

钟 乐,武晓玉,沈发兴,等. 江西省森林资源动态变化及驱动力分析[J]. 江苏农业科学,2017,45(14):215-219
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.14.057

江西省森林资源动态变化及驱动力分析

钟 乐¹,武晓玉²,沈发兴³,唐学君⁴

(1. 江西农业大学园林与艺术学院,江西南昌 330045;2. 中国林业科学研究院亚热带林业实验中心,江西新余 336600;
3. 江西省水土保持科学研究院,江西南昌 330029;4. 国家林业局华东林业调查规划设计院,浙江杭州 310019)

摘要:根据 1994—2013 年 4 次全国森林资源连续清查资料,对江西省森林资源动态变化及驱动力进行分析。结果表明:(1)自然干扰和人为干扰共同影响森林资源的质量和数量分布,自然灾害、重大林业政策、生态工程实施与森林资源变化密切相关;(2)经过 20 多年的土地利用变化,全省有林地面积呈上升趋势,森林面积和蓄积显著提高,森林面积和蓄积分别增加 196.00%、72.81%;(3)林种结构进一步优化,生态公益林面积比重明显增加,商品林面积比重有所减少,森林的生态功能进一步增强;(4)人工林面积比重由 12.25% 提高到 32.66%,人工林的可持续经营能力不断增强,天然林面积比重有所下降;(5)森林资源以中、幼龄林为主,占森林总面积的 87.00%~91.32%,存在单位面积蓄积量低、病虫害严重等问题。进一步强化森林经营管理、优化森林资源结构、提高森林生产力水平,是今后江西省实现森林资源可持续发展的有效途径。

关键词:森林资源;动态变化;驱动力;森林经营;主要对策;江西省

中图分类号: S718.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2017)14-0215-04

森林是陆地生态系统中最大的碳库,森林生物量约占陆地生物量的 90%,在应对全球气候变化、维护生物多样性和平衡碳水循环过程中起着重要的作用^[1-2]。森林资源的质量直接影响森林生态系统功能的发挥。对森林资源动态变化及驱动力进行全面客观的评价,可为保护森林资源、提高森林碳汇、实现森林可持续经营提供科学依据。目前,国内外研究人员对不同尺度的森林资源动态及其监测技术进行研究并取得了一定的研究成果。如 Siddiqui 等运用地理信息系统(简称 GIS)技术监测了河岸森林的动态变化^[3];Knight 通过不同时期的遥感数据、地貌数据对不同流域的森林动态变化进行了分析^[4];张煜星利用 1950—2003 年 6 次森林清查数据对我国森林资源结构变化进行了分析^[5];石春娜等在对森林资源质量再认识的基础上,分析了第 1 次清查以来我国森林资源的变化情况^[6];林媚珍等对广东省 1983—2005 年森林资源数据进行了比较分析^[7];袁传武等对 20 世纪 60—80 年代湖北省森林资源变化进行了分析和评价^[8]。综上,对于森林资源动态变化的研究多以现状数据分析为主,对于森林资源动态变化与驱动力之间的相互关系研究较少。亚热带森林生态系统在全球陆地生态系统中有着独特的作用,是常绿阔叶林的典型分布区域。江西省位于中亚热带的东部,全省是一个完整的流域生态系统,良好的水热条件是树木生长的必要条件,其森林资源动态变化过程较为复杂,体现出不同的干扰过程。森林生态系统通过自然干扰(雨雪冰冻灾害、火灾、虫灾等)和人为干扰共同影响着森林资源的质量和数量分布,也反映了不同森林分布区的变化进程。通过分析 1994—2013 年 4

