

DOI: 10.12161/j.issn.1005-6521.2021.19.022

模糊数学评价法优化奇亚籽菊粉 高纤低糖果冻配方研究

段秋虹, 郭楠楠, 马荣琨, 周甜甜
(郑州科技学院, 河南 郑州 450064)

摘要:以奇亚籽、菊粉和木糖醇为主要原料, 研制出含有高膳食纤维、低糖特色的果冻产品。通过单因素试验和凝胶特性评价指标确定了复合胶配方; 基于模糊数学法的正交试验来确定果冻的最佳配方。结果表明: 以 100 g 果冻质量为基准, 当魔芋胶: 海藻酸钠: 菊粉为 5:5:1 时, 凝胶质量最好。当奇亚籽溶液添加量为 1.25%, 木糖醇添加量为 8.00%, 复合胶添加量为 1.25%, 柠檬酸添加量为 0.03% 时, 果冻呈现出最优的品质, 透明度好、酸甜可口, 奇亚籽颗粒饱满晶莹, 有 Q 弹的颗粒口感, 同时具有较高的膳食纤维含量和较低的糖含量, 具备预防肥胖、润肠通便, 同时不升高血糖的保健功能。

关键词: 奇亚籽; 菊粉; 高纤; 低糖; 果冻

Study on High-fiber and Low-sugar Jelly of Chia Seed and Inulin Based on Fuzzy Mathematical Evaluation Method

DUAN Qiu-hong, GUO Nan-nan, MA Rong-kun, ZHOU Tian-tian

(Zhengzhou University of Science and Technology, Zhengzhou 450064, Henan, China)

Abstract: Chia seed, inulin and xylitol were chosen as raw materials, to develop a new type of jelly with higher dietary fiber and lower sugar. First, the best ratio of compound gel was determined by single factor tests and gel properties evaluation indicators; then best jelly formula of the jelly was determined by orthogonal tests based on fuzzy mathematical evaluation method. The experimental results indicated that: when the proportion of the amorphophallus, sodium alginate and inulin were at 5:5:1, the quality of the gel was best. The quality of the jelly was in the best state when 1.25% of chia seed, 8.00% of xylitol, 1.25% of compound glue, 0.03% of citric acid were added. The product under this condition presented the best quality, transparent, friendly sweet and sour, and with crystal chia seed appearance, fine particle and super elastic texture. The product had higher fiber content and lower sugar content, which was with health care function of preventing obesity, moisten the intestine and relieve constipation, and not raise blood sugar level.

Key words: chia seed; inulin; high fiber; low sugar; jelly

引文格式:

段秋虹, 郭楠楠, 马荣琨, 等. 模糊数学评价法优化奇亚籽菊粉高纤低糖果冻配方研究 [J]. 食品研究与开发, 2021, 42 (19): 155-162.

DUAN Qiu-hong, GUO Nannan, MA Rongkun, et al. Study on High-fiber and Low-sugar Jelly of Chia Seed and Inulin Based on Fuzzy Mathematical Evaluation Method [J]. Food Research and Development, 2021, 42 (19): 155-162.

奇亚籽原产于墨西哥和危地马拉, 是莢欧鼠尾草的种子, 已有五千多年的食用历史。奇亚籽含有多种营养成分如蛋白质、脂肪、膳食纤维、不饱和脂肪酸、矿物质、V_C、V_E、黄酮类、多酚类物质等, 其中的膳食纤维含量可达 34.40 g/100 g, 分别是小麦、燕麦、玉米和稻

米中膳食纤维的 2.3、2.6、8.3、9.8 倍, 其中可溶性膳食纤维占 31%。近些年研究表明, 奇亚籽具有缓解便秘、抗氧化、改善血脂代谢等功能^[1-3]。2014 年, 奇亚籽被我国正式批准为新食品原料。奇亚籽被很多国家应用在饮料、西点、果酱等方面, 但是在国内的使用还不普

作者简介: 段秋虹 (1984—), 女 (汉), 副教授, 高级工程师, 硕士研究生, 研究方向: 功能性食品研究与开发。

遍^[4-5]。菊粉又称菊糖,是一种由D-果糖通过β糖苷键连结而成的线性直链多糖,能使双歧杆菌增殖,抑制腐败菌的生长,润肠通便;还能够促进钙、镁、铁等矿物质吸收,调节体内的血脂和血糖的水平等^[6-7]。在水中菊粉的黏度会随着浓度变化而变化,形成一种胶态物质,口感细腻丝滑,可作为制作功能性果冻的良好原料^[8]。

果冻口感弹韧细腻,滋味酸甜,作为我国休闲零食的重要组成部分,其花色品种正在不断更新。传统果冻主要着眼于口感和外观品质的提升,本文拟采用模糊数学评价法,开发出一款高纤、低糖、低热值的功能性果冻,力求适应年轻一代人群的食用需求。

