



食品工业科技

Science and Technology of Food Industry

ISSN 1002-0306, CN 11-1759/TS



《食品工业科技》网络首发论文

题目：杜仲凝胶软糖的制备工艺优化
作者：杨娟，戴家宁，梁楚彤，李叶龙
网络首发日期：2020-07-23
引用格式：杨娟，戴家宁，梁楚彤，李叶龙. 杜仲凝胶软糖的制备工艺优化. 食品工业科技. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1759.TS.20200723.1503.008.html>



网络首发：在编辑部工作流程中，稿件从录用到出版要经历录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿等阶段。录用定稿指内容已经确定，且通过同行评议、主编终审同意刊用的稿件。排版定稿指录用定稿按照期刊特定版式（包括网络呈现版式）排版后的稿件，可暂不确定出版年、卷、期和页码。整期汇编定稿指出版年、卷、期、页码均已确定的印刷或数字出版的整期汇编稿件。录用定稿网络首发稿件内容必须符合《出版管理条例》和《期刊出版管理规定》的有关规定；学术研究成果具有创新性、科学性和先进性，符合编辑部对刊文的录用要求，不存在学术不端行为及其他侵权行为；稿件内容应基本符合国家有关书刊编辑、出版的技术标准，正确使用和统一规范语言文字、符号、数字、外文字母、法定计量单位及地图标注等。为确保录用定稿网络首发的严肃性，录用定稿一经发布，不得修改论文题目、作者、机构名称和学术内容，只可基于编辑规范进行少量文字的修改。

出版确认：纸质期刊编辑部通过与《中国学术期刊（光盘版）》电子杂志社有限公司签约，在《中国学术期刊（网络版）》出版传播平台上创办与纸质期刊内容一致的网络版，以单篇或整期出版形式，在印刷出版之前刊发论文的录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿。因为《中国学术期刊（网络版）》是国家新闻出版广电总局批准的网络连续型出版物（ISSN 2096-4188，CN 11-6037/Z），所以签约期刊的网络版上网络首发论文视为正式出版。

基金项目: 湛江市非资助科技攻关计划项目(2017B01003和2019B1154); 岭南师范学院博士人才专项(ZL1910和ZL1615)

第一作者: 杨娟(1980-), 女, 博士, 讲师, 研究方向: 蛋白质化学, E-mail: 42984806@qq.com。

通讯作者: 李叶龙(1978-), 男, 博士, 讲师, 研究方向: 食品机械, E-mail: 335906710@qq.com。

杜仲凝胶软糖的制备工艺优化

杨娟, 戴家宁, 梁楚彤, 李叶龙*

(岭南师范学院化学化工学院, 湛江 524048)

摘要: 为了制备一种外观晶莹、富有弹性而质地软糯具有杜仲独特风味的凝胶保健软糖, 以杜仲粉末为主要原料、以明胶和木薯淀粉为复配凝胶剂、以麦芽糖醇为甜味剂、以柠檬酸为酸味剂, 运用单因素及正交试验进行配方优化, 通过感官评定和质构分析, 得出杜仲凝胶软糖最佳工艺配方为: 明胶与木薯淀粉的配比为 5:1、杜仲水提取液为 150 g/L、麦芽糖醇的添加量为 200 g/L、糖度为 80%、柠檬酸添加量为 0.5 g/L。结果表明, 制成的凝胶软糖表面光滑有色泽, 弹性适口, 甜酸适中, 质量稳定, 感官、质构和微生物指标均符合国家标准。杜仲软糖提取物对 DPPH 自由基、羟自由基具有清除作用, 清除作用与试验浓度之间存在较好的线性量效关系, 其中, 最大试验浓度下(100 mg/mL)羟自由基清除率可达 $81.5\% \pm 2.1\%$, 最大试验浓度下(100 mg/mL) DPPH 自由基清除率可达 $51.5\% \pm 1.0\%$ 。

关键词: 杜仲, 凝胶软糖, 制备工艺, 质构, 感官评价

Optimization of preparation technology of Eucommia ulmoides gel soft sweets

Yang Juan, Dai Jianing, Liang Chutong, Li Yelong*

(School of Chemistry and Chemical Engineering, Lingnan Normal University, Zhanjiang 524048, China)

Abstract: In order to prepared a kind of gummy soft sweets with crystal clear appearance, elastic and soft texture with the unique flavor of Eucommia ulmoides Oliver, Eucommia ulmoides powder was used as the main raw material, gelatin and cassava starch as the compound gel, maltose as sweetener, citric acid as the sour agent, and optimized the formula by single factor and orthogonal experiments. Through sensory evaluation and texture analysis, the best formula of the Eucommia gel soft sweets is: the ratio of gelatin to cassava starch is 5:1, the extract of Eucommia water is 150 g/L, maltol is 200 g/L, the sugar content is 80%, and citric acid is 0.5 g/L. The results showed that the gel soft sweets made from the best process formula was smooth and glossy, elastic and palatable, moderate in sweet and sour, and stable in quality. Sensory, textural and microbiological indicators were all up to the national standard. The soft sugar extract of Eucommia ulmoides had scavenging effect on DPPH and hydroxyl radicals, and there was a good linear dose effect relationship between scavenging effect and concentration. Among them, the scavenging rate of hydroxyl radical was $81.5\% \pm 2.1\%$ at the maximum concentration (100 mg/mL), DPPH radical was $51.5\% \pm 1.0\%$ at the maximum concentration (100 mg/mL).

