

复合酶酶解对蓝莓出汁率及总抗氧化能力的影响

仇小妹^{1,2}, 王 英¹, 董明盛², 周剑忠^{1,*}

(1.江苏省农业科学研究院农产品加工研究所, 江苏 南京 210014; 2.南京农业大学食品科技学院, 江苏 南京 210095)

摘 要:以蓝莓为材料,通过单因素试验及正交试验,研究复合酶酶解工艺条件对蓝莓出汁率的影响,并分析酶解蓝莓果汁的抗氧化能力。结果表明:最佳酶解条件为果胶酶和复合果浆酶复配比1:1、酶质量浓度6g/L、酶解温度45℃、酶解时间3.5h,此时出汁率达(72.51±1.51)%,比不加酶提高了(77.18±1.64)%,总抗氧化能力(T-AOC)达(224.07±3.26)U/mL,比未经酶处理蓝莓原汁提高了(96.45±2.51)%。经酶解后的蓝莓果汁中花色苷含量达到(753.92±10.41)mg/L,较未经酶处理蓝莓原汁中花色苷含量提高了(2.40±0.15)倍;总酚含量达到(2649.77±70.40)mg/L,较未经酶处理蓝莓原汁中总酚含量提高了(75.66±5.31)%。因此,复合酶酶解工艺能获得高抗氧化能力的蓝莓果汁。

关键词:蓝莓;酶解;总抗氧化能力;花色苷;总酚

Effect of Enzymatic Hydrolysis on Juice Yield and Total Antioxidant Capacity in Blueberry

QIU Xiao-mei^{1,2}, WANG Ying¹, DONG Ming-sheng², ZHOU Jian-zhong^{1,*}

(1. The Research Institute of Agricultural Product Processing, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China;
2. College of Food Science and Engineering, Nanjing Agriculture University, Nanjing 210095, China)

Abstract: The effects of separate and combined use of pectinase and fruit pulp-hydrolyzing enzyme, a commercial composite enzyme preparation, total enzyme concentration, hydrolysis time and temperature on fruit yield and total antioxidant capacity (T-AOC) of blueberry juice were studied by using one-factor-at-a-time and orthogonal array design methods. The optimal conditions for enzymatic hydrolysis of blueberry pulp were found as follows: ratio of pectinase to fruit pulp-hydrolyzing enzyme of 1:1, total enzyme concentration of 6 g/L, 45 °C and 3.5 h. The yield of juice obtained under these conditions was (72.51 ± 1.51)%, which is (77.18 ± 1.64)% higher than that observed without the enzymatic treatment, and the T-AOC of the resulting juice was (224.07 ± 3.26) U/mL, which is (96.45 ± 2.51)% higher than that of native blueberry juice without the enzymatic treatment. In addition, the juice obtained from the enzymatic treatment contained (753.92 ± 10.41) mg/L anthocyanins and (2649.77 ± 70.40) mg/L total phenols, showing an increase by (2.40 ± 0.15)-fold and (75.66 ± 5.31)% over the native counterpart, respectively. Therefore, a high antioxidant capacity of blueberry juice was achieved.

Key words: blueberry; enzymatic hydrolysis; total antioxidant capacity (T-AOC); anthocyanins; total phenols

中图分类号: TS255.1

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630(2013)24-0025-05

doi:10.7506/spkx1002-6630-201324005

蓝莓(blueberry)又名越橘,为杜鹃花科(Ericaceae)越橘属(*Vaccinium* spp.)多年生落叶或常绿灌木。蓝莓鲜果中不仅含有蛋白质、脂肪、碳水化合物、超氧化物歧化酶(SOD)等营养和功效成分,而且还含有丰富的VA、VE、VC和烟酸等维生素以及镁、锌、铁、铬等微量元素;此外富含天然酚类活性物质成分,具有抗氧化、清除自由基等功能^[1-5]。蓝莓为暗紫色浆果,其花青素被认为是自然界最有效的抗氧化剂,清除自由基能力远高于其他水果,对缓解视疲劳具有显著功效^[6]。蓝莓除少量作鲜果食

