

屋顶绿化的生态功能分析

王新军^{1,2}, 张新荣¹, 史洪¹

(1. 常州工学院 艺术与设计学院, 江苏 常州 213002; 2. 南京农业大学 资源与环境科学学院, 江苏 南京 210095)

摘要:论述了屋顶绿化的生态功能, 分析了限制我国屋顶绿化发挥生态功能的因素。在国内外研究基础上归纳了屋顶绿化的 7 种生态功能, 包括: 减轻城市排水压力、改善水质、净化空气、节约能源消耗、丰富城市的生物多样性、减少光污染和噪音污染。构建屋顶绿化限制因素的要素层和因素层, 通过 AHP 方法进行分析得出限制我国屋顶绿化生态功能的前三大限制因素分别为: “屋顶绿化相关政策和法律不健全”、“政府对屋顶绿化的发展缺乏政策支持”、“增加了设计和建造费用”。

关键词:屋顶绿化; 生态功能; AHP; 限制因素

中图分类号:S 731.5 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2015)08-0109-05

随着全球气候变化、城市人口快速增加、空气污染、热岛效应以及近年来全国各大城市出现的内涝等问题严重影响了城市环境质量和居民的健康与安全, 城市生态环境受到越来越多的关注。建设可持续发展的城市, 营造回归自然为主旨的绿色生态型城市, 已成为城市人居环境建设的发展趋势^[1]。不占用土地资源的屋顶绿化对城市生态环境的贡献被各方认可, 国外很多国家先后大力发展屋顶绿化, 并取得了良好的效果。过去的 30 年里欧洲国家致力于营建屋顶绿化并开展了大量的研究, 其中德国在运用屋顶绿化方面被认为是该领域的先驱, 在德国超过 10% 的建筑设计使用了绿色屋顶。英国、法国、俄罗斯、意大利、澳大利亚、新加坡等国家也都在大型公共建筑和居住建筑的屋顶或天台上, 建造了各种规模和类型的屋顶绿化工程。

国外屋顶绿化的相关研究, 较深入地阐述了屋顶绿化对城市排水、水质改善、能源利用与城市热岛效应、空气污染、增加生物多样性等生态功能。我国屋顶绿化的应用和研究起步较晚, 已有关于屋顶绿化生态功能的介绍还不全面, 洗丽铨等^[2]从净化空气、雨水收集与过滤、减少噪音干扰、隔热与节能 4 个方面阐述屋顶绿化的生态功能。许萍等^[1]着重分析了屋顶绿化对城市气温及湿度、建筑屋顶性能及温度、城市雨水径流量、城市非点源污染负荷 4 个方面的城市环境改善效果。全面了解

屋顶绿化在城市中的生态功能, 有利于进一步促进屋顶绿化产业发展, 推进屋顶绿化的相关研究。该研究将从屋顶绿化对城市排水、径流水质、大气污染、节能、生物多样性、光污染与噪音 7 个方面的生态功能进行分析。

屋顶绿化通常根据种植基质的厚度分类, 一类是粗放型(extensive), 另一类是密集型(intensive)。粗放型屋顶绿化的种植基质最厚不超过 15 cm, 植物种植以景天科植物等草本植物为主, 能够在坡度小于 45° 的建筑屋顶上安装。密集型屋顶绿化种植基质厚度超过 15 cm, 能够种植乔木、灌木和草花, 通常安装在坡度小于 10° 的建筑屋顶上, 通过设计可提供活动空间, 也称之为屋顶花园。

1 屋顶绿化的生态功能

1.1 屋顶绿化与城市排水

城镇化使得城市不透水的面积不断增大, 增加了由降雨产生的地表径流量, 影响城市公共设施的正常使用和市民的生命安全。一些研究表明, 由于全球变暖, 可能会增加暴雨的频次, 加重城市的内涝问题^[3]。城市中土地面积有限, 增设地面及地下排水设施难度较大, 而屋顶的空间资源丰富, 屋顶绿化能够储存降雨, 减少地表径流量, 缓解城市内涝(图 1)。降雨时屋顶绿化存储的降雨一部分被排出, 一部分被种植基质保留下来。保留下来的雨水被植物吸收利用, 其余的被蒸发, 这是图 1 中同一月份屋顶绿化与参照屋顶相比较, 径流量减少的原因。

