

藜麦黄酒发酵工艺优化及抗氧化特性研究

Optimization on fermentation conditions and the antioxidant characteristics of Chinese quinoa rice wine

张文刚^{1,2,3}张 杰^{1,2,3}党 斌^{1,2,3}杨希娟^{1,2,3}ZHANG Wen-gang^{1,2,3} ZHANG Jie^{1,2,3} DANG Bin^{1,2,3} YANG Xi-juan^{1,2,3}

(1. 青海大学农林科学院, 青海 西宁 810016; 2. 青海省农林科学院青海省青藏高原农产品加工重点实验室, 青海 西宁 810016; 3. 青海大学省部共建三江源生态与高原农牧业国家重点实验室, 青海 西宁 810016)

(1. Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Qinghai University, Xining, Qinghai 810016, China;

2. Key Laboratory of Qinghai Province Tibetan Plateau Agric-Product Processing, Qinghai Academy of Agriculture and Forestry, Xining, Qinghai 810016, China; 3. State Key Laboratory of Three Rivers Ecological Farming and Plateau Agriculture and Animal Husbandry, Qinghai University, Xining, Qinghai 810016, China)

摘要:以青藜 2 号为原料对藜麦黄酒液化法制作条件进行优化, 并对其发酵过程中发酵液抗氧化特性进行分析。结果表明: 藜麦最优液化条件为液化酶添加量 6 U/g、温度 95 ℃、时间 50 min; 液化物最优糖化条件为酶添加量 100 U/g、温度 70 ℃、时间 2.5 h。以酒精含量为指标, 藜麦醪液最佳发酵条件为料水比 1:4 (g/mL)、酵母添加量 4.0%、发酵温度 30 ℃; 酚类化合物在主发酵期内先升高后降低, 发酵第 5 天总酚和总黄酮含量均达到最大值, 分别为 163.75, 14.00 $\mu\text{mol}/100\text{ g} \cdot \text{DW}$; 多肽含量在发酵期内先升高后降低并趋于稳定, 第 4 天多肽含量可达 4.95 g/L; 发酵样清除 DPPH 自由基和 ABTS⁺ 自由基活性分别在发酵第 3 天和第 4 天达到最高, 而 FRAP 铁还原力在发酵第 1~3 天保持较高水平, 第 8 天下降至 12.86 $\mu\text{mol}/100\text{ g} \cdot \text{DW}$, 活性物质的动态变化可能是藜麦黄酒抗氧化性形成的重要物质基础。

关键词: 藜麦黄酒; 发酵; 工艺优化; 抗氧化

Abstract: Conditions for the production of Chinese quinoa rice wine by liquefaction method were optimized using Qingli 2 as raw material, and the changes of antioxidant characteristics of the fermentation liquid were studied. Results showed that quinoa opti-

mized liquefaction parameters were: high temperature α -amylase dosage of 6 U/g, liquefaction temperature 95 ℃, time 50 min. The optimal saccharification processes for quinoa was saccharification enzyme dosage of 100 U/g, saccharification temperature of 70 ℃ and saccharification time of 150 min. The best main fermentation conditions of the quinoa saccharide were: material to water ratio of 1:4 (g/mL), yeast addition amount of 4.0%, and the fermentation temperature of 30 ℃. The phenolic compounds increased first and then decreased during the main fermentation period, and the total phenolic and total flavonoids content reached the maximum of 163.75 and 14.00 $\mu\text{mol}/100\text{ g} \cdot \text{DW}$, respectively. During the fermentation period of 1~8 d, polypeptide content also increased first and then decreased, and further tended to be stabilized. The maximum polypeptide content of 4.95 g/L was obtained at fermentation 4th day. DPPH and ABTS⁺ free radicals scavenging activity of the quinoa fermentation liquid were the highest at the 3rd and 4th day, respectively. While its FRAP iron reducing power remained at a high level at the first 1~3 d, and decreased to 12.86 $\mu\text{mol}/100\text{ g} \cdot \text{DW}$ at 7~8 d and tended to be stable. Dynamic changes of these active substances might be the important material basis for the formation of Chinese quinoa rice wine anti-oxidation activity.