次全国森林资源连续清查数据,系统分析了江西省森林资源的动态变化及驱动力,为该地区森林资源的保护和经营提供了科学依据。

1 区域概况与研究方法

1.1 区域概况

江西省地处我国中部偏南,位于长江中下游南岸,地理位置为 24°07′~29°09′ N、114°02′~117°97′ E。全省属亚热带季风湿润气候带,光照充足,年平均气温 16.3~19.5℃,雨量充沛,年降水量 1 341~1 940 mm,特殊的地理位置与气候孕育了丰富的植被类型,主要有常绿阔叶林、常绿落叶阔叶混交林、针叶林、针阔混交林等。据第 8 次全国森林资源清查数据显示,全省有林地总面积 $1.002 \times 10^7 \text{ hm}^2$,占土地总面积的 60.09%,活立木总蓄积 $4.703 \times 10^8 \text{ m}^3$,森林覆盖率达到 60.01%。各主要森林类型中,幼、中龄林面积分布最大,占森林总面积的 87.36%,成熟林、过熟林面积相对较小,只有森林总面积的 6.08%。

1.2 数据来源

本研究数据来源于 1994—2013 年全国森林资源连续清查资料、1994—2013 年江西统计年鉴。数据主要包括各类林地面积、主要林分类型的龄级、面积、蓄积量、森林健康状况等。

2 江西省森林资源质量动态变化

2.1 森林覆盖率与生产力

森林覆盖率与生产力是反映森林资源质量指标的重要组成部分。森林生产力直接体现了森林的生产能力,是评估森林资源质量的重要基础,本研究选取了有林地比重、单位面积蓄积量来衡量森林生产力。

2.1.1 森林覆盖率变化 从近 20 年全国森林资源清查数据

收稿日期:2016-04-08

基金项目:国家自然科学基金(编号:41361035、71363025)。

作者简介:钟 乐(1983—),男,江西赣州人,博士,讲师,从事城市森林资源保护与景观规划等研究。E-mail:443196863@qq.com。

来看,江西省的森林覆盖率呈稳步增长的趋势,变化依次是:53.37%、55.86%、58.32%,至2013年覆盖率达60.01%,逐步接近可用林地极限。20世纪80年代之前,因过度垦殖与盲目砍伐,江西省森林覆盖率降低,随着“灭荒造林”“集体林权制度改革”“森林城市建设”等恢复生态措施,森林可持续发展能力增强,2013年森林覆盖率提高到60.01%。

2.1.2 林地利用变化 从近20年全国森林资源清查数据来看,江西省林地面积呈现先降后升的变化趋势,2003年最小,只有 $1.04 \times 10^7 \text{ hm}^2$,至2013年林业用地达到 $1.07 \times 10^7 \text{ hm}^2$,占土地总面积的64.16%;而随着人口增多和经济的发展,各项建设用地比重迅速增加,对林地的认识不足、管理不重视,存在重耕地轻林地的错误思想,是导致全省林地面积逐年减少的主要原因。随着政府对林业重视的提高,“退耕还林”等林地保护政策的实施,林地面积逐年增加^[9]。有林地面积呈现稳步增长,从第5次清查的 $8.898 \times 10^6 \text{ hm}^2$ 增加到第8次清查时的 $1.001 \times 10^7 \text{ hm}^2$,20年间增加 $1.112 \times 10^6 \text{ hm}^2$;有林地占林业用地的比重逐年上升,第5次清查有林地占林业用地比重为85.12%,到第8次比重达到93.66%,以平均每5年2.85个百分点的幅度增加,共计增加8.54%(图1)。

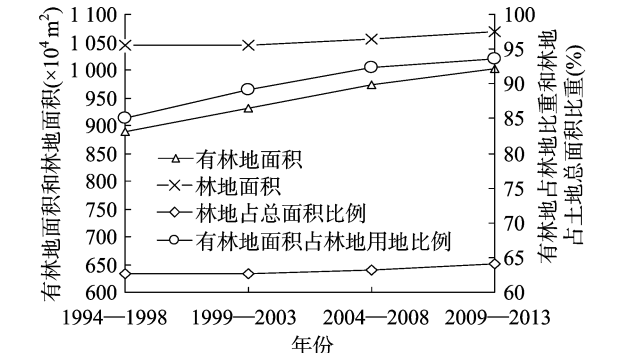


图1 森林覆盖率与林地利用比重变化分析

2.1.3 单位面积蓄积量变化 单位面积蓄积量是衡量森林资源质量高低的重要指标之一。从最近20年全国森林资源清查数据来看,江西省森林面积、蓄积、单位面积蓄积量总体上呈稳步增长趋势(表1)。

