

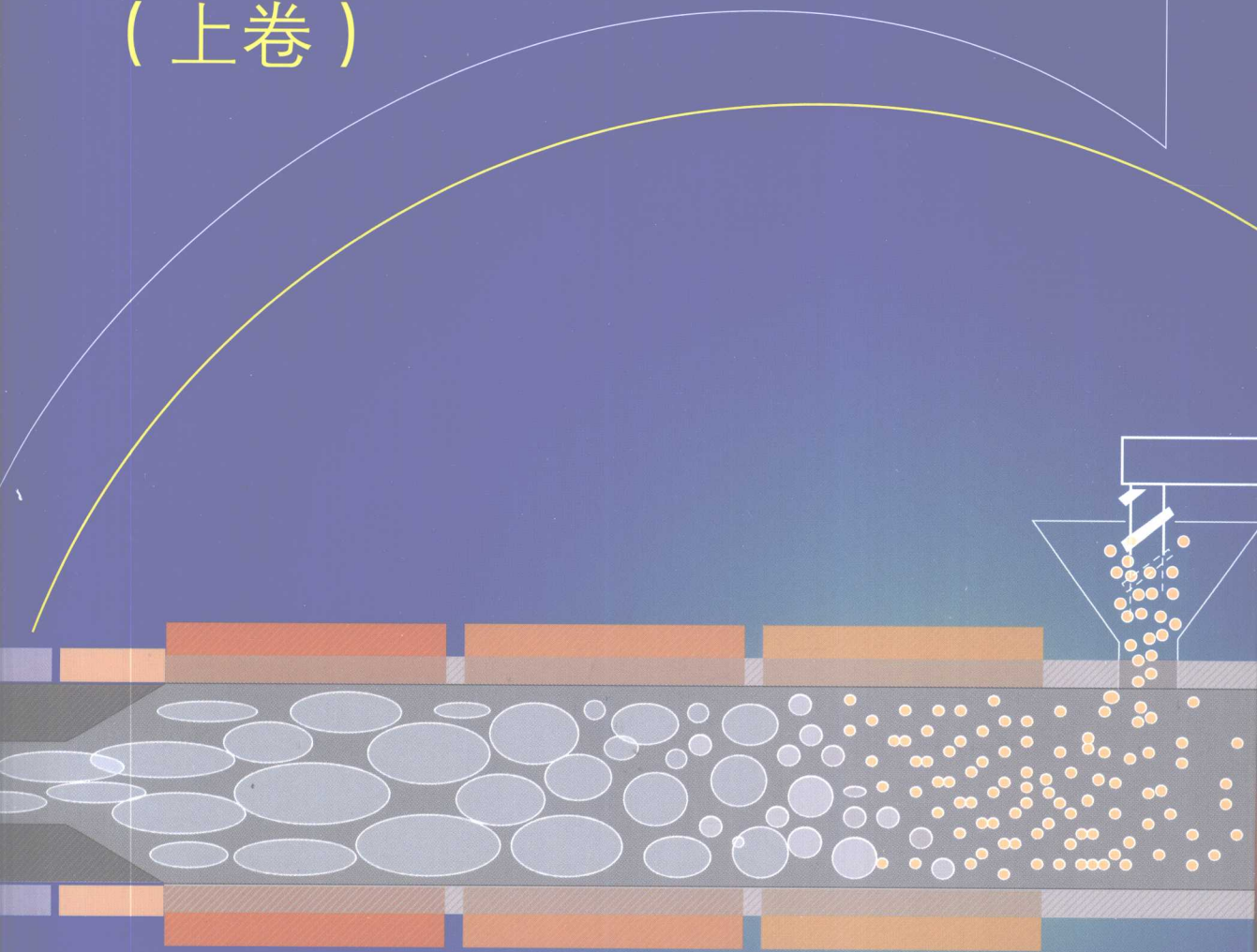
# FOOD EXTRUSION THEORY AND TECHNOLOGY

## 食品挤压理论与技术

(上卷)

魏益民  
杜双奎  
赵学伟

著



# 食品挤压理论与技术

(上卷)

