

文章编号: 1674-5566(2024)03-0581-09

DOI: 10.12024/jsou.20230304129

池塘混养和专养条件下罗氏沼虾营养品质的比较

周 聃¹, 刘 梅¹, 房伟平², 倪 蒙¹, 邹松保¹, 原居林¹

(1. 浙江省淡水水产研究所 农业农村部淡水渔业健康养殖重点实验室 湖州市水产品品质提升与加工技术重点实验室, 浙江 湖州 313001; 2. 浙江长兴县水产与农机中心, 浙江 长兴 313100)

摘要:以罗氏沼虾为研究对象,比较分析河蟹-罗氏沼虾混养模式与传统罗氏沼虾专养模式产出的罗氏沼虾营养价值和品质变化。通过测定体质量、体长、出肉率比较两种养殖模式下虾体规格差异;通过测定水分、蛋白质、灰分、脂肪、矿物质、脂肪酸和氨基酸,比较虾肉营养价值变化;通过测定质构特性和呈味核苷酸比较虾肉品质变化。与专养的罗氏沼虾相比,混养模式下罗氏沼虾规格显著提高,但出肉率有所下降。混养的虾肉脂肪含量从(0.91±0.07)%下降为(0.59±0.05)%,差异显著;虾肉的钙、镁、磷、铜含量上升;脂肪酸中EPA含量从(15.59±0.66)%下降至(13.64±0.71)%;氨基酸EAAI评分略有提高,罗氏沼虾虾肉营养价值变化较小。混养的虾肉硬度显著提高;呈味核苷酸AMP和IMP含量从(78.15±1.23)g/100g和(162.90±2.67)g/100g提高至(86.96±1.87)g/100g和(175.12±3.01)g/100g,混养的虾肉品质显著提高。河蟹-罗氏沼虾混养池塘内产出的罗氏沼虾规格显著增加,营养成分变化不大,虾肉品质显著提高,符合消费者品位,具有优秀的市场前景。

关键词: 河蟹-罗氏沼虾池塘混养模式; 罗氏沼虾池塘专养模式; 罗氏沼虾; 营养品质; 呈味核苷酸

中图分类号: S 965.1 **文献标志码:** A

罗氏沼虾(*Macrobrachium rosenbergii*),又称马来西亚大虾,隶属甲壳纲(Crustacea)十足目(Decapoda)长臂虾科(Palaemonidae)沼虾属(*Macrobrachium*),是体型最大的淡水虾类^[1]。因其肉质鲜美、蛋白质含量丰富,营养价值高,拥有广阔的市场前景^[2]。此外,由于其具有摄食能力强、生长速度快、养殖难度低等特点,在中国拥有较大的养殖体量^[3]。2020年,中国罗氏沼虾产量高达16.2万t,比2019年提高了15.96%^[4],其养殖产量已占世界总产量的60%以上^[5]。然而,随着养殖产量的不断上升,罗氏沼虾的价格开始下降,如何提高品质、增加效益,成为当前产业发展的重要方向。

关于罗氏沼虾的研究主要集中在苗种繁育^[6-8]、病害防治^[9-10]、养殖尾水^[11-12]等方面。随着养殖技术的发展,罗氏沼虾生态混养模式不断涌现,出现了罗氏沼虾-中华鳖^[13]、罗氏沼虾-罗非

鱼^[14]、罗氏沼虾-南美白对虾^[15]等多种混养模式。当前,在江苏、浙江等地,出现一种新型混养模式,即在河蟹池塘内混养商品规格(即70~80尾/kg)的罗氏沼虾^[16],经过3~4个月混养,养出的罗氏沼虾规格可达75~150g/只,售价高达120~180元/kg,效益远高于成品罗氏沼虾。本课题组^[17]前期已开展河蟹混养大规格罗氏沼虾的试验,通过分析生态和经济效益确定了放养的最佳密度。并确定该模式能够提高饲料利用率,降低环境污染,增加经济效益。然而,通过该模式产出的大规格罗氏沼虾在营养和品质上是否有优势,还未有研究。

因此,本试验通过测定河蟹-罗氏沼虾混养模式和传统罗氏沼虾专养模式产出的罗氏沼虾的一般营养成分、脂肪酸、氨基酸和矿物质元素,评价两种模式下罗氏沼虾营养价值变化;并分析质构特性和呈味核苷酸含量变化,探究两种模式

收稿日期: 2023-03-27 修回日期: 2024-01-10

基金项目: 湖州市公益性应用研究项目(2023GZ39);浙江省科技计划项目(2022C02027)

作者简介: 周 聃(1991—),男,工程师,研究方向为水产养殖、水产品加工。E-mail: 85895424@qq.com

通信作者: 原居林, E-mail: yuanjulin1982@163.com

版权所有 ©《上海海洋大学学报》编辑部(CC BY-NC-ND 4.0)

Copyright © Editorial Office of Journal of Shanghai Ocean University (CC BY-NC-ND 4.0)

<http://www.shhydx.com>

下虾肉品质差异,为河蟹-罗氏沼虾混养产业发展提供数据支持。有力促进农业增效、农民增收,为渔业高质量发展、乡村产业振兴提供强有力的科技支撑。

1 材料与方法

1.1 样品采集

于湖州长兴某家庭农场,采集3个不同的河蟹-沼虾混养池塘产出的罗氏沼虾(实验组)和3个不同的沼虾专养池塘产出的罗氏沼虾(对照组),每池塘采集20尾。将采集的虾迅速运回实验室,清水冲洗。分别测量其体质量和体长。去头、去壳,取其可食部分虾肉,测定质构参数后,将每塘20尾虾肉混匀搅碎,置于-80℃冻藏待测。每组平行3次。