表1 1994—2013年江西省森林资源单位面积蓄积量变化			
年份	森林面积 (万 hm^2)	森林蓄积量 (亿 m^3)	单位面积蓄积量 (m^3/hm^2)
1994—1998	690.7	2.231	32.30
1999—2003	727.8	3.251	44.66
2004—2008	768.1	3.953	51.46
2009—2013	790.0	4.084	51.70

按不同林分起源分析,江西省天然林面积呈先升后降的变化趋势,蓄积量、单位面积蓄积量均呈稳步上升的态势(图2);人工林面积、蓄积量均呈增长态势,单位面积蓄积量却呈先增后降的变化规律,从最近4次清查结果来看,人工林森林面积、蓄积量增长明显,分别由第5次清查的192.7万 hm^2 、0.5149亿 m^3 增加到第8次清查时的258.0万 hm^2 、1.112亿 m^3 ,但人工林的单位面积蓄积量却没有随着面积、蓄积量的逐年增加而升高(图3)。

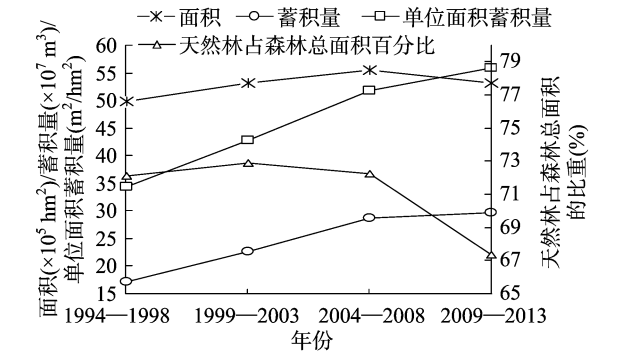


图2 天然林单位面积蓄积量变化

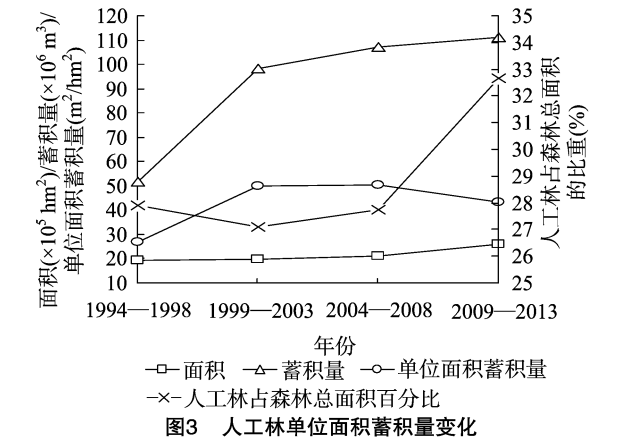


图3 人工林单位面积蓄积量变化

2.2 江西省森林资源结构动态变化

森林结构主要指林木格局及其属性在空间的排列方式,森林结构决定了森林的功能,构成是否合理直接影响到森林生态系统功能的发挥,是评价森林资源质量的重要组成部分^[10]。通过对林种构成、龄组结构、天然林比重变化等指标分析江西省森林资源质量动态变化。

2.2.1 林种构成变化 1994—2013年,江西省林种主要以用材林为主,随着时间的推移,用材林和薪炭林面积比、蓄积比合计分别从第5次清查时的94.25%、94.20%下降到第8次清查时的49.67%、46.76%;而防护林和特用林面积比、蓄积比合计则从第5次清查时的5.75%、5.80%上升到第8次清查时的50.33%、53.24%(表2)。生态公益林比重的增加和商品林比重的下降、林种结构的变化均表明,森林的功能逐渐由以木材生产为主到以生态建设为主的转变。到2013年,全省防护林面积、蓄积量达到 $3.623 \times 10^6 \text{ hm}^2$ 、 $1.826 \times 10^8 \text{ m}^3$,与用材林相近。

