

抚仙湖流域植被景观格局分析^{*1}

孔维琳¹, 王余舟², 向伶³, 王崇云¹, 和兆荣¹, 杨树华¹

(1. 云南大学 生态学与地植物学研究所, 云南 昆明 650091; 2. 云南广播电视大学, 云南 昆明 650223;
3. 云南国土资源职业学院, 云南 昆明 650217)

摘要:采用 3S 技术及结合野外植被样地调查, 定量分析抚仙湖流域植被景观结构及各植被景观要素组分在不同海拔、坡向和坡度上的空间分布规律. 采用 FRAGSTATS 3.3 软件, 定量分析了抚仙湖流域 10 种植被景观类斑的空间分布特征. 主要研究结果包括: ① 自然植被、人工植被、居民点和水体分别占研究区面积的 31.74%、35.13%、1.84% 和 31.30%; ② 旱地集中分布在海拔 2 100 m 以下; 自然植被中, 云南松林分布在海拔较低的区域, 而华山松林分布于海拔相对较高的区域; ③ 针叶林和半湿润常绿阔叶林等森林植被在阳坡、半阳坡地段分布较阴坡、半阴坡少, 而半湿润常绿阔叶灌丛和灌草丛在阳坡、半阳坡地段分布较多; ④ 自然植被集中分布的坡度区间主要在 2°~25°之间.

关键词:抚仙湖; 植被景观; 空间格局

中图分类号:P 901 **文献标识码:**A **文章编号:**0258-7971(2012)04-0468-08

景观指反映内陆地形地貌景色的图像, 诸如草原、森林、山脉、湖泊等^[1], 植被景观指天然或人工栽植的由乔、灌、草和古树名木等植物组成的不同林相、季相、绚丽多姿的植物群落^[2]. 景观生态学是研究景观单元的类型组成、空间格局及其与生态学过程相互作用的综合性学科, 景观空间格局分析是景观生态学研究的核心内容^[1]. 景观格局的形成及其变化是自然、社会和生物等多种要素相互作用的结果^[3]. 1986 年美国生态学家 Forman 和法国生态学家 Godron 提出的“斑块、廊道、基质”景观研究模式为景观空间分析提供了“空间语言”^[4]; 遥感、地理信息系统及计算机技术的发展和在景观生态学中的广泛应用为大尺度或跨尺度的景观空间分析提供了“空间手段”^[5].

近年来, 很多研究应用 GIS、遥感与统计分析模型等先进方法和手段, 分析森林、绿洲、湿地、沙地和土壤的景观格局空间局及动态过程^[6-14]. 以海拔、坡向和坡度为主要因素形成的立地条件空间格

局和人为干扰的空间格局, 共同控制着森林景观恢复过程及其空间格局^[8,15]. 本文以抚仙湖流域植被景观空间格局为研究对象, 利用 3S 技术, 结合野外调查、GPS 取样和卫星遥感影像判读, 分析该流域植被景观结构及各植被景观要素组分在不同海拔、坡向和坡度上的空间分布规律. 研究结果对该区域生态建设和景观规划具有参考价值.

1 研究区概况

抚仙湖流域地处滇中(图 1), 位于东经 102°39'~103°00', 北纬 24°13'~24°46'之间, 属玉溪市辖区, 流域面积 70 705.44 hm², 其中水域面积 22 130.40 hm², 占流域面积的 31.30%, 水体水质仍保持 II 类. 该流域涉及澄江、江川和华宁 3 县的 7 个乡镇 39 个村公所, 总计 253 个自然村; 流域区农村经济以种植业为主, 其余为林业、牧业和渔业, 近年来旅游业发展迅速. 研究区内森林植被的种类及分布, 主要受热量因子和水分的制约, 由于

* 收稿日期: 2011-11-18

基金项目: 云南省教育厅自然科学基金项目资助(09Y0343).

作者简介: 孔维琳(1981-), 女, 云南人, 硕士生, 主要从事植被生态学与景观生态学方面的研究.

通讯作者: 王崇云(1971-), 男, 云南人, 博士, 副教授, 主要从事植物生态、进化生态、生物多样性保护方面的研究. E-mail: cywang@

径流面积小,纬度跨幅不大,森林植被水平分布差异不明显.然而该区气候和土壤随海拔差异变化较大,森林植被垂直分布规律较明显.长期以来,流域内受人为活动的影响,区内常绿阔叶林遭到严重破坏,现有森林以华山松林、云南松林等针叶林为主.随休闲观光旅游业的发展,打造水天合一的湖光山色成为流域生态修复的重点,因此,抚仙湖流域现状植被景观格局研究具有重要意义.

