

城市新区初期雨水污染控制技术探讨

袁步先, 张浏*, 郑西强, 匡武 (安徽省环境科学研究院, 安徽省污水处理技术重点实验室, 安徽合肥 230061)

摘要 针对当前初期雨水污染及治理问题, 分析了城市初期雨水径流污染来源及特点, 阐述了目前初期雨水污染控制技术的应用现状, 对比分析了初期雨水各种治理方法的优缺点, 提出并探讨了初期雨水截留收集、集中处理的新方法, 并以合肥某新区城市初期雨水治理实例进一步验证了该方法在实际应用中的可行性, 为城市新区初期雨水治理技术研究提供新的方向。

关键词 初期雨水; 径流污染; 治理; 城市新区

中图分类号 S181.3 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2015)19-251-03

Discussion on Initial Rainwater Pollution Control Technology in Urban New District

YUAN Bu-xian, ZHANG Liu*, ZHENG Xi-qiang et al (Anhui Provincial Key Laboratory of Wastewater Treatment Technology, Anhui Academy of Environmental Science Research, Hefei, Anhui 230061)

Abstract In view of the current initial rainwater pollution and governance issues, the runoff pollution source and characteristics of urban initial rainwater were analyzed, the application status of current initial rainwater pollution control technology was elaborated, the advantages and disadvantages of various treatment methods of early-stage rainfall were compared, the new way to intercept collection, centralized treatment of early-stage rainfall was put forward and discussed, and a new district in Hefei City initial rainwater management instance was adopted to further verify the feasibility of this method in practical application, which will provide a new direction for the urban new district initial rainwater management technology research.

Key words Initial rainwater; Runoff pollution; Governance; Urban new district

初期雨水污染主要是指在降雨的初始时期, 雨滴经淋洗空气, 冲刷城市道路、各类建筑物、废弃物等之后, 携带各种污染物(如氮氧化物、有机物以及病原体等)进入地表水和地下水, 加重城市河道、水源地的污染, 从而影响城市水资源的可持续利用^[1]。在当前城市点源污染逐步得到控制和治理的同时, 由于城市中不可渗透表面的不断增长, 导致由雨水径流引起的非点源污染即城市地面初期雨水污染日益突出。城市地面初期雨水的污染程度较高, 初期雨水中含有大量的悬浮固体、有机物、重金属、油脂、病原体等污染物, 这些污染物的来源主要有混凝土道路垃圾、汽车产生的污染物、屋面建筑材料和城区污水等^[2]。如果不对初期雨水进行处理, 直接排入到城市水体中, 将会对城市水体如河道、湖泊或自然承受水体造成非常严重的污染。王军霞等研究发现, 城市面源中 COD、悬浮物的平均浓度高于城镇污水处理厂的排水, 一次降雨过程产生的 COD 在 34.6 ~ 73.7 t 之间^[3]。

目前我国城市新区建设已大量展开, 城市新区对于优质水环境的需求更加迫切, 在建设之初或建设过程中, 预先筹划或同步开展初期雨水污染控制工程或措施的应用, 将避免老城区为治理而需要改造、拆迁带来的困难和影响。我国城市新区初期雨水污染治理尚处于起步阶段, 笔者对城市新区初期雨水污染控制技术进行了梳理和分析, 以期在具体工程或措施应用提供参考。

1 初期雨水污染来源及特点

1.1 污染来源 城市下垫面可分成屋面、路面、绿地三大类, 则城市初期雨水径流污染按城市下垫面可分为屋面雨

水、道路径流雨水和绿地径流雨水三大类。其污染物浓度由高到低一般为路面 > 屋面 > 绿地, COD、TSS、TN、TP 等污染指标则成为国内外关注的重点。

1.1.1 屋面雨水。一般认为, 屋面雨水水质较好。但事实却恰恰相反, 这主要与屋面材料、空气质量、气温等外部因素有关^[4]。其中屋面材料对径流水质的影响最大, 这主要归因于屋面材料受季节和温度的影响, 导致初期雨水中污染物含量变化较大。研究发现, 秋季屋面径流雨水水质较好, 夏季屋面径流雨水水质较差。

