

不同开垦年限湿地土壤铁变化特征研究

邹元春^{1,2}, 吕宪国¹, 姜明^{1*}

(1. 中国科学院东北地理与农业生态研究所湿地生态与环境重点实验室, 长春 130012; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要:以三江平原不同开垦年限的湿地土壤为对象, 研究了土壤全铁含量、氧化铁游离度、活化度和络合度的时空变化趋势。结果表明, 耕层(0~20 cm)土壤较中下层(20~100 cm)土壤、开垦初期(0~1 a)较开垦后期(1~25 a)铁所受影响更为显著。土壤全铁与有机质呈极显著负相关, 相关系数为 -0.620, 而与全磷和 pH 值的相关程度较低。土层 1(0~10 cm)全铁含量于开垦前 7 a 快速增长, 13 a 后趋于平稳; 而土层 2(10~20 cm)的快速增长期为 8 a, 15 a 后进入平稳期。土层 1 比土层 2 的响应时间更短, 规律性更强。土壤氧化铁的游离度在开垦之后迅速升高, 而后降低再升高。活化度和络合度随开垦年限的增加都呈指数衰减趋势, 其中土层 1 的活化度在开垦前 4 a 迅速降低, 6 a 后趋于平稳, 土层 2 的活化度则在开垦 1 a 内迅速降低而后一直保持平稳; 而络合度的上述年限分别为 6 a、14 a 和 2 a。土壤中全铁的相对含量、氧化铁的活化度和络合度的拟合方程都可反推出土壤的开垦年限, 可见铁对土壤环境变迁具有一定的指示作用。

关键词:沼泽湿地; 土壤铁; 开垦年限; 三江平原

中图分类号: X53 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2008)03-0814-05

Characteristics of the Wetland Soil Iron Under Different Ages of Reclamation

ZOU Yuan-chun^{1,2}, LÜ Xian-guo¹, JIANG Ming¹

(1. Key Laboratory of Wetland Ecology and Environment, Northeast Institute of Geography and Agricultural Ecology, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130012, China; 2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: The temporal-spatial trends of soil total iron concentration (Fet), free degree (Fed/Fed), activation degree (Feo/Fed) and complex degree (Fep/Fed) of soil iron oxides after reclamation were studied in Sanjiang Plain Wetlands. The result suggests that Fet in the upper tillage layers (0~20 cm) are influenced by reclamation more significantly than that in the lower ones (20~100 cm), and so does the early ages (0~1 years) than the late ages (1~25 years). Fet is negatively correlated with organic matter extremely significantly ($R = -0.62$), while that with total phosphorus and pH are not significant. Fet of soil layer I (0~10 cm) increases obviously during the first 7 years after reclamation, and tends to become stable after 13 years, while those ages of soil layer II (10~20 cm) are 8 years and 15 years respectively. Soil layer I shows shorter responding time and better regularity than layer II. Fed/Fed increases rapidly after reclamation, decreases later and then increases again. Feo/Fed indicates exponential decrease with the reclamation ages as well as Fep/Fed. Feo/Fed of layer I decreases radically during the first 4 years after reclamation and tends to become stable after 13 years, while that of layer II decreases dramatically within the first year and keeps stable henceforth. The counterparts of Fep/Fed are 6 years, 14 years, and 2 years respectively. With the fitted experimental equations of Fet, Feo/Fed, and Fep/Fed, the ages of reclamation can be deduced reversely, which indicates the implication of iron on the shifts of soil environment.

Key words: marsh wetland; soil iron; ages of reclamation; Sanjiang Plain

20 世纪 50 年代以来, 三江平原湿地大规模的开垦已显著改变了区域土壤环境, 成为人类活动影响下湿地变化最为显著的热点区域之一^[1]。已有研究表明, 湿地开垦为农田后, 地表反射率减少, 表土温度升高^[2,3]; 土壤有机质(碳)、全氮含量显著下降, 土壤肥力降低^[4,5]; 总硫含量下降, 流失明显^[6,7]; 汞及部分微量元素的含量有所下降, 而另一些微量元素反而有所上升^[8,9]。

铁是土壤中最基本的氧化还原活性金属元素, 在土壤中的含量仅次于氧、硅、铝, 对土壤的理化性质产生着深刻影响^[10~12]。湿地开垦为农田之初, 由于土壤通气和导热状况的改善, 有机碳、氮的矿化速

