

曹培杰,马艳弘,崔 晋,等. 桑葚浓缩汁的制备工艺优化及其抗氧化活性[J]. 江苏农业科学,2019,47(17):204-209.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.17.051

桑葚浓缩汁的制备工艺优化及其抗氧化活性

曹培杰^{1,2}, 马艳弘¹, 崔 晋¹, 黄开红¹

(1. 江苏省农业科学院农产品加工研究所, 江苏南京 210014; 2. 山西农业大学食品科学与工程学院, 山西太谷 030801)

摘要:以桑葚为原料,通过单因素和响应面试验考察纤维素酶用量、果胶酶用量、酶解温度和酶解时间对桑葚出汁率的影响,对桑葚浓缩汁的加工工艺进行优化,探究酶添加量对桑葚汁中活性成分的影响并分析其抗氧化性能。结果表明,添加 1.0% 果胶酶、2.6% 纤维素酶,50 ℃ 条件下酶解 40 min,得到桑葚的出汁率最高,为 81.1%。当果胶酶添加量为 1.0% 时,浓缩汁中花青素和维生素 C 含量最高,分别为 95.184 g/L 和 1 099.412 mg/L;当纤维素酶添加量为 2.5% 时,浓缩汁中花青素和维生素 C 含量分别为 85.999 g/L 和 957.416 mg/L。真空旋转蒸发浓缩温度为 65 ℃,其抗氧化能力较强,抗超氧阴离子自由基能力和 DPPH 自由基清除能力分别为 31 194.21 U/L 和 98.99%。

关键词:桑葚浓缩汁;出汁率;工艺优化;抗氧化;响应面设计

中图分类号: TS275.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2019)17-0204-06

桑葚,多年生木本植物桑树的果实,是一种营养成分十分丰富的水果,含有人体所需的多种营养成分,如矿物元素、维生素及氨基酸等,并且含有黄酮类物质、花色苷类化合物、白藜芦醇、花青素等多种活性成分^[1-2],因而和沙棘、悬钩子等一起被誉为“第三代水果”。现代医学研究显示,桑葚可以提升人体免疫力、降低血糖血脂、延缓肌体衰老、改善皮肤血液供应等^[3-5]。目前,桑葚除了鲜食以外,还可以加工成桑葚果

酱、果汁饮料、桑葚果酒、桑葚果醋等。由于桑葚水分含量高,因此不易贮存和运输,将其加工成果汁可以更有效地利利用桑葚资源,提高其商业价值。

桑葚浓缩汁^[6-7]是由原果汁脱除部分水分而得到的,将果汁浓缩可以减少体积、降低水分活度从而延长产品贮存期和货架期,而且浓缩更加有利于富集营养物质,方便其他以浓缩汁为原料的食品加工工艺的开展^[8-9]。目前桑葚浓缩的方法主要有真空浓缩、冷冻浓缩、膜分离浓缩等^[10]。本研究以桑葚为原料,出汁率为指标,优化桑葚汁的提取工艺,并测定其中的活性成分,探究真空旋转蒸发浓缩温度对其抗氧化性能的影响。

1 材料与方法

1.1 材料与设备

桑葚;纤维素酶、果胶酶、氯化钾、乙酸钠、抗坏血酸(维

研究[J]. 川北医学院学报,2016,31(3):342-344.

[7] 吕秋军. 新药药理学研究方法[M]. 北京:化学工业出版社,2007:382-387.

[8] 赵秀文. 谈新药毒理实验的技术要求[J]. 中药通报,1988,13(7):53-57.

[9] 周庆萍,何发良,陈 红,等. 白腹锦鸡血液生化指标研究[J]. 湖北农业科学,2011,50(16):3353-3354,3364.

[10] 林 曦. 家畜病理学[M]. 3 版. 北京:中国农业出版社,2005:74-98.

[11] 许 迪,孔利佳,杜佐华,等. 大鼠长期毒性试验质量控制探讨[J]. 中国比较医学杂志,2010,20(1):61-63,69.

[12] Guo L W, Wang D Y, Hu Y L, et al. Adjuvant activity of compound polysaccharides on chickens against Newcastle disease and avian influenza vaccine [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2012, 50(3):512-517.

[13] Guo L W, Liu J G, Hu Y L, et al. Astragalus polysaccharide and sulfated epimedium polysaccharide synergistically resist the immunosuppression [J]. Carbohydrate Polymers, 2012, 90(2):1055-1060.

