

荔枝啤酒发酵特性及工艺参数优化

苗俨龙¹, 龚诗媚¹, 王凯¹, 赵雷¹, 涂京霞², 杨青², 王玉海², 胡卓炎^{1*}

(1. 华南农业大学食品学院, 广东广州 510642) (2. 广州南沙珠江啤酒有限公司, 广东广州 511462)

摘要: 为了优化荔枝水果啤酒酿造工艺, 采用单因素试验设计, 考察了原麦汁浓度、荔枝果浆添加量和啤酒花添加量对荔枝啤酒的发酵特性和感官指标的影响; 基于单因素试验结果, 以感官评价分数为响应指标, 采用 Box-Behnken 试验设计和响应面分析对工艺参数进行优化。结果表明, 原麦汁浓度、荔枝果浆添加量对荔枝啤酒的发酵度、酒精度、泡持性和苦度影响显著 ($p<0.05$); 啤酒花添加量对荔枝啤酒的泡持性和苦度影响显著 ($p<0.05$); 优化参数条件范围为原麦汁浓度 9~11 °P, 荔枝果浆 11%(V/V)~15%(V/V), 啤酒花 0.39~0.44 g/L, 预测荔枝啤酒的感官分数在 78.00 分以上。选择原麦汁浓度 10 °P, 荔枝果浆 15% (V/V), 啤酒花 0.40 g/L 的条件进行验证实验, 感官评价平均分数为 78.10 分, 与预测值相符。在啤酒酿造工艺中添加荔枝, 可以丰富水果啤酒品类, 赋予其荔枝的特征风味。

关键词: 荔枝; 工坊啤酒; 发酵特性; 工艺优化

文章编号: 1673-9078(2021)12-49-56

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2021.12.0401

Fermentation Characteristics of Litchi Craft Beer and Optimization of Brewing Parameters

MIAO Yanlong¹, GONG Shimei¹, WANG Kai¹, ZHAO Lei¹, TU Jingxia², YANG Qing², WANG Yuhai², HU Zhuoyan^{1*}

(1. College of Food Science, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

(2. Guangzhou Nansha Zhujiang Brewery Co. Ltd., Guangzhou 511462, China)

Abstract: In order to develop a litchi craft beer, the effects of original gravity, level of litchi pulp addition and hop addition on the fermentation characteristics and sensory score of litchi beer were investigated. The brewing conditions were optimized using response surface methodology (RSM) with a Box-Behnken design. The results showed that the degree of fermentation, alcohol content, foam stability, bitterness of litchi beer were significantly affected by original gravity and level of litchi pulp addition ($p<0.05$); the foam stability and bitterness of litchi beer were significantly affected by level of hop addition ($p<0.05$). The optimum fermentation conditions to obtain desirable sensory score ≥ 78.00 were found at the original gravity of 9~11 °P, litchi pulp addition of 11~15% (V/V), hop addition of 0.39~0.44 g/L. The average sensory score (78.10) from the verification experiments at original gravity of 10 °P, litchi juice addition of 15% V/V, and hop addition of 0.40 g/L were in good agreement with the predicted value. The results suggested that adding litchi to traditional brewing process could increase style of beers and improve the sensory characteristics of beers.

Key words: litchi; craft beer; fermentation characteristics; optimization

引文格式:

苗俨龙, 龚诗媚, 王凯, 等. 荔枝啤酒发酵特性及工艺参数优化[J]. 现代食品科技, 2021, 37(12): 49-56

MIAO Yanlong, GONG Shimei, WANG Kai, et al. Fermentation characteristics of litchi craft beer and optimization of brewing parameters [J]. Modern Food Science and Technology, 2021, 37(12): 49-56

收稿日期: 2021-04-13

基金项目: 财政部和农业农村部国家现代农业产业技术体系资助(CARS-32); 广州市科技计划重点项目(202103000054)

作者简介: 苗俨龙(1996-), 男, 硕士研究生, 研究方向: 食品加工与保藏, E-mail: 1399986635@qq.com

通讯作者: 胡卓炎(1961-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 食品加工与保藏, E-mail: zyhu@scau.edu.cn

啤酒是以大麦芽、啤酒花为原料, 由啤酒酵母(*Saccharomyces cerevisiar*) 发酵而成^[1]。啤酒富含碳水化合物, 氨基酸, 矿物质以及多酚类物质, 适当饮用啤酒具有调节免疫, 预防心血管疾病等作用^[2-3]。近年精酿(工坊)啤酒在啤酒市场上呈快速增长的趋势, 其中水果啤酒是工坊啤酒中最受欢迎的品类之一, 兼具啤酒的清爽口感, 水果独特的香甜风味和丰富的营

