

烹饪方式对蔬菜营养、抗氧化能力及色泽影响的研究进展

王凤丽, 方 芮, 覃丽明, 姚家前, 刘若男, 刘冬梅, 周 鹏

A Review of the Effects of Cooking Methods on the Nutrition, Antioxidant Capacity and Color of Vegetables

WANG Fengli, FANG Rui, QIN Liming, YAO Jiaqian, LIU Ruonan, LIU Dongmei, and ZHOU Peng

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020110292>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

小米挤压粉与小米生粉理化性质及营养品质的差异比较

Difference of Physicochemical Properties and Nutritional Quality between Raw and Extruded Foxtail Millet Flour

食品工业科技. 2019, 40(22): 13-18,23

干燥方法对印度块菌(*Tuber indicum*)品质的影响

Effects of Different Drying Methods on Quality of *Tuber indicum*

食品工业科技. 2020, 41(23): 15-19,24

NaCl胁迫对西兰花芽苗叶黄素积累及抗氧化能力的影响

Effects of NaCl Stress on Lutein Accumulation and Antioxidant Capacity of Broccoli Sprouts

食品工业科技. 2021, 42(12): 46-54

高糖饮食对果蝇发育和抗氧化能力的影响及其机理研究

Effects of High Sucrose Diet on the Development and Antioxidant Capacity of *Drosophila melanogaster* and Its Mechanism

食品工业科技. 2021, 42(21): 377-384

不同干燥方式对甘蓝理化性质和抗氧化活性的影响

Effects of Different Drying Methods on Physicochemical Properties and Antioxidant Activity of Dried Cabbage

食品工业科技. 2020, 41(21): 81-86

腐胺对机械伤青椒果实生理品质和抗氧化能力的影响

Effects of Putrescine on Physiological Quality and Antioxidant Capacity of Mechanically Injured Green Bell Pepper

食品工业科技. 2019, 40(5): 259-263



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

王凤丽, 方芮, 覃丽明, 等. 烹饪方式对蔬菜营养、抗氧化能力及色泽影响的研究进展 [J]. 食品工业科技, 2022, 43(2): 411–419. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2020110292

WANG Fengli, FANG Rui, QIN Liming, et al. A Review of the Effects of Cooking Methods on the Nutrition, Antioxidant Capacity and Color of Vegetables[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(2): 411–419. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2020110292

烹饪方式对蔬菜营养、抗氧化能力及色泽影响的研究进展

王凤丽¹, 方 芮¹, 覃丽明², 姚家前², 刘若男¹, 刘冬梅¹, 周 鹏^{1,*}

(1. 江南大学食品学院, 江苏无锡 214122;

2. 华帝股份有限公司, 广东中山 605567)

摘 要: 烹饪是对食材加工处理, 使食物更可口、更好看、更好闻的处理方式, 不仅让人在食用时感到满足, 而且能让食物的营养更容易被人体吸收。蔬菜作为一类常见食用食材, 不论是在家庭还是餐馆, 都是必不可少的。烹饪过程会对蔬菜进行加热, 从而改变了蔬菜的营养成分和色泽。相比于其他烹饪方式, 蒸制可能是一种最为健康的烹饪方式, 可以保留较多的营养物质。本文对蒸、煮、微波、炒制等几种常用的家庭烹饪方式对于蔬菜中多种营养物质和抗氧化能力的影响, 以及对色泽的影响进行了概述, 以为消费者选择合适的烹饪方法提供参考。

关键词: 烹饪, 蔬菜, 营养, 抗氧化能力, 色泽

中图分类号: TS201.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2022)02-0411-09

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2020110292

本文网刊:



A Review of the Effects of Cooking Methods on the Nutrition, Antioxidant Capacity and Color of Vegetables

WANG Fengli¹, FANG Rui¹, QIN Liming², YAO Jiaqian², LIU Ruonan¹, LIU Dongmei¹, ZHOU Peng^{1,*}

(1. School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, China;

2. Vatti Corporation Limited, Zhongshan 605567, China)

Abstract: Cooking is a way of processing food materials to make food more delicious, better-looking and better-smelling. It not only makes people feel satisfied when eating, but also makes food nutrients more easily absorbed by the body. As a common edible ingredient, vegetables are indispensable whether in the home or restaurant. Vegetables are heated during the cooking process, so the nutrient composition and the color are changed. Compared with other cooking methods, steaming is a relatively healthy cooking method, which could retain more nutrients. In this paper, the effects of several cooking methods, such as steaming, boiling, microwaving, and stir-frying on various nutrients, antioxidant capacity and color in vegetables are investigated, in order to selectively provide reference for consumers to choose cooking methods.

Key words: cooking; vegetables; nutrition; antioxidant capacity; color

果蔬作为健康均衡饮食的重要组成部分, 有大量证据表明其在预防癌症^[1]、心血管疾病和其他退行性疾病中能起作用^[2]。这种保护作用一般归因于不同的抗氧化剂成分, 如维生素 C 和 E、类胡萝卜素、类黄酮和酚酸^[3]。

在大多数情况下, 烹饪是使果蔬更安全、更易消化的不可或缺的前提条件。烹饪对新鲜蔬菜植物化学物质的影响已经被广泛研究^[4-7], 会导致植物化学

成分发生重大变化, 如降低维生素 C 和其他不耐热化合物的含量等, 这些化学物质在家庭烹饪和工业加工过程中可能会发生氧化降解或被淋洗到水中^[8]。烹饪加工也会破坏食物基质, 提高许多植物化学物质的生物可获得性, 从而改善蔬菜的营养质量^[9]。此外, 蔬菜的物理性质也受到热处理的很大影响^[10], 质地和颜色被认为是蔬菜烹饪质量中非常重要的参数, 其会强烈影响消费者对这些食品的购买欲和食用

收稿日期: 2020-11-30

作者简介: 王凤丽 (1989-), 男, 硕士, 研究方向: 食品科学, E-mail: wfl_scut@126.com。

* 通信作者: 周鹏 (1977-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 食品物性、乳制品和水产品加工, E-mail: zhoupeng@jiangnan.edu.cn。

欲^[6,11],但是由于工艺条件和蔬菜品种的不同,热处理对其物理性质的影响也不同^[12]。

目前,关于烹饪对蔬菜营养特性的影响的数据仍然不完整。事实上,关于烹饪对蔬菜影响的文献通常涉及单一或某一类蔬菜,仍需要对蔬菜的营养和物理特性进行更全面的分析,以深入了解烹饪的效果。本文对多种果蔬在不同烹饪条件(煮制、蒸制、炒制、微波等)下,其化学成分(维生素C、类胡萝卜素、多酚和硫代葡萄糖苷等)含量、总抗氧化能力以及物理性质的变化进行了阐述,为寻求健康烹饪方法提供一定的理论支撑,对消费者健康饮食具有重要的指导意义。