2.2.2 龄组结构变化 各龄组比重是衡量森林资源质量的一个重要指标,《中国可持续发展林业战略研究》指出森林资源幼龄林、中龄林、近熟林、成熟林、过熟林面积比例为2:1:1:2:1,是比较理想的状态^[11]。江西省森林资源主要以幼中龄林为主,占森林总面积的87.00%~89.35%(表3)。随着时间的推移,幼龄林先逐渐减少后又增加,中龄林比重先增加后减小,其他龄组变化幅度相对较小(图4);各龄组蓄积比重方面,成熟林蓄积变化幅度较大,中龄林蓄积先增加后减小,过熟林蓄积量一直呈下降趋势(图5)。

2.2.3 天然林比重变化 天然林在森林资源中的比重,直接影响和决定着江西省森林资源总体质量,是重要的指标之一。

表 2 1994—2013 年江西省森林资源林种构成变化

年份	防护林		用材林		薪炭林		特用林	
	面积比	蓄积比	面积比	蓄积比	面积比	蓄积比	面积比	蓄积比
1994—1998	5.10	3.39	85.45	91.82	8.80	2.38	0.65	2.41
1999—2003	29.46	23.92	65.08	69.92	2.29	0.60	3.17	5.56
2004—2008	46.83	41.99	47.42	50.18	1.25	0.30	4.50	7.53
2009—2013	45.87	44.71	49.51	46.75	0.16	0.01	4.46	8.53

表 3 1994—2013 年江西省森林资源龄组构成变化

年份	幼龄林		中龄林		近熟林		成熟林		过熟林	
	面积 ($\times 10^5 \text{ hm}^2$)	蓄积量 ($\times 10^7 \text{ m}^3$)	面积 ($\times 10^5 \text{ hm}^2$)	蓄积量 ($\times 10^7 \text{ m}^3$)	面积 ($\times 10^5 \text{ hm}^2$)	蓄积量 ($\times 10^7 \text{ m}^3$)	面积 ($\times 10^5 \text{ hm}^2$)	蓄积量 ($\times 10^7 \text{ m}^3$)	面积 ($\times 10^5 \text{ hm}^2$)	蓄积量 ($\times 10^7 \text{ m}^3$)
1994—1998	34.06	4.62	27.66	10.80	4.80	3.78	1.66	1.82	0.90	1.28
1999—2003	30.47	6.90	33.41	17.95	5.38	4.32	2.63	2.08	0.90	1.26
2004—2008	32.52	8.31	34.31	22.33	6.66	5.69	2.63	2.37	0.70	0.82
2009—2013	36.42	9.42	32.58	21.46	5.19	4.93	4.29	4.43	0.51	0.60

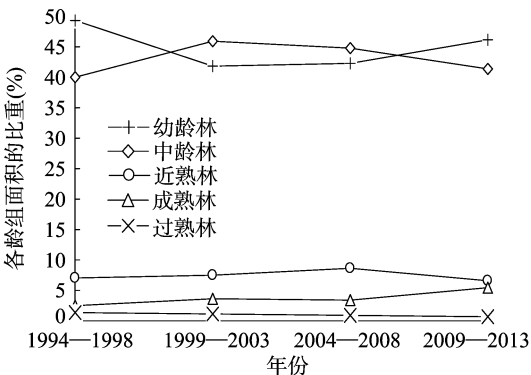


图4 龄组面积的比重变化

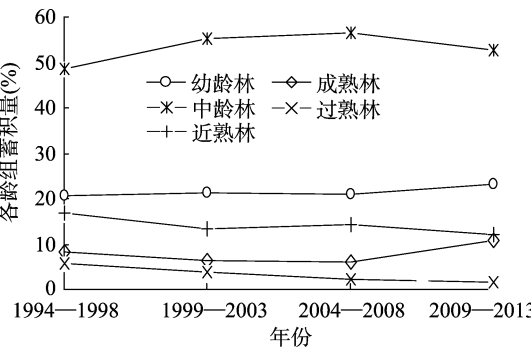


图5 龄组蓄积量变化

近年来,虽然天然林比重出现了下降趋势,1994—2013 年期间 4 次清查共减少了 4.77%。但从近 20 年全国森林资源清查数据来看,天然林面积主要呈现出增长的变化趋势,从第 5 次清查时的 $4.980 \times 10^6 \text{ hm}^2$ 增加到第 7 次清查时的 $5.550 \times 10^6 \text{ hm}^2$,第 8 次清查时,天然林面积减少 $2.304 \times 10^5 \text{ hm}^2$,同上次比较下降 4.33%。