魏益民 杜双奎 赵学伟 著

 中国轻工业出版社

## 图书在版编目(CIP)数据

食品挤压理论与技术. 上卷/魏益民等著. —北京:中国轻工业出版社, 2009. 7

ISBN 978-7-5019-6983-8

I. 食… II. 魏… III. 挤压—食品工艺学 IV. TS205

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 078876 号

责任编辑: 李 佳

策划编辑: 李亦兵 责任终审: 唐是雯 封面设计: 锋尚设计

版式设计: 王培燕 责任校对: 燕 杰 责任监印: 马金路

出版发行: 中国轻工业出版社 (北京东长安街 6 号, 邮编: 100740)

印 刷: 三河市世纪兴源印刷有限公司

经 销: 各地新华书店

版 次: 2009 年 7 月第 1 版第 1 次印刷

开 本: 787 × 1092 1/16 印张: 20.5

字 数: 462 千字

书 号: ISBN 978-7-5019-6983-8 定价: 60.00 元

邮 购: 010-65241695 传真: 65128352

发行电话: 010-85119835 85119793 传真: 85113293

网 址: <http://www.chlip.com.cn>

Email: [club@chlip.com.cn](mailto:club@chlip.com.cn)

如发现图书残缺请直接与我社邮购联系调换

81195K1X101ZBW

## 序

食品挤压质构重组是指利用挤压改变食品原料结构、形态、组成的一项技术；作用为改善食品的质地、口感，提高营养成分的有效利用率或商品价值。食品挤压质构重组技术集原料的输送、压缩、混合、蒸煮、变性、脱水、杀菌、膨化、成型等多单元操作于一体，具有能量利用率高、原料适应性强、营养损失少、产品种类多等优点，被广泛用于食品加工领域，以满足食品工业发展和健康消费的新需求。

中国农业科学院农产品加工研究所食品工艺课题组于2002年在中国农业科学院杰出人才基金和国家“引进国际先进农业技术”项目的支持下，引进德国布拉本德食品仪器公司生产的双螺杆挤压实验室工作站（Brabender DSE-25 Extruder Lab Station），系统研究了小米、玉米、燕麦等谷物食品原料的挤压膨化技术，以及大豆蛋白、花生蛋白、小麦蛋白等植物蛋白原料的挤压组织化技术，特别是实现了植物蛋白的高水分挤压组织化技术；开发出了膨化小米、玉米、燕麦，组织化大豆蛋白、花生蛋白、小麦蛋白等一系列新产品；改善了传统食品口感差、营养物质吸收利用率低等缺点；探讨了植物蛋白高水分挤压组织化产品质地结构形成的机理。部分研究结果具有原创性和国际领先性，受到国内外同行和产业界的广泛关注，部分技术已被国内企业所采用。

《食品挤压理论与技术》是作者所率领的团队近几年来所从事挤压技术研究思路的全面阐述，研究方法的自我完善，研究结果的系统总结。特别值得一提的是，整套丛书贯穿着作者组建挤压质构重组技术平台的设想，体现了作者实践挤压质构重组技术平台建设的过程，以及在整个实验设计和实施过程中表现出的科学方法论思想。

《食品挤压理论与技术》是一套集理论研究和技術开发的系列出版物，按谷物膨化技术、植物蛋白组织化技术和机械结构和组织化机理，分为上、中、下卷。整套丛书结构清晰，编排合理，便于读者查询和阅读。该套丛书的出版，必将对食品挤压质构重组技术的科学研究、技术开发和示范推广提供重要的理论依据和技术支撑。

魏益民

## 前 言

挤压膨化技术是指淀粉类原料在挤压机螺杆的混合、压缩、机械剪切和摩擦作用推动下，在挤压机腔体内达到高温、高压状态，使物料经过混合、剪切、熔融、杀菌和熟化等一系列复杂的连续化处理；当物料从机筒中被挤出时，压力骤降到常压，水分急剧汽化而产生巨大的膨胀力，使物料瞬间膨化。经挤压膨化后的物料，糊化度得以提高，更易被酶水解，复水性好，加工性能得以大大改善。目前，挤压膨化技术已被广泛应用于食品与饲料工业。

