

豆类淀粉的研究进展

刘宁, 张铁鹏, 刘涛, 温沐潮, 王璇

(哈尔滨商业大学 食品科学与工程重点实验室, 哈尔滨 150076)

摘要: **目的** 豆类中的大部分碳水化合物都是淀粉, 淀粉的组成结构和理化性质可以直接影响豆类淀粉产品的研究和应用。通过查阅并总结大量文献的研究进展得出相应结论。**方法** 简要概括豆类淀粉的理化性质、分子结构、功能特性、颗粒特性、性能变化等方面的研究进展, 以及豆类淀粉在各个领域的应用现状。**结果** 大量文献结果表明, 豆类淀粉的组成与结构, 会对豆类淀粉的理化性质、功能特性以及在各个行业的应用产生很大的影响。**结论** 综述了近些年国内外对豆类淀粉的研究进展和在各个行业的应用现状, 并进行了详细说明, 为今后在豆类淀粉方面的实验研究提供参考依据。

关键词: 豆淀粉; 理化特性; 结构; 变性; 应用特性

中图分类号: TS235.3 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2020)07-0058-07

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2020.07.008

Research Progress of Bean Starch

LIU Ning, ZHANG Tie-peng, LIU Tao, WEN Mu-chao, WANG Xuan

(Key laboratory of Food Science and Engineering, Harbin University of Commerce, Harbin 150076, China)

ABSTRACT: Most carbohydrates in beans are starch. The structure and physicochemical properties of starch can directly affect the research and application of bean starch products. The work aims to draw corresponding conclusions by consulting and summarizing the research progress of a large number of literatures. The research progress of the physicochemical properties, molecular structure, functional properties, particle properties and performance changes of bean starch and its application status in various fields were summarized. A large number of literature results showed that, the composition and structure of bean starch would have a great impact on its physicochemical properties, functional properties and application in various industries. The research progress of bean starch at home and abroad and its application in various industries in recent years are reviewed and systematically explained, providing reference basis for the future experiment research on the bean starch.

KEY WORDS: bean starch; physicochemical properties; structure; transsexual; application characteristics

豆类淀粉来源广泛, 价格低廉, 被大量地应用到食品、造纸、纺织、医药等行业中^[1]。淀粉到目前为止有 4000 多年的使用历史, 但对其应用和结构等方面的研究仅有 100 余年^[2]。豆类主要分为大豆和杂豆等 2 种, 因为杂豆品种较多, 更具有研究价值, 所以

该次研究主要以杂豆为主^[1-2]。中国各地豆类有很多种, 豆类的营养十分丰富, 富含蛋白质和碳水化合物, 同时脂肪含量极低, 是食物的良好来源。豆类中 55% ~ 70% 都是碳水化合物, 其中淀粉质量分数为 40% ~ 60%^[3], 是豆类产品比较重要的能源来源^[4]。

收稿日期: 2019-08-02

基金项目: 黑龙江省教育厅项目 (12541199); 黑龙江省自然科学基金 (C2018036); 2018 年度哈尔滨商业大学校级一般项目 (18XN080)

作者简介: 刘宁 (1978—), 女, 博士, 哈尔滨商业大学教授, 主要研究方向为农产品加工及贮藏工程。

近些年来,豆类淀粉被广泛地应用到许多领域,像绿豆淀粉可以作为面条等面类食品的添加剂^[5-6],鹰嘴豆淀粉可以作为多种纺织产品的原材料等,被应用到许多行业^[7]。除此之外,豆类淀粉还可以被当作功能性食品的配料,奶油、油脂等高脂类食品的替代物,加入灌肠类食品中,还能够改变这些食品的风味。文中拟对豆类淀粉的结构、性能变化、理化性质、功能特性和应用等领域的最新研究进展进行全方面的总结,希望可以为我国豆类淀粉产品的继续研发与利用提供足够的科学依据。

1 豆类淀粉的组成与结构

1.1 豆类淀粉的组成与分子结构

豆类淀粉颗粒通过直/支链淀粉的分子组合而成,豆类淀粉里直链淀粉质量分数大多在 11.6%~88.0%之间^[8]。郭神旺等^[9]通过对多种豆类淀粉的实验发现,豆类淀粉里直链淀粉的含量大多比玉米与薯类的高得多。直/支链淀粉含量的比例一直被用来当作评价淀粉分子结构的指标。从支链淀粉在豆类淀粉中的分布模式可以比较直接地反映出豆类淀粉的分子结构^[10]和理化性质^[11]。

