

三峡库区重庆段酸雨敏感性评价及空间分异特征*

李月臣^{1,2,3}, 闵婕³, 高阳华¹, 陈洪凯⁴, 杨世琦¹

(1. 重庆市气象科学研究所, 重庆 401147; 2. 重庆交通大学 土木建筑学院, 重庆 400074; 3. 重庆师范大学 地理与旅游学院 GIS 应用研究重庆市高校重点实验室, 重庆 400047; 4. 重庆交通大学 岩土与地质工程系, 重庆 400074)

摘要:三峡库区重庆段具有重要的生态地理位置,酸雨是这一地区根本性的生态环境问题之一。以酸雨敏感性机理为基础,运用 GIS 于 RS 技术分析了这一特殊生态地理区域酸雨敏感性的高低分布规律及其空间分异特征。结果表明:研究区酸雨以高度敏感为主,其次是中度敏感;各区县中石柱、武隆、万州是酸雨最为敏感的地区,都市区及周边区县主要以轻度以下敏感为主。空间上,极敏感区集中分布在研究区中、南部;万州(含万州)以下的研究区东北部是高度敏感的集中分布带;万州以东除石柱、武隆等区域外主要为中度敏感集中分布区;江河河谷及两侧,研究区东北端的巫山、云阳部分地区为轻度以下敏感分布区。研究区酸雨敏感性程度较高的地区主要分布在黄壤、黄棕壤、紫色土分布区和常绿针叶林、常绿针阔混交林分布区。

关键词:三峡库区重庆段;酸雨敏感性;空间分异

中图分类号:X517

文献标志码:A

文章编号:1672-6693(2011)06-0030-06

酸雨是指 pH 值小于 5.6 的大气降水(雪、雨、雹等)^[1],它对森林、农作物、蔬菜、鱼类、文物古迹、人体健康等都有明显的不良影响。随着工业化发展,硫化物和氮氧化物排放量日益增加,由此导致的酸沉降问题越来越严重,从而成为严重威胁世界环境的 10 大问题之一^[2]。中国处于全球 3 大酸雨区之一的东亚酸雨区。改革开放以来,随着中国经济的快速发展,大量致酸物质的排放,在中国已形成了长江以南、四川盆地以东的强酸雨区^[3-5]。西南地区尤其是三峡地区历来是中国的强酸雨分布区^[4,6],很多学者也针对这一地区的酸雨问题开展了相关研究,如杨贤为等^[7]、何泽能等^[8]、巴金等^[9]分析了三峡库区和重庆地区酸雨的时空分布及其季节变化特征;廖正军等^[10]、徐龙君等^[11]研究了重庆地区酸雨的成因和防控措施;李其林等^[12]、孟小星等^[13]、林勇等^[14]对三峡库区和重庆市农业生态系统、森林生态系统中酸雨因子的特点以及不同土壤类型的酸雨负荷进行了研究。

上述这些研究丰富了三峡地区酸雨研究,但是也在不同程度上存在不足之处,主要表现在:1)更

多的是侧重酸雨现状研究,对酸雨潜在的敏感性研究相对欠缺;2)多侧重对单一生态系统或者土壤类型酸雨影响研究,缺乏酸雨敏感性的综合研究。酸雨敏感性评价实质就是评价具体的生态过程在自然状况下潜在的产生酸雨问题的可能性大小,敏感性高的区域,就容易产生生态环境问题,应该是生态环境保护和恢复建设的重点^[15]。三峡库区重庆段具有重要的生态地理位置,其位于长江上游的末端,占整个三峡库区面积的 80%,覆盖了大部分三峡库区范围,是长江上游主要的生态脆弱和敏感区之一。该区生态环境的优劣,不仅直接关系到三峡工程的安全和百万移民的安稳,更关系到整个长江流域的生态安全与区域社会经济的可持续发展^[16]。有鉴于此,本文以三峡库区重庆段为研究区域,运用 RS 与 GIS 技术,分析了研究区酸雨敏感性的地理空间分异特征与规律,旨在丰富三峡库区生态环境问题研究,并进一步深入探讨生态环境问题的基本驱动机制,为建立有效的生态环境保护机制,提高三峡库区生态环境质量奠定基础。