2 研究方法

2.1 遥感影像判读 采用遥感卫星影像数据获取地面覆盖类型的信息,卫星影像采用时相为 2010

年 Spot 5 遥感数据(轨道行列号:261 ~ 300、261 ~ 301,地面分辨率为 10 m),结合地面 GPS 的训练区采样,运用 ERDAS 8.6 支持下的监督分类进行解译,转换生成最小像元为 30 m × 30 m 的栅格图层.

2.2 空间分析 在 ArcView 3.3 的空间分析模块(Spatial Analyst)的支持下,以 1:50 000 的 DEM(数字高层模型, Digital Elevation Model)生成栅格数据的坡度图和坡向图,以及海拔区间图.栅格图层最小像元设定为 30 m × 30 m.通过图层叠加,定量分析现状景观组分在不同海拔范围、不同坡向(表 1)和坡度上的空间分布规律和特征.

表 1 坡向等级

Tab. 1 The classification of slope aspects

统计项	阴坡	半阴坡	半阳坡	阳坡
坡向	北坡、东北坡	东坡和西北坡	东南坡和西坡	南坡和西南坡
方位角/(°)	337.5 ~ 360 0 ~ 67.5	67.5 ~ 112.5 292.5 ~ 337.5	112.5 ~ 157.5 247.5 ~ 292.5	157.5 ~ 247.5

依据对山地的土地分级单位中的土地相的分类标准,将坡度分为 6 级:0° ~ 2°为平地,2° ~ 8°为平缓地,8° ~ 15°为缓坡地,15° ~ 25°为坡地,25° ~ 35°为陡坡地,35°以上为急陡坡.

2.3 景观特征分析 本研究中选用下列景观指数分析类斑的面积、密度和格局.所有指数的计算采用栅格数据在 FRAGSTATS 3.3 程序中完成^[16-18].所用指数的计算公式及生态学含义如下:

(1) 斑块类型面积(CA),单位:hm².

(2) 景观类型百分比(Percent of landscape)

$$PLAND = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}}{A} \times 100\% \quad (1)$$

式中:A 为总的景观面积(m²), a_{ij} 为斑块 ij 的面积(m²).其中, $i = 1, \dots, m$,代表斑块类型; $j = 1, \dots, n$,代表斑块数目.

PLAND 反映某一斑块类型在景观中的组成百分比,值越大说明该斑块类型所占面积越大,是确定优势景观元素的依据之一.

(3) 斑块数(Number of Patches)

$$NP = n_i \quad (2)$$

式中: n_i 为类型 i 的斑块数目.

NP 在类型级别上等于景观中某一斑块类型的斑块总个数;在景观级别上等于景观中所有的斑块总数.可反映整个景观的异质性,其值的大小与景观的破碎度也有很好的正相关性,一般规律是 NP 大,破碎度高;NP 小,破碎度低.

(4) 最大斑块指数(Largest Patch Index)

$$LPI = \frac{\max_{j=1}^n a_{ij}}{A} \times 100\% \quad (3)$$

式中:A 为总的景观面积(m²), a_{ij} 为斑块 ij 的面积(m²).其中, $i = 1, \dots, m$,代表斑块类型; $j = 1, \dots, n$,代表斑块数目.

LPI 表示最大斑块占景观面积的比例,其大小决定景观中的优势种,内部种丰度等特征,反映人类活动的方向和强弱.

(5) 斑块平均大小(Mean Patch Size)

$$MPS = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}}{n_i} \times \frac{1}{10000} \quad (4)$$

式中: a_{ij} 为斑块 ij 的面积(m²), n_i 为类型 i 的斑块数目.其中, $i = 1, \dots, m$,代表斑块类型; $j = 1, \dots, n$,代表斑块数目.

