

葛秋易,梁冬梅,肖尊东. 基质优化人工湿地处理效率方法研究进展[J]. 江苏农业科学,2017,45(22):5-9.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.22.002

基质优化人工湿地处理效率方法研究进展

葛秋易¹, 梁冬梅², 肖尊东²

(1. 吉林农业大学资源与环境学院, 吉林长春 130118; 2. 吉林省环境科学研究院, 吉林长春 130012)

摘要:植物-基质-微生物三者之间的协同作用是人工湿地去除污染物的主要机理,其中基质是系统中重要的组成部分。通过归纳基质在湿地处理过程中遇到的问题,结合国内外学者提出的解决方案,对各类影响基质作用的因素进行分析,最终提出多样化的级配方式和针对性生态床体组合,为今后构建人工湿地、优化处理效率提供依据。

关键词:人工湿地;植物-基质-微生物;协同作用;优化;处理效率;研究进展

中图分类号: X52 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2017)22-0005-04

人工处理湿地别称工程湿地或者人工湿地,是一种利用自然环境中的植被、土壤及其相关的微生物组合协助处理污水或其他类型水体的技术^[1]。一个经过合理设计的人工湿地通常由水体、基质和维管束植物组成,另外还包括一些其他的重要组成部分,比如微生物群落和自然生长的水生无脊椎动物^[2]。水中的碎屑、胶体、絮状物等悬浮颗粒直接被基质层拦截过滤,同时基质也为植物的生长、微生物的着床提供适宜的场所^[3]。无论是植物的净化,还是微生物的吸附降解都须要将基质作为媒介,基质在协调湿地各组分之间的关系中发挥着重要的作用。但是长时间运作过程中,基质会发生堵塞、变性、吸附能力饱和等现象,它们不仅影响到湿地系统的水力负荷,也会影响整个系统的寿命以及长期运行的稳定性,甚至使湿地系统丧失功能^[4]。本文对湿地运行过程中的问题进行分析,结合国内外研究的方法和技术优化基质,为人工湿地的构建以及运维提供一定的依据。

1 基质理化性质

1.1 基质种类的选择

基质是人工湿地系统中不可或缺的部分,它与湿地表层土壤结合,为植物根系的生长提供良好的栖息场所, Pagano 等证明植物根系可以通过释放氧气改变根系周围环境的氧化还原状态,从而改变根系周围的生化循环过程,根区附近与深层水体中的微生物和某些化学物质通过氧化还原反应附着在基质表面形成生物膜,这种现象成为基质化学除污的主要原理^[5]。通常会选择孔隙率、比表面积较大且含水率较高的基质。因为孔隙率大的填料储水性能较好,湿地运行期间填料基本被水浸没,缺氧条件下有利于反硝化细菌脱氮作用;同样,较大的比表面积也有利于氧气的流通,可以为附着在植物根系以及水面上方基质表面的硝化细菌提供充足的氧气进行

硝化作用^[6]。刘霄等对比了不同条件下砾石、页岩、陶粒对磷的吸附能力,采用 Freundlich 模型和 Langmuir 模型进行拟合,结果显示页岩和陶粒因其各自的架状结构和蜂窝型内腔对水中的磷元素有着极佳的吸附效果^[7]。Drizo 等均使用沸石作为基质,利用其空疏的骨架结构,使得水分子和部分阳离子能够自由地移动和出入内部孔道,有效地去除污水中的氮和磷^[8-9]。肖晓存等分别用粉煤灰与芦苇、风车草组成垂直流人工湿地,粉煤灰良好的细度使得吸水率可以达到 89%~130%,结果表明,2 种组合型湿地对化粪池出水的总磷去除率达到 79.1%~89.7%、75%~92%^[10]。

