

沙质海岸植物蒸腾速率与环境因子的关系

李春艳¹, 李传荣¹, 许景伟², 宋海燕¹, 范迎新¹, 郑 莉¹, 王卫东²

(1. 山东农业大学 林学院, 山东 泰安 271018; 2. 山东省林业科学研究院, 济南 250014)

摘 要: 蒸腾速率是衡量植物水分平衡的一个重要指数, 揭示蒸腾速率的日变化规律, 寻找影响植物蒸腾速率的生态因子, 可为海岸防护林的造林营林技术提供重要依据。对日照沿海防护林几种主要木本植物和草本植物的蒸腾速率和环境因子的关系进行了研究, 结果表明: 8 种植物日平均蒸腾速率和蒸腾速率日变幅各异; 麻栎、紫穗槐和白茅的蒸腾速率日变换呈现出双峰式、其它 5 种植物表现为单峰式的变化规律; 气孔导度影响着植物的蒸腾速率, 温度(气温、地面温度)是影响植物蒸腾速率的主要因子; 空气相对湿度和蒸腾速率表现为显著或极显著负相关, 相关系数高达 0.866。通过多元线性逐步回归方法, 得到了影响沙质海岸蒸腾速率的主要环境因子及其与土壤呼吸速率之间的多元回归模型。

关键词: 沙质海岸; 蒸腾速率; 环境因子

中图分类号: S714 文献标识码: A 文章编号: 1005-3409(2007)06-0070-04

The Relationship Among Transpiration Rate and Environmental Factors in Sandy Coast

LI Chun-yan¹, LI Chuan-rong¹, XU Jing-wei², SONG Hai-yan¹,
FAN ying-xin¹, ZHENG Li¹, WANG Wei-dong²

(1. Forestry College of Shandong Agriculture University, Tai'an, Shandong 271018, China;
2. The Research Institute of Forestry in Shandong, Jinan 250014, China)

Abstract: The relationship among transpiration rate and environmental factors for coastal protection forest was studied in Rizhao. The main results indicated that: significant differences exist in diurnal average transpiration rate and the range of diurnal transpiration rate; The transpiration rate of Sawtooth Oak, Amorpha, Lalang Grass varied with a regular double apex rhythm, but that of the rest varied with a regular single apex rhythm, stomatal conductance play a maximal important role in transpiration rate, temperature (air temperature, the earth's surface temperature) also influence the transpiration rate; Transpiration rate has prominent negative correlation with the relative air humidity, the biggest coefficient is 0.866. Through the methods of multiple linear stepwise regressions, the main environment factors were found and multiple linear regression models among the transpiration rate and environment factors were set up.

Key words: sandy coast; transpiration rate; environmental factors

植物蒸腾作用在水分代谢中起着重要的调配作用, 而蒸腾速率是衡量植物水分平衡的一个重要生理指标, 是调节自身水分损耗能力及适应干旱环境能力的反映。蒸腾速率随天气状况、叶面积大小、冠层结构和土壤水分等因素的变化而变化^[1]。近年来, 国内对植物蒸腾作用与环境因子的关系进行了大量研究^[2-11], 但是对沿海植物, 特别是沿海草本植物的研究比较少。本文对日照沙质海岸几种主要植物蒸腾速率及其环境因子进行研究, 目的在于揭示蒸腾速率的日变化规律及其与气温、土壤温度、空气相对湿度等环境因子可能的相互关系, 寻找影响蒸腾速率的生态因子, 探讨这几种植物对当地环境的适应能力, 为在沙质海岸防护林的植被恢复与重建中植物材料的选择提供理论依据。

1 试验地概况

研究地点位于日照市以北 15 km 处日照海滨国家森林公园内,

N35° 31′ - 35° 34′, E119° 36′ - 119° 38′。属暖温带湿润大陆性季风气候, 受海洋的影响, 具有多风、湿度大、雨量适中, 气候宜人的海洋性气候特点。年均温 12.2℃, 年均降雨量 868.5 mm, 年平均湿度 72%, 无霜期 213 d, 海风中含有大量的水汽和少量的盐分, 平均风速 3.9 m/s。地势平坦, 南北长, 东西窄, 北高南低, 高差近 1 m, 跨海岸线长近 7 km。土壤为海滩沉积的潮土类沙土, 保水持水能力弱。

