

## 烫漂方式对白萝卜汁品质的影响

朱丹实<sup>1</sup>, 于懿<sup>1</sup>, 单良豪<sup>1</sup>, 柴懿娜<sup>1</sup>, 俞张富<sup>2</sup>, 沈荣虎<sup>2</sup>, 励建荣<sup>1\*</sup>

(<sup>1</sup>渤海大学食品科学与工程学院 生鲜农产品贮藏加工及安全控制技术国家地方联合工程研究中心 辽宁锦州 121013

<sup>2</sup>杭州萧山农业发展有限公司 杭州 311215)

**摘要** 白萝卜营养丰富,具有多种生理功能,然而其辛辣味突出,影响了产品品质。可通过烫漂等预处理方法来改善风味,进而扩大其应用。以白萝卜为原料,研究不同预处理方式(热水烫漂、微波烫漂和蒸汽烫漂)对白萝卜汁营养和风味的影响。结果表明,3种烫漂处理的白萝卜汁的可溶性蛋白、抗坏血酸等营养物质含量虽有所降低,但风味明显改善,酯类物质含量增加,异硫氰酸酯类、醇类及醚类物质含量显著降低( $P<0.05$ ),尤其甲硫醇、二甲基二硫醚、二丁醚以及烯丙基甲基二硫醚等特征风味物质含量显著降低( $P<0.05$ )。各预处理的较佳条件分别为:90℃热水烫漂6min,700W微波烫漂4min及常压蒸汽烫漂6min。微波烫漂虽对水溶性蛋白质和抗坏血酸的保留率较高,分别保留了77.15%和79.24%,但异硫氰酸酯类化合物的保留率也较高,辛辣、刺激味较明显,感官评分较低。常压蒸汽烫漂后白萝卜汁的异硫氰酸酯类化合物相对含量较低,且有效增加了丙酸丁酯、丁酸丁酯及菠萝酯等含量,提升了白萝卜汁的风味。此外,蒸汽烫漂的萝卜汁营养物质保留率也较高,感官综合得分最高,因此是比较适合的预处理方式。本研究可以为白萝卜产品开发提供一定的试验参考。

**关键词** 预处理; 烫漂; 白萝卜汁; 品质; 风味

**文章编号** 1009-7848(2024)11-0244-10 **DOI:** 10.16429/j.1009-7848.2024.11.023

白萝卜(*Raphanus sativus* L.),别名“莱菔”,是十字花科植物中的药食同源蔬菜<sup>[1]</sup>,富含多种维生素和营养物质,具有防止积食,调节胃肠动力,软化血管,修复肠壁损伤,平缓血压等功效<sup>[2-4]</sup>。白萝卜富含的硫代葡萄糖苷(Glucosinolates, GSLS, 简称硫苷<sup>[5]</sup>)是含硫非挥发性风味前体物质<sup>[6]</sup>,主要存在于植物组织液泡中<sup>[7]</sup>。硫苷组分和含量呈现多样化的原因与植物品种、植株分布位置及生长环境高度相关<sup>[8]</sup>。当白萝卜组织受到物理破坏时,位于特定蛋白体内的芥子苷酶会与GSLS相互作用,形成葡萄糖和硫代羟肟酸-O-磺酸盐<sup>[9]</sup>,在pH值和温度的影响下,进一步分解为硫氰酸盐、腈类、异硫氰酸盐以及唑烷酮<sup>[10-11]</sup>,再进一步反应可能生成硫化物、甲硫醇等物质,这是造成异味的主要原因<sup>[12]</sup>。脂肪族硫苷4-甲硫基-3-丁烯基硫代葡萄糖苷(Glucoraphasatin, GRH)是白萝卜主要硫苷物质<sup>[13]</sup>,其降解产物4-甲硫基-3-丁烯基异硫氰酸酯

(4-Methylthio-3-butenyl isothiocyanate, MT-BITC)作用于嗅觉受体后产生辛辣味<sup>[14]</sup>。

在果蔬加工过程中,烫漂预处理可以钝化氧化酶的活性,破坏抗营养因子,还可以改善不良风味。热水烫漂显著降低了西蓝花<sup>[15]</sup>的不良风味化合物含量[己醛、(E)-2-己烯醛、(E,E)-2,4-庚二烯醛以及硫氰酸甲酯]。热烫、蒸汽、微波处理能够降低冲菜<sup>[16]</sup>主要风味物质——异硫氰酸丙烯酯的含量。热水烫漂可以减少香菇<sup>[17]</sup>中硫化物及酮类化合物相对含量,增加醛类、烃类和酯类物质含量。微波烫漂增加了样品中酯类、醇类和硫化物的含量。

本研究用热水烫漂、微波烫漂及常压蒸汽烫漂白萝卜块,在确定每种烫漂方式最佳参数的基础上,比较3种烫漂方式对白萝卜汁营养品质和风味的影响。研究结果可为丰富萝卜加工理论和产品开发提供一定的理论参考。

**收稿日期:** 2023-11-24

**基金项目:**“十四五”国家重点研发计划项目(2022YFD2100302);云南省科技人才与平台计划项目(202205AF150060)

**第一作者:**朱丹实,女,博士,教授

**通信作者:**励建荣 E-mail: lijr6491@163.com

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

白萝卜(白玉大根)采购于锦州市农贸市场。无水乙醇,天津市风船化学试剂科技有限公司;牛血清蛋白标准品、抗坏血酸标准品、考马斯亮蓝

G-250,北京索莱宝试剂公司;85%磷酸,天津永晟精细化工有限公司;碳酸钠,国药集团化学试剂有限公司;三氯乙酸、三氯化铁,上海阿拉丁生化科技股份有限公司;4,7-二苯基-1,10-菲咯啉,上海皓鸿生物医药科技有限公司,上述试剂均为分析纯级。

## 1.2 仪器与设备

EVOLUTION 201 紫外-可见分光光度计,上海赛默飞世尔科技有限公司;7890N/5975 GC-MS 分析仪,美国 Agilent 公司;MS-TS 电子分析天平,梅特勒-托利多国际有限公司;SRQ-7315 多功能料理机,佛山市艾尼诗登电器有限公司;SHJ-A6 水浴磁力搅拌器,金坛市精密仪器制造有限公司;PEN-3 电子鼻,德国 Aisense 科学仪器公司;XIR 型大容量离心机,赛默飞世尔科技(中国)有限公司;JYC-21ES55C 电磁炉,杭州九阳生活电器有限公司。

