

传统非发酵豆制品贮藏过程中微生物变化及预测模型初建

陈平¹, 胡洁云¹, 严维凌¹, 林露¹, 李晓蓓²

(1. 上海市食品研究所, 上海 200235; 2. 上海海洋大学 食品学院, 上海 200306)

摘要: 分析了 5、15 和 25℃ 3 个储存温度下, 白豆干和薄百叶的理化指标、微生物指标以及感官变化规律, 并以豆干菌落总数建立初级预测模型。结果表明, 在储藏过程中白豆干和薄百叶水分、蛋白质、脂肪、挥发性盐基氮含量基本保持不变; 储存温度越高, 白豆干 pH 变化越明显, 随着时间延长, pH 呈明显下降趋势; 不同温度的储存过程中变化不明显; 白豆干和薄百叶在不同储藏温度下的菌落总数变化趋势相同, 随储藏温度的升高, 微生物的生长速率明显上升; 5℃ 条件下, 白豆干和薄百叶的货架期不能超过 4 d, 15℃ 条件下, 白豆干和薄百叶的货架期不能超过 1 d; 25℃ 条件下, 货架期只有 5 h。通过比较线性方程和修正的 Gompertz 方程建立的初级模型得知, 修正的 Gompertz 方程所得的决定系数 R^2 均超过 0.98, 模型的可靠性较线性模型高。

关键词: 豆制品; 微生物变化; 预测模型

中图分类号: TS214.2

文献标识码: A

文章编号: 1000-9841(2012)05-0834-04

Analysis of Microorganisms Change and Development of Predictive Model for the Traditional Non-fermented Bean Products Stored in Various Temperatures

CHEN Ping¹, HU Jie-yun¹, YAN Wei-ling¹, LIN Lu¹, LI Xiao-bei²

(1. Shanghai Food Research Institute, Shanghai 200235; 2. Shanghai Ocean University, Shanghai 200306, China)

Abstract: The changes of water, protein and fat content, TVB-N, aerobic plate count, sensory evaluation of both Dry Soycurd and Baiye stored at 5℃, 15℃ and 25℃ were analyzed in this paper and established the primary model for predicting aerobic plate count of the Dry Soycurd. The result showed that the content of water, protein, fat and TVB-N didn't change much during the storage. The pH value of the Dry Soycurd dropped during the storage and dropped significantly with the temperature rising, meanwhile the pH value of the Baiye didn't change much during the storage in various temperatures. The microbial growth rate of both Dry Soycurd and Baiye increased significantly when the storage temperature rose. The shelf life of both Dry Soycurd and Baiye was less than 4 d at 5℃, 1 d at 15℃ and 5 h at 25℃, respectively. Comparison between the modified Gompertz equation and the linear equation showed that the modified Gompertz equation was confident for predicting aerobic plate count of the Dry Soycurd with the R^2 over 0.98.

Key words: Bean products; Microorganisms change; Predictive model

大豆制品已有 2 000 多年的生产史, 豆制品中含丰富的蛋白质、水分、碳水化合物、脂肪以及各种人体必需氨基酸、矿物质和微量元素, 其中蛋白质的消化率高达 90% 左右^[1]。但我国豆制品行业还处在发展初期, 产品存在保质期短、卫生质量差、生产自动化程度较低等问题, 严重制约了其发展。国内外对豆制品中腐败微生物进行了大量研究, 结果表明豆腐的腐败与其物理性质和初始微生物密切相关^[2]; 豆制品中的优势微生物为乳酸菌、葡萄球菌、不动杆菌和芽孢杆菌等^[3-4]。同时随着计算机技术的发展, 微生物预报技术在国内外被广泛研究, 利用数学模型定量描述食品特性(如 pH 值、水分活度)和加工流通环境因子(如温度、氛围气体)对食品中微生物生长、残存、死亡动态的影响, 以预

测食品的货架期^[5-6]。本文通过研究不同储存温度条件下豆制品感官评价, 微生物菌落总数, pH、蛋白质、脂肪和挥发性盐基氮等理化指标的变化规律, 建立合理有效的预测机制, 为风险评估以及制定合理的货架期提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 原料预处理

