

南京地区 2001—2010 年面源污染定量监测 及时空变化分析*

马力¹ 卜兆宏^{1†} 彭桂兰² 龚来存³ 杨林章¹ 夏立忠¹ 黄睿¹

(1 中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008)

(2 江苏省南京市水利局, 南京 210036)

(3 江苏省水文水资源勘测局南京分局, 南京 210008)

摘要 基于 2001—2010 年气象资料和地理信息系统数据库, 采用水土流失与土壤养分面源污染综合监测的模型方法, 通过在南京全市范围土壤的布点采样和分析, 对南京地区各区县 10 年期间水土流失与面源污染状况进行了定量监测和研究。结果表明: (1) 全市各类土壤全氮、全磷、铵态氮和有效磷数据, 能较好反映南京土壤养分现状和施肥情况。近年来全市大多数地区土壤具有全氮、有效磷显著增加、全磷明显减少的特点。(2) 水土流失和面源污染具有年内和年度变化特征, 其侵蚀与污染的月份多数发生在 5~8 月, 侵蚀与污染最严重年度为 2003 年, 最轻年度为 2001 年; (3) 10 年平均水土流失与面源污染的空间分布在各区县有显著差异, 江宁区最严重, 其次是六合区; (4) 全市 10 年来水土保持和面源污染控制成效显著, 植被覆盖率的增加和水土保持措施的加强, 对减少水土流失与面源污染具有明显效果。

关键词 南京; 面源污染; 氮; 磷; 定量监测; 时空变化

中图分类号 S157 **文献标识码** A

南京市位于中国长江三角洲发达地区, 是长江下游重要的经济、文化和交通中心。近年来随着城市建设快速发展, 各类土地开发和基础设施建设大量开展, 使主城周边地区的水环境状况受到一定影响。在南京水土保持工作和生态环境普遍改善的同时, 依然存在一些地区水土流失和面源污染加剧的问题, 水土流失和面源污染逐渐成为制约本地区经济社会健康发展的重要因素之一^[1]。南京地区地形起伏, 降水集中且强度较大, 土地开发利用规模逐渐扩大, 构成了该地区土壤养分流失和面源污染加剧的重要因素^[2]。因此, 研究近年来南京市水土流失和面源污染状况的时空变化, 开展面源污染状况的定量动态监测, 对于改善南京市生态环境状况具有重要实际意义。本研究选择 2001—2010 年时间段, 通过监测南京全市范围各区县不同年份与 10 年期间的水土流失与面源污染来源的分布、程度、总量等动态变化情况, 分析其动态变化的主要原因, 明确水土流失与面源污染的变化趋势和重点

防治区域, 为今后南京地区面源污染的防治决策提供切实的科学依据和建议。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

南京市位于北纬 31°14′~32°36′, 东经 118°32′~119°14′, 包括玄武、白下、鼓楼、建邺、秦淮、下关(上述六区合称为市区)、雨花台、栖霞、江宁、六合、浦口 11 个区和溧水、高淳 2 个县(图 1)。全市总面积约 6 590 km², 其中丘陵岗地面积占全市总面积的 58.4%, 平原洼地占 41.6%, 江河湖泊等水面占 10.2% (图 2)。该市属于北亚热带季风气候区, 年均气温 17.8℃, 日照时数 1 687 h, 四季明显, 降水丰沛, 年均降雨量 1 034 mm, 6~9 月降雨量占全年的 60%~70%。南京地区主要水域为长江、秦淮河、水阳江、滁河、固城湖和石臼湖等, 总蓄水量约 4.28 亿 m³^[2]。

* 中国科学院知识创新工程领域前沿项目 (ISSASIP1114) 和国家自然科学基金项目 (40171060) 资助

† 通讯作者, E-mail: zhbu@issas.ac.cn

作者简介: 马力 (1979—), 男, 汉族, 博士, 助理研究员, 主要从事土壤生态系统养分循环与面源污染控制方面的研究。E-mail: lma@issas.ac.cn

收稿日期: 2011-10-28; 收到修改稿日期: 2012-03-27



图 1 南京地区县和乡镇界图

Fig. 1 Map of district and town boundaries of Nanjing area

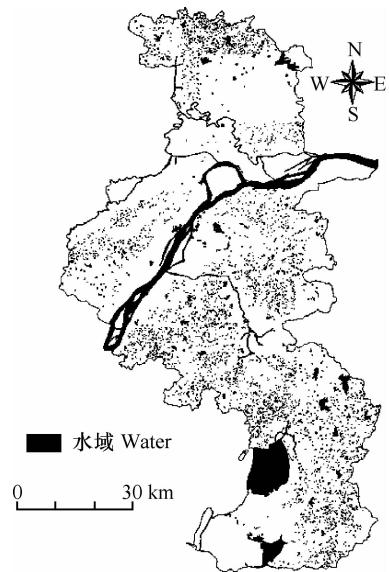


图 2 南京地区水系分布

Fig. 2 Water system map of Nanjing area

1.2 土壤样品采集与分析

为完成水土流失面源污染定量监测,实行了全市范围内的土壤样品采集。依据南京市土壤类型图中的 45 种土壤图斑,确定了采集土壤样品的位置和数量。土壤样品于 2010 年 5 月 27 日至 6 月 7 日期间采集,取 0~5 cm 的表层土壤,共采集 257 个土样。土壤样品经晾干、研磨和过筛后,进行化验分析。分析项目包括全氮、全磷、碱解氮、有效磷和 pH 等。全氮用半微量开氏法测定(参照 GB7173-1987)、全磷用 HF-HClO₄ 消化-钼锑抗比色法测定(参照 GB7852-1987)、碱解氮用碱解扩散法测定(参照 GB7849-1987)、有效磷用 NaHCO₃ 浸提-钼锑抗比色法测定(参照 GB7853-1987)。

