

DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20240413003

# 咀嚼时间对蔬菜中硝酸盐和亚硝酸盐含量变化的影响研究

贺玉珊<sup>1</sup>, 黄冰寒<sup>1</sup>, 陈剑岚<sup>1</sup>, 邓泽元<sup>2\*</sup>

(1. 上海中侨职业技术大学食品药品学院, 上海 200540;  
2. 南昌大学食品科学与资源挖掘全国重点实验室, 南昌 330029)

**摘要:** **目的** 以蔬菜(中青、芽白秧、生菜、油麦菜和包菜)为原料, 探讨咀嚼时间对蔬菜所含硝酸盐和亚硝酸盐含量变化的影响。**方法** 采用超声提取技术提取经志愿者咀嚼不同时间后各种蔬菜中的硝酸盐及亚硝酸盐, 以盐酸萘乙二胺为显色剂, 采用酶标仪测定两者的含量。**结果** 咀嚼后的中青、芽白秧、生菜和油麦菜的硝酸盐含量达到最高值分别是咀嚼 20、5、5 和 10 s, 包菜的硝酸盐含量无显著性变化; 咀嚼后蔬菜的亚硝酸盐含量均显著升高( $P<0.05$ ), 不同蔬菜的亚硝酸盐含量达到最高值的咀嚼时间基本不同, 其中中青和生菜的亚硝酸盐含量变化均呈先上升后下降的趋势, 分别在 20 s  $[(4.67\pm0.89) \mu\text{g/kg}]$  和 15 s  $[(3.63\pm0.44) \mu\text{g/kg}]$  达到最高; 芽白秧的亚硝酸盐含量则是先上升后下降又上升, 在 10 s 达到最高  $(4.09\pm0.57) \mu\text{g/kg}$ ; 油麦菜的亚硝酸盐含量在 0~20 s 不断升高到  $(6.42\pm0.70) \mu\text{g/kg}$ , 在 10~25 s 过程中无显著性变化; 包菜的亚硝酸盐含量则是不断上升, 在 25 s 达到最高  $[(3.48\pm0.48) \mu\text{g/kg}]$ 。**结论** 蔬菜因品种、种植条件及营养成分不同, 其硝酸盐及亚硝酸盐含量皆不同, 各自达到最高值的咀嚼时间也不尽相同, 为了减少因摄入亚硝酸盐所带来的健康风险, 建议对于烹饪手法采用焯水或水煮的蔬菜并不食用蔬菜汤, 咀嚼方式上细嚼慢咽, 咀嚼时间至少为 10 s。

**关键词:** 咀嚼时间; 蔬菜; 硝酸盐; 亚硝酸盐

## Study on the effects of chewing time on the changes of nitrate and nitrite content in vegetables

HE Yu-Shan<sup>1</sup>, HUANG Bing-Han<sup>1</sup>, CHEN Jian-Lan<sup>1</sup>, DENG Ze-Yuan<sup>2\*</sup>

(1. College of Food and Drug, Shanghai Zhongqiao Vocational and Technical University, Shanghai 200540, China;  
2. National Key Laboratory of Food Science and Resource Mining, Nanchang University, Nanchang 330029, China)

**ABSTRACT: Objective** To explore the effects of chewing time on the changes of nitrate and nitrite content in vegetables, using vegetables (green vegetable, white sprout, lettuce, romaine and cabbage) as raw materials. **Methods** The nitrate and nitrite were extracted from vegetables chewed by volunteers in different time by ultrasonic extraction, and their content was determined by microplate reader with naphthalene ethylenediamine hydrochloride as color reagent. **Results** After chewing, the nitrate content of green vegetable, white sprout, lettuce

基金项目: 上海市高等教育人才揽储计划科研项目(2022)

Fund: Supported by the Higher Education Funding of Shanghai Municipal Savings Plan (2022)

\*通信作者: 邓泽元, 教授, 主要研究方向为食品营养。E-mail: 273736939@qq.com

\*Corresponding author: DENG Ze-Yuan, Professor, National Key Laboratory of Food Science and Resource Mining, Nanchang University, No.339 Beijing East Road, Qingshanhu District, Nanchang 330029, China. E-mail: 273736939@qq.com

and romaine reached the highest values at 20, 5, 5, and 10 seconds of chewing, respectively, while there was no significant change in cabbage. After chewing, the content of nitrite in vegetables was significantly increased ( $P<0.05$ ) and the chewing time of the maximum value of nitrite in different vegetables was basically different, among which, the content of nitrite in green vegetables and lettuce was firstly increased and then decreased. The maximum values were reached at 20 s  $[(4.67\pm0.89) \mu\text{g/kg}]$  and 15 s  $[(3.63\pm0.44) \mu\text{g/kg}]$ , respectively. The content of nitrite in white sprout increased first, then decreased and then increased, and reached the maximum value  $[(4.09\pm0.57) \mu\text{g/kg}]$  at 10 s. The nitrite content of romaine continued to increase to  $(6.42\pm0.70) \mu\text{g/kg}$  from 0 to 20 s, but there was no significant change during 10–25 s. The content of nitrite in cabbage increased continuously and reached the maximum  $[(3.48\pm0.48) \mu\text{g/kg}]$  at 25 s. **Conclusion** Due to the differences in varieties, growing conditions and nutrient composition of vegetables, the nitrate and nitrite content of vegetables is different, and the chewing time to reach the maximum value for each is also varies. In order to reduce the health risks caused by nitrite intake, it is suggested to cook vegetables by blanching or boiling in water and avoid consuming the vegetable soup. Chew slowly and carefully at least 10 s.