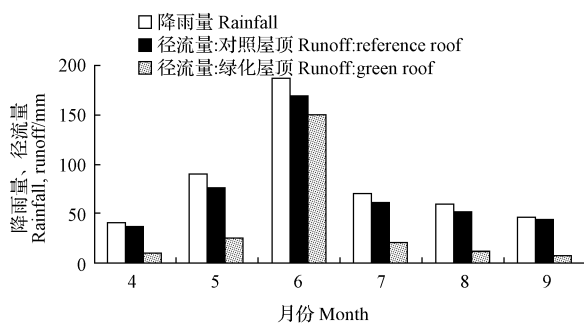
屋面汇集雨水量在城市雨水径流量中的比例很大, 以北京市为例, 1998 年建筑屋面年平均径流量约 1.3 亿 m³, 约占城区汇水面年均径流量的 64%。屋顶绿化能大幅

第一作者简介:王新军(1978-), 男, 硕士, 副教授, 现主要从事生态环境规划及环境艺术设计等研究工作。E-mail: 670035337@qq.com.

基金项目:常州工学院重点课题资助项目(YN1321);常州工学院园林规划设计精品课程资助项目(A-3001-13-047)。

收稿日期:2014-11-10

削减城市暴雨峰值流量(15 min 峰值流量可削减 67%)^[1]。据估算,屋顶绿化覆盖率达 10% 的区域,能够减少整个区域降雨径流总量的 2.7%^[4]。种植基质的厚度和保水性能、屋顶坡度、植物群落的构成和降雨类型都能够影响屋顶绿化缓释雨水径流量的能力。由此可见,屋顶绿化对解决城市排水和内涝问题有重要意义。



注:数值为缓释径流的总和,屋顶绿化为 15 cm 厚的基质上种植的草坪^[3]。

图1 加拿大的渥太华、安大略省屋顶绿化实验小区^[3]

Fig. 1 Green roof experimental of Ottawa and Ontario in Canada

1.2 对水质的影响

水源以及水流所流经的区域环境会影响水体的水质,通常雨水被认为是无污染的,但是雨水有一定的酸性或是含有一定的营养物质,也有可能受区域污染源和风向的影响含有一些重金属或农药。对已有的污染物进行研究发现城市屋顶绿化产生的径流中含有的主要污染物为氮、磷和重金属^[5]。一些研究通过对比雨水与屋顶绿化产生径流的污染物浓度来研究其对污染物的影响,污染物含量的减少则意味着屋顶绿化过滤雨水后污染物的含量比雨水中含量要低。

1.2.1 屋顶绿化径流中的磷 屋顶绿化中的磷来源主要有工施肥、鸟类粪便和动植物残渣等,而总体来说雨水中的磷含量是非常低的。一些研究发现,几乎所有流失的磷都是以磷酸盐的形式排出系统的。然而也有一些研究发现屋顶绿化的径流中未见磷的流失^[6],还有研究发现屋顶绿化对磷的净化作用主要取决于保水量的大小,同时发现屋顶绿化径流中磷酸盐态磷的减少量随着使用时间增长而增加,在一个连续 4 年的观测中,磷酸盐态磷年均减少量分别是 20%、61%、64% 和 80%^[7]。因此屋顶绿化中磷的流失和屋顶绿化的使用时间以及植物、土壤的作用有关。

1.2.2 屋顶绿化径流中的氮 一些研究表明屋顶绿化径流中的氮含量比雨水中的浓度低,然而也有研究发现屋顶绿化本身也释放了大量的氮。Czemiel 等^[6]发现非有机轻质土壤的屋顶绿化能大幅降低径流中的总氮,表明屋顶绿化除氮的能力较强;屋顶绿化对氮肥的去除能力与植物种类密切相关,Monterusso 等^[6]对屋顶绿化施硝态氮肥,分别在施肥后 140 d 和 314 d 采样,结果表明

氮的流失与植物的种类密切相关,本地植物吸收氮的能力最强,景天科植物次之,最小的是景天科植物的实生苗屋顶绿化系统。降雨径流中氮的浓度与屋顶的生长基质类型、屋顶绿化植物和施肥管理有关。

