

沈阳城市森林小气候特征的研究\*

徐文铎<sup>1</sup> 何兴元<sup>1,\*</sup> 陈 玮<sup>1,2</sup> 刘常富<sup>1,3</sup> 孙 雨<sup>1</sup>

(<sup>1</sup> 中国科学院沈阳应用生态研究所, 沈阳 110016; <sup>2</sup> 中国科学院研究生院, 北京 100039; <sup>3</sup> 沈阳农业大学林学院, 沈阳 110161)

**【摘要】** 研究了沈阳城市森林不同生长期小气候温湿日变化特征. 结果表明, 城市森林不同生长期气温日变化趋势是早晨气温最低、午后气温最高, 但受森林生态环境的影响, 最高峰比太阳辐射峰值迟滞约 2 h. 一年四季气温日变幅为森林停止生长期(休眠期) > 生长季前期 > 生长季后期 > 生长季中期. 森林生长季前期、中期、后期土壤温度为白天高于夜间, 而停止生长期(休眠期)为夜间高于白天. 不同生长期土温日振幅为上层(20 cm) > 中层(40 cm) > 下层(80 cm), 而同一层不同生长期的土温日振幅为土层深 20 cm 时, 生长季前期 > 生长季后期 > 停止生长期(休眠期) > 生长季中期; 土层深 > 40 cm (80 cm) 时, 生长季前期 > 停止生长期(休眠期) > 生长季后期 > 生长季中期. 城市森林空气相对湿度日变化与气温和地温日变化则夜间的空气相对湿度高于白天, 但不同生长期相对湿度值日变化为生长季中期 > 生长季后期 > 停止生长期(休眠期) > 生长季前期.

**关键词** 沈阳市 城市森林 小气候特征

**文章编号** 1001 - 9332(2005)09 - 1650 - 05 **中图分类号** S718.512 **文献标识码** A

**Microclimate characters of urban forest in Shenyang City.** XU Wenduo<sup>1</sup>, HE Xingyuan<sup>1</sup>, CHEN Wei<sup>1,2</sup>, LIU Changfu<sup>1,3</sup>, SUN Yu<sup>1</sup> (<sup>1</sup> Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China; <sup>2</sup> Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China; <sup>3</sup> Shenyang Agricultural University, Shenyang 110161, China). -Chin. J. Appl. Ecol., 2005, 16(9): 1650 ~ 1654.

This paper analyzed the diurnal changes of the temperature and humidity in Shenyang urban forest during its different growth stages. The results showed that air temperature was the lowest in the morning and the highest at noon. The highest peak point of air temperature lagged behind that of solar radiation about 2 hours, due to the influence of forest environment. The annual air temperature amplitude was in order of stop-growth period (dormancy stage) (DS) > prophase of growth season (PGS) > anaphase of growth season (AGS) > medium-term of growth season (MGS). Soil temperature of PGS, MGS and AGS at daytime was higher than that at night, while that of DS was in reverse. The daily soil temperature amplitude at different growth stages was in order of upper soil layer (20 cm) > medium soil layer (40 cm) > lower soil layer (80 cm), while the diurnal soil temperature amplitude in the same soil layer was in order of PGS > AGS > DS > MGS (20 cm) and PGS > DS > AGS > MGS (80 cm). The diurnal change of relative humidity was reverse to that of air- and soil temperature, which was higher at night than at daytime, and was in order of MGS > AGS > DS > PGS.