1.1.2 道路径流雨水。其中的污染物主要为路面沉淀物和垃圾等, 主要来源有车辆的泄露、丢弃的废弃物、轮胎摩擦、防冻剂使用、杀虫剂和肥料的使用等, 污染成分主要包括有机或无机化合物、氮、磷、金属和油类等^[5]。道路径流初期雨水中污染物如 COD、TSS、重金属和石油类不仅浓度很高, 也是城区路面雨水中最主要的污染物。污染物浓度主要受降雨条件和路面状况影响, 相关研究表明, 道路径流雨水中的 COD 与 SS、TN、TP 之间呈现较好的线性相关性。

1.1.3 绿地径流雨水。城市绿地作为城市的一个重要组成部分, 在美化城市环境、减少地面降雨径流量、补充地下水等方面起到重要的作用。绿地径流雨水通过土壤、植物的过滤和渗析作用, 其污染物浓度远远低于同一场次降雨过程中在商住综合区和工业区屋面雨水以及道路径流雨水中污染物的浓度。但是由于冲刷效应, 少部分污染物会随着雨水径流冲刷出去, 对城市水体形成一定的污染。

1.2 污染特点 城市初期雨水中的各类污染物主要来自于降雨对城市地表的冲刷, 地表沉积物的组成是决定径流污染性质的关键, 如城市垃圾、动物粪便、建筑堆积物、城市绿化、空气沉降物和车辆尾气排放等。综合国内外雨水径流污染研究成果, 城市初期雨水污染的规律: 城市道路径流 > 排污口径流 > 房屋屋面径流 > 自然雨水; 初期雨水中的大部分污

基金项目 国家重大水专项(2011ZX07303-001)。

作者简介 袁步先(1962-), 男, 安徽庐江人, 高级工程师, 从事水污染控制理论与技术研究。* 通讯作者, 高级工程师, 硕士, 从事水污染控制研究。

收稿日期 2015-05-11

染物指标超出地表水环境质量 V 类标准,已经严重超出排入自然水体的标准。因此,对于城市初期雨水进行收集处理是十分必要的^[6]。

2 城市新区初期雨水污染控制技术应用现状

在城市初期雨水径流污染中,由于绿地径流本身可通过植物和土壤的净化作用而大幅减小对环境的污染,而屋面径流污染和道路径流污染却仍需人为干预进行处理。20 世纪 70 年代,美国便开始了城市雨水径流环境污染问题的研究,并于 80 年代初成立了国际雨水集流利用系统协会(IWRA)。其他国家诸如澳大利亚、德国、日本、法国等发达国家也相继根据本国雨水径流的实际开展了相关研究。相比而言,我国对城市初期雨水地表径流的收集和处理的较晚,目前处于初步阶段。武汉东湖采用植草凹地或坡地等方法研究控制初期雨水面源污染,取得了明显效果,雨水径流量减少 50% 以上,对雨水中 TN 和 TP 的去除率均在 47.1% ~ 85.4% 之间。国内其他研究者也曾尝试过初期雨水经截留收集、调蓄、沉淀后排放的方法^[7]。总结国内外的经验,主要分为源头减量和末端治理两大类:

2.1 源头减量

2.1.1 屋面初期雨水径流污染治理。屋面初期雨水径流的治理一般采用高花坛 + 低绿地 + 浅沟渗渠渗透技术,该技术采用多种渗透设施,屋面初期雨水先经过高位花坛(内部主要填有渗透性能好、净化能力强的人工混合土)进行渗透净化,而后通过低绿地、浅沟最终排入市政管网。基于该技术,日本开发出了一种“空中花园”雨水浇灌系统^[8]。

