

# 温度及细菌对芹菜中亚硝酸盐含量的影响

王康泓, 王 勇\*

(深圳大学生命与海洋科学学院, 深圳市海洋生物资源与生态环境重点实验室, 深圳 518060)

**摘要: 目的** 研究温度及细菌对芹菜中亚硝酸盐含量的影响。**方法** 利用分光光度法测定芹菜在不同温度下亚硝酸盐含量随时间的变化, 及在 40 °C 条件下加入抗生素后芹菜亚硝酸盐含量随时间的变化。**结果** 温度和时间是影响芹菜中亚硝酸盐含量的关键因素。在低温(4 °C)条件下, 芹菜的亚硝酸盐含量与增加速率明显低于室温条件; 30、40 °C 条件下芹菜亚硝酸盐含量均高于室温, 且 40 °C 条件下亚硝酸盐含量的增加更为明显。进一步研究表明, 40 °C 条件下加入抗生素组的亚硝酸盐含量及增加速率始终维持在较低水平, 远低于不加入抗生素的对照组。**结论** 细菌是蔬菜放置过程中产生亚硝酸盐的主要原因, 温度通过影响微生物生长从而影响蔬菜放置过程中亚硝酸盐含量的变化。

**关键词:** 分光光度法; 亚硝酸盐; 温度; 细菌; 芹菜

## Effects of temperature and bacteria on nitrite content in celery

WANG Kang-Hong, WANG Yong\*

(College of Life and Ocean Science, Shenzhen University, Shenzhen Key Laboratory of Marine Bioresources and Ecology, Shenzhen 518060, China)

**ABSTRACT: Objective** To research the effects of temperature and bacteria on nitrite content in celery. **Methods** The changes of nitrite content in celery with time at different temperature and after adding antibiotics at 40 °C were measured by spectrophotometry, and the change of celery nitrite content with time. **Results** The key factors affecting the nitrite content in celery were temperature and time. Under low temperature (4 °C) conditions, the nitrite content and increasing rate in celery were significantly lower than under room temperature conditions. The nitrite content of celery at 30 and 40 °C was higher than at room temperature, and the increase of nitrite content was more obvious at 40 °C. Further research showed that after adding antibiotics the nitrite content and increasing rate always maintained in low level at 40 °C, which was far lower than control group without antibiotics. **Conclusion** Bacteria is the main reason for the production of nitrite with time, and the temperature affects the change of nitrite content with time by affecting the growth of microorganisms.

**KEY WORDS:** spectrophotometry; nitrite; temperature; bacteria; celery

## 1 引言

亚硝酸盐可在人体内转化为致癌物亚硝胺, 对人的健康产生影响<sup>[1]</sup>, 长期摄入会导致癌症发生几率的增加<sup>[2,3]</sup>;

过量摄入亚硝酸盐会引起高铁血红蛋白症, 严重时可致死<sup>[1,4]</sup>。人体摄入的 80%亚硝酸盐来源于蔬菜<sup>[5]</sup>, 因此控制蔬菜中亚硝酸盐量对人体健康具有重要意义。尽管不同种类蔬菜的亚硝酸盐含量有所差异, 但研究表明, 蔬菜中的亚

\*通讯作者: 王勇, 副教授, 主要研究方向为生物分析化学。E-mail: wyong@szu.edu.cn

\*Corresponding author: WANG Yong, Associate Professor, College of Life and Ocean Science, Shenzhen Key Laboratory of Marine Bioresources and Ecology, Shenzhen University, Shenzhen 518060, China. Email: wyong@szu.edu.cn

硝酸盐主要来源于放置过程<sup>[6-8]</sup>; 不同种类的蔬菜在不同的放置条件下造成亚硝酸盐的含量变化不同<sup>[8,9]</sup>。目前普遍认为低温可延缓蔬菜放置过程中亚硝酸盐含量的增加<sup>[6,9-11]</sup>; 但也有报道称蔬菜放置于冰箱中也会导致亚硝酸盐含量的大幅增加<sup>[12]</sup>。此外, 研究者普遍认为蔬菜亚硝酸盐含量的增加与细菌有关, 但也有人认为植物中的硝酸盐酶活性增高也是影响蔬菜亚硝酸盐含量增加的原因之一<sup>[13-16]</sup>。

