

网络出版时间:2026-01-07 14:04:05 网络出版地址:https://link.cnki.net/urlid/34.1065.R.20260129.0854.002

## LINC02086通过调控Wnt/ $\beta$ -catenin通路介导巨噬细胞M2极化对胃癌细胞增殖、迁移及侵袭的影响

李军<sup>1</sup>,卜亚飞<sup>2</sup>,陈杰<sup>2</sup>,丁波<sup>1</sup>,王磊<sup>1</sup>

(宁夏医科大学总医院<sup>1</sup>胃肠外科、<sup>2</sup>急诊科,银川 750004)

**摘要** 目的 探讨长链间隔非编码RNA02086(LINC02086)过表达介导的巨噬细胞极化对胃癌细胞增殖、迁移和侵袭的影响及机制。方法 采用qRT-PCR检测人胃黏膜上皮细胞GES-1及人胃癌细胞系HGC-27、NCI-N87、AGS中的LINC02086表达水平。使用佛波酯(PMA)将人急性单核细胞白血病细胞(THP-1)诱导分化为M0型巨噬细胞,分别用LINC02086过表达慢病毒(OE-LINC02086)及其阴性对照慢病毒(Vector)感染HGC-27细胞,收集培养上清液作为条件培养基1(CM1);将M0型巨噬细胞与感染后的HGC-27细胞共培养,收集培养上清液得到CM2。使用CM1单独或联合Wnt/ $\beta$ -catenin通路抑制剂(IWR-1)处理M0型巨噬细胞,分别设为Vector+CM1组、OE-LINC02086+CM1组和OE-LINC02086+CM1+IWR-1组;通过流式细胞术检测细胞中甘露糖受体(CD206)水平;qRT-PCR检测细胞中白细胞介素-10(IL-10)、转化生长因子- $\beta$ (TGF- $\beta$ )、血管内皮生长因子(VEGF)和趋化因子配体22(CCL22)mRNA表达水平;Western blot检测细胞中CD206、VEGF蛋白和Wnt/ $\beta$ -catenin通路相关蛋白Wnt家族成员3a(Wnt3a)、糖原合成酶激酶-3 $\beta$ (GSK-3 $\beta$ )、 $\beta$ -连环蛋白( $\beta$ -catenin)表达水平。使用CM2单独或联合IWR-1处理HGC-27细胞,分别设为Vector+CM2组、OE-LINC02086+CM2组和OE-LINC02086+CM2+IWR-1组;CCK-8法检测细胞增殖活性;Transwell检测细胞迁移、侵袭能力。结果 与GES-1细胞比较,HGC-27、NCI-N87及AGS细胞中LINC02086表达水平均升高( $P < 0.05$ ),其中HGC-27细胞升高幅度最小。与Vector+CM1组比较,OE-LINC02086+CM1刺激后,巨噬细胞中CD206水平以及IL-10、TGF- $\beta$ 、VEGF和CCL22 mRNA表达水平升高( $P < 0.05$ ),同时,细胞中Wnt3a和 $\beta$ -catenin蛋白表达水平升高( $P < 0.05$ ),GSK-3 $\beta$ 蛋白表达水平降低( $P < 0.05$ );然而,IWR-1联合干预可明显逆转LINC02086过表达对巨噬细胞CD206和IL-10、TGF- $\beta$  mRNA等M2型极化标志物表达的促进作用( $P < 0.05$ )以及对Wnt/ $\beta$ -catenin通路的激活作用( $P < 0.05$ )。与Vector+CM2组比较,OE-LINC02086+CM2处理后,HGC-27细胞增殖活性及迁移、侵袭细胞数量升高( $P < 0.05$ );然而,IWR-1联合干预可明显逆转LINC02086过表达对HGC-27细胞增殖、迁移和侵袭的促进作用( $P < 0.05$ )。结论 LINC02086过表达可通过激活Wnt/ $\beta$ -catenin通路介导巨噬细胞M2极化并促进胃癌细胞增殖、迁移和侵袭。

**关键词** 长链间隔非编码RNA02086;过表达;胃癌;巨噬细胞;极化;增殖;Wnt/ $\beta$ -catenin通路

**中图分类号** R 735.2

**文献标志码** A **文章编号** 1000-1492(2026)02-0192-09

doi:10.19405/j.cnki.issn1000-1492.2026.02.002

胃癌是全球癌症致死的主要原因之一,由于其发病隐匿且缺乏早期诊断靶标,多数患者确诊时已处于中晚期,导致预后不良<sup>[1]</sup>。肿瘤的进展与肿瘤微环境(tumor microenvironment, TME)密切相关,其中肿瘤相关巨噬细胞(tumor-associated macrophage, TAM)是关键免疫细胞,可极化为抗肿瘤的M1表型或促肿瘤的M2表型,后者通过分泌细胞因子促进胃癌细胞恶性进展<sup>[2-3]</sup>。长链非编码RNA(long non coding RNA, LncRNA)是重要的调控分子,常通

过充当“分子海绵”竞争性吸附miRNA影响TME<sup>[4]</sup>。例如,LncRNA NR\_109和LncRNA CRNDE已被证实通过诱导TAM的M2型极化促进胃癌进展<sup>[5-6]</sup>。长链间隔非编码RNA02086(long intergenic non coding RNA02086, LINC02086)是近年来被关注的LncRNA,在胰腺癌等多种消化道癌中高表达,并促进其发展<sup>[7]</sup>。在胃癌中,LINC02086特异性高表达,可通过吸附miR-93a-5p上调基质金属蛋白酶3(matrix metalloproteinase-3, MMP3)表达,进而激活细胞外基质重塑通路,推动胃癌细胞增殖和迁移<sup>[8]</sup>。然而,LINC02086是否通过调控巨噬细胞极化影响胃癌进展尚未明确。该研究拟探讨LINC02086过表达对巨噬细胞极化及胃癌细胞恶性行为的影响与机制,旨在为胃癌诊断和治疗提供新的潜在靶点。

2025-11-24 接收

基金项目:宁夏自然科学基金项目(编号:2024AAC03688)

作者简介:李军,男,主任医师;

王磊,男,主任医师,通信作者,E-mail:wanglei1182@sina.com

## 1 材料与方 法

**1.1 细胞** 人急性单核细胞白血病细胞 THP-1、人胃黏膜上皮细胞 GES-1 及人胃癌细胞 HGC-27、NCI-N87、AGS(货号:h213、h062、h095、h164、h016)购自上海赛百慷生物技术股份有限公司。

**1.2 主要试剂和仪器** RPMI-1640 培养基、DMEM 培养基(货号:SH30809、SH30243)购自美国 Hyclone 公司;F12K 培养基、青-链霉素双抗(货号:PM150910B、PB180120)购自武汉普诺赛生命科技有限公司;佛波酯(phorbol 12-myristate 13-acetate, PMA)(货号:P1585)购自美国 Sigma 公司;Wnt/ $\beta$ -catenin 通路抑制剂 IWR-1(货号:HY-12238)购自美国 MedChemExpress 公司;FITC 标记的甘露糖受体(mannose receptor C-type 1, CD206)流式抗体以及用于 Western blot 的抗 CD206、血管内皮生长因子(vascular endothelial growth factor, VEGF)、Wnt 家族成员 3a(Wnt family member 3a, Wnt3a)、糖原合成酶激酶-3 $\beta$ (glycogen synthase kinase-3 $\beta$ , GSK-3 $\beta$ )、 $\beta$ -连环蛋白( $\beta$ -catenin)、GAPDH 抗体(货号:ab270647、ab64693、ab46154、ab219412、ab93926、ab32572、ab8245)购自英国 Abcam 公司;结晶紫、CCK-8 试剂盒(货号:Y268091、C0038)购自上海碧云天生物技术有限公司;荧光显微镜(型号:CX23)购自日本 OLYMPUS 公司;实时荧光定量 PCR 仪(型号:Light-Cycler 96)购自瑞士 Roche 公司;流式细胞仪(型号:CytoFLEX)购自美国 Beckman Coulter 公司;全波长酶标仪(型号:Multiskan SkyHigh)购自美国 Thermo Fisher Scientific 公司;凝胶成像仪(型号:Gel Doc EZ)购自美国 Bio-Rad 公司。

