

黄土半干旱区刺槐林地土壤蒸发特性研究

张卫强¹, 贺康宁², 周毅¹, 邓军涛³, 甘先华¹

(1. 广东省林业科学研究院, 广州 510520; 2. 北京林业大学 水土保持学院, 北京 100083;

3. 水利部珠江水利委员会, 广州 510611)

摘要: 试验采用微型蒸发器 (Micro-lysimeters, MLS), 人为控制土壤水分梯度, 对不覆盖、枯枝落叶物覆盖和苔藓覆盖 3 种处理的林地土壤蒸发进行了分析。结果表明, 在不同土壤水分条件下, 利用枯落物覆盖减小林地土壤蒸发效果晴天好于多云天, 枯落物覆盖、苔藓覆盖与无覆盖相比, 分别减少了 20.15% ~ 52.46% 和 11.11% ~ 36.72% 的土壤蒸发, 枯落物覆盖效果好于苔藓; 林地土壤蒸发量随土壤水分的增加呈上升趋势, 当土壤含水量增加到一定临界值后, 林地土壤蒸发量由上升变为下降, 表现出土壤水分对林地土壤蒸发具有明显的阈值反应, 土壤含水量的临界值分别为 14.2% (枯落物覆盖) 和 16.8% (不覆盖); 基于林地土壤蒸发量 (E_1) 与水面蒸发量 (E_0) 的观测数据, 利用 STATISTICA 软件统计分析, 建立林地土壤蒸发模型, 可用于林地土壤蒸发量的估算, 为林地土壤水分管理提供理论依据。

关键词: 刺槐林地; 土壤水分; 林地土壤蒸发; 林地土壤蒸发模型; 黄土半干旱区

中图分类号: S714; S715.4

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2007)06-0367-04

Study on Soil Evaporation of the *Robinia pseudoacacia* Forest Land in Semi-arid Region of the Loess Plateau

ZHANG Wei-qiang¹, HE Kang-ning², ZHOU Yi¹, DENG Jun-tao³, GAN Xian-hua¹

(1. Forest Research Institute of Guangdong Province, Guangzhou 510520, China; 2. College of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; 3. Pearl River Water Resource Commission, Guangzhou 510611, China)

Abstract: The paper have taken a systemic study by Micro-lysimeters (MLS) on soil evaporation of the *Robinia pseudoacacia* forest with no land cover, litter cover and moss cover on the Loess Plateau in semi-arid region, artificially controlling its soil water content level. It has been shown that the effect of soil evaporation with litter cover on sunny weather is better than cloudy weather, soil evaporation with litter cover and moss cover is 20.15% ~ 52.46% and 11.11% ~ 36.72% less than with no cover land respectively under the different soil water content, the soil evaporation with litter cover is less than with moss cover; the more soil water content, the higher soil evaporation, but until the water content becomes up to limitation, the more soil water content, the smaller soil evaporation, therefore, there is an obvious domain value of 14.2% and 16.8% respectively. The relationship equation has been built up, which could be used to calculate soil evaporation and taken as academic gist in soil water management, analyzing the data of evaporation in the forestland and water surface by the software of STATISTICA.

Key words: *Robinia pseudoacacia* forest land; soil water content; soil evaporation of forest land; soil evaporation model of forest land; semi-arid region of the Loess Plateau

土壤蒸发是地表能量平衡和水分平衡的重要组成部分, 在水量平衡和水循环中占有重要地位^[1]。国内对农田土壤蒸发了大量研究^[2-9], 但对林地土壤蒸发研究比较少^[10-12]。微型蒸发器 (Micro-lysimeters, MLS) 是测定土壤蒸发既简单又非常有效的方法^[13]。Micro-lysimeters 是一种无扰的、封底的、可移动的安装在土壤中的原土土柱, 以监测土壤水分散失的小型观测器皿, 国内外许多学者利用 Micro-lysimeters 对土壤蒸发了大量的研究, 取得了非常好的效果^[14-17]。