率、根系作用、微生物活性等都将随之增强^[13], 从而影响铁的活化与淋失速率; 当有机质下降到一定程度后, 土壤还原能力降低, 铁又发生氧化再沉积^[14,15]。

土壤铁对开垦的响应敏感, 但相关研究缺乏, 尤其是较长尺度的研究则还不多见。本研究旨在定量分析开垦并长期耕作下土壤中铁元素的质量变化过程, 探讨人类活动对湿地铁循环的影响, 并为合理利

收稿日期: 2007-04-10; 修订日期: 2007-05-31

基金项目: 国家自然科学基金项目(40501030)

作者简介: 邹元春(1981~), 男, 博士研究生, 主要研究方向为湿地变化及其环境效应, E-mail: zouyc@neigae.ac.cn

* 通讯联系人, E-mail: jiangm@neigae.ac.cn

用湿地资源提供参考.

1 材料与方法

1.1 研究区概况

试验区设置在中国科学院三江平原沼泽生态试验站旱地试验场及其毗邻的黑龙江省农垦总局建三江分局洪河农场第八作业区,开垦前均为淡水沼泽湿地,主要发育为沼泽土,有机质含量高,矿化度低,成土母质为粉砂状粘土或亚粘土,土壤元素背景值较一致.该区自开垦后长期种植大豆,一年一熟,春耕秋收,冬季撂荒,施用肥料中几乎不含铁元素,为本研究单因素控制实验研究提供了可能.

1.2 采样方法

依据开垦年限,选择开垦 1、3、10、15 和 25 a 为采样点,分耕层(0~10 cm、10~20 cm,土层 1、2)、犁底层(20~40 cm,土层 3)、背景层(40~60 cm、60~80 cm、80~100 cm,土层 4、5、6)共 6 层采样,务求各层土样均匀有代表性,另以未开垦湿地土壤作为对照.

1.3 分析方法

土样取半自然风干,过 80 目筛,测定全铁、全磷、有机质、pH 值;剩余鲜土测定游离氧化铁、无定形氧化铁和络合态氧化铁.各指标分析方法见文献[16,17].

1.4 数据处理

方差、相关、回归和聚类分析采用 SPSS 11.0 提供的分析程序;各铁含量分布图利用 OriginPro7.5 绘制.

2 结果与讨论

2.1 全铁含量时空变化规律的相似性

采用组间连接法,以欧氏距离聚类,分别对不同开垦年限和不同土层的全铁含量做聚类分析,以初步定性分析全铁含量时(开垦年限)、空(采样土层)变化的相似性,其树形图如图 1 所示.

2 个年限或土层的距离越大,表明土壤铁含量剖面的分异越大,而产生这种差异的主要原因就是开垦对土壤自然演化的干扰,因此受开垦的影响也越大.由图 1(A)可以看出,各开垦年限随距离大小排序为开垦 3 a、15 a、10 a、25 a,未开垦和开垦 1 a,表明在开垦前后全铁含量的变化最为剧烈,而后随耕作年限增加而变化平稳.

由图 1(B)可以看出,土层 1 和 2 间距离最小,表明开垦直接起作用的土层 1 和 2 的铁分布趋势最为相似;土层 3 为过渡;土层 4~6 层为 1 组,代表了

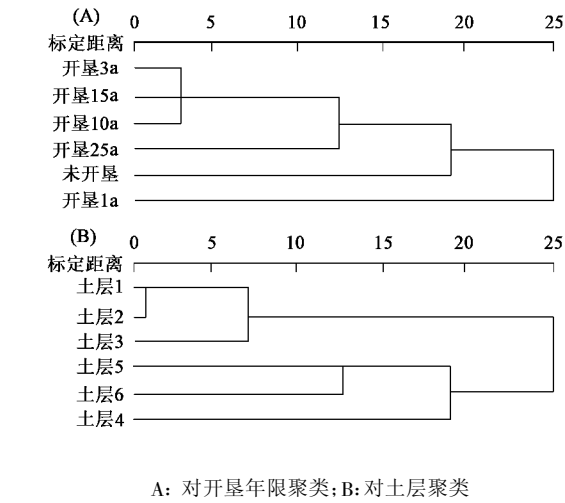


图 1 土壤全铁含量的聚类分析

Fig.1 Dendrograms of hierarchical cluster

背景层.