1.3 数据资料获取

本研究选择的雨量代表站是南京下关、六合、月塘水库和天生桥站。根据获得降雨特征数据计算出各次降雨的侵蚀动能 E 和降雨侵蚀力 R 值^[3-4]。监测所使用的行政区界图、DEM 图、土壤图、土地利用图等基础数据来源于“南京市水土保持地理信息系统”数据库。卫星遥感数据图分别使用了 2008 年 4 月接收的南京地区 CCD 遥感数据和 2000 年 4 月接收的 TM 遥感图像。

1.4 监测模型与数据统计

本研究面源污染监测的方法是采用“监测水土流失的定量新方法”^[2, 5-11]。

土壤年流失量 A 监测模型为:

$$A_i = f \cdot R_i \cdot K_i \cdot LS_i \cdot CP_i \quad (1)$$

式中, A 为土壤年流失量,单位 $t \text{ km}^{-2} \text{ a}^{-1}$; R 为降雨侵蚀力因子,单位 $\text{MJ mm hm}^{-2} \text{ h}^{-1} \text{ a}^{-1}$; K 为土壤可蚀性因子,单位 $t \text{ hm}^2 \text{ h hm}^{-2} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$; LS 为地形的坡长因子 L 与坡度因子 S 之积,无量纲单位; CP 为植被、作物覆盖因子 C 与保土措施因子 P 之积,无量纲单位; f 为转换系数 100,将土壤流失量 A 的单位 $t \text{ hm}^{-2} \text{ a}^{-1}$ 转换为我国常用单位 $t \text{ km}^{-2} \text{ a}^{-1}$; i 为栅格像元号。

土壤养分面源污染(年增量) W_{sp} 监测模型为:

$$W_{Spi,j} = A_i \cdot Sp_j \quad (2)$$

式中, W_{sp} 的单位为 kg km^{-2} ; A_i 为所监测土壤利用类 i 像元被侵蚀进入水域的土壤年流失量,单位为 $t \text{ km}^{-2}$; Sp_j 为土壤 j 种(分别有全氮、全磷、铵态氮、有效磷)养分在所监测土壤利用地类中的含量,全氮和全磷的单位为 g kg^{-1} ,铵态氮和有效磷的单位为 mg kg^{-1} 。

2 结果与分析

2.1 南京市土壤养分状况及其变化趋势

根据南京全市范围土壤采样分析结果,各类土壤全氮、全磷、铵态氮和有效磷指标能较好反映南京土壤的现状和施肥情况(详见南京市 2001—2010 年水土流失与面源污染定量监测研究总结报告)。实地调查表明,随着农村经济的发展和农民收入增加,南京地区农地的化肥施用量逐年加大。就土壤全氮而言,与 1985 年第二次全国土壤普查数据相

比,虽然有 13 种土壤减少 2.7%~52.2% 和 2 种没有变化,但其余 28 种土壤均显著增加 3.5%~132.7%,表明近年来的土壤全氮具有显著增加趋势。就土壤全磷而言,与土壤普查时相比,有 11 种土壤增加 3.4%~91.0%,而有 32 种土壤减少 0.8%~72.4%,表明近年来的农作与封山育林使土壤全磷具有明显减少的特点。就土壤有效磷而言,与土壤普查时相比,除“菜园黄土”外,均普遍大幅度增加(3.3%~2 815%),表明近年来土壤有效磷具有大幅增加的特点。

对 257 个土壤的 pH 统计表明,有 153 个土壤样品 pH < 7.0,占采样点总数的 60%。其中有 77 个 pH 为 6.0~7.0,表明有 30% 的土壤已呈轻度酸化;有 76 个 pH 为 3.04~5.99,表明有 30% 的土壤已呈中度或强度酸化;其余 104 个 pH \geq 7.0,表明仅 40% 的土壤为中性或弱碱性土。在土壤酸化条件下,表土固有的和所施的磷极易向下淋溶而难以在表层土壤积聚,这可能是表层土壤全磷养分较土壤普查明显减少的原因。土壤 pH 下降的可能原因有化工厂向空中排放的 CO₂、NO₂ 和 SO₂ 气体遇雨形成酸雨,

林草地封山育林后枯枝落叶层增加了土壤的有机质和腐殖酸,长期施用化肥也会使土壤酸化^[12]。

2.2 2001—2010 年南京市土壤面源污染面积、总量及污染模数分析

2.2.1 土壤全氮和铵态氮污染源的污染面积、总量及污染模数

对南京市 10 年平均土壤全氮和铵态氮污染源的定量监测(图 3)和数据统计表明,10 年平均全氮污染面积 1 113 km²,其中山丘区 1 088 km²,平原圩区 25.91 km²;10 年平均全氮污染总量 3 766 t,其中山丘区 3 661 t,平原圩区 105.0 t;10 年平均全氮污染模数 2 935 kg km⁻²a⁻¹,其中山丘区 2 984 kg km⁻²a⁻¹,平原圩区 867.0 kg km⁻²a⁻¹。10 年平均铵态氮污染面积 109.1 km²,其中山丘区 109.0 km²,平原圩区 0.05 km²;10 年平均铵态氮污染总量 289.3 t,其中山丘区 281.6 t,平原圩区 7.68 t;10 年平均铵态氮污染模数 1 154 kg km⁻²a⁻¹,其中山丘区 1 155 kg km⁻²a⁻¹,平原圩区 782.5 kg km⁻²a⁻¹。各区县 10 年平均土壤全氮和铵态氮污染面积、总量及污染模数统计数据见表 1。



