腌制加工对麻竹笋质构和微观结构及色泽的影响

郑 炯[1,2]，宋家芯[1]，陈光静[1]，林 茂[1]，阚建全[1,2,*]
（1.西南大学食品科学学院，重庆 400715；2.农业部农产品贮藏保鲜质量安全风险评估实验室（重庆），重庆 400715）

摘 要：为了评价腌制加工对麻竹笋食用品质的影响，以大叶麻竹笋为实验原料，研究麻竹笋的质构、微观结构和色泽等在腌制加工前后的变化，并比较不同腌制食盐质量浓度之间的差异。结果表明：腌制加工以后麻竹笋的硬度、凝聚性、咀嚼性等质构特性显著下降，不同腌制食盐质量浓度对硬度有显著影响，而对凝聚性和咀嚼性的影响不显著。通过扫描电镜观察发现，麻竹笋在腌制加工以后，细胞壁呈现出明显的皱缩，细胞间隙增大，部分薄壁组织细胞出现破损。与鲜样相比，腌制加工后麻竹笋的亮度L^*降低，黄色度b^*升高，总色差$\Delta E>2$，说明腌制加工前后麻竹笋的色泽变化差异较大，可以从视觉上比较容易分辨。

关键词：麻竹笋；腌制加工；质构；微观结构；色泽

Effects of Pickling on the Texture, Microstructure and Color of Bamboo Shoots (*Dendrocalamus latiflorus*)

ZHENG Jiong[1,2], SONG Jia-xin[1], CHEN Guang-jing[1], LIN Mao[1], KAN Jian-quan[1,2,*]
(1. College of Food Science, Southwest University, Chongqing 400715, China;
2. Laboratory of Quality and Safety Risk Assessment for Agro-products on Storage and Preservation (Chongqing), Ministry of Agriculture, Chongqing 400715, China)

Abstract: The texture, microstructure and color of bamboo shoots (*Dendrocalamus latiflorus*) after pickling with different salt concentrations were investigated and compared with those of the unprocessed one in order to evaluate the effect of pickling on the edible quality of bamboo shoots. The results showed that textural characteristics such as hardness, cohesiveness and chewiness decreased obviously after pickling process. Meanwhile, different salt concentrations significantly influenced hardness whereas their effect on cohesiveness and chewiness were not obvious. The scanning electron microscope images of bamboo shoots revealed that the parenchyma cells obviously shrank and cell gap increased, and parts of parenchyma cells were damaged after pickling process. In addition, compared to those of fresh bamboo shoots, the lightness degree of pickled bamboo shoots decreased whereas yellowness degree increased, and the total color differences significantly changed. The research results may provide a reference for industrial production and eating quality control of pickled bamboo shoots.

Key words: bamboo shoots (*Dendrocalamus latiflorus*); pickling process; texture; microstructure; color
中图分类号：TS255.36 文献标志码：A 文章编号：1002-6630(2014)01-0085-04
doi:10.7506/spkx1002-6630-201401016

竹子，属于禾本科（Poaceae）竹亚科（Bambusoideae）植物。竹笋是从竹子的根状茎上发出的幼嫩的发育芽，竹笋作为一种蔬菜有着悠久的食用历史，尤其是在中国、日本和东南亚一些国家[1]。麻竹笋（*Dendrocalamus latiflorus*）又称甜竹、大绿竹、大叶乌竹，是丛生竹笋的一种，其生长适应性广、抗逆性强、产量高，已成为我国南方栽培最广的可食用竹笋之一。现代营养学研究表明，竹笋中脂肪含量少，膳食纤维、维生素和矿物质的含量丰富[2]，具有很高的营养价值。此外，竹笋中还含有许多的营养及生物活性物质，如氨基酸、类黄酮、多酚、甾醇等[3]。因此，竹笋具有较高的药用和食用价值。

腌制是一种重要的蔬菜加工方式，它不仅是一种保藏新鲜蔬菜的方法，也是一种改善蔬菜制品风味的方式。研究表明，在腌制加工过程中，蔬菜的营养成分、风味、质构和色泽等都会产生重要的变化，从而影响蔬菜的食用品质[4]。同时，对消费者而言，食品的质构和色泽是考虑其可接受性的重要影响因素[5]。因此，研究腌制

