不同养殖模式斑石鲷的鱼肉品质特性分析

熊　铭，吴祖亮，林向东*
（海南大学食品学院，海南 海口　570228）

摘　要：对不同养殖模式斑石鲷的生长和鱼肉品质特性进行探究与分析。通过随机选取鲜活斑石鲷，运用质量长度指数*K*值、色差值、质构特性及感官评定等指标，研究不同养殖模式下斑石鲷的食用品质特性并分析鱼肉差异的成因。结果表明：网箱养殖的斑石鲷质量长度指数*K*值为19.29 g/cm，稍高于池塘养殖模式，表明其运动能力更高，且影响极显著；在色差值指标上，池塘养殖的鱼肉肉色鲜亮饱和；在硬度、弹性、内聚性及恢复性等参数上，网箱养殖模式下的斑石鲷鱼片均大于池塘养殖模式；而在咀嚼性这项参数上，池塘养殖的斑石鲷鱼片为2.457 mJ，表现更好。养殖模式仅对硬度和恢复性影响显著。

关键词：斑石鲷；养殖模式；质构特性；质量长度指数；色差值；感官评定

Meat Quality Charateristics of Spotted Knifejaw (*Oplegnathus punctatus*) Cultured under Different Aquaculture Modes

XIONG Ming, WU Zuliang, LIN Xiangdong*
(College of Food Science and Technology, Hainan University, Haikou　570228, China)

Abstract: In this study, growth and meat quality characteristics of *Oplegnathus punctatus* cultured in different aquaculture systems were evaluated by mass/length index (*K*), chromatic aberration, texture properties and sensory evaluation. The causes of eating quality difference of meat from *Oplegnathus punctatus* cultured under different aquaculture modes were analyzed. The results showed that *K* value of *Oplegnathus punctatus* cultured in net cages was 19.29 g/cm, slightly higher than of pond-cultured *Oplegnathus punctatus*, suggesting higher mobility in net cages and highly significant effect of mobility on *K* value. The meat of pond-cultured *Oplegnathus punctatus* had a brighter and more saturated color, while harness, springiness, cohesiveness and resilience of fillets of cage-cultured *Oplegnathus punctatus* were higher than those of the pond-cultured counterpart. Fillets of pond-cultured *Oplegnathus punctatus* exhibited better chewiness (2.457 mJ). In conclusion, our findings suggest that aquaculture mode can only influence hardness and resilience of *Oplegnathus punctatus* fillets.

Key words: *Oplegnathus punctatus*; aquaculture mode; texture properties; mass/length index; chromatic aberration; sensory evaluation
DOI:10.7506/spkx1002-6630-201603004
中图分类号：TS254.1；S965.3　　文献标志码：A　　文章编号：1002-6630（2016）03-0017-05
引文格式：
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. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201603004.　http://www.spkx.net.cn
XIONG Ming, WU Zuliang, LIN Xiangdong. Meat quality charateristics of spotted knifejaw (*Oplegnathus punctatus*) cultured under different aquaculture modes[J]. Food Science, 2016, 37(3): 17-21. (in Chinese with English abstract) DOI:10.7506/spkx1002-6630-201603004.　http://www.spkx.net.cn

斑石鲷（*Oplegnathus punctatus*），属于鲈形目石鲷科石鲷属，俗称斑鲷、黑嘴、花金鼓等。该鱼肉质地致密，富有弹性，鱼皮中富含的胶原蛋白具有良好的食用及医用价值，在日、韩食品料理中被称为“刺身绝品”。由于斑石鲷主要分布于太平洋地区，自然资源少，无明显盛渔期，我国山东莱州明波水产有限公司与中国科学院海洋研究所、中国水产科学研究院黄海水产研究所合作，在2014年成功培育出批量斑石鲷苗种，填补了我国斑石鲷苗种繁育的空白，为斑石鲷在我国东南沿海地区的推广奠定了基础[1]。然而斑石鲷在我国只有少部分单位及养殖公司进行尝试性养殖，生产的规模化还未形成[2]。

收稿日期：2015-06-24
基金项目：“十二五”国家科技支撑计划项目（2012BAD28B06）；海南省自然科学基金项目（311032）
作者简介：熊铭（1990—），男，硕士研究生，研究方向为水产品加工及贮藏工程。E-mail：1102124317@qq.com
*通信作者：林向东（1957—），男，教授，本科，研究方向为水产品保鲜技术及品质评价。E-mail：lxdzqlh@sina.com

