

染料木素磺酸钠制备及其抗脂质过氧化作用

索志荣^a 张尊听^b 郑建斌^{a*}

(^a 西北大学分析科学研究所/陕西省电分析化学重点实验室 西安 710069;

^b 陕西师范大学化学与材料科学学院 西安)

摘 要 染料木素(G)是具有明显的抗肿瘤、降血脂、抗动脉粥样硬化等活性的异黄酮类化合物,其脂溶性和水溶性均较差,生物利用度不高。通过对其磺化,合成了它的3'-磺酸钠(G_1)和3'- β -二磺酸钠(G_2)2种水溶性衍生物,用IR、¹H NMR等测试技术对其结构进行了表征,比较了G、 G_1 和 G_2 的抑制脂质体过氧化作用。结果表明, G_1 和 G_2 的抗氧化活性强于G。

关键词 染料木素 染料木素磺酸钠 水溶性 抗脂质体过氧化

中图分类号:O614

文献标识码:A

文章编号:1000-0518(2005)10-1083-04

染料木素(G)又名金雀异黄素,具有明显的抗肿瘤、降血脂、抗动脉粥样硬化、调节月经及改善妇女更年期症状等作用^[1~4]。G可以改变多种癌细胞基因,使其不能合成蛋白质,最终导致癌细胞自行凋亡,但并不改变正常细胞的基因,因此不损伤正常细胞,受到各国医药界的关注^[5]。然而,由于G的脂溶性和水溶性均较差,生物利用度不高,限制了它的广泛应用。因此,对G进行化学修饰,改善溶解度和药效已引起重视。余戟等^[6,7]首次合成了2种水溶性较好的G的衍生物-染料木素-4'-硫酸酯钠和染料木素-7- β -二硫酸酯钠,并将它们和G的抑制HL-60细胞生长和猪血小板聚集作用进行了比较,发现2种改性衍生物的药理作用急剧降低或失活。金永生等^[8]以氯苄为起始原料,经取代、硝化、Friedel-Crafts反应和环合,再与各种卤代烃反应,得到4'-硝基脱氧安息香和4'-硝基染料木素2个中间体以及6个5-羟基-4'-硝基-7-取代氧基异黄酮化合物。采用MINI法对这些化合物进行的体外抑制MDA-MB-435肿瘤细胞增殖实验证明,除4'-硝基染料木素具有较好的抗肿瘤活性外,其余化合物的抗肿瘤活性都较弱。本文以G为原料合成了染料木素-3'-磺酸钠(G_1)和染料木素-3'- β -二磺酸钠(G_2)2种G的水溶性衍生物,比较了 G_1 、 G_2 与G的抗脂质体过氧化作用。

1 实验部分

1.1 仪器和试剂

Nicolet 170SX型FT-IR红外光谱仪(美国Nicolet公司),KBr压片;Bruker AM-400型超导核磁共振仪(美国Bruker公司);X4熔点测定仪(温度计未校正);旋转薄膜蒸发器(上海嘉鹏公司);DL-180型超声清洗器(浙江省象山县石浦天电子仪器厂)。染料木素(本实验室由槐角中提取、纯化,并经¹H NMR和IR光谱鉴定);751-GD型紫外可见分光光度计(上海分析仪器厂);卵磷脂(BR)北京奥博星生物技术责任公司;水为二次重蒸水;其它试剂均为分析纯。

1.2 染料木素衍生物的纸色谱检测方法

展开剂为水饱和的正丁醇20 mL加5滴冰醋酸;双圈牌定性滤纸(ϕ 12.5 cm,杭州新华纸业有限公司);5%三氯化铁水溶液喷雾、红外灯烤干显色。

1.3 G_1 和 G_2 的制备

称取G 10.00 g,加入25 mL浓硫酸,慢慢搅拌溶解后,加热,控制反应温度约60℃,搅拌30 min。将反应液倒入约500 mL饱和NaCl冰水溶液中,析出白色沉淀,静置4 h,使沉淀完全。过滤沉淀,用饱和NaCl水溶液将其洗至中性,抽干得粗品。取少量粗品加水完全溶解,用纸色谱检测结果证明为2种化合

