

三峡库区消落带生态系统 演变与调控

谢德体 范小华 等编著

71



科学出版社

www.sciencep.com

三峡库区消落带生态系统 演变与调控

谢德体 范小华 等编著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书在对三峡库区消落带的类型、分布、面积等基本情况详细调查的基础上,系统研究了三峡库区水环境状况及其对消落带土壤环境的影响,消落带土壤对水环境的影响和消落带水、陆生态系统复合特征及功能潜势等问题,探讨了消落带生态系统的演变规律,提出了消落带生态系统调控的主要方法。

本书可供资源、环境、农业、土壤、生态、水土保持等专业领域的高等院校师生、科研院所研究人员、政府部门管理人员和技术人员阅读和使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

三峡库区消落带生态系统演变与调控 / 谢德体等编
著.—北京:科学出版社, 2010.6
ISBN 978-7-03-027668-1

I. ①三… II. ①谢… III. ①三峡工程-生态系统-研究 IV. ①X321.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 092439 号

特邀编辑: 陈绍兰

责任编辑: 张珏、张涛

封面设计: 陈思思

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

四川煤田地质制图印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2010 年 6 月第 一 版

开本: B5 720×1000

2010 年 6 月第一次印刷

印张: 12 1/4

印数: 1—1 000

字数: 240 千字

定价: 37.00 元

本书得到“十一五”国家科技支撑计划重大课题“沿三峡库区坡耕地农业面源污染综合治理技术与示范”(2007BAD87B10);“重庆地区喀斯特山地退化生态系统恢复与重建技术开发”(2006BAC01A16);重庆市重大科技攻关项目“三峡库区农业面源污染控制战略决策及关键技术与示范”(027418);国务院三峡工程建设委员会、重庆市发展和改革委员会、重庆市科学技术委员会研究项目“三峡水库消落区生态环境问题及对策研究”第二专题“消落区对三峡库区水土环境的影响及对策”(20031136);西南大学“211”生态学重点学科建设项目经费及西南大学博士基金(20710901)资助。

前 言

河流、水生生态系统是地球的生物引擎,也是人类生存和生活的基础。水坝会改变地形和地貌,并有可能对环境造成无法逆转的影响。世界许多大型水坝都无一例外地对其流域环境造成不同程度的影响。长江三峡水利枢纽工程(简称三峡工程)也不例外,它的兴建对库区生态环境的结构和功能必将带来深远影响。三峡工程是举世瞩目的特大型水利工程,竣工后将形成一座库长约 660km,水域面积为 1084km²,平均水面宽 1500m,最宽水面 2600m,平均水深 70m,最大水深 170m;总库容 393 亿 m³,年平均径流量 4510 亿 m³,库岸线长达 2200km 的峡谷型水库。三峡水库属特大型年调节水库,根据“蓄清排浊”的运行方案,三峡水库运行后,将在库区两岸形成一个最高水位 175m、最低水位 145m、水位垂直落差达 30m、面积为 440km² 且周期性变化的水陆交错地带——消落带。消落带的出现,可能会产生包括环境污染加重、近岸水体水质富营养化、土壤侵蚀和水土流失加大、植物多样性及生态系统被破坏、诱发地质灾害、爆发流行性病情等在内的一系列生态环境问题,对三峡库区乃至整个长江流域的经济和社会发展带来重大影响。

消落带分为狭义的消落带和广义的消落带,前者指水位周期性变化的水陆交错地带,后者还包括河岸部分。本书研究的消落带是指广义的消落带,它具有生态脆弱性、生物多样性、变化周期性和人类活动的频繁性的特点。消落带对水陆生态系统具有重要影响,特别是对河流的水体质量影响较为突出。人类活动对河流的影响,如农业面源污染、土地利用变化等主要是通过消落带这一生态界面发挥作用的。消落带是河流生态修复的瓶颈和节点,很多河流修复的失败,都与没有采取必要的消落带恢复和保护措施有关。国际上对河流的生态修复的重心已经从河流水体转移到河岸上来。不少事实说明,不重视消落带生态系统服务功能的保护,它终将会成为限制河流和流域经济发展

的关键因素。因为,河流生态系统与流域的人工生态系统,如工业、农业、畜牧业和其他生产系统,进行物质和能量交换,一旦河流自身生态系统发生危机,以河流为依托的其他生态系统也就失去了存在的基础,流域区的社会进步、经济发展、人口繁衍生息的生命力也将逐步衰竭。

