

苏北山丘区森林群落枯枝落叶层的生态功能分析

杨盼盼, 于法展, 曾 晨, 周 颖

(徐州师范大学 城市与环境学院, 江苏 徐州 221116)

摘 要:通过对苏北山丘区 6 种代表性森林群落枯落物现存量、吸纳重金属、养分贮存能力和蓄水固土等生态功能的研究,结果表明:6 种代表性森林群落枯枝落叶层现存量、对氮的贮存能力以及最大拦蓄量均以栎类林群落最大;对磷和 5 种重金属的贮存量以侧柏林群落最大,栎类林群落次之;赤松林、黑松林和刺槐林群落的各项生态功能相对较弱。

关键词:苏北山丘区; 森林群落; 枯枝落叶层; 生态功能

中图分类号:S715.3; S718.5

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2011)05-0152-04

Analysis on Ecological Function of Forest Floor of Forest Community in the Hilly Region of Northern Jiangsu Province

YANG Pan-pan, YU Fa-zhan, ZENG Chen, ZHOU Ying

(College of Urban and Environmental Sciences, Xuzhou Normal University, Xuzhou, Jiangsu 221116, China)

Abstract: A study was carried out on ecological functions of forest floor, such as standing stock of litter, detainment of heavy metals, nutrient storage ability and water holding capacity of six typical forest communities in the hilly region of northern Jiangsu Province. The results show that with regard to standing stock of litter, for N storage capacity and the water holding capacity of forest floor, the *Quercus* community is the highest among the six forest communities, while as far as P and five heavy metals storage capacity is concerned, the *Platycladus orientalis* forest community is the highest and followed by the *Quercus*. By comparison, the *Pinus densiflora* and *Pinus thunbergii* forest and *Robinia pseudoacacia* forest community are inferior in all these aspects.

Key words: hilly region of northern Jiangsu Province; forest community; forest floor; ecological function

枯枝落叶层是指覆盖在林地矿质土壤表面新鲜的半分解的凋落物,由林地植物地上部分器官或组织枯死脱落后堆积而成,包括叶、枝、树皮、花、果实、种子等。枯枝落叶层上部是很少腐烂的落叶枯枝,疏松而有弹性。森林枯枝落叶层是森林生态系统的重要组成部分,森林的众多生态系统服务功能并不单纯依赖于森林的立木部分,枯枝落叶层亦起着重要的作用,尤其是在涵养水源、保持水土以及促进森林生态系统物质循环和养分平衡方面,枯枝落叶层起着不可替代的作用。因此,枯枝落叶层的研究对于生态公益林体系建设具有重要的理论和实践意义^[1]。自 20 世纪 60 年代以来,国内外对森林枯落物的研究极为活跃。前期工作主要集中于枯落物的凋落量、分解速率、化学组分以及在物质循环中的作用;后期对枯枝落叶层的水文效益研究逐渐成热点,但大多集中在对

山地森林或防护林的研究,对区域森林群落枯枝落叶层的生态功能研究涉及甚少。区域代表性森林是优化环境、保证区域生态系统稳定性的必要组成部分^[2]。本文就苏北山丘区 6 种代表性森林群落枯落物层的水源涵养、养分供应、吸纳重金属污染物等方面的生态功能展开研究,为区域森林群落的结构优化和生态管理提供科学参考。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

苏北山丘区位于江苏省的东北部和西北部,其地理位置为东经 116°22′—119°48′,北纬 33°43′—35°07′,属于暖温带季风气候,受东南季风影响较大。年平均气温 13.1~14.3℃,1 月平均气温 -1.2~0.0℃,7 月平均气温 26.3~27.0℃,极端最高气温

收稿日期:2011-03-18

修回日期:2011-04-07

资助项目:徐州师范大学环境与发展创新实验课题项目(HJ201025Y)

