

膳食纤维

菊粉特性与应用

天然益生元、改善消化系统健康、
强化天然防御能力、降低多种失调疾病风险

》 罗登林 著

Characteristics and Applications of Dietary Fiber Inulin

菊粉又称菊糖，来源于菊芋、菊苣等植物，是一种功能性果聚糖，也是易溶解的水溶性膳食纤维。菊粉作为一种纯天然的功能性配料，已被世界40多个国家批准为营养增补剂，广泛运用于乳制品、饮料、低脂低热量食品、烘焙食品、保健食品中。

本书在国内是首次全面而详实地介绍了菊粉类型、生理功能、生产方法、理化性质和对面团及其制品品质的影响，对从事食品营养与健康行业方面的人员具有重要的指导意义，也有利于普及大众对菊粉功能的认识，从而为提高国民健康起到积极的作用。



化学工业出版社

膳食 纤维

菊粉特性与应用

罗登林 著

**Characteristics
and
Applications
of Dietary Fiber Inulin**



化学工业出版社

· 北京 ·

菊粉是由 D-呋喃果糖分子以 $\beta(2\rightarrow1)$ 键连接而成的线性直链多糖，末端常带一个葡萄糖残基，属于一类天然果聚糖的混合物。菊粉作为一种膳食纤维，具有突出的生理功能和优良的食品加工特性。本书系统介绍了菊粉的结构特点、分类、生理功能、生产方法、溶解性与吸附性、酸热稳定性和凝胶特性等物化性质，同时详细论述了菊粉对面团体系、面筋蛋白、淀粉和水分性质等方面的影响，最后从应用角度列举了菊粉在馒头、面包、面条、饼干、蛋糕、乳制品、肉制品和饮料等方面的研究现状。

本书适用于食品类研究人员、生产技术人员及相关专业院校师生阅读和参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

膳食纤维：菊粉特性与应用/罗登林著. —北京：化学工业出版社，2018.12

ISBN 978-7-122-33365-0

I. ①膳… II. ①罗… III. ①菊粉-基本知识 IV. ①O636.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 269809 号

责任编辑：赵玉清

文字编辑：焦欣渝

责任校对：边涛

装帧设计：史利平

出版发行：化学工业出版社（北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011）

印刷：北京京华铭诚工贸有限公司

装订：三河市振勇印装有限公司

710mm×1000mm 1/16 印张 10 $\frac{1}{4}$ 字数 167 千字 2019 年 5 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询：010-64518888

售后服务：010-64518899

网 址：<http://www.cip.com.cn>

凡购买本书，如有缺损质量问题，本社销售中心负责调换。

定 价：68.00 元

版权所有 违者必究

**Characteristics
and
Applications
of Dietary Fiber Inulin**

前言

近年来，膳食纤维与肠道健康的关系日益受到关注。大量研究显示，各种慢性疾病，如肥胖症、糖尿病、高血压、抑郁症、自闭症、肿瘤、各种代谢系统疾病、免疫系统疾病和神经系统疾病，几乎都与肠道微生物密切相关。膳食纤维作为一种益生元，在促进肠道中益生菌群繁殖和抑制有害菌群生长方面已显示出突出的作用，能有效改善肠道微生态环境，提高人体健康水平。

菊粉作为一种膳食纤维，已经被许多科学试验证实具有突出的生理功能，包括促进益生菌增殖、抑制肠道腐败菌的生长、改善肠道微环境、调节血糖水平、减肥、防便秘、促进矿物质吸收、降血脂、减少癌症风险和提高免疫力等。同时，菊粉还表现出优异的食品加工性能：菊粉外表洁白，呈粉末状，无不良气味，不会影响食品的外观色泽和风味；菊粉能使食品内部结构更加均匀细腻、口感滑爽、色泽美观，可用于取代食品中的脂肪达到降低能量的目的，但又不会显著影响产品的口感；菊粉能形成质构柔滑、微粒均一而细腻的凝胶，该凝胶具有良好的黏弹体流变学特性，表观性状类似于脂肪；菊粉的屈服应力低，具有剪切稀释和触变特性，在加工过程中，菊粉凝胶逐渐丧失凝胶固体特性，弹性系数降低，而流体特性和黏度系数逐渐增加，即操作性能好，因此，易应用于各类食品的生产过程中。

