DOI:10.12161/j.issn.1005-6521.2026.16.011

黄精复合植物饮料的工艺优化及品质分析

魏琪[1],方玲[1],甘金梅[1],刘姝彤[1],付亚男[1],张梦仙[1],袁海峰[2],马家骅[1*]
(1.西南科技大学 生命科学与农林学院,四川 绵阳 621010;2.四川兴盛源药业有限公司,四川 绵阳 621000)

摘　要:为解决传统植物饮料活性成分保留率低、风味单一的问题,该研究以黄精、枸杞子和桑椹为主要原料,采用单因素试验结合响应面法优化提取工艺。以多糖含量、浸出物得率及DPPH自由基清除率的综合分数为评价指标,考察料液比、提取温度、提取时间和提取次数对提取效果的影响。结果表明,最佳提取条件为提取时间40 min、提取温度80 ℃、料液比1∶10(g/mL)、提取2次。在此基础上,通过单因素结合正交试验优化配方,确定最佳配方为复合原液添加量98.15%、黄原胶添加量0.05%、木糖醇添加量1.80%。所得产品呈紫红色澄清液体,pH值为4.66,总酸含量为0.102 7 g/L,可溶性固形物含量为3.4%,口感酸甜适口,各项理化指标及微生物指标均符合相关国家标准。

关键词:黄精;复合饮料;品质分析;工艺优化;感官评价

Process Optimization and Quality Analysis of Polygonatum Compound Plant Beverage

WEI Qi[1],FANG Ling[1],GAN Jinmei[1],LIU Shutong[1],FU Yanan[1],ZHANG Mengxian[1],
YUAN Haifeng[2],MA Jiahua[1*]
(1. College of Life Sciences and Agri-forestry,Southwest University of Science and Technology,Mianyang 621010,Sichuan,China;2. Sichuan Xing Sheng Yuan Pharmaceutical Co.,Ltd.,Mianyang 621000,Sichuan,China)

Abstract: To address the issues of low retention of active components and monotonous flavor in traditional plant-based beverages,this study utilized Polygonatum sibiricum,wolfberry (Lycium barbarum),and mulberry (Morus alba) as primary raw materials. The extraction process was optimized using single-factor experiments combined with response surface methodology (RSM). Polysaccharide content,extraction yield,and DPPH (1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl) radical scavenging activity were selected as evaluation indices to investigate the effects of solid-to-liquid ratio,extraction temperature,extraction time,and extraction cycles. The optimal extraction conditions were determined as follows:extraction time of 40 min,temperature of 80 ℃,solid-to-liquid ratio of 1∶10 g/mL,and two extraction cycles. Subsequently,the formulation was optimized through single-factor tests combined with orthogonal experiments,resulting in an optimal composition of 98.15% Polygonatum compound extract,0.05% xanthan gum,and 1.80% xylitol. The final product exhibited a clear purplish-red appearance with a pH of 4.66,total acid content of 0.102 7 g/L,and soluble solid content of 3.4%. The beverage demonstrated a well-balanced sweet-sour taste and met all physicochemical and microbiological standards set by national regulations.

Key words: polygonatum sibiricum;compound beverage;quality analysis;process optimization;sensory evaluation

引文格式:
魏琪,方玲,甘金梅,等 . 黄精复合植物饮料的工艺优化及品质分析[J]. 食品研究与开发,2026,47(16):89-96.
WEI Qi,FANG Ling,GAN Jinmei,et al. Process Optimization and Quality Analysis of Polygonatum Compound Plant Beverage[J]. Food Research and Development,2026,47(16):89-96.

基金项目:四川省科技成果转移转化示范项目(2024ZHCG0156)
作者简介:魏琪(1997—),女(汉),硕士研究生,研究方向:食品安全控制技术。
*通信作者:马家骅(1978—),男(汉),教授,研究方向:中药大健康产品开发。

黄精为百合科植物滇黄精(*Polygonatum kingianum* Coll.et Hemsl.)、黄精(*Polygonatum sibiricum* Red.)或多花黄精(*Polygonatum cyrtonema* Hua)的干燥根茎[1]。在我国黄精食用历史悠久、质地滋润,主要归入肾、脾和肺经,常被应用于治疗阴虚燥咳、长期咳嗽以及脾胃虚弱等多种临床症状[2]。研究发现,黄精内蕴含的多糖类、甾体皂苷、黄酮类物质及挥发性油分等活性组分在抗衰老、降血糖以及免疫调节等方面展现出多重功效[3],因此在食品行业受到广泛关注。枸杞子(*Lycium barbarum* L.)性平味甘,归肝、肾经,具有滋补肝肾、益精明目的功效。研究表明,枸杞子多糖具有显著的免疫调节、抗氧化及抗辐射作用[4]。此外,枸杞子还具有降血糖、降血脂及抗疲劳的作用,是一种兼具营养与生物活性的药食同源植物。桑椹(*Morus alba* L.)富含花青素、白藜芦醇、维生素 C 及多种有机酸,赋予其显著的抗氧化、降血糖及降血脂等功效[5]。

黄精、枸杞子与桑椹同为药食同源的中药材,且兼具营养价值和药用保健功能。然而,目前市场上以这 3 种药材为原料的复合产品较为稀缺,其协同增效作用尚未得到充分挖掘与利用。随着经济发展和人们对健康的日益重视,消费者对饮料的偏好已从单纯追求口感逐渐转变为注重其健康功效[6-7]。复合植物饮料凭借独特的风味、天然健康的属性以及多重生理功能,正逐渐成为市场研究的热点。与此同时,消费者对饮料品质的要求日益严格,天然、低添加的健康饮品愈发受到青睐[8-9]。在此背景下,以黄精为核心成分的复合植物饮料,因其潜在的健康价值和应用前景,正逐步引起学术界与产业界的广泛关注[10]。