综上,三峡库区消落带的生态问题,不仅是一个环境问题,而且也是一个社会问题,它不仅关系到库区的生态环境,而且也关系到库区经济、社会可持续发展,甚至影响到整个长江流域。因而三峡库区消落带生态系统是由自然、社会、经济组成的复合生态系统,研究该系统的演变与调控具有重要的意义。目前,国内外关于消落带的研究主要集中在湿地、河岸缓冲带、生态河堤、流域生态学等方面。具体来讲,湿地研究主要集中在沼泽、湖泊、河口、滨海等自然湿地生态系统上,对人工湿地生态系统,如三峡水库所形成的湿地生态系统研究很少;河岸缓冲带研究主要集中在对河岸生态环境特性和恢复治理上;生态河堤技术则是采用营造植被的生物措施来稳定河流湖泊库岸和控制水土流失的一种技术;流域生态学主要集中在大尺度范围内研究河流生态系统,而对人工-自然作用形成的水陆生态系统之间的交错地带研究较少,在人工-自然因素的强烈干扰下,消落带生态环境变化,将面临许多新问题。

西南大学资源环境学院研究团队,近年来在“十一五”国家科技支撑计划重大课题“沿三峡库区坡耕地农业面源污染综合治理技术与示范”(2007BAD87B10)、“重庆地区喀斯特山地退化生态系统恢复与重建技术开发”(2006BAC01A16)、国务院三峡工程建设委员会、重庆市发改委和科委研究项目“消落区对三峡库区水土环境的影响及对策”,西南大学“211”生态学重点学科建设项目经费和西南大学博士基金(20710901)的资助下,对三峡库区消落带生态系统演变与调控进行了系统综合研究,本书即为多年研究成果的结晶。

本书在对三峡库区消落带的类型、分布、面积等基本情况详细调查的基础上,通过对库区水环境状况及其对消落带土壤环境的影响,消落带土壤对水环境的影响和消落带水、陆生态系统复合特征及功能潜势等问题的系统研究,探讨了消落带生态系统演变规律,提出了消落带生态系统调控的主要方法。

本书由谢德体教授主持编著,编写组成员有范小华、丁恩俊、倪九派、魏朝富等,全书由谢德体、范小华、丁恩俊统稿。

本书的编著得到了西南大学资源环境学院的大力支持。科学出版社对本

书的出版付出了大量的辛苦劳动,编著组对此表示深深感谢。

本书参考了同行专家的论文和研究成果,在此表示感谢。由于编著者水平有限,难免有疏漏、错误之处,敬请同行和读者批评指正。

谢德体

2010年2月于西南大学

目 录

前 言

第1章 绪 论	(1)
1.1 背景	(1)
1.2 综述	(3)
1.2.1 国内外消落带研究现状	(4)
1.2.2 生态系统调控的主要理论综述	(12)
1.3 研究目标和内容	(19)
1.4 研究方法	(20)
1.5 小结	(20)
参考文献	(22)
第2章 三峡库区及消落带环境概况	(25)
2.1 自然地理	(25)
2.1.1 地质地貌	(26)
2.1.2 气候	(28)
2.1.3 生物资源	(29)
2.1.4 水文	(31)
2.1.5 土壤类型及其分布	(37)
2.1.6 耕地面积	(39)
2.1.7 土壤环境质量	(39)
2.2 社会经济状况	(40)
2.3 三峡库区重庆土地淹没情况	(40)
2.4 三峡库区消落带面积及其分布	(42)
2.4.1 消落带在不同洪水水位间的面积分布	(42)
2.4.2 消落带在各县(区)的分布	(42)

