

文章编号:1000 - 0615(2005)01 - 0133 - 04

研究简报 ·

## 草鱼加热过程中肌肉蛋白质的热变性

吴燕燕<sup>1,2</sup>, 邱澄宇<sup>3</sup>, 李来好<sup>2</sup>, 林 洪<sup>1</sup>

陈培基<sup>2</sup>, 郝淑贤<sup>2</sup>, 杨贤庆<sup>2</sup>

(1. 中国海洋大学水产学院, 山东 青岛 266003;

2. 中国水产科学研究院南海水产研究所, 广东 广州 510300;

3. 集美大学生物工程学院, 福建 厦门 361021)

关键词:草鱼; 肌肉热变性; 失水率; 巴氏杀菌  $V_p$  值; 过氧化物酶活性;  $Ca^{2+}$ -ATPase 活性

中图分类号:S985

文献标识码:A

### Denaturation of muscle protein in *Ctenopharyngodon idellus* during heat processing

WU Yan-yan<sup>1,2</sup>, QIU Cheng-yu<sup>3</sup>, LI Lai-hao<sup>2</sup>, Lin Hong<sup>1</sup>

CHEN Pei-ji<sup>2</sup>, HAO Shu-xian<sup>2</sup>, YANG Xian-qing<sup>2</sup>

(1. Fisheries College, China Ocean University, Qingdao 266003, China;

2. South China Sea Fisheries Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510300, China;

3. Bioengineering College, Jimei University, Xiamen 361021, China)

**Abstract:** The variations of muscle tissue, peroxidase and  $Ca^{2+}$ -ATPase activities and  $V_p$  (pasteurization value) were investigated with the fresh samples of grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) heated at different temperatures, thus revealing the mechanism of denaturation of muscle protein by heating. The experimental results showed the great difference in muscle tissue structure before and after the samples heated. In the initial stage of heating the water loss accounted for 50 % of the total. When the samples were separately heated at 75, 85, and 95 °C,  $f_h$  values (dehydration curve slope) were 5, 4.1 and 1.7, respectively, while  $V_p$  reaching 40 minutes were 22, 8 and 5 min, respectively. As to the time for deactivation of peroxidase in the heated samples at the various temperatures, it varied from 38, 10 and to less than 6 min, respectively and the deactivation rates of  $Ca^{2+}$ -ATPase in 1 min were 50 %, 88 % and 100 %, respectively. Consequently, the higher temperature the sample was heated, the faster rate of thermoconductivity, the lower rate of water loss, and the faster rate of peroxidase deactivation it was. Also, the  $V_p$  for the least requirement of pasteurization ( $V_p$  40min) was obtained.

**Key words:** grass carp; heated denaturation of muscles; water loss rate; pasteurization value; peroxidase activity;  $Ca^{2+}$ -ATPase activity

我国淡水鱼产量占渔业总产量的 40 % 左右, 占世界淡水鱼产量的 50 %, 但我国淡水鱼在加工上的比例远小于海水鱼, 淡水鱼加工量仅占总产量的 2 %, 特别是对草鱼的加工利用更少。除了消费习惯的影响外, 对淡水鱼原料基本性质了解不多, 以至加工技术跟不上也是主要原因

之一。随着大宗淡水渔业产品实行产业化生产, 必须尽快了解淡水鱼原料的基本特性, 使淡水鱼的加工技术迎头赶上<sup>[1]</sup>。草鱼 (*Ctenopharyngodon idellus*) 属鲤形目鲤科雅罗鱼亚科草鱼属, 由于草鱼食性简单、饵料来源广泛、生长迅速、产量高, 常被作为池塘养殖和湖泊、水库、河道的主要

收稿日期:2003-12-09

资助项目:广东省自然科学基金资助项目(022210)

作者简介:吴燕燕(1969 - ), 女, 广东揭阳人, 副研究员, 博士研究生, 主要从事水产品加工与食品安全研究。Tel:020 - 84195166, E-mail: wyy1028 @tom.com