1.2 实验方法

1.2.1 一般化学组成测定

虾肉水分采用GB 5009.3—2016、粗蛋白采用GB 5009.5—2016、粗脂肪采用GB 5009.6—2016、灰分采用GB 5009.4—2016法测定。

1.2.2 矿物质测定

虾肉矿物质含量采用GB 5009.268—2016法,使用iCAPQ电感耦合等离子体质谱仪(美国thermo公司)检测。虾肉磷含量按GB 5009.87—2016钼蓝分光光度法测定。

1.2.3 脂肪酸含量测定

脂肪酸参照FOLCH法^[18]略作修改。采用氯仿-甲醇溶液萃取虾肉脂肪,甲酯化,使用7890B气相色谱仪(美国Agilent公司)测定,并使用面积归一化法分析各脂肪酸百分含量。

1.2.4 氨基酸分析

除色氨酸外的17种氨基酸参照GB/T 5009.124—2016法,使用LA8080氨基酸分析仪(日本Hitachi公司)测定,色氨酸按照荧光分光光度法^[19]测定。依据中国预防医学科学院营养与食品卫生研究所提出的鸡蛋蛋白质模式^[20]进行氨基酸营养评价,计算氨基酸评分(Amino acid score, AAS)、化学评分(Chemical score, CS)和必需氨基酸指数(Essential amino acid index, EAAI)。具体公式:

$$\text{AAS} = \frac{C_{Yn}}{C_{En}} \times 100\% \quad (1)$$

$$\text{CS} = \frac{C_{Yn}}{C_{En}} \times 100\% \quad (2)$$

$$\text{EAAI} = \sqrt[n]{\frac{A}{\text{AE}} \times \frac{B}{\text{BE}} \times \dots \times \frac{G}{\text{GE}}} \times 100\% \quad (3)$$

式中: C_{Yn} 为样品中某种必需氨基酸含量,mg/g N; C_{En} 表示FAO/WHO模式中同种必需氨基酸含量,mg/g N; C_{En} 表示鸡蛋蛋白质中同种必需氨基酸含量,mg/g N; n 为氨基酸数目; A, B, C, \dots, G 为鱼肉蛋白质中必需氨基酸含量,mg/g N; $\text{AE}, \text{BE}, \dots, \text{GE}$ 为鸡蛋中相对应的必需氨基酸含量,mg/g N。

1.2.5 质构测定

质构特征参照崔雁娜等^[21]采用CT3质构仪(美国Brookfield公司)进行测定。对去壳后罗氏沼虾第3腹节进行测试。测定参数为探头:TA41;触发力:5g;压缩距离:3mm;测试速率:30mm/min;恢复时间:3s。每批样品20个平行。

1.2.6 呈味核苷酸测定

参考TANG等^[22]方法并略作修改:称取5.00g搅碎虾肉,加入体积分数为5%的高氯酸15mL,匀浆,4℃、8000r/min离心10min。取上清液,沉淀再次加入5%高氯酸10mL,匀浆,4℃、8000r/min离心10min。合并上清液,用5mol/L氢氧化钾调节pH至6.75,超纯水定容至50mL,过0.22μm水系滤膜后液相分析。

液相条件:4.6mm×250mm×5μm C18色谱柱(美国Agilent公司);DAD检测器;流动相为0.02mol/L磷酸二氢钾:0.02mol/L磷酸氢二钾=1:1(调至pH 6.0),等度洗脱;进样量:10μL;流速:1.0mL/min;柱温:25℃;波长:254nm。

$$\text{TAV} = \frac{C}{T} \quad (4)$$

式中:TAV表示呈味物质滋味活性; C 表示样品中某呈味核苷酸含量,mg/100g; T 表示该核苷酸呈味阈值,mg/100g。

当TAV<1时,表明该呈味物质对整体滋味贡献不大;当TAV>1时,表明该呈味物质对整体滋味有重要贡献,且其值越大,贡献越大^[23]。

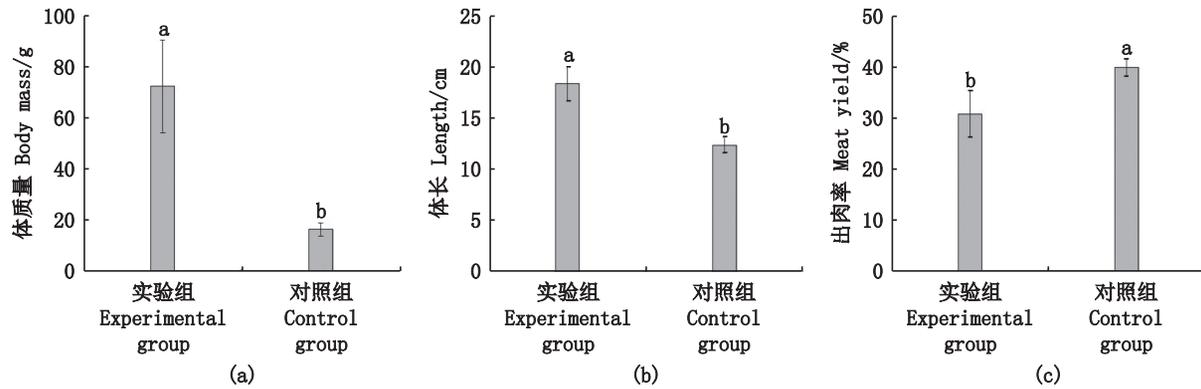
1.3 数据分析

采用SPSS 22.0软件对数据进行统计分析,数值以平均值±标准差表示,显著性水平设为0.05, $P<0.05$ 为差异显著。

2 结果与讨论

2.1 规格特征

实验组体质量和体长分别为(72.30±18.18) g 和(18.37±1.69) cm,远高于对照组的(17.34±2.60) g 和(12.36±0.73) cm,差异显著($P<0.05$)。比较出肉率可以发现,实验组的出肉率为(30.79±4.61)%,显著低于对照组的(39.89±1.72)%。见图1。

