

网络出版时间:2021-03-11 20:27 DOI:10.13207/j.cnki.jnwafu.2021.09.004
网络出版地址:https://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20210311.1453.005.html

3 种养殖模式下澳洲淡水龙虾肌肉脂肪酸品质比较

罗 钦

(福建省农业科学院 农业质量标准与检测技术研究所/福建省农产品质量安全重点实验室,福建 福州 350003)

[摘 要] **【目的】**研究 3 种养殖模式下澳洲淡水龙虾肌肉中脂肪酸组成的差异,对脂肪酸品质进行综合评价,为澳洲淡水龙虾养殖模式筛选提供参考依据。**【方法】**采用 GB 5009.168—2016 标准,测定稻田、池塘和水泥池等 3 种养殖模式下澳洲淡水龙虾成虾肌肉中脂肪酸的组成及其含量,并对脂肪酸数据进行主成分分析及评价,筛选最佳养殖模式。**【结果】**3 种养殖模式下的澳洲淡水龙虾肌肉中均含有 18 种脂肪酸,且均以油酸含量最高,亚油酸次之;3 种养殖模式下澳洲淡水龙虾肌肉中饱和脂肪酸、(n-3)系多不饱和脂肪酸总量均以稻田养殖模式最高,而不饱和脂肪酸、多不饱和脂肪酸和高不饱和脂肪酸总量均以池塘养殖模式最高,单不饱和脂肪酸、(n-6)系多不饱和脂肪酸、(n-9)系多不饱和脂肪酸和必需脂肪酸总量均以水泥池养殖模式最高。主成分分析显示,肉豆蔻酸、花生酸、棕榈油酸、二十碳三烯酸和 DHA 等 5 种脂肪酸的载荷数均大于 0.950,是澳洲淡水龙虾的主要特征脂肪酸,其对成虾脂肪酸品质的影响最大;由主成分表达函数式和贡献率,构建了澳洲淡水龙虾成虾脂肪酸品质综合评价函数式,计算得到 3 种养殖模式下成虾脂肪酸品质综合评价分值,表现为稻田养殖模式(4.116)>水泥池养殖模式(-1.851)>池塘养殖模式(-2.265)。**【结论】**稻田养殖模式下的澳洲淡水龙虾成虾的脂肪酸品质表现最优,为最佳养殖模式。

[关键词] 澳洲淡水龙虾;养殖模式;脂肪酸品质;水产养殖
[中图分类号] S966.12⁺3.3 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1671-9387(2021)09-0022-08

Comparison of fatty acid quality in muscle of *Cherax quadricarinatus* in three breeding modes

LUO Qin

(Institute of Agricultural Quality Standards and Testing Technology Research/Fujian Key Laboratory of Agro-products Quality & Safety,Fuzhou,Fujian 350003,China)

Abstract: **【Objective】**This study investigated differences of fatty acid composition in muscles of *Cherax quadricarinatus* in three breeding modes and quality of fatty acid was comprehensively evaluated to provide reference for screening *C. quadricarinatus* breeding modes. **【Method】**National standard of GB 5009.168—2016 was used to determine composition and contents of fatty acids in muscles of adult *C. quadricarinatus* breeding in paddy field, pond and cement pond. Principal component analysis and evaluation of fatty acid data were carried out to screen best breeding mode. **【Result】**The muscles of *C. quadricarinatus* in 3 breeding modes all contained 18 kinds of fatty acids,and oleic acid had the highest content followed by linoleic acid. Total amounts of saturated fatty acids and (n-3) polyunsaturated fatty acids of *C. quadricarinatus* muscle in paddy field pond culture were the highest. Total amounts of unsaturated fatty acids, polyunsaturated fatty acids and high unsaturated fatty acids were the highest in pond. Total

[收稿日期] 2020-08-10
[基金项目] 福建省科技厅省属公益类科研专项(2019R1022-7);福建省农业科学院创新团队项目(STIT2017-1-12);福建省农业科学院科技服务团队项目(KJFW19)
[作者简介] 罗 钦(1979—),男,福建连城人,副研究员,主要从事农产品质量安全风险评估及水产健康养殖研究。
E-mail:33044390@qq.com

amounts of monounsaturated fatty acids, (n-6) polyunsaturated fatty acids, (n-9) polyunsaturated fatty acids and essential fatty acids were the highest in concrete pond. Principal component analysis showed that load weights of nutmeg acid, peanut acid, palmitic acid, eicosadienoic acid and DHA were over 0.950, and they were main characteristic fatty acids of *C. quadricarinatus* with the greatest influence on fatty acid quality of adult shrimp. The comprehensive evaluation function was constructed by expression function of principal components and contribution rate. Comprehensive evaluation showed that fatty acid quality of the three kinds of shrimp was in the order of paddy field culture mode (4.116) > concrete pond culture mode (-1.851) > pond culture mode (-2.265). 【Conclusion】 Paddy field culture mode was the best culture mode with best fatty acid quality of *C. quadricarinatus*.

