

# 黄芪多糖对肿瘤模型小鼠红细胞免疫功能的影响

季宇彬, 汲晨锋

(哈尔滨商业大学教育部抗肿瘤天然药物工程研究中心, 生命科学与环境科学研究中心, 黑龙江哈尔滨 150076)

**摘要:** 本文研究了黄芪多糖对肿瘤模型小鼠红细胞膜结构组分和免疫功能的影响。黄芪多糖对 S180 小鼠腹腔注射给药 7 d, 聚丙烯酰胺凝胶电泳测定小鼠红细胞膜带 3 蛋白及血型糖蛋白 A 的相对含量, 采用试剂盒测定红细胞膜磷脂、胆固醇和唾液酸含量, 荧光偏振法测定红细胞膜流动性。应用流式细胞仪测定红细胞 CR1 数量; 显微镜观察肿瘤红细胞花环率(DTER)和 C3b 受体花环率(RBC-C3bRR)。黄芪多糖可以使 S180 小鼠红细胞膜磷脂含量升高 0.17 mmol/L、胆固醇含量降低 0.06 mmol/L; 可以显著增加 S180 小鼠红细胞膜带 3 蛋白及血型糖蛋白 A 的相对含量(2.88%、7.40%)和增加 0.23 mmol/L 红细胞膜唾液酸含量; 提高 S180 小鼠红细胞膜流动性; 还可以使 S180 小鼠红细胞 CR1 数量增加 5.9%, S180 小鼠红细胞 DTER 和 RBC-C3bRR 增加 3.13% 和 3.26%。黄芪多糖可以改善肿瘤机体红细胞膜组分及结构, 从而维持细胞膜的流动性, 恢复红细胞的功能; 还可以增加肿瘤机体红细胞 CR1 的数量, 增强红细胞 CR1 天然免疫活性, 改善肿瘤机体红细胞免疫功能。

**关键词:** 黄芪; 多糖; 肿瘤; 小鼠; 红细胞; 免疫功能

**文章编号:** 1673-9078(2013)9-2042-2046

## Effect of *Astragalus* Polysaccharide on Immune Function of Erythrocyte in Tumor Model Mice

JI Yu-bin, JI Chen-feng

(Engineering Research Center of Natural Anticancer Drug, Ministry of Education; Center of Research on Life Science and Environmental Science, Harbin University of Commerce, Harbin 150076, China)

**Abstract:** The effect of *Astragalus* polysaccharide on membrane structure and components of erythrocyte were studied and its effect on erythrocyte immune function in tumor model mice was also studied. S<sub>180</sub> mice were made as tumor model mice, and administrated with *Astragalus* polysaccharide by i.p. for 7 d, and then the erythrocytes in mice venous blood were collected. Band 3 and glycoprotein A content were determined by SDS-PAGE. Spectrophotometer with test kit was used to measure phospholipids, cholesterol and sialic acid. DPH dye and fluorescence spectrophotometer were used to determine membrane fluidity. Erythrocytes were labeled by rat anti-mouse CR1 monoclonal antibody and FITC-conjugated goat anti-mouse antibody. Flow cytometry was used to determine the number of CR1, and then the DTER and RBC-C3bRR were determined by microscope. The results showed that *Astragalus* polysaccharide increased phospholipids content by 0.17 mmol/L and decreased cholesterol content by 0.06 mmol/L. In addition, the contents of Band 3, glycoprotein A proteins and sialic acid were increased by 2.88%, 7.40% and 0.23 mmol/L, respectively. Erythrocyte membrane fluidity was also improved remarkably. The use of *Asparagus* polysaccharide also resulted in the increase of CR1 number, DTER and RBC-C3bRR in tumor model mice by 5.9%, 3.13% and 3.26%, respectively. These results indicated that *Astragalus* polysaccharide can adjust the abnormality of erythrocyte in tumor model mice, improve membrane structure and components, and restore membrane fluidity and function. *Asparagus* polysaccharide can also improve the erythrocyte immune function by affecting CR1.

