

# 模糊评价结合响应面实验 优化黑蒜软糖配方

胡虹敏<sup>1</sup>, 张民<sup>1,\*</sup>, 李鑫<sup>1</sup>, 徐锦令<sup>1</sup>, 张黎明<sup>2</sup>, 兰玲<sup>2</sup>  
(1.天津科技大学食品工程与生物技术学院,天津 300457;  
2.徐州黎明食品有限公司,江苏徐州 221000)

**摘要:**本研究以黑蒜为主要原料,在单因素实验的基础上,对黑蒜软糖配方进行4因素3水平的响应面实验设计,并结合模糊数学综合评判对软糖进行感官评价,以确定软糖的最佳配方。实验结果表明:模糊数学综合评判可以客观而准确地对黑蒜软糖感官质量进行综合评判。经优化后的黑蒜软糖的最佳配方为:糖溶液添加量、黑蒜匀浆添加量、卡拉胶添加量、柠檬酸添加量的配比为55.37:18.36:1.92:0.57(质量比)在此条件下制得的软糖色泽光亮、口感独特、具有黑蒜特有的风味。

**关键词:**模糊数学综合评判,黑蒜软糖,响应面

## Application of fuzzy evaluation combined with response surface test in the formulation optimization of black garlic gelatinous candy

HU Hong-min<sup>1</sup>, ZHANG Min<sup>1,\*</sup>, LI Xin<sup>1</sup>, XU Jin-ling<sup>1</sup>, ZHANG Li-ming<sup>2</sup>, LAN Ling<sup>2</sup>

(1.College of Food Engineering and Biotechnology, Tianjin University of Science & Technology, Tianjin 300457, China;  
2.Xuzhou Liming Food Co.Ltd, Xuzhou 221000, China)

**Abstract:** The purpose of this paper was to prepare a new kind of soft candy with black garlic as the raw material. The four factors and three levels of response surface experiment was designed on the basis of single factor experiment, which combined with fuzzy comprehensive evaluation to determine the best formula. The experimental results showed that: fuzzy comprehensive evaluation can objectively and accurately judge the sensory quality of black garlic soft candy. The optimized process parameters for soft candy was as follows: the content ratio of sugar solution, black garlic pulp, carrageenan, citric acid was 55.37:18.36:1.92:0.57. The soft candy was of bright color, unique taste attractive and black garlic flavor.

**Key words:** fuzzy mathematics comprehensive evaluation; black garlic gelatinous candy; response surface

中图分类号: TS246.5

文献标识码: B

文章编号: 1002-0306(2015)05-0258-06

doi:10.13386/j.issn1002-0306.2015.05.046

黑蒜又名黑大蒜、发酵黑蒜,是用新鲜的生蒜,带皮放在高温高湿的环境里发酵60~90d,让其自然发酵制成的食品<sup>[1]</sup>。黑蒜的含糖量是鲜蒜的5倍,蛋白质含量是鲜蒜的2倍,而脂肪含量是鲜蒜的二分之一<sup>[2]</sup>,微量元素同大蒜相比也有明显的提高,这都对维持人体生命活动具有重要意义<sup>[3]</sup>。它首先由日本发明,近年来传入中国。因其在保健等领域内占有越来越重要的地位,引起人们的普遍关注。经国内外研究发现黑蒜具有抗肿瘤<sup>[4]</sup>、抗氧化<sup>[5]</sup>、提高免疫力<sup>[6]</sup>等作用。但是,目前黑蒜的市场占有率并不是太高,很多人还不了解黑蒜,而且黑蒜的价格相对来说也比较高。以黑蒜为主要原料研制软糖,不仅成本较低,而且口感独特、风味诱人,易于消化吸收。

在充分利用原料和保存黑蒜丰富营养的同时,提高黑蒜的附加值,丰富黑蒜制品的种类,使黑蒜更加广泛地普及到人们的日常生活中。

在黑蒜软糖开发研制过程中,感官质量评价控制至关重要,因感官评价依赖各种感官特征,结构复杂,使结果难于准确表达<sup>[7]</sup>。模糊数学综合评判法由于考虑了各项指标权重差异以及应用模糊关系综合评判,克服了感官评价的主观性和片面性,使评定结果更趋于合理性。本实验以黑蒜为主要原料,采用响应面分析法和模糊数学综合评价法确定软糖的最佳配方,为生产黑蒜软糖提供技术参数。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与仪器

