

随之降低。冷藏情况下,从第一天开始PSE肉的ATP感度下降速率明显低于正常肉,到第五天其ATP感度只有正常肉的70%左右(图5)。保温35℃情况下,ATP感度随保存时间延长而下降,PSE肉ATP感度始终低于正常肉,且下降速度快,说明PSE肉的肌动球蛋白分子的聚合度小,冷藏时变性也比正常肉严重,显示的ATPase活性相对较小(图6)。肌动球蛋白中加ATP后被分解为肌动蛋白和肌球蛋白,分子量减少,粘度下降,加热后,疏水性增大,溶解度减小。肌动球蛋白自由长链由舒展状变成蜷曲状,肌动球蛋白与ATP反应减弱,分子内摩擦减少,表现为宏观感度降低(图7)。由图6知35~45℃之间ATP感度急剧下降,是分子内部变化开始剧烈的阶段。

肌动球蛋白的-SH、ATP感度和超沉淀都在PSE肉和正常肉中有非常好的相关性,其中-SH和ATP感度有极好的变化一致性,都可用来作为猪肉PSE肉和正常肉鉴别的有用指标。

### 3 结 论

3.1 通过超沉淀观察以及浊度测定说明正常肉肌动蛋白与肌球蛋白作用比PSE肉强。

3.2 随冷藏时间增加,游离-SH越来越少,说明PSE肉易于变性。

3.3 从不同温度、不同时间保温来看,正常肉与PSE肉变化规律基本一致,但PSE肉比正常肉变性敏感。

3.4 正常肉比PSE肉肌动蛋白和肌球蛋白的作用程度强,对ATP反应敏感。

### 参考文献:

- [1] Van Laack, R L J M, M B Solomon. Biochemistry of lean muscle tissue as related to water-holding capacity[J]. Proc Recip Meat conf, 1994, 47: 91-97.
- [2] Offer G. modeling of the formation of pale, soft, and exudative meat: effects of chilling regime and rate and extent of glycolysis [J]. Meat Sci, 1991, 30: 157-184.
- [3] Goldspink G, J V McLoughlin. The effect of temperature on the solubility of the sarcoplasmic proteins in the relation to colour changes in post-rigor muscle[J]. Ir J Agric Res, 1964, (3): 9-16.
- [4] Herring H K, Cassens R G, Briskey E J. Studies on bovine natural actomyosin: relationship of ATPase and contractility to tenderness of muscle[J]. Journal of Food Science, 1969, 34: 389-391.
- [5] Ramirez, Jose A, Martha O, et al. Fish myosin aggregation as affected by freezing and initial physical state[J]. J Food Sci, 2000, 65(4): 556-560.
- [6] Wolfe E H, Samejima K. Further studies of postmortem aging effects on chicken actomyosin[J]. J Food Sci, 1976, 41: 244-248.
- [7] B C Bowker, A L Grant, J C Forrest, et al. Muscle metabolism and PSE pork[M]. Proceedings of the American Society of Animal Science, 2000.
- [8] Van Laack, R L J M, Slla R G Kauffman. Glycolytic potential of red, soft, exudative pork longissimus muscle[J]. J Anim Sci, 1999, 77: 2971-2973.
- [9] Karlsson A, R E Klont, X Fernandez. Skeletal muscle fibers as factors for pork quality[J]. Livest Prod Sci, 1999, 60: 255-269.

## 响应曲面法评价环境因子对肉品发酵过程中微生物的影响

李宗军<sup>1</sup>, 江汉湖<sup>2\*</sup>

(1. 湖南农业大学食品科技学院, 湖南 长沙 410128; 2. 南京农业大学食品科技学院, 江苏 南京 210095)

**摘 要:** 用响应曲面试验设计, 研究了盐浓度、水分活度、发酵温度、发酵时间和糖浓度等环境因子对肉品发酵过程中的细菌总数、乳酸细菌、微球菌和酵母菌的影响, 确定了有显著性影响的环境因子, 建立了科学的数学模型。优化了传统酸肉的生产条件, 最佳参数是: 食盐 8%, 水分活度 0.95, 发酵温度 25℃, 发酵时间 25d, 白砂糖 2%。并对最佳工艺发酵 25d 的产品与传统工艺发酵(自然发酵)90d 的产品进行了感官鉴评, 结果没有显著性差异, 新工艺可行。用建立的数学模型对发酵过程中的微生物进行了预测, 结果可靠。这为肉品发酵过程的控制, 提高发酵肉制品的安全性, 缩短生产周期提供了依据, 也是微生物预报的重要基础。

收稿日期: 2003-05-21

\* 通讯联系人

基金项目: 国家 863 项目(2002AA248041)

作者简介: 李宗军, 男, 教授, 博士后, 研究方向为食品微生物与生物技术。

关键词: 肉; 发酵肉制品; 预报微生物学; 响应曲面法

## Effect of Environment Factors on Microorganism and Its Evaluation with Response Surface Analysis During Meat Fermentation

LI Zong-jun, JIANG Han-hu

(1.The College of Food Science and Technology, Hunan Agriculture University, Changsha 410128, China;

