

多糖抗肿瘤活性构效关系的研究进展

林梦感, 杨义芳*, 李永辉

(上海医药工业研究院 中药研究室, 上海 200040)

摘要:多糖是一类低毒、极具抗肿瘤活性潜力的天然聚合物。综述近年来高等植物和食用真菌中的几十种多糖及其衍生物的抗肿瘤活性,发现影响多糖抗肿瘤活性的因素主要包括多糖的结构、理化性质以及是否含有缀合物3个方面。不同多糖活性参差不齐,其中具有三股螺旋结构且带有一定分支的(1→3)- β -D-葡聚糖的抗肿瘤活性明显,而中等相对分子质量和良好的水溶性又是保证其活性的必要条件。

关键词:多糖;抗肿瘤;构效关系

中图分类号:R286.91

文献标识码:A

文章编号:0253-2670(2007)06-0949-05

Advances in studies on structure-activity relationship of antitumor polysaccharides

LIN Meng-gan, YANG Yi-fang, LI Yong-hui

(Department of Traditional Chinese Medicine, Shanghai Institute of Pharmaceutical Industry, Shanghai 200040, China)

Key words: polysaccharides; anti-tumor; structure-activity relationship

多糖是指由10个以上单糖分子缩合而成的多聚物。最初被认为是无任何生理效应的纯粹的结构物质,然而随着进一步的研究,人们惊奇地发现多糖及其缀合物在免疫调节、抗肿瘤、抗炎、抗溃疡、降低胆固醇、降血压以及抗血栓等多方面具有良好的药理活性^[1],其中免疫调节和抗肿瘤活性最引人注目。多糖在自然界分布很广,尤其是高等植物多糖和食用真菌多糖具有疾病治疗范围广和相对毒性较低的特点,在医学领域引起广泛的注意^[2],已经成为国内外专家学者关注的研究热点,且人参、黄芪、灵芝、茯苓和香菇多糖在增强癌症患者免疫力、改善临床症状、提高生活质量、延长生存时间等方面,已被广泛用于各种肿瘤的治疗。

不同多糖抗肿瘤活性不尽相同,活性是以结构为基础的,多糖的药理活性与其化学结构是密切相关的,因而对其构效关系进行分类综述,有助于更好地揭示多糖抗肿瘤活性的化学基础。本文综述了影响植物多糖的抗肿瘤活性的各种因素,从结构、理化性质及缀合物的引入等方面阐明多糖抗肿瘤活性的构效关系,试图为抗肿瘤活性多糖的目的性筛选、进行分子修饰提供指导。

1 一级结构的影响

多糖的一级结构包括单糖组成、主链结构、支链组成、官能团等,每一因素对多糖的抗肿瘤活性都有不同程度的影响。

1.1 单糖组成:主链糖单元的组成决定了多糖的种类,不同单糖组成的多糖抗肿瘤活性存在较大差异。葡聚糖是许多植物多糖的基本结构单元。从香菇 *Lentinus edodes* (Berk.) Pegler^[3]中分离得到香菇多糖和从利比亚海枣 *Phoenix dactylifera* L.^[4]中分离到海枣多糖,都是由葡萄糖(Glc)组

成的,具有显著的抗肿瘤活性,活性指标见表1。除葡聚糖以外,杂多糖也具有一定的抗肿瘤活性,主要是由半乳糖(Gal)、甘露糖(Man)、阿拉伯糖(Ara)、鼠李糖(Rha)、木糖(Xyl)等单糖组成的。从我国传统中药当归 *Angelica sinensis* (Oliv.) Diels^[6]、宁夏枸杞 *Lycium barbarum* L.^[6]中都提取分离到具有抗肿瘤活性的杂多糖,活性指标见表1。另外,从高等植物中获得的酸性杂多糖也具有抗肿瘤活性,酸性部分为糖醛酸,如从阿根廷孔雀豆木 *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan (*Piptadenia colubrina*)^[7]中分离到多糖除了含有以上几种多糖,还含有10%的己糖酸,而从象橘 *Feronia limonia* (L.) Swingle^[8]中分离到的抗肿瘤多糖 FL-la-I, D-半乳糖醛酸量高达82.5%。

1.2 主链结构:多糖主链结构也是决定多糖抗肿瘤活性的重要因素,包括糖苷键类型和主链的构型两个方面。由(1→3)链连接的 β -D-葡聚糖往往具有较强的抗肿瘤活性,如果骨架结构主要由(1→6)键或其他键连接,则抗肿瘤活性就比较低^[9],如(1→3)链连接的香菇多糖^[3]和海枣多糖^[4]活性要比(1→4)链连接的当归多糖^[5]活性强得多。Ukawa等^[10]从荷叶蘑 *Lyophyllum decastes* (Fr. ex Fr.) Sing. 中分离得到11种多糖,并分析其中4种具有较显著抗肿瘤活性的多糖(Ⅲ-2、Ⅳ-1、Ⅳ-2、Ⅳ-3), (1→3)链连接的多糖Ⅳ-1活性最强, (1→3, 1→6)键连接的多糖Ⅳ-2次之, (1→6)键连接的多糖Ⅲ-2和Ⅳ-3活性最差,活性指标见表2。其他多糖的抗肿瘤活性也受到糖苷键类型的影响,如半乳糖聚象橘多糖 FL-la-I^[8]和漆树 *Rhus vernicifera* Stokes 多糖 LPL^[11]的主链结构均为(1→6)糖苷键型;从两种库拉索芦荟 *Aloe vera* L.^[12]

