

## PRAS40(Ser183)磷酸化多克隆抗体的制备及检测

魏皓, 黄蓓, 徐昌志, 郑竹霞, 白宇

安徽大学生命科学学院, 合肥 230039

**摘要:** PRAS40为富含脯氨酸、分子量为40 kD的Akt底物蛋白, 能够与雷帕霉素哺乳动物细胞靶点复合物1(mTORC1)结合, 其苏氨酸183位点(Ser183)可被mTORC1磷酸化。为了制备PRAS40(Ser183)磷酸化多克隆抗体, 本实验通过蛋白疏水性抗原性分析设计多肽抗原, 用其免疫家兔获得抗血清, ELISA检测其效价为1:10 000; Western blotting法检测发现, 通过rProtein A Sepharose亲和层析纯化并经非磷酸化的抗原条吸附处理后的抗体可以明显提高磷酸化抗体的特异性; 用PRAS40抗体及PRAS40(Ser183)磷酸化抗体对正常细胞HL7702、HEK293及肿瘤细胞HepG2、A549、S180的检测显示: 磷酸化的Ser183在不同细胞中表达差异不显著, 而在经细胞饥饿处理的HEK293细胞中却明显观察到了S183磷酸化水平随氨基酸含量降低而减弱的现象。因此, 本实验所制备的抗体可用于PRAS40(Ser183)磷酸化位点的功能研究。

**关键词:** PRAS40(Ser183), 磷酸化抗体, rProtein A亲和层析, 饥饿处理

## Preparation and detection of phosphorylated PRAS40 (Ser183) polyclonal antibody

Hao Wei, Bei Huang, Changzhi Xu, Zhuxia Zheng, and Yu Bai

School of Life Science, Anhui University, Hefei 230039, China

**Abstract:** PRAS40 (proline-rich Akt substrate 40 kD) associates with mammalian target of rapamycin complex 1(mTORC1), serine 183 site (Ser183) of PRAS40 can be phosphorylated by mTORC1. To prepare the phosphorylated PRAS40 (Ser183) antibody, We chosen 10-amino acid including Ser183 as antigen peptide through antigenicity and hydrophobicity analysis, hinged on keyhole limpet hemocyanin (KLH), and used the KLH-peptide to immunize rabbits. After antibody serum titer detection by enzyme linked immunosorbent assay (ELISA), the antibody was purified with rProtein A sepharose fast flow and dephosphorylated antigen membrane. The antibody titer reached 1:10 000 after purification and its special property was enhanced with absorption treatment of dephosphorylated antigen membrane. In addition, we used rabbit anti-PRAS40 antibody and the phosphorylated PRAS40 (Ser183) antibody to detect PRAS40 expression in several cell lines, including the normal cells HL7702, HEK293, tumor cells HepG2, A549 and S180. There were no quite difference among these cells; otherwise, we observed the decreased phosphorylation level of Ser183 after amino acid withdrawal treatment. Therefore, the polyclonal phosphorylated PRAS40 (Ser183) antibody was specific to PRAS40 (Ser183) site and could be used for the function study of PRAS40.

**Keywords:** PRAS40 (Ser183), phosphorylated polyclonal antibody, rProtein A affinity chromatography, amino acid withdraw

PRAS40(Proline-rich Akt Substrate of 40 kD) 是Akt底物、14-3-3结合蛋白, 在人体多种组织器

**Received:** January 21, 2009; **Accepted:** April 22, 2009

**Supported by:** Natural Science Foundation of Anhui Province (No. 090413077), Science Leader Culture Foundation of Anhui Province for Middle Age and Youth, Scientific Research Group Foundation of Anhui University.