2.The College of Food Science and Technology, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

**Abstract:** Effect of environment factors, such as salt concentration, water activity, degree and time of fermentation, sugar concentration etc. on total bacteria, lactic acid bacteria, microcococcus and yeast was studied with response surface experiment design. Significant environmental factors were assured and scientific mathematical models were founded. Conditions of the best technology of traditional fermented meat products--Nanx wudl were salt 8%, Aw 0.95, fermentation degree 25℃, fermentation time 25d, sugar 2%. Sensory evaluation showed non-significant between the products produced by best technology for 25d and that of natural fermentation for 90d, so the renovation techniques were successful. Applied the mathematical model to predict the number of microorganism during fermentation, the result was credible. It gave some information to regulate fermentation, provide safety of fermented meat products and short production cycle, and also as important elements of prediction microbiology.

**Key words:** meat; fermented meat products; prediction microbiology; response curve surface design

中图分类号: TS251.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-6630(2004)01-0039-08

发酵肉制品是重要的肉食产品之一, 它风味独特, 营养丰富, 是嗜好性食品, 深受欧美消费者的喜爱, 目前已成为欧美市场的主流肉食产品。我国对发酵肉制品的系统研究起步较晚, 几乎没有工业化的产品上市, 除了饮食文化方面的差异外, 肉类发酵剂和工业化过程控制等关键技术的匮乏也是重要的制约因素。其实我国的发酵肉制品源远流长, 除“金华火腿”外, 类似于西式发酵香肠的传统酸肉制品在《齐民要术》中已有详细的记载<sup>[1]</sup>, 其制作方法在湖南、贵州、广西等地一直沿用至今, 发酵酸肉也是侗、苗等少数民族居民日常生活的必需品。研究还发现传统酸肉是肉类发酵剂的重要生物资源<sup>[1]</sup>。由于原料的特殊性, 发酵肉制品生产是采用多菌种混合发酵工艺, 因此发酵过程中微生物的控制是确保发酵肉制品安全, 提高产品品质的关键。我们运用响应曲面法研究传统酸肉发酵过程中各主要微生物类群与环境因子间的关系, 就是要实现传统产品工业化生产的过程控制, 为发酵肉制品生产过程中主要微生物的预报提供依据。

### 1 材料与方法

#### 1.1 发酵酸肉的制备

从屠宰猪胴体上取腹部肌肉, 并切分成 250g 左右的小块, 按实验设计的要求加入食盐进行腌制, 腌制后凉干的程度视水分活度的要求而定。加入炒米 6%, 香

辛料 0.5%, 并按实验设计加入食糖, 拌匀后, 装入聚乙烯/铝箔复合包装袋内, 每袋 500g, 真空包装后, 在设定的温度条件下进行发酵。

#### 1.2 微生物分析方法

称取 25.0g 样品, 加入 225ml 0.1% 的无菌蛋白胨溶液中, 经组织捣碎机, 低速和高速各均质 30s, 得到样品稀释液, 采用稀释平板法, 于 MRS(de Man,Rogosa,Sharpe Agar) 培养基上 30℃, 72h 分离乳酸细菌; PCA(Plate Count Agar)培养基上测定菌落总数; 于 MSA(Mannitol Salt Agar)培养基上 30℃, 72h 分离微球菌和葡萄球菌; 于改良 PDA(Potato Dextrose Agar)即加入 0.2%(v/v)浓度为 10% 的无菌酒石酸的培养基上 28℃, 72h 分离酵母菌。各微生物的测定数据均以 lgcfu/g 的形式报告。

#### 1.3 实验设计

分别建立 MRS、PCA、MSA 和 PDA 培养基上微生物生长的数学模型, 以考察供试环境因素对乳酸细菌、菌落总数、微球菌和酵母菌的影响。其数学模型为:

$$Y = b_0 + \sum_{j=1}^p b_j X_j + \sum_{i < j} b_{ij} X_i X_j + \sum_{j=1}^m b_{ij} X_j^2$$

设盐浓度( $X_1$ )、水分活度( $X_2$ )、发酵温度( $X_3$ )、发酵时间( $X_4$ )和糖浓度( $X_5$ )五个因素为自变量, 以 MRS、PCA、MSA 和 PDA 培养基上微生物数量的对数值( $Y$ )为响应值分别建立回归方程。实验因素与水平的取值

如表 1, 实验组合为析因实验点 1/2 实施(即  $2^{5/2}=16$ ); 中心点实验次数为 10; 星号点实验组合为供试因数的 2 倍, 即 10(表 1)<sup>[2~4]</sup>。

表 1 试验因数与水平

因素	单位	上水平 (+1)	下水平 (-1)	零水平 (0)	变化 区间	上星号臂 ( $\gamma=+2$ )	下星号臂 ( $\gamma=-2$ )
盐浓度( $X_1$ )	%	8.0	4.0	6.0	2	10.0	2.0
水分活度( $X_2$ )		0.97	0.93	0.95	0.02	0.99	0.91
发酵温度( $X_3$ )	℃	25	15	20	5	30	10
发酵时间( $X_4$ )	d	60	20	30	10	70	10
糖浓度( $X_5$ )	%	3	1	2.0	1.0	4.0	0

