

# 北京市怀柔水库集水区径流与防护林结构变化响应研究<sup>\*</sup>

朱丽<sup>1,2</sup>, 秦富仓<sup>1</sup>, 姚云峰<sup>1</sup>, 余新晓<sup>3</sup>

(1. 内蒙古农业大学 生态环境学院, 呼和浩特 010019; 2. 包头师范学院 资源与环境科学系, 包头 0014030;  
3. 北京林业大学 水土保持学院, 北京 100086)

**摘要:** 利用北京市怀柔水库集水区 1990 年、1995 年和 2000 年三期遥感影像, 采用 ArcView 景观分析软件, 得到防护林的空间格局变化情况。同时利用怀柔水库集水区 1990–2006 年逐日径流量的资料, 研究防护林空间格局变化与当地径流量的响应关系。结果表明: 怀柔水库集水区防护林在总面积方面没有明显变化, 但不同林种面积变化明显, 由灌木林为主逐步演变为以乔木林为主。当地降水量变化不大的基础上, 年径流量有明显减少的趋势, 其主要原因是防护林格局的变化, 防护林系统的不断完善。随着防护林功能的发挥, 2000 年后研究区的径流量减少到 1990 年的 5%, 径流量逐年减少并呈现稳定的趋势。

**关键词:** 防护林; 景观格局; 径流变化

中图分类号: TV697.2; S727.2

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2009)03-0143-05

## Research on the Changes of Runoff and Protection Forest Structure in Huairou Reservoir Watershed of Beijing

ZHU Li<sup>1,2</sup>, QIN Fu-cang<sup>1</sup>, YAO Yun-feng<sup>1</sup>, YU Xin-xiao<sup>3</sup>

(1. College of Ecology and Environmental Science, Inner Mongolian Agricultural University, Huhhot 010019, China; 2. Department of Resource and Environment, Baotou Teachers' College, Baotou, Inner Mongolia 014030, China; 3. School of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

**Abstract:** Using remote sensing images of Huairou Reservoir Watershed of Beijing in 1990, 1995 and 2000, with the help of ArcView, the change of spatial pattern of protection forest was obtained. At the same time, using the data of daily runoff of Huairou Reservoir Watershed in 1990–2006, the response relation between the change of the structure of protection forest and the local runoff was studied. The results showed that: the total area of protection forest had not changed obviously, but there were significant changes in the areas of various kinds of forest, from dominated by shrub to dominated by highwood. On the basis of the little change of the precipitation, the annual runoff had a tendency to reduce, the main reasons were the changes of the pattern of protection forest and the constant perfection of shelter-forest system. With the functions of protection forest played, after the year of 2000, the runoff decreased to 5% of the 1990's, the runoff decreased year by year and had a steady trend.

**Key words:** protection forest; landscape pattern; runoff change;

北京市人均水资源量不足 300 m<sup>3</sup>, 仅为全国 15%, 世界 4%, 水源短缺问题十分严重<sup>[1]</sup>。怀柔水库是北京市的主要水源区之一。怎样保护好怀柔水库集水区对于北京市的建设是非常重要的。针对这样的现状, 怀柔水库集水区上游营造了大面积的防护林。防护林的作用是多方面的, 主要是保持水土,

涵养水源, 改良土壤, 营造小气候, 具体来说有几点: 第一, 降低风速, 涵养水源, 防风固沙, 减免自然灾害。第二, 夏季的降温与春秋季节的保温, 起到调节温度的作用。第三, 增加空气湿度, 减少土壤蒸发与作物蒸腾, 提高土壤含水量。第四, 降低地下水位, 改良盐土, 防止发生次生盐渍化<sup>[2-7]</sup>。

\* 收稿日期: 2008-11-02

基金项目: 国家“十一五”科技计划课题(2006BAD03A0201)

作者简介: 朱丽(1978–), 女, 内蒙古包头市人, 博士研究生, 主要研究方向为水土保持与土地资源。E-mail: julia584521@163.com

通信作者: 秦富仓(1966–), 男, 内蒙古呼和浩特市人, 教授, 硕士生导师, 主要研究方向水土保持与土地资源。E-mail: qinf@c@126.com

在涵养水源方面,防护林以其自身的结构特点,发挥着调节径流的作用,可促进降雨再分配、影响土壤水分运动、改变产流和汇流条件,进而在一定程度上起到削洪减洪、控制土壤流失、改善流域水质的作用。防护林的结构和格局变化对流域产水量、径流泥沙的影响是其对径流调节的主要表现<sup>[3,8-9]</sup>。

