

响应面法优化抹茶蛋糕卷的制作工艺

黄 潇, 邱荷婷, 王敬涵, 张洪涛, 赵开飞, 刘政权*

(安徽农业大学茶树生物学与资源利用国家重点实验室, 合肥 230036)

摘 要: 在单因素试验的基础上, 以感官指标为评价指标, 采用响应面法优化抹茶蛋糕卷的制作工艺。研制出抹茶蛋糕卷的最佳工艺为: 蛋糕粉 100%, 抹茶 13%, 食用油 100%, 白砂糖 150%, 水 150% (70~80℃), 烘焙温度为面火 165℃/底火 165℃, 时间为 18 min, 此时的抹茶蛋糕卷色泽亮绿、茶味浓郁、松软可口, 具有独特的风味。

关键词: 抹茶蛋糕卷; 感官评定; 响应面; 最佳工艺

中图分类号: TS218

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X (2017)06-0973-07

Optimization of processing technology for matcha roulade cake with response surface methodology

HUANG Xiao, QIU Heting, WANG Jinghan, ZHANG Hongtao, ZHAO Kaifei, LIU Zhengquan

(State Key Laboratory of Tea Plant Biology and Utilization, Anhui Agricultural University, Hefei 230036)

Abstract: On the basis of single factor experiment, taken sensory indicators as assessment indexes, a response surface was conducted to optimize formula for matcha roulade cake. The optimal formulation and technology for the matcha roulade cake were as follows: cake flour, 100%; matcha, 13%; edible oil, 100%; sugar, 150%; and water, 150% (70-80℃). The temperature in surface layer and bottom layer was all 165℃, and baking time was 18 min. Under such conditions, matcha roulade cake is fluffy tasty with bright green color and a strong and unique tea flavor.

Key words: matcha roulade cake; sensory evaluation; response surface; optimal technology

茶叶是世界三大无酒精饮料之一, 其在国际上拥有着不可或缺的地位^[1]。茶叶不仅富含营养物质, 如维生素、氨基酸、蛋白质等, 而且还含有多种具有保健功能的成分, 如茶多酚、芳香物质以及咖啡碱等^[2]。茶叶除了带来嗅觉上的清香、味觉上的清爽, 解甜食之腻, 还能让食物走向一种健康路线, 食之安全有益。

抹茶起源于中国的隋唐时期, 它是选用蒸青绿茶作为原料, 采用天然石磨碾磨成微粉状制成^[3]。近几年, 它在超微粉碎技术基础上发展成为一种新型茶制品^[4]。一般茶尽管含有极高的营养成分, 但茶叶里真正溶于水的部分仅仅为 35% 左右。而抹茶是茶叶全组分, 可以有效利用茶叶全部的营养与保健功能, 提高茶叶功能成分的生物学活性, 增进机体吸收率, 还能改善茶叶的食用品质^[5]。抹茶也因

具有色泽翠绿, 香气清高, 滋味鲜醇等优势而被广泛应用于食品中^[6]。

戚风蛋糕质地松软、富有弹性、香味浓郁, 组织细腻多孔, 是一种易消化吸收的方便食品^[7]。将抹茶和戚风蛋糕合二为一, 制成抹茶蛋糕卷, 不仅能赋予蛋糕清新的茶味, 还能使蛋糕具有一定的保健功能, 满足消费者的要求。本实验主要以抹茶和面粉为原料, 在单因素试验的基础上, 应用响应面法优化抹茶蛋糕卷的最佳工艺, 为抹茶蛋糕卷的制作提供理论依据, 具有一定的市场价值。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 试验原料 抹茶 (浙江御茶村公司抹茶 6 星); 水 (符合饮用水国家标准); 鸡蛋 (新鲜)、蛋

收稿日期: 2017-02-14

基金项目: 浙江省重大科技专项 (2017C02037) 和安徽特色产业发展项目 (皖财农[2016]188 号) 共同资助。

作者简介: 黄 潇, 硕士研究生。E-mail: 1171233031@qq.com

* 通信作者: 刘政权, 副教授。E-mail: liuzq0312@163.com

糕粉（新良低筋面粉）、食用油（金龙鱼调和油）、白砂糖（一级白砂糖，符合 GB317-2006 标准^[8]）、稀奶油（多美鲜）：市售。

1.1.2 设备仪器 电子天平：JM-A1002（余姚纪铭称重校验设备有限公司）；烤箱：TO5332（客浦，多功能烘焙面包蛋糕机器大容量电烤箱）；黄金烤盘：28 cm×28 cm（三能屋诺 UN10006）；质构仪（TA.XT plus）

