文章编号:2095-7386(2023)06-0099-07
DOI:10.3969/j.issn.2095-7386.2023.06.014

# 响应面法优化黄桃精酿啤酒发酵工艺

罗跃中,匡　燕,李忠英,姚　琦
(湖南化工职业技术学院,制药与生物工程学院,株洲 412000)

**摘　要**:以大麦芽、小麦芽、黄桃汁为主要原料,采用啤酒发酵工艺酿造黄桃啤酒。通过单因素和响应面优化试验,以感官评分为评价标准,对黄桃精酿啤酒的发酵工艺参数(原麦汁浓度、黄桃汁添加量和发酵温度)进行优化。结果表明:发酵温度对感官评分影响最大,发酵的最佳工艺条件是原麦汁的浓度为 12°P、黄桃汁的添加量为 8%、发酵温度为 18 ℃。在此条件下进行感官评价和理化分析,得到符合国家质量标准的且兼具果香和酒香,口感纯正,清澈透亮的黄桃精酿啤酒。黄桃精酿啤酒的工艺优化为黄桃深加工生产提供理论指导。

**关键词**:黄桃;精酿啤酒;响应面;发酵工艺
**中图分类号**:TS 246　　**文献标识码**:A

# Response surface methodology of optimizing the fermentation process of *yellow peach* craft beer

*LUO Yuezhong*, *KUANG Yan*, *LI Zhongying*, *YAO Qi*
(College of Pharmaceutical and bioengineering,
Hunan Chemical Vocational Technology College, Zhuzhou 412000, China)

**Abstract**: Barley malt, wheat malt and yellow peach juice were used as the main raw materials to brew yellow peach beer by beer fermentation process. The fermentation process parameters (original wort concentration, yellow peach juice addition and fermentation temperature) of yellow peach craft beer were optimized through one-way and response surface optimization tests with sensory scores as evaluation criteria. The results showed that the fermentation temperature had the greatest influence on the sensory score, and the optimal process conditions for fermentation were 12 °P wort concentration, 8% yellow peach juice addition, and 18 ℃ fermentation temperature. Sensory evaluation and physicochemical analysis were carried out under these conditions to obtain a yellow peach craft beer that complied with the national standard for beer, with both fruity and alcoholic aromas, and a pure, clear and bright taste. Process optimization of yellow peach craft beer provides theoretical guidance for the production of yellow peach deep processing.

**Key words**: yellow peach; craft beer; response surface; fermentation process

## 1　引言

我国作为啤酒生产大国和消费大国,啤酒的市场需求量大,在生活水平不断提高的情况下,消费者对啤酒的要求开始向高品质、个性化和多元化发展。品味单一的传统工业啤酒已无法满足消费者的需

收稿日期:2023-10-24.
作者简介:罗跃中(1983—),男,副教授,研究方向为微生物资源开发与应用。E-mail:651743252@qq.com.
基金项目:2021 年度湖南省教育厅科学研究优秀青年项目(编号:21B0872).

要,风味浓郁独特,个性鲜明,新颖的精酿啤酒成了消费者的新宠[1]。精酿啤酒的流行,包括低热量啤酒,低醇啤酒,果味啤酒及功能性啤酒等[2],其中果味啤酒以其酒精度低,风味佳深受消费者喜爱。目前国内市场所售卖的果啤部分实属果味配制型,即以加入水果香精而得到果味浓郁的果啤,这种果啤仅能为消费者带来感官上的需要,其制品并不含水果丰富的养分[3]。在绿色健康养生观念日益深入人心的今天,真正的水果酿造型果啤渐渐地进入了公众的视野及消费需求。