**Corresponding author:** Bei Huang. Tel: +86-551-5107341; E-mail: beihuang@163.com

安徽省自然科学基金(No. 090413077), 安徽省中青年学科带头人培养经费, 安徽大学科研创新团队经费资助。

官中均有表达<sup>[1]</sup>。人源与其他哺乳动物 PRAS40 的序列相似性高达 88%~98%；在非洲爪蟾、斑马鱼、蜜蜂、线虫、果蝇等动物中都检测到与人源 PRAS40-C 端高度相似的同源蛋白<sup>[2]</sup>。PRAS40 主要作为雷帕霉素哺乳动物细胞靶点复合物 1 (mTORC1) 抑制物参与 PI3K-Akt-mTOR 细胞信号传导通路的调控<sup>[2,3]</sup>，Fonseca 等通过生物信息学预测结合点突变等方法得出苏氨酸 183 位点 (Ser183 或 S183) 是 PRAS40 与 mTORC1 相互作用的主要位点，并用 HEK293 细胞所做的实验证实，该位点在氨基酸刺激下会被 mTOR 磷酸化，只有 PRAS40 的 T246 和 S183 分别被 Akt 和 mTORC1 磷酸化后才会丧失对 mTOR 的抑制活性，促进细胞生长，而且 PRAS40 与 14-3-3 蛋白的结合也与该两点的磷酸化有关，只有两点磷酸化的 PRAS40 才能结合 14-3-3，PRAS40 的 S183A 突变会降低 T246 的磷酸化水平，说明 14-3-3 的结合可以保护 T246 的磷酸化<sup>[4]</sup>。由于 mTORC1 的激活与细胞增殖及癌变相关，对 PRAS40-S183 位点磷酸化的研究有助于解开 PRAS40、mTORC1、14-3-3 间的相互作用，因而用于 Western blotting、免疫组化等的 PRAS40-S183 磷酸化抗体十分重要。目前国内外尚未有该抗体出售，国内对于 PRAS40 研究处于起步阶段，因此对该抗体制备的探索有着重要意义。

## 1 材料与amp;方法

### 1.1 材料

#### 1.1.1 试剂

Rabbit-anti-PRAS40 为北京博奥森公司产品； $\beta$ -肌动蛋白兔多克隆抗体(Rabbit anti- $\beta$ -Actin)购自北京博奥森公司；辣根过氧化物酶 HRP 标记的羊抗兔抗体及化学发光试剂购自上海普飞生物技术有限公司；弗氏完全佐剂和弗氏不完全佐剂为 Sigma 产品。蛋白酶抑制剂复合物(Protease inhibitor cocktails)为 Amresco 产品。rProtein A Sepharose Fast Flow 购自 GE Healthcare(Sweden)，丙基- $\beta$ -D 硫代半乳糖苷(IPTG)购自美国 Promega 公司。

#### 1.1.2 菌种、细胞及质粒

大肠杆菌 BL21(DE3)由本实验室保存。人胚肾细胞(HEK293)、小鼠肉瘤细胞(S180)由本实验室保

存；人正常肝细胞(HL7702)、人肝癌细胞 HepG2、人肺癌细胞 A549 由军事医学科学院生物工程研究所钟辉博士惠赠；质粒 pDEST15-PRAS40 由美国 Emory 大学傅海安教授惠赠。

#### 1.1.3 实验动物

成年雌性新西兰白兔(3 kg) 2 只，雄性(2.6 kg) 1 只，购自安徽医科大学动物饲养中心。

### 1.2 方法

#### 1.2.1 抗原肽的设计

使用 Protein Workbench 4.0 软件<sup>[5]</sup>对 PRAS40-S183 附近氨基酸残基进行疏水性和抗原性分析，登录 <http://www.ncbi.nlm.nih.gov> 使用其 Blastp 进行同源性比对，最终选取含 S183 的具高抗原性、低疏水性且与其他蛋白序列无同源性的氨基酸序列，送科肽公司化学合成，在其 Ser 上共价连接磷酸，经质谱和 HPLC 鉴定其纯度大于 95%，并把合成的多肽铰链到 KLH 蛋白上，以提高免疫原性。

#### 1.2.2 实验动物免疫

将合成的 p-PRAS40(S183) 抗原 100  $\mu$ g 溶于 1 mL 无菌 PBS 中，并与等体积弗氏完全佐剂进行充分乳化，按 1 mL/只剂量免疫，采用皮内多点注射免疫新西兰白兔。初次免疫后，改用弗氏不完全佐剂，每 3 周加强免疫 1 次，共 2 次，每次抗原剂量为 100  $\mu$ g。末次免疫 10 d 后试血，即经耳静脉采血分离血清，用 ELISA 测定血清抗体效价，效价满意后心脏取血，分离抗体血清。