本研究人为控制土壤水分条件, 利用 Micro-lysimeters

对刺槐林地土壤蒸发进行研究, 分析不同水分条件下和不同覆盖方式对林地土壤蒸发的影响, 并建立林地土壤蒸发模型, 为林地水量平衡的研究提供依据。

1 试验区概况

试验地位于山西省方山县峪口镇的北京林业大学径流林业试验场 (北纬 37°36'58", 东经 110°02'55"), 属黄河中游黄土丘陵沟壑区, 平均海拔 1 200 m。该地区属暖温带大陆性季风气候, 年均气温为 7.3℃, ≥10℃的年均活动积温为 2 223.5℃, 干

*收稿日期: 2006-12-01

基金项目: 教育部科学技术研究重大项目“北方退耕还林区水土保持植被恢复与重建技术研究”(10407); 广东省林业局科技专项“广东省森林生态效益监测站建设与研究”

作者简介: 张卫强, 博士, 主要从事生态环境工程研究。

通信作者: 贺康宁, 教授, 博士, 博士生导师, 主要从事林业生态工程建设抗旱造林技术研究。

燥度 1.3, 年平均降水量 416 mm, 6-9 月的降水占全年的 70% 以上, 年内分布不均, 年水面蒸发量为 1 857.7 mm, 最大蒸发出现在 4-6 月, 表现出典型的北方严重春旱的特征。土壤为中壤质黄绵土, 质地均匀, 平均土壤容重 1.20 g/cm³。

2 材料与方法

2.1 试验材料

Micro-lysimeters 用不锈钢材料制成, 高 25 cm, 内径 20 cm, 备有外径稍大、材料相同的外套固定于土壤中, 以便将 Micro-lysimeters 取出和放回时操作迅速方便。人工将 Micro-lysimeters 从土壤表面按下, 将其推入土壤至 0.5 cm 露出地面, 然后取出盛有原状土柱的 Micro-lysimeters, 削去底部多余的土壤, 用防水胶密封底。

2.2 试验布设

利用 TDR 土壤水分测定仪和德制 BP-3400 精密天平 (精度 0.1 g) 人为设定不同土壤水分梯度, 分别为 (4 ± 0.5)%, (6 ± 0.5)%, (8 ± 0.5)%, (10 ± 0.5)%, (12 ± 0.5)%, (14 ± 0.5)%, (16 ± 0.5)%, (18 ± 0.5)% 和 (20 ± 0.5)%, 每个土壤水梯度重复 4 次, 覆盖与不覆盖重复各 2 次。Micro-lysimeters 表面用塑料膜覆盖, 放置阴凉处, 土壤水分充分下渗后放置刺槐林地 (1986 年植, 造林规格 1.5 m × 4 m, 平均树高 8.61 m, 平均胸径 9.14 cm, 郁闭度 0.9) 中, 用 BP-3400 精密天平称重, 称重后放回套筒, 两次称重的差值即可换算为土壤蒸发量, 为了保证测算精度, 每 3~5 d 更换器内土柱; 同时在刺槐林地布设 Φ20 cm 小型铜制蒸发皿和 -500 型原状土柱土壤蒸发器, 对刺槐林内水面蒸发和林地实际土壤蒸发进行测定。

2005 年 7-9 月, 选择典型天气, 采用枯落物与苔藓覆盖, 研究 2 种覆盖对林地土壤水分蒸发的影响效果; 利用 BP-3400 精密天平, 每天早上 8:00 定时对 Micro-lysimeters

与水面蒸发皿进行称重, 在不同土壤水分条件下, 依据林地土壤蒸发量 (E_1) 与林地水面蒸发量 (E_0) 的观测数据, 利用 STATISTICA 统计分析, 建立林地土壤蒸发模型, 模拟计算生长季林地土壤蒸发量, 同时利用 -500 型原状土柱土壤蒸发器的实测值进行对比分析。选择 2005 年 7 月 6 日与 2005 年 9 月 8 日观测数据进行分析。