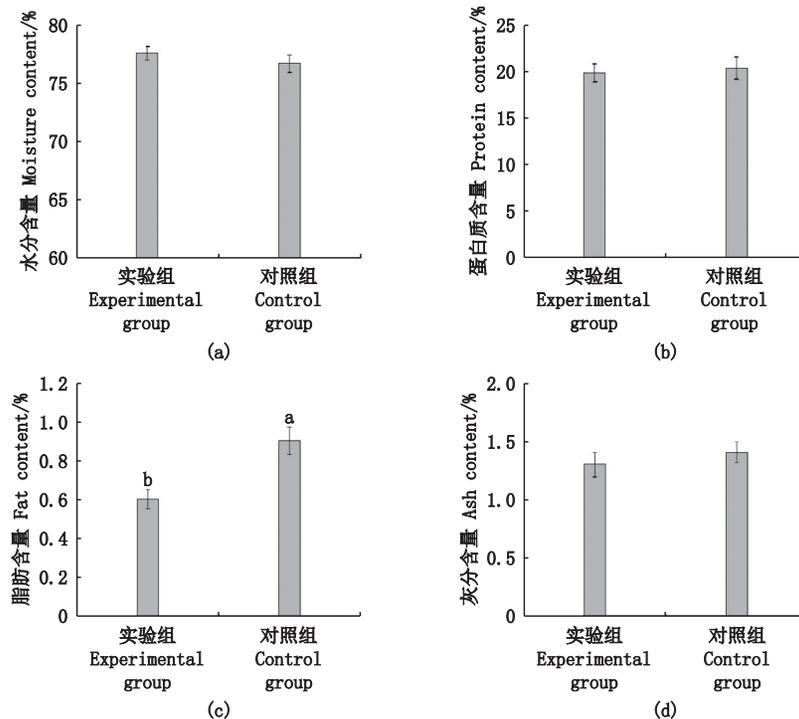


不同字母表示显著性差异($P<0.05$)。

Different letters represent significant difference ($P<0.05$).

图1 不同养殖模式下罗氏沼虾规格差异

Fig. 1 Specification differences of *M. rosenbergii* under different culture modes



不同字母表示显著性差异($P<0.05$)。

Different letters represent significant difference ($P<0.05$).

图2 不同养殖模式下罗氏沼虾一般化学组成含量

Fig. 2 Proximate composition content of *M. rosenbergii* under different culture modes

2.3 矿物质元素

比较不同养殖模式下虾肉矿物质常量元素含量(湿基)差异发现,仅钙(Ca)、镁(Mg)和磷(P)有显著差异,其他均无显著差异。实验组虾肉中的Ca、Mg和P含量分别为(27.61±3.62) mg/100 g、(33.81±2.01) mg/100 g和(249.13±12.23) mg/100 g,均显著高于对照组的(17.62±2.16) mg/100 g、(28.13±1.07) mg/100 g和(216.73±11.03) mg/100 g。而比较微量元素发现,仅铜(Cu)含量差异显著,实验组虾肉中Cu含量为(2.22±0.14) mg/100 g,显著高于对照组的(1.62±0.15) mg/100 g。

表1 不同养殖模式下罗氏沼虾矿物质元素含量
Tab. 1 Mineral content of *M. rosenbergii* under different culture modes

矿物质元素 Mineral content	实验组 Experimental group	对照组 Control group
钾 K	266.11±13.12	264.02±12.63
钙 Ca	27.61±3.62 ^a	17.62±2.16 ^b
钠 Na	65.46±4.61	67.33±3.16
镁 Mg	33.81±2.01 ^a	28.13±1.07 ^b
铁 Fe	1.17±0.12	1.01±0.06
铜 Cu	2.22±0.14 ^a	1.62±0.15 ^b
锌 Zn	1.43±0.11	1.46±0.10
磷 P	249.13±12.23 ^a	216.73±11.03 ^b

注:不同字母表示显著性差异($P<0.05$)。

Notes: Different letters represent significant difference ($P<0.05$).

2.4 脂肪酸含量

罗氏沼虾肉脂肪含量低,但其脂肪酸种类丰富,不同养殖模式下虾肉共检测出15种脂肪酸(湿基),其中饱和脂肪酸(Saturated fatty acid, SFA)5种、单不饱和脂肪酸(Monounsaturated fatty acid, MUFA)4种、多不饱和脂肪酸(Polyunsaturated fatty acid, PUFA)6种(表2)。从脂肪酸组成看,两种模式的虾肉的SFA、MUFA和PUFA总体含量差异不显著,且均为PUFA>SFA>MUFA。对照组和实验组虾肉脂肪酸含量最高的均为棕榈酸(C16:0),其次为油酸(C18:1n-9)和亚油酸(C18:2n-6)。两种模式虾肉脂肪酸中差异显著的分别为SFA中的花生酸(C20:0)和二十二碳酸(C22:0),MUFA中的二十碳一烯酸(C20:1n-11)以及PUFA中的花生四烯酸(C20:4n-6)和EPA(C20:5n-3)。

