

不同腔体湿度对蒸汽辅助烤制西兰花营养特性及食用品质的比较分析

梁咏雪¹, 刘冬梅¹, 王勇², 陈东坡², 周鹏¹

(1. 江南大学食品科学与技术国家重点实验室, 江苏无锡 214122)

(2. 杭州老板电器股份有限公司, 浙江杭州 311100)

摘要: 本文以西兰花为研究对象, 对不同腔体湿度(0%、25%、50%、75%、100%)条件下蒸汽辅助烤制西兰花的营养特性及感官品质进行分析。本文研究表明: 新鲜西兰花中维生素 C (Vitamin C, Vc) 含量显著大于 0%~25%腔体湿度下蒸汽辅助烤制的西兰花, 与 50%~100%腔体湿度下处理的西兰花没有显著差异。蒸汽辅助烤制后西兰花的多酚及叶绿素含量显著下降, 但随腔体湿度的增加, 其保留率不断上升。随着腔体湿度的增大, 西兰花的 a^* 显著降低, b^* 无显著变化; 0%腔体湿度烤制西兰花后 L^* 显著高于 25%~100%腔体湿度下处理的西兰花; 除 0%腔体湿度下烤制西兰花的硬度值和紧实度较大外, 其它腔体湿度下西兰花的质构差异不显著。最后综合感官品质、营养指标及感官评定结果得出, 西兰花蒸汽辅助烤制的最适腔体湿度为 100%。

关键词: 西兰花; 湿度; 维生素 C; 多酚; 叶绿素

文章编号: 1673-9078(2020)11-217-225

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2020.11.0445

Comparative Analysis of Different Oven Humidity on Nutritional Quality and Edible Quality of Steam-assisted Roasting Broccoli

LIANG Yong-xue¹, LIU Dong-mei¹, WANG Yong², CHEN Dong-po², ZHOU Peng¹

(1.State Key Laboratory of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

(2.Hangzhou Robam Appliances Co. Ltd., Hangzhou 311100, China)

Abstract: This study selected broccoli to explore the effects of different humidity (0%, 25%, 50%, 75%, 100%) on the nutritional quality and sensory properties of broccoli. The results showed that Vc content in fresh broccoli was significantly higher than that of steam-assisted roasting broccoli at 0%~25% cavity humidity, but not significantly different from that of steam-assisted roasting broccoli at 50%~100% cavity humidity. After steam-assisted roasting, the polyphenol and chlorophyll decreased significantly; but as the cavity humidity increased, the retention rate increased accordingly. With the increase of the cavity humidity, a^* of broccoli decreased significantly and b^* changed not significantly. Compared to 25%~100%, the L^* of steam-assisted roasting broccoli at 0% cavity humidity was significantly high. Hardness and firmness of steam-assisted roasting broccoli at 0% cavity humidity were largest, however, there were no significant differences among other cavity humidity samples. Finally, the comprehensive results of sensory quality, nutritional index and sensory evaluation showed that the optimum cavity humidity of steam-assisted roasting broccoli is 75% or 100%.

Key words: broccoli; humidity; Vitamin C; polyphenol; chlorophyll

引文格式:

梁咏雪,刘冬梅,王勇,等.不同腔体湿度对蒸汽辅助烤制西兰花营养特性及食用品质的比较分析[J].现代食品科技,2020,36(11):217-225

LIANG Yong-xue, LIU Dong-mei, WANG Yong, et al. Comparative analysis of different oven humidity on nutritional quality and edible quality of steam-assisted roasting broccoli [J]. Modern Food Science and Technology, 2020, 36(11): 217-225

西兰花又名绿菜花、青花菜, 其营养丰富, 主要包括蛋白质、碳水化合物、脂肪、矿物质、维生素 C

收稿日期: 2020-05-12

作者简介: 梁咏雪 (1996-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 食品物性

通讯作者: 周鹏 (1975-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 食品保鲜及食品加工

和胡萝卜素^[1]。除此之外, 西兰花还含有丰富的多酚和黄酮类等抗氧化物质, 对人体清除自由基有重要作用, 具有较强的抗衰老作用^[2,3], 被美国癌症协会认定为抗癌食品^[4]。

蔬菜经过不同的热加工处理后, 其感官特性和营养品质都会有不同程度的变化。现在的研究主要集中

在不同烹饪方式对蔬菜营养价值和感官品质的影响^[5]。如 Pellegrini^[6]研究煮、蒸、微波对西兰花色泽、植物化学成分的影响,发现蒸是保持西兰花营养品质的最佳热处理方法,而微波是保持色泽的最佳方法。

Wachter 等^[7]主要研究了蒸、煮、微波三种烹饪方式对不同品种甘蓝抗氧化性的影响,结果表明抗氧化物含量为蒸>煮>微波,且随着烹调时间的延长而显著降低。袁定帅等人^[8]研究了蒸、煮、炒对西兰花中营养品质及抗氧化性的影响,结果表明煮制后西兰花中总酚、总黄酮及抗坏血酸的含量损失最多,而蒸制能较好的保持其营养品质。

目前,蒸汽辅助烘烤对蔬菜的影响鲜有研究。蒸汽辅助烘烤是在传统的烤箱上连接蒸汽发生设备,将蒸汽导入高温腔体,从而为食材烹饪过程中的控制提供了新的可能。在传统烤箱中,蒸汽主要来自食物中水的蒸发,因此烤箱中的湿度取决于烹饪的食物;现代蒸汽辅助烤箱可以较为精确调节腔体湿度,通过蒸汽发生器引入蒸汽,增大腔体湿度。蒸汽辅助烘烤烹饪通过改变加热腔体内食材的传热传质状况,对食材的感官及营养品质产生重要的影响^[9],其最大的特点是蒸汽冷凝传热快,加热速率快,从而缩短加热时间,有效保存营养价值,保持食材的外观色泽鲜亮^[10]。本文将蒸汽辅助烘烤应用到西兰花上,研究不同腔体湿度(0%、25%、50%、75%和100%)对西兰花色差、质构、Vc、多酚、叶绿素含量及感官品质的影响,以减少西兰花在加热过程中感官特性的降低以及营养成分的损失,为智能烹饪西兰花及相关菜品提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

