

庞 杰 主编



资源植物魔芋的功能活性成分



2.3



科学出版社

www.sciencep.com

资源植物魔芋的功能活性成分

庞 杰 主编

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书是一本全面而系统地介绍魔芋活性成分研究的专著,适应了当前研究的需要。内容主要包括:魔芋活性成分的理化和生物学性能、魔芋天然活性成分的分离提取、魔芋活性成分的应用研究。因此,本书可以说是从魔芋葡甘聚糖的结构、功能和用途及其在食品和化妆品等领域的应用来重新剖析魔芋成分研究的。

本书可作为相关领域本科生、研究生、教师学习的参考书,也可作为开发人员起指导作用,同时还能引导更多感兴趣的研究人员进入这一研究领域。

图书在版编目(CIP)数据

资源植物魔芋的功能活性成分/庞杰主编. —北京:科学出版社, 2008

ISBN 978-7-03-020079-2

I. 资… II. 庞… III. 魔芋-生物活性-化学成分-研究
IV. S632. 3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 028312 号

责任编辑:朱 丽 王国华 / 责任校对:桂伟利

责任印制:钱玉芬/封面设计:陈 敬

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>

铭浩彩色印装有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2008 年 3 月第 一 版 开本:A5 (890×1240)

2008 年 3 月第一次印刷 印张:5 1/4

印数:1—2 000 字数:194 000

定价:45.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈环伟〉)

《资源植物魔芋的功能活性成分》
编 委 会

主 编：庞 杰

副主编：李崇高 邓勋涛

编 委：陈伯南 张甫生 王梅英 庄 昱
温成荣 孙玉敬 陈青青 黄 丹
唐胜春 谢建华 李 斌

序

魔芋，别名磨芋，属天南星科多年生草本植物，全球有 163 个品种，主要分布在东南亚和非洲等地，美洲和欧洲目前还没有种植的记载。我国是魔芋的主产国，现有 21 个品种，主要分布在陕西、安徽、四川、云南、福建等地，从秦岭主脊越向南，分布的种越多。

我国关于魔芋的医用历史最早见于古籍《名医别录》，其中首载了“由跋”（即魔芋），当时已用作药物。唐《六臣注文选》中有：“刘渊林（刘逵之号）注曰：以蜜藏而食之，辛、香、温，调五脏……”明朝李时珍所著《本草纲目》介绍了魔芋作为中药的服用方法及其加工、烹调技术。

魔芋含有葡甘聚糖、生物碱、果胶、17 种人体所需的氨基酸和 10 种矿物质微量元素以及丰富的食物纤维，是生物界唯一含有大量葡甘聚糖的植物，对人类“富贵病”（如高血脂、高胆固醇、糖尿病、肥胖、便秘症等）具有防治作用，是中老年人理想的健康食品，深受世界保健食品市场的青睐。在日本，魔芋已成为“有席必备”的佳肴，被誉为“魔力食品”。魔芋的用途较为广泛，其粉既可以作为主料制成各种魔芋食品，也可以作为辅料添加到其他食品中，以改善其他食品的食用品质。此外，魔芋还可作为绿色无污染原料，用于化妆品、纺织业、建筑业、食用膜、均膜等领域。

魔芋适于山区栽培，在山区退耕还林过程中，是幼龄树间套作的良好护土作物，对保护生态与环境及帮助山区农民脱贫致富有着重要意义。

鉴于以上可知，魔芋有益于人类健康，有利于山区农民致富，有利于带动诸多产业的发展，有利于地方经济发展和国家创汇。科研人员已深入到对魔芋从分布栽培、品种到结构、性质、应用这样一个递进式研究中，取得的任何成果都倾注了一代又一代魔芋科学工作者的辛勤汗水。