2.4.3	消落带在不同高程的分布	(51)
2.4.4	消落带在库区各流域分布	(52)
2.5	三峡库区及消落带主要的生态环境问题	(53)
2.5.1	气候异常、酸雨严重	(53)
2.5.2	水体严重污染	(55)
2.5.3	生物多样性遭到破坏	(55)
2.5.4	地质灾害严重	(56)
2.5.5	经济落后、生活贫困	(60)
2.6	三峡工程对库区消落带生态系统的影响	(61)
2.6.1	三峡水库工程因素对生态系统的影响	(61)
2.6.2	三峡水利工程建设主观因素对生态系统的影响	(67)
2.7	小结	(68)
	参考文献	(68)
第3章	三峡库区水环境状况及对消落带土壤环境影响	(70)
3.1	从理化监测的角度对库区水环境质量评价	(70)
3.1.1	库区干流水环境质量现状与变化特征	(71)
3.1.2	三峡水库对长江干流重庆库段总体影响	(76)
3.2	一级支流水体环境质量现状及其变化特征	(77)
3.2.1	一级支流水环境质量及评价	(77)
3.2.2	三峡成库后对一级支流的影响	(81)
3.3	从生态监测的角度对库区水环境质量评价	(82)
3.3.1	生态监测的理论依据及意义	(83)
3.3.2	生态监测的主要方法	(85)
3.3.3	三峡库区水体环境质量评价	(89)
3.3.4	生态监测方法的评价	(90)
3.4	库水对消落带土壤质量的影响	(91)
3.4.1	周期性淹水对母岩风化成土的影响	(91)
3.4.2	库水周期性涨落对消落带土壤养分流失影响	(92)
3.5	库区水质对消落带土壤影响	(95)
3.6	小结	(96)
	参考文献	(96)

第 4 章 消落带土壤对水环境的影响	(98)
4.1 面源污染对库区水体的影响	(98)
4.1.1 三峡库区面源污染概况	(98)
4.1.2 面源污染产生的主要机理	(100)
4.1.3 库区农业面源污染的驱动力分析	(101)
4.1.4 三峡库区面源污染负荷估算	(103)
4.1.5 面源污染对库区对水生态系统的影响	(106)
4.2 土壤物质溶解迁移对库区水体影响	(106)
4.2.1 库水量和淹没陆地两者的相对比例对水环境影响	(106)
4.2.2 消落带农用地土壤淹没对水环境影响	(108)
4.2.3 消落带城镇土地的淹没对水资源污染	(109)
4.3 消落带土壤物质溶解迁移及对库区水体影响机制	(110)
4.4 土壤对库区污染的缓冲作用	(113)
4.5 小结	(114)
参考文献	(114)
第 5 章 消落带水、陆生态系统复合特征及功能潜势	(116)
5.1 消落带水、陆复合生态系统变化特征	(116)
5.1.1 消落带光热特点	(116)
5.1.2 水体生境变化特点	(117)
5.1.3 土壤生境变化特点	(123)
5.1.4 消落带动植物生态群落变化特点	(127)
5.1.5 消落带生态环境变化特点	(128)
5.2 消落带水、陆复合体生态功能潜势	(130)
5.2.1 消落带水、土复合体特点	(131)
5.2.2 消落带水、土复合体的主要功能	(133)
5.3 小结	(137)
参考文献	(138)
第 6 章 消落带生态系统调控研究	(139)
6.1 生态调控的原则	(139)
6.2 生态系统调控方法	(141)
6.2.1 分区调控法	(142)

6.2.2	实施水体生态工程	(149)
6.2.3	建设山地生态屏障	(149)
6.2.4	加强库区生态农业建设	(151)
6.2.5	进行生态村镇工程建设及库区矿山生态恢复与重建	(152)
6.2.6	实施生态产业工程	(153)
6.2.7	生物多样性保护工程	(155)
6.2.8	从政策、政治、文化因素入手,解决流域生态问题	(157)
6.2.9	模型模拟法	(162)
6.3	讨论	(169)
6.3.1	复合生态系统的调控应以生态规划作理论指导	(169)
6.3.2	消落带生物重建、缓冲带生境重建	(170)
6.3.3	强化消落带生态系统与周围毗邻生态系统的协调性	(170)
参考文献		(171)
第7章 消落带水土资源保护工程措施		(173)
7.1	消落带水土资源保护的工程项目建设	(173)
7.1.1	工程项目建设必要性	(173)
7.1.2	工程建设项目的主要内容	(173)
7.1.3	工程投资效益分析	(175)
7.2	消落带水土资源利用的配套措施	(175)
7.2.1	界定消落带土地权属问题	(175)
7.2.2	明确消落带土地利用范围、利用时间和条件	(176)
7.2.3	加强对消落带的监测和管理	(176)
7.2.4	制定可行的消落带资源开发运作方式	(176)
7.2.5	做好水情预测预报工作和年度水库调度运用计划	(176)
7.3	小结	(177)
参考文献		(177)
第8章 结论与展望		(178)
8.1	主要结论	(178)
8.1.1	消落带形成、分布及其构成和功能	(178)
8.1.2	从水陆交互作用角度系统分析了水、土相互影响	(179)
8.1.3	消落带水土复合生态系统功能	(179)

