

# 发酵蔬菜中亚硝酸盐消长规律及调控技术的研究进展

黄丽慧<sup>1,2</sup>, 张雁<sup>1,\*</sup>, 陈于陇<sup>1</sup>, 魏振承<sup>1</sup>

(1.广东省农业科学院蚕业与农产品加工研究所, 广东省农产品加工公共实验室, 广东 广州 510610;

2.华中农业大学食品科学技术学院, 湖北 武汉 430070)

**摘要:** 乳酸菌发酵是我国蔬菜加工的传统工艺之一, 发酵蔬菜因其独特的风味和丰富的益生菌而深受消费者喜爱。但现代科学研究发现, 蔬菜发酵过程中会产生亚硝酸盐积累的问题, 不利于消费者健康。本文概述蔬菜发酵过程中亚硝酸盐形成的机理及变化规律, 并对降低发酵蔬菜亚硝酸盐含量的研究与应用进行综述。

**关键词:** 发酵蔬菜; 乳酸菌发酵; 亚硝酸盐; 调控

## Research Advances in Dynamic Change and Control Technology of Nitrite in Fermented Vegetables

HUANG Li-hui<sup>1,2</sup>, ZHANG Yan<sup>1,\*</sup>, CHEN Yu-long<sup>1</sup>, WEI Zhen-cheng<sup>1</sup>

(1. The Sericulture and Agri-food Research Institute, Guangdong Open Access Laboratory of Agricultural Product Processing, Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Guangzhou 510610, China; 2. College of Food Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China)

**Abstract:** Lactic acid fermentation is a traditional method for vegetable processing in China. Fermented vegetables have gained extensive attention by consumers due to their unique flavor and abundant probiotics. However, the problem of nitrite accumulation was generated during fermentation process, which will reveal a negative impact on consumers' health. Therefore, in this paper, the mechanisms for production and variation trends of nitrite during vegetable fermentation have been summarized. Moreover, the control technology for nitrite in fermented vegetables is also reviewed.

**Key words:** fermented vegetable; lactic acid bacteria fermentation; nitrite; regulation

中图分类号: TS255.5

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630(2013)05-0303-05

发酵蔬菜是我国传统的蔬菜加工制品, 风味清新独特, 千百年来在我国人们的餐桌上占有不可替代的一席之地。蔬菜发酵加工是利用有益微生物的活动并控制其生长条件对蔬菜进行的冷加工方式之一。采用不同的加工工艺, 可得到泡菜、酸菜、酱菜和腌菜等多种形式的发酵蔬菜产品。蔬菜经过发酵加工, 不仅形成了乳酸、双乙酰、酮类化合物等风味物质, 而且产生了大量以乳杆菌、双歧杆菌等乳酸菌为主的益生菌, 赋予了发酵蔬菜产品独特的风味及优良的保健功能。

蔬菜是容易累积硝酸盐的作物, 在世界各地人民膳食中硝酸盐日摄入量贡献率达30%~90%不等<sup>[1]</sup>。现代科学研究发现, 在发酵体系中, 蔬菜中的硝酸盐会被大量还原, 产生发酵蔬菜的亚硝酸盐积累问题。亚硝酸盐会对人体产生多种危害, 主要包括引发高铁血红蛋白症和形成致癌物质亚

硝胺。研究<sup>[2]</sup>表明, 胃癌、食道癌等消化系统癌症高发地区往往与其膳食中过量的硝酸盐和亚硝酸盐有关。

目前, 发酵蔬菜中亚硝酸盐的形成机理已基本明确, 大量研究仍然集中在蔬菜发酵过程中亚硝酸盐变化规律的探讨方面, 通过发酵菌种筛选、发酵工艺条件调控等技术手段降低发酵蔬菜中亚硝酸盐含量依然是当前研究的热点。本文概述发酵蔬菜加工贮藏过程中亚硝酸盐动态变化规律及调控技术的研究进展, 以为工业化生产安全和营养的发酵蔬菜提供参考。