1.2 豆类淀粉颗粒特性

1.2.1 颗粒形态

豆类淀粉通常使用偏光显微镜和扫描电子显微镜,观察其淀粉颗粒的偏光形态和颗粒形状,以此来区分不同的豆类淀粉。聂丹等^[12]通过扫描电子显微镜

观察不同植物的淀粉颗粒发现它们具有不同的特征形状、大小和形态,并且淀粉颗粒大小的范围可以从亚微米到 100 μm 以上。大多数淀粉的形态是椭圆形或者卵形,但也有一些是球形或者没有固定形状的颗粒。通过大量实验对多种豆类淀粉的研究发现,豆类淀粉的颗粒大部分是光滑的,多呈卵形或者不规则形,小颗粒一般呈圆形^[13]。

1.2.2 结晶结构

大多数豆类淀粉的颗粒都是通过 2 种葡聚糖、直/支链淀粉组合而成。豆类淀粉颗粒中的支链淀粉全部都存在于半结晶的结构中,而豆类淀粉颗粒中的直链淀粉大部分都没有固定形状。淀粉的颗粒呈现的形态与大小会因为遗传等条件或各自所处环境的影响而有所差别,但都会有结晶性。Matina Joshi 等^[14]研究发现不同的淀粉颗粒具有不同类型的结晶度,根据它们支链淀粉所含支链的长度可以显示为 A 型、B 型和 C 型 X 射线图案。豆类淀粉大多都呈 C 型,但也有一些皱皮豌豆会呈 B 型,绿豆和眉豆表现为 A 型等。C 型是 A 与 B 型混合物。王建华等^[15]通过实验对比了玉米、马铃薯与小扁豆的结晶类型,得出他们分别呈 A, B, C 型。淀粉是世界上第二大生物物质,仅次于纤维素,是地球上生产的最具生物活性和经济性的商品。淀粉具有经济竞争力的一个主要原因就是其半结晶颗粒结构^[16]。淀粉以颗粒形式生产,因此,它很容易通过湿磨进行分离。然后可以用各种化学试剂对淀粉进行衍生和修饰,洗涤以去除副产物和残留的化学物质,并离心回收改性淀粉,从而为各种最终用途和市场需求提供改进的性能^[17]。

