

三种致病菌在鲜榨苹果汁中的生存 / 死亡概率预测模型

李 军^{1,2}, 汪政富³, 葛毅强³, 胡小松³

(1. 中国检验检疫科学研究院, 北京 100025; 2. 河北科技师范学院食品工程系, 秦皇岛 066600;
3. 中国农业大学食品科学与营养工程学院, 北京 100083)

摘 要: 采用三因素五水平中心组合试验设计(CCD), 应用二值变量描述了大肠杆菌、沙门氏菌和金黄色葡萄球菌等致病菌在不同温度、pH和水分活度下的生存状况, 通过Logistic回归过程建立了生存概率与生长抑制因子之间关系的数学预测模型, 确定了其在鲜榨苹果汁中生存的限制条件, 同时分析了温度、pH和水分活度在生长临界条件下的协同作用。经过实验验证, 大肠杆菌、沙门氏菌、金黄色葡萄球菌的生存概率模型的预测结果与实际测定结果基本一致, 在鲜榨苹果的水分活度下($A_w=0.98$ 左右), 生存概率 $p=0.1$ 时的等值线可以作为细菌生存的临界线, 从而确定鲜榨苹果汁中致病菌的生存临界条件。

关键词: 鲜榨苹果汁; 致病菌; 生存 / 死亡概率预测模型

Surviving Probability Modeling on the Growth/no-growth Interface of *Escherichia coli*, *Salmonella enterica* and *Staphylococcus aureus* Henrici in Fresh Apple Juices

LI Jun^{1,2}, WANG Zheng-fu¹, GE Yi-qiang³, HU Xiao-song³

(1. Chinese Academy of Inspection and Quarantine, Beijing 100025, China 2. Department of Food Engineering, Hebei Normal University of Science and Technology, Qinhuangdao 066000, China 3. College of Food Science and Nutritional Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract: By means of three five-level variables for Central Composite Design (CCD), the growth and no growth situations of three strains, *Escherichia coli*, *Salmonella enterica* and *Sarcina aurea* Henrici under different conditions of temperature, pH and water activity (A_w) were studied with two-valued variables. Three mathematical models to predict the relations between the surviving probability and the growth control factors were established with Logistic Regression processing, and with the models the constraint conditions of bacteria survived in fruit juices were determined, and the coordinated effects of pH, A_w and temperature under critical conditions were analyzed. The predicted outcomes with the predicting models agreed with the experimental results for the above mentioned three bacteria. The surviving probability isoline under the conditions of $0.98 A_w$ with $p=0.1$ could be used as a critical line of the bacteria surviving critical conditions to identify the pathogenic bacteria in the fresh apple juices.

Key words: fresh apple juice; pathogenic bacteria; growth/no-growth probability predictive model

中图分类号: TS201.3

文献标识码: A

文章编号: 1002-6630(2005)12-0118-06

收稿日期: 2004-10-14

基金项目: 国家“十五”重大科技专项(2001BA501A21)

作者简介: 李军(1971-), 男, 博士, 研究方向为农产品贮藏与加工及食品安全。

α -terpineol with various organic acids application of the Plackett-Burman design[J]. *Process Biochemistry*, 2001, 36: 1125-1128.

[7] Dubois M, Gilles K A, Hamilton J K, et al. Colorimetric method for determination of sugars and related substances [J]. *Anal Chem*, 1956, 28: 350-356.

目前在欧洲和美国鲜榨苹果汁的销量已占市场总额的40%以上^[1],鲜榨苹果汁已经成为苹果加工未来发展一个重要方向。

为了保持鲜榨苹果汁的新鲜风味和口感,一般不进行加热杀菌而采用非热杀菌(Non-thermal Inactivation)技术保持果汁的生物稳定性^[2]。与加热杀菌相比,非热杀菌效果较差,虽然果汁出厂前一般可以达到卫生质量要求,但是鲜榨苹果汁在冷链运输过程中,如果环境条件控制不当,很可能造成致病菌的大量增生。

