第5卷 无锡轻工业学院学报 Vol. 5
第2期 JOURNAL OF THE WUXI INSTITUTE OF LIGHT INDUSTRY 1986 No. 2

浅谈数理统计在食品发酵等学科中的应用

费荣昌

（基础课部）

数理统计是以概率论为理论基础的一个数学分支，它通过对统计资料的整理和分析来估计或推断统计规律。主要研究如何安排试验或抽样能更有效地进行统计分析；如何根据观察或试验所得的数据，来找出描写随机现象的某些数量指标的分布或平均值；检验一些指标间有无显著差异；找出各类指标间的相互关系等等。它的主要内容有参数估计、假设检验、方差分析、回归分析和试验设计等。数理统计的方法在工业、农业、气象、水文、地质、工程技术和医药卫生等部门都有广泛应用，几乎在人类活动的一切领域中都能程度不等地找到它的应用。本文介绍它在食品发酵等学科中的应用情况，文中所提到的数理统计的具体方法可参阅[1][2]或其它有关书刊。

初做实验工作的同志，往往以为数理统计只用在实验完成以后。实际上，有许多问题在未做实验之前就要预先考虑和安排，这就是试验设计。试验设计是整个科学实验过程中不可缺少的一个环节，试验安排得好，试验次数不多，就能得到满意的结果；安排得不好，会事倍功半，劳而无功。因此，如何合理地安排试验，如何对试验结果进行科学分析，就成为人们十分关心的问题。

试验设计的方法很多，目前广泛采用的则是正交试验设计。实际问题往往是比较复杂的，通常包含许多因素，各个因素又有不同的水平，它们互相交织在一起。如果沿用传统的全面组合搭配的办法安排试验，试验量是惊人的。例如，六因素三水平的全面试验要做 $3^6=729$ 次，很难实现。这样就要考虑能否从全面试验中合理地选出有代表性的试验，通过少量的试验也能达到预期的目的。正交试验设计就是用所谓的正交表来安排试验，由于它具有分散均匀和整齐可比的特点，因此通过少量试验就能从多个因素中分析出哪些是主要的，哪些是次要的，以及它们对试验指标的影响规律，从而找出最优的工艺条件。在食品发酵等学科的研究课题中已广泛应用正交试验设计。

在微生物发酵过程中，除了要有一株优良的菌种，还要有适宜于菌种生长、发酵的培养基和工艺条件。找到发酵的最优条件，菌种的优良特性才能充分表现出来。采用正交试验设计只要少量的试验就能找到菌种的最优发酵条件和培养基的最优配方。例如赖氨酸是人体必需的氨基酸，用发酵法生产赖氨酸，成本低廉，便于工业化生产。为了提高产酸率，考虑葡萄糖、豆饼水解液、玉米浆和 $(NH_4)_2SO_4$ 四个有关因素及其交互作用，每个因素各取三个水平，按正交表 $L_{27}(3^{13})$ 安排试验，分析试验结果即可求出产酸率较高的最优工艺条件。又如

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

在采用发酵法生产衣康酸的研究中，对从土壤中筛选出并进行 Co60 诱变后的土曲霉菌株作发酵试验，选择葡萄糖浓度、$MgSO_4 \cdot 7H_2O$ 和 $(NH_4)_2SO_4$ 三个有关因素，每个因素各取三个水平，按正交表 $L_9(3^4)$ 安排试验，对试验结果作分析就可求出产酸浓度和糖酸转化率都较高的最优工艺条件。再如为了提高原柠檬酸产生菌的产酸率，经紫外线诱变处理，筛选出一株柠檬酸高产菌，然后用正交试验也可求出最优发酵工艺条件。红霉素菌株发酵培养基的最优配比、用 D_6 菌种发酵葡萄糖母液产生谷氨酸的最优配方等都可通过正交试验获得。