收稿日期:2018-05-21

基金项目:江苏省苏北专项(编号:BN2016044);苏州市农业园区集成创新工程项目(编号:SNG201653);江苏省农业科学院基本科研业务专项(编号:6111682)。

作者简介:曹培杰(1992—),女,河南漯河人,硕士研究生,研究方向为食品生物技术。E-mail:614098093@qq.com。

通信作者:马艳弘,博士,副研究员,主要从事食品功能因子、农产品贮藏与加工研究。;E-mail:ma_yhhy@126.com。

综合上述试验结果,小鼠以最高浓度(4.0 g/mL)、最大给药容积(0.2 mL/10 g)于 24 h 内灌胃 3 次桑杜口服液,不产生急性毒性。以最大给药量的 1 倍、1/4 倍和 1/16 倍灌胃桑杜口服液 1.0 mL,连续给药 30 d,大鼠体质量、脏器系数、血液细胞学指标和血清生化指标无异常,表明桑杜口服液对大鼠无长期毒性。

参考文献:

[1] 李仪奎. 中药药理实验方法学[M]. 2 版. 上海:上海科学技术出版社,2006.

[2] 陈 奇. 中药药理研究方法学[M]. 2 版. 北京:人民卫生出版社,2006.

[3] 沈建忠. 动物毒理学[M]. 北京:中国农业出版社,2002:83-112.

[4] 吴友苹,张 升. 桑叶水提液的急性毒性和遗传毒性研究[J]. 中成药,2015,37(4):876-879.

[5] 刘月凤,龚朋飞,袁 慧,等. 杜仲提取物的急性毒性试验研究[J]. 陕西农业科学,2009,55(3):52,60.

[6] 曾吉祥,王 健,张晓林,等. 秦巴地区产杜仲皮急性毒性实验的

生素 C), 江苏南京建安实业有限公司; 羟自由基测定试剂盒、抗超氧阴离子自由基测定试剂盒、DPPH 试剂, 上海源叶生物科技有限公司。

多功能榨汁机, 美的集团股份有限公司; 微孔板分光光度计, 美国伯腾仪器有限公司; TGL-16B 台式离心机, 上海安亭科学仪器厂; AL104 型精密分析天平, 梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司; HH-4 数显恒温水浴锅, 江苏常州国华电器有限公司; RE-2000 旋转蒸发器, 北京辰泰克仪器技术有限公司; WYT-4 手持糖度计, 福建泉州中友光学仪器有限公司。

1.2 试验方法

1.2.1 浓缩桑葚汁制备工艺流程 真空旋转蒸发浓缩的终点判定^[11]: 采用 WYT-4 手持糖度计测试在不同温度下浓缩的桑葚浓缩汁白利度, 待浓缩汁的白利度达到 60°Brix, 即为浓缩终点。桑葚浓缩汁制备工艺流程见图 1。

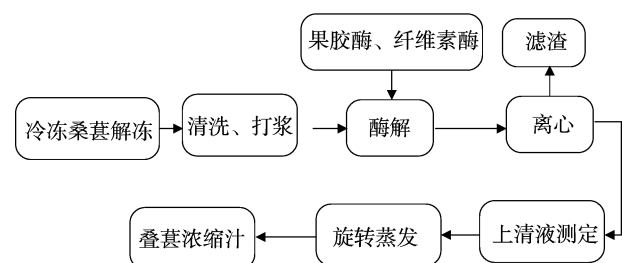


图1 桑葚浓缩汁制备的工艺流程

1.2.2 原料预处理 挑选无腐烂、表面无损伤和杂质的桑葚冻果, 解冻后, 清洗干净, 放入榨汁机中榨汁, 制备桑葚原浆。桑葚汁的出汁率按照以下公式计算:

出汁率 = 离心后汁液质量 / (原浆质量 + 酶质量) × 100%。

1.2.3 桑葚汁提取单因素试验和响应面设计

1.2.3.1 果胶酶酶解单因素试验 初步选定果胶酶添加量为 0.8%, 酶解时间为 60 min, 酶解温度为 50℃, 以桑葚果汁的原果浆 pH 值 3.8 为基础条件, 依次考察果胶酶添加量 (0、0.2%、0.4%、0.6%、0.8%、1.0%、1.2%)、果胶酶酶解时间 (0、20、40、60、80、100、120 min)、果胶酶酶解温度 (30、35、40、45、50、55、60℃) 对桑葚出汁率的影响。

1.2.3.2 纤维素酶酶解单因素试验 选定纤维素酶添加量为 2.2%, 酶解时间为 60 min, 酶解温度为 50℃, 以桑葚果汁的原果浆 pH 值 3.8 为基础条件, 依次考察纤维素酶添加量 (0、1.0%、1.4%、1.8%、2.2%、2.6%、3.0%)、纤维素酶酶解时间 (0、20、40、60、80、100、120 min)、纤维素酶酶解温度 (30、35、40、45、50℃、55、60℃) 对桑葚出汁率的影响。

