

响应面法优化红枣银耳枸杞凝胶软糖配方工艺

阮鸣*, 王嘉蓓, 续晨, 张伟, 夏天兰
(南京晓庄学院食品科学学院, 江苏南京 211171)

摘要: 为研制风味独特、营养健康的红枣银耳枸杞凝胶软糖, 以软糖的感官评价为因变量, 通过单因素实验和响应面法优化软糖的工艺配方, 同时测定各实验组软糖的质构特性和色差参数, 最后按照国家和行业标准进行了软糖微生物和理化指标的检测。单因素实验结果表明: 明胶、黄原胶、红枣银耳枸杞混合浓缩汁和冰糖的最适添加量分别为 6、0.75、55 和 45 g, 魔芋胶对软糖感官评分的影响不大, 添加量为 3 g 较为适宜; 各因素对软糖咀嚼性、 L^* 值、 a^* 值和 b^* 值的影响规律与对感官评价一致; 当软糖弹性在 1.55~2.68 mm、胶粘性在 1.83~2.80 N、咀嚼性在 4.26~7.40 mj、色度参数 L^* 值在 30.41~50.56、 a^* 值在 8.06~11.29 和 b^* 值在 7.32~10.87 之间时, 感官评分较佳。响应面优化最佳工艺配方为: 明胶 5.8 g、黄原胶 0.75 g、红枣银耳枸杞混合浓缩汁 56 g、冰糖 44 g。软糖的菌落总数、大肠菌群、干燥失重和还原糖分别为 829 CFU/g、27 MPN/100 g、21.9 g/100 g 和 26.4 g/100 g, 检测结果均符合要求。以最优配方工艺制备的红枣银耳枸杞凝胶软糖呈红棕色, 有较好的透明度和咀嚼性, 呈现浓郁的红枣风味和银耳枸杞香气。

关键词: 胶凝剂; 质构参数; 色差值; 功能性软糖; Box-Behnken Design

文章编号: 1673-9078(2024)09-238-247

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2024.9.0923

Formula Optimization of the Jujube, Tremella, and Goji Berry Gel Gummies Using the Response Surface Method

RUAN Ming*, WANG Jiabei, XU Chen, ZHANG Wei, XIA Tianlan

(School of Food Science, Nanjing Xiaozhuang University, Nanjing 211171, China)

Abstract: To develop jujube, tremella, and goji berry gel gummies with unique flavor and health benefits, the sensory evaluation was considered the dependent variable, and the processing and recipe of gummies were optimized via the single-factor experiment and response surface method. The texture characteristics and color difference parameters of the gummies from each experimental group were simultaneously measured. Finally, the microbial and physicochemical indicators of gummies were tested according to national and industry standards. The single factor experimental results indicated that the optimal amounts of gelatin, xanthan gum, concentrated jujube juice, tremella, goji berries, and rock sugar to be added are 6, 0.75, 55, and 45 g, respectively. Furthermore, konjac gum had little effect on the sensory score of gummies; therefore, 3 g was recommended. The influence of various factors on the chewiness, L^* , a^* , and b^* values of gummies was consistent with the sensory evaluation. The sensory score improved when the elasticity of the gummies was between 1.55~2.68 mm,

引文格式:

阮鸣,王嘉蓓,续晨,等.响应面法优化红枣银耳枸杞凝胶软糖配方工艺[J].现代食品科技,2024,40(9):238-247.

RUAN Ming, WANG Jiabei, XU Chen, et al. Formula optimization of the jujube, tremella, and goji berry gel gummies using the response surface method [J]. Modern Food Science and Technology, 2024, 40(9): 238-247.

收稿日期: 2023-08-01

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(31872901); 江苏省产学研合作项目(BY2022675); 南京市农产品质量安全重点实验室(NJGS2021-16); 江苏省高等学校基础科学(自然科学)研究面上项目(21KJD550003)

作者简介: 阮鸣(1979-), 女, 博士, 副教授, 研究方向: 功能食品的开发, E-mail: ruanming@njxzc.edu.cn

adhesiveness was between 1.83~2.80 N, chewiness was between 4.26~7.40 mj, L^* value was between 30.41~50.56, a^* was between 8.06~11.29, and b^* was between 7.32~10.87. The response surface method indicated that the optimal process and recipe were as follows: 5.8 g gelatin; 0.75 g xanthan gum; 56 g concentrated jujube juice, tremella, and goji berries; and 44 g rock sugar. The total colony count, coliforms, weight loss due to drying, and reducing sugar of gummies were 829 CFU/g, 27 MPN/100 g, 21.9 g/100 g, and 26.4 g/100 g, respectively, which all met the necessary requirements. The jujube, tremella, and goji berry gel gummies prepared with the optimum recipe exhibited a reddish brown color, good transparency and chewiness, strong jujube flavor, and an aroma of tremella and goji berries.

Key words: gelling agent; texture parameters; color difference value; functional gummies; Box-Behnken design

凝胶软糖是糖果产品的主要组成部分，它美味可口、易于吞咽、形状光滑，占据了从儿童到老年人的庞大而多样的消费者群体^[1,2]。以“药食同源”中药材制成的中药功能性凝胶软糖是当前国内凝胶软糖的研究热点^[3,4]。2022年最新版药食同源目录大全中，红枣（又名大枣）和枸杞子均是药食兼用中药，银耳是历代本草文献所载具有治疗作用的食物。现代研究表明，红枣具有抗氧化、抗失眠的特性，并刺激免疫系统提高免疫力^[5]，可改善慢性疲劳综合征大鼠的免疫系统和抗氧化活性^[6]，可以通过养血、提高睡眠质量和改善消化系统来延长人的寿命^[7]，在世界范围内用作健康补充剂^[8]。银耳是中国常见的营养食品，且具有增强免疫力^[9]、美白皮肤、抗衰老^[10]、有效提高小鼠的疲劳耐力和抗缺氧能力^[11]。枸杞子有助于预防和治疗以肌肉质量和功能丧失为特征的老年疾病^[12]、有效抑制骨质疏松^[13]，并通过抗氧化应激机制逆转睾丸功能障碍来改善迟发性性腺功能减退症，且不会诱发前列腺疾病^[14]。以上最新研究成果表明枸杞子可预防和改善中老年人的衰老状态，具有一定延缓衰老的功效。此外，枸杞子还具有免疫增强^[15]、抗疲劳、抗糖尿病等作用^[16,17]。

