

## 响应面法优化豆渣面包复合改良剂的研究

刘 洋<sup>1</sup>, 李 波<sup>1,2</sup>, 孙俊良<sup>1</sup>, 王雅利<sup>3</sup>, 杨永生<sup>3</sup>, 孙明山<sup>2</sup>

(1. 河南科技学院 食品学院, 河南 新乡 453003; 2. 河南老磨坊小宝豆业有限公司, 河南 新乡 453000; 3. 武汉工业学院 食品科学与工程学院, 湖北 武汉 430023)

**摘要:**以90%面包粉、10%豆腐渣粉、2%谷朊粉为基料制作豆渣面包。为改善其感官品质,在单因素实验基础上采用响应面优化实验,确定了复合改良剂的最佳添加量为魔芋胶0.5%,葡萄糖氧化酶0.0007%,硬脂酰乳酸钙0.41%,双乙酰酒石酸单甘油酯0.7%。在此条件下所制备的豆渣面包感官评分达88分,较未添加复合改良剂的豆渣面包感官品质有了很大改善。

**关键词:**豆腐渣;面包;复合改良剂;响应面法

**中图分类号:**TS209

**文献标识码:**A

**文章编号:**1000-9841(2012)06-1007-06

## Optimization of Compound Improver for Okara Bread by Response Surface Methodology

LIU Yang<sup>1</sup>, LI Bo<sup>1,2</sup>, SUN Jun-liang<sup>1</sup>, WANG Ya-li<sup>3</sup>, YANG Yong-sheng<sup>3</sup>, SUN Ming-shan<sup>2</sup>

(1. School of Food Science, Henan Institute of Science and Technology, Xinxiang 453003, Henan; 2. Henan Oldmill Xiaobao Bean Industry Co. Ltd., Xinxiang 453000, Henan; 3. Wuhan Polytechnic University, Wuhan 430023, Hubei, China)

**Abstract:** The okara bread was made using 90% bread wheat flour, 10% okara powder and 2% gluten as the basic materials. The compound improvers were added during the bread making to improve sensory quality of okara bread and their adding contents were optimized by response surface methodology based on single factor experiment. The results showed the optimum adding contents for compound improvers were: 0.5% konjac flour, 0.0007% glucose oxidase, 0.41% calcium stearoyl lactylate and 0.7% diacetyl tartaric acid ester of monoglycerides. The score of sensory evaluation was 88, which was significantly better than that without adding compound improvers. The study provides the useful basis for application of okara on bread.

**Key words:** Okara; Bread; Compound improver; Response surface methodology

面包是世界流行的主食产品,随着人们健康意识的不断提高,向面包中添加膳食纤维以改善其营养价值的做法越来越受到欢迎<sup>[1]</sup>。豆渣是生产豆腐、豆浆等产品的副产物,每加工1 kg大豆,约产生1.2 kg鲜豆渣。据推测,我国每年约产生280万t豆腐渣<sup>[2]</sup>。豆渣富含膳食纤维和蛋白质,营养价值较高,但目前对其开发利用还不够深入,大部分豆渣被当作饲料或废弃物处理。课题组前期研究发现,用豆渣替代部分面粉来制作面包,是对豆渣开发利用的有效途径<sup>[3]</sup>。但豆渣面包的比容较小,口感较为粗糙,影响了产品的可接受性。因此,需添加适宜的品质改良剂对其品质进行改良。本文研究了魔芋胶(MY)、葡萄糖氧化酶(GOD)、硬脂酰乳酸钙(CSL)、双乙酰酒石酸单甘油酯(DATEM)对豆渣面包感官品质的影响,采用响应面分析法对复合改良剂的添加量进行了优化,以期获得消费者容易接受的豆渣面包,为豆腐渣的开发利用提供理论依据。

### 1 材料与方法

#### 1.1 试验材料

鲜豆腐渣由河南老磨坊小宝豆业有限公司提供,经冷冻干燥后粉碎,过筛后得豆腐渣粉(80 < φ < 200目)。经测定,豆腐渣粉含水量6.7%,膳食纤维含量58.6%,蛋白质含量15.3%。

面包专用小麦粉,中粮面业鹏泰有限公司;谷朊粉,郑州阳光食品配料有限公司;魔芋胶,霞光贸易公司;葡萄糖氧化酶,荷兰DSM公司;硬脂酰乳酸钙、双乙酰酒石酸单甘油酯,河南正通化工有限公司。其余配料均为市售优级品。

