

# 昆嵛山空气净化植物资源

李明<sup>1</sup>, 杨晓燕<sup>1</sup>, 刘芯妤<sup>2\*</sup>, 赵宏<sup>2</sup> (1. 烟台市昆嵛山林场, 山东烟台 264112; 2. 山东大学(威海)海洋学院, 山东威海 264209)

**摘要** 我国空气污染日益恶化, 越来越受到人们的广泛关注。在众多的空气净化的措施之中, 植物空气净化是最为经济有效的措施, 因此对植物多样性丰富的山东省昆嵛山进行了调查研究, 筛选出具有较好空气净化效果植物 23 科、40 属、65 种, 将其用于改善城市空气质量和生活环境, 同时为园林植物配置提供参考资料。

**关键词** 昆嵛山; 空气净化; 植物资源

中图分类号 S181.3 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2019)03-0061-03

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2019.03.020



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

## Plant Resources Used for Cleaning Air in Kunyu Mountain

LI Ming<sup>1</sup>, YANG Xiao-yan<sup>1</sup>, LIU Xin-yu<sup>2</sup> et al (1. Forestry Farm in Kunyu Mountain, Yantai, Shandong 264112; 2. Marine College, Shandong University (Weihai), Weihai, Shandong 264209)

**Abstract** Air pollution in China has been getting worse and receiving increasing attention. Although there are many methods to purify the air, using purification function of plants is the most economical and effective way. We conducted investigations and studied on plants in Kunyu Mountain, which was famous for its high plant diversity and then screened out 23 families, 40 genera, 65 plant species capable of purifying air for improving urban air quality. Hope our research be capable of contributing to improve air quality and provide more reference for landscape plant arrangement.

**Key words** Kunyu Mountain; Air purification; Plant resources

近年来全国烟尘排放量逐年升高, 大气污染趋势还在持续性恶化。目前我国大气环境面临的形势非常严峻, 空气污染类型是以 SO<sub>2</sub> 和 PM<sub>10</sub> 为代表的煤烟型空气污染<sup>[1]</sup>。国家在环保方面支出占国家财政支出比例由 2003—2006 年的不足 1% 提升至 2016 年的 2.7% 左右, 并且在全国 600 多个城市中, 大气环境质量符合国家一级标准的城市不到 1%<sup>[2]</sup>, 我国在空气污染治理方面比较薄弱。

在众多治理空气污染的措​​施里面, 植物防治措施是最经济实用的。研究表明, 植物群落具有净化空气、提高空气质量、降噪、调节温湿度、预防等作用。植物可以通过植物体表面的绒毛和黏液吸滞粉尘、净化空气以及吸收噪音; 有些植物, 例如樟 [ *Cinnamomum camphora* (L.) presl ] 和荷花木兰 ( *Magnolia grandiflora* L. ) 利用叶片背面的气孔进行呼吸的同时将大气中的气态污染物代谢成水和二氧化碳, 还可以通过吸收环境中的热量来调节温湿度, 缓解热岛效应<sup>[3-6]</sup>。近几年国内外的研究热点主要倾向于开发室内净化空气植物, 利用环保型植物吸收室内装修带来的污染气体, 并且经过进一步研究得出不同植物针对不同的污染物吸收能力存在区别, 同一植株不同的部位吸收同一污染物的能力也存在区别<sup>[7-13]</sup>。室外空气净化植物的研究主要集中在城市园林建设方面, 目前在城市园林植物配置时选择的本地种比较单一, 导致植物类型不够丰富, 并且引种植物对本地水土适应性不强、抗病虫害能力弱导致存活率低, 养护成本高, 且得不到很好的景观绿化效果, 综合净化空气能力也较弱<sup>[14-16]</sup>。针对这一现状, 笔者对植物多样性丰富的山东省昆嵛山进行了调查和研究, 筛选出具有较好的空气净化效果植物, 用于改

善城市空气质量和生活环境, 同时为园林植物配置提供参考资料。

## 1 调查地点及方法

研究地点为山东省昆嵛山, 地理坐标为 121°40'34"~121°48'04"E, 37°11'50"~37°17'22"N。昆嵛山是国家级自然保护区, 地处胶东半岛东端, 属于暖温带季风型气候和海洋性气候, 四季分明, 气候温和, 降雨量充足, 为植物生长创造有利条件。昆嵛山植物资源丰富度高, 具有大量保存完好的次生植被类型和人工林, 具有种子植物 122 科、561 属、1 099 种<sup>[17]</sup>。