MPS 在斑块级别上等于某一斑块类型的总面

积除以该类型的斑块数目;在景观级别上等于景观总面积除以各个类型的斑块总数。MPS值的分布区间对图像或地图的范围以及对景观中最小斑块粒径的选取有制约作用;另一方面 MPS 可以指征景观的破碎程度。

3 结果与分析

3.1 植被景观结构分析

3.1.1 植被景观类型 根据研究区的生态环境,并考虑研究区域的空间尺度范围和资料的可获得性,将抚仙湖流域区的植被为划分为 10 种类型(表 2,图 2)。

3.1.2 植被景观结构 由表 3 可见,流域景观要素中水体面积最大,占总面积的 31.30%;陆地景观中,旱地栽培植被面积最大,占总面积的 24.30%;其次是灌草丛和水田栽培植被,所占面积比分别是 10.94% 和 10.63%;接下来依次是华山松林、云南松林、半湿润常绿阔叶灌丛,所占面积比

分别是 7.53%、7.38%、4.94%;半湿润常绿阔叶林和经济林所占面积比最小。由此可见,现状植被景观组分中,耕地(旱耕和水田)和经济林等人为干扰景观组分占到了总面积的 35.13%。自然景观组分中,灌草丛、华山松林、云南松林、半湿润常绿阔叶灌丛等占总面积的 31.74%。水体和居民地占总面积的 33.14%。