1 烹饪对营养物质的影响

1.1 烹饪对维生素的影响

1.1.1 烹饪对维生素C的影响 维生素C(Vitamin C, Ascorbic acid)又称L-抗坏血酸,是人体必需的一种水溶性维生素。维生素C是许多生理反应的辅助因子,包括胶原基因表达、肽激素激活和肉碱合成等,它也是一种有效的抗氧化剂^[13]。人类饮食中,水果和蔬菜提供超过85%的维生素C,不同品种的果蔬维生素C含量差异很大^[14]。由于抗坏血酸水溶性高、稳定性差,在烹调过程中很容易降解氧化成脱氢抗坏血酸,然后水解进一步聚合形成其他营养价值降低的物质^[15],而水也可以在烹饪过程中使维生素C溶解^[11],故与水接触、温度过高及烹饪时间过长等都会导致维生素C严重的损失^[16]。

Hunter等^[17]研究了烹饪后豌豆和菠菜中维生素C的含量,微波加热后维生素C损失不显著,而煮制后维生素C损失显著,可能是维生素C主要流失到了水中。Pellegrini等^[9]测得西兰花中维生素C含量为802 mg/100 g干重(82.6 mg/100 g鲜重),在煮制和蒸制处理的情况下,检测到了维生素C含量大约降低了20%,这与Miglio等^[6]的观点一致。Zhang等^[18]发现,竹笋水煮后维生素C的保留率为47.37%,蒸制后维生素C的保留率为57.83%,而炒制后维生素C的保留率最高,为78.87%。Lee等^[19]测得煮制和蒸制后胡萝卜的维生素C含量分别降低了9%和38%,而经过油炸的胡萝卜中检测不到维生素C。与其他烹饪方法相比,煮制使胡萝卜的维生素C含量降低较少。Miglio等^[6]推测煮制胡萝卜中检测到的维生素C含量损失较少,可能是与煮制相比蒸制的时间较短。Podsdek等^[20]测得新鲜甘蓝的维生素C含量为62.00~72.56 mg/100 g鲜重,控制不同时间和加水量煮制后其含量降低为23.74~33.61 mg/100 g鲜重,蒸制后为56.29~61.50 mg/100 g鲜重。Lee等^[19]研究了西兰花、甜菜、马铃薯、红薯、胡萝卜、菠菜、西葫芦中维生素C在烹饪过程中的变化,发现煮制较为严重地破坏了除胡萝卜外所有样品中的维生素C,其中煮熟的甜菜损失最大;蒸制处理同样显著降低了除西兰花和西葫

芦外的所有蔬菜中维生素C的保留率;比起蒸制和煮制,微波加工中维生素C在各类蔬菜中的保留率都很高。

一般来说,对胡萝卜而言,煮制是保留维生素C的最优方式;炒制能较好保留竹笋中的维生素C;而对于其他大多数蔬菜,蒸制和微波是保留维生素C的较好烹饪方式,并且烹饪过程中使用少量的水和控制较短的烹调时间会对维生素C的保留率有利。

1.1.2 烹饪对B族维生素的影响 蔬菜中B族维生素包括维生素B₁(硫胺素)、维生素B₂(核黄素)、维生素B₃(烟酸)、维生素B₅(泛酸)、维生素B₆(吡哆醇)、维生素B₉(叶酸)、维生素B₁₂(氰钴胺)^[21],其中叶酸的研究最多。

叶酸(Folic acid)也叫维生素B₉,只由微生物和高等植物合成,绿色蔬菜是叶酸的良好来源。叶酸是在DNA合成中起重要作用,叶酸还可以降低新生儿出现神经管缺陷的风险,并在预防中风、心血管疾病和神经退行性疾病中发挥作用^[22-23]。当叶酸被加热和发生氧化降解时,会失去其生物学功能^[24]。由于叶酸是水溶性维生素,因此可以很容易地通过淋洗消除^[25]。

Selman^[26]研究发现,烹饪过程中叶类蔬菜的叶酸损失率在20%~40%之间,根茎类蔬菜的损失率为50%。Bureau等^[14]发现经过蒸制和微波处理的蔬菜叶酸保留得很好,而煮制导致绿豆和菠菜泥的叶酸损失分别为26%和94%。Delchier等^[25]也报道菠菜在煮制中叶酸的损失最高,浓度平均只有新鲜菠菜的一半,干物质含量下降了约四分之一,这表明一些可溶性物质已经从叶片扩散到液体中,这与Holasova等^[27]的数据是一致的。另外Hoppner等^[28]发现切片、冷冻和油炸土豆的叶酸浓度是生土豆的一半,切片胡萝卜在煮制过程中失去了大约40%的叶酸。CMD等^[29]测得甘蓝炒制后的四氢叶酸(THF)、5-甲基四氢叶酸(5-MTHF)和5-甲酰基四氢叶酸(5-FTHF)的保留率分别为71.81%、79.01%和79.4%;炒芥末THF、5-MTHF和5-FTHF保留率分别为64.35%、66.23%和39.04%;煮制处理的西兰花中5-FTHF和THF浓度的最低。此外,蒸制也不能有效地保留这些蔬菜中的四氢叶酸,由此可见炒制处理并未使所研究蔬菜中的叶酸浓度显著降低,但也需要考虑到这种方法的烹饪时间一般很短,而使用蒸制和煮制工艺处理的时间一般较长。

Bureau等^[14]总结出西兰花在保留叶酸方面的最佳烹调方式是蒸制,绿豆以微波处理为最佳,菠菜的最佳烹调方式为蒸制和微波处理。一般来说,在水中煮制对叶酸含量的影响最大,这是由于叶酸具有亲水性,在水中很容易通过淋洗而丢失。相比与煮制,蒸制和微波显然是保持蔬菜中叶酸的较好工艺,而炒制由于其需要的烹饪时间较短,对于某些蔬菜的叶酸保留率也可能较为理想。

1.1.3 烹饪对维生素 E 的影响 维生素 E(Vitamin E)由四种生育酚和相应的生育三烯醇组成,含有不饱和侧链^[19]。维生素 E 主要以 α -生育酚的形式存在于高等植物的叶绿体中^[30]。生育酚主要作为抗氧化剂保护不饱和脂肪酸免受氧化,保护血浆中含有的脂蛋白,因此生育酚在预防心血管疾病方面发挥着重要作用^[31]。在生育酚家族中, α -生育酚被认为最具有生物抗氧化活性^[32]。此外,维生素 C 和维生素 E 在保护脂质体中的脂质过氧化方面的协同作用已有报道^[28]。

Lee 等^[19]发现新鲜的西兰花、甜菜、锦葵、茼蒿、紫苏叶、菠菜和西葫芦经过烹调后会导致 α -生育酚显著增加,而土豆、红薯和胡萝卜经过烹调后则会使 α -生育酚的含量降低。熟制蔬菜中的生育酚保留率比在新鲜蔬菜中更高,可归因于两个原因:家庭烹饪过程中遇到的热处理效应可能会导致植物组织因细胞破裂而软化,导致维生素 E 从脂质中释放出来,从而更容易提取;热处理还可能使生育酚氧化酶失活,该酶存在于植物的根、茎、叶、花和果实等部位。研究认为,生育酚氧化酶可能与食品加工过程中维生素 E 的损失有关^[33]。烹饪过程中的植物组织损伤可能激活氧化酶活性,氧化酶导致细胞结构坍塌,导致维生素 E 的损失^[34]。