1.2.3 屋顶绿化径流中的重金属 已有的研究认为屋顶绿化形成径流中的重金属浓度要低于硬质屋面形成径流中的浓度。Steusloff^[8]通过研究发现了屋顶绿化对重金属铅(Pb)、锌(Zn)、铜(Cu)和镉(Cd)的滞留能力主要取决于对径流的消减量。夏季密集型屋顶绿化能够滞留 99% 的铅、锌和铜以及 98% 的镉;粗放型的植草屋顶绿化能够滞留 97% 的铜,96% 的锌,92% 的镉和 99% 的铅。冬天仍然生长植物的密集型屋顶绿化能滞留 68% 的铜,88% 的镉,92% 的锌和 94% 的铅,生长植物的粗放型屋顶绿化能滞留 44% 的铜,72% 的锌,62% 的镉和 91% 的铅。

1.3 屋顶绿化与大气污染

城市的大气污染是影响城市环境质量的重要内容,关系到人们的身体健康和生活质量,近年来大气污染问题随着城市空气质量的恶化而受到越来越多的关注。植物能够减少空气中的污染物,净化空气。植物通过气孔吸收气态污染物,通过叶片吸附颗粒状污染物,并能够在其组织和土壤中分解有机污染物,通过遮阴和降温的作用,减少光化学反应产生的臭氧^[9],以达到净化城市空气的功能。大多数城市中用来绿化的地面空间比较有限,而屋顶通常占城市地面面积的 30%~40%,为城市能够种植更多的植物提供了潜在的场所。

已有研究大量关注城市中植物对空气的净化作用,而屋顶绿化净化城市大气的研究不多。Yang 等^[10]使用干沉降模型量化研究屋顶绿化净化空气的能力,基于芝加哥的气候、植物和大气污染状况,得出每年 19.8 hm² 的屋顶绿化可去除 1 675 kg 空气污染物,其中 O₃ 占总量的 52%,NO₂ (27%),PM₁₀ (14%) 和 SO₂ (7%),净化量最大的发生在 5 月,最小发生在 2 月,如果当地所有的屋顶安装密集型屋顶绿化,那么每年去除的大气污染物能达到 2 046.89 t,但是完成这一项目的安装费用估计需要 352 亿美元^[10]。据估算 2 000 m² 种植草本植物的屋顶每年能够去除 4 000 kg 的颗粒物。如果底特律 20% 的商业和工业建筑安装粗放型屋顶绿化,每年可以去除大气中超过 800 000 kg 的 NO₂^[11]。

屋顶绿化除了可以直接吸收污染物,还能够间接地减少污染物的排放。Bradley 等^[11]计算洛杉矶市屋顶绿化减少空调使用节约下来的电能,能够使当地的火电站每天减少排放 350 t 的 NO_x,这相当于为洛杉矶市每天节省 100 万美元开支^[12]。

1.4 屋顶绿化与节能

能源危机、全球气候变化以及城市环境中的酸雨、

热岛效应等问题,使人们认识到采取可持续性发展的策略,减少碳排放,使用清洁能源等措施是解决这些问题的必由之路。屋顶绿化不仅能够减弱城市的热岛效应,为城市居民提供舒适的环境,而且能够减少能源消耗,固碳并减少碳排放,对全球气候变化有积极的作用。

屋顶绿化通过植物的热吸收和栽培基质的隔离,对屋顶的冷、热有明显的隔绝作用。数据显示,夏季屋顶植物可反射 27% 的阳光,吸收 60% 的阳光,仅有 13% 的光能通过栽培基质传递,因此绿化后的屋顶表面温度明显低于普通屋顶表面温度,温差值在某些较热城市最大可达 30℃ 以上^[13]。Wong 等^[14] 测量了一个未安装屋顶绿化的屋顶,认为在热带地区白天积累在建筑中的热量在夜间释放出来,而安装屋顶绿化的屋顶却不这样。研究人员测量了屋顶上方不同高度的温度,结果表明硬质屋顶通过热辐射使周围环境升温,而屋顶绿化能够大幅降低周围环境的温度。另一个团队通过试验研究表明屋顶绿化在夏天可平均减少太阳辐射对建筑产生热量的 70%~90%,冬天能够保持建筑内部 10%~30% 的热量^[14]。屋顶植物通过光合作用将 CO₂ 固定下来, Li 等^[15] 通过小区试验和模拟试验总结出在晴天屋顶绿化可降低附近区域空气中 CO₂ 浓度的 2%,屋顶绿化对

