

# 人工湿地净化高速公路污染的研究

李红艳<sup>2</sup>, 章光新<sup>\*</sup>, 李绪谦, 程东祥<sup>4</sup> (1. 中国科学院东北地理与农业生态研究所湿地生态与环境重点实验室, 吉林长春130012; 2. 中国科学院研究生院, 北京100039; 3. 吉林大学, 吉林长春130061; 4. 南京交通职业技术学院, 江苏南京211188)

**摘要** 针对高速公路周边环境污染问题, 提出用人工湿地来解决高速公路污染的观点。对人工湿地处理高速公路引起的大气污染、雨水径流污染、噪声污染以及高速公路服务区污染的机理作了详细的阐述, 并给出了这种人工湿地的设计原则和设计方法。指出人工湿地在高速公路建设中的推广既能美化环境, 又能实现人与自然的和谐共处。

**关键词** 人工湿地; 高速公路; 污染

中图分类号 X171.5 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2009)15-07164-03

## Research on the Purification of Superhighway Pollution by Artificial Wetlands

LI Hongyan et al (Key Laboratory of Wetland Ecology and Environment, Northeast Institute of Geography and Agricultural Ecology, Chinese Academy of Sciences, Changchun, Jilin 130012)

**Abstract** Aiming at the pollution problem of the surrounding environment of superhighway, the view of using artificial wetlands to solve the pollution of superhighway was put forward. The mechanism of atmospheric pollution, rain runoff pollution, noise pollution on the superhighway caused by artificial wetlands and the pollution in expressway service area were analyzed in detail. The design principles and methods of this kind of artificial wetland were given. It was pointed out that the popularization of artificial wetlands could not only beautify the environment, but it could also realize the harmonious coexistence of human being and nature.

**Key words** Artificial wetlands; Superhighway; Pollution

近年来, 高速公路在国民经济综合运输体系中的位置越来越重要。随着高速公路的建设和发展, 公路对周边环境的污染问题也大量凸现。交通运输对两侧农田植物造成的污染日益引起人们的重视。交通运输带来了尾气排放、机动车零部件磨损、燃油和润滑油的泄漏及运输货物产生的扬尘污染。这些污染, 有的通过地表径流污染土壤, 再通过植物吸收在植物体内富集; 有的则直接通过大气尘降落到植物表面, 污染植物的表皮, 通过表皮吸收到植物内部, 给植物特别是农作物的品质安全带来隐患<sup>[1]</sup>。此外, 高速公路的交通噪声还会对人的身体健康及其周边的经济发展造成严重损害<sup>[2]</sup>。目前, 国内还没有综合解决高速公路污染物的特殊方法, 因此, 研究如何降解高速公路污染物的特殊方法, 因此, 研究如何降解高速公路污染物的特殊方法, 旨在为高速公路周边环境的改善提供理论依据。

## 1 湿地和人工湿地概述

**1.1 湿地** 湿地的定义可分为狭义的和广义的2种类型。狭义的湿地通常指陆地和水域之间的过渡地带。由于土地浸泡在水中, 因此通常有水生、湿生植物生长, 这种定义容易使人们认为湿地只包括具有挺水植物的水体部分, 而不包括大面积的开阔水域。广义的湿地把过渡地及其陆地上的连续水体看成是一个整体的生态系统, 其中最典型的是《湿地公约》中的湿地定义, 即天然或人工、流动或静止、淡水或咸水的各种沼泽地、泥炭地和水域地带, 包括部分浅海水域都是湿地。这个定义包括了海岸地带的部分浅海水域, 滩、红

树林、河口以及内陆自然的各种河流、湖泊、沼泽和人工的稻田、水产养殖场等类型<sup>[4]</sup>。

**1.2 人工湿地** 人工湿地是模拟自然湿地的人工生态系统, 在一定长宽比和底面坡度的洼地上用土壤和填料(如砾石等)混合组成填料床, 并有选择地在床体表面植入植物, 从而形成一个独特的动植物生态体系。当污水在床体的填料缝隙中流动或在床体表面流动时, 经砂石、土壤过滤, 植物富集吸收, 植物根际微生物活动等多种作用, 其中的污染物质和营养物质被系统吸收、转化或分解, 从而使水质得到净化<sup>[5]</sup>。人工湿地因水流方式的差异大致可分为3类<sup>[6]</sup>。