调查方法为踏查法和文献整理法。通过实地调查, 采集凭证标本, 标本经赵宏鉴定后保存在山东大学(威海)植物标本室。在调查的植物物种中, 经归纳、整理, 筛选出具有较好空气净化效果的植物。

## 2 结果与分析

空气中的污染物主要包括含硫化合物、含氮化合物、含氟化合物、浮尘等。不同的植物对于不同的空气污染物具有不同的净化效果。为此, 在查阅相关资料的基础上, 对昆嵛山可以净化二氧化硫、含氮化合物、含氟化合物的植物资源进行了归类汇总, 共整理出 23 科、40 属、65 种, 其中乔木物种 38 种、灌木物种 21 种、草本物种 3 种、藤本灌木 2 种、草质攀援藤木 1 种; 野生植物物种 48 种(表 1)、栽培物种 17 种(表 2)。

在已调查可净化空气的 23 科 65 种植物资源中, 在整理分类相关文献可得表 1 和表 2 中植物净化空气效益。由表 1 和表 2 可得, 可吸收含硫化合物的植物资源有 57 种, 其中旱柳、刺槐、柳杉、水榆花楸、卫矛、水曲柳等物种具有较强的吸收能力, 侧柏和榆树的吸收能力较弱<sup>[18-22]</sup>; 可吸收含氮化合物的植物资源 20 种, 其中旱柳、卫矛、花曲柳、臭椿、刺槐、连翘等物种具有较强的吸收能力<sup>[19, 23]</sup>; 可吸收含氟化合物的植

**作者简介** 李明(1962—), 男, 山东威海人, 高级工程师, 从事植物野生资源调查、保护与利用研究。\* 通信作者, 硕士研究生, 研究方向: 生态学。

**收稿日期** 2018-09-25

物资源 17 种,其中加拿大杨、酸枣、臭椿、白桦、桑树等吸收能力较强<sup>[19]</sup>;可同时吸收多种有害气体的植物资源 22 种<sup>[19-23]</sup>(图 1)。因此可以根据不同地区的不同空气污染物的浓度差异,有针对性地栽培绿化植物。