1 研究区概况

怀柔水库集水区位于北京市怀柔区城西侧,潮白河支流、怀河山峡出口、怀九河与怀沙河交汇处,属海河流域潮白河水系。怀柔水库于 1958 年 3 月兴建,同年 7 月建成,后于 1964 年、1976 年、1988 年 3 次改建,占地面积 666 666.7 hm<sup>2</sup>,水库平均深度 600 m,库容 9 670 万 m<sup>3</sup>,库区四周是 213.3 hm<sup>2</sup> 防护林。

怀柔水库集水区属暖温带大陆性季风型半湿润气候,四季分明,雨热同期,夏季暖热湿润,冬季寒冷少雪。全年日照时数为 2 748~ 2 878 h,年平均气温 9~ 13 ℃,积温 2 800~ 4 610 ℃。无霜期 170~ 200 d。年平均降水在 600~ 700 mm,主要集中在 6—8 月,占全年降雨量的 90%,多年平均径流量为 0.85 亿 m<sup>3</sup>。怀柔水库各支流域内多为果树覆盖,植被状况良好,地质结构较复杂,岩石走向紊乱,土壤均为沙壤土,渗透能力较强,地下径流丰富。

怀柔水库集水区共有林地面积 86 667 hm<sup>2</sup>,其中防护林面积占林地总面积的 56.11%(表 1)。林地以人工林为主。

2 研究方法

2.1 防护林结构变化分析

防护林结构变化分析使用了怀柔水库集水区

2000 年土地利用现状图和 1990 年、1995 年、2000 年三期卫星影像资料。对这些遥感资料使用 ArcView 软件进行图像解析和数据处理,并进行实地对比、核查、修正,获得各年的土地利用状况。土地利用现状图与卫星影像分类图结合使用,进行结构变化的分析。

表 1 北京怀柔集水区林种面积及比例

林种	面积/hm <sup>2</sup>	比例/%
防护林	48630	56.11
用材林	14770	17.04
薪炭林	373	0.43
特种用途林	2292	2.65
经济林	20602	23.77
林地总面积	86667	100

2.2 降水量

采用北京市密云县怀柔水库气象站自 1996—2006 年的逐日降水数据。该数据来自怀柔水库气象站自记雨量计,记录每次降水过程,并设立 1 个口径为 20 cm 的标准雨量筒收集和测定每次降水以作校正。每次降雨后 10~ 30 min 观测并记录。

2.3 径流量

采用北京市密云县怀柔水库自 1996—2006 年逐日径流量数据。逐日径流量采用水库洪水断面的方法进行测量。数据处理采用 Excel 软件进行。

3 结果与分析

3.1 怀柔水库集水区防护林结构变化研究

3.1.1 怀柔水库防护林结构变化分析 怀柔水库集水区防护林林种类型多样,有针叶林、阔叶林、混交林、灌木林和其他林地。1990 年、1995 年和 2000 年,各林种所占面积不同,具体见表 2。

表 2 怀柔水库集水区防护林结构变化

地类	1990 年		1995 年		2000 年		2005 年	
	面积/hm <sup>2</sup>	比例/%	面积/hm <sup>2</sup>	比例/%	面积/hm <sup>2</sup>	比例/%	面积/hm <sup>2</sup>	比例/%
针叶林	1731.13	3.75	3085.82	6.69	3031.97	6.59	5768.54	12.52
阔叶林	17347.45	37.60	18398.11	39.87	23391.27	50.83	21756.91	47.20
混交林	672.23	1.46	1576.22	3.42	914.31	1.99	1413.67	3.07
灌木林	25508.10	55.29	22439.86	48.62	18684.69	40.60	17144.97	37.20
其他林地	875.49	1.90	650.55	1.41	0.00	0.00	7.87	0.02
合计	46134.40	100.00	46150.56	100.00	46022.24	100.00	46091.96	100.00

由表 2 可以看出,防护林总面积在 1990 年为 46 134.40 hm<sup>2</sup>,1995 年为 46 150.56 hm<sup>2</sup>,2000 年为 46 022.24 hm<sup>2</sup>,2005 年为 46 091.96 hm<sup>2</sup>,面积变化不大。