通过调节环境温度、酸度和水分含量对食品质量进行控制是千百年来人类沿用的贮藏加工技术,随着经验和数据的不断积累已经形成了较为完善的栅栏理论(Hurdle Concept)体系,并在肉制品和海产品的加工贮藏中得到了广泛应用,成为现代食品加工技术的重要组成部分^[3]。将栅栏理论应用于鲜榨苹果汁的加工和贮运过程,在相对温和的条件下通过控制环境条件变化抑制微生物的生长和繁殖将会更好的保持产品的新鲜风味和营养。

预测微生物学(Predictive Microbiology)是现代食品微生物学的一个重要分支,它是根据微生物在不同环境条件生长变化规律,建立微生物生长状况和环境条件之间关系的数学模型,客观评价加工和贮运过程对食品卫生安全质量影响的一门新兴学科^[4]。生存概率预测是预测微生物学的主要内容,概率预测模型是用数学方法对食品中致病菌在不同环境条件下的生存状况进行描述,掌握其在生存/死亡临界条件,为生产中合理控制环境条件,保证产品卫生安全质量提供依据。随着人民生活水平的不断提高,消费者对于食品卫生安全质量的要求也越来越高。致病菌的概率预测模型随着数据的丰富,而更加完善,准确性不断提高,为微生物检验提供了一种低成本、操作简便、结果可靠的快速判定方法,克服了传统的食品卫生检验方法成本高、耗时、繁琐的缺点,已经逐渐成为食品微生物检验和食品安全预警系统的重要技术手段。

自从Ratkowsky和Ross将Logistic回归模型应用于食品微生物以来,近几年来对不同环境条件下微生物的概率预测模型研究发展非常迅速,其巨大潜力吸引了研究者的巨大的兴趣和资金,包括美国、英国、澳大利亚以及欧洲^[5~7]。Gibson等在对非恒温过程中细菌细胞耐热性进行了研究,通过活菌计数法,得到大肠杆菌热致死数与加热温度、pH值、水分活度等环境参数之间关系的数据,并以此为基础提出了增殖延迟时间解析法,已成为重要基础实验方法^[14]。本研究的目的:通过建立鲜榨苹果汁中主要致病菌的存活/死亡概率预测模型,用数学方法描述环境因素如:温度、pH值和水分活度 A_w 对其生存概率的影响,确定其在鲜榨苹果汁中生存的限制条件,从而通过调整鲜榨苹果汁的成分和控制其运输

和贮存温度达到限制致病菌存活的目的,同时为控制鲜榨苹果汁的生产、运输和贮存条件,限制致病菌的生长,提供了理论依据。

1 材料与方法

1.1 菌株

大肠杆菌(CGMCC AS1.90)、沙门氏菌(CGMCC AS1.1552)和金黄色葡萄球菌(CGMCC AS1.128),均购自中国科学院微生物研究所。上述菌种均划线培养于LB试管斜面,4℃冰箱贮存,每月传代一次以保持活力。

1.2 主要仪器和试剂

BD5-MS2100水分活度快速测试仪 北京北斗星工业化学研究所生产;pHS-3C酸度计 萧山市鑫龙医疗仪器有限公司生产;723分光光度计 上海光谱仪器厂;甘油,分析纯 天津市化学试剂二厂;苹果酸,分析纯,DL苹果酸 北京化工厂。

1.3 方法

1.3.1 鲜榨苹果汁的制备

选取新鲜成熟无病斑、无划伤的国光苹果,清洗干净后切瓣去除果梗、果蒂和果核,放入匀浆机中打成匀浆,经小型榨汁机压榨得到的苹果汁,高温短时灭酶处理后,通过0.2μm的Pall过滤器过滤得到鲜榨苹果清汁,透光率为98.5%,灌装于无菌塑料桶中,4℃冰箱贮存备用。

实验过程中pH值以25%苹果酸溶液调整,用pH计测定;水分活度 A_w 用80%甘油溶液调整,用水分活度计测定。

1.3.2 标准吸收曲线的绘制

取用肉汤培养基37℃富集培养24h的菌液10ml,12000r/min离心5min,用无菌蒸馏水冲洗2次,依次用鲜榨苹果汁稀释到 10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3} …… 10^{-10} 稀释度,以鲜榨苹果汁作空白,分别测其吸光度;取 10^{-6} 以后的稀释度铺平板,37℃培养24h后菌落计数,以菌液浓度为横坐标,以吸光度值为纵坐标绘出该种菌的标准吸收曲线。