表 1 昆嵛山空气净化野生植物资源

Table 1 Wild plant resources used for cleaning air in Kunyu Mountain

序号 No.	中文名 Chinese name	学名 Scientific name	科名 Families	吸收气体 Harmful compounds of absorption
1	落叶松	<i>Larix gmelinii</i> (Rupr.) Kuzen.	松科 Pinaceae	SO <sub>2</sub> 、Cl、F
2	白皮松	<i>Pinus bungeana</i> Zucc. et Endl.	松科 Pinaceae	F
3	油松	<i>P. tabulaeformis</i> Carr.	松科 Pinaceae	SO <sub>2</sub>
4	柳杉	<i>Cryptomeria fortunei</i> Hooibrenk ex Otto et Dietr	杉科 Taxodiaceae	SO <sub>2</sub>
5	日本柳杉	<i>C. japonica</i> (Thunb. ex L. f.) D. Don	杉科 Taxodiaceae	SO <sub>2</sub>
6	侧柏	<i>Platycladus orientalis</i> (L.) Franco	柏科 Cupressaceae	F
7	五莲杨	<i>Populus wulianensis</i> S. B. Liang et X. W. Li	杨柳科 Salicaceae	SO <sub>2</sub>
8	毛白杨	<i>P. tomentosa</i> Carr.	杨柳科 Salicaceae	SO <sub>2</sub>
9	腺柳	<i>Salix Chaenomeloides</i> Kimura	杨柳科 Salicaceae	SO <sub>2</sub>
10	旱柳	<i>Salix matsudana</i> Koidz	杨柳科 Salicaceae	F
11	枫杨	<i>Pterocarya stenoptera</i> C. DC.	杨柳科 Salicaceae	SO <sub>2</sub> 、Cl
12	千金榆	<i>Corylus cordata</i> Bl.	桦木科 Betulaceae	SO <sub>2</sub>
13	白桦	<i>Betula platyphylla</i> Suk.	桦木科 Betulaceae	SO <sub>2</sub> 、Cl
14	榔榆	<i>Ulmus parvifolia</i> Jacq.	榆科 Ulmaceae	SO <sub>2</sub>
15	大叶朴	<i>Celtis koraiensis</i> Nakai	榆科 Ulmaceae	SO <sub>2</sub> 、Cl
16	黑弹树	<i>C. bungeana</i> Bl.	榆科 Ulmaceae	SO <sub>2</sub> 、Cl
17	石竹	<i>Dianthus chinensis</i> L.	石竹科 Caryophyllaceae	SO <sub>2</sub> 、Cl
18	圆锥石头花	<i>Gypsophila paniculata</i> L.	石竹科 Caryophyllaceae	SO <sub>2</sub> 、Cl
19	水榆花楸	<i>Sorbus alnifolia</i> (Sieb. et Zucc.) K. Koch	蔷薇科 Rosaceae	SO <sub>2</sub> 、Cl
20	豆梨	<i>Pyrus calleryana</i> Dene.	蔷薇科 Rosaceae	SO <sub>2</sub>
21	山荆子	<i>Malus baccata</i> Borkh.	蔷薇科 Rosaceae	Cl、F
22	毛樱桃	<i>Cerasus tomentosa</i> (Thunb.) Wall.	蔷薇科 Rosaceae	Cl、F
23	山东银莲花	<i>Anemone chosenicola</i> Kitag. var. <i>schantungensis</i> (Hand. - Mazz.) Tamura	毛茛科 Ranunculaceae	SO <sub>2</sub> 、F
24	紫荆	<i>Cercis chinensis</i> Bge.	苏木科 Caesalpiniaceae	SO <sub>2</sub> 、Cl、F
25	山皂荚	<i>Gleditsia japonica</i> Miq.	苏木科 Caesalpiniaceae	SO <sub>2</sub> 、Cl、F
26	臭椿	<i>Ailanthus altissima</i> (Miller) Swingle	苦木科 Simaroubaceae	SO <sub>2</sub> 、F
27	卫矛	<i>Euonymus alatus</i> (Thunb.) Sieb.	卫矛科 Celastraceae	SO <sub>2</sub>
28	白杜	<i>E. maackii</i> Rupr.	卫矛科 Celastraceae	SO <sub>2</sub>
29	扶芳藤	<i>Euonymus fortunei</i> (Turcz.) Hand-Mazz.	卫矛科 Celastraceae	SO <sub>2</sub>
30	垂丝卫矛	<i>E. oxyphyllus</i> Miq.	卫矛科 Celastraceae	SO <sub>2</sub>
31	南蛇藤	<i>Celastrus orbiculatus</i> Thunb.	卫矛科 Celastraceae	SO <sub>2</sub>
32	茜草	<i>Rubia cordifolia</i> Linn.	茜草科 Rubiaceae	SO <sub>2</sub>
33	黄连木	<i>Pistacia chinensis</i> Bge.	漆树科 Anacardiaceae	SO <sub>2</sub> 、F
34	盐肤木	<i>Rhus chinensis</i> Bge.	漆树科 Anacardiaceae	SO <sub>2</sub>
35	荆条	<i>Vitex negundo</i> var. <i>heterophylla</i> (Franchet) Rehd.	马鞭草科 Verbenaceae	SO <sub>2</sub>
36	酸枣	<i>Ziziphus Mill</i> var. <i>spinosa</i> (Bunge) Hu ex H. F. Chow	鼠李科 Rhamnaceae	Cl
37	圆叶鼠李	<i>Rhamnus globosa</i> Bge.	鼠李科 Rhamnaceae	SO <sub>2</sub>
38	锐齿鼠李	<i>R. arguta</i> Maxim.	鼠李科 Rhamnaceae	Cl
39	小叶鼠李	<i>R. parvifolia</i> Bge.	鼠李科 Rhamnaceae	Cl
40	杠柳	<i>Periploca sepium</i> Bunge	萝藦科 Asclepiadaceae	SO <sub>2</sub> 、Cl、F
41	花曲柳	<i>Fraxinus rhynchophylla</i> Hance	木犀科 Oleaceae	SO <sub>2</sub> 、Cl
42	雪柳	<i>Fontanesia fortunei</i> Carr.	木犀科 Oleaceae	SO <sub>2</sub>
43	刺槐	<i>Robinia pseudoacacia</i> L.	蝶形花科 Fabaceae	SO <sub>2</sub>
44	绒毛胡枝子	<i>Lespedeza tomentosa</i> (Thunb.) Sieb. ex Maxim.	蝶形花科 Fabaceae	SO <sub>2</sub>
45	多花胡枝子	<i>L. floribunda</i> Bge.	蝶形花科 Fabaceae	SO <sub>2</sub>
46	细梗胡枝子	<i>L. virga</i> (Thunb.) DC.	蝶形花科 Fabaceae	SO <sub>2</sub>
47	截叶铁扫帚	<i>L. cuneata</i> (Dum. Cours.) G. Don	蝶形花科 Fabaceae	SO <sub>2</sub>
48	兴安胡枝子	<i>L. davurica</i> (Laxm.) Schindl.	蝶形花科 Fabaceae	SO <sub>2</sub>

