

# 热烫叶菜在冷链储运及微波复热过程中的品质变化

李沐生<sup>1,2</sup>, 李印<sup>1</sup>, 黄智君<sup>1</sup>, 阮征<sup>1,2</sup>

(1. 华南理工大学食品科学与工程学院, 广东广州 510640)

(2. 广东省天然产物绿色加工与产品安全重点实验室, 广东广州 510640)

**摘要:** 论文以上海青和菜心作为研究对象, 探究了叶菜在热烫加工、冷链贮藏和微波复热过程中亚硝酸盐含量、硝酸盐含量、菌落总数、维生素 C (Vc) 含量等指标的变化。结果表明: 因亚硝酸盐易溶于水, 热烫处理能有效降低叶菜中的亚硝酸盐含量; 冷藏过程前期叶菜中的 Vc 协助抑制亚硝酸盐增长, 而冷藏后期随着 Vc 的消耗和微生物增长, 亚硝酸盐含量逐渐增加, 上海青和菜心在 4 °C 分别冷藏 5 d 和 4 d 后亚硝酸盐含量仍能维持在 4 mg/kg 的安全标准内, 而 10 °C 冷藏的只能保证 2 d 内的安全性; 微波复热过程由于水分散失导致硝酸盐和亚硝酸盐的浓度增加, 因此复热过程应避免大面积敞口加热。本文探索了热烫叶菜在冷链储运及微波复热过程中亚硝酸盐的累积机理, 为其应用于冷链盒饭提供理论依据。

**关键词:** 上海青; 菜心; 热烫; 冷链; 微波; 储藏; 安全

文章编号: 1673-9078(2017)6-255-261

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2017.6.038

## Changes in Quality and Safety of Blanched Green Leafy Vegetables during Cold-chain Storage and Microwave Reheating

LI Bian-sheng<sup>1,2</sup>, LI Yin<sup>1</sup>, HUANG Zhi-jun<sup>1</sup>, RUAN Zheng<sup>1,2</sup>

(1. College of Food Science and Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

(2. Guangdong Province Key Laboratory for Green Processing of Natural Products and Product Safety, Guangzhou 510640, China)

**Abstract:** The Chinese cabbage (CC) and Chinese flowering cabbage (CFC) were used as the study objects here, and the changes in the nitrite content, nitrate content, total bacterial count, and vitamin C (Vc) content of green leafy vegetables during blanching, cold-chain storage, and microwave-reheating processes were explored. The results showed that the blanching process significantly reduced the nitrite content, because nitrite is readily soluble in water. At the beginning of cold storage, Vc content in the leafy vegetables helped inhibit increases in nitrite content; however, during the late stage of cold storage, nitrite content increased gradually along with the bacterial growth Vc consumption. Additionally, when CC and CFC were stored at 4 °C for five days and four days, respectively, the nitrite content remained below the safety limit of 4 mg/kg, whereas for a storage at 10 °C, the food safety could only be ensured for two days. During the microwave-reheating process, nitrate and nitrite concentrations increased as water evaporated, indicating that uncovered reheating should be avoided. This study investigated the mechanism associated with nitrite accumulation during the cold-chain storage and microwave reheating of blanched green leafy vegetables, and provides a theoretical foundation for the application of blanched green leafy vegetables in cold-chain-packed meals.

**Key words:** Chinese cabbage; Chinese flowering cabbage; blanching; cold-chain storage; microwave; storage; safety

冷链菜肴是指菜肴烹饪后须在 2 h 内使其中心温度降至 10 °C 以下, 并在 10 °C 以下进行分装、贮存和运输, 食用前还要进行复热至中心温度不低于 70 °C 的

究菜肴<sup>[1]</sup>。冷链菜肴经历了高温烹饪、低温冷藏及高温复热三个重要过程, 温度和时间跨度大, 对菜肴的品质影响较大。在超市和连锁便利店常见的冷链盒饭为其主要应用领域, 叶菜由于感官容易发生劣变且亚硝酸盐含量容易超标, 在冷链盒饭中应用较少。

国内外已有不少针对处理方式对蔬菜中硝酸盐和亚硝酸盐含量的影响的研究。Hao 等的研究表明, 使用氧化电位水处理菠菜<sup>[2]</sup>和用二氧化氯水溶液浸泡处理过莴苣<sup>[3]</sup>均能有效减少鲜菜叶中的亚硝酸盐含量。

收稿日期: 2016-08-26

基金项目: 省级现代农业 (农产品无损检测及精深加工) 产业技术研发中心建设项目资助 (B2152840)

