

doi:10.3969/j.issn.2095-6002.2019.05.003

文章编号:2095-6002(2019)05-0016-07

引用格式:李斌,谢旭,孙希云,等.国内外蓝莓加工技术与功能性成分研究进展[J].食品科学技术学报,2019,37(5):16-22.



LI Bin, XIE Xu, SUN Xiyun, et al. Research progress on blueberry processing technology and functional components in domestic and abroad[J]. Journal of Food Science and Technology, 2019,37(5):16-22.

国内外蓝莓加工技术与功能性成分研究进展

李斌, 谢旭, 孙希云, 田金龙, 王月华, 束弛, 孟宪军*

(沈阳农业大学食品学院/国家浆果加工技术研发专业中心/

辽宁省健康食品营养与创制重点实验室, 辽宁 沈阳 110161)

摘要: 蓝莓是一种越橘属浆果,除含有基础营养物质,还富含花青素、类黄酮等功能性成分,具有抗炎、抗癌、清除自由基、保护视力等功效。然而,新鲜的蓝莓易腐烂且贮藏和运输性能差,故需要进一步深加工,同时,蓝莓良好的健康属性使消费者对蓝莓加工产品的需求日益增加,应用可更好保留功能成分的先进加工技术已成为蓝莓加工产业发展的重要驱动力。阐述了近年蓝莓果汁、蓝莓果酒、蓝莓干燥等加工技术与功能性成分提取技术的研究进展,以期为蓝莓深加工产业提供理论依据。

关键词: 蓝莓; 加工技术; 功能性成分; 干燥技术; 蓝莓果汁; 蓝莓果酒

中图分类号: TS255.4

文献标志码: A

蓝莓属于越橘属(*Vaccinium*)植物,含有丰富的蛋白质、碳水化合物、维生素、矿物质、多酚类化合物^[1],其中多酚类化合物,如花青素、黄烷-3-醇、原花青素和黄酮醇等^[2],具有抗衰老^[3]、减少心脑血管疾病、抗癌^[4-5]等功效。全世界蓝莓种类有400多种,种植面积达到34.5万hm²,年总产量约30万t,主要分布于北美、南美、东南亚、欧洲等地区^[6]。我国近几年蓝莓种植产业发展迅速,总种植面积达1.49万hm²,总产量约为1.23万t。但是,与其他浆果一样,蓝莓的贮藏和运输性能差,且随着消费者对健康食品要求的提高,食品行业创新技术发展迅速,更安全 and 更健康的加工产品已成为传统加工产品的替代品,然而与国外相比,加工关键技术存在的瓶颈问题导致我国蓝莓加工工业发展相对缓慢^[7]。本文概述了近年蓝莓果汁、蓝莓果酒、蓝莓干燥技术、功能成分提取等加工技术与功能性成分提取技术的研究进展,以期为蓝莓深加工产业提供理论依据。

1 蓝莓果汁加工技术与功能性成分变化

1.1 热加工蓝莓果汁

巴氏杀菌和高温灭菌是蓝莓制汁最传统的加工方式,但加热的幅度和持续时间对花青素的稳定性有很大影响,若果汁被加热超过安全系数,则可能导致严重的质量和营养损失。谢国芳等^[8]研究了巴氏杀菌(90℃、30s)和超高温瞬时灭菌(121℃、5s)加工蓝莓果汁,与未经杀菌的果汁相比,巴氏杀菌和超高温瞬时灭菌蓝莓果汁的DPPH自由基清除率显著低于对照组。Brownmiller等^[9]研究发现,与新鲜蓝莓果实相比,高温热烫(95℃、3min)与巴氏杀菌相结合将蓝莓加工成果汁导致总单体花色苷损失43%,而聚合物颜色值从1%增加到12%,这表明热不稳定因素可以加速花青素的破坏。Ludikhuyze等^[10]指出果汁加工中的额外漂烫步骤可能是至关重要的技术环节,除杀菌外漂烫会使多酚氧化酶失

