

温利,田明礼,安玥琦,等.不同养殖模式对草鱼的营养与食用品质的影响[J].华中农业大学学报,2022,41(3):244-251.
DOI:10.13300/j.cnki.hnlkxb.2022.03.028

不同养殖模式对草鱼的营养与食用品质的影响

温利¹,田明礼²,安玥琦^{1,3},李温蓉¹,李大鹏³,刘茹^{1,3},熊善柏^{1,3}

1. 华中农业大学食品科学技术学院/国家大宗淡水鱼加工技术研发分中心(武汉),武汉430070;

2. 湖南喜味佳生物科技有限公司,岳阳414000;

3. 长江经济带大宗水生生物产业绿色发展教育部工程研究中心,武汉430070

摘要 为探究不同养殖模式对草鱼营养品质和食用品质的影响,选用2种养殖模式(普通池塘养殖和种植青草养殖)下的草鱼为材料,分析其肌肉品质(色度、质构、蒸煮损失)、营养成分(氨基酸和脂肪酸组成及含量)和特征风味(游离氨基酸、游离脂肪酸、核苷酸及其降解产物和挥发性风味物质)之间的差异。结果显示,与普通养殖草鱼相比,种植青草养殖草鱼肌肉的白度、质构特性和持水力均有所提高,提升了草鱼肉的色泽以及口感;且种植青草养殖草鱼肌肉中必需氨基酸和n-3、n-6系列不饱和脂肪酸含量更高,使其营养品质更高;此外,种植青草养殖草鱼中带有异味的1-己醇、壬醛、1-辛烯-3-醇和辛醛含量显著低于普通养殖草鱼,鲜味氨基酸、甜味氨基酸等呈味氨基酸含量则更高,具有更佳食用品质。结果表明,种植青草养殖草鱼的营养和食用品质更优于普通养殖。

关键词 草鱼;种植青草养殖;池塘养殖;营养成分;风味;食用品质

中图分类号 S964;S965.112 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2022)03-0244-08

草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*)是我国产量最大的淡水经济养殖鱼类,其产量在2020年达到557.11万t^[1]。草鱼肉质肥嫩,口感鲜美,是制备鱼糕、鱼丸等鱼糜制品的主要原料之一。因此,草鱼肌肉的营养成分与风味品质对鱼糜制品的品质影响很大。

草鱼养殖模式以池塘养殖为主,包括普通池塘养殖、循环水养殖和种青养殖等。种青养殖通常以黑麦草(*Lolium perenne* L.)、小米草(*Euphrasia pectinata*)和苏丹草(*Euphrasia pectinata*)作为草鱼饵料^[2],是一种生态健康的养殖模式。近年来,随着人工饲料投喂模式逐渐扩大,草鱼的养殖产量虽大幅提升,但其肌肉品质有所下降,因此,探究其提质方法,对提高草鱼的经济价值有重要意义。研究表明,不同鱼种之间的肌肉营养成分以及风味品质均有差异,如草鱼^[3]、斑点叉尾鲴(*Ictalurus punctatus*)^[4]、大黄鱼(*Pseudosciaena crocea*)^[5]等;即使是同一种鱼,

在不同养殖模式下其肌肉营养成分也存在差异,如循环水养殖和传统池塘养殖下的草鱼^[6]、集装箱式和池塘养殖^[7]下的草鱼的肌肉营养成分也存在显著差异。但关于种植青草养殖和普通池塘养殖下草鱼的营养品质和食用品质的差异方面的研究鲜见报道。因此,本研究以草鱼为研究对象,分析普通池塘养殖和种植青草养殖模式下草鱼的肌肉品质、营养品质及感官评价结果的差异,以期优化草鱼养殖模式、提升草鱼肉的食用品质提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

试验草鱼源于湖北省洪湖市的传统池塘养殖(简称普通养殖)和种植青草养殖(简称种青养殖)的池塘。分别在传统池塘和种青池塘中喂养同一批草鱼鱼苗(2021年3月—2021年10月),于2021年10月28日在2个池塘各随机采样10尾(每尾体质量

收稿日期:2022-02-25

基金项目:财政部和农业农村部国家现代农业产业技术体系(CARS-45-28)

温利,E-mail:2267645491@qq.com

通信作者:熊善柏,E-mail:xionsb@mail.hzau.edu.cn

1 120~1 470 g)。

异硫氰酸苯酯、三乙胺、氯化钠均为分析纯,购于国药集团化学试剂有限公司;甲醇、正己烷、乙醇、乙腈、环己酮均为色谱纯,购于上海源叶生物科技有限公司;脂肪酸标品和核苷酸及其降解产物标品为色谱级,购于美国Sigma-Aldrich公司。

