

草鱼贮藏期间肌肉 ATP 关联物及 K 值的动态变化

Study on dynamics of ATP-related compounds and freshness of grass carp muscles of during storage

欧阳芳芳^{1,2} 王建辉^{1,2} 陈 奇^{1,2} 王发祥^{1,2}

OUYANG Fang-fang^{1,2} WANG Jian-hui^{1,2} CHEN Qi^{1,2} WANG Fa-xiang^{1,2}

李向红^{1,2} 俞 健^{1,2} 刘永乐^{1,2}

LI Xiang-hong^{1,2} YU jian^{1,2} LIU Yong-le^{1,2}

(1. 长沙理工大学, 湖南 长沙 410114; 2. 湖南省水生资源食品加工工程技术研究中心, 湖南 长沙 410114)

(1. Changsha University of Science and Technology, Changsha, Hunan 410114, China; 2. Hunan Provincial Engineering Research Center for Food Processing of Aquatic Biotic Resources, Changsha, Hunan 410114, China)

摘要:为了明晰冷藏(4℃)过程中草鱼宰杀后背腹部肌肉 ATP 关联物含量变化与鲜度变化的关联,研究了贮藏期间草鱼背腹部肌肉 ATP 关联物及 K 值随时间的动态变化规律。结果表明:冷藏期间草鱼背腹部肌肉 ATP 关联物的变化趋势相似,但相对含量有明显区别,背部和腹部肌肉肌苷酸(IMP)含量先增加后减少,而草鱼背部 IMP 含量远大于腹部;次黄嘌呤(Hx)和次黄嘌呤核苷(HxR)含量均随贮藏时间延长不断增加;新鲜草鱼背、腹部肌肉 K 值分别为 7.72%, 7.78%,随着贮藏时间的增加,K 值不断增大,6 d 时,两者均接近 60%。故 4℃贮藏条件下草鱼的货架期为 6 d。

关键词:草鱼;背腹部肌肉;鲜度;ATP 关联物;K 值

Abstract: In order to clarify the relationship between muscle quality and ATP-related compounds of grass carp muscle chilled stored at 4℃, ATP-related compounds of grass carp muscle was investigated using high-performance liquid chromatography (HPLC), and K value was calculated. The results showed that the variation tendency of ATP-related compounds of dorsal and abdominal muscle in grass carp was similar during chilled storage. IMP contents were increased at first and then decreased. Hx and HxR contents increased continuously. K values of dorsal and abdominal muscle of fresh grass carp were

7.72% and 7.78%. The fish began to decay when K value was close to 60%. According to the variations of ATP-related compounds and K values of grass carp muscle, grass carp shelf life was 6 d in the chilled storage at 4℃.

Keywords: grass carp; dorsal and abdominal muscle; freshness; ATP-related compounds; K value

草鱼是中国四大家鱼之一,因其肉质细嫩、营养丰富,且饲料来源广、生长速度快、销售价格适中而深受消费者喜爱^[1]。但其水分含量高,组织蛋白酶活性强,且鱼体内携带有大量细菌,宰杀后鱼肉在冷藏过程中极易发生与其鲜度联系紧密的系列变化,如 ATP 水解、蛋白质降解、脂质氧化等,导致其极易腐败变质^{[2,4] [3] 27-37}。因此,冷藏期间草鱼肌肉品质动态变化规律的掌握及相应对策的制定对水产品的贮藏保鲜显得尤为重要。

鲜度是水产品品质评价的重要指标之一^[5],其评价方式主要有理化指标、感官指标及微生物指标^{[3] 27-37},K 值评价属于前者^[5],与 ATP 关联物息息相关,可作为评价鱼肉鲜度的一个重要指标^{[6] 21-40}。ATP 关联物是鱼肉中主要的呈味物质,鱼体死后,ATP 在内源酶的作用下降解,主要反应途径为^[7]:ATP→ADP→AMP→IMP→HxR→Hx。中国关于淡水产品中 ATP 关联物的研究已有部分报道。汤水粉等^[8]通过对不同水产品的研究,优化了 ATP 关联物检测条件,采用 AQ-C₁₈(4.6 mm×250 mm)为分析柱,0.02 mol/L KH₂PO₄—0.02 mol/L K₂HPO₄(V/V=1/1)的缓冲液为流动相洗脱液,ATP 关联物可在 40 min 内完全分离,分离效果较好。刘焱等^[2]结合新鲜度指标(TVB-N)和感官评定分析