收稿日期:2014-07-08

作者简介:胡虹敏(1989-),女,硕士,研究方向:营养与功能食品。

\*通讯作者:张民(1972-),男,博士,教授,研究方向:食品添加剂与功能性食品。

黑蒜 按照文献自制<sup>[8]</sup>;卡拉胶 福建省绿麒食品胶体有限公司,食品级;葡萄糖浆 郸城财鑫糖业有限责任公司,食品级;白砂糖 光明食品集团,食品级;柠檬酸 天津均尧联赢生物试剂有限公司,食品级。

JYL-A070 九阳料理机 九阳股份有限公司;WAY-2W 阿贝折光仪 上海精密科学仪器有限公司;XMTD-204 显数式电热恒温水浴锅 天津欧若仪器仪表有限公司;GZX-9070MBE 电热鼓风干燥箱 上海博讯实业有限公司医疗设备厂。

## 1.2 实验方法

### 1.2.1 工艺流程

黑蒜→打浆→黑蒜匀浆 柠檬酸  
白砂糖+葡萄糖浆→溶化→熬煮→成型→干燥→包装→成品  
卡拉胶→浸泡→溶化

**1.2.2 操作要点** 黑蒜匀浆制备:黑蒜去皮以后与水按质量比 1:1 打浆备用;糖浆原液制备:白砂糖 2.5 份加到 1 份热水中,放到 90℃ 水浴锅中,待其全部溶解后再将葡萄糖浆加入其中搅拌均匀,然后将黑蒜匀浆加入浆液中,搅匀备用;卡拉胶预处理:将 1 份卡拉胶加到 30 份冷水中使其溶胀 1h。使用前在 90℃ 水浴锅中热溶;熬糖:将制作好的糖浆原液加入到卡拉胶溶液中,在 100℃ 水浴锅中熬煮,熬糖过程中要不停搅拌加速水分蒸发,待可溶性固形物含量达到 65% 即可;调酸:将柠檬酸与水按质量比 1:1 配成溶液加入到熬好的糖液中,搅匀即可浇模,冷却成型;干燥:将成型的糖坯移入 45℃ 的鼓风干燥箱中烘至含水量为 15% 左右即得黑蒜软糖。

**1.2.3 单因素实验设计** 白砂糖和葡萄糖浆比例的确定:固定糖液添加量 60g、卡拉胶添加量 1.5g、黑蒜匀浆添加量 12g、柠檬酸添加量 0.5g、以白砂糖和葡萄糖浆比例分别为 3:1、2:1、1:1、1:2、1:3 设置 5 水平的单因素实验。糖溶液添加量的确定:固定白砂糖和葡萄糖浆比例为 1:1、卡拉胶添加量 1.5g、黑蒜匀浆添加量 12g、柠檬酸添加量 0.5g、以糖液添加量分别为 40、50、60、70、80g 设置 5 水平单因素实验。卡拉胶用量的确定:固定白砂糖和葡萄糖浆比例为 1:1、糖液添加量 60g、黑蒜匀浆添加量 12g、柠檬酸添加量 0.5g、以卡拉胶的添加量分别为 0.5、1.0、1.5、2.0、2.5g 设置 5 水平单因素实验。黑蒜匀浆添加量的确定:固定白砂糖和葡萄糖浆比例为 1:1、糖液添加量 60g、卡拉胶添加量 1.5g、柠檬酸添加量 0.5g、以黑蒜匀浆添加量分别为 4、8、12、16、20g 设置 5 水平单因素实验。柠檬酸添加量的确定:固定白砂糖和葡萄糖浆比例为 1:1、糖液添加量 60g、卡拉胶添加量 1.5g、黑蒜匀浆添加量 12g,以柠檬酸添加量分别为 0.4、0.5、0.6、0.7、0.8g 设置 5 水平单因素实验(糖液添加量是白砂糖和葡萄糖浆的总量)。

**1.2.4 响应面实验设计** 在单因素实验的基础上,选取糖液、卡拉胶、黑蒜匀浆、柠檬酸添加量四个因素,以感官评分为响应值进行优化实验。实验因素

水平编码设计见表 1。

表 1 响应面实验因素水平编码表

Table 1 Factors and levels of response surface experiments

因素	水平		
	-1	0	1
A 糖液添加量(g)	40	50	60
B 卡拉胶添加量(g)	1.5	2.0	2.5
C 黑蒜匀浆添加量(g)	12	16	20
D 柠檬酸添加量(g)	0.4	0.6	0.8