**Key words:** *Astragalus*; polysaccharide; tumor; mice; erythrocyte; immune function

黄芪, 又名黄耆, 为豆科草本植物蒙古黄芪、膜荚黄芪的根, 具有补气固表、利水退肿、托毒排脓、生肌等功效。黄芪多糖(*Astragalus polysaccharides*, APS)

收稿日期: 2013-05-20

基金项目: 黑龙江省青年科学基金项目(QC2011C100); 国家自然科学基金资助项目(30672595)

作者简介: 季宇彬(1956-), 男, 博士, 教授, 多糖抗肿瘤活性研究

由黄芪根部提取, 是黄芪的主要活性成分之一, 由己糖醛酸、葡萄糖、果糖、鼠李糖、阿拉伯糖、半乳糖醛酸和葡萄糖醛酸等组成, 可作为免疫促进剂或调节剂, 同时具有抗肿瘤、抗病毒、抗衰老、抗辐射、抗应激、抗氧化等作用<sup>[1-2]</sup>。大量研究表明黄芪多糖不仅能增强网状内皮系统的吞噬功能, 使白细胞、巨噬细胞吞噬指数显著升高, 激活巨噬细胞、自然杀伤细胞

(NK)等免疫细胞,还能活化T淋巴细胞亚群,促进细胞因子生成,在多条途径、多个层面对免疫系统发挥作用<sup>[3-4]</sup>。

1981年Siegel提出红细胞免疫系统,并推测红细胞可阻止癌细胞在血循环中播散。此后,红细胞免疫与肿瘤发生的研究不断受到重视,红细胞作为一种免疫细胞,在肿瘤发生发展中的主要作用有:免疫黏附作用、促吞噬作用、效应细胞样作用、对淋巴细胞和细胞因子的调控等<sup>[5]</sup>。现代研究表明,肿瘤机体红细胞免疫功能表现为继发性缺陷,肿瘤细胞的繁殖可产生对抗红细胞机体免疫功能的物质,使红细胞免疫功能低下,粘附肿瘤细胞的能力降低。中医药对红细胞免疫功能的影响是当前红细胞免疫研究的一个新领域,现已发现许多中药多糖对红细胞免疫功能有促进和调节作用,从而发挥抗肿瘤作用。

目前关于黄芪多糖对肿瘤机体细胞免疫功能影响的研究报道较少,相关机制并不明确。本研究考察了黄芪多糖对肿瘤模型小鼠红细胞膜组分、结构和免疫功能的影响,可以为黄芪多糖在抗肿瘤及增强免疫方面更深入广泛的研究及应用提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验动物及肿瘤细胞株

昆明种小鼠,体重(20±2.0)g,雌雄各半,由黑龙江中医药大学动物室提供,动物质量合格证号:黑动字第00101003号。肉瘤细胞S<sub>180</sub>,哈尔滨商业大学药物研究所提供。

### 1.2 药物与试剂

黄芪多糖(含量67.5%,哈尔滨商业大学生命科学与环境科学研究中心提供);蛋白定量试剂盒、磷脂测定试剂盒、胆固醇测定试剂盒、唾液酸测定试剂盒,购自南京建成生物工程研究所;DPH荧光染料,购自Sigma公司;大鼠抗小鼠CD35单抗, BD Biosciences公司; FITC标记羊抗大鼠二抗, Santa Cruz公司;补体致敏酵母多糖冻干试剂, Sigma公司; FITC标记大鼠抗小鼠CD25, BD Biosciences公司;小鼠淋巴细胞分离液;丙烯酰胺,甲叉双丙烯酰胺,三羧甲基氨基甲烷,甘氨酸,十二烷基硫酸钠,甘油,β-巯基乙醇,溴酚蓝,过硫酸铵,四甲基乙二胺,考马斯亮蓝R-250,甲醇,冰醋酸,高碘酸, Schiff试剂。

