

# 玉米须水芹酒酿造工艺优化

刘喆, 周俊男, 黄琬婷, 王哲, 刘家裕, 那广宁\*  
(沈阳工学院 生命工程学院, 辽宁 抚顺 113122)

**摘要:** 以玉米须与水芹为主要原料, 选用酿酒酵母作为发酵菌种, 按比例进行混合发酵, 考察玉米须水芹酒最佳酿造工艺。以酒精度和感官评分为检测指标, 运用单因素试验和 Box-Behnken 中心组合试验优化发酵条件, 对水芹汁与玉米须汁的体积比、菌种添加量、发酵时间以及发酵温度进行控制, 得到最佳的发酵工艺条件为水芹汁: 玉米须汁=1:2(体积比)、菌种添加量 0.6%、发酵时间 11 d、发酵温度 25 ℃。在该条件下得到的玉米须水芹酒呈淡黄色透明状, 酒香醇厚, 酒体柔和, 且具有一定的抗氧化能力。

**关键词:** 玉米须; 水芹; 发酵; 工艺参数; 抗氧化

## Brewing Process of Corn Silk-Cress Wine

LIU Zhe, ZHOU Junnan, HUANG Wanting, WANG Zhe, LIU Jiayu, NA Guangning\*

(College of Life Engineering, Shenyang Institute of Technology, Fushun 113122, Liaoning, China)

**Abstract:** The corn silk-cress wine was brewed with *Saccharomyces cerevisiae*. The fermentation conditions were optimized by single factor tests, and Box-Behnken design with alcohol content and sensory score as the indicators. The optimal fermentation process conditions were cress juice : corn silk juice was 1 : 2 (volume ratio), the amount of strains added was 0.6%, the fermentation time was 11 d, and the fermentation temperature was 25 ℃. The product obtained under these conditions was pale yellow, transparent, tasted mellow and soft, and had a certain antioxidant capacity.

**Key words:** corn silk; cress; fermentation; process parameters; antioxidant

引文格式:

刘喆, 周俊男, 黄琬婷, 等. 玉米须水芹酒酿造工艺优化[J]. 食品研究与开发, 2023, 44(19): 104-109.

LIU Zhe, ZHOU Junnan, HUANG Wanting, et al. Brewing Process of Corn Silk-Cress Wine[J]. Food Research and Development, 2023, 44(19): 104-109.

玉米须, 禾本科植物, 在我国各地均有种植, 存在于玉米柱头处, 通常呈黄绿色或红棕色, 光泽暗淡, 无不良异味。一般以松散的方式缠绕在一起, 呈现团状, 完整的玉米须长度可达 20~30 cm。玉米须性味味甘、淡。有利尿消肿、清肝利胆的功效<sup>[1]</sup>。随着玉米加工产业的蓬勃发展, 玉米须也逐渐受到了广泛的关注。

水芹, 又名水芹菜、野芹菜, 多年生伞形科草本植物, 茎直立, 基生叶有柄, 部有叶鞘; 子叶形状为三角形, 花期 6 月份~7 月份, 一般采用无性繁殖。水芹具有

清热利尿、解毒消肿、止血和降压等功效<sup>[2]</sup>。

玉米须水芹酒将二者进行混合发酵, 丰富酒品口感同时富有一定的生理功能。玉米须水芹酒中富含黄酮、皂苷、甾醇、多糖等有效成分, 能恢复和提高胰岛的分泌功能, 还具有降低血压、利尿、抗氧化等效果。有研究者利用有机溶剂将玉米须中的黄酮进行萃取, 考察其对自由基的清除效果, 发现萃取物均具有抗氧化性, 且抗氧化性与黄酮含量呈正相关<sup>[3-5]</sup>。本试验以玉米须和水芹为主要发酵原料, 探究不同水芹汁和玉米

基金项目: 辽宁省科学技术计划项目(2019-MS-241); 国家级大学生创新创业训练项目(202113201010)

