

九龙江流域典型汇水区地表径流氮磷流失特征分析

黄金良, 洪华生, 张珞平, 黄云凤, 曾悦, 陈能汪 (厦门大学 国家教育部海洋环境科学重点实验室/厦门大学 环境科学研究中心, 福建 厦门 361005)

摘要: 选取九龙江流域 5 个典型汇水区, 通过流域主要雨季天然降雨径流过程监测, 对所获得的氮磷营养盐的监测数据进行归纳与分析, 着重探讨了暴雨事件下径流氮磷流失及其形态的变化规律。结果表明: 暴雨事件下农业汇水区地表径流氮输出以水溶态为主, 磷以泥沙结合态为主, 天然林地为主的汇水区则相反, 前者以泥沙结合态为主, 后者以水溶态为主; 5 个汇水区暴雨事件中总氮最高浓度值为日常采样浓度值的 2.9~11.3 倍, 暴雨事件中总磷最高浓度值为日常采样浓度值的 2.9~20.5 倍; 氮磷输出量均值的差异反映氮磷输出量大小受土壤质地、施肥量、土壤氮磷含量、土壤保水保肥性能等因素的综合影响。整个径流过程中水量和氮磷浓度随时间变化幅度较大, 且二者变化呈大体相同的趋势。氮磷及其各形态的浓度多数在相同时间内达到峰值。泥沙结合态氮、水溶态磷变化幅度较小, 水溶态氮和泥沙结合态磷浓度变化幅度较大。统计各汇水区雨量不同的降雨事件下氮磷流失负荷表明, 特大暴雨对汇水区氮磷负荷的贡献非常显著。

关键词: 地表径流; 氮磷流失; 九龙江流域

中图分类号: P333.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-5906(2004)03-0037-05

Characteristics of nitrogen and phosphorus losses with surface runoff in typical sub-watersheds of Jiulong River watershed. HUANG Jir liang, HONG Hua sheng, ZHANG Luo ping, HUANG Yur feng, ZENG Yue, CHEN Neng wang (Key Laboratory for Marine Environmental Science of Ministry of Education, Research Center of Environmental Sciences, Xiamen University, Xiamen 361005, China). *Rural Eco Environment*, 2004, 20(3): 37-41

Abstract: Five typical sub-watersheds in the Jiulong River watershed were chosen for monitoring nitrogen and phosphorus losses. Results of the monitoring and analysis show that in the event of storms in agriculture-based watersheds, the N loss with the runoff is dominated with soluble N and the P loss with P combined with silt whereas in natural-forest-based ones, the situation is completely different. Under storms, the maximum total N concentration in the runoff is 2.9-11.3 times as much as that in the runoff normal and the maximum total P concentration 2.9-20.5 times as much. Throughout the entire course of runoff, water volume and N & P concentration vary sharply with the time, showing a similar trend. The concentrations of total N & P and their various forms come up to their respective peaks almost at the same time. The contents of silt N and soluble P fluctuated within a limited range whereas those of soluble N and silt P do within a large one.

Key words: surface runoff; nitrogen and phosphorus loss; Jiulong River watershed

20 世纪 70 至 80 年代, 国外进行了大量关于农田地表径流氮磷元素流失量及对水体影响的研究^[1-2]。90 年代初以来, 流域农田地表径流的氮磷流失机理研究仍方兴未艾^[3-4]。随着非点源污染模型模拟地表径流氮磷迁移转化机理研究的广泛开展, 场次降雨事件下地表径流氮磷流失的监测分析更多地被用以校验模型^[5]。20 世纪 80 年代中期以来我国在天津于桥流域、黄土高原地区等进行了地表径流氮磷流失研究^[6-8]。90 年代中期以来, 注重于农田径流氮磷流失机理的研究^[2,9-10]。为揭示降雨径流氮、磷流失特征, 笔者在福建省第二大流域农