**Key words** Shenyang City, Urban forest, Microclimate character.

1 引言

城市森林是城市生态系统重要组成部分, 随着城市化的发展, 带来一系列社会环境和社会经济问题. 为此, 城市森林引起世界各国政府和科学家的关注. 许多发达国家对城市森林进行了科研、规划、建设和立法工作<sup>[4, 15 ~ 17]</sup>. 我国城市森林研究起步较晚, 但发展较快, 自 20 世纪 80 年代以来, 在城市森林结构<sup>[14, 19]</sup>、功能<sup>[1, 3, 26, 27]</sup>、格局<sup>[5, 20]</sup>、效益<sup>[10]</sup>、评价和规划管理方面做了大量研究工作<sup>[6, 7, 22]</sup>, 但是有关城市森林小气候特征的研究报道很少. 城市森林小气候的形成是城市森林植被与环境条件综合作用的结果, 是城市森林质量综合反应, 也是城市森林生态建设评价一个重要指标. 因此, 本文根据中国科

学院沈阳树木园自动气象站观测资料, 以日为最大观测尺度, 研究了城市森林不同生长期的温湿特征, 为沈阳城市森林生态建设提供科学依据.

2 研究地区与研究方法

2.1 研究区概况

研究区位于中国科学院沈阳树木园内 (123°26' E, 41°46' N), 占地面积约 5 hm<sup>2</sup>, 是沈阳市人口密集商业文化中心地带. 该地区属于暖温带半湿润季风型大陆性气候, 四季分明, 雨热同期, 年平均气温为 7.4℃, 1 月平均气温为 - 12.6℃, 7 月平均气温为 27.5℃, 极端最高气温为 38.3℃, 极端

\* 国家自然科学基金重点项目 (90411019)、中国科学院知识创新工程重要方向项目 (C03DQ-YCXZY0501) 和中国科学院知识创新工程重大资助项目.

\* \* 通讯联系人.

2005 - 02 - 24 收稿, 2005 - 05 - 10 接受.

最低气温为  $-32.3^{\circ}\text{C}$  ,年平均降水量为  $755.4\text{ mm}$  ,集中在  $6\sim 8$  月,约占全年的  $64.4\%$  ,无霜期  $150\text{ d}$  .在植物区系上,沈阳属于华北植物分布区,正处在与长白、蒙古植物分布区的交汇地带<sup>[21]</sup> ,植物种类比较丰富.园内有乔灌木树种  $540$  多种,其中以黄菠萝 (*Phellodondron amurene*)、刺槐 (*Robinia pseudoacacia*)、沙松冷杉 (*Abies holohylla*)、榆 (*Ulmus pumila*, *U. macrocarpa*, *U. japonica*, *U. laciniata*)、桑树 (*Morus alba*, *M. mongolica*)、云杉 (*Picea koraiensis*, *P. mongolica*, *P. meyeri*, *P. neveitchii*)、小叶朴 (*Celtis buneana*)、蒙古栎 (*Quercus mongolica*)、辽东栎 (*Q. liaotungensis*)、臭椿 (*Ailanthus altissima*)、核桃楸 (*Juglans mandshurica*) 等占优势.平均树高为  $12\text{ m}$  ,平均胸高直径为  $22\text{ cm}$  ,森林覆盖率  $53.7\%$ <sup>[23]</sup> .并自然形成乔、灌、草和死地被物  $4$  个群落结构层次,森林天然更新良好,目前已经形成一个多层次、多世代的典型的城市近自然林<sup>[8]</sup> ,对调节城市小气候、改善生态环境、维持市民身心健康起到重要作用.

2.2 研究方法

气象站设在树木园的森林中,采用 CAWS600 型自动气象站(中国气象科学研究院大气探测中心,天津气象仪器厂生产)记录观测数据;采用 HMP45A 和 HMP45D 传感器同时测空气的温度和相对湿度,精度相对湿度为  $20\%$  ,温度为  $0.2^{\circ}\text{C}$  .用 WZPI 温度传感器观测土层深  $20\text{ cm}$  (A)、 $40\text{ cm}$  (B)和  $80\text{ cm}$  (C)  $3$  层地温,精度为  $0.3^{\circ}\text{C}$  .并以电缆与室内数据采集器连接,  $24\text{ h}$  观测,取晴天  $4$  月  $10$  日、 $13$  日、 $15$  日,  $7$  月  $10$  日、 $13$  日、 $15$  日,  $9$  月  $10$  日、 $13$  日、 $15$  日和  $1$  月  $10$  日、 $13$  日、 $15$  日的整点数据,计算各月份的气象因子日变化( $3$  日)平均值<sup>[9]</sup> ,分别代表树木生长季的前期 (PGS)、中期 (MGS)、后期 (AGS) 和停止生长期 (休眠期 DS).