表 2 抚仙湖流域植被景观组成

Tab. 2 Vegetated landscape composites of Fuxian Lake basin

类型	景观要素
自然植被	半湿润常绿阔叶林、半湿润常绿阔叶灌丛、云南松林、华山松林、灌草丛
人工植被	水田栽培植被、旱地栽培植被、经济林
其它	居民地、水体

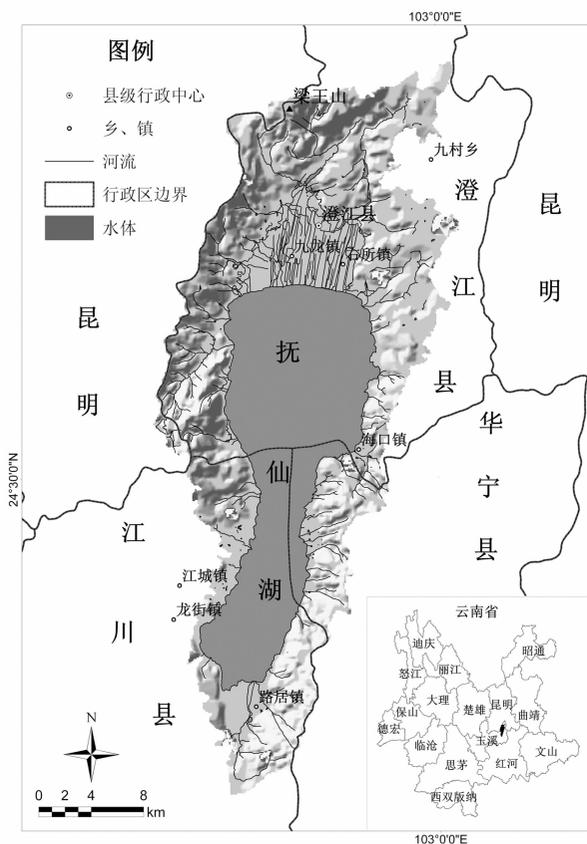


图 1 抚仙湖流域位置示意图

Fig. 1 Geographic location of Fuxian Lake basin

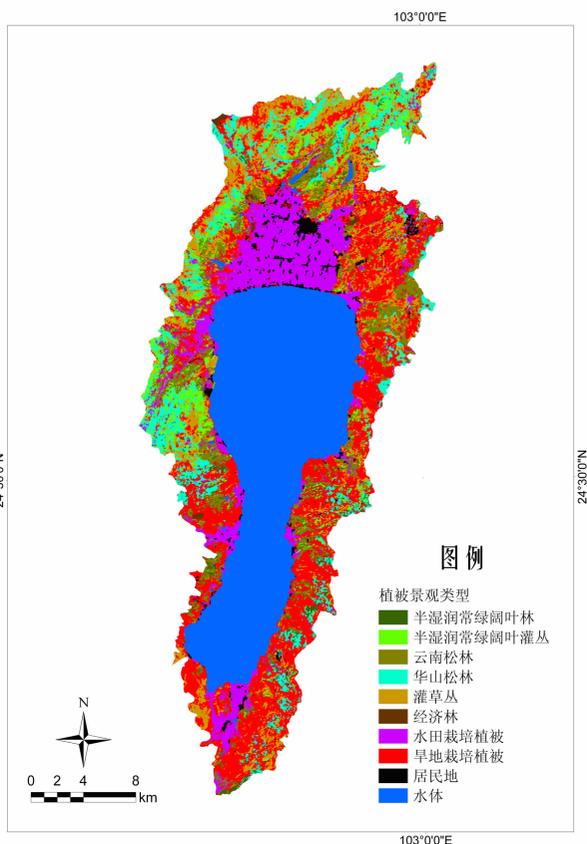


图 2 抚仙湖流域景观植被类型图

Fig. 2 Vegetated landscapes map of Fuxian Lake basin

表3 植被景观类斑特征

Tab.3 Patchiness characteristics of vegetated landscape classes

	景观要素 类型	面积(A)/ hm ²	面积比例 (PLAND)/%	斑块数(NP)	斑块数 比例/%	最大斑块 指数(LPI)/%	斑块平均大小 (MPS)/hm ²
植 被 景 观	半湿润常绿阔叶林	673.48	0.95	578	6.43	0.0593	1.1652
	半湿润常绿阔叶灌丛	3493.92	4.94	1631	18.15	0.4030	2.1422
	云南松林	5219.56	7.38	1009	11.23	0.3949	5.1730
	华山松林	5322.68	7.53	977	10.87	0.8278	5.4480
	灌草丛	7732.08	10.94	2034	22.63	0.6791	3.8014
	旱地栽培植被	17177.88	24.30	1456	16.20	4.6861	11.7980
	水田栽培植被	7512.56	10.63	758	8.43	6.1697	9.9110
	经济林	143.92	0.20	5	0.06	0.0670	28.7840
	其 他	居民地	1298.96	1.84	427	4.75	0.2831
水体		22130.40	31.30	112	1.25	30.8657	197.5929
	合计	70705.44	100	8987	100	—	—

从斑块数来看,从大到小排列依次是灌草丛>半湿润常绿阔叶灌丛>旱地栽培植被>云南松林>华山松林>水田栽培植被>半湿润常绿阔叶林>居民地>水体>经济林.各景观要素破碎度由高到低的排序是灌草丛斑块数最大,占景观斑块总数的22.63%,其破碎度最高;水体虽然面积最大,但因斑块数小,破碎度较低;从斑块平均大小看,也是水体和经济林的破碎度较低.

最大斑块指数可以表明斑块组成的大小,水体、水田和旱地的由面积较大的斑块组成,其余景观要素的都由较小面积的斑块组成,尤其是组成半湿润常绿阔叶林和经济林的斑块较小.

3.2 植被景观空间分布特征

3.2.1 植被类型的垂直分布特征 从表4列出的6个海拔等级在研究区所占的面积和比重中可以看出:海拔1720~1740m的区域的面积最大,占整个研究区面积的36.48%;其次是1900~2100m和1740~1900m,分别占研究区总面积的23.22%和22.46%;在海拔2100m以上,随着海拔的增加,面积逐渐减少.

人工植被在各高度带均占优势,尤其是在海拔较低(2100m以下)区域,人为垦殖活动更为明显;其中旱地分布较广,在各个高度上均有分布.在1720~1740m之间除了水体(含水生植物)以外,主要为水田栽培植物,其面积占到该高度上所有植被面积的89.31%;1740~1900m之间的优势群

落为旱地和水田栽培植物,其面积共占到该高度上所有植被面积的68.63%.水田主要分布在1900m以下海拔较低的、靠近湖边的区域;旱地分布则较广些,主要分布在1740~2100m的区域.

自然植被中,云南松林主要分布在海拔较低的区域,而华山松林分布于海拔相对较高的区域.98.37%的云南松林分布在1740~2100m的高度上;华山松林主要集中在2100~2300m和1900~2100m的2段海拔高度上,分别占到自身植被面积的47.71%和35.63%,在海拔2300m以上,随着高度的增加,面积逐渐减少.半湿润常绿阔叶林主要集中在1900~2100m海拔高度上,占到本类型植被总面积的44.37%,随着高度的增加或降低,面积逐渐减少.

半湿润常绿阔叶灌丛主要集中在1900~2100m和2100~2300m2个海拔段高度上,共占本类型植被总面积的74.91%.灌草丛植被百分比峰值区出现的高度为1900~2100m;随着海拔高度的增加,各植被类型的面积都逐渐减少,灌草丛为2500~2800m高度上的优势群落

3.2.2 植被类型分布与坡向的关系 从表5中可看出,整个研究区,除平地以外4个坡向上,半阳坡面积最大,占研究区总面积20.09%,其次是半阴坡和阳坡,阴坡的面积最小.4个坡向上面积大小和植被总体分布面积大小是相一致的.

