

农产品干燥 机理、工艺与技术

曹崇文论文选编

中国农业大学出版社

农产品干燥机理、工艺与技术

曹崇文论文选编

AD571-6

中国农业大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

农产品干燥机理、工艺与技术:曹崇文论文选编/毛志怀主编.——
北京:中国农业大学出版社,1998.8
ISBN 7-81002-984-3

I. 农… II. 毛… III. 农产品-干燥-文集 IV. S375

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第 22154 号

出 版	中国农业大学出版社
发 行	
经 销	新华书店
印 刷	北京文图彩色快印厂印刷
版 次	1998 年 8 月第 1 版
印 次	1998 年 8 月第 1 次印刷
开 本	32 14.875 印张 376 千字
规 格	850×1168
印 数	1~1 000

编辑委员会

主 任 李里特

副主任 毛志怀

委 员 高焕文 李兴昌 赵志鸿

冯绍元 王德成 刘凤琴

刘清水 汪裕安 宋建农

主 编 毛志怀

内容提要

本书是作者在多年教学,科研和研究生培养基础上积累起来的一本农产品干燥论文集,其内容包括农产品干燥原理、工艺和计算机模拟技术,各种谷物干燥机的设计和性能预测,薄层和深床干燥模型,农产物料的热力特性以及脉冲干燥、气流对撞干燥、过热蒸汽干燥和脉动燃烧干燥等新技术,本书可供农业工程,农业机械和农产品加工专业人员和研究生参考,本书内容较全面的反映了作者十多年来取得的研究成果和国内发展水平。



曹崇文,河北束鹿县人,1928年8月生,1950年毕业于清华大学机械工程系,1954~1958留学苏联,在哈尔科夫工学院获技术科学副博士学位,回国后在北京农业机械化学院任教,83年任教授,曾任教研室主任,校学位委员会副主任,院学术委员会主任。62~66当选为北京市人民代表,90年被评选为全国农业劳动模范。他的研究领域包括谷物收获机械、农产品干燥、清选和加工,是北京农业工程大学农产品加工博士授予点的创始人,到目前为止已指导博士生21人,硕士生19人,发表论文100余篇,出版译著10余部。他先后担任中国农业机械学会理事、收获加工机械学会副理事长,中国农业工程学会加工贮藏分会常务理事、农业部农产品干燥重点开放实验室学术委员会主任,国际著名刊物 *Drying Technology* 编委,国际干燥学术会议 IDS 顾问团成员。

序 言

曹崇文教授是我国农机教育、科技界的著名学者,在近五十年的工作中。一直在农机教学和科研一线辛勤耕耘,成果颇丰,在许多方面做出了重要贡献。早在五十年代初,他就参加把原苏联机械制造百科全书农机卷翻译成中文,介绍给国内读者;他长期在教学实践中教书育人,特别是近十多年来,他指导研究生 40 人,其中博士生 21 人,为国家培养了一大批优秀的农机科技人才;他曾担任国际粮农组织顾问和国内一些学术组织的领导职务,多次组织国内外的学术交流活动,参加一些国际科技项目的合作研究,为促进国内外技术交流合作做出了贡献。

该文集是从他 100 多篇论文中选编的,主要反映他在农产品干燥理论和技术方面的重要研究成果,不仅可以供从事农产品加工、干燥的科研、教学工作者及工程技术人员参考,而且通过该文集可以了解曹崇文教授的学术思想和治学精神,从而受到启迪和教育。从该文集,我们可以突出地感受到曹崇文教授在科研和治学中有这样几个特点:

首先,是他勇于创新,善于创新。创新是科技工作者的灵魂,只有创新才能有所发明,有所创造,有所前进。早在五十年代他在苏联攻读副博士学位期间,就研制出了高频振动玉米清选机,并对振动参数与种子在筛面上的运动轨迹从理论到实验进行了深入分析与研究,首先将高频振动用于玉米种子清选机,结构新颖紧凑,传动简单,于 1958 年获得苏联专利,并在当时人民日报上报导;后来苏联学者在他发明的基础上又继续开展有关研究工作。他主持研究的谷物干燥综合模拟程序、谷物干燥系统仿真等,开创了谷物干燥的计算机模拟新技术,他所研制的混流式粮食干燥设备、双套管式气流干燥装置、内外螺旋式振动干燥机、脉动干燥等,都是具有