养特性而深受消费者喜爱^[4-5]。研究表明在啤酒酿造工艺中添加枸杞^[6]、山茱萸^[7]、沙棘^[8]等可以提高成品啤酒的多酚含量和抗氧化活性。天然果蔬原料的添加和活酵母的存在赋予工坊啤酒新的感官特性和多样性,同时保留并提高了更多生物活性物质的含量^[9]。添加枸杞酿造的啤酒中的芦丁和 2-O- β -D-吡喃葡萄糖-L-抗坏血酸含量较高^[6],添加山茱萸酿造的啤酒中含有丰富的环烯醚萜类^[7],添加茄子皮酿造的啤酒中富含花青素^[10]等。除此之外,还有研究人员探究了加入山楂、榲桲和柿子等对成品啤酒理化性质的影响^[11-13]。果蔬等天然原料中含有的生物活性物质,不仅有可能减少酒精对人体机体的氧化和毒性作用,同时也可以改善啤酒品质指标,防止微生物污染等^[14]。

荔枝是一种热带和亚热带水果,果肉风味独特,营养丰富,含有丰富的糖类、氨基酸、维生素等^[15]。研究表明荔枝果肉中具有丰富的多糖及多酚类物质,具有抗氧化、降血脂、护肝、免疫调节等功效^[16]。此外,荔枝中含有丰富的 γ -氨基丁酸,是苹果、猕猴桃等水果的 100 倍^[17,18]。研究表明 γ -氨基丁酸能够作为抑制性神经递质参与大脑调节,具有抗焦虑、降血压、调节心血管健康,预防慢性酒精相关疾病等功效^[19]。由于成熟期集中,加工压力大、要求高,不耐贮藏等原因,荔枝加工产品种类少,仍以荔枝干,荔枝罐头,荔枝汁为主,不足以体现荔枝作为一种传统珍稀水果的市场价值和优势^[20,21]。

本研究探讨了原麦汁浓度、荔枝果浆和啤酒花添加量对荔枝啤酒理化性质的影响,在此基础上通过响应面(response surface methodology, RSM)法对荔枝啤酒酿造工艺进行优化,为荔枝啤酒开发提供理论依据,有助于综合利用荔枝资源,促进荔枝深加工产业进一步发展,延长荔枝产业链。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

荔枝(*Litchi chinensis* Sonn.),品种为黑叶,产地为广东,成熟鲜果采后经挑选清洗于-18℃下冻藏备用;大麦芽,购于保定欧麦麦芽公司;啤酒酵母 S-23,法国 Fermentis 公司;啤酒花,美国雅基玛酒花公司。甲醇、无水乙醇、无水醋酸钠、碳酸钠等均为国产分析纯。

数字式折射仪,日本 ATAGO 公司;TUV-2600 紫外可见分光光度计,日本岛津公司;LRH-50CL 培养箱,上海一恒科学仪器有限公司;DMA 4500 啤酒分析仪,奥地利 Anton Paar 公司;TGL-20M 离心机,

湖南湘仪公司;数显恒温水浴锅,国华电器有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 荔枝啤酒制作工艺

荔枝果浆制备:冻藏荔枝解冻至 0~5℃左右,在低温下去皮去核,果肉经破碎打浆;荔枝啤酒制作工艺参考 Ducruet 等^[5]和 Kawa-Rygielska 等^[6]的方法,并略作修改:

麦芽→粉碎→糖化(料水比:1:3.5;分步糖化:52℃ 30 min;66℃ 60 min;76℃ 10 min)→洗槽、过滤,获得麦汁→煮沸 30 min(煮沸期间添加啤酒花,煮沸 10 min 时添加苦型啤酒花,煮沸 25 min 时添加香型啤酒花,比例为 1:1)→冷却至 25℃→接种啤酒酵母 0.6 g/L(酵母提前在 25℃无菌水中活化 30 min 备用)→投料荔枝果浆→主发酵,在 2 L 的玻璃发酵罐中进行,12℃下糖度连续 48 h 无变化→升温至 18℃进行双乙酰还原,至双乙酰含量≤0.10 mg/L→分离发酵液,按 6 g/L 计算葡萄糖加入量,混匀→装入 250 mL 棕色啤酒瓶,12℃下进行瓶内二次发酵 14 d→4℃贮藏

1.2.2 单因素实验

以感官评价分数为指标,按照以下步骤进行单因素实验。

原麦汁浓度:固定啤酒花添加量 0.4 g/L,荔枝添加量为 20%(V/V)。考察不同原麦汁浓度(8、10、12、14 和 16 °P)对成品啤酒理化特性和感官评价分数的影响。

荔枝果浆添加量:固定原麦汁浓度 10 °P,啤酒花添加量 0.4 g/L。考察不同荔枝果浆添加量为 5%(V/V)、10%(V/V)、15%(V/V)、20%(V/V)和 25%(V/V)时对成品啤酒理化特性和感官评价分数的影响。

啤酒花添加量:固定原麦汁浓度 10 °P,荔枝添加量为 20%(V/V)。考察不同啤酒花添加量(0.1、0.2、0.3、0.4 和 0.5 g/L)对成品啤酒理化特性和感官评价分数的影响。

1.2.3 响应面试验

表 1 Box-Behnken 设计因素水平表

Table 1 Variables and levels used in Box-Behnken design

水平	因素		
	原麦汁浓度 A/°P	荔枝果浆添加量 B/(V/V)	啤酒花添加量 C/(g/L)
-1	8	10	0.3
0	10	15	0.4
1	12	20	0.5