CO₂ 固定的能力与植物种植类型、屋顶绿化所处的位置以及周围气流状况相关性较大。

城市中不断升温产生热岛效应,增加了城市能源消耗。Takebayashi 等^[16] 研究屋顶绿化与强反射屋顶对热岛效应的影响,该研究中记录比较二者表面温度、含水率、净辐射量。在屋顶绿化表面,由于大量的热量通过蒸发被带走,表面的温度较低,净辐射增加,但是最终却能够显著降低热岛效应。Mackey 等^[17] 通过比对美国芝加哥近期的 LANDSAT 遥感影像中的植被覆盖率和反射面,研究在城市尺度上二者对热岛效应的影响。结果表明,1995—2009 年,芝加哥实施屋顶绿化和其它形式的绿化以来,城市的漫反射增加了 0.016,城市的 NDVI (归一化植被指数) 指数升高了 0.007。可反射屋顶投入小而且降温效果较好,而屋顶绿化安装和维护费用较高对热岛效应的降温效果不如可反射屋顶,如图 2。NDVI、反射与温度的关联度分别是 -0.17 和 -0.33,表明反射的增加可使温度降低的效果比 NDVI 好。但是这并不是说基于植物降低热岛效应的策略可以不用,转而使用反射策略降低城市的热岛效应,因为屋顶绿化还有许多可反射屋顶所不具备的生态功能。

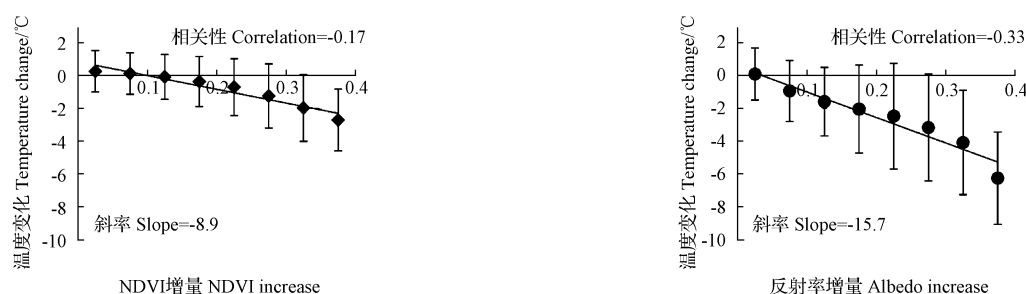


图 2 NDVI、反射变化与 LANDSAT 温度变化关系

Fig. 2 Relationship NDVI, reflecting changes and temperature changes of LANDSAT

1.5 屋顶绿化与生物多样性

到 2008 年全球城镇化人口首次突破总人口的一半,预测到 2050 年将达到 70%,城市将成为人类活动与自然交叉最广泛的生态环境。诸多研究表明,城镇化是降低生物多样性、外来物种入侵和本地物种灭绝的重要原因^[18]。城镇化深刻地改变了生物多样性的分布格局和功能。城市植物群落组成的同质性特征远比郊区要高。在城镇化影响下,北美的生物同质性水平依次是植物(22%)、鱼类(14%)、爬行动物/两栖动物(12%)、哺乳动物(9%)、鸟类(8%),不同区域不同物种会出现一定的差异^[19]。而城市的生物多样性(基因、物种、群落及生态系统)与城市自然生态环境的结构和功能相联系为城市生态系统提供了一系列的生态服务,如降低城市热岛效应、减少能源消耗、美化环境、减少污染等,而且对城市可持续发展有重要意义和作用。

在瑞士,屋顶绿化被用来研究在屋顶筑巢的风头麦鸡(*Vanellus vanellus*), Baumann^[20] 认为由多种植物构成的群落能够增加昆虫的种类和数量,为风头麦鸡提供良好的生境。在英国,人们建造粗放型屋顶绿地,在城市中创建鸟类生活环境来保护赭红尾鸲(*Phoenicurus ochruros*)^[21]。野生植物也能够利用屋顶绿地在城市中传播维持其种群。在英国开展的试验中,屋顶绿地中种植了 15 种植物,而最终在该绿地中发现了 35 种野生植物^[22]。