3 结果与分析

3.1 不同土壤水分条件下林地土壤蒸发日过程

在林地植被管理中积极采用地面覆盖措施不仅能调节地温, 而且还可有效抑制土壤水分蒸发, 减少土壤水分损失^[8]。从图 1, 2 可以看出, 7 月 6 日典型晴天, 利用枯枝落叶物覆盖, 使林地土壤水分蒸发受太阳辐射、林下空气温度和空气饱和差影响减小, 从 8:00-14:00, 不同土壤水分条件下土壤蒸发增幅平缓, 在 14:00-15:00, 土壤蒸发达到最大值, 后呈下降趋势, 在 16:00-17:00, 出现第二个峰值, 以后随着太阳辐射强度与林下空气温度的降低, 土壤蒸发减弱; 而无覆盖 (对照) 林地土壤水分受外界环境影响显著, 随着林下光照强度的增强, 林内温度与土壤温度的上升, 水汽饱和差升高, 土壤蒸发不断提高, 蒸发速率在 11:00-12:00, 14:00-15:00 和 16:00-17:00 出现 3 次峰值, 其中, 在 14:00-15:00 时段内土壤蒸发速率值最大。

从图 3, 4 可以看出, 9 月 8 日典型晴天, 利用苔藓覆盖, 林地土壤水分受外界环境影响减小, 从上午 8:00 到 10:00, 土壤蒸发速率增幅平缓, 在 10:00-11:00, 土壤蒸发速率出现峰值, 后呈下降趋势, 在 12:00-15:00 土壤蒸发速率呈上升趋势, 在 14:00-15:00 内出现最大值; 而无覆盖的林地土壤, 受外界环境影响显著, 土壤蒸发速率在 10:00-11:00, 12:00-13:00 和 14:00-15:00 出现 3 次峰值, 其中在 14:00-15:00 时段内土壤蒸发速率值最大。

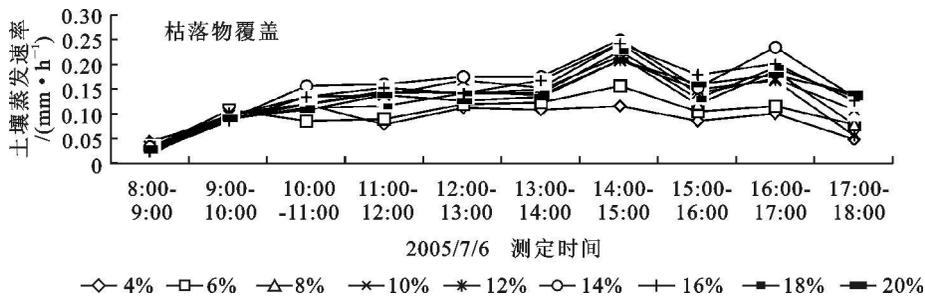


图 1 不同土壤水分条件下林地土壤蒸发速率日变化

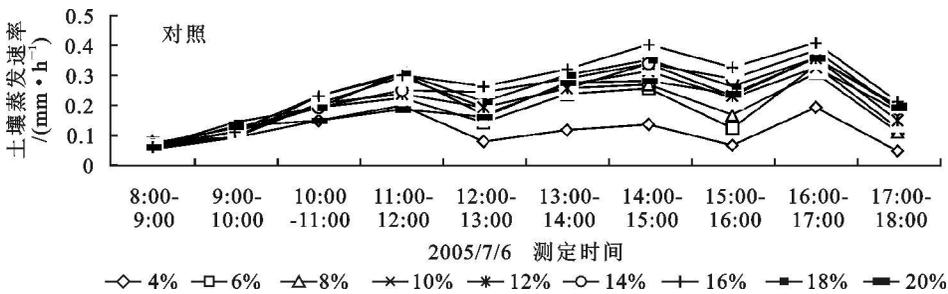


图 2 不同土壤水分条件下林地土壤蒸发速率日变化

3.2 不同土壤水分和覆盖方式对林地土壤蒸发影响

由表 1 可以看出, 7 月多云天气下, 利用枯枝落叶物覆盖会减小林地土壤水分无效消耗, 与无覆盖 (对照) 相比, 覆盖减少了 6.15%~19.86% 的土壤蒸发, 枯落物覆盖对减少