物的混合物($G_1 + G_2$)。粗品经硅胶柱色谱分离,采用水饱和的正丁醇洗脱,纸色谱跟踪洗脱过程,合并相同成分的洗脱液,旋转蒸发器浓缩干燥后,用5% NaCl 溶液重结晶,分别得到化合物 G_1 7.51 g 和化合物 G_2 4.69 g。

1.4 G_1 、 G_2 及 G 对脂质过氧化的抑制作用

1.4.1 脂质体的制备 脂质体按文献[9]方法制备。准确称取40 mg 卵磷脂和15 mg 胆固醇,溶于0.5 mL 氯仿中,然后移入10 mL 可封口的医用硬质塑料管中,用 N_2 气吹干后,加入8 mL 0.05 mol/L 磷酸缓冲液(pH=7.4),充 N_2 气封口。置旋涡混合器上混匀,再超声处理10 min,所得液体为单层小体积脂质体,0 °C 条件下保存备用。

1.4.2 过氧化脂质的测定方法^[9] 在数支10 mL 比色管中均加入0.2 mL 脂质体液体,再分别加入不同体积浓度分别为 2.03×10^{-3} 、 1.57×10^{-3} 和 1.93×10^{-3} g/mL 的 G_1 、 G_2 和 G 溶液。混匀后再加入50 μ L 50 mmol/L $FeSO_4$ 溶液,用磷酸缓冲液补足3 mL。模型管不加样品溶液,空白管不加 $FeSO_4$ 溶液,然后将空白管、模型管和样品管一同置于37 °C 水浴中温育30 min,每5 min 振摇1次。温育完成后,各管分别加入10% 三氯乙酸和0.8% 硫代巴比妥酸(TBA)各1.0 mL,混匀,在100 °C 水浴中加热15 min,冷却到室温后,以5 000 r/min 离心10 min,取上清液用751-GD 分光光度计测定532 nm 处的吸光度值,按下式计算样品对脂质体过氧化的抑制率(I):

$$I(\%) = \frac{A_m - A_s}{A_m - A_b} \times 100\%$$

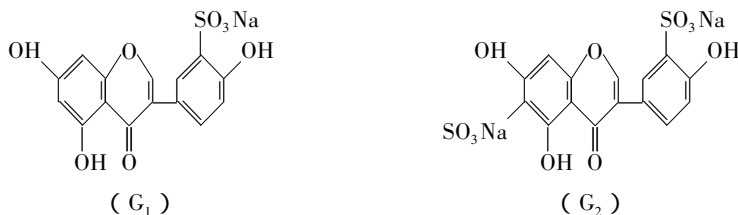
式中 A_m 为模型管溶液吸光度, A_s 为样品管溶液吸光度, A_b 为空白管溶液吸光度。