红枣银耳枸杞凝胶软糖（HYG-NR）以红枣、银耳和枸杞子的混合提取液入料，兼具营养保健和风味独特的优势。红枣、银耳和枸杞子均有显著的增强免疫力、延缓衰老和缓解身体疲劳的功能，因此HYG-NR为“药食同源”中药功能性凝胶软糖的开发提供了一定的借鉴和参考。

1 材料与方法

1.1 实验材料

红枣、枸杞、银耳和冰糖分别购于金松食品有限公司、宁夏红枸杞商贸有限公司、金松食品有限

公司及和润华食品；明胶、黄原胶和魔芋胶均为食品级，购于汇泉生物科技有限公司。

1.2 仪器设备

手持糖度计，ATAGO爱拓；电磁炉，苏泊尔电器；温度计，伟创电子有限公司；JE502电子天平，上海浦春计量仪器有限公司；H0008-SMS型质构仪，北京盈盛恒泰科技有限公司；3nh高品质电脑色差仪，深圳市三恩时科技有限公司。

1.3 实验方法

1.3.1 生产工艺流程

红枣、银耳、枸杞煮沸后浸提两次→浸提液浓缩→明胶、黄原胶、魔芋胶干混，溶胀→浓缩液与凝胶液混合→熬糖液→糖液中加入混合液→搅拌均匀，继续熬制至终点→冷却成型

1.3.2 工艺操作要点

1.3.2.1 红枣银耳枸杞浸提浓缩液的制备

称取红枣35g（去核后）、银耳20g（泡发前）、枸杞20g，银耳泡发后与红枣、枸杞一并加入750mL水中煮沸10min后，改为60℃浸提1h，残渣重复提取一次。将两次得到的浸提液合并，过滤，浓缩至原体积的五分之一，冷却备用。

1.3.2.2 复合凝胶液的制备

将明胶、黄原胶和魔芋胶三种食用胶混合，加10倍质量的水溶胀1h。然后置沸水浴中溶解，过程中不断搅拌复合胶，直至其充分溶解后备用。

1.3.2.3 糖液的制备

称取冰糖，加入2倍质量的水溶解，将溶液加热熬煮，熬至糖液呈金黄色拉丝状为好。

1.3.2.4 凝胶糖果的制备

将红枣银耳枸杞浓缩液与复合凝胶液直接混合，过滤，得混合液，并将其加入熬制好的糖液中，搅拌均匀，得混合糖液。将混合糖液继续熬制至手

持糖度计测定数值为 60% 时即为熬制终点。

1.3.2.5 初级配方的确定

通过预实验确定了凝胶软糖的初级配方：明胶 6 g，黄原胶 0.7 g，魔芋胶 3 g，红枣银耳枸杞浓缩汁 50 g，冰糖 40 g。

1.3.3 单因素实验设计

根据初级配方，考查明胶、黄原胶、魔芋胶、红枣银耳枸杞混合浓缩汁和冰糖添加量对 HYG-NR 感官评分、质构和色泽的影响。因素水平设置如表 1。

表 1 因素水平设计实验

水平	明胶添加量/g	黄原胶添加量/g	魔芋胶添加量/g	浓缩汁添加量/g	冰糖添加量/g
1	4	0.50	2.0	50	35
2	5	0.65	2.5	55	40
3	6	0.70	3.0	60	45
4	7	0.75	3.5	65	50
5	8	0.80	4.0	/	/

1.3.4 感官评定方法

选 10 名有感官评价经验的食品专业人士，男女各一半，评定前用纯净水漱口。每个样品评定三次，然后取平均值，满分为 100 分。

根据食品安全国家标准糖果（GB 17399-2016）和凝胶糖果国内贸易行业标准（SB/T 10021-2017）对凝胶软糖感官评价的要求，结合功能凝胶糖果感官评价标准^[18,19]，为突出红枣、银耳和枸杞的综合风味，设计了 HYG-NR 的感官评价依据，如表 2 所示。

1.3.5 凝胶软糖质构特性的测定

每组样品平行测定 3 次，取平均值。检测时，

选择“TPA-1000N”测试程序，参数设置为：直径 50 mm 平板探头 P/5，起始力 0.5 N，高度 20 mm，形变 75%，检测速度 60 mm/min。

1.3.6 凝胶软糖 $L^*a^*b^*$ 值的测定

L^* 值代表样品颜色的明亮度，0 表示黑色，100 表示白色； a^* 值和 b^* 值代表样品色度，均有正负之分， a^* 是红绿的表示， $+a^*$ 代表偏红， $-a^*$ 代表偏绿（不够红）， b^* 表示黄蓝， $+b^*$ 代表偏黄， $-b^*$ 代表偏蓝； a^* 值增加代表红色程度加深， b^* 值增加意味着黄色程度增加； ΔE 是 $L^*a^*b^*$ 值的总色差。使用色差仪前，先用空白板进行校正，再对样品进行测定，每组样品进行三次平行试验，取平均值。（色差值公式： $\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$ ）。

1.3.7 响应面试验设计

根据单因素实验的结果选取对感官评分影响较大的因素及其三个水平（最佳水平和其相邻的两个水平），然后输入 Design-Expert 10.0 软件进行响应面优化试验的设计。

1.3.8 凝胶软糖的微生物指标测定

依据 GB17399-2016《食品安全国家标准糖果》对 HYG-NR 进行微生物检测。菌落总数和大肠菌群数的测定分别按 GB4789.2-2016《食品微生物学检验菌落总数测定》、GB4789.3-2016《食品微生物学检验大肠菌群计数》执行。

1.3.9 凝胶软糖理化指标的测定

干燥失重的测定按 SB/T 10021-2017《糖果凝胶糖果》附录 A 规定方法进行。依据 GB 5009.7-2016《食品国家安全标准食品中还原糖的测定》第一法进行还原糖检测。

表 2 红枣银耳枸杞凝胶软糖感官评价标准

项目	分数/分	标准	得分/分
色泽	20	糖体呈红棕色，表面有光泽，色泽均匀，颜色鲜艳	14~20
		糖体偏红色，表面较有光泽，色泽较均匀，颜色较鲜艳	7~13
		糖体呈深红色，表面无光泽，色泽不均匀，颜色暗淡	1~6
组织状态	40	糖体完整，组织均匀，透明性好，无气泡无杂质	27~40
		糖体较完整，组织较均匀，透明性一般，基本无气泡无杂质	14~26
		糖体不完整，组织不均匀，透明性差，有大量气泡杂质	1~13
软糖口感	40	甜度适中，具有原料特有风味，弹性和咀嚼性好，不粘牙	27~40
		稍甜，具有原料特有风味，弹性和咀嚼性好，基本不粘牙	14~26
		过甜，原料特有风味弱，弹性和咀嚼性差，粘牙	1~13