基金项目:国家自然科学基金青年科学基金项目(编号:31301564, 31201427);湖南省自然科学基金项目(编号:2015JJ2011);湖湘青年英才支持计划项目(编号:2015RS4051)

作者简介:欧阳芳芳,女,长沙理工大学在读硕士研究生。

通讯作者:王建辉(1980—),男,长沙理工大学教授,博士。

E-mail: wangjh0909@163.com

收稿日期:2015-11-19

了草鱼肉冷藏期间每 2 d 呈味核苷酸的含量变化,研究发现,ATP 冷藏第 2 天便无检出,宰后 IMP 含量急剧下降,HxR 随时间的延长也逐步下降。但目前中国对冷藏过程中鱼肉宰后不同部位肌肉 ATP 关联物含量与鲜度的变化及其差异尚无系统分析。

为了进一步理清和验证冷藏过程中草鱼肌肉 ATP 关联物与 K 值的动态变化情况,本研究拟通过分析冷藏期间草鱼肌肉不同部位(背部和腹部)ATP 关联物含量的变化,结合鲜度指标 K 值,构建草鱼肉冷藏过程中鲜味变化与 ATP 关联物含量变化间的关联,旨在为草鱼的工业化深加工过程中风味品质的维持提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

新鲜草鱼:每条重约 2.5~3.0 kg,体长约 45 cm,购于长沙高云小区农贸市场;

ATP 关联物标准品:ATP-2Na、ADP-2Na、IMP-2Na、AMP-Na、HxR、Hx 标准品,纯度≥98%,德国 Ruibio 公司;

磷酸二氢钾、磷酸氢二钾:分析纯,北京康普江维科级有限公司;

高氯酸:分析纯,昆山金城试剂有限公司;

氢氧化钠:分析纯,沧州市亿通化工有限公司;

甲醇:色谱纯,邯郸市骏华工有限公司。

1.2 主要仪器与设备

pH 计:FE20 型,梅特勒—托利多仪器有限公司;

漩涡混合器:TY66-ZH-2 型,北京中西远大科技有限公司;

电子分析天平:AUY120 型,日本岛津公司;

高速离心机:LG10-2.4A 型,北京京立离心机有限公司;

高效液相色谱仪:Agilent1100 型,美国安捷伦公司;

磁力搅拌器:78-1 型,上海雷韵试验仪器制造有限公司。

1.3 方法

1.3.1 样品处理 草鱼宰后去头、尾、主刺及内脏后,将其腹部和背部肉分割后分装于自封袋,置于 4 ℃冰箱保存 8 d,每天同时间点取样处理。

1.3.2 草鱼样品 ATP 关联物的提取方法 草鱼样品 ATP 关联物的提取参考刘焱等^[2]和汤水粉等^[8]的研究方法稍作改进,具体如下:分别准确称取草鱼背、腹部肌肉各(2.00 ± 0.05) g 于 50 mL 离心管内,加入经预冷的 10%高氯酸溶液 20 mL,于漩涡混合器上均质 1 min,经 8 000 r/min 离心 10 min,取上清。沉淀用经预冷的 5%高氯酸 20 mL 再次提取,合并上清。用 NaOH 溶液调节 pH 至 6.0~6.4,静置 5 min后转入 50 mL 容量瓶中,超纯水定容后经 0.22 μg 微孔滤膜过滤,待测。