作者简介: 刘喆(2001—), 女(汉), 本科在读, 研究方向: 农产品深加工与利用。

\* 通信作者: 那广宁(1984—), 男(满), 副教授, 博士, 研究方向: 农产品深加工与利用。

须汁体积比、菌种添加量、发酵时间和发酵温度对其品质的影响,为发酵酒的研发提供参考。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材料与设备

#### 1.1.1 试验材料

玉米须、野生水芹、白砂糖:市售;酿酒酵母:安琪酵母股份有限公司;果胶酶(5万U/g):南宁庞博生物工程有 限公司;偏重亚硫酸钾:上海展云化工有限公司;FeSO<sub>4</sub>·H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>、水杨酸(均为分析纯):山东三元生物科技股份有限公司。

#### 1.1.2 仪器与设备

MC型电子天平:上海民桥精密科技仪器有限公司;LYT-980型酒精测量仪:河北青县仪器有限公司;SPX-150型恒温培养箱:上海博迅实业有限公司;SB25-12DTD型超声波清洗器:昆山禾创超声仪器有限公司;UV-721型分光光度计:上海美谱达仪器有限公司;ANS-978打浆机:广东奥诺斯电器有限公司。

### 1.2 试验方法

#### 1.2.1 工艺流程

新鲜水芹→清洗、挑选→破碎榨汁→添加果胶酶→取上清液与玉米须汁混合→加入活化菌种→加糖→主发酵→倒罐→后发酵→过滤→成品。

#### 1.2.2 操作要点

原料挑选:挑选新鲜完整、粗纤维含量少的绿色水芹;无虫蛀、无病斑的玉米须,剔除其中的不良杂质,洗去表面污渍。

破碎榨汁:将新鲜水芹切成1cm<sup>3</sup>大小的块状,与纯净水以1:30体积比混合,置于打浆机中打浆备用,制得水芹汁,并将其与玉米须汁按照一定的体积比混合。

主发酵:用20mL的温水(20℃左右)活化酿酒酵母,加入混合汁中装罐密封发酵。

后发酵:发酵7d后,玉米须汁与水芹汁的残渣已经明显沉到罐底,应及时过滤掉残渣,更换发酵罐,在10℃的条件下继续陈酿。

过滤装瓶:将发酵完成的酒进行精滤,静置12h后取上清液进行装瓶。装瓶前每100L加入10~20g偏重亚硫酸钾,贮存一段时间后,进行感官评价。

#### 1.2.3 单因素试验

分别控制水芹汁与玉米须汁体积比(1:3、1:2、1:1、2:1、3:1)、菌种添加量(0.3%、0.4%、0.5%、0.6%、0.7%)、发酵温度(15、20、25、30、35℃)以及发酵时间(5、10、15、20、25d),以酒精度、感官评分为评价指标,分别进行单因素试验,考察各因素对发酵酒品质的影响。

### 1.2.4 感官评定

选取30名食品专业人员根据GB 2758—2012《食品安全国家标准 发酵酒及其配制酒》对玉米须水芹酒的外观、香气、口感和典型性4个方面进行感官评分,满分100分,感官评定标准见表1。

表1 感官评定标准

Table 1 Sensory evaluation criteria

项目	感官标准	分值
外观(10分)	晶莹透亮的淡黄色,无悬浮物	7~10
	淡黄或黄褐色,澄清,色泽较亮	4~<7
	暗红色,光泽较暗,基本澄清	3~<4
香气(30分)	黄褐色,无光泽,澄清度差	<3
	原料香与酒香浓郁协调,酒香绵软	25~30
	香气良好,无刺激气味	20~<25
口感(40分)	香味较淡,无异味	15~<20
	层次丰富,口感醇厚厚重	35~40
	口感爽净,酒体完整	30~<35
典型性(20分)	口感较舒适,酒体较完整	25~<30
	口感一般,酒味平淡	<25
	典型性显著,风味纯正	15~20
	有明确典型性,风味浓厚	10~<15
	典型性不明确,风味一般	5~<10
	无典型性,风味不佳	<5