Key words: Eucommia; gelatin; preparation process; texture; sensory evaluation

中图分类号: TS246.5

杜仲为杜仲科植物杜仲 (*Eucommia ulmoides Olive*) 的干燥树皮, 主产于四川、湖北、贵州、云南、陕西等地区, 资源丰富, 无毒能食。杜仲是药食两用植物, 传统以树皮入药, 杜仲皮色紫, 树皮质脆, 易折断, 折断拉开可见银白色具有弹性的胶丝, 味甘微辛^[1]。杜仲皮富含黄酮类、木脂素类、多糖类、环烯醚萜类、以及苯丙素类等大量营养成分。杜仲除具滋补肝肾、安胎利尿的功效外, 还具有抗氧化、抗肿瘤、降血压血糖、抗炎抗病毒、抗疲劳等药理作用和药用价值^[2]。在日常中杜仲皮可用于熬汤制作药膳, 目前市场上常见的杜仲保健食品有杜仲保健醋饮料、杜仲酒、杜仲茶、杜仲口服液等^[3]。

凝胶软糖是一类水分高、热量低的糖果^[4], 具有组织细腻、口感爽滑、质地柔软、货架期长等优点, 一直受到消费者的喜爱, 是国内外发展较快的糖果种类之一^[5-8], 但杜仲在凝胶软糖中的开发应用研究未见报道。糖醇在食品中应用广泛, 相比蔗糖, 糖醇具有低血糖、低热量、低龋齿等特性^[9]。麦芽糖醇的甜味特性与蔗糖相近, 相比其他元素醇价格更低廉, 且将其作为无糖软糖载体来使用所生产的产品具有更好地咀嚼感, 因此本实验使用麦芽糖醇作为甜味剂^[10]。明胶是从动物的骨、皮、筋腱等结缔组织中提取出来的蛋白质产品^[11,12], 由于明胶的纤维状蛋白容易受酸、碱的影响不同程度破坏甚至失去纤维的特征, 进而改变明胶的性能, 因而变性淀粉-明胶复合工艺的研究引起关注^[13], 而木薯淀粉来源丰富, 天然易得^[14], 且能在一定程度改善明胶软糖的热稳定性和凝聚性^[14], 因此本研究使用木薯淀粉作为辅助凝胶剂与明胶配比加入软糖中从而降低明胶的使用量。为了扩大杜仲在休闲便利食品中的应用, 本研究拟以杜仲为主要成分, 以木薯淀粉配比明胶为主要载体, 木薯淀粉为辅料, 麦芽糖醇为甜味剂, 经过添加杜仲水提液调味的研究基础上, 制备一种酸甜软糯, 风味独特, 具有潜在降血压、养肝补肾等功效、便于休闲食用的杜仲凝胶保健软糖, 通过质构分析和感官评价^[15-18], 确定杜仲凝胶保健软糖的最佳配方, 本研究旨在丰富杜仲保健品市场, 为杜仲软糖产品的应用提供相应的理论基础和技术支持。

1 材料与amp;方法

1.1 材料与amp;仪器

杜仲粉末同仁堂中药材; 明胶珠海市飞扬食品有限公司; 木薯淀粉河北依之恋食品有限公司; 麦芽糖醇河南千志商贸有限公司; 无水柠檬酸潍坊英轩实业有限公司; 1·1-二苯基苦基苯肼(DPPH) 美国 Sigma 公司。

TMS-PRO 食品质构仪美国 FTC 公司; RHB-90ATC 糖度计上海天垒仪器仪表有限公司; Sonic Ruptor400 超声乳化装置美国 OMNI 公司; Big-squid 磁力搅拌器德国 IKA 公司; HG-9070A 鼓风干燥箱上海申贤恒温设备厂; BSA2245 电子天平德国 Sartorius 公司; UV-2450 分光光度计日本 Shimadzu 公司; TW12 水浴锅德国 Julabo 公司; Arium611 纯水机德国 Sartorius 公司; 2.8x2.6x1.4cm 模具佛山市热动网络科技有限公司。

