

河南省重点科技攻关计划项目

淀粉对油炸肉片 品质影响研究

计红芳 张令文 姜小苓 著



科学出版社

河南省重点科技攻关计划项目

淀粉对油炸肉片品质影响研究

计红芳 张令文 姜小苓 著

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书系统地阐述了淀粉对油炸肉片品质的影响。包括糊的基本组成对油炸肉片外壳食用品质影响,不同植物来源淀粉及九个品种绿豆淀粉的理化性能对油炸肉片外壳食用品质影响,油炸过程中淀粉理化性能变化及对外壳食用品质影响,以及超高压处理淀粉对糊粉功能特性及油炸肉片外壳食用品质影响。

本书内容符合快速发展的食品工业科研和企业需求,具有很高的理论价值和学术参考价值。适合高校、科研院所相关专业硕士、博士以及油炸食品深加工技术企业的人员及广大科研工作者阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

淀粉对油炸肉片品质影响研究/计红芳,张令文,姜小苓著. — 北京:科学出版社, 2016.6

ISBN 978-7-03-048504-5

I. ①淀… II. ①计… ②张… ③姜… III. ①食用淀粉-影响-油炸食品-肉制品-食品加工-研究 IV. ①TS251.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 123272 号

责任编辑:贾 超/责任校对:王 瑞
责任印制:张 伟/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>

北京九州迅驰传媒文化有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2016 年 6 月第 一 版 开本:720×1000 B5

2016 年 6 月第一次印刷 印张:9 3/4

字数:185 000

POD定价:68.00元
(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

挂糊油炸肉制品作为一类重要的传统食品,具有色泽金黄、外脆里嫩的特点,深受消费者喜爱,但同时存在制作工艺复杂、家庭油炸污染大、油脂含量高缺点。随着人们生活水平的提高及健康意识的增强,一些消费者对油炸肉制品产生了戒备心理,担心摄入油炸肉制品容易引起发胖,增加患有心脑血管疾病甚至癌症的风险等。因此,如何降低挂糊油炸肉制品的吸油率,提高其食用品质是油炸肉制品研究领域亟待解决的问题。

为了适应国际和国内市场的这种变化和 demand,满足社会的需要,故出版本书,希望能够对培养食品及烹饪行业的高技能人才,以及本行业的发展起到积极的推动作用。

本书作为淀粉对油炸肉片品质影响的研究专著(除特别指明外,书中所有肉片和肉粒,均指猪肉片和猪肉粒),系统地阐述了糊的基本组成及其对挂糊油炸肉片外壳食用品质的影响,不同植物原淀粉、九个品种绿豆淀粉理化特性及对油炸肉片外壳食用品质的影响,油炸过程中淀粉理化性能与油炸肉片外壳品质的变化规律,超高压处理绿豆淀粉对糊功能特性及油炸肉片外壳食用品质的影响等内容,是国内第一本较为系统地介绍淀粉对油炸肉片品质影响的研究专著。作者基于近十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社会实用性,反映近年来淀粉对油炸肉制品加工品质影响研究的新成就。相信本书能够为我国油炸肉制品的半工业化及工业化生产和品质控制提供理论依据;同时,也可为我国特色风味食品的工业化提供新的思路,进而促进我国传统食品的发展。

本书由河南科技学院硕士生导师计红芳(博士)、硕士生导师张令文(博士)和姜小苓博士编写。其中计红芳主要负责第1章至第5章的编写,并负责全书内容设计及统稿;张令文主要负责第6章的编写;姜小苓主要负责第7章和第8章的编写。本书的出版,得到了河南省重点科技攻关计划项目资助(编号:142102110040),同时得到科学出版社贾超编辑的大力帮助和支持,在此一并表示衷心的感谢。

本书为油炸肉制品加工技术研发奠定了基础,可作为油炸食品加工企业工程技术人员和食品从业人员的参考用书,也可作为高校、科研院所相关专业硕士、博士研究生以及广大科研工作者的参考用书。