### 1.2.5 测定指标

应用LYT-980型酒精测量仪测定玉米须水芹酒的酒精度。

### 1.2.6 Box-Behnken 试验设计

在单因素试验的基础上,结合Design-Expert软件进行Box-Behnken试验设计,以感官评分为考察指标,选用水芹汁与玉米须汁体积比(A)、菌种添加量(B)、发酵时间(C)和发酵温度(D)进行四因素三水平的试验<sup>[6-8]</sup>,发酵因素水平见表2。

表2 发酵因素水平

Table 2 Levels and factors of fermentation

水平	因素			
	A 水芹汁与玉米须汁体积比	B 菌种添加量/%	C 发酵时间/d	D 发酵温度/℃
-1	1:2	0.5	5	20
0	1:1	0.6	10	25
1	2:1	0.7	15	30

### 1.2.7 玉米须水芹酒对羟自由基清除率的测定

将玉米须水芹酒稀释后,分别配制成不同质量浓度的样液(0.40、0.70、1.00、1.30、1.60g/L),吸取1.5mL样品溶液于试管中并依次加入5mL 2.5mmol/L FeSO<sub>4</sub>溶液、5mL 1mmol/L H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>溶液,摇匀后,再向其加入5mL 5mmol/L水杨酸溶液,在38℃水浴锅中加热55min,冷却至室温(25℃),测得吸光度A<sub>1</sub>,重复上述操作,用5mL蒸馏水代替5mL H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>溶液测定其吸光度,记录为

$A_2$ ,用蒸馏水代替样液作为空白对照,吸光度为  $A_0$ ,同时以  $V_c$  作阳性对照试验<sup>[9-10]</sup>。羟基自由基清除率( $Y, \%$ )计算公式如下。

$$Y=[1-(A_1-A_2)/A_0] \times 100$$

### 1.3 数据处理

所有试验均进行3次重复,应用SPSS 16和Origin Pro 8.0软件进行数据处理,不同处理间的数据采用多重比较方法,显著水平为0.05。

## 2 结果与分析

### 2.1 单因素试验结果

#### 2.1.1 不同水芹汁与玉米须汁体积比对酒品质的影响

不同水芹汁与玉米须汁体积比对酒品质的影响见图1。

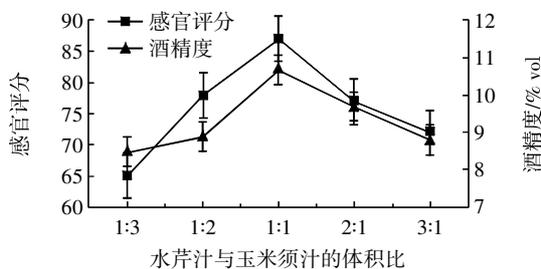


图1 不同水芹汁与玉米须汁体积比对酒品质的影响

Fig.1 Influence of different proportions of cress juice and corn whisker juice on wine quality

由图1可知,随水芹汁与玉米汁比例的增大,酒精度与感官评分均呈现逐步上升的趋势,并在体积比为1:1时评分最高,说明此时发酵效果最佳,此时酒精度为10.7% vol,感官评分为87。在水芹汁与玉米须汁体积比为1:1~2:1时,发酵酒的感官评分开始呈现下降的趋势,说明酒已经超过了最佳的发酵时间,过度发酵导致其感官品质有所下降,使酒体苦涩。因此,选择水芹汁与玉米须汁体积比为1:2、1:1、2:1进行后续试验。