## 1 蔬菜发酵过程中亚硝酸盐的形成机制与动态变化规律

### 1.1 蔬菜发酵过程中亚硝酸盐的形成机制

在发酵体系中, 蔬菜中累积的硝酸盐会在硝酸还原

收稿日期: 2011-12-14

基金项目: 广东省现代农业产业技术体系“特色蔬菜产业创新团队岗位专家建设任务”项目(粤财农[2012]282)

作者简介: 黄丽慧(1989—), 女, 硕士研究生, 研究方向为果蔬保鲜与加工。E-mail: huanglihui00230011@126.com

\*通信作者: 张雁(1967—), 女, 研究员, 博士, 研究方向为食品生物化学。E-mail: zhang\_yan\_@126.com

酶的作用下被大量转化为亚硝酸盐。硝酸还原酶主要由蔬菜表面和腌制器具所携带的微生物分泌,也存在于发酵原料蔬菜中。硝酸还原反应大部分在乳酸菌等发酵微生物生长的优势环境即卤水中进行,但菜体中也会部分发生<sup>[3]</sup>。国内外均有研究<sup>[4-5]</sup>证明,肠杆菌和黄杆菌属等革兰氏阴性菌分泌的硝酸还原酶的作用是发酵蔬菜中亚硝酸盐大量形成的原因。发酵体系中产生的亚硝酸盐可在亚硝酸盐还原酶的作用下或与酸作用而被分解。

## 1.2 蔬菜发酵过程中亚硝酸盐的变化规律与机理

大量研究证实,蔬菜腌渍过程中亚硝酸盐含量均呈先增加后减少的变化趋势,且都会出现 $\text{NO}_2^-$ 高峰即亚硝峰现象。研究发现,pH值为4左右时亚硝酸盐含量达到最大值,此后亚硝酸盐含量下降<sup>[4,6]</sup>。

### 1.2.1 亚硝峰的形成

大肠杆菌、白喉棒状杆菌、金黄色葡萄球菌和黏质赛氏杆菌等腌制过程容易污染的微生物具有很强的硝酸还原能力<sup>[7]</sup>。在腌制的初期,乳酸菌处于繁殖阶段,酸性环境尚未形成,来自蔬菜和腌制器具的上述有害菌会迅速繁殖,引起亚硝酸盐含量上升。

Mundt等<sup>[8]</sup>认为新鲜蔬菜中革兰氏阴性好氧菌和酵母菌占优势,乳酸菌数量较少。Fleming等<sup>[9]</sup>研究发现在产气发酵阶段初期(1~3d)乳酸菌和总菌数迅速上升。对甘蓝卤中微生物区系分析表明,发酵初期有很多细菌及一定数量的霉菌和酵母菌,发酵1d后霉菌及酵母菌消失,随着发酵的进行,杂菌种类及数量减少,乳酸菌数量及占细菌总数的比例增加<sup>[4]</sup>。

### 1.2.2 亚硝峰的消失

随着发酵的进行,水中溶氧量减少,需氧的硝酸还原菌生长受到抑制,但不影响厌氧的乳酸菌代谢产酸。因而形成的酸性环境会逐渐抑制有害菌生长。pH<4.5时,肠杆菌科、酵母菌等多种杂菌的生长都会被抑制<sup>[10]</sup>。何淑玲<sup>[11]</sup>研究证明pH5.0是硝酸还原酶酶活起动点,pH4.5及以下能抑制硝酸还原酶活性,减少硝酸还原作用。

另外,亚硝酸盐可与乳酸作用生成亚硝酸而分解,温度越高,酸度越大,亚硝酸分解越快。最后,发酵体系中产生的亚硝酸盐除了与酸反应被分解之外,酶作用也使亚硝酸盐减少。一些乳酸菌和大肠杆菌能产生亚硝酸盐还原酶,降低亚硝酸含量<sup>[12-13]</sup>。张庆芳<sup>[6]</sup>、纪淑娟<sup>[4]</sup>等研究发现乳酸菌对亚硝酸盐的降解分为酶降解和酸降解两个阶段。发酵初期,当培养液pH>4.5时,乳酸菌产生亚硝酸盐还原酶分解亚硝酸盐起主导作用,发酵后期,当pH<4时,亚硝酸盐的降解以酸降解为主。有待进一步研究。