2 结果与讨论

2.1 衍生物的结构鉴定

化合物 G_1 、 G_2 的分析结果:化合物 G_1 为淡黄色固体,mp 305 °C(分解);IR(KBr), σ/cm^{-1} : 3 154.8, 1 663.3, 1 506.5, 1 441.1, 1 364.4, 1 190.4(b,s), 1 093.8, 1 034.6, 905.6, 828.3, 629.7; ^1H NMR(DMSO- d_6 , 300 MHz) δ 8.34(s, 1H, H-C₂), 6.34(s, 1H, H-C₆), 6.43(s, 1H, H-C₈), 7.81(s, 1H, H-C'₂), 7.41(d, 1H, J = 6.6 Hz, H-C'₆), 6.88(d, 1H, J = 8.6 Hz, H-C'₅), 12.89(s, 2H, OH-C₅, OH-C₇), 10.56(s, 1H, OH-C'₄)。化合物 G_2 为针状晶体,mp 312 °C(分解);IR(KBr), σ/cm^{-1} : 3 457.5, 1 656.8(—C=O), 1 498.5, 1 436.3, 1 373.2, 1 163.9(b,s), 1 089.7, 1 023.5, 904.8, 833.0, 632.8; ^1H NMR(DMSO- d_6 , 300 MHz) δ 8.50(s, 1H, H-C₂), 6.25(s, 1H, H-C₈), 7.84(s, 1H, H-C'₂), 7.43(d, 1H, J = 6.4 Hz, H-C'₅), 6.90(d, 1H, J = 8.5 Hz, H-C'₅), 13.27(s, 1H, OH-C₇), 12.50(s, 1H, OH-C₅), 10.57(s, 1H, OH-C'₄)。

与 G 的红外光谱及 ^1H NMR 谱^[10,11] 相比,衍生物 G_1 和 G_2 的红外光谱在 1 190.4 ~ 1 023.5 cm^{-1} 范围多了3个强吸收峰,这说明其分子中确实存在磺酸盐基团。衍生物 G_1 的 ^1H NMR 谱的 A 环上所有的质子及 C-2 位上质子的化学位移和偶合常数,相对 G 均没有明显的改变,而 B 环上质子由2个2H 的 d 峰(由于异黄酮结构 C-2' 和 C-6' 及 C-3' 和 C-5' 上质子化学位移等价)变为2个 H 的 d 峰和1个 H 的 s 峰,且质子数减少了1个。由化学位移值和偶合常数(J)值推断,取代基位于 C-3' 位或 C-5' 位,即位于4' 位羟基的邻位,故化合物 G_1 的结构如 Scheme 1 所示。同样,比较衍生物 G_1 和 G_2 的 ^1H NMR 谱,可以发现 G_2 的 B 环上所有的质子及 C-2 位上质子的化学位移和偶合常数基本相同,而 A 环上质子则由1个



Scheme 1 The structures of G_1 (genistein-3'-sodium sulfonate) and G_2 (genistein-3',6'-disodium sulfonate)

2H 的 s 峰(C₅和 C₇上羟基质子化学位移等价)变为 2 个 H 的 s 峰且质子数减少了 1 个。由化学位移值、偶合常数(J)值和苯环定位规律推断 G₂ 的 A 环上发生了 C-6 位取代 ,故化合物 G₂ 的结构如 Scheme 1 所示。

2.2 G₁和 G₂合成条件的选择

考察了反应温度和反应时间对磺化反应的影响。先后尝试了在 15. 5、30、60 和 100 ℃ 下 ,分别磺化 5、35、75、115、150、180 和 240 min。取少量产物溶于水 ,用 2 mol/L NaOH 溶液中和 ,利用纸色谱检测。实验发现 ,磺化温度为 15. 5 和 30 ℃、反应 5 min 时 ,G 很少被磺化 ,溶液比较混浊。磺化温度为 100 ℃ 时 ,G 发生磺化溶液变黑。在所有情况下 ,纸色谱都出现 2 个点。因此 ,合成单一磺化物不能通过控制温度和时间而只有使用分离手段。

2.3 G₁、G₂及 G 对脂质过氧化的抑制作用

生物体内的脂质过氧化主要发生在细胞膜上 ,细胞膜的主要成分是磷脂和蛋白质。其中磷脂中含有多种不饱和脂肪酸 ,最容易发生脂质过氧化反应。很多疾病例如癌症、心血管疾病以及衰老等都与脂质过氧化有关。因此预防机体内的脂质过氧化 ,对人体的健康有重要作用^[12]。引起机体脂质过氧化的因素有很多 ,其中二价铁离子是生物体内最主要的脂质过氧化促进剂。本研究以二价铁离子为脂质过氧化促进剂 ,以卵磷脂脂质体为模型 ,比较了 G₁、G₂与 G 的抗脂质体过氧化作用 ,结果见表 1。由表 1 可见 ,磺化衍生物 G₁和 G₂的抗脂质体过氧化作用均比 G 强。表明 G 经化学修饰后 ,抗氧化活性不但没有降低反而升高 ,并且很好的解决了其水溶性差的问题。