简单的物理特性是湿地基质拦截去污机理的第 1 步,多数试验证明,利用基质孔隙、比表面积等特征,结合土壤表面对污染物的削减,不仅可以直接过滤掉水中颗粒物、胶体、絮状物,还能间接为微生物的附着以及代谢过程中氧气和营养物质的输送提供便利。实际应用时选择初始孔隙率在 35%~65%,比表面积在 1 000 m²/g 以上,例如市面上廉价易得的沸石、粗沙、蛭石、陶粒、活性炭便可以有效地去除大多数污染物质。由于本身的化学性质,大多数基质都含有 Ca²⁺、Fe³⁺、Al³⁺ 等金属离子,因此针对不同类型的污水,选择含有相应元素的基质可以有效提高污染物的去除效率。钢渣是炼钢过程中产生的固体废弃物,它含有的游离态氧化钙、胶体氧化铁、硅酸盐、氧化铝等物质对污水中磷元素的吸附容量较高^[11]。钢渣、炉渣、页岩由于物质本身含有的金属离子与水中的磷发生置换反应沉淀,良好条件下除磷率可达到 80%。Blanco 等收集大量的转炉钢渣作为人工湿地基质进行基质柱试验,磷酸盐的去除率高达 84%~99%^[12]。陕西省凤县永生村湿地示范工程首次选取自来水厂副产品脱水污泥作为基质,变废为宝,大大提高了当地生活污水中磷的去除率^[13]。但是这些工业副产物不适合植物生长,所以在实际工程设计中可以在表层覆盖一些天然物质如湿土、红泥、木炭、沙石。北京市近郊某湿地在保证植物正常生长的条件下强化脱氮除磷的能力,湿地前段填充砾石-沸石-木炭,中后段填充砾石-木炭,上升流湿地后半段填充砾石-高炉渣组成多介质层,该设计湿地的出水水质达到国家Ⅰ类标准^[14]。霍永杰等开展了一系列不同条件下沸石吸附铵态氮的试验,蛭石和沸石中 SiO₂、Al₂O₃ 对铵态氮具有很好的离子选择交换和再生

收稿日期:2017-05-09

基金项目:国家水体污染控制与治理科技重大专项(编号:2012ZX070201-001)。

作者简介:葛秋易(1993—),男,江苏南京人,硕士研究生,主要从事环境工程研究。E-mail:244608347@qq.com。

通信作者:梁冬梅,研究员,主要从事环境生态与规划研究。E-mail:dmliang309@126.com。

能力,同时其晶体内部的硅氧、铝氧架构为脱氮细菌提供良好的富集,其中 1 kg 沸石对铵态氮的吸附量能够达到 5 g 以上^[15]。Bai 等研究了利用饮用水残渣作为人工湿地基质的可行性,结果表明,这种新型基质对总氮、总磷的去除率分别为 98%、76%^[16]。泥炭经常用于处理大肠杆菌、五日生化需氧量(BOD₅)较高的医药废水。活性炭、某些粗纤维的农业废弃物、壳聚糖、膨润土对电镀、冶金化工行业废水中残留的 Cr、Hg、Pb 等重金属元素的吸附率均大于 70%。史明明等将膨润土和硅藻土作为吸附剂,发现其对废水中重金属离子 Zn²⁺、Pb²⁺、Cd²⁺ 的去除率能达到 80% 以上^[17]。粉煤灰因其颗粒表面存在的不饱和化学键对水中的 F⁻、Cl⁻、苯酚、油类物质有特殊的吸附性。Matheswaran 等运用粉煤灰处理碱性 R 染料,通过控制吸附剂用量、降低染料初始浓度、调节温度与 pH 值等参数,运用吸附动力学和颗粒内扩散模型计算出最佳反应条件以治理有色废水^[18]。在处理不同类型污染物的污水时,应当结合基质特殊的理化性质,筛选出对应的基质,特别是在湿地现场施工时,应当就地取材,这样既能节约成本,又能减少对当地生态平衡的破坏。

1.2 改性基质的开发

长久以来,多数传统基质由于其固定化、低效率、易损耗等缺点严重影响了人工湿地的寿命,限制了湿地的创新推广。因此,新型高效改性、适应性强且价廉的材料被广泛应用于湿地水处理领域。吕建波等在前期研究的基础上利用 FeCl₃·6H₂O 和 NaOH 与石英砂搅拌混合,制备出新型铁改性砂滤料,并研究了它的吸附性能和动态过滤再生循环能力,表明改性砂具有良好的 PO₄³⁻ 吸附能力和再生能力^[19]。Yin 等对 3 种不同粒径含钙丰富的凹凸棒石进行热处理,构建基质柱模拟湖泊水体中磷的去除,进而替代人工湿地中吸附饱和的水煤浆基板。结果显示,控制水力停留时间为 8 h,水中磷的去除率为 93.1%~95.4%,证明经热改性的凹凸棒石可作为合适的人工湿地除磷基质^[20]。Lukasik 等用氢氧化铁、氢氧化铝对砂石柱改性修复水体污染,为期 1 个月的测试后水中的大肠杆菌、脊髓灰质炎病毒、大肠噬菌体 MS-2 的去除率都在 99% 以上,可以用作医疗废水的去除^[21]。张翔凌等将 9 种不同类型的金属化合物两两组合在碱性条件下采用水热-共沉淀法生成层状双金属氢氧化物对无烟煤进行覆膜改性,结果发现改性过后的基质对化学需氧量(COD)、总磷、氨态氮的净化效果均有显著提升^[22]。

