

文章编号:1001-4810(2003)04-0306-07

农业土地利用对岩溶地下水影响研究综述^①

贾亚男^{1,2}

(1. 西南师范大学资源与环境科学学院, 重庆 400715;

2. 国土资源部岩溶地质研究所岩溶动力学开放研究实验室, 广西 桂林 541004)

摘要:地球表层系统最突出的景观标志是土地利用/土地覆被。人类通过土地利用改变天然土地覆被而对脆弱敏感的岩溶水文系统产生了重大的影响。文章着重从农业土地利用出发综述了当前农业土地利用对岩溶水影响的研究。农业土地利用对岩溶地下水的影响主要围绕着水质和水量两个核心从以下几个方面展开:天然植被的清除,农业灌溉和排水,农业集约化所带来的化肥杀虫剂等的使用以及污染物质在岩溶含水层中的运移和影响。在此基础上作者从研究内容,理论方法和建立模型等方面都提出了自己的想法和建议。

关键词:农业土地利用;岩溶地下水;研究进展

中图分类号:F301.2,P641.3

文献标识码:A

0 引言

在任何自然条件下,从自然植被到农业土地利用的变化很容易造成水土流失;在岩溶地区更是如此,严重者甚至导致石漠化的产生。这一方面是由于岩溶地区土壤积累非常缓慢,土层浅薄,持水能力很弱;另一方面是岩溶地表高度渗漏,极易造成水土流失^[1~3]。很多学者都报道过岩溶地区发生严重水土流失的事例^[4]。例如:尤卡坦半岛岩溶区发展农业导致水土流失;斯洛文尼亚典型岩溶地区由于森林破坏导致水土流失;中国的亚热带岩溶地区森林破坏,农业发展导致水土流失。水土流失这种环境问题并不只局限在热带和地中海气候区,寒冷潮湿的地方也可能发生。如爱尔兰的Burren高原^[5]。

鉴于此,土地利用/土地覆被变化及其对环境的影响(LUCC)已成为目前全球变化研究的前沿和热点^[6,7]。我国也积极开展了LUCC的研究,目前研究的主要是:①人文和自然驱动力极为活跃的热点地区。主要有:北京、深圳和长江三角洲地区。②生态脆弱区。主要有东北农牧交错带、绿洲地区、干旱和半干旱地区^[8]。我国岩溶地区也是的一个生态系统极端脆弱的地区,但目前在这方面的研究却没有得到应有的重视。

我国岩溶地区面积辽阔,资源丰富,自古以来就是古代文明和近现代经济发展的重要地区,具有悠久的土地开发历史。但岩溶生态系统是像沙漠边缘一样脆弱的环境^[9,10],随着人类活动的日益加强,天然岩溶生态环境遭到极大破坏,其中关于岩溶地下水变化的问题十分突出。岩溶地下水是岩溶生态系统中最重要最活跃的组成部分,而且也是岩溶地区经济和生态良性发展的最大制约因素,因此对其进行深入研究无疑是非常有意义的。

本文着重从农业土地利用对岩溶地下水的影响出发,综述其研究成果。对岩溶地下水具有显著影响的农业土地利用活动主要表现在以下三个方面:①清除天然植被,发展农业。②农业灌溉与排水。③杀虫剂、锄草剂、化肥等化学药剂的使用。这些农业活动都对岩溶水的水质和水量有直接和间接的影响^[5]。

1 农业土地利用对岩溶地下水水质的影响

1.1 对岩溶地下水水质的影响

森林清除,将使得表面径流增加,同时还造成严重的水土流失,从而大大增加地下水中悬浮物的负荷。据袁道先研究,在中国南部岩溶盆地中,由于森林

^① 基金项目:国土资源部科技项目资助(991004)

作者简介:贾亚男(1976—),女,山西人。博士生,主要从事岩溶水环境、水资源和土地利用研究。

收稿日期:2003-06-20

破坏,基岩裸露,地下河中粉砂物质的运移达到 208 ~1980t/km²·a。在美国 Iowa 岩溶集水盆地中,农业土地利用中 50%~60%的土地是玉米,牧草轮作,盆地中泉水的悬浮物含量在有洪水事件间可以增加 到 4000mg/l。在美国 New Zealand 的 Waitomo 温带 雨林岩溶谷地区,年降雨量大约 1800mm,由于清除 森林发展农业,造成年径流量达到 700mm(超过年降 水量的 35%)。这预示着侵蚀和搬运土壤的动能大大 增加,造成漏斗底部成为土壤和残迹物的雍积处,泉 水中沉积物大大增加,谷底中洪水所带来的沉积物达 到 2.1~4.3m,这达到了这个谷地第四系物质平均沉 积率的 40 到 80 倍^[11]。据 Harding & Ford 对加拿大 Vancouver 岩溶区的研究表明,灰岩地区森林在清除 后的 5 年内,土壤厚度会平均减少 25%,在 10 年后, 减少了 60%,同时石漠化和裸岩面积在 5 年内增加 了 10%~20%,10 年后则增加到 20%~30%^[12]。据 James 对美国宾夕法尼亚的 Wallenpwupack 岩溶集 水流域研究表明:农业区所输出的悬浮物浓度平均要 比森林区高 4 倍^[13]。此外,不少研究表明,岩溶地区 地下水中大量的悬浮物主要是通过落水洞的竖井和 经过表层岩溶带(epikarst)的渗透带入的,如果水流 是外源水,情况会更加严重^[14,15]。