将水果用于啤酒酿造一方面赋予啤酒水果的味道,另一方面使啤酒具有保健功效[4]。果啤中既保留了酿造前水果中各种营养物质,同时在酿造过程中,酵母代谢分解部分大分子物质,生成富含功能成分,可以降低胆固醇、抑制脂肪生成、减肥,同时可促进血液循环提高机体活力,对美容护肤、抗衰老等方面也有很好的作用[5]。随着果味啤酒酿造工艺的不断成熟,国内酿造果味啤酒的种类也在不断增多,常用水果有菠萝[6]、水蜜桃[7]、蓝莓[8]、百香果[9]、柿子[10]、柠檬[11]、雪莲果[12]、樱桃[13]、芒果[14]等,这些水果营养丰富且口感酸甜;还有学者利用具有地域特色的水果如山荆子[15]、海棠果[16]、枸杞[17]等;具有药食两用特性的刺梨[18]、沙棘[19]、红枣[20]、山楂[21]也被用来提高啤酒的保健功效。

黄桃,属蔷薇科李属桃亚属,因肉和皮为黄色得名。果实肉质较紧密,直接食用微甜较酸,味道浓香。黄桃含有丰富的蛋白质、脂肪、糖、钙、磷、铁、维生素等营养成分[22],研究表明常吃可起到通便、祛除黑斑、延缓衰老等作用[23],也能促进食欲,堪称养生之桃、保健水果。除鲜食外,常被用来加工成黄桃罐头、黄桃干、黄桃汁、黄桃果酱等产品,而市场上黄桃啤酒很少见。本研究以麦芽和黄桃为原料酿造果味啤酒,用响应面法优化发酵工艺参数,不仅可以延伸黄桃产业链,还可丰富果味啤酒的种类,为开发和生产黄桃精酿啤酒提供发酵生产工艺参考和支持。

## 2 材料与方法

### 2.1 材料与试剂

黄桃,株洲市水果市场市售;果胶酶,重庆天润生物制品有限公司;皮尔森麦芽(3.4EBC),普通小麦芽(4.5EBC),超级麦芽自酿啤酒;特种干酵母(WB-06),费曼迪斯酵母有限公司;香型酒花,苦型酒花,济南中德啤酒设备有限公司;其它试剂,微生物发酵实验室自备。

### 2.2 仪器与设备

啤酒麦芽粉碎机,山东普睿德重工有限公司;20L 提升式发酵罐,连云港和昌生物工程设备有限公司;JD-1S 系列电子天平,神宇龙腾天平;啤酒双乙酰蒸馏器,天长市康鹏实验设备有限公司;手持糖度计 GR15,上海卓光仪器公司;HH-8 恒温水浴锅,常州市亿能实验仪器供应商。

### 2.3 方法

#### 2.3.1 生产工艺流程

麦芽→粉碎→糖化→过滤→煮沸→主发酵→后发酵(添加黄桃汁)→低温冷藏→成品→罐装

#### 2.3.2 酿造过程及工艺要点

粉碎:大麦芽和小麦芽按 3∶1的比例充分混合,加水润湿粉碎,粉碎效果要达到皮壳破而不碎,粗细得当。湿润度要适中,水太少粉碎时麦芽壳会过细,导致后面过滤速度慢,水太多粉碎时麦芽壳不容易破裂,影响粉碎效果。

黄桃汁制备:选择新鲜,无病虫害的黄桃,置于二氧化氯溶液中进行消毒处理 15 min,然后用无菌水清洗干净、晾干后切成小块放到榨汁机内榨汁,在果汁中加入 140 mg/L 的偏重亚硫酸钾再加入 2 mL/100L果胶酶酶解 2 h[7],操作期间尽量保持无菌状态,同时避免果汁长时间与空气接触,制备好的果汁应立即使用。

糖化:将粉碎混合的麦芽在 45 ℃恒温中浸渍,边搅拌边加热升温至 54 ℃停,加热,停,搅拌,保温 40 min,再搅拌升温至 62 ℃停,加热,停,搅拌,保温 60 min;再搅拌升温至 72 ℃停,加热,停,搅拌,保温 15 min;再搅拌升温至 78 ℃,测定碘液不变蓝,停止加热,糖化终止。