* 收稿日期:2011-07-09 修回日期:2011-10-08 网络出版时间:2011-11-10 15:03

资助项目:国家自然科学基金(No. 40801077);教育部重点项目(No. 209100);重庆市气象局开放基金(No. Kfj-201103);重庆市自然科学基金(No. CSTC2008BB7367);重庆市教育委员会科学技术研究项目(No. KJ070811)

作者简介:李月臣,男,教授,博士,研究方向为资源环境遥感与 GIS。

网络出版地址: http://www.cnki.net/kcms/detail/50.1165.N.20111110.1503.201106.30_006.html

1 研究区概况

研究区域位于长江上游末端(北纬 $28^{\circ}31' \sim 31^{\circ}44'$ 、东经 $105^{\circ}49' \sim 110^{\circ}12'$),东南、东北与鄂西交界,西南与川黔接壤,西北与川陕相邻,包括重庆市22个区县(封三彩图1灰色部份),幅员面积 $46\,158.53\text{ km}^2$,下辖260个乡、333个镇。2007年末该区户籍总人口为1 897.51万人,其中农业人口1 263.73万人。2007年重庆三峡库区农村(含重庆市主城区)各业总产值4 268 471万元,农民人均纯收入3 540元^[17]。

研究区属亚热带季风性湿润气候区,多年平均气温 $15 \sim 18\text{ }^{\circ}\text{C}$,气温年较差和日较差大,具有冬暖春早、夏热秋迟的特点。多年平均降雨量为 $1\,150.26\text{ mm}$,雨量充沛但空间分布不均匀。区内日照少,雾日多。三峡库区重庆段地跨大巴山断褶带、川东褶皱带和川鄂湘黔隆起褶皱带3大构造单元,地貌以山地、丘陵为主。全区土壤类型主要有紫色土(紫色湿润锥形土)、黄壤(铁质常湿淋溶土)、黄棕壤(铁质湿润淋溶土)、棕壤(筒育湿润锥形土)、石灰(岩)土(钙质湿润淋溶土)、潮土(淡色湿润锥形土)、水稻土(水耕人为土)、粗骨土(石质湿润正常新成土)、新积土(新成土)、山地草甸土(暗色湿润锥形土)等。区域森林覆盖率为 22.3% ,地带性植被以亚热带常绿阔叶林、暖性针叶林为主^[16]。

2 数据获取与处理

研究所用的数据主要由4部分组成。一是来源于重庆市水利局的研究区土地利用类型图(2005年)、土壤类型数据。其中土地利用数据均为重庆市水利局在2004年开展水土流失普查时与相关研究单位合作,通过TM遥感影像解译获得。这些数据均经过野外校验,并通过相关部门和专家的验收,数据精度符合要求。二是由重庆市气象局提供的研究区34个气象站点的月均降雨量、平均温度、相对湿度等气象要素统计数据(1971—2007年),根据气象站点的数据库,参考相关资料计算出各站点多年平均降水量和最大可蒸发量,利用GIS进行空间内插,生成研究区多年平均降水和最大可蒸发量空间分布图。三是收集的研究区地质图、工程地质图、植被类型图等。四是其他一些相关的辅助数据,如行政区划图等。所有数据均统一转换成Albers等积投影的