1—2010 年的 10 年平均土壤全氮(a)和铵态氮(b)污染源现状监测

verages of soil total nitrogen (a) and ammonium nitrogen (b) pollution sources from 2001 to 2010

2.2.2 土壤全磷和有效磷污染源的污染面积、总量及污染模数

对南京市 10 年平均土壤全磷和有效磷污染源的定量监测(图 4)和数据统计表明,10 年平均全磷污染面积 621.7 km²,其中山丘区 615.8 km²,平原圩区 5.89 km²;10 年平均全磷污染总量 1 704 t,其中山丘区 1 643 t,平原圩区 61.77 t;10 年平均全磷污染模数为 2 085 kg km⁻²a⁻¹,其中山丘区 2 097 kg km⁻²a⁻¹,平原圩区 844.0 kg km⁻²a⁻¹。10 年平均有效磷污染面积 228.2 km²,其中山丘区 227.7 km²,平原圩区 0.52 km²;10 年全市年平均有效磷污染总量 52.96 t,其中山丘区 50.85 t,平原圩区 2.11 t;10 年平均土壤有效磷污染模数 123.0 kg km⁻²a⁻¹,其中山丘区 123.1 kg km⁻²a⁻¹,平原圩区 82.7 kg km⁻²a⁻¹。各区县 10 年平均土壤全磷和有效磷污染面积、总量及污染模数统计数据见表 1。

国内众多研究表明,地面径流养分主要以颗粒态流失,尤其在水土流失严重的旱作坡地区,颗粒态氮、磷流失量占总量的 90% 以上。降雨—地面产流—侵蚀—径流泥沙、养分输移过程是一个连续进行的动态过程,土壤侵蚀与氮、磷养分流失同步进行而且养分来源于被侵蚀的土壤,输移状态的颗粒向水体释放氮磷养分,构成了水体中水溶态氮、磷的主体^[12-15]。由监测结果看出,南京市土壤养分的面源污染主要发生在丘陵山区,占丘陵山区总面积 3%~29%。平原圩区轻度以上的污染源面积不大,主要分布在区县周边开发区等。土壤有效养分的污染模数不大,而土壤全氮和全磷的污染模数则比较严重,丘陵山区全市平均污染模数已达到或接近中度污染级,相当于每公顷有 21~30 kg 的氮、磷养分被流失进入水体。平原圩区养分流失的污染面积不大,污染强度为微度或轻度级。



年平均土壤全磷(a)和有效磷(b)污染源现状监测

hosphorus (a) and available phosphorus (b) pollution sources from 2001 to 2010

表 1 南京市各区县 2001—2010 年平均土壤面源污染监测结果

Table 1 Average non-point source pollutions of different districts in Nanjing from 2001 to 2010

区县 District	全氮 Total nitrogen			铵态氮 Ammonium nitrogen			全磷 Total phosphorus			有效磷 Available phosphorus		
	面积 Area	污染量 Pollution amount	污染 模数 Pollution modulus	面积 Area	污染量 Pollution amount	污染 模数 Pollution modulus	面积 Area	污染量 Pollution amount	污染 模数 Pollution modulus	面积 Area	污染量 Pollution amount	污染 模数 Pollution modulus
六合 Luhe	246.2	785.5	2 679	22.9	61.7	1 136	119.7	360.7	2 158	37.7	10.1	127.1
浦口 Pukou	136.1	484.4	3 082	13.5	36.6	1 168	86.3	242.8	2 206	32.9	7.3	127.9
雨花 Yuhua	34.3	125.6	3 353	5.5	10.5	974	22.0	58.0	2 168	9.7	1.9	122.6
栖霞 Qixia	63.8	285.5	4 192	11.9	21.2	1 021	46.4	143.2	2 699	22.3	4.2	133.9
江宁 Jiangning	341.9	1 360	3 614	41.7	100.8	1 270	208.5	583.6	2 295	78.0	16.8	126.9
市区 Downtown	24.1	86.6	2 938	2.1	6.1	1 023	16.8	46.0	1 893	6.9	1.5	105.2
溧水 Lishui	198.0	469.6	1 919	9.0	38.7	1 021	92.4	198.0	1 364	30.1	7.6	99.7
高淳 Gaochun	68.9	168.7	1 733	2.5	13.6	943	29.6	72.2	1 296	10.7	3.5	120.1

注:面积单位为 km^2 , 污染量单位为 t, 污染模数单位为 $\text{kg km}^{-2} \text{a}^{-1}$ Note: Unit of the area is km^2 ; Unit of the pollution amount is t; Unit of the pollution modulus is $\text{kg km}^{-2} \text{a}^{-1}$