水产养殖模式是指某一特定条件下，使养殖生产达到一定产量而采用的经济与技术相结合的规范化养殖方式[3]。由于鱼类养殖对象通常会随着养殖模式的不同而在生长过程和品质特性上有所差异，因此通过对养殖对象品质特性检测，可对养殖模式的优劣比较提供评价依据，进而帮助生产者优选养殖模式，保证鱼类养殖业朝着质量效益提升型发展。本实验拟分析网箱养殖与工厂化池塘养殖模式下斑石鲷肌肉品质特性的差异，旨在对斑石鲷推广养殖及加工产品研发提供参考借鉴和技术支持。

1 材料与方法

1.1 材料

鲜活斑石鲷（网箱及池塘养殖模式），同一批次成年鱼，平均单尾质量在500 g左右，均由三亚斑石鲷养殖公司提供。

1.2 仪器与设备

BL-220H型电子天平　日本岛津公司；CR-10型色差仪　日本柯尼卡美能达公司；Brookfield-CT3型质构仪　美国Brookfield公司。

1.3 方法

1.3.1 样品处理

鲜活斑石鲷离水后待其自然死亡，测定其体长及体质量。经去鳞、去鳃、去内脏、清洗干净后，沿脊柱切取完整片状的鱼肉。

1.3.2 质量长度指数*K*值的测定[4]

在网箱模式和池塘模式下，均随机分别选取14 尾斑石鲷，逐一对斑石鲷进行体长和体质量的测量，并按下式计算质量长度指数*K*值，结果取平均值。

$$K=\frac{m}{L}$$

式中：*m*为鱼体质量/g；*L*为鱼体长度/cm。

1.3.3 色差值的测定

CR-10型色差仪是通过模拟人体眼睛感色的原理，客观测定样品的色度值及其他相关数值。测定时，调至*L**a**b**色度系统测出*L**、*a**、*b**值，并通过标准数据（*L**=100、*a**=0、*b**=0），根据公式$\Delta E_{ab}^{*}=(\Delta L^{*2}+\Delta a^{*2}+\Delta b^{*2})^{1/2}$计算色差值。其中*L**表示亮度，从数值0～100表示亮度从黑度值到白度值；*a**表示红绿值，＋*a**为红度值，－*a**为绿度值；*b**表示黄蓝值，＋*b**为黄度值，－*b**为蓝度值。数值越大，样品越偏向相应颜色[5-6]。分别取12 尾网箱养殖及池塘养殖的斑石鲷鱼片进行测量，取平均值。

值得注意的是，鱼片色泽的测定主要有光源和样品两个影响因素，在不同光照条件下，同种色泽的测定结果可能不同。因此，使用色差仪对样品进行测定时，应将测头紧贴鱼片（色差仪内部自带光源，使用过程应避免漏光），从而确保测定过程在相同光照条件下进行的[7]。

1.3.4 质构剖面分析（texture profile analysis，TPA）

网箱养殖模式及池塘养殖模式的斑石鲷鱼片均随机选取至少7 个样本，每个样本选择不同测量点测定2 次，测定结果取平均值。由于不同测试点所测得的质构参数变化较大，尤其在背脊、尾部及腹部，各质构参数差异较明显，因此在选择测试点时尽量选择鱼片中部[8]。

测定条件：使用探头为TA-41（直径6 mm）平底柱形探头，预测试速率2 mm/s，测试速率2 mm/s，返回速率2 mm/s，压缩目标4.0 mm，触发点负载7 g，环境温度20～25 ℃。

本实验选择测定及分析的TPA参数包括硬度、弹性、内聚性、咀嚼性及恢复性。硬度：第一次压缩峰的峰值，大部分食品的硬度值在最大变形处出现。在TPA测试中，有第一循环硬度和第二循环硬度；弹性：样品经过第一次压缩变形后能再恢复的程度，即第二次压缩中所检测到的样品恢复高度与第一次压缩变形量的比值；内聚性：指样品经第一次压缩变形后对第二次压缩所表现出的相对抵抗能力，即两次压缩所做正功之比；咀嚼性：只用于描述固态测试样品，是模拟口腔咬合一次所做的功；恢复性：指样品在第一次压缩变形后回弹的能力，即第一次压缩后样品所释放的弹性能与压缩过程中探头耗能之比[9-10]。