#### 2.1.2 不同菌种添加量对酒品质的影响

不同菌种添加量对酒品质的影响见图2。

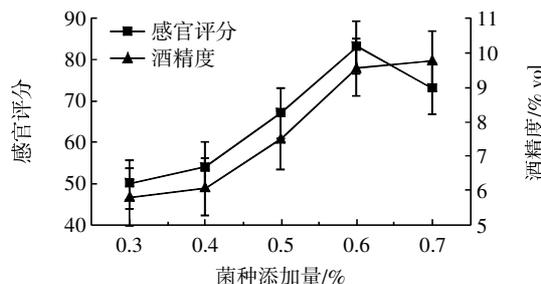


图2 不同菌种添加量对酒品质的影响

Fig.2 Influence of different bacteria addition amount on wine quality

由图2可知,随着菌种添加量的增加,酒精度整体呈稳步上升至最高点后趋于稳定,感官评分先上升后略有下降趋势,可能是由于菌种添加量过大而没有完全被利用,使过量的菌种沉到罐底,影响了整体感官评分。菌种添加量在0.5%~0.6%变化最明显,上升幅度最大,并在添加量为0.6%时达到峰值。此时酒体清澈透亮,浓郁纯正。因此,选择菌种添加量0.5%、0.6%、0.7%进行后续试验。

#### 2.1.3 不同发酵时间对酒品质的影响

不同发酵时间对酒品质的影响见图3。

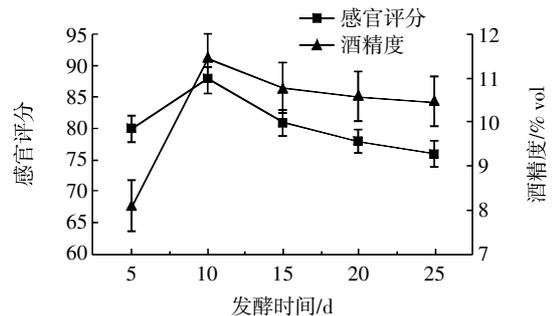


图3 不同发酵时间对酒品质的影响

Fig.3 Effects of different fermentation time on wine quality

由图3可知,随着发酵时间的延长,酒精度与感官评分先大幅度升高至最高点后缓慢下降,并在发酵时间为20~25 d时趋于稳定状态,说明此时发酵已经结束。在发酵时间为10 d时,感官评分最高,为88,酒精度为11.5% vol,此时原料香与酒香的融合协调,层次分明。因此,选择发酵时间为5、10、15 d进行后续试验。

#### 2.1.4 不同发酵温度对酒品质的影响

不同发酵温度对酒品质的影响见图4。

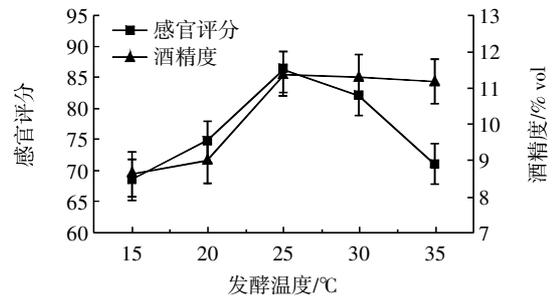


图4 不同发酵温度对酒品质的影响

Fig.4 Effects of different fermentation temperatures on wine quality

由图4可知,随着发酵温度的逐步升高,酒精度逐渐增大,当发酵温度为25 °C时,酒精度为11.4% vol,此时感官评分达到最大值,为86。此时酒体色泽澄清透亮,香气悠长。当发酵温度高于25 °C时,酒精度缓慢升高并逐渐趋于平缓,感官评分下降,说明在发酵温