本书分别对玉米和小米的挤压膨化技术进行了系统阐述：

第一篇，综述分析了我国玉米品种品质现状以及挤压膨化加工现状，介绍了玉米品种籽粒的品质性状（第二、三章），重点介绍了挤压膨化工艺参数对玉米膨化特性的影响（第四、五章）、不同玉米品种籽粒的挤压膨化特性（第六章）和特种玉米籽粒品质与挤压膨化特性的关系（第七章），最后对研究的主要结论进行了总结，提出了今后的研究方向（第八章）。

第二篇，综述了小米的加工利用和食品挤压研究进展情况（第一章），介绍了小米淀粉和蛋白质的主要理化特性（第二章），小米挤压过程中操作参数对系统参数和产品特性的影响（第三章）以及挤压对小米蛋白质和淀粉的影响，小米主要组分在决定挤压膨化产品特性方面所起的作用（第四、五章），介绍了小米挤压膨化产品的吸湿平衡水分、吸湿动力学以及吸湿对质构特性的影响（第六章），研究了小米挤压膨化产品的干燥动力学（第七章），介绍了小米-豆粕复合物在挤压机内的停留时间分布（第八章）和有效赖氨酸的损失动力学（第九章），简要论述了研究的主要结论、研究进展以及对今后研究的展望（第十章）。

本书是在多篇博士论文基础上撰写而成的，内容较为全面系统，在实验方法引用、产品特性评价以及数学模型分析等方面具有其特点和独到之处，理论性和系统性较强，对实验方法的描述细致。本书适合于从事作物遗传育种、栽培和加工的科教人员，从事挤压食品研究与加工的技术人员以及相关管理人员使用。

本书的研究内容是在魏益民教授指导下在中国农业科学院农产品加工研究所完成的，研究所的部分研究人员对研究内容的实施给予了热切关心与大力帮助；中国农业科学院农产品加工研究所陈锋亮博士研究生对书稿文字和图表的校对、编排及出版事项做了大量的工作。在本书出版之际，衷心向所有为本书出版提供帮助的各位老师和同事表示感谢。

愿本书的出版能为食品质构重组技术平台的建设和食品挤压技术的发展做出我们的贡献。由于作者水平有限，书中难免有不当之处，敬请读者和同仁批评指正。

魏益民

# 目 录

## 第一篇 玉米挤压膨化技术

第一章 玉米品质与挤压膨化加工研究综述	3
第一节 玉米籽粒品质	3
一、我国玉米的生产与加工利用	3
二、玉米籽粒品质研究	4
三、影响玉米籽粒品质的因素	8
四、玉米籽粒性状的相关性	9
第二节 挤压膨化加工技术概述	10
一、挤压膨化加工技术的分类及机理	11
二、挤压膨化加工技术的特点	12
三、挤压膨化加工设备	12
四、挤压膨化加工技术的应用	13
第三节 挤压膨化加工技术研究现状	15
一、挤压膨化理论研究	15
二、物料组分在挤压过程中的变化	17
三、工艺参数对挤压膨化特性的影响	25
第二章 玉米品种籽粒品质性状	29
第一节 材料与方法	30
一、试验材料	30
二、仪器与设备	31
三、试验方法	31
第二节 结果与分析	32
一、玉米籽粒物理性状	32
二、玉米籽粒营养品质	34
三、玉米籽粒磨粉品质	36
四、玉米粉糊化特性	37
五、播种期、品种、播种期×品种对玉米品质的影响	38
六、玉米品种品质特性聚类分析	40
第三节 讨论	43
一、试验材料体积质量值偏高	43
二、玉米籽粒品质状况	43
	1