#### 1.2 试验仪器

K5SS搅拌机,美国Kitchen Aid有限公司;醒发箱、远红外食品烘炉,广州市白云区石井美天厨具电器厂。

#### 1.3 豆渣面包制作方法

豆渣面包基础配方为面包粉90 g,豆渣粉10 g,谷朊粉2 g,白糖10 g,酵母2 g,黄油3 g,盐1 g,水

收稿日期:2012-08-05

基金项目:人社部留学人员科技活动择优资助项目(2011508);河南省重点科技攻关项目(102102110031)。

第一作者简介:刘洋(1986-),女,在读硕士,研究方向为功能性食品。E-mail:liuyang3212605@163.com。

通讯作者:李波(1973-),男,博士,副教授,研究方向为功能性食品。E-mail:libowuxi@yahoo.com.cn。

65 g。准确称取各种原辅料和品质改良剂搅拌均匀,加入活化后的酵母、鸡蛋液和水,用搅拌机中档速度搅拌至面团光滑即可。将面团于 27℃、75%湿度下醒发 20 min,取出整形、搓圆。然后在 37℃、85%湿度下醒发 1.5 h,置于烤箱中烤至面包表皮呈金黄色即可(面火温度 200℃,底火温度 180℃)。

表 1 豆渣面包感官评分标准

Table 1 Sensory test standard of okara bread

项目 Item	评分标准 Rating standard
比容 Specific volume(35 分)	$>4.5 \text{ mL} \cdot \text{g}^{-1}$ 为 35 分, $<3.5 \text{ mL} \cdot \text{g}^{-1}$ 为 0 分
表皮色泽 Surface color(5 分)	金黄、棕黄、红棕、无斑点、有光泽
表皮质地与面包形状 Surface texture and shape(5 分)	冠大、颈短、无裂纹、平滑无斑
包心色泽 Inner color(5 分)	乳白、并有丝样光泽
平滑度 Smoothness(10 分)	平滑、细腻、轻柔
纹理结构 Texture structure(25 分)	气孔细密、均匀并呈长形、孔壁薄、无明显孔洞和坚实部分
弹性 Elastic flexibility(10 分)	柔软而富有弹性,下按后复原很快
口感 Taste(5 分)	有豆渣面包特有的香甜味,味纯正、细腻,无霉味

## 1.5 实验设计

1.5.1 单因素实验 选取魔芋胶(MY)、葡萄糖氧化酶(GOD)、硬脂酰乳酸钙(CSL)、双乙酰酒石酸单甘油酯(DATEM)4种品质改良剂进行单因素实验,以感官评分为指标,确定各改良剂的适宜添加量。

1.5.2 响应面实验 在单因素实验基础上依据中心组合设计原理,选取 MY、GOD、CSL、DATEM 4 个因素做响应面分析实验,以获得复合改良剂的最佳配比。

## 1.6 数据分析

利用 Excel 2003 进行数据处理,运用 Design Expert 8.05 b 进行响应面设计和回归方程分析。

## 2 结果与讨论

### 2.1 不同改良剂的单因素实验

2.1.1 魔芋胶 魔芋胶是一种亲水胶体,具有优良的水溶性和增稠性,能够改善面包的质地和口

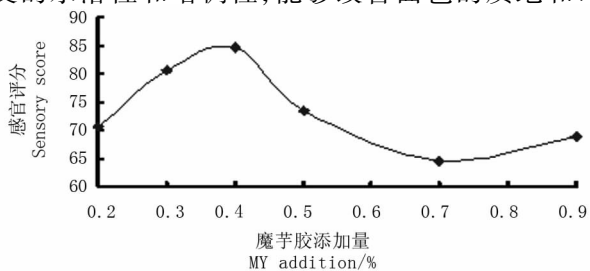


图 1 魔芋胶添加量对豆渣面包感官品质的影响

Fig. 1 Effect of MY addition on sensory quality of okara bread

## 1.4 品质评价

1.4.1 面包比容测定 采用小米置换法测定面包体积<sup>[4]</sup>。比容 = 体积/质量。比容  $>4.50$  为 35 分,比容  $<3.50$  为 0 分。