开拓创新性的科研成果。

其次，是他重视实践，勇于实践。作为一个应用技术的研究者，在理论和原理上创新固然很可贵，但更重要的是将提出的原理、理论应用到实践中，并取得突破。曹崇文教授主持开发的软件功能齐全，使用方便、通用，实践性很强；他不仅进行谷物内部传热传质、爆腰机理及内部应力分析研究，并形成复合模型理论、谷物缓苏理论，并将这些理论应用于干燥机开发。他研制开发的干燥机产品在生产中推广应用，并获得多项奖励。理论指导了实践，通过实践又进一步验证、完善、发展了理论。在理论和实践的结合上，曹崇文教授的许多工作可以不愧为理论与实践结合的范例。

第三，他勇于和善于不断深化和扩大自己的研究领域。从该论文集可以使人深深地感到，曹崇文教授在农产品干燥科技领域进行了如此广泛深入的研究是十分难能可贵的。他从干燥机理、工艺到通用模拟软件开发，从新的干燥原理到产品研制开发，对不同干燥原理，不同干燥流程、不同物料干燥进行了广泛深入研究，并从而取得新突破，达到了新水平。他这种对科技问题进行系统的、纵向深入、横向拓展的治学精神是值得借鉴的。

第四，他具有优良的治学风范。曹崇文教授在工作中一贯孜孜不倦、刻苦钻研，科学严谨、务实创新，谦虚谨慎、淡泊名利，为人坦诚、平易近人，他的这一优良风范获得同行的广泛赞誉。在这一文集的字里行间，我们也可以感受到这种精神。

“老骥伏枥，志在千里”。该论文集出版，正当曹崇文教授步入“随心所欲”之年。藉此祝他健康长寿，永葆青春。现在他身体仍很健康，思维敏捷，希望他进一步发挥他在长期教学和科研实践中积累的渊博知识和经验，继续为我国农机事业做出新的贡献！

中国农业机械学会理事长

全国政协委员

机械工业部原副部长

李守仁

曹崇文教授教学科研活动简介

曹崇文,男,1928年8月20日生于河北省束鹿县,汉族,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得技术科学副博士学位。现任中国农业大学教授,博士生导师,长期从事农业工程方面的教学、科研和研究生培养工作,作为学科带头人和国内农产品干燥理论知名学者以及谷物干燥系统模拟技术的开拓者,他还在全国机械口农业口多个学术团体担任领导或顾问职务。在国内外对口的主要学术刊物担任编委职务。

曹崇文教授理论基础雄厚,专业知识渊博,治学严谨,关心新鲜事物,善抓学科前沿,加上娴熟的外语能力(精通英、俄、德、日四国语种),故在教学研究、学科建设、科研开发等方面驾轻就熟,作出卓越成就。

作为我国农业院校派出的第一批留苏研究生,曹崇文勤思好学、刻苦钻研、成绩优异,博得导师和中外校友的爱戴。研制的高频振动玉米精选机早在1958年就获得苏联发明专利,该机的基本原理和结构在70年代的苏联出版物中仍有引用。在该机的基础上现已发展成多种机型。

回国执教后,先后讲授过“谷物收获理论”,“经济作物收获机械”,“农产品干燥理论”,“谷物干燥的数学模拟”,“农机动态讲座”,“干燥技术特论”和“收获机械”等多门课程。他以发展农机事业为己任,对教育事业有强烈的献身精神,在教学工作中备课认真、讲课条理清楚、深入浅出、教书育人、关心学子,深受学校师生的好评和拥戴,1962~1966年被选为北京市人民代表,1983年被提升为教授,不久即担任博士生导师。他对研究生学风上严格要求,业务上循循善诱,从1960开始共指导培养研究生40人,其中

博士 21 人, 硕士 19 人, 他指导的研究生不仅论文质量高, 而且工作能力强, 深受用人单位赞赏。目前已有 3 人担任教授研究员, 6 人担任副教授副研究员或高级工程师, 成为各部门的业务骨干。