发泡粉是以动植物蛋白质为原料水解后的产物，添加在食品中能使食品形成疏松、富有弹性、韧性的组织状态，以改善食品的可口性。影响水解反应的因素是水解液的 PH 值、水解时间和温度，产品指标是出率、发泡度、析水率和色泽。采用多指标正交试验可以求得研制发泡粉的最优工艺条件。酸牛奶是由乳酸菌发酵产酸使蛋白质凝固而成的乳制品，保加利亚杆菌和嗜热链球菌的配比及接种量是影响产品质量的主要因素，通过正交试验可以求出生产酸牛奶的最优工艺条件。为了引用表面活性剂改善糖的结晶和回收，在筛选试验中，考虑添加的表面活性剂品种、添加量和温度三个因素，以及添加前后糖密的粘度降、表面张力降两个指标，采用正交试验可找出最优工艺条件。

在采用乙醇水溶液和轻汽油的混合溶剂对棉仁片进行浸出去毒(游离棉酚)的研究中，选取乙醇浓度、浸出温度和浸出时间三个有关因素，每个因素各取三个水平，按正交表 $L_9(3^4)$ 安排试验，分析试验结果，可求出粕中游离棉酚和残油率都较低的最优工艺条件。又如生产强化米、提取大豆蛋白质等的最优工艺条件都可通过正交试验来寻找。

近年来，国内外普遍采用复配技术(即多种表面活性剂的协同效应)来提高洗涤剂的质量，以提高去污力、减少沉淀、降低成本。使用正交试验可以找到洗涤剂组分的最优配比。α-脂肪酸甲酯是一种优良的钙皂分散剂，采用正交试验也可找出用 SO_3 气体磺化脂肪酸甲酯的最优条件。

试验完成后，怎样分析试验结果，即如何利用试验结果分析出各个因素以及各因素之间的交互作用对试验指标的影响的显著性，方差分析是解决这类问题所常用的一种统计方法。它的基本思想是设法把由于试验条件不同而引起的试验结果的差异和其它偶然因素造成的试验误差分开来，以判断条件对结果的影响。全面试验或正交试验的结果的分析都可采用方差分析法。

成品糖的色度是糖的重要指标之一，制糖工作者采用各种脱色剂来降低半成品的色度，以提高糖品质量。在采用聚合碱式氯化铝(P.A.C)为脱色剂的试验中，分别取 P.A.C 加入量 0.75,1.00,1.25(%)和 PH 值 6.0,7.0,8.0,9.0 的各种搭配进行试验，每种搭配各做两次试验，得糖品色值(°St)的读数如下表：

PH值 B \ P.A.C加入量 A(%)	0.75	1.00	1.25
6.0	19.8,20.9	20.3,21.7	20.5,21.1
7.0	17.4,13.1	19.3,18.9	19.9,19.0
8.0	20.3,19.0	21.2,21.0	20.1,22.7
9.0	18.2,19.5	19.3,20.1	20.9,19.4

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

采用两因素方差分析，得方差分析表如下：

方差来源	平 方 和	自 由 度	平均平方和	F	显 著 性
A	17.72	2	8.86	5.91	*
B	31.21	3	10.40	6.93	* *
A×B	9.69	6	1.62	1.08	
误差	18.03	12	1.50		
总和	76.65	23			

可知 PH 值对糖品色值的影响高度显著，P.A.C 加入量对糖品色值的影响一般显著，而两者的交互作用对糖品色值的影响不显著。因此，应严格控制 PH 值和 P.A.C 的加入量，以保证糖品质量。试验结果表明 P.A.C 加入量取 1.25%，PH 值取 8.0，P.A.C 脱色效果最佳。

甜菜丝在连续渗出器进行糖份渗出，一般以废粕含糖量的多少来衡量渗出效果的好坏。采用方差分析可以检验渗出时间和提汁率对废粕含糖量的影响的显著性。通常的洗涤剂中含有起主要去污作用的活性组份和一系列协助去污的助洗剂，其中最重要的助洗剂是三聚磷酸钠寻找有效的三聚磷酸钠替代物是目前洗涤剂变化的新趋势，4 A 型沸石是较为理想的替代物。采用方差分析可以检验含不同沸石量的配方以及洗涤温度对去污力影响的显著性。油脂抗氧化能力的强弱直接影响油脂的保存、使用和营养。由方差分析可知油的种类、烘烤天数对过氧化值都有显著影响。酸价是评定面粉品质的指标之一，也可用方差分析检验贮藏温度对面粉酸价变化的影响的显著性。果汁品质差异的显著性也可用方差分析来检验。