2.2 长期开垦对全铁含量的影响

为排除土壤全铁含量背景值差异的影响,以土层 4~6 的均值作为该样点的背景值,土层 1、2 分别与之相比,以相对浓度来指示长期开垦对耕层土壤全铁含量的影响.

基于各层全铁含量均值的方差分析表明,6 个

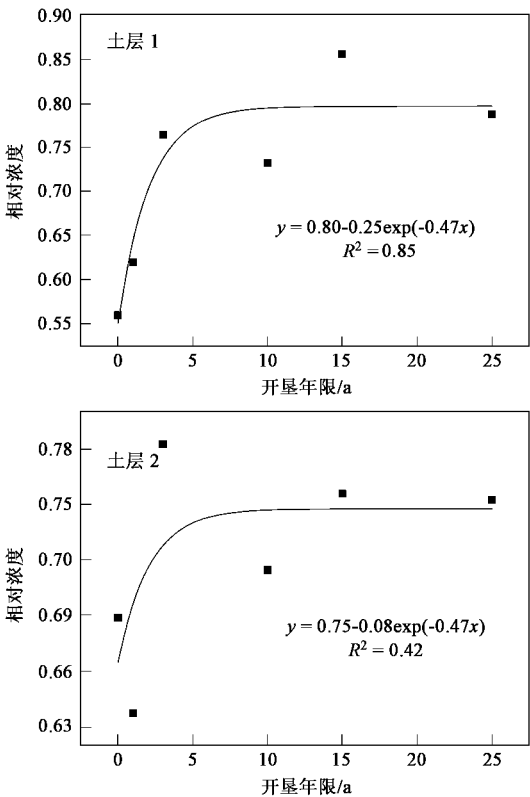


图 2 湿地开垦后土壤全铁含量的变化

Fig.2 Changes of Fet after wetland reclamation

样点的 60 ~ 100 cm 铁的背景含量没有显著性差异 ($R = 0.82, p = 0.56$). 由此可以空间代替时间, 研究全铁含量变化的时间序列, 并对曲线进行非线性拟合, 其中以指数函数拟合效果最优, 如图 2 所示.

由图 2 可以看出, 耕层土壤全铁含量随开垦年限呈增速逐渐放慢的同步增长趋势. 开垦前期都存在一个快速增长期, 这种变化趋势与张成娥的研究结果一致^[18], 而后期都存在一个趋于平稳期. 经变化率估算, 土层 1 全铁含量的快速增长期为 7 a, 13 a 后趋于平稳; 而土层 2 全铁含量的快速增长期为 8 a, 15 a 后几乎不再增长. 土层 1 拟合曲线的决定系数远大于土层 2, 且对开垦的响应时间也较短.

土壤全铁含量增长的原因, 可能与开垦后土壤植被盖度减小, 导致土壤毛细管水中所携带的低价铁上行到表层后因氧化作用而富集^[19], 及翻耕将犁底层铁迁移到耕层等增加铁含量的正效应有关. 随着开垦年限的增长, 上述正效应逐渐减弱, 耕层土壤全铁含量因此而趋于平稳.

2.3 全铁与全磷、有机质、pH 值的相关分析

土壤铁的变化受多种环境因子的制约, 特别是土壤中的磷、有机质和 pH 值. 相关分析表明, 并非所有剖面的全铁与全磷、有机质和 pH 值之间都存在显著相关, 但综合各剖面的结果却显示出全铁与有机质的相关系数最高, 且不相相关概率几乎为 0, 表明土壤中铁与有机质之间关系密切, 互为消长, 而与全磷和 pH 值的相关性不高, 如表 1 所示.