作者简介:杨盼盼(1994—),女,江苏邳州人,本科生,主要从事地理教育研究。E-mail:panpanyangxsd@163.com

通信作者:于法展(1972—),男,江苏丰县人,副教授,主要从事土壤环境研究。E-mail:yufazhan@126.com

40.6℃,极端最低气温-22.6℃;年平均降水量847.9~958.9 mm,雨季降水量占全年的56%,且季节分配不均^[3]。该区地势属低山丘陵地带,该地区的森林植被(主要为次生林)包括2个植被型,5个群系组,11个群系^[4]。

苏北山丘区代表性森林群落包括6类:(1)赤松(*Pinus densiflora*)林主要分布于云台山的花果山和后云台山的宿城悟正庵,乔木层郁闭度0.6~0.8,赤松占绝对优势;(2)黑松(*Pinus thunbergii*)林系人工林,多为纯林,混生树种较少,如赤松、侧柏等,郁闭度0.6左右,灌木层盖度10%左右;(3)侧柏(*Platycladus orientalis*)林多为纯林,林冠亚层缺失,灌木层、草本层中不见有侧柏幼树、幼苗,乔木层郁闭度0.3~0.6,侧柏占绝对优势,亦呈纯林状,灌木层盖度20%左右;(4)栎类林是苏北山丘区典型的地带性森林,主要有栓皮栎(*Quercus variabilis*)林和麻栎(*Quercus acutissima*)林2个群系组成,栎类林为纯林,乔木层分别以栓皮栎和麻栎占绝对优势,郁闭度0.6~0.8;(5)杂木林主要包括盐肤木(*Rhus chinensis*)、黄檀(*Dalbergia hupeana*)林和黄连木(*Pistacia chinensis*)、黄檀林2个群系组成,乔木层郁闭度0.6左右,其中以盐肤木、黄连木、黄檀为优势种,化香、山合欢(*Albizia kalkora*)、栓皮栎、小叶朴(*Celtis bungeana*)、元宝槭、红枝槭(*Meliosma oidehami*)、臭椿(*Ailanthus altissima*)、梧桐(*Firmiana simplex*)等为伴生种;(6)刺槐(*Robinia pseudoacacia*)林常为纯林,分布较广,乔木层郁闭度0.6左右,刺槐占绝对优势,灌木稀疏,没有形成明显的层次。6类森林群落在苏北山丘区具有代表性和典型性,其中赤松林、黑松林以及侧柏林多为纯林,物种多样性很低,林下灌木层、草本层不甚发育,生长缓慢,病虫害严重,它们是目前

该地区低山丘陵上的主要次生林类型;栎类林和杂木林是该地区的地带性植被类型,由于人类的长期破坏,目前残存的面积很小,呈零星分布状态;刺槐林则常为纯林,系人工林,分布较广。

1.2 研究方法

选择苏北山丘区的前云台山、中云台山、后云台山、锦屏山、马陵山、泉山等地,选择具有代表性的次生林类型(如常绿针叶林、落叶阔叶林)下设置8块测试样地(表1),调查其主要植物种类及地形因子(坡向、坡度、坡形等)。每个样地设置3个20 m×20 m近期无人为干扰的样方,并且尽量保证其坡向和坡度一致。每个样方随机抽取4个面积为30 cm×30 cm小样方以获取枯枝落叶样品,把4个小样方的枯枝落叶均匀混合成1个样品,共得到3×5个样品。在降雨后第10天统一采集枯枝落叶层样品,取样深度至矿质土壤表面,取样时将枯枝落叶层分为未分解层(L层)和已分解层(Y层)两个亚层。样品带回实验室后立即测定其自然含水量,取部分烘干样品置于清水中浸泡24 h,测定其最大持水量,按下式计算样品有效拦蓄量^[5]:

$$W=(0.085R_m-0.1R_0)M$$

式中:W——有效拦蓄量(t/hm²);R₀——平均自然含水率(g/kg);R_m——最大持水率(g/kg);M——枯落物蓄积量(t/hm²)。

样品用HNO₃-HClO₄消解后,采用美国PE公司的电感耦合等离子仪(ICP)直接测定Cu、Pb、Cr、Zn、Cd含量。遵循GB 7888-87森林植物与森林枯枝落叶层全N、全P、全K、全Ca、全Mg的测定,采用凯氏定氮仪测定样品全N含量,采用钼锑抗比色法测定样品全P含量。分析所用数据均为3个样方测定结果的平均值。

