

· 基础研究 ·

右归饮对激素性股骨头坏死大鼠体外诱导培养成骨细胞作用的研究

童培建¹, 许良², 胡柏松², 金红婷², 李陶冶², 方相²

(1. 浙江省中医院骨科, 浙江 杭州 310006, 2. 浙江中医药大学)

【摘要】 目的: 在右归饮对体外正常大鼠成骨细胞的增殖和分化作用研究基础上, 进一步观察右归饮对激素性股骨头坏死大鼠体外诱导培养成骨细胞的增殖和分化以及基因表达的影响。方法: 取体重为 100~120 g 雄性 SD 大鼠 20 只, 臀肌注射醋酸强的松龙 49 mg/kg·d, 连用 6 d(造模), 7 d 后处死, 无菌条件下取造模大鼠骨髓基质细胞, 诱导培养成骨细胞, 然后随机分为 4 组: 高、中、低浓度右归饮含药血清组(R1、R2、R3)和对照组(R4), 分别添加高、中、低浓度右归饮含药血清及对照血清, 继续培养 72 h 后, 进行成骨细胞增殖、碱性磷酸酶活性、骨保护素(OPG)和破骨细胞分化因子(RANKL)表达水平检测(实时荧光定量 PCR 检测), 并进行统计学分析。结果: 高、中浓度右归饮含药血清组(R1、R2)与对照组(R4)相比, 成骨细胞增殖率显著升高($P < 0.01$), 碱性磷酸酶活性显著升高($P < 0.01$), 成骨细胞 OPG mRNA 的相对表达量显著升高($P < 0.01$), 且与浓度剂量呈一定的正相关; 成骨细胞 RANKL mRNA 显著降低($P < 0.01$)。低浓度右归饮含药血清组(R3)与对照组(R4)相比, 成骨细胞增殖率、碱性磷酸酶活性以及 OPG、RANKL mRNA 相对表达量无统计学差异。结论: 高、中浓度的右归饮含药血清对体外培养的 SINFH 大鼠成骨细胞的增殖和分化具有明显的促进作用, 并可提高成骨细胞 OPG mRNA 的相对表达量而对其 RANKL mRNA 有抑制作用。右归饮含药血清对体外诱导培养成骨细胞的作用与剂量有一定相关性, 在一定的浓度范围内促进成骨细胞的分化、增殖。

【关键词】 右归饮; 成骨细胞; 诱导; 细胞培养技术; 股骨头坏死; 激素类

DOI: 10. 3969/j. issn. 1003-0034. 2010. 01. 008

In vitro induction studies of *YouGui* drink (右归饮) on culture of steroid induced necrosis of femoral head rat osteoblast TONG Pei-jian*, XU Liang, HU Bai-song, JIN Hong-ting, LI Tao-ye, FANG Xiang. *Department of Orthopaedics, Traditional Chinese Medical Hospital of Zhejiang Province, Hangzhou 310006, Zhejiang, China

ABSTRACT **Objective:** On the basis of *YouGui* drink (右归饮) to act on the normal rats in vitro osteoblast proliferation and differentiation, further observe *YouGui* drink (右归饮) inductive effect for steroid induced necrosis of femoral head rats in vitro on cultivation of osteoblast proliferation and differentiation. **Methods:** Prednisolone acetate 49 mg/kg·d were injected into gluteal of 20 male SD rats (body weight in 100–120 g), continuously 6 days for model. After 7 days, under sterile conditions from the model rats bone marrow stromal cells were induced and cultured to osteoblast, and then randomly divided into 4 groups, respectively, add the high, medium and low concentration *YouGui* drink (右归饮) containing serum (group R1, R2, R3) and control serum (group R4). After 72 h, osteoblast proliferation, alkaline phosphatase activities (APA) were detected, and expression level of osteoprotegerin (OPG) and osteoclast differentiation factor (RANKL) were detected by real-time fluorescence quantitative PCR. **Results:** The high and medium concentration *YouGui* drink (右归饮) containing serum group compared with the control group (R1, R2 vs R4), the rate of osteoblast proliferation was significantly high ($P < 0.01$), APA significantly increased ($P < 0.01$), relative expression level of osteoblast OPG mRNA significantly increased ($P < 0.01$), and with the concentration of a certain dose was positively correlated; RANKL mRNA significantly was lower ($P < 0.01$). The low concentration *YouGui* drink (右归饮) containing serum group compared with the control group (R3 vs R4), there was no significantly different in the rate of osteoblast proliferation, ALP and relative expression level of osteoblast OPG mRNA, RANKL mRNA. **Conclusion:** The high concentration of *YouGui* drink (右归饮) containing serum can obviously promote the proliferation and differentiation of steroid induced necrosis of femoral head rats in vitro osteoblast, and plays a clear role in promoting and enhance the relative expression of osteoblast OPG mRNA and an inhibitory effect on RANKL mRNA. The effect of *YouGui* drink