烹饪对生育酚的研究大多是油炸对其的影响,特别是炸薯条,并且这很大程度上与油的使用有关。Kreps 等^[31]研究了油脂和薯条在微波加热、平底煎炸和油炸过程中生育酚降解生成生育酚醌的情况,发现微波会引起油温迅速升高,但这些热量不能迅速消散^[35],导致脂肪酸和生育酚的降解率是平底锅和油炸的 2~3 倍。同时文章中提到其他作者报道了煮制会使不同蔬菜生育酚损失约 3.7%,另一些作者发现加压蒸制后生育酚含量会增加 18%,新鲜红辣椒烹调后不会导致 α -生育酚含量的显著变化。但关于其他蔬菜中生育酚受烹饪影响的文章并不是很多,并且部分相对久远。

1.1.4 烹饪对维生素 K 的影响 维生素 K 是脂溶性维生素,以其在凝血和骨骼代谢中的有益作用而闻名^[36]。尽管叶问醌(维生素 K_1)和甲萘醌(维生素 K_2)是维生素 K 的两种天然存在形式。

Lee 等^[37]通过研究蒸制、煮制和微波烹饪方式对蔬菜中维生素含量的影响发现,微波烹饪导致皇冠菊和锦葵中维生素 K 的损失最大,在菠菜和甜菜中造成的维生素 K 损失最少。在研究中发现,有些蔬菜如紫苏叶、土豆等烹饪后维生素 K 的保留率超过 100%,这可能是因为热处理导致维生素 K 被释放。维生素 K 位于植物中的叶绿体中,加热过程可能会植物细胞壁破裂,从而释放维生素 K。此外,维生素 K 相对热稳定,不易被热分解。

1.2 烹饪对植物化合物的影响

1.2.1 烹饪对类胡萝卜素的影响 类胡萝卜素(Carotenoids)是维生素 A 的前体,维生素 A 对于维持上皮

组织生长的完整性、视网膜和免疫系统的正常功能至关重要^[38]。自然界中普遍存在的类胡萝卜素包括如 α -胡萝卜素、 β -胡萝卜素、番茄红素和叶黄素等,它们可在人体内转化为维生素 A。在这些前体中, β -胡萝卜素占蔬菜类胡萝卜素总量很高,起着至关重要的作用。 β -胡萝卜素含量会受到烹调的影响,可能减少也可能增强^[14,39-40]。包括 β -胡萝卜素在内的类胡萝卜素存在于所有绿色植物组织叶绿体中的光合色素-蛋白质复合体中,烹调食物可以通过软化植物壁和破坏类胡萝卜素-蛋白质复合体来提高类胡萝卜素的提取率^[30]。

Tian 等^[16]发现紫薯中类胡萝卜素的含量也受到所用烹饪方式的显著影响,煮制、蒸制处理使总类胡萝卜素含量分别降低 20.15%、34.89%,而微波、炒制处理分别降低 66.30%、76.16%。在 Bureau 等^[14]的研究中,蒸制和微波使菠菜的 β -胡萝卜素分别增加了 32% 和 11%,而煮制则下降了 15%;对于胡萝卜,蒸制和微波处理分别使 β -胡萝卜素增加了 10% 和 12%,而煮制的变化不大;西兰花和韭菜的 β -胡萝卜素在不同烹饪方式下均有增加,并且分别以蒸制和微波为最佳;切片的西葫芦采用蒸制方式增加了 36% 的 β -胡萝卜素,而煮制和微波分别降低了 36% 和 16%。Lee 等^[19]发现对于新鲜西兰花,蒸制和微波不影响类胡萝卜素的含量,煮制则有所下降。但是在 Miglio 等^[6]的研究中,煮制使胡萝卜的总类胡萝卜素初始浓度增加了 14%,而蒸制和炒制则引起轻微的下降,其中炒制更为明显,下降了 13%;煮制不影响西葫芦总类胡萝卜素浓度,蒸制和油炸则导致总类胡萝卜素的显著损失,损失率分别为 22% 和 35%;煮制和蒸制可以增加 β -胡萝卜素,但同时会导致叶黄素的显著损失,损失率分别为 11% 和 33%,而油炸均会使 β -胡萝卜素和叶黄素含量下降。在蒸制和煮制温度相同的情况下,蒸制胡萝卜等蔬菜需要更长的时间才能达到适当的熟度,这可能是其与 Bureau 等^[14]的结果有所差异的原因。Helena 等^[41]亦发现,与蒸制相比,煮制后类胡萝卜素的保留效果更好,作者指出影响类胡萝卜素稳定性的主要因素是温度,而不是水的存在,这一发现与 Robert 等^[42]的观点一致。在 Robert 等^[42]的研究中,经过煮制和蒸制后的西兰花类胡萝卜素的含量均显著高于西兰花生样,分别增加了 32% 和 19%,而油炸会导致初始类胡萝卜素浓度损失 67%,这可能是类胡萝卜素浸出到油中和较高的加工温度造成的。

虽然对于不同品种的果蔬来说,不同的烹饪方式对类胡萝卜素含量的影响不同,但是在各项研究中炒制和炸制的损失始终是较高的,这可能是因为类胡萝卜素具有亲脂性,以及在炒制或炸制过程中温度较高,较高温度下胡萝卜素的不稳定性所导致的。

1.2.2 烹饪对芥子油苷的影响 芥子油苷也称硫代葡萄糖苷(Glucosinolates, GLs),是一种水溶性化合

物, 硫代葡萄糖苷本身具有较低的抗氧化活性, 但其水解产物可以调节与内源防御系统相关的功能, 而十字花科蔬菜可以提供大量硫代葡萄糖苷。据报道, 在不同的烹饪处理下脂肪族 GLs 通常比吲哚 GLs 更耐热^[43]。GLs 在烹饪过程中的损失是因为细胞膜破裂从而使得硫代葡萄糖酸盐和芥子酶之间发生反应。芥子酶介导的硫代葡萄糖苷水解会产生一种不稳定的苷元中间体, 它会立即转化为广泛的生物活性代谢物, 包括异硫氰酸酯、硫氰酸盐等。

在不同的烹饪方法中, 相比于煮制, 蒸制被发现是更好地保留 GLs 的烹饪方法。一些研究中报道了蒸制显著提高了新鲜西兰花中 GLs 的总含量^[4], 而煮制则会显著减少 GLs 的总含量^[4, 44]。微波处理对总硫代葡萄糖苷含量无明显影响, 这可能是因为微波烹饪中缺乏水, 也间接证实了 GLs 的显著损失是由于烹饪水中含有一定量的浸出化合物。

同样在 Miglio 等^[6]的研究中发现, 蒸制几乎是唯一完全保留甚至提高硫代葡萄糖苷含量的烹调方法, 相反, 煮制和炒制会导致 GLs 的降解, 特别是在炒制的情况下, 总损失可达 84%。这是由于硫代葡萄糖苷是水溶性化合物, 通常在常规烹调过程中会因为渗入周围的水中而流失, 加之在更高的温度下也更容易发生降解, 导致挥发性化合物的形成。