车武等采用弃流 - 生态渗透过滤工艺,对屋面雨水在天然和人工两种土壤中的净化作用及其规律进行了研究^[9]。该工艺是用绿地 - 人工混合净化技术为主体的生态渗透过滤净化系统,雨水通过人工混合土壤 - 绿地系统进行物理、物化、生化和植物吸收等多种作用使污染物得到去除。周赛军等对蓄水绿化屋面去除雨水中污染物的效果进行了研究,结果表明,城市蓄水绿化屋面对屋面雨水径流中的 SS、COD、TN、TP 有明显的去除效果,经过城市蓄水绿化屋面处理后的径流雨水水质能够达到《城市污水再生利用城市杂用水水质》(GB/T18920 - 2002)的要求^[10]。

2.1.2 道路初期雨水径流污染治理。城市道路径流污染的控制是城市地表径流污染控制的重要组成部分。随着城市的快速发展和人类交通活动的频繁,作为交通工具的机动车辆数量迅速增加。由于城市道路为不透水地表,致使地表径流污染严重。20 世纪 70 年代,美国便开始了城市道路路面径流污染特征及防治的对策研究,西方国家紧跟其后,而我国在这方面开展的研究相对较少。因此,作为城市初期雨水径流污染最严重的道路径流,开展其污染控制研究至关重要。

靳军涛等设计一种能快速处理城市道路初期雨水的工艺,该工艺主要包括城市初雨的收集储存与旋流过滤两个过程。结果表明,该工艺技术对城市初期雨水中的污染物有较高的去除率,有效控制了城市道路初期雨水地表径流污

染^[11]。中新天津生态城道路雨水收集利用系统采用在机动车道与非机动车道之间设置隔离带,隔离带内设置雨水渗透滞留沟,沟内设置收水井,最终经人工湿地处理后排入河道。该系统能有效分离机动车道径流雨水中的污染物质,大幅降低初期雨水对环境及水体的污染^[12]。NE SisKiyou“绿色街道”项目是美国波兰特市针对城市道路初期雨水径流污染治理的一个成功案例,其将一部分街道上的停车区域改建成种植区,栽种多种植物,形成一个集雨水收集、滞留、渗透等功能于一体的生态处理系统,并营造出自然优美的街道景致^[13]。北京奥林匹克公园道路雨水径流污染处理系统是我国地表径流污染治理的成功典范,其充分利用下垫面的透水特性对道路雨水径流进行有效入渗和滞留^[14]。德国将机动车道及街道雨水口处设置径流收集系统,用来拦截雨水径流所携带的污染物,并直接送至污水处理厂处理。高速公路所收集的雨水排入大型调蓄水池或进入修建的雨水处理系统处理后排放^[15]。

2.1.3 城市新区低影响开发技术。低影响开发技术是指基于模拟自然水文条件原理采用源控制理念来实现雨水控制和利用的一种雨水管理办法^[16]。该技术的基本原理是在源头控制初期雨水经渗透、滞留等措施来减少雨水径流的产生,以期达到控制径流污染、消减洪峰及减少径流量的目的,从而使区域开发后的水文特性与开发前保持一致,尽可能地减少开发对环境带来的影响。

美国作为低影响开发技术起源的国家,经过近 30 年的发展,已经进入系统化、规范化的应用阶段,并将低冲击开发模式列为可持续发展技术的核心技术之一,美国许多州县都制订了与低影响开发相关的计划^[17],在欧洲其他国家低影响开发技术也得到很好的应用。在德国的区域开发设计中采纳该理念,在新西兰低影响开发与传统城市设计与开发结合,形成低影响城市设计与开发的理论与方法,在英国,低影响开发思想逐步应用于传统的城市排水系统,形成可持续城市排水系统的理论与方法。

我国近年来在工程实践方面随着生态文明和低碳城市理念的不断推行,越来越多的城市开始应用低影响开发技术于城市建设中。其中,既涵盖城市尺度层面上的雨水规划建设,例如北京昌平未来科技城、深圳光明新区等城市新建城区,也有大型居住区层面上的雨水收集规划,例如天津东湖万科生态住宅区,还有公共空间层面上的雨水回收利用设计,如上海世博园、天津桥园等大型公园,更有单体绿色建筑层面上的雨水收集设计,例如深圳万科中心、卧龙中国保护大熊猫研究中心、上海虹桥机场等著名建筑^[18]。

