



粮食干燥原理及品质分析

Grain Drying Principle and Quality Analysis

朱文学



高等教育出版社

HIGHER EDUCATION PRESS

图书在版编目(CIP)数据

粮食干燥原理及品质分析/朱文学. —北京:高等教育出版社, 2001. 12

ISBN 7-04-010316-8

I. 粮... II. 朱... III. 粮食-烘焙品质-分析
IV. TS210.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 065421 号

粮食干燥原理及品质分析
朱文学

出版发行	高等教育出版社	邮政编码	100009
社 址	北京市东城区沙滩后街 55 号	传 真	010-64014048
电 话	010-64054588		
网 址	http://www.hep.edu.cn		
	http://www.hep.com.cn		
经 销	新华书店北京发行所		
排 版	高等教育出版社照排中心		
印 刷	中国科学院印刷厂		
开 本	850×1168 1/32		
印 张	9.5	版 次	2001 年 12 月第 1 版
字 数	230 000	印 次	2001 年 12 月第 1 次印刷
插 页	1	定 价	15.40 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

作者简介

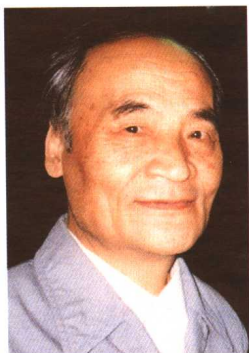


朱文学,男,1967年8月生。1997年毕业于中国农业大学,获博士学位。1999年6月获得首届全国100篇优秀博士学位论文奖。洛阳工学院“食品科学与工程”学科带头人,全国“包装与食品工程”学会理事,原机械工业部跨世纪学术骨干。现任洛阳工学院机设系副主任,副教授。

自1988年开始,一直从事农产品干燥方面的研究,先后负责完成4项省部级以上有关农产品干燥研究的科研课题。目前负责主持5项在研课题,其中,河南省科委“小型谷物烘干机”攻关项目1项,已接近完成。

发表论文30多篇,其中第一作者25篇。在一级学会学报《农业机械学报》、《农业工程学报》上发表学术论文10篇。出版《太阳能热利用工程》、《现代干燥技术》和《粮食干燥过程的模拟》著作3部。

导师简介



曹崇文,男,1928年8月生,1950年毕业于清华大学机械工程系,1958年在前苏联哈尔科夫工学院获技术科学副博士学位。现任中国农业大学教授,博士生导师,全国干燥技术情报网名誉理事长,全国收获加工机械学会副理事长,中国农业工程学会加工储藏分会常委理事,农机学报编委,农业工程学报编委,国际干燥技术(DryingTechnology)杂志编委,美国农业工程师协会会员,中国化工学会干燥专业组成员,国际干燥会议(IDS)顾问团成员。

主持和承担国家和部级课题十余项。其中“5HG-4.5粮食干燥成套设备”获国家科技进步三等奖及部级科技进步二等奖。主持的“谷物干燥综合模拟程序被评为国际先进水平,已推广到全国二十个科研院所。主持的“粮食干燥工厂工艺设备配套优化研究”及“谷物干燥系统仿真研究”达到国际和国内先进水平。获国家专利两项。主持的国家自然科学基金课题“脉动燃烧干燥传热传质研究”和博士点基金课题“过热蒸汽干燥研究”及气流对撞干燥器等均属学科前沿技术,具有重大的理论意义和学术价值。

共发表论文140余篇。著有《现代干燥技术》,《农产品干燥机理、工艺与技术》,《粮食及农产品干燥成套设备和技术》,《农产品干燥过程的计算机模拟》等八部著作。

培养博士生及博士后24人,硕士20人。

内 容 提 要

本书是在作者博士论文的基础上,适当地增加了一些基础知识和最新研究成果编写而成的。主要包括粮食干燥基本原理和几种重要品质指标研究。文中采用大量的试验数据和图片,运用经济计量学、分形学等理论对粮食干燥品质进行了机制、影响因素、计算与模拟方法的研究与分析,最后介绍了一种解决粮食干燥研究中多目标问题的办法。