过滤:过滤前将 78 ℃热水加至没过过筛板 2 cm,把糖化液转移至过滤旋沉槽,静置 15 min 后过滤,然后进行麦汁回流,注意应无明显颗粒,用 78 ℃左右热水洗糟 2 次。

煮沸:将过滤后的醪液升温至 100 ℃煮沸 1 h。在煮沸过程中分三次添加啤酒花,煮沸 5 min 后,先加 0.1%的苦型酒花,30 min 后,再加 0.2%的苦型酒花,煮沸前 5 min,加 0.3%的香型酒花。煮沸结束后,麦汁快速回旋,分离不凝物,得到澄清的麦芽汁,测定其糖度。

发酵:将活化好的酵母按 0.05%的接种量加入冷却至 20 ℃左右的麦芽汁。发酵罐温度控制在 20 ℃保温 4~5 d,残糖降到 4 ℃左右,添加酶解后的黄桃果汁,控制温度发酵一周后进行降温操作,按

2 ℃/h 速度降到 0 ℃发酵 10 d，在此期间需要数次排酵母，酒体基本成熟。

后续处理：发酵完成后低温冷藏果啤，罐装可用瓶装、桶装，后期不经过巴氏杀菌，保质期较短，属于鲜啤酒，保持口感新鲜，泡沫丰富，生物活性物质含量高。

2.3.3　单因素试验

采用单因素控制变量法考察原麦汁浓度（8°P，10°P，12°P，14°P，16°P）、黄桃果汁添加量（4%，6%，8%，10%，12%），发酵温度（14 ℃，16 ℃，18 ℃，20 ℃，22 ℃）对黄桃啤酒理化指标和感官评分的影响。

2.3.4　响应面试验

根据单因素试验结果，利用 Box-Behnken 中心试验原理设计了三因素三水平响应面试验，得出最优发酵工艺。以A（原麦汁浓度）、B（黄桃汁添加量）、C（发酵温度）为自变量，将感官评分为响应值，试验因子及水平如表 1 所示，各组试验均重复 3 次并取平均值。

**表 1　Box-Behnken 试验因素与水平**

Table 1　Factors and levels of Box-Behnken test

| 水平 | 因素 | | |
|---|---|---|---|
| | 原麦汁浓度/°P | 黄桃汁添加量/% | 发酵温度/℃ |
| −1 | 10 | 6 | 16 |
| 0 | 12 | 8 | 18 |
| 1 | 14 | 10 | 20 |

2.3.5　感官评分标准

由 10 名食品专业学生和老师组成评定小组，成员均接受过啤酒感官品评专业训练，从啤酒的外观（20 分）、泡沫性能（20 分）、香气（30 分）、口感（30 分）四个方面进行品评打分，总分 100 分，取平均值。

**表 2　黄桃精酿啤酒感官评分标准**

Table 2　Sensory rating standards of *Yellow peach* craft beer

| 项目 | 标准 | 分数/分 |
|---|---|---|
| 外观/20 分 | 色泽均一，清澈透亮，有亮光 | 15～20 |
| | 色泽微弱，轻微失光，微浑浊 | 10～15 |
| | 色泽较弱，有点失光，有浑浊 | 5～10 |
| | 色泽昏暗，严重失光，浑浊沉淀 | <5 |
| 泡沫/20 分 | 泡沫丰富细腻、挂杯，泡持性长 | 15～20 |
| | 泡沫较细腻、稍挂杯，泡持性稍长 | 10～15 |
| | 泡沫较粗大，有挂杯，泡持性差 | 5～10 |
| | 泡沫少，无挂杯，无泡持性 | <5 |
| 香气/30 分 | 果香、酒香浓郁，诸香和谐纯正 | 25～30 |
| | 果香、酒香纯正，但不浓郁 | 15～25 |
| | 果香、酒香不足，香气不充分 | 10～15 |
| | 香气不协调，有异味 | <10 |
| 口感/30 分 | 口感醇厚丰满，纯正爽口，风味协调 | 25～30 |
| | 口感酸甜比较适中，酒体比较柔和爽口，风味较协调 | 15～25 |
| | 口感偏甜或偏酸，酒体协调性一般 | 10～15 |
| | 口感寡淡无味，口感不协调 | <10 |