#### 1.2.3 ELISA

用碳酸盐包被缓冲液( $\text{Na}_2\text{CO}_3$  0.00159%， $\text{NaHCO}_3$  0.00293%，pH 9.0)将完全抗原稀释成 10  $\mu$ g/mL，每个酶标板反应孔中加 0.1 mL，4 $^\circ$ C 过夜，次日弃去孔内溶液，用洗涤液(PBS, Tween20 0.05%，pH 9.0)冲洗、拍干；在每孔中加入 0.1 mL 含 0.2% BSA 的 PBS 缓冲液(pH 7.4)，37 $^\circ$ C 孵育 120 min，弃去孔内溶液、拍干；将系列稀释的待检样品 0.1 mL 加入反应孔中，37 $^\circ$ C 孵育 120 min，洗涤液冲洗；于各反应孔中加入新鲜稀释的酶标抗体(1:1000)0.1 mL，37 $^\circ$ C 孵育 60 min，洗涤；每孔中加入 TMB 底物溶液(0.3%  $\text{H}_2\text{O}_2$  的 0.1 mol/L  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ -0.05 mol/L 柠檬酸缓冲液 20 倍稀释 0.2% TMB 的无水乙醇溶液) 0.1 mL，37 $^\circ$ C、2 min，加入 2 mol/L 硫酸 0.05 mL 终止反应。

用酶标仪检测  $OD_{450}$  值，若各孔  $OD_{450}$  值为阴性

对照孔  $OD_{450}$  值的 2.1 倍以上, 即为阳性。

#### 1.2.4 抗体纯化

rProtein A Sepharose Fast Flow 分离法: 用 BufferA(50 mmol/L boric acid, 4 mol/L NaCl, pH 9.0) 平衡层析柱, 缓慢加入抗血清, 用 bufferA 洗涤非特异性结合蛋白, 依次用 20%、40%、60%、80%、100% Buffer B(50 mmol/L sodium phosphate, 50 mmol/L sodium citrate, 0.3 mol/L NaCl, pH 3.0) 进行抗体的梯度洗脱, 在收集液中加入 5% 1 mol/L Tris-HCl(pH 8.0) 以回调 pH, SDS-PAGE 检测各组分样品。合并含有抗体的收集液, PBS 透析后 4°C 保存。

#### 1.2.5 非特异性抗体的吸附及鉴定

以 75 pg/mL BALP(碱性磷酸酶)处理 KLH-抗原肽段(37°C, 5 min), 上样、SDS-PAGE、转膜, 获得去磷酸化的 S183 抗原膜, 将其浸泡于抗体稀释液中室温孵育 2 h, 抗原膜去除后即得只含磷酸化的 S183 抗体。用 BALP 处理 HEK293 细胞裂解液, 上样进行 SDS-PAGE。用非磷酸化 KLH-S183 抗原膜处理前后的抗体分别对经过或不经过 BALP 处理的 HEK293 细胞裂解液进行 Western blotting 检测。

#### 1.2.6 GST-PRAS40 融合蛋白的诱导表达

将 pDEST15-PRAS40 质粒转化到大肠杆菌 BL21(DE3)感受态细胞, 37°C 培养过夜。挑取单克隆接种于 5 mL 液体培养基, 12 h 后转接于含 50 mg/L 氨苄西林的 1000 mL 三角瓶中, 培养至吸光度  $A_{600}$  在 0.4~0.6 之间, 加入 IPTG 至终浓度 0.2 mmol/L, 诱

导表达 4 h 后, 收集菌体。

#### 1.2.7 磷酸化 PRAS40-S183 在不同细胞中表达的检测

分别对人胚胎肾细胞 HEK293、人正常肝细胞 HL7702、人肝癌细胞 HepG2、人肺癌细胞 A549、小鼠肿瘤细胞 S180 进行细胞裂解液(150 mmol/L NaCl, 10 mmol/L HEPES, 5 mmol/L 焦磷酸钠、5 mmol/L 氟化钠、5 mmol/L 硫酸钠、蛋白酶抑制剂复合物、0.2% NP-40) 4°C 处理 20 min, 离心后去沉淀。将上述样品经 12.5% SDS-PAGE 后, 转移至硝酸纤维素膜上, 5% 脱脂奶粉封闭, 加入制备抗血清室温下作用 2 h, TBST 洗 3 次, 每次 10 min, 加入 HRP 标记的羊抗兔抗体室温反应 1 h, 洗涤后加 ECL 使 X 光胶片感光, 检测抗体的特异性。