Key words: *Cherax quadricarinatus*; breeding mode; fatty acid quality; aquaculture

澳洲淡水龙虾(*Cherax quadricarinatus*), 学名四脊光壳南螯虾, 又名红螯螯虾^[1]、红螯光壳螯虾^[2], 原产于澳大利亚北部热带和亚热带水域中, 其个体大、出肉率高、肉嫩味甜, 并且富含亚油酸和二十碳五烯酸(EPA)等多不饱和脂肪酸, 深受消费者喜爱, 是目前世界上较名贵的淡水经济虾种之一。20 世纪 90 年代被引入我国并试养成功, 目前国内主要采用池塘^[3]、水泥池^[4]和稻田^[5]等模式进行养殖。有研究指出, 不同的养殖模式可以显著影响水产动物肌肉的营养成分和品质^[6-7], 其中脂肪酸是衡量动物肌肉营养品质的重要指标之一。随着我国人民生活水平日益提高和生活品质不断改善, 消费者对虾产品的品质要求更高, 对其养殖环境也更加关注, 但不同环境对虾类养殖效果如脂肪酸品质影响的研究滞后于生产实践。因此, 对不同养殖模式下澳洲淡水龙虾肌肉中的脂肪酸组成及品质进行研究和评价具有重要的实际意义。

目前, 对于澳洲淡水龙虾肌肉中脂肪酸组成方面的研究还较为少见。王广军等^[1]的研究表明, 池塘养殖的澳洲淡水龙虾肌肉中多不饱和脂肪酸含量较稻田和藕田养殖的克氏原螯虾低, 与稻田养殖的克氏原螯虾及池塘养殖的澳洲淡水龙虾相比, 藕田养殖的克氏原螯虾肌肉中的脂肪酸种类更多、多不饱和脂肪酸含量更高。不同脂肪源对澳洲淡水龙虾肌肉中脂肪酸组成及其含量有显著影响, 前人研究表明, 澳洲淡水龙虾肌肉中棕榈酸、油酸和亚油酸的含量均较高, 其总含量超过 50.00%^[2,8-9], 但截至目前尚未见有关不同养殖模式对澳洲淡水龙虾肌肉脂肪酸组成及品质影响的研究报道。主成分分析是采用几个主成分包含的信息量代替原始多个变量的全部信息量, 以达到降维目的的一种分析方法^[10], 其优点在于可消除评价指标间的相关影响, 能够保证评价的客观性^[11-14], 近年来被广泛应用于动植物的

营养评价研究。通常情况下, 参与判断指标越多, 其评价结果的可靠性也越强, 但尚未见采用全部脂肪酸指标对澳洲淡水龙虾品质进行评价的研究报道。为此, 本研究采用气相色谱法, 在同一养殖场中测定池塘、水泥池和稻田等 3 种养殖模式下澳洲淡水龙虾肌肉中的脂肪酸组成和含量, 并运用主成分分析法对其品质进行综合评价, 以期为澳洲淡水龙虾适宜养殖模式的筛选提供基础数据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

澳洲淡水龙虾成虾样品由福建省莆田市某养殖场提供, 该养殖场分别采用池塘、水泥池和稻田等 3 种模式养殖澳洲淡水龙虾, 其投苗时间、投苗密度、投喂饵料均按统一标准进行。养殖期间投喂粗蛋白质含量为 38%~43%和粗脂肪含量为 6%~10%的相应阶段南美白对虾配合饲料, 养殖 6 个月后, 随机在各养殖模式下选取 3 kg 体质健壮、体表完好无伤的成虾作为样品, 其中池塘、水泥池和稻田养殖的澳洲淡水龙虾成虾的初始体质量分别为 (82.00 ± 9.22)、(79.83 ± 6.01) 和 (84.17 ± 11.57) g/尾。

1.2 试验方法

将 3 种模式养殖的成虾样品分别剥除头、肠、壳、脚和尾, 得到 3 份肌肉样品, 再将肌肉样品分别各自粉碎制成 3 个混合试验样品。按照 GB 5009.168—2016^[15]的方法测定脂肪酸组成和含量, 每份混合试验样品重复测定 3 次, 剩余混合试验样品置于 -18℃ 冰箱中保存。

1.3 数据统计与分析

采用 Excel 2007 对原始数据进行处理, 试验数据以“平均值 ± 标准差 (mean ± SD)”表示; 用 SPSS 17.0 进行脂肪酸数据的差异显著性分析和主成分分析。用陈豫等^[16]方法对脂肪酸含量进行标准化

处理,采用罗钦等^[17-18]方法进行主成分评价。

2 结果与分析

2.1 3 种养殖模式下澳洲淡水龙虾成虾肌肉的脂肪酸组成

从表 1 可知,3 种养殖模式下澳洲淡水龙虾成虾肌肉中的脂肪酸主要有 18 种,部分脂肪酸含量间存在显著差异。且脂肪酸含量均以油酸最高,亚油酸次之。肉豆蔻酸、棕榈酸、硬脂酸、花生酸、花生一烯酸和二十碳三烯酸含量的排序均为稻田养殖模式>水泥池养殖模式>池塘养殖模式;而十五碳酸、十七碳酸、棕榈油酸、十七碳一烯酸、EPA 和 DHA 含量的排序为稻田养殖模式>池塘养殖模式>水泥

池养殖模式,山嵛酸、二十碳二烯酸和花生四烯酸含量的排序为池塘养殖模式>水泥池养殖模式>稻田养殖模式,亚油酸和亚麻酸含量排序为水泥池养殖模式>稻田养殖模式>池塘养殖模式,油酸含量排序为水泥池养殖模式>池塘养殖模式>稻田养殖模式,其中稻田养殖模式下澳洲淡水龙虾的 EPA 和 DHA 含量均最高。

