

盱眙人工林枯落物及土壤水文效应研究

谈正鑫, 万福绪, 张涛

(南京林业大学 林学院, 南京 210000)

摘要:通过对盱眙月亮山5种人工林枯落物和土壤持水性能的研究,发现五种林下枯落物蓄积量为5.12~15.31 t/hm²,最大持水率变化范围为164.09%~250.76%,最大持水量变化范围为8.40~41.18 t/hm²,有效拦蓄量为3.55~28.12 t/hm²,从大到小依次为杨树林>朴树林>桃树林>杨梅林>墨西哥柏林。不同林地类型林下枯落物持水量、吸水速率与浸水时间的动态变化规律基本相似,枯落物持水量随浸泡时间延长而增长,在水中浸泡24 h时,其持水量基本达到最大值,前2 h内各林分枯落物层持水作用较强。林下枯落物层持水量与浸泡时间之间的关系式为 $Q=a\ln(t)+b$,吸水速率与浸水时间之间的关系式为 $V=kt^n$ 。杨树林地土壤的最大持水量和非毛管持水量均是最大,达到了305.24 t/hm²,305.24 t/hm²,并且杨树林地的渗透性能也是最好的。

关键词:森林土壤;枯落物;水源涵养;森林水文效应;持水特性

中图分类号:S718

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2015)04-0184-05

Hydrological Effect of Litter and Soil in Planted Forest in Xuyi Country

TAN Zhengxin, WAN Fuxu, ZHANG Tao

(College of Forestry, Nanjing Forest University, Nanjing 210000, China)

Abstract: The litter storage, the water-holding capacities and soil hydrological properties in the 5 types of planted forest in Volcanic Hillyland of Xuyi were examined. The results showed that the litter storage volumes were 5.12~15.31 t/hm², the max water-holding percentage ranged from 164.09% to 250.76%, the max water-hoolding capacities ranged from 8.40 t/hm² to 41.18 t/hm², the effective water-hoolding capacities ranged from 3.55 t/hm² to 28.12 t/hm², the sequence from high to low level was *Populus L* forestland>*Celtis sinensis* Pers forestland>*Amygdalus persica L* forestland>*Myrica rubra* (Lour.) Zucc forestland>*Cupressus lusitanica* forestland. The dynamic changes in water-holding capacity, water-absorbent rate and time of forest litters under different forest types were basically similar. The water holding capacity of litter increased with extension of water immersion and being immersed in water for 24 hours, the forest litter usually reached its maximum water-holding capacity. The water-holding capacity and absorption speed of the first 2 hours were superior to the rest of time. The relation between the water-holing capacity of the litter layer and the immerse time could be described by the equation: $Q=a\ln(t)+b$, the relation between the water absorption speed of the litter layer and the immerse time could be described by the equation: $V=kt^n$. The maximum moisture content and capillary moisture content of *Populus L* were the highest, with the values of 1 207.30 t/hm² and 8.35 mm/min, respectively, and the soil water infiltration rate under *Populus L* forestlands is the highest.

Keywords: forest soil; forest litter; water conservation; forest hydrological effect; water-holding characteristic

森林的水源涵养功能是森林生态系统的重要功能之一,森林植被因其具有庞大的林冠层、较厚的枯落物层和盘根错节的根系网络,以及疏松多孔的森林土壤,发挥着涵养水源的作用,主要表现在对降水的截留与再分配;调节河川径流,调节林内小气候,减小

林内地表蒸发,改善土壤结构,减少地表侵蚀等^[1-3]。不同林地的涵养水源能力差异很大,这不仅是由于不同树种的形态结构特征及其群落结构的差异所引起的^[4-6],而且枯落物的持水能力与降水、温度、相对湿度等气象因子及土壤含水率等关系密切^[7]。

盱眙县位于淮河下游,人工林对于淮安市在涵养水源、保持水土等方面具有不可替代的作用。目前有关盱眙火山岩丘陵山地人工林的枯落物及土壤水文方面的研究尚未见报道,本文以盱眙县月亮山五种不同林地对象,从土壤层和林下枯落物涵养水源能力等方面对其水源涵养功能进行研究。旨在揭示该地区不同林地下枯落物层和土壤层的水源涵养功能。为今后该地区的林分设置、树种选择提供理论依据,为生产实践提供直接指导。

