

• 综述 •

XG 血型抗原研究进展

史华山¹ 李树中^{2△} 李中华³ 李凌波⁴ 田丰⁵

[关键词] *MIC2/XG* 基因; XG 糖蛋白; 膜分化抗原; 免疫黏附因子; 肿瘤标志物
DOI:10.13201/j.issn.1004-2806.2021.10.015
[中图分类号] R457.1 [文献标志码] A

Research progress of XG blood group antigen

Summary XG blood group antigen is an erythrocyte antigen with special genetic significance. The genes of XG blood group antigen are two closely linked and independent genes. This paper introduces the detailed information of gene exon sequence, length and coding of each coding segment, coding translation product sequence and so on. The hereditary characteristics of antigen genes on X and Y chromosomes are briefly described in detail. XG blood group antigen gene is a unique gene. The in-depth study of this gene has overturned the Leon theory of genetics in the past and has important genetic significance. XG2 antigen is a membrane differentiation antigen CD99, which participates in the erythrocyte immune mechanism and is one of the markers of cancer, and has important clinical significance. XG antigen generally does not cause transfusion hemolytic reaction and neonatal hemolytic disease, but it can interfere with clinical blood transfusion test and cause confusion of blood transfusion.

Key words *MIC2/XG* gene; XG glycoprotein; membrane differentiation antigen; immune adhesion factor; tumor markers

XG 抗原是 Mann 在 1962 年发现于 1 例白血病患者,1994 年由国际输血协会 (ISBT) 确认和命名为红细胞系统抗原,抗原的系统命名是 XG,系统编号 012,2020 年确认这个系统有 2 个抗原。目前 XG 抗原国内报道不多^[1-2],本文参阅了近年来国内外对 XG 抗原的研究报道,在抗原的基因、各外显子编码序列,以及抗原的分子生物学构造、功能和抗原的免疫学反应格局及抗原的分布频率等方面做一简要综述。

1 基因

XG 血型系统抗原的基因位点在 XP22.23,基因名:*MIC2/XG*。这是 2 个紧密连锁、又各自独立的基因,2 个基因都有独立的基因名、编号、基因转录体和翻译产物,根据 ISBT 对系统抗原的定义,这 2 个基因和抗原属于同一个系统(图 1)。



图 1 *MIC2/XG* 基因的外显子

其中,*MIC2* 基因是 CD99 抗原的 (XG2 抗原)

基因,XG 基因是 XG 抗原的 (XG1 抗原) 基因。2 段连锁基因中间有 1 个 *XGR* 基因,是 *MIC2* 基因和 XG 基因的调节控制基因,负责调解和失活这 2 个基因。

XG 抗原的基因表达在 X 染色体上,也表达在 Y 染色体上,基因名注册用的是 X 染色体,与表达在 Y 染色体上的基因序列完全相同(图 2)。

1.1 XG 抗原的基因位点

在 X 染色体上,XP22.23,基因名 XG,基因编号:7499,基因库注册号:NG_011627.1(DNA 基因组),基因全长:71 449 bp,有 10 个外显子。10 个外显子长:2899 bp,基因库注册号:NM_175569.2(转录体 1)。基因翻译产物:XG 糖蛋白,蛋白登记编号:NP_780778.1。

1.2 CD99 抗原的基因位点

在 X 染色体上,XP22.32,基因名 *MIC2*,基因编号:4267,基因库注册号:NG_009174.1(DNA 基因组),基因全长:57 123 bp,有 10 个外显子。10 个外显子长:1309 bp,基因库注册号:NM_002414.4(转录体 1)。基因翻译产物:CD99 糖蛋白,蛋白登记编号:NP_002405.1。

MIC2 基因在 X 染色体和 Y 染色体上的表达都是由相同遗传方式决定的,在 X 染色体和 Y 染色体上的 *MIC2* 基因是相同的,编码的 CD99 抗原是一样的,没有性别差异,在男性和女性的红细胞上抗原表达一致。