8.1.4 消落带生态系统调控模式	(180)
8.2 特色	(181)
8.3 不足及展望	(181)

第1章 绪 论

1.1 背 景

三峡工程全称为长江三峡水利枢纽工程，是当今世界上最大的水利枢纽工程。三峡工程位于长江三峡之一的西陵峡的中段，坝址在三峡之珠——湖北省副省域中心城市宜昌市的三斗坪。整个工程包括一座混凝土重力式大坝、泄水闸、一座堤后式水电站、一座永久性通航船闸和一架升船机。三峡工程建筑由大坝、水电站厂房和通航建筑物三大部分组成。大坝为混凝土重力坝，坝顶总长 3035m，坝高 185m，设计正常蓄水水位枯水期为 175m（丰水期为 145m），总库容 393 亿 m^3 ，其中防洪库容 221.5 亿 m^3 ，同时水电站左岸设 14 台，右岸 12 台，共装机 26 台，前排容量为 70 万千瓦的小轮发电机组，总装机容量为 1820 千瓦时，年发电量 847 亿千瓦时。通航建筑物位于左岸，永久通航建筑物为双线五包连续级船闸及早线一级垂直升船机。三峡工程分三期，总工期 17 年。一期工程工期 5 年（1993~1997 年），主要工程除准备工程外，主要进行一期围堰填筑，导流明渠开挖等。二期工程工期 6 年（1997~2003 年），工程主要任务是修筑二期围堰，左岸大坝的电站设施建设及机组安装，同时继续进行并完成永久特级船闸，升船机的施工等。导流明渠截流是二期工程转向三期工程建设的重要标志。三期工程工期 6 年（2003~2009 年），本期进行的右岸大坝和电站的施工，并继续完成全部机组安装。工程全部竣工后，形成了一座库长约 660km，水域面积为 1084 km^2 ，平均水面宽 1500m，最宽水面 2600m，平均水深 70m，最大水深 170m，总库容 393 亿 m^3 ，年平均径流量 4510 亿 m^3 ，库岸线长达 2200km 的峡谷型水库（伊慧民等，1998）。

三峡水库属特大型年调节水库，根据水库“蓄清排浊”的运行方案，即在汛期 6~9 月按防洪限制水位 145m 高程运行；10 月开始蓄水，一般 10 月

底蓄至正常水位 175m 高程, 11~12 月保持在正常蓄水位; 1~4 月水位降至 156m 高程, 利用蓄水, 保证发电、通航; 5 月底降至防洪限制水位 145m 高程 (牛志明等, 1998)。此种运行方案将使得三峡水库在库区形成一个最高水位 175m、最低水位 145m, 水位垂直落差达 30m, 面积为 440km² 的消落带。消落带则是因水库调度引起的库水位变化而在库周形成的一段特殊区域。消落带的出现, 可能会产生包括环境污染加重、近岸水体水质富营养化、土壤侵蚀和水土流失加大、植物多样性及生态系统被破坏、诱发地质灾害、爆发流行性疾病等在内的一系列生态环境问题, 对三峡水库重庆库区乃至整个长江流域的经济和社会发展带来重大影响 (Wu, 2003)。