#### 1.2.8 细胞饥饿处理检测

正常培养 HEK293, 使用与 1640 培养基等葡萄糖浓度的 PBS(pH 7.5) 分别 2×、4×、8×、16× 稀释 1640 培养基, 以该系列培养基继续培养 HEK293 细胞 120 min, 另设正常培养对照和 PBS 继续培养对照, 进行裂解、上样处理和 Western blotting 检测。

## 2 结果与分析

### 2.1 抗原肽段设计

经 CLC Protein Workbench 软件分析, 得出 PRAS40-S183 位点附近氨基酸残基抗原性及疏水性图谱(图 1)。图中显示: 175~186 位点的抗原性较强, 176~183 位点间的疏水性较好, 且 S183 磷酸化位点最好不要放在端位。兼顾高抗原性且低疏水性原则,

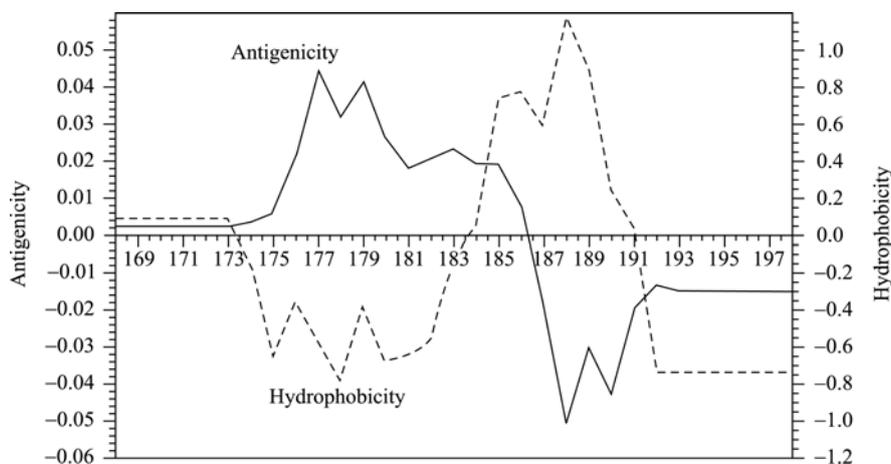


图 1 PRAS40 蛋白疏水性和抗原性分析

Fig. 1 Antigenicity and hydrophobicity analysis of PRAS40 protein.

选取 TQQYAKS<sub>183</sub>LPV 氨基酸序列, Blastp 同源比对证实该序列与其他人源蛋白无同源性。肽段由科肽公司合成: 合成的肽段在 Ser 共价连接磷酸, 即为 TQQYAKpS<sub>183</sub>LPV 抗原肽段, 同时与 KLH 较连, 以增加其免疫原性。

表 1 S183 抗体血清稀释度与 OD<sub>450</sub> 吸收值关系

Table 1 Titrate and OD<sub>450</sub> value analysis of S183 antibody serum

Serum titrate	OD <sub>450</sub> (repeat 4 times)				Average value	Identification
1:1000000	0.179	0.183	0.192	0.198	0.188±0.008	-
1:100000	0.226	0.218	0.231	0.228	0.226±0.006	-
1:10000	0.420	0.452	0.438	0.443	0.438±0.01	+
1:1000	0.548	0.562	0.552	0.553	0.554±0.006	+
1:100	0.697	0.689	0.702	0.688	0.694±0.007	+
1:10	0.858	0.810	0.793	0.825	0.822±0.03	+
Control	0.135	0.132	0.128	0.134	0.132±0.003	

### 2.3 抗血清纯化及吸附处理

对家兔免疫后的抗血清, 本实验用 rProtein A Sepharose Fast Flow 亲和层析柱进行了纯化。对照纯化前, 随着梯度洗脱的进行, 图 2 泳道 1~2 血清杂蛋白渐少直至消失, 3~8 号条带即为高纯度的免疫球蛋白, 9~10 泳道目标蛋白的量已很少, 说明免疫球蛋白几乎完全洗脱, 即以 20%~100% Buffer B 缓冲液梯度洗脱可得纯度较高的免疫球蛋白(图 2)。

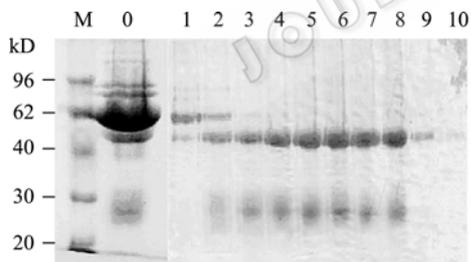


图 2 Protein A 亲和层析对抗体纯化的 SDS-PAGE 分析  
Fig. 2 SDS-PAGE analysis of purified antibody with Protein affinity chromatography. M: protein marker, 0: serum, 1-10: purified antibody.