1.3.3 ATP 关联物单样标准液梯度及混合标准液的配制 参照文献^[2]。

1.3.4 ATP 关联物的高效液相色谱法测定 色谱条件:色谱柱 AQ-C₁₈(4.6 mm×150 mm),粒径 5 μm,流动相为 0.02 mol/L KH₂PO₄—0.02 mol/L K₂HPO₄(V/V=1/1)的

缓冲液,流速 1.0 mL/min,柱温 35~85 ℃,检测波长 254 nm,进样量 20 μL。通过保留时间确定 ATP 关联物种类,结合峰面积确定其含量。

1.3.5 ATP 关联物含量计算 参照文献^{[3]²⁷⁻³⁷}按式(1)、(2)计算 ATP 关联物含量。

$$M_{\text{核苷酸钠盐}} = \frac{W \times A_1}{A_2},$$

(1)

$$M_{\text{核苷酸}} = \frac{W \times M_1}{M_2},$$

(2)

式中:

$M_{\text{核苷酸钠盐}}$ ——核苷酸钠盐含量,mg/kg;

$M_{\text{核苷酸}}$ ——核苷酸含量,mg/kg;

W ——标准样品核苷酸的含量,mg/kg;

A_1 ——样品峰的面积;

A_2 ——标准峰的面积;

M_1 ——核苷酸相对分子质量,g/mol;

M_2 ——核苷酸钠盐相对分子质量,g/mol。

1.3.6 K 值的计算 参照文献^[8]按式(3)计算 K 值。

$$K = \frac{M_{\text{Hx}} + M_{\text{HxR}}}{M_{\text{ATP}} + M_{\text{ADP}} + M_{\text{IMP}} + M_{\text{AMP}} + M_{\text{Hx}} + M_{\text{HxR}}} \times 100\%,$$

(3)

式中:

K ——K 值,%;

M_{ATP} ——三磷酸腺苷含量,μmol/g;

M_{ADP} ——二磷酸腺苷含量,μmol/g;

M_{AMP} ——腺苷酸含量,μmol/g;

M_{IMP} ——肌苷酸含量,μmol/g;

M_{HxR} ——次黄嘌呤核苷含量,μmol/g;

M_{Hx} ——次黄嘌呤含量,μmol/g。

2 结果与分析

2.1 ATP 关联物混合标样的回归方程

将 1.3.3 所制备的 ATP 关联物混合标样采用高效液相色谱法对其进行检测分析,得出 ATP 关联物浓度与峰面积的回归方程见表 1,相关系数均大于 0.999,统计分析表明表 1 所列回归方程均有意义。

2.2 ATP 关联物混合标准品 HPLC 图谱

采用高效液相色谱法对 ATP 关联物混合标准品进行检测分析(见图 1)得出 6 种 ATP 关联物出峰的先后顺序为 ATP-2Na(2.97 min)、IMP-2Na(3.56 min)、ADP-2Na(4.08 min)、

表 1 ATP 关联物浓度与峰面积的回归方程

Table 1 The regression equation of the ATP-related compound contents and peak area

名称	回归方程	相关系数
三磷酸腺苷	$y = 17\,787x + 32\,877$	0.999 8
肌苷酸	$y = 15\,182x + 53.45$	0.999 7
二磷酸腺苷	$y = 35\,709x + 16\,288$	0.999 2
次黄嘌呤	$y = 35\,278x + 12\,348$	0.999 4
腺苷酸	$y = 89\,689x + 33\,337$	0.999 5
次黄嘌呤核苷	$y = 55\,791x - 11\,688$	0.999 8

AMP-Na(5.28 min)、Hx(6.18 min)、HxR(18.37 min)。在此色谱条件下,ATP 关联物可在 20 min 内完全分离。刘焱等^[2]研究中采用 Capcellpak C₁₈(4.6 mm×150 mm)色谱柱,ATP 关联物在 8 min 内即可分离完成,但色谱图中各物质不