本研究以五蒸五制滇黄精、枸杞子、桑椹为主要原料,旨在开发一款天然健康、低添加的复合植物饮料。首先,为提高原料中可溶性活性成分的提取效率,采用单因素试验结合响应面法,对提取次数、提取温度、提取时间及料液比进行优化,以最大化饮料的多糖含量、浸出物含量及 1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(1,1-diphenyl-2-picryl hydrazyl,DPPH)自由基清除能力。其次,通过添加微量木糖醇中和中药涩味以改善产品适口性,并辅以黄原胶增强饮料的稳定性和细腻度。在此基础上,采用单因素试验与正交试验相结合的方法优化配方,以感官评分为核心指标确定最佳原料配比。最终,对饮料的理化性质、微生物指标进行测定,以期充分融合黄精、枸杞子和桑椹的功能与风味,研制出一款色香味俱佳、天然健康的饮品。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

滇黄精、枸杞子、桑椹:市售;木糖醇、黄原胶(均为食品级):湖北千凤香食品有限公司;葡萄糖标准品、无水乙醇、苯酚、浓硫酸(均为分析纯):成都市科隆化学品有限公司;DPPH(分析纯):上海阿拉丁生化科技股份有限公司。

1.2 仪器与设备

电子天平(FA2004):上海佑科仪器仪表有限公司;恒温水浴锅(SYG-2-4):天津市泰斯特仪器有限公司;pH 计(PHS-25):中国实验仪器销售中心;数控超声波清洗器(KQ-300DE):昆山市超声仪器有限公司;折光仪(LH-B55):浙江陆恒环境科技有限公司;电热鼓风干燥箱(DHG-9053A):上海博迅实业有限公司医疗设备厂;磁力搅拌器(HTS Digital):上海源脉生物科技有限公司;电磁炉(WH2202S)、冰箱(BCD-258WTPZME):广东美的生活电器制造有限公司;涡旋仪(WIGGENS Vortex 3000-Elite):维根技术(北京)有限公司。

1.3 方法

1.3.1 工艺流程

1)滇黄精→清洗→切片→蒸制 5 次(加入黄酒)→晾晒→烘干→五蒸五制滇黄精。

2)五蒸五制滇黄精、枸杞子、桑椹→浸泡→煎煮→过滤→复合原液→调配(加入木糖醇、黄原胶)→搅拌→杀菌→检测→灌装→冷却→成品。

1.3.2 操作要点

1.3.2.1 滇黄精五蒸五制

将滇黄精生药材除去多余的须根后洗净、切厚片,置于沸水 5 min 略烫至透心,再用电热鼓风干燥箱(70 ℃)烘至含水量 18% 以下,备用。按照 100 kg 黄精(烘干后),加入黄酒 20 kg。将黄酒分为 5 等份,备用;取洗净后的黄精,加一份黄酒拌润至汁液吸尽(2 h),蒸 5 h(1 400 W),取出干燥(70 ℃,2.5 h),然后加一份黄酒拌润至汁液吸尽(2 h),相同操作反复 4 次,第 5 次蒸制后,稍晾,烘干(60 ℃)至含水量 18% 以下。

1.3.2.2 枸杞子、桑椹处理

将枸杞子、桑椹分别装入塑封袋中,混合均匀,于室温下密封存放。所有材料使用之前需用饮用水加压清洗,洗去表面浮尘。

1.3.2.3 复合原液的制备

参照袁林祥等[11]的方法称取五蒸五制滇黄精、枸杞子和桑椹,洗净后放入圆底烧瓶中,按照一定的料液比将原料用蒸馏水浸泡之后,加热煎煮,过滤后得到复合原液。

1.3.2.4 调配

在复合原液中加入少量木糖醇充分混合均匀,再加入微量经过溶解的黄原胶。

1.3.2.5 杀菌与灌装

参照朱思远[12]的方法,对黄精复合植物饮料进行杀菌并完成封口操作。

1.3.2.6 冷却

灌装完成后冷却至室温,于 4 ℃冰箱保存。

1.3.3 提取工艺单因素试验

分别对提取时间(30、40、50、60、70、80 min)、提取次数(1、2、3、4、5)、提取温度(50、60、70、80、90、100 ℃)、料液比[1∶6、1∶8、1∶10、1∶12、1∶14、1∶16(g/mL)]进行单因素试验,研究各因素对提取液中多糖、浸出物含量以及 DPPH 自由基清除率的影响。

采用权重法优化复合原料的提取工艺,以多糖含量、浸出物含量及 DPPH 自由基清除率为核心评价指标,各指标权重根据试验设计设定为多糖含量 30%(权重系数 0.3)、浸出物含量 30%(权重系数 0.3)、DPPH 自由基清除率 40%(权重系数 0.4)。以综合分数最大化为优化目标,筛选最优提取工艺参数,最终实现黄精、枸杞子、桑椹中有效成分的最大化保留。

1.3.4 提取工艺响应面试验

基于单因素试验结果,4 个因素分别筛选出 3 个最佳水平,进行三因素三水平响应面试验[15],以多糖含量、浸出物含量和 DPPH 自由基清除率作为评价指标,权重法分析得出综合分数,筛选出最优提取工艺。