**KEY WORDS:** chewing time; vegetable; nitrate; nitrite

## 0 引言

蔬菜是一种易富集硝酸盐的作物<sup>[1]</sup>,特别是喜氮的叶菜类蔬菜<sup>[2-3]</sup>,是人类摄入硝态氮的主要来源<sup>[4-5]</sup>。人类从蔬菜中摄入硝酸盐占摄入总量的 72%~94%<sup>[6]</sup>,当硝酸盐进入人体内,一部分硝酸盐会转化为亚硝酸盐<sup>[7]</sup>,约 25%被唾液腺吸收并分泌到唾液<sup>[8]</sup>,在口腔中,定植了硝酸盐还原菌<sup>[9]</sup>,约为  $10^{10}$  CFU/L<sup>[10]</sup>。当硝酸盐进入口腔后,约 20%的硝酸盐在硝酸盐还原菌的作用下还原为亚硝酸盐<sup>[11]</sup>,其含量约占人体总亚硝酸盐的 80%<sup>[12-13]</sup>。当蔬菜在有利于硝酸盐还原菌生长和繁殖的环境中时,可促进硝酸盐还原成亚硝酸盐。人们通常认为亚硝酸盐对人体健康是有害的,是一种强致癌物,能诱导高铁血红蛋白血症<sup>[14-15]</sup>,引起急性中毒、胎儿畸变等<sup>[16]</sup>。但由于日常情况下不可能接触到极高量的亚硝酸盐,亚硝酸盐引起高铁血红蛋白血症的实际发生率极低。LARSEN 等<sup>[17]</sup>研究表明通过膳食摄入一定量硝酸盐可以降低人体血压,这是因为硝酸盐在体内形成舒张血管的 NO,可能调节基础血压。适量的硝酸盐对心脏也有一定保护作用<sup>[18]</sup>。并且 BOS 等<sup>[19]</sup>认为性别、年龄、吸烟习惯、硝酸盐食物以及维生素 C 对唾液硝酸盐、亚硝酸盐水平无显著影响。也有研究<sup>[20]</sup>发现饭前与饭后唾液中亚硝酸盐无明显差异,所以,因膳食摄入的硝酸盐及亚硝酸在口腔中含量的变化会影响到人体摄入总量。而我国蔬菜品种繁多,不同蔬菜在口腔中咀嚼后,硝酸盐和亚硝酸盐含量变化情况鲜有研究,因此,本研究系统探究了经咀嚼不同时间后,我国常见的 5 种蔬菜(中青、芽白秧、生菜、油麦菜和包菜)中硝酸盐及亚硝酸盐含量的变化,并对咀嚼蔬菜的时间与蔬菜中硝酸盐及亚硝酸盐含量变化是否存在一定关联性进行探讨,以期为广大消费者在日常食用不同种类蔬菜的咀嚼时间提供借鉴,并

控制人体对蔬菜中亚硝酸盐的摄入以避免潜在的健康危害,以期提高人们的生活质量。也为后续蔬菜中硝酸盐及亚硝酸盐含量与口腔中 pH、微生物等因素之间的关系研究提供基础数据支持。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

中青、芽白秧、生菜、油麦菜和包菜均购于超市,蔬菜采摘时间均为夏季 7 月份。

### 1.2 试剂

亚硝酸钠、硝酸钠、对氨基苯磺酸、盐酸萘乙二胺、亚铁氰化钾、乙酸锌、镉粒、活性炭(分析纯,上海阿拉丁生化科技有限公司);盐酸、氨水(25%)、冰乙酸(分析纯,天津市大茂化学试剂厂)。

亚硝酸钠标准液(200  $\mu\text{g/L}$ ):准确称取 0.1000 g 于 110~120  $^{\circ}\text{C}$  干燥恒重的亚硝酸钠,加水溶解移入 500 mL 容量瓶中,加水稀释至刻度,混匀。此溶液每毫升相当于 200  $\mu\text{g/L}$  的亚硝酸钠。

硝酸钠标准使用液(200  $\mu\text{g/L}$ ):准确称取 0.1000 g 于 110~120  $^{\circ}\text{C}$  干燥恒重的硝酸钠,加水溶解移入 500 mL 容量瓶中,加水稀释至刻度,混匀。此溶液每毫升相当于 200  $\mu\text{g/L}$  的硝酸钠。

氨缓冲溶液(pH 9.6~9.7):量取 30 mL 盐酸( $\rho=1.19 \text{ g/mL}$ ),加 100 mL 水,混匀后加 65 mL 氨水(25%),再加水稀释至 1000 mL,混匀。调节 pH 至 9.6~9.7。

对氨基苯磺酸溶液(4 g/L):称取 0.4 g 对氨基苯磺酸,溶于 100 mL 20%盐酸中,置棕色瓶中混匀,避光保存。

盐酸萘乙二胺溶液(2 g/L):称取 0.2 g 盐酸萘乙二胺,溶解于 100 mL 水中,混匀后,置棕色瓶中,避光保存。

亚铁氰化钾溶液(106 g/L):称取 106.0 g 亚铁氰化钾,用水溶解,并稀释至 1000 mL。

乙酸锌溶液(220 g/L):称取 220.0 g 乙酸锌,先加 30 mL 冰乙酸溶解,用水稀释至 1000 mL。

### 1.3 仪器

AR1140 电子分析天平(精度 0.0001 g,美国奥豪斯贸易公司);TDL-5-Z 自动脱盖离心机(上海安亭科学仪器厂);HH-4 数显恒温水浴锅(国华电器有限公司);MV-100 涡旋混匀仪(武汉赛维尔生物科技有限公司);KM-300DE 超声波清洗器(昆山美美超声仪器有限公司);SYNERGY HTX 多功能酶标仪(美国伯腾仪器有限公司)。

### 1.4 样品预处理

将蔬菜样本洗干净,切成长、宽均为 3~5 cm 的片状,取约 250 g 加入已沸腾的 1000 mL 水,煮熟后捞出(约煮制 3 min),并自然冷却。随机选取 5 名身体健康、口腔状况良好的志愿者,男性 2 名,女性 3 名,平均年龄 22 岁,分别咀嚼 5 g 左右煮熟的蔬菜 0、5、10、15、20、25 s 后(咀嚼前需用清水漱口),将蔬菜吐于烧杯中。准确称取 2.00 g 蔬菜渣于 50 mL 锥形瓶中,加入氨缓冲溶液 0.50 mL,纯水 9 mL,活性炭粉末 0.1 g,在 70 °C 超声功率 210 W 下,提取 10 min<sup>[21-22]</sup>,离心,将上清液转入 25 mL 容量瓶中,加入 0.2 mL 亚铁氰化钾溶液和 0.2 mL 质量分数为 22% 的乙酸锌溶液沉淀蛋白质,用纯水定容至刻度,摇匀。静置 10 min 后过滤,得清亮待测液。

