

超声辅助提取酒糟类黑精的工艺研究

郝日礼, 郑佳佳, 朱传合* (山东农业大学食品科学与工程学院, 山东泰安 271018)

摘要 [目的] 确定酒糟类黑精最佳超声提取工艺参数。[方法] 以酒糟为原料, 采用单因素试验、Plackett-Burman 设计、最陡爬坡试验及 Box-Behnken 设计进行超声辅助酒糟类黑精提取工艺研究。[结果] 试验确定酒糟中类黑精的最佳条件为超声时间 23 min、超声温度 55 ℃、pH 1.0、料液比 1:29(mg:mL)、超声功率 540 W、颗粒直径 270 μm, 该条件下酒糟中类黑精的提取率为 66.92%。[结论] 该研究可为类黑精的开发应用提供参考。

关键词 酒糟; 类黑精; 超声辅助提取

中图分类号 TS261 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2017)06-0071-05

Optimization for Ultrasonic-assisted Extraction of Melanoidin from Vinasse

HAO Ri-li, ZHENG Jia-jia, ZHU Chuan-he* (College of Food Science and Engineering, Shandong Agricultural University, Tai'an, Shandong 271018)

Abstract [Objective] The ultrasonic-assisted extraction technology of melanoidin from vinasse was optimized. [Method] With vinasse as raw material, single factor test, Plackett-Burman design (PB), the steepest ascent method and Box-Behnken design (BB) was used to establish the optimal processing. [Result] The optimal conditions were as followed: ultrasonic treatment of 23 min, ultrasonic treatment temperature 55 ℃, pH 1.0, ratio of material and liquor 1:29 (mg:mL), ultrasound power 540 W and particle diameter 270 μm. The extraction rate is 66.92%. [Conclusion] The study can lay a foundation for development and application of melanoidin.

Key words Vinasse; Melanoidin; Ultrasonic-assisted extraction

酒糟作为谷物中蒸出酒精或酒精饮料后的残渣, 常被作为家畜的饲料。我国白酒酿造行业每年产生大量酒糟, 不仅利用率低而且带来诸多环境问题。食品类黑精是指羰基化合物与带有游离氨基的含氮化合物之间发生美拉德反应后期形成的棕褐色大分子量聚合物^[1]。研究表明, 食品类黑精具有一定的抗氧化、抗诱变、降糖、结合风味物质的作用, 另外还具有类似膳食纤维的功能^[2]。传统抗氧化剂因可能具致癌性被部分国家禁止使用, 从天然产品中提取的类黑精可能成为安全替代品之一。白酒的高温酿造过程中羰基反应下类黑精的生成, 为酒糟类黑精的提取研究奠定了基础。

目前国内外学者已对咖啡、李子干^[3]、焙烤食品^[4]、豆豉^[5]、蜂蜜^[6-7]、奶酪^[8]、酱油^[9-10]、甜葡萄酒^[11]等真正褐色食品体系美拉德反应类黑精及其中间体进行了提取分离以及研究, 但鲜有从酒糟中提取类黑精的技术研究。笔者以芝麻香型酒糟为原料, 采用超声辅助提取, 通过测定清除羟基自由基的能力来确定酒糟类黑精的提取率, 进而确定工艺参数, 为类黑精的应用研究提供参考。

1 材料与与方法

1.1 材料

1.1.1 原料及主要试剂。 芝麻香型酒糟由泰安生力源集团提供, 60 ℃烘干、粉碎后过筛备用; 乙醇、硫酸亚铁、水杨酸、双氧水等均为国产分析纯。

1.1.2 主要仪器设备。 UV-2450 紫外分光光度计, 日本岛

津有限公司; HH-6 数显恒温水浴锅, 常州市华普达教学仪器有限公司; TDZ5-WS 台式低速离心机, 长沙高新技术产业开发区湘仪离心机仪器有限公司; KQ-600DB 型数控超声波清洗器, 昆山市超声仪器有限公司。