业集约化程度较高的九龙江流域, 根据土地利用、植被覆盖及地形特征等选取 5 个典型汇水区, 于 2003 年 4 月至 11 月在汇水区出口处进行天然降雨地表径流的定点监测。此段时间基本涵盖了各汇水区全年的降雨, 基本反映了全年的耕作制度和施肥状况, 因此通过对所获得的资料进行归纳与分析, 基本能得出九龙江流域氮磷流失过程、变化规律和特点。

基金项目: 福建省重大科技项目(2002H009)

收稿日期: 2003-11-12

通讯联系人

1 典型汇水区概况及监测方法

1.1 典型汇水区概况

(1) 雁石:面积 3.51 km^2 ,表土为粘壤土,以河谷地为主,坡度 10.1° 。4月至11月种植双季稻,11月至次年1月休耕或零星种植蔬菜。水稻田占 48.5% ,林地占 43.2% 。双季稻施肥量:碳酸氢铵 $1\ 200 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,过磷酸钙 $450 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。

(2) 益坑:面积 1.06 km^2 ,表土为粘壤土,坡度 23.3° 。原生林地,亚热带常绿阔叶林和毛竹,植被覆盖度 90% 以上。

(3) 仙都:面积 1.06 km^2 ,表土为粘壤土,河谷平地,坡度 6.5° 。1月至4月种植蔬菜,4月至11月种植晚稻,12月至次年1月种植蔬菜。蔬菜与双季稻轮作,菜地、水田占 36.4% ,果园占 62% ,水稻施肥量同雁石汇水区,蔬菜生长期施碳酸氢铵 $3\ 750 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,过磷酸钙和复合肥 $3\ 750 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。

(4) 天宝:面积 0.78 km^2 ,表土为粘壤土;丘陵坡地,坡度 20.5° 。次生林占 43% ,坡地果园(香蕉、龙眼、柑桔)占 44.7% ,均已郁闭。果园年施肥 $5\sim 6$ 次,合计施复合肥 $2\ 250 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,有机肥 $7\ 500 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。

(5) 下庄:面积 6.2 km^2 ,表土为砂壤土。丘陵坡地占 60% ,坡度 19.4° 。次生疏林地占 57.1% ,果园(芦柑、蜜柚、龙眼等)占 36.2% ,竹园占 4.8% 。芦柑、蜜柚年施肥 7 次,每次施复合肥 $900 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,年施有机肥 $7\ 500 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。

1.2 监测分析方法

采用实地地表径流监测方法,对5个典型汇水区出口处进行天然降雨径流的定点监测。同步监测每场次降雨过程的径流量和氮磷输出浓度。表1为2003年4月至11月典型汇水区地表径流监测结果。由于各汇水区与气象站的距离均在 30 km 以内,各场次雨量数据采用龙岩、漳州气象局的数据。

监测项目包括流量、总氮、水溶性氮、泥沙结合态氮、总磷、水溶性磷和泥沙结合态磷。总氮用碱性过硫酸钾氧化-紫外分光光度法测定;总磷用过硫酸钾氧化-钼锑抗比色法^[11]测定。水样经 $0.45 \mu\text{m}$ 微孔滤膜过滤后,滤液与总氮、总磷同法测得水溶性氮与水溶性磷。泥沙结合态氮和泥沙结合态磷为总氮、总磷与水溶性氮、水溶性磷之差。

表1 九龙江流域典型汇水区地表径流监测记录

Table 1 Monitoring records of surface runoff in typical sub-watersheds of Jiulong River watershed from Apr. to Oct., 2003