收稿日期:2019-08-03

基金项目:国家自然科学基金资助项目(31671863)。

第一作者:李斌,男,教授,博士,主要从事食品活性物质与大分子相互作用方面的研究。

*通信作者:孟宪军,男,教授,博士,主要从事果蔬加工和功能性食品方面的研究。

活,酶的失活有助于花青素的稳定性。总的来说,单独的热加工技术无法同时保证蓝莓果汁的安全性和高质量^[11]。

1.2 超高压加工蓝莓果汁

超高压技术源自材料科学,处理压强高于100 MPa,近年来发展成为一种用于微生物和酶灭活的非热食品加工技术,对营养和质量参数的影响较小^[12]。超高压是一种优良的食品加工技术,具有保留植物食品中具有保健特性的功能成分的潜力。经过超高压处理的食物保留了更多的新鲜特性,一般在市场上的价格高于热加工食品的价格。Indrawati等^[13]研究发现超高压可保留蓝莓的营养价值,室温下的超高压处理对蓝莓的花青素等酚类化合物含量无显著影响。Francisco等^[14]研究了超高压(600 MPa、42 ℃、5 min)处理后4 ℃冷藏储存56 d期间蓝莓果汁的质量变化,发现与未处理的蓝莓果汁相比,加工后的果汁花青素含量无明显变化。在冷藏储存56 d后,未加工的蓝莓果汁花青素损失50%,而超高压处理的蓝莓果汁仅损失了31%。研究还发现了超高压(200~600 MPa)处理蓝莓果汁中维生素C保留良好。另一方面,发现200 MPa处理的果汁总酚含量增加,400 MPa处理15 min的蓝莓果汁单体花青素高于新鲜果汁16%,且与新鲜果汁相比,200 MPa处理5~15 min的抗氧化能力值保持良好^[15]。

1.3 脉冲电场加工蓝莓果汁

脉冲电场处理是将高压脉冲(通常为20~80 kV/cm、短时间<1 s)应用于放置在两个电极之间的流体食物^[16]。实验证实脉冲电场对各种致病、腐败微生物和酶都有效,且没有明显的风味、颜色和生物活性成分如花青素的损失^[17]。Elez-Martínez等^[18]通过脉冲电场(1.2~3.0 kV/cm)从红树莓中纯化的锦葵色素-3-葡萄糖苷证明了查耳酮的形成,开放吡喃环和查尔酮形成被认为是花青素降解的第一步。如 β -葡萄糖苷酶、多酚氧化酶和过氧化物酶等部分酶的失活也可能导致脉冲电场加工蓝莓果汁贮存过程中花青素的降解^[19]。Tiware等^[20]通过脉冲电场(2 kV/cm)处理蓝莓果汁样品,发现脉冲电场预处理的蓝莓果汁样品和非脉冲电场预处理的蓝莓样品之间总酚、抗氧化活性、花青素和主要酚酸和黄酮醇的无显著差异($P>0.05$),脉冲电场预处理的蓝莓样品的微生物数量低于未进行脉冲电场预处理的样品。得出脉冲电场处理提高了蓝莓的微生物

质量,而不影响其营养品质的结论。Tony等^[21]使用脉冲电场实现了果汁中大肠杆菌和李斯特菌减少3个数量级、菌落总数减少2个数量级。脉冲电场处理不会导致蓝莓的颜色和外观发生任何变化,而且脉冲电场处理后,蓝莓中的花青素和酚类化合物分别增加了10%和25%。结果表明,脉冲电场应用能增强水果及其衍生产品的安全性并改善其质量和营养价值。

1.4 超声波加工蓝莓果汁

超声波被美国食品药品监督管理局认定为食品加工热处理的替代技术,它可保证加工后果汁中大肠杆菌落总数减少5个数量级^[22-23]。Fathima等^[24]研究了连续超声波处理对蓝莓果汁微生物、化学和物理特性的影响。发现连续较高强度的超声处理显著减少了果汁微生物数量;与未处理和对照的果汁样品相比,在高流速(93.5 mL/min)超声处理条件下实现了总需氧菌的减少,良好地保留了蓝莓果汁的花青素和颜色。Zhu等^[25]研究对比了传统的热处理,超声处理结合温和热处理和压力处理分别可以使多酚氧化酶失活23.36%和10.91%,花青素保留率为98.48%和97.49%。同时,两种处理方法均可有效破坏大肠杆菌细胞。因此,超声处理下,高压和温和热处理组合使得蓝莓果汁的安全性得以保持,而不会妨碍所需抗氧化剂化合物的保留。