1.2 方法

1.2.1 类黑精提取率的测定。 清除羟基自由基的测定采用 Fenton 反应水杨酸法^[12], 略有改动。

分别配制 0.05、0.10、0.15、0.20、0.25 mg/mL 抗坏血酸标准品标准溶液, 测定其羟基自由基清除率, 以羟基自由基清除率 (Y) 为纵坐标, 抗坏血酸浓度 (X) 为横坐标, 得标准曲线的回归方程: $Y = 384.06x - 5.471$ ($R^2 = 0.9967$)。

准确称取酒糟干粉 1.000 g, 置于 250 mL 三角瓶中, 加入溶剂混匀, 在不同条件下提取, 3 500 r/min 离心 15 min, 取上清液定容待测。测定样品液的羟基自由基清除率, 根据抗坏血酸标准曲线的回归方程, 计算酒糟类黑精的提取率。

酒糟类黑精提取率 (%) = $C \times V \times 100 / m$
式中, C 为按照标准曲线计算出的类黑精的抗坏血酸质量浓度 (mg/mL); V 为样液体积 (mL); m 为 1 g 酒糟完全提取时抗坏血酸的质量 (g)。

1.2.2 酒糟类黑精提取工艺参数的优化。 以乙醇浓度、超声时间、超声功率、超声温度、料液比 (mg:mL)、颗粒度、pH 为考察对象, 采用单因素试验、Plackett-Burman (PB) 试验、最陡爬坡试验及 Box-Behnken (BB) 试验, 获取最适工艺参数。

2 结果与分析

2.1 单因素试验

2.1.1 乙醇浓度对类黑精提取率的影响。 在料液比 1:20、超声功率 300 W、超声时间 30 min、超声温度 30 ℃、颗粒直径 380 μm 的条件下, 考察不同浓度乙醇对类黑精提取率的影响。由图 1 可见, 提取率随着乙醇浓度的增大明显减小, 当采用无水乙醇提取时提取率小于 5%, 这可能是该物质醇溶

基金项目 泰安市科技发展计划项目 (201340629); 山东省高等学校科技计划项目 (J14LF11)。

作者简介 郝日礼 (1996—), 女, 山东招远人, 本科生, 专业: 食品安全。
* 通讯作者, 副教授, 博士, 从事果蔬综合利用及发酵产品开发研究。

收稿日期 2016-12-23

性较低导致。因此,选择水作为提取溶剂。

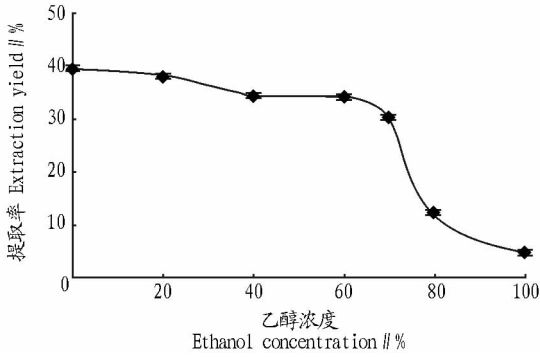


图1 乙醇浓度对类黑精提取率的影响

Fig.1 Effects of concentration of ethanol on ERM

2.1.2 超声时间对类黑精提取率的影响。当料液比为1:20、超声功率300 W、超声温度30 ℃、颗粒直径380 μm时,考察不同超声时间处理对类黑精提取率的影响。由图2可知,随着超声时间的延长,提取率呈现出上升的趋势,并且在30 min时间范围内迅速升高,在30 min后增幅变缓,趋于稳定。由此,确定超声时间为30 min。

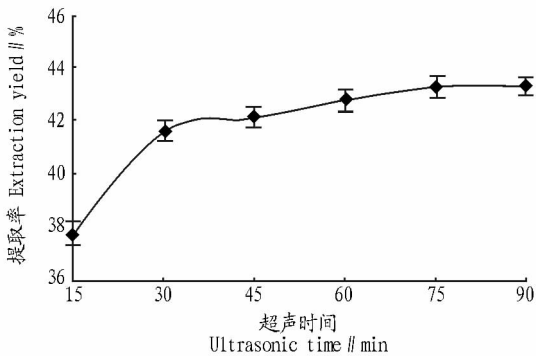


图2 超声时间对类黑精提取率的影响

Fig.2 Effects of ultrasound time on ERM

2.1.3 料液比对类黑精提取率的影响。在超声时间30 min、超声功率300 W、超声温度30 ℃、颗粒直径380 μm条件下,考察不同料液比对类黑精提取率的影响。由图3可知,类黑精提取率随料液比中溶剂用量的增大呈现上升趋势,但1:25后上升趋势不明显。本着经济的原则,选择1:25为进一步试验条件。