(1) 表面流湿地(Surface Flow Wetlands)。是一种污水从湿地表面漫流而过的长方形构筑物, 结构简单, 工程造价低; 但由于污水在填料表面漫流, 易滋生蚊蝇, 对周围环境会产生不良影响, 而且其处理效率较低。

(2) 潜流湿地(Subsurface Flow Wetlands)。污水在填料缝隙之间渗流, 可充分利用填料表面及植物根系上生物膜及其他作用处理污水, 出水水质好。由于水平面在覆盖土层或细砂层以下, 卫生条件较好, 故被广泛采用。潜流湿地一般设计成有一定底面坡降的、长宽比大于3且长大于20 m的构筑物, 污水流程较长, 有利于硝化和反硝化作用的发生, 脱氮效果较好。但是难以实现均匀布水, 且占地面积也较大。

(3) 垂流湿地(Vertical Flow Wetlands)。污水沿垂直方向流动, 氧供应能力较强, 硝化作用较充分, 占地面积较小, 可实现较大的水力负荷长期运行。由于垂流湿地可方便地采用工程手段来改善系统的供氧状况, 提高布水均匀性, 营造更加有利于硝化和反硝化发生的系统环境, 故越来越受到人们的重视。

## 2 人工湿地处理高速公路环境污染物

### 2.1 人工湿地处理高速公路造成的大气污染

**2.1.1 高速公路的大气污染源。**高速公路对大气环境的影响主要是指公路在建设当中产生的扬尘和在道路通车以后车辆排放的污染<sup>[7]</sup>。

基金项目 松嫩平原水资源调配的生态环境效应与安全调控(KZCX2-YW06-2)。

作者简介 李红艳(1982-), 女, 辽宁辽阳人, 博士研究生, 研究方向: 水文水资源与生态环境。\* 通讯作者, 研究员, 博士。

收稿日期 2009-02-20

在公路施工过程中对环境空气产生的污染主要有：公路建筑材料中的石灰、水泥、粉煤灰等含有大量的粉尘，在运输和施工过程中如果不采取适当措施，会产生大量的扬尘，对周围空气造成污染；施工中所使用的便道，特别是在干旱季节，经施工车辆多次碾压后，路面泥土变成粉末状，也会造成扬尘，对周围空气造成污染；沥青在熬拌过程中会产生含有苯类、酚类、萘类等对环境有害的沥青烟。

在公路运营期产生的大气污染则主要来自汽车的尾气。公路运营期间对空气的污染主要来自机动车排放的污染物。按重量计，大气污染物中的43%来自于机动车，因此机动车污染也是大气污染的主要来源。如汽油不完全燃烧会产生CO，可破坏人体的血红蛋白，使人头昏甚至昏迷；汽车燃烧后的产物还包括HC、NO<sub>x</sub>、SO<sub>2</sub>、CO<sub>2</sub>、含Pb颗粒物等污染物，这些污染物有的是致癌物质，对人体有严重危害；有的可形成酸雨，对农作物生长造成破坏。此外，HC和NO<sub>x</sub>在阳光照射下，会形成有NO<sub>2</sub>和NO<sub>3</sub>的光化学烟雾，直接危害人体健康。其他有害物质会破坏地球生态平衡，如破坏臭氧层，导致非正常的飓风、洪水、高温等天气的出现及皮肤癌的产生。

**2.1.2 人工湿地处理高速公路大气污染机理。**人工湿地降解高速公路中的大气污染物，主要依靠的是人工培养的湿地植物修复，有关植物修复大气污染物的方法主要有以下几种<sup>[8]</sup>。

(1) 植物体表吸附。植物的枝干表面可以吸附吸收气体分子、固体颗粒。如O<sub>3</sub>、SO<sub>2</sub>等可以被吸附在植物叶面、枝干上的灰尘中，尤其是对污染物不敏感的植物均可吸附大量污染物。Onasa等提出了具有超吸收和代谢大气污染物能力的天然或转基因同化植物<sup>[9]</sup>，这种植物可以将大气污染物作为营养物质源高效吸收、同化，促进自身生长，减轻大气污染。