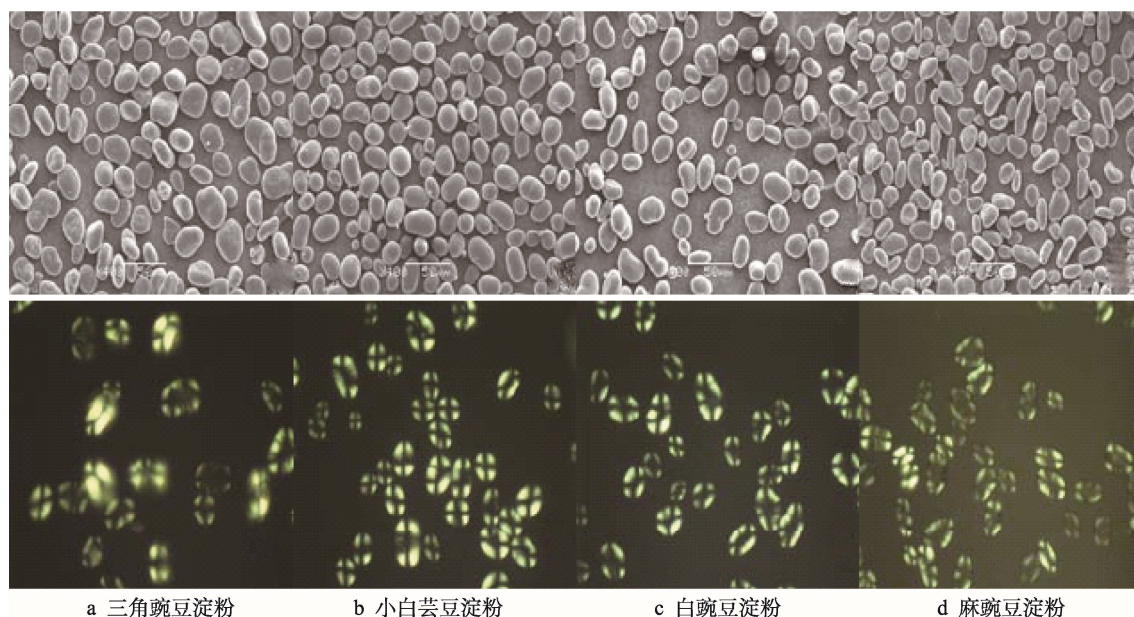


图 1 不同杂豆淀粉的颗粒形态

Fig.1 Granule morphology of different bean starch

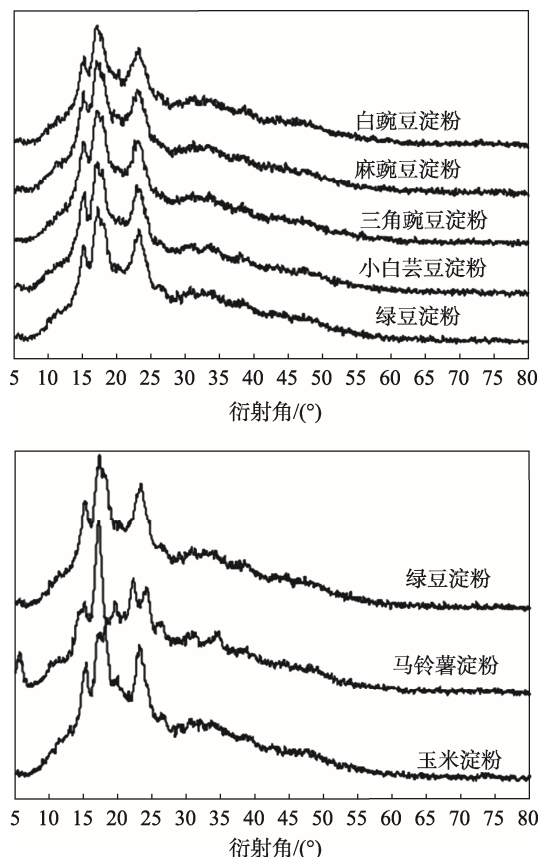


图2 不同杂豆淀粉颗粒的晶体衍射图谱

Fig.2 Crystal diffraction patterns of starch granules of different beans

2 豆类淀粉的提纯和含量的测定

2.1 豆类淀粉提取的方法

2.1.1 酸浆法

使用酸浆中的微生物把粗豆类淀粉聚结成较大的聚合物,并且用酸浆里的乳酸让豆粕沉淀时维系特定的pH,以便于豆类淀粉和豆类中的蛋白质、脂肪等分离^[18]。

2.1.2 旋流分离法

利用亚硫酸对粗豆类淀粉进行处理,使得豆类中的淀粉与蛋白质^[19]等其他物质分离。

2.1.3 离心分离法

利用离心机来分离粗豆类淀粉中的淀粉和蛋白质^[18]等其他物质。

2.2 豆类淀粉含量的测定

2.2.1 国标法

国标法分2个中间测定步骤,一部分用稀盐酸水解,在澄清和过滤后用旋光法测定。第2部分样品用体积分数为40%的乙醇萃取出可溶性糖和相对分子

量低的多糖。滤液按第1部分的步骤操作。2种方法测定结果的差值,乘以一个系数,得到淀粉的含量。

2.2.2 比色法

豆类淀粉在酸性环境中温度变高会水解成葡萄糖,接着加入浓 H_2SO_4 ,会让单糖脱水,变成糖醛类的化合物^[20],利用蒽酮试剂和糖醛的化合物发生显色反应,就可以进行比色测定。

2.2.3 液相色谱法