### 1.3 方 法

**1.3.1 细胞培养** 在 5% CO<sub>2</sub>、37 °C 的培养箱中,分别使用含有 10% 胎牛血清和 1% 双抗(青-链霉素)的 RPMI-1640 完全培养基培养 THP-1、GES-1 及 NCI-N87 细胞,使用 DMEM 完全培养基培养 HGC-27 细胞,使用 F12K 完全培养基培养 AGS 细胞。THP-1 细胞生长至 8×10<sup>5</sup> 个/mL 时进行传代,其余细胞融合度生长至 80%~90% 时进行传代。

**1.3.2 慢病毒感染** 构建 LINC02086 慢病毒过表达载体(pLVX-Puro),经过慢病毒包装、纯化及浓缩得到相应慢病毒溶液(滴度 1×10<sup>8</sup> TU/mL)。按照感染复数(multiplicity of infection, MOI)为 30 的 LINC02086 过表达慢病毒及其阴性对照慢病毒感染

HGC-27 细胞,经过嘌呤霉素筛选得到稳定过表达 LINC02086 的 HGC-27 细胞系,分别命名为 Vector 组和 OE-LINC02086 组,另设置空白对照组(Blank)。LINC02086 慢病毒过表达载体构建、病毒包装、纯化及浓缩由苏州赛业生物科技有限公司完成并提供。

**1.3.3 M0 型巨噬细胞诱导及条件培养基(conditioned medium, CM)获取** 体外培养 THP-1 细胞,加入 10 nmol/L PMA 诱导 48 h 后得到未分化的 M0 型巨噬细胞<sup>[9]</sup>。将感染慢病毒后的 HGC-27 细胞置于无血清 RPMI-1640 培养基中培养 24 h,收集上清液,经过 0.45  $\mu$ mol/L 滤膜过滤得到条件培养基 CM1,分别命名为 Vector+CM1、OE-LINC02086+CM1,另设置空白对照 CM1(Blank+CM1);在 Transwell 体系中进行细胞共培养<sup>[10]</sup>,分别将感染慢病毒后的 HGC-27 细胞接种于 6 孔板底部,将 M0 型巨噬细胞接种于与之匹配的 Transwell 小室中,待二者分开培养至贴壁后,将培养 M0 型巨噬细胞的小室移至培养 HGC-27 细胞的 6 孔板中建立共培养体系,无血清培养基共培养 24 h,收集上清液得到条件培养基 CM2,分别命名为 Vector+CM2、OE-LINC02086+CM2,另设置空白对照 CM2(Blank+CM2)。该研究中,CM1 用于评估 LINC02086 过表达的胃癌细胞自身分泌因子对巨噬细胞的直接作用,CM2 用于模拟 TME 中胃癌细胞与巨噬细胞双向交互后的状态,其中包含了被胃癌细胞诱导 M2 极化后的巨噬细胞所反馈分泌的因子。

**1.3.4 细胞分组及处理** 采用 qRT-PCR 检测 GES-1、HGC-27、NCI-N87 及 AGS 细胞中的 LINC02086 表达水平。对 HGC-27 细胞进行以下分组及处理:① Control-1 组:M0 型巨噬细胞不经任何处理;Blank+CM1 组、Vector+CM1 组、OE-LINC02086+CM1 组:使用对应来源的 CM1 刺激 M0 型巨噬细胞 24 h;Vector+CM1+IWR-1 组、OE-LINC02086+CM1+IWR-1 组:使用 10  $\mu$ mol/L IWR-1<sup>[11]</sup> 预处理 M0 型巨噬细胞 2 h 后,再使用对应来源的 CM1 刺激 M0 型巨噬细胞 24 h;② Control-2 组:HGC-27 细胞不经任何处理;Blank+CM2 组、Vector+CM2 组、OE-LINC02086+CM2 组:使用对应来源的 CM2 处理 HGC-27 细胞 24 h;Vector+CM2+IWR-1 组、OE-LINC02086+CM2+IWR-1 组:使用 10  $\mu$ mol/L IWR-1 预处理 M0 型巨噬细胞 2 h 后,再使用对应来源的 CM2 刺激 M0 型巨噬细胞 24 h。

**1.3.5 流式细胞术检测 CD206 阳性细胞比例** 收集各组巨噬细胞至流式测定管中,1 500 r/min 离心

3 min后去除培养基,加入PBS重悬细胞,使其浓度达到 $1 \times 10^6$ 个/mL。4%多聚甲醛固定细胞15 min后破膜,使用1%的牛血清白蛋白封闭液封闭细胞表面非特异性结合位点,加入FITC-CD206抗体,避光孵育30 min,于流式细胞仪上检测各组CD206阳性细胞比例。

**1.3.6 qRT-PCR** 收集各组HGC-27细胞和巨噬细胞,加入TRIzol试剂使细胞充分裂解,使用氯仿和异丙醇溶液对RNA进行分离,检测RNA浓度后,根据反转录试剂盒说明书操作进行cDNA合成。设计引物(表1),配置包含2 $\times$ SYBR扩增预混液、引物混合物、cDNA模板和无酶水的PCR反应体系,于实时荧光定量PCR仪上进行扩增反应,反应条件:95 $^{\circ}$ C预变性2 min;95 $^{\circ}$ C变性10 s,55 $^{\circ}$ C退火15 s,72 $^{\circ}$ C延伸10 s,循环40次。根据扩增和熔解曲线,以GAPDH作为对照,采用 $2^{-\Delta\Delta C_T}$ 法计算目的基因的相对表达量。

表1 引物序列  
Tab. 1 Primer sequences

Gene	Primer sequence (5'-3')
LINC02086	F: TCCCTTGGAGGTATTGAC R: CTCAGAACAACCGATGAC
IL-10	F: AGAACCTGAAGACCCTCAGGC R: CCACGGCCTTGCTCTTGTT
TGF- $\beta$	F: TACCTGAACCCGTGTTGCTCTC R: GTTGCTGAGGTATCGCCAGGAA
VEGF	F: CAGGGACAGTTGCTTCTGGA R: CAGGGACAGTTGCTTCTGGA
CCL22	F: GAGATCTGTGCCGATCCCAG R: AGGGAATGCAGAGAGTTGGC
GAPDH	F: AATCCCATCACCATCTTC R: AGGCTGTTGTCATACTTC

**1.3.7 CCK-8实验** 将对数生长期的HGC-27细胞接种于96孔板中,每孔 $3 \times 10^3$ 个/100  $\mu$ L,待细胞贴壁后按照分组要求进行处理,随后每孔加入10  $\mu$ L CCK-8试剂,轻轻振荡混匀,继续孵育1 h,于酶标仪波长450 nm处检测各孔吸光度(Absorbance, A)值。细胞增殖活性(%)=(实验孔A值-空白孔A值)/(对照孔A值-空白孔A值) $\times 100\%$ 。

