

河南省高校科技创新团队支持计划资助

# 玉米加工品质 及改良技术

曾 洁 马汉军 著



科学出版社

河南省高校科技创新团队支持计划资助

# 玉米加工品质及改良技术

曾 洁 马汉军 著

科学出版社

北 京

## 内 容 简 介

本书在有关玉米食品深加工理论的基础上,系统地阐述了玉米籽粒品质性状及面粉特性研究,玉米粉的生物改性工艺研究,喷雾干燥、挤压膨化对玉米粉品质的作用研究,淀粉和蛋白质在玉米粉加工中的变化研究,混合粉流变学性质及蒸煮品质的研究,玉米糊精制备的工艺研究及性质分析,不同直链淀粉含量的玉米粉糊化性质分析,玉米氧化淀粉和交联淀粉的生物方法制备及分析等内容。作为一部玉米食品深加工领域的学术论著,从理论和实践两方面为推动玉米加工品质及改良技术的进步提供了新的思路。

本书适合于从事粮油加工的科研人员、行政管理人员及食品企业管理人员阅读,也可作为高校食品科学专业的教师、本科生及硕士、博士研究生参考书。

图书在版编目(CIP)数据

玉米加工品质及改良技术/曾洁,马汉军著. —北京:科学出版社,2014.5  
ISBN 978-7-03-040481-7

I. ①王… II. ①曾… 马… III. ①玉米-加工品质-改良技术  
IV. ①S513

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 081537 号

责任编辑:贾 超 高璐佳/责任校对:张凤琴

责任印制:徐晓晨/封面设计:东方人华

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京科印技术咨询服务公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2014年5月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2014年5月第一次印刷 印张:13 1/2

字数:266 000

定价:68.00

(如有印装质量问题,我社负责调换)

# 前 言

我国是世界玉米第二生产大国，玉米产量占世界玉米产量的 20% 左右。我国用于深加工的玉米量占总产量的 10% 左右，只能加工 100 多种产品，和美国相比差距悬殊。

近年来，玉米食品在国际市场上十分畅销，品种多样，需求上升。在许多发达国家，玉米被视为一种时髦的保健食品和“黄金食品”。玉米主食应作为玉米食品工业深加工产品的开发重点之一。我国食品工业“十一五”发展纲要中提出，玉米加工要继续发展高质量的主食食品、休闲食品、方便食品等，玉米食品进一步发展应用的前景广阔，市场需求潜力巨大。

为了适应国际和国内市场这种变化和 demand，满足社会的需要，我们出版本书，希望能为培养粮油行业的高技能人才及本行业的发展起到积极的推动作用。

本书为玉米加工品质及改良技术研究专著，系统地阐述了玉米籽粒品质性状及面粉特性研究，玉米粉的生物改性工艺研究，喷雾干燥、挤压膨化对玉米粉品质的作用研究，淀粉和蛋白质在玉米粉加工中的变化研究，混合粉流变学性质及蒸煮品质的研究，玉米糊精制备的工艺研究及性质分析，不同直链淀粉含量的玉米粉糊化性质分析，玉米氧化淀粉和交联淀粉的生物方法制备及分析等内容。本书是国内第一本较为系统地介绍玉米加工品质及改良技术研究的专著。作者基于近 10 年来的研究与生产实践，结合国内外最新的相关研究成果，突出理论与生产实际相结合，努力体现研究的科学性与经济实用性，反映近年来玉米加工品质及改良技术研究新成就。相信本书对推动我国玉米加工品质及改良技术的进步与生产应用具有一定的理论价值与应用价值。

本书由河南科技学院硕士研究生导师曾洁和马汉军教授合著。其中大部分实验过程是在沈阳农业大学李新华教授指导下完成的。在出版过程中，得到了河南省高校科技创新团队支持计划（编号：13IRTSTHN006）资助，同时，河南科技学院高海燕和科学出版社责任编辑贾超、文案编辑高璐佳给予了大力帮助和支持，在此一并表示衷心的感谢。

