

珠穆朗玛峰山麓三个典型冰川湖泊 变化数据集内容与研发

陈文波^{1*}, 福井弘道², 土光智子¹, 刘 闯³, 冯 强⁴, 勾 鹏⁵, 石瑞香³

1. 日本庆应义塾大学 SFC 研究所, 藤泽 2520882; 2. 日本中部高等学术研究所, 春日井 4878501;
3. 中国科学院地理科学与资源研究所资源与环境信息系统国家重点实验室, 北京 100101;
4. 中国科学院遥感与数字地球研究所, 北京 100101; 5. 中国科学院青藏高原研究所, 北京 100101

摘 要: 喜马拉雅山是地球上除了南北极以外的冰川分布面积最大的地带之一, 且是气候变化的敏感区域。冰川面积的变化可以成为区域气候变化的指示器。本研究运用时间序列分析方法, 以三个坐落在珠穆朗玛峰山脚下的冰川湖泊——绒布湖(中国)、卡达湖(中国)和伊姆伽湖(尼泊尔)面积的变化为研究对象; 通过遥感图像和 DEM 数据得到冰川湖泊数据集, 数据格式为 ArcGIS 的.shp 格式和 Google earth 的.kmz 格式。本数据集的属性库包括: 时期、湖泊名称、湖泊面积、传感器类型和湖泊位置。数据表明, 绒布湖在 1976 年尚未出现水体, 至 2014 年水面面积达到 580,239 m²; 卡达湖自 1976 年面积 389,317 m² 至 2014 年增至 809,388 m²; 伊姆伽湖面积自 1976 年 284,411 m² 至 2014 年增至 1,260,218 m²。

关键词: 冰川湖泊数据; 绒布湖; 卡达湖; 伊姆伽湖; 珠穆朗玛峰

DOI: 10.3974/geodp.2017.01.13

1 前言

喜马拉雅山作为地球的第三极, 在区域气候变化中起着重要的作用。自 20 世纪 50 年代以来, 由于气候变化, 喜马拉雅山上的许多冰川出现消融、面积缩小的现象^[1-6]。冰川消融的直接影响是冰川湖泊形成和其面积扩大。因此, 冰川湖泊的变化可作为气候变化的指示器。所以, 用时间序列方法来监测冰川湖泊的变化可以有效地阐述区域的气候变化。

然而, 由于喜马拉雅山具有空间尺度大、相对位置偏远^[7]、海拔较高和气候恶劣^[8]等特点, 对于个体研究人员来说, 要到达这一区域并实地测量冰川湖泊面积的变化非常困难。因此, 运用遥感技术可以协助完成这一艰巨任务。作者在野外实地科学考察的基础上, 基于遥感常规方法建立了珠穆朗玛峰山脚下三个冰川湖泊(绒布湖、卡达湖、伊姆伽湖)的时间序列数据集^[9](Three Glacial lakes (Rongbuk, Karda, Imja) Change data at the Foot of Mt. Everest, Himalaya. 简称“GL_RKI”)(见图 1)。由于年代不同, 卫星遥感数据也有所不同。

收稿日期: 2014-09-08; 修订日期: 2014-11-20; 出版日期: 2017-03-25

*通讯作者: 陈文波 L-5715-2016, 日本庆应义塾大学 SFC 研究所, chenwb3@gmail.com

论文引用格式: 陈文波, 福井弘道, 土光智子等. 珠穆朗玛峰山麓三个典型冰川湖泊变化数据集内容与研发[J]. 全球变化数据学报, 2017, 1(1): 86-92. DOI: 10.3974/geodp.2017.01.13.

数据集引用格式: 陈文波, 福井弘道, 土光智子等. 珠穆朗玛峰山麓三个典型冰川湖泊(伊姆伽、卡达、绒布)变化数据集[DB/OL]. 全球变化科学研究数据出版系统, 2014. DOI: 10.3974/geodb.2014.02.05.V1.

