

# 主要金属矿产开采对鄱阳湖流域水环境的影响

梁越, 刘小真\*, 赖劲虎 (南昌大学鄱阳湖环境与资源利用教育部重点实验室, 江西南昌 330047)

**摘要** 金属矿山开采对周边环境造成污染, 各种污染物中所含的重金属通过地表径流汇入河流, 引起流域水环境的污染。从鄱阳湖流域主要矿产的构成与分布特征、主要矿产开采对鄱阳湖流域水环境的影响与风险评价等方面, 进行了系统归纳, 并提出了防止金属矿开采对水环境影响的主要措施。

**关键词** 采矿; 重金属; 鄱阳湖流域; 水环境

**中图分类号** S181.3 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2013)27-11169-03

## Main Metal Mining and Its Influence on the Water Environment of Poyang Lake Basin

LIANG Yue et al (Key Laboratory of Poyang Lake Environmental and Resource Utilization of Ministry of Education, Nanchang University, Nanchang, Jiangxi 330047)

**Abstract** Metal mining pollutes surrounding environment. The heavy metals in all kinds of pollutants flow into rivers through the surface runoff and cause the water pollution. The main mineral composition of Poyang Lake basin and distribution characteristics, the effects on water environment of Poyang Lake basin and danger evaluation were summarized, and main measures to prevent effects on the water environment from metal mining were put forward.

**Key words** Mining; Heavy metal; Poyang Lake basin; Water environment

金属矿山开采、选矿、冶炼等活动对流域水环境污染的现象时有发生, 主要表现为: ①矿业废水未达标直接排放; ②尾矿渗滤液的污染: 废石、尾矿废渣的堆放, 赋存的硫化物长期暴露于地表, 成为重金属淋滤、扩散与迁移的重要介质<sup>[1]</sup>; ③金属矿开采引发的尘埃污染: 采矿、运矿、排土产生大量重金属的烟尘, 通过扩散、沉降于很大范围的土壤和植物之上, 经雨水冲刷进入地表径流<sup>[1]</sup>; ④原地浸矿法对周边环境的污染: 近年来稀土生产过程中采用的原地浸矿法是从山坡上开挖注液孔, 从注液孔中灌注碳酸, 经离子交换后从山脚回收含稀土液体的稀土生产工艺。原地浸矿法可以保护地表 40% ~ 60% 的植被, 但对地下水及周边水环境的污染不可忽视<sup>[2]</sup>; ⑤事故性污染: 信宜紫金矿业有限公司在未经批准的情形下, 擅自建设银岩锡矿高旗岭尾矿库坝, 2010 年 9 月 21 日, 台风“凡亚比”引发的强降雨导致该尾矿库发生溃坝事故, 房屋全倒的有 523 户、死亡 22 人。总之, 矿山开采产生的废石、选矿产生的尾矿及冶炼废渣经风化淋滤使有害元素迁移, 冶炼废水及尾矿废水通过地表径流汇入河流, 引起流域水环境的污染<sup>[3-5]</sup>。

江西拥有全国最大的铜矿、钨矿、稀有、稀土矿产开采基地, 遍布 5 河上中游, 号称有色金属之乡。江西省域的 97.2% 属鄱阳湖流域, 鄱阳湖流域的 96.3% 在江西省, 以鄱阳湖为聚汇中心的辐聚水系基本控制全省省域, 这是江西国土的一项特色。以有色金属为主的金属离子经采矿活动暴露游离于地表之后, 通过迳流水体的迁移, 基本汇入鄱阳湖。由于接纳水体中重金属污染物不易溶解, 大部分结合到悬浮物和沉积物中; 悬浮物中的重金属被水流搬运过程中, 当负荷超过搬运能力时, 最终也转入沉积物中, 沉积物重金属的

含量比相应水相中的重金属含量高很多, 可出现明显的含量区域分布规律<sup>[6]</sup>, 如湖北省梁子湖受人类活动的影响, 水体中重金属最大值出现在人类活动相对集中的梁子岛附近<sup>[7]</sup>。虽然鄱阳湖流域年迳流总量大, 自净稀释能力较强, 但随着开采规模的不断扩大, 监测手段的不断提高, 人们对环境质量的要求越来越高, 有必要对鄱阳湖流域金属矿开采可能带来的水环境污染进行归纳并加以分析。