1 材料与amp;方法

1.1 材料与amp;试剂

试验使用原料及试剂见表1。

1.2 仪器与amp;设备

试验使用仪器见表2。

魔芋粉、海藻酸钠、菊粉混合、溶解→煮胶→消泡→调配→包装→杀菌→冷却→检验→成品
↑
奇亚籽溶液、木糖醇、柠檬酸

1.3.2 产品制作工艺要点

1.3.2.1 溶胶及amp;煮胶

将魔芋粉、海藻酸钠和菊粉按照一定质量比(7:3:1、6:4:1、5:5:1、4:6:1)混合均匀,缓慢倒入热水中,边溶解边搅拌,溶解2 min后,置于电磁炉加热,边加热边搅拌至沸腾,保持2 min左右,通过80目筛过滤气泡及杂质,降温消泡。

1.3.2.2 调配、amp;搅拌

待复合胶液冷却至60℃左右,添加木糖醇溶液,充分搅拌均匀后,再加入奇亚籽与水(质量比)为1:15的奇亚籽溶液,缓慢搅拌约5 min后,让其均匀分布,冷却至35℃左右加入柠檬酸溶液,继续搅拌至混合均匀。

1.3.2.3 灭菌

将上述混合物置于不锈钢容器中,覆保鲜膜(膜用竹签扎眼透气),置于蒸锅中蒸2 min,然后倒入保鲜盒常温(20℃)水浴降温,之后放入6℃左右的冰箱里成型,即为成品。

1.3.3 产品质量评价

1.3.3.1 凝胶质量评价

果冻的凝胶质量主要取决于胶体的配比。本试验采用的胶体是魔芋胶、海藻酸钠和菊粉^[9]。凝胶评价指标测定如下。

凝胶析水率的测定^[13]:凝胶灌装后放至常温(25℃

表1 试验使用原料及amp;试剂

Table 1 Raw material and reagent used in the test

材料名称	级别	生产厂家
奇亚籽	食品级	亳州华圣生物有限公司
魔芋粉	食品级	河南万邦实业有限公司
海藻酸钠	食品级	河南万邦实业有限公司
菊粉	食品级	河南万邦实业有限公司
木糖醇	食品级	河南佰荣生物科技有限公司
柠檬酸	食品级	河南万邦实业有限公司

表2 试验使用仪器

Table 2 Instrument used in the test

仪器名称	产品型号	生产厂家
电磁炉	SP-22A	中山市苏泊尔小家电有限公司
温度计	TP677	温州米特尔智能科技有限公司
冰箱	BCD-156HD	河南香雪海家电科技有限公司
电子秤	1-2000	武义县睿智贸易有限公司

1.3 产品制作工艺

1.3.1 产品制作工艺

产品制作工艺如下^[9-12]。

左右),测定总质量,常温(25℃左右)下保存7 d,小心取出后用吸水纸轻轻吸干表面水分,测定析水率。

$$\text{析水率}/\%=(m_1-m_2)/(m_1-m_3)\times 100$$

式中: m_1 为初始样品与果冻盒子的总质量,g; m_2 为凝胶析水后的质量,g; m_3 为盒子质量,g。

凝胶口感品质的测定见表3。

表3 凝胶口感品质的评价项目

Table 3 Evaluation on the taste quality of gel

项目	评分标准	评分
弹性	Q弹有力,弹性很好	7~10
	弹性一般,按压回弹性较好	4~6
	弹性差,绵软无力	≤3
韧性	韧性较好,按压不易破损	7~10
	韧性一般,按压易破裂	4~6
	韧性差,按压易碎	≤3

凝胶外观品质评价见表4。

表4 凝胶外观品质评价

Table 4 Evaluation on the appearance quality of gel

外观项目	评分标准	评分
透明度	透明或较透明	7~10
	半透明	4~6
	几乎不透光	≤3
色泽	无色透明	7~10
	浅黄或浅白	4~6
	明显黄色或者其它颜色	≤3