表2 昆崙山空气净化栽培植物资源

Table 2 Cultivated plant resources used for cleaning air in Kunyu Mountain

序号 No.	中文名 Chinese name	学名 Scientific name	科名 Families	吸收气体 Harmful compounds of absorption
1	加拿大杨	<i>Populus canadensis</i> Moench	杨柳科 Salicaceae	SO <sub>2</sub>
2	银白杨	<i>P. alba</i> L.	杨柳科 Salicaceae	SO <sub>2</sub>
3	胡桃	<i>Juglans regia</i> L.	胡桃科 Juglandaceae	SO <sub>2</sub>
4	家榆	<i>Ulmus pumila</i> L.	榆科 Ulmaceae	SO <sub>2</sub> 、Cl、F
5	构树	<i>Broussonetia papyifera</i> (Linn.) ex Vent.	桑科 Moraceae	SO <sub>2</sub>
6	无花果	<i>Ficus carica</i> L.	桑科 Moraceae	SO <sub>2</sub> 、F
7	桑树	<i>Morus alba</i> L.	桑科 Moraceae	F
8	月季花	<i>Rosa chinensis</i> Jacq.	蔷薇科 Rosaceae	SO <sub>2</sub> 、Cl
9	牡丹	<i>Paeonia suffruticosa</i> Andr.	毛茛科 Ranunculaceae	SO <sub>2</sub>
10	一球悬铃木	<i>P. occidentalis</i> L.	悬铃木科 Platanaceae	SO <sub>2</sub>
11	二球悬铃木	<i>P. acerifolia</i> (Aiton) Willd.	悬铃木科 Platanaceae	SO <sub>2</sub>
12	三球悬铃木	<i>P. orientalis</i> L.	悬铃木科 Platanaceae	SO <sub>2</sub>
13	黄杨	<i>Buxus sinica</i> (Rehder & E. H. Wilson) M. Cheng	黄杨科 Buxaceae	SO <sub>2</sub>
14	雀舌黄杨	<i>B. bodinieri</i> Levl.	黄杨科 Buxaceae	SO <sub>2</sub>
15	灰毛黄栌	<i>Cotinus coggygia</i> var. <i>cinerica</i> Engl.	漆树科 Anacardiaceae	SO <sub>2</sub> 、F
16	水曲柳	<i>Fraxinus mandshurica</i> Rupr.	木犀科 Oleaceae	SO <sub>2</sub> 、Cl、F
17	连翘	<i>Forsythia suspensa</i> (Thunb.) Vahl	木犀科 Oleaceae	SO <sub>2</sub>

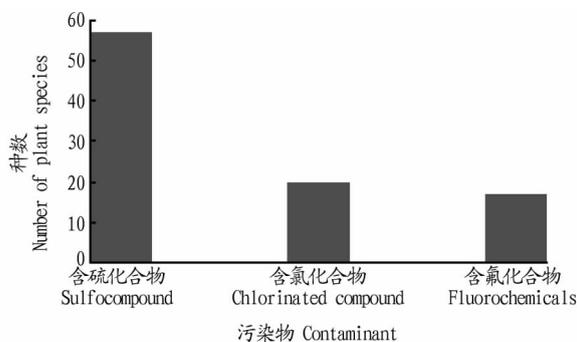


图1 净化不同空气污染物种数统计

Fig. 1 Statistics of the number of plant species used for cleaning different air in Kunyu Mountain