1.2.3 烹饪对酚类物质的影响 多酚类物质具有良好的抗氧化活性, 能与维生素 C、E 和胡萝卜素等其他抗氧化物在体内一起发挥抗氧化功效, 清除有害人体健康的物质—自由基。现已有超过 8000 种酚类化合物, 包括酚酸和类黄酮, 已经在不同的植物物种中被鉴定出来, 多酚类物质与抗糖尿病、抗衰老、抗癌、神经保护和心脏保护作用有关^[45]。酚类化合物的损失或获得是烹饪或加工方法、暴露于加工技术的时间以及其对修饰或降解的敏感性的综合作用的结果^[46]。除烹调处理外, 酚类化合物的降解还取决于水果或蔬菜中存在的化合物的化学结构^[15]。

各项研究结果表明, 烹饪过程中蔬菜不与水接触可防止酚类物质的流失, 因而是保留酚类化合物较好的方法。López-García 等^[15]发现蒸制的绿穗苋总酚量(1480~1706 mg GAE/kg)显著高于煮制的绿穗苋的总酚量(135~292 mg GAE/kg)。Mazzeo 等^[3]对三种冷冻蔬菜(胡萝卜、花椰菜和菠菜)的保鲜效果进行了评价, 发现蒸制提高了所有蔬菜中多酚类物质的含量, 而煮制导致所有蔬菜中植物化学成分的普遍损失。一些作者报告了紫甘蓝中的酚类物质含量较高^[47], Podsedek 等^[20]发现紫甘蓝蒸制后的酚类物质比煮制后的保留率更高, 且随时间延长而降低。Wu 等^[47]也发现紫甘蓝在沸水中煮 3~4 min, 总酚含量显著下降了 26.4%。Miglio 等^[6]研究发现煮制和炒制后的西葫芦和西兰花的多酚损失比蒸制后的损失要大, 煮制处理对胡萝卜多酚含量降低的影响最大, 这可能是由于蔬菜的烹饪方式决定了细胞成分的

软化和破碎程度, 在煮胡萝卜中观察到较高的软化度可能解释了与蒸制和油炸样品相比, 煮制造成了更大的多酚类物质的损失。

综合各项研究来看, 与煮制、炒制等方式相比, 蒸制可以保留较高的总酚量, 对同一种蔬菜而言, 煮制和微波对总酚含量降低的影响较大, 而蒸制能保留较高的多酚含量。一方面, 热处理对酚类化合物有分解作用^[48]; 另一方面, 热处理可使现有的多酚氧化酶失去活性, 防止多酚的分解^[49]。另外热处理还可促进膳食纤维结合型多酚分解为游离酚化合物, 因此检测值更高^[50], 这些方面综合作用产生了总酚量的差异。

1.2.4 烹饪对黄酮类物质的影响 大多数黄酮类化合物以糖苷和其他共轭结合物的形式存在, 这些化合物可以用于防治心脑血管疾病, 如能降低血管的脆性, 改善血管的通透性、降低血脂和胆固醇, 可以防治老年高血压、脑溢血、冠心病等。但是黄酮类化合物大多是热敏化合物, 因此, 烹饪期间的热暴露可能会极大地影响其在蔬菜中的含量。

Miglio 等^[6]通过研究煮制、蒸制和油炸对胡萝卜、西葫芦和西兰花的影响发现, 蒸制比起煮制和油炸烹饪方式对于黄酮类化合物的保护效果更好。戚浩或等^[51]研究了不同烹饪方式(蒸制、煮制、炒制)对蔬菜中维生素类以及总黄酮、总酚含量的影响。研究结果表明: 烹饪过程中, 蔬菜中的总黄酮和总酚在煮制过程中含量逐渐降低, 在蒸制和炒制过程中, 其呈现先升高后降低的趋势。在蒸制过程中蔬菜总黄酮含量出现先增加后减少的现象, 这可能是因为烹调加热可以软化植物细胞的细胞壁, 使更多的黄酮类物质溶出, 可以提高黄酮类物质的提取率。在煮制过程中, 蔬菜中总黄酮含量逐渐降低, 这可能是因为煮制过程中蔬菜会损失更多的汁液造成黄酮类物质的流失。

与酚类类似的, 烹饪过程中, 黄酮类化合物在蔬菜中的总量也是有增有减, 而并非是通常人们认为的凡是经过烹饪一定会造成营养流失。某些蔬菜中黄酮类化合物的增加可能由于高温蒸制使得细胞壁软化或破坏, 促进了黄酮类化合物的释放, 提高了黄酮类物质的提取率。

2 烹饪对果蔬总体抗氧化性的影响

天然抗氧化剂可分为三大类: 维生素、类胡萝卜素和酚类化合物^[52], 即抗氧化性是食材内各种抗氧化物质包括维生素 C、多酚等多种物质共同作用的结果。科学研究表明, 很多疾病大都与过量自由基的产生有关联, 例如常见的癌症、糖尿病、心血管病、老年痴呆等。研究抗氧化可以有效克服自由基所带来的危害^[53-54], 所以抗氧化能力被食品企业列为主要的研发方向之一, 也是市场最重要的功能性诉求之一。

水果和蔬菜中的天然抗氧化剂得到了越来越多的关注, 尤其是芸苔属植物的抗氧化潜力^[55]。Turkmen 等^[7]观察到西兰花在煮制、微波和蒸制后抗氧化活

性增加,这种增加可能是由于抗氧化剂从不溶性部分中释放出来或由依赖温度的反应引起的新型抗氧化剂的形成^[56]。加工过程中失去的水分可能会导致抗氧化剂化合物的浓度升高,这可能是观察到的抗氧化剂活性增加的另一个原因。

蒸制似乎有效地增加了大多数蔬菜中多酚的提取率,这使得总抗氧化能力的总体增加^[3]。而煮制后大量抗氧化物质流失到沸腾介质中,导致抗氧化能力下降,这一结果与 Ai 等^[57]的研究结果相似,作者指出彩椒中几乎所有的抗氧化物质在煮制过程中都会流失并溶解在水中。Kenny 等^[58]认为抗氧化剂活性的丧失与蔬菜与水的接触面积和加工时间有关,蒸制和炒制过程中的接触面积比煮制过程中的要小得多,因此它们的抗氧化物质损失相对很小。López-García 等^[15]发现春、秋季的绿穗苋对 DPPH 自由基的总清除能力分别为 2839 和 3776 $\mu\text{mol TE/kg}$ ($\mu\text{mol of Trolox Equivalents per kg}$),它们在煮制时分别降低了 2% 和 7%,而在蒸制时分别增加了 7% 和 1.3%,差异并不显著,但对 ORAC 的测定处理效果较为显著,表现为蒸制>煮制>炒制。Bhornchai 等^[59]研究表明与生玉米相比,热处理使玉米各抗氧化剂含量和抗氧化活性均显著降低,其中蒸制比煮制保留了更多的抗氧化剂化合物。