表 1 相关系数 ¹⁾			
Table 1 Correlation coefficients			
开垦年限	Fe-P	Fe-OM	Fe-pH
未开垦	-0.220	-0.615	0.604
开垦 1 a	0.208	-0.776	0.155
开垦 3 a	-0.917*	-0.876*	0.903*
开垦 10 a	-0.780	-0.747	0.931
开垦 15 a	-0.878*	-0.846*	0.798
开垦 25 a	-0.841*	-0.606	0.487
综合效应	-0.382*	-0.620**	0.499**

1) * 表示显著性水平为 0.05, ** 表示显著性水平为 0.01

除铁的全量分析外, 土壤氧化铁的质量变化也值得关注. 土壤中氧化铁不仅是土壤结构体的胶结物质之一, 而更重要的是它具有较高的活性, 易随环境条件的变化而转变^[20], 并能有效抑制湿地温室气体的排放^[21]. 已有研究表明, 各种形态的氧化铁之间可以相互转化, 并受土壤颗粒组成、水分、温度、pH、有机质含量等环境条件的控制^[22, 23]. 因此, 根据各态氧化铁浓度计算出铁的游离度、活化度和络合

度可以更好地指示开垦对土壤环境的影响.

2.4 长期开垦对氧化铁游离度的影响

游离度是游离氧化铁含量与全铁含量的比值, 是表征土壤风化程度的重要指标. 湿地开垦后土壤氧化铁游离度的变化如图 3 所示. 开垦之初游离度的显著升高表明开垦促进了游离氧化铁的表聚; 而后又降低再升高的过程则可能与土壤含水量与微生物活性的变化有关^[24].

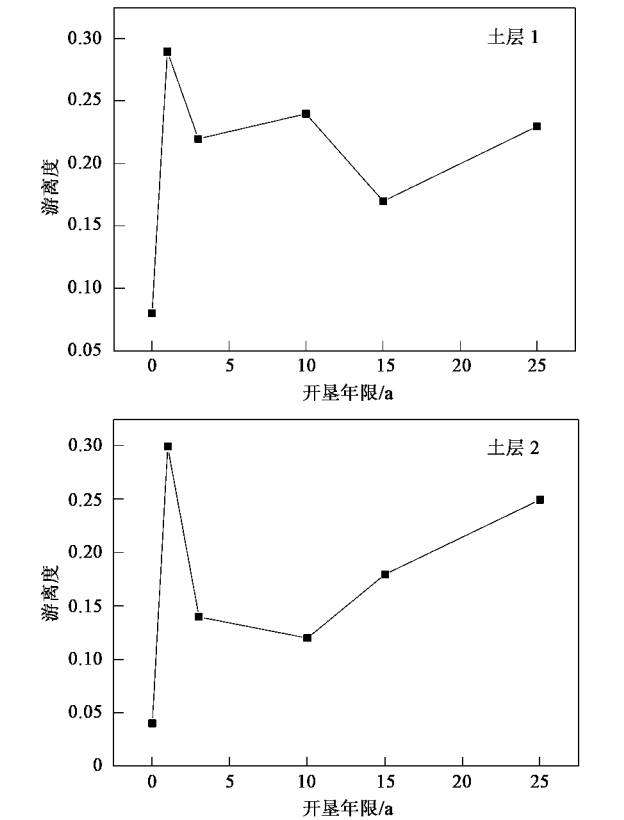


图 3 湿地开垦后土壤铁游离度的变化
Fig.3 Changes of Fed/Fet after wetland reclamation

2.5 长期开垦对氧化铁活化度的影响

活化度表征了无定形铁占游离铁的比例, 是土壤风化程度的指标^[17, 20]. 对活化度的拟合分析表明, 随着开垦年限的增加, 耕层土壤铁的活化度逐渐降低, 呈指数衰减趋势, 其中土层 1 在的活化度开垦前 4 a 迅速降低, 6 a 后趋于平稳; 而土层 2 的活化度则在开垦 1 a 内迅速降低而后一直保持平稳, 如图 4 所示.