本研究以芹菜为材料, 分别测定其在不同温度下的亚硝酸盐含量随时间变化的情况, 以阐明温度对蔬菜亚硝酸盐含量的影响。并在产生亚硝酸盐含量较高的条件下加入头孢氨苄对微生物的生长进行抑制, 且与不加头孢氨苄的对照组进行对比。最后模拟烹饪条件, 探究同一放置条件下蔬菜的生熟对蔬菜的亚硝酸盐含量有无影响。进而证明温度是通过影响微生物生长从而影响蔬菜放置过程中亚硝酸盐含量的变化, 以期为人们科学购买、储存蔬菜, 减少亚硝酸盐的摄入提供参考。

## 2 材料与amp;方法

### 2.1 主要仪器

WFJ 2100 分光光度计(中国尤尼柯仪器有限公司); HH-6 数显恒温水浴锅(常州丹瑞实验设备有限公司); DS-1 高速组织捣碎机(上海精科实业有限公司)。

### 2.2 主要试剂

芹菜(市售); 对氨基苯磺酸、4%醋酸锌、氢氧化钠、亚硝酸钠、盐酸和活性炭(分析纯, 西陇科学股份有限公司); 盐酸萘乙二胺(分析纯, 山东西亚化学工业有限公司)。

### 2.3 实验原理

在酸性条件下,  $-\text{NO}_2$  与对氨基苯磺酸生成重氮盐, 重氮盐再与盐酸萘乙二胺反应生成偶氮化合物使溶液呈紫红色<sup>[17]</sup>。配制亚硝酸钠标准溶液, 利用分光光度计通过对不同浓度的亚硝酸钠标准溶液进行测定得到标准曲线。然后与显色后的待测溶液比色, 在标准曲线上找到其对应的点, 即可计算出样品中的亚硝酸盐含量<sup>[18]</sup>。

### 2.4 实验方法

#### 2.4.1 标准溶液配制

亚硝酸钠标准溶液: 称取 0.0250 g 亚硝酸钠溶于少量去离子水中, 然后转移至 250 mL 容量瓶中定容得到母液; 再取 25 mL 母液于 250 mL 容量瓶中定容后得到 10  $\mu\text{g}/\text{mL}$  的亚硝酸钠标准溶液。

#### 2.4.2 标准曲线的制作

取 10 支洁净的容量瓶分别标上序号 1~10, 然后依次加入 1.0、2.0、3.0、4.0、5.0、6.0、7.0、8.0、9.0、10.0 mL 10  $\mu\text{g}/\text{mL}$  的亚硝酸钠标准溶液。然后向每个容量瓶中加入

5.0 mL 对氨基苯磺酸, 静置 5 min, 随后加入 5.0 mL 盐酸萘乙二胺溶液, 充分反应后用去离子水定容。然后利用分光光度计在 538 nm 处进行比色测定, 测得各组的吸光度值用于绘制标准曲线。

#### 2.4.3 芹菜处理及实验设计

将芹菜洗净切成小块混匀后分别装入 500 mL 的洁净烧杯中, 并加入水至芹菜完全浸没。然后将芹菜分别放置在 4  $^{\circ}\text{C}$ 、室温(当日温度 13~23  $^{\circ}\text{C}$ )、30  $^{\circ}\text{C}$  和 40  $^{\circ}\text{C}$  的恒温水浴锅中。

立即测定新鲜芹菜的亚硝酸盐含量, 然后分别测定在 4、8、12、16、20、24 h 各温度下芹菜的亚硝酸盐含量, 得出亚硝酸盐含量最高的温度。再将新鲜芹菜混匀放入 2 个烧杯中, 分别放入 40  $^{\circ}\text{C}$  环境下水浴, 在其中一个烧杯中加入 2000 mg(过量)的头孢氨苄以抑制细菌生长, 而另一烧杯中芹菜不作任何处理作为对照, 分别测定两组芹菜在 4、8、12 h 时的亚硝酸盐含量。