质构仪在测量数据时会自动校正系统误差，本次实验所得数据均为校正后的结果。

1.3.5 感官评定

由10 名专业品评人员组成的感官评定小组，对两种养殖模式的新鲜鱼片和水煮鱼片分别进行评定打分，结果取平均值。其中，水煮鱼片的处理方法是：将新鲜鱼片清洗干净入水煮熟，时长约10 min，不添加任何调味料。评定评分标准见表1。

表 1 斑石鲷鱼片感官评定标准[11-12]

Table 1 Criteria for sensory evaluation of *Oplegnathus punctatus* fillets[11-12]

分值	新鲜鱼片				水煮鱼片		
	色泽	气味	组织形态	肌肉弹性	气味	滋味	汤汁
10	切面色泽较好	含有清新特有香味	组织致密，纹理清晰	富有弹性，指压恢复迅速	浓郁香味	浓郁鲜味	半透明，无碎肉
8	切面色泽稍有消失	含有较清新特有香味	组织较紧密，纹理较清晰	有弹性，指压恢复较快	较浓香味	较浓鲜味	较透明，无碎肉
6	切面色泽稍显暗淡	无明显气味	组织柔软，但不松散	较有弹性，指压恢复缓慢	较淡香味	较淡鲜味	较透明，有少量碎肉
4	切面色泽较暗淡	轻微腥味	组织松软，局部松散	稍有弹性，指压较难恢复	香味不明显	鲜味不明显	较混浊，有少量碎肉
2	切面色泽消失	强烈腥臭味	组织松散	失去弹性	异常气味	无鲜味，甚至有异味	混浊，有碎肉

1.4 数据处理

实验数据采用Excel和Origin 8.0软件进行统计处理及分析。

2 结果与分析

2.1 两种养殖模式下斑石鲷的*K*值

表2 2种养殖模式斑石鲷的*K*值（*n*=14）

Table 2 Mass/length index of *Oplegnathus punctatus* cultured in different aquaculture modes (*n*=14)

指标	网箱模式	池塘模式
体长/cm	25.43	26.93
体质量/g	490.66	498.04
K/（g/cm）	19.29	18.50

质量长度指数*K*值是鱼类学中表示鱼类适应环境的生理状态及营养状况的综合指标之一，可以通过该指标来判断鱼类在不同环境中的生长状况[13]。由表2可知，网箱养殖斑石鲷的体长及体质量均略小于池塘养殖斑石鲷，然而计算所得质量长度指数*K*值为19.29 g/cm，稍高于池塘模式（18.50 g/cm）。这一结果可能与两种养殖模式食物供给保证及获取难易程度有关，即网箱养殖模式更贴近海洋自然的生存环境，一部分食物需通过追逐捕捉获得，一定程度上提高了斑石鲷的运动能力，使能量的消耗增加，表观上鱼体体型为瘦长型。该结果既验证了鱼类摄食与运动代谢为相互关联的两个过程[14-15]，也与一定质量及长度的鱼类，其游泳能力与鱼体体型显著相关的结论[16-17]相符。同时，*K*值作为一个可以用简单公式计算的参数，被用来评价鱼体自身条件状况，其值的大小与鱼类的身体状况成正相关[18]，从实验结果可看出，网箱养殖的斑石鲷生长状况更好。

表3 2种养殖模式斑石鲷的*K*值方差分析

Table 3 Analysis of variance of *K* value

差异源	自由度	平方和	均方	*F*值	*P*值	显著性
模型	1	4.54	4.54	18.82	<0.01	**
误差	26	6.27	0.24			

注：**. 差异极显著（$P < 0.01$）。下同。

对不同养殖模式斑石鲷的*K*值实验结果进行方差分析，结果见表3，$F=18.82$，$P<0.01$，说明养殖模式对斑石鲷质量长度指数*K*值影响极显著。

2.2 两种养殖模式下斑石鲷鱼片的色差值

表4 2种养殖模式下斑石鲷的色差值（*n*=12）

Table 4 Color parameters of fillets of *Oplegnathus punctatus* cultiured in different aquaculture modes (*n*=12)