总的来看,常用的酸碱溶液处理的主要机理是对基质表面的官能团进行改性,高温炭化工艺可以调整孔隙结构、密集程度,另外负载一些金属氧化物用于修饰基质表面的生化活性,如果具备足够的条件,可以采取电化学、光催化、微波和纳米技术改性,在实际应用过程中,针对大量的基质尽量选取操作简单、成本较低的改性方法,进一步增强基质的性能。

1.3 基质再生

随着人工湿地长时间运行,基质对污染物的吸附会逐渐趋于饱和,如不及时处理,饱和基质不仅会降低处理效率,其内部吸附的磷酸盐、硝酸盐也会被释放出来,对植物和水体造成二次污染。Vohla 等调查了大量人工湿地中饱和的基质,通过比较分析发现只有蛋白石、脱水油页岩渣、多孔滤石的回收适用性较高,绝大多数基质须要通过特殊的方法达到再生

目的。基质再生技术主要通过离子交换将基质中所吸附污染物的点位释放出来或者增加吸附点位,既延长基质功效时间,又循环利用,从而避免了繁琐的更换回收步骤^[23]。基质再生主要分为物理、化学、生物 3 种方法,其中化学方法是通过投加高剂量再生剂,加快基质表面离子的交换速度,进而实现基质吸附容量的快速恢复^[24];物理方法是通过制孔、风干、粉碎、搅拌等方法改变基质理化性状,增加吸附位点;生物方法是利用植物和水体将吸附的物质作为微生物生长的介质,依靠微生物的同化、循环实现再生^[25]。崔理华等利用盐酸和硫酸对饱和高炉渣、沙、煤灰渣再生进行试验,结果表明,2 种酸对 3 种基质的释磷效果均大于 80%^[26]。Pratt 等评价了活性渣滤技术中风干、搅拌和粉碎等物理技术再生磷饱和和熔炉渣的可行性,结果发现,经粉碎的渣质再生效果最好^[27]。Rosenquist 等也通过掺加生铁屑对人工湿地土壤基质层吸附的磷修复回收^[28]。付融冰等采用曝气、根系复氧以及菌群培养的方法对铵吸附饱和的天然斜发沸石和沙质土壤生物再生,最终沸石的交换容量恢复到原先的 94.6%~94.8%^[29]。

多数研究表明,酸碱溶液对矿物类饱和基质的氮磷解吸率超过 50%,其中酸液的解吸性能更是达到 80% 以上,但是经酸碱处理过后内部的结构发生不可逆变化,浸提后的基质对污染物的吸附效果大大降低,难以回用。实际应用上不推荐使用强酸碱、强氧化性的工业再生剂,因为其对基质以及湿地植物的破坏性较大。对于规模较大的湿地,物理再生方法实施难度较大,采用投加蚯蚓联合微生物菌剂(异养菌、硝化细菌)、EM 菌液等生物法增强基质中硝化物质再生能力,并且采取生物再生法可以获得良好的生态价值,增强湿地系统的可持续能力。

2 基质组合与级配

基质堵塞是影响人工湿地长效运行最常见的问题,污水中的难溶性固体颗粒和一些胶状凝聚物在基质表面和孔隙中不断富集^[30],局部形成厌氧微环境。目前,国内外学者对于这个棘手的问题进行了多种尝试,Huang 等发现水体在填料间的液压流动对人工湿地去除某些污染物有着显著的影响^[31]。所以,粒径组配对湿地内部氧气流通和水流循环有很大的影响。此外,Davison 等在对澳洲新南威尔士州运行了 10 年的湿地研究基础上设置 4 种湿地,结果发现,不同基质结构的湿地对其中软体动物的生理活动也有很大的影响^[32]。王荣等设置了正反级配基质的垂直流人工湿地,通过对各水质指标、渗透效率的测定发现,大颗粒物质表面复氧能力优于小颗粒物质,因而反级配系统在除磷方面存在优势,相反,正级配系统在降低 COD 方面高于反级配^[33]。张毓媛等考察不同水力停留时间下对火山石、粗炉渣、牡蛎壳进行 5 种体积比装填下的除污效果,发现其中 2:1:1 的配比对铵态氮、COD、总磷的去除效果均为最佳,1:1:2 和 1:2:1 的组合分别具有良好的铵态氮以及 COD 去除率^[34]。山东省南四湖城郭河流域曹庄人工湿地对原有的煤矿塌坑进行了原位修复,湿地护坡基质层从内到外粒径按照从小到大的顺序为:最内层覆盖了 10 cm 改性沸石,外层覆盖了 5 种不同粒径、分别为 15、25、30、50 cm 厚度的砾石,经验收检测显示该工程总体污染物去除率在 18% 以上,出水水质达国家Ⅲ类标准^[35]。