利用高效液相色谱测得豆类淀粉在水解之后所得到的葡萄糖含量,再利用所测得的葡萄糖含量来计算出豆类淀粉含量^[21],这种测定方法排除了豆类淀粉里其余还原糖的影响,测得的含量更加精准。

2.3 豆类淀粉中直/支链淀粉的含量测定

2.3.1 国标法

直/支链淀粉与碘试剂作用分别产生纯蓝色和紫红色复合物,在不同测定波长和参比波长下测定直/支链淀粉显色复合物的吸光度值,其各自2个波长的吸光度差值与该溶液质量成正比。

2.3.2 二甲亚砷溶剂法

因为豆类淀粉与碘都能够溶解在二甲亚砷溶剂中,那么就可以按照测得的蓝色直链淀粉和碘的络合物的含量^[22],来得出里面直链淀粉含量。

2.3.3 双波长分光光度法

分别测得豆类直链淀粉和支链淀粉^[23],在不同波长下的吸光值,其吸光值的大小和豆类淀粉的浓度是线性关系,建立一个回归方程,算出豆类淀粉里各淀粉含量。

3 豆类淀粉的理化特性

3.1 糊化特性

豆类淀粉的糊化过程是,淀粉从悬浮的状态变成半透明状态的黏稠态液体^[24]。豆类淀粉的糊化可以反映豆类淀粉品质好坏。杨红丹等^[25]通过实验得出,豆类支链淀粉里短链的含量越多,越有助于豆类淀粉的糊化。

3.2 老化特性和凝沉性

豆类淀粉老化的过程,又叫作回生或者凝沉,是豆类淀粉的糊冷却一段时间之后慢慢沉淀的一个过程,是豆类淀粉糊化行为的逆过程^[26]。豆类淀粉老化受豆类淀粉的品种、环境、不同的产地以及直/支链豆类淀粉分子组成结构影响^[27-28]。黄倩等^[29]实验得出直链淀粉含量较高的豆类淀粉会更容易发生回生。豆类淀粉在回生的时候都会产生B结

晶型。

豆类淀粉发生凝沉是豆类淀粉的分子由没有顺序重新排列到有顺序的过程^[30]，吴磊等^[31]通过实验比较了多种淀粉糊的凝沉过程，从得出的结论可以看出越容易发生凝沉的豆类淀粉越容易回生。