1.4 感官鉴评 参照文献[5]采用 9 点标度法进行。

1.5 数据分析

采用 SAS(1996 年版)数据分析系统和生物统计分析软件(由南京农业大学资源环境学院崔国贤博士后); 用 MATLAB6.2(MATrix LABoratory, 矩阵实验室)作响应曲面图和等高线图。

2 结果与讨论

2.1 回归方程的建立与显著性分析

在试验规定的时间内分别对 36 个试验组合的发酵酸肉中的乳酸细菌、菌落总数、微球菌和酵母菌的数量变化进行测定, 并对测定结果进行统计分析, 其系数矩阵如表 2。

表 2 回归系数矩阵及其显著性分析

回归系数	MRS	PCA	MSA	PDA
$b_0$	7.05	7.080	3.74	5.41
$b_1$	-0.19**	-0.0070	-0.074	-0.080*
$b_2$	-0.24**	-0.14*	-0.27**	-0.10
$b_3$	0.0012	-0.0080	-0.089	0.070
$b_4$	0.091	-0.11*	0.15	0
$b_5$	0.000041	0.039	-0.20*	-0.0070
$b_{12}$	0.023	-0.090	0.12	-0.050
$b_{13}$	-0.033	0.040	0.19*	-0.077
$b_{14}$	0.17*	-0.040	0.00060	-0.15*
$b_{15}$	-0.20*	0.090	-0.026	0.15*
$b_{23}$	0.00062	0.21*	0.11	-0.19*
$b_{24}$	-0.28**	-0.030	-0.0056	0.066
$b_{25}$	0.068	-0.050	-0.016	-0.18*
$b_{34}$	-0.019	-0.040	-0.25*	-0.033
$b_{35}$	0.037	-0.12	-0.28	-0.0037
$b_{45}$	-0.067	-0.070	0.12	0.072
$b_{11}$	-0.098	-0.31**	0.0086	-0.071
$b_{22}$	-0.068	-0.15*	-0.016	-0.010
$b_{33}$	-0.16*	0.040	0.20*	0.21**
$b_{44}$	-0.10	-0.15*	0.05	0.010
$b_{55}$	-0.15*	-0.10*	-0.0026	-0.068

从表中可以看出, 在发酵过程中乳酸细菌受水分活度与发酵时间交互作用的影响最大, 水分活度和盐浓度次之, 三者均达到极显著水平( $p < 0.01$ ), 并呈负相关效应。盐浓度对菌落总数有极显著的最强负效应, 水分活度与发酵温度的交互作用、水分活度和发酵时间的影响次之, 达到显著水平( $p < 0.05$ )。微球菌与水分活度之间有极显著的最强负效应, 发酵温度与发酵时间的交互作用、糖浓度、发酵温度的影响也达到显著性水平, 另外发酵温度与糖浓度的交互作用对微球菌的作用应加以关注。发酵温度对酵母菌数量变化产生极显著的最强正效应, 水分活度与发酵温度、水分活度与糖浓度的交互作用有显著负效应, 发酵时间对酵母菌数量的变化几乎没有影响。

依据回归系数矩阵我们可以分别建立乳酸细菌、菌落总数、微球菌和酵母菌与试验因素间的回归方程。精确的回归方程不仅可以揭示响应值受试验因子影响的程度和趋势, 而且可以作为特定试验条件下响应值的预报模型, 是预报微生物学的重要理论基础之一, 回归方程还是试验工艺优化的重要依据。因此, 有必要对上述 4 个回归方程进行 F 检验, 结果见表 3、4、5、6。

表 3 乳酸细菌回归方程的 F 检验 相关系数=0.817

变异来源	自由度	平方和	均方	比值 F	$F_{0.05}$	$F_{0.01}$
一次项	5	2.57	0.51	4.67**	$F(5,15)=2.80$	$F(5,15)=4.56$
二次项	5	2.40	0.48	4.36*	$F(5,15)=2.80$	$F(5,15)=4.56$
交互项	10	2.54	0.25	2.31	$F(10,15)=2.55$	$F(10,15)=3.80$
失拟项	6	0.83	0.14	1.56	$F(6,9)=3.37$	$F(6,9)=5.80$
误差项	9	0.85	0.09			
回归	20	7.51	0.38	3.41**	$F(20,15)=2.33$	$F(20,15)=3.36$
残差	15	1.68	0.11			
总离差	35	9.19				

表 4 菌落总数回归方程的 F 检验 相关系数=0.785

变异来源	自由度	平方和	均方	比值 F	$F_{0.05}$	$F_{0.01}$
一次项	5	0.73	0.15	1.13	$F(5,15)=2.80$	$F(5,15)=4.56$
二次项	5	4.89	0.98	7.52**	$F(5,15)=2.80$	$F(5,15)=4.56$
交互项	10	1.48	0.15	1.14	$F(10,15)=2.55$	$F(10,15)=3.80$
失拟项	6	1.05	0.18	1.75	$F(6,9)=3.37$	$F(6,9)=5.80$
误差项	9	0.89	0.10			
回归	20	7.10	0.36	2.73*	$F(20,15)=2.33$	$F(20,15)=3.36$
残差	15	1.94	0.13			
总离差	35	9.04				

