不同解冻方式下的蓝莓品质的比较分析

陈晓维[1,2]，余元善[1]，徐玉娟[1]，吴继军[1]，肖更生[1]，邹波[1]

（1.广东省农业科学院蚕业与农产品加工研究所，农业部功能食品重点实验室，广东省农产品加工重点实验室，广东广州 510610）（2.仲恺农业工程学院轻工食品学院，广东广州 510631）

摘要：为了测定新鲜蓝莓与四种不同解冻方式（微波解冻、超声波解冻、温水浴解冻、自然解冻）的蓝莓其品质的差异，本研究以蓝莓为研究对象，通过对蓝莓的出汁率、pH、可滴定酸、可溶性固形物、粘度、水溶性果胶、花色苷、总酚、ORAC、PPO 和 POD 等指标含量的比较，得出蓝莓的较优解冻方式。研究结果表明，微波解冻的蓝莓 TSS、pH 和可滴定酸含量与新鲜蓝莓差异不显著，且单体花色苷检出数量最多（11 种），总花色苷含量最高（62.45 mg/100 g），表明微波解冻对蓝莓中花色苷的破坏作用最小；此外，微波解冻后蓝莓的总酚含量（2.27 mg/g）、抗氧化能力（46.88 μmol/g）最高，对营养成分的含量保存的最好；微波解冻后 PPO 酶含量（105.99 u/g·min）最低，POD 酶含量低于水浴解冻，不易被氧化褐变。综合比较分析：微波解冻优于其他三种解冻处理方式。

关键词：蓝莓；处理方式；出汁率；花色苷

文章篇号：1673-9078(2019)09-170-175 DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2019.9.021

Comparative Analysis of Blueberry Quality under Different Thawing Methods

CHEN Xiao-wei[1,2], YU Yuan-shan[1], XU Yu-juan[1], WU Ji-jun[1], XIAO Geng-sheng[1], ZOU Bo[1]

(1.Seri Cultural &Agri-Food Research Institute Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Key Laboratory of Functional Foods, Ministry of Agriculture, Guangdong Key Laboratory of Agricultural Products Processing, Guangzhou, 510610, China)

(2.Zhongkai University of Agriculture and Engineering of Light Industry Food Institute, Guangzhou 510631, China)

Abstract: In order to determine the differences in the quality between the fresh blueberries and the blueberries thawed by four different methods (microwaving, ultrasound, warm water bath, natural thawing), this study took blueberry as the research object and explored the best thawing method through the comparison of the juice yield, pH, titratable acid, soluble solids, viscosity, water-soluble pectin, anthocyanin, total phenol, ORAC, PPO and POD of blueberries. The results showed that the TSS, pH and titratable acid content of the blueberry thawed by microwaving were insignificantly different from those of the fresh blueberry, with the highest number (11 species) of monomeric anthocyanins and highest total anthocyanin content (62.45 mg/100 g). Microwave thawing exhibited the least damage to anthocyanins in blueberries and offered the greatest preservation on the nutrients, leading to the highest total phenolic content (2.27 mg/g) and antioxidant capacity (46.88 μmol/g) in the thawed blueberry. The thawed blueberries by microwaving had the lowest PPO content (105.99 u/g·min) and a lower POD content (compared to that in the blueberries thawed by warm water bath), thus, were not easily oxidized and browned. Accordingly, microwave thawing is superior to the other three thawing methods.

Key words: blueberry; treatment; juice yield; anthocyanin

蓝莓，又名越橘，属于杜鹃花科越桔属植物，果实呈蓝色，果肉细腻，果味酸甜，风味独特[1]。蓝莓果实含蛋白质、碳水化合物、维生素、花青素、多酚类等丰富的营养成分，被联合国粮农组织列为人类五大健康食品之一[2]。随着人们生活水平的提高和对蓝莓营养保健功效的认知，市场上消费者对新鲜蓝莓汁的需求越来越大。但蓝莓因其果皮薄且含水量高，成熟期集中于高温多雨季节（6~8 月），采后易受机械损伤和微生物侵染而腐烂变质，极不易贮藏，因而销量收到限制[3]。为保证蓝莓的品质，蓝莓采摘后通常需进行速冻后冷冻保藏，所以解冻是速冻蓝莓在食用前或进一步加工前的必须步骤[4]。