收稿日期：2013-01-08
基金项目：中央高校基本科研业务费专项（XDJK2013C131）
作者简介：郑炯（1982—），男，博士研究生，研究方向为食品化学、果蔬加工。E-mail：zhengjiong_swu@126.com
*通信作者：阚建全（1965—），男，教授，博士，研究方向为食品化学与营养学、食品生物技术。E-mail：ganjq1965@163.com

加工对蔬菜质构和色泽的影响显得尤为重要。目前，有一些学者研究了腌制加工对黄瓜[6-7]、胡萝卜[8]、马铃薯[9]等的质构和色泽的影响。但是，目前有关腌制加工对竹笋的质构特性和色泽的影响还鲜有报道。因此，本实验拟对麻竹笋的质构、微观结构和色泽等方面在腌制加工前后的变化进行对比研究，从而探讨腌制加工对麻竹笋质构和微观结构及色泽的影响，旨在为腌制麻竹笋的工业化生产和食用品质控制提供有益参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

大叶麻竹笋，采自重庆市北碚区施家梁镇大叶麻竹笋种植基地。

食盐 重庆盐业总公司；戊二醛、锇酸、磷酸二氢钾、乙醇、乙酸异戊酯均为分析纯 国药集团化学试剂有限公司。

1.2 仪器与设备

TA-XT2i质构分析仪 英国SMS公司；S-3000N扫描电镜 日本Hitachi公司；UltraScan PRO测色仪 美国Hunter Lab公司。

1.3 方法

1.3.1 麻竹笋的腌制

挑选无破损、新鲜，色泽较好，笋龄和大小相对一致的新鲜大叶麻竹笋，洗净。按照如下方法进行腌制：将鲜笋切分成长约4 cm、宽约3 cm、厚约0.5 cm的片状，沸水漂烫至煮透，沥干，冷却，采用湿腌法加食盐（食盐质量浓度分别为3、11、19 g/100 mL），密封保存，腌制90 d后进行测定。

1.3.2 质构测定[10]

将麻竹笋样品切成长约1 cm、宽约2 cm、厚约0.5 cm的大小，置于质构仪P36R探头下做质构分析测试。质构仪参数如下：测前速率：2 mm/s，测试速率：1 mm/s；测后速率与测试速率一致；压缩程度：70%；停顿时间：5 s；数据采集速率：400 pps；触发值：5 g。每个样品测试重复12次。

1.3.3 微观结构测定[11]

将麻竹笋样品切成长2 mm、宽2 mm、高2 mm的规格，置于4%戊二醛（室温）固定1～4 h，真空抽气0.5 h，置4 ℃冰箱中冷藏待用，处理前用0.1 mol/L磷酸缓冲液清洗3次，每次20 min；1%锇酸固定4 h，0.1 mol/L磷酸缓冲液清洗3次，每次20 min；梯度乙醇脱水，乙酸异戊酯过渡。临界点干燥，喷金镀膜后，利用日立S-3000N型扫描电镜扫描，观察麻竹笋细胞组织的微观结构。

1.3.4 色泽测定[12]

将麻竹笋样品切成长2 cm、宽2 cm、高5 mm的规格，使用测色仪在室温条件下采用去除镜面反射模式进行色泽测定。测定色泽参数分别为亮度值L^*、红绿值a^*、黄蓝值b^*。L^*值表示白度和亮度的综合值，该值越大表明被测物越白亮；a^*值和b^*值代表一个直角坐标的两个方向，$+a^*$表示红色方向，$-a^*$表示绿色方向；$+b^*$表示黄色方向，$-b^*$表示蓝色方向。通过L^*、a^*、b^*值可以计算得出总色差ΔE值，计算公式如下：

$$\Delta E=((L^*-L_0^*)^2+(a^*-a_0^*)^2+(b^*-b_0^*)^2)^{1/2}$$

1.4 数据分析

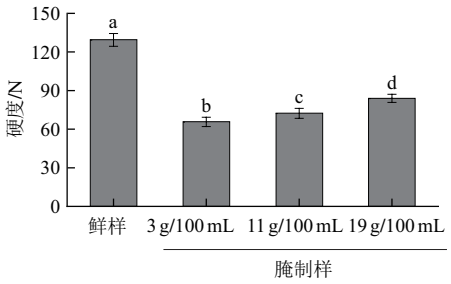
使用SPSS16.0，Microcal Origin 7.5等软件进行图表的绘制和相关数据的处理。每组实验数据重复测定3次，实验数据以$\bar{x}\pm s$表示。

