

主成分分析在屋顶绿化耗水量分析及预测中的应用

冯萃敏^{1,2} 张雅君² 许萍² 汪慧贞²

(1 北京林业大学资源与环境学院,北京 100083; 2 北京建筑工程学院市政工程系,北京 100044)

摘要 近年来屋顶绿化发展较快,其耗水量研究也愈显重要。气象因素是屋顶绿化耗水量诸多影响因素的重要方面。对诸多的气象因子,采用主成分分析法,将多指标问题转化为较少的几个主成分,计算主成分得分,并对主成分进行解释,表明以日照时间、相对湿度为主的综合指标为影响屋顶绿化耗水量的第一主成分,在气象因子的影响中占主要地位。通过实测 4 个试验点屋顶绿化的耗水量,利用主成分分析的结果,建立了各试验点耗水量与平均综合主成分得分的函数关系,此函数关系可用于屋顶绿化耗水量的预测,从而为合理地确定灌溉制度、实现节水灌溉提供科学依据。

关键词 屋顶绿化 耗水量 主成分分析 预测 气象因子

屋顶绿化是指在高出地面以上,周边不与自然土层相连接的各类建筑物、构筑物等的顶部以及天台、露台上的绿化^[1]。屋顶绿化在改善城市的气候条件、美化环境、降温节能等方面有积极的作用,它能够有效改善局部生态环境,有效截留、储存天然降水,并能降温、保护建筑^[2]。提倡和推广屋顶绿化是促进城市生态平衡、优化人居环境、社会文明发展的需要。北京市 2005 年就完成了 13 万 m² 的屋顶绿化,正是屋顶绿化适用性的体现。而推广屋顶绿化的同时,迫切需要准确预测屋顶绿化的耗水量,以合理地确定灌溉制度,达到节水灌溉的目的。

1 耗水量的实测

选择不同植被、不同土壤类型、不同土壤厚度、不同建筑性质和用途、不同水源以及不同灌溉方式的 4 个试验点进行实际耗水量的测试,试验点情况如表 1 所示。

屋顶绿化的实测总耗水量由人工灌溉水量和雨水截流量两部分组成。对表 1 的 4 个屋顶绿化试验点进行灌溉水量的跟踪测试。将各月份的累计灌溉水量平均到日得出平均灌溉水量;将各月累计降雨量乘以雨水截流率并平均到日得出雨水截流量,计算结果见表 2。

表 1 屋顶绿化耗水量试验点一览

编号	绿化面积/m ²	所在楼层	植被种类	土壤类型	土壤厚度/cm	雨水截流率/%
1	1 287	12	灌木为主	腐殖土加烧结土	约 20	65
2	700	7	冷季型草为主	无机超轻基质	10~30	70
3	376	3	冷季型草为主	田园土及草炭土	25~40	65
4	206	4	冷季型草为主	草炭土	15~20	50

表 2 试验点实际耗水量测试结果

编号	平均灌溉水量/L/(m ² ·d)					雨水截流量/L/(m ² ·d)					总耗水量/L/(m ² ·d)				
	6月	7月	8月	9月	10月	6月	7月	8月	9月	10月	6月	7月	8月	9月	10月
1	0	0	0.34	2.07	1.44	2.96	1.92	5.34	0.37	0.04	2.96	1.92	5.68	2.44	1.48
2	0.58	0.71	0.21	0.69	0.2	3.19	2.07	5.73	0.4	0.04	3.77	2.78	5.95	1.08	0.24
3	0	2.48	0.93	1.77	1.07	2.96	1.92	5.34	0.37	0.04	2.96	4.4	6.27	2.14	1.11
4	0	0	0.64	2.48	1.97	2.28	1.48	4.1	0.29	0.03	2.28	1.48	4.74	2.77	2

北京市优秀人才培养资助(D类)项目(20051D0501702)。

表3 气象因子主成分表达式

月份	第一主成分	第二主成分	第三主成分
6	$0.461 X_1 - 0.391 X_2 - 0.593 X_3 + 0.532 X_4$	$0.300 X_1 + 0.891 X_2 - 0.005 35 X_3 + 0.336 X_4$	$0.829 X_1 - 0.069 X_2 + 0.224 X_3 - 0.515 X_4$
7	$- 0.509 X_1 + 0.416 X_2 + 0.582 X_3 - 0.478 X_4$	$- 0.396 X_1 + 0.625 X_2 - 0.300 X_3 + 0.602 X_4$	$0.633 X_1 + 0.650 X_2 - 0.211 X_3 - 0.364 X_4$
8	$0.435 X_1 + 0.241 X_2 + 0.624 X_3 - 0.597 X_4$	$- 0.590 X_1 + 0.802 X_2 + 0.091 X_3 - 0.011 X_4$	$0.346 X_2 + 0.261 X_2 - 0.023 X_3 + 0.330 X_4$
9	$- 0.392 X_1 + 0.597 X_2 + 0.465 X_3 - 0.524 X_4$	$0.821 X_1 - 0.242 X_2 - 0.171 X_3 - 0.489 X_4$	$0.412 X_1 - 0.031 X_2 + 0.825 X_3 + 0.387 X_4$
10	$- 0.668 X_1 + 0.656 X_2 + 0.013 X_3 + 0.35 X_4$	$0.069 X_1 - 0.229 X_2 + 0.824 X_3 + 0.517 X_4$	$0.231 X_1 - 0.171 X_2 - 0.555 X_3 + 0.780 X_4$