收稿日期:2006-12-21

基金项目:上海市自然科学基金项目(05ZR14112);上海市“登山行动计划”中药现代化专项(06DZ19706)

作者简介:林梦感(1984—),男,硕士研究生,专业方向为生药学。

*通讯作者 杨义芳 Tel: (021)62473018 E-mail: yangyf4912@163.com

和皂质芦荟 *A. saponaria* Haw.^[13]中分离得到的具有抗肿瘤活性的甘露聚糖都是(1→4)键型。此外,主链的构型也是影响多糖抗肿瘤活性重要因素之一,如从绒状火菇

Flammulina velutipes (Curt. ex Fr.) Sing.^[14]中分离到的具有抗肿瘤活性的多糖 SFA1 的主链为 β 构型,而 α 构型的纤维素却没有活性,活性指标见表 2。

表 1 单糖组成与多糖抗肿瘤活性的关系

Table 1 Relationship between monosaccharide composition and antitumor activity of polysaccharides

来 源	单糖组成 Glc: Gal; Man; Ara; Rha; Xyl	肿瘤细胞/个	给药剂量/(mg·kg ⁻¹ ·d ⁻¹)	活性指标	文献
香菇(子实体)	1:0:0:0:0:0	S180 1×10 ⁶	1×10 d	显著性, <i>P</i> <0.01	[3]
海枣(果实)	1:0:0:0:0:0	S180 2×10 ⁶	1×10 d	抑制率,95%	[4]
当归(根)	13.8:0:0:1:0:0	S180 3×10 ⁶	100×14 d	抑制率,50.7%	[5]
枸杞(果实)	2.12:1:1.95:1.10:1.25:1.76	S180,未计数	10×10 d	抑制率,43.05%	[6]
孔雀豆木(树胶)	0:20:1:63:6:0	S180 1×10 ⁵	100×3 d	抑制率,38%	[7]
象橘(果实)	0:4.7:0:5.4:8.2:0	EAC 1×10 ⁵	100×3 d	抑制率,75%	[8]

表 2 主链组成与多糖抗肿瘤活性的关系

Table 2 Relationship between main chain composition and antitumor activity of polysaccharides

来 源	主链组成	肿瘤细胞/个	给药剂量/(mg·kg ⁻¹ ·d ⁻¹)	抑制率/%	文献
荷叶蘑(子实体)	Ⅱ-2,(1→6)-β-D-葡聚糖	S-180 2×10 ⁶	10×10 d	70.4	[10]
	N-1,(1→3)-β-D-葡聚糖			97.1	
	N-2,(1→3,1→6)-β-D-葡聚糖			96.7	
	N-3,(1→6)-β-D-葡聚糖			89.3	
漆树(树液)	LPL,(1→3)-β-D-半乳糖	S-180 1×10 ⁷	150×7 d	63.5	[11]
绒状火菇(细胞壁)	(1→3)-β-D-葡聚糖	S-180 1×10 ⁶	15×5 d	94.1	[14]
	α-纤维素			-24.7	

1.3 支链组成:支链组成对多糖的抗肿瘤活性也有较大影响。Yang 等^[11]通过氧化降解和酸水解等方法对漆树多糖 LPH 和 LPL 进行去分支,发现去分支后多糖的活性明显下降,活性指标见表 3。但是,多糖分支与活性的关系并不是一种线性关系,分支度(degrees of branching, DB)适中的多糖往往具有较高的活性,DB 过大或过小都无法使多糖活性达到理想状态,因此每种多糖都存在最佳 DB,如抗肿瘤活性很强的香菇多糖仅在 C-6 上有分支,分支度为 0.33,其他一些活性多糖的分支度分布为 0.04~0.75,变化范围较大^[15]。Bohn 等^[15]对几十种葡聚糖的分支度与其抗肿瘤活性进行了比较,认为分支度在 0.20~0.33 的(1→3)-β-D-葡聚糖的活性较强。

1.4 官能团:一些多糖的活性还与所含化学基团密切相关,而这些化学基团可通过人为的化学反应进行添加和去除。因此,对多糖进行结构修饰可以提高多糖的活性,或者借此来

表 3 漆树多糖支链组成与其抗肿瘤活性的关系

Table 3 Relationship between LPH and LPL branched chain composition of *R. vernificifera* polysaccharides and their antitumor activities