度较高时,酿酒酵母发酵速度过快,导致酒香流失,酵母味厚重,酒体浑浊不清,酒味不纯。综合考虑,选择发酵温度 20、25、30 °C 进行后续优化试验。

## 2.2 玉米须水芹酒响应面优化结果

响应面优化试验及结果见表 3,方差分析见表 4。

表 3 Box-Behnken 试验方案与结果  
Table 3 Box-Behnken test scheme and results

试验号	A	B	C	D	感官评分
1	-1	-1	0	0	83
2	1	-1	0	0	85
3	-1	1	0	0	86
4	1	1	0	0	85
5	0	0	-1	-1	65
6	0	0	1	-1	74
7	0	0	-1	1	73
8	0	0	1	1	72
9	-1	0	0	-1	78
10	1	0	0	-1	76
11	-1	0	0	1	83
12	1	0	0	1	80
13	0	-1	-1	0	73
14	0	1	-1	0	71
15	0	-1	1	0	74
16	0	1	1	0	76
17	-1	0	-1	0	73
18	1	0	-1	0	76
19	-1	0	1	0	78
20	1	0	1	0	72
21	0	-1	0	-1	70
22	0	1	0	-1	80
23	0	-1	0	1	80
24	0	1	0	1	77
25	0	0	0	0	87
26	0	0	0	0	86
27	0	0	0	0	86
28	0	0	0	0	85
29	0	0	0	0	87

表 4 响应面方差分析  
Table 4 Response surface ANOVA

方差来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值	显著性
模型	993.82	14	70.99	24.61	<0.000 1	***
A	4.08	1	4.08	1.42	0.253 9	
B	8.33	1	8.33	2.89	0.111 3	
C	18.75	1	18.75	6.50	0.023 1	*
D	40.33	1	40.33	13.98	0.002 2	**
AB	2.25	1	2.25	0.78	0.392 0	
AC	20.25	1	20.25	7.02	0.019 0	*
AD	0.25	1	0.25	0.087	0.772 8	

续表 4 响应面方差分析  
Continue table 4 Response surface ANOVA

方差来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值	显著性
BC	4.00	1	4.00	1.39	0.258 6	
BD	42.25	1	42.25	14.65	0.001 8	**
CD	25.00	1	25.00	8.67	0.010 7	*
A <sup>2</sup>	1.00	1	1.00	0.34	0.566 3	
B <sup>2</sup>	33.33	1	33.33	11.55	0.004 3	**
C <sup>2</sup>	667.16	1	667.16	231.29	<0.000 1	***
D <sup>2</sup>	254.73	1	254.73	88.31	<0.000 1	***
误差	40.38	14	2.88			
失拟项	37.58	10	3.76	5.37	0.059 8	
净误差	2.80	4	0.70			
总离差	1 034.21	28				

注:\*\*\* 表示影响高度显著, $P<0.001$ ;\*\* 表示影响极显著, $P<0.01$ ;  
\* 表示影响显著, $P<0.05$ 。

应用 Design-Expert 软件对试验数据进行响应面分析,建立感官评分( $Y$ )与  $A$ (水芹汁与玉米须汁体积比)、 $B$ (菌种添加量)、 $C$ (发酵时间)和  $D$ (发酵温度)之间的模型,从而得到二次回归方程为  $Y=86.20-0.58A+0.83B+1.25C+1.83D-0.75AB-2.25AC-0.25AD+1.00BC-3.25BD-2.50CD-0.39A^2-2.27B^2-10.14C^2-6.27D^2$ 。

由表 4 可知,该模型影响高度显著( $P<0.001$ ),各因素之间存在显著的差异,失拟项( $P=0.059 8>0.05$ )差异不显著,说明此模型稳定性较好。决定性系数  $R^2=0.961 0$ ,校正系数  $R^2_{adj}=0.921 9$ ,说明感官评定的结果与预测值结果有相对较好的稳合性。二次项  $C^2$  和  $D^2$  影响高度显著( $P<0.001$ ),一次项  $D$ 、交互项  $BD$  和二次项  $B^2$  对感官评分的影响极显著( $P<0.01$ ),一次项  $C$ ,交互项  $AC$ 、 $CD$  对感官评分的影响显著( $P<0.05$ ),各因素能够明确反映响应值的变化。

