

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第34卷 第6期

Vol.34 No.6

2013

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

2008 ~ 2010 年北京城区大气 BTEX 的浓度水平及其 O ₃ 生成潜势	曹函玉, 潘月鹏, 王辉, 谭吉华, 王跃思 (2065)
利用 SPAMS 研究上海秋季气溶胶污染过程中颗粒物的老化与混合状态	牟莹莹, 楼晟荣, 陈长虹, 周敏, 王红丽, 周振, 乔利平, 黄成, 李梅, 李莉, 王倩, 黄海英, 邹兰军 (2071)
沈阳市降水化学成分及来源分析	张林静, 张秀英, 江洪, 张清新 (2081)
秦皇岛大气污染物浓度变化特征	刘鲁宁, 申雨璇, 辛金元, 吉东生, 王跃思 (2089)
笼养鸡生长过程 NH ₃ 、N ₂ O、CH ₄ 和 CO ₂ 的排放	周忠凯, 朱志平, 董红敏, 陈永杏, 尚斌 (2098)
碳化硅协同分子筛负载型催化微波辅助催化氧化甲苯性能	王晓晖, 卜龙利, 刘海楠, 张浩, 孙剑宇, 杨力, 蔡力栋 (2107)
生物滴滤塔净化多组分废气的研究	张定丰, 房俊逸, 叶杰旭, 邱松凯, 钱东升, 戴启洲, 陈东之 (2116)
在氧化和还原氛围下脉冲电晕法降解二硫化碳废气	金圣, 黄立维, 李国平 (2121)
模拟大气 CO ₂ 水平升高对春季太湖浮游植物生理特性的影响	赵旭辉, 汤龙升, 史小丽, 杨州, 孔繁翔 (2126)
一种确定湖泊水质基准参照状态浓度的新方法	华祖林, 汪靛 (2134)
HSPF 径流模拟参数敏感性分析与模型适用性研究	李燕, 李兆富, 席庆 (2139)
基于非点源污染的水质监测方案研究	吴喜军, 李怀恩, 李家科, 李强坤, 董雯 (2146)
不同雨强下黄棕壤坡耕地径流养分输出机制研究	陈玲, 刘德富, 宋林旭, 崔玉洁, 张革 (2151)
春季东海赤潮发生前后营养盐及溶解氧的平面分布特征	李鸿妹, 石晓勇, 陈鹏, 张传松 (2159)
三峡库区大宁河枯水期藻细胞的时空分布	张永生, 郑丙辉, 王坤, 姜霞, 郑浩 (2166)
湖泊沉积物溶解性有机氮组分的藻类可利用性	冯伟莹, 张生, 焦立新, 王圣瑞, 李畅游, 崔凤丽, 付绪金, 甄志磊 (2176)
刚毛藻分解对上覆水磷含量及赋存形态的影响	侯金枝, 魏权, 高丽, 孙卫明 (2184)
反复扰动下磷在沉积物和悬浮物以及上覆水间的交换	李大鹏, 王晶, 黄勇 (2191)
三峡库区主要支流表层沉积物多溴联苯醚的分布特征	李昆, 赵高峰, 周怀东, 刘晓茹, 余丽琴, 文武, 张盼伟 (2198)
UV 和 H ₂ O ₂ 联合消毒灭活饮用水中大肠杆菌研究	张一清, 周玲玲, 张永吉 (2205)
臭氧降解水中邻苯二甲酸二甲酯的动力学及影响因素	于丽, 张培龙, 侯甲才, 庞立飞, 李越, 贾寿华 (2210)
硝酸根对水体中甲基汞光化学降解的影响	毛雯, 孙荣国, 王定勇, 马明, 张成 (2218)
快雌醇氯化反应的动力学和机制研究	王斌楠, 刘国强, 孔德洋, 陆勇鹤 (2225)
金属离子对 δ-MnO ₂ 去除对叔辛基酚抑制作用的研究	李非里, 牟华倩 (2232)
核-壳表面磁性印迹聚合物的制备及其对水中双酚 A 的特异性去除	刘建明, 李红, 熊振湖 (2240)
有机蒙脱石负载纳米铁去除溶液中四溴双酚 A 的研究	闫梦玥, 庞志华, 李小明, 退建宇, 罗隽 (2249)
纳滤预处理测定景观水体中溶解性有机氮质量浓度及其分布特征	于红蕾, 霍守亮, 杨周生, 席北斗, 咎逢宇, 张靖天 (2256)
改性水凝胶的制备及其对 Pb ²⁺ 、Cd ²⁺ 吸附性能研究	吴宁梅, 李正魁 (2263)
直接大红 4BE 的磷钨酸均相光催化还原脱色	魏红, 李克斌, 李娟, 陈经涛, 张涛 (2271)
基于微气泡曝气的生物膜反应器处理废水研究	张磊, 刘平, 马锦, 张静, 张明, 吴根 (2277)
Fenton 法处理竹制品废水生化出水出水研究	郭庆稳, 张敏, 王炜, 杨治中, 吴东雷 (2283)
二价铁离子对 UASB 反应器厌氧发酵产氢效能的影响	李永峰, 王艺璇, 程国玲, 刘春妍 (2290)
进水底物浓度对蔗糖废水产酸合成 PHA 影响研究	陈志强, 邓毅, 黄龙, 温沁雪, 郭子瑞 (2295)
接种好氧颗粒污泥快速启动硝化工艺的过程研究	刘文如, 沈耀良, 丁玲玲, 丁敏 (2302)
聚磷污泥去除高浓度铅的影响因素研究	杨敏, 卢龙, 冯涌, 方超, 李雄清 (2309)
体积溶氧传递系数在好氧颗粒污泥系统中的变化特性初步分析	李志华, 范长青, 王晓昌 (2314)
我国淡水水体中双酚 A (BPA) 的生态风险评价	汪浩, 冯承莲, 郭广慧, 张瑞卿, 刘跃丹, 吴丰昌 (2319)
麦穗鱼物种敏感性评价	王晓南, 刘征涛, 闫振广, 张聪, 何丽, 孟双双 (2329)
不同评估方法得出的五氯酚的 PNEC 值的比较研究	雷炳莉, 文育, 王艺陪, 康佳, 刘倩 (2335)
桂林市交警头发 Hg、Pb 含量及分布研究	钱建平, 张力, 李成超, 黄栋 (2344)
直流电场处理后降线藻趋光性对 Cu ²⁺ 和 Hg ²⁺ 的响应	王飞祥, 袁玲, 黄建国 (2350)
UV-B 辐射对青冈凋落叶化学组成和分解的影响	宋新章, 卜涛, 张水奎, 江洪, 王志坤, 赵明水, 刘永军 (2355)
7 种树木的叶片微形态与空气悬浮颗粒吸附及重金属累积特征	刘玲, 方炎明, 王顺昌, 谢影, 杨聘聘 (2361)
溶解氧对碳氮硫共脱除工艺中微生物群落影响解析	于皓, 陈川, 张莉, 王爱杰 (2368)
不同耕地利用方式下土壤微生物活性及群落结构特性分析: 基于 PLFA 和 MicroResp TM 方法	陈晓娟, 吴小红, 刘守龙, 袁红朝, 李苗苗, 朱捍华, 葛体达, 童成立, 吴金水 (2375)
典型滨海湿地干湿交替过程氮素动态的模拟研究	韩建刚, 曹雪 (2383)
三峡库区巫山建坪地区土壤镉等重金属分布特征及来源研究	刘意章, 肖唐付, 宁增平, 贾彦龙, 黎华军, 杨菲, 姜涛, 孙旻 (2390)
北京市不同区位耕作土壤中重金属总量与形态分布特征	陈志凡, 赵焯, 郭廷忠, 王永峰, 田青 (2399)
季节变化对贵阳市不同功能区地表灰土重金属的影响	李晓燕 (2407)
东营市孤岛地区土壤中类二噁英类 PCBs 的污染特征	王登阁, 崔兆杰, 傅晓文, 殷永泉, 许宏宇 (2416)
模拟氮沉降对森林土壤有机物淋溶的影响	段雷, 马萧萧, 余德祥, 谭炳全 (2422)
甲基 β 环糊精对污染场地土壤中多环芳烃的异位增效洗脱修复研究	孙明明, 滕应, 骆永明, 李振高, 贾仲君, 张满云 (2428)
胶质芽孢杆菌对印度芥菜根际土壤镉含量及土壤酶活性影响	杨榕, 李博文, 刘微 (2436)
长期施用粪肥蔬菜基地蔬菜中典型抗生素的污染特征	吴小莲, 向垒, 莫测辉, 姜元能, 严青云, 李彦文, 黄献培, 苏青云, 王纪阳 (2442)
有机废弃物堆肥培肥土壤的氮矿化特性研究	张旭, 席北斗, 赵越, 魏自民, 李洋, 赵昕宇 (2448)
北京市生活垃圾转运站耗能和排污特征及其影响因素分析	王昭, 李振山, 冯亚斌, 焦安英, 薛安 (2456)
氨对垃圾焚烧灰渣浸出特性的影响及地球化学模拟	官贞珍, 陈德珍, Thomas Astrup (2464)
焚烧飞灰预处理工艺及其无机氯盐的行为研究	朱芬芬, 高冈昌辉, 大下和傲, 姜惠民, 北岛義典 (2473)
富含中孔与酸性基团的生物炭的制备与吸附性能	李坤彬, 李辉, 郑正, 张雨轩 (2479)
生物炭技术缓解我国温室效应潜力初步评估	姜志翔, 郑浩, 李锋民, 王震宇 (2486)
基于物质流分析的钾素流动与循环研究	白桦, 曾思育, 董欣, 陈吉宁 (2493)
《环境科学》征订启事 (2115)	
《环境科学》征稿简则 (2224)	
信息 (2217, 2289, 2349, 2398)	
专辑征稿通知 (2478)	