3.3 粘度和热稳定性

豆类的淀粉到达最大粘度时，再接着加热，其粘度就会开始变小。当豆类淀粉粘度降低得越多，豆类淀粉稳定性就会变得越差。豆类淀粉在加热条件下的稳定性可以代表豆类淀粉糊在较高温度情况下的抗剪切能力^[32]。刘瑞等^[33]研究发现大多数情况下，豆类淀粉都拥有很好的耐热性与抗剪切能力，这与豆类淀粉里直链淀粉较多有很大的关系。

3.4 透明度

透明度的高低代表了豆类淀粉糊和水互相溶解的能力，是豆类淀粉比较重要的外表特性，淀粉糊透明度可以影响豆类淀粉用途与外观^[33]。于淑艳等^[34]研究发现豆类淀粉透明度会伴随着时间增长变得越来越小。豆类淀粉中磷元素的多少、直链淀粉的含量和豆类淀粉的分子所带的电荷等条件都会影响豆类淀粉糊透明度。

3.5 冻融稳定性

豆类淀粉的冻融稳定性可以代表豆类淀粉对融解、冷冻等强烈物理反应的承受能力。王鹏等^[35]研究表明，豆类淀粉糊对融解、冷冻等强烈物理变化的承受力比较差，不适宜应用到冷冻的食品当中。

3.6 淀粉溶解度及膨胀力

豆类淀粉的膨胀力和溶解度是在其产品加工时十分重要的性质，对研发全新豆类产品有很大作用。豆类淀粉溶解度是指在某个温度条件下，豆类淀粉中溶解部分的豆类淀粉占总豆类淀粉的质量分数，膨胀力是指在某个温度条件下单位的干淀粉所能吸水的量。豆类淀粉的膨胀是依次进行的，依次是无定型区、结晶区、无定型区、结晶区^[36]。

4 豆类淀粉的功能特性

4.1 豆类淀粉的变性淀粉

因为豆类淀粉自身的性质在工业和食品行业中无法满足全部的需求，所以现在在食品、造纸、医药等行业使用的大多都是变性淀粉。豆类的变性淀粉通过化学、物理或者酶等方法改变豆类淀粉本身的性质，让豆类淀粉的分子发生氧化、切断、重排或者在豆类淀粉的分子里引入新的官能团，来让豆类淀粉的

性质发生改变、强化或产生全新性质的豆类淀粉衍生物^[37]。豆类淀粉改性的手段主要有化学变性、物理变性、酶法变性，其中化学变性在目前的淀粉工业中使用最多。与原来的豆类淀粉对比，改性之后豆类的淀粉有着糊化温度更低、溶解度更高、凝胶性更强、更耐高低温、粘度更低、冻融稳定性更好等优点^[38]。近些年来，变性淀粉的发展非常迅速。豆类变性淀粉与豆类淀粉相比有很多的优点，其用途也是越来越广泛。

4.2 豆类淀粉的抗性淀粉

按照豆类淀粉在人体体内消化吸收的方式，可以将豆类淀粉划分成抗消化豆类淀粉、可消化豆类淀粉与慢消化豆类淀粉等 3 种^[39]。这里的抗消化豆类淀粉就是豆类抗性淀粉，豆类抗性淀粉在正常的人体小肠里不可以被直接消化吸收，但在人体的大肠中却可以通过酵母菌发酵分解。许多实验结果发现，抗性淀粉能够降低糖尿病、心血管等疾病的发生^[40]。许多科学家按照豆类抗性淀粉不同的来源和各自的理化性质将其分为 5 类，即豆类物理包埋淀粉，豆类抗性淀粉颗粒，豆类老化回生淀粉，豆类化学改性淀粉，豆类直链淀粉-脂质复合物^[41]。

豆类抗性淀粉拥有较好的生物活性，已经被大量应用到食品制造工业中，如酸奶、饼干、面条等食品^[42]。随着人们生活水平的提高，人们对功能型食品更加认可，豆类抗性淀粉这种最新型的食品添加剂，必将成为未来食品行业的全新方向^[43]。

4.3 豆类淀粉的消化性

豆类淀粉的消化性一般都在玉米淀粉与马铃薯淀粉之上，但和谷类淀粉相比其消化性就要低得多，Ambigaipalan 等^[17]通过研究对多种豆类淀粉体外消化的实验也进一步证明了这个结论。还可能受以下条件的影响，如豆类淀粉的产地、直链与支链淀粉含量、颗粒的形态、结晶的程度与类型和 B 结晶型的数量等。

5 豆类淀粉的应用

5.1 在食品配料中的应用

抗性豆类淀粉和膳食纤维的生理功能十分相似，同时豆类淀粉里抗性淀粉的含量也比较大，所以常常被当作功能性食品的配料^[44—45]。如绿豆的抗性淀粉，因为它的糊化温度较高、在高温条件下稳定性也比较好，特别不容易被降解，可以极大地增加膨化食品的膨化系数，被大量应用到各种膨化食品当中。郭婷等^[46]还将豆类淀粉作为口香糖、罐头等食品的添加剂。

