectively distinguished by electronic tongue. The maximum potential variation of umami and richness was observed in January. The contents of umami amino acids (UAA) and bitter amino acids (BAA) in the cultured large yellow croaker reached the highest in October, and the contents of sweet amino acids (SAA) showed an upward trend during the three stages of cultivation. The content of taste nucleotide of the cultured large yellow croaker was greatly affected by the culture time. The contents of IMP, AMP and GMP all reached the highest in January. The TAV value of IMP in January was higher than 1, which contributed to the taste of the cultured large yellow croaker. Results of EUC showed that the cultured large yellow croaker had the highest EUC value in January with strong umami taste and therefore flavor quality of fish was improved. In conclusion, the culture model of deep-water cages could improve the taste quality of the large yellow croaker, and the best taste was obtained when the fish was transferred to the deep-water cage to January of the next year, which could provide a certain foundation for the improvement of quality and taste of the culture large yellow croaker.

Key words: large yellow croaker; electronic tongue; principle component analysis; taste components; free amino acids; flavor nucleotides

大黄鱼(*Larimichthys crocea*)属石首鱼科黄鱼属,

收稿日期: 2018-12-04

基金项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金(东海水产研究所)资助项目(2018M04); 国家自然科学基金项目(31871872); 上海市自然科学基金项目(16ZR1444900)

作者简介: 郭全友(1974-), 男, 副研究员, 研究方向: 水产品加工与安全保障

从1985年开始,我国开始大黄鱼人工繁殖与养殖技术研究。经过30多年的发展,大黄鱼成为我国重要的经济鱼类,其主产区为福建、浙江、广东三省;2017年大黄鱼产量已达到17.76万吨,其中福建省年产量为14.65万吨,约占全国总产量的85%^[1]。

水产品营养品质受自身特性、环境、养殖模式、饵料和季节等影响^[2-6]。传统小网箱是大黄鱼主要的养

殖模式,其虽满足了人们对大黄鱼消费数量的要求,但因网箱布局混乱、局部海区网箱过密、大量投喂冰鲜饲料等带来的海域污染等原因,大黄鱼风味品质下降,口感较差难于满足人们对高品质的要求;经过技术创新与提质增效,网箱由小改大、由浅改深,提高水流通畅度、减少残饵淤积和降低鱼病发生率,深水网箱成为了一种新兴的养殖模式;科学技术的提升和人们对高质量生活的需求加速养殖模式的转型,进而李明云等^[7]探讨了大黄鱼仿生态分阶段养殖新模式,包括苗种培育、鱼种培育、越冬兼养殖和成鱼养殖四个阶段,即根据大黄鱼的生态习性和洄游规律,3~4月份在南方进行苗种培育,通常于次年5~6月份长至250 g,活鱼运输移至台州和舟山等海域,在深水网箱或围网中进行成鱼养殖,形成了生态优先和品质至上的仿生态分阶段养殖模式。

滋味是水产品整体风味的重要组成部分,好的味道能为消费者带来强烈的消费欲望^[8]。对水产品营养品质有重要贡献的氨基酸、脂肪酸、核苷酸和矿物质等对风味品质的好坏起着决定性作用。人们对养殖大黄鱼营养、品质、保鲜和加工等进行了较多研究^[9~11];对大黄鱼不同养殖模式及大黄鱼不同部位风味研究亦有报道^[12,13];国内外学者在鱼龄和季节对水产品品质影响的方面进行一定研究^[14~17];亦有鱼体质量大小对水产品滋味和品质等有重要影响,例如贾丹^[18]对不同体质量鲢肌肉中主要滋味物质进行研究,指出游离氨基酸和核苷酸类物质含量随着体质量的不同而具有差异;目前在大黄鱼养殖生产中多采用仿生分阶段养殖模式,尤其成鱼阶段多采用深水网箱和围网养殖等模式来提升和改善大黄鱼的品质,得到业内广泛认可,但成鱼养殖多久能够改善大黄鱼风味及其改善程度少见报道。

本研究以深水网箱养殖大黄鱼为对象,探究深水网箱养殖是否对大黄鱼风味具有提升作用并探讨深水网箱成鱼养殖时间对大黄鱼风味的影响程度,利用电子舌进行风味轮廓分析,比较游离氨基酸和呈味核苷酸组成的差异性,分析随养殖时间延长大黄鱼风味的变化规律,旨在通过对养殖大黄鱼滋味物质的系统分析,为提高大黄鱼养殖效益及改善大黄鱼口感提供理论依据,促进大黄鱼进一步精深加工的发展。

