

淮河流域氮肥农药施用的合理性及其环境影响

宋大平, 陈巍*, 高彦征

(南京农业大学资源与环境科学学院, 南京 210095)

摘要:根据 1990—2008 年统计数据和相关参数,通过估算农田系统氮素平衡和农药施用水平来分析淮河流域中下游典型区氮肥农药施用的合理性及其对环境的影响。结果表明,淮河流域研究区 N 素盈余量和农药施用量呈增加趋势,1990—2008 年按耕地平均,N 素盈余量由 $227 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 增加到 $453 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,农药使用量从 $7.43 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 增加到 $22.63 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。从空间差异来看,在研究区的 8 个县中,6 个县耕地 N 素盈余量在 $400 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 以上,2 个县耕地氮素盈余量超过 $600 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$;5 个县农药使用量在 $20.00 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 以上,2 个县农药使用量超过 $30.00 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。8 个县中 N 素盈余量和农药施用量最高的分别是最低的 2.54 倍和 5.29 倍。综合潜在风险分级结果为:沈丘、淮滨、凤台、寿县属于高风险区,五河、霍邱、颍上属于中等风险区,临泉属于较低风险区。可见,该地区氮肥和农药施用量大,且分布不平衡。

关键词:淮河流域;氮肥;农药;环境影响

中图分类号:X522 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-2043(2011)06-1144-08

The Usage Rationality and Environmental Impacts of Chemical Nitrogen Fertilizer and Pesticide in the Huaihe River Basin, China

SONG Da-ping, CHEN Wei*, GAO Yan-zheng

(College of Resource and Environmental Science, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

Abstract: According to the statistical database and related parameters from 1990 to 2008, the usage rationality and environmental impacts of the nitrogen fertilizer and pesticide in the middle and lower Huaihe River basin were evaluated basing on the estimation of the nitrogen input and output balance in agroecosystem. The average amounts of surplus nitrogen and pesticide usage per hectare cultivated land in test area increased from $227 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ to $453 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ and from $7.43 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ to $22.63 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ in the duration of 1990 to 2008, respectively. In addition, the average amounts of surplus nitrogen were more than $400 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ in 6 counties and more than $600 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ in 2 counties among 8 test counties. The average amounts of pesticide usage were over $20 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ in 5 counties and over $30 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ in 2 counties. The amounts of surplus nitrogen and pesticide usage in test area differed greatly. The largest amounts of surplus nitrogen and pesticide usage in one place were 2.54 times and 5.29 times of the smallest in the other, respectively. Potential risk assessments of the test area revealed that Shenqiu, Huaibin, Fengtai, and Shouxian were the areas with the highest risks, and Wuhe, Huoqiu, Yingshang were the areas with the higher risks, and Linquan with the lowest risks. In view of these, there is very large amount in application of chemical fertilizer and pesticide in the area, and is unbalanced distribution in their content among areas.

Keywords: Huaihe River basin; nitrogen fertilizer; pesticide; environmental impact

我国是农业大国,以世界不到 10%的耕地,基本解决了占世界 22%的人口吃饭问题。由于耕地面积的限制,不得不为提高粮食单产而投入大量的氮肥、杀虫剂和除草剂。氮素是农业生产中最重要的养分限

制因子,氮素所带来的环境污染也日益明显。据统计,自 1981 年至 2008 年,中国粮食产量从 3.25 亿 t 增长至 5.29 亿 t,增长约 62.8%;氮肥消费却从 1 118 万 t 增加到 3 292 万 t,增长了 194.4%,可见氮肥的增产效果随施氮量的增加而降低。朱兆良等对我国农业氮素平衡的估算结果表明,反映氮素农业效益的收获氮量占总收入氮量的比例,从 1979 年的 57%下降为 1998 年的 43%,20 年间下降了 14 个百分点,与此同时农田中化肥氮的损失量却增加了约 2 倍^[1]。在欧盟,

收稿日期:2010-12-16

基金项目:国家科技部科技支撑项目(2006BAI19B03)