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。

计红芳

2016年2月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 糊的组成及其对挂糊油炸食品品质的影响	1
1.2 淀粉的结构、功能特性及其相关性	4
1.3 绿豆淀粉	11
1.4 目的意义与创新点	15
第 2 章 糊的基本组成对挂糊油炸肉片外壳食用品质的影响	18
2.1 研究方法概述	19
2.2 淀粉添加量对油炸肉片外壳食用品质的影响	23
2.3 泡打粉添加量对油炸肉片外壳食用品质的影响	26
2.4 食盐添加量对油炸肉片外壳食用品质的影响	28
2.5 水-粉比对油炸肉片外壳食用品质的影响	30
2.6 糊配方的优化	33
2.7 最优配方的验证试验	37
2.8 研究小结	38
第 3 章 植物原淀粉理化特性及对油炸肉片外壳食用品质的影响	40
3.1 研究方法概述	40
3.2 不同植物原淀粉的粒径及直链淀粉含量	44
3.3 不同植物原淀粉的颗粒形貌	48
3.4 不同植物原淀粉的晶型	51
3.5 不同植物原淀粉的热力学性质	51
3.6 不同植物原淀粉对糊粉糊化特性的影响	52
3.7 不同植物原淀粉对油炸肉片外壳表观色度的影响	54
3.8 不同植物原淀粉对油炸肉片外壳含油率的影响	55
3.9 不同植物原淀粉对油炸肉片外壳质构的影响	55
3.10 不同植物原淀粉结构功能特性与油炸肉片外壳食用品质间相关性	57
3.11 研究小结	58
第 4 章 九个品种绿豆淀粉的理化性能及油炸肉片外壳品质间相关性	60
4.1 研究方法概述	60
4.2 不同品种绿豆淀粉的化学组成	65

4.3	不同品种绿豆淀粉的颗粒形貌与粒径大小	66
4.4	不同品种绿豆淀粉的 X 射线衍射图谱及相对结晶度	71
4.5	不同品种绿豆淀粉的糊化特性	73
4.6	不同品种绿豆淀粉的热力学性质	74
4.7	不同品种绿豆淀粉的溶解度和膨胀度	76
4.8	不同品种绿豆淀粉的冻融稳定性	77
4.9	不同品种绿豆淀粉对油炸肉片外壳色度的影响	78
4.10	不同品种绿豆淀粉对油炸肉片外壳水分和含油率的影响	79
4.11	不同品种绿豆淀粉对油炸肉片外壳质构的影响	80
4.12	绿豆淀粉结构功能特性及油炸肉片食用品质间相关性	82
4.13	研究小结	87
第 5 章	油炸过程中淀粉理化性能与油炸肉片外壳品质的变化规律	89
5.1	研究方法概述	89
5.2	油炸过程中淀粉颗粒形貌的变化	93
5.3	油炸过程中淀粉碘蓝值的变化	96
5.4	油炸过程中淀粉热力学特性的变化	96
5.5	油炸过程中淀粉结晶结构的变化	98
5.6	油炸过程中淀粉的溶解度和膨胀度的变化	100
5.7	油炸对淀粉糊冻融稳定性的影响	102
5.8	油炸对淀粉糊透光率的影响	103
5.9	油炸过程中油炸肉片外壳表观色度的变化	104
5.10	油炸过程中油炸肉片外壳水分含量的变化	106
5.11	油炸过程中油炸肉片外壳含油率的变化	106
5.12	油炸过程中油炸肉片外壳质构参数的变化	107
5.13	研究小结	109
第 6 章	超高压处理绿豆淀粉对糊功能特性及油炸肉片外壳食用品质的影响	110
6.1	研究方法概述	110
6.2	超高压处理绿豆淀粉对挂糊率和持水能力的影响	114
6.3	超高压处理绿豆淀粉对糊粉糊化特性的影响	115
6.4	超高压处理绿豆淀粉对挂糊油炸肉片外壳水分含量和含油率的影响	116
6.5	超高压处理绿豆淀粉对挂糊油炸肉片外壳质构的影响	117
6.6	超高压处理绿豆淀粉对挂糊油炸肉片外壳微观结构的影响	119
6.7	超高压处理绿豆淀粉对挂糊油炸肉片外壳感官品质的影响	120

6.8 研究小结	120
第 7 章 淀粉对油炸肉片品质影响的相关问题分析	122
7.1 深层油炸模型	122
7.2 油炸用油的选择	122
7.3 淀粉粒径大小和直链淀粉含量及其与淀粉理化性质和油炸食品品质的 关系	124
7.4 油炸过程中淀粉理化性能的变化	130
7.5 超高压处理绿豆淀粉对糊粉功能性质的影响	131
第 8 章 结论	133
8.1 糊的基本组成及对挂糊油炸肉片外壳食用品质的影响	133
8.2 不同植物原淀粉理化特性及对油炸肉片外壳食用品质的影响	133
8.3 九个品种绿豆淀粉理化性能及油炸肉片外壳品质间相关性	134
8.4 油炸过程中淀粉理化性能与油炸肉片外壳品质的变化规律	135
8.5 超高压处理绿豆淀粉对糊功能特性及挂糊油炸肉片食用品质的 影响	135
参考文献	137