新鲜西兰花:“绿鲜知”西兰花,购于京东超市。

无水乙醇(AR)、丙酮(AR)、无水碳酸钠(AR)、福林酚(AR)、没食子酸(AR)、偏磷酸(AR)、磷酸三钠(AR)、磷酸二氢钾(AR)、磷酸(85%)、L-半胱氨酸(AR)、十六烷基三甲基溴化铵(色谱纯)、L(+)-抗坏血酸标准品(纯度≥99%)、甲醇(色谱纯),均购于国药集团化学试剂有限公司。

SCCWE61 万能蒸烤箱,德国 Rational 股份有限公司;UV-2700 紫外分光光度计,岛津企业管理(中国)有限公司;EL204 电子天平和 PL2002 电子天平,梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司;KQ-400DE 型数控超声波清洗器,昆山市超声仪器有限公司;CR-400 色彩色差计,柯尼卡美能达(中国)投资有限公司;TA.XT plus 食物物性测试仪,英国 Stable Micro

System 公司;E2695 Waters Alliance 液相色谱仪,上海沃特世科技有限公司;0.45 μm 水相滤膜,国药集团化学试剂有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 样品预处理

将购买的同一批新鲜无损伤的西兰花(选择相同位置)修整成小花直径为(30±5)mm,茎长约20mm,茎直径约15mm,100g/份。用自来水将西兰花清洗干净,厨房用纸擦干表面水分,均匀放于带孔不锈钢容器(325×530mm)的中间位置。万能蒸烤箱预热到最佳处理温度(150℃)后,将容器置于中间层^[10],加热结束后取出西兰花,常温下冷却。

1.2.2 不同腔体湿度下西兰花处理时间的确定

根据前期感官评价结果确定蒸烤箱处理西兰花的最佳温度为150℃;并确定腔体湿度为0%时西兰花的最佳烤制时间为7min;腔体湿度为25%时,最佳蒸汽辅助烤制时间为6min;腔体湿度为50%时,最佳蒸汽辅助烤制时间为5min;腔体湿度为75%时,最佳蒸汽辅助烤制时间为4min;腔体湿度为100%时,最佳蒸汽辅助烤制时间为3min。

1.2.3 维生素C的测定

参考《GB5009.86-2016 食品安全国家标准食品中抗坏血酸的测定》第一法高效液相色谱法^[11]。

1.2.4 多酚的测定

西兰花中总酚的提取参考孟丽媛等人^[12]的方法并稍作修改:称取冷冻干燥后的西兰花0.2g于50mL离心管中,加入60%的乙醇溶液25mL,均质,摇匀后立即移入60℃水浴锅中浸提40min(每5min搅拌一次),过滤,滤液备用;

没食子酸标准曲线的制作^[13]:准确称量0.1000g没食子酸于100mL容量瓶中溶解并定容至刻度,摇匀(1000μg/mL,现用现配);分别移取0mL、1mL、2mL、3mL、4mL、5mL于100mL容量瓶中,定容至刻度线,分别得没食子酸工作液:0μg/mL、10μg/mL、20μg/mL、30μg/mL、40μg/mL、50μg/mL;

样品中多酚含量的测定参考文献^[12]并稍作修改,移取2.5mL提取液、没食子酸工作液、水(作为空白对照)于25mL具塞试管中,然后加入10mL10%福林酚试剂摇匀,反应3~8min内,加入10mL7.5%的NaCO₃溶液,用去离子水定容至25mL刻度,室温下避光60min,在765nm处测定其吸光度值,带入标准曲线,计算多酚含量(mg/100g)。

1.2.5 叶绿素的测定

参考《NY/T 3082-2017 水果、蔬菜及其制品中叶

绿素含量的测定》分光光度法^[14]。

1.2.6 色差值的测定

将蒸汽辅助烤制的西兰花放于室温下冷却 15 min, 擦干花表面的水分, 然后测定西兰花的 L^* 、 a^* 、 b^* 值。测定小花的中心位置, 重复 3 次。色差值 L^* 反映白度和亮度, 正数表示偏白亮, 负数表示偏黑; a^* 代表红绿值, 正数表示偏红, 负数表示偏绿; b^* 代表黄蓝值, 正数表示偏黄, 负数表示偏蓝^[15]。

1.2.7 质构的测定

将蒸汽辅助烤制的西兰花从箱体中拿出, 放入瓷盘中, 在室温下冷却 15 min 后, 切下 1 cm 长的茎, 并将切面朝下, 立即进行质构的测定。研究进行压缩破坏性试验, 测定西兰花的硬度以及紧实度。选用 P/2N 探头, 测前速度 2.00 mm/s, 测中速度 1.00 mm/s, 测后速度 5 mm/s, 下压距离 5.00 mm, 触发力 5.00 g。