栅格(Grid)数据参与空间运算。

3 研究方法

本文借助RS与GIS技术,在借鉴已有的研究成果的基础上,结合三峡库区重庆段的自然和社会经济实际情况,参照国家环保部颁发的《生态功能区划技术暂行规程》^[18]建立酸雨敏感性评价模型与方法,对该区域酸雨敏感性进行研究,定量揭示研究区酸雨敏感性程度及其空间分布规律。生态系统对酸雨的敏感性,是指整个生态系统对酸雨的反应程度,是生态系统对酸雨间接影响的相对敏感性,即酸雨的间接影响使生态系统的结构和功能改变的相对难易程度。它主要依赖于与生态系统的结构和功能变化有关的土壤物理化学特性,与地区的气候、土壤、母质、植被及土地利用方式等自然条件都有关系。生态系统的敏感性特征可由生态系统的气候特性、土壤特性、地质特性以及植被与土地利用特性来综合描述。本文选用周修萍^[19]建立的等权指标体系(表1)。该研究者在充分借鉴的基础上,深入研究了亚热带生态系统对酸沉降的响应特征,通过优化计算与分析,选择岩石类型、土壤类型、植被与土地利用、水分盈余量为分级的点位因子。在因子分级优化之后,充分参考专家的意见,并根据经验赋予相应的组合权重,从而建立适用于亚热带生态系统的敏感性分级指标体系。该体系对本研究区基本适用。岩性类型根据研究区地质图和工程地质图进行确定;土壤类型根据研究区土壤类型图进行确定;指标与土地利用根据研究区的土地利用和植被类型图进行确定;水分盈亏量根据高国栋等^[20]的研究成果,利用收集和处理后的研究区空间化气象要素数据计算得到。然后计算酸雨敏感性指数,其公式为

$$ADI_j = \sum_{i=1}^4 W_i X_i$$

式中, ADI_j 为j空间单元酸雨敏感性指数, W_i 为i因子的权重, X_i 为i因子的贡献率。最后根据等权体系进行评价,得到极敏感、高度敏感、中度敏感、轻度敏感、不敏感等5个等级分类,其敏感性指数依次分别为6、5、4、2~3、0~1;同时得到研究区酸雨敏感性综合评价结果图表(表2,封三彩图2)。

4 结果分析

4.1 酸雨敏感性的数量特征

由表2可知,研究区高度敏感面积和占研究区

表 1 生态系统对酸沉降的敏感性分级指标

Tab. 1 The indices and weights of sensitivity of the ecosystems to acid deposition

因子	贡献率	等级	权重
岩石类型	1	I A 组岩石:花岗岩、正长岩、花岗片麻岩(及其变质岩)和其他硅质岩、粗砂岩、正石英砾岩、去钙砂岩、某些第四纪砂/漂积物	1
		II B 组岩石:砂岩、页岩、碎屑岩、高度变质长英岩到中性火成岩、不含游离碳酸盐的钙硅片麻岩、含游离碳酸盐的沉积岩、煤系、弱钙质岩、轻度中性盐到超基性火山岩、玻璃体火山岩、基性和超基性岩石、石灰砂岩、多数湖相漂积沉积物、泥石岩、灰泥岩、含大量化石的沉积物(及其同质变质地层)、石灰岩、白云石	0
土壤类型	1	I A 组土壤:砖红壤、褐色砖红壤、黄棕壤(黄褐土)、暗棕壤、暗色草甸土、红壤、黄壤、黄红壤、褐红壤、棕红壤	1
		II B 组土壤:褐土、棕壤、草甸土、灰色草甸土、棕色针叶林土、沼泽土、白浆土、黑钙土、黑色土灰土、栗钙土、淡栗钙土、暗栗钙土、草甸碱土、棕钙土、灰钙土、淡棕钙土、灰漠土、灰棕漠土、棕漠土、草甸盐土、沼泽盐土、干旱盐土、砂姜黑土、草甸黑土	0
植被与土地利用	2	I 针叶林	1
		II 灌丛、草地、阔叶林、山地植被	0.5
		III 农耕地	0
水分盈亏量 (<i>P-PE</i>)	2	I >600 mm/年	1
		II 300~600 mm/年	0.5
		III <300 mm/年	0