2.3 2001—2010 年南京市土壤面源污染时空变化分析

2.3.1 面源污染年度时间变化

土壤养分流失产生面源污染的年度变化和年时间段变化,随不同土壤养分而有程度不同的差异,如图 5~图 7 所示。同时为反映治理状况,对 1997—2000 年 4 年监测数据进行了统计,与 2001—2010 年 10 年监测数据进行了分析比较。根据不同年份逐月监测数据,南京市土壤侵蚀与污染的月份多数发生在 5~8 月,也有发生在 4~8 月或 6~9 月。土壤全氮的污染总量、污染模数和轻度以上污染源面积以 2003 年最大,2009 年次之,2001 年最小,2008 年次之;各年平均的污染模数均属中度级,只有 2001 年的属轻度级;轻度以上污染源面积大,均值为 $1 113 \text{ km}^2$,有 7 年超过 $1 000 \text{ km}^2$ 。10 年平均的土壤全氮污染总量、污染模数和轻度以上污染源面积均小于 4 年平均值,尤其以轻度和剧烈级的面积显著减少,分别减

少了 33.3% 和 48.3%。土壤铵态氮的污染总量、污染模数和轻度以上污染源面积均以 2003 年最大,2009 年次之,2001 年最小,2008 年次之;各年平均的污染模数均属轻度级。10 年平均的土壤铵态氮污染总量、污染模数和轻度以上污染源面积均小于 4 年平均值。

土壤全磷也同样以 2003 年最大,2009 年次之,2001 年最小,2008 年次之;各年平均的污染模数均属轻度级,只有 2003 年属中度级。10 年平均的土壤全磷污染总量、污染模数和轻度以上污染源面积均小于 4 年平均值,尤其以强度、极强度和剧烈级的面积显著减少,分别减少了 34.6%、46.8% 和 64.0%。土壤有效磷的污染总量、污染模数、轻度以上污染源面积同样均以 2003 年最大,2009 年次之,2001 年最小,2008 年次之;各年平均的污染模数都属微度级。10 年平均的土壤有效磷污染总量、污染模数和轻度以上污染源面积均小于 4 年平均值。