### 3 基础性建议

**3.1 开发现状** 在乡村和山区,人口稀疏,自然植被保存较好,物种较为丰富,生态系统相对稳定,主要的污染来源于居民的日常生活,植被可以明显地吸收污染改善空气质量,因此这些地区空气质量较好。现如今由于人们越发注重经济效益而忽视植被的重要性,人为的破坏植被比较严重,所以乡村和山区的空气质量每况愈下。

对于城市而言,人口密度较高,大量的高层建筑导致空气流动性差,污染物滞留难以扩散,热岛效应严重。在城市环境中园林绿化的地位举足轻重,但由于城市中缺少天然的土壤,减少养护成本,选择的绿化树种单一,对于植物空气净化能力考虑不多,在净化空气方面达不到很好的效果。

**3.2 开发建议** 根据适地适树的原则,在山东省城乡进行园林景观设计时合理融入本土植物,突出当地的特色文化、提高绿化树种多样性和植物之间互惠能力。选育移栽表1中的本土野生植物作为新的绿化树种,既提高栽培物种的成活率及多样性,又减少了后续额外的养护成本及人工培育管

理费用。对于较为单一的绿化栽培种可以考虑从表2中进行更新替换,并有针对性地对不同的污染地区选择恰当的绿化植物,充分发挥植物净化空气的能力,例如根据适地适树原则和乔灌结合的方式,将吸收SO<sub>2</sub>能力强的昆崙山特有种山东银莲花、卫矛、水榆花楸作为山东省行道植物配置,在景观设计中融入本土植物既改善了空气质量又提高植物的观赏性以及增加了景观的独特性。

### 4 小结

昆崙山植物资源丰富度高,在无人工参与管理的情况下环境质量位于世界前列,针对我国煤烟型污染这一现状,合理开发利用植物资源势在必行,将昆崙山可以除去硫、氯、氟化合物的植物资源融入到山东省城乡绿化中,全面发挥其净化空气的作用,为居民营造健康的生存环境。不过目前对昆崙山植物资源的利用仍存在问题,例如仍有部分植物的具体净化能力有待进一步研究,需要在可以净化空气的野外植物资源方面进行更多的探索。

### 参考文献

- [1] 郑毅,刘标. 大气颗粒物污染及防治措施[J]. 科技信息, 2012(3): 541, 535.
- [2] 2016年中国污染物治理现状分析及污染治理投入现状分析[EB/OL]. (2016-11-26)[2018-09-10]. <http://www.chyxx.com/industry/201611/471619.html>.
- [3] 蔡静萍,陈丽萍,申哲民. 叶片理化指标与绿化植物净化大气能力的相关性分析[J]. 上海环境科学, 2008, 27(2): 77-81.
- [4] 周佳宇,朱梦娇,张蕾,等. 室内植物净化空气的研究进展[J]. 现代农业科技, 2010(18): 256-257.
- [5] 张卫军,秦俊,胡永红,等. 上海园林植物生态功能评价:以上海绿色建筑环境绿化植物为例[J]. 东北林业大学学报, 2007, 35(1): 73-75.
- [6] HOWSAM M, JONES K C, INESON P. PAHs associated with the leaves of three deciduous trees species II: Uptake during a growing season [J]. Chemosphere, 2001, 44(2): 155-164.
- [7] 余亚白,陈源,赖呈纯,等. 室内空气净化植物的研究与利用现状及应用前景[J]. 福建农业学报, 2006, 21(4): 425-429.