### 1.2.3 发酵蔬菜与卤水中硝酸还原酶酶活力与亚硝酸盐含量变化的关系

为深入研究蔬菜中和微生物产生的硝酸还原酶对

亚硝酸盐变化的影响,很多研究者对发酵过程中酶活的变化规律进行了研究。郭晓红<sup>[4]</sup>、纪淑娟<sup>[4]</sup>、Wang Changlu<sup>[15]</sup>等研究发现发酵过程中蔬菜中的亚硝酸盐还原酶活性只在发酵初期出现,然后一直下降。

何淑玲等<sup>[16]</sup>研究则表明泡菜亚硝峰出现时间与泡菜组织中及卤水细菌中硝酸还原酶最大的出现时间均一致。何玲等<sup>[17]</sup>研究证明浆水芹菜发酵时芹菜中酶活变化也呈先增后减趋势,且酶活最大值出现时间与亚硝峰相一致。但浆水芹菜发酵前必须热烫,而热烫会降低蔬菜中的酶活性并减少菜体上乳酸菌的数量,因而对发酵过程中酶活变化有一定影响。高祖明等<sup>[18]</sup>研究发现腌白菜与腌雪里红中的硝酸还原酶活性和亚硝酸盐含量的变化趋势呈正相关。

综上所述,发酵卤水中硝酸还原酶的酶活变化规律与亚硝酸盐变化规律一致,但菜体中酶活与亚硝峰是否有关联并无定论,前人均未对2种硝酸还原酶酶活变化差异性的原因做深入探讨,因此还有待进一步研究。

### 1.2.4 影响蔬菜发酵过程中亚硝酸盐含量变化的因素

蔬菜品种、食盐质量分数、发酵温度等工艺参数、工艺条件不同都会对亚硝酸盐的变化产生影响。杨性民等<sup>[19]</sup>研究了盐度、发酵方式和品种等因素对雪菜亚硝酸盐含量的影响,并首次建立了2个数学模型,可作为对各阶段亚硝酸盐含量作出预测的有效方法。这些因素会对亚硝峰的出现时间、峰值及高峰持续时间产生影响,但不改变亚硝酸盐的整体变化趋势。

## 2 降低发酵蔬菜中亚硝酸盐含量技术的研究与应用进展

### 2.1 发酵工艺条件对产品中亚硝酸盐含量的调控

#### 2.1.1 发酵浸渍液酸度的优化

腌渍液酸度越高,亚硝峰出现越早且峰值越低,终产品的亚硝酸盐含量也越低。因此发酵过程中提高酸度可以降低 $\text{NO}_2^-$ 的含量。

McDonald等<sup>[20]</sup>研究证明添加乙酸(0.667mol/L)或乙酸钙缓冲液(0.113mol/L)到卤水中能抑制自然发酵初期大肠杆菌的生长,但不影响乳酸菌生长。何淑玲<sup>[11]</sup>研究低pH值对亚硝酸盐降解作用的机理,发现低pH值(4.5及以下)一方面抑制了硝酸还原酶的活性,另一方面加速了亚硝酸盐的降解。在实际腌制过程中,控制腌制液的pH值在4.5以下,有害微生物的生长繁殖就受到抑制。

#### 2.1.2 发酵温度的选择

高温发酵,亚硝酸盐生成快,亚硝峰出现早,峰值低且消失快。这是由于高温不仅有利于乳酸菌代谢产酸<sup>[21]</sup>,也加速了亚硝酸盐从蔬菜中渗出到腌渍液中。一般认为乳酸菌发酵的最适温度为25~30℃,发酵初期温度过高或食盐质量分数过低,丁酸细菌发酵会产生沼气造成大

量氨的积存,后期如遇适当条件会形成亚硝酸<sup>[22]</sup>。因此发酵初期温度不宜过高,以免引起丁酸发酵,发酵产生一定乳酸后,可适当提高温度。

### 2.1.3 发酵液盐度的控制

食盐质量分数低,抑菌作用小,亚硝酸盐的生成快,到达亚硝峰的时间短。食盐促进了蔬菜中的亚硝酸盐渗出,并加快蔬菜汁液渗透到卤水中,供给乳酸发酵所需营养;但高盐会抑制乳酸菌代谢和分泌的亚硝酸还原酶的活性<sup>[21]</sup>。因此食盐用量应在既不影响乳酸发酵,又能抑制微生物生长的范围内。