2009年3月25日，我国原卫生部发布了第5号公告，正式批准菊粉和多聚果糖为新资源食品，其中批准菊粉可应用于除婴幼儿食品外的所有食品，而多聚果糖只能在婴幼儿配方食品、儿童奶粉、孕妇及哺乳期奶粉中使用。该文件的发布对促进我国菊粉产业的发展起到了重要的作用。目前市场数据显示，全球益生元市场规模在2017年已达35亿美元，预计2020年市场规模为78亿美元，而到2025年将达100亿美元，年均复合增长率为10.4%，其中亚太市场的增长最快，尤其是我国、日本和印度。

菊粉作为目前全球认知度最高、市场份额最大、应用领域最广的膳食纤维或益生元，2017年市场规模在33万吨左右，预计2018年全球市场销售额将达18.7

亿美元。菊粉作为一种优质的膳食纤维，正以其独特的应用性能和优势引领益生元市场的快速发展。我们课题组在十年前就开始了菊粉方面的相关基础与应用研究工作，主要集中于菊粉的加工性质和对食品品质的影响方面。随着研究的深入，我们深感尽管在菊粉研究方面取得了一些成果，但仍然在许多方面存在不够系统、不够科学甚至可能错误的地方，需要更多的研究学者和行业人员为此做出更多的努力，加强在菊粉加工理论和工业化应用方面的研究，推动我国菊粉产业健康发展，为促进国民饮食健康和实现我国 2017—2030 年国民营养计划贡献一份力量。

全书共分为 7 章，第 1 章绪论介绍了菊粉的来源、种类、生理功能、安全性、生产方法；第 2 章介绍了菊粉的溶解性、黏度、持水性与吸油性；第 3 章介绍了菊粉对酸、热的稳定性，菊粉凝胶形成和性质；第 4 章介绍了菊粉对面团加工性质的影响；第 5 章介绍了菊粉对面粉中蛋白质、淀粉和水分性质的影响；第 6 章介绍了菊粉对馒头品质的影响；第 7 章介绍了菊粉在面包、面条、饼干、蛋糕、乳制品、肉制品和饮料中的应用。本书可作为菊粉研究方面的抛砖引玉之作，为食品高校和科研院所、食品生产企业提供参考。

在本书的编写过程中，我们得到了行业内许多专家的悉心指导和我的博士生导师丘泰球教授的亲切关怀，丰宁平安高科实业有限公司钱晓国董事长和安颖博士对本书提出了宝贵的意见，在此表示感谢。同时，要特别感谢近年来我的研究生许威、刘娟、陈瑞红、梁旭苹、李云、寇雪蕊、姚金格、武延辉、赵影、张甜、席栋等在菊粉研究方面所做出的许多工作，没有他们的辛勤付出，本书也就无法成文。最后，还要感谢国家自然科学基金（31371832）和河南省高校科技创新人才支持计划（16HASTIT020）的资助。

限于目前作者所研究的内容和水平有限，疏漏之处在所难免，敬请读者提出宝贵意见。

罗登林

luodenglin@163.com

2018 年 6 月

.....	
第1章	
绪论	001
.....	
1.1 菊粉的结构和来源	001
1.2 菊粉的生理功能	003
1.2.1 促进肠道益生菌增殖, 抑制腐败菌生长, 改善肠道微生态	003
1.2.2 调节血糖水平	004
1.2.3 减肥	005
1.2.4 防便秘	005
1.2.5 促进矿物质的吸收	006
1.2.6 降血脂	006
1.2.7 减少癌症风险和免疫力	007
1.3 菊粉的安全性和分析方法	008
1.3.1 菊粉的安全性	008
1.3.2 菊粉的分析方法	010
1.4 菊粉的生产方法	010
.....	
第2章	
菊粉的溶解性与吸附特性	013
.....	
2.1 菊粉的溶解性质	013
2.1.1 菊粉的溶解度	013

