

秋香梨果醋醋酸发酵工艺优化及抗氧化活性研究

Optimization of acetic acid fermentation process and antioxidant activity of Qiuxiang pear vinegar

颜飞翔^{1,2} 朱 丹³ 牛广财^{1,2} 魏文毅^{1,2} 王思溥^{1,2}

YAN Fei-xiang^{1,2} ZHU Dan³ NIU Guang-cai^{1,2} WEI Wen-yi^{1,2} WANG Si-pu^{1,2}

(1. 黑龙江八一农垦大学食品学院, 黑龙江 大庆 163319; 2. 黑龙江省农产品加工工程技术研究中心, 黑龙江 大庆 163319; 3. 黑龙江八一农垦大学生命科学技术学院, 黑龙江 大庆 163319)

(1. Food College, Heilongjiang Bayi Agricultural University, Daqing, Heilongjiang 163319, China;

2. Agri-Food Processing and Engineering Technology Research Center of Heilongjiang Province,

Daqing, Heilongjiang 163319, China; 3. College of Life Science and Technology, Heilongjiang Bayi Agricultural University, Daqing, Heilongjiang 163319, China)

摘要:以秋香梨酒为原料,采用沪酿 1.01 醋酸菌,以总酸含量为指标,利用响应面法优化果醋醋酸发酵工艺,并评价果醋的抗氧化能力。结果表明:秋香梨果醋醋酸发酵的最佳工艺条件为醋酸菌接种量 9.4%,发酵时间 6 d,发酵温度 31 ℃,初始 pH 4.5。此条件下得到的果醋色泽金黄,果香醇厚,其总酸含量为 54.45 g/L。秋香梨酒经醋酸菌发酵后,其 DPPH 自由基清除率、ABTS 自由基清除率和 Fe^{3+} 还原能力分别提高了 21.17%, 23.65%, 30.23%, 表明该果醋具有良好的抗氧化活性。

关键词:秋香梨;果醋;发酵工艺;抗氧化活性

Abstract: Taking the Qiuxiang pear wine as the raw materials, Huniang 1.01 acetic acid bacteria as the strain, and the total acid content as the index, the response surface methodology was used to optimize the fermentation process of fruit vinegar, and its antioxidant capacity was evaluated. The results showed that the optimum conditions for acetic acid fermentation of Qiuxiang pear vinegar were as follows: the inoculation amount of acetic acid bacteria was 9.4%, the fermentation time was 6 d, the fermentation temperature was 31 ℃, and the initial pH was 4.5. The fruit vinegar obtained under these conditions, which the total acid concentration was 54.45 g/L, was golden in color and fruity in aroma. The DPPH free radical scavenging rate, ABTS free radical scavenging rate and Fe^{3+} reducing capacity of Qiuxiang

pear vinegar fermented by acetic acid bacteria were increased by 21.17%, 23.65% and 30.23%, respectively. It indicated that the pear vinegar had a good antioxidant activity.

Keywords: Qiuxiang pear; fruit vinegar; fermentation process; antioxidant activity

秋香梨是黑龙江省农科院园艺所培育而成的秋子梨 (*Pyrus ussuriensis* Maxim.) 品种,果实圆形,肉质细腻多汁,可溶性固形物含量高,酸甜适口,是加工梨汁的优良品种^[1]。梨功效在中国历代本草学中均有记载^[2]。近年来,因梨中含有多酚、类黄酮、绿原酸等生理活性物质,其具有较好的抗氧化活性^[3]。现代医学研究^[4]也证实了梨的清热镇静和降低血压的作用。目前梨规模化生产的加工产品主要以果汁、梨膏、罐头类为主,而其他梨酒、梨醋等产品较少。

果醋一般是以水果为原料,经酶解处理、酒精发酵和醋酸发酵而成的一种营养丰富的酸性调味品,富含维生素、氨基酸和碳水化合物,能够补充人体所需的营养物质^[5]。果醋可以改善肥胖、糖尿病、心血管疾病和癌症等^[6]。目前,中国已有学者对库尔勒香梨^[7]、雪花梨^[8]、皇冠梨^[9]等梨醋的发酵工艺进行了研究,但有关秋香梨果醋的发酵工艺及抗氧化能力评价尚未见报道。