**1.3.8 Transwell实验** 按照分组要求对HGC-27细胞进行处理,随后分别进行迁移和侵袭实验。迁移实验:将细胞接种于Transwell上室中的无血清培养基中进行培养,将含有20%胎牛血清的DMEM培养基添加到Transwell下室中,将孔板置于培养箱中

培养24 h后,取出小室,经过4%多聚甲醛固定、0.1%结晶紫染色,于显微镜下进行拍照和计数,对迁移细胞的数量进行统计。侵袭实验:提前在小室中铺入50  $\mu$ L基质胶,后续步骤同迁移实验。

**1.3.9 Western blot实验** 收集各组巨噬细胞和HGC-27细胞,加入裂解缓冲液后4 $^{\circ}$ C振荡、1 500 r/min离心3 min取上清液,对蛋白质浓度进行测定。将40  $\mu$ g蛋白质上样至SDS-PAGE凝胶中(100 V分离1 h),随后转至PVDF膜上(60 V转膜2 h),将膜置于5%脱脂奶粉中室温封闭1 h,加入1:1 000稀释后的一抗(Wnt3a、GSK-3 $\beta$ 、 $\beta$ -catenin、CD206、VEGF、GAPDH)4 $^{\circ}$ C孵育过夜, TBST洗膜3次,加入1:5 000稀释后的辣根过氧化物酶(horseradish peroxidase, HRP)标记二抗室温孵育1 h,加入ECL化学发光底物进行显色, ImageJ软件分析条带,以GAPDH为内参,计算目的蛋白相对表达量。

**1.4 统计学处理** 使用SPSS 26.0软件分析数据,结果用均数 $\pm$ 标准差( $\bar{x} \pm s$ )表示。多组均数比较采用单因素方差分析,事后两两比较采用LSD-*t*检验。 $P < 0.05$ 表示差异有统计学意义。

## 2 结果

**2.1 胃癌HGC-27细胞中LINC02086表达水平及其过表达对M0型巨噬细胞M2极化的影响** 采用qRT-PCR检测各细胞系及慢病毒感染后HGC-27细胞中的LINC02086表达水平,结果显示(图1),与GES-1细胞比较,HGC-27、NCI-N87及AGS细胞中LINC02086表达水平均升高(均 $P < 0.01$ , LSD-*t*=9.67、37.53、24.26),其中HGC-27细胞升高幅度最小。感染慢病毒后,与Blank组比较,OE-LINC02086组HGC-27细胞中LINC02086表达水平升高( $P < 0.01$ , LSD-*t*=31.09),Vector组差异无统计学意义( $P > 0.05$ , LSD-*t*=0.04)。采用不同来源的CM1刺激M0型巨噬细胞,结果显示(图2),与Control-1组比较,Blank+CM1组巨噬细胞中CD206水平以及IL-10、TGF- $\beta$ 、VEGF和CCL22 mRNA表达水平均升高(均 $P < 0.05$ , LSD-*t*=12.61、5.59、3.44、5.80、2.52);与Blank+CM1组比较,OE-LINC02086+CM1组巨噬细胞中CD206水平以及IL-10、TGF- $\beta$ 、VEGF和CCL22 mRNA表达水平均升高(均 $P < 0.05$ , LSD-*t*=12.73、8.87、13.44、3.20、14.85),Vector+CM1组以上指标差异无统计学意义( $P > 0.05$ , LSD-*t*=0.07、0.20、0.67、0.40、0.18)。提示LINC02086过表达可

促进巨噬细胞向M2型极化。

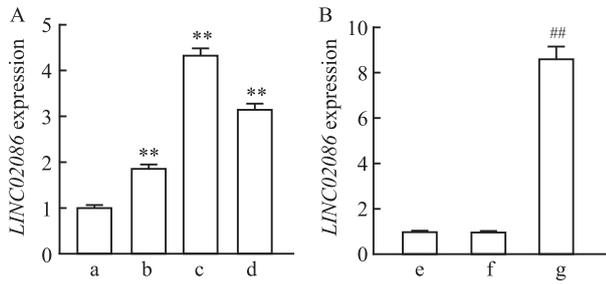


图1 qRT-PCR检测细胞中LINC02086表达水平

Fig. 1 The expression level of LINC02086 in cells was detected by qRT-PCR

A: Expression levels of LINC02086 in each cell line; B: Expression levels of LINC02086 in cells after lentivirus infection; a: GES-1 cells; b: HGC-27 cells; c: NCI-N87 cells; d: AGS cells; e: Blank group; f: Vector group; g: OE-LINC02086 group; \*\* $P < 0.01$  vs GES-1 cells; ## $P < 0.01$  vs Blank group.

**2.2 LINC02086 过表达介导的巨噬细胞 M2 极化对胃癌细胞增殖、迁移及侵袭的影响** 采用不同来源的 CM2 刺激 HGC-27 细胞, 结果显示 (图 3), 与 Control-2 组比较, Blank+CM2 组 HGC-27 细胞增殖活

性升高 ( $P < 0.05$ ,  $LSD-t = 2.43$ ), 迁移、侵袭细胞数量增加 (均  $P < 0.05$ ,  $LSD-t = 3.39, 2.53$ ); 与 Blank+CM2 组比较, OE-LINC02086+CM2 组 HGC-27 细胞增殖活性升高 ( $P < 0.01$ ,  $LSD-t = 3.81$ ), 迁移、侵袭细胞数量进一步增加 ( $P < 0.01$ ,  $LSD-t = 12.83, 12.32$ ), Vector+CM2 组以上指标差异无统计学意义 ( $P > 0.05$ ,  $LSD-t = 0.31, 1.18, 0.63$ )。

**2.3 LINC02086 过表达通过激活 Wnt/ $\beta$ -catenin 通路促进巨噬细胞向 M2 型极化** 采用不同来源的 CM1 刺激 M0 型巨噬细胞, 结果显示 (图 4), 与 Control-1 组比较, Blank+CM1 组巨噬细胞中 Wnt3a 和  $\beta$ -catenin 蛋白表达水平升高, GSK-3 $\beta$  蛋白表达水平降低 (均  $P < 0.01$ ,  $LSD-t = 14.25, 7.25, 3.83$ ); 与 Blank+CM1 组比较, OE-LINC02086+CM1 组巨噬细胞中 Wnt3a 和  $\beta$ -catenin 蛋白表达水平升高, GSK-3 $\beta$  蛋白表达水平降低 (均  $P < 0.01$ ,  $LSD-t = 7.00, 12.25, 10.67$ ), Vector+CM1 组以上指标差异无统计学意义 ( $P > 0.05$ ,  $LSD-t = 1.00, 0.33, 0.50$ )。采用不同来源的 CM1 联合 IWR-1 刺激 M0 型巨噬细胞, 结果显示 (图 5), 与 Vector+CM1 组比较, Vector+CM1+IWR-1