消落带可以看作淡水湿地的一种, 属于人工湿地, 它伴随着水库的兴建而形成。因其特殊的地理位置和周期性变化的水位线, 因此这部分区域同时受到水、陆生态系统的交替控制和影响, 是三峡库区沿库岸分布的水陆交错带。三峡库区人口密集, 沿江分布有众多的城镇乡村, 因而消落带将不可避免地受到人类活动的频繁影响; 加之随水库运行调度产生的水位变化形成的垂直高达 30m 的落差对生态系统和环境的扰动, 使其生态系统具有一定的脆弱性。消落带内的植被是库区沿岸景观中的核心组成部分, 具有较高的生产力和生物量, 为许多动物提供栖息地, 同时也为动植物提供迁徙的廊道, 对水土流失、养分循环和面源污染物有着缓冲和过滤作用, 在保障水库安全等方面具有重要作用 (谢宗强等, 2006; 陈伟烈等, 1994; 2008)。另外, 消落带受到水、陆环境的交替影响, 其生态系统结构同时受到陆生生态系统和水生生态系统的双重作用。由于受到陆地污染物的进入、淹没地污染物的浸出以及水体自净能力下降的影响, 消落带水环境存在着岸边污染带和水陆交叉污染两方面的问题, 将严重影响库区水环境质量, 扰乱该地区原生生态系统, 影响三峡库区生态环境安全 (詹艳慧, 2005; 袁辉, 2006; 韩勇, 2007)。消落带面临的水环境问题、水土流失问题、库岸地质环境问题以及周边人群健康问题日益受到人们的重视, 消落带的生态环境问题亟待解决。

三峡库区消落带又被称为水库的“肝脏”, 具有很强的解毒净化作用, 也是水陆两种生态系统间交换的廊道, 具有缓冲带功能和植物护岸功能。同时三峡库区消落带是水库周边泥沙、有机物、化肥和农药进入水库的最后一道生态屏障, 若不加以治理和防护, 必将成为库区水体污染的一个重要源头。周期涨落的水位对库岸将形成冲击, 会严重影响库岸的稳定性, 导致库

岸失稳和地质灾害的发生。此外,消落带以及周边地区一直是我国重大传染病和地方疾病的高发地区,如流行性出血热、钩端螺旋体、乙脑以及伤寒、霍乱等,若消落带问题处理不好,这些老疫区很可能迅速扩大,造成大批人群发病甚至死亡,给国家和人民带来巨大的灾难和损失(黄真理,2004;2006;黄时达等,1994)。因此,库区消落带的治理与保护不仅关系到生态环境的衰变与重建,关系到库区库岸失稳与地质灾害,而且还关系到库区人民,特别重庆3200万人民的健康状况。

同时,三峡库区消落带随水位变化,每年均有大量土地处于非淹没状态。这部分土地是一种特殊的土地资源。在库区人均耕地相对较少,人地矛盾突出的现实条件下,对这部分土地或进行农业耕种,或建设防护林防护草地,或采取工程措施在一定程度上消除水位变化带来的影响,都会对三峡库区消落带的生态环境和三峡库区水环境产生不同的影响(杨林章等,2007)。

消落带是库区沿岸带中生态最脆弱的地区,并严重制约着库区周围环境的演替和发展,消落带生态系统是否稳定将直接影响到三峡水库的生态安全。而三峡水库具有西电东送、南水北调双重功能,其生态安全将直接影响到长江流域的生态安全,威胁着华中、华南、华东、华北等地区的可持续发展(黄秀山,2005)。消落带作为三峡水库生态环境的重要组成部分,其污染防治与生态保护已引起国内外的广泛关注。因此,为了库区乃至全国的生态安全与可持续发展,对库区消落带生态系统的研究具有重要的战略意义和现实意义。

对大型水库消落带生态系统的研究,不但是对陆地生态系统的破坏和恢复有理论上的贡献,对今后各种湿地利用的环境保护评价实践具有指导意义,同时对今后库区消落带的经济发展也具有指导意义。对三峡水库消落带生态系统的恢复和重建,湿地水体和湖岸带的管理、规划和保护是三峡水库蓄水后面临的首要的严峻问题。三峡水库淹没范围广、面积大、移民多。对今后消落带生态系统的恢复和重建提出对策很有必要。

