

贵州省喀斯特阔叶林降雨截留分配特征

周秋文¹, 马龙生¹, 颜红¹, 蔡明勇², 戴丽¹

(1. 贵州师范大学 地理与环境科学学院, 贵州 贵阳 550001; 2. 环境保护部 卫星环境应用中心, 北京 100094)

摘要: [目的] 对贵州省喀斯特阔叶林降雨截留分配特征进行研究, 为喀斯特地区水土保持和森林生态功能分析提供参考。[方法] 以贵州喀斯特阔叶林的降雨分配特征为研究对象, 利用 2015 年 9 月至 2016 年 3 月间野外实测的 25 场降水数据对森林林冠层、灌木层的降雨截留分配特征进行研究。[结果] 观测期内降雨以小雨和中雨为主, 降雨总量为 208.25 mm; 树干流总量为 21.83 mm, 占降雨总量的 10.48%, 变化范围为 0~14.3%; 林间穿透雨总量为 186.89 mm, 占降雨总量的 89.7%。灌木层截留总量为 34.86 mm, 占降雨总量的 16.74%; 林冠截留的总量为 22.58 mm, 占同期降雨的 10.84%。当林外降雨量大于 1.15 mm 时, 研究区内开始产生树干流, 且树干流与林外降雨量呈线性正相关关系; 灌木截留量随着降雨量的增大而增大, 但林冠层截留率与降雨量之间没有明显的相关关系。[结论] 喀斯特阔叶林对降雨具有较强的截留和再分配作用, 对区域水量平衡和水土保持具有重要影响。

关键词: 森林降雨; 截留; 阔叶林; 喀斯特

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2016)06-0321-05

中图分类号: S715.3

文献参数: 周秋文, 马龙生, 颜红等. 贵州省喀斯特阔叶林降雨截留分配特征[J]. 水土保持通报, 2016, 36(6): 321-325. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2016.06.054

Distribution Characteristics of Rainfall Interception by Broad Leaved Forest in Typical Karst Area of Guizhou Province

ZHOU Qiuwen¹, MA Longsheng¹, YAN Hong¹, CAI Mingyong², DAI Li¹

(1. School of Geography and Environment Science, Guizhou Normal University,

Guiyang, Guizhou 550001, China; 2. Satellite Environment Center of MEP, Beijing 100094, China)

Abstract: [Objective] Rainfall distribution characteristics of broad leaved forest in typical karst area were studied for considering contribution to soil and water conservation and forest ecological function analyze in karst area. [Methods] The rainfall distribution characteristics of broad leaved forest in Guizhou karst area were studied using the method of in situ observation. During the observation period, there were 25 rainfall recorded, and most of them were light or moderate rain. [Results] During the observation period, the total rainfall was 208.25 mm, the total amount of stem flow was 21.83 mm, which accounted for 10.48% of the total rainfall, and the variation range was 0~14.3%. Penetrating rain was 186.89 mm, which accounted for 89.7% of the total rainfall. The total amount of shrub layer interception was 34.86 mm, accounted for 16.74% of total rainfall. Canopy interception amount was 22.58 mm, which accounted for 10.84% of rainfall. When the rainfall was more than 1.15 mm in the study area, the stem flow occurred and showed well positive linear correlation with rainfall. The shrub interception amount increased with the rainfall, but there was no significant linear correlation between the canopy interception rates and rainfall. [Conclusion] In general, broad leaved forest in karst area has a strong interception and redistribution effects on the rainfall, which can effectively influence the regional water balance and soil erosion.

Keywords: forest rainfall; interception; broad-leaved forest; karst area

收稿日期: 2016-05-22

修回日期: 2016-08-07

资助项目: 贵州省科学技术基金项目“基于稀疏样点的喀斯特复杂地形区土壤水分空间估算方法研究”(黔科合 J 字[2015]2118 号); 贵州省科技合作计划项目(黔科合 LH 字[2015]7776 号); 贵州师范大学博士科研启动基金项目

第一作者: 周秋文(1986—), 广西壮族自治区桂林市人, 博士, 副教授, 主要从事水资源水环境遥感研究。E-mail: zouqiuwen@163.com。

通讯作者: 蔡明勇(1986—), 山东省东明县人, 工程师, 主要从事水文水资源遥感、生态水文建模研究。E-mail: caimingyong@126.com。