采样时间 月/日	采样地点	降雨历时/ min	降雨情况
4/14	仙都、天宝、下庄	—	采样前1天降雨50 mm
4/24	雁石、益坑	120	40.9 mm
5/16—5/17	雁石、益坑	1 200	105 mm
5/16—5/17	仙都、天宝、下庄	1 320	68.6 mm
6/6—6/7	雁石、益坑	720	52.5 mm
6/6—6/7	仙都、天宝、下庄	720	32 mm
6/15	仙都、天宝、下庄	—	采样前1天降暴雨
6/24	雁石、益坑	—	日常水样
7/3	仙都、天宝、下庄	—	日常水样
7/24	雁石、益坑	—	1个半月未降雨,日常采样
7/24	仙都、天宝、下庄	—	日常采样
8/5—8/6	下庄	720	120 mm
8/20—8/21	仙都、天宝、下庄	1 005	135.4 mm
8/21—8/22	雁石、益坑	540	60 mm
9/19—9/22	雁石、益坑	2 340	102.3 mm
9/24	雁石、益坑	—	雨后采样,日常采样
9/24	仙都、天宝、下庄	—	雨后采样,日常采样
10/22	雁石、益坑、仙都、 天宝、下庄	—	近1个月未降雨,日常采样

2 结果

2.1 暴雨事件下氮磷浓度与日常氮磷浓度的比较

九龙江流域5个汇水区暴雨事件下最高氮、磷浓度值,暴雨事件下平均氮磷浓度值及日常氮磷浓度值的实地监测结果见表2。

由表2分析可知九龙江流域典型汇水区地表径流氮磷输出的规律与特点:

(1) 林地为主的汇水区除外,暴雨事件下氮输出以水溶性氮为主,其原因在于农田施用的含氮化肥通常都滞留在土壤耕作表层,在暴雨冲刷下随水土流失进入水体。益坑汇水区则以泥沙结合态氮为主,因该汇水区属天然林地,无农业活动,未施用化肥,且地形较陡,在雨水冲刷下土壤中的氮便以泥沙结合态进入水体。益坑汇水区山脚下有一片面积约 0.7 hm^2 的竹林,林下植被少,可能也是导致径流中泥沙结合态氮浓度较高的另一原因。

(2) 林地为主的汇水区除外,暴雨事件下磷输出以泥沙结合态磷为主,仙都和天宝汇水区尤为明显,其原因在于天宝汇水区处于丘陵山坡地,部分幼龄果园植被覆盖度不高,在暴雨冲刷下水土流失量大,带走的泥沙中以泥沙结合态磷为主,这与陈欣等对丘陵山地磷输出的研究结论相同^[12]。雁石汇水区以平地为主,暴雨冲刷坡地进入水体的泥沙结合态磷较少,兼有养猪场排放的猪粪对磷的贡献,因此水

溶性和泥沙结合态磷的贡献相当(2者比值为1.06)。下庄小流域由于大量施用猪粪、鸡粪等有机肥,且土壤质地偏砂性,水溶性和泥沙结合态磷的含量都较高,2者比值为11.88,以泥沙结合态磷为主。益坑汇水区暴雨事件下磷的输出是水溶性磷浓度略高于泥沙结合态磷。

(3)地表径流中氮磷的浓度值,暴雨事件与日常非暴雨时段差异显著。5个汇水区氮磷输出统计结果表明,暴雨事件下总氮最高浓度值是日常采样浓度值的2.9~11.3倍;总磷最高浓度值是日常采样浓度值的2.9~20.5倍;总氮浓度平均值是日常总氮浓度值的2.3~4.1倍;总磷浓度平均值是日常总磷浓度值的1.1~6.6倍。以天宝汇水区为例,暴雨径流总氮最高浓度值比日常采样浓度值高10.3倍,暴雨径流总磷最高浓度值比日常采样浓度值高19.5倍,反映了暴雨事件下氮磷流失量之大。

表 2 九龙江流域典型汇水区暴雨和日常地表径流的氮磷浓度

Table 2 Comparison of nitrogen and phosphorous concentrations in surface runoff under storms with those under normal conditions in typical sub watersheds of Jiulong River watershed