1990 年不同类型防护林面积排列次序为:灌木

林>阔叶林>针叶林>其他林地>混交林。其中灌木林的面积为 25 508.10 hm<sup>2</sup>,占防护林总面积的 55.29%。而混交林的面积最小,为 672.23 hm<sup>2</sup>,占防护林总面积的 1.46%。阔叶林的面积为 17 347.45 hm<sup>2</sup>,占防护林总面积的 37.60%。

1995 年不同类型防护林面积排列次序为: 灌木林> 阔叶林> 针叶林> 混交林> 其他林地。混交林的面积有所增多, 为 1 576. 22 hm<sup>2</sup>, 占防护林总面积的 3. 42%。灌木林的面积为 22 439. 86 hm<sup>2</sup>, 比 1990 年略有减少, 占防护林总面积的 48. 62%, 依然是防护林的主要类型。阔叶林的面积为 18 398. 11 hm<sup>2</sup>, 占防护林总面积的 39. 87%, 比 1990 年有所增加。

2000 年不同类型防护林面积排列次序为: 阔叶林> 灌木林> 针叶林> 混交林。阔叶林成为防护林最主要的类型, 其面积达到 23 391. 27 hm<sup>2</sup>, 占防护林总面积的 50. 83%。混交林最少, 其面积为 914. 31 hm<sup>2</sup>, 占防护林总面积的 1. 99%。而其他林地已经完全消失。阔叶林的面积为 23 391. 27 hm<sup>2</sup>, 占防护林总面积的 50. 83%, 比 1995 年有大幅增加。

2005 年不同类型防护林面积排列次序为: 阔叶林> 灌木林> 针叶林> 混交林> 其他林地。阔叶林依然是防护林最主要的类型, 其面积为 21 756. 91 hm<sup>2</sup>, 占防护林总面积的 47. 23%。其他林地有所恢复, 其面积为 7. 87 hm<sup>2</sup>, 占防护林总面积的 0. 02%。

表 3 怀柔水库 1990– 2000 年防护林结构变化转移矩阵

1990– 1995 年						
林种	针叶林	阔叶林	混交林	灌木林地	其他林地	合计
针叶林	0.00	447.57	228.25	815.76	0.00	1491.58
阔叶林	95.25	0.00	472.38	1864.54	0.00	2432.17
混交林	34.89	435.97	0.00	875.70	0.00	1346.55
灌木林地	61.11	612.64	130.51	0.00	0.00	804.25
其他林地	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1995– 2000 年						
林种	针叶林	阔叶林	混交林	灌木林地	其他林地	合计
针叶林	0.00	105.95	91.42	541.02	0.00	738.39
阔叶林	514.64	0.00	584.43	4117.64	0.00	5216.71
混交林	152.73	20.83	0.00	347.87	0.00	521.43
灌木林地	120.77	145.14	493.97	0.00	0.00	759.87
其他林地	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2000– 2005 年						
林种	针叶林	阔叶林	混交林	灌木林地	其他林地	合计
针叶林	0.00	1619.63	31.17	1934.71	0.00	3585.52
阔叶林	527.50	0.00	90.06	1451.89	0.00	2069.45
混交林	43.26	430.73	0.00	208.34	0.00	682.33
灌木林地	304.46	1535.67	59.50	0.00	0.00	1899.63
其他林地	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

由表 3 可以看出, 1990– 1995 年防护林内部阔叶林面积变化最大, 变化面积为 2 432. 17 hm<sup>2</sup>。灌木林地面积变化最小, 为 804. 25 hm<sup>2</sup>; 其它林地没有变化。针叶林主要是由灌木林转化而来; 同时阔叶林和混交林主要也是灌木林转化而来; 灌木林主

要是由阔叶林转化而来。由图 1 可知, 在防护林的 5 个林种中, 针叶林、混交林和其他林地数量上所占比重不大, 其在不同时段的变化也不明显。防护林的主要组成成分是阔叶林和灌木林。在 1990– 2005 年间, 阔叶林逐年增多, 尤其在 1995– 2000 年, 增幅明显; 而灌木林则恰好相反, 1990– 2005 年逐年减少。