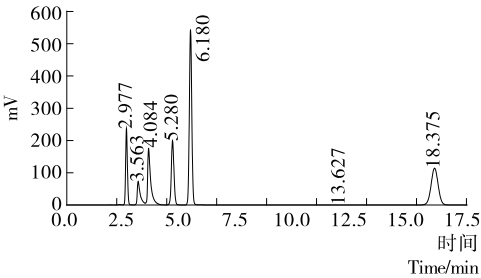


图 1 混合标准品(50 µg/mL)HPLC 图谱
Figure 1 HPLC profile of mixed standard samples (50 µg/mL)

表 2 新鲜草鱼背腹部肌肉中 ATP 关联物含量比较[†]

Table 2 The ATP-related compound contents in fresh dorsal and abdominal muscle of grass carp

	mg/kg					
名称	ATP	ADP	AMP	IMP	HxR	Hx
腹部	344.79±2.85	218.92±3.44	53.76±1.68	624.35±2.53	26.34±1.15	13.19±0.65
背部	444.92±5.14	370.42±2.79	60.41±1.32	859.37±1.62	35.58±1.24	20.34±0.99
P 值	0.018 *	0.022 *	0.390	0.014 *	0.146	0.108

† * 表示显著(P<0.05)。

2.4 草鱼背腹部肌肉冷藏期间 ATP 关联物含量的变化

由图 2~7 可知,冷藏过程中草鱼背腹部肌肉中 ATP 关联物含量的变化趋势相似。统计分析发现,本研究中仅冷藏期间取样部位(背、腹部)对草鱼肌肉 ATP 含量影响不显著(P>0.05),但冷藏时间对各 ATP 关联物含量的影响显著(P<0.05)。

冷藏过程中草鱼肌肉 ATP 含量于 0~1 d 出现小幅上升,而后快速下降(图 2),这主要是因为宰后初始草鱼肌肉在无氧或缺氧条件下肌糖原酵解释放能量,使 ADP 转化为 ATP。另外,磷酸肌酸在磷酸激酶作用下与 ADP 反应生成 ATP 和肌酸,因此宰后第 1 天 ATP 得以累积,但随着肌糖原和磷酸肌酸分解完毕,ATP 合成终止直至迅速分解完毕^[12]。草鱼肌肉 ADP 含量在宰后 1 d 内快速下降,之后维持在较低水平(图 3)。

AMP 具有苦味抑制功能^[13-17],其在 2 d 内快速上升,之后呈下降趋势,到第 8 天背腹部肌肉 AMP 含量下降分别达 98.81%和 98.41%(图 4),可能缘于先期 ATP 在内源酶作用下快速降解为 AMP,而后后者在腺苷酸脱氨酶作用下进一步降解为 IMP,因而呈先增后减的变化^[17-19],再者,冷藏期间草鱼背部肌肉 AMP 含量均低于腹部肌肉,这可能与肌肉中各种内源酶的种类及数量有关。

草鱼背腹部肌肉鲜味物质 IMP 的含量在前 5 d 均维持在较高水平,而后快速下降(图 5),背部下降幅度达 93.44%,腹部下降幅度达 88.93%,这是由于前期 AMP 在内源酶作

能完全分开;汤水粉等^[8]的研究中采用 AQ-C₁₈柱(4.6 mm×250 mm)的色谱柱,ATP 关联物的分离效果较好,但需 40 min 方可完全分离,分离时间较长。本研究采用 1.3.2 样品提取方法及 1.3.4 色谱条件即可使 ATP 关联物在 18 min 内得以完全分离,能节约过半的时间,这为 ATP 关联物检测条件的探索优化提供了一定的实践依据。

2.3 新鲜草鱼背腹部肌肉样品中 ATP 关联物含量

由表 2 可知,新鲜草鱼背腹部肌肉中 ATP、ADP、IMP 含量差异显著(P<0.05),而背腹部肌肉中 Hx、AMP、HxR 含量无显著差异(P>0.05)。由此可见,对于 ATP 关联物而言,草鱼背腹部肌肉的差异主要体现在 ATP、ADP 和 IMP 的含量。因 IMP 具有明显增鲜效果^[9-11],由此可推测得知草鱼背部肌肉鲜味高于腹部肌肉,究其原因可能缘于草鱼背腹部肌肉组成结构的差异导致其 IMP 含量各异,具体原因有待进一步研究探讨。