1 研究区概况

研究区位于江苏省盱眙县月亮山,地处北亚热带与暖温带过渡区域,属季风性湿润气候。四季分明,

季际、年际变异性突出,年平均日照总量 2 222.4 h,平均气温 14.7℃,无霜期 215 d,年降雨量范围为 446.6~1 757.1 mm,年平均降水量 1 005.4 mm。研究区土壤由火山岩发育形成,其中黄棕壤面积最大,占 36.2%,其次是火山灰土和水稻土以及部分潮土和沙姜土。盱眙全县现有成片林 11 867 万 hm²,农田林网 2 169 万 hm²,“四旁”树木保存 1 058 万株,森林覆盖率 18.3%。活立木总蓄积量 90.3 万 m³,年生长量 16.85 万 m³[8]。该研究区主要树种有桃树(*Amygdalus persica* L.)、杨梅(*Myrica rubra* (Lour.) Zucc)、杨树(*Populus* L)、朴树(*Celtis sinensis* Pers)和墨西哥柏(*Cupressus lusitanica*)。样地具体状况见表 1。

表 1 试验地基本情况

林地	林龄	平均胸径/cm	平均树高/m	枯落物厚度/cm	草本覆盖度/%	坡向	坡度/(°)	土壤类型
杨树	7	13.10	9.40	3.30	75	西北	34	黄棕壤
杨梅	4	10.64	2.65	1.10	30	东南	18	黄棕壤
朴树	5	8.16	4.60	2.80	70	东北	23	黄棕壤
墨西哥柏	3	3.70	1.84	0.90	40	东北	25	黄棕壤
桃树	5	4.75	1.93	1.90	25	西北	22	黄棕壤

2 研究方法

2.1 枯落物持水能力测定

2014 年 6 月中旬,在盱眙县月亮山选取 5 种具有代表性的人工林类型,根据典型性和代表性的原则,在每个林地建立 3 个 20 m×20 m 样方,进行常规调查[9]。在每个标准样地内沿对角线设 30 cm×30 cm 样方 5 个,调查枯落层厚度并取样,由于半分解层很薄,未进行未分解层与半分解层的分层取样。将样品带回实验室后称重,在烘箱中 85℃烘干至恒重后,计算枯落物蓄积量及自然含水率。将烘干的的枯落物装入尼龙袋后称重,再浸入水中,分别测定其在 0.5,1,2,4,7,10,15,20,24 h 时的质量,计算持水量(g/kg)和持水率(%),分析其变化过程,每隔一定时间从浸泡容器中取出称重,所得的枯落物湿重与其烘干重的差值,即为不同时间段枯落物的持水量,持水量与浸泡时间的比值为枯落物的吸水速率[10]。

2.2 土壤持水能力及渗透测定

用 S 形采样法从样方中选取 3 个取样点,用 100 cm³ 的环刀按照 0—20,20—40 cm 分层取土,重复三次,测定土壤容重、毛管孔隙度、非毛管孔隙度和最大持水量等指标。本文土壤物理性质数据均为三个重复取样的平均数据。采用双环刀法测定林地不同土层的土壤渗透性能,包括水分初渗速率和稳渗速率,重复 3 次[11]。

土壤持水量公式为[12]:

$$S=10000hp$$

式中:S——土壤持水量(t/hm²);h——土层厚度(m);p——非毛管孔隙度(%)。

2.3 数据处理

使用 SPSS,Excel 软件对数据进行处理分析。

3 结果与分析

3.1 林地枯枝落叶层水水源涵养功能

3.1.1 枯落物持水性能 森林枯落物蓄积量是反映森林水源涵养能力的重要因素之一。从表 2 可以看出不同林地下枯落物蓄积量差距很大,变动范围为 5.12~15.31 t/hm²,蓄积量从大到小依次为杨树林>朴树林>桃树林>杨梅林>墨西哥柏林,杨树林是墨西哥柏林的 3 倍。产生差异的原因可能是枯落物的输入量不一样,而且在不同林地下,人类活动的方式以及对土壤影响的强度等均不同,导致了枯落物的分解速率不同,对枯落物的蓄积量产生了影响。