### 1.5 实验方法

#### 1.5.1 亚硝酸钠标准曲线的制定

吸取 0.00、0.01、0.02、0.03、0.04、0.05、0.06、0.07、0.08 mL 的 0.002 μg/mL 亚硝酸钠标准溶液(相当于 0.00000、0.00002、0.00004、0.00006、0.00008、0.00010、0.00012、0.00014、0.00016 μg 亚硝酸钠),分别置于 5 mL 离心管中。分别加入 0.1 mL 的 4 g/L 对氨基苯磺酸溶液,混匀,静置 3~5 min 后各加入 0.05 mL 的 2 g/L 盐酸萘乙二胺溶液,加水定容至 2.5 mL,混匀,静置 15 min,吸取 200 μL 于酶标板中,以零管调节零点,于波长 538 nm 处测吸光度,重复 3 次,求其平均值,用标准系列测得吸光值减去空白试剂(浓度为 0)即为标准液的吸光值。以亚硝酸钠的质量为横坐标,对应的吸光值为纵坐标作标准曲线。标准曲线方程为  $Y_1=206.35X_1+0.0002$ ,相关系数  $r^2=0.9997$ 。

#### 1.5.2 硝酸盐标准曲线的制定

吸取 20 mL 的 0.15 μg/mL(以亚硝酸钠计)硝酸盐标准使用液,加入稻米大小的镉粒、5 mL 氨缓冲液以及 5 mL 蒸馏水,振荡 15 min(选择中等振速 200 r/min),放置 15 h 后,再分别吸取 0.00、0.10、0.20、0.40、0.60、0.80、1.20、1.60、2.00 mL(相当于 0.000、0.010、0.020、0.040、0.060、

0.080、0.120、0.160、0.200 μg 亚硝酸钠)于 5 mL 离心管中。分别加入 0.1 mL 的 4 g/L 对氨基苯磺酸溶液,混匀,静置 3~5 min 后各加入 0.05 mL 的 2 g/L 盐酸萘乙二胺溶液,加水定容至 2.5 mL,混匀,静置 15 min,吸取 200 μL 于酶标板中,以零管调节零点,于波长 538 nm 处测吸光度,重复 3 次,求其平均值,用标准系列测得吸光值减去空白试剂(浓度为 0)即为标准液的吸光值。以亚硝酸钠的质量为横坐标,对应的吸光值为纵坐标作标准曲线。标准曲线方程为  $Y_2=6.713X_2+0.0006$ ,相关系数  $r^2=0.9996$ 。

#### 1.5.3 亚硝酸盐测定

吸取 2.0 mL 样品待测滤液于 5 mL 离心管中,并分别加入 0.1 mL 的 4 g/L 对氨基苯磺酸溶液,混匀,静置 3~5 min 后各加入 0.05 mL 的 2 g/L 盐酸萘乙二胺溶液,加水定容至 2.5 mL,混匀,静置 15 min,吸取 200 μL 于酶标板中,以零管调节零点,于波长 538 nm 处测吸光度,重复 3 次。

亚硝酸盐含量计算为公式(1):

$$X_1 = \frac{m_2 \times 1000}{m_3 \times \frac{V_1}{V_0} \times \frac{V_2}{V_3}} \quad (1)$$

式中,  $X_1$ : 试样中亚硝酸钠的含量, μg/kg;  $m_2$ : 测定用样液中亚硝酸钠的质量, μg; 1000: 转换系数;  $m_3$ : 试样质量, g;  $V_0$ : 试样待测滤液总体积, mL;  $V_1$ : 吸取待测滤液体积, mL;  $V_2$ : 吸取待测滤液处理后总体积, mL;  $V_3$ : 测定处理液体积, mL。小数点后保留 2 位小数。

#### 1.5.4 硝酸盐测定

吸取 2.0 mL 滤液滴入到锥形瓶中,加入稻米大小的镉粒、0.5 mL 氨缓冲液以及 0.5 mL 蒸馏水,振荡 15 min(选择中等振速 200 r/min),放置 15 h<sup>[23]</sup>。吸取 2 mL 滤液加入 5 mL 比色管中,加水定容至 2.5 mL。测定溶液中总亚硝酸盐的含量,减去原有的亚硝酸盐含量,再乘以 1.232 即为硝酸盐的含量,此时硝酸盐还原率在 90% 左右,计算时再乘校正系数 1.1,即可得到较接近真值的结果<sup>[24]</sup>。硝酸盐含量计算为公式(2):

$$X_2 = \left( \frac{m_4 \times 1000}{m_3 \times \frac{V_4}{V_0} \times \frac{V_6}{V_5} \times \frac{V_8}{V_7} \times 1000} - X_1 \right) \times 1.232 \times 1.1 \quad (2)$$

式中,  $X_2$ : 试样中硝酸盐的含量, mg/kg;  $m_4$ : 测定用样液中亚硝酸钠的质量, μg; 1000: 转换系数;  $m_3$ : 试样质量, g;  $V_0$ : 试样待测滤液总体积, mL;  $V_4$ : 吸取待测滤液体积, mL;  $V_5$ : 吸取待测滤液处理后总体积, mL;  $V_6$ : 吸取滤液处理液总体积, mL;  $V_7$ : 滤液处理液再次处理后总体积, mL;  $V_8$ : 测定处理液体积, mL; 1.232: 亚硝酸钠换算成硝酸盐的系数; 1.1: 校正系数。小数点后保留 2 位小数。

### 1.6 数据处理

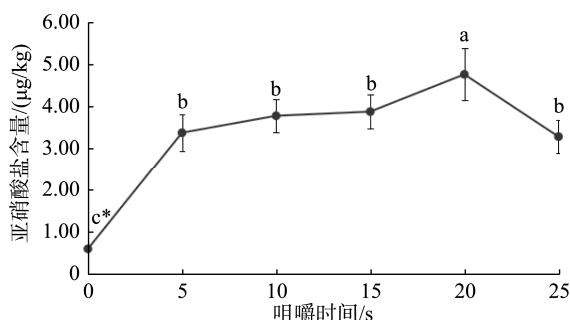
通过 Excel 2018 处理数据,使不同志愿者咀嚼同种蔬菜相同时间后的亚硝酸盐及硝酸盐含量表示为平均数±标准