汇水区	项目	mg L ⁻¹					
		总氮	水溶性氮	泥沙结合态氮	总磷	水溶性磷	泥沙结合态磷
雁石	A	12.50	5.91	3.56	1.36	1.09	1.03
	B	6.04	3.30	2.75	0.51	0.34	0.17
	C	2.55	2.01	0.54	0.46	0.33	0.13
益坑	A	9.30	1.50	7.15	0.43	0.10	0.11
	B	3.91	0.92	2.99	0.13	0.09	0.04
	C	1.42	1.13	0.29	0.07	0.02	0.05
仙都	A	7.15	5.23	1.77	1.55	0.15	1.39
	B	3.91	3.63	0.28	0.44	0.12	0.32
	C	1.01	0.94	0.07	0.09	0.06	0.03
天宝	A	13.00	12.10	0.90	1.64	0.44	1.37
	B	4.76	4.50	0.26	0.53	0.14	0.39
	C	1.15	1.10	0.05	0.08	0.03	0.05
下庄	A	6.75	5.93	1.20	2.03	0.72	1.31
	B	5.24	4.96	0.28	0.75	0.26	0.49
	C	2.30	1.92	0.38	0.39	0.14	0.25

1. A:暴雨径流浓度最高值,B:暴雨径流浓度平均值,C:年日常径流浓度平均值。2. 由于暴雨径流总氮总磷、水溶性氮磷和泥沙结合态氮磷浓度最高值的统计取值于各汇水区一年中的几场暴雨事件,因此A项中总氮和总磷不等于水溶性氮与泥沙结合态氮之和。

2.2 典型汇水区暴雨事件下地表径流氮磷浓度均值的比较

按各汇水区暴雨事件下地表径流氮磷浓度均值(表1)的大小排序:总氮浓度依次为雁石(平地水

田+养猪)、下庄(平地果园)、仙都(平地菜地+水田)、天宝(坡地果园)、益坑(原生林地);水溶性氮浓度依次为下庄、天宝、仙都、雁石、益坑;泥沙结合态氮浓度依次为雁石、益坑、仙都、下庄、天宝;总磷浓度依次为下庄、雁石、仙都、天宝、益坑;水溶性磷浓度依次为雁石、下庄、天宝、仙都、益坑;泥沙结合态磷浓度依次为下庄、仙都、天宝、雁石、益坑。

进一步分析土地利用、植被覆盖、土壤性状、地形特征及农业活动强度对典型汇水区氮磷流失形态的影响,其规律大致表现为:1)水溶性氮浓度与施肥量大小成正比,即果园>菜地>水田>林地;2)泥沙结合态氮与畜禽粪便的施用及地形坡度有关,但没有一定规律,可能与个别汇水区采样次数较少有关;3)水溶性磷浓度与特定土地利用方式(水田)、化肥施用量有关,表现为:水田>果园>菜地>林地;4)泥沙结合态磷浓度与土壤质地、植被覆盖度、地形坡度和化肥施用量有关,表现为:砂性土平地果园>菜地>粘重土坡地果园>水田>林地。

典型汇水区氮磷输出量均值的差异反映氮磷输出量大小受土壤质地、施肥量、土壤氮磷含量、土壤保水保肥性能等因素的综合影响。呈现出氮磷输出量盆地大于丘陵,丘陵大于山区的特点。与李佩武等^[13]在于桥水库的研究结果相似。雁石、下庄和仙都汇水区,农业活动强度较大,化肥施用量大,因此,暴雨冲刷下,耕层氮磷营养盐随雨水进入水体,此外,这3个汇水区地势以低平为主,作物覆盖度较低,土壤保水、保肥性能较差,暴雨造成大量水土流失,并形成泥沙结合态的氮磷营养盐。天宝和益坑汇水区植被覆盖度较高,尤其是益坑,因系原生林地,且不施用化肥,土壤保水保肥性能较好,氮、磷的贡献主要来自土壤氮磷含量,并以泥沙结合态为主。

2.3 降雨-产流过程与氮、磷营养盐流失特征

在5个汇水区出水口,对各暴雨场次氮磷浓度与流量进行同步监测。选取4个汇水区(益坑除外),对其主要生长季节6月和8月的降雨事件下流量与氮磷浓度变化进行过程分析,结果见图1。可以看出:1)整个径流过程中水量和氮磷浓度随时间变化幅度较大,且2者变化过程与流量变化呈现大体相同的趋势。不同形态氮磷的浓度多数在相同时间内达到峰值,且多超前于径流峰值。2)水溶性氮磷变化幅度较小,泥沙结合态氮磷浓度变化幅度相对较大,且变化幅度与降雨和径流量大小成正比。