**1.2.5 模糊数学模型的建立** 因素集为  $U = \{\text{色泽 } U_1, \text{组织状态 } U_2, \text{口感 } U_3, \text{风味 } U_4\}$ ;评语集为  $V = \{\text{差 } V_1, \text{较差 } V_2, \text{一般 } V_3, \text{较好 } V_4, \text{好 } V_5\}$ ;其中,差(1分),较差(2分),一般(3分),较好(4分),好(5分)。

权重的确定<sup>[9]</sup>:采用“0~4 评判法”确定每个因素的权重,得到权重集  $X = \{0.18, 0.26, 0.29, 0.27\}$ ,即色泽 18 分、组织状态 26 分、口感 29 分、风味 27 分。

建立模糊矩阵,对每一个被评价的因素建立一个从  $U$  到的  $V$  模糊关系  $R$ 。矩阵  $R$  可以通过对单因素的评判获得,即从  $U_i$  着眼而得到单因素评判,构成  $R$  中的第  $i$  行。

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{15} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{25} \\ r_{41} & r_{42} & \cdots & r_{45} \end{bmatrix}$$

即  $R = (r_{ij}), i = 1, 2, \dots, 4; j = 1, 2, \dots, 5$ 。

计算结果为  $B, B = X \cdot R$ ,其中  $X$  为权重集, $R$  为模糊矩阵。对感官评定结果进行归一化处理得到  $B' = \{b'_1, b'_2, b'_3, b'_4, b'_5\}$ , $B'$  便是评价人员对食品感官质量的评语集。再由最大隶属度原则确定该种食品感官质量的所属评语,做出模糊关系曲线图,并对图进行分析。

综合评分计算<sup>[10]</sup>:设定差 20 分、较差 40 分、一般 60 分、较好 80 分、好 100 分,计算感官综合评分  $S = b'_1 \times 20 + b'_2 \times 40 + b'_3 \times 60 + b'_4 \times 80 + b'_5 \times 100$ 。

**1.2.6 评定人员的选择及评定标准** 邀请 10 名经过培训和筛选的具有食品专业背景的研究生组成评价小组,分别对黑蒜软糖的色泽、组织状态、口感、风味进行感官评定,评价标准如表 2 所示。

## 2 结果与分析

### 2.1 单因素实验结果与分析

**2.1.1 白砂糖与葡萄糖浆比例的确定** 软糖制作过程中,只使用白砂糖达不到纯正温和的甜度,因其具有结晶性所以使用量过高时,软糖不仅糖体较硬、甜味较重、还容易返砂。而葡萄糖浆具有温和的甜味和保湿性,适量葡萄糖浆可以阻止糖果返砂、延长糖果储存期<sup>[11]</sup>。根据最大隶属度原则,由图 1 可以看到,当比例为 2:1 时对应的峰值最大,评语为“较好”。当比例为 1:2 和 1:1 时峰值虽然不是最大,但对应的评语为“较好”,表明比例对软糖品质的影响较小,因此确定白砂糖与葡萄糖浆的比例为 2:1 进行后续实验。

表2 黑蒜软糖评分项目表

Table 2 Score table of black garlic sort candy

指标	满分(分)	标准描述(分)
色泽	5	黑褐色,均匀一致,富有光泽:4~5
		黑褐色,较均匀,表面较有光泽:3
		黑褐色,有浑浊的杂质,光泽度差:1~2
组织状态	5	表面平整光滑,糖体饱满,无皱纹,无硬皮:4~5
		表面平整光滑,糖体较饱满,无明显皱纹,无硬皮:3
		表面平整度差,糖体饱满度差,有皱纹,有硬皮:1~2
口感	5	有嚼劲,不黏牙:4~5
		有一定的嚼劲,微黏牙:3
		嚼劲不足或过足,严重黏牙:1~2
风味	5	有淡淡的黑蒜味,无异味,酸甜适口:4~5
		有较重的黑蒜味,稍甜或稍酸,无异味:3
		有很重的黑蒜味,过酸或过甜,或有异味:1~2