城市景观由建筑与道路组成的斑块和廊道构成,公园构成的绿色斑块被包围而形成孤岛。增加绿色空间,建设屋顶绿化是保护生物多样性理想的方法。首先,屋顶绿化不占用城市的土地资源,仅利用已建成建筑的屋顶。其次,城市至少有相当于土地面积 30% 的屋顶可被利用,可开拓为绿色空间的潜力巨大^[23]。

1.6 屋顶绿化与光污染

建筑年代不同、建筑功能的差异使城市建筑高低错落,近十年来我国各地高层建筑的比例增加较快。平顶建筑屋面材料常采用防水层加保护层,坡顶建筑屋面材料常采用玻纤瓦等,无论使用哪种屋顶或材料,在强烈的太阳光照射下,屋顶都会反射刺目的眩光,形成光污染,损害在高层建筑上工作和生活的人们的视觉系统。经心理科学验证,在人的视野中,当绿色达到 25% 时,人的心情最为舒畅,工作效率较高,而大面积推屋顶绿化会增加高层视野中的绿量,提高人们的工作效率;减弱强烈的阳光发射并形成漫反射,减少光污染。

1.7 屋顶绿化与噪音污染

屋顶绿化在消减噪音方面有重要功能,最直接的应用是屋顶绿化作为一个隔音层安装在屋顶,大幅降低那些上空有客机飞行区域住宅室内的噪音水平;城市高架两侧建筑安装屋顶绿化同样有利于减少高架交通噪音对室内的影响。绿化后的屋顶与沙砾屋顶相比,可降低噪声 2~3 分贝。屋顶土层 12 cm 厚时隔音大约为 40 分贝,20 cm 厚时隔音大概为 46 分贝。Timothy 等^[24]通过试验量化研究,认为街道两侧房屋安装屋顶绿化,对轿车等轻型汽车的隔音效果较好,但是对重型汽车作用有限。屋顶类型(平顶、坡顶)和屋顶覆盖物(植物与生长基质)对建筑室内空间防噪都有较大的影响,在城市规划和建筑设计时应充分考虑。

2 限制我国屋顶绿化发挥生态功能的因素分析

屋顶绿化能够提供多种生态服务来改善城市环境,是城市可持续发展的重要策略,然而屋顶绿化在我国未得到充分地发展。发挥屋顶绿化在城市中的生态功能,改善城市环境需要理清阻碍屋顶绿化发展的限制因素。在已有的研究基础上,通过访谈、文献整理的方法,归纳和总结国内外屋顶绿化存在的限制因素,分为 2 个层次要素层和因素层,要素层由“政策与制度”、“工程技术”、“工程管理”构成,因素层由 10 个限制因素构成,具体内容见表 1。

表 1 屋顶绿化发展的限制因素

Table 1	Barriers of roof greening
要素层	因素层
Main factors	Sub-main factors
政策与制度(B1)	政府对屋顶绿化发展缺乏政策支持 ^[25,28] (X1)
	屋顶绿化相关政策和法律不健全 ^[26,10] (X2)
	公众对屋顶绿化的认知不足 ^[25-26,28] (X3)
	缺乏示范性项目 ^[29] (X4)
工程技术(B2)	建造和设计屋顶绿化的技术比较复杂,实施难度大 ^[27] (X5)
	既有建筑屋顶承载力不足以建造屋顶花园 ^[28] (X6)
	屋顶绿化企业缺乏经验,企业间缺乏沟通 ^[29] (X7)
工程管理(B3)	增加了设计和建造费用 ^[25,28] (X8)
	增加了后期养护的费用 ^[26,28] (X9)
	缺乏屋顶绿化企业 ^[25] (X10)