用外,大量加工成各种产品。美国、加拿大等发达国家主要将蓝莓加工成果酱、果酒、果汁、干果等;日本主要是提取蓝莓中的营养色素花色苷,制成保健品或添加到药物制剂中,如现已上市的“美目蓝莓素”就是一种预防近视、减缓视力疲劳的保健食品,它利用蓝莓花色苷能够活化和促进视红素的再合成作用,从而改善人眼视觉的敏锐程度,加快对黑暗环境的适应^[7-10]。花色苷是花青素与糖以糖苷键结合而成的一类化合物,具有很强的抗氧化活性和清除自由基等作用^[11-13]。蓝莓浆果打汁酶

收稿日期: 2012-12-17

基金项目: 江苏省农业自主创新项目[cx(11)2066]

作者简介: 仇小妹(1989—),女,硕士研究生,研究方向为食品生物技术。E-mail: qiuxiaomei.789@163.com

*通信作者: 周剑忠(1965—),男,研究员,博士,研究方向为食品生物技术。E-mail: zjzluck@yahoo.com.cn

解过程中,由于花色苷及总酚溶出率的变化,总抗氧化能力也受到影[11]。酶解法是利用纤维素酶、果胶酶等破坏植物的细胞壁,以利于有效成分最大限度溶出的一种方法,因其处理条件温和,营养素损失小,在果汁和果酒加工领域备受关注[14]。本研究针对蓝莓果中花色苷和总酚主要存在于种皮中的特点,采用复合酶法促进蓝莓果浆中花色苷与总酚的溶出,在得到较高出汁率的同时,提高了果汁的总抗氧化能力。以期为提高蓝莓果汁的营养价值提供重要的理论参考,同时也是对高抗氧化能力的果汁生产工艺的有益探索。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

‘兔眼’蓝莓,含水量(89.50±0.67)%,果实直径(1.34±0.08)cm,质量(0.98±0.03)g/个,-20℃冷藏,采自江苏溧水蓝莓基地;果胶酶、复合果浆酶(酶活≥35000U/g)济宁和美生物工程有限公司;总抗氧化测定试剂盒 南京建成生物有限公司。

1.2 仪器与设备

电子分析天平 浙江凯丰集团有限公司;超级水浴锅 常州国华电器有限公司;榨汁机 美的集团;TGL-16C 台式离心机 上海安亭科学仪器厂;可见分光光度计(723型) 上海精密科学仪器有限公司;SevenEasy plus pH仪 梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司。

1.3 方法

1.3.1 蓝莓原汁的制备

定量称取于-20℃的条件下冷藏的蓝莓,4℃低温解冻后,清洗,用榨汁机破碎得到蓝莓原果浆。将原果浆分别采用4层纱布过滤1次,然后转速3500r/min离心30min,收集上清液即为蓝莓原汁。按式(1)计算原汁出汁率,并测定总抗氧化能力、花色苷含量及总酚含量。

$$\text{出汁率}/\% = \frac{\text{蓝莓汁质量/g}}{\text{蓝莓果实质量/g}} \times 100 \quad (1)$$

1.3.2 果胶酶与复合果浆酶对蓝莓出汁率及总抗氧化能力的影响

分别取3份200mL用榨汁机破碎的蓝莓果浆于500mL烧杯中,分别加入质量浓度5g/L果胶酶、2.5g/L果胶酶和2.5g/L复合果浆酶、5g/L复合果浆酶,自然pH值条件下,40℃水浴酶解3h,酶解后过滤离心,计算滤液的出汁率及总抗氧化能力。

1.3.3 酶解条件对蓝莓出汁率及总抗氧化能力的影响

1.3.3.1 酶质量浓度

蓝莓低温(4℃)解冻后,选择颗粒饱满的蓝莓,清洗榨汁后,果胶酶和复合果浆酶按1:1加入,设定酶总质量浓度总为4、5、6、7g/L,自然pH值条件下,40℃水浴酶解3h后,测定不同酶质量浓度处理的蓝莓出汁率及总抗氧化能力,以期确定最适酶质量浓度。

1.3.3.2 酶解时间

蓝莓低温(4℃)解冻后,选择颗粒饱满的蓝莓,清洗榨汁后,果胶酶和复合果浆酶按1:1加入,酶总质量浓度为6g/L、自然pH值条件下40℃水浴酶解,设定酶解时间为2.5、3.0、3.5、4.0h,到设定酶解时间后,测定各处理的蓝莓出汁率及总抗氧化能力,以期确定最适酶解时间。