1.3.10 数据处理

采用 GraphPad prism 8.0 进行柱形图绘制, 使用 SPSS 22.0 对实验结果作统计分析, 所有数据以平均数 ± 标准差的形式呈现, 应用 Design-Expert 10.0 进行响应面设计、结果优化及响应曲面、等高线图的绘制。P < 0.05 表示差异显著, P < 0.01 表示差异极显著。

2 结果与分析

2.1 单因素实验对软糖感官评定的影响

2.1.1 明胶添加量的影响

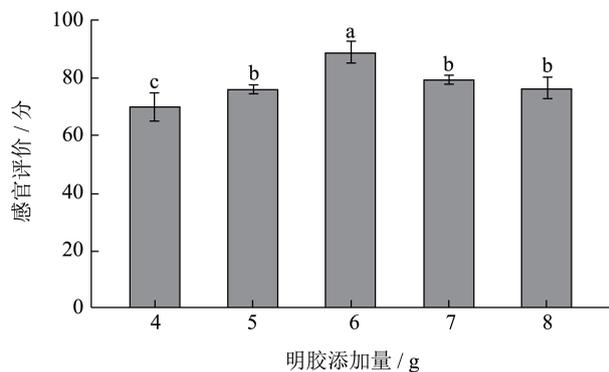


图 1 明胶添加量对感官评分的影响

Fig.1 Effect of gelatin addition amount on sensory score

注: 字母相同无显著性差异, 字母不同的两组有显著性差异。图 2~5 同。

明胶是良好的胶凝剂, 被广泛地应用于糖果制作中。由图 1 可以看出, 随着明胶用量的增加, 感官评分从 70.1 升高至 88.8, 后又下降为 76.4, 当添加量为 6 g 时感官评分最高, 而当 4 g ≤ 明胶用量 < 6 g 时, 软糖整体饱满度较差, 不耐嚼, 易黏牙, 大于 6 g 时, 软糖又有明显的明胶味, 出现硬皮, 导致感官评分下降^[20], 表明适量的明胶可以使软糖形成稳定的胶凝体系, 使软糖更易成型、更加有弹性、更耐咀嚼。

2.1.2 黄原胶添加量的影响

如图 2 所示, 黄原胶用量 0.75 g 时感官评分最高, 达 87.80 分, 而用量是 0.50 g 时, 感官分值仅有 69.80。随着黄原胶添加量增加至 ≥ 0.70 g, 感官分数可达到 80 分以上。黄原胶是一种微生物代谢多糖, 本身不具有呈胶性, 但可以与明胶混合产生胶凝性, 当两者混合比例小时凝胶胶度弱^[21], 因此适量的黄原胶可以增强软糖的粘性, 使软糖不易融

化、保质期延长, 软糖胶体光滑饱满, 压迫后能快速成型, 口感较好。

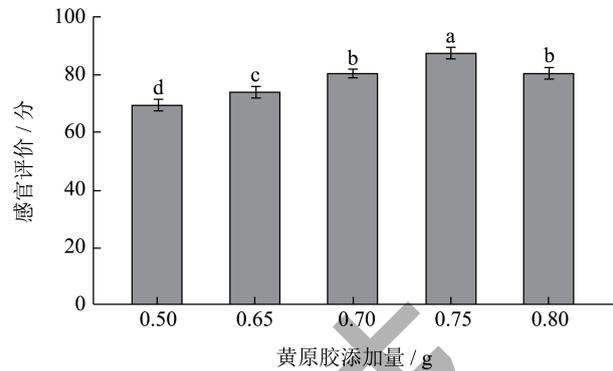


图 2 黄原胶添加量对感官评分的影响

Fig.2 Effect of xanthan gum addition amount on sensory score

2.1.3 魔芋胶添加量的影响

由图 3 可以看出, 随着魔芋胶添加量的增加, 软糖的感官评分在 80.6~84.9 分之间, 变化程度不大, 可能因为魔芋胶形成胶体的主要成分是魔芋葡甘露聚糖, 且本身具有高的溶胶性, 与明胶在一定范围内混合后胶体强度佳^[21]。综合感官评价结果, 选择魔芋胶的适宜添加量为 3 g。

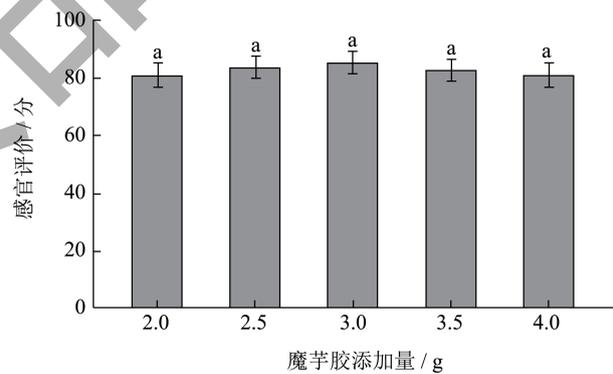


图 3 魔芋胶添加量对感官评分的影响

Fig.3 Effect of konjac gum addition amount on sensory score

2.1.4 浓缩汁添加量的影响

图 4 表明, 添加红枣银耳枸杞混合浓缩汁 50~55 g, 软糖的感官分数均大于 86, 尤其是添加量为 55 g 时, 感官评价高达 91.1 分, 此时软糖甜香适中, 颜色鲜艳呈红棕色。但随着浓缩汁添加量的继续增加, 感官评分迅速从 91.1 下降至 79.6、继而到 70.5 分, 这是因为浓缩汁添加过多会导致软糖表面暗淡无光泽, 呈深红棕色, 透明度降低, 且软糖的红枣风味太过浓厚, 掩盖了银耳枸杞的香气, 使得感官评分降低。