成虾的饱和脂肪酸和(n-3)系多不饱和脂肪酸总量均以稻田养殖模式最高;不饱和脂肪酸、多不饱和脂肪酸和高不饱和脂肪酸总量均以池塘养殖模式最高;单不饱和脂肪酸、(n-6)系多不饱和脂肪酸、(n-9)系多不饱和脂肪酸和必需脂肪酸总量均以水泥池养殖模式最高。

表 1 3 种养殖模式下澳洲淡水龙虾成虾肌肉中的脂肪酸组成及含量

Table 1 Composition and content of fatty acids in muscle of *Cherax quadricarinatus* in three breeding modes

指标 Index	池塘 Pond	水泥池 Concrete pond	稻田 Paddy field
肉豆蔻酸(C _{14:0})/% Nutmeg acid	0.48±0.04 b	0.53±0.04 ab	0.64±0.07 a
十五碳酸(C _{15:0})/% Fifteen carbonic acid	0.45±0.03 a	0.31±0.10 a	0.48±0.06 a
棕榈酸(C _{16:0})/% Palmitic acid	13.72±0.07 c	14.63±0.14 b	14.97±0.19 a
十七碳酸(C _{17:0})/% Seventeen carbonate acid	0.77±0.01 b	0.58±0.04 c	1.13±0.10 a
硬脂酸(C _{18:0})/% Stearic acid	8.07±0.05 c	8.24±0.09 b	8.62±0.03 a
花生酸(C _{20:0})/% Peanut acid	0.27±0.01 a	0.30±0.01 a	0.43±0.15 a
山嵛酸(C _{22:0})/% Behenic acid	0.44±0.13 a	0.27±0.11 ab	0.14±0.01 b
棕榈油酸*(C _{16:1n7c})/% Palmitic acid	1.73±0.03 b	1.64±0.05 b	2.65±0.10 a
十七碳一烯酸*(C _{17:1n7c})/% Heptadecanoenoic acid	0.34±0.08 b	0.14±0.01 c	0.72±0.05 a
油酸*(C _{18:1n9})/% Oleic acid	23.28±0.07 b	25.32±0.47 a	20.36±0.16 c
花生一烯酸*(C _{20:1n9})/% Arachidonic acid	0.72±0.07 a	0.73±0.08 a	0.89±0.10 a
亚油酸*#(C _{18:2n6})/% Linoleic acid	16.19±0.11 b	19.16±0.29 a	16.46±0.06 b
二十碳二烯酸#(C _{20:2n6c})/% Eicosadienoic acid	2.22±0.10 a	2.05±0.09 a	1.75±0.09 b
亚麻酸*#(C _{18:3n3})/% Linolenic acid	1.89±0.05 c	2.67±0.05 a	2.40±0.16 b
二十碳三烯酸△#(C _{20:3n3c})/% Eicotrienoic acid	0.28±0.00 b	0.38±0.02 b	0.60±0.11 a
花生四烯酸*△#(C _{20:4n6})/% Arachidonic acid	11.06±0.06 a	8.28±0.09 b	6.22±0.30 c
二十碳五烯酸△#(C _{20:5n3})/% EPA	11.58±0.03 b	8.18±0.40 c	13.32±0.22 a
二十二碳六烯酸△#(C _{22:6n3})/% DHA	3.09±0.06 b	2.84±0.01 c	3.90±0.03 a
其他/% Other	3.42±0.57 ab	2.60±0.36 b	4.31±0.12 a
饱和脂肪酸总量/% ΣSFA	24.20±0.21 c	24.86±0.34 b	26.41±0.13 a
不饱和脂肪酸总量/% ΣUFA	72.38±0.38 a	71.38±1.01 a	69.27±0.10 b
单不饱和脂肪酸总量/% ΣMUFA	26.07±0.11 b	27.83±0.37 a	24.62±0.12 c
多不饱和脂肪酸总量/% ΣPUFA	46.31±0.27 a	43.55±0.66 c	44.66±0.04 b
高不饱和脂肪酸总量/% ΣHUFA	26.01±0.04 a	19.67±0.35 c	24.05±0.22 b
必需脂肪酸总量/% ΣEFA	29.14±0.11 b	30.11±0.24 a	25.08±0.16 c
(n-9)系多不饱和脂肪酸总量/% Σ(n-9)PUFA	24.00±0.07 b	26.05±0.40 a	21.25±0.07 c
(n-6)系多不饱和脂肪酸总量/% Σ(n-6)PUFA	29.47±0.19 a	29.49±0.28 a	24.44±0.29 b
(n-3)系多不饱和脂肪酸总量/% Σ(n-3)PUFA	16.84±0.13 b	14.06±0.42 c	20.22±0.25 a
Σ(n-6)PUFA/Σ(n-3)PUFA	1.75±0.01 b	2.10±0.05 a	1.21±0.03 c
ΣPUFA/ΣSFA	1.91±0.01 a	1.75±0.01 b	1.69±0.01 c
ΣUFA/ΣSFA	2.99±0.01 a	2.87±0.02 b	2.62±0.01 c
ΣPUFA/ΣMUFA	1.78±0.00 b	1.56±0.01 c	1.81±0.01 a

注:※. 单不饱和脂肪酸;*. 必需脂肪酸;#. 多不饱和脂肪酸;△. 高不饱和脂肪酸。同行数据后标不同字母表示差异显著($P<0.05$)。
Note:※. Monounsaturated fatty acid;*. Essential fatty acid;#. Polyunsaturated fat;△. High unsaturated fatty acid. Different lowercase letters represent significant difference ($P<0.05$).