作者简介: 李沐生 (1962-), 男, 博士, 教授, 主要从事食品科学与工程, 食品加工与保藏等方面研究

通讯作者: 阮征 (1972-), 女, 博士, 副教授, 主要从事食品加工与保藏研

在中国饮食习惯中,热烫为烹饪叶菜最常用的方式,市售冷链盒饭中的瓜、花和叶菜类普遍使用热烫烹饪。Vahed S 等人发现,相较于微波蒸煮,水煮能更有效地降低根茎类蔬菜的亚硝酸盐含量,而煎炸反而会增加亚硝酸盐含量<sup>[3]</sup>。研究表明,热烫烹饪可以显著降低十字花科和根菜类蔬菜的硝酸盐含量<sup>[4,5]</sup>,但对花菜类的影响并不显著,而热烫、油炒烹饪方式都能使根茎类蔬菜和叶菜的亚硝酸盐含量显著下降<sup>[6,7]</sup>。

在低温冷藏过程中,菜肴的品质变化随着贮藏时间的增加而累积,且变化不可逆。张晓银发现,随着冷藏时间延长,莴笋和菜心的菌落总数不断增加,其亚硝酸盐含量随着微生物的生长而增加<sup>[8]</sup>。而潘静娴等人的研究表明,4℃可以延缓熟制叶菜的亚硝酸盐累积,增长速率远小于常温保藏,一般蔬菜保存在0~5℃范围最佳<sup>[7]</sup>。

冷链盒饭在食用前必须进行复热,微波加热可以有效杀灭食品中的细菌,是一种便捷高效的加热技术<sup>[9]</sup>。微波加热时间短,可降低食品营养成分和水分的损失;效率高,可大大节省时间和能源<sup>[10]</sup>。微波加热时间与微波功率、食物重量、密度和含水量等因素均有很大关系。目前对冷链盒饭复热条件的研究较少,对于不同厂家生产的同类产品,若复热条件不统一,出炉效果不尽相同。

本实验以上海青和菜心这两种叶菜为研究对象,根据叶菜在热烫加工、冷链贮藏和微波复热过程中亚硝酸盐含量、硝酸盐含量、菌落总数和Vc含量等指标的变化,探索叶菜在冷链加工过程中亚硝酸盐的累积机理,为叶菜在冷链盒饭的应用提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

市售新鲜上海青和菜心,选择形态完整、颜色均匀、无明显缺陷的原料。

亚铁氰化钾、乙酸锌、对氨基苯磺酸、盐酸萘乙二胺、水杨酸和2,6-二氯靛酚等试剂,均为分析纯。

### 1.2 仪器与设备

CW2001-Z 红外炉,艾美特电器有限公司;BCD-219SK 冰箱,海尔集团有限公司;D8023CSL-K4 微波炉,格兰仕微波炉电器有限公司。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 实验设计

##### 1.3.1.1 预处理

选取在常温20℃贮藏2d的蔬菜,去除黄叶,将上海青每片叶片分开,菜心整颗备用。将蔬菜放置漏框中,用流水冲洗蔬菜表面杂质泥沙等,沥水备用。

##### 1.3.1.2 热烫

按蔬菜和水的用量比为1:5的比例将适量的水加入锅中,待水沸腾后,加入蔬菜分别热烫1、2、3、4、5 min。为减少水分散失影响结果,热烫过程中盖上锅盖。另外,热烫过程中不加盐,防止盐分对干物质、硝酸盐含量和亚硝酸盐含量等造成干扰<sup>[11]</sup>。

##### 1.3.1.3 冷却冷藏

采用真空冷却方式对热烫4 min的叶菜进行冷却。热烫后的蔬菜敞口放置于真空冷却室中,将其中心温度冷却至10℃。取出蔬菜后,分装到聚丙烯塑料碗中,每份菜肴约100 g,封口,分别置于4℃和10℃环境中冷藏。分装时尽量避免细菌污染。

##### 1.3.1.4 微波复热

对10℃下冷藏3d的热烫叶菜进行微波复热,约100 g菜肴装于聚丙烯塑料碗中,覆盖带孔保鲜膜,于800 W的微波炉中分别复热0~180 s。

### 1.3.2 亚硝酸盐含量测定

蔬菜的亚硝酸盐含量按GB 5009.33-2010中第二法分光光度法进行测定。

### 1.3.3 硝酸盐含量测定

蔬菜硝酸盐含量的测定参考李合生<sup>[12]</sup>的方法。

### 1.3.4 菌落总数测定

蔬菜的菌落总数按照GB 4789.2-2010进行测定。

### 1.3.5 维生素C含量测定

蔬菜的维生素C含量按照GB 6195-1986进行测定。

### 1.3.6 pH值测定

蔬菜的pH值按照GB 10468-1989进行测定。

### 1.3.7 失重率测定

样品的失重率根据公式(1)计算:

$$\text{失重率}(\%) = (W_1 - W_0) / W_0 \times 100\% \quad (1)$$

式中, $W_0$ 为样品的初始重量(g), $W_1$ 为样品贮藏后的重量(g)。

### 1.3.8 数据分析

每个数据均为三次测定的平均值,试验重复三次均得到类似规律。数据应用SPSS 20.0和Excel 2010软件进行处理分析。

## 2 结果与讨论

### 2.1 叶菜在热烫过程中的品质变化

#### 2.1.1 菌落总数

新鲜叶菜的初始菌落总数较高,为5~6个数量级,清洗可使其微生物降低1~2个数量级。两种叶菜在热烫过程中的菌落总数变化如图1所示。上海青叶面光滑较易清洗,清洗后其初始菌落总数略低于菜心。随着热烫时间的增加,两种叶菜的菌落总数显著降低( $p<0.05$ ),上海青的菌落总数下降速率略快于菜心,这与叶菜的形态及叶面光滑程度有关。