农业耕作,翻动土层,精耕细作本身也容易造成 各种土壤元素的流失。据 James I. 对美国宾夕法尼亚 的 Wallenpwupack 岩溶集水流域研究表明:农业区 与森林区相比,除了森林区输出更多的有机氮外,在 其它各种营养元素(TN、NO₃⁻、NO₂⁻、NH₄⁺和 P)方 面,农业区要比森林区输出的多。农业区 NO₃⁻和 NO₂⁻的总输出占到年总氮输出的 44%~55%,而森 林区只占到 4.4%。NH₄⁺的年溶解量在农业区比森 林区大 3 倍。P 也有同样的结果,农业区要比森林区 每平方米多输出 25%的正磷酸盐^[13]。

灌溉和排水能够促进化肥、除草剂、杀虫剂等有毒 有害物质淋滤到岩溶地下水中,从而恶化岩溶水质。 例如 Gutirréz et. al. 对古巴西部两个岩溶含水层 (Southern Matanzas 和 Juragua)进行研究认为: 20 世纪 70 年代集约化农业开始,氮肥平均施用量 120~150 kg/ha·a,农业活动 10 年后,岩溶水中氮 的浓度与背景值相比增加了 4~6 倍,造成这种结果 的重要原因是灌溉排水系统把多种来源的氮淋滤进 入地下水中^[14]。在爱尔兰 Galway 东部的 Kilcongan-Lavally 集水盆地中,由于灌溉排水系统密度的增加, 导致岩溶地下水中的氮含量形成一个高浓度区(图

1)。农业活动不仅引起氮污染,往往也会引起硫酸盐 和氯化物的滤出增多,导致地下水矿化度增加几十倍 乃至上百倍^[15]。此外不同的灌溉排水方式,化肥和农 药等物质的流失也表现不同。一般按照以下顺序递 增:喷灌→漫灌→沟灌^[16]。

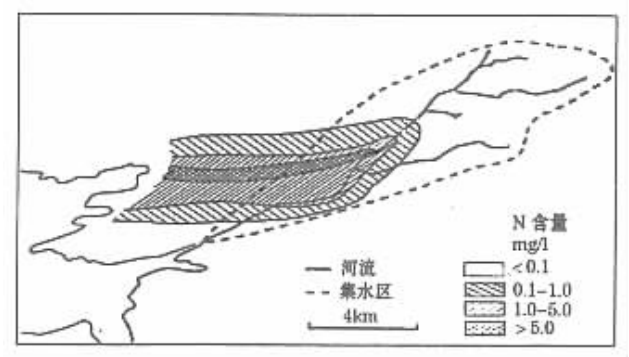


图 1 爱尔兰 Kilcongan-Lavally 集水盆地因排水系统 密度的增加导致氮高浓度形成分布图(Drew 1994)

Fig. 1 Impact of land drainage on the Kilcongan-Lavally catchment, Ireland (Drew 1994)

随着农业集约化时代的开始,像其它含水层系统 一样,岩溶含水层系统中的主要农业污染问题是化 肥、杀虫剂、除草剂以及有机废物的使用,导致地下 水中氮和其它一些化学污染物以及细菌数量的增高。许 多研究实例表明,由于岩溶环境的高度渗漏性,使得 这种问题更容易在岩溶地区出现;而且在岩溶环境 中,不论是易移动还是难移动的污染组分都可以比较 顺畅的进入地下水中。这种农业污染影响地下水的环 境问题在世界范围内非常普遍,即使是在非常偏远的 岩溶农业地区也不能够幸免^[17,18]。