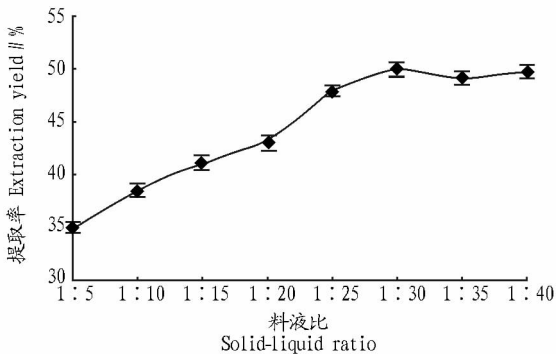


图3 料液比对类黑精提取率的影响

Fig.3 Effects of solid-liquid ratio on ERM

2.1.4 颗粒度对类黑精提取率的影响。在料液比1:25、超声温度30 ℃、超声时间30 min、超声功率300 W的条件下,研究不同颗粒直径(380、270、250、212、160 μm即40、50、60、70、90目)对类黑精提取率的影响。由图4可以看出,当颗粒直径小于270 μm,其对酒糟类黑精提取率的影响不显著($P < 0.05$),故选取颗粒直径270 μm进行后续试验。

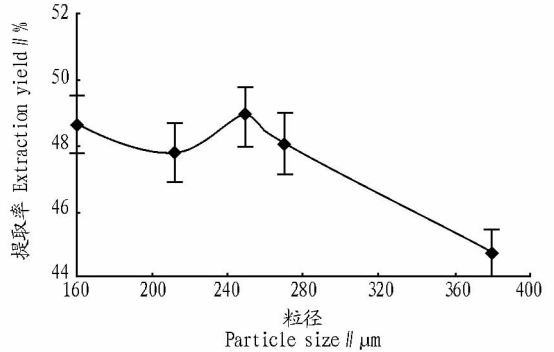


图4 颗粒度对类黑精提取率的影响

Fig.4 Effects of particle size on ERM

2.1.5 超声功率对类黑精提取率的影响。在料液比1:25、超声温度30 ℃、超声时间30 min、颗粒直径270 μm条件下,研究不同超声功率对类黑精提取率的影响。由图5可以看出,当功率增加时,类黑精的提取率相应增加,当功率达到540 W时出现最高值,而后有所下降。分析原因,低功率超声的空化作用对类黑精的提取有利,高功率则对其结构造成破坏。同时,比较超声处理和未超声处理(0 W)的提取率发现,浸泡提取率仅为28.2%,超声辅助提取极大地提高了类黑精提取率。

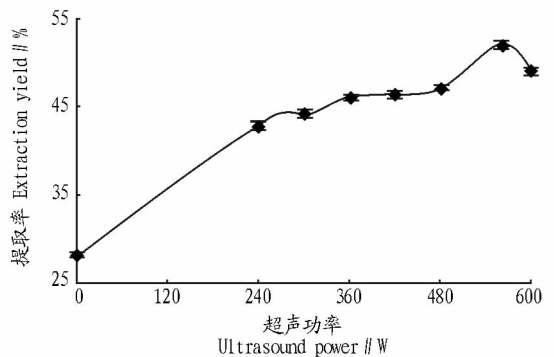


图5 超声功率对类黑精提取率的影响

Fig.5 Effects of ultrasound power on ERM

2.1.6 超声温度对类黑精提取率的影响。在料液比1:25、超声时间30 min、超声功率540 W、颗粒直径270 μm的条件下,研究不同超声温度对类黑精提取率的影响。由图6可见,类黑精的提取率随着浸提温度的增加有所提高,在60 ℃时达到最大值,故选取60 ℃作为进一步提取温度。