林地土壤蒸发效果不明显, 这主要由于多云天气太阳辐射弱, 林内温度低, 空气相对湿度高, 土壤蒸发弱; 晴天, 虽然林地土壤蒸发潜力强, 但枯落物覆盖截断了土壤表层与大气层的直接接触, 覆盖后土壤水分的蒸发过程始终以水汽扩散的

方式向地表输送, 穿过覆盖层进入大气层, 使蒸发非常缓慢进行, 土壤蒸发受限, 枯落物覆盖处理的林地土壤蒸发量远远小于不覆盖处理, 与对照相比, 覆盖减少了 11.88% ~ 46.06% 的土壤蒸发。典型天气, 林地土壤含水量越低, 枯落

物覆盖对土壤蒸发的抑制率越小, 随着土壤水分的增加, 枯落物覆盖减小土壤水分无效消耗基本增大。所以, 在造林浇水或林下降水后应及时覆盖, 会大大减小林地土壤水分无效消耗, 保证苗木的成活率, 提高林木水分利用效率。

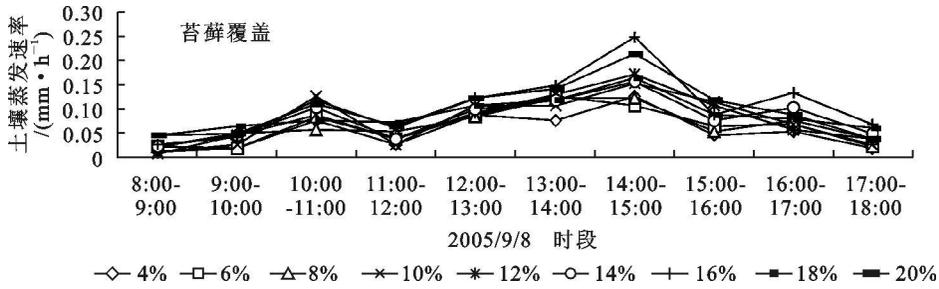


图 3 不同土壤水分条件下林地土壤蒸发速率日变化

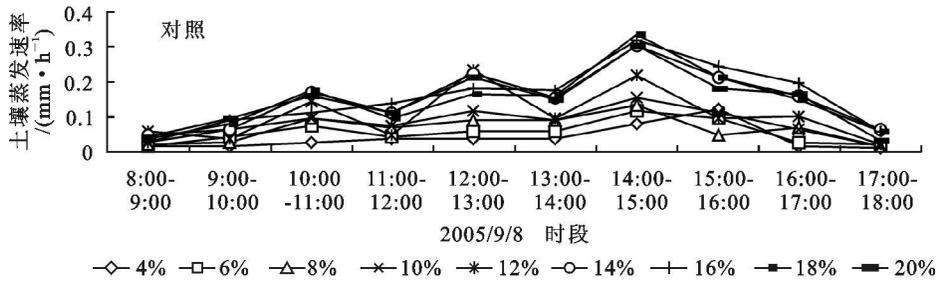


图 4 不同水分林地土壤蒸发速率日变化

表 1 7 月份不同土壤水分不同处理林地土壤蒸发量

mm

天气状况	土壤水分/ %	处理方式			天气状况	土壤水分/ %	处理方式		
		枯落物覆盖	对照	抑制率/%			枯落物覆盖	对照	抑制率/%
多云	4	0.61	0.65	6.15	晴天	4	0.89	1.01	11.88
	6	0.81	0.91	10.99		6	1.01	1.34	24.63
	8	0.89	0.97	8.25		8	1.29	1.87	31.02
	10	1.03	1.18	12.71		10	1.38	2.06	33.01
	12	1.06	1.24	14.52		12	1.24	2.02	38.61
	14	1.21	1.44	15.97		14	1.41	2.21	36.20
	16	1.17	1.46	19.86		16	1.30	2.41	46.06
	18	1.25	1.38	9.42		18	1.30	1.96	33.67
	20	1.30	1.38	5.80		20	1.31	1.92	31.77