基于物质流分析的钾素流动与循环研究

白桦, 曾思育, 董欣, 陈吉宁*

(清华大学环境学院, 北京 100084)

摘要: 我国钾矿资源匮乏, 自给率低, 主要的使用和流动过程集中在种植业活动中。本研究利用物质流分析方法对 2009 年我国种植业生产和消费过程中钾素的流动和循环过程进行了解析。结果表明, 农田土壤钾素平均亏损量达到 $50.4 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 大量钾素由陆生生态系统进入水生生态系统, 造成资源流失。伴随降雨径流进入水环境的钾素达 231.2 万 $\text{t} \cdot \text{a}^{-1}$, 占当年化学钾肥施用量的 40.97%。生活污水排放是钾素进入水体的另一主要途径, 城市和农村区域的年排放量分别为 67.1 万 $\text{t} \cdot \text{a}^{-1}$ 和 54.7 万 $\text{t} \cdot \text{a}^{-1}$, 占进入水环境钾素总量的 19.00% 和 15.50%。其中通过城市污水处理厂排放进入地表水环境中钾素为 50.5 万 $\text{t} \cdot \text{a}^{-1}$, 占城市区域排放总量的 75.25%。

关键词: 钾; 物质流分析; 生活污水; 水环境; 养分流失

中图分类号: X192 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2013)06-2493-04

Research of Potassium Flow and Circulation Based on Substance Flow Analysis

BAI Hua, ZENG Si-yu, DONG Xin, CHEN Ji-ning

(School of Environment, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: Mass of potassium is consumed in the process of crop production, which is the dominating section of potassium flow and circulation in China. However, the degree of self-sufficiency is relatively low due to the deficient domestic resource of potassium. This study analyzed the key links of potassium issues in crop production and consumptive use in 2009 based on substance flow analysis. The results indicated that the farmland nutrient balance of input/output couldn't make even, with a heavy deficit of $50.4 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ at the national level. Meanwhile, about 2.31 million ton of potash fertilizer was washed away into the hydrologic cycle, which accounts for 40.97% of chemical fertilizer applied in the whole year. Domestic wastewater in urban and rural areas was identified as another primary source for the transformation of potassium from terrestrial ecosystem to water environment system, annually contributing 671 and 547 thousand tons, which takes up 19.00% and 15.50%, respectively. And the amount of potassium in effluent of wastewater treatment plants was 505 thousand tons per year, accounting for 75.25% of the total emission in urban areas.