Keywords: Chinese quinoa rice wine; fermentation; processing optimization; antioxidant activity

基金项目: 青海省农林科学院专项科研项目 (编号: 2018-NKY-009); 青海省创新平台建设项目 (编号: 1-24); 青海省科技厅农业科技成果转化与推广计划 (编号: 2015-NK-504)

作者简介: 张文刚, 男, 青海大学研究实习员, 硕士。

通信作者: 杨希娟 (1980—), 女, 青海大学研究员, 博士。

E-mail: 156044169@qq.com

收稿日期: 2019-08-20

藜麦 (*Chenopodium quinoa* Willd.) 为藜科藜属一年生双子叶植物, 原产于南美安第斯地区, 由于其性质特征与小麦、水稻等常见谷物类似而被称为“假谷物”, 它是目前联合国粮食及农业组织 (FAO) 认为唯一能满足人体基

本营养需求的“全营养食品”^[1]。藜麦蛋白质、氨基酸、维生素、矿物质等显著高于一般谷物,同时富含多酚、黄酮、皂苷、多糖等活性成分,表现出良好的抗氧化、抗肿瘤、降血脂、降血压、降血糖等功效,被国际营养学家称为“营养黄金”“未来食品”等^[2-3]。目前,藜麦在中国山西、陕西、青海、四川、浙江等地区均有种植,作为一种“健康食品”原料具有广阔的开发前景^[4]。

黄酒在中国酿造历史悠久,制作原料主要以稻米、黍米、小米、玉米等为主,其含有丰富的蛋白质、氨基酸、维生素,还含有多种有机酸、酯类物质及矿物质,兼具良好的食用和药用价值^[5-7],对避免当下精加工食品功能营养缺乏、防治慢性代谢疾病、改善肠道菌群、降低胆固醇等有积极意义^[8]。传统黄酒酿造工艺周期长、原料利用率低、劳动投入大,近年来广泛使用的液化法酿造新工艺以微生物和酶制剂的液化、糖化和发酵为基础,具有适用性广、效率高、醪液流动性可控、易机械化等优点,在多种杂粮黄酒的酿制中已有应用^[9-10]。刘浩等^[11]以炒制燕麦为原料,利用液化法制作燕麦黄酒,优化工艺后可得到口味醇爽、品质符合国标的黄酒产品;杨祖滔等^[12]研究显示,在最佳条件下薏米糯米黄酒香味清幽、口感醇和、色泽鲜亮。黄酒发酵过程中原料多酚和黄酮溶出,单宁转化为小分子酚类,蛋白质部分分解为活性多肽和氨基酸,这些物质是其发挥清除自由基、抑制肿瘤、调节细胞代谢、抗菌消炎等多种生理功效的重要物质基础^[13-14]。藜麦具有“全营养”特征,具有发展不同类型功能黄酒的良好前景。目前,藜麦黄酒研究尚处初始阶段,对其加工技术及功能性分析还需深入探讨。

试验拟以藜麦为原料,采用液化法发酵藜麦黄酒,对液化、糖化及主发酵条件进行优化,在此基础上探讨发酵过程中酒体抗氧化特性,以期对藜麦黄酒等发酵产品的研究提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

青藜 2 号:青海省农林科学院作物所;

耐高温 α -淀粉酶(4.0×10^4 U/g)、糖化酶(1.0×10^5 U/g):食品级,江苏瑞阳生物科技有限公司;

活性干酵母:安琪酵母股份有限公司;

葡萄糖、福林酚、酪蛋白磷酸肽(Gly-Gly-Tyr-Arg):分析纯,北京索莱宝科技有限公司;

3,5-二硝基水杨酸(DNS)、苯酚、过硫酸钾、硫片:分析纯,南京化学试剂有限公司;