1.2.8 感官评价

表 1 西兰花感官评分标准

Table 1 Standards of sensory evaluation of broccoli

指标	西兰花感官评分标准	评分
色泽	整体鲜绿色, 颜色均一	9~10
	整体呈深绿色或浅绿色, 颜色较均一	7~8
	整体呈浅黄色, 颜色不均一	5~6
	整体呈黄色或焦黄色, 颜色不均一	3~4
	整体呈焦黑色, 颜色不均一	1~2
气味	非常明显的西兰花气味	9~10
	较淡的西兰花气味	7~8
	稍有焦糊味	5~6
	较明显的焦糊味	3~4
	非常明显的焦糊味或其它异味	1~2
外观形态	无缺失, 组织形态均匀紧致	9~10
	无缺失, 组织形态紧致	7~8
	无缺失, 花蕾及组织形态稍松散	5~6
	花蕾或茎稍有缺失, 且较松散	3~4
	花蕾或茎缺失严重, 且花蕾松散严重	1~2
质地	茎部软硬适中	9~10
	茎部稍硬或稍软	7~8
	茎部较硬或较软	5~6
	茎部过硬或过软	3~4
	茎部极硬或极软	1~2
湿润性	咀嚼过程中产生大量汁液, 口腔湿润	9~10
	咀嚼过程中产生较多汁液, 口腔较湿润	7~8
	咀嚼过程中产生汁液一般, 口腔稍干燥	5~6
	咀嚼过程中产生较少汁液, 口腔较干燥	3~4
	咀嚼过程中几乎不产生汁液, 口腔干燥	1~2
滋味	呈西兰花固有的滋味, 鲜甜滋味浓郁	9~10
	较有西兰花固有的滋味, 鲜甜滋味较浓郁	7~8
	稍有西兰花固有的滋味, 鲜甜滋味一般	5~6
	无西兰花滋味, 稍有焦糊味、生味或苦味	3~4
	无西兰花滋味, 焦糊味、生味或苦味浓郁	1~2

采用评分法进行, 利用“盲法”对西兰花的色泽、气味、外观形态、质地、湿润性和滋味六个指标打分。采用“0~4 评分法”确定各个指标的权重, 对 6 个指标两两比较重要性: 很重要~很不重要, 打 4~0 分; 较

重要~不重要, 打 3~1 分; 同样重要, 打 2~2 分; 每两项之和为 4 分。感官测试小组至少由 8 名优质评价员组成, 根据 GB/T 29605-2013^[16]对感官评价人员的要求对其进行为期半月的感官训练, 使其明确各指标

的意义并能准确作出判断。感官评定过程中, 评价员根据感官评分表对不同样品做出判断, 在评价下一个样品前需漱口, 休息 1 min 后进行。具体评分标准如表 1 所示。

1.3 数据处理

采用 SPSS 20.0 对试验结果进行统计分析, 用 One-Way ANOVA 方法进行方差分析, 采用 Duncan's multiple range test 比较单个均值之间的差异, $p < 0.05$ 时表明结果间存在显著差异; 用 Origin 9.0 软件进行作图分析。

2 结果与讨论

2.1 不同腔体湿度对西兰花 Vc 的影响

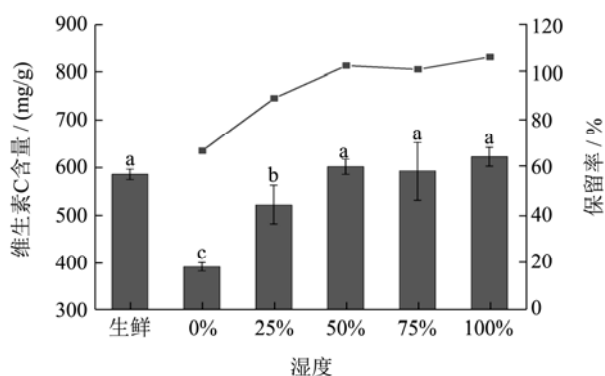


图 1 不同腔体湿度下蒸汽辅助烤制西兰花的 Vc 含量

Fig.1 Vc content of steam-assisted roasting broccoli in different oven humidity

注: 不同字母表征结果间差异显著, 显著性差异水平 $p < 0.05$ 。下图同。

对热敏感的 Vc 维生素 C 在烹饪过程中极易受到破坏^[17-19], 因此烹制条件的选择对 Vc 的保留率有很大影响^[20]。不同腔体湿度蒸汽辅助烤制西兰花的 Vc 含量变化如图 1 所示。由此可知, 腔体湿度为 0% 时, Vc 损失最多, 保留率仅为 66.90%, 因此从营养学角度考虑, 0% 的腔体湿度并不是一种理想的模式; 腔体湿度为 25% 时, 保留率升高至 89.30%; 当腔体湿度大于 50% 时, 西兰花中 Vc 含量与生鲜西兰花无显著差异, 当腔体湿度为 100% 时, 虽然 Vc 的保留率 > 100%, 但是在统计学上差异不显著。基于结果表明, 腔体湿度对西兰花 Vc 保留率有显著影响, 即腔体湿度的增大会显著降低 Vc 的损失; 造成这一结果的原因可能是腔体湿度的增大缩短了西兰花的蒸汽辅助烤制时间, 西兰花中的 Vc 随汁液损失溶出的量及受热分解量都显著降低, 使西兰花 Vc 的保留率显著升高, 有助于保持其营养价值^[21]。相关研究表明, 基于蒸汽模

式的短时热加工, 各类蔬菜中的 Vc 等营养成分的保留率超过 80%^[22]。

2.2 不同腔体湿度对西兰花多酚的影响

多酚物质容易受到氧、温度、酶、光等因素的影响, 从而发生降解^[23]。不同腔体湿度蒸汽辅助烤制西兰花的多酚含量变化如图 2 所示, 可以看出蒸汽辅助烤制后西兰花的多酚含量显著低于新鲜西兰花, 表明加热会显著降低西兰花中的多酚含量。国内外学者在西兰花、马铃薯、大豆^[24-27]等的研究中也得出了类似的结果。任育萱^[28]研究蒸制对西兰花中总多酚含量的影响, 结果表明蒸制后西兰花中多酚含量略微下降。随着腔体湿度的增加, 西兰花多酚含量显著升高, 其中腔体湿度为 25% 和 50% 的西兰花多酚含量差异不显著, 腔体湿度为 75% 和 100% 的多酚含量差异不显著。当腔体湿度为 0% 时, 多酚保留率为 58.20%, 当腔体湿度增加至 100% 时, 多酚保留率增加至 76.10%, 表明随着腔体湿度的增大, 多酚保留率显著升高。这可能是由于随着腔体湿度的增加, 西兰花蒸汽辅助烤制时间和汁液损失逐渐降低, 多酚随水分溶出和热降解程度逐渐降低^[29,30], 因此西兰花中多酚的保留率随着腔体湿度的增加而逐渐增大。