由于作者水平有限，书中难免有疏漏和不足之处，恳请读者批评指正。



2014 年 1 月

# 目 录

|                                 |    |
|---------------------------------|----|
| 第 1 章 绪论 .....                  | 1  |
| 1.1 国内外玉米深加工利用现状 .....          | 2  |
| 1.2 玉米籽粒加工品质的研究进展 .....         | 3  |
| 1.3 玉米食品的深加工现状 .....            | 3  |
| 1.4 国内外玉米食品加工技术的研究进展 .....      | 5  |
| 1.4.1 玉米粉的加工 .....              | 5  |
| 1.4.2 玉米挤压技术 .....              | 8  |
| 1.5 加工过程中玉米各组分结构及其功能性质的改变 ..... | 9  |
| 1.5.1 淀粉的变化 .....               | 9  |
| 1.5.2 蛋白质的变化 .....              | 12 |
| 1.5.3 脂肪的变化 .....               | 12 |
| 1.6 玉米品质评价的方法及仪器设备研究现状 .....    | 13 |
| 第 2 章 玉米籽粒品质性状及面粉特性研究 .....     | 16 |
| 2.1 研究方法概述 .....                | 16 |
| 2.1.1 试验材料 .....                | 16 |
| 2.1.2 仪器与设备 .....               | 16 |
| 2.1.3 玉米粉样品制备 .....             | 17 |
| 2.1.4 分析方法 .....                | 17 |
| 2.1.5 统计分析 .....                | 22 |
| 2.2 不同玉米品种籽粒品质性状比较 .....        | 23 |
| 2.3 不同品种玉米籽粒吸水力 .....           | 24 |
| 2.4 玉米籽粒品质性状的相关性分析 .....        | 25 |
| 2.5 不同品种玉米干磨粉和湿磨粉理化性质比较 .....   | 26 |
| 2.5.1 保水力和破损淀粉含量 .....          | 26 |
| 2.5.2 淀粉含量 .....                | 29 |
| 2.5.3 蛋白质含量 .....               | 29 |
| 2.5.4 脂肪含量 .....                | 29 |
| 2.6 不同品种玉米干磨粉和湿磨粉糊化特性比较 .....   | 30 |
| 2.7 玉米粉品质性状与糊化性质的相关性 .....      | 33 |
| 2.7.1 干磨面粉品质性状与糊化性质的相关性分析 ..... | 33 |
| 2.7.2 湿磨面粉品质性状与糊化性质的相关性分析 ..... | 35 |
| 2.8 不同品种玉米粉品质性状主成分分析及聚类分析 ..... | 35 |
| 2.8.1 玉米粉品质性状主成分分析 .....        | 35 |

|                                    |           |
|------------------------------------|-----------|
| 2.8.2 聚类分析 .....                   | 38        |
| 2.9 研究小结 .....                     | 39        |
| <b>第3章 玉米粉的生物改性工艺研究 .....</b>      | <b>40</b> |
| 3.1 研究方法概述 .....                   | 40        |
| 3.1.1 试验材料 .....                   | 40        |
| 3.1.2 仪器与设备 .....                  | 41        |
| 3.1.3 试验方法 .....                   | 41        |
| 3.1.4 分析测定方法 .....                 | 42        |
| 3.2 蛋白酶对玉米粉糊化性质的影响 .....           | 43        |
| 3.3 脱支酶对玉米粉糊化性质的影响 .....           | 44        |
| 3.4 酵母菌和乳酸菌发酵对玉米粉糊化性质的影响 .....     | 45        |
| 3.5 发酵时间对玉米粉糊化性质的影响 .....          | 45        |
| 3.6 乳酸菌浓度对玉米粉糊化性质的影响 .....         | 46        |
| 3.7 玉米粉发酵工艺正交设计 .....              | 48        |
| 3.7.1 极差分析 .....                   | 48        |
| 3.7.2 发酵后直链淀粉和还原糖含量的变化 .....       | 49        |
| 3.8 研究小结 .....                     | 49        |
| <b>第4章 喷雾干燥对玉米粉工艺品质的作用研究 .....</b> | <b>50</b> |
| 4.1 研究方法概述 .....                   | 50        |
| 4.1.1 试验材料及设备 .....                | 50        |
| 4.1.2 工艺优化设计 .....                 | 51        |
| 4.1.3 测定指标 .....                   | 53        |
| 4.2 进风温度对玉米粉糊化性质的影响 .....          | 54        |
| 4.3 不同处理样品的糊化性质比较 .....            | 54        |
| 4.4 不同处理玉米粉的水溶指数和吸水指数比较 .....      | 55        |
| 4.5 不同处理玉米粉的冻融稳定性比较 .....          | 56        |
| 4.6 不同处理玉米粉的糊化度比较 .....            | 57        |
| 4.7 均匀试验设计结果与分析 .....              | 57        |
| 4.7.1 模型的建立及因素水平的优化 .....          | 58        |
| 4.7.2 试验指标的影响因素分析 .....            | 59        |
| 4.8 研究小结 .....                     | 62        |
| <b>第5章 挤压膨化对玉米粉品质的作用研究 .....</b>   | <b>63</b> |
| 5.1 研究方法概述 .....                   | 63        |
| 5.1.1 试验材料 .....                   | 63        |
| 5.1.2 仪器与设备 .....                  | 64        |