1.2 方法

1.2.1 抹茶蛋糕卷基本配方 蛋糕的基本配方为：蛋糕粉 30 g，鸡蛋 100 g，白砂糖 50 g。

1.2.2 工艺流程（见图 1）

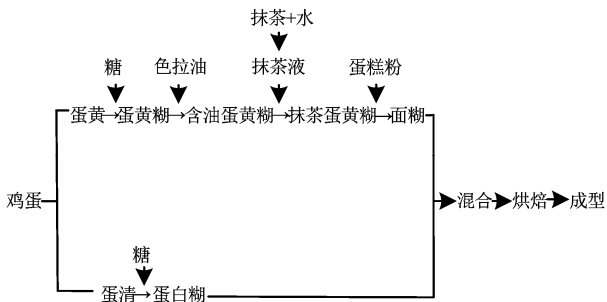


图 1 抹茶蛋糕卷制作工艺

Figure 1 Fabrication process of matcha roulade cake

1.2.3 操作要点 (1) 抹茶溶解。将抹茶置于抹茶

碗中，加入热水（70~80℃），使用茶筴借助手腕力气，呈“Z”字型搅拌均匀。

(2) 搅打。蛋黄糊：蛋黄与细砂糖打发至粘稠，发白，体积膨胀，滴落在盆中有明显的纹路产生。

蛋白糊：搅打蛋白，分 3 次添加细砂糖。

奶油：将奶油和白砂糖混合，从液态打发至固态，纹路清晰。

(3) 混料。将蛋糕粉加入蛋黄糊中，呈“Z”字搅拌均匀。不宜过多搅拌，否则出现起筋现象，降低蛋糕糊的可塑性，影响成品体积及美观^[9]。

打发好的蛋白分 3 次加入蛋黄糊翻动拌匀。

(4) 烘焙。将蛋糕糊置于烤盘中，烘焙温度设为为面火 165℃/底火 165℃，烘焙 18 min。

(5) 成型。先将蛋糕层卷起定型 2 min，再散开涂上奶油。卷好后放入冰箱，冷藏 20 min 或冷冻 10 min，方可取出，切片，完成。

1.3 工艺优化

为选取最优配比组合，在单因素试验时，按照基本配方，依次改变水添加量、抹茶量、烘焙时间及烘焙温度，以感官审评的综合评分作为评价指标，采用响应面 Box-Behnken 试验表安排试验，并确定因素水平^[10]，具体如下表 1 所示。

表 1 Box-Behnken 试验因素水平

Table 1 Levels of experimental factors in Box-Behnken test

水平 Level	因素 Factor			
	A 抹茶/% Matcha	B 水/% Water	C 烘焙时间/min Baking time	D 烘焙温度/℃ Baking temperature
-1	11	140	160	16
0	13	150	165	18
1	15	160	170	20

表 2 抹茶蛋糕卷感官审评

Table 2 Sensory evaluation of matcha roulade cake

项目 Item	评分系数/% Grading coefficient	特征 Feature	评分 Grade
色泽 Color	20	色泽亮绿，均匀，无结块	16~20
		色泽轻度不均，少量结块	10~16
		色泽过绿或过浅，不均匀，多结块	5~10
香气 Perfume	20	有浓郁的茶香，有蛋糕香，无不良异味	16~20
		茶香过淡或过浓	12~16
		无茶香，有异气	5~12
松软度 Softness	20	质地松软可口，干湿适度	16~20
		质地稍软或稍硬，略微干燥或潮湿	12~16
		质地软化或硬度过大，干燥或潮湿	5~12
甜度 Sweetness	20	甜度适口，甜而不腻	16~20
		甜度稍淡或稍腻	12~16
		甜度过淡或过腻	5~12
形态 Form	20	外形完整，气泡细小分布均匀	16~20
		外形略不完整，气泡略不均匀	10~16
		外形有破损，气泡大小不均匀	5~10