基金项目: 教育部博士点基金课题 (编号: 20060344003)

通讯作者: 童培建 E-mail: tongpeijian@163.com

(右归饮) containing serum acting on induced in vitro cultured osteoblasts have relevance with dose, at a certain concentration range it can promote osteoblast differentiation and proliferation.

Key words YouGui drink; Osteoblasts; Induction; Cell culture techniques; Femur head necrosis; Hormones

Zhongguo Gushang/China J Orthop & Trauma, 2010, 23(1):23-27 www.zggszz.com

由于激素的广泛应用, 激素性股骨头坏死 (Steroid induced necrosis of femoral head, SINFH) 发病率呈逐年增加趋势, 已占非创伤性股骨头坏死的首位。在前期的研究中已明确中成药右归饮有促进成骨细胞增殖和分化的作用^[1], 在此基础上我们试图观察不同浓度的右归饮含药血清对 SINFH 大鼠体外诱导培育的成骨细胞增殖、分化能力及 OPG、RANKL 表达水平的影响, 并进一步从分子生物水平阐明右归饮的作用途径, 为临床应用右归饮治疗激素性股骨头坏死提供依据。

1 资料与方法

1.1 主要仪器及实验动物 双人单面超净工作台 (苏州净化设备有限公司), 二氧化碳细胞培养箱 (Thermo 电子公司), 酶标仪 (BIO-RAD 公司), 倒置显微镜及显微拍摄系统 (Leica 公司), PCR 仪 (BIO-RAD 公司), 紫外分析图像处理仪 (上海天能科技有限公司), 电泳仪 (BIO-RAD 公司), 半自动生化分析仪 (上海三科仪器有限公司), 冷冻离心机 (Beckman Coulter 公司), 超声波细胞粉碎机 (宁波新芝生物科技股份有限公司), 紫外分光光度计 (Eppendorf 公司)。本实验所有动物均由浙江中医药大学动物实验中心提供。

1.2 主要试剂及材料 低糖 DMEM 培养基 (Gibco 公司), 胎牛血清 (杭州四季青生物公司), MTT (Sigma 公司), 茜素红染色剂 (Sigma 公司), 胰蛋白酶 (杭州四季青生物公司), 碱性磷酸酶试剂盒 (南京建成生物公司), 二甲基亚砷 (Sigma 公司), Trizol (Invitrogen 公司), 地塞米松 (Sigma 公司), β -甘油磷酸钠 (Sigma 公司), 维生素 C (Sigma 公司), SYBR (r) Premix Ex-Taq™ 试剂盒 (TaKaRa 公司)。

1.3 实验步骤

1.3.1 不同浓度含药血清的制备 ①右归饮的制备: 药用熟地 18 g、山药 12 g、吴茱萸 6 g、枸杞 12 g、甘草 6 g、仙灵脾 (代杜仲) 12 g、肉桂 12 g、制附子 12 g, 按上述比例配制, 肉桂先提取挥发油, 附子用传统方法先煎 20 min, 后加入其余药煎, 去渣, 将两次药液混匀, 再加入肉桂挥发油, 使药物浓度至每毫升含生药 2 g, 4℃ 室温备用。②含药血清制备: 按李仪奎^[2]的方法制备含药血清, 取 40 只体重 100~120 g SD 大鼠, 随机分为 4 组, 高浓度右归饮给药组 (给药 2 ml),