Key words: potassium; substance flow analysis; domestic wastewater; water environment; nutrient loss

钾是地壳中储量丰富的碱金属元素之一, 丰度为 2.59%, 是植物生长的必需营养元素之一, 也是农作物种植生产和粮食安全的保障性物资^[1,2,14]。然而, 钾在全球的分布极不平衡, 仅加拿大和俄罗斯两个国家的拥有量就超过世界总储量的 80%, 我国的钾资源十分匮乏, 进口依赖度高达 70%^[1,3,4]。因此, 过去的大多数研究重点关注农田钾素平衡及其对农业生产活动的影响^[5,17,18], 但实际上钾被开发利用以及排放的过程中, 地表水体是其循环流动中的重要受体, 目前尚缺乏针对钾进入水环境而造成资源流失的定量研究。本研究采用物质流分析的工具, 定量分析 2009 年我国钾的迁移转化及其在不同载体中的再分布过程, 识别其循环流动特征, 以期寻找钾的高效利用途径提供依据。

1 研究方法

1.1 物质流分析

物质流分析遵循质量守恒定律, 是定量分析系

统物质出入情况的有效方法, 具有明“源”解“汇”、直观清晰的特点^[6,7]。本研究利用该方法对钾素进行了初步研究, 剖析系统中的输入来源和支出去向, 识别物质流动和循环的主要特征。

1.2 钾的物质流动与循环

本研究建立了钾素物质流动与循环分析模型 (如图 1 所示), 量化了我国 2009 年在种植业生产中的 6 项钾素投入 (化学钾肥、畜禽粪尿、秸秆还田、降雨、灌溉、农村生活粪便还田, 分别用 $I_1 \sim I_6$ 表示), 钾素进入地表水环境的 4 种途径 (农田径流汇入、农村生活污水排放、城市居民生活污水直接排放、城市生活污水处理厂尾水排放, 分别用 $WW_2 \sim WW_5$ 表示), 以及钾素在农作物种植生产、消费使用和废弃物处理等环节的流动过程。图 1 中带有

收稿日期: 2012-06-08; 修订日期: 2012-12-19

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项 (2009ZX07318-008)

作者简介: 白桦 (1986 ~), 男, 博士研究生, 主要研究方向为城市水环境系统分析, E-mail: baihua0001@163.com

箭头的连接线表征钾素的流向,连接线上的数字表示相应的通量强度.通过文献调研及实地监测,确定钾素物质流分析中各项的计算公式及参数取值(表1).

表1 钾素物质流分析中的核算方法与参数取值

Table 1 Calculation method and parameter values in research of potassium flow and circulation			
项目	计算公式	参数及其含义	取值
化学钾肥 I_1	—	I_1 : 全年钾肥投入量 ^[8]	$I_1 = 5.64 \times 10^6 \text{ t}$
畜禽粪尿 I_2	$I_2 = G \times R_1 \times \sum (p_i \times k_i)$	G : 畜禽粪便总量 R_1 : 畜禽粪便还田率 ^[9] $p_i (i=1,2,3)$: 牛、羊和生猪粪便占粪便总量的比例 $k_i (i=1,2,3)$: 牛、羊和生猪粪便中含钾量 ^[10]	$G = 2.26 \times 10^9 \text{ t}$ $R_1 = 60\%$ $p_i (i=1,2,3) = 50.50\%, 23.79\%, 10.95\%$ $k_i (i=1,2,3) = 0.1\%, 0.4\%, 0.35\%$
农田输入 秸秆还田 I_3	$I_3 = O_2 \times R_2$	O_2 : 作物秸秆总量 R_2 : 秸秆还田率 ^[11]	O_2 : 参见表2 $R_2 = 36.60\%$
降雨 I_4	$I_4 = \text{Land} \times \text{Rain} \times C_1$	Land : 2009 年全国总耕地面积 Rain : 年平均降雨量 ^[12] C_1 : 降雨中含钾浓度 ^[13]	$\text{Land} = 1.22 \times 10^8 \text{ hm}^2$ $\text{Rain} = 869.88 \text{ mm}$ $C_1 = 0.42 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$
灌溉 I_5	$I_5 = \text{Irrigation} \times C_2$	Irrigation : 2009 年全国灌溉用水量 C_2 : 灌溉水中含钾浓度 ^[13]	$\text{Irrigation} = 3.72 \times 10^{11} \text{ m}^3$ $C_2 = 1.5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$
农村生活粪便还田 I_6	$I_6 = C_3 \times \text{Pop}_1 \times 0.85 \times R_3^{1)}$	C_3 : 成年人粪尿含钾量 ^[14] Pop_1 : 农村人口 R_3 : 粪尿农田归还率 ^[15]	$C_3 = 1.67 \text{ kg} \cdot \text{a}^{-1}$ $\text{Pop}_1 = 7.13 \times 10^8$ $R_3: 47\%$
农田输出 秸秆 O_1	$O_1 = (\sum G_i \times S_i) \times R_4$	G_i : 不同种类作物的粮食产量 S_i : 不同种类作物的谷草比 R_4 : 秸秆中含钾比例 ^[16]	G_i, S_i : 参见表2 $R_4: 1.67\%$
农田输出 籽实 $O_2^{2)}$	$O_1: O_2 = C_4$	C_4 : 农作物秸秆与籽实中钾含量比例 ^[17]	$C_4 = 0.81: 0.19$
径流 WW_2	$WW_3 = \text{Land} \times C_5$	C_5 : 单位面积耕地的钾损失量 ^[18]	$C_5 = 18.95 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$
农产品消费 U_1	$U_1 = O_1 \times [(\text{Pop}_1 \times C_6) \div (\text{Pop}_1 \times C_6 + \text{Pop}_2 \times C_7)]$	$C_6: C_7$: 农村和城市居民家庭人均粮食消费比例 ^[19]	$\text{Pop}_2 = 6.22 \times 10^8$ $C_6: C_7 = 0.3: 0.7$
农村居民 农村生活污水排放 WW_3	$WW_3 = C_3 \times \text{Pop}_1 \times 0.85 \times (1 - R_3)$		
生活垃圾 SW_2	$SW_2 = U_1 - I_6 - WW_5$		
农产品消费 U_2	$U_2 = O_1 \times [(\text{Pop}_2 \times C_7) \div (\text{Pop}_1 \times C_6 + \text{Pop}_2 \times C_7)]$	WW : 城市污水年排放总量 ^[20]	$WW = 3.71 \times 10^{10} \text{ m}^3$
生活污水处理 WW_1	$WW_1 = WW \times C_8 \times R_5$	C_8 : 污水含钾浓度 ³⁾	$C_8 = 18.08 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$
城市居民 生活污水直接排放 WW_4	$WW_4 = WW \times C_8 \times (1 - R_5)$	R_5 : 污水处理率 ^[20]	$R_5 = 75.25\%$
污水处理厂尾水 WW_5	$WW_5 = WW_1 - SW_2$	SW : 干污泥产生量 ^[20]	$SW = 892.61 \times 10^4 \text{ t}$
污水处理厂污泥 SW_3	$SW_3 = SW \times C_9$	C_9 : 污泥含钾量 ^[21]	$C_9 = 9.63 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$
生活垃圾 SW_4	$SW_4 = U_1 - WW_1 - WW_3$		