5.2 在功能性食品中的应用

当豆类淀粉里的直链淀粉比例较大时,可以被当做奶油、油脂的替代产品,以便于解决快餐类食品油脂较高的情况。毛迪锐等^[47]通过大量实验用绿豆的淀粉作为基质生产出了模拟的脂肪,同时,将其加入传统的灌肠制品中发现,豆类淀粉模拟生产的油脂不但可以降低各类食品里脂肪的含量,同时还能使灌肠类食品的风味和性质得到改善。

5.3 作为淀粉膜的应用

各种豆类淀粉薄膜在膜厚度、透明性、光泽等特性上都有着非常大差别。直链淀粉比例大的豆类淀粉在豆类产品外部产生的薄膜具有较好的弹性、透明性和与水不溶的特殊性质^[48],这能够极大地降低豆类产品外表薄膜的易脆性,被广泛应用到糖果等行业。

可食性豆类淀粉膜可以被用到调料粉、豆粉等产品的包装材料当中^[49]。食用淀粉薄膜还可以被用于食品的保护,来延长豆类产品的保质期^[50]。目前,环保工作者大量的研究集中在解决废塑料问题以获得环保材料。为此,一些实验研究了将基于石油的塑料替换成具有相似特性的可生物降解的低成本材料。这些可生物降解的淀粉薄膜提供了一种替代性的包装选择,它不会对环境造成污染,并且是从可再生资源中获得。

5.4 作为变性淀粉的应用

豆类变性淀粉变性的手段有许多种,其中通过酸变性的豆类变性淀粉生产的糖果^[51],从本质上使糖果的质构发生了改变,让糖果的口感变得更好。陈景鑫等^[38]研究发现羧甲基化变性的豆类变性淀粉,会使其凝沉性变低,可以做为果冻增稠的稳定剂。

5.5 膨化淀粉的应用

由于豆类淀粉中支链淀粉较多、分子量也比较大,所以当其发生膨化的时候,能够经受住较高蒸气的压力。同时,膨化率也比较高^[52—53],对制作豆沙、生产膨化食品都十分有利^[2]。

6 结语

豆类淀粉含有比较多的直链淀粉,有的甚至高达40%以上。豆类淀粉溶解度与膨润力改变的趋向大致相同,都是随着温度变大而变大。豆类淀粉间的透光率和糊化特性差异显著,热糊稳定性比较差,糊化的温度也比较高。各种豆类淀粉在高温条件下的各种性质也大致相同,豆类淀粉分子间的结晶度和糊化的难易程度也都十分相似。

豆类淀粉的来源十分广泛,性质十分优越,但是豆类淀粉的应用目前还是只有食品和饲料等有限的

几个方向,其变性淀粉和抗性淀粉研究更是少有文献报道。对豆类淀粉的研究和应用等方面的尝试仍存在着极大的发展空间,以及有着十分美好的市场前景。

参考文献:

- [1] 康欣月,王立梅,孙姜,等.竹豆淀粉理化性质的研究[J].食品研究与开发,2017(22):20—24.
KANG Xin-yue, WANG Li-mei, SUN Jiang, et al. Study on Physicochemical Properties of Bamboo Bean Starch[J]. Food Research and Development, 2017(22): 20—24.
- [2] 郝小燕,麻浩.豆类淀粉研究综述[J].粮油食品科技,2007(3):11—14.
HAO Xiao-yan, MA Hao. Research Review on Bean Starch[J]. Science and Technology of Grain, Oil and Food, 2007(3): 11—14.
- [3] NAR'PINDER S, KAWALJIT S S, MANINDER K. Characterization of Starches Separated from Indian Chickpea (*Cicer Arietinum* L) Cultivars[J]. Journal of Food Engineering, 2004, 63(4): 441—449.
- [4] ROCIO C V, GUADALUPE L P, OOMAH B D. Minor Components of Pulses and Their Potential Impact on Human Health[J]. Food Research International, 2010, 43(2): 461—482.
- [5] VIDAL V C, SIERRA I, DÍAZ P C, et al. Determination by Capillary Electrophoresis of Total and Available Niacin in Different Development Stage of Raw and Processed Legumes: Comparison with High-performance Liquid Chromatography[J]. Electrophoresis, 2015, 22(8): 1479—1483.
- [6] RYAN E, GALVIN K, O'CONNOR T, et al. Phytosterol, Squalene, Tocopherol Content and Fatty Acid Profile of Selected Seeds, Grains, and Legumes[J]. Plant Foods for Human Nutrition, 2007, 62(3): 85—89.
- [7] 张涛,江波,王璋.鹰嘴豆营养价值及其应用[J].粮食与油脂,2004,7(5):18.
ZHANG Tao, JIANG Bo, WANG Zhang. Nutritional Value and Application of Chickpea[J]. Food and Oil, 2004, 7(5): 18.
- [8] HOOVER R, HUGHES T, CHUNG H, et al. Composition, Molecular Structure, Properties, and Modification of Pulse Starches: a Review[J]. Food Research International, 2010, 43(2): 399—413.
- [9] 郭神旺,王充,单玉琳,等.甘肃主要杂豆淀粉理化特性分析[J].食品科学,2012,33(15):127—132.
GUO Shen-wang, WANG Chong, SHAN Yu-lin, et al. Analysis of Physicochemical Properties of Starch from Main Multibean Crops in Gansu Province[J]. Food Science, 2012, 33(15): 127—132.
- [10] 张海艳,董树亭,高荣岐.植物淀粉研究进展[J].中国粮油学报,2006,21(1):41—46.
ZHANG Hai-yan, DONG Shu-ting, GAO Rong-qi. Research Progress on Plant Starch[J]. Chinese Journal