中浓度右归饮给药组 (给药 1 ml), 低浓度右归饮给药组 (给药 0.5 ml) 及对照组 (灌服蒸馏水 1 ml)。1 次/d, 连续给药 3 d, 末次给药 2 h 后, 腹主动脉取血, 所取血液 4℃ 保存。2 h 后离心, 取上层血清, 56℃, 30 min 灭活, 同组血清混匀, 并经滤膜抽滤除菌, 4 ml 每瓶分装, -20℃ 保存备用。在实验时各组均采用终浓度为 10% 的不同血清。

1.3.2 激素性股骨头坏死 (steroid induced necrosis of femoral head, SINFH) 大鼠模型建立 按李雄等^[3]方法建立股骨头坏死的模型, 采用体重 100~120 g SD 大鼠 20 只, 用醋酸强的松龙 49 mg/kg·d 臀肌注射, 连用 6 d, 于第 7 天处死。

1.4 观察项目与方法

1.4.1 成骨细胞体外诱导培养及观察 造模后于第 7 天处死, 在无菌条件下取双股骨和胫骨, 将其附着肌肉和结缔组织分离干净, 冲洗, 用注射器将双股骨、胫骨骨髓冲入低糖 DMEM 培养液中, 用 4.5 号针头吹打成细胞悬液。接种于 25 cm² 培养瓶, 置于 5% CO₂ 饱和湿度的培养箱中培养, 第 2 天半量换液, 以后 3 d 换液 1 次。10 d 后细胞 80% 融合, 0.25% 胰蛋白酶消化传代, 继续培养, 倒置显微镜下观察细胞形态。第 2 代骨髓基质细胞消化, 用原培养体系 (低糖 DMEM、20% 胎牛血清、青/链霉素) 培养 72 h 后, 改用上述原培养体系加入诱导培养体系 (地塞米松 10⁻⁸ mol/L + β -甘油磷酸钠 10 mmol/L + Vit C 50 μ g/ml) 继续培养 6 d, 倒置显微镜下观察细胞形态变化。

1.4.2 成骨细胞增殖测定 (MTT 法) 将诱导传代培养的成骨细胞 (第 2 代) 接种密度为 1×10⁵ 个/ml 加入 96 孔板, 每孔 100 μ l, 每个样本重复 8 孔, 每天分别添加高、中、低浓度右归饮含药血清及蒸馏水灌服组血清各 10 μ l, 继续培养 68 h 后, 每孔加 20 μ l 的 MTT (用 PBS 配成 5 mg/ml 原液, 过滤除菌后置棕色瓶 4℃ 保存), 继续在 37℃, 5% CO₂ 条件下孵育 4 h 后, 吸去培养液加入 150 μ l DMSO (二甲基亚砷) 终止反应, 充分震荡后, 酶标仪检测其吸光度, 测量波长 570 nm。

1.4.3 碱性磷酸酶 (ALP) 活性检测 将诱导传代培养的成骨细胞 (第 2 代) 接种密度为 1×10⁵ 个/ml 加入 96 孔板, 每孔 100 μ l, 每个样本重复 10 孔, 每天分别添加各组血清 10 μ l。继续培养 72 h, 每孔各

取 50 μl 细胞培养液上清,按试剂盒说明操作,空白管调零,标准管标准化,用半自动生化分析仪在波长 490 nm 进行比色,运用试剂盒说明提供的公式计算检测结果。

1.4.4 骨保护素(OPG)和破骨细胞分化因子(RANKL)表达水平的检测 (实时荧光定量 PCR 检测)