1 材料与方法

1.1 原料

2015年4月购买鱼苗(30 mm~40 mm)并在福鼎一商业育苗基地网箱(0.8 m×0.8 m×1.0 m,网眼直径

0.8 cm)中培育;再经过鱼种培育和越冬兼养殖,待大黄鱼长至约250 g/尾,2016年7月初转移至台州深水网箱养殖(直径16 m,水深10~15 m,密度15~20 kg/m³)并取样记为S0,继续养殖3个月(即2016年10月)和6个月(2017年1月)后分别取样,记为S1和S2,体重分别为243.82±15.27、313.60±24.49、376.88±16.91 g。喂养冰鲜鱼和饲料,每天两次(5:00和17:00);海水盐度24.5‰~32‰,海水pH值7.7~8.0。晚上通过诱捕采集大黄鱼样本,捕后立即冰水致死,层冰层鱼装箱,冷藏(2~4℃)12 h内运至实验室备用。

1.2 主要仪器设备

TS-5000Z 智能味觉分析系统,日本 INSENT 公司;L28500 氨基酸自动分析仪,日本日立公司;1100 液相色谱,美国 Agilent 公司;VORTEX2 涡旋振荡器,美国 Scientific Industries 公司;水浴锅,上海精宏实验设备有限公司。

1.3 方法

1.3.1 样品采集

挑选 S0、S1、S2 大黄鱼各三条,每条剖取脊背两侧可食部分肌肉,斩拌机分别斩碎,用于电子舌、游离氨基酸和呈味核苷酸测定。

1.3.2 电子舌测定

前处理过程:取50 g试样,水浴锅中使试样温度达到40℃,放入斩拌机中,加入约试样4倍水的量,斩拌一分钟确保鱼肉和水均匀混合。混合物于3000 r/min 离心10 min,取上清液作为电子舌测定样本。每个样品三次平行。

参比溶液:30 mmol/L KCl 与0.3 mmol/L 酒石酸混合溶液。正极清洗溶液:称取7.46 g 氯化钾,用500 mL 蒸馏水搅拌溶解,然后加入300 mL 无水乙醇,边搅拌边加入准确称量的0.56 g 氢氧化钾,溶解完毕后转移到1000 mL 容量瓶,定容。负极清洗液配制:量取300 mL 无水乙醇,与500 mL 蒸馏水混合,然后加入8.30 mL 浓盐酸,搅拌混合转移到1000 mL 容量瓶,定容。

电子舌测试:首先在清洗液中清洗90 s,用参比溶液清洗120 s,继续用另一参比溶液清洗120 s,传感器归零30 s,达到平衡后测试样品30 s。在两组参比溶液中清洗3 s,传感器插入新的参比溶液中测试30 s,循环测试4次,去掉第一次循环,取后三次数据以分析,每次清洗、平衡和测试回味的液体均分布在不同样品杯中。电子舌人工脂膜传感器描述见表1。

表 1 电子舌人工脂膜传感器描述

Table 1 Sensors of the taste-sensing system and their properties

感官信息		传感器	特点
基础味觉	酸味	CA0	柠檬酸和酒石酸产生的酸味
	咸味	CT0	膳食中的盐引起的咸味
	鲜味	AAE	由氨基酸和核苷酸引起的咸味
	苦味	C00	食物或蔬菜中的苦味物质引起的苦味，低浓度会被感知为丰富性
	涩味	AE1	涩味物质引起的辛辣味
回味	涩味的回味	AE1	涩味物质引起的回味
	鲜美味-丰富性	AA	丰富性也被称为连续性，是由鲜味物质引起的
	基本苦味的回味	AC0、AN0	药味物质苦味

1.3.3 游离氨基酸测定

准确称取 0.50 g 待测试样，加入 5% 的三氯乙酸 (TCA) 15 mL，高速匀浆，超声 5 min 后静止 1 h，取上清液 10 mL 后冷冻离心 (4 ℃，15000 r/min，10 min)。取上清液 5 mL，并用 NaOH 将其 pH 值调整到 2.0 左右，定容于 10 mL 容量瓶中，0.22 μm 的滤膜后进行上机测定。

1.3.4 呈味核苷酸测定

前处理过程：取试样 2 g，加入 5% 高氯酸溶液 20 mL，匀浆后静置冷却 10 min，10000 r/min 离心 3 min，取上清液。沉淀用 5% 高氯酸溶液洗涤，离心，取上清液。合并上清液，并调至 pH 值为 4.6，定容至 50 mL 容量瓶，混匀静置后，0.45 μm 滤膜过滤，上机。

色谱条件：A：0.01 mol/L 磷酸二氢钾溶液，B：甲醇。A:B=96:4，等度洗脱，1.0 mL/min。柱温：30 ℃，检测波长：260 nm，进样量：10 μL，色谱柱：C18 (4.6 mm×250 mm)。

1.3.5 滋味强度值计算

滋味物质的 TAV 值按式 (1) 计算：

$$TAV = \frac{C}{T}$$
式 (1)

式中：c 代表滋味物质的绝对浓度值，T 代表该滋味物质的阈值，两者在同一单位下进行计算。当化合物的 TAV≥1 时，表示其具有滋味活性，可能对大黄鱼整体滋味轮廓具有显著性贡献，值越高，其贡献度越大，此类化合物被称为滋味活性物质 (taste-active compounds, TCs)。