1.3.3.3 酶解温度

蓝莓低温(4℃)解冻后,选择颗粒饱满的蓝莓,清洗榨汁后,果胶酶和复合果浆酶按1:1加入,酶总质量浓度为6g/L,自然pH值条件下设定酶解温度为35、40、45、50℃,酶解3h后,测定不同酶解温度处理的蓝莓出汁率及总抗氧化能力,以期确定最适酶解温度。

1.3.4 正交试验优化酶解条件

根据果胶酶特性,在相同pH值条件下,酶质量浓度、酶解时间和酶解温度对出汁率影响较大,考虑到原料蓝莓果汁的pH值处于酿造发酵果酒的适宜pH值范围,以原料蓝莓果汁的自然pH值为基础,选用 $L_9(3^3)$ 正交试验设计试验,按表1设计考查酶质量浓度、酶解时间、酶解温度3个因素对蓝莓果出汁率及总抗氧化能力的影响,以确定最佳酶解条件。采用最佳酶解条件酶解得到蓝莓汁,并计算出汁率、总抗氧化能力、花色苷含量及总酚含量。

表1 酶解正交试验设计 $L_9(3^3)$ 因素水平表
Table 1 Factors and levels used in $L_9(3^3)$ orthogonal array design for hydrolysis conditions

水平	因素		
	A酶质量浓度/(g/L)	B酶解时间/h	C酶解温度/℃
1	4	3.0	40
2	5	3.5	45
3	6	4.0	50

1.3.5 指标测定

1.3.5.1 总抗氧化能力的测定

按试剂盒说明书上方法测定总抗氧化能力。1)取两支试管,分别标记为测试管 and 对照管;2)分别向两管中加入1mL试剂1,在测试管中加入0.1mL样品;3)分别向两管中加入2mL试剂2和0.5mL试剂3应用液,加完后用漩涡混匀器充分混匀,37℃水浴30min;4)分别向两管中各加入0.1mL试剂4,在对照管中加入0.1mL样品;5)最后混匀,放置10min,蒸馏水调零1cm光径,520nm波长处测各管吸光度(A)。定义:在37℃时,每分钟每毫升样品使反应体系的吸光度(A)每增加0.01时,为一个总抗氧化能力单位(U),则总抗氧化能力按式(2)计算:

$$\text{总抗氧化能力}/(\text{U/mL}) = \frac{A_u - A_c}{0.01 \times 30} \times N \times n \quad (2)$$

式中: A_u 为测定管吸光度; A_c 为对照管吸光度; N 为反应体系稀释倍数(反应液总体积/取样量); n 为样本测试前稀释倍数。

1.3.5.2 蓝莓果汁花色苷含量的测定^[15-16]

取2个10mL容量瓶各加入1mL蓝莓原料提取液(或果汁), 分别用pH1.0缓冲液(0.2mol/L KCl-0.2mol/L HCl, 25:67, V/V)和pH4.5的缓冲液(1mol/L NaAc-1mol/L HCl-H₂O, 100:60:90, V/V)定容至10mL, 在冰箱中放置2h, 分别在波长520、700nm处测吸光度。总花色苷含量按式(3)计算, 结果以矢车菊色素-3-葡萄糖苷计。

$$\text{花色苷含量}/(\text{mg/L}) = \frac{\Delta A \times M_r \times \text{DF} \times 1000}{\epsilon \times 1} \quad (3)$$

式中: $\Delta A = (A_{520\text{nm}} - A_{700\text{nm}})_{\text{pH}1.0} - (A_{520\text{nm}} - A_{700\text{nm}})_{\text{pH}4.5}$; M_r 为矢车菊色素-3-葡萄糖苷的相对分子质量, 449.2; DF为稀释倍数, 10; ϵ 为矢车菊色素-3-葡萄糖苷的摩尔消光系数, 26900; 1为比色皿的光程长度。

1.3.5.3 蓝莓果汁总酚含量的测定

绘制标准曲线^[17]: 配制质量浓度0、50、100、150、250、500mg/L的没食子酸溶液, 分别取1mL溶液置于100mL棕色容量瓶中, 加入60mL去离子水和5mL Folin-Ciocalteu试剂, 摇匀在0.5~8min内加入体积分数20% Na₂CO₃溶液15mL, 摇匀, 用去离子水定容至100mL, 20~30℃暗处放置2h, 在波长765nm处测吸光度。以没食子酸溶液质量浓度(mg/L)为横坐标, 吸光度为纵坐标, 绘制标准曲线。得到的总酚标准曲线为: $y = 0.001x + 0.097$, $R^2 = 0.998$ 。