EPA和DHA是消费者最为关注的多不饱和脂肪酸,具有优秀的保健功能,被誉为人体必需脂肪

酸^[24]。实验组虾肉中的EPA和DHA含量分别为(13.64±0.71)%和(6.17±0.62)%,对照组虾肉中的EPA和DHA含量分别为(15.59±0.66)%和(5.34±0.64)%,该结果与高强等^[25]对罗氏沼虾的研究结果相近。实验组虾肉中的EPA含量低于对照组,DHA含量差异不显著。由于罗氏沼虾虾肉脂肪含量较低,故混养虾肉EPA含量的下降对虾肉脂肪酸影响较小。

表2 不同养殖模式下罗氏沼虾脂肪酸含量
Tab. 2 Fatty acid content of *M. rosenbergii* under different culture modes %

脂肪酸 Fatty acid	实验组 Experimental group	对照组 Control group
C14:0	0.43±0.10	0.53±0.09
C16:0	21.45±1.60	21.96±1.29
C18:0	6.26±0.44	6.63±0.63
C20:0	1.85±0.17 ^a	1.31±0.11 ^b
C22:0	0.43±0.07 ^b	0.80±0.09 ^a
∑SFA	30.42±1.71	31.24±1.68
C16:1n-9	2.99±0.53	2.24±0.32
C18:1n-9	20.65±2.01	21.19±2.13
C20:1n-11	1.74±0.16 ^a	1.34±0.14 ^b
C22:1n-9	0.49±0.10	0.37±0.06
∑MUFA	25.86±2.32	25.14±2.01
C18:2n-6	17.08±1.70	17.14±1.37
C18:3n-3	1.31±0.33	1.85±0.54
C20:2n-6	0.67±0.17	0.69±0.11
C20:4n-6	4.86±0.36 ^a	3.00±0.21 ^b
C20:5n-3(EPA)	13.64±0.71 ^b	15.59±0.66 ^a
C22:6n-3(DHA)	6.17±0.62	5.34±0.64
∑PUFA	43.72±2.81	43.62±2.01

注:不同字母表示显著性差异($P<0.05$)。

Notes: Different letters represent significant difference ($P<0.05$).

2.5 氨基酸

两种养殖模式下虾肉共检出氨基酸18种(8种必需氨基酸,2种半必需氨基酸和8种非必需氨基酸,湿基)。其中实验组虾肉中的蛋氨酸含量为(0.36±0.02) g/100 g,高于对照组虾肉中的(0.28±0.01) g/100 g,而色氨酸含量为(0.15±0.01) g/100 g,低于对照组的(0.18±0.01) g/100 g,差异显著。其他氨基酸均含量差异不显著。实验组虾肉中的氨基酸总量和必需氨基酸含量分别为(14.61±0.36) g/100 g和(5.48±0.17) g/100 g,而对照组虾肉中的氨基酸总量和必需氨基酸含量分别为(14.85±0.32) g/100 g和(5.52±0.15) g/100 g,差异均不显著。表明两种养殖模式下罗氏沼虾的氨基酸含量差异不大。见表3。

表3 不同养殖模式下罗氏沼虾氨基酸含量
Tab.3 Amino acid content of *M. rosenbergii* under different culture modes g/100 g

氨基酸 Amino acid	实验组 Experimental group	对照组 Control group
天冬氨酸 Asp	1.56±0.05	1.63±0.04
苏氨酸* Thr	0.57±0.02	0.59±0.03
丝氨酸 Ser	0.58±0.04	0.62±0.05
谷氨酸 Glu	2.27±0.12	2.36±0.09
甘氨酸 Gly	0.78±0.05	0.85±0.06
丙氨酸 Ala	0.93±0.03	0.92±0.03
胱氨酸 Cys	0.03±0.01	0.02±0.01
缬氨酸* Val	0.71±0.04	0.72±0.03
蛋氨酸* Met	0.36±0.02 ^a	0.28±0.01 ^b
异亮氨酸* Ile	0.67±0.03	0.67±0.02
亮氨酸* Leu	1.15±0.07	0.118±0.09
酪氨酸 Tyr	0.50±0.03	0.49±0.02
苯丙氨酸* Phe	0.59±0.06	0.61±0.04
赖氨酸* Lys	1.28±0.07	1.29±0.10
组氨酸** His	0.51±0.04	0.48±0.03
精氨酸** Arg	1.46±0.14	1.47±0.13
脯氨酸 Pro	0.51±0.03	0.49±0.03
色氨酸* Trp	0.15±0.01 ^b	0.18±0.01 ^a
氨基酸总量 TAA	14.61±0.36	14.85±0.32
必需氨基酸 EAA	5.48±0.17	5.52±0.15
半必需氨基酸 HEAA	1.97±0.13	1.95±0.10
EAA/TAA	37.51%	37.17%

注:* 为必需氨基酸,** 为半必需氨基酸。

Notes: * represents essential amino acid and ** represents semi essential amino acid.