|                                         |           |
|-----------------------------------------|-----------|
| 5.1.3 玉米样品处理 .....                      | 64        |
| 5.1.4 挤压工艺的均匀试验设计 .....                 | 64        |
| 5.1.5 分析方法 .....                        | 65        |
| 5.2 螺杆转速对玉米挤压膨化特性的影响 .....              | 67        |
| 5.3 水分含量对玉米挤压膨化特性的影响 .....              | 69        |
| 5.4 不同品种玉米的挤压膨化特性 .....                 | 70        |
| 5.5 不同品种玉米挤压膨化特性主成分分析 .....             | 71        |
| 5.6 挤压原料品质性状与挤压膨化特性的相关性分析 .....         | 73        |
| 5.7 均匀试验结果分析 .....                      | 74        |
| 5.7.1 简单相关分析 .....                      | 75        |
| 5.7.2 二次多项式模型的建立 .....                  | 75        |
| 5.7.3 因素水平的优化 .....                     | 76        |
| 5.7.4 挤压参数的负荷量 .....                    | 77        |
| 5.8 挤压参数对产品主要品质指标的影响 .....              | 77        |
| 5.8.1 挤压参数对产品膨化率的影响 .....               | 77        |
| 5.8.2 挤压参数对产品水溶指数的影响 .....              | 80        |
| 5.8.3 挤压参数对产品吸水指数的影响 .....              | 82        |
| 5.8.4 挤压参数对产品冷挤压指数的影响 .....             | 84        |
| 5.8.5 挤压参数对产品挤压指数的影响 .....              | 87        |
| 5.9 研究小结 .....                          | 89        |
| <b>第 6 章 淀粉和蛋白质在玉米粉加工中的变化研究 .....</b>   | <b>90</b> |
| 6.1 研究方法概述 .....                        | 91        |
| 6.1.1 试验材料 .....                        | 91        |
| 6.1.2 仪器与设备 .....                       | 91        |
| 6.1.3 样品制备 .....                        | 91        |
| 6.1.4 分析测定方法 .....                      | 91        |
| 6.2 不同加工处理对蛋白质的影响研究 .....               | 94        |
| 6.2.1 不同加工处理对蛋白质含量的影响 .....             | 94        |
| 6.2.2 不同加工处理中蛋白质的相对分子质量的变化 .....        | 95        |
| 6.2.3 蛋白质的变性程度 .....                    | 95        |
| 6.3 不同加工处理对玉米粉的影响 .....                 | 96        |
| 6.3.1 面粉的质构变化(电镜观察) .....               | 96        |
| 6.3.2 热力学性质变化 .....                     | 97        |
| 6.3.3 不同加工处理对玉米粉糊化性质的影响 .....           | 98        |
| 6.4 淀粉级分及相对分子质量的变化 .....                | 98        |
| 6.4.1 直链淀粉和支链淀粉标准样品的 GPC 图谱 .....       | 98        |
| 6.4.2 不同品种湿磨玉米淀粉的 GPC 图谱及相对分子质量分布 ..... | 99        |

|              |                                      |            |
|--------------|--------------------------------------|------------|
| 6.4.3        | 不同处理玉米淀粉的 GPC 图谱及相对分子质量分布 .....      | 100        |
| 6.4.4        | 玉米淀粉与其他来源淀粉的 GPC 图谱及相对分子质量分布差异 ..... | 102        |
| 6.4.5        | 直链淀粉与相对分子质量分布的相关性分析 .....            | 104        |
| 6.5          | 研究小结 .....                           | 104        |
| <b>第 7 章</b> | <b>混合粉流变学性质及蒸煮品质的研究 .....</b>        | <b>106</b> |
| 7.1          | 研究方法概述 .....                         | 107        |
| 7.1.1        | 试验材料 .....                           | 107        |
| 7.1.2        | 仪器与设备 .....                          | 107        |
| 7.1.3        | 应用实验 .....                           | 107        |
| 7.1.4        | 分析方法 .....                           | 109        |
| 7.2          | 玉米粉的粉质参数 .....                       | 114        |
| 7.2.1        | 湿磨粉的粉质参数及食用胶对面团性质的改善 .....           | 114        |
| 7.2.2        | 改性玉米粉的粉质参数及添加剂对其面团性质的影响 .....        | 114        |
| 7.3          | 混合粉的糊化性质测定 .....                     | 115        |
| 7.3.1        | 玉米粉与膨化玉米粉混合粉的黏度曲线 .....              | 115        |
| 7.3.2        | 小麦粉与玉米粉混合 .....                      | 116        |
| 7.3.3        | 小麦粉与膨化玉米粉混合 .....                    | 117        |
| 7.3.4        | 挤压膨化玉米粉与玉米粉混合粉的热力学特性 .....           | 118        |
| 7.4          | 混合粉的粉质参数 .....                       | 119        |
| 7.4.1        | 改性玉米粉与膨化玉米粉混合粉的粉质参数 .....            | 119        |
| 7.4.2        | 吸水量对混合粉粉质曲线影响 .....                  | 119        |
| 7.4.3        | 改性玉米粉与小麦粉混合粉的粉质参数 .....              | 120        |
| 7.4.4        | 膨化玉米粉与小麦粉混合 .....                    | 120        |
| 7.5          | 混合粉面团的拉伸性测定 .....                    | 121        |
| 7.6          | 混合粉面团的黏性测定 .....                     | 121        |
| 7.7          | 玉米粉的粉体流变性 .....                      | 122        |
| 7.8          | 应用实验 .....                           | 123        |
| 7.9          | 研究小结 .....                           | 124        |
| <b>第 8 章</b> | <b>玉米糊精制备的工艺研究及性质分析 .....</b>        | <b>125</b> |
| 8.1          | 研究方法概述 .....                         | 125        |
| 8.1.1        | 试验材料 .....                           | 125        |
| 8.1.2        | 主要仪器 .....                           | 126        |
| 8.1.3        | 方法 .....                             | 126        |
| 8.1.4        | 分析方法 .....                           | 126        |
| 8.2          | 单酶法反应条件 .....                        | 127        |
| 8.2.1        | 固液比对 $\alpha$ -淀粉酶液化过程的影响 .....      | 127        |
| 8.2.2        | 酶解温度对 $\alpha$ -淀粉酶液化效果的影响 .....     | 128        |