表 2 9 月份不同土壤水分不同处理林地土壤蒸发量

mm

天气状况	土壤水分/ %	处理方式			天气状况	土壤水分/ %	处理方式		
		枯落物覆盖	对照	抑制率/%			枯落物覆盖	对照	抑制率/%
多云	4	0.31	0.39	20.51	晴天	4	0.40	0.45	11.11
	6	0.40	0.62			6	0.55	0.64	14.06
	8	0.51	0.84	39.29		8	0.60	0.70	14.29
	10	0.55	1.01	45.54		10	0.77	0.90	14.44
	12	0.60	0.97	38.14		12	0.78	1.06	26.42
	14	0.62	1.16	46.55		14	0.81	1.28	36.72
	16	0.58	1.22	52.46		16	1.05	1.64	35.98
	18	0.54	1.03	47.57		18	0.97	1.47	34.01
	20	0.57	1.12	49.11		20	0.99	1.46	32.19

由表 2 可以看出, 利用枯落物和苔藓覆盖进行对比分析, 枯落物覆盖对土壤水分蒸发的抑制率明显高于苔藓覆盖, 枯落物覆盖减少了 20.15% ~ 52.46% 的土壤蒸发, 枯落物覆盖对减少林地土壤蒸发效果非常明显, 苔藓覆盖减少 11.11% ~ 36.72% 的土壤蒸发, 枯落物覆盖效果好于苔藓。

从图 3 可以看出, 在枯落物覆盖和无覆盖的条件下, 随土壤含水量的升高土壤蒸发量呈上升趋势, 当土壤含水量增

加到一定临界值时, 林地土壤蒸发量由上升变为下降, 表现出对土壤水分具有明显的阈值反应, 土壤蒸发最大值所对应土壤含水量临界值分别为 14.2% 和 16.8%, 林地土壤含水量越大, 土壤蒸发量并非越高, 这主要由于刺槐林分郁闭度高, 林冠对太阳辐射的吸收、反射和截获作用, 林下的太阳总辐射量比林冠上的太阳总辐射显著地减少, 林内温度与林下净辐射降低, 林内湿度升高, 大气蒸发潜力减弱, 土壤含水量

越高,土壤热容量越大,显热通量增大,潜热通量减小,土壤

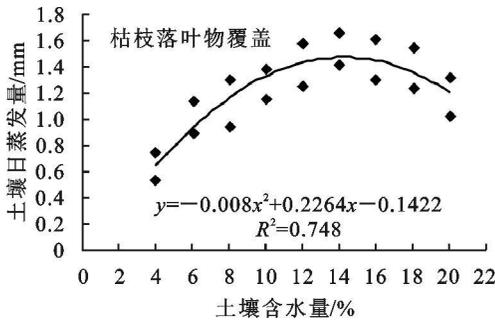
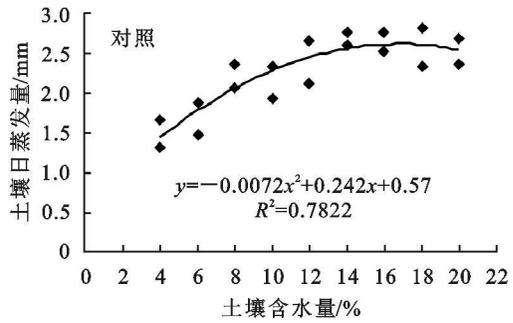