表4 气象因子主成分的因子旋转结果

月份	第一主成分	第二主成分	第三主成分
6	$0.231 X_1 - 0.157 X_2 - 0.793 X_3 + 0.937 X_4$	$0.099 9 X_1 + 0.976 X_2 + 0.325 X_3 - 0.041 3 X_4$	$0.965 X_1 - 0.095 1 X_2 - 0.297 X_3 + 0.134 X_4$
7	$0.164 X_1 - 0.122 X_2 - 0.78 X_3 + 0.97 X_4$	$0.926 X_1 - 0.25 X_2 - 0.544 X_3 + 0.051 52 X_4$	$- 0.293 X_1 + 0.959 X_2 + 0.105 X_3 - 0.114 X_4$
8	$0.264 X_1 + 0.166 X_2 + 0.777 X_3 - 0.949 X_4$	$- 0.139 X_1 + 0.969 X_2 + 0.322 X_3 - 0.059 6 X_4$	$0.946 X_1 - 0.123 X_2 + 0.362 X_3 - 0.153 X_4$
9	$0.153 X_1 - 0.19 X_2 - 0.797 X_3 + 0.945 X_4$	$- 0.127 X_1 + 0.963 X_2 + 0.398 X_3 - 0.055 6 X_4$	$0.979 X_1 - 0.126 X_2 - 0.196 X_3 + 0.093 7 X_4$
10	$- 0.024 8 X_1 + 0.139 X_2 + 0.937 X_3 - 0.934 X_4$	$0.955 X_1 + 0.080 3 X_2 - 0.099 7 X_3 - 0.633 X_4$	$0.078 3 X_1 + 0.098 7 X_2 + 0.084 4 X_3 - 0.134 X_4$

2 主成分分析法

气象因子如气温、相对湿度、日照时间、降雨量等是影响植物生长的重要因素,但气象因子众多,且其间存在一定的相关性,各因子对耗水量影响的重要性难以简单判定,故采用主成分分析法。选取气温、相对湿度、日照时间及降雨量为影响屋顶绿化耗水量的气象因子进行分析,这4个气象因子均在不同程度上反映了耗水量的某些信息,并且各因子之间存在一定的相关性,因而实测总耗水量反映的信息在一定程度上有重叠。主成分分析的目的在于找出主成分,减少主要影响指标的数量,且消除各指标之间的相互影响,即用少数不相关的新的综合指标代表原来彼此相关的多个气象因子。

主成分分析的主要计算步骤包括:对数据进行标准化处理、计算标准化数据矩阵的协方差矩阵、求累计贡献率最大的前几个特征值以及对应的特征向量、计算前几个主成分的得分等^[3]。利用当地2005年6~10月的气象资料,采用农业、生态等领域常用的SPSS统计分析软件^[4]对气象因子的影响进行主成分分析,分析得出前3个主成分的表达式如表3所示,其中 X_1 为气温(°C); X_2 为降雨量(mm); X_3 为相对湿度(%); X_4 为日照时间(h)。

各主成分表达式中各因子系数的绝对值相差不大,不能充分体现各因子在各主成分中的影响权重,因此利用因子旋转,对各因子进行方差最大

正交化,使得由相关系数矩阵的特征值组成的因子荷载阵的元素尽可能向两极分化,即少数元素尽量大,而其他元素尽量接近零,因子旋转结果如表4所示。

根据旋转后的因子荷载,可确定因子之间的关系,并对主成分进行解释。给出主成分的解释,即根据因子旋转结果对新指标的意义进行解释,如表4第一主成分中 X_3 、 X_4 系数的绝对值明显大于其他因子的系数,因此对第一主成分可解释为综合其他气象因子信息的以日照时间、相对湿度为主的综合指标,该综合指标在气象因子的影响力中占主要地位。同样分析可知,第二、第三主成分可解释为综合其他气象因子信息的降雨量指标或气温指标,这两个指标在气象因子中有一定的影响力,其影响弱于第一主成分。各月份主成分的解释概括为表5。