3 结果与分析

3.1 城市森林不同生长期的气温日变化

城市森林在生长季或停止生长期 (DS) 的气温日变化规律趋势大致相同.日出之前,  $5:00\sim 7:00$  气温最低,随太阳辐射的增强<sup>[24]</sup> ,  $8:00\sim 10:00$  气温急骤升高,到  $13:00\sim 15:00$  出现最高气温,但由于受森林生态环境的影响,最高峰值比太阳辐射的峰值迟滞约  $2\text{ h}$  ,到  $18:00$  ,林内气温又缓慢下降.这是城市森林小气候变化重要特征之一(图 1).由图 1 可以看出,城市森林不同生长期气温日变化有很大差异.在生长季前期 (PGS),由于林地的主要优势树种如蒙古栎、辽东栎、小叶朴等树叶还处于萌动期<sup>[8]</sup> ,林内日温变幅在  $10.8\sim 19.7^{\circ}\text{C}$  ,差值  $8.9^{\circ}\text{C}$  ,日温振幅较大,变异系数为  $16.56\%$  (表 1);随着气温和森林郁闭度的增加,进入生长季中期 (MGS),森林结构与功能充分发挥调节气候作用,林内气温日变化振幅最小,变异系数为  $9.66\%$  ,气温昼夜温

差趋于缓和;生长季后期 (AGS),由于林木生理机能减弱,树叶变黄、枯萎,功能衰退,引起林内气温日振幅也较大,气温日变幅在  $13.9\sim 22.6^{\circ}\text{C}$  ,差值  $8.7^{\circ}\text{C}$  ,日较差值比前期 ( $6.8^{\circ}\text{C}$  ) 和中期 ( $6.5^{\circ}\text{C}$  ) 高(图 1).冬季森林进入停止生长期,树叶全部脱落,林内气温日变化也较大(图 2),  $15:00$  最高温度为  $-8.4^{\circ}\text{C}$  ,  $7:00$  气温最低为  $-15.2^{\circ}\text{C}$  ,差值  $-6.8^{\circ}\text{C}$  (表 1).因此,城市森林一年四季的气温日变幅大小为  $\text{DS} > \text{PGS} > \text{AGS} > \text{MGS}$ .

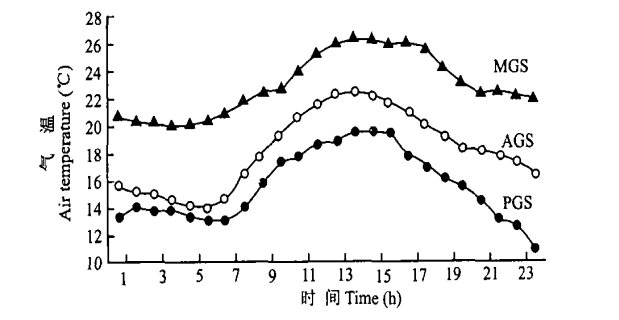


图 1 城市森林生长季不同时期气温日变化  
Fig. 1 Diurnal changes of air temperature of urban forest at different growing stages.

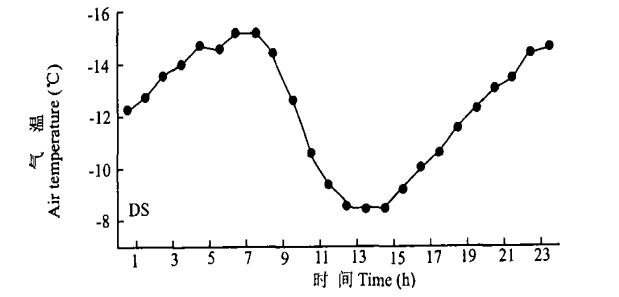


图 2 城市森林停止生长期气温日变化  
Fig. 2 Diurnal changes of air temperature of urban forest at the dormancy stages.