2 试验材料和方法

2.1 试验材料

试验材料有木本植物 3 种, 分别为: 麻栎(*Quercus acutissima*)、刺槐(*Robinia pseudoacacia*)、紫穗槐(*Amorpha fruticosa*); 草本植物 5 种, 分别为: 结缕草(*Zoysia japonica*)、白茅(*Rhizoma imperatae*)、飞蓬(*Erigeron acre*)、细叶结缕草

*收稿日期: 2006-11-16
基金项目: 国家“十五”科技攻关课题(2002BA516A16-13); 山东省可持续发展十大科技示范工程项目资助
作者简介: 李春艳(1979-), 女, 在读研究生, 主要从事林业生态工程研究。
通信作者: 李传荣(1968-), 男, 博士, 主要从事林业生态工程研究。

(*Zoysia tenuifolia*) 和加蓬(*Conyz a canadensis*)。

2.2 试验方法

试验于 2002 年 7 月下旬和 2003 年 7 月下旬进行, 从 8:00 到 18:00 每 2 h 测定 1 次, 选草冠或树冠外围南向功能叶测量, 重复 3 次。蒸腾速率采用 PMR- 3 稳态气孔计进行测定, 仪器同时测量并记录了气孔导度(*GS*) 等参数。空气相对湿度(*RH*)、气温(*T*) 和风速分别用通风干湿表和三杯风速仪测定。地面温度(*T*_{地面}) 用地面温度计测定, 地温由地中温度计测定地下 10 cm (*T*_{地10})、20 cm (*T*_{地20}) 的温度。应用 SPSS 软件对影响蒸腾速率的环境因子进行多元线性逐步回归分析。

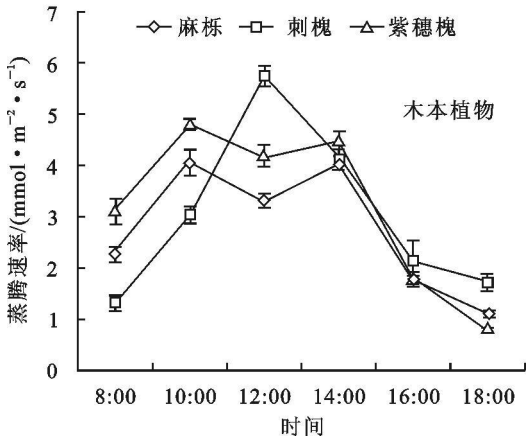


图 1a 木本植物蒸腾速率日变化
表 1 环境因子日变化

时间	<i>T</i> /℃	<i>T</i> _{地面} /℃	<i>T</i> _{地10} /℃	<i>T</i> _{地20} /℃	风速 /(<i>m</i> · <i>s</i> ⁻¹)	<i>RH</i> /%
8: 00	27. 7	28. 4	28. 0	23. 5	0. 35	91
10: 00	28. 4	29. 8	29. 0	24. 1	0. 43	88
12: 00	28. 7	35. 0	31. 0	25. 3	0. 02	80
14: 00	28. 0	32. 2	26. 5	23. 9	0. 05	82
16: 00	26. 0	28. 7	26. 0	23. 2	0. 013	85
18: 00	25. 2	25. 4	25. 2	23. 0	0	89