表 5 微球菌回归方程的 F 检验 相关系数=0.754

变异来源	自由度	平方和	均方	比值 F	$F_{0.05}$	$F_{0.01}$
一次项	5	3.55	0.71	4.18*	$F(5,15)=2.80$	$F(5,15)=4.56$
二次项	5	1.31	0.26	1.55	$F(5,15)=2.80$	$F(5,15)=4.56$
交互项	10	3.67	0.37	2.16	$F(10,15)=2.55$	$F(10,15)=3.80$
失拟项	6	1.87	0.31	3.1	$F(6,9)=3.37$	$F(6,9)=5.80$
误差项	9	0.92	0.10			
回归	20	8.53	0.43	2.53*	$F(20,15)=2.33$	$F(20,15)=3.36$
残差	15	2.79	0.17			
总离差	35	11.32				

表6 酵母菌回归方程的F检验 相关系数=0.789

变异来源	自由度	平方和	均方	比值F	F <sub>0.05</sub>	F <sub>0.01</sub>
一次项	5	0.53	0.11	1.33	F(5,15)=2.80	F(5,15)=4.56
二次项	5	1.67	0.33	4.22*	F(5,15)=2.80	F(5,15)=4.56
交互项	10	2.22	0.22	2.81*	F(10,15)=2.55	F(10,15)=3.80
失拟项	6	0.14	0.023	0.19	F(6,9)=3.37	F(6,9)=5.80
误差项	9	1.04	0.12			
回归	20	4.42	0.22	2.79*	F(20,15)=2.33	F(20,15)=3.36
残差	15	1.18	0.079			
总离差	35	5.60				

从整体上讲, 4个回归方程都具有显著性差异, 失拟项和误差项未表现出显著性, 方程拟合实验结果良好。其中乳酸细菌回归方程的拟合程度最高, 达到极显著水平, 一次项和二次项对响应值影响显著。微球菌回归方程比较而言拟合程度较差, 这可能与传统发酵酸肉生产过程中所采用的包装方式有关, 民间生产用坛、木桶或竹筒进行密封发酵, 发酵初期有氧气存在, 有利于微球菌的生长, 而在本试验设计中, 采用真空包装, 去除了发酵环境中的氧气, 它作为因素之一与其它供试因素的交互作用对微球菌有显著生态效应, 从而导致回归方程拟合上的误差。

综上所述, 乳酸细菌的回归方程是:  $Y_{MRS}=7.05-0.19X_1-0.24X_2+0.0012X_3+0.091X_4+0.023X_5X_2-0.033X_1X_3+0.17X_1X_4-0.2X_1X_5-0.28X_2X_4+0.068X_2X_5-0.019X_3X_4+0.037X_3X_5-0.067X_4X_5-0.098X_{12}-0.068X_2^2-0.16X_3^2-0.1X_4^2-0.15X_5^2$ 。同理可知其它3个响应值回归方程。

## 2.2 发酵过程中环境因子对微生物的影响

通过对表2回归系数矩阵的进一步分析, 可以明晰菌落总数、乳酸菌、微球菌、酵母菌与试验中所设环境因素间的生态效应。

### 2.2.1 单因子效应

盐浓度对菌落总数、微球菌、乳酸菌和酵母菌有负效应, 即随着盐浓度的增加, 微生物的数量会下降, 除微球菌外, 对其他三类微生物的影响均表现出显著性, 这与微球菌有较强的食盐耐受性有关, 食盐浓度对菌落总数的生态效应最强, 因为菌落总数中许多微生物具有食盐敏感性, 随着盐浓度的增加, 菌落总数明显下降, 这也是腌制食物保藏的基本原理。

水分活度(activity of water, Aw)同盐浓度一样表现出负的生态效应, 微球菌受影响最大, 乳酸菌次之, 这是因为微球菌主要在肉的表面生长, 而水分活度的变化首先发生在肉的表面, 水分活度对酵母菌的影响最小, 且无显著性差异, 因此在实际工业化生产过程中, 通过调节水分活度来控制酵母菌生长的可能性相对较小。但若是以酵母菌作为发酵剂来进行发酵食品的生产, 可以通过控制水分活度, 抑制非酵母微生物的生长, 而对酵母的生长影响不大, 从而保证酵母发酵食品的顺利进行。

发酵温度对乳酸菌为负效应, 其它为正效应。相关研究表明传统发酵酸肉中的乳酸细菌主要是米酒乳杆菌<sup>[6]</sup>, 属嗜冷性微生物, 在低温下生长良好。菌落总数、微球菌和酵母菌随着温度的升高, 微生物的数量增加, 并以酵母菌和微球菌的变化最为明显。

发酵时间对菌落总数有显著性的负效应, 而对其它三类微生物指标没有显著性影响, 特别是从一次效应项来看对酵母菌没有影响, 这与发酵过程中酵母菌总数变化最小的结论是一致的<sup>[6]</sup>。