## 2.3 响应面交互作用分析

以感官评分为评价指标,分析  $BD$ 、 $CD$  间的交互作用对玉米须水芹酒感官评分的影响,见图 5、图 6。坡面倾斜程度越大,说明影响因子对响应值的影响越大;坡面倾斜程度越小,则说明影响因子对响应值影响小;等高线越趋近于椭圆形,说明交互项之间作用显著;等高线趋近于圆形,说明交互项之间不显著,交互作用几乎可以忽略。

通过三维响应面作图,可以直观地观察到  $BD$ 、 $CD$  间交互作用对酒感官评分的影响。由图 5 可知,随着菌种添加量( $B$ )和发酵温度( $D$ )的增加,感官评分整体先逐步上升达到最高值后又趋于下降, $D$  的曲面倾斜坡度较大,说明  $D$  对整体感官评分的影响相对较大,等高线呈椭圆形,说明  $B$  与  $D$  之间的交互作用对酒的感官评分有显著影响。由图 6 可知,感官评分随发酵时

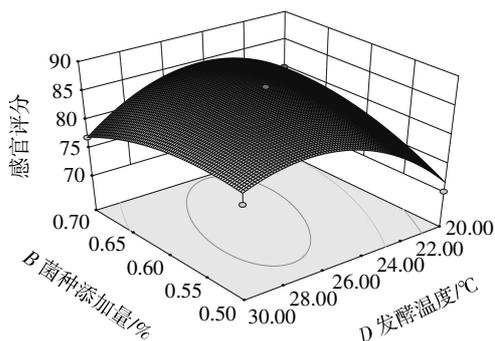


图5 菌种添加量和发酵温度交互作用对感官评分的影响

Fig.5 Effects of the interaction of strain addition amount and fermentation temperature on sensory score

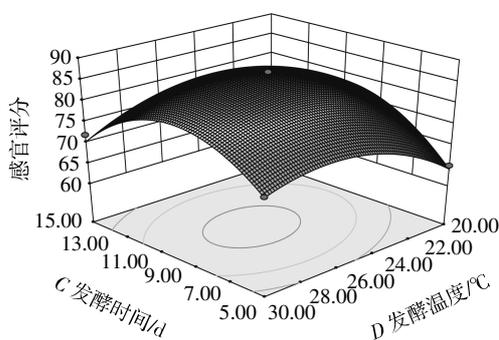


图6 发酵时间和发酵温度交互作用对感官评分的影响

Fig.6 Effects of interaction of fermentation time and temperature on sensory score

间(C)及发酵温度(D)的增加而增加,至峰值后逐渐降低,说明感官评分已经接近最大值,且存在一定的倾斜,CD交互作用相对显著。

#### 2.4 最佳工艺条件的预测与检验

利用响应面软件对试验结果进行优化,得到最佳生产工艺条件为水芹汁:玉米须汁=1:2(体积比)、菌种添加量0.64%、发酵时间10.93 d、发酵温度25.17℃。感官评分为87.04。考虑到试验操作的实际可行性,更改工艺条件为水芹汁:玉米须汁=1:2(体积比)、酵母添加量0.6%、发酵时间11 d、发酵温度25℃。在此工艺条件下,进行5次平行试验,制得玉米须水芹酒的酒色光亮、香气馥郁、口味纯正,其感官评分为87.13,与预期值存在差异较小。结果表明,响应面法对玉米须水芹酒工艺条件的优化值可靠。