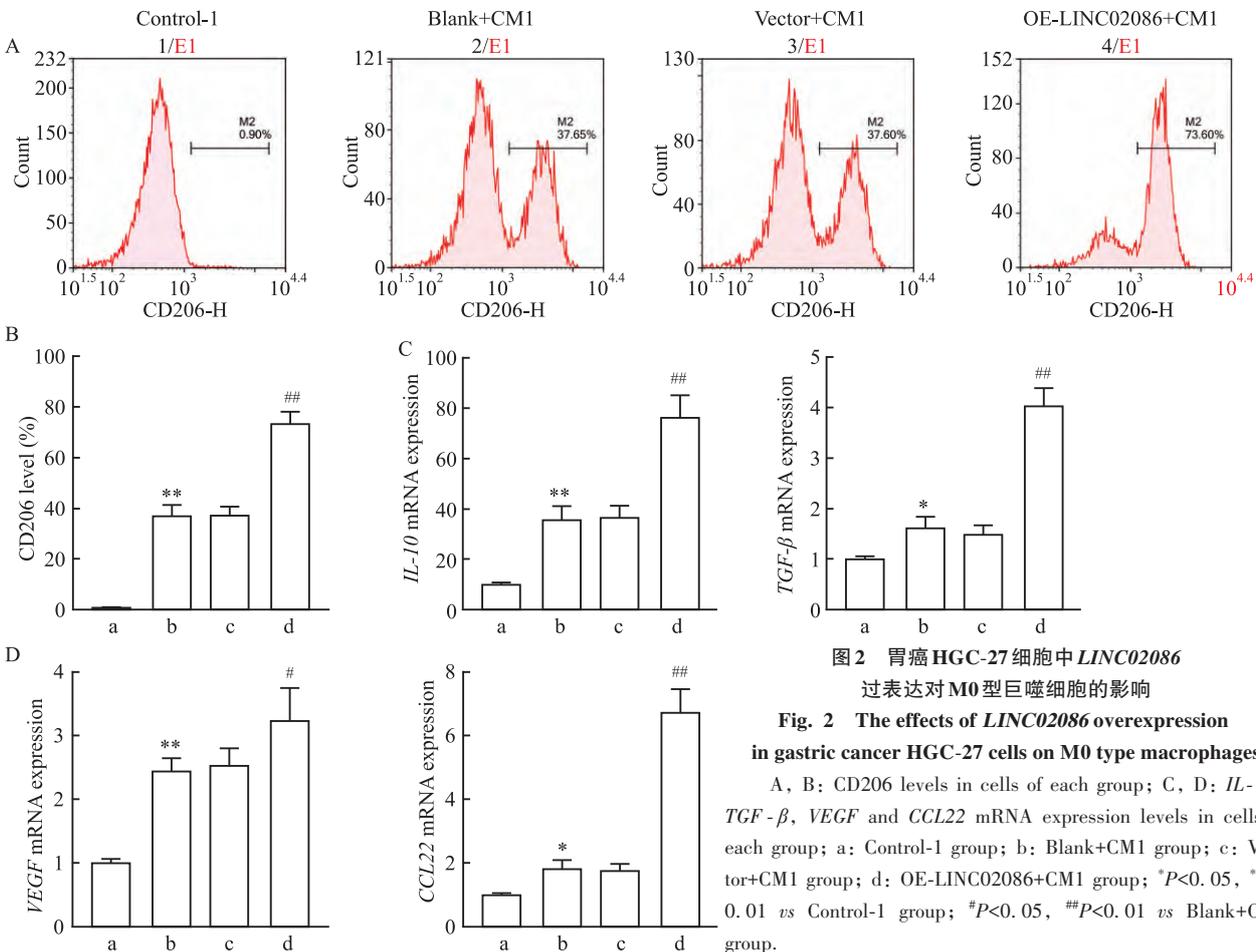


图2 胃癌HGC-27细胞中LINC02086过表达对M0型巨噬细胞的影响

Fig. 2 The effects of LINC02086 overexpression in gastric cancer HGC-27 cells on M0 type macrophages

A, B: CD206 levels in cells of each group; C, D: IL-10, TGF- $\beta$ , VEGF and CCL22 mRNA expression levels in cells of each group; a: Control-1 group; b: Blank+CM1 group; c: Vector+CM1 group; d: OE-LINC02086+CM1 group; \* $P < 0.05$ , \*\* $P < 0.01$  vs Control-1 group; # $P < 0.05$ , ## $P < 0.01$  vs Blank+CM1 group.

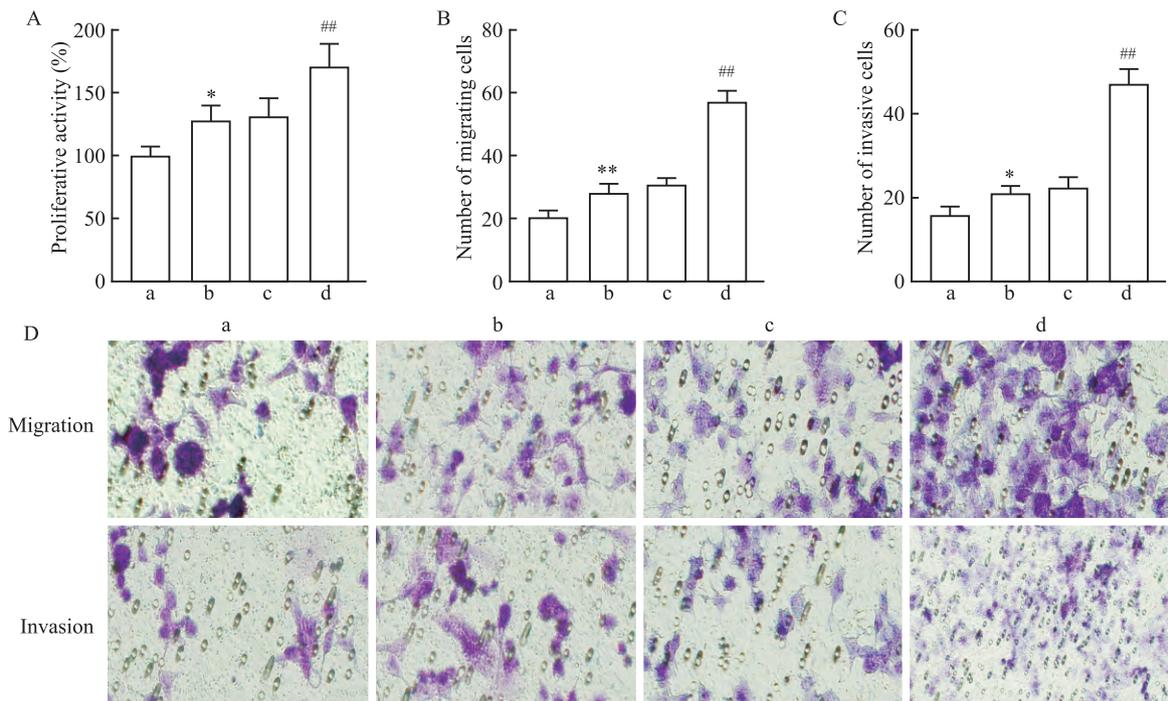


图3 LINC02086 过表达介导的巨噬细胞M2极化对胃癌细胞增殖、迁移及侵袭的影响

Fig. 3 The effects of M2 polarization of macrophages mediated by LINC02086 overexpression on the proliferation, migration and invasion of gastric cancer cells

A: Cell proliferation activity in each group; B: Number of migrating cells in each group; C: Number of invasive cells in each group; D: Transwell assay was used to detect cell migration and invasion ×200; a: Control-2 group; b: Blank+CM2 group; c: Vector+CM2 group; d: OE-LINC02086+CM2 group; \* $P < 0.05$ , \*\* $P < 0.01$  vs Control-2 group; ## $P < 0.01$  vs Blank+CM2 group.