来 源	支链组成	肿瘤细胞/个	给药剂量/ (mg·kg ⁻¹ ·d ⁻¹)	抑制率/%	文献
漆树(树液)	LPH,未去分支	S-180 1×10 ⁷	150×7 d	37.9	[11]
	LPHde,去分支			-55.7	
	LPL,未去分支			63.5	
	LPLde,去分支			-51.1	
	LPL 酸水解 2 h			48.8	
	酸水解 4 h			20.1	
	酸水解 6 h			23.1	

研究多糖构效关系。硫酸化、羧甲基化、甲基化、羟乙基化、羟丙基化、磺酰化、乙酰化、烷基化等衍生化,都有可能影响多糖的抗肿瘤活性。通过对茯苓 *Poria cocos* (Schw.) Wolf 多糖

PCS3-Ⅱ^[16]分别进行硫酸化、羧甲基化、甲基化、羟乙基化、羟丙基化得到 5 种多糖衍生物,发现衍生物的抗肿瘤活性大大提高,活性指标见表 4。而且,要使多糖产生较强的抗肿瘤活性,衍生化基团的取代度(degree of substitute, DS)也必须达到一定的要求,如 DS 为 1.0~1.3 的茯苓多糖 PCS3-Ⅱ 的硫酸根和羧甲基衍生物具有良好的抗肿瘤活性^[16]。Tao 等^[17]对从虎奶菇 *Pleurotus tuberregium* (Franch.) Singer 中分离出的 4 个多糖 F2、F3、F4、F8 分别进行硫酸化得到 4 个衍生化多糖 S-F2、S-F3、S-F4 和 S-F8,也表明适当取代度(DS=0.30)的 S-F2 具有最好抗肿瘤活性,而其他 3 个衍生物活性都没有明显提高,活性指标见表 4。

2 高级结构的影响

多糖抗肿瘤活性不仅是建立在多糖分子的一级结构基础上,而且还与多糖分子的高级结构有关。三股螺旋构型是多糖最具活性的空间构象,具有抗肿瘤活性的香菇多糖就是呈三股螺旋结构,当向香菇多糖中添加二甲基亚砜,使其失去三股螺旋构象,改变空间构型,其抗肿瘤活性也随之降低甚至消失^[18,19],活性指标见表 5。此外,多糖主链的柔韧性对多糖活性的作用也是不容忽视,在一定程度上决定其抗肿瘤活性大小。多糖主链的柔韧性由多糖分子内氢键和取代基的静电排斥作用共同形成。Wang 等^[16,20]对羧甲基化茯苓多糖的结构分析显示,经羧甲基化修饰后,多糖的主链变得高度伸展,链的韧性增强,从而提高其抗肿瘤活性。通过对从虎奶菇中分离得到的 7 种多糖 TM8 及其各自的羧甲基衍生物 CTM8 的构象参数进行分析,同样也发现羧甲基多糖因取代基所产生的空间位阻而使其柔性链具有较好的伸展性,CTM8 的伸展链构象对其抗肿瘤活性的提高有着不可忽略的作用^[21],活性指标见表 5。由此可见,多糖的高级结构与其抗肿瘤活性关系密切。

表 4 官能团与多糖抗肿瘤活性的关系

Table 4 Relationship between functional group and antitumor activity of polysaccharides

来源	衍生化方法及取代度	肿瘤细胞/个	给药剂量/(mg·kg ⁻¹ ·d ⁻¹)	抑制率/%	文献
茯苓(菌核)	PCS3-Ⅰ,未衍生化	S-180 5×10 ⁶	32×10 d	3.02	[16]
	硫酸化,DS=1.21			34.63	
	羧甲基化,DS=1.34			35.27	
	甲基化,DS=0.82			24.48	
	羧乙基化,DS=0.60			20.20	
	羟丙基化,DS=0.30			14.88	
虎奶菇(菌核)	F2,未衍生化	S-180 1×10 ⁵	60×8 d	39.7	[17]
	S-F2,硫酸化,DS=0.30			72.1	
	F3,未衍生化			67.9	
	S-F3,硫酸化,DS=0.41			24.3	
	F4,未衍生化			51.3	
	S-F4,硫酸化,DS=0.54			36.9	
	F8,未衍生化			38.5	
	S-F8,硫酸化,DS=0.36			44.0	

表 5 空间构象与多糖抗肿瘤活性的关系

Table 5 Relationship between chain conformation and antitumor activity of polysaccharides

来源	空间构象	肿瘤细胞/个	给药剂量/(mg·kg ⁻¹ ·d ⁻¹)	抑制率/%	文献
香菇(子实体)	L-I2,三股螺旋	S-180 1×10 ⁶	60×7 d	54.5	[18]
	LSC-I2,单柔性链			16.7	
	L-I3,三股螺旋			70.0	
	LSC-I3,单柔性链			4.2	
香菇(子实体)	L-FV-IB21,三股螺旋	S-180 1×10 ⁵	60×8 d	36.3	[19]
	L-FV-IB21D,单柔性链			16.8	
	L-FV-IB31,三股螺旋			49.5	
	L-FV-IB31D,单柔性链			12.3	
虎奶菇(菌核)	TM8-1,随机螺旋	S-180 1×10 ⁵	20×10 d	无活性	[21]
	CTM8-1,伸展链			2	
	TM8-2,随机螺旋			无活性	
	CTM8-2,伸展链			64	
	TM8-3,随机螺旋			52	
	CTM8-3,伸展链			48	
	TM8-4,随机螺旋			50	
	CTM8-4,伸展链			54	
	TM8-5,随机螺旋			76	
	CTM8-5,伸展链			75	
	TM8-6,随机螺旋			44	
	CTM8-6,伸展链			53	
	TM8-7,随机螺旋			6	
	CTM8-7,伸展链			46	