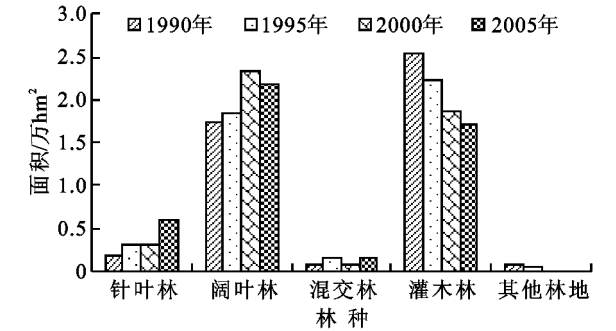


图 1 不同时段防护林面积变化

3. 1. 2 怀柔水库防护林结构变化过程 利用转移矩阵模型分析怀柔水库防护林内部结构变化, 得到怀柔水库 1990– 2005 年防护林结构变化转移矩阵, 见表 3。

转化而来;灌木林主要是由混交林转化而来。

2000–2005 年,针叶林面积的变化最大,变化面积为 3 585.52 hm<sup>2</sup>。针叶林主要是由阔叶林和灌木林转化而来;阔叶林主要是由灌木林转化而来;混交林主要是由阔叶林和灌木林转化而来;灌木林主要是由阔叶林转化而来。

通过以上分析,发现在针叶林、阔叶林、混交林和灌木林之间均有相互的转化。

3.2 怀柔水库集水区径流量变化

从 1990–2006 年,怀柔水库降水量与径流量变化见图 2 和图 3。

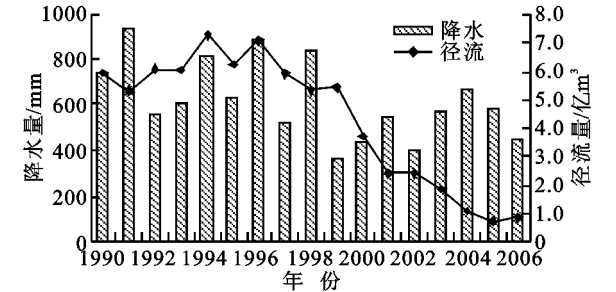


图 2 怀柔水库降水量与径流量年际变化

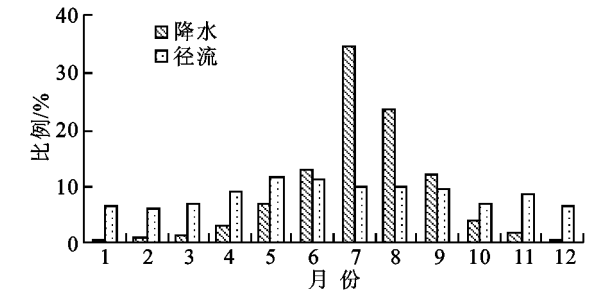


图 3 怀柔水库多年平均降水量与径流量年内变化

由图 2 可以看出,怀柔水库年降水量在 1990–2000 年总体上无明显变化,基本在 600 mm 左右。1991 年最多,为 937.7 mm;1999 年最少,为 371.6 mm。1990–1998 年间相对较多,波动也比较大;在 1999–2006 年间降水相对较少,波动不大。径流量在 1990–2000 年呈现波动趋势,基本保持在 6.0 亿 m<sup>3</sup> 左右;2000 年以后,呈现明显的逐年减少趋势,2005 年降到最低点,径流量小于 1.0 亿 m<sup>3</sup>。

怀柔水库多年平均降水量为 623 mm,平均径流量为 43 285.07 万 m<sup>3</sup>。由图 3 可以看出,怀柔水库多年平均各月降水量呈明显正态分布,起伏较大。7 月降水量最多,为 214.1 mm,占全年降水总量的 34.37%,1 月降水量最少,为 2.7 mm,占全年降水总量的 0.43%,二者相差非常大。汛期(5–9 月)的降水总量为 554.2 mm,占全年降水总量的 88.95%,即研究区降水非常集中。怀柔水库多年平均各月径流量变化不大,起伏非常小,最小值在 12 月,径流量为 2 724.83 万 m<sup>3</sup>,占全年径流总量的

6.30%;最大值在 5 月,径流量为 4 814.26 万 m<sup>3</sup>,占全年径流总量的 11.12%,二者差距不大。在汛期,也就是 5–9 月,径流量相对较多,占到全年径流总量的 59.66%。