1.2.3.3 复合酶响应面设计 根据 Box-Behnken 的中心组合试验设计原理^[12-13], 在单因素试验的基础上, 根据方差分析结果, 对影响桑葚出汁率的各个因素进行响应面分析。选取纤维素酶添加量、果胶酶添加量、酶解温度、酶解时间这 4 个影响因素, 进行四因素三水平的响应面设计, 优化复合酶解工艺, 试验因素与水平编码见表 1。

1.2.4 酶添加量对桑葚汁品质的影响

1.2.4.1 对花青素含量的影响 采用 pH 示差法进行测定^[14-17]: 吸取不同酶处理后的桑葚汁, 稀释 50 倍。各取 1 mL

表1 响应面设计因素水平

水平与编码	因素			
	纤维素酶用量 (%)	酶解时间 (min)	酶解温度 (℃)	果胶酶用量 (%)
-1	2.2	20	50	0.8
0	2.6	40	55	1.0
1	3.0	60	60	1.2

稀释后的桑葚汁加入到 10 mL 容量瓶中, 然后分别用 pH 值为 1.0 和 pH 值为 4.5 的缓冲溶液进行定容, 在冰箱中避光静置 2 h, 分别在 520 nm 和 700 nm 下测吸光度。

花青素含量的计算公式:

$$M(\text{mg/L}) = \frac{D \times Mr \times DF \times 1\,000}{\varepsilon \times l}$$

式中: M 为花青素含量; D 为 pH 值为 1.0 时 520 nm 与 700 nm 处的吸光度值差 - pH 值为 4.5 时 520 nm 与 700 nm 处的吸光度值差; DF 为稀释倍数; Mr 为矢车菊素-3-葡萄糖苷的相对分子质量 449.2 g/mol; ε 为矢车菊素-3-葡萄糖苷的摩尔消光系数 26 900。

1.2.4.2 对维生素 C 的影响 按照抗坏血酸(维生素 C)测定试剂盒进行测定。

1.2.5 浓缩温度对抗氧化活性的影响 采用真空旋转蒸发浓缩的方法, 研究不同浓缩温度对桑葚浓缩汁抗氧化性的影响差异^[18]及品质差异。

2 结果与分析

2.1 酶解单因素试验结果

2.1.1 果胶酶添加量对出汁率的影响 由图 2 可知, 出汁率随果胶酶添加量的增加而增大, 当果胶酶添加量超过 1.0% 后, 桑葚的出汁率增加趋势较为平缓, 桑葚汁的出汁率维持在 74.5% 左右。这是由于底物添加量越大, 果胶酶与底物反应越完全, 桑葚的出汁率越高。随着果胶酶添加量的增大, 果胶酶与底物反应处于饱和状态, 过多酶分子无法与底物接触, 导致出汁率增加不明显, 过多地添加果胶酶, 只能造成对果胶酶的浪费, 考虑到经济成本, 以及酶添加过多不利于桑葚汁的后续加工, 故选择果胶酶的添加量为 0.8% ~ 1.2%。

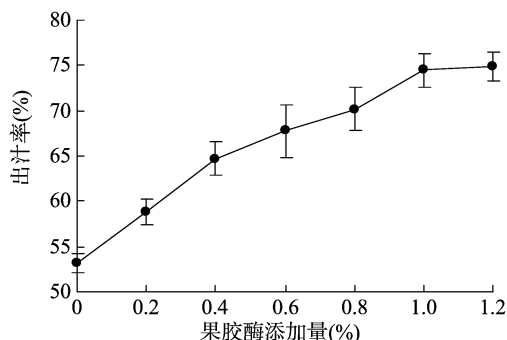


图2 果胶酶添加量对桑葚出汁率的影响

2.1.2 果胶酶酶解时间对出汁率的影响 由图 3 可知, 桑葚的出汁率在 0 ~ 80 min 内涨幅较快, 当酶解时间超过 80 min 后, 出汁率增加缓慢并趋于平缓。这是由于果胶酶可以水解植物细胞壁, 促进细胞内含物的释放, 从而使得出汁率不断增