(1)核糖核酸(RNA)提取:①取细胞置 1.5 ml 离心管中,加入 1 ml Trizol 充分匀浆,室温静置 5 min;②加入 0.2 ml 氯仿,振荡 15 s,静置 2 min;③4 °C 离心,12 000 g×15 min,取上清;④加入 0.5 ml 异丙醇,将管中液体轻轻混匀,室温静置 10 min;⑤4 °C 离心,12 000 g×10 min,弃上清;⑥加入 1 ml 75%乙醇,轻轻洗涤沉淀,4 °C,7 500 g×5 min,弃上清;⑦晾干,加入适量的 DEPC H₂O 溶解,分光光度计测定 RNA 样品的含量及纯度。(2)荧光引物的设计和合成:根据大鼠 RANKL (Accession NO:AF187319)、OPG (Accession NO:NM_012870) 及内参 GAPDH 基因 (Accession NO:NM_017008),采用 Primer Express 2.0 和 Beacon designer 荧光引物设计软件进行 RANKL、OPG 和 GAPDH 引物设计,引物由上海生物工程有 限公司负责合成,序列见表 1。(3)扩增反应分析:使用日本 TaKaRa 公司 SYBR (r) Premix Ex-Taq™ 试剂盒,利用 SYBR 法进行荧光定量 RANKL、OPG 和 GAPDH PCR 扩增反应。

表 1 实时荧光定量 PCR 所需的引物和探针

Tab.1 Real-time quantitative PCR primers and the required probe

引物名称	引物序列	扩增长度(bp)
RANKL	5' TCGGAGGAGATGGGCAGTT 3'	108
	5' GAACATGAACGGGGAGGC 3'	
OPG	5' CCCAGAGCGAAACACG 3'	115
	5' AGCAGGAGGCCAAGTGAGC 3'	
GAPDH	5' GGTGGACCTCATGGCCTACAT 3'	88
	5' GCCTCTCTCTTGCTCTCAGTATCCT 3'	

1.5 统计学方法 实验数据采用 $\bar{x} \pm s$ 表示,组间差异采用 SPSS 13.0 统计软件进行两样本均数比较的 *t* 检验。以 *P* < 0.05 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 成骨细胞体外诱导培养观察结果 基质细胞培养 2~3 d 后形成集落,贴壁细胞多呈梭形,少数呈小圆形或三角形,细胞间紧密贴附。4~5 d 后贴壁细胞形态较均一,呈多边形,胞核大而圆。逐渐呈均一多边形形态,细胞大而舒展。随着培养时间推移,细胞呈叠形多层排列,细胞外基质明显增多,并逐渐形成多小结样结构(图 1)。成骨诱导培养过程中,在倒

置显微镜下可见部分三角形或短梭形细胞贴壁,随着贴壁细胞增多,胞体逐渐增大,细胞分裂活跃,多边形细胞增多(图 2)。到第 5 天细胞长满培养瓶,进行细胞传代,传代后细胞生长加快。重叠生长的细胞渐形成细胞小结,随后胶原堆积及钙盐沉积,最后形成不透光矿化结节。



图 1 SINFH 大鼠骨髓基质细胞(×400)

Fig. 1 SINFH rat bone marrow stromal cells(×400)



图 2 SINFH 大鼠诱导培养成骨细胞(×400)

Fig.2 SINFH rat induced by cultured osteoblasts(×400)

2.2 成骨细胞增殖测定结果 见表 2。高浓度右归饮含药血清组(R1)与对照组(R4)相比具有统计学差异(*P* < 0.01),中浓度右归饮含药血清组(R2)与对照组(R4)相比具有统计学差异(*P* < 0.05),高浓度右归饮含药血清组(R1)与中浓度右归饮含药血清组(R2)相比具有统计学差异(*P* < 0.05),低浓度右归饮含药血清组(R3)与对照组(R4)相比较无统计学差异(*P* > 0.05)。