草本植物中, 除白茅蒸腾速率日变化曲线呈现双峰型外, 其他草本植物蒸腾速率日变化曲线均为单峰型, 其中除加蓬外, 其他植物均与气温同步。而加蓬在 14: 00 左右达到最大值, 由表 2 可知, 加蓬的蒸腾速率与地面温度显著相关, 因此加蓬的蒸腾速率受地面温度的影响。植物蒸腾速率的日变幅大小在一定程度上反映出植物对干旱环境的调节及适应能力的大小, 从各种植物蒸腾速率的日变幅来看, 8 种植物的日变幅各不相同, 从大到小依次是: 刺槐(4. 409 mmol/(*m*²·*s*)) > 加蓬(4. 29 mmol/(*m*²·*s*)) > 紫穗槐(4 mmol/(*m*²·*s*)) > 飞蓬(3. 9 mmol/(*m*²·*s*)) > 细叶结缕草(3. 14 mmol/(*m*²·*s*)) > 麻栎(2. 94 mmol/(*m*²·*s*)) > 白茅(2. 675 mmol/(*m*²·*s*)) > 结缕草(2. 345 mmol/(*m*²·*s*)), 结缕草、白茅和麻栎的蒸腾速率日变幅比较平缓, 可见这 3 种植物的水分传输特性较稳定。

蒸腾速率影响着植物水分状况, 在一定程度上反映了植物调节水分损失的能力及适应干旱环境方式^[13]。由图 2 可以看出, 3 种木本植物蒸腾速率差异不是很大, 其中紫穗槐蒸腾速率最大, 为 3. 19 mmol/(*m*²·*s*), 麻栎最小, 为 2. 76

3 结果与分析

3.1 蒸腾速率日变化

由图 1 和表 1 看出, 木本植物中, 刺槐蒸腾速率日变化趋势同气温日变化趋势大致一致, 为单峰型, 在 12: 00 左右达到峰值; 麻栎和紫穗槐蒸腾速率日变化曲线呈现双峰型, 随着气温的逐渐升高, 第一峰值出现在 10: 00 左右, 其值分别为 4. 05, 4. 80 mmol/(*m*²·*s*), 之后开始缓慢下降, 于 12: 00 左右达到最低值, 分别为 3. 31, 4. 18 mmol/(*m*²·*s*), 并均于 14: 00 达到第二次峰值, 其值分别为 4. 05, 4. 49 mmol/(*m*²·*s*)。

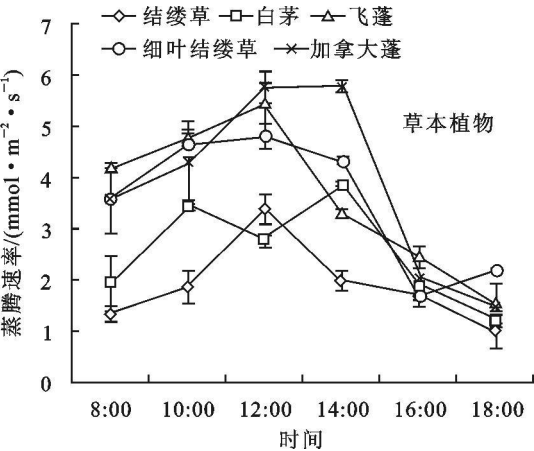


图 1b 草本植物蒸腾速率日变化

mmol/(*m*²·*s*), 刺槐居中, 为 3. 02 mmol/*m*²·*s*)。草本植物中, 飞蓬和细叶结缕草蒸腾速率相差不多, 加蓬的日平均蒸腾速率最大, 为 3. 85 mmol/(*m*²·*s*), 结缕草日平均蒸腾速率最小, 为 1. 89 mmol/(*m*²·*s*), 仅为加蓬的 49. 1%, 各草本的日平均蒸腾速率从大到小依次为加蓬> 飞蓬> 细叶结缕草> 白茅> 结缕草。沿海土壤保水性较差, 极易形成土壤干旱, 草本植物中结缕草和白茅日平均蒸腾速率较小, 木本植物中麻栎日平均蒸腾较小, 说明在一定程度干旱环境下, 这 3 种植物更能适应于当地环境。