2.2 3 种养殖模式下澳洲淡水龙虾成虾肌肉脂肪
酸组成的主成分分析及评价

2.2.1 脂肪酸组成的相关性分析 用 SPSS 17.0 软件中的降维模块,对 3 种养殖模式下澳洲淡水龙虾成虾肌肉中的脂肪酸数据进行处理,得到各脂肪酸含量的相关系数方阵见表 2,其中相关系数为正值表示正相关,为负值表示负相关^[11]。由表 2 可

知,肉豆蔻酸、花生酸、棕榈油酸、二十碳三烯酸和 DHA 这 5 种脂肪酸含量间的相关系数均不低于 0.866,趋近于 1,说明这 5 种脂肪酸之间呈较强的正相关性。其中,肉豆蔻酸、花生酸和二十碳三烯酸含量间的相关系数值均大于 0.980,说明三者之间互相呈强正相关,棕榈油酸与 DHA 含量也呈强正相关。

表 2 3 种养殖模式下澳洲淡水龙虾成虾肌肉中脂肪酸组成的相关关系

Table 2 Correlation analysis among fatty acids contents of adult <i>Cherax quadricarinatus</i> in three breeding modes									
脂肪酸 Fatty acid	二十二碳 六烯酸 DHA	二十碳 五烯酸 EPA	花生 四烯酸 Arachidonic acid	二十碳 三烯酸 Eicotrienoic acid	亚麻酸 Linolenic acid	二十碳 二烯酸 Eicosadienoic acid	亚油酸 Linoleic acid	花生一 烯酸 Arachidonic acid	油酸 Oleic acid
肉豆蔻酸 Nutmeg acid	0.869	0.544	−0.948	1.000 **	0.446	−0.997 **	−0.154	0.963	−0.759
十五碳酸 Fifteen carbonic acid	0.800	0.986 **	−0.086	0.392	−0.644	−0.328	−0.968	0.629	−0.899
棕榈酸 Palmitic acid	0.534	0.086	−0.986 **	0.885	0.814	−0.915	0.329	0.725	−0.365
十七碳酸 Seventeen carbonate acid	0.994 **	0.933	−0.582	0.806	−0.165	−0.763	−0.704	0.937	−0.997 **
硬脂酸 Stearic acid	0.855	0.522	−0.957	1.000 **	0.470	−0.999 **	−0.127	0.956	−0.741
花生酸 Peanut acid	0.925	0.647	−0.900	0.991 **	0.328	−0.980 **	−0.278	0.990 **	−0.836
山嵛酸 Behenic acid	−0.677	−0.264	1.000 **	−0.954	−0.697	0.973	−0.154	−0.836	0.526
棕榈油酸 Palmitic acid	0.989 **	0.809	−0.771	0.931	0.094	−0.904	−0.498	0.995 **	−0.942
十七碳一烯酸 Heptadecanoenoic acid	0.993 **	0.936	−0.575	0.802	−0.172	−0.758	−0.710	0.935	−0.997 **
油酸 Oleic acid	−0.982 **	−0.959	0.514	−0.756	0.244	0.709	0.760	−0.906	1.000
花生一烯酸 Arachidonic acid	0.970	0.749	−0.829	0.962	0.189	−0.941	−0.413	1.000	
亚油酸 Linoleic acid	−0.623	−0.913	−0.168	−0.148	0.816	0.079	1.000		
二十碳二烯酸 Eicosadienoic acid	−0.829	−0.480	0.969	−0.998 **	−0.511	1.000			
亚麻酸 Linolenic acid	−0.056	−0.508	−0.707	0.451	1.000				
二十碳三烯酸 Eicotrienoic acid	0.866	0.540	−0.950	1.000					
花生四烯酸 Arachidonic acid	−0.667	−0.250	1.000						
二十碳五烯酸 EPA	0.888	1.000							
二十二碳六烯酸 DHA	1.000								

脂肪酸 Fatty acid	十七碳一烯酸 Heptadecan- oenoic acid	棕榈油酸 Palmitic acid	山嵛酸 Behenic acid	花生酸 Peanut acid	硬脂酸 Stearic acid	十七碳酸 Seventeen carbonate acid	棕榈酸 Palmitic acid	十五碳酸 Fifteen carbonic acid	肉豆蔻酸 Nutmeg acid
肉豆蔻酸 Nutmeg acid	0.805	0.933	−0.953	0.992 **	1.000 **	0.810	0.883	0.397	1.000
十五碳酸 Fifteen carbonic acid	0.864	0.700	−0.100	0.511	0.372	0.860	−0.080	1.000	
棕榈酸 Palmitic acid	0.432	0.655	−0.984 **	0.816	0.895	0.439	1.000		
十七碳酸 Seventeen carbonate acid	1.000 **	0.966	−0.593	0.878	0.793	1.000			
硬脂酸 Stearic acid	0.789	0.923	−0.961	0.988 **	1.000				