续表4 凝胶外观品质评价

Continue table 4 Evaluation on the appearance quality of gel

外观项目	评分标准	评分
光滑度	光滑,细腻	7~10
	有微小气泡或颗粒	4~6
	凹凸不平,有明显颗粒或气泡	≤3

1.3.3.2 果冻质量评价

将做好的果冻产品分别给10个食品专业研究生

进行品尝,从色泽(15%)、外形与结构(25%),香气(25%),滋味(35%)4个方面进行评分。感官评分标准见表5^[14-15]。

1.4 试验设计

1.4.1 单因素试验设计

基础配方:以100g果冻计,奇亚籽溶液添加量1.25%、复合胶添加量1.00%、木糖醇添加量8.00%、柠檬酸添加量0.04%。以100g果冻质量计,分别添加

表5 奇亚籽高纤低糖果冻的感官评价标准

Table 5 Sensory evaluation standard for chia seed high-fiber and low-sugar jelly

项目	权重	评分标准			
		优	良	中	差
色泽	15%	无色或淡黄色,奇亚籽颗粒分布均匀,透明度较好	浅黄或黄色,奇亚籽颗粒分布均匀,半透明度一般	棕褐色,半透明,奇亚籽分布不均	棕褐色分布不均匀,果冻体有分层,奇亚籽分布不均,透明度差
外形与结构	25%	结构紧密,质地均匀,无杂质无裂痕无气泡	结构紧密,质地不够均匀,有少量杂质或气泡、无裂痕	结构紧密,质地不均匀,有较多杂质和气泡、无裂痕	结构疏松,质地不均匀,杂质明显,有明显裂痕,气泡显著
香气	25%	清新,有果冻淡淡的甜香,有奇亚籽的特殊香气	清新,有果冻淡淡的甜香,无异味	无香味,无异味	有异味,无果冻特征香气
滋味	35%	酸甜可口,有奇亚籽颗粒的Q弹口感	酸甜基本适口,有奇亚籽颗粒的Q弹口感	过酸或过甜,有奇亚籽颗粒的Q弹口感	只有酸或只有甜,奇亚籽颗粒感不足或过重
总分		100分			

0.75%、1.00%、1.25%、1.50%、1.75%的奇亚籽溶液,0.50%、0.75%、1.00%、1.25%、1.50%的复合胶,4.00%、6.00%、8.00%、10.00%、12.00%的木糖醇,0.02%、0.03%、0.04%、0.05%、0.06%的柠檬酸,探究不同单因素对奇亚籽高纤低糖果冻品质的影响。

1.4.2 正交试验设计

通过单因素试验,从4个因素中选择较好的水平,做四因素三水平正交试验,基于模糊数学评价来确定最终感官评分,得到奇亚籽高纤低糖果冻的最优配方。因素水平见表6。

表6 奇亚籽高纤低糖果冻正交试验因素水平

Table 6 Factors and levels for orthogonal test on chia seed high-fiber and low sugar jelly

水平	A 奇亚籽溶液添加量/%	B 木糖醇添加量/%	C 复合胶添加量/%	D 柠檬酸添加量/%
1	1.00	6.00	0.75	0.03
2	1.25	8.00	1.00	0.04
3	1.50	10.00	1.25	0.05

1.5 果冻产品感官评分的模糊数学模型的建立

1.5.1 评价因素集及因素权重的建立

评价因素集是指产品的感官质量的构成因素集合。根据果冻产品的品质特点,确定其评价因素集分别为色泽(U_1)、外形与结构(U_2)、香气(U_3)、滋味

(U_4),得到的评价因素集 $U=(U_1, U_2, U_3, U_4)$ 。评价因素权重即用鉴别果冻品质的4个因素占总体感官评价的百分数来表示评价结果。即色泽15%、外形与结构25%、香气25%、滋味35%,各项指标的权重域为 $X=(X_1, X_2, X_3, X_4)$ ^[16-18]。

1.5.2 评价得分集的建立

评价得分集是对果冻产品的品质等级进行划分后的每个等级的分值。优良中差所对应分值是90、80、70、60。用 V 表示, $V=(V_1, V_2, V_3, V_4)$ 。

1.5.3 模糊关系综合评价集的计算

选定专业品评人员10人,对各产品的色泽、外形与结构、香气、滋味进行评价,并给出各项目等级。统计各产品各项目的等级获得的票数除以总人数10,即得到矩阵 R 。随后将权重集 X 与矩阵 R 相乘即 $Y=X \times R$,得到模糊关系评价集,依次类推,第 i 组试验就是 $Y_i=X \times R_i$ 。最后,引入综合评分模糊关系评价集 T ,用评价等级的得分集 V 乘以模糊关系评价集 Y ,得到果冻的模糊关系综合评分 $T=Y_i \times V$ 。

1.6 产品质量评价

1.6.1 产品理化指标评价

产品可溶性固形物含量按照GB/T 10786—2006《罐头食品的检验方法》进行检测,产品可溶性膳食纤维含量按照GB 5009.88—2014《食品安全国家标准食品中膳食纤维的测定》中可溶性膳食纤维含量测定进

行检测。

1.6.2 产品微生物指标评价

产品菌落总数检测参照 GB 4789.2—2016《食品安全国家标准 食品微生物学检验 菌落总数测定》进行检测;大肠菌群检测参照 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》中最可能数(most probable number, MPN)计数法进行检测;霉菌检测参照 GB 4789.15—2016《食品安全国家标准 食品微生物学 检验霉菌和酵母计数》进行检测。

2 结果与分析

2.1 复合胶体配比对果冻凝胶质量的影响

胶体的使用对于果冻品质的影响至关重要。魔芋多糖、菊粉等多糖胶含有丰富的膳食纤维,具有调节人体血糖、降低胆固醇、吸附人体有害物质、促进胃肠动力及有益菌繁殖等功效。

2.1.1 复合胶配比对果冻凝胶析水率和质构品质的影响

复合胶配比对果冻凝胶析水率和质构品质的影响见表7。

表7 复合胶配比对果冻凝胶析水率和口感品质的影响

Table 7 Effect of gel ratio to water release rate and taste quality on jelly

魔芋多糖:海藻酸钠:菊粉(质量比)	析水率/%	弹性/分	韧性/分
7:3:1	1.91	4	5
6:4:1	1.57	4	5
5:5:1	1.36	7	6
4:6:1	1.68	8	7