Pederson等<sup>[23]</sup>研究发现食盐质量分数7.5%以上时对乳酸发酵产酸有很强烈的抑制作用。Özcan<sup>[24]</sup>认为室温条件下,5%~10%的食盐是乳酸菌发酵刺山柑的适宜质量分数,食盐质量分数低于5%时对有害菌(细菌、霉菌、大肠菌)生长的抑制作用会减弱。

### 2.1.4 发酵厌氧条件的保持

硝酸还原菌是需氧菌,而乳酸菌是厌氧菌,因此要注意保持发酵中的厌氧环境。将菜体排紧压实,发酵卤液要淹没菜体,并将发酵坛口水封。

### 2.1.5 发酵过程中亚硝酸盐清除剂的添加

#### 2.1.5.1 抗氧化剂去除亚硝酸盐的研究

多种还原性物质对于酱腌菜中 $\text{NO}_2^-$ 的清除作用已见报道<sup>[25]</sup>,其中研究得最多的是VC和茶多酚。Mirvish等<sup>[26]</sup>认为VC与亚硝酸盐的物质的量比为2:1时,阻断率为100%。汪勤等<sup>[27]</sup>研究发现VC与亚硝酸盐浓度比为100:1时可达到完全消除亚硝酸盐的目的。研究<sup>[28]</sup>发现,茶多酚(tea polyphenols, TP)是通过抑制与 $\text{NO}_2^-$ 形成有关的细菌的活动以及与 $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{NO}_2^-$ 作用而降低酱菜中的 $\text{NO}_2^-$ 含量,且以TP与 $\text{NO}_2^-$ 的直接作用为其主要降低途径。

黄苇等<sup>[29]</sup>研究抗坏血酸、柠檬酸和茶多酚对于腌菜中亚硝根的清除作用时,发现它们复配使用具有显著的协同增效作用,并提出可在发酵前期加入酸性较强的抗氧化剂,抑制杂菌生长;后期再加入还原性较强的添加剂清除亚硝酸根离子。

#### 2.1.5.2 发酵辅料对亚硝酸盐的清除作用

蒜、葱、姜、辣椒等香辛料常被添加于泡菜制作中,来改善产品的风味。亚硝酸盐具有氧化性,可被还原,香辛料都含有一些天然抗氧化成分,因此都具有一定的消除亚硝酸盐的能力,消除量取决于还原性成分的种类、含量及其氧化还原特性<sup>[25]</sup>;这些发酵辅料能抑制肠杆菌科细菌、真菌等有害杂菌的生长,因此能降低亚硝酸盐的生成;香辛料中含有的巯基化合物,可与亚硝酸盐生成硫代亚硝酸盐酯类化合物,减少了亚硝酸盐的积累<sup>[30]</sup>。

张瑞宇等<sup>[31]</sup>研究发现在高温预热和pH值为2的条件下,常用于腌制酱菜的苦蒿的粗提液对蔬菜中的亚硝酸

盐清除效率达到82.7%,而高温条件下苦蒿中的少量VC会被破坏,因此认为其清除亚硝酸盐的机理是由于苦蒿中存在着耐高温的其他活性成分。

### 2.1.6 灭菌工艺的影响

加热杀菌是国内泡菜生产的主要灭菌方式,但陈义伦等<sup>[32]</sup>研究表明加热杀菌对抑制发酵甘蓝中亚硝酸盐积累的效果不明显,认为是由于热力杀菌不仅抑制了杂菌的活动,也抑制了乳酸菌代谢产酸。李书华<sup>[33]</sup>将加热杀菌后的泡姜在常温条件下贮藏,亚硝酸盐含量下降,分析认为加热杀死了硝酸盐还原细菌、硝酸盐还原酶及亚硝酸盐还原酶的活性,其亚硝酸盐的降低可能是由于发生了非酶促反应。