通过以上分析,可以看出,研究区降水量的年内分布变化明显,相对而言,径流量变化较小,也就是说,径流量与降水量的相关系数为 0.43,二者没有明显相关性。

3.3 怀柔水库径流量与防护林结构变化响应分析

怀柔水库径流量年际变化较大,尤其在 2000 年后明显减少,其原因是多方面的。在研究怀柔水库 1990–2006 年降水量,发现其没有明显变化的基础上,重点考虑防护林建设对径流量的影响。

3.3.1 径流量与乔木林和灌木林结构变化的响应分析 根据树高、冠幅、胸径、有无主干等,将木本植物划分为乔木和灌木等。针叶林、阔叶林和混交林一般属于乔木林。就水土保持和水源涵养的功能方面来讲,乔木林的功能远远大于灌木林的功能。据此分析乔木林和灌木林结构变化对怀柔水库径流量的影响。

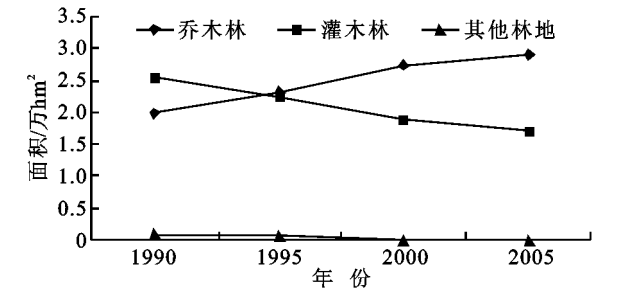


图 4 1990 年、1995 年、2000 年和 2005 年防护林结构变化图

1990–2005 年,防护林中的乔木林面积迅速增加,从 1990 年的 19 750.81 hm<sup>2</sup> 增加到 2000 年的 28 939.12 hm<sup>2</sup>,增加了 9 188.31 hm<sup>2</sup>,增幅为 46.52%;而灌木林面积急剧减少,从 1990 年的 25 508.1 hm<sup>2</sup> 减少到 17 144.97 hm<sup>2</sup>,减少了 8 363.13 hm<sup>2</sup>,减幅为 32.79%。其他林地也逐年减少,从 1990 年的 875.49 hm<sup>2</sup> 减少到 2000 年的 0,减少了 875.49 hm<sup>2</sup>,减幅为 100%;后到 2005 年又有所增加,为 7.87 hm<sup>2</sup>。

随着乔木林面积的增加,防护林水源涵养和水土保持的功能越来越强,必然会减少降水的侵蚀产沙作用,使得径流量减少并达到稳定状态。

3.3.2 径流量与针叶林、阔叶林和混交林结构变化的响应分析 1990–1995 年期间,怀柔水库防护林乔木林地逐渐增多,其中混交林增加的速度最快,达到 134.48%,针叶林增加的速度次之,达到 78.25%,阔叶林增加的速度为 6.06%。在此期间,

怀柔水库年径流基本稳定在 7.0~8.0 亿 m<sup>3</sup>, 此时的防护林结构以灌木林地为主, 占到防护林总面积的 50% 左右。

1995–2000 年, 防护林结构中灌木林地的比例继续下降, 其中其他林地减少的速度最快, 为 100%; 林地面积增加的只有阔叶林, 速度为 27.14%。在此期间, 怀柔水库年径流量明显的逐年递减, 从 7.0 亿 m<sup>3</sup> 减少到 4.0 亿 m<sup>3</sup>, 减少了约 42.8%。

2000–2005 年, 防护林结构中针叶林增加的速度为 90.26%, 混交林增加了 54.62%, 其它林地的面积增加了 7.87 hm<sup>2</sup>。灌木林减少了 8.24%, 阔叶林减少了 6.99%。在此期间, 怀柔水库年径流量持续减少, 从 4.0 亿 m<sup>3</sup> 减少到 1.0 亿 m<sup>3</sup> 左右, 至 2005 年达到最低点, 为 7380.36 万 m<sup>3</sup>。

1990–2005 年, 灌木林地和其他林地, 逐渐减少, 其他林地减少为 0, 后又增加为 7.87 hm<sup>2</sup>; 而针叶林、阔叶林和混交林均有不同程度的增加。防护林中阔叶林的比例上升为 44.80%, 成为最主要的类型。2005 年以后, 年径流量减少到 1.0 亿 m<sup>3</sup> 以下, 是 1990 年的 5% 左右。