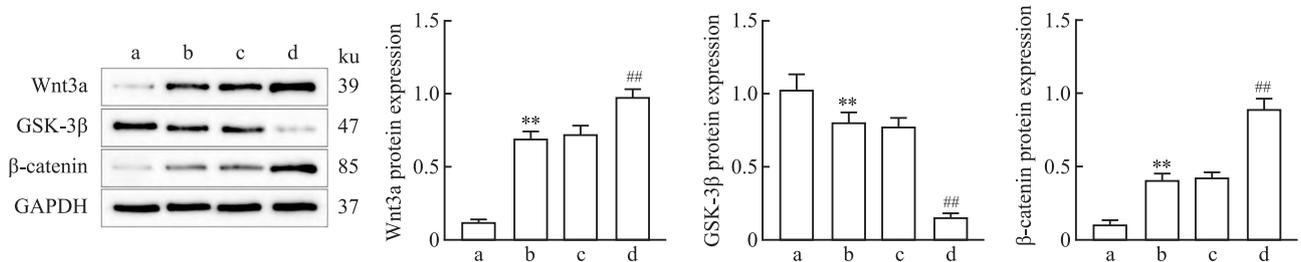


图4 胃癌来源CM1对巨噬细胞中Wnt/β-catenin通路的影响

Fig. 4 The effects of gastric cancer derived CM1 on Wnt/β-catenin pathway in macrophages

a: Control-1 group; b: Blank+CM1 group; c: Vector+CM1 group; d: OE-LINC02086+CM1 group; \*\* $P < 0.01$  vs Control-1 group; ## $P < 0.01$  vs Blank+CM1 group.

组巨噬细胞中 CD206 水平以及 *IL-10*、*TGF-β*、*VEGF* 和 *CCL22* mRNA 表达水平均降低(均  $P < 0.05$ ,  $LSD-t=7.37$ 、 $3.46$ 、 $2.38$ 、 $3.24$ 、 $2.53$ ),同时,细胞中  $\beta$ -catenin、CD206 和 VEGF 蛋白表达水平均降低(均  $P < 0.05$ ,  $LSD-t=3.75$ 、 $3.83$ 、 $2.60$ ); OE-LINC02086+CM1 组巨噬细胞中 CD206 水平以及 *IL-10*、*TGF-β*、*VEGF* 和 *CCL22* mRNA 表达水平均升高(均  $P < 0.01$ ,  $LSD-t=11.18$ 、 $31.05$ 、 $23.43$ 、 $25.95$ 、 $12.35$ ),同时,细胞中  $\beta$ -catenin、CD206 和 VEGF 蛋白表达水平均升高(均  $P < 0.01$ ,  $LSD-t=16.75$ 、 $12.00$ 、 $13.20$ );与 OE-LINC02086+CM1 组比较,OE-LINC02086+CM1+

IWR-1 组巨噬细胞中 CD206 水平以及 *IL-10*、*TGF-β*、*VEGF* 和 *CCL22* mRNA 表达水平均降低(均  $P < 0.01$ ,  $LSD-t=8.01$ 、 $27.64$ 、 $18.10$ 、 $9.76$ 、 $4.24$ ),同时,细胞中  $\beta$ -catenin、CD206 和 VEGF 蛋白表达水平均降低(均  $P < 0.01$ ,  $LSD-t=9.75$ 、 $6.83$ 、 $6.00$ )。

**2.4 阻断 Wnt/β-catenin 通路抑制 LINC02086 过表达介导的巨噬细胞 M2 极化对胃癌细胞增殖、迁移及侵袭的影响** 采用不同来源的 CM2 联合 IWR-1 刺激 HGC-27 细胞,结果显示(图 6),与 Vector+CM2 组比较,Vector+CM2+IWR-1 组 HGC-27 细胞增殖活性降低( $P < 0.05$ ,  $LSD-t=3.22$ ),迁移、侵袭细胞

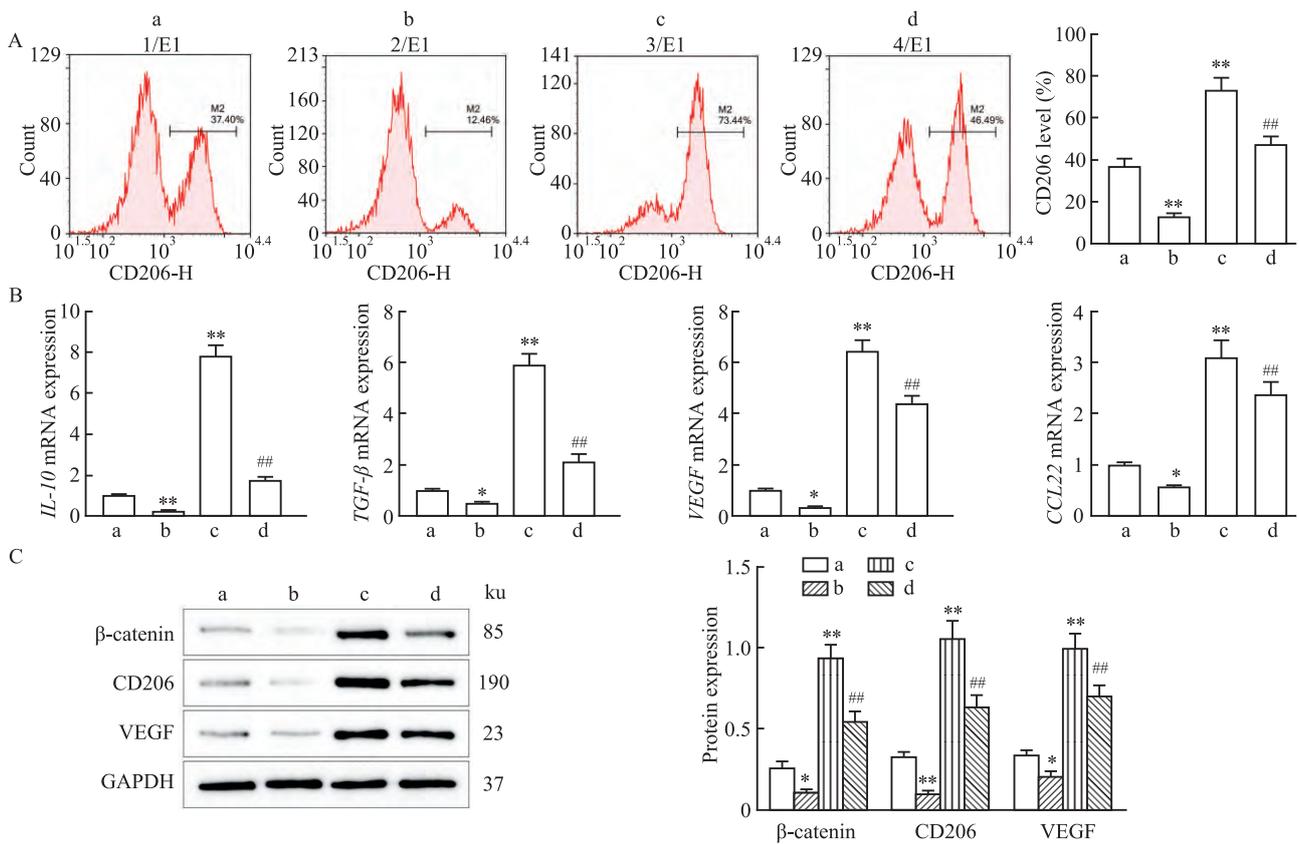


图5 CM1联合Wnt/β-catenin通路抑制剂对巨噬细胞向M2型极化的影响

Fig. 5 The effects of CM1 combined with Wnt/β-catenin pathway inhibitors on the M2 polarization of macrophages

A: CD206 levels in cells in each group; B: mRNA expression levels of M2-type macrophage-associated cytokines in cells in each group; C: Protein expression of β-catenin, CD206 and VEGF levels in cells in each group; a: Vector+CM1 group; b: Vector+CM1+IWR-1 group; c: OE-LINC02086+CM1 group; d: OE-LINC02086+CM1+IWR-1 group; \* $P < 0.05$ , \*\* $P < 0.01$  vs Vector+CM1 group; ## $P < 0.01$  vs OE-LINC02086+CM1 group.