第1章 绪 论

1.1 糊的组成及其对挂糊油炸食品品质的影响

近年来,伴随我国食品工业的飞速发展,作为我国传统食品之一的油炸食品也得到长足发展,已广泛涉及快餐食品、速冻食品、微波食品和面食制品等诸领域。普通油炸制品,由于受到高温加热以及与油脂的相互作用,影响其营养价值,尤其是一些不耐高温的成分,如维生素等,将会被破坏。为保证原料品质,改善口感和外形,将原料外面均匀地涂抹一层保护膜是非常必要的。

1.1.1 挂糊

挂糊是指在经过刀工处理的原料表面均匀挂上一层黏性糊浆的一项技术措施,是油炸食品重要的加工工序之一。

糊在油炸时由于受热会凝成一层保护层,形成终产品的外壳,使被包裹的食物原料不直接与高温油接触,因此既可以保持原料内的水分和风味,又可以保护其营养成分,有利于成品具有松、嫩、香、脆的食用品质。从饮食美学的角度,挂糊能改善其营养特性(质美)、味觉特性(味美)、触觉特性(触美)、嗅觉特性(嗅美)和视觉特性(色美、形美)^[1]。

1.1.2 糊的分类

在某种程度上,糊可认为是液体面团。根据原料性质和产品特色的要求,国内将糊的种类分为水粉糊、蛋清糊、蛋黄糊、全蛋糊、酥皮糊等。

根据糊的作用,国外学者将糊分为两大类^[2]。一类是黏附/连接糊(adhesion/interface batter),另一类是脆皮/天麸罗糊(puff/tempura batter)。

1.1.3 糊的组成及其对产品品质的影响

最简单的糊由面粉和水组成。在实际使用过程中,糊的组成成分很多,如淀粉、鸡蛋或麸质蛋白、发酵剂、调味料、食用胶及其他成分,组成成分高度复杂,各成分的特性及成分之间的相互作用变化很大,对其进行研究和定性的难度较大。糊的组成成分对油炸食品品质的影响引起了国内外学者的广泛关注。

1. 面粉

小麦面粉、玉米粉、大米粉等谷物类面粉,在油炸食品的糊中具有重要作用,均能提高产品的质量^[3~7]。

不同面粉的组合对糊及挂糊产品的质量具有不同的效果^[8]。小麦面粉的添加能增强糊的弹性^[9]。大豆粉是植物蛋白、油脂、赖氨酸、类黄酮等活性成分的良好来源^[10]。全脂和脱脂的大豆粉在高蛋白小吃中被广泛使用。Dogan 等研究表明,与基于大米粉的糊相比,添加大豆粉的糊具有最高的表观黏度,获得的鸡肉块水分和含油量降低,色泽和脆度得到了改进^[11]。Nasiri 等在研究大豆和玉米粉对糊流变学及油炸虾块品质的影响时,也得到了类似的结论,含有大豆粉的糊黏度指数最高,大豆粉能降低油炸虾块的含油量^[12]。另有研究发现,用大米粉和大豆粉替代部分小麦粉,可以提高产品的营养价值,这与它们含有的氨基酸有关^[13,14]。

玉米粉由于含有胡萝卜素而具有黄色,可以作为天然黄色素的来源^[5,15]。Nasiri 等研究表明,糊中含有 5%玉米粉时,得到的油炸虾块水分含量最低,含油率最高,这与玉米粉能够降低糊的保水能力有关^[8,12]。

2. 淀粉

淀粉和改性淀粉可作为糊的组分之一,用于提高糊的流变特性^[16-19],降低油炸食品的含油量^[20]。研究高直链玉米淀粉、玉米淀粉、蜡质玉米淀粉、预糊化木薯淀粉对深层油炸鸡肉块品质的影响,结果发现糊中添加淀粉后增加了产品的脆度;当糊中添加玉米淀粉时,产品外壳的多孔性最好,含油率也最高;当糊中添加预糊化木薯淀粉时,终产品的含油量最低,水分含量最高,挂糊率和体积也最大。Sanz 等探讨了抗性淀粉 R3 对挂糊油炸鱿鱼圈的功能特性及适应性的影响,结果发现,抗性淀粉的添加显著提高了产品外壳的硬度和酥脆性,表面的金黄色也较好;当抗性淀粉添加量高达 20%时,消费者仍能接受所制得的产品^[21]。Primo-Martín 研究了不同交联度的小麦淀粉对油炸挂糊食品脆度的影响,结果表明随着小麦淀粉交联度的增加,油炸食品的脆性得到了改善^[22]。