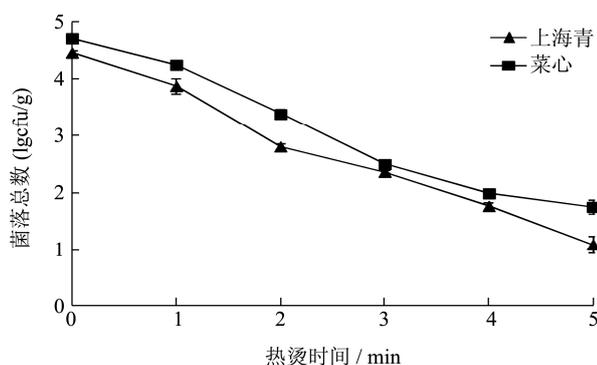


图1 叶菜在热烫过程中的菌落总数变化

Fig.1 Changes in the total bacterial count of green leafy vegetables during blanching

### 2.1.2 亚硝酸盐与硝酸盐含量

两种叶菜和热烫水在热烫过程中的亚硝酸盐和硝酸盐含量变化如图2和图3所示,亚硝酸盐和硝酸盐均可溶于水,在热烫过程中易溶出在热烫水中。热烫方式对叶菜和热烫水中的亚硝酸盐含量影响显著( $p<0.05$ )。随着热烫时间的增加,叶菜的亚硝酸盐和硝酸盐含量不断下降,而热烫水中的含量则不断上升。菜心在热烫前2 min的亚硝酸盐和硝酸盐含量降低速率比上海青低;热烫3 min后,两种蔬菜的亚硝酸盐和硝酸盐含量降低速率减缓;热烫4 min时,叶菜和水中亚硝酸盐含量基本达到平衡。亚硝酸盐和硝酸盐在两种蔬菜中变化速率的差异是由蔬菜的外形导致

的,菜心叶面褶皱较多,叶片重叠且茎较粗,而上海青表面光滑,因此上海青的传热和传质效率更高。

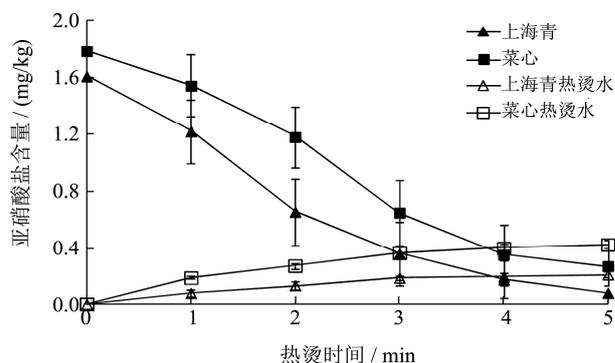


图2 叶菜在热烫过程中的亚硝酸盐含量变化

Fig.2 Changes in the nitrite content of green leafy vegetables during blanching

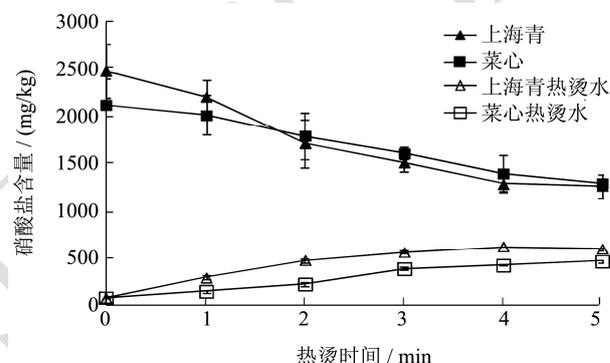


图3 叶菜在热烫过程中的硝酸盐含量变化

Fig.3 Changes in the nitrate content of green leafy vegetables during blanching

### 2.1.3 Vc含量与pH值

表1 叶菜在热烫过程中的维生素C含量和pH值变化

Table 1 Changes in the Vc content and pH of green leafy vegetables during blanching