1.4.2 感观评定 豆渣面包感观评分标准依据面包烘焙质量评分标准(GB/T 14611-2008)略作修订<sup>[5]</sup>,详见表 1。

感<sup>[6]</sup>。图 1 显示,添加魔芋胶对豆渣面包感官品质有一定改良作用,当魔芋胶添加量为 0.4% 时,感官评分达最大值。但随着魔芋胶加入量增大,面包比容逐渐变小,这可能是因为魔芋胶粘稠性较大,降低了面包面筋网络的延伸性和粘弹性。

2.1.2 葡萄糖氧化酶 葡萄糖氧化酶在氧气存在条件下能将葡萄糖转化为葡萄糖酸,同时产生过氧化氢。过氧化氢是一种很强的氧化剂,能够将面筋分子中的巯基(-SH)氧化为二硫键(-S-S-),从而增强面筋强度,提高面团延展性,增大面包体积<sup>[7]</sup>。如图 2 所示,添加葡萄糖氧化酶对豆渣面包品质有一定改善,添加量为 0.0006% 时,豆渣面包感官评分达到最大值。

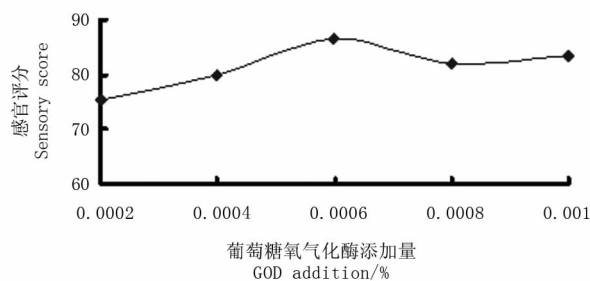


图 2 葡萄糖氧化酶添加量对豆腐渣面包感官品质的影响

Fig. 2 Effect of GOD addition on sensory quality of okara bread

2.1.3 硬脂酰乳酸钙 硬脂酰乳酸钙是一种常用的乳化剂,在面粉中适量添加有利于面筋网络的形成,减少面团在切割、搓圆、整形中的机械损伤<sup>[8]</sup>。由图 3 可知,当硬脂酰乳酸钙添加量为 0.4% 时,豆渣面包感官评分最高。当添加量继续增加时面包

品质反而下降,可能是由于乳化剂与面筋蛋白形成的复合物过于强化面筋网络,不利于面筋网络的延伸所致。

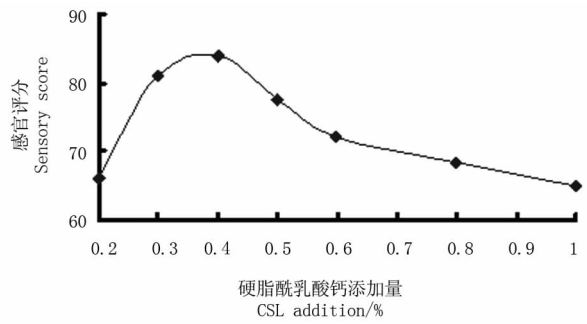


图3 硬脂酰乳酸钙添加量对豆腐渣面包感官品质的影响

Fig.3 Effect of CSL addition on sensory quality of okara bread

2.1.4 双乙酰酒石酸单甘油酯 双乙酰酒石酸单甘油酯可与面筋蛋白发生交互作用,从而增强面团的持气能力。此外,在面团温度达到约 55℃ 时,它可与直链淀粉作用形成螺旋状复合体,从而提高淀粉粒糊化温度,减少了低温时面团中糊化淀粉的总量,防止淀粉的老化、回生,从而使面包组织柔软并

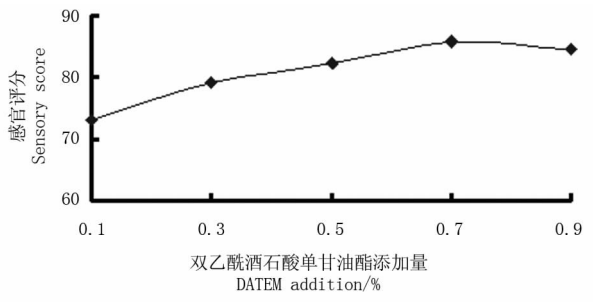


图4 双乙酰酒石酸单甘油酯添加量对豆腐渣面包感官品质的影响

Fig.4 Effect of DATEM addition on sensory quality of okara bread

保持较长时间<sup>[9]</sup>。如图 4 所示,添加双乙酰酒石酸单甘油酯后豆腐渣面包的感官评分有所增加,当其添加量为 0.7% 时感官评分达到最大值。

2.2 响应面实验

在单因素实验基础上依据中心组合设计原理,选取 MY、GOD、CSL、DATEM 4 个因素,采用 Design Expert 8.05b 软件设计 4 因素 3 水平实验,以豆渣面包感官评分为响应值。响应面实验因素水平表见表 2,实验结果见表 3。