本项研究是在 1976 年美国陆地卫星 MSS 数据、1992 年美国陆地卫星 TM 数据、2000 年美国陆地卫星 ETM+数据、2008 年日本 ASTER 数据、2014 年美国 DigitalGlobe 数据和 ASTER DEM 数据基础上研发。三个冰川湖泊不同年代面积和海拔高度数据及其在近 40 年变化数据可以成为全球变化在喜马拉雅山地区响应研究的参考。同时，这个数据集也可以作为长期区域环境变化研究的历史数据集，对长序列区域研究有重要参考价值。

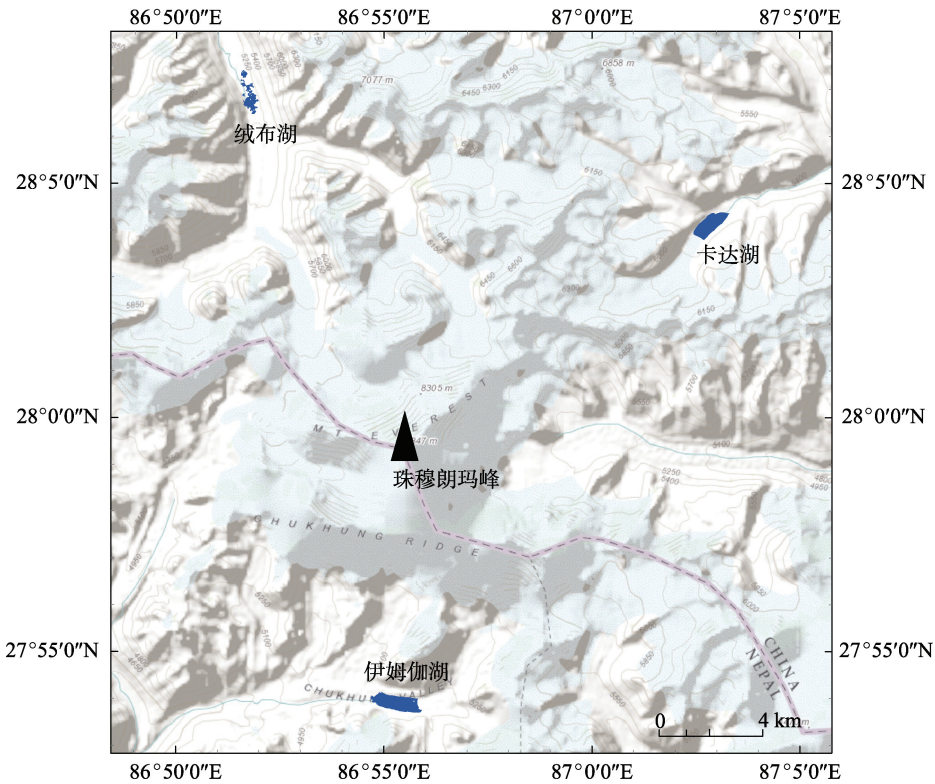


图 1 珠穆朗玛峰山麓三个冰川湖（绒布、卡达、伊姆伽）的地理位置图

2 数据集元数据简介

GL_RKI 数据集的元数据简表见表 1。它包括数据集的全名、短名、通讯作者、作者、湖泊重心坐标、数据年份、数据格式、数据集组成、数据出版单位、数据共享服务平台和数据共享政策等。