1.3.5 配方工艺单因素试验

复合植物饮料产品原料为黄精、枸杞子、桑椹,同时在饮料原液中加入甜味剂、稳定剂。分别对木糖醇添加量(1.20%、1.40%、1.60%、1.80%、2.00%)、黄原胶添加量(0.05%、0.10%、0.15%、0.20%、0.25%、0.30%)进行单因素试验,研究不同因素对复合饮料风味的影响[16-17]。

1.3.6 复合饮料的质量要求及评分标准

选取 10 名(5 男 5 女)符合标准的学生作为评价员,对复合饮料进行百分制评分。在品尝不同样品时,需用温水漱口以清除余味,评价过程中互不交流。感官评价从口感、色泽、香气和组织状态 4 个方面进行[18],复合饮料的质量要求及感官评价的具体标准如表 1 和表 2 所示。

表 1 复合饮料的质量要求

Table 1 Quality requirements for compound beverages

项目	质量要求
口感	产品口感协调,酸甜适度,无涩味
色泽	产品颜色明亮、均匀
香气	香气突出,协调不刺激,较柔和
组织状态	透亮澄清,无异物,无悬浮物

1.3.7 配方工艺正交试验

根据以上评分标准给每个单因素筛选出最佳的 3 个水平,然后设计正交试验,利用经典人群口感与鼻闻评价法评价其感官,最后得出最佳配方工艺。

1.3.8 指标测定方法

1.3.8.1 多糖含量的测定

采用苯酚-硫酸法[13]绘制葡萄糖标准曲线:准确称取恒重后的葡萄糖标准品 20 mg,配制成 0.1 mg/mL 的葡萄糖标准溶液,精密吸取 0、0.1、0.2、0.4、0.6、0.8、1.0、1.2、1.4 mL 的葡萄糖标准溶液于 10 mL 具塞试管中,补加蒸馏水至 2 mL,再分别加入 5% 苯酚 1 mL,摇匀后加入 5 mL 浓硫酸,反应 15 min 后,在 490 nm 处测定吸光度。得到葡萄糖标准曲线方程如下。

表 2 复合饮料的感官评价标准

Table 2 Sensory evaluation system for compound beverages

指标	标准	分值
口感(30)	酸甜适中,柔和且无涩味	24~30
	酸甜不明显,有些许涩味	18~<24
	酸甜比例失调,涩味明显	0~<18
色泽(30)	颜色明亮、均匀,无杂色	24~30
	颜色均匀,有部分杂色	18~<24
	颜色局部不均匀,杂色明显	0~<18
香气(20)	香气明显,协调柔和	16~20
	香气较淡,不协调	8~<16
	没有任何香气	0~<8
组织状态(20)	底部无沉淀,组织细腻	16~20
	底部稍有沉淀,组织黏稠	8~<16
	底部有大量沉淀,出现分层	0~<8

$$y = 7.233\,1x - 0.028\,5$$

式中:y 为吸光度;x 为质量浓度,g/mL。

样品的测定:取样品 1.0 mL,加 1.0 mL 蒸馏水,然后加入 5% 苯酚 1.0 mL,迅速加入浓硫酸 5.0 mL,置于涡旋仪上振荡并充分混匀,静置 30 min,在 490 nm 处测定吸光度。代入葡萄糖标准曲线计算样品溶液中多糖含量。

1.3.8.2 浸出物含量的测定

精密量取 25 mL 样品,置于已干燥至恒重的蒸发皿中,经水浴蒸干后,于 105 ℃下干燥 3 h 后取出,置于干燥器中冷却 30 min,迅速精密称定其质量。按下式计算浸出物含量,每组试验做 3 个平行取平均值。

$$X = \frac{(W_1 - W_0) \times 100}{25 \times W} \times 100$$

式中:X 为浸出物含量,%;W_1 为干燥后蒸发皿与浸出物的总质量,g;W_0 为蒸发皿的恒重质量,g;W 为供试品质量,g。

1.3.8.3 清除 DPPH 自由基的能力

参考周莹等[14]的方法,配制浓度 0.000 2 mol/L 的 DPPH 溶液,置于棕色试剂瓶中避光保存。量取 2 mL DPPH 溶液和 2 mL 无水乙醇,摇匀,避光反应 30 min,以无水乙醇调零,于 517 nm 波长处测定吸光度 A_0:取不同浓度的样品,加入 1.75 mL 蒸馏水和 2 mL DPPH 溶液,按上述条件测定吸光度 A_1:再取相同浓度的样品,加入 1.75 mL 蒸馏水和 2 mL 无水乙醇,按上述条件测定吸光度 A_2。DPPH 自由基清除率(Y,%)按如下公式计算。

$$Y = \left(1 - \frac{A_1 - A_2}{A_0}\right) \times 100$$

1.3.8.4　理化指标测定

饮料的 pH 值使用 pH 计进行测定；采用电位滴定法进行总酸含量的测定；参照 GB/T 12143—2008《饮料通用分析方法》测定可溶性固形物含量。

1.3.8.5　微生物指标测定

菌落总数的检测参照 GB 4789.2—2022《食品安全国家标准 食品微生物学检验 菌落总数测定》中的方法进行；大肠菌群参照 GB 4789.3—2016《食品安全国家标准 食品微生物学检验 大肠菌群计数 》中的方法进行检验；沙门氏菌、志贺氏菌和金黄色葡萄球菌分别参照 GB 4789.4—2024《食品安全国家标准 食品微生物学检验 沙门氏菌检验》、GB 4789.5—2012《食品安全国家标准 食品微生物学检验 志贺氏菌检验》和 GB 4789.10—2016《食品安全国家标准 食品微生物学检验 金黄色葡萄球菌检验》中的方法进行测定。