1.2 主要仪器

BS210Z型分析天平,德国赛多利斯公司;CR-400型色度计,美国TA仪器公司;TA-XT2i型质构仪,英国Stable-Micro Systems公司;1260型高效液相色谱仪,7890A/5975C型气相色谱仪,美国Agilent公司;U3000型液相色谱仪,美国Thermo公司。

1.3 物理特性测定

按养殖方式分别随机采集10尾草鱼,先称取草鱼体质量,测量体长,解剖去除内脏并称其质量,然后称取空壳质量。再去皮取鱼体背部肌肉(不含红色肉部分),迅速带回实验室贮藏于-80℃冰箱中,用于其他实验指标的测定,试验前于4℃下解冻完全。

生长性能指标测定。脏体指数=内脏质量/体质量×100%。空壳率=空壳质量/体质量×100%。肥满度=体质量/(体长)³×100。

肌肉颜色测定。将去皮后的鱼体背部肌肉切成3 cm×3 cm×1 cm(长×宽×高)的长方体,采用色度计对草鱼肌肉色泽进行测定,包括L*、a*和b*值。白度(W)的计算公式如下:

$$W = 100 - \sqrt{(100 - L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2}}$$

蒸煮损失率测定。称取20 g鱼体背部肌肉,于100℃水浴锅中蒸煮10 min,取出后在室温下冷却5 min,吸干表层水分,称取质量。蒸煮损失率=(蒸前质量-蒸后质量)/蒸前质量×100%。

肌肉质构测定:参考陈东清等^[8]的方法。测试探头为P/36R,其余参数不变。

1.4 营养成分测定

水分测定参考GB/T 5009.3—2016《食品中水分的测定》,在105℃烘箱烘至恒质量,损失部分为水分质量;粗蛋白测定采用凯氏定氮法(GB/T 5009.5—2010《食品中蛋白质的测定》);粗灰分测定参考GB/T 5009.4—2010《食品中灰分的测定》,在550℃的马弗炉中进行高温灼烧;粗脂肪测定采用索氏抽提法(GB/T 5009.6—2010《食品中脂肪的测定》)。

氨基酸组成及含量测定:将20 mL盐酸溶液(6 mol/L)加到0.50 g草鱼背部肌肉中,110℃水解22 h。取出冷却后,定容至25 mL。衍生化反应方法参考文献[9]。呈味氨基酸含量计算参考文献[8]。核苷酸及其降解产物含量参照文献[10]的方法进行测定。脂肪酸组成及含量测定参照GB 5009.168—2016《食品中脂肪酸的测定》。

1.5 感官评价

感官评价标准参考蔡礼彬等^[11]的方法。

1.6 挥发性风味物质的测定

取2.0 g斩碎的鱼肉放入30 mL顶空气相瓶中,加入1 μL内标环己酮(1 000 μg/kg),再加入8 mL饱和氯化钠溶液混合后,准备上机。

气相色谱柱为DB-Wax毛细管柱(60 m×0.25 mm×0.25 μm)。气相色谱升温程序:柱初温40℃,保持3 min;以4℃/min升温至140℃,保持2 min;再以4℃/min升至230℃,保持2 min。进样口温度为230℃,热解吸5 min;载气为氦气,流速1.5 mL/min,不分流。

质谱条件:EI离子源;电子能量70 eV;离子源温度为230℃;四级杆温度150℃;检测器温度为250℃,气质接口温度为280℃;检测器电压1.2 kV;质量扫描范围m/z: 50~350。

1.7 数据处理

采用Excel 2019和SPSS 21.0软件进行数据统计与分析。试验结果以“平均值±标准差”的形式呈现,对各指标进行显著性检验(α=0.05),并采用Origin 2021软件进行绘图。

2 结果与分析

2.1 养殖模式对草鱼营养成分和形体指标的影响

由表1可知,与普通池塘养殖相比,种青养殖的草鱼粗蛋白含量更高,粗脂肪含量更低。但2种养殖模式对草鱼的脏体指数、肥满度和空壳率均无显著影响(P>0.05)。

2.2 养殖模式对草鱼肌肉颜色、质构特性和蒸煮损失的影响

如表2所示,种青养殖草鱼肌肉的L*值、W值和b*值均显著高于普通养殖(P<0.05),说明种青养殖可提高草鱼肌肉的亮度和白度,且种青养殖草鱼肌肉的a*值显著低于普通养殖(P<0.05),表明种青养殖可降低草鱼肌肉红度。

在不同养殖模式下,草鱼的质构特性与持水性存

表1 不同养殖模式对草鱼营养成分和形体指标的影响

Table 1 Effects of different aquaculture models on nutrient component and morphological parameters of grass carp

养殖模式 Aquaculture mode	营养成分 Nutrient component				形体指标 Morphological parameters		
	水分/% Moisture	粗蛋白/% Crude protein	粗脂肪/% Crude lipid	灰分/% Ash	肥满度/(g/cm ³) Condition factor	脏器指数/% Organ index	空壳率/% Shell rate
普通养殖 Ordinary pond farming	78.03±0.10b	16.09±0.11b	4.65±0.05a	1.19±0.04b	1.26±0.07a	11.86±2.66a	51.07±1.94a
种青养殖 Planting grasss farming	77.16±0.32a	17.93±0.09a	3.52±0.03b	1.31±0.38a	1.23±0.08a	10.80±0.41a	51.73±4.20a

注:不同字母表示同一指标在两组样品间存在差异显著($P<0.05$),下同。Note: Different letters indicate that the same index has significant difference between the two groups of samples($P<0.05$), the same as below.