2.1.7 pH对类黑精提取率的影响。在料液比1:25、超声时间30 min、超声功率540 W、超声温度60 ℃、颗粒直径270 μm的条件下,考察不同pH对类黑精提取率的影响。由图7可知,随着pH的提高,类黑精的提取率呈现先降低后增加的趋势。考虑到碱性环境对类黑精易造成破坏,故选择pH 2.0

作为提取条件。

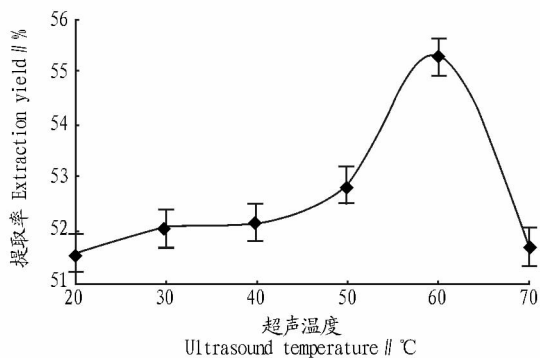


图 6 超声温度对类黑精提取率的影响

Fig. 6 Effects of ultrasound temperature on ERM

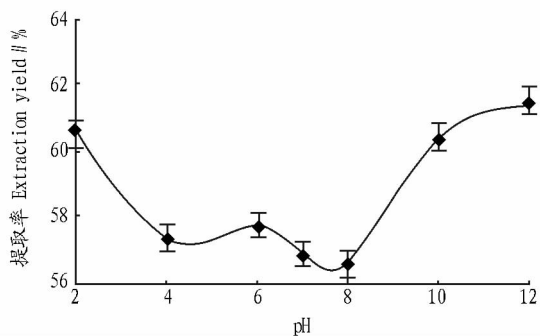


图 7 pH 对类黑精提取率的影响

Fig. 7 Effects of pH on ERM

2.2 PB 试验 根据单因素试验结果,选用 $n = 12$, 中心点数为 3 的 PB 设计,对超声时间(X_1)、超声温度(X_2)、pH(X_3)、料液比(X_4)及颗粒度(X_5)5 个因素进行考察,试验设计见表 1,结果见表 2。

表 1 PB 试验因素编码设计

Table 1 Factor and code of PB test

编码 Code	因素 Factor				
	超声时间 (X_1) Ultrasound time//min	超声温度 (X_2) Ultrasound temperature / °C	pH (X_3)	料液比 (X_4) Solid-liquid ratio	颗粒度 (X_5) Grain size// μm
-1	20	55	1	1:22	380
0	30	60	2	1:25	270
1	40	65	3	1:28	250

采用 Minitab15 软件对表 2 中试验结果进行回归方程系数显著性检验,回归模型的 $P < 0.001$ ($P < 0.05$),决定系数 R^2 为 87.75%,说明回归方程拟合良好,其显著性分析结果见表 3。

表 3 中显著性分析表明超声时间、超声温度、pH、料液比 P 值均小于 0.05,为影响酒糟类黑精提取率的显著因子,作为进一步考察因素;而颗粒度为不显著因子。影响显著的因素中,按其影响由大到小分别为超声时间、超声温度、pH、料液比;其中超声时间、超声温度和 pH 系数为负数,说明在该试验所选择的范围内响应值随其增大而减小;料液比系数为正值,表明料液比处于高水平时响应值相对较大。

表 2 PB 试验结果

Table 2 The results of PB test

试验号 Test No.	因素 Factor					提取率 Extraction rate//%
	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	
1	-1	1	1	-1	-1	59.98
2	1	-1	1	1	-1	61.44
3	1	1	-1	-1	1	60.21
4	-1	1	1	1	-1	61.38
5	1	-1	1	1	1	61.01
6	1	1	1	-1	1	58.81
7	1	1	-1	1	-1	60.33
8	-1	1	-1	1	1	61.81
9	-1	-1	-1	1	1	62.80
10	-1	-1	1	-1	1	60.78
11	1	-1	-1	-1	-1	61.68
12	-1	-1	-1	-1	-1	62.34
13	0	0	0	0	0	61.15
14	0	0	0	0	0	62.59
15	0	0	0	0	0	61.92

表 3 偏回归系数及影响因子的显著性分析

Table 3 Significance analysis of partial regression coefficients and influencing factors

