酸热加工对焦糊精结构和理化性质的影响研究进展

李洪岩， 毛慧佳， 周梦莎， 翟雪扬， 范浩然， 王 静*

（北京工商大学 食品与健康学院，北京 100048）

摘要： 抗性糊精是抗消化、低热量的膳食纤维，具有降低血糖血脂、改善肠胃功能、促进益生菌增殖等功效。焦糊精是制备抗性糊精中的关键中间产物，也是产生抗性的主要来源，制备焦糊精的过程会产生很多新的不被人体消化酶降解的糖苷键，从而赋予焦糊精和抗性糊精“抗消化性”。作者从焦糊精的制备、分子结构、理化特性、主要应用及未来发展趋势进行综述，以期能促进焦糊精行业的可持续健康发展。

关键词： 淀粉；焦糊精；焙烤；难消化性；分支结构

中图分类号：TS 23 **文章编号：**1673-1689(2022)11-0022-09 **DOI：**10.3969/j.issn. 1673-1689.2022.11.003

Research Progress in Pyrodextrin-The Effect of Pyroconversion on the Structure and Physicochemical Properties of Starch

LI Hongyan， *MAO Huijia*， *ZHOU Mengsha*， *ZHAI xueyang*， *FAN Haoran*， *WANG Jing**

(School of Food and Health, Beijing Technology & Business University, 100048 Beijing, China)

Abstract: Resistant dextrin is an anti-digestion, low-calorie dietary fiber, effectively lowering blood sugar and blood lipids, preventing the rise of blood sugar, improving gastrointestinal function, and promoting probiotic proliferation. Pyrodextrin is the key intermediate product during the preparation of resistant dextrin, and it is also the major source of resistance. During the preparation, many new glycoside bonds are generated, which could not be degraded by human digestive enzymes, producing the 'anti-digestibility' of pyrodextrin and resistant dextrin. In this paper, the preparation, molecular structure, physicochemical properties, current main applications and future application development trends of pyrodextrin are reviewed in order to promote the sustainable and healthy development of the pyrodextrin industry.

Keywords: starch, pyrodextrin, thermal treatment, indigestibility, branching structure

收稿日期： 2020-03-14

基金项目： 国家自然科学基金资助项目(31901729，32172236)。

作者简介： 李洪岩(1986—)，男，博士，副教授，硕士研究生导师，主要从事淀粉的构效关系与利用方面的研究。E-mail：hongyan.li@btbu.edu.cn

* **通信作者：** 王 静(1976—)，女，博士，教授，博士研究生导师，主要从事全谷物营养与加工方面的研究。E-mail：wangjing@th.btbu.edu.cn

膳食纤维是除碳水化合物、蛋白质、脂肪、维他命、矿物质、水之外的“第七类营养成分”，具有改善人体肠胃功能、调节血糖和脂肪代谢等生理功能。为了满足消费者对健康加工食品的需求，食品工业需要在产品中添加膳食纤维。

低分子水溶性膳食纤维具有溶解性良好、黏度低等特点，添加到食品中可以加快人体对食品中营养素的吸收和利用[1]。抗性糊精又名难消化糊精，是天然淀粉经热处理或酸热处理制得焦糊精，焦糊精经过调乳、加淀粉酶、糖化酶进行酶解后，再经灭酶、活性炭吸附脱色、喷雾干燥等步骤去除可消化降解的部分，得到抗性成分含量较高的降解产物。作为一种淀粉衍生产品，它具有黏度低、不易吸收的特点，属于一种低分子水溶性膳食纤维。与天然淀粉相比，抗性糊精分支结构更为复杂，不易老化，稳定性强，长时间在水溶液中也不产生沉淀[2-3]。抗性糊精因新的不易被消化酶水解的糖苷键的生成而具有降低血糖血脂、改善肠胃功能、促进体内益生菌增殖、预防疾病等生理功能，2012 年被中国卫生部批准为普通食品，可以添加于各种食品中并且没有使用量的限制[4]。因此，抗性糊精作为一种膳食纤维发挥各种生理作用，在食品工业中具有良好的应用前景。

焦糊精是抗性糊精制备过程中的一种中间产物，通常是用含酸或不含酸的淀粉加热制成。研究表明，抗性糊精中“抗性”成分的产生主要发生在焦糊精的制备阶段，即抗性糊精“抗性”成分的基础结构是在焦糊精的制备过程中产生的，抗性糊精的抗性成分完全来源于焦糊精。焦糊精是由天然淀粉经过热转化或酸热转化制备得到的呈高度支链结构的初级降解产物，具有溶解性高、黏度低、无异味及良好酸热稳定性等特点，其中含有多种不被人体 α-淀粉酶和糖化酶降解的糖苷键，是一种对人体有益的水溶性膳食纤维[5]。焦糊精并不是一个特定的物质，而是一类含义广泛且不包括单糖、低聚糖的物质[6]。

利用干热法使淀粉降解所得的产物称为热解糊精，分为白糊精、黄糊精和英国胶，主要用于胶粘剂、表层涂料、包埋剂等方面，它们的区别主要在于前处理方式不同。目前关于焦糊精种类的区分并不精确，并且焦糊精的特性主要取决于其前处理工作，如焙烤温度、焙烤时间、酸的种类等条件。