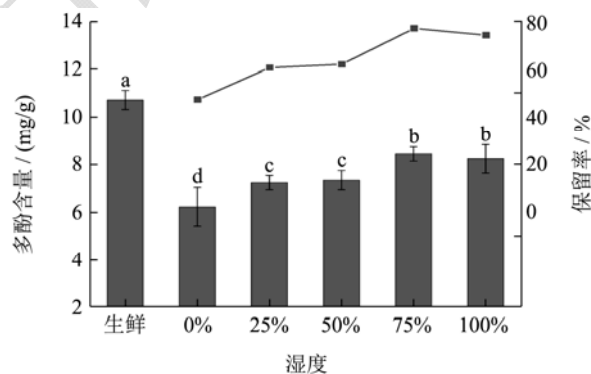


图 2 不同腔体湿度下蒸汽辅助烤制西兰花的多酚含量

Fig.2 Polyphenol content of steam-assisted roasting broccoli in different oven humidity

2.3 不同腔体湿度对西兰花叶绿素的影响

不同腔体湿度蒸汽辅助烤制西兰花的叶绿素含量变化与多酚结果类似。由图 3 可知, 蒸汽辅助烤制后西兰花中叶绿素的含量显著低于生鲜西兰花, 表明加热会显著降低其中叶绿素的含量, 可能是由于加热使叶绿素转化为脱镁叶绿素和焦脱镁叶绿素^[31,32]或随汁液损失溶出^[24]。在蒸汽辅助烤制过程中, 随着腔体湿度的增大, 西兰花中叶绿素含量显著升高; 腔体湿度为 0% 时, 叶绿素保留率仅为 44.50%, 当腔体湿度增加至 75% 时, 保留率达到 80.10%, 腔体湿度为 75%

和 100%的西兰花中的叶绿素含量无显著差异。这一结果与 Maria Paciulli 等人^[33]的研究结果一致, 蒸汽辅助烤制过程中由于热空气的存在, 色素被氧化, 从而造成蔬菜的色泽损失。由此可知, 在蒸汽辅助烤制过程中, 适当选择高腔体湿度对蔬菜进行热加工, 可提高食材中叶绿素的摄取量, 起到抗氧化作用^[34]。

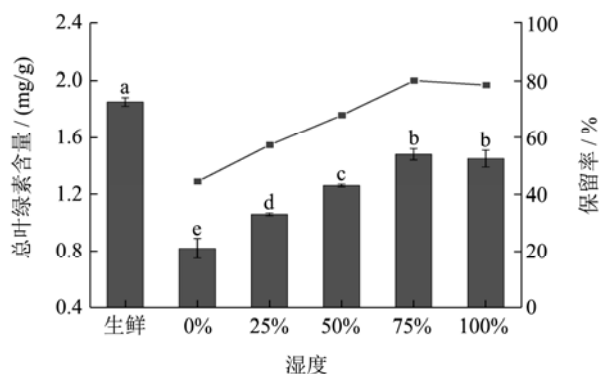


图3 不同腔体湿度下蒸汽辅助烤制西兰花的总叶绿素含量
Fig.3 Total chlorophyll content of steam-assisted roasting broccoli in different oven humidity

2.4 汁液损失

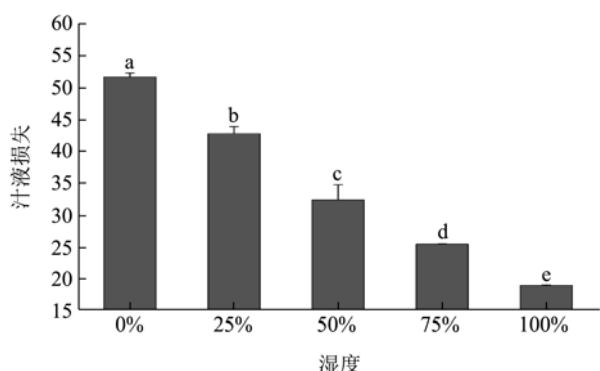


图4 不同腔体湿度下蒸汽辅助烤制西兰花的汁液损失
Fig.4 Juice loss of steam-assisted roasting broccoli in different oven humidity

由图4可知, 随着腔体湿度的增大, 西兰花的汁液损失显著降低。当腔体湿度为 0%时, 汁液损失最大, 为 51.73%; 而腔体湿度为 100%时, 汁液损失最小, 仅为 18.78%。产生这一现象的原因是当腔体湿度越低时, 西兰花内部与环境之间的蒸汽压力差越大, 西兰花中水分不断蒸发, 导致更高的汁液损失; 而若在烤箱中引入热蒸汽, 增大腔体湿度, 西兰花的汁液损失将因较少的水分蒸发量而降低。这一结果与 Ji-Yeon C 等人^[35]的研究结果一致: 仅使用过热蒸汽处理的鸡肉持水量最高, 为 81%, 质量损失最低, 为 22.64%; 过热蒸汽与烤箱加热结合时的汁液损失次之; 仅烤箱加热时的汁液损失最高, 为 26.92%, $p<0.05$ 。由于蔬菜中的营养素大多是水溶性的, 加工

后原有组织被破坏, 汁液失去保护而溢流, 营养成分也随之流失, 直接影响西兰花的营养成分及感官评定。

2.5 不同腔体湿度对西兰花色差的影响

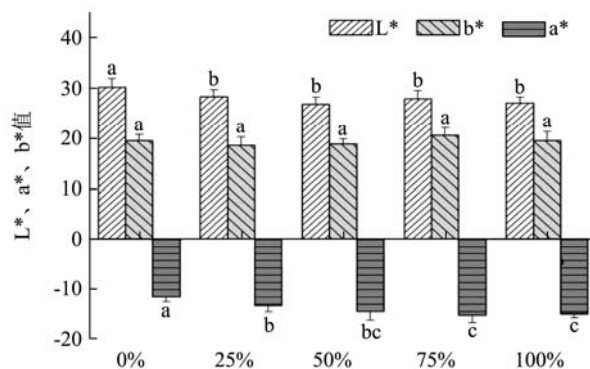


图5 不同腔体湿度下蒸汽辅助烤制西兰花的 L^* 、 a^* 、 b^* 值
Fig.5 L^* 、 a^* 、 b^* of steam-assisted roasting broccoli in different oven humidity