甲醇、无水乙醇、氢氧化钠、酒石酸钾钠、亚硝酸钠、硝酸铝、碳酸钠、三氯乙酸(TCA)、硫酸铜:分析纯,天津市津北精细化工有限公司;

试验中使用的水均为去离子水。

1.2 仪器与设备

紫外分光光度计:N4S 型,上海仪电分析仪器公司;

电子天平:AL204 型,梅特勒—托利多仪器(上海)公司;

生化培养箱:LRH-150 型,上海齐欣科学仪器有限公司;

高速中药粉碎机:FW200 型,天津华鑫仪器厂;

电热鼓风干燥箱:101A-2ET 型,上海试验仪器厂有限公司;

电热恒温水浴锅:DKB-600B 型,上海一恒科学仪器有限公司;

离心机:Centrigue 5430R 型,德国艾本德公司。

1.3 试验方法

1.3.1 藜麦预处理 藜麦除杂清洗后 45 °C 烘干,磨粉过 60 目筛,取藜麦粉适量按一定料液比 95 °C 糊化 10 min。

1.3.2 还原糖含量测定 采用 DNS 法^[12]。葡萄糖标准溶液(1 mg/mL)梯度为 0.0,0.2,0.4,0.6,0.8,1.0,1.2,1.4,1.6,2.0 mL,实际样品 3 000 r/min 离心后取上清液测定,根据标准曲线定量。

1.3.3 酒精含量测定 采用比重法^[15]。

1.3.4 藜麦液化、糖化条件优化 以还原糖含量为指标,通过单因素和 $L_9(3^3)$ 正交试验优化藜麦液化、糖化条件。液化探讨因素包括液化时间(10,20,30,40,50,60 min)、耐高温 α -淀粉酶添加量(3,4,5,6,8,10 U/g)、液化温度(80,85,90,95,100 °C);糖化探讨因素包括糖化时间(30,60,90,120,150,180,210,240 min)、加酶量(50,60,70,80,90,100,110 U/g)、糖化温度(40,45,50,55,60,65,70,75 °C)。液化单因素试验固定条件:液化时间 40 min、耐高温 α -淀粉酶添加量 5 U/g、液化温度 95 °C、料水比 1.0 : 3.5 (g/mL);糖化单因素试验固定条件:糖化时间 90 min、糖化酶添加量 80 U/g、糖化温度 60 °C。

1.3.5 藜麦黄酒主发酵条件优化 以酒精含量为指标,通过单因素和 $L_9(3^3)$ 正交试验优化藜麦黄酒主发酵条件。探讨因素包括料水比[1.0 : 2.5,1.0 : 3.0,1.0 : 3.5,1.0 : 4.0,1.0 : 4.5,1.0 : 5.0 (g/mL)]、酵母接种量(3.0%,3.5%,4.0%,4.5%,5.0%)、发酵温度(24,26,28,30,32,34,36 °C)。在优化参数下发酵藜麦黄酒,持续发酵 8 d,连续监测总酚、总黄酮、多肽含量及抗氧化性。主发酵单因素试验固定条件:料水比 1.0 : 3.5 (g/mL)、酵母接种量 4.0%、发酵温度 28 °C。

1.3.6 总酚、总黄酮含量测定 参照 Adom 等^[16]的方法,结果分别以没食子酸当量($\mu\text{mol}/100 \text{ g} \cdot \text{DW}$)和 Trolox 当量($\mu\text{mol}/100 \text{ g} \cdot \text{DW}$)表示。

1.3.7 多肽含量测定 参照康树杰等^[17]的方法。酪蛋白磷酸肽浓度梯度为 0.0,0.2,0.4,0.6,0.8,1.0,1.2,1.4,1.6,1.8 mg/mL(5% TCA),样品以等体积 10% TCA 沉淀蛋白后,4 000 r/min 离心 15 min,取上清定容后,540 nm 处测定 OD 值,按式(1)计算多肽的质量浓度。

$$C_1 = C_0 \times 50 / 2.5 \times 100\%, \quad (1)$$

式中:

C_1 ——样品多肽的质量浓度, g/L;

C_0 ——标准曲线中的多肽浓度, g/L。

1.3.8 抗氧化指标测定

(1) DPPH 自由基清除能力:参照文献[18]。

(2) ABTS⁺ 自由基清除能力:参照文献[19]。

(3) FRAP 铁还原力:参照文献[20]。

1.3.9 数据处理 采用 Minitab 15 软件及 Excel 进行数据处理。

2 结果与分析

2.1 藜麦液化工艺优化

根据单因素试验结果选择适宜参数水平(见表 1),以还原糖含量为指标设计正交试验,试验结果见表 2,方差分析见表 3。

由表 2、3 可知,各因素对藜麦液化程度的影响主次顺序为高温 α -淀粉酶添加量>液化温度>液化时间,最佳条件组合为 $A_3B_3C_2$,即液化时间 50 min、酶添加量 6 U/g、液化温度 95 ℃;酶添加量和液化温度对液化物还原糖含量均有显著影响($P<0.05$),液化时间影响不显著;

表 1 藜麦液化正交试验因素水平表

Table 1 Factor and level of orthogonal design for quinoa liquefaction

水平	A 液化时间/min	B 酶添加量/(U · g ⁻¹)	C 液化温度/℃
1	30	4	90
2	40	5	95
3	50	6	100

表 2 藜麦液化正交试验结果

Table 2 Optimization test results for quinoa liquefaction

序号	A	B	C	还原糖含量/ (10 ⁻² g · mL ⁻¹)
1	1	1	1	1.53
2	1	2	2	1.95
3	1	3	3	1.74
4	2	1	2	1.68
5	2	2	3	1.58
6	2	3	1	1.83
7	3	1	3	1.45
8	3	2	1	1.92
9	3	3	2	2.08
k_1	5.22	4.66	5.28	
k_2	5.09	5.45	5.71	
k_3	5.45	5.65	4.77	
R	0.36	0.99	0.94	

表 3 藜麦液化正交试验方差分析表[†]

Table 3 Variance analysis of quinoa liquefaction test

来源	平方和	自由度	均方	F	P 值	显著性
校正模型	0.352	6	0.059	29.210	0.033	*
截距	27.598	1	27.598	13 722.519	0.000	* *
A	0.022	2	0.011	5.510	0.154	
B	0.183	2	0.091	45.420	0.022	*
C	0.148	2	0.074	36.700	0.027	*
误差	0.004	2	0.002			
总计	27.954	9				
校正总计	0.356	8				

[†] $R^2=0.988\ 7$; $R_{\text{adj}}^2=0.954\ 9$; * 表示显著($P<0.05$); * * 表示极显著($P<0.01$)。

与刘浩等^[11]研究结果基本一致。

2.2 藜麦糖化工艺优化

根据单因素试验结果选择适宜参数水平(见表 4),以还原糖含量为指标设计正交试验,试验结果见表 5,方差分析见表 6。

表 4 藜麦糖化正交试验因素水平表

Table 4 Factor and level of orthogonal design for quinoa saccharification

水平	A 糖化温度/ ℃	B 酶添加量/ (U · g ⁻¹)	C 糖化时间/ min
1	65	80	120
2	70	90	150
3	75	100	180

表 5 藜麦糖化正交试验结果

Table 5 Optimization test results for quinoa saccharification

序号	A	B	C	还原糖含量/ (10 ⁻² g · mL ⁻¹)
1	1	1	1	2.13
2	1	2	2	2.16
3	1	3	3	2.18
4	2	1	2	2.24
5	2	2	3	2.12
6	2	3	1	2.20
7	3	1	3	2.23
8	3	2	1	2.21
9	3	3	2	2.35
k_1	6.47	6.60	6.54	
k_2	6.56	6.49	6.75	
k_3	6.79	6.73	6.53	
R	0.32	0.24	0.22	

表 6 藜麦糖化正交试验方差分析表[†]