1.3.3 细菌生长条件理论最低值的确定

用肉汤培养基培养三种致病菌,通过调整温度、水分活度和pH测定最大生长速率,计算生长条件理论最低值。

在对数生长期,微生物的群体生长类似于化学反应的一级自身催化反应,即某一时刻细胞数量(或菌体质量)的增加速率和该时刻的细胞数目(或质量)之比为常数。如果在对数生长期 t_0 时测得细胞数目为 N_0 , t 时测得 N_t ,根据下式可计算出培养物的比生长速率常数 μ :

$$\mu = \frac{(\lg N_t - \lg N_0)}{t - t_0} \times 2.303 \quad (1)$$

最低生长温度 T_{min} , 由水分活度为 $A_w=0.99$, pH6.5 时不同温度条件下三种致病菌在肉汤培养基中的比生长速率, 采用 SPSS V11.0 统计软件, 应用 Levenberg-Marquardt 过程对 Ratkowsky 模型参数进行迭代计算得出。

$$\mu_{max}=b(T-T_{min})\{1-\exp[c(T-T_{max})]\} \quad (2)$$

式中:

μ_{max} — 细菌最大生长速度 (无量纲数);

T_{min}, T_{max} — 细菌生长的理论极限温度值 ($^{\circ}\text{C}$);

b, c — 分别为模型参数 (无量纲数)。

同样对于最低水分活度 A_{wmin} 和 pH_{min} , 首先测定温度为 37°C , pH6.5, 水分活度 A_w 分别为 0.93、0.94、0.95、0.96、0.97、0.98 和 0.99 时以及温度为 37°C , 水分活度 $A_w=0.99$, pH 分别为 7、6、5、4 和 3 时, 三种致病菌的最大生长速率, 然后根据由 Ratkowsky 修正的 Gompertz 公式:

$$\mu_{max}=a \cdot (A_w-A_{wmin}) \cdot (pH-pH_{min}) \cdot (T-T_{min})^2 \quad (3)$$

代入 T_{min} , 应用 SPSS V11.0 统计软件的 Levenberg-Marquardt 过程对 Ratkowsky 模型参数进行迭代计算出限制微生物生长的水分活度、pH 的理论最低值 A_{wmin} 和 pH_{min} 。

1.3.4 生存概率的测定

取 1ml 经过鲜榨苹果汁稀释的肉汤增菌液, 注入到盛有 9ml pH 和水分活度已经过调整的鲜榨苹果汁的大试管中, 使菌液浓度为 $5.02 \times 10^3 \text{ CFU/ml}$, 在不同温度下培养 48h 后, 测定吸光度值, 如果已接种的鲜榨苹果汁在培养前后吸光度值差值 <0.002 (± 0.002 为分光光度计的相对误差范围), 则计为该致病菌能够生存 (用二值变量 1 表示), 无显著差别则计为不能生存 (用二值变量 0 表示)。

1.4 实验设计与统计分析

采用三因素五水平中心组合试验设计 (CCD) 方案, 每一个实验组合平行安排两次实验。实验结果经 Statistica v 6.0 统计软件, 应用 logistic 回归过程进行数据处理, 模拟方程如下:

$$\ln\left(\frac{p}{1-p}\right) = b_0 + b_1 \ln(T-T_{min}) + b_2 \ln(pH-pH_{min}) + b_3 \ln(A_w-A_{wmin}) \quad (4)$$