项 Item	效应 Effect	系数 Coefficient	系数标准误 Coefficient standard error	T	P
常量 Constant	—	78.587 8	0.2028	387.53	<0.001
X_1	-1.764 5	-0.882 3	0.202 8	-4.35	0.002
X_2	-1.364 5	-0.682 3	0.202 8	-3.36	0.010
X_3	-1.325 5	-0.662 7	0.202 8	-3.27	0.011
X_4	1.181 2	0.590 6	0.202 8	2.91	0.020
X_5	-0.438 8	-0.219 4	0.202 8	-1.08	0.311
$Ct Pt$	—	1.175 6	0.453 5	2.59	0.032

2.3 最陡爬坡试验 以 PB 试验确定的显著因素为爬坡试验的因素,用各显著因素的正负效应确定最陡爬坡试验的路径(包括变化方向和变化步长),进行最陡爬坡试验,试验设计及结果见表 4。

表 4 最陡爬坡试验设计及结果

Table 4 Steepest ascent design and results

编号 Code	因素 Factor				
	超声时间 (X_1) Ultrasound time//min	超声温度 (X_2) Ultrasound temperature / °C	pH (X_3)	料液比 (X_4) Solid-liquid ratio	提取率 (X_5) Extraction yield//%
0	30	60	2.0	1:25	61.76
1	27	58	1.7	1:26	62.11
2	24	56	1.4	1:27	63.02
3	21	54	1.1	1:28	65.99
4	18	52	0.8	1:29	64.25
5	15	50	0.5	1:30	64.73

由表 4 可知,在 3 号试验处达到最高点,该点对应的条件值为超声时间 21 min、超声温度 54 °C、pH 1.1、料液比 1:28。

2.4 BB 试验 根据最陡爬坡试验结果,采用响应面设计,

运用BB中心组合试验设计原理^[13],选择对酒糟类黑精提取率影响显著的4个因素,超声时间(X_1)、超声温度(X_2)、pH(X_3)和料液比(X_4)为自变量,以类黑精提取率(Y)为因变量,做4因素3水平BB试验,试验设计见表5,结果见表6。

表5 BB试验因素编码设计

Table 5 Code and factor design of BB test

编码 Code	因素 Factor			
	超声时间 (X_1)	超声温度(X_2)	pH (X_3)	料液比(X_4) Solid-liquid ratio
	Ultrasound time//min	Ultrasound temperature ℃		
-1	17	51	0.8	1:27
0	21	54	1.1	1:28
1	25	57	1.4	1:29

表6 BB试验设计和结果

Table 6 BB design and corresponding experimental results

试验号 Test No.	因素 Factor				提取率(Y) Extraction yield %
	超声时间 (x_1)	超声温度 (x_2)	pH (x_3)	料液比 (x_4) Solid-liquid ratio	
	Ultrasound time	Ultrasound temperature			
1	-1	-1	0	0	63.20
2	-1	1	0	0	64.66
3	1	-1	0	0	64.82
4	1	1	0	0	65.05
5	0	0	-1	-1	63.91
6	0	0	-1	1	66.56
7	0	0	1	-1	64.30
8	0	0	1	1	65.05
9	-1	0	0	-1	64.15
10	-1	0	0	1	64.48
11	1	0	0	-1	64.69
12	1	0	0	1	66.74
13	0	-1	-1	0	63.68
14	0	-1	1	0	64.50
15	0	1	-1	0	65.26
16	0	1	1	0	65.33
17	-1	0	-1	0	63.17
18	-1	0	1	0	64.21
19	1	0	-1	0	65.28
20	1	0	1	0	64.40
21	0	-1	0	-1	62.91
22	0	-1	0	1	64.78
23	0	1	0	-1	64.08
24	0	1	0	1	66.01
25	0	0	0	0	66.50
26	0	0	0	0	66.33
27	0	0	0	0	66.29

注: x_1, x_2, x_3, x_4 分别为 X_1, X_2, X_3, X_4 的编码值。其中 $x_1 = (X_1 - 21)/4, x_2 = (X_2 - 54)/3, x_3 = (X_3 - 1.1)/0.3, x_4 = (X_4 - 28)/1$