但也有例外,对胡萝卜和西葫芦来说,所有烹调方法均可显著提高其总酚量,其中炒制的总多酚含量(TPC)增幅最大,其次是煮制和蒸制,这些结果与 Mayer-Miebach 等^[60]的结果一致:在 130 $^{\circ}\text{C}$ 的热处理 20 min 期间胡萝卜的总酚量显著增加,作者推断可能是形成了具有高抗氧化能力的新物质如美拉德反应产物,或者胡萝卜素转化为更有活性的化合物所导致。Zhang 等^[18]的研究也表明与新鲜竹笋相比,竹笋煮制后的抗氧化能力明显降低,而蒸竹笋的抗氧化能力保持不变,炒竹笋的抗氧化能力略有提高,与前文所说的炒竹笋具有较高的维生素 C 保留率趋势一致,这同样可能是由于产生了美拉德反应,促进了抗氧化物质的产生,从而提高了它们的抗氧化能力。

总的来说,除了如竹笋等蔬菜以炒制为最优的保留抗氧化能力的烹饪方式外,其他大多蔬菜以蒸制为最佳,这可能要归功于蒸制对酚类物质的保留能力很强,从而影响了总抗氧化能力。但具体使用何种烹饪方式则要考虑的就更多,Tian 等^[16]发现不同烹调方法对马铃薯的抗氧化活性和植物化学成分有明显影响,观察到蒸制和微波加热保留了最大量的植物化学物质和抗氧化剂活性,从促进健康的角度来看,采用蒸制和微波加热可能更适合烹饪土豆,然而事实上还要在风味及口感等角度综合考虑。适当的烹饪方法不仅可以增强营养蔬菜的价值,还能促进某些重要抗氧化剂的含量增加^[61]。

3 烹饪对果蔬色度和呈色物质的影响

颜色是食品中的一个关键参数,因为颜色对于

人类对食品价值的第一印象很重要,是消费者评估质量的第一个参数,也是食品健康质量的可靠指标。果蔬的颜色是多种化学物质,如叶绿素、叶黄素、花色苷等物质综合作用的结果。

3.1 烹饪对色度值的影响

Miglio 等^[6]研究了胡萝卜的外表面和内表面颜色的变化,生胡萝卜内表面的颜色亮度(L^*)为 60.1 ± 1.2 ,红绿色(a^*)为 31.8 ± 0.9 ,黄蓝色(b^*)为 41.9 ± 2.5 ,在所有烹调处理后的 L^* 、 a^* 和 b^* 值均显著降低。与生样相比,煮制胡萝卜的外表面和内表面的色调角度均明显增加,导致由红色到橙色的转变。在清蒸和油炸胡萝卜的情况下,色调角度也显著增加,但仅发生在外表面。据报道,类胡萝卜素的含量会影响这些蔬菜的颜色,且它们在烹饪过程中会异构化成各种异构体,在所有熟制的胡萝卜中观察到的较大的 L^* 、 a^* 、 b^* 和饱和度 C 的降低可能与此有关。另外作者还发现与生样相比,西葫芦油炸后引起的 L^* 下降幅度最大,而 a^* 和 b^* 受蒸制和煮制的影响较大,蒸西葫芦变得不那么绿(a^* 增加),煮制样本变得不那么黄(b^* 下降)。这其中,西葫芦叶黄素的损失也可能是影响颜色变化的原因之一^[8]。

与其他的產品相比,煮制西兰花中检测到了更高的叶绿素 a 含量,绿度也有所增加^[10]。Miglio 等^[6]对西兰花的小花和茎进行了颜色测量,煮熟的小花表现出明显的绿度增加(a^* 下降),蒸和炒制的小花绿度下降(a^* 增加),小花的 L^* 值在所有烹饪处理中都显著降低,小花煮制和蒸制后的 b^* 和 C 值均显著增加,而油炸小花的 b^* 和 C 值明显低于生的小花。茎煮制后绿度增加(a^* 下降),而蒸制和炒制其绿色明显低于生样。Pellegrini 等^[9]发现蒸菠菜与煮菠菜相比,颜色发生了明显的变化,有相当一部分的绿度损失(a^* 增加)。菠菜等绿叶蔬菜的颜色主要与叶绿素含量有关,绿度的下降与之前提到的叶绿素变成脱镁叶绿素有关。

总的来说,对于大多数绿色蔬菜,烹饪时间长会导致叶绿素的损失,从而提高 a^* ,也更容易导致 L^* 的降低。而某些情况下绿度的增加(a^* 下降)可能由于细胞排出了空气和其他溶解气体,转而由水分和细胞汁液取代,从而改变了蔬菜的表面反射特性和光穿透深度,也不能排除叶绿素 a 和 b 形成其他绿色产物的可能^[10]。

3.2 烹饪对呈色物质的影响

3.2.1 烹饪对叶黄素的影响 叶黄素(Lutein)属于类胡萝卜素,显黄色,可溶于脂肪。它对人体健康有益,可减少黄斑变性、心血管疾病和癌症的发生^[62]。人体自身不能合成叶黄素,而是依赖于从食物中摄取叶黄素,尤其是从绿色蔬菜中摄取叶黄素。

Bureau 等^[14]对青豆、甘蓝、韭菜、西兰花、菠菜等蔬菜的研究发现,蒸制和微波对于研究中所有蔬菜的叶黄素保留效果都要比煮制要好,在另一研究也发

现了这种趋势,但值得一提的是,在这篇研究中发现用煮制处理冷冻的西兰花对叶黄素的保留效果比蒸制和微波处理更好^[8]。另一项研究表明,在法国,菠菜占叶黄素摄入量的31%^[62],目前而没有一种烹调处理能显著降低菠菜的叶黄素浓度,甚至在蒸制后浓度发生显著增加。这可能印证了Bunea等^[61]发现的热处理可以通过破坏细胞和细胞壁来促进类胡萝卜素的提取。

3.2.2 烹饪对叶绿素的影响 叶绿素(Chlorophyll)是高等植物和其它所有能进行光合作用的生物体含有的一类色素,显绿色,是植物进行光合作用的必需物质。常见的叶绿素如叶绿素a、叶绿素b等,可以吸收大部分的红光和紫光但反射绿光,所以呈现绿色。叶绿素为镁卟啉化合物,不稳定,光、酸、碱、氧、氧化剂等都会使其分解,当绿色蔬菜被煮熟或暴露在酸中时,镁从卟啉环结构的中心被移走,并被一个氢原子取代;因此,叶绿素a变成了脱镁叶绿素a,叶绿素b变成了脱镁叶绿素b。而脱镁叶绿素a提供的是绿灰色,而脱镁叶绿素b提供的是橄榄绿,从而改变了蔬菜的色泽。

Alam等^[63]发现随着菠菜炸制时间的增加,叶绿素a、b和b'的含量显著降低,60 min后分别由 19.3 ± 1.01 、 2.11 ± 0.01 、 15.6 ± 0.91 mg/100 g下降至 2.82 ± 0.31 、 0.11 ± 0.03 、 8.45 ± 0.31 mg/100 g,而叶绿素b'异构体含量增加且与叶绿素b、b'含量的降低呈正相关,并推测该异构体可能包含焦脱镁叶绿素。