图 5 刺槐林地土壤蒸发与土壤水分的相互关系

蒸发潜力受限。



地估算生长季林地土壤蒸发量。

3.3 基于林地土壤水分与水面蒸发的林地土壤蒸发模型

2005 年 7-9 月典型天气下,利用 BP-3400 精密天平,每天早上 8:00 对微型土壤蒸发器与水面蒸发皿定时定位称重,分析不同土壤水分条件下林地土壤蒸发量和林地水面蒸发量的观测数据,经统计分析,建立了林地土壤蒸发模型,并进行了校准,见公式(1)、图 6 和图 7。

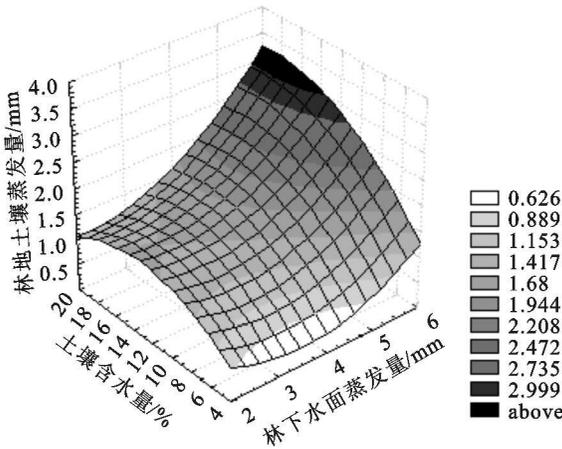


图 6 不同水面蒸发时不同土壤含水量的林地土壤蒸发量

4 结论与讨论

(1) 在枯落物和无覆盖(对照)条件下,林地土壤蒸发随土壤水分的增加呈上升趋势,当土壤含水量达到一定临界值,林地土壤蒸发量由上升变为下降,表现出对土壤水分具有明显的阈值反应,土壤含水量临界值分别为 14.2% 和 16.8%。

(2) 利用枯落物和苔藓覆盖会有效减小林地土壤无效蒸发,枯落物覆盖对减少林地土壤蒸发效果明显,其抑制土壤蒸发的效果明显高于苔藓覆盖。

(3) 在典型天气下,通过对不同土壤水分条件下林地土壤蒸发量和水面蒸发量的观测数据,经统计分析,建立林地土壤蒸发模型,为准确模拟计算林地土壤日蒸发量变化过程提供依据。

(4) 微型土壤蒸发器内的土壤水分时空变化与林地实际土壤水分的变化有一定的差异,但林地实际土壤水分受气象、植被和地形等因子影响较大,很难人为调控土壤水分,而利用微型土壤蒸发器分析不同土壤水分条件下土壤蒸发将为模拟计算实际林地土壤水分条件下林地土壤蒸发提供依据。

参考文献:

[1] 孙宏勇,刘昌明,张喜英,等.华北平原冬小麦田间蒸散与裸间蒸发的变化规律研究[J].中国生态农业学报,2004,12(3):62-64.

[2] 王会肖,刘昌明.农田蒸散、土壤蒸发与水分有效利用[J].地理学报,1997,52(5):447-454.

[3] 莫兴国,刘苏峡,于沪宁,等.冬小麦能量平衡及蒸散分配的季节变化分析[J].地理学报,1997,52(6):536-542.

[4] 莫兴国,林忠辉,刘苏峡.基于 Penman-Monteith 公式的双源模型的改进[J].水利学报,2000,(5):6-11.

[5] 王健,蔡焕杰,陈凤,等.夏玉米田蒸发蒸腾量与裸间蒸发的试验研究[J].水利学报,2004,(11):108-113.

[6] 陈素英,张喜英,裴冬,等.秸秆覆盖对夏玉米田裸间蒸发和土壤温度的影响[J].灌溉排水学报,2004,23(4):32-36.

[7] 刘安能,周新国,孟兆江,等.不同土壤水分条件下麦地蒸散日变化规律研究[J].节水灌溉,2005,(3):1-3.