1.4　数据处理

采用 Excel 2016、SPSS 27.0 进行数据统计分析，$P<0.05$ 表示差异显著，$P<0.01$ 表示差异极显著，所有数据均表示为平均值±标准差。采用 Origin 2010 软件对数据结果进行处理，采用 Design-Expert V8.0.6 软件对响应面数据进行优化和处理，根据优化和处理后的数据自动建立回归方程模型。

2　结果与分析

2.1　单因素试验结果

2.1.1　提取次数对综合分数的影响

以综合分数为评价指标，研究提取次数对复合饮料综合分数的影响，结果见图 1。

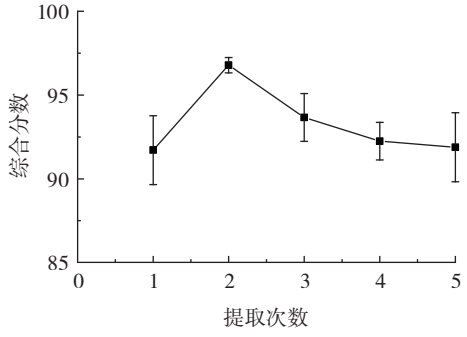


图 1　提取次数对综合分数的影响

Fig.1　Effect of the number of extractions on the overall score

由图 1 可知，综合分数随着提取次数的增加呈现先升后降的变化趋势。当提取次数为 1 时，有效成分未能被充分提取，综合分数较低；当提取次数为 2 时，有效成分已基本被完全提取，故综合分数最高；随着提取次数的继续增加，综合分数呈逐渐下降趋势。因此，选取提取次数 1、2、3 进行后续试验。

2.1.2　提取温度对综合分数的影响

以综合分数为评价指标，研究提取温度对复合饮料综合分数的影响，结果见图 2。

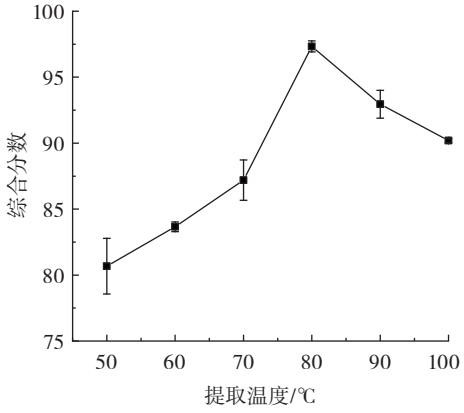


图 2　提取温度对综合分数的影响

Fig.2　Effect of extraction temperature on the overall score

由图 2 可知，随着提取温度的升高，综合分数呈先上升再下降趋势。当提取温度为 80 ℃时，综合分数开始出现拐点，此时综合分数最高。随着提取温度继续升高，综合分数开始下降，因此选择提取温度 70、80、90 ℃进行后续试验。

2.1.3　料液比对综合分数的影响

以综合分数为评价指标，研究料液比对复合饮料综合分数的影响，结果见图 3。

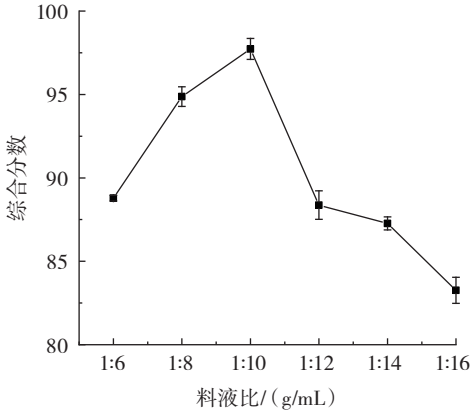


图 3　料液比对综合分数的影响

Fig.3　Effect of solid-liquid ratio on the overall score

由图 3 可知，随着溶剂体积增加，综合分数呈先升高后降低趋势，当料液比为 1∶10 (g/mL)时，综合分数最高，因此选择料液比 1∶8、1∶10、1∶12 (g/mL)进行后续试验。

2.1.4　提取时间对综合分数的影响

以综合分数为评价指标，研究提取时间对复合饮料综合分数的影响，结果见图 4。

由图 4 可知，在不同提取时间下，综合分数均达 90 以上，可见提取时间对浸出物含量、多糖含量及 DPPH 自由基清除率的综合分数影响不大，故在响应

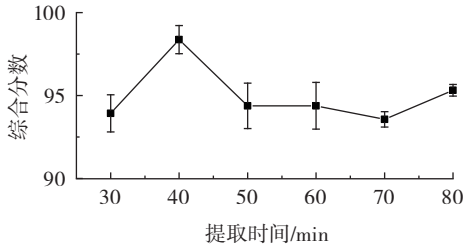


图 4　提取时间对综合分数的影响

Fig.4　Effect of extraction time on the overall score

面设计方案中，去掉此因素。同时，根据变化趋势，确定最佳提取时间为 40 min。

2.2　提取工艺响应面优化试验结果与分析

2.2.1　响应面试验因素及水平

通过对 4 个单因素结果的分析，确定 3 个对综合分数具有显著影响的关键参数，按 Box-Behnken 试验设计原则开展三因素三水平的响应面试验[19]，试验因素及水平如表 3 所示。