随着低影响开发技术在国内的不断应用和推广,仍存在着许多不足之处:①相关政策、法规不健全,缺乏相应设计规范和标准。该技术虽然在国内迅速发展,但工程师和设计师们在实际运用过程中仍感陌生,没有相应的规范和标准,导致较多低影响开发项目在实际应用过程中遇到很大困难,仅靠经验来完成。因此,还需从政策法规层面进行完善和推广。②当前市政设施不能紧密衔接,以致原有雨水管道未得

到充分利用。③低影响开发技术目前的侧重点仍以单体建筑为主,与城市整体规划等大尺度的布局结合较弱。④低影响开发技术研究对象主要是新规划建设用地和土地利用类型单一的区域,对已建成区域和土地利用类型比较丰富的区域研究较少。

2.2 末端治理

2.2.1 利用河湖原位强化处理。

利用河湖水体自净能力原位处理雨水。河湖是一个开放的水环境,由于大部分河湖水生动植物的缺乏,河湖水体的自净能力非常低下,雨水把大量的有机污染物及泥沙带入水中,加之水体的自然蒸发,使得水体中 N、P 等污染物不断累积。长此以往,河湖中堆积大量有机污泥,水体透明度下降,溶解氧降低,水体水质恶化。因此,我国目前所采取的传统河湖水体治理方法^[19-20],污染容易复发,维持时间短,往往需要重复治理,耗资巨大,是治标不治本的短期治理措施。

2.2.2 就地分散处理。

在雨水排口附近分散处理主要是人工湿地法,人工湿地与城市生态建设相适应,在城市建设人工湿地对进入河道的初期雨水进行处理,具有明显的效果。有研究表明^[21],在某河道出口处建设人工湿地处理河渠污水,处理效果稳定。但技术局限于特定区域,限制了其使用范围。

2.2.3 雨水排口截留集中处理。

通过在雨水排口设置雨水截流井,利用雨水管道系统自身的调蓄容量^[22-23],将雨水进行收集,待雨季过后进入污水处理厂处理。此法首先要充分考虑雨水管道系统自身的调蓄容量,其次,收集的初期雨水是否增加污水处理厂的处理负荷,对正常的污水处理效果有无影响。将初期雨水经截流井集中收集至雨水调蓄池和净化处理设施,雨水经处理清洁后排入就近河流或湖泊,这种方法是将初期雨水作为单一的处理对象,只需就地建立调蓄池和独立的雨水净化设施,方法简单,可操作性较大,处理效果稳定,是目前初期雨水末端治理方法的新方向。

3 合肥某新区城市初期雨水治理案例

国外初期雨水治理大多针对合流制排水体系。当前,初期雨水的治理在国内尚处于起步阶段,上海、北京等地的工程实践也是针对合流制排水体制。该新区的排水体系采用完全的雨污分流,该体制下的初期雨水收集、调蓄和处理与合流制存在较大的差异性,是市政建设的新课题。

3.1 技术方法

针对新区内某河道沿河雨水排口,通过排口改造和设置截流井,对初期雨水进行截留;沿河铺设截留管,对各排口截留的初期雨水进行统一收集;利用沿河沟塘资源,建设 2 万 m³ 湿地型调蓄池,对初期雨水实施生态调蓄;调蓄池配套建设日处理规模为 5 000 m³ 的成套化硅藻土除磷除藻设施,对初期雨水进行处理净化后排入河道。

3.2 初期雨水截留水量

构建河道雨污分流排水体系的 InfoWorks CS 模型,计算各排口的初期雨水截留水量。打破传统水文计算条件,截留参数采用综合设计频率下,以总磷浓度进行控制,为截留管道及调蓄池的设计提供依据。