(2) 叶内积累。植物叶面的皮孔可以直接吸收并储存有害气体，尤其是当湿度增大时，植物对可溶性气体的吸收量也大大增加。据报道，大气中约44%的多环芳香烃(PAHs)被植物吸收。Corneji等发现，植物可吸收空气中的苯、三氯乙烯和甲苯<sup>[10]</sup>。因此，植物的形态生理等不同，其对污染物的吸收量不尽相同。

(3) 代谢降解。植物可以通过代谢过程降解污染物或通过酶等物质分解体内的污染物。植物含有代谢异生素的专性同功酶及相应基因，以束缚保存代谢产物，如过氧化物酶、脱卤酶、硝基还原酶等可直接降解大气中的有机污染物。另据Gordan同位素标记试验证明，植物中的酶可以降解三氯乙烯，最终形成二氧化碳和氯气。

(4) 植物转化和固化。植物通过其生理过程可将污染物转化为其他形态以降低对自身的毒性，如将空气中氮氧化物转化为氮气或植物体内的氮素；利用专性植物体内的超氧化物歧化酶、过氧化物酶等吸收并转化臭氧<sup>[10]</sup>。植物还能吸收有害物质并同化到自身体内，如大气有害物质中的硫、碳、氮等都是植物生命活动所需的营养元素，植物通过气孔将二氧化碳、二氧化硫等吸入体内，参与代谢，最终以有机物的形式储存在氨基酸和蛋白质中。

## 2.2 人工湿地处理高速公路雨水径流造成的地表水污染

### 2.2.1 高速公路雨水径流污染源。路面径流中主要的污染

物成分为悬浮固体(SS)、COD、BOD，重金属Pb、Cr、Cu、Ni等以及PAHs、油和脂等。高速公路雨水径流污染物主要来自于流动污染源(以机动车辆为主)和高速公路被剥损的沥青<sup>[11]</sup>。

造成高速公路降雨径流污染的污染源主要为流动污染源，以机动车辆为主。机动车辆在行进中排放的污染物质主要有磨损的轮胎碎屑、路面材料颗粒、汽车尾气排放物、发动机油料和所运送物资的抛撒、刹车连接装置产生的颗粒物等，此外还有排入大气中污染物颗粒的干、湿沉降等。1995~1996年间对美国北卡罗来纳州市3条分别位于市区、郊区及农村地区的公路路面径流的研究表明，路面输出的污染物中20%的总悬浮固体(TSS)、70%~90%的氮和10%~50%的其他污染物来自于大气中污染物的干、湿沉降<sup>[12]</sup>。除了流动污染源，筑路过程中大量使用的沥青和重金属含量较高的粉煤灰，在雨水长期的淋溶下，也会形成固定污染源。这些污染物质随径流进入水体后对水体水质的影响很大，甚至成为影响水质的主导因素，导致水的TSS、COD、BOD、TP、水温和浊度等发生变化，一些有毒有机物如PAHs及重金属会对水生生态系统产生严重的影响，严重的可能产生潜在的二次污染等<sup>[11]</sup>。

### 2.2.2 人工湿地处理高速公路雨水径流污染物的机理。

(1) 去除有机物机理。人工湿地对有机物有较强的去除能力。不溶性有机物通过湿地的沉淀、过滤可以很快从污水中截留下来，被微生物和原生动物及后生动物加以利用；可溶性有机物则通过生物膜的吸附及微生物的代谢过程被去除。人工湿地成熟后，填料表面和植物根部生长了大量的微生物形成生物膜，污水流经时，SS被填料及根系阻挡截留，有机物通过生物膜的吸附及同化作用而得以去除。