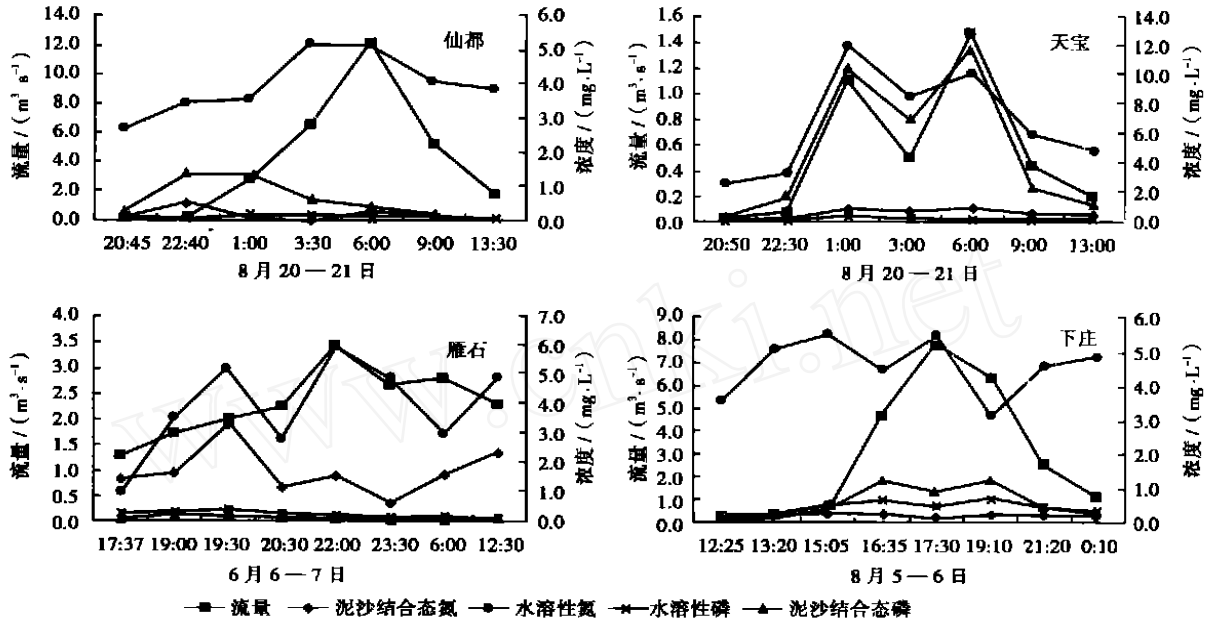


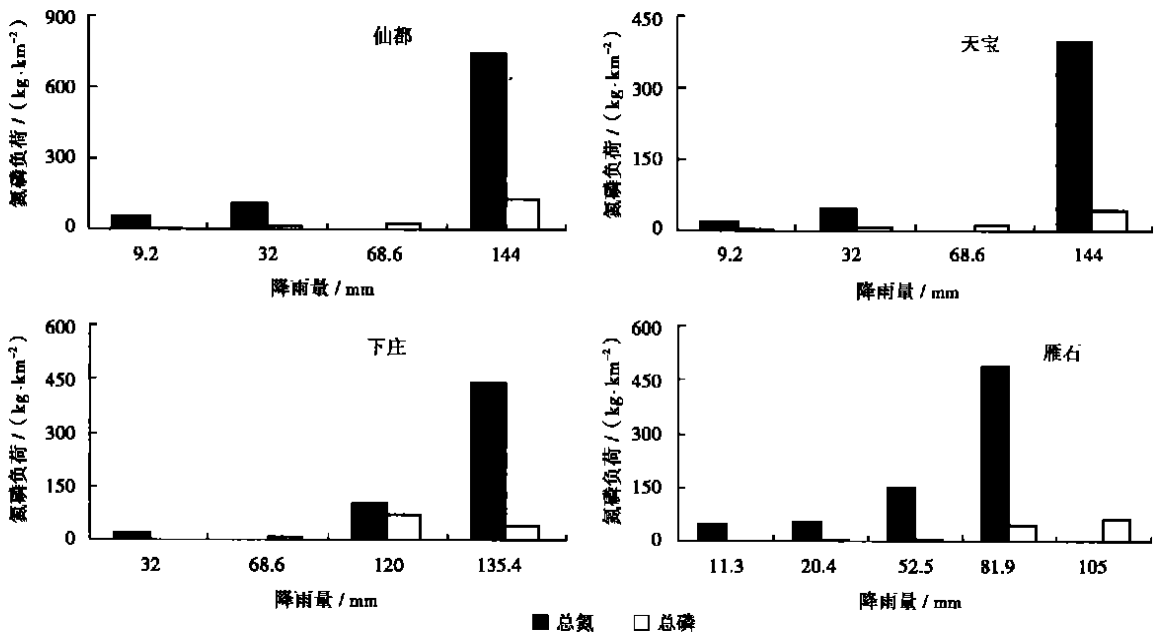
图 1 九龙江流域典型汇水区暴雨事件下流量与氮磷浓度变化过程

Fig.1 Processes of the variation of flow and nitrogen & phosphorus concentrations with the time of several storms in typical sub-watersheds of Jiulong River watershed

2.4 暴雨事件下各汇水区平均氮磷负荷

根据典型汇水区每场暴雨事件的历时、平均流量和平均氮磷浓度值,可求得各汇水区每场暴雨事件产生的单位面积氮磷负荷量,进而求得各汇水区暴雨事件的平均氮磷负荷量。需要说明的是,个别

降雨场次由于实验方面的原因,未测定总氮浓度。由图 2 可见,各汇水区主要场次暴雨事件对氮磷负荷贡献量差异较大,场次降雨量越大,总氮总磷负荷输出量越大。可以说,汇水区的非点源氮磷输出的贡献量主要是由几场特大暴雨造成的。



注:由于实验方面的原因,各汇水区个别场次降雨事件的总氮未测定,因此数据缺失。

图 2 九龙江流域主要汇水区降雨事件下氮磷负荷贡献量

Fig.2 Contribution of rainfall events to nitrogen and phosphorus loading in runoff of typical sub-watersheds

参考文献:

- [1] Flanagan DC, Foster GR. Storm pattern effect on nitrogen and phosphorus losses in surface runoff[J]. Trans ASAE, 1989, 32: 535 - 544
- [2] 晏维金. 典型微景观结构——多水塘系统对非点源污染截留机理的研究[D]. 北京:中国科学院地理研究所, 1996: 5 - 6
- [3] Sharpley AN, Gburek UJ, Folmar G, et al. Sources of phosphorus exported from an agricultural watershed in Pennsylvania[J]. Agricultural Water Management, 1999, 41(2): 77 - 89