Table 6 Variance analysis of quinoa saccharification test

来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值	显著性
校正模型	0.038	6	0.006	43.923	0.022	*
截距	43.648	1	43.648	302 178.769	0.000	* *
A	0.018	2	0.009	62.850	0.016	*
B	0.009	2	0.005	33.310	0.029	*
C	0.010	2	0.005	35.620	0.027	*
误差	0.000	2	0.000			
总计	43.686	9				
校正总计	0.038	8				

[†] $R^2=0.992\ 5$; $R_{adj}^2=0.969\ 9$; * 表示显著 ($P<0.05$); * * 表示极显著 ($P<0.01$)。

由表 5、6 可知,各因素对藜麦糖化程度的影响主次顺序为糖化温度>糖化酶添加量>糖化时间,最佳条件组合为 $A_3B_3C_2$,即糖化温度 70 ℃、糖化酶添加量 100 U/g、糖化时间 150 min,与刘浩等^[11]研究结果一致;3 个糖化影响因素对还原糖含量的影响均达到显著水平 ($P<0.05$)。

2.3 藜麦主发酵工艺优化

根据单因素试验结果选择适宜参数水平(见表 7),以酒精度为指标进行正交试验,试验结果见表 8,方差分析见表 9。

由表 8、9 可知,各因素对醪液主发酵影响最大的为料水比,其次为酵母接种量,发酵温度影响相对较小;最优条件为 $A_2B_2C_2$,即料水比 1:4 (g/mL)、酵母接种量 4.0%、发酵温度 30 ℃;料水比和酵母接种量对酒精度影响显著 ($P<0.05$)。

2.4 发酵过程中黄酒活性成分及抗氧化活性的变化

2.4.1 总酚、总黄酮含量 由图 1 可知,总酚、总黄酮含量在整个发酵过程中均先增大后减小,在发酵 6 d 后又出现缓慢增加趋势。发酵前 5 d,随着酵母繁殖和代谢作用的增强,发酵液酒精含量逐渐提高,使得总酚、总黄酮不断被浸提出^[21],同时在酵母作用下物料部分结合酚类被溶出,使得酚类化合物总量逐渐升高;发酵 5~6 d 时,酚类化合物明显降低,可能与单体酚聚合及酚类物质氧化

表 7 藜麦主发酵正交试验因素水平表

Table 7 Factor and level of orthogonal design for quinoa rice wine fermentation

水平	A 料水比 (g/mL)	B 酵母接种 量/%	C 发酵温度/ ℃
1	1.0:3.5	3.5	28
2	1.0:4.0	4.0	30
3	1.0:4.5	4.5	32

表 8 藜麦主发酵正交试验结果

Table 8 Optimization test results of main fermentation for quinoa rice wine

序号	A	B	C	酒精含量/%Vol
1	1	1	1	6.8
2	1	2	2	8.7
3	1	3	3	6.9
4	2	1	2	9.1
5	2	2	3	9.6
6	2	3	1	8.5
7	3	1	3	5.8
8	3	2	1	7.7
9	3	3	2	7.5
k_1	22.4	21.7	23.0	
k_2	27.2	26.0	25.3	
k_3	21.0	22.9	22.3	
R	6.2	4.3	3.0	

表 9 藜麦主发酵正交试验方差分析表[†]

Table 9 Variance analysis of quinoa main fermentation test

来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值	显著性
校正模型	11.973	6	1.996	26.806	0.036	*
截距	553.818	1	553.818	7 439.943	0.000	* *
A	7.049	2	3.524	47.343	0.021	*
B	3.282	2	1.641	22.045	0.043	*
C	1.642	2	0.821	11.030	0.083	
误差	0.036	2	0.074			
总计	579.530	9				
校正总计	14.676	8				

[†] $R^2=0.987\ 7$; $R_{adj}^2=0.950\ 9$; * 表示显著 ($P<0.05$); * * 表示极显著 ($P<0.01$)。