但是,XG 基因在 X 染色体和 Y 染色体上的表

¹ 磁县人民医院输血科(河北磁县,056500)

² 江苏大学附属昆山医院

³ 黑龙江省牡丹江市第二人民医院

⁴ 长春博迅生物技术有限责任公司

⁵ 江苏省昆山市第三人民医院

△ 审校者

通信作者:李树中,E-mail:kssyylsz@sina.cn

达由不同的遗传方式决定,在女性的 XG 基因是由假常染色体与 X 染色体的不等交换生成的,在男性的 XG 基因是由假常染色体和 Y 染色体的不等交换产生的,所以这个基因具有特殊的遗传学特征(图 3)。

1.3 XG 基因的遗传方式

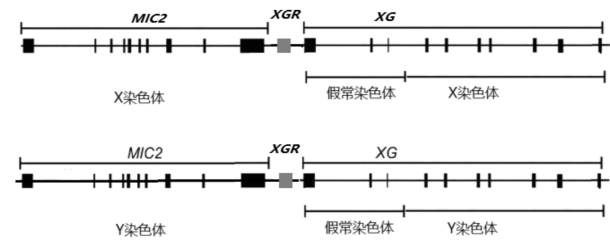
在 X 染色体上 XG 基因的 10 个外显子中,外显子 1,2,3 来自假常染色体,外显子 4~10 是来自 X 染色体。所谓假常染色体也称拟常染色体,是由于 X、Y 染色体的长臂、短臂远端有高度同源的 DNA 序列区段,这个区域在减数分裂配对时和常染色体的片段发生互换,互换后产生了新的基因序列。

在 Y 染色体上 XG 基因的 10 个外显子中外显子 1~3 来自假常染色体,外显子 4~10 来自 Y 染色体(这段基因也是原来 Y 染色体上的睾丸控制基因<SRY>中的 1 段序列)。2 段外显子由 1 段 PAB1 基因连接。PAB1 只是 1 段核苷酸序列,没有遗传特性。在 Y 染色体上的 XG 基因,是生殖细胞在染色体交换后产生的基因。这个基因的发现以及后来对 XG 血型抗原基因的研究,颠覆了过去在遗传学上的莱昂失活学说。

无论是 X 特性的 XG 基因,还是 Y 特性的 XG 基因,其转录本在红细胞系的 XG 基因上有 10 个外显子,但是在纤维原细胞的 XG 基因上,有 11 个外显子,多出来的是外显子 8A,外显子 8A 与红细胞血型抗原无关,本文不作介绍。

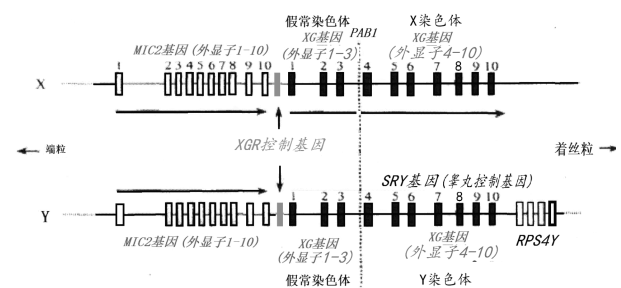
1.4 外显子序列和编码序列

外显子序列和编码序列见表 1。



MIC2 基因,在女性、男性表达的一致,都有等位基因。XG 基因,表达在女性时有等位基因,表达在男性时没有等位基因。

图 2 X 与 Y 染色体上的 XG 基因表达



XG 的基因(图中 XGR 基因的右边部分):1, X 特性的 XG 基因:外显子 1~3 来自假常染色体,外显子 4~10 来自 X 染色体。2, Y 特性的 XG 基因:外显子 1~3 来自假常染色体,外显子 4~10 来自 Y 染色体。