注:*P*为降水量,*PE*为最大可蒸发量。

总面积比例最大,分别为 19 100.57 km² 和 41.38%;其次是中度敏感(13 548.52 km²)和轻度敏感区(8 953.20 km²),它们占研究区总面积比例分别为 29.35% 和 19.40%;不敏感区面积最小,仅占研究区总面积的 0.82%。研究区酸雨敏感性的数量特征呈不对称的纺锤形分布。高度以上敏感区面积和比例占据了绝对优势地位,占到了全区总面积的 50% 以上,可见本区酸雨敏感性较高。就各区县酸雨敏感性的数量特征而言,石柱、武隆和万州的极敏感区面积均在 500 km² 以上,占各自辖区面积比例都超过了 15%,表现极为突出。巫溪、奉节、云阳等 3 县的极敏感区占各自辖区面积比例也在 5% 以上。云阳、开县、巫溪、武隆、万州、石柱等区县高度敏感区占各自辖区面积比例异常偏高,均超过了 50%,其他区县如奉节、丰都、巫山、涪陵、江津等高度敏感区占各自辖区面积比例虽然较前几个区县要小,但也都超过了 20%。主城 9 区以中度敏感区为主,其占各自辖区面积比例基本都在 50% 以上。其中,巴南、九龙坡、渝北、沙坪坝、北碚 5 各区这一比例都超过了 70%。此外,忠县、长寿、涪陵、丰都、江津等区县中度敏感区占各自辖区面积比例也较大,依次分别为 75.52%、72.50%、51.67%、51.65%、45.01%。

轻度和不敏感区面积总和占研究区总面积比例约为 20%,主要分布在巫山、奉节、江津、巫溪、云阳、涪陵、开县等区县,这些区县轻度和不敏感区面积都超过了 500 km²,其中,巫山、奉节和江津在 1 000 km² 以上。其他区县如江北、渝中区、大渡口、南岸、九龙坡等区县虽然面积比较小但轻度和不敏感区面积总和占各自辖区面积比例也较大,都在 20% 以上。

4.2 酸雨敏感性的空间特征

从图 2 可见,研究区酸雨敏感性空间分布的总体特征表现为极敏感区块状零星散布、高度敏感区和中度敏感区集中片状分布、轻度敏感和不敏感区沿江河带状分布,部分呈团块状散布。极敏感区主要零星分布在东北部(万州分布较为集中)、中部(石柱分布较为集中)、南部(武隆分布较为集中)地区。高度敏感区集中呈东北-西南向分布。以万州为界,东北部除巫山、奉节外是高度敏感区最为集中的分布区;向西向南主要分布在石柱、武隆和江津的四面山地区;中度敏感区分布十分集中,除少量分布在开县外,基本都分布在万州西南除石柱、武隆外各区县的非江河湖泊区沿岸区。轻度敏感区除东北部的巫山、奉节分布较为集中外,基本沿江河沿岸分布;不敏感区面积较小,主要沿万州以上长江干流沿

表2 研究区酸雨敏感性综合评价结果表

Tab.2 The sensitivity assessment on acidic deposition of research area

区县	不敏感		轻度敏感		中度敏感		高度敏感		极敏感	
	面积/km ²	占各自辖区面积比例/%	面积/km ²	占各自辖区面积比例/%	面积/km ²	占各自辖区面积比例/%	面积/km ²	占各自辖区面积比例/%	面积/km ²	占各自辖区面积比例/%
巴南区	27.62	1.51	216.47	11.83	1 367.00	74.69	219.21	11.98	0.00	0.00
武隆县	0.00	0.00	290.94	10.03	91.46	3.15	1 887.80	65.07	630.80	21.74
大渡口区	13.73	14.55	18.63	19.74	52.47	55.58	9.56	10.13	0.00	0.00
九龙坡区	9.81	2.21	81.47	18.39	340.58	76.88	11.17	2.52	0.00	0.00
南岸区	26.89	9.65	41.16	14.76	158.87	56.99	51.86	18.60	0.00	0.00
渝中区	2.09	9.52	5.87	26.79	13.95	63.69	0.00	0.00	0.00	0.00
江北区	27.57	12.91	66.54	31.16	105.28	49.31	14.13	6.62	0.00	0.00
渝北区	9.13	0.63	259.81	17.89	1 087.94	74.93	95.14	6.55	0.00	0.00
沙坪坝区	0.00	0.00	48.05	12.53	283.37	73.90	52.03	13.57	0.00	0.00
涪陵区	44.94	1.53	596.89	20.26	1 522.31	51.67	631.90	21.45	149.97	5.09
石柱县	0.76	0.03	54.82	1.82	89.09	2.96	1 559.39	51.76	1 308.94	43.44
北碚区	0.00	0.00	127.62	16.89	548.07	72.55	79.73	10.55	0.00	0.00
丰都县	18.69	0.64	245.51	8.46	1 498.48	51.65	862.65	29.74	275.67	9.50
长寿区	12.06	0.85	210.46	14.87	1 026.21	72.50	166.76	11.78	0.00	0.00
忠县	20.49	0.94	260.43	11.92	1 649.38	75.52	251.69	11.52	2.00	0.09
万州区	0.00	0.00	335.22	9.70	627.02	18.14	1 942.96	56.20	551.80	15.96
云阳县	0.00	0.00	738.15	20.31	91.02	2.50	2 558.03	70.39	246.80	6.79
巫山县	6.11	0.21	1 547.42	52.31	504.33	17.05	793.68	26.83	106.47	3.60
奉节县	10.08	0.25	1 501.88	36.75	455.25	11.14	1 860.64	45.53	259.14	6.34
开县	0.00	0.00	577.18	14.58	432.44	10.92	2 761.10	69.74	188.28	4.76
巫溪县	0.00	0.00	853.93	21.19	163.44	4.06	2 629.17	65.24	383.46	9.52
江津区	149.81	4.68	874.76	27.33	1 440.55	45.01	661.97	20.69	73.13	2.29
合计	379.79	0.82	8 953.20	19.40	13 548.52	29.35	19 100.57	41.38	4 176.45	9.05