表 3　响应面试验因素及水平

Table 3　Response surface test factors and levels

水平	*A* 提取次数	*B* 提取温度/℃	*C* 料液比/(g/mL)
−1	1	70	1∶8
0	2	80	1∶10
1	3	90	1∶12

2.2.2　响应面试验结果

响应面试验和方差分析结果如表 4 和表 5 所示。

表 4　响应面试验结果

Table 4　Results of response surface experiment

序号	*A* 提取次数	*B* 提取温度	*C* 料液比	综合分数
1	−1	−1	0	84.62
2	1	−1	0	93.71
3	−1	0	1	85.46
4	0	0	0	91.92
5	0	−1	−1	90.81
6	0	1	−1	90.74
7	0	1	1	92.07
8	0	0	0	95.24
9	−1	1	0	82.76
10	0	0	0	93.99
11	0	−1	1	92.95
12	1	0	1	93.78
13	0	0	0	93.69
14	1	1	0	95.13
15	1	0	−1	95.08
16	−1	0	−1	85.62
17	0	0	0	92.69

由表 4、表 5 可知，为描述 3 个因素对综合分数的影响，可得到回归方程：Y=93.51+4.90A−0.173 7B+0.251 2C+0.820 0AB−0.285 0AC−0.202 5BC−3.05A^2−1.40B^2−0.466 7C^2。模型具有较高的拟合度，R^2值达到 0.956 7，表明误差较小且模型能够有效反映提取工艺中提取次数、提取温度和料液比 3 个因素对综合分数的影响[20]。由 F 值结果可得，提取次数占据主导地位，其次是料液比与提取温度。

表 5　方差分析结果

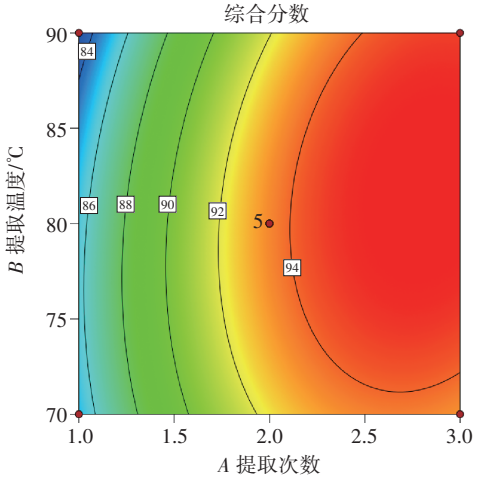
Table 5　Analysis of variance results

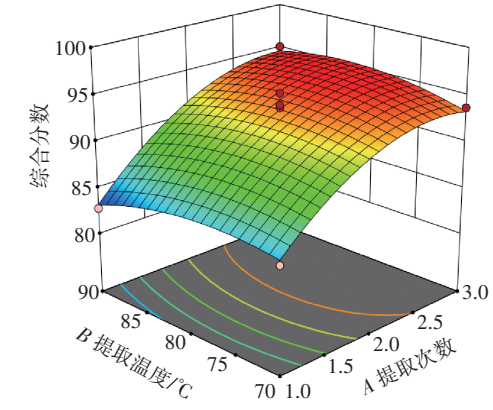
方差来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值	显著性
模型	248.08	9	27.56	17.20	0.000 6	显著
A 提取次数	192.47	1	192.47	120.09	<0.000 1	显著
B 提取温度	0.241 5	1	0.241 5	0.150 7	0.709 4	
C 料液比	0.505 0	1	0.505 0	0.315 1	0.592 1	
AB	2.69	1	2.69	1.68	0.236 3	
AC	0.324 9	1	0.324 9	0.202 7	0.666 2	
BC	0.164 0	1	0.164 0	0.102 3	0.758 4	
A^2	39.28	1	39.28	24.51	0.001 7	显著
B^2	8.21	1	8.21	5.13	0.058 0	
C^2	0.917 3	1	0.917 3	0.572 3	0.474 0	
残差	11.22	7	1.60			
失拟项	4.76	3	1.59	0.983 8	0.484 6	不显著
纯误差	6.46	4	1.61			
总差	259.30	16				

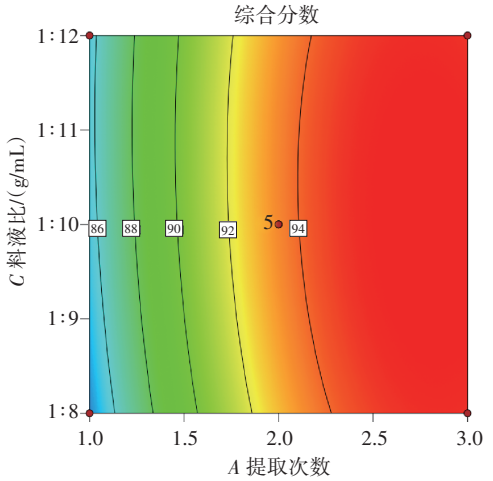
2.2.3　各因素交互作用对综合分数的影响

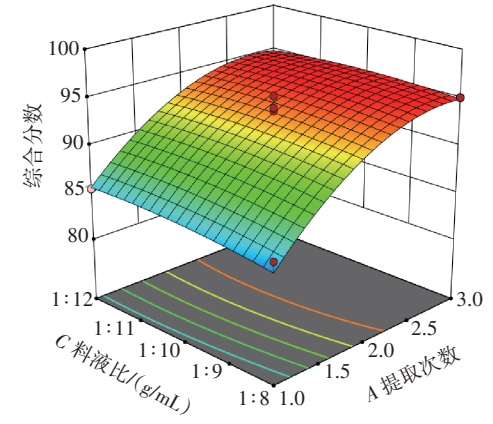
通过建立三维响应面模型，深入探究各工艺参数间的交互效应，结果见图 5。响应面直观地展示了不同因素对响应值的影响，随着曲面陡度的增加，各因素的变化对综合分数的影响也愈加显著。等高线呈现出各因素之间相互作用的强度，当曲线呈现椭圆形状时，表明交互作用明显，而接近圆形则暗示交互较弱[21]。