作为后起之秀，庞杰自攻读博士学位至今，始终坚持对魔芋的研

究，在经过大量的试验研究工作后，组织完成了本书的编写。为了推动葡甘聚糖的研究工作向更高层次发展，10 多年来，他积极申请研究课题，主持国家自然科学基金项目“魔芋葡甘聚糖分子聚集体的氢键网络信息研究”（30371009）和福建省科技攻关计划重大项目（2003Y008），承接了福建省自然科学基金、福建省下达的以魔芋为研究对象的科研项目，并结合研究生培养工作，不懈地将工作向前推进。目前，他所进行的将计算机模拟技术应用于葡甘聚糖的研究属于国内外对葡甘聚糖研究的一项创新课题，达到了从不同角度对魔芋进行系统深入研究的目的。

中国科学院植物研究所

田世平

2007 年 3 月于香山

前 言

魔芋是一种含有功能性多糖的可食性植物，在中国的种植历史已有2000多年，但是相对其栽种历史而言，我国对魔芋的利用研究起步较晚。魔芋中的葡甘聚糖具有特殊的结构、理化性质和生物活性，使其能广泛应用于食品、医药、卫生、化工、石油、纺织、建筑等领域中。随着研究条件的不断改善和对魔芋基础研究的不断深入，魔芋的开发利用正朝着多元化的方向发展。魔芋的发展不仅成为山区农民致富的龙头产业之一，也成了重要的经济创汇点。

科研人员对魔芋的功能性多糖——葡甘聚糖做了大量的研究工作，为促进研究工作的发展，作者将自己的研究成果结合前人和国外的研究，编写成《资源植物魔芋的功能活性成分》一书。本书编写着重葡甘聚糖及生物碱成分，并兼顾其应用。

全书除在各章之后注明的引用文献外，其余均为作者的研究成果，由参加魔芋功能成分研究的成员分章编著，本人统一规范审校，修改补充。本人过去的学生及在魔芋界研究的同仁也为本书的编写做了大量工作，在此对他们们的热情支持表示由衷的感谢！

本书在编写过程中，得到了科学出版社的支持，朱丽老师做了大量的编审工作，谨此一并致谢。

由于魔芋科学研究和实践应用发展迅速及本人水平有限，本书难免存在疏漏与错误，敬请读者指正。

庞 杰

2007年3月于海峡西岸武夷山下

目 录

序

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 魔芋功能活性成分的概述	1
1.2 魔芋及其功能活性成分的发展简史	2
参考文献	3
第 2 章 魔芋功能活性成分性质	4
2.1 魔芋葡甘聚糖的理化性质	4
2.2 生物碱的性质	11
参考文献	12
第 3 章 魔芋葡甘聚糖结构研究	14
3.1 魔芋葡甘聚糖基础结构研究	14
3.2 魔芋葡甘聚糖聚集态结构研究	15
3.3 计算机模拟在魔芋葡甘聚糖结构研究中的应用	18
参考文献	39
第 4 章 魔芋功能活性成分的生物活性	41
4.1 魔芋葡甘聚糖的生物活性	41
4.2 魔芋葡甘聚糖的结构与生物活性的关系	46
4.3 魔芋葡甘聚糖活性研究的现状与展望	49
4.4 生物碱的生物活性	50
4.5 生物碱的研究现状与发展趋势	50
参考文献	51
第 5 章 魔芋天然活性物质的分离、纯化、鉴定	54
5.1 魔芋葡甘聚糖的分离、纯化、鉴定	54
5.2 魔芋生物碱的提取、纯化、鉴定	56
参考文献	62
第 6 章 魔芋葡甘聚糖改性研究	64