2 蓝莓果酒加工技术与功能性成分变化

蓝莓肉嫩多汁适用于果酒等饮料加工。薛桂新等^[26]确定了提取蓝莓果汁的最佳酶解工艺:果胶酶添加量为0.3 mL/kg、温度为35 ℃、时间150 min,出汁率为78.43%。在蓝莓果酒发酵加工过程中,易出现沉淀、浑浊、营养成分损失等现象,针对此问题,辛秀兰等^[27]研究对比了明胶、壳聚糖、硅藻土3种澄清剂的澄清效果,得出了壳聚糖是一种理想的单一澄清剂,最佳用量为0.2 g/L,最终产品透光率为96.43%。由明胶、单宁与壳聚糖组成的复合澄清剂效果更好,最佳用量为明胶0.55 g/L、单宁1.45 g/L、壳聚糖2.5 g/L,最终产品透光率可达到97.21%。Mins等^[28]研究了花青素、总酚含量及其抗氧化活性在蓝莓果酒、蓝莓果醋加工中的变化,结果表明,在发酵过程中,花青素、总酚含量和抗氧化活性都有显著提高。而在酸化过程中,花青素、总酚含量和抗氧化活性显著下降。为了有效保留果酒中的功能成

分, Sun 等^[29]研究了不同含量甘露糖蛋白对蓝莓果酒的影响, 结果表明, 甘露糖蛋白处理抑制了蓝莓果酒中花青素含量的降低, 总酸含量的降低, 酒精含量的增加, 保持了蓝莓果酒的色泽, 改善了蓝莓果酒的口感。

3 蓝莓干燥技术与功能性成分变化

蓝莓果茶、果脯、果粉等产品是采用不同的干燥技术制备而成的蓝莓深加工产品。蓝莓的主要干燥方式有热风干燥、微波干燥、冷冻干燥、真空干燥、喷雾干燥、红外干燥、热风-微波真空联合干燥等。

陈宏毅^[30]以蓝莓叶、蓝莓果和蓝莓花瓣干燥后的产品为原料, 配置成口感风味俱佳, 并具有抗衰老、降低血糖等功效的保健茶。王春荣等^[31]将真空干燥、微波干燥和热风干燥 3 种干燥技术所得的蓝莓果脯进行对比研究, 发现真空干燥能够保持蓝莓原有的色泽和风味。Shi 等^[32]针对蓝莓体积和表面蜡质层对干燥速度的影响进行了研究, 发现蓝莓红外干燥速率随着蓝莓体积的增大而减慢, 在 93 ℃ 下处理 5 s 后能够破坏蓝莓表皮蜡质层, 增强表面通透性, 从而提高蓝莓干燥速率和水分扩散率。Veerachandra 等^[33]研究了强迫空气干燥、流化床干燥、气体流冲击干燥、改进的气体流冲击干燥 4 种不同干燥技术, 以及蓝莓品种、成熟度和干燥温度对蓝莓品质的影响。研究表明, 从干制品的整体品质上看, 气体流冲击干燥得到的蓝莓干制品品质好于另外 3 种干燥技术。Lim 等^[34]研究了蓝莓果汁与麦芽糊精的比例、干燥温度对蓝莓果粉品质的影响, 研究表明, 随着蓝莓与麦芽糊精比例的增大, 蓝莓抗氧化活性、花青素和多酚的保持率有所增大; 喷雾干燥器的进风、出风口温度对蓝莓粉的品质影响较小。Alejandro 等^[35]研究了蓝莓体积、红外预处理以及真空冷冻干燥和常压冷冻干燥对蓝莓品质产生的影响, 经对比分析, 选择体积相对较小的蓝莓并采用红外-真空冷冻干燥能够较好的保持蓝莓的营养成分。邵春霖等^[36]研究了热风干燥、真空冷冻干燥、中短波红外干燥、热风-微波真空联合干燥和变温压差膨化干燥 5 种不同干燥方式对蓝莓产品物理性质和营养成分的影响。实验结果表明复水比由大到小依次为: 热风-微波真空联合干燥、变温压差膨化干燥、真空冷冻干燥、热风干燥、中短波红外干燥; 硬度由大到小依次为: 热风干燥、中短波红外干燥、变温压