表 2 响应面因素水平编码表

水平 Level	A	B	C	D
	MY/%	GOD/%	CSL/%	DATEM/%
-1.71885	0.23	0.00046	0.23	0.16
-1	0.30	0.00060	0.30	0.30
0	0.40	0.00080	0.40	0.50
1	0.50	0.00100	0.50	0.70
1.71885	0.57	0.00110	0.57	0.84

表 3 响应面实验结果

Table 3 Result of response experiment											
序号 No.	A	B	C	D	感官评分 Score	序号 No.	A	B	C	D	感官评分 Score
1	0.4	0.0008	0.4	0.50	84.2	16	0.40	0.0008	0.40	0.5	80.5
2	0.5	0.0010	0.3	0.70	80.0	17	0.30	0.0010	0.50	0.7	81.0
3	0.5	0.0010	0.5	0.30	81.5	18	0.50	0.0006	0.30	0.3	79.0
4	0.3	0.0006	0.5	0.70	82.5	19	0.57	0.0008	0.40	0.5	81.5
5	0.5	0.0010	0.3	0.30	59.5	20	0.50	0.0010	0.50	0.7	78.5
6	0.5	0.0006	0.3	0.70	88.0	21	0.50	0.0006	0.50	0.3	81.5
7	0.3	0.0010	0.3	0.30	75.0	22	0.23	0.0008	0.40	0.5	84.0
8	0.4	0.0011	0.4	0.50	66.0	23	0.50	0.0006	0.50	0.7	85.0
9	0.4	0.0008	0.4	0.84	87.0	24	0.30	0.0006	0.30	0.7	79.0
10	0.4	0.0008	0.4	0.16	83.5	25	0.30	0.0010	0.50	0.3	81.2
11	0.4	0.0008	0.4	0.50	84.0	26	0.40	0.0008	0.40	0.5	83.5
12	0.3	0.0010	0.3	0.70	82.5	27	0.30	0.0006	0.30	0.3	80.0
13	0.4	0.0008	0.4	0.50	78.0	28	0.40	0.0008	0.23	0.5	69.0
14	0.4	0.0008	0.4	0.50	79.0	29	0.40	0.0008	0.57	0.5	82.0
15	0.3	0.0006	0.5	0.30	78.0	30	0.40	0.0005	0.40	0.5	78.0

利用 Design Expert 8.05b 软件对表 3 数据进行方差分析后得到模型的二次多项回归方程:感官评分 = 29.73341 - 36.65602 × MY + 1.07403E + 005 × GOD + 108.44287 × CSL - 29.40933 × DATEM - 1.16250E + 005 × MY × GOD + 80.00000 × MYF × CSL + 56.87500 × MY × DATEM + 78750.00000 × GOD × CSL + 15312.50000 × GOD × DATEM - 88.12500 × CSL × DATEM + 82.73605 × MYF<sup>2</sup> - 7.02804E + 0.07 ×

$GOD^2 - 171.11821 \times CSL^2 + 39.72308 \times DATEM^2$ 。

方差分析结果(表 4)显示,失拟项不显著( $p = 0.1796 > 0.05$ ),而模型的  $p$  值为 0.0052,小于 0.05,表明模型显著。从表 4 还可以看出,一次项(B、C、D)、二次项(B)对结果影响是显著的( $p < 0.05$ ),交互项(AB)对结果影响是显著( $p < 0.05$ ),但一次项(A)、交互项(AC、AD、BC、BD、CD)对结果影响不显著( $p > 0.05$ )。