|                                                |     |
|------------------------------------------------|-----|
| 8.2.3 酶解时间对液化产物 DE 值的影响 .....                  | 128 |
| 8.3 双酶法制备不同 DE 值糊精的工艺研究 .....                  | 129 |
| 8.3.1 固液比对液化过程的影响 .....                        | 129 |
| 8.3.2 反应温度对糊精 DE 值的影响 .....                    | 130 |
| 8.3.3 反应时间对麦芽糊精 DE 值的影响 .....                  | 130 |
| 8.3.4 双酶法中温 $\alpha$ 淀粉酶添加量对麦芽糊精 DE 值的影响 ..... | 131 |
| 8.3.5 双酶法高温 $\alpha$ 淀粉酶添加量对麦芽糊精 DE 值的影响 ..... | 131 |
| 8.4 双酶法正交试验结果与分析 .....                         | 132 |
| 8.5 糊精电镜观察 .....                               | 133 |
| 8.6 粒度分布 .....                                 | 134 |
| 8.7 晶体结构 .....                                 | 135 |
| 8.8 一般分子特性 .....                               | 137 |
| 8.9 多糖分布及分支化度 .....                            | 138 |
| 8.10 不同 DE 值糊精相对分子质量分布 .....                   | 140 |
| 8.11 不同 DE 值糊精低聚糖组分测定 .....                    | 145 |
| 8.12 不同 DE 值糊精的表观黏度 .....                      | 149 |
| 8.13 热重分析 (TG) .....                           | 149 |
| 8.14 相对透光率 .....                               | 150 |
| 8.15 糊精的性质与相对分子质量分布的关系 .....                   | 151 |
| 8.16 研究小结 .....                                | 151 |
| 第 9 章 不同直链淀粉含量的玉米粉糊化性质分析 .....                 | 153 |
| 9.1 研究方法概述 .....                               | 153 |
| 9.1.1 试验材料 .....                               | 153 |
| 9.1.2 试验方法 .....                               | 154 |
| 9.1.3 测定指标 .....                               | 154 |
| 9.2 直链淀粉含量对玉米淀粉糊化性质的影响 .....                   | 155 |
| 9.3 直链淀粉含量对玉米粉糊化性质的影响 .....                    | 156 |
| 9.4 直链淀粉含量对玉米淀粉热力学性质的影响 .....                  | 157 |
| 9.5 直链淀粉含量对玉米粉热力学性质的影响 .....                   | 157 |
| 9.6 直链淀粉含量与玉米淀粉糊化性质相关性分析 .....                 | 158 |
| 9.7 研究小结 .....                                 | 159 |
| 第 10 章 玉米氧化淀粉和交联淀粉的生物方法制备及分析 .....             | 160 |
| 10.1 研究方法概述 .....                              | 162 |
| 10.1.1 试验材料 .....                              | 162 |
| 10.1.2 试验方法 .....                              | 163 |
| 10.2 氧化淀粉酶解工艺条件及性质分析 .....                     | 165 |

|            |                                   |     |
|------------|-----------------------------------|-----|
| 10.2.1     | 氧化淀粉酶解过程中 DE 值变化 .....            | 165 |
| 10.2.2     | 酶解后氧化淀粉的 pH 变化 .....              | 166 |
| 10.2.3     | 酶解后氧化淀粉透光率和凝沉性变化 .....            | 167 |
| 10.2.4     | 抗老化性分析 .....                      | 170 |
| 10.2.5     | 氧化淀粉酶解后黏度变化 .....                 | 170 |
| 10.2.6     | 酶解对氧化淀粉成膜性的影响 .....               | 172 |
| 10.2.7     | 酶解后耐酸性变化 .....                    | 173 |
| 10.3       | 氧化淀粉发酵工艺条件及性质分析 .....             | 175 |
| 10.3.1     | 发酵时间的确定 .....                     | 175 |
| 10.3.2     | 次氯酸钠加入量、酶解程度 DE 值和发酵温度与黏度关系 ..... | 176 |
| 10.3.3     | 发酵后的耐酸性变化 .....                   | 179 |
| 10.4       | 交联淀粉酶解工艺条件及性质分析 .....             | 180 |
| 10.4.1     | 交联淀粉酶解过程中 DE 值变化 .....            | 180 |
| 10.4.2     | 酶解后交联淀粉的 pH 变化 .....              | 181 |
| 10.4.3     | 酶解后交联淀粉的交联度变化 .....               | 182 |
| 10.4.4     | 酶解后交联淀粉的黏度变化 .....                | 183 |
| 10.4.5     | 酶解后交联淀粉的抗剪切性变化 .....              | 184 |
| 10.5       | 交联淀粉发酵工艺条件及性质分析 .....             | 187 |
| 10.5.1     | 发酵时间的确定 .....                     | 187 |
| 10.5.2     | 环氧氯丙烷加入量、酶解 DE 值和发酵温度与溶胀度关系 ..... | 189 |
| 10.5.3     | 发酵后的黏度变化 .....                    | 190 |
| 10.5.4     | 发酵后的抗剪切性变化 .....                  | 191 |
| 10.6       | 研究小结 .....                        | 193 |
| 参考文献 ..... |                                   | 194 |
| 附录 .....   |                                   | 197 |