6.1 物理改性	64
6.2 化学改性	68
6.3 生物改性	80
6.4 魔芋葡甘聚糖改性的实例研究	81
参考文献	89
第7章 魔芋功能活性成分在食品工业中的应用研究	92
7.1 在仿生食品中的应用	92
7.2 在凝胶食品中的应用	94
7.3 作为添加剂在食品中的应用	97
7.4 在食品保鲜中的应用	99
7.5 魔芋葡甘聚糖膜的应用	104
参考文献	112
第8章 魔芋功能活性成分在医药中的应用研究	114
8.1 在药理和临床中的应用	114
8.2 在医药制剂中的应用	123
参考文献	126
第9章 魔芋功能活性成分在其他领域中的应用研究	128
9.1 在功能材料中的应用	128
9.2 在环境保护中的应用	132
9.3 在文物保护中的应用	138
9.4 在植物保护中的应用	146
参考文献	151

第 1 章 绪 论

1.1 魔芋功能活性成分的概述

魔芋中最主要的活性成分为魔芋葡甘聚糖 (KGM), 除此之外, 还有生物碱、淀粉、纤维素、半纤维素、蛋白质、氨基酸、可溶性糖、无机盐及一些特殊物质, 其中大部分成分存在于魔芋球茎中^[1,2]。本书关于魔芋功能性成分的介绍主要集中在魔芋葡甘聚糖和魔芋生物碱两方面, 并着重介绍魔芋葡甘聚糖, 其他活性成分并非魔芋所特有, 故暂不作介绍。

1.1.1 魔芋葡甘聚糖

存在于魔芋葡甘聚糖囊状异细胞中的魔芋葡甘聚糖分子式为 $(C_6H_{10}O_5)_n$, 是一种由 D-葡萄糖和 D-甘露糖按 2 : 3 或 1 : 1.6 物质的量比, 通过 β -1, 4-糖苷键和 β -1, 3-糖苷键等连接而成的天然多糖, 其含量通常为 44%~64% (白魔芋、花魔芋品种其含量可达 50%~65%)^[1,2]。在葡甘聚糖的主链上, 每隔 9~19 个糖单位连有一个乙酰基, 提高了魔芋葡甘聚糖的溶解度, 其平均相对分子质量在 20 万~200 万^[1~3]。

1.1.2 魔芋生物碱

目前, 一般生物碱的定义为: 生物碱是天然产的含氮有机化合物 (低分子胺类、蛋白质、肽类、氨基酸、维生素类除外)。《天然药物化学》(第二版) 一书对生物碱定义的表述是: 生物碱是含负氧化态氮原子的生物有机体中的环状化合物。负氧化态氮包括胺 (负三态氮)、氮氧化物 (负一态氮)、酰胺 (负三态氮) 和季铵 (负三态氮) 化合物, 但不包括含硝基和亚硝基的化合物, 如马兜铃酸 (aristolochic acid) 等。

以魔芋块茎干质量计, 花魔芋中生物碱质量分数为 1%~2%, 白魔芋中生物碱质量分数为 0.5%~1.0%。目前已从白魔芋中分离出 20 多种生物碱组分。总的来说, 生物碱种类繁多, 但含量少, 有关生物碱

的应用价值在以后几个章节中再作详细介绍。

1.2 魔芋及其功能活性成分的发展简史

魔芋 (*Amorphophallus konjac* C. Koch) 是一类天南星科魔芋属 (*Amorphophallus* Blume) 多年生草本植物的总称, 原产于印度和斯里兰卡, 一般生长在年均气温 16°C 、海拔 $800\sim 2500\text{m}$ 的亚热带山地或丘陵地区, 主要分布在印度半岛及东亚各国, 南起赤道线雨林气候的印度尼西亚, 北至北纬 36° 的我国宁夏、陕西和甘肃南部季风区, 西到非洲, 东达日本三岛。全世界魔芋品种有 163 种, 亚洲为魔芋属的多样化中心。据资料报道, 澳大利亚有 2 个特有种, 非洲 (包括马达加斯加) 有 27 个种, 日本有 2 个种, 中国记载的有 21 个种, 其中中国台湾的大魔芋、魔芋、硬毛魔芋, 云南的西盟魔芋、勐海魔芋、攸落魔芋等 14 个种为中国特有种。花魔芋和白魔芋是我国广为栽培的两个种, 同时也是魔芋葡甘聚糖含量较高的两个种^[1,2]。国外最早对魔芋属植物有所描述的是荷兰人 V. R. Drakenstein, 1692 年他在巨著 *Horfufus Malabari-cus* 中记录了 2 个种。1834 年, 荷兰的 Blume 给魔芋命名为 *Amorphophallus*, 并于 1837 年对魔芋属植物作了系统分类, 该系统包括 3 个组、9 个种。1905~1920 年, Engle 在他的 *Das Pflanzenri* 中, 对天南星科植物作了系统分类。后来, 随着一些新种的不断发现, 1984 年, Dan H. Nicolson 和 Joef bogner 对 Engle 系统作了修正和完善^[4~6]。