枯落物持水能力是整个森林生态系统水分循环中重要的一环,是反映枯落物水文效应的重要指标。由表 2 可知 5 种林地下枯落物最大持水率在 164.09%~250.76%之间变动,从大到小依次为:杨树林>朴树林>杨梅林>桃树林>墨西哥柏林。4 种阔叶林枯落物持水率差距不大,是墨西哥柏林枯落物的 1.3~1.5 倍,这可能是由于墨西哥柏的叶片为鳞形

叶片,叶面积较小所致。

5 种林地枯落物最大持水量在 8.40~41.18 t/hm²之间变动,从大到小依次为:杨树林>朴树林>桃树林>杨梅林>墨西哥柏林,但是最大持水量只能反映枯落物层的持水能力大小,不能反映对实际降水的拦蓄情况。

据雷瑞德^[13]的研究表明,当降雨量达到 20~30 mm 以后,植被枯落物的实际持水率都为最大持水率的 85%左右。采用有效拦蓄量估算枯落物对降雨的实际拦蓄量,公式为:

表 2 不同林地下枯落物持水特性

林地类型	厚度/cm	蓄积量/ (t·hm ⁻²)	自然 含水率/%	最大 持水率/%	最大吸持水量/ (t·hm ⁻²)	有效拦蓄量/ (t·hm ⁻²)
杨梅	1.10	6.01	61	231.43	13.90	8.13
桃树	1.90	8.45	53	226.12	19.10	11.75
杨树	3.30	15.31	45	250.76	41.18	28.12
墨西哥柏	0.90	5.12	70	164.09	8.40	3.55
朴树	2.80	13.69	57	242.33	33.13	20.36

3.1.2 不同林地枯落物持水过程 通过对枯落物层不同时间段持水量以及吸水速率的研究,可以了解不同林地下枯落物对雨水吸持的动态过程。由图 1 可发现,不同林地类型林下枯落物持水量随时间的变化趋势基本相似,在最初浸泡的 2 h 内,枯落物持水量迅速增加,而后随着浸泡时间的延长呈现不断增加的趋势,且增加速度逐步放缓,在 10 h 以后,其持水量变化很小。说明这五种林地下枯落物层前 2 h 对降雨的吸持作用最强。杨梅林、桃树林、杨树林、墨西哥柏林、朴树林下枯落物层浸泡 2 h 持水量占其 24 h 持水量的百分率分别为 56.31%,64.34%,63.35%,43.27%,61.67%。

对 1~24 h 之间 5 种林地枯落物持水量与浸泡时间的关系进行回归分析,得出该时间段内持水量与

$$W=(0.85 R_m-R_o)M$$

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

通过计算发现 5 种林地下枯落物的有效拦蓄量和最大持水量表现特点相同,有效拦蓄量的变化范围为 3.55~28.12 t/hm²,从大到小依次为杨树林>朴树林>桃树林>杨梅林>墨西哥柏林。杨树林下枯落物的实际拦蓄降雨的效果是最好的。产生差异的原因是各林下枯落物层最大持水率和蓄积量均不同。

浸泡时间的关系为:

$$Q=a\ln(t)+b$$

式中:Q——枯落物层持水量(g/kg);t——浸泡时间(h);a,b——方程系数。

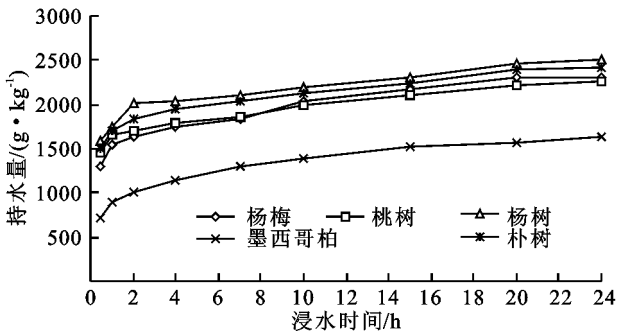


图 1 不同森林类型枯落物持水量与浸泡时间的关系

表 3 枯落物层持水量、吸水速度与时间的关系式

林分类型	持水量 Q 与时间 t 的关系	吸水速率 V 与时间 t 的关系
杨梅	$Q=253.139\ln t+1467.163$ $R^2=0.966$	$V=1469.407t^{-0.859}$ $R^2=0.999$
桃树	$Q=192.286\ln t+1579.885$ $R^2=0.952$	$V=1582.388t^{-0.896}$ $R^2=1.000$
杨树	$Q=219.269\ln t+1753.269$ $R^2=0.961$	$V=1751.539t^{-0.892}$ $R^2=0.999$
墨西哥柏	$Q=233.371\ln t+864.269$ $R^2=0.991$	$V=862.436t^{-0.795}$ $R^2=0.999$
朴树	$Q=226.216\ln t+1661.082$ $R^2=0.983$	$V=1660.813t^{-0.884}$ $R^2=1.000$