表 1 城市森林不同生长期气温日变化  
Table 1 Diurnal changes of air temperature of urban forest at different growing stages

生长期 Growing season	平均 ±标准差 Mean ±SD( )	变异系数 CV( %)
生长前期 PGS	15.52 ±2.57	16.56
生长中期 MGS	22.97 ±2.22	9.66
生长后期 AGS	18.24 ±2.83	15.52
停止生长期 DS	12.21 ±2.27	18.59

3.2 城市森林不同生长期的地温日变化

城市森林土壤温度的日变化基本趋势是白昼高于夜间,日出前  $5:00\sim 8:00$  土壤温度出现较低值,  $15:00$  温度达较高值(图 3),但是土壤温度日变化在一年四季中是不同的<sup>[12]</sup> ,在 PGS 白天不同土壤深度的温度日变化较大,上层 (A) 土壤温度高于下层

(B、C),即 $A>B>C$ ,尤其是上层(A)土温变幅 $18.5\sim 9.8$ ,差值 $8.7$ ,变异系数高达 $23.05\%$ (图3);中层(B)次之,变异系数为 $13.88\%$ ;下层(C)为 $9.73\%$ (表2).林木MGS土壤温度日变化振幅较小(图3),各层土壤温度变异系数分别为 $A:3.44\%$ , $B:2.06\%$ , $C:1.30\%$ (表2),下层土壤温度变化比上层延缓.林木AGS土壤温度日变化振幅也较大,白天土壤温度为 $A>B>C$ ;夜间为 $C>B>A$ (图3).林木DS土壤温度与林木PGS、MGS、AGS恰好相反,土壤温度的日振幅和季节振幅以上层为大,越向下振幅越小,全天土壤温度下层高于上层,即 $C>B>A$ (图3).这表明一方面受太阳辐射的影响,另一方面由于热量传递引起的温度变化迟滞效应,其日变化和季节变化有其自身的规律,与太阳辐射或气温的变化不同步<sup>[2,13]</sup>.但是城市森林土壤温度变化基本规律为:1)城市森林不同生长期的土壤各层温度日变化的振幅大小为 $A>B>C$ .2)城市森林不同生长期,同一深度的土壤温度日变化振幅有2种情况:在土层深 $20\text{ cm}$ 时, $PGS>AGS>DS>MGS$ ;在土层深 $>40\text{ cm}$ ( $80\text{ cm}$ )时, $PGS>DS>AGS>MGS$ .

3.3 城市森林不同生长期的空气相对湿度日变化

由图4可见,城市森林夜间的空气相对湿度高于白天.早晨日出(7:00),随着气温的升高,林内空气相对湿度开始下降,到13:00~15:00出现最低值,18:00又逐渐升高.但是城市森林不同生长期的空气相对湿度值日变化明显不同.PGS和DS林内的相对湿度较低(图4),日平均相对湿度分别为 $34.75\%$ 和 $41.83\%$ (表3),空气相对湿度林木的 $PGS<DS$ ,与天然林相反<sup>[12,18,24,25]</sup>,而天然林中相对湿度为 $DS<PGS$ 、MGS和AGS.经 $t$ 检验,林木PGS和DS的空气相对湿度平均值 $t=5.09>t_{0.01}=2.069$ ,证明PGS林内相对湿度极显著小于林木DS.这可能是城市森林小气候一个突出的特点.根据沈阳市气象台历年气象资料,林木PGS(春季3~5月)降水量为 $152.8\text{ mm}$ ,而林木DS(冬季11月至翌年2月)降水量仅为 $40.3\text{ mm}$ ,PGS降水量比DS多 $112.5\text{ mm}$ .但林内相对湿度却比林木DS少