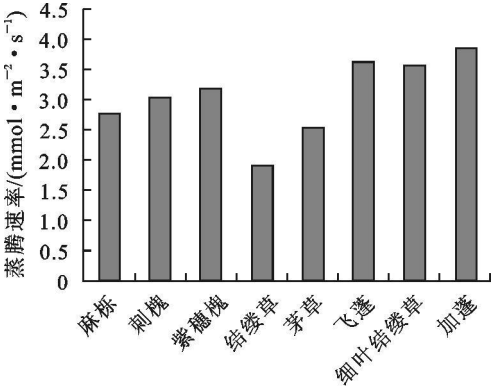


图 2 各植物日平均蒸腾速率

3.2 气孔导度日变化

气孔是陆生植物叶片上一个重要的结构, 它是植物体与外界进行 H₂O 和 CO₂ 等气体交换的重要门户, 气孔的开闭会对植物叶片的蒸腾产生影响, 气孔导度则是反映气孔行为最为重要的生理指标^[12]。3 树种气孔导度日变化趋势差异较大, 麻栎呈现双峰曲线, 10: 00 左右和 14: 00 左右达到峰

值, 12:00 左右出现低谷现象; 紫穗槐和刺槐表现为单峰曲线, 紫穗槐和刺槐分别在 10: 00 和 12: 00 左右达到峰值, 其

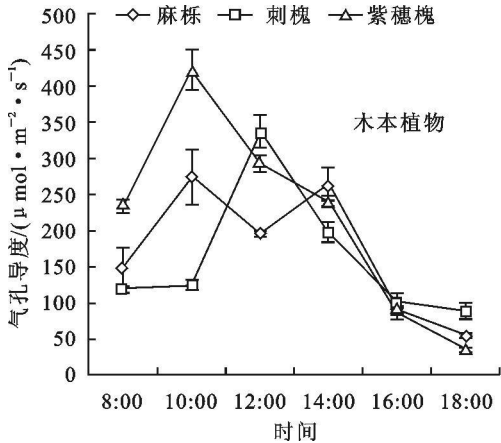


图 3a 木本植物气孔导度日变化

蒸腾午间降低是植物适应干旱生境的一种生态适应对策, 在上述 8 种植物中, 麻栎、紫穗槐和白茅均表现出了对高温干旱的适应性。其他植物在强光、高温、低湿的环境下, 在较长时间内仍保持较高的蒸腾速率, 并没有呈现出蒸腾下降趋势, 一定程度上说明了这些植物在所研究地点的弱适应性。从清晨起随着光照的不断增强, 气孔受光线的影响而张开, 气孔导度不断增大, 5 种草本植物的气孔导度随着时间的变化均呈单峰变化趋势, 但是达到峰值的时间不同, 其中飞蓬和细叶结缕草在 10:00 左右达到峰值, 结缕草在 12:00 左右达到峰值, 而茅草和加蓬在 14:00 左右达到峰值, 其中加蓬气孔导度峰值最大, 为 $400\text{ }\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$, 为气孔导度

值分别为 $422.5, 337\text{ }\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$, 之后随着时间的变化呈现下降的趋势。

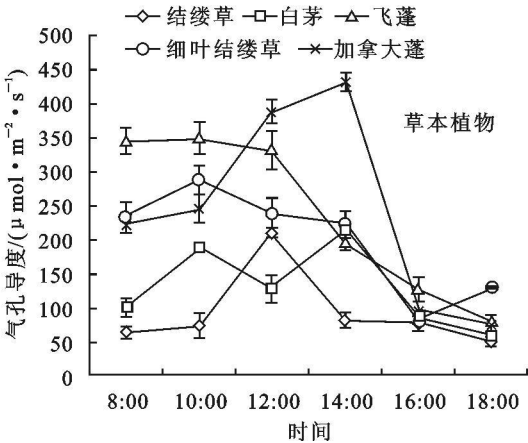


图 3b 草本植物气孔导度日变化

峰值最小的白茅的 2.11 倍, 总体来看, 结缕草和白茅气孔导度日变化较小外, 其他 3 种植物的气孔导度日变化较大。

3.3 蒸腾速率与环境因子的相关性

由表 1 和图 1 可以看出, 蒸腾速率随温度的变化而表现为单峰或双峰的变化趋势, 由表 2 看出, 气温、地面温度均和蒸腾速率显著或极显著正相关, 其中气孔导度与蒸腾速率相关性最强, 相关系数高达 0.989。地中 10 cm 和 20 cm 温度与木本植物呈显著或极显著正相关, 仅与部分草本植物呈正相关, 因为部分草本植物根系较短, 地中 10 cm 或 20 cm 处的温度对根系以及植物的影响很小或没有影响。