使用层次分析法(AHP)方法对屋顶绿化限制的要素层和因素层进行分析,最终得出要素层中政策与制度的影响较大,权重为 0.62,其次为工程管理,权重为 0.28,最后为工程技术,权重为 0.09;屋顶绿化限制因素的指标中 X2、X1、X8、X9、X5、X3、X4、X6、X7、X10 的影响力大小依次减弱。其中“屋顶绿化相关政策和法律不健全(X2)”对屋顶绿化发展的影响最大,其次是“政府对屋顶绿化的发展缺乏政策支持(X1)”。可见政策与制度对屋顶绿化发展的影响是最为重要的,同时也是多方面的,屋顶绿化的示范工程(X3)、民众对屋顶绿化的认知(X4)会随政府对屋顶绿化的政策与支持的增加而增强,从而奠定屋顶绿化产业的发展基础;屋顶绿化的建设初期投入较大(X8),后期还需持续投入资金进行维护(X9),因而对待屋顶绿化业主与开发商往往比较消极。国外的一些国家通过建设补偿等政策刺激和鼓励业主与开发商建设屋顶绿化的积极性,推动本国屋顶绿化的发展。工程技术如“建造和设计屋顶绿化的技术比较复杂,实施难度大(X5)”在一定程度上也阻碍了屋顶绿化的发展,但是最终解决屋顶绿化工程技术问题还是要依靠市场自发的动力,屋顶绿化产业得到政策和法律的支持,则屋顶绿化企业数量会增加,竞争加剧,企业会主动谋求解决工程中存在的技术问题,以形成自身的竞争力。生态型屋顶工程技术简单,绿化初期投入和后期维护费用少、适应性强,适合在既有建筑上使用和推广。密集型屋顶绿化则不然,工程技术要求较为复杂,初期投入和后期维护的费用较高,对建筑屋顶的承载力也有较高的要求,因此合理规划屋顶绿化,使生态型屋顶与屋顶花园合理搭配有利用屋顶绿化产业的可持续发展。

3 总结

城市正慢慢成为大多数人的生活环境,城市环境的恶化却严重影响人们的健康和安全。屋顶绿化是缓解城市环境问题的理想策略:能够缓释雨水,减小地表径流量,减轻城市排水压力;能够降低雨水中的氮、磷和重金属含量,净化水体水质;能够净化空气中污染物和颗粒物;能够降低建筑外部温度,保持内部温度,减少碳排放,节约能源消耗;能够为动物、植物提供生境,丰富城市的生物多样性;能够减少光污染和噪音污染,改善生活环境。

然而在我国要充分发挥屋顶绿化的生态功能,还需要克服一些困难,前三大限制因素分别是:“屋顶绿化相关政策和法律不健全”、“政府对屋顶绿化的发展缺乏政策支持”、“增加了设计和建造费用”。对于发挥屋顶绿化的生态功能,其限制因素之间是相互关联的,政府对屋顶绿化进行法律法规层面的支持是屋顶绿化发展的最紧迫的因素;其次研发屋顶绿化新技术、新产品,降低