$16.93\%$ ,可能是由于沈阳春季气温偏高、风大、干旱以及林木萌芽、放叶和地被物等生理活动吸收空气水分和湿度有关.城市森林MGS和AGS,空气相对湿度日进程呈“U”型变化,空气相对湿度高于PGS和DS(图4),而且空气相对湿度在夜间一直保持较高水平(达 $90\%$ ),但日较差较大,5:00最高为

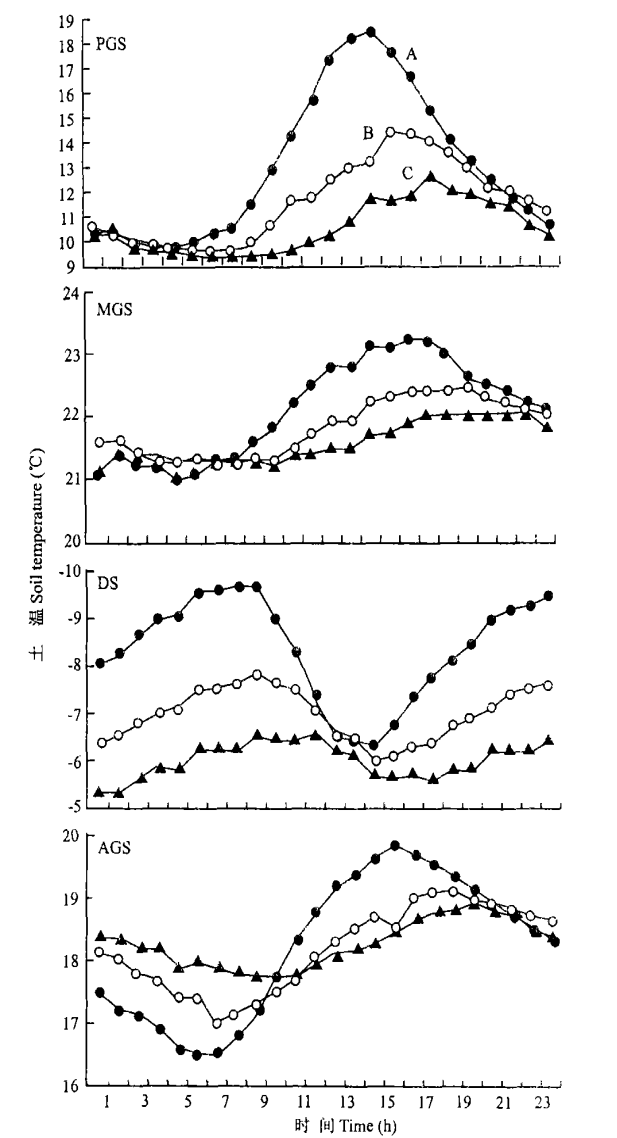


图3 城市森林生长前期、中期、后期和休眠期不同梯度的土壤温度日变化  
Fig.3 Diurnal changes of soil temperature at different layers in PGS, MGS, AGS and DS of the urban forest.  
A:上层 Upper layer; B:中层 Middle layer; C:下层 Down layer.

表2 城市森林土壤不同梯度地温日变化

Table 2 Diurnal changes of the soil temperature at different layers

土壤深度 Soil depth (cm)	生长前期 PGS		生长中期 MGS		生长后期 AGS		休眠期 DS	
	Mean $\pm$ SD ( )	VC (%)	Mean $\pm$ SD ( )	VC (%)	Mean $\pm$ SD ( )	VC (%)	Mean $\pm$ SD ( )	VC (%)
A(20)	12.97 $\pm$ 2.99	23.04	22.11 $\pm$ 0.76	3.44	18.24 $\pm$ 2.83	15.52	8.31 $\pm$ 1.05	12.64
B(40)	11.53 $\pm$ 1.60	13.88	21.8 $\pm$ 0.45	2.06	18.18 $\pm$ 0.66	3.63	6.97 $\pm$ 0.52	7.46
C(80)	10.48 $\pm$ 1.02	9.73	21.61 $\pm$ 0.28	1.30	18.28 $\pm$ 0.37	2.02	5.99 $\pm$ 0.36	6.01