线分布。通过图2还可以明显看出,研究区酸雨敏感性具有非常明显的空间分异特征,各类型区界线非常明显,基本以万州为界分为东西两部分。总体上中南部是全区敏感性最高的地区,东北部地区(除东北端点部分地区)敏感性明显高于西南部地区。

4.3 酸雨敏感性的与土壤和植被类型的相关分析

土壤类型和植被类型对酸雨的敏感性有着重要影响。表3和表4分析了酸雨敏感性与土壤类型和植被类型的相关关系。通过分析发现,研究区酸雨极敏感区主要分布在黄壤、黄棕壤类型区,比例分别为43.26%和24.61%,其次为紫色土分布区

(23.81%);高度敏感区主要分布在紫色土、黄壤、黄棕壤分布区,3者所占的比例达到86.7%;中度敏感区高度集中分布在紫色土、水稻土、黄壤分布区,3者比例超过了92%;轻度敏感区主要分布在石灰(岩)土和消落带分布区,两者比例在70%以上。就总体特征而言,研究区酸雨敏感性较高的地区主要分布在黄壤、紫色土和黄棕壤分布区,主要原因在于:一方面3种土壤类型的性质决定了对酸雨沉降十分敏感;另一方面黄壤是本区第一大地带性土壤、紫色土是本区第一大非地带性土壤,黄棕壤是第二大地带性土壤,由于3者面积较大,所以导致3种土壤类型分布区酸雨敏感性较高的地区分布也比较广

表 3 酸雨敏感性与土壤类型相关分析

Tab. 3 The correlation between soil types and acidic deposition

类型	水稻土		黄棕壤		黄壤		新积土		石灰(岩)土		紫色土	
	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%
不敏感	22.18	5.84	0.50	0.13	2.27	0.60	0.00	0.00	16.88	4.45	75.85	19.97
轻度敏感	552.38	6.17	101.56	1.13	425.88	4.76	2.77	0.03	4 728.24	52.81	1 021.85	11.41
中度敏感	3 358.38	24.79	116.42	0.86	1 960.04	14.47	0.00	0.00	563.22	4.16	7 156.00	52.82
高度敏感	1 406.40	7.36	2 663.37	13.94	6 492.23	33.99	9.83	0.05	385.81	2.02	7 405.22	38.77
极敏感	162.03	3.88	1 027.65	24.61	1 806.58	43.26	0.00	0.00	47.12	1.13	994.39	23.81

类型	棕壤		山地草甸土		黄褐色土		粗骨土		消落区	
	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%
不敏感	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	262.11	69.01
轻度敏感	278.46	3.11	2.27	0.03	0.25	0.00	0.00	0.00	1 839.54	20.55
中度敏感	115.67	0.85	8.57	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	270.23	1.99
高度敏感	28.98	0.15	12.10	0.06	385.05	2.02	22.93	0.12	288.64	1.51
极敏感	14.62	0.35	27.97	0.67	39.31	0.94	2.52	0.06	54.26	1.30