2.1.2	菊粉的旋光性	014
2.1.3	菊粉溶液的 pH 值	015
2.2	菊粉溶液的黏度	015
2.3	菊粉的持水性和膨胀度	016
2.4	菊粉的吸附性	017
2.4.1	菊粉对油脂的吸附性	017
2.4.2	菊粉对 NO_2^- 的吸附	019
2.4.3	菊粉的吸湿性	020

第3章

菊粉的酸热稳定性和凝胶特性

029

3.1	菊粉的热稳定性	030
3.2	菊粉的酸稳定性	031
3.2.1	温度和 pH 值对菊粉稳定性的影响	031
3.2.2	菊粉的酸降解动力学	032
3.3	影响菊粉凝胶形成的因素	034
3.3.1	含量	034
3.3.2	平均聚合度	035
3.3.3	pH 值	036
3.4	菊粉凝胶的持水性	036
3.5	菊粉凝胶的质构特性	037
3.6	pH 值对菊粉凝胶性质的影响	040
3.6.1	pH 值对菊粉凝胶指标的影响	040
3.6.2	pH 值对凝胶持水性的影响	041

3.6.3	pH 值对凝胶质构特性的影响	042
3.6.4	pH 值对凝胶中水分状态的影响	043
3.7	菊粉凝胶的酸热稳定性	045
3.8	乙醇对菊粉凝胶性质的影响	046
3.8.1	乙醇对菊粉成胶时间的影响	046
3.8.2	乙醇对菊粉凝胶持水性的影响	047
3.8.3	乙醇对凝胶质构的影响	048

第4章

菊粉对面团流变学性质的影响 052

4.1	菊粉对面团粉质特性的影响	052
4.2	菊粉对面团拉伸特性的影响	057
4.3	菊粉对面团发酵流变学的影响	064

第5章

菊粉对面粉中主要组分性质的影响 067

5.1	菊粉对小麦蛋白质性质的影响	068
5.1.1	菊粉对蛋白质乳化特性的影响	069
5.1.2	菊粉对蛋白质氨基酸组成的影响	070
5.1.3	菊粉对面团体系中二硫键含量的影响	073
5.1.4	菊粉对面团体系中氢键的影响	075
5.1.5	菊粉对面团体系中蛋白质二级结构的影响	076
5.1.6	菊粉对面筋蛋白网络结构的影响	079
5.2	菊粉对小麦淀粉性质的影响	080
5.2.1	菊粉对淀粉糊化特性的影响	080
5.2.2	菊粉对淀粉老化特性的影响	085
5.2.3	菊粉对淀粉相对结晶度的影响	087

5.2.4	菊粉对淀粉凝胶质构特性的影响	088
5.2.5	菊粉对淀粉凝胶静态流变特性的影响	091
5.2.6	菊粉对淀粉凝胶动态流变特性的影响	093
5.2.7	菊粉对淀粉玻璃化转变温度的影响	100
5.2.8	菊粉对淀粉中渗漏直链淀粉的影响	102
5.2.9	菊粉与淀粉分子间的相互作用力	103
5.3	菊粉对面团及面制品水分性质的影响	106
5.3.1	菊粉对非发酵面团中水分分配行为的影响	106
5.3.2	菊粉对非发酵面团水分弛豫时间和峰面积的影响	109
5.3.3	菊粉对发酵面团中水分分配行为的影响	114
5.3.4	菊粉对发酵面团水分弛豫时间和峰面积的影响	117
5.3.5	菊粉对馒头在贮藏期间水分迁移的影响	120