曹崇文善于洞察科研动向, 勇于攀登学术高峰, 60 年代谷物收获机械蓬勃发展时, 他对谷物脱粒滚筒、键式逐穗器、联合收获机总体设计、凹板分离理论以及谷物联合收获机自动控制等从事过深入研究, 写出过一些高水平的论文和专著(如谷物收获机械, 农业机械学, 联合收获机的自动调节等), 并与科研单位和生产厂家合作完成了不少重要的研究和设计。

1982 年作为访问学者赴美讲学交流后, 立即在国内开展谷物干燥理论和数学模拟的研究, 在对干燥过程的传热传质、流动和物料特性研究的基础上, 逐步建立了各种农产物料和不同干燥工艺的数学模型。他开发的谷物干燥综合模拟程序, 填补了国内空白, 在干燥机的设计、开发和操作管理中发挥了重要作用。近年又指导研究生开发出太阳能干燥模拟软件、混流式干燥机模拟软件、气流干燥综合模拟软件、滚筒式干燥机模拟软件、逆流干燥模拟软件和循环式干燥机模拟软件等。为干燥机的方案设计、参数选择、试验研究和使用的管理提供了依据。一些软件的功能已超过国外研究水平。

借助于各种自行开发的干燥模型和仿真手段, 曹崇文教授和研究生一起对农产品干燥理论进行了全面系统的研究, 获取了一系列的创造性成果, 如顺—混流干燥工艺、复合体干燥模拟理论、谷物缓苏过程的模拟、二维非线性气流和谷物流场的研究、谷物干燥过程应力裂纹的研究、低温干燥专家系统的研究等。其中有些研究不仅在国内处于领先水平, 还受到国际同行的重视和好评。随着研究任务的深入发展和实际需要, 曹崇文教授还主持开发了一批新的试验装置, 所研制的干燥锋图形显示装置, 解决了二维通风干燥中物料水分的变化规律和通风系统的设计问题。研制的谷物破

碎敏感性测试仪可以定量地测定玉米干燥品质,分析各种参数对谷物破碎敏感性的影响。

在深入理论研究和软件开发的同时,曹崇文教授还主持承担了十多项密切结合生产的开发性课题,作为主持人之一研制的5HG-4.5粮食干燥成套设备,主要性能指标居国际先进水平,1993年获农业部科技进步二等奖,1996年获国家科技进步三等奖,被评为国家科委推荐产品,已在全国十二个省市推广,获得显著经济效益。主持的农业部重点课题“粮食干燥工厂工艺设备配套优化研究”及“谷物干燥系统仿真和工艺研究”分别达到国际和国内先进水平。

曹崇文教授密切关注着国内外干燥技术研究的前沿动态,不断开创干燥研究的新方向。进入90年代以来,他先后对脉冲干燥、气流对撞干燥、顺-混流干燥、过热蒸汽干燥和脉冲燃烧干燥等干燥新技术进行了实验和理论研究,使我国的干燥研究进入国际研究的前沿。

由于曹崇文教授在农产品干燥的理论研究、产品开发和新技术探索等方面作出的卓越贡献,因而成为国内公认的深有造诣的农产品干燥领域的知名学者,在国际上也有较高声誉。在他的带领下,建立了我国第一个以农产品干燥为特色的博士点,其领导的实验室也被农业部批准为部级农产品重点开放实验室。他与加拿大麦吉尔大学、英国西尔索研究所、美国依阿华州立大学和密执安州立大学的干燥专家有着密切的业务联系。1996年在波兰召开的第十届国际干燥学术会议上,被会议主席推荐为国际干燥会议顾问团成员。由于他的积极努力和社会影响,不仅推动了我国干燥技术的发展,还扩大了与国际的交流与合作,提高了我国在干燥领域的国际声望。