2 结果与分析

2.1 腌制加工对麻竹笋质构特性的影响

2.1.1 腌制加工对麻竹笋硬度的影响

硬度是评价水果和蔬菜质构品质的最重要的指标之一[13]，新鲜麻竹笋和不同食盐质量浓度腌制麻竹笋的硬度如图1所示。



小写字母不同表示差异显著（$P<0.05$）。图2、3同。

图1 腌制加工对麻竹笋硬度的影响

Fig.1 Effect of pickling process on hardness of bamboo shoots

由图1可知，腌制加工对麻竹笋的硬度变化具有显著的影响（$P<0.05$），麻竹笋鲜样的硬度为129.38 N，经过不同食盐质量浓度腌制以后，其硬度值均大幅下降，结果说明麻竹笋在进行腌制加工以后质地会变软，这与Cho等[7]对腌制黄瓜的质地研究结果一致。Buren[14]研究表明水果和蔬菜的质构特性很大程度上决定于细胞壁中的果胶物质的组成和含量。此外，Nabais等[15]也报道了蔬菜在腌制过程中质地变软主要与蔬菜中的果胶物质分解，以及一些生物化学变化有密切关系。所以，麻竹笋经过腌制加工以后硬度降低的原因可能也是由于其细胞壁组织中的果胶物质的分解所导致。比较不同食盐质量浓度腌制的麻竹笋的硬度，结果显示不同食盐质量浓度之间有显著性差异（$P<0.05$），说明腌制食盐质量浓度对麻竹笋的硬度也有显著的影响。其中，3 g/100 mL食盐质量浓度腌制样品的硬度最低，19 g/100 mL食盐质量浓度腌

制样品的硬度最高，说明腌制食盐质量浓度越高，麻竹笋的硬度也越大，这可能是由于高盐质量浓度对果胶物质的分解有一定的抑制作用。

2.1.2 腌制加工对麻竹笋凝聚性的影响

凝聚性表示的是样品经过第1次压缩变形后所表现出来的对第2次压缩的相对抵抗能力[16]，它反映的是样品抗咀嚼做功的恢复能力，凝聚性越高，表示样品耐咀嚼的能力越高。新鲜麻竹笋和不同食盐质量浓度的腌制麻竹笋的凝聚性如图2所示。

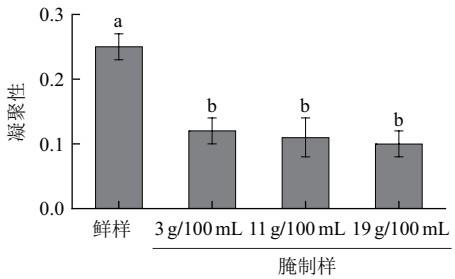


图 2 腌制加工对麻竹笋凝聚性的影响

Fig.2 Effect of pickling process on cohesiveness of bamboo shoots

由图2可知，腌制加工对麻竹笋的凝聚性变化具有显著的影响（$P<0.05$），麻竹笋经过3、11、19 g/100 mL的食盐质量浓度腌制以后，其凝聚性分别下降了40%、56%、60%，其原因可能是因为麻竹笋经过腌制加工以后，其组织细胞间结合力的下降，以致竹笋组织变得疏松，凝聚性大幅降低。比较3个不同盐质量浓度腌制样品的凝聚性，其大小依次为：3 g/100 mL＞11 g/100 mL＞19 g/100 mL，但统计学分析，各组结果之间无显著性差异（$P>0.05$），说明不同盐质量浓度对腌制麻竹笋的凝聚性影响不大。