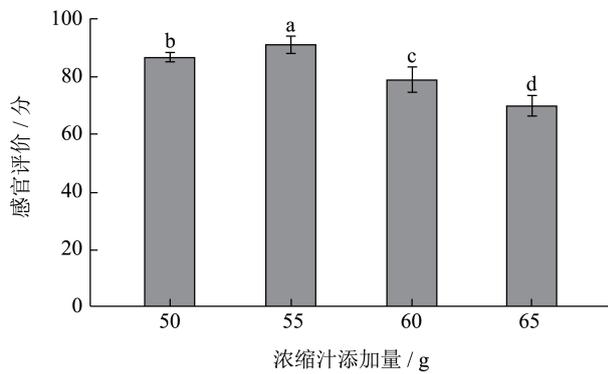


图4 浓缩汁添加量对感官评分的影响

Fig.4 Effect of concentrated juice addition amount on sensory score

2.1.5 冰糖添加量的影响

根据图5, 冰糖添加量为35 g时, 软糖味淡质软、黏牙易融化, 仅得分72.2。随着冰糖添加量增加至40~50 g, 感官分数先上升后下降, 但均达80以上。添加量为45 g时的软糖甜味适中、组织状态清晰、口感较好, 得分高达93.1, 如继续添加冰糖至50 g, 软糖又甜腻不耐嚼, 组织内部有大量气泡, 并有返砂现象, 导致感官评分减少至82.6分。可见, 冰糖添加量不可过低, 否则对感官的影响较大^[22]。

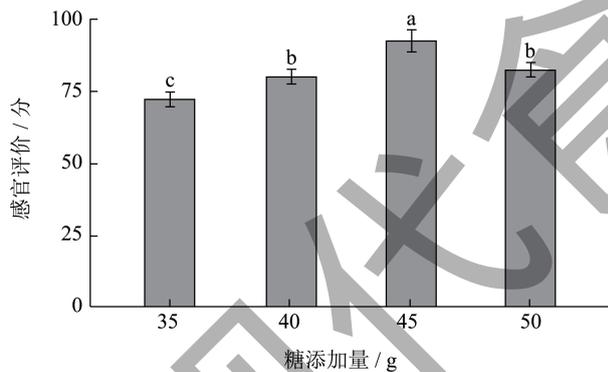


图5 冰糖添加量对感官评分的影响

Fig.5 Effect of crystal sugar addition amount on sensory score

2.2 单因素实验对软糖质构特性的影响

质构分析(Texture Profile Analysis, TPA)可以用于测定软糖质构特性参数: 胶粘性、弹性和咀嚼性。从表3~7可以看出: 明胶、黄原胶、魔芋胶、浓缩汁和冰糖的添加量对软糖的弹性、胶粘性和咀嚼性均呈现不同程度的影响($P < 0.05$), 说明各因素多水平考查的必要性。值得关注的是, 各因素对软糖咀嚼性的影响规律与感官评价一致, 咀嚼性主要用于描述固体、半固体的质构特性, 综合反映了胶粘性、硬度和内聚性的作用力^[23]。例如, 魔芋胶

的添加量不同时软糖咀嚼性无明显差异($P > 0.05$, 见表5), 这与感官评价结果相似。此外, 浓缩汁添加量对软糖的弹性、胶粘性和咀嚼性的影响均与感官评分的变化趋势一致(见表6), 即随着浓缩汁添加量的增加, 软糖的质构参数和感官评分均先上升后下降, 均在添加量为55 g时所测值最大(弹性2.68, 胶粘性2.76, 咀嚼性7.40, 感官分数91.1)。以上结果分析表明, 客观检测(部分质构参数)与主观评价(感官得分)相符, 即客观数据佐证了感官评分的可靠性。

表3 明胶添加量对质构特性的影响

Table 3 Effect of gelatin addition amount on texture properties

明胶添加量/g	弹性/mm	胶粘性/N	咀嚼性/mj
4	2.30 ± 0.032 ^a	2.01 ± 0.010 ^d	3.29 ± 0.195 ^c
5	1.69 ± 0.023 ^d	2.50 ± 0.015 ^c	4.94 ± 0.511 ^b
6	1.61 ± 0.012 ^c	2.80 ± 0.011 ^b	6.48 ± 0.380 ^a
7	1.98 ± 0.021 ^c	2.81 ± 0.012 ^b	5.66 ± 0.327 ^{Ab}
8	2.08 ± 0.017 ^b	3.19 ± 0.021 ^a	5.45 ± 0.412 ^b

注: 同列肩注相同字母表示差异不显著($P > 0.05$), 肩注不相同字母表示差异显著($P < 0.05$), 下表同。

表4 黄原胶添加量对质构特性的影响

Table 4 Effect of xanthan gum additive amount on texture properties

黄原胶添加量/g	弹性/mm	胶粘性/N	咀嚼性/mj
0.50	1.72 ± 0.005 ^a	2.63 ± 0.015 ^a	2.43 ± 0.145 ^c
0.65	1.60 ± 0.025 ^b	2.30 ± 0.012 ^b	2.83 ± 0.125 ^c
0.70	1.57 ± 0.015 ^c	2.20 ± 0.030 ^c	3.47 ± 0.220 ^b
0.75	1.55 ± 0.006 ^c	1.83 ± 0.015 ^d	4.53 ± 0.400 ^a
0.80	1.33 ± 0.015 ^d	1.83 ± 0.035 ^d	3.69 ± 0.300 ^b

表5 魔芋胶添加量对质构特性的影响

Table 5 Effect of konjac gum addition amount on texture properties

魔芋胶添加量/g	弹性/mm	胶粘性/N	咀嚼性/mj
2.0	1.63 ± 0.031 ^c	1.87 ± 0.058 ^c	4.10 ± 0.300 ^a
2.5	2.21 ± 0.025 ^d	2.08 ± 0.020 ^b	4.56 ± 0.451 ^a
3.0	2.37 ± 0.015 ^c	2.65 ± 0.015 ^b	4.98 ± 0.690 ^a
3.5	2.52 ± 0.020 ^b	2.11 ± 0.040 ^a	4.71 ± 0.351 ^a
4.0	2.65 ± 0.021 ^a	2.10 ± 0.044 ^b	4.52 ± 0.220 ^a

表 6 浓缩汁添加量对质构特性的影响

Table 6 Effect of concentrated juice addition amount on texture properties

浓缩汁添加量/g	弹性/mm	胶粘性/N	咀嚼性/mj
50	2.67 ± 0.006 ^a	2.64 ± 0.015 ^b	7.03 ± 0.200 ^a
55	2.68 ± 0.080 ^a	2.76 ± 0.055 ^a	7.40 ± 0.300 ^a
60	2.30 ± 0.015 ^b	2.42 ± 0.021 ^c	5.62 ± 0.153 ^b
65	1.78 ± 0.025 ^c	2.04 ± 0.025 ^d	3.63 ± 0.200 ^c