#### 2.4.4 芹菜亚硝酸盐含量的测定方法

取 20 g 芹菜用组织粉碎机打成匀浆, 然后将匀浆抽滤至澄清并定容至 100 mL。在 3 个烧杯中加入 10 mL 匀浆, 然后加入 4% 醋酸锌 10 mL 并用 NaOH 将匀浆的 pH 调至 7.2~7.5, 加入活性炭后在 70  $^{\circ}\text{C}$  水浴条件下加热 30 min。然后过滤并用清水洗涤烧杯, 将洗液一并倒入过滤。随后加入 5 mL 对氨基苯磺酸溶液反应 5 min, 再加入 5 mL 盐酸萘乙二胺溶液显色, 定容至 50 mL, 测定吸光度。

#### 2.4.5 模拟烹饪处理后芹菜亚硝酸盐含量的测定

将 500 g 芹菜切成小块混匀后等分为 2 份, 其中一份放入 2.5 g 盐及 10 g 油并模拟烹饪过程煮熟; 另一份洗净但不做任何处理。加工后称量熟芹菜质量由原来 250.00 g 变为 256.87 g。然后根据生熟芹菜质量的对应关系, 立即取 25 g 生芹菜样品及 25.69 g 熟芹菜样品, 并将熟芹菜所煮出的汁定容至 1000 mL 后分别测量它们的亚硝酸盐含量。同时将生熟芹菜及芹菜汤汁等分后于室温及冷藏(4  $^{\circ}\text{C}$ ) 条件下放置。12 h 后, 分别测量生熟芹菜及芹菜汤汁在室温下与冷藏条件下的亚硝酸盐含量。

## 3 结果与分析

### 3.1 标准曲线的制作

标准曲线如图 1, 吸光度与亚硝酸含量的线性关系为  $Y=0.0883X+0.0252$  ( $r^2=0.9995$ )。

### 3.2 温度对芹菜亚硝酸盐含量的影响

从表 1 可以看出, 芹菜的亚硝酸盐含量随时间变化量与温度有关, 在相同的放置时间下, 芹菜的亚硝酸盐含量顺序为: 40  $^{\circ}\text{C}$  水浴加热 > 30  $^{\circ}\text{C}$  水浴加热 > 室温 > 4  $^{\circ}\text{C}$  冷藏。发现 4  $^{\circ}\text{C}$  冷藏条件下样品的亚硝酸盐含量始终维持在一个较低的水平。其中, 冷藏 24 h 后芹菜的亚硝酸盐含量

仅为 3.18~3.84 mg/kg, 低于室温组的 18.20~18.92 mg/kg。因此, 将蔬菜储存于冰箱中可抑制蔬菜中亚硝酸盐含量的增加。而芹菜在 30、40 °C 水浴 8 h 后的亚硝酸盐含量分别达到 71.47~73.51 mg/kg 和 154.77~180.06 mg/kg, 且随时间增加均继续上升, 远高于国家标准中所规定的酱腌菜中亚硝酸盐含量不得超过 20 mg/kg 的标准<sup>[19]</sup>。

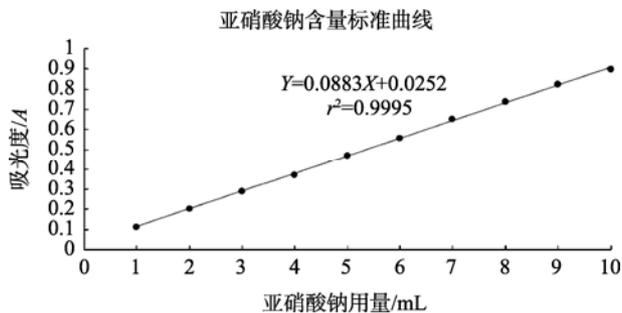


图 1 亚硝酸钠浓度标准曲线

Fig.1 Standard curve of sodium nitrite concentration

在同一温度下, 芹菜的亚硝酸盐含量与放置时间有关。对室温及 4 °C 冷藏条件, 芹菜亚硝酸盐含量在放置 4 h 时会稍降低, 然后随时间的增加而上升; 而对于 30 °C 和