在明显差异。种青养殖草鱼肌肉的硬度、咀嚼性和回复性均显著高于普通养殖草鱼($P<0.05$)。种青养殖草鱼肌肉的蒸煮损失率显著低于普通养殖($P<0.05$),表明种青养殖的草鱼肌肉持水性更高,肉质更弹嫩。

表2 不同养殖模式下草鱼肌肉色泽、质地特性和蒸煮损失的差异

Table 2 Differences of muscle color, texture characteristics and cooking loss of grass carp under different aquaculture modes

项目 Items	普通养殖 Ordinary pond farming	种青养殖 Planting grass farming
肌肉色泽 Muscle color		
L^*	59.80±3.71b	65.34±1.40a
a^*	7.25±2.30a	4.28±0.40b
b^*	8.49±1.53b	10.33±1.01a
W	58.18±3.53b	63.55±1.18a
质地特性 Texture characteristics		
硬度/g Hardness	1 176.11±333.00b	2 089.21±366.01a
弹性 Springiness	0.52±0.04a	0.51±0.04a
内聚性 Cohesiveness	0.33±0.04a	0.35±0.05a
咀嚼性/g Chewing	202.30±65.03b	374.13±62.25a
回复性 Resilience	0.14±0.01b	0.17±0.02a
蒸煮损失率/% Cooking loss rate	22.02±1.03a	15.96±1.89b

2.3 养殖模式对草鱼氨基酸组成的影响

表3显示了不同养殖模式的草鱼中总氨基酸及游离氨基酸的含量差异。由表3可知,种青组草鱼总氨基酸含量显著高于普通养殖($P<0.05$),其中NEAA、HEAA和EAA的含量均显著高于普通养殖模式($P<0.05$)。在2种养殖模式下EAA/TAA均达到0.39,EAA/NEAA分别为0.75和0.76。此外,2种养殖模式下,游离氨基酸总量具有显著差异($P<$

0.05)。与普通养殖草鱼相比,种青养殖草鱼中游离氨基酸总量显著增加($P<0.05$);其中呈鲜味的天冬氨酸和谷氨酸,甜味氨基酸中除了苏氨酸,其他甜味氨基酸含量在种青养殖草鱼中均显著增加($P<0.05$),天冬氨酸和谷氨酸含量较普通养殖分别提高了1倍和1.6倍。

鲜味氨基酸与呈味氨基酸相互作用下的协同效应可用味精当量(equivalent umami concentration, EUC)表示。从表4结果可知,和普通养殖草鱼相比,种青养殖草鱼中苦味氨基酸、鲜味氨基酸、甜味氨基酸和酸味氨基酸含量分别显著提高了27.87%、149.57%、36.33%、19.89%($P<0.05$)。种青养殖草鱼肌肉中EUC达到2.02 g MSG/100 g,显著高于普通养殖,表明种青养殖草鱼肉具有强烈的鲜味。

2.4 养殖模式对草鱼脂肪酸组成的影响

表5显示了2种养殖模式下草鱼中的总脂肪酸和游离脂肪酸组成及含量。种青养殖草鱼中总脂肪酸含量显著高于普通养殖草鱼($P<0.05$)。其中,种青养殖草鱼中单不饱和脂肪酸和多不饱和脂肪酸含量均显著高于普通养殖($P<0.05$)。且多不饱和脂肪酸C20:3n3和EPA仅在种青养殖草鱼中被检出。尤其是种青养殖模式下,草鱼中 Σ n-3 PUFA和 Σ n-6 PUFA含量显著高于普通养殖($P<0.05$),分别约是普通养殖的2.5倍和1.4倍。

种青养殖草鱼的游离氨基酸总量显著高于普通养殖($P<0.05$)。种青养殖组的总单不饱和脂肪酸和总多不饱和脂肪酸含量显著高于普通养殖组($P<0.05$),分别提高了21.36%和36.46%。种青养殖草鱼中的亚油酸和亚麻酸等多不饱和脂肪酸含量显著高于普通养殖($P<0.05$)。

表 3 不同养殖模式下草鱼的总氨基酸、游离氨基酸的组成与含量
Table 3 The composition and content of total amino acids and free amino acids of grass carp under different aquaculture modes