- [4] Jansons V, Busmanis P, Dzalbe I, et al. Catchment and drainage field nitrogen balances and nitrogen loss in three agriculturally influenced Latvian watersheds[J]. Europ J Agronomy, 2003, 20(1-2): 173 - 179
- [5] Francos A, Bidoglio G, Galbiati L, et al. Hydrological and water quality modelling in a medium-sized coastal basin[J]. Phys Chem Earth, 2001, 26(1): 47 - 52
- [6] 朱萱, 鲁纪行, 边金钟, 等. 农田径流非点源污染特征及负荷定量方法探讨[J]. 环境科学, 1985, 5(6): 6 - 11
- [7] 陈皓, 章申. 黄土地区氮磷流失的模拟研究[J]. 地理科学, 1991, 11(2): 142 - 148
- [8] 郭伦, 李佩武. 降雨 - 产流过程与氮、磷流失特征研究[J]. 环境科学学报, 1996, 16(1): 111 - 116
- [9] 单保庆, 尹澄清, 于静, 等. 降雨 - 径流过程中土壤表层磷迁移过程的模拟研究[J]. 环境科学学报, 2001, 21(1): 7 - 12
- [10] 黄满湘, 章申, 张国梁, 等. 北京地区农田氮素养分随地表径流流失机理[J]. 地理学报, 2003, 58(1): 147 - 153
- [11] 国家环境保护总局 水和废水监测分析方法编委会. 水和废水监测分析方法[M]. 4版. 北京: 中国环境科学出版社, 2002: 254 - 255, 243 - 246, 276 - 279
- [12] 陈欣, 范兴海, 李东. 丘陵坡地地表径流中磷的形态及其影响因素[J]. 中国环境科学, 2000, 20(3): 284 - 288
- [13] 李佩武, 姚玉君. 于桥水库以上流域地形、坡度与 N、P 输出的关系初探[J]. 天津师范大学学报(自然科学版), 1994, 14(4): 50 - 54