热烫时间/min	0	1	2	3	4	5	
Vc/( $\times 10^{-2}$ mg/g)	上海青	33.21 $\pm$ 0.34 <sup>a</sup>	29.43 $\pm$ 1.05 <sup>ab</sup>	28.41 $\pm$ 1.87 <sup>b</sup>	27.49 $\pm$ 2.98 <sup>b</sup>	25.12 $\pm$ 2.07 <sup>bc</sup>	21.16 $\pm$ 1.59 <sup>c</sup>
	菜心	75.51 $\pm$ 0.56 <sup>a</sup>	70.99 $\pm$ 5.92 <sup>ab</sup>	67.35 $\pm$ 3.01 <sup>ab</sup>	64.2 $\pm$ 2.02 <sup>bc</sup>	57.1 $\pm$ 3.61 <sup>cd</sup>	54.11 $\pm$ 4.66 <sup>d</sup>
pH	上海青	6.53 $\pm$ 0.08 <sup>a</sup>	6.56 $\pm$ 0.09 <sup>ab</sup>	6.67 $\pm$ 0.05 <sup>bc</sup>	6.74 $\pm$ 0.04 <sup>cd</sup>	6.79 $\pm$ 0.02 <sup>cd</sup>	6.82 $\pm$ 0.04 <sup>d</sup>
	菜心	6.56 $\pm$ 0.08 <sup>a</sup>	6.7 $\pm$ 0.14 <sup>ab</sup>	6.85 $\pm$ 0.12 <sup>abc</sup>	6.97 $\pm$ 0.15 <sup>bc</sup>	6.99 $\pm$ 0.09 <sup>bc</sup>	7.03 $\pm$ 0.17 <sup>c</sup>

注:数值表示为均值 $\pm$ 标准偏差,通过Duncan极差方差分析,同行具有相同字母标注表明差异不显著( $p>0.05$ ),不同字母表明差异性显著( $p<0.05$ )。

两种叶菜在热烫过程中的Vc含量及pH变化如表1所示,随着热烫时间的增加,上海青和菜心的Vc含量呈现不断下降的趋势,但是热烫前期对绿叶菜肴的Vc含量影响并不显著,这可能与样品的差异性以及传热性有关。由于热烫时蔬菜和水的重量比为1:5,

绿叶菜叶片较多,形态不平整,会对传热造成影响。与新鲜叶菜相比,上海青和菜心中的Vc含量分别在热烫第5 min和第4 min显著下降( $p<0.05$ )。

在热烫过程中,上海青和菜心的pH值均有增加的趋势。与热烫前相比,上海青与菜心的pH值分别

在热烫 2 min 和 3 min 后显著增加 ( $p < 0.05$ )。实验时测得自来水 pH 值为 7.93, 高于上海青和菜心在热烫前的 pH 值, 热烫加工以水为介质, 通过对流传热使蔬菜加热, 在此过程中, 蔬菜和水发生物质交换, pH 值升高。

## 2.2 热烫叶菜在冷藏过程中的品质变化

前期经过预实验对热烫叶菜在冷藏过程的感官品质进行评价, 发现上海青在 4 °C 冷藏 3 d 后开始出现黄化现象, 6 d 后黄化严重, 有明显的酸败味, 已无商品价值; 菜心在 5 d 后即出现菜叶软烂现象。在 10 °C 储藏时, 感官劣变速度更快。因此储藏时间设定为 5 d。

### 2.2.1 菌落总数

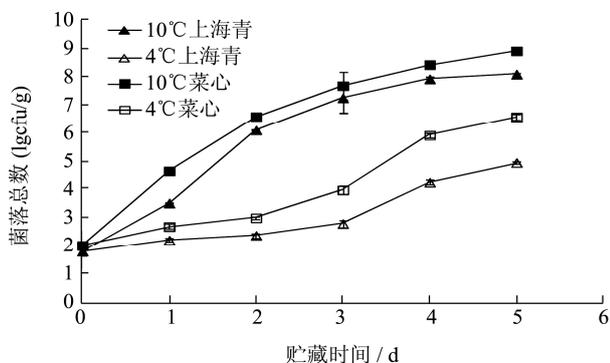


图4 热烫叶菜在冷藏过程中的菌落总数变化

Fig.4 Changes in the total bacterial count of blanched green leafy vegetable dishes during cold storage

两种热烫叶菜在冷藏过程中的菌落总数变化如图 4 所示, 随着冷藏时间的增加, 两者的菌落总数不断增加, 贮藏后期增长速率变缓。冷藏温度对蔬菜菌落总数的影响显著 ( $p < 0.05$ ), 冷藏温度越低, 菌落总数增长越缓慢。参考《非预包装即食食品微生物限量》标准 (DBS 44/006-2016), 菌落总数  $< 10^6$  可评为满意,  $10^6 \sim 10^7$  为可接受范围,  $\geq 10^7$  为不合格, 从微生物指标进行评价, 在 10 °C 储藏温度下, 两种蔬菜的储藏期不超过 3 d, 1 d 内食用最佳; 而在 4 °C 储藏温度下, 5 d 内两者的微生物指标均未超标, 菜心在 4 d 内食用为宜。

### 2.2.2 亚硝酸盐与硝酸盐含量

两种热烫叶菜在冷藏过程中的亚硝酸盐含量变化如图 5 所示, 随着冷藏时间的增加, 热烫叶菜的亚硝酸盐含量不断上升。冷藏温度对热烫叶菜亚硝酸盐含量的影响显著 ( $p < 0.05$ ), 冷藏温度越低, 亚硝酸盐的增长速率越小。10 °C 冷藏 2 d 后, 菜心的亚硝酸盐含量显著增长, 而 4 °C 冷藏则在 5 d 后才显著增长。而上海青在 10 °C 冷藏 3 d 后有显著增长, 而 4 °C 冷藏则在 6 d 后才显著增长。在冷藏过程中菜心的亚硝酸