2.3.6　验证试验和理化指标分析

用最优工艺进行验证试验，并进行感官品评分析和理化指标分析。酒精度、双乙酰、总酸、苦味值、色度、泡持性的测定：参考 GB/T 4728－2008《啤酒》。

## 3　结果与分析

### 3.1　单因素试验结果

由图 1 可看出，原麦汁浓度为 12°P 时，感官评分最高，黄桃精酿啤酒口感纯正、爽口，麦芽香、酒香与黄桃风味协调，酒体醇厚。麦汁浓度从 8°P 升到 16°P，感官评分先上升后降低。当浓度偏低时，酵母菌活力不足，发酵度不够，导致酒体口感不浓厚，味道寡淡，评分较低。随着浓度的升高，可供酵母利用的糖类增多，发酵后感官评分也逐步上升，而原麦汁浓度太高虽有利于发酵度的提高，但过于浓厚的啤酒味则会遮蔽果酿啤酒中水果的特殊风味，且羰基化合物容易生成，对于果酿啤酒的风味稳定性不利[24]，当超过 12°P 时，也导致酒味过于突出，掩盖了果香味，酒体厚重，感官评分反而变低。由图 1 可知，原麦汁浓度 12°P 正合适，选择此浓度为响应面

中心点。

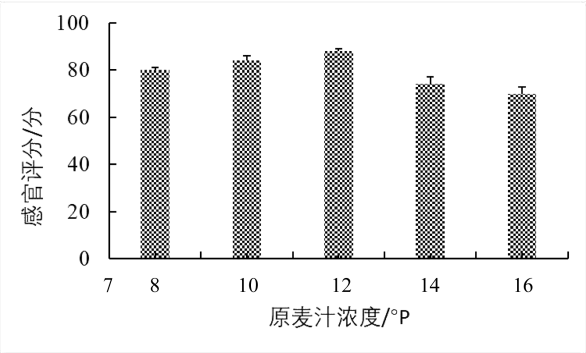


图 1 原麦汁浓度对啤酒品质的影响

Fig. 1 Influence of original wort concentration on beer quality

由图 2 中可以看出，感官评分随黄桃汁加入量的升高呈现先升高后降低的变化趋势。当黄桃汁加入量为 8%，口感纯正清爽，有丰富的黄桃果香味，又兼具啤酒的风味，感官评分最高。果汁和麦芽汁混合后经酵母发酵作用形成的果啤，不仅风味物质含量会增加，果汁中原来没有的风味成分种类也可能会增加[25]。黄桃果汁添加量直接关系到黄桃啤酒风味物质的产生，醇类物质是黄桃中醇甜和助香剂的重要来源[26]，而酯类则呈现出花香和果香，虽然含量相对较低，但萜烯类化合物也是重要风味物质[27]，加得太少黄桃香味不够鲜明，太多了会影响啤酒香味的协调性。黄桃中挥发性香气成分能被释放出来还与果胶酶的使用有关，已有研究表明果胶酶可增加发酵酒中香气物质的种类[28]。