3 理化性质的影响

影响多糖抗肿瘤活性的理化性质方面的因素主要包括多糖水溶性、相对分子质量、黏度等。研究表明,多糖水溶性和相对分子质量对多糖的活性影响尤为明显。

3.1 水溶性:多糖发挥其抗肿瘤活性的前提是活性多糖能够溶于水。绒状火菇^[14]中分离到的水溶性多糖 SFA1 具有很强的抗肿瘤活性,而水不溶性多糖 IFA1 几乎没有活性,活性指标见表 6。衍生化能够提高多糖的水溶性,进而改善其抗肿瘤活性。Unursaikhan 等^[22]从 4 种不同的香菇的子实体中得到 4 个水不溶性的(1→3)-α-D-葡聚糖(L-Ⅰ1、L-Ⅰ2、L-Ⅰ3、L-Ⅰ4),经过硫酸化(SL-Ⅰ1~4)后提高了水溶性,抗肿瘤活性也随之增强,活性指标见表 6。因此,对于水溶性较差的多糖组分进行适当的化学修饰,提高溶解度,可以增强其抗肿瘤活性。

表 6 水溶性与多糖抗肿瘤活性的关系

Table 6 Relationship between water-solubility and antitumor activity of polysaccharides

来源	水溶性	肿瘤细胞/个	给药剂量/(mg·kg ⁻¹ ·d ⁻¹)	抑制率/%	文献
绒状火菇(细胞壁)	SFA1,+	S-180 1×10 ⁶	15×5 d	94.1	[15]
	IFA1,-			5.0	
香菇(子实体)	L-Ⅰ1,-	S-180 5×10 ⁶	60×10 d	31.7	[22]
	SL-Ⅰ1,+			56.1	
	L-Ⅰ2,-			16.7	
	SL-Ⅰ2,+			56.2	
	L-Ⅰ3,-			30.5	
	SL-Ⅰ3,+			59.0	
	L-Ⅰ4,-			11.5	
	SL-Ⅰ4,+			48.4	

3.2 相对分子质量:多糖的抗肿瘤活性还与其相对分子质量有一定关系,这可能同多糖分子形成的高级构型有关。例如,葡聚糖的活性与其相对分子质量就有一定的依赖关系,相对分子质量较高($1\times 10^5\sim 2\times 10^5$)的活性较强,而相对分子质量为 $5\times 10^3\sim 1\times 10^4$ 的相同来源的多糖却没有活性^[9]。Unursaikhan 等^[18]用超声波降解的方法降低香菇多糖相对分子质量,结果也发现相对分子质量小的多糖活性差,活性指标见表 7。Zhang 等^[19]还对从香菇中分离到的 8 种(1→3)-β-D-葡聚糖进行了抗肿瘤活性考察,发现相对分子质量为 1.49×10^6 的多糖 L-FV-IB31 活性最强,活性指标见表 7。对

芦荟的 3 个多糖组分的抗肿瘤活性进行研究,也表明适当相对分子质量大小的 G2E1DS2($5\times 10^3\sim 4\times 10^5$)活性最强^[12],活性指标见表 7。由此可见,不同的多糖产生抗肿瘤活性有其最佳相对分子质量范围。

4 缀合物的影响

一些多糖通常为核酸或者蛋白质的缀合物,核酸或者蛋白质的缀合也能够影响多糖的抗肿瘤活性。Unursaikhan 等^[18]分别对 4 种香菇多糖及其去除结合蛋白后的多糖的抗肿瘤活性进行比较,发现蛋白质的缀合对多糖的活性也有明显的影响,活性指标见表 8。

表 7 相对分子质量与多糖抗肿瘤活性的关系

Table 7 Relationship between relative molecular weight and antitumor activity of polysaccharides