上述研究发现,基质填充、级配方式可以改善水流水平相流速减缓,纵向的不均匀分布、垂直渗透、滞流、局部水流过大形成“死水区”“短流区”等水力学问题。过水方式为上行下出时,尝试将粒径小的基质(细沙、沸石、陶粒)纵向填充在湿地前端,中部选用大量中等粒径(砾石、鹅卵石)分层均匀装填,尾部掺杂一些能够去色、去味的物质(有机碳、膨润土),预计该种混配方式对 COD、总氮、总磷等污染物的平均去除率可达 75% 以上。当进水口埋填较深,出水位置位于土壤层以下可以先在配水区反级配布置大粒径基质并利用水压抬升水位,湿地集水区采用正级配的方式自由落水,该区域筛选的填料渗透系数保持在 3~50 m/d 之间。当湿地水力负荷 > 0.8 m³/(m²·d),进水 COD 高于 150 mg/L 时,在上层选用粒径为 30~50 mm 的天然矿物,中下层装填 5~15 mm 的小粒径石子,与正常级配相比,此种反级配方式预计可以将高容负荷条件下 COD、总磷等污染物的去除效率提升 60% 甚至更高。配制 3 种或者以上基质组合时,体积配比成 1:2:1、2:1:1、1:2:2 时去污效果最佳。

3 外界改善基质作用

湿地生态系统之所以能够稳定,不仅是基质的作用,与植物和微生物之间的协同也有着密不可分的关系^[36-37]。植物体内的泌氧作用(ROL)将吸收的氧气经根轴运输到根尖,在植物根区附近还原态介质中形成富氧-缺氧的微环境。好氧厌氧菌在这种环境下大量繁殖并且附着在基质表面形成生物

膜。根际沉积物中的硫化物和有机酸也会间接改变基质的孔隙率,进而影响基质的氧化还原反应^[38]。熊家晴等构建了有无植物 2 组多粒径配比水平潜流人工湿地,结果发现,植物与基质搭配的湿地脱氮除磷效果明显高于无植物组^[39]。Cao 等在低温条件下使用稻草和轻质陶粒作为湿地的基质床,经测定发现,两者结合后水中各类含氮化合物的去除率均提升至 60% 以上^[40]。Pedescoll 等对升流式和常规沉淀 2 种易堵塞型湿地进行了研究改善,发现特别是在植物根系成熟后,部分基质的渗透系数大大增加,水力传导率较初期有明显变化^[41]。基质酶在土壤物质转化中占有重要的作用,酶在基质中的积累是土壤微生物、植物根系和动物生命活动的结果,植物种类可以影响微生物结构及土壤酶的活性^[42],别构酶如过氧化氢酶、蛋白酶、脲酶在物质转化中发挥作用,还有一些胞外酶可促进湿地中生物降解^[43]。张怡昕测定了 5 座人工湿地反应床体,其中有 3 座种植旱伞草类植物,另外 2 座无添加作为对照,分析模拟装置中酶活性的动态变化与进水浓度、湿地植物之间的关系,结果发现湿地植物的种植直接影响了 3 种目标基质酶的活性,种植植物的基质酶活性高于未种植植物^[44]。

芦苇、香蒲、千屈菜、菖蒲等挺水植物在吸收富营养化物质的同时,根际分泌的草酸、脲酶还能促进有机污染物大分子中蛋白的水解,当基质饱和时,植物也可以帮助释放 N、P,同时提高基质表面微生物活性共同维护湿地系统的稳定。笔者结合植物与基质间共同作用,提出一种针对不同类型污水的新型人工湿地生态床组合(表 1)。