指标	网箱模式	池塘模式
*L**	44.03	49.68
*a**	−5.54	−6.16
*b**	+5.30	+5.58
ΔE^*_{ab}	44.70	50.37

色差值是表征鱼肉色泽的重要指标，色泽则是影响消费者购买行为的决定性因素，同时也是鱼肉货架期的影响因素之一[19]。由表4可知，两种养殖模式下的斑石鲷在色差值大小上有所差异。池塘模式的斑石鲷鱼片ΔE^*_{ab}值为50.37，略高于网箱模式（44.70）。其中，池塘模式的鱼片*L**、*a**及*b**值均高于网箱模式，宏观表现为鱼片本身更亮，色泽更加饱和鲜艳。

表5 2种养殖模式下斑石鲷的色差值方差分析

Table 5 Analysis of variance of color parameters

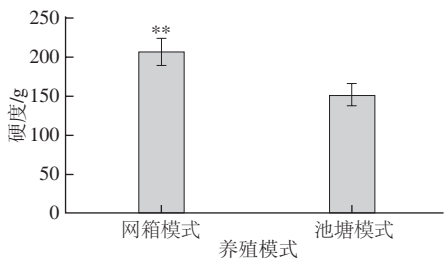
指标	差异源	自由度	平方和	均方	*F*值	*P*值	显著性
*L**	模型	1	190.97	190.97	7.95	<0.01	**
	误差	22	528.67	24.03			
*a**	模型	1	2.28	2.28	1.79	0.19	N
	误差	22	28.02	1.27			
*b**	模型	1	0.48	0.48	0.28	0.60	N
	误差	22	37.80	1.72			
ΔE^*_{ab}	模型	1	193.23	193.23	7.74	0.01	*
	误差	22	549.32	24.97			

注：*. 差异显著（$P < 0.05$）；N. 差异不显著（$P > 0.05$）。

由表5可知，对于两种养殖模式下斑石鲷鱼肉色差参数值中，只有*L**值及ΔE^*_{ab}值的差异表现出极显著和显著，*a**值及*b**值表现不显著，说明养殖模式对*L**值及ΔE^*_{ab}值影响显著，在对比色差的差异时，*a**值及*b**值不具有参考意义。

2.3 两种养殖模式下斑石鲷鱼片的质构特性

2.3.1 硬度



**.与池塘养殖模式组相比差异极显著（$P<0.01$）。下同。

图1 不同养殖模式下斑石鲷鱼片的硬度

Fig.1 Hardness of fillets of *Oplegnathus punctatus* cultured in different aquaculture modes

由图1可知，网箱养殖模式的斑石鲷鱼片硬度为206.71 g，要明显优于池塘养殖模式的斑石鲷鱼片硬度151.08 g，且养殖模式对斑石鲷鱼肉硬度的影响极显著（$P<0.01$）。这一结果可能与两种养殖模式下斑石鲷的运动能力及肌肉纤维有关，由于网箱养殖模式下的斑石鲷生存环境更贴近自然的海洋环境，其运动能力更强，导致鱼体肌肉纤维直径小且排列更紧密[20]，在宏观上表现为硬度较高。由此可见，肌肉纤维直径越小，密度越大，斑石鲷鱼肉的硬度越大，这与Hurling[21]及Ayala[22]等研究结果较一致。硬度反映的是使斑石鲷鱼片产生一定形变所需的力，也可反映人体触觉。

2.3.2 弹性

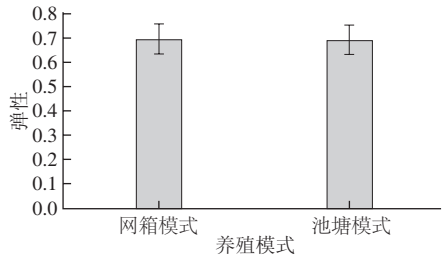


图 2 不同养殖模式下斑石鲷鱼片的弹性

Fig.2 Springiness of fillets of *Oplegnathus punctatus* cultured in different aquaculture modes