根据单因素实验的结果,利用 Design-Expert 8.0 软件 Box-Behnken 设计,以 A(原麦汁浓度)、B(荔枝果浆添加量)、C(啤酒花添加量)为变量,以感官

评价分数作为响应值,设计三因素三水平的中心组合实验,每组重复三次,取其平均值。因素水平如表 1 所示。

1.2.4 啤酒理化指标测定

样品预处理:超声 15 min 除气;4 °C 条件下 10000

r/min 离心 10 min,过滤,备用。啤酒发酵度、酒精度、残糖均采用安东帕 DMA 4500 啤酒分析仪测定。啤酒泡持性、苦度按照《GB/T 4928-2008 啤酒分析方法》测定。

1.2.5 啤酒感官评价

表 2 荔枝啤酒感官评分标准

Table 2 Sensory scoring criteria of the litchi craft beer

指标	标准	分数
外观(15分)	呈浅黄色或浅棕色,清亮有光泽,允许微细悬浮物	10~15
	呈浅黄色或浅棕色,较为清亮有光泽,有细小悬浮物	5~10
	呈浅黄色或浅棕色,无光,有混浊,有明显的悬浮物	<5
泡沫(20分)	细腻挂杯	15~20
	较为细腻挂杯	10~15
	不细腻,无明显挂杯	<10
香气(25分)	有明显的麦芽香气,酒花香,果香,荔枝香,无异香	20~25
	有较为明显的麦芽香气,酒花香,果香,荔枝香,无异香	15~20
	麦芽香气,酒花香,果香,荔枝香不明显,有异香	<15
口味(40分)	酒体醇厚,纯正协调,杀口力强,荔枝果味适中,无异味	30~40
	酒体较为醇厚,偏苦或偏酸,杀口力较强,荔枝果味偏淡或偏重,无异味	20~30
	酒体单薄,口味不协调,荔枝果味太淡或太重,有异味	<20

表 3 原麦汁浓度对荔枝啤酒理化性质的影响

Table 3 The effect of original extract level on fermentation characteristics of litchi craft beer

原麦汁浓度/°P	发酵度/%	残糖/°P	酒精度/(V/V)	泡持性/s	苦度/IBU	感官分数
8	79.11±0.01 ^a	0.25±0.04 ^a	4.29±0.07 ^a	95.00±3.00 ^a	5.58±0.08 ^a	72.00
10	78.10±0.07 ^b	0.50±0.00 ^b	5.38±0.06 ^b	184.50±2.50 ^b	8.21±0.03 ^b	75.40
12	76.18±0.62 ^c	0.91±0.07 ^c	6.17±0.05 ^c	211.50±2.50 ^c	9.05±0.20 ^c	60.10
14	74.93±0.76 ^c	1.22±0.14 ^d	6.88±0.09 ^d	230.00±2.00 ^d	10.28±0.83 ^d	62.00
16	73.36±0.66 ^c	1.68±0.06 ^e	8.25±0.20 ^e	248.00±3.00 ^e	10.28±0.32 ^d	63.80

注:同列肩标不同字母表示差异显著($p<0.05$)。

由 10 名经过专业培训的具有啤酒品评经验的人员组成感官评价小组,以外观、泡沫、香气、口味为评价因素。感官评分标准如表 2 所示。

1.2.6 微生物指标

大肠杆菌:参照《GB4789.3-2016 食品安全国家标准食品微生物学检验大肠菌群计数》进行测定;金黄色葡萄球菌和沙门氏菌:参考《GB 29921-2013 食品安全国家标准食品中致病菌限量》测定。

1.3 数据处理

采用 Origin 2017 软件和 SPSS Statistics 19.0 软件对实验数据进行整理作图和统计学分析,各组数据表示为平均值±标准差。差异性检验使用 Duncan's 法, $p<0.05$ 表示差异具有显著性。采用 Design-Expert 8.0 数据处理专家进行响应面试验设计和分析。所有实验均重复三次。

2 结果与讨论

2.1 单因素实验结果

2.1.1 原麦汁浓度对荔枝啤酒发酵特性的影响

不同原麦汁浓度对荔枝啤酒的发酵特性具有显著影响($p<0.05$),如表 3 所示。

结果表明,随原麦汁浓度增加,啤酒发酵度降低,残糖含量升高,酒精度增加;泡持性、苦度均随麦汁浓度增加而升高,但感官评分并没有随原麦汁浓度增高而增加,10 °P 的荔枝啤酒感官评分最高,为 75.40 分。上述结果的原因可能是原麦汁浓度越高,氮源和碳源含量增加,导致更多乙醇生成,发酵度升高。汪中世^[22]研究了 8~16 °P 原麦汁浓度对蓝莓啤酒的影响,结果表明成品蓝莓啤酒的酒精度随原麦汁浓度增加而增加,这与本研究结果一致。王松廷^[23]比较了 8、12、