表 2(续) Continued table 2

脂肪酸 Fatty acid	十七碳一烯酸 Heptadecan- oenoic acid	棕榈油酸 Palmitic acid	山嵛酸 Behenic acid	花生酸 Peanut acid	硬脂酸 Stearic acid	十七碳酸 Seventeen carbonate acid	棕榈酸 Palmitic acid	十五碳酸 Fifteen carbonic acid	肉豆蔻酸 Nutmeg acid
花生酸 Peanut acid	0.874	0.971	−0.906	1.000					
山嵛酸 Behenic acid	−0.587	−0.780	1.000						
棕榈油酸 Palmitic acid	0.964	1.000							
十七碳一烯酸 Heptadecanoenoic acid	1.000								

注：* * 表示强相关(相关系数绝对值 $|r|=0.980\sim1.000$)。
Note: * * mean strong correlation ($|r|=0.980\sim1.000$).

从表 3 可知,2 个主成分的特征值均大于 100.000%,说明这 2 个主成分的信息反映了 18 个 1.000,而这 2 个主成分的累积贡献率达到了 脂肪酸含量的全部信息,从而可以实现降维。

表 3 3 种养殖模式下澳洲淡水龙虾成虾肌肉中脂肪酸的特征值及方差贡献率
Table 3 Eigenvalues and variance contribution rates of fatty acids in adult *Cherax quadricarinatus* in three breeding modes

主成分 Principal component	特征值 Eigenvalue	贡献率/% Contribution rate	累积贡献率/% Cumulative contribution rate
P1	13.211	73.397	73.397
P2	4.789	26.603	100.000

从表 4 可知,肉豆蔻酸、花生酸、棕榈油酸、二十 说明这 5 种脂肪酸是澳洲淡水龙虾成虾的主要特征 碳三烯酸和 DHA 等 5 种脂肪酸的载荷权数分别为 脂肪酸,其对澳洲淡水龙虾成虾脂肪酸品质影响较 0.968,0.992,0.994,0.966 和 0.966,均超过0.950, 大。

表 4 3 种养殖模式下澳洲淡水龙虾成虾肌肉中脂肪酸主成分矩阵的组成
Table 4 Principal component matrix of fatty acids in adult *Cherax quadricarinatus* in three breeding modes

脂肪酸 Fatty acid	P1	P2	脂肪酸 Fatty acid	P1	P2
肉豆蔻酸 Nutmeg acid	0.968	−0.253	油酸 Oleic acid	−0.899	−0.438
十五碳酸 Fifteen carbonic acid	0.616	0.788	花生一烯酸 Arachidonic acid	1.000	0.016
棕榈酸 Palmitic acid	0.735	−0.678	亚油酸 Linoleic acid	−0.398	−0.917
十七碳酸 Seventeen carbonate acid	0.932	0.363	二十碳二烯酸 Eicosadienoic acid	−0.946	0.324
硬脂酸 Stearic acid	0.960	−0.279	亚麻酸 Linolenic acid	0.205	−0.979
花生酸 Peanut acid	0.992	−0.127	二十碳三烯酸 Eicotrienoic acid	0.966	−0.258
山嵛酸 Behenic acid	−0.845	0.535	花生四烯酸 Arachidonic acid	−0.837	0.547
棕榈油酸 Palmitic acid	0.994	0.112	二十碳五烯酸 EPA	0.739	0.674
十七碳一烯酸 Heptadecanoenoic acid	0.929	0.371	二十二碳六烯酸 DHA	0.966	0.260

2.2.2 脂肪酸品质的综合评价 采用 Z-score 法^[16]对 3 种养殖模式下的澳洲淡水龙虾成虾肌肉中的脂肪酸含量进行标准化处理,以避免量纲和数量级的影响,通过 SPSS 17.0 软件中的统计模块处理 3 种成虾肌肉中各种脂肪酸的含量,获得其标准化后的结果见表 5。再结合表 3 和表 4 的特征值,可计算得到特征向量如表 6 所示。

由表 5 和表 6 构建 2 个主成分的表达式: $Y1=X1_1\times Z_1+X1_2\times Z_2+\cdots+X1_{18}\times Z_{18}$; $Y2=X2_1\times Z_1+X2_2\times Z_2+\cdots+X2_{18}\times Z_{18}$ 。其中,Y1、

Y2 和 X1、X2 的 1 和 2 分别代表主成分 1 和主成分 2,X1、X2 和 Z 的下标数字 1~18 分别为表 5 和表 6 中对应 18 种脂肪酸的特征向量和标准化值。

将表 5 和表 6 中的数据代入主成分的表达式,结合表 3 中的主成分贡献率,构建主成分综合评价函数式为: $F=0.734Y1+0.266Y2$ 。经计算,得到 3 种澳洲淡水龙虾成虾肌肉中脂肪酸品质的综合得分值见表 7。从表 7 可知,3 种养殖模式下澳洲淡水龙虾成虾脂肪酸品质综合得分的高低排序依次是稻田养殖模式>水泥池养殖模式>池塘养殖模式。

表 5 3 种养殖模式下澳洲淡水龙虾成虾肌肉中脂肪酸含量的标准化值(Z)

Table 5 Standardized data for fatty acids in adult *Cherax quadricarinatus* in three breeding modes (Z)