第6章

菊粉对馒头品质的影响 130

6.1	菊粉对馒头比容和径高比的影响	131
6.2	菊粉对馒头色泽的影响	133
6.3	菊粉对馒头感官评价的影响	133
6.4	菊粉对馒头质构特性的影响	134
6.4.1	对新鲜馒头的影响	134
6.4.2	对馒头贮藏过程的影响	135

第7章

菊粉在其他食品中的应用 137

7.1	面包	138
7.1.1	菊粉对面团品质的影响	140
7.1.2	菊粉对面包品质的影响	141

7.2	面条	142
7.3	饼干	143
7.4	蛋糕	144
7.5	乳制品	145
7.6	肉制品	146
7.6.1	香肠	146
7.6.2	其他肉制品	149
7.7	饮料	149

参考文献

151

1.1 菊粉的结构和来源

菊粉，又称菊糖，英文名为 inulin，是一种天然的果聚糖混合物。1804年，Rose 首次从土木香 (*Inula helenium*) 中发现并从其根茎中结晶、纯化得到，Thomson 于 1818 年将其命名为菊粉。菊粉分子是由 D-呋喃果糖分子以 β (2 \rightarrow 1) 键连接而成的线性直链多糖，末端常带一个葡萄糖残基，属于一类天然果聚糖的混合物。菊粉的分子式表示为 GF_n ，即 Glucose-(Fructose) $_n$ ，其中 G 为终端葡萄糖单位，F 为果糖分子， n 为果糖单位数，一般为 2~60，其分子结构如图 1-1 所示。

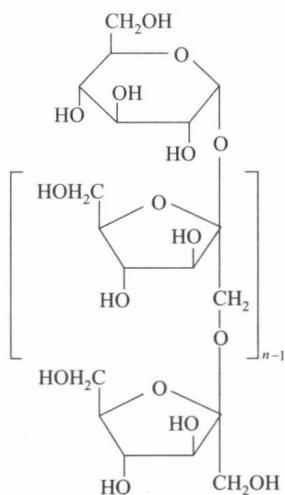


图 1-1 菊粉的化学结构

在历史上，人们把富含菊粉的植物当作主要粮食来食用，如菊苣、菊芋和大丽花等植物。1605年，人们把菊芋引进到西欧，当地人把它作为一种糖源进行食用。公元1世纪的医生都认为菊芋对人的身体有好处，直到1750年左右才被马铃薯所代替。1804年，德国科学家Rose用热水浸提的方法从旋复花属土木香的根茎中提取得到一种物质，也就是果聚糖，当时也叫土木香粉(Thomson在1818年把这种物质命名为菊粉)。

菊粉是植物中的储备性多糖，在自然界中菊粉的分布十分广泛，在植物中含量最高，其次为一些真菌和细菌。菊粉主要存在于菊科植物中，如双子叶植物中的桔梗科、龙胆科、菊科等11科植物都含有菊粉，此外，如百合科和禾本科等单子叶植物中也含有菊粉。工业上生产菊粉最重要的原料是菊苣和菊芋，它们的来源丰富且富含菊粉，菊粉含量占其块茎干重的70%以上。不同种植物及同一种植物不同生长时期菊粉的聚合度存在明显的差异。一些常见植物(湿重)中菊粉含量如表1-1所示。

表 1-1 常见植物中的菊粉含量

植物来源	可食部分	固形物含量/%	菊粉含量/%
菊芋	块茎	19~25	14~17
菊苣	根	20~25	13~18
牛蒡	根	21~25	3.5~4.0
雪莲果	根	10~14	5~8.7
大蒜	球茎	40~45	9~16
朝鲜蓟	叶心	14~16	3~10
卡马夏	球茎	31~50	12~22
韭菜	球茎	15~20	3~10
香蕉	果实	24~26	0.3~0.7
蒲公英	花瓣	50~55	12~15
波罗门参	根茎	20~22	4~11
黑麦	谷粒	88~90	0.5~1
洋葱	球茎	—	2~6
天冬	块茎	—	10~15
大丽花	块茎	—	15~20
小麦	谷粒	—	1~4
芦笋	嫩芽	—	10~15
龙舌兰	茎或叶子基部	—	16