由表7可知,当菊粉的比例确定,魔芋多糖:海藻酸钠为7:3时,析水率高,弹性和韧性较差,当二者之间比例接近时,凝胶析水率低,质构特性较好。

2.1.2 复合胶体配比对果冻凝胶外观的影响

复合胶体配比对果冻凝胶外观的影响见表8。

表8 复合胶体配比对果冻凝胶外观的影响

Table 8 Effect of gel ratio to appearance quality on jelly

魔芋多糖:海藻酸钠:菊粉(质量比)	颜色/分	透明度/分	光滑度/分
7:3:1	7	7	7
6:4:1	7	8	7
5:5:1	6	8	7
4:6:1	6	8	6

由表8可知,当菊粉的比例确定,变换魔芋多糖:海藻酸钠的比例时,外观评分相差不大,综合表7、表8的数据,选择魔芋多糖:海藻酸钠:菊粉为5:5:1。

2.2 奇亚籽高纤低糖果冻的研制单因素试验结果

2.2.1 奇亚籽溶液的添加量对果冻品质的影响

奇亚籽溶液添加量对果冻品质的影响见图1。

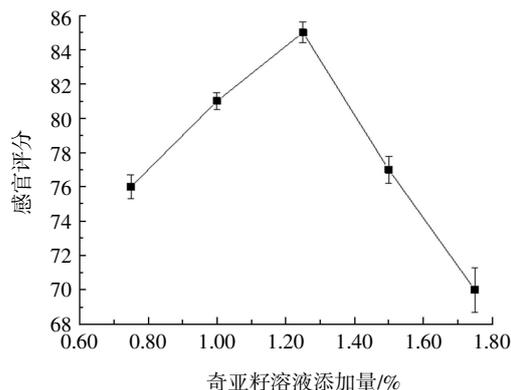


图1 奇亚籽溶液添加量对果冻品质的影响

Fig.1 Effect of chia seed addition amount on jelly quality

从图1可知,随着奇亚籽溶液添加量的增加,感官评分出现先升高后降低的现象。在试验当中发现,奇亚籽吸水后胀润晶莹,有弹性,适合做果冻配料。当奇亚籽溶液添加量在0.75%~1.25%时,能够看到奇亚籽均匀嵌入果冻,外观平滑紧实,有奇亚籽的颗粒口感。当奇亚籽溶液的添加量太少时,效果不明显;当添加量过多时,奇亚籽分布过于致密,影响外观品质,颗粒口感过于密集,影响了果冻整体效果。由图1可知,奇亚籽溶液添加量在1.25%时,感官评分最高。因此选择1.25%进行后续试验。

2.2.2 木糖醇添加量对果冻品质的影响

木糖醇添加量对果冻品质的影响见图2。

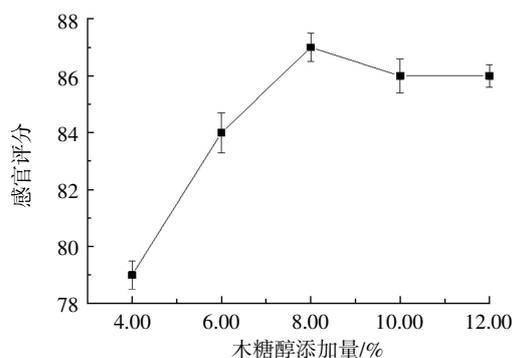


图2 木糖醇添加量对果冻产品品质的影响

Fig.2 Effect of xylitol addition amount on jelly quality

从图2可以看出,随着木糖醇添加量增加,感官评分出现先升高后趋于平稳的趋势。当木糖醇添加量较少时,果冻吃起来过酸,口感差,组织状态松软欠佳,当木糖醇添加量逐渐增加,甜味逐渐上升,组织也有所改善。可能因为木糖醇的醇羟基对水分子有微弱的吸附作用,可以一定程度上改善产品组织状态^[9]。当木糖醇添加量为8.00%时,感官评分最高。随着木糖醇添加量进一步增加,产品甜度增加,对感官改善贡献并不

大。并且木糖醇成本较高,不宜添加过多。

2.2.3 复合胶添加量对果冻品质的影响

复合胶添加量对果冻品质的影响见图3。

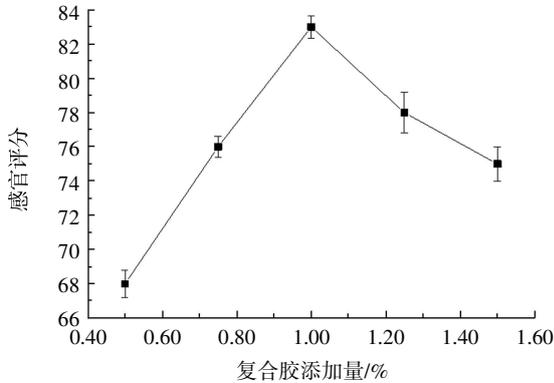


图3 复合胶添加量对果冻产品品质的影响

Fig.3 Effect of compound gel addition amount on jelly quality

从图3可知,当复合胶添加量在0.5%时,评分较低,口感软烂,出现塌陷、质地不均匀的现象;随着复合胶添加量的增加,感官评分先急剧上升,后出现逐渐下降的趋势。分析是因为复合胶添加量影响了产品凝胶网状结构的形成,添加量过少,凝胶形成不充分,果冻质地较差;添加过多时,凝胶网络过于致密,果冻硬度增加,弹性过高。由图2可知当复合胶添加量为1.00%时,感官评分最高。