准偏差, 并使用 SPSS 25.0 统计软件, 采用单因素方差分析方法进行显著性差异分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 咀嚼蔬菜过程中亚硝酸盐含量变化

由图 1 可知, 中青未经咀嚼时, 亚硝酸盐含量为  $0.60 \mu\text{g/kg}$ , 咀嚼后与未经咀嚼时相比, 亚硝酸盐含量显著升高( $P<0.05$ )。在咀嚼过程中, 中青的亚硝酸盐含量变化有先上升后下降的趋势, 在 20 s 左右含量最高, 达到  $(4.67\pm 0.89) \mu\text{g/kg}$ , 极显著高于未经咀嚼的中青, 显著高于咀嚼 5、10、15 和 25 s 后的中青, 但咀嚼 5、10、15 和 25 s 间亚硝酸盐含量无显著性差异。



注: 不同字母表示差异显著( $P<0.05$ ), \*表示未咀嚼与咀嚼之间差异极显著( $P<0.05$ ), 图1~5、7~11同。

图1 中青在咀嚼过程中亚硝酸盐含量变化

Fig.1 Changes in nitrite content of green vegetable during chewing

由图 2 可知, 芽白秧未经咀嚼时, 亚硝酸盐含量为  $0.69 \mu\text{g/kg}$ , 咀嚼后与未经咀嚼时相比, 亚硝酸盐含量显著升高( $P<0.05$ )。咀嚼过程中, 亚硝酸盐含量变化有先上升后下降再上升的趋势, 在咀嚼 0~10 s, 亚硝酸盐含量不断升高, 10 s 时达到最高值  $(4.09\pm 0.57) \mu\text{g/kg}$ , 显著高于 5 s 和 20 s

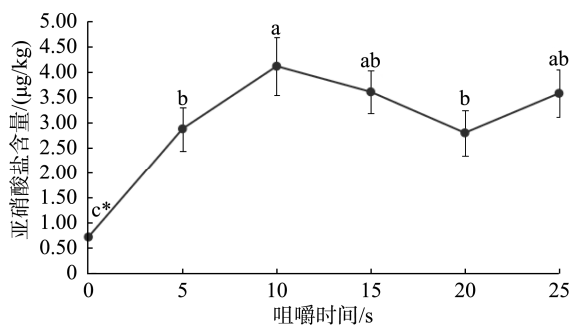


图2 芽白秧在咀嚼过程中亚硝酸盐含量变化

Fig.2 Changes in nitrite content of white sprout during chewing

时的含量, 极显著高于未咀嚼的芽白秧; 咀嚼 10~20 s 过程中含量下降为  $(2.77\pm 0.45) \mu\text{g/kg}$ , 在咀嚼 25 s 时上升至  $(3.55\pm 0.47) \mu\text{g/kg}$ 。

由图 3 可知, 生菜未经咀嚼时, 亚硝酸盐含量为  $0.93 \mu\text{g/kg}$ , 咀嚼后与未经咀嚼时相比, 亚硝酸盐含量显著升高( $P<0.05$ )。在咀嚼过程中, 生菜的亚硝酸盐含量变化为先上升后下降, 在 15 s 时达到最高值  $(3.63\pm 0.44) \mu\text{g/kg}$ , 显著高于咀嚼 5、10、20 和 25 s 后的生菜, 极显著高于未经咀嚼的生菜, 但咀嚼 5、10、20 和 25 s 间亚硝酸盐含量无显著性差异。

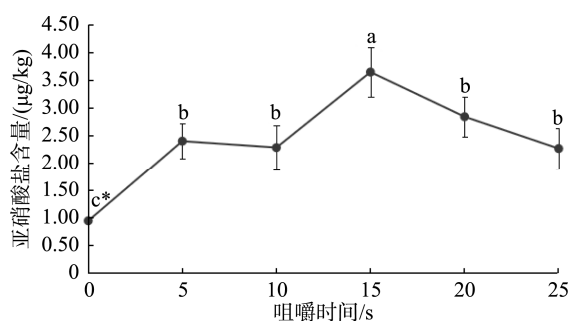


图3 生菜在咀嚼过程中亚硝酸盐含量变化

Fig.3 Changes in nitrite content of lettuce during chewing

由图 4 可知, 油麦菜未经咀嚼时, 亚硝酸盐含量为  $1.07 \mu\text{g/kg}$ , 咀嚼后与未经咀嚼时相比, 亚硝酸盐含量显著升高( $P<0.05$ )。在咀嚼 0~20 s, 亚硝酸盐含量逐渐增加, 20 s 含量达到最高值  $(6.42\pm 0.70) \mu\text{g/kg}$ , 显著高于咀嚼 5 s 后的油麦菜( $P<0.05$ ), 极显著高于未经咀嚼的油麦菜, 在咀嚼 10~25 s 过程中, 亚硝酸盐含量无显著性差异。

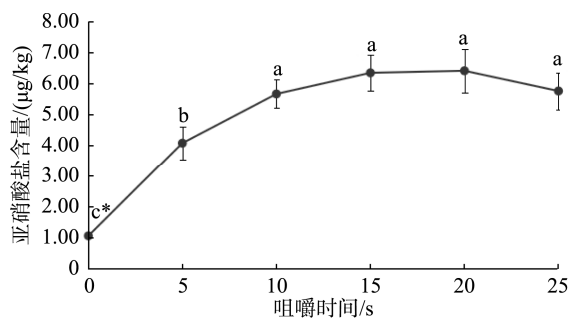


图4 油麦菜在咀嚼过程中亚硝酸盐含量变化

Fig.4 Changes in nitrite content of romaine during chewing

由图 5 可知, 包菜未经咀嚼时亚硝酸盐含量为  $0.44 \mu\text{g/kg}$ , 咀嚼后与未经咀嚼时相比, 亚硝酸盐含量显著升高( $P<0.05$ )。在咀嚼 0~25 s, 亚硝酸盐含量逐渐增加, 25 s 达到最高值  $(3.48\pm 0.48) \mu\text{g/kg}$ , 显著高于咀嚼 5 s 和 10 s 的包菜( $P<0.05$ ), 极显著高于未经咀嚼的包菜, 但咀嚼 5 s、10 s 间亚硝酸盐含量无显著性差异, 咀嚼 15、20 和 25 s 间, 亚硝酸盐含量也无显著性差异。