收稿日期：2018-12-03

基金项目：国家重点研发计划课题（2017YFD0400703）；广东省自然科学基金研究团队项目（2015A030312001）；广州市科技计划项目（201803020007）

作者简介：陈晓维（1993-），女，在读硕士研究生，研究方向：食品科学

通讯作者：余元善（1983-），男，副研究员，研究方向：食品发酵工程；共同通讯作者：徐玉娟（1974-），女，研究员，研究方向：农产品深加工

不同的解冻方法、解冻工艺和不良的解冻方法都会对蓝莓的组织结构和理化性质带来无法恢复的影响，如色泽变化、营养物质含量下降等，这会直接影响速冻蓝莓的品质。因此探究不同的解冻方式对速冻蓝莓品质的影响，以期找到较合适的解冻方法以最大程度地保证速冻蓝莓的品质[5]。目前对水果冷冻技术的研究较多，主要包括对水果冻结规律的研究、冻结工艺的研究和冷冻对品质的影响研究，而关于不同解冻方法对速冻水果品质影响的研究还很少[6]。章宁瑛等人[7]采用低温、常温、水浴、微波和超声波等五种不同的解冻方式解冻蓝莓，筛选出适宜的解冻方法。但目前对新鲜蓝莓和速冻蓝莓解冻方式间的对比研究，还鲜有报道。

本文以速冻蓝莓为原料，采用四种解冻方式（微波解冻、超声波解冻、水浴解冻、自然解冻）对速冻蓝莓进行解冻，比较新鲜蓝莓与不同解冻方式对蓝莓出汁率和蓝莓色泽、pH 值、可滴定酸、总花色苷、总酚、单体花色苷、多酚氧化酶（PPO）和过氧化物酶（POD）酶活性的差异，以期为实际生产提供一定的理论依据，为蓝莓汁的加工开发利用提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

蓝莓，购买于广东广州；Folin-Ciocalteu 试剂，上海源叶生物科技有限公司；焦性没食子酸、磷酸（色谱纯），天津市科密欧化学试剂有限公司；乙腈（色谱纯），美国 Tedia 公司；其他试剂均为国产分析纯。

1.2 仪器与设备

榨汁机，美的集团公司；DL-800B 智能超声清洗器，上海之信仪器有限公司；UV1800 型紫外可见分光光度计，日本岛津公司；PB-10 型 pH 计，Sartorius 公司；ZD-2 酸碱滴定仪，上海仪电科技股份有限公司；RP-101 折光仪，日本爱宕有限公司；Ultra Scan VIS 型全自动色差仪，美国 Hunter Lab 公司；Infinite M200PRO 酶标仪，瑞士 TECAN 公司；JW-1042 低速离心机，安徽嘉文仪器装备有限公司；HWS 电热恒温水浴锅，上海一恒科学仪器有限公司；AR 流变仪，美国 TA 公司；LC-20A 高效液相色谱仪，日本岛津公司。

1.3 实验方法

1.3.1 不同解冻方式解冻蓝莓

（1）微波解冻：称 100 g 蓝莓于烧杯中后置于微波炉中，解冻功率设置为 500 W。使用温度计测定蓝莓的中心温度，解冻终点为 4 ℃。

（2）超声波解冻：称 100 g 蓝莓于烧杯中后置于超声波仪器中，超声频率设置为 40 kHz。使用温度计测定蓝莓的中心温度，解冻终点为 4 ℃。

（3）水浴解冻：称 100 g 蓝莓于烧杯中后置于水浴锅中，水浴锅温度设置为 30℃，使用温度计测定蓝莓的中心温度，解冻终点为 4 ℃。

（4）自然解冻：又称为空气解冻，称 100 g 蓝莓于烧杯中后置于空气中，使用温度计测定蓝莓的中心温度，解冻终点为 4 ℃。

1.3.2 出汁率的测定

称取一定量（m_1）解冻后的蓝莓置于榨汁机中榨汁，过两层纱布，称量过滤后蓝莓汁的重量（m_2），计算解冻后榨汁过滤的重量与解冻后的重量的比值，得出蓝莓的出汁率，计算公式如下所示：

$$出汁率（\%）=\frac{m_2}{m_1}\times 100\%$$

1.3.3 可溶性固形物（TSS）、pH 和可滴定酸的测定

折光仪在 20 ℃下测量可溶性固形物（TSS）；pH 值用 pH 计直接测定；可滴定酸的测定：按照 GB/T 12456-2008《食品中总酸的测定》，采用滴定法测定，总酸度以柠檬酸计[8]。