2.2.4 柠檬酸添加量对果冻品质的影响

柠檬酸添加量对果冻品质的影响见图4。

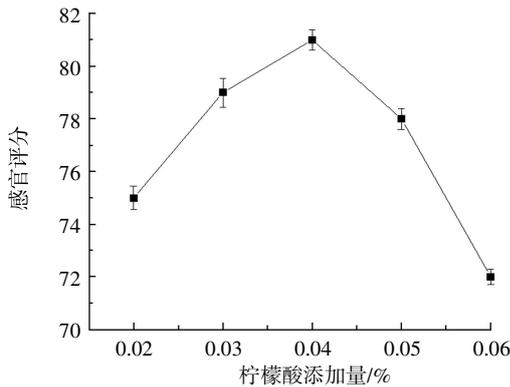


图4 柠檬酸添加量对果冻产品品质的影响

Fig.4 Effect of citric acid addition amount on jelly quality

从图4可以得出,随着柠檬酸添加量的增加,感官评分出现先升高后降低的趋势;当柠檬酸过少时,果冻甜味突出,口感缺乏层次性。当柠檬酸过多,酸味过于明显,且果冻质地发软,口感品质下降。可能是因为柠檬酸对多糖体系凝胶有一定的水解作用,添加量过多导致果冻凝胶韧性不足^[20]。由图4可知,当柠檬酸添加量为0.04%时,感官评分最高。

2.3 奇亚籽高纤低糖果冻研制的正交试验及模糊感官评价结果

通过单因素试验得出奇亚籽溶液添加量、木糖醇添加量、复合胶添加量、柠檬酸添加量对产品品质影响的趋势。选择各因素中较为优异的水平,做四因素三水平正交试验来确定奇亚籽高纤低糖果冻的最优配方。

2.3.1 模糊感官评定及模糊矩阵建立

选择10名有经验的专业人士对所设计的9组试验成品一一进行评价,评价结果见表9。表9中每一个数字代表给出这个评价等级的人数。

表9 模糊感官评价矩阵

Table 9 Fuzzy sensory evaluation matrix

批次	色泽				外形与结构				香气				滋味			
	优	良	中	差	优	良	中	差	优	良	中	差	优	良	中	差
1	1	3	5	1	1	3	4	2	0	2	4	4	3	2	3	2
2	4	3	2	1	3	5	1	1	2	5	2	1	3	4	3	0
3	2	2	5	1	3	3	2	2	0	5	2	3	1	6	2	1
4	2	6	1	1	6	2	2	0	5	4	0	1	4	5	1	0
5	5	3	0	2	4	2	3	1	7	1	1	1	6	3	1	0
6	6	3	0	1	2	5	3	0	3	4	1	2	3	7	0	0
7	4	5	1	0	3	3	3	1	0	4	3	3	1	5	2	2
8	2	3	5	0	3	2	3	2	1	4	4	1	3	1	4	2
9	2	5	2	1	3	3	2	2	4	2	4	0	2	5	2	1