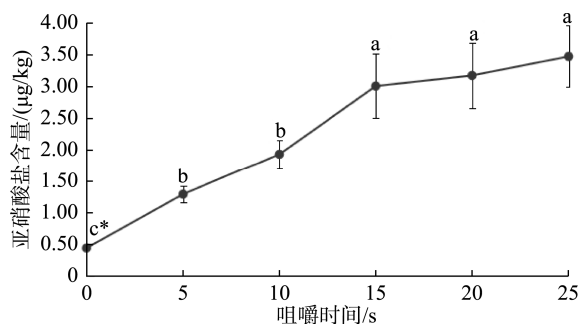
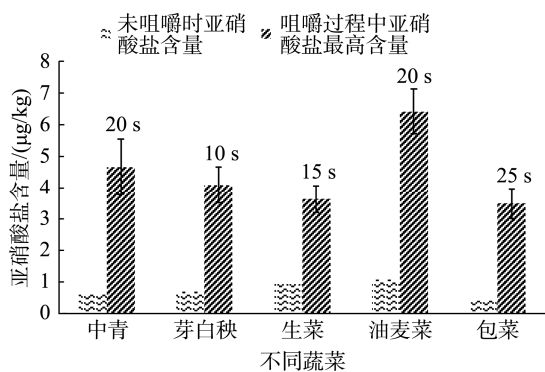


图5 包菜在咀嚼过程中亚硝酸盐含量变化  
Fig.5 Changes in nitrite content of cabbage during chewing

由图 6 可知, 这 5 种蔬菜未经咀嚼时亚硝酸盐含量由高到低为油麦菜( $1.07 \mu\text{g/kg}$ )>生菜( $0.93 \mu\text{g/kg}$ )>芽白秧( $0.69 \mu\text{g/kg}$ )>中青( $0.60 \mu\text{g/kg}$ )>包菜( $0.44 \mu\text{g/kg}$ )。在咀嚼过程中, 中青、芽白秧、生菜、油麦菜和包菜的亚硝酸盐分别在 20、10、15、20、25 s 达到最高值。这 5 种蔬菜经咀嚼后亚硝酸盐含量最高值由高到低为油麦菜[( $6.42 \pm 0.70$ )  $\mu\text{g/kg}$ ]>中青[( $4.67 \pm 0.89$ )  $\mu\text{g/kg}$ ]>芽白秧[( $4.09 \pm 0.57$ )  $\mu\text{g/kg}$ ]>生菜[( $3.63 \pm 0.44$ )  $\mu\text{g/kg}$ ]>包菜[( $3.48 \pm 0.48$ )  $\mu\text{g/kg}$ ]。



注: 时间表示亚硝酸盐含量达到最高值的咀嚼时间。  
图6 各蔬菜未咀嚼时亚硝酸盐含量及咀嚼过程中最高含量  
Fig.6 Nitrite content of vegetables without chewing and the highest content during chewing

## 2.2 咀嚼蔬菜过程中硝酸盐含量变化

由图 7 可知, 中青未经咀嚼时硝酸盐含量为  $4.60 \text{ mg/kg}$ , 咀嚼 20 s 时硝酸盐含量达到( $5.45 \pm 0.44$ )  $\text{mg/kg}$ , 显著高于未咀嚼时的中青( $P < 0.05$ ), 咀嚼 5、10、15 和 25 s 间硝酸盐含量与未咀嚼时和咀嚼 20 s 时的中青均无显著性差异。

由图 8 可知, 芽白秧未经咀嚼时, 硝酸盐含量为  $18.59 \text{ mg/kg}$ , 咀嚼过程中硝酸盐含量不断波动变化。咀嚼 5、10、20 和 25 s 的硝酸盐含量显著高于未经咀嚼的( $P < 0.05$ ), 但咀嚼 15 s 与未经咀嚼的无显著性差异。咀嚼 5 s 后, 硝酸盐含量升高至( $26.61 \pm 2.18$ )  $\text{mg/kg}$ , 5~15 s 过程中硝酸盐含量下降为( $21.75 \pm 1.80$ )  $\text{mg/kg}$ , 15~20 s 过程中含

量上升至( $25.77 \pm 2.76$ )  $\text{mg/kg}$ , 咀嚼 25 s 后, 硝酸盐含量又下降为( $22.44 \pm 2.44$ )  $\text{mg/kg}$ 。

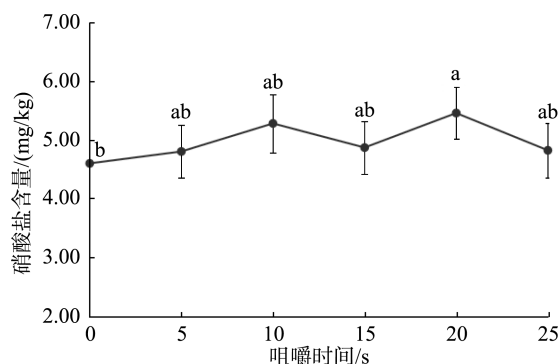


图7 中青在咀嚼过程中硝酸盐含量变化  
Fig.7 Changes in nitrate content of green vegetable during chewing