日本是最早利用现代科学对魔芋的内在价值和开发应用进行研究的国家。早在 13 世纪起便有以鲜球茎全成分做成的魔芋凝胶食品, 并逐渐形成产业, 17 世纪后便摸索出提取精粉的方法, 使该产业得到迅速发展。1895 年, 日本学者迁畅太郎在德国化学家 Roibu 的指导下, 证明魔芋的主要成分为多糖类, 并发表了论文 *Mannan as an Article of Human*。到 20 世纪 80 年代, 有学者对魔芋葡甘聚糖的结构进行了研究, 最后认为它是由 D-葡萄糖和 D-甘露糖按 2:3 或 1:1.6 物质的量比、由多个 β -1,4-糖苷键结合起来的的多糖^[5~7]。而在魔芋生物碱的研究方面国外鲜见报道。

我国食用魔芋已有 2000 多年的历史, 但对其研究起步较晚, 直到

1979年才真正开始对魔芋进行全面系统的研究。目前我国对魔芋葡甘聚糖的研究,已深入到环保、医药、食品、化工、纺织、石油钻探等各个领域。改性后魔芋葡甘聚糖应用更加广泛,可开发出多种新型功能材料^[8,9]。对于魔芋生物碱,开展了提取、分离、纯化及作用机理等方面的研究,并应用于医药、生物农药等领域,开发出了高效、低毒的生物碱产品,其应用前景广阔^[3~5]。

参 考 文 献

- 1 尉芹,马希汉. 魔芋开发利用研究综述. 西北林学院报, 1998, (3): 62~63
- 2 何家庆. 论东南亚魔芋资源的利用历史、现状及开发潜力. 武汉植物学研究, 1995, (3): 269~279
- 3 夏先林,江萍,李时春等. 复合益微发酵魔芋飞粉的饲料用价值研究. 粮食与饲料工业, 2003, (2): 24~26
- 4 崔熙,周平,李松林等. 中药魔芋的研究概况. 中药材, 1995, (7): 368~371
- 5 唐慎微. 重修政和经史证类备用本草(第六卷). 北京: 人民卫生出版社, 1982. 30~32
- 6 李恒,龙春林. 药用植物魔芋的考证. 天然产物研究与开发, 1989, (2): 87~92
- 7 冲增哲等. 魔芋科学. 古明选译. 成都: 四川大学出版社, 1990. 88~114
- 8 郭际,邱凌,李大林. 魔芋资源研究与开发利用综述. 自然资源, 1996, (5): 72~76
- 9 何家庆. 魔芋栽培及加工技术. 合肥: 安徽科学技术出版社, 1995. 16~34

第 2 章 魔芋功能活性成分性质

魔芋葡甘聚糖是魔芋中的主要活性成分,认识魔芋葡甘聚糖的结构和性质是利用魔芋的基础。各国对魔芋葡甘聚糖理化性质的研究探讨工作仍在不断深入,本章重点介绍了魔芋葡甘聚糖的结构和理化性质。另外,魔芋中还存在另外一种活性成分,即生物碱。目前对魔芋中生物碱的研究还处于起步阶段,相关的报道较少。