表 1 G₁、G₂及 G 对脂质过氧化的抑制作用
Table 1 The inhibitory ratios of G , G₁and G₂ against lipid peroxidation

Compound	Inhibitive ratio/%				
	(10. 1 × 10 ⁻⁶ g/mL)	(23. 3 × 10 ⁻⁶ g/mL)	(46. 7 × 10 ⁻⁶ g/mL)	(70. 0 × 10 ⁻⁶ g/mL)	(85. 2 × 10 ⁻⁶ g/mL)
G	51. 36 ± 0. 03	62. 47 ± 0. 01	68. 81 ± 0. 02	71. 69 ± 0. 03	73. 25 ± 0. 03
G ₁	60. 25 ± 0. 02	70. 39 ± 0. 03	74. 98 ± 0. 05	79. 34 ± 0. 01	81. 25 ± 0. 03
G ₂	59. 47 ± 0. 02	70. 32 ± 0. 01	75. 75 ± 0. 01	79. 17 ± 0. 05	82. 13 ± 0. 02

文献[6 , 7]所合成的 2 种化合物由于 4'-OH 被封闭 ,导致染料木素-4'-硫酸酯钠和染料木素-7 ,4'-二硫酸酯钠的抗肿瘤细胞生长活性急剧降低 ,且不表现血小板聚集抑制作用 ,这与文献^[13]中认为 4' 位和 5 位羟基是 G 的生物活性所必需基团的观点相符合。但文献[8]却报道 4'-OH 被 NO₂ 取代后具有较好的抗肿瘤活性 ,其原因还应进一步研究。由于酚羟基的多寡与其抑制肿瘤细胞生长有关 ,且各羟基之间可能存在协同作用^[14]。本实验是在保留 G 酚羟基的同时只对其分子中苯环进行磺化 ,不但提高了 G 的水溶性 ,而且抗脂质过氧化活性有所增强。由于 G₁和 G₂的抗脂质体过氧化活性相近 ,因此磺化产物有可能不需分离而直接使用。

参 考 文 献

1 JIN Yong-Sheng(金永生) ,LIU Chao-Mei(刘超美). World Phytomed(国外医药 植物药分册) [J] 2002 ,17(5) :190

2 Setchell K D R ,Cassidy A. J Nutrition[J] ,1998 ,128 :1 216

3 Naik H R ,Lehr J E ,Pienta K. J Anticancer Res[J] ,1994 ,14(6B) 2 617

4 Wei H C ,Cai Q Y ,Rahn R O. Carcinogenesis[J] ,1996 ,17 :73

5 Chinthalapally V R ,Wang C X ,Barbara S ,et al. Cancer Res[J] ,1997 ,57 :3 717

6 SHE J(余戟) ,MO Li-E(莫丽儿) ,LIANG Nian-C(梁念慈). Bull Chem(化学通报) [J] 2000 (1) :48

7 SHE J(余戟) ,MO Li-E(莫丽儿) ,WENG Yun(翁云) ,et al. J Chin Mod Appl Pharm(中国现代应用药学杂志) [J] ,1999 ,16(4) 38

8 JIN Yong-Sheng(金永生) ,LIU Chao-Mei(刘超美) ,DAI Yang(戴阳) ,et al. Acad J Sec Mil Med Univ(第二军医大学学报) [J] 2004 ,25(1) :111

9 YANG Han-Min(杨汉民) Chief-Ed(主编). Cytobiol Experiment(细胞生物学实验) [M]. Beijing(北京) :High Education Press(高等教育出版社) ,1997 :156