氨基酸营养价值取决于必需氨基酸的种类、数量和比例^[26]。本研究采用鸡蛋蛋白(CS)和FAO/WHO(AAS)标准模式对两种养殖模式下罗氏沼虾虾肉的水解氨基酸进行评价。两种评价模式下罗氏沼虾的第一限制氨基酸均为蛋氨酸+胱氨酸。SPINDLE等^[27]发现常规酸水解对含硫氨基酸破坏较大,本研究采用酸水解法可能会造成两种沼虾的测定蛋氨酸含量较低,从而使第一限制氨基酸变成蛋氨酸+胱氨酸。CS标准下,第二限制氨基酸为色氨酸。实验组虾肉的EAAI评分为79.16,略高于对照组的77.99,这表明混养的罗氏沼虾氨基酸营养价值总体略有提升。在AAS标准下,两种养殖模式下罗氏沼虾的第二限制氨基酸为苏氨酸。两种标准下,罗氏沼虾虾肉氨基酸评分最高的均为赖氨酸,表明罗氏沼虾虾肉是优秀的赖氨酸来源。见表4。

表4 不同养殖模式下罗氏沼虾氨基酸评分
Tab.4 Amino acid CS/AAS scores of *M. rosenbergii* under different culture modes

氨基酸 Amino acid	CS		AAS	
	实验组 Experimental group	对照组 Control group	实验组 Experimental group	对照组 Control group
异亮氨酸 Ile	86.59	85.19	114.65	107.10
亮氨酸 Leu	92.13	93.00	111.81	121.53
赖氨酸 Lys	124.17	123.11	161.05	166.75
蛋氨酸+胱氨酸 Met+Cys	43.22*	32.71*	75.84*	57.39*
苯丙氨酸+酪氨酸 Phe+Tyr	82.53	81.94	122.71	121.83
苏氨酸 Thr	97.54	99.33	83.51**	85.04**
缬氨酸 Val	74.08	73.91	97.98	97.75
色氨酸 Trp	60.39**	71.30**	101.85	120.25
EAAI	79.16	77.99	-	-

注:* 为第一限制氨基酸,** 为第二限制氨基酸。

Notes: * represents 1st restricted amino acid and ** represents 2nd restricted amino acid.

2.6 质构特征

不同养殖模式下罗氏沼虾虾肉质构特征除硬度外其他均无显著差异(表5)。实验组虾肉其肉质硬度为(91.50±13.12)g,显著高于对照组的(62.40±9.63)g。硬度一定程度上反映了水产品肉质的紧致程度^[28],实验组罗氏沼虾的硬度高于对照组,表明混养的罗氏沼虾虾肉肉质更加紧致。

表5 不同养殖模式下罗氏沼虾质构特征
Tab.5 Texture feature of *M. rosenbergii* under different culture modes

质构特征 Texture feature	实验组 Experimental group	对照组 Control group
硬度 Hardness/g	91.50±13.12 ^a	62.40±9.63 ^b
内聚性 Cohesion	0.40±0.05	0.42±0.06
弹性 Elasticity/mm	1.22±4.61	1.28±0.18
胶着性 Gumminess/g	36.57±7.01	26.50±4.22
咀嚼性 Chewiness/mJ	0.44±0.09	0.33±0.05

注:不同字母表示显著性差异($P<0.05$)。

Notes: Different letters represent significant difference ($P<0.05$).

2.7 呈味核苷酸

呈味核苷酸是指对提供滋味贡献的核苷酸,主要为腺苷单磷酸(AMP)、次黄嘌呤核苷酸(IMP)、鸟苷单磷酸(GMP)和次黄嘌呤(Hx)^[29]。不同养殖模式下的虾肉AMP和IMP的TAV值均

大于1,表明对罗氏沼虾虾肉滋味有较大贡献的是IMP与AMP,且IMP贡献值远大于AMP贡献,而GMP和Hx由于其TVA和含量较小,故对虾肉滋味贡献不大。IMP具有强烈鲜味,与虾类肉质鲜美程度密切相关^[30]。AMP的滋味贡献与浓度有关,当其浓度在50~100 mg/100 g时,AMP仅具有甜味;当浓度高于100 mg/100 g时,其甜味特征减弱,

而呈现增强鲜味的协同作用^[30]。本实验中专养罗氏沼虾的AMP均处于50~100 mg/100 g,故AMP仅提供甜味。实验组罗氏沼虾的AMP和IMP含量分别为(86.96±1.87) g/100 g、(175.12±3.01) g/100 g,均显著高于对照组的(78.15±1.23) g/100 g和(162.90±2.67) g/100 g。故混养的罗氏沼虾其虾肉鲜味和甜味上均优于专养养殖,见表6。

表6 不同养殖模式下罗氏沼虾呈味核苷酸含量
Tab. 6 Tasty nucleotides content of *M. rosenbergii* under different culture modes

呈味核苷酸 Tasty nucleotides	阈值 Threshold	实验组 Experimental group		对照组 Control group	
		含量 Content/(mg/100 g)	TAV	含量 Content/(mg/100 g)	TAV
AMP	50	85.96±1.87 ^a	1.72	78.15±1.23 ^b	1.56
IMP	25	175.12±3.01 ^a	7.00	162.90±2.67 ^b	6.51
GMP	12.5	4.55±0.27	0.36	4.46±0.23	0.36
Hx	-	4.89±0.33 ^b	-	6.58±0.40 ^a	-
ΣH		270.52±4.02 ^a		252.06±2.91 ^b	

注:不同字母表示显著性差异($P<0.05$)。

Notes: Different letters represent significant difference ($P<0.05$).