表4 各海拔等级的植被面积

Tab. 4 Area of vegetated landscape classes in different elevation ranges

植被类型		1 720 ~	1 740 ~	1 900 ~	2 100 ~	2 300 ~	2 500 ~
		1 740 m	1 900 m	2 100 m	2 300 m	2 500 m	2 800 m
半湿润常绿阔叶林	面积/hm ²	0.00	135.54	299.70	187.56	40.32	12.33
	比例/%	0.00	0.87	1.83	2.34	1.28	0.85
半湿润常绿阔叶灌丛	面积/hm ²	10.62	511.20	1 444.32	1 177.47	284.58	71.73
	比例/%	0.26	3.28	8.82	14.72	9.05	4.97
云南松林	面积/hm ²	84.78	2 537.28	2 598.30	0.00	0.00	0.00
	比例/%	2.10	16.30	15.86	0.00	0.00	0.00
华山松林	面积/hm ²	0.00	0.00	1 896.93	2 540.16	614.88	272.07
	比例/%	0.00	0.00	11.58	31.75	19.56	18.85
灌草丛	面积/hm ²	27.00	1 444.05	2 784.60	1 661.49	1 069.56	743.76
	比例/%	0.67	9.28	17.00	20.77	34.02	51.52
水田栽培植被	面积/hm ²	3 162.51	3 841.20	402.39	112.05	2.07	0.36
	比例/%	78.36	24.68	2.46	1.40	0.07	0.02
旱地栽培植被	面积/hm ²	255.96	6 407.28	6 729.84	2 298.15	1 126.08	342.54
	比例/%	6.34	41.17	41.08	28.73	35.82	23.73
经济林	面积/hm ²	0.00	55.26	86.67	1.89	0.00	0.00
	比例/%	0.00	0.36	0.53	0.02	0.00	0.00
居民地	面积/hm ²	495.09	632.88	138.78	21.69	6.12	0.90
	比例/%	12.27	4.07	0.85	0.27	0.19	0.06
合计	面积/hm ²	4 035.96	15 564.69	16 381.53	8 000.46	3 143.61	1 443.69

表5 各坡向的植被面积

Tab. 5 Area of vegetated landscape classes on different slope aspects

植被类型		平地	阴坡	半阴坡	半阳坡	阳坡
半湿润常绿阔叶林	面积/hm ²	0.18	226.89	194.94	148.86	102.15
	比例/%	0.01	3.02	1.60	1.06	0.90
半湿润常绿阔叶灌丛	面积/hm ²	5.13	513.72	1 181.70	1 134.81	664.92
	比例/%	0.15	6.84	9.67	8.06	5.87
云南松林	面积/hm ²	53.64	1 283.31	1 643.04	1 301.85	929.34
	比例/%	1.58	17.08	13.45	9.25	8.21
华山松林	面积/hm ²	0.27	1 269.90	1 532.79	1 574.82	938.79
	比例/%	0.01	16.90	12.55	11.19	8.29
灌草丛	面积/hm ²	15.21	979.56	1 925.73	2 390.40	2 381.76
	比例/%	0.45	13.04	15.76	16.98	21.04
水田栽培植被	面积/hm ²	2 740.77	575.19	1 185.21	1 588.68	1 416.87
	比例/%	80.64	7.65	9.70	11.29	12.52
旱地栽培植被	面积/hm ²	150.75	2 533.05	4 391.73	5 610.33	4 489.92
	比例/%	4.44	33.71	35.95	39.86	39.67
经济林	面积/hm ²	0.00	28.62	17.01	57.87	40.05
	比例/%	0.00	0.38	0.14	0.41	0.35
居民地	面积/hm ²	432.90	104.22	143.10	268.83	355.50
	比例/%	12.74	1.39	1.17	1.91	3.14
合计	面积/hm ²	3 398.85	7 514.46	12 215.25	14 076.45	11 319.30

分析同一种坡向上不同植被类型的面积,结果表明:自然植被中,除了半湿润常绿阔叶灌丛和灌草丛的分布面积是(半)阳坡大于(半)阴坡外,其余几类都是(半)阴坡的分布面积要大于(半)阳坡.云南松林集中分布在半阴坡,其次是半阳坡和阴坡;华山松林集中分布在半阳坡和半阴坡,其次是阴坡.自然植被在各个坡向上的分布规律可能说明:在阳坡、半阳坡地段,由于面积所限、空气湿度和土壤含水量较低及人为垦殖活动的干扰,针叶林和半湿润常绿阔叶林等林地分布较阴坡、半阴坡少;而灌草丛等植物因耐旱,在阳坡、半阳坡地段分布较多.人工植被中,水田和旱地的面积分布是阳坡明显大于阴坡.