40 °C 水浴条件, 芹菜的亚硝酸盐含量随时间增加而上升。二者的差异可能是由于水浴条件下亚硝酸盐的含量增加较快, 其拐点出现的较早。在较高温度水浴 20、24 h 时, 芹菜亚硝酸盐含量较高, 增加较为缓慢。

对所有数据进行 *t* 检验分析, 得出在 4 h 时, 30、40 °C 样品的亚硝酸盐含量与室温、冷藏条件有显著性差异 ( $P_{30\text{ °C}}=3.69\times 10^{-7}$ ;  $P_{40\text{ °C}}=1.23\times 10^{-4}$ ), 而室温条件与冷藏条件的亚硝酸盐含量在 0~12 h 内无显著性差异, 而在 16 h 时开始出现显著性差异 ( $P=1.56\times 10^{-3}$ ), 部分结果如表 1 所示。

### 3.3 细菌对芹菜亚硝酸盐含量的影响

从表 2 可知, 细菌对芹菜亚硝酸盐的含量存在明显影响。在 40 °C 水浴条件下, 该芹菜样本的亚硝酸盐含量在 4、8、12 h 分别达到 17.07~18.58 mg/kg、181.28~185.06 mg/kg、251.88~264.71 mg/kg。而在相同条件下加入头孢氨苄的样本的亚硝酸盐含量在 4、8、12 h 测定时仅为 1.12~1.50、2.50~2.80、3.44~3.92 mg/kg。对以上数据进行 *t* 检验分析, 在放置 4 h 时, 有无加入头孢氨苄的样本存在显著性差异 ( $P=4.86\times 10^{-6}$ , 小于 0.05)。加入头孢氨苄后, 芹菜的亚硝酸盐含量明显低于不加入头孢氨苄的对照组, 且始终维持在较低水平。因此, 芹菜中亚硝酸盐的含量增加的主要来源是细菌等微生物的影响。

表 1 不同温度下芹菜亚硝酸盐含量随放置时间的变化量  
Table 1 Changes of nitrite content of celery with time at different temperatures

放置时间/h	亚硝酸盐含量/(mg/kg)			
	室温样品	冰箱/4 °C	30 °C	40 °C
0	0.29~1.04	0.29~1.04	0.29~1.04	0.29~1.04
4	0.00~0.03	0.00~0.18	2.41~2.54	2.16~2.73
8	1.31~1.93	1.16~1.80	71.47~73.51	154.77~180.06
12	3.25~4.41	2.24~3.35	182.98~204.88	339.46~373.62
16	9.75~10.66	4.24~6.22	213.75~239.04	448.00~584.17
20	6.46~6.92	3.82~4.65	281.23~335.97	580.37~621.45
24	18.20~18.92	3.18~3.84	280.76~293.50	502.54~664.39

注: 本次实验中浸泡芹菜的水中也检测出了较高浓度的亚硝酸盐。室温温度为 13~23 °C。

表 2 细菌对亚硝酸盐含量的影响  
Table 2 The influences of bacteria on nitrite content

放置时间/h	亚硝酸盐含量/(mg/kg)	
	40 °C 不加头孢氨苄	40 °C 加入头孢氨苄
0	1.74~2.05	1.74~2.05
4	17.07~18.58	1.12~1.50
8	181.28~185.06	2.50~2.80
12	251.88~264.71	3.44~3.92

### 3.4 模拟烹饪后芹菜亚硝酸盐含量变化

从表 3 可知, 新鲜芹菜基本未检测出亚硝酸盐, 但不同的放置条件会导致蔬菜亚硝酸盐含量增加。经差异性分析可知, 在常温条件和冷冻条件下放置 12 h 的芹菜汤及生熟芹菜, 均存在显著性差异(3 组数据的 *P* 值分别为  $P=1.19\times 10^{-5}$ 、 $P=4.08\times 10^{-3}$  和  $P=3.49\times 10^{-6}$ )。而在同一温度下, 生熟芹菜的亚硝酸盐含量没有显著性差异(其中常温生熟芹菜的  $P=0.101$ , 冷藏条件下生熟芹菜的  $P=0.313$ )。