### 1.3 主要仪器设备

LD4-2A型离心机,北京医用离心机厂; Allegra

64R低温高速离心机,美国Beckman-Coulter公司;电泳仪,美国Bio-Rad公司;凝胶成像系统,美国Bio-Rad公司;DKZ系列恒温水浴箱,上海一恒科技有限公司;752紫外-可见分光光度计,上海第三仪器厂;RF-5301PC荧光分光光度计,日本SHIMADZU;EPICS-XL流式细胞仪,美国Beckman-Coulter公司。

## 1.4 实验方法

### 1.4.1 肿瘤模型小鼠造模

无菌条件下抽取接种第7d的生长良好的S<sub>180</sub>小鼠腹水(活癌细胞数>97%),无菌生理盐水稀释,调整细胞浓度约2×10<sup>7</sup>个/mL,无菌操作小鼠右前肢腋部皮下接种,0.2mL/只。

### 1.4.2 实验分组、给药

小鼠随机分成3组,每组10只,分别为正常组、肿瘤模型组、黄芪多糖组。正常组、肿瘤模型组给与生理盐水0.2mL/只/d,黄芪多糖50mg/(kg·d)。小鼠于接种24h后开始腹腔注射给药,1次/d,连续给药7d。

### 1.4.3 红细胞膜的制备

停药24h后眼球采血,肝素抗凝。新鲜血液2000r/min离心5min,加PBS2000r/min离心5min,洗涤3次。红细胞悬液加入5mL10mmol/LpH7.4Tris-HCl溶液,4℃溶血12h,将所得红细胞溶血液以12000×g,4℃离心15min,弃上清液,10mmol/LpH7.4Tris-HCl溶液洗涤3次,同上离心,吸取白色沉淀物,最后1:1悬浮在pH7.4PBS缓冲液中。蛋白定量试剂盒测定蛋白含量,检测波长595nm。

### 1.4.4 红细胞膜脂质提取

准确量取0.8mL膜溶液,加3mL氯仿:甲醇(1:2, V/V)剧烈震荡2min。3000r/min离心5min,在离心管里分相,用细滴管穿过两相界面处变性蛋白的薄层,吸出下相液,转移到一个小烧杯内,置真空干燥器内蒸发至干。

### 1.4.5 红细胞膜磷脂、胆固醇含量测定

采用试剂盒分别测定磷脂和胆固醇含量。检测波长640nm,计算磷脂含量;检测波长500nm,计算胆固醇含量。

### 1.4.6 红细胞膜带3蛋白、血型糖蛋白A相对含量测定

缓冲液按1:1比例与蛋白质样品混匀,100℃保温3~5min,冷却至室温,用微量进样器分别吸取膜样品20μL。调节电流至20mA,以恒电流方式电泳。将凝胶浸入考马斯亮蓝染色0.5h,弃去染色液。加入脱色液脱色至背景透明清楚为止。将凝胶置于凝胶成

像系统中拍照,进行 Band 3 含量分析。另将凝胶浸入 Schiff 试剂染色 1 h,弃去染色液。加入脱色液脱色至背景透明清楚为止。将凝胶置于凝胶成像系统中拍照,进行 GPA 含量分析。

#### 1.4.7 红细胞膜唾液酸含量测定

采用试剂盒测定,检测波长 560 nm 处,计算唾液酸含量。

#### 1.4.8 红细胞膜流动性测定

##### 1.4.8.1 红细胞膜荧光标记

取新配制的 2 mmol/L DPH 标记液四氢呋喃液 10  $\mu$ L 分别加入 10.0 mL 红细胞膜缓冲液中,25  $^{\circ}$ C 水浴 30 min,用 PBS 液洗涤 1 次,最后将细胞悬浮于 4.0 mL PBS 液中,即得 DPH 标记的细胞膜。

##### 1.4.8.2 荧光偏振度的测定

细胞膜的流动性采用荧光偏振度 (P) 和微黏度 ( $\eta$ ) 来表示。用 RF540 荧光分光光度计采用氙灯光源,荧光激发波长为 362 nm,发射波长为 432 nm。在 25  $^{\circ}$ C 下分别测定与激发偏振光振动方向平行、垂直时的荧光偏振光强度 P,计算红细胞膜膜脂流动性 LFU =  $(0.5-P)/P^2$ ;  $\eta=2P/(0.46-P)$ 。