研究拟采用液态发酵方法,在单因素试验的基础上,利用响应面法优化沪酿 1.01 醋酸菌发酵秋香梨果醋的工艺条件,并通过 1,1-二苯基-2-苦基基 (DPPH) 自由基清除能力、2,2'-联氮双(3-乙基苯并噻唑啉-6-磺酸)二铵盐 (ABTS) 自由基清除能力和 Fe^{3+} 还原能力来评价秋香梨果醋的抗氧化能力,为秋香梨果醋的工业化生产提供依据。

基金项目:黑龙江八一农垦大学“三横三纵”平台支持计划项目 (编号:PTJH201904);黑龙江八一农垦大学研究生创新科研项目 (编号:YJSCX-Y56)

作者简介:颜飞翔,女,黑龙江八一农垦大学在读硕士研究生。

通信作者:牛广财 (1971—),男,黑龙江八一农垦大学教授,博士。

E-mail: gniu@126.com

收稿日期:2020-11-29

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 材料与试剂

秋香梨酒:酸质量浓度为 1.5 g/L,酒精度为 12%vol (20℃),黑龙江省农业科学院园艺分院;

菌种:沪酿 1.01 醋酸杆菌,黑龙江省八一农垦大学食品学院发酵实验室保存;

DPPH:纯度>97%,梯希爱(上海)化成工业发展有限公司;

ABTS:纯度>99%,美国 Sigma 公司;

其他试剂均为国产分析纯。

1.1.2 主要仪器设备

恒温震荡培养箱:HZXQ-R 型,哈尔滨东联电子技术开发有限公司;

震荡培养箱:HZQ-F160 型,哈尔滨东联电子技术开发有限公司;

全温震荡培养箱:HZQD-D 型,哈尔滨市东联电子技术开发有限公司;

电子分析天平:BN2484 型,上海民桥精密仪器有限公司;

立式压力灭菌锅:LDZX-40 II 型,上海申安医疗器械厂;

超净工作台:BCN-1360 型,北京东联哈尔仪器制造有限公司;

pH 计:SG2 型,梅特勒—托利多仪器(上海)有限公司;

过滤机:EYCKW-1 型,温州市东顶机械制造有限公司;

冰箱:BCD-235YH 型,青岛海尔股份有限公司。

1.2 方法

1.2.1 秋香梨果醋加工工艺

醋酸菌
↓
秋香梨酒→酒度调整→接种→醋酸发酵→陈酿→澄清过滤→杀菌→成品

操作要点:

(1) 酒度调整:参照董玉新^[10]的方法,修改如下:取 500 mL 酒精度为 12%vol 的秋香梨原酒,根据前期预试验,用纯净水将酒精度调整为 7%vol(20℃)。

(2) 醋酸菌活化:向 500 mL 三角瓶中加入葡萄糖 1 g,酵母膏 1 g,蒸馏水 100 mL,真空度 0.1 MPa 下灭菌 30 min,接入醋酸菌,30℃震荡培养 24 h,得活化好的醋酸菌,菌数达 5×10^6 CFU/mL,备用。

(3) 接种:取 500 mL 梨酒于 1 000 mL 三角瓶中,在超净工作台上接入不同接种量的醋酸菌液。

(4) 醋酸发酵:将接种后的三角瓶放入恒温震荡箱

中,转速为 130 r/min,在试验设计的接种量、发酵时间、发酵温度和初始 pH 等条件下进行发酵。

(5) 陈酿:秋香梨果醋发酵液于室温陈酿 30 d。

(6) 澄清过滤:陈酿结束后除去大部分菌株代谢物和部分沉淀后,添加质量分数为 0.5%的壳聚糖,处理 1 h,过滤。

(7) 杀菌:采用巴氏杀菌,75℃杀菌 20 min。

1.2.2 单因素试验

(1) 接种量对秋香梨果醋醋酸发酵的影响:固定酒精度 7%vol,初始 pH 4.4,发酵温度 31℃,发酵时间 7 d,考察接种量(4%,6%,8%,10%,12%)对总酸含量的影响。

(2) 发酵时间对秋香梨果醋醋酸发酵的影响:固定酒精度 7%vol,初始 pH 4.4,发酵温度 31℃,接种量 10%,考察发酵时间(1,2,3,4,5,6,7 d)对总酸含量的影响。

(3) 发酵温度对秋香梨果醋醋酸发酵的影响:固定酒精度 7%vol,初始 pH 4.4,发酵时间 7 d,接种量 10%,考察发酵温度(25,28,31,34,37℃)对总酸含量的影响。