## 1.3 方法

1.3.1 样品制备 挑选无机械损伤、腐烂变质的白萝卜,清洗后去掉外皮,切成 2 cm×2 cm×2 cm 小块,对白萝卜进行预处理并放入凉水中冷却,待其冷却到室温后与等质量的水一起放入打浆机中处理 135 s,用 300 目滤布过滤,得到白萝卜汁。

### 1.3.2 烫漂预处理方法

1.3.2.1 热水烫漂 将 300 g 白萝卜块倒入 90 °C 热水中,保持水温在(90±2)°C,分别处理 2,4,6,8,10 min,考察热水烫漂对白萝卜汁品质的影响。

1.3.2.2 微波烫漂 将微波功率设置为 700 W,取 300 g 白萝卜块与 4 倍质量的 90 °C 左右热水一起倒入可微波聚丙烯盒中,保持盒内热水不沸腾的状态,分别设置间歇微波时间为 2,4,6,8,10 min,考察微波烫漂对白萝卜汁品质的影响。

1.3.2.3 常压蒸汽烫漂 取 300 g 白萝卜块放入电磁炉上已经水沸产生蒸汽的蒸锅中,蒸制 2,4,6,8,10 min,研究常压蒸汽烫漂对白萝卜汁品质的影响。

### 1.3.3 检测方法

1.3.3.1 水溶性蛋白质含量的测定 参照 Zhu 等<sup>[8]</sup>的研究方法,以牛血清蛋白质为标准品绘制标准曲线: $y=0.0028x+0.0324$ , $R^2=0.9921$ ,并根据下述式(1)计算水溶性蛋白质含量。

$$\text{可溶性蛋白质含量 (mg/mL)} = (m' \times V) / (V_s \times m \times 1000) \quad (1)$$

式中: $m'$ 为标准曲线计算出的蛋白质的质量, $\mu\text{g}$ ; $V$ 为样品提取液总体积,mL; $V_s$ 为测定时所取样品提取液体积,mL; $m$ 为样品质量,g。

1.3.3.2 抗坏血酸含量的测定 参照王霞<sup>[9]</sup>的研究方法,以抗坏血酸为标准品绘制标准曲线: $y=0.0515x+0.0122$ , $R^2=0.9977$ ,计算方法见式(2)。

$$\text{抗坏血酸含量 (mg/100 mL)} = (V_1 \times m_1) / (V_2 \times m_2 \times 1000) \times 100 \quad (2)$$

式中: $V_1$ 为样品提取液总体积,mL; $m_1$ 为由标准曲线求得的抗坏血酸的质量, $\mu\text{g}$ ; $V_2$ 为滴定时所用样品提取液体积,mL; $m_2$ :样品质量,g。

1.3.3.3 电子鼻分析 电子鼻又称气味扫描仪,是通过特定的电化学传感器识别不同的气味,得到的分析结果与人的感官结果一致,能更为客观地评价产品的风味品质<sup>[20]</sup>。试验通过 PEN-3 电子鼻测定样品的挥发性风味,10 个传感器传感元件的性能见表 1。

表 1 电子鼻传感器阵列性能

Table 1 Electronic nose sensor array performance

传感器	性能描述
R1	对芳香化合物敏感
R2	对氮氧化物敏感
R3	对氨和芳香化合物敏感
R4	对氢气(氢化物)敏感
R5	对烯烃和芳香化合物敏感
R6	对碳氢化合物敏感
R7	对硫化氢灵敏
R8	对醇类、醛酮类敏感
R9	对芳香化合物,有机硫化物敏感
R10	对烷烃敏感

1.3.3.4 风味感官评定 萝卜汁的风味感官评定基于风味等级评分及综合得分得出。根据白萝卜汁的风味特征,将白萝卜汁风味定义为腥味、辛辣味、清香味、硫臭味和蒸煮味,邀请 10 人组成感官评价小组,对白萝卜汁风味进行感官评价,分值 0~5 分别对应无、极少、较少、平均、较强和极强 6 个等级,按照得分绘制感官描述雷达图。将 4 种不良风味,即腥味、辛辣味、硫臭味、蒸煮味打分为

负值,清香味记为正值,5种风味评分的总和记为综合得分。

**1.3.3.5 SPME/GC-MS 分析** 顶空固相微萃取(SPME)方法如下:取7 mL白萝卜汁于20 mL顶空瓶中,加入内标物环己酮溶液(质量浓度为0.4 g/L,体积为5  $\mu$ L)并用塑封膜封口。40  $^{\circ}$ C平衡5 min后,插入50/30  $\mu$ m DVB/CAR/PDMS涂层萃取针顶空吸附30 min,随后在250  $^{\circ}$ C解吸3 min后进行分析。色谱条件:色谱柱为HP-5MS毛细色谱柱,以35  $^{\circ}$ C维持3 min后,以3  $^{\circ}$ C/min速率升至45  $^{\circ}$ C,再以6  $^{\circ}$ C/min速率升至130  $^{\circ}$ C,最后以8  $^{\circ}$ C/min速率升至230  $^{\circ}$ C,保持8 min;载气(He)流速为2.54 mL/min,压力2.4 kPa,不分流进样。质谱条件:(EI)离子源;电子能量70 eV;接口温度250  $^{\circ}$ C;离子源温度200  $^{\circ}$ C;45~450 a/m全扫描。定性分析:利用计算机对NIST 11、Wiley 7.0和保留时间(RT)质谱库进行计算机匹配,对GC-MS分析的挥发性化合物进行了鉴定。定量分析:以环己酮作为内标物,计算各物质绝对含量。