盐含量增长速率比上海青大得多。上海青 10 °C 冷藏 5 d 后, 亚硝酸盐含量不超过 15 mg/kg, 而此时菜心亚硝酸盐含量已超过 90 mg/kg。根据 GB 2762-2005, 蔬菜中亚硝酸盐限量指标为 4 mg/kg, 因此, 若以亚硝酸盐含量为指标, 上海青 4 °C 冷藏下的储藏期可达 5 d, 菜心则不超过 4 d, 而在 10 °C 冷藏下均缩短为 2 d。

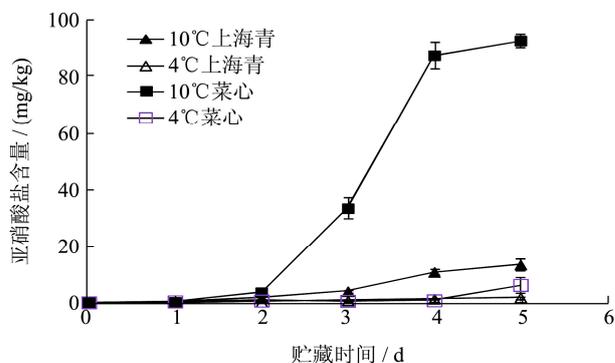


图5 热烫叶菜在冷藏过程中的亚硝酸盐含量变化

Fig.5 Changes in the nitrite content of blanched green leafy vegetables during cold storage

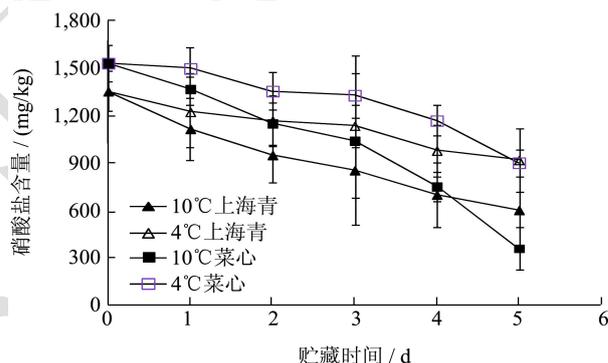


图6 热烫叶菜在冷藏过程中的硝酸盐含量变化

Fig.6 Changes in the nitrate content of blanched green leafy vegetable dishes during cold storage

两种热烫叶菜在冷藏过程中的硝酸盐含量变化如图 6 所示, 随着冷藏时间的增加, 热烫叶菜的硝酸盐含量不断下降。冷藏温度对热烫蔬菜硝酸盐含量的影响显著 ( $p < 0.05$ ), 温度越低, 硝酸盐下降速率越小, 说明低温可以抑制硝酸盐被转化。菜心冷藏前的硝酸盐含量高于上海青, 但硝酸盐含量下降速率比上海青快。在冷藏过程中, 热烫蔬菜中的硝酸盐易在微生物或者硝酸还原酶的作用下转化为亚硝酸盐。菜心在冷藏过程中的硝酸盐含量显著下降, 而上海青硝酸盐含量下降缓慢, 这与各自的亚硝酸盐含量变化基本一致。

在相同冷藏温度下, 菜心的亚硝酸盐含量的增长速率大于上海青, 这与其菌落总数的增长趋势一致, 说明冷藏过程中, 亚硝酸盐含量的变化与菌落总数变化呈正相关。经过高温热烫处理, 绿叶蔬菜中的酶失去活性, 蔬菜在冷藏过程中的亚硝酸盐变化主要与微

生物活动有关,在微生物的作用下,热烫叶菜中残留的硝酸盐易被还原成亚硝酸盐,因此硝酸盐含量下降,亚硝酸盐含量增加。

### 2.2.3 Vc 含量

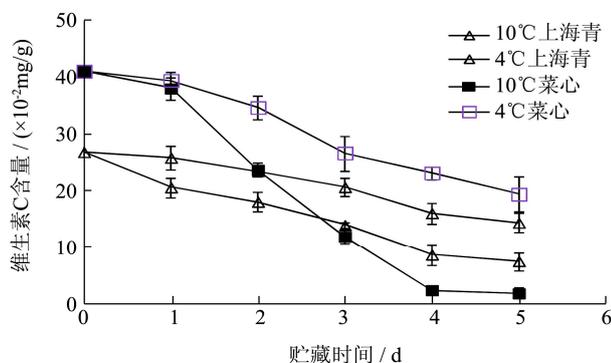


图7 热烫叶菜在冷藏过程中的Vc含量变化

Fig.7 Changes in the Vc content of blanched green leafy vegetable dishes during cold storage