表 1 人工湿地生态床组合分析结果

污水类型	基质名称	植物种类	组合优劣
城市生活污水	沸石、粗沙、陶粒、土壤、泥炭	芦苇、菖蒲、香蒲、美人蕉、鸢尾	广谱性、可以去除多数污染物(COD、BOD ₅ 、总氮、总磷、氨态氮)沸石等基质多孔结构吸附量大、易于再生循环;芦苇等植物适应能力、生存能力强,生长状况较优
农村生活污水	陶粒、石英砂、草炭、鹅卵石、砾石	芦苇、香蒲、水葱、黑三棱、蔗草	悬浮颗粒物、农药、畜禽粪便中大肠杆菌等有机物;成本较低;易于栽种
工业废水	钢渣、粉煤灰、石灰石、高炉渣、膨润土	香蒲、皇竹草、千屈菜、灯芯草、旱伞草	重金属离子(Al ³⁺ 、Zn ²⁺ 、Fe ²⁺ 、Cu ²⁺ 、Pb ²⁺ 、Ge ²⁺)去除能力较高;有色废水、医疗废水中的致病菌;钢渣等基质内部金属含量较高,不适宜植物、微生物生长,搭配土壤、砂石、泥炭等天然物质覆盖在表层供植物生根
富营养化水体	沸石、蛭石、建筑废弃物(砖块、瓦片)、页岩	石菖蒲、浮萍、石龙芮、风车草、苦草	克藻效应;对水体中 N、P 去除率较高;但是浮萍、苦草喜温暖、忌寒

考虑到地区自然状况的差异性,根据不同地区的气候、水文条件,选择栽种适合本地的植物。其中挺水植物种植密度控制在 15~20 株/m²、浮水和沉水植物种植密度宜为 4~9 株/m²。春夏季节适当地栽种莲、鸢尾、金钱草等观赏性园林植物,切记组合的时候一定要考虑不同植物物种之间的竞争关系,尽量避免栽种伊乐藻、凤眼莲、灯芯草等外来入侵物种,而且人工湿地处理污水是受限制的,也就是说不是所有的污水都可以处理,当污水中污染物浓度超出植物生长极限条件后,植物死亡,湿地也就丧失了它的功能,所以一定要明确湿地进水主要污染物浓度限值,当进水污染物负荷过高须要添加一定的预处理设施。

4 小结与展望

尽管存在着诸多的问题,但是人工湿地仍是与自然环境契合度最高的污水处理方式。在常规的优化措施基础上加以创新,使用经特殊工艺改造的生态填料;组合搭配基质时针对

复杂的水力条件选择不同比例和排布方式;寻求多样的再生方法延长基质寿命;结合湿地周围的生态环境,全方位分析污水成分,尝试不同植物混合种植并填充对应的基质层组成新型生态床。目前大部分基质优化研究局限于实验室模拟,但是在工程建造时,现场不可控因素较为复杂,包括温度、水纹、地形在内均会影响这些方案的可行性,综合各类试验小中试验以及大型示范工程的经验分别从科研方向和工程技术层面提出如下几点建议:(1)科研方向。微生物膜的积累对多孔基质渗透率的影响直接决定基质微生物代谢降解作用,同样良好的渗透率有利于溶质运输及水力传导,针对不同种类的基质,研究如何让基质表面生物膜保持健康的生长;目前绝大多数非天然基质均为工业衍生物和废弃物,同样日常生活中也有合适的替代物,有研究就表明中药废渣除药用成分外,其本身富含的纤维素、木质素等有机物搭配基质具有净水功效,但是考虑到中药独特的药性,尽量搭配特殊的植物和基质;结合水力条件、温度、生化反应等变量,建立不同污染物在基质

层中扩散衰减模型,指导并提高基质对污染物的处理效率。

(2)工程技术层面。铺设时本着就地取材的原则,挑选孔隙率、比表面积大、透水率高的介质,预算充足的情况下可搭配沸石、蛭石、陶粒、蜂巢石以及石灰石、粉煤灰、炉渣等热导性较好的材料,不仅预防断流、床体缺氧,而且在冬季寒冷气候下适当地放热也有助于弥补热损失;实际工程设计时,考虑到水力传导、流场分布等水力学问题,在基质级配方面最好采用分层装填的方式,进水量在 $3\,000\text{ m}^3/\text{d}$ 以下的小中型湿地选择 3 种基质即可,对于进水量大于 $5\,000\text{ m}^3/\text{d}$ 的湿地,配置 3~5 种基质,将大粒径的基质置于进水区,同时增加下层基质铺设的厚度预防厌氧区堵塞的发生;筛选并投加适量的功能菌或者补充一定的碳源,包括收割下来的芦苇秆、麦秆、香蒲腐根等木质纤维素含量较高的植物残体,覆盖在湿地床体表面逐渐恢复基质的活性以延长湿地寿命。