[8] 谢恒星,张振华,徐秀美,等.胶东丘陵区典型果园土壤水分蒸发空间变异性分析[J].灌溉排水学报,2006,25(2):61-64.

[9] 邱国玉,王帅,吴晓.三温模型基于表面温度测算蒸散和评价环境质量的方法 I:土壤蒸发[J].植物生态学报,2006,30(2):231-238.

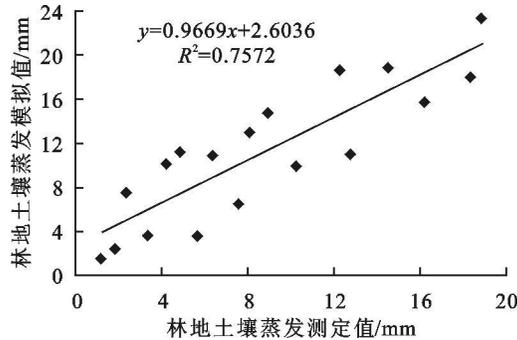


图 7 林地土壤蒸发模拟值与实测值的比较

林地土壤蒸发模型:

$$E = 1.4447 + 0.1423E_0^2 - 0.0092W_s + 0.0249E_0W_s - 1.0887E_0 + 0.1960W_s \quad R^2 = 0.7036 \quad (1)$$

式中: E——林地土壤蒸发量(mm); E₀——林下水面蒸发量(mm); W_s——土壤含水量(%); N = 198。

从图 7 可以看出,林地土壤模拟值与实测值之间存在着显著的线性关系,两者间关系的拟合线并不靠近 1:1 线,而是有截距存在,且林地土壤模拟计算值基本上高于实测值,两者拟合相关系数高,所以,基于林地土壤水分和林地水面蒸发量的测定数据,应用林地土壤蒸发模型,可以比较准确

务总价值属于较低或低价值区,说明淳安县土地的生态效应较低且乡镇间分布不均匀;有大片林地所在乡镇的生态服务总价值普遍较大。

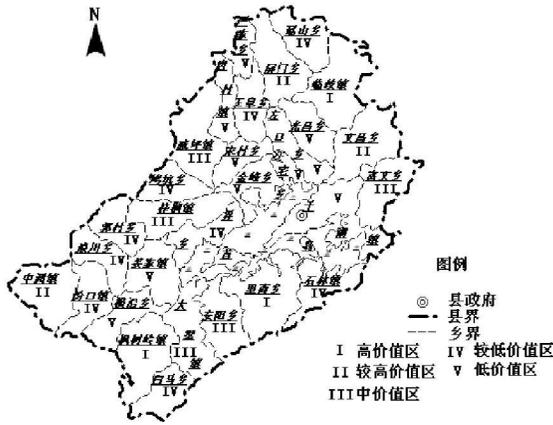


图 1 淳安县土地利用的总体生态价值分区

4 结论与讨论

4.1 主要结论

(1) 应用空间格局指数法对研究区的土地利用景观格局特征进行分析,结果表明:本区土地利用方式以林地和水体为主;整体景观多样性较低,景观分布均匀性较强,而异质性较弱;整体景观破碎化程度和分离程度均较低,说明整体景观比较完整,而复杂程度不高。

(2) 在对研究区景观格局的研究中,还可以看出,地形地貌和人类活动是影响土地利用景观格局的主要因素。山地、丘陵所占比重较大,地形复杂,决定了研究区耕地和居民点及工矿用地景观破碎度较高及耕地资源匮乏,城镇建设滞后的用地局面。此外,研究区内最大的水体,因其单一的人为利用方式和不合理的景观建筑,使得本区水体呈现出较低的景观多样性,对维持本区良好的生态环境造成负面影响。

(3) 在现有土地利用景观格局下,淳安县土地利用景观的整体生态效应较低,不同地理区域间生态服务总价值差异也较大,生态价值较高的区域主要分布在林地、园地和水体用地区。