数学模型的拟和度经过 χ^2 检验。

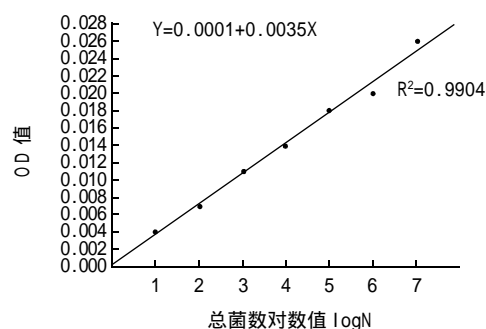
2 结果与分析

2.1 标准曲线的绘制

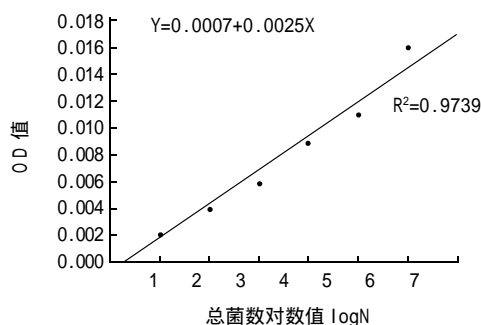
图 1 中 a、b、c 图分别是大肠杆菌、沙门氏菌、金黄色葡萄球菌在鲜榨苹果汁中的菌液浓度与吸光度值的标准曲线, 相关系数都在 0.97 以上。

2.2 细菌生长限制条件理论最低值的确定

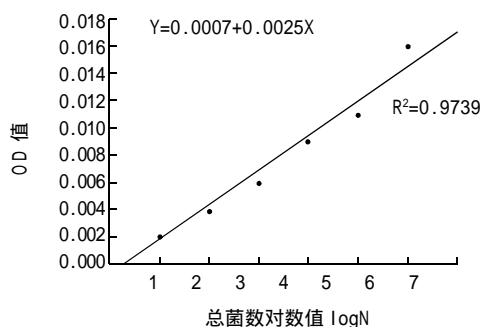
表 1 是水分活度 $A_w=0.99$, pH6.5 时, 根据不同温



(a)



(b)



(c)

图 1 大肠杆菌、沙门氏菌、金黄色葡萄球菌在鲜榨苹果汁中的菌液浓度与吸光度值的标准曲线

Fig.1 The regression curve between the bacteria concentration and OD of *E.coli*, *Salmonella enteritidis*, *Sarcina aurea Henrici*

表 1 水分活度 $A_w=0.99$, pH6.5 时, 不同温度下大肠杆菌、沙门氏菌和金黄色葡萄球菌生长速率 (h^{-1})

Table 1 The growth rate of the *E.coli*, *Salmonella enteritidis*, *Sarcina aurea Henrici* when the condition is $A_w=0.99$, pH6.5

温度 ($^{\circ}\text{C}$)	生长速率 (h^{-1})		
	大肠杆菌	沙门氏菌	金黄色葡萄球菌
8	0.01	0.06	0
15	0.2	0.17	0.2
20	0.33	0.25	0.36
25	0.46	0.33	0.5
30	0.57	0.39	0.61
35	0.67	0.44	0.69
40	0.72	0.45	0.7
45	0.69	0.42	0.63
50	0.5	0.29	0.41
55	0	0	0

度下处于对数生长期的大肠杆菌、沙门氏菌和金黄色葡萄球菌的吸光度值查标准曲线求得细菌浓度后由公式(1)计算得出的细菌生长速率(h^{-1})。由表2数据,采用SPSS V11.0统计软件,应用Levenberg-Marquardt过程对Ratkowsky模型参数进行迭代计算得出公式(2)的参数估计值,同时求出三种细菌的最低理论生长温度 T_{min} 。

表2 三种致病菌生长速率模型的参数估计值

Table 2 Estimated values of the coefficients of the predictive models for specific growth rate of the three pathogenic bacteria

数学模型	相关系数 R^2	参数	参数估计值	95% 置信区间	
大肠杆菌	0.99996	b	0.027	0.026872921	0.027514151
		c	0.114	0.111212850	0.115913207
		T_{min}	7.60	7.452106667	7.755373636
		T_{max}	55.00	54.967370438	55.034329614
沙门氏菌	0.99972	b	0.0169	0.016287761	0.017540669
		c	0.0944	0.088980494	0.099903126
		T_{min}	4.52	4.027633053	5.019924965
		T_{max}	55.00	54.905468054	55.099438296
金黄色葡萄球菌	0.99936	b	0.0339	0.031789897	0.036077757
		c	0.0703	0.063267452	0.077338087
		T_{min}	8.30	7.782122819	8.816587660
		T_{max}	54.97	54.798437208	55.147863363