不同农业土地利用方式对水质的影响有一定的 差异。例如, Ellaway 和 Finlayson 在澳大利亚 Victoria 的 Buchan 岩溶区(100km²)对泉水和洞穴水 流进行了为期 6 年的水质监测发现,在不同的农业土 地利用类型下(未清除地,清除地发展集约牧业和清 除并成为农村垃圾地),水质有不同的变化。在未清除 地,石灰岩出露地方生长茂密的桉树林,基本没有人 类活动的影响,地下水水质可以视为未受干扰的背景 条件。在清除地,天然森林被清除,种植牧草进行放 牧。由于引进牧草,施用了磷肥,使得植被生产力提 高,增加了土壤 CO₂ 浓度,造成地下水中 Ca²⁺ 含量和 Pco₂ 上升(表 1)。森林的清除,造成地表接受太阳辐射 增高,因此地表温度上升。由于土壤中 Cl⁻ 淋滤增加, 引起 Na : Cl 下降。农村生活生产垃圾堆放在下伏灰

岩的第三系松散沉积物上,通过示踪剂证明了垃圾中的有害物质可以淋滤进入岩溶含水层中,对岩溶地下水水质的影响非常显著^[19]。

表 1 澳大利亚 Buchan 岩溶区不同农业土地利用下岩溶地下水水质的变化 (Ellaway and Finlayson 1991)
Tab.1 Change of karst groundwater quality under different land-use of agricultural field in Buchan karst area, Australia (Ellaway and Finlayson 1991)

集水区土地 利用状况	Ca ²⁺ (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	Na : Cl (摩尔比率)	log _p CO ₂	温度 (℃)
未清除地	26	19	1.00	-2.40	13.5
清除地	98	39	0.75	-2.18	15.5
清除并成 为垃圾点	167	254	0.54	-1.51	16.5

1.2 岩溶含水层中不同农业污染物质运移的差异
不同污染物在岩溶含水层中的移动是有显著差异的。

悬浮沉积物一般通过溶蚀扩大的裂隙和竖井,非常容易进入岩溶含水层。悬浮沉积物不仅本身进入含水系统容易引起水源的污染,而且由于它能吸附微生物、病菌以及一些易溶盐类、重金属等微量元素,因此一旦进入水体就同时把这些污染物质带入,从而污染恶化水体^[20]。

硝酸盐离子是高度可溶的,能够在许多地质环境中移动。因此硝酸盐污染并不是岩溶地区独有的环境问题,只是由于岩溶地区石灰土壤覆被比较薄并且不连续,因此地下水更容易遭到其污染^[21]。影响到硝酸盐从土壤中释放进入含水层中的因素有:上覆松散沉积物、灰岩是否有双重的孔隙、次级孔隙,以及灰岩的渗透性等,这些因素能够使得硝酸盐进入含水层的时间从几个小时到几十年不等。此外农业过量施肥、不合适的施肥时间、不完善的废物管理、不合理的耕作等都增加了氮进入含水层的几率。

在岩溶地区磷酸盐一般不容易溶出,因为它很容易与碳酸盐形成沉淀物。唯一的危险是随着点源补给进入地下水系统中,当接受这种补给的泉水补给地表水,就会造成地表水的富营养化。

由于各种杀虫剂本身特性不同,因此不可能对它们在岩溶含水系统中的运移作一个一般性的描述。Simmleit 和 Herrmannm 曾经尝试通过定量化去描述杀虫剂在岩溶水径流系统中的运移。他们在德国 Fronconia 监测了一个有微量有机污染的地下水管道的(从降水汇入管道的入口到通过侏罗系灰岩和白云岩含水层都进行了监测)。污染物包括林丹(a-BHC)和它的异构体(r-BHC)。研究结果(图 2)表明:地下水中林丹浓度峰值的出现与悬浮沉积物固体含量的增高和溶解的腐殖质增多有正相关关系。因此他们认为:悬浮物和腐殖质对杀虫剂吸附运移是非常重要的。此外,他们进一步指出尽管在泉水中普遍地监测到杀虫剂,但是大量的杀虫剂仍然滞留在岩溶系统中(表 2),且大多数 BHC 滞留在渗透水的表层 2m 内。滞留含量在森林区比农业区高,以扩散流为主的时期比以快速流为主的(融雪时节)多。他们的研究还表明:薄层的黑色石灰土(rendzina)能吸附大量的污染物,成为主要的污染汇^[22]。

现代的大多数除草剂的运移是在溶解的状态下进行。Mitchem , Hallberg, Hoyer. et al. 在美国 Iowa 岩溶区研究表明:地下水中发现的莠去津,其 55%~85%是通过土壤淋滤进入地下水的^[23]。

微生物尤其是细菌和病毒容易吸附在黏土和铁氧化物上面,在土壤中不容易移动。但是如果岩溶化程度越高,管道流和面状流越大,即使吸附在这些粒子上,也还是很容易进入地下水中的。