1.3.4 色差的测定

采用色差仪（透视模式）测定不同解冻方式蓝莓汁样品的色泽（Hunter L、a 和 b 值表示），结果以总色差值ΔE 计[9]，计算公式如下所示：

$$\Delta E=\sqrt{(L-L_0)^2+(a-a_0)^2+(b-b_0)^2}$$

其中：ΔE 表示样品与空白之间的总色差，L_0、a_0、b_0 表示未冷冻蓝莓汁的 Hunter 参数；L、a、b 表示蓝莓汁的 Hunter 参数。

1.3.5 粘度和水溶性果胶的测定

采用 AR1500 型流变仪测定，选用 60 mm、20° 的锥板，测试类型为稳流模式，测试温度为 25 ℃，剪切速率范围为 0.1~100 s^{-1}，样品点为 30 个。样品粘度以 30 s^{-1} 剪切速率下表示，单位为 Pa·s^{-1}。

水溶性果胶采用咔唑硫酸法测定[10]。水溶性果胶的提取：取蓝莓 5 g 与 50 mL 95%乙醇混匀，沸水浴 30 min 后过滤，取残渣复溶于 30 mL 蒸馏水，50 ℃水浴 30 min，过滤，取上清液定容于 50 mL 容量瓶，待测。取样品 1 mL 于试管中，在冰水浴中加入四硼酸钠-硫酸溶液 5 mL，用漩涡混合器混匀，于沸水浴中加热 20 min，取出后立即冷却至室温，加 0.15%咔唑

溶液 0.5 mL，用旋涡混合器摇匀，在室温下保持 2 h，在波长 523 nm 下测定其吸光度。

1.3.6 总花色苷和单体花色苷的测定

总花色苷含量的测定采用 pH 示差法测定，参照 Giusti M[11]等的方法，取等体积待测样品，分别加入 0.25 mol/L 的 KCl（浓盐酸调至 pH 1.0）和 0.4 mol/L 的 CH_3COONa（浓盐酸调至 pH 4.5）溶液，混合均匀，室温避光放置 15 min，测定 510 nm 和 700 nm 处的吸光值。总花色苷含量用矢车菊素-3-葡萄糖苷表示，按如下公式计算：

最终吸光值 A=（A_{510}-A_{700}）pH 1.0-（A_{510}-A_{700}）pH 4.5

$$总花色苷含量(mg/g)=\frac{A\times M_w\times 稀释倍数\times 1000\times V}{\varepsilon\times 1\times m}$$

式中：M_W 为矢车菊素-3-葡萄糖苷的摩尔质量（449.2 g/mol）；ε 为矢车菊素-3-葡萄糖苷的平均摩尔消光系数（26900 L/(mol·cm)）；l 为 1 cm 光程比色皿；m 为蓝莓质量（g）。

单体花色苷采用高效液相色谱法测定。色谱柱：Wondasil C_{18} 柱（250×4.6 mm，5 μm，日本岛津）；流动相 A 为 4%的磷酸溶液，流动相 B 为乙腈。梯度洗脱程序如下：0~10 min，8% B；10~55 min，8%~18% B；55~55.01 min，18%~70% B；55.01~60 min，70% B，60~60.01 min，70%~8% B；60.01~66 min，8% B；每个样品之间平衡 10 min，进样量 10 μL，流速 1 mL/min，检测波长 520 nm，柱温 35 ℃。外标法定量分析单个花色苷的含量，称取一定量的标准品，分别用甲醇溶解，然后配置成混标，甲醇稀释至不同浓度，HPLC 分析，制作标曲，标曲浓度范围为 2.5~100 mg/L。