3 数据集研发方法

数据集生成方法的部分内容在两篇论文中^[11-12]论证过。全过程概述如下。

3.1 数据集研发流程

在数据集研发流程中，几个关键性步骤包括：遥感数据的选择和处理，冰川湖信息提取模型建立，空间数据库的建立，属性数据库的建立，南、北坡冰川湖野外科学考察，不

同历史时期数据对比分析等过程。图 2 描述了冰川湖泊数据集的研发流程。

表 1 GL_RKI 元数据简表

条目	描述
数据集名称	珠穆朗玛峰山麓三个典型冰川湖泊（绒布、卡达、伊姆伽）变化数据集
数据集短名	GL_RKI
作者信息	陈文波 L-5715-2016, 日本庆应义塾大学 SFC 研究所, chenwb3@gmail.com 福井弘道 D-3797-2017, 日本中部高等学术研究所, fukui@isc.chubu.ac.jp 土光智子 L-6494-2016, 日本庆应义塾大学 SFC 研究所, dokochan@sfc.keio.ac.jp 刘 闯 L-3684-2016, 中国科学院地理科学与资源研究所, lchuang@igsrr.ac.cn 冯 强 D-6727-2017, 中国科学院遥感与数字地球研究所, fengqiang@radi.ac.cn 勾 鹏 L-6876-2016, 中国科学院青藏高原研究所, goupeng@itpcas.ac.cn 石瑞香 L-4389-2016, 中国科学院地理科学与资源研究所, shirx@igsrr.ac.cn
湖泊中心坐标	绒布湖: 86°51'47"E, 28°6'48"N 卡达湖: 87°2'51"E, 28°4'7"N 伊姆伽湖: 86°55'21"E, 27°53'54"N
数据年代	1976, 1992, 2000, 2008, 2014
数据格式	.shp, .kmz, .rar
数据量	728.4 KB, 压缩后为 444 KB
数据集组成	该数据集由两部分组成: (1) 绒布湖、卡达湖和伊姆伽湖的变化数据集。这一数据集由三个压缩文件组成: Rongbuk.rar, 302 KB; Karda.rar, 52.7 KB; Imja.rar, 89.4 KB。每个压缩文件对应的原始数据为 Arc/GIS 的.shp 格式和 Google Earth 的.kmz 格式 (2) 野外考察纪实。由 2 个文件组成: ①. 尼泊尔喜马拉雅冰川湖泊考察纪实, 文件名为 Chen_Imja_2008.pdf; ②. 绒布湖的形成与命名——绒布湖考察纪实, 文件名为 Liu_Rongbuk_2012.pdf
出版与共享服务平台	全球变化科学研究数据出版系统 http://www.geodoi.ac.cn
地址	北京市朝阳区大屯路甲 11 号 100101, 中国科学院地理科学与资源研究所
数据共享政策	全球变化科学研究数据出版系统的“数据”包括元数据（中英文）、实体数据（中英文）和通过《全球变化数据学报》（中英文）发表的数据论文。其共享政策如下:（1）“数据”以最便利的方式通过互联网系统免费向全社会开放, 用户免费浏览、免费下载;（2）最终用户使用“数据”需要按照引用格式在参考文献或适当的位置标注数据来源;（3）增值服务用户或以任何形式散发和传播（包括通过计算机服务器）“数据”的用户需要与《全球变化数据学报》（中英文）编辑部签署书面协议, 获得许可;（4）摘取“数据”中的部分记录创作新数据的作者需要遵循 10%引用原则, 即从本数据集中摘取的数据记录少于新数据集总记录量的 10%, 同时需要对摘取的数据记录标注数据来源 ^[10]

3.2 多源数据选择与处理

3.2.1 遥感数据选择

本研究采用的卫星图像为被云、雪覆盖量最少的图像（表 2）。卫星图像分别是 1976 年 12 月的 Landsat MSS, 空间分辨率为 60 m; 1992 年 11 月的 Landsat TM, 空间分辨率为 30 m; 2000 年 10 月的 Landsat ETM+, 空间分辨率为 30 m; 2008 年 1 月的 ASTER, 空间分辨率为 15 m; 2014 年 4 月的 Digital Globe 数据, 空间分辨率是 1 m。地形分析采用的是 ASTER DEM 数据。

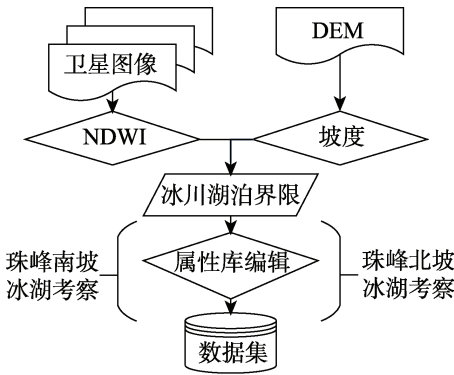


图 2 冰川湖数据产生流程图

表 2 卫星图像列表

传感器类型	图像采集日期	轨道路径列	轨道路径行	分辨率 (m)	波段数
MSS	1976 年 12 月 19 日	150	41	60	4
TM	1992 年 11 月 17 日	140	41	30	7
ETM+	2000 年 10 月 30 日	140	40/41	30	8
ASTER	2008 年 1 月 6 日	140	115/116	15	1–3
				30	4–9
				90	10–14
Digital Globe	(Google Earth)			1	
	2014 年 5 月 18 日 Karda Lake				
	2014 年 4 月 8 日 Rongbuk Lake				
	2014 年 12 月 18 日 Imja Lake				
ASTER GDEM	2009	–	–	30	1