1.4 抹茶蛋糕卷感官评定方法

参考《中华人民共和国国家标准——糕点通则 (GB/T 20977-2007)》^[11], 分别从色泽、香气、松软度、甜度、形态等 5 个项目方面进行感官审评^[12], 由固定的 10 位食品专业研究生 (男女比例 1:1, 年龄在 22~25 岁之间) 进行评定, 采用百分制计分方法, 根据评分标准进行评价计分见表 2^[13]。

2 结果与分析

2.1 抹茶蛋糕卷单因素优化

2.1.1 水的添加量对产品品质的影响 按照基本配方, 抹茶量为 14%, 温度为 165℃, 时间为 18 min, 设计水添加量分别为 130%、140%、150%、160%、170% 和 180%, 6 个水平预选出在试验中的水添加量。结果见图 2。

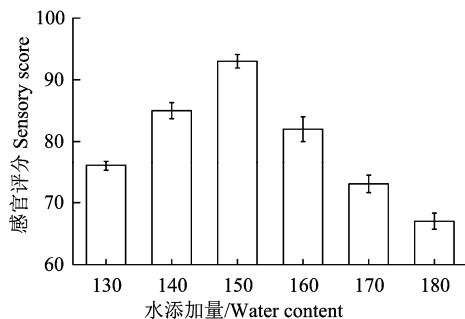


图 2 水添加量对产品品质的影响

Figure 2 Influence of water content on the quality of product

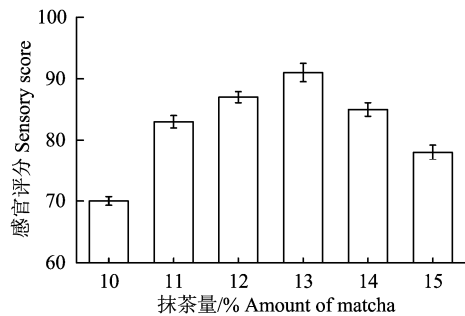


图 3 抹茶量对产品品质的影响

Figure 3 Influence of amount of matcha on the quality of product

由图 2 可得, 当水添加量 < 150% 时, 感官评分随着水添加量的增加而增加; 水添加量为 150% 时, 感官评分最高; 当水添加量 > 150% 时, 感官评分随着水添加量的增加而减少。当水添加量过低时, 蛋糕水分较少有裂纹, 并有少量抹茶团聚大颗粒, 外形相对完整; 当水添加量过高时, 产品湿度较大, 黏性大, 外形不完整; 水添加量以 150% 时最为适宜, 产品色泽、香气、松软性、甜度和形态达到最优。

2.1.2 抹茶量对产品品质的影响 按照基本配方, 水添加量为 150%, 温度为 165℃, 时间为 18 min, 设计抹茶量为 10%、11%、12%、13%、14% 和 15%, 6 个水平预选出在试验中的抹茶量。结果见图 3。

由图 3 可知, 当抹茶量 < 13% 时, 感官评分随着抹茶量的增加而增加; 抹茶量为 13% 时, 感官评分最高; 当抹茶量 > 13% 时, 感官评分随着抹茶量的增加而减少。当抹茶量过低时, 产品颜色微黄, 茶香寡淡, 茶味清淡; 当抹茶量过高时, 产品茶味偏重, 有抹茶团聚大颗粒, 略有苦味; 抹茶量为 13% 时最为适宜, 产品色泽翠绿, 茶香浓郁, 茶味明显, 甜而不腻。

2.1.3 烘焙时间对产品品质的影响 按照基本配方, 水添加量为 150%, 抹茶量为 13%, 温度为 165℃, 设计烘焙时间为 16、17、18、19、20 和 21 min, 6 个水平预选出在试验中的烘焙时间。结果见图 4。

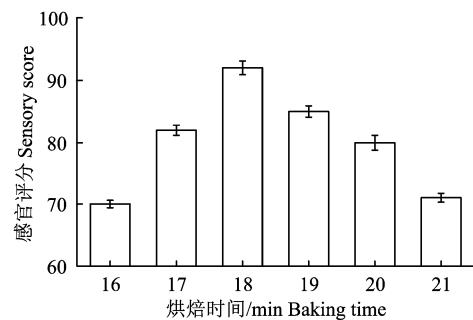


图 4 烘焙时间对产品品质的影响

Figure 4 Influence of baking time on the quality of product

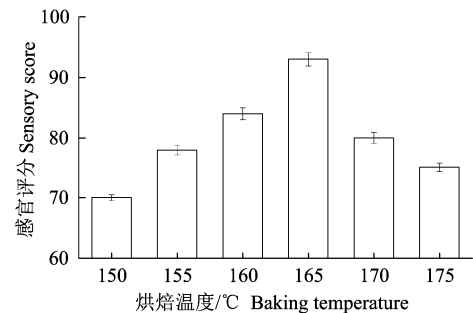


图 5 烘焙温度对产品品质的影响

Figure 5 Influence of baking temperature on the quality of product

由图 4 可知, 当烘焙时间 < 18 min 时, 感官评分随着烘焙时间的增加而增加; 烘焙时间为 18 min 时, 感官评分最高; 当烘焙时间 > 18 min 时, 感官评分随着烘焙时间的增加而减少。当烘焙时间过短时, 产品嫩度大, 易碎, 相对较湿; 当烘焙时间过长时, 焦味明显, 底部焦糊, 蛋糕变硬, 呈酥状; 烘焙时间为 18 min 时最为适宜, 产品色泽、香气、松软度、甜度和形态最佳。

表 3 Box-Behnken 试验设计及结果
Table 3 Box-Behnken design and experimental results

Std	Run	A	B	C	D	感官评分 Sensory score	
						试验值 Experiment value	预测值 Predicted value
18	1	1	0	1	0	74.29	74.27
23	2	0	0	0	0	93.89	93.08
12	3	0	0	0	0	92.79	93.08
19	4	0	1	0	-1	79.49	79.22
9	5	1	-1	0	0	78.64	77.74
28	6	1	0	0	1	72.82	73.53
27	7	1	0	0	-1	72.43	72.58
22	8	1	0	-1	0	74.51	74.40
2	9	0	0	0	0	92.45	93.08
14	10	0	0	-1	-1	75.83	76.31
15	11	1	1	0	0	78.84	79.00
16	12	0	-1	0	-1	79.22	79.44
10	13	0	0	0	0	93.65	93.08
24	14	-1	1	0	0	74.92	76.09
25	15	0	1	-1	0	82.09	81.67
26	16	-1	0	-1	0	74.03	73.93
8	17	-1	0	0	-1	72.32	71.45
7	18	0	0	-1	1	76.03	76.02
13	19	-1	0	0	1	72.62	72.31
20	20	0	0	1	1	76.59	76.38
4	21	-1	-1	0	0	78.18	78.29
6	22	0	-1	1	0	81.05	81.31
11	23	-1	0	1	0	72.38	72.38
3	24	0	1	0	1	80.19	79.86
29	25	0	0	1	-1	74.99	74.27
5	26	0	-1	0	1	80.44	80.60
21	27	0	-1	-1	0	81.13	81.28
1	28	0	1	1	0	80.28	79.97
17	29	0	0	0	0	92.63	93.08

2.1.4 烘焙温度对产品品质的影响 按照基本配方, 水添加量为 150%, 抹茶量为 13%, 烘焙时间为 18 min, 设计烘焙温度为 150、155、160、165、170 和 175℃, 6 个水平预选出在试验中的烘焙温度。结果见图 5。

由图 5 可知, 当烘焙温度 < 165℃ 时, 感官评分随着烘焙温度的增加而增加; 当烘焙温度为 165℃ 时, 感官评分最高; 当烘焙温度 > 165℃ 时, 感官评分随着烘焙温度的增加而减少。当烘焙温度过低时, 产品嫩度大, 湿度大, 易碎, 外形破裂, 部分黏糊; 当烘焙温度过高时, 产品微有焦味, 底部焦糊, 蛋糕变硬, 易断裂; 当烘焙温度为 165℃ 时最为适宜, 产品色泽、香气、松软度、甜度和形态最佳。

2.2 响应面优化试验结果

2.2.1 响应面优化试验结果 表 3 是 29 个试验点给出的试验结果, 29 个试验点分为 2 类: 其一是析因点, 自变量取值在 A、B、C 及 D 所构成的三维顶点, 共有 24 个析因点; 其二是零点, 为区域中心点, 零点试验重复 5 次, 用来估计试验误差^[14]。

2.2.2 模型方差分析 利用 Design Expert 8.0 软件, 对表 3 进行二次多项式回归拟合, 得到方程:

$$Y=93.08+0.59 \times A-0.24 \times B-0.42 \times C+0.45 \times D+0.87 \times A \times B+0.36 \times A \times C+0.022 \times A \times D-0.43 \times B \times C-0.13 \times B \times D+0.60 \times C \times D-11.31 \times A^2-4.00 \times B^2-8.03 \times C^2-9.31 \times D^2$$

式中: Y 为感官评分值; A 、 B 、 C 、 D 分别为抹茶量、水、烘焙温度、烘焙时间 4 个变量的编码值。由表 4 方差分析结果可知, 模型 $P < 0.0001$, 模型达到极显著; 失拟 $P = 0.5041 > 0.05$, 不显著; 并且

该模型 $R^2=0.9954$, $R^2_{Adj}=0.9908$, 即该模型能解释 99.08% 响应值的变化, 因而拟合度良好, 则可以用该模型预测抹茶蛋糕卷的感官评分值及确定其最佳工艺。

方差分析结果还表明, 抹茶量二次项 A^2 、水二

次项 B^2 、烘焙温度 C^2 、烘焙时间二次项 D^2 , 抹茶量 A 对响应值的影响极显著, 烘焙温度 C 、烘焙时间 D 、抹茶量及水的交互项 AB 、烘焙温度及烘焙时间的交互项 CD 具有显著影响, 其他变量的影响均不显著 ($P>0.05$)。

表 4 回归模型方差分析表
Table 4 Variance analysis of regression model

方差来源 Source of variation	平方和 SS	自由度 DF	均方和 MS	F 值 F value	P 值 P value	显著性 Significance
模型 Model	1 345.80	14	96.13	215.24	< 0.0001	**
A	4.18	1	4.18	9.35	0.0085	**
B	0.68	1	0.68	1.52	0.2386	
C	2.12	1	2.12	4.74	0.0471	*
D	2.44	1	2.44	5.46	0.0348	*
AB	2.99	1	2.99	6.70	0.0214	*
AC	0.51	1	0.51	1.14	0.3028	
AD	2.025E-0.03	1	2.025E-0.03	4.534E-0.03	0.9473	
BC	0.75	1	0.75	1.68	0.2165	
BD	0.068	1	0.068	0.15	0.7031	
CD	1.44	1	1.44	3.22	0.0942	*
A^2	829.20	1	829.20	1856.65	< 0.0001	**
B^2	103.53	1	103.53	231.82	< 0.0001	**
C^2	418.14	1	418.14	936.25	< 0.0001	**
D^2	561.94	1	561.94	1258.23	< 0.0001	**
残差 Residual	6.25	14	0.45			
失拟 Lack of fit	4.59	10	0.46	1.10	0.5041	
纯误差 Pure error	1.66	4	0.42			
总和 Total	1 352.05	28		$R^2=0.9954$	$R^2_{Adj}=0.9908$	

注: “**” 表示极显著 ($P<0.01$), “*” 表示显著 ($P<0.05$)。

Note: “**” indicates extremely significant difference ($P<0.01$); “*” indicates significant difference ($P<0.05$).

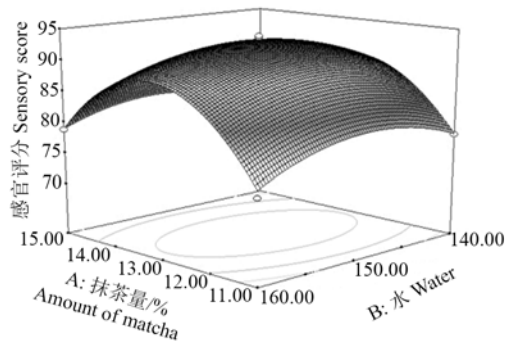


图 6 抹茶量和水添加量交互作用影响感官评分的响应面
Figure 6 Response surface for interaction effects of matcha and water content on sensory evaluation

值的影响程度大小顺序为: 抹茶量 > 烘焙时间 > 烘焙温度 > 水。

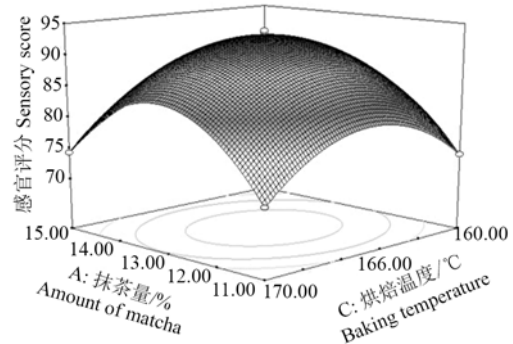


图 7 抹茶量和烘焙温度交互作用影响感官评分的响应面
Figure 7 Response surface for interaction effects of matcha and baking temperature on sensory evaluation