热烫叶菜在冷藏过程中的Vc含量变化如图7所示。冷藏温度对菜肴Vc含量的影响显著( $p < 0.05$ )。随着冷藏时间的增加,上海青和菜心的Vc含量下降。在相同的冷藏温度下,菜心Vc含量的下降速率远大于上海青。在冷藏2d后,菜心的Vc含量急剧下降,而上海青的Vc含量降低速率较稳定。有研究表明,亚硝酸物会优先与Vc反应,导致亚硝酸物减少而阻断亚硝酸胺的形成<sup>[13,14]</sup>。结合图5和图7可见,上海青和菜心的亚硝酸盐和Vc含量变化具有一定的相关性。菜心的Vc含量比上海青的降低速率快,这可能是由于菜心的亚硝酸盐含量增长速率快,大量Vc与其反应而导致Vc含量不断降低;而随着菜心Vc含量不断降低,不能持续有效清除亚硝酸盐,菜心的亚硝酸盐含量迅速增加。上海青的Vc下降速率较平稳,则与亚硝酸盐含量增长较缓慢相对应。可见叶菜中的Vc含量对抑制亚硝酸盐的形成有一定的效果。

### 2.2.4 pH值

两种热烫叶菜在冷藏过程中的pH值变化如图8所示。在低温冷藏过程中,上海青和菜心的pH值随着时间的延长均呈先增加后下降的趋势,低温可以显

著延缓绿叶蔬菜的pH峰的形成( $p < 0.05$ )。上海青和菜心分别在10℃冷藏3d和2d时pH值最高,在4℃冷藏时则在4d后pH值才有显著增长。亚硝酸盐含量和pH值变化趋势基本一致,pH值增加时,热烫叶菜中的酶活性较高,有利于促进硝酸盐还原为亚硝酸盐。

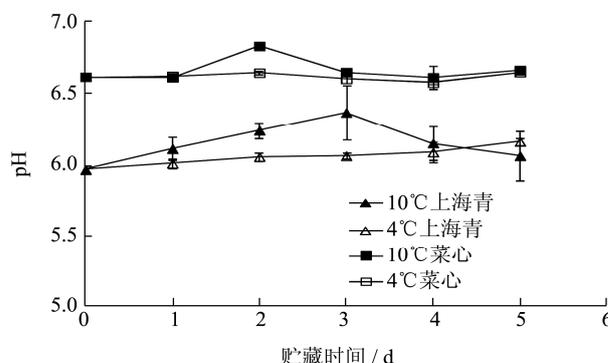


图8 热烫叶菜在冷藏过程中过程中的pH值变化

Fig.8 Changes in the pH value of blanched green leafy vegetables during cold storage

## 2.3 热烫叶菜经冷藏后在微波复热过程中的品质变化

由上文结论可知,10℃冷藏条件下储藏时间不超过3d,而各指标在此时变化较为明显,且菌落总数尚未超标,因此选择10℃储藏3d的热烫蔬菜进行复热过程的研究。一般盒饭复热时间不超过3min,因此选择复热时间范围为0~3min。

《集体用餐配送膳食卫生规范》(DB 312024-2014)规定,冷链配送盒饭食用前需复热使中心温度达到70℃。实验结果表明,微波加热30s后两种菜肴的中心温度即可达到70℃以上,符合复热要求,但此温度下对微生物的杀灭作用并不显著,为提高复热蔬菜的安全性,并探究微波复热对亚硝酸盐的降解能力,需要对后续加热过程中各指标的变化进行探讨。两种热烫叶菜经10℃冷藏3d后在微波复热过程中的各指标变化如表2和表3所示。

表2 热烫上海青经10℃冷藏3d后在微波复热过程中的各指标变化

Table 2 Changes in blanched CC during microwave reheating after storage at 10℃ for 3 d

复热时间/s	中心温度/℃	菌落总数/(CFU/g)	亚硝酸盐/(mg/kg)	硝酸盐/(mg/kg)	失重率/%
0	24.4±0.2	2.10×10 <sup>7</sup> ±1.40×10 <sup>6a</sup>	4.27±0.50 <sup>a</sup>	868.86±160.52 <sup>a</sup>	0.00±0.00 <sup>a</sup>
20	92.9±4.3	9.00×10 <sup>6</sup> ±6.02×10 <sup>4b</sup>	4.30±0.14 <sup>a</sup>	887.57±23.98 <sup>a</sup>	0.50±0.01 <sup>b</sup>
40	100.0±0.0	6.50×10 <sup>4</sup> ±1.55×10 <sup>3c</sup>	4.47±0.25 <sup>a</sup>	920.61±90.34 <sup>a</sup>	1.22±0.01 <sup>c</sup>
60	100.0±0.0	6.30×10 <sup>3</sup> ±1.63×10 <sup>2c</sup>	4.75±0.25 <sup>ab</sup>	941.96±82.39 <sup>a</sup>	1.65±0.01 <sup>d</sup>
120	100.0±0.0	4.00×10 <sup>2</sup> ±1.00×10 <sup>1c</sup>	5.55±0.47 <sup>bc</sup>	1096.97±30.62 <sup>ab</sup>	14.83±0.01 <sup>e</sup>
180	100.0±0.0	2.00×10 <sup>1</sup> ±3.00×10 <sup>0c</sup>	6.27±0.53 <sup>cd</sup>	1282.25±37.79 <sup>bc</sup>	24.98±0.02 <sup>f</sup>