表 7 冰糖添加量对质构特性的影响

Table 7 Effect of rock sugar added amount on texture properties

冰糖添加量/g	弹性/mm	胶粘性/N	咀嚼性/mj
35	2.04 ± 0.021 ^a	1.72 ± 0.010 ^d	2.22 ± 0.166 ^c
40	1.90 ± 0.030 ^b	2.02 ± 0.023 ^c	3.82 ± 0.085 ^b
45	1.91 ± 0.020 ^b	2.24 ± 0.045 ^b	4.26 ± 0.153 ^a
50	1.91 ± 0.006 ^b	2.38 ± 0.025 ^a	4.03 ± 0.125 ^a

表 8 浓缩汁添加量对色差参数的影响

Table 8 Effect of concentrated juice additive amount on color difference parameters

浓缩汁添加量/g	L*	a*	b*
50	30.11 ± 0.045 ^b	11.09 ± 0.015 ^b	10.04 ± 0.050 ^a
55	30.41 ± 0.055 ^a	11.29 ± 0.025 ^a	10.87 ± 0.015 ^b
60	30.47 ± 0.210 ^a	6.81 ± 0.080 ^c	7.15 ± 0.075 ^d
65	28.98 ± 0.145 ^c	6.35 ± 0.035 ^d	6.95 ± 0.085 ^c

表 9 冰糖添加量对色差参数的影响

Table 9 Effect of rock sugar additive amount on color difference parameters

冰糖添加量/g	L*	a*	b*
35	23.50 ± 0.065 ^d	4.45 ± 0.030 ^a	4.97 ± 0.015 ^d
40	35.96 ± 0.015 ^b	7.59 ± 0.055 ^d	5.14 ± 0.030 ^c
45	50.56 ± 0.025 ^a	8.06 ± 0.065 ^c	7.32 ± 0.035 ^a
50	25.44 ± 0.040 ^c	6.11 ± 0.015 ^b	5.82 ± 0.045 ^b

2.3 单因素实验对软糖L*、a*、b*值的影响

根据表 8 和表 9，浓缩汁、冰糖添加量的不同均可引起软糖色差 L* 值、a* 值和 b* 值的显著差异 (P < 0.05)，表明浓缩汁和冰糖是影响软糖色泽的重要因素。当浓缩汁添加量为 55 g 时，感官分数最高 (91.1 分)，a* 值和 b* 值均为最大值，分别为 11.29 和 10.87，虽然 L* 值是 30.41，但与最大值 30.47 无显著差异 (P > 0.05)；当冰糖添加量为 45 g 时，L*a*b* 值均最大，分别为 50.56、8.06 和 7.32，此时软糖色泽均匀，呈红棕色，透明度好，表面有光泽，感官分值 93.1。以上分析说明软糖色

泽的主观评分与色差仪测定结果趋势一致，这再次验证理论感官评价的可靠性。

2.4 响应面优化试验

2.4.1 响应面试验设计与结果

表 10 Box-Behnken 试验设计与结果

Table 10 Design and results of Box-Behnken experiment

试验号	添加量/g				感官评分
	A 明胶	B 黄原胶	C 浓缩汁	D 冰糖	
1	-1	0	0	-1	87.7
2	0	-1	-1	0	81.3
3	0	0	0	0	92.2
4	0	0	0	0	94.5
5	0	0	-1	-1	83.6
6	0	-1	0	-1	83.8
7	-1	0	1	0	86.5
8	0	1	0	1	81.8
9	0	0	0	0	94.3
10	-1	-1	0	0	86.3
11	0	1	0	-1	79.3
12	1	-1	0	0	78.0
13	0	0	-1	1	80.1
14	-1	0	-1	0	77.5
15	1	0	0	1	78.9
16	-1	1	0	0	78.1
17	0	1	-1	0	74.8
18	0	1	1	0	85.9
19	0	-1	1	0	84.2
20	1	0	0	-1	76.4
21	0	0	0	0	93.1
22	1	0	-1	0	81.8
23	1	0	1	0	80.7
24	0	0	1	1	84.4
25	0	-1	0	1	82.1
26	1	1	0	0	80.6
27	-1	0	0	1	79.1
28	0	0	1	-1	88.5
29	0	0	0	0	94.7

以单因素实验结果为基础，应用 Design-Expert 10.0 软件进行响应面优化试验的设计，设计方案和结果见表 10。根据表 10 结果得多元二次回归方程： $Y = +93.76 - 1.57A - 1.27B + 2.59C - 1.08D + 2.70AB -$

$2.52AC+2.78AD+2.05BC+1.05BD-0.15CD-7.16A^2-6.58B^2-4.94C^2-5.39D^2$ 。其中 Y 为感官评分, A、B、C、D 分别为明胶添加量、黄原胶添加量、浓缩汁添加量和冰糖添加量。

2.4.2 回归模型的建立与显著性分析

表 11 响应面回归模型方差分析

Table 11 Variance analysis of response surface regression model

方差来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值
回归模型	874.55	14	62.47	21.61	<0.000 1
A	29.45	1	29.45	10.19	0.006 5
B	19.25	1	19.25	6.66	0.021 8
C	80.60	1	80.60	27.88	<0.000 1
D	13.87	1	13.87	4.80	0.045 9
AB	29.16	1	29.16	10.09	0.006 7
AC	25.50	1	25.50	8.82	0.010 1
AD	30.80	1	30.80	10.65	0.005 7
BC	16.81	1	16.81	5.81	0.030 2
BD	4.41	1	4.41	1.53	0.237 1
CD	0.090	1	0.090	0.031	0.862 5
A ²	332.07	1	332.07	114.86	<0.000 1
B ²	280.84	1	280.84	97.14	<0.000 1
C ²	158.45	1	158.45	54.81	<0.000 1
D ²	188.62	1	188.62	65.24	<0.000 1
残差	40.47	14	2.89		
失拟项	35.88	10	3.59	3.13	0.141 7
净误差	4.59	4	1.15		
总和	915.02	28			

模型的相关系数 $R^2=0.955 8$
 模型调整系数 $R^2_{adj}=0.911 5$
 变异系数 (CV)=2.03%

注: $P<0.05$ 表示该指标显著, $P<0.01$ 表示该指标极显著。

根据实验结果建立多元二次回归响应面模型, 进行多元线性回归和二项拟合分析, 以验证回归模型与各因素间的显著性。回归方程方差分析结果见表 11。由表 11 可知, 模型的 P 值 <0.01 , 说明该回归模型达极显著水平; 失拟项的 F 值为 3.13, P 值为 0.141 7 (>0.05), 不显著, 表明该回归方程的数据拟合度较好; 回归模型的相关系数 R^2 为 0.955 8, 表明 95.58% 的数据可用该模型解释; $R^2_{adj}=0.911 5$, 显示试验结果受试验因素影响的程度是 91.15%。以