焦糊精制备过程中主要发生 3 种化学反应：水解、转糖苷化和再聚合。在焦糊精的水解转化过程中，天然淀粉在酸的催化下被水解成单糖、双糖、低聚糖以及小分子糊精，导致溶解度增加，黏度和相对分子质量降低。转糖苷作用发生在高温焙烤后，水解的片段与附近的游离羟基重新结合，形成分支结构，主要表现为 β-淀粉酶水解率的下降。粘度的增加和还原糖含量的降低证明了再聚合反应的发生。在此过程中，之前降解生成的小分子重新聚合，有可能生成新的糖苷键，正是这些新糖苷键构成了焦糊精复杂的分支结构[7-9]。焦糊精的分支结构是抵抗消化酶和作为膳食纤维对人类健康有潜在益处的原因。

有关焦糊精的研究最早在 1804 年，是作为阿拉伯胶的替代品用于食品中。20 世纪 80 年代，日本松谷化学工业株式会社的 Ohkurna 等人用质量分数 1.0%的盐酸溶液(HCl)在 120~200 ℃时处理淀粉，采用酸热法制取焦糊精，纯化分离得到抗性糊精，并申请了专利，所得产品被日本政府认定为特定保健用食品原料[8]。1996 年顾正彪等人研究了在盐酸催化下，不同酸热条件对焙烤过程中淀粉分子降解和糖基转移的影响[9]。2003 年，研究者发现制备焦糊精产物的原料不同，焦糊精的相对分子质量大小及其抗性成分含量也随之变化[10]。2005 年，El-Sayed ESA 等人将焦糊精加入到纸浆中，研究表明焦糊精作为湿部添加剂和填料助流剂可以改善纸张的机械性能[11]。2016 年，利用核磁共振技术研究了焦糊精在 170 ℃下糖苷键的形成及变化规律[12]。2017 年，以木薯淀粉为原料制备了焦糊精和抗性糊精，研究了颜色、溶解度、DE 值(Dextrose Equivalents)、抗消化淀粉含量等特性[13]。2018 年，研究了不同焙烤时间下制备焦糊精的溶解度、相对分子质量及回生特性的差异等[14]；Lin 等人利用醋酸作为玉米淀粉水解的催化剂，研究了不同酸浓度对焦糊精的颜色、形态、溶解性、相对分子质量及还原糖含量等的影响[15]。作者就焦糊精的制备方法、分子结构、理化特性、生理功效及功能应用等方面进行了归纳和介绍。

1 焦糊精的制备

目前制备焦糊精的方法主要有两种：干热法和酸热法。干热法是制备焦糊精的常用方法，具有简

便、节能、安全,具有无毒、无有害副产物的特点,同时成本较低,绿色无污染[16]。干热法制备的焦糊精被广泛应用于糖果、糕点等食品的可食用薄膜等方面。酸热法主要是应用有机酸如乙酸和无机酸如盐酸作为催化剂,提高反应效率,增加抗性成分含量,提升产品纯度[17]。

1.1 干热法制备焦糊精

到目前为止,许多文献报道了不同工艺制备的焦糊精的理化特性和分子结构。干热制备焦糊精的主要生产流程见图 1。

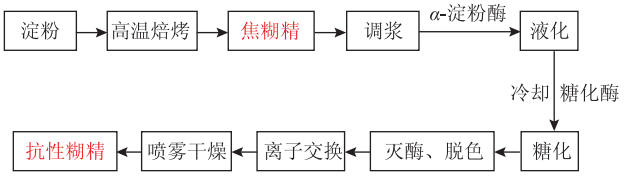


图 1 干热法制备焦糊精及抗性糊精流程图

Fig. 1 Flow chart of pyrodextrin and resistance dextrin prepared by dry heat method

干热处理是指在水分质量分数小于 10%、温度大于 100 ℃的情况下加热数小时,从而获得焦糊精的一种方法。以玉米淀粉为例,称取适量玉米淀粉,在适宜焙烤温度下于马弗炉中焙烤,然后装入密封袋中,静置 12 h 后放入干燥器中保存备用,即可得到干热法制备的焦糊精。

焦糊精在热处理作用下,天然淀粉分子首先降解产生一些单糖、双糖、低聚糖及小分子糊精,然后经高温焙烤过程,淀粉分子内的还原性葡萄糖端基发生分子内脱水或是葡萄糖残基解离并转移到任意羟基上,在高温作用下,降解的小分子发生重聚反应,使得淀粉结构中含有除了糊精化过程中没有参与反应而被保留的 α-1,4 和 α-1,6 糖苷键外,还可能生成 α-1,2、β-1,2 和 α-1,3、β-1,3 糖苷键等不能或很难被 α-淀粉酶和糖化酶降解的分支结构。这些难以被酶降解的分支结构是焦糊精抗消化性能的原因,焦糊精的多种生理功能来源于此。