1.2 试验方法

1.2.1 杜仲凝胶软糖的制作工艺流程

杜仲粉末→水提取→水提取液
麦芽糖醇→融化→熬煮 70℃保温
明胶→溶胀→90℃保温
木薯淀粉→浸泡→70℃保温
混合→倒盘→静置→脱模→烘干→成品

1.2.2 操作要点

1.2.2.1 杜仲粉末水提取液的制备

用 20 目筛过筛杜仲粉末得到 20 目杜仲粉末, 准确称取 5.0 g 20 目筛杜仲粉末, 在料液比为 1:20 (g/mL), 提取的温度为 100℃的条件下用蒸馏水提取, 提取时间为 2.5 h 提取次数 1 次, 用纱布过滤, 得到杜仲水提取液, 备用^[19]。

1.2.2.2 凝胶浸泡

称取适量明胶, 室温下加入 5 倍水, 溶胀^[20], 然后在 90℃下加热静置形成溶胶, 在 90℃

恒温水浴锅中保温，备用。木薯淀粉加入 2 倍水溶胀，在 70 °C 水浴锅中静置形成溶胶^[14]，备用。

1.2.2.3 熬糖

将麦芽糖醇溶于适量水中，加热至完全溶解，当糖液温度达到 100 °C 时，搅拌熬煮。用糖度计测定糖浓度，当达到一定糖度时^[21]，停止加热，冷却至 70 °C 于水浴锅中保温。

1.2.2.4 保温混合

于糖液中加入明胶溶胶、木薯溶胶、杜仲水提取液，加入用少量水溶解的柠檬酸，搅拌均匀。在 70 °C 恒温水浴锅中静置^[20]，排除其中的气泡。

1.2.2.5 倒模和干燥

将排尽气泡的糖浆混合物倒入准备好的模具中，冷却至室温。脱模，将得到的杜仲凝胶软糖在 35 °C 下干燥 24 h，每隔 3 h 翻一次面^[20]。

1.2.3 单因素试验

经预试验，保持基本配方不变，即加入凝胶剂 100 g/L 且明胶与木薯淀粉的质量比为 5:1、甜味剂麦芽糖醇 200 g/L 且糖溶液糖度为 80%、柠檬酸添加量为 1.0 g/L，改变杜仲水提取液的添加量，分别为 100、150、200、250、300 g/L，采用硬度、胶粘性、咀嚼性、弹性和感官评价作为考察指标，确定适宜的杜仲水提取液添加量范围。并进一步对明胶与木薯淀粉配比 6:1, 5:1, 4:1, 3:1, 2:1; 糖溶液的糖度 65%, 70%, 75%, 80%, 85%; 柠檬酸添加量 0.5、1.0、1.5、2.0、2.5 g/L^[22,23]进行单因素试验。

1.2.4 正交试验

在单因素的基础上，选取杜仲水提取液添加量、糖液的糖浓度、明胶与木薯淀粉的配比、柠檬酸的添加量 4 个因素，各取 3 个水平进行正交试验，以感官评价为考察指标，对正交试验结果进行合理分析并认证，以确定杜仲凝胶保健软糖的最佳配方。不考虑各因素间交互作用，选择 L₉(3⁴)正交表进行试验，正交试验因素水平表如表 1。

表 1 杜仲凝胶软糖制备配方正交试验因素水平设计

Table 1 Formulation of orthogonal test factors for preparation of Eucommia ulmoides gel soft sweets

水平	A 杜仲水提取液/(g/L)	B 明胶与木薯淀粉配比/g:g	C 糖度/%	D 柠檬酸添加量/(g/L)
1	150	4:1	75	0.5
2	200	5:1	80	1.0
3	250	6:1	85	1.5

1.2.5 品质指标的评定

1.2.5.1 产品质构分析

采用质构仪进行产品物性分析，测定条件为探头直径为 25.4 mm，长度为 35.0 mm 的通用型圆柱探头；模式：TPA；压缩：形变 60%；起始力：0.05 N；测前速度：1 mm/s；测试速度：1 mm/s；测后速度：1 mm/s；数据频率：50 点/s；力量感应元的量程：25 N；探头回升到样品表面上的高度：10 mm。测定硬度、胶粘性、咀嚼性和弹性^[18,24]。

1.2.5.2 感官评定

杜仲凝胶软糖的感官评分细则如表 2 所示。

表 2 杜仲凝胶软糖的感官评分细则

Table 2 Sensory grading rules of Eucommia ulmoides gel soft sweets.