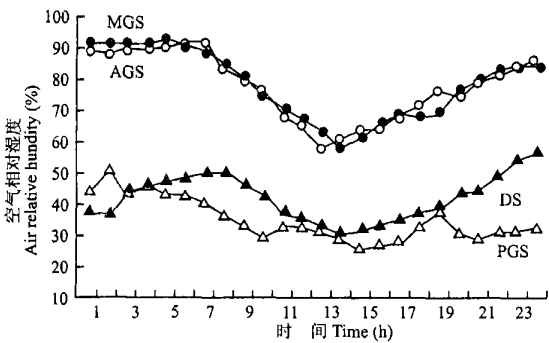


图4 城市森林不同生长期空气相对湿度日变化  
Fig. 4 Diurnal changes of relative air humidity of urban forest in different growing period.

表3 城市森林不同生长期相对湿度日变化  
Table 3 Diurnal changes of relative humidity of urban forest at different growing stage

生长期 Growing season	平均 ±标准差 Mean ±SD( %)	变异系数 CV( %)
生长期前期 PGS	34. 75 ±6. 51	18. 73
生长期中期 MGS	78. 29 ±10. 82	13. 82
生长期后期 AGS	76. 83 ±9. 91	12. 90
停止生长期 DS	41. 83 ±7. 16	17. 12

92 % ,而午后气温最高 ,太阳辐射最强 ,相对湿度最低 ,日较差达 32 % .

4 讨 论

城市森林是现代城市建设中的一个重要组成部分.它不是以生产木材为主要目标,而是以改善人居环境、促进人类健康和提高文化生活水平为目的<sup>[6]</sup>.在森林功能上,城市森林与天然林一样都具有释氧固碳、降温增湿和保持水土的作用.由于城市森林绝大部分为人工林,林内小气候受栽培模式、林种类型、林分结构和分布格局的影响.因此,城市森林小气候与天然林相比,既有相同规律,也有不同特点.

首先,无论是城市森林或是天然林,林内的小气候都具有明显的时间和空间上的异质性.城市森林气温日变化明显受太阳辐射的影响,日出后,气温随太阳辐射增强而升高,但是由于受森林环境影响,最高气温出现的时间一般比太阳辐射高峰迟滞 2 h 左右.一年四季气温日变幅大小为 DS > PGS > AGS > MGS.但在天然林中,气温空间分布随高度增加而增加,普遍存在逆温现象.李海涛等<sup>[12]</sup>在研究暖温带山地森林小气候时指出,落叶阔叶林夜间林内始终存在气温随高度增加而增加的辐射逆温现象.由于逆温层的存在,林内夜间常有沉雾和露水出现,这部分水量对森林植物生长发育有较大补益.常杰等<sup>[2]</sup>与朱宝纯等<sup>[24]</sup>在研究青冈常绿阔叶林和原始

红松林小气候时,都发现类似的辐射逆温现象.但在城市森林小气候研究中,尚未发现林内辐射逆温现象.森林小气候的形成是森林植被与环境综合作用的结果,逆温层产生是由森林结构、空间格局和立地环境决定的,是评价城市森林一个重要指标.由于城市森林结构单纯、镶块体较小、破碎化程度较严重和人类活动的干扰,很难形成森林环境小气候逆温层.