## 1 鄱阳湖流域主要矿产的构成与分布特征

**1.1 主要矿产的构成** 江西矿产名列全国第 1 位的有铜、银、钽、铷、铯、钨、伴生硫铁矿、化肥用白云岩、滑石、透闪石、粉石英等 11 种, 名列第 2 位的有钨、金、碲、冶金用白云岩、玻璃用沙、水泥配料页岩、海泡石等 7 种, 名列第 3 位的有铋、铌、冶金用砂岩、高岭土等 4 种, 列入全国前 5 位的共有 40 种, 这些是江西省被称为矿产资源大省的主要依据。其中, 铜、钨、铀、钼、稀土和金、银被誉为江西省的“七朵金花”。

**1.2 主要矿产的分布特征** 赣江流域占鄱阳湖流域的 51%, 鄱阳湖流域的稀土、稀有金属矿产主要分布在该区域, 有色金属矿中的钨及其伴生矿, 以及煤炭也主要分布在该区。稀土、钨矿集中分布在赣南上游区, 稀有金属矿钽、铌等集中分布在赣北下游区; 无论储量, 还是金属(或氧化物)品种在全国均具有重要地位, 而赣江下游区的丰城、萍乡等是全流域主要煤炭产地(图 1)。饶河主要支流乐安江上游有亚洲最大的露天铜矿(德兴铜矿), 年产量我国第一、世界第二, 仅次于智利的埃斯康迪达铜矿。信江发源于玉山县怀玉山, 上游经鹰潭后分两支注入鄱阳湖, 以铜、金、银、铅、锌矿最著名。抚河发源于武夷山脉西麓广昌县驿前乡的血木岭, 矿产有煤、铁、铜、钾、钨、锡、铀等。鄱阳湖区域主要金属矿有九江县的铜、银、铁、锌、钨, 永修县的铜、铁, 波阳县的钨、铅、锌等。

## 2 主要金属矿产开采对鄱阳湖流域水环境的影响与风险评价

**2.1 水质重金属含量的变化** 鄱阳湖水体中重金属含量较

**基金项目** 江西省科学技术厅项目(20123BBG70192)。

**作者简介** 梁越(1974-), 女, 江西进贤人, 讲师, 博士, 从事水污染控制技术研究, E-mail: lyue987465@sina.com。\* 通讯作者, E-mail: liuxiaozhen@ncu.edu.cn。

**收稿日期** 2013-07-13

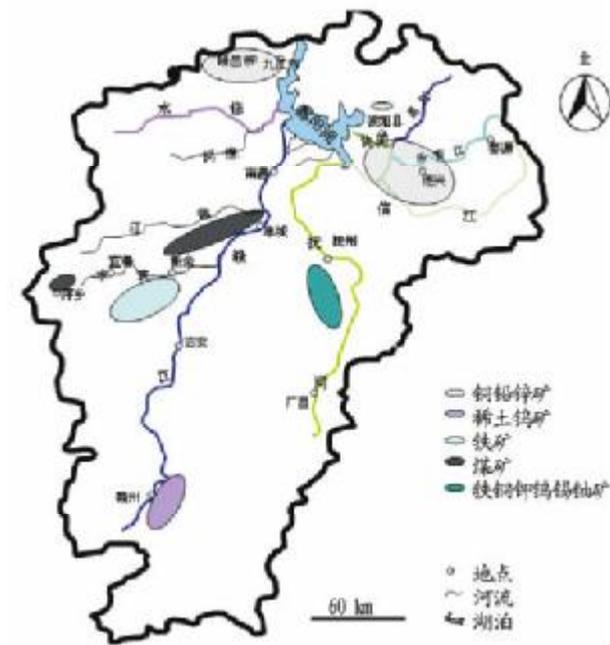


图1 江西省主要矿产分布

低,远低于国家标准<sup>[8]</sup>。不同重金属的出入湖组成不同,Cu、Zn、Cd 主要是溶解态,而 Pb 主要以悬浮态形式存在,河流重金属入湖总通量低于重金属出湖通量,其中出入湖通量表现为  $Pb > Cu > Zn > Cd$ ,对于地表径流,环湖污水排放、降雨、内源释放等为重金属较大输入途径<sup>[9]</sup>。