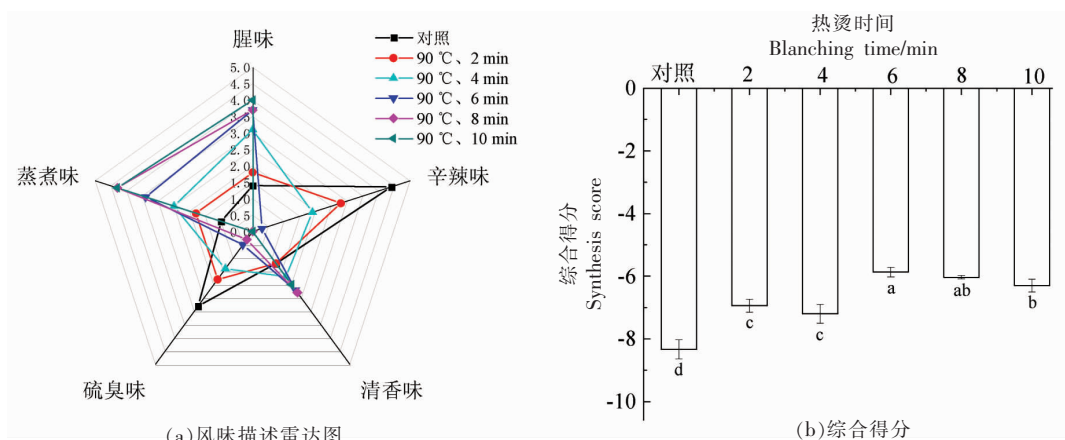
**1.3.4 数据处理** 试验中每个指标至少测定3次平行,通过IBM SPSS Statistics 26软件中的单因素ANOVA检验进行平均值计算、标准差计算、方差分析并检验差异是否显著( $P < 0.05$ ),数据均以均值 $\pm$ 标准差( $\bar{x} \pm s$ )形式体现,作图软件为Origin 64。

## 2 结果与分析

### 2.1 热水烫漂对白萝卜汁感官品质的影响

白萝卜经物理破碎后,内源性芥子苷酶与硫代葡萄糖苷相互作用,生成的异硫氰酸盐使白萝卜汁产生辛辣味,醚类化合物和硫化物使白萝卜汁具有刺激味。pH值、温度和VC都会影响芥子苷酶的活性,而不同来源的芥子苷酶最适温度也不同。白萝卜芥子苷酶的最适温度范围在40~60  $^{\circ}$ C,50  $^{\circ}$ C时的活力最高,超过60  $^{\circ}$ C时活性被抑制,当温度达到90  $^{\circ}$ C时,酶活几乎为零。

由图1a得知,随着热烫时间的延长,白萝卜汁的蒸煮味、腥味的等级评分与时间呈正相关关系,而硫臭味和辛辣味等级评分呈下降趋势。热水烫漂8 min时白萝卜汁清香味等级评分最高,其次是6 min处理组。热水烫漂2 min就能显著降低白萝卜汁的辛辣味,说明热水烫漂能够抑制芥子苷酶的活性,热烫6 min后白萝卜汁辛辣味的评分几乎为零,说明此时芥子苷酶几乎完全失活,这与肖东海<sup>[21]</sup>的研究结果相符。硫臭味的降低可能也与白萝卜汁中硫化物的受热降解有关。由图1b可知,对照组感官评分为(-8.3 $\pm$ 0.3)分。经90  $^{\circ}$ C热水烫漂后,白萝卜汁的感官评分显著增加,其中90  $^{\circ}$ C、6 min处理组综合得分最高,为(-5.9 $\pm$ 0.1)分,因此选择90  $^{\circ}$ C、6 min作为热水烫漂的较佳条件。



注:不同小写字母表示不同热烫时间的显著性差异( $P < 0.05$ ),下同。

图1 热水烫漂时间对白萝卜汁感官风味评定的影响

Fig.1 Effects of hot water blanching time on flavor sensory evaluation score of radish juice

## 2.2 微波烫漂对白萝卜汁感官品质的影响

微波烫漂不仅具有温度效应还具有电磁场效应<sup>[22]</sup>,与传统热水烫漂相比较,微波处理的穿透力较强,并且营养物质损耗率低<sup>[23]</sup>。微波烹调可以显著降低异硫氰酸酯的含量<sup>[24-25]</sup>,有研究表明,红球甘蓝经微波处理(900 W、5 min)后,其芥子苷酶完全失活,而 150 W 和 540 W 微波处理对芥子苷酶活性的抑制率较低<sup>[26]</sup>。图 2 为微波烫漂对白萝卜汁挥发性风味的影响,由图 2a 可知,随着微波时间的增加,白萝卜汁蒸煮味和腥味等级评分增加,而白萝卜汁辛辣味和硫臭味的风味等级评分与微

波时间呈负相关关系。微波处理可以有效抑制芥子苷酶的活性,抑制异硫氰酸酯和硫化物的生成,当微波功率为 600 W 时,6 min 后白萝卜芥子苷酶的活性完全丧失<sup>[21]</sup>。由图 2b 可知,在微波功率为 700 W 时,处理 6 min 后的白萝卜汁综合得分最高,其次是 4 min,且两组得分结果差异不显著,因此从风味等级评分结果来看,当微波功率为 700 W 时,4 min 和 6 min 都可以作为微波处理时间。然而,从营养品质角度考虑,时间越长不利于营养物质的保留,因此选择 4 min 作为微波烫漂时间。

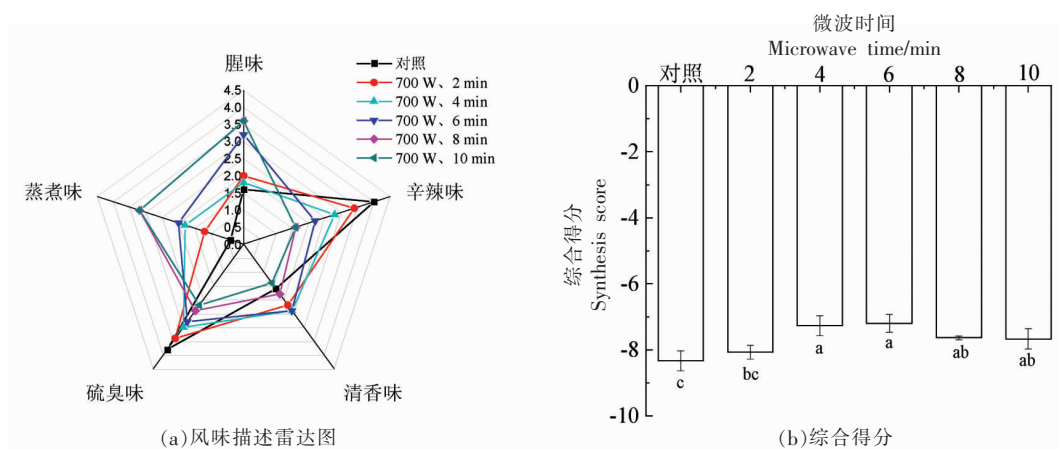


图 2 微波烫漂时间对白萝卜汁感官风味评分的影响

Fig.2 Effects of microwave blanching time on flavor sensory evaluation score of radish juice