三、玉米籽粒硬度的测定 .....	43
第四节 小结 .....	44
<b>第三章 玉米品种籽粒品质性状因子分析 .....</b>	<b>46</b>
第一节 材料与方法 .....	46
一、试验材料 .....	46
二、试验方法 .....	46
三、因子分析 .....	46
四、数据分析方法 .....	47
第二节 结果与分析 .....	47
一、玉米品种品质特性 .....	47
二、玉米品种品质性状的相关性 .....	47
三、玉米品种品质性状的因子分析 .....	49
第三节 讨论与小结 .....	52
<b>第四章 单因素工艺参数对玉米膨化特性的影响 .....</b>	<b>53</b>
第一节 材料与方法 .....	54
一、试验材料 .....	54
二、仪器与设备 .....	54
三、挤压膨化试验设计 .....	55
四、膨化产品质量分析 .....	55
第二节 结果与讨论 .....	56
一、加工温度对玉米挤压膨化特性的影响 .....	56
二、物料水分含量对玉米挤压膨化特性的影响 .....	62
三、螺杆转速对玉米挤压膨化特性的影响 .....	67
四、喂料速度对玉米挤压膨化特性的影响 .....	71
第三节 小结 .....	74
<b>第五章 多因素工艺参数对玉米膨化特性的影响 .....</b>	<b>75</b>
第一节 材料与方法 .....	76
一、试验材料 .....	76
二、仪器与设备 .....	76
三、挤压膨化试验设计与数据处理 .....	76
四、膨化产品质量分析 .....	78
第二节 结果与讨论 .....	78
一、喂料速度、物料水分含量与实际喂料量的关系 .....	78
二、工艺参数对玉米挤压膨化特性的影响 .....	80
三、玉米珍子挤压膨化特性 .....	93

四、挤压膨化特性指标间的相关性·····	93
五、挤压膨化特性指标的因子分析·····	95
第三节 小结·····	97
<b>第六章 玉米品种籽粒挤压膨化特性·····</b>	<b>99</b>
第一节 材料与方法·····	99
一、试验材料·····	99
二、试验设备·····	100
三、试验方法·····	100
第二节 结果与分析·····	100
一、玉米珍子理化特性·····	100
二、玉米品种挤压膨化特性·····	101
三、播种期、品种、播种期×品种对玉米挤压膨化物特性的影响·····	104
四、玉米品种挤压膨化特性与籽粒品质特性的相关关系·····	106
五、玉米品种挤压膨化特性聚类分析·····	107
第三节 讨论·····	111
一、玉米品种挤压膨化特性与籽粒品质的关系·····	111
二、玉米挤压膨化特性与播种期的关系·····	111
三、挤压膨化特性与工艺参数的关系·····	111
第四节 小结·····	112
<b>第七章 特种玉米籽粒品质与挤压膨化特性·····</b>	<b>113</b>
第一节 材料与方法·····	114
一、试验材料·····	114
二、试验方法·····	114
第二节 结果与讨论·····	116
一、特种玉米品质特性·····	116
二、特种玉米挤压膨化特性·····	118
三、特种玉米挤压膨化特性相近程度分析·····	123
四、特种玉米品种挤压膨化特性与品质特性的相关性·····	125
五、特种玉米挤压膨化工艺参数的优化·····	126
六、不同类型玉米混合搭配的挤压膨化·····	128
第三节 小结·····	133
<b>第八章 结论与展望·····</b>	<b>135</b>
第一节 结论·····	135
一、玉米品种籽粒品质特性·····	135
二、工艺参数对玉米膨化特性的影响·····	135



三、玉米品种籽粒挤压膨化特性 .....	136
四、特种玉米籽粒品质与挤压膨化特性 .....	136
第二节 展望 .....	137
参考文献 .....	139