#### 1.4.9 红细胞 CR1 数量测定

参考季宇彬<sup>[6]</sup>建立的实验方法,采用流式细胞仪测定 CR1 数量。

#### 1.4.10 红细胞 CR1 活性测定

依照郭峰<sup>[5]</sup>建立的 RBC-C3bRR 和 DTER 实验,测定 RBC-C3bRR 和 DTER。

### 1.5 统计方法

运用 SPSS 15.0 for windows 进行数据统计分析,数值采用  $\bar{x} \pm s$  表示,组间比较采用 ANOVA 分析,以  $P < 0.05$  和  $P < 0.01$  为差异有统计学意义。

## 2 结果与讨论

### 2.1 黄芪多糖对小鼠红细胞膜磷脂、胆固醇含量的影响

黄芪多糖对肿瘤模型小鼠红细胞膜磷脂、胆固醇含量影响的结果如表 1 所示。表 1 表明,与正常小鼠比较,肿瘤模型小鼠红细胞膜脂质含量异常,磷脂含量减少、胆固醇含量增加,两组之间比较具有非常显著性差异 ( $P < 0.01$ ),并且磷脂与胆固醇的比例减小,这说明肿瘤模型小鼠红细胞膜结构的稳定性降低。黄芪多糖给药后可以升高肿瘤模型小鼠红细胞膜磷脂含量、降低胆固醇含量,与模型组比较具有显著性差异

( $P < 0.05$ ),并且磷脂所占的比例增加,改善了肿瘤模型小鼠红细胞膜脂质成分的含量。

表 1 黄芪多糖对小鼠红细胞膜磷脂、胆固醇含量的影响

( $n=10, \bar{x} \pm s$ )

Table 1 Effects of Astragalus polysaccharides on content of PL and Ch on erythrocyte membrane

组别	剂量 (/mg/kg)	磷脂 (/mmol/L)	胆固醇 (/mmol/L)	磷脂 /胆固醇
正常组	-	1.72 $\pm$ 0.03**	1.38 $\pm$ 0.05**	1.25 $\pm$ 0.05
模型组	-	1.32 $\pm$ 0.05	1.55 $\pm$ 0.15	0.85 $\pm$ 0.12
模型+黄芪多糖组	50	1.49 $\pm$ 0.06*	1.49 $\pm$ 0.10*	1.00 $\pm$ 0.08

注:与模型对照组比较:\* $P < 0.05$ ,\*\* $P < 0.01$  水平差异有统计学意义。

磷脂和胆固醇是细胞膜脂质双层最主要的两种膜脂质成分,它们在细胞膜中含量的变化可直接影响细胞膜的功能<sup>[7]</sup>。并且脂质中磷脂所占的比例较大,其与胆固醇的比例是决定细胞膜流动性的主要因素,对于维持脂质双分子层结构稳定起到一个至关重要的作用。黄芪多糖可以通过升高肿瘤机体红细胞膜磷脂含量、降低胆固醇含量,从而有助于维持细胞膜结构的稳定性,改善肿瘤机体红细胞的生理功能。

### 2.2 黄芪多糖对小鼠红细胞膜带 3 蛋白、血型糖蛋白 A、唾液酸含量的影响

黄芪多糖对肿瘤模型小鼠红细胞膜带 3 蛋白、血型糖蛋白 A 含量影响的结果如表 2 所示。表 2 表明,与正常小鼠比较,肿瘤模型小鼠红细胞膜带 3 蛋白、血型糖蛋白 A 的含量明显降低,两组之间比较具有显著性差异 ( $P < 0.01, P < 0.05$ ),这说明肿瘤模型小鼠红细胞膜结构的稳定性降低。黄芪多糖给药后可以升高肿瘤模型小鼠红细胞膜两种蛋白的相对含量,与模型组比较具有显著性差异 ( $P < 0.05$ ),调整并改善了肿瘤模型小鼠红细胞膜脂质双层中膜蛋白成分的含量。