表 4 方差分析表

Table 4 Analysis of variance

项目 Source	平方和 Sum of squares	自由度 df	方差 Variance	F 值 F value	Prob > F	显著性 Significance
模型 Model	804.93	14	57.49	4.09	0.0052	*
A-MY	5.03	1	5.03	0.36	0.5585	
B-GOD	135.21	1	135.21	9.62	0.0073	*
C-CSL	107.56	1	107.56	7.66	0.0144	*
D-DATEM	100.04	1	100.04	7.12	0.0175	*
AB	73.1	1	73.1	5.2	0.0376	*
AC	11.9	1	11.9	0.85	0.3719	
AD	23.04	1	23.04	1.64	0.2198	
BC	36.6	1	36.6	2.61	0.1273	
BD	4.84	1	4.84	0.34	0.5660	
CD	60.84	1	60.84	4.33	0.0550	
A <sup>2</sup>	11.23	1	11.23	0.799	0.3855	
B <sup>2</sup>	140.47	1	140.47	9.999	0.0064	*
C <sup>2</sup>	47.64	1	47.64	3.39	0.0854	
D <sup>2</sup>	47.42	1	47.42	3.38	0.0861	
残差 Residual error	210.73	15	14.05			
失拟项 Lack of fit	173.69	10	17.37	2.35	0.1796	
纯误差 Pure error	37.03	5	7.41			
总和 Total sum	1015.65	29				

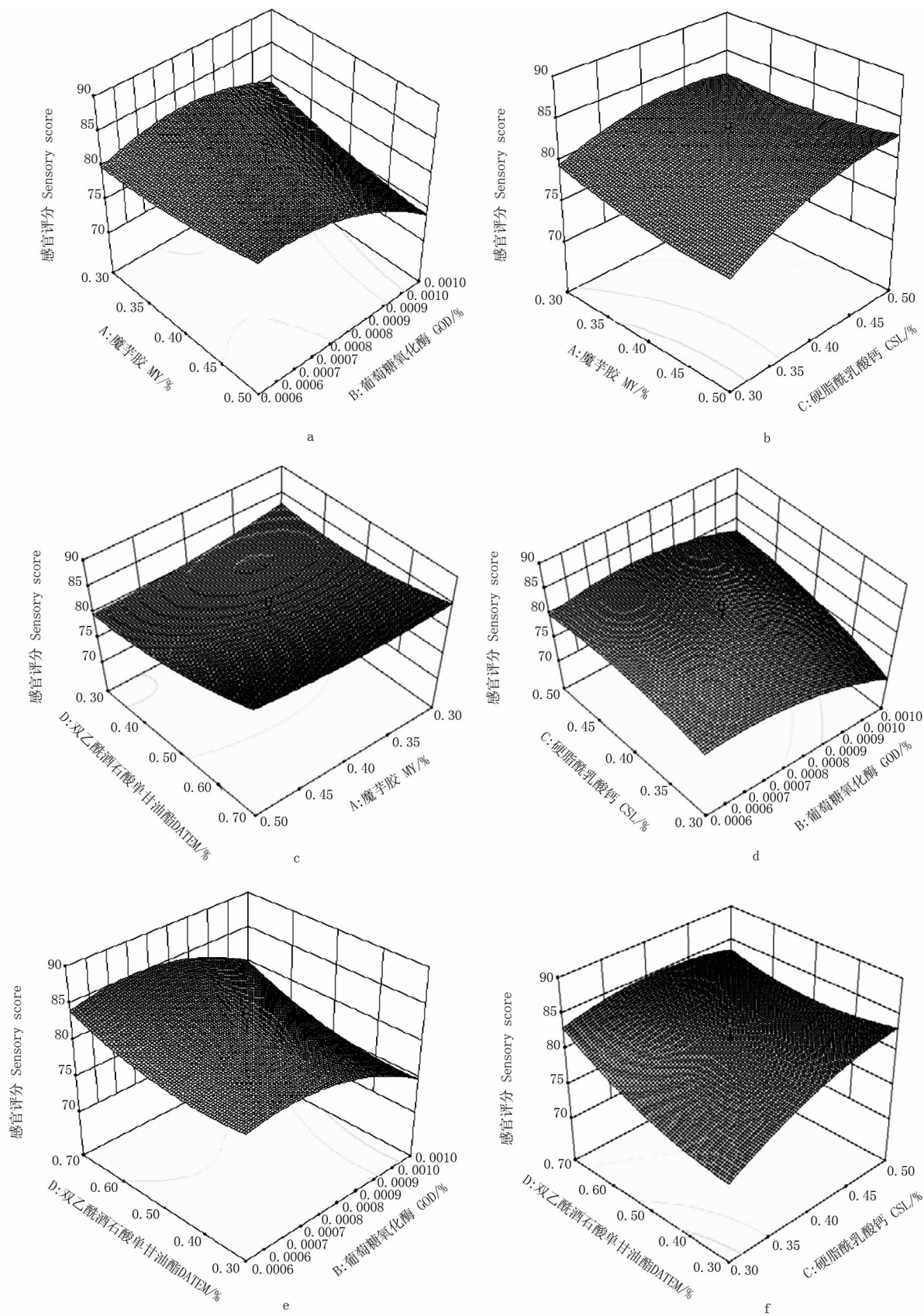
响应面曲面图(图 5)显示,GOD 对豆渣面包感官评分的影响最为显著,随其添加量的增加面包感官评分呈先上升再降低的趋势;当 CSL 的添加量为 0.45% 时豆渣面包的感官评分最高,其添加量为 0.5% 时面包的感官评分开始有所下降;DATEM 随着添加量的增加感官评分逐渐升高;MY 对面包感官评分的影响不显著,但 MY、GOD 的交互作用影响较为显著。