3 讨论

随着生活水平的不断提高,消费者对选择的水产品品质要求不断上升,除了营养价值外,口感品质成为了当前最主要的产品发展方向。故当前水产养殖方向已从传统养殖迈入提质增效、养出高质量水产品的阶段。河蟹-罗氏沼虾混养作为新兴发展的生态养殖模式,在保证河蟹产量同时,产出了优质的大规格罗氏沼虾产品,深受江浙等地喜爱。本研究通过对混养和专养的罗氏沼虾营养成分和品质进行分析,科学评价了混养产出的罗氏沼虾优劣。

3.1 罗氏沼虾规格变化

在混养过程中,由于放养的罗氏沼虾密度较低,放养时间较长,且能够摄食残留的较普通虾料营养更丰富的河蟹饵料,摄食了更多饵料,生长迅速,故其规格均远高于专养组。出肉率有所降低可能是由于随着混养的罗氏沼虾生长,其甲壳和步足的重量增加幅度大于虾肉增加幅度。虽然混养的罗氏沼虾的出肉率有所下降,但由于市场价格主要受规格影响,故混养的罗氏沼虾市场价值仍显著提高。

3.2 罗氏沼虾营养价值变化

常规营养成分方面,混养的罗氏沼虾虾肉仅脂肪含量有所下降,这可能是由于其生长过程中

对脂肪消耗和摄食的饵料差异导致。分析矿物质元素变化,混养的虾肉Ca、Mg、P、Cu含量显著上升,这主要是由于在河蟹养殖过程中,会投放相应的投入品来助于河蟹蜕壳,致使混养池塘内水和底泥中的部分矿物质元素含量增加,从而造成虾肉相应矿物质含量增加;分析脂肪酸变化,混养的罗氏沼虾虾肉中EPA含量下降,这可能是由于罗氏沼虾在混养过程中,随着其不断生长消耗了虾肉中的EPA,且所有虾体均经过了繁殖期,而EPA又主要影响虾类繁殖^[31-32],造成虾肉中的EPA含量下降。但考虑到罗氏沼虾脂肪含量本身较少,故两种模式下罗氏沼虾虾肉脂肪酸营养价值差异不大。分析氨基酸变化混养的罗氏沼虾EAAI评分提升。这可能是由于在混养过程中摄食的饵料为河蟹残留饵料,其蛋白品质更好所致。综合分析,两种模式下罗氏沼虾虾肉的营养价值变化较小。

3.3 罗氏沼虾肉质品质变化

分析质构特征变化,混养的罗氏沼虾虾肉硬度显著提高,表现为虾肉紧致程度更好,更受消费者喜爱。这可能一方面是由于其形态规格较专养的虾体显著提高,另一方面可能是由于混养在河蟹塘内,放养密度下降,且存在河蟹扰动,致使罗氏沼虾运动强度增加所致。分析呈味核苷酸变化,经过混养的虾肉中AMP和IMP含量显著

提高,而Hx显著下降,从而造成虾肉鲜甜味上升。有研究^[33]表明呈味核苷酸降解途径和产生的关联物与其生长环境有关,而河蟹混养池塘内水草较多,水质环境较好,这可能导致混养的虾肉更加鲜甜。

综上所述,河蟹-罗氏沼虾混养产出的虾体,规格显著增加,营养成分变化不大,虾肉品质显著提高,符合消费者品位,具有优秀的市场前景。

参考文献:

- [1] HURWOOD D A, DAMMANNAGODA S, KROSCHE M N, et al. Impacts of climatic factors on evolution of molecular diversity and the natural distribution of wild stocks of the giant freshwater prawn (*Macrobrachium rosenbergii*) [J]. *Freshwater Science*, 2014, 33(1): 217-231.
- [2] 崔光艳,姜增华,王假真,等. 2种养殖模式下罗氏沼虾肌肉营养成分的比较[J]. *江苏农业科学*, 2018, 46(9): 212-214.
CUI G Y, JIANG Z H, WANG J Z, et al. Comparison of muscle nutrient components of *Macrobrachium rosenbergii* under two cultured modes [J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2018, 46(9): 212-214.
- [3] FU H T, JIANG S F, XIONG Y W. Current status and prospects of farming the giant river prawn (*Macrobrachium rosenbergii*) and the oriental river prawn (*Macrobrachium nipponense*) in China[J]. *Aquaculture Research*, 2012, 43(7): 993-998.
- [4] 农业农村部渔业渔政管理局,全国水产技术推广总站,中国水产学会. 2020中国渔业统计年鉴[M]. 北京:中国农业出版社, 2020: 17-37.
Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China, National Fisheries Technology Extension Center, China Society of Fisheries. 2020 China fishery statistical yearbook [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2020: 17-37.
- [5] FAO. FishStatJ-Software for fishery and aquaculture statistics time series[CP/OL]. 2020. <http://www.fao.org/fishery/statistics/software/fishstatj/en>.
- [6] 李清清,蔡子民,陈建,等. 罗氏沼虾雌虾规格对生殖性能和胚胎质量的影响[J]. *仲恺农业工程学院学报*, 2022, 35(2): 15-19.
LI Q Q, CAI Z M, CHEN J, et al. Effects of female size of *Macrobrachium rosenbergii* on reproductive performance and embryo quality [J]. *Journal of Zhongkai University of Agriculture and Engineering*, 2022, 35(2): 15-19.
- [7] PEIXOTO S, CAVALLI R O, WASIELESKY W, et al. Effects of age and size on reproductive performance of captive *Farfantepenaeus paulensis* broodstock [J]. *Aquaculture*, 2004, 238(1/4): 173-182.
- [8] 黄光华,雷燕,马华威,等. 罗氏沼虾不同地理种群亲本形态及繁育性能比较[J]. *水产科技情报*, 2019, 46(4): 187-191.
HUANG G H, LEI Y, MA H W, et al. Comparison of parental morphology and reproductive performance of different geographical populations of *Macrobrachium rosenbergii* [J]. *Fisheries Science & Technology Information*, 2019, 46(4): 187-191.
- [9] 徐洋,沈锦玉,姚嘉赟,等. 罗氏沼虾主要病害研究概况[J]. *生物学杂志*, 2012, 29(6): 74-76.
XU Y, SHEN J Y, YAO J Y, et al. Main diseases of the giant fresh water prawn *Macrobrachium rosenbergii*: a review[J]. *Journal of Biology*, 2012, 29(6): 74-76.
- [10] PILLAI D, BONAMI J R. A review on the diseases of freshwater prawns with special focus on white tail disease of *Macrobrachium rosenbergii* [J]. *Aquaculture Research*, 2012, 43(7): 1029-1037.
- [11] 李旭光,缪艳阳,伊纪峰,等. 罗氏沼虾养殖尾水净化减排关键技术[J]. *水产养殖*, 2022, 43(8): 62-64.
LI X G, MIU Y Y, YI J F, et al. Key technologies for purifying and reducing emissions in the tail water of *Macrobrachium rosenbergii* aquaculture [J]. *Journal of Aquaculture*, 2022, 43(8): 62-64.
- [12] 徐荣,朱凌宇,王守红,等. 基于‘罗氏沼虾’养殖尾水灌溉条件下稻田养分利用效能提升技术研究[J]. *中国农学通报*, 2020, 36(23): 142-150.
XU R, ZHU L Y, WANG S H, et al. The enhancement of nutrient utility efficiency in paddy field based on tail water irrigation of ‘*Macrobrachium rosenbergii*’ aquaculture [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2020, 36(23): 142-150.
- [13] 徐培品,谢俊刚,翁如柏. 罗氏沼虾与中华鳖生态混养技术[J]. *海洋与渔业*, 2017(4): 51-53.
XU P P, XIE J G, WENG R B. Ecological mixed culture technology of *Macrobrachium rosenbergii* and *Pelodiscus sinensis*[J]. *Ocean and Fishery*, 2017(4): 51-53.
- [14] 汤宝贵,李铭锋,张毅,等. 罗氏沼虾与罗非鱼混养技术[J]. *海洋与渔业*, 2020(4): 57.
TANG B G, LI M F, ZHANG Y, et al. The technique of mixed cultivation of *Macrobrachium rosenbergii* and *Tilapia mossambica*[J]. *Ocean and Fishery*, 2020(4): 57.
- [15] 章秋虎,卜利源,韩钊,等. 南美白对虾与罗氏沼虾生态混养技术[J]. *中国水产*, 2018(8): 97-100.
ZHANG Q H, BU L Y, HAN K, et al. Eco-efficient polyculture techniques of *Penaeus vannamei* and *Macrobrachium rosenbergii* [J]. *Chinese Fisheries*, 2018(8): 97-100.
- [16] 房伟平,范慧慧,沈伟棋,等. 河蟹塘套养大规模罗氏沼虾模式分析[J]. *科学养鱼*, 2021(8): 34-35.
FANG W P, FAN H H, SHEN W Q, et al. Analysis of the model of intercropping large scale *Macrobrachium*