图 3 XG 基因在 X 染色体、Y 染色体上的比较

表 1 XG 基因和 MIC2 基因的外显子编码段

MIC2/CD99(XG2)				XG/(XG1)			
外显子(内含子)	长/bp	氨基酸	内含子/bp	外显子(内含子)	长/bp	氨基酸	内含子/bp
1	1~295	1~23	23.0	1	1~284	1~21	12.5
2	296~328	23~34	3.2	2	285~326	21~35	3.3
3	329~376	34~50	2.4	3	327~350	35~43	8.3
4	37~421	50~65	0.6	4	351~413	43~64	7.0
5	422~490	65~88	1.0	5	414~476	64~85	7.0
6	491~538	88~104	1.2	6	477~545	85~108	2.0
7	539~589	104~121	4.1	7	546~596	108~125	10.0
8	590~703	121~159	6.8	8	597~632	125~137	5.0
9	704~760	159~178	7.7	9	633~749	137~176	4.0
10	761~1291	178~185		10	750~2886	176~180	

1.5 XG 基因与性染色体遗传学

XG1 抗原、XG2 抗原都是性染色体转录翻译,与性染色体遗传有关。根据 X 染色体失活学说,当 X 染色体多于 1 个时,多余的另 1 个 X 染色体会以随机方式失活,变为染色质。所以,正常女性只有 1 个 X 染色体具有遗传活性。女性的性染色

体都是杂合子 X 性联基因的嵌合型,而父亲的 X 染色体失活也是随机的。X 染色体失活是一种顺式现象,它沿着 X 染色体失活中心延伸,在失活中心 Xist 基因产生 1 个 1Tkb 的 mRNA,附着在失活的 X 基因上。

在对 XG 血型抗原的研究中发现,实际在 X 染

染色体上有许多基因并没有失活,共发现有 20 个基因没有失活,没有遵循 Lyon 假说,其中就包括有 XG 基因、CD99 基因也未失活。XG1、XG2 不遵循 Lyon 假说的意义在于不仅有杂合子抗原,还存在有纯合子抗原,这在遗传规律上有重要意义,如 1 个男孩的 Xga(+)按以往遗传规律,必定是从母亲那遗传的 X 染色体,但是在不遵循 Lyon 假说时,则这个抗原有可能来自父亲 XG 基因座的一小部分 X 染色体,这部分 X 染色体被交换到 Y 染色体上。

1.6 MIC2/XG 基因的遗传表型

Xg^a(XG1)和 CD99(XG2) 2 个抗原基因都受控于 1 个 XGR 基因,这个基因调控着 Xg^a 和 CD99 的表达。XGR 基因位点在 X 染色体和 Y 染色体上的 MIC2 基因与 XG 基因交接位点。

所有 Xg^a(+)的个体,CD99 都高表达。所有 Xg^a(-)的女性,CD99 都低表达。Xg^a(-)的男性,约 68%CD99 高表达,约 32%低表达。

在男性半合子和女性纯合子时,Xg 为强表达。在女性半合子时,Xg 为弱表达。Xg 在男性弱表达很罕见。Xg 和 CD99 的基因相关联,受 X-连锁基因影响,与 X-Y 基因交联有关。在 Xg(+)的个体,其 X 染色体上 XGR 高表达,CD99 低表达。在 Xg(-)女性,X 染色体上 XGR(2 个)低表达,而 CD99 低表达。在 Xg(-)男性,X 染色体上 XGR 低表达/或者高表达,使 Y 染色体上 CD99 也高表达/或低表达^[1-3]。

2 分子生物学

XG/MIC2 基因转录翻译的产物有 2 个; MIC2 基因翻译产物是 CD99 抗原糖蛋白,表达 CD99 抗原(XG2 抗原);XG 基因翻译产物是 XG 抗原糖蛋白,表达 XG 抗原(XG1 抗原)。

2.1 XG 抗原糖蛋白

由 180 个氨基酸构成,分子量 22 000~29 000 (用 SDS-PSGE)。抗原糖蛋白一次穿膜,肽链的 N 端和 142 个氨基酸在膜外,16 个氨基酸穿膜,C 端和 22 个氨基酸在膜内。肽链上有 16 个 O-聚糖基化位点、无 N-糖化位点。肽链上有 3 个半胱氨酸残基。在肽链插入膜后,N 端膜外部分有 21 个氨基酸是引导肽,完成插膜后被切除,因此膜外部分只有 121 个氨基酸(图 4)。