来 源	相对分子质量	肿瘤细胞/个	给药剂量/(mg·kg ⁻¹ ·d ⁻¹)	抑制率/%	文献
香菇(子实体)	L-I2,高相对分子质量	S-180 1×10 ⁶	60×7 d	54.5	[18]
	LU-I2,低相对分子质量			24.2	
	L-I3,高相对分子质量			70.0	
	LU-I3,低相对分子质量			28.2	
	L-FV-IB11,2.83×10 ⁶	S-180 1×10 ⁵	60×8 d	34.0	[19]
	L-FV-IB12,2.16×10 ⁶			34.6	
	L-FV-IB21,1.84×10 ⁶			36.3	
	L-FV-IB31,1.49×10 ⁶			49.5	
	L-FV-IB41,1.14×10 ⁶			27.6	
	L-FV-IB32,9.79×10 ⁵			26.0	
	L-FV-IB52,5.71×10 ⁵			38.2	
	L-FV-IB73,3.57×10 ⁵			35.4	
芦荟(凝胶)	G2E1DS2,<5×10 ³	S-180 4×10 ⁵	1*×8 d	14.87	[12]
	G2E1DS2,5×10 ³ ~4×10 ⁵			91.53	
	G2E1DS2,>4×10 ⁵			15.89	

* 剂量为每只小鼠 1 mg/d
* Dose is 1 mg/d per. mouse

表 8 蛋白质缀合与多糖抗肿瘤活性的关系

Table 8 Relationship between conjugated protein and antitumor activity of polysaccharides

来 源	蛋白质缀合	肿瘤细胞/个	给药剂量/(mg·kg ⁻¹ ·d ⁻¹)	抑制率/%	文献
香菇 (子实体)	L-II,有	S-180 1×10 ⁶	60×7 d	47.8	[18]
	LNP-II,无			17.1	
	L-I2,有			54.5	
	LNP-I2,无			30.4	
	L-I3,有			70.0	
	LNP-I3,无			41.1	
	L-I4,有			37.1	
	LNP-I4,无			37.6	

5 结语与展望

5.1 通过对来源于高等植物和食用真菌的几十种多糖及其衍生物的抗肿瘤活性的总结和比较,发现影响多糖抗肿瘤活性的因素主要包括结构、理化性质以及是否含有缀合物 3 个方面。这些抗肿瘤活性多糖主要由葡萄糖、半乳糖、甘露糖、阿拉伯糖、鼠李糖、木糖以及糖醛酸等组成,活性参差不齐,其中(1→3)-β链型的 D-葡聚糖活性较强,而且三股螺旋空间构象是该类多糖产生活性所必需的;理化性质和缀合物的引入也是影响多糖活性的重要因素,如中等相对分子质量和良好的水溶性是保证抗肿瘤活性的必要条件,因此多糖进行适当的衍生化修饰,降解至适当相对分子质量,改善多糖水

溶性,能够提高多糖的抗肿瘤活性。

5.2 多糖的高级结构对其抗肿瘤活性较初级结构的影响更为重要,这一点已经得到大多数专家的认可。但是多糖的化学结构独特、复杂,这就决定了高级结构(尤其是空间构象)和构效关系研究的复杂性和难度,而且高级结构的研究还受到测试手段的限制,因此有关多糖的高级结构及其抗肿瘤构效关系的研究相对较少。

5.3 多糖抗肿瘤活性与各个影响因素密切相关,但各因素并不是孤立地影响多糖的活性。如理化性质能够影响多糖活性,而理化性质是多糖结构决定的,可以通过化学修饰改变多糖结构影响其理化性质。因此,不仅要单独考察各级结构、理化性质、缀合物引入等因素对多糖活性影响,而且还要综合考察各个因素之间相互制约对多糖抗肿瘤活性产生的影响。

5.4 多糖是一类极具潜力的天然抗肿瘤活性物质,进一步开展不同结构多糖的抗肿瘤机制研究及其构效关系研究是势在必行的。因此构效关系是目前多糖研究重要课题之一,通过从分子水平对多糖抗肿瘤活性作用机制进行研究,阐明多糖构效关系,然后用分子修饰来改善其抗肿瘤活性。

总之,从天然药用植物中寻找具有抗肿瘤活性的多糖,并通过构效关系的研究进而改造其结构,这一直是人们所梦寐以求的。虽然近年来在这些方面的研究取得一定的进展,但是多糖结构和构效关系研究中仍然存在问题有待阐明,需

要广大科技研究人员继续努力,不断深化多糖的研究。相信随着各种技术手段的不断发展和互相渗透补充,多糖抗肿瘤构效关系的研究一定会在不久的将来上一个新的台阶。

References:

- [1] Franz G, Alban S. Structure-activity relationship of antithrombotic polysaccharide derivatives [J]. *Int J Biol Macromol*, 1995, 17(6): 311-314.
- [2] Schepetkin I A, Quinn M T. Botanical polysaccharides: Macrophage immunomodulation and therapeutic potential [J]. *Int Immunopharmacol*, 2006, 6: 317-333.
- [3] Ruan Z, Su J, Dai H C, et al. Characterization and immunomodulating activities of polysaccharide from *Lentinus edodes* [J]. *Int Immunopharmacol*, 2005, 6: 811-820.
- [4] Ishurd O, Kennedy J F. The anti-cancer activity of polysaccharide prepared from Libyan dates (*Phoenix dactylifera* L.) [J]. *Carbohydr Polym*, 2005, 59: 531-535.
- [5] Cao W, Li X Q, Liu L, et al. Structure of an anti-tumor polysaccharide from *Angelica sinensis* (Oliv.) Diels [J]. *Carbohydr Polym*, 2006, 66: 149-159.
- [6] Gan L, Zhang S H, Yang X L, et al. Immunomodulation and antitumor activity by a polysaccharide-protein complex from *Lycium barbarum* [J]. *Int Immunopharmacol*, 2004, 4: 563-569.
- [7] Moretao M P, Zampronio A R, Gorin P A J, et al. Induction of secretory and tumoricidal activities in peritoneal macrophages activated by an acidic heteropolysaccharide (ARAG-AL) from the gum of *Anadenanthera colubrina* (Angico branco) [J]. *Immunol Lett*, 2004, 93: 189-197.
- [8] Saima Y, Das A K, Sarkar K K, et al. An antitumor pectic polysaccharide from *Feronia limonia*. [J]. *Int J Biol Macromol*, 2000, 27: 333-335.
- [9] Wasser S P. Medicinal mushrooms as a source of antitumor and immunomodulating polysaccharides [J]. *Appl Microbiol Biotechnol*, 2002, 60: 258-274.
- [10] Ukawa Y, Ito H, Hisamatsu M, et al. Antitumor effects of (1→3)-β-D-glucan and (1→6)-β-D-glucan purified from newly cultivated mushroom hatakeshimaji (*Lyophyllum decastes* Sing) [J]. *J Biosci Bioeng*, 2000, 90(1): 98-104.
- [11] Yang J H, Du Y M, Huang R H, et al. Chemical modification and antitumor activity of Chinese lacquer polysaccharide from lac tree *Rhus vernicifera* [J]. *Carbohydr Polym*, 2005, 59: 101-107.
- [12] Im S A, Oh S T, Song S, et al. Identification of optimal molecular size of modified *Aloe* polysaccharides with maximum immunomodulatory activity [J]. *Int Immunopharmacol*, 2005, 5: 271-279.
- [13] Sampedro M C, Artola R L, Murature M, et al. Mannan from *Aloe saponaria* inhibits tumoral cell activation and proliferation [J]. *Int Immunopharmacol*, 2004, 4: 411-418.
- [14] Leung M Y K, Fung K P, Choy Y M. The isolation and characterization of an immunomodulatory and anti-tumor polysaccharide preparation from *Flammulina velutipes* [J]. *Immunopharmacology*, 1997, 35: 255-263.
- [15] Bohn J A, Bemiller J N. (1→3)-β-D-Glucans as biological response modifiers: a review of structure-functional activity relationships [J]. *Carbohydr Polym*, 1995, 28: 3-14.
- [16] Wang Y F, Zhang L N, Li Y Q, et al. Correlation of structure to antitumor activities of five derivatives of a β-glucan from *Poria cocos* sclerotium [J]. *Carbohydr Res*, 2004, 339: 2567-2574.
- [17] Tao Y Z, Zhang L N, Cheung P C K. Physicochemical properties and antitumor activities of water-soluble native and sulfated hyperbranched mushroom polysaccharides [J]. *Carbohydr Res*, 2006, 341: 2261-2269.
- [18] Surenjav U, Zhang L N, Xu X J, et al. Effects of molecular structure on antitumor activities of (1→3)-β-D-glucans from different *Lentinus Edodes* [J]. *Carbohydr Polym*, 2006, 63: 97-104.
- [19] Zhang L N, Li X L, Xu X J, et al. Correlation between antitumor activity, molecular weight, and conformation of lentinan [J]. *Carbohydr Res*, 2005, 340: 1515-1521.
- [20] Wang Y F, Zhang L N. Chain conformation of carboxymethylated derivatives of (1→3)-β-D-glucan from *Poria cocos* sclerotium [J]. *Carbohydr Polym*, 2006, 65: 504-509.
- [21] Zhang M, Zhang L N, Cheung P C K. Molecular mass and chain conformation of carboxymethylated derivatives of glucan from sclerotia of *Pleurotus tuber-regium* [J]. *Bioprocess*, 2003, 68(2): 150-159.
- [22] Unursaikhan S, Xu X J, Zeng F B, et al. Antitumor activities of O-sulfonated derivatives of (1→3)-α-D-glucan from different *Lentinus edodes* [J]. *Biosci Biotechnol Biochem*, 2006, 70(1): 38-46.