## 2.3 蒸汽烫漂对白萝卜汁感官品质的影响

蒸汽烫漂与热水烫漂的处理方法相似,都是通过高温钝化芥子酶的活性,抑制硫苷的降解。然而,2种方式加热的介质不同,热水烫漂加热的介质是热水,该方法虽然使物料受热较为均匀,但营养物质损失率较高,而蒸汽烫漂可以避免部分水溶性营养物质的流失。图 3 为蒸汽烫漂对白萝卜汁风味等级评分和综合得分的影响。由图 3a 可知,随着处理时间的增加,白萝卜汁的蒸煮味等级评分显著增加,而辛辣味和硫臭味的等级评分与时间呈负相关关系。蒸汽烫漂 6~10 min 时,白萝卜汁的硫臭味和辛辣味等级评分没有显著性差异,说明蒸汽烫漂 6 min 时,芥子苷酶的活性几乎完全丧失。由图 3b 可知,与对照组相比较,蒸汽烫漂能显著提高白萝卜汁综合评分 ( $P < 0.05$ ),其中蒸汽烫漂 6 min 的感官评分最高为  $(-4.2 \pm 0.3)$

分,因此从等级评分结果分析,选择 6 min 作为蒸汽烫漂时间。

## 2.4 烫漂方式对白萝卜汁营养品质的影响

烫漂预处理虽可以在一定程度上改善果蔬的质地,钝化不利于维持果蔬品质的酶的活性,赋予果蔬独特的风味,但该工艺对果蔬原料的营养品质也会有一定的影响。不同烫漂方式对白萝卜汁重要营养物质含量的影响如图 4 所示。由图 4a 可知,对照组水溶性蛋白质含量为  $(2.97 \pm 0.01) \text{mg/mL}$ ,随着预处理时间的增加,水溶性蛋白质含量均降低 ( $P < 0.05$ )。这可能是由蛋白质热变性导致,当蛋白质受热后,其空间结构受到破坏,影响了蛋白质的溶解性<sup>[27]</sup>。抗坏血酸又称 VC,是热敏性和光敏性维生素,分解氧化和液相浸出是造成抗坏血酸损耗的主要原因<sup>[28-29]</sup>,预处理温度越高或处理时间越长,也会破坏抗坏血酸的稳定性。由图 4b

可知,对照组抗坏血酸含量为 $(5.24\pm 0.07)\text{mg}/100\text{mL}$ ,随着预处理时间的增加,各组抗坏血酸含量均显著降低( $P<0.05$ )。整体来看,热水烫漂对抗坏

血酸的损耗最大,蒸汽烫漂对抗坏血酸的保留较好。

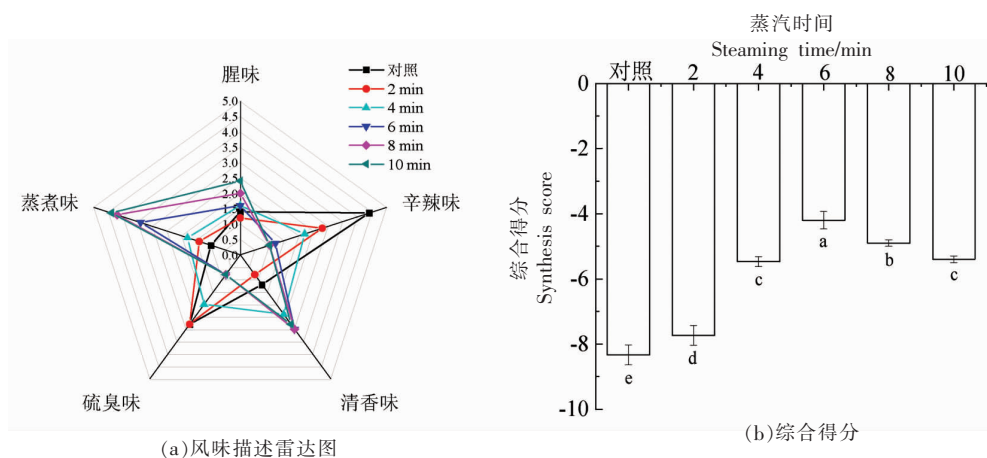


图3 蒸汽烫漂时间对白萝卜汁感官风味评分的影响

Fig.3 Effects of steam blanching time on flavor sensory evaluation score of radish juice