数量减少(均  $P < 0.01$ ,  $LSD-t=5.01$ 、 $5.95$ );且 OE-LINC02086+CM2组 HGC-27 细胞增殖活性升高( $P < 0.01$ ,  $LSD-t=5.50$ ),迁移、侵袭细胞数量增加(均  $P < 0.01$ ,  $LSD-t=17.43$ 、 $10.85$ )。与 OE-LINC02086+CM2组比较,OE-LINC02086+CM2+IWR-1组 HGC-27 细胞增殖活性降低( $P < 0.01$ ,  $LSD-t=4.42$ ),迁移、侵袭细胞数量减少(均  $P < 0.01$ ,  $LSD-t=8.71$ 、 $8.01$ )。

### 3 讨论

TAM是TME中重要的先天免疫细胞群之一,参与刺激肿瘤的慢性炎症、血管生成以及癌细胞免疫逃逸、侵袭和转移<sup>[12]</sup>。近年来,靶向TAM干预胃癌的进展受到关注,通过介导肿瘤与TAM之间的相互作用可以抑制或促进胃癌细胞转移,然而其具体的分子机制仍有待进一步深入阐明<sup>[13]</sup>。

巨噬细胞作为机体免疫系统的核心成员,其表型分化和功能重塑受到周围微环境调节。在病原

体侵袭过程中,巨噬细胞一方面迅速对病原体发生免疫和炎症反应,一方面对组织进行修复和重塑,这些功能分别由M1型和M2型两种不同亚型的巨噬细胞主导,两种极化状态可通过相互转换维持细胞稳态。M2型TAM在TME中占优势地位,通过增加TGF-β和VEGF含量促进血管内皮细胞活性,导致癌细胞的快速生长和远处转移,而癌细胞反过来又通过分泌高水平的CCL22等趋化因子来募集和扩增TAM,造成恶性循环<sup>[14-15]</sup>。钟裕昌等<sup>[16]</sup>研究显示,M2型TAM可促进胃癌细胞的侵袭和迁移,过表达M2型TAM中的TIA1基因可通过阻断磷脂酰肌醇3-激酶/蛋白激酶B(phosphatidylinositol 3-kinase/protein kinase B,PI3K/AKT)信号通路抑制胃癌细胞侵袭和迁移。本研究采用CM1诱导M0型巨噬细胞以模拟胃癌肿瘤环境,结果显示,巨噬细胞中CD206水平以及IL-10、TGF-β、VEGF和CCL22 mRNA表达水平较Blank组均显著升高,说明肿瘤环

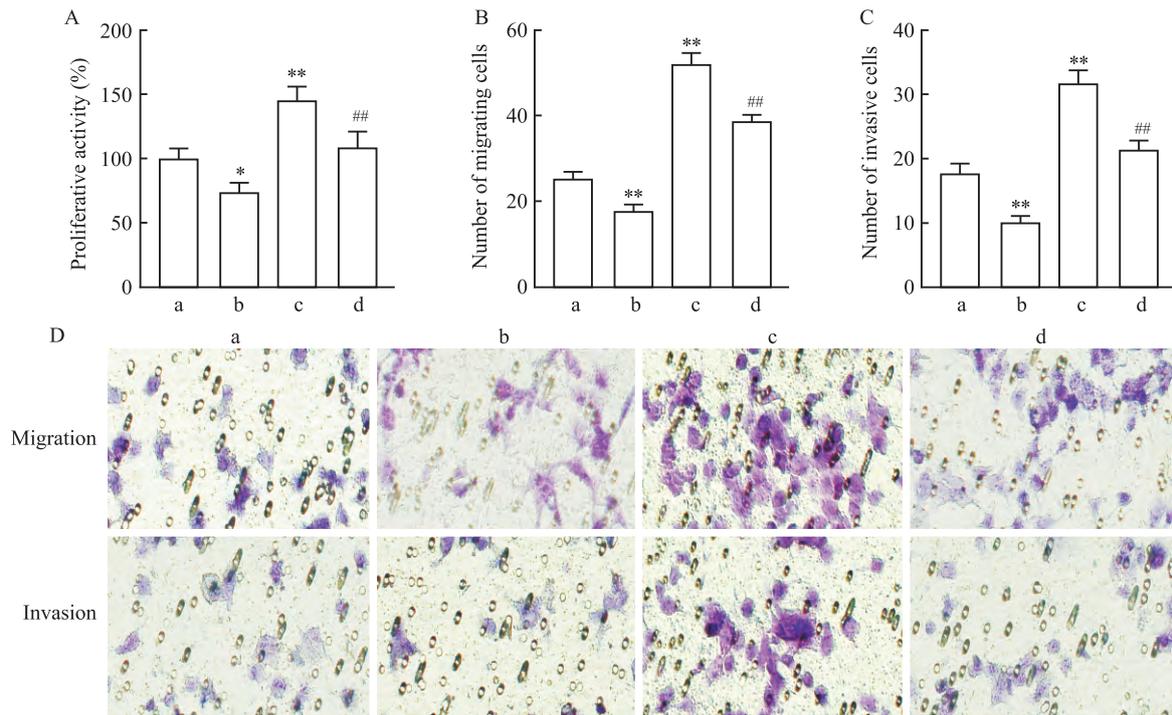


图6 阻断Wnt/β-catenin通路抑制LINC02086过表达介导的巨噬细胞M2极化对胃癌细胞增殖、迁移及侵袭的影响  
 Fig. 6 Blocking Wnt/β-catenin pathway inhibited the proliferation, migration and invasion of gastric cancer cells by inhibiting the M2 polarization of macrophages mediated by LINC02086 overexpression

A: Cell proliferation activity in each group; B: Number of migrating cells in each group; C: Number of invasive cells in each group; D: Transwell assay was used to detect cell migration and invasion ×200; a: Vector+CM2 group; b: Vector+CM2+IWR-1 group; c: OE-LINC02086+CM2 group; d: OE-LINC02086+CM2+IWR-1 group; \*P<0.05, \*\*P<0.01 vs Vector+CM2 group; ##P<0.01 vs OE-LINC02086+CM2 group.