表3 是温度为37℃时,不同水分活度和pH条件下大肠杆菌、沙门氏菌和金黄色葡萄球菌生长速率(h^{-1}),由表中生长速率数值和最低生长温度的理论值 T_{min} ,根据公式(3)可以计算出三种致病菌的在最适生长温度下的最低水分活度和最低pH,结果见表4。

表4 大肠杆菌、沙门氏菌、金黄色葡萄球菌生长温度、pH和水分活度的最低值

Table 4 Minimum values of pH (pH_{min}), temperature (T_{min}) and water activity (A_{min}) allowing the growth of *E.coli*, *Salmonella enteritidis*, *Sarcina aurea* Henrici

致病菌	T_{min}	A_{min}	pH_{min}
大肠杆菌	7.60	0.936	4.12
沙门氏菌	4.52	0.938	3.92
金黄色葡萄球菌	8.30	0.936	4.20

微生物生长繁殖和化学反应利用的水分主要是自由水^[12]。这就为提高水分含量较高鲜榨苹果汁的保质期提供了理论依据。每种微生物都有最低生长水分活度:一般革兰氏阴性杆菌、部分真菌的孢子及某些酵母菌的最低水分活度 >0.95 ;大多数球菌、乳杆菌、杆菌科的营养细胞及一些霉菌的最低生长水分活度在0.95~0.91之间;大多数酵母在0.91~0.87之间;大多数霉菌、金黄色葡萄球菌在0.87~0.80之间;大多数耐盐酵母在0.80~0.75之间;耐干燥霉菌在0.75~0.65之间;耐高渗酵母在0.65~0.60之间;在 <0.60 时,任何微生物都不生长^[13]。

表3 温度为37℃时,不同水分活度和pH条件下大肠杆菌、沙门氏菌和金黄色葡萄球菌生长速率(h^{-1})Table 3 The growth rate of the *E.coli*, *Salmonella enteritidis*, *Sarcina aurea* Henrici at different pH and A_w conditions when the temperature is 37℃

水分活度	pH	生长速率(h^{-1})		
		大肠杆菌	沙门氏菌	金黄色葡萄球菌
0.94	3.5	0	0	0
0.94	3.8	0	0	0
0.94	4.2	0.0061	0.0189	0
0.94	4.6	0.0365	0.0459	0.0345
0.94	5	0.0669	0.0729	0.0691
0.94	5.5	0.105	0.1067	0.1122
0.95	3.5	0	0	0
0.95	3.8	0	0	0
0.95	4.2	0.0213	0.1134	0
0.95	4.6	0.1278	0.2755	0.1209
0.95	5	0.2343	0.4375	0.2417
0.95	5.5	0.3674	0.6401	0.3928
0.96	3.5	0	0	0
0.96	3.8	0	0	0
0.96	4.2	0.0365	0.208	0
0.96	4.6	0.2191	0.505	0.2072
0.96	5	0.4016	0.8021	0.4143
0.96	5.5	0.6298	1.1734	0.6733
0.97	3.5	0	0	0
0.97	3.8	0	0	0
0.97	4.2	0.0517	0.3025	0
0.97	4.6	0.3103	0.7346	0.2935
0.97	5	0.569	1.1667	0.587
0.97	5.5	0.8922	1.7068	0.9539
0.98	3.5	0	0	0
0.98	3.8	0	0	0
0.98	4.2	0.0669	0.397	0
0.98	4.6	0.4016	0.9641	0.3798
0.98	5	0.7363	1.5313	0.7596
0.98	5.5	1.1546	2.2402	1.2344
0.99	3.5	0	0	0
0.99	3.8	0	0	0
0.99	4.2	0.0821	0.4915	0
0.99	4.6	0.4929	1.1937	0.4661
0.99	5	0.9036	1.8959	0.9323
0.99	5.5	1.4171	2.7736	1.515

实验计算出的最低水分活度较文献报道的不完全一致。大肠杆菌和沙门氏菌最低水分活度偏低,而金黄色葡萄球菌的最低水分活度偏高。这可能与以甘油作为水分活度调节剂有关,甘油比盐类更容易渗入细胞内部,可以较快降低细胞内部的水分活度,并对细胞器和大分子物质有一定的保护作用。