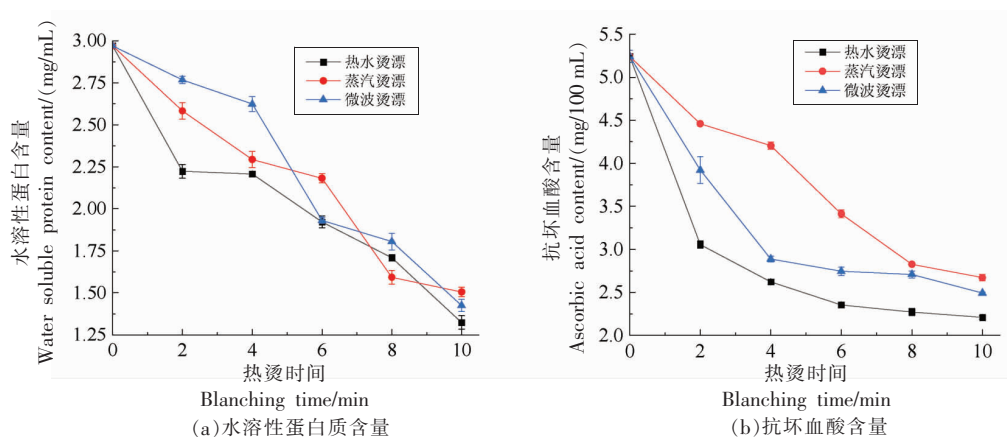


图4 不同烫漂方式对白萝卜汁营养物质含量的影响

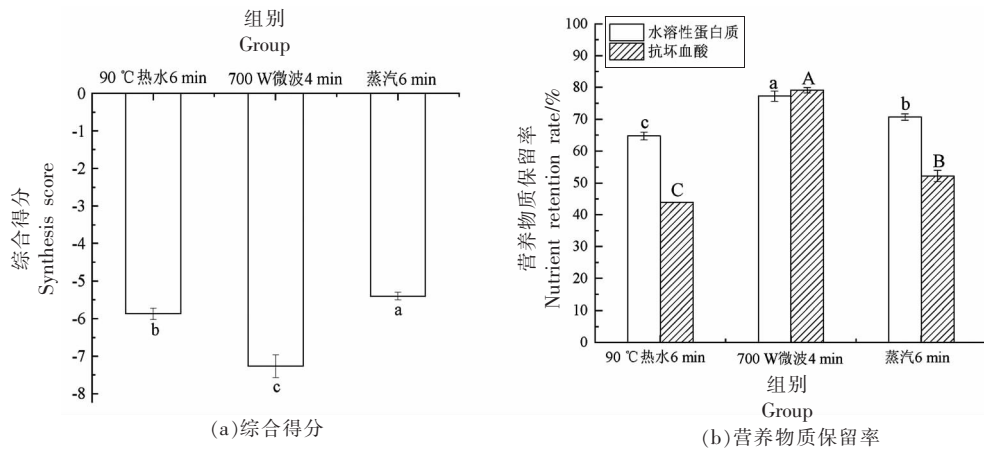
Fig.4 Effects of different blanching treatment on nutrient contents of radish juice

## 2.5 烫漂方式的对比分析

2.5.1 感官评分与营养品质分析 图5为前面得到3种烫漂方式最佳条件下白萝卜汁感官评分和营养品质的对比分析。由图5a可以看出,蒸汽烫漂6 min的白萝卜汁感官综合得分最为 $(-5.40\pm 0.10)$ 分,其次是热水烫漂( $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ 处理6 min)和微波烫漂( $700\text{ W}$ 处理4 min),分别为 $(-5.87\pm 0.15)$ 分和 $(-7.27\pm 0.31)$ 分。由图5b可知,不同预处理后的白萝卜汁营养物质保留率均存在显著性差异( $P<0.05$ )。微波烫漂的白萝卜汁抗坏血酸和水溶性蛋白的保留率均为最高,分别为 $(79.15\pm 0.83)\%$

和 $(77.24\pm 1.62)\%$ ,而蒸汽烫漂后水溶性蛋白质和抗坏血酸的保留率次之,高于热水烫漂的保留率水溶性蛋白 $(64.74\pm 1.21)\%$ 和抗坏血酸 $(43.94\pm 0.02)\%$ 。由于热水烫漂时原料与大量加热介质(水)接触,促进了营养物质的溶出,进而影响其保留率。综上分析,微波烫漂后,白萝卜汁的主要营养物质保留率高而感官评分低,蒸汽烫漂后白萝卜汁的综合得分最高,营养物质保留率较高。

2.5.2 电子鼻分析 图6为不同烫漂方式对白萝卜汁电子鼻分析挥发性风的影响,a图为主成分分析图,b图为电子鼻雷达图。由图6a可知,第1



注:图 b 中不同小写字母表示水溶性蛋白组间显著性差异 ( $P < 0.05$ ); 不同大写字母表示抗坏血酸组间显著性差异 ( $P < 0.05$ )。

图 5 不同预处理方式对白萝卜汁感官品质和营养物质保留的影响

Fig.5 Effects of different pre-treatment methods on sensory quality and nutrients retention of white radish juice

主成分为 98.13%, 第 2 主成分为 1.74%, 总和为 99.87%。从起主导作用的第 1 主成分来看, 3 种烫漂方式处理后白萝卜汁的挥发性风味与对照组相比均有明显变化, 蒸汽烫漂与热水烫漂后白萝卜汁香气数据采集图像有所交叉, 说明挥发性风味相似。从图 6b 可知, 与对照组相比较, 预处理后的

白萝卜汁 R1 (芳香化合物)、R2 (氮氧化物)、R5 (烯烃和芳香化合物)、R6(碳氢化合物)和 R7(硫化氢)传感器响应值降低, 说明挥发性芳香化合物、氮氧化物、烯烃、碳氢化合物和硫化氢发生改变。

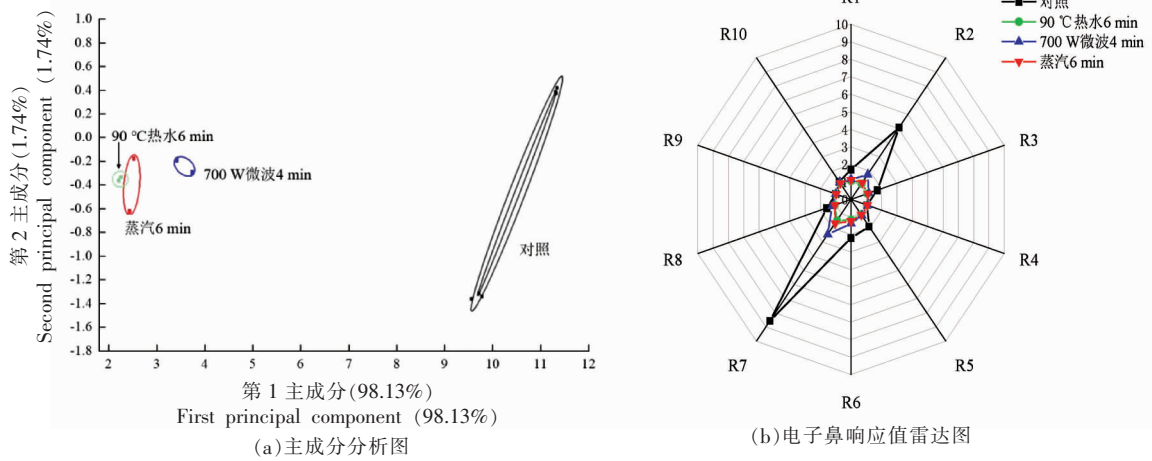


图 6 不同烫漂处理白萝卜汁挥发性风味电子鼻对比分析

Fig.6 Comparative analysis of volatile flavor of radish juice using E-nose with different blanching treatment

2.5.3 挥发性风味物质含量 白萝卜挥发性风味物质主要是含硫化合物, 异硫氰酸酯类、醇类、醛类、脂类、酮类、醚类和烷烃类物质<sup>[30]</sup>。本研究通过 SPME/GC-MS 分析了不同预处理白萝卜汁的挥发性风味物质, 结果见表 2。白萝卜汁中共检测出 9