15 和 20 °P 的原麦汁浓度对西瓜啤酒理化指标的影响,发现成品西瓜啤酒的残糖含量随原麦汁浓度升高而升高,这与本文研究结果一致;但成品西瓜啤酒的发酵度随原麦汁浓度升高而升高,这和本研究结果不符,这可能是因为所用西瓜本身含糖量较低,实验所用酵母及发酵工艺不同的原因造成的。麦汁浓度增加,会使得发酵液粘度增大,可能不利于酵母与底物作用,导致残糖量升高^[24]。麦汁浓度越高,泡持蛋白含量增加,泡持性增强^[25]。综合比较,选择原麦汁浓度 8、10、12 °P 进行响应面实验。

2.1.2 荔枝添加量对荔枝啤酒发酵特性的影响

不同荔枝果浆添加量对啤酒的发酵特性具有显著影响 ($p < 0.05$), 如表 4 所示。

随荔枝果浆添加量增多,发酵度和酒精度升高,残糖、泡持性、苦度降低。荔枝果浆添加量为 15% (V/V) 时,感官评分最高。这可能是因为荔枝中含有丰富的可发酵糖类如葡萄糖和果糖,而麦汁中主要是麦芽糖,当葡萄糖增多时,会遏制酵母吸收其他糖类,促进酵母产生更多乙醇^[26]。汪中世^[22]和 Kawa-rygielska^[7]等研究发现添加蓝莓和山茱萸酿造的啤酒发酵度增大,酒精度增加,残糖降低,这与本研究结果一致。Martínez^[13]比较了 75%、50%、25% 比例添加柿子汁发酵对成品啤酒品质的影响,发现成品啤酒的酒精度随柿子汁添加比例增加而显著增加,酒精度最高是 75% 比例组,不添加柿子汁的

对照组最低,这和本研究结果基本相符。王松廷^[23]探究了 5% 到 30% 范围的西瓜汁添加量对成品啤酒的影响,发现随西瓜汁添加量升高,成品啤酒的残糖降低,发酵度升高,这和本研究结果一致,但酒精度呈降低趋势,和本研究结果不符这可能是因为西瓜和荔枝相比,含糖量低,而越高比例的西瓜汁投入,降低了本身麦芽汁的浓度,体系中总的可发酵糖含量降低,使得酒精度呈现降低的趋势。荔枝果浆的添加,降低了苦味质浓度,相对减少了酒花中稳定泡沫的物质如律草酮和泡持蛋白的含量,使得泡持性逐渐下降^[27]。综合比较,选择荔枝添加量 10% (V/V)、15% (V/V) 和 20% (V/V) 进行响应面实验。

2.1.3 啤酒花添加量对荔枝啤酒发酵特性的影响

啤酒花添加量对啤酒的发酵度、残糖和酒精度无显著影响 ($p > 0.05$), 对成品啤酒的泡持性和苦度影响显著 ($p < 0.05$), 如表 5 所示。

随啤酒花用量提高,泡沫持久性、苦度值均显著增加。啤酒花的添加可以有助于提升泡沫稳定性,提高多酚含量,抑制老化前驱物的生成,增强成品啤酒风味稳定性^[28]。但啤酒花用量越高,苦度值也相应升高,会导致苦味不协调,可能会覆盖荔枝果香^[22]。综合比较啤酒花添加量对荔枝啤酒发酵特性和感官特性的影响,选择酒花添加量 0.3、0.4 和 0.5 g/L 进行响应面实验。

表 4 荔枝果浆添加量对荔枝啤酒理化性质的影响

Table 4 The effect of litchi juice addition level on fermentation characteristics of litchi craft beer

荔枝果浆添加量/(V/V)	发酵度/%	残糖/°P	酒精度/(V/V)	泡持性/s	苦度/IBU	感官分数
5	71.63±0.23 ^d	1.38±0.02 ^a	4.88±0.03 ^a	580.00±10.00 ^a	11.05±0.20 ^a	67.10
10	73.33±0.83 ^c	1.14±0.02 ^b	5.10±0.01 ^b	454.00±24.00 ^b	10.68±0.13 ^b	70.90
15	74.43±0.04 ^b	1.04±0.02 ^c	5.30±0.06 ^c	219.00±6.00 ^c	9.88±0.03 ^c	76.40
20	77.51±0.23 ^a	0.60±0.02 ^d	5.43±0.05 ^d	184.00±5.60 ^d	8.95±0.10 ^d	75.00
25	78.06±0.26 ^a	0.58±0.02 ^d	5.68±0.09 ^e	90.50±1.50 ^e	8.30±0.15 ^e	73.30

注: 同列肩标不同字母表示差异显著 ($p < 0.05$)。

表 5 啤酒花添加量对荔枝啤酒发酵特性的影响

Table 5 The effect of hop addition level on fermentation characteristics of litchi craft beer