大。当一定量的果胶酶与桑葚浆反应完全后,反应时间的增长对桑葚浆的水解不再起作用,从而使得出汁率增长缓慢。因此,选择酶解时间为 80 min。

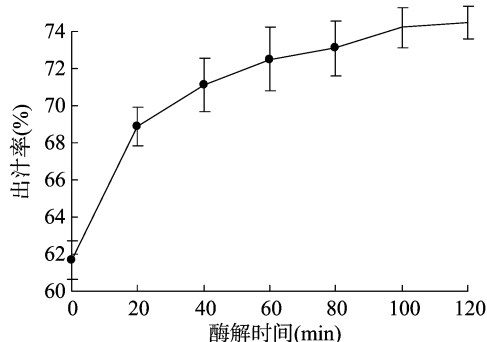


图3 果胶酶酶解时间对桑葚出汁率的影响

2.1.3 果胶酶酶解温度对桑葚出汁率的影响 由图 4 可知,果胶酶酶解温度在 30 ~ 55 ℃ 范围内时,桑葚的出汁率随酶解温度的升高而增大,当温度达到 55 ℃ 时,桑葚的出汁率达到最大值(76.9%),随后再增加温度,桑葚的出汁率降低。这是由于果胶酶在一定温度下才能发挥其活性,温度过低其酶活性受到抑制,不利于酶与底物的接触,从而导致桑葚的出汁率较低,温度过高,果胶酶容易变性失活,反而不利于出汁率的提高。因此,在桑葚酶解的过程中,选择 55 ℃ 作为果胶酶酶解的最适温度。

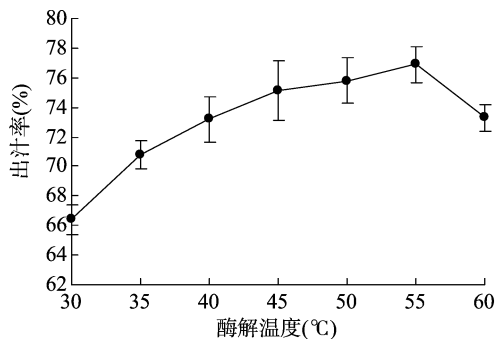


图4 果胶酶酶解温度对桑葚出汁率的影响

2.1.4 纤维素酶添加量对出汁率的影响 如图 5 所示,随着纤维素酶添加量的增加,桑葚出汁率逐渐增大,当纤维素酶添加量达到 2.5% 时,继续增加纤维素酶的用量,出汁率增加不明显,这是由于植物细胞壁是由纤维素、半纤维素和果胶等组成,在用纤维素酶处理桑葚浆的过程中,适量的纤维素酶可以使得桑葚浆水解加快,从而提高出汁率,但是过量的纤维素酶不能与足够的底物相互反应,从而使得桑葚浆的出汁率增加不明显,因此选择纤维素酶的添加量为 2.0% ~ 2.5%。

2.1.5 纤维素酶酶解时间对出汁率的影响 由图 6 可知,桑葚的出汁率随着酶解时间的延长而增大,但是在酶解时间超过 100 min 后,再延长酶解时间,桑葚的出汁率增加缓慢。这是由于在适宜的温度下,一定的反应时间会促进纤维素酶和底物的反应达到完全。当酶解完全时,再增加反应时间,对提高桑葚的出汁率并无太大影响。因此,选择纤维素酶酶解的适宜时间为 100 min。