1.3.6 味精当量计算

味精等量用于计算类似味精 (MSG) 的鲜味强度。味精当量(EUC)的计算方法引用 Shuai Wang^[19]的方法，按式 (2) 计算：

$$Y=\sum a_i b_i+1218(\sum a_i b_i)(\sum a_j b_j)$$
式 (2)

式中：当 Y 等于 g/100 g 样品中 MSG 的含量时，a_i 为鲜味氨基酸浓度 (g/100 g)；b_i 为鲜味氨基酸的转化系数(谷氨酸，1；天冬氨酸，0.077)；a_j 为 5'-核苷酸的浓度 (g/100 g)；b_j 为 5'-

核苷酸的转换系数：(IMP，1；GMP，2.3；AMP，0.18)；协同常数为 1218。

1.3.7 数据处理

采用 Excel 统计软件进行分析，结果用平均值±标准偏差(Mean±SD, n=3)表示；电子舌主成分分析采用 SPSS16.0 (SPSS Inc, Chicago, IL, USA) 软件，图采用 Origin9.0 (Origin Lab, Northampton, MA, USA) 软件绘制，多组间进行单因素方差分析(one-way ANOVA)和 LSD 多重比较分析，所有显著性差异分析均在 p=0.05 的水平下检验。

2 结果与讨论

2.1 成鱼养殖阶段大黄鱼的滋味评价

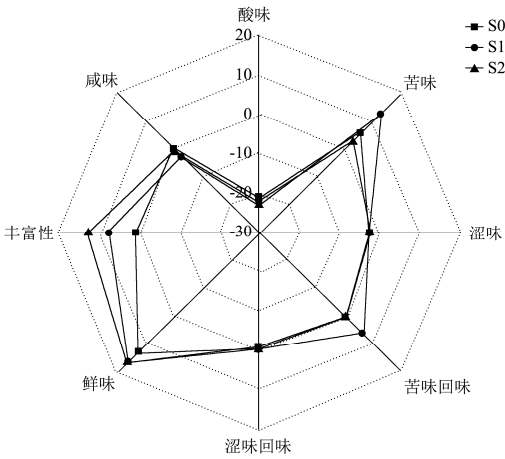


图 1 养殖大黄鱼电子舌传感器电位变化雷达图

Fig.1 Rader graph of electronic tongue sensor potential change of the cultured large yellow croaker

图 1 为不同阶段下养殖大黄鱼电子舌传感器电位变化雷达图。图 1 可知，在咸味、酸味、涩味和涩味回味方面，S0、S1 和 S2 差异性不显著 (p>0.05)；苦味和苦味回味方面，S1 明显大于 S0 和 S2；丰富性 S0、S1、S2 差异性显著 (p<0.05)，且 S2>S1>S0；鲜味方面，S2 与 S1 接近皆都大于 S0。

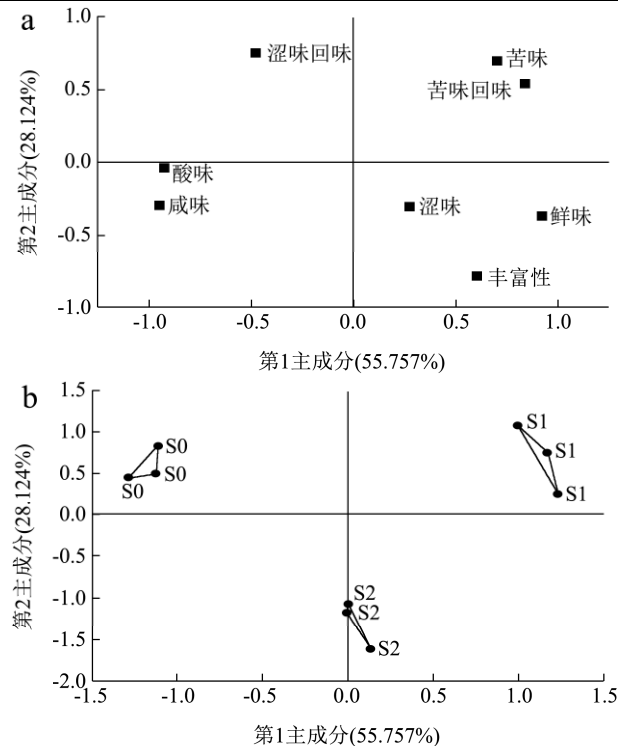


图2 养殖大黄鱼电子舌载荷分析和主成分分析

Fig.2 Loading analysis and PCA of electronic tongue of the cultured large yellow croaker

注: a: 载荷分析; b: 主成分分析。

不同阶段下养殖大黄鱼电子舌载荷分析与主成分分析(principle component analysis, PCA)见图2。经主成分分析,不同阶段养殖大黄鱼呈味信息主要集中在两个主成分,其累计方差贡献率为84%,其中第1主成分贡献率为55.76%,第2主成分贡献率为28.12%。图2a载荷分析中,相对应的主成分1(Y_1)