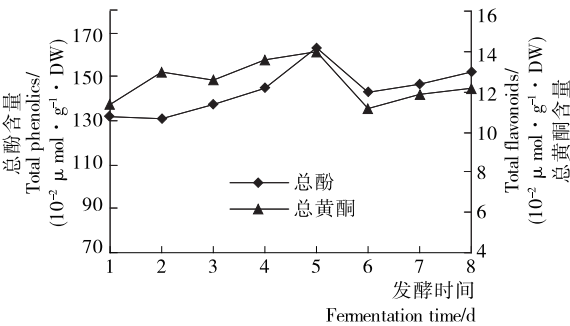


图 1 藜麦糖化物发酵过程中总酚、总黄酮的变化
Figure 1 Changes in total polyphenol and total flavonoid contents during the fermentation of quinoa saccharide

等作用有关^[22];发酵 6 d 后,发酵体系中糖分减少使得发酵放缓,但随发酵时间的延长料液酒精度增加缓慢,部分结合酚释放及酚类继续溶出,使得酚类化合物含量再次增加。

2.4.2 多肽含量 由图 2 可知,随着发酵时间的延长,发酵液中多肽含量先升高后降低,发酵第 4 天,多肽含量达到最大值 4.95 g/L;发酵 7 d 后多肽含量趋于稳定,保持在 3.20 g/L 左右。藜麦发酵过程中多肽主要来源于两个方面:①微生物自溶;②原料中的蛋白质分解。在发酵初期酵母大量繁殖并不断自溶,细胞中多肽释放进入发酵液中,同时蛋白质较多降解形成多肽;而在发酵后期微生物生长繁殖能力下降且蛋白质含量减少,多肽的形成与分解相对平衡,发酵液中多肽含量变化趋于稳定。

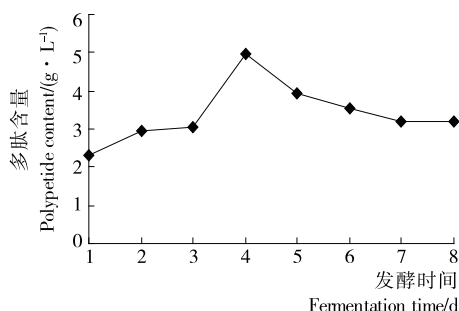


图 2 藜麦糖化物发酵过程中多肽含量的变化

Figure 2 Changes in peptide contents during the fermentation of quinoa saccharide

2.4.3 抗氧化性 由图 3 可知,DPPH 自由基清除力、ABTS⁺ 自由基清除力及铁还原力在发酵过程中总体呈先增大后减小趋势。DPPH 自由基清除能力在发酵第 3 天达最大值,之后快速降低,第 4~8 天变化缓慢;ABTS⁺ 自由基清除能力在发酵第 4 天达最高,第 4~6 天快速降低,而第 6~8 天出现波动;FRAP 还原力在发酵初始(1~3 d)保持在较高水平,延长发酵时间,还原力逐渐下降,第 8 天保持在 12.86 $\mu\text{mol}/100\text{ g} \cdot \text{DW}$ 。藜麦发酵液中抗氧化性的变化可能与其活性物质含量和组成相关,总酚可能对 FRAP 铁还原力和 DPPH 自由基清除力影响较大,而总黄酮、多肽可能对 ABTS⁺ 自由基清除能力影响较大。

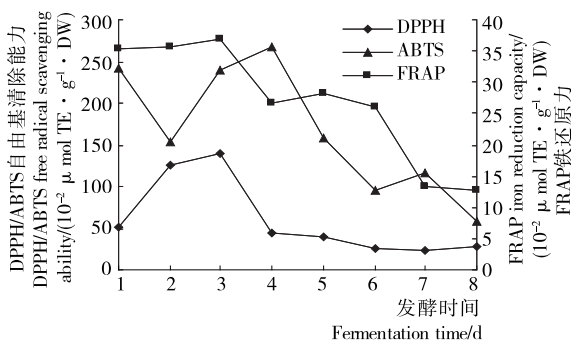


图 3 藜麦糖化物发酵过程中抗氧化活性的变化

Figure 3 Changes in antioxidant activity during the fermentation of quinoa saccharide