3.2.3 植被类型分布与坡度的关系 抚仙湖流域区 $0^{\circ} \sim 2^{\circ}$ 的土地较多,占整个区域面积的 38.77%,其次是 $8^{\circ} \sim 15^{\circ}$ 和 $15^{\circ} \sim 25^{\circ}$ 的坡地,其面积分别占研究区总面积的 22.07% 和 20.47%, 35°

以上坡度的面积最少,占 0.62% (见表 6).

各类型植被集中分布在 $2^{\circ} \sim 25^{\circ}$ 之间,两端相对较少.由于研究区属于湖泊流域,平缓部分 ($0^{\circ} \sim 2^{\circ}$) 主要为水体,陆生植被相应少;在坡度超过 35° 的陡峭地区,土壤层薄,植被不适宜生长.云南松林在 $8^{\circ} \sim 15^{\circ}$ 坡度之间出现峰值,而华山松林在 $15^{\circ} \sim 25^{\circ}$ 坡度之间出现峰值,半湿润常绿阔叶灌丛和灌草丛的峰值均出现在 $15^{\circ} \sim 25^{\circ}$ 坡度上.人工植被中,水田主要集中在平缓坡 ($\leq 15^{\circ}$),旱地主要集中在 $2^{\circ} \sim 25^{\circ}$ 坡度之间.

4 讨论

在本研究的尺度上,以海拔、坡向和坡度为主要表现形式的空间梯度,形成较为稳定的立地条件格局,加上以人为活动为主的干扰状况,共同控制着流域的植被景观格局.

表 6 各坡度的植被面积

Tab. 6 Area of vegetated landscape classes at different slope gradients

植物类型		$0^{\circ} \sim 2^{\circ}$	$2^{\circ} \sim 8^{\circ}$	$8^{\circ} \sim 15^{\circ}$	$15^{\circ} \sim 25^{\circ}$	$25^{\circ} \sim 35^{\circ}$	$\geq 35^{\circ}$
半湿润常绿阔叶林	面积/hm ²	0.27	81.27	319.14	243.18	26.64	2.61
	比例/%	0.00	0.79	2.05	1.69	1.14	0.62
半湿润常绿阔叶灌丛	面积/hm ²	10.44	338.85	843.12	1744.92	496.26	66.60
	比例/%	0.19	3.29	5.43	12.12	21.22	15.90
云南松林	面积/hm ²	79.56	1193.04	2339.28	1513.53	77.85	8.73
	比例/%	1.43	11.59	15.06	10.51	3.33	2.08
华山松林	面积/hm ²	3.42	670.77	1707.03	2521.53	397.62	15.84
	比例/%	0.06	6.51	10.99	17.52	17.00	3.78
灌草丛	面积/hm ²	23.76	1346.67	2550.51	3035.25	631.53	106.92
	比例/%	0.43	13.08	16.42	21.08	27.00	25.53
水田栽培植被	面积/hm ²	4337.55	1963.62	774.90	339.93	40.14	51.39
	比例/%	78.21	19.07	4.99	2.36	1.72	12.27
旱地栽培植被	面积/hm ²	296.55	4298.94	6863.49	4929.30	650.16	138.60
	比例/%	5.35	41.75	44.19	34.24	27.80	33.10
经济林	面积/hm ²	16.65	75.69	36.27	15.12	0.00	0.00
	比例/%	0.30	0.74	0.23	0.11	0.00	0.00
居民地	面积/hm ²	777.60	327.24	99.54	53.01	18.90	28.08
	比例/%	14.02	3.18	0.64	0.37	0.81	6.71
合计	面积/hm ²	5545.80	10296.09	15533.28	14395.77	2339.10	418.77