购自上海某食品厂刚下生产线的白豆干和薄百叶, 在保温箱中保存, 1 h 内运至实验室, 立即进行简单包装后, 分别储存在 5℃、15℃ 和 25℃ 恒温恒湿箱中。其中 25℃ 和 15℃ 中的豆制品每隔 2 h 取样 1 次, 5℃ 中的样品每隔 12 h 取样 1 次, 进行理化和微生物分析。

收稿日期: 2012-05-28

基金项目: 上海市科学技术委员会应用技术开发专项资金(2010-119)

第一作者简介: 陈平(1985-), 男, 学士, 助理工程师, 研究方向为食品生物技术。E-mail: applech100@yahoo.com.cn。

通讯作者: 严维凌(1967-), 男, 高级工程师, 研究方向为食品生物技术。E-mail: yanwling@hotmail.com。

1.2 感官评价

对 3 个温度下不同阶段的豆干进行评定,具体标准参考李楠楠等^[7]对鱼肉制品感官评价的方法, 如表 1 所示。

表 1 感官评价标准
Table 1 Standards for sensory evaluations of Dry Soycurd

指标 Index			评分标准 Scoring criteria			指标 Index			评分标准 Score standard		
粘度 Viscosity	8-10 分	表面干燥 Dry	颜色 Color	8-10 分	豆干特有的淡黄色 Canary yellow						
	6-8 分	表面湿润 Wet		6-8 分	浅黄色 Light yellow						
	4-6 分	表面微粘 Sticky		4-6 分	深黄色 Dark yellow						
	0-4 分	表面极滑 Smooth		0-4 分	菌斑色 Plaque color						
气味 Smell	6-10 分	豆干特有香味 Unique flavor of dry beancurd	质构 Texture	6-10 分	有良好的弹性 Good flexibility						
	3-6 分	微酸 Acidulous		3-6 分	质地疏松 Loose						
	0-3 分	酸臭味 Acid smell		0-3 分	豆腐乳状 Rotten						

1.3 理化分析

豆制品中的各个理化指标分别按照现行的国家标准进行测定:蛋白质含量按 GB 5009.5-2010 测定;脂肪含量按照国标 GB/T 14772-2008 测定;含水量按照国标 GB/T 9695.15-2008 测定;pH 值参考国标 GB/T 9695.5-2008 测定;挥发性盐基氮(T-VBN)参考标准 SC/T3032-2007 测定。

(CFU·g⁻¹);A 为随时间无限减小时渐进的对数值(相当于初始菌数);k 为生长速率(·d⁻¹)。

修正的 Gompertz 方程表达式^[9]为:

$$\lg N_t = \lg N_0 + \lg \left(\frac{N_{\max}}{N_0} \right) \times \exp \left\{ - \exp \left[\frac{e \times \mu_{\max}}{\lg \left(\frac{N_{\max}}{N_0} \right)} \times (\lambda - t) + 1 \right] \right\}$$

1.4 微生物计数

根据国标 GB/T 4789.2-2010 的方法,取样 25 g 样品至 225 mL 无菌生理盐水中,均质均匀后,按 10 倍递增稀释到所需稀释度。每个稀释度取 1 mL 倾注平板计数琼脂平板,共取 3 个稀释度,每个稀释度做 2 个平行,48 h 后计数。

式中:t 为时间(h);N_t为微生物在 t 时刻的菌落数(CFU·g⁻¹);λ 为稳定期细菌数量最大的对数值(lgN_{max})与初始细菌数量对数值(lgN₀)的差值;λ 为微生物学意义上的延滞期(h);μ_{max}为细菌最大比生长速率(·h⁻¹)。

1.5 初级模型的建立

以简易包装白豆干为研究对象,对贮藏过程中的菌落总数建立初级模型。

线性模型的表达式^[8]为:lg N = A + kt

式中:lg N 为微生物在时间 t 时的对数值

2 结果与分析

2.1 感官评价

根据表 1 的标准,3 个温度下不同阶段豆干的感官结果如表 2 所示。

表 2 感官评价结果
Table 2 The results of the sensory evaluations of Dry Soycurd

储存温度 Storage temperature/℃	时间 Time/h	粘度 Viscosity	气味 Smell	颜色 Color	质构 Texture	评价 Evaluation	总分 Total score
5	0	10	10	10	10	有豆香味、有弹性、表面干燥、淡黄色	40
	48	8	8	9	9	表面湿润、发粘、有弹性、淡黄色	34
	196	4	5	5	6	表面发粘、之地松散、较湿、深黄色	20
15	0	10	10	10	10	有豆香味、有弹性、表面干燥、淡黄色	40
	10	7	6	7	7	表面轻微发粘、无明显的酸味、浅黄色	27
	24	6	3	5	6	表面发粘、挥发明显的酸味、深黄色	18
25	0	10	10	10	10	有豆香味、有弹性、表面干燥、淡黄色	40
	4	7	6	8	8	表面轻微发粘、无明显的酸味、浅黄色	29
	20	5	3	4	6	表面发粘、挥发明显的酸味、深黄色	18