与支链淀粉相比,直链淀粉形成的膜均一性好,强度相对较高^[23]。研究表明,油炸食品的脆度与直链淀粉的含量呈正相关,而吸油率与直链淀粉的含量呈负相关^[24]。直链淀粉含量的增加将增强多糖与多糖之间的相互作用,赋予油炸食品较高的脆度和较低的吸油率。Fizman 和 Salvador 研究发现,含直链淀粉较多的改性淀粉具有较好的成膜性,可以通过形成保护膜而降低吸油率。然而,太多的直链淀粉将导致终产品太硬而不易咀嚼^[16]。由此可以看出,糊的组成中直链淀粉/支链淀粉的比例对于产品的质量是非常重要的。

糊精通常具有中高的黏度,能够形成连续的、规则的糊^[23]。在糊的配方中使用糊精主要与提高油炸食品的脆度有关^[25]。

3. 蛋白质

面粉中蛋白质的种类和含量影响着产品的最终质量。在小麦面粉中,与糊的特色结构有关的蛋白是醇溶蛋白和面筋蛋白。当水添加到面粉中时,它们水合而形成面筋,面筋是形成弹性的物质,在面团中形成网状结构。

与软质小麦面粉相比,硬质小麦面粉含有较丰富的蛋白质。因此要获得具有可比较黏性的糊时,后者需要添加更多的水分,这与面筋蛋白具有较强的持水能力有关^[26]。

Gnanasambandam 和 Zayas 研究发现含有小麦胚芽粉和玉米胚芽蛋白粉的糊结合水的能力提高,产品的蒸煮损失率降低^[27]。

大豆分离蛋白和小麦分离蛋白在油炸时能降低谷物食品的吸油率^[28]。Rayner 等开展了大豆蛋白对油炸面圈及土豆制品品质影响的研究,也得到了类似的结论^[29]。Dogan 等研究了大豆分离蛋白、小麦分离蛋白及鸡蛋蛋白对深层油炸鸡肉块品质的影响,发现 3 种蛋白均能降低终产品的含油量,其中鸡蛋蛋白能显著降低鸡肉块的含油量,但产品松软;当糊中含 3%小麦蛋白时,其表观黏度最大,挂糊率最高,得到的产品硬度最大,脆性最好,同时能显著降低产品吸油率^[11]。

4. 食用胶

许多胶体物质作为辅料使用到糊中,其中被广泛使用的是树胶,它们决定着糊的黏度和持水能力。一些树胶能够参与凝胶或膜的形成,进而可以结合其他成分^[26]。

1) 纤维素及其衍生物

在化学上,纤维素与淀粉的区别体现在,前者由 β -1,4 糖苷键组成,而后者是由 α -1,4 糖苷键组成^[30]。纤维素通过化学改性可以形成纤维素胶,例如,羟甲基纤维素(CMC)、甲基纤维素(MC)、羟丙基甲基纤维素(HPMC)等都是改性纤维素。

纤维素及其衍生物在油炸食品中的使用引起了国内外学者的广泛关注^[31-33]。含有纤维素和小麦面粉的油炸糊的糊化特性受到纤维素的类型、相对分子质量和浓度的影响。羟丙基甲基纤维素能降低酥皮糊的糊化温度、峰值黏度及冷黏度;显微观察显示,当羟丙基甲基纤维素存在时,淀粉颗粒具有较高的糊化度;羟丙基甲基纤维素亦能辅助保留水分,使终产品具有较高韧性和酥松结构^[34]。

甲基纤维素和羟丙基甲基纤维素在加热时形成凝胶,在冷却时能恢复到初始的黏性。由于具有此种特性,它们适合在油炸食品中使用,形成保护层而阻碍油的吸收^[35];同时还能阻碍食品中原有水分损失,也可以提高糊黏结能力和蒸煮得率^[31]。另外,这些衍生物不带有负电荷,因此酸稳定性好,可以作为乳化剂使用^[30]。

鸡肉丸裹上羟丙基甲基纤维素糊得到的产品,外层能降低吸油率,内层能增加水分含量^[36]。羟丙基甲基纤维素具有降低挂糊油炸鸡肉片、鱼及蔬菜等食品

吸油率的能力。

2) 黄原胶

黄原胶由于其增稠性、悬浮性及稳定性而广泛适用于很多产品中。黄原胶不带有电荷,即便在挂糊成分中有食盐的存在,其不带电荷的性质也不会被影响^[26]。

Hsia 等研究了黄原胶、CMC 和瓜儿豆胶对糊的流变学性质的影响,发现黄原胶得到的糊的黏度最高,其次是瓜儿豆胶、CMC^[37]。Xue 和 Ngadi 研究发现黄原胶能降低糊的流动指数,赋予糊更高的假塑性。含有黄原胶的糊能增加终产品的水分含量,这与黄原胶的水结合能力有关^[5, 35]。Altunakar 研究发现,含有 1%黄原胶的脆皮糊能显著降低油炸鸡肉块的吸油量,但同时造成了最终产品体积的增加^[38]。