2.1 魔芋葡甘聚糖的理化性质

研究魔芋葡甘聚糖的理化性质,需以魔芋胶作为研究载体。魔芋胶是一种中间产品,为魔芋葡甘聚糖的粗制品或精制品^[1,2]。根据中华人民共和国农业行业标准“魔芋粉”中的分类与定义,魔芋粉(konjac flour)即魔芋胶(konjac gum),可分为普通魔芋精粉、普通魔芋微粉、纯化魔芋精粉和纯化魔芋微粉 4 种。

2.1.1 魔芋葡甘聚糖的水溶性与持水性

魔芋葡甘聚糖易溶于水^[3]。魔芋葡甘聚糖大分子与水分子之间可以通过氢键、分子偶极、诱导偶极、瞬间偶极等作用力聚集成庞大而难以自由运动的巨型分子,使水分子的扩散迁移速度远远超过魔芋葡甘聚糖大分子的扩散迁移速度,这时魔芋胶溶液变为黏稠的非牛顿流体。随着魔芋中魔芋葡甘聚糖大分子与水分子的网络结构的建立,其持水量增大,为魔芋胶本身质量的 30~150 倍^[4~6]。另外,在溶解过程中,魔芋胶颗粒发生溶胀或肿胀,在颗粒表面产生薄薄的一层高聚糖的黏稠溶液,迫使魔芋胶的颗粒互相粘连而结块,从而阻碍魔芋胶的进一步溶解,因此,在魔芋胶溶解之前应使用蔗糖、葡萄糖、盐或淀粉之类的分散剂以防止结块。应指出的是,稀释分散剂是有选择的,用于肉制品的魔芋胶宜用盐或淀粉稀释分散,用于甜食品的魔芋胶宜用蔗糖或葡萄糖稀释分散。如果没有稀释分散剂,魔芋胶必须在高速搅拌的条件下溶解^[7~10]。

2.1.2 魔芋葡甘聚糖的流变性

魔芋胶水溶液的“流动速度”是用黏度计来测定的,即:“流动速度”愈快,黏度愈小;“流动速度”愈慢,黏度愈大。为研究方便,通常从魔芋胶水溶液的黏度和影响魔芋胶水溶液黏度的因素两方面来研究魔芋胶水溶液的流变性(rheological property)。如果一定要直接研究魔芋胶水溶液的流变性,可用黏度的倒数来表示“流动速度”。影响魔芋胶水溶液黏度变化的主要因素有品种、储存条件、产地、加工方法、筛选分级的目数等。另外,还有其他一些因素影响魔芋胶的黏度:

(1) 魔芋胶的相对分子质量愈大,其水溶液的表现黏度(指测定时的观测黏度)也愈大。

(2) 在一定浓度下,魔芋胶水溶液的黏度随温度的升高而降低,但不完全是直线关系。当温度上升时,黏度逐渐降低,冷却后又重新升高,但不能回升到加热前的水平。魔芋胶水溶液在80℃以上不稳定,在121℃下保温0.5h后,黏度下降50%^[8]。

(3) 在恒温条件下,魔芋胶水溶液的黏度随魔芋胶浓度的升高而升高,但不是呈正比例升高。

(4) 指定温度下的切变稀化。魔芋胶水溶液为假塑性流体,具有切变稀化的性质,符合方程^[8]

$$\sigma = KD^n$$

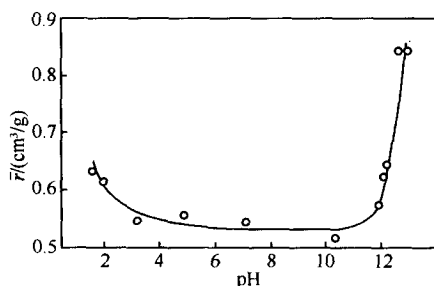
式中: σ 为剪切力; K 为黏度指数; n 为流动指数; D 为剪切速率。

在一定的温度和浓度下,魔芋胶水溶液的表现黏度与剪切速率成反比,其黏度随溶液外来切变力的升高而降低。由于切变力打乱了魔芋胶水溶液中各水化魔芋葡甘聚糖大分子间的统计相对位置,破坏了结构黏度,于是产生切变稀化现象,一旦去除切变力,结构黏度可恢复。