由表9,按照评分人数对试验成品的优良中差所占的比例,也就是每个因素获得优的人与总人数相除,良、中、差依次类推,得到1~9试验成品的模糊矩阵。

$$\begin{aligned}
 R_1 &= \begin{bmatrix} 0.1 & 0.3 & 0.5 & 0.1 \\ 0.1 & 0.3 & 0.4 & 0.2 \\ 0 & 0.2 & 0.4 & 0.4 \\ 0.3 & 0.2 & 0.3 & 0.2 \end{bmatrix} & R_2 &= \begin{bmatrix} 0.4 & 0.3 & 0.2 & 0.1 \\ 0.3 & 0.5 & 0.1 & 0.1 \\ 0.2 & 0.5 & 0.2 & 0.1 \\ 0.3 & 0.4 & 0.3 & 0 \end{bmatrix} \\
 R_3 &= \begin{bmatrix} 0.2 & 0.2 & 0.5 & 0.1 \\ 0.3 & 0.3 & 0.2 & 0.2 \\ 0 & 0.5 & 0.2 & 0.3 \\ 0.1 & 0.6 & 0.2 & 0.1 \end{bmatrix} & R_4 &= \begin{bmatrix} 0.2 & 0.6 & 0.1 & 0.1 \\ 0.6 & 0.2 & 0.2 & 0 \\ 0.5 & 0.4 & 0 & 0.1 \\ 0.4 & 0.5 & 0.1 & 0 \end{bmatrix} \\
 R_5 &= \begin{bmatrix} 0.6 & 0.3 & 0.1 & 0 \\ 0.5 & 0.2 & 0.2 & 0.1 \\ 0.7 & 0.1 & 0.1 & 0.1 \\ 0.6 & 0.3 & 0.1 & 0 \end{bmatrix} & R_6 &= \begin{bmatrix} 0.6 & 0.3 & 0 & 0.1 \\ 0.2 & 0.5 & 0.3 & 0 \\ 0.3 & 0.4 & 0.1 & 0.2 \\ 0.3 & 0.7 & 0 & 0 \end{bmatrix} \\
 R_7 &= \begin{bmatrix} 0.4 & 0.5 & 0.1 & 0 \\ 0.3 & 0.3 & 0.3 & 0.1 \\ 0 & 0.4 & 0.3 & 0.3 \\ 0.1 & 0.5 & 0.2 & 0.2 \end{bmatrix} & R_8 &= \begin{bmatrix} 0.2 & 0.3 & 0.5 & 0 \\ 0.3 & 0.2 & 0.3 & 0.2 \\ 0.1 & 0.4 & 0.4 & 0.1 \\ 0.3 & 0.1 & 0.4 & 0.2 \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

$$R_9 = \begin{bmatrix} 0.2 & 0.5 & 0.2 & 0.1 \\ 0.3 & 0.3 & 0.2 & 0.2 \\ 0.4 & 0.2 & 0.4 & 0 \\ 0.2 & 0.5 & 0.2 & 0.1 \end{bmatrix}$$

由权重集 X 和 1~9 组试验成品的因素评价矩阵, 利用 $Y=X \times R$ 可得每组模糊关系评价集, 即

$$Y_1 = X \times R_1 = [0.15, 0.25, 0.25, 0.35] \times \begin{bmatrix} 0.1 & 0.3 & 0.5 & 0.1 \\ 0.1 & 0.3 & 0.4 & 0.2 \\ 0 & 0.2 & 0.4 & 0.4 \\ 0.3 & 0.2 & 0.3 & 0.2 \end{bmatrix} = [0.145, 0.24, 0.38, 0.235]$$

随后的 8 组依次类推, 可知 1~9 组试验的模糊关系评价集如下。

$Y_1 = [0.145, 0.24, 0.38, 0.235]; Y_2 = [0.29, 0.435, 0.21, 0.065]; Y_3 = [0.14, 0.44, 0.245, 0.175]; Y_4 = [0.445, 0.415, 0.1, 0.04]; Y_5 = [0.6, 0.225, 0.125, 0.05]; Y_6 = [0.32, 0.515, 0.1, 0.065]; Y_7 = [0.17, 0.425, 0.235, 0.17]; Y_8 = [0.235, 0.23, 0.39, 0.145]; Y_9 = [0.275, 0.375, 0.25, 0.1]$ 。根据评价得分集可知优良中差分别被赋值于 90、80、70、60, 将得到的模糊关系评价结果与被赋值等级的分数相乘, 即 $T_1 = Y_1 \times V = [0.145, 0.24, 0.38, 0.235] \times [90, 80, 70, 60] = 72.95$ 。依次类推, 1~9 组试验成品一一计算, 得到最终模糊关系评价结果 T 。

2.3.2 正交试验结果

在奇亚籽添加量、木糖醇添加量、复合胶添加量、柠檬酸添加量 4 个因素中, 各选取 3 个较优水平进行正交试验, 以确定最佳配方, 正交试验因素水平见表 10。

表 10 正交试验结果分析
Table 10 Analysis of orthogonal test results

序号	A 奇亚籽溶液添加量	B 木糖醇添加量	C 复合胶添加量	D 柠檬酸添加量	感官评分
1	1	1	1	1	72.95
2	1	2	2	2	79.50
3	1	3	3	3	75.45
4	2	1	2	3	82.65
5	2	2	3	1	83.75
6	2	3	1	2	80.90
7	3	1	3	2	75.95
8	3	2	1	3	75.55
9	3	3	2	1	78.25
K_1	227.90	231.55	229.40	234.95	
K_2	247.30	238.80	240.40	236.35	
K_3	229.75	234.60	235.15	233.65	
k_1	75.97	77.18	76.47	78.32	
k_2	82.43	79.60	80.13	78.78	
k_3	76.58	78.20	78.38	77.88	
R	6.46	2.42	3.66	0.90	
因素主次	A>C>B>D				
最优方案	A ₂ B ₂ C ₂ D ₂				

最终模糊关系评价结果 T 在表 10 感官评分一栏。从表 10 极差分析可知, 在产品制作过程中, 影响果冻品质的因素主次顺序为 A (奇亚籽溶液添加量)>C (复合胶添加量)>B (木糖醇添加量)>D (柠檬酸添加量), 即奇亚籽溶液的添加量影响最大, 柠檬酸添加量影响最小, 正交试验 k 值最优方案为 A₂B₂C₂D₂。同时由表 10 可得出, 正交试验最优方案为 A₂B₂C₃D₁。