### 2.2 贮藏条件对产品中亚硝酸盐含量的调控

在贮藏过程中,发酵蔬菜产品中亚硝酸盐含量通常呈下降趋势。同时,处理方法对亚硝酸盐含量变化的影响较大,主要包括贮藏温度、包装及贮藏方式、添加发酵液贮藏等几个方面。

#### 2.2.1 贮藏温度的影响

低温贮藏能抑制杂菌的活动和酶的活性,减少亚硝酸盐含量。室温保存条件下,腌菜中微生物活动频繁,亚硝酸盐含量会上升,此时腌菜不能长期放置,应及时加工<sup>[32,34]</sup>。

#### 2.2.2 包装及贮藏方式的影响

真空包装有利于降低发酵蔬菜中亚硝酸盐含量。郭晓红等<sup>[35]</sup>认为发酵莴笋真空包装后亚硝酸盐含量降低是由于产品中仍有少量乳酸菌代谢产酸,且在室温条件下,由于酸度增加,亚硝酸盐含量比冰箱存放减少更多。这与刘冬梅等<sup>[36]</sup>的研究结果一致。这可能与研究中的发酵前热烫及添加蒜汁、接种发酵等方法增加了贮藏前泡菜产品中的乳酸菌的数量有关。陈义伦<sup>[32]</sup>、李书华<sup>[33]</sup>等研究认为低温结合真空包装贮藏能最大程度地降低泡菜中的亚硝酸盐含量。

#### 2.2.3 添加发酵液贮藏

发酵蔬菜产品包装过程中还可添加一定食盐质量分数的发酵液来抑制微生物的活动,Özcan<sup>[24]</sup>研究发现发酵刺山柑在质量分数为15%的新鲜食盐水中保藏能有效抑制杂菌并保持良好色泽。

### 2.3 生物学方法在降低发酵蔬菜中亚硝酸盐含量中的应用

生物学应用于发酵蔬菜中亚硝酸盐的调控主要包括改变发酵方式、筛选菌种进行接种发酵及酶法处理等三方面。

#### 2.3.1 发酵方式的优化

人工接种乳酸菌发酵或用陈卤发酵相比于自然发酵可降低亚硝酸盐含量,阻止“亚硝峰”的出现。产生该现象的原因是由于乳酸菌种群在发酵系统中的优势被加强,加快乳酸菌繁殖,抑制了有害菌的生长;亚硝酸

还原酶活性升高<sup>[14]</sup>,促进了亚硝酸盐的酶降解。另外,Adams等<sup>[37]</sup>认为乳酸菌代谢产生的有机酸、细菌素、双乙酰、过氧化氢等物质也起到了抑菌作用。

### 2.3.2 降低产品中亚硝酸盐含量菌株的筛选和应用

筛选合适菌种接种发酵蔬菜是当前国内外研究的热点,多种乳杆菌<sup>[38-41]</sup>和肠膜明串珠菌<sup>[41]</sup>都具有还原亚硝酸盐的性质。利用不同菌株优势互补,应用混合菌株进行发酵,对亚硝酸盐的降低效果要优于单一菌株<sup>[42-43]</sup>。

发酵菌种对亚硝酸盐的消除作用与其产酸特性和产亚硝酸盐还原酶性质相关。刘冬梅等<sup>[36]</sup>将LCR 719菌种接种于芥菜中发酵,根据对酸度的分析,认为产生L-乳酸引起酸度下降是亚硝酸盐含量降低的原因。张庆芳等<sup>[44]</sup>研究证明亚硝酸盐含量在250mg/L以内,接种短乳杆菌48h亚硝酸盐就可全部去除。分析得出符合酶反应特性,认为亚硝酸盐的降解主要是由酶作用引起,且亚硝酸盐对乳酸菌代谢有抑制作用<sup>[44-45]</sup>。两人研究结果的不同与不同菌株的产酸及产酶特性的差异相关。