根据物理化学特性，菊粉可分为两类：一类是易溶于水的；另一类是较难溶于水的。通常把聚合度(DP)为10作为临界点， $DP < 10$ 的菊粉易溶于水，而且易发酵； $DP > 10$ 的菊粉难溶于水，而且不易被细菌降解发酵，但在大肠中能被益生菌发酵利用。

根据分子链长度，菊粉可分为长链菊粉、中链菊粉和短链菊粉。目前，通常把平均聚合度 ≤ 10 的菊粉称为短链菊粉，平均聚合度 ≥ 23 的菊粉称为长链菊粉。从天然植物（菊芋或菊苣）中提取的菊粉同时含有短链、中链和长链结构，称为天然菊粉。短链菊粉和天然菊粉含有一定的单糖和二糖，因此略带甜味，其甜度大约相当于蔗糖的10%；长链菊粉中由于不含单糖和二糖，几乎没有甜味。

不同植物类所含菊粉的链长也有差异，小麦、洋葱、香蕉所含的是短链菊粉（最大聚合度 $DP_{\max} < 10$ ）；大丽花块根、大蒜、菊芋所含菊粉是中链菊粉（ $DP_{\max} < 40$ ）；球菊芋和菊苣则含长链菊粉（ $DP_{\max} < 100$ ）。有些植物如百合、龙舌兰和某些细菌（如突变链球菌）可含有更高聚合度的菊粉（ $DP_{\max} > 100$ ）。在实际生产过程中，根据需要可利用人工控制及合成的方法来调控菊粉的聚合度。利用内切酶（EC3.2.1.7）水解菊苣中的菊粉可获得聚合度范围在2~7、平均聚合度为4的低聚果糖；利用物理分离技术（结晶和过滤）可生产平均聚合度不小于23的长链菊粉（如菊粉HPX）。

另外，市场上常见的还有一种低聚果糖的产品，它主要是以菊粉为原料通过酶解而获得的一类低聚合度的混合物，是指1~4个果糖基以 $\beta(2\rightarrow1)$ 键连接在蔗糖的D-果糖基上而形成的蔗果三糖（GF₂）、蔗果四糖（GF₃）、蔗果五糖（GF₄）和蔗果六糖（GF₅）的混合物，一般还含有少量蔗糖、果糖和葡萄糖，其甜度约为蔗糖的30%~60%，它既保持了蔗糖的纯正甜味性质，又比蔗糖甜味清爽，同时还具有益生元的功效。

1.2 菊粉的生理功能

1.2.1 促进肠道益生菌增殖，抑制腐败菌生长，改善肠道微生态

菊粉是一种不能被人体小肠消化吸收的聚糖类物质，但可以在大肠中被双歧杆菌和乳酸菌很好地吸收、利用和增殖。菊粉在大肠中发酵，能够降低肠道内的pH，低的pH环境能够降低多种腐败菌的增殖，间接地减少了在肠道内产生的毒素物质，维持健康的肠道环境；而健康的肠道环境有利于促进有益菌的生长和繁殖，增加肠道的蠕动，缓解便秘。

研究表明，每日摄入菊粉能够使结肠中的益生菌增加10倍，减少病原菌和腐败菌的数量，如金黄色葡萄球菌、李斯特菌、沙门菌、大肠菌群等。这是

由于菊粉不是直接被消化吸收，而是进入了大肠，在大肠中优先被双歧杆菌利用，产生乙酸盐和乳酸盐，使大肠的 pH 值降低，从而抑制了有害菌的生长，因此，菊粉是双歧杆菌的增殖因子。