- 10 HUANG Wen-Zhe(黄文哲), DUAN Jin-Ao(段金敖), LI Zheng-Liang(李正亮). *J Chin Pharm Univ*(中国药科大学学报 [J]) 2000 **31**(1) : 8
- 11 SANG Yi-Shu(桑已曙), MIN Zhi-Da(闵知大). *J Chin Pharm Univ*(中国药科大学学报 [J]) 2000 **31**(6) : 408
- 12 ZHAO Bao-Lu(赵保路) Chief-Edt(主编). *Oxygen Free Radical and Natural Antioxidan*(氧自由基和天然抗氧化剂) [M]. Beijing(北京) Science Press(科学出版社), 1999 : 77
- 13 Barnes S , Pelerson T G. *Experimental Biol Med*[J] , 1995 **208**(1) : 103
- 14 WANG Xin(王昕), YAO Chong-Shun(姚崇舜), CHEN Ji-Min(陈济民). *J Shenyang Pharm Univ*(沈阳药科大学学报 [J]) , 1996 **13**(4) : 300

Preparation of Natrium Sulfogenisteinates and Their Anti Peroxidation Activity for Lipids

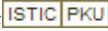
SUO Zhi-Rong^a , ZHANG Zun-Ting^b , ZHENG Jian-Bin^{a*}

(^a *Institute of Analytical Science/Shaanxi Provincial Key Laboratory of Electroanalytical Chemistry , Northwest University , Xi'an 710069 ;*

^b *College of Chemistry and Material Science , Shaanxi Normal University , Xi'an)*

Abstract Genistein(G) has the effects of anti-tumour and anti-arteriosclerosis. It can also reduce plasma lipid and kill various cancer cells without damaging the normal cells. Nevertheless , its medical application is much restricted because of its poor solubility in water and fat. In this study , its two new water-soluble derivatives , genistein-3'-sodium sulfonate(G₁) and genistein-3' , 6-disodium sulfonate(G₂) , were prepared *via* sulfation and column chromatography separation. The structures of the two compounds were identified by means of IR and ¹H NMR. At the same time , the inhibitory ratios of G , G₁ and G₂ against lipid peroxidation were determined. The results show that G₁ and G₂ not only have stronger anti-peroxidation activity for lipids than G , but also have good water solubilities.

Keywords genistein , natrium sulfogenisteinate , water-soluble , anti-peroxidation

作者: [索志荣](#), [张尊听](#), [郑建斌](#), [SUO Zhi-Rong](#), [ZHANG Zun-Ting](#), [ZHENG Jian-Bin](#)
作者单位: [索志荣, 郑建斌, SUO Zhi-Rong, ZHENG Jian-Bin\(西北大学分析科学研究所/陕西省电分析化学重点实验室, 西安, 710069\)](#), [张尊听, ZHANG Zun-Ting\(陕西师范大学化学与材料科学学院, 西安\)](#)
刊名: [应用化学](#) 
英文刊名: [CHINESE JOURNAL OF APPLIED CHEMISTRY](#)
年, 卷(期): 2005, 22(10)
被引用次数: 14次

参考文献(14条)