森林与水的关系是当今森林生态学研究的核心问题之一^[1]。森林是陆地生态系统的重要组成部分,其面积占陆地总面积的 33%,具有良好的水土保持功能^[2]。研究森林截留与降水的关系,有助于刻画生态系统中降水的传输过程与机制,进而揭示其对生态系统结构、能量代谢和生产力的影响。森林不仅能够提供凝结核,影响降水的产生,并且森林冠层作为降水后第一个作用层,对大气降水的重新分配具有重要意义^[3-4]。因此,研究林区植被与降雨分配之间的关系,降水发生后的林冠层截留、树干流和穿透雨的比例构成,对掌握区域水文循环过程和水量平衡具有极其重要的作用^[5]。喀斯特地区是典型的生态脆弱区,其土壤贫薄,保水保肥能力差,成土速度十分缓慢,植被生长受制于恶劣的自然环境^[6-7],因此研究该区域森林与降水的作用关系更有现实意义。当前,已有学者^[8-12]对森林与降雨的关系展开了研究并取得了相应的成果。其中对森林降雨研究主要从大气降雨,林冠截留,树干流等几个方面进行。如周佳宁等^[13]对三峡库区典型森林植被对降雨再分配的影响的研究;李道宁等^[14]对江西省大岗山主要森林类型降雨再分配特征的研究。但对喀斯特阔叶林降雨分配研究报道较少。虽然喀斯特地区植被长势相对较差,森林面积小,但是喀斯特森林的存在,仍然在涵养水源、防止水土流失方面具有重要的生态意义。因此,本研究以贵州省典型喀斯特阔叶林为例,通过野外试验观测的方法,结合室内分析,对喀斯特阔叶林的林冠层和灌木层降雨截留分配特征进行分析,以丰富喀斯特森林生态水文过程研究的内容,为喀斯特地区水土保持和森林生态功能分析提供参考。

1 研究区概况

研究地点为位于贵州省贵阳市花溪区的贵州师范大学地理与环境生态试验站(106°27'E,26°21'N),平均海拔 1 200 m。该地区具有高原季风湿润气候的特点,根据花溪气象站 1961—2015 年的观测资料,年平均气温为 15 °C,标准差为 0.7 °C,年均雨量 1 124 mm,标准差为 198 mm。试验站内土壤主要为石灰土,植被类型丰富,以乔木为主,主要乔木树种为冬青、麻栎、女贞、枫香等,区内零星分布有马尾松。乔木平均胸径为 15 cm,平均树高 12 m,郁闭度为 0.85。

2 研究方法

2.1 样地设置

该试验区样地面积为 10 m×10 m,样地内乔木树种有香叶(*Lindera communis*)、麻栎(*Quercus acu-*

tissima)、白栎(*Quercus fabri*)、冬青(*Ilex chinensis*)、女贞(*Ligustrum lucidum*)、盐肤木(*Rhus chinensis*)、云南樟(*Cinnamomum glanduliferum*)、棕榈(*Trachycarpus fortunei*)等。为确保植被截留分配观测的整体性和代表性,灌木层和乔木层的观测,均在该样地内进行。在其中选择典型的地段设置降雨收集装置,用以观测大气降雨、树干流、林间穿透雨、灌木层截留、林冠截留。在离样地 30 m 外架设自动气象站 1 台,设置雨量筒 1 个,用于监测大气降雨。样地内放置树干流收集桶 3 个,林间穿透雨收集桶 4 个,灌木层截留收集桶 5 组(灌木上与灌木下收集桶为 1 组),共放置 19 个收集降雨的装置。

2.2 测定方法

(1) 大气降水(林外降雨)测量方法。在距样地 30 m 的空旷地架设 ONSET 公司生产的 WatchDog 2 900 ET 小型自动气象站,以测定大气降雨。该小型自动气象站降雨观测高度为距地面 1.5 m,分辨率为 0.25 mm±2%。同时在附近放置 1 个 PVC 材料制作,直径为 20 cm,高度为 40 cm 的自制雨量筒作为备用和参考。

(2) 树干流的测量方法。选择具有代表性的树干,在其树干 1.5 m 处,用软管缠绕在树干四周,固定好软管的位置,并用玻璃胶密封接口处,以确保树干流能全部进入下端放置的降雨收集桶内。

(3) 林间穿透雨测量方法。在林间选择一块相对空旷的地点,架设规格为 20 cm×100 cm 的集水槽来收集降雨,集水槽角度为 5°,较高一端高度为 1.3 m,集水槽较低的一端通过软管与收集桶连接。穿透雨率等于林间穿透雨量除以林外降雨量;林冠层截留量等于林外降雨量减去穿透雨量;林冠层截留率等于林冠层截留量除以林外降雨量。

