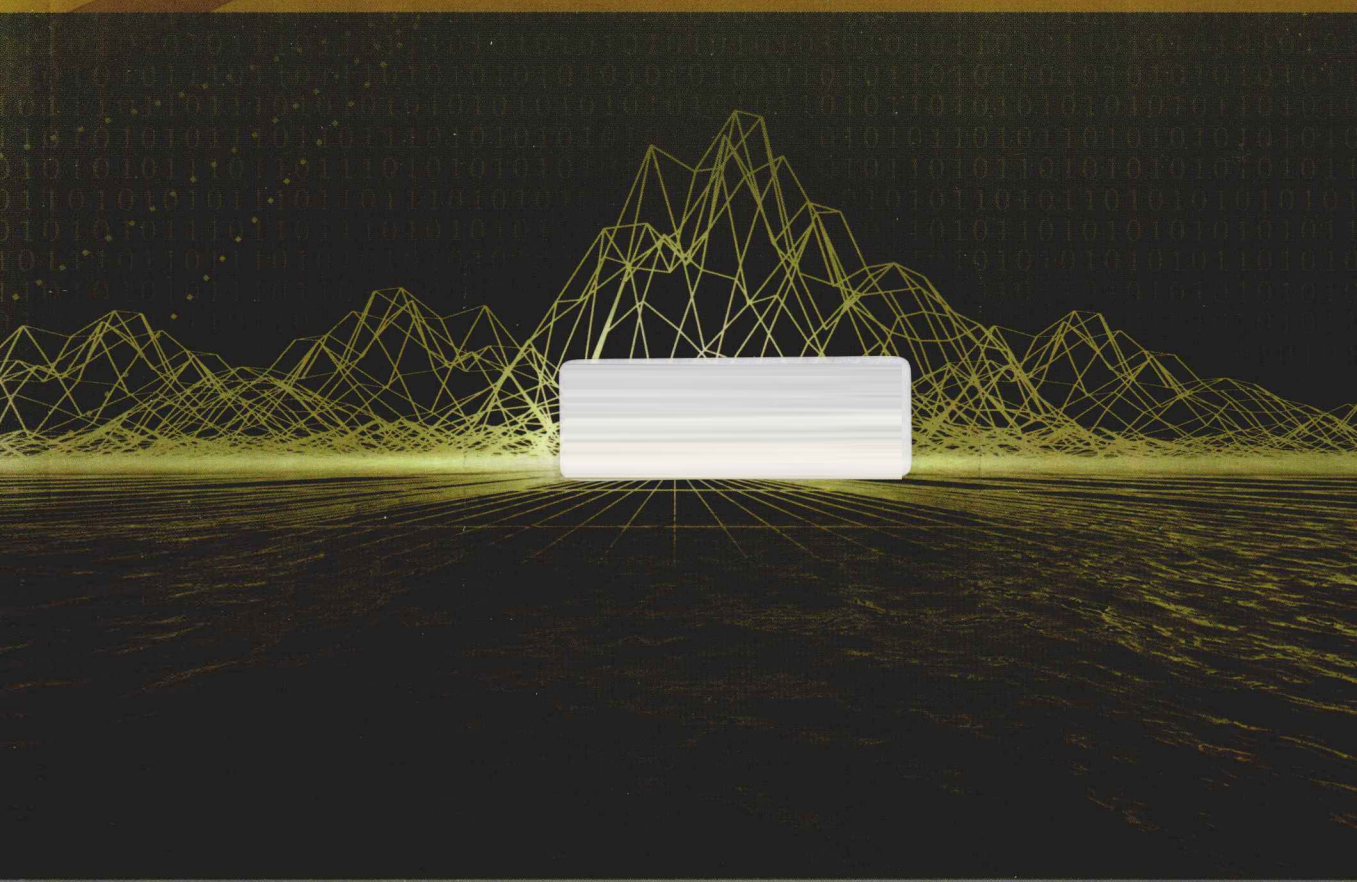


The Application and Research
of Mathematical Model
in Ecology

23

数学模型在生态学 的应用及研究

| 杨东方 陈 豫 编著



海洋出版社

数学模型在生态学的应用及研究(23)