序号 No.	脂肪酸 Fatty acid	养殖模式 Breeding made		
		池塘 Pond	水泥池 Concrete pond	稻田 Paddy field
1	肉豆蔻酸 Nutmeg acid	−0.837	−0.271	1.107
2	十五碳酸 Fifteen carbonic acid	0.398	−1.138	0.740
3	棕榈酸 Palmitic acid	−1.113	0.288	0.824
4	十七碳酸 Seventeen carbonate acid	−0.210	−0.878	1.088
5	硬脂酸 Stearic acid	−0.858	−0.240	1.098
6	花生酸 Peanut acid	−0.729	−0.411	1.140
7	山嵛酸 Behenic acid	1.039	−0.083	−0.956
8	棕榈油酸 Palmitic acid	−0.495	−0.656	1.151
9	十七碳一烯酸 Heptadecanoenoic acid	−0.202	−0.884	1.085
10	油酸 Oleic acid	0.118	0.936	−1.054
11	花生一烯酸 Arachidonic acid	−0.593	−0.562	1.155
12	亚油酸 Linoleic acid	−0.658	1.151	−0.493
13	二十碳二烯酸 Eicosadienoic acid	0.894	0.186	−1.080
14	亚麻酸 Linolenic acid	−1.085	0.884	0.201
15	二十碳三烯酸 Eicotrienoic acid	−0.841	−0.264	1.106
16	花生四烯酸 Arachidonic acid	1.046	−0.099	−0.947
17	二十碳五烯酸 EPA	0.212	−1.089	0.877
18	二十二碳六烯酸 DHA	−0.333	−0.791	1.124

表 6 3 种养殖模式下澳洲淡水龙虾成虾肌肉中脂肪酸主成分评价的特征向量

Table 6 Principal component matrix of fatty acids in adult *Cherax quadricarinatus* in three breeding modes

序号 No.	脂肪酸 Fatty acid	特征向量(系数) Component matrix (coefficient)		序号 No.	脂肪酸 Fatty acid	特征向量(系数) Component matrix (coefficient)	
		X1	X2			X1	X2
1	肉豆蔻酸 Nutmeg acid	0.266	0.442	10	油酸 Oleic acid	−0.247	−0.411
2	十五碳酸 Fifteen carbonic acid	0.169	0.281	11	花生一烯酸 Arachidonic acid	0.275	0.457
3	棕榈酸 Palmitic acid	0.202	0.336	12	亚油酸 Linoleic acid	−0.110	−0.182
4	十七碳酸 Seventeen carbonate acid	0.256	0.426	13	二十碳二烯酸 Eicosadienoic acid	−0.260	−0.432
5	硬脂酸 Stearic acid	0.264	0.439	14	亚麻酸 Linolenic acid	0.056	0.094
6	花生酸 Peanut acid	0.273	0.453	15	二十碳三烯酸 Eicotrienoic acid	0.266	0.441
7	山嵛酸 Behenic acid	−0.232	−0.386	16	花生四烯酸 Arachidonic acid	−0.230	−0.382
8	棕榈油酸 Palmitic acid	0.273	0.454	17	二十碳五烯酸 EPA	0.203	0.338
9	十七碳一烯酸 Heptadecanoenoic acid	0.256	0.425	18	二十二碳六烯酸 DHA	0.266	0.441

表 7 3 种养殖模式下澳洲淡水龙虾成虾肌肉中脂肪酸品质的综合得分

Table 7 Scores of fatty acids in adult *Cherax quadricarinatus* in three breeding modes

养殖模式 Breeding mode	主成分 1 得分(Y1) Principal component 1 score	主成分 2 得分(Y2) Principal component 2 score	综合得分(F) Composite score	排序 Sort
池塘 Pond	−1.926	−3.199	−2.265	3
水泥池 Concrete pond	−1.574	−2.614	−1.851	2
稻田 Paddy field	3.500	5.814	4.116	1

3 讨论与结论

本研究结果表明,在同一个养殖场中,3 种养殖模式下澳洲淡水龙虾成虾的一些脂肪酸的含量存在显著差异,说明养殖模式对成虾脂肪酸品质有重要影响,这与 Periago 等^[6]和 Ikonomu 等^[7]的研究结果一致。对比 3 种养殖环境,水泥池的透明度较高、换水量较大;池塘水体较大、较深,水体较稳定;稻田

饵料(稻秆、根、茎、叶等植物蛋白质)更丰富、更阴凉。3 种养殖模式的微环境不同,可能是造成 3 种成虾肌肉脂肪酸含量差异的主要原因。本研究发
现,3 种养殖模式下成虾的脂肪酸均以棕榈酸、油酸和亚油酸含量较高,其总量均超过 50.00%,这与郭占林等^[2]、Thompson 等^[8]和 Kenneth 等^[9]的研究结果一致。 $\sum$ PUFA/ $\sum$ SFA 是判断肌肉营养品质高低的重要指标之一,本研究表明,3 种养殖模式下

成虾的 Σ PUFA/ Σ SFA(1.69~1.91)均超过了世界卫生组织的建议值(0.4~0.5)^[19],说明 3 种养殖模式下成虾的脂肪酸品质均较高。EPA 和 DHA 被公认为是人和动物生长发育中必需的高不饱和脂肪酸^[20]。本研究显示,3 种养殖模式下成虾均含有 EPA 和 DHA,其中稻田养殖模式的 EPA 和 DHA 含量均最高,说明稻田养殖模式有利于提高成虾肌肉中的 EPA 和 DHA 含量。

