

三峡水库库岸地质灾害防治之我见

张信宝

(中国科学院 水利部 成都山地灾害与环境研究所 山地环境演变与调控重点实验室, 四川 成都 610041)

摘要: 三峡库区是地质灾害频发区, 水库蓄水运行降低两岸坡地稳定性, 使滑坡、崩塌等地质灾害活动增加。蓄水后的地质灾害活动变化可分为: (1) 加剧期; (2) 强烈期; (3) 减弱期; (4) “准稳定态”期。地质灾害的危害性不仅和灾害体的规模、位置和活动方式有关, 还和受灾对象的重要性、受害方式和修复的难易有关, 大型滑坡、崩塌产生的次生涌浪灾害也是三峡水库地质灾害重要的成灾方式。根据三峡水库面山地带地质灾害的发展趋势, 灾害特点和受灾对象的重要性, 考虑到对地质灾害认知的不确定性, 结合当地的区域社会经济发展水平, 提出了“因‘物’制宜, 避让为主, 治理为辅”的防治方针和相应的对策建议。

关键词: 三峡水库; 库岸; 地质灾害; 防治

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2010)01-0166-05

中图分类号: P431.1

Comments with Regard to Geohazards Mitigation on Banks of the Three Gorges Reservoir

ZHANG Xin-bao

(Key Laboratory of Mountain Environment Evolvement and Regulation
Institute of Mountain Hazards and Environment, CAS, Chengdu, Sichuan 610041, China)

Abstract: The Three Gorges Reservoir area is prone to the occurrence of geohazards. Reservoir impoundment will reduce slope stability and result in the active geohazards, such as landslides and rockfalls. The future geohazard activities in the area after reservoir impoundment can be divided into following stages: increasing stage, intensive stage, decreasing stage, and quasi stable stage. The harmfulness is not only related to the size, location, and activity of geohazard body, but also to the importance, damage pattern, and treatment difficulty of the affected objects. Surges in the reservoir triggered by large landslides and rockfalls may cause severe second hazards in the bank area. Based on the activity tendency, damage characteristics, affected object importance of geohazards in the facing slope zone to the reservoir and by considering the uncertainties of understanding geohazards and the social and economic development level in the area, a mitigation principle of “taking actions that suit affected objects, giving first place to avoidance and second place to engineering work,” and the related measures to the principle are proposed.

Keywords: Three Gorges Reservoir; bank slope; geohazard; mitigation

由于水库规模、运行方式和自然环境与人类活动的差异, 不同水库库区的地质灾害情况差异很大。美国胡佛、埃及阿斯旺和巴西依泰普水库位于稳定的地台区, 地层产状水平, 河流发育历史悠久, 库岸坡地的滑坡崩塌等地质灾害轻微^[1-6]。我国三门峡水库库岸主要为黄土、黄土类土和河湖相阶地沉积物, 库岸坍塌强烈, 地质灾害较严重^[7-8]。世界上最大的水库地质灾害当数意大利的瓦依昂水库滑坡灾难。该水库位于阿尔卑斯山, 设计水位 722.5 m³, 库容 1.5 × 10⁸ m³, 1960 年建成蓄水。1963 年 10 月, 左岸山体突然

下滑, 约 2.7 × 10⁷ m³ 的岩土体滑入水库。掀起的库水高出坝顶 125 m, 约 2.5 × 10⁷ m³ 的库水宣泄而下, 摧毁了下游 3 km 处的隆加罗市^[9-10]。不同的水库, 应根据所在区域的自然环境, 人类开发历史和活动程度, 建库前的地质灾害活动情况, 结合水库的规模和运行方式, 分析判断库区库岸地质灾害的发展趋势。

建库前, 三峡地区就是地质灾害频发区, 蓄水后, 库区的滑坡、崩塌等地质灾害的发生有所增加。中央非常重视三峡库区的地质灾害问题, 由国土资源部牵头成立了三峡库区地质灾害防治工作领导小组统筹

三峡库区的地质灾害防治工作,2001年和2003年分别拨款40亿和73亿用于地质灾害的治理^[11]。对库区滑坡崩塌等地质灾害防治工作的成效,仁者见仁,智者见智。主流观点认为,三峡库区地质灾害的防治工作卓有成效,库区蓄水后发生的滑坡崩塌灾害基本在三峡工程可行性论证及设计阶段的预料和掌控中。以《三峡地质求治》一文所代表的非主流观点认为,“到目前为止,三峡地质灾害治理还没有全面完成,一些关键的治理工程仍在进行之中;部分已完成阶段性治理的工程,实际效果也并不能令人满意”^[12-13]。文章的结尾“毕竟,地质灾害的阴影,距离这个脆弱的地区并不遥远。”表明,记者对三峡库区地质灾害的危害深感忧虑^[11]。