2.3 碱性磷酸酶活性的检测结果 见表 2。高浓度右归饮含药血清组(R1)与对照组(R4)相比具有统计学差异(*P* < 0.01),中浓度右归饮含药血清组(R2)与对照组(R4)相比具有统计学差异(*P* < 0.01),高浓度右归饮含药血清组(R1)与中浓度右归饮含药血清组(R2)相比具有统计学差异(*P* < 0.05)。低浓度右归饮含药血清(R3)与对照组(R4)相比较无统计学差异(*P* > 0.05)。

表 2 右归饮对 SINFH 大鼠成骨细胞增殖及分化的影响

($\bar{x} \pm s$)

Tab.2 YouGui drink(右归饮) act on SINFH rat osteoblast cell proliferation($\bar{x} \pm s$)

组别	成骨细胞增殖		成骨细胞分化	
	n	OD570 值	n	碱性磷酸酶活性(金氏单位/100 ml)
R4	8	0.492 5±0.076 6	10	7.637±0.786
R1	8	0.676 3±0.064 6**	10	9.973±0.757▲▲
R2	8	0.578 6±0.069 8*	10	9.269±0.632▲
R3	8	0.506 3±0.070 2	10	7.902±0.813

注:与 R4 组相比, * $t=2.349 9, P<0.05$; ** $t=5.188 0, P<0.01$ 。与 R2 组相比, ** $t=2.905 5, P<0.05$ 。与 R4 组相比, ▲ $t=5.145 6, P<0.01$; ▲▲ $t=6.769 3, P<0.01$ 。与 R2 组相比, ▲▲ $t=2.270 7, P<0.05$

Note: Compared with group R4, * $t=2.349 9, P<0.05$; ** $t=5.188 0, P<0.01$. Compared with group R2, ** $t=2.905 5, P<0.05$. Compared with group R4, ▲ $t=5.145 6, P<0.01$; ▲▲ $t=6.769 3, P<0.01$. Compared with group R2, ▲▲ $t=2.270 7, P<0.05$

2.4 实时荧光定量 PCR 检测结果 ①OPG 相对表达量分析结果见表 3。高浓度右归饮含药血清组(R1)与对照组(R4)比较,具有统计学差异($P<0.01$);中浓度右归饮含药血清组(R2)与对照组(R4)比较,具有统计学性差异($P<0.01$),高浓度右归饮含药血清组(R1)与中浓度右归饮含药血清组(R2)相比具有统计学差异($P<0.01$),低浓度右归饮含药血清组(R3)与对照组(R4)相比较无统计学差异($P>0.05$)。②RANKL 相对表达量分析结果见表 3。高浓度右归饮含药血清组(R1)与对照组(R4)比较,具有统计学差异($P<0.01$),中浓度右归饮含药血清组(R2)与对照组(R4)比较,具有统计学差异($P<0.01$),低浓度右归饮含药血清(R3)与对照组(R4)相比无统计学差异($P>0.05$),高浓度右归饮含药血清组(R1)和中浓度右归饮含药血清组(R2)相比较无统计学差异($P>0.05$)。

表 3 OPG 和 RANKL 相对表达量分析结果($\bar{x} \pm s$)

Tab.3 The expression analysis of OPG and RANKL($\bar{x} \pm s$)

组别	n	OPG 相对表达量	RANKL 相对表达量
R4	6	11.81±2.46	72.35±9.06
R1	6	80.44±15.22 [△]	28.71±4.88 [○]
R2	6	31.86±5.54 [▲]	34.32±5.80 [●]
R3	6	12.25±2.70	67.81±7.42

注:与 R4 比较, [△] $t=10.903 0, P<0.01$; [▲] $t=8.102 1, P<0.01$ 。与 R1 比较, [▲] $t=7.361 9, P<0.01$ 。与 R4 比较, [○] $t=10.387 0, P<0.01$; [●] $t=8.659 5, P<0.01$