1.2 酸加热处理制备焦糊精

酸加热法制备焦糊精是目前最常见的方法,可以提高反应效率和产物纯度。主要是以有机酸或者无机酸作为催化剂,使淀粉大分子发生降解生成更多的小分子,再经过高温焙烤,这些小分子在高温的作用下发生转糖苷和再聚合反应,在该过程中可能会有新的糖苷键生成[17],这些新糖苷键是抗性糊精和焦糊精产生“抗性”的来源。

利用乙酸或盐酸作为催化剂进行酸加热处理制备焦糊精,主要生产流程见图 2。

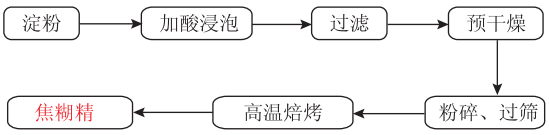


图 2 酸加热法制备焦糊精流程图

Fig. 2 Flow chart of pyrodextrin prepared by acid heating method

酸加热法制备焦糊精的一般生产工艺过程为:将淀粉加入一定浓度的酸溶液中,进行浸泡搅拌。将溶液过滤后进行预干燥、粉碎,之后在高温下进行焙烤,使淀粉在酸热条件下分解,即可得到焦糊精。

2 焦糊精的分子结构

随着对焦糊精的结构、理化性质和加工条件的研究,焦糊精的分子尺寸和链长分布保持高度支化和复杂化,而更精细的结构,如结晶和颗粒结构,在热解转化期间被保留,但结构变化的机制仍有待进一步研究,见图 3。

2.1 相对分子质量测定

早在 2003 年 Laurentin 等就将广泛使用的玉米淀粉焦糊精化方法应用于扁豆、高粱、椰子和木薯淀粉,发现相对分子质量分布和难消化部分的含量因淀粉来源而异[10]。随后在 2014 年有研究指出,随着加热时间的增加,焦糊精的分子尺寸以及淀粉的晶体尺寸降低[7]。在相同条件下,Han 等人发现淀粉分子在糊精化过程中被酸和热水解,糯玉米淀粉的相对分子质量在转化开始 0.5~1 h 时迅速下降,1 h 后变化减缓,平均相对分子质量约在 4.9×10^4~2.0×10^5[14]。

目前,凝胶渗透色谱法(SEC)是测定淀粉分子尺寸的最优办法。根据分子半径的大小,将淀粉分为直链淀粉和支链淀粉。2021 年 Mao 等人指出,随着焙烤温度的升高或是热解时间的延长,样品分布曲线的最高峰逐渐向小分子区域偏移,大分子区域减少,焦糊精的尺寸分布明显减小[18]。即热解温度、加热时间以及是否加酸都会对焦糊精的相对分子质量分布产生重要影响。随着热解温度的提高、加热时间的延长或是酸的加入,焦糊精的相对分子质量下降,分子半径以及尺寸分布减小。