#### 2.5 抗氧化活性分析

以V<sub>C</sub>作为对照试验,将玉米须水芹酒进行不同程度的稀释,计算不同质量浓度酒所对应的羟基自由基清除率,如图7所示。

由图7可知,随着酒质量浓度的增加,对·OH清除能力呈现稳步上升的趋势,表明玉米须水芹酒对·OH有一定的清除作用。

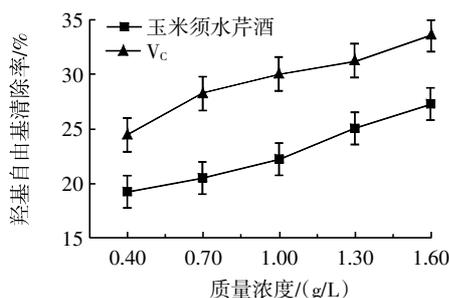


图7 羟基自由基清除能力

Fig.7 Scavenging capacity of hydroxyl radical

### 3 结论

在单因素试验的基础上对与水芹汁与玉米须汁体积比、菌种添加量、发酵时间和发酵温度进行响应面优化试验,结果表明:在水芹汁:玉米须汁=1:2(体积比),酵母添加量0.6%,发酵时间11 d,发酵温度25℃时,制得的玉米须水芹酒颜色呈淡黄色,酒体澄清,酒香醇厚,感官评分为87.13。以V<sub>C</sub>作为阳性对照,以羟基自由基的清除率作为玉米须水芹酒的抗氧化活性指标,结果显示,玉米须水芹酒具有一定的抗氧化能力。

### 参考文献:

- [1] ZHANG Y, WANG C F, LIU C X, et al. Recent developments in stigma maydis polysaccharides: Isolation, structural characteristics, biological activities and industrial application[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2020, 150: 246–252.
- [2] 袁丽, 陈欣, 周龙甫, 等. 水芹提取物降低高尿酸血症大鼠血尿酸水平及机制研究[J]. 中国新药杂志, 2020, 29(22): 2597–2604. YUAN Li, CHEN Xin, ZHOU Longfu, et al. Study on the mechanism of cress extract reducing blood uric acid levels in rats with hyperuricemia[J]. China Journal of New Drugs, 2020, 29(22): 2597–2604.
- [3] 任顺成, 陈雅妮. 玉米须黄酮分级萃取及其抗氧化活性研究[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2014, 35(2): 16–20. REN Shuncheng, CHEN Yani. Fractional extraction and antioxidant activities of flavonoids from corn silk[J]. Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition), 2014, 35(2): 16–20.
- [4] 赵文竹. 玉米须功能因子活性评价及其降血糖机理研究[D]. 长春: 吉林大学, 2014. ZHAO Wenzhu. Activity evaluation of functional factors of corn stigma and its hypoglycemic mechanism[D]. Changchun: Jilin University, 2014.
- [5] 董晓宁, 井玉红. 玉米须有效成分及疗效研究进展[J]. 中国酿造, 2013, 32(10): 9–12. DONG Xiaoning, JING Yuhong. Research progress on effective constituents and curative effect of corn silk[J]. China Brewing, 2013, 32(10): 9–12.
- [6] 乔梦丹, 王微, 贺阳, 等. 响应面法优化人参-仙人掌果酒的发酵工艺[J]. 中国酿造, 2017, 36(11): 170–174. QIAO Mengdan, WANG Wei, HE Yang, et al. Optimization of fermentation technology of *Panax ginseng* and *Opuntia ficus-indica* wine by response surface methodology[J]. China Brewing, 2017, 36(11): 170–174.