将果汁稀释至一定质量浓度, 取1mL进行Folin-Ciocalteu法^[15]比色, 用测得样品的吸光度, 根据标准曲线求出样品中总酚含量, 需要乘其稀释倍数。

1.4 数据处理

所有的测试都平行测量3次, 数据采用平均值±标准差。相关性与显著性差异采用SPSS 16.0统计软件进行分析。

2 结果与分析

2.1 蓝莓原汁出汁率、总抗氧化能力及花色苷、总酚含量

蓝莓低温(4℃)解冻后打浆, 不经过酶解, 采用4层纱布过滤1次, 然后转速3500r/min离心30min, 收集上清液得到蓝莓原汁, 计算出汁率为(40.93±1.23)%, 总抗氧化能力为(114.08±3.12)U/mL, 花色苷含量为(219.53±12.19)mg/L, 总酚含量为(1510.74±87.10)mg/L。

2.2 果胶酶和复合果浆酶对蓝莓出汁率及总抗氧化能力的影响

酶解技术一般采用的商品酶制剂, 主要含有果胶酶、纤维素酶和半纤维素酶等活力^[14]。由于花色苷存在于细胞内或吸附在由纤维素组成的细胞壁上, 常规方法提取花色苷很难获得较高的提取率。纤维素酶、果胶酶可以对纤维素和果胶进行降解, 使细胞壁破坏, 花色苷可得到充分释放^[18-19]。本研究所用的复合果浆酶, 是果胶酶与

纤维素酶的复合固体酶制剂, 并含一定的半纤维素酶、β-葡聚糖酶酶活。单一的某一种酶, 酶解效果都不如复合酶。

表2 果胶酶和复合果浆酶解得到蓝莓汁的出汁率及总抗氧化能力
Table 2 Effect of separate and combined use of pectinase and fruit pulp-hydrolyzing enzyme on juice yield and T-AOC

果胶酶质量浓度/(g/L)	复合果浆酶质量浓度/(g/L)	出汁率/%	总抗氧化能力/(U/mL)
5.0	0.0	58.51±0.02 ^b	176.95±3.35 ^b
2.5	2.5	68.82±0.18 ^a	202.37±4.21 ^a
0.0	5.0	57.07±0.21 ^c	167.63±5.87 ^c

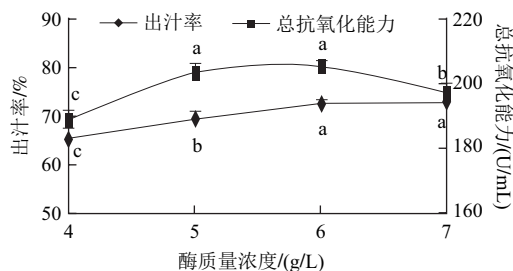
注: 同列肩标字母不同表示差异显著($P < 0.05$)。

由表2可知, 果胶酶和复合果浆酶对蓝莓酶解均有较好的效果, 当果胶酶和复合果浆酶按1:1组合酶解时, 出汁率较单一的酶解均有明显提高。结合总抗氧化能力考虑, 选择果胶酶和复合果浆酶按1:1复合酶解。