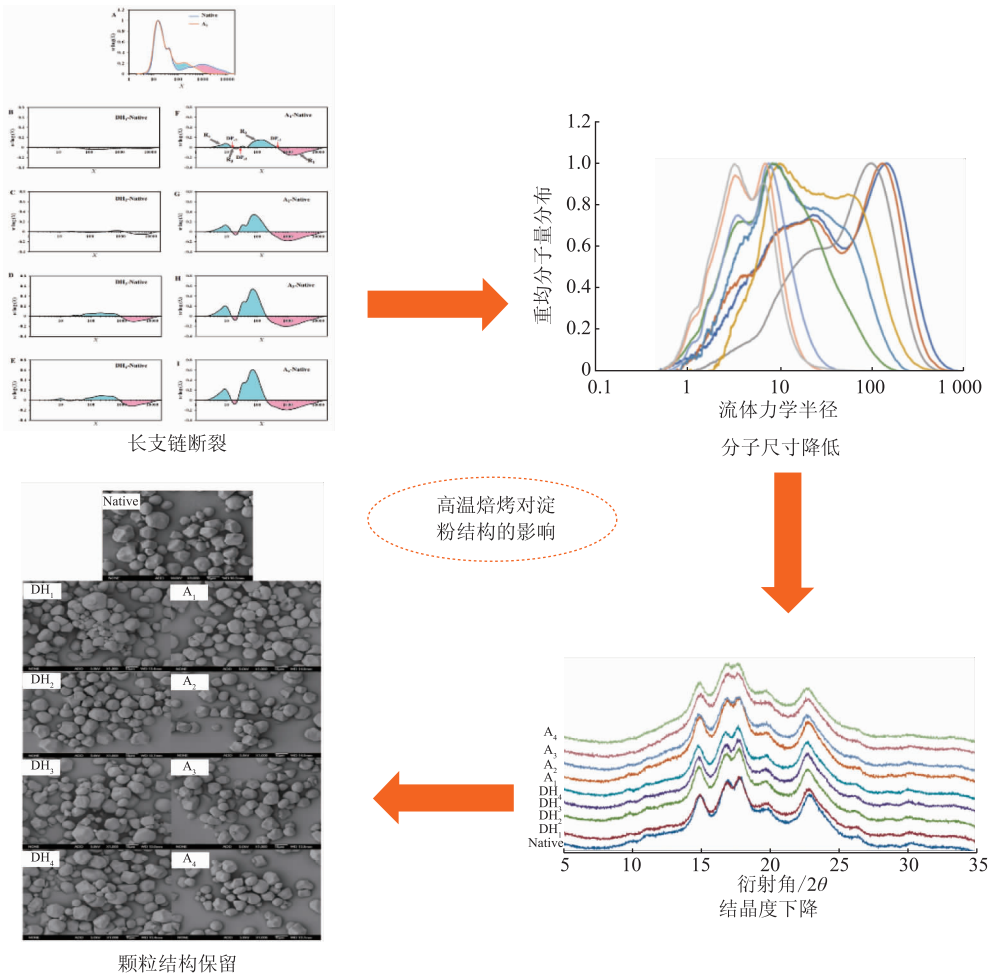


图 3　高温焙烤对淀粉结构的影响

Fig. 3　Effects of high temperature baking on starch structure

此外，焦糊精的相对分子质量低于天然淀粉。与原淀粉相比,干热法焦糊精的分子平均半径显著降低,尤其是焙烤温度达到 180 ℃时,分子半径会显著下降。在超高温条件下长淀粉链可能会发生降解,导致整体分子尺寸分布变得更宽,生成更多的小分子[18]。经过酸加热获得的焦糊精的平均分子半径和尺寸分布小于通过干加热获得的焦糊精的平均分子半径和尺寸分布。

2.2　链长分布

天然淀粉主要包含 2 种典型的的生物大分子:支链淀粉和直链淀粉,通常支链淀粉被认为是淀粉的主要成分。淀粉链长以聚合度 X 表示,将 $X \leqslant 100$ 的部分定义为支链淀粉,将 $100<X \leqslant 10\ 000$ 的部分定义为直链淀粉,而焦糊精样品显示出不规则的大小分布[19]。

2017 年 Yang 等人研究了糯玉米淀粉的链长分布在微波辐射下的变化。结果表明,微波辐照后,淀粉外链含量随微波辐照时间的延长而显著降低,且由于长的微波辐照时间产生的高微波辐照能量更易破坏糯玉米淀粉紧密结晶区,辐照时间越长外链含量降低越明显[20]。在 2019 年有研究指出焦糊精水解产物的相对分子质量更低、链长更短,经过高温热处理后较短的支链发生缔合作用作用,生成抗性成分[21]。

根据前期研究可知,焙烤温度以及热解时间对淀粉的链长分布有较大影响,而酸作为催化剂对于链长分布影响较小。无论加酸与否,与支链淀粉链长分布相比,短、中、长直链淀粉部分差异更显著[23]。在热解条件下,支链淀粉分布区域与淀粉链长分布的特征峰相似,即为典型的双峰,但峰面积有所差异。随着焙烤温度的升高,在淀粉分子的热解过程中,焦糊精的长直链部分数量降低至0,中直链淀粉

数量减少,短直链分子数量增多。即淀粉经过热处理后长链分子发生断裂,数量降低,此时短链间发生重聚合反应,长支链分子数量增加。

3 焦糊精的理化特性

研究表明,焦糊精的结构和性质受原料特性、热解温度、热解时间、酸性催化剂种类和浓度等因素的影响。

3.1 颜色和表面形貌

与天然蜡质玉米淀粉相比,焦糊精呈乳脂状和淡黄色。盐酸浓度、加热温度和时间的增加会导致焦糊精颜色变深。颜色变深可能是由于形成了焦炭或含羰基的低相对分子质量化合物。焦糊精作为一种食品配料,预期颜色较浅。然而,生产所需颜色和黏度的可溶性焦糊精相当有挑战性。酸催化剂的类型、酸的均匀性等也会影响焦糊精的颜色[22-24]。局部酸解可能导致焦炭的形成,从而导致较深颜色的焦糊精。因此,在焦糊精生产过程中,应考虑反应时间、温度、酸浓度、酸类型以及酸的混合,以尽量减少有色物质的形成。

热解转化没有改变淀粉的颗粒表面形态。天然淀粉颗粒完整,表面光滑,无明显孔洞或裂隙,且淀粉颗粒间分布较为松散。淀粉的颗粒结构在热加工过程中没有被破坏,仍然保持完整的淀粉形状和外观[18]。但是随着焙烤温度的升高,这些淀粉颗粒进一步聚集形成大团块,发生团聚现象。这一现象产生的原因可能是因为高温加热下水分减少,颗粒间发生连接。由于扫描电子显微镜只能粗略地观察淀粉颗粒的表面形貌,因而推测热处理对淀粉颗粒的表面形貌影响较小,对淀粉颗粒的内部结构影响较大,还需要进一步的探索和分析玉米淀粉的内部结构变化。

3.2 结晶度

Zhou 等研究发现大米淀粉样品显示出典型的 A 型衍射图,干热处理后淀粉样品仍然保留 A 型结晶结构。但由于干热处理期间淀粉微晶被破坏或微晶取向发生变化,相对结晶度降低[25]。这与 Li 等人的研究结果相似[26],即天然淀粉经过干热处理后晶型没有发生变化,但与原淀粉相比,结晶度却显著下降。