各因素的影响程度分析, 各因素的 F 值可以反映出各因素对试验指标的重要性, F 值越大, 表明对实验的重要性越大。从方差分析表可知 $F_A=9.35$, $F_B=1.52$, $F_C=4.74$, $F_D=5.46$, 即各因素对感官评分

2.2.3 感官评分响应面分析及最佳工艺的确定 图

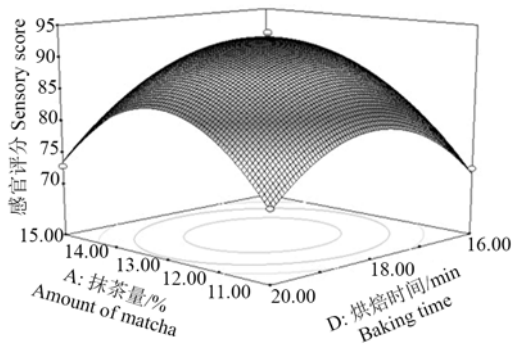


图 8 抹茶量和烘焙时间交互作用影响感官评分的响应面
Figure 8 Response surface for interaction effects of matcha and baking time on sensory evaluation

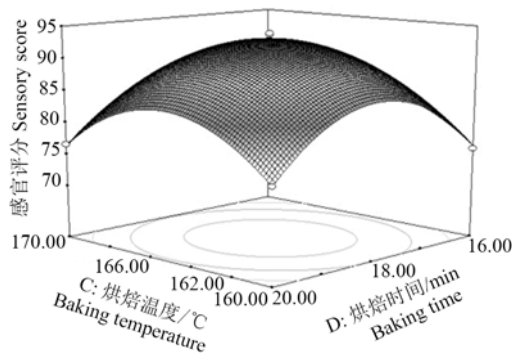


图 9 烘焙温度和烘焙时间交互作用影响感官评分响应面
Figure 9 Response surface for interaction effects of baking temperature and baking time on sensory evaluation

6—图 9 表示以感官评分为响应值的各试验因子抹茶量、水、烘焙温度、烘焙时间交互作用的响应面，从图中还可以看出，感官评分的响应面趋势呈抛物线，即存在最高点，则回归方程有极大值，经软件分析知，抹茶蛋糕卷的最佳工艺是在基本配方的基础上，抹茶量 13%，水 150%，烘焙温度 165℃，烘焙时间 18 min，感官评分 90.16。

根据最佳工艺，做 3 组试验进行验证，结果如表 5 所示。

表 5 最佳工艺验证结果

Table 5 Validation results of optimal technology				
项目 Item	编号 No.			平均值 Average
	1	2	3	
感官评分 Sensory score	89.81	90.35	89.98	90.05

由表 5 可知，在最佳工艺条件下，感官评分的真实值为 90.05，与预测值 92.23 接近，从而进一步验证了试验结果。

2.3 质构结果的研究

2.3.1 样品的准备和处理 测试样品为正交试验的抹茶蛋糕和市售的抹茶蛋糕，测试前切成 3 cm×3 cm×1 cm 的块状测试样品。

2.3.2 测试方法 选用 TPA 模式，采用压盘式测试探头 P/36。

测试条件为：测前速率 5 mm·s⁻¹；测试速率 1 mm·s⁻¹；测后速率 5 mm·s⁻¹；目标模式 strain；程度为 75%；次数为 2 次；触发模式为自动力；触发模式为自动力。

2.3.3 测试结果 由质构实验得到相关参数：硬度、弹性、咀嚼性和回复性。

由表 6 可知，市售抹茶蛋糕的硬度为 6 293.11，弹性为 0.74，咀嚼性为 2 882.25，回复性为 0.23。本研究自制抹茶蛋糕的硬度为 4 035.87，弹性为 0.76，咀嚼性为 2 043.89，回复性为 0.25。因此，相比市售的抹茶蛋糕硬度和咀嚼性较低，弹性和回复性稍高一些，相差不大。由此可以看出，本实验的抹茶蛋糕更加松软可口。