注：1976 年 MSS 数据在像元 79 m×57 m 基础上处理为像元 60 m×60 m

3.2.2 时间序列遥感数据预处理

由于卫星图像是 1B 数据，其图像只显示数值 (Digital number, DN)。在计算 NDWI (归一化水指数) 时，需要用 DN 值来计算反射率数值。数据对此作了预处理，对不同时期卫星图像具有不同分辨率的数据分别进行处理。

3.3 遥感数据水体信息提取模型

3.3.1 水指数计算模型 (NDWI)

用卫星图像的反射率数值来计算 NDWI 以便提取水体。NDWI 是由绿波段和近红外波段的反射率的差值与这两个波段反射率的总和的比值计算得到的^[13]。计算公式如下：

$$NDWI = \frac{\rho_{Green} - \rho_{NIR}}{\rho_{Green} + \rho_{NIR}} \tag{1}$$

式中， ρ_{Green} 和 ρ_{NIR} 分别是绿波段和近红外波段的反射率。

3.3.2 坡度计算

地形模型是采用 ASTER GDEM 数据计算得到的数字高程模型 (DEM)。根据先前在中国西藏和喜马拉雅山脉的实地观测调查所得到的结论,即在倾斜角 10° 以上的地形上,冰川消融后可形成径流。并且,在不丹^[14]、中国、尼泊尔^[15]开展的相关研究也报道了类似的观测结果。因此,本研究采用了倾斜角为小于等于 10° 作为坡度的域值。

最后,结合 NDWI 和倾斜角度来鉴别冰川湖泊的边界。本研究运用 ENVI4.7 软件来对卫星图像进行分析和数据处理,运用 ArcMAP10.0 软件将冰川湖泊的栅格数据转换为矢量数据。

3.4 伊姆伽湖和绒布湖的野外科学考察

2008 年 4 至 5 月,在日本文部科学省资助下,由福井教授带队一行十几人,对位于尼泊尔境内、珠穆朗玛峰南坡的伊姆伽湖进行了实地考察(见图 3)。2012 年 5 至 6 月,在中国科学院和全球变化亚太网络 (APN) 项目资助下,由刘闯研究员带队一行四人,对中国境内、珠穆朗玛峰北坡的绒布湖进行了实地考察(见图 4)。考察的重点是遥感信息解译的实地实证、与水体发育相关的其他相关地理信息等,这些信息用于进行冰川湖扩张的综合案例研究,为进一步研究全球气候变化在喜马拉雅地区的响应以及对策提供实证。



图 3 位于珠穆朗玛峰南坡麓的伊姆伽湖
(陈文波摄, 2008 年 5 月 1 日)



图 4 位于珠穆朗玛峰北坡麓的绒布湖
(陈文波摄, 2012 年 6 月 1 日)

4 数据结果

数据结果包括在 3 个数据文件中,它们分别是:(1) 绒布湖 1992–2014 年变化数据,数据文件是 Rongbuk.rar。(2) 卡达湖 1976–2014 年变化数据,数据文件是 Karda.rar;(3) 伊姆伽湖 1976–2014 年变化数据,数据文件是 Imja.rar。这 3 个压缩文件对应的原始数据都包括 2 种格式: Arc/GIS 的.shp 格式和 Google Earth 的.kmz 格式。

数据结果表明,绒布湖在 1976 年尚未出现水体,至 2014 年水面面积达到 $580,239 \text{ m}^2$; 卡达湖自 1976 年面积 $389,317 \text{ m}^2$ 至 2014 年增至 $809,388 \text{ m}^2$; 伊姆伽湖面积自 1976 年 $284,411 \text{ m}^2$ 至 2014 年增至 $1,260,218 \text{ m}^2$ (见表 3)。数据可视化图如图 5, 图 6 和图 7 所示。数据结果分析将另行文说明。

表 3 绒布湖、卡达湖、伊姆伽湖湖水面积统计表

年 份	面积 (m ²)		
	绒布湖 (中国)	卡达湖 (中国)	伊姆伽湖 (尼泊尔)
1976 年面积 (m ²) (60 米分辨率为基础)	0	389,317	284,411
1992 年面积 (m ²) (30 米分辨率为基础)	3,051	550,732	567,360
2000 年面积 (m ²) (30 米分辨率为基础)	124,576	623,236	724,365
2008 年面积 (m ²) (15 米分辨率为基础)	509,381	684,966	894,881
2014 年面积 (m ²) (1 米分辨率为基础)	580,239	809,388	1,260,218