Note: Compared with group R4, [△] $t=10.903 0, P<0.01$; [▲] $t=8.102 1, P<0.01$. Compared with group R1, [▲] $t=7.361 9, P<0.01$. Compared with group R4, [○] $t=10.387 0, P<0.01$; [●] $t=8.659 5, P<0.01$

3 讨论

3.1 成骨细胞的体外诱导培养 骨髓基质细胞^[4](bone marrow stromal cells, BMSCs)与成骨细胞(osteoblast, OB)、软骨细胞等接近分化成熟的细胞相比,这类细胞群具有很强的增殖能力和多分化潜能,在特定的条件下可以形成多种间充质细胞。目前识别骨髓基质细胞主要依据细胞形态学的观察,实验中我们观察到基质细胞培养 2~3 d 后形成集落,贴壁细胞多呈梭形,少数呈小圆形或三角形,细胞间紧密贴附。随着培养时间推移,逐渐呈均一多边形形态,细胞大而舒展,细胞呈叠形多层排列,细胞外基质明显增多,并逐渐形成多小结样结构。根据形态学观察,我们可以初步认为,体外培养的 OB 来源于 BMSCs。

3.2 成骨细胞增殖、分化、成骨能力的表现形式

对成骨细胞进行 MTT 试验以测定其增殖率和进行碱性磷酸酶活性(Alkaline phosphatase, ALP)的测定是评价成骨细胞的有效指标。四唑盐(MTT)比色试验是一种检测细胞存活和生长的方法,是免疫学衡量细胞增殖的经典方法。通过与细胞计数法比较,MTT 法具有简便易行、灵敏度高、结果客观可靠等优点。ALP 是成骨细胞分化的早期指标,其表达随着细胞分化的发展而增强,对成骨细胞而言,细胞的增殖率直接反应细胞的生长情况。本实验发现 SINFH 大鼠成骨细胞体外培养 72 h 后,高、中浓度组对诱导培养的 SINFH 大鼠成骨细胞有明显促进增殖和分化作用,且与浓度剂量呈一定的正相关。

3.3 成骨细胞 OPG、RANKL 基因表达 OPG 是 1997 年发现的肿瘤坏死因子(tumor necrosis factor, TNF)受体家族新成员,为一含有 401 个氨基酸的可溶性分泌型糖蛋白,包含 7 个结构域(D1-D7),但缺乏跨膜结构域和胞内结构域。体外研究表明,OPG 具有抑制破骨细胞(osteoclast, OC)形成、分化、存活、活化并诱导 OC 凋亡的功能^[5]。RANKL 属于 TNF 配体家族,是一种可以促进 OC 增殖、分化和抑制 OC 凋亡的因子,RANK 通过信号转导作用于破骨细胞,促进破骨细胞的分化、融合、活化和生存并抑制其凋亡。而 OPG 也能与 RANKL 结合,阻碍 RANKL 与 RANK 的结合,使成熟的破骨细胞数目减少,从而使骨吸收的功能减弱,发挥抗破骨细胞作用^[6-7]。因此通过对 OPG、RANKL 表达水平的研究,能够从基因调控层面了解右归饮对激素性股骨头坏死的作用。本实验发现,高、中浓度组右归饮含药血清可提高成骨细胞 OPG mRNA 的相对表达量而对其 RANKL mRNA 有抑制作用,分析右归饮可能通过上调成骨

细胞 OPG 的表达和下调 RANKL 表达来减少破骨细胞的生成,抑制破骨细胞的活化,从而降低破骨细胞的骨吸收功能,对体外骨细胞的作用与剂量有一定相关性,在一定的浓度范围内促进成骨细胞的分化、增殖。