项目	很好 (20~25 分)	较好 (15~20 分)	一般 (10~15 分)	差 (10 分以下)
口感 (25 分)	酸甜口感浓郁	酸甜口感适宜	酸甜口感一般	酸甜口感较差

香气 (25 分)	杜仲风味接受性高	杜仲风味接受性适中	香气较淡, 不明显	杜仲风味强烈或较淡, 接受性低
色泽 (25 分)	颜色黄棕且透亮	颜色较黄棕且透亮	颜色淡黄且透亮	颜色淡黄透亮一般
组织形态 (25 分)	韧性适中, 咀嚼时不粘牙	韧性稍适中, 咀嚼时相对粘牙	韧性较大, 咀嚼时较粘牙	韧性及粘牙性难以接受

1.2.5.3 抗氧化性能力

DPPH 自由基清除率测定参考 Sharma 等^[25]方法, 适当改动。采用 95% 乙醇配制 0.4% (w/v) 的 DPPH 自由基溶液, 将样品 (1mg/mL) 与 DPPH 自由基溶液进行 1:1 混匀并于暗室反应 30 min, 分别测其在 517 nm 处的吸光值。所得数据代入下式计算 DPPH 自由基清除率:

$$\text{DPPH 自由基清除率}(\%) = [1 - (A_i - A_j) / A_0] \times 100 \quad (1)$$

式中, A_i 代表样品组, 即 DPPH 自由基溶液加入样品溶液测得的吸光度值, A_j 代表对照组, 即 95% 乙醇加入样品溶液测得的吸光度值, A_0 代表空白组, 即 DPPH 自由基溶液加入蒸馏水测得的吸光度值。

·OH 清除率测定参考 Ismail 等^[26]方法, 略改动。依次加入 FeSO_4 溶液 (9 mmol/L) 1.0 mL, H_2O_2 溶液 (8.8 mmol/L) 1.0 mL, 水杨酸溶液 (50% 乙醇液, 9 mmol/L) 1.0 mL 以及 1.0 mL 待测样品。再加入 H_2O_2 1.0 mL 启动反应后进行 37°C 水浴 1 h。空白组以同体积蒸馏水代替样品液进行测定, 对照组以同体积的蒸馏水代替水杨酸溶液进行测定, 测定波长为 510 nm。阳性对照组为抗坏血酸, 所得数据代入下式计算羟基自由基清除率:

$$S = [A_0 - (A_i - A_{i0})] / A_0 \times 100\% \quad (2)$$

式中: A_0 代表杜仲软糖样液用相同体积的蒸馏水代替测得的吸光度值; A_i 代表某浓度时杜仲软糖样品测得的吸光度值; A_{i0} 代表水杨酸醇溶液用等体积的蒸馏水代替测得的吸光度值; S-羟基自由基清除率, %。

1.2.5.4 理化指标的测定

参照 SB/T 10021-2017 《糖果凝胶糖果》。

1.2.5.5 微生物指标的测定

菌落总数测定参考 GB 4789.2-2016: 食品安全国家标准食品微生物学检验菌落总数。

大肠菌群测定参考 GB 4789.3-2010: 食品安全国家标准食品微生物学检验大肠菌群计数。

致病菌测定参考 GB 29921-2013: 食品安全国家标准食品中致病菌限量。

1.3 数据处理

用 SPSS Statistics 软件处理单因素数据之间的差异显著性、用 Excel 2010 软件处理单因素数据的平均值和标准偏差以及正交表。

2 结果与分析

2.1 单因素试验

2.1.1 不同杜仲水提取液对杜仲凝胶软糖品质的影响

不同杜仲水提取液对杜仲凝胶软糖品质的影响如表 3 所示。

表 3 杜仲水提取液添加量对杜仲凝胶软糖的影响

Table 3 Effect of Eucommia water extract amount on Eucommia ulmoides gel soft sweets

杜仲水提取液添加量/g/L	硬度/N	弹性/mm	胶粘性/mm	咀嚼性/mj	感官评价/分
---------------	------	-------	--------	--------	--------

100 g/L	9.983 ± 0.809 ^a	4.360 ± 0.280 ^b	8.439 ± 0.374 ^a	38.440 ± 1.021 ^a	71.000 ± 1.000 ^{ab}
150 g/L	12.473 ± 0.874 ^b	4.923 ± 0.215 ^c	10.675 ± 0.644 ^b	52.580 ± 4.409 ^b	77.000 ± 1.732 ^b
200 g/L	11.765 ± 0.593 ^b	3.543 ± 0.396 ^a	9.798 ± 0.721 ^b	34.877 ± 6.587 ^a	87.000 ± 4.359 ^c
250 g/L	9.809 ± 1.043 ^a	4.600 ± 0.242 ^{bc}	8.268 ± 0.774 ^a	38.130 ± 5.508 ^a	75.000 ± 1.000 ^b
300 g/L	12.728 ± 0.832 ^b	4.323 ± 0.279 ^b	10.943 ± 0.785 ^b	47.433 ± 6.297 ^{ab}	69.000 ± 3.000 ^{ab}

*不同上标 (a-e) 表示显著性差异($p < 0.05$).