(4) 初始 pH 对秋香梨果醋醋酸发酵的影响:固定酒精度 7%vol,发酵温度 31℃,发酵时间 7 d,接种量 10%,考察初始 pH(3.2,3.8,4.4,5.0,5.6)对总酸含量的影响。

1.2.3 响应面试验 在单因素试验的基础上,固定初始酒精度为 7%vol,选取接种量、发酵温度、发酵时间和初始 pH 为自变量,以总酸含量为响应值,采用 Box-Behnken 中心组合原理设计四因素三水平响应面试验,优化秋香梨果醋醋酸发酵工艺。

1.2.4 指标测定

(1) 酒精度:蒸馏法。

(2) 总酸含量:常规酸碱滴定法(以醋酸计)。

(3) DPPH 自由基清除率:根据樊秋元等^[11]的方法。

(4) ABST 自由基清除率:根据杜朝东等^[12]的方法。

(5) Fe^{3+} 还原力:根据樊秋元等^[13]的方法。

1.3 数据统计分析

所有试验重复 3 次,采用 Origin 8.5 软件绘图,响应面试验通过 Design-Expert 8.0.6 进行试验设计和数据统计分析。

2 结果与分析

2.1 单因素试验

由图 1(a)可知,秋香梨果醋中总酸含量随接种量的增加先升高后降低,当接种量为 10%时,总酸含量最高达 53.31 g/L;当接种量>10%时,由于营养物质多消耗在菌体细胞的生长繁殖上,同时会出现菌体过早老化,生成的醋酸量减少,影响发酵效果^[14]。因此,选择秋香梨果醋发酵的醋酸菌最佳接种量为 10%。由图 1(b)可知,秋香梨果醋中总酸含量随发酵时间的延长先升高后略降低,发酵第 6 天,发酵液的总酸含量达到峰值,继续发酵则发酵

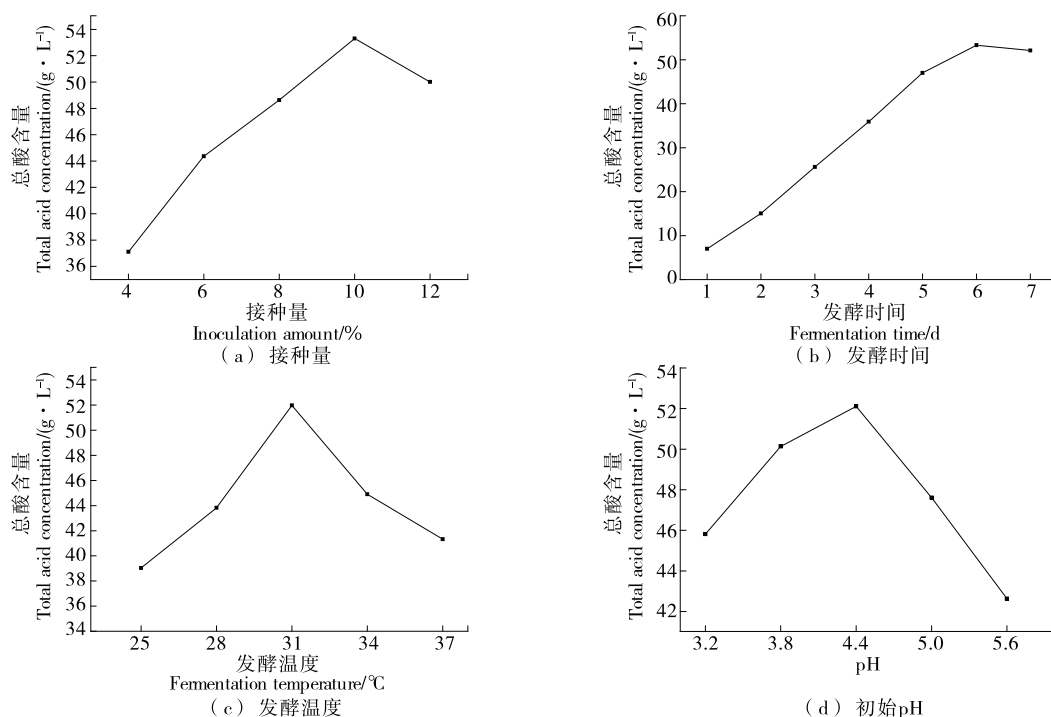


图 1 各因素对秋香梨果醋醋酸发酵的影响

Figure 1 Effect of single factor experiment on acetic acid fermentation of Qiuxiang pear vinegar