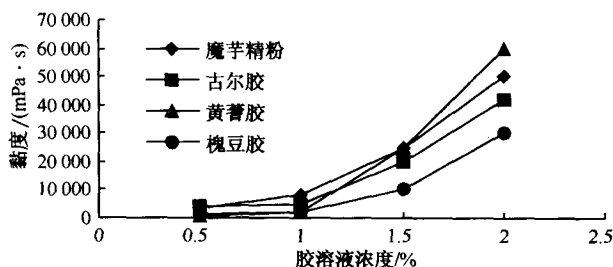
(5) pH对魔芋胶水溶液的黏度及其他流变学特性有很大的影响,当pH<3或pH>11.5时,黏度迅速增大,而在pH=3~9时则保持相对的稳定^[11],见图2-1。

2.1.3 魔芋葡甘聚糖的增稠性

魔芋葡甘聚糖相对分子质量大、水合能力强和不带电荷等特性决定了它优良的黏结性^[12,13],1%的魔芋葡甘聚糖溶胶其黏度可达

图 2-1 不同 pH 下魔芋葡甘聚糖微分比容^[8]

16 000mPa·s，最高可达 200 000mPa·s 以上，是自然界中黏度最大的多糖之一^[14]，见图 2-2。与黄原胶、瓜儿豆胶、刺槐豆胶等增稠剂相比，魔芋葡甘聚糖溶胶属非离子型胶，受中性盐影响小，常温下，即使 pH 降到 3.3 以下仍能保持稳定。而且魔芋葡甘聚糖与其他多糖（黄原胶、淀粉等）有优良的协同作用，如在 1% 的黄原胶中加入 0.02%~0.03% 的魔芋葡甘聚糖并加热，可使其黏度增大 2~3 倍^[15]。另外，由于本身黏度很高，在体系中分散后，能使体系稠化，起到增稠剂的作用，从而达到稳定、均匀的效果。

图 2-2 魔芋葡甘聚糖与其他食品胶的黏度比较^[15]

2.1.4 魔芋葡甘聚糖的胶凝性

有关魔芋葡甘聚糖胶凝性质的研究比较复杂，但目前已发现其凝胶有两种类型，即热不可逆（热稳定性）凝胶和热可逆（热不稳定性）凝胶^[14,15]。

2.1.4.1 热稳定性凝胶

热稳定性凝胶对热稳定,即使在 100°C 下重复加热,其凝胶强度变化也不大,甚至加热到 200°C 以上时,仍能保持稳定。学者研究表明,关于这种凝胶,只能在一定的条件下(如一定量的胶凝剂和适宜的 pH)存在,否则魔芋胶水溶液会失去流动性,变成弹性固体或半固体。日本前梶健治通过淀粉黏焙力测量器测定黏度的变化,探明了以下事实:魔芋葡甘聚糖添加到水中,经搅拌而溶解,黏度逐渐上升;经过一段时间后,溶解达到平衡状态,黏度不再变化(B点)。这时添加胶凝剂(碱),则溶液结构杂乱,出现瞬间的黏度大幅度下降(B'点)。如果立即用汤匙等工具剧烈搅拌溶液,则溶液重新变成均匀而又连续的组织,黏度也大致恢复到原来的值。这时可看到黏度有少许的降低,这是由于添加了胶凝剂溶液导致魔芋葡甘聚糖溶液浓度降低的缘故。在其后一定时间(BC)内,黏度保持不变,如图 2-3 所示。此时,溶液的外表状态与添加胶凝剂前相比,几乎未出现差异。当过了这段时间,就可以观察到溶液的透明度逐渐降低及胶凝作用的发生^[16~18]。