40 a来,笔者多次考察三峡库区,最近又涉足三峡水库库区水土流失的研究,对消落带和库岸坡地的地貌演化和地质灾害有所关注。笔者在“关于三峡水库消落带地貌变化之思考”一文中,分析了水库蓄水后高程175 m以下消落带坡地地貌的变化趋势,对消落带生态环境的研究、治理工作提出一些建议^[14]。同消落带坡地一样,水库蓄水后175 m以上的库岸坡地的地貌也要发生深刻的变化。不同的是:(1)库岸坡地主要是斜坡形态的调整,岩土结构也会发生一些变化,但松散岩土不会被“侵蚀殆尽”;(2)库岸坡地既有人又有物,坡地的斜坡变形可能危及人民生命财产的安全,成为地质灾害。本文主要从地貌演化的角度,分析三峡水库库岸地质灾害活动的变化趋势;从受灾体的角度探讨危害的特点;最后提出灾害防治的方针和对策建议;以期能对库岸地质灾害的防治有所裨益。

1 三峡库区地貌演化与蓄水前的坡地稳定性

长江三峡地处我国地势第二阶梯的东缘。奉节以东,库区地处大巴山弧形构造带和八面山弧形构造带的交汇带,地质构造和山脉多呈近南北向,出露岩层以三叠系及古生代的碳酸盐岩为主,夹侏罗系红色砂页岩;坝址黄陵背斜一带出露震旦系碳酸盐、碎屑岩和前震旦系变质岩、花岗岩。以西地处隔档式川东褶皱带,地质构造和山脉多呈北东—南西向,出露岩层主要为侏罗系红色砂页岩。长江自西向东斜切或横切构造线,碳酸盐岩层地段往往形成壮丽的峡谷地貌,非碳酸盐岩层地段多为低山宽谷地貌^[15]。三峡库区长江干流和主要支流岸坡组成以碎屑岩为主,碎屑岩岸坡长2 368.6 km,占总长的79.06%;碳酸盐岩岸坡长454.5 km,占15.18%;结晶岩岸坡长32 km,占1.07%;松散

堆积物岸坡长140.5 km,占4.69%^[16]。

长江三峡未贯通前,四川盆地和江汉平原分属两个水系,三峡地区处在区域分水岭地带。川江西流,入巴蜀湖;峡江东流,入云梦泽,二者均向分水岭巫山—齐岳山脉溯源侵蚀。第三纪末至第四纪初期,青藏高原、云贵高原强烈上升,四川盆地和鄂西山地随之抬升,东西两水系侵蚀之势大增,加之岩溶塌陷,中更新世相互贯通。贯通后长江强烈下切,造就了壮观的峡谷地貌;下切过程中,形成了5级基座阶地。根据5级阶地的沉积物断代,两江贯通的时间距今约70万年^[15-21]。

伴随贯通后的河流下切,两岸坡地地貌也随之调整。流水侵蚀+重力侵蚀是坡地地貌调整的主要方式。流水侵蚀主要表现为河流的快速下切,重力侵蚀的类型多样,除滑坡、崩塌、泥石流外,还有撒落、蠕动(creeping)和岩溶塌陷等。贯通初期,伴随河流的快速下切,两岸坡地斜坡变形强烈,滑坡、崩塌、泥石流等重力侵蚀大规模发生,坡地地貌迅速调整。贯通后期,河床和两岸坡地逐渐稳定,山地的抬升和河流的侵蚀慢慢进入“准稳定态”,山地的地质侵蚀速率和抬升速率大致相当。山地主要通过零星的斜坡变形和沟谷的缓慢下切,来平衡构造的抬升,山地形态总体不变。需指出的是,历经70万年的坡地调整,三峡地区的坡地上残留了大量的蠕滑、撒落、滑坡、崩塌等斜坡变形堆积物。这些堆积物的岩土强度较低,坡地稳定性多较差。