本书内容充实,理论性和实用性强,可供从事粮食干燥的科研、设计人员和高校师生参考。

前 言

本书是在作者博士学位论文基础上整理出版的。在成书过程中适当地加入了相关的基础知识和最新研究成果,力求能最大限度地满足广大读者的需要。

我国社会的发展和人民生活水平的提高对粮食的品质提出了更高的要求。粮食品质除与粮食品种和种植水平有关外,也与收后的加工和储藏技术水平密不可分。粮食干燥是粮食收后加工与储藏过程中的重要一环,进行干燥过程的品质管理和研究是保证粮食品质的重要途径。

人工干燥条件下,干燥强度大。如果参数选取不当,干后的粮食会出现不同程度的品质损伤,如应力裂纹、热损伤、蛋白质变性、容重和发芽率降低等,并对粮食的运输、储藏和使用造成不良影响,最终影响到粮食的等级和收益。粮食干燥品质研究是我国粮食干燥研究中的薄弱环节,对一些品质指标的研究不深入,对有些品质指标的研究还是空白。

本文对照粮食质量和粮食干燥机技术的最新标准,应用经济计量学,分形学等理论,采用试验和模拟相结合的方法对受干燥过程影响较大的品质指标(谷物应力裂纹、破碎敏感性、发芽率和容重)进行了机制、影响因素、计算与模拟方法的研究与分析,旨在为粮食干燥机设计、操作参数的选取与控制提供理论和方法指导。

中国农业大学的曹崇文教授不仅悉心指导了作者的博士论文,而且对本书提出了宝贵建议,提供了大量的资料。在作者完成博士论文期间,中国农业大学东校区机械工程学院和研究生院的老师和同学为作者提出了大量的中肯建议和帮助,在此一并致谢。

由于时间仓促,水平有限,书中错漏之处在所难免,敬请读者批评指正。

目 录

第 1 章 绪 论	1
1.1 粮食品质的定义	1
1.1.1 稻谷的品质	2
1.1.2 小麦的品质	3
1.1.3 玉米的品质	4
1.2 干燥和品质	4
1.2.1 加热温度和品质	5
1.2.2 干燥速度和品质	6
1.3 与干燥有关的品质指标定义及研究概况	8
1.3.1 应力裂纹	8
1.3.2 破碎敏感性	13
1.3.3 发芽率	16
第 2 章 粮食干燥理论、模型及设备	20
2.1 粮食干燥的基本理论	20
2.1.1 粮食干燥机制	20
2.1.1.1 粮食的干燥特性	20
2.1.1.2 粮食的干燥特性曲线	22
2.1.2 干燥过程的质热平衡	24

2.1.3	粮食的干燥均匀性	25
2.1.4	影响粮食干燥的因素	26
2.1.4.1	粮食的生理状态	26
2.1.4.2	粮食的物性参数及化学成分	26
2.1.4.3	热风的状态参数	27
2.2	粮食干燥过程的数学模型	28
2.2.1	单粒粮食干燥模型	29
2.2.1.1	恒速干燥阶段模型	29
2.2.1.2	降速干燥阶段模型	29
2.2.2	薄层干燥模型	31
2.2.2.1	稻谷薄层干燥方程	32
2.2.2.2	玉米薄层干燥方程	32
2.2.2.3	小麦薄层干燥方程	34
2.2.2.4	大豆薄层干燥方程	34
2.2.3	深床干燥模型	35
2.2.3.1	偏微分方程模型	35
2.2.3.2	平衡模型	37
2.2.3.3	对数模型	39
2.2.4	粮食特性参数模型	40
2.2.4.1	平衡水分方程	40
2.2.4.1.1	水稻平衡水分方程	40
2.2.4.1.2	玉米平衡水分方程	41
2.2.4.2	粮食汽化潜热和比热方程	42
2.2.4.2.1	粮食汽化潜热模型	42
2.2.4.2.2	粮食比热模型	43
2.2.4.3	粮食绝干物质密度	43
2.3	粮食干燥方式及工艺	44
2.3.1	粮食干燥方式	44
2.3.1.1	常用的干燥方式	44
2.3.1.2	3种干燥方式的优、缺点	44
2.3.2	粮食热风干燥工艺	46
2.3.2.1	烘干——缓苏干燥工艺	46