色泽是鉴别食品优劣的指标, 决定了消费者的可接受度^[36]。不同腔体湿度蒸汽辅助烤制西兰花表面的色差值如图5所示, 结果显示腔体湿度为 0%时西兰花的 L^* 值最高, 显著高于其他四组加热模式; 腔体湿度为 25%~100%蒸汽辅助烤制的西兰花差异不显著。产生这一现象的原因可能是 0%湿度时, 西兰花表面水分丢失较多, 因而白度较高; 而随着腔体湿度增大, 减少了西兰花中水分的丢失量^[37]。 a^* 值为负数, 说明西兰花表面呈绿色^[38], 值越小表明西兰花表面越绿, 随着腔体湿度的增大, 西兰花的 a^* 值显著降低, 其中 75%和 100%腔体湿度时的 a^* 值最小且差异不显著, 表明腔体湿度越大, 蒸汽辅助烤制后的西兰花颜色越绿。 b^* 值为正数, 代表西兰花整体偏黄色, b^* 值的结果表明各腔体湿度下蒸汽辅助烤制的西兰花黄度值无显著差异。

2.6 不同腔体湿度对西兰花质构的影响

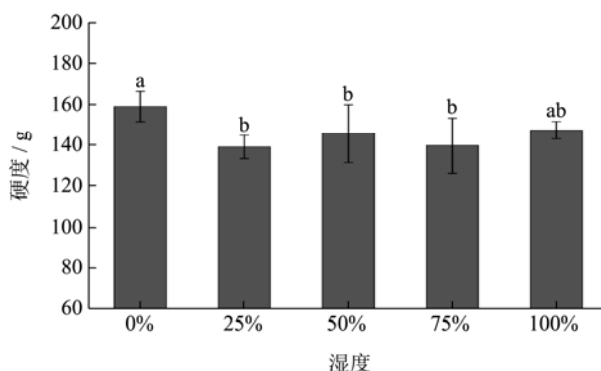


图6 不同腔体湿度蒸汽辅助烤制西兰花的硬度
Fig.6 Hardness of steam-assisted roasting broccoli in different oven humidity

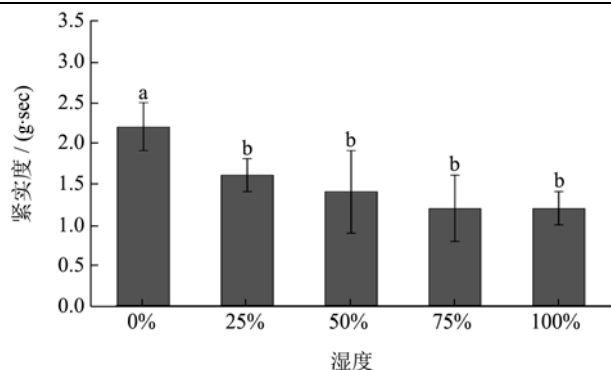


图7 不同腔体湿度蒸汽辅助烤制西兰花的紧实度

Fig.7 Firmness of steam-assisted roasting broccoli in different oven humidity

质构是从物理学性质角度来评估果蔬品质好坏的主要指标之一，主要通过质构仪进行压缩破坏性试验^[39]，从而客观反映与力学特性相关的果蔬质地特性^[40]。一般情况下，蔬菜经烹饪后其质地会明显变软^[41-43]，这是由于加热会引起组织损伤；热处理最初诱导细胞内气体膨胀，造成细胞的机械分离，进一步加热，果胶解聚形成一种低分子量果胶物质，易分解，使得植物组织失去紧实度^[44,45]。图6、7中分别表示西

兰花茎部的最大硬度和紧实度。由图可知，不同腔体湿度蒸汽辅助烤制西兰花的硬度差异较小；其中，腔体湿度 0%时西兰花的硬度最大，显著大于湿度为 25%~75%的样品。紧实度结果与硬度结果类似，表现为腔体湿度 0%时的西兰花显著高于其它四种模式。

2.7 不同腔体湿度对西兰花感官评定的影响

表2 各感官指标所占权重

指标	色泽	气味	外观形态	质地	湿润性	滋味
权重	15%	15%	10%	20%	15%	25%

感官评分实验进行了两批，每批至少 8 名感官评价员按感评标准对不同腔体湿度下蒸汽辅助烤制的西兰花进行打分。0~4 评分法计算出的权重结果如表 2 所示。根据各指标得分及所占权重计算出各加热模式的总分，结果如表 3。由表可知，两批感评的结果较为一致，随着腔体湿度的增大，西兰花的感官得分逐渐升高，且腔体湿度为 75%和 100%蒸汽辅助烤制的样品明显优于其它三组。

表3 不同腔体湿度蒸汽辅助烤制西兰花的感官评分结果

Table 3 Sensory scoring results of steam-assisted roasting in different oven humidity