# 第1章 绪 论

玉米转化加工的不足,极大地影响了玉米生产的经济效益。研究玉米籽粒的加工特性,是促进玉米加工业发展的一项基础性工作。

随着人民生活水平的提高,高血压、肥胖症患者逐渐增多,玉米中的粗纤维和微量元素越来越受到营养学家的重视。玉米的营养保健功能,使玉米食用方面的研究与开发成为必然。随着经济的发展,我国的膳食结构和家庭一日三餐的加工方式正在发生着变革,因此将玉米食品的加工切入到人们的一日三餐上,开发以玉米为主的传统食品,即可改善目前以精米精面摄入为主的膳食结构。

不同品种的玉米籽粒品质有所差别,从而决定了其加工产品品质具有差异。从加工目的出发选择原料品种,也是研究玉米加工的重要任务。玉米粉的传统加工方法使玉米制品口感粗糙,很难登上主食餐桌,要发展玉米主食食品,必须要从玉米粉的生产工艺着手,借助现代化的研究手段,从而达到粗粮细作的目的。玉米粉的主要成分是淀粉,通过物理、化学和生物方法使淀粉改性,提高玉米面团品质,解决玉米粉加工范围窄的问题,是当前玉米粉生产的主要课题。

玉米生产是现代农业的亮点,玉米食品加工是现代食品工业的亮点。研究此课题既是我国食品工业发展之需,又是拓宽农民收入渠道的一个重要探索,具有十分重要的现实意义和科学价值。

本书对玉米粉面团的品质特性及加工改良方法进行了研究。采用生物方法对玉米粉的改性工艺进行了研究,运用了喷雾干燥和挤压膨化研究其对玉米粉的改良作用,采用先进仪器进行品质评价,旨在为玉米食品加工提供理论资料。研究内容主要有以下几方面。

(1) 研究玉米籽粒品质性状,改进传统的玉米粉干磨、湿磨加工工艺,对玉米粉的理化性质进行相关性研究。

(2) 选择应用于玉米粉品质改良的微生物、酶及其添加量,研究玉米粉生物改性工艺。

(3) 研究喷雾干燥和挤压膨化对玉米粉品质的改良作用,改善面团品质。

(4) 分析在不同加工方式中玉米粉性质的变化及其对淀粉、蛋白质分子结构和分子质量的影响。

(5) 研究湿磨粉、改性玉米粉、膨化玉米粉、小麦粉的流变学性质,并将其按一定比例混合,比较混合粉的功能性质,通过蒸煮实验,客观地评价出玉米粉的加工品质和食用品质。

1.1 国内外玉米深加工利用现状

美国是世界上玉米产量和深加工大国,每年用于深加工的玉米量已经超过5000 万 t(不包括饲料),占玉米产量的 20%左右,可加工出 3000 多种产品。80%以上的玉米加工产品属于粗加工或一次加工品,基本上是淀粉、酒精、味精等,产业链条短,产业化程度低,附加值低。玉米是美国的主要农作物品种,在淀粉深加工上,主要以玉米为原料,其产品伴随技术的进步而不断地丰富,由过去单纯的淀粉产品发展到淀粉糖、各种发酵产品、变性淀粉、玉米油和蛋白饲料等多门类的产品体系。美国玉米深加工的产品,由 19 世纪的淀粉、葡萄糖、饲料、玉米油,到 20 世纪的变性淀粉、淀粉糖和燃料酒精,尤其是目前作为玉米深加工的两大主导产品淀粉糖和燃料酒精,成为推动美国玉米深加工产业发展的主要动力。在美国,较大的玉米深加工企业有 6 家,从玉米深加工产业的发展趋势看,其规模将继续扩大,技术更加先进,产品更加多样化,生产成本进一步降低,生物技术的发展将促成新的玉米深加工领域,呈现出稳步增长、竞争激烈、生产趋于集中、逐步形成大企业集团化经营的趋势。

我国是世界玉米第二生产大国,2005~2006 年度我国玉米产量已达 1.39 亿 t,占世界玉米产量的 20%左右。我国用于深加工的玉米量占总产量的 10%左右,只能加工 100 多种产品,和美国相比差距悬殊。2006 年玉米加工行业研究报告分析了国内玉米行业消费情况,如表 1.1 所示。

表 1.1 2006 年国内玉米行业消费情况

| 玉米行业消费 | 消费量/万 t   | 占消费量的比例 |
|--------|-----------|---------|
| 饲料     | 8000~9000 | 60%~70% |
| 口粮     | 约 1700    | 14%左右   |
| 深加工    | 约 1000    | 8%~9%   |
| 提胚榨油   | 不足 500    | 不足 4%   |

我国玉米深加工产品主要包括酒精和白酒、柠檬酸、淀粉及淀粉深加工产品。其中,淀粉深加工产品按数量计依次为味精、淀粉糖、变性淀粉及其他发酵产品。

近年来,玉米食品在国际市场上十分畅销,品种多样,需求上升。在许多发达国家,玉米被视为一种时髦的保健食品和“黄金食品”。尤新指出,玉米主食应作为玉米食品工业深加工产品的开发重点之一。我国食品工业“十一五”发展纲要中提出,玉米加工要继续发展高质量的主食食品、休闲食品、方便食品等,玉米食品进一步发展应用的前景广阔,市场需求潜力巨大。