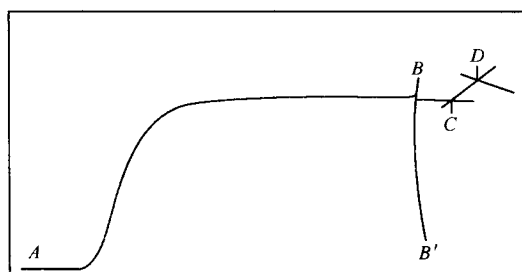


图 2-3 魔芋葡甘聚糖胶凝过程的黏焙力图^[9]

上述结果表明,魔芋葡甘聚糖的胶凝,并不是在添加胶凝剂的同时或添加后的任意时间内开始的,而是经过了一定时间(BC,称为诱导期)后才开始的。无论是从流变学上,还是从直观上均可判断该诱导期的溶液状态和其后凝胶形成期间(CD,称为凝胶形成期)溶液状态之间的差异。这种现象是魔芋葡甘聚糖所特有的,在其他高分子化合物的胶凝过程中是不可能观察到的。

魔芋葡甘聚糖之所以能在碱性加热条件下形成凝胶,是因为魔芋葡甘聚糖链上由乙酸与糖残基上羟基形成的酯键发生水解,即脱去乙酰基。这样,魔芋葡甘聚糖变为裸状,分子间则形成氢键而产生部分结构结晶作用,以这种结晶为结节点形成了网状结构体,即凝胶。其依据如下:在加碱加热后,魔芋葡甘聚糖溶液的红外光谱中乙酰基吸收峰(1720cm^{-1})明显减弱或消失;碱消耗量与 1720cm^{-1} 吸光度成正比;碱处理魔芋葡甘聚糖时,反应生成物中有相当量的乙酸^[19]。

此外,魔芋葡甘聚糖凝胶还具有如下特性^[16~19]:

(1) 温度升高,魔芋葡甘聚糖凝胶的弹、韧性上升,使其具备煮、炒、煎、炸、焖时特有的口感,其软度、脆度、切齿性、咀嚼性均可调节到良好程度。

(2) 魔芋葡甘聚糖凝胶形成后,经水漂洗甚至用食用柠檬酸及醋酸(乙酸)中和余碱,凝胶特有的口感仍然变化不大。这便于利用其凝胶加工成可口的人造果脯。

(3) 魔芋葡甘聚糖凝胶与褐藻酸钙凝胶(也属于热稳定凝胶)相比,脆性低于褐藻酸钙凝胶,口感好,适合制作仿生食品。

(4) 魔芋葡甘聚糖凝胶存在脱水收缩的现象。魔芋胶浓度升高(由原先的2%上升到4%),含水量相应降低,脱水量相应降低(由原先的15%降低到10%);凝胶形成的pH由10增大到12时,脱水量由17%降低到8%;储藏温度由3℃升高到40℃时,温度越高,则脱水量越大;凝胶形成的温度由40℃升高到90℃,脱水量由17%减少到8%。

2.1.4.2 热不稳定凝胶

热不稳定凝胶指在形成凝胶后,在常温条件下保持凝胶状态,当在加热时又转变为液态。魔芋胶与黄原胶、卡拉胶、结冷胶等存在强烈的协同作用,在一定条件下能形成热可逆凝胶。

魔芋胶与黄原胶存在强烈的协同作用。两者混合后,几乎可在任意pH下形成热可逆凝胶。在总浓度保持1%的情况下,随着黄原胶的加入,表观黏度逐渐增大,当魔芋胶与黄原胶的配比为3:2时,达到最大值,然后又下降,见图2-4。当两者加热溶解冷却后,则形成凝胶,其凝胶强度在两者比例为3:2时最大。如果将两者混合(复合胶),则可在任意pH下形成凝胶。当pH为5左右时,其凝胶强度达到最