在酸热条件下,淀粉经过酸热处理后结晶区遭到破坏,随着焙烤温度的升高焦糊精的结晶度逐渐减小,且温度越高,破坏程度越严重[7]。但焙烤温度即使达到 200 ℃也不能完全破坏焦糊精的结晶结构。同时干热法焦糊精的结晶度大于与之对应的酸热法焦糊精,猜测可能是由于在热转化过程中 H^+能够渗入结晶层,从而对淀粉的结晶结构产生了更大的破坏作用[26]。

3.3 溶解度

焦糊精的溶解度受酸浓度、焙烤温度和焙烤时间等反应条件的影响。Lin 等人认为在糊精化过程中酸是促进淀粉水解的重要催化剂,更高的酸度有利于淀粉水解。并且在较高转化温度的情况下,乙酸可以代替盐酸作为焦糊精的催化剂[15]。此外,较高的加热温度或较长的加热时间也可以增加焦糊精的溶解度[15]。天然淀粉很难溶解,而焦糊精的溶解度随着加热温度的升高而增加,尤其是当温度达到 180 ℃时,溶解度值大于 90%。研究发现,增加盐酸浓度、反应温度和反应时间可以显著促进淀粉水解,直到焦糊精的溶解度达到 100%[27]。与此同时,焦糊精的分子尺寸越小,溶解度越高。

3.4 黏度特性

研究表明,干热法焦糊精的峰值黏度、低谷黏度、终值黏度等都随着焙烤温度的升高而降低。峰值黏度代表着淀粉颗粒膨胀的极限值,它反映了淀粉颗粒的吸水能力,其降低的原因可能是因为淀粉分子尺寸的减小;终值黏度的降低则表明形成凝胶的能力下降。随着焙烤温度的升高,干热法焦糊精抗剪切性能力增大,老化能力降低,凝胶稳定性增强[28]。

与原淀粉相比,酸热条件下制备的焦糊精在相同的浓度下黏度很低。可能是由于相对分子质量的降解及结晶区的破坏,使得淀粉在热转化过程中膨胀能力遭到破坏,导致黏度极低。同时样品的糊化曲线较为平缓,不具有淀粉糊化特性曲线的典型特征,表明其不易老化的特性。此外,与天然淀粉凝胶相比,焦糊精的黏度几乎可以忽略不计,这表明焦糊精溶液几乎是牛顿流体,此时焦糊精的相对分子质量非常低[29]。

4 焦糊精的健康功效

近年来,研究者通过动物实验、临床试验等证明了焦糊精具有降血糖、调节肠道菌群、抗消化性等功能,见图 4。

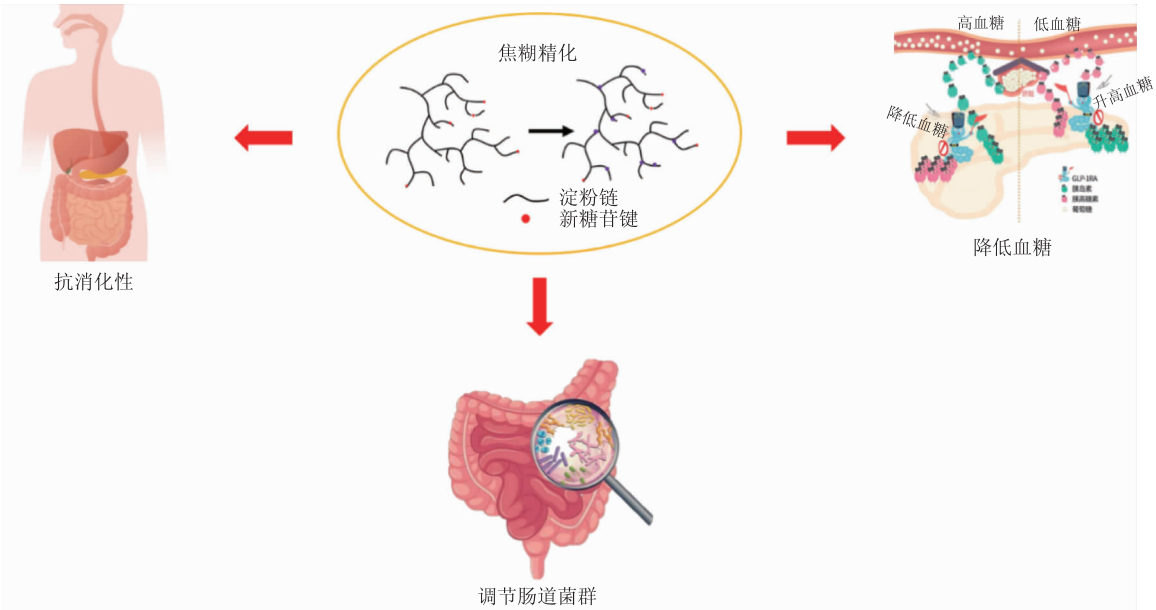


图 4　焦糊精的健康功效

Fig. 4　Health benefits of pyrodextrin

4.1　调节肠道菌群

焦糊精由淀粉经热处理制备而成,具有抗淀粉酶的特性。Zhu 等[30]人用断奶仔猪作为研究对象,用添加焦糊精的饲料喂养,经焦糊精处理后仔猪粪便中拟杆菌门和厚壁菌门均增加,相较于对照组而言猪粪便中微生物区系的多样性和均匀性都有所提高。此外,焦糊精还可以增加肠道中的短链脂肪酸(SCFA)浓度。饲粮中添加焦糊精可有效缓解仔猪断奶应激,提高血清抗氧化能力和肠道内容物中有机酸的浓度。