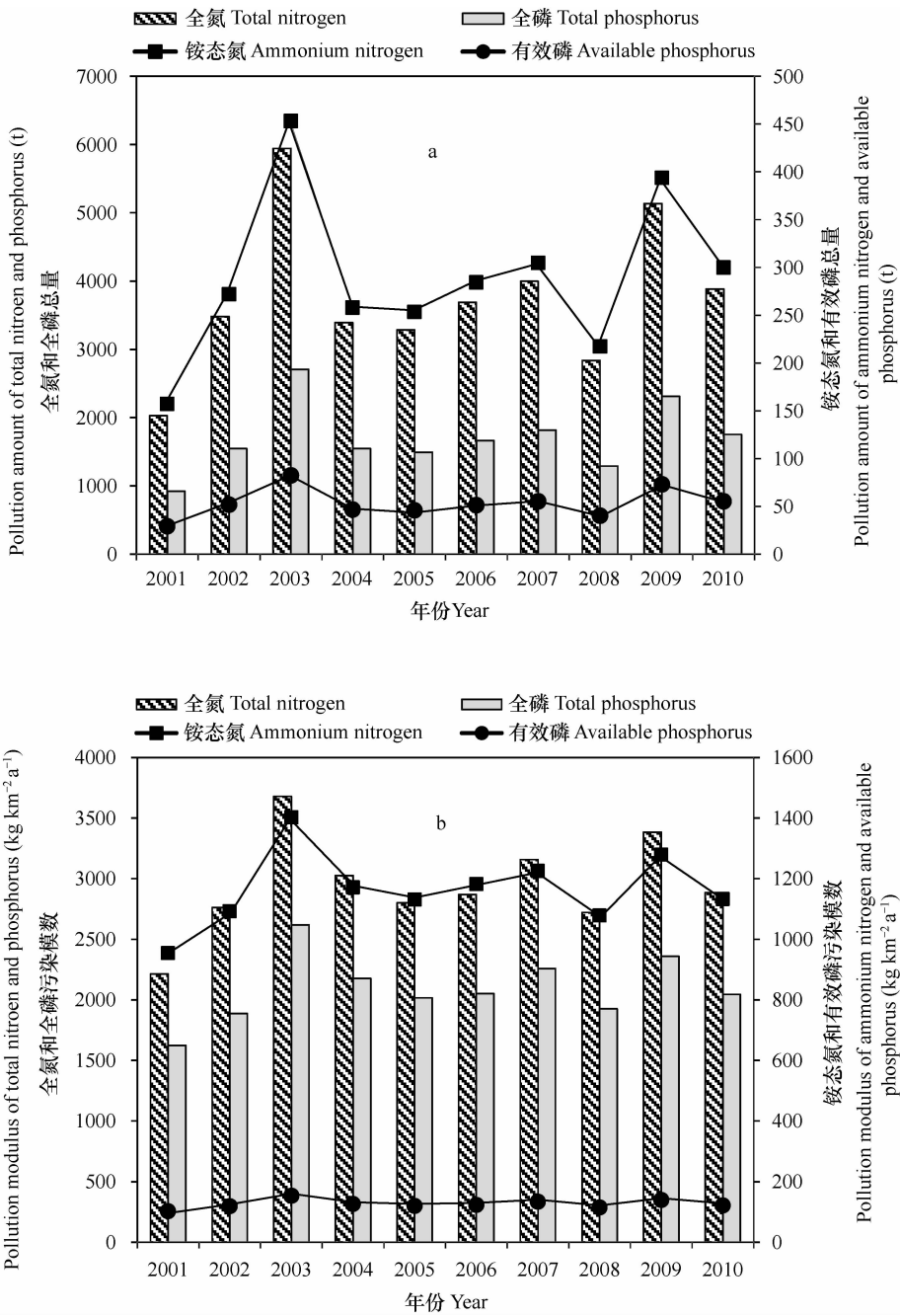


图 5 2001—2010 年土壤面源污染总量(a)和污染模数(b)变化趋势

Fig. 5 Changes in total amount of soil non-point source pollutions (a) and pollution modulus (b) from 2001 to 2010

2.3.2 面源污染空间变化分析 水土流失与面源污染不仅有上述同一地区不同年份的时间变化,而且同一地区同一年的各区县分布也有显著差异。将 10 年平均监测成果中各区县的侵蚀模数、土壤养分污染流失总量、轻度以上面积和强度以上面积共 4 项指标所做的占总计百分比(Bb)、面积加权百分比(Mb)分析和排序,不仅合理排列出各区县的水土流失与面源污染轻重情况,而且也说明了各区县的

水土流失空间分布差异和变化。

为讨论全市各区县 10 年期间的治理状况,本研究引入治理度概念。治理度是区域两次监测(1997—2000 年和 2001—2010 年)相应项减少的差数,除以该项上次监测数的百分比,则称之为该项的减少率或治理度。用治理度排序,可以较好地反映各区县治理流失的进展。本文列出了南京各区县土壤全氮和全磷治理状况数据(表 2 和表 3)。通过统计分

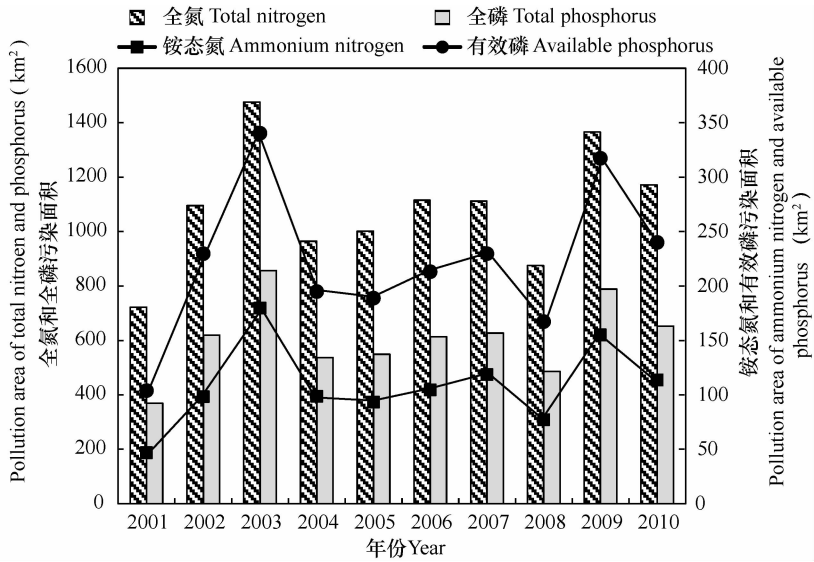


图 6 2001—2010 年土壤轻度以上面源污染面积变化趋势

Fig. 6 Changes in the area of soils light or more in soil non-point source pollution from 2001 to 2010