3.3 效益分析

所采用的硅藻土除磷控藻技术较传统污水

处理工艺具有生态安全性高、磷去除率高、建造及运营费用低、管护要求低等技术经济优势。经测算,年削减 TP、COD 入河量 1.0 ~ 1.5 t、140 ~ 210 t,有效缓解初期雨水对河流水质的影响。同时,因地制宜,保护性利用河道沿河沟塘资源,建设湿地型调蓄池,对初期雨水实施生态调蓄,与周边景观相协调,将成为环保宣教的人文景观,为沿湖城市初期雨水治理提供生态型技术方案和经验。

4 结论与建议

雨水是十分宝贵的水资源,加强对初期雨水的综合处理和利用,对降低低流污染、补充河道清洁水源、缓解城市水资源紧张和改善城市环境具有重要的现实意义。结合当前初期雨水污染及治理问题,笔者主要分析了城市初期雨水径流污染来源及特点,阐述了初期雨水污染控制技术的应用现状,对比分析了初期雨水各种治理方法的优缺点,提出并探讨初期雨水截留收集、集中处理的新方法,得出该方法简单,可操作性较大,处理效果稳定,并以合肥市某新区城市初期雨水治理案例进一步验证了该方法在实际应用中的可行性,为城市新区初期雨水治理技术研究提供新的思路与方向。由于我国开展城市雨水处理和利用的研究比较晚,仍存在诸多不足,因此建议应从以下几个方面加强城市初期雨水的处理研究:①从区域发展实际情况出发,开展适合区域发展的雨水排水和利用规划研究;②结合区域发展规划,引进并采用低影响开发技术,该技术相对于传统的市政雨水管理技术,其具有很大的优势;③加强雨水综合处理和工程技术研究,实行综合治理,考虑雨水处理的同时更要兼顾城市景观美化的需要,标本兼治,源头污染控制和末端治理都要重视,开发复合处理工艺,特别是原位生态处理工艺的研究运用。

参考文献

- [1] SANSALONE J J, C RISTINA C M. First flush concepts for suspended and dissolved solids in small impervious watersheds [J]. *Journal of Environmental Engineering-ASCE*, 2004, 130(11): 1301-1314.
- [2] 蒋海涛,于丹丹,韩海平. 城市初期雨水径流治理现状及对策 [J]. *水资源保护*, 2009, 25(3): 33-36.
- [3] 王军霞,罗彬,陈敏敏,等. 城市面源污染特征及排放负荷研究——以内江市为例 [J]. *生态环境学报*, 2014, 23(1): 151-156.
- [4] 胡文力. 浅析初期雨水水质及弃水量 [J]. *山西建筑*, 2011, 37(25): 129-130.
- [5] 申丽勤,车伍,李海燕,等. 我国城市道路雨水径流污染状况及控制措施 [J]. *中国给水排水*, 2009, 25(4): 23-28.
- [6] 洪忠. 城市初期雨水收集与处理方案研究 [J]. *中国农村水利水电*, 2010(6): 41-43.
- [7] 邓志光,吴宗义,蒋卫列. 城市初期雨水的处理技术路线初探 [J]. *中国给水排水*, 2009, 25(10): 11-14.
- [8] TAKAHASHI M. Guidelines for environmental enhancement in Japan [J]. *Water Sci Technol*, 1991, 24(9): 133-142.
- [9] 车武,欧岚,刘红,等. 屋面雨水土壤层渗透净化研究 [J]. *给水排水*, 2001, 27(9): 38-41.
- [10] 周赛军,任伯帆,邓仁建. 蓄水绿化屋面对雨水径流中污染物的去除效果 [J]. *中国给水排水*, 2010, 26(5): 38-41.
- [11] 靳军涛,管运涛,陶霞,等. 城市道路雨水初期径流快速处理工艺设计 [J]. *中国给水排水*, 2011, 27(22): 72-75.
- [12] 路军. 城市道路雨水利用及初期雨水分离方案初探 [J]. *环境保护工程*, 2011, 29(2): 103-105.
- [13] CAMPBELL C S, OGDEN M. Constructed wetlands in the sustainable landscape [M]. New York: John Wiley & Sons, Inc, 1999.
- [14] 赵飞,张书函,李文忠,等. 北京奥林匹克公园中心区雨水利用总体思路 [J]. *给水排水*, 2008, 34(10): 91-94.