指标	批次	腔体湿度				
		0%	25%	50%	75%	100%
色泽	第一批	5.38±1.77	6.25±1.49	7.88±0.83	8.38±1.16	8.75±1.16
	第二批	4.67±1.22	6.33±1.32	7.44±0.88	8.44±0.88	8.33±1.00
气味	第一批	4.13±2.23	4.25±1.39	6.25±0.89	7.50±1.46	8.88±0.99
	第二批	3.78±0.97	4.56±1.23	5.89±1.83	7.67±0.87	8.56±0.53
外观形态	第一批	5.38±1.77	6.25±1.49	7.88±0.83	8.38±1.16	8.75±1.16
	第二批	5.22±1.39	6.00±0.71	7.78±0.97	8.11±0.78	8.67±0.50
质地	第一批	7.38±0.92	7.50±1.31	7.88±0.99	8.50±0.76	8.75±0.89
	第二批	7.07±0.87	7.44±0.88	8.33±1.00	8.66±0.71	9.00±0.50
湿润性	第一批	5.00±1.77	6.00±0.76	8.00±0.53	8.13±0.99	8.38±0.92
	第二批	5.89±0.93	6.22±0.97	7.78±1.09	8.44±0.88	8.44±0.73
滋味	第一批	4.50±1.20	5.75±1.04	7.38±1.19	7.75±1.83	7.88±1.13
	第二批	4.89±1.96	6.44±1.51	7.11±2.03	7.89±1.62	8.33±1.22
总分	第一批	4.98±0.83	5.66±0.49	7.09±0.45	7.67±0.40	8.06±0.54
	第二批	5.18±0.65	5.94±0.75	7.07±0.86	7.76±0.64	8.13±0.48
喜好秩和	第一批	38.00	29.50	21.00	16.00	15.50
	第二批	44.00	34.00	25.00	19.00	14.00

注：喜好秩和是按照排列的顺序赋值并计算总和，总和越小，代表排序越靠前，即越受欢迎。

表3 为不同腔体湿度下蒸汽辅助烤制西兰花的两次感官评定（指标为色泽、气味、外观形态、质地、湿润性、滋味）结果。对比两次感官评定结果，腔体湿度为 75%和 100%蒸汽辅助烤制的西兰花在各方面

的评分均较高且较为稳定，而 0%和 25%两种腔体湿度西兰花得分较低。在色泽和质地方面，腔体湿度为 75%的样品和 100%的样品差异较小。由于确定不同腔体湿度下西兰花的蒸汽辅助烤制时间主要是以成熟度

为指标^[46],因此五组样品的质地得分差异较小。腔体湿度为0%的样品得分最低,表现为西兰花茎部稍硬。从总分结果来看,两批次样品的结果一致,都表现为随着腔体湿度的增加,总分逐渐升高。喜好秩和与总分结果较一致,两批次都表现为腔体湿度为100%时,西兰花的喜好秩和最小,且腔体湿度为75%的样品与其较为相近,尤其是第一批次,仅相差0.5。因此,可以看出,腔体湿度对西兰花的感官品质有很大影响,感官评价人员对腔体湿度为100%和75%的西兰花的喜好程度明显优于其它三种模式,且最不喜欢腔体湿度0%处理的样品。

3 结论

不同腔体湿度对西兰花的烹饪效率和食用品质有显著影响。当蒸汽辅助烤制温度相同时,腔体湿度越大即蒸汽量越大,热通量越大,传热速率越快,蒸汽辅助烤制西兰花所需时间越短,颜色越绿。新鲜西兰花中的多酚含量和叶绿素含量都显著高于加热后的西兰花;新鲜西兰花中的Vc含量显著高于0~25%腔体湿度下蒸汽辅助烤制的西兰花,与50%~100%腔体湿度下蒸汽辅助烤制的西兰花没有显著差异。随着腔体湿度的增大,西兰花中的多酚、Vc和叶绿素保留率都显著升高。当腔体湿度为0%时,多酚保留率为58.20%,Vc保留率为66.90%,叶绿素保留率仅为44.50%;而当腔体湿度为25%时,Vc保留率增至89.30%;当腔体湿度为75%时,叶绿素保留率达到80.10%;当腔体湿度为100%时,多酚保留率增至76.10%;其中,腔体湿度为75%和100%的西兰花差异不显著。另外,随着腔体湿度的增大,蒸汽辅助烤制后西兰花的色泽、气味、外观形态、质地、湿润性和滋味指标分值都逐渐升高;腔体湿度为100%和75%的西兰花的得分明显优于其它三种模式,腔体湿度为0%的样品得分最低。综合感官品质(色差、质构),营养特性(叶绿素、Vc、多酚、汁液损失)及感官评价结果得出,腔体湿度对西兰花的营养特性和食用品质有显著影响,蒸汽辅助烤制西兰花的最佳腔体湿度为75%和100%。

参考文献

[1] 勾雪娇,袁云香,吴翠平,等.西兰花的实用价值分析[J].农产品加工·综合刊,2012,4:72-73
GOU Xue-jiao, YUAN Yun-xiang, WU Cui-ping, et al. Analysis on the practical value of broccoli [J]. Agricultural Product Processing General Journal, 2012, 4: 72-73

[2] 冯晓汀.鲜切西兰花保鲜及其机理研究[D].武汉:华中农业

大学,2016

FENG Xiao-ting. Studies on preservation and mechanism of fresh-cut broccoli [D]. Wuhan: Hua Zhong Agricultural University, 2016

- [3] 张怡,关文强,张娜,等.温度对西兰花抗氧化活性及其品质指标影响[J].食品研究与开发,2011,32(8):156-161
ZHANG Yi, GUAN Wen-qiang, ZHANG Na, et al. Changes of antioxidant activity, compounds and quality of broccoli florets during different temperature [J]. Food Research and Development, 2011, 32(8): 156-161
- [4] LIU Meng-ping, ZHANG Li-hua, Ser S L, et al. Comparative phytonutrient analysis of broccoli by-products: the potentials for broccoli by-product utilization [J]. Molecules, 2018, 23(4): 900
- [5] 黄越.马铃薯块茎营养及蒸食品质的评价与优良材料的筛选[D].哈尔滨:东北农业大学,2017
HUANG Yue. Evaluation of the nutrition and eating quality of potato and selected excellent materials [D]. Harbin: College of Agriculture, 2017
- [6] Nicoletta P, Emma C, Claudio G. Effect of different cooking methods on color, phytochemical concentration, and antioxidant capacity of raw and frozen brassica vegetables [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2010, 58 (7): 4310-4321
- [7] Sissi W G, Ka W W, Iris F F B. The effect of cooking on brassica vegetables [J]. Food Chemistry, 2008, 110(3): 706-710
- [8] 袁定帅,陈洁,赖晓芳,等.热加工对西兰花营养品质及抗氧化性的影响[J].河南工业大学学报(自然科学版),2016,37(5): 91-95
YUAN Ding-shuai, CHEN Jie, LAI Xiao-fang, et al. Effect of different cooking methods on nutritional quality and antioxidant activity of broccoli [J]. Journal of the Henan University of Technology (Science Edition), 2016, 37(5): 91-95
- [9] 冯瑞红,包玉龙,王勇,等.蒸汽辅助烤制技术在肉类烹饪中的应用研究进展[J].食品工业科技,2020,41(8):347-352,359
FENG Rui-hong, BAO Yu-long, WANG Yong, et al. Application of steam-assisted roasting in the quality of meat products [J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(8): 347-352, 359
- [10] 孟祥忍,谢静,王恒鹏,等.过热蒸汽对西兰花和胡萝卜品质的影响[J].中国调味品,2019,44(8):114-117
MENG Xiang-ren, XIE Jing, WANG Heng-peng, et al. Effect of superheated steam on quality of broccoli and carrot