研究表明，高脂饮食情况下，肠道中的 S24-7 菌群丰度下降，补充短链菊粉后，S24-7 丰度上升；S24-7 在未发展为糖尿病的 NOD 小鼠（非肥胖糖尿病小鼠）中丰度较高，而在发展为糖尿病的 NOD 小鼠中丰度较低。此外，引起菊粉组小鼠粪便丰度下降的菌群包括厚壁菌门下梭菌目中的毛螺菌科和瘤胃菌科、脱铁杆菌门下脱铁杆菌科中的 *Mucispirillum schaedleri*。*Mucispirillum schaedleri* 是一种螺旋形细菌，分布在肠分泌黏液层，被认为具有降解黏液蛋白层的能力，可逃避 T-细胞非依赖反应，渗入黏膜层，和抗原呈递细胞及初级 T 细胞发生作用。随着炎症反应丰度升高，*Mucispirillum schaedleri* 在小鼠结肠炎活跃期粪便中丰度更高，而在结肠炎缓解期的小鼠粪便中丰度降低，将 *Mucispirillum schaedleri* 移植到无菌小鼠中引发肠道促炎反应。*Ruminococ caceae* 在右旋糖酐硫酸酯钠诱导的结肠炎小鼠粪便中丰度上升，在结肠腺瘤患者中丰度高于健康群体。*Lachnospiraceae* 和 *Ruminococcus* 在发展为糖尿病的 NOD 小鼠中丰度较高，而在未发展成糖尿病的小鼠中丰度较低。这些数据暗示短链菊粉的添加抑制了一些潜在有害菌的生长，改善了肠道微生物环境。

1.2.2 调节血糖水平

菊粉在小肠内不会被水解成单糖，所以不会升高体内血糖水平和胰岛素的含量。最近的研究表明，人体在空腹时，血糖的降低是由于低聚果糖在结肠中发酵，最终产生了短链脂肪酸。吸附的菊粉在肠道的上部不会被机体酶水解成单糖，因而不会对血糖水平和胰岛素含量造成影响，菊粉已作为 21 世纪初糖尿病人的专用食品之一。 Mg^{2+} 的缺乏会增加患糖尿病的风险，菊粉可以促进机体对 Mg^{2+} 的吸收，从而起到稳定血糖的作用。

2016 年的最新数据表明，低聚果糖与其摄入后血糖反应改善之间存在显著的关系。在已提交给欧洲食品安全局（EFSA）的材料中指出，低聚果糖对于血糖控制起着至关重要的作用。此次 EU Art 13.5 声明旨在认可低聚果糖对于餐后血糖的降低作用。EFSA 的肯定评估有助于该健康声明获得欧盟委员会、欧洲联盟成员国以及欧洲议会的批准。此份研究表明了当食品的部分糖分

被来自于菊苣的益生元纤维低聚果糖替代时, 血糖反应将被改善。新数据表明, 仅 20% 的替代便可显著降低血糖反应。评估中倡导的使用条件指的是“还原糖”, 在 (EC) No 1924/2006 的条款附件中发布, 即 30% 比例的替代。正当 EFSA 发布有关菊苣低聚糖的评价时, 另一份关注于菊粉及其他前沿科学技术研究的科学声明已做好提交的准备。在评估关于低聚果糖的声明时, EFSA 已将适用范围扩展到不易消化的碳水化合物类别, 菊粉已包含其中。

1.2.3 减肥

菊粉能提高胃内容物的黏度, 减缓食物从胃进入小肠的速度, 降低饥饿感, 从而减少食物的摄入量。菊粉在消化系统内不被消化, 在结肠中进行发酵时, 产生的热能较低, 其热能值约为 4.2~6.3kJ/g (1~1.5cal/g), 相当于葡萄糖热能值 (16kJ/g) 的 26%~39%、脂肪热能值 (38.7kJ/g) 的 11%~16%。所以用菊粉部分或全部替代脂肪, 可开发低能量保健产品。