2.2 理化分析

由表3可知,在保存过程中豆干和百叶中水分、蛋白质、脂肪以及TVB-N含量在变化并不明显。

表3 豆制品理化分析结果

Table 3 The physicochemical analysis results of the bean products

样品 Sample	水分含量 Water content/%		蛋白质含量 Protein content/%		脂肪含量 Fat content/%		TVB-N 含量 TVB-N content/mg·100g ⁻¹	
	初始 Initial	腐败 Corruption	初始 Initial	腐败 Corruption	初始 Initial	腐败 Corruption	初始 Initial	腐败 Corruption
	Initial	Corruption	Initial	Corruption	Initial	Corruption	Initial	Corruption
豆干 Dry Soycurd	68.11	68.50	16.85	17.65	2.80	2.35	<3	<3
百叶 Baiye	39.21	39.20	32.00	32.50	4.70	5.45	<3	<3

豆制品 pH 与其品质密切相关,其变化主要受储存温度的影响。不同储存温度下豆制品的 pH 变化规律如图1和图2所示。由图1可知,在白豆干储存过程中,储存温度越高,其 pH 变化越明显,初期变化不大,随着时间延长, pH 呈明显下降趋势。其 pH 的下降可能是由于豆干中乳酸菌及其它微生物所产生的乳酸和其它有机酸等代谢产物引起,在 5℃ 下其 pH 值变化不明显,可能是在 5℃ 下,低温抑制了豆干中乳酸菌和其它产酸微生物的繁殖,导致乳酸和其它有机酸含量降低;薄百叶在 5℃、15℃、25℃ 下, pH 值在储存过程中变化不大,可能是百叶含水量较低,不适宜产酸菌的繁殖。

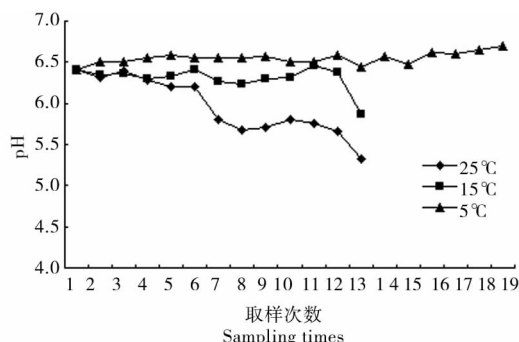


图1 5℃、15℃和25℃豆干 pH 值变化

Fig.1 The pH changes of Dry Soycurd at 5℃, 15℃ and 25℃

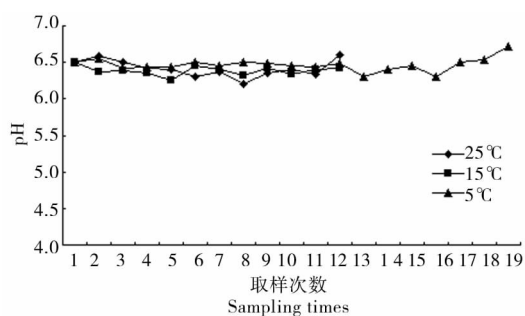


图2 5℃、15℃和25℃百叶 pH 值变化

Fig.2 The pH changes of Baiye at 5℃, 15℃ and 25℃

这一现象可能是由于豆制品中微生物在代谢过程中产生的三甲胺等胺类物质较少所致。

2.3 不同温度储存条件下豆制品菌落总数生长曲线

豆制品中营养丰富,为微生物的生长提供了良好的环境。白豆干和薄百叶在不同储藏温度下的菌落总数变化趋势相同,5℃下,豆制品中微生物在前 100 h 处于较低的水平,100 h 后进入快速生长期(图3);15℃下,微生物在前 8 h 处于较低的水平,8 h 后进入快速生长期(图4);25℃下豆制品在 2 h 后就进入快速生长期(图5)。综合白豆干和薄百叶中菌落总数的生长规律,由菌落总数生长规律的曲线图可知,随储藏温度的提高,微生物的生长速率