花青素的吸收与代谢研究进展

刘学铭, 廖森泰, 肖更生, 陈卫东

(广东省农业科学院蚕业与农产品加工研究所 广东省农产品加工公共实验室, 广东 广州 510610)

摘要:花青素是一类具有多个酚羟基的黄酮类化合物,有较强的抗氧化活性,具有多种保健和药理作用。综述了花青素的吸收和代谢研究进展,包括吸收、分布、生物转化和排泄等几个方面,为进一步认识、开发、利用花青素类物质提供参考。

关键词:花青素;吸收;代谢

中图分类号:R285.61

文献标识码:A

文章编号:0253-2670(2007)06-0953-05

Advances in studies on absorption and metabolism of anthocyanins

LIU Xue-ming, LIAO Sen-tai, XIAO Geng-sheng, CHEN Wei-dong

(Guangdong Open Access Laboratory of Agricultural Product Processing, Sericulture and Farm Product Processing Research Institute of Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Guangzhou 510610, China)

Key words: anthocyanin; absorption; metabolism

收稿日期:2006-11-17

基金项目:中澳科技合作特别资金项目(2005DFA30030-1);广州市国际合作项目(2006Z3-I0041)

作者简介:刘学铭(1967—),男,江西省兴国县人,医学硕士,工学博士,研究员,主要从事农产品加工及其活性成分研究,发表论文80多篇,获省级奖励2项。Tel:(020)87236897 Fax:(020)87236354 E-mail:xuemingliu@21cn.com

多糖抗肿瘤活性构效关系的研究进展

作者：[林梦感](#)，[杨义芳](#)，[李永辉](#)，[LIN Meng-gan](#)，[YANG Yi-fang](#)，[LI Yong-hui](#)
作者单位：[上海医药工业研究院, 中药研究室, 上海, 200040](#)
刊名：[中草药](#) **ISTIC** **PKU**
英文刊名：[CHINESE TRADITIONAL AND HERBAL DRUGS](#)
年，卷(期)：2007, 38 (6)
被引用次数：9次

参考文献 (22条)

1. Franz G;Alban S [Structure-activity relationship of antithrombotic polysaccharide derivatives](#)[外文期刊] 1995 (06)
2. Schepetkin I A;Quinn M T [Botanical polysaccharides:Macrophage immunomodulation and therapeutic potential](#)[外文期刊] 2006 (3)
3. Ruan Z;Su J;Dai H C [Characterization and immunomodulating activities of polysaccharide from Lentinus edodes](#) 2005
4. Ishurd O;Kennedy J F [The anti-cancer activity of polysaccharide prepared from Libyan dates \(Phoenix dactylifera L.\)](#)[外文期刊] 2005 (4)
5. Cao W;Li X Q;Liu L [Structure of an anti-tumor polysaccharide from Angelica sinensis \(Oliv.\) Diels](#) [外文期刊] 2006 (2)
6. Gan L;Zhang S H;Yang X L [Immunomodulation and antitumor activity by a polysaccharide-protein complex from Lycium barbarum](#)[外文期刊] 2004 (4)
7. Moretao M P;Zampronio A R;Gorin P A J [Induction of secretory and tumoricidal activities in peritoneal macrophages activated by an acidic heteropolysaccharide \(ARAGAL\) from the gum of Anadenanthera colubrina \(Angico branco\)](#) [外文期刊] 2004
8. Saima Y;Das A K;Sarkar K K [An antitumor pectic polysaccharide from Feronia limonia](#)[外文期刊] 2000 (5)
9. Wasser S P [Medicinal mushrooms as a source of antitumor and immunomodulating polysaccharides](#)[外文期刊] 2002 (3)
10. Ukawa Y;Ito H;Hisamatsu M [Antitumor effects of \(1 → 3\)-β-D-glucan and \(1 → 6\)-β-D-glucan purified from newly cultivated mushroom hatakeshimaji \(Lyophyllum decmtes Sing\)](#)[外文期刊] 2000 (01)
11. Yang J H;Du Y M;Huang R H [Chemical modification and antitumour activity of Chinese lacquer polysaccharide from lac tree Rhus vernicifera](#)[外文期刊] 2005 (1)
12. Im S A;Oh S T;Song S [Identification of optimal molecular size of modified Aloe polysaccharides with maximum immunomodulatory activity](#)[外文期刊] 2005 (2)
13. Sampedro M C;Artola R L;Murature M [Mannan from Aloe saponaria inhibits tumoral cell activation and proliferation](#)[外文期刊] 2004 (3)
14. Leung M Y K;Fung K P;Choy Y M [The isolation and characterization of an immunomodulatory and anti-tumor polysaccharide preparation from Flammulina velutipes](#)[外文期刊] 1997
15. Bohn J A;Bemiller J N [\(1→3\)-β-D-Glucans as biological response modifiers:a review of structure-fuctional activity relationships](#)[外文期刊] 1995 (1)