差膨化干燥、热风-微波真空联合干燥、真空冷冻干燥; 各干燥方式之间色泽变化不显著。5 种干燥方法处理后, 蓝莓营养成分均有所降低, 其中真空冷冻干燥方式除总糖外, 其他各营养成分保持率最高。Rodriguez 等^[37]研究发现与渗透脱水-微波工艺和对照干燥相比, 热空气组合微波干燥预处理的蓝莓水分含量、干燥速率、力学性能、光学性能、抗氧化能力均优于对照组。Victor 等^[38]使用具有红外干燥和常规微波干燥的混合设备进行蓝莓叶的干燥。在干燥期间采集叶子样品以分析总酚含量, 使用高效液相色谱法测量在蓝莓干叶中的儿茶素含量, 发现常规微波干燥比在红外过程中微波干燥具有更好的浓缩结果。

4 蓝莓功能性成分提取技术

4.1 溶剂萃取技术

目前花青素提取技术主要有溶剂萃取法、酶解法、超高压提取法、微波提取法等^[39-40]。马养民等^[41]采用乙醇作为提取溶剂提取蓝莓花青素, 得出最佳提取工艺为: 以体积分数 60% 乙醇作为提取剂, 在温度为 50 ℃, pH 值为 1, 料液比为 1:15 (g/mL) 条件下提取 120 min, 提取 1 次, 最终花青素提取量为 2.18 g/L。Oancea 等^[42]研究了不同的提取条件对花青素提取量的影响, 结果表明不同提取液对花青素的提取量具有一定的影响, 其中体积分数 50% 乙醇溶液作为提取液时, 花青素提取量最大 (148.51 mg/100 g); 升高温度有助于提取液中有效成分的扩散和溶解, 进而增强提取效果, 增加提取量。最终得出提取温度 50 ℃, 时间 2 h, 体积分数 50% 乙醇为最佳提取工艺。Jeremy 等^[43]研究了物料均质、提取液的类型、酸的类型对花青素提取的影响。结果表明, 采用冻干后研磨的方法均质, 实验重复性好。水和三氟乙酸溶液 (体积比 70:30) 为最理想的提取液。虽然乙醇、丙酮和甲醇是最有效的蓝莓花青素萃取溶剂, 但三氟乙酸和盐酸是最适合的酸化萃取溶剂。

4.2 超高压提取技术

潘兴桥等^[44]利用超高压技术提取蓝莓中黄酮类化合物, 得出蓝莓中黄酮类化合物的最佳提取工艺为: 提取温度 65 ℃, 乙醇体积分数 70%, 料液比 1:40 (g/mL), 超高压强 300 MPa, 在此工艺条件下黄酮类化合物提取率为 3.94%。结果表明超高压

提取蓝莓中黄酮类化合物的工艺合理。Lee^[45]研发了一种通过超高压提取工艺改善蓝莓提取物的抗氧化活性的方法。将蓝莓在 60 ℃、300 MPa 下水提取 5 min 和 15 min。通过超高压提取工艺获得的提取产率分别为 18.48% 和 19.89%。总多酚含量约为 28.39 mg/g 和 28.9 mg/g,而类黄酮含量分别测量为 5.99 mg/g 和 6.0 mg/g。此外,蓝莓的抗氧化活性随处理时间的延长而增加。因此,超高压提取的蓝莓比常规水提取可获得更高的抗氧化活性成分。这些结果表明超高压提取在更高的效率,更短的提取时间和更低的能源成本方面具有明显的优势。

4.3 酶法提取技术

李颖畅^[46]采用酶解法提取蓝莓花青素,结果表明,适当的纤维素酶可以提高花青素提取率,而果胶酶降低花青素提取率。复合使用 2 种酶可以提高花青素提取率,但要低于单一使用纤维素酶的提取率。孟宪军等^[47]研究了将纤维素酶用于从提取花色苷后的蓝莓残渣中提取多糖的工艺,以达到优化工艺的目的。通过单因素实验和正交试验,确定了最佳酶解提取工艺为:酶解时间为 100 min,酶解温度为 40 ℃,酶的添加量为质量分数 0.6%。在此条件下,蓝莓多糖的得率为 2.3%。刘刚等^[48]研究了在单因素实验的基础上,采用响应曲面法的中心组合设计,对果胶酶提取蓝莓果汁工艺条件进行优化,结果表明加酶量、酶解温度、酶解时间对出汁率影响显著,加酶量和酶解温度以及酶解温度和酶解时间的交互作用影响显著;最佳提取工艺参数为:加酶量为质量分数 0.067%、酶解温度 48.5 ℃、酶解时间 181 min,实测结果的出汁率为 $(90.49 \pm 0.30)\%$,与模型预测值基本相符。