液中的总酸含量呈下降趋势。这可能是随着发酵时间的延长,营养物质被逐渐消耗,当发酵液中营养物质(尤其是酒精)缺乏时,醋酸菌会分解醋酸,出现过氧化现象,酸度降低^[15]。因此,选择 6 d 为最佳发酵时间。

由图 1(c)可知,秋香梨果醋中总酸含量随发酵温度的升高先上升后下降,当发酵温度 $<31^{\circ}\text{C}$ 时,醋酸菌的代谢活动减弱,总酸含量较低;随着发酵温度的升高, 31°C 时秋香梨果醋的总酸质量浓度最高值达 51.98 g/L ;当温度 $>31^{\circ}\text{C}$ 时,高温会抑制醋酸菌中相关酶的活性,产酸量降低^[16];因此, 31°C 为最佳发酵温度。由图 1(d)可知,随着 pH 值的增加,总酸含量先升高后急速下降。当初始 pH 为 4.4 时,发酵液中总酸质量浓度达最高 52.11 g/L 。当初始 $\text{pH}>4.4$ 时,醋酸菌细胞的生理功能受影响,秋香梨果醋的酸度急剧降低,同时影响产品品质^[17]。因此,最佳初始 pH 选择 4.4。

2.2 响应面试验

2.2.1 响应面因素水平设计 根据单因素试验结果,以接种量、发酵温度、发酵时间和初始 pH 为自变量,以总酸含量为响应值,进行四因素三水平的响应面设计,因素及水平编码见表 1,试验设计与结果见表 2。

2.2.2 回归方程的建立及方差分析 利用 Design-Expert 8.0.6 数据分析软件对表 2 中数据进行处理,经回归拟合后得到二次回归方程:

$$Y=52.76-2.96X_1+0.39X_2-0.41X_3+0.78X_4-$$

表 1 因素与水平编码表

Table 1 Factors and levels coded of Box-Behnken experiment design

水平	X_1 接种量/%	X_2 发酵温度/ $^{\circ}\text{C}$	X_3 发酵时间/d	X_4 初始 pH
1	8	28	5	3.8
0	10	31	6	4.4
-1	12	34	7	5.0

$$5.03X_1^2+0.65X_1X_2-0.48X_1X_3+0.93X_1X_4-2.06X_2^2-0.098X_2X_3-0.15X_2X_4-1.57X_3^2-0.26X_3X_4-1.86X_4^2。$$

(1)

由表 3 可知,模型 $P<0.0001$,极显著;失拟项 $P=0.1889>0.05$,不显著,说明残差均由随机误差引起,对试验干扰小,证明试验可靠;决定系数 $R^2=0.9874$,校正系数 $R_{\text{Adj}}^2=0.9728$,表明该回归方程的拟合程度高,可用于秋香梨果醋醋酸发酵过程的分析 and 优化。由 F 值可知,各因素对总酸含量的影响大小顺序为接种量 $>$ 初始 pH $>$ 发酵时间 $>$ 发酵温度。交互项中 X_1X_2 对总酸含量影响显著($P<0.05$), X_1X_4 对总酸含量影响极显著($P<0.01$)。

2.2.3 响应面分析 响应曲面的陡度及等高线与坐标轴交点个数能在一定程度上反映试验因子对响应值影响的大小。若曲面坡度平缓,则因素值的变化对响应值影响

表 2 响应面试验设计及结果
Table 2 Program and results of response surface experiment

序号	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	总酸质量浓度 Y/(g·L ⁻¹)
1	-1	-1	0	0	49.06
2	-1	1	0	0	48.43
3	1	-1	0	0	41.86
4	1	1	0	0	43.85
5	0	0	-1	-1	49.26
6	0	0	-1	1	50.30
7	0	0	1	-1	47.06
8	0	0	1	1	49.15
9	-1	0	0	-1	48.28
10	-1	0	0	1	49.14
11	1	0	0	-1	40.75
12	1	0	0	1	45.31
13	0	-1	-1	0	49.23
14	0	-1	1	0	48.57
15	0	1	-1	0	49.89
16	0	1	1	0	48.84
17	-1	0	-1	0	49.14
18	-1	0	1	0	49.12
19	1	0	-1	0	43.91
20	1	0	1	0	41.97
21	0	-1	0	-1	47.22
22	0	-1	0	1	49.00
23	0	1	0	-1	48.73
24	0	1	0	1	49.89
25	0	0	0	0	52.50
26	0	0	0	0	52.76
27	0	0	0	0	53.02