境中的巨噬细胞向M2型极化。近年来,LINC02086展现出的在胰腺癌<sup>[7]</sup>、乳腺癌<sup>[17]</sup>、肺腺癌<sup>[18]</sup>等肿瘤中的治疗潜力引起关注,并被预测可作为胃癌预后的潜在生物标志物<sup>[8]</sup>,但其在胃癌中的作用和机制还需进一步验证。本研究证实LINC02086在胃癌细胞系中高表达,并选择表达水平相对较低的HGC-27细胞进行慢病毒介导的过表达,以探究LINC02086对胃癌细胞恶性表型的影响及其机制。进一步研究发现,LINC02086过表达能诱导巨噬细胞向M2型极化;在此基础上,通过收集极化后巨噬细胞的条件培养基(CM2)模拟肿瘤微环境中的反馈作用,验证了LINC02086通过介导巨噬细胞M2极化,进而促进胃癌HGC-27细胞增殖、迁移及侵袭的作用。

巨噬细胞极化受Wnt/β-catenin、PI3K/AKT/mTOR、Notch等经典信号通路以及细胞因子微环境、外泌体介导的细胞间通讯的精密调控,Wnt/β-catenin通路尤为重要<sup>[19]</sup>。Wnt3a作为Wnt家族中的关键配体,与其共受体结合后激活支架蛋白Dishevelled,通过解离GSK-3β和酪蛋白激酶1(casein kinase 1,CK1)形成的复合体,使胞质β-catenin蛋白

入核启动靶基因转录,诱导后续细胞反应<sup>[20]</sup>。一方面,TAM来源的VEGF通过Wnt/β-catenin通路以自分泌和旁分泌的方式促进肿瘤干性<sup>[21]</sup>;另一方面,肿瘤细胞释放的Wnt配体亦可激活该通路,诱导TAM向M2型极化进而促进癌细胞生长和转移<sup>[22]</sup>。LINC00662被报道可通过激活Wnt/β-catenin信号通路介导巨噬细胞M2型极化促进肝癌转移<sup>[23]</sup>。而本研究发现,LINC00662过表达能激活Wnt/β-catenin通路,诱导巨噬细胞M2极化并增强HGC-27细胞的恶性表型;而使用该通路抑制剂则可逆转上述效应。说明LINC02086可能通过调控Wnt/β-catenin通路介导巨噬细胞M2极化促进胃癌细胞增殖和转移。

综上所述,LINC02086过表达可促使巨噬细胞向M2型分化,并进一步促进胃癌HGC-27细胞的增殖、迁移和侵袭,其机制可能与激活Wnt/β-catenin通路有关,本研究为LINC02086作为胃癌诊疗靶点提供了依据。但研究中还存在一定局限性,例如,沉默LINC02086是否可抑制胃癌细胞的增殖及转移,该过程中是否还涉及其他机制,都还需进行进一步探索。

## 参考文献

- [1] Yang W J, Zhao H P, Yu Y, et al. Updates on global epidemiology, risk and prognostic factors of gastric cancer [J]. *World J Gastroenterol*, 2023, 29(16): 2452-68. doi: 10.3748/wjg.v29.i16.2452.
- [2] Li J, Sun J, Zeng Z, et al. Tumour-associated macrophages in gastric cancer: from function and mechanism to application [J]. *Clin Transl Med*, 2023, 13(8): e1386. doi: 10.1002/ctm2.1386.
- [3] Deng C, Huo M, Chu H, et al. Exosome circATP8A1 induces macrophage M2 polarization by regulating the miR-1-3p/STAT6 axis to promote gastric cancer progression [J]. *Mol Cancer*, 2024, 23(1): 49. doi: 10.1186/s12943-024-01966-4.
- [4] Xu Z, Chen Y, Ma L, et al. Role of exosomal non-coding RNAs from tumor cells and tumor-associated macrophages in the tumor microenvironment [J]. *Mol Ther*, 2022, 30(10): 3133-54. doi: 10.1016/j.yimthe.2022.01.046.
- [5] Zhang C, Wei S, Dai S, et al. The NR\_109/FUBP1/c-Myc axis regulates TAM polarization and remodels the tumor microenvironment to promote cancer development [J]. *J Immunother Cancer*, 2023, 11(5): e006230. doi: 10.1136/jitc-2022-006230.
- [6] Xin L, Zhou L Q, Liu C, et al. Transfer of LncRNA CRNDE in TAM-derived exosomes is linked with cisplatin resistance in gastric cancer [J]. *EMBO Rep*, 2021, 22(12): e52124. doi: 10.15252/embr.202052124.
- [7] Xiong Y, Kong X, Tu S, et al. LINC02086 inhibits ferroptosis and promotes malignant phenotypes of pancreatic cancer *via* miR-342-3p/CA9 axis [J]. *Funct Integr Genomics*, 2024, 24(2): 49. doi: 10.1007/s10142-024-01329-8.
- [8] Chen Y, Gao X, Dai X, et al. Integrated bioinformatics and experimental analysis of long noncoding RNA associated-CeRNA as prognostic biomarkers in advanced stomach adenocarcinoma [J]. *J Cancer*, 2024, 15(6): 1536-50. doi: 10.7150/jca.89526.
- [9] Ackermann K, Bonaterra G A, Kinscherf R, et al. Growth differentiation factor-15 regulates oxLDL-induced lipid homeostasis and autophagy in human macrophages [J]. *Atherosclerosis*, 2019, 281: 128-36. doi: 10.1016/j.atherosclerosis.2018.12.009.
- [10] 代 朦, 靳 鑫, 雷优扬, 等. 过表达 miR-382 的肿瘤相关巨噬细胞对三阴性乳腺癌生物学特性的影响 [J]. *第三军医大学学报*, 2018, 40(15): 1375-82. doi: 10.16016/j.1000-5404.201801107.
- [10] Dai M, Jin X, Lei Y Y, et al. Effect of miR-382 overexpressing tumor-associated macrophages on biological properties of triple-negative breast cancer 4T1 cells [J]. *J Third Mil Med Univ*, 2018, 40(15): 1375-82. doi: 10.16016/j.1000-5404.201801107.
- [11] Li H, Zhao J, Sun J, et al. Demethylation of the *SFRP4* promoter drives gastric cancer progression *via* the Wnt pathway [J]. *Mol Cancer Res*, 2021, 19(9): 1454-64. doi: 10.1158/1541-7786.MCR-20-0933.
- [12] Xiao Y, Yu D. Tumor microenvironment as a therapeutic target in cancer [J]. *Pharmacol Ther*, 2021, 221: 107753. doi: 10.1016/j.pharmthera.2020.107753.
- [13] Wang Y, Zhang J, Shi H, et al. M2 tumor-associated macrophages-derived exosomal MALAT1 promotes glycolysis and gastric cancer progression [J]. *Adv Sci (Weinh)*, 2024, 11(24): e2309298. doi: 10.1002/advs.202309298.
- [14] Gao J, Liang Y, Wang L. Shaping polarization of tumor-associated macrophages in cancer immunotherapy [J]. *Front Immunol*, 2022, 13: 888713. doi: 10.3389/fimmu.2022.888713.
- [15] 吴婧婧, 黄 琦, 彭 瑶, 等. SPP1、PD-L1 的表达与 M2 巨噬细胞在肝细胞癌中的关系及对预后的影响研究 [J]. *安徽医科大学学报*, 2023, 58(6): 970-5. doi: 10.19405/j.cnki.issn1000-1492.2023.06.016.
- [15] Wu J J, Huang Q, Peng Y, et al. The correlation of the expression of SPP1, PD-L1 and M2-polarized macrophages in hepatocellular carcinoma and their influence on prognosis [J]. *Acta Univ Med Anhui*, 2023, 58(6): 970-5. doi: 10.19405/j.cnki.issn1000-1492.2023.06.016.
- [16] 钟裕昌, 阮笃激, 戴 霖, 等. 过表达 M2 型肿瘤相关巨噬细胞 *TIA1* 基因通过调控 PI3K/AKT 信号通路抑制胃癌细胞侵袭和迁移 [J]. *中国免疫学杂志*, 2024, 40(8): 1658-64. doi: 10.3969/j.issn.1000-484X.2024.08.015.
- [16] Zhong Y C, Ruan D J, Dai L, et al. Overexpression of *TIA1* gene in M2-type tumor-associated macrophages inhibited invasion and migration of gastric cancer cells by regulating the PI3K/AKT signaling pathway [J]. *Chin J Immunol*, 2024, 40(8): 1658-64. doi: 10.3969/j.issn.1000-484X.2024.08.015.
- [17] Han X, Shi F, Guo S, et al. LINC02086 promotes cell viability and inhibits cell apoptosis in breast cancer by sponging miR-6757-5p and up-regulating EPHA2 [J]. *World J Surg Oncol*, 2023, 21(1): 371. doi: 10.1186/s12957-023-03245-w.
- [18] Gu X, Li X, Zhang X, et al. Noncoding RNA-mediated high expression of PFKFB3 correlates with poor prognosis and tumor immune infiltration of lung adenocarcinoma [J]. *Onco Targets Ther*, 2023, 16: 767-83. doi: 10.2147/OTT.S416155.
- [19] Mohapatra S, Pioppini C, Ozpolat B, et al. Non-coding RNAs regulation of macrophage polarization in cancer [J]. *Mol Cancer*, 2021, 20(1): 24. doi: 10.1186/s12943-021-01313-x.
- [20] 张延平, 庄昆彬, 江 琴, 等. 珠子素调控 GSK3 $\beta$ / $\beta$ -catenin 通路对结肠癌大鼠肿瘤生长和免疫功能的影响 [J]. *中国老年学杂志*, 2024, 44(8): 2009-13. doi: 10.3969/j.issn.1005-9202.2024.08.054.
- [20] Zhang Y P, Zhuang K B, Jiang Q, et al. Effects of callicariin regulating GSK3 $\beta$ / $\beta$ -catenin pathway on tumor growth and immune function in colon cancer rats [J]. *Chin J Gerontol*, 2024, 44(8): 2009-13. doi: 10.3969/j.issn.1005-9202.2024.08.054.
- [21] Wang L, Zhang L, Zhao L, et al. VEGFA/NRP-1/GAPVD1 axis promotes progression and cancer stemness of triple-negative breast cancer by enhancing tumor cell-macrophage crosstalk [J]. *Int J Biol Sci*, 2024, 20(2): 446-63. doi: 10.7150/ijbs.86085.
- [22] Tsukanov V V, Tonkikh J L, Kasparov E V, et al. Inhibition of M2 tumor-associated macrophages polarization by modulating the Wnt/ $\beta$ -catenin pathway as a possible liver cancer therapy method [J]. *World J Gastroenterol*, 2024, 30(40): 4399-403. doi: 10.3748/wjg.v30.i40.4399.
- [23] Wang J, Shen D, Li S, et al. LINC00665 activating Wnt3a/ $\beta$