食用海藻含有丰富的叶绿素色素,Chen等^[64]研究了紫菜、海白菜、海带在煮制和微波加热烹调后的叶绿素衍生物的变化,发现两种烹饪方式均对叶绿素谱产生了影响。在这些研究中,与烹饪相关的叶绿素色素的主要转化是脱镁叶绿素化和脱羧甲基化反应。海藻的种类不同,不同烹调方法对影响叶绿素含量的影响也不同,这可能是由于如微波或煮制引起的能量传递机制不同所致。

有研究表明^[65],西兰花中的叶绿素a、b和叶绿素总量在煮制后分别比生西兰花高出207%、199%和205%,推测可能是由于处理时间短和温度高,从而强化了红绿色素,在该研究中除了煮制之外,蒸制、微波也增加了叶绿素的量。但另一项研究中采用高效液相色谱法(HPLC)和比色法研究了微波、煮制、蒸制对南瓜、青豆、豌豆、韭菜、西兰花和菠菜叶绿素色素及色泽特性的影响,发现叶绿素a的损失最多达到了81%,而叶绿素b的损失在20%~61%^[10]。文中提到的结果也证实了Teng等^[66]的发现,他观察到加热菠菜叶片中叶绿素a的降解速率常数高于叶绿素b的降解速率常数。具体造成这两篇文章数据不同的原因可能来自于多方面,比如具体烹饪方法的实施、烹饪时间的差异、蔬菜的类型以及个体上的差异等等。

总的来说,叶绿素经过烹饪后会脱镁从而变成

脱镁叶绿素或者其他衍生物,而这种变化会影响蔬菜的色泽,特别是绿度会降低,对于某些蔬菜来说可能会产生不良影响。不过这些变化未必引起营养的流失。

3.2.3 烹饪对花色苷的影响 花色苷广泛存在于植物中,是亲水性色素,属于黄酮类化合物^[67],安全、无毒,可以降低癌症和心血管疾病的发病率,对大多数植物呈现蓝色、紫色和红色具有重要作用。在自然界中,数以千计的花青素化合物已被鉴定,它们的结构随着糖、有机酸和酚酸的类型和数量的不同而不同。

红球甘蓝的花青素含量范围很广,Wu等^[68]发现红球甘蓝中含有23种不同的花青素,Podsedeck等^[20]研究了两种红球甘蓝烹饪后花色苷的变化,煮制的条件不同导致花色苷降低了25.6%~60.2%,蒸制降低了15.7~26.2%,且从数据中发现烹饪时间越长,用水量越大,所造成的损失也越高。Bhornchai等^[59]也认为煮制会导致花青素和酚类化合物大量流失到水中,并认为花色苷在受热时很容易降解,中心环打开,分子水解,形成无色产物,从而对颜色及其促进健康的特性产生重大影响;作者进行了烹调前后花青素含量的对比,烹调后的全穗玉米比切粒玉米更好地保留了花青素,表明果皮破裂等原因会使得花色苷更易溶解到烹饪水中,并提高其暴露在烹饪介质中的表面积,从而增加花色苷的流失。Tian等^[16]观察到不同的烹饪方式会导致紫薯中总花色苷的明显损失,损失最大的是炒制和炸制,降低了44.53%~83.15%,其次是焙烤(25.67%)、煮制(14.66%)、微波(14.01%)和蒸(7.45%)。花青素被认为是紫薯中最重要的促进健康的化合物之一^[69],然而这些化合物很容易溶于水并被热分解,从而造成紫薯非常大的养分流失。另外也有其他文章报告了类似的结果^[70]。

花色苷对温度和pH的变化敏感,又是水溶性较高的色素,可能会通过淋洗等与水的接触造成花色苷的流失。此外,烹饪过程可以软化植物组织,促进从细胞基质化合物中花色苷的提取率,引起花色苷浓度增加。所以较温和的温度、与水较少的接触可能对花色苷的保留效果更佳,也可尝试一些如微波等的干热烹调技术,或可浓缩花色苷的含量^[71]。

4 结论

本文综合了多篇家庭烹饪方式(蒸制、煮制、炸制、微波等)对蔬菜的理化和营养品质影响的文章,总结了不同烹饪方式对果蔬的营养物质保留率、总抗氧化能力的影响,以及对果蔬外观色泽及呈色物质(叶绿素、叶黄素等)的影响,发现对大多数果蔬而言,蒸制是一种较为健康的烹饪方式,可以保留较多的营养物质;与水接触较少、温度较温和的烹饪条件可使果蔬保持较好的色泽;经烹饪后果蔬的质地均会变软,方便食用。

当然,这些评价参数受烹饪条件的控制、蔬菜本

身差异等因素影响较大,不同的植物包含了各种化合物,其中一些是热不稳定的,有些热稳定性较强,因此相同的烹饪方法可能对不同类型甚至相同类型的植物产生不同的影响和结果。在比较不同的研究结果时,烹饪的效果可能取决于多个因素,例如烹饪步骤、加热程度、烹饪介质、暴露的表面积等,本文为烹调方法的选择提供一定的理论基础。