4.4 微波提取技术

张玉香等^[49]建立了微波提取蓝莓中黄酮的二次回归方程,并以黄酮提取率为响应值绘制响应面图和等高线图。考察乙醇体积分数、料液比、温度、微波功率及时间对黄酮提取率的影响。方差分析结果表明:乙醇体积分数、温度和微波功率对黄酮提取率影响显著;最佳工艺条件为提取温度 72 ℃,乙醇体积分数 64%,微波功率 456 W,在此工艺条件下黄酮提取率为 4.2%。Elik 等^[50]研究了微波辅助提取对蓝莓酚类化合物回收的影响,应用响应面法优化提取条件,选择微波功率、萃取时间和料液比作为萃取参数,自变量范围为 100 ~ 300 W 的微波功率,2 ~ 16 min 的提取时间和 0.02 ~

0.2 g/mL 的料液比,模型的响应是提取产量和总酚含量和总花青素含量提取蓝莓粉。基于最大响应水平的最佳条件是 287 W 的微波功率,13 min 的提取时间,40:1 (mL/g) 的溶剂与样品的比率。在获得的最佳条件下的最大响应水平是 78.35% 的提取产率,30.75 mg/g 蓝莓粉末的总酚和 8.92 mg/g 蓝莓粉末的总花色苷。

5 结论与展望

随着人们对蓝莓保健功能的重视,蓝莓深加工产业不断地发展,生产逐渐规模化、产业化、加工产品多样化。新型加工技术的发展必定会推动蓝莓产业高产、高效、健康可持续发展。蓝莓加工技术未来发展方向主要有:1) 蓝莓果汁加工方面将在非热加工技术上创新,同时多种加工方式结合处理有希望更有效保护果汁生物活性成分。2) 蓝莓果酒加工方面,活性成分提取和辅助护色技术将会得到进一步发展。3) 蓝莓干燥方面,开展新型、环保、节能提质的联合干燥技术研究,如中短波红外-变温压差膨化联合干燥、热风-微波真空联合干燥等联合干燥技术,研发新型高效、安全、卫生的蓝莓干燥产品势在必行。4) 蓝莓功能成分提取技术方面,将在新型辅助提取技术领域进行进一步拓展。

参考文献:

- [1] 贺强,吴立仁. 蓝莓果实中营养成分的生物学功能[J]. 北方园艺,2010(24):222-224.
HE Q, WU L R. biological function of nutrients in blueberry fruit[J]. Northern Horticulture, 2010(24):222-224.
- [2] MI J C, LUKE R H, RONALD L P, et al. Flavonoid glycosides and antioxidant capacity of various blackberry, blueberry and red grape genotypes determined by high-performance liquid chromatography/mass spectrometry[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2004, 84(13):1771-1782.
- [3] 姜爱丽,孟宪军,胡文忠,等. 不同北高丛蓝莓品种的抗氧化成分及其抗氧化活性[J]. 食品与发酵工业, 2011, 37(9):161-165.
JIANG A L, MENG X J, HU W Z, et al. Antioxidant components and antioxidant activities of different high-bush blueberry varieties[J]. Food and Fermentation Industries, 2011, 37(9):161-165.
- [4] SMITH M A L, MARLEY K A, SEIGLER D, et al. Bio-