类挥发性风味物质共 22 种成分, 包括 8 种异硫氰酸酯类、1 种醇类、3 种醚类、3 种酯类、2 种烯烃类、2 种烷烃类、2 种醛类、1 种酮类。从挥发性物质总量分析, 醚类、醇类以及异硫氰酸酯类物质占比较多。与对照组相比较, 烫漂处理后的白萝卜汁挥

发性风味物质存在显著性差异,酯类物质含量增加,异硫氰酸酯类、醇类及醚类物质含量显著降低。

白萝卜特殊风味与硫化物、异硫氰酸酯类、酯类以及醇类等化合物相关<sup>[31]</sup>,白萝卜汁中共检测出8种异硫氰酸酯类化合物,其中4-甲硫基-3-丁烯基-异硫氰酸酯与白萝卜辛辣味高度相关<sup>[32]</sup>,醚类化合物二甲基二硫醚具有辛辣刺激味<sup>[33]</sup>,烯丙基甲基二硫醚是大蒜主要风味化合物,表现为硫磺味和刺激味<sup>[34]</sup>,甲硫醇是具有烂菜心的香气特征,酯类物质中的丙酸丁酯、丁酸丁酯、菠萝酯和柠檬烯赋予白萝卜汁强烈的水果香气<sup>[35]</sup>,类似于苹果、菠萝和橘子味,壬醛赋予甜橙味。烫

漂处理后白萝卜汁中的醇类物质甲硫醇、醚类物质二甲基二硫醚、二丁醚以及烯丙基甲基二硫醚含量显著降低,这是因为预处理钝化了芥子苷酶的活性,抑制了硫代葡萄糖苷转变为异硫氰酸酯类、硫醚类及甲硫醇等化合物,而高温也促进其自身受热氧化分解或挥发。总体来看,微波烫漂后白萝卜汁中的酯类物质明显增加,而异硫氰酸酯类化合物明显高于其它2个处理组,因此辛辣、刺激味较为明显。蒸汽烫漂和热水烫漂都能有效减少异硫氰酸酯类化合物含量,蒸汽处理后白萝卜汁的丁酸丁酯和菠萝酯含量高与热水烫漂法,因此其水果香气较强,有利于降低白萝卜的不良风味。

表2 不同预处理方式对白萝卜汁香气成分的影响

Table 2 The effects of different pre-treatment methods on the aroma of radish beverage

组分	RT/min	含量/( $\mu\text{g/L}$ )			
		对照	热水烫漂	微波烫漂	蒸汽烫漂
异硫氰酸酯类					
异硫氰酸戊酯	14.81	$0.67 \pm 0.23^a$	$0.41 \pm 0.15^c$	$0.51 \pm 0.11^b$	$0.18 \pm 0.01^d$
异硫氰酸己酯	17.78	$18.46 \pm 1.03^a$	$3.86 \pm 0.65^c$	$4.76 \pm 1.05^b$	$1.97 \pm 0.50^d$
十二烷基异硫氰酸酯	17.90	$1.63 \pm 0.20^a$	$0.51 \pm 0.08^c$	$0.70 \pm 0.27^b$	$0.26 \pm 0.09^d$
1-异硫代羧酸辛酯	18.79	$10.56 \pm 0.90^a$	$2.71 \pm 0.20^c$	$4.35 \pm 1.25^b$	$0.79 \pm 0.12^d$
异硫氰酸庚酯	20.43	$0.77 \pm 0.14^a$	$0.23 \pm 0.09^c$	$0.35 \pm 0.22^b$	$0.21 \pm 0.15^c$
3-(甲基磺酰基)异硫氰酸丙酯	21.36	$58.16 \pm 27.50^a$	$18.54 \pm 2.87^c$	$32.24 \pm 4.55^b$	$19.50 \pm 6.66^c$
4-甲硫基-3-丁烯基异硫氰酸酯	23.95	$4.61 \pm 3.60^b$	$1.74 \pm 0.24^c$	$7.87 \pm 2.77^a$	$1.08 \pm 0.05^d$
1-硫代羧酸丁酯	24.28	$18.30 \pm 1.12^a$	$2.68 \pm 0.17^c$	$5.30 \pm 0.67^b$	$0.74 \pm 0.09^d$
醇类					
甲硫醇	1.63	$88.65 \pm 9.74^a$	$16.01 \pm 4.67^c$	$33.34 \pm 0.34^b$	$10.06 \pm 0.40^d$
醚类					
二甲基二硫醚	4.41	$495.46 \pm 16.21^a$	$135.84 \pm 0.21^c$	$149.71 \pm 33.78^b$	$131.49 \pm 27.08^d$
二丁醚	9.09	$4.59 \pm 2.21^a$	$2.94 \pm 0.09^b$	$2.91 \pm 0.96^b$	$2.28 \pm 0.14^c$
烯丙基甲基二硫醚	10.16	$6.56 \pm 2.79^a$	$3.47 \pm 0.06^c$	$5.12 \pm 0.69^b$	$3.09 \pm 0.07^d$
酯类					
丙酸丁酯	10.05	$2.32 \pm 0.42^d$	$4.46 \pm 0.90^b$	$5.76 \pm 2.86^a$	$4.33 \pm 1.34^c$
丁酸丁酯	12.95	$0.68 \pm 0.08^d$	$0.72 \pm 0.19^c$	$0.77 \pm 0.18^b$	$0.85 \pm 0.11^a$
菠萝酯	24.10	$0.18 \pm 0.04^c$	$0.22 \pm 0.09^b$	$0.22 \pm 0.07^b$	$0.28 \pm 0.09^a$
烯炔类					
1,3-戊二烯	8.56	$4.93 \pm 0.34^a$	$4.06 \pm 0.19^b$	$5.08 \pm 1.84^a$	$3.59 \pm 0.06^c$
柠檬烯	13.94	$5.38 \pm 1.97^a$	$3.81 \pm 0.41^b$	$5.64 \pm 1.18^a$	$2.84 \pm 0.31^c$
烷烃类					
1,3-二噻环己烷	10.96	$0.57 \pm 0.09^b$	$0.38 \pm 0.02^c$	$0.66 \pm 0.27^a$	$0.33 \pm 0.01^d$
2,3,5-三硫杂己烷	16.87	$6.77 \pm 0.30^a$	$0.25 \pm 0.10^d$	$0.90 \pm 0.131^b$	$0.39 \pm 0.04^c$
醛类					
壬醛	16.24	$3.82 \pm 2.51^b$	$3.70 \pm 0.41^b$	$7.29 \pm 1.78^a$	$3.06 \pm 0.30^c$
月桂醛	18.08	$0.18 \pm 0.07^b$	$0.13 \pm 0.06^c$	$0.32 \pm 0.21^a$	$0.12 \pm 0.04^d$
酮类					
1-苯基-2-戊酮	13.80	$0.23 \pm 0.10^b$	$0.15 \pm 0.05^c$	$0.37 \pm 0.24^a$	$0.09 \pm 0.01^d$