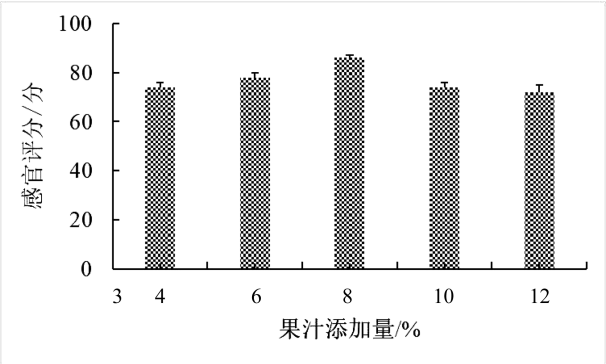


图 2 黄桃汁添加量对啤酒品质的影响

Fig. 2 Influence of added amount of *yellow peach* juice on beer quality

由图 3 可以看出，随发酵温度的上升感官评分呈先上升后下降的趋势；当发酵温度达到 18 ℃时就不会再升高，此温度下的黄桃啤酒酸甜适口，兼具果香和酒香。发酵温度对果酿啤酒品质亦有影响，尤其对麦芽汁中还原糖的利用有重要影响。当发酵温度较低时，酵母生长速度缓慢，发酵周期较长，产生的酯香味稀薄，导致口味寡淡；当发酵温度较高时，虽可缩短发酵时间，但会大量生成酯类、高级醇和其它风味物质[29]，明显地影响果酿啤酒的风味[30]。合适的发酵温度，让果香和酒香更好地相互融合。由图 3 可知发酵温度 18 ℃最合适，并以此为响应面中心点。

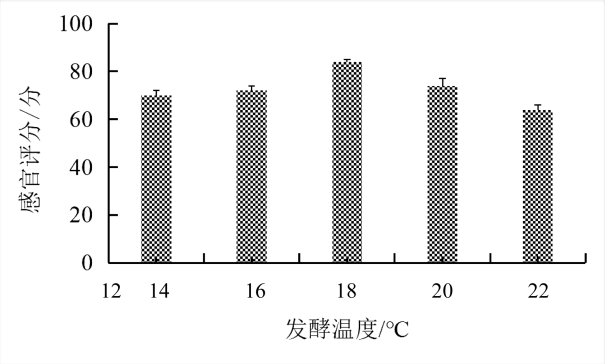


图 3 发酵温度对啤酒品质的影响

Fig. 3 Influence of fermentation temperature on beer quality

### 3.2 响应面法优化试验结果

根据 Box-Behnken 设计方案进一步优化了原麦汁浓度、黄桃汁添加量，发酵温度，所得试验结果见表 3，方差结果分析见表 4。

**表 3 Box-Behnken 试验设计与结果**

Table 3 Design and results of Box-Behnken test

| 编号 | A | B | C | 感官评分/分 |
|---|---|---|---|---|
| 1 | −1 | −1 | 0 | 85.24 |
| 2 | +1 | −1 | 0 | 88.02 |
| 3 | −1 | +1 | 0 | 86.38 |
| 4 | +1 | +1 | 0 | 88.02 |
| 5 | −1 | 0 | −1 | 86.46 |
| 6 | +1 | 0 | −1 | 86.26 |
| 7 | −1 | 0 | +1 | 83.16 |
| 8 | +1 | 0 | +1 | 85.42 |
| 9 | 0 | −1 | −1 | 86.08 |
| 10 | 0 | +1 | −1 | 86.26 |
| 11 | 0 | −1 | +1 | 81.22 |
| 12 | 0 | +1 | +1 | 85.84 |
| 13 | 0 | 0 | 0 | 92.28 |
| 14 | 0 | 0 | 0 | 92.82 |
| 15 | 0 | 0 | 0 | 92.42 |
| 16 | 0 | 0 | 0 | 92.68 |
| 17 | 0 | 0 | 0 | 91.28 |

**表 4　响应面法二次模型的方差分析和拟合分析**

Table 4　Variance analysis and fitting analysis of the response surface quadratic model