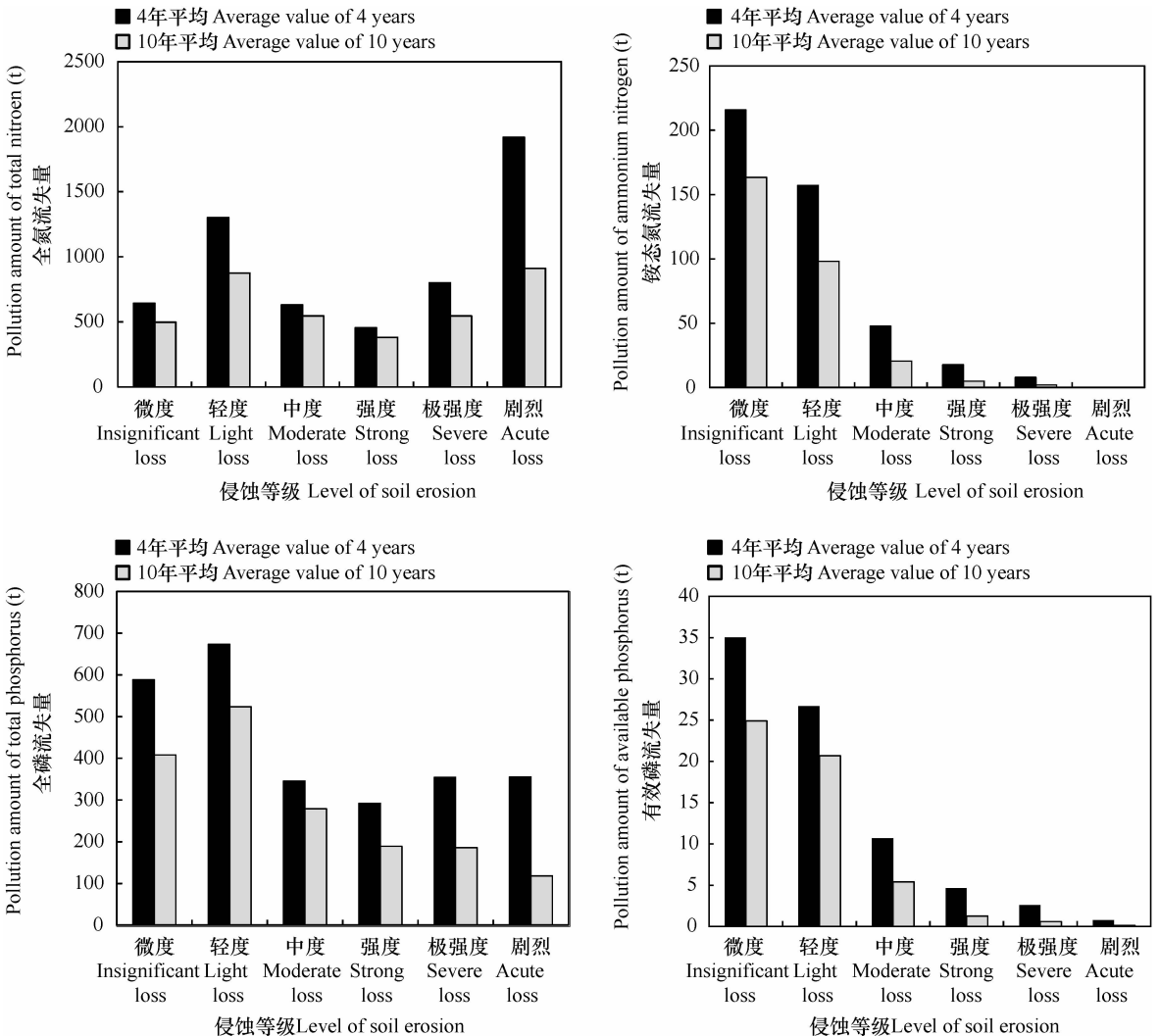


图 7 4 年平均(1997—2000)和 10 年平均(2001—2010)土壤面源污染不同等级流失量比较

Fig. 7 Soil and nutrient losses from soils of different levels of average non-point source pollution in 10 years (2001—2010) and 4 years (1997—2000)

表 2 南京市各区县土壤全氮面源污染治理状况

Table 2 Status of the control of soil total nitrogen non-point source pollution in different districts of Nanjing

区县 District	总面积 Total area (km ²)	污染模数治理度 Management degrees of pollution modulus		污染总量 Pollution amount			≥轻度面积 Slightly or more polluted area			≥强度面积 Severely or more polluted area		
		排序 Rank	(%)	总量差 Difference in total amount (10 ⁴ kg)	治理度 Management degrees		面积差 Difference in area (km ²)	治理度 Management degrees		面积差 Difference in area (km ²)	治理度 Management degrees	
					排序 Rank	(%)		排序 Rank	(%)		排序 Rank	(%)
六合 Luhe	1 479	7	3.9	45.67	5	36.8	142.3	2	36.6	12.14	5	29.1
浦口 Pukou	909.2	4	8.3	40.31	2	45.4	101.2	1	42.7	16.65	2	48.0
雨花 Yuhua	131.6	8	1.3	0.99	8	7.3	2.1	8	5.8	-0.88	8	-15.0
栖霞 Qixia	371.6	3	16.2	11.56	6	28.8	9.6	7	13.0	0.19	7	1.2
江宁 Jiangning	1 580	6	4.1	43.37	7	24.2	95.4	6	21.8	12.88	6	18.8
市区 Downtown	258.5	1	42.3	10.46	1	54.7	9.0	5	27.2	2.67	3	44.6
溧水 Lishui	1 069	2	23.3	38.84	3	45.3	105.8	3	34.8	18.80	1	61.4
高淳 Gaochun	790.9	5	5.8	9.99	4	37.2	31.8	4	31.5	2.57	4	43.0
总计 Total	6 590		7.9	201.2		34.8	497.2		30.9	65.02		31.0

表 3 南京市各区县土壤全磷面源污染治理状况

Table 3 Status of the control of soil total phosphorus non-point source pollution in different districts of Nanjing

区县 District	总面积 Total area (km ²)	污染模数治理度 Management degrees of pollution modulus		污染总量 Pollution amount			≥轻度面积 Slightly or more polluted area			≥强度面积 Severely or more polluted area		
		排序 Rank	(%)	总量差 Difference in total amount (10 ⁴ kg)	治理度 Management degrees		面积差 Difference in area (km ²)	治理度 Management degrees		面积差 Difference in area (km ²)	治理度 Management degrees	
					排序 Rank	(%)		排序 Rank	(%)		排序 Rank	(%)
六合 Luhe	1 479	7	7.6	22.40	4	38.3	65.5	3	35.4	9.20	5	45.1
浦口 Pukou	909.2	5	14.3	21.34	2	46.8	58.0	1	40.2	10.21	4	59.2
雨花 Yuhua	131.6	6	9.1	0.41	8	6.6	-1.2	8	-5.7	0.52	8	20.9
栖霞 Qixia	371.6	3	19.1	5.76	6	28.7	3.5	7	7.1	2.94	6	30.5
江宁 Jiangning	1 580	8	5.5	16.56	7	22.1	45.1	6	17.8	7.49	7	25.2
市区 Downtown	258.5	1	38.9	4.53	1	49.6	5.3	4	23.9	2.71	1	74.0
溧水 Lishui	1 069	2	23.8	15.36	3	43.7	52.0	2	36.0	7.12	2	73.3
高淳 Gaochun	790.9	4	16.7	4.27	5	37.2	8.3	5	21.9	1.18	3	59.5
总计 Total	6 590		11.5	90.63		34.7	236.6		27.6	41.36		43.6