啤酒花添加量/(g/L)	发酵度/%	残糖/°P	酒精度/(V/V)	泡持性/s	苦度/IBU	感官分数
0.1	78.13±0.05 ^a	0.51±0.04 ^a	5.50±0.09 ^a	<50.00 ^e	4.08±0.58 ^e	53.20
0.2	78.10±0.12 ^a	0.49±0.01 ^a	5.42±0.02 ^a	61.00±7.00 ^d	6.53±0.22 ^d	61.00
0.3	78.33±0.12 ^a	0.47±0.02 ^a	5.46±0.13 ^a	149.00±4.00 ^c	7.80±0.30 ^c	62.30
0.4	78.19±0.07 ^a	0.50±0.02 ^a	5.57±0.12 ^a	184.00±14.00 ^b	8.85±0.30 ^b	74.20
0.5	78.23±0.07 ^a	0.48±0.01 ^a	5.54±0.10 ^a	226.50±8.50 ^a	10.55±0.45 ^a	62.00

注: 同列肩标不同字母表示差异显著 ($p < 0.05$)。

表 6 响应面实验设计与结果

Table 6 The design and result of response surface experiment

试验号	原麦汁浓度 A/°P	荔枝果浆添加量 B/% (V/V)	啤酒花添加量 C/(g/L)	感官评价分数 Y
1	10	15	0.4	78.40
2	8	15	0.5	70.10
3	10	15	0.4	78.50
4	10	20	0.5	62.00
5	12	15	0.3	67.00
6	12	10	0.4	75.00
7	10	15	0.4	79.00
8	8	20	0.4	72.00
9	10	15	0.4	76.40
10	10	10	0.5	72.00
11	10	20	0.3	62.3.0
12	8	15	0.3	59.10
13	12	20	0.4	60.10
14	10	15	0.4	78.50
15	12	15	0.5	58.90
16	10	10	0.3	62.10
17	8	10	0.4	72.00

表 7 Box-Behnken 试验结果模型方差分析

Table 7 Variance analysis of response surface method

方差来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值	显著性
模型	889.32	9	98.81	40.99	0.0001	**
A	18.60	1	18.60	7.72	0.0274	*
B	76.26	1	76.26	31.64	0.0008	**
C	19.53	1	19.53	8.10	0.0248	*
AB	55.50	1	55.50	23.02	0.0020	**
AC	91.20	1	91.20	37.83	0.0005	**
BC	26.01	1	26.01	10.79	0.0134	*
A ²	89.29	1	89.29	37.04	0.0005	**
B ²	60.16	1	60.16	24.96	0.0016	**
C ²	402.73	1	402.73	167.06	<0.0001	**
残差	16.87	7	2.41			
失拟项	12.78	3	4.26	4.17	0.1009	
纯误差	4.09	4	1.02			
总离差	906.20	16				

注: **: 差异极显著, $p < 0.01$; *: 差异显著, $p < 0.05$ 。

2.2 荔枝啤酒工艺的响应面优化

2.2.1 回归模型的建立

选择原麦汁浓度 (A)、荔枝果浆添加量 (B)、啤酒花添加量 (C) 为三个因素, 感官评价分数 (Y) 为响应指标, 进行三因素三水平的响应面实验分析, 试验结果和方差分析见表 6 和表 7。将表 6 的数据用

Design. Expert 8.0 软件进行二次线性回归拟合, 得到如下回归方程:

$$Y = 78.16 - 1.52A - 3.09B + 1.56C - 3.73AB - 4.78AC - 2.55BC - 4.61A^2 - 3.78B^2 - 9.78C^2$$

由该方程知, 二次项 A^2 、 B^2 、 C^2 系数均为负, 说明该方程存在最大值。由表 7 可知, 二次回归模型达到极显著水平 ($p < 0.01$), 模型的决定系数 R^2 为 0.9814。

说明该模型能解释 98.14%响应值的变化, 失拟项 P 值不显著, 说明该模型拟合程度较好, 试验结果具有良好的准确度与可靠性。该模型变异系数 CV 为 2.23, 说明模型的重现性较好, 可用于分析与预测不同工艺条件下荔枝啤酒的综合评分。由回归模型的 F 值可知各参数对综合评分的影响大小为荔枝果浆添加量>啤酒花添加量>原麦汁浓度。