| 来源 | 平方和 | 自由度 | 均方 | $F$ 值 | $p$ 值 | 显著性 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 模型 | 190.58 | 9 | 21.18 | 37.03 | <0.000 1 | ** |
| A | 5.25 | 1 | 5.25 | 9.18 | 0.019 1 | * |
| B | 4.41 | 1 | 4.41 | 7.71 | 0.027 4 | * |
| C | 11.09 | 1 | 11.09 | 19.4 | 0.003 1 | ** |
| AB | 0.32 | 1 | 0.32 | 0.57 | 0.475 6 | |
| AC | 1.51 | 1 | 1.51 | 2.65 | 0.147 9 | |
| BC | 4.93 | 1 | 4.93 | 8.62 | 0.021 8 | * |
| $A^2$ | 25.34 | 1 | 25.34 | 44.3 | 0.000 3 | ** |
| $B^2$ | 36.1 | 1 | 36.1 | 63.12 | <0.000 1 | ** |
| $C^2$ | 85.95 | 1 | 85.95 | 150.29 | <0.000 1 | ** |
| 残差 | 4 | 7 | 0.57 | | | |
| 失拟项 | 2.53 | 3 | 0.84 | 2.3 | 0.219 4 | |
| 纯误差 | 1.47 | 4 | 0.37 | | | |
| 总离差 | 194.59 | 16 | | | | |
| 变异系数 $CV$=0.86%；信噪比=18.062 | | | | | | |
| 相关系数 $R^2$=0.9794；校正 $R^2_{adj}$=0.9530；预测 $R^2_{pred}$=0.7799 | | | | | | |

注：**（p<0.01）表示极显著；*（p<0.05）表示显著。

利用 Design Expert10.0.4 软件对表 4 中的数据进行二次多元回归拟合，各实验因子对感官评分的影响可以用以下回归方程表示：

$$Y=92.29+0.81*A+0.74*B-1.18*C-0.29*AB+0.61*AC+1.11*BC-2.45*A^2-2.93*B^2-4.52*C^2$$

由表 4 可知，模型 P<0.01，表明回归模型极显著，失拟项 P>0.05，不显著，表明该模型可以充分解释响应中的变异，模型的拟合效果良好，试验误差小；相关系数 $R^2$=0.979 4 表示该模型能够解释 97.94%响应值变化情况，越接近于 1，则表示相关性越强，$(R^2_{adj}-R^2_{pred})<0.2$，表示两值比较接近，该模型适用于发酵工艺过程；$CV$=0.86%<1%，表明本实验精确度高，实验重复性好；信噪比 18.062>4，说明该模型具有较高的拟合精度，可用于黄桃啤酒发酵过程中感官评分变化的分析与预测。由 $p$ 值看，一次项 C，二次项 $A_2$、$B_2$ 和 $C_2$ 对感官评分有极显著影响（$p<0.01$），一次项 A 和 B 以及二次项 BC 的显著影响（$p<0.05$）。由 $F$ 值可知，3 个因素对感官评分影响顺序为 C>A>B。

### 3.3　响应面分析

响应面图能够直观地反映出两个因素对因变量的影响。各个因子间的相互作用可以通过等高线来体现，当等高线越趋近于椭圆形时，两个因子的相互作用会越显著，反之则会不显著，三维曲面坡度越陡则说明各因素对响应值影响越大，表明两变量交互作用显著。从图 4 可以看出，随着发酵温度、黄桃加入量的增加，感官得分由高到低依次上升，等高线呈椭圆，表明相互作用的影响较大。与表 4 中 $p$ 值的显著性分析基本吻合；反应面坡度高，说明感官得分对自变量因子的改变比较敏感。