用下降解为 IMP,使 IMP 得到一定累积,后期 IMP 在内源酶 IMP 磷酸水解酶和微生物产酶的作用下进一步降解为 Hx 和 HxR,使其含量快速下降^[18],史策^{[6] 21-40} 研究发现鲢鱼肌肉 IMP 在贮藏期间有累积阶段,与本研究对草鱼肌肉 IMP 的变化基本一致,而刘焱等^[2]研究发现 IMP 在冷藏第 2 天快速下降,下降幅度达 92.77%,这可能与其取样方法和时间间隔较长有关,从而导致变化趋势产生差异。而草鱼背腹部肌肉 IMP 含量和变化各异,可能与两者肌肉组成结构差异有关。

宰后背腹部鱼肉中呈苦味的 Hx 和 HxR 含量持续增加(图 6~7),这主要是由于 IMP 在磷酸单酯酶和核苷水解酶作用下进一步分解产生呈不良气味的 Hx 和 HxR^[19]。随着不良气味的产生与累积,鱼肉鲜度不断下降,当 Hx 和 HxR 累积到一定程度时,鱼肉开始腐败,此结果与晋高伟等^[20] 研究结果相似。

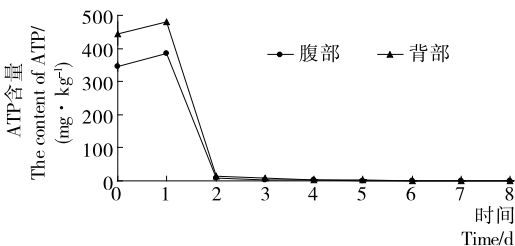


图 2 冷藏期间草鱼肌肉 ATP 含量变化
Figure 2 Changes of ATP in grass carp muscle during chilled storage