## 第二篇 小米挤压膨化技术

第一章 小米加工利用与食品挤压研究文献综述 .....	153
第一节 小米的营养与加工 .....	153
一、粟类的分类与种植分布 .....	153
二、小米的化学构成与营养特点 .....	153
三、粟类的加工与利用 .....	154
四、粟类挤压研究现状 .....	155
第二节 挤压机与食品挤压加工 .....	156
一、挤压机简介 .....	156
二、食品挤压加工 .....	156
第三节 食品挤压研究进展 .....	158
一、挤压过程的系统分析 .....	158
二、挤压对淀粉质物料的影响 .....	160
三、影响挤压膨胀的因素 .....	164
四、挤压膨化机理 .....	166
五、停留时间分布 (RTD) 及挤压变化动力学 .....	168
第四节 结论 .....	171
第二章 小米淀粉和蛋白质的理化性质研究 .....	172
第一节 引言 .....	172
第二节 材料与方法 .....	172
一、试验材料 .....	172
二、试验设备与试剂 .....	173
三、试验方法 .....	173
第三节 结果与分析 .....	177
一、小米主要组分含量 .....	177
二、小米胚乳及淀粉粒、蛋白体的 SEM 观察 .....	177
三、小米淀粉的组分构成及理化特性 .....	179
四、小米蛋白质的理化特性 .....	182
五、小米蛋白的氨基酸构成 .....	185
第四节 结论 .....	186

<b>第三章 小米挤压操作参数对系统参数和产品特性的影响</b> .....	188
第一节 引言.....	188
第二节 材料与方法.....	188
一、试验材料 .....	188
二、试验设备与试剂 .....	188
三、试验方法 .....	189
四、试验设计与数据分析 .....	191
第三节 结果与分析.....	192
一、小米膨化样品的形态分类与描述 .....	192
二、挤压操作参数对系统参数的影响 .....	194
三、挤压操作参数对产品特性的影响 .....	201
第四节 讨论.....	207
一、关于样品形态不规则和挤压不稳定 .....	207
二、关于结构不均匀性 .....	208
三、关于 SME 与产品特性的关系 .....	209
第五节 结论.....	210
<b>第四章 挤压对小米蛋白质和淀粉理化特性的影响</b> .....	212
第一节 引言.....	212
第二节 试验材料和方法.....	213
一、试验材料 .....	213
二、试验设备与试剂 .....	213
三、试验方法 .....	213
第三节 结果与分析.....	215
一、挤压对蛋白质的影响 .....	215
二、挤压对淀粉的影响 .....	220
第四节 结论.....	225
<b>第五章 小米主要组分对挤压膨化产品特性的影响</b> .....	226
第一节 引言.....	226
第二节 试验材料和方法.....	226
一、试验材料 .....	226
二、试验设备与试剂 .....	226
三、试验方法 .....	227
第三节 结果与分析.....	229
一、小米组分对挤压产品结构的影响 .....	229
二、小米组分对挤压产品直径和质量体积的影响 .....	230
三、小米组分对挤压产品糊化度的影响 .....	231

四、小米组分对挤压产品吸水性 (WAI) 和水溶性 (WSI) 的影响 .....	231
五、小米组分对挤压产品色差的影响 .....	232
六、小米组分对挤压产品质构的影响 .....	232
第四节 结论 .....	233
<b>第六章 小米挤压膨化产品的吸湿特性及吸湿对质构特性的影响 .....</b>	<b>234</b>
第一节 引言 .....	234
第二节 试验材料和方法 .....	234
一、试验材料 .....	234
二、试验方法 .....	235
三、吸湿及质构特性变化模型 .....	236
第三节 结果与分析 .....	238
一、吸湿平衡水分 .....	238
二、吸湿动力学 .....	240
三、吸湿对质构特性的影响 .....	243
第四节 讨论 .....	248
第五节 结论 .....	249
<b>第七章 热重分析法研究小米挤压膨化产品的干燥动力学 .....</b>	<b>250</b>
第一节 引言 .....	250
第二节 材料与方法 .....	250
一、试验材料 .....	250
二、热重分析 .....	250
三、热重分析法研究干燥动力学 .....	251
第三节 结果与分析 .....	254
一、小米挤压膨化产品的热失重 .....	254
二、活化能 .....	255
三、最概然机理函数 .....	256
第四节 讨论 .....	257
一、关于活化能 .....	257
二、关于机理函数 .....	258
第五节 结论 .....	258
<b>第八章 小米-豆粕复合挤压的停留时间分布研究 .....</b>	<b>260</b>
第一节 引言 .....	260
第二节 材料与方法 .....	260
一、试验材料与设备 .....	260
二、RTD 测定试验 .....	262