历史时期的毁林开荒、修路开渠、开矿建厂和居民点的建设等人类活动,打破了三峡地区山地地貌自然的“准稳定态”,边坡地貌随之调整,流水侵蚀和重力侵蚀加剧,滑坡、崩塌、泥石流等地质灾害频发。由于坡地变缓等原因,一些失稳坡地边坡调整后复又稳定。如人类活动的干扰水平保持不变,三峡地区的山地经过一段时间的活动期调整后,将又进入新的“准稳定态”。历史时期以来,三峡地区的人类活动干扰呈增加的趋势,因此蓄水前三峡地区的山地可能还没有进入人类干扰下的新的“准稳定态”,滑坡、崩塌、泥石流的活动水平明显高于史前时期。

2 蓄水后库岸地质灾害的活动变化趋势

水库蓄水后,受库水位周期性涨落引起的地下水水位变动,岩土强度降低和下方消落带坡地松散岩土流失的共同影响,库岸面山地带(175 m回水线至第一道山脊线之间的区域)部分坡地稳定性降低,滑坡、崩塌、泥石流等地质灾害活动有所增加。失稳坡地经过一段时间边坡调整后,将进入新的“准稳定态”。蓄

水后面山地带的地质灾害活动变化大致可分为:(1) 加剧期;(2) 强烈期;(3) 减弱期;(4) “准稳定态”期(图 1)。

各期的历时长短难以准确确定。库岸滑坡崩塌多为古滑坡崩塌体的复活,大部分库岸坡地的古滑坡崩塌体延伸到下方的消落带,消落带坡地的侵蚀势必对方库岸坡地的稳定性有重要的影响。

因此,我们根据消落带坡地的地貌演化,粗略分析了库岸坡地地质灾害的活动变化趋势。加剧期,相当于消落带的强烈侵蚀期,历时 10 a 或稍长。强烈期+减弱期,相当于消落带的基本稳定期,约数十年,强烈期的历时长短难以确定。数十年后,水库蓄水引起的边坡调整基本结束,库岸坡地进入新“准稳定态”。“准稳定态”期的地质灾害活动水平可能大致相当,或略高于蓄水前。

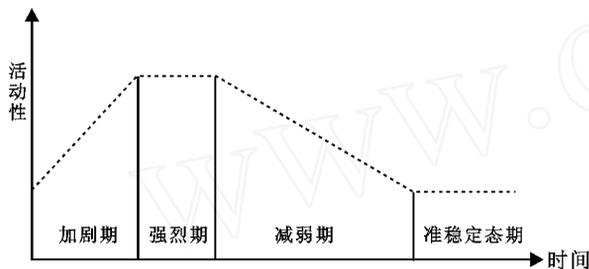


图 1 三峡水库蓄水后面山地带的地质灾害活动性变化趋势

3 三峡水库库岸地质灾害特点

三峡库区地质灾害面大量广,类型多样。不同灾害体的组成结构、变形方式、规模大小、诱发原因和可预测性往往差异很大。前人这方面的研究已很深入,请参考相关文献[22-29],不再赘述。

受灾的对象也类型多样,不同受灾对象的危险性、重要性、受害方式和损失大小,修复的可能性和治理投入的差异往往也很大。现根据受灾对象的类型,简述其受灾特点。

(1) 点状物,主要是居民点、工矿企业和各种景点等。就居民点而言,规模大者为数十万人的城区,小者为单独的农户。三峡库区大部分村镇规模以上居民点的工程地质稳定性较好,座落于古滑坡体上的个别村镇和局部城区稳定性较差。水库修建前,库区县城和村镇的滑坡、崩塌等地质灾害并不鲜见,蓄水后有增加的趋势。库区面山一带多零落散布的散居农户。建国前,大部分农居为竹木结构,较能适应蠕滑变形的滑坡,农民对房屋地基的稳定性重视不够。近 20 a 余来,农民生活水平提高,新建农居多为 2~3 层小楼,易于遭受滑坡危害。据笔者实地考察,水库

移民就地后靠修建的农居,已经注意到地基稳定问题,大部分新建农居基础多落于基岩之上,稳定性较好。三峡水库库容大,虽不易发生特大滑坡、崩塌涌浪灾难,但特大型滑坡、崩塌涌浪灾害还是有可能对邻近地区的人民生命财产安全带来程度不等的危害。