The Application and Research of Mathematical Model in Ecology(23)

杨东方 陈 豫 编著

海洋出版社

2013 年 · 北京

内 容 提 要

通过阐述数学模型在生态学的应用和研究, 定量化地展示生态系统中环境因子和生物因子的变化过程, 揭示生态系统的规律和机制, 以及其稳定性、连续性的变化, 使生态数学模型在生态系统中发挥巨大作用。在科学技术迅猛发展的今天, 通过该书的学习, 可以帮助读者了解生态数学模型的应用、发展和研究的过程; 分析不同领域、不同学科的各种各样生态数学模型; 探索采取何种数学模型应用于何种生态领域的研究; 掌握建立数学模型的方法和技巧。此外, 该书还有助于加深对生态系统的量理解, 培养定量化研究生态系统的思维。

本书主要内容为: 介绍各种各样的数学模型在生态学不同领域的应用, 如在地理、地貌、水文和水动力, 以及环境变化、生物变化和生态变化等领域的应用。详细阐述了数学模型建立的背景、数学模型的组成和结构以及其数学模型应用的意义。

本书适合气象学、地质学、海洋学、环境学、生物学、生物地球化学、生态学、陆地生态学、海洋生态学和海湾生态学等有关领域的科学工作者和相关学科的专家参阅, 也适合高等院校师生作为教学和科研的参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

数学模型在生态学的应用及研究. 23/杨东方, 陈豫编著. —北京: 海洋出版社, 2013. 5
ISBN 978 - 7 - 5027 - 8517 - 8

I. ①数… II. ①杨… ②陈… III. ①数学模型 - 应用 - 生态学 - 研究 IV. ①Q14

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 048937 号

责任编辑: 方 菁

责任印制: 赵麟苏

海洋出版社 出版发行

<http://www.oceanpress.com.cn>

北京市海淀区大慧寺路 8 号 邮编: 100081

北京华正印刷有限公司印刷 新华书店北京发行所经销

2013 年 5 月第 1 版 2013 年 5 月第 1 次印刷

开本: 787 mm × 1092 mm 1/16 印张: 19.25

字数: 460 千字 定价: 60.00 元

发行部: 62132549 邮购部: 68038093 总编室: 62114335

海洋版图书印、装错误可随时退换

《数学模型在生态学的应用及研究(23)》编委会

主 编 杨东方 陈 豫

副主编 黄 宏 苗振清 王伶俐 杨丹枫 孙静亚

编 委 (按姓氏笔画为序)

邓一兵 邓 婕 冯志纲 石 强 张饮江

张友麓 杨端阳 陈军辉 赵晓黎 郑 琳

徐焕志 高 锋 常彦祥 梁 娟 韩志强

数学是结果量化的工具

数学是思维方法的应用

数学是研究创新的钥匙

数学是科学发展的基础

杨东方

要想了解动态的生态系统的基本过程和动力学机制,尽可从建立数学模型为出发点,以数学为工具,以生物为基础,以物理、化学、地质为辅助,对生态现象、生态环境、生态过程进行探讨。

生态数学模型体现了在定性描述与定量处理之间的关系,使研究展现了许多妙不可言的启示,使研究进入更深的层次,开创了新的领域。

杨东方

摘自《生态数学模型及其在海洋生态学应用》

海洋科学(2000),24(6):21-24.