三、RTD 数据分析方法 .....	262
四、试验设计与数据处理 .....	264
第三节 结果与分析 .....	264
一、颜料浓度与色差参数的关系 .....	264
二、操作参数对停留时间的影响 .....	265
三、RTD 模拟分析 .....	270
第四节 结论 .....	272
<b>第九章 小米 - 豆粕复合挤压中有效赖氨酸含量的变化及其动力学分析</b> .....	273
第一节 引言 .....	273
第二节 材料与方法 .....	273
一、试验材料、设备与试剂 .....	273
二、试验方法 .....	274
三、试验设计与数据处理 .....	274
第三节 结果与分析 .....	275
一、挤压对有效赖氨酸含量的影响 .....	275
二、有效赖氨酸含量变化的动力学分析 .....	276
第四节 结论 .....	279
<b>第十章 结论与展望</b> .....	280
第一节 主要结论 .....	280
一、小米淀粉和蛋白质的理化特性 .....	280
二、小米挤压膨化过程的系统分析 .....	280
三、挤压对小米淀粉和蛋白质理化特性的影响 .....	281
四、小米主要组分对挤压膨化产品特性的影响 .....	281
五、小米挤压膨化产品的吸湿、干燥特性及吸湿对质构特性的影响 .....	282
六、小米 - 豆粕复合挤压的 RTD 研究及有效赖氨酸含量变化的动力学分析 .....	282
第二节 研究进展 .....	282
第三节 研究展望 .....	283
<b>参考文献</b> .....	285
<b>后记</b> .....	307

## 第一篇 玉米挤压膨化技术



# 第一章 玉米品质与挤压膨化加工研究综述

## 第一节 玉米籽粒品质

### 一、我国玉米的生产与加工利用

#### (一) 玉米的分布

我国玉米分布极为广泛。东自沿海诸省，西至青海、新疆，南自海南，北至黑龙江的黑河均有栽培，但主要分布在华北、东北和西南等地区，大致形成一个从东北到西南的斜长形玉米栽培带，其种植面积约占全国玉米面积的85%。根据各地的自然条件、栽培制度等，可将我国玉米产区划分为北方春玉米区、黄淮平原春夏播玉米区、西南山地丘陵玉米区、南方丘陵玉米区、西北内陆玉米区、青藏高原玉米区6个区（图1-1-1）<sup>[1]</sup>。