1.2 综 述

三峡工程是一个巨大的人口—自然—社会的复合生态系统,涉及的层面

既多又广,影响因素多,时空跨度大,其中各种因素总是相互渗透,利弊交织。尤其是生态与环境问题具有隐蔽性、潜伏性、传递性、长期性、累积性和难以逆转性(黄时达等,1994)。很多影响至今还不能为人们认识。而且库区存在着森林覆盖率低、水土流失严重、生态系统抗逆能力弱、环境污染严重和经济落后等问题,因此,如何面对并把握机遇、准确感知和预见不利因素、尊重自然规律、正确处理发展库区经济与环境保护的关系,无论在现在还是在将来都是一件棘手的事情(Xie, 2003; 长江水利委员会, 1997)。土壤是生态系统的重要组成部分,土地受淹后,不仅减少了耕地面积,增加库区土地对人口的承受压力,而且受淹土壤中污染物的释放也将对库区水质产生影响,同时,库区水中承载污染物质也会对消落带土壤造成影响,形成水土复合交叉影响格局,对原来稳定的河岸生态系统发生很大的冲击。三峡库区范围内多为国家级贫困地区,山高坡陡,人多地少,农民的密集耕作已使这里的生态环境形势极为严峻(刘定祥, 2005)。森林覆盖率从20世纪50年代的26%下降到目前的17%,基本无成熟森林;自然生态系统向“森林—灌木—草坡—裸岩”的方向退化,伴随而来的是“暴雨—滑坡—泥石流—干旱”等恶性循环;水土流失面积高达60%以上,年产沙量平均1.5亿t,入江泥沙量约4000万t。三峡库区已成为长江流域水土流失最为严重,生态危机最突出的地区之一(中国三峡总公司, 2005; 陈国阶等, 1993; 1995)。“地球日”发起人盖洛德·纳尔逊曾精辟地说:来自自然的威胁(生态危机)是比战争更为危险的挑战,从德国和日本我们知道,一个国家可以从战争的创伤中恢复起来,但没有一个国家能从被毁坏的自然环境中迅速崛起(Wallace et al., 1996)。

因此,进一步弄清三峡库区河岸生态系统的演变格局与方向,采取有效可行的措施,保证消落带生态系统的稳定,无论是对三峡工程正常发挥其功能,还是保证库区经济、社会的可持续发展都具有特别重要的意义。

1.2.1 国内外消落带研究现状

对于自然或人为因素引起水库周期性波动形成的区域,国内习惯称谓存消落带、涨落带或消涨带等,没有一种统一的称呼。笔者通过查询外文相关文献,发现国外所称的Riparian zone(河岸带)与国内所称的消落带相近,因此,以消落带作为研究对象更能够准确地把握流域生态系统的演变过程,

从而提出更有效的生态调控措施。

消落带作为陆地和水生生态系统的交错地带，它具有生态的脆弱性、生物的多样性、变化周期性和人类活动的频繁性等特点。消落带在库区具有举足轻重的地位，它不仅是一个环境问题，而且也是一个社会问题，它关系到库区经济、社会可持续发展，也关系到库区的环境及三峡水库能否正常发挥其效益的问题，而且在世界范围内，水位落差达 30m 的消落带，亦属少有，因此，加强消落带的研究，具有重要现实意义和重大理论意义（范小华，2006）。

消落带是陆地和水生生态系统的连接地带，它对水陆生态系统具有重要影响，同时消落带具有一定的利用价值，其利用不当对生态环境也会造成不利影响。因此，有必要加强对消落带的研究，特别是对三峡库区来说，合理开发利用消落带，不仅可以缓解库区土地资源紧张的压力，而且可以保护好库区的水环境，最大限度地发挥三峡水库的效益。

国内外与消落带有关的研究主要集中在以下四个方面：

1.2.1.1 河岸缓冲带

(1) 国外对河岸缓冲带的研究

①缓冲带对氮、磷及农药的净化

缓冲带对氮的净化机理与在土壤中的一样，主要是通过氮矿化、硝化作用、反硝化、植物吸收、氮固定、氨挥发等方式来实现的；磷及农药的净化机理主要是通过土壤和沉淀物吸附、植物吸收、微生物吸收、泥炭吸附来实现（Abell, 1989; Burton, 1992; Clary, 1992）。

②缓冲带的坡度、宽度

缓冲带坡度和宽度是决定缓冲带过滤、阻隔和消减养分及泥沙效果的最重要的变量，坡度越大，地表水流速越大，流经缓冲区的时间越短，因而拦截地表径流中沉积物和养分的效率就越低；坡度越小，宽度越大，地表水流速越小，流经缓冲区的时间越长，拦截地表径流中沉积物和养分的效率就越高（Grice, 2004）。

③缓冲区植被类型

缓冲带植被类型不同，对养分的吸收去除效果不一样。森林缓冲带比草地缓冲带更能吸收氮素，去除效果好，其理由是因为氮素在陆相径流中通常