3) 瓜儿豆胶

瓜儿豆胶不能形成凝胶,但在较低的浓度下仍能得到很高的黏性。因此,其主要用作增稠剂、稳定剂和保水剂。另外,由于瓜儿豆胶是非离子型,糊中即使有食盐的存在,对其也无负面影响。Patil 等研究发现,与对照相比,当糊含有 0.25%~1%的瓜儿豆胶时,能降低 9.7%~22%的油含量^[39]。

4) 协同作用

为了获得合适的质构、控制水分含量、改善产品的质量以及降低成本,通常同时将淀粉和树胶添加到食品体系中。

黄原胶与瓜儿豆胶等半乳甘露聚糖具有协同作用。研究发现,在半乳甘露聚糖中,半乳糖含量和半乳糖残基能显著影响与黄原胶分子的相互作用;当瓜儿豆胶和黄原胶混合使用于深层油炸胡萝卜片时,与对照相比,最多能降低 53%的吸油量^[40]。瓜儿豆胶和黄原胶的混合物不能正常形成凝胶,但能形成很高的黏性,与单一的树胶相比,差异显著^[41]。淀粉与瓜儿豆胶或黄原胶也具有协同作用。为了增加水分保持能力,上述协同作用是有利的。研究显示,小麦淀粉与瓜儿豆胶的混合物在高温蒸煮时的黏度高于它们单独使用时的黏度之和,小麦淀粉是通过氢键与瓜儿豆胶结合的^[42,43]。

1.2 淀粉的结构、功能特性及其相关性

淀粉是自然界中天然合成的数量最大的碳水化合物之一,每年光合产物中的淀粉约为 28.5 亿吨。它广泛分布于植物的籽粒、块根和块茎中,仅植物籽粒中产生的淀粉量就高达 20.5 亿吨/年。淀粉作为一种重要的既可再生又可生物降解的天然资源,已被广泛应用于食品、造纸、化工、纺织、环保等多种领域。对淀粉及其衍生物的研究一直深受国内外研究者的重视^[44]。

1.2.1 淀粉的化学组成

淀粉颗粒主要是由直链淀粉和支链淀粉两种类型的 α -葡聚糖组成的。直链淀粉和支链淀粉的含量随淀粉的来源不同而有所差异。除直链淀粉和支链淀粉等化学组分外，淀粉颗粒中还含有少量的蛋白、脂类和矿物质。

1.2.2 淀粉的分子结构

1. 直链淀粉

直链淀粉是由葡萄糖残基以 α -D-(1,4)糖苷键连接而成的葡聚糖大分子(图 1-1)，其相对分子质量分布范围为 $1.0 \times 10^4 \sim 2.0 \times 10^6$ 。已有研究表明，除了直线型直链淀粉外，直链淀粉还含少于 0.5% 的分支直链淀粉，分支点是由 α -D-(1,6)糖苷键连接而成，分支点隔开很远，由于占总糖苷键的比例很小，对直链淀粉的性质影响较小。