1.3.7 总酚和抗氧化力的测定

采用福林酚法测定[12]，结果以没食子酸当量表示。抗氧化能力以氧自由基吸收能力（Oxygen Radical Absorbance Capacity，ORAC）判断[13]。

1.3.8 多酚氧化酶和过氧化物酶的测定

提取酶液：量取 0.5 mL 果汁，加入 3.5 mL 配制好的含有 1% PVP 的预冷磷酸缓冲液（pH 6.8），混合均匀，于 10000 r/min 离心 10 min 左右，取上清液待测。PPO 活性采用邻苯二酚法测定[14]，POD 活性采用愈创木酚法测定[15]。

1.4 统计分析

所有的不同处理均重复三次，数据结果采用统计软件 SPSS 19.0 进行方差分析（Duncan's multiple range tests），数值以 mean±SD 表示，并用 Origin 8.5.1 软件制图。

2 结果与分析

2.1 不同处理方式对蓝莓出汁率的影响

图 1 是不同处理方式对蓝莓出汁率的影响，不同处理方式对蓝莓的出汁率有显著性差异（p<0.05）。其中，自然解冻的蓝莓出汁率最高，为 89.88%；新鲜蓝莓、微波解冻、超声波解冻和水浴解冻的蓝莓出汁率无显著性差异（p>0.05）。自然解冻的速冻蓝莓出汁率最高可能是由于在常温下进行，解冻时间较长，从而导致速冻蓝莓的出汁率较高[16]。

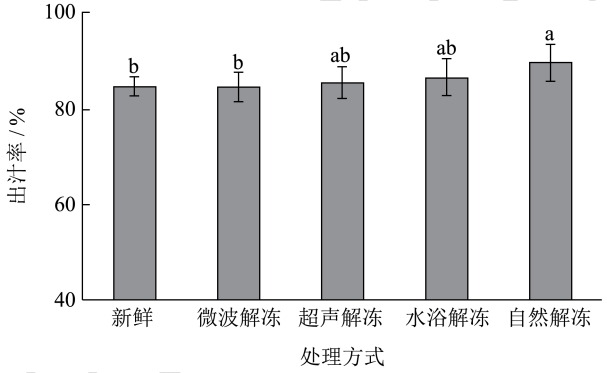


图 1 不同处理方式对蓝莓出汁率的影响

Fig.1 Effect of different treatments on juice yield of blueberry

注：同一字母表示无显著性差异（p>0.05），不同字母表示存在显著性差异（p<0.05）。

2.2 不同处理方式对蓝莓可溶性固形物（TSS）、pH 和可滴定酸的影响

表 1 不同处理方式对蓝莓可溶性固形物、pH 值和可滴定酸的影响

Table 1 Effect of different treatments on soluble solids, pH and titratable acid in blueberry

处理方式	TSS/°Brix	pH 值	可滴定酸/(mg/g)
新鲜蓝莓	11.72±0.01^{d}	3.51±0.02^{a}	5.48±0.16^{a}
微波解冻	12.47±0.01^{a}	3.49±0.02^{a}	5.52±0.04^{a}
超声波解冻	12.15±0.00^{b}	3.39±0.03^{b}	5.72±0.08^{b}
水浴解冻	11.83±0.03^{c}	3.36±0.02^{b}	5.78±0.08^{b}
自然解冻	12.12±0.01^{b}	3.31±0.01^{c}	6.07±0.04^{c}

注：同一字母表示无显著性差异（p>0.05），不同字母表示存在显著性差异（p<0.05）。下表同。

由表 1 可知，不同处理方式下的蓝莓可溶性固形物之间存在着显著性差异（p<0.05），其中微波解冻的蓝莓可溶性固形物最大（TSS 为 12.47），新鲜的蓝莓可溶性固形物最小（TSS 为 11.72）。在四种解冻方式中，微波解冻的蓝莓和新鲜蓝莓的 pH 值和可滴定酸

含量之间无显著性差异（p>0.05），超声波解冻、水浴解冻、自然解冻的速冻蓝莓可滴定酸含量均比鲜样高；其中自然解冻的蓝莓 pH 值最小，与之对应的，其可滴定酸含量最高，为 6.07 mg/g。可能是蓝莓解冻时间较长，柠檬酸合成酶活性升高所造成的反酸现象。