1) 将农业人口数乘以 0.85 换算为成人; 2) 当年生产的籽实全部消费, 没有考虑作为种子或粮食存储等用途; 3) 检测方法依据标准《水质 钾和钠的测定 火焰原子吸收分光光度法 (GB/T 11904-1989)》

2 结果与分析

2009 年,我国种植业生产的钾素投入总量为 1 523.6 万 t,钾素支出总量为 2 138.6 万 t,农田钾素处于亏损状态,亏损量为 615.0 万 t. 钾素的输入和支出组成情况如图 2 所示.

在农业生产的钾素输入端,降雨、灌溉和农村生活粪便还田的贡献相对较小,分别为 44.5 万 t (2.92%)、55.9 万 t (3.67%) 和 48.5 万 t

(3.18%). 钾肥施用量为 1 374.7 万 t,化肥和有机肥分别占 41.05% 和 58.95%; 在有机肥中,畜禽粪便和秸秆还田又各占 30.75% 和 69.25%. 在支出端,农作物籽实和秸秆中的钾含量分别为 374.0 万 t 和 1 533.4 万 t; 通过降雨径流损失的农田钾素为 231.2 万 t,约占总支出的 11%.

在消费使用环节,进入农村和城市的农作物籽实中的含钾量分别为 272.2 万 t 和 101.8 万 t. 城市日常生活中,通过污水排放进入水环境系统的钾含

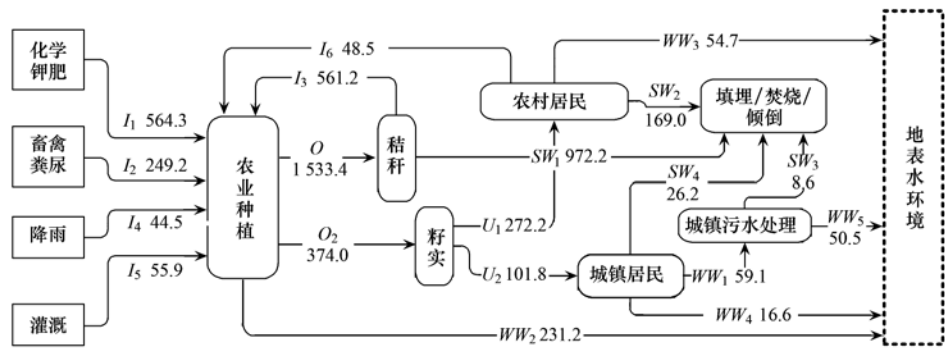


图 1 基于物质流的钾素流动与循环分析(单位: $\times 10^4$ t)
Fig. 1 Potassium flow and circulation based on substance flow analysis (Unit: $\times 10^4$ t)

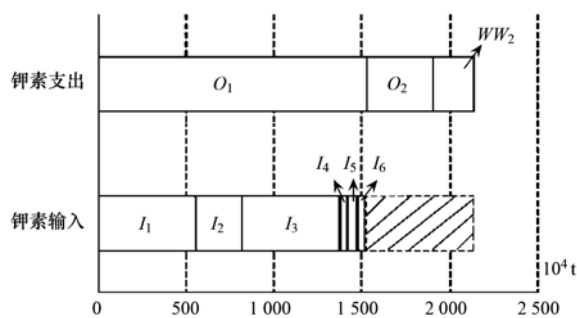


图 2 种植业生产的钾素输入与支出组成示意
Fig. 2 Potassium input and output structure of crop production

量为 67.1 万 t, 占总支出的 65.88%; 其中, 污水处理厂尾水中含有钾素 50.5 万 t, 占进入水环境钾量的 75.25%; 而在污水处理过程中, 有 8.6 万 t 的钾素进入污泥中。

在农村日常生活中, 169.0 万 t 的钾素通过填埋、焚烧或倾倒的方式进入再循环过程, 54.7 万 t 的钾素随生活污水进入水环境系统, 约占农村消费使用支出的 1/5。

3 讨论

3.1 我国农田钾素平衡现状

研究核算发现, 2009 年全国耕地共亏损钾素 615.0 万 t, 约占当年钾素总投入量的 40.37%, 平均单位耕地钾素亏损 $50.4 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。方玉东等^[17]的研究结果表明, 2000 年全国农田钾素处于亏损的县域单元数占总单元数的 77.39%, 平均单位耕地钾亏损 $40 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 左右。而 1979 年全国第二次土壤普查资料显示, 全国仅有 23% 的农田缺钾, 14.0% 磷钾俱缺^[22]。可见经过 30 年的农业发展, 我国农田的缺钾程度和面积比例均有所提高。