前 言

细大尽力,莫敢怠荒,远迹辟隐,专务肃庄,端直敦忠,事业有常。

——《史记·秦始皇本纪》

数学模型研究可以分为两大方面:定性和定量的。若定性地研究,提出的问题是:“发生了什么?或者发生了没有?”若定量地研究,提出的问题是“发生了多少?或者它如何发生的?”前者是对问题的动态周期、特征和趋势进行了定性的描述,而后者是对问题的机制、原理、起因进行了定量化的解释。然而,生物学中有许多实验问题与建立模型并不是直接有关的。于是,通过分析、比较、计算和应用各种数学方法,建立反映实际的且具有意义的仿真模型。

生态数学模型的特点为:(1)综合考虑各种生态因子的影响。(2)量化描述生态过程,阐明生态机制和规律。(3)能够动态的模拟和预测自然发展状况。

生态数学模型的功能为:(1)建造模型的尝试常有助于精确判定所缺乏的知识和数据,对于生物和环境有进一步定量的了解。(2)模型的建立过程能产生新的想法和实验方法,并缩减实验的数量,对选择假设有所取舍,完善实验设计。(3)与传统的方法相比,模型常能更好地使用越来越精确的数据,从生态的不同方面将所取得材料集中在一起,得出统一的概念。

模型研究要特别注意:(1)模型的适用范围:时间尺度、空间距离、海域大小、参数范围。例如,不能用每月的个别发生的生态现象来检测1年跨度的调查数据所做的模型。又如用不常发生的赤潮的赤潮模型来解释经常发生的一般生态现象。因此,模型的适用范围一定要清楚;(2)模型的形式是非常重要的,它揭示内在的性质、本质的规律,来解释生态现象的机制、生态环境的内在联系。因此,重要的是要研究模型的形式,而不是参数,参数是说明尺度、大小、范围而已;(3)模型的可靠性,由于模型的参数一般是从实测数据得到的,它的可靠性非常重要,这是通过统计学来检测。只有可靠性得到保证,才能用模型说明实际的生态问题;(4)解决生态问题时,所提出的观点,不仅从数学模型支持这一观点,还要从生态现象、生态环境等各方面的事实来支持这一观点。

本书以生态数学模型的应用和发展为研究主题,介绍数学模型在生态学不同领域的应用,如在地理、地貌、气象、水文和水动力,以及环境变化、生物变化和生态变化等领域的应用。详细阐述了数学模型建立的背景、数学模型的组成和结构,以及其数学模型应用的意义。要认真掌握生态数学模型的特点和功能以及注意事项。生态数学模型展示了生态系统的演化过程和生态数学模型预测了自然资源可持续利用。通过本书的学习和研究,促进自然资源、环境的开发与保护,推进生态经济的健康发展,加强生态保护和环境恢复。

本书是在浙江海洋学院出版基金、浙江海洋学院承担的“舟山渔场渔业生态环境研究与污染控制技术开发”和“近海水域预防环境污染养殖模型”项目、海洋渔业科学与技术(浙江省“重中之重”建设学科)和“近海水域预防环境污染养殖模型”项目、国家海洋局北海环境监测中心主任科研基金—长江口、胶州湾、莱州湾及其附近海域的生态变化过程(05EMC16)的共同资助下完成。

此书得以完成应该感谢北海环境监测中心崔文林主任和上海海洋大学的李家乐院长;还要感谢刘瑞玉院士、冯士侬院士、胡敦欣院士、唐启升院士、汪品先院士、丁德文院士和张经院士。诸位专家和领导给予的大力支持,提供良好的研究环境,成为我们科研事业发展的动力引擎。在此书付梓之际,我们诚挚感谢给予许多热心指点和有益传授的其他老师和同仁。