3 耗水量预测函数

依据2005年6~10月气温、相对湿度、日照时间

表5 气象因子主成分的解释

月份	第一主成分	第二主成分	第三主成分
6	日照时间、相对湿度主成分	降雨量主成分	气温主成分
7	日照时间、相对湿度主成分	气温主成分	降雨量主成分
8	日照时间、相对湿度主成分	降雨量主成分	气温主成分
9	日照时间、相对湿度主成分	降雨量主成分	气温主成分
10	日照时间、相对湿度主成分	气温主成分	日照时间主成分

及降雨量的观测数据,计算表 5 中 3 个主成分逐日的得分,将其作为主成分的观测值,在计算日综合主成分得分(即每日 3 个主成分得分的加权平均)、平均综合主成分得分(即当月各日综合主成分得分的平均值,见表 6)的基础上,将平均综合主成分得分与各月的耗水量进行拟和分析,建立函数关系。分析过程中剔除可疑数据,如表 2 中人工灌溉水量为零的对应数据(因灌溉制度不健全,管理人员仅凭主观判断土壤保水情况而决定不进行人工灌溉)。图 1 为将各月份平均综合主成分得分放大 10^7 倍与各屋顶绿化耗水量(表 2)进行拟合分析得出的函数关系。由于不同屋顶绿化耗水量不同,所得出的耗水量预测函数也不同,但都呈指数函数关系,预测函数关系式见表 7。

表 6 平均综合主成分得分

月份	平均综合主成分得分 $\times 10^7$
6	9.78
7	-1.6
8	4.25
9	-1.8
10	-9.3

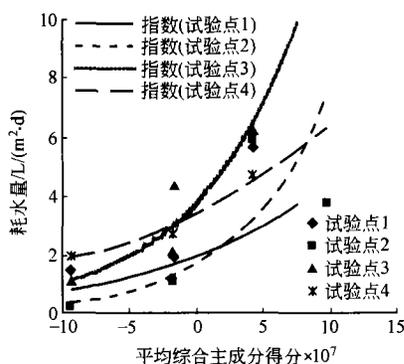


图 1 各试验点的耗水量预测函数曲线

表 7 试验点的耗水量预测

试验点编号	预测函数	R^2	耗水量预测值 / $L / (m^2 \cdot d)$				
			6月	7月	8月	9月	10月
1	$Y = 3.420 2e^{0.098X}$	0.96	8.92	2.92	5.19	2.87	1.37
2	$Y = 1.679 3e^{0.151 9X}$	0.74	7.42	1.32	3.2	1.28	0.41
3	$Y = 3.736 8e^{0.129X}$	0.86	13.2	3.04	6.47	2.96	1.13
4	$Y = 3.431 5e^{0.062 7X}$	0.96	6.34	3.1	4.48	3.07	1.92

注: X 为平均综合主成分得分 $\times 10^7$ 。

将表 6 中各月份的平均综合主成分得分放大 10^7

倍(X)代入耗水量预测函数,可得出 6~10 月的预测耗水量(Y),如表 7 所示。如试验点 3,除 6 月(拟和过程中数据被剔除)外,各月份的耗水量预测值与实测值均较接近。因此,表 7 中的预测函数及预测结果可作为各试验点制定屋顶绿化灌溉制度的指导,实现合理调整灌溉频率和灌溉水量,从而达到节水的目的。

4 结论

(1) 屋顶绿化的实际耗水量由平均灌溉水量和雨水截流量两部分组成,对 4 个试验点 2005 年 6~10 月耗水量的测试,为耗水量的影响因素分析及预测提供了数据基础。

(2) 影响耗水量大小的因素很多,利用主成分分析法,将多指标转化为少数几个指标。主成分分析结果表明在影响耗水量的诸因素中以日照时间、相对湿度为主的综合指标为第一主成分,在气象因子的影响中占主要地位;其次的影响因素为降雨量和气温,在各月份中为第二或第三主成分。

(3) 确定屋顶绿化灌溉制度需充分考虑气象因素的影响,并应首先考虑以日照时间、相对湿度为主的综合指标。

(4) 利用各月平均综合主成分得分,建立与耗水量的指数函数关系式,据此可预测各试验点的耗水量。

(5) 耗水量预测值为确定灌溉模式提供了依据,为合理制定灌溉制度、实现灌溉中的节水创造了条件。

参考文献

- 1 DB11/T 281—2005 屋顶绿化规范
- 2 沐薇,苏兴.阳台及屋顶绿化.四川:四川科学技术出版社,2003
- 3 高惠璇.应用多元统计分析.北京:北京大学出版社,2005
- 4 张宜华.精通 SPSS.北京:清华大学出版社,2001

E-mail: fengcuimin @bicea. edu. cn

收稿日期:2007-01-09

修回日期:2007-01-16