2.3 不同处理方式对蓝莓色差的影响

表 2 是不同处理方式对蓝莓色差的影响，不同处理方式下的蓝莓色泽变化存在显著性差异（p<0.05）。其中，微波解冻的蓝莓色泽变化最大，ΔE 为 1.93；水浴解冻的蓝莓色泽变化最小，ΔE 为 0.57，对蓝莓色泽的影响最小。从 L*值看，不同方式解冻后的蓝莓亮度都有所下降，这可能是由于蓝莓果皮有白色蜡质，速冻后的蓝莓果皮上会附着薄薄的冰霜，解冻时果皮受到热源的影响会出现水汽现象，导致部分白色果粉流失，造成蓝莓果汁亮度的下降。四种解冻方式的蓝莓 a*值均比新鲜蓝莓的 a*值小，这可能是在解冻过程中蓝莓果皮发生变化。微波解冻的 b*值均比新鲜蓝莓和其他三种解冻方式的 b*值小，这可能是微波解冻温度较高，使蓝莓果皮的蓝色素溶出所致。综上所述，不同解冻方式对速冻蓝莓色泽影响较小，仍能保持较好的色泽。

表 2 不同处理方式对蓝莓色差的影响

Table 2 Effect of different treatment methods on color difference of blueberry

处理方式	L*	a*	b*	ΔE
新鲜蓝莓	24.99±0.09^{a}	4.30±0.10^{a}	0.18±0.11^{b}	-
微波解冻	23.41±0.25^{c}	3.23±0.02^{d}	-0.09±0.09^{c}	1.93±0.18^{a}
超声波解冻	24.27±0.30^{b}	4.06±0.11^{c}	0.31±0.06^{a}	0.79±0.32^{b}
水浴解冻	24.44±0.05^{ab}	4.19±0.04^{b}	0.13±0.01^{b}	0.57±0.05^{b}
自然解冻	23.84±0.68^{bc}	3.05±0.04^{e}	0.07±0.13^{b}	1.79±0.40^{a}

2.4 不同处理方式对蓝莓粘度和水溶性果胶含量的影响

蓝莓经不同方式解冻后与新鲜蓝莓相比，不同处理方式的蓝莓之间的粘度和水溶性果胶含量均存在显著性差异（p<0.05），如表 3 所示。其中，微波解冻的蓝莓水溶性果胶含量最大，为 12.38 mg/g；自然解冻的蓝莓水溶性果胶最小，只有 9.85 mg/g；研究表明粘度的大小与果胶含量呈一定的正相关[17]，所以相对应的，微波解冻的蓝莓粘度最大，为 9.08 MPa·s；自然解冻的蓝莓粘度最小，为 2.91 MPa·s。微波解冻的蓝莓粘度最大这可能是由于解冻过程中加热导致蓝莓中的水溶性果胶的溶出。

表 3 不同处理方式对蓝莓粘度和水溶性果胶含量的影响

Table 3 Effect of different treatment methods on vscosity and water-soluble pectin content of blueberry

处理方式	粘度/(MPa·s)	水溶性果胶/(mg/g)
新鲜蓝莓	3.09±0.03^{c}	10.44±0.18^{b}
微波解冻	9.08±0.43^{a}	12.38±0.47^{a}
超声波解冻	6.30±0.02^{b}	12.01±0.76^{ab}
水浴解冻	6.34±0.11^{b}	12.11±0.24^{ab}
自然解冻	2.91±0.46^{c}	9.85±0.35^{c}

2.5 不同处理方式对蓝莓总花色苷和单体花色苷含量的影响

图 2 是不同处理方式对蓝莓总花色苷含量的影响，如图 2 所示，不同处理方式之间的蓝莓总花色苷含量之间存在着显著性差异（p<0.05）。与新鲜蓝莓相比，经四种解冻方式解冻后的蓝莓总花色苷的含量均有所下降，其中微波解冻、超声波解冻和自然解冻的蓝莓总花色苷含量无显著性差异（p>0.05），水浴解冻的总花色苷含量最低。综合比较分析，不同解冻方式对蓝莓的总花色苷含量都一定的破坏作用，但影响不大，均能较好的保持蓝莓的总花色苷含量。