Gash 模型研究结果相比<sup>[14,19]</sup>,该模拟结果值低于实测值,模拟精度偏低,但仍能够较好地模拟樟子松天然林的林冠截留。

尽管修正的 Gash 模型涉及较多的参数,且有较多因素影响模型的精度,但该研究通过采用较为成熟的方法获取参数,综合比较了实测值和模拟值,所以模拟结果较为可靠,这也表明了修正的 Gash 模型可以适用于大兴安岭北部樟子松林的截留模拟,该研究结果对于预测大兴安岭北部樟子松林冠截留量以及评估其水文效应具有科学参考价值。修正的 Gash 模型在模拟和预测林冠截留方面是目前比较常用和有效的降雨截留模型,模型综合考虑了降雨和空气动力学的特征,将林冠截留损失合理划分成几个组成部分,对降雨截留的整个过程考虑得较为充分,具有较好的物理学基础。即使是在不同的气候、地理位置或是林分类型的条件下,国内外不少研究也已经证明修正的 Gash 模型在模拟林冠截留时仍然是最简单有效的。该模型对单次降雨的林冠截留量进行模拟,小雨量时模拟准确性较高,随着降雨量增加,模拟精度有所下降。总体来看,笔者认为修正的 Gash 模型在樟子松天然林林冠截留降雨过程模拟中具有较好的适用性,能为该地区森林水文循环和区域水资源利用提供可靠的方法。

#### 参考文献

- [1] SCHELLEKENS J, SCATENA F N, BRUIJNZEEL L A, et al. Modelling rainfall interception by a lowland tropical rain forest in northeastern Puerto Rico[J]. *Journal of hydrology*, 1999, 225(3): 168-184.
- [2] CROCKFORD R H, RICHARDSON D P. Partitioning of rainfall into throughfall, stemflow and interception: Effect of forest type, ground cover and climate[J]. *Hydrological processes*, 2000, 14(16/17): 2903-2920.
- [3] NADKARNI N M, SUMERA M M. Old-growth forest canopy structure and its relationship to throughfall interception[J]. *Forest science*, 2004, 50(3): 290-298.
- [4] IIDA S, TANAKA T, SUGITA M. Change of interception process due to the succession from Japanese red pine to evergreen oak[J]. *Journal of hydrology*, 2005, 315: 154-166.
- [5] 党宏忠, 周泽福, 赵雨森. 青海云杉林冠截留特征研究[J]. *水土保持学*

- 报, 2005, 19(4): 60-64.
- [6] DIETZ J, HÖLSCHER D, LEUSCHNER C, et al. Rainfall partitioning in relation to forest structure in differently managed montane forest stands in Central Sulawesi, Indonesia[J]. *Forest ecology and management*, 2006, 237(1/2/3): 170-178.
- [7] GASH J H C. An analytical model of rainfall interception by forests[J]. *Quarterly journal of the royal meteorological society*, 1979, 105(443): 43-55.
- [8] GASH J H C, LLOYD C R, LACHAUD G. Estimating sparse forest rainfall interception with an analytical model[J]. *Journal of hydrology*, 1995, 170(1/2/3/4): 78-86.
- [9] DEGUCHI A, HATTORI S, PARK H T. The influence of seasonal changes in canopy structure on interception loss: Application of the revised Gash model[J]. *Journal of hydrology*, 2006, 318(1/2/3/4): 80-102.
- [10] HERBST M, ROBERTS J M, ROSIER P T W, et al. Measuring and modeling the rainfall interception loss by hedgerows in southern England[J]. *Agricultural and forest meteorology*, 2006, 141(4): 244-256.
- [11] SHI Z J, WANG Y H, XU L H, et al. Fraction of incident rainfall within the canopy of a pure stand of *Pinus armandiith* revised Gash model in the Liupan Mountains of China[J]. *Journal of hydrology*, 2010, 385(1/2/3/4): 44-50.
- [12] ŠRAJ M, BRILLY M, MIKOŠ M. Rainfall interception by two deciduous Mediterranean forests of contrasting stature in Slovenia[J]. *Agricultural and forest meteorology*, 2008, 148(1): 121-134.
- [13] WALLACE J, MCJANNET D. Modeling interception in coastal and montane rainforests in northern Queensland, Australia[J]. *Journal of hydrology*, 2008, 348(4): 480-495.
- [14] 何常清, 薛建辉, 吴永波, 等. 应用修正的 Gash 解析模型对岷江上游亚高山川滇高山栎林林冠截留的模拟[J]. *生态学报*, 2010, 30(5): 1125-1132.
- [15] 季冬. 贡嘎山暗针叶林林冠截留的 Gash 模型[M]. 北京: 北京林业大学, 2007.
- [16] 王馨, 张一平, 刘文杰. Gash 模型在热带季节雨林林冠截留研究中的应用[J]. *生态学报*, 2006, 26(3): 722-729.
- [17] 李奕. 大兴安岭北部樟子松林生态水文过程及水量平衡研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2016.
- [18] 李奕, 蔡体久, 满秀玲, 等. 大兴安岭地区天然樟子松林降雨截留再分配特征[J]. *水土保持学报*, 2014, 28(2): 40-44.
- [19] 赵洋毅, 王玉杰, 王云琦, 等. 基于修正的 Gash 模型模拟缙云山毛竹林降雨截留[J]. *林业科学*, 2011, 47(9): 15-20.
- [20] LIMOUSIN J M, RAMBAL S, OURCIVAL J M, et al. Modelling rainfall interception in a mediterranean *Quercus ilex* ecosystem: Lesson from a through fall exclusion experiment[J]. *Journal of hydrology*, 2009, 365(1/2): 142-143.