由图2可知，网箱养殖模式的斑石鲷，其鱼片的弹性（0.694）稍高于池塘养殖模式（0.689），但二者差异不显著，故养殖模式的不同对斑石鲷鱼肉弹性的影响不显著（$P>0.05$）。肌原纤维蛋白、肌浆蛋白和肌基质蛋白是鱼肉主要组成蛋白，其中，肌原纤维蛋白含有大量肌动蛋白和肌球蛋白，肌基质蛋白含有丰富的弹性蛋白，这些都将直接影响斑石鲷鱼片的弹性大小。因此，肌动蛋白、肌球蛋白及弹性蛋白的含量越高，鱼肉的弹性越大，这也与林婉玲等[20]的研究结论比较相符。弹性指的是样品受外力作用产生形变，除去作用力后恢复形变的性质。

2.3.3 内聚性

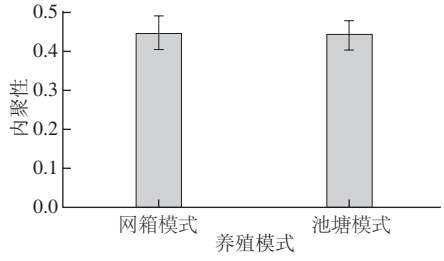


图 3 不同养殖模式下斑石鲷鱼片的内聚性

Fig.3 Cohesiveness of fillets of *Oplegnathus punctatus* cultured in different aquaculture modes

由图3可知，两种养殖模式下的斑石鲷鱼片在内聚性方面所表现出的差异并不明显，网箱养殖的斑石鲷鱼片内聚性为0.446，池塘养殖则为0.442。二者差异不显著，说明养殖模式的不同对斑石鲷鱼肉内聚性的影响不显著（$P>0.05$）。虽然网箱养殖接近海洋自然环境，有助于提高斑石鲷运动能力，使肌肉细胞间的结合能力有所增强，从而表现出鱼肉内聚性稍好于池塘养殖模式，但这种优势并不明显。内聚性表示的是样品抵抗外力作用，肌细胞紧密相连使样品本身保持完整性的性质，它反映细胞间的结合力大小。

2.3.4 咀嚼性

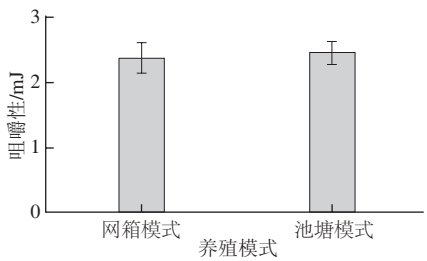


图 4 不同养殖模式下斑石鲷鱼片的咀嚼性

Fig.4 Chewiness of fillets of *Oplegnathus punctatus* cultured in different aquaculture modes

由图4可知，池塘养殖模式的斑石鲷鱼片咀嚼性为2.457 mJ，稍高于网箱养殖模式的2.364 mJ。但二者差异不显著，养殖模式对斑石鲷鱼肉咀嚼性的影响不显著（$P>0.05$）。鱼肉质构特性主要受蛋白质、水分及脂肪等含量的影响，若鱼肉脂肪含量越高，其肉质咀嚼性越好[23-24]。故池塘养殖模式下的斑石鲷鱼肉脂肪含量较高，咀嚼性更佳，但这种差异性不显著。咀嚼性即感官上的“咬劲”，咀嚼性越高，则反映的口感越好。

2.3.5 恢复性

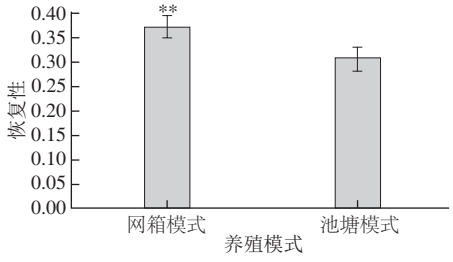


图 5 不同养殖模式下斑石鲷鱼片的恢复性

Fig.5 Resilience of fillets of *Oplegnathus punctatus* cultured in different aquaculture modes

由图5可知，网箱养殖模式下斑石鲷鱼片的恢复性大小为0.371，高于池塘养殖模式的0.306。与弹性相似，说明网箱养殖的斑石鲷鱼肉蛋白质含量稍高于池塘养殖，表现出的恢复性也好于池塘养殖。且这种差异性表现极显著（$P<0.01$）。恢复性即反映样品在受外力压缩后迅速恢复形变的性质。与弹性一样，均可表示样品的生物体弹性，但不同的是二者恢复形变的时间。恢复性表示快速恢复的能力，而弹性表示一段时间内恢复形变的能力[25]。