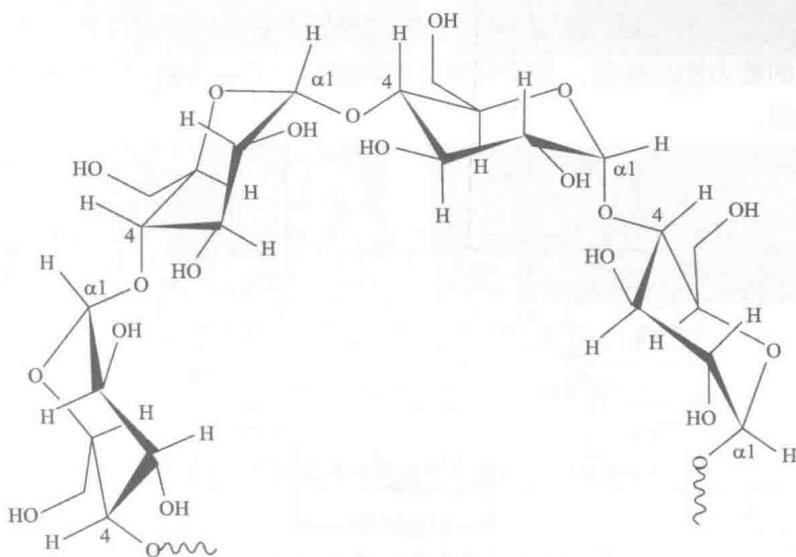


图 1-1 直链淀粉的代表性结构

直链淀粉能够形成充分伸展的形状，但更易于形成具有一定强度的左螺旋分子结构，同时也可形成强度更大的平行的双螺旋结构^[45]。

直链淀粉的相对分子质量和分子结构随淀粉来源的不同差别较大^[46]。直链淀粉分子间相互靠近，可形成氢键，导致淀粉的老化和析水。相邻的直链淀粉分子还可形成不易被淀粉酶水解的独立双结晶。直链淀粉与碘结合时，形成的淀粉-碘复合物在 620~680 nm 处有最大吸收值。淀粉的聚合度不同，淀粉与碘发生显色反应的颜色深浅也不同。

2. 支链淀粉

支链淀粉作为淀粉颗粒的主要组成成分, 占普通淀粉总量的 70%~80%, 直链淀粉则仅占 20%~30%。支链淀粉几乎占糯玉米和糯大米淀粉总量的 100%。

支链淀粉是以 α -D-糖苷键组成的高度分支的葡聚糖生物大分子。支链淀粉分子在分支内以 α -D-(1,4)糖苷键连接, 在分支间以 α -D-(1,6)连接。支链淀粉的相对分子质量为 $5.0 \times 10^4 \sim 4.0 \times 10^8$, 分支的链长平均为 24~30 个葡萄糖基单位^[47]。支链淀粉的分支不是随机分布的, 而是以“簇”(cluster)为结构单位。淀粉的簇状结构分支可分为 A 链、B 链和 C 链三种结构类型(图 1-2)。A 链是最外层的侧链, 其还原末端是经由 α -D-(1,6)糖苷键与内层的 B 链相连的, 而 A 链本身却不再有分支; A 链的分支长度为 0~13 聚合度(degree of polymerization, DP)。根据所跨越簇的单位数目, B 链可分为 B1、B2、B3、B4 链, 各分支长度依次为 14~25 DP、26~50 DP、51~75 DP、76~110 DP。此外, B 链也可与 C 链以 α -D-(1,6)糖苷键相连。C 链作为直链淀粉分子的主链, 是唯一具有还原末端的分支, 并且每个直链淀粉分子仅有一条 C 链。支链淀粉的分支虽能形成螺旋, 但长度较短, 其络合碘的能力相对降低, 遇碘时则呈现紫红色, 其复合物在 530~550 nm 处有最大吸收值。

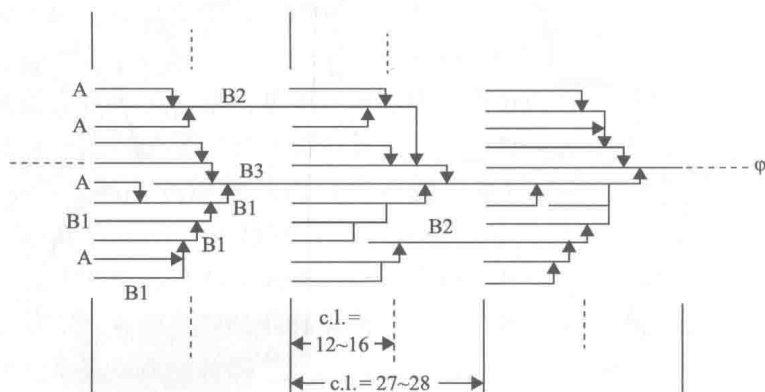


图 1-2 支链淀粉的簇状结构模式图
c.l.-链长; φ-还原末端

1.2.3 淀粉的颗粒特性

1. 淀粉颗粒形态和大小

借助于显微镜(扫描电子显微镜、偏光显微镜等), 人们可以根据淀粉的颗粒形态和大小鉴别淀粉的种类和来源。淀粉的植物来源不同, 其颗粒大小和颗粒形态存在着明显差别。几种常见主要淀粉的颗粒形态见图 1-3, 颗粒大小参数见表 1-1^[48]。