参考文献

- [1] LINK L B, POTTER J D. Raw versus cooked vegetables and cancer risk[J]. *Cancer Epidemiol Biomarkers Prev*, 2004, 13(9): 1422–1435.
- [2] KAUR C, KAPOOR H C. Antioxidants in fruits and vegetables-the millennium's health[J]. *International Journal of Food Science & Technology*, 2001, 36(7): 703–725.
- [3] MAZZEO T, DRI D N, CHIAVARO E, et al. Effect of two cooking procedures on phytochemical compounds, total antioxidant capacity and colour of selected frozen vegetables[J]. *Food Chemistry*, 2017, 128(3): 627–633.
- [4] GLISZCZYNSKA-SWIGLO A, CISKA E, PAWLAK-LEMANSKA K, et al. Changes in the content of health-promoting compounds and antioxidant activity of broccoli after domestic processing[J]. *Food Additives and Contaminants*, 2006, 23(11): 1088–1098.
- [5] SULTANA B, ANWAR F, IQBAL S. Effect of different cooking methods on the antioxidant activity of some vegetables from Pakistan[J]. *International Journal of Food Science & Technology*, 2008, 43(3): 560–567.
- [6] MIGLIO C, CHIAVARO E, VISCONTI A, et al. Effects of different cooking methods on nutritional and physicochemical characteristics of selected vegetables[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2008, 56(1): 139–147.
- [7] TURKMEN N, SARI F, VELIOGLU Y S. The effect of cooking methods on total phenolics and antioxidant activity of selected green vegetables[J]. *Food Chemistry*, 2004, 93(4): 713–718.
- [8] ROY M K, JUNEJA L R, ISOBE S, et al. Steam processed broccoli (*Brassica oleracea*) has higher antioxidant activity in chemical and cellular assay systems[J]. *Food Chemistry*, 2008, 114(1): 263–269.
- [9] PELLEGRINI N, CHIAVARO E, GARDANA C. 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.
- [10] TURKMEN N, POYRAZOGLU E S, SARI F, et al. Effects of cooking methods on chlorophylls, pheophytins and colour of selected green vegetables[J]. *International Journal of Food Science & Technology*, 2006, 41(3): 281–288.
- [11] SOMSUB W, KONGKACHUICHAIR, SUNGPUAG P, et al. Effects of three conventional cooking methods on vitamin C, tannin, myo-inositol phosphates contents in selected Thai vegetables[J]. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2017, 21(2): 187–197.
- [12] 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.
- [13] LAFARGA T, VIÑAS I, BOBO G, et al. Effect of steaming and sous vide processing on the total phenolic content, vitamin C and antioxidant potential of the genus *Brassica*[J]. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 2018: 47.
- [14] BUREAU S, MOUHOUBI S, TOULOMET L, et al. Are folates, carotenoids and vitamin C affected by cooking? Four domestic procedures are compared on a large diversity of frozen vegetables[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2015, 64(2): 735–741.
- [15] LÓPEZ-GARCÍA, BAEZA-JIMÉNEZ, GARCIA-GALINDO, et al. Cooking treatments effect on bioactive compounds and antioxidant activity of quintonil (*Amaranthus hybridus*) harvested in spring and fall seasons[J]. *CyTA-Journal of Food*, 2018, 16(1):707–717.
- [16] TIAN J, CHEN J, LV F, et al. Domestic cooking methods affect the phytochemical composition and antioxidant activity of purple-fleshed potatoes[J]. *Food Chemistry*, 2016, 197: 1264–1270.
- [17] HUNTER K J, FLETCHER J M. The antioxidant activity and composition of fresh, frozen, jarred and canned vegetables[J]. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 2018, 3(4): 399–406.
- [18] ZHANG J, JI R, HU Y, et al. Effect of three cooking methods on nutrient components and antioxidant capacities of bamboo shoot (*Phyllostachys praecox* C. D. Chu et C. S. Chao)[J]. *Journal of Zhejiang University Science B*, 2011, 9(12): 69–76.
- [19] LEE S, CHOI Y, JEONG H S, et al. Effect of different cooking methods on the content of vitamins and true retention in selected vegetables[J]. *Food Science and Biotechnology*, 2018, 27(2): 333–342.
- [20] PODSĘDEK A, SOSNOWSKA D, REDZYNIA M, et al. Effect of domestic cooking on the red cabbage hydrophilic antioxidants[J]. *International Journal of Food Science & Technology*, 2018, 43(10): 1770–1777.
- [21] 潘妍, 贾红亮, 林少华, 等. 常见生食蔬菜营养卫生指标分析[J]. *中国果菜*, 2018, 38(3): 26–29. [PAN Y, JIA H L, LIN S H, et al. Analysis of nutritional and health ingredients of common salad vegetables[J]. *China Fruit & Vegetable*, 2018, 38(3): 26–29.]
- [22] WANG X, QIN X, DEMIRTAS H, et al. Efficacy of folic acid supplementation in stroke prevention: A meta-analysis[J]. *Lancet*, 2007, 369(9576): 1876–1882.
- [23] SNOWDON D A, TULLY C L, SMITH C D, et al. Serum folate and the severity of atrophy of the neocortex in Alzheimer disease: Findings from the Nun Study[J]. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 2000, 71(4): 993.
- [24] SCOTT J, RÉBEILLÉ F, FLETCHER J. Folic acid and folates: The feasibility for nutritional enhancement in plant foods[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2016, 80(7):795–804.

- [25] DELCHIER N, REICH M, RENARD C. Impact of cooking methods on folates, ascorbic acid and lutein in green beans (*Phaseolus vulgaris*) and spinach (*Spinacea oleracea*) [J]. *LWT - Food Science and Technology*, 2017, 49(2): 197–201.
- [26] SELMAN J D. Vitamin retention during blanching of vegetables [J]. *Food Chemistry*, 1994, 49(2): 137–147.
- [27] HOLASOVA M V U P P, FIEDLEROVA V V U P P, VAVREINOVA S V U P P. Determination of folates in vegetables and their retention during boiling [J]. *Czech Journal of Food Sciences*, 2008, 26(1): 31–37.
- [28] HOPPNER K, LAMPI B. Folate retention in dried legumes after different methods of meal preparation [J]. *Elsevier*, 1993, 26(1): 45–48.
- [29] CMD L, MOTA E R D S, MONTINI T A, et al. Folate retention in brassica vegetables consumed in Brazil after different cooking methods [J]. *Archivos Latinoamericanos de Nutricion*, 2014, 64(1): 59–68.
- [30] LOH S, SCHLICH E. Impact of different cooking methods on food quality: Retention of lipophilic vitamins in fresh and frozen vegetables [C]// CIGR International Conference, 2004.
- [31] FRANTIŠEK, KREPS, ZUZANA, et al. Degradation of fatty acids and tocopherols to form tocopheryl quinone as risk factor during microwave heating, pan-frying and deep-fat frying [J]. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 2017, 119(5): 1600309.
- [32] CRUZ R, CASAL S. Validation of a fast and accurate chromatographic method for detailed quantification of vitamin E in green leafy vegetables [J]. *Food Chemistry*, 2013, 141(2): 1175–1180.
- [33] KNECHT K, SANDFUCHS K, KULLING S E, et al. Tocopherol and tocotrienol analysis in raw and cooked vegetables: A validated method with emphasis on sample preparation [J]. *Food Chemistry*, 2015, 169: 20–27.
- [34] CHOI Y, LEE S M, CHUN J, et al. Influence of heat treatment on the antioxidant activities and polyphenolic compounds of shiitake (*Lentinus edodes*) mushroom [J]. *Food Chemistry*, 2016, 99(2): 45–48.
- [35] FRANTIŠEK K, LENKA V, ŠTEFAN S, et al. Chemical changes in microwave heated vegetable oils [J]. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 2017, 116(12): 1685–1693.
- [36] MANNA P, KALITA J. Beneficial role of vitamin K supplementation on insulin sensitivity, glucose metabolism, and the reduced risk of type 2 diabetes: A review [J]. *Nutrition*, 2016, 32(7–8): 732–739.
- [37] LEE S, CHOI Y, JEONG H S, et al. Effect of different cooking methods on the content of vitamins and true retention in selected vegetables [J]. *Food Science and Biotechnology*, 2017, 32(7): 333–342.
- [38] NZAMWITA M, DUODU K G, MINNAAR A. Stability of β -carotene during baking of orange-fleshed sweet potato-wheat composite bread and estimated contribution to vitamin A requirements [J]. *Food Chemistry*, 2017, 228(Aug.1): 85–90.
- [39] AHMED F A, ALI R F M, DE MEJIA E G. Bioactive compounds and antioxidant activity of fresh and processed white cauliflower [J]. *Biomed Research International*, 2013: 2013.
- [40] MARTÍNEZ-HERNÁNDEZ G B, ARTÉS-HERNÁNDEZ F, GÓMEZ P A, et al. Quality changes after vacuum-based and conventional industrial cooking of kailan-hybrid broccoli throughout retail cold storage [J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2013, 50(2): 707–714.
- [41] HELENA M P, PAULO S, SEBASTIÃO C C B, et al. Carotenoid retention and vitamin A value in carrot (*Daucus carota* L.) prepared by food service [J]. *Food Chemistry*, 1998, 61(1): 145–151.
- [42] ROBERT A, ANDEAS S, REINHOLD C. Effects of heating and illumination on trans isomerization and degradation of β -carotene and lutein in isolated spinach chloroplasts [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2005, 53(24): 9512–9518.
- [43] VALLEJO F, TOMÁS-BARBERÁN F, GARCÍA-VIGUERA C. Glucosinolates and vitamin C content in edible parts of broccoli florets after domestic cooking [J]. *European Food Research and Technology*, 2002, 215(4): 310–316.
- [44] CIEŚLIK E, LESZCZYŃSKA T, FILIPIAK-FLORKIEWICZ A, et al. Effects of some technological processes on glucosinolate contents in cruciferous vegetables [J]. *Food Chemistry*, 2007, 105(3): 976–981.
- [45] PANDEY K B, RIZVI S I. Plant polyphenols as dietary antioxidants in human health and disease [J]. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2019, 2(5): 270–278.
- [46] BERNART N, DE LOOSE M, VAN BOCKSTAELE E, et al. Antioxidant changes during domestic food processing of the white shaft and green leaves of leek (*Allium ampeloprasum* var. *porrum*) [J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2014, 94(6): 1168–1174.
- [47] WU X, BEECHER G R, HOLDEN J M, et al. Lipophilic and hydrophilic antioxidant capacities of common foods in the United States [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2004, 52(12): 4026–4037.
- [48] RANILLA L G, KWON Y I, GENOVESE M I, et al. Effect of thermal treatment on phenolic compounds and functionality linked to type 2 diabetes and hypertension management of peruvian and Brazilian bean cultivars (*Phaseolus vulgaris* L.) using *in vitro* methods [J]. *Journal of Food Biochemistry*. 2010, 34(2).
- [49] YAMAGUCHI T, KATSUDA M, ODA Y, et al. Influence of polyphenol and ascorbate oxidases during cooking process on the radical-scavenging activity of vegetables [J]. *Japanese Society for Food Science and Technology*, 2016, 9(1): 79–83.
- [50] STEWART A J, BOZONNET S, MULLEN W, et al. Occurrence of flavonols in tomatoes and tomato-based products [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2000, 48(7): 2663.
- [51] 戚浩琰, 陈洁, 杨俊, 等. 烹饪对蔬菜中营养物质的影响 [J]. *食品工业*, 2017, 38(8): 281–286. [QI H Y, CHEN H, YANG J, et al. Effect of cooking on nutrients in vegetables [J]. *The Food Industry*, 2017, 38(8): 281–286.]
- [52] THAIPONG K, BOONPRAKOB U, CROSBY K, et al. Comparison of ABTS, DPPH, FRAP, and ORAC assays for

- estimating antioxidant activity from guava fruit extracts[J]. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2012, 19(6-7): 669-675.
- [53] GUNATHILAKE K D P P, RANAWEERA K K D S. Antioxidative properties of 34 green leafy vegetables[J]. *Journal of Functional Foods*, 2016, 26: 176-186.
- [54] GUNATHILAKE K D P P, RANAWEERA K K D S, RUPASINGHE H P V. Analysis of rutin, β -carotene, and lutein content and evaluation of antioxidant activities of six edible leaves on free radicals and reactive oxygen species[J]. *Journal of Food Biochemistry*, 2018: e12579.
- [55] SEONG G U, HWANG I W, CHUNG S K. Antioxidant capacities and polyphenolics of Chinese cabbage (*Brassica rapa* L. ssp. *Pekinensis*) leaves[J]. *Food Chemistry*, 2016, 199: 612-618.
- [56] HWANG I G, SHIN Y J, LEE S, et al. Effects of different cooking methods on the antioxidant properties of red pepper (*Capsicum annuum* L.)[J]. *Preventive Nutrition and Food Science*, 2019, 17(4): 286-292.
- [57] AI M C, LEE Y C, YAMAGUCHI T, et al. Effect of cooking on the antioxidant properties of coloured peppers[J]. *Food Chemistry*, 2018, 111(1): 20-28.
- [58] KENNY O, O'BEIRNE D. The effects of washing treatment on antioxidant retention in ready-to-use iceberg lettuce[J]. *International Journal of Food Science and Technology*, 2009, 44(6): 1146-1156.
- [59] BHORNCHAI H, BHALANG S, RATCHADA T, et al. Anthocyanin, phenolics and antioxidant activity changes in purple waxy corn as affected by traditional cooking[J]. *Food Chemistry*, 2016, 164: 510-517.
- [60] MAYER-MIEBACH E, BEHSNILIAN D, REGIER M, et al. Thermal processing of carrots: Lycopene stability and isomerisation with regard to antioxidant potential[J]. *Food Research International*, 2005, 38(8): 1103-1108.
- [61] BUNEA A, ANDJELKOVIC M, SOCACIU C, et al. Total and individual carotenoids and phenolic acids content in fresh, refrigerated and processed spinach (*Spinacia oleracea* L.)[J]. *Food Chemistry*, 2018, 108(2): 649-656.
- [62] GRANADO F, OLMEDILLA B, BLANCO I. Nutritional and clinical relevance of lutein in human health[J]. *British Journal of Nutrition*, 2003, 90(3): 487-502.
- [63] ALAM Z, PARVEEN N. Effects of high temperature frying of spinach leaves in sunflower oil on carotenoids, chlorophylls, and tocopherol composition[J]. *Frontiers in Chemistry*, 2017: 5.
- [64] CHEN K, ROCA M. Cooking effects on chlorophyll profile of the main edible seaweeds[J]. *Food Chemistry*, 2018, 266: 368-347.
- [65] REIS L C R D, DE OLIVEIRA V R, HAGEN M E K, et al. Carotenoids, flavonoids, chlorophylls, phenolic compounds and antioxidant activity in fresh and cooked broccoli (*Brassica oleracea* var. *Avenger*) and cauliflower (*Brassica oleracea* var. *Alphina* F1)[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2015, 63(1): 177-183.
- [66] TENG S S, CHEN B H. Formation of pyrochlorophylls and their derivatives in spinach leaves during heating[J]. *Food Chemistry*, 1999, 65(3): 367-373.
- [67] JIAN H, MONICA G M. Anthocyanins: Natural colorants with health-promoting properties[J]. *Annual Review of Food Science and Technology*, 2010, 1(1): 163.
- [68] WU X, PRIOR R L. Identification and characterization of anthocyanins by high-performance liquid chromatography-electrospray ionization-tandem mass spectrometry in common foods in the United States: vegetables, nuts, and grains[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2005, 53(8): 3101-3113.
- [69] EICHHORN S, WINTERHALTER P. Anthocyanins from pigmented potato (*Solanum tuberosum* L.) varieties[J]. *Food Research International*, 2005, 38(8): 943-948.
- [70] KITA A, BĄKOWSKA-BARCZAK A, HAMOUZ K, et al. The effect of frying on anthocyanin stability and antioxidant activity of crisps from red- and purple-fleshed potatoes (*Solanum tuberosum* L.)[J]. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2013, 32(2): 169-175.
- [71] ZHANG D L, HAMAUZU Y. Phenolics, ascorbic acid, carotenoids and antioxidant activity of broccoli and their changes during conventional and microwave cooking[J]. *Food Chemistry*, 2004, 88(4): 503-509.