氨基酸 Amino acids	总氨基酸含量/(mg/g) Total amino acid content		游离氨基酸含量/(mg/100 g) Free amino acids content	
	普通养殖 Ordinary pond farming	种青养殖 Planting grass farming	普通养殖 Ordinary pond farming	种青养殖 Planting grass farming
天冬氨酸 Asp [#]	18.81±0.30b	20.72±0.23a	3.23±0.03b	6.47±0.06a
谷氨酸 Glu [#]	26.83±0.43b	30.70±0.33a	9.54±0.08b	25.41±0.22a
丝氨酸 Ser [#]	6.88±0.11b	7.57±0.09a	0.73±0.01b	1.54±0.11a
甘氨酸 Gly [#]	7.69±0.14b	8.27±0.11a	57.31±0.57b	74.64±0.98a
组氨酸 His ^{#**}	5.10±0.08b	5.55±0.06a	149.17±1.53b	162.28±1.47a
精氨酸 Arg ^{#**}	9.12±0.15b	10.23±0.11a	1.10±0.02b	3.14±0.02a
苏氨酸 Thr [*]	6.39±0.09b	7.17±0.08a	8.50±0.44a	8.89±0.06a
丙氨酸 Ala [#]	7.74±0.12b	8.53±0.09a	37.15±0.36b	51.82±0.47a
脯氨酸 Pro [#]	5.37±0.09b	5.99±0.08a	25.37±0.26b	36.69±0.25a
酪氨酸 Tyr [#]	5.33±0.08b	6.07±0.06a	7.59±0.09b	18.18±0.79a
缬氨酸 Val [*]	7.11±0.12b	8.02±0.08a	7.96±0.11b	14.72±0.14a
蛋氨酸 Met [*]	3.67±0.06b	4.11±0.04a	5.46±0.04b	10.47±0.08a
异亮氨酸 Ile [*]	6.77±0.10b	7.69±0.07a	3.79±0.10b	8.18±0.06a
亮氨酸 Leu [*]	12.64±0.20b	14.43±0.15a	9.89±0.07b	18.90±0.00a
苯丙氨酸 Phe [*]	6.93±0.12b	7.70±0.09a	10.66±0.08b	14.26±0.06a
赖氨酸 Lys [*]	15.62±0.31b	17.39±0.20a	10.58±0.28b	16.79±0.43a
非必需氨基酸 NEAA	78.65±1.26b	87.86±0.99a	—	—
半必需氨基酸 HEAA	14.21±0.23b	15.78±0.17a	—	—
必需氨基酸 EAA	59.13±0.99b	66.52±0.70a	—	—
氨基酸总量 TAA	151.99±2.48b	170.15±1.87a	347.98±3.73b	472.31±4.20a

注：#：人体非必需氨基酸；※：人体半必需氨基酸；*：人体必需氨基酸；—：未检测到。不同字母表示同一指标在两组样品间有显著差异，下同。Note：#：non-essential amino acids of human body；※：Semi-essential amino acid of human body；*：Essential amino acids of human body。—：Not detected. Different letters indicate that the same index has significant difference between the samples of two groups ,the same as below.

表 4 不同养殖模式下草鱼肌肉中风味氨基酸含量
Table 4 Flavor amino acids in muscles of grass carp under different aquaculture modes

养殖模式 Aquaculture mode	鲜味氨基酸/(mg/100 g) UMAA	甜味氨基酸/(mg/100 g) SWAA	苦味氨基酸/(mg/100 g) BIAA	酸味氨基酸/(mg/100 g) SOAA	EUC/ (g MSG/100 g)
普通养殖 Ordinary pond farming	12.77±0.12b	139.62±1.92b	195.59±1.70b	161.94±1.65b	0.48
种青养殖 Planting grass farming	31.87±0.28a	190.34±1.42a	250.10±2.50a	194.15±1.75a	2.02

注：鲜味氨基酸包括天冬氨酸和谷氨酸；甜味氨基酸包括甘氨酸、丙氨酸、丝氨酸、苏氨酸、赖氨酸和脯氨酸；苦味氨基酸包括蛋氨酸、缬氨酸、亮氨酸、异亮氨酸、苯丙氨酸、酪氨酸、组氨酸和精氨酸；酸味氨基酸包括天冬氨酸、谷氨酸和组氨酸。Note：Umami amino acids are Asp and Glu. Sweetness amino acids are Gly, Ala, Ser, Thr, Lys and Pro. Bitterness amino acids are Met, Val, Leu, Ile, Phe, Tyr, His and Arg. Sourness amino acids are Asp, Glu and His.