- active properties of wild blueberry fruits[J]. Journal of Food Science, 2000, 65(2): 352–356.
- [5] NETO C C. Cranberry and blueberry: evidence for protective effects against cancer and vascular diseases[J]. Molecular Nutrition & Food Research, 2007, 51(6): 652–664.
- [6] 黄永臣. 大力发展蓝莓产业打造中国蓝莓之乡[J]. 云南科技管理, 2012, 25(4): 20–22.
- HUANG Y C. Vigorously develop blueberry industry to build the hometown of Chinese blueberry[J]. Yunnan Science and Technology Management, 2012, 25(4): 20–22.
- [7] 李丽敏, 赵春雷, 郝庆升. 中外蓝莓产业比较研究[J]. 中国农学通报, 2010, 26(23): 354–359.
- LI L M, ZHAO C L, HAO Q S. Comparative study on chinese and foreign blueberry industry[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2010, 26(23): 354–359.
- [8] 谢国芳, 王瑞, 周笑犁, 等. 不同灭菌处理对蓝莓汁品质的影响[J]. 现代食品科技, 2014, 30(7): 205–210.
- XIE G F, WANG R, ZHOU X L, et al. Effects of different sterilization treatments on the quality of blueberry juice[J]. Modern Food Technology, 2014, 30(7): 205–210.
- [9] BROWNMILLER C, HOWARD L R, PRIOR R L. Processing and storage effects on monomeric anthocyanins, percent polymeric color, and antioxidant capacity of processed blueberry products[J]. Journal of Food Science, 2008, 73(5): 134–140.
- [10] LUDIKHUYZE L, VAN LOEY A, SMOUT C, et al. Effects of combined pressure and temperature on enzymes related to quality of fruits and vegetables: from kinetic information to process engineering aspects[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2003, 43(5): 527–586.
- [11] ANKIT P, NIGEL P B, O'DONNELL C, et al. Effect of thermal processing on anthocyanin stability in foods: mechanisms and kinetics of degradation[J]. Trends in Food Science & Technology, 2009, 21(1): 3–11.
- [12] RASTOGI N K, RAGHAVARAO K S M S, BALASUBRAMANIAM V M, et al. Opportunities and challenges in high pressure processing of foods[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2007, 47(1): 69–112.
- [13] INDRAWATI O, IESEL V D P, ANN V L, et al. Does high pressure processing influence nutritional aspects of plant based food systems? [J]. Trends in Food Science & Technology, 2007, 19(6): 69–112.
- [14] FRANCISCO J B, MARÍA J E, ANA F. High pressure treatment effect on physicochemical and nutritional properties of fluid foods during storage: a review[J]. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2012, 11(3): 307–322.
- [15] FRANCISCO J B, MARIA J E, ANA F. Physicochemical and nutritional characteristics of blueberry juice after high pressure processing[J]. Food Research International, 2013, 50(2): 545–549.
- [16] SEÑORANS J, IBÁÑEZ E, CIFUENTES A. New trends in food processing[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2003, 43(5): 507–526.
- [17] CSERHALMI Z, SASS-KISS Á, TÓTH-MARKUS M, et al. Study of pulsed electric field treated citrus juices[J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2005, 7(1): 49–54.
- [18] ELEZ-MARTÍNEZ P, SOLIVA-FORTUNY R C, MARTÍN-BELLOSO O. Comparative study on shelf life of orange juice processed by high intensity pulsed electric fields or heat treatment[J]. European Food Research and Technology, 2006, 222(3/4): 321–329.
- [19] ZHU N, ZHU Y, YU N, et al. Evaluation of microbial, physicochemical parameters and flavor of blueberry juice after microchip-pulsed electric field[J/OL]. Food Chemistry, 2019, 274 [2019–08–01]. <http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.08.092>.
- [20] TIWARI B K, O'DONNELL C P, CULLEN P J. Effect of non thermal processing technologies on the anthocyanin content of fruit juices[J]. Trends in Food Science & Technology, 2009, 20(3): 137–145.
- [21] TONY Z J, YU Y S, JOSHUA B G. Effects of pulsed electric field processing on microbial survival, quality change and nutritional characteristics of blueberries[J]. LWT-Food Science and Technology, 2017, 77: 517–524.
- [22] HE B, ZHANG L L, YUE X Y, et al. Optimization of ultrasound-assisted extraction of phenolic compounds and anthocyanins from blueberry (*Vaccinium ashei*) wine pomace[J]. Food Chemistry, 2016, 204: 70–76.
- [23] SALLEH-MACK S Z, ROBERTS J S. Ultrasound pasteurization: the effects of temperature, soluble solids, organic acids and pH on the inactivation of *Escherichia coli* ATCC 25922[J]. Ultrasonics Sonochemistry, 2006, 14(3): 323–329.
- [24] FATHIMA W M, KEVIN M S, JUAN L, et al. Effect of continuous ultra-sonication on microbial counts and physico-chemical properties of blueberry (*Vaccinium corymbosum*) juice[J]. LWT-Food Science and Tech-