表 4 酸雨敏感性与植被类型相关分析

Tab. 4 The correlation between vegetation types and acidic deposition

类型	常绿针叶林		针阔混交林		阔叶林		灌丛		草丛	
	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%
不敏感	0.76	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	1.51	0.40	2.27	0.60
轻度敏感	449.68	5.02	45.82	0.51	156.10	1.74	942.16	10.52	1 716.14	19.17
中度敏感	780.02	5.76	138.48	1.02	58.16	0.43	489.21	3.61	534.03	3.94
高度敏感	1 644.63	8.61	329.33	1.72	576.33	3.02	2 790.49	14.61	4 504.87	23.58
极敏感	2 418.36	57.90	1 340.48	32.10	9.82	0.24	81.58	1.95	78.30	1.87

类型	竹林		经济林木		农田作物		其他	
	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%
不敏感	19.39	5.10	0.00	0.00	149.41	39.34	206.46	54.36
轻度敏感	117.33	1.31	6.80	0.08	5 036.24	56.25	482.92	5.39
中度敏感	69.74	0.51	0.00	0.00	11 324.79	83.59	154.09	1.14
高度敏感	26.69	0.14	54.13	0.28	9 140.36	47.85	33.74	0.18
极敏感	1.01	0.02	0.00	0.00	243.38	5.83	3.52	0.08

泛。通过分析表 4 发现,研究区酸雨极敏感区集中在常绿针叶林和针阔混交林分布区,两者的比例达到了 90%;高度敏感区主要分布在农田作物、草丛和灌丛植被类型分布区,比例分别为 47.85%、23.58%、14.16%;中度敏感区高度集中分布在农田作物分布区,其比例达到 83.59%;轻度敏感区主要

分布在农田作物、草丛和灌丛分布区,3 者的比例达到 85.94%。就总体特征而言,研究区酸雨敏感性较高的地区主要分布在针叶林和针阔混交林区,这主要是由于针叶林和针阔混交林对酸雨非常敏感,另一方面针叶林和针阔混交林的土壤类型主要以黄壤和黄棕壤为主,而这两种土壤类型如上文分析也

对酸雨很敏感,因此两者叠加效应使这些地区酸雨十分敏感。研究区酸雨中度以下敏感性地区主要分布在农田作物区,一方面农田作物本身对酸雨不敏感,另一方面研究区农田作物分布区十分广泛,也是导致中度以下敏感区广泛分布的重要原因。

5 结论

本文对三峡库区重庆段的酸雨敏感性进行了分析,定量揭示了该区酸雨敏感性程度及其空间分布特征与规律,主要结果如下:

1) 三峡库区重庆段酸雨敏感性以高度敏感为主,其次是中度敏感;各区县中石柱、武隆、万州是酸雨最为敏感的地区,都市区及周边区县主要以轻度以下敏感为主。

2) 空间上,极敏感区集中分布在中、南部;万州(含万州)以下的研究区东北部是高度敏感的集中分布带;万州以西除石柱、武隆等区域外主要为中度敏感集中分布区;江河河谷及两侧,研究区东北端的巫山、云阳部分地区为轻度以下敏感分布区。

3) 研究区酸雨敏感性程度较高的地区主要分布在黄壤、黄棕壤、紫色土分布区和常绿针叶林、常绿阔混交林分布区。

此外,需要说明的是,本文的基础数据均由遥感影像解译和GIS空间内插得到,数据处理存在的误差必然会影响分析结果的准确性,尽管如此,研究区酸雨敏感性的地理空间格局特征仍然能够得以充分反映。同时,由于数据的缺乏,本研究仅对区域单一时段的酸雨敏感性进行研究,若能有时间序列数据则更能反映研究区酸雨敏感性的时空演变规律。因此,在丰富数据来源和提高数据的准确性基础上建立有效的生态环境保护机制,为提高三峡库区生态环境质量奠定基础是本研究改进和下一步研究的重要方向。

参考文献:

[1] 蒲维维,张小玲,徐敬,等.北京地区酸雨特征及影响因素[J].应用气象学报,2010,21(4):464-472.
[2] 梅雪英,杨扬,方建德.上海地区酸雨类型格局转变研究[J].长江流域资源与环境,2010,19(9):1075-1079.