和主成分2(Y_2)与酸味(X_1)、苦味(X_2)、涩味(X_3)、苦味回味(X_4)、涩味回味(X_5)、鲜味(X_6)、丰富性(X_7)和咸味(X_8)表达式为: $Y_1=-0.924X_1+0.699X_2+0.276X_3+0.840X_4-0.476X_5+0.915X_6+0.604X_7-0.953X_8$, $Y_2=-0.041X_1+0.700X_2-0.307X_3+0.532X_4+0.744X_5-0.366X_6-0.782X_7-0.284X_8$,系数为主成分载荷,表明主成分和相应变量的相关系数;相关系数越大,主成分对该变量的代表性也越大。由函数式可知,在第一主成分中 X_1 、 X_6 和 X_8 的系数绝对值较大,第二主成分中 X_5 和 X_7 的系数绝对值较大;即第一主成分由酸味、鲜味和咸味构成,且咸味与酸味均与鲜味呈负相关;第二主成分由涩味回味和丰富性构成,且涩味回味与丰富性呈负相关。图2b中,不同阶段养殖大黄鱼的电子舌主成分得分值落在了不同的区域,且无重叠,由此可得不同阶段下养殖大黄鱼滋味差异显著。S1与S0相比较,样本整体往X轴的正方向偏移,S2与S1相比较,样本在X轴的负方向与Y轴的均有所偏移,且在Y轴的负方向为主要的偏移;因此结合图2a可知,在由7月养殖至10月份的过程中鲜味提升而且酸味和苦味减弱,由10月份养殖至次年1月份时鲜味稍减,呈味丰富性增强。为深入探究不同养殖阶段下养殖大黄鱼各滋味成分的差异,下文继续分析各阶段其游离氨基酸和呈味核苷酸的变化。

2.2 成鱼养殖阶段大黄鱼游离氨基酸和呈味

核苷酸分析

表2 养殖大黄鱼游离氨基酸与呈味核苷酸含量

Table 2 The contents of free amino acids and flavor nucleotides of the cultured large yellow croaker

滋味成分	滋味贡献 ^[17,24,25]	刺激阈值/(mg/mL) ^[24,25]	含量/(mg/100 g)		
			S0	S1	S2
谷氨酸(Glu)	鲜(+)	0.3	14.37±0.14 ^b	16.11±0.20 ^a	14.76±0.43 ^b
天冬氨酸(Asp)	鲜(+)	1	5.54±0.78 ^b	7.64±0.29 ^a	6.67±0.35 ^{ab}
ΣUAA			19.91±0.80 ^b	23.75±0.29 ^a	21.44±0.67 ^b
甘氨酸(Gly)	甜(+)	1.3	23.79±0.48 ^c	24.73±0.37 ^b	26.32±0.14 ^a
丙氨酸(Ala)	甜(+)	0.6	14.10±0.48 ^b	15.12±0.28 ^a	15.34±0.10 ^a
丝氨酸(Ser)	甜(+)	1.5	6.28±0.39 ^a	6.68±0.55 ^a	7.07±0.29 ^a
苏氨酸(Thr)	甜	2.6	17.54±0.94 ^a	18.16±0.21 ^a	18.05±0.35 ^a
脯氨酸(Pro)	甜/苦(+)	3	7.33±0.40 ^b	8.25±0.07 ^a	7.43±0.13 ^b
ΣSAA			69.05±1.32 ^b	72.95±0.67 ^a	74.20±0.56 ^a
酪氨酸(Tyr)	苦(-)	-	2.45±0.23 ^a	2.88±0.15 ^a	2.58±0.24 ^a
半胱氨酸(Cys)	苦/甜/硫(-)	-	0.79±0.02 ^b	0.71±0.05 ^b	1.09±0.03 ^a
精氨酸(Arg)	苦(-)	0.5	2.33±0.19 ^a	2.61±0.19 ^a	2.39±0.17 ^a

转下页

接上页					
组氨酸(His)	苦(-)	0.2	11.09±0.60 ^a	11.48±0.06 ^a	11.09±0.19 ^a
赖氨酸(Lys)	苦/甜(-)	0.5	31.42±0.86 ^a	32.34±0.38 ^a	28.35±0.15 ^b
亮氨酸(Leu)	苦(-)	1.9	2.50±0.32 ^a	2.85±0.14 ^a	2.77±0.13 ^a
缬氨酸(Val)	苦/甜(-)	0.4	2.91±0.35 ^{ab}	3.27±0.14 ^a	2.72±0.06 ^b
异亮氨酸(Ile)	苦(-)	0.9	1.77±0.08 ^a	1.53±0.03 ^a	1.66±0.16 ^a
苯丙氨酸(Phe)	苦(-)	0.9	1.30±0.13 ^a	1.47±0.03 ^a	1.41±0.11 ^a
甲硫氨酸(Met)	苦/甜/硫(-)	0.3	2.53±0.10 ^a	2.61±0.13 ^a	2.54±0.06 ^a
ΣBAA			59.10±1.61 ^b	61.75±0.15 ^a	57.61±2.78 ^b
ΣFAA			147.07±1.77 ^c	158.46±0.74 ^a	152.25±0.27 ^b
AMP	甜(+)	0.5	3.81±0.06 ^a	1.72±0.08 ^b	4.58±3.06 ^a
IMP	鲜(+)	0.25	18.35±4.15 ^b	11.02±0.37 ^c	31.23±3.74 ^a
GMP	鲜(+)	0.125	5.12±0.68 ^a	2.48±0.26 ^c	4.68±0.80 ^b
总			27.21±3.53 ^b	15.19±0.03 ^c	40.41±7.61 ^a