2.5 感官评价

由图 1 可知,2 种养殖模式下草鱼的总体得分、气味、滋味和质地得分存在显著差异(P<0.05);在色泽方面无显著差异(P>0.05),均色泽亮白,断面有一定光泽。此外,种青养殖草鱼食用起来无明显鱼腥味,且鲜味明显,回味甘甜。而普通养殖草鱼的鱼腥味较

重,无回甘味且质地较软,弹性较弱。

2.6 养殖模式对草鱼核苷酸的影响

由表 6 可知,草鱼中尿苷酸(UMP)含量最高,其次是次黄嘌呤核苷酸(IMP)。种青养殖草鱼肉中具有鲜味的鸟嘌呤核苷酸(GMP)和 IMP 以及腺嘌呤核苷酸(ATP)的含量均显著高于普通养殖草鱼(P<

表5 不同养殖模式下草鱼的总脂肪酸及游离氨基酸组成与含量

Table 5 Composition and content of total fatty acids and free fatty acids of grass carp under different aquaculture modes

脂肪酸 Fatty acid	总脂肪酸含量 Total fatty acid content		游离脂肪酸含量 Free fatty acid content	
	普通养殖 Ordinary pond farming	种青养殖 Planting grass farming	普通养殖 Ordinary pond farming	种青养殖 Planting grass farming
	C14:0	15.80±0.00b	24.60±0.00a	14.20±0.42b
C15:0	—	6.07±0.06a	—	4.00±0.14a
C16:0	398.27±1.59b	577.17±0.59a	298.20±29.56a	399.35±55.79a
C18:0	59.53±0.40b	88.83±0.61a	41.20±0.57a	46.15±1.91a
C16:1	67.00±0.52b	105.23±0.93a	64.20±0.57b	83.10±2.97a
C18:1n9c	709.30±2.95b	1 011.17±14.98a	620.30±4.81b	761.65±22.56a
C20:1	20.60±0.26a	20.60±0.35a	15.65±0.78a	11.15±0.07b
C22:1n9	15.73±0.38a	14.43±0.21b	14.35±0.21a	11.25±0.21b
C18:2n6c	256.13±1.44b	353.67±0.84a	241.45±0.64b	315.90±12.16a
C18:3n3	24.37±0.15b	61.77±0.67a	21.10±0.14b	62.70±0.42a
C20:2	10.93±0.21b	13.30±0.44a	9.40±0.28a	9.10±0.28a
C20:3n6	16.40±0.20b	20.30±0.30a	15.95±0.07a	17.05±0.78a
C20:3n3	—	4.70±0.10a	—	3.60±0.00a
C20:4n6	39.43±0.21b	52.30±0.56a	37.15±0.78a	36.55±6.58a
C20:5n3	—	5.10±0.10a	—	—
C22:6n3	13.87±0.40b	24.80±0.40a	12.40±0.00b	15.60±0.57a
∑SFA	473.60±1.23b	696.67±0.90a	353.60±30.55a	466.30±53.17a
∑MUFA	812.63±3.11b	1 151.43±13.85a	714.50±5.94b	867.15±25.81a
∑PUFA	361.13±0.90b	535.93±3.07a	337.45±1.77b	460.50±6.79a
∑n-3 PUFA	41.23±0.40b	96.37±1.10a	—	—
∑n-6 PUFA	308.97±1.45b	426.27±1.55a	—	—
TFA	1 647.37±1.00b	2 384.03±11.62a	1 405.55±38.25b	1 793.95±20.58a

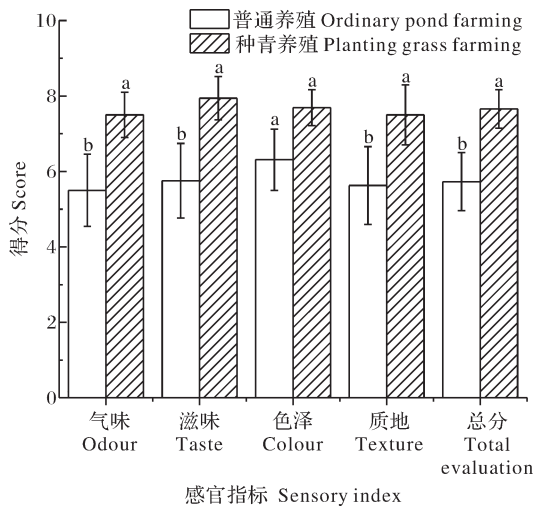


图1 不同养殖模式下草鱼的感官评价结果

Fig. 1 Sensory evaluation results of grass carp under different aquaculture modes

0.05),尤其是IMP,较普通养殖提高了1.6倍。

2.7 养殖模式对草鱼特征气味物质的影响

采用SPME-GC-MS分析方法,对不同养殖模式

表6 不同养殖模式下草鱼的核苷酸组成与含量

Table 6 Nucleotide composition and content of grass carp under different aquaculture modes