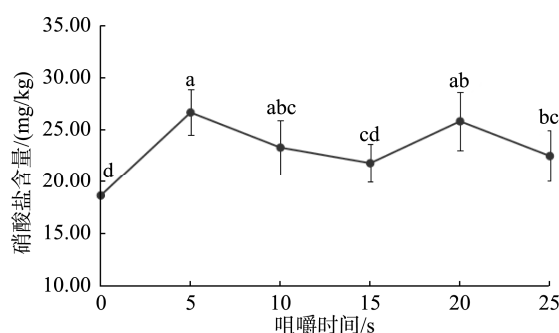


图8 芽白秧在咀嚼过程中硝酸盐含量变化  
Fig.8 Changes in nitrate content of white sprout during chewing

由图 9 可知, 生菜未经咀嚼时, 硝酸盐含量为  $4.56 \text{ mg/kg}$ , 咀嚼过程中生菜的硝酸盐含量呈先上升后下降再上升的趋势。咀嚼 5 s 后硝酸盐含量达到( $5.68 \pm 0.48$ )  $\text{mg/kg}$ , 显著高于未咀嚼的生菜( $P < 0.05$ ), 在咀嚼 5~15 s, 硝酸盐含量逐渐下降至( $4.45 \pm 0.46$ )  $\text{mg/kg}$ , 在咀嚼 15~25 s, 硝酸盐含量上升至( $5.37 \pm 0.59$ )  $\text{mg/kg}$ , 但咀嚼 10、15、20 和 25 s 的生菜与未经咀嚼的生菜均无显著性差异。

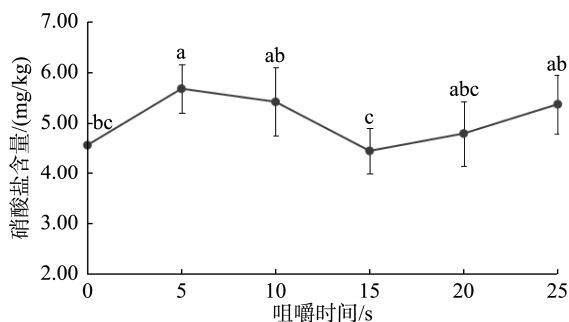


图9 生菜在咀嚼过程中硝酸盐含量变化  
Fig.9 Changes in nitrate content of lettuce during chewing

由图 10 可知, 油麦菜未经咀嚼时, 硝酸盐含量为 4.12 mg/kg, 咀嚼过程中硝酸盐含量呈先上升后下降再上升的趋势, 在咀嚼 0~10 s, 硝酸盐含量逐渐升高, 10 s 达到最高值 ( $5.60 \pm 0.41$ ) mg/kg, 显著高于未经咀嚼的油麦菜 ( $P < 0.05$ ), 在咀嚼 15 s 时, 硝酸盐含量下降为 ( $4.50 \pm 0.44$ ) mg/kg, 咀嚼 5、15、20 和 25 s 间硝酸盐含量无显著差异, 且咀嚼 15、20 和 25 s 的油麦菜与未经咀嚼的油麦菜与也无显著性差异。

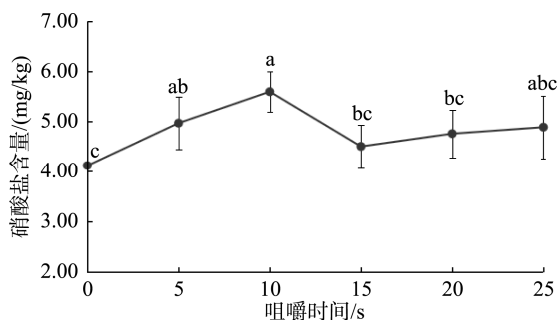


图10 油麦菜在咀嚼过程中硝酸盐含量变化

Fig.10 Changes of nitrate content in romaine during chewing

由图 11 可知, 包菜未经咀嚼时硝酸盐含量为 4.59 mg/kg, 咀嚼后硝酸盐含量与未咀嚼时相比无显著性差异, 并且咀嚼过程中硝酸盐含量起伏波动但变化不大, 即咀嚼时间与包菜的硝酸盐含量无明显相关性。

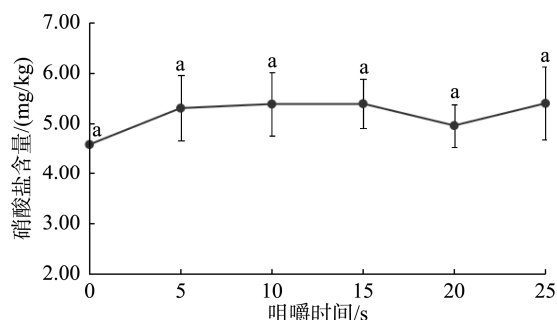


图11 包菜在咀嚼过程中硝酸盐含量变化

Fig.11 Changes in nitrate content of cabbage during chewing

### 3 讨论与结论

中青、芽白秧、生菜、油麦菜和包菜未经咀嚼时硝酸盐含量由高到低为芽白秧( $18.59$  mg/kg)>中青( $4.60$  mg/kg)>包菜( $4.59$  mg/kg)>生菜( $4.56$  mg/kg)>油麦菜( $4.12$  mg/kg), 亚硝酸盐含量由高到低为油麦菜( $1.07$   $\mu$ g/kg)>生菜( $0.93$   $\mu$ g/kg)>芽白秧( $0.69$   $\mu$ g/kg)>中青( $0.60$   $\mu$ g/kg)>包菜( $0.44$   $\mu$ g/kg)。这 5 种蔬菜所含硝酸盐及亚硝酸盐含量均不相同, 这可能是由于肥料成分、灌溉、土壤肥力水平等对蔬菜硝酸盐含量有直接影响<sup>[25-26]</sup>, 不同蔬菜根系对硝酸盐吸收速率和硝酸盐还原酶活性不同<sup>[27]</sup>。此外, 刘传湘等<sup>[28]</sup>测得叶类蔬菜中硝酸盐含量在  $663.34 \sim 1503.28$  mg/kg 之间, 亚硝酸盐含量在