(2) 线状物。主要为航道和公路。三峡水库修建前,滑坡崩塌等地质灾害一直威胁长江三峡航道的安全,秭归新滩滑坡 1026 年和 1542 年和 1985 年曾 3 次中断长江航道^[11]。三峡水库建成后,水面平均宽度从 0.6 km 增加到 1.6 km,提高了长江航道承受滑坡崩塌地质灾害的能力。水库蓄水降低了库岸山体的稳定性,增加了滑坡、崩塌等地质灾害的发生频次。2009 年 3 月云阳凉水井发生滑坡,体积约 $3.6 \times 10^7 \text{ m}^3$,滑体部分滑入水库,威胁长江航道安全,航道中断数日。为了解除对航运安全的威胁,国家投入巨资开展了链子崖危岩体和黄腊石滑坡等地质灾害的治理^[30-31]。毋庸讳言,水库建成后的一段时期内,两岸山体的稳定性有所降低,滑坡崩塌等地质灾害发生的频次有所增加。库岸滑坡崩塌多为古滑坡、崩塌的复活,发生范围大多局限于原古滑坡、崩塌体,单个滑坡、崩塌灾害的规模一般不会超过历史时期的,发生阻断航道的可能性极微。今后滑坡、崩塌对航道的主要危害可能是快速入水后产生的涌浪造成的灾害。我们认为,虽然库岸滑坡、崩塌等地质灾害的发生频次会有所增加,但单个灾害的危害性降低,因此对航道的总体威胁未必提高。

库区近年修建的高等级公路,由于标准高,投入大,规划、设计时加强了地质勘探工作,注意了地质灾害的防治,库岸滑坡、崩塌等地质灾害对其影响不大。库区面山一带的低等级公路的不少路段修建于蠕滑、撒落、滑坡、崩塌等斜坡变形堆积物组成的坡地上,稳定性多较差。水库蓄水后,低等级公路将普遍遭受滑坡、崩塌和泥石流等地质灾害。这些灾害既有突发性的,也有长期缓慢变形的,规模大小不一。库岸边坡调整期后,灾害将逐步减轻。低等级公路标准低,易于修复,维持通行。

(3) 面状物。主要为农田。三峡库区面山上的许多农田位于坡度较缓的蠕滑、撒落、滑坡、崩塌等斜坡变形堆积物组成的坡地上。水库蓄水后,这些农田可能普遍会发生大部分浅层滑塌,经过时间长短不一的库岸边坡调整后,逐渐稳定。

大部分农田浅层滑塌活动缓慢,对农作物影响不大,但农田附属的一些刚性建筑物,如梯田石坎,灌溉设施等,易于遭受破坏。

4 防治方针及对策建议

根据三峡水库面山地带地质灾害的发展趋势,以及灾害特点,受灾对象的重要性,考虑到对地质灾害认知的不确定性,结合当地的区域社会发展水平,我们建议的防治方针是:“因‘物’制宜,避让为主,治理为辅。”

(1) 点状物。新建的居民点和工矿企业,一定要做好工程地质勘探选址工作,避免将建筑物修建于古滑坡等不良地质体上。加强地质灾害的调查、统计和监测工作,对重要的灾害点要开展包括涌浪灾害在内的预警,并作好害应急预案。加强直接危害县城、重点乡镇和重要工矿企业的滑坡、泥石流等地质灾害的治理;对可能造成涌浪危害的滑坡、崩塌灾害一般不宜进行工程治理;对受到滑坡、泥石流等地质灾害威胁的非重点乡镇和散居农户,应尽量采取避让措施,俗话说“船小好调头”,不难在附近找一块安全地搬迁重建。

(2) 线状物。由于滑坡、崩塌完全阻断干流航道,长时间中断航运的可能性极小,不赞成对一些专家认为可能造成涌浪灾害的滑坡、崩塌进行工程治理。但要加强库区两岸特大滑坡、崩塌的调查、统计和监测工作,开展航道的涌浪灾害预警,作好灾害应急预案。公路,要作好滑坡、崩塌、泥石流等灾害的调查、统计和监测工作。加强高等级公路的滑坡、崩塌等地质灾害的治理;对低等级公路的地质灾害治理,要根据线路的重要性,灾害类型、规模和危害,治理的难度和可能性,综合考虑。对一些低等级公路,尽量采取临时性措施,维持通车,等坡体逐渐稳定后,再进行永久性治理。

(3) 面状物。影响农田的滑坡、崩塌等地质灾害,一般不进行工程治理。面山一带的不稳定坡地上的农田,不宜修建石坎梯田和刚性蓄灌设施。

5 结论

(1) 长江三峡地处我国地势第二阶梯的东缘,褶皱、断裂地质构造发育。中更新世三峡贯通,70 万年以来,伴随河流的快速下切,两岸坡地斜坡变形强烈,贯通后期,河床和两岸坡地逐渐稳定,山地的抬升和河流的侵蚀慢慢进入“准稳定态”。三峡地区广泛发布有贯通过程中形成的古滑坡、崩塌体。历史时期的人类活动,打破了三峡地区山地的“准稳定态”,滑坡、崩塌、泥石流的活动水平明显高于史前时期。