2.3 江西省森林火灾与病虫害发生情况

自然干扰对森林生态系统有显著影响,不仅直接造成森林资源质量下降,还可能改变森林生态系统的结构与功能。本研究从火灾和病虫害方面分析了江西省森林资源质量动态变化。

2.3.1 森林火灾 森林火灾是影响和破坏森林资源的一个重要因素,反映了森林资源的受损情况。2005—2012 年,江西省共发生森林火灾 2 053 次,年平均约 257 次,受灾面积

20 565 hm^2 ,年平均约 2 570 hm^2 。其中,人工林受灾面积达到 19 853 hm^2 ,占森林受灾总面积的 96.54%,这与人工林结构单一、抗性较低有关,江西省人工林存在或面临的问题也是我国南方人工林经营管理过程中普遍存在的问题。森林火灾发生次数变化幅度较大,其中 2008 年为森林火灾高发年,达到 572 次,是多年平均次数的 2.23 倍,这可能与 2008 年冰雪灾害后,森林地表可燃物积累增多,引发高频率森林火灾有关^[12]。总体来说,虽然火灾发生次数变化幅度大,但受灾次数与面积处于持续减少趋势。

表 4 江西省森林火灾次数与面积统计

年份	森林火灾次数(次)		受害森林面积(hm^2)	
	一般火灾	较大火灾	天然林	人工林
2005	60	295	529	4 098
2006	33	97	27	1 046
2007	100	226	17	2 037
2008	97	475	31	6 904
2009	91	303	21	3 279
2010	24	55	37	692
2011	37	114	44	1 391
2012	12	34	6	406

2.3.2 森林病虫害 森林病虫害不仅影响林木正常生长,对林木具有破坏性和毁灭性,同时还伴随着生物灾害的长期性,严重影响森林资源的质量。森林病虫害发生面积表明了病虫害的严重程度,是衡量森林资源质量的一个重要指标。从图 6 可以看出,江西省森林病虫害主要以虫害为主,森林虫害发生面积呈先上升后下降的变化趋势,森林病害方面相对稳定。

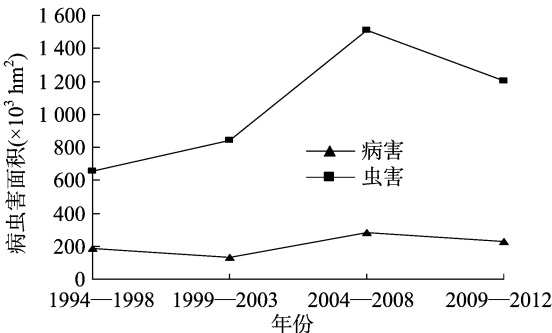


图6 森林病虫害面积

3 江西省森林资源变化驱动力分析

森林资源变化是自然、社会、经济变化的综合体现,是自然干扰和人为干预共同作用的结果。森林生长过程中不仅有来自林木生长、枯损、自然灾害的影响,也受到人类活动影响。

3.1 自然干扰

1994—2013 年江西省并没有发生大规模森林病虫害和特大森林火灾,但其间却经历了严重的冰雪灾害。冰雪灾害是森林生态系统重要的非生物干扰因子,往往会对森林造成很大的破坏。2008 年 1—2 月发生了时间长、范围广的冰雪灾害,造成江西省森林资源大面积受损,森林生态系统遭到难以估量的破坏。对亚热带常绿阔叶林区来说,树冠成为这次冰雪灾害的主体,特别是海拔高度为 500~1300 m 的迎风区域受灾更加严重,大面积树冠折断,森林的垂直结构发生了变化,林地景观破坏严重^[13]。研究表明,冰雪灾害不仅直接造成树木的损害、改变林分结构与功能,灾后还会引起森林中光照、土壤、凋落物等非生物因素的变化及病虫害的暴发,这都将对森林生态系统造成更严重的损害^[14-16]。