Note: x_1, x_2, x_3, x_4 are coding value of X_1, X_2, X_3, X_4 . $x_1 = (X_1 - 21)/4, x_2 = (X_2 - 54)/3, x_3 = (X_3 - 1.1)/0.3, x_4 = (X_4 - 28)/1$

2.4.1 参数分析。利用SAS 8.0软件对表6中BB试验设计结果进行回归分析,并对模型系数进行显著性检验,结果得出, $F_{X_1} = 25.110 01, P_{X_1} = 0.000 304; F_{X_2} = 20.986 23, P_{X_2} = 0.000 631; F_{X_3} = 0.002 434, P_{X_3} = 0.961 464; F_{X_4} = 45.586 76,$

$P_{X_4} = 0.000 1; F_{X_1^2} = 29.577 89, P_{X_1^2} = 0.000 15; F_{X_1 X_2} = 2.254 442, P_{X_1 X_2} = 0.159 079; F_{X_1 X_3} = 5.493 276, P_{X_1 X_3} = 0.037 13; F_{X_1 X_4} = 4.408 449, P_{X_1 X_4} = 0.057 583; F_{X_2^2} = 34.108 88, P_{X_2^2} = 0.000 1; F_{X_2 X_3} = 0.838 207, P_{X_2 X_3} = 0.377 941; F_{X_2 X_4} = 0.005 365, P_{X_2 X_4} = 0.942 82; F_{X_3^2} = 23.763 01, P_{X_3^2} = 0.000 382; F_{X_3 X_4} = 5.379 429, P_{X_3 X_4} = 0.038 812; F_{X_4^2} = 11.958 61, P_{X_4^2} = 0.004 734; F_{模型} = 11.644 47, P_{模型} = 0.000 1; F_{线性} = 22.921 36, P_{线性} = 0.000 1; F_{二次项} = 13.239 49, P_{二次项} = 0.000 234; F_{交叉乘积} = 3.063 195, P_{交叉乘积} = 0.046 786; F_{失拟项} = 15.992 16, P_{失拟项} = 0.060 251。由此表明二次多项式具有高度的显著性;失拟项 $P = 0.060 251 > 0.05$,不显著; $CV = 0.631 825 < 10$;同时,模型的 $R^2 = 93.14\%$,表明试验数据与回归数学模型拟合性良好^[14],上述模型可较好地预测各指标实际值。$

根据 P 值检验各模型系数的显著性,同时也可反映变量之间交互作用大小, P 值越小越显著。表明,一次项和二次项对提取率的影响极显著 ($P < 0.01$),交互项显著 ($P < 0.05$)。超声时间(X_1)、超声温度(X_2)和料液比(X_4)对酒糟类黑精的线性效应皆极显著,pH(X_3)不显著;各因素影响由大到小分别是:料液比(X_4)、超声时间(X_1)、超声温度(X_2)、pH(X_3)。交互项中 $X_1 X_3, X_3 X_4$ 影响显著 ($P < 0.05$), $X_1 X_2, X_1 X_4, X_2 X_3, X_2 X_4$ 均不显著。

2.4.2 参数优化。在对类黑精提取率回归模型的建立及检验对各因素回归拟合后,得到回归方程: $Y = 66.373 33 + 0.592 5X_1 + 0.541 667X_2 - 0.005 833X_3 + 0.798 333X_4 - 0.964 583X_1^2 - 0.307 5X_1 X_2 - 0.48X_1 X_3 + 0.43X_1 X_4 - 1.035 833X_2^2 - 0.187 5X_2 X_3 + 0.015X_2 X_4 - 0.864 583X_3^2 - 0.475X_3 X_4 - 0.613 333X_4^2$ 。

利用该回归方程确定,编码值为 $x_1 = 0.633 587, x_2 = 0.220 084, x_3 = -0.496 450, x_4 = 1.067 846$;此时响应值达到最大稳定预测值 67.048 34。将上述编码值进行转化,并结合情况确定酒糟类黑精最佳提取工艺:超声时间 23 min、超声温度 55 ℃、pH 1.0、料液比 1:29(mg: mL)。在此条件下进行验证试验,3次平行试验类黑精提取率为 $(66.92 \pm 0.226)\%$,与预测值较为接近,说明回归方程能够比较真实地反映各因素对类黑精提取率的影响,得到的酒糟类黑精提取条件具有实际应用价值。