## 1.2 玉米籽粒加工品质的研究进展

玉米籽粒品质包括很多方面,如营养品质、加工品质、卫生品质、商品品质等。

加工品质主要指与加工产品产出率有关的一些品质特征,包括总淀粉含量(直链淀粉和支链淀粉)、淀粉提取程度和淀粉特性。加工途径不同,对玉米品质要求不同。食用玉米要求皮薄、出粉率高、角质胚乳多、色泽鲜亮、食味好,同时富含较多的营养物质。改进籽粒的食用品质是重要的育种目标。淀粉工业要求籽粒含高淀粉、高油分,易于提取。在提取淀粉时,白玉玉米的粉质率较高,白玉玉米胚乳结构疏松,强度小,脱皮破粒时易于破碎;黄玉米的角质率高,籽粒结构坚实,加工时制品流动性好,易于分级、筛净细粉。

随着人们生活水平的提高和膳食结构的变化,玉米食品又重新引起人们的重视,玉米品种由产量型逐渐向质量型转变,玉米品种品质及其专用性变得越来越重要。我国玉米生产进入了一个新的阶段,即提高单产改善品质的阶段。近年来,玉米籽粒加工品质已引起了玉米研究者的兴趣,但是涉及籽粒品质性状间相互关系的报道较少,玉米品种品质评价指标体系尚未完善。李春红等研究了5个原料品种对玉米加工特性的影响,结果表明,玉米粉中容重、粗蛋白含量、破损淀粉间有显著的相关关系,容重、粗蛋白含量与玉米饺子的韧性、耐煮性等评价指标极显著相关。张海燕等研究了55个玉米品种品质性状及其相互关系,结果表明,玉米品质性状间存在着密切的联系,共同影响着玉米的加工品质,因此,在评价玉米品质时,要综合考虑。杜双奎等对55个玉米品种籽粒品质性状进行了研究,结果表明,不同玉米品种籽粒百粒重、百粒体积、粗脂肪、粗纤维、出粉率、皮渣率及色泽差异较大。春玉米与夏玉米的百粒重、百粒体积、粗蛋白、灰分、粗纤维、亮度指数差异显著。不同玉米品种间的糊化特性有一定差异。春玉米品种的峰值黏度、破损值、回生值及最终黏度显著小于夏玉米,而糊化温度、冷糊稳定性高于夏玉米。

## 1.3 玉米食品的深加工现状

玉米是世界上最重要的食粮之一。玉米的营养成分优于稻米、薯类等,缺点是食味差、黏性小。随着玉米加工工业的发展,玉米的食用品质不断改善,形成了种类多样的玉米食品。

(1) 特制玉米粉。玉米籽粒脂肪含量较高,在贮藏过程中会因脂肪氧化作用产生不良味道。经加工而成的特制玉米粉,含油量降低到1%以下,可改善食用品质,粒度较细。适于与小麦粉掺和做各种面食。由于富含蛋白质和较多的维生素,添加制成的食品营养价值高,是儿童和老年人的食用佳品。

(2) 膨化食品。玉米膨化食品是 20 世纪 70 年代以来迅速兴起的方便食品, 具有疏松多孔、结构均匀、质地柔软的特点, 不仅色、香、味俱佳, 而且提高了营养价值和食品消化率。

(3) 玉米片。玉米片是一种快餐食品, 便于携带, 保存时间长, 既可直接食用, 又可制作其他食品, 还可采用不同佐料制成各种风味的方便食品, 用水、奶、汤冲泡即可食用。

(4) 甜玉米。甜玉米可用来充当蔬菜或鲜食, 加工产品包括整穗速冻、籽粒速冻、罐头 3 种。

(5) 玉米啤酒。因玉米蛋白质含量与稻米接近而低于大麦, 淀粉含量与稻米接近而高于大麦, 故为比较理想的啤酒生产原料。

美国的玉米食品占商店销售食品数量的 10%。玉米食品的种类达 1160 多种。美国的玉米食品种类包括: 玉米片、玉米面包、玉米糊渣、玉米膨化果、玉米油炸片、烘烤玉米粒、玉米粗粉(大豆粉强化的玉米粗粉、大豆粉奶粉强化的玉米粗粉、大豆粉奶粉强化的速食玉米粗粉)。美国又从玉米淀粉中分离出一种新产品, 即多葡萄糖, 此产品在食品工业中用于制作热量少的糖果、布丁和其他食品。

我国主要的玉米食品加工品种主要有以下几类。

(1) 初级加工产品: 玉米干磨粉、玉米糝。

(2) 再加工产品: 挂面、方便面、玉米高筋粉食品。

(3) 玉米休闲食品: 膨化食品(玉米花、人造米)、锅巴、黑玉米营养糊。

(4) 玉米胚芽油。

(5) 甜玉米罐头、速冻玉米等。

玉米食品含有较丰富的营养, 保健价值较高, 若能在其加工方面克服粗糙、口感不好等缺陷, 其市场前景非常广阔。目前, 以玉米为主料的主食, 经过精加工实现了工业生产, 已开始进入家庭。采用现代高新技术、生物技术加工玉米, 可以为广大消费者提供可口的玉米主食。在这方面吉林省走在了全国的前列。该省开发了年产 6000t 玉米方便盒面和碗面生产流水线和年产 6000t 玉米特强粉生产线, 可用来加工面条、饺子、馒头、发糕和面包等。国内许多企业还开发了一些适于小型企业使用的玉米膨化方便面生产设备。