参考文献:

- [1] Guiding principles for constructed treatment wetlands [M]. Washington D C: US EPA Office of Wetlands, 2000: 2-3.
- [2] Davis L. A handbook of constructed wetlands: a guide to creating wetlands for: agricultural wastewater, domestic wastewater, coal mine drainage, storm water in the Mid - Atlantic Region [M]// General considerations. London: Palgrave MacMillan, 1995.
- [3] 史鹏博, 朱洪涛, 孙德智. 人工湿地不同填料组合去除典型污染物的研究[J]. 环境科学学报, 2014, 34(3): 704-711.
- [4] 黄锦楼, 陈 琴, 许连煌. 人工湿地在应用中存在的问题及解决措施[J]. 环境科学, 2013, 34(1): 401-408.
- [5] Pagano A M, Titus J E. submersed macrophyte grow that low pH: contrasting responses of three species to dissolved inorganic carbon enrichment and sediment type [J]. Aquatic Botany, 2004, 79(1): 65-74.
- [6] Pelissari C, dos Santos M O, Rousso B Z, et al. Organic load and hydraulic regime influence over the bacterial community responsible for the nitrogen cycling in bed media of vertical subsurface flow constructed wetland [J]. Ecological Engineering, 2016, 95: 180-188.
- [7] 刘 霄, 黄岁棵, 刘学功. 3 种人工湿地基质对磷的吸附特性 [J]. 环境工程学报, 2012, 6(10): 3367-3372.
- [8] Drizo A, Frost C A, Grace J, et al. Phosphate and ammonium distribution in a pilot - scale constructed wetland with horizontal subsurface flow using shale as a substrate [J]. Water Research, 2000, 34(9): 2483-2490.
- [9] Reddy G B, Forbes D A, Phillips R A, et al. Demonstration of technology to treat swine waste using geotextile bag, zeolite bed and constructed wetland [J]. Ecological Engineering, 2013, 57(4): 353-360.
- [10] 肖晓毛, 毛艳丽, 高明华, 等. 粉煤灰基质垂直流人工湿地系统处理城市污水的试验研究 [J]. 中国水运(学术版), 2007, 7(1): 77-79.
- [11] 叶建锋, 徐祖信, 李怀正, 等. 模拟钢渣垂直潜流人工湿地的除磷性能分析 [J]. 中国给水排水, 2006, 22(9): 62-64, 68.
- [12] Blanco I, Molle P, de Miera L E S, et al. Basic oxygen furnace steel slag aggregates for phosphorus treatment. Evaluation of its potential use as a substrate in constructed wetlands [J]. Water Research, 2016, 89: 355-365.
- [13] 张日霞, 张斌令, 黄宁俊. 环境友好型人工湿地处理农村生活污水工程设计 [J]. 中国给水排水, 2016, 32(4): 32-34.
- [14] 余芃飞, 胡将军, 张列宇, 等. 多介质人工湿地提升再生水水质的工程实例 [J]. 中国给水排水, 2015, 31(4): 99-101.
- [15] 霍永杰, 汤化伟, 程志磊, 等. 沸石对氨氮吸附的研究 [J]. 环境工程, 2015(增刊 1): 244-247.
- [16] Bai L L, Wang C H, Huang C H, et al. Reuse of drinking water treatment residuals as a substrate in constructed wetlands for sewage tertiary treatment [J]. Ecological Engineering, 2014, 70(3): 295-303.
- [17] 史明明, 刘美艳, 曾佑林, 等. 硅藻土和膨润土对重金属离子 Zn^{2+} 、 Pb^{2+} 及 Cd^{2+} 的吸附特性 [J]. 环境化学, 2012, 31(2): 162-167.
- [18] Matheswaran M, Karunanithi T. Adsorption of chrysoidine R by using fly ash in batch process [J]. Journal of Hazardous Materials, 2007, 145(1/2): 154-161.
- [19] 吕建波, 孙力平, 赵新华, 等. 新型铁改性砂滤料吸附过滤去除水中的磷 [J]. 天津大学学报, 2010, 43(12): 1115-1122.
- [20] Yin H, Yan X, Gu X. Evaluation of thermally - modified calcium - rich attapulgite as a low - cost substrate for rapid phosphorus removal in constructed wetlands [J]. Water Research, 2017, 115: 329-338.
- [21] Lukasiak J, Yf C, Lu F, et al. Removal of microorganism from water by columns containing sand coated with ferric and aluminum hydroxides [J]. Water Research, 1999, 33(3): 769-777.
- [22] 张翔凌, 郭 露, 陈俊杰, 等. 不同类型 LDHs 对垂直流人工湿地无烟煤基质的覆膜改性及其脱氮效果研究 [J]. 环境科学, 2014, 35(8): 3012-3017.
- [23] Vohla C, Kõiv M, Bavor H J, et al. Filter materials for phosphorus removal from wastewater in treatment wetlands—a review [J]. Ecological Engineering, 2011, 37(1): 70-89.
- [24] 武俊梅, 徐 栋, 张丽萍, 等. 人工湿地基质再生技术的研究进展 [J]. 环境工程学报, 2015, 9(11): 5133-5141.
- [25] 刘 静, 彭剑峰, 宋永会, 等. 铈饱和天然钙型沸石的化学再生效果 [J]. 环境科学研究, 2009, 22(11): 1341-1345.
- [26] 崔理华, 游艳萍, 张新明, 等. 人工湿地磷吸附饱和和基质的化学再生研究 [J]. 生态环境学报, 2010, 19(5): 1221-1225.
- [27] Pratt C, Shilton A, Haverkamp R G, et al. Assessment of physical techniques to regenerate active slag filters removing phosphorus from wastewater [J]. Water Research, 2009, 43(2): 277-282.
- [28] Rosenquist S E, Hession W C, Eick M J, et al. Field application of a renewable constructed wetland substrate for phosphorus removal I [J]. JAWRA Journal of the American Water Resources Association, 2011, 47(4): 800-812.
- [29] 付融冰, 杨海真, 顾国维. 人工湿地中沸石对铈吸附能力的生物再生研究 [J]. 生态环境, 2006, 15(1): 6-10.
- [30] Herrera - Melián J A, González - Bordón A, Martín - González M A, et al. Palm tree mulch as substrate for primary treatment wetlands processing high strength urban wastewater [J]. Journal of Environmental Management, 2014, 139(139): 22-31.
- [31] Huang X, Zheng J L, Liu C X, et al. Removal of antibiotics and resistance genes from swine wastewater using vertical flow constructed wetlands: effect of hydraulic flow direction and substrate type [J]. Chemical Engineering Journal, 2017, 308: 692-699.
- [32] Davison L, Headley T, Pratt K. Aspects of design, structure, performance and operation of reed beds—eight years' experience in northeastern New South Wales, Australia [J]. Water Science and Technology, 2005, 51(10): 129-138.