3 结论

该试验通过未超声和超声辅助提取的类黑精提取率比较,结果显示,超声辅助提取能够显著提高酒糟类黑精提取率。在BB试验选择范围内,pH、超声时间、超声温度和料液比为影响超声辅助酒糟类黑精提取率的显著因素,其影响由大到小分别是:料液比、超声温度、超声时间及pH。超声辅助酒糟类黑精最佳提取工艺:超声时间 23 min、超声温度 55 ℃、pH 1.0、料液比 1:29(mg: mL)、超声功率 540 W、颗粒直径 270 μm 。

参考文献

[1] 吕承秀,王帅,于晓旭.类黑精研究进展[J].粮食与油脂,2009(12):

- 45-47.
- [2] VHANGANI L N, VAN WYK J. Antioxidant activity of Maillard reaction products(MRPs)derived from fructose-lysine and ribose-lysine model systems[J]. Food chemistry,2013,137(1/2/3/4):92-98.
- [3] MADRAU M A, SANGUINETTI A M, DEL CARO A, et al. Contribution of melanoidins to the antioxidant activity of prunes[J]. Journal of food quality,2010,33:155-170.
- [4] RADA-MENDOZA M, GARCÍA-BAÑOS J L, VILLAMIEL M, et al. Study on nonenzymatic browning in cookies, cracker and breakfast cereals by maltulose and furosine determination[J]. Journal of cereal science,2004,39(2):167-173.
- [5] 秦礼康,丁霄霖,陈睿. 豆豉把类黑精组分体外抗氧化活性研究[J]. 食品与发酵工业,2006,32(1):88-92.
- [6] BRUDZYNSKI K, MIOTTO D. The recognition of high molecular weight melanoidins as the main components responsible for radical-scavenging capacity of unheated and heat-treated Canadian honeys[J]. Food chemistry,2011,125(2):570-575.
- [7] BRUDZYNSKI K, MIOTTO D. Honey melanoidins: Analysis of the compositions of the high molecular weight melanoidins exhibiting radical-scaven-

- ging activity[J]. Food chemistry,2011,127(1):1023-1030.
- [8] CORZO N, VILLAMIEL M, ARIAS M, et al. The Maillard reaction during the ripening of Manchego cheese[J]. Food chemistry,2000,71(2):255-258.
- [9] 郭彩华,林丽,陈昭华,等. 黑酱油类黑素的提取、光谱性质及功能[J]. 食品科学,2012,33(11):89-93.
- [10] 五明纪春,陈晓光,刘宇峰. 大豆豆酱、酱油中褐色色素的生理功能作用[J]. 大豆通报,2001(1):28-29.
- [11] RIVERO-PÉREZ M D, PÉREZ-MAGARIÑO S, GONZÁLEZ-SAN JOSÉ M L, et al. Role of melanoidins in sweet wines[J]. Analytica chimica acta,2002,458(1):169-175.
- [12] 马晓华,连宾. 几种常见食用菌清除羟基自由基能力的研究[J]. 食品与发酵工业,2005,31(10):25-28.
- [13] BOX G E P, BEHNKEN D W. Some new three level designs for the study of quantitative variables[J]. Technometrics,1960,2(4):455-475.
- [14] WU Y, CUI S W, TANG J, et al. Optimization of extraction process of crude polysaccharides from boat-fruited sterculia seeds by response surface methodology[J]. Food chemistry,2007,105(4):1599-1605.