表1 苏北山丘区代表性森林群落类型调查概况

样号	植被类型	主要层优势植被类型	郁闭度	盖度/%	坡向坡度	样地来源
1	温性松林	赤松	0.6~0.8	60	NW10°~15°	云台山
2		黑松	0.6	10	SE10°~15°	锦屏山
3	侧柏林	侧柏	0.3~0.6	60	E15°~20°	泉山
4		栓皮栎	0.7~0.8	50	W15°~20°	云台山
5	栎类林	麻栎	0.6~0.7	30	SE10°~15°	云台山
6		黄连木、黄檀	0.6	20	NW10°~15°	云台山
7	杂木林	盐肤木、黄连木	0.6	40	NE10°~15°	云台山
8		刺槐	0.5~0.7	20	NE10°~15°	马陵山

2 结果与分析

2.1 苏北山丘区代表性森林群落枯落物现存量

森林枯落物贮量是表征枯落物生态功能的重要参数,枯落物数量(厚度)和质量(组成)不仅对水文生

态具有重要影响,而且是土壤有机质的主要来源^[6]。苏北山丘区不同8块测试样地的代表性森林群落枯落物现存量(湿重)差异较大(表2):其中连云港云台山栎类林最大,达15.33 t/hm²,徐州市马陵山刺槐林群落最少,仅7.23 t/hm²。总体而言,6种典型性森

林群落枯落物现存量平均为 10.82 t/hm^2 , L 层和 Y 层所占比例大致相同, 分别为 $5.64, 5.18 \text{ t/hm}^2$ 。不同群落枯落物现存量差异主要由群落本身的生物学特性决定。云台山杂木林和栎类林人为干扰较少, 杂木林、栎类林叶片较厚, 呈革质, 凋落后分解速度较慢; 相比之下, 刺槐林郁闭度相对较低, 叶量较少, 每年输入的凋落物较少, 且刺槐林的叶片相对较薄, 凋落后易分解腐烂, 归还土壤的速度较快, 造成枯落物现存量较少。苏北山丘区 6 种代表性森林群落枯落物平均现存量 (10.82 t/hm^2), 远低于位于温带的云杉林 (39.566 t/hm^2)^[7], 但比亚热带的常绿阔叶林 ($2.763 \sim 8.740 \text{ t/hm}^2$) 高。说明不同气候条件下枯落物分解速率是决定枯落物现存量的主导因子。不同季节枯枝落叶层的分解率也有很大差异, 基本上是夏季 > 秋季 > 春季 > 冬季, 这主要与季节温度和生物活性的变化有关。

2.2 苏北山丘区代表性森林群落枯落物层吸纳重金属能力

森林群落枯枝落叶层中的重金属一部分是由植物吸收后随着枝条叶片等凋落物分解而来, 一部分是

大气污染物直接沉降后被其吸收而来。研究不同类型森林群落枯枝落叶层重金属含量, 能了解不同树种对重金属的吸纳能力。苏北山丘区代表性森林群落枯落物层重金属含量见表 3。由表 3 可知, 苏北山丘区 6 种森林群落枯枝落叶层中重金属含量大多超过了相应的土壤背景值^[8], 特别是 Cd, 枯落物层中平均值为土壤背景值的 7.3 倍。这说明群落自身对重金属具有富集作用, 尽管各种群落的富集能力存在很大差异; 同时也反映了这 6 种群落的生长环境已受到一定污染, 致使枯枝落叶层中重金属含量偏高。枯枝落叶层中 5 种重金属含量在群落间的差异也不相同, Cr 在群落间的差异最大, 变异系数为 65.21%, Zn 和 Cu 在群落间的差异则较小。