- nology, 2015, 60(1): 563–570.
- [25] ZHU J Y, WANG Y H, LI X H, et al. Combined effect of ultrasound, heat, and pressure on *Escherichia coli* O157: H7, polyphenol oxidase activity, and anthocyanins in blueberry (*Vaccinium corymbosum*) juice[J]. Ultrasonics-Sonochemistry, 2017, 37: 251–259.
- [26] 薛桂新, 刘小国. 野生蓝莓酒加工工艺条件的研究[J]. 酿酒科技, 2010(9): 65–67.
XUE G X, LIU X G. Study on processing conditions of wild blueberry wine[J]. Brewing Science & Technology, 2010(9): 65–67.
- [27] 辛秀兰, 盖禹含, 刘俊英, 等. 不同澄清剂对蓝莓发酵酒澄清效果的影响[J]. 中国酿造, 2010(2): 119–122.
XIN X L, GAI Y H, LIU J Y, et al. Effect of different clarifying agents on the clarification effect of blueberry fermented wine[J]. China Brewing, 2010(2): 119–122.
- [28] MINS S, POJ C. Antioxidant activity, anthocyanins, and phenolics of rabbiteye blueberry (*Vaccinium ashei*) fluid products as affected by fermentation[J]. Food Chemistry, 2006, 104(1): 182–187.
- [29] SUN X Y, YAN Z C, ZHU T, et al. Effects on the color, taste, and anthocyanins stability of blueberry wine by different contents of mannoprotein[J/OL]. Food Chemistry, 2019, 279 [2019–08–01]. <http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.11.139>.
- [30] 陈宏毅. 多功能蓝莓保健茶的加工工艺[J]. 北方园艺, 2009(4): 226–227.
CHEN H Y. Processing technology of multifunctional blueberry health tea[J]. Northern Horticulture, 2009(4): 226–227.
- [31] 王春荣, 尹德斌, 文连奎. 蓝莓果脯加工工艺研究[J]. 农产品加工(学刊), 2012(4): 70–72, 76.
WANG C R, YIN D B, WEN L K. Study on processing technology of blueberry berry[J]. Journal of Agricultural Products Processing (School of Medicine), 2012(4): 70–72, 76.
- [32] SHI J, PAN Z, MCHUGH T H, et al. Effect of berry size and sodium hydroxide pretreatment on the drying characteristics of blueberries under infrared radiation heating[J]. Journal of Food Science, 2009, 73(6): 259–265.
- [33] VEERACHANDRA K Y, MANJEET S C, WILLIAM L K, et al. Effect of drying method on drying time and physico-chemical properties of dried rabbiteye blueberries[J]. LWT-Food Science and Technology, 2013, 50(2): 739–745.
- [34] LIM K, MA M, DOLAN K D. Effects of spray drying on antioxidant capacity and anthocyanidin content of blueberry by-products[J]. Journal of Food Science, 2011, 76(7): 156–164.
- [35] ALEJANDRO R, AGNES E, ANDREA M, et al. Effect of operating conditions in freeze-drying on the nutritional properties of blueberries[J]. International Journal of Food Sciences and Nutrition, 2011, 62(3): 303–306.
- [36] 邵春霖, 孟宪军, 毕金峰, 等. 不同干燥方式对蓝莓品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2013, 39(11): 109–113.
SHAO C L, MENG X J, BI J F, et al. Effects of different drying methods on blueberry quality[J]. Food and Fermentation Industries, 2013, 39(11): 109–113.
- [37] RODRIGUEZ A, ZARO M J, LEMOINE M L, et al. Comparison of two alternatives of combined drying to process blueberries (O’Neal): evaluation of the final quality[J]. Drying Technology, 2016, 34(8): 974–985.
- [38] VICTOR H, BORDA Y, FARID C, et al. Effect of microwave and infrared drying over polyphenol content in *Vaccinium meridionale* (Swartz) dry leaves [J/OL]. Journal of Food Process Engineering, 2019, 42(1) [2019–08–01]. <http://doi.org/10.1111/jfpe.12939>.
- [39] 马永强, 李安, 那治国, 等. 酶法提高蓝莓果花色苷与总酚溶出率的工艺条件研究[J]. 农产品加工(学刊), 2012(4): 48–53.
MA Y Q, LI A, NA Z G, et al. Study on the process conditions of enzymatic method for increasing the dissolution rate of blueberry fruit anthocyanins and total phenol[J]. Journal of Agricultural Products Processing (School of Medicine), 2012(4): 48–53.
- [40] 曹雪丹, 方修贵, 赵凯, 等. 蓝莓花色苷研究进展[J]. 中国农学通报, 2012, 28(15): 221–226.
CAO X D, FANG X G, ZHAO K, et al. Research progress of blueberry anthocyanins[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2012, 28(15): 221–226.
- [41] 马养民, 逯文静. 蓝莓果中花青素的乙醇提取工艺研究[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(35): 21768–21769, 21958.
MA Y M, LU W J. Study on ethanol extraction process of anthocyanins from blueberry[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2011, 39(35): 21768–21769, 21958.
- [42] OANCEA S, STOIA M, COMAN D. Effects of extraction conditions on bioactive anthocyanin content of *Vaccinium corymbosum* in the perspective of food applications[J]. Procedia Engineering, 2012, 42: 489–495.
- [43] JEREMY S B, HIEN P N, SHEN S J, et al. General