表 3 模拟烹饪后不同条件对芹菜亚硝酸盐含量的影响  
Table 3 The influences of nitrite content in difference conditions after the simulated cooking of celery

放置条件	亚硝酸盐含量/(mg/kg)	
	0 h	12 h
放置于常温下的芹菜汤	0.00~0.00	14.97~15.29
放置于冷藏下的芹菜汤	0.00~0.00	5.50~6.07
放置于常温下的生芹菜	0.00~0.17	24.02~27.61
放置于常温下的熟芹菜	0.00~0.00	27.50~28.33
放置于冷藏下的生芹菜	0.00~0.17	1.41~3.30
放置于冷藏下的熟芹菜	0.00~0.00	0.28~2.43

注: 当日气温 27~32 °C。

### 3.5 回收率实验

利用标准亚硝酸钠溶液和在室温下放置 16 h 的芹菜进行回收率测定实验。由表 4 可知, 本次实验的回收率在 86.80%~88.00%之间。

表 4 回收率测定  
Table 4 Recovery rate determination

实验组数	本底平均值 /A	加标平均值 /A	实测值 /A	回收率/%
1	0.213	0.250	0.433	88.00
2	0.203	0.250	0.422	87.60
3	0.197	0.250	0.414	86.80

## 4 讨论

由表 1、表 2 可知, 温度通过影响微生物的生长从而影响放置过程中亚硝酸盐的含量。低温抑制细菌生长, 因此在 4 °C 条件下蔬菜几乎不产生亚硝酸盐; 温度较高时, 细菌大量繁殖, 蔬菜中的硝酸盐在细菌的代谢下转化为亚硝酸盐<sup>[16]</sup>, 此时蔬菜内的亚硝酸盐含量明显增加。当存在抗生素时, 即使在较高的温度下, 蔬菜内的硝酸盐转变为亚硝酸盐的速率因细菌数量受到控制而相对缓慢, 其亚硝酸盐含量始终维持在较低水平。

本研究亚硝酸盐含量较低的组别中的样本出现了亚硝酸盐含量先下降再上升的现象。原因可能是: 植物体内的亚硝酸盐等物质通过共质体、质外体以及共质体-质外体等途径排出体外<sup>[20]</sup>。由于在 24 h 后从浸泡芹菜样品的水中测出较高浓度的亚硝酸盐。故推测亚硝酸盐的含量在植物体内可能存在平衡, 植物体可将积累的亚硝酸盐排出体外, 使自身的亚硝酸盐含量维持在一定的范围; 当亚硝酸盐增加速率较快且大于植物体自身排出速率时, 亚硝酸盐才会在植物体内累积。

本实验结果与其他研究者的实验结果具有相同的趋势, 即低温条件能延缓蔬菜亚硝酸盐含量的增加且蔬菜中的亚硝酸盐含量会随贮存时间延长而增加<sup>[6,10]</sup>。但本实验中芹菜亚硝酸盐含量的数值远高于他们的实验结果<sup>[6,10]</sup>, 可能由实验的条件不同造成, 一方面蔬菜的硝酸盐、亚硝酸盐含量会因蔬菜的种类、产地、实验时间等因素存在差异<sup>[21-23]</sup>。而另一方面, 本次实验所测定的样本放置于水中, 该条件下的高温湿润环境有助于细菌的滋生, 所以本实验测定的蔬菜的亚硝酸盐含量会高于实际生活中相同温度下的亚硝酸盐含量。也有实验结果证实, 放置 2 d 后的蔬菜汁的亚硝酸盐含量会大幅上升<sup>[24]</sup>, 与本实验结果符合。此外, 表 1 与表 3 中相同时间芹菜亚硝酸盐含量有较大差异, 其原因可能与芹菜的新鲜程度、放置条件相关, 但其亚硝酸盐含量随时间变化的规律相似。