[3] 王文兴.中国酸雨成因研究[J].中国环境科学,1994,14(5):323-329.
[4] 丁国安,徐晓斌,房秀梅,等.中国酸雨现状及发展趋势[J].科学通报,1997,42(2):169-173.
[5] 杜光智,黄晓华,黄霞,等.湖北省酸雨的时空分布规律及成因分析[J].长江流域资源与环境,2003,12(4):377-381.
[6] 冯宗炜,小仓纪雄.重庆酸雨对陆地生态系统的影响和控制对策[J].环境科学进展,1998,6(5):1-8.
[7] 杨贤为,邹旭恺,马天健.长江三峡库区酸雨分布特征分析[J].气象,2002,28(10):14-18.
[8] 何泽能,谭炳全,高阳华,等.重庆酸雨分布特征[J].气象科技,2008,36(6):706-711.
[9] 巴金,汤洁,王淑凤,等.重庆地区近10年酸雨时空分布和季节变化特征分析[J].气象,2008,34(9):81-88.
[10] 廖正军,唐亮.重庆市酸雨成因及控制对策[J].环境保护科学,2000,26(100):1-5.
[11] 徐龙君,兰劲涛.重庆市酸雨规律分析及防治对策[J].矿业安全与环保,2005,32(5):16-19.
[12] 李其林,魏朝富,王显军,等.重庆农业生态系统中酸雨因子的特点及其影响[J].中国环境监测,2008,24(4):70-74.
[13] 孟小星,姜文华,张卫东.重庆酸雨地区森林生态系统土壤、植被与地表水现状分析[J].重庆环境科学,2003,25(12):71-73.
[14] 林勇,周志明,李晓红,等.三峡库区四种典型土壤的酸雨临界负荷研究[J].重庆建筑大学学报,2007,29(1):5-9.
[15] 刘康,欧阳志云,王效科,等.甘肃省生态环境敏感性评价及其空间分布[J].生态学报,2003,23(12):2712-2718.
[16] 李月臣,刘春霞,赵纯勇,等.三峡库区(重庆段)土壤侵蚀敏感性评价及其空间分异特征[J].生态学报,2009,29(2):788-796.
[17] 重庆市统计局.重庆统计年鉴2010[M].北京:中国统计出版社,2010.
[18] 国家环境保护总局.生态功能区划技术暂行规程[Z].北京:国家环境保护总局,2002.
[19] 周修萍.我国东部七省生态系统对酸雨沉降的相对敏感性[J].农村生态环境,1996,12(1):1-5.
[20] 高国栋,陆渝蓉,李怀瑾.我国最大可蒸发量的计算和分布[J].地理学报,1978,33(2):102-111.

***s*-Transfer Fuzzy Matrix on Lattice**

JIANG Chao

(Dept. of Basic Courses, Nantong Shipping College, Nantong Jiangsu 226010, China)

Abstract: In the articles on fuzzy matrix, people define and discuss matrix operation not only by the operations of min and max, but also by triangle norm in $[0, 1]$. Using triangular s -norms on a complete distributive lattice L and fuzzy matrix operations, we define the s -transfer fuzzy matrix, and give some properties of the s -transfer fuzzy matrix. For example, suppose S is the s -norm distributed by \wedge and A is S -idempotent matrix, then A is idempotent matrix, when and only when A is transfer matrix and the transferred symmetric matrix is idempotent matrix. Suppose $A \in L^{n \times n}$ is transferred matrix, $B = A \wedge A^T$, then B transfers symmetric matrix, and therefore B is also idempotent matrix.