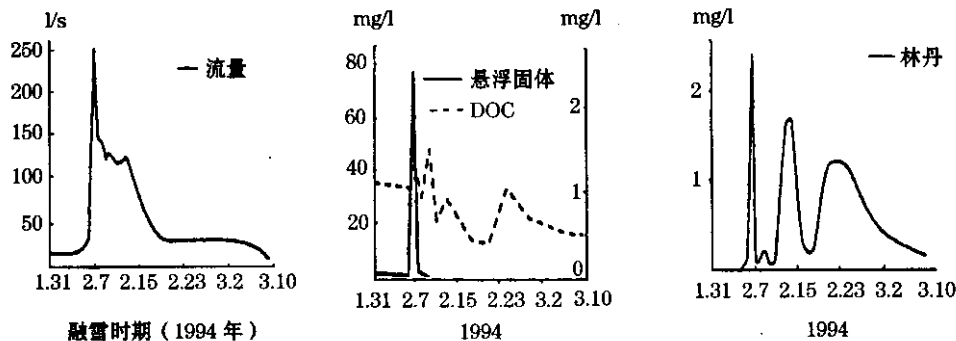


图 2 德国 Fronconia 的 Aufsess 泉融雪时节地下水组成物质(包括林丹)的时间变化 (Simmleit and Herrmanml,1987)

Fig. 2 Temporal variation of groundwater constituents including Lindane at Aufsess Spring and Fronconia Spring, Germany, during snowmelt (Simmleit and Herrmann1987)

万方数据

表 2 BHC 杀虫剂在侏罗系岩溶含水系统中的残留率
(Simmleit and Hermann,1987)
Tab. 2 Retention of BHC pesticide within the Jurassic
karst aquifers (Simmleit and Hermann,1987)

泉水	时间	土地利用	a-BHC	r-BHC
Aufsess	1984. 2 (融雪时节)	农业	95. 2	87. 5
Leipoldstal	同上	树林	98. 2	96. 8
Aufsess	1984. 2. 2 — 8. 6	农业	99. 2	99. 4
Leipoldstal	同上	树林	99. 7	99. 7

1. 3 影响岩溶含水层中农业污染物浓度的因素
农业污染物的一个重要特征是污染物浓度随时间和空间变化较大。

水文地质条件对污染物浓度变化有一定的控制作用。岩溶化程度高,管道流为主的情况下,地下水受污染的几率会更大。

洪水和融雪等大的水文径流补给事件对污染物质的浓度有较大的影响。因为这些大的补给事件会把污染物质从土壤表层或包气带中带入饱水带内,尤其是以点源补给为主的泉水和地下河更会表现出大的变率^[24]。Tucker 研究美国 Kentucky 岩溶集水区农业污染时,注意到在大的洪水补给事件中农业污染物的浓度比基流情况下高几千倍,尤其是大肠杆菌和链球菌的数量高达 4000 个/100ml。据 Thorn 和 Coxon 研究病菌与洪水经常并发,当洪水来临,泉水中的大肠杆菌能够在 2 个小时内从零上升到 300 个/100ml (图 3)。James I. 对美国宾夕法尼亚的 Wallenpwupack 岩溶集水流域研究表明:悬浮沉积物和 N、P 等营养元素的年峰值总是出现在融雪季节中大的洪流爆发的时节,而且这段时期这些物质的负荷可以占到年总负荷的 65%^[13]。

在有些情况下,地表水的输入可能稀释地下水中的污染物浓度。据 Wiersma 等对美国 Wisconsin 志留系白云岩区的岩溶泉群进行研究表明,泉水中氮的含量与降水有很密切的关系。在降水多、地表径流补给地下水流量大的时期,氮浓度降低,而在降水少,地表水零补给地下水时,氮浓度增加 5~6 倍,超过了饮用水标准。此外地表补给方式不同,污染浓度也有变化。Hallberg 和 Libra 等对美国 Iowa 的 Big Spring 的研究表明:当补给是以竖井流和管道流为主时,杀虫剂的峰值与悬浮沉积物的峰值一致,但氮则是在流量峰值衰退以后,以淋滤补给占主导时,氮才达到最大的浓度(图 4)。因此他们得出结论:如果地表水通过落水洞或管道补给地下水时,带入地下水的主要是一些

地表径流具有的典型物质,例如,沉积物和不易移动的化学物质;而通过淋滤补给地下水时,带入的主要是一些地下水具有的典型物质,主要是一些容易移动的离子,例如氮^[25]。