- of Cereals and Oils, 2006, 21(1): 41—46.
- [11] RATNAYAKE W, HOOVER R, SHAHIDI F, et al. Composition, Molecular Structure, and Physicochemical Properties of Starches from Four Field Pea (*Pisum Sativum* L) Cultivars[J]. Food Chemistry, 2001, 74(2): 189—202.
- [12] 聂丹. 多种淀粉颗粒的扫描电镜下的形态分析[J]. 安徽农业科学, 2014(33): 11863—11865.
NIE Dan. Morphological Analysis of Various Starch Particles Under Scanning Electron Microscope[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2014(33): 11863—11865.
- [13] 周一鸣, 李保国, 崔琳琳, 等. 荞麦淀粉及其抗性淀粉的颗粒结构[J]. 食品科学, 2013, 34(23): 25—27.
ZHOU Yi-ming, LI Bao-guo, CUI Lin-lin, et al. Particle Structure of Buckwheat Starch and Its Resistant Starch[J]. Food Science, 2013, 34(23): 25—27.
- [14] JOSHI M, ALDRED P, MCKNIGHT S, et al. Physicochemical and Functional Characteristics of Lentil Starch[J]. Carbohydrate Polymers, 2013, 92: 1484—1496.
- [15] 王建华, 吕春放. 柔性工艺制造的控制系统在变性淀粉生产中的应用[J]. 自动化与仪器仪表, 2015(7): 43—44.
WANG Jian-hua, LYU Chun-fang. Application of Control System of Flexible Process Manufacturing in the Production of Modified Starch[J]. Automation & Instrumentation, 2015(7): 43—44.
- [16] JOSHI M, ALDRED P, MCKNIGHT S, et al. Physicochemical and Functional Characteristics of Lentil Starch[J]. Carbohydr Polym, 2013, 92(2): 1484—1496.
- [17] AMBIGAIPALAN P, HOOVER R. Structure of Faba Bean, Black Bean and Pinto Bean Starches at Different Levels of Granule Organization and Their Physicochemical Properties[J]. Food Research International, 2011, 44(9): 2962—2974.
- [18] WANG D. A Study of The Technological Properties and Separation-extraction of Starch From Mung Bean And Pea Bean[J]. Journal of Zhangkai Agrotechnical College, 1996(2): 93—97.
- [19] CLENDENNING K A, WRIGHT D E. Separation of Starch and Gluten: v Problems in Wheat Starch Manufactu[J]. Canadian Journal of Research, 2011, 28: 390—400.
- [20] ZHANG Y M, RUN-FANG H U, LIN G Q. A Preliminary Study on Contents of Soluble Sugars and Starch in Soybeans[J]. Fujian Journal of Agricultural Sciences, 2018, 33(6): 604—607.
- [21] ZHANG L, CAI X, TAO L, et al. Effects of Different Storage Conditions on Starch Content and Gelatinization Properties of Mung Bean[J]. Journal of Henan University of Technology, 2016, 37(5): 39—45.
- [22] GHASEMZADEH H. Contents: Starch-Stärke 3—4/2016[J]. Starch-Stärke, 2016, 68: 3—4.
- [23] NAKAMURA S, KATSURA J, KATO K, et al. Development of Formulae for Estimating Amylose Content and Resistant Starch Content Based on the Pasting Properties Measured by RVA of Japonica Polished Rice and Starch[J]. Journal of the Agricultural Chemical Society of Japan, 2015, 80(2): 329—340.
- [24] 董贝贝. 八种淀粉糊化和流变特性及其与凝胶特性的关系[D]. 西安: 陕西科技大学, 2017: 7.
DONG Bei-bei. Gelatinization and Rheological Properties of Eight Kinds of Starch and Their Relationship with Gel Properties[D]. Xi'an: Shanxi University of Science and Technology, 2017: 7.
- [25] 杨红丹. 杂豆粉及其淀粉理化性质与功能特性研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2011: 2.
YANG Hong-dan. Study on Physicochemical Properties and Functional Properties of Miscellaneous Bean Powder and its Starch[D]. Yangling: Northwest Agriculture and Forestry University, 2011: 2.
- [26] NO J, SHIN M. Textural Properties of Mung Bean Starch Gels Prepared from Whole Seeds[J]. Food Science & Biotechnology, 2016, 25(3): 729—734.
- [27] 余世锋, 刘金玲, 李冬秋, 等. 红小豆和红花豆淀粉热性质及回生性质的比较[J]. 食品工业, 2016(6): 60—63.
YU Shi-feng, LIU Jin-ling, LI Dong-qiu, et al. Comparison of Thermal and Retrogenic Properties of Starch from Red Adzuki Bean and Safflower Bean[J]. Food Industry, 2016(6): 60—63.
- [28] ITURRIAGA L B, MISHIMA B L D, AÑON M C. A Study of the Retrogradation Process in Five Argentine Rice Starches[J]. LWT-food Science and Technology, 2010, 43(4): 670—674.
- [29] 黄倩, 高金梅, 郭洪梅, 等. 3种杂豆淀粉回生过程的理化特性研究[J]. 食品研究与开发, 2017, 38(10): 22—27.
HUANG Qian, GAO Jin-mei, GUO Hong-mei, et al. Study on the Physicochemical Characteristics of Starch Regeneration Process of Three Kinds of Miscellaneous Beans[J]. Food Research and Development, 2017, 38(10): 22—27.
- [30] FU Z Q, WANG L J, LI D, et al. The Effect of Partial Gelatinization of Corn Starch on Its Retrogradation[J]. Carbohydr Polym, 2013, 97(2): 512—517.
- [31] 吴磊, 石英, 高群玉. 淀粉凝沉的机理与抑制方法[J]. 食品研究与开发, 2008, 29(8): 170—174.
WU Lei, SHI Ying, GAO Qun-yu. Mechanism and Inhibition of Starch Sedimentation[J]. Food Research and Development, 2008, 29(8): 170—174.
- [32] 郭神旺. 甘肃四种杂豆淀粉理化特性分析与应用[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2012: 4.
GUO Shen-wang. Analysis and Application of Physicochemical Properties of Four Kinds of Mixed Bean Starch in Gansu[D]. Yangling: Northwest Agricultural and Forestry University, 2012: 4.
- [33] 刘瑞, 冯佰利, 晁桂梅, 等. 苦荞淀粉颗粒及淀粉糊性质研究[J]. 中国粮油学报, 2014, 29(12): 31—36.
LIU Rui, FENG Bai-li, CHAO Gui-mei, et al. Study on