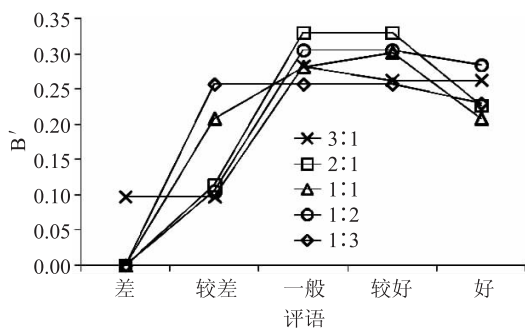


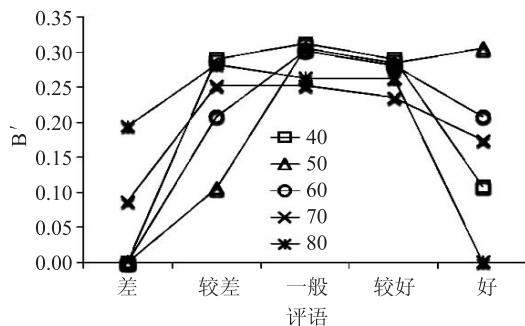
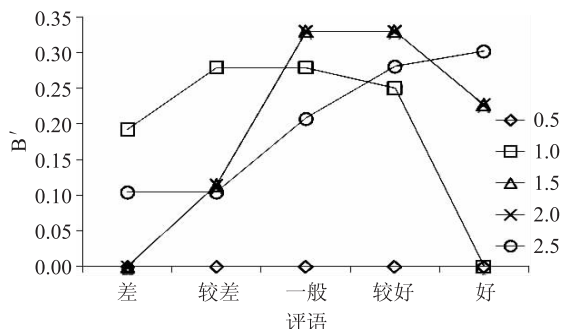
图1 白砂糖与葡萄糖浆不同比例的模糊关系曲线

Fig.1 The fuzzy relation curve of white sugar and glucose syrup in different proportions

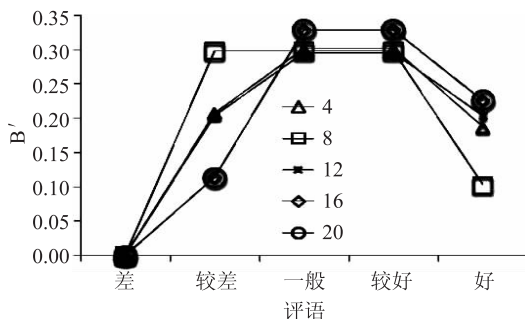
2.1.2 糖液添加量的确定 糖液添加量对黑蒜软糖品质的影响比较大<sup>[12]</sup>。根据最大隶属度原则,由图2可以看到,当糖液添加量为40g时对应的峰值最大,评语为“一般”,而且峰值左边出现一个次峰,表明峰值向低位移动,产生重心偏移;当糖液添加量为50g时对应的峰值与40g时相差不大,评语为“好”而且评语比较集中,表明评审员的综合意见比较一致,所以确定糖液添加量为50g。当糖液添加量高于60g时,评分明显降低,这主要是因为甜味掩盖了软糖的酸味和黑蒜味。

2.1.3 卡拉胶添加量的确定 卡拉胶赋予软糖硬度、咀嚼度等特性。用量过少无法形成凝胶,用量过多又会使软糖变得太硬,难以咀嚼。根据最大隶属度原则,由图3可以看到,当卡拉胶添加量为1.5、2.0g时对应的峰值最大,评语为“较好”,表明卡拉胶添加量为1.5g、2g都可以。当卡拉胶添加量为2.5g时对应的峰值虽然不是最大,但评语呈上升趋势,当1.0g时评分比较差,说明适当增加卡拉胶的用量有

助于改善软糖品质,所以最终确定卡拉胶用量为2.0g。

图2 不同糖液添加量的模糊关系曲线  
Fig.2 Fuzzy relation curve of different amount of addition of sugar solution图3 不同卡拉胶添加量的感官品质模糊关系曲线  
Fig.3 Fuzzy relation curve of different amount of addition of carrageenan

2.1.4 黑蒜匀浆添加量的确定 黑蒜匀浆添加量直接影响到黑蒜软糖的风味和色泽,添加量太少黑蒜味不突出,添加太多,黑蒜味又会太重,而且糖体表面粗糙并发硬。根据最大隶属度原则,由图4可以看到,当黑蒜匀浆添加量为16g和20g时对应的峰值最大,评语为“较好”,模糊关系曲线完全一致,所以本着节约成本的原则,选择黑蒜匀浆添加量为16g。

图4 不同黑蒜匀浆添加量模糊关系曲线  
Fig.4 Fuzzy relation curve of different amount of addition of black garlic pulp

2.1.5 柠檬酸添加量的确定 根据最大隶属度原则,由图5可以看到,即使是少量的柠檬酸对软糖的品质都有很大影响,当柠檬酸添加量为0.6g时评价结果的峰值最大,评语为“好”。所以选择柠檬酸添加量为0.6g。当柠檬酸添加量高于0.6g时,感官评分明显下降,可能是过量的柠檬酸破坏了卡拉胶在