其次,城市森林与天然林在不同生长期的空气相对湿度日变化明显不同.通常,森林空气相对湿度日变化规律是夜间林内相对湿度最大,高达 90 % 以上<sup>[12,24]</sup>.日出前常出现一个高值,日出后湿度迅速下降,在气温最高、太阳辐射最强时,林内相对湿度最低,日落后湿度又迅速上升<sup>[12,12,18,24,25]</sup>.城市森林空气相对湿度日变化也符合这种规律,但在森林不同生长期,林内空气相对湿度日变化与天然林明显不同,尤其是在 DS 和 PGS 的林内空气相对湿度,城市森林恰与天然林相反.天然林一年四季的林内相对湿度日变化规律为 MGS > AGS > PGS > DS<sup>[2,12]</sup>,其中,MGS 林内增湿效应显著,而 PGS 和 AGS 相同,说明落叶期天然林仍有较强的增湿效应.DS 总是小于 PGS、MGS 和 AGS.但是在城市森林空气相对湿度研究中发现,PGS < DS,可能是城市森林小气候一个特殊现象.这可能与城市森林结构单纯、面积较小和森林覆盖率较低,没有形成完整、稳定的生态系统有关.在我国北方城市,一般春季多风、气温偏高和气候干旱,再加上春季林木生理活动,吸收空气中大量水分和湿气,从而产生城市森林空气相对湿度 PGS < DS 现象.

参考文献

1 Chai Y-X(柴一新),Zhu N(祝宁),Han H-J(韩焕金).2002. Dust removal effect of urban tree species in Harbin. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报),13(9):1121~1126(in Chinese)

2 Chang J(常杰),Pan X-D(潘晓东),Ge Y(葛滢),et al. 1999. Features of the micro-climate in the evergreen broad-leaved forest dominated by *Quercus glanca*. *Acta Ecol Sin* (生态学报),19(1):68~75(in Chinese)

3 Chen W(陈玮),He X-Y(何兴元),Zhang Y(张粤),et al. 2003. Dust absorption effect of urban conifers in Northeast China. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报),14(12):2113~2116(in Chinese)

4 Grey GW. 1986. Urban Forestry. New York:John Wiley and Sons Inc.

5 He X-Y(何兴元),Chen W(陈玮),Xu W-D(徐文锋),et al. 2003. Structure and heterogeneity of urban vegetation landscape in Shenyang. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报),14(12):2085~2089(in Chinese)

6 He X-Y(何兴元),Ning Z-H(宁祝华).2002. Advances in Urban Forest Ecology. Beijing:China Forestry Press. (in Chinese)

7 He X-Y(何兴元),Jin Y-S(金莹杉),Zhu W-Q(朱文泉),et al. 2002. Basic theory and research method of urban forest ecology. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报),13(12):1679~1683(in Chinese)