2.3 温度、pH和水分活度对大肠杆菌、沙门氏菌、金黄色葡萄球菌生存概率的影响

根据细菌生长限制条件最低值和鲜榨苹果汁的贮存温度和水分活度范围,按照三因素五水平CCD方案进行实验设计。表1 是温度、pH和水分活度对大肠杆菌、

表5 温度、pH和水分活度对大肠杆菌、沙门氏菌、金黄色葡萄球菌生存概率的影响

Table 5 Effect of temperature, pH and A_w on growth of *E.coli*, *Salmonella enteritidis*, *Sarcina aurea* Henrici

实验号	温度 T (°C)	pH	水分活度 A_w	生存概率 p		
				大肠杆菌	沙门氏菌	金黄色葡萄球菌
1	14	4.4	0.95	1	0	0
2	14	4.4	0.97	1	1	1
3	14	4.8	0.95	1	1	1
4	14	4.8	0.97	1	1	1
5	22	4.4	0.95	0	1	0
6	22	4.4	0.97	1	1	1
7	22	4.8	0.95	1	1	1
8	22	4.8	0.97	1	1	1
9	10	4.6	0.96	0	0	0
10	26	4.6	0.96	1	1	1
11	18	4.2	0.96	0	1	0
12	18	5.0	0.96	1	1	1
13	18	4.6	0.94	0	1	0
14	18	4.6	0.98	1	1	1
15	18	4.6	0.96	1	1	1
16	18	4.6	0.96	1	1	1
17	18	4.6	0.96	1	1	1
18	18	4.6	0.96	1	1	1
19	18	4.6	0.96	1	1	1
20	18	4.6	0.96	1	1	1
21	18	4.6	0.96	1	1	1
22	18	4.6	0.96	1	1	1
23	18	4.6	0.96	1	1	1

沙门氏菌、金黄色葡萄球菌生存概率的影响的实验结果,经Statistica v 6.0统计软件,应用logistic回归过程进行数据处理,得出三种致病菌的生存概率数学模型,结果见表6。经过 χ^2 检验数学预测模型拟合度都较高,金黄色葡萄球菌的数学模型拟合度最优,而沙门氏菌和大肠杆菌拟合度相对较低, $p < 0.01$ 均达到显著

表6 大肠杆菌、沙门氏菌、金黄色葡萄球菌的logistic回归生存概率数学模型

Table 6 Equations obtained by fitting the logistic regression model to the growth/no growth data observed for of *E.coli*, *Salmonella enteritidis*, *Sarcina aurea* Henrici. The predictors of goodness of fit (likelihood-ratio χ^2 and P-value) are also reported.

致病菌	数学模型
大肠杆菌	$\ln\left(\frac{p}{1-p}\right) = -14.60334 - 2.710047\ln(T-7.60)$ $-3.806291\ln(\text{pH}-4.12) - 3.806291\ln(A_w-0.936)$ $\chi^2(\text{Chi-square})=13.085, \quad p=0.00446$
沙门氏菌	$\ln\left(\frac{p}{1-p}\right) = 127.15 - 185.4738\ln(T-4.52)$ $-132.6116\ln(\text{pH}-3.92) - 45.59037\ln(A_w-0.938)$ $\chi^2(\text{Chi-square})=13.590, \quad p=0.00352$
金黄色葡萄球菌	$\ln\left(\frac{p}{1-p}\right) = -183.1684 - 24.74428\ln(T-8.3)$ $-46.96615\ln(\text{pH}-4.2) - 42.29161\ln(A_w-0.936)$ $\chi^2(\text{Chi-square})=20.838, \quad p=0.00011$

水平。通过logistic生存概率数学模型可以分析温度、水分活度和pH对细菌生长交互影响的程度进行评价,并对其生长的极限条件进行预测。

2.4 生存概率模型对大肠杆菌、沙门氏菌、金黄色葡萄球菌的生存极限条件的预测

表7 生长概率 $p=0.1$ 时应用Logistic回归数学模型对三种致病菌生存极限pH值的预测Table 7 The predicted pH of the no-growth interface when the growth probability is $p=0.1$