此外, 硝酸盐在唾液与胃中也可内源转化为亚硝酸盐, 研究表明亚硝酸盐的总摄入量理论上等于直接摄入的亚硝酸盐量与 5% 的硝酸盐摄入量之和<sup>[25,26]</sup>。我国不同地区芹菜的硝酸盐含量在 1200.0~8931.4 mg/kg 之间<sup>[21,27-30]</sup>。但从表 3 结果可推断, 即使对于高硝酸盐蔬菜, 在较短的放置时间内, 蔬菜不会因硝酸盐大量转化而导致食用后摄入超中毒剂量(200~500 mg)的亚硝酸盐而引起急性中毒<sup>[4,19]</sup>。

## 5 结论

本研究发现冷藏条件下芹菜中亚硝酸盐含量基本不变, 40 °C 条件下亚硝酸盐含量在 20 h 内一直呈增加趋势, 特别是在 12 h 内含量增加约 125 倍, 加入抗生素头孢氨苄后仅增加 1 倍, 说明细菌是蔬菜放置过程中产生亚硝酸盐的主要原因, 且模拟烹饪实验的结果表明置于冰箱中的剩菜的亚硝酸盐含量仅仅约为常温下的 1/10, 说明了温度是通过影响微生物生长从而影响蔬菜放置过程中亚硝酸盐含量的变化, 且烹饪前后蔬菜的亚硝酸盐含量没有显著性差异。本研究为人们科学购买、储存蔬菜, 减少亚硝酸盐的摄入提供了参考。

### 参考文献

- [1] Manassaram DM, Backer LC, Moll DM. A review of nitrates in drinking water: Maternal exposure and adverse reproductive and developmental outcomes [J]. *Environ Health Persp*, 2006, 114(3): 320-327.
- [2] 宋明义, 周涛发, 蔡子华, 等. 浙江典型癌症高发区地质环境[J]. *物探与化探*, 2010, 34(3): 382-385.  
Song MY, Zhou TF, Cai ZH, *et al*. Geological environment of a typical cancer high-incidence area in Zhe Jiang province [J]. *Geophys Geochem Explor*, 2010, 34(3): 382-385.
- [3] 邓熙, 林秋奇, 顾继光, 等. 广州市饮用水源中硝酸盐亚硝酸盐含量与癌症死亡率联系[J]. *生态科学*, 2004, 23(1): 38-41.  
Deng X, Lin QQ, Gu JG, *et al*. Correlation between concentration of