2.2.2 交互作用分析

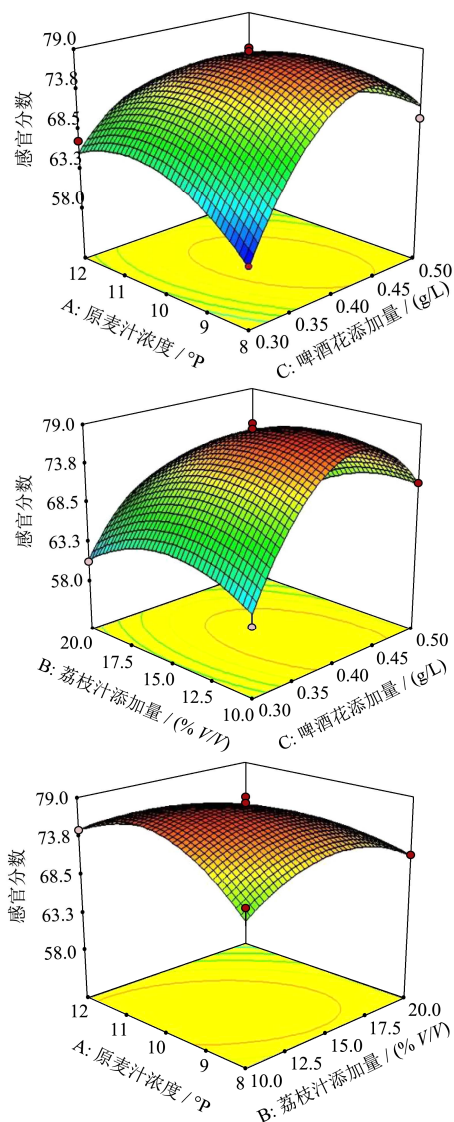


图1 各因素交互作用对荔枝啤酒感官评分影响的响应面和等高线图

Fig.1 Response surface plots showing the effect of original gravity, the addition of hop amount and litchi amount on the sensory scores

各工艺因素交互项对感官评分的影响作用结果见图 1。等高线的密集程度反映了试验因素对响应值的影响作用^[29]。从图 1 中可以看出原麦汁浓度、荔枝添加量、酒花添加量三个因素两两之间均具有较强的交互作用, 等高线呈椭圆形, 响应面为凸形, 有最大值。

从中还可以看出, 等高线沿荔枝添加量轴向最密集, 沿原麦汁浓度轴向的等高线相对稀疏, 沿酒花添加量的等高线最稀疏。表明荔枝添加量对感官评价分数的影响最大, 其次是原麦汁浓度, 最后是酒花添加量, 这与前述的方差分析结果相符。

2.2.3 工艺优化及验证

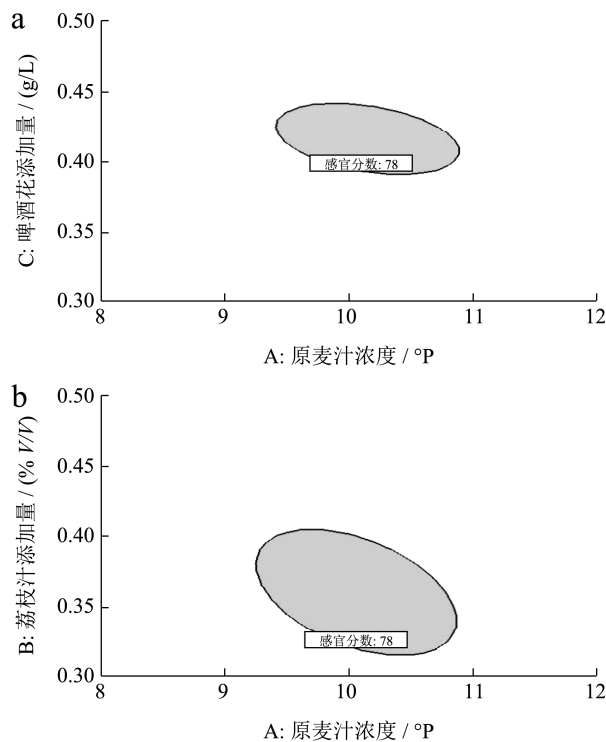


图2 荔枝啤酒工艺参数的优化条件

Fig.2 Optimum conditions of brewing parameter for litchi craft beer

表8 荔枝啤酒理化指标和微生物指标

Table 8 The physicochemical and microbial parameters of finished litchi craft beer

项目	指标
发酵度/%	77.98
酒精度/% (V/V)	5.41
残糖/°P	0.85
泡持性/s	205
苦度/IBU	8.92
微生物指标	大肠菌群, 沙门氏菌, 金黄色葡萄球菌均未检出

用 Design Expert 8.0 软件对表 6 中的数据进行分析, 以啤酒的感官分数最高为目标, 运行优化程序获得优化工艺参数条件为原麦汁浓度 9~11 °P、荔枝果浆添加量 11%(V/V)~15%(V/V)、啤酒花添加量 0.39~0.44 g/L, 此条件下啤酒的感官评价预测分数≥78, 如图 2 所示。综合考虑因素及实际生产条件, 确定原麦汁浓度 10 °P, 荔枝果浆添加量 15%, 啤酒花添加量 0.4 g/L

为最佳优化工艺参数,重复验证实验三次,荔枝啤酒的感官评价分数平均为 78.10 分,实验值与预测值相符,具有荔枝果香的特征。该工艺下的荔枝啤酒理化指标和微生物指标如表 8 所示。