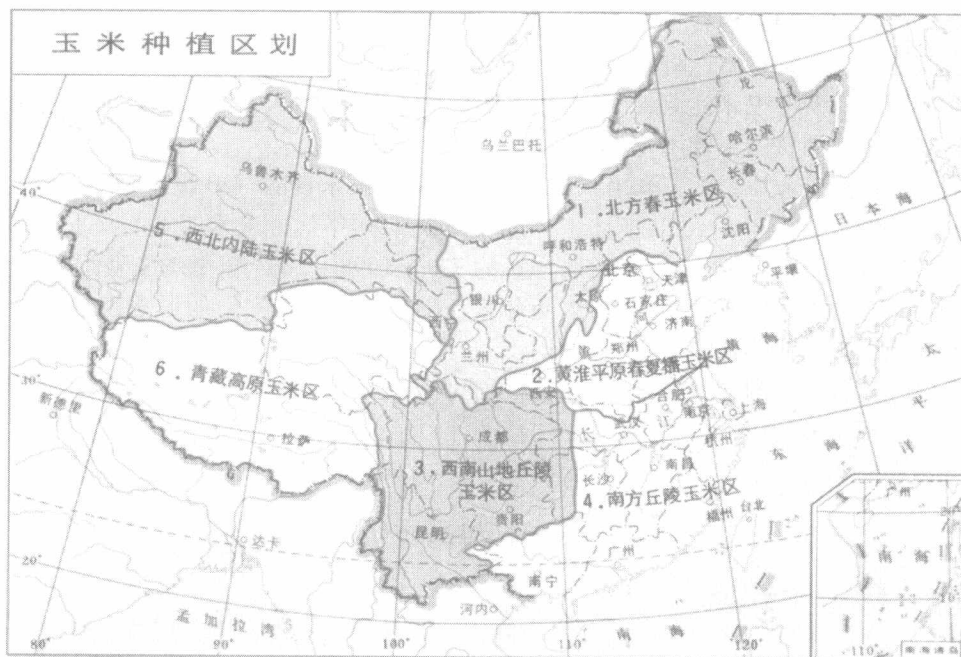


图 1-1-1 中国玉米产区分布图

#### (二) 玉米的生产

我国玉米生产发展迅速。20世纪70年代种植面积为1833.2万 $\text{hm}^2$ ，80年代种植面积1924.9万 $\text{hm}^2$ ，90年代达到2280.5万 $\text{hm}^2$ 。50年来，我国玉米种植面积增长了

60.1%。2003年玉米种植面积达到2406.8万 $\text{hm}^2$ ，已超过了小麦种植面积（2199.7万 $\text{hm}^2$ ），成为第二大作物<sup>[1]</sup>。

随着玉米种植面积的扩大和单产水平的提高，我国玉米总产量逐年增加。20世纪70年代，我国玉米总产量达到4558.1万t，80年代总产量为6977.1万t，90年代总产量达到11046.0万t，2003年我国玉米总产量达到11583.0万t<sup>[1]</sup>。

### （三）玉米的消费

玉米是所有谷类作物中用途最广泛的作物之一，它集粮食、饲料、工业原料于一身，是重要的谷类作物。玉米的消费途径主要是用作口粮、饲料、工业原料以及食品加工<sup>[1]</sup>。

玉米是重要的口粮作物。20世纪80年代，玉米作为口粮的比例约为38%，年消费玉米2600万t左右；90年代玉米作为口粮的比例下降为19%，年平均消费玉米1800万t左右。1998~2003年统计表明，年平均口粮消费玉米1750万t，占玉米总产量的14.0%。玉米作为口粮消费，随着经济的发展和水平的提高，呈现逐年减少的趋势。

玉米是公认的饲料作物。20世纪80年代，我国饲料用玉米（配合饲料和传统喂饲）约占玉米总产量的48%，年消费玉米3269万t左右；90年代饲料用玉米合计消费玉米6613万t左右，约占玉米总产量的61.1%。2001年，我国饲料产量7806万t，其中配合饲料6087万t，消费玉米3600万t。加入WTO后，随着市场经济的深化和畜牧业的大发展，配合饲料生产将成为饲用玉米的主要消费方式。1998~2003年统计表明，我国作为饲料消费的玉米达到8290万t，占玉米总产量的69.1%。因此，饲料玉米已经成为我国玉米消费的主要用途。

玉米是重要工业原料。玉米可加工成许多精制的玉米食品。20世纪80年代，我国用于加工的玉米约350万t，占玉米总产量的5%。90年代，玉米工业有了长足发展，工业原料消费玉米760万t，占玉米总产量的7%。1998~2003年平均工业加工消费玉米1177万t，占玉米总产量的9.8%。近年来，随着我国经济实力的增强，新建一批大中型玉米深加工企业，初步奠定了我国玉米工业的基础。

总之，随着人口的增长，畜牧业和玉米工业的大发展，加之对外贸易的增加，我国玉米消费呈现明显的增长趋势。消费结构发生很大变化，逐渐从过去以口粮消费为主转变为以饲料消费为主。玉米的消费渠道演变为多方向、多领域和多层次的消费结构<sup>[1]</sup>。

## 二、玉米籽粒品质研究

### （一）玉米籽粒品质的概念

依据玉米的不同用途以及生产、科研和市场等各方面要求，玉米籽粒品质可分为营养品质、加工品质等<sup>[1,2]</sup>。

#### 1. 营养品质

营养品质是指籽粒中所含有的营养成分的多少及其对人畜的营养价值。玉米籽粒含有9%~11%蛋白质、4%~5%脂肪、70%淀粉、1%~2%糖分及一定量的纤维素、矿物质和维生素等。这些营养成分的高低被认为是营养品质优劣的评价尺度。