Calder^[21]的研究表明,膳食 Σ (n-6)PUFA、 Σ (n-3)PUFA 和 Σ (n-6)PUFA/ Σ (n-3)PUFA 均可不同程度地影响机体免疫功能。王雪青等^[22]发现, Σ (n-6)PUFA 摄食超量,会导致肥胖症和心血管疾病,还可诱发肿瘤。同时 Sugano 等^[23]指出,合理膳食结构中的 Σ (n-6)PUFA/ Σ (n-3)PUFA 值应低于 4~5,故需相对提高 n-3 系列脂肪酸的摄入量。本研究发现,3 种养殖模式下澳洲淡水龙虾成虾肌肉中的 Σ (n-6)PUFA/ Σ (n-3)PUFA 值均小于 4,其中稻田养殖模式的比值最低(1.21),说明稻田养殖模式更有利于提高成虾肌肉中(n-3)系多不饱和脂肪酸的比例。

综上所述,3 种模式养殖的澳洲淡水龙虾成虾不仅含有 EPA 和 DHA,而且都具有较高的营养价值。基于主成分分析的综合评价结果表明,以稻田养殖成虾的脂肪酸品质最佳,因此从澳洲淡水龙虾肌肉中的脂肪酸品质方面考虑,稻田养殖模式具有较高的推广应用潜力。同时,虾体化学组成是饲养过程中摄入的食物经过体内转化、合成和储存的结果^[24-25]。据 Saoud 等^[26]报道,目前很少有专门为澳洲淡水龙虾配制和生产的商业饲料,国内也未见专用系列人工配合饲料,常以南白对虾配合饲料对其进行饲养,但饲料品质不科学也易导致养殖者的生产收益偏低。本研究发现,肉豆蔻酸、花生酸、棕榈油酸、二十碳三烯酸和 DHA 等 5 种脂肪酸是澳洲淡水龙虾的主要特征脂肪酸,而且其相互间的正相关性较高,建议饲料加工企业和养殖户逐步调整和完善饲料配方,并生产符合澳洲淡水龙虾生长需求的专用系列配合饲料,加快澳洲淡水龙虾产业化的开发。

[参考文献]

[1] 王广军,孙悦,郁二蒙,等. 澳洲淡水龙虾与克氏原螯虾肌肉营养成分分析与品质评价 [J]. 动物营养学报,2019,31(9): 4339-4348.
Wang G J,Sun Y,Yu E M,et al. Analysis and quality evaluation of nutrient components in muscle of *Cherax quadricarinatus*

tus and *Procambarus clarkia* [J]. Chinese Journal of Animal Nutrition,2019,31(9):4339-4348.

[2] 郭占林,李嘉尧,甘信辉,等. 不同脂肪源对红螯光壳螯虾幼虾生长、消化酶活性及其肌肉生化组成的影响 [J]. 中国水产科学,2010(5):996-1004.
Guo Z L,Li J Y,Gan X H,et al. Influence of different lipid sources on growth, digestive enzyme activity and fatty acid composition in juvenile red claw crayfish, *Cherax quadricarinatus* [J]. Journal of Fishery Sciences of China,2010(5):996-1004.

[3] 吴祖学,祝华龙,陈科光,等. 澳洲淡水龙虾池塘标准化养殖技术 [J]. 热带农业工程,2019(2):176-181.
Wu Z X,Zhu H L,Chen K G,et al. Standardized pond culture technology of Australian freshwater lobster [J]. Tropical Agricultural Engineering,2019(2):176-181.

[4] 康辰香,苏红红. 澳洲淡水龙虾养殖技术 [J]. 河北渔业,2004(4):28,36.
Kang C X,Su H H. Farming technique of red claw crayfish (*Cherax quadricarinatus*) [J]. Hebei Fisheries,2004(4):28,36.

[5] 金玉松. 稻田养殖澳洲淡水龙虾技术 [J]. 渔业致富指南,2001(7):42.
Jin Y S. Techniques for breeding *Cherax quadricarinatus* in paddy fields [J]. Fishery Guide to be Rich,2001(7):42.

[6] Periago M J,Ayala M D,Lopez-Albors O,et al. Muscle cellularity and flesh quality of wild and farmed sea bass, *Dicentrarchus labrax* L. [J]. Aquaculture,2005,249(1/2/3/4):175-188.

[7] Ikonomu M G,Higgs D A,Gibbs M,et al. Flesh quality of market-size farmed and wild British Columbia salmon [J]. Environmental Science & Technology,2007,41(2):437-443.

[8] Thompson K R,Bailey R T,Metts L S,et al. Growth response and fatty acid composition of juvenile red claw crayfish (*Cherax quadricarinatus*) fed different sources of dietary lipid [J]. Aquaculture Nutrition,2010,16(6):604-615.

[9] Kenneth R T,Laura A M,Tracey D C,et al. Effect on growth, survival, and fatty acid composition of Australian red claw crayfish *Cherax quadricarinatus* fed practical diets with and without supplemental lecithin and/or cholesterol [J]. Journal of the World Aquaculture Society,2003,34(1):1-10.