注：不同列数据后不同字母表示差异显著($p<0.05$)。

不同阶段下养殖大黄鱼游离氨基酸与呈味核苷酸含量见表2。

由表2可知，S1总游离氨基（free amino acids，ΣFAA）含量最高，其次为S2，S0最低，且三个阶段差异性显著（ $p<0.05$ ）。不同阶段养殖大黄鱼UAA和BAA总含量变化趋势一致，呈现先上升后下降趋势，在S1阶段达到最高；SAA养殖期间呈上升趋势。在三个阶段中，SAA含量最高，其次为BAA，UAA最低。三个阶段养殖大黄鱼游离氨基酸含量较高的依次均为赖氨酸、甘氨酸、苏氨酸、谷氨酸和丙氨酸。UAA（谷氨酸、天冬氨酸）在S1中的含量大于S0与S2；SAA中甘氨酸、丙氨酸、丝氨酸含量在S2中大于S0与S1，苏氨酸和脯氨酸含量在S1中大于S0与S2。S1中的BAA（除半胱氨酸）含量大于S0与S2。滕瑜等^[20]指出鱼体游离氨基酸含量之间的差异可能是不同鱼体在生长过程中对蛋白质消化降解以及氨基酸代谢能力不同造成的。

三种呈味核苷酸（AMP、IMP、GMP）在养殖大黄鱼3个阶段中均有检出，IMP在三种呈味核苷酸中含量最大。导致核苷酸类物质含量差异具有多方面的原因，例如不同鱼质量的营养积累、能量代谢^[21,22]和鱼体在运输及宰杀过程中的应激反应等造成的差异^[23]，此外季节的变化也对核苷酸类化合物的含量有较大影响^[16]。大黄鱼肌肉内呈味核苷酸总量随月份变化波动较大，S2总呈味核苷酸含量最高，其次为S0，S1最低，且S1、S0和S2差异性显著（ $p<0.05$ ）；S0、S1和S2中AMP、IMP、GMP含量随着时间的增长均呈现先下降后上升的趋势。综合分析随着养殖时间的延长，核苷酸含量在次年1月份达到最高，对呈现较好的滋味有重要的贡献。

2.3 成鱼养殖阶段大黄鱼游离氨基酸与呈味

核苷酸TAV值分析

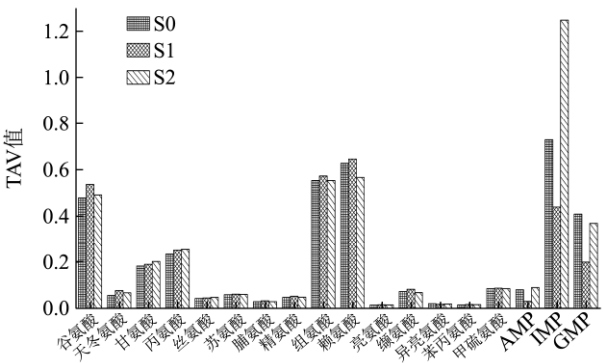


图3 养殖大黄鱼游离氨基酸与呈味核苷酸TAV值

Fig.3 TAV of free amino acids and flavor nucleotides of the cultured large yellow croaker

在对食品进行滋味强度的判定及确定某单一组分对其整体风味的贡献时，TAV是经常使用的方法，其在食品滋味的评价中被广泛应用^[18,25]。不同阶段养殖大黄鱼游离氨基酸与呈味核苷酸TAV值见图3。由图3可知，养殖大黄鱼中游离氨基酸呈味强度较大的有谷氨酸、丙氨酸、甘氨酸、赖氨酸和组氨酸；其他游离氨基酸呈味强度较小，不是大黄鱼的主要呈味物质。丙氨酸和甘氨酸是重要的甜味氨基酸，S0阶段TAV值最大，其两者与谷氨酸一起对养殖大黄鱼的甜味有重要的贡献；谷氨酸及其钠盐具有鲜味，与死后肌肉中积蓄的IMP产生相乘作用，呈现鲜味^[26]，在养殖大黄鱼中其TAV值随着养殖阶段的变化波动较大，S1阶段最大；精氨酸和组氨酸TAV值S1阶段大于S0和S2阶段，精氨酸虽本身呈苦味，但能起到提高呈