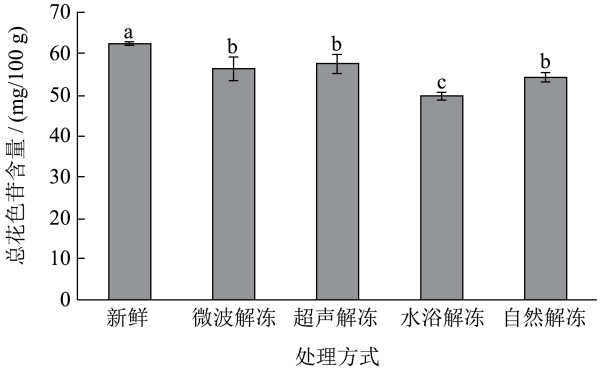


图 2 不同处理方式对蓝莓总花色苷含量的影响

Fig.2 Effects of different treatments on the content of anthocyaninsin blueberry

从表 4 可以看出，不同处理方式之间的蓝莓单体花色苷的含量同样存在显著性差异（p<0.05）。

表 4 不同处理方式对蓝莓单体花色苷含量的影响

Table 4 Effects of different treatments on the content of monomeric anthocyanins in blueberry

蓝莓花色苷类型/(mg/g)	处理方式				
	新鲜蓝莓	微波解冻	超声波解冻	水浴解冻	自然解冻
飞燕草素半乳糖苷	1.73±0.12^{a}	1.52±0.17^{ab}	0.99±0.11^{c}	1.19±0.21^{bc}	1.65±0.35^{a}
飞燕草素葡糖苷	1.31±0.29^{a}	1.27±0.24^{a}	-	-	-
矢车菊素半乳糖苷	1.53±0.07^{a}	1.03±0.08^{c}	0.87±0.06^{cd}	0.71±0.07^{d}	1.30±0.18^{b}
矢车菊素葡糖苷	1.14±0.21^{b}	1.79±0.32^{a}	0.68±0.05^{c}	1.04±0.08^{bc}	1.41±0.21^{b}
矮牵牛花半乳糖苷	1.65±0.23^{b}	0.69±0.47^{a}	1.62±0.13^{b}	1.58±0.15^{b}	2.51±0.43^{c}
矢车菊素阿拉伯糖苷	0.90±0.19^{a}	0.86±0.22^{a}	0.47±0.03^{b}	0.51±0.01^{b}	0.80±0.04^{a}
芍药素半乳糖苷	1.73±0.15^{a}	1.09±0.25^{b}	0.57±0.03^{c}	0.49±0.01^{c}	0.87±0.06^{b}
矮牵牛花阿拉伯糖苷	16.81±0.67^{a}	16.72±1.38^{a}	10.90±0.48^{b}	9.42±1.23^{b}	16.79±2.33^{a}
锦葵素半乳糖苷	0.61±0.09^{a}	0.58±0.09^{ab}	0.36±0.05^{c}	0.42±0.01^{bc}	0.54±0.13^{ab}
锦葵素葡糖苷	0.58±0.09	0.54±0.04^{a}	-	-	0.51±0.02^{a}
锦葵素阿拉伯糖苷	8.05±0.72^{a}	8.35±1.16^{a}	5.61±1.89^{ab}	5.74±1.79^{ab}	8.59±1.94^{a}

五种不同处理方式共检测出 11 种单体花色苷，其中矮牵牛花阿拉伯糖苷含量最高，锦葵素半乳糖苷和锦葵素葡糖苷的含量最低。微波解冻的蓝莓和新鲜蓝莓均检出 11 种单体花色苷；其次是自然解冻的蓝莓检出 10 种单体花色苷，飞燕草素葡糖苷未检出；超声波解冻和水浴解冻的蓝莓检出的单体花色苷种类最少，只有 9 种，飞燕草素葡糖苷和锦葵素葡糖苷未检出；说明微波解冻的蓝莓花色苷与新鲜蓝莓的最接近、保留量较好。