- method for extraction of blueberry anthocyanins and identification using high performance liquid chromatography-electrospray ionization-ion trap-time of flight-mass spectrometry[J]. *Journal of Chromatography A*, 2009, 1216(23):4728-4735.
- [44] 潘兴桥,李力,荆旭慧,等. 超高压技术提取蓝莓总黄酮的工艺研究[J]. *食品工业*, 2013, 34(10):17-19.
PAN X Q, LI L, JING X H, et al. Study on technology of extracting total flavonoids from blueberry by ultra high pressure technology[J]. *Food Industry*, 2013, 34(10):17-19.
- [45] LEE H. Enhancement of antioxidant activities of blueberry (*Vaccinium ashei*) by using high-pressure extraction process[J]. *Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition*, 2014, 43(7):471-476.
- [46] 李颖畅. 蓝莓花色苷提取纯化及生理功能研究[D]. 沈阳:沈阳农业大学, 2008.
LI Y C. Extraction, purification and physiological function of blueberry anthocyanins [D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2008.
- [47] 孟宪军,朱金艳,孙希云,等. 酶法优化蓝莓多糖的提取工艺[J]. *食品工业科技*, 2009, 30(3):185-187.
MENG X J, ZHU J Y, SUN X Y, et al. Optimization of extraction process of blueberry polysaccharide by enzymatic method[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2009, 30(3):185-187.
- [48] 刘刚,马岩,孟宪军,等. 响应面法优化酶法提取蓝莓果汁工艺条件[J]. *食品科学*, 2013, 34(14):68-72.
LIU G, MA Y, MENG X J, et al. Optimization of enzymatic extraction of blueberry juice by response surface methodology[J]. *Food Science*, 2013, 34(14):68-72.
- [49] 张玉香,屈慧鸽,杨润亚,等. 响应面法优化蓝莓叶黄酮的微波提取工艺[J]. *食品科学*, 2010, 31(16):33-37.
ZHANG Y X, QU H G, YANG R Y, et al. Optimization of microwave extraction process of blueberry leaf flavonoids by response surface methodology[J]. *Food Science*, 2010, 31(16):33-37.
- [50] ELIK A, YANIK D K, GOGUS F. Optimization of microwave-assisted extraction of phenolics from blueberry[J]. *Romanian Biotechnological Letters*, 2019, 24(1):30-40.

Research Progress on Blueberry Processing Technology and Functional Components in Domestic and Abroad

LI Bin, XIE Xu, SUN Xiyun, TIAN Jinlong, WANG Yuehua, SHU Chi, MENG Xianjun*
(College of Food Science/National R&D Professional Center For Berry Processing /Key Laboratory of Healthy Foods Nutrition and Innovative Manufacturing of Liaoning Province, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110161, China)

Abstract: As a primary species belongs to the genus *Vaccinium*, blueberries are rich in phenolic compounds such as anthocyanins and flavonoids in addition to basic nutrients, which have important effects on reducing inflammatory reaction, preventing cancer, scavenging free radical and protecting eyesight. However, the perishable property of fresh blueberries has determined additional processing should to be done. Meanwhile, the properties of health care were contributed to increasing demand of customers for processed blueberries products. Application of advanced technologies contributed to retention of functional ingredients was the driving force for the development of blueberry industry. This paper summarized recent research progress in processing techniques and functional components of blueberry juice, blueberry wine, drying, and extraction of functional ingredients which might help build a theoretical basis for blueberries processing.

Keywords: blueberry; processing technology; functional components; drying technology; blueberry juice; blueberry wine

(责任编辑:李 宁)