结果表明, 杜仲水提取液添加量对杜仲凝胶软糖粘性、咀嚼性、弹性有一定影响, 在添加量为 200 g/L 以内时, 随着添加量的增加硬度和胶粘性有增大趋势。试验条件下, 弹性和咀嚼性在 150 g/L 附近出现峰值。通过感官评分, 当杜仲水提取液的添加量为 100 g/L 时, 杜仲风味不明显; 当杜仲水提取液添加量为 200 g/L 时杜仲风味明显, 且易于接受; 当杜仲水提取液的添加量为 300 g/L 时, 杜仲风味过于浓郁, 难以接受。综合质构和感官评定, 确定杜仲水提取液的适宜添加量为 200 g/L。

2.1.2 明胶与木薯淀粉的不同配比对杜仲凝胶软糖品质的影响

明胶与木薯淀粉的不同配比对杜仲凝胶软糖品质的影响如表 4 所示。

表 4 明胶与木薯淀粉的不同配比对杜仲凝胶软糖的质构和感官性质的影响

Table 4 Effects of different proportions of gelatin and cassava starch on texture and sensory properties of *Eucommia ulmoides* gel soft sweets

明胶与木薯淀粉质量比	硬度/N	弹性/mm	胶粘性/mm	咀嚼性/mj	感官评价/分
2:1	11.408 ± 1.305 ^a	3.707 ± 0.234 ^c	9.407 ± 1.545 ^a	34.683 ± 4.513 ^a	62.000 ± 5.293 ^a
3:1	15.238 ± 1.038 ^b	3.237 ± 0.101 ^a	12.553 ± 0.612 ^b	40.623 ± 2.868 ^a	66.000 ± 2.646 ^a
4:1	17.561 ± 1.285 ^c	3.530 ± 0.026 ^{bc}	14.515 ± 1.435 ^c	51.294 ± 5.321 ^b	77.000 ± 2.000 ^b
5:1	20.106 ± 0.227 ^d	3.480 ± 0.035 ^{abc}	17.366 ± 0.396 ^d	60.463 ± 0.983 ^c	88.000 ± 3.000 ^c
6:1	13.726 ± 0.831 ^b	3.450 ± 0.159 ^{ab}	11.047 ± 0.851 ^{ab}	38.047 ± 1.603 ^a	75.000 ± 2.646 ^a

*不同上标 (a-e) 表示显著性差异($p < 0.05$).

由表 4 可知, 随着明胶的所占比例增加, 杜仲凝胶软糖的硬度、胶粘性、咀嚼性逐渐增大, 但在明胶与木薯淀粉配比为 5:1 之后开始下降。弹性先降后增, 在 4:1 之后趋于平稳, 试验条件下增大木薯淀粉的添加量会导致脱模工序难度加大^[13,24], 综合分析感官特征和工艺特点, 确定杜仲凝胶软糖中明胶与木薯淀粉适宜的质量比为 5:1。

2.1.3 不同糖溶液的糖度对杜仲凝胶软糖品质的影响

不同糖溶液的糖度对杜仲凝胶软糖品质的影响如表 5 所示。

表 5 糖溶液的糖度对杜仲凝胶软糖的影响

Table 5 Influence of sugar content of sugar solution on *Eucommia ulmoides* gel soft sweets

组别	硬度/N	弹性/mm	胶粘性/mm	咀嚼性/mj	感官评价/分
糖溶液糖度为 65%	8.654 ± 0.579 ^a	4.070 ± 0.339 ^a	7.407 ± 0.443 ^a	30.037 ± 0.871 ^a	67.000 ± 1.000 ^a
糖溶液糖度为 70%	11.375 ± 1.055 ^b	4.020 ± 0.626 ^a	9.648 ± 0.684 ^b	38.507 ± 3.534 ^{ab}	72.000 ± 2.000 ^b
糖溶液糖度为 75%	12.396 ± 0.127 ^{bc}	4.513 ± 0.199 ^a	10.118 ± 0.276 ^b	45.650 ± 2.416 ^b	79.000 ± 2.646 ^c
糖溶液糖度为 80%	14.157 ± 1.033 ^c	4.203 ± 0.211 ^a	11.205 ± 1.058 ^c	46.997 ± 3.432 ^b	90.000 ± 1.000 ^c
糖溶液糖度为 85%	12.113 ± 1.476 ^b	4.237 ± 0.886 ^a	10.022 ± 1.144 ^b	42.960 ± 10.519 ^{ab}	80.000 ± 2.646 ^d

*不同上标 (a-e) 表示显著性差异($p < 0.05$).