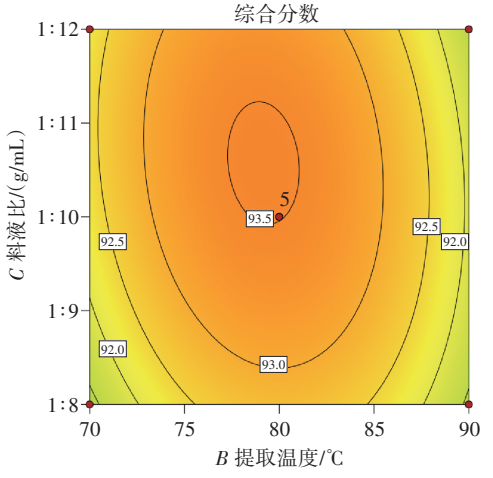
如图 5 所示，各交互项的等高线与响应面显示，提取次数与其他因素的交互作用对综合分数有一定影响，而提取温度与料液比之间的交互作用较弱。响应面的斜度表明存在一个最佳点，使得综合分数达到最大值，这一结果与方差分析的结果相吻合。经过计算可得最佳提取条件：提取次数 2.3、料液比 1∶9.0(g/mL)、











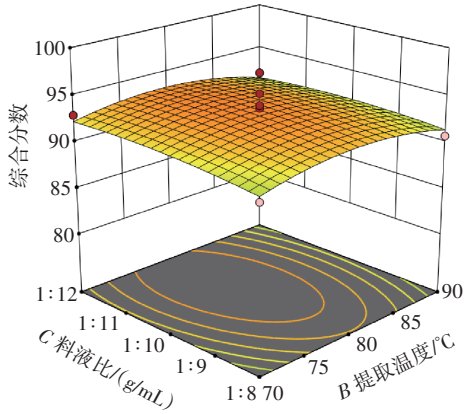


图 5　各因素交互作用的等高线及响应面

Fig.5　Contour lines and response surface plots of the interaction of various factors

提取温度 77 ℃，此条件下，综合分数预测值为 94.37，为方便试验修正最优提取工艺为提取次数 2、料液比 1∶10（g/mL）、提取温度 80 ℃。在此条件下，综合分数较高，达到 95.24，基本与预测值一致。

2.3　配方工艺单因素试验结果

2.3.1　木糖醇添加量对饮料感官品质的影响

木糖醇添加量对复合饮料感官评分的影响见图 6。

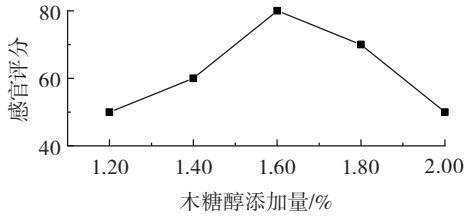


图 6　木糖醇添加量对复合饮料感官评分的影响

Fig.6　Effect of xylitol addition on the sensory scores of compound beverages

如图 6 所示，随着木糖醇添加量的增加，饮料感官评分先升高后降低。当木糖醇添加量达到 1.60% 时，饮料的甜味开始明显增强；继续增加木糖醇添加量，饮料甜度过腻，口感下降。因此，选取木糖醇添加量为 1.40%、1.60% 和 1.80% 进行正交试验。

2.3.2　黄原胶添加量对饮料感官品质的影响

黄原胶添加量对复合饮料感官评分的影响见图 7。

如图 7 所示，复合饮料的感官评分随着黄原胶添加量的增加呈现出先上升后下降的趋势，并在黄原胶添加量为 0.10% 时达到峰值。由于黄原胶具有增稠作用，添加过多会导致饮料口感下降。因此，选取黄原胶添加量为 0.05%、0.10% 和 0.15% 进行正交试验。

2.4　配方工艺正交试验结果

在单因素试验的基础上，确定影响黄精复合植物饮料品质的因素为木糖醇添加量（A′）、黄原胶添加量（B′），采用两因素三水平进行正交试验，根据感官评分结果得出最佳配方，结果见表 6。

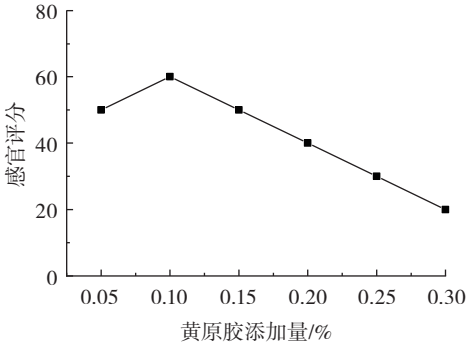


图 7 黄原胶添加量对复合饮料感官评分的影响

Fig.7 Effect of xanthan gum addition on sensory scores of compound beverages

表 6 复合饮料优化正交试验结果

Table 6 Orthogonal test results for compound beverage optimization

试验号	A′木糖醇添加量	B′黄原胶添加量	感官评分
1	1(1.40%)	1(0.05%)	77.50
2	1	2(0.10%)	75.88
3	1	3(0.15%)	71.75
4	2(1.60%)	1	79.25
5	2	2	75.63
6	2	3	70.63
7	3(1.80%)	1	81.38
8	3	2	74.88
9	3	3	74.25
k_1	75.04	79.38	
k_2	75.17	75.46	
k_3	76.17	71.54	
R	1.13	7.84	

由表 6 可以看出，最佳组合为 $A'_3B'_1$，即木糖醇添加量为 1.80%、黄原胶添加量为 0.05%，且影响因素的强弱为黄原胶添加量>木糖醇添加量，此时饮料的感官评分最高、饮料组织细腻，酸甜适中，色泽明亮均匀，具有一定的香气。