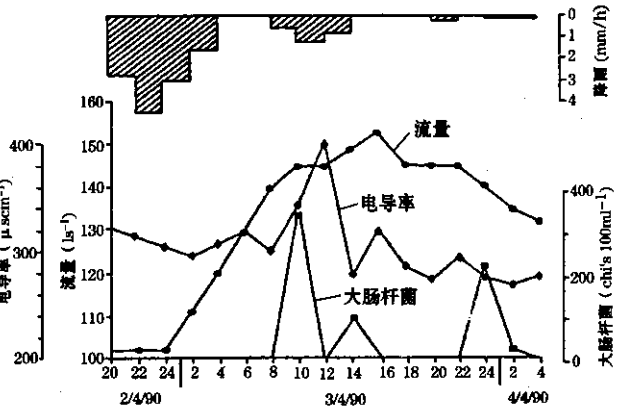


图 3 洪水对爱尔兰 Sligo 岩溶泉水水质变化的影响
(Thorn and Coxon 1992)
Fig. 3 Variation in water quality during a flood pulse
at a karst spring in county Sligo, Ireland
(Thorn and Coxon 1992)

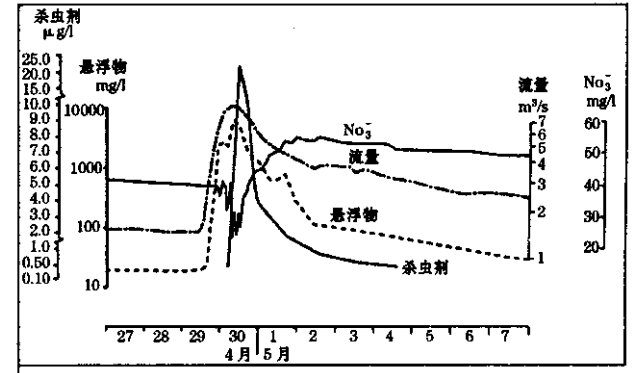


图 4 美国 Iowa 的 Big Spring 水质动态 (Libra,1986)
Fig. 4 Temporal variation in water quality
at Big Spring, Iowa (Libra 1986)

干湿季节的变化对污染物质的浓度也有显著的影响。在干燥的季节,大量的污染物质滞留在土壤和表层岩溶带中,泉井中的污染物质浓度降低;这主要是由于干燥季节径流减少,污染物质进入水文系统的总量也减少。在湿润的季节,更多的污染物质被带入水体,污染物总量增加,泉井中监测到的浓度较高^[26]。Pasquarelle & Boyer 也强调了岩溶地区的土壤湿度水平在控制大肠杆菌数量的浓度变化上的重要性:夏季大量的地下水补给能够稀释黏附在土壤带中的病菌,但夏末干燥的环境有利于限制病菌向地下水中的移动^[27]。

2 对岩溶地下水水量的影响

传统的观点认为,植被的存在有利于降水的入渗,增加地下水的补给量,但在自然界不完全是这样。岩溶地区清除森林或草场,发展农业生产,可能造成蒸发量减少,岩溶地下水补给量增加。Rosenzweig 研究表明:在以色列下覆白垩系白云岩和灰岩的 Carmel 山。有松林或灌木茂密生长的地方,岩溶地下水补给量是负的,因为降雨都消耗于蒸发;而在放牧的地区,年平均补给量达到 420mm,是年降水的 60%。他还认为在较软的灰岩区,由于植被能够更容易的穿透岩石,因此有更大的蒸发率。据 Houston 研究:在半干旱的赞比亚白云岩地区,有森林覆盖的地区比清除区(用于农业发展)年平均补给量少。森林区大约年平均补给是 80mm,而农业区是 281mm^[5]。王建群和卢志华研究也认为森林对流域内的可用水量的直接贡献很小,但森林具有较高的防洪价值^[28]。这种土地利用造成补给量的变化在碎屑岩地区也存在,但由于岩溶区独特的补给机制,从而使得它的这种变化得到放大或强化^[11]。

农业土地利用可以造成地下水补给时间的变化,主要是短期快速的补给可能代替长时间的持续性补给,因而在季节上可能造成严重的干旱或在局部地区造成洪涝灾害^[6]。据 Houston 观察:在中国的石林地区,从 1958 年开始,大量的森林遭到破坏,蓄存在森林高地上的水分逐渐释放补给低地含水层的格局转变为快速的水流通过水文系统的格局,从而造成含水层在枯水期水位急剧下降,泉水和井水干涸。据 Urich 研究,在爱尔兰的 Batuan 岩溶地区,由于森林破坏,农业垦殖,造成这个地区 20 年来地下水水位下降 40%。此外,森林垦殖,径流增加,水土流失加剧,阻塞地下排水管道,造成洪水泛滥^[29]。