2.4 两种养殖模式下斑石鲷鱼片的感官评定

表 6 新鲜鱼片及水煮鱼片的感官评定

Table 6 Sensory evaluation of fresh and boiled fish fillets

养殖模式	新鲜鱼片				水煮鱼片		
	色泽	气味	组织形态	肌肉弹性	气味	滋味	汤汁
网箱模式	8.3	9.3	10	9.5	9.8	9.3	10
池塘模式	9	9.5	10	9.3	10	9.5	10

由表6可知，网箱养殖的斑石鲷，其新鲜鱼片在色泽及气味评价指标上分别为8.3 分及9.3 分，略低于池塘养殖的9 分及9.5 分，这与本次实验中色差值测定结果一致；网箱养殖的斑石鲷，其新鲜鱼片在肌肉弹性评价指标上为9.5 分，稍高于池塘养殖的9.3 分，此项感官评定结果与质构参数测定结果一致；网箱养殖的斑石鲷，其水煮鱼片在气味及滋味评价指标上分别为9.8 分及9.3 分，略低于池塘养殖的10 分及9.5 分，分析原因可能为网箱养殖环境近似于海洋自然环境，使其鱼肉气味及品质接近于野生斑石鲷，可能导致其水煮鱼片的腥味稍重，影响其水煮鱼片相应评分。

3 结 论

目前我国斑石鲷养殖技术还未得到推广普及，本实验希望通过此次基础研究，能够对选择更优养殖模式有一定帮助作用。实验从质量长度指数*K*值、色差值、质构特性及感官评定四方面对网箱及池塘两种养殖模式下的斑石鲷进行比较研究。

网箱养殖斑石鲷的运动能力更强，其质量长度指数*K*值稍大于池塘养殖模式，且影响极显著；而池塘养殖斑石鲷鱼肉肉色表现的更鲜亮饱和，养殖模式对*L**值及ΔE^*_{ab}值影响显著。

对两种养殖模式的斑石鲷鱼片质构特性进行测定。网箱养殖斑石鲷鱼片在硬度、弹性、内聚性及恢复性指标上，均大于池塘养殖斑石鲷鱼片，但只对硬度和恢复性指标影响极显著。这是由于网箱养殖的斑石鲷肌肉纤维直径更小，排列更紧密，肌细胞结合力更大；池塘养殖斑石鲷鱼片的咀嚼性稍好，说明其鱼肉脂肪含量稍高，但根据方差分析结果来看，影响不显著。感官评定的结果也与本实验中色差值及质构测定结果相一致，更加全面系统地说明了实验仪器所测数据的准确性及与人体感官品评的一致性。仅从以上品质特性进行综合评价，网箱养殖模式下的斑石鲷鱼肉质更优。

参考文献：

[1] 莱州. 莱州市斑石鲷人工育苗在国内首获成功[N]. 中国渔业报, 2014-06-23(B03).

[2] 张旭, 钟鸿干, 张海滨. 南方地区斑石鲷养殖技术要点[J]. 河北渔业, 2015(2): 41-42. DOI:10.3969/j.issn.1004-6755.2015.02.016.

[3] 水产名词审定委员会. 水产名词(定义本)[M]. 北京: 科学出版社, 2002: 44-45.

[4] 王志铮, 杨磊, 朱卫东. 三种养殖模式下日本鳗鲡养成品的形质差异[J]. 应用生态学报, 2012, 23(5): 1385-1392.

[5] 周波, 黄瑞华, 曲亮, 等. 色差仪和肉色板在猪肉肉色评定中的应用[J]. 江苏农业科学, 2007, 35(2): 121-124. DOI:10.3969/j.issn.1002-1302.2007.02.046.

[6] 王晶, 林向东, 曹雪涛, 等. 一种替代罗非鱼片CO活体发色方法的复合发色新工艺[J]. 食品与机械, 2014, 23(6): 181-186. DOI:10.13652/j.issn.1003-5788.2014.06.045.

[7] 陈小亮, 王世平, 刘欢. 冷却猪肉新鲜度的色差快速分析评价方法[J]. 食品科学, 2012, 33(4): 204-208.

[8] 曹雪涛, 林向东, 夏南, 等. 罗非鱼片的肌肉分区特性及加工适性研究[J]. 食品与机械, 2014, 30(6): 35-38. DOI:10.13652/j.issn.1003-5788.2014.06.009.