核苷酸 Nucleotide	μmol/100 g	
	普通养殖 Ordinary pond farming	种青养殖 Planting grass farming
CMP	0.25±0.01a	0.21±0.00b
UMP	10.03±0.17a	8.09±0.15b
GMP	0.08±0.00b	0.09±0.00a
IMP	0.99±0.02b	1.65±0.02a
ATP	0.07±0.00b	0.09±0.00a

下草鱼的特征挥发性气味物质种类和含量进行测定,由表7可知,在种青养殖草鱼中除己醛和十二烷醛外,其余被检测出的醛类和醇类含量均显著低于普通养殖(P<0.05),其中呈溶剂味的1-己醇、油脂味的壬醛、蘑菇味的1-辛烯-3-醇和柑橘味的辛醛等含量较普通养殖显著下降(P<0.05),从而减少了鱼肉的土腥味与青草味,这与感官评价中的气味评价结果相一致。

表7 不同养殖模式下草鱼的特征挥发性风味成分

Table 7 Characteristic volatile flavor components of grass carp under different aquaculture modes $\mu\text{g}/\text{kg}$				
保留指数 Retention index	特征气味物质 Characteristic odorous substance	气味 Odour	普通养殖 Ordinary pond farming	种青养殖 Planting grass farming
780	己醛 Hexanal	青草味 Grassy	2 731.66±4.94b	2 837.88±7.85a
900	庚醛 Heptanal	油脂味 Fatty	171.07±3.53a	143.74±2.12b
1 007	辛醛 Octanal	柑橘味 Citrussy	149.35±6.35a	131.21±2.84b
1 040	(E)-2-辛烯醛 (E)-2-Octenal	油脂味 Fatty	93.42±2.18a	74.88±4.93b
1 094	壬醛 Nonanal	柑橘味 Citrussy	330.25±2.85a	311.53±4.23b
1 210	(E,E)-壬二烯醛 (E,E)-Nonadienal	青草味 green	159.64±2.84a	127.31±5.66b
1 411	十二醛 Dodecanal	油味 Oily	33.97±4.24a	38.47±2.86a
855	(Z)-3-己烯-1-醇 (Z)-3-Hexen-1-ol	刺激味 Intense	31.17±2.12b	33.28±38.16a
858	1-己醇 1-Hexanol	化学药片味 Chemical	503.37±2.83a	316.77±4.25b
978	1-辛烯-3-醇 1-Octen-3-ol	蘑菇味 Mushroom	650.34±0.87a	629.58±1.42b

3 讨论

目前,有学者对不同养殖模式下的草鱼^[2]、斑点叉尾鮰^[4,12]、黄颡鱼^[12]等水产品进行理化成分、质构特性及感官评价测定,研究结果表明,养殖模式会影响鱼肉风味特征以及肉质。本研究进一步确定,相较于普通养殖,种青养殖模式可以提高草鱼肌肉的亮度和白度,降低其红度,其原因可能是在种青养殖下草鱼运动能力增强,消耗更多的能量用以竞争和生存,从而使得草鱼肉的肌纤维更致密,提升了种青养殖草鱼的肉质紧致度和咀嚼性,使草鱼口感更好;且脂肪积累减少,鱼肉中肌红蛋白和血红蛋白含量降低^[12-13]。

草鱼肉的营养价值对其食用品质及经济效益有重要影响。在本研究中种青养殖组草鱼必需氨基酸的含量均显著高于普通养殖模式,可能是在种青养殖下草鱼的运动能力增强,为适应生存变化,一定程度上改变体内物质储存状况,从而影响了氨基酸的含量^[14]。此外,相较于普通养殖,种青养殖草鱼中 Σ n-3 PUFA 和 Σ n-6 PUFA 含量大幅提升。但与之相反,在程辉辉等^[2]的研究中,饲料组草鱼所食用的饲料富含大量的n-3系列不饱和脂肪酸,而种青组草鱼却无法自身合成足够多的n-3系列不饱和脂肪酸。

风味可分为滋味和气味,游离氨基酸和核苷酸都是水产品中重要的滋味物质^[15-16]。1-辛烯-3-醇、己醛和(E,E)-2,4-壬二烯醛等是鱼肉土腥味和青草

味等异味的主要来源^[17]。较普通养殖模式而言,种青养殖组草鱼肉中呈鲜味的天冬氨酸和谷氨酸以及鲜味核苷酸中GMP和IMP含量均显著增加,可能是在种青养殖环境中具有更多样化的浮游生物和昆虫等天然饵料,增加了蛋白质的合成,最终增强草鱼的肌肉鲜味^[12,18]。总体上,种青养殖可以降低草鱼肌肉中大部分具有异味的醛类、醇类物质的含量,从而使草鱼的气味和滋味更加宜人,提高其食用品质。