通讯作者:李来好, Tel:020 - 84195166, E-mail: laihaoli @163.com

放养对象,我国草鱼产量占淡水鱼总产量的18%,2002年草鱼产量在 $400 \times 10^4$ t左右,其中广东省占17%。本文选择草鱼为研究对象,从肌肉组织的基本特性、生物化学等角度研究草鱼在加热过程中肌肉热变性机理,从而能通过对失水率与能源的平衡来选择经济合理的加热温度,以鱼肉中酶完全失活为目标来设定杀菌条件等,为草鱼的合理加工利用提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 原料

市售鲜活草鱼,体重2.0~3.0 kg。将鱼放血后,去皮,取下背部肌肉,立即放入冰箱(3℃)保藏待用。

### 1.2 主要仪器设备与试剂

S24型分光光度计、电子分析天平、低温高速离心机、CTF84型数字式温度测定记录仪、电热恒温干燥箱、索氏抽提器等。

$\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 、愈创木酚、Tris-HCl缓冲溶液、ATP- $\text{Na}_2$ 溶液、三氯醋酸、高离子强度盐溶液等试剂均为分析纯。

### 1.3 方法

水分和脂肪含量测定按文献[2]方法。

**巴氏杀菌  $V_p$  值与升温  $f_h$  值的测定** 将鱼肉切成长30mm、宽20mm、厚10mm左右的长方块,称重后装入厚度小于0.002mm的塑料袋中,用丹麦Ellab公司生产的CTF84型数字式温度测定记录仪,按文献[3]和[4]的方法测定鱼肉试样在加热时的温度变化及累积  $V_p$  值(巴氏杀菌值)。将鱼肉试样升温数据(时间、温度)输入计算机,采用Excel 2000和自己编写的软件进行处理,得到鱼肉升温曲线斜率  $f_h$  值。

**失水率的测定** 分别测定鱼肉试样在加热前后的重量,以其失水量与鱼肉初始重量之比值作为失水率。

**过氧化物酶活性的测定** 称取鱼肉试样10g,按文献[5]的方法提取酶液,将酶液定量加入到含有一定的愈创木酚乙醇溶液和过氧化氢溶液中,30℃下反应1min后迅速在470nm处测定反应液的吸光值。以酶液在pH7.0,30℃作用1min,分解1 $\mu\text{mol}$   $\text{H}_2\text{O}_2$  定为1个酶活力单位(U),公式如下:

$$E[U \cdot (10g)^{-1}] = \frac{A}{\times d} \times \frac{1}{t} \times \frac{D}{W} \times \frac{4}{10}$$

式中:A为反应液在470nm处的吸光度值;为毫摩尔吸光系数; $d$ 为光径; $D$ 为稀释倍数;4为反应中1 $\text{mol L}^{-1}$ 愈创木酚相当于4 $\text{mol L}^{-1}$   $\text{H}_2\text{O}_2$ 。

$\text{Ca}^{2+}$ -ATPase活性测定按文献[6]方法。

## 2 结果与讨论

### 2.1 加热对草鱼肌肉组织形态的影响

新鲜草鱼肌肉试样含水量为78.4%,脂肪含量为

5.5%。当鱼肉温度达到35~40℃时,草鱼肌肉从半透明状变为乳白色,肉质由软变硬。继续加热到50~60℃时,鱼肉试样发生收缩变形,肌肉发生沿着纤维轴向的收缩,含水量下降,重量减少,硬度增加。鱼肉试样在加热时的重量减少,因加热温度、时间等不同而异。在50℃左右的变化主要与鱼肉中胶原的收缩有关,在60℃以上的变化主要与肌原纤维蛋白质的热变性有关<sup>[7]</sup>。鱼肉在受热初期,肌原纤维蛋白肽链中维持内部构造的氢键、疏水键等断开,处于展开状态,水分流出,随着加热温度的升高,肌原纤维蛋白发生更大的结构变化,分解,内部包裹的水流出,肌肉硬度增加,组织脆弱化。说明草鱼在加热前后鱼肉肌肉纤维组织结构发生显著的变化。