表 6 市售抹茶蛋糕和自制抹茶蛋糕质构参数值

Table 6 TPA test parameter value of commercially available matcha cake and homemade matcha cake

测试名称 Test name	硬度 Hardness	弹性 Springiness	咀嚼性 Chewiness	回复性 Resilience
市售抹茶蛋糕 Commercially available matcha cake	6 293.11±85.23 ^a	0.74±0.03 ^b	2 882.25±58.16 ^a	0.23±0.01 ^b
自制抹茶蛋糕 Homemade matcha cake	4 035.87±73.78 ^b	0.76±0.02 ^a	2 043.89±81.17 ^b	0.25±0.01 ^a

注：数值为平均数 (n=3)±方差 p (ST)。小写字母表示同一列之间的差异 (P<0.05)。

Note: Data are presented as the mean(n=3)±standard deviation (ST) p. The small and capital letters in the same rows refer to a significant difference.

3 结论

将抹茶和蛋糕粉相结合，制成抹茶蛋糕卷。通过单因素和 Box-Behnken 中心组合设计原理以及

响应面分析法对抹茶蛋糕卷制作工艺进行优化，拟合了抹茶量、水、烘焙温度、烘焙时间这 4 个因素对感官评分的回归模型，经验证该模型合理可靠。并且本实验选取了市售的抹茶蛋糕和自制的抹茶蛋

糕利用质构仪进行试验,对2种蛋糕进行比较。根据蛋糕产品的自身特点选用TPA模式,选取P/36探头,通过特定的运行程序,可同时获得蛋糕的相关参数:硬度、弹性、咀嚼性和回复性,而且数据精确,避免了人为主观因素的干扰。抹茶蛋糕卷的最佳制作工艺为:蛋糕粉100%,抹茶13%,食用油100%、白砂糖150%,热水150%(70~80℃),烘焙温度为面火165℃/底火165℃,时间为18 min。在此制作工艺下,产品整体色泽亮绿,茶香与蛋糕香融合,茶味浓郁,松软可口,奶油甜而不腻,造型美观。

参考文献:

- [1] 车红荣. 茶叶茶多酚的乙醇水溶液提取过程、离子沉淀—絮凝纯化新工艺研究[D]. 西安: 西北大学, 2001.
- [2] 宛晓春, 李大祥, 张正竹, 等. 茶叶生物化学研究进展[J]. 茶叶科学, 2015, 35(1): 1-10.
- [3] 刘东娜, 聂坤伦, 杜晓, 等. 抹茶品质的感官审评与成分分析[J]. 食品科学, 2014, 35(2): 168-172.
- [4] 杨丽红, 刘政权. 响应面法优化绿茶荞麦酥配方[J]. 安徽农业大学学报, 2015, 42(4): 555-560.
- [5] 梁进, 陆宁. 茶叶的超微加工及其在食品工业的应用[J]. 中国食品添加剂, 2013(4): 152-157.
- [6] YAMABE N, KANG K S, HUR J M, et al. Matcha, a powdered green tea, ameliorates the progression of renal and hepatic damage in type 2 diabetic OLETF rats[J]. J Med Food, 2009, 12(4): 714-721.
- [7] MAU J L, LU T M, LEE C C, et al. Physicochemical, antioxidant and sensory characteristics of chiffon cakes fortified with various tea powders[J]. J Food Process Pres, 2015, 39(5): 443-450.
- [8] 中国轻工业联合会. 白砂糖:GB317-2006[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- [9] 程超, 陈业, 田成. 响应面法优化荞麦酥性饼干配方[J]. 食品科技, 2014(2): 166-170.
- [10] 唐长波, 刘臣. 桑葚营养蛋糕的研制[J]. 食品科技, 2011, 36(3): 137-141.
- [11] 中国商业联合会. 糕点通则: GB/T20977-2007[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- [12] 沈建福. 焙烤食品工艺学[M]. 杭州: 浙江大学出版社, 2001: 27-28.
- [13] 中国标准出版社第一编辑室. 中国食品工业标准汇编: 焙烤食品、糖制品及相关食品卷(上)[M]. 北京: 中国标准出版社, 2004.
- [14] 和法涛, 刘光鹏, 朱凤涛, 等. 响应面法优化热水法浸提猴头菇多糖工艺提高多糖得率[J]. 食品科技, 2015 (1): 210-215.