表 2 黄芪多糖对小鼠红细胞膜带 3 蛋白、血型糖蛋白 A、唾液酸含量的影响 ( $n=10, \bar{x} \pm s$ )

Table 2 Effects of astragalus polysaccharides on relative content of Band 3, GPA and SA on erythrocyte membrane

组别	剂量 (/mg/kg)	带 3 蛋白 /%	血型糖蛋白 A/%	唾液酸 (/mmol/L)
正常组	-	23.12 $\pm$ 2.93**	84.07 $\pm$ 3.08*	1.09 $\pm$ 0.10**
模型组	-	14.55 $\pm$ 2.55	73.19 $\pm$ 5.88	0.67 $\pm$ 0.04
模型+黄芪多糖组	50	17.43 $\pm$ 1.95*	80.59 $\pm$ 4.35*	0.90 $\pm$ 0.08**

注:与模型对照组比较:\* $P < 0.05$ ,\*\* $P < 0.01$  水平差异有统计学意义。

黄芪多糖对肿瘤模型小鼠红细胞膜唾液酸含量影响的结果如表 2 所示。表 2 表明, 与正常小鼠比较, 肿瘤模型小鼠红细胞膜唾液酸含量明显降低, 两组之间比较具有非常显著性差异 ( $P<0.01$ )。黄芪多糖给药后可以增加肿瘤模型小鼠红细胞膜唾液酸含量, 与模型组比较具有非常显著性差异 ( $P<0.01$ ), 调整并改善了肿瘤模型小鼠红细胞膜脂质双层中膜糖成分的含量。

带 3 蛋白是红细胞膜上含量最丰富的蛋白质, 约占膜蛋白含量的 25~30%, 也是红细胞膜上重要的结构蛋白和功能蛋白<sup>[8]</sup>。血型糖蛋白 A 是红细胞膜上含量最丰富的涎糖蛋白, 参与红细胞膜结构的调节, 间接影响红细胞形态、柔性和稳定性<sup>[9]</sup>。病理状态下, 这两种膜蛋白的含量和结构会发生变化, 从而对红细胞的生理功能和免疫效应产生影响。唾液酸是红细胞膜上重要的膜糖成分, 其含量对于红细胞功能的正常发挥有重要作用。唾液酸减少可以引起糖脂、糖蛋白结构和功能异常, 促进红细胞老化, 使红细胞凝集性和脆性增加, 从而影响红细胞的生理功能。黄芪多糖可以通过增加肿瘤机体红细胞膜蛋白的相对含量和膜糖成分的含量, 调整肿瘤机体红细胞脂质双分子层的形态结构, 从而改善红细胞的生理功能。

### 2.3 黄芪多糖对小鼠红细胞膜流动性的影响

黄芪多糖对肿瘤模型小鼠红细胞膜流动性影响的结果如表 3 所示。表 3 表明, 与正常小鼠比较, 肿瘤模型小鼠红细胞膜微黏度增加, 膜流动性明显降低, 两组之间比较都具有非常显著性差异 ( $P<0.01$ ), 这说明肿瘤模型小鼠红细胞膜结构的稳定性降低。黄芪多糖给药后可以降低肿瘤模型小鼠红细胞膜荧光偏振度和微黏度, 提高肿瘤小鼠红细胞膜流动性, 与模型组比较具有显著性差异 ( $P<0.05$ ), 这进一步证明黄芪多糖有助于恢复肿瘤模型小鼠红细胞膜结构的稳定性。

表 3 黄芪多糖对小鼠红细胞膜流动性的影响 ( $n=10, \bar{x} \pm s$ )

Table 3 Effects of Astragalus polysaccharides on erythrocyte membrane fluidity

组别	剂量/(mg/kg)	荧光偏振度	微黏度	膜流动性
正常组	-	0.13±0.02**	0.83±0.10**	20.13±2.15**
模型组	-	0.18±0.03	0.96±0.10	11.30±1.04
模型+黄芪多糖组	50	0.16±0.03*	0.90±0.07*	14.46±1.17*