本书内容新颖丰富,层次分明,由浅入深,结构清晰,布局合理,语言简练,实用性和指导性强。由于作者水平有限,书中难免有疏漏之处,望广大读者批评指正。

沧海桑田,日月穿梭。抬眼望,千里尽收,祖国在心间。

杨东方 陈 豫

2012年6月5日

目次

橙汁的颜色公式	(1)
农业谷物的干燥系数计算	(4)
纤维素的结晶指数公式	(8)
根系密度和土壤养分的计算	(10)
农作物的种植设计公式	(13)
机电流量阀的传递函数模型	(15)
冬小麦种植面积的遥感计算	(18)
开垦和退耕的土壤可蚀性模型	(20)
燃料单锅灶的设计公式	(23)
烟草栽培的施肥模型	(25)
养殖系统的水循环公式	(28)
蜂胶的酶解制备公式	(35)
超高静压的升温计算	(38)
果蔬的干燥速率公式	(40)
秧盘育秧的穴盘空穴数据库	(44)
半封闭热泵的干燥系统模型	(47)
土壤的含水率计算	(52)
蒸散发量的遥感模型	(54)
鸡蛋新鲜度的检测公式	(58)
蛋白质热稳定性的识别算法	(61)
光生物反应器脱除二氧化碳的模型	(63)
猪病毒基因的双表达载体公式	(69)
发酵过程的故障诊断模型	(72)
蛋白质结构分类的二肽组成公式	(76)
发酵丙酮酸的动力学参数计算	(79)
青霉素发酵的在线预报模型	(81)
细胞生长的代谢公式	(86)
蛋白质中两类氨基酸的类聚统计	(89)
灵芝胞外多糖的发酵生产模型	(93)

怀槐细胞的培养模型	(98)
几丁质酶的氨基酸组成模型	(102)
微囊化细胞的比生长速率计算	(105)
糖酵解的酶量变化模型	(107)
霍山石斛类的细胞培养模型	(109)
三维支架的软骨细胞生长模型	(112)
逆流湍动床的气液传质计算	(115)
杀虫晶体蛋白的预测模型	(118)
丙酮酸发酵的动力学模型	(123)
色谱方法对胰岛素与其受体结合常数的计算	(126)
嗜热和嗜冷的蛋白分类模型	(128)
微悬臂梁式免疫传感器的计算	(131)
絮凝颗粒对乙醇耐受性的细胞膜透性系数的测定	(134)
抗氟乙酸突变株的代谢流量计算	(136)
外膜蛋白的预测公式	(140)
RNA 伪结的预测模型	(145)
谷胱甘肽的发酵模型	(148)
玉米芯的发酵产氢模型	(154)
城市污泥厌氧发酵的指标计算	(156)
RNA 共同二级结构的预测公式	(159)
氧化还原酶的辅酶类型预测公式	(164)
羊肚菌液体的发酵模型	(168)
啤酒酵母基因的敲除公式	(171)
酶活力的计算	(174)
特征代谢基因的表达模式	(176)
污泥厌氧发酵的产酸公式	(178)
脂肪酶类型的预测公式	(180)
法夫酵母的发酵生产虾青素模型	(183)
牙齿充填材料的损伤模型	(186)
产油微生物的生长模型	(189)
景观格局的边界特征模型	(191)
偶氮染料影响作物的毒理模型	(194)
偶氮染料的迁移模型	(197)
草坡群落的空间异质性模型	(202)

不同海拔的克隆植物生长模型	(205)
冬小麦各器官的累积和分配模型	(208)
下游绿洲的生态变化模型	(211)
玉米田的能量平衡模型	(214)
锥栗人工林的养分模型	(216)
农田防护林的林网体系模型	(221)
史氏鲟的养殖密度模型	(223)
土壤-作物的安全评价模型	(225)
三维空间的样地分析模型	(230)
种群格局的地统计模型	(234)
二斑叶螨种群的空间格局模型	(237)
植物种群的自疏公式	(242)
蜜蜂种群的繁殖及数量模型	(246)
绿地生态系统的功能模型	(249)
干物质的积累和产量模型	(252)
防护林的定向经营模型	(258)
二氧化碳的净交换通量模型	(261)
冬小麦的光合作用和蒸散模型	(264)
轮虫种群的增长模型	(267)
林地生态的需水量公式	(270)
天敌与害虫的捕食量模型	(273)
紫花苜蓿的生长发育模型	(276)
阔叶红松林的蒸散量测算模型	(281)
森林群落的物种多样性比较模型	(284)
景观结构的特征指数计算	(287)
土壤水分的入渗特征模型	(289)
生态系统的氡水行为模型	(292)
大豆的水肥产量效应模型	(294)