16. [Wang Y F;Zhang L N;Li Y Q](#) [Correlation of structure to antitumor activities of five derivatives of a \$\beta\$ -glucan from *Poria cocos sclerotium*](#)[外文期刊] 2004(15)
17. [Tao Y Z;Zhang L N;Cheung P C K](#) [Physicochemical properties and antitumor activities of water-soluble native and sulfated hyperbranched mushroom polysaccharides](#)[外文期刊] 2006(13)
18. [Surenjav U;Zhang L N;Xu X J](#) [Effects of molecular structure on antitumor activities of \(1 \$\rightarrow\$ 3\)- \$\beta\$ -D-glucans from different *Lentinus Edodes*](#)[外文期刊] 2006(1)
19. [Zhang L N;Li X L;Xu X J](#) [Correlation between antitumor activity,molecular weight,and conformation of lentinan](#)[外文期刊] 2005(8)
20. [Wang Y F;Zhang L N](#) [Chain conformation of carboxymethylated derivatives of \(1 \$\rightarrow\$ 3\)- \$\beta\$ -D-glucan from *Poria cocos sclerotium*](#)[外文期刊] 2006(4)
21. [Zhang M;Zhang L N;Cheung P C K](#) [Molecular mass and chain conformation of carboxymethylated derivatives of glucan from sclerotia of *Pleurotus tuber-regium*](#)[外文期刊] 2003(02)
22. [Unursaikhan S;Xu X J;Zeng F B](#) [Antitumor activities of O-sulfonated derivatives of \(1 \$\rightarrow\$ 3\)- \$\alpha\$ -D-glucan from different *Lentinus edodes*](#)[外文期刊] 2006(01)

本文读者也读过(10条)

1. [李松](#), [吴青华](#), [陈畅](#), [顾黎](#), [LI Song](#), [WU Qing-hua](#), [CHEN Chang](#), [GU Li](#) [多糖抗肿瘤活性的最新研究进展](#)[期刊论文]-[中国生化药物杂志](#)2007, 28(3)
2. [王利平](#), [熊正俊](#), [赵国华](#) [活性多糖抗肿瘤和抗突变功能的研究进展](#)[期刊论文]-[食品研究与开发](#)2001, 22(z1)
3. [王黎明](#) [植物活性多糖构效关系研究进展](#)[期刊论文]-[安徽农学通报](#)2008, 14(23)
4. [孙群](#), [阙健全](#), [赵国华](#), [陈宗道](#) [活性多糖构效关系研究进展](#)[期刊论文]-[广州食品工业科技](#)2004, 20(1)
5. [诸葛健](#), [赵振锋](#), [方慧英](#) [功能性多糖的构效关系](#)[期刊论文]-[无锡轻工大学学报](#)2002, 21(2)
6. [高小荣](#), [刘培勋](#) [多糖构效关系研究进展](#)[期刊论文]-[中草药](#)2004, 35(2)
7. [陈丽萍](#), [王弘](#), [CHENG Liping](#), [WANG Hong](#) [硫酸多糖的结构与生物活性关系研究现状](#)[期刊论文]-[广州化工](#)2005, 33(5)
8. [肖朱洋](#) [多糖的结构分析与构效关系](#)[期刊论文]-[海峡药学](#)2007, 19(3)
9. [周永](#) [多糖类抗肿瘤作用的研究进展](#)[期刊论文]-[国外医学\(卫生学分册\)](#) 2001, 28(3)
10. [季宇彬](#), [肖凤](#), [汲晨锋](#), [Ji Yubing](#), [Xiao Feng](#), [Ji Chenfeng](#) [多糖抗肿瘤研究进展](#)[期刊论文]-[上海医药](#)2007, 28(7)

引证文献(9条)

1. [刘荣](#), [冯胜平](#), [李雪莲](#), [赵梓辰](#), [杨丽](#), [陈鸿平](#), [刘友平](#) [不同柑橘品种果皮中多糖含量积累分析](#)[期刊论文]-[中国果树](#)2013(6)
2. [杨开](#), [胡君荣](#), [何荣军](#), [张安强](#), [吴学谦](#), [孙培龙](#) [食药两用功能性 \$\beta\$ -葡聚糖荧光法测定研究](#)[期刊论文]-[菌物学报](#)2009(3)
3. [蒋开年](#), [崔志斌](#), [宋学伟](#), [朱刚](#), [韩泳平](#) [大花红景天多糖特征性的结构表征](#)[期刊论文]-[华西药学杂志](#) 2009(2)
4. [马建文](#), [葛亮](#) [温胆汤中总糖含量的测定](#)[期刊论文]-[亚太传统医药](#) 2010(7)
5. [秦卫东](#), [马利华](#), [陈学红](#), [赵悦](#) [生姜多糖的提取及脱蛋白研究](#)[期刊论文]-[食品科学](#) 2008(4)
6. [姜红霞](#), [聂永心](#), [苏延友](#) [黄伞子实体多糖的结构初探及抗肿瘤活性研究](#)[期刊论文]-[时珍国医国药](#) 2012(1)
7. [杨开](#), [胡君荣](#), [何荣军](#), [张安强](#), [吴学谦](#), [孙培龙](#) [食药两用功能性 \$\beta\$ -葡聚糖荧光法测定研究](#)[期刊论文]-[菌物学报](#)

2009 (3)

8. [陈慧珍](#) [当归的研究进展](#) [期刊论文] - [海峡药学](#) 2008 (8)

9. [高婵娟](#). [杨翔华](#). [张晶](#). [王战勇](#) [草菌多糖的结构·分析方法及抗肿瘤机制研究](#) [期刊论文] - [安徽农业科学](#) 2011 (36)

本文链接: http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_zcy200706059.aspx