上结果说明该模型与所测数据的拟合度高, 可用于预测不同成分添加量对 HYG-NR 感官评分的影响^[24]。此外, 从回归方程系数的显著性检验结果可知, A (明胶添加量) 和 C (浓缩汁添加量) 对软糖影响极显著 ($P<0.01$), B (黄原胶添加量)、D (冰糖添加量) 对软糖影响显著 ($P<0.05$)。方程的二次项 (A^2 、 B^2 、 C^2 、 D^2), 交互项 AB 和 AD 均对产品感官评分影响极显著 ($P<0.01$), AC 和 BC 对感官评分影响显著 ($P<0.05$), BD、CD 不显著 ($P>0.05$)。影响软糖感官评分的因素主次顺序为 $C>A>B>D$, 即混合浓缩汁添加量 $>$ 明胶添加量 $>$ 黄原胶添加量 $>$ 冰糖添加量。

2.4.3 各因素间相互作用分析

利用 Design-Expert 10.0 软件制作响应曲面及等高线图, 图中可以直观反映两个变量 (因素) 对因变量 (感官评分) 的影响程度: 响应曲面坡度越陡, 因素影响越大; 等高线越密集, 影响越大, 反之影响越小^[25]。以图 6 为例, 从响应曲面图可以看出, 浓缩汁添加量的坡度比明胶添加量的更陡峭; 等高线图显示沿着浓缩汁添加量方向的等高线比沿着明胶添加量方向的更密集, 表明浓缩汁添加量对软糖感官评分的影响比明胶大。浓缩汁和明胶的交互作用体现在极值点的位置, 即当明胶添加量为 6 g, 浓缩汁添加量为 55 g 时, 感官评分值最大。

根据图 6~11 可知, 响应曲面更陡峭的因素和/或等高线更密集的因素, 对软糖感官评分的影响更大, 因素影响的大小顺序与方差分析结果一致。

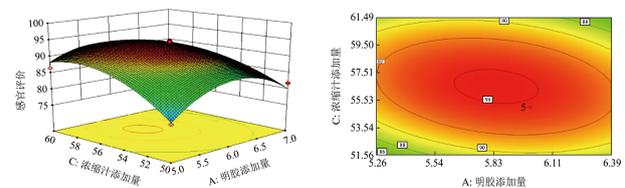


图 6 明胶与浓缩汁添加量对感官评分的响应面和等高线图
 Fig.6 Response surface and contour line maps of gelatin and concentrated juice added amounts to sensory score

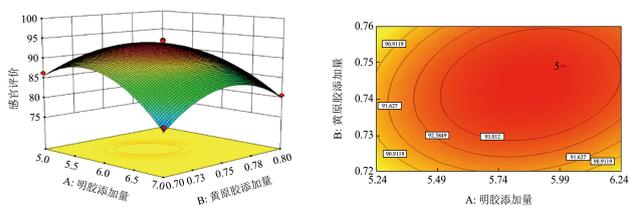


图 7 明胶与黄原胶添加量对感官评分的响应面和等高线图
 Fig.7 Response surface and contour line maps of gelatin and xanthan gum added amounts to sensory score

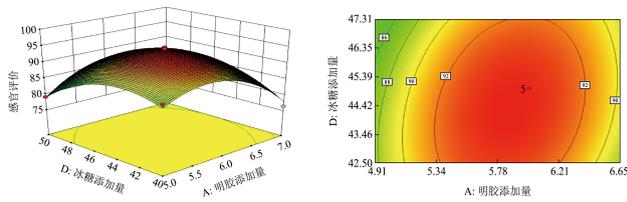


图 8 明胶与冰糖添加量对感官评分的响应面和等高线图
Fig.8 Response surface and contour line maps of gelatin and crystal sugar added amounts to sensory score

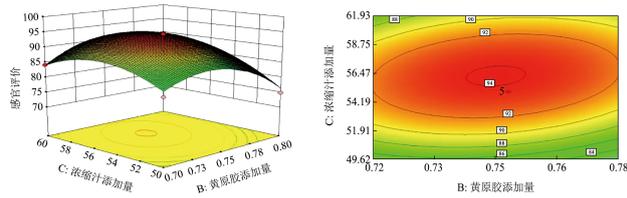


图 9 黄原胶与浓缩汁添加量对感官评分的响应面和等高线图
Fig.9 Response surface and contour line maps of xanthan gum and concentrated juice added amounts to sensory score

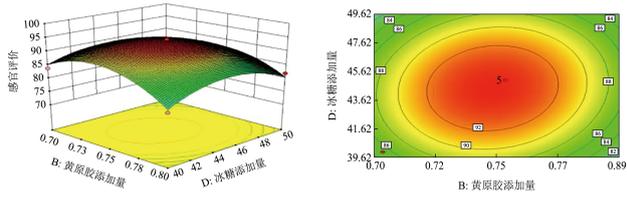


图 10 黄原胶与冰糖添加量对感官评分的响应面和等高线图
Fig.10 Response surface and contour line maps of xanthan gum and crystal sugar added amounts to sensory score

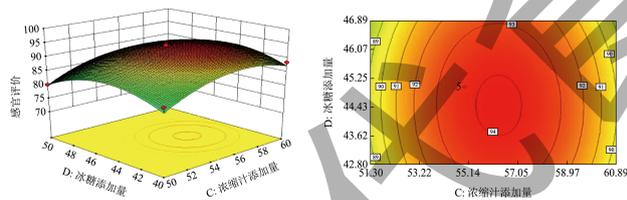


图 11 浓缩汁与冰糖添加量对感官评分影响的响应面和等高线图
Fig.11 Response surface and contour line maps of concentrated juice and crystal sugar added amounts to sensory score

2.4.4 响应面优化试验的质构特性及色差参数分析

根据 Box-Behnken 试验结果, 从 29 组试验中取 5 组感官评价分数较高的试验组, 为检验响应面优化结果的可靠性, 将该 5 个试验组进行质构特性及色度参数的测定。由前文单因素实验结果可知, 当软糖弹性在 1.55~2.68 mm 之间, 胶粘性在 1.83~2.80 N 之间, 咀嚼性在 4.26~7.40 mj 之间, 色度参数 L^* 值在 30.41~50.56 之间, a^* 值在 8.06~11.29 之间, b^* 值在 7.32~10.87 之间时, 感官评分较佳。从表 12 可看出, 5 个试验组的产品, 其质构和色差参数均处在较佳范围内。经计算, 5 组软糖的最大色差值 $\Delta E=0.1136$, 符合色差要求。