作者简介:宋大平(1984—),男,河北唐山人,硕士研究生,主要从事农业面源污染方向研究。E-mail:songping_361@163.com

* 通讯作者:陈巍 E-mail:chenwei@njau.edu.cn

最近几年一些国家如荷兰、丹麦等国将农田氮素盈余限量标准列入相关法律,标准在 $100\sim 180\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 的范围^[2],对于超过最高标准的将被征收环境污染税等,而我国并没有具体的环境法律进行规范。鲁如坤等^[3]对我国南方6省农田养分平衡进行研究得出,6省中氮素盈余最低的浙江也在50%以上,最高的广东、福建竟达到185%左右;卢树昌等^[4]对河北果园氮素投入分析得出平均施氮量在 $438\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,而国外果园施氮量在 $100\sim 150\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$;孙波等对国家尺度上农田氮素盈余量的研究得出上海、江苏和福建最高(大于 $226\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$),广东、浙江、北京、天津、山东、河南和湖北较高($170\sim 266\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)。在我国,农药使用的历史由来已久,而全国平均农药利用率只有30%左右^[5],大部分农药都残存在自然环境中,参与生态环境系统循环,加剧地区污染复合化的态势。淮河流域正是我国主要的粮食生产区,农药的使用表现更为突出。

环境污染对人体健康的影响日益受到关注,淮河流域环境污染与肿瘤高发问题更成为媒体披露和社会关注的重大问题。在农业中,氮肥和农药的使用是硝态氮和各种化学制剂的源头,饮用水中的硝态氮和部分农药制剂与癌症的发病率存在着密切关系^[6-7]。因为肿瘤的发生与多个因素有关,加之环境要素的复杂

性,需要调查和综合评价沿淮地区环境现况。本研究旨在从农业的角度出发,以氮素和农药为研究对象,将县级区域作为研究尺度,通过对县级区域氮肥和农药施用结构的分析,从时间和空间上反映研究区内氮素盈余水平和农药施用水平变化情况,以期为该区域农业非点源污染的控制以及下一步进行沿淮地区环境现况的综合评价提供科学依据。

1 研究区域概况

淮河属于我国七大河流,也是污染最严重的河流之一。淮河发源于河南省南部的桐柏山,东流经豫、皖、苏三省,在三江营入长江,干流全长1000 km(图1)。淮河流域介于长江和黄河两流域之间,位于东经 $111^{\circ}55'\sim 122^{\circ}45'$ 、北纬 $30^{\circ}55'\sim 38^{\circ}20'$,流域面积27万 km^2 。淮河流域耕地面积1222万 km^2 ,粮食产量占全国粮食总产量的17.3%,是我国重要的粮食主产区。淮河流域总人口为16801万人,平均 $623.6\text{ 人}\cdot\text{km}^{-2}$ (2003年),为同期全国人口密度 $134\text{ 人}\cdot\text{km}^{-2}$ 的4.65倍,居各大江大河流域人口密度之首。由于淮河流域人口集聚、农业发达,这也是造成当地农业面源污染的主要原因。