注: 与模型对照组比较: \* $P<0.05$ , \*\* $P<0.01$  水平差异有统计学意义。

细胞膜流动性是生物膜结构的一个基本特性, 适宜的膜脂流动性是维持细胞膜正常功能的必要条件

[10]。当机体处于病理状态时, 细胞膜的结构和功能发生变化, 膜脂质流动性的变化是其直观的体现。实验在考察黄芪多糖对肿瘤模型小鼠红细胞膜脂质、膜蛋白和膜糖含量影响的基础上, 进一步考察了对红细胞膜流动性的影响。实验证明, 肿瘤黄芪多糖由于调整肿瘤机体红细胞膜主要成分的含量和结构, 提高了细胞膜脂质流动性, 恢复细胞膜结构的稳定性, 从而有助于改善红细胞生理功能。

### 2.4 黄芪多糖对小鼠红细胞 CR1 数量和活性的影响

黄芪多糖对肿瘤模型小鼠红细胞 CR1 数量影响的结果如表 4 所示。表 4 表明, 肿瘤模型小鼠红细胞免疫分子 CR1 数量显著低于正常小鼠, 两组之间比较具有非常显著性差异 ( $P<0.01$ )。黄芪多糖给药后可以增加肿瘤模型小鼠红细胞 CR1 数量, 与模型组比较具有显著性差异 ( $P<0.05$ ), 有助于恢复肿瘤模型小鼠红细胞的免疫功能。结果见图 1。

表 4 黄芪多糖对小鼠红细胞 CR1 数量的影响 ( $n=10, \bar{x} \pm s$ )

Table 4 Effect of Astragalus polysaccharides on the number of erythrocyte complement receptor 1

组别	剂量/(mg/kg)	平均荧光强度
正常组	-	17.10±0.53**
模型组	-	14.67±0.31
模型+黄芪多糖组	50	15.60±0.67*

注: 与模型对照组比较: \* $P<0.05$ , \*\* $P<0.01$  水平差异有统计学意义。

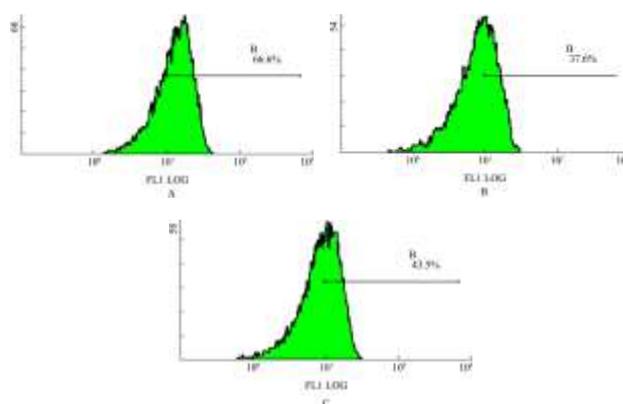


图 1 红细胞 CR1 表达

Fig.1 Fluorescence intensity of CR1

注: A-正常组; B-模型组; C-模型+黄芪多糖组。

黄芪多糖对肿瘤模型小鼠红细胞 CR1 活性影响的结果如表 5 所示。表 5 表明, 肿瘤模型小鼠的肿瘤红细胞花环率 (DTER) 和红细胞 C3b 受体花环率 (RBC-C3bRR) 显著低于正常小鼠, 两组之间比较具