度,降低抽吸危害。

此外,研究者们可以从以下几个方面积极拓宽新型保润剂开发的研究范围:着眼于具保湿、防潮、增香、感官改善、营养等多重效果复合保润剂的开发;利用先进的提取、纯化、发酵酶解、精炼等技术并有针对性的对天然提取物进行改性,开发和获得具有应用前景的新型保润剂;对多种成分、不同种类天然提取物进行综合配方设计获得复方型新型保润剂;开发微生物源新型烟草保润剂;开展天然物质在烟草技术领域综合利用研究,减少加工过程中废弃物的产生,降低生产成本。通过上述几个方面的继续深入研究,开发更具广阔发展空间和良好应用前景的新型烟草保润剂。

参考文献

- [1] 王华. 烟保润剂浅析[J]. 轻工科技, 2013(4): 5-6.
- [2] 崔海滨, 王学娟, 赵世兴, 等. 保润剂 SLT 的开发及其在卷烟中的应用[J]. 中国烟草学报, 2011(17): 38-42.
- [3] 尚善斋, 雷萍, 王昆森, 等. 卷烟保润技术研究进展[J]. 应用化工, 2014(3): 535-538.
- [4] 杨金生. 甘草制品在卷烟中的作用[J]. 烟草科技, 1988(6): 32-33.
- [5] KARMINES E L, LEMUS R, GAWORSKI C L. Toxicologic evaluation of licorice extract as a cigarette ingredient [J]. Food and Chemical Toxicology, 2005, 43(9): 1303-1322.
- [6] 仇永全, 金其荣. 麦芽低聚糖醇的合成、性能及应用[J]. 日用化学工业, 1994(5): 53-56.
- [7] 黄强. 固定化酶反应器制备新型烟草保润剂的研究[J]. 郑州工业大学学报, 1999(12): 50-52.
- [8] 阮晓明. 新型天然保润剂 PDS 在卷烟中的应用[J]. 烟草科技, 2006(9): 8-10.
- [9] 陈建军, 李奇, 安毅, 等. 双向保润剂的性能及其在卷烟中应用[J]. 中国烟草学报, 2008, 12(14): 21-24.
- [10] 蒋美红, 番绍军, 念小魁, 等. 一种保润增香添加剂及其制备方法: 中国, CN101171976A [P]. 2008
- [11] 黄龙, 彤霖, 吴昭, 等. 牛蒡根在烟草中综合利用的方法: 中国, CN101999751A [P]. 2011
- [12] 郭国宁, 严恒, 蔡冰, 等. KSAP-T 的保润性能及其应用研究[J]. 安徽农业科学, 2010(12): 6569-6572.
- [13] 王明峰, 朱保昆, 者为, 等. 多糖类新型保润剂 BR-22 的开发及应用研究[J]. 食品工业, 2010(5): 49-51.
- [14] 刘洋, 刘珊, 赵明月, 等. 仙人掌多糖的提取方法及其在卷烟中的应用: 中国, CN101704900A [P]. 2010.
- [15] 黄艳, 赵世兴, 王学娟, 等. 复方多糖保润剂的制备及其在卷烟中的应用: 中国, CN102217796 [P]. 2011.
- [16] 吴彦, 黄泰松, 邹克兴, 等. 一种用于卷烟的保润增香添加剂及其制备方法和应用: 中国, CN102697170 [P]. 2012.
- [17] 伍锦鸣, 卓浩廉. 淀粉改性烟草保润剂的制备[J]. 现代食品科技, 2012(1): 77-81.
- [18] 万敏, 曹毅, 庄亚东, 等. 一种烟用红毛丹增香保润剂的制备方法: 中国, CN102578704 [P]. 2012.
- [19] 迟建国. 天然烟用保润剂的保润性能及应用研究[J]. 安徽农业科学, 2013(10): 4599-4601.
- [20] 陈芝飞, 孙志涛, 郝辉, 等. 鸡蛋花多糖提取纯化方法及其作为烟草保润剂的应用: 中国, CN104031168 [P]. 2014.
- [21] 陈芝飞, 孙志涛, 芦昶彤, 等. 葛花多糖提取纯化方法及其作为烟草保润剂的应用: 中国, CN104031167 [P]. 2014.
- [22] 陈芝飞, 王文领, 孙志涛, 等. 灰树花多糖提取纯化方法及其作为烟草保润剂的应用: 中国, CN104031165 [P]. 2014.
- [23] 陈芝飞, 孙志涛, 芦昶彤, 等. 无花果多糖提取纯化方法及其作为烟草保润剂的应用: 中国, CN104031164 [P]. 2014.
- [24] 陈芝飞, 芦昶彤, 孙志涛, 等. 沙棘多糖提取纯化方法及其作为烟草保润剂的应用: 中国, CN104031163 [P]. 2014.
- [25] 陈芝飞, 芦昶彤, 孙志涛, 等. 麦冬多糖提取纯化方法及其作为烟草保润剂的应用: 中国, CN104031162 [P]. 2014.