此外有研究者做了人体实验研究,研究焦糊精在体外发酵人体肠道细菌的影响,通过测定焦糊精不可消化部分的发酵能力发现,其有助于增加人体肠道菌群中双歧杆菌的数量[31]。双歧杆菌通过抑制腐败细菌的生长来抑制肠道腐败产物的产生,因此焦糊精的应用可以在一定程度上改善人类肠道健康。

4.2　抗消化性能

Chen 等人研究表明, 天然玉米淀粉糊化后,抗性成分含量逐渐增加,缓慢可消化成分和快速可消化成分含量下降[32]。随着制备条件的提高,焦糊精的抗性成分含量显著提高。焦糊精的抗性成分含量与糊精化过程中新糖苷键的形成高度相关。这些新形成的糖苷键对消化酶具有抗性,并且由于空间位阻阻断了酶的作用,从而使得焦糊精的体外消化率极低。

4.3　降低血糖

高血糖是目前广泛存在的健康问题,血糖过高会诱发各类疾病。曹燕等人做了焦糖糊精对肥胖小鼠的降糖作用实验。通过测定血清糖化血红蛋白、甘油三酯、脂肪细胞大小和体重发现,焦糊精的服用减慢了葡萄糖从肠道进入血液的运输,并暂时改善了肝脏代谢。对其机理研究表明,口服焦糊精可降低肠道中葡萄糖转运体的表达从而减缓葡萄糖从肠道进入血液的运输,为开发焦糖糊精作为治疗肥胖和糖尿病的功能性食品和膳食补充剂提供了重要信息[33]。

5　焦糊精的应用

5.1　在抗性糊精中的应用

抗性糊精是一种低分子水溶性膳食纤维,具有降低血糖、血脂、增强肠胃蠕动、减肥瘦身等功效,通过对淀粉进行酸热、酶解等方法进行制备。抗性糊精早年是由日本松谷化学工业株式会社通过酸热法将淀粉分解成焦糊精,再用 α–淀粉酶和糖化酶将焦糊精水解,通过脱色、脱盐、浓缩等精制而成的一类可溶性膳食纤维。作为制备抗性糊精的中间产物,焦糊精的最主要应用为生产抗性糊精。研究表明,抗性糊精的含量与原淀粉的来源以及反应条件密切相关,同还受到催化剂种类、浓度的影响[34]。

5.2 在乳制品中的应用

奶酪是一种应用广泛的风味乳制品,可单独食用或作为菜品辅料。J·海基斯 等研究了利用焦糊精使奶酪改性, 与未添加改性焦糊精的奶酪产品相比,当添加量小于 10%时,奶酪产品具有类似的熔融、硬度和拉伸特征。此项研究为开拓奶酪市场,发展奶酪经济提供了坚实基础[35]。

5.3 在米面制品中的应用

淀粉类食品加工后在降温和储存过程中,淀粉分子在空间构象上重排,形成有序、稳定的凝胶结构,即淀粉老化或回生。这些会导致淀粉类食品品质的劣变,从而缩短淀粉类食品的货架期,降低消费者的可接受程度。Mao 等[18]人研究发现分子尺寸较小、分布较窄的焦糊精可显著抑制淀粉老化,尤其是聚合度在 24~400 的焦糊精, 可以显著降低玉米淀粉在贮藏过程中的崩解值、回复值、回生焓值和相对结晶度。Xu[36]等人的研究表明,相对分子质质量小的弹簧糊精可以通过抑制或改变直链淀粉-直链淀粉的相互作用来干扰直链淀粉或者支链淀粉的回生。

米面制品中含有较多的碳水化合物,但其膳食纤维的含量并不高,在各种米面制品中加入焦糊精可提高日常饮食中膳食纤维的摄入量。同时,常见的米面制品多为高升糖指数食品,作为一种水溶性的膳食纤维,与抗性糊精一样[37],将焦糊精加入到米面制作中,在提高米面制品的营养品质的同时可以辅助降低米面制品的升糖指数。用抗性糊精的保湿性,李方华等开发了低热量保健功能蛋糕,抗性糊精水分活度较低,在蛋糕中可以降低蛋糕整体的水分活度,从而使微生物活动减少,延长蛋糕保质期[38]。

5.4 在饮料中的应用

将水溶性膳食纤维应用在饮料中是很有创意的想法,饮用时既可以吸收各营养成分,又增强了饱腹感。焦糊精能够在冷水中溶解,在热和酸性环境下稳定,无特殊气味并具有较低的黏度,在饮料领域具有广阔的应用前景。目前,百事可乐、雀巢、农夫山泉等公司已推出了以添加抗性糊精来降低热量及增强膳食纤维的功能饮料或矿泉水,为焦糊精应用于功能饮料生产提供了参考[39]。