- nese)
- 8 He X-Y(何兴元), Chen W(陈 玮), Xu W-D(徐文铎), *et al.*. 2003. Community ecology in a typical near natural urban forest. *Chin J Ecol* (生态学杂志), **22**(6): 162 ~ 168 (in Chinese)
  - 9 Huang C-B(黄承标), Wen Y-G(温远光), Huang Z-H(黄志辉), *et al.*. 1999. Preliminary studies on microclimate of two mangrove communities in Yingluo bay of Guangxi. *J Trop Subtrop Bot* (热带亚热带植物学报), **7**(4): 342 ~ 346 (in Chinese)
  - 10 Hu Z-B(胡志斌), He X-Y(何兴元), Chen W(陈 玮), *et al.*. 2003. Structure and ecological benefits of urban forest in Shenyang build-up area. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), **14**(12): 2108 ~ 2112 (in Chinese)
  - 11 Li H-M(李海梅), He X-Y(何兴元), Chen W(陈 玮). 2004. Photosynthetic characteristics of main urban forest species *Syringa oblata* in Shenyang. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), **15**(12): 2245 ~ 2249 (in Chinese)
  - 12 Li H-T(李海涛), Chen L-Z(陈灵芝). 1999. Study on the microclimate in the mountain forest in the warm temperate zone. *Acta Phytoecol Sin* (植物生态学报), **22**(2): 139 ~ 147 (in Chinese)
  - 13 Liu Y-J(刘永金), Tan S-M(谭绍满). 1991. Microclimatic characteristics and their relationship with forest structure for two community types of slash pine. *Chin J Ecol* (生态学杂志), **10**(3): 5 ~ 9 (in Chinese)
  - 14 Liu C-F(刘常富), He X-Y(何兴元), Chen W(陈 玮), *et al.*. 2003. Selection of tree species composition in Shenyang's urban forest communities. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), **14**(12): 2103 ~ 2107 (in Chinese)
  - 15 Miller RW. 1996. Urban Forestry. New Jersey: Prentice Hall.
  - 16 Murphy WK, *et al.*. 1980. Converting urban tree residue to energy. *J Arbor*, **6**(4): 85 ~ 88
  - 17 Templiton SR, Goldman G. 1996. Urban forestry adds \$3.8 billion in sales to California economy. *California Agric*, **50**(1): 6 ~ 10
  - 18 Wang Y-L(王艺林), Wang J-Y(王金叶), Jin B-W(金博文), *et al.*. 2000. Partial climate characteristics of *Picea crassifolia*. *J Gansu For Sci Technol* (甘肃林业科技), **25**(4): 11 ~ 15 (in Chinese)
  - 19 Wu Z-M(吴泽民), Huang C-L(黄成林), Bai L-B(白林波), *et al.*. 2002. Urban forest structure of Hefei city. *Sci Silvae Sin* (林业科学), **38**(4): 7 ~ 13 (in Chinese)
  - 20 Wu Z-M(吴泽民), Wu W-Y(吴文友), Gao J(高 健), *et al.*. 2003. Analysis of urban forest landscape pattern in Hefei. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), **14**(12): 2117 ~ 2122 (in Chinese)
  - 21 Xu W-D(徐文铎), He X-Y(何兴元), Chen W(陈 玮), *et al.*. 2003. Flora and vegetation types in the downtown area of Shenyang. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), **14**(12): 2095 ~ 2102 (in Chinese)
  - 22 Xu W-D(徐文铎), Li H-M(李海梅), Liu C-F(刘常富), *et al.*. 2003. Discriminant model of urban zonal vegetation in Northeast China and its model of urban forest construction. *Chin J Ecol* (生态学杂志), **22**(5): 150 ~ 156
  - 23 Zhu W-Q(朱文泉), He X-Y(何兴元), Chen W(陈 玮), *et al.*. 2003. Quantitative analysis of urban forest structure: A case study on Shenyang arboretum. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), **14**(12): 2090 ~ 2094 (in Chinese)
  - 24 Zhu B-C(朱宝纯), Hu J-L(胡嘉良), Zhang L-Y(张连元). 1983. Study on microclimate in natural Korean pine stand. *J Northeast For Coll* (东北林学院学报), **11**(1): 33 ~ 43 (in Chinese)
  - 25 Zhou Z-Z(周再知), Zheng H-S(郑海水), Yang C-T(杨曾天), *et al.*. 1994. Research on microclimatic characteristic in plantation of rubber intercropped with *Amomum longiligulare*. *Chin J Ecol* (生态学杂志), **13**(1): 27 ~ 31 (in Chinese)
  - 26 Zhu N(祝 宁), Li M(李 敏), Chai Y-X(柴一新). 2002. Ecological functions of green land system in Harbin. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), **13**(9): 1117 ~ 1120 (in Chinese)
  - 27 Zhu N(祝 宁), Wang C(王 成), Zhou H-Z(周洪泽), *et al.*. 2003. Analysis on instantaneous spatial pattern of thermal force field in Harbin. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), **14**(11): 1955 ~ 1958 (in Chinese)

---

作者简介 徐文铎,男,1935年生,研究员。主要从事植物生态学和城市森林生态学研究,发表论文150多篇,专著、合著10部。Tel:024-83970349,13624050534; E-mail: Xuwenduo@sina.com

---