在生产实践和科学实验中，常常遇到几个变量共处于一个统一体中，它们之间客观上存在着一定的关系，需要找出描述这种关系的数学表达式。但是在实际问题中，变量之间的关系又往往比较复杂，难于获得精确的数学表达式；或者由于各种因素的影响，而使变量之间的关系具有某种不确定性。因此，需要根据样本的观察资料，采用统计方法，来寻找变量之间的统计关系。研究这种关系的统计方法叫做回归分析，它在食品发酵等学科中也有广泛应用。

在生化工程实验中测得菌体浓度 y 和培养液的光密度 OD 值(记为 x)如下：

浓 度 y (mg/ml)	1.25, 2.50, 5.00, 7.50, 10.0, 12.5, 15.0, 20.0, 22.5, 25.0
OD 值 x	0.0353,0.0851,0.175,0.250,0.319,0.400,0.444,0.495,0.560,0.600

使用一元线性回归求得回归方程为 $y = -1.966 + 41.9x$，y 的置信概率为 0.95 的预测区间为$(-5.106 + 41.9x, 1.174 + 41.9x)$。把测得的发酵醪中的 OD 值代入回归方程，可间接测定相应的菌体浓度。在发酵过程中，如果标准曲线在预测范围内，则发酵正常；如果标准曲线明显下移，低于预测下限，则可认为发酵控制不当或者由于菌株衰退所致，应立即寻找原因；如果标准曲线上升，高于预测上限，则可认为发酵控制良好，应进一步探讨最优工艺条件。酵母的生长量、培养时间和培养基中营养盐 $(NH_4)_2SO_4$ 的添加量之间具有线性关系，使用二元线性回归可以求出它们的回归方程。在食品工业中，感官评定是产品质量评定的重

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

要手段，而对感官评定结果的处理和分析，就要运用数理统计方法。例如用回归分析可以求出苦橙汁苦味程度和CD添加量（苦味抑制剂）之间的线性回归方程，根据回归方程就能预测和控制苦味程度。己烯雌酚（BES）可能对人体有致癌作用，通常用色谱分析仪来测定肉类食品中BES的含量。使用回归分析法求出色谱峰高与BES浓度之间的线性回归方程，可为BES分析提供依据。赖氨酸是生物体必需的一种氨基酸，它在油料饼粕中的含量常常作为营养价值的主要指标。以浓度和透光率OT值之间的回归直线为标准曲线，由待测样品测出OT值，根据标准曲线即可求出有效赖氨酸的含量。分别在菜油、豆油、花生油、猪油的烘烤天数与过氧化值之间作回归分析，发现除猪油外线性关系都很显著。由回归方程求出过氧化值上升到某值时所需的时间，并作比较，可知菜油的抗氧化能力最强，即最稳定，其次是豆油和花生油，猪油最差，是不稳定油。在对鱼饲料的颗粒表面添加VC的研究中，采用二元线性回归建立VC添加量、浸泡时间和VC保持量之间的回归方程，从而可以找出VC添加量和颗粒饲料浸泡时间对VC保持量的影响。在合成洗涤剂配方最优化的研究中，建立洗涤剂的去污力和配方中各组分之间的多元线性回归方程，可用来预测和控制洗涤剂洗涤效果。

酶是生物体内产生的一类具有催化作用的物质。在反应混合物中，当加入的酶浓度S增加时，反应速度V就会加快，两者之间具有指数关系$V=ae^{-b/s}$，其中的常数a和b可以用非线性回归来确定。通过建立儿茶酚浓度s和多酚氧化酶活力V之间的回归方程

$$\frac{1}{V}=\frac{K_m}{V_{max}}\cdot\frac{1}{S}+\frac{1}{V_{max}}$$

可以确定米氏常数K_m。

随着电子计算机的发展和广泛使用，使得逐步回归、回归设计、多元统计分析等现代统计方法的应用有了实际可能，可以设想，在今后的日子里，数理统计在食品发酵等学科中的应用将会越来越广泛、越来越深入。

感谢博士研究生李强军和85级全体硕士研究生为本文提供了大量资料。

参 考 文 献

[1] 费荣昌、费定晖，《概率统计》，山东科学技术出版社，1985
[2] 费荣昌，《概率统计解题分析》，江苏科学技术出版社，1984

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net