2.6 长期开垦对氧化铁络合度的影响

铁的络合度表征了与有机质结合的铁占游离铁的比例, 与土壤有机质含量密切相关^[17]. 分析表明, 随着开垦年限的增加, 耕层土壤铁的活化度逐渐降低, 呈指数衰减趋势, 其中土层 1 的络合度在开垦前

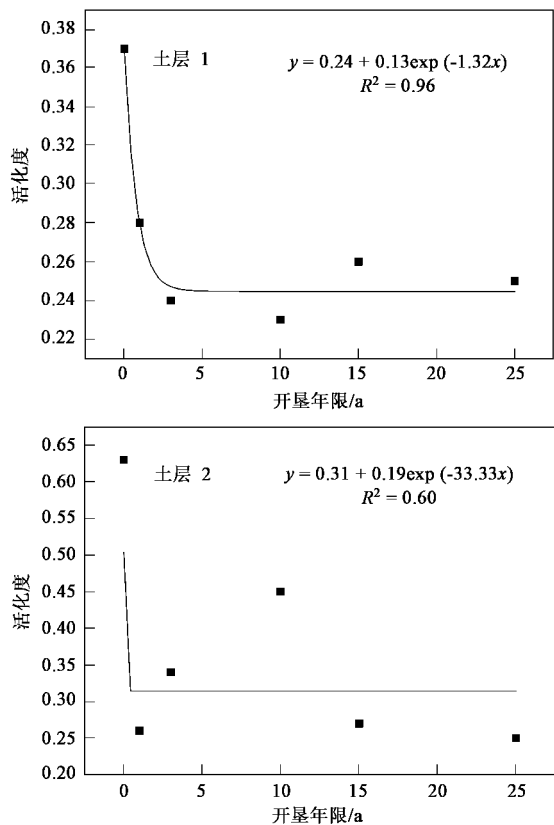


图 4 湿地开垦后土壤铁活化度的变化
Fig.4 Changes of Feo/Fed after wetland reclamation

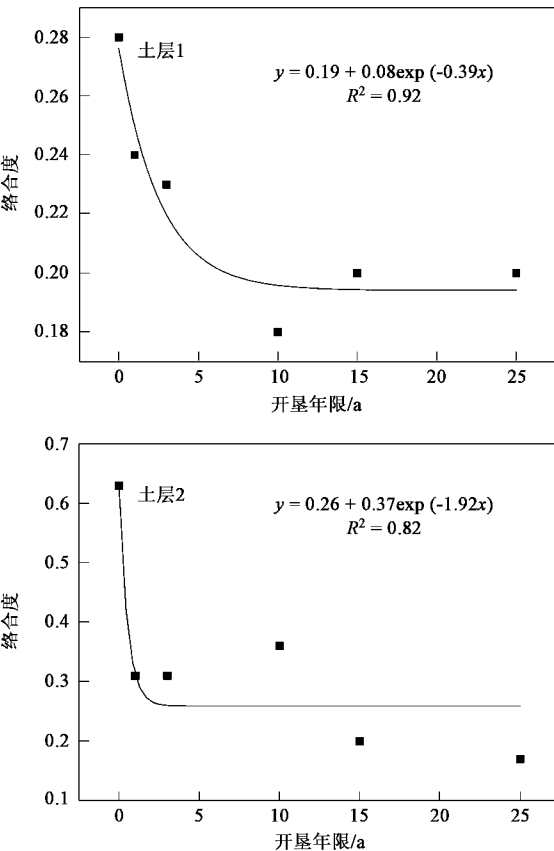


图 5 湿地开垦后土壤铁络合度的变化
Fig.5 Changes of Fep/Fed after wetland reclamation

6 a 迅速降低,14 a 后趋于平稳;土层 2 的络合度则在开垦 2 a 内迅速降低而后一直保持平稳,如图 5 所示.

进一步由相关分析表明,土层 1 的络合度与土壤有机质含量呈显著正相关($R = 0.87$, $p = 0.026$),而土层 2 的这种关系不明显($R = 0.29$, $p = 0.57$).

3 结论

(1)开垦通过改变湿地土壤 pH 值等环境因子,进而影响了土壤铁的时空分布特征.

(2)随着原生湿地开垦为耕地后耕作年限的增加,耕层土壤的全铁含量经过一定年限的快速增长后逐渐趋于平稳;氧化铁的游离度迅速升高后又降低然后再升高,而活化度和络合度都呈指数衰减规律,不过活化度对开垦的响应时间要短于络合度.

(3)对全铁含量、氧化铁的活化度和络合度的指数拟合方程都可反推出开垦年限,尤以 0~10 cm 表层土壤中氧化铁活化度和络合度的决定系数最高,显示了铁对土壤环境变迁的指示作用.

参考文献:

[1] Liu Z G, Ma X H. Effect of Reclamation on Soil Environment in Sanjiang Plain[J]. Pedosphere, 1997, 7(1): 73-78.