2.6 不同处理方式对蓝莓总酚和 ORAC 的影响

表 5 不同处理方式对蓝莓总酚和 ORAC 的影响

Table 5 Effect of different treatments on total phenol and ORAC of blueberry

处理方式	总酚/(mg/g)	ORAC/(μmol/g)
新鲜蓝莓	1.96±0.03^{d}	38.06±0.14^{c}
微波解冻	2.27±0.02^{a}	46.88±1.28^{a}
超声波解冻	2.01±0.01^{c}	41.21±1.25^{b}
水浴解冻	2.22±0.01^{b}	43.60±1.03^{b}
自然解冻	2.23±0.04^{ab}	45.31±3.17^{ab}

不同处理方式对蓝莓总酚含量和 ORAC 的结果见表 5。由表 5 可知，新鲜蓝莓的总酚含量比四种解冻方式解冻的蓝莓的总酚含量均低，这可能是由于蓝莓速冻后解冻更有利于蓝莓果皮中总酚的溶出，抗氧化能力和总酚含量是正相关的[2,18]，所以新鲜蓝莓的 ORAC 抗氧化能力最弱；四种解冻方式中，微波解冻的总酚含量和 ORAC 含量最高，分别为 2.27 mg/g 和 46.88 μmol/g。

2.7 不同处理方式对蓝莓 PPO 和 POD 活性的影响

如表 6 所示，不同处理方式对蓝莓的多酚氧化酶的活性存在显著性差异（p<0.05），其中新鲜蓝莓和自然解冻的蓝莓 PPO 活性最大，水浴解冻和超声波解冻的蓝莓 PPO 活性次之；微波解冻的蓝莓 PPO 活性最小；说明微波解冻可以使蓝莓的部分 PPO 失去活性的能力最强，更有利于蓝莓的实际生产。不同处理方式对蓝莓的过氧化物酶的活性同样存在显著性差异（p<0.05），其中新鲜蓝莓的 POD 酶活性比四种解冻方式处理的速冻蓝莓酶活性都大，而且四种解冻处理中，微波解冻、超声波解冻和自然解冻 POD 酶活性之间无显著性差异（p>0.05），均小于水浴解冻的 POD 酶活性，因此微波解冻、超声波解冻和自然解冻的蓝莓更有利于实际生产。

表 6 不同处理方式对蓝莓 PPO 和 POD 活性的影响

Table 6 Effect of different treatments on PPO and POD activities of blueberry

处理方式	PPO/(U/g·min)	POD/(U/g·min)
新鲜蓝莓	135.50±1.50^{a}	143.00±3.50^{a}
微波解冻	105.99±5.00^{c}	69.50±2.50^{c}
超声波解冻	106.00±2.00^{c}	57.00±1.00^{d}
水浴解冻	121.00±2.00^{b}	87.50±3.50^{b}
自然解冻	135.50±4.50^{a}	54.50±1.50^{d}

3 结论

本实验通过研究新鲜蓝莓和不同解冻方式的速冻蓝莓之间出汁率和理化性质（总酚、花色苷、抗氧化

能力等）来比较新鲜蓝莓与速冻蓝莓之间的差异。研究结果表明，与新鲜蓝莓相比，不同解冻方式对蓝莓的理化性质影响也有所不同。4 种解冻方式中，水浴解冻过程中温度高，故蓝莓果实硬度特性差，出汁率高，蓝莓可溶性固形物含量显著低于其他三种解冻方式，且导致蓝莓的活性成分降低的最多；超声波解冻的蓝莓由于解冻过程中温度较高，总酚含量最低；水浴和超声波解冻的蓝莓由于解冻过程中温度较高，单体花色苷只能检出 9 种；微波解冻的蓝莓粘度和水溶性果胶含量最高，易导致出汁率下降，但与其他三种解冻方式相比，微波解冻的蓝莓可滴定酸、可溶性固形物、花色苷、总酚和抗氧化能力保持最好，PPO 和 POD 酶活性也较低，是作为速冻蓝莓加工过程中较合适的解冻方法。

参考文献

[1] 李殿鑫,戴远威,陈伟,等.蓝莓的营养价值及保健功能研究进展[J].农产品加工,2018,4:69-70,74
LI Dian-xin, DAI Yuan-wei, CHEN Wei, et al. Research progress on nutritional value and health care function of blueberry [J]. Farm Products Processing,2018, 4: 69-70, 74