- nitrate, nitrite in drinking water source and cancer mortality for Guangzhou city [J]. *Ecol Sci*, 2004, 23(1): 38–41.
- [4] 石岩. 食品中亚硝酸盐过量的危害与防治[J]. *食品与健康*, 2006, (2): 39–39.
- Shi Y. Harm and prevention of nitrite excess in food [J]. *Food Health*, 2006, (2): 39.
- [5] Hord NG, Tang Y, Bryan NS. Food sources of nitrates and nitrites: The physiologic context for potential health benefits [J]. *Am J Clin Nutr*, 2009, 90(1): 1–10.
- [6] 史冬燕. 不同温度和食盐量对芹菜亚硝酸盐含量的影响[J]. *菏泽学院学报*, 2001, 23(4): 32–33.
- Shi DY. Temperature and salt affect the nitrite content of celery [J]. *J Heze Teach Coll*, 2001, 23(4): 32–33.
- [7] 徐贵华, 张远, 白清元, 等. 食前处理及存放时间对蔬菜亚硝酸盐含量的影响[J]. *河南科技学院学报(自然科学版)*, 2011, 39(4): 28–31.
- Xu GH, Zhang Y, Bai QY, *et al.* Effects of nitrite content treatment before eating and storage time in vegetables [J]. *J Henan Inst Sci Technol (Nat Sci Ed)*, 2011, 39(4): 28–31.
- [8] 别同玉, 许加生, 杨丽莉, 等. 储藏时间对不同种类蔬菜中亚硝酸盐含量的影响[J]. *食品研究与开发*, 2012, 33(12): 205–207.
- Bie TY, Xu JS, Yang LL, *et al.* Effects of storage time on nitrite content in different vegetables [J]. *Food Res Dev*, 2012, 33(12): 205–207.
- [9] 曹晓倩, 孙涛, 帕尔哈提, 等. 不同处理条件对叶菜类蔬菜亚硝酸盐含量的影响[J]. *中国食物与营养*, 2018, 24(2): 33–36.
- Cao XQ, Sun T, Pa EHT, *et al.* Effects of different treatment conditions on nitrite content of leafy vegetables [J]. *Food Nutr China*, 2018, 24(2): 33–36.
- [10] 高秀瑞, 刁春英, 张春锋, 等. 低温贮藏对3种蔬菜亚硝酸盐含量的影响[J]. *河北农业科学*, 2011, 15(8): 65–68.
- Gao XR, Diao CY, Zhang CF, *et al.* Effects of low temperature storage on nitrite content of 3 vegetables [J]. *J Hebei Agric Sci*, 2011, 15(8): 65–68.
- [11] 蔡洁娜. 不同贮存条件下四种新鲜蔬菜亚硝酸盐含量变化探究[J]. *食品安全导刊*, 2018, (12): 74–75.
- Cai JN. Study on the changes of nitrite content in four fresh vegetables under different storage conditions [J]. *China Food Saf Mag*, 2018, (12): 74–75.
- [12] 李光. 剩饭剩菜到底能不能吃[J]. *农家参谋*, 2015, (7): 14–15.
- Li G. Leftovers can eat or not [J]. *Farm Consult*, 2015, (7): 14–15.
- [13] 刘法佳, 吴燕燕, 李来好, 等. 降低腌制食品中亚硝酸盐含量的研究进展[J]. *广东农业科学*, 2011, 38(1): 165–167.
- Liu FJ, Wu YY, Li LH, *et al.* Development of reducing nitrite in salted food [J]. *Guangdong Agric Sci*, 2011, 38(1): 165–167.
- [14] 熊维玲. 试样的放置时间对测定蔬菜中亚硝酸盐含量的影响[J]. *热带农业工程*, 2004, (2): 23–25.
- Xiong WL. Effect of sample placement time on determination of nitrite content in vegetables [J]. *Trop Agric Eng*, 2004, (2): 23–25.
- [15] 赵建平. 蔬菜硝酸盐积累生理机制研究进展[J]. *中国农学通报*, 2005, 21(1): 93–96.
- Zhao JP. Progress in physiological mechanism of nitrate accumulation in vegetable [J]. *Chin Agric Sci Bull*, 2005, 21(1): 93–96.
- [16] 闫潇娟, 严丽君, 胡雪峰, 等. 蔬菜生长与储藏过程中硝酸盐和亚硝酸盐含量变化[J]. *上海大学学报(自然科学版)*, 2015, (1): 81–87.
- Yan XJ, Yan LJ, Hu XF, *et al.* Variations of nitrate and nitrite contents in vegetables during growth and storage [J]. *J Shanghai Univ (Nat Sci Ed)*, 2015, (1): 81–87.
- [17] 范亚娜, 盖轲. 几种腌制蔬菜中亚硝酸盐含量的测定[J]. *宝鸡文理学院学报(自然科学版)*, 2008, 28(1): 41–43.