由表 5 可知, 随着糖溶液糖度的升高, 杜仲凝胶软糖的硬度、胶粘性和咀嚼性呈现增加的趋势, 试验条件下对凝胶软糖的弹性影响不明显, 表明糖溶液的糖度能够影响凝胶软糖的部分质构

特性^[17]，结合感官评分，综合考虑，选定 75%、80%、85% 为正交试验的糖溶液的糖度。

2.1.4 不同柠檬酸添加量对杜仲凝胶软糖品质的影响

不同柠檬酸添加量对杜仲凝胶软糖品质的影响如表 6 所示。

表 6 柠檬酸添加量对杜仲凝胶软糖的影响

Table 6 Effect of citric acid content on *Eucommia ulmoides* gel soft sweets

柠檬酸添加量/g/L	硬度/N	弹性/mm	胶粘性/mm	咀嚼性/mj	感官评价/分
添加 0.5 g/L	13.033 ± 0.767 ^a	3.653 ± 0.339 ^a	11.243 ± 0.824 ^a	41.070 ± 4.616 ^a	79.000 ± 1.732 ^a
添加 1.0g/L	15.483 ± 0.270 ^b	5.290 ± 0.070 ^a	13.311 ± 0.122 ^b	70.673 ± 0.097 ^{ab}	89.000 ± 1.000 ^b
添加 1.5g/L	9.654 ± 0.914 ^{bc}	3.767 ± 0.405 ^a	8.193 ± 0.860 ^b	30.260 ± 3.185 ^b	85.000 ± 2.000 ^c
添加 2.0g/L	11.556 ± 0.292 ^c	4.020 ± 0.368 ^a	9.497 ± 0.201 ^c	38.113 ± 3.029 ^b	70.000 ± 1.000 ^d
添加 2.5g/L	16.406 ± 2.649 ^b	4.217 ± 0.415 ^a	13.448 ± 1.295 ^b	56.493 ± 4.375 ^{ab}	61.000 ± 1.000 ^e

*不同上标 (a-e) 表示显著性差异($p < 0.05$)。

由表 6 可知，杜仲凝胶软糖的硬度、胶粘性、咀嚼性随着柠檬酸添加量的增加呈现先上升后下降再上升的趋势，试验条件下弹性变化不大。由感官评价结果可知，柠檬酸添加量在 1.0 g/L 杜仲凝胶软糖感官评分最高，酸甜风味最好，在添加量多于 0.10% 后酸感越来越大，接受性降低^[17]，综合考虑，选定 0.5、1.0、1.5 g/L 作为正交试验中柠檬酸的添加量。

2.2 正交试验结果与分析

杜仲凝胶软糖制备工艺正交试验结果分析如表 7 和表 8 所示。

表 7 杜仲凝胶软糖制备工艺正交试验结果

Table 7 Orthogonal test results of preparation of *Eucommia ulmoides* gel soft sweets

试验号	A	B	C	D	硬度/N	弹性/mm	胶粘性/mm	咀嚼性/mj	感官评价/分
1	1	1	1	1	8.079	4.43	6.814	30.10	78
2	1	2	2	2	14.639	4.68	12.411	58.16	95
3	1	3	3	3	13.626	4.74	11.974	56.27	80
4	2	1	2	3	10.540	4.73	9.332	44.09	85
5	2	2	3	1	13.836	4.31	11.875	51.27	88
6	2	3	1	2	15.587	4.14	13.455	55.31	72
7	3	1	3	2	14.560	3.80	11.862	45.16	75
8	3	2	1	3	14.435	4.29	11.902	51.14	83
9	3	3	2	1	17.908	4.34	15.618	67.79	89

表 8 各评价指标的极差分析

Table 8 Range analysis of each evaluation index

评价指标		A	B	C	D	主次因数	最优组合
硬度	K ₁	12.12	11.06	12.70	13.27	B>A>D>C	硬度最高 A ₃ B ₃ C ₂ D ₂
	K ₂	13.32	14.30	14.36	14.93		
	K ₃	15.63	15.71	14.01	12.87		
	极差	3.518	4.648	1.662	2.061		
弹性	K ₁	4.617	4.320	4.287	4.360	A>D>C>B	弹性最好 A ₁ B ₃ C ₂ D ₃
	K ₂	4.393	4.327	4.583	4.207		

	K ₃	4.143	4.407	4.283	4.587		
	极差	0.474	0.107	0.300	0.380		
胶粘性	K ₁	10.400	9.336	10.724	11.436	B>A>C>D	胶黏性最大 A ₃ B ₃ C ₂ D ₂
	K ₂	11.554	12.063	12.454	12.576		
	K ₃	13.127	13.682	11.904	11.069		
	极差	2.727	4.346	1.730	1.507		
	K ₁	48.177	39.783	45.517	49.720		
咀嚼性	K ₂	50.223	53.523	56.680	52.877	B>C>A>D	咀嚼性最佳 A ₃ B ₃ C ₂ D ₂
	K ₃	54.697	59.790	50.900	50.500		
	极差	6.520	20.007	11.163	3.158		
	K ₁	84.33	79.33	77.67	85.00		
	K ₂	81.67	88.67	89.67	80.67		
感官评价	K ₃	82.33	80.33	81	82.67	C>B>D>A	感官评价最高 A ₁ B ₂ C ₂ D ₁
	极差	2.67	9.33	12	4.33		