2.1.6 纤维素酶酶解温度对桑葚出汁率的影响 由图 7 可知,随着纤维素酶酶解温度的升高,桑葚的出汁率在不断增强

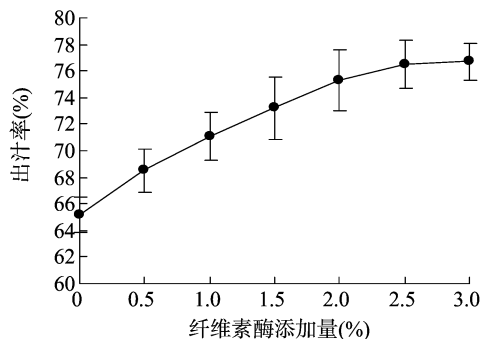


图5 纤维素酶添加量对桑葚出汁率的影响

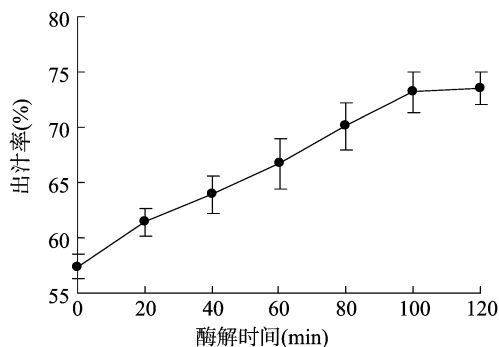


图6 纤维素酶酶解时间对桑葚出汁率的影响

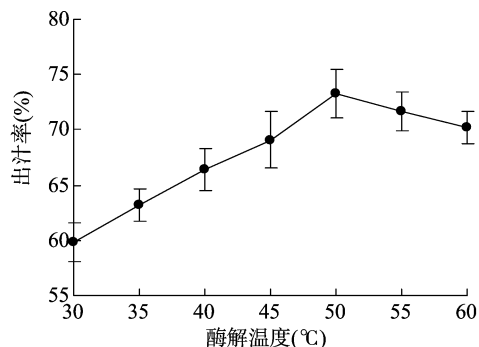


图7 纤维素酶酶解温度对桑葚出汁率的影响

大,当温度达到 50 ℃ 时,桑葚的出汁率达到最大,为 73.3%。随后再增加温度,桑葚的出汁率下降。这是由于温度过高或者过低都会对酶的活性产生影响,温度过低,酶的活性会受到抑制,不能与底物充分结合;温度过高,会使酶失活,这 2 种情况都会导致桑葚的出汁率降低。因此,酶解温度应保持在适宜的条件下,选择 50 ℃ 作为桑葚酶解的最适温度。

2.2 复合酶解响应面试验结果分析

根据 Box - Behnken 的中心组合试验设计原理,以桑葚出汁率为响应值,优化桑葚出汁率的工艺。试验设计结果见表 2。

2.2.1 响应面分析 图 8 至图 10 反映了不同因素间交互作用对桑葚出汁率的影响。响应曲面图中的曲面的陡峭程度可以表明变量对桑葚出汁率的影响程度,曲面较陡峭表明影响较大,反之则较小;等高线图反映了因素间交互作用的强弱,椭圆形表示交互作用明显,圆形表示交互作用不明显^[19-21]。由图 8 至图 10 可知,纤维素酶添加量与果胶酶添加量、纤维素酶添加量与酶解时间等高线均呈现椭圆、扁平状,由此可知上述因素之间的相互作用,明显;而果胶酶添加

表 2 响应面设计试验结果

Std	Run	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Response 1
		A:纤维素酶添加量(%)	B:果胶酶添加量(%)	C:温度(℃)	D:时间(min)	Y:出汁率(%)
1	1	2.2	0.8	50	20	75.00
5	2	2.2	0.8	60	20	75.90
20	3	2.6	1.2	55	40	75.60
24	4	2.6	1.0	55	60	76.50
13	5	2.2	0.8	60	60	74.90
2	6	3.0	0.8	50	20	75.50
6	7	3.0	0.8	60	20	75.00
28	8	2.6	1.0	55	40	81.20
15	9	2.2	1.2	60	60	75.00
29	10	2.6	1.0	55	40	80.10
4	11	3.0	1.2	50	20	77.30
7	12	2.2	1.2	60	20	74.60
25	13	2.6	1.0	55	40	81.30
14	14	3.0	0.8	60	60	73.70
23	15	2.6	1.0	55	20	76.30
11	16	2.2	1.2	50	60	77.30
10	17	3.0	0.8	50	60	75.10
26	18	2.6	1.0	55	40	82.30
3	19	2.2	1.2	50	20	76.10
27	20	2.6	1.0	55	40	79.90
8	21	3.0	1.2	60	20	74.80
19	22	2.6	0.8	55	40	76.20
12	23	3.0	1.2	50	60	76.30
17	24	2.2	1.0	55	40	74.50
18	25	3.0	1.0	55	40	72.90
9	26	2.2	0.8	50	60	77.50
21	27	2.6	1.0	50	40	81.60
16	28	3.0	1.2	60	60	71.40
22	29	2.6	1.0	60	40	78.50

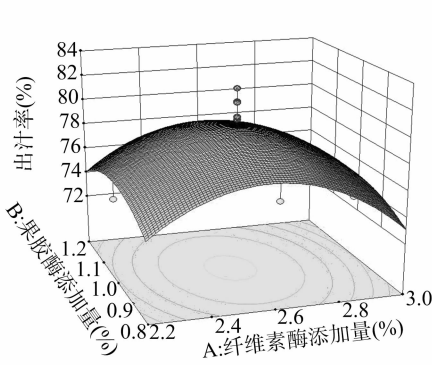
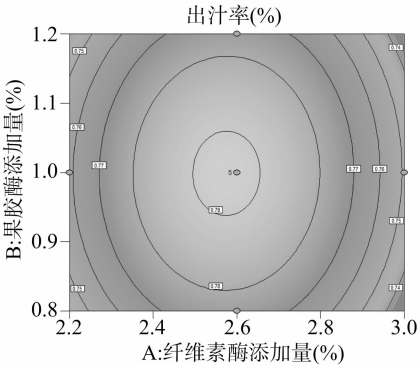