2.2 CD99 抗原糖蛋白

是膜分化抗原大家族成员。由 185 个氨基酸构成,分子量 32 500(用 SDS-PAGE)。抗原糖蛋白一次穿膜。肽链的 N 端和 128 个氨基酸在膜外,36 个氨基酸构成疏水的跨膜区,C 端和 21 个氨基酸留在膜内。肽链上有 11 个 O-聚糖糖基化位点,有 1 个半胱氨酸残基。没有 N-糖化位点。在 N 端膜外部分有 20~21 个氨基酸是信号引导肽,肽链穿膜后被切除。因此,肽链膜外部分只有 107~108 个氨基酸(图 5)。

XG/CD99 抗原是 I 型跨膜蛋白,抗原表位都表达在膜外靠近 N 端部分(图 6)^[4-8]。

MESWWGLPCL	AFLCFLMHAR	GQRDFDLADA	LDDPEPTKKP	NSDIYPKPKP	50
PYYQPENPD	SGGNIYPRPK	PRPQPQPGNS	GNSGGYFNDV	DRDDGRYPPR	100
PRPRPPAGGG	GGGYSSYGNS	DNTHGGDHHS	TYGNPEGNMV	AKIVSPIVSV	150
VVVTLLGAAA	SYFKLNNRRN	CFRTHEPENV			180

图 4 XG 糖蛋白的氨基酸序列

MARGAALALL	LFGLLGVLVA	APDGGFDLSD	ALPDNENKKP	TAIPKKPSAG	50
DDFDLGDVV	DGENDDPRPP	NPPKMPNPN	PNHPSSGSF	SDADLADGVS	100
GGEGKGGSDG	GGSHRKEGEE	ADAPGVIPGI	VGAVVVAVAG	AISSFIAYQK	150
KKLCFKENAE	QGEVDMESH	NANAEPVQR	TLLEK		185

图 5 CD99 糖蛋白的氨基酸序列

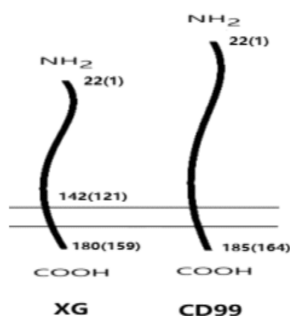


图 6 XG/CD99 抗原

3 免疫血型学

系统确认有 2 个抗原。其中多态性抗原:Xg^a(XG1),高频抗原:CD99(XG2)。Xg^a 抗原只表达在红细胞膜。CD99 抗原除表达在红细胞,还表达在淋巴细胞、血小板、网织红细胞上。

3.1 Xg^a,XG1,012001

1962 年发现,Xg^a 是多态性抗原。抗原分布:按性别而有不同分布,在女性分布 89%,男性分布 66%。Xg^a 在红细胞上表达的抗原数为 9000 个/每个红细胞(用多克隆抗 Xg^a),18~450 个/每个红

细胞(用单克隆抗 Xg^a)。Xg^a 在胎儿 6~20 周即有表达,新生儿抗原反应弱于正常成人,Xg^a 糖蛋白在红细胞上表达时间晚于 GPA、带 3 蛋白,早于 RH 蛋白。Xg^a 有剂量效应;在半合子的男性、纯合子的女性时,红细胞上强表达。抗 Xg^a 抗体:大多是 IgG,少数是 IgM,一般不引起输血反应和新生儿溶血病。

3.2 CD99, XG2, 012002

CD99 是高频抗原。抗原曾用名: 12E7、MIC2、E2、HuLy-m6、FMC29、HEC。CD99 不仅表达在红细胞膜,还表达在其他血细胞。表达在红细胞的抗原为 200~2000 个,表达在淋巴细胞上约 27 000 个,血小板 4000 个。CD99 是弱反应抗原。抗 CD99 抗体:主要是 IgG^[9-13]。

4 临床意义

Xg^a 抗原是表达在 X 染色体上仅有的 3 个红细胞抗原之一(另外 2 个是 CD99、XK),具有性别的多态性,是人类学、考古学、刑侦学以及临床输血医学等学科的重要研究手段。Xg^a 抗原是人体免疫、生理代谢的参与者。Xg^a 抗原在红细胞上表达的量,与红细胞衰老程度有关,抗原的体内半衰期为 47 d。Xg^a 抗原在红细胞免疫上的作用,还有更多的未知。

CD99 抗原属于膜分化抗原家族,是红细胞免疫重要组成之一,是黏附分子。CD99 参与胸腺细胞、T 细胞的裂解和凋亡。这个过程不须依赖 Caspase 酶依赖途径,直接促进了 T 细胞增殖和 CD25(IL-2 受体)以及 CD69、CD40 L 的表达。CD99 参与黏附过程,促进 CD4、CD8 的胸腺细胞与 B 淋巴细胞祖细胞的同型凝集。CD99 是尤因肉瘤和外周原始神经外胚层肿瘤的标志物(儿童、青春期小圆细胞肿瘤)。用单克隆抗 CD99,可结合在尤因肉瘤细胞上的 CD99 上,具有显著抑制肿瘤生长作用,是有效的治疗方法。CD99 低表达,多是霍奇金病、恶性肿瘤的特征现象。这是免疫调控机制逃逸现象的表达。同时,聚集在高尔基复合体中的 I 类主要组织相容性复合物也呈低表达。这都属于恶性肿瘤细胞的免疫逃逸机制,以逃逸人体免疫作用的攻击^[14-20]。

截至到 2020 年 1 月 ISBT 确认公布的血型系统已经有 39 个,确认的系统抗原 330 个,自此,所有的红细胞血型抗原达到了 391 个,其中由 ISBT 确认命名的抗原 367 个(系统抗原 330 个、集合 14 个、系列 23 个),未经 ISBT 命名的抗原 24 个(多凝集红细胞抗原 10 个、与系统相关的抗原 14 个)。下一个系统抗原很可能就是 T 和 Tn 抗原(即现在的多凝集红细胞抗原),因为这 2 个抗原在基因、分子生物学、免疫血型学方面已经达到或接

近达到一个系统抗原的要求。2010 年以后,红细胞血型抗原的研究有了很大的进展,编号 037~039 都是 2019 年之后新发现的抗原,在近 10 年里血型抗原的研究有了许多深入报道,对红细胞血型抗原有了比较新的认知,了解到了红细胞血型抗原就是人体生理生化功能的一部分,是人体免疫机制组成的一部分^[21-28]。

参考文献

- [1] Geoff Daniels. Human Blood Groups [M]. 3rd. edition, 2002: 359-370.
- [2] Marion E. The Blood Group Antigen [M]. FactsBook, 2012: 421-426.
- [3] Möller M, Lee YQ, Vidovic K, et al. Disruption of a GATA1-binding motif upstream of XG/PBDX abolishes Xga expression and resolves the Xg blood group system [J]. Blood, 2018, 132(3): 334-338.
- [4] Lane WJ, Aguad M, Smeland-Wagman R, et al. A whole genome approach for discovering the genetic basis of blood group antigens: independent confirmation for P1 and Xga [J]. Transfusion, 2019, 59(3): 908-915.
- [5] Yeh CC, Chang CJ, Twu YC, et al. The molecular genetic background leading to the formation of the human erythroid-specific Xga/CD99 blood groups [J]. Blood Adv, 2018, 2(15): 1854-1864.
- [6] Zimmerman PA. XG blood group puzzle solved; what's next? [J]. Blood, 2018, 132(3): 243.
- [7] Khurana S, Coffey MJ, John A, et al. Protein O-fucosyltransferase 2-mediated O-glycosylation of the adhesion MIC2 is dispensable for Toxoplasma gondii tachyzoite infection [J]. J Biol Chem, 2019, 294(5): 1541-1553.
- [8] Thangaretnam KP, Paramasivam OR, Ramanathan P, et al. Production and characterization of monoclonal antibodies against recombinant extracellular domain of CD99 [J]. Hum Antibodies, 2019, 27(1): 69-83.
- [9] Gras S, Jackson A, Woods S, et al. Parasites lacking the micronemal protein MIC2 are deficient in surface attachment and host cell egress, but remain virulent in vivo [J]. Wellcome Open Res, 2017, 2: 32.
- [10] Chung SS, Eng WS, Hu W, et al. CD99 is a therapeutic target on disease stem cells in myeloid malignancies [J]. Sci Transl Med, 2017, 9(374): eaaj2025.
- [11] Zhou G, Yang W, Yu L, et al. CD99 refers to the activity of inflammatory bowel disease [J]. Scand J Gastroenterol, 2017, 52(3): 359-364.
- [12] Martinelli M, Parra A, Scapoli L, et al. CD99 polymorphisms significantly influence the probability to develop Ewing sarcoma in earlier age and patient disease progression [J]. Oncotarget, 2016, 7(47): 77958-77967.

(下转第 752 页)

- 2016,113(38):10542-10546.
- [10] Park E, Cho MH, Hyun HS, et al. Genotype-Phenotype Analysis in Pediatric Patients with Distal Renal Tubular Acidosis[J]. *Kidney Blood Press Res*, 2018, 43(2):513-521.
- [11] Badior KE, Casey JR. Molecular mechanism for the red blood cell senescence clock [J]. *IUBMB Life*, 2018, 70(1):32-40.
- [12] Deejai N, Wisanuyotin S, Nettuwakul C, et al. Molecular Diagnosis of Solute Carrier Family 4 Member 1 (SLC4A1) Mutation-Related Autosomal Recessive Distal Renal Tubular Acidosis[J]. *Lab Med*, 2019, 50(1):78-86.
- [13] Zhang R, Wang C, Lang Y, et al. Five Novel Mutations in Chinese Children with Primary Distal Renal Tubular Acidosis[J]. *Genet Test Mol Biomarkers*, 2018, 22(10):599-606.
- [14] Youn H, Lee SI, Lee SH, et al. Exploring the Differences between Adolescents' and Parents' Ratings on Adolescents' Smartphone Addiction[J]. *J Korean Med Sci*, 2018, 33(52):e347.
- [15] Takeuchi T, Hattori-Kato M, Okuno Y, et al. A single nucleotide polymorphism in kidney anion exchanger 1 gene is associated with incomplete type 1 renal tubular acidosis[J]. *Sci Rep*, 2016, 6:35841.
- [16] Kurano M, Nishikawa M, Kuma H, et al. Involvement of Band3 in the efflux of sphingosine 1-phosphate from erythrocytes [J]. *PLoS One*, 2017, 12(5):e0177543.
- [17] Su Y, Hiemstra TF, Yan Y, et al. PDLIM5 links kidney anion exchanger 1(kAE1) to ILK and is required for membrane targeting of kAE1[J]. *Sci Rep*, 2017, 7:39701.
- [18] Yamanaka H, Takeyoshi M. Identification of sheep red blood cell(SRBC) surface immune-responsive peptides detected by antisera from SRBC-immunized rats [J]. *J Toxicol Sci*, 2016, 41(1):13-6.
- [19] 王鹤, 李中华, 李凌波. RHAG 血型抗原研究进展[J]. *临床血液学杂志*, 2019, 32(6):479-482.
- [20] 叶小英, 李中华, 李凌波, 等. CD59-血型抗原的研究新进展[J]. *临床血液学杂志*, 2019, 32(6):487-489.
- [21] 张娇, 李树中, 李中华, 等. Sd~a 抗原研究进展[J]. *临床血液学杂志*, 2019, 32(8):648-650.
- [22] 孙长杰, 王晓宁, 卢伟伟, 等. 红细胞 Kidd 血型抗原研究现状及进展[J]. *中国实验诊断学*, 2020, 24(2):340-343.
- [23] 唐新, 李树中, 李中华, 等. Lewis 血型抗原研究进展[J]. *临床血液学杂志*, 2020, 33(4):289-296.
- [24] 段厚全, 李树中. 红细胞 LW 血型抗原研究进展[J]. *临床血液学杂志*, 2020, 33(6):435-440.