灌溉可能对灌溉源头和灌区的水文都有一定影响。灌溉水源不论是由钻孔中抽取,还是通过水利设施引取,都能够引起地下水位的下降,甚至导致地面的沉降。而灌区可能成为岩溶含水层的另一个新的补给源。岩溶溶蚀盆地由于地面平坦,土质肥沃,成为生产的良好场所,但容易发生内涝。因此人们通过修建排水系统来降低地下水位,缓解洪水。不过这也造成了含水层补给量减少,泉水枯竭的现象^[5]。例如,在爱尔兰东部 Galway (500km²) 的 Kilcongan-Lavally 集水盆地中,19 世纪中期以来,排水系统的密度由 0.2km/km² 增长到 4 km/km²,表层径流从零增长到占有有效降水的 40%,使得岩溶地下水含水层补给

量相应减少,枯水季水位迅速降低,许多长流泉变成季节性泉水,甚至干涸^[5]。此外补给排泄的空间模式也改变为由人工的管道提供点状和线状的补给。农业土地利用的转变,也能造成水量的明显变化。王建群、卢志华研究表明:当旱地转变为湖塘(为了灌溉或养鱼)时,洪峰流量和径流量减少,这是由于地表蓄水体在洪水期间可以调蓄洪峰流量;而当旱地变为水稻田后,灌溉时可以减少径流,但排水时会增加径流^[28]。

3 思考和建议

从研究现状可以看出,农业土地利用对岩溶地下水的影响,单独作为一个分支研究是非常薄弱的。不论从研究内容还是从研究手段方面都需要进一步加强。尤其是对于我国而言,在研究岩溶区人类活动对生态系统的影响方面,长期集中在石漠化和生态重建的探索上,往往忽视了人类的土地利用活动对地下水水质以及水量的影响,因此在这个方面我国的研究就更显得不足。作者认为土地利用/土地覆被对岩溶水的影响研究可以从以下几个方面得到进一步的深入研究。

3.1 加强土地利用/土地覆被组合类型变化对岩溶水的影响研究

纵观已经取得研究成果,对土地利用/土地覆被某种变化导致的水文过程的变化研究较多(如,森林草地的大面积破坏,城市用地扩展增加了不透水层面积,使洪涝过程缩短,洪峰增高),但对于土地利用类型的组合变化对水文过程的影响研究较少。区域土地利用的格局是由各种用地类型组合而成,各种不同的土地利用组合类型,在水域的上、下游空间分布有差异,与水系格局的联系各有不同,这些都会影响到水文过程^[30]。一个区域不论是从空间上还是从时间上,从大面积的单一的土地利用类型变化到不同组合的土地利用类型,对水文的影响应该是有很大差异的。例如桂林市东区,在靠近山区部分,土地利用主要是林地和农业用地,在中部主要是城郊型用地,既有城市和工业用地的特点,又有农业用地的特点。靠近漓江的部分,主要是城市用地。从空间上土地利用的组合类型显著不同,因此对岩溶水的影响也是不同的。

3.2 加强土地利用/土地覆被变化对岩溶水影响的动态和机制研究

目前土地利用/土地覆被变化对地下水影响的研究作了很多基础性工作,但由于研究的主体、角度、方法和目的等的差异,系统地评价土地利用变化及其对水资源和水环境的影响尚存在一定的问题^[31]。目前

土地利用/土地覆被变化对水环境的研究较多地考虑了单因素,例如植被(不同类型、不同生长阶段的植被、甚至裸地)、土壤、农业和工业等用地对水文环境要素的影响。同时这些工作主要集中于监测和对比分析,且采用静态的分析方式,在区域土地利用/土地覆被变化对水环境的时空动态分析方面研究比较薄弱。由于众多的研究之间缺乏严密的时空可比性,所以到目前为止,还不能形成土地利用/土地覆被变化对区域水资源和水环境影响的完整清晰的认识,因此对它的机制也有待更加深入的研究。在驱动机制研究方面,以下几个问题值得注意:①各种驱动因子的时空变化和它们的贡献率大小。例如,降水的时空强度变化、表层土层厚度变化、土地利用变化等对岩溶水的影响程度在不同的地区和时间段是有很大差异的,需要深入的研究。②一些人文限制因子的研究。在 LUCC 中一些人文限制因子实际也是动力机制的一部分,例如一些地方性法律法规,一些地方性习俗,文化价值观也应当得到一定的重视。