本试验设计忽略误差项,进行了极差分析。由表8中的感官评价可知,影响杜仲凝胶软糖感官评分的最大因素为糖溶液的糖度,其次为明胶与木薯淀粉的配比,再次为柠檬酸的添加量,最后为杜仲水提取液的添加量,A₁B₂C₂D₁为最优的杜仲凝胶软糖配方。李丹丹等^[18]研究表明,试验条件下质构仪测定出的硬度、弹性与对应的几种凝胶软糖感官指标有显著的相关性,并得到具有统计意义的二者与感官硬度和感官弹性的预测方程。综合考虑质构性质和感官评分,按照弹性、硬度适中即配比A₁B₂C₂D₁所得的杜仲凝胶软糖硬度、弹性接近于感官评价最高的软糖的品质。故本研究选取杜仲凝胶软糖的最佳配方为A₁B₂C₂D₁,即杜仲水提液添加量150 g/L,明胶与木薯淀粉的配比为5:1,糖溶液糖度为80%,柠檬酸添加量为0.5 g/L。

2.3 产品品质特性

杜仲软糖产品的品质特性如表9所示。由表可知所制备的软糖外观晶莹、富有弹性,具有杜仲独特风味,产品相关的感官、理化指标和微生物指标均符合国家标准要求。

表9 杜仲凝胶软糖品质的测定

测定项目或限量	测定结果	测定项目或限量	测定结果
外观	无气泡,光滑	色泽	有光泽
颜色	棕色	滋味、气味	整体气味柔和,口感佳
平均硬度/N	13.690	性质	杜仲风味诱人
平均颗质量/g	7	杂质	无杂质,无异物
超出质量差异限度	±3%	水分(20%)	≤11%~17%
铅(以Pb计0.5 mg/kg)	≤0.021 mg/kg	菌落总数(500 CFU/g)	≤300 CFU/g
砷(以As计0.5 mg/kg)	≤0.009 mg/kg	大肠菌群(30 MPN/100g)	≤15 MPN/100g
汞(以Hg计0.5 mg/kg)	≤0.013 mg/kg	霉菌(25 CFU/g)	≤10 CFU/g
致病菌(不得检出)	未检出	酵母菌(90 CFU/g)	≤20 CFU/g

2.4 产品的抗氧化性

羟自由基和DPPH自由基清除能力测定如图1所示,可得试验条件下杜仲软糖提取物对DPPH

自由基、羟自由基都具有清除作用^[25,26]，清除作用与试验浓度之间存在着较好的线性量效关系，其中，最大试验浓度下（100 mg/mL）羟自由基清除率可达 $81.5\% \pm 2.1\%$ ，最大试验浓度下（100 mg/mL）DPPH 自由基清除率可达 $51.5\% \pm 1.0\%$ 。

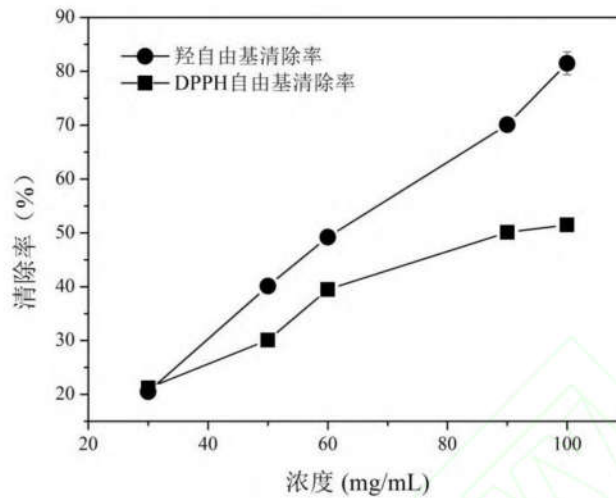


图1 羟自由基和 DPPH 自由基清除能力测定

Figure1 Etermination of scavenging ability of hydroxyl radical and DPPH radical

3 结论

通过本研究，可得出杜仲凝胶保健软糖的最佳工艺配方：杜仲水提取液添加量 150 g/L，明胶与木薯淀粉质量比 5:1，糖溶液糖度 80%，柠檬酸添加量 0.5 g/L，麦芽糖醇的添加量为 200 g/L。由此方案制备出的杜仲凝胶软糖具有独特的杜仲风味，口感佳，表面光滑有色泽，弹性适口，甜酸适中。所得产品各项感官、理化指标和微生物指标均符合国家标准要求。杜仲软糖提取物对 DPPH 自由基、羟自由基具有清除作用，清除作用与试验浓度之间存在着较好的线性量效关系，其中，最大试验浓度下（100 mg/mL）羟自由基清除率可达 $81.5\% \pm 2.1\%$ ，最大试验浓度下（100 mg/mL）DPPH 自由基清除率可达 $51.5\% \pm 1.0\%$ 。另外，在本试验设计范围内，利用杜仲水提取液、麦芽糖醇、柠檬酸等来制备杜仲凝胶软糖，有利于拓展杜仲的开发利用途径，使杜仲更好融入快消食品行业中。