综上所述,相较于普通养殖,种青养殖不仅可以改善草鱼的肌肉品质,还可以增加草鱼中必需氨基酸和n-3、n-6系列不饱和脂肪酸含量,提升草鱼的营养品质;其次,可降低草鱼中异味物质含量,提高呈味氨基酸和鲜味核苷酸的含量,改善草鱼肉的风味特征,提升其食用品质。此外,相较于普通养殖模式,种青养殖模式中青草还具有一定的净化水体作用,对环境污染较小,更有利于草鱼的绿色养殖发展。

参考文献 References

- [1] 农业农村部渔业渔政管理局. 2020中国渔业统计年鉴[M]. 北京:中国农业出版社,2021:30. Fishery Administration of Ministry of Agriculture and Rural Affairs[M]. China fishery statistics yearbook[J]. Beijing: China Agriculture Press, 2021: 30(in Chinese).
- [2] 程辉辉,谢从新,李大鹏,等. 种青养鱼模式下的草鱼肌肉营养成分和品质特性[J]. 水产学报,2016,40(7):1050-1059. CHENG H H, XIE C X, LI D P, et al. The study of muscular nutritional components and fish quality of grass carp (*Ctenopharyng-*

- godon idella*) in ecological model of cultivating grass carp with grass[J]. Journal of fisheries of China, 2016, 40(7): 1050-1059 (in Chinese with English abstract).
- [3] 陈洁, 李大鹏, 张志敏, 等. 草鱼不同部位肌肉营养成分、肌纤维特性以及脂肪代谢相关基因的表达[J]. 淡水渔业, 2017, 47(2): 107-112. CHEN J, LI D P, ZHANG Z M, et al. Nutritional compositions, muscular fiber properties, and the expression of lipid metabolic related genes in different parts of muscle in *Ctenopharyngodon idella* [J]. Freshwater fisheries, 2017, 47(2): 107-112 (in Chinese with English abstract).
- [4] 邵俊杰, 张世勇, 朱昱璇, 等. 不同养殖模式对斑点叉尾生长和肌肉品质特性的影响[J]. 水产学报, 2017, 41(8): 1256-1263. SHAO J J, ZHANG S Y, ZHU Y X, et al. Comparative study on growth performance and meat quality characteristics of channel catfish (*Ictalurus punctatus*) cultured under different aquaculture modes[J]. Journal of fisheries of China, 2017, 41(8): 1256-1263 (in Chinese with English abstract).
- [5] 张秀洁, 郭全友, 王鲁民, 等. 养殖大黄鱼滋味和气味物质组成及评价[J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(20): 242-249. ZHANG X J, GUO Q Y, WANG L M, et al. Composition and evaluation of flavor substances in the cultured large yellow croaker (*Larimichthys crocea*) [J]. Food and fermentation industries, 2019, 45(20): 242-249 (in Chinese with English abstract).
- [6] 况文明, 唐仁军, 薛洋, 等. 池塘两种养殖方式下草鱼的营养差异[J]. 水产学报, 2020, 44(12): 2028-2036. KUANG W M, TANG R J, XUE Y, et al. Preliminary evaluation of nutritional differences of grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) under two pond culture models [J]. Journal of fisheries of China, 2020, 44(12): 2028-2036 (in Chinese with English abstract).
- [7] 刘月月, 傅子昕, 张慧娟, 等. 集装箱式与池塘养殖草鱼营养品质的分析比较[J]. 中国农业大学学报, 2022, 27(1): 193-202. LIU Y Y, FU Z X, ZHANG H J, et al. Quality comparison of grass carp cultured in containers and ponds [J]. Journal of China Agricultural University, 2022, 27(1): 193-202 (in Chinese with English abstract).
- [8] 陈东清. 草鱼片调理处理及其贮藏过程中的品质变化研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2015. CHEN D Q. Study on the processing technology of prepared grass carp fillets and changes of quality during storage [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2015 (in Chinese with English abstract).
- [9] GHESHLAGHI R, SCHARER J M, MOO-YOUNG M, et al. Application of statistical design for the optimization of amino acid separation by reverse-phase HPLC [J]. Analytical biochemistry, 2008, 383(1): 93-102.
- [10] 刘敬科. 鲢鱼风味特征及热历史对鲢鱼风味的影响[D]. 武汉: 华中农业大学, 2009. LIU J K. Flavor character of silver carp and the influence of heating history on the silver carp flavor [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2009 (in Chinese with English abstract).
- [11] 蔡礼彬, 任章睿, 吕昊, 等. 短时间微流水处理对异育银鲫肌肉品质的影响[J]. 华中农业大学学报, 2020, 39(4): 128-136. CAI L B, REN Z R, LÜ H, et al. Effects of short-term micro-flowing water treatment on flesh quality of crucian carp (*Carassius auratus gibelio*) [J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2020, 39(4): 128-136 (in Chinese with English abstract).
- [12] 吕敏, 甘晖, 陈田聪, 等. 瓦氏黄颡鱼在稻田和池塘养殖中的生长性能和肌肉品质比较[J]. 水产学杂志, 2022, 35(1): 75-81. LÜ M, GAN H, CHEN T C, et al. Comparison of growth performance and muscle quality of yellow catfish (*Pseudobagrus vachelli*) cultured in rice fields and ponds [J]. Chinese journal of fisheries, 2022, 35(1): 75-81 (in Chinese with English abstract).
- [13] 熊铭, 吴祖亮, 林向东. 不同养殖模式斑石鲷的鱼肉品质特性分析[J]. 食品科学, 2016, 37(3): 17-21. XIONG M, WU Z L, LIN X D. Meat quality characteristics of spotted knifejaw (*Oplegnathus punctatus*) cultured under different aquaculture modes [J]. Food science, 2016, 37(3): 17-21 (in Chinese with English abstract).
- [14] 原居林, 刘梅, 倪蒙, 等. 不同养殖模式对大口黑鲈生长性能、形体指标和肌肉营养成分影响研究[J]. 江西农业大学学报, 2018, 40(6): 1276-1285. YUAN J L, LIU M, NI M, et al. Effects of different culture models on growth performances, morphological traits and nutritional quality in muscles of *Micropterus salmoides* [J]. Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis, 2018, 40(6): 1276-1285 (in Chinese with English abstract).
- [15] ZENG X F, XIA W S, YANG F, et al. Changes of biogenic amines in Chinese low-salt fermented fish pieces (Suan yu) inoculated with mixed starter cultures [J]. International journal of food science & technology, 2013, 48(4): 685-692.
- [16] 方林, 施文正, 刁玉段, 等. 冻结方式对不同部位草鱼呈味物质的影响[J]. 食品科学, 2018, 39(12): 199-204. FANG L, SHI W Z, DIAO Y D, et al. Effect of freezing methods on the taste components in different parts of grass carp meat [J]. Food science, 2018, 39(12): 199-204 (in Chinese with English abstract).
- [17] 刁玉段, 张晶晶, 史珊珊, 等. 致死方式对草鱼肉挥发性成分和脂肪氧合酶活性的影响[J]. 食品科学, 2016, 37(18): 64-70. DIAO Y D, ZHANG J J, SHI S S, et al. Effect of different slaughter methods on volatile compounds and lipoxygenase activity of grass carp meat [J]. Food science, 2016, 37(18): 64-70 (in Chinese with English abstract).
- [18] HE J Z, FENG P F, LÜ C F, et al. Effect of a fish-rice co-culture system on the growth performance and muscle quality of tilapia (*Oreochromis niloticus*) [J/OL]. Aquaculture reports, 2020, 17: 100367 [2022-02-25]. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2020.100367>.