味复杂性和鲜度的作用^[27,28]，组氨酸是一种重要的苦味氨基酸，可增强鱼肉的风味效果^[29]。IMP 在 S0 与 S1 中 TAV<1，S2 中 TAV 值为 1.25。有研究表明 IMP 是一种鲜味增强剂，与谷氨酸盐具有协同作用，引起人类第五种味觉-鲜味；并且能提升味觉强度，让人产生美妙的感觉^[30,31]。AMP 与 GMP 在三个阶段养殖大黄鱼中 TAV 值均小于 1。研究显示核苷酸之间、核苷酸和氨基酸之间的协同增效作用对呈味产生重要影响^[32]。表明养殖时间对养殖大黄鱼呈味核苷酸影响较大，当转移至深水网箱并且养殖至次年 1 月份时，IMP

具有最大 TAV 值，成为滋味活性物质。

2.4 成鱼养殖阶段大黄鱼味精当量分析

表 3 为不同阶段养殖大黄鱼 a_i 、 b_i 、 a_j 、 b_j 和味精当量（EUC）值。EUC 表示了游离氨基酸和呈味氨基酸两者之间的协同效应^[33]。表 3 可知，随着养殖时间的不断增加，EUC 值呈先下降后上升趋势，养殖至次年 1 月时 EUC 值最大为 0.8119 g MSG/100 g，而味精阈值为 0.03 g/100 mL，远超其呈味阈值，此时养殖大黄鱼呈现强烈的鲜味，风味品质改善。

表 3 养殖大黄鱼 a_i 、 b_i 、 a_j 、 b_j 和味精当量（EUC）值

Table 3 Values of a_i , b_i , a_j , b_j and equivalent umami concentration (EUC) of the cultured large yellow croaker									
	FAA	a_i /(g/100 g)	b_i	$a_i b_i$	NRC	a_j /(g/100 g)	b_j	$a_j b_j$	EUC
S0	Glu	0.0144	1	0.0144	IMP	0.0184	1	0.0184	0.5701
	Asp	0.0055	0.077	0.0004	AMP	0.0038	0.18	0.0007	
					GMP	0.0051	2.3	0.0118	
S1	Glu	0.0161	1	0.0161	IMP	0.0110	1	0.0110	0.3631
	Asp	0.0076	0.077	0.0006	AMP	0.0017	0.18	0.0003	
					GMP	0.0025	2.3	0.0057	
S2	Glu	0.0148	1	0.0148	IMP	0.0312	1	0.0312	0.8118
	Asp	0.0067	0.077	0.0005	AMP	0.0046	0.18	0.0008	
		0.0144			GMP	0.0047	2.3	0.0108	

注：核苷酸关联化合物（Nucleotide-related compound，NRC）。

3 结论

电子舌能有效区分不同阶段养殖大黄鱼的味感差异，养殖大黄鱼鲜味和丰富性均在次年 1 月份有较大电位变化值；养殖大黄鱼 UAA 和 BAA 在 10 月份达到最高，SAA 随着养殖时间增长含量增高；其呈味核苷酸受养殖时间影响波动较大，IMP、AMP 和 GMP 均在次年 1 月份达到最高，次年 1 月份养殖大黄鱼 IMP 的滋味活性值大于 1，为滋味活性物质，对养殖大黄鱼鲜甜滋味的呈现贡献最大；次年 1 月份养殖大黄鱼 EUC 值最高。深水网箱养殖过程中，季节和鱼体大小的改变，蛋白质消化降解以及氨基酸代谢不同，使物质积累产生差异，进而影响大黄鱼风味的形成。综合电子舌滋味轮廓分析、三个阶段各成分的滋味活性值及味精当量等滋味指标作全面评定养殖至次年 1 月份时大黄鱼呈味丰富性及鲜甜味较强，风味品质改善。

参考文献

[1] 农业部渔业局.中国渔业统计年鉴[M].北京:中国农业出版社,2017
The People's Republic of China Ministry of Agriculture, Fisheries Bureau. China fishery statistical yearbook [M].

Beijing: China Agricultural Press, 2017
[2] 林利民,王秋荣,王志勇,等.不同家系大黄鱼肌肉营养成分的比较[J].中国水产科学,2006,13(2):286-291
LIN Li-min, WANG Qiu-rong, WANG Zhi-yong, et al. Comparison of biochemical compositions of muscle among three stocks and wild-caught large yellow croaker *Pseudosciaena crocea* [J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2006, 13(2): 286-291
[3] 孟玉琼,马睿,申屠基康,等.野生和配合饲料养殖大黄鱼品质的比较研究[J].中国海洋大学学报(自然科学版),2016, 46(11):108-116
MENG Yu-qiong, MA Rui, SHENTU J K, et al. Comparative studies on the quality of wild and formulated diet-fed large yellow croaker(*Larimichthys crocea*) [J]. Periodical of Ocean University of China, 2016, 46(11): 108-116
[4] 钟爱华,储张杰,戴露怡,等.3 种养殖模式下大黄鱼肌肉营养成分比较及品质评价[J].安徽农业科学,2014,42(20): 6629-6631, 6649
ZHONG Ai-hua, CHU Zhang-jie, DAI Lu-yi, et al. Evaluation of nutrient components and nutritive quality of muscle of big yellow croaker (*Larimichthys crocea*) in different aquaculture model [J]. Journal of Anhui Agriculture,