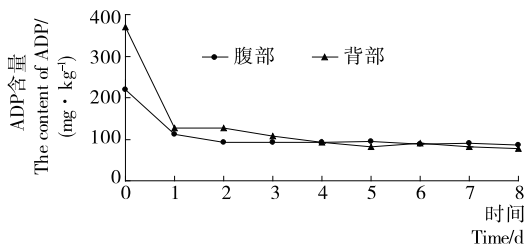


图 3 冷藏期间草鱼肌肉 ADP 含量变化

Figure 3 Changes of ADP in grass carp muscle during chilled storage

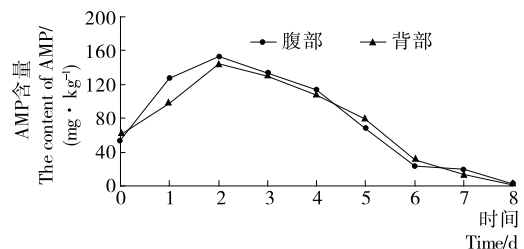


图 4 冷藏期间草鱼肌肉 AMP 含量变化

Figure 4 Changes of AMP in grass carp muscle during chilled storage

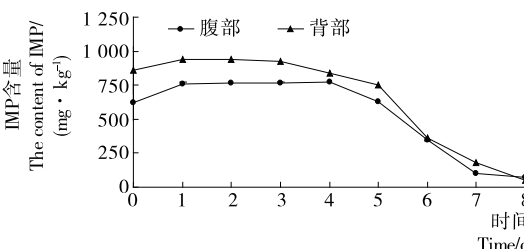


图 5 冷藏期间草鱼肌肉 IMP 含量变化

Figure 5 Changes of IMP in grass carp muscle during chilled storage

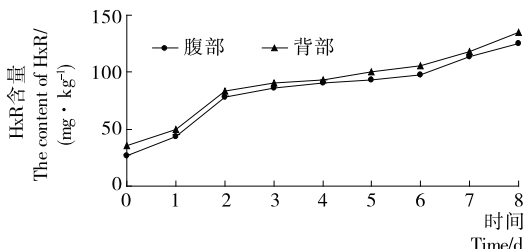


图 6 冷藏期间草鱼肌肉 HxR 含量变化

Figure 6 Changes of HxR in grass carp muscle during chilled storage

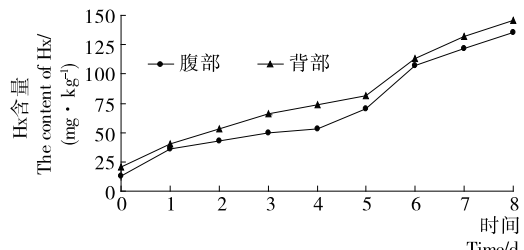


图 7 冷藏期间草鱼肌肉 Hx 含量变化

Figure 7 Changes of Hx in grass carp muscle during chilled storage

2.5 K 值的变化

邱伟强等^[21]研究发现新鲜鱼 K 值大约在 20% 以下, 20%~40% 为二级鲜度, 60%~80% 则处于初期腐败。本研究发现新鲜草鱼背部肌肉 K 值为 7.72%, 腹部肌肉 K 值为 7.78%, 4℃ 冷藏过程中草鱼肌肉 K 值随时间的延长不断增大, 第 6 天时, 草鱼背部肌肉 K 值为 49.71%, 腹部肌肉 K 值为 49.28%, 鱼肉尚未出现腐败, 第 7 天背部肌肉达到 66.49%, 腹部肌肉达到 71.17%, 此时鱼肉发粘变色并产生不良气味, 鱼肉处于初期腐败, 不可加工食用^[22]。由此可见, 本研究 4℃ 贮藏条件下草鱼肌肉的货架期为 6 d。而晋高伟等^[20]根据细菌总数、TVB-N 值和 K 值等相关试验得出 0℃ 冷藏下草鱼 8~12 d 出现初步腐败, 这可能与冷藏温度、取样季节及草鱼养殖区域的不同有关。

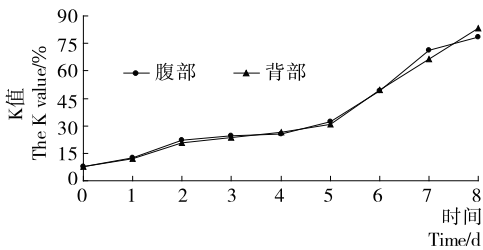


图 8 冷藏期间草鱼肌肉 K 值的变化

Figure 8 Changes of K-value in grass carp muscle during chilled storage

3 结论

通过对草鱼不同部位肌肉 ATP 关联物含量和 K 值的动态变化研究发现, ATP 含量先增加后快速降低直至不能检出; ADP 随时间延长其含量不断下降, 最终维持在较低值; 对鱼肉鲜味贡献大的 IMP 和 AMP 含量先升后降; 给鱼肉带来不良风味的 Hx 和 HxR 含量随冷藏时间的延长不断上升, 鲜度 K 值在 6 d 后大于 60%, 草鱼肌肉进入腐败期。由此可知, 草鱼在 4℃ 贮藏条件下货架期为 6 d。新鲜草鱼背、腹部肌肉间 ATP、ADP、IMP 含量差异显著; ADP、IMP、AMP、HxR、Hx 含量随草鱼不同部位(背、腹部)及时间变化非常显著。

本研究尚未探讨出造成草鱼背部和腹部肌肉间 ATP 关联物含量变化有显著差异的主要原因, 因此, 接下来会进一步研究草鱼背部和腹部肌肉结构上的差异及草鱼冷藏过程中影响 ATP 关联物(ATP、ADP、AMP、IMP、HxR 和 Hx)降解过程中的各种内源酶, 明确各种酶与降解产物之间的关联, 从而为延长鲜味物质 IMP 的累积过程提供理论依据, 进而提高草鱼贮藏期间的风味物质含量。

参考文献

[1] 姜杨, 李婷婷, 晋高伟, 等. 草鱼冷藏过程中新鲜度的综合评价[J]. 食品科学, 2014, 35(20): 281-285.
[2] 刘焱, 陈桂平, 张继红, 等. 草鱼冷藏期间 ATP 关联物含量及新鲜度变化[J]. 食品科学, 2014, 35(12): 233-237.
[3] 陈桂平. 草鱼低温贮藏期间质构及风味物质变化研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2014.