免疫过程中产生一定量的非特异性抗体, 仅仅凭借 Protein A 纯化是达不到 PRAS40-S183 磷酸化多克隆抗体高特异性的。本实验通过用非磷酸化的 S183-KLH 抗原条处理后, 去除了非磷酸化的抗体及 KLH 抗体, 获得了只含磷酸化的 S183 抗体, 其鉴定结果如图 3 所示: 用非磷酸化 S183 抗原条处理前的抗体对用碱性磷酸酶(BALP)消化的 HEK293 细胞

### 2.2 抗体效价的鉴定

本实验用 ELISA 方法对免疫家兔所获得的抗体血清进行了效价的检测(表 1), 鉴于 OD<sub>450</sub> 值为阴性对照孔 OD<sub>450</sub> 值的 2.1 倍以上即为阳性的原则, 判定抗血清的稀释度为 1:10 000。

上清液仍有反应, 而用吸附纯化后的抗体 Western blotting 实验未见条带, 去磷酸化抗原膜吸附可以明显提高抗体的特异性。本实验以细胞内的肌动蛋白 actin 作为样品上样量的参照物, 说明图 3 的 4 个样品上样量基本一致。

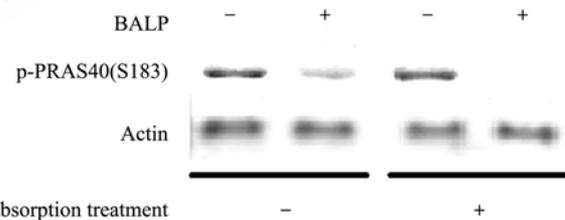


图 3 p-PRAS40(Ser183)-抗体的吸附处理及鉴定

Fig. 3 Absorption treatment and detection of p-PRAS40 (Ser183) antibody.

### 2.4 抗体特异性鉴定

为进一步检测所制备的磷酸化抗体的特异性, 用含有 GST-PRAS40 融合蛋白的 BL21(DE3)细胞上清液为 PRAS40 非磷酸化抗原, HEK293 细胞上清液含有磷酸化的 PRAS40(Ser183)位点<sup>[4]</sup>, BL21(DE3)细胞上清液为空白对照, 然后分别用 rabbit anti-PRAS40 抗体及 p-PRAS40(Ser183)抗体与上述 3 种抗原进行特异性检测, 结果发现 PRAS40 抗体不仅识别 GST-PRAS40 蛋白(67 kD), 而且识别细胞上清液中的 PRAS40 蛋白(40 kD), 而 p-PRAS40 (Ser183)抗体仅识别细胞上清液中的 PRAS40 蛋白,

即 Ser183 磷酸化的 PRAS40 蛋白(图 4-3b)。图 4-2b 残留的微弱条带可能是由于非磷酸化吸附处理不完全所致。

## 2.5 S183 在不同细胞中表达的检测

为了检测 PRAS40-S183 位点在不同细胞内的磷酸化状态,本试验使用吸附纯化后的抗体对人胚肾细胞 HEK293、正常肝细胞 HL7702、肝癌细胞 HepG2、肺癌细胞 A549 和小鼠肉瘤细胞 S180 进行 Western blotting 检测,结果如图 5 所示。

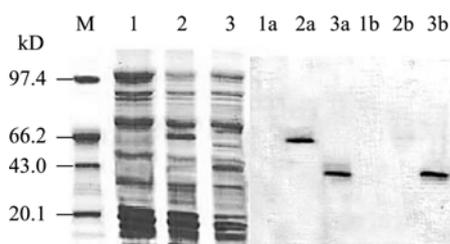


图 4 p-PRAS40(Ser183)-抗体的特异性鉴定

Fig. 4 Specificity identification of antibody against p-PRAS40(Ser183). 1-3: SDS-PAGE analysis; a: Western blotting analysis with rabbit-anti-PRAS40 antibody; b: Western blotting analysis with rabbit-anti-p-PRAS40(Ser183) antibody; M: protein marker; 1: before induction; 2: IPTG induction; 3: supernatant of HEK293.