(4) 灌木层截留量测定方法。在样地内随机选择 4 处灌木丛,在每处灌木下方放置一个雨量筒,在灌木层上方对应位置放置 1 个同规格的雨量筒,用于监测灌木截留。灌木层截留量等于灌木层上方降雨量减灌木层下方降雨量;灌木层截留率等于灌木层截留量除以灌木层上方降雨量。

3 结果与分析

3.1 大气降雨特征

在观测时段内共记录到大气降雨 25 次(期间部分场次降雨由于试验条件限制未采集到),林外降雨总量为 208.25 mm,降雨量最小值为 0.8 mm,最大值为 58.6 mm,平均降雨量为 8.33 mm。雨量级以小雨($p \leq 10$ mm)居多,达到 18 场,占降雨总次数的

75.2%,占降雨总量的 25.8%;中雨(10 mm < p < 25 mm)6 场,占降雨总次数的 24%,占降雨总量的 46%;暴雨(p > 50 mm)1 场,占降雨总场数的 4%,降雨量占降雨总量的 28.1%;观测期内未记录到大雨(25 mm < p < 50 mm)。10 月降雨强度最大,为 119.30 mm,占观测期内降雨总量的 57.29%,9 月和 3 月降雨量相近,分别为 38.85 和 39.27 mm,分别占降雨总量的 18.66%和 18.86%。12 月降雨量最小,为 3.50 mm,占降雨总量的 1.69%(图 1)。

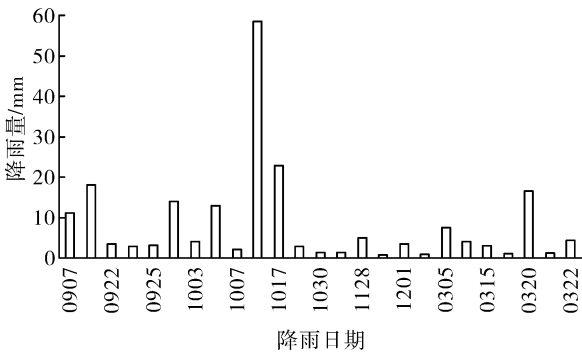


图 1 研究区降雨分布特征

3.2 树干流特征

在观测的 25 场降雨中,测得树干流总量为 21.83 mm,占降雨总量的 10.5%。单次降雨的树干流变化范围为 0~5.99 mm,变化率为 0%~14.3%。采集的 25 场降雨中,产生树干流的降雨有 23 场,当林外降雨 $p \geq 1.15$ mm 时,样地内云南樟会产生树干流,这与常学向等^[15]的研究结果有所差异。由于树干流受到多方面因素的影响,如降雨量的大小、雨强、树种以及树干的生长形态等,本文与其研究结果的差异可能是研究区气候条件和植被生长状态等方面的不同所导致。通过对不同月份的树干流观测数据研究发现,10 月测得的树干流流量最大,12 月流量最小。分析原因是由于 10 月的降雨量相对其他月份较

大,导致了树干流相应增大,充分说明树干流大小主要受降雨量大小影响。此外,9 月的树干流测得流量比 3 月大,但 9 月的林外降雨小于 3 月,可能的原因是,9 月虽然总降水量少,但是单场降雨量大,消耗于冠层吸附的降雨比例较少,更多比例降雨得以形成树干流;而 3 月发生的 8 场降雨中,只有 1 场降雨量超过 10 mm,在小雨情况下,大部分降雨消耗于冠层截留,因此树干流较小。此外,9 月是树木生长期,林冠层比 3 月茂盛,林冠截留效果较好,也是造成 9 月树干流小于 3 月的原因之一。从图 2 可以看出,喀斯特阔叶林中,树干流量总体随降雨量增大而增大,但当降雨量增加到一定程度后,树干流量增加的趋势减缓(图 2)。回归分析结果表明,树干流量与林外降雨量存在一定函数关系: $y = 5.82\exp(-14.57/x)$,显著性检验结果表明($p < 0.000 1$),置信度达到 99.99%以上。随着降雨量增大,树干流率呈先增大后减小趋势(表 1)。主要原因可能是由于当降雨量总体较小时(小雨、中雨),随着降雨量增加,更多的降雨得以被林冠层拦截,并通过阔叶林的枝、叶到达树干,形成较大的树干流率。当降雨量增加到一定程度后(大雨、暴雨),阔叶林叶面的承载能力接近饱和,经叶面导流到树干的雨水接近稳定值,若降雨量继续增大(树干流量无明显增加),则导致树干流率减小。