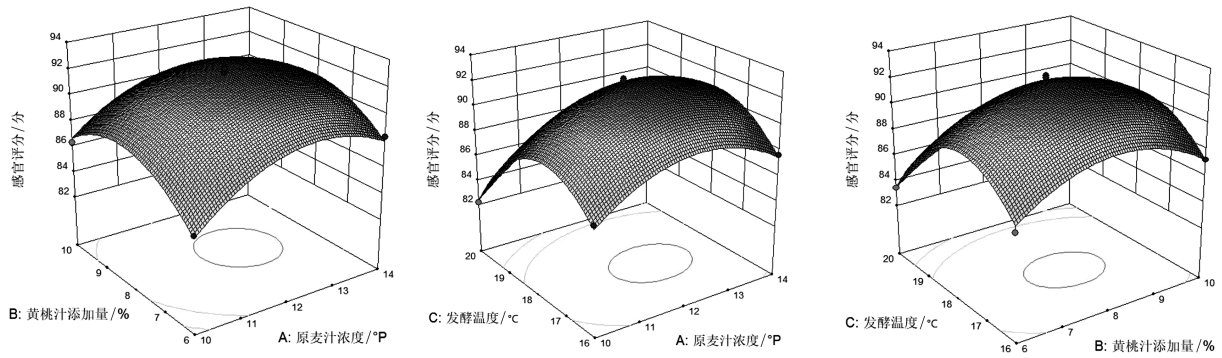


图 4　原麦汁浓度、黄桃汁添加量及发酵温度的交互作用对感官评分的影响的响应面和等高线图

Fig. 4　Response surface and contours of the interaction of raw wort concentration, *yellow peach* juice addition and fermentation temperature on sensory scores

### 3.4 验证试验

用 Design Expert10.0.4 对模型优化求解，得到黄桃啤酒发酵的最佳工艺条件为：原麦汁浓度为 12.291°P、黄桃汁添加量为 8.199%、发酵温度是 17.783 ℃，在此条件下发酵后黄桃啤酒预测感官评分 92.456 分。考虑实际操作的需要，修正参数为原麦汁浓度 12°P、黄桃汁添加量为 8%、发酵温度是 18 ℃，在此条件下重复试验 3 次，最后感官评分 92.33，与预测值接近，得到的黄桃啤酒酒体醇厚，清澈透亮，无悬浮物，泡沫持续性长，果香和酒香相辅相成，口感风味佳。因此，本实验采用响应面法优化得到的黄桃啤酒发酵工艺条件参数具有一定的实践指导意义。

### 3.5 黄桃啤酒理化指标

对优化后黄桃啤酒进行理化指标分析，结果显示：酒精度 5.46%，双乙酰 0.054 mg/L，总酸 1.75 mg/100mL，苦味值 14.73 IBU，色度 12.30 EBC，泡持性 360 s，黄桃啤酒各项理化指标均符合 GB/T 4927－2008《啤酒》要求，卫生标准符合 GB/T5009.49－2008《发酵酒及配制酒卫生标准》。

## 4 结论

研究采用单因素试验和响应面法分析对黄桃啤酒发酵工艺条件进行了优化。结果表明，发酵温度对黄桃啤酒品质影响最大，发酵工艺理论最佳参数：原麦汁浓度为 12.291°P、黄桃汁添加量为 8.199%、发酵温度是 17.783 ℃，感官评分 92.456 分。以修正后条件进行验证试验并检测理化指标，所酿黄桃啤酒符合国家标准要求，啤酒外观清撤透亮，泡沫丰富细腻，杀口力强，口感纯正，兼具果香和酒香，该研究为黄桃啤酒发酵工艺提供了理论指导，对开拓黄桃深加工产业，提高黄桃附加值及利用率有重要意义。

**参考文献：**


[1] Salant，Alc，Coldeate，Ignatmv，et al. Non-alcoholic and craft beer production and challenges[J]. Processes，2020，8(11)：1382.

[2] Baianoa. Craft beer：An overview[J]. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety，2021，20( 2) ：1829-1856.

[3] 李双双，孙传伯，赵群等. 果味啤酒发酵工艺研究进展[J]. 中外酒业·啤酒科技，2020(15)：38-42.

[4] Villacrecess，Blancoca，Caballeroi. Developments and characteristics of craft beer production processes[J]. Food Bioscience，2022，45：101495.

[5] Vargas E F D，Jablonski A，Flores S H，et al. Waste from peach：(Prunus persica) processing used for optimisation of carotenoids ethanolic extraction[J]. International Journal of Food Science and Technology，2017，52(3)：757-762.

[6] 宋淑红，徐慧琴. 6°P 菠萝果啤的生产[J]. 农产品加工(学刊)，2014(13)：35-36.

[7] 宣文芳. 水蜜桃精酿啤酒酿造工艺优化及其品质分析[D]. 扬州：扬州大学，2022.

[8] 刘金鹏，秦艳霞，俞志敏，等. 响应面法优化蓝莓啤酒酿制工艺[J]. 大连工业大学学报，2016，35(6)：420-423.