(2) 脱氮机理。人工湿地除氮主要是依靠微生物的硝化和反硝化作用来实现。此外，水生植物的吸收和氨的挥发也可以去除污水中的部分氮。人工湿地是一个生态污水处理系统，具有较强的脱氮能力，脱氮机理包括：植物和其他生物体的吸收、氨化作用、硝化和反硝化作用、氨气挥发、氨离子交换或填料吸附。其中硝化和反硝化是人工湿地污水处理中氮去除的主要机理<sup>[6]</sup>。

(3) 除磷机理。人工湿地污水中磷的去除是依靠土壤、填料和湿地中沉积物吸附、微生物和植物的吸收、气态磷(PHA)挥发等来实现的，其中土壤、填料和沉积物吸附是人工湿地磷去除的主要因素。土壤和填料是湿地的基质与载体，其去污程来自离子交换、专性与非专性吸附、螯合作用、沉降反应等过程。实际上，土壤对径流污染物的重金属和P的净化主要就是通过上述反应实现的。而植物根系的吸收、滞留与腐烂，土体内无机与有机成分对金属的强烈固持很可能是土壤有强大聚积能力的原因<sup>[13]</sup>。

## 2.3 人工湿地净化高速公路的噪声污染

**2.3.1 高速公路的噪声污染源。**运营期的噪声污染来自于机动车，主要由发动机噪声、鸣笛噪音、风扇噪声、进气噪声、排气噪声组成，其对公路附近的学校、居民区、厂矿企业、行政事业单位等造成影响。在公路上行驶的机动车辆噪声源，为非稳态源。高速公路营运后，车辆的发动机、冷却系统、传动系统等部件均会产生噪声，另外，行驶中引起的气流湍动、

排气系统、轮胎与路面的摩擦等也会产生噪声。由于公路路面平整度等原因而使高速行驶的汽车产生整车噪声。营运期交通噪声的影响是长久的,且随着营运时间的推进,营运车辆也将逐步增长,从而其噪声影响也将越来越大,当车流量达到每日5 000 辆(折合成标准小客车)以上时,其影响范围较大。对于不同等级的公路而言,由于路况不同,车速不同,因此在相同车流量时,其影响范围也有所不同,高速公路由于路况好、车速快且车流量大,因此其影响范围较大<sup>[7]</sup>。

**2.3.2 人工湿地净化高速公路噪声的机理。**目前,解决高速公路噪声的方法主要是公路两侧设置声障屏,高速公路声障屏在减轻噪声污染的同时,也会带来不少负面影响,在公路旁竖立起一堵高大而形式单调的墙,会给人们造成心理上的压抑感,阻断汽车司乘人员的视线,影响行车安全<sup>[2]</sup>。为克服这些缺点,可采取绿色声障墙技术(简称绿墙技术),即把声障屏建在湿地中,同时在声障屏前后种植一些攀爬能力强的植物,或者在屏前后栽种一些适合在湿地里面生长的树,让司机只看到树木花草,感觉不到其他屏障的存在。也可以利用特殊的可以在湿地生长的树木,制造视觉能够穿透的绿色特殊“声障林”。这样既满足了声障的要求,又可解决驾驶员视觉疲劳的问题。湿地中的树木等植物能够降低噪音,其原因在于树木等能够将投射到植物上的噪声发射到各个方向,如叶子的轻微振动就能使得噪声能量消耗而减弱。

#### 2.4 人工湿地净化高速公路服务区污水

**2.4.1 高速公路服务区的污染源。**高速公路服务区污水的污染源主要来自于灰水与黑水。灰水就是除粪便水以外的生活污水,包括洗浴水、厨房水、车辆冲洗水等洗涤用水。黑水就是包含粪便水的生活污水。灰水中的污染物浓度较低,COD、BOD<sub>5</sub>、TSS 一般分别为80~400、30~200、20~200 mg/L<sup>[14]</sup>。与其他污水相比,高速公路服务区灰水和黑水有其自身的特点,主要表现在:污染点多,处理规模小。一般情况下,单个处理系统的处理水量在50~300 m<sup>3</sup>/d。服务区餐饮废水在服务区污水中占较大比重,同时停车区、广场及加油站有车辆冲洗污水,污水中含油脂类污染物。服务区的污水以公厕和清洗为主,污水中氨、氮、磷浓度较高。污水不均匀系数大,水力冲击负荷大。