利用 Design Expert 8.05b 软件优化得到豆渣面包复合改良剂的最佳添加量为:魔芋胶 0.5%,葡萄糖氧化酶 0.000 7%,硬脂酰乳酸钙 0.41%,双乙酰酒石酸单甘油酯 0.7%。所得豆渣面包感官评分的

理论值为 88.0004 分(实现可能性为 100%)。采用上述复合改良剂的最佳添加量进行验证实验,豆渣面包感官评分为 88.2 分,与理论值较为接近。

3 结 论

在单因素实验的基础上采用相应面实验设计,确定了豆渣面包复合改良剂的最佳添加量为魔芋胶 0.5%,葡萄糖氧化酶 0.000 7%,硬脂酰乳酸钙 0.41%,双乙酰酒石酸单甘油酯 0.7%。添加复合改良剂后的豆渣面包,其感官品质较未添加组有了很大改善,进一步提高了豆渣在面包中应用的可行性。



a: MY/GOD; b: CSL/MY; c: DATEM/MY; d: CSL/GOD; e: DATEM/GOD; f: DATEM/CSL

图 5 改良剂添加量对豆渣面包感官品质影响的响应面曲面

Fig. 5 Response surface of effects of improver addition on sensory quality of okara bread

## 参考文献

- [1] Skendi A, Biliaderis C G, Papageorgiou M, et al. Effects of two barley  $\beta$ -glucan isolates on wheat flour dough and bread properties [J]. Food Chemistry, 2010, 119: 1159-1167.
- [2] Li B, Qiao M, Lu F. Composition, nutrition and utilization of okara (soybean residue) [J]. Food Reviews International, 2012, 28: 231-252.
- [3] 芦菲, 李波, 张翼, 等. 豆腐渣在面包中的应用研究[J]. 食品工业科技, 2011, 32(9): 336-339. (Lu F, Li B, Zhang Y, et al. Application of bean curd residue in bread[J]. Science and Technology of Food Industry, 2011, 32(9): 336-339.)
- [4] 胡本琼. 面包中比容的测定[J]. 计量与测试技术, 2000(6): 10-12. (Hu B Q. Determination of bread specific volume[J]. Metrology and Measurement Technique, 2000(6): 10-12.)
- [5] GB/T14611-2008. 小麦粉面包烘焙品质试验[S]. 北京: 国家质量监督检验检疫局. (GB/T14611-2008. Experiment of baking quality of the wheat flour bread[S]. Beijing: The State Administration of Quality Supervision Inspection and quarantine.)
- [6] 刘国琴, 陆启玉, 陈洁, 等. 用修正极差法评价魔芋胶对面包品质影响的研究[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2005, 26(2): 5-7. (Liu G Q, Lu Q Y, Cheng J, et al. Assessing the influence of refined conjac meal on bread quality by corrective range analysis[J]. Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition), 2005, 26(2): 5-7.)
- [7] 高红岩, 张守文. 葡萄糖氧化酶复合改良剂对面粉烘焙品质改良效果的验证试验[J]. 食品工业科技, 2005, 26(4): 64-67. (Gao H Y, Zhang S W. Effect of glucose oxidase compound conditioner on baking quality of flour[J]. Science and Technology of Food Industry, 2005, 26(4): 64-67.)
- [8] 滕月斐, 丛琛, 杨磊, 等. 乳化剂影响新鲜及冷冻面团面包品质的研究[J]. 粮食与油脂, 2011, 36(7): 130-135. (Teng Y F, Cong C, Yang L, et al. Study on emulsifiers for improved fresh and frozen dough bread quality[J]. Cereals and Oils, 2011, 36(7): 130-135.)
- [9] 张中义, 孟令艳, 史嘉良, 等. 乳化剂改善无麸质面包烘烤特性的研究[J]. 食品工业, 2011(8): 36-38. (Zhang Z Y, Meng L Y, Shi J L, et al. Improving of emulsifiers on bread quality parameters in gluten-free formulations [J]. Food Industry, 2011(8): 36-38.)