表 2 苏北山丘区代表性森林群落枯落物现存量 t/hm^2

群落类型	未分解层	已分解层	总量
赤松林	5.60 ± 1.03	4.12 ± 0.73	9.72 ± 2.45
黑松林	5.71 ± 2.07	4.19 ± 1.41	9.90 ± 1.85
侧柏林	6.54 ± 0.54	3.79 ± 0.52	10.33 ± 3.63
栎类林	6.21 ± 1.31	9.12 ± 3.27	15.33 ± 4.70
杂木林	6.75 ± 2.56	5.68 ± 1.04	12.43 ± 2.91
刺槐林	3.04 ± 0.38	4.19 ± 0.87	7.23 ± 2.61

表 3 苏北山丘区代表性森林群落枯落物层的重金属含量

群落类型	Cu/($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	Pb/($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	Cr/($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	Zn/($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	Cd/($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)
土壤背景值 ^[8]	31.5	32.1	56.8	81.2	0.26
赤松林	30.2 ± 3.72	40.9 ± 7.54	19.2 ± 1.48	170.4 ± 9.25	1.71 ± 0.27
黑松林	30.1 ± 5.21	40.7 ± 3.18	19.1 ± 3.51	169.9 ± 5.58	1.68 ± 0.24
侧柏林	45.4 ± 2.40	68.6 ± 6.53	100.5 ± 6.52	196.2 ± 9.04	1.74 ± 0.85
栎类林	25.3 ± 1.57	20.3 ± 2.49	124.0 ± 4.19	115.6 ± 3.26	1.11 ± 0.36
杂木林	34.5 ± 4.36	28.6 ± 4.07	42.9 ± 3.71	152.7 ± 14.23	1.92 ± 0.29
刺槐林	31.4 ± 2.81	74.8 ± 7.21	96.3 ± 8.24	178.7 ± 19.34	3.22 ± 0.84
平均值	32.8 ± 6.37	45.7 ± 2.38	67.0 ± 10.47	163.9 ± 5.48	1.90 ± 0.07
标准差	7.51 ± 2.14	24.15 ± 5.62	43.69 ± 3.25	30.67 ± 2.26	0.78 ± 0.13
变异系数/%	22.90 ± 4.73	52.84 ± 4.23	65.21 ± 7.24	18.71 ± 4.14	41.00 ± 12.27

表 4 苏北山丘区代表性森林群落枯枝落叶层重金属总截留量

群落类型	Cu	Pb	Cr	Zn	Cd
赤松林	0.143 ± 0.007	0.194 ± 0.024	0.150 ± 0.009	0.819 ± 0.057	0.008 ± 0.003
黑松林	0.141 ± 0.022	0.191 ± 0.018	0.148 ± 0.017	0.816 ± 0.046	0.007 ± 0.005
侧柏林	0.215 ± 0.041	0.331 ± 0.045	0.533 ± 0.026	0.958 ± 0.005	0.009 ± 0.001
栎类林	0.200 ± 0.008	0.160 ± 0.007	0.415 ± 0.067	0.908 ± 0.004	0.009 ± 0.002
杂木林	0.208 ± 0.019	0.174 ± 0.031	0.212 ± 0.004	0.932 ± 0.015	0.012 ± 0.006
刺槐林	0.116 ± 0.005	0.265 ± 0.056	0.217 ± 0.018	0.639 ± 0.034	0.011 ± 0.009
平均值	0.171 ± 0.006	0.219 ± 0.042	0.279 ± 0.057	0.845 ± 0.037	0.010 ± 0.004

森林枯落物层对重金属的贮存截留作用, 可降低大气或土壤中重金属含量, 从而达到净化环境的目的。由表 4 可知, 苏北山丘区 6 种森林群落单位林地枯枝落叶层中重金属截留量大小依次为 Zn、Cr、Pb、Cu 和 Cd, 而且不同群落枯枝落叶层中重金属截留量有较大差异。相比而言, 侧柏林群落枯枝落叶层对重金属的综合吸纳能力较强, 而刺槐林、赤松林和黑松