温度 T (°C)	水分活度 A_w	生存极限 pH 值		
		大肠杆菌	沙门氏菌	金黄色葡萄球菌
14	0.95	4.851731	4.438651	4.61864
14	0.97	4.421301	4.290744	4.39755
22	0.95	4.530772	4.140401	4.471168
22	0.97	4.289141	4.077548	4.32796
10	0.96	4.978133	4.82716	4.682963
26	0.96	4.321244	4.054259	4.351361
18	0.96	4.422094	4.177602	4.403876
18	0.94	5.932566	4.505325	5.128962
18	0.98	4.284779	4.126456	4.322056

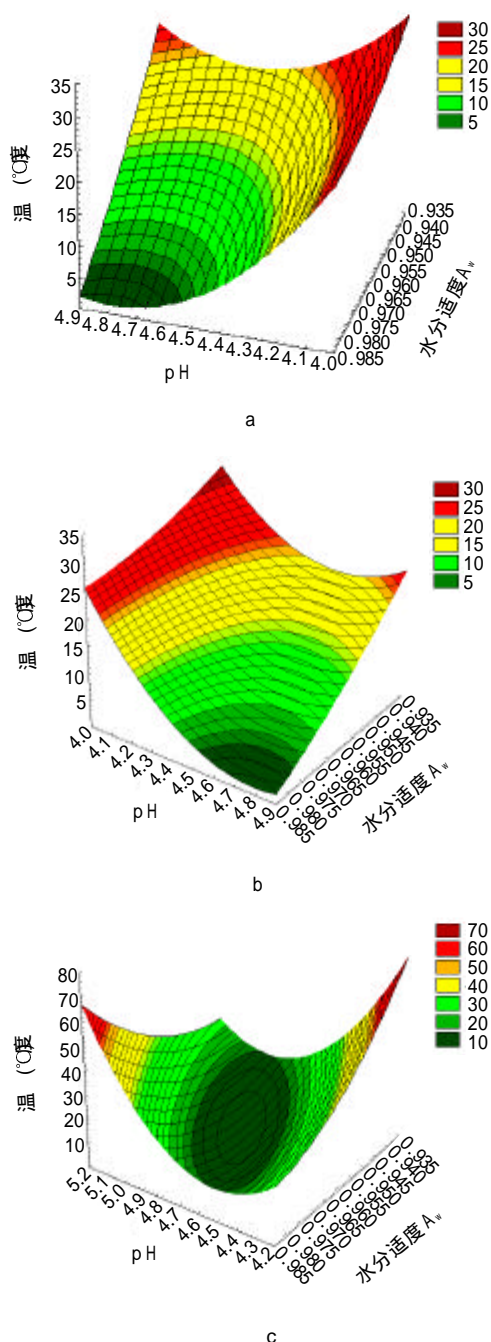
表7表示大肠杆菌、沙门氏菌、金黄色葡萄球菌在鲜榨苹果汁中生存概率 $p=0.1$ 时,不同生长温度和水分活度条件下,应用logistic回归数学模型计算得出的生存极限pH值。同理也可对其它条件下,细菌的生存的极限温度、水分活度进行预测。

2.5 生存临界条件下大肠杆菌、沙门氏菌、金黄色葡萄球菌的生存抑制因子间的交互作用

图3中a、b、c图分别表示在鲜榨苹果汁中,生存临界条件下($p=0.1$ 时)大肠杆菌、沙门氏菌、金黄色葡萄球菌不同温度、pH和水分活度间的交互作用,由图中曲线可以看出,pH和水分活度对细菌生存极限温度的影响存在交互作用。细菌的生存温度随水分活度增大和pH的提高而降低,在较高的水分活度和pH条件下,抑制致病菌的生长,鲜榨苹果汁的贮存温度必须控制在较低范围内,这对生产和贮存条件提出了较高的要求;如果降低水分活度和pH可以使鲜榨苹果汁在常温条件下也能够抑制致病菌,不但可以降低贮运过程的冷链条件,也节省了能源消耗和贮运费用。在鲜榨苹果汁生产过程中,应根据市场对果汁风味的要求,采用反渗透膜技术对果汁进行浓缩,适当提高果汁的浓度,以降低鲜榨苹果汁的水分活度和pH;另外,在榨汁苹果原料品种的搭配中适当加大高酸苹果的比例,以提高果汁的酸度增加鲜榨苹果汁的生物稳定性。