3.3 加强不同水平尺度上土地利用/土地覆被变化对岩溶水影响的定量化研究

关于土地利用/土地覆被变化对区域岩溶水文过程影响的定量化研究,必须充分考虑其影响因子的空间变化和分异,单因子向多因子组合研究的衔接,以及小尺度到中尺度、大尺度的转换。在众多的典型单元点或地块尺度研究的基础上,从点到面的尺度转换虽然已经引起了普遍的关注,但由于土地利用/土地覆被和地理区域水文过程相互关系的复杂性和极强的区域性,这些方面的研究在理论和方法上都有待完善。运用梯度研究方法和尺度转换方法^[32],在 GIS 的应用下,从较小的尺度过程研究到较长时间和较大空间的尺度转换,会对这一定量化研究提供很好的帮助。此外,为了更加深入的研究这一学科,在定量化手段方面除了借用传统的各种分析方法和统计方法外,有必要探索更加适合这一个研究课题的方法。

3.4 加强土地利用/土地覆被变化、岩溶水文地质、生物学等学科的交叉应用研究

对土地利用/土地覆被变化与岩溶水的研究,不仅可以了解岩溶水文系统在人类活动胁迫下独特的循环运行特点,而且可以洞察对全球环境变化的影响。但其最终的目的是要认识到人类活动已经对自然水系统形成了很大的负面影响,应该利用系统的知识来合理利用水资源,保护水环境,乃至整个自然环境。要综合很多的学科进行交叉研究,例如土地整理、岩溶水文地质学、生物学等。水土资源与社会经济活动的空间配置状况对水资源承载力有着极为重要的影

响。如何根据当地的自然岩溶水文地质情况,利用一定的生物手段,加强与岩溶水承载力密切相关的区域土地利用的合理配置研究,包括水土资源配置、上、中、下游的城市与产业合理布局,水源保护区区域范围内的人口、产业布局等,不但是合理利用水资源研究的一个重要方面,同时也有助于指导社会经济建设的健康发展。

3.5 加强土地利用/土地覆被变化对水环境影响的理论和模型研究

LUCC 是人文和自然因素结合交叉最为紧密的问题,因此不同的研究者,由于研究目的的不同,应用了不同人地关系理论。例如,地理学、生态学、农业经济学、可持续发展理论等。在研究的初期各部门的理论是行之有效的,但在研究更大区域的时空变化时,它们就显现出局限性而难以统一。因为这些不同部门之间的理论,一方面不能够完整的解释不同时空尺度上的变化机制,另一方面难以在一定的时间内与某个特定的区域有效的结合运用。因此有必要系统地归纳和总结,建立 LUCC 的综合研究理论体系以及其各部门理论体系。

LUCC 的研究中,模型的建立是非常重要的。因为它可以预测未来土地覆被以及环境的变化,可以为可持续发展提供基础资料和理论依据。但目前模型的研究由于数据的规范化和标准化,可靠性等都存在很大的差异,以及某些人文驱动因子的赋值量化问题还没有很好的解决,使得模型的建立有一定的难度。因此模型的研究应该在加强数据分析处理、深入研究机制、注重时空差异变化的基础上不断提高完善。

像资源环境研究领域的其它问题一样,LUCC 研究的最大挑战来自于问题本身的复杂性。LUCC 研究对象涉及众多的因子以及复杂的相互关系,并且涉及到各种因子和关系的时空变化,这更增加了研究的难度。然而正是这种复杂性,往往成为方法论的突破点和增长点。目前我国的 LUCC 研究应该注重理论体系的建设,加强机制过程的研究,建立既符合实际又有很好预见性的模型,促使我国的 LUCC 向更加广泛更加深入的方向发展。

参考文献

[1] Prohic, E. Pollution Assessment in Carbonate Terrains[M]. In Hydrology of limestone terrains: Annotated bibliography of carbonate rocks. International Contributions to Hydrogeology, 1989, 250—253.

[2] Williams, P. W. The Role of the Subcutaneous Zone in Karst Hydrology [J]. Journal of hydrology, 45—61.

[3] Williams, P. W. Environmental Changes and Human Impact on

Karst Terrains. An introduction [M]. In CATENA Supplement, 25 Karst Terrains, Environmental changes, Human Impact, Germany: Catena Verlag. 1—19.

[4] Molina. Lee, Bruce. D. Misstear and Paul. M. Johnston etc. Surface Water Hydrology and Vegetation as Secondary Indicators of Groundwater Vulnerability [J], Hydrogeology and Land Use management,1999,443—448.

[5] David Drew and Heinz Hotzl . Karst Hydrogeology and Human Activities [M]. International Contributions to Hydrogeology, 1998. 3—5.

[6] 陈泮动,孙成权. 国际全球变化研究核心计划[M]. 北京:气象出版社,1994,7.

[7] 史培军,宫鹏,李晓兵,等著. 土地利用/土地覆被的研究方法与实践[M]. 北京:科学出版社,2000,11.

[8] 于兴修. 扬桂山,中国土地利用/覆被研究的现状与问题[J]. 地理科学进展,2002,21(1):51—57.