1. [金永生, 刘超美](#) 303 金雀异黄酮的药理作用[期刊论文]-[国外医药\(植物药分册\)](#) 2002(5)
2. [Setchell K D R;Cassidy A](#) [查看详情](#) 1998
3. [Naik H R;Lehr J E;Pienta K](#) [查看详情](#) 1994(6B)
4. [Wei H C;Cai Q Y;Rahn R O](#) [查看详情](#) 1996
5. [Chinthalapally V R;Wang C X;Barbara S](#) [查看详情](#) 1997
6. [余戟, 莫丽儿, 梁念慈](#) 合成金雀异黄酮水溶性硫酸酯的研究[期刊论文]-[化学通报](#) 2000(1)
7. [余戟, 莫丽儿, 翁云, 梁念慈](#) 金雀异黄酮及二个结构改造物与抗肿瘤、抗血小板作用的关系[期刊论文]-[中国现代应用药学](#) 1999(4)
8. [金永生, 刘超美, 戴阳, 吴秋业, 姚斌, 张大志](#) 金雀异黄酮衍生物5-羟基-4'-硝基-7-取代氧基异黄酮的合成及抗肿瘤活性研究[期刊论文]-[第二军医大学学报](#) 2004(1)
9. [杨汉民](#) [细胞生物学实验](#) 1997
10. [黄文哲, 段金霞, 李正亮](#) 怀槐的化学成分研究 I [期刊论文]-[中国药科大学学报](#) 2000(1)
11. [桑已曙, 闵知大](#) 峨嵋葛根的化学成分研究[期刊论文]-[中国药科大学学报](#) 2000(6)
12. [赵保路](#) [氧自由基和天然抗氧化剂](#) 1999
13. [Barnes S;Pelerson T G](#) [查看详情](#) 1995(01)
14. [王昕, 姚崇舜, 陈济民](#) 葛根黄豆甙元结构改造及其构效关系[期刊论文]-[沈阳药科大学学报](#) 1996(4)

本文读者也读过(10条)

1. [杨明](#). [唐波](#). [陈经宝](#). [张娴](#). [朱首伦](#). [丁春燕](#). [卢运田](#). [曾星](#). [YANG Ming](#). [TANG Bo](#). [CHEN Jing-bao](#). [ZHANG Xian](#). [ZHU Shou-lun](#). [DING Chun-yan](#). [LU Yun-tian](#). [ZENG Xing](#) 染料木素临床不良反应与CYP1A2、UGT1A7基因多态性研究[期刊论文]-[中国临床药理学与治疗学](#)2008, 13(7)
2. [刘可越](#), [高文远](#), [张铁军](#), [郑毅男](#), [陈海霞](#) RP-HPLC法测定不同时期垂柳中木犀草素-7-O-β-D-吡喃葡萄糖苷[期刊论文]-[中草药](#)2005, 36(11)
3. [张尊听](#), [王小玲](#), [刘谦光](#) 秦岭太白野葛根异黄酮成分的研究[期刊论文]-[中国药学杂志](#)1999(5)
4. [吴亚](#), [魏俊发](#), [陈刚](#), [苗延青](#), [石先莹](#), [邓芳](#) 微波辐射下环氧环己烷的合成研究[期刊论文]-[有机化学](#) 2004, 24(z1)
5. [陈晓岚](#), [郁章琦](#), [屈凌波](#), [袁金伟](#), [卢建莎](#), [赵玉芬](#), [CHEN Xiao-lan](#), [YU Zhang-qi](#), [QU Ling-bo](#), [YUAN Jin-wei](#), [LU Jian-sha](#), [ZHAO Yu-fen](#) 染料木素的磷酸化结构改造及与溶菌酶的弱相互作用[期刊论文]-[药理学学报](#) 2007, 42(4)
6. [刘文](#), [梁念慈](#), [黄仁彬](#), [LIU Wen](#), [LIANG Nian-ci](#), [HUANG Ren-bin](#) 三种黄酮类化合物对重组人肌醇磷脂3-激酶 p110β 催化亚基活性的影响[期刊论文]-[中药材](#)2006, 29(1)
7. [齐荔红](#), [康鲁平](#), [张俊平](#), [刘福堂](#), [周俭平](#), [周斌](#) 染料木素和槲皮素对成纤维细胞增殖和胶原合成的抑制作用[期刊论文]-[第二军医大学学报](#)2001, 22(12)