- Fan YN, Ge K. The determination of the nitrite content of several pickled vegetables [J]. *J Baoji Univ Arts Sci (Nat Sci Ed)*, 2008, 28(1): 41–43.
- [18] 胡长敏, 赵丽辉, 丁蕴铮, 等. 新鲜蔬菜和水果中亚硝酸盐测定方法研究[J]. *环境化学*, 2000, 19(2): 181–186.
- Hu CM, Zhao LH, Ding YZ, *et al.* A method for measuring nitrite in fresh vegetable and fruits [J]. *Environ Chem*, 2000, 19(2): 181–186.
- [19] 周慧, 马义虔, 张建. 市售酱腌菜和肉制品中亚硝酸盐含量测定及安全性评价[J]. *广州化工*, 2017, 45(13): 117–120.
- Zhou H, Ma YQ, Zhang J. Determination and edible safety for nitrite content in commercial pickles and meat products [J]. *Guangzhou Chem Ind*, 2017, 45(13): 117–120.
- [20] 李美茹, 张光民, 康素月. 不同处理条件对蔬菜亚硝酸盐含量的影响[J]. *北方园艺*, 2008, (7): 20–23.
- Li MR, Zhang GM, Kang SY. Effect of different treatment conditions on the content of nitrite in vegetables [J]. *North Horticult*, 2008, (7): 20–23.
- [21] 张睿, 刘好, 丁照耘. 17种蔬菜亚硝酸盐含量测定及评价[J]. *甘肃农业科技*, 2012, (9): 24–25.
- Zhang R, Liu Y, Ding ZY. Determination and evaluation of nitrite content in 17 kinds of vegetables [J]. *Gansu Agric Sci Technol*, 2012, (9): 24–25.
- [22] Brkić D. Nitrate in leafy green vegetables and estimated intake [J]. *Afr J Tradit Complem Altern Med*, 2017, 14(3): 31–41.
- [23] Nowrouz P, Taghipour H, Dastgiri S, *et al.* Nitrate determination of vegetables in varzeghan city, north-western Iran [J]. *Health Promot Perspect*, 2012, 2(2): 244–250.
- [24] Lidder S, Webb AJ. Vascular effects of dietary nitrate (as found in green leafy vegetables and beetroot) via the nitrate-nitrite-nitric oxide pathway [J]. *Brit J Clin Pharm*, 2013, 75(3): 677–696.
- [25] Huber JC, Brender JD, Zheng Q, *et al.* Maternal dietary intake of nitrates, nitrites and nitrosamines and selected birth defects in offspring: A case-control study [J]. *Nutr J*, 2013, (34): 12–22.
- [26] Griesenbeck JS, Brender JD, Sharkey JR, *et al.* Maternal characteristics associated with the dietary intake of nitrates, nitrites, and nitrosamines in women of child-bearing age: A cross-sectional study [J]. *Environ Health*, 2010, 9(1): 10.
- [27] 闫金萍, 张小乐, 李国才. 市售蔬菜中硝酸盐的含量[J]. *环境与健康杂志*, 2007, 24(7): 562.
- Yan JP, Zhang XL, Li GC. The content of nitrate in vegetables sold in the market [J]. *J Environ Health*, 2007, 24(7): 562.
- [28] 孙敏红, 吕燕君. 长沙市售新鲜蔬菜中硝酸盐含量的测定[J]. *湖北农业科学*, 2012, 51(13): 2834–2836.
- Sun MH, Lv YJ. Determination of nitrate content in vegetables in Changsha's market [J]. *Hubei Agric Sci*, 2012, 51(13): 2834–2836.
- [29] 郭大勇, 寇太记, 杜鹃, 等. 洛阳市市售蔬菜中硝酸盐含量的测定[J].

河南农业科学, 2009, (3): 93-94.

Guo DY, Kou TJ, Du J, *et al.* Determination of nitrate content in vegetables marketed in Luoyang city [J]. *J Henan Agric Sci*, 2009, (3): 93-94.

- [30] 黄玲娟, 朱静雯, 赵立, 等. 金山区地产蔬菜中硝酸盐污染状况评价 [J]. *上海农业科技*, 2012, (6): 26-27.

Huang LJ, Zhu JW, Zhao L, *et al.* Evaluation of nitrate pollution in vegetables in Jinshan district [J]. *Shanghai Agric Sci Technol*, 2012, (6): 26-27.

(责任编辑: 苏笑芳)

## 作者简介



王康泓, 主要研究方向为生物工程。  
E-mail: 13500069277@163.com



王 勇, 博士, 副教授, 主要研究方向  
为生物分析化学。  
E-mail: wyong@szu.edu.cn