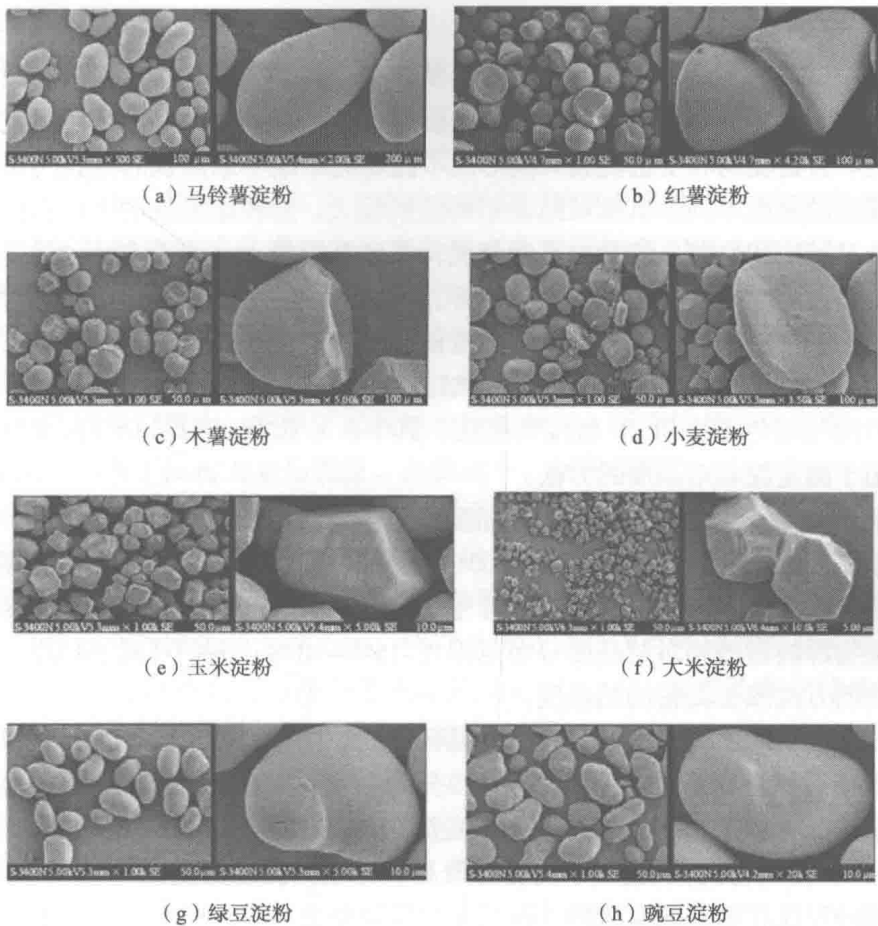


图 1-3 常见淀粉颗粒的扫描电镜照片

表 1-1 不同植物来源淀粉的颗粒形态和大小

淀粉类别	分布	形态	大小/ μm	
			范围	平均值
甘薯	单峰	圆形或卵圆形	2~72	20
玉米	单峰	球形、多面体形	2~30	15
马铃薯	单峰	卵圆形	5~100	40
稻米	单峰	多面体形	3~8 (单粒) 150 (复粒)	
木薯	单峰	球形、多面体形	5~45	23
小麦	双峰	扁豆形 (A 型)	15~35	23
		球形 (B 型)	2~10	

2. 淀粉颗粒的结晶结构

淀粉以独特的颗粒形式存在于高等植物中,其颗粒结构主要由结晶区和非结晶区构成。淀粉的结晶区主要是由支链淀粉形成的,其非结晶区则是由直链淀粉构成的。直链淀粉和支链淀粉共同形成了淀粉的二维半结晶状的凝胶网状结构。

淀粉的来源不同,其颗粒结晶结构差别较大。淀粉结晶度的大小直接影响着淀粉产品的应用性能,淀粉结晶度越大,晶区范围越大,淀粉产品的强度、硬度和刚度越高,耐热性和耐化学性也越好,因而对淀粉结晶度的准确测定对于制品性能的预测很关键,因此,淀粉结晶度的测定方法的研究备受国内外研究者的关注。迄今,人们尝试过的测定聚合物结晶度的方法有密度法、DSC 法、红外光谱法、反气相色谱法和 X 射线衍射法。其中,X 射线衍射法是目前文献报道中常应用于测定淀粉结晶度的方法。

根据计算方法的不同,淀粉结晶度可分为绝对结晶度和相对结晶度。淀粉的绝对结晶度是采用结晶度为 0 和 100% 的参比样品,计算得出的淀粉的颗粒内部结晶比例。相对结晶度是淀粉的 X 射线衍射图谱中结晶区面积与总面积的比值。植物源淀粉的相对结晶度分布范围为 15%~45%。人们可通过物理、化学或者生物的方法改变淀粉的结晶度。

淀粉的来源不同,淀粉颗粒中微晶区域的结构就有所不同。根据天然淀粉的 X 射线衍射图谱的不同,可将淀粉颗粒分为 A 型、B 型和 C 型 3 种主要类型的晶体结构。大多数禾谷类淀粉,如小麦淀粉、玉米淀粉等晶型为 A 型;块茎类淀粉,如马铃薯淀粉、芭蕉芋淀粉等及高直链玉米淀粉晶型为 B 型;甘薯等块根和部分豆类淀粉如绿豆淀粉、豌豆淀粉等晶型为 C 型。