(下转第 159 页)

try, 2004, 52(16): 5 195-5 200.

[9] Zhao Hai-feng, Dong Jian-jun, Lu Jian, et al. Effects of extrac-tion solvent mixtures on antioxidant activity evaluation and their extraction capacity and selectivity for free phenolic compounds in barley (*Hordeum vulgare* L.)[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2006, 54(19): 7 277-7 286.

[10] Ghasemzadeh A, Jaafar H Z E, Rahmat A. Effects of solvent type on phenolics and flavonoids content and antioxidant activities in two varieties of young ginger (*Zingiber officinale* Roscoe) extracts[J]. J. Med. Plants Res, 2011, 5(7): 1 147-1 154.

[11] 贾冬英, 李尧, 姚开, 等. 香蕉皮中多酚的提取工艺条件研究[J]. 四川大学学报: 工程科学版, 2005, 37(6): 52-55.

[12] Mitić M N, Obradović M V, Kostić D A, et al. Phenolic pro-file and antioxidant capacities of dried red currant from Serbia, extracted with different solvent[J]. Food Science and Biotech-nology, 2011, 20(6): 1 625-1 631.

[13] 张培轩, 段瑞, 黄鹏. 中国远志属药用植物资源及地理分布[J]. 基层中药杂志, 2002, 16(6): 42-43.

[14] 李云霞. 小扁豆种质资源筛选及评价[J]. 杂粮作物, 2003, 23(6): 331-332.

[15] 卓传尚, 柳丽娟, 吴秋芳. 小扁豆凝集素结合型甲胎异质体在肝癌诊断中的意义[J]. 中国实验诊断学, 2009, 13(2): 208-210.

[16] 魏群, 黄介飞, 孟宪镛, 等. 血清小便斗凝集素结合型-1 抗胰蛋白酶测定对原发性肝癌的诊断意义[J]. 南通医学院学报, 1996, 16(4): 493-494.

[17] 李金霞, 宋志蕾, 张志鹏. 重金属锌胁迫对小扁豆种子萌发和幼苗生长的影响[J]. 安徽农业科学, 2015, 43(26): 1-3.

[18] 韩燕来, 远彤, 陈锋, 等. 小扁豆花芽分化与结实率的研究[J]. 河南农业大学学报, 1999, 33(4): 403-406.

[19] 刘明, 谭斌, 田晓红, 等. 七种食用豆化学组成及挤压加工特性研究[J]. 食品科技, 2010(8): 189-197.

[20] 郑菲, 黄亮, 李安平, 等. 响应面法优化橡胶壳中多酚提取工-艺条件[J]. 食品与机械, 2011, 27(1): 49-51.

[21] 朱晓阳, 钟海雁, 周波, 等. 油茶籽多酚超声辅助提取的响应面优化[J]. 食品与机械, 2012, 28(1): 166-170.

[22] Singleton V L, Orthofer R, Lamuela-Raventos R M. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent[J]. Methods in Enzymology, 1999, 299: 152-178.

[23] Akowuah G A, Ismail Z, Norhayati I, et al. The effects of dif-ferent extraction solvents of varying polarities on polyphenols of Orthosiphon stamineus and evaluation of the free radical-scav-enging activity[J]. Food Chemistry, 2005, 93(2): 311-317.

[24] Xu Bao-jun, Sam K C Chang. A comparative study on phenolic profiles and antioxidant activities of legumes as affected by ex-traction solvents[J]. Journal of Food Science, 2007, 72(2): S159-S166.