- [26] 陈芝飞, 孙志涛, 芦昶彤, 等. 金钱草多糖提取纯化方法及其作为烟草保润剂的应用: 中国, CN104031161 [P]. 2014.
- [27] 陈芝飞, 孙志涛, 王文领, 等. 银杏多糖提取纯化方法及其作为烟草保润剂的应用: 中国, CN104031160 [P]. 2014.
- [28] 陈芝飞, 马宇平, 芦昶彤, 等. 大枣多糖提取纯化方法及其作为烟草保润剂的应用: 中国, CN103965370 [P]. 2014.
- [29] 陈芝飞, 马宇平, 芦昶彤, 等. 当归多糖提取纯化方法及其作为烟草保润剂的应用: 中国, CN103980381 [P]. 2014.
- [30] 陈芝飞, 马宇平, 芦昶彤, 等. 益智仁多糖提取纯化方法及其作为烟草保润剂的应用: 中国, CN103980380 [P]. 2014.
- [31] 芦昶彤, 陈芝飞, 孙志涛, 等. 枸杞多糖提取纯化方法及其作为烟草保润剂的应用: 中国, CN103980377 [P]. 2014.
- [32] 陈芝飞, 孙志涛, 郝辉, 等. 茯苓多糖提取纯化方法及其作为烟草保润剂的应用: 中国, CN103980376 [P]. 2014.
- [33] 陈芝飞, 马宇平, 郝辉, 等. 黄芪多糖提取纯化方法及其作为烟草保润剂的应用: 中国, CN103980375 [P]. 2014.
- [34] 陈芝飞, 孙志涛, 芦昶彤, 等. 巴戟天多糖提取纯化方法及其作为烟草保润剂的应用: 中国, CN103980374 [P]. 2014.
- [35] 叶超凡, 邵平, 孙培龙. 烟用天然植物增香保润技术的研究进展[J]. 农产品加工·学刊, 2012(3): 33-38.
- [36] 李鹏飞, 刘海峰, 王建新. 壳聚糖酰胺衍生物保湿性能研究[J]. 香精香料化妆品, 2004(1): 24-26.
- [37] 黎洪利, 何蓉, 文鹏, 等. 蜡酯类烟草保润剂及其制备方法: 中国, CN101658323 [P]. 2010.
- [38] 刘邵华, 毛多斌, 白家峰, 等. 一种新型烟草保润剂及其应用: 中国, CN103859575 [P]. 2014.
- [39] 徐若飞, 邓国宾, 李祖红, 等. 天然菌类香菇烟用香原料的开发及应用[J]. 精细化工, 2006(11): 1089-1093.
- [40] 安康, 巫文政, 毛宁. 虫草胞外多糖延缓果蝇衰老暨减轻香烟毒害作用的研究[J]. 中国老年学杂志, 2010(1): 232-233.
- [41] 陈芝飞, 王文领, 孙志涛, 等. 银耳多糖提取纯化方法及其作为烟草保润剂的应用: 中国, CN104031166 [P]. 2014.
- [42] 陈芝飞, 刘强, 芦昶彤, 等. 金针菇多糖提取纯化方法及其作为烟草保润剂的应用: 中国, CN104045731 [P]. 2014.
- [43] 陈芝飞, 郝辉, 孙志涛, 等. 灵芝多糖提取纯化方法及其作为烟草保润剂的应用: 中国, CN103965369 [P]. 2014.
- [44] 陈芝飞, 芦昶彤, 孙志涛, 等. 姬松茸多糖提取纯化方法及其作为烟草保润剂的应用: 中国, CN103980378 [P]. 2014.
- [45] 张玲, 张天栋, 李赓, 等. 新型保润剂 CPL-NR 在卷烟中的应用研究[J]. 现代农业科技, 2011(24): 16-19.
- [46] 杨君, 黄芳芳, 叶超凡, 等. 铜藻多糖的提取工艺优化及其保润性能[J]. 烟草化学, 2013(4): 37-40.
- [47] 戴建国. 新型保润剂 NCS 在卷烟加料中的应用[J]. 烟草科技, 1996(4): 28-29.
- [48] 郭俊成, 吴达, 程晓蕾, 等. 保润剂对烟草吸湿特性的影响研究[J]. 中国烟草学报, 2013(4): 22-27.
- [49] 郭俊成, 刘百战, 程晓蕾, 等. 保润剂对烟草叶表面微结构的影响[J]. 中国烟草科学, 2014(35): 67-71.
- [50] 程艳, 严恒, 蔡冰, 等. 魔芋葡甘聚糖衍生物在烟草保润中的应用研究[J]. 安徽农业大学学报, 2001, 38(1): 146-150.
- [51] YAN H. Mechanism of lowering water activity of konjac glucomannan and its derivatives [J]. Food Hydrocolloids, 2012, 26(2): 83-88.
- [52] 莫明和. 一种茶树菇多糖及其应用: 中国, CN102952833 [P]. 2013
- [53] 邢占广. 茶树菇多糖作为烟草保润剂的研究[D]. 昆明: 云南大学, 2014.