林群落的综合吸纳能力较弱。这种差异主要决定于枯落物层现存量和枯落物中重金属含量。

2.3 苏北山丘区代表性森林群落枯枝落叶层对养分的贮存能力

枯落物层是森林生态系统物质循环过程中重要的“有机物质库”, 贮存了大量营养物质, 并通过土壤原生动物及微生物的分解释放出来, 随着枯枝落叶层

渗滤水淋洗到土壤中,供给植物生长的需要^[9]。苏北山丘区气候类型是暖温带季风气候,夏季高温多雨,土壤有机质容易分解,营养物质容易流失。因此,将养分贮存于森林生态系统并缓慢释放是保持养分的重要机制。

由表 5 可知,苏北山丘区 6 种代表性森林群落枯枝落叶层具有很高的 N、P 储量,N 储量以栎类林群落最高,达 134.15 kg/hm²,是刺槐林群落的 2.2 倍。P 储量以侧柏林群落最高,达 17.31 kg/hm²,赤松林、黑松林和刺槐林群落相对较低,说明侧柏对 P 的吸收能力较强。苏北山丘区 6 种森林群落枯枝落叶层 N、P 平均储量分别为 98.81 kg/hm² 和 9.72 kg/hm²,虽然比北方的针叶林小,但比亚热带常绿阔叶林大,与当地的地带性植物群落相当^[5]。区域森林生态系统是该地区其他系统养分的主要供给者,而这种供给必须通过枯枝落叶层有机质的分解。据研究,每年枯枝落叶层的分解可以满足森林植物生长 80% 的营养需求,其余 20% 由雨水和矿物的分化补给。本研究

结果表明,苏北山丘区森林枯枝落叶层具有相当高的养分贮存与供应能力,这无疑对该地区森林的经营管理具有重要的现实意义。

2.4 苏北山丘区代表性森林群落枯落物层蓄水固土功能

森林的枯枝落叶层具有吸收雨水、调节和过滤地表径流的作用。一方面可以阻留和减缓水分流速,延长水分下渗时间,增加地表粗糙度,避免雨水直接打击土壤,减少水土流失;另一方面,森林枯枝落叶层具有较大的水分截持能力,从而影响到穿透降水对土壤水分的补充和植物的水分供应^[10]。同时,枯枝落叶层的分解可以改善土壤结构,加大土壤孔隙度,增加土壤贮水保水的作用。因此,枯枝落叶层是一个重要的水文层次。在林冠层、枯枝落叶层和根系土壤层的垂直结构中,森林的枯枝落叶层是实现森林涵养水源的主要作用层^[11]。对森林群落凋落物层的水文特性进行测定,可为评价森林涵养水源的功能和合理布局提供一定的科学依据。

表 5 苏北山丘区代表性森林群落枯落物的养分贮存能力和蓄水固土功能

群落 类型	N 储量/ (kg·hm ⁻²)	P 储量/ (kg·hm ⁻²)	凋落物现存量/ (t·hm ⁻²)	自然含水率/ (g·kg ⁻¹)	最大持水率/ (g·kg ⁻¹)	有效持水率/ (g·kg ⁻¹)	最大拦蓄量/ (t·hm ⁻²)	有效拦蓄量/ (t·hm ⁻²)
赤松林	100.61(21.53)	6.40(1.07)	9.70(0.55)	376.6(30.5)	2 266.7(873.3)	1 150.1(253.6)	21.70(5.31)	14.83(3.57)
黑松林	100.11(14.68)	6.36(2.41)	9.90(2.73)	376.0(74.2)	2257.4(428.1)	1145.2(441.3)	20.80(9.04)	14.81(5.52)
侧柏林	95.07(10.72)	17.31(4.85)	10.33(4.18)	138.2(18.6)	2168.5(910.4)	1705.0(138.9)	23.10(4.34)	18.28(7.83)
栎类林	134.15(33.49)	8.97(0.87)	15.33(5.31)	428.5(89.7)	1813.7(217.5)	1113.2(116.1)	27.90(8.92)	17.05(4.33)
杂木林	102.88(17.15)	12.76(5.46)	12.43(2.87)	200.3(64.1)	1632.6(602.7)	1187.5(450.2)	20.36(7.25)	14.80(4.76)
刺槐林	60.04(34.28)	6.54(3.05)	7.23(1.42)	218.4(85.9)	1738.3(721.4)	1259.2(623.0)	12.32(2.67)	8.78(1.92)
平均值	98.81(19.08)	9.72(1.53)	10.82(3.06)	289.67(76.3)	1979.5(564.5)	1260.0(275.1)	21.03(6.74)	14.76(6.08)