3 结 论

通过本文的数学处理和实验验证表明,应用logistic回归过程归纳鲜榨苹果汁中主要致病菌的生存/死亡概率模型是可行的,并且可以对生存临界条件下的生长抑制



(图中实线表示 $p=0.1$ 时温度、pH 和水分活度交互作用等值线)

图2 $p=0.1$ 时大肠杆菌、沙门氏菌、金黄色葡萄球菌不同温度、pH 和水分活度间的交互作用

Fig.2 The interaction of the temperature, pH and A_w ($p=0.1$)

因子间协同作用效果进行定量描述, 确定致病微生物生存的控制条件。

生长死亡概率预测模型为确定致病微生物的生存临界条件提供了准确的方法, 为在相对温和的条件下加工和贮藏食品, 最大限度的保持产品的风味和营养提供了理论依据。

模型预测和实验验证表明, 在鲜榨苹果的水分活度

下($A_w=0.98$ 左右), 生存概率 $p=0.1$ 时的模型预测等值线可以作为细菌生存的临界线, 以此确定鲜榨苹果汁中致病菌的生存临界条件。

微生物的生存或死亡是细胞内各种生化反应的结果, 对于生存临界条件下致病菌生理代谢机制有待于作进一步的研究。

参考文献:

- [1] Market for juices, ades, noncarbonated drinks[M]. The Published By: Business Trend Analysts, 2001. 225-145.
- [2] G Akdemir Evrendilek, Z T Jin, K T Ruhlman, et al. Microbial safety and shelf-life of apple juice and cider processed by bench and pilot scale PEF systems[J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2000, 1: 77-86.
- [3] Tom Ross, Paw Dalgaard, Suwunna Tienungoon. Predictive modeling of the growth and survival of *Listeria* in fishery products[J]. International Journal of Food Microbiology, 2000, 62: 231-245.
- [4] Ratkowski D A, Lowry R K, McMeekin T A, et al. Model for bacterial culture growth rate throughout the entire biokinetic temperature range[J]. J Bacteriol, 1983, 154: 1222-1226.
- [5] T A McMeekin, J O'Leary, D A Ratkowsky, et al. Predictive microbiology: towards the interface and beyond[J]. International Journal of Food Microbiology, 2002, 73: 395-407.
- [6] Ratkowsky D A, Ross T. Modelling the bacterial growth/no growth interface[J]. Lett Appl Microbiol, 1996, 20: 29-33.
- [7] Ratkowsky D A, Ross T, Macario N, et al. Choosing probability distributions for modeling generation time variability [J]. J Appl Bacteriol, 1996, 80: 131-137.
- [8] Presser K, Ross T, Ratkowsky, D A. Modeling the growth limits (growth/no growth) interface of *Escherichia coli* as a function of pH, lactic acid and temperature[J]. Appl Environ Microbiol, 1998, 64: 1733-1799.
- [9] Rosalba Lanciotti, Milena Sinigaglia, Fausto Gardini, et al. Growth/no growth interfaces of *Bacillus cereus*, *Staphylococcus aureus* and *Salmonella enteritidis* in model systems based on water activity, pH, temperature and ethanol concentration [J]. Food Microbiology, 2001, 18: 659-668.
- [10] M N Hajmeer, I A Basheer. A hybrid Bayesian-neural network approach for probabilistic modeling of bacterial growth/no-growth interface[J]. International Journal of Food Microbiology, 2003, 82: 233-243.
- [11] Thomas A McMeekin, Kirsty Presser, David Ratkowsky, et al. Quantifying the hurdle concept by modeling the bacterial growth/no growth interface[J]. International Journal of Food Microbiology, 2000, 55: 93-98.
- [12] Drapron R. Properties of water in foods[M]. Martinus Nijhoff, Dordrecht, The Netherlands, 1985. 171.
- [13] Leung H K. Water activity: Theory and applications to food [M]. New York: Marcel Dekker Inc, 1987. 87.
- [14] Gibson A M, Roberts T A. The effect of pH, water activity, sodium nitrite and storage temperature on the growth of enteropathogenic *Escherichia coli* and *Salmonella* in a laboratory medium[J]. Int J Food Microbiol, 1986, (3): 183-194.