蛋白质是营养成分中最重要的部分。因此,育种家把提高玉米蛋白质含量作为品质育种的目标。与蛋白质营养价值有关的是组成蛋白质的各类氨基酸,特别是那些人畜本身不能合成的必需氨基酸。由于玉米蛋白质中约一半属醇溶蛋白,其赖氨酸和色氨酸的含量不高,所以育种家开展了高赖氨酸玉米的培育工作,称为优质蛋白玉米育种。

脂肪也是重要营养成分,尤其是玉米脂肪具一定特殊意义。玉米油对心血管系统及其他人体的保健作用,极大地提高了玉米的身价。于是相应的高油玉米育种工作也在开展。

玉米籽粒中含量最多的营养物质是淀粉,淀粉是人畜摄取能量的主要来源。此外,相对于中国人目前习惯于精米精面的主食结构,玉米所含的纤维素也是可贵的营养成分,在膳食结构调整中具有重要意义。所以,提高玉米籽粒中各种营养成分的含量和质量,对于提高籽粒的食用、饲用和加工利用价值都是十分重要的。

目前,根据玉米的不同品质要求,我国育种专家已开展了优质蛋白玉米、甜玉米、糯玉米、高直链淀粉玉米、高油玉米、优质油玉米、爆裂玉米、青饲玉米和笋玉米等优质特种玉米的品质育种,已取得了一定的成果。

## 2. 加工品质

加工品质是与农产品加工的要求密切联系的。加工途径不同,对其品质要求也不同。例如,淀粉工业要求籽粒含高淀粉、高脂肪;饲料加工则要求籽粒含高蛋白、高赖氨酸。玉米的加工主要是生产淀粉及其相关产品,其次是食用玉米粉、玉米糝及其他玉米食品。

生产淀粉用的玉米,首先要求其淀粉含量高,且易于提取。一般马齿型玉米比较符合这一加工要求,而硬粒型玉米不宜加工生产淀粉,却更适合于食用。高淀粉玉米是加工业的专用型玉米,其淀粉含量应在72%以上。除此之外,还要求玉米籽粒新鲜、完整、不生霉、不含杂质。

加工食用型的玉米产品时,依不同产品要求玉米有不同的品质。如加工玉米糝,则要求玉米籽粒中含角质淀粉较多;如果专门生产玉米油,则要求玉米籽粒的胚芽含脂肪高。高油玉米是加工玉米油的专用型玉米,其粗脂肪含量应大于6%;如果加工墨西哥式的玉米粉及食品,则要求玉米籽粒硬度大、易脱皮、籽粒上的凹坑小、穗轴为白色。爆裂玉米的主要加工品质指标是膨化倍数和爆花率。

## (二) 我国玉米籽粒品质状况

我国玉米品种资源与美国总体平均水平相比较,粗脂肪含量和赖氨酸含量比较接近,粗蛋白质含量约高1%,总淀粉含量明显偏低2%~3%。高淀粉和高直链淀粉资源贫乏。在我国,玉米品质性状有蛋白质含量北高南低,总淀粉含量南高北低的趋势<sup>[3]</sup>。品种特性和生态环境对玉米品质有较大影响,但粗蛋白质、粗脂肪、总淀粉及赖氨酸等含量定位基因作用明显大于环境效应,特别是脂肪含量相对遗传力较高,受环境影响较小<sup>[4,5]</sup>。早播、覆膜和施氮钾肥料都明显地影响玉米的品质<sup>[6]</sup>。

赵克明对11个省市、自治区所选育并推广的88个杂交种的品质进行了分析,普通玉米粗淀粉含量平均为68.157%,粗蛋白9.722%,赖氨酸0.297%,粗脂肪4.403%,其中粗淀粉含量高于70%的占64.62%,最高达到76.60%;粗蛋白含量高于10%的占