注:括弧内为标准差

由表 5 可知,苏北山丘区 6 种代表性森林群落中,赤松林群落枯枝落叶层最大持水率最高,为 2 266.7 g/kg,栎类林群落最大拦蓄量最大,为 27.90 t/hm²;刺槐林群落最大拦蓄量最小,还不到栎类林群落的一半。最大持水率和最大拦蓄量只能反映枯枝落叶层潜在持水能力的大小。从有效持水率和有效拦蓄量看,6 种代表性森林群落凋落物层有效拦蓄能力大小依次为:侧柏林群落、栎类林群落、赤松林群落、黑松林群落、杂木林群落和刺槐林群落,平均有效持水率为 1 260.0 g/kg,平均有效拦蓄量为 14.76 t/hm²。

3 结论与讨论

(1)赤松林、黑松林、侧柏林、栎类林、杂木林、刺槐林群落是苏北山丘区具有代表性的成片森林群落,由于群落组成结构及其生物学特性不同,其枯枝落叶层的生态功能差异很大。本研究结果表明,苏北山丘区地带性植被栎类林群落无论是枯枝落叶层现存量

和养分贮存量,还是蓄水固土能力都优于其它 5 种人工群落类型,而叶量小而薄的刺槐林群落枯枝落叶层的生态功能相对较弱。因此,在区域森林群落建设中,要保护好现有的地带性植被或营建类地带性植物群落,维护林地枯枝落叶层的完整性,将有助于改善区域森林群落的生态环境。

(2)本文仅对研究区域进行了一次性的取样分析,若能对苏北山丘区代表性森林群落进行长期定位调查分析,则可以了解各典型森林群落枯枝落叶层的动态变化。另外,苏北山丘区分布的落叶阔叶林主要是自然的,而常绿针叶林主要是人工林,人工林下枯枝落叶层很大程度上取决于原有人为因素,因而,不同森林群落枯枝落叶层的生态功能还需进一步研究。

参考文献:

[1] 周彬,郑小贤,钟艳,等. 林分物种多样性指标体系的研究[J]. 北京林业大学学报,2002,24(2):22-26.

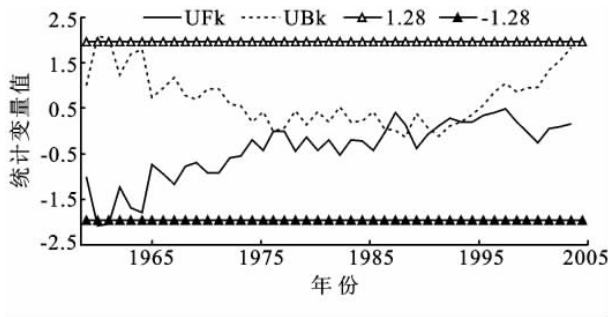


图 3 西宁市降水量突变分析

3.4 未来 10 a 降水量变化趋势预测

建立均生函数^[6-7]模型对西宁市 2006—2015 年 10 a 年降水量进行预测。预测结果如图 4 所示。结果表明未来 10 a 西宁市地区降水量呈缓慢增长趋势。