枯落物吸水速率与浸泡时间具有一定的相关关系,由图 2 可知,虽然不同林分枯落物在浸入水中最初吸水速率相差较大,但随浸泡时间延长,在浸泡 10 h 后,枯落物吸水速率趋向一致。枯落物在开始浸水枯落物在前 1 h 内吸水速率最大,之后急剧下降,4 h 后下降速度明显减缓,24 h 吸水基本停止,表明枯落物已达到饱和状态。对 5 种不同林地枯落物吸水速率与浸泡时间进行拟合,得出该时间段内吸水速率与

浸泡时间之间存在拟合模型为:

$$V=kt^n$$

式中:V——枯落物吸水速率[g/(kg·h)];t——浸泡时间(h);k——方程系数;n——指数。

3.2 林地土壤层水源涵养功能

3.2.1 土壤持水能力 土壤蓄水能力是评价不同植被下的土壤涵养水源及调节水循环能力的重要指标,从土壤蓄水能力来看,非毛管孔隙能较快容纳降水并及时下渗,

更加有利于涵养水源,因此土壤非毛管孔隙持水量被许多学者作为评价林地土壤水源涵养能力的重要指标。

由表 4 可知,5 种林地地下土壤最大持水量变动范围为 942.16~1 207.30 t/hm²,最大持水量差距不大,平均值大小依次为:杨树林>桃树林>墨西哥柏林>杨梅林>朴树林。非毛管持水量变动范围为 76.82~305.24 t/hm²,各林地间土壤非毛管持水量有明显差距,平均值从大到小依次为:杨树林>桃树林>朴树林>杨梅林>墨西哥柏林。

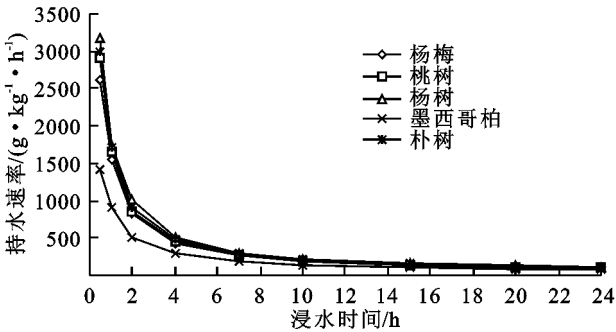


图 2 不同森林类型枯落物持水速率与浸泡时间的关系

表 4 土壤物理性状及持水能力

林地类型	土层厚度/cm	容重/(g·cm ⁻³)	总孔隙度/%	毛管孔隙度/%	非毛管孔隙度/%	毛管持水量/(t·hm ⁻²)	非毛管持量/(t·hm ⁻²)	最大持水量/(t·hm ⁻²)
杨梅	0—20	1.29	52.139	44.608	7.531	892.16	150.62	1042.78
	20—40	1.38	51.709	45.930	5.779	918.60	115.58	1034.18
桃树	0—20	1.19	58.339	47.360	10.979	947.20	219.58	1166.78
	20—40	1.21	57.157	50.618	6.539	1012.36	130.78	1143.14
杨树	0—20	0.92	60.365	45.103	15.262	902.06	305.24	1207.30
	20—40	1.11	58.014	46.193	11.821	923.86	236.42	1160.28
墨西哥柏	0—20	1.29	55.957	50.174	5.783	1003.48	115.66	1119.14
	20—40	1.46	51.421	47.580	3.841	951.60	76.82	1028.42
朴树	0—20	1.12	56.098	46.184	9.914	923.68	198.28	1121.96
	20—40	1.19	47.108	39.974	7.134	799.48	142.68	942.16