作者简介: 黄金良(1975—), 男, 福建惠安人, 博士, 主要研究方向为 GIS 与流域水环境管理。

化学工业出版社新书推荐

《循环经济和生态工业规划汇编》

该书收录了胡锦涛总书记、江泽民同志、温家宝总理、朱基同志、曾培炎副总理等领导关于循环经济的重要讲话, 并介绍了贵港国家生态工业园区建设规划、南海国家生态工业示范园区建设规划、辽宁省发展循环经济试点及实施方案、包头国家生态工业示范园区建设规划、石河子国家生态工业示范园区建设规划、长沙黄兴国家生态工业示范园区建设规划、鲁北国家生态工业示范园区建设规划、鲁北生态工业模式研究。

该书介绍的案例是近几年我国在推进生态工业和循环经济发展的典型代表, 是对我国前一阶段发展循环经济和生态工业实践经验的全面总结和提升。相信该书的出版能够进一步推动我国循环经济和生态工业的发展, 提高各级政府和相关部门对发展循环经济重要性和紧迫性的认识水平, 把循环经济理念融入到政府的政策制定和宏观决策当中, 促进和带动相关领域科学研究的开展, 提高公众参与意识, 动员全社会的力量投入到循环经济实践中。(国家环境保护总局科技标准司编写, 2004年6月出版, 46.00元)

《生态工业园区——理论与实证》

该书是在总结国内外有关生态工业园区的理论研究和实践成果的基础上, 结合作者负责或参与的生态工业园区建设规划项目, 对生态工业园区的理论与实证进行了较为全面的阐述。全书共分8章, 主要介绍了工业园区的环境管理、循环经济理论、工业生态学、生态工业园区的发展状况、生态工业园区的规划与设计、生态工业园区生态管理方案以及园内几个比较成功的生态工业园区实例。该书对于国内广大欲从事循环经济、工业生态学、生态工业以及生态工业园区研究的学者和欲开展生态工业园区建设的有关单位非常适用。(2004年3月出版, 48.00元)

《畜禽养殖业污染物处理与处置》

该书总结了我国畜禽养殖业的污染现状和发展趋势, 论述了污染物处理的各种实用技术, 包括污染物减量化技术、无害化技术、生物除臭技术、沸石处理技术、纳米技术等。针对信息技术的迅猛发展, 该书还单独论述了现代信息技术在废水废物处理中的应用。另外, 该书结合目前畜禽养殖业废水废物管理混乱的状况, 简述了畜禽养殖业环境管理的概念及其发展战略, 为从事畜禽养殖业的企业和个人把握行业发展的脉搏提供了帮助。该书适用于从事畜禽养殖业的企业、个人以及环境工程技术人员和管理人员等。(2004年3月出版, 42.00元)

以上图书全国各大书店有售, 如需获取更多信息请登录 <http://www.cip.com.cn> 查询, 邮购方法(加收10%邮资): 地址: (100029)北京市朝阳区惠新里3号; 收款人: 化学工业出版社发行部; 邮购电话: 010-64918013