2.4.5 模型优化和验证试验

根据软件分析得 HYG-NR 的最佳配方工艺为: $A=5.78\text{ g}$ 、 $B=0.75\text{ g}$ 、 $C=56.49\text{ g}$ 、 $D=44.15\text{ g}$ 。为方便控制条件及利于实际操作, 最佳配方工艺参数最终修正为: $A=5.8\text{ g}$ 、 $B=0.75\text{ g}$ 、 $C=56\text{ g}$ 、 $D=44\text{ g}$, 在该条件下制作 HYG-NR 进行验证, 平行三次, 得感官分数平均值, 并与预测值(响应面计算所得感官评分 $Y=94.47$) 相比, 计算相对误差。相对误差 = $|\text{测量值} - \text{计算值}| / \text{计算值} \times 100\%$ 。验证试验的结果如表 13 所示, 所测感官评分的平均值为 94.2 分, 与预测值(计算值)的相对误差为 0.28%。由此可见, 响应面优化所得的最佳配方参数准确可靠, 具有实用价值。经过配方工艺优化后的软糖成品如图 12 所示。

2.5 软糖微生物和理化指标测定结果

如表 14、表 15 所示, 按照最优配方工艺参数制得的 HYG-NR, 其微生物指标检测结果符合 GB17399-2016《食品安全国家标准糖果》的相关规定, 理化指标检测结果符合 SB/T 10021-2017《糖果凝胶糖果》的相关规定。

表 12 五组试验组软糖的质构特性及色差参数

Table 12 Texture characteristics and color difference parameters of gummies from five experimental groups

试验组号	质构特性			色差参数			感官评分
	弹性	胶粘性	咀嚼性	L^*	a^*	b^*	
3	2.40 ± 0.10	2.46 ± 0.23	5.53 ± 0.14	47.48 ± 0.05	8.69 ± 0.02	7.44 ± 0.01	92.2 ± 1.1
4	2.33 ± 0.08	2.25 ± 0.18	5.64 ± 0.19	47.51 ± 0.04	8.66 ± 0.03	7.40 ± 0.07	94.5 ± 0.8
9	2.32 ± 0.01	2.54 ± 0.01	5.47 ± 0.13	47.47 ± 0.07	8.63 ± 0.02	7.43 ± 0.04	94.3 ± 0.6
21	2.37 ± 0.02	2.42 ± 0.02	5.62 ± 0.12	47.43 ± 0.02	8.66 ± 0.03	7.41 ± 0.01	93.1 ± 1.4
29	2.35 ± 0.10	2.30 ± 0.04	5.46 ± 0.12	47.46 ± 0.01	8.62 ± 0.01	7.43 ± 0.01	94.7 ± 1.3

表 13 验证试验结果

Table 13 Results of confirmatory test

序号	添加量/g				感官评分	平均分
	明胶	黄原胶	浓缩汁	冰糖		
1	5.8	0.75	56	44	94.3 ± 1.1	
2	5.8	0.75	56	44	94.1 ± 0.7	94.2 ± 0.10
3	5.8	0.75	56	44	94.2 ± 0.4	

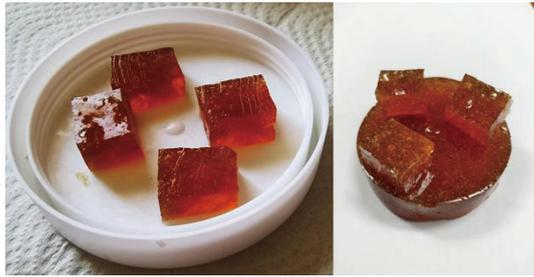


图 12 红枣银耳枸杞凝胶软糖成品

Fig.12 Finished product of gel gummies with red date, *Tremella* and *Lycium chinense*

表 14 红枣银耳枸杞凝胶软糖微生物指标检测结果

Table 14 Detection results of microbial indexes from gel gummies with red date, *Tremella* and *Lycium chinense*

项目	检测值	指标值	结论
菌落总数/(CFU/g)	829	≤1 000	合格
大肠菌群/(MPN/100 g)	27	≤90	合格

表 15 红枣银耳枸杞凝胶软糖理化指标检测结果

Table 15 Detection results of physicochemical indexes from gel gummies with red date, *Tremella* and *Lycium chinense*

项目	检测值	指标值	结论
干燥失重/(g/100 g)	21.9	≤35	合格
还原糖(以葡萄糖计)/(g/100 g)	26.4	≥10	合格

3 讨论

凝胶软糖又称 QQ 糖,是由大量的糖和胶凝剂如淀粉、果胶或明胶组成,产品的质地主要取决于凝胶网络的形成,而凝胶网络受到配方中胶凝剂性质的影响巨大^[26],胶凝剂可赋予凝胶软糖牢固的结构^[27]。明胶可使凝胶软糖显现出理想的透明度和硬度,而这正是影响消费者偏好的两个要素^[26]。但是单一食用胶在软糖中的应用存在一定的缺陷,如凝胶结构不稳定、单独使用成本高昂等缺点,所以通常使用两种及以上不同类型的凝胶来代替,按一定的比例进行复配后,不仅可有效改善单独使用时的缺点,还能充分发挥复配凝胶的优势^[28]。魔芋胶与黄原胶复配不仅具有增稠的作用,也是较好的凝胶

剂,同时能减少单独使用魔芋胶时产生的成本^[29]。本文采用明胶、魔芋胶和黄原胶形成复合食品胶,改善了各单体胶的性能,达到协同增效效应。

4 结论

本实验研究了红枣银耳枸杞凝胶软糖的最佳工艺配方为:明胶 5.8 g、黄原胶 0.75 g、魔芋胶 3 g、红枣银耳枸杞混合浓缩汁 56 g、冰糖 44 g,该配方下的软糖呈红棕色,有较好的透明度和咀嚼性,呈现浓郁的红枣风味和银耳枸杞香气,预测感官评分为 94.47 分,实际得分为 94.2 分,接近理论值。明胶、黄原胶、浓缩汁和冰糖对软糖咀嚼性和 L^* 、 a^* 、 b^* 值的影响趋势与感官评分一致,即随着上述四因素添加量的增加,软糖咀嚼性、 L^* 、 a^* 、 b^* 值和感官评分均呈现先增加后减少的趋势,且当四因素添加量依次为 6、0.75、55、45 g 时,咀嚼性、 L^* 、 a^* 、 b^* 值和感官评分均呈现最大值,因此,咀嚼性和 L^* 、 a^* 、 b^* 值可作为主观评价的客观指标。