- 2014, 42(20): 6629-6631, 6649
- [5] LI W J, AI Q H, MAI K S, et al. Effects of dietary amino acid patterns on growth and protein metabolism of large yellow croaker (*Larimichthys crocea*) larvae [J]. Aquaculture, 2013, 406-407: 1-8
- [6] 朱建成,赵宪勇,李富国.黄海鲱鱼的生长特征及其年际与季节变化[J].海洋水产研究,2007,28(3):64-72
ZHU Jian-cheng, ZHAO Xian-yong, LI Fu-guo. Growth characters of the anchovy stock in the Yellow sea with its annual and seasonal variations [J]. Marine Fisheries Research, 2007, 28(3): 64-72
- [7] 李明月,苗亮,陈炯,等.大黄鱼仿生态分阶段养殖新模式的构建及问题探讨[J].宁波大学学报(理工版),2017,30(2):1-5
LI Ming-yun, MIAO Liang, CHEN Jiong, et al. Establishment and discussion on the new model of simulated ecological and grading aquaculture for large yellow croaker [J]. Journal of Ningbo University (Natural Science & Engineering Edition), 2017, 30(2): 1-5
- [8] Claret A, Guerrero L, Gartzia I, et al. Does information affect consumer liking of farmed and wild fish? [J]. Aquaculture, 2016, 454: 157-162
- [9] WEI Z H, MA J, PAN X Y, et al. Dietary hydroxyproline improves the growth and muscle quality of large yellow croaker *Larimichthys crocea* [J]. Aquaculture, 2016, 464: 497-504
- [10] SUN X H, XIAO L, LAN W Q, et al. Effects of temperature fluctuation on quality changes of large yellow croaker (*Pseudosciaena crocea*) with ice storage during logistics process [J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2018, 42(2): e13505
- [11] WEI Z H, ZHOU H H, ZHANG Y J, et al. Integrative analysis of transcriptomics and metabolomics profiling on flesh quality of large yellow croaker *Larimichthys crocea* fed a diet with hydroxyproline supplementation [J]. British Journal of Nutrition, 2018, 119(4): 359-367
- [12] 翁丽萍,戴志远,赵芸,等.养殖大黄鱼和野生大黄鱼特征滋味物质的分析与比较[J].中国食品学报,2015,15(4):254-261
WENG Li-ping, DAI Zhi-yuan, ZHAO Yun, et al. Comparative studies of characteristic flavour compounds between cultured and wild large yellow croakers [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2015, 15(4): 254-261
- [13] 肖雄,林淑琴,吴雄飞,等.三种不同养殖模式下大黄鱼鱼皮、鱼鳞挥发性风味成分分析[J].中国水产科学,2017, 24(2):341-354
XIAO Xiong, LIN Shu-qin, WU Xiong-fei, et al. Volatile flavor compounds on the skin and scales of *Pseudosciaena crocea* cultured using three different methods [J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2017, 24(2): 341-354
- [14] 乔芳,李欢,李东亮,等.冬夏两季五种经济鱼类组织脂肪酸含量及组成分析[J].水产学报,2018,42(1): 80-90
QIAO Fang, LI Huan, LI Dong-liang, et al. Comparative analysis of fatty acid profiles in different tissues of five economic fish species in winter and summer [J]. Journal of Fisheries of China 2018, 42(1): 80-90
- [15] SHI W Z, YING M M, WANG X C. Effect of seasons on volatile compounds in grass carp meat [J]. Advanced Materials Research, 2012, 554-556: 1565-1571
- [16] Taku Sato, Shin-ichi Ohgami, Masaki Kaneniwa. Seasonal variations in free amino acids, nucleotide-related compounds, and fatty acids and meat yield of the coconut crab *Birgus latro* [J]. Fisheries Science, 2015, 81(5): 959-970
- [17] Kaneko Kodai, Matsumoto Hitoshi, Shirai Takaaki, et al. Seasonal variations in free amino acid composition and taste aspects of black sea urchin, *Diadema setosum*, gonad [J]. Food Science and Technology International, Tokyo, 2012, 18(6): 835-842
- [18] 贾丹,刘敬科,孔进喜,等.不同体质量鲢肌肉中主要滋味物质的研究[J].华中农业大学学报.2013,32(3):124-129
JIA Dan, LIU Jing-ke, KONG Jin-xi, et al. Main taste compounds in silvercarp (*Hypophthalmichthys molitrix*) muscles of different bodyweights [J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2013, 32(3): 124-129
- [19] WANG S, HE Y, WANG Y, et al. Comparison of flavour qualities of three sourced *Eriocheir sinensis* [J]. Food Chemistry, 2016, 200: 24-31
- [20] 滕瑜,郭晓华,苑德顺,等.不同规格鲆鲽类的生化组成及营养价值比较[J].渔业科学进展.2010,31(4):120-125
TENG Yu, GUO Xiao-hua, YUAN De-shun, et al. The comparison of biochemical compositions and nutritional value of flatfish [J]. Progress in Fishery Sciences, 2010, 31(4): 120-125
- [21] Mishima T, Nonaka T, Okamoto A, et al. Influence of storage temperatures and killing procedures on post-mortem changes in the muscle of horse mackerel caught near Nagasaki prefecture, Japan [J]. Fisheries Science, 2005, 71(1): 187-194
- [22] Duran A, Erdemli U, Karakaya M, et al. Effects of slaughter methods on physical, biochemical and microbiological quality of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* and mirror carp *Cyprinus carpio* filleted in pre-, in- or post-rigor periods