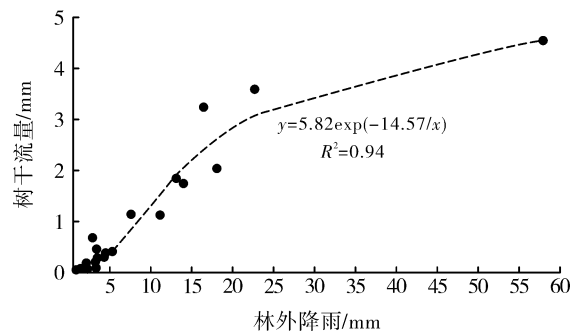


图 2 树干流量与林外降雨的关系

表 1 林冠层、灌木层对降雨的再分配特征

场次降雨量/mm	测定次数	林冠截留		树干流		林间穿透雨		灌木层截留	
		截留量/mm	截留率/%	树干流量/mm	树干流率/%	穿透雨量/mm	穿透雨率/%	截留量/mm	截留率/%
<1.0	2	0.68	37.86	0.00	0.00	1.03	57.67	0.48	26.79
1.15~1.46	4	1.98	37.47	0.09	1.70	3.98	75.32	2.05	38.80
2.23~3.18	5	4.78	34.00	1.03	7.00	10.97	77.00	4.81	34.00
3.50~4.46	5	4.20	21.00	1.53	8.00	18.21	92.00	4.78	24.00
5.10~7.64	2	2.60	20.00	1.43	11.00	11.44	90.00	3.89	31.00
11.15~14.01	3	7.13	19.00	4.54	12.00	30.81	81.00	9.62	25.00
16.56~18.15	2	0.00	0.00	5.17	15.00	31.28	90.00	2.10	6.00
22.93~58.60	2	1.21	1.48	8.04	10.00	79.05	96.96	7.39	9.06
合计	25	22.58	10.84	21.83	10.48	186.77	86.69	34.86	16.74

3.3 林间穿透雨特征

研究期间观测到的林间穿透雨总量为 186.77 mm, 占整个研究期间记录降雨总量的 89.7%。2015 年 9, 10, 11, 12 月和 2016 年 3 月, 穿透雨总量分别为 32.53, 110.56, 5.45 mm, 2.84 和 35.38 mm, 穿透率分别为 84%, 93%, 74%, 81%, 90%。可以看出, 2015 年 10 月穿透雨量最高, 穿透率也最大, 2015 年 9 和 12 月穿透率相近。10 月降水量大, 降雨强度大, 故穿透雨量相应较大, 所以穿透雨率较大。11 月穿透雨率最小, 10 月穿透雨率最大, 因为 10 月的降雨量比较大, 雨强比较大, 所以穿透雨率比较大。12 月的降雨量小于 11 月的降雨量, 而其穿透雨率则大于 11 月的穿透雨率, 原因可能是, 进入 12 月后, 林冠层树叶凋落比 11 月更明显, 林冠截留效果较 11 月差, 更多的降雨穿过树叶间空隙直接进入林内, 因此其穿透雨率比 11 月大。穿透雨量(P)与林外降雨量(X)具有较好的线性关系, 呈正相关的关系, 穿透雨量随着降雨量的增大而逐渐增大。穿透雨率与林外降雨量总体呈对数函数关系, 但由于受到穿透雨量、降雨大小和植被的生长状态等因素的影响, 与林外降雨的线性相关性减弱。

3.4 灌木层截留特征

观测期内, 灌木层截留总量为 34.86 mm, 占降雨总量的 16.74%。单场降雨的灌木层截留量在 0~4.27 mm, 截留率在 0%~67%。当降雨量 > 0.99 mm 时, 灌木层开始产生穿透雨。10 月截留量最大, 为 16.64 mm, 12 月截留量最小, 为 1.47 mm。这是因为 12 月的时候大多数灌木枝叶已经凋落, 导致了截留能力减弱, 截留量最小, 但是 12 月截留率最大, 为 42%, 9 月截留率最小, 为 19%。当降雨量由 0.08 mm 增加至 3.50 mm 时, 灌木层截留率从 52% 下降至 11%, 随着降雨量继续增加, 截留率在 0%~40% 上下波动。降雨量较大时截留率比较小的原因可能是, 灌木的叶片比较小且光滑, 能吸附水的表面积不大, 能承接的雨水量很小。总体而言, 灌木层截留量随降雨的增大而增大(图 3)表现为: $y = \ln(0.61 + 0.72x)$ 的函数关系, 显著性检验结果表明 ($p < 0.0001$), 置信度达到 99.99% 以上。但截留率与降雨量之间没有明显的线性相关关系。