Dodds等<sup>[46]</sup>就对TS4乳酸杆菌产亚硝酸盐还原酶的特性进行了研究,发现该酶是在厌氧条件下由亚硝酸盐诱导产生的,酶活的发挥需要电子传递体的参与,葡萄糖和NADH分别是完整细胞和细胞胞浆中最佳的电子供体。Wolf等<sup>[47]</sup>认为具有亚硝酸还原作用的菌种还只发现于乳酸菌和片球菌中,提出亚硝酸盐还原作用根据机理可分为两种,I型血红素依赖型还原产物是氨,II型血红素非依赖型还原产物是NO和N<sub>2</sub>O,大部分亚硝酸还原菌是属于II型,I型只发现于植物乳杆菌、戊糖乳杆菌和戊糖片球菌中。

### 2.3.3 酶法处理的应用

亚硝酸盐还原酶(nitrite reductase)能够将NO<sub>2</sub><sup>-</sup>还原,因此理论上可将该酶提纯添加于发酵蔬菜中降低亚硝酸盐含量。NiRs可作为一种胞内酶存在于高等植物、藻类植物和许多微生物中,但胞外效果差,将其提取并制为活性酶制剂还并未运用于实践。

Jose等<sup>[48]</sup>从衣藻中将铁氧还蛋白-亚硝酸还原酶固定化,但制取的亚硝酸盐还原酶的酶活下降。郑怀忠<sup>[49]</sup>、吕玉涛<sup>[50]</sup>通过对产亚硝酸盐还原酶菌株进行紫外诱变、优化培养条件等方式来提高产酶特性,并将酶提纯应用于亚硝酸盐含量超标的食品中,取得了良好的亚硝酸盐清除效果。这些研究工作对后续的研究具有一定的借鉴意义,但将微生物或酶固定化提纯添加应用到食品中,还需要在酶活稳定性、寻找亚硝酸盐还原酶的有效载体、酶的安全性等方面作更加深入的研究。

## 3 结 语

作为中国传统食品,发酵蔬菜发展前景广阔。降低

发酵蔬菜的亚硝酸盐含量有利于提高产品安全性,现有的研究表明,可通过优化发酵技术、添加亚硝酸盐清除物等方式进行亚硝酸盐含量调控。目前,国内酱腌菜产品多采用自然发酵生产,发酵菌种和接种发酵技术的研发比较落后。因此,加强优良乳酸菌种的筛选和纯种发酵技术的应用是降低产品亚硝酸盐含量、提升发酵蔬菜品质的可行途径。