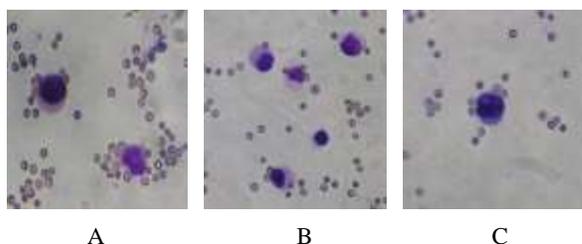
有非常显著性差异( $P<0.01$ ), 这表明肿瘤小鼠红细胞免疫分子 CR1 活性降低。黄芪多糖给药后可以提高肿瘤小鼠红细胞 DTER 和 RBC-C3bRR, 与模型组比较具有显著性差异( $P<0.05$ ), 表明黄芪多糖可以增强肿瘤小鼠红细胞 CR1 活性。结果见图 2、3。

表 5 黄芪多糖对小鼠红细胞 CR1 活性的影响 ( $n=10, \bar{x}\pm s$ )

Table 5 Effect of Astragalus polysaccharides on the RBC-C3bRR and DTER

组别	剂量 (mg/kg)	肿瘤红细胞 花环率/%	红细胞 C3b 受 体花环率/%
正常组	-	36.51±0.81**	20.12±1.54**
模型组	-	17.38±0.68	11.41±0.56
模型+黄芪多糖组	50	20.51±1.21*	14.67±0.93*

注: 与模型对照组比较: \* $P<0.05$ , \*\* $P<0.01$  水平差异有统计学意义。

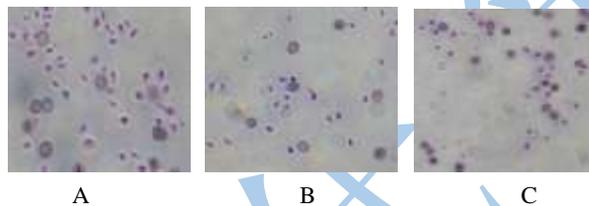


A B C

图 2 肿瘤红细胞花环率

Fig.2 DTER of erythrocyte

注: A-正常组; B-模型组; C-模型+黄芪多糖组。



A B C

图 3 红细胞 C3b 受体花环率

Fig.3 RBC-C3bRR of erythrocyte

注: A-正常组; B-模型组; C-模型+黄芪多糖组。

CR1(CD35)即 C3b/C4b 受体, 是红细胞免疫的重要物质基础, 现已明确红细胞是通过膜表面的 CR1 黏附循环免疫复合物, 促进吞噬细胞吞噬 CIC, 从而增强机体对 CIC 的清除能力<sup>[11-12]</sup>。CR1 可与补体 (C3b) 致敏的酵母菌黏附形成花环; 肿瘤细胞可通过旁路途径激活并黏附补体, 与红细胞 CR1 黏附形成花环。赵翠艳<sup>[13]</sup>等研究发现, 黄芪多糖能明显升高三黄鸡红细胞 C3b 受体花环促进率、降低红细胞 C3b 受体花环抑制率, 表明黄芪多糖显著增强红细胞 CR1 的免疫活性, 增强机体的细胞免疫功能。实验考察黄芪多糖对肿瘤模型小鼠红细胞 CR1 数量的影响, 同时考察了黄芪多糖对肿瘤模型小鼠肿瘤红细胞花环率 (DTER) 和红细胞 C3b 受体花环率 (RBC-C3bRR) 的影响。

实验结果表明, 黄芪多糖可以增加 S<sub>180</sub> 小鼠红细胞 CR1 的数量, 增加 CR1 的粘附活性, 从而增强红细胞免疫功能, 起到抗肿瘤作用。

### 3 结论

黄芪多糖对肿瘤机体红细胞结构及免疫功能具有较好的调节作用, 可以改善并恢复肿瘤模型小鼠红细胞膜主要结构组分的含量 (膜脂质、膜蛋白、膜糖), 提高红细胞膜脂质流动性, 增加细胞膜结构的稳定性, 同时通过增加肿瘤模型小鼠红细胞 CR1 的数量和增强红细胞 CR1 天然免疫活性, 改善肿瘤机体红细胞免疫功能, 可以作为肿瘤疾病预防和治疗的良好保健品和药物。