1.2.4 淀粉的性质

淀粉的糊化特性、热力学特性、溶解性、膨胀度和冻融稳定性等是淀粉对温度变化的连续反映,是淀粉重要的理化性质,与淀粉类食物的品质特性关系密切。

1. 淀粉的糊化特性

糊化特性是淀粉的重要性质之一。淀粉糊化的本质是高能热水破坏了淀粉分子内部间的氢键,淀粉颗粒的微晶束溶解,胶束状支链淀粉分子的双螺旋结构解旋和分散,直链淀粉从颗粒中释放出来的过程。目前用于测定淀粉糊化特性的仪器主要有布拉班德黏度计、快速黏度分析仪以及微量黏度分析仪。快速黏度分析仪法的样品用量少、仪器操作简单、测定时间短,得到科研人员的广泛采用。快速黏度分析淀粉可得到的糊化参数主要有峰值黏度 (peak viscosity, PV)、峰谷黏度 (trough viscosity, TV)、破损值 (breakdown, BD)、最终黏度 (final viscosity, FV)、回生值 (setback, SB)、峰值时间 (peak time, PT) 和糊化

温度 (pasting temperature, GT)。

峰值黏度是指在一定升温-冷却程序下淀粉糊所能达到的最大黏度。淀粉经热处理后吸水膨胀,引起糊液黏度增加。峰值黏度的高低反映了淀粉的增稠能力。峰谷黏度是淀粉颗粒吸水膨胀破裂后,由于残留的碎片相互摩擦,糊液黏度急剧下降而引起。峰谷黏度体现了淀粉在高温下抗剪切的潜力。破损值是峰值黏度减去峰谷黏度得到的差值,表示淀粉糊在高温下抗剪切能力的大小。一般来说,破损值越大,淀粉糊热黏度的稳定性越差。最终黏度是测试结束时的黏度,是由于降温而引起淀粉的直链淀粉分子间、支链淀粉侧链间的氢键重新形成,致使大的聚合物形成并相互摩擦而产生的。最终黏度体现了淀粉胶在室温下的硬度高低,最终黏度值越大,室温下淀粉胶的硬度越大。回生值是最终黏度与峰谷黏度的差值,体现了淀粉的老化程度,其值越小,淀粉越难老化。

淀粉的糊化特性随其植物来源的不同而有明显差异。淀粉的糊化特性与食品食用品质之间的相关关系引起国内外学者的广泛关注。对蚕豆淀粉的糊化特性与粉丝感官品质间的关系研究表明,糊化参数与感官评价指标间存在相关性^[49]。淀粉的峰值黏度与馒头的内部质地、感官总评分以及适口性均具有显著正相关关系^[50]。淀粉糊化峰值黏度与面条蒸煮品质关系密切^[51],淀粉的糊化特性与挂糊油炸食品食用品质的相关性尚未见文献报道。

2. 淀粉的热力学性质

淀粉颗粒在过量水存在的条件下会发生从有序到无序的转变过程,这一变化过程通常可由示差扫描量热仪(DSC)来表征。DSC能够快速、准确表征淀粉颗粒在胶凝过程中的质量与数量的变化^[52]。淀粉的胶凝温度,尤其是峰值温度,体现了淀粉颗粒中双螺旋结构的长度^[53],淀粉的胶凝焓变反映了淀粉颗粒中微晶的数量和质量,是淀粉颗粒内部分子失去有序性排列的标志^[54]。胶凝温度和焓变可能与淀粉颗粒的结晶度直接相关^[55],但也有学者认为胶凝焓变反映的不是淀粉结晶的丧失而是淀粉双螺旋结构的解聚。淀粉的热力学特性不仅与直链淀粉含量有关,同时还受支链淀粉分子结构及其他因素的影响^[53]。

3. 淀粉的溶解性和膨胀度

溶解特性和膨胀特性是淀粉重要的理化性质,可用于评价淀粉颗粒的无定形区和结晶区的淀粉链之间的相互作用。淀粉颗粒的膨胀始于相对松散的无定形区,随后是邻近结晶区的无定形区,最后是结晶区。淀粉的吸水膨胀能力与直链淀粉和支链淀粉两者的比例、直链淀粉和支链淀粉的相对分子质量、链长、分支长度、构象以及磷含量有关^[56]。

4. 淀粉的冻融稳定性

冷冻和解冻能够使淀粉糊出现脱水收缩的现象,这是由冷冻处理对淀粉糊结构造成的严重破坏而引起的。评价冻融稳定性好坏的常用指标为析水率。析水率