[9] 袁道先. 全球岩溶生态对比:科学目标和执行计划. 地理科学进展[J], 2001,16(4):461—466.

[10] 袁道先,蔡桂鸿. 岩溶环境学[M]. 北京:地质出版社,1988, 10.

[11] Williams P. W. From forest to suburb: the hydrological impact of Man in New zealand [M]. In Auderson. A. G. (Ed). The Land Our Future. Auckland. Longman Paul, 1980,103—124.

[12] Gunn J. Karst hydrology and solution in the Waitomo District, New Zealand [M]. University of Auckland, Auckland,1978.

[13] James I. Sams III, Rick L. etal. Influence of land use and open-water wetlands on water quality in the lake wallenpaupack basin[M]. Northeastern Pennsylvania. U. S. Geological Survey,1999,16—25.

[14] Gutirréz et al. In David Drew and Heinz Hotzl . Karst Hydrogeology and Human Activities [M], International Contributions to Hydrogeology,1998, 20:3—5.

[15] Drew In Hardwick. P. and J. Gunn. The Impact of Agriculture on Limestone Caves[M]. In CATENA supplement, 25 Karst Terrains, Environmental Changes , Human Impact. Germany: Catena Verlag,1994,235—249.

[16] 陈利顶,傅伯杰. 农田生态系统管理与非点源污染控制[J]. 环境科学,2000,21(2):98—99.

[17] Fendekova, Human impact on groundwater runoff quantity in karst area (a case study) [J], Karst-fractured aquifers-vulnerability and sustainability,1996,57—64.

[18] Simpson and Cnninghaom. The nature of epikarst and its role in dispersed pollution of carbonate aquifers [J], Karst-Fractured Aquifers-Vulnerability and Sustainability,1996,270—281.

[19] Ellaway,Finlayson In David Drew and Heinz Hotzl [M]. Karst Hydrogeology and Human Activities, International Contributions to Hydrogeology,1998, 20:3—5.

[20] Taminskas J. , marcinkevicius V. Karst geoindicators of environmental change: the case of Lithuania [J]. Environmental geology,2002,42: 757—766.

[21] Day, M. J. Human Impacts on Caribbean and Central American karst [M]. In CATENA Supplement, 25 karst Terrains, Environmental Changes , Human Impact. Germany: Catena Verlag,109—125.

[22] Simmleit, Herrmann. In David Drew and Heinz Hotzl[M] . Karst Hydrogeology and Human Activities, International Contributions to Hydrogeology,1998,(20):3—5.

[23] Mitchem P. S. , Hallberg G. R. ,Hoyer B. E. , Libra R. D. . Ground-water contamination and land management in the karst area of Northeastern Iowa[M]. In Collins A. G. , Johnson A. I. (Ed). Ground water contamination : Field methods, ASTM STP 963 American society for testing and materials, Philadelphia,1988,442—458.

[24] Tucker N. L. Nonpoint agricultural pollution in a karst aquifer: lost river groundwater drainage basin,warren county, Kentucky, unpubl. Msc [M]. Thesis, Western Kentucky university, bowling Green, Kentucky,1982.

[25] Hallberg. G. R. , Libra R. D. ,Hoyer B. E. Nonpoint source contamination of ground water in karst carbonate aguifers in Iowa [M]. In perspectives on nonpoint source pollution proceedings. Kansas city, MO . Mgy. 19—22. united states environmental protection agency, office of water regulations and standards. Washington DC, 1985,109—114.

[26] Hobbs S. L. ,Smart P. L. Heterogeneity in carbonate aquifers-a case study from mendip hills, England[M]. In proceedings of the 21st congress, karst hydrogeology and karst environment protection, Geological publishing house, Beijing, china,1988,730—734.

[27] Pasquarelle G. C. , Boyer D. G. Herbicides in karst groundwater in southeast west Virginia [J]. Journal of environmental quality,1996 ,25(4): 775—765.

[28] 王建群,卢志华. 土地利用变化对水文系统的影响研究[J]. 地球科学进展. 2003,18(2):293—296.

[29] Urich P. B. ,Day M. , Lynagh F. Policy and practice in karst landscape protection; Bohol, the Philippine[J]. Geographical Journal,2001,167(4): 305—323.

[30] 李锐,杨勤科.等. 区域土地利用变化环境效应研究综述[J]. 水土保持学报. 2002,22(2):65—70.

[31] 李昌峰,高俊峰,曹慧. 土地利用变化对水资源影响研究的现状和趋势[J]. 土壤. 2002,1(1):191—196.

[32] 龙花楼. 土地利用转型——土地利用/覆被变化综合研究的新途径[J]. 地理与地理信息科学. 2003,19(1):89.