### 3 结论

不同烫漂方式对白萝卜汁的风味和营养品质的影响规律各不相同。微波 700 W 处理 4 min 白萝卜的营养物质含量较高但感官评分低,蒸汽处理 6 min 的白萝卜综合得分最高,营养物质保留率也较高。3 种热烫处理后白萝卜风味均发生显著变化,酯类物质含量增加,异硫氰酸酯类、醇类及醚类物质含量显著降低,尤其甲硫醇、二甲基二硫醚、二丁醚以及烯丙基甲基二硫醚含量显著降低。综合来看,白萝卜蒸汽烫漂 6 min 是较好的预处理条件。

### 参 考 文 献

- [1] XUE Y L, CHEN J N, LIU C Q, et al. Multivariate analyses of the physicochemical properties of turnip (*Brassica rapa* L.) chips dried using different methods[J]. *Drying Technology: An International Journal*, 2020, 38(4): 411-419.
- [2] 马川兰. 发酵白萝卜制品的研究进展[J]. *现代食品*, 2021(16): 77-78, 84.  
MA C L. Research progress of fermented white radish products[J]. *Modern Food*, 2021(16): 77-78, 84.
- [3] LU Z L, LIU L W, LI X Y, et al. Analysis and evaluation of nutritional quality in Chinese radish (*Raphanus sativus* L.)[J]. *Chinese Agricultural Sciences*, 2008, 7(7): 823-830.
- [4] KAUR G, KUMAR V, GOYAL A, et al. Optimization of nutritional beverage developed from radish, sugarcane and herbal extract using response surface methodology[J]. *Nutrition and Food science*, 2018, 48(5): 733-743.
- [5] JAVED A, AHMAD A, NOUMAN M, et al. Turnip (*Brassica Rapus* L.): A natural health tonic [J]. *Brazilian Journal of Food Technology*, 2019, 22(1): 2018253.
- [6] CHEN W T, KARANGWA E, YU J Y, et al. Characterizing red radish pigment off-odor and aroma-active compounds by sensory evaluation, gas chromatography-mass spectrometry/olfactometry and partial least square regression[J]. *Food and Bioprocess Technology*, 2017, 10: 1337-1353.
- [7] NAKAMURA Y, NAKAMURA K, ASAI Y, et al. Comparison of the glucosinolatemyrosinase systems among daikon (*Raphanus sativus*, Japanese white radish) varieties[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2008, 56(8): 2702-2707.
- [8] BONNEMA G, LEE J G, SHUHANG W, et al. Glucosinolate variability between turnip organs during development[J]. *PLoS One*, 2019, 14(6): 0217862.
- [9] 田淑华. 萝卜硫素对肥胖与糖尿病调节作用的机理研究[D]. 南京: 南京财经大学, 2021.  
TIAN S H. The mechanism of sulforaphane regulating obesity and diabetes mellitus[D]. Nanjing: Nanjing University of Finance and Economics, 2021.
- [10] BONES A M, ROSSITER J T. The enzymatic and chemically induced decomposition of glucosinolates[J]. *Phytochemistry*, 2006, 67(11): 1053-1067.
- [11] VIG A P, RAMPAL G, THIND T S, et al. Bio-protective effects of glucosinolates-A review[J]. *LWT - Food Science and Technology*, 2009, 42(10): 1561-1572.
- [12] LI X, LIU D. Nutritional content dynamics and correlation of bacterial communities and metabolites in fermented pickled radishes supplemented with wheat bran[J]. *Frontiers in Nutrition*, 2022, 9: 840641.
- [13] KANG J N, WON S Y, SEO M S, et al. Induction of glucoraphasatin biosynthesis genes by MYB29 in radish (*Raphanus sativus* L.) roots[J]. *International Journal of Molecular Sciences*, 2020, 21(16): 5721.
- [14] 王萍. 萝卜风味物质及其变化规律的研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2014.  
WANG P. Study on flavor substances of radish and their changes[D]. Tai'an: Shandong Agricultural University, 2014.
- [15] 郭世豪. 不同加工方式对西兰花茎叶汁风味的影响[D]. 杭州: 浙江工商大学, 2020.  
GUO S H. Effects of different processing methods on the flavor of broccoli stem and leaf juice [D]. Hangzhou: Zhejiang Gongshang University, 2020.
- [16] 李晨. 凝胶体系对冲菜风味的控制释放研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2011.  
LI C. Study on controlled release of vegetable flavor by gel system[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2011.
- [17] LI B, KIMATU B M, LI C, et al. Analysis of volatile compounds in *L. edodes* blanched by hot water and microwave[J]. *International Journal of Food*