2.3 酶解条件对蓝莓出汁率、总抗氧化能力的影响

2.3.1 酶质量浓度

蓝莓低温解冻后, 选择颗粒饱满的蓝莓, 清洗榨汁后, 40℃、自然pH值条件下进行酶解, 酶添加量对蓝莓出汁率及总抗氧化能力影响结果见图2。



同指标不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。下同。

图1 酶添加量对出汁率及总抗氧化能力的影响

Fig.1 Effect of enzyme dosage on juice yield and T-AOC

由图1可知, 果胶酶和复合果浆酶按1:1比例添加, 总添加量在4~6g/L之间时, 随着酶质量浓度的增加, 出汁率逐渐提高; 果胶酶与纤维素酶可以对纤维素和果胶进行降解, 使细胞壁破坏, 花色苷可得到充分释放^[17], 进而蓝莓汁的抗氧化能力随之升高。但超过6g/L时, 出汁率不再提高, 而总抗氧化能力出现下降趋势。当达到最佳值时, 酶的质量浓度达到饱和状态, 酶解反应彻底, 出汁率不再提高, 花色苷和总酚溶出率也不再提高; 但是当酶添加量超过最佳值, 酶与底物接触面积过剩, 多余的酶可能与抗氧化物质反应, 导致总抗氧化能力下降。酶质量浓度4g/L时出汁率与5、6、7g/L相比, 差异极显著($P < 0.01$), 酶质量浓度为6~7g/L时, 出汁率差异不显著; 酶质量浓度4g/L时总抗氧化能力与5、6g/L相比, 差异显著($P < 0.05$), 而5g/L与6g/L条件下, 总抗氧化能力差异不显著。故5~6g/L为最适质量浓度。

2.3.2 酶解时间

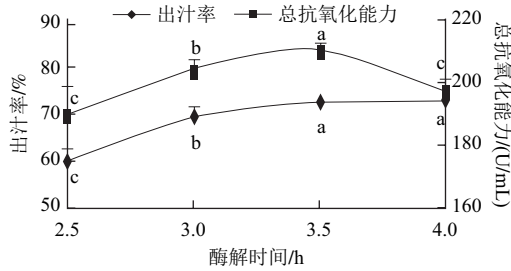


图2 酶解时间对出汁率及总抗氧化能力的影响
Fig.2 Effect of hydrolysis time on juice yield and T-AOC

酶解是需要一定时间的, 一般来说, 酶解时间越长, 出汁率越高。但是超过一定时间以后, 其增长幅度不大^[20-23]。由图2可知, 在2.5~4.0h, 随着酶解时间的延长, 酶活力可以得到充分发挥, 酶解进行的较完全, 出汁率随之提高; 但超过3.0h总抗氧化能力呈略下降趋势, 这可能是因为随着时间的延长, 具有抗氧化能力的花色苷与总酚溶出在一定时间后已达到最大值; 而随着浸提的时间延长, 由于具有抗氧化能力的物质的不稳定性使之氧化程度也变高, 降低总抗氧化能力^[24]。酶解时间为3.5h时出汁率与抗氧化能力, 与3.0h相比, 差异显著, 与2.5h相比, 差异极显著($P<0.01$); 酶解时间为4.0h时, 出汁率与3.5h相比, 差异不显著, 但总抗氧化能力与3.5h相比, 差异极显著($P<0.01$)。所以酶解时间在3.5h, 果汁的出汁率和总抗氧化能力均能保持在较高水平。

2.3.3 酶解温度

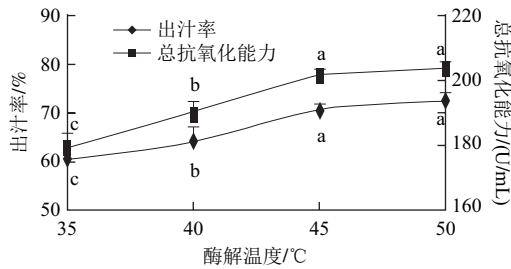


图3 酶解温度对出汁率及总抗氧化能力的影响
Fig.3 Effect of hydrolysis temperature on juice yield and T-AOC

酶解温度是影响反应速度最主要的因素之一, 酶促反应更是如此。从图3可知, 在35~50℃之间, 随着酶解温度升高, 出汁率逐渐提高; 蓝莓果中的花色苷和酚类物质溶出率增加, 总抗氧化能力也随之提高。温度从两方面影响酶解反应速度。首先升高温度增加底物分子热能, 增加反应速率; 另一方面, 随温度升高而使酶逐步变性。果胶酶的作用温度一般为25~50℃, 在此范围内每增高10℃, 其活性增加一倍; 当温度在55℃以上时, 温度过高, 后一种效应为主, 酶活降低^[25]。温度为45、50℃时, 出汁率与总抗氧化能力无显著差异, 但对于温