析,土壤全氮和铵态氮污染总量、轻度以上面积和强度以上面积的治理度全市均超过 30%,以市区、溧水县较好。土壤全磷、有效磷流失污染总量和强度以上面积的治理度全市超过 30%,但轻度以上面积则小于 30%,仍以市区、溧水县较好。按照 Mb 排

序,土壤铵态氮、全氮、有效磷和全磷流失污染严重的镇街数皆以六合、栖霞区较江宁区多。南京各区县面源污染经 10 年治理后,治理度较好且居全市前 10 位最多镇街的是六合区。加大水土保持力度是南京市 10 年来面源污染时空状况改善的主要因素。

2.4 面源污染定量监测成果的可靠性分析

为评价此次水土流失与面源污染定量监测结果的可靠性,进行了野外实地核对,并与已有 2002 年和 2003 年监测数据进行比较分析,最后与水文实测泥沙数据做了分析。土壤全氮养分面源污染监测精度评价表明,2002 年土壤全氮污染监测精度为 71.55%,2003 年为 84.64%,两年平均为 78.1%。土壤全磷养分面源污染监测的精度评价表明,2002 年土壤全磷污染监测精度为 92.49%,2003 年为 83.05%,两年平均为 87.8%。因此,本项研究中各年和 10 年平均面源污染的监测精度较高,其结果是可信的。精度评价数据详见南京市 2001—2010 年水土流失与面源污染定量监测研究总结报告。

3 结 论

本研究所获得各类土壤全氮、全磷、铵态氮和有效磷数据较能反映南京土壤养分现状和施肥情况。与土壤普查数据相比,近年来大多数土壤具有全氮显著增加、全磷明显减少和有效磷大幅增加趋势。

水土流失和面源污染具有年内变化和年度变化特征,其侵蚀与污染的月份多数发生在 5~8 月,侵蚀与污染最严重的年度是 2003 年,次严重是 2009 年,最轻的年度是 2001 年,而最接近 10 年平均监测的年度是 2009 年和 2006 年。各区县 10 年平均水土流失与面源污染空间分布差异显著。就土壤流失与污染总量、 \geq 轻度面积和 \geq 强度面积而言,最严重的是江宁区,其次是六合区。2001—2010 年和 1997—2000 年两次定量监测结果表明,溧水县、浦口区的面源污染治理状况较好。

可靠性分析表明本项研究中面源污染定量监测方法精度较高。两次定期监测结果比较分析表明,近 10 年来南京市水土保持和面源污染控制成效显著,植被覆盖率的增加和水土保持措施的加强对减少水土流失与面源污染具有明显作用。

参 考 文 献

[1] 林杰,张金池,吴玉敏,等.南京市水土流失的现状、原因及防治对策.南京林业大学学报:自然科学版,2008,32(2):44—46. Lin J, Zhang J C, Wu Y M, et al. The current situation and causes of water and soil losses in Nanjing and its conservation strategies (In Chinese). Journal of Nanjing Forestry University: Natural Science Edition, 2008, 32(2): 44—46

[2] 马力,卜兆宏,彭桂兰,等.南京市 2001~2008 年水土流失

的时空变化与治理成效研究.土壤学报,2011,48(4):683—692. Ma L, Bu Z H, Peng G L, et al., Temporal and spatial variation of soil and water loss and its control in Nanjing area from 2001 to 2008 (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2011, 48(4): 683—692