- Science and Technology, 2017, 52(7): 1680–1689.
- [18] ZHU D S, SHEN Y S, WEI L W, et al. Effect of particle size on the stability and flavor of cloudy apple juice[J]. Food Chemistry, 2020, 328(8): 126967.
- [19] 王霞. 富含益生菌的冻干胡萝卜片的研制[D]. 郑州: 郑州轻工业大学, 2021.
- WANG X. Development of freeze-dried carrot slices rich in probiotics[D]. Zhengzhou: Zhengzhou University of Light Industry, 2021.
- [20] 余桂平, 朱建锡, 马晓钟, 等. 电子鼻技术在肉类品质检测中的应用[J]. 现代食品, 2020(5): 7–10.
- YU G P, ZHU J X, MA X Z, et al. Application of electronic nose technology in meat quality detection[J]. Modern Food, 2020(5): 7–10.
- [21] 肖东海. 白萝卜汁饮料的制备及渣纤维的利用[D]. 无锡: 江南大学, 2013.
- XIAO D H. Preparation and utilization of slag fiber of white rot juice drink[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2013.
- [22] 张玲, 黄晓翠, 陈淇, 等. 青橄榄微波烫漂及酶解制汁工艺研究[J]. 中国果菜, 2020, 40(1): 26–32.
- ZHANG L, HUANG X C, CHEN Q, et al. Study on microwave blanching and enzymatic hydrolysis of green olive juice production[J]. China Fruit and Vegetable, 2020, 40(1): 26–32.
- [23] SEVERINI C, GIULIANI R, FILIPPIS A D, et al. Influence of different blanching methods on colour, ascorbic acid and phenolics content of broccoli[J]. Journal of Food Science and Technology Mysore, 2016, 53: 1–10.
- [24] 孙协军, 曲杨, 励建荣, 等. 萝卜硫素和莱菔素的酶法制备及影响因素研究进展[J]. 食品与发酵工业, 2023, 49(15): 305–310.
- SUN X J, QU Y, LI J R, et al. Research progress on enzymatic preparation of sulforaphane and raphani and its influencing factors[J]. Food and Fermentation Industry, 2023, 49(15): 305–310.
- [25] LI B, KIMATU B M, PEI F, et al. Non-volatile flavour components in *Lentinus edodes* after hot water blanching and microwave blanching[J]. International Journal of Food Properties, 2017, 20: 2532–2542.
- [26] LU Y, PANG X, YANG T. Microwave cooking increases sulforaphane level in broccoli[J]. Food Science and Nutrition, 2020, 8(4): 2052–2058.
- [27] 许韩山. 超声波对速冻毛豆仁品质的影响研究[D]. 无锡: 江南大学, 2008.
- XU H S. Study on ultrasonic effect on quality of frozen edamame kernel[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2008.
- [28] 袁越锦, 洪晨, 徐英英, 等. 组合干燥方式下胡萝卜真空脉动蒸汽烫漂工艺优化[J]. 浙江农业学报, 2022, 34(1): 163–172.
- YUAN Y J, HONG C, XU Y Y, et al. Optimization of vacuum pulsating steam blanching process for carrot under combined drying[J]. Acta Agriculturae Zhejiang, 2022, 34(1): 163–172.
- [29] ZHENG X, GONG M, ZHANG Q, et al. Metabolism and regulation of ascorbic acid in fruits[J]. Plants, 2022, 11(12): 1602.
- [30] MEI S, HE Z, ZHANG J. Identification and analysis of major flavor compounds in radish taproots by widely targeted metabolomics[J]. Frontiers in Nutrition, 2022, 9: 889407.
- [31] LIU J, XUE J, XU Q, et al. Drying kinetics and quality attributes of white radish in low pressure superheated steam[J]. International Journal of Food Engineering, 2017, 13(7): 20160365.
- [32] BELL L, OLOYEDE O O, LIGNOU S, et al. Taste and flavour perceptions of glucosinolates, isothiocyanates, and related compounds[J]. Molecular Nutrition & Food Research, 2018, 62(18): 1700990.
- [33] WANG M Z, ZHANG J, CHEN J, et al. Characterization of differences in flavor in virgin rapeseed oils by using gas chromatography–mass spectrometry, electronic nose, and sensory analysis[J]. European Journal of Lipid Science and Technology, 2020, 122(3): 1900205.
- [34] SUN Y, ZHANG M, JU R, et al. Novel nondestructive NMR method aided by artificial neural network for monitoring the flavor changes of garlic by drying[J]. Drying Technology, 2021, 39(9): 1184–1195.
- [35] FAN H Y, FAN W L, XU Y. Characterization of key odorants in chinese chixiang aroma-type liquor by gas chromatography–olfactometry, quantitative measurements, aroma recombination, and omission studies[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2015, 63(14): 3660–3668.

## Effects of Blanching Methods on the Quality of White Radish Juice

Zhu Danshi<sup>1</sup>, Yu Yi<sup>1</sup>, Shan Lianghao<sup>1</sup>, Chai Yina<sup>1</sup>, Yu Zhangfu<sup>2</sup>, Shen Ronghu<sup>2</sup>, Li Jianrong<sup>1\*</sup>

*(<sup>1</sup>College of Food Science and Technology, Bohai University, National and Local Joint Engineering Research Center for Storage, Processing and Safety Control Technology of Fresh Agricultural Products, Jinzhou 121013, Liaoning*

*<sup>2</sup>Hangzhou Xiaoshan Agriculture Development Co., Ltd., Hangzhou 311215)*

**Abstract** Radish is rich in nutrients and has a variety of physiological functions. However, the strong spicy flavor and taste of radish affected the quality of its processed products. It is necessary to improve the flavor of radish by blanching and other pretreatments, so as to further expand its application. In this study, white radish was used as the raw material to investigate the influence of different pretreatment method (hot water blanching, microwave blanching and steam blanching) on the nutrition and flavor of radish juice. The results showed that, the contents of nutrient substance, such as, soluble protein and ascorbic acid of juice all decreased somewhat, while the flavor markedly improved after the three blanching pretreatments. The content of ester substances increased and the contents of isothiocyanates, alcohols and ethers decreased significantly ( $P<0.05$ ). Especially for the characteristic flavor substance, such as, methyl mercaptan, dimethyl disulfide, dibutyl ether and allyl methyl disulfide, which contents significantly decreased ( $P<0.05$ ). The better condition for each pretreatment was: 90 °C hot water blanching for 6 min, 700 W microwave blanching for 4 min and atmospheric steam blanching for 6 min, respectively. The retention rates of water-soluble protein and ascorbic acid were higher after microwave blanching, which retained 77.15% and 79.24%, respectively. However, the retention rate of isothiocyanate by microwave blanching was also higher, which resulted in the measurable spicy and the pungent taste of juice and the lower sensory score. After steam blanching, the content of isothiocyanate compounds of radish juice was relatively lower, and the contents of butyl propionate, butyl butyrate and pineapple ester were effectively increased, which improved the flavor of radish juice. In addition, the retention rate of nutrients of radish juice was higher and the sensory synthesis score was the best after steam blanching, which showed that the steam blanching was the more suitable pretreatment method. This study could provide some experimental reference for the development of white radish products.

**Keywords** pretreatment; blanching; white radish juice; quality; flavor