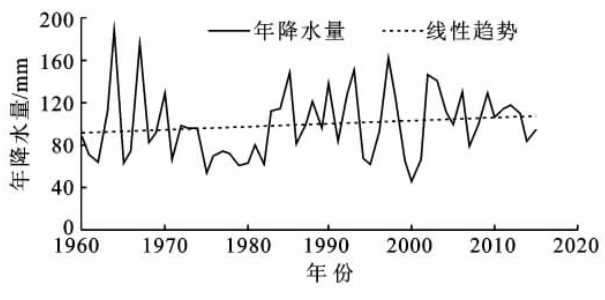


图 4 西宁市降水量预测变化趋势

4 结论

西宁市多年平均降水量年内分配不均,降水量主要集中在 5—9 月;降水量最大月是 7 月,最小月为 12 月。全市降水量年际变化不强烈,46 a 来降水量有减少的趋势。全市降水丰枯变化基本上是 60 年代处于

枯水期,70,80 年代湟中、湟源地区开始变为丰水期,而大通、西宁仍是枯水期,90 年代开始后全市都进入了丰水期,但是 2000 年以后湟中湟源地区变为了枯水期,大通西宁地区仍是丰水期。这种空间上的降水量分布不均主要还是由于西宁市的下垫面、气候等条件因自然或人为活动发生变化,影响了降水量在时间上分布不同的缘故。将参数检验和非参数检验法结合分析,综合得到全市春季降水变化相比其它季节变化明显,且呈上升趋势,秋季降水量呈下降趋势,冬季降水量略有下降趋势,全年降水量有增加趋势,但是不显著;年降水量增长趋势不明显,未发生突变;2006—2015 年未来十年西宁市年降水量呈上升趋势。

参考文献:

- [1] 陈冬冬,戴永久.近五十年我国西北地区降水强度变化特征[J].大气科学,2009,33(5):923-935.
- [2] 宋连春,张存杰.20 世纪西北地区降水量变化特征[J].冰川冻土,2003,25(2):143-149.
- [3] 朱元福,田辉春.青海省共和地区近 50 年气候变化特征分析[J].安徽农业科学,2008,36(21):9189-9191.
- [4] 燕华云,贾绍凤.近 50 a 来青海水文要素变化特征分析[J].冰川冻土,2003,25(2):193-199.
- [5] 张晓明,魏锋,陆燕.祁连山近 45 年降水异常的气候特征[J].干旱气象,2006,24(3):35-42.
- [6] 魏凤英,曹鸿兴.长期预测的数学模型及其应用[M].北京:气象出版社,1990:1-12.
- [7] 汤成友,官学文,张世明.现代中长期水文预报方法及其应用[M].北京:中国水利水电出版社,2008.

(上接第 155 页)

- [2] 郑景明,马克平.植物群落多样性与可入侵性关系研究进展[J].应用生态学报,2006,17(7):1338-1343.
- [3] 于法展,尤海梅,李保杰,等.苏北地区代表性森林土壤理化特性的比较研究[J].地理与地理信息科学,2007,23(2):87-90.
- [4] 阎传海.徐州连云港地区城镇绿化策略研究[J].海南师范学院学报:自然科学版,2002,15(3):47-49.
- [5] 阎传海.苏北低山丘陵森林植被多样性研究[J].山地研究,1997,15(3):157-161.
- [6] 李慧蓉.生物多样性和生态系统功能研究综述[J].生态学杂志,2004,23(3):109-114.
- [7] 冯耀宗.物种多样性与人工生态系统稳定性探讨[J].应用生态学报,2003,14(6):853-857.
- [8] 刘鸿雁,黄建国.缙云山森林群落次生演替中土壤理化性质的动态变化[J].应用生态学报,2005,16(11):2041-2046.
- [9] 吴钦孝,赵鸿雁,刘向东,等.森林枯枝落叶层涵养水源保持水土的作用评价[J].土壤侵蚀与水土保持学报,1998,4(2):23-28.
- [10] 李双喜,朱建军,张银龙.人工马褂木林下草本植物物种多样性与林分郁闭度的关系[J].生态与农村环境学报,2009,25(2):20-24.
- [11] 江小雷,张卫国,严林,等.植物群落物种多样性对生态系统生产力的影响[J].草业学报,2004,13(6):8-13.