橙汁的颜色公式

1 背景

提高橙汁的货架期,来探讨高压二氧化碳的加工技术,降低对生产设备的要求。同时,高压液态二氧化碳在常压下变为气态挥发,对橙汁产品无污染。于是,刁恩杰等^[1]将新鲜的橙汁在温度为 37℃,压力 60 MPa 的高压二氧化碳中处理 9 min 后,分别在 4℃、15℃、25℃ 和 37℃ 下贮藏,利用橙汁的果胶甲基酯酶残存相对活性和颜色公式,计算果胶甲基酯酶残存相对活性和颜色变化。从而为果汁企业生产高品质的橙汁提供理论依据和技术支持。

2 公式

压力和温度的实验设定值见表 1。

表 1 压力和温度设定值

压力/MPa	温度/℃	停留时间/min
20	25	9
20	37	9
40	25	9
40	37	9
60	25	9
60	37	9

2.1 果胶甲基酯酶残存相对活性公式

PME 酶样的提取及测定均参照文献[2]的方法。以 1 mol/L,pH 7.5 的氯化钠溶液为提取液,研磨,12 000 r/min 离心 5 min,取上清液为粗酶液。以果胶为底物测定 PME 活性,于 620 nm 下记录光密度变化值,以每分钟变化 0.001 个光密度为一个酶活单位,重复 3 次。果胶甲基酯酶残存相对活性(R_{PME})按下面的公式计算:

$$R_{PME} = \frac{\text{橙汁高压二氧化碳处理后的 PME 活性}}{\text{橙汁处理前 PME 活性}} \times 100\%$$

2.2 橙汁颜色公式

橙汁颜色测定按照文献[3]进行。 L^* 值表示亮度,其值越大亮度越高,果汁褐变越轻,反之褐变越严重; a^* 值越大果汁越红,褐变越严重,越小果汁则越绿,褐变越轻。 b^* 值越大果汁越黄,越小果汁则越蓝。褐变指数按文献[4]测定并做改进:果汁摇匀,取出 10 mL,加 10 mL 无水乙醇,摇 2 min,过滤,取滤液用 WSC-S 色差计测其在 420 nm 下的吸光度值 A_{420} ,即为褐变指数。 A_{420} 越大,表明褐变越严重。每个样重复 3 次,取平均值。

果汁颜色变化(ΔE)计算公式参照文献[5]。

$$\Delta E = \sqrt{(L_i^* - L_0^*)^2 + (a_i^* - a_0^*)^2 + (b_i^* - b_0^*)^2}$$

式中 L_i^* 、 a_i^* 、 b_i^* 分别代表货架期(t)时的亮度、红色值和黄色值; L_0^* 、 a_0^* 、 b_0^* 分别代表开始时的亮度、红色值和黄色值, ΔE 越大,则表示果汁颜色变化越大。