8. [王正文](#), [朱明才](#), [汤为学](#), [龚军](#), [范维珂](#), [魏锦来](#), [崔海宁](#), [WANG Zheng-wen](#), [ZHU Ming-cai](#), [TANG Wei-xue](#), [GONG Jun](#), [FAN Wei-ke](#), [WEI Jin-lai](#), [CUI Hai-ning](#) [金雀异黄素与5-氟尿嘧啶对SGC-7901细胞的抑制作用](#) [期刊论文] - [中国普外基础与临床杂志](#) 2008, 15(1)
9. [何清](#), [王彦昌](#), [张尊听](#), [HE Qing](#), [WANG Yan-Chang](#), [ZHANG Zun-Ting](#) [黄芩素磺酸根与钙离子的自组装作用](#) [期刊论文] - [光谱实验室](#) 2010, 27(1)
10. [雷英杰](#), [杨永忠](#) [一种新型异黄酮7-羟基-4'-甲基异黄酮的合成及其生物活性的初步研究](#) [会议论文] - 2001

引证文献(13条)

1. [马建忠](#), [侯朝福](#), [张有成](#), [柳志华](#) [淋巴造影剂专利蓝脂质体的制备及其生物学表征](#) [期刊论文] - [国际外科学杂志](#) 2010(06)
2. [熊春华](#), [李大方](#), [姚彩萍](#), [励建荣](#) [大孔吸附树脂吸附染料木素的研究](#) [期刊论文] - [中国食品学报](#) 2007(06)
3. [闫会卿](#) [染料木素衍生物的合成及其性质研究](#) [学位论文] 硕士 2006
4. [张继](#) [含卤化酶基因放线菌的筛选及其活性代谢产物的研究](#) [学位论文] 博士 2010
5. [朱文清](#), [李增明](#), [李红燕](#), [黎晓](#), [黄志华](#), [何明](#) [染料木素磺酸钠对去卵巢大鼠甘油三酯和胆固醇代谢的调节作用](#) [期刊论文] - [赣南医学院学报](#) 2013(02)
6. [李小花](#), [黎晓](#), [万群雄](#), [李和](#), [李良东](#), [黄志华](#), [曾靖](#) [染料木素磺酸钠对慢性肝损伤小鼠肝功能及肝组织 \$\alpha 7\$ nAChR和IL-1 \$\beta\$ 蛋白表达的影响](#) [期刊论文] - [重庆医学](#) 2015(10)
7. [钟星明](#), [黄志华](#), [龚衍](#), [黎晓](#), [李良东](#), [曾靖](#) [染料木素磺酸钠对脑缺血再灌注损伤的保护作用及DREAM和IPSD95的表达变化](#) [期刊论文] - [中风与神经疾病杂志](#) 2013(08)
8. [董乙文](#), [冯维希](#), [胡玉涛](#) [葛花异黄酮的药理作用研究进展](#) [期刊论文] - [中国中医药现代远程教育](#) 2014(21)
9. [马建忠](#) [专利蓝脂质体的制备及其淋巴标记的实验研究](#) [学位论文] 硕士 2008
10. [黄志华](#), [李良东](#), [韩立民](#) [染料木素的脑保护作用及机制研究进展](#) [期刊论文] - [中国药理学与毒理学杂志](#) 2015(01)
11. [蒋建军](#) [高纯黄芩素的制备及化学修饰](#) [学位论文] 硕士 2008
12. [杜文婷](#) [多烯紫杉醇和依托泊苷的水溶性前药研究及立体选择性糖苷化方法学研究](#) [学位论文] 博士 2007
13. [韩泳](#) [类黄酮及其磺化衍生物对小鼠肝损伤的保护作用研究](#) [学位论文] 硕士 2013

引用本文格式: [索志荣](#), [张尊听](#), [郑建斌](#), [SUO Zhi-Rong](#), [ZHANG Zun-Ting](#), [ZHENG Jian-Bin](#) [染料木素磺酸钠制备及其抗脂质过氧化作用](#) [期刊论文] - [应用化学](#) 2005(10)