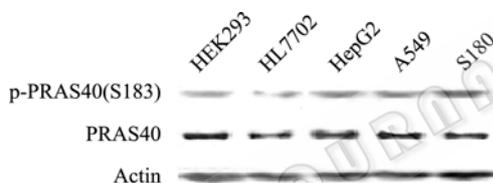


图 5 PRAS40-S183 位点在不同细胞内磷酸化状态的 Western blotting 检测

Fig. 5 Phosphorylation state detection of PRAS40-S183 site in the supernatant of different cell lines by Western blotting.

磷酸化的 PRAS40-S183 在该不同细胞中都有不同程度的表达,说明该位点的磷酸化水平在正常细胞及肿瘤细胞中的基础表达量差异不太明显,肿瘤细胞 HepG2、A549 及 S180 含量略高。

## 2.6 细胞饥饿处理对 S183 磷酸化位点的影响

已有报道,HEK293 细胞经氨基酸饥饿培养会产生 PRAS40-S183 磷酸化水平降低的情况,本实验设计了不同氨基酸浓度培养的 HEK293 细胞加以检测。

图 6 的结果显示,使用吸附纯化后抗体 Western blotting 检测发现氨基酸饥饿的 HEK293 细胞与正常培养的 HEK293 相比,其 PRAS40-S183 磷酸化水平明显减少,目标条带随着氨基酸浓度的降

低,PRAS40-S183 磷酸化水平出现了递减的趋势,说明氨基酸浓度的变化对 PRAS40-S183 磷酸化水平的高低起着重要的调控作用。

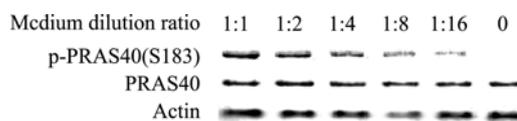


图 6 不同浓度氨基酸饥饿处理对 HEK293 细胞中 Ser183 磷酸化水平的影响

Fig. 6 Western blotting detection of Ser183 phosphorylation level with amino acid withdraw treatment in HEK293.

## 3 讨论

本实验通过 Protein workbench 4.0 软件对疏水性抗原性的分析及 Blast 同源比对设计出 PRAS40-S183 附近的 10 个氨基酸序列为抗原,化学合成 S183 磷酸化肽段并连接载体蛋白 KLH,免疫家兔,ELISA 检测效价,Protein A-Sepharose 亲和层析柱纯化抗体免疫球蛋白,去磷酸化 KLH-抗原膜吸附 KLH 表位抗体及非磷酸化的 S183 抗体,获得了 pPRAS40-S183 磷酸化抗体。

以 BL21(DE3)细胞上清液为空白对照,含有 GST-PRAS40 融合蛋白的菌液上清液的 PRAS40 非磷酸化蛋白为阴性对照,HEK293 内源性的磷酸化 PRAS40 蛋白为阳性对照,分别用 PRAS40 抗体及 pPRAS40-S183 磷酸化抗体进行检测,显示了本实验制备的 Rabbit-anti-PRAS40-S183 为 S183 磷酸化位点特异性抗体。至于在图 4-2b 中残留的微弱条带,本研究将通过优化抗原吸附膜的抗原量与被吸附抗体的量的比例来加以改进。

在抗体的应用方面,本试验做了在不同细胞株表达差异及 S180 磷酸化与氨基酸饥饿刺激关系的实验。结果显示,正常及肿瘤细胞检测说明正常培养的细胞都有一定水平的 PRAS40-S183 磷酸化表达,肿瘤细胞略高;氨基酸饥饿实验证明,PRAS40-S183 磷酸化程度随氨基酸浓度的降低而减少,该结果与文献[4]报道一致,说明本实验制备的 PRAS40-S183 抗体特异性较强。

磷酸化多克隆抗体的制备对于抗体特异性的要求较高,本实验室是在已有的磷酸化抗体的制备基础上有所改进<sup>[5]</sup>。为避免邻近抗原表位产生的抗体导致的假阳性,本研究采用 BALP 去磷酸化 KLH-