### 参考文献:

- [1] HAMBRIDGE T. Nitrate and nitrite: intake assessment[EB/OL]. WHO Food Additives Series, 2003[2011-12-01]. <http://www.inchem.org/documents/jecfa/jecmono/v50je07.htm>.
- [2] 林东昕,吴月娇,徐蕴芹,等.胃癌危险性不同人群膳食硝酸盐、亚硝酸盐及维生素C摄入量[J].营养学报,1988(3):234-239.
- [3] WOLF G, HAMMES W P. Effect of hematin on the activities of nitrite reductase and catalase in lactobacilli[J]. Archive Microbiology, 1988, 149: 220-224.
- [4] 郭晓红,杨洁彬,张建军.甘蓝乳酸发酵过程中亚硝峰消长机制及抑制途径的研究[J].食品与发酵工业,1989(4):26-34.
- [5] ROLF A. Nitrate reduction during fermentation by Gram-negative bacterial activity in carrots[J]. International Journal of Food Microbiology, 1985, 2: 219-225.
- [6] 张庆芳,迟乃玉,郑燕,等.乳酸菌降解亚硝酸盐机理的研究[J].食品与发酵工业,2002(8):27-31.
- [7] 吴正奇,凌秀菊.酱腌菜生产过程中亚硝酸盐和亚硝胺的产生与预防[J].中国调味品,1996(8):8-12.
- [8] MUNDT J O, GRAHAM W E, McCARTY I E. Spherical lactic acid-producing bacteria of southerngrown raw and processed vegetables[J]. Applied Microbiology, 1967, 15: 1303-1308.
- [9] FLEMING H P, McFEETERS R F. A fermentor for study of sauerkraut fermentation[J]. Biotechnology Bioengineering, 1988, 31: 189-197.
- [10] CAGNO R D, SURCO R F, SIRAGUSA S, et al. Selection and use of autochthonous mixed starter for lactic acid fermentation of carrots, French beans or marrows[J]. International Journal of Food Microbiology, 2008, 127: 220-228.
- [11] 何淑玲.泡菜发酵过程中亚硝酸盐生成和降解机理的研究[D].北京:中国农业大学,2006.
- [12] 杨洁彬.乳酸菌:生物学基础及应用[M].北京:中国轻工业出版社,1996.
- [13] FOURNAUD J, MOCQUOT G. Etude de la reduction de l'ion nitrite par certain lactobacilles[J]. C R Acad Sci Paris, 1966, 262: 230-232.
- [14] 纪淑娟,孟宪军.大白菜发酵过程中亚硝酸盐消长规律的研究[J].食品与发酵工业,2001(2):42-46.
- [15] WANG Changlu, MA Yanyan, CHEN Mianhua, et al. Effect of pH on nitrite reduction of pickled chinese cabbage[J]. Bioinformatics and Biomedical Engineering, 2010, 4: 1-4.
- [16] 何淑玲,李博,籍保平.泡菜发酵过程中硝酸盐还原酶活性的研究[J].食品科技,2005(1):94-97.
- [17] 何玲,罗佳,郭宁,等.浆水芹菜发酵过程中硝酸还原酶活性和亚硝酸盐含量的变化[J].西北农林科技大学学报:自然科学版,2007(9):184-188;194.
- [18] 高祖明,李式军,张耀栋,等.盐渍物硝酸盐和亚硝酸盐积累的研究: I.腌白菜腌雪里蕻不同用盐量的研究[J].南京农业大学学报,1987(4):76-82.
- [19] 杨性民,刘青梅,奚李峰,等.腌渍雪菜亚硝酸盐含量变化的数学模