(收稿日期:2020-06-06)

(上接第 745 页)

- [13] Mahiddine K, Mallavialle A, Bziouech H, et al. CD99 isoforms regulate CD1a expression in human monocyte-derived DCs through ATF-2/CREB-1 phosphorylation[J]. *Eur J Immunol*, 2016, 46(6):1460-1471.
- [14] Enein AA, Rahman HA, Sharkawy NE, et al. Significance of CD99 expression in T-lineage acute lymphoblastic leukemia [J]. *Cancer Biomark*, 2016, 17(2):117-123.
- [15] Domínguez-Malagón HR, Michal M, Kazakov DV, et al. Utility of CD99 Paranuclear Expression in the Differential Diagnosis of Merkel Cell Carcinoma[J]. *Int J Surg Pathol*, 2016, 24(4):293-296.
- [16] Ventura S, Aryee DN, Felicetti F, et al. CD99 regulates neural differentiation of Ewing sarcoma cells through miR-34a-Notch-mediated control of NF- κ B signaling[J]. *Oncogene*, 2016, 35(30):3944-3954.
- [17] Gil M, Pak HK, Lee AN, et al. CD99 regulates CX-CL12-induced chemotaxis of human plasma cells[J]. *Immunol Lett* 2015, 168(2):329-336.
- [18] Jian W, Zhong L, Wen J, et al. SEPTIN2 and STATHMIN Regulate CD99-Mediated Cellular Differentiation in Hodgkin's Lymphoma[J]. *PLoS One*, 2015, 10(5):e0127568.
- [19] Oranger A, Brunetti G, Carbone C, et al. Human myeloma cell lines induce osteoblast downregulation of CD99 which is involved in osteoblast formation and activity[J]. *J Immunol Res*, 2015:156787.
- [20] Guerzoni C, Fiori V, Terracciano M, et al. CD99 triggering in Ewing sarcoma delivers a lethal signal through p53 pathway reactivation and cooperates with doxorubicin[J]. *Clin Cancer Res*, 2015, 21(1):146-156.
- [21] 张志琴, 李中华, 张黎雯. Duffy 血型抗原的 G-蛋白偶联受体作用[J]. *临床血液学杂志*, 2019, 32(2):162-166.
- [22] 徐姿, 李中华, 李凌波. Junier 抗原的最新研究进展[J]. *临床血液学杂志*, 2019, 32(4):322-326.
- [23] 王鹤, 李中华, 李凌波. RHAG 血型抗原研究进展[J]. *临床血液学杂志*, 2019, 32(6):479-482.
- [24] 叶小英, 李中华, 李凌波, 等. CD59-血型抗原的研究新进展[J]. *临床血液学杂志*, 2019, 32(6):487-489.
- [25] 高汉超, 张汉成, 高奇, 等. 猪抗原和对应抗体在异种移植中的研究进展[J]. *医学综述*, 2017, 23(5):833-837, 842.
- [26] 胡氏月, 李中华, 吴建红, 等. Globoside 血型抗原研究进展[J]. *临床血液学杂志*, 2019, 32(10):813-817.
- [27] 叶小英, 田丰, 李树中. 红细胞血型 I 抗原研究进展[J]. *临床血液学杂志*, 2019, 32(12):982-988.
- [28] 卞洁. 红细胞血型 RAPH 抗原研究进展[J]. *临床血液学杂志*, 2020, 33(2):148-150.

(收稿日期:2020-03-02)