屋顶绿化的造价,简化工程复杂度对于推广屋顶绿化也十分重要。

参考文献

- [1] 许萍,车伍,李俊奇. 屋顶绿化改善城市环境效果分析[J]. 环境保护, 2004(7):41-44.
- [2] 洗丽铎,鲍海泳,陈红跃,等. 屋顶绿化研究进展[J]. 世界林业研究, 2013,26(2):36-42.
- [3] Oberndorfer E, Lundholm J, Bass B, et al. Green roofs as urban ecosystems: ecological structures, functions, and services[J]. Bio Science, 2007, 57(10): 823-833.
- [4] Jeroen M, Dirk R, Martin H. Green roofs as a tool for solving the rain-water runoff problem in the urbanized 21st century? [J]. Landscape and Urban Planning, 2006, 77: 217-226.
- [5] Monterusso M A, Rowe D B, Rugh C L, et al. Runoff water quantity and quality from green roof systems[J]. Acta Hort, 2004, 639: 369-376.
- [6] Czemiel B J, Bengtsson L, Jinno K. Runoff water quality from intensive and extensive vegetated roofs[J]. Ecology Engineering, 2009, 30: 271-277.
- [7] Köhler M, Schmidt M, Grimme F W, et al. Green roofs in temperate climates and in the hot-humid tropics-far beyond the aesthetics[J]. Environment Manage Health, 2002, 13 (4): 382-391.
- [8] Steusloff S. Urban Ecology[M]. Germany: Springer Berlin Heidelberg, 1998: 144-148.
- [9] Akbari H, Pomerantz M, Taha H. Cool surfaces and shade trees to reduce energy use and improve air quality in urban areas[J]. Solar Energy, 2001, 70 (3): 295-310.
- [10] Yang J, McBride J, Zhou J X, et al. The urban forest in Beijing and its role in air pollution reduction[J]. Urban Forestry and Urban Greening, 2005, 3: 65-78.
- [11] Bradley R D. Green roofs as a means of pollution abatement[J]. Environmental Pollution, 2011, 159: 2100-2110.
- [12] Akbari H, Pomerantz M, Taha H. Cool surfaces and shade trees to reduce energy use and improve air quality in urban areas[J]. Solar Energy, 2001, 70 (3): 295-310.
- [13] 陈辉,任珺,杜忠. 屋顶绿化的功能及国内外发展状况[J]. 环境科学与管理, 2007, 32(2): 162-165.
- [14] Wong N H, Chen Y, Ong C L, et al. Investigation of thermal benefits of rooftop garden in the tropical environment[J]. Building and Environment, 2003, 38: 261-70.
- [15] Li J F, Onyx W H, Li Y S. Effect of green roof on ambient CO₂ concentration[J]. Building and Environment, 2010, 45: 2644-2651.
- [16] Takebayashi H, Moriyama M. Surface heat budget on green roof and high reflection roof for mitigation of urban heat island[J]. Environment, 2007 (1): 2971-2979.
- [17] Mackey C W, Lee Z, Smith R B. Remotely sensing the cooling effects of city scale efforts to reduce urban heat island[J]. Building and Environment, 2012, 49: 348-358.
- [18] McKinney M L. Urbanization, biodiversity, and conservation[J]. Bioscience, 2002, 52(10): 883-890.
- [19] Olden J D, Poff N L, McKinney M L. Forecasting faunal and floral homogenization associated with human population geography in North America[J]. Biological Conservation, 2006, 127(3): 261-271.
- [20] Baumann N. Ground-nesting birds on green roofs in Switzerland: Preliminary observations[J]. Urban Habitats, 2006(4): 37-50.
- [21] Grant G. Extensive green roofs in London[J]. Urban Habitats, 2006, 4: 51-65.
- [22] Dunnett N, Nagase A, Hallam A. The dynamics of planted and colonising species on a green roof over six growing seasons 2001—2006: Influence of substrate depth[J]. Urban Ecosystems, 2008, 11: 373-384.
- [23] Frédéric M, Alan V, Nathalie M. Green roofs as habitats for wild plant species in urban landscapes: First insights from a large-scale sampling[J]. Landscape and Urban Planning, 2014, 122: 100-107.
- [24] Timothy van Renterghem, Dick B. Reducing the acoustical façade load from road traffic with green roofs[J]. Building and Environment, 2009, 44: 1081-1087.
- [25] 魏道江,叶建军,李恒威. 屋顶绿化的 SWOT 分析及发展建议[J]. 湖南农业科学, 2012(14): 40-45.
- [26] 王璐. 关于南京鼓楼区屋顶绿化的思考[J]. 四川建筑, 2011, 30(5): 15-17.
- [27] 郭晓园,唐岱. 我国屋顶花园的发展现状与趋势[J]. 山东林业科技, 2011(6): 118-121.
- [28] Zhang X L, Shen L Y, Vivian W Y T, et al. Barriers to implement extensive green roof system: A HongKong study[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2012, 16: 314-319.
- [29] Nicholas S G, Williams J, Rayner P, et al. Green roofs for a wide brown land: Opportunities and barriers for rooftop greening in Australia[J]. Urban Forestry and Urban Greening, 2010, 9: 245-251.

Analysis on the Ecological Functions of Roof Greening

WANG Xin-jun^{1,2}, ZHANG Xin-rong¹, SHI Hong¹

(1. School of Art and Design, Changzhou Institute of Technology, Changzhou, Jiangsu 213002; 2. College of Resources and Environmental Science, Nanjing Agricultural University, Nanjing, Jiangsu 210095)

Abstract: The ecological function of green roofs was discussed, the factors limiting of ecological functions of the roof greening in China was analysed. Seven ecological functions of roof greening were summed up on the basis of related studies at home and abroad, including alleviation of urban discharge pressure, water quality improvement, air purification, reduction of energy expenditure, promotion of urban biodiversity, abatement of light pollution and noise pollution. Then it builded and made an AHP analysis of hierarchies of main and sub-main factors limiting the development of roof greening, and concluded that three major groups of factors check roof greening popularization in China: 'lack of related mature policies and laws', 'insufficient support from the government' and 'increasing of design and construction costs'.

Keywords: roof greening; ecological function; AHP; limiting factors