**2.2 底泥重金属含量的变化** 鄱阳湖五大河流之一的饶河,其主要支流乐安河上游有亚洲最大的铜矿——德兴铜矿。陈翠华等<sup>[10]</sup>在德兴地区 4 800 km<sup>2</sup> 的范围内,系统采集水系沉积物样品 330 个,分析土壤和水系沉积物中重金属(As、Hg、Cd、Cr、Zn、Cu、Pb)的含量。样品中重金属 As、Hg、Cd、Cr、Zn、Cu 和 Pb 的含量变化范围分别为 3.070 ~ 1 109.000、0.015 ~ 5.430、0.035 ~ 13.500、7 ~ 236、22 ~ 1 770、5 ~ 4 390 和 15 ~ 1 685 mg/kg。绘制样品重金属元素含量等值线图,发现该区域水系沉积物中存在不同程度的 As、Hg、Cd、Zn、Cu 和 Pb 重金属污染。污染区域主要分布在德兴铅锌和铜钼矿区德兴河下游至与乐安河交汇处、德兴河与大均河周边地区、部分煤矿区。重金属污染范围及污染程度比较见表 1,其中,Hg 含量高的地区主要集中在德兴铜钼和铅锌矿区;Cr 含量高的地区主要为德兴铜钼矿山局部地区,大部分地区没有 Cr 污染<sup>[10]</sup>。

表 1 重金属污染范围及污染程度比较

元素	污染范围	污染程度
Cu	最大	最高
Zn、Cd	较大	较高
Pb、As	较小	较高
Hg、Cr	很小	较低

鄱阳湖沉积物已受重金属的污染,除 Cr 外,沉积物中 Cu、Zn、Pb 和 Cd 4 种重金属含量平均值均明显高于其相应土壤背景值,分别为鄱阳湖土壤背景值的 12.95、3.85、4.24、

2.05 倍,为我国土壤背景值的 2.72、1.85、2.62、15.88 倍<sup>[11]</sup>。鄱阳湖沉积物中重金属含量分布差别较大,底泥中不同重金属分布规律一致:湖区 > 入湖口 > 出湖口,重金属在湖区有明显的沉降作用。全湖底泥平均污染水平属偏重度污染。重金属污染呈现种类和区域的差异性,种类特征:  $Cu > Pb, Zn > Cd$ ;区域特征:三江口污染等级最高,污染最轻是湖口<sup>[8]</sup>。Cu 最大值出现在信江入湖口,Zn、Pb、Cd 最大值出现在三江口,Cr 最大值出现在湖口。沉积物中 Cd 的空间变异系数(CV)最大,为 0.863 7,表明鄱阳湖沉积物中 Cd 含量的空间分布不均匀,离散性相对较大;Cu 的变异系数次之,为 0.752 1;Pb 的变异系数最小,为 0.329 9。重金属在鄱阳湖表层沉积物中的污染程度较高,Cu 是主要的污染因子,5 种重金属污染物的污染程度顺序为  $Cu > Zn > Pb > Cd > Cr$ <sup>[11]</sup>。

为了探讨底泥中重金属的垂直分布特征及年代分布变化,采用助推式柱状土壤采样器,通过临水垂直插管法采集鄱阳湖水域底质样品,对柱样中不同深度的样品,进行 Cu、Pb、Cr 等重金属含量的测定。结果显示,柱状泥样中重金属含量大小顺序为  $Mn > Pb > Cr > Cu > Ni$ ,其含量随深度变化呈锯齿状多峰分布特征,且锯齿形状很相似,由深至浅总体有上升的趋势,底泥中主要污染深度在 65 cm 以内<sup>[12-13]</sup>。

**2.3 重金属污染的生态风险评价** 抚河南昌段底泥不但重金属含量严重超标,而且其形态分布以可交换态(S1)、碳酸盐结合态(S2)、铁锰氧化物结合态(S3)为主,在环境迁移中,如溶解、沉淀和吸附等表现出较大的毒性,易被植物所吸收,对食物链构成重大威胁。抚河底泥只能在脱水干化后,用于城市绿化施肥,或用于非果树的林业<sup>[14]</sup>。