3.5 乔木林冠截留特征

观测期内林冠截留总量为 22.58 mm, 占同期降雨量的 10.84%, 单次降雨的林冠截留率在 0%~63%, 林冠截留量在 0~2.61 mm。其中 10 月的截留量最大, 达 10.47 mm, 12 月截留量最小, 为 1.10 mm。林冠截留量随着降雨的增大而发生一定

波动(表 1)。当降雨量为 0.08~2.23 mm 时, 林冠截留量从 0.5 mm 增加至 0.73 mm; 当降雨量为 2.23~3.50 mm 时, 林冠截留量从 0.73 mm 减少至 0 mm; 当降雨量为 3.50~13.06 mm 时, 林冠截留量增加至最大值 2.61 mm; 当降雨量为 13.06~22.93 mm 时, 林冠截留量为 0 mm; 当降雨量超过 50 mm 后, 林冠截留量又增加至 1.21 mm。总体而言, 在降雨量较小的时候, 林冠截留量随降雨量增大, 但是当降雨量到达一定程度后, 截留量相应减小。造成这种波动的主要原因可能是, 当降雨量到达一定程度后, 冠层叶片充分湿润, 形成不利于雨滴附着的光滑面, 导致截留能力减弱; 此外, 由于观测时间较短, 降雨场次较少, 此现象也有可能是观测误差导致。林冠截留率大致随林外降雨量增加而减少, 但是相关性不高。林外降雨与林冠截留率呈负相关的原因是, 林冠层截留能力是有限的, 林外降雨达到一定程度后, 林冠层截留能力趋于饱和, 林外降雨量持续增加的情况下, 截留量趋于稳定, 相比之下, 截留率减小。

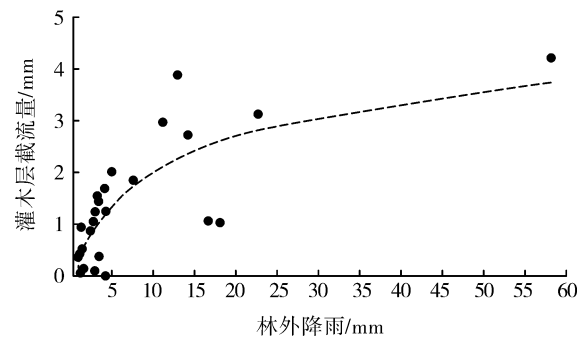


图 3 灌木层截留量与林外降雨的关系

4 结论

(1) 观测期降雨以小雨、中雨为主, 降雨总量为 208.25 mm, 最大降雨发生在 2015 年 10 月, 降雨量为 119.30 mm, 占观测期内降雨总量的 57.29%。观测期内, 研究区林冠截留的总量为 22.58 mm, 占同期降雨量的 10.84%, 林冠截留率波动范围在 0%~63%, 林冠截留量在 0~2.61 mm, 林间穿透雨总量为 186.89 mm, 占降雨总量的 89.7%; 灌木层截留总量为 34.86 mm, 占降雨总量的 16.74%, 单场降雨灌木层截留率波动范围在 0%~67%, 截留量在 0~4.27 mm。

(2) 研究区内, 当样地林外降雨量 $p \geq 1.15$ mm 时, 乔木开始产生树干流, 且树干流与林外降雨量呈线性正相关; 总体上, 灌木层截留量随着降雨量的增大而增大, 但灌木、林冠层截留率与降雨量无显著线

性相关性。树干流量、林间穿透雨量、林间穿透雨率与林外降水呈正相关关系。

[参 考 文 献]