[9] BOURNE M C. Food texture and viscosity[M]. 2nd ed. New York: Academic Press, 2002: 119-132.

[10] 何其, 林向东, 鹿常胜, 等. 基于质构参数的低温保藏罗非鱼片品质评价方法[J]. 包装与食品机械, 2013, 31(6): 1-6. DOI:10.3969/j.issn.1005-1295.2013.06.001.

[11] 方敏, 沈月新, 王鸿, 等. 臭氧水在水产品保鲜中的应用研究[J]. 食品研究与开发, 2004, 25(2): 132-136. DOI:10.3969/j.issn.1005-6521.2004.02.054.

[12] 高志立, 谢晶, 施建兵, 等. 不同贮藏条件下带鱼品质的变化[J]. 食品科学, 2013, 34(16): 311-315. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201316064.

[13] 孙婷婷. 温度和CO_2驯养对南极鱼*P. brachycephalum* 肝指数(HSI)和Fulton's K肥满度的影响[J]. 现代农业科技, 2010(24): 310-311. DOI:10.3969/j.issn.1007-5739.2010.24.198.

[14] HICKS J W, BENNETT A F. Eat and run: prioritization of oxygen delivery during elevated metabolic states[J]. Respiratory Physiology＆Neurobiology, 2004, 144(2/3): 215-224. DOI:10.1016/j.resp.2004.05.011.

[15] FU S J, CAO Z D, PENG J L. Effect of feeding and fasting on excess post-exercise oxygen consumption in juvenile southern catfish (*Silurus meridionalis* Chen)[J]. Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology, 2007, 146(3): 435-439. DOI:10.1016/j.cbpa.2006.12.002.

[16] VOGEL S. Life in moving fluids[M]. 2nd ed. Princeton: Princeton University Press, 1994: 84-86.

[17] HAAS T C, BLUM M J, HEINS D C. Morphological responses of a stream fish to water impoundment[J]. Biology Letters, 2010, 4(6): 803-806. DOI:10.1098/rsbl.2010.0401.

[18] DEIGWEIHER K, KOSCHNICK N, PÖRTNER H O, et al. Acclimation of ion regulatory capacities in gills of marine fish under environmental hypercapnia[J]. American Journal of Physiology-Regulatory Integrative and Comparative Physiology, 2008, 295(5): R1660-R1670. DOI:10.1152/ajpregu.90403.2008.

[19] 赵巧灵, 廖明涛, 刘书臣, 等. 蓝鳍金枪鱼脂肪氧化和鱼肉色泽的变化研究[J]. 中国食品学报, 2014, 14(7): 79-86.

[20] 林婉玲, 关溶, 曾庆孝, 等. 影响脆肉鲩鱼背肌质构特性的因素[J]. 华南理工大学学报(自然科学版), 2009, 37(4): 134-137. DOI:10.3321/j.issn:1000-565X.2009.04.027.

[21] HURLING R, RODELL J B, HUNT H D. Fibre diameter and fish texture[J]. Journal of Texture Studies, 1996, 27(6): 679-685. DOI:10.1111/j.1745-4603.1996.tb01001.x.

[22] AYALA M D, ALBORS O L, BLANCO A, et al. Structural and ultrastructural changes on muscle tissue of sea bass, *Dicentrarchus labrax* L., after cooking and freezing[J]. Aquaculture, 2005, 250(1): 345-358. DOI:10.1016/j.aquaculture.2005.04.057.

[23] ROBB D H F, KESTIN S C, WARRISS P D, et al. Muscle lipid content determines the eating quality of smoked and cooked Atlantic salmon (*Salmo salar*)[J]. Aquaculture, 2002, 205(3): 345-358. DOI:10.1016/S0044-8486(01)00710-4.

[24] 王欣欣, 宋丽蓉, 王乐, 等. 不同冻结条件下罗非鱼片的质构分析[J]. 食品与机械, 2012, 28(1): 205-207. DOI:10.3969/j.issn.1003-5788.2012.01.054.

[25] 王俏仪, 董强, 卢水仙, 等. 冷冻贮藏对罗非鱼肌肉质构特性的影响[J]. 广东海洋大学学报, 2011, 31(4): 86-90. DOI:10.3969/j.issn.1673-9159.2011.04.016.