表 2 蒸腾速率和环境因子的相关性

树种	T	GS	$T_{\text{地面}}$	$T_{\text{地}10}$	$T_{\text{地}20}$	风速	RH
麻栎	0.979 [*]	0.989 [*]	0.744 [*]	0.579 [*]	0.675 [*]	0.394	- 0.466 [*]
刺槐	0.916 [*]	0.976 [*]	0.962 [*]	0.806 [*]	0.942 [*]	- 0.052	- 0.866 [*]
紫穗槐	0.961 [*]	0.981 [*]	0.762 [*]	0.699 [*]	0.730 [*]	0.465	- 0.411
结缕草	0.611 [*]	0.963 [*]	0.808 [*]	0.689 [*]	0.814 [*]	- 0.188	- 0.721 [*]
白茅	0.755 [*]	0.987 [*]	0.641 [*]	0.355	0.500	0.216	- 0.503
飞蓬	0.805 [*]	0.957 [*]	0.658 [*]	0.844 [*]	- 0.271	0.432	0.756 [*]
细叶结缕草	0.868 [*]	0.925 [*]	0.715 [*]	0.750 [*]	- 0.365	0.387	0.786 [*]
加蓬	0.956 [*]	0.974 [*]	0.916 [*]	0.666	- 0.504	0.143	- 0.783 [*]

表 3 蒸腾速率与环境因子的逐步回归分析

树种	逐步回归模拟方程 与偏相关系数	复相关 系数 R
麻栎	$E = 8.304E-03GS + 0.244T - 2.58E-03 - 5.772$ $r_{GS} = 0.943; r_T = 0.859$	0.998
紫穗槐	$E = 8.911E-03GS + 0.112T_{\text{地面}} - 2.268$ $r_{GS} = 0.993; r_{T_{\text{地面}}} = 0.915$	0.997
刺槐	$E = 1.149E-02GS + 0.251T - 0.124T_{\text{地}10} - 2.848$ $r_{GS} = 0.996; r_T = 0.982; r_{T_{\text{地}10}} = -0.919$	0.999
结缕草	$E = 6.028E-03GS + 1.606T - 1.57TL$ $r_{GS} = 0.908; r_T = 0.889; r_{TL} = -0.872$	0.998
白茅	$E = 1.450E-02GS + 5.548E-02T_{\text{地面}} - 1.024$ $r_{GS} = 0.996; r_{T_{\text{地面}}} = 0.911$	0.998
飞蓬	$E = 1.156E-02GS - 10.603RH + 9.970$ $r_{GS} = 0.994; r_{RH} = -0.931$	0.994
细叶	$E = 1.154E-02GS + 0.161T_{\text{地面}} - 3.554$	0.989
结缕草	$r_{GS} = 0.977; r_{T_{\text{地面}}} = 0.919$	
加蓬	$E = 8.956E-03GS + 0.306TL - 8.615$ $r_{GS} = 0.987; r_{TL} = 0.948$	

由图 3 可以看出, 8 种植物除麻栎、紫穗槐、白茅蒸腾速

率呈现双峰趋势外, 其他植物的蒸腾速率与地面 1.5 m 处空气相对湿度的日变化趋势相反。清晨, 空气相对湿度最高, 蒸腾速率却很低, 随着气温的升高, 空气相对湿度降低, 蒸腾速率逐步升高或有短暂时间的降低, 蒸腾速率达到最大值, 此后随着空气相对湿度的回升, 蒸腾速率又逐渐降低。除飞蓬和细叶结缕草外, 其它植物蒸腾速率与空气相对湿度呈负相关关系(表 2), 这是因为空气相对湿度对蒸腾速率的影响是空气的实际水汽压起直接作用, 以及引起气孔的收缩而引起水汽的进出。光合有效辐射和风速与蒸腾速率没有明显相关性。