调查发现,目前我国高速公路服务区污水处理存在以下几方面问题:部分早期建设的高速公路没有设置污水处理装置或只设置了传统的化粪池处理污水,而化粪池处理的效果不理想;污水处理设备的设计和选择难以确定;污水处理设施运行费用较高,主要是耗电量大,电费高,导致许多污水处理设备用不起而闲置<sup>[15]</sup>。人工湿地技术是一种就地污水处理技术,它充分利用土壤中的动物、微生物、植物以及土壤的物理、化学特性将污水净化。由于利用了土壤的自然净化能力,因而具有基建投资低、运转费用少、操作管理简便等优点。同时,还能够利用污水中的水肥资源,将污水处理与绿化相结合,美化和改善区域生态环境。

**2.4.2 人工湿地处理高速公路服务区污染的机理。**人工湿地对高速公路服务区污染的处理过程包括沉积、过滤、生物降解、吸附、硝化和反硝化等作用。去除机理与人工湿地处理雨水径流污染物的机理相似。

### 3 高速公路人工湿地的设计原则和方法

**3.1 设计原则** 人工湿地的设计要遵循因地制宜、低能耗、低投入的原则。具体地说就是人工湿地的设计要因地制宜、合理规划,不拘泥于固定的形状、污染物种类和处理负荷,通过严谨的相关计算进行优化设计。在该基础上,要牢牢掌握低能耗原则,尽可能地减少人为的动力因素,使污染物在湿地的运动过程中只依靠重力和自然界的力量运行。另外,在投入上,可以结合高速公路的建设,尽量不破坏原有的天然湿地,对其进行改造建设,减少耕地占用;在建材使用上,要考虑就近取材,湿地中所用的填料并不拘泥于常规种类,只要具有填料所需相似性质的耐用材料都可以用作填料<sup>[16]</sup>。

湿地植物作为人工湿地系统的核心部分,其选择直接影响高速公路污染物的处理效果。湿地植物选择应遵循以下原则:生命力和生长势强;耐污染能力强;生长周期长,植物可适应季节的变化;安全性好,对当地的生态环境不会构成隐患和威胁;经济价值、文化价值和景观价值较高<sup>[5]</sup>。

**3.2 设计方法** 高速公路人工湿地的设计方法分为2个类型,一是处理高速公路服务区污染物的微型复合垂直流人工湿地;二是沿高速公路两侧的廊道阶梯式人工湿地。廊道式人工湿地将表面流和潜流相结合,呈阶梯状,以廊道沿高速公路为行进路径,以必要的植物,减少湿地占地面积和解决冬季运行问题,适宜于处理高速公路所产生的污染物。

高速公路服务区人工湿地设计:可以采用王凯军等<sup>[14]</sup>设计的改进后复合垂直流人工湿地。该湿地在硝化和反硝化作用方面明显得到增强,采用的技术措施可以为解决传统湿地内氮素去除不彻底问题提供一条技术途径。该复合型垂直流人工湿地同样也适合高速公路服务区生活污水的净化,它对灰水中的有机物和TN具有较好的去除效果,出水水质不仅可以满足生活污水的排放标准,并且相关指标(COD和N元素)还达到了《地表水环境质量标准》(GB3838-2002)类水质要求。这说明采用分散自然处理工艺,不仅可以降低处理生活污水的投资和运行成本,同时结合改水、改厕,微型湿地可以获得良好的出水水质,处理后的水可以直接排入当地的水环境和具有水质功能要求的河流。

高速公路两侧人工湿地设计:可以参考张克强等<sup>[16]</sup>设计的廊道式、潜流和表面流相组合的人工湿地。张克强等把处理农村污水的廊道式湿地分成阶梯状3级,根据低能耗低投入的设计原则,高速公路两侧的廊道式人工湿地也可以设计为3级,前2级基本构造差不多,也呈现阶梯状,第3级有较大区别。