将正交试验 k 值最优方案与试验最优方案放在一起进行验证性试验, 结果见表 11。

表 11 验证试验结果
Table 11 Validation test results

配方组合	评分
A ₂ B ₂ C ₂ D ₂	82
A ₂ B ₂ C ₃ D ₁	88

由表 11 可知, 理论配方 A₂B₂C₂D₂ 评分为 82, 低于 A₂B₂C₃D₁ 的 88 分, A₂B₂C₃D₁ 为最终最优配方。即奇亚籽溶液添加量 1.25%, 木糖醇添加量 8.00%, 复合胶添加量 1.25%, 柠檬酸添加量 0.03%, 产品品质最好。

2.4 产品卫生指标测定

产品的微生物检验结果见表 12, 产品微生物指标检测符合国标规定。

表 12 产品的微生物检验结果
Table 12 Result of microbial test

项目	CFU/g			
	菌落总数	大肠菌群	霉菌计数	酵母计数
产品检验结果	16	0	0	10
国标	≤100	≤10	≤20	≤20

2.5 产品理化指标测定

产品理化检测指标检测结果如表 13, 可溶性还原糖含量和可溶性膳食纤维含量明显高于市售同类商品。

表 13 产品的理化性质检验结果
Table 13 Result of physicochemical property test

项目	可溶性还原糖含量/(g/100 g)	可溶性膳食纤维含量/(g/100 g)
奇亚籽菊粉高纤低糖果冻	5.9	11.6
市售果汁果冻	10.6	3.5

3 结论

果冻本身口感独特, 滋味酸甜, 在大健康时代背景下, 作为重要的日常休闲食品, 其营养保健功能并未得到有效开发。菊粉为黏性多糖, 属于膳食纤维, 能够增强肠道有益菌群, 且溶于水后形成胶态物质, 适合作为果冻的原料。本文将其与魔芋胶、海藻酸钠等常用胶体以 1:5:5 比例复配, 得到了良好的果冻凝胶品

质。奇亚籽富含膳食纤维,本身无异味,其皮质部分含有的多糖具有高持水性,奇亚籽复水后籽粒涨润饱满,适合在果冻中添加。同时采用木糖醇替代蔗糖,降低产品热值,基于模糊数学评价法完成正交试验,研制出奇亚籽高纤低糖果冻的最优工艺配方:以100g果冻为基准,奇亚籽添加量1.25%,木糖醇添加量为8.00%,复合胶添加量1.25%,柠檬酸添加量0.03%。该配方得到的成品表面光滑无气泡无杂质,结构紧密,奇亚籽均匀分布、透明度好、口感细腻爽滑、弹性好,酸甜可口,有奇亚籽的清新风味和Q弹的颗粒感。同时,产品具有较高的膳食纤维含量和较低的含糖量,具备防止肥胖,润肠通便,美味同时不升高血糖的营养保健功能。

参考文献:

- [1] 韩凯,李欣阳,赵相宇,等.奇亚籽营养成分分析及其饮料工艺优化[J].食品工业科技,2019,40(12):163-170,177.
HAN Kai, LI Xinyang, ZHAO Xiangyu, et al. Analysis of nutritional components of chia seeds and its optimization of beverage process[J]. Science and Technology of Food Industry, 2019, 40(12): 163-170, 177.
- [2] 刘婷婷,赵文婷,刘鸿铖,等.奇亚籽皮多糖对乳液聚集稳定性的影响[J].食品科学,2020,41(10):29-37.
LIU Tingting, ZHAO Wenting, LIU Hongcheng, et al. Effect of chia seed peel polysaccharide on aggregate stability of emulsions[J]. Food Science, 2020, 41(10): 29-37.
- [3] ULLAH R, NADEEM M, KHALIQUE A, et al. Nutritional and therapeutic perspectives of Chia (*Salvia hispanica* L.): A review[J]. Journal of Food Science and Technology, 2016, 53(4): 1750-1758.
- [4] IX TAINA V Y, NOLÁSCO S M, TOMÁS M C. Physical properties of chia (*Salvia hispanica* L.) seeds[J]. Industrial Crops and Products, 2008, 28(3): 286-293.
- [5] MARINELLI R D S, LENQUISTE S A, MORAES É A, et al. Antioxidant potential of dietary chia seed and oil (*Salvia hispanica* L.) in diet-induced obese rats[J]. Food Research International, 2015, 76: 666-674.
- [6] 罗登林,赵影,徐宝成,等.天然菊粉对面团发酵流变学和面包品质的影响[J].食品科学,2018,39(6):26-31.
LUO Denglin, ZHAO Ying, XU Baocheng, et al. Effect of natural inulin on dough rheological properties and bread quality[J]. Food Science, 2018, 39(6): 26-31.
- [7] 马越,苑函,陈红梅.苦荞-菊粉降糖饼干配方的研究[J].食品科技,2010,35(10):192-194.
MA Yue, YUAN Han, CHEN Hongmei. Research on the prescription of buckwheat-inulin blood-sugar lowering biscuits[J]. Food Science and Technology, 2010, 35(10): 192-194.
- [8] 罗登林,姚金格,徐宝成,等.不同聚合度菊粉的吸附特性[J].食品科学,2017,38(1):67-73.
LUO Denglin, YAO Jingge, XU Baocheng, et al. Absorption characteristic of inulins with different polymerization degrees[J]. Food Science, 2017, 38(1): 67-73.
- [9] 李丽,王洪斌,张泽英,等.菱角保健果冻的研制[J].食品研究与开发,2017,38(6):104-107.
LI Li, WANG Hongbin, ZHANG Zeying, et al. The development of water chestnut jelly[J]. Food Research and Development, 2017, 38(6): 104-107.
- [10] 胡永正,沈秋霞,文晓慧,等.红茶菌发酵液结合斑鸠占叶汁制作果冻的工艺优化[J].食品科技,2020,45(1):140-145.
HU Yongzheng, SHEN Qiuxia, WEN Xiaohui, et al. Process optimization of jelly with fermentation broth of kombucha and *Premna microphylla* Turcz[J]. Food Science and Technology, 2020, 45(1): 140-145.
- [11] 谢宇希,邵楚瑶,王婷,等.绿豆淀粉果冻的加工工艺研究[J].食品工业科技,2019,40(7):150-154,160.
XIE Yuxi, SHAO Chuyao, WANG Ting, et al. Study on processing technology of jelly containing mung bean starch[J]. Science and Technology of Food Industry, 2019, 40(7): 150-154, 160.
- [12] 苗丁月,于基成,常蓬月,等.菊花茶果冻制作工艺优化[J].食品工业科技,2018,39(4):150-153,165.
MIAO Dingyue, YU Jicheng, CHANG Pengyue, et al. Optimization of the production process of inulin scented tea jelly[J]. Science and Technology of Food Industry, 2018, 39(4): 150-153, 165.
- [13] 田华,黄珍.保健果冻研究现状与展望[J].食品研究与开发,2019,40(4):215-219.
TIAN Hua, HUANG Zhen. Research progress and future prospect of health jelly[J]. Food Research and Development, 2019, 40(4): 215-219.
- [14] 扶扶权,王海鸥,陈守江,等.木瓜营养保健果冻的研制[J].食品研究与开发,2017,38(14):104-107.
FU Qingquan, WANG Haiou, CHEN Shoujiang, et al. The development of nutritional and healthcare jelly with *Papaya*[J]. Food Research and Development, 2017, 38(14): 104-107.
- [15] 顾仁勇,罗莉萍,李杭.葛粉保健果冻生产工艺研究[J].食品科学,2010,31(18):457-460.
GU Renyong, LUO Liping, LI Hang. Technological processing of health jelly using kudzu powder[J]. Food Science, 2010, 31(18): 457-460.
- [16] 何玲玲,倪团结,黄雪凤.基于模糊数学综合评价法研发百香果果冻的研究[J].食品研究与开发,2019,40(22):132-137.
HE Lingling, NI Tuanjie, HUANG Xuefeng. Optimization of passion fruit jelly based on fuzzy mathematics comprehensive evaluation[J]. Food Research and Development, 2019, 40(22): 132-137.
- [17] 傅志丰,张晓荣,周鹤,等.模糊数学感官评价法优化猕猴桃糕制作配方[J].食品工业科技,2020,41(19):212-218,351.
FU Zhifeng, ZHANG Xiaorong, ZHOU He, et al. Optimization of processing formula of kiwifruit cake by fuzzy mathematical sensory evaluation[J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(19): 212-218, 351.
- [18] 李想,宋弘扬,赵存朝,等.一种特色百香果果冻产品的研制[J].

食品工业科技, 2021, 42(6): 159-165.

LI Xiang, SONG Hongyang, ZHAO Cunchao, et al. Development of a special passion fruit jelly product[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(6): 159-165.

[19] 贾彦杰, 申飞, 钱志伟, 等. 添加杂粮粉改善面包品质及营养特性分析[J]. 现代食品科技, 2020, 36(12): 204-212.

JIA Yanjie, SHEN Fei, QIAN Zhiwei, et al. Analysis on improving bread quality and nutritional characteristics by adding coarse grain powder[J]. Modern Food Science and Technology, 2020, 36(12):

204-212.

[20] 刘俊山, 李清华, 朱丹实, 等. 柠檬酸及单糖复合钾离子对大豆种皮多糖凝胶性质的影响[J]. 食品科学, 2015, 36(1): 27-30.

LIU Junshan, LI Qinghua, ZHU Danshi, et al. Combined influence of citric acid, monosaccharide and potassium ion on properties of soybean pectin gel[J]. Food Science, 2015, 36(1): 27-30.

加工编辑:冯娜

收稿日期:2021-05-06