潜在生态风险性指数值综合反映了沉积物中的污染水平及潜在生态危害性。鄱阳湖表层沉积物中 Cu、Cd 的污染比较严重,平均潜在生态风险因子分别为 64.76、61.69,其中 Cu 有 46% 的采样点处于中等以上风险程度,15% 处于可观程度,8% 处于高值风险程度;61% 的采样点 Cd 处于中等以上风险程度,13% 采样点处于高值风险程度。从潜在生态风险参数分析,5 种重金属中,因 Cd 污染参数和毒性响应系数高,存在较高的潜在生态风险;由于 Pb、Zn、Cr 污染参数较低和毒性响应参数较小,单一污染参数分析时都没有风险;Cu 的污染参数和毒性响应参数较小,但由于其含量明显超标,存在较高的潜在生态风险;沉积物潜在生态风险指数总体上属于中等潜在生态风险,重金属污染物的平均潜在生态风险因子顺序为  $Cu > Cd > Pb > Zn > Cr$ ,其中 Cd 对鄱阳湖的生态风险贡献最大<sup>[11]</sup>。Cu 属于沉积物中最重要的污染因子,污染指数为 12.953;综合污染指数 Cd 均值达 10;鄱阳湖目前的重金属污染程度非常严重,尤其在信江入湖口污染最为严重,综合污染指数达 51.421。

不同水生植物对各种重金属元素的吸收富集状况具有相对一致性,即  $Zn > Cu > Pb > Cd$ ,水生植物对重金属元素的吸收与积累反映了环境中重金属污染水平;多数水生植物的重金属综合污染指数(MPI)枯水期高于丰水期;大部分水生植物根部的重金属含量比茎、叶等部分偏高,反映了重金属

元素在植物不同部位细胞体内的迁移特性<sup>[15]</sup>。调查的鄱阳湖湿地 22 种杂草地上部重金属含量均未达到超富集植物的临界含量标准,且其中 16 种植物对 Cu、Pb、Zn、Cd 的富集系数和转移系数均小于 1,不具备鄱阳湖湿地重金属高积累植物的基本特征。灰化苔草根部和地上部 Pb 的富集系数均大于 1,且地上部含量大于根部含量;飞廉和小窃衣地上部分 Zn 的富集系数大于 1,转移能力强,Zn 主要富集在植物叶部,飞廉叶部 Zn 含量为 599.5 mg/kg,转移系数达 5.6,小窃衣叶部 Zn 含量为 510.3 mg/kg,转移系数为 35.9;南荻、一年蓬、飞廉、鼠曲草地上部分 Cd 的富集系数均大于 1,转移系数也大于 1。值得注意的是,一年蓬地上部分 Cd 含量最高达 22.1 mg/kg,灰化苔草、飞廉、小窃衣、南荻、一年蓬的生物量都较大。所以,灰化苔草具备富集 Pb,飞廉和小窃衣具有富集 Zn,南荻、一年蓬、飞廉和鼠曲草有富集 Cd 的鄱阳湖高富集植物的基本特征,可以列为鄱阳湖湿地重金属污染修复植物的选择对象<sup>[16]</sup>。

汪月华等<sup>[17]</sup>研究表明,儿童发中 Cu 含量与乐安河水体的水、悬浮物、底泥均呈高度正相关,相关系数  $R$  都在 0.9 以上,儿童发中 Zn 含量与水、悬浮物分别呈正相关和高度正相关,其余各元素与水体金属元素的含量相关性均不明显,表明乐安河主要金属污染物 Cu、Zn 对儿童发中 Cu、Zn 含量的影响明显,即发中微量元素的含量与环境污染密切相关。

### 3 防止金属矿开采对水环境影响的主要措施

**3.1 健全日常环境执法的长效机制** 2011 年 3 月江西省对环境专项整治进行了部署,以解决危害群众健康和影响可持续发展的突出环境问题为重点,深入整治重点行业重金属污染问题,严厉打击环境违法行为,积极服务鄱阳湖生态经济区建设。通过开展环保专项行动,促进建立健全日常环境执法的长效机制,将专项行动检查的重点行业、企业纳入日常监管范围。完善后督察制度,将定期检查和不定期巡查相结合,巩固整治成果。