3 结论

(1) 藜麦黄酒的最佳液化、糖化及主发酵工艺条件为:耐高温 α -淀粉酶添加量 6 U/g,液化温度 95 $^{\circ}\text{C}$,液化时间 50 min;糖化酶添加量 100 U/g,糖化温度 70 $^{\circ}\text{C}$ 、糖化时间 150 min;料水比 1:4 (g/mL)、酵母添加量 4.0%、发酵温度 30 $^{\circ}\text{C}$ 。

(2) 藜麦黄酒含有较多活性物质且随发酵时间呈动态变化,其中黄酒总酚、总黄酮在主发酵第 5 天达到峰值,后发酵阶段仍能保持较高水平;多肽含量发酵第 4 天达到 4.95 g/L,发酵后期保持在 3.20 g/L,发酵过程是酒体特征及活性物质形成的关键时期。

(3) 藜麦黄酒清除 DPPH、ABTS⁺ 自由基能力及 FRAP 铁还原力呈先升高后降低趋势,发酵第 3 天总体抗氧化性最强,发酵后期仍保持一定抗氧化活性;发酵液的体外抗氧化特征可能与其活性物质的形成及变化有关。

(4) 试验中酵母添加量大,但发酵较缓慢,发酵物酒精度偏低,主要由于藜麦经液化糖化后还原糖含量低;后续可从醪液糖度调控、酵母选择等方面优化,并结合抗氧化性特征,制作品质、功能性较优的藜麦黄酒产品。

参考文献

- [1] 申瑞玲, 张文杰, 董吉林, 等. 藜麦的营养成分、健康促进作用及其在食品工业中的应用[J]. 中国粮油学报, 2016, 31(9): 151-155.
- [2] 梁军林, 李霞, 李嘉奔, 等. 藜麦产品研发现状及前景[J]. 粮食加工, 2017, 42(6): 64-67.
- [3] 魏爱春, 杨修仕, 么杨, 等. 藜麦营养成分及生物活性研究进展[J]. 食品科学, 2015, 36(15): 272-276.
- [4] 肖正春, 张广伦. 藜麦及其资源开发利用[J]. 中国野生植物资源, 2014, 33(2): 62-66.
- [5] 张惠芸, 陈俊亮, 康怀彬. 发酵对几种谷物提取物总酚及抗氧化活性的影响[J]. 食品科学, 2014, 35(11): 195-199.
- [6] 郭睿, 杨玲, 郭旭凯, 等. 糯高粱黄酒糖化工艺优化及抗氧化活性分析[J]. 中国酿造, 2018, 37(3): 101-106.
- [7] 刘浩, 胡一波, 任贵兴. 杂粮黄酒的氨基酸组成评价及抗氧化研究[J]. 食品工业科技, 2015, 36(19): 343-351.
- [8] 谭斌, 谭洪卓, 刘明, 等. 我国全谷物食品发展的必要性与挑战[J]. 粮食与食品工业, 2009, 16(4): 4-8.
- [9] 常青, 张立国. 酶法甜荞黄酒生产工艺改进分析[J]. 酿酒, 2017, 44(1): 98-100.
- [10] 易晓成, 万萍, 李雄波, 等. 青稞干黄酒传统发酵工艺研究[J]. 中国酿造, 2018, 37(8): 128-132.
- [11] 刘浩, 任贵兴. 液化法酿造燕麦黄酒工艺条件优化[J]. 中国酿造, 2014, 33(8): 67-74.
- [12] 杨祖滔, 吴天祥, 朱思洁, 等. 薏米糯米黄酒酿造工艺条件的研究[J]. 中国酿造, 2016, 35(5): 102-106.
- [13] 倪莉, 吕旭聪, 黄志清, 等. 黄酒的生理功效及其生理活性物质和研究进展[J]. 中国食品学报, 2012, 12(3): 1-6.

(下转第 226 页)