-catenin signaling by bond with YBX1 promotes gastric cancer proliferation and metastasis [J]. *Cancer Gene Ther*, 2023, 30

(11): 1530-42. doi: 10.1038/s41417-023-00657-4.

## Effects of *LINC02086* on proliferation, migration and invasion of gastric cancer cells by regulating Wnt/ $\beta$ -catenin pathway mediated M2 polarization of macrophages

Li Jun<sup>1</sup>, Bu Yafei<sup>2</sup>, Chen Jie<sup>2</sup>, Ding Bo<sup>1</sup>, Wang Lei<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>Department of Gastrointestinal Surgery, <sup>2</sup>Department of Emergency, General Hospital of Ningxia Medical University, Yinchuan 750004)

**Abstract Objective** To investigate the effect and mechanism of long intergenic non-coding RNA02086 (*LINC02086*) overexpression mediated macrophage polarization on the proliferation, migration and invasion of gastric cancer cells. **Methods** The expression levels of *LINC02086* in the human gastric epithelial cell line GES-1 and human gastric cancer cell lines HGC-27, NCI-N87, and AGS were determined by qRT-PCR. Human acute monocytic leukemia cells (THP-1) were induced to differentiate into M0 macrophages using phorbol 12-myristate 13-acetate (PMA). HGC-27 cells were infected with either *LINC02086* overexpression lentivirus (OE-LINC02086) or its negative control lentivirus (Vector), and the culture supernatants were collected as conditioned medium (CM1). M0 macrophages were co-cultured with the infected HGC-27 cells, and the resulting supernatants were designated as conditioned medium 2 (CM2). M0 macrophages were treated with CM1 alone or in combination with Wnt/ $\beta$ -catenin pathway inhibitor IWR-1, forming the Vector+CM1, OE-LINC02086+CM1, and OE-LINC02086+CM1+IWR-1 groups, respectively. Flow cytometry was used to detect mannose receptor C-type 1 (CD206) expression, and qRT-PCR was employed to measure mRNA levels of interleukin-10 (*IL-10*), transforming growth factor- $\beta$  (*TGF- $\beta$* ), vascular endothelial growth factor (*VEGF*), and chemokine ligand 22 (*CCL22*). Western blot was performed to evaluate protein expression of CD206, VEGF, and key components of the Wnt/ $\beta$ -catenin pathway—Wnt family member 3a (Wnt3a), glycogen synthase kinase-3 $\beta$  (GSK-3 $\beta$ ), and  $\beta$ -catenin. HGC-27 cells were treated with CM2 alone or combined with IWR-1, establishing the Vector+CM2, OE-LINC02086+CM2, and OE-LINC02086+CM2+IWR-1 groups. CCK-8 assay was used to evaluate cell proliferation, and Transwell assays were conducted to assess migration and invasion capabilities. **Results** Compared with GES-1 cells, the expression levels of *LINC02086* were upregulated in HGC-27, NCI-N87, and AGS cells ( $P < 0.05$ ), with the smallest increase observed in HGC-27 cells. Compared with Vector+CM1 group, the level of CD206 and the expression levels of *IL-10*, *TGF- $\beta$* , *VEGF* and *CCL22* mRNA in macrophages stimulated by OE-LINC02086+CM1 increased ( $P < 0.05$ ). Meanwhile, the expression levels of Wnt3a and  $\beta$ -catenin proteins in cells increased ( $P < 0.05$ ), and the expression level of GSK-3 $\beta$  protein decreased ( $P < 0.05$ ). However, co-treatment with IWR-1 markedly reversed the promoting effects of *LINC02086* overexpression on the expression of M2 polarization markers, including CD206, *IL-10*, and *TGF- $\beta$*  mRNA, in macrophages ( $P < 0.05$ ), as well as its activation of the Wnt/ $\beta$ -catenin signaling pathway ( $P < 0.05$ ). Compared with Vector+CM2 group, HGC-27 cells infected with OE-LINC02086+CM2 had increased proliferation activity and increased number of migration and invasion cells ( $P < 0.05$ ). However, the combined intervention of IWR-1 significantly reversed the promotion of *LINC02086* overexpression on the proliferation, migration and invasion of HGC-27 cells ( $P < 0.05$ ). **Conclusion** *LINC02086* overexpression promotes the proliferation, migration and invasion of gastric cancer cells by activating Wnt/ $\beta$ -catenin pathway to mediate M2 polarization of macrophages.

**Key words** long intergenic non-coding RNA02086; overexpression; gastric cancer; macrophages; polarization; proliferation; Wnt/ $\beta$ -catenin pathway

**Fund program** Natural Science Foundation of Ningxia (No. 2024AAC03688)

**Corresponding author** Wang Lei, E-mail: wanglei1182@sina.com