[25] 袁英姿, 曹清明, 钟海雁, 等. 大孔吸附树脂纯化油茶籽多酚的研究[J]. 食品与机械, 2009, 25(1): 61-63.

[26] 唐华丽, 熊汉国, 王伟. 响应面法优化葡萄籽多酚提取工艺[J]. 食品与机械, 2012, 28(6): 147-149.

(上接第 140 页)

[4] Ocaño-Higuera V M, Maeda-Martínez A N, Marquez-Ríos E, et al. Freshness assessment of ray fish stored in ice by biochemical, chemical and physical methods[J]. Food Chemistry, 2011, 125(1): 49-54.

[5] 易宇文, 范文教, 贾洪峰, 等. 基于电子舌的微冻鲢鱼新鲜度识别研究[J]. 食品与机械, 2014, 30(2): 142-145.

[6] 史策. 鲢鱼尸僵及贮藏过程中 ATP 关联物及生化特性变化规律的研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2015.

[8] Vázquez-Ortiz F A, Pacheco-Aguilar R, Lugo-Sánchez M E, et al. Application of the freshness quality index (K Value) for fresh fish to canned sardines from Northwestern Mexico[J]. Journal of Food Composition & Analysis, 1997, 10: 158-165.

[8] 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, (2): 110-116.

[9] Kuda T, Fujita M, Goto H, et al. Effects of freshness on ATP-re-lated compounds in retorted chub mackerel *Scomber japonicus* [J]. LWT - Food Science and Technology, 2007, 40(7): 1 186-1 190.

[10] Aubourg S P, Píñeiro C, Gallardo J M, et al. Biochemical chan-ges and quality loss during chilled storage of farmed turbot (*Psetta maxima*) [J]. Food Chemistry, 2005, 90(3): 445-452.

[11] 邹耀洪. 香菇中 5'-核苷酸的高效液相色谱—质谱分析[J]. 食品科学, 2005(1): 196-198.

[12] 张岩, 吕品, 王红, 等. 高效液相色谱法同时测定浓缩枣汁中-环磷酸腺苷和环磷酸鸟苷的含量[J]. 食品科学, 2009(18): 321-322.

[13] 李诚, 沈晓玲, 陈代文. 宰后肉成熟过程中的风味变化[J]. 食品科技, 2008(2): 52-56.

[14] 关志苗. K 值—判定鱼品鲜度的新指标[J]. 水产科学, 1995, 1(14): 33-35.

[15] 王槩, 张钟兴, 冯媛, 等. 几种淡水养殖鱼鲜度变化的特点[J]. 水产学报, 1994(4): 272-277.

[16] 刘亚, 章超梓, 陆子锋. 高效液相色谱法检测水产品中的 ATP 关联化合物[J]. 食品与发酵工业, 2010(6): 137-141.

[17] Özogul F, Özogul Y, Kuley E. Nucleotide degradation and bio-genic amine formation of wild white grouper (*Epinephelus aene-us*) stored in ice and at chill temperature (4 ℃) [J]. Food Chemistry, 2008, 108(3): 933-941.

[18] 方燕, 过世东. 棚养和塘养甲鱼肌肉中呈味核苷酸的含量变化及比较[J]. 食品研究与开发, 2006, 27(8): 17-22.

[19] Khan A W, Davidek J, Lentz C P. Degradation of inosinic acid in chicken muscle during aseptic storage and its possible use as an index of quality[J]. Journal of Food Science, 2006, 33(1): 25-27.

[20] 晋高伟, 李婷婷, 姜杨, 等. 0 ℃冷藏温度下草鱼新鲜度评价[J]. 食品工业科技, 2014, 35(13): 312-316.

[21] 邱伟强, 陈刚, 陈舜胜, 等. 离子对反相高效液相色谱法同时检测水产品中 6 种 ATP 关联化合物[J]. 水产学报, 2011(11): 1 745-1 752.

[22] 唐裕芳. 鱼肉的腐败机理及其防腐措施[J]. 肉类工业, 2000(2): 30-32.