3.2 人为干扰

人类活动对森林资源变化有正反方向双重影响,正向促

进资源增加,反向导致资源减少,而重大工程和林业政策的实施也是森林资源变化的转折点。江西省近 30 年间影响林业的政策及重大工程主要有 1991 年开始实施长江防护林建设项目、1998 年春季正式启动实施的“中德造林”工程、2000 年 5 月开始“退耕还林”工程以及 2004—2008 年实行的“林权制度改革”政策。工程区宜林荒山面积减少,森林覆盖率提高,有林地面积增加,森林资源大幅度增长,加快了全省绿化进程,森林生态效益显著。

3.3 驱动结果

从亚热带区域之间的对比(表 5)来看,森林面积从大到小依次是江西省、湖南省、福建省、湖北省、贵州省、浙江省。与森林面积第一不同的是,江西省森林蓄积总量、单位面积蓄积量较低,单位面积蓄积量仅高于湖南省和湖北省。从森林资源健康状况来看,江西省健康森林面积只有 60.21%,仅高于湖北省,森林健康状况最好的是福建省,其面积达到总面积的 94.80%。江西省森林资源受灾严重,居我国亚热带地区第 1 位,达到 35.17%,是最低福建省的 14.78 倍。从各项指标的对比分析不难看出,总体来讲,江西省的森林资源质量与我国亚热带带其他区域相比还存在一定差距,特别是与福建省的单位面积蓄积量相比,差距更是明显。

表 5 2009—2013 年我国亚热带主要省份森林资源质量状况

省份	森林面积 ($\times 10^5 \text{ hm}^2$)	蓄积量			森林健康状况	
		总量 ($\times 10^7 \text{ m}^3$)	单位面积蓄积量 (m^3/hm^2)	天然林比重 (%)	受灾面积比重 (%)	健康林比重 (%)
江西	78.99	40.84	51.70	67.34	35.17	60.21
福建	60.67	60.80	100.20	54.20	2.38	94.80
浙江	41.01	21.68	52.87	72.74	23.11	72.57
湖南	73.14	33.10	45.26	56.87	25.97	70.27
湖北	57.24	28.65	50.06	77.09	20.01	48.69
贵州	47.87	30.08	62.83	61.54	27.96	69.30

4 提升江西省森林资源质量对策

4.1 正确认识森林数量与质量的辩证关系

从 1994—2013 年森林资源变化来看,江西省森林资源一直保持面积、蓄积量双增长,但森林资源质量却在下降。森林覆盖率的提升空间是有限的,唯有重新认识森林数量与质量的辩证关系,实现江西省森林资源由数量扩张型向质量效益型转变,才能达到提高森林资源质量的目的。

4.2 加强幼、中龄林抚育,合理优化龄组结构

江西省森林资源以幼、中龄林为主,占全省乔木林的 87.36%,加快中幼林抚育步伐,是提升江西省森林资源质量的必然选择。根据江西省森林资源龄组结构不合理的实际情况以及现行的采伐限额,坚持采伐、抚育相结合,合理利用森林资源,科学开展森林资源经营,确保森林的年龄结构向正向转移,最终以优化结构的方式实现森林资源可持续,从而使江西省森林的现实森林生产力逐步回升。

4.3 改变森林结构,调整林分密度,营造针阔混交林

江西省长期以来造林树种单一,形成了大面积结构差、质量低的马尾松和杉木纯林,积极开展林分结构优化,变针叶纯林为针阔混交林,重点对过密过疏、林木分化明显、病虫害严重的纯林,采取调整密度、补植适宜树种等措施,逐步形成