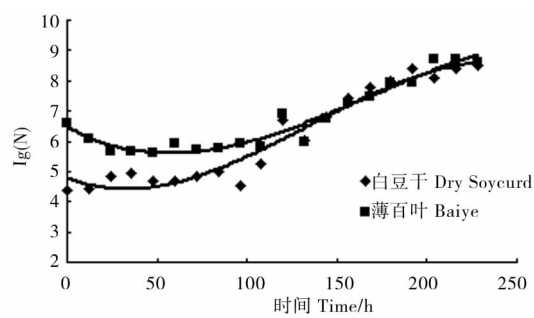


图3 5℃豆制品菌落总数变化

Fig.3 Total bacteria count changes of the bean products at 5℃

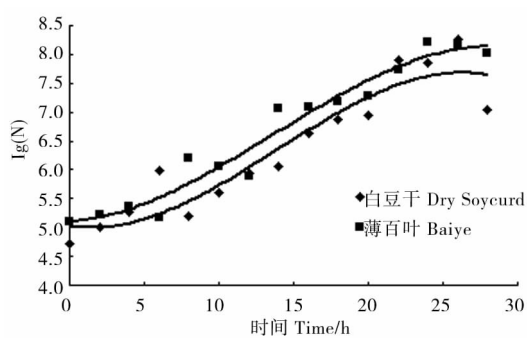


图4 15℃豆制品菌落总数变化

Fig.4 Total bacteria count changes of the bean products at 15℃

呈明显的上升趋势,可见温度是影响豆制品中微生物生长繁殖的主要因素。

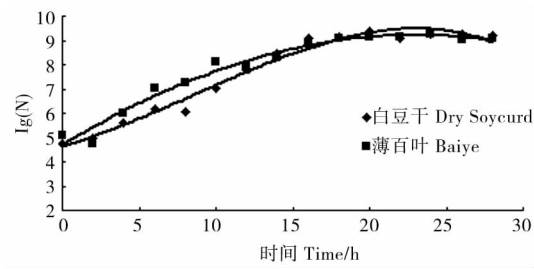


图5 25℃ 豆制品中菌落总数变化
Fig.5 Total bacteria count changes of the bean products at 25℃

结合表4可知,白豆干和薄百叶随着贮藏温度的升高,贮藏时间明显缩短,根据国标规定散装豆制品菌落总数不可超过 $10^5\text{ cfu}\cdot\text{g}^{-1}$,因此,5℃条件下,白豆干和薄百叶的货架期不能超过4 d,最适宜贮藏期为2~3 d;15℃条件下,白豆干和薄百叶的货架期不能超过1 d;25℃条件下,货架期只有5 h,不宜贮藏。

表4 豆制品不同温度货架期
Table 4 The shelf life of the bean products at different temperatures

温度 Temperature /℃	样品 Sample	迟滞期 Lag phase /h	对数期 Log phase /h	货架期 Shelf life /h
5	豆干 Dry Soycurd	<50	50-150	<100
	百叶 Baiye	<50	50-150	<100
15	豆干 Dry Soycurd	<5	5-20	<10
	百叶 Baiye	<5	5-20	<10
25	豆干 Dry Soycurd	<3	3-15	<5
	百叶 Baiye	<3	3-15	<5

2.4 中式非发酵豆制品菌落总数初级预测模型的建立

线性模型和修正的 Gompertz 模型为描述微生物生长较为常用的初级模型。运用 Matlab7.0 和 SAS 统计软件^[10],对不同温度条件下的白豆干菌落总数生长曲线进行拟合,表5 为得到的部分统计分析结果。

表5 菌落总数的线性模型统计分析结果
Table 5 Comparison of the statistical-analytical data of different primary models for total plate count

温度 Temperature/℃	线性 Linear		Gompertz	
	R^2	$P > F^*$	R^2	$P > F^*$
5	0.9401	<0.0001	0.9821	<0.0001
15	0.943	0.00125	0.9928	<0.0001
25	0.9289	0.06274	0.9901	<0.0001