[2] 顾姻,贺善安.蓝浆果与蔓越橘[M].北京:中国农业出版社, 2001:1-6
GU Ying, HE Shan-an. Blueberry and Cranberry [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2001:1-6

[3] 郑秀艳,孟繁博,黄道梅,等.蓝莓采后贮藏保鲜技术研究进展[J].食品安全质量检测报,2016,7(9):3560-3565
ZHENG Xiu-yan, MENG Fan-bo, HUANG Dao-mei, et al. Research progress on postharvest storage and preservation technology of blueberry [J]. Journal of Food Safety and Quality, 2016, 7(9): 3560-3565

[4] 冯晚平,胡娟.冷冻食品解冻技术研究进展[J].农机化研究,2011,33(10):249-252
FENG Wan-ping, HU Juan. Research progress in thawing technology of frozen foods [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2011, 33(10): 249-252

[5] Michiko F, Ai T, Yuri J. Texture and structure of pressure-shift-frozen agar gel with high visco-elasticity [J]. Food Hydrocolloids, 2006, 20: 160-169

[6] Min Z，Zhen H D，Jian F Z. Effects of freezing conditions on quality of areca fruits [J]. Journal of Food Engineering, 2004, 61: 393-397

[7] 章宁瑛,郜海燕,陈杭君,等.不同解冻方式对速冻蓝莓果实品质的影响[J].食品工业科技,2017,38(7):320-324,339
ZHANG Ning-Ying, GAO Hai-yan, CHEN Hang-jun, et al. Effect of different thawing methods on quality of frozen blueberries [J]. Science and Technology of Food Industry, 2017, 38(7): 320-324, 339

[8] GB/T 12456-2008:食品中总酸的测定[S]
GB/T 12456-2008: Determination of Total Acids in Foods [S]

[9] Holcroft D M, Kader A A. Controlled atmosphere-induced changes in pH and organic acid metabolism may affect color of stored strawberry fruit [J]. Postharvest Biology and Technology, 1999, 17(36): 19-32

[10] 陶阿丽,张国升.咔唑硫酸比色法测定皖南山区豆腐柴叶中果胶含量的研究[J].赤峰学院学报(自然科学版),2012,28(21):108-110
TAO A-Li, ZHANG Guo-sheng. Study on the determination of pectin content in the leaves of bean curd in the mountain area of southern Anhui province by carbazole sulfuric acid colorimetric method [J]. Journal of Chifeng College(Natural Science), 2012, 28(21): 108-110

[11] Giusti M M, Wrolstad R E. Characterization and Measurement of Anthocyanins by UV-Visible Spectroscopy [M]. Current Protocols in Food Analytical Chemistry, 2001

[12] Yu Y, Xu Y, Wu J, et al. Effect of ultra-high pressure homogenisation processing on phenolic compounds, antioxidant capacity and anti-glucosidase of mulberry juice [J]. Food Chemistry, 2014, 153: 114-120

[13] Steed L E, Truong V D. Anthocyanin content, antioxidant activity, and selected physical properties of flowable purple-fleshed sweet potato purees [J]. Journal of Food Science, 2008, 73(5): S215-221

[14] 黄赫雁,韩春然,李煜,等.香菇多酚氧化酶活性测定方法的改进[J].农产品加工,2016,21:32-37
HUANG He-yan, HAN Chun-ran, Li Yu, et al. Improvement of determination method of polyphenol oxidase activity in shiitake mushroom [J]. Farm Products Processing, 2016, 21: 32-37

[15] 陈育红.大豆种皮过氧化物酶活力的测定方法[J].农产品加工(学刊),2013,5:64-65,83
Chen Yu-hong. Determination of peroxidase activity in soybean seeds [J]. Journal of Agricultural Products Processing, 2013, 5: 64-65, 83

[16] 马燕,田少君.微波技术在食品解冻中的研究进展[J].粮食与食品工业,2014,21(6):35-38,42
MA Yan, TIAN Shao-jun. Research progress of microwave technology in food thawing [J]. Cereal & Food Industry, 2014, 21(6): 35-38, 42

（下转第 139 页）