度35、40℃时出汁率和总抗氧化能力差异显著。因此最佳酶解温度一般在45~50℃。

2.4 正交试验优化酶解条件

表3 正交试验设计及结果
Table 3 Orthogonal array design and results

试验号	A	B	C	出汁率/%	总抗氧化能力/(U/mL)
1	1	1	1	62.43±0.66	189.99±1.99
2	1	2	2	69.13±1.27	217.37±2.86
3	1	3	3	70.08±0.58	166.95±1.62
4	2	1	3	66.46±1.12	192.83±1.56
5	2	2	1	65.89±0.38	211.18±4.68
6	2	3	2	70.40±0.82	196.63±1.38
7	3	1	2	71.85±1.45	221.07±2.12
8	3	2	3	70.08±0.87	201.75±2.36
9	3	3	1	63.30±2.37	204.47±3.90
k_1	67.21±0.83	66.91±1.07	64.21±1.13		
k_2	67.58±0.77	68.37±0.84	70.46±1.18		
k_3	69.74±1.56	68.26±1.25	68.87±0.85		
极差R	4.92	2.91	8.56		
最优组合1	$A_3B_2C_2$				
主次顺序	$C>A>B$				
k'_1	191.74±2.15	201.27±1.89	201.85±3.19		
k'_2	196.88±2.54	210.10±4.63	211.69±2.12		
k'_3	209.10±3.79	189.35±1.96	187.18±3.18		
极差R	23.30	27.34	29.81		
最优组合2	$A_3B_2C_2$				
主次顺序	$C>B>A$				

表4 方差分析
Table 4 Analysis of variance for fruit yield and T-AOC

因素	出汁率				总抗氧化能力			
	偏差平方和	自由度	F值	显著性	偏差平方和	自由度	F值	显著性
A	3.378	2	1.026	不显著	701.552	2	29.116	极显著
B	4.999	2	1.518	不显著	975.958	2	40.504	极显著
C	106.353	2	32.292	极显著	1369.730	2	56.846	极显著

酶解优化的正交试验结果与方差分析见表3、4。以出汁率为考察因素的正交试验分析结果可以看出, 在9组试验中第7组为最优组合; 在极差分析中可以看出, 3个因素的最优水平 $A_3B_2C_2$, 其水平的主次顺序为 $C>A>B$; 以总抗氧化能力作为考察对象来看, 在9组试验中第7组为效果最好的一组; 在极差分析中得到的最优水平为 $A_3B_2C_2$, 主次顺序为 $C>B>A$, 可见, 对果汁的出汁率和总抗氧化能力而言, 酶解温度较为重要。从方差分析结果看, 以出汁率为参照方差时, 选择的不同的酶质量浓度及酶解时间, 相对应的出汁率之间差异不显著, 不同酶解温度对应的出汁率差异显著; 以总抗氧化能力为参照方差, 酶质量浓度、酶解时间及酶解温度对结果均有显著影响。

以总抗氧化能力为主要参考, 结合出汁率, 3个因素的最优水平为 $A_3B_2C_2$ 。此组合的分析结果在正交表中没有体现, 所以进行 $A_3B_2C_2$ 组合的验证实验。在最佳水

平果胶酶和复合果浆酶复配比1:1、酶质量浓度6g/L、酶解时间3.5h、酶解温度45℃条件下,蓝莓出汁率达(72.51±1.51)%,总抗氧化能力为(224.07±3.26)U/mL,结果表现为最优水平;此时花色苷的含量为(753.92±10.41)mg/L,总酚含量为(2649.77±70.40)mg/L。与未经酶解直接离心得到的蓝莓原汁相比,出汁率提高(77.18±1.64)%,总抗氧化能力提高(96.45±2.51)%;花色苷的含量提高了(2.40±0.15)倍,总酚含量提高了(75.66±5.31)%。

3 结 论

通过实验可知,果胶酶和复合果浆酶对于提高蓝莓果出汁率和总抗氧化能力均有一定效果。两者按1:1比例加入,酶解效果较单一使用果胶酶或者复合果浆酶的效果都好,故选用两种酶共同酶解。通过酶解单因素和正交试验的结果可以看出,最佳酶解条件为果胶酶和复合果浆酶复配比1:1、酶质量浓度6g/L、酶解时间3.5h、酶解温度45℃,在最佳酶解条件下,出汁率达(72.51±1.51)%,比不经酶解直接离心得到原汁出汁率提高了(77.18±1.64)%;所得蓝莓汁总抗氧化能力达(224.07±3.26)U/mL,比不加酶提高了(96.45±2.51)%。所得果汁中花色苷含量达(753.92±10.41)mg/L,总酚含量达(2649.77±70.40)mg/L。在此酶解条件下,能获得营养价值较高的蓝莓果汁。

参考文献:

- [1] 郑建仙. 功能性食品[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 1997: 116-139.
- [2] 马艳萍. 蓝莓的生物学特性、栽培技术与营养保健功能[J]. 中国水土保持, 2006(2): 47-49.
- [3] 凌关庭. 抗氧化食品与健康[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004: 233-234.
- [4] 李亚东, 吴林, 刘洪章, 等. 越桔果实中营养成分分析[J]. 北方园艺, 1996(3): 22-23.
- [5] 张翠萍, 胡巍. 越桔中主要化学成分及其生物活性的概述[J]. 黑河科技, 2000(2): 74.
- [6] MATTILA P, HELLSTIOM J, TORRONEN R. Phenolic auids in berries, fruits, and beverages[J]. Agriculture and Food Chemistry, 2006, 54(19): 7193-7199.
- [7] KONG Jinming, CHI L S, GOH N K, et al. Analysis and biological activities of anthocyanins[J]. Phytochemistry, 2003, 64(5): 923-933.
- [8] SMITH M A L, MARLEY K A, SEIGLER D, et al. Bioactive properties of wild blueberry fruits[J]. Food Science, 2000, 65(2): 352-356.
- [9] ROSSI M, GIUSSANI E, MORELLI R, et al. Effect of fruit blanching on phenolics and radical scavenging activity of highbush blueberry juice[J]. Food Research International, 2003, 36(9): 999-1005.
- [10] 王珊珊, 孙爱东, 李淑燕. 蓝莓的保健功能及其开发应用[J]. 中国食物与营养, 2010(6): 17-20.
- [11] 叶新红. 不同处理方法对葡萄汁多酚类物质溶出效果及抗氧化活性影响的研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2009.
- [12] LEE J, WROLSTAD E. Extraction of anthocyanin and polyphenols from blueberry processing waste[J]. Journal of Food Science, 2004, 69(7): 564-573.
- [13] 徐金瑞, 张名位, 刘兴华, 等. 黑大豆种皮花色苷的提取及其抗氧化作用研究[J]. 农业工程学报, 2005, 21(8): 161-164.
- [14] 王银娟. 蓝莓混汁的研制及渣的干燥[D]. 无锡: 江南大学, 2008.
- [15] HARBORNE J B. Oxygen radical absorbing capacity of phenolics in blueberries, cranberries, blackberries, chokeberries and lingonberries[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2003, 51(9): 502-509.
- [16] 刘红锦, 张丽霞, 周剑忠, 等. 大孔树脂对黑莓花色苷的吸附与解吸特性[J]. 江苏农业学报, 2010, 26(6): 1366-1370.
- [17] 马永强, 李安, 那治国, 等. 酶法提高蓝莓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.
- [18] 邱业先, 王桃云. 野菊花黄色素提取工艺研究[J]. 食品与发酵工业, 2002, 28(3): 33-36.
- [19] 徐美玲, 赵德卿. 蓝莓花青素的提取及理化性质的研究[J]. 食品研究与开发, 2008, 29(9): 187-189.
- [20] BENVENUTI S, PELLATI F, MELEGARI M, et al. Polyphenols, anthocyanins, ascorbic acid, and radical scavenging activity of Rubus, Ribes, and Aronia[J]. Food Science, 2004, 69(3): 164-169.
- [21] BUCHERT J, KOPONEN J M, SUUTARINEN M, et al. Effect of enzyme-aided pressing on anthocyanin yield and profiles in bilberry and blackcurrant juices[J]. Science of Food and Agriculture, 2005, 85(15): 2548-2556.
- [22] CHEN Xiguang, PARK H J. Chemical characteristics of O-carboxymethyl chitosans related to the preparation conditions[J]. Carbohydrate Polymers, 2003, 53(4): 355-359.
- [23] BOOTHE D H, ARNOLD J W. Electronic nose analysis of volatile compounds from poultry meat samples, fresh and after refrigerated storage[J]. Science of Food and Agriculture, 2002, 82(2): 315-322.
- [24] ANDREA B, MONTSE M, ANJA F, et al. Evaluation of the most odour-active compounds in the peel oil of clementines[J]. European Food Research and Technology, 2003, 216(1): 11-14.
- [25] 李颖畅, 孟宪军. 酶法提取蓝莓果中花色苷的研究[J]. 食品工业科技, 2008, 29(4): 215-217.