图8 纤维素酶添加量与果胶酶添加量交互作用

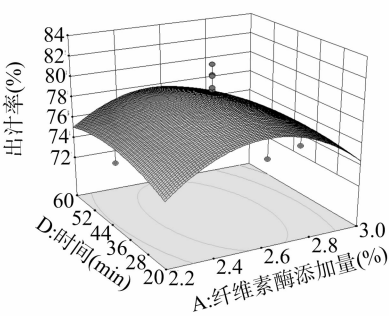
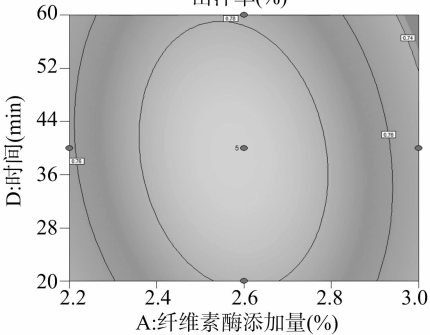


图9 纤维素酶添加量与酶解时间交互作用

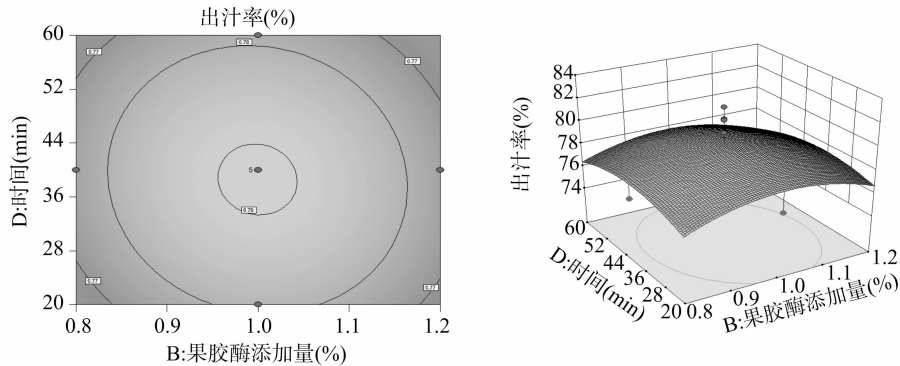


图10 果胶酶添加量与酶解时间交互作用

量与酶解时间的等高线呈圆形,说明两者的交互作用不明显。
2.2.2 最优工艺条件验证试验 经过分析得到桑葚汁最佳提取工艺为纤维素酶用量 2.57%、果胶酶用量 1.06%、酶解时间 42.19 min、酶解温度 49.56 ℃,为了操作方便,修正最佳的提取条件为纤维素酶用量 2.6%、果胶酶用量 1.0%、酶解时间 40 min、酶解温度 50 ℃,在此条件下,进行 3 次平行试验,所得桑葚出汁率平均值为 81.1%。实测值与预测值相对误差仅为 0.707%,说明该优化设计方案可较好地预测桑葚汁的提取情况。

2.3 不同酶对桑葚汁品质的影响

2.3.1 纤维素酶添加量对花青素和维生素 C 含量的影响
如表 3 所示,当酶解温度为 50 ℃,酶解时间为 40 min,随着纤维素酶添加量的增加,桑葚汁中花青素和维生素 C 的含量先逐渐增大,当纤维素酶添加量为 2.5%,花青素和维生素 C 含量均达到最大值,分别为 85.999 g/L 和 957.416 mg/L,之后开始下降,因为较高浓度的纤维素酶会破坏花青素的细胞结构,造成花青素含量的下降,因此,当纤维素酶添加量为 2.5%时,花青素的提取效果较好。

表 3 纤维素酶添加量对花青素和维生素 C 含量的影响		
纤维素酶添加量 (%)	花青素含量 (g/L)	维生素 C 含量 (mg/L)
0	65.127	878.571
0.5	74.310	894.156
1.0	74.310	915.182
1.5	76.815	927.273
2.0	81.825	941.377
2.5	85.999	957.416
3.0	80.155	954.286

2.3.2 果胶酶添加量对花青素和维生素 C 含量的影响 由表 4 可知,当酶解温度为 50 ℃,酶解时间为 40 min,随着果胶酶添加量的增大,桑葚汁中花青素和维生素 C 先增加后减少,当果胶酶含量达到 1.0%时,花青素含量为 95.184 g/L,维生素 C 含量为 1 099.412 mg/L,再增加酶的用量,花青素和维生素 C 含量均下降,因此再提高果胶酶的量对维生素 C 含量的提升不会有太大帮助。所以,当果胶酶添加量为 1.0%时,维生素 C 含量较高。