糖浓度对四类微生物指标均有负效应, 这是由于侗族传统酸肉发酵过程中的微生物主要是乳酸细菌, 糖浓度增加, 预示着酸肉的pH值急剧下降, 从而影响到其他三类微生物的生长。

### 2.2.2 显著交互作用对响应值的影响

从表2中选取对乳酸细菌、菌落总数、微球菌和酵母菌有显著作用的交互效应项, 分别作出它们的响应曲面和等高线。

对乳酸细菌有显著作用的交互项有 $X_{24}$ ,  $X_{15}$ ,  $X_{14}$ , 响应曲面图和平面等高线如图1、2、3。图1中, 水分活度在0.93~0.94时, 发酵45~50d, 乳酸菌数量最高, 因为低水分活度, 降低了微生物的繁殖速度; 水分活度在0.96~0.97时, 乳酸细菌随发酵时间的延长而减少, 高水分活度条件下, 多种微生物的竞争生长, 使乳酸细菌处于生长不利地位。图2中, 在发酵的前25d内, 乳酸细菌随着盐浓度的增加而减少; 发酵35d以后, 不耐盐的乳酸细菌被淘汰, 米酒乳杆菌等耐盐性微生物对环境有了适应能力, 该发酵期内, 盐浓度从5%上升到8%对乳酸细菌的影响不大, 完全符合米酒乳杆菌的生理特性。图3中, 盐浓度7%~8%, 糖浓度2%~3%时, 乳酸菌在生存竞争中取得优势地位, 并达到最大值; 而盐浓度低于5%, 糖浓度升高时, 乳酸细菌在竞争处于劣势, 数量下降到最小值。仅有盐浓度和发酵温度的交互作用对菌落总数有显著性影响, 其响应曲面和等高线如图4。水分活度0.95以下, 发酵温度30℃以上, 菌落总数最低。

从图5、6中可以看出, 盐浓度、发酵时间、发酵温度对MSA培养物的显著交互作用效应是盐浓度高, 发酵时间长, 温度低, 微球菌数量高。

通过图7、8、9、10响应曲面和等高线图的比较分析, 各供试因子在零水平时, 酵母菌cfu/g的对数值保持在5.4左右, 符合发酵过程中酵母菌的实测结果。

## 3 回归方程的应用

### 3.1 生产工艺的优化

根据传统酸肉发酵过程中的微生物变化规律<sup>[1]</sup>, 利用上述回归方程的偏导数解, 经过综合比较, 确定了传统酸肉的最佳发酵工艺条件为: 食盐8%, 水分活度