(2) 受库水位周期性涨落引起的地下水水位变动,岩土强度降低和下方消落带坡地松散岩土流失的

共同影响,水库蓄水后,面山地带坡地稳定性降低。蓄水后的地质灾害活动变化大致可分为:加副期;强烈期;减弱期;和“准稳定态”期。

(3) 按空间分布特点,三峡水库库岸地质灾害的受灾对象可分为点状、线状和面状 3 种类型,大型滑坡、崩塌产生的次生涌浪灾害也是重要的成灾方式。三峡库区的地质灾害面大量广,类型多样。地质灾害的危害性不仅和灾害体的规模、位置以及活动方式有关,还和受灾对象的重要性、受害方式和修复的难易有关。

(4) 最后,根据三峡水库面山地带地质灾害的发展趋势及灾害特点及受灾对象的重要性,考虑到对地质灾害认知的不确定性,结合当地的区域社会发展水平,笔者认为应采取“因‘物’制宜,避让为主,治理为辅”的防治方针和相应的对策建议。

[参 考 文 献]

- [1] 史大桢,潘家铮,魏廷琿.埃及阿斯旺大坝工程考察报告[J].人民长江,1987,18(6):1-10.
- [2] 黄真理.阿斯旺高坝的生态环境问题[J].长江流域资源与环境,2001,10(1):82-88.
- [3] White G F. The environmental effects of the high dam at Aswan [J]. Environment, 1988,30(7):4-11,34-40.
- [4] 胡少华.伊泰普电站的环境保护[J].中国三峡建设,2004(4):45-47.
- [5] Thomazl S, Pagiorol T, Bini L, et al. Effect of reservoir drawdown on biomass of three species of aquatic macrophytes in a large sub-tropical reservoir (Itaipu, Brazil) [J]. Hydrobiologia, 2006, 570:53-59.
- [6] 张晋秋.美国现代土木工程奇迹——胡佛大坝[J].水电勘测设计,2003(2):4-6.
- [7] 龙毓骞,张启舜.三门峡水库的改建和运用[C]//黄河的研究与实践.北京:水利电力出版社,1986:158-159.
- [8] 李永乐.三门峡水库库岸坍塌成因分析与防治措施研究[J].水土保持学报,2003,17(6):129-132.
- [9] 王兰生.意大利瓦依昂水库滑坡考察[J].中国地质灾害与防治学报,2007,18(3):145-148.
- [10] Robert L Schuster, Raymond J Krizek. Landslides and analysis and control[M]. Special Report 176, Transportation Research Board, National Academy of Sciences, 1978:234.
- [11] 常红晓,欧阳洪亮.三峡地质求治[J].财经,2008,203:87-98.
- [12] 赵凡,刘振国.让三峡库区长治久安:全国政协委员李烈荣谈建立三峡库区地灾防治长效机制[EB/OL]. 2009-04-09, www. jsgtj. gov. cn/ news/ bunei/ 2009-04-09/ 2624. html.
- [13] 殷跃平.三峡地质灾害与防治[J].科学中国人,2002