注：1976 年 MSS 数据在像元 79 m × 57 m 基础上处理为像元 60 m × 60 m 进行计算。

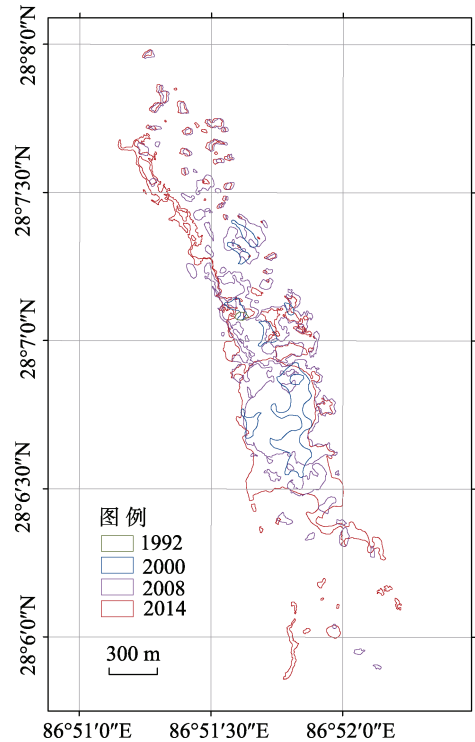


图 5 1992、2000、2008、2014 年绒布湖历年面积合成对比图（绒布湖水初现于 1992 年）

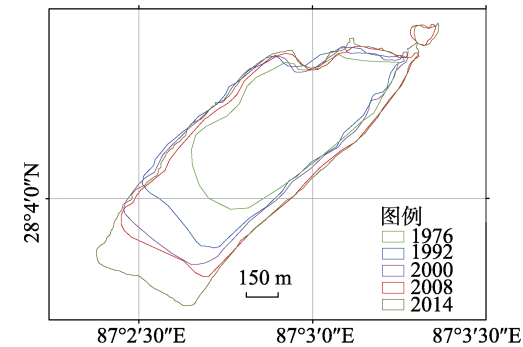


图 6 1976、1992、2000、2008、2014 年卡达湖历年面积合成对比图

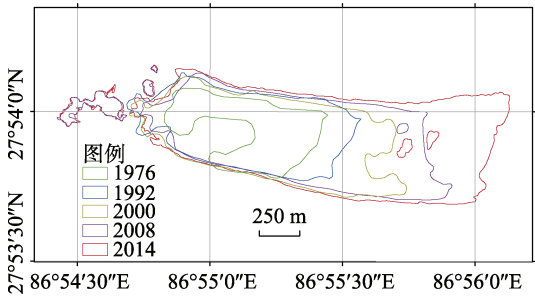


图 7 1976、1992、2000、2008、2014 年伊姆伽湖历年面积合成对比图

作者分工：福井弘道设计和组织了 2008 年对珠穆朗玛峰南坡伊姆伽湖的科学考察，陈文波、福井弘道参加伊姆伽湖科学考察。刘闯设计和组织了 2012 年对珠穆朗玛峰北坡绒布湖的科学考察。刘闯、陈文波、冯强、勾鹏参加了珠峰北坡的科考活动。土光智子参加了西宁－拉萨－纳木错的科学考察。陈文波完成了数据处理和数据分析工作，土光智子和石瑞香参加了数据处理和部分数据分析工作，冯强和勾鹏对绒布湖的科学考察路线、考察内容作了周密的安排，并参加了数据分析的工作。陈文波完成论文的撰写，刘闯、福井弘道、土光智子审核了数据结果和论文。

致谢：伊姆伽湖科学考察（2008 年）得到日本文部科学省资助。参加伊姆伽湖科学考查的还有日本名古屋大学和中部大学、泰国亚洲理工学院、国际山地综合发展中心的科研

人员。绒布湖科学考察(2012年)得到中国科学院地理科学与资源研究所、中国科学院青藏高原研究所珠穆朗玛峰大气与环境综合观测研究站的支持;联合资助的还有全球变化亚太网络(APN)、国际科学技术数据委员会(CODATA)发展中国家任务组;中国科学院遥感与数字地球研究所李国庆研究员组织和领导了该项目对西宁-拉萨-纳木错的科学考察,中国科学院遥感与数字地球研究所周翔研究员等参见了部分科考活动。笔者一并深表谢忱。