2.3.2.2	低温干燥工艺	47
2.3.2.3	低速干燥工艺	47
2.3.2.4	高温短时干燥工艺	48
2.3.2.5	蒸煮稻干燥工艺	48
2.4	粮食干燥设备	48
2.4.1	横流式粮食干燥机	48
2.4.2	混流式粮食干燥机	51
2.4.3	顺流式粮食干燥机	52
2.4.4	顺混流式粮食干燥机	54
2.4.5	逆流式粮食干燥机	54
2.4.6	太阳能干燥机	55
第3章	粮食应力裂纹生成和扩展机制	57
3.1	玉米应力裂纹薄层干燥试验	57
3.1.1	试验方法	57
3.1.2	应力裂纹生成过程分析	58
3.1.2.1	应力裂纹生成的位置和类型	58
3.1.2.2	干燥过程中应力裂纹的生成和扩展	60
3.1.2.3	冷却阶段应力裂纹的生成和扩展	61
3.1.2.4	短时存放阶段应力裂纹的生成和扩展	62
3.1.2.5	干燥、冷却、冷后裂纹率比较	63
3.1.3	应力裂纹生成及扩展的影响因素	64
3.1.3.1	风温	64
3.1.3.2	风速	64
3.1.3.3	初始含水率和终了含水率	66
3.2	玉米组织及应力裂纹的显微结构分析	67
3.2.1	试验目的与方法	67
3.2.2	玉米籽粒的显微结构	68
3.2.3	自然晾晒玉米的品质特征	69
3.2.4	自然晾晒玉米的显微结构分析	70
3.2.4.1	胚乳的组织形态	70
3.2.4.2	胚乳中应力裂纹的显微形态	73

3.2.4.3	胚乳中应力裂纹的扩展	74
3.2.5	人工干燥玉米应力裂纹的显微结构分析	76
3.2.5.1	应力裂纹的形态和位置	76
3.2.5.2	应力裂纹的宽度	80
3.2.5.3	应力裂纹在胚乳中的扩展	81
3.2.5.4	胚乳结构的变化	81
3.3	玉米应力裂纹生成和扩展机制分析	84
3.3.1	黏弹性本构方程	85
3.3.2	黏弹性球应力模型	86
3.3.3	玉米应力裂纹生成和扩展机制分析	91
3.4	稻谷爆腰机制	94
3.4.1	干燥过程与爆腰率的关系	95
3.4.2	稻谷裂纹的起始点	95
3.4.3	米粒爆腰机制	96
3.4.3.1	应力理论	96
3.4.3.2	水分吸收产生的膨胀力	97
3.4.3.3	楔压力理论	98
3.4.3.4	水合作用力	98
3.4.4	稻谷中米粒爆腰的外因	99
3.4.4.1	稻谷成熟期产生的爆腰	99
3.4.4.2	稻谷割后自然干燥期产生的爆腰	99
3.4.4.3	已干稻谷雨淋后产生的爆腰	99
3.4.4.4	稻谷储藏中产生的爆腰	99
3.4.4.5	机械作用产生的爆腰	100
3.5	深床干燥玉米应力裂纹的试验结果及分析	101
3.5.1	深床干燥玉米应力裂纹发生与扩展的特点	101
3.5.2	影响应力裂纹发生和扩展的因素	102
3.5.2.1	风温对应力裂纹率的影响	102
3.5.2.2	风速对应力裂纹率的影响	103
3.5.2.3	冷却方式对应力裂纹率的影响	104
3.5.2.4	干燥次数对应力裂纹率的影响	106