我国玉米食品多局限于膨化食品、玉米粉等, 产品种类和形式单一, 消费市场尚未形成。加工精度、深度不够, 玉米食品的休闲性、嗜好性不够, 缺乏具备高科技含量和较强市场竞争力的新产品。相关机械设备的研究明显滞后, 中国畅销的几种玉米膨化食品的生产设备仍要从西班牙等国家进口。国际玉米食品工业发展已呈现出国际化、大型化、产业化、系列化、科技化、知识化、营养化、保健化这几大趋势。中国玉米食品工业的发展必须围绕国际食品工业发展的趋势去考虑, 实施战略和结构调整, 加快食品工业发展速度。

根据我国食品工业“九五”、“十五”、“十一五”、“十二五”长远规划和实际国情,营养、方便的玉米食品应作为我国玉米深加工的重点之一来发展。

“十一五”期间玉米早餐食品、休闲食品、方便食品等玉米终端食品已达到1000万t;玉米深加工消费玉米量的分配情况预测:玉米食品(膨化食品、方便面、玉米片、玉米特强粉等用于一日三餐的产品)到2015年消费玉米将达到200万t,占玉米总产量的1.5%左右。

## 1.4 国内外玉米食品加工技术的研究进展

### 1.4.1 玉米粉的加工

玉米面是我国传统主食,但其口感粗糙,食味欠佳,很难登上主食餐桌;且面团品质较差,不适合加工面条、饺子等面食品。科技的进步促进了玉米加工食品的发展,各种别具风味的玉米食品逐渐走俏国际市场,从而使玉米又回到主食的地位上来。而玉米加工传统食品需解决的首要问题是如何有效地控制物理化学变化对加工品质、营养品质、风味品质、感官品质的影响。许多传统食品已不能完全满足现代人们生活的需要,主要是由于方便性、卫生性、流通性和嗜好性等方面的问题。开发主食食品,除了吸收国外食品加工的精华和技术外,还要对传统食品进行全面系统的调查、整理、发掘和工业化改造。

要发展对玉米主食食品的加工,首先要面向我国广大消费者的一日三餐开发食品,还要考虑是否符合我国居民的饮食习惯。例如,面包不仅有口味习惯的问题,作为主食还有与其他菜肴、进餐方式搭配的问题。方便面之所以在我国发展很快,就是因为它首先是人们习惯了的主食。还有许多主食停留在原始的手工加工阶段,开发主食食品应该很有市场。

(1) 玉米粉传统加工方法。国外玉米制作传统食品的加工工艺主要有两种:碱烹煮法和发酵法。碱烹煮法主要在墨西哥和中国、美国等地被采用。在美国大约有10%的玉米被采用这种方法生产为人们喜欢的食品,在1998年玉米粉圆饼的销售额便超过43亿美元;而在墨西哥有72%的玉米用这种方法生产传统食品。碱烹煮法改进了风味,提高了淀粉的胶凝化和吸水指数,使得部分玉米皮和胚芽去除。这种方法是将玉米不完全烹煮,浸泡使含碱水分在玉米籽粒中分布均匀,研磨破坏了膨胀的胶凝化淀粉颗粒,水分重新分配在环绕玉米胚乳未胶凝化部分的淀粉和蛋白质,形成了面团。在美国,采用几种不同的烹煮和浸泡工艺生产,其工艺原理即由传统的碱烹煮工艺而来。其中,比较重要的工艺参数是烹煮时间、温度、石灰的种类和浓度、搅拌的间隔时间及洗去多余碱的程序。已有研究表明,玉米的硬度、密度、容重、吸水性等与玉米的最佳烹煮时间相关。玉米发酵法多用于除去玉米味,产生独特风味,以及减小淀粉粒的损伤。这种方法在非洲国家较为普遍。

在发酵工艺中玉米发生的变化主要是某些维生素的增加,由于涉及的单元操作较多,导致最终产品的化学组分和营养物质的变化。

制备玉米粉的方法有干磨法、湿磨法。在加工过程中,能否有效地将皮胚去掉,是玉米粉质量好坏的关键,也是衡量玉米干磨加工技术的重要指标。玉米提胚方法主要按照调节水分的高低,分为干法、湿法和半湿法3种。“干法”就是不对玉米进行水分调节,而直接利用机械法,进行先搓碾,后挤压或撞击搓碾的共同作用,使皮、胚与胚乳分离的方法。该法工艺简单、能耗低、无污染,但提胚效率低,胚中含淀粉多。所谓“湿法”,就是将玉米浸泡、磨浆后采用旋液分离法使淀粉与玉米皮、胚互相分离的方法。该法的提胚效率高,为85%~95%,但设备投资大,生产成本低。半湿法提胚,即用“润水”(16%~20%)脱皮破碎、压胚提胚等过程,能有效分离胚的一种提胚方法。该法提胚效率高(80%~90%),能耗较低,设备投资费用低,生产成本低。