2.4 桑葚浓缩汁的抗氧化活性分析

2.4.1 羟自由基抑制能力 由图 11 可知,随着桑葚浓缩汁

表 4 果胶酶添加量对花青素和维生素 C 含量的影响

果胶酶添加量 (%)	花青素含量 (g/L)	维生素 C 含量 (mg/L)
0	84.329	924.706
0.2	91.010	933.529
0.4	92.679	968.824
0.6	93.514	990.824
0.8	94.140	1 065.882
1.0	95.184	1 099.412
1.2	93.174	1 087.882

温度的升高,桑葚浓缩汁的羟自由基抑制能力先增加后减小,当温度达到 55 ℃时,其羟自由基的抑制能力达到最高值,之后再升高温度,羟自由基抑制能力减弱。这可能是由于温度较低时温度升高使得酶活性增大,桑葚汁中的活性成分溶出较多,所以抑制羟自由基的能力逐渐增强;温度过高会使得酶活性降低或丧失,致使桑葚汁中活性成分较少,抑制羟自由基的能力也减弱。

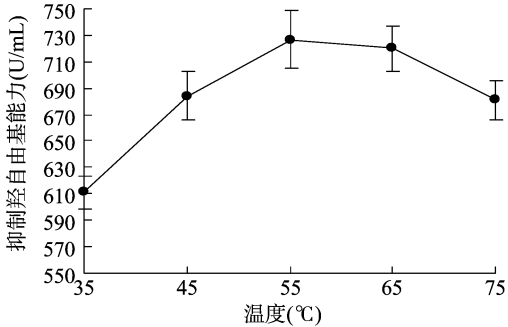


图11 桑葚浓缩汁的羟自由基抑制能力

2.4.2 抗超氧阴离子自由基能力 由图 12 可知,随着温度的升高,桑葚浓缩汁的抗超氧阴离子自由基抑制能力逐渐提高,当温度在 65 ℃作用时,其抗超氧阴离子自由基的抑制能力达到最高值,为 31 194.21 U/L,之后再提高温度,桑葚汁的抗超氧阴离子自由基的能力开始下降,这是因为过高的温度使得桑葚汁中的活性成分含量降低,使得抗超氧阴离子的能力也降低。

2.4.3 DPPH 自由基清除能力 由图 13 可以看出,温度对桑葚浓缩汁清除 DPPH 自由基的影响不是很大,温度为 35 ℃时,DPPH 自由基的清除率为 88.69%,当温度升高至 65 ℃时,桑葚浓缩汁的 DPPH 自由基清除率为 98.99%,随后,再

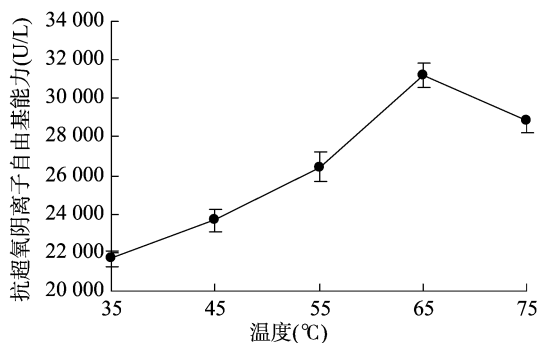


图12 桑葚浓缩汁的抗超氧阴离子自由基抑制能力

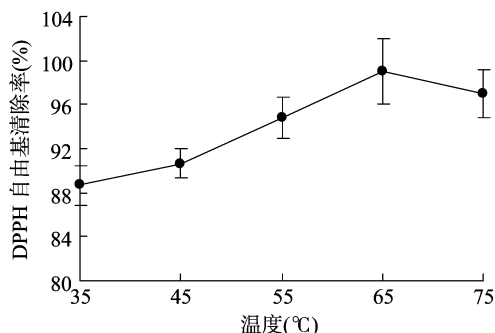


图13 桑葚浓缩汁 DPPH 自由基清除率

升高温度,桑葚浓缩汁的 DPPH 自由基清除率有所下降。

2.5 桑葚浓缩汁的感官评定

依此配方制得的桑葚浓缩汁饮料产品色泽呈紫红色,均匀一致;形态呈均匀流体,质地均匀,无颗粒,无结块,流动性好;滋味酸甜可口,没有不良异味,冲调性好,溶解快,静置 10 min 后无明显分层和沉淀物,感官品质良好,而且营养平衡,能量较低,具有减肥、排毒、预防疾病、增强免疫能力等多重保健功效。

3 结论

本试验主要研究了真空旋转蒸发浓缩桑葚汁的提取工艺,分别从酶解和抗氧化 2 个方面入手进行单因素试验,确定各因素的变化范围以及最佳条件。在单因素试验的基础上,通过响应面分析法优化桑葚出汁率的最佳提取工艺条件为纤维素酶添加量 2.6%、果胶酶添加量 1.0%、酶解时间 40 min、酶解温度 50 °C,在此条件下,桑葚的出汁率为 81.1%,提取率符合理论预测值。同时还对桑葚汁的维生素 C 含量以及花青素含量进行测量,当纤维素酶用量为 2.6%、果胶酶用量为 1.0%时,维生素 C 含量和花青素含量都较高。