2.1.3 腌制加工对麻竹笋咀嚼性的影响

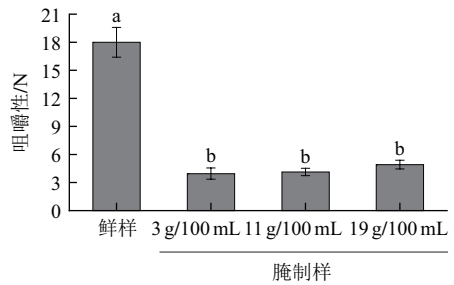


图 3 腌制加工对麻竹笋咀嚼性的影响

Fig.3 Effect of pickling process on chewiness of bamboo shoots

咀嚼性表示的是将食品咀嚼到可吞咽时需要做的功，为弹性、凝聚性和硬度的乘积，它综合反映了样品对持续咀嚼的抵抗能力[17]。新鲜麻竹笋和不同食盐质量浓度的腌制麻竹笋的咀嚼性如图3所示。腌制加工对麻竹笋的咀嚼性变化具有显著的影响（$P<0.05$），麻竹笋鲜样的咀嚼性为17.99 N，麻竹笋经过3、11、19 g/100 mL的食盐质量浓度腌制以后，其咀嚼性分别下降到3.96、4.13、4.92 N，表明麻竹笋腌制加工以后，变得绵软和不耐咀嚼，其原因可能是因为麻竹笋经过腌制加工以后，组织里面的果胶分解和纤维素含量降低，导致其咀嚼性大幅降低。比较3个不同食盐质量浓度腌制样品的咀嚼性，其大小依次为：19 g/100 mL＞11 g/100 mL＞3 g/100 mL，但统计学分析，各组结果之间无显著性差异（$P>0.05$），说明腌制食盐质量浓度对麻竹笋的咀嚼性影响不大。

2.2 腌制加工对麻竹笋微观结构的影响

腌制食品的质构变化常常受到其细胞膜、细胞壁和中间层的萎缩或破裂等微观结构变化的影响[6]。麻竹笋鲜样和腌制样组织的横切面电镜扫描图片如图4所示。

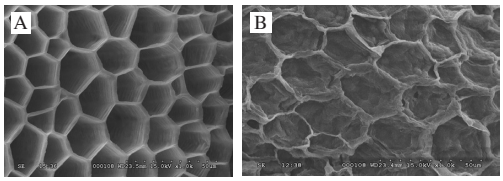


图 4 麻竹笋鲜样品（A）和腌制样品（B）组织结构的电镜扫描图

Fig.4 Scanning electron microscopy photographs of fresh (A) and pickled (B) bamboo shoots

由图4可知，麻竹笋鲜样的薄壁细胞呈现出有规则排列，细胞几乎保持完整，没有破裂和损坏。同时，细胞之间的界限清楚，细胞壁的结构基本一致。经过腌制加工以后，麻竹笋的薄壁细胞形态发生了一定的改变，细胞壁呈现出明显的皱缩，细胞间隙增大并呈现出有许多不规则形状，但细胞之间的界限基本清楚。与细胞几乎保持完整鲜样相比，腌制样的部分薄壁组织细胞出现破损。Llorca等[8]在研究发酵时间对腌制胡萝卜的质构和微观结构时发现，腌制以后胡萝卜的薄壁细胞会出现破损，并且细胞壁的强度和黏附力有所降低，这一结果与本实验对腌制麻竹笋的微观结构分析结果较一致。麻竹笋经过腌制加工以后，薄壁细胞和细胞壁等微观结构的变化可能是由于细胞壁中的果胶物质在腌制过程中的分解和转化所导致，而腌制麻竹笋细胞壁的强度和黏附力的降低，也反映在其质构特性中的硬度值下降。

2.3 腌制加工对麻竹笋色泽的影响

表 1 麻竹笋鲜样和腌制样的色泽（$\bar{x}\pm s$，n=3）

Table 1 Color of fresh and pickled bamboo shoots ($\bar{x}\pm s$, n=3)

样品	L*	a*	b*	ΔE
鲜样	78.82 ± 1.23^{a}	-1.79 ± 0.10^{a}	13.81 ± 1.66^{a}	
腌制样（3 g/100 mL）	65.66 ± 1.76^{b}	-2.08 ± 0.23^{a}	20.58 ± 1.44^{b}	14.80
腌制样（11 g/100 mL）	70.06 ± 1.48^{b}	-1.71 ± 0.29^{a}	29.85 ± 2.39^{c}	18.28
腌制样（19 g/100 mL）	68.40 ± 1.79^{b}	-2.49 ± 0.36^{a}	26.78 ± 2.13^{c}	17.18

注：同列字母不同表示差异显著（$P<0.05$）。

由表1可知，腌制麻竹笋的L*和b*较鲜样发生显著变

化（$P<0.05$），而a^*的变化不显著，说明腌制加工对麻竹笋的亮度和黄蓝色度有较大影响，而对红绿色度的影响不大。经过腌制加工以后，麻竹笋的L^*值均有显著下降，说明麻竹笋在腌制加工过程中亮度会降低；同时，b^*值均有显著增加，其中11 g/100 mL的食盐质量浓度为最高，达到29.85，说明麻竹笋在腌制加工过程中黄色度会升高，这种颜色的变化可能与腌制加工过程中漂烫加热对类胡萝卜素的降解有关[18]。比较不同食盐质量浓度的腌制样品，L^*和a^*无显著差异，而11、19 g/100 mL食盐质量浓度与3 g/100 mL食盐质量浓度的样品之间b^*具有显著差异，说明不同食盐质量浓度对腌制麻竹笋的L^*和a^*的影响不大，但是对b^*有较大影响。

ΔE是指麻竹笋腌制加工前后色泽变化差异的指标，ΔE值越大表示色泽差异越大。ΔE作为一个色度参数广泛用来描述食品的色泽在加工过程中的变化[5]。在许多研究都将ΔE=2作为视觉能否分辨的界限[19-20]。当ΔE在0～2之间时，色泽的变化在视觉上是无法察觉到的；但当ΔE>2时视觉就可发现明显的色泽变化。由表1可知，麻竹笋在腌制加工以后，不同食盐质量浓度的ΔE均大于2，说明腌制加工前后麻竹笋的色泽变化差异较大，可以从视觉上比较容易分辨。腌制加工过程中的漂烫处理可能是引起这种较大的色泽差异的部分原因[21-22]。同时，麻竹笋腌制过程中的水分含量的变化也有可能引起色泽，特别是L^*的变化[23]，但其影响机理还需要进一步的研究。此外，在腌制过程中的一些生化反应，如原料中蛋白质的分解、pH值的快速降低、非酶褐变等，可能也是造成颜色变化的原因[24-25]。

3 结 论

腌制加工以后麻竹笋的硬度、凝聚性、咀嚼性等值均大幅下降，说明麻竹笋在进行腌制加工以后组织细胞间结合力下降、质地会变软，这可能是由于麻竹笋在腌制过程中细胞壁组织中的果胶物质的被分解所导致。不同食盐质量浓度的腌制样之间硬度有显著差异，而凝聚性和咀嚼性的差异不显著，说明腌制食盐质量浓度对麻竹笋的硬度有显著影响，而对凝聚性和咀嚼性的影响不大。通过扫描电镜观察发现，麻竹笋鲜样的薄壁细胞呈现出有规则排列，细胞几乎保持完整，没有破裂和损坏，细胞壁的结构基本一致；而在腌制加工以后，细胞壁呈现出明显的皱缩，细胞间隙增大，部分薄壁组织细胞出现破损。麻竹笋组织的微观结构变化可能是由于细胞壁中的果胶物质在腌制过程中的分解和转化所导致。与鲜样相比，腌制加工后麻竹笋的L^*显著下降，b^*显著增加，而a^*变化不显著，说明麻竹笋在腌制加工过程中亮度会降低，黄色度会升高；同时，ΔE>2，说明腌制加工前后麻竹笋的色泽变化差异较大，可以从视觉上比较容易分辨。因此，麻竹笋的质构、微观结构和色泽等方面在腌制加工前后会产生的显著变化，但其变化机理还需要进一步的探讨。

参考文献：

[1] CHOUDHURY D, SAHU J K, SHARMA G D. Value addition to bamboo shoots: a review[J]. Journal of Food Science and Technology-Mysore, 2012, 49(4): 407-414.

[2] BHATT B P, SINGH K, SINGH A. Nutritional values of some commercial edible bamboo species of the North Eastern Himalayan region, India[J]. Journal of Bamboo and Rattan, 2005, 4(2): 111-124.

[3] NIRMALA C, DAVID E, SHARMA M L. Changes in nutrient components during ageing of emerging juvenile bamboo shoots[J]. International Journal of Food Sciences and Nutrition, 2007, 58(8): 612-618.

[4] NABAIS R M, MALCATA F X. Some aspects of vegetable pickling processes[J]. Food Science and Technology International, 1997, 3(1): 1-11.

[5] GUINE R P F, BARROCA M J. Effect of drying treatments on texture and color of vegetables (pumpkin and green pepper)[J]. Food and Bioproducts Processing, 2012, 90(C1): 58-63.