- Starch Particles and Paste Properties of Tartary Buckwheat[J]. Chinese Journal of Cereals and Oils, 2014, 29(12): 31—36.
- [34] 于淑艳, 吴琼, 陈星, 等. 油莎豆淀粉理化性质的研究[J]. 食品科技, 2011, 36(3): 245—248.
YU Shu-yan, WU Qiong, CHEN Xin, et al. Study on Physicochemical Properties of Osha Bean Starch[J]. Food Science and Technology, 2011, 36(3): 245—248.
- [35] 王鹏, 田晓琳, 李文浩, 等. 脱脂对 3 种豆类淀粉理化性质的影响[J]. 中国粮油学报, 2015, 30(5): 34—40.
WANG Peng, TIAN Xiao-lin, LI Wen-hao, et al. Effects of Degreasing on Physicochemical Properties of Three Kinds of Bean Starch[J]. Chinese Journal of Cereals and Oils, 2015, 30(5): 34—40.
- [36] 李强双. 芸豆淀粉的提取、理化性质及应用研究[D]. 大庆: 黑龙江八一农垦大学, 2013: 3—4.
LI Qiang-shuang. Extraction, Physicochemical Properties and Application of Kidney Bean Starch[D]. Daqing: Heilongjiang Bayi Agricultural University, 2013: 3—4.
- [37] 杨伟军. 变性淀粉在食品工业中的应用现状与研究进展[J]. 大众科技, 2016, 18(6): 39—42.
YANG Wei-jun. Application Status and Research Progress of Modified Starch in Food Industry[J]. Popular Science and Technology, 2016, 18(6): 39—42.
- [38] 陈景鑫, 孙蕊, 马赛楠. 变性淀粉在食品中的应用研究综述[J]. 江苏调味副食品, 2016(2): 4—5.
CHEN Jing-xin, SUN Rui, MA Sai-nan. Review on the Application of Modified Starch in Food[J]. Jiangsu Flavoured Food, 2016(2): 4—5.
- [39] 王怡, 陈祖琴, 李萍, 等. 抗性淀粉的制备、生理功能及应用[J]. 食品工业科技, 2017, 38(2): 396—400.
WANG Yi, CHEN Zu-qin, LI Ping, et al. Preparation, Physiological Function and Application of Resistant Starch[J]. Science and Technology of Food Industry, 2017, 38(2): 396—400.
- [40] LUHOVYY B L, MOLLARD R C, YURCHENKO S, et al. The Effects of Whole Grain High-amylose Maize Flour as a Source of Resistant Starch on Blood Glucose, Satiety, and Food Intake in Young Men[J]. Journal of Food Science, 2014, 79(12): 2550—2556.
- [41] 郑云云, 周红玲, 张帅, 等. 抗性淀粉的研究现状及展望[J]. 农产品加工, 2016(20): 61—62.
ZHENG Yun-yun, ZHOU Hong-ling, ZHANG Shuai, et al. Research Status and Prospect of Resistant Starch[J]. Agricultural Processing, 2016(20): 61—62.
- [42] 李辰, 李坚斌, 聂卉. 抗性淀粉及其在食品工业中的应用[J]. 中国粮油学报, 2017, 32(1): 141—146.
LI Chen, LI Jian-bin, NIE Hui. Resistant Starch and its Application in Food Industry[J]. Chinese Journal of Cereals and Oils, 2017, 32(1): 141—146.
- [43] HIGGINS J A. Resistant Starch and Energy Balance: Impact on Weight Loss and Maintenance[J]. Crit Rev Food Sci Nutr, 2014, 54(9): 1158—1166.
- [44] 田海娟. 绿豆淀粉开发及其应用前景[J]. 吉林工商学院学报, 2011(5): 84—86.
TIAN Hai-juan. Development and Application Prospect of Mung Bean Starch[J]. Journal of Jilin Institute of Technology, 2011(5): 84—86.
- [45] 徐鑫, 于明, 毛红艳, 等. 压热法制备鹰嘴豆抗性淀粉的研究[J]. 新疆农业科学, 2016, 53(12): 2250—2257.
XU Xin, YU Ming, MAO Hong-yan, et al. Preparation of Chickpea Resistant Starch by Heat Compression[J]. Xinjiang Agricultural Science, 2016, 53(12): 2250—2257.
- [46] 郭婷, 汪丽萍, 谭斌. 杂豆淀粉研究进展[J]. 粮油食品科技, 2013, 21(5): 19—22.
GUO Ting, WANG Li-ping, TAN Bin. Research Progress of Mixed Bean Starch[J]. Food Science and Technology, 2013, 21(5): 19—22.
- [47] 毛迪锐, 岳云蛟. 绿豆淀粉模拟脂肪在低脂灌肠中的应用[J]. 食品与机械, 2011, 27(4): 149—151.
MAO Di-rui, YUE Yun-jiao. Application of Mung Bean Starch Simulated Fat in Low-fat Enema[J]. Food and Machinery, 2011, 27(4): 149—151.
- [48] OVANDO-MARTÍNEZ M, BELLO-PÉREZ L A, WHITNEY K, et al. Starch Characteristics of Bean (*Phaseolus Vulgaris* L) Grown in Different Localities[J]. Carbohydrate Polymers, 2011, 85(1): 54—64.
- [49] 姬娜, 熊柳, 卜祥辉, 等. 可食性绿豆淀粉膜制作工艺的研究[J]. 中国粮油学报, 2012, 27(1): 103—106.
JI Na, XIONG Liu, BU Xiang-hui, et al. Production Technology of Edible Mung Bean Starch Film[J]. Chinese Journal of Cereals and Oils, 2012, 27(1): 103—106.
- [50] 苏明慧, 吕晗晶, 金昌盛, 等. 豌豆淀粉膜的制备与应用[J]. 浙江农业科学, 2016, 1(9): 1511—1514.
SU Ming-hui, LYU Han-jing, JIN Chang-sheng, et al. Preparation and Application of Starch Film in Pea[J]. Zhejiang Agricultural Science, 2016, 1(9): 1511—1514.
- [51] 陈景鑫, 孙蕊, 马赛楠, 等. 变性淀粉在食品中的应用研究综述[J]. 江苏调味副食品, 2016(2): 4—5.
CHEN Jing-xin, SUN Rui, MA Sai-nan, et al. Review on Application of Modified Starch in Food[J]. Jiangsu Flavoured Non-staple Food, 2016(2): 4—5.
- [52] 张志健, 刘轲, 张东, 等. 豆薯淀粉的特性研究[J]. 中国食品添加剂, 2014(8): 139—145.
ZHANG Zhi-jian, LIU Ke, ZHANG Dong, et al. Characteristics of Potato Starch[J]. China Food Additive, 2014(8): 139—145.
- [53] DU Shuang-kui, JIANG Hong-xin, AI Yong-feng, et al. Physicochemical Properties and Digestibility of Common Bean (*Phaseolus Vulgaris* L) Starches[J]. Carbohydrate Polymers, 2014, 108: 200—205.