淮河流域中下游地区水环境污染严重,该流域范

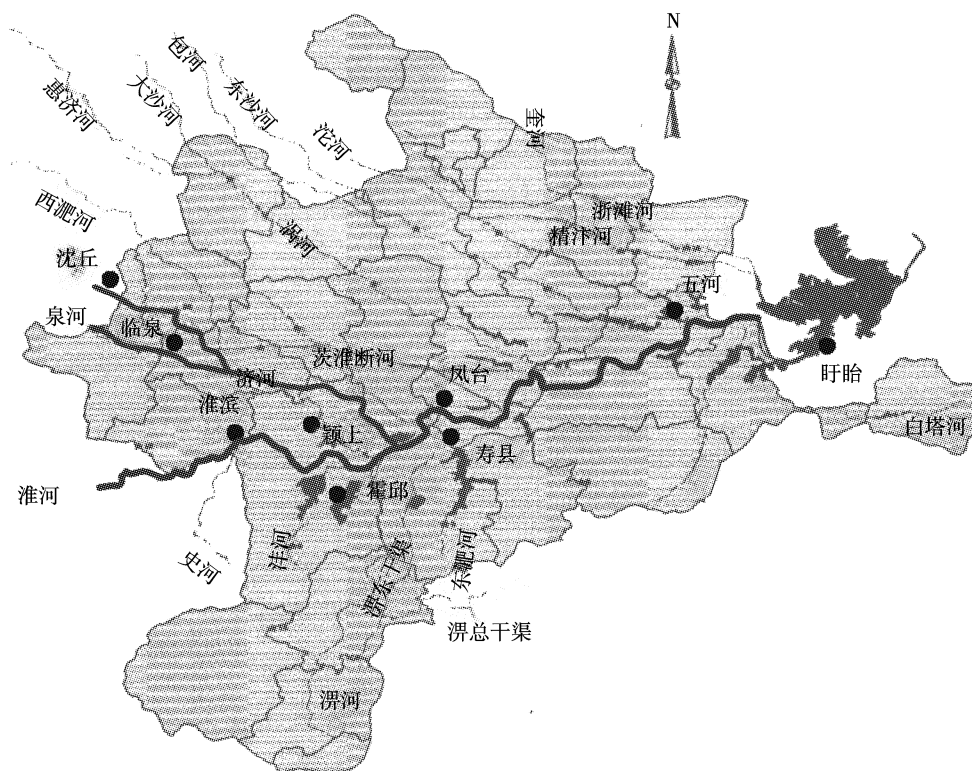


图1 淮河流域概况

Figure 1 Map of the Huaihe River Basin

围广县市众多,本研究从中选取具有代表性的 8 个县作为研究对象,研究对象具有以下特征:所选县区位置均位于淮河主要干、支流流经地,化肥农药对水环境的影响比较明显;具有一定数量的农用耕地,农业发展在当地有一定基础;选择的县区较均匀的分布在淮河中下游流域上。据此选取结果为:河南的淮滨、沈丘县,安徽的寿县、临泉、霍丘、颍上、凤台、五河县(图 1 来源于《淮河流域水资源可持续利用》淮河流域水系示意图,并作修改)。本文整理出 1990—2008 年间农药化肥施用情况(化肥、农药数据均为折纯量),统计数据来源于河南省土肥站、安徽省农业科学院以及相关农业统计年鉴,从农田氮素、农药的使用情况、变化趋势、农田系统中氮素平衡状况以及氮素和农药对环境潜在风险的角度分析淮河流域农业污染状况,并对存在的风险做出相应的分析评价。

2 农田生态系统氮素平衡及农药的计算和分析

2.1 氮素平衡中的氮素盈余

化肥中氮肥的施用是农业面源污染的主要形式,农田生态系统中化学氮肥投入量超出农作物的需要量时,多余的养分便会流失,通过不同的途径进入地面、地表水和大气,从而导致环境污染^[8-10]。农田生态系统中的氮素主要以硝酸盐的形式随着淋溶和径流污染地表水和地下水^[11],目前我国很多地区的水体和湖泊处于富营养化状态^[12],严重影响土地和土壤质量的重要指标^[13-14]。

当氮素总投入量大于氮素总支出量时就产生了氮素的盈余,用这个指标就可以衡量氮素使用水平的高低。由于本项研究的范围广、年代跨度大,各年代各地区有机肥的使用情况复杂且不易于统计计算,在此基础上通过分析淮河流域农田氮肥使用情况,参考农田养分收支平衡模型^[3-4],针对化肥中氮素的使用情况建立了适合本研究的农田氮素养分收支模型:

$$NBA=(NF+NR+NFIX-NHC)\times 1\,000/AL \quad (1)$$

式(1)参考朱兆良等^[15]研究及预测,在不考虑化肥氮损失(气态损失、径流、淋溶)的情况下,计算农田氮素盈余量。NBA 为农田氮盈余量,kg·hm⁻²;NF 为化肥氮的投入,t;NFIX 为生物固氮,t;NR 为作物根茬归还,t;NHC 为作物氮,t;AL 为耕地面积,km²。其中化肥氮的投入包括单质氮肥和复合肥中的氮素两部分,而复合肥中氮、磷、钾肥很难确定其统一的比例,只能根据经验定位氮、磷、钾的比例为 1:1:1;生物固氮参照生物固氮系数(表 1)进行相关计算^[16];作物根

茬归还的氮素参考邓美华等研究^[17]统一为每公顷每年归还氮素 25 kg;作物对氮素吸收参照朱兆良^[18]研究结果以作物吸收率 30%来计算。

表 1 生物固氮系数

Table 1 Nitrogen bio-fixation coefficient

作物或微生物	固氮系数/kg·hm ⁻²	作物或微生物	固氮系数/kg·hm ⁻²
水稻	30	小麦	15
玉米	15	大豆	80
棉花	15	油菜	15
花生	35	土壤微生物	25