抗原膜吸附的办法提纯抗体, 提高特异性。该抗体既可用于研究营养条件改变对 PRAS40-S183 磷酸化位点及其相关上游激酶对其的调控作用<sup>[2,4]</sup>, 又可参与研究 PRAS40 的 2 个主要磷酸化位点 T246 和 S183 之间以及与 14-3-3 蛋白结合的关系<sup>[6,7]</sup>, 乃至研究 PRAS40 与 14-3-3 蛋白对细胞生存与死亡信号传导通路的调控作用。

## REFERENCES

- [1] Kovacina KS, Park GY, Bae SS, *et al.* Identification of a proline-rich Akt substrate as a 14-3-3 binding partner. *J Biol Chem*, 2003, **278**(12): 10189–10194.
- [2] Haar EV, Lee SI, Bandhakavi S, *et al.* Insulin signalling to mTOR mediated by the Akt/PKB substrate PRAS40. *Nat Cell Biol*, 2007, **9**(3): 316–323.
- [3] Sancak Y, Thoreen CC, Peterson TR, *et al.* PRAS40 is an insulin-regulated inhibitor of the mTORC1 protein kinase. *Mol Cell*, 2007, **25**(6): 903–915.
- [4] Fonseca BD, Smith EM, Lee VH, *et al.* PRAS40 is a target for mammalian target of rapamycin complex 1 and is required for signaling downstream of this complex. *J Biol Chem*, 2007, **282**(34): 24514–24524.
- [5] Ren YM, Huang B, Wei H, *et al.* Preparation and intracellular expression detection of phosphorylated LKB1 (Thr336) polyclonal antibody. *Chin J Biological*, 2008, **21**(11): 1–5.  
任艳敏, 黄蓓, 魏浩, 等. LKB1(Thr336)磷酸化多克隆抗体的制备及在细胞中表达的检测. 中国生物制品杂志, 2008, **21**(11): 1–5.
- [6] Oshiro N, Takahashi R, Yoshino K, *et al.* The proline-rich Akt substrate of 40 kDa (PRAS40) is a physiological substrate of mammalian target of rapamycin complex 1. *J Biol Chem*, 2007, **282**(28): 20329–20339.
- [7] Satio A, Narasimhan P, Hayashi T, *et al.* Neuroprotective role of a proline-rich Akt substrate in apoptotic neuronal cell death after stroke: Relationships with nerve growth factor. *J Neurosci*, 2004, **24**(7): 1548–1593.

科学出版社科学出版中心生命科学分社新书推介

## 科学出版社科学出版中心生命科学分社新书推介

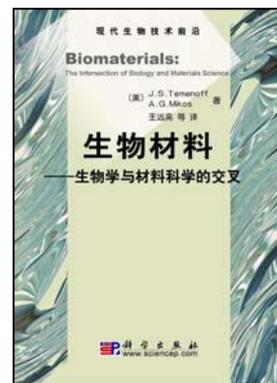
### 生物材料——生物学与材料科学的交叉 (翻译版)

〔美〕J.S.Temenoff A.G.Mikos 著 王远亮 等译  
978-7-03-024635-6 ¥75.00 2009年6月出版

#### 内容简介

本书是一本介绍生物与材料科学相互关系的书籍, 阐述了生物材料学和生物学的基本概念及研究进展, 并提供了生物材料结构、性能及生物学响应的全面信息。全书共分四部分, 14章。第一部分(第1~4章)讲述生物医用材料的基本知识及其结构与性能; 第二部分(第5、6章)讲述生物材料的降解及其加工工艺; 第三部分(第7~9章)讲述生物材料表面特征, 以及与蛋白质、细胞的相互作用; 第四部分(第10~14章)讲述生物材料作为植入体在应用过程中发生的各种反应。

本书可作为材料科学系、生物工程系以及医学相关领域的本科生生物材料课的入门教材, 另外, 本书第三、四部分可以作为研究生和科研人员进行材料及组织工程学行为研究的参考书。



欢迎各界人士邮购科学出版社各类图书 (免邮费)

邮购地址: 北京东黄城根北街16号 科学出版社 科学出版中心 生命科学分社 邮编: 100717

联系人: 周文宇 联系电话: 010-64031535

更多精彩图书请登陆网站 <http://www.lifescience.com.cn>, 欢迎致电索要书目