注: 数值表示为均值±标准偏差, 通过 Duncan 极差方差分析, 同列具有相同字母标注表明差异不显著 ( $p>0.05$ ), 不同字母表明差异性显著 ( $p<0.05$ )。下表同

表 3 热烫菜心经 10℃冷藏 3 d 后在微波复热过程中的各指标变化

Table 3 Changes in each indicator of blanched CFC during microwave reheating after storage at 10 °C for 3 d

复热时间/s	中心温度/℃	菌落总数/(CFU/g)	亚硝酸盐/(mg/kg)	硝酸盐/(mg/kg)	失重率/%
0	24.5±0.5	$4.80 \times 10^7 \pm 5.04 \times 10^{5a}$	43.29±3.32 <sup>a</sup>	1064.05±185.21 <sup>a</sup>	0.00±0.00 <sup>a</sup>
20	86.0±1.2	$1.10 \times 10^7 \pm 3.03 \times 10^{5b}$	43.27±3.50 <sup>a</sup>	1089.21±89.36 <sup>a</sup>	0.56±0.01 <sup>b</sup>
40	100.0±0.0	$3.50 \times 10^5 \pm 2.19 \times 10^{4c}$	43.35±2.11 <sup>a</sup>	1154.05±25.49 <sup>a</sup>	1.23±0.01 <sup>c</sup>
60	100.0±0.0	$9.20 \times 10^4 \pm 7.04 \times 10^{2c}$	43.57±1.73 <sup>ab</sup>	1204.46±47.82 <sup>ab</sup>	1.55±0.02 <sup>d</sup>
120	100.0±0.0	$3.60 \times 10^3 \pm 3.10 \times 10^{2c}$	46.55±1.56 <sup>abc</sup>	1418.31±60.74 <sup>b</sup>	18.42±0.01 <sup>e</sup>
180	100.0±0.0	$4.00 \times 10^2 \pm 4.70 \times 10^{1c}$	47.87±1.46 <sup>bc</sup>	1691.31±122.08 <sup>c</sup>	30.42±0.01 <sup>f</sup>

### 2.3.1 菌落总数

10 °C冷藏 3 d 后, 随着复热时间的增加, 叶菜的菌落总数不断降低。微波复热对蔬菜菌落总数的影响显著 ( $p<0.05$ )。10 °C冷藏 3 d 后, 上海青和菜心的菌落总数约为 7 个数量级, 虽然 20 s 内即可达到 70 °C 的复热要求, 但未能有效杀灭蔬菜中的微生物。微波复热 1 min 后菌落总数可降 3~4 个数量级, 此时能大大提高食用安全性。

### 2.3.2 亚硝酸盐与硝酸盐含量

10 °C冷藏 3 d 后, 随着复热时间的增加, 叶菜的亚硝酸盐含量呈现微弱上升的趋势。与复热前蔬菜的亚硝酸盐含量相比, 复热 2 min 后叶菜亚硝酸盐含量增加显著 ( $p<0.05$ )。10 °C冷藏 3 d 后, 菜心的亚硝酸盐含量约是上海青的 10 倍, 无论亚硝酸盐浓度高低, 微波复热并不能使菜肴中亚硝酸盐含量减少, 反而使其增加。在食品体系里, 只有具备足够活化能的底物分子才能参与特定的化学反应, 这说明短时微波复热并不能提供足够的活化能使亚硝酸盐热降解反应持续进行。结合微生物指标可见, 微波的热效应使菌落总数大量减少, 因此在短时微波复热过程中, 亚硝酸盐含量增加与微生物活动无关。

随着复热时间的增加, 两种叶菜的硝酸盐含量也呈现增加的趋势, 和亚硝酸盐含量的变化相似。菜心的硝酸盐含量增加速率略高于上海青。

### 2.3.3 失重率

10 °C冷藏 3 d 后, 叶菜的失重率随着复热时间的增加而增加, 微波复热对叶菜失重率的影响显著 ( $p<0.05$ ), 菜心失重率的增加速率略高于上海青。此外, 上海青和菜心的亚硝酸盐和硝酸盐与失重率变化一致, 认为亚硝酸盐与硝酸盐含量的相对增加主要是水分大量散失导致的。由于水分的损失速率比亚硝酸盐热降解速率快得多, 蔬菜亚硝酸盐相对含量增加, 另外也不排除微波加热过程中其他含氮物质转化为硝酸盐。

## 3 结论

3.1 热烫可以显著降低叶菜中的亚硝酸盐含量、硝酸盐含量、菌落总数、Vc 含量 ( $p<0.05$ )。亚硝酸盐和硝酸盐可溶于水, 热烫方式以水为介质进行对流传热, 可降低叶菜的亚硝酸盐和硝酸盐含量。