(上接第 31 页)

29 343.8 kg/hm²,可能是由于垄距较小,甘薯相互影响较严重,导致产量较低。最高产量比最低产量增产 18.85%,说明合适的垄距对甘薯产量影响显著。因此,在强调甘薯品种的同时,应关注高产栽培的重要性,特别是高产栽培技术的推广对农业增产具有十分重要的意义。

表 1 不同垄距处理对广薯 87 藤叶产量的影响

Table 1 Effects of row spacing treatments on the cane leaves yield of Guangshu 87

垄距 Row spacing cm	小区产量 Plot yield kg	折合产量 Converted yield kg/hm ²
75	98.0	9 187.5
80	102.0	9 562.5
85	113.0	10 593.8
90	127.0	11 906.3
95	135.0	12 656.3

表 2 不同垄距处理对广薯 87 鲜薯产量的影响

Table 2 Effects of row spacing treatments on the fresh tuberous roots yield of Guangshu 87

垄距 Row spacing cm	小区产量 Plot yield kg	折合产量 Converted yield kg/hm ²
75	313.0	29 343.8
80	346.0	32 437.5
85	356.0	33 375.0
90	372.0	34 875.0
95	344.0	32 250.0

3 结论与讨论

试验结果显示,随着垄距的增大,藤叶产量也逐渐上升;在 95 cm 垄距处理时,藤叶产量达最大值,为 12 656.3 kg/hm²。因此,可通过适量加大垄距的宽度来提高藤叶产量。随着垄距的增大,鲜薯产量逐渐上升;当垄距为 90 cm 时鲜薯产量达最大,为 34 875.0 kg/hm²。但垄距达 95cm 时,产量反而开始降低。综合考虑,在西南丘陵地区甘薯机械化起垄

时,垄距为 90 cm 时,鲜薯能获得较为理想的产量。

我国虽是甘薯生产大国,但其机械化作业程度却较低,其耕种收综合机械化指数约为 26% (按行业调研的数据估算,耕作环节约为 55%,收获环节约为 15%,远低于 2011 年全国 54.5% 的平均水平,且区域发展不平衡,国内平原(沙壤土)地区明显高于丘陵山区^[7]。农机与农艺的融合度低是制约甘薯生产机械化发展的主要因素之一。因此,与甘薯品种合理相结合的农机农艺融合研究有助于甘薯机械化的推广,并对甘薯生产具有指导意义^[8]。应建立农机农艺融合联合攻关机制,成立农机农艺融合专家组,针对甘薯生产机械化薄弱环节联合制定农机农艺融合方案,研制和引进相关机具。此外,需加强农机与农艺技术融合研究,吸取美、日等国经验,培育适宜机械化作业的品种,研究制定规模化、标准化和轻简化的适宜机械化作业的甘薯生产农艺技术规程,在栽培技术上应用区域化统一种植模式^[9-10]。甘薯机械化种植收获一直都是抑制该产业发展的瓶颈,很多种植大户、合作社在丘陵地区普遍使用小型旋耕起垄机,这对甘薯产业发展具有重要意义。但他们对最佳的种植垄距较模糊,因此产量也受到了一定影响,该试验对生产及机械化种植具有指导意义。

参考文献

- [1] 何伟忠,木泰华. 我国甘薯加工业的发展现状概述[J]. 食品研究与开发,2006,27(11):176-180.
- [2] 房伯平,张雄坚,陈景益,等. 我国甘薯种质资源研究的历史与现状[J]. 广东农业科学,2004(S1):3-5.
- [3] 贾赵东,郭小丁,尹晴红,等. 甘薯黑斑病的研究现状与展望[J]. 江苏农业科学,2011(1):144-147.
- [4] 马代夫. 世界甘薯生产现状和发展预测[J]. 世界农业,2001(1):17-19.
- [5] 唐君,周志林,赵冬兰,等. 甘薯贮藏过程淀粉酶活性变化及对薯块芽萌发的影响[J]. 福建农业学报,2010,25(6):699-702.
- [6] 马代夫,李强,曹清河,等. 中国甘薯产业及产业技术的发展与展望[J]. 江苏农业学报,2012,28(5):969-973.
- [7] 胡良龙,胡志超,王冰,等. 国内甘薯生产机械化研究进展与趋势[J]. 中国农机化,2012(2):14-16.
- [8] 胡良龙,田立佳,计福来,等. 甘薯生产机械化作业模式研究[J]. 中国农机化学报,2014,35(5):165-168.
- [9] 许天瑶. 专家谈农机农艺融合[J]. 农业机械,2011(15):22-24.
- [10] 马标,胡良龙,许良元,等. 国内甘薯种植及其生产机械[J]. 中国农机化学报,2013,34(1):42-46.