2.2 农药的环境影响分析

由于各地耕地各不相同,以单位面积农药施用量即农药施用水平来反应农药的实际使用状况更为客观。

$$M=MT\times 1\,000/AL \quad (2)$$

式中:M 为每公顷农药纯量,kg·hm⁻²;MT 为当年农药使用量,t;AL 为耕地面积,km²。

数据分析选取 1990 和 2008 年 2 个年份代表,空间分析利用 ArcGIS9.3 对调查的 8 个县进行空间分析和制图。

3 结果与讨论

3.1 研究区域氮肥农药的使用情况

3.1.1 研究区氮肥农药总体使用情况分析

从 1990—2008 年,研究区 8 个县耕地面积共减少了约 3.6 万 km²,而化肥投入总量却从 1990 年的 246 604 t 增加到 2008 年的 668 283 t,19 a 共增长了 171.0%,年增长率为 9.0%;单位耕地面积上化肥氮的投入也从 1990 年的 224.9 kg·km⁻² 增加到 2008 年的 547.4 kg·km⁻²,总增长率为 143.1%,年增长率为 7.5%。随着化肥总量的不断增加,作为主要营养元素氮的使用量增加十分显著,导致单位耕地面积上氮素盈余量呈不断增加趋势,从 180.9 kg·km⁻² 增加到 453.2 kg·km⁻²(图 2),总增长率为 150.5%,年增长率为 7.9%。可以看出,氮素盈余量的增长主要是源于化肥氮素投入的大量增加。孙波等的研究将 2015 年前我国农田氮素平衡量变化分为 3 个阶段:1980—1998 年为快速增长期;1999—2004 年为稳定期;2005—2015 年为缓慢增长期,并预测 2015 年我国农田氮素盈余量将达 179 kg·km⁻²^[15]。如图 2 所示,该地区的 8 个县的氮素盈余量变化趋势与孙波等的研究是吻合的,但在具体的氮素盈余量上,研究区的盈余量远远

高于全国水平,2008年氮素盈余量超过全国预测数据的153.2%,可见研究区平均氮素盈余量处在一个较高的水平,而氮素的大量盈余损失,必然导致氮素损失并产生环境污染,影响淮河流域水质。

农药的使用情况如图3所示,从1990年的5 574 t,增加到2008年的16 169 t;单位耕地面积农药用量从 $7.43 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 增加到 $22.63 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$;19 a间共增长了204.6%,年增长率为10.8%。农药的增长源于病虫害及规模化生产的需求,我国农药使用量已是世界第一,随着农药的使用,害虫的抗药能力和杂草的抗药性逐渐增强,导致农民不断增加用药量。然而农药的利用率只有30%左右^[5],大部分残留在农田,地下水和地表水中,随着环境循环并积累,加剧了这些地区污染复合化的态势。有研究显示,黄河、海河和渤海湾有机氯农药污染均大范围存在^[19-20]。可见,如此迅速的农药增长对淮河水质的污染十分显著。

3.1.2 研究区氮肥农药时空变化趋势分析

氮素是农业生产中最重要的养分限制因子,但过多的氮素会对环境造成污染。朱兆良院士提出,为了控制化肥污染,每年大面积施氮量应控制在150~180

$\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 的水平^[18]。如图4所示,该区域的8个县,1990年施氮量在 $180 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 以下的只有临泉1个县,其中凤台最高已经达到 $312 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$;而到1999年,所有县的施氮量均超过了 $180 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,其中凤台、沈丘、霍邱3个县超过 $400 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$;截至2008年,该区域只有1个县施氮量在 $300 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 以下,其中4个县的施氮量超过 $600 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,淮滨和沈丘施氮量分别达到了 $788 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和 $766 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,超过朱兆良院士提出的控制水平3.3倍。8个县施氮量平均增长率为1.45%~14.4%,其中只有颍上、凤台2个县的增长率相对较低,分别为1.45%、5.68%,表明这2个县施用化肥氮的增长趋于稳定;淮滨、寿县、沈丘增长率较高,分别达到14.4%、11.3%和10.5%,施用化肥氮增长速度均较高。

从空间角度上,1990年,氮素施用量最高的凤台是最低(临泉)的1.78倍,达 $300 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 以上,其他7个县均在 $200 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 左右,差异不明显;2008年,各县差异十分显著,最高县淮滨是最低县临泉的3.15倍,大体分为3个范围:小于 $400 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 的1个县,400~600 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 的3个县,600 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 以上的4个