1.2.4 防便秘

菊粉能有效增加排便次数和重量。它能促进肠道蠕动, 缩短粪便在结肠中的停留时间, 增加粪便重量和排泄量。在膳食中每天按推荐剂量补充菊粉, 可以显著增加便秘患者的排便频率, 使大便变得松软连贯, 由便秘引发的恶心和头痛也随之消失。菊粉之所以对便秘有如此好的疗效, 主要原因是菊粉是一种益生元, 它促进了肠道微生物群的生长, 增加了大便中的含水量, 由此导致大便重量的增加。含水量的增加会使大便变软, 加之菊粉能增加肠道的蠕动, 排便因而变得轻松。便秘患者每天食用一定量的菊粉后, 大便通畅, 便秘症状明显缓解, 而且臭味也明显减轻。

Buddington 等于 2017 年在《营养学》杂志上发表的一项研究结果显示, 让低膳食纤维摄入量的受试者补充低聚果糖菊苣根纤维成分有助于改善肠道蠕动的规律性。该研究指出, 纤维摄入量不足是导致便秘和肠道蠕动不正常等消化问题的主要因素。在研究开始时, 受试者每天摄入 5g 的低聚果糖, 然后逐渐增加到 15g/d。在整个试验过程中, 对照组每天都摄入 15g 麦芽糖糊精。该项研究为期 4 周, 其中 3 周为“洗涤期”, 期间所有参与者每天都要摄入 3 袋麦芽糖糊精。研究发现, 低聚果糖组受试者的大便频率显著提高。每天摄入

15g 低聚果糖的受试者，粪便的稳定性也同样得到提高。最后，与对照组相比，低聚果糖组的胃肠道响动感明显下降。

1.2.5 促进矿物质的吸收

菊粉能促进结肠微生物的选择性发酵，导致短链脂肪酸浓度上升，肠道内 pH 值降低，使矿物质的溶解度增加。菊粉能够大幅提高 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Fe^{2+} 、 Zn^{2+} 和 Cu^{2+} 等的吸收，尤其是 Ca^{2+} 的吸收。其原理是依赖菊粉发酵生成了有机酸，有机酸能够使肠道的 pH 下降，矿物质元素复合物发生分解，释放出矿物质，人体更容易吸收。菊粉与矿物质的复合物在发酵过程中均可被降解，使矿物质释放，从而使金属离子得到高效吸收。另外，由发酵产生的短链脂肪酸能够使结肠的 pH 值降低 1~2 个单位，使大多数矿物质的溶解度和生物有效性显著提高。

此外，菊粉还能使肠道隐窝变浅及上皮细胞数量增多，矿物质运输通道增加，使钙结合蛋白 D9k 的表达量增加，激活了钙扩散通道。研究表明，短链脂肪酸，尤其是丁酸盐，能够刺激结肠黏膜细胞的生长，从而提高肠黏膜的吸收能力。把 10% 的菊粉添加到饲料中，每天喂养小鼠后发现，矿物质的表观消化率都有不同程度的提高。如果让青少年每天食用不同聚合度的菊粉长达不同的时间后，检测结果发现，菊粉都显著提高了 Ca^{2+} 的吸收，这对促进儿童生长发育、预防老年人的骨质疏松具有很重要的意义。

1.2.6 降血脂

菊粉能抑制脂肪分解酶降解摄入的脂肪，使脂肪在体内的消化受阻。健康人每天摄入 10g 菊粉能有效降低血浆中三酰甘油的浓度和肝脏内脂肪的合成。研究发现，菊粉可以降低血浆中胰岛素的含量和葡萄糖水平，而胰岛素在脂肪代谢过程中通过抑制脂肪分解、促进脂肪合成来增加脂肪在体内的储存。

菊粉作为水溶性膳食纤维，可与脂肪形成复合物，随着粪便排出体外，减少机体对脂肪的吸收，从而降低体内血脂水平。菊粉还可通过降低血液中胆固醇和三酰甘油的含量，调节血脂水平。大量的动物与人体试验表明，食用菊粉后，全身发热而且有力，伤口恢复较快。菊粉改善血管功能主要是可调节血糖、血压，降低血清胆固醇，提高 HDL 与 LDL 的比值。菊粉在到达肠道末