通过分析农田钾素的输入和支出结构看出, 钾素输入主要依靠人工施肥, 自然降雨和人工灌溉的

作用微弱, 因此在土壤钾素亏损较为严重的地区, 可以结合实际情况适当追施钾肥。同时, 约 80% 的钾素通过作物秸秆的形式输出, 是农田钾素生物产出的主要组成部分, 也从一个侧面反映出在目前我国农田钾素投入不足的情况下, 加大秸秆还田力度的重要意义。

表 2 我国主要农作物及秸秆产量(2009 年)^[23]

Table 2 Main crops and straw production in China (2009)				
作物种类	播种面积 $\times 10^3 \text{ hm}^2$	粮食产量 /万 t	谷草比	秸秆产量 /万 t
粮食作物	108 985.8	53 082.1		59 516.01
谷物	88 401.1	48 156.3		54 387.94
稻谷	29 626.9	19 510.3	0.97	18 924.99
小麦	24 290.8	11 511.5	1.03	11 856.85
玉米	31 182.6	16 397.4	1.37	22 464.44
谷子	787.9	122.5	1.51	184.98
高粱	559.4	167.7	1.44	241.49
其他	1 953.5	447	1.6	715.20
豆类	11 948.8	1 930.3	1.71	3 300.81
薯类折粮	8 635.8	2 995.5	0.61	1 827.26
油料作物	13 652.1	3 154.3		6 510.24
花生	4 376.7	1 470.8	1.52	2 235.616
油菜籽	7 277.7	1 365.7	3	4 097.1
芝麻	475.9	62.2	0.64	39.808
胡麻籽	336.9	31.8	0.64	20.352
向日葵籽	958.7	195.6	0.6	117.36
棉花	4 951.8	637.7	3	1 913.1
麻类	159.5	38.9	1.7	66.13
糖类	1 883.9	12 276.6	0.25	3 069.15
蔬菜瓜果 ¹⁾	20 748.6	69 972.9	$10 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$	20 748.6

1) 蔬菜瓜果的秸秆产废率以 $10 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 计

3.2 农田径流对钾素流失的影响

农田降雨径流受降雨量、降雨强度、地表覆盖类型等因素的影响, 在侵蚀土壤的同时将氮、磷、钾等营养元素携带进入水环境。本研究的结果表明, 我国 2009 年化学钾肥的施用量为 564.3 万 t, 而径流损失则达到 231.1 万 t, 为前者的 40.97%。而且与钾素进入水环境的其他途径相比, 农田径流损

失的钾量比例很高,可以达到65%。更为重要的是,由于其无组织的排放特征,流失的钾素经水体稀释后,很难再加以回收和利用。

由于人类生产活动和自然因素共同作用,农田土壤具有层次分化的特征,可以被作物直接利用的有效养分处于土壤剖面最顶端的耕作层,而降雨径流侵蚀的正是这一部分土壤。再加上我国农业耕作雨前和灌溉前施肥现象普遍,通过农田径流损失的钾素只能通过人工施肥进行快速有效补充,这无疑加大了我国对钾资源的进口依赖程度。

3.3 生活污水排放对水环境中钾素的贡献

由于钾离子的水溶性,通过生活污水的排放进入地表水环境是其返回自然循环的主要途径之一。目前,国外在这方面有所研究,国内还没有学者对此加以关注。Eiswirth 等^[24]在德国城市拉施塔特的监测结果显示,污水中钾平均浓度为 $38 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。Nodler 等^[25]也发现污水处理厂出水可能是地表水体钾素含量的一个重要来源,夏季和冬季污水处理厂出水中钾素的浓度分别达到 $29 \sim 36 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $24 \sim 29 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。笔者于2012年2月在北京某污水处理厂对出水进行了连续监测,钾的浓度范围在 $17.2 \sim 19.1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 之间,与国外监测结果相比偏低。

根据构建的钾素物质流动与循环分析模型可以得出,农村和城市区域的生活污水中分别含钾 54.7 万 t 和 67.1 万 t,占进入水环境钾素总量的 15.50% 和 19.00%。其中,通过城市污水处理厂排放进入地表水环境中钾素占城市区域排放总量的 75.25%。随着我国城市人口的增长和污水处理率的提高,城市污水处理厂已经成为钾素进入水环境的重要来源之一,也是未来钾素回收再利用的关键节点。

4 结论

(1)通过分析我国种植业生产和消费使用两个主要环节,模拟钾素的流动和循环过程。结果表明,我国农田钾素处于亏损状态,有大量钾素由陆生生态系统进入水生生态系统,造成资源流失。

(2)2009年,我国农田钾素投入总量为1523.6万 t,农田钾素总支出为2138.6万 t,平均单位耕地钾素亏损 $50.4 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。通过降雨径流流失的钾素为 $231.2 \text{ 万 t} \cdot \text{a}^{-1}$,占当年化学钾肥施用量的 40.97%。

(3)通过城市生活污水进入水环境的钾素为 $67.07 \text{ 万 t} \cdot \text{a}^{-1}$,占进入水环境钾素总量的 19.00%,其中经由城市污水处理厂出水进入水环境的比例为 75.25%,已成为钾素进入水环境的一个重要途径。

参考文献:

- [1] 张爱文, 张卫峰, 杜芬, 等. 中国钾资源及钾肥发展战略[J]. 现代化工, 2009, **29**(9): 10-16.
- [2] 王春宁, 余俊清, 陈良, 等. 钾盐资源全球分布和我国找钾实践及方法探究[J]. 现代化工, 2007, **15**(3): 56-72.
- [3] U. S. Geological Survey (USGS). Mineral commodity summaries [R]. Washington DC: U. S Department of the Interior, 2011.
- [4] 中国矿业年鉴编辑部. 中国矿业年鉴(2001-2010)[M]. 北京: 地震出版社, 2010.
- [5] 姜子绍, 宇万太. 农田生态系统中钾循环研究进展[J]. 应用生态学报, 2006, **17**(3): 545-550.
- [6] Rostkowski K, Rauch J, Drakonakis K, et al. "Bottom-up" study of in-use nickel stocks in New Haven, CT [J]. Resources, Conservation and Recycling, 2007, **50**(1): 58-70.
- [7] 董欣, 陈吉宁, 曾思育, 等. 基于物质流分析的城市污水系统比较[J]. 给水排水, 2011, **37**(1): 137-142.
- [8] 中国化工信息中心. 中国化学工业年鉴(2010)[M]. 北京: 中国石油和化学工业联合会, 2011.
- [9] 梁勤爽. 模拟畜禽粪便直接还田对氮磷的释放[D]. 重庆: 西南大学, 2009.
- [10] 中国畜牧业年鉴(2010)[M]. 北京: 中国农业出版社, 2010.
- [11] 钱易, 陈吉宁. 农业环境污染的系统分析和综合治理[M]. 北京: 中国农业出版社, 2008. 84-85.
- [12] 中国气象年鉴(2010)[M]. 北京: 中国气象出版社, 2010.
- [13] 谢建昌. 钾与中国农业[M]. 南京: 河海大学出版社, 2000. 128-130.
- [14] 沈其荣. 土壤肥料科学通论[M]. 北京: 高等教育出版社, 2001. 278-279.
- [15] 李廷轩, 马国瑞, 张锡洲, 等. 紫色丘陵区县级农田养分平衡与土壤养分变化趋势研究——以四川省犍为县为例[J]. 水土保持学报, 2003, **17**(1): 103-106.
- [16] 修玉峰, 陈英毅. 农作物秸秆的综合利用与农村循环经济[J]. 农机化研究, 2006, (10): 31-33.
- [17] 方玉东, 胡业翠, 封志明, 等. 基于 GIS 技术的中国农田钾素养分收支平衡研究[J]. 土壤, 2009, **41**(2): 185-191.
- [18] 朱青, 王兆骞, 陈正刚, 等. 中国西南地区坡地钾素平衡及管理措施探讨[J]. 植物营养与肥料学报, 2006, **12**(6): 772-777.
- [19] 中华人民共和国农业部. 2010 中国农业发展报告[M]. 北京: 中国农业出版社, 2010.
- [20] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 中国城市建设统计年鉴(2009)[M]. 北京: 中国计划出版社, 2010.
- [21] 孟范平, 赵顺顺, 张聪, 等. 青岛市城市污水处理厂污泥成分分析及利用方式初步研究[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2007, **36**(6): 1007-1012.
- [22] 黄国勤, 王兴祥, 钱海燕, 等. 施用化肥对农业生态环境的负面影响及对策[J]. 生态环境, 2004, **13**(4): 656-660.
- [23] 中华人民共和国农业部. 中国农业年鉴(2010)[M]. 北京: 中国农业出版社, 2010.
- [24] Eiswirth M, Hötzel H. The impact of leaking sewer on urban groundwater[A]. In: Chilton J (Ed.). Groundwater in the urban environment[C]. New York: Taylor & Francis, 1997. 399-404.
- [25] Nodler K, Licha T, Fischer S, et al. A case study on the correlation of micro-contaminants and potassium in the Leine River (Germany)[J]. Applied Geochemistry, 2011, **26**(12): 2172-2180.