张书彦, 张文毅, 余山山, 等. 图像处理技术在信息农业中的应用现状及发展趋势[J]. 江苏农业科学, 2017, 45(22): 9-13.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.22.003

图像处理技术在信息农业中的应用现状及发展趋势

张书彦, 张文毅, 余山山, 付宇超

(农业部南京农业机械化研究所, 江苏南京 210014)

摘要:图像是人类感知世界的视觉基础, 是人类获取、传递和表达信息的重要手段。图像处理是通过计算机对获取的图像信息分析加工, 从而达到满足人的视觉或应用需求的行为。随着我国计算机科学的发展, 图像处理技术在信息农业中得到广泛应用, 它的发展对于农业信息化的提高具有重要意义。论述了目前图像处理技术在农业领域的研究进展及应用现状, 分析了应用中存在的技术难题, 对图像处理在农业中的研究进一步展望并提出了今后的发展趋势。

关键词:图像处理; 信息采集; 研究现状; 发展趋势

中图分类号: S126; TP391.41 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2017)22-0009-05

图像处理(image processing)是通过计算机对图像进行去除噪声、增强、复原、分割、提取特征等处理的方法和技术。20 世纪 20 年代, 采用数字压缩技术通过从伦敦到纽约的海底电缆传输了第一幅数字照片, 这标志着数字图像处理技术的开端。20 世纪 60 年代, 数字图像处理技术作为一门学科正式形成^[1]。图像处理技术能够帮助人们更加客观准确地认识世界, 具有再现性好、处理精度高、适用面宽、灵活性高、便于传输等优点, 已经被广泛应用到各个领域。图像处理技术在农业领域起步较晚, 近年来随着计算机多媒体技术的提高,