植被类型的垂直分布:人工植被在每个高度带内均占优势,尤其是在海拔较低(2 100m 以下)区域,人为垦殖活动更为明显;其中旱地分布较广,在各个高度上均有分布.自然植被中,云南松林主要分布在海拔较低的区域,而华山松林分布于海拔相对较高的区域.通常随着海拔的降低,人为活动对植被沿坡向坡度梯度分布的控制作用增强^[19],由主要受自然条件控制到自然条件和人为干扰双重控制,进一步过渡到主要受人为活动控制.植被分布与坡向关系:从自然植被在各个坡向上的分布规律可以推断,在阳坡、半阳坡地段,针叶林和半湿润常绿阔叶林等林地分布较阴坡、半阴坡少,半湿润常绿阔叶林灌丛则在阴坡和阳坡都有较多分布;灌草丛等植物因耐旱,在阳坡、半阳坡地段分布较多^[20];人工植被中,水田和旱地的面积分布阳坡明显大于阴坡.抚仙湖流域阳坡面积较大,居民地在阳坡的面积大于阴坡,且水田、旱地等人工植被主要分布在居民点周边^[21],因此,阳坡的人工植被多于阴坡;由于受人为干扰较为严重,滇中的半湿润常绿阔叶林多零星分布在阴坡和陡坡地^[22],半湿润常绿阔叶林灌丛的广泛分布也说明了抚仙湖流域半湿润常绿阔叶林受人为干扰非常严重.植被分布与坡度关系:水田主要分布在 15° 以下的区域,旱地集中分布在 25° 以下,半湿润常绿阔叶灌丛的面积在 25° 以上快速增长.周爱霞等^[23]的研究表明:大宁河流域人类活动主要集中在坡度 15° 以下区域,森林面积在 25° 以上区域成上升趋势,这一结果与抚仙湖流域植被分布于坡度关系相似.居民地主要分布在坡度较小地区^[21],造成该地区人工植被分布增多,而森林、灌木林面积减少.

以上研究结果提供了全面详实的抚仙湖流域景观组成与格局资料,可为该流域合理规划景观资源提供科学依据,从而更好地进行抚仙湖流域生态环境保护.

参考文献:

- [1] 邬建国. 景观生态学概念与理论[J]. 生态学杂志, 2000, 19(1): 42-52.
- [2] 沈宝辉. 广州市白云山风景名胜区植被景观的发展变化和对策[J]. 农业科技与信息: 现代园林, 2008, (7): 77-81.
- [3] 周华锋, 马克明, 傅伯杰. 人类活动对北京东灵山地区景观格局影响分析[J]. 自然资源学报, 1999, 14(2): 117-122.
- [4] FORMAN R T T, GODRON M. Landscape ecology[M]. New York: John Wiley and Sons, 1986.
- [5] 肖笃宁, 苏文贵, 贺红土. 景观生态学的发展和应[J]. 生态学杂志, 1988, 7(6): 43-48.
- [6] 梁国付, 丁彦彦. 森林景观变化的地理环境因素整合分析 - 以伊洛河流域洛宁县为例[J]. 生态学报, 2010, 30(6): 1472-1480.
- [7] WAKEEL A, RAO K S, MAIKHURI R K, et al. Forest management and land - use/cover changes in a typical micro watershed in the mid - elevation zone of Central Himalaya, India[J]. Forest Ecology and Management, 2005, 213(1/3): 229-242.
- [8] 肖寒, 欧阳志云, 赵景柱, 等. 海南岛景观空间结构分析[J]. 生态学报, 2001, 21(1): 20-27.
- [9] 周彬, 余新晓, 陈丽华, 等. 北京山区森林景观格局与环境关系的 CCA 研究[J]. 水土保持通报, 2010, 30(6): 148-152.
- [10] 王兮之, BRUELHEIDE H, RUNGE M, 等. 基于遥感数据的塔南策勒荒漠 - 绿洲景观格局定量分析[J]. 生态学报, 2002, 22(9): 1491-1500.
- [11] 汪爱华, 张树清, 张柏. 三江平原沼泽湿地景观空间格局变化[J]. 生态学报, 2003, 23(2): 237-243.
- [12] 邢宇, 姜琦刚, 李文庆, 等. 青藏高原湿地景观空间格局的变化[J]. 生态环境学报, 2009, 18(3): 1010-1015.
- [13] 张华, 丁亮, 苗苗. 科尔沁沙地景观空间格局及其生态环境效应分析[J]. 水土保持学报, 2007, 21(2): 192-196.
- [14] 朱文转, 夏北成, 江学顶. 惠州市土壤重金属污染景观空间格局特征研究[J]. 中国环境科学, 2009, 29(8): 885-891.
- [15] 郭晋平, 张芸香. 森林景观恢复过程中景观要素空间分布格局及其动态研究[J]. 生态学报, 2002, 22(12): 2021-2029.
- [16] KEVIN M, WILLIAM C M. Relationship between landscape structure and breeding birds in the Oregon Coast Range[J]. Ecological Monographs, 1995, 65(3): 235-260.
- [17] LI Xin, LU Ling, CHENG Guo-dong, et al. Quantifying landscape structure of the Heihe River Basin, north - west China using FRAGSTATS[J]. Journal of Arid Environments, 2001, 48(4): 521-535.
- [18] RAINES G L. Description and comparison of geologic maps with FRAGSTATS - a spatial statistics program? [J]. Computers & Geosciences, 2002, 28(2): 169-177.
- [19] 张明阳, 王克林, 刘会玉, 等. 喀斯特区域景观空间