$1.94 \sim 8.23$  mg/kg 之间, 本研究测得各个蔬菜的硝酸盐及亚硝酸盐含量相对新鲜蔬菜较低, 这是因为采用水煮法处理蔬菜会去除大部分硝酸盐及亚硝酸盐<sup>[29-30]</sup>, 可降低因摄入亚硝酸盐所带来的安全风险<sup>[31]</sup>。中青、芽白秧、生菜和油麦菜的硝酸盐含量达到最高值分别是咀嚼 20、5、5 和 10 s, 亚硝酸盐含量均有先升后降趋势, 达到最高值分别是 20、10、15 和 20 s。而包菜的硝酸盐含量无显著变化、亚硝酸盐含量则是不断升高, 在 25 s 达到最高, 可能由于不同蔬菜的膳食纤维含量及老嫩程度不同, 而包菜含有大量膳食纤维, 总膳食纤维含量可达到 ( $59.13 \pm 1.95$ ) g/100 g<sup>[32]</sup>, 其是人消化系统或酶所不易分解的物质<sup>[33-34]</sup>, 可能会影响硝酸盐的释放速度, 从而影响硝酸盐还原菌发挥作用, 所以硝酸盐无显著变化, 而亚硝酸盐缓慢增加。在咀嚼过程中, 中青的硝酸盐含量与亚硝酸盐含量呈正相关 ( $r = 0.568$ ,  $P < 0.05$ ), 而芽白秧、生菜、油麦菜、包菜的硝酸盐及亚硝酸盐含量无显著相关性。蔬菜中亚硝酸盐含量相对硝酸盐极少, 这可能是因为口腔中硝酸盐还原菌含量不高, 并且在正常咀嚼蔬菜过程中, 只能转化微量硝酸盐, 使得硝酸盐与亚硝酸盐含量之间关系不大, 需要进一步的研究。为了减少因摄入亚硝酸盐所带来的健康风险, 建议对于烹饪手法采用焯水或水煮的蔬菜并不食用蔬菜汤, 咀嚼方式上细嚼慢咽, 咀嚼时间至少为 10 s。

### 参考文献

- [1] ZHONG L, BLEKKENHORST LC, BONDONNO NP, *et al.* A food composition database for assessing nitrate intake from plant-based foods [J]. Food Chem, 2022, 394: 133411.
- [2] SANTAMARIA PUOB, ELIA A, PARENTE A, *et al.* Fertilization strategies for lowering nitrate content in leafy vegetables: Chicory and rocket salad cases [J]. J Plant Nutr, 1998, 21(9): 1791-1803.
- [3] LUETIC S, KNEZOVIC Z, JURCIC K, *et al.* Leafy vegetable nitrite and nitrate content: Potential health effects [J]. Foods, 2023, 12(8): 1655.
- [4] 曲艺璇, 罗广军. 长春菜市场 26 种蔬菜硝酸盐含量测定[J]. 现代园艺, 2019, 42(5): 16-17.
- QU YX, LUO GJ. Determination of nitrate content of 26 vegetables in Changchun vegetable market [J]. Contemp Hortic, 2019, 42(5): 16-17.
- [5] KARWOWSKA M, KONONIUK A. Nitrates/Nitrites in food—risk for nitrosative stress and benefits [J]. Antioxidants, 2020, 9(3): 241.
- [6] 杨美玲, 朱运德, 崔东亚. 不同方法处理后蔬菜中亚硝酸盐含量的测定[J]. 湖北农业科学, 2010, 49(10): 2533-2534.
- YANG ML, ZHU YD, CUI DY. Determination of nitrite in vegetables with different pretreatment [J]. Hubei Agric Sci, 2010, 49(10): 2533-2534.
- [7] 刘宗林, 贾建会, 樊利青. 蔬菜中硝酸盐的危害及检测[J]. 食品科学, 2001, 22(7): 65-67.
- LIU ZL, JIA JH, FAN LQ. Nitrates harm and new assay method in vegetables [J]. Food Sci, 2001, 22(7): 65-67.
- [8] 夏登胜, 崔秀玉, 邓大君, 等. 唾液硝酸盐、亚硝酸盐检测方法的探讨[J]. 北京口腔医学, 2007, 15(4): 202-203, 206.
- XIA DS, CUI XY, DENG DJ, *et al.* Determination methods of nitrate and nitrite concentrations in whole saliva [J]. Beijing J Stomatol, 2007, 15(4): 202-203, 206.
- [9] ROSIER BT, JOHNSTON W, CARDA-DIEGUEZ M, *et al.* Nitrate