(2) 玉米粉改性方法。玉米中不含面筋蛋白质,不能形成网状结构,故玉米粉缺乏黏性。因此,玉米传统主食产品主要由淀粉来决定其品质特性。

玉米粉增黏的方式可分为工艺增黏和辅料增黏。工艺增黏是在加工过程中,通过对玉米的处理改变玉米的理化性质以达到所需。辅料增黏是在干磨粉或湿磨粉的基础上,对其添加一定的辅料,从而达到增黏的目的。所用辅料多为谷朊粉、沙蒿胶、大豆分离蛋白、黄原胶等。李成浩等对全部玉米粉制作面包所用增黏剂进行了研究,指出对于无面筋的玉米粉加工关键在于寻找一种合适的物质使其在冷时有黏性和韧性,熟后有弹性。因此对3种增黏剂(甲基纤维素、田菁胶、海藻酸钠)进行了比较试验,结果表明田菁胶由于有独特的网状微观结构,效果最好。

酶是一种生物催化剂,具有作用专一性强、催化效率高等特点,它可间接应用于食品生产过程中物质的转化。用酶处理技术生产的玉米高强粉已经在北京市上市,用这种玉米面做的饺子、面条受到消费者的欢迎。其强度理化指标可达到小麦粉标准,延伸性及黏弹性得以加强;结构紧密,保水性好,具备冷加工特点。玉米通过酵母蛋白酶酶化改性,经生物酶化机转化而成玉米高筋粉,可用来加工挂面、方便面、饺子和面包等食品。

近几年我国也有不少专业人士在这方面进行了研究。刘振扬等利用自然富集的乳酸菌和酵母菌及亚硫酸浸泡玉米粒48h,以溶去蛋白质网状组织,然后再加入酵母发酵20min,得到的玉米精粉可以生产方便面,但只提到发酵降解和营养增强的作用,而对方便面食用品质方面的影响未做研究。沈辉等研究了木薯发酵淀粉制作面包的技术,利用木薯淀粉直接发酵,于10~20℃发酵28d左右,认为发酵过程中产生的多糖具有类似小麦谷蛋白的黏弹性。张子飙将玉米脱胚成玉米糝,并与整粒玉米混合,加入 $\alpha$ -淀粉酶、蛋白酶并运用乳酸菌发酵玉米,湿磨后采用300℃热风干燥生产的玉米特强粉,可以制作挂面、馒头、饺子等玉米传统食品,但



在机理方面未作研究。李新华等采用汽蒸加热处理脱胚玉米糝,湿磨后用喷雾干燥法脱水,得到的玉米粉有良好的面团品质。刘桂云等采用生物酶化和凝胶合成法制作出玉米高筋粉,可根据需要加工成面条、面皮和馒头等食品,为玉米深加工开拓了新途径。玉米食品专家王福教授利用现代生物工程技术,研制成功的生物酶化玉米高筋粉生产设备已通过国家有关部门鉴定,并投入批量生产。长春市盛达食品工业研究所采用玉米改性加工技术研制出玉米高筋粉,具有优良的口感和可加工性。吉林市飏新食品工程技术研究所通过发酵玉米成功地生产出玉米特强粉,所得干粉可以进行类似小麦粉的各种加工,其工艺特点是利用微生物和食品控制剂修饰玉米淀粉分子结构,使其局部变性,颗粒细化,纯化淀粉,分子变小等。上述方法中或是采用专用设备,或是添加某种辅料,以达到增黏的目的,但在改性机理方面未做深入研究。

(3) 超微粉碎技术。玉米粉质量的好坏是玉米加工传统主食食品的关键,精磨后的粒度对终端产品的质构和口感特性也有决定性的影响。

由于湿磨法可以得到相当细度的粉,因此历史上湿磨法的使用很多。随着干磨业的发展,可以达到相当细度的干磨粉碎设备也日新月异,有许多型号的超微粉碎设备可以将玉米粉的粒度控制到几微米,因此干磨设备的发展足以达到湿磨所达的粒度。

20 世纪 90 年代至今,超微粉碎技术得到了飞速发展。近年来的研究发现,对天然淀粉的微细化处理可以使其微观形貌、物理化学性质乃至分子质量分布发生明显的变化,呈现出原淀粉所没有的特殊性能。

目前的研究显示,改变淀粉颗粒的大小可以影响其黏度。采用化学或物理方法对天然淀粉颗粒进行微细化处理后,其理化性质如微观形貌、晶体性状、分子链行为及热特性等也会发生相应的变化,淀粉颗粒大小与其结构性质间存在着一定的粒度效应,如表面粗糙程度增加,相对分子质量下降,直链淀粉含量相对增加,结晶度下降等。随着玉米淀粉粒度的降低,其糊化温度下降,糊化温度区间缩小,淀粉糊的黏度下降,但热糊稳定性增加。由于微细化处理后淀粉凝沉性增强,淀粉糊的透明度随淀粉粒度的下降而降低。

吴俊、李斌等以玉米淀粉为原料,应用物理法制备出具有一定粒度梯度的微细化淀粉,采用扫描电镜、X 射线衍射仪及凝胶渗透色谱对不同粒度微细化淀粉的微观形貌、晶体状态及级分分布进行分析,结果表明,物理机械应力可以使淀粉的粒度降低,微细化淀粉的颗粒形态仍然保持;随着淀粉粒度的降低,微细化淀粉的结晶度下降,机械应力作用可以使淀粉的分子质量呈下降趋势,其中相对于直链淀粉,支链淀粉所受影响更为显著。

但是干磨粉容易受到热损伤,造成淀粉粒受到损伤。研究两种磨粉方式的不同,对于更科学地利用能源,保护环境具有深远意义。