- [1] 高甲荣,肖斌,张东升,等. 国外森林水文研究进展评述[J]. 水土保持学报,2001,10(5):60-65.
- [2] 罗海波,钱晓刚,刘方,等. 喀斯特山区退耕还林(草)保持水土生态效益研究[J]. 水土保持学报,2003,17(4):31-35.
- [3] 袁嘉祖,朱劲伟. 森林降水效应评述[J]. 北京林学院学报,1984,15(4):47-48.
- [4] 万师强,陈灵芝. 东灵山地区大气降水特征及森林树干流[J]. 生态学报,2000,20(1):61-67.
- [5] 田野宏,满秀玲,刘茜,等. 大兴安岭北部白桦次生林降雨再分配特征研究[J]. 水土保持学报,2014,28(3):109-110.
- [6] 何师意,冉景丞,袁道先. 西南岩溶地区植被喀斯特效应[J]. 地球学报,2001,22(2):159-164.
- [7] 王世杰,季宏兵,欧阳自远,等. 碳酸盐岩风化成土作用的初步研究[J]. 中国科学(D):地球科学,1999,2(5):441-449.
- [8] 赵海蓉,帅伟,李静,等. 华西雨屏区几种典型人工林降雨截留分配特征[J]. 水土保持学报,2014,28(6):94-100.
- [9] 王新平,康尔泗,张景光,等. 荒漠地区主要固沙灌木的降水截留特征[J]. 冰川冻土,2004,26(1):89-93.
- [10] 成向荣,黄明斌,邵明安,等. 黄土高原农牧业交错带人工乔灌木林冠截留[J]. 生态学杂志,2009,28(7):1213-1217.
- [11] 卢晓强,杨万霞,丁访军,等. 茂兰喀斯特地区森林降水分配的水化学特征[J]. 生态学杂志,2015,34(8):2115-2122.
- [12] 黄承标,谭卫宁,覃文更,等. 木论喀斯特森林水土流失规律研究[J]. 水土保持研究,2012,19(4):34-37.
- [13] 周佳宁,王彬,王云琦,等. 三峡库区典型森林植被对降雨再分配的影响[J]. 中国水土保持科学,2014,12(4):28-36.
- [14] 李道宁,王兵,蔡体久,等. 江西省大岗山主要森林类型降雨再分配特征[J]. 应用生态学报,2014,25(8):2193-2200.
- [15] 常学向,赵爱芬,王金叶,等. 祁连山林区大气降水特征与森林对降水的截留作用[J]. 高原气象,2002,21(3):275-280.

(上接第320页)

[参 考 文 献]

- [1] 刘传明,李红,贺巧宁. 湖南省土地利用效率空间差异及优化对策[J]. 经济地理,2011,30(11):1890-1896.
- [2] 吴得文,毛汉英,张小雷,等. 中国城市土地利用效率评价[J]. 地理学报,2011,66(8):1111-1121.
- [3] 方创琳,关兴良. 中国城市群投入产出效率的综合测度与空间分异[J]. 地理学报,2011,66(8):1011-1022.
- [4] 梁流涛,赵庆良,陈聪. 中国城市土地利用效率空间分异特征及优化路径分析:基于287个地级以上城市的实证研究[J]. 中国土地科学,2013,27(7):48-54.
- [5] 李永乐,舒帮荣,吴群. 中国城市土地利用效率:时空特征、地区差距与影响因素[J]. 经济地理,2014,34(1):133-139.
- [6] 黄珂,张安录,张雄. 中国城市群农地城市流转效率研究:基于三阶段DEA与Tobit模型的实证分析[J]. 经济地理,2014,34(11):74-80.
- [7] Puri J, Yadav S P. A fuzzy DEA model with undesirable fuzzy outputs and its application to the banking sector in India[J]. Expert Systems with Applications, 2014, 41(14):6419-6432.
- [8] Toloo M, Kresta A. Finding the best asset financing alternative: A DEA-WEO approach[J]. Measurement, 2014, 55(9):288-294.
- [9] Mar-Molinero C, Prior D, Segovia M M, et al. On centralized resource utilization and its reallocation by using DEA[J]. Annals of Operations Research, 2014, 221(1):273-283.
- [10] Kao C, Hwang S N. Efficiency decomposition in two-stage data envelopment analysis: an application to non-life Insurance companies in Taiwan[J]. European Journal of Operational Research, 2008, 185(1):418-429.
- [11] Pendharkar P C, Rodger J A. The relationship between software development team size and software development cost[J]. Communications of the ACM, 2009, 52(1):141-144.
- [12] Chen Yao, Crook W D, Li Ning, et al. Additive efficiency decomposition in two-stage DEA[J]. European Journal of Operational Research, 2009, 196(3):1170-1176.
- [13] 张明斗,周亮,杨霞. 城市化效率的时空测度与省际差异研究[J]. 经济地理,2012,32(10):42-48.