形成胶体时的网状结构,导致糖体变软,而且过酸掩盖了软糖的风味,因此影响了感官品质。

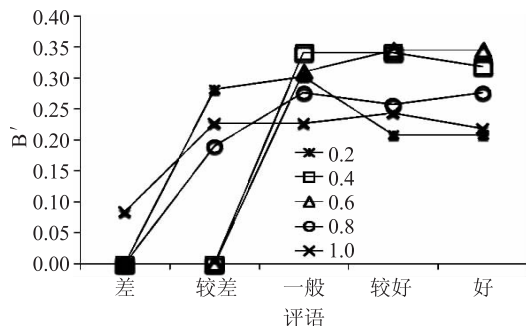


图5 不同柠檬酸添加量的模糊关系曲线

Fig.5 Fuzzy relation curve of different amount of addition of citric acid

## 2.2 响应面法优化实验

对上述实验数据进行多元回归拟合,得到糖液(A)、卡拉胶(B)、黑蒜(C)、柠檬酸(D)多项回归方程为:

$$\begin{aligned} \text{感官评分} = & -8.23620 - 1.71392A + 117.16913B + \\ & 12.22086C - 671.74756D - 0.87100AB + 0.10050AC + \\ & 17.40492AD - 1.05750BC + 20.65000BD - 4.08125CD - \\ & 0.030976A^2 - 23.15478B^2 - 0.34382C^2 + 524.42852D^2 - \\ & 7.56755 \times 10^{-3} A^2B - 3.12500 \times 10^{-4} A^2C - 13.52285AD^2 \\ & + 4.26689 \times 10^{-3} A^2B^2 \end{aligned}$$

对该模型进行显著性检验及方差分析<sup>[13]</sup>,结果见表4。

由表4可以看出,模型 $p < 0.0001$ ,具有高度显著性,说明选择的模型有意义,失拟项 $p = 0.7325 > 0.05$ ,说明模型失拟项无显著性差异;回归系数 $R^2 = 0.9612$ , $R_{adj}^2 = 0.8914$ ,说明该方程对实验拟合情况良好,实验误差比较小,因此可用此回归方程进行分析。

由回归模型系数的显著性检验结果可以看到,模型的一次项中A(糖液添加量)、C(黑蒜浆添加量)极显著、D(柠檬酸添加量)显著,且影响大小依次为 $A > C > D$ ,交互项中除了AB交互项没有显著差异外,其它交互项均有显著差异,其中CD具有极显著性。二次项 $A^2$ 、 $B^2$ 极显著, $C^2$ 、 $D^2$ 高度显著。因此可以说明,响应值的变化比较复杂,各因素对感官评分的影响不是一个简单的线性关系。

为了更加直观的反映各因素交互作用对感官评分的影响,利用软件绘制3D曲面图,通过每个曲面的弯曲弧度来判断各因素之间的交互效应,弧度越大说明交互效应越强。从图6~图11可以看到,除了图6的曲面比较平缓,其余均呈不同程度弯曲。说明卡拉胶和糖液两因素之间的交互效应不明显,其它因素之间均有交互效应,其中图11随着黑蒜匀浆和柠檬酸添加量的升高,感官评分先增大后减小,而图7、图9、图10与之趋势相似,但图11的响应曲面图相对较陡,所以交互效应最大。从图8可以看出,随着柠檬酸添加量的增大感官评分先增大后减小,而且只有当糖液添加量大时变化较明显,因此二者的交互影响为一般显著。这与显著性检验结果一致。

表3 响应面实验设计及结果

Table 3 Experimental design and results of response surface

实验号	因素				感官评分(分)
	A 糖液(g)	B 卡拉胶(g)	C 黑蒜(g)	D 柠檬酸(g)	
1	0	0	0	0	80.00
2	0	-1	-1	0	65.42
3	-1	-1	0	0	70.00
4	0	1	-1	0	70.42
5	0	0	-1	-1	63.94
6	1	0	0	1	68.26
7	0	-1	0	-1	72.52
8	-1	0	-1	0	66.16
9	1	1	0	0	79.54
10	0	0	-1	1	65.68
11	-1	1	0	0	70.38
12	0	1	0	1	71.42
13	-1	0	0	-1	76.14
14	-1	0	1	0	67.56
15	1	0	1	0	79.76
16	0	0	0	0	76.14
17	0	-1	0	1	67.62
18	0	1	1	0	71.74
19	50	0	1	-1	79.30
20	-1	0	0	1	67.92
21	0	-1	1	0	75.20
22	0	0	0	0	80.24
23	1	-1	0	0	77.58
24	0	0	1	1	67.98
25	0	0	0	0	80.46
26	1	0	-1	0	67.28
27	0	0	0	0	81.84
28	1	0	0	-1	67.06
29	0	1	0	-1	68.06