- [7] 蔡文超,单春会,李文新,等.响应面法优化沙棘酒的发酵工艺[J].中国酿造,2018,37(1):133-138.  
CAI Wenchao, SHAN Chunhui, LI Wenxin, et al. Optimization of fermentation process of sea-buckthorn wine by response surface methodology[J]. China Brewing, 2018, 37(1): 133-138.
- [8] 张洁,张大为,闫佳,等.发酵型红枣酒工艺条件的优化[J].中国酿造,2018,37(9):191-195.  
ZHANG Jie, ZHANG Dawei, YAN Jia, et al. Optimization of technological conditions of fermented red jujube wine[J]. China Brewing, 2018, 37(9): 191-195.
- [9] LIU J, WANG C N, WANG Z Z, et al. The antioxidant and free-radical scavenging activities of extract and fractions from corn silk (*Zea mays* L.) and related flavone glycosides[J]. Food Chemistry, 2011, 126(1): 261-269.
- [10] 关海宁,刁小琴,乔秀丽,等.玉米须中不同极性多酚体外抗氧化活性比较研究[J].食品研究与开发,2019,40(12):46-50.  
GUAN Haining, DIAO Xiaoqin, QIAO Xiuli, et al. Comparison of antioxidant activity of corn silk polyphenols with different polarities[J]. Food Research and Development, 2019, 40(12): 46-50.
- [11] CHEN R Z, LIU Z Q, ZHAO J M, et al. Antioxidant and immunobiological activity of water-soluble polysaccharide fractions purified from *Acanthopanax senticosu*[J]. Food Chemistry, 2011, 127(2): 434-440.
- [12] 赵寒青.玉米须复合袋泡茶的研发及其抗氧化、降血糖活性研究[D].长春:吉林大学,2021.  
ZHAO Hanqing. Preparation of corn stigma compound teabag and its antioxidant and hypoglycemic activities[D]. Changchun: Jilin University, 2021.
- [13] 徐建霞,郑常祥,邵明波,等.不同玉米材料及生长期玉米须中总黄酮和多糖含量分析[J].江苏农业科学,2022,50(5):162-167.  
XU Jianxia, ZHENG Changxiang, SHAO Mingbo, et al. Analysis of total flavonoids and polysaccharides in corn stigma from different corn materials and growing periods[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2022, 50(5): 162-167.
- [14] WANG K J, ZHAO J L. Corn silk (*Zea mays* L.), a source of natural antioxidants with  $\alpha$ -amylase,  $\alpha$ -glucosidase, advanced glycation and diabetic nephropathy inhibitory activities[J]. Biomedicine & Pharmacotherapy, 2019, 110: 510-517.
- [15] 黄蓉,董超,余鸿飞,等.酿酒酵母表面展示技术表达酸性蛋白酶[J].中国食品学报,2022,22(2):114-122.  
HUANG Rong, DONG Chao, YU Hongfei, et al. Expression of acid protease using surface display technology of *Saccharomyces cerevisiae*[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2022, 22(2): 114-122.
- [16] 杨超,肖媚,张菡,等.苹果酒发酵过程中绿原酸胁迫对酿酒酵母生理特性的影响[J].中国食品学报,2022,22(1):116-124.  
YANG Chao, XIAO Mei, ZHANG Han, et al. Effects of chlorogenic acid stress on the physiological characteristics of *Saccharomyces cerevisiae* during the fermentation of cider[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2022, 22(1): 116-124.
- [17] 陈红梅,王沙沙,尹何南,等.不同工艺处理对野生猕猴桃酒品质的影响[J].食品科学,2018,39(4):233-240.  
CHEN Hongmei, WANG Shasha, YIN Henan, et al. Effects of different fermentation methods on the quality of wines made from wild kiwifruit[J]. Food Science, 2018, 39(4): 233-240.
- [18] RABI O O, OMOBA O S, IBIDUNNI O A. *In vitro* antioxidants and antihypertensive properties of corn silk-lemon infusion[J]. Bulletin of the National Research Centre, 2022, 46(1): 46.
- [19] 张琪,朱丹,牛广财,等.沙棘果酒发酵动力学及其抗氧化活性[J].食品与发酵工业,2019,45(15):53-58.  
ZHANG Qi, ZHU Dan, NIU Guangcai, et al. Fermentation kinetics and antioxidant activity of sea buckthorn wine[J]. Food and Fermentation Industries, 2019, 45(15): 53-58.
- [20] AKIMAT E K, OMWENGA G I, MORIASI G A, et al. Antioxidant, anti-inflammatory, acute oral toxicity, and qualitative phytochemistry of the aqueous root extract of *Launaea cornuta* (hochst. ex oliv. & hiern.)[J]. Journal of Evidence-Based Integrative Medicine, 2021, 26: 2515690X211064585.

加工编辑:张璐

收稿日期:2022-05-27