4 结论与讨论

在年降水量没有明显变化的基础上, 怀柔水库的径流量由 1990 年的 8.0 亿 m<sup>3</sup> 减少到 2005 年后的 1.0 亿 m<sup>3</sup>, 主要是防护林发挥了削洪减洪的功能。随着径流量的减少, 怀柔水库集水区的水土流失情况也必然有所好转, 并进一步改良土壤, 改善当

地小气候。同时反作用于防护林, 使得防护林的格局也发生了变化, 其主体由灌木林逐步演变为乔木林, 而乔木林中阔叶林占据优势, 也就是说, 防护林系统逐步成熟。以灌木林占主导地位的防护林, 发挥其改良土壤, 改善小气候的功能, 逐步发展成为乔木林占主导地位的防护林体系, 达到其减少径流, 防治水土流失的功能。

参考文献:

[1] 孙鹏森, 马履一, 王田华. 北京市水源保护林体系的基本格局与发展思路[J]. 环境保护, 2003(1): 29-33.

[2] 亢新刚, 黄庆丰. 华北次生林结构调整研究[J]. 北京林业大学学报, 2000, 22(3): 41-43.

[3] 陈伟, 李山东, 薛立. 水源涵养林的功能和效益综述[J]. 山西林业科技, 2004(2): 18-20.

[4] 高成德, 余新晓. 水源涵养林研究综述[J]. 北京林业大学学报, 2000, 22(5): 78-82.

[5] 王礼先, 高甲荣, 谢宝元, 等. 密云水库集水区生态经济分区研究[J]. 水土保持通报, 1999, 19(2): 1-6.

[6] 范志平, 余新晓. 中国水源保护林生态系统功能评价与营建技术体系[J]. 世界林业研究, 2000, 13(1): 51-58.

[7] 刘世海, 余新晓, 胡春宏, 等. 密云水库北京集水区人工水源保护林降水化学性质研究[J]. 水土保持学报, 2002, 16(1): 100-103.

[8] 高成德, 余新晓. 密云水库集水区(北京境内)水源保护林最优林种结构的研究[J]. 林业科技通讯, 2000(5): 30-31.

[9] 秦富仓. 黄土地区流域森林植被格局对侵蚀产沙过程的调控研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2006.

(上接第 142 页)

[3] 廖克. 地学信息图谱的探讨与展望[J]. 地球信息科学, 2002, 4(1/2): 14-20.

[4] 廖克. 地球信息图谱与数字地球[J]. 地理研究, 2001, 20(1): 56-61.

[5] 曾从盛. 福建省生态环境现状调查[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2003.

[6] 陈菁. 基于空间数据库的生态环境综合信息图谱的指标体系研究[J]. 云南师范大学学报, 2005, 25(1): 60-64.

[7] 廖克. 生态环境遥感综合系列制图方法[J]. 地理学报, 2005, 60(3): 479-486.

[8] 封志明, 杨艳昭, 宋玉, 等. 中国县域土地利用结构类型研究[J]. 自然资源学报, 2003, 18(5): 552-561.

[9] 陈菁, 廖克. 区域生态环境综合信息图谱的分类与案例分析: 以福建省为例[J]. 地球信息科学, 2007, 9(2): 85-90.

[10] 万荣荣, 贾宏俊. 安徽省综合地理区划初步研究[J]. 安徽师范大学学报: 自然科学版, 2001, 24(3): 298-301.

[11] 张飞涟, 张涛. 基于 GIS 的图形叠置法在城镇市政设施投资项目环境影响后评价中的应用[J]. 城市勘测, 2007(1): 28-31.

[12] 马仁会, 李强, 李小波, 等. 县级农用地分等评价单元划分方法评价[J]. 地理学与国土研究, 2002, 18(2): 93-95.

[13] 张雅杰, 张俊玲, 杨洋. 层次聚类分析法在连州市土地利用分区中的应用[J]. 国土资源科技管理, 2007, 24(5): 71-76.

[14] 罗俊, 周寅康, 彭补拙. 浙江平阳县土地资源利用分区研究[J]. 土壤, 2001, 33(5): 247-272.

[15] 任春平, 杜敏, 李涛. 杨凌区节水灌溉分区规划[J]. 水土保持研究, 2002, 9(2): 15-18.

[16] 徐梦洁. 江苏省农业资源综合利用分区研究[J]. 农业系统科学与综合研究, 2002, 18(3): 162-168.

[17] 杨孝友, 陈长春. 中国县域资源组合结构的分类研究[J]. 长江流域资源与环境, 2000, 9(40): 437-443.