方差分析见表 7。

表 7 感官评价方差分析

Table 7 Analysis of variance for sensory evaluation

方差来源	平方和	自由度	均方	*F* 值	*P* 值	显著性
A′	6.010	2	3.005	1.343	0.358	不显著
B′	77.259	2	38.630	17.260	0.011	显著
误差	8.953	4	2.238			

由表 7 可知，因素 A′（木糖醇添加量）的平方和为 6.010，因素 B′（黄原胶添加量）的平方和为 77.259。从 *F* 值来看，因素 B′的 *F* 值为 17.260，远高于显著性检验临界值，而因素 A′的 *F* 值仅为 1.343，低于临界值，表明 B′对感官评分的影响远大于 A′。进一步结合 *P* 值分析，因素 A′的 *P* 值为 0.358（*P*>0.05），表明其对感官评分的影响不显著；因素 B′的 *P* 值为 0.011（*P*<0.05），证实其对感官评分具有显著影响。

2.5 黄精复合植物饮料指标评价

2.5.1 感官指标评定结果

根据感官评价标准，选出最佳试验组合并对其进行感官分析。结果表明，复合饮料呈紫红色，澄清透明且具有良好光泽；口感细腻，酸甜适中；风味以枸杞子香气为主，略带黄精气味；组织状态为液态，流动性佳，鲜亮透明，无沉淀及分层现象。

2.5.2 理化指标结果

黄精复合植物饮料的 pH 值为 4.66（pH3.5~5.5），总酸含量为 0.102 7 g/L（0.05~0.15 g/L），可溶性固形物含量为 3.4%（≤ 20%），均符合国家标准要求。

2.5.3 微生物指标结果

微生物指标结果见表 8。

表 8 微生物指标

Table 8 Microbiological indicators

项目	菌落总数/（CFU/mL）	大肠杆菌/（MPN/mL）	致病菌（沙门氏菌、金黄色葡萄球菌、志贺氏菌）
指标限值	≤ 100	≤ 3	不得检出
检测结果	7	0	未检出

由表 8 可知，复合饮料样品的微生物指标均符合国家标准要求：菌落总数为 7 CFU/mL，远低于 100 CFU/mL 的限值；大肠杆菌为 0 MPN/mL，符合≤ 3 MPN/mL 的限量标准；沙门氏菌、金黄色葡萄球菌、志贺氏菌均未检出，满足饮料产品致病菌不得检出的食品安全要求。上述结果表明，复合饮料的生产工艺与卫生控制措施有效，成品未受到有害微生物污染，微生物安全性良好，符合饮料产品的食品安全标准。

3 结论

本研究以多糖含量、浸出物含量和 DPPH 自由基清除率的综合分数为指标，优化黄精、枸杞子和桑椹的提取工艺，通过单因素结合响应面考察料液比、提取温度、提取时间和提取次数对综合分数的影响，确定最佳提取工艺条件为提取时间 40 min、提取温度 80 ℃、料液比 1∶10（g/mL）、提取 2 次。采用单因素结合正交试验优化配方工艺，最优配方工艺为木糖醇添加量 1.80%、黄原胶添加量 0.05%，所得复合饮料呈紫红色澄清液体，组织状态均匀细腻，酸甜适口，具有怡人香气，各项理化指标（pH4.66，总酸含量 0.102 7 g/L，可溶性固形物含量 3.4%）及微生物指标均符合相关国家标准。本研究为开发口感优良、添加剂含量低的健康饮品提供了工艺参数和品质评价依据。

参考文献：

[1] 宋金平，田硕，苗明三 . 2020 年版《中华人民共和国药典》（一部）可外用中药药性特点分析[J]. 中医学报，2023，38(10)：2254-2260.
SONG Jinping，TIAN Shuo，MIAO Mingsan. Analysis on medicinal

property of externally used Chinese medicines in of People′s Pepublic of China (PRC) pharmacopoeia(2020 edition)(Part one)[J]. China Journal of Chinese Medicine, 2023, 38(10): 2254-2260.

[2] 韦妮娜, 徐曼曼, 高少才, 等 . 黄精治疗认知障碍的研究进展[J]. 中国医药导报, 2019, 16(30): 42-45.
WEI Nina, XU Manman, GAO Shaocai, et al. Research progress of solomonseal rhizome treatment of cognitive impairment[J]. China Medical Herald, 2019, 16(30): 42-45.

[3] 赵文莉, 赵晔, Yiider Tseng. 黄精药理作用研究进展[J]. 中草药, 2018, 49(18): 4439-4445.
ZHAO Wenli, ZHAO Ye, TSENG Yiider. Research progress on pharmacological effects of Polygonati Rhizoma[J]. Chinese Traditional and Herbal Drugs, 2018, 49(18): 4439-4445.

[4] 董雨荷, 胡文忠, 连俊辉, 等 . 黑果枸杞活性成分及其药理作用的研究进展[J]. 广东化工, 2020, 47(23): 48-49, 54.
DONG Yuhe, HU Wenzhong, LIAN Junhui, et al. Research progress on active components and pharmacological activities of *Lycium ruthenicum* Murr[J]. Guangdong Chemical Industry, 2020, 47(23): 48-49, 54.

[5] 陈晨, 马雯芳 . 桑椹化学成分与药理作用研究进展[J]. 心理月刊, 2020, 15(8): 232-233.
CHEN Chen, MA Wenfang. Research progress on the chemical composition and pharmacological effects of mulberry fruit[J]. Psychology Monthly, 2020, 15(08): 232-233.