曹崇文教授为人谦虚,作风正派、学术思想活跃,近十年在国内外学术刊物、国际和全国性会议上发表论文一百多篇。由于其专

业上的渊博知识和突出贡献,1990年被评为全国农业劳动模范。

曹崇文教授是农业工程界学术造诣深、培养弟子众、研究成果硕、群众声望高、国际交流广的一位良师益友。

中国农业大学

汪裕安教授

中国农业科学研究院

李业波副研究员

今年8月20日是曹崇文教授70寿辰,为感谢他在农产品干燥和加工领域所作出的杰出贡献和成就,我们选入曹崇文教授的部分代表性论文出版此书,以示祝贺。

编辑委员会

1998年8月

目 录

学术研究论文选编

我国粮食干燥的现状.....	(1)
北京农业大学谷物干燥研究综述.....	(7)
粮食干燥系统的计算机模拟及其应用	(18)
现代设计法在谷物干燥研究中的应用	(28)
谷物干燥的数学模拟	(42)
台湾省稻谷干燥的现状	(63)
过热蒸汽干燥的发展现状	(74)
谷物的干燥图形	(84)
5HG-4.5 型粮食干燥机的模拟分析	(92)
电子计算机在美国谷物干燥研究中的应用.....	(101)
混流式谷物干燥机的计算机辅助分析.....	(111)
逆流式谷物干燥机性能的研究.....	(119)
水稻干燥模型与干燥机性能预测.....	(128)
高速振动玉米清选机的研究.....	(139)
谷物顺-逆流干燥的试验研究	(165)
小麦薄层干燥的试验研究.....	(177)
水平圆运动振动流化干燥的研究.....	(185)
振动流化干燥机的试验研究.....	(188)
脉冲管式气流干燥的试验研究.....	(200)
小型内循环移动式粮食干燥机.....	(209)
美国谷物干燥机简介.....	(216)
出国参加第十届国际干燥学术会议(IDS96)的总结 报告.....	(223)

谷物联合收割机凹板的分离性能·····	(232)
发展微电子与计算机技术,加速农机行业技术进步 ·····	(245)
新型干燥过程分析软件 DRYPAK-3.5 ·····	(251)
同轴对撞流干燥过程的传热研究·····	(256)
转筒干燥机抄板结构参数的优化设计·····	(265)
过热蒸汽干燥系统及其发展趋势·····	(272)
颗粒物料气流干燥的数学模型·····	(280)
圆筒形循环式谷物干燥机的模拟研究·····	(290)
稻谷颗粒内部传质及其应用·····	(301)
高粱顺流烘干工艺的研究·····	(312)
5HG-4.5 型混流式谷物干燥机角状通气盒尺寸和 配置的研究·····	(321)
脉动燃烧干燥技术综述·····	(330)
气流脉动流化干燥的试验研究·····	(339)
专家系统在谷物干燥领域的发展现状·····	(348)
北大荒横流式谷物干燥机的性能分析·····	(357)
Present Conditions of Grain Drying Equipment in China ·····	(369)
Research on Double Tube Flash Dryer for Drying Spent Grain ·····	(387)
Simulation and Optimization of Cross Flow Grain Dryers ·····	(394)
Study on Models and Propagating Kinetics of Stress Cracks in Corn ·····	(407)
Researches on Modelling and Simulation of Grain Drying in BAEU ·····	(416)
曹崇文教授指导的博士论文摘要	
谷物搅松通风干燥机理及其应用的研究·····	雷水旺(424)

横流式谷物干燥机及高低温组合干燥系统的性能 分析及优化.....	牛兴和(426)
粮食通风二维气流分布及传热传质过程的 研究.....	毛志怀(427)
振动流化干燥机理及其应用的研究.....	侯彩云(429)
混流式谷物干燥机的机理、模拟和试验研究	刘 强(431)
谷物间歇干燥工艺的模拟和试验研究.....	李业波(433)
酒糟气流干燥的机理模拟与试验研究.....	郑国生(435)
玉米淀粉加工特性的试验研究.....	吴叙恬(437)
谷物干燥的计算机辅助分析和管理系统的 研究.....	戴天红(439)
脉动干燥技术及其试验研究.....	王相友(440)
谷粒内部传热传质及筒仓内谷物温度场的 研究.....	贾灿纯(441)
滚筒干燥机的模拟和试验研究.....	陈存社(443)
利用自然冷资源储藏果蔬的研究.....	薛文通(445)
谷物干燥品质的模拟和试验研究.....	朱文学(447)
水稻干燥工艺及顺混流干燥机的研究.....	奚河滨(449)
同轴对撞流干燥理论与试验研究.....	张 阳(451)
过热蒸气干燥理论与试验研究.....	连政国(453)
逆流式谷物干燥机的网络模拟和循环式谷物干燥机的 信息管理系统.....	方建军(455)
曹崇文教授指导的硕士论文题录.....	(457)
曹崇文教授简历.....	(458)