参考文献:

- [1] Dyurgerov, M. Mountain and subpolar glaciers show an increase in sensitivity to climate warming and intensification of the water cycle [J]. *Journal of Hydrology*, 2003, 282: 164-176. DOI: 10.1016/S0022-1694(03)00254-3.
- [2] Shrestha, A. B., Kumar, R., Shen, Y. An Overview of Glaciers, Glacier Retreat, and Subsequent Impacts in Nepal, India and China [M]. In: Thomas, K. J., (ed). WWF Nepal Progra. Gland: World Wide Fund for Nature (WWF), 2005.
- [3] Bajracharya, S. R., Mool, P. K., Shrestha, B. R. Impact of climate change on Himalayan Glaciers and Glacial Lakes: case studies on GLOF and Associated Hazards in Nepal and Bhutan [R]. Kathmandu: International Centre for Integrated Mountain Development (ICIMOD), 2007.
- [4] Immerzeel, W. W., Droogers, P., de Jong, S. M., *et al.* Largescale monitoring of snow cover and runoff simulation in Himalayan river basins using remote sensing [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2009, 113(1): 40-49. DOI: 10.1016/j.rse.2008.08.010.
- [5] Owen, L. A., Robinson, R., Benn, D. I. *et al.* Quaternary glaciation of Mount Everest [J]. *Quaternary Science Reviews*, 2009, 28(15/16): 1412-1433. DOI: 10.1016/j.quascirev.2009.02.010.
- [6] Kaltenborn, B. P., Nellesmann, C., Vistnes, I. I. High mountain glaciers and climate change-Challenges to human livelihoods and adaptation [OL]. Available at: http://www.unep.org/publications/contents/pub_details_search.asp?ID=4168. Birkeland: United Nations Environment Programme (UNEP), 2010.
- [7] Bishop, M. P., Shroder, J. F. Geographic information science and mountain geomorphology [OL]. Available at: <http://www.springer.com/earth+sciences+and+geography/geographical+information+systems/book/978-3-540-42640-0>. Springer, 2004.
- [8] Barry, R. G. Mountain Weather and Climate [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2008.
- [9] 陈文波, 福井弘道, 土光智子等. 珠穆朗玛峰山麓三个典型冰川湖泊(伊姆伽、卡达、绒布)变化数据集[DB/OL]. 全球变化科学研究数据出版系统, 2014. DOI:10.3974/geodb.2014.02.05.V1.
- [10] 全球变化科学研究数据出版系统. 全球变化科学研究数据共享政策[OL]. DOI: 10.3974/dp.policy.2014.05 (2017年更新).
- [11] Chen, W., Doko, T., Fukui, H., *et al.* Changes in Imja Lake and Karda Lake in the Everest Region of Himalaya [J]. *Natural Resources*, 2013, 4: 449-455.
- [12] Chen, W., Doko, T., Liu, C., *et al.* Changes in Rongbuk Lake and Imja Lake in the Everest region of Himalaya [J]. *Remote Sensing Spatial Information Sciences*, 2014, (XL-2): 259-266, DOI: 10.5194/isprsarchives-XL-2-259-2014.
- [13] McFeeters, S. K. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1996, 17(7): 1425-1432. DOI: 10.1080/01431169608948714.
- [14] Reynolds, J. M. On the Formation of Supraglacial Lakes on Debris-Covered Glaciers [M]. In Nakawo, M., Raymond, C. F., Fountain, A., (eds). Workshop on Debris-Covered Glaciers. Seattle, Washington, USA: International Association of Hydrological Sciences (IAHS), 2000, 153-161.
- [15] Quincey, D. J., Richardson, S. D., Luckman, A., *et al.* Early recognition of glacial lake hazards in the Himalaya using remote sensing datasets [J]. *Global and Planetary Change*, 2007, 56(1/2): 137-152. DOI: 10.1016/j.gloplacha.2006.07.013.