生态功能稳定的森林群落,提高江西省森林总体生产力水平。

4.4 严控森林火灾,加强森林病虫害防治

江西省森林病虫害及火灾受灾面积达到 35.17%,森林虫害有上升的趋势,特别是人工林,林火与虫害频发。管理过程中应科学做好防火林带建设规划,减少火灾发生频率,注重病虫害防治工作,加大对松材线虫等林业有害生物的防控和检疫力度,及时开展松材线虫病死木清理。通过增强森林资源管理与保护,着力提升森林资源质量和效益。

参考文献:

[1] Dixon R K, Brown S, Houghton R A, et al. Carbon pools and flux of global forest ecosystems[J]. Science, 1994, 263(5144): 185-190.
[2] Houghton R A. Balancing the global carbon budget[J]. Annual Review of Earth and Planetary Sciences, 2007, 35: 313-347.
[3] Siddiqui M N, Jamil Z, Afsar J. Monitoring changes in riverine forests of Sindh - Pakistan using remote sensing and GIS techniques[J]. Advances in Space Research, 2004, 33(3): 333-337.
[4] Knight C L. Expansion of gallery forest on Konza Prairie research natural area, Kasas, USA[J]. Landscape Ecology, 1994, 9(2): 117-125.
[5] 张煜星. 我国森林资源 1950—2003 年结构变化分析[J]. 北京林业大学学报, 2006, 28(6): 80-87.
[6] 石春娜, 王立群. 我国森林资源质量变化及现状分析[J]. 林业

董丽青,杨丽雯,李建强,等. 羟丙基- β -环糊精对土壤铅离子的增溶作用[J]. 江苏农业科学,2017,45(14):219-222.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.14.058

羟丙基- β -环糊精对土壤铅离子的增溶作用

董丽青¹, 杨丽雯^{1,2}, 李建强³, 甄霞¹, 梁丽丽¹, 杨丹丹¹

(1. 山西师范大学地理科学学院, 山西临汾 041000; 2. 山西大学生命科学学院, 山西太原 030006; 3. 山西省气象信息中心, 山西太原 030006)

摘要:羟丙基- β -环糊精(HPCD)和 β -环糊精(BCD)具有增溶土壤铅离子的潜力。试验中土壤铅污染浓度设置为 600、1 200 mg/kg, 螯合剂浓度为土壤铅浓度的 0.5、1.0 倍, 通过与 EDTA 增溶效果作比较, 分析 HPCD 和 BCD 对土壤铅离子的增溶作用。结果表明, 加入 3 种螯合剂, 土壤有效态铅离子浓度均与对照组存在显著差异, 增溶作用符合 HPCD > EDTA > BCD > CK, 且 HPCD 与 EDTA 间无显著差异, 而 BCD 与 EDTA 存在显著差异, 表明 HPCD 对土壤铅离子的增溶作用与 EDTA 接近, 高于 BCD; 当土壤污染浓度一定时, 随着螯合剂浓度提高, 土壤有效态铅离子浓度增加; 同时螯合剂浓度一定时, 随着土壤铅污染浓度的提高, 可溶态铅离子浓度增加, 说明螯合剂浓度和土壤铅污染浓度是影响螯合剂增溶效果的因素; HPCD 和 BCD 均对土壤铅具有显著的增溶作用, 且 HPCD 具有替代 EDTA 的可能性。

关键词:羟丙基- β -环糊精; β -环糊精; 有效态铅; 增溶作用

中图分类号: X53 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2017)14-0219-04

铅作为一种重金属化学元素, 在土壤环境中的贮存量很大, 且化学性质稳定, 难以被分解^[1]。它对于人类健康具有潜在的威胁, 对肠胃、肾脏、神经造成损伤, 导致致铅性贫血、高血压等疾病, 同时影响儿童智能发育^[2]。植物修复法是铅污染土壤恢复的一种主要方法。植物体内的全量铅累积依赖于土壤中可溶态铅的浓度^[3]。但是, 土壤铅离子易形成磷酸盐、碳酸盐沉淀, 限制了植物富集土壤铅的能力^[4]。研究者通过向土壤中添加 EDTA、NTA 和 CA 等螯合剂来提高植物可获得的土壤重金属^[5-7], 但是这些螯合剂价格较贵、不易降解, 在促进植物对铅吸收的同时, 易导致重金属铅向周围环境和地下水迁移, 造成二次污染^[8]。