**3.2 建立源头控制与减排新技术的体系** 江西铜业集团从改进生产工艺入手,优化采矿工艺,选铜回收率为 86.60%,选金回收率 62.32%;把酸性废水用于选硫工艺,把尾矿库的碱性废水用于选铜工艺,其余酸性废水引入尾矿库与库中的碱性废水中和,达到以废治废的目的;废水复用率为 85%,高出全国平均水平约 30%。每年节约用水资金 2 000 万元,节约用水 3 000 万 t,大大减少了工业废水对环境的污染。江西铜业集团所属的德兴铜矿对低品位斑岩铜矿床采用综合技术进行科研攻关,将采矿边界品位从 0.3% 降至 0.25% ~ 0.20%,使原设计应丢弃的废石全部得到利用,延长德兴铜矿使用年限 4.5 年,多回收铜金属 38.3 万 t,黄金 28 t。武山铜矿采用分级尾砂替代江沙充填井下采空区,既降低生产成本,又减少尾砂库排入量。银山矿业以尾砂为原料生产钙化砖和绢云母等产品,每年消耗尾砂 5 万 t,产生经济效益 300 万元。

赣州市龙南县在稀土生产过程中采用原地浸矿法开采稀土,利用稀土废水、稀土尾砂、淤泥综合处理收集稀土 3 种

新工艺,有效保护了环境。原地浸矿法可以保护地表 40% ~ 60% 的植被;除注液孔破坏表土层外,表土层的 30% ~ 60% 可以免受破坏;新工艺产生的尾砂很少。稀土废水综合处理措施主要有两种:①稀土废水综合处理收集稀土:矿山流下来的废水经过水体多级沉淀、树脂的多级吸附,然后萃取收集稀土,可以使水中的泥沙悬移质含量从 0.22 ~ 1.50 kg/m<sup>3</sup> 降至 0.05 kg/m<sup>3</sup> 以下;②稀土尾砂、淤泥综合处理收集稀土:以拦砂坝拦截的淤泥为原料,用固液分离及碳酸盐沉淀工艺回收稀土,稀土回收率达 98%,该工艺可减轻稀土矿区拦砂坝淤泥负荷压力<sup>[7]</sup>。

**3.3 建立多元化的生态修复体系** 土壤重金属污染的治理途径主要有 3 种:①改变重金属在土壤中的赋存状态,使其稳定或固定,降低其活性,使其钝化,脱离食物链,以降低其在环境中的迁移性和生物可利用性;②利用各种技术从土壤中去掉重金属,达到回收和减少土壤中重金属的双重目的,如可以利用淋洗液将土壤固相中的重金属转移至液相中,再把富含重金属的废水进一步回收处理<sup>[18]</sup>;③利用各种防渗材料,如水泥、粘土、石板、塑料板等,将污染地区与未污染地区隔离,以减少或阻止重金属的迁移和扩散<sup>[19]</sup>。

重金属的生物修复途径有两种:①污染土壤中种植超积累植物,利用其对重金属的吸收、积累和耐性除去重金属。如蜈蚣草对 As、Pb、Zn 有很强的耐性,蜈蚣草根吸收的 Pb 能够大量地向地上部分转运,从而增加了蜈蚣草地上部对 Pb 的富集能力。蜈蚣草对 Pb 具有富集能力,对 Pb 具有较高的去除量(达 844 mg/株),同时与 As 的富集存在一定的协同作用,蜈蚣草是一种很好的 Pb 污染土壤的修复材料<sup>[20]</sup>。②利用微生物把重金属转化为较低毒性产物,或利用重金属与微生物的亲合性进行吸附,降低重金属的毒性和迁移能力<sup>[1]</sup>。

### 参考文献

- [1] 张溪,周爱国,甘义群,等. 金属矿山土壤重金属污染生物修复研究进展[J]. 环境科学与技术,2010,33(3):106-112.
- [2] 饶钦富. 赣州稀土新工艺有效保护环境[N]. 中国化工报,2009-08-11.
- [3] BHUIYAN M A H, ISLAM M A, DAMPARE S B, et al. Evaluation of hazardous metal pollution in irrigation and drinking water systems in the vicinity of a coal mine area of northwestern Bangladesh[J]. Journal of Hazardous Materials, 2010, 179(1/3):1065-1077.
- [4] IQBAL J, SHAH M H, AKHTER G. Characterization, source apportionment and health risk assessment of trace metals in freshwater Rawal Lake, Pakistan[J]. Journal of Geochemical Exploration, 2013, 125:94-101.
- [5] SILVA L F, FDEZ-ORTIZ DE VALLEJUELO S, MARTINEZ-ARKARAZO I, et al. Study of environmental pollution and mineralogical characterization of sediment rivers from Brazilian coal mining acid drainage[J]. Science of The Total Environment, 2013, 447:169-178.
- [6] 杨歌,周跃,贝荣塔,等. 滇东南矿区河流底泥重金属污染潜在生态风险评价[J]. 环境科学导刊,2007,26(1):80-82.
- [7] 刘晖,张昭,李伟. 梁子湖水体和底泥中微量元素及重金属的空间分布格局及污染评价[J]. 长江流域资源与环境,2011,20(Z1):105-111.
- [8] 李鸣,刘琪璟. 鄱阳湖水体和底泥重金属污染特征与评价[J]. 南昌大学学报:理科版,2010,34(5):486-490.
- [9] 区铭亮,周文斌,胡春华. 鄱阳湖水系重金属出入湖通量估算[J]. 广东农业科学,2012(4):114-117.
- [10] 陈翠华,倪师军,何彬彬,等. 江西德兴矿集区水系沉积物重金属污染分析[J]. 长江流域资源与环境,2008,17(5):766-770.