CONTENTS

Concentrations and Ozone Formation Potentials of BTEX During 2008-2010 in Urban Beijing, China	CAO Han-yu, PAN Yue-peng, WANG Hui, <i>et al.</i> (2065)
Aging and Mixing State of Particulate Matter During Aerosol Pollution Episode in Autumn Shanghai Using a Single Particle Aerosol Mass Spectrometer (SPAMS)	MU Ying-ying, LOU Sheng-rong, CHEN Chang-hong, <i>et al.</i> (2071)
Chemical Characteristics and Source Assessment of Rainwater at Shenyang	ZHANG Lin-jing, ZHANG Xiu-ying, JIANG Hong, <i>et al.</i> (2081)
Variation of Atmospheric Pollutants in Qinhuangdao City	LIU Lu-ning, SHEN Yu-xuan, XIN Jin-yuan, <i>et al.</i> (2089)
NH ₃ , N ₂ O, CH ₄ and CO ₂ Emissions from Growing Process of Caged Broilers	ZHOU Zhong-kai, ZHU Zhi-ping, DONG Hong-min, <i>et al.</i> (2098)
Synergetic Effects of Silicon Carbide and Molecular Sieve Loaded Catalyst on Microwave Assisted Catalytic Oxidation of Toluene	WANG Xiao-hui, BO Long-li, LIU Hai-nan, <i>et al.</i> (2107)
Removal of Mixed Waste Gases by the Biotrickling Filter	ZHANG Ding-feng, FANG Jun-yi, YE Jie-xu, <i>et al.</i> (2116)
Decomposition of Carbon Disulfide by Pulse Corona Under Oxidizing and Reducing Atmosphere	JIN Sheng, HUANG Li-wei, LI Guo-ping (2121)
Effects of Simulated Elevation of Atmospheric CO ₂ Concentration on the Physiological Features of Spring Phytoplankton in Taihu Lake	ZHAO Xu-hui, TANG Long-sheng, SHI Xiao-li, <i>et al.</i> (2126)
A New Method for Estimation of the Lake Quality Reference Condition	HUA Zu-lin, WANG Liang (2134)
Parameter Sensitivity Analysis of Runoff Simulation and Model Adaptability Research Based on HSPF	LI Yan, LI Zhao-fu, XI Qing (2139)
Study on Water Quality Monitoring Scheme Based on Non-Point Source Pollution	WU Xi-jun, LI Huai-en, LI Jia-ke, <i>et al.</i> (2146)
Characteristics of Nutrient Loss by Runoff in Sloping Arable Land of Yellow-brown Under Different Rainfall Intensities	CHEN Ling, LIU De-fu, SONG Lin-xu, <i>et al.</i> (2151)
Distribution of Dissolved Inorganic Nutrients and Dissolved Oxygen in the High Frequency Area of Harmful Algal Blooms in the East China Sea in Spring	LI Hong-mei, SHI Xiao-yong, CHEN Peng, <i>et al.</i> (2159)
Temporal-Spatial Distribution of Algal Cells During Drought Period in Daning River of Three Gorges	ZHANG Yong-sheng, ZHENG Bing-hui, WANG Kun, <i>et al.</i> (2166)
Bioavailability of Dissolved Organic Nitrogen Components in the Lake Sediment to Algae	FENG Wei-ying, ZHANG Sheng, JIAO Li-xin, <i>et al.</i> (2176)
Influence of Decomposition of <i>Cladophora</i> sp. on Phosphorus Concentrations and Forms in the Overlying Water	HOU Jin-zhi, WEI Quan, GAO Li, <i>et al.</i> (2184)
Phosphorus Exchange Between Suspended Solids Sediments Overlying Water Under Repeated Disturbance	LI Da-peng, WANG Jing, HUANG Yong (2191)
Distribution Characteristics of PBDEs in Surface Sediment from the Three Gorges Reservoir of Yangtze River	LI Kun, ZHAO Gao-feng, ZHOU Huai-dong, <i>et al.</i> (2198)
Study on UV and H ₂ O ₂ Combined Inactivation of <i>E. coli</i> in Drinking Water	ZHANG Yi-qing, ZHOU Ling-ling, ZHANG Yong-ji (2205)
Kinetics and Influencing Factors of Dimethyl Phthalate Degradation in Aqueous Solution by Ozonation	YU Li, ZHANG Pei-long, HOU Jia-cai, <i>et al.</i> (2210)
Effects of Nitrate Ion on Monomethylmercury Photodegradation in Water Body	MAO Wen, SUN Rong-guo, WANG Ding-yong, <i>et al.</i> (2218)
Chlorination of Ethynyl Estradiol: A Kinetic and Mechanistic Study	WANG Bin-nan, LIU Guo-qiang, KONG De-yang, <i>et al.</i> (2225)
Metal Ions Restrained the Elimination of 4- <i>tert</i> -Octylphenol by δ -MnO ₂	LI Fei-li, MOU Hua-qian (2232)
Removal of Bisphenol A in Aqueous Solutions by Core-shell Magnetic Molecularly Imprinted Polymers	LIU Jian-ming, LI Hong-hong, XIONG Zhen-hu (2240)
Research on Removal of Tetrabromobisphenol A from Synthetic Wastewater by Nanoscale Zero Valent Iron Supported on Organobentonite	YAN Meng-yue, PANG Zhi-hua, LI Xiao-ming, <i>et al.</i> (2249)
Measurement of Dissolved Organic Nitrogen with Nanofiltration Pretreatment and Its Distribution Characteristics in Landscape Water	YU Hong-lei, HUO Shou-liang, YANG Zhou-sheng, <i>et al.</i> (2256)
Preparation of a Novel Modified Hydrogel and Study of Its Adsorption Performance	WU Ning-mei, LI Zheng-kui (2263)
Photocatalytic Reductive Degradation of Direct Red 4BE by Phosphotungstic Acid	WEI Hong, LI Ke-bin, LI Juan, <i>et al.</i> (2271)
Wastewater Treatment Using a Microbubble Aerated Biofilm Reactor	ZHANG Lei, LIU Ping, MA Jin, <i>et al.</i> (2277)
Research on Fenton Treatment of the Biochemical Processes Effluent of Bamboo Industry Wastewater	GUO Qing-wen, ZHANG Min, WANG Wei, <i>et al.</i> (2283)
Effect of Fe ²⁺ on Fermentation Hydrogen Production in an UASB	LI Yong-feng, WANG Yi-xuan, CHENG Guo-ling, <i>et al.</i> (2290)
Influence of Substrate Concentration on PHA Production Using Fermented Sugar Cane as Substrate	CHEN Zhi-qiang, DENG Yi, HUANG Long, <i>et al.</i> (2295)
Study on Rapid Start-up of a Nitrifying Process Using Aerobic Granular Sludge as Seed Sludge	LIU Wen-ru, SHEN Yao-liang, DING Ling-ling, <i>et al.</i> (2302)
Influencing Factors of High-Concentration Lead Removal Using the Phosphorus-Accumulating Sludge	YANG Min, LU Long, FENG Yong, <i>et al.</i> (2309)
Preliminary Study on Characteristics of Volumetric Oxygen Transfer Coefficient in Granular Sludge Systems	LI Zhi-hua, FAN Chang-qing, WANG Xiao-chang (2314)
Ecological Risk Assessment of Bisphenol A in Chinese Freshwaters	WANG Hao, FENG Cheng-lian, GUO Guang-hui, <i>et al.</i> (2319)
Species Sensitivity Evaluation of <i>Pseudorasbora parva</i>	WANG Xiao-nan, LIU Zheng-tao, YAN Zhen-guang, <i>et al.</i> (2329)
Comparison of Aquatic Predicted No-Effect Concentrations (PNECs) for Pentachlorophenol Derived from Different Assessment Approaches	LEI Bing-li, WEN Yu, WANG Yi-pei, <i>et al.</i> (2335)
Study on Hair Hg and Pb Content Distribution of Traffic Polices, Guilin	QIAN Jian-ping, ZHANG Li, LI Cheng-chao, <i>et al.</i> (2344)
Changes in Phototaxical Index of <i>Daphnia carinata</i> Under Electric Field of Direct Current in Response to Cr ⁶⁺ and Hg ²⁺	WANG Fei-xiang, YUAN Ling, HUANG Jian-guo (2350)
Effect of UV-B Radiation on the Chemical Composition and Subsequent Decomposition of <i>Cyclobalanopsis glauca</i> Leaf Litter	SONG Xin-zhang, BU Tao, ZHANG Shui-kui, <i>et al.</i> (2355)
Leaf Micro-morphology and Features in Adsorbing Air Suspended Particulate Matter and Accumulating Heavy Metals in Seven Tress Species	LIU Ling, FANG Yan-ming, WANG Shun-chang, <i>et al.</i> (2361)
Effect of Dissolved Oxygen on Microbial Community in Simultaneous Removal of Carbon, Nitrogen and Sulfur Process	YU Hao, CHEN Chuan, ZHANG Li, <i>et al.</i> (2368)
Microbial Activity and Community Structure Analysis Under the Different Land Use Patterns in Farmland Soils: Based on the Methods PLFA and MicroResp TM	CHEN Xiao-juan, WU Xiao-hong, LIU Shou-long, <i>et al.</i> (2375)
Effects of Drying-rewetting Alternation on Nitrogen Dynamics in a Typical Coastal Wetland: A Simulation Study	HAN Jian-gang, CAO Xue (2383)
Cadmium and Selected Heavy Metals in Soils of Jianping Area in Wushan County, the Three Gorges Region: Distribution and Source Recognition	LIU Yi-zhang, XIAO Tang-fu, NING Zeng-ping, <i>et al.</i> (2390)
Total Contents of Heavy Metals and Their Chemical Fractionation in Agricultural Soils at Different Locations of Beijing City	CHEN Zhi-fan, ZHAO Ye, GUO Ting-zhong, <i>et al.</i> (2399)
Influence of Season Change on the Level of Heavy Metals in Outdoor Settled Dusts in Different Functional Areas of Guiyang City	LI Xiao-yan (2407)
Characteristics of Dioxin-Like Polychlorinated Biphenyls Contamination in Soils of Gudao Region in Dongying	WANG Deng-ge, CUI Zhao-jie, FU Xiao-wen, <i>et al.</i> (2416)
Effects of Simulated Nitrogen Deposition on Organic Matter Leaching in Forest Soil	DUAN Lei, MA Xiao-xiao, YU De-xiang, <i>et al.</i> (2422)
<i>Ex-situ</i> Remediation of PAHs Contaminated Site by Successive Methyl- β -Cyclodextrin Enhanced Soil Washing	SUN Ming-ming, TENG Ying, LUO Yong-ming, <i>et al.</i> (2428)
Effects of <i>Bacillus mucilaginosus</i> on the Cd Content of Rhizosphere Soil and Enzymes in Soil of <i>Brassica juncea</i>	YANG Rong, LI Bo-wen, LIU Wei (2436)
Concentrations of Antibiotics in Vegetables from Manure-mended Farm	WU Xiao-lian, XIANG Lei, MO Ce-hui, <i>et al.</i> (2442)
Characteristics of Organic Nitrogen Mineralization in Organic Waste Compost-Amended Soil	ZHANG Xu, XI Bei-dou, ZHAO Yue, <i>et al.</i> (2448)
Characteristics and Influence Factors of the Energy Consumption and Pollutant Discharge of Municipal Solid Waste Transfer Stations in Beijing	WANG Zhao, LI Zhen-shan, FENG Ya-bin, <i>et al.</i> (2456)
Influence of Ammonia on Leaching Behaviors of Incineration Fly Ash and Its Geochemical Modeling	GUAN Zhen-zhen, CHEN De-zhen, Thomas Astrup (2464)
Pretreatment Technology for Fly Ash from MSWI and the Corresponding Study of Chloride Behavior	ZHU Fen-fen, Takaoka Masaki, Oshita Kazuyuki, <i>et al.</i> (2473)
Preparation, Characterization and Adsorption Performance of Mesoporous Activated Carbon with Acidic Groups	LI Kun-quan, LI Ye, ZHENG Zheng, <i>et al.</i> (2479)
Preliminary Assessment of the Potential of Biochar Technology in Mitigating the Greenhouse Effect in China	JIANG Zhi-xiang, ZHENG Hao, LI Feng-min, <i>et al.</i> (2486)
Research of Potassium Flow and Circulation Based on Substance Flow Analysis	BAI Hua, ZENG Si-yu, DONG Xin, <i>et al.</i> (2493)