4.2 问题讨论

应用 Costanza、谢高地等人在不同层次上测算的生态服务功能价值结果,来定量综合评价土地的生态效应,是一种

可行的方法,但由于生态系统服务的多方面性和多价值性,生态过程和经济过程之间联系的复杂性等影响,对于淳安县来说其土地利用的生态服务价值结果肯定是精度较低的。因此,下一步就应当在细化土地利用类型的基础上,精确确定研究区土地利用的生态服务价值。

本文从空间格局和生态服务价值两方面入手,分析淳安县土地利用格局特征,评价淳安县土地生态效应,这对于发现淳安县土地利用结构的不合理之处,促进淳安县土地资源的可持续利用和管理有帮助,同时也为将来更进一步的研究分析提供了一个理论框架,为淳安县最终建立可持续发展的土地利用规划或是生态环境保护政策提供参考。

参考文献:

[1] 孙彦伟,卢荣安,姜广辉. 区域土地持续利用规划的景观生态学思维[J]. 生态经济, 2005, 3: 56- 59.

[2] 欧阳志云,王如松. 生态系统服务功能、生态价值与可持续发展[J]. 世界科技研究与发展, 2000, 22(5): 45- 50.

[3] 彭建,王仰麟,张源,等. 滇西北生态脆弱区土地利用变化及其生态效应[J]. 地理学报, 2004, 59(4): 629- 638.

[4] 宋治清,王仰麟. 城市景观及其格局的生态效应研究进展[J]. 地理科学进展, 2004, 23(2): 97- 106.

[5] Daily G C. Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems [M]. Washington D C: Island Press, 1997.

[6] Costanza R D, Arge R, Groot R, et al. The value of the world's ecosystem service and natural capital[J]. Nature, 1997, 387: 253- 256.

[7] 邬建国. 景观生态学: 格局、过程、尺度与等级[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000: 106- 109.

[8] 谢高地,鲁春霞,冷允法,等. 青藏高原生态资产的价值评估[J]. 自然资源学报, 2003, 18(2): 189- 195.

[9] 何丙辉,徐霞,辜世贤. 潼南县土地利用景观格局特征分析[J]. 水土保持研究, 2005, 12(5): 130- 133.

[10] 王玉朝,赵成义,等. 三江河流域绿洲景观格局的定量分析[J]. 水土保持学报, 2002, 16(3): 51- 55.

[11] 宋萍,洪伟,吴承祯,等. 福建省森林生态系统服务价值及其空间分布[J]. 福建林学院学报, 2003, 23(3): 202- 205.

(上接第 370 页)

[10] 王克勤,王斌瑞. 集水造林防止人工林植被土壤干化的初步研究[J]. 林业科学, 1998, 34(4): 14- 21.

[11] 马国飞,崔学明,刘静,等. 两种杨树农田防护林气候效应的对比研究[J]. 内蒙古农业大学学报, 2005, 26(1): 42- 45.

[12] Maki T, Tadashi T. Evaluation of evaporation rate from forested soil surface using stable isotopic composition of soil water in a headwater basin[J]. Hydrological Processes, 1998, 12: 2093- 2103.

[13] 孙宏勇,刘昌明,张永强,等. 微型蒸发器测定土面蒸发的试验研究[J]. 水利学报, 2004(8): 114- 118.

[14] Allen S J. Measurement and estimation of evaporation from soil under sparse barley crops in northern Syria [J]. Agric. For. Meteorol., 1990, 49: 291- 309.

[15] Daamen C C, Simmonds L P, Wallace J S, et al. Use of micro-lysimeters to measure evaporation from sandy soils[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 1993, 65: 159- 173.

[16] 刘昌明,王会肖,张喜英,等. 土壤-作物-大气界面水分过程与节水调控[M]. 北京: 科学出版社, 1999: 69- 79.

[17] 王彦辉,熊伟,于澎湃. “多树水分平衡法”的方法与应用[J]. 林业科学, 2005, 41(4): 184- 188.