(下转第 11202 页)

站全”的组织形式,实现园艺生产的规模化经营。通过产业政策扶持原有出口基地,兴建一批重点产品的园艺产品出口生产基地<sup>[4]</sup>。因地制宜,组织各种产品的区域性大产区,在各产区形成一批规模大的种植生产、销售和深加工等企业,以推动规模化经营,促进产品外销。

**3.3 坚持区域布局,建设自身优势板块** 按照“科学规划、聚焦特色、壮大规模”的思路,因地制宜地做好荆州区观赏类花木市场的资源整合,大力发展桃花村文化节的影响力;做好对公安县葡萄产业区域及发展规划,不断优化产业布局;做好对沙市区无公害绿色蔬菜基地、松滋市药用植物花卉、洪湖市水生植物、监利县水稻经济农作物、石首市瓜果类农作物和经济速成林等布局的培育,大力推进规模化。从土地、资金和技术等方面大力扶持引导,促进产业集中连片发展,形成以城区为核心,“三县三市”共同推进的格局,即沿荆江为廊道,全市发展各自优势明显的园艺产业。二是大力推进特色化。以优秀园艺发展企业和合作社为示范,对品种进行优中选优,逐步形成“一区一品”或“一市一品”的大园艺产业布局,打造一批园艺生产特色区域。各级政府应从本地资源的优势条件出发,围绕农业结构调整,推广优良品种和优质产品工艺技术通过以奖代补形式,引导推进节能环保种植,鼓励农民兴建标准园艺区,发展大棚等设施化栽培<sup>[4]</sup>。

**3.4 坚持市场化运作,拓宽园艺销售市场** 首先,借助荆州市厚重的历史文化,举办“楚都园艺交易会”,吸引国内外客商。按照“政府搭台、企业唱戏、农民受益”的方式,丰富交易会举办形式,全方位、多层次地展示荆州市对外形象以及稳定的投资环境和政策环境,初步实现“以会兴农,扬园艺产业盛名、树荆州地域美名”的目标。再次,规范专业合作社,服务市场。引导专业合作组织联合建立协会,广泛吸纳农户,逐步建立起农民到协会,协会到生产的运行模式。发挥合作社组织在科技培训、质量监督、市场营销、果品展销和培育经纪人队伍等方面的作用,实现设施园艺产业规模化生产、集约化经营和标准化栽培<sup>[6]</sup>。最后,扩宽销售渠道信息。通过农业经纪人、农业网络信息、农业广电、农业推广服务、

农科院所等平台预约收购、上门采购和与超市对接等方式,不断拓展园艺产品的销售渠道。

**3.5 创新技术服务方式,提高农民应用科技的能力** 加强市、县、乡(镇)3级农业技术推广服务体系,在全市形成一个比较完善的技术服务网络,并通过项目资金与联合高等院校等方式,促进农技推广部门自身建设。有组织、有计划地开展各类设施园艺生产技术的宣传和培训,从建造高质量的园艺设施到茬口安排、栽培管理、病虫害防治,对农民进行全程指导,全面提高农民科学技术素质和种植管理水平<sup>[5]</sup>。园艺产业农技人员要充分利用互联网、电视、广播和报纸杂志等媒体,帮助农民拓宽信息渠道,熟悉农林业政策走向、学习园艺园林科技知识和了解农作物市场行情,及时掌握市场信息。示范推广将节水灌溉、立体栽培、无土栽培、工厂规模化育苗及其他高产高效优质栽培技术应用到荆州市的园艺产业中去,并注重对广玉兰、枇杷、樟树、荷花、茉莉、月季、柑橘、桃子、葡萄、水稻、棉花等优良品种和优势产品的研究利用,总结成套技术经验加以推广。

