

· 论 著 ·

## 迈瑞 BS-800M 与 OLYMPUS AU2700 全自动生化分析仪性能比较\*

曾方银<sup>1</sup>, 王征宇<sup>2</sup>, 赵明海<sup>3</sup>, 蔡海丽<sup>1</sup>, 李玲<sup>1△</sup>

(1. 南方医科大学第五附属医院检验科, 广州 510900; 2. 广州军区总医院一五七分院检验科 510510; 3. 南方医科大学南方医院检验科, 广州 510515)

**摘要:**目的 通过对迈瑞 BS-800M(后简称 BS-800M)和 OLYMPUS AU2700(后简称 AU2700)全自动生化分析仪进行性能比较,探讨国产全自动生化分析仪在临床应用的可行性。方法 按照行业标准推荐方法检测 BS-800M 和 AU2700 全自动生化分析仪的反应盘温度准确度与波动度、杂散光、吸光度线性、吸光度准确度、吸光度重复性、样品携带污染率、加试剂准确度和精密度、加样准确度和精密度等,并与 YY/T0654-2008 自动生化分析仪行业标准的性能要求进行比较。结果 BS-800M 的孵育温度为  $(36.96 \pm 0.05)^\circ\text{C}$ , 略优于 AU2700 的  $(37.10 \pm 0.11)^\circ\text{C}$ 。BS-800M 的吸光度重复性可低至 0.30%, 与 AU2700 的 0.27% 非常接近, 均小于行业标准的 1.50%。BS-800M 试剂加样准确度相对偏差为 0.71%~1.06%, 精密密度为 0.86%~0.97%; AU2700 分别为 0.86%~1.58% 与 0.75%~0.91%; 两者均显著优于行业标准。BS-800M 的样品携带污染率仅为 0.38%, 与 AU2700 大致相当。两者的吸光度线性偏差均符合行业标准, 但 BS-800M 最大为 3.48%, 显著高于 AU2700(-1.33%)。其他试验结果均显示, BS-800M 在杂散光影响、吸光度准确度、样品加样准确度与精密度等方面已达到甚至优于行业标准, 与进口产品并无显著差别。结论 BS-800M 与 AU2700 生化分析仪多方面的硬件性能均符合我国 YY/T0654-2008 行业标准, BS-800M 生化分析仪满足临床生化检测的使用要求。

**关键词:**全自动生化分析仪; 性能评价; 精密度; 准确度

DOI:10.3969/j.issn.1673-4130.2016.21.002

文献标识码:A

文章编号:1673-4130(2016)21-2952-04

**Comparison of performance of MINDRAY BS-800M and OLYMPUS AU2700 automatic biochemical analyzer\***ZENG Fangyin<sup>1</sup>, WANG Zhengyu<sup>2</sup>, ZHAO Minghai<sup>3</sup>, CAI Haili<sup>1</sup>, LI ling<sup>1△</sup>

(1. Department of Clinical Laboratory, the Fifth Affiliated Hospital of Southern Medical University, Guangzhou, Guangdong 510900, China; 2. Department of Clinical Laboratory, the 157th Branch of Hospital of General Hospital of Guangzhou Military Region, Guangzhou, Guangdong 510510, China; 3. Department of Clinical Laboratory, Nanfang Hospital of Southern Medical University, Guangzhou, Guangdong 510515, China)

**Abstract: Objective** To explore the feasibility of domestic automatic biochemical analyzer in clinical application through the comparison of the performance of Mindray BS-800M and Olympus AU2700 automatic biochemical analyzer. **Methods** Multiple biochemical quality control indexes, including reaction temperature of the disc accuracy and volatility, stray light, the linear range, accuracy, and repeatability of absorbance, carryover rate of sample as well as the accuracy and precision of adding reagent or sample, were analyzed between the Mindray BS-800M and Olympus AU2700 automatic biochemical analyzer based on the recommendation method of industrial standards. Meanwhile, the performance of Mindray BS-800M and Olympus AU2700 automatic biochemical analyzer were compared with the YY/T0654-2008 requirements of the industry standard. **Results** Incubation temperature of Mindray BS-800M was  $(36.96 \pm 0.05)^\circ\text{C}$ , slightly better than the AU2700  $(37.10 \pm 0.11)^\circ\text{C}$ . Absorbance CV of BS-800M was as low as 0.30%, which was very closed to AU2700(0.27%), and both the values were far less than the industry standard 1.50%. Relative deviation of BS-800M reagent filling system was 0.71% - 1.06%, precision was 0.86% - 0.97%, which of the AU2700 was 0.86% - 1.58% and 0.75% - 0.91%, and both the values were much better than the industry standard. The carryover rate of sample in BS-800M was only 0.38%, which was roughly equivalent to that of AU2700. The linear bias of absorbance of the two analyzers were in line with industry standards, but the maximum value of BS-800M was 3.48%, which was much higher than that of AU2700(-1.33%). The rest of the experiment results showed that, stray light affected, absorbance accurate degree, sample filling accuracy and precision performance of BS-800M had reached or even better than the industry standard, and which had no difference with imported products. **Conclusion** The hardware performance of Mindray BS-800M and Olympus AU2700 biochemical analyzer in many aspects meet with YY/T0654-2008 industry standard in our country. And the domestic Mindray BS-800M meet the needs of clinical biochemical detection.

**Key words:** automatic biochemical analyzer; performance evaluation; precision; accuracy

全自动生化分析仪结构复杂、技术要求高,是临床实验室中最常用的大型自动化仪器。国产高端全自动生化分析仪因

研发推出较晚,国内关于自动生化分析仪性能检定的行业标准于 2009 年 6 月才颁布施行,近年来对不同品牌与型号的生化

\* 基金项目:国家级大学生创新训练项目(201312121011);广东省科技计划项目(2012A032200016)。

作者简介:曾方银,男,主任技师,主要从事临床生化检验方面的研究。△ 通讯作者, E-mail: ling326913511@qq.com。

分析仪临床应用评价虽时有报道,但罕见与国外高端品牌的比较研究。本试验参考《中华人民共和国医药行业标准-全自动生化分析仪》行业标准对迈瑞 BS-800M(后简称 BS-800M)与 OLYMPUS AU2700(后简称 AU2700)全自动生化分析仪进行性能验证<sup>[1]</sup>,以增加用户对国产全自动生化分析仪的了解,探讨国产全自动生化分析仪的临床可用性,现将结果报道如下。

## 1 资料与方法

### 1.1 仪器与试剂

**1.1.1 仪器** BS-800M 生化分析仪, AU2700 生化分析仪, 电子测温仪(精确度 0.01 ℃)。

**1.1.2 试剂** 生化分析仪检定用溶液标准物质(包括 50 g/L 亚硝酸钠溶液, 重铬酸钾溶液等)购自中国计量科学研究院; 硫酸铜溶液, Orange G-S40 溶液, Orange G-R4 溶液, Orange G-200 溶液由南方医科大学南方医院自配。

### 1.2 方法

**1.2.1 温度准确度测定** BS-800M 与 AU2700 开机后预热进入待机状态, 确保室温在 18~32 ℃ 且控制电脑显示孵育温度介于 36.8~37.2 ℃, 通过加样孔向比色杯中加入 500 μL 去离子水, 5 min 以后稳定。将经过标定精度不低于 0.1 ℃ 的电子测温仪探头固定, 确保其与杯底杯壁存在一定距离, 每隔 30 s 读数 1 次, 连续观察液晶显示屏上显示值 20 次, 求出平均值及最大值与最小值之差。

**1.2.2 杂散光** 先对仪器进行光电校正, 以比色杯加入去离子水作为参比, 在 340 nm 波长下测量 5 个比色杯中 50 g/L 亚硝酸钠标准溶液的吸光度。

**1.2.3 吸光度线性范围检定** 将吸光度约为 3.0 的重铬酸钾溶液用 0.05 mmol/L 的硫酸按 0.1:10, 2:10, 3:10, 4:10, 5:10, 6:10, 7:10, 8:10, 9:10, 10:10 的比例进行稀释, 共获得 11 个水平梯度。将其分别加入 31~41 号比色杯中, 进入维护菜单 Photocheck 0~100% 功能, 在 340 nm 波长下测定不同比色杯的吸光度, 每个水平测定 5 次, 计算平均值。以稀释比例为横坐标, 吸光度平均值为纵坐标, 画出散点图, 采用最小二乘法对前 4 个点进行线性拟合, 计算后 7 个测定点的相对偏倚。

**1.2.4 吸光度准确性检定** 以去离子水作参比, 在 2 台生化分析仪上测定 340 nm 处吸光度分析约为 0.5 及 1.0 的重铬酸钾标准溶液, 重复测定 3 次, 计算 3 次测定值的算术平均值与标准值之差。

**1.2.5 吸光度重复性检定** 以去离子水作空白, 在 BS-800M 和 AU2700 比色杯中加入最小反应体积的吸光度约为 1.0 的重铬酸钾标准溶液, 波长选择 340 nm, 在时间-吸光度进程曲线最后 1 个读点测定吸光度, 连续测定 20 次, 计算吸光度的变异系数。

**1.2.6 吸光度稳定性检定** 以去离子水作参比, 在 2 台生化分析仪上分别于 340 nm、600 nm 处测定吸光度约为 0.5 的重铬酸钾标准溶液和硫酸铜标准溶液, 测定时间为仪器标称的最长反应时间, 测定间隔为仪器的读数间隔, 记录各读点的吸光度, 计算最大值与最小值之差。

**1.2.7 样品携带污染率检定** 将吸光度约为 200 的 Orange G-200 溶液原液准确稀释 200 倍, 在 BS-800M 与 AU2700 生化分析仪上各自测定稀释液在 340 nm 处相对去离子水的吸光度, 重复测定 20 次, 计算出均值, 以均值乘以稀释倍数得到 Orange G-200 原液的吸光度。以去离子水为试剂, 分别将 Orange G-200 原液和去离子水作为样品(加入量为分析仪标称的

最大样品量), 以原液、原液、原液、去离子水、去离子水、去离子水的顺序为 1 组, 在分析仪上测定上述样品反应结束时的吸光度, 共进行 5 组测定。计算携带污染率。公式为如下。

携带污染率 = (第 4 样品吸光度 - 第 6 样品吸光度) / [A × 样品加入体积 / (试剂加入体积 + 样品加入体积) - 第 6 样品吸光度]。

**1.2.8 加试剂量准确度与精确度检定** 准确测量 Orange G-R4 溶液的吸光度值, 在 BS-800M 与 AU2700 生化分析仪上各设定标本量为 2 μL, R1 为 150 μL, R2 为 50 μL, 主波长为 480 nm, 副波长为 660 nm, 分析方法为 END1, 定标方式为 MB, 因数为 10 000, 以去离子水为 R1, Orange G-R4 溶液为 R2, 同时以去离子水为标本, 共测定 80 例标本, 计算每组的最大值、最小值、极差、平均值、相对偏差和变异系数。

**1.2.9 加样量准确度与精确度检定** 准确测量稀释后 Orange G-S40 溶液的吸光度值, 并计算出其原始吸光度值。在 BS-800M 与 AU2700 生化分析仪上各设定标本量分别为 2 μL 和 5 μL, R1 为 150 μL, 主波长为 480 nm, 副波长为 660 nm, 共 2 个单试剂项目测量, 分析方法为 END1, 定标方式为 MB, 因数为 10 000, 以 Orange G-S40 溶液为测试样品, 以去离子水为 R1, 各测 80 例标本, 并计算每组的最大值、最小值、极差、平均值、相对偏差和变异系数, 以评估加样准确度误差和加样重复性。

## 2 结果

**2.1 温度准确度与波动度** BS-800M 与 AU2700 分析仪反应盘测定温度均值分别为 36.96 ℃ 与 37.10 ℃, 波动度分别为 0.05 ℃ 与 0.11 ℃。两者均符合温度在设定值的(±0.3)℃ 的行业标准。BS-800M 的反应盘温度设定值为(37.0 ± 0.3)℃, AU2700 的温度设定值为 37.2℃, 波动度不大于 ±0.2 ℃。

**2.2 杂散光测定** 测定波长为 340 nm 时, 2 台仪器各 5 只比色杯测定结果, 其吸光度测定值均符合行业标准要求 ≥ 2.3。见表 1。

表 1 比色杯杂散光吸光度

仪器	最大值	最小值	平均值	行业标准
BS-800M	3.379 4	3.349 3	3.361 0	≥2.3
AU2700	3.627 6	3.619 4	3.623 0	≥2.3

**2.3 吸光度线性检定** BS-800M 和 AU2700 分析仪前 4 个点的进行线性拟合, 计算出其余 7 个稀释比例的吸光度的相对偏倚结果, 均符合行业标准要求的“相对偏倚在 ±5% 范围内的最大吸光度应不小于 2.0”, 验证合格。见表 2。

表 2 吸光度线性及相对偏倚(%)

仪器	4:10	5:10	6:10	7:10	8:10	9:10	10:10
BS-800M	0.80	1.33	1.95	2.24	2.51	2.88	3.48
AU2700	-0.46	-0.72	-0.18	-1.33	0.78	-0.66	0.29

**2.4 吸光度准确性和重复性检定** 在 BS-800M 和 AU2700 全自动生化分析仪上分别测定标准吸光度为 0.973 0、0.491 2 的重铬酸钾标准物质溶液各 3 次, 所得均值为实测吸光度, 其偏差与吸光度的重复性, 见表 3。两者均符合“吸光度为 0.5 时的允许误差为 ±0.025, 吸光度为 1.0 时允许误差为 ±0.07, 重复性指标变异系数小于或等于 1.5%”的行业标准。

**2.5 样品携带污染率检定** 测定 5 组样品的携带污染率检定

结果,见表 4。BS-800M 平均携带污染率为 0.38%,AU2700 的平均携带污染率为 0.30%,均符合行业标准要求≤0.5%。

表 3 吸光度准确性与重复性

仪器	标准溶液吸光度	实测吸光度	吸光度偏差	重复性(%)
BS-800M	0.973 0	0.921 0	-0.052 0	0.30
	0.491 2	0.471 1	-0.020 1	0.52
AU2700	0.973 0	0.928 8	-0.044 2	0.27
	0.491 2	0.472 2	-0.019 0	0.48

2.6 试剂加注准确度与精密度检定 Orange G-R4 溶液的吸光度值为 3.577 A,加试剂量测试所用溶液标准均值为 0.885 4,2 组各 80 例去离子水标本测定仪器内外圈加试剂量准确度与精确度,符合“试剂加样准确度误差不超过 5%,变异系数不超过 2%”的行业要求。见表 5。

表 5 试剂加样准确度与精密度(n=80)

仪器	位置	最大吸光读数	最小吸光读数	极差	均值	绝对偏差	相对偏差(%)	重复性(%)
BS-800M	内圈	0.879 2	0.873 9	0.005 3	0.876 0	0.009 4	1.06	0.86
	外圈	0.883 4	0.874 5	0.008 9	0.879 1	0.006 3	0.71	0.97
AU2700	内圈	0.906 7	0.891 5	0.015 2	0.899 4	0.014 0	1.58	0.91
	外圈	0.898 2	0.886 3	0.011 9	0.893 0	0.007 6	0.86	0.75

表 6 样品加样准确度与精密度(n=80)

仪器	样品量(μL)	最大吸光读数	最小吸光读数	极差	均值	绝对偏差	相对偏差(%)	重复性(%)
BS-800M	2	4 613	4 405	208	4 530	177	3.76	0.96
	5	11 584	10 890	694	11 264	282	2.44	0.78
AU2700	2	4 809	4 608	201	4 585	122	2.59	0.91
	5	11 692	11 055	637	11 332	214	1.85	0.75

### 3 讨 论

随着 ISO15189《医学实验室质量和能力的专用要求》在国内的日益传播,申请中国实验室合格评定委员会(CNAS)评审的医学实验室不断增多,实验室对检测体系、质量管理体系认识的进一步深入,全自动生化分析仪性能和管理更加关注。近年来,部分实验室工作人员陆续对某些不同品牌生化分析仪的稳定性、线性、携带污染、试剂空白稳定性、精密度、准确度、可报告范围、干扰试验、回收试验、及其他系统的相关性等不同方面进行性能评价或验证<sup>[2-10]</sup>,评估角度、指标、方法不一,而未见国产与国外知名品牌高性能全自动生化分析仪性能对比分析的报道,不仅不便于公众了解国产生化分析仪性能,也影响国产设备的推广和临床应用。相关科技主管部门已积极推动和支持开展相关工作。

本试验参照 YY/T0654-2008《中华人民共和国医药行业标准-全自动生化分析仪》设计的试验方法<sup>[11-12]</sup>,对国产高性能全自动生化分析仪 BS-800M 的主要性能指标进行鉴定,并与 AU2700 生化分析仪的性能指标进行比较分析。试验结果表明:BS-800M 的孵育温度为(36.96±0.05)℃,而 AU2700 为(37.10±0.11)℃,表明 BS-800M 生化分析仪在温度准确度与波动度略优于 AU2700。这可能与 BS-800M 的固体直热专利孵育技术有关,其采用黑晶蜂窝冰聚能装置,将反应盘体、夹紧

表 4 样品携带污染率测定(%)

仪器	第 1 组	第 2 组	第 3 组	第 4 组	第 5 组	平均值
BS-800M	0.41	0.39	0.38	0.38	0.35	0.38
AU2700	0.32	0.27	0.27	0.31	0.34	0.30

2.7 样品加注准确度与精密度检定 Orange G-S40 溶液的初始吸光度值为 36.601,2 μL 加样和 5 μL 加样后的预期标准吸光度读数(吸光度×10 000)应分别为 4 707 与 11 546。实测后发现,BS-800M 的加样偏差介于 2.44%~3.76%,精密度介于 0.78%~0.96%;而 AU2700 加样偏差介于 1.85%~2.59%,精密度介于 0.75%~0.91%。BS-800M 符合“样品加样准确度误差不超过 5%,变异系数不超过 2%”的行业要求。见表 6。

器、加热器及传动盘置于由盖板 and 保温罩围成的收容腔中,形成封闭温控系统;反应杯内液体升温迅速,温度波动小,抗环境干扰能力强,可免维护保养。此外,BS-800M 的吸光度变异系数可低至 0.30%,接近 AU2700 的 0.27%,均远小于行业标准的 1.50%。BS-800M 试剂加样准确度相对偏差为 0.71%~1.06%,精密度为 0.86%~0.97%;AU2700 分别为 0.86%~1.58%与 0.75%~0.91%;两者均低于“准确度误差不超过 5%,变异系数不超过 2%”的行业标准。BS-800M 的样品携带污染率仅为 0.38%,与 Olympus AU680<sup>[13]</sup>、AU2700 大致相当。其余试验结果表明,BS-800M 在杂散光影响、吸光度线性、试剂加样准确度、样品加注准确度与精密度等方面的性能,均已达到甚至优于行业标准,且与进口产品并无显著差别。

在分析仪的使用和日常操作方面,BS-800M 具有独特优势,如自带中文操作菜单及详细的操作规程,界面交互更加友好,更符合国人使用习惯;支持在线添加试剂,方便用户在测试过程中补充试剂,无需停机,提高了仪器运行效率;增设水质自动监测与报警功能等。但是,BS-800M 的加样准确度相对偏差介于 2.44%~3.76%,与 AU2700 的相对偏差 1.85%~2.59%比较仍有一定差距;吸光度线性倚偏大于 AU2700。表明 BS-800M 虽然采用双光阑、双透镜全息式多倍聚能设计、整机去离子水脱气模块、智能水质传感器监测等先进技术,但加

样单元和光学部分在配件精度、仪器调校方面仍有进一步提高空间。

相关学者对 BS-800M 生化分析仪的临床应用评价证实其适用于临床生化检测需求<sup>[14-15]</sup>；本试验结果也显示，BS-800M 生化分析仪的硬件性能与 AU2700 无显著差异。但是，国产生化分析仪仍然存在市场占有率低（尤其是在大型医疗机构）、用户信心不足的现实。究其原因，除国际知名品牌的技术沉淀、中国市场的先发优势、长期的口碑积累和客户资源外，也与公众对国产生化分析仪的发展现状及性能了解不足有关。国产生化分析仪还存在试剂质量良莠不齐、品牌众多；试剂配套不齐、校准品溯源性不佳、部分试剂抗干扰能力不足、免疫透射比浊试剂未解决后带现象（钩状效应）等问题。BS-800M 的标本最小加注量为 1.5 μL，试剂最小加注量为 100 μL，与目前最少加注 1.2 μL 标本、80 μL 试剂的生化仪比较，仍有改进的空间。国内厂家需从 3 个方向重点努力：（1）加强配套试剂的研发。（2）提升试剂抗干扰能力，提供钩状效应的解决方案。（3）加样、加试剂的微量化并提升精确性。通过努力，相信国产高性能全自动生化分析仪将快速赶上国际知名品牌，并在新医改的政策引导和政府大力推动国产品牌应用的有利环境下，迎来行业大发展的良好局面。

参考文献

[1] 国家食品与药品监督管理局. YY/T0654—2008 中华人民共和国医药行业标准-全自动生化分析仪[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.

[2] 戴小勇, 张贵, 王舜. 国产 CS-600 全自动生化仪性能评估与对比分析[J]. 国际检验医学杂志, 2013, 34(7): 866-867.

[3] 刘玉侠, 张凡, 李兴武. COBAS 8000 生化分析仪的性能评价[J]. 蚌埠医学院学报, 2015, 40(11): 1567-1569.

[4] 陈海明, 王前明, 赵元勋. 日立 7600 全自动生化分析仪的

分析性能验证[J]. 国际检验医学杂志, 2015, 36(20): 866-867.

[5] 曹锋, 陈炜. ADVIA2400 全自动生化分析仪性能验证[J]. 国际检验医学杂志, 2015, 36(1): 120-121.

[6] 王远, 严荣国. 基于行业标准的国产美康 MS-880 全自动生化分析仪性能评价[J]. 国际检验医学杂志, 2015, 36(14): 2103-2105.

[7] 张静静, 张雯佳, 曾磊, 等. 迈瑞 BS480 全自动生化分析仪性能评价[J]. 实用医学杂志, 2015, 31(11): 1852-1854.

[8] 徐建华, 黄宪章, 庄俊华, 等. 罗氏 Modular 全自动生化分析仪酶学指标检测性能验证[J]. 检验医学, 2010, 25(2): 81-85.

[9] 周盛杰, 钮心怡, 陈泽英. 意大利 LIAISON 全自动化学发光分析仪性能评价[J]. 河北医学, 2010, 16(2): 178-180.

[10] 谢基明, 宿俊彪, 侯巍, 等. OLYMPUS AU2700 全自动生化分析仪性能评价[J]. 内蒙古医学杂志, 2006, 38(8): 719-722.

[11] 阳苹, 张莉萍, 毕小云, 等. 基于行业标准的全自动生化分析仪性能评价[J]. 重庆医学, 2011, 40(12): 1216-1219.

[12] 曾方银, 刘飞, 包杰, 等. OLYMPUS 全自动生化分析仪性能鉴定[J]. 国际检验医学杂志, 2010, 31(1): 45-47.

[13] 罗莹, 黄小虎, 谢丹阳. AU680 全自动生化分析仪性能评价[J]. 国际检验医学杂志, 2013, 34(11): 1432-1433.

[14] 王萌, 郭芷萱, 谢楠, 等. 国产大型生化分析仪——迈瑞 BS-800 性能验证及临床应用评价[J]. 中国医学装备, 2011, 8(4): 28-32.

[15] 刘清华, 张志伟, 陈希, 等. BS800 全自动生化分析仪临床应用评价[J]. 中国保健营养, 2012, 12(12): 16-17.

(收稿日期: 2016-04-28 修回日期: 2016-06-18)

(上接第 2951 页)

Autophagy in liver diseases[J]. J Hepatol, 2010, 53(6): 1123-1134.

[2] Levine B, Mizushima N, Virgin HW. Autophagy in immunity and inflammation[J]. Nature, 2011, 469(7330): 323-335.

[3] Huang R, Liu W. Identifying an essential role of nuclear LC3 for autophagy[J]. Autophagy, 2015, 11(5): 852-853.

[4] Klionsky DJ, Abdalla FC, Abeliovich H, et al. Guidelines for the use and interpretation of assays for monitoring autophagy[J]. Autophagy, 2012, 8(4): 445-544.

[5] Yang Z, Klionsky DJ. Eaten alive; a history of macroautophagy[J]. Nat Cell Biol, 2010, 12(9): 814-822.

[6] Romao S, Munz C. LC3-associated phagocytosis[J]. Autophagy, 2014, 10(3): 526-528.

[7] Mizushima N, Yoshimori T, Levine B. Methods in mammalian autophagy research[J]. Cell, 2010, 140(3): 313-326.

[8] Hosokawa N, Hara T, Kaizuka T, et al. Nutrient-dependent mTORC1 association with the ULK1-Atg13-FIP200 complex required for autophagy[J]. Mol Biol Cell, 2009,

20(7): 1981-1991.

[9] Hara T, Takamura A, Kishi C, et al. FIP200, a ULK-interacting protein, is required for autophagosome formation in mammalian cells[J]. J Cell Biol, 2008, 181(3): 497-510.

[10] Zuba-Surma EK, Ratajczak MZ. Analytical capabilities of the ImageStream cytometer[J]. Methods Cell Biol, 2011, 102: 207-230.

[11] Calle C, Joubert PE, Law HK, et al. Simultaneous assessment of autophagy and apoptosis using multispectral imaging cytometry[J]. Autophagy, 2011, 7(9): 1045-1051.

[12] Altman BJ, Jacobs SR, Mason EF, et al. Autophagy is essential to suppress cell stress and to allow BCR-Abl-mediated leukemogenesis[J]. Oncogene, 2011, 30(16): 1855-1867.

[13] Phadwal K, Alegre-Abarategui J, Watson AS, et al. A novel method for autophagy detection in primary cells: impaired levels of macroautophagy in immunosenescent T cells[J]. Autophagy, 2012, 8(4): 677-689.

(收稿日期: 2016-02-28 修回日期: 2016-05-05)