较小;反之,则影响较大。等高线与坐标轴交点个数越多,则对响应值影响越大;反之,则较小。等高线的形状越扁平也说明交互作用越强。对秋香梨果醋中总酸含量影响显著的交互项有 X₁X₂和 X₁X₄。其响应面图和等高线图如图 2 所示。由图 2 可知,响应面图非常陡峭,等高线图也呈现较扁平的椭圆形,并且 X₁对总酸含量的影响大于 X₂和 X₄,与方差分析结果一致。

2.2.4 实验验证 利用已建立的数学模型预测秋香梨果醋醋酸发酵的最佳工艺条件为醋酸菌接种量 9.45%,发酵时间 5.90 d,发酵温度 31.15 ℃,初始 pH 4.49。考虑实际操作,修正工艺条件为醋酸菌接种量 9.4%,发酵时间 6 d,发酵温度 31 ℃,初始 pH 4.5,此条件下的总酸含量为 54.45 g/L,与理论预测值 53.25 g/L 误差较小,说明该模型能较好地预测秋香梨果醋的醋酸发酵工艺。

表 3 回归模型的方差分析[†]
Table 3 Analysis of variance of regression model

来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值	显著性
模型	259.01	14	18.50	67.32	<0.000 1	* *
X ₁	105.14	1	105.14	382.60	<0.000 1	* *
X ₂	1.83	1	1.83	6.67	0.024 0	*
X ₃	2.03	1	2.03	7.37	0.018 8	*
X ₄	7.36	1	7.36	26.80	0.000 2	* *
X ₁ ²	134.92	1	134.92	490.96	<0.000 1	* *
X ₂ ²	22.65	1	22.65	82.43	<0.000 1	* *
X ₃ ²	13.08	1	13.08	47.59	<0.000 1	* *
X ₄ ²	18.44	1	18.44	67.11	<0.000 1	* *
X ₁ X ₂	1.72	1	1.72	6.24	0.028 0	*
X ₁ X ₃	0.92	1	0.92	3.35	0.092 0	
X ₁ X ₄	3.42	1	3.42	12.45	0.004 2	* *
X ₂ X ₃	0.04	1	0.04	0.14	0.716 5	
X ₂ X ₄	0.10	1	0.10	0.35	0.565 3	
X ₃ X ₄	0.27	1	0.27	0.98	0.340 8	
误差	3.30	12	0.27			
失拟项	3.16	10	0.32	4.68	0.188 9	
纯误差	0.14	2	0.07			
总和	262.31	26				

[†] * * 表示极显著(P<0.01), * 表示显著(P<0.05);R²=0.987 4,R_{adj}²=0.972 8,CV=1.09%。

2.3 秋香梨果醋的抗氧化能力

由表 4 可知,发酵后秋香梨果醋的抗氧化能力显著提高(P<0.05),ABTS 自由基清除率、DPPH 自由基清除率和还原力分别较发酵前提高了 23.65%,21.17%,30.23%,与廖良坤等^[18-19]的结果一致。Merve 等^[20]研究发现,酸樱桃醋的抗氧化能力与其功能性化合物如没食子酸和绿原酸有关;陈怡等^[21]研究表明,酿造醋的总多酚、总黄酮含量与总抗氧化能力以及超氧自由基、DPPH 自由基和羟基自由基清除率均极显著相关(P<0.01);孙璐宏等^[22]研究表明,柿果醋的总抗氧化能力与总酸含量呈极显著正相关(P<0.01)。因此,发酵后秋香梨果醋的抗氧化性能显著提高,可能与果醋发酵过程中醋酸含量大幅上升有关。同时,随着发酵时间的延长,梨醋中的醇类和醛类化合物会氧化成酸类化合物,如乙酸和己酸^[23-24]。此外,还与发酵带来的一些微生物其他发酵产物和次生代谢产物,如转化黄酮和生物碱类物质,以及发酵过程中多种有机酸的相互作用有关。

3 结论

秋香梨果醋醋酸发酵的最佳发酵工艺参数为醋酸菌接种量 9.4%,发酵时间 6 d,发酵温度 31 ℃,初始 pH 4.5,此条件下秋香梨果醋总酸含量为 54.45 g/L。秋