[10] 王晓慧. 线性判别分析与主成分分析及其相关研究评述 [J]. 中山大学研究生学刊(自然科学、医学版),2007(4):50-61.
Wang X H. A summary of LDA,PCA and relative work [J]. Journal of the Graduates Sun YAT-SEN University (Natural Sciences, Medicine Edition),2007(4):50-61.

[11] 李兆华,莫彩芬,柯杰,等. 基于主成分分析法的水库水质评价 [J]. 湖北大学学报(自然科学版),2018,40(6):586-592.
Li Z H,Mo C F,Ke J,et al. Evaluation on the water quality of Wangjiaba reservoir based on principal component analysis [J]. Journal of Hubei University(Natural Science),2018,40(6):586-592.

[12] 韩泽群,姜波. 加工番茄品种多性状综合评价方法研究

- [J]. 中国农业科学,2014,47(2):357-365.
- Han Z Q, Jiang B. A study on comprehensive evaluation of the processing tomato varieties multiple traits [J]. Scientia Agricultura Sinica,2014,47(2):357-365.
- [13] 杨文平,王爱民,吕林兰,等. 梭鱼脂肪及脂肪酸成分分析和评价 [J]. 食品科学,2015,36(20):181-184.
- Yang W P, Wang A M, Lü L L, et al. Analysis and evaluation of fat content and fatty acid composition of *Liza haematocheila* [J]. Food Science,2015,36(20):181-184.
- [14] 苟小菊,田 由,郭玉蓉,等. 不同成熟期苹果品种非浓缩还原汁品质评价与分析 [J]. 中国农业科学,2018,51(19):3778-3790.
- Gou X J, Tian Y, Guo Y R, et al. Analysis and evaluation on quality of NFC apple juices in different maturation period [J]. Scientia Agricultura Sinica,2018,51(19):3778-3790.
- [15] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会,国家食品药品监督管理总局. GB 5009.168—2016 食品安全国家标准:食品中脂肪酸的测定 [S]. 北京:中国标准出版社,2017.
- National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China, State Food and Drug Administration. GB 5009.168—2016 National food safety standard; determination of fatty acids in foods [S]. Beijing: China Standard Press,2017.
- [16] 陈 豫,杨改河,冯永忠,等. “四位一体”生态农业模式区域适宜性评价与实证研究 [J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2008,36(9):45-50.
- Chen Y, Yang G H, Feng Y Z, et al. Evaluations and empirical studies on the regional suitability of “Four-in-One” eco-agricultural models [J]. Journal of Northwest A&F University (Nat Sci Ed),2008,36(9):45-50.
- [17] 罗 钦,李冬梅,黄敏敏,等. 不同生长阶段墨瑞鳕脂肪酸组成及主成分分析 [J]. 核农学报,2020,34(4):788-795.
- Luo Q, Li D M, Huang M M, et al. Analysis on fatty acid compositions and principal component analysis in muscle of Murray cod at different growth stages [J]. Journal of Nuclear Agriculture Science,2020,34(4):788-795.
- [18] 罗 钦,柯文辉,李冬梅,等. 3种特种水产品肌肉中脂肪酸组成比较及主成分综合评价 [J]. 南方农业学报,2019,50(10):2286-2292.
- Luo Q, Ke W H, Li D M, et al. Analysis on fatty acid compositions in muscle of three special aquatic products and comprehensive evaluation of principal components [J]. Journal of Southern Agriculture,2019,50(10):2286-2292.
- [19] 张东平,张少欢,余应新,等. 太湖鱼中多不饱和脂肪酸及其与多氯联苯共摄入益害分析 [J]. 科学通报,2012,57(5):324-331.
- Zhang D P, Zhang S H, Yu Y X, et al. Polyunsaturated fatty acids in fish from Taihu Lake and the associated risk of ingesting *Polychlorinated biphenyls* [J]. Chinese Science Bulletin,2012,57(5):324-331.
- [20] 张凤枰,宋 军,张 瑞,等. 养殖南方大口鲶肌肉营养成分分析和品质评价 [J]. 食品科学,2012,33(17):274-278.
- Zhang F P, Song J, Zhang R, et al. Evaluation of nutritional composition and quality of farmed *Silurus meridionalis* chen muscle [J]. Food Science,2012,33(17):274-278.
- [21] Calder P C. N-3 polyunsaturated fatty acids and immune cell function [J]. Advan Enzyme Regul,1997,37:197-237.
- [22] 王雪青,苗 惠,胡 萍. 膳食中多不饱和脂肪酸营养与生理功能的研究进展 [J]. 食品科学,2004,25(11):337-339.
- Wang X Q, Miao H, Hu P. Research progress of nutrition and biological functions of PUFA [J]. Food Science,2004,25(11):337-339.
- [23] Sugano A M, Hirata F. Polyunsaturated fatty acids in food chain in Japan [J]. The American Journal of Clinical Nutrition,2000,71(S):189-196.
- [24] Haard N F. Control of chemical composition and food quality attributes of cultured fish [J]. Food Research International,1992,25(4):289-307.
- [25] Shearer K D. Factors affecting the proximate composition of cultured fishes with emphasis on salmonids [J]. Aquaculture,1994,119(1):63-88.
- [26] Saoud I P, Darzadeya A, Ghanawi J. A review of nutritional biology and dietary requirements of redclaw crayfish *Cherax quadricarinatus* (von Martens 1868) [J]. Aquaculture Nutrition,2013,18(4):349-368.