[6] 蔺相月 . 浅论我国功能饮料发展现状与趋势[J]. 经济师, 2022, (4): 33-34, 37.
LIN Xiangyue. A brief discussion on the development status and trends of functional beverages in China[J]. Economist, 2022, (4): 33-34, 37.

[7] MORALES-DE LA PEÑA M, ARREDONDO-OCHOA T, WELTI-CHANES J, et al. Application of moderate intensity pulsed electric fields in red prickly pears and soymilk to develop a plant-based beverage with potential health-related benefits[J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2023, 88: 103421.

[8] SHUPING L, ZIXUAN Z, YUE Y. Development technology of honeysuckle and dandelion compound health drink[J]. MEDS Chinese Medicine, 2024, 6(3): 1-11.

[9] FAKHRI L A, GHANBARZADEH B, FALCONE P M. New healthy low-sugar and carotenoid-enriched/high-antioxidant beverage: Study of optimization and physicochemical properties[J]. Foods, 2023, 12(17): 3265.

[10] LAN G S, CHEN H X, WANG Z S, et al. Extraction of *Polygonatum odoratum* polysaccharides using response surface methodology and preparation of a compound beverage[J]. Carbohydrate Polymers, 2011, 86(3): 1175-1180.

[11] 袁林祥, 王杰 . 黄精复合饮料的工艺研究[J]. 农产品加工, 2022(9): 58-61.
YUAN Linxiang, WANG Jie. Study on processing technology of compound beverage with *Polygonatum* compound beverage[J]. Farm Products Processing, 2022(9): 58-61.

[12] 朱思远 . 黄精饮料加工工艺及其品质鉴定[D]. 泰安: 山东农业大学, 2020.
ZHU Siyuan. *Polygonatum* beverage processing technology and quality identification[D]. Tai′an: Shandong Agricultural University, 2020.

[13] 吕伟, 刘思美, 邬良芳, 等 . 大枣黄精多糖复合功能饮料制备工艺研究[J]. 陕西中医药大学学报, 2022, 45(6): 104-109.
LV Wei, LIU Simei, WU Liangfang, et al. Study on the preparation process of polysaccharide compound functional beverage of jujube and *Polygonatum sibiricum*[J]. Journal of Shaanxi University of Chinese Medicine, 2022, 45(6): 104-109.

[14] 周莹, 刘广锋, 冯娟, 等 . 何首乌 3 种组分的提取及其清除 DPPH 自由基作用的研究[J]. 广东药学院学报, 2014, 30(3): 301-304.
ZHOU Ying, LIU Guangfeng, FENG Juan, et al. Study on separation and DPPH radical scavenging activities of 3 components from *Polygonum* multiflorum Thunb[J]. Journal of Guangdong Pharmaceutical University, 2014, 30(3): 301-304.

[15] 张彬, 谢明勇, 殷军艺, 等 . 响应面分析法优化超声提取茶多糖工艺的研究[J]. 食品科学, 2008, 29(9): 234-238.
ZHANG Bin, XIE Mingyong, YIN Junyi, et al. Optimization of ultrasonic-assisted extraction conditions of tea polysaccharides by using response surface methodology[J]. Food Science, 2008, 29(9): 234-238.

[16] 孙修成, 王哲靖, 毛丹丹, 等 . 复合黄精饮料的配方及工艺优化[J]. 食品工业, 2021, 42(1): 103-108.
SUN Xiucheng, WANG Zhejing, MAO Dandan, et al. Formulation and process optimization of compound polygonati rhizoma beverage [J]. The Food Industry, 2021, 42(1): 103-108.

[17] 王芳芳, 于有伟, 符玉芳 . 红枣黑枸杞复合饮料的配方工艺研究[J]. 农产品加工, 2016(3): 30-32.
WANG Fangfang, YU Youwei, FU Yufang. Formula research of compound beverage with red jujube and *Lycium ruthenicum* Murr [J]. Farm Products Processing, 2016(3): 30-32.

[18] 刘日斌, 钟瑞敏, 朱建华, 等 . 黄精山药枸杞复合饮料的研制[J]. 食品研究与开发, 2020, 41(19): 140-144.
LIU Ribin, ZHONG Ruimin, ZHU Jianhua, et al. Study on processing composite beverage from *Polygonatum sibiricum*, Chinese yam and wolfberry[J]. Food Research and Development, 2020, 41(19): 140-144.

[19] MILIĆ P S, RAJKOVIĆ K M, NIKOLIĆ G S, et al. Preparation of *Juglans nigra* L. husk extracts by applying an ultrasonic-assisted extraction method and process optimization of minerals extraction using response surface methodology[J]. Chemical Engineering Research and Design, 2023, 191: 439-445.

[20] TANISHA, VENKATEGOWDA S, MAJUMDAR M. Response surface methodology based development of an optimized polyherbal formulation and evaluation of its anti-diabetic and anti-obesity potential in high-fat diet-induced obese mice[J]. Journal of Traditional and Complementary Medicine, 2023, 14(1): 70-81.

[21] NISSAR J, MASOODI F A, MASOODI L, et al. Response surface methodology (RSM)-based statistical modeling and optimization of the ultrasound-assisted extraction of saffron bioactives[J]. Biomass Conversion and Biorefinery, 2024, 14(13): 14963-14976.

[22] YUTONG Q, MIAO Z, SHUO M, et al. Optimization of extraction process of Chuanxiong Rhizoma-Gastrodiae Rhizoma based on network pharmacology and multi-index orthogonal test[J]. Zhongguo Zhong yao za zhi, China journal of Chinese materia medica, 2023, 48(7): 1858-1865.

加工编辑:王雪
收稿日期:2025-05-07