### 2.2 加热时鱼肉失水率的变化

草鱼肌肉分别在75℃、85℃、95℃3种加热条件下进行实验,从图1中可以看出,鱼肉失水率有两个较明显的失水率阶段。在第1个阶段,试样失水率达到总失水率的50%,其中加热温度在75℃时需要6min,在85℃或95℃时只需要2min;而在第2个阶段,再提高8%的失水率,所需的时间就相对较长,75℃加热需增加20min,95℃加热需增加10min。在加热开始阶段,鱼肉组织中,键能较小的蛋白质三级结构被破坏导致肌肉细胞破裂,释放出细胞内的游离水;随着加热温度升高和加热时间的延长,鱼肉蛋白质的二级结构也受到影响,使得肌肉组织中的吸附水与部分结合水被释放出来。由于鱼肉细胞中所含的游离水的量要远大于后者,而且容易流失,因此鱼肉试样加热初期失水的速度较快,而升高温度可使鱼肉初期失水的速度明显加快。

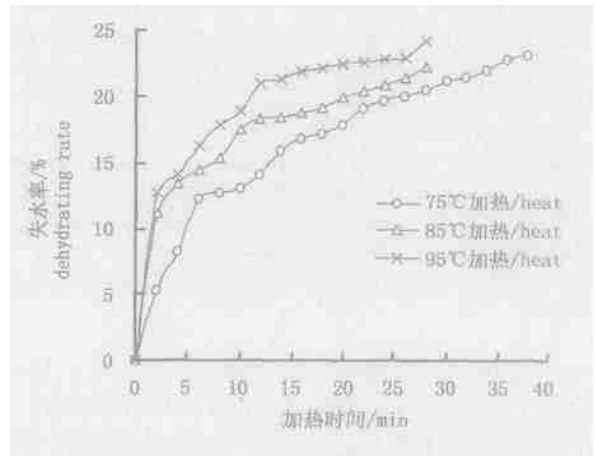


图1 不同温度下加热鱼肉失水率变化曲线

Fig. 1 The dehydrating rate under the heated condition

### 2.3 试验中鱼肉试样 $V_p$ 和 $f_h$ 值的变化

由图2可见,加热温度高, $V_p$ 值增加速率快。草鱼肌肉在95℃下加热, $V_p$ 值达到40min的速度要比85℃快1倍,比75℃快4倍。

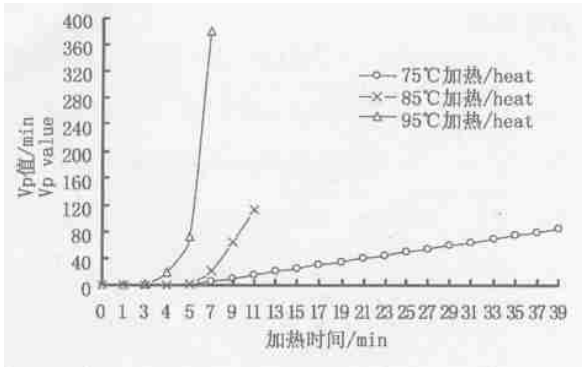


图2 不同温度下加热鱼肉  $V_p$  值变化关系曲线

Fig.2 The dynamics of  $V_p$  value under the heated condition

由表1可见,加热温度从75增加到95,草鱼肌肉的  $f_h$  值从5降到1.7,说明95下加热的传热速率最快,而图2也表明其  $V_p$  值变化迅速,在1 min内  $V_p$  值从73.3 min上升到189.6 min。

表1 试样中心达到加热温度的时间与升温曲线斜率  $f_h$  值的变化

Tab.1 The time of fish muscle center temperature up to the heated temperature and the changes of  $f_h$  values of the heating curve

温度( ) temperature	75	85	95
试样升温时间(min) ascending temperature time of fish muscle	22	8	<5
$f_h$ 值 $f_h$ value	5	4.1	1.7

2.4 加热对草鱼肌肉过氧化物酶的影响

图3和表2显示,草鱼肌肉在3个不同的温度(75、85、95)下加热,过氧化物酶失活所需要的加热时间差

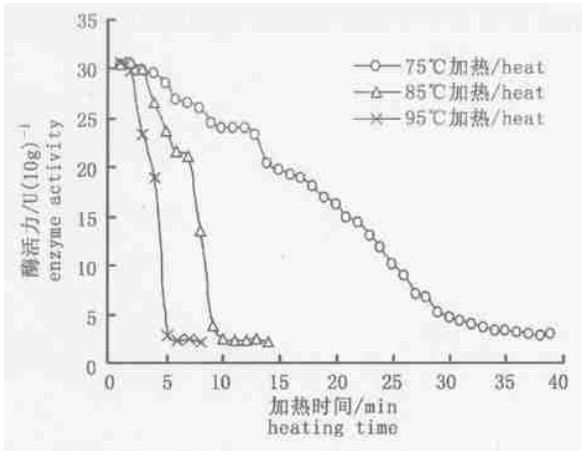


图3 不同温度加热鱼肉过氧化物酶失活关系曲线

Fig.3 The dynamics of peroxidase inactivated under the heated condition

表2 不同温度下草鱼肌肉过氧化物酶失活时间与  $V_p$  值比较

Tab.2 Comparison of  $V_p$  value and time of peroxidase inactivated under the heated condition

项目 parameter	温度( ) temperature		
	75	85	95
失活时间 (min) enzyme inactivated time	38	10	<6
$V_p$ 值 (min) $V_p$ value	82.4	89.8	189.6

异较大,尤其是当温度从75提高到85时,温度只提高10,过氧化物酶失活时间就降低了73.7%。加热温度在75或85时,过氧化物酶失活所需要的  $V_p$  值变化不大;加热温度在95加热时,过氧化物酶失活时  $V_p$  值较大,主要是温度越高,传热速率越快,  $V_p$  值变化迅速,但从第5分钟加热到第6分钟的过程中,过氧化物酶活力的变化只有  $0.5 U \cdot (10g)^{-1}$ ,酶基本已失活,故不能认为95加热时过氧化物酶失活  $V_p$  值为189.6 min,应该是在80~100 min。因此草鱼肌肉过氧化物酶失活与  $V_p$  值的大小没有直接相关的关系。

从图1、图2和表2对照可知,草鱼肌肉分别在75、85、95下加热,鱼肉过氧化物酶完成失活时的失水率分别为24%、17.5%、15%,说明提高加热温度可使草鱼肌肉热烫终点(指鱼肉过氧化物酶完成失活)的失水率减少。

2.5 加热对草鱼肌原纤维蛋白  $Ca^{2+}$ -ATPase 活性的影响

不同温度加热草鱼肌肉,其  $Ca^{2+}$ -ATPase 活性的变化直接反映出蛋白质的变性程度,由图4可知,加热温度越高,草鱼肌肉  $Ca^{2+}$ -ATPase 失活越快。其中,加热温度在50时,开始前5 min,  $Ca^{2+}$ -ATPase 活性降低较慢,加热1 min,  $Ca^{2+}$ -ATPase 的失活率仅为2.3%,在7 min后,才呈现

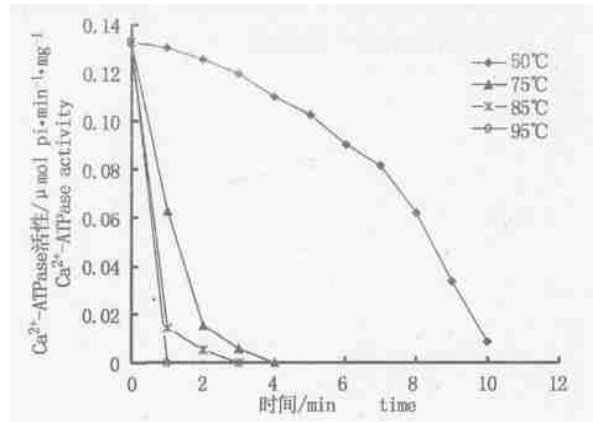


图4 不同温度下加热鱼肉  $Ca^{2+}$ -ATPase 活性失活曲线

Fig.4 The dynamics of  $Ca^{2+}$ -ATPase inactivated under the heated condition

出快速失活状态。但在 75、85、95 加热,  $\text{Ca}^{2+}$ -ATPase 活性迅速下降, 加热 1 min,  $\text{Ca}^{2+}$ -ATPase 的失活率分别为 50%、88% 和 100%。这说明肌原纤维蛋白在巴氏杀菌条件下, 很快发生变性。但草鱼肌肉  $\text{Ca}^{2+}$ -ATPase 在 50 以下的热稳定性较好, 这与鱼类栖息水域的水温有关<sup>[9,10]</sup>。因此在生产草鱼鱼糜时, 可适当提高漂洗水温, 缩短漂洗时间而达到漂洗目的, 提高生产效率。

### 3 结论

草鱼在加工过程中, 加热前后鱼肉肌肉纤维组织结构发生显著的变化, 鱼肉加热初期失水率占总失水率的一半, 失水速度较快。随着加热温度的升高, 鱼肉初期失水的速度明显加快,  $f_h$  值则显著降低,  $V_p$  值增加速率快, 到达加热终点(过氧化物酶失活)时间短, 鱼肉失水率小。在 75、85、95 3 种温度下加热, 草鱼肌肉过氧化物酶失活所需要的加热时间差异较大, 但所需要的  $V_p$  值变化不大, 而且  $V_p$  值均大于巴氏杀菌的最低要求 ( $V_p$  40 min)。草鱼肌原纤维蛋白  $\text{Ca}^{2+}$ -ATPase 在 50 以下的热稳定性较好, 但在巴氏杀菌条件下, 很快失活。

### 参考文献:

- [1] 朱松泉, 李振泉. 大宗淡水渔产品产业化的分析与展望[J]. 水利渔业, 2003, (2): 1-3.
- [2] 食品卫生检验方法理化部分[M]. 北京: 中国标准出版社, 1997. 17-24.
- [3] 邱澄宇. 尼罗罗非鱼肌肉热变性特点的研究[J]. 水生生物学报, 2000, (3): 293-295.
- [4] 邱澄宇. 在罐头杀菌条件计算中应用微型计算机的研究[J]. 厦门水产学院学报, 1986, (1): 25-29.
- [5] 胡学智, 陆敬懿, 张惠荪(译). 酶法食品分析[M]. 上海: 上海科技文献出版社, 1985.
- [6] 万建荣, 洪玉菁, 奚印慈, 等. 水产食品化学分析手册[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1993. 154-157.
- [7] 须山三千三, 鸿巢章二. 水产食品学[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1992. 221-242.
- [8] 加藤登, 野崎恒, 小松一宫. スケトウズラ冷冻すり身の新品判定法[J]. 日本水产学会志, 1979, (8): 1027-1032.
- [9] 桥本周久, 山口胜己, 渡部终五. 多获性赤身鱼的高度利用技术开发研究成果の概要[J]. 水产厅研究部, 1978, 225.
- [10] 今野久仁彦, 田泽明子, 高桥真之. 鱼类肌球蛋白的加热和冷冻变性机理[R]. 中日合作淡水渔业资源加工利用技术报告文集, 1999, 3: 11-22.

## 上海高校水产养殖学 E 研究院简介

上海高校水产养殖学 E 研究院是以上海水产大学水产养殖学国家级重点学科为依托, 利用网络平台, 以上海市现有水产养殖研究队伍为基础, 并吸收国内外顶尖人才加盟, 针对目前我国水产养殖业存在的种质、病害及环境等三大核心问题, 开展相关基础理论的研究方向为重点, 争取大型科研项目, 开展重点攻关, 稳定和培养一批优秀的水产养殖学科带头人和学术带头人, 为我国二十一世纪水产品的供应、保障及安全, 提供一流科技成果。目前, 上海高校水产养殖学 E 研究院学术委员会主任为夏德全院士, 首席研究员为李家乐教授。