(上接第 63 页)

- [8] 吴平. 植物对室内空气污染物的净化能力研究进展[J]. *四川林业科技*, 2009, 30(3): 105-107.
- [9] 刘凤, 高泽, 刘松奇, 等. 室内植物净化空气的研究进展[J]. *安徽农业科学*, 2015, 43(10): 254-255, 289.
- [10] 胡羨聪, 张德强, 张国辉, 等. 大气 SO<sub>2</sub>、氟化物对植物生理生态指标的影响[J]. *热带亚热带植物学报*, 2003, 11(4): 372-378.
- [11] MO J H, ZHANG Y P, XU Q J, et al. Photocatalytic purification of volatile organic compounds in indoor air: A literature review[J]. *Atmospheric environment*, 2009, 43: 2229-2246.
- [12] ZHANG Y P, MO J H, LI Y G, et al. Can commonly-used fan-driven air cleaning technologies improve indoor air quality A literature review[J]. *Atmospheric environment*, 2011, 45(26): 4329-4343.
- [13] KWANG J K, MI J K, JEONG S S, et al. Efficiency of volatile formaldehyde removal by indoor plants: Contribution of aerial plant parts versus the root zone[J]. *Horticultural science*, 2008, 133: 479-627.
- [14] RESHMAL V S, KUMAR P, CHAITRA G S. Significant role of ornamental plants as air purifiers: A review[J]. *International journal of current micro-*

- biology and applied sciences*, 2017, 6(8): 2591-2606.
- [15] 李应东, 蔡良杰. 基于园林建筑与园林植物配置的关系研究[J]. *门窗*, 2016(12): 200.
- [16] 李万龙. 园林植物配置的原则及注意问题探析[J]. *中国集体经济*, 2017(19): 54-55.
- [17] 赵宏. 植物学野外实习教程[M]. 北京: 科学出版社, 2007.
- [18] 贺勇, 李磊, 李俊毅, 等. 北方 30 种景观树种净化空气效益分析[J]. *东北林业大学学报*, 2010, 38(5): 37-39.
- [19] 鲁敏, 李英杰, 鲁金鹏. 绿化树种对大气污染物吸收净化能力的研究[J]. *城市环境与城市生态*, 2002(2): 7-9.
- [20] 王荣新, 辛学兵, 裴顺祥, 等. 北京市 9 种常见绿化树种吸收积累 SO<sub>2</sub> 能力研究[J]. *林业科学研究*, 2017, 30(3): 392-398.
- [21] 陈伟光, 黄芳芳, 温小莹, 等. 大气 SO<sub>2</sub> 和 NO<sub>2</sub> 污染及植物的抗性和净化能力研究进展[J]. *林业与环境科学*, 2017, 33(4): 123-129.
- [22] 李艳芹, 李艳梅, 陈奇伯, 等. 昆明市典型绿化树种的滞尘及吸收 SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub> 效应[J]. *湖北农业科学*, 2016, 55(18): 4740-4745.
- [23] 孔桂芝. 浅谈园林树木对改善日常生活环境的作用[J]. *襄阳职业技术学院学报*, 2005, 4(1): 102-104.