- 型[J]. 浙江大学学报: 农业与生命科学版, 2004(5): 47-50.
- [20] McDONALD L C, FLEMING H P, DAESCHEL M A. Acidification effects on microbial populations during initiation of cucumber fermentation[J]. Journal of Food Science, 1991, 56: 1353-1359.
- [21] MHEEN T I, KWON T W. Effect of temperature and salt on kimchi fermentation[J]. Korean Food Sci Technol, 1984, 16: 443-450.
- [22] 赵学慧. 乳酸发酵在酸腌菜加工中的作用[J]. 华中农学院学报, 1998(4): 94-98.
- [23] PEDERSON C S, ALBURY M N. Factors affecting the bacterial flora in fermenting[J]. Food Research, 1953, 18: 290-300.
- [24] ÖZCAN M. Pickling and storage of caperberries (*Capparis* spp.)[J]. Z Lebensmitteln Untersuchung und Forschung A, 1999, 208: 379-382.
- [25] 宁正祥, 张水华, 高建华, 等. 一些果蔬对活性自由基和亚硝酸盐的消除作用[J]. 食品与发酵工业, 1995(2): 31-35.
- [26] MIRVISH S, WALLCAVE L, EAGEN M, et al. Ascorbate-nitrite reaction: possible means of blocking the formation of carcinogenic N-nitroso compounds[J]. Science, 1972, 177: 65-68.
- [27] 汪勤, 高祖民. 姜汁与维生素C阻断腌渍蔬菜产生亚硝酸盐的研究[J]. 南京农业大学学报, 1991(14): 99-103.
- [28] 周才琼, 刘献军, 邹伟华, 等. 茶多酚降低莴笋酱菜中亚硝酸盐含量的途径[J]. 茶叶科学, 1998, 18(1): 145-149.
- [29] 黄苇, 吴晓冰, 李远志, 等. 抗氧化剂对腌芥菜中亚硝酸盐消除效果的研究[J]. 食品科技, 2009(5): 77-80.
- [30] 刘近周, 林希蕴, 吴孔叨, 等. 大蒜阻断亚硝胺合成机理的研究[J]. 营养学报, 1986(4): 327-334.
- [31] 张瑞宇, 王词钦. 香辛蔬菜苦藟粗提液对亚硝酸盐的清除作用[J]. 食品科学, 2010, 31(17): 86-91.
- [32] 陈义伦, 许苗苗, 尚艳艳, 等. 泡菜产品保藏过程中亚硝酸盐含量的变化及控制[J]. 食品与发酵工业, 2009(1): 78-81.
- [33] 李书华. 泡姜低温保存中主要营养物质和微生物区系的研究[D]. 雅安: 四川农业大学, 2006.
- [34] 谢骏. 腌制发酵蔬菜中安全性的研究[D]. 苏州: 苏州大学, 2006.
- [35] 郭晓红, 张建军, 蔡同一, 等. 大蒜对莴笋乳酸发酵中亚硝酸盐形成的抑制作用[J]. 食品科学, 1988, 9(7): 18-21.
- [36] 刘冬梅, 吴晖, 余以刚, 等. *Lactobacillus casei* subsp. *rhamnosus* 719 对泡菜中亚硝酸盐的影响[J]. 华南理工大学学报: 自然科学版, 2008(7): 140-144.
- [37] ADAMS M R, NICOLAIDES L. Review of the sensitivity of different food borne pathogens to fermentation[J]. Food Control, 1997, 8(5): 227-239.
- [38] FOURNAUD J, RAIBAUD P, MOCQUOT M G. Etude de la réduction des nitrites par une souche de *Lactobacillus lactis*. Mise en évidence de ce métabolisme chez d'autres bactéries du genre *Lactobacillus*[J]. Ann Inst Pasteur Lille, 1964, 15: 213-224.
- [39] FOURNAUD J, MOCQUOT M G. Etude de la réduction de l'ion nitrite par certains lactobacilles[J]. C R Acad Sci Paris, 1966, 262: 230-232.
- [40] COLLINS-THOMPSON D L, LOPEZ G R. Depletion of sodium nitrite by lactic acid bacteria isolated from vacuum-packed Bologna[J]. Food Protect, 1981, 44: 593-595.
- [41] DODDS K L, COLLINS-THOMPSON D L. Nitrite tolerance and nitrite reduction in lactic acid bacteria associated with cured meat products[J]. Int Food Microbiol, 1984, 1: 163-170.
- [42] 吴元峰, 邹礼根. 泡菜中乳酸菌的分离、鉴定及其发酵性能的研究[J]. 中国食品学报, 2007(5): 42-46.
- [43] REINA L D, BREIDT F, FLEMING H P, et al. Isolation and selection of lactic acid bacteria as biocontrol agents for nonacidified, refrigerated pickles[J]. Journal of Food Science, 2005, 70(1): 7-11.
- [44] 张庆芳, 迟乃玉, 郑学仿, 等. 短乳杆菌(*Lactobacillus brevis*)去除亚硝酸盐的研究[J]. 微生物学通报, 2004(2): 55-60.
- [45] KORKEALA H, ALANKO T, TIUSANEN T. Effect of sodium nitrite and sodium chloride on growth of lactic acid bacteria[J]. Acta Vet Scand, 1992, 33: 27-32.
- [46] DODDS K L, COLLINS-THOMPSON D L. Characteristics of nitrite reductase activity in *Lactobacillus lactis* TS4[J]. Canadian Journal of Microbiology, 1985, 31(6): 558-562.
- [47] WOLF G, ARENDT E K, PFAHLER U, et al. Heme-dependent and heme-independent nitrite reduction by lactic acid bacteria result in different N-containing products[J]. International Journal of Food Microbiology, 1990, 10: 323-330.
- [48] JOSE L, FRANCISCO G, JOSE M V. Effect of immobilization on the catalytic properties of ferredoxin-nitrite reductase from *Chlamydomonas reinhardtii* [J]. Journal of Molecular Catalysis, 1990, 58: 393-403.
- [49] 郑怀忠. 产亚硝酸还原酶菌株发酵特性及酶在肉制品中的应用[D]. 厦门: 集美大学, 2009.
- [50] 吕玉涛. 产亚硝酸盐还原酶短乳杆菌发酵条件优化及酶的分离纯化研究[D]. 上海: 上海师范大学, 2010.