将贮藏过程中的橙汁样品直接在 WSC-S 色差计上测定颜色变化(图 1)。

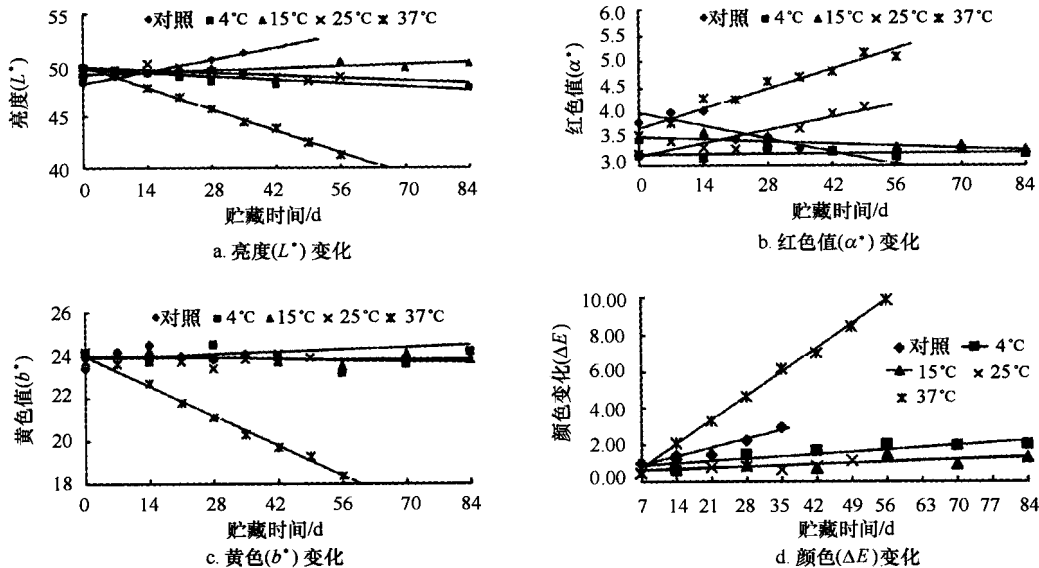


图1 压力 60 MPa 处理 9 min 的橙汁在贮藏过程中的颜色变化

3 意义

利用橙汁的果胶甲基酯酶残存相对活性和颜色公式,计算果胶甲基酯酶残存相对活性和颜色变化。得到新鲜的橙汁在温度 37℃,压力 60 MPa 下处理 9 min 后,在 4℃ 和 15℃ 下分别贮藏 84 d 和 56 d,维生素 C 含量保持在 80% 以上,颜色变化不明显。因此,高压二氧化碳加工技术是一项新的延长橙汁货架期的技术,可以替代巴氏杀菌等热加工技术,此技术

值得在果汁企业中广泛推广。

参考文献

- [1] 刁恩杰,李向阳. 高压二氧化碳处理对橙汁货架期的影响. 农业工程学报,2009,25(2):298-301.
- [2] Alonso J,Rodriguez T,Canet W. Purification and characterization of two pectinmethylesterase from persimmon(*Diospyros kaki*). J Sei Food Agric,1997,75: 352-358.
- [3] 綦菁华,蔡同一,倪元颖,等. 活性炭对苹果汁中多酚和混浊物的吸附研究. 食品与发酵工业,2003,29(4): 11-14.
- [4] 罗平. 饮料分析与检验. 北京: 轻工业出版社,1993:132-136.
- [5] 赵光远,王璋,许时婴. 混浊苹果汁加工过程中的酶促褐变及其防止的研究. 食品工业科技,2003,(10):57-61.

农业谷物的干燥系数计算

1 背景

依据当前粮食干燥的相关理论,结合多年工作经验及科学研究,邢佐群等^[1]对 ISO 11520《农业谷物干燥机干燥性能的测定》国际标准给出的条件修正系数 K (中国术语称“折算系数”,本研究称修正系数)公式以及用于计算修正系数的“模型数据表”的误差和实用性提出探讨,对该标准的具体应用和未来修订提出意见。

2 公式

2.1 校正系数 K 计算公式

“ISO 11520-2”国际标准附有若干附录,其中由近万组模型数据组成的附录 D,从表 D.1 到表 D.6 给出了 5 种(小麦、油菜、玉米、水稻、高粱)谷物在不同干燥条件(不同的初始水分和终止水分;不同的热风温度、热风流量等)下的纯蒸发量 g/kg (水/干空气)数据。“ISO11520-2”称这些数据为干燥模型预测值(纯蒸发量),其主要用于计算修正系数 K 。