第1级子湿地在整个湿地紧紧靠近公路的边缘,高度可以设计成略低于高速公路的水平路面,便于地表雨水流入。该子湿地可以采用垂直潜流工艺。因为雨水径流原水水质较差,时常带有刺鼻性异味,同时也是蚊虫寄生繁殖的最佳环境,所以采用垂直潜流模式不会将污水暴露在土层以外,从而消除了异味,也抑制了蚊虫卵的寄生。再运用适当的填料、湿地植物和间歇进水的方式,可为该子湿地有效充氧,有利于湿地的有氧呼吸和硝化作用。

目的是使肌纤维蛋白溶解出来,同时均匀混合调味料。首先,将鱼肉擂溃5 min,使鱼肉充分松懈,以便溶解,然后加入2.5%~3.0%的食盐继续擂溃20~30 min。直到光泽出现,鱼肉变成非常黏稠的糊状物,再加入各种添加物擂溃10~15 min,即得高品质的配料鱼糜。

擂溃时间过长易使制品弹性下降,并引起品温升高而导致蛋白质变性,擂溃过程中品温要保持10℃以下;擂溃时间不够,则鱼肉无法形成网状结构。擂溃时要尽量不让空气进入鱼糜,因为鱼糜中空气过多易形成气泡,尤其是熟鱼面生产过程中,加热易膨胀破裂或留下空洞,从而影响制品的外观。

**2.3.7 成型、干燥。**配料鱼糜放置一段时间会自行转变为凝胶,使成型发生困难,为防止这种凝胶劣化发生,鱼糜应在低温下保存,并及时成型<sup>[2]</sup>。首先,利用配料鱼糜的粘性和可塑性制成面团,用压面机压成0.2 cm厚的薄片,再制皮卷、切面。

鄂东鱼面以熟鱼面类为主,制作过程中,先将皮卷蒸熟,烘或晒成六成干,再切成薄圈,切面时要趁不冷不热之际进行,热了容易粘连在一起,太冷了容易断条或切不开,薄圈经烘或晒干即得熟鱼面成品。

在蒸皮卷过程中一般用45℃下1 h和90℃下30 min二段式加热法,使鱼糜缓慢通过50℃以下温区,先让鱼糜充分凝胶化后,再较快通过50~70℃温区,以减少凝胶劣化。干燥时温度不宜超过120℃,以防止过高温对凝胶形成的网状结构造成不良影响。

(上接第7166页)

第2级子湿地可以采用表面流人工湿地模式。位置上要低于第1级子湿地,与第1级子湿地形成阶梯。在第2级表面流人工湿地中,不但可以种植挺水植物,还可以种植沉水植物和浮水植物,尤其是一些藻类。因为藻类生长所需的主要营养物质就是碳、氮和磷的化合物,它能够从生物的角度更有效、更彻底的去氮除磷,弥补了前2级子湿地依靠附着、硝化和反硝化的动力平衡作用来去除氮的不足。同时,在光合作用的条件下,可以为湿地环境增补充足的氧气,增强了系统的好氧处理能力。

第3级子湿地,实际上是广义的湿地,处在高速公路最外侧,可以选择一些四季常青的乔木、灌木以及树木成片密集进行栽种。不仅美化路边环境,还对净化高速公路污染物起到重要作用。

#### 4 结语

人工湿地作为一种仍处在研究之中的高速公路污染处理技术,还存在着湿地植物定义范围窄,植物种类单一、二次污染及季节性限制等需要解决的问题。但总的来看,人工湿地是一项投资少、能耗低且易于操作管理的高速公路污染修复技术,尤其适合在我国现阶段缺少建设资金、缺少高速公路污染处理技术人员的情况下使用。它既能有效解决高速公路汽车尾气、雨水地表径流和噪声引起的污染问题,还能改善国家基础建设的生态观念、美化环境,实现人和自然和谐共处。因此,人工湿地非常适合在高速公路建设中推广。