3 结论

在对原麦汁浓度、荔枝果浆添加量和啤酒花添加量三种单因素对啤酒的发酵特性和品质指标影响的基础上,通过响应面法优化实验对荔枝精酿啤酒酿造工艺进行优化,综合因素和实际生产优选最佳工艺条件为:原麦汁浓度 10 °P,荔枝果浆添加量 15% (V/V),酒花添加量 0.40 g/L,经试验验证,荔枝啤酒感官评价分数平均为 78.10 分,与预测值相符,该工艺下获得的成品啤酒荔枝果香明显,口味纯正,泡沫细腻。响应面法可以用于优化荔枝啤酒酿造工艺,具有一定的准确性和可靠性。研究结果为荔枝深加工产业提供了一条新的途径。啤酒体系复杂,其整体风味是多种物质共同作用的结果,荔枝啤酒的风味和适饮性,还需结合实际生产;添加荔枝对啤酒多酚种类,贮存稳定性和功能特性的影响亟需进一步研究。

参考文献

- [1] Cabras I, Higgins D, Preece D. Brewing, Beer and Pubs [M]. Palgrave Macmillan UK, 2016
- [2] Sohrabvandi S, Mortazavian A M, Rezaei K. Health-related aspects of beer: a review [J]. International Journal of Food Properties, 2012, 15(2): 350-373
- [3] Brien S E, Ronksley P E, Turner B J, et al. Effect of alcohol consumption on biological markers associated with risk of coronary heart disease: systematic review and meta-analysis of interventional studies [J]. BMJ-British Medical Journal, 2011, 342: d636
- [4] Aquilani B, Laureti T, Poponi S, et al. Beer choice and consumption determinants when craft beers are tasted: an exploratory study of consumer preferences [J]. Food Quality & Preference, 2015, 41: 214-224
- [5] Donadini G, Porretta S. Uncovering patterns of consumers' interest for beer: a case study with craft beers [J]. Food Research International, 2017, 91(JAN.): 183
- [6] Ducruet J, Rebenaque P, Diserens S, et al. Amber ale beer enriched with goji berries - the effect on bioactive compound content and sensorial properties [J]. Food Chemistry, 2017, 226: 109-118
- [7] Kawa-rygielska J, Adamenko K, Kucharska A Z, et al. Physicochemical and antioxidative properties of cornelian cherry beer [J]. Food Chemistry, 2019, 281: 147-153
- [8] Adadi P, Kovaleva E G, Glukhareva T V, et al. Production and analysis of non-traditional beer supplemented with sea buckthorn [J]. Agronomy Research, 2017, 15(5): 1831-1845
- [9] Humia B V, Santos K S, Schneider J K, et al. Physicochemical and sensory profile of Beaugard sweet potato beer [J]. Food Chemistry, 2020, 312: 126087
- [10] Horincar G, Enachi E, Bolea C, et al. Value-added lager beer enriched with eggplant (*Solanum melongena* L.) peel extract [J]. Molecules, 2020, 25(3): 731
- [11] Gasiński A, Kawa-Rygielska J, Szumny A, et al. Assessment of volatiles and polyphenol content, physicochemical parameters and antioxidant activity in beers with dotted hawthorn (*Crataegus punctata*) [J]. Foods, 2020, 9(6): 775
- [12] Zapata P J, Martínez-Esplá A, Gironés-Vilaplana A, et al. Phenolic, volatile, and sensory profiles of beer enriched by macerating quince fruits [J]. LWT - Food Science and Technology, 2019, 103: 139-146
- [13] Martínez A, Vegara S, Martí N, et al. Physicochemical characterization of special persimmon fruit beers using bohemian pilsner malt as a base [J]. Journal of the Institute of Brewing, 2017, 123(3): 319-327
- [14] Penkina N, Tatar L, Kolesnyk V, et al. Research into quality of beer with the addition of pine needles extract [J]. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2017, 2(10): 40-48
- [15] Jiang Y M, Wang Y, Song L, et al. Postharvest characteristics and handling of litchi fruit - an overview [J]. Australian Journal of Experimental Agriculture, 2006, 46(12): 1541
- [16] Emanuele S, Lauricella M, Calvaruso G, et al. *Litchi chinensis* as a functional food and a source of antitumor compounds: an overview and a description of biochemical pathways [J]. Nutrients, 2017, 9(9): 992
- [17] 周沫霖,胡卓炎,赵雷,等.不同低温贮藏对荔枝 γ -氨基丁酸富集及贮藏品质的影响[J].现代食品科技,2016,32(3):189-196
- [18] ZHOU Molin, HU Zhuoyan, ZHAO Lei, et al. Effect of different low-temperature storage methods on γ -aminobutyric acid accumulation and storage quality of litchi [J]. Modern Food Science and Technology, 2016, 32(3): 189-196
- [19] Wu Z C, Yang Z Y, Li J G, et al. Methyl-inositol, γ -aminobutyric acid and other health benefit compounds in the aril of litchi [J]. International Journal of Food Sciences and Nutrition, 2016, 67(7): 762-772
- [19] Diana M, Quílez J, Rafecas M. Gamma-aminobutyric acid as