温度是影响浓缩果汁口感和营养物质的重要因素,温度对桑葚浓缩汁抗氧化活性的影响结果表明,温度为 65 °C 时,其对 DPPH 自由基的清除率最高可达 98.99%;抗超氧阴离子自由基能力达 31 194.21 U/L,对羟基自由基的抑制能力达到 726.474 U/L。所以在 65 °C 条件下,对桑葚汁进行浓缩,能够得到品质优异的桑葚浓缩汁,产品色泽、口感和营养能够较好的保存。

参考文献:

- [1] 吕长鑫. 桑葚营养保健酸奶加工技术研究[J]. 中外食品加工技术, 2003(2): 65.
- [2] 李冬香, 陈清西. 桑葚功能成份及其开发利用研究进展[J]. 中国农学通报, 2009, 25(24): 293-297.
- [3] 唐长波, 刘臣. 桑葚营养蛋糕的研制[J]. 食品科技, 2011, 36(3): 138-141, 145.
- [4] 宋喜云, 任大文, 任术琦. 桑葚的营养保健功能与综合利用[J]. 中国食物与营养, 2004(8): 23-25.
- [5] Liang L, Wu X, Zhu M, et al. Chemical composition, nutritional value, and antioxidant activities of eight mulberry cultivars from China[J]. Pharmacognosy Magazine, 2012, 8(31): 215-224.
- [6] 翟洪民. 开发利用桑葚资源前景看好[J]. 农村新技术, 2009(22): 21.
- [7] Sakagami H, Asano K, Satoh K, et al. Anti-stress, anti-HIV and vitamin C-synergized radical scavenging activity of mulberry juice fractions[J]. In Vivo, 2007, 21(3): 499-505.
- [8] Kwaw E, Ma Y, Tchabo W, et al. Effect of lactobacillus strains on phenolic profile, color attributes and antioxidant activities of lactic acid-fermented mulberry juice[J]. Food Chemistry, 2018, 250: 148-154.
- [9] Cheng J R, Liu X M, Zhang W, et al. Stability of phenolic compounds and antioxidant capacity of concentrated mulberry juice-enriched dried-minced pork slices during preparation and storage[J]. Food Control, 2018, 89: 187-195.
- [10] 吕春玲, 姜绍通, 沈鸿, 等. 浓缩对桑葚汁营养品质的影响[J]. 饮料工业, 2015, 18(5): 8-13, 19.
- [11] 戴晓晴. 蓝莓浓缩汁的制备及蓝莓覆盆子复合饮料研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2017: 4-7.
- [12] 李亚, 孙潇, 孙卫东. 冷冻浓缩技术的应用及研究进展[J]. 广西轻工业, 2008, 24(3): 9-10, 16.
- [13] 刘凤珠, 牛小明, 刘飞. 桑葚功能性酸奶的研究[J]. 食品研究与开发, 2008, 29(9): 87-89.
- [14] 吴笑臣, 王科军, 钟金莲, 等. 响应面法优化脐橙渣中水溶性膳食纤维提取工艺[J]. 食品科学, 2012, 33(4): 109-114.
- [15] 程丹, 傅玉颖, 梅子, 等. 响应曲面法优化酵母微胶囊化核桃油工艺[J]. 中国食品学报, 2013, 13(11): 28-34.
- [16] Özge T, Turkyilmaz M, Yemis O, et al. Effects of clarification and storage on anthocyanins and color of pomegranate juice concentrates[J]. Journal of Food Quality, 2012, 35(8): 272-282.
- [17] 吴滨滨, 甄丹丹, 甄汉深, 等. 桑葚研究进展[J]. 亚太传统医药, 2015, 11(6): 41-43.
- [18] 周秋枝, 黄蕾, 沈丹华, 等. 火棘果中原花青素含量测定方法的建立[J]. 食品工业科技, 2013, 34(7): 314-318.
- [19] 乔洪翔, 陈燕, 王如伟, 等. 银杏叶制剂中原花青素测定方法研究[J]. 中成药, 2013, 35(7): 1577-1579.
- [20] 牟建楼, 王颖. 响应面法优化灵芝枣饮料工艺及其抗氧化性研究[J]. 中国食品学报, 2013, 13(11): 21-27.
- [21] 马金秋, 李丹, 马向前, 等. 桑叶总黄酮的提取纯化工艺研究[J]. 中国药房, 2010, 21(23): 2142-2144.