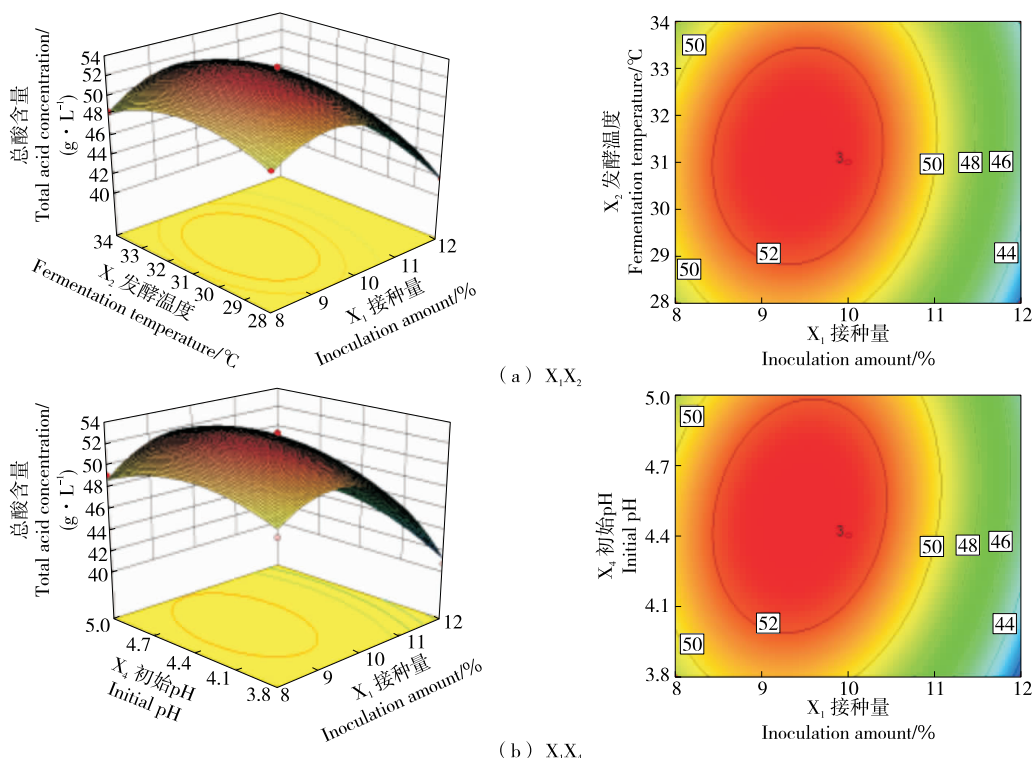


图 2 各因素对总酸质量浓度的交互作用

Figure 2 Interaction of various factors on total acid concentration

表 4 秋香梨果醋的抗氧化能力[†]

Table 4 Antioxidant capacity of Qiuxiang pear vinegar

项目	ABTS 自由基	DPPH 自由基	还原力
	清除率/%	清除率/%	
发酵前	65.30 ^a	36.00 ^a	0.315 ^a
发酵后	80.74 ^b	43.60 ^b	0.409 ^b

[†] 同列字母不同表示差异显著($P < 0.05$)。

香梨酒经醋酸菌发酵后,表现出了良好的体外抗氧化能力,其 DPPH 自由基清除率、ABTS 自由基清除率和 Fe^{3+} 还原能力分别提高了 21.17%,23.65%,30.23%。后续将对该果醋发酵过程中品质及发酵前后风味成分变化进行分析。

参考文献

[1] 蒋俊国,尹金凤,王柏林. 梨抗寒新品种——秋香[J]. 中国果树, 1991, 33(2): 18-19.

[2] 李时珍. 本草纲目[M]. 武汉: 长江出版传媒, 2017: 133-134.

[3] 李政红,张玉星,葛会波. 梨果实提取物的体外抗氧化活性[J]. 食品科技, 2018, 43(7): 193-197.

[4] 姚瑶. 梨醋的酿造工艺研究[D]. 石家庄: 河北科技大学, 2013: 9-10.

[5] 朱文娟,夏必帮,廖红梅. 西番莲的功能活性成分及加工与

综合利用研究进展[J]. 食品与机械, 2018, 34(12): 181-184.

[6] 吴煜樟,卢红梅,陈莉. 果醋的抗氧化成分及功能研究进展[J]. 中国调味品, 2019, 44(8): 197-200.