- a bioactive compound in foods: a review [J]. *Journal of Functional Foods*, 2014, 10: 407-420
- [20] 胡卓炎,余小林,赵雷,等.荔枝龙眼主要加工产品生产现状[J].*中国果业信息*,2013,30(6):13-19
HU Zhuoyan, YU Xiaolin, ZHAO Lei, et al. Main processing products status of litchi and longan [J]. *China Fruit News*, 2013, 30(6): 13-19
- [21] 朱云婷,米生喜,蔡勇建,等.三种不同生产工艺的荔枝酒品质对比[J].*现代食品科技*,2018,34(11):185-193
ZHU Yunting, MI Shengxi, CAI Yongjian, et al. Comparison of the quality of litchi wines produced through three different winemaking processes [J]. *Modern Food Science and Technology*, 2018, 34(11): 185-193
- [22] 汪中世.蓝莓果啤研制及其稳定性研究[D].合肥:安徽农业大学,2015
WANG Zhongshi. Development of blueberry beer and the study on its stability [D]. Hefei: Anhui Agricultural University, 2015
- [23] 王松廷.西瓜精酿啤酒酿造工艺的研究及其风味物质分析[D].郑州:河南大学,2016
WANG Songting. The research of brewing technology and the analysis of flavor compounds on watermelon craft beer [D]. Zhengzhou: Henan University, 2016
- [24] 胡重庆.绿茶啤酒的酿造研究[D].合肥:安徽农业大学,2017
Hu Chongqing. Study on brewing of tea beer [D]. Hefei: Anhui Agricultural University, 2017
- [25] 胡华勇,方志远,张娇.啤酒泡沫的影响因素与控制措施[J].*中外酒业·啤酒科技*,2018,21:46-50
HU Huayong, FANG Zhiyuan, ZANG Jiao. Influencing factors and control measures of beer foam [J]. *Global Alcinfo, Beer Technology*, 2018, 21: 46-50
- [26] 雷宏杰.高浓麦汁氮源组成对酵母氨基酸同化及发酵调控影响的研究[D].广州:华南理工大学,2014
LEI Hongjie. Study of the effects of nitrogen composition in high gravity wort on the assimilation of amino acids by lager yeast and fermentation control [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2014
- [27] 曹荣锟.啤酒辅料对啤酒泡沫的影响[D].无锡:江南大学,2018
CAO Rongkun. The effect of beer adjunct on beer foam [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2018
- [28] 付兆辉,李崎,顾国贤.啤酒中的多酚物质及其作用[J].*酿酒*, 2003,30(6):49-51
FU Zhaohui, LI Qi, GU Guoxian. Polyphenols in beer and their roles [J]. *Liquor Making*, 2003, 30(6): 49-51
- [29] 都宏霞,刘宴秀,严忠杰,等.超声波辅助-绿色低共熔溶剂提取茉莉花黄酮的工艺优化[J].*现代食品科技*,2021,37(1): 199-206
DU Hongxia, LIU Yanxiu, YAN Zhongjie, et al. Optimization of ultrasonic assisted-green deep eutectic solvent extraction of flavonoids from jasmine [J]. *Modern Food Science and Technology*, 2021, 37(1): 199-206

(上接第6页)

- [19] 黄娟,冯仕银,王蓝天,等.UHPLC-MS/MS 同时测定人血浆中辛伐他汀及其代谢产物[J].*中国现代应用药学*,2015,32(3):330-335
HUANG Juan, FENG Shiyin, WANG Lantian, et al. Determination of simvastatin and simvastatin acid in human plasma by UHPLC-MS/MS [J]. *Chinese Journal of Modern Applied Pharmacy*, 2015, 32(3): 330-335
- [20] 孙建国,王广基,谢林,等.犬血浆中洛伐他汀的 LC-MS 法快速测定及药代动力学研究[J].*药物分析杂志*,2006,26(1):44-47
SUN Jianguo, WANG Guangji, XIE Lin, et al. Rapid LC-MS determination and pharmacokinetic research of lovastatin in dog plasma [J]. *Chinese Journal of Pharmaceutical Analysis*, 2006, 26(1): 44-47
- [21] 宋欣鑫,邹继红,谷艳,等.2 种洛伐他汀片人体药动学及生物等效性研究[J].*药物分析杂志*,2007,10:1530-1532
SONG Xinxin, ZHOU Jihong, GU Yan, et al. Two kinds of lovastatin tablets human pharmacokinetics and bioequivalence study [J]. *Chinese Journal of Pharmaceutical Analysis*, 2007, 10: 1530-1532
- [22] 吕鑫科,丁虹.洛伐他汀缓释胶囊在犬体内的药动学与生物利用度研究[J].*医药导报*,2006,12:1253-1255
LYU Xinke, DING Hong. Lovastatin sustained-release capsules in dogs *in vivo* pharmacokinetics and bioavailability of the research [J]. *The Medicine Herald*, 2006, 12: 1253-1255
- [23] 易涛,易以木.洛伐他汀缓释片的体外释放度和生物利用度[J].*中国医院药学杂志*,2004,8:12-14
YI Tao, YI Yimu. Degree of lovastatin zyban of *in vitro* release and bioavailability [J]. *Chinese Journal of Hospital Pharmacy*, 2004, 8: 12-14