3.5.2.5 干燥方法对应力裂纹率的影响	107
第4章 玉米应力裂纹的分形研究	109
4.1 绪言	109
4.2 测度与分形	110
4.2.1 空间和测度	111
4.2.2 分维	114
4.2.2.1 Hausdorff 维数	114
4.2.2.2 盒维数	116
4.2.3 多重分形	119
4.2.3.1 描述多重分形的参量	120
4.2.3.2 多重分维和广义熵函数	120
4.3 玉米籽粒截面及内部组织尺寸的测量	122
4.3.1 籽粒截面尺寸的测量	122
4.3.2 淀粉颗粒尺寸测量	123
4.4 玉米应力裂纹分维测量及分析	124
4.4.1 定性观察	124
4.4.2 分维测量方法	124
4.4.3 测量结果及分析	130
4.4.3.1 局部典型形态裂纹的分维分析	130
4.4.3.2 整个剖面上应力裂纹的分维分析	131
4.4.3.3 应力裂纹分维与干燥条件的关系	134
4.5 应力裂纹扩展的分形模型及动力学分析	137
4.5.1 应力裂纹的弯折模型	137
4.5.2 应力裂纹的分叉模型	139
4.5.3 应力裂纹扩展的动力学分析	141
4.6 玉米应力裂纹扩展过程的分形模拟	143
4.6.1 整个剖面应力裂纹扩展过程的模拟方法	143
4.6.2 局部显微裂纹扩展过程的模拟方法	145
4.6.3 模拟结果	146
第5章 粮食破碎敏感性试验与建模	149
5.1 粮食破碎敏感性测试原理及模型	149

5.1.1 粮食破碎敏感性测试原理及设备	149
5.1.2 破碎敏感性试验设备性能比较	152
5.1.3 破碎敏感性模型	155
5.2 离心式玉米破碎敏感性测试仪设计和参数选择	158
5.2.1 离心式玉米破碎敏感性测试仪设计	158
5.2.2 操作参数选择	159
5.2.2.1 筛孔直径的选择	160
5.2.2.2 圆周速度的选择	161
5.3 薄层干燥谷物破碎敏感性试验方法	163
5.4 薄层干燥玉米的破碎敏感性试验结果及分析	164
5.4.1 热风温度对破碎敏感性的影响	164
5.4.2 含水率对破碎敏感性的影响	164
5.4.3 品种对破碎敏感性的影响	166
5.4.4 干燥过程对破碎敏感性的影响	166
5.5 薄层干燥大豆破碎敏感性试验结果及分析	167
5.5.1 单因素分析	167
5.5.1.1 风温对大豆破碎敏感性影响	167
5.5.1.2 初始含水率对大豆破碎敏感性影响	167
5.5.1.3 风速对大豆破碎敏感性影响	169
5.5.1.4 品种对大豆破碎敏感性影响	169
5.5.2 正交试验设计及结果分析	170
5.6 谷物破碎敏感性模型的建立	172
5.6.1 确定函数形式的 Box-Cox 变换	172
5.6.2 谷物破碎敏感性模型的建立	175
5.7 深床干燥玉米破碎敏感性试验研究	178
5.7.1 试验目的和方法	179
5.7.1.1 试验设备	179
5.7.1.2 试验方法	180
5.7.2 深床干燥玉米的破碎敏感性试验结果及分析	181
5.7.2.1 干后玉米破碎敏感性分析	181
5.7.2.2 工艺方法及工艺参数对破碎敏感性	

的影响	182
5.7.2.2.1 风温对破碎敏感性 的影响	182
5.7.2.2.2 风速对破碎敏感性 的影响	183
5.7.2.2.3 初始含水率对破碎敏感性 的影响	184
5.7.2.2.4 冷却方法对破碎敏感性 的影响	184
5.8 应力裂纹率和破碎敏感性的关系研究	186
5.9 降水率、能耗与裂纹率和破碎敏感性之间的关系	190
第6章 种子干燥发芽率的模拟与试验研究	192
6.1 种子劣变机制分析	192
6.1.1 种子的呼吸作用	193
6.1.2 蛋白质变性	195
6.1.3 酶失活	197
6.2 大豆发芽试验	200
6.2.1 大豆发芽试验方法	200
6.2.2 大豆发芽试验结果分析	201
6.2.2.1 干后大豆发芽质量	201
6.2.2.2 单因素试验分析	202
6.2.2.2.1 风温对大豆发芽率 的影响	202
6.2.2.2.2 初始含水率对大豆发芽率 的影响	203
6.2.2.2.3 干燥时间对大豆发芽率 的影响	203
6.2.2.3 正交试验	204
6.2.2.3.1 正交试验安排	204
6.2.2.3.2 正交试验结果分析	205
6.3 稻谷发芽试验	206