- rosenbergii* with *Eriocheir sinensis* [J]. Scientific Fish Farming, 2021(8): 34-35.
- [17] 周聃, 刘梅, 房伟平, 等. 中华绒螯蟹-日本沼虾池塘套养大规模罗氏沼虾模式氮磷收支及养殖效果研究[J]. 淡水渔业, 2022, 52(5): 76-82.
- ZHOU D, LIU M, FANG W P, et al. Study on nitrogen and phosphorus budget and aquaculture effect of large-scale *Macrobrachium rosenbergii* in *Eriocheir sinensis*-Japan *M. nipponense* pond [J]. Freshwater Fisheries, 2022, 52(5): 76-82.
- [18] FOLCH J, LEES M, SLOANE STANLEY G H. A simple method for the isolation and purification of total lipides from animal tissues [J]. Journal of Biological Chemistry, 1957, 226(1): 497-509.
- [19] 刘玉群, 胡坚. 荧光分光光度法快速测定食品和饲料蛋白质中的色氨酸[J]. 营养学报, 1986, 8(2): 171-177.
- LIU Y Q, HU J. A rapid method for determination of tryptophan in foods and feedstuffs with Fluorimetric method [J]. Acta Nutrimenta Sinica, 1986, 8(2): 171-177.
- [20] CHENG X F, XIANG J, DENG S M, et al. Comparative nutritional analysis on fish meal and meat and bone meal of harmless treatment of dead pig carcass [J]. Agricultural Biotechnology, 2020, 9(6): 36-39.
- [21] 崔雁娜, 周聃, 郝贵杰, 等. 罗氏沼虾不同生长阶段肉质的变化[J]. 浙江农业科学, 2019, 60(10): 1884-1886.
- CUI Y N, ZHOU D, HAO G J, et al. Changes in meat quality of *Macrobrachium rosenbergii* at different growth stages [J]. Journal of Zhejiang Agricultural Sciences, 2019, 60(10): 1884-1886.
- [22] 汤水粉, 钱卓真, 罗方方, 等. 高效液相色谱法测定水产品中ATP关联化合物[J]. 渔业科学进展, 2014, 35(2): 110-116.
- TANG S F, QIAN Z Z, LUO F F, et al. Determination of ATP-related compounds in aquatic products by high performance liquid chromatography [J]. Progress in Fishery Sciences, 2014, 35(2): 110-116.
- [23] KATO H, RHUE M R, NISHIMURA T. Role of free amino acids and peptides in food taste [M]//TERANISHI R, BUTTERY R G, SHAHIDI F. Flavor Chemistry, Trends and Developments. Washington: American Chemical Society, 1989: 158-174.
- [24] 张德勇, 许晓路, 陆胤. 几种深海动物内脏油脂提取及DHA、EPA含量分析[J]. 中国粮油学报, 2020, 35(10): 131-135.
- ZHANG D Y, XU X L, LU Y. Oil extraction from the viscera of some marine animals and DHA/EPA quantification [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2020, 35(10): 131-135.
- [25] 高强, 杨国梁, 王军毅, 等. 罗氏沼虾"南太湖2号"选育群体肌肉营养品质分析[J]. 水产学报, 2011, 35(1): 116-123.
- GAO Q, YANG G L, WANG J Y, et al. Analysis on muscle nutritive quality of a selected strain of *Macrobrachium rosenbergii*, "South Tailake No. 2" [J]. Journal of Fisheries of China, 2011, 35(1): 116-123.
- [26] BAKER D H, BLITENTHAL R C, BOEBEL K P, et al. Protein-amino acid evaluation of steam-processed feather meal [J]. Poultry Science, 1981, 60(8): 1865-1872.
- [27] 徐坤华, 赵巧灵, 廖明涛, 等. 金枪鱼质构特性与感官评价相关性研究[J]. 中国食品学报, 2014, 14(12): 190-197.
- XU K H, ZHAO Q L, LIAO M T, et al. Research of relationship between texture and sensory evaluation of Tuna [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2014, 14(12): 190-197.
- [28] SPINDLER M, STADLER R, TANNER H. Amino acid analysis of feedstuffs: determination of methionine and cystine after oxidation with performic acid and hydrolysis [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1984, 32(6): 1366-1371
- [29] 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.
- [30] 戚晓玉, 李燕, 周培根. 日本沼虾冰藏期间ATP降解产物变化及鲜度评价[J]. 水产学报, 2001, 25(5): 482-484.
- QI X Y, LI Y, ZHOU P G. Changes in content of ATP related compounds in the muscle of *Macrobrachium nipponense* during ice storage and evaluation of the freshness [J]. Journal of Fisheries of China, 2001, 25(5): 482-484.
- [31] FUKU S, UEDA Y. Interactions between umami and other flavor characteristics [J]. Trends in Food Science & Technology, 1996, 7(12): 407-411.
- [32] 刘小飞. 不同脂肪源对克氏原螯虾生长和繁殖性能的影响[D]. 上海: 上海海洋大学, 2020.
- LIU X F. Effects of different fat sources on the growth and reproductive performance of *Procambarus clarkii* [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2020.
- [33] 杨文鸽, 徐大伦, 孙翠玲, 等. 缙蛭冰藏保活期间呈味物质的变化[J]. 中国食品学报, 2009, 9(3): 181-186.
- YANG W G, XU D L, SUN C L, et al. Changes of taste components in *Sinonovacula constricta* during iced storage—keeping alive [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2009, 9(3): 181-186.

Comparative study on nutritional quality of *Macrobrachium rosenbergii* under mixed culture and exclusive culture conditions

ZHOU Dan¹, LIU Mei¹, FANG Weiping², NI Meng¹, ZOU Songbao¹, YUAN Julin¹

(1. Key Laboratory of Healthy Freshwater Aquaculture, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Key Laboratory of Aquatic Product Quality Improvement and Processing Technology of Huzhou, Zhejiang Institute of Freshwater Fisheries, Huzhou 313001, Zhejiang, China; 2. Changxing Aquatic and Agricultural Machinery Center, Changxing 313100, Zhejiang, China)

Abstract: To compare and analyze the nutritional value and quality changes of the meat of *M. rosenbergii* produced by the *Eriocheir sinensis* and *M. rosenbergii* mixed culture mode and the traditional *M. rosenbergii* exclusive culture mode, the body mass, length and meat yield were measured to compare the differences in body size of *M. rosenbergii* under two culture modes; moisture, protein, ash, fat, minerals, fatty acids and amino acids were measured to compare the nutritional value; and texture feature and tasty nucleotides were measured to compare the changes of shrimp meat quality. Compared with the exclusively cultured *M. rosenbergii*, the specification of *M. rosenbergii* in the mixed culture mode increased significantly, but its meat yield decreased. The fat content of shrimp meat in mixed culture decreased from (0.91±0.07)% to (0.59±0.05)%, with a significant difference; The contents of calcium, magnesium phosphorous and cuprum in shrimp meat increased; the EPA content in fatty acids decreased from (15.59±0.66)% to (13.64±0.71)%; the EAAI score of amino acids increased slightly; the nutritional value of *M. rosenbergii* changed slightly; the hardness of shrimp meat in mixed culture increased significantly; and the content of AMP and IMP in tasty nucleotides increased from (78.15±1.23) g/100 g and (162.90±2.67) g/100 g to (86.96±1.87) g/100 g and (175.12±3.01) g/100 g. The quality of shrimp meat in mixed culture was significantly improved. The specification of *M. rosenbergii* produced by the *Eriocheir sinensis* and *M. rosenbergii* mixed culture mode significantly increased, with little change in nutritional composition, and the quality of shrimp meat significantly improved, which is in line with consumer taste and has excellent market prospects.

Key words: *Eriocheir sinensis* and *M. rosenbergii* mixed culture mode; *M. rosenbergii* exclusive culture; *Macrobrachium rosenbergii*; nutritional quality; flavor nucleotides