· 学术研究论文选编 ·

我国粮食干燥的现状*

曹崇文

(1996 年 11 月)

1 发展粮食机械烘干是现代农业生产的必然

1) 粮食干燥降水是粮食生产中最重要的一环,粮食从种到收,生产过程长,收获时间短,如何使一年的劳动成果做到颗粒归仓,避免损失,只有发展机械烘干降水,才能保证丰产丰收。

2) 刚收获的粮食,含水率较高,必需通过干燥降水才能达到安全储藏标准。我国每年都有一些地方由于缺少干燥设备,造成粮食霉烂损失。据有关部门测算,一般年景,由于不能及时干燥造成的粮食损失达 500 多万 t。

3) 随着农业现代化的发展,机械化现代农业将逐步代替传统农业生产方式,发展粮食干燥机是农业现代化的重要组成部分。

近年来我国粮食总产量大约有 4 亿 2 千多万 t,假定每年收获的粮食有 20% 属高水分粮食,需要干燥降水,则全国约有 8 500 万 t 粮食需要干燥,实际远不止这个数。由于我国地处北温带主要产粮区生产秋季粮食作物,每年收获时,正处于气温高、降水多的夏季和气温低、湿度大的秋季,收获的粮食含水量普遍较高,现在一般收购玉米水分达 28%~30%,有时竟高达 35%~40%。每年国

* 1995 年北京农业大学访台论文集论文

家收购入库的高水分粮约 2 500 万 t,而现有的粮食烘干机的处理能力最多只有 1 000 万 t。其余一半多是依靠通风、晾晒等自然办法进行干燥,花费的物力和财力比机械烘干还多。

我国粮食由于不能及时干燥到安全水分而造成的霉变和发芽损失是相当严重的。据农业部门统计,我国在一般年景,粮食损失为 50 亿 kg,严重的年景损失还要多。东北地区麦收时期平均每三年就有一年是雨季,特别需要粮食干燥机械,广东省常年情况下粮食损失约 2~2.5 亿 kg。严重时达 5 亿 kg。1977 年华北地区麦收遇到阴雨天气,北京损失小麦 0.5 亿 kg;山西晋中地区 60%以上的小麦发生霉变,个别县粮食损失达 90%。

2 我国粮食干燥机的发展历史

我国粮食干燥机的发展可追溯到 50 年代。早在 50 年代中期我国东北垦区就引进了苏联的库兹巴斯移动式烘干机,60 年代在国家科委的组织下,由郑州粮食科研所等十四个单位研制了日处理 120 t 的干燥作业站。70 年代初从意大利引进了瓦绍来式烘干机,因作业成本高未能坚持使用。70 年代后期又从苏联引进 BHCXOM 移动式烘干机。1978 年我国从美国进口了贝立克干燥机。80 年代初,我国仿贝立克 930 型烘干机研制成北大荒 5HT-15 型烘干机。此后我国通过吸收外国的技术研制了华丰 5HZ 系列烘干机和 5HC-9 型谷物烘贮仓。80 年代以来,我国又引进了不少粮食干燥机:如 Vertec 型干燥机,Law, Cimbria, Bentall, 等谷物干燥机,此后,我国吸收引进技术的优点,结合农场产地的实际情况开始在黑龙江垦区发展“产地粮食干燥工厂化”,近年来已建成“粮食干燥处理中心”达 100 多家,日处理小麦 4.5 万吨,日处理量由 200、300、500、800 t,到 1 000 t,降水 5%,可完成卸粮,初清,干燥,缓苏,复清,贮存,输送等作业。