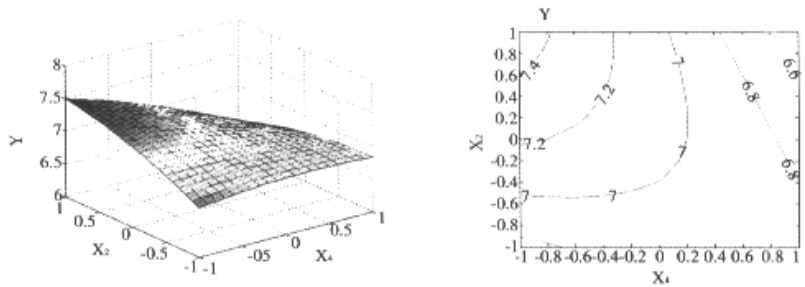


图1  $Y_{MRS}=f(X_2, X_4)$ 的响应曲面图与等高线

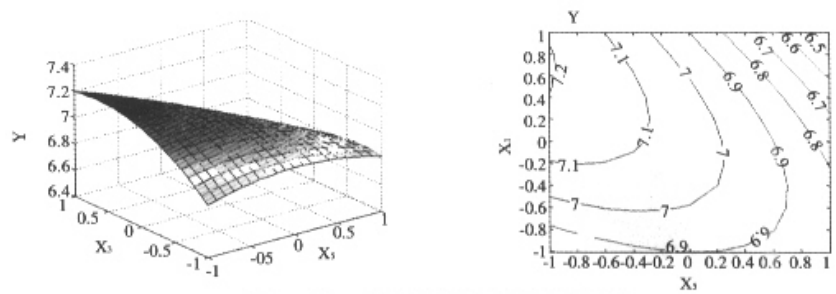


图2  $Y_{MRS}=f(X_1, X_3)$ 的响应曲面图与等高线

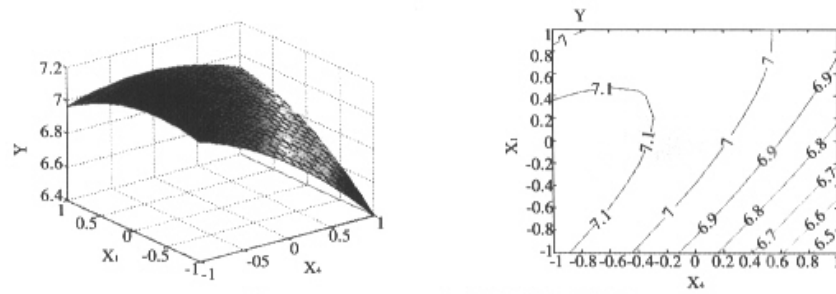


图3  $Y_{MRS}=f(X_1, X_4)$ 的响应曲面图与等高线

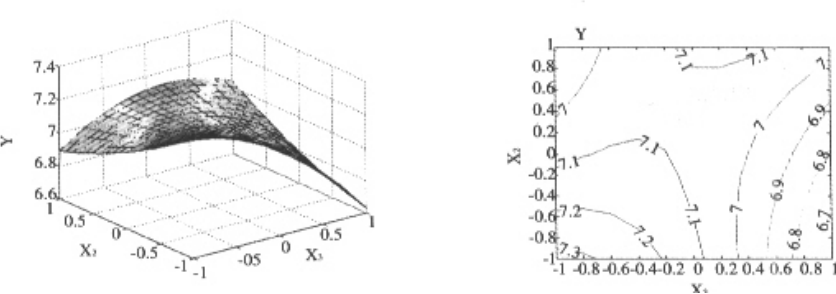
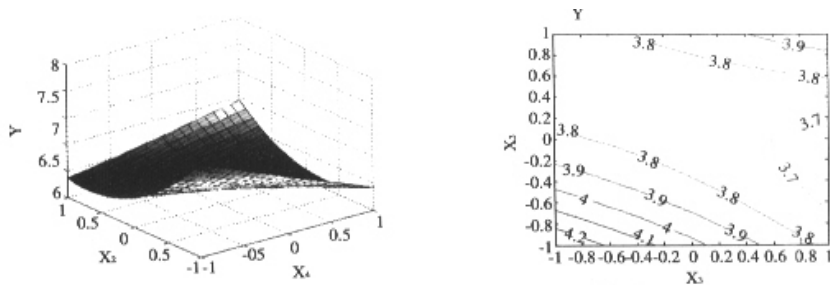
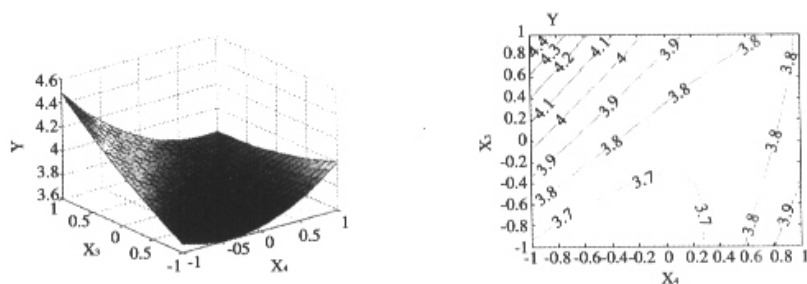
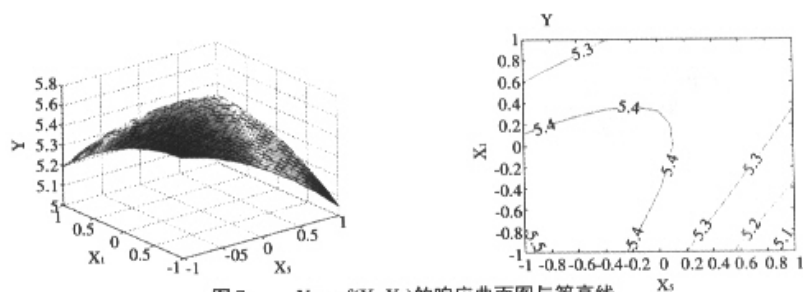
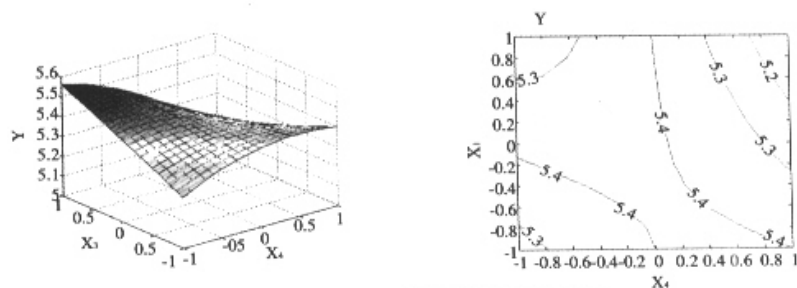


图4  $Y_{PCA}=f(X_2, X_3)$ 的响应曲面图与等高线

图5  $Y_{MSA}=f(X_1, X_3)$  的响应曲面图与等高线图6  $Y_{MSA}=f(X_3, X_4)$  的响应曲面图与等高线图7  $Y_{PDA}=f(X_1, X_3)$  的响应曲面图与等高线图8  $Y_{PDA}=f(X_1, X_4)$  的响应曲面图与等高线