- (2):37-39.
- [14] 张信宝. 关于三峡水库消落带地貌变化之思考[J]. 水土保持通报, 2009, 29(3):1-4.
- [15] 秦胜伍. 三峡地区地质环境演化分析[D]. 长春: 吉林大学, 2006:78.
- [16] 长江水利委员会. 三峡工程地质研究[M]. 武汉: 湖北科学技术出版社, 1997:294.
- [17] Li Jijun, Xie Shiyu, Kuang Mingsheng. Geomorphic evolution of the Yangtze Gorges and the time of their formation[J]. Geomorphology, 2001, 41(2/3):125-135.
- [18] 刘兴诗. 四川盆地的第四纪[M]. 成都: 四川科学技术出版社, 1983:156.
- [19] 向芳, 朱利东, 王成善, 等. 长江三峡阶地的年代对比法及其意义[J]. 成都理工大学学报: 自然科学版, 2005, 32(2):162-166.
- [20] 杨达源. 长江三峡的起源与演变[J]. 南京大学学报: 自然科学版, 1988, 24(3):466-473.
- [21] 张信宝, 文安邦, 张云奇, 等. 川中丘陵区小流域自然侵蚀速率的初步研究[J]. 水土保持学报, 2006, 20(1):1-5.
- [22] 杜榕桓, 刘新民, 袁建模, 等. 长江三峡工程库区滑坡与泥石流研究[M]. 成都: 四川科学技术出版社, 1990:207.
- [23] 徐永辉, 杨达源, 陈可锋, 等. 三峡水库蓄水后对库区岸坡地貌过程的影响[J]. 水土保持通报, 2006, 26(5):23-25.
- [24] 张奇华, 丁秀丽, 张杰, 等. 三峡库区奉节河段库岸蓄水再造研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2002, 21(7):1007-1012.
- [25] 汪华斌, 吴树仁. 长江三峡库区滑坡灾害危险性评价[J]. 长江流域资源与环境, 1998, 7(2):186-192.
- [26] 陈剑, 李晓, 杨志法. 三峡库区滑坡的时空分布特征与成因探讨[J]. 工程地质学报, 2005, 13(3):5-9.
- [27] 乔建平, 吴彩燕, 田宏岭. 三峡库区云阳—巫山段坡形因素对滑坡发育的贡献率研究[J]. 工程地质学报, 2006, 14(1):18-22.
- [28] 刘新民, 李娜, 乔建平. 威胁三峡库区安全的大型特大型滑坡崩塌[J]. 水土保持通报, 1987, 7(6):45-55.
- [29] 陈国阶. 三峡工程对生态与环境的影响及对策研究[M]. 北京: 科学出版社, 1995:337.
- [30] 郭希哲, 黄学斌, 徐开祥. 长江三峡链子崖危岩体和黄腊石滑坡防治工程[J]. 中国地质灾害与防治学报, 1999, 10(4):15-21.
- [31] 孙广忠. 链子崖危岩体和黄腊石滑坡地质灾害防治方案论证中的几个问题[J]. 中国地质灾害与防治学报, 1994, 5(3):10-18.

(上接第 58 页)

(7) 暗棕壤腐殖酸含量与 1~0.5 mm 粒径含量主要受年均温影响较大, 而腐殖化程度与光学性质受年降雨量影响强烈。

[参 考 文 献]

- [1] 窦森, 李凯. 土壤有机质化学研究进展[J]. 土壤科学与农业可持续发展, 2008(上):108-120.
- [2] 杨继松, 于君宝, 刘景双, 等. 三江平原典型湿地土壤腐殖质的剖面分布及其组成特征[J]. 土壤通报, 2006, 37(5):865-868.
- [3] 何蓉, 张培芬, 杨卫. 高黎贡山自然保护区土壤腐殖质组成与微量元素含量的研究[J]. 西部林业科学, 2006, 35(2):48-52.
- [4] 张保华. 长江上游典型区森林土壤结构体形成和稳定性机制分析[J]. 聊城大学学报, 2007, 20(1):12-17.
- [5] 朱冰冰, 李鹏, 李占斌, 等. 子午岭林区土地退化/恢复过程中土壤水稳性团聚体的动态变化[J]. 西北农林科技大学学报, 2008, 36(3):124-128.
- [6] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3 版. 北京: 中国农业出版社, 2004:30-34.
- [7] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2000:10-11.
- [8] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析[M]. 上海科学技术出版社, 1978:100-110.
- [9] 窦森, 李凯. 不同土地利用方式下棕壤胡敏素数量及结构特征研究[J]. 土壤科学与生态安全和环境健康, 2008:165-180.
- [10] 刘湛, 成应向, 向仁军. 腐殖质类物质的形态、结构及功能研究进展[J]. 科技资讯, 2006(22):27.
- [11] 徐小忠, 薛锦华, 印军荣. 不同类型土壤腐殖质组分的研究[J]. 江苏环境科技, 2006, 19(2):7-9.
- [12] 吴景贵, 王明辉, 姜亦梅, 等. 施用玉米植株残体对土壤富里酸组成、结构及其变化的影响[J]. 土壤学报, 2006, 43(1):133-141.
- [13] 王凤, 李海波, 韩晓增, 等. 黑土水稳性团聚体测定方法研究[J]. 农业系统科学与综合研究, 2007, 23(2):138-145.
- [14] 杨长明, 欧阳竹. 华北平原农业土地利用方式对土壤水稳性团聚体分布特征及其有机碳含量的影响[J]. 土壤学报, 2008, 40(1):100-105.