3.4 回归模型

在自然条件下, 有许多环境因子同时对蒸腾速率有影响, 一个因子的作用往往会被另外因子的作用所掩盖或放大, 导致虚假相关或不相关^[14]。为了更准确地分析多个生态因子对蒸腾作用影响的综合效果和单因子的作用, 应用 SPSS 软件对影响蒸腾速率的环境因子进行多元线性逐步回归分析, 用变量 F 显著性概率作为评判标准检验, 评判进入

值的标准值为 0.05, 评判剔除值的标准值为 0.10, 对植物蒸腾速率与各影响因子进行逐步回归分析, 结果如表 3 所示。

从进入逐步回归分析模拟方程的因子及其偏相关系数来看, 每种植物蒸腾速率的影响因子各不相同, 但是气孔导度是影响每种植物蒸腾速率的主要因子。其中气孔导度和地面温度是影响紫穗槐、白茅、细叶结缕草蒸腾速率的主要影响因子, 气温影响着麻栎、刺槐、结缕草的蒸腾速率, 麻栎和刺槐蒸腾速率还受有效辐射的影响, 另外, 刺槐蒸腾速率的主要因子还有地中 10 cm 温度, 本试验中空气相对湿度只影响了飞蓬的蒸腾速率(负相关)。

4 结论与讨论

(1) 麻栎、紫穗槐和白茅的蒸腾速率日变化呈现出双峰式, 而其他 5 种植物蒸腾速率表现为单峰式的变化规律; 麻栎和白茅的气孔导度日变化表现为双峰曲线, 其它植物均为单峰曲线, 清晨和傍晚处于低值, 10:00~14:00 之间达到最大值。8 种植物的日变幅各不相同, 从大到小依次是: 刺槐> 加蓬> 紫穗槐> 飞蓬> 细叶结缕草> 麻栎> 白茅> 结缕草。

(2) 气温、气孔导度、地面温度对植物的蒸腾速率影响较大, 均与蒸腾速率表现为显著或极显著正相关; 地中 10 cm 和 20 cm 温度与木本植物蒸腾速率呈正相关, 仅和部分草本植物蒸腾速率呈正相关; 除飞蓬和细叶结缕草之外, 空气相对湿度和其它植物的蒸腾速率有着显著或极显著的负相关; 光合有效辐射和风速对植物蒸腾速率不产生明显影响。

(3) 经过多元线性逐步回归, 得出植物蒸腾速率与各主要因子之间的多元回归模型, 从而为根据环境因子来判断植物蒸腾速率的方法提供了依据。

(4) 试验当天风速小且变化范围不大, 不能全面反映风速对植物蒸腾速率的影响, 因此需要在以后进行更深入的研究, 以揭示沿海混交林内风速对植物蒸腾速率的影响规律。

参考文献:

[1] Landsberg J J, Gower S T. Applications of physiologi-

cal ecology to forest management[J]. San Diego: Academic Press, 1997: 105.

[2] 曾小平, 赵平, 彭少麟. 鹤山人工马占相思林水分生态研究[J]. 植物生态学报, 2000, 24(1): 69–73.

[3] 高健, 侯成林, 吴泽民. 淹水胁迫对 1–69P55 杨蒸腾作用的影响[J]. 应用生态学报, 2000, 11(4): 518–522.

[4] 阮成江, 李代琼. 黄土丘陵区人工沙棘蒸腾作用研究[J]. 生态学报, 2001, 21(12): 2141–2146.

[5] 孙慧珍, 周晓峰, 赵惠勋. 白桦树干液流的动态研究[J]. 生态学报, 2002, 22(9): 1387–1391.