《环境科学》第6届编辑委员会

主 编: 欧阳自远

副主编: 赵景柱 郝吉明 田 刚

编 委: (按姓氏笔画排序)

万国江 王华聪 王凯军 王绪绪 田 刚 田 静 史培军
朱永官 刘志培 汤鸿霄 陈吉宁 孟 伟 周宗灿 林金明
欧阳自远 赵景柱 姜 林 郝郑平 郝吉明 聂永丰 黄 霞
黄 耀 鲍 强 潘 纲 潘 涛 魏复盛

环 境 科 学

(HUANJING KEXUE)

(月刊 1976年8月创刊)

2013年6月15日 34卷 第6期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 34 No. 6 Jun. 15, 2013

主 管	中国科学院	Superintended	by	Chinese Academy of Sciences
主 办	中国科学院生态环境研究中心	Sponsored	by	Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences
协 办	(以参加先后为序) 北京市环境保护科学研究院 清华大学环境学院	Co-Sponsored	by	Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection School of Environment, Tsinghua University
主 编	欧阳自远	Editor-in -Chief		OUYANG Zi-yuan
编 辑	《环境科学》编辑委员会 北京市2871信箱(海淀区双清路 18号, 邮政编码:100085) 电话:010-62941102, 010-62849343 传真:010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn	Edited	by	The Editorial Board of Environmental Science (HUANJING KEXUE) P. O. Box 2871, Beijing 100085, China Tel:010-62941102, 010-62849343; Fax:010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn
出 版	科 学 出 版 社 北京东黄城根北街16号 邮政编码:100717	Published	by	Science Press 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷 装 订	北京北林印刷厂	Printed	by	Beijing Bei Lin Printing House
发 行	科 学 出 版 社 电话:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com	Distributed	by	Science Press Tel:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com
订 购 处	全国各地邮电局	Domestic		All Local Post Offices in China
国外总发行	中国国际图书贸易总公司 (北京399信箱)	Foreign		China International Book Trading Corporation (Guoji Shudian), P. O. Box 399, Beijing 100044, China

中国标准刊号: ISSN 0250-3301
CN 11-1895/X

国内邮发代号: 2-821

国内定价: 90.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发刊