6.3.1	试验方法	206
6.3.2	干燥对水稻种子发芽率的影响	207
6.3.3	干燥对水稻种子耐藏性的影响	209
6.3.4	干燥后酶活性变化和发芽率的相关性	210
6.4	种子发芽率的模拟计算	211
6.4.1	种子发芽率模型综述	211
6.4.2	一阶动力种子发芽率模型	215
6.4.2.1	模型的建立	215
6.4.2.2	参数确定	216
6.4.3	模型验证与特性分析	217
6.4.3.1	预测模型验证	217
6.4.3.2	预测模型特性分析	218
6.5	深床干燥过程中种子发芽率的模拟	221
6.5.1	深床干燥过程模拟	221
6.5.2	深床干燥过程中发芽率的模拟方法	224
6.5.3	深床干燥过程中发芽率的模拟结果分析	226
6.5.3.1	固定床干燥过程中发芽率的模拟结果 分析	226
6.5.3.2	顺流干燥过程中发芽率的模拟结果 分析	228
6.5.3.3	横流干燥过程中发芽率的模拟结果 分析	229
第7章	干燥过程对谷物空隙率及容重的影响	231
7.1	定义	233
7.1.1	空隙率	233
7.1.2	容重	233
7.1.3	湿体膨胀系数和湿线膨胀系数的定义及相互关系	233
7.2	谷物内空隙产生的机制及对谷物品质的影响	237
7.2.1	内空隙产生的机制	237
7.2.2	烘干温度与内空隙对破碎可能性的影响	239
7.3	谷物干燥过程中外空隙率的变化	240

7.3.1 外空隙率与含水率的关系	240
7.3.2 外空隙率与容重的关系	242
7.4 谷物干燥过程中真密度和容重的变化	242
7.4.1 干燥过程中谷物真密度的变化	242
7.4.2 干燥过程中谷物容重的变化	246
7.4.2.1 谷物破损对容重的影响	247
7.4.2.2 热风温度对容重的影响	247
7.4.2.3 谷物初始水分对容重的影响	249
7.4.2.4 谷物品种对容重的影响	250
7.4.3 谷物比密度(specific density)和容重的关系	251
第 8 章 干燥指标权重研究及干燥工艺选择	253
8.1 决策矩阵	254
8.1.1 干燥性能指标	254
8.1.2 决策矩阵及规范化	254
8.2 层次分析法基本原理	256
8.2.1 确定问题建立层次结构	257
8.2.2 构造判断矩阵	257
8.2.3 判断矩阵的一致性	259
8.2.4 层次单排序	261
8.2.5 系统总排序	261
8.3 干燥指标优先权重的计算及分析	262
8.3.1 建立层次结构	262
8.3.2 建立判断矩阵	263
8.3.3 求解特征向量及相对重要性权值	265
8.3.4 权重分析	268
8.3.4.1 指标单排序的权重分析	268
8.3.4.2 指标总排序的权重分析	270
8.4 干燥工艺方案的优先次序计算	272
参考文献	274

第 1 章 绪 论

1.1 粮食品质的定义

粮食的品质就是作为流通消费过程的商品粮食应当具备的素质,根据粮食本身的形状和加工使用的需要可将品质区分为一级的品质和二级的品质两种。这里所说的一级的品质是粮食自身所应当具有的内在的基本性状,也可以说是粮食形态的品质。二级的品质是通过粮食在储藏、加工、食用等方面,也就是从需求者方面,所提出的使用上的品质。作为重要的品质而提出的有储藏性、加工适用性、口味等。

因为在流通过程中的粮食必须接受检查,所以对粮食的品质要进行等级的划分。检验时按照国家标准,依据检验项目进行品质检验。品质项目主要包括粮食的外观形状,容重、重量饱和度、谷粒质地的软硬和组织构造等。另外杂物方面(包括破损籽粒、未成熟籽粒、异种谷粒和杂物等)也是检验的一个主要内容。因此,这些检验可以说是一级的品质在使用价值方面与二级的品质