#### 参考文献

- [1] 熊兴耀,丁伟平. 湖南园艺产业现状及发展思路探讨[C]//邹学校. 园艺学文集——湖南省园艺学会第八次会员代表大会暨学术年会论文集. 长沙:湖南科学技术出版社,2005.
- [2] 荆州农业—荆州农业信息网. 荆州农业概况[EB/OL]. (2012-11-26)http://www.hbjzagri.gov.cn/about/jzny/.
- [3] 师立伟. 提高设施园艺生产水平加快农民增收致富步伐——定西市设施园艺生产的实践与思考[J]. 甘肃农业,2004,3(3):1-5.
- [4] 张国庆,李莉,李建伟,等. 发展现代园艺产业,促进农民增收[J]. 天津农林,2007,4(2):1-4.
- [5] 毕丹霞. 新农村建设中农民教育培训及其对园艺产业发展的影响[D]. 杨凌:西北农林科技大学园艺园林学院,2008.
- [6] 陈静娴. 现代设施园艺急需现代农业技术[J]. 安徽科技,1999(5):32-33.
- [7] 谢臣. 永宁县设施园艺实践体会[J]. 宁夏农林科技,2012,53(6):54-55,87.
- [8] 刘二亮,陈颢. 浅谈我国设施园艺发展现状及前景[J]. 内蒙古农业科技,2011(1):13-15.
- [9] 何科佳,李健权,潘美山,等. 设施园艺——湖南省园艺产业的战略选择[J]. 湖南农业科学,2011(19):119-121.
- [10] 崔德杰,张玉龙. 土壤重金属污染现状与修复技术研究进展[J]. 土壤通报,2004,35(3):366-370.
- [11] 陈桂荣,曾向东,黎巍,等. 金属矿山土壤重金属污染现状与修复技术展望[J]. 矿产保护与利用,2010(2):41-44.
- [12] 谢景干,雷梅,陈同斌,等. 蜈蚣草对污染土壤中As、Pb、Zn、Cu的原位去除效果[J]. 环境科学学报,2010,30(1):165-170.
- [13] 吴迪,邓琴,秦樊鑫,等. 铅锌矿区农作物果实中重金属的含量及其食用安全性评价[J]. 西南农业学报,2012(3):954-957.
- [14] 邱小香,朱海燕. 水体重金属的污染及其处理方法[J]. 湖南农业科学,2011(14):34-35.
- [15] 李庚飞. 潼关县某矿区附近土壤重金属污染程度评价[J]. 安徽农业科学,2012,40(20):10422-10423.
- [16] WANG Y, XIANG Z, HE H Z, et al. Research progress of phytoremediation technology on soils polluted by heavy metals in mining areas[J]. Agricultural Science & Technology, 2012, 13(10):2133-2136.

(上接第11171页)

- [11] 胡春华,李鸣,夏颖. 鄱阳湖表层沉积物重金属污染特征及潜在生态风险评价[J]. 江西师范大学学报:自然科学版,2011,35(4):427-430.
- [12] 刘小真. 鄱阳湖流域底质重金属及杀虫剂类 POPs 垂直污染分布特征[D]. 南昌:南昌大学,2008.
- [13] 胡利娜,刘小真,周文斌,等. 鄱阳湖水域 DW 采样点底泥重金属垂直污染分析[J]. 环境科学与技术,2009,32(6):108-111.
- [14] 刘小真,周文斌,胡利娜,等. 抚河南昌段底泥重金属污染特征研究[J]. 环境科学与技术,2008,31(5):30-34.
- [15] 简敏菲,游海,弓晓峰,等. 鄱阳湖典型区域重金属污染的水生植物监测与评价[J]. 土壤通报,2007,38(2):329-333.
- [16] 李鸣,吴结春,李丽琴. 鄱阳湖湿地 22 种植物重金属富集能力分析[J]. 农业环境科学学报,2008,27(6):2413-2418.
- [17] 汪月华,李青,李秀峰. 重金属污染与儿童发中微量元素的关系研究[J]. 环境与开发,1999,14(4):23-25.