[6] YOO K M, HWANG I K, JI G E, et al. Effects of salts and preheating temperature of brine on the texture of pickled cucumbers[J]. Journal of Food Science, 2006, 71(2): 97-101.

[7] CHO M J, BUESCHER R W. Potential role of native pickling cucumber polygalacturonase in softening of fresh pack pickles[J]. Journal of Food Science, 2012, 77(4): 443-447.

[8] LLORCA E, PUIG A, HERNANDO I, et al. Effect of fermentation time on texture and microstructure of pickled carrots[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2001, 81(15): 1553-1560.

[9] SIVAKUMAR P S, PANDA S H, RAY R C, et al. Consumer acceptance of lactic acid-fermented sweet potato pickle[J]. Journal of Sensory Studies, 2010, 25(5): 706-719.

[10] GARCIA-SEGOVIA P, ANDRES-BELLO A, MARTINEZ-MONZO J. Textural properties of potatoes (*Solanum tuberosum* L., cv. Monalisa) as affected by different cooking processes[J]. Journal of Food Engineering, 2008, 88(1): 28-35.

[11] NUNES C, SANTOS C, PINTO G, et al. Effect of candying on microstructure and texture of plums (*Prunus domestica* L.)[J]. LWT-Food Science and Technology, 2008, 41(10): 1776-1783.

[12] NATH A, CHATTOPADHYAY P K. Optimization of oven toasting for improving crispness and other quality attributes of ready to eat potato-soy snack using response surface methodology[J]. Journal of Food Engineering, 2007, 80(4): 1282-1292.

[13] ZHANG Lifen, CHEN Fusheng, YANG Hongshun, et al. Changes in firmness, pectin content and nanostructure of two crisp peach cultivars after storage[J]. LWT-Food Science and Technology, 2010, 43(1): 26-32.

[14] BUREN V. The chemistry of texture in fruits and vegetables[J]. Journal of Texture Studies, 1979, 10(1): 1-23.

[15] NABAIS R M, MALCATA F X. Some aspects of vegetable pickling processes[J]. Food Science and Technology International, 1997, 3(1): 1-11.

[16] 徐志斌, 陈青, 励建荣. 水发条件对海参(*Acaudina molpadioidea*)质构特性及微观结构的影响研究[J]. 食品科学, 2010, 31(7): 37-41.

[17] 潘秀娟, 屠康. 质构仪质地多面分析(TPA)方法对苹果采后质地变化的检测[J]. 农业工程学报, 2005, 21(3): 166-170.

[18] GONCALVES E M, PINHEIRO J, ABREU M, et al. Modelling the kinetics of peroxidase inactivation, colour and texture changes of pumpkin (*Cucurbita maxima* L.)[J]. Journal of Food Engineering, 2007, 81(4): 693-701.

[19] ZHOU Linyan, WANG Yuanyuan, HU Xiaosong, et al. Effect of high pressure carbon dioxide on the quality of carrot juice[J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2009, 10(3): 321-327.

[20] ZHANG Fusheng, ZHAO Jun, CHEN Fang, et al. Effects of high hydrostatic pressure processing on qualities of yellow peaches in pouch[J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(6): 337-343.

[21] SHAMAILA M, DURANCE T, GIRARD B. Water blanching effects on headspace volatiles and sensory attributes of carrots[J]. Journal of Food Science, 1996, 61(6): 1191-1195.

[22] NDIAYE C, XU S, WANG Z. Steam blanching effect on polyphenoloxidase, peroxidase and colour of mango (*Mangifera indica* L.) slices[J]. Food Chemistry, 2009, 113(1): 92-95.

[23] BRAS A, COSTA R. Influence of brine salting prior to pickle salting in the manufacturing of various salted-dried fish species[J]. Journal of Food Engineering, 2010, 100(3): 490-495.

[24] LAURITZSEN K, AKSE L, JOHANSEN A. Physical and quality attributes of salted cod (*Gadus morhua* L.) as affected by the state of rigor and freezing prior to salting[J]. Food Research International, 2004b, 37(7): 677-688.

[25] NISHA P, SINGHAL R S, PANDIT A B. A study on the degradation kinetics of visual green colour in spinach (*Spinacea oleracea* L.) and the effect of salt therein[J]. Journal of Food Engineering, 2004, 64(1): 135-142.