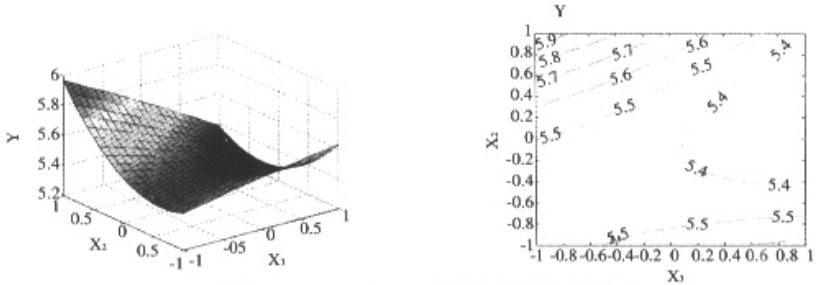


图9  $Y_{PDA}=f(X_2,X_3)$ 的响应曲面图与等高线

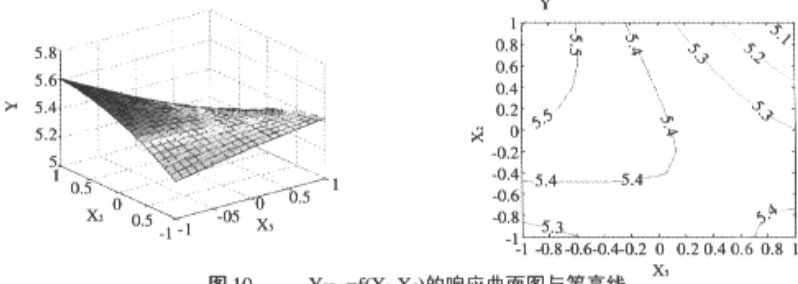


图10  $Y_{PDA}=f(X_2,X_3)$ 的响应曲面图与等高线

0.95, 发酵温度 25℃, 发酵时间 25d, 白砂糖 2%。并将最佳工艺条件生产的产品与传统工艺生产的产品进行了感官鉴评, 各指标的综合得分见表 7。新工艺发酵 25d 的产品与传统工艺发酵(自然发酵)90d 的产品之间, 感官鉴评没有显著性差异, 新工艺可行。

从表中可以看出, (1)新工艺发酵 25d 的产品与传统发酵 90d 的产品, 在瘦肉色泽、脂肪颜色、多汁性、硬度、盐度、酸度、香气、滋味及可接受程度等感官指标上没有表现出显著差异, 这说明发酵过程的优化, 可以改变微生物之间的更迭, 特别是加入微生物发酵剂可

以缩短发酵周期, 改善产品的品质。(2)在感官鉴评的指标体系中, 产品的滋味和可接受程度之间的差异达到了极显著水平 ( $\alpha = 0.01$ )。微生物的变化和发酵时间对产品的滋味特性有巨大影响, 这为微生物发酵剂的应用及选定工艺参数提供了依据。(3)优化发酵 25d 和自然发酵 90d 的产品有较高的可接受性, 两个产品切片后通过微波炉加热处理(样品编为 5、6 号), 进行成对数据的显著性比较分析, 结果未见显著性差异, 优化工艺大大缩短了生产周期。

对于肉食生产企业而言, 建立方便、有效的感官评

表 7 感官鉴评结果

指标	样品 1	样品 2	样品 3	样品 4	样品 5	样品 6
瘦肉色泽	5.45 ± 2.06 <sup>c</sup>	7.36 ± 1.50 <sup>a</sup>	7.27 ± 1.48 <sup>ab</sup>	5.63 ± 2.11 <sup>c</sup>	7.18 ± 1.40	7.00 ± 1.78
脂肪颜色	5.27 ± 1.95 <sup>b</sup>	6.45 ± 1.36 <sup>ab</sup>	7.00 ± 1.26 <sup>a</sup>	5.45 ± 1.69 <sup>b</sup>	6.55 ± 1.51	6.00 ± 1.16
多汁性	5.36 ± 1.12 <sup>b</sup>	6.72 ± 1.34 <sup>a</sup>	5.45 ± 1.29 <sup>b</sup>	5.36 ± 1.43 <sup>b</sup>	5.91 ± 1.44	5.82 ± 1.15
硬度	5.27 ± 1.00 <sup>a</sup>	5.91 ± 1.92 <sup>a</sup>	5.73 ± 1.90 <sup>a</sup>	6.27 ± 1.34 <sup>a</sup>	6.45 ± 1.63	6.27 ± 1.34
酸度	5.00 ± 1.00 <sup>b</sup>	5.36 ± 0.67 <sup>b</sup>	5.63 ± 0.92 <sup>b</sup>	6.63 ± 1.20 <sup>a</sup>	5.73 ± 1.10	5.73 ± 1.10
盐度	5.90 ± 1.13 <sup>a</sup>	5.36 ± 0.50 <sup>a</sup>	5.45 ± 0.68 <sup>a</sup>	5.72 ± 1.00 <sup>a</sup>	5.55 ± 0.82	6.09 ± 1.04
香气	5.64 ± 1.91 <sup>c</sup>	7.00 ± 1.61 <sup>a</sup>	6.90 ± 1.13 <sup>ab</sup>	6.02 ± 1.27 <sup>c</sup>	7.73 ± 0.64	7.45 ± 1.03
滋味	5.27 ± 2.28 <sup>b</sup>	7.73 ± 1.19 <sup>a</sup>	7.63 ± 1.12 <sup>a</sup>	6.18 ± 1.60 <sup>b</sup>	7.82 ± 1.40	7.55 ± 1.12
接受程度	5.82 ± 2.13 <sup>b</sup>	7.82 ± 1.07 <sup>a</sup>	7.73 ± 1.19 <sup>a</sup>	6.81 ± 1.32 <sup>ab</sup>	7.82 ± 1.16	7.36 ± 1.28