据国内专家对“ISO 11520”的研究报告^[2],该标准附录 D 所载的纯蒸发量数据是“利用 5 个校正系数 K_1, K_2, K_3, K_4, K_5 对试验所得水分蒸发率进行折算。各校正系数的意义如下: K_1 为水分校正系数; $K_1 = (8.971 - 0.05578T_d)X_f + 1.139\ln T_d - 4.652$; K_2 为热风温度校正系数; $K_2 = (0.00565 - 0.000061T_d)T_d + 0.000915T_d + 0.915$; K_3 为空气湿度校正系数; $K_3 = 1.0175 - 0.01072\ln(1 - \Phi)$; K_4 为风量校正系数; $K_4 = (0.022T_d - 3.445)a/V - 0.2715\ln T_d + 2.608$; K_5 为去水量校正系数; $K_5 = \{-2.25 + 0.3T_d + (2.55T_d - 356)(X_a + \Delta_x)\}10^{-3}$

相对水分蒸发率 $\lambda = K_1, K_2, K_3, K_4, K_5(X_i - X_f)^{0.232}$

式中, T_d 为热风温度; X_a 为体积风量; X_i 为初始水分; V 为干燥机体积; Δ_x 为湿含量增加; a 为气体速度; λ 为相对水分蒸发率; Φ 为空气相对湿度; X_f 为终止水分。

由于“ISO 11520”用来模拟计算纯蒸发量的“数学模型比较复杂,为此需要对国外有关粮食干燥标准方面的资料进行翻译、整理、分析和应用”^[2]。

2.2 修正系数公式

2.2.1 “ISO 11520-2”标准给出的修正系数公式

“蒸发速率要通过把观测值 E'_s 乘以规定条件下的模型预测值 E'_{ps} 除以观测条件下的预测值 E'_{po} 来修正”^[3], 此定义给出了求取修正系数 K 值的计算式:

$$K = E'_{ps} / E'_{po} \quad (1)$$

式中, K 为修正系数; E'_{ps} 为合同约定条件下的模型预测纯蒸发量, g/kg; E'_{po} 为随机测试条件下的模型预测纯蒸发量, g/kg。

E'_{ps} 、 E'_{po} 的具体数值, 依据相应的合同约定条件和随机测试条件由“ISO 11520-2”附录 D 相应的表格(模型预测值)查得。在该标准“表格数据的应用”条款中给出一组“测试条件与规定条件数据”作为示例, 并用插值法从表 D. 2 中查得相应的 E'_{ps} 、 E'_{po} 值, 最后得出示例的 K 值:

$$K = E'_{ps} / E'_{po} = 11.93 / 13.20 = 0.905 \quad (2)$$

上述定义同时指出:

$$E'_s = KE'_o \quad (3)$$

式中, E'_s 为修正后的水分蒸发速率, kg/s; E'_o 为随机观测的水分蒸发速率, kg/s。

2.2.2 对“ISO 11520-2”标准修正系数公式的补充修订

进行模拟试验计算并与文献资料对比验证后, 认为应提出对修正系数公式的补充修订, 对式(1)的修正系数公式, 应补充热风风量(热风体积流量)的概念, 即应修订为:

$$K = (E'_{ps} V_s \rho_s) / (E'_{po} V_o \rho_o) \quad (4)$$

式中, V_s 、 V_o 分别为合同约定条件下和随机测试条件下的热风体积流量, $\text{m}^3/(\text{s} \cdot \text{m}^3)$; ρ_s 、 ρ_o 分别为合同约定条件下和随机测试条件下的热风容重, kg/m^3 。