- [3] 卜兆宏,董勤瑞,周伏建,等.降雨侵蚀力因子新算法的初步研究.土壤学报,1992,29(4):408—417. Bu Z H, Dong Q R, Zhou F J, et al. Preliminary study on new algorithm of erosivity factor of rainfall (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 1992, 29(4): 408—417
- [4] 卜兆宏,唐万龙.降雨侵蚀力因子(R)最佳算法及其应用的研究成果简介.中国水土保持,1999(6):16—17. Bu Z H, Tang W L. A brief introduction of the best algorithm of rainfall erosivity (R) and its application (In Chinese). Soil and Water Conservation in China, 1999(6): 16—17
- [5] 卜兆宏,孙金庄,董勤瑞,等.应用水土流失定量遥感方法监测山东全省山丘区的研究.土壤学报,1999,36(1):1—8. Bu Z H, Sun J Z, Dong Q R, et al. Study on quantitative remote sensing method for soil erosion losses and its application in Shandong Province, China (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 1999, 36(1): 1—8
- [6] 姜小三,卜兆宏,杨林章,等.水土流失与水质污染一体化定量监测的初步研究——以江苏省方便流域为例.土壤学报,2005,42(4):529—536. Jiang X S, Bu Z H, Yang L Z, et al. Integrated quantitative monitoring of soil loss and water pollution—A case study of Fangbian valley in Jiangsu Province (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2005, 42(4): 529—536
- [7] 夏立忠,卜兆宏,张祖兴,等.土壤与养分流失综合监测方法在密云水库流域的应用.地球科学进展,2007,22(3):241—248. Xia L Z, Bu Z H, Zhang Z X, et al. Application of integrated method to assessment of soil and nutrient losses in Miyun Reservoir Basin (In Chinese). Advances in Earth Science, 2007, 22(3): 241—248
- [8] 卜兆宏,杨晓勇,王庠,等.水土流失定量监测中的 DEM 精度评价新方法.土壤学报,2004,41(5):661—667. Bu Z H, Yang X Y, Wang K, et al. New method for accuracy evaluation of DEM (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2004, 41(5): 661—667
- [9] 卜兆宏,姜小三,杨林章,等.水土流失定量监测中 GPS 实测更新 GIS 数据的实用方法研究.土壤学报,2005,42(5):712—719. Bu Z H, Jiang X S, Yang L Z, et al. The experiment of optimum methods of renewing GIS data by GPS solid survey in the soil erosion fixed quantity monitoring (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2005, 42(5): 712—719
- [10] Wischmeier W H, Smith D D. Predicting rainfall erosion losses—A guide to conservation planning //Agriculture handbook number 537. Washington DC: US Department of Agriculture, 1978: 58
- [11] Renard K G, Foster G R, Weesies G A. Predicting soil erosion by water—A guide to conservation planning with the Revised Soil Loss Equation (RUSLE)//Agriculture handbook number 703. Washington DC: US Department of Agriculture, 1997: 404
- [12] 张健,陈凤,濮潞杰,等.区域土地利用变化对土壤磷含量的影响评价研究.生态环境,2007,16(3):1 018—1 023.

- Zhang J, Chen F, Pu L J, et al. Effect of the changes in regional land use on soil phosphorus content (In Chinese). *Ecology and Environment*, 2007, 16(3):1 018—1 023
- [13] 黄满湘, 章申, 唐以剑, 等. 模拟降雨条件下农田径流中氮的流失过程, *土壤与环境*, 2001, 10(1): 6—10. Huang M X, Zhang S, Tang Y J, et al. Nitrogen losses from farm runoff under simulated rainfall conditions (In Chinese). *Soil and Environmental Sciences*, 2001, 10(1):6—10
- [14] 黄丽, 丁树文, 董舟, 等. 三峡库区紫色土养分流失的试验研究, *土壤侵蚀与水土保持学报*, 1998, 4(1): 8—13. Huang L, Ding S W, Dong Z, et al. Study on nutrient losses of purple soil in Three Gorges Reservoir Region (In Chinese). *Journal of Soil Erosion and Soil and Water Conservation*, 1998, 4(1): 8—13
- [15] 阎百兴, 汤洁. 黑土侵蚀速率及其对土壤质量的影响. *地理研究*, 2005, 24(4):499—506. Yan B X, Tang J. Study on black soil erosion rate and the transformation of soil quality influenced by erosion (In Chinese). *Geographical Research*, 2005, 24(4):499—506
- [16] Yan W J, Huang M X, Zhang S, et al. Phosphorus export by runoff from agricultural field plots with different crop cover in Lake Taihu watershed. *Journal of Environmental Sciences*, 2001, 13(4): 502—507

QUANTITATIVE MONITORING AND TEMPORAL AND SPATIAL VARIATION OF NON-POINT SOURCE POLLUTION IN NANJING AREA IN 2001—2010

Ma Li¹ Bu Zhaohong^{1†} Peng Guilan² Gong Laicun³ Yang Linzhang¹ Xia Lizhong¹ Huang Rui¹

(1 *Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China*)

(2 *Nanjing Water Conservancy Bureau, Nanjing 210036, China*)

(3 *Nanjing Branch of Jiangsu Provincial Hydrology and Water Resources Investigation and Survey Bureau, Nanjing 210008, China*)

Abstract Based on meteorological data and the Geographic Information System (GIS) database of the Nanjing area during the period from 2001 to 2010, and by means of soil sampling and analyzing, non-point source pollution and soil erosion in various districts of the Nanjing area in the past 10 years were quantitatively analyzed with models for overall monitoring of erosion and non-point source pollution from soil erosion and nutrient loss. Results show the following, (1) the data of total nitrogen, total phosphorus, ammonium nitrogen and available phosphorus of the various types of soils in the area better reflected soil nutrient and fertilization status of the area. In recent years, soil total nitrogen and available phosphorus increased significantly and total phosphorus decrease significantly in most parts of the area; (2) The non-point source pollution and soil erosion were characterized by annual and inter-annual variations; which show that soil erosion and pollution occurred mostly from Apr. to Aug. and was the most serious in 2003 and the least in 2001; (3) Significant spatial variation of the 10-year averages of non-point source pollution and soil erosion existed among different districts; Jiangning was the most seriously polluted area and was followed by Luhe; (4) For the past 10 years, the effect of the efforts of Nanjing to control non-point source pollution and soil erosion was significant. Increasing vegetation coverage and enforcing soil erosion control measures are effective in controlling non-point source pollution and soil erosion.

Key words Nanjing; Non-point source pollution; Nitrogen; Phosphorus; Quantitative monitoring; Temporal and spatial variation