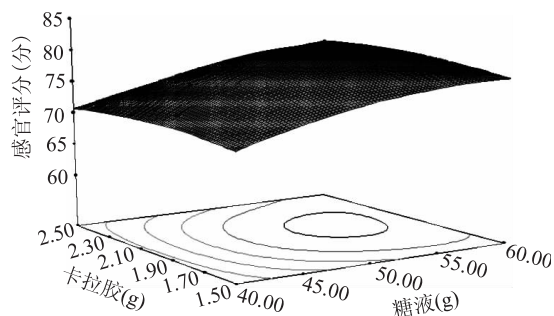


图6 糖液和卡拉胶对感官评分影响的响应曲面图

Fig.6 Response surface plot of the effects of sugar solution and carrageena on the sensory score

通过回归方程,并结合3D曲面图分析得到黑蒜软糖最佳实验组合点为:糖液添加量55.37g、卡拉胶添加量1.92g、黑蒜匀浆添加量18.36g、柠檬酸添加量0.57g,在此条件下感官最佳得分为81.93。

为验证响应面法所得结果的可靠性,采用上述条件做了5次验证实验,结果得出软糖感官评分为

表4 模型的显著性检验及方差分析

Table 4 Significant test and variance analysis of model

来源	平方和	自由度	均方	F 值	Pr > F	显著性
模型	850.02	18	47.22	13.77	<0.0001	***
A-糖液	112.95	1	112.95	32.94	0.0002	**
B-卡拉胶	0.097	1	0.097	0.028	0.8699	NO
C-黑蒜匀浆	103.39	1	103.39	30.16	0.0003	**
D-柠檬酸	27.42	1	27.42	8.00	0.0179	*
AB	0.62	1	0.62	0.18	0.6787	NO
AC	30.69	1	30.69	8.95	0.0135	*
AD	22.18	1	22.18	6.47	0.0292	*
BC	17.89	1	17.89	5.22	0.0454	*
BD	17.06	1	17.06	4.97	0.0498	*
CD	42.64	1	42.64	12.44	0.0055	**
A <sup>2</sup>	83.87	1	83.87	24.46	0.0006	**
B <sup>2</sup>	73.59	1	73.59	21.46	0.0009	**
C <sup>2</sup>	141.25	1	141.25	41.20	<0.0001	***
D <sup>2</sup>	175.33	1	175.33	51.14	<0.0001	***
A <sup>2</sup> B	0.60	1	0.60	0.18	0.6841	NO
A <sup>2</sup> C	0.042	1	0.042	0.012	0.9144	NO
AD <sup>2</sup>	94.17	1	94.17	27.47	0.0004	**
A <sup>2</sup> B <sup>2</sup>	14.37	1	14.37	4.19	0.0678	NO
残差	34.29	10	3.43			
失拟项	16.08	6	2.68	0.59	0.7325	不显著
纯误差	18.21	4	4.55			
总和	884.31	28				

注: \* 为  $p < 0.05$ , 具有显著性; \*\* 为  $p < 0.01$ , 具有极显著性; \*\*\* 为  $p < 0.0001$ , 具有高度显著性。回归系数  $R^2 = 0.9612$ ,  $R^2_{Adj} = 0.8914$ 。

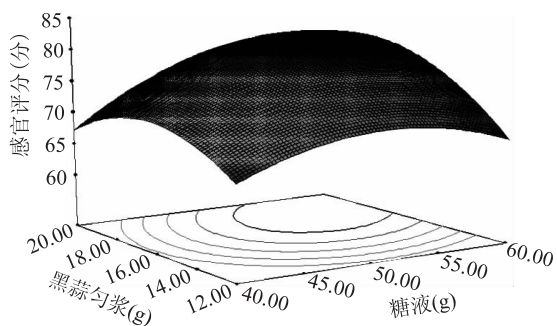


图7 糖液和黑蒜匀浆对感官评分影响的响应曲面图  
Fig.7 Response surface plot of the effects of sugar solution and black garlic pulp on the sensory score