3.4 小结 本研究从分子生物学水平对右归饮在治疗激素性股骨头坏死中的作用机制进行了分析,体外诱导培养激素性股骨头坏死大鼠成骨细胞,并观察不同浓度的右归饮含药血清对其增殖、分化能力及 OPG、RANKL 基因表达水平的影响,发现一定浓度的右归饮含药血清能显著促进成骨细胞增殖、分化,增强成骨细胞成骨能力,提高 OPG 基因表达水平并抑制 RANKL 基因表达,从而降低破骨细胞的骨吸收功能。本研究为进一步临床应用右归饮治疗激素性股骨头坏死提供了细胞分子学依据,具有重要的临床价值,但其确切的影响机制和临床应用右归饮制剂治疗激素性股骨头坏死的剂量也需要更进一步的研究。

参考文献

- [1] 俞素静. 右归饮对体外成骨细胞增殖和分化影响的实验研究. 浙江临床医学, 2004, 12(6): 1207-1208.
- [2] 李仪奎. 中药血清药理学实验方法的若干问题. 中药新药与临床药理, 1999, 10(2): 95-98.
- [3] 李雄, 袁浩, 贝美莲, 等. 大剂量激素冲击应用与长期应用对股骨头坏死影响的动物实验. 骨与关节损伤杂志, 1999, 14(4): 242.
- [4] Caplan AI. Review: mesenchymal stem cells: cell - based reconstructive therapy in orthopedics. Tissue Eng, 2005, 11 (7-8): 1198-1211.
- [5] Suda T, Takahashi N, Udagawa N, et al. Modulation of osteoclast differentiation and function by the new members of the tumor necrosis factor receptor and ligand families. Endocr Rev, 1999, 20(3): 345-357.
- [6] Zehnder AF, Kristiansen AG, Adams JC, et al. Osteoprotegerin knockout mice demonstrate abnormal remodeling of the otic capsule and progressive hearing loss. Laryngoscope, 2006, 116(2): 201-206.
- [7] Khosla S. Minireview: The OPG/RANKL/RANK system. Endocrinology, 2001, 142(12): 5050.

(收稿日期: 2009-06-16 本文编辑: 王宏)

《中国骨伤》编辑委员会名单

名誉主编: (按首字汉语拼音字母顺序为序)

陈可冀(中国科学院院士) 葛宝丰(中国工程院院士) 沈自尹(中国科学院院士)
王澍寰(中国工程院院士) 吴咸中(中国工程院院士) 钟世镇(中国工程院院士)

顾问: (按首字汉语拼音字母顺序为序)

陈渭良 丁继华 冯天有 顾云伍 胡兴山 蒋位庄 孔繁锦 黎君若 李同生 梁克玉
刘柏龄 孟 和 沈冯君 施 杞 时光达 石印玉 孙材江 袁 浩 赵 易 朱惠芳
朱云龙 诸方受

主 编: 董福慧

副 主 编: (按首字汉语拼音字母顺序为序)

敖英芳 白人骁 杜 宁 金鸿宾 李为农 (常务) 吕厚山 邱 勇 孙树椿 王 岩
王满宜 卫小春

编委委员: (按首字汉语拼音字母顺序为序)

敖英芳 白人骁 毕大卫 陈仲强 董 健 董福慧 董清平 杜 宁 樊粤光 范顺武
郭万首 郭 卫 何 伟 胡良平 金鸿宾 雷仲民 蒋 青 蒋协远 李盛华 李为农
李无阴 刘金文 刘兴炎 刘亚波 刘 智 刘忠军 刘仲前 罗从风 吕厚山 吕 智
马真胜 邱 勇 阮狄克 沈 霖 孙常太 孙树椿 孙天胜 谭明生 谭远超 童培建
王 岩 王爱民 王和鸣 王坤正 王满宜 王序全 王拥军 韦贵康 卫小春 肖鲁伟
徐荣明 徐向阳 杨小平 姚共和 姚树源 余庆阳 袁 文 詹红生 张 俐 张保中
张春才 张功林 张连仁 张英泽 赵 平 赵建宁 赵文海 郑忠东 周 卫 朱立国
朱振安 邹 季 顾 华(美国) John W. McDonald(美国)

特约审稿人: (按首字汉语拼音字母顺序为序)

王军强 许硕贵 杨自权 张建政 张 民