Key words: lattice; triangular s -norm; s -transfer fuzzy matrix

(责任编辑 游中胜)

(上接第 35 页)

Resources, Environment and Ecology in Three Gorges Area

Acid Rain Sensitivity Evaluation and Spatial Differentiation Features of the Three Gorges Reservoir Area in Chongqing

LI Yue-chen^{1,2,3}, *MIN Jie*^{1,2}, *GAO Yang-hua*¹, *CHEN Hong-kai*⁴, *YANG Shi-qi*¹

(1. Chongqing Institute of Meteorological Science, Chongqing 401147;

2. School of Civil Engineering Architecture and Construction, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074;

3. Key Laboratory of GIS Application, College of Geography Science, Chongqing Normal University, Chongqing 400047;

4. Dept. of Geotechnical & Geological Engineering; Chongqing Jiaotong University; Chongqing 400074; China)

Abstract: Acid rain has been one of the environmental problems in China. Because of the specific geographical and meteorological conditions and energy consumption structures, The Three Gorges Reservoir Area in Chongqing has become the major acid precipitation regions. The paper comprehensively researches on the acid rain sensitivity and quantitatively reveals its spatial features in Three Gorges Reservoir Area in Chongqing by using the integrated approach of GIS and RS spatial analysis function and the sensitivity mechanisms of acid rain. The results show that: (1) the strong sensitivity is the main type of the acid rain sensitivity which is 19 100.57 km², about 41.38% of the study area and moderate sensitivity is second which is 13 548.52 km², about 29.35% of the study area. The extremely sensitivity areas mainly distribute in Wulong, Shizhu and Wanzhou. The sensitivity of acid rain in metropolitan areas are mainly slight and not sensitive (2) In space, the extremely sensitivity of acid rain mainly distribute in the middle and south area of the Three Gorges Reservoir area in Chongqing. The strong sensitivity mainly distribute in the northern east of the Three Gorges Reservoir area in Chongqing. The moderate sensitivity areas mainly distribute to the west of Wanzhou except Shizhu and Wulong. The slight sensitivity of acid rain distribute along the rivers and streams and some area of Wushan and Yunyang. (3) The relatively high sensitivity of the acid rain is distributed mainly in yellow soil, yellow brown soil, purple soil and evergreen deciduous forest, evergreen and deciduous broad-leaved mixed forest.

Key words: the Three Gorges Reservoir Area in Chongqing ; sensitivity of acid rain; spatial differentiation

(责任编辑 方 兴)

(接正文31页)



图 1 研究区位置图

Fig. 1 The location of the study area

(接正文31页)

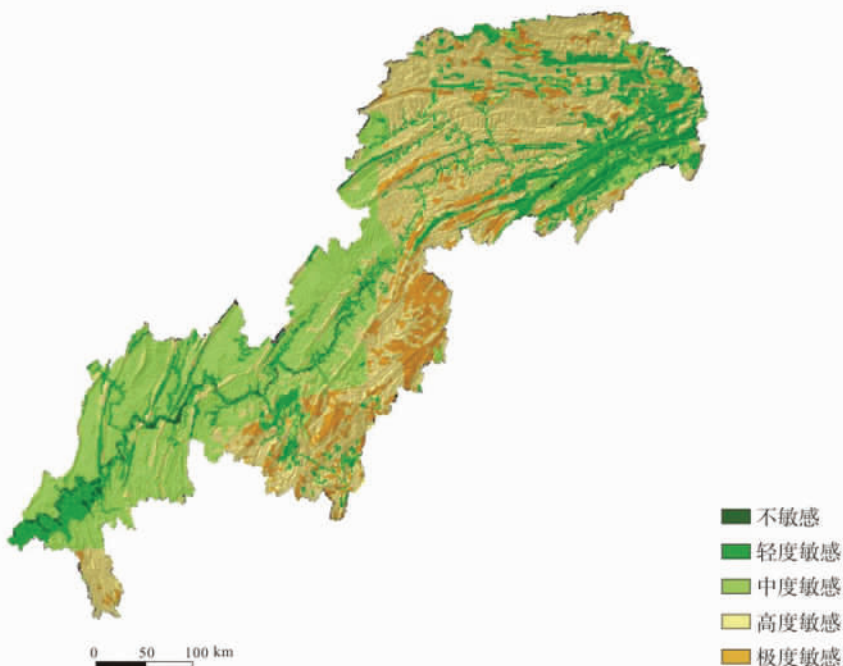


图 2 三峡库区重庆段酸雨敏感性评价图

Fig. 2 The sensitivity assessment on acid deposition