3.2 冷藏温度对热烫叶菜中的亚硝酸盐含量、硝酸盐含量、菌落总数、Vc 含量和 pH 值影响显著 ( $p<0.05$ )。低温更能延缓热烫叶菜的品质劣变速率。随着冷藏时间增加, 亚硝酸盐含量、菌落总数不断增加, 硝酸盐、Vc 含量不断降低, 而 pH 值则呈先增后降的趋势。经过高温热烫处理, 绿叶蔬菜中的酶失活, 其亚硝酸盐变化主要与微生物活动有关, 叶菜中的硝酸盐易被微生物还原成亚硝酸盐。贮藏初期大量 Vc 与亚硝酸盐反应而使其含量保持在较低水平, 后期 Vc 含量较低, 不能有效清除亚硝酸盐, 因此蔬菜的亚硝酸盐含量逐步增加。

3.3 微波复热使菌落总数显著降低, 蔬菜中的亚硝酸盐和硝酸盐含量增加, 失重率显著增加 ( $p<0.05$ )。蔬菜中的亚硝酸盐相对含量增加是因为微波复热时蔬菜质量损失速率大于亚硝酸盐的热降解速率, 因此复热时尽量避免大面积敞口加热。

## 参考文献

- [1] 许丛丛, 李云飞. 蔬菜冷、热加工后品质变化与力学性能关系的研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2012, 3(5): 355-359
- XU Cong-cong, LI Yun-fei. Advance in relationship between quality changes and mechanics of vegetables after thermal processing [J]. Journal of Food Safety and Quality, 2012, 3(5): 355-359
- [2] Hao J X, Li H Y, Wan Y F, et al. Effect of electrolyzed oxidizing water treatment on the reduction of nitrite levels in fresh spinach during storage [J]. Journal of Food Protection,

- 2015, 78(3): 549-553
- [3] Vahed S, Mosafa L, Mirmohammadi M, et al. Effect of some processing methods on nitrate changes in different vegetables [J]. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 2015, 9(3): 241-247
- [4] Leszczyńska T, Filipiak-Florkiewicz A, Cieślak E, et al. Effects of some processing methods on nitrate and nitrite changes in cruciferous vegetables [J]. *Journal of Food Composition & Analysis*, 2009, 22(4): 315-321
- [5] Chetty A A, Prasad S. Flow injection analysis of nitrate-N determination in root vegetables: Study of the effects of cooking [J]. *Food Chemistry*, 2009, 116(2): 561-566
- [6] 潘静娴,张艳,毛洪斌,等.不同处理方式对几种根茎类蔬菜亚硝酸盐含量的影响[J].*食品科学*,2011,32(9):118-121  
PAN Jing-xian, ZHANG Yan, MAO Hong-bin, et al. Effects of different processing methods on nitrite contents in root and stem vegetables [J]. *Food Science*, 2011, 32(9): 118-121
- [7] 潘静娴,张艳,张莹,等.不同利用方式对几种叶菜亚硝酸盐含量的影响[J].*食品工业科技*,2011,32(2):296-298  
PAN Jing-xian, ZHANG Yan, ZHANG Ying, et al. Effects of different methods of utilization on nitrite content of some leaf vegetables [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2011, 32(2): 296-298
- [8] 张晓银.冷配送蔬菜菜肴的加工控制及货架期模型研究[D].广州:华南理工大学,2014  
ZHANG Xiao-yin. Study of processing control and the shelf life model research on cold-chain vegetable dishes [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2014
- [9] Zhong X, Dolan K D, Almenar E. Effect of steamable bag microwaving versus traditional cooking methods on nutritional preservation and physical properties of frozen vegetables: A case study on broccoli (*Brassica oleracea*) [J]. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2015, 31: 116-122
- [10] Raghavan G V, Orsat V, Meda V. Microwave processing of foods [J]. *Stewart Postharvest Review*, 2005, 1(1): 1-8
- [11] Kmiecik W, Lisiewska Z, Słupski J. Effects of freezing and storing of frozen products on the content of nitrates, nitrites, and oxalates in dill (*Anethum graveolens* L.) [J]. *Food Chemistry*, 2004, 86(1): 105-111
- [12] 李合生.植物生理生化实验原理和技术[M].北京:高等教育出版社,2000  
LI He-sheng. Principle and technology of plant physiological and biochemical experiments [M]. Beijing: China Higher Education Press, 2000
- [13] Hwang K E, Kim H W, Song D H, et al. Application of ganghwa mugwort in combination with ascorbic acid for the reduction of residual nitrite in pork sausage during refrigerated storage [J]. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources*, 2014, 34(2): 178-184
- [14] 王树庆,姜薇薇,房晓,等.抗坏血酸的亚硝酸盐清除能力的研究[J].*中国调味品*,2011,36(11):22-24  
WANG Shu-qing, JIANG Wei-wei, FANG Xiao, et al. The study of nitrite scavenging ability of ascorbic acid [J]. *China Condiment*, 2011, 36(11): 22-24