本实验中不仅使用感官评分作为因变量,同时还利用仪器测定了质构参数和色差参数,并将测定结果作为客观评价依据佐证主观判断,具有一定的现实意义。

参考文献

- [1] AMJADI S, GHORBANI M, HAMISHEHKAR H, et al. Improvement in the stability of betanin by liposomal nanocarriers: Its application in gummy candy as a food model [J]. Food Chemistry, 2018, 256: 156-162.
- [2] MOGHADDAS K E, GHADERZADH S, MOJADDAR L, et al. Red beet extract usage in gelatin/gellan based gummy candy formulation introducing *Salix aegyptiaca* distillate as a flavouring agent [J]. Journal of Food Science and Technology, 2020, 57(9): 3355-3362.
- [3] 王艳宏,栾宁,樊建,等.中药功能性软糖的研究进展[J].中国中药杂志,2019,44(24):5345-5351.
- [4] 薛瑾,利晓滢,罗汝锋,等.菊花枸杞决明子功能性软糖的制备研究[J].农产品加工,2023,5:30-33.
- [5] GUO S, DUAN J A, QIAN D, et al. Content variations of triterpenic acid, nucleoside, nucleobase, and sugar in jujube (*Ziziphus jujuba*) fruit during ripening [J]. Food Chemistry, 2015, 167: 468-474.
- [6] CHI A, KANG C, ZHANG Y, et al. Immunomodulating and antioxidant effects of polysaccharide conjugates from the fruits of *Ziziphus jujube* on chronic fatigue syndrome rats [J]. Carbohydrate Polymers, 2015, 122: 189-196.
- [7] CHEN J, TSIM K W K. A review of edible jujube, the

- Ziziphus jujuba* fruit: A health food supplement for anemia prevalence [J]. *Frontiers in Pharmacology*, 2020, 11: 593655.
- [8] CHEN J, CHAN P H, LAM C T, et al. Fruit of *Ziziphus jujuba* (Jujube) at two stages of maturity: distinction by metabolic profiling and biological assessment [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2015, 63(2): 739-744.
- [9] SHEN T, DUAN C, CHEN B, et al. *Tremella fuciformis* polysaccharide suppresses hydrogen peroxide-triggered injury of human skin fibroblasts via upregulation of SIRT1 [J]. *Molecular Medicine Reports*, 2017, 16: 1340-1346.
- [10] LI X, SU Q, PAN Y. Overcharged lipid metabolism in mechanisms of antitumor by *Tremella fuciformis*-derived polysaccharide [J]. *International Journal of Oncology*, 2023, 62(1): 11.
- [11] YANG D, LIAN J, WANG L, et al. The anti-fatigue and anti-anoxia effects of *Tremella* extract [J]. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 2019, 26(8): 2052-2056.
- [12] LEE S S, KIM Y A, EUN B, et al. Betaine, a component of *Lycium chinense*, enhances muscular endurance of mice and myogenesis of myoblasts [J]. *Food Science and Nutrition*, 2021, 9(9): 5083-5091.
- [13] LUO L, GUAN Z, JIN X, et al. Identification of kukoamine A as an anti-osteoporosis drug target using network pharmacology and experiment verification [J]. *Molecular Medicine*, 2023, 29(1): 56.
- [14] JEONG H C, JEON S H, GUAN Q Z, et al. *Lycium chinense* Mill improves hypogonadism via anti-oxidative stress and anti-apoptotic effect in old aged rat model [J]. *Aging Male*, 2020, 23(4): 287-296.
- [15] AMAGASE H, SUN B, NANCE D M. Immunomodulatory effects of a standardized *Lycium barbarum* fruit juice in Chinese older healthy human subjects [J]. *Journal of Medicinal Food*, 2009, 12: 1159-1165.
- [16] 钟叶,裴志斐,王博龙.抗疲劳药食类产品基本分析及其中药使用规律研究[J].*中成药*,2023,45(7):2447-2450.
- [17] 刘海霞.枸杞子水提物调节氧化应激通路实现抗疲劳、抗糖尿病作用的活性研究[D].长春:吉林大学,2019.
- [18] 唐琳琳,冯建文,关凯方,等.红树莓生姜红枣凝胶糖果的研制[J].*包装与食品机械*,2018,36(5):18-26.
- [19] 杨娟,戴家宁,梁楚彤,等.杜仲凝胶软糖的制备工艺优化[J].*食品工业科技*,2021,42(3):147-152.
- [20] 李瑞一,陈学锋,陈杭君,等.杨梅软糖制备工艺优化及其降血糖功能分析[J].*食品工业科技*,2023,44(23):80-89.
- [21] 张珍林,闵运江,薛晴晴,等.铁皮石斛花软糖中的凝胶剂筛选研究[J].*食品工程*,2022,4:71-76.
- [22] 周逸凯,邹霞,刘惠珍,等.桃红四物软糖制作工艺研究[J].*农业技术与装备*,2022,1:83-85.
- [23] 王兢,周荣智,李爽,等.大白兔奶糖的感官与质构特性研究[J].*中国食品学报*,2010,10(3): 239-242.
- [24] 王元川,高雪梅,杨宝君,等.响应面法优化铁皮石斛软糖配方及其抗氧化活性分析[J].*食品工业科技*,2023, 44(13):197-206.
- [25] 田其英.响应面法优化枸杞软糖工艺配方的研究[J].*江苏调味副食品*,2018,152(1):18-22,27.
- [26] MARFIL P, ANHÊ A, TELIS V. Texture and microstructure of gelatin/corn starch-based gummy confections [J]. *Food Biophysics*, 2012, 7(3): 236-243.
- [27] DELGADO P, BAÑÓN S. Determining the minimum drying time of gummy confections based on their mechanical properties [J]. *CyTA-Journal of Food*, 2015, 13(3): 329-335.
- [28] 王露.卡拉胶/明胶混合体系的相行为研究[D].武汉:湖北工业大学,2015.
- [29] 王晓婧.食用胶在凝胶糖果中的应用[J].*粮食与食品工业*,2018,25(1):64-66,70.