- [J]. Chinese Condiments, 2019, 44(8): 114-117
- [11] GB 5009.86-2016, 食品安全国家标准 食品中抗坏血酸的测定[S]
GB 5009.86-2016, National Standard for Food Safety Determination of Ascorbic Acid in Food [S]
- [12] 孟丽媛,王凤舞. 西兰花多酚提取工艺及其抗氧化活性研究[J]. 中国食品学报, 2013, 13(5): 62-68
MENG Li-yuan, WANG Feng-wu. Extraction technology and antioxidant activity of polyphenols from broccoli [J]. Chinese Journal of Food Science, 2013, 13(5): 62-68
- [13] 李静, 聂继云, 王孝娣, 等. Folin-Ciocalteu 法测定葡萄和葡萄酒中的总多酚[J]. 中国南方果树, 2007, 36(6): 86-87
LI Jing, NIE Ji-yun, WANG Xiao-di, et al. Determination of total polyphenols in grape and wine by Folin-Ciocalteu method [J]. Fruit Trees in Southern China, 2007, 36(6): 86-87
- [14] NY/T 3082-2017 水果、蔬菜及其制品中叶绿素含量的测定 分光光度法[S]
NY/T 3082-2017 Determination of Chlorophyll Content in Fruits, Vegetables and Their Products Spectrophotometry[S]
- [15] 李加双, 张良, 王晶, 等. 热处理方式对豆腐品质特性的影响[J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(23): 142-148
LI Jia-shuang, ZHANG Liang, WANG Jing, et al. Effects of different heat treatments on the quality and characteristics of tofu [J]. Food and Fermentation Industry, 2019, 45(23): 142-148
- [16] GB/T 29605-2013, 感官分析 食品感官质量控制导则[S]
GB/T 29605-2013, Sensory Analysis Guidelines for Sensory Quality Control of Foods [S]
- [17] 王璐, 何洪巨, 何湘漪, 等. 不同烹调方式对蔬菜植物化学物及 Vc 的影响[J]. 食品工业科技, 2014, 35(1): 338-341
WANG Lu, HE Hong-ju, HE Xiang-yi, et al. Effect of cooking on phytochemicals and Vc in vegetables [J]. Science and Technology of Food industry, 2014, 35(1): 338-341
- [18] 程小华, 陈明之, 李玉葳. 烹调对蔬菜中硝态氮及 Vc 含量影响的研究[J]. 食品研究与开发, 2013, 34(5): 107-110
CHEN Xiao-hua, CHEN Ming-zhi, LI Yu-wei. Study on the effect of cooking on nitrate nitrogen and Vc content in vegetables [J]. Food Research and Development, 2013, 34(5): 107-110
- [19] 耿兴海. 蔬菜在加工、烹调中维生素的损失[J]. 江苏食品与发酵, 2009, 1: 28-29
GENG Xing-hai. Loss of vitamins in processing and cooking of vegetables [J]. Food and Fermentation in Jiangsu Province, 2009, 1: 28-29
- [20] 葛声, 冯晓慧, 唐彦, 等. 三种烹饪方式对蔬菜中维生素 C 含量的影响研究[J]. 中国食物与营养, 2012, 18(10): 85-88
GE Sheng, FENG Xiao-hui, TANG Yan, et al. Effects of different cooking methods on vitamin C in vegetables [J]. Chinese Food and Nutrition, 2012, 18(10): 85-88
- [21] 张六州. 三种烹饪方式对蔬菜中维生素 C 含量的影响研究[J]. 旅游纵览(下半月), 2017, 3: 293
ZHANG Liu-zhou. Effects of Different Cooking Methods on Vitamin C in Vegetables [J]. Travel Overview (Second Half of the Month), 2017, 3: 293
- [22] 王勇, 李阿敏, 薛东立, 等. 嵌入式蒸箱实现腔体温度与蒸汽量的精准控制研究[J]. 家电科技, 2019, 6: 116-121
WANG Yong, LI A-min, XUE Dong-li, et al. Research on accurate control of cavity temperature and steam volume in embedded steamer [J]. Home Appliance Technology, 2019, 6: 116-121
- [23] 程爱青, 尉万聪, 扎巴士多, 等. 烹调对蔬菜中总多酚和总黄酮含量的影响[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2017, 43(1): 87-91
CHENG Ai-qing, WEI Wan-cong, ZHA Ba-tu-duo, et al. Effects of cooking on content of total polyphenols and flavonoids in vegetables [J]. Journal of the Hunan Agricultural University (Science Edition), 2017, 43(1): 87-91
- [24] 袁定帅. 西兰花加工过程中营养品质及抗氧化特性研究[D]. 郑州: 河南工业大学, 2017
YUAN Ding-shuai. Study on nutritional quality and functional characteristics of broccoli processing [D]. Zhengzhou: Henan University of Technology, 2017.
- [25] Lemos M A, Aliyu M M, Hungerford G. Influence of cooking on the levels of bioactive compounds in purple majesty potato observed *via* chemical and spectroscopic means [J]. Food Chemistry, 2015, 173(15): 462-467
- [26] Venu P, David G H, Sastry S J. Effects of cooking methods on polyphenols, pigments and antioxidant activity in potato tubers [J]. LWT-Food Science and Technology, 2012, 45(2): 161-171
- [27] XU Bao-jun, Sam K C C. Total phenolics, phenolic acids, isoflavones, and anthocyanins and antioxidant properties of yellow and black soybeans as affected by thermal processing [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2008, 56(16): 7165-7175
- [28] 任育萱. 不同烹饪方式对 4 种蔬菜中抗氧化成分的影响[J]. 现代食品, 2016, 10: 109-113
REN Yu-xuan. Effects of different ways of cooking vegetables in the four antioxidants [J]. Modern Food, 2016, 10: 109-113