3.2.2 土壤渗透能力 土壤的渗透性能是将地表径流转化为壤中流、地下径流的能力,对土壤水土保持及水源涵养功能有极大的影响。由表 5 可发现,平均土壤稳渗速率变动范围为 2.02~8.35 mm/min 由大到小的依次为:杨树林>桃树林>朴树林>杨梅林>墨西哥柏林。平均初渗速率变动范围为:1.09~4.51 mm/min,依次为杨树林>朴树林>桃树林>杨梅林>墨西哥柏林。

杨树林地土壤初渗速率和稳渗速率是其他林地的 2~4 倍,这主要是因为杨树林的根系比较发达,和土壤之间形成粗大的孔隙,且地面的枯枝落叶层又能减轻雨滴的冲击,长期保持土壤的孔隙不被堵塞,使其能够涵蓄大量降水。

表 5 不同林地土壤渗透速率

林地类型	土层厚度/cm	初渗速率/(mm·min ⁻¹)	稳渗速率/(mm·min ⁻¹)
杨梅林	0—20	2.76	1.65
	20—40	1.75	1.20
桃树林	0—20	3.37	2.31
	20—40	6.15	3.81
杨树林	0—20	9.69	5.12
	20—40	7.00	3.90
墨西哥柏林	0—20	2.43	1.40
	20—40	1.61	0.78
朴树林	0—20	4.13	2.96
	20—40	2.59	1.85

4 结论与讨论

4.1 结论

(1) 5 种林地地下枯落物蓄积量变动范围为 5.12~15.31 t/hm²,大小依次为杨树林>朴树林>桃树林>杨梅林>墨西哥柏林,最大持水率变动范围为 164.09%~250.76%,大小依次为杨树林>朴树林>杨梅林>桃树林>墨西哥柏林。有效拦蓄量的变化范围为 3.55~28.12 t/hm²,从大到小依次为杨树林>朴树林>桃树林>杨梅林>墨西哥柏林。

(2) 通过对枯落物层不同时间段持水量以及吸水速率的研究发现,枯落物层在 1 h 内吸水速率最大,前 2 h 对降雨的吸持作用最强,24 h 吸持基本饱和。杨梅林、桃树林、杨树林、墨西哥柏林、朴树林下枯落物层浸泡 2 h 持水量占其 24 h 持水量的百分率分别为 56.31%,64.34%,63.35%,43.27%,61.67%。

(3) 5 种林地间土壤最大持水量差距不大,非毛管持水量差距较大,非毛管持平均水量变动范围为 76.82~305.24 t/hm²,从大到小依次为:杨树林>桃树林>朴树林>杨梅林>墨西哥柏林。林地地下平均土壤稳渗速率变动范围为 2.02~8.35 mm/min,平均初渗速率变动范围为:1.09~4.51 mm/min,杨树林地土壤初渗速率和稳渗速率均是其他林地的 2~4 倍。

4.2 讨论

林地枯落物层和土壤层在涵养水源方面都具有

重要的作用,在枯落物层涵养水源方面,杨树林与其它人工林相比,具有林下枯落物层蓄积量大、吸水速度快、最大持水量、最大拦蓄量和有效拦蓄量高等特点。因此,杨树林枯落物层与其它人工林相比具有更为重要的水文生态意义,在阻滞降水到达地面后的水平移动,减缓地面径流的发生,以及降低雨水溅击地面的冲击力和减少水土流失的发生等方面作用更大。在土壤层方面,森林土壤持水能力远大于枯落物,是涵养水源的主体^[14]。枯落物的分解有利于增大土壤的非毛管孔隙度,使土壤层具有良好的蓄水功能。杨树林土壤层的持水量和渗透速率都比其它林地高,其改善土壤物理性质、土壤贮蓄水分和调节水分的潜在能力优于其它人工林。所以结合经济作物林加强对杨树林的营造,对该地区的森林结构进行健康调节显得尤为重要,对于盱眙火山岩丘陵山地生态系统涵养水源和保水保土的功能具有重要的作用和意义。

虽然本研究从林地枯落物和土壤的涵养水源功能进行了研究,对盱眙火山岩丘陵山地人工林的水文过程及特征研究具有一定的指导意义。但是由于试验操作的局限性,未对林冠层截持降水进行分析,林冠截留数据的欠缺,使森林生态系统水源涵养总量数据偏小。有研究结果显示,森林生态系统林冠截留水占大气降水的 10%~40%^[15]。在条件允许的情况下,如果对林冠截留降水过程进行定量研究,则能更准确反映该地区森林涵养水源功能,也有利于全面分析森林植被的水文过程。