5.5 在酒类制品中的应用

抗性糊精溶解后可以显著降低其表面张力,可以改变米酒、红酒酒类感官性能,提升酒类口感和酒溶液稳定性。高粱酒作为一种无谷蛋白酒精饮品在一些地区很受欢迎, 但高粱酒中不含有啤酒花,在 pH 值接近 4 的时候综合乳酸菌的影响使得高粱酒与传统大麦啤酒在口感上有较大差异且产品黏度较低,风味保留时间短。Pamies 等人研究发现在高粱酒中添加经酸处理的焦糊精可以改善麦汁和啤酒的黏度,从而增加高粱酒的风味[40]。

5.6 在纸类产品中的应用

纸类作为社会发展的必需品近年来也在向低消耗原料迈进,以甘蔗渣、稻草等非木制品为原料的纸张在生产过程中亮度、平滑度均次于木制原料制成的纸张。现在广泛添加的粘土、滑石、碳酸钙等添加物会阻碍凝絮过程,这可能造成排水和粒子滞留问题。El-SAYED 等人的研究发现,在纸张生产过程中添加焦糊精可以提高纸张强度和填料的保留力[11]。

6 展 望

焦糊精是一类对人类有益的膳食纤维,其产品具有诸多有益的生理功效,具有相当可持续的商业价值和广阔的应用前景。目前现有的关于焦糊精的研究主要集中在其生产工艺以及功能应用等方面,但对焦糊精分子内部结构的解析以及对其结构和性质之间相关性的研究十分有限,有待我们进一步去探索和研究。根据焦糊精结构形成的分子机制,需继续开展焦糊精的应用研究,解析焦糊精的分子结构以及研究焦糊精的结构和性质之间的相关性,进一步推广焦糊精的应用领域和提高其潜在市场价值。

参考文献:

[1] 黄政,孙江文,徐勇,等. 抗性糊精的研究与应用进展[J]. 海南师范大学学报:自然科学版,2018,31(4):418-427.
[2] 尹月玲,张姝,王明珠,等. 抗性糊精的研究进展及市场现状[J]. 精细与专用化学品,2012,20(12):34-37.
[3] 陈磊. 功能淀粉糊精的制备及其应用研究[D]. 广州:华南理工大学,2014.

[4] 卫生部公布两种新资源食品[J]. 中国食品学报,2012,12(9):197.
[5] 苏会波,林海龙. 难消化糊精的研究进展[J]. 食品与生物技术学报,2014,33(1):1-7.
[6] 姚妙爱,周玉东. 马铃薯淀粉生产糊精的工艺参数研究[J]. 安徽农业科学,2011,39(31):19605-19606,19612.
[7] BAI Y J,CAI L M,DOUTCH J,et al. Structural changes from native waxy maize starch granules to cold-water-soluble pyrodextrin during thermal treatment[J]. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**,2014,62(18):4186-4194.
[8] 大隈一裕,西端丰秀. 水溶性膳食纤维 Fibersol-2[J]. 中国食品添加剂,2003(5):11-16.
[9] 顾正彪,王志强,谢春阳. 淀粉酸热转化过程研究[J]. 西部粮油科技,1996(3):43-45.
[10] LAURENTIN A,CARDWNAS M,RUALES J,et al. Preparation of indigestible pyrodextrins from different starch sources[J]. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**,2003,51(18):5510-5515.
[11] El-SAYED ESA,HESHAM MF,El-SAIED H. Preparation and utilisation of quaternised pyrodextrins in paper making[J]. **Pigment and Resin Technology**,2005,34(2):88-93.
[12] BAI Y J,SHI Y C. Chemical structures in pyrodextrin determined by nuclear magnetic resonance spectroscopy[J]. **Carbohydrate Polymers**,2016,151(1):426-433.
[13] TORAYA-AVILES R,SEGURA-CAMPOS M,CHEL-GUERRERO L,et al. Effects of pyroconversion and enzymatic hydrolysis on indigestible starch content and physicochemical properties of cassava(Manihot esculenta) starch[J]. **Starch–Stärke**,2017,69(5-6):1600267.
[14] HAN X X,KANG J,BAI Y J,et al. Structure of pyrodextrin in relation to its retrogradation properties[J]. **Food Chemistry**,2018,242:169-173.
[15] LIN C L,LIN J H,ZENG H M,et al. Indigestible pyrodextrins prepared from corn starch in the presence of glacial acetic acid[J]. **Carbohydrate Polymers**,2018,188,68-75.
[16] LIU K,HAO Y C,CHEN Y. Effects of dry heat treatment on the structure and physicochemical properties of waxy potato starch[J]. **International Journal of Biological Macromolecules**,2019,132:1044-1050.
[17] 徐佩琳. 酸热法和微波预处理 - 酶法制备山药抗性糊精及其特性研究[D]. 合肥:合肥工业大学,2018.
[18] MAO H J,LI J,CHEN Z J,et al. Molecular structure of different prepared pyrodextrins and the inhibitory effects on starch retrogradation[J]. **Food Research International**,2021,143(6):110305.
[19] LI H Y,WEN Y Y,WANG J,et al. Relations between chain-length distribution,molecular size,and amylose content of rice starches[J]. **International Journal of Biological Macromolecules**,2018,120:2017-2025.
[20] YANG Q Y,QI L,LUO Z G,et al. Effect of microwave irradiation on internal molecular structure and physical properties of waxy maize starch[J]. **Food Hydrocolloids**,2017,68:473-482.
[21] TRITHAVISUP K,KRUSONG K,TANANUWONG K. In-depth study of the changes in properties and molecular structure of cassava starch during resistant dextrin preparation[J]. **Food Chemistry**,2019,297:124996.
[22] UENO Y,IZUMI M,KATO K. Studies on pyrodextrinization of corn starch[J]. **Starch–Stärke**,1976,28(3):77-112.
[23] TERPSTRA K R,WOORTMAN A,HOPMAN J. Yellow dextrins:evaluating changes in structure and colour during processing[J]. **Starch–Starke**,2010,62(9):449-457.
[24] OROZCO-MARTINEZ T,BETANCUR-ANCOMNA D. Indigestible starch of *P. lunatus* obtained by pyroconversion:changes in physicochemical properties[J]. **Starch–Stärke**,2004,56(6):241-247.
[25] ZHOU W X,SONG J J,ZHANG B,et al. The impacts of particle size on starch structural characteristics and oil-binding ability of rice flour subjected to dry heating treatment[J]. **Carbohydrate Polymers**,2019,223:115053.
[26] LI H Y,JI J Y,YANG L,et al. Structural and physicochemical property changes during pyroconversion of native maize starch[J]. **Carbohydrate Polymers**,2020,245:116560.
[27] THANH-BLICHARZ J L,BLASZCZAK W,SZWENGIEL A,et al. Molecular and supermolecular structure of commercial pyrodextrins[J]. **Journal of Food Science**,2016,81(7-9):2135-2142.
[28] LEI N Y,CHAI S,XU M H,et al. Effect of dry heating treatment on multi-levels of structure and physicochemical properties of maize starch:a thermodynamic study[J]. **International Journal of Biological Macromolecules**,2020,147:109-116.
[29] KAPUSNIA K NEBESNY,E. Enzyme-resistant dextrins from potato starch for potential application in the beverage industry[J]. **Carbohydrate Polymers**,2017,172(15):152-158.