- [J]. Fisheries Science, 2008, 74(5): 1146-1156
- [23] Yada O, Tsuchimoto M, Wang Q, et al. Differences of muscle fiber type and temporal change of K-value among parts toward depth of dorsal muscle in carp (cultured) [J]. Fisheries Science, 2000, 66(1): 147-152
- [24] CHEN D W, ZHANG M. Non-volatile taste active compounds in the meat of Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) [J]. Food Chemistry, 2007, 104(3): 1200-1205
- [25] Sato T, Ohgami S, Kaneniwa M. Seasonal variations in free amino acids, nucleotide-related compounds, and fatty acids and meat yield of the coconut crab *Birgus latro* [J]. Fisheries Science, 2015, 81(5): 959-970
- [26] 须山三千三(日), 鸿巢章二(日), 编著; 吴光红, 等, 译. 水产食品学[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1992
- Compiled by XUSHAN Sanqiansan, HONGCHAO Zhanger, translated by WU Guang-hong et al. Aquatic Food Science [M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1992
- [27] 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 Xue-feng, LI Chun-ping, WU Jia-jia, 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
- [28] Dermiki M, Phanphensophon N, Mottram D S, et al. Contributions of non-volatile and volatile compounds to the umami taste and overall flavor of shiitake mushroom extracts and their application as flavour enhancers in cooked minced meat [J]. Food Chemistry, 2013, 141(1): 77-83
- [29] 邓捷春, 王锡昌, 刘源. 暗纹东方鲀与红鳍东方鲀滋味成分差异研究[J]. 食品工业科技, 2010, 31(3): 106-108
- DENG Jie-chun, WANG Xi-chang, LIU Yuan. Study on difference of taste compounds between Fugu obscurus and Fugu rubripes [J]. 2010, 31(3): 106-108
- [30] McCabe C, Rolls E T. Umami: a delicious flavor formed by convergence of taste and olfactory pathways in the human brain [J]. European Journal of Neuroscience, 2007, 25(6): 1855-1864
- [31] Maruji Y, Shimizu M, Murata M, et al. Multiple taste functions of the umami substances in muscle extracts of yellowtail and bastard halibut [J]. Fisheries Science, 2010, 76(3): 521-528
- [32] 刘云, 宫向红, 徐英江, 等. 烟台近海 3 种贝类中呈味核苷酸和氨基酸的测定及比较分析[J]. 中国水产科学, 2014, 21(2): 351-360
- LIU Yun, GONG Xiang-Hong, XU Ying-jiang, et al. Determination and comparative analysis of flavor-enhancing nucleotides and amino acids in three common shellfish from offshore Yantai [J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2014, 21(2): 351-360
- [33] 赵巧灵, 吴佳佳, 李春萍, 等. 3 种鲑鱼的特征滋味成分分析与比较[J]. 中国食品学报, 2014, 14(6): 244-250
- ZHAO Qiao-ling, WU Jia-jia, LI Chun-ping, et al. Analysis and comparison on characterization of taste components in muscle of three species squids [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2014, 14(6): 244-250

(上接第 173 页)

- [20] Kitayama Y, Moribe H. Emulsifier-free, organotellurium-mediated living radical emulsion polymerization of Styrene: Initial stage of polymerization [J]. Macromolecular Symposia, 2017, 288(1): 25-32
- [21] Chen Y, Pan B, Li H, et al. Selective removal of Cu(II) ions by using cation-exchange resin-supported polyethyleneimine (PEI) nanoclusters [J]. Environmental Science & Technology, 2010, 44(9): 3508
- [22] Bekri-Abbes I, Bayoudh S, Baklouti M. Converting waste polystyrene into adsorbent: Potential use in the removal of lead and cadmium ions from aqueous solution [J]. Journal of Polymers and the Environment, 2006, 14(3): 249-256
- [23] Wiesław W. Sułkowski, Krzysztof Nowak, Anna Sułkowska, et al. The conditions of cationic exchange with the use of recycling polystyrene derivative, the product of sulfonation by silica sulfuric acid [J]. Journal of Applied Polymer Science, 2013, 128(5): 2611-2617