环糊精因具有特殊结构, 其疏水内腔可以通过非共价相互作用与底物形成可逆的超分子包结配合物^[9]。环糊精不

仅可以包结有机客体分子, 同时也能与金属离子配位^[10], 且无毒、可生物降解, 在 pH 值很大的变动范围内, 对土壤颗粒吸附力很低, 因此具有优势^[11]。Maturi 等研究表明, 去质子化的环糊精能够和铅(II)形成单环或多环的络合物^[4]。

羟丙基- β -环糊精具有较好的水溶性、无毒、与环境相容容易、对人体无害等特性。Wang 等证明羟丙基- β -环糊精具有从土壤中去重金属离子的潜力^[11]。Maturi 等证明羟丙基- β -环糊精能够使用电动修复的方法从土壤中同时去除 Ni²⁺ 和多环芳烃^[12]。然而直到目前, 有关环糊精能够从土壤中活化金属离子的报道仍然很少^[11,13]。本研究通过对各组土样土壤有效态铅浓度进行测量, 分析羟丙基- β -环糊精和 β -环糊精对土壤中铅离子的增溶作用, 以期对铅污染土壤植物修复技术发现一种新型螯合剂。

1 材料与方法

1.1 试剂和仪器

硝酸铅 Pb(NO₃)₂ (天津市光复精化工研究所); 稀硝酸 (HNO₃) (天津市光复精化工研究所); 铅标准贮备溶液 (天津市光复精化工研究所); 铅标准工作溶液 (国家有色金属及电子材料分析测试中心)。

收稿日期: 2016-09-21

基金项目: 国家自然科学基金(编号: 31571604)。

作者简介: 董丽青(1992—), 女, 山西晋城人, 硕士研究生, 主要从事生态环境恢复研究。E-mail: 530052480@qq.com。

通信作者: 杨丽雯, 博士, 副教授, 主要从事矿区植被恢复和土壤重金属修复方面的研究。E-mail: beautifulife2133@163.com。

科学, 2009, 45(11): 90-97。

[7] 林媚珍, 马秀芳, 谢双喜, 等. 广东省森林资源动态变化及成因分析[J]. 生态环境, 2008, 17(2): 785-791。

[8] 袁传武, 吴保国, 唐万鹏, 等. 湖北省森林资源动态变化分析与评价[J]. 西北林学院学报, 2007, 22(4): 78-82。

[9] 战金艳, 史娜娜, 闫海明, 等. 江西省林地面积变化原因探析[J]. 自然资源学报, 2011, 26(2): 335-343。

[10] 惠刚盈, 冯加多. 森林空间结构量化分析方法[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2003: 42-43。

[11] 中国可持续发展林业战略研究项目组. 中国可持续发展林业战略研究总论[M]. 北京: 中国林业出版社, 2002。

[12] 黄麟, 邵全琴, 刘纪远. 1950—2008 年江西省森林火灾的碳损

失估算[J]. 应用生态学报, 2010, 21(9): 2241-2248。

[13] 肖文发. 由亚热带常绿阔叶林雨雪冰冻灾情引发的思考[J]. 林业科学, 2008, 44(4): 2-3。

[14] 郭淑红, 薛立. 冰雪灾害对森林的影响[J]. 生态学报, 2012, 32(16): 5242-5253。

[15] Beaudet M, Brisson J, Messier C, et al. Effect of a major ice storm on understory light conditions in an old-growth Acer-Fagus forest: pattern of recovery over seven years[J]. Forest Ecology and Management, 2007, 242(2): 553-557。

[16] Arocena J M. Cations in solution from forest soils subjected to forest floor removal and compaction treatments[J]. Forest Ecology and Management, 2000, 133(1/2): 71-80。