在农作物长势监测、病虫害草诊断、农作物自动收获、种子质量检测、农作物的缺素识别、农产品质量分级检测等方面有着广泛的应用。

1 图像处理技术在国内外信息农业中的应用现状

1.1 农作物长势监测

在农作物的整个生长过程中, 其长势是后期进行作物生产管理的关键因素。对农作物长势进行动态监测能够准确及时地了解空气温湿度、农作物的土壤肥力、作物生长信息以及植物的营养状况等, 便于后期对水、肥等及时进行管理, 保证农作物正常生长, 达到提高粮食产量的目的。

农业遥感技术起源于西方发达国家, 主要用于农作物大面积长势监测。农情遥感监测技术的研究最早始于美国。1974 年, 美国启动“LACIE”计划, 正式拉开了农情遥感监测发展的序幕^[2-3]。此后, 全球各地的 AGRISTARS、MARS、GLAM 等一系列计划进一步发展了各种农情遥感监测技术。

收稿日期: 2017-05-26

基金项目: 江苏省自然科学基金(编号: BK2011108); 公益性行业(农业)科研专项经费项目(编号: 201203059-3)。

作者简介: 张书彦(1993—), 女, 河南驻马店人, 硕士研究生, 主要从事农业机械化工程研究。E-mail: 1429162460@qq.com。

通信作者: 余山山, 硕士, 副研究员, 主要从事农业机械智能化与信息化技术研究。E-mail: yushanshan1109@sohu.com。

[33] 王荣, 贺锋, 肖蕾, 等. 不同级配基质方式下垂直流人工湿地净化效果及渗透性能研究[J]. 农业环境科学学报, 2010, 29(5): 969-975.

[34] 张毓媛, 曹晨亮, 任丽君, 等. 不同基质组合及水力停留时间下垂直流人工湿地的除污效果[J]. 生态环境学报, 2016, 25(2): 292-299.

[35] 熊元武, 王中玉, 何晨凤, 等. 城郭河曹庄煤矿塌陷坑人工湿地工程设计[J]. 中国给水排水, 2016, 32(8): 63-67.

[36] Leto C, Tuttolomondo T, la Bella S A, et al. Effects of plant species in a horizontal subsurface flow constructed wetland - phytoremediation of treated urban wastewater with *Cyperus alternifolius* L. and *Typha latifolia* L. in the West of Sicily (Italy) [J]. Ecological Engineering, 2013, 61(A): 282-291.

[37] Carballeira T, Ruiz I, Soto M. Effect of plants and surface loading rate on the treatment efficiency of shallow subsurface constructed wetlands[J]. Ecological Engineering, 2016, 90: 203-214.

[38] Armstrong J, Armstrong W. Rice: sulfide-induced barriers to root radial oxygen loss, Fe^{2+} and water uptake, and lateral root emergence [J]. Annals of Botany, 2005, 96(4): 625-638.

[39] 熊家晴, 杜晨, 郑于聪, 等. 植物和基质级配水平流人工湿地处理污染河水的的影响[J]. 工业水处理, 2015, 08(8): 22-25.

[40] Cao W P, Wang Y M, Sun L, et al. Removal of nitrogenous compounds from polluted river water by floating constructed wetlands using rice straw and ceramicsite as substrates under low temperature conditions[J]. Ecological Engineering, 2016, 88: 77-81.

[41] Pedescoll A, Corzo A, Alvarez E, et al. The effect of primary treatment and flow regime on clogging development in horizontal subsurface flow constructed wetlands: an experimental evaluation [J]. Water Research, 2011, 45(12): 3579-3589.

[42] Menon R, Jackson C R, Holland M M. The influence of vegetation on microbial enzyme activity and bacterial community structure in freshwater constructed wetland sediments [J]. Wetlands, 2013, 33(2): 365-378.

[43] Shackle V, Freeman C, Reynolds B. Exogenous enzyme supplements to promote treatment efficiency in constructed wetlands [J]. The Science of the Total Environment, 2006, 361(1/2/3): 18-24.

[44] 张怡昕, 严清, 甘秀梅, 等. 模拟人工湿地中基质酶对 PhACs 的动态响应[J]. 环境工程学报, 2016, 10(6): 3330-3338.