* : $\alpha = 0.05$

从相关系数看,温度升高到 25℃,线性模型拟合的 R^2 值降低,而修正的 Gompertz 模型拟合的 R^2 值在所有温度下均为 0.98 以上,这表明线性模型没有修正的 Gompertz 模型拟合效果好。

修正 Gompertz 模型拟合生长曲线得到的参数如表6 所示,随着温度的升高,微生物最大比生长速率也不断增大;温度对于延滞期的影响,是随着温度的升高而延滞期缩短。影响延滞期的因素有很多,如计数时间、条件的波动和微生物之间的差异,这些因素导致了延滞期的规律性不如生长速率明显。

表6 菌落总数 Gompertz 模型拟合参数表
Table 6 Characteristic parameters of the Gompertz models developed for total plate count

温度 Temperature/℃	N_0 /cfu·g ⁻¹	N_{\max} /cfu·g ⁻¹	μ_{\max} /·h ⁻¹	λ /h
5	4.3617	2.8604	0.3254	3.8669
15	4.7287	6.5404	0.6448	2.5943
25	4.7287	4.0187	0.6822	1.6300

3 结 论

在贮藏过程中,随着温度的升高,豆干 pH 值明显降低,而百叶 pH 值变化不大;豆制品的 TVB-N 以及其他理化指标在贮藏过程中变化均不明显。

随温度的提高,微生物的生长速率呈明显的上升趋势,温度对微生物的生长起主导作用。其中 5℃条件下,豆制品的贮藏期不能超过4 d,最适宜贮藏期为2~3 d;15℃条件下,豆干和薄百叶的贮藏期不能超过1 d;25℃条件下,白豆干和薄百叶最好当天食用,不宜贮藏。

以豆干为研究对象,利用 Matlab 7.0 程序,对 5℃、15℃和 25℃豆干菌落总数生长数据进行拟合,通过比较两种不同初级模型的相关系数,结果表明修正的 Gompertz 模型比线性模型能够更好的拟合菌落总数生长情况, R^2 值均超过 0.98。

参考文献

[1] 石彦国,任莉.大豆制品工艺学[M].北京:中国轻工业出版社,1996. (Shi Y G, Ren L. Soybean products technology[M]. Beijing:China Light Industry Press,1996.)
[2] Found K E, Hegeman G D. Microbial spoilage of Tofu (soybean curd)[J]. Journal of Food Protection,1993,56(2):157-164.
[3] 欧杰,李晓蓓,胡洁云,等.传统豆制品(白豆干、薄百叶)中优势腐败菌的分离与初步鉴定[J].大豆科学,2012,31(1):119-123. (Ou J, Li X B, Hu J Y, et al. Screening and preliminary identification of specific spoilage organisms of traditional soybean products white bean curd and bean curd[J]. Soybean Science, 2012,31(1):119-123.)

3 结 论

通过单因素试验分别建立了不同含水率对揉搓粉碎处理后大豆秸秆与不同材料间滑动摩擦特性的数学模型,所建立的模型能有效反应含水率对大豆秸秆与不同材料间滑动摩擦特性的影响规律。含水率对大豆秸秆的滑动摩擦角有显著影响。随着含水率的增大,大豆秸秆与钢板的滑动摩擦角呈先增大后减小的趋势,与输送带的滑动摩擦角呈增大的趋势;大豆秸秆与钢板的滑动摩擦角总体上小于其与输送带的滑动摩擦角。