**2.3.8 包装。**成型后经包装即得成品鱼面。

#### 3 成品质量标准

**3.1 感官指标** 外观:本品呈灰白色,成条均匀。味感:具有鱼肉独特的风味,煮熟后口感柔软滑爽,咬劲足。

**3.2 理化指标** 净重:500 g/袋,公差为±3%,平均每批不低于净重。碘含量:每100 g鱼面含碘140~200 μg。氯化钠含量:1.5%~2.0%。重金属含量:符合国家标准。

**3.3 微生物指标** 无致病菌。

#### 4 小结

(1)本例富碘鱼面制作时采用的海带精粉是全海带的再制品,由于海带中的褐藻胶、粗纤维、海藻多糖的作用,使制品具有面筋度提高,咬劲增加;断条率降低,工效提高;不易混汤,久煮不烂;不易虫蚀,保质期延长等方面的优点。

(2)海带是低热量、中等蛋白含量、高矿物质、呈碱性的天然海藻食品,用它改良鄂东传统鱼面配方,突出了动植物复合食品的特点,在维持体液的酸碱平衡,降低血脂胆固醇及补钙补碘等方面有着明显功效。特别是在我国目前主要利用碘盐补碘,其途径相对单一,加之碘盐中的碘遇热易挥发损失,而海带中碘受烹饪影响小,利用其制品可以有效地拓宽国民的补碘之路,对我国大陆地区完全消除碘缺乏病有着积极作用。

#### 参考文献

- [1] 叶桐封.淡水鱼加工技术[M].北京:农业出版社,1993:145-147.
- [2] 吴汉民,王海洪.几种淡水鱼鱼糜特性的研究[J].食品科学,1999,20(9):15-18.

#### 参考文献

- [1] 甄宏.沈大高速公路旁粮食和水果中重金属污染特征研究[J].气象与环境学报,2008,24(3):101-105.
- [2] 汤波.广西高速公路噪声污染及降噪措施探讨[J].北方环境,2004,29(4):91-93.
- [3] 王志丰,朱洪清.浅谈人工湿地在苏南农村水环境生态治理中的应用[J].江苏水利,2006(5):37-38.
- [4] 陆海霞.浅谈湿地的保护和利用[J].内蒙古林业调查设计,2008,31(4):30-31.
- [5] 吴昊,欧阳锋.人工湿地在西部农村地区对生活污水的应用研究[J].广东农业科学,2008(9):132-134.
- [6] 杨俊,龚琴红.人工湿地在我国农村生活污水治理中的应用[J].环境管理,2007(2):71-73.
- [7] 沈健.高速公路施工营运中环境污染治理研究[J].国外建材科技,2004,25(6):36-39.
- [8] 丁茵,胡海波.城市大气污染与植物修复[J].南京林业大学学报,2005,5(2):84-88.
- [9] OMASA K,SAI H,YOUSSEHANS,et al.Air pollution and plant biotechnology prospects for phytoremediation and phytoremediation[M].Tokyo:Springer-Verlag,2002:383-401.
- [10] CORNEIL J J,MUNOZ F G,MA C Y,et al.Studies on the decoloration of air by plant[J].Ecotoxicology,1999(8):311-320.
- [11] 赵金辉,陈卫.高速公路降雨径流污染特征及其污染控制[J].环境污染治理技术与设备,2006,7(11):66-70.
- [12] WU J S,ALLAN C J.Characterization and pollutant loading estimation for highway runoff[J].Environ Engng,ASCE,1998,124(7):584-592.
- [13] 夏汉平.人工湿地处理污水的机理与效率[J].生态学杂志,2002,21(4):51-59.
- [14] 王凯军,陈世朋,董娜,等.微型复合垂直流人工湿地处理农村灰水试验研究[J].中国给水排水,2008,24(17):40-43.
- [15] 杨斌.高速公路服务区适用污水处理工艺与技术探讨[J].公路交通技术,2008,4(2):133-136.
- [16] 张克强,杨莉,杨鹏,等.适合农村污水分散处理的廊道式人工湿地设计参数研究[J].西北农业学报,2008,17(1):286-291.