注: 样品 1, 新工艺发酵 60d; 样品 2, 新工艺发酵 25d; 样品 3, 自然发酵 90d; 样品 4, 自然发酵 60d; 样品 5, 2 号样品微波炉中高温加热 2min; 样品 6, 3 号样品微波炉中高温加热 2min。

价体系,对开发新产品,降低生产成本,完善生产工艺和开拓市场有重要意义<sup>[7,8]</sup>。微生物发酵剂在发酵肉制品生产中发挥着重要作用,不同的微生物发酵剂对产品感官性状的贡献不一样<sup>[9~11]</sup>。可以从消费者的角度,通过感官评价进行肉品发酵剂的筛选,这方面的工作有待进一步深入研究。

### 3.2 微生物数量的预测预报

通过回归方程计算不同工艺条件下,乳酸细菌、菌落总数、微球菌和酵母菌的理论值(cfu/g),并与实验测定数据进行比较,平均误差[(理论值-实测值/理论值)×100%, n=6]范围分别是-1.38%~14.47%, 4.89%~26.12%, 1.88%~20.23%, 4.45%~16.36%。这些数学模型可以作为预报微生物学的重要基础,对食品品质控制和提高发酵食品的安全性有重要意义。

## 4 结论

环境因子对发酵肉制品的微生物更迭有重要影响,通过响应曲面法试验设计,不仅可以优化发酵工艺,促进有益微生物的生长,抑制有害微生物,提高产品的安全性,改善产品的品质,缩短生产周期,实现发酵过程的数字化控制,而且也是微生物预报预测的重要手段。

### 参考文献:

- [1] 李宗军.侗族发酵酸肉(Nanx wudl)的微生物菌系及其挥发性风味组分的研究[J].南京农业大学博士学位论文,2002.
- [2] 洪楠,侯军.统计分析系统教程(SAS for windows)[M].电子工业出版社,2001.
- [3] 萧兵,钟俊维.农业多因素试验设计与统计分析[M].湖南科学技术出版社,1985.
- [4] 张全德.农业试验统计模型[M].浙江科学技术出版社,1985.
- [5] Lawless H T 著,王栋,等译.食品感官评价原理与技术[M].北京:中国轻工业出版社,2001.
- [6] 李宗军,江汉湖.侗族发酵酸肉的微生物学特性[J].中国微生物生态学杂志,2002,(1):19-22.
- [7] Matulis R J.Sensory characteristics of Frankfurters as affected by fat, salt and pH[J].J Food Sci,1995,60(1):40-47.
- [8] Matulis R J.Sensory characteristics of Frankfurters as affected by fat, salt and pH[J].J Food Sci,1995,60(1):48-54.
- [9] Hagen H,Nase H.Accelerated production of dry fermented sausages[J].Meat Sci,1996,43:S229-S242.
- [10] Oventry J,Hickey M W.Growth characteristics of meat starter cultures[J].Meat Sci,1991,30:41-48.
- [11] Nase H,Holck A L,Alexsson H J,et al.Accelerated ripening of dry fermented sausage by addition of a Lactobacillus proteinase[J].Int J Food Sci Technol,1995,29:651-659.

# 食品液体(南瓜汁)蒸发浓缩过程动力学研究

高丽兰,刘振义\*,李丁,宋继田,赵鸿汉  
(天津科技大学机械工程学院,天津 300222)

**摘 要:** 本文对蒸发浓缩过程营养损失动力学进行了研究,建立了汽-液-固三相循环流化床蒸发器蒸发浓缩南瓜汁时胡萝卜素损失的动力学模型。实验结果表明:模型预测值与实验值吻合良好,该模型对工业生产有一定的应用价值。

**关键词:** 南瓜汁;蒸发浓缩;营养损失;动力学

## Kinetics Study of Food Liquid(Pumpkin Juice) during Evaporating Concentration Process

GAO Li-lan, LIU Zhen-yi, LI Ding, SONG Ji-tian, ZHAO Hong-han  
(College of Mechanical Engineering, Tianjin University of Science and Technology Tianjin 300222, China)

**Abstract:** We have studied nutrients degradation kinetics for evaporating concentration process in this paper, and set up the kinetics model of carotene loss during the process of evaporating pumpkin juice with circulating fluidized bed evaporator with

收稿日期:2003-06-19 \* 通讯联系人

基金项目:天津市自然科学基金资助项目(003604211)

作者简介:高丽兰(1978-),女,硕士研究生,主要研究食品液体新型蒸发设备及浓缩过程营养损失动力学。