[6] 张劲松, 孟平, 尹昌君. 杜仲蒸腾强度和气孔行为的初步研究[J]. 林业科学, 2002, 38(3): 34–37.

[7] 肖文发, 徐德应, 刘世荣, 等. 杉木人工林针叶光合与蒸腾作用的时空特征[J]. 林业科学, 2002, 38(5): 38–46.

[8] 田晶会, 贺康宁, 王百田, 等. 黄土半干旱区侧柏蒸腾作用及其与环境因子的关系[J]. 北京林业大学学报, 2005, 27(3): 53–56.

[9] 吕爱霞, 杨吉华, 夏江宝, 等. 3 种阔叶树气体交换特性及水分利用效率影响因子的研究[J]. 水土保持学报, 2005, 19(3): 188–192.

[10] 许红梅, 高琼, 黄永梅, 等. 黄土高原森林草原区 6 种植物光合特性研究[J]. 植物生态学报, 2004, 28(2): 157–163.

[11] 张治安, 杨福, 陈展宇, 等. 菰叶片净光合速率日变化及其与环境因子的相互关系[J]. 中国农业科学, 2006, 39(3): 502–509.

[12] 张正斌. 作物抗旱节水的生理遗传育种基础[M]. 北京: 科学出版社, 2003.

[13] 曾凡江, 张希明, 李小明, 等. 柽柳的水分生理特性研究进展[J]. 应用生态学报, 2002, 13(5): 611–614.

[14] 岳春雷, 江洪. 短柄五加蒸腾作用及其与生理生态因子相关性的初步研究[J]. 林业科学, 2003, 39(2): 158–161.

(上接第 69 页)

领域并增强其服务功能, 因此治理应从流域这样的角度来考虑。过去的重点是生产和生态, 今后应向生活方面拓展^[10]。但农村居民点水土保持生态建设过程不可能一步到位, 由此水土保持生态建设专家决策系统的建立和在其指导下的生态自循环模式理论和相应技术支撑将为水土保持等相关部门所急需。同时也适应了水土保持生态建设由小流域向流域、区域尺度以及区域水土流失预测与水土资源高效安全利用为核心的水土保持生态建设快速发展的方向主流。

参考文献:

[1] 于显威. 采用群体评价法对水土保持意愿的调查比较[J]. 水土保持科技情报, 2005(4): 14–15.

[2] 方学敏. 水土保持研究的主要成果和未来目标(译自 Journal of Soil Conservation, 1988. 1)[J]. 水土保持科技情报, 1990(2): 56–63.

[3] 胡振华, 解明曙, 王治国. 晋西黄土残塬区水土保持生态建设模式探讨[J]. 水土保持研究, 2003, 10(2): 126–130.

[4] 刘彦随. 山地土地类型的结构分析与优化利用: 以陕西秦岭山地为例[J]. 地理学报, 2001, 56(4): 426–436.

[5] 李锐. 论中国水土保持科学技术研究进展[J]. 水土保持通报, 2002, 22(3): 封 2.

[6] 陈群. 关于仑头村生态建设模式的探讨[J]. 中国环境管理, 2001(4): 35–37.

[7] 王丽霞, 任志远. 黄土高原乡村生态建设模式及效应分析: 以延川县刘马家屹塔村为例[J]. 干旱区研究, 21(4): 416–420.

[8] 邵宏波, 邵明安, 梁宗锁. 黄土高原水土保持分子生物学与生物技术措施[J]. 农业工程学报, 2003, 19(4): 19–22.

[9] 钟太洋, 黄贤. 区域农地市场发育对农户水土保持行为的影响及其空间差异: 基于生态脆弱区江西省兴国县、上饶县、余江县村域农户调查的分析[J]. 环境科学, 2006, 27(2): 392–400.

[10] 郭玮. 中国水土保持小流域可持续发展研讨会中外官员、专家讲话摘要[J]. 中国水土保持, 2006(1): 1–3.