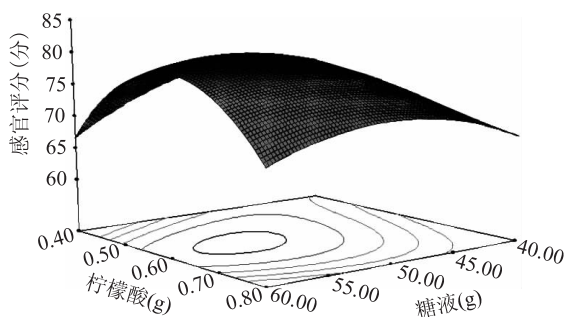


图8 糖液和柠檬酸对感官评分影响的响应曲面图  
Fig.8 Response surface plot of the effects of sugar solution and citric acid on the sensory score

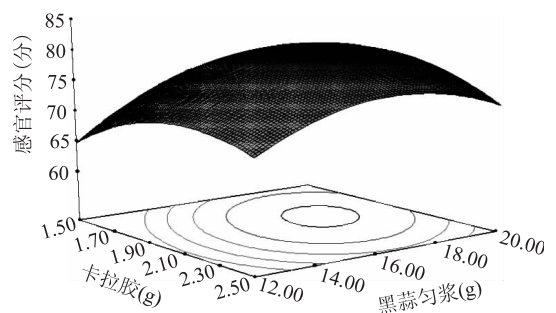


图9 黑蒜匀浆和卡拉胶对感官评分影响的响应曲面图  
Fig.9 Response surface plot of the effects of black garlic pulp and carrageena on the sensory score

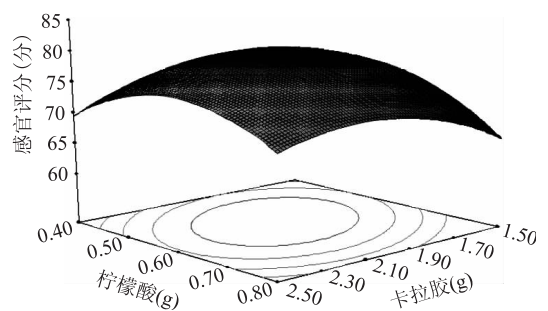


图10 卡拉胶和柠檬酸对感官评分影响的响应曲面图  
Fig.10 Response surface plot of the effects of carrageena and citric acid on the sensory score

(下转第 338 页)

- [7] 黄伟坤. 食品检验与分析[M]. 中国轻工业出版社:1989.
- [8] 王凤芳. 杏鲍菇中营养成分的分析测定[J]. 食品科学, 2002, 23(4):132-135.
- [9] 寇秀颖, 于国萍. 脂肪和脂肪酸甲酯化方法的研究[J]. 食品研究与开发, 2005, 26(2):46-47.
- [10] 蔚永清, 张金生, 李丽华, 等. 不同产地牛奶中若干金属元素质量浓度的分布比较[J]. 中国乳品工业, 2012, 40(2):54-56.
- [11] 耿倩, 徐丽, 生庆海. 母乳营养成分研究[J]. 中国妇幼保健, 2008, 23(8):1161-1164.
- [12] 李静, 邓泽元. 不同母乳营养成分的比较[J]. 中国乳品工业, 2005.
- [13] 张雪琰. 哺乳期妇女营养状况及干预研究[D]. 济南: 山东大学, 2007.
- [14] 刘亚东. 马奶营养价值评定及在早产儿配方乳中的应用[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2012.
- [15] 柏丹丹. 母乳营养成分含量的测定[D]. 苏州: 苏州大学, 2013.
- [16] 张兰威, 周晓红, 肖玲. 人乳营养成分及其变化[J]. 营养学报, 1997, 19(3):366-369.
- [17] 刘亚东, 宋秋, 霍贵成. 马奶和母乳的营养成分比较分析[J]. 食品工业, 2012(11):156-158.

- [18] Hernell O. Comment on the Content and Composition of Lipids in Infant Formulas [J]. Acta Paediatrica Scandinavica, 1991, 80(8-9):887-896.
- [19] Ganesan B, Brothersen C, McMahon DJ. Fortification of Foods with Omega-3 Polyunsaturated Fatty Acids [J]. Crit Rev Food Sci Nutr, 2014, 54(1):98-114.
- [20] 伍金华, 蔡春, 江黎明, 等. 3种国产牛奶中脂肪酸营养价值分析[J]. 中国公共卫生, 2006, 22(12):1491-1492.
- [21] 张岩春, 尤娟, 罗永康. 驴乳脂肪酸组成与人乳及牛乳的分析比较[J]. 中国乳业, 2008(10):42-43.
- [22] 郝文政, 袁则. 人乳的组成及其功能[J]. 国外医学妇幼保健分册, 2002(6):243-245.
- [23] 王洪荣, 季昀. 氨基酸的生物活性及其营养调控功能的研究进展[J]. 动物营养学报, 2013, 25(3):447-457.
- [24] Vaughan LA, Weber CW, Kemberling SR. Longitudinal changes in the mineral content of human milk [J]. The American Journal of Clinical Nutrition, 1979, 32(11):2301-2306.
- [25] 王晓闻, 宋丽琴, 宗学醒. 核桃乳-牛乳混合发酵酸奶的研制及成分分析[J]. 山西农业大学学报, 2003, 23(4):248-250.
- [26] 张瑞岩, 李晓东. 豆基婴儿配方粉氨基酸的母乳化研究[J]. 中国食品添加剂, 2009, 72-75.