- [29] 周娜,李少锋,石楠,等.烹调加热对蔬菜中总多酚含量的影响[J].扬州大学烹饪学报,2009,26(2):44-47
ZHOU Na, LI Shao-feng, SHI Nan, et al. The effects of cooking heat treatment on total polyphenol contents of vegetables [J]. Yangzhou University Culinary Journal, 2009, 26(2): 44-47
- [30] 陈玉霞,郭长江,杨继军,等.烹调对常见蔬菜抗氧化活性与成分的影响[J].食品与生物技术学报,2008,27(3):50-56
CHEN Yu-xia, GUO Chang-jiang, YANG Ji-jun, et al. Effect of different cooking methods on the antioxidant capacity and related antioxidant of common vegetables [J]. Journal of Food and Biotechnology, 2008, 27(3): 50-56
- [31] Bongoni R, Verkerk R, Steenbekkers B, et al. Evaluation of different cooking conditions on broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica*) to improve the nutritional value and consumer acceptance [J]. Plant Foods for Human Nutrition, 2014, 69(3): 228-234
- [32] 樊昶昶,熊新星,邹亚红,等.热处理对菠菜和上海青类囊体膜及叶绿素稳定性的影响[J].中国食物与营养,2017,23(4): 30-34
FAN Chang-chang, XIONG Xin-xing, ZOU Ya-hong, et al. Effects of thermal treatment on stability of thylakoid membrane and chlorophyll of spinach and *Brassica chinensis* [J]. Chinese Food and Nutrition, 2017, 23(4): 30-34
- [33] Paciulli M, Dall'asta C, Rinaldi M, et al. Application and optimisation of air-steam cooking on selected vegetables: impact on physical and antioxidant properties [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2018, 98(6): 2267-2276
- [34] 梁慧锋,张英锋,马子川.焯烫时间对绿叶菜中叶绿素含量影响的研究[J].渤海大学学报(自然科学版),2010,31(1): 6-10
LIANG Hui-feng, ZHANG Ying-feng, MA Zi-chuan. Relationship between the length of swill time and chlorophyll content in green vegetable [J]. Journal of Bohai University (Natural Science Edition), 2010, 31(1): 6-10
- [35] Chun J Y, Kwon B G, Lee S H, et al. Studies on physico-chemical properties of chicken meat cooked in electric oven combined with superheated steam [J]. Korean Journal for Food Science of Animal Resources, 2013, 33(1): 103-108
- [36] 冯亚超,蒲彪,陈安均,等.高温短时蒸汽漂烫对子姜片品质及挥发性物质的影响[J].食品与发酵工业,2016,42(8):147-153
FENG Ya-chao, PU Biao, CHEN An-jun, et al. Effect of high temperature short time steam blanching on the quality and volatile compounds of baby ginger (*Zingiber officinale* Roscoe) slices [J]. Food and Fermentation Industry, 2016, 42(8): 147-153
- [37] 魏华锋,翟杜棉.蒸汽对馒头品质的分析研究[J].家电科技,2019,3:116-117
WEI Hua-feng, ZHAI Du-min. Analysis research of steam on steamed bread quality [J]. Home Appliance Technology, 2019, 3: 116-117
- [38] 周涛,许时婴,王璋,等.热处理对微加工茭白的质构与色泽的影响[J].无锡轻工大学学报,2002,21(3):281-284
ZHOU Tao, XU Shi-ying, WANG Zhang, et al. Effect of heat treatment on texture and color changes in minimally processed water bamboo [J]. Journal of Wuxi University of Light Industry, 2002, 21(3): 281-284
- [39] 梁辉,戴志远.物性分析仪在食品质构测定方面的应用[J].食品研究与开发,2006,27(4):119-121,118
LAING Hui, DAI Zhi-yuan. Application of physical property analyzer in the determination of food texture [J]. Food Research and Development, 2006, 27(4): 119-121, 118
- [40] 楚炎沛.物性测试仪在食品品质评价中的应用研究[J].粮食与饲料工业,2003,7:40-42
CHU Yan-pei. Application research of physical property tester in food quality evaluation [J]. Food and Feed Industry, 2003, 7: 40-42
- [41] Carla A, Elsa M G, Joaquina P. Degradation kinetics of peroxidase enzyme, phenolic content, and physical and sensorial characteristics in broccoli (*Brassica oleracea* L. ssp. *italica*) during blanching [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2009, 57(12): 5370-5375
- [42] Eleonora C, Emma C, Tommaso G, et al. Effect of different cooking methods on structure and quality of industrially frozen carrots [J]. Journal of Food Science and Technology, 2016, 53(5): 2443-2451
- [43] Manuela D, Carolina A, Danielle R, et al. Effect of different cooking methods on the polyphenol concentration and antioxidant capacity of selected vegetables [J]. Journal of Culinary Science & Technology, 2016, 14(1): 1-12
- [44] Dekker M, Dekkers E, Jasper A, et al. Predictive modelling of vegetable firmness after thermal pre-treatments and steaming [J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2014, 25: 14-18

(下转第 280 页)