[7] 张旺,史学伟,郑晓吉,等. 库勒勒香梨果醋发酵工艺条件的优化[J]. 中国调味品, 2018, 43(9): 41-43, 48.

[8] 周平,邓杰,黄治国,等. 雪花梨醋酿造工艺的研究[J]. 中国调味品, 2017, 42(5): 72-79.

[9] 郝瑶,李文,成萌,等. 响应面优化皇冠梨果醋发酵工艺[J]. 食品工业, 2016, 37(5): 35-41.

[10] 董玉新. 梨醋生产技术[J]. 中小企业科技, 2002, 18(2): 11.

[11] 樊秋元,朱丹,牛广财,等. 黑加仑酵素发酵工艺优化及其体外抗氧化性能[J]. 食品工业, 2020, 41(1): 132-137.

[12] 杜朝东,朱松,于添,等. 富硒碎米芽不同提取物抗氧化性能研究[J]. 食品与机械, 2019, 35(4): 174-178.

[13] 樊秋元,朱丹,牛广财,等. 黑加仑酵素有机酸分析及其体外抗氧化性能研究[J]. 中国酿造, 2019, 38(5): 159-163.

[14] 李巧凤,熊汉国,熊舟翼. 甜柿果醋发酵工艺优化及抗氧化研究[J]. 中国调味品, 2020, 45(6): 14-19.

[15] 邓春丽,韦芳兰,苏辉兰,等. 响应面法优化芒果果醋发酵工艺研究[J]. 中国调味品, 2020, 45(2): 116-120, 141.

[16] 余兆硕,徐瀚麟,彭彰文,等. 马铃薯醋酿造工艺优化及其香气成分分析[J]. 食品与机械, 2017, 33(4): 171-175.

(下转第 225 页)