(上接第262页)

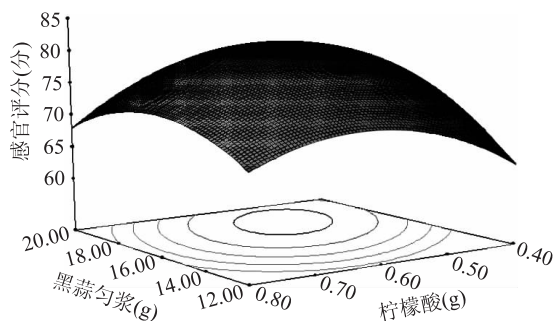


图11 柠檬酸和黑蒜匀浆对感官评分影响的响应曲面图

Fig.11 Response surface plot of the effects of citric acid and black garlic pulp on the sensory score

$82.23 \pm 0.41$ , 与理论预测值 81.93 非常接近。因此, 响应面法分析得到的优化配方数据可靠, 具有实用价值。

### 3 结论

本研究将模糊数学综合评价应用于黑蒜软糖的研制中, 解决了在感官评价中各种指标的评分差异以及感官评价人员之间评价结果差异的复杂问题, 增强了评价结果的客观性和可靠性, 并结合响应面分析法优化软糖配方。研究结果得到黑蒜软糖最佳配方为: 糖液添加量、黑蒜匀浆添加量、卡拉胶添加量、柠檬酸添加量的配比为 55.37:18.36:1.92:0.57(质量比), 按该配方制得的黑蒜软糖色泽光亮、口感独特、具有黑蒜特有的风味。

### 参考文献

- [1] 姜针针. 黑蒜的市场调查及营销策划[J]. 黑龙江科技信

息, 2012, 25:73-74.

- [2] 孙东宁, 杨佳青, 刘晓旭, 等. 黑蒜抑制胃癌机理研究进展[J]. 实用中医药杂志, 2013, 29(9):789-792.
- [3] 熊新建, 卢建新, 李丹, 等. 黑蒜加工工艺及其应用[J]. 农产品加工, 2014, 6:75-77.
- [4] Sasaki J, Ch Lu, Machiya E, et al. Processed Black Garlic (*Allium sativum*) Extracts Enhance Anti-Tumor Potency against Mouse Tumors [J]. Medical and Aromatic Journal of Plant Science And Biotechnology, 2007, 1(2):278-281.
- [5] 祝炳俏, 吴海歌, 刘媛媛, 等. 黑蒜抗氧化活性研究[J]. 食品研究与开发, 2008, 29(10):58-59.
- [6] Danan Wang, Yonghui Feng, Jun Liu, et al. Black Garlic (*Allium sativum*) Extracts Enhance the Immune System. [J]. Medicinal and Aromatic Plant Science and Biotechnology, 2010, 4(1):37-40.
- [7] 曹冬梅, 王淑娟, 王静. 模糊数学在豆浆感官评定中的应用[J]. 沈阳农业大学学报, 2004, 35(1):39-41.
- [8] 张氏, 雷萌萌. 一种黑蒜及其发酵方法: 中国, CN102178198A[P]. 2011-09-14
- [9] 徐树来, 王永华. 食品感官分析与实验[M]. 北京: 化学工业出版社, 2010, 102-103.
- [10] 张钟, 王奇艳. 模糊评价与响应面分析法结合优化糯米饮料的配方[J]. 饮料工业, 2013, 16(1):25-29.
- [11] 丁绍辉, 周小里. 糖果工艺师[M]. 北京: 中国劳动社会保障出版社, 2007, 37-42.
- [12] 周会玲, 马海燕, 唐爱均. 芦荟凝胶软糖的研制[J]. 保鲜与加工, 2010, 10(56):48-50.
- [13] 刘安军, 郭晶, 王子健, 等. 响应面法优化鸡肝肠加工工艺的研究[J]. 现代食品科技, 2013, 29(6):1288-1292.