## 产业动态

## 我国大豆疫病研究取得重要进展

王晓莉, 田世艳

(国家大豆产业技术研发中心)

近日, 国家自然科学基金委员会公布了 2012 年度国家杰出青年基金获得者名单, 国家大豆产业技术体系病虫害防控研究室主任王源超教授由于在大豆疫霉根腐病等卵菌病害的致病机理和控制技术方面的突出成绩获得该项基金资助, 此外王源超教授还入选本年度教育部“长江学者奖励计划”特聘教授。

卵菌包括疫霉、霜霉和腐霉等几百种重要病原菌, 可以侵染几千种动物和植物, 每年给全球农业生产造成的直接损失高达几百亿美元。其中, 大豆疫霉根腐病是全球大豆生产上的主要病害之一, 每年导致的经济损失超过 10 亿美元, 在我国东北和黄淮海的许多大豆种植区, 发病田块经常损失过半, 是大豆生产上的重要制约因素之一。种植抗病品种是控制疫霉病害最有效的手段, 但是由于该类病原菌田间变异速度快, 经常导致作物品种抗性的丧失。疫霉菌致病性变异的主要原因是毒性蛋白的快速变异, 因此了解毒性蛋白的作用机理和变异趋势是利用作物抗病品种的重要基础。

在国家大豆产业技术体系、公益性行业科研专项和国家自然科学基金等项目的长期资助下, 王源超教授的研究团队就我国大豆疫霉致病性变异规律和控制技术开展了系统的研究。在以下几方面取得了突出成绩: (1) 解释了大豆疫霉毒性变异机制, 克隆两个新的大豆疫霉无毒基因 *Avr1d* 和 *Avr3b*; 解释了中国大豆疫霉群体中主要无毒基因通过点突变、转座子插入和差异转录等方式进行着复杂的毒性变异; 证明了疫霉菌的毒性蛋白可以相互协作控制植物对病原菌的先天免疫, 从而促进病菌的侵染, 该研究被选为植物学研究的顶级刊物 *Plant Cell* 的封面文章; 发现大豆疫霉可以模拟植物防卫反应抑制因子的作用干扰植物的抗病性, 研究结论对改良植物对卵菌病害的抗性有重要价值; (2) 澄清了大豆疫霉对寄主识别的分子机理, 发现了大豆疫霉通过 G 蛋白信号系统调控对大豆根系分泌异黄酮的识别从而寻找寄主植物, 该研究为筛选新的控制疫病药剂特供了重要的理论基础; (3) 解释了植物对疫霉菌非寄主抗性的分子机理, 鉴定了多种新的疫霉菌分泌类毒性蛋白, 采用病毒诱导的基因沉默技术澄清了 *MPAK* 等多种细胞信号系统在非寄主植物对疫霉菌抗性中的作用; (4) 发掘了一批可用于检疫性有害植物病原菌分子监测的分子靶标, 并在此基础上开发了大豆疫霉等十余种病原菌快速诊断和检测技术, 形成多项国家和行业标准, 并得到广泛应用。

以上研究先后获得教育部自然科学奖和科技进步奖 3 项、在国内外刊物上发表研究论文 120 余篇, 其中包括 *Plant Cell*、*PLoS Pathogens*、*New Phytologist*、*MPMI*、*Science* 等 SCI 收录期刊论文 60 余篇, 其中第一作者或通讯作者 33 篇, 总影响因子超过 100, 被 SCI 刊物引用 500 多次, 3 篇论文入选 ESI 高引论文, 在国际重要学术会议上做特邀报告 10 余次。随着该团队研究的深入, 我国对大豆疫病等植物卵菌病害研究的国际地位显著提升, 国际疫霉菌病害研究最重要的学术会议, 第十二届国际卵菌分子遗传年会也成功在南京召开, 来自全球 12 个国家的 200 多名专家参加了为期 3 天的学术交流。