### 参考文献

- [1] 朱振元, 刘荣强, 周芳, 等. 黄芪多糖的分离纯化和抗肿瘤活性研究[J]. 现代食品科技, 2011, 27(4): 376-379  
Zhu Z Y, Liu R Q, Zhou F, et al. Extraction and purification of astragalus polysaccharide and its anti-tumor activity [J]. Modern Food Science and Technology, 2011, 27(4): 376-379
- [2] 李敏, 王劼, 赵谦明, 灵芝、姬松茸、黄芪混合多糖配伍茶多酚复合剂免疫增强作用的研究[J]. 现代食品科技, 2009, 25(8): 885-888  
Li M, Wang J, Zhao M M. Effects of a compound agent of Ganoderma lucidum, Agaricus blazei, Tea polyphenols and Astragalus on immune enhancement of mice [J]. Modern Food Science and Technology, 2009, 25(8): 885-888
- [3] Li J, Zhong Y, Li H, et al. Enhancement of Astragalus polysaccharide on the immune responses in pigs inoculated with foot-and-mouth disease virus vaccine [J]. Int J Biol Macromol, 2011, 49(3): 362-368
- [4] Guo L, Bai S P, Zhao L, et al. Astragalus polysaccharide injection integrated with vinorelbine and cisplatin for patients with advanced non-small cell lung cancer: effects on quality of life and survival [J]. Med Oncol, 2012, 9(3): 1656-1662
- [5] 郭峰, 钱宝华. 现代红细胞免疫学[M]. 上海: 第二军医大学出版社, 2002  
Guo F, Qian B H. Modern Red Blood Cell Immunology [M]. Shanghai: Second Military Medical University Press, 2002
- [6] 季宇彬, 闵永萃, 汲晨峰, 芦笋多糖对 S<sub>180</sub> 小鼠红细胞补体受体-1(CR1, CD35)数量及活性的影响[J]. 中国药理学杂志, 2009, 44(14): 1066-1069  
Ji Y B, Min Y C, Ji C F. Effect of asparagus polysaccharide on the number and activity of erythrocyte complement receptor 1 (CD35) of S<sub>180</sub> mice [J]. Chinese Pharmaceutical

- Journal, 2009, 44(14): 1066-1069
- [7] 汲晨锋,肖凤.青龙衣多糖对 S180 小鼠红细胞膜组分的影响[J].哈尔滨商业大学学报(自然科学版),2008,24(4):391-395  
Ji C F, Xiao F. Effect of Qinglongyi polysaccharide on membrane components and fluidity of S180 mice [J]. Journal of Harbin University of Commerce (Natural Sciences Edition), 2008, 24(4): 391-395
- [8] Brad S K, James D H, James R S, et al. Changes in Band 3 oligomeric state precede cell membrane phospholipid loss during blood bank storage of red blood cells [J]. Transfusion, 2009, 49(7): 1435-1442
- [9] Williamson R C, Toyne A M. Glycophorin A: Band 3 aid [J]. Blood Cells Mol Dis, 2008, 41(1):35-43
- [10] Angel H H, Marina C R, Abel L R, et al. Alterations in erythrocyte membrane protein composition in advanced non-small cell lung cancer [J]. Blood Cells, Molecules, and Diseases, 2006, 36(3): 355-363
- [11] Liu D, Niu Z X. The structure, genetic polymorphisms, expression and biological functions of complement receptor type 1 (CR1/CD35) [J]. Immunopharmacol Immunotoxicol, 2009, 31(4): 524-535
- [12] Seregin S S, Aldhamen Y A, Appledorn D M, et al. CR1/2 is an important suppressor of Adenovirus-induced innate immune responses and is required for induction of neutralizing antibodies [J]. Gene Ther, 2009, 16(10): 1245-1459
- [13] 赵翠燕,徐嘉静,何建梅. 黄芪多糖对三黄鸡红细胞免疫功能的影响[J].广东农业科学,2012,23:104-106  
Zhao C Y, Xu J J, He J M. Effects of astragalus polysaccharides (APS) on immunity of erythrocyte in broilers [J]. Guangdong Agriculture Sciences, 2012, 23: 104-106