(上接第 253 页)

- [15] 李俊奇, 车伍. 德国城市雨水利用技术考察分析[J]. 城市环境与城市生态, 2002, 15(1): 47-49.
- [16] 王建龙, 车伍, 易红星. 基于低影响开发的雨水管理模型研究及进展[J]. 中国给水排水, 2010, 26(18): 1-5.
- [17] 俞露. 低冲击开发模式综述[J]. 城市建设, 2010(6): 180.
- [18] 谭琪, 丁芹. 低影响开发技术理论综述及研究进展[J]. 中国园艺文摘, 2014(3): 54-56.
- [19] 贺锋, 吴振斌. 水生植物在污水处理和水质改善中的应用[J]. 植物学报, 2003, 20(6): 641-647.
- [20] 李燕, 王丽卿. 大型水生植物的生态功能及其应用[J]. 环境污染与防治, 2007(5): 1-9.
- [21] 邓志光, 吴宗义, 蒋卫列. 城市初期雨水的处理技术路线初探[J]. 中国给水排水, 2009, 25(10): 11-14.
- [22] 朱炜. 雨水调蓄+人工湿地工艺在初期雨水处理中的应用[J]. 科技视界, 2013(17): 133-135.
- [23] 卢金锁, 黄廷林, 王俊萍, 等. 设置调蓄池的雨水管道设计计算[J]. 中国给水排水, 2008, 24(14): 41-43.