参考文献:

- [1] 韩永刚,杨玉盛. 森林水文效应的研究进展[J]. 亚热带水土保持, 2007, 19(2): 20-25.
- [2] 李海防,范志伟,颜培栋,等. 不同年龄马尾松人工林水源涵养能力比较[J]. 福建林学院学报, 2011, 31(4): 320-323.
- [3] 莫菲,于澎涛,王彦辉,等. 六盘山华北落叶松林和红桦林枯落物持水特征及其截持降雨过程[J]. 生态学报, 2009, 29(6): 2868-2876.
- [4] 高岗,秦富仓. 东北农牧交错带小流域不同林草植被类型水源涵养功能综合评价[J]. 干旱区资源与环境, 2009, 23(6): 9-12.
- [5] 沈会涛,由文辉,蒋跃. 天童常绿阔叶林不同演替阶段枯落物和土壤水文特征[J]. 华东师范大学学报, 2010, 11(6): 35-44.
- [6] 孙昌平,刘贤德,雷蕾,等. 祁连山不同林地类型土壤特性及其水源涵养功能[J]. 水土保持通报, 2010, 30(4): 68-77.
- [7] 张增信,闵俊杰,闫少锋,等. 苏南丘陵森林枯落物含水量及其影响因素分析[J]. 水土保持通报, 2011, 31(1): 6-10.
- [8] 王佳跃. 盱眙火山岩山地土壤理化性质分析及土壤质量评价[D]. 南京:南京林业大学, 2006.
- [9] 关继义,陈喜全. 森林土壤实验教程[M]. 哈尔滨:东北林业大学出版社, 1992.
- [10] 马雪华,王淑元. 森林生态系统定位研究方法[M]. 北京:中国科学技术出版社, 1994.
- [11] 鲍士旦土壤农化分析[M]. 2版. 北京:农业出版社, 1988.
- [12] 孙艳红,张洪江,程金花,等. 重庆缙云山林地枯落物及土壤水文效应研究[J]. 中国水土保持科学, 2006, 4(3): 31-35.
- [13] 雷瑞德. 秦岭火地塘林区华山松林水源涵养功能的研究[J]. 西北林学院学报, 1984, 1(1): 19-33.
- [14] 张雷燕,刘常富,王彦辉,等. 宁夏六盘山南侧森林枯落物及土壤水文生态功能研究[J]. 林业科学研究, 2007, 20(1): 15-20.
- [15] 温远光,世荣. 我国主要森林生态系统类型降水截留规律的数量分析[J]. 林业科学, 1995, 31(4): 289-298.

(上接第 183 页)

- [16] Liu L, Guan D, Peart M R, et al. The dust retention capacities of urban vegetation: A case study of Guangzhou, South China[J]. Environmental Science and Pollution Research, 2013, 20(9): 6601-6610.
- [17] Liu L, Guan D, Peart M R. The morphological structure of leaves and the dust-retaining capability of afforested plants in urban Guangzhou, South China[J]. Environmental Science and Pollution Research, 2012, 19(8): 3440-3449.
- [18] Wang Y C. Carbon sequestration and foliar dust retention by woody plants in the greenbelts along two major Taiwan highways [J]. Annals of Applied Biology, 2011, 159(2): 244-251.
- [19] Rubin M, Berman-Frank I, Shaked Y. Dust-and mineral-iron utilization by the marine dinitrogen-fixer Trichodesmium[J]. Nature Geoscience, 2011, 4(8): 529-534.
- [20] 梁婷,同延安,林文,等. 陕西省不同生态区大气氮素干湿沉降的时空变异[J]. 生态学报, 2014, 34(3): 738-745.
- [21] 王传飞,王小萍,龚平,等. 植被富集持久性有机污染物研究进展[J]. 地理科学进展, 2013, 32(10): 1555-1566.
- [22] 张家洋,刘兴洋,邹曼,等. 37 种道路绿化树木滞尘能力的比较[J]. 云南农业大学学报:自然科学版, 2013, 28(6): 905-912.
- [23] 杨志刚. 大气污染对香樟叶片几种生理生化指标的影响[J]. 常熟高专学报, 2003, 17(2): 73-75.