参考文献

- [1] 杨满琴. 轻身耐老话杜仲[J]. 中医健康养生, 2017(11):32-33.
- [2] 王娟娟, 秦雪梅, 高晓霞, 等. 杜仲化学成分、药理活性和质量控制现状研究进展[J]. 中草药, 2017, 48(15):3228-3237.
- [3] 李振华. 杜仲的现代药理学研究及临床应用文献综述[J]. 甘肃科技纵横, 2018, 47(3):93-96.
- [4] 魏晓峰, 刘敏. 丁香花凝胶暖胃保健软糖配方的研究与工艺优化[J]. 保鲜与加工, 2016(1):63-68.
- [5] Liu J, Li L, Cai Y. Immobilization of camptothecin with surfactant into hydrogel for controlled drug release[J]. European Polymer Journal, 2006, 42(8):1767-1774.
- [6] Karim A A, Bhat R. Fish gelatin: properties, challenges, and prospects as an alternative to mammalian gelatins[J]. Food Hydrocolloids, 2009, 23(3):563-576.
- [7] Turgeon, S. Protein-polysaccharide interactions: phase-ordering kinetics, thermodynamic and structural aspects[J]. Current Opinion in Colloid & Interface Science, 2003, 8(4-5):401-414.
- [8] Kasimova M R, VelaZquez-Campoy A, Nielsen H M. On the Temperature Dependence of Complex Formation between Chitosan and Proteins[J]. Biomacromolecules, 2011, 12(7):2534-2543.

-
- [9] 彭博. 糖醇类物质对面团特性及面包品质的影响[D].武汉:华中农业大学,2017.
- [10] 张国权, 曾泳仪, 黄建蓉, 等.糖醇对桃酥加工性能和感官品质的影响[J]. 食品工业, 2017(5):122-125.
- [11] 徐晓飞, 陈少洁, 刘玮, 等.不同来源明胶软糖质构的研究[J]. 中国食品添加剂, 2017(11):107.
- [12] Gómez-Guillén M C, Giménez B, López-Caballero M E, et al. Functional and bioactive properties of collagen and gelatin from alternative sources: A review[J]. *Food Hydrocolloids*, 2011, 25(8):1813-182725.
- [13] 杜小燕, 吴晖, 赖富饶. 变性淀粉-明胶复合软糖的生产工艺研究[J]. 食品科技, 2013(12):117-121.
- [14] 高凤苑, 关欣, 韩良亮, 等.木薯淀粉水凝胶负载姜黄素及缓释性能研究[J]. 食品与发酵工业, 2019(11):204-210.
- [15] 李明. 凝胶糖果中食用胶的应用研究[J]. 中国食品, 2018(21):150-150.
- [16] 杜萌畅, 刘巴钰, 张宇心, 等. 白果桑葚软糖的研制[J]. 农产品加工, 2019(20) :17-21.
- [17] 扎西玉珍, 马茂华, 肖洪, 等. 芹菜凝胶软糖制作工艺研究[J]. 粮食与油脂, 2018,31(12):76-80.
- [18] 李丹丹, 李汴生, 阮征. 凝胶软糖质构特性的感官评定与仪器分析研究[J]. 食品工业, 2011(07):52-54.
- [19]张帅, 张少平, 郑云云, 等.杜仲水溶性成分提取工艺研究[J]. 福建热作科技, 2016(1):4-7.
- [20] 段丽丽, 朱建晨, 王辉, 等.沙棘、蓝莓粉复合沙棘油软糖的研制[J]. 中国食物与营养, 2018, 24(9):44-47.
- [21] 宋金泽, 林柯. 枳实软糖的制作工艺分析[J]. 农产品加工, 2019(1) :17-26.
- [22] 杨雅轩, 丁兆钧, 杨柳, 等. 食品酸味剂使用现状及发展趋势[J]. 南方农业, 2015,9(09):165-167.
- [23] Reddy N, Yang Y. Citric acid cross-linking of starch films[J]. *Food Chemistry*, 2015, 118(3):702-711.
- [24]符秀敏. 明胶软糖的质构仪分析与感官评定研究[J]. 中国食物与营养, 2019, 25(5):34-37.
- [25] Sharma O P, Bhat T K. DPPH antioxidant assay revisited[J]. *Food chemistry*, 2009, 113(4): 1202-1205.
- [26] Ismail H I, Chan K W, Mariod A A, et al. Phenolic content and antioxidant activity of cantaloupe (cucumis melo) methanolic extracts[J]. *Food Chemistry*, 2010, 119(2):643-647.