[9] 范威威，林熙，龚霄，等. 基于顶空气相-离子迁移谱技术对不同酵母发酵的百香果果啤香气比较[J]. 食品工业科技，2022，43(7)：325-332.

[10] Cho J H，Kim I D，Dhungana S K，et al. Persimmon fruit enhanced quality characteristics and antioxidant potential of beer[J]. Food Science and Biotechnology，2018，27(4)：1067-1073.

[11] 崔进梅，任永新. 柠檬啤酒的生产研究[J]. 江苏调味副食品，2011，28(1)：33-35.

[12] 刘凤珠，牛小明，陈辉. 雪莲果保健啤酒的研制[J]. 食品工程，2010(1)：24-26.

[13] 唐丽丽，马兆瑞，姚瑞祺. 发酵型樱桃啤酒的研制[J]. 食品工业，2019，40(1)：79-81.

[14] Gasin Ski A，Kawa-rygielska J，Szumny A，et al. Volatile compounds content，physicochemical parameters，and antioxidant activity of beers with addition of Mango fruit (Mangifera Indica)[J]. Molecules，2020，25(13)：3033.

[15] 张钰皎，王中健，满都拉，等. 山荆子果啤酿造工艺的研究[J]. 食品研究与开发，2019，40(10)：96-100.

[16] 杨永学，王明跃，孙晓璐，等. 海棠果精酿啤酒的生产工艺研究[J]. 酿酒，2019，46(4)：115-117.

[17] 张聪聪. 枸杞精酿啤酒的研发[D]. 天津：天津科技大学，2021.

[18] 李岩，姜鑫，黄剑，等. 响应面法优化刺梨精酿啤酒酿造工艺[J]. 食品工业，2021，42(4)：170-174.

[19] 崔进梅. 工坊精酿沙棘红啤酒酿造工艺的研究[J]. 中外酒业，2022(1)：30-33.

[20] 张晓荣，廖剑桥，雷宏杰. 高浓麦汁中添加红枣汁对酵母发酵性能及啤酒风味的影响[J]. 中国酿造，2021，40(1)：59-64.

[21] 成冬冬，甄晨瑞，迟玉洁，等. 山楂风味啤酒酿造工艺研究[J]. 食品安全质量检测学报，2021，12(19)：7767-7771.

[22] 谢董妍，李潇，徐静，等. 不同产地黄桃营养品质评价[J]. 浙江农业科学，2023，64(1)：25-28.

[23] Cao S，Liang M，Shi L，et al. Accumulation of carotenoids and expression of carotenogenic genes in peach fruit[J]. Food Chemistry，2017，214：137-146.

[24] 张荣，殷娜，王浩臣，等. 石榴精酿啤酒酿造工艺优化的研究[J]. 食品科技，2020，45(4)：74-79.

[25] 李林波，杭金龙，张士双等. 精酿果啤的酿造工艺及风味影响因素的研究进展[J]. 食品与发酵工业，2022，48(24)：337-345.

[26] Lin X，Hu X P，Wu W Y，et al. Evaluation of the volatile profile of wax apple (Syzygium samarangense) wines fermented with different commercial Saccharomyces cerevisiae strains[J]. Food Science and Biotechnology，2019，28(3)：657-667.

[27] Sanchez-palomo E，Trujillo M，Ruiz A G，et al. Aroma profile of malbec red wines from La Mancha region：chemical and sensory characterization[J]. Food Research International，2017，100(1)：201-208.

[28] 王兴凯，赵新节，孙玉霞. 酿造工艺对海棠果酒挥发性香气成分的影响[J]. 食品工业，2018，39(6)：1-6.

[29] 周波，张翠英，陈叶福，等. 高浓高温对啤酒酵母发酵性能的影响[J]. 中国酿造，2016，35(2)：9-12.

[30] 刘俐彤，汪洋帆，赵存朝，等. 葡萄籽百香果啤酒发酵工艺优化[J]. 中国酿造，2021，40(11)：209-216.