[2] 宋长春,王毅勇,阎百兴,等. 沼泽湿地开垦后土壤水热条件变化与碳、氮动态[J]. 环境科学, 2004, 25(3): 150-154.

[3] 张芸,吕宪国,朱诚. 三江平原沼泽湿地开垦后的热量平衡变化[J]. 南京大学学报(自然科学), 2002, 38(6): 813-819.

[4] 栾兆攀,宋长春,邓伟. 三江平原挠力河流域湿地不同开垦年限肥力的变化[J]. 吉林农业大学学报, 2003, 25(5): 544-547, 556.

[5] 高俊琴,吕宪国. 毛果苔草湿地开垦后土壤中主要营养元素垂直分异[J]. 水土保持通报, 2002, 22(3): 32-34.

[6] 郝庆菊,王起超,王其存,等. 三江平原典型湿地及其开垦后土壤中总硫变化的初步研究[J]. 应用生态学报, 2003, 14(12): 2191-2194.

[7] 郝庆菊,王起超,王跃思,等. 开垦利用对三江平原湿地土壤硫含量的影响[J]. 环境科学学报, 2003, 23(5): 614-618.

[8] 刘汝海,王起超,王艳,等. 小叶章湿地开垦后汞和有机质的动态变化[J]. 农业环境科学学报, 2003, 22(6): 647-650.

[9] 杨继松,于君宝,刘景双,等. 自然沼泽湿地开垦前后土壤中微量元素含量的变化[J]. 中国科学院研究生院学报, 2004, 21(3): 374-379.

[10] 中国科学院地球化学研究所. 铁的地球化学[M]. 北京: 科学出版社, 1981. 85-94.

[11] 李学垣. 土壤化学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2001. 331-332.

[12] 罗莎莎,万国江,黄荣贵. 云南洱海沉积物-水界面铁、锰的分布和迁移特征[J]. 重庆环境科学, 2000, 22(6): 19-21.

[13] Raiesi F. Carbon and N mineralization as affected by soil reclamation and crop residue in a calcareous wetland ecosystem in Central Iran [J]. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 2006, **112**(1): 13-20.

[14] 汪福顺, 刘丛强, 梁小兵, 等. 铁锰在贵州阿哈湖沉积物中的分离[J]. *环境科学*, 2005, **26**(1): 135-140.

[15] 姜明, 吕宪国. 湿地铁生物地球化学循环及其环境效应[J]. *土壤学报*, 2006, **43**(3): 493-499.

[16] 张万儒, 杨光谨, 屠星南, 等. 中华人民共和国林业行业标准 森林土壤分析方法[M]. 北京: 中国标准出版社, 2000. 87, 105, 113, 174.

[17] 熊毅, 陈家坊, 马毅杰, 等. 土壤胶体[M]. (第二册). 北京: 科学出版社, 1985. 241-268.

[18] 张成娥, 郑粉莉. 林地开垦后坡面土壤元素的时空变化特征[J]. *应用生态学报*, 2002, **13**(6): 672-674.

[19] 瞿文川, 余源盛. 鄱阳湖湿地土壤中 Fe、Mn 的迁移特征及其与水位周期变动的关系[J]. *湖泊科学*, 1996, **8**(1): 35-42.

[20] 何群, 陈家坊, 许祖诒. 土壤中氧化铁的转化及其对土壤结构的影响[J]. *土壤学报*, 1981, **18**(4): 326-333.

[21] 曲东, Schnell S. 外源氧化铁对水稻土甲烷形成的抑制[J]. *环境科学学报*, 2002, **22**(1): 65-69.

[22] Torrent J, Cabedo A. Sources of iron oxides in reddish brown soil profiles from calcarenites in Southern Spain[J]. *Geoderma*, 1986, **37**(1): 57-66.

[23] Thompson A, Chadwick O A, Rancourt D G, *et al.* Iron-oxide crystallinity increases during soil redox oscillations[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2006, **70**: 1710-1727.

[24] 刘晔, 关连珠, 张瑞杰, 等. 不同利用方式棕壤中氧化铁的存在形态和分异特征研究[J]. *中国农学通报*, 2005, **21**(2): 181-183.