- reduction capacity of the oral microbiota is impaired in periodontitis: Potential implications for systemic nitric oxide availability [J]. *Int J Oral Sci*, 2024, 16: 1.
- [10] 夏登胜, 王松灵. 唾液硝酸盐及亚硝酸盐研究进展[J]. *中华口腔医学杂志*, 2001, 36(6): 77-79.
- XIA DS, WANG SL. Research progress on salivary nitrates and nitrites [J]. *Chin J Stomatol*, 2001, 36(6): 77-79.
- [11] ROCHA BS. The nitrate-nitrite-nitric oxide pathway on healthy ageing: A review of pre-clinical and clinical data on the impact of dietary nitrate in the elderly [J]. *Front Aging*, 2021, 1: 2.
- [12] MIRVISH SS. The etiology of gastric cancer. Intra-gastric nitrosamide formation and other theories [Z].
- [13] ROSIER BT, TAKAHASHI N, ZAURA E, *et al*. The importance of nitrate reduction for oral health [J]. *J Dent Res*, 2022, 8(101): 887-897.
- [14] 陈秋生, 梁淑轩, 李科, 等. 蔬菜中硝酸盐和亚硝酸盐的不同提取方法及含量测定[J]. *河北大学学报(自然科学版)*, 2007, 27(2): 174-178.
- CHEN QS, LIANG SX, LI K, *et al*. Comparison of several extraction methods for the spectrophotometric determination of nitrate and nitrite in vegetables [J]. *J Hebei Univ (Nat Sci Ed)*, 2007, 27(2): 174-178.
- [15] PARK SM, RHEE MS. Prevalence and phylogenetic traits of nitrite-producing bacteria in raw ingredients and processed baby foods: Potential sources of foodborne infant methemoglobinemia [J]. *Food Res Int*, 2024, 178: 113966.
- [16] 王素燕, 肖华西. 蔬菜中硝酸盐和亚硝酸盐的测定及含量分析[J]. *食品研究与开发*, 2014, 35(17): 87-89.
- WANG SY, XIAO HX. Determination and analysis of nitrate and nitrite content in vegetables under storage [J]. *Food Res Dev*, 2014, 35(17): 87-89.
- [17] LARSEN FJ, EKBLOM B, SAHLIN K, *et al*. Effects of dietary nitrate on blood pressure in healthy volunteers [J]. *New England J Med*, 2006, 355(26): 2792.
- [18] OLAS B. The cardioprotective role of nitrate-rich vegetables [J]. *Foods*, 2024, 13(5): 691.
- [19] BOS PMJ, VAN DBP, WEDEL M, *et al*. The reproducibility of the conversion of nitrate to nitrite in human saliva after anitrate load [J]. *Food Chem Toxicol*, 1988, (26): 93-97.
- [20] 林县群众唾液及胃液中亚硝酸盐含量的测定[Z]. Determination of nitrite content in saliva and gastric juice of people in Lin County [Z].
- [21] 唐志华. 蔬菜中硝酸盐、亚硝酸盐提取与测定的研究[J]. *中国调味品*, 2013, 38(7): 79-81.
- TANG ZH. Study on extraction and determination of nitrate and nitrite in vegetables [J]. *China Cond*, 2013, 38(7): 79-81.
- [22] 冷桃花, 万丽佳, 翁史昱, 等. 蔬菜中亚硝酸盐和硝酸盐检测技术研究进展[J]. *食品安全质量检测学报*, 2020, 11(19): 7-9.
- LENG TH, WANG LJ, WENG SY, *et al*. Research progress in the detection technology of nitrite and nitrate in vegetables [J]. *J Food Saf Qual*, 2020, 11(19): 7-9.
- [23] 罗小红, 李梅. 水果和蔬菜中硝酸盐含量测定方法的改进[J]. *西南农业大学学报(自然科学版)*, 2004, 26(4): 471-473.
- LUO XH, LI M. Improvement of test method for nitrate content in fruits and vegetables [J]. *J Southwest Univ (Nat Sci Ed)*, 2004, 26(4): 471-473.
- [24] 程秀云, 张敏. 几种蔬菜不同条件下亚硝酸盐含量的变化研究[J]. *海峡科学*, 2021, (1): 42-44.
- CHENG XY, ZHANG M. Research on changes in nitrite content of several vegetables under different conditions [J]. *Straits Sci*, 2021, (1): 42-44.
- [25] 马惠民, 王波. 施肥对蔬菜硝酸盐含量的影响[J]. *长江蔬菜*, 2010, (2): 6-9.
- MA HM, WANG B. Effect of fertilization on content of nitrate in vegetable [J]. *J Changjiang Veget*, 2010, (2): 6-9.
- [26] 李会合, 王正银. 施肥对叶类蔬菜硝酸盐含量的影响[J]. *磷肥与复肥*, 2001, (3): 65-67.
- LI HH, WANG ZY. Effect of fertilization on nitrate content in foliage greens [J]. *Phosphate Compd Fert*, 2001, (3): 65-67.
- [27] 王正银, 涂从, 徐卫红. 环境条件和化学物质对叶类蔬菜硝酸盐的效应研究[J]. *重庆环境科学*, 1999, (2): 47-49.
- WANG ZY, TU C, XU WH. Effect of environmental condition and chemical matter on content of nitrate in leaf vegetable [J]. *Chongqing Environ Sci*, 1999, (2): 47-49.
- [28] 刘传湘, 袁亚莉, 邓健. 镉柱还原法测定蔬菜中亚硝酸盐、硝酸盐的含量[J]. *南华大学学报(理工版)*, 2002, 16(3): 16-17, 36.
- LIU CX, YUAN YL, DENG J. Study of the content of nitrite and nitrate in vegetables by reduction on a cadmium column [J]. *J Univ South China (Sci Technol)*, 2002, 16(3): 16-17, 36.
- [29] 喻致祥. 食蔬菜谨防亚硝酸盐中毒[J]. *中老年保健*, 2000, (4): 36-37.
- YU ZX. Beware of nitrite poisoning when eating vegetables [J]. *Middle-aged Elder Health Care*, 2000, (4): 36-37.
- [30] 杨惠芬, 王淮洲. 蔬菜中硝酸盐、亚硝酸盐含量及卫生学评价[J]. *卫生研究*, 1989, 18(3): 45-47.
- YANG HF, WANG HZ. Nitrate and nitrite content in vegetables and hygienic evaluation [J]. *J Hyg Res*, 1989, 18(3): 45-47.
- [31] 蔬菜焯水有哪些好处[Z]. What are the benefits of blanching vegetables [Z].
- [32] 阙茗铭, 叶发银, 赵国华. 成熟度对甘蓝膳食纤维单糖组成及抗氧化活性的影响[J]. *食品科学*, 2017, 38(5): 60-65.
- KAN MM, YE FY, ZHAO GH. Effect of maturity on monosaccharide composition and antioxidant activity of cabbage dietary fiber [J]. *Food Sci*, 2017, 38(5): 60-65.
- [33] 周勇辉. 6 种常见的蔬菜中粗纤维含量的测定[J]. *现代园艺*, 2019, 42(1): 13-14.
- ZHOU YH. Determination of crude fiber content in 6 common vegetables [J]. *Contemp Hortic*, 2019, 42(1): 13-14.
- [34] 李森, 刘坤, 郑丽贤, 等. 膳食纤维与肠道微生物及相关疾病的研究进展[J]. *食品安全质量检测学报*, 2021, 12(1): 249-254.
- LI M, LIU K, ZHENG LX, *et al*. Research progress of dietary fiber and intestinal microorganism and related diseases [J]. *J Food Saf Qual*, 2021, 12(1): 249-254.

(责任编辑: 于梦娇 韩晓红)

## 作者简介



贺玉珊, 硕士, 讲师, 主要研究方向为食品安全与检测。

E-mail: 964565756@qq.com

邓泽元, 教授, 主要研究方向为食品营养。

E-mail: 273736939@qq.com