- fluorescence nanoparticles as labels [J]. International Journal of Food Microbiology, 2016, 237: 172-179.
- [74] LU Chun-xia, GAO Xiao-xu, CHEN Ya, et al. Aptamer-based lateral flow test strip for the simultaneous detection of *Salmonella typhimurium*, *Escherichia coli* O157: H7 and *Staphylococcus aureus* [J]. Anal Lett, 2020, 53(4): 646-659.
- [75] HUANG Yu-kun, ZHANG Hui, CHEN Xiu-juan, et al. A multicolor time-resolved fluorescence aptasensor for the simultaneous detection of multiplex *Staphylococcus aureus* enterotoxins in the milk [J]. Biosensors & Bioelectronics, 2015, 74: 170-176.
- [76] 王成全. 基于磁控适配体传感体系的农产品中典型霉菌毒素检测研究[D]. 镇江: 江苏大学, 2016: 85-86.
- [77] QIAN Jing, REN Chan-chan, WANG Cheng-quan, et al. Magnetically controlled fluorescence aptasensor for simultaneous determination of ochratoxin A and aflatoxin B₁ [J]. Analytica Chimica Acta, 2018, 1 019: 119-127.
- [78] WANG Qi, YANG Qing-li, WU Wei. Graphene-based steganographic aptasensor for information computing and monitoring toxins of biofilm in food [J]. Frontiers in Microbiology, 2020, 10: 3 139.
- [79] 周佳伟. 量子点-适配体荧光传感器快速检测卡那霉素和妥布酶残留[D]. 镇江: 江苏大学, 2018: 37.
- [80] 王叶. 基于核酸适配体探针结合荧光和微流控方法检测食品中抗生素残留研究[D]. 宁波: 宁波大学, 2017: 48.
- [81] ZHANG Cun-zheng, WANG Li, TU Zhui, et al. Organophosphorus pesticides detection using broad-specific single-stranded DNA based fluorescence polarization aptamer assay [J]. Biosensors and Bioelectronics, 2014, 55: 216-219.
- [82] 赵旭, 吴世嘉, 乐琳, 等. 基于核酸适配体的镉离子可视化检测方法 [J]. 食品与机械, 2018, 34(6): 35-38.
- [83] WU Shi-jia, DUAN Nuo, SHI Zhao, et al. Dual fluorescence resonance energy transfer assay between tunable upconversion nanoparticles and controlled gold nanoparticles for the simultaneous detection of Pb²⁺ and Hg²⁺ [J]. Talanta, 2014, 128: 327-336.
- [84] YAN Xi-luan, JIANG Meng-meng, JIAN Yu-ting, et al. Simultaneous aptasensor assay of ochratoxin A and adenosine triphosphate in beer based on Fe₃O₄ and SiO₂ nanoparticle as carriers [J]. Analytical Methods, 2020, 12(17): 2 253-2 259.
- [85] JIN Bi-rui, YANG Ye-xin, HE Rong-yan, et al. Lateral flow aptamer assay integrated smartphone-based portable device for simultaneous detection of multiple targets using upconversion nanoparticles [J]. Sensor Actuat B-Chem, 2018, 276: 48-56.
- [86] HE Li-yong, SHEN Zhi-peng, WANG Jia-qi, et al. Simultaneously responsive microfluidic chip aptasensor for determination of kanamycin, aflatoxin M₁, and 17 β -estradiol based on magnetic tripartite DNA assembly nanostructure probes [J]. Microchimica Acta, 2020, 187(3): 1-11.
-
- (上接第 164 页)
- [17] 王中风, 吴永娟, 曾凡坤, 等. 红景天固体饮料配方研究 [J]. 食品与机械, 1997, 13(2): 12-13.
- [18] 梁淑珍, 孟玉彩, 安锡忠, 等. 蔷薇红景天提取物不同极性部位体外抗氧化活性研究 [J]. 安徽农业科学, 2010(20): 10 682-10 683.
- [19] 吴锦健, 邓昌国, 孙殿甲, 等. 比色法测定不同红景天药材中酚性成分的含量 [J]. 中成药, 1996, 18(9): 47-48.
- [20] 田光辉, 庞海霞, 刘存芳, 等. 玫瑰红景天粗脂肪的成分及其性质分析 [J]. 江苏农业科学, 2020, 48(18): 205-210.
- [21] OLGA Kosakowska, KATARZYNA Baczek, JAROSŁAW Przybył, et al. Antioxidant and antibacterial activity of Roseroot (*Rhodiola rosea* L.) dry extracts [J]. Molecules, 2018, 23(7): 1 767-1 781.
- [22] 范桂强, 齐善厚, 庞红霞, 等. 红景天提取物与红景天苷体外抗氧化作用研究 [J]. 中国药房, 2016(13): 1 797-1 800.
- [23] 赵岩, 赵天琦, 蔡恩博, 等. 狭叶红景天乙醇提取物的降血脂和抗氧化活性研究 [J]. 食品安全质量检测学报, 2015(12): 5 046-5 052.
- [24] 陆俊, 罗丹, 张佳琦, 等. 三叶木通不同部位多酚、黄酮含量及抗氧化活性比较 [J]. 食品与机械, 2016, 32(8): 132-135, 223.
-
- (上接第 188 页)
- [17] 陈曦, 李国林, 陈梦玉, 等. 响应面法优化发酵蓝莓果醋发酵工艺条件 [J]. 中国酿造, 2018, 37(9): 73-77.
- [18] 廖良坤, 黄晖, 袁源, 等. 菠萝皮渣果醋发酵特性及抗氧化性 [J]. 食品科技, 2018, 43(4): 87-91.
- [19] 丁一东, 卜春旭, 刘子菱, 等. 蜂蜜醋的品质及其抗氧化性的研究 [J]. 延边大学学报(自然科学版), 2018, 44(3): 256-259.
- [20] MERVE Özen, NILGÜN Özdemir, BILGE Ertekin Filiz, et al. Sour cherry (*Prunus cerasus* L.) vinegars produced from fresh fruit or juice concentrate: Bioactive compounds, volatile aroma compounds and antioxidant capacities [J]. Food Chemistry, 2020, 309: 125664.
- [21] 陈怡, 范茹茹, 吴凯, 等. 不同酿造醋的抗氧化性能的对比研究 [J]. 激光生物学报, 2020, 29(3): 281-289.
- [22] 孙璐宏, 鲁周民, 包蓉, 等. 柿果醋酿造过程中抗氧化性能的变化 [J]. 食品科学, 2011, 32(19): 37-41.
- [23] 丁城, 高冰, 刘璐, 胡勇. 紫外诱变选育醋酸菌及其发酵梨醋风味研究 [J]. 中国酿造, 2016, 35(10): 51-55.
- [24] 贾娟, 王婷婷, 杨雯雯, 等. 香梨发酵酒发酵工艺的优化及其香气成分研究 [J]. 中国酿造, 2019, 38(5): 101-107.