[30] ZHU L H,LIAO R R,TU W L,et al. Pyrodextrin enhances intestinal function through changing the intestinal microbiota composition and metabolism in early weaned piglets[J]. **Applied Microbiology and Biotechnology**,2020,104(4):4141-4154.
[31] HAVLIK J,MARINELLO V,GARDYNE A,et al. Dietary fibres differentially impact on the production of phenolic acids from rutin in an *in vitro* fermentation model of the human gut microbiota[J]. **Nutrients**,2020,12(6): 1-17.
[32] CHEN J P,XIAO J J,WANG Z Y,et al. Effects of reaction condition on glycosidic linkage structure,physical-chemical properties and *in vitro* digestibility of pyrodextrins prepared from native waxy maize starch[J]. **Food Chemistry**,2020,320: 126491.
[33] CAO Y,CHEN X L,SUN Y,et al. Hypoglycemic effects of pyrodextrins with different molecular weights and digestibilities in mice with diet-induced obesity[J]. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**,2018,66(11):2988-2995.
[34] SUN Z H,SHI J L,SHI Y C. Dissolution of waxy maize pyrodextrin granules in mixtures of glycerol and water,separating loss of crystallinity from loss of birefringence[J]. **Carbohydrate Polymers**,2022,281:119062.
[35] J·海基斯,J·克莱斯泽瓦斯基.添加了改性焦糊精的奶酪产品[P]. 中国专利:CN201680050214.7,2018-04-17.
[36] XU J,ZHAO W X,NING Y W,et al. Comparative study of spring dextrin impact on amylose retrogradation[J]. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**,2012,60(19):4970-4976.
[37] 彭辉,刘绍,黄染林,等. 抗性糊精饼干的研制及其血糖生成指数测定[J]. 食品安全质量检测学报,2020,11(21):7821-7828.
[38] 李方华,窦光明,杜倩,等. 抗性糊精在低热量蛋糕中代替蔗糖的应用研究[J]. 中国食品添加剂,2020,31(1):124-127.
[39] 潘旭琳,宋丽冉. 抗性糊精研究进展及应用现状[J]. 黑龙江八一农垦大学学报,2021,33(6):65-71.
[40] PAMIES L,ROVALETTI M,AMEZAGA N,et al. The impact of pirodextrin addition to improve physicochemical parameters of sorghum beer[J]. **LWT-Food Science and Technology**,2021,149:112040.

科　技　信　息

加拿大拟批准水飞蓟素作为食品补充成分

2022 年 10 月 7 日,加拿大卫生部发布 NOP/ADP SI-004 号文件,拟批准水飞蓟籽提取物水飞蓟素(Milk thistle seed extract (silymarin))作为食品补充成分,同时修订允许使用的补充成分清单。

本次意见征求日期截止至 2022 年 12 月 20 日。

[信息来源]江苏省技术性贸易措施信息平台.加拿大拟批准水飞蓟素作为食品补充成分[EB/OL]. (2022-10-8). http://www.tbtguide.com/c/mypt/gwxw/512706.jhtml