Effects of different aquaculture mode on nutritional quality and eating quality of grass carp

WEN Li¹, TIAN Mingli², AN Yueqi^{1,3}, LI Wenrong¹, LI Dapeng³, LIU Ru^{1,3}, XIONG Shanbai^{1,3}

1. College of Food Science and Technology, Huazhong Agricultural University/
National R&D Branch Center for Conventional Freshwater Fish Processing (Wuhan),
Wuhan 430070, China;

2. Hunan Xiweijia Biotechnology Co., Ltd., Yueyang 414000, China;

3. Engineering Research Center of Green Development for Conventional Aquatic Biological
Industry in the Yangtze River Economic Belt, Ministry of Education, Wuhan 430070, China

Abstract Grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) in two farming modes were selected as materials, the differences between the muscle quality (color, texture, and cooking loss), nutritional components (composition of amino acids and fatty acids), and flavor properties (free amino acids, free fatty acids, nucleotide and its degradation products, and volatile aroma compounds) were analyzed to explore the influence of aquaculture mode on the nutritional quality and eating quality of grass carp. Compared with ordinary pond farming, planting grass farming improved the color, textural properties, water holding capacity and mouthfeel of grass carp muscle. The muscle from grass carp cultured by planting grass contained higher essential amino acids and n-3 PUFA and n-6 PUFA, enhancing the nutritional quality of grass carp. Additionally, the contents of odorous compounds such as 1-hexanol, nonanal, 1-octen-3-ol and octanal were significantly lower in grass carp cultured by planting grass than those in the grass carp cultured in ordinary pond. Moreover, the contents of amino acids with umami and sweet tastes were higher in grass carp cultured by planting grass, improving the edible quality of grass carp. In conclusion, grass carp cultured by planting grass owned better nutritional and edible qualities than that by ordinary pond farming.

Keywords *Ctenopharyngodon idellus*; planting grass farming; ordinary pond farming; nutritional quality; flavor; edible quality

(责任编辑:赵琳琳)