- 格局随高程的分异特征[J]. 生态学杂志, 2008, 27(7): 156-160.
- [20] 杨存建, 周成虎. 基于知识的遥感图像分类方法的探讨[J]. 地理学与国土研究, 2001, 17(1): 72-77.
- [21] 章皖秋, 李先华, 罗庆州, 等. 基于 RS、GIS 的天目山自然保护区植被空间分布规律研究[J]. 生态学杂志, 2003, 22(6): 21-27.
- [22] 吴征镒, 朱彦丞. 云南植被[M]. 北京: 科学出版社, 1987.
- [23] 周爱霞, 马泽忠, 周万村. 大宁河流域坡度与坡向对土地利用/覆盖变化的影响[J]. 水土保持学报, 2004, 18(2): 126-129.

An analysis on the landscape pattern of the vegetation in Fuxian Lake basin in Yunnan

KONG Wei-lin¹, WANG Yu-zhou², XIANG Lin³, WANG Chong-yun¹, HE Zhao-rong¹, YANG Shu-hua¹

(1. Institute of Ecology and Geobotany, Yunnan University, Kunming 650091, China;

2. Yunnan Radio and TV University, Kunming 650223, China;

3. Yunnan Land Resources Vocational College, Kunming 650217, China)

Abstract: By 3S techniques and sample - plot survey in the field, quantitative analysis was applied to study on the vegetative composition of the landscape and the spatial distribution of the landscape features by different elevation, slope aspects and slope gradient in Fuxian Lake basin. The spatial distribution of 10 vegetative landscape factors was analyzed by FRAGSTATS 3.3. The results show that: ① The percentage of water body, residential area, artificial vegetation and natural vegetation to the whole studying area was 31.3%, 1.84%, 35.13%, and 31.74% respectively. ② Anthropogenic influence was more obvious at the lower altitude area (below 2 100 m), where rain - fed croplands were widely distributed. Among natural vegetation, *Pinus yunnanensis* forests were distributed mostly in low altitudes, and *P. armandii* forests were distributed in high altitudes. ③ Conifer forests and semi - evergreen broad - leaved forests were mainly distributed in shady and semi - shady slopes. However, semi - evergreen broad - leaved scrubs and shrub lands mainly appeared in sunny and semi - sunny slopes. ④ Natural vegetation mostly distributed in the slopes at 2° to 25°.

Key words: Fuxian Lake; vegetated landscape; spatial pattern

(上接第 467 页)

Abstract: To study a automatic detecton of micronucleus in Chinese hamster ovary (CHO) cells *in vitro* by laser scanning cytometry (LSC), the micronucleus of CHO cells induced by cyclophosphamide (CP) were detected by LSC combined with cytokinesis block micronucleus assay using two kinds of fluorescent dyes of fluorescein isothiocyanate (FITC, a protein - specific dye) and propidium iodide (PI, a DNA - specific dye). Also, the micronucleus frequencies of CHO detected by LSC were compared with that calculated by a microscope here. Binucleated cells and micronucleus in the binucleated cells can be identified by LSC accurately; and the micronucleus frequencies of binucleated cell induced by CP in the cytokinesis block micronucleus assay were found to be significantly higher than the control. Besides, the frequencies of micronucleus in CHO cells were increased along with higher concentration of cyclophosphamide. And the results of *in vitro* micronucleus scored by LSC have a good correlation with that by the traditional microscopy. LSC is an easily operated method, and it detects micronucleus in CHO cells rapidly and accurately, as well as economically. It is suitable for detecting micronucleus of *in vitro* cells, especially for attachment cells.

Key words: laser scanning cytometry; automatic; micronucleus; cytokinesis block micronucleus assay; CHO cell