2.2.3 补充修订后模型的对比验证

2.2.3.1 与文献资料的对比验证

对补充修订后模型式(4), 实验做了与式(1)的对比模拟试验。为便于在图 1 曲线上直接查取需要的数据, 设定测试条件热风风量 V_o 为 $0.667 \text{ m}^3/(\text{s} \cdot \text{m}^3)$, 合同约定条件热风流量 V_s 为 $1.0 \text{ m}^3/(\text{s} \cdot \text{m}^3)$ 。从“ISO11520-2”附录 D 表 D. 4 查取相应的 E'_{ps} 、 E'_{po} 纯蒸发量预测值, 经查表并运用插值法计算得出: $E'_{ps} = 20.68 \text{ g/kg}$, $E'_{po} = 22.58 \text{ g/kg}$ 。

用式(1)算出修正系数:

$$K = 20.68 / 22.58 = 0.92 \quad (5)$$

用式(4)计算修正系数:

$$K = \frac{20.68 \times 1.0 \times 0.898}{22.58 \times 0.667 \times 0.898} = 1.37 \quad (6)$$

风量 $1.0 \text{ m}^3/(\text{s} \cdot \text{m}^3)$ 曲线与热风温度 120°C 曲线交点 a 所对应的 a' 生产率指标近似于

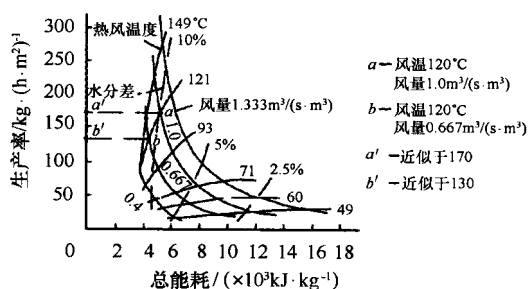


图1 横流式谷物干燥机的性能曲线

170(相当于 E'_s),而风量 $0.667 \text{ m}^3/(\text{s} \cdot \text{m}^3)$ 曲线与热风温度 120°C 曲线交点 b 所对应的 b' 生产率近似于 130(相当于 E'_s),按式(3)计算得出 $K = E'_s/E'_s = 170/130 = 1.31$,此值与式(6)的结果几近相等。而与式(5)计算的 0.92 竟差近 40%。修正系数公式(4)更符合现有研究成果。

2.2.3.2 用 CGDSP 模拟程序的对比验证

为更可靠地验证对式(1)补充修订的必要性,运用谷物干燥综合模拟程序(CGDSP)^[4],按“ISO11520-2”表5的示例^[3],进行模拟对比试验。依据干燥速率及对应的初始水分和最终水分,按相关公式最终可分别求得蒸发速率 E'_s 、 E'_s 值。

经用 CGDSP 模拟程序,作对比试验并得出具体的 E'_s 、 E'_s 值之后,按式(3)求出的修正系数为:

$$K = E'_s/E'_s = 1.017 \quad (7)$$

用补充修订后的修正系数公式(4)代入相应的数据得:

$$K = \frac{11.93 \times 1.0 \times 1.044}{13.20 \times 0.9 \times 1.035} = 1.013 \quad (8)$$

式(8)结果与用 CGDSP 模拟程序试验(7)结果只差千分之四。而相同条件下用“ISO 11520-2”提供的公式(2)的计算结果,竟与用 CGDSP 模拟程序试验结果相差 10% 之多。可见补充修订是十分必要的。式(1)的缺陷是忽略了热风风量对降水速度的重要影响,得出的结果,不能用以说明具体的现场测试条件与合同约定条件的关联,而经补充修订的式(4)可以明确地得出测试观测值和修正后性能指标关联性结论。其结论为:依据现场测试干燥条件下的观测值及计算结果,认为该干燥设备,如在 $1.0 \text{ m}^3/(\text{s} \cdot \text{m}^3)$ 热风风量等合同约定条件下测试,可达到相当于现场测试 1.013 倍的水分蒸发速度(而不是式(2)的 0.905 倍)。

2.4 特别说明

这是一项属印刷或校对的失误,“对于连续式干燥机计算干燥谷物的修正质量流量为^[3]: