

专家论坛专栏

编者按:蔬菜水果是平衡膳食的重要组成部分,也是维生素、矿物质、膳食纤维和植物化学物的重要来源。提高蔬菜水果的摄入量,可以维持机体健康,有效降低心血管、肺癌和糖尿病等慢性病的发病风险。近年来,我国居民蔬菜摄入量逐渐下降,水果摄入量仍处于较低水平。因而,基于蔬菜和水果的营养价值和健康意义,研制食用方便、品种丰富、种类齐全的果蔬深加工产品有市场需求和现实意义。本期栏目特邀专家围绕西瓜、鲜切蔬菜的果蔬深加工技术进行系统阐述,希望为我国果蔬深加工食品的开发和研制提供有益帮助。

(栏目策划:李 宁)

doi:10.3969/j.issn.2095-6002.2017.06.002

文章编号:2095-6002(2017)06-0010-07

引用格式:刘野,宋焕禄,张雨,等.西瓜汁品质及风味研究进展[J].食品科学技术学报,2017,35(6):10-16.



LIU Ye, SONG Huanlu, ZHANG Yu, et al. Advances in research on quality and flavor of watermelon juice[J]. Journal of Food Science and Technology, 2017,35(6):10-16.

西瓜汁品质及风味研究进展

刘 野, 宋焕禄, 张 雨, 邹婷婷, 王丽金, 杨 潇

(北京工商大学 食品学院/北京市食品添加剂工程技术研究中心, 北京 100048)

摘 要:中国的西瓜种植面积和产量均为世界第一。2014年,我国西瓜种植面积185.2万 hm^2 、产量7484.3万t,分别占世界总种植面积的53.3%、总产量的67.4%。西瓜生产的季节性较强,上市主要集中在6~8月,为避免西瓜产期集中造成的浪费,西瓜深加工产品应运而生,其中西瓜汁是最为适合的一种深加工产品。由于存在较多热敏性成分,加工过程使西瓜汁的营养物质受到极大损失,严重影响西瓜汁的风味。综述了西瓜汁风味形成途径、关键香气成分,以及国内外采用传统热加工和现代非热加工方式处理对西瓜汁营养品质、感官品质和风味的影响。提出了今后加工过程中西瓜汁品质和风味的保持措施的研究方向。

关键词:西瓜汁;品质;风味;加工**中图分类号:** TS255.4**文献标志码:** A

西瓜在植物学上属于葫芦科(*Cucurbitaceae*)西瓜属(*Citrullus*)西瓜种,一年生蔓性草本植物。西瓜生产在世界园艺业中占有重要地位,种植面积和产量在世界十大水果中仅次于葡萄、香蕉、柑橘和苹果,居第5位^[1]。2014年我国西瓜年播种面积在185.2万 hm^2 左右,年总产量7484.3万t,总产值812.2亿美元,我国西瓜种植面积约占世界西瓜种

植总面积53.3%,产量约占世界总产量的67.4%^[2]。西瓜在农村种植业生产中对增加农民的经济收入起到举足轻重的作用。

西瓜的季节性很强,上市期主要集中在6月下旬至8月上旬^[3]。西瓜不便于长途运输,往往出现旺季供过于求,淡季有求难觅的现象。且西瓜多汁,贮藏中容易出现过熟、倒瓤。并且由于西瓜的最适

收稿日期:2017-09-26

基金项目:国家重点研发计划项目(2016YFD0401104);国家自然科学基金资助项目(31201400)。

作者简介:刘 野,男,副教授,博士,主要从事果蔬食品风味方面的研究。

宜贮藏温度为4~10℃,所以低温贮藏很容易引起低温伤害^[4]。因此,虽然西瓜受到消费者的广泛喜爱,但由于其产量大、产期集中、不耐贮存,在我国多为鲜食,售价偏低,瓜农的种植积极性受到很大的影响。如何将相对过剩的西瓜进行综合性研发,提高其综合经济效益与市场竞争力,实现资源充分利用,并减少环境污染,改善生态,促进西瓜产业健康、稳定地发展,已成为政府有关部门及许多科研工作者关注的问题。

近年来,随着人们消费观念的变化和发展,西瓜的加工产品越来越受到人们的欢迎,西瓜的综合加工产品的种类和品质不断提升。由于西瓜的含水量很大,约占西瓜重量的90%以上,所以西瓜汁饮料是一种最具潜力的西瓜加工产品。但是由于西瓜属于热敏性水果,目前的果汁加工大多采用热杀菌的方式,这样会导致西瓜汁中营养物质的极大损失,严重影响西瓜汁的风味。所以到目前为止,西瓜在国际市场上都没有成为果汁工业化生产的主要原料。但是对于西瓜汁饮料加工工艺的探索从来都没有停止过。

目前研究较多的主要是西瓜清汁与西瓜浑浊汁,此外还有西瓜浓缩汁等。影响西瓜汁生产的主要因素是杀菌工艺。西瓜汁中显色的物质主要是番茄红素,其结构中存在大量的不饱和双键,对热比较稳定,但易氧化褐变,尤其在pH值较低的情况下褐变更加明显,而西瓜汁是一种偏酸性饮料,氧气存在与高温杀菌方式均会导致西瓜汁色泽发生变化^[5];其次,在西瓜汁中存在大量的热敏性挥发性物质(顺-3-壬烯醇,顺-3-己烯醇等),这些物质在加热杀菌的过程中会产生浓重的煮熟气味,影响西瓜汁的纯正风味^[6];再次,西瓜中含有大量的维生素类物质如维生素C、维生素B₁等,这些维生素在超声波、加热、辐照、有氧热杀菌等过程中极易损失。因此,要想大量生产西瓜汁产品,必须突破这一瓶颈。目前国内很多研究就这一问题进行了多方面的探讨。

1 西瓜汁风味研究

风味是西瓜的重要品质指标,通常认为西瓜风味的形成是酶促反应过程,果肉一旦接触到氧气,立刻通过酶促反应形成风味化合物^[7]。葫芦科植物(如西瓜、黄瓜、甜瓜等)风味物质的形成机理是相似的^[8],均是由其中的亚油酸或亚麻酸经氧化分解

形成。C₆或C₁₃的氢过氧化物是亚油酸和亚麻酸自动氧化的第一个产物,它对果汁的风味不会产生影响。但氢过氧化物很不稳定,很快会在氢过氧化物裂解酶的作用下裂解生成大量的C₆和C₉的醛类、酮类、醇类以及其他一些碳氢化合物。这些化合物的阈值极低,通常约为十亿分之一(part per billion, ppb)级别,但对果实的整体风味起着决定作用。如在亚油酸途径中,氢过氧化物在裂解酶的作用下生成顺-3-壬烯醛;其在氧化酶的作用下可以生成顺-3-壬烯醇,在异构酶和氧化酶的作用下分别生成反-2-壬烯醛和反-2-壬烯醇。而亚麻酸途径中,氢过氧化物裂解生成顺,顺-3,6-壬二烯醛和羧酸类化合物,其在异构酶的作用下生成反,顺-2,6-壬二烯醛;另外,顺,顺-3,6-壬二烯醛和反,顺-2,6-壬二烯醛可以在氧化酶的作用下生成顺,顺-3,6-壬二烯醇和反,顺-2,6-壬二烯醇^[9-10]。这些烯醇和烯醛类化合物都是葫芦科植物的典型风味物质,对西瓜等水果风味的形成起到重要的作用。

关于西瓜风味最早的报道是Kemp等^[11]从西瓜中分离出高浓度的顺,顺-3,6-壬二烯醇,通常被描述为具有“西瓜”或“西瓜皮”的味道,认为它是西瓜的主要呈味物质。Kemp^[12]又从西瓜中分离出18种风味化合物,其中包括10种C₉脂肪族醇和醛类化合物。Yajima等^[13]从西瓜中分离出52种化合物,含量最高的是顺-3-壬烯醇和顺,顺-3,6-壬二烯醇。该研究认为C₉醇和醛类(如1-壬烯醇、顺-3-壬烯醇、顺-6-壬烯醇、顺,顺-3,6-壬二烯醇、反,顺-2,6-壬烯醇、壬烯醛、顺-3-壬烯醛、顺,顺-3,6-壬二烯醛、反,顺-2,6-壬二烯醛)是西瓜中最重要的呈味化合物。Pino等^[14]对西瓜中的风味化合物进行研究,认为饱和或不饱和C₉直链的醛和醇是西瓜中最重要的风味化合物,包括顺-2-壬烯醛、反-2-壬烯醛、反,顺-2,6-壬二烯醛、顺,顺-2,6-壬二烯醛、壬烯醇、顺-3-壬烯醇、反-6-壬烯醇、反,顺-3,6-壬二烯醇、反,反-3,6-壬二烯醇和顺,顺-3,6-壬二烯醇。Beaulieu和Lea^[15]从5个品种无籽西瓜中鉴定出59种风味化合物(包括12种以前未报道过的化合物)。同样认为C₉醛和醇是最主要的化合物,其中己醛、6-甲基-5-庚烯-2-酮、反-2-辛烯醛、4-壬烯醛、顺-6-壬烯醛、壬烯醛、顺-3-壬烯醇、反,顺-2,6-壬二烯醛、顺,顺-3,6-壬二烯醇、反-2-壬烯醛和1-壬烯醇这11种化合物占总挥发性成分含量的77.3%~81.6%。

2 我国西瓜汁的研究现状

国内关于西瓜汁的研究开始于 20 世纪 90 年代,相关研究在探讨其生产工艺的同时,已关注到风味保持的重要性。张中义等^[16]报道西瓜汁在 pH 值 4.2 条件下,经 80 ℃、3 min 热处理可以使酶完全失活。并且灭酶前的脱气处理和灭酶后的脱臭处理,可消除西瓜汁加工中的煮熟味。利用灭酶的加热处理,使西瓜汁中易沉淀物沉淀,清滤后可完全消除沉淀,得到稳定性较好的西瓜澄清汁。赵全等^[17]采用微波快速灭菌,二次真空脱气和 β -环糊精分子包埋几种工艺相结合的方法可以去除因热灭菌产生的煮熟气味,并且由于 β -环糊精和黄原胶的作用使得西瓜汁的番茄红色素得到较好的保留,西瓜汁溶液稳定,可以达到较好的色泽效果。葛英亮等^[18]研究采用新式的杀菌工艺,用低压低温杀菌(65 ℃、0.095 MPa、沸腾状态 7 min)氮气回充的方式对纯天然西瓜汁进行杀菌处理,经过处理的西瓜汁在少氧的状态下进行杀菌,不仅极大地使维生素和其他有益成分得以保留,保证很好的色泽,而且达到了很好的杀菌效果。在杀菌过程中原有加热杀菌工艺中不可避免的加热煮熟气味得到很好的避免和去除,西瓜汁原有风味得到很好地保持。

近年来,西瓜汁复合饮料的研制也成为西瓜汁生产的另一个热点。王辰等^[19]开发了西瓜番茄苦瓜复合汁饮料。该饮料采用西瓜、番茄、苦瓜制汁,经过复配能达到营养和功效互补的效果,在 3 种单汁比例为 4:2:1 时获得最好口感。适当添加维生素 C 可补充加工和贮存过程中损失的维生素 C。添加少量蜂蜜、食盐和黄原胶保持复合汁的良好口感和稳定性。孟宪锋等^[20]研制了西瓜番茄复合汁饮料。这种饮料集中了两种水果中丰富的番茄红素,可以降低癌症的发病率,具有很好的保健功能。杨和利等^[21]研制了西瓜、番茄和胡萝卜的混合汁饮料,该饮料保留了 3 种水果的营养成分,具有一定的保健功能,并且通过实验确定了西瓜番茄胡萝卜汁的最佳配方,并对稳定剂、杀菌条件及生产环境进行了探讨。另外,舒宗美等^[22]开发的西瓜绿豆汁复合饮料,樊黎生^[23]制成的西瓜红枣草莓复合汁饮料以及唐琳等^[24]研制的西瓜糯米发酵汁复合饮料都利用了西瓜以及复配水果的功能特性,很好地解决了西瓜汁的热敏性问题,同时充分利用了西瓜中番茄红

素含量高的特点,得到了具有很好的保健功能和口感的复合饮料。

另外,近年来随着食品非热力学加工技术的发展,对于西瓜汁的非热加工的研究越来越多。马海乐等^[25]以西瓜汁的杀菌为例,研究了磁场强度和脉冲数对杀菌效果的影响。研究表明,随着场强和脉冲数的增加,从整体上讲杀菌效果增强;在场强为 2.53 T、脉冲数为 20 时,杀菌效果最好。高梦祥等^[26]研究了脉冲磁场的磁场强度、脉冲数和物料温度对西瓜汁杀菌效果的影响,脉冲磁场对西瓜汁杀菌的主次因素依次为磁场强度、脉冲数、西瓜汁温度;最佳参数组合为磁场强度 7.59 T,脉冲数 15,西瓜汁温度 20 ℃,最佳参数下菌落总数和大肠菌群数可达到商业无菌要求。曾庆梅等^[27]研究了西瓜汁常温超高压处理后的微生物存活量与杀菌压力、脉动施压之间的关系,结果表明,在 30 ℃、处理压力达到或超过 400 MPa 时,西瓜汁中微生物含量达到国家食品卫生标准要求;随着脉动施压次数的增加,微生物存活量减少;西瓜汁中残存耐压菌以革兰氏阳性菌为主,达 70%,此外还残存有少量革兰氏阴性菌和霉菌。李菁等^[28]采用超高压纳米破碎机,对西瓜清汁进行了动力杀菌实验,考察了动力处理对西瓜清汁中微生物的杀灭效果。实验结果表明,常温下 150 MPa 经 3 次动力处理,西瓜清汁中的菌落总数降至 60 CFU/mL,霉菌及酵母菌数降至 17 CFU/mL,均可达到 GB 19297—2003 的微生物指标要求。王新磊等^[29]以海南麒麟西瓜为原料,榨汁后进行高压 CO₂ 杀菌处理,处理温度为 25 ℃,压力为 20 MPa 和 30 MPa,处理时间分别为 10、30 和 60 min,测定高压 CO₂ 处理后西瓜汁的主要理化指标、细菌总数和 PME 酶(果胶甲基酯酶)活性变化。结果表明,高压 CO₂ 处理后西瓜汁 pH 值降低、可溶性固形物无明显变化、浊度增加,细菌总数降低可达到 2 个对数,果胶甲基酯酶活性可降低 50%。Liu 等^[30]认为经过高压二氧化碳(HPCD)处理后西瓜汁中多酚氧化酶、过氧化物酶和果胶甲酯酶的活性均有不同程度降低。总色差值大于 3.5,表明颜色发生明显变化;褐变度、pH 和番茄红素含量均降低;浊度和可滴定酸含量升高;在 10 和 20 MPa 条件下处理的西瓜汁黏度不发生变化。Liu 等^[31]考察了 HPCD 处理对西瓜汁多酚氧化酶活性的影响,结果表明在 30 MPa、50 ℃处理 30 min,多酚氧化酶的活性降低 95.8%,其远高于热处理(50 ℃, 30 min)的钝化率

(50.9%);并且活性钝化拟合曲线符合两段式模型,表明西瓜汁包含两种多酚氧化酶,分别为敏感型和稳定型。安百慧等^[32]研究表明西瓜汁饮料的最佳制作工艺为:磨浆一次,均质温度45℃,均质压力为20 MPa,均质2次,可以保持西瓜汁饮料口感最佳、组织状态最稳定。顾颖慧等^[33]报道鲜榨西瓜汁中添加0.1%的瓜尔豆胶,果汁口感清爽,具有较高的稳定性。柳青^[34]认为大于200 MPa的压力处理可以使西瓜汁达到商业无菌要求,超过400 MPa压力可以使其中多酚氧化酶和果胶甲酯酶活性分别降至78.8%和64.0%,并且较好的保持西瓜汁的风味和色泽。徐柳柳^[35]采用植物乳杆菌和嗜酸乳杆菌对黑美人和麒麟西瓜汁进行发酵,在两种西瓜汁中嗜酸乳杆菌的产酸能力都强于植物乳杆菌,还原糖含量呈先快后慢的速度降低,植物乳杆菌体系中氨基酸态氮含量高于嗜酸乳杆菌,并且顺-3-壬烯-1-醇是发酵汁香气主要贡献者。

3 国外西瓜汁的研究现状

国外关于西瓜汁的研究较国内早,始于20世纪80年代初。侧重于西瓜汁的感官、品质特性及非热加工对其品质和风味影响方面的研究。

Huor等^[36]对不同西瓜汁比例的混合果汁饮料进行了感官评价。使用冷冻浓缩西瓜汁、菠萝汁、橙汁、糖和柠檬酸调配成含有100%,50%,20%和10%果汁的饮料。含有10%果汁的饮料的糖酸比分别为15:1和25:1,而其他果汁含量的饮料的糖酸比为15:1。采用混合响应面法、实验室感官评价以及小范围消费测试对各种浓缩汁的比例进行优化。结果表明含有80%西瓜汁的饮料具有最佳的接受度。Silva和Chamul^[37]认为西瓜汁的产率根据品种的不同大概在42%~50%。将西瓜汁在76.6℃,17 s灭菌后在2℃下贮存3个月。灭菌后的西瓜汁比原汁会略有变黑,但是更红,同时在贮藏后色度下降。对新鲜和贮藏后的灭菌汁进行感官评价,结果与原汁相比,在颜色、表观性状和甜度上没有显著性差异,说明灭菌后没有颜色的损失,没有分层,没有发生焦糖化反应。灭菌汁在风味上好于原汁,因为原汁中会有“青草味”。Sogi^[38]研究了可溶性固形物7.0~50.0 Brix,温度范围为5~50℃下西瓜汁的流变学性质。西瓜汁的黏度随着可溶性固形物含量的增加和温度的降低而显著增加。Aghajanzadeh

等^[39]认为0.2 g/100 g黄原胶添加量,10 000 r/min均质速率,89.95℃处理6.58 min可以降低果胶甲酯酶活力,提高果汁浊度和黏度,有利于西瓜汁的稳定。Jafari等^[40]报道采用氧化铝纳米流体热处理西瓜汁的番茄红素、维生素C含量和色度比传统热处理分别提高9.89%,6.18%和50.38%。Ishita等^[41]研究认为西瓜汁的pH值和色度随着欧姆加热时间、电压梯度和贮藏时间增加,并且欧姆加热处理西瓜汁的理化品质比传统加热好。

另外有较多的研究集中于非热加工技术对西瓜汁品质的影响上。Mosqueda等^[42]采用高压脉冲电场结合柠檬酸(0.5%~2.0%)或桂皮油(0.05%~0.30%)可以很好地抑制西瓜汁中的大肠杆菌、沙门氏菌和李斯特菌。同时考察了处理后西瓜汁的货架期和感官品质。经过高压脉冲电场(35 kV/cm,1 682 μs,193 Hz和4 μs)结合2.0%柠檬酸或0.2%桂皮油处理后的西瓜汁中,3种菌的数量均下降超过5.0 log₁₀ CFU/mL。Aguiló-Aguayo等^[43]采用响应面法对比了高压脉冲电场处理和热处理后的西瓜汁颜色及5-羟甲基糠醛含量的变化。研究表明高压脉冲电场处理可以更好地保持西瓜汁的颜色,并且处理后的西瓜汁中的羟甲基糠醛含量明显低于热处理。其中脉冲频率、脉宽及场强对西瓜汁的色差和羟甲基糠醛含量符合二级反应动力学模型。当单极模式和频率低于100 Hz时,西瓜汁的色差变化最小,并且羟甲基糠醛的含量与对照相比没有变化。另外,采用2.5 μs的脉宽处理可以将西瓜汁的酶促褐变度降低到最小。Aguiló-Aguayo等^[44]报道脂肪氧化酶比过氧化物酶对高压脉冲电场具有更高的耐受能力。114 Hz的电场强度、7 μs的两极脉冲可以使过氧化物酶被完全钝化。220 Hz的电场强度、1 μs的两极脉冲可以使脂肪氧化酶的活性降到最低(50%)。Aguiló-Aguayo等^[45]认为250 Hz的电场强度、高于5.5 μs的两极脉冲可以使果胶甲酯酶的活性降至其初始活性的15%,而250 Hz的电场强度、7 μs的两极脉冲使多聚半乳糖醛酸酶活性达到最低(60%)。并且在研究的条件范围内,西瓜汁最高黏度出现在250 Hz的电场强度、7 μs的两极脉冲条件下。Aguiló-Aguayo等^[46]研究认为与热处理相比,高压脉冲电场处理后的西瓜汁具有更亮的红色,并且黏度更高。同时过氧化物酶和果胶甲酯酶活性经处理后显著降低。Oms等^[47]采用响应面法优化了高压脉冲电场对西瓜汁处理条件,当电场强度为

35 kV/cm, 处理时间为 50 μ s, 7 μ s 的两极脉冲时, 番茄红素 (113%), 维生素 C (72%) 和抗氧化能力 (100%) 保留率最高。Aganovic 等^[48]考察了高压脉冲电场和超高压处理后西瓜汁在贮藏过程中风味的变化, 经处理后的样品的风味成分比未处理样品含量高, 并且风味成分以 C₆ 和 C₉ 的羰基类化合物为主, 可能由于脂肪酸的氧化分解; 贮藏第 12 天出现的低浓度化合物如香叶基丙酮来源于番茄红素的降解。Pinto 等^[49]认为西瓜汁在 100 MPa 条件下高压气调贮藏 10 d 过程中, 会出现显著的颜色变化, 番茄红素降低 25%, 过氧化物酶活性降低 16.8%, 并且 75 MPa 条件下贮藏 10 d 可以使大肠杆菌和李斯特菌数量降低到检测限以下。

4 结束语

京津冀地区是我国西瓜主要产区。2015 年, 京津冀地区西瓜的总产量为 476.6 万 t, 居全国第 4 位。随着京津冀一体化进程的加快以及创新驱动发展的现实要求, 利用好西瓜资源对于京津冀地区的农产品加工产业的发展具有重要的社会经济意义。未来的研究应有针对性的注重加工过程中西瓜汁品质和风味变化机理的研究, 这为其解决方案的提出提供理论依据, 并为真正实现西瓜汁产业化生产奠定基础。

参考文献:

- [1] 蓝江林, 苏明星, 葛慈斌, 等. 尖孢镰刀菌的分布与西瓜枯萎病病程的相关性[J]. 中国农学通报, 2007, 23 (12): 302–305.
LAN J L, SU M X, GE C B, et al. Relativity between the distribution of fusarium oxysporum and the course of disease of wilt disease of watermelon[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2007, 23 (12): 302–305.
- [2] 联合国粮农组织. 粮食与农业数据[DB/OL]. [2017-12-15]. <http://www.fao.org/faostat/zh/#data/QC>.
- [3] 李平, 郑金焕. 迟西瓜与油、瓜、菜模式的配套应用[J]. 长江蔬菜, 2001 (9): 17.
- [4] 沈春梅, 张盛国, 赵爱红. 西瓜的贮藏与保鲜[J]. 河南科技, 2007 (12): 24.
- [5] 许文玲, 李雁, 王雪霞. 番茄红素的提取及生理功能的研究[J]. 农产品加工·学刊, 2006 (7): 4–7, 10.
XU W L, LI Y, WANG X X. Extraction and physiological function of lycopene[J]. Academic Periodical of Farm Products Processing, 2006 (7): 4–7, 10.
- [6] 黄训端. 芽孢类细菌超高压处理技术研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2007.
- [7] GENTHNER E. Identification of key odorants in fresh-cut watermelon aroma and structure-odor relationships of cis, cis-3, 6-nonadienal and ester analogs with cis, cis-3, 6-nonadiene, cis-3-nonene and cis-6-nonene backbone structures[D]. Urbana: University of Illinois at Urbana-Champaign, 2010.
- [8] 王丽霞. 食品风味物质的研究方法[M]. 北京: 中国林业出版社, 2011.
- [9] HATANAKA A, KAJIWARA T, HARADA T. Biosynthetic pathway of cucumber alcohol: trans-2, cis-6-nonadienol via cis-3, cis-6-nonadienal[J]. Phytochemistry, 1975, 14: 2589–2592.
- [10] CAI M. Biogenesis of watermelon aroma compounds[D]. Starkville: Mississippi State University, 1997.
- [11] KEMP T R, KNAVEL D E, STOLTZ L P. 3, 6-nonadien-1-ol from citrullus vulgaris and cucumismelo[J]. Phytochemistry, 1974, 13: 1167–1170.
- [12] KEMP T R. Identification of some volatile compounds from *Citrullus vulgaris* [J]. Phytochemistry, 1975, 14 (12): 2637–2638.
- [13] YAJIMA I, SAKAKIBARA H, IDE J, et al. Volatile flavor components of watermelon (*Citrullus vulgaris*) [J]. Agricultural and Biological Chemistry, 1985, 49: 3145–3150.
- [14] PINO J A, MARBOT R, AGUERO J. Volatile components of watermelon (*Citrullus lanatus* [Thunb.] Matsum. et Nakai) fruit[J]. Journal of Essential Oil Research, 2003, 15 (6): 379–380.
- [15] BEAULIEU J C, LEA J M. Characterization and semi-quantitative analysis of volatiles in seedless watermelon varieties using solid-phase microextraction[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2006, 54 (20): 7789–7793.
- [16] 张中义, 柏桂英. 西瓜澄清汁饮料工艺研究[J]. 郑州轻工业学院学报, 1994 (1): 49–52.
- [17] 赵全, 孟令波, 葛英亮, 等. 纯天然西瓜汁生产的研究[J]. 哈尔滨商业大学学报(自然科学版), 2005, 21 (4): 467–469.
ZHAO Q, MENG L B, GE Y L, et al. Study on production of pure natural watermelon juice[J]. Journal of Harbin University of Commerce (Natural Sciences Edition), 2005, 21 (4): 467–469.
- [18] 葛英亮, 孟令波, 王继伟, 等. 纯天然西瓜汁生产工艺研究[J]. 食品科技, 2005 (9): 74–76, 79.
GE Y L, MENG L B, WANG J W, et al. The craft study of simple pure watermelon juice[J]. Food Science and

- Technology, 2005 (9): 74 - 76, 79.
- [19] 王辰, 严奉伟, 马立安, 等. 西瓜番茄苦瓜复合汁饮料的研制[J]. 饮料工业, 2000, 3(4): 31 - 32.
WANG C, YAN F W, MA L A, et al. The development of compound watermelon-tomato-bitter gourd juice drink [J]. Beverage Industry, 2000, 3(4): 31 - 32.
- [20] 孟宪锋, 翟小敏. 西瓜番茄复合汁饮料的研制[J]. 昌吉学院学报, 2003 (4): 90 - 91.
- [21] 杨和利, 孟俊煊, 刘敏. 西瓜番茄胡萝卜汁的研制[J]. 食品工程, 2006 (3): 61 - 63.
YANG H L, MENG J H, LIU M. The development of fruit juice by combination of watermelon tomato and carrot[J]. Food Engineering, 2006 (3): 61 - 63.
- [22] 舒宗美, 张轲, 周伟军, 等. 西瓜绿豆汁复合饮料的加工工艺[J]. 甘肃科技, 2006, 22(3): 187 - 188, 121.
SHU Z M, ZHANG K, ZHOU W J, et al. The processing technology for mung bean milk and water-melon juice compound beverage[J]. Gansu Science and Technology, 2006, 22(3): 187 - 188, 121.
- [23] 樊黎生. 西瓜红枣草莓复合汁的工艺研究[J]. 山东食品科技, 2001 (7): 9 - 10.
- [24] 唐琳, 王欣堂, 梁涛. 西瓜糯米发酵汁复合饮料加工工艺的研究[J]. 粮食与饲料工业, 2003 (1): 44 - 45.
TANG L, WANG X T, LIANG T. Studies on the processing technology of watermelon-rice-wine beverage[J]. Cereal & Feed Industry, 2003 (1): 44 - 45.
- [25] 马海乐, 邓玉林, 储金宇. 西瓜汁的高强度脉冲磁场杀菌试验研究及杀菌机理分析[J]. 农业工程学报, 2003, 19(2): 163 - 166.
MA H L, DENG Y L, CHU J Y. Sterilization of watermelon juice with high voltage pulse magnetic field and its mechanism analysis[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2003, 19(2): 163 - 166.
- [26] 高梦祥, 马海乐, 郭康权. 西瓜汁的脉冲磁场杀菌试验[J]. 食品与发酵工业, 2004, 30(3): 14 - 17.
GAO M X, MA H L, GUO K Q. Sterilization of watermelon juice by pulsed magnetic fields[J]. Food and Fermentation Industries, 2004, 30(3): 14 - 17.
- [27] 曾庆梅, 潘见, 谢慧明, 等. 西瓜汁的超高压杀菌效果研究[J]. 高压物理学报, 2004, 18(1): 70 - 74.
ZENG Q M, PAN J, XIE H M, et al. Influence of ultra high pressure (UHP) on micro-organisms in watermelon juice[J]. Chinese Journal of High Pressure Physics, 2004, 18(1): 70 - 74.
- [28] 李菁, 张绍英, 丁玉振. 西瓜清汁的动力杀菌效果研究[J]. 食品工业科技, 2006, 27(7): 71 - 72.
- LI J, ZHANG S Y, DING Y Z. Influence of dynamic processing on microorganisms in watermelon clear juice [J]. Science and Technology of Food Industry, 2006, 27(7): 71 - 72.
- [29] 王新磊, 吴继红, 张燕, 等. 高压 CO₂ 处理对西瓜汁的影响[J]. 食品与发酵工业, 2008, 34(11): 76 - 80.
WANG X L, WU J H, ZHANG Y, et al. Effect of high pressure carbon dioxide on watermelon juice processing [J]. Food and Fermentation Industries, 2008, 34(11): 76 - 80.
- [30] LIU Y, HU X S, ZHAO X Y, et al. Combined effect of high pressure carbon dioxide and mild heat treatment on overall quality parameters of watermelon juice[J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2012, 13: 112 - 119.
- [31] LIU Y, HU X S, ZHAO X Y, et al. Inactivation of polyphenol oxidase from watermelon juice by high pressure carbon dioxide treatment[J]. Journal of Food Science and Technology-Mysore, 2013, 50(2): 317 - 324.
- [32] 安百慧, 郭成宇. 速冻西瓜汁饮料加工工艺及稳定性的研究[J]. 食品科技, 2013, 38(4): 92 - 99.
- [33] 顾颖慧, 张亮, 刘云国, 等. 瓜尔豆胶对鲜榨西瓜汁稳定性的影响[J]. 农业与技术, 2015, 35(18): 2 - 5.
- [34] 柳青. 超高压技术对西瓜汁品质影响的研究[D]. 晋中: 山西农业大学, 2015.
- [35] 徐柳柳. 两种乳杆菌发酵西瓜汁的研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2016.
- [36] HUOR S S, AHMED E M, RAO P V, et al. Formulation and sensory evaluation of a fruit punch containing watermelon juice [J]. Journal of Food Science, 1980, 45(4): 809 - 813.
- [37] SILVA J L, CHAMUL R Y. Color and sensory attributes of pasteurized watermelon juice [J]. Food Research International, 1991, 6(3): 141 - 146.
- [38] SOGI D S. Effect of concentration and temperature on the viscosity of watermelon juice [J]. Journal of Food Science and Technology-Mysore, 2003, 40(5): 509 - 511.
- [39] AGHAJANZADEH S, ZIAIIFAR A M, KASHANINEJAD M. Influence of thermal treatment, homogenization and xanthan gum on physicochemical properties of watermelon juice: a response surface approach [J]. LWT-Food Science and Technology, 2017, 85: 66 - 74.
- [40] JAFARI S M, SAREMNEJAD F, DEHNAD D. Nano-fluid thermal processing of watermelon juice in a shell and tube heat exchanger and evaluating its qualitative properties [J]. Innovative Food Science and Emerging Tech-

- nologies, 2017, 42: 173 – 179.
- [41] ISHITA C,ATHMASELVI K A. Changes in pH and colour of watermelon juice during ohmic heating[J]. International Food Research Journal, 2017, 24(2): 741 – 746.
- [42] MOSQUEDA M J, RAYBAUDI M R, MARTIN B O. Combination of high-intensity pulsed electric fields with natural antimicrobials to inactivate pathogenic microorganisms and extend the shelf-life of melon and watermelon juices [J]. Food Microbiology, 2008, 25 (3): 479 – 491.
- [43] AGUILÓ-AGUAYO I, SOLIVA-FORTUNY R, MARTIN-BELLOSO O. Avoiding non-enzymatic browning by high-intensity pulsed electric fields in strawberry, tomato and watermelon juices [J]. Journal of Food Engineering, 2009, 92(1): 37 – 43.
- [44] AGUILÓ-AGUAYO I, SOLIVA-FORTUNY R, MARTIN-BELLOSO O. Impact of high-intensity pulsed electric field variables affecting peroxidase and lipoxygenase activities of watermelon juice[J]. LWT-Food Science and Technology, 2010, 43(6): 897 – 902.
- [45] AGUILÓ-AGUAYO I, SOLIVA-FORTUNY R, MARTIN-BELLOSO O. Optimizing critical high-intensity pulsed electric fields treatments for reducing pectolytic activity and viscosity changes in watermelon juice[J]. European Food Research and Technology, 2010, 231(4): 509 – 517.
- [46] AGUILÓ-AGUAYO I, SOLIVA F R, MARTIN B O. Color and viscosity of watermelon juice treated by high-intensity pulsed electric fields or heat [J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2010, 11: 299 – 305.
- [47] OMS O G, ODRIOZOLA S I, SOLIVA F R, et al. Effects of high-intensity pulsed electric field processing conditions on lycopene, vitamin C and antioxidant capacity of watermelon juice [J]. Food Chemistry, 2009, 115: 1312 – 1319.
- [48] AGANOVIC K, GRAUWET T, SIEMER C, et al. Head-space fingerprinting and sensory evaluation to discriminate between traditional and alternative pasteurization of watermelon juice [J]. European Food Research and Technology, 2016, 242(5): 787 – 803.
- [49] PINTO C, MOREIRA S A, FIDALGO L G, et al. Impact of different hyperbaric storage conditions on microbial, physicochemical and enzymatic parameters of watermelon juice[J]. Food Research International, 2017, 99(1): 123 – 132.

Advances in Research on Quality and Flavor of Watermelon Juice

LIU Ye, SONG Huanlu, ZHANG Yu, ZOU Tingting, WANG Lijin, YANG Xiao

(School of Food and Chemical Engineering/Beijing Engineering and Technology Research Center of Food Additives, Beijing Technology and Business University, Beijing 100048, China)

Abstract: China is the country with the largest planting area and yield of watermelon in the world. In 2014, planting area and yield of watermelon was $1.852 \times 10^6 \text{ hm}^2$ and $7.4843 \times 10^7 \text{ t}$, accounting for 53.3% and 67.4% of the data around the world. The harvest period of watermelon is short, mainly between June to August. In order to avoid wasting, the watermelon deep processing products are developed, and watermelon juice is one of the most suitable one. Because of the presence of sensitive components, nutrients and flavor of watermelon juice were impacted greatly during processing. In this paper, aroma formation pathway of watermelon juice, key aroma compounds, and the effects of different processing methods (thermal and non-thermal processing) on the nutrition, sensory quality and flavor of watermelon juice were reviewed. The research direction was proposed about how to maintain the quality and flavor of watermelon juice during processing in the future.

Keywords: watermelon juice; quality; flavor; processing