参考文献

- [1] 黄振华,陈海涛,房欣,等. 含水率对大豆秸秆流动力学性能的影响[J]. 大豆科学,2011,30(5):847-850. (Huang Z H, Chen H T, Fang X, et al. Flowability parameters for chopped soybean stalk[J]. Soybean Science,2011,30(5):847-850.)
 - [2] 韩永俊,陈海涛,刘丽雪,等. 水稻秸秆纤维制取工艺参数优化[J]. 农业工程学报,2011,27(4):281-286. (Han Y J, Chen H T, Liu L X, et al. Optimization of technical parameters for preparing fiber from rice straw[J]. Transactions of the CSAE,2011,27(4):281-286.)
 - [3] 韩永俊,陈海涛,刘丽雪,等. 水稻秸秆纤维地膜制造工艺参数优化[J]. 农业工程学报,2011,27(3):242-247. (Han Y J, Chen H T, Liu L X, et al. Optimization of technical parameters for making mulch from rice straw fiber[J]. Transactions of the CSAE, 2011,27(3):242-247.)
 - [4] 陈海涛,李浩,孙培灵. 一种组合式秸秆纤维制取机:中国,200910206283.4[P].2009. (Chen H T, Li H, Sun P L. A combined type straw fiber extruder: China, 200910206283.4 [P].2009.)
 - [5] GB/T 5262-2008. 农业机械试验条件测定方法的一般规定[S]. (GB/T 5262-2008. Agricultural machinery testing conditions-general rules for measuring methods[S].)
 - [6] Mani S, Tabil L G, Sokhansanj S, et al. Mechanical properties of corn stover grind[C]. An ASAE Meeting Presentation,2003,6.
 - [7] 周祖鄂. 农业物料学[M]. 北京:农业出版社,1994,102. (Zhou Z E. Agricultural material science [M]. Beijing: Agricultural Press,1994:101-109.)
 - [8] 刘振学,黄仁和,田爱民. 实验设计与数据处理[M]. 北京:化学工业出版社,2005:100-103. (Liu Z X, Huang R H, Tian A M. The design of experiments and data processing [M]. Beijing: Chemical Industry Press,2005:100-103.)
 - [9] 施卫省,刘基林,苏有勇,等. 水冬果实含水量对摩擦性质和出油率的影响[J]. 农机化研究,2007(6):120-122. (Shi W S, Liu J L, Su Y Y, et al. The effects of property of sliding friction coefficient and the rate of oil on Idesia Polycarpa Var. vestita with different moisture contents[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research,2007(6):120-122.)
 - [10] 尚海波,杨坚,陈世凡. 水稻芽种摩擦特性的试验研究[J]. 农机化研究,2011(11):157-160. (Shang H B, Yang J, Chen S F. The experimental study on friction properties of sprouting rice seeds[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research,2011(11):157-160.)
 - [11] B. 布尚. 摩擦学导论[M]. 北京:机械工业出版社,2006:137. (Bharat Bhushan. Introduction to tribology [M]. Beijing: China Machine Press,2006:137.)
 - [12] 刘思思,张朝辉,刘俊铭. 微平面接触分离中弯月面力的计算[J]. 物理学报,2010,59(10):6902-6907. (Liu S S, Zhang C H, Liu J M. Calculation of meniscus force during separation of micro-surfaces[J]. Acta Physica Sinica,2010,59(10):6902-6907.)
-
- (上接第 837 页)
- [4] 王敏,檀建新,路玲,等. 非发酵豆制品主要腐败菌的分离鉴定[J]. 中国酿造,2006(6):68-70. (Wang M, Tan J X, Lu L, et al. Isolation and identification of the main spoilage microorganisms in non-fermented soybean products[J]. China Brewing,2006(6):68-70.)
 - [5] 李博,李里特. 豆腐(豆浆)中屎肠球菌生长的温度预测模型[J]. 中国农业大学学报,2003,8(2):49-54. (Li B, Li L T. Predictive model for effect of temperature on the growth of E. faecium in tofu (soymilk) [J]. Journal of China Agricultural University, 2003,8(2):49-54.)
 - [6] 胡洁云,欧杰,李柏林,等. 预报微生物学在食品安全风险评估中的应用[J]. 微生物学通报,2009,36(9):1-7. (Hu J Y, Ou J, Li B L, et al. The role of predictive microbiology in food safety risk assessment[J]. Microbiology,2009,36(9):1-7.)
 - [7] 李楠楠,范志红. 不同烹调方法对鱼营养价值及感官评价的影响[J]. 食品科学,2012,33(5):93-97. (Li N N, Fan Z H. Correlations between sensory texture and fat or water content in cooked fish[J]. Food Science,2012,33(5):93-97.)
 - [8] Zwietering M H, Jongenburger I, Rombouts F M, et al. Modeling of the bacterial growth curve[J]. Applied Environment Microbiology, 1990,56(6):1875-1881.
 - [9] Ratkowsky D A, Olley J, McMeekin T A, et al. Relationship between temperature and growth rate of bacterial culture[J]. Journal of Bacteriology,1982,149(1):1-5.
 - [10] 冯力. 回归分析方法原理及 SPSS 实际操作[M]. 北京:中国金融出版社,2004. (Feng L. Regression analysis method and SPSS actual operation [M]. Beijing: China Financial Publishing House,2004.)