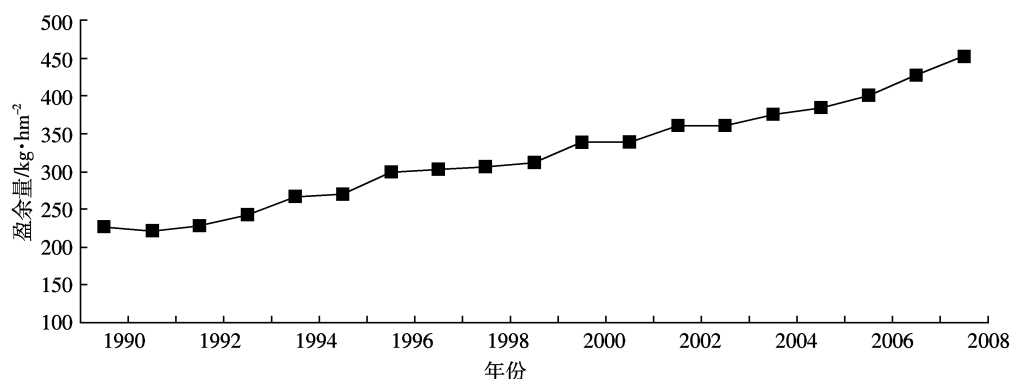


图2 研究区耕地氮素盈余变化

Figure 2 Nitrogen balance and nitrogen surpluses of farmland in test area

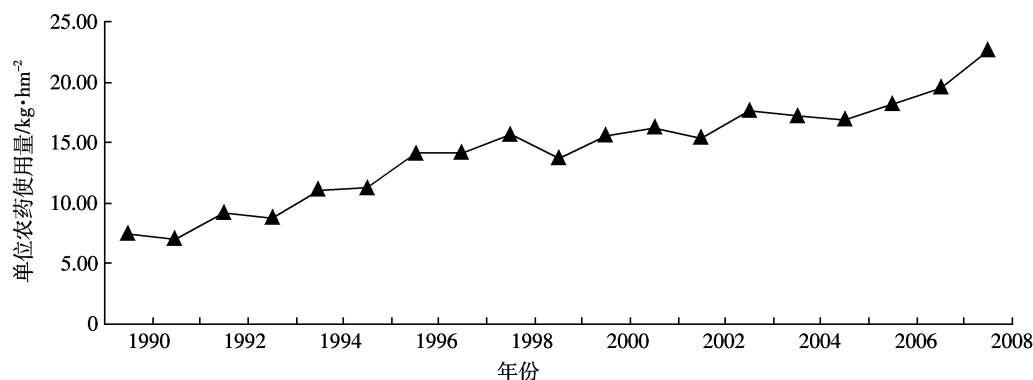


图3 研究区农药施用量变化

Figure 3 Pesticide usage per hectare cultivated land in test area

县。氮素施用量的差异导致各地区对环境污染的风险不同。

如图5所示,1990年,各县农药施用水平均处在一个较低的水平,其中临泉的农药水平最低为 $1.61 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,凤台最高为 $12.19 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,沈丘、颍上次之,其他县均在 $10 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 以下;2008年,凤台高达 $51.23 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,寿县、颍上、沈丘和五河3县属于 $20 \sim 30 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 的范围,霍邱和淮滨施用水平量在 $15 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 左右,只有临泉为 $9.68 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,低于同期全国平均农药水平 $10.16 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ^[15],可见该区域的8个县中有7个县高于全国水平,而且凤台、寿县、颍上和沈丘农药施用量在全国范围内均属于较高的水平。空间水平上同氮素施用情况类似,在1990年前后,各县农药使用水平差异并不明显,个别县农药使用水平比较低,对环境的影响并不显著;到2008年,农药水平差别开始扩大,最高的凤台高达 $51.23 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,是同年临泉农药水平的5.29倍。造成农药水平差异的原因,可能是由于近几年各县农业种植结构发生改变,经济作物和蔬菜的种植面积开始扩大,而经济作物和蔬菜对农药的需求量远远高于一般作物,从而造成地区间

环境状况的不平衡发展,带来环境的污染和生态系统的破坏。

3.2 研究区氮素农药使用合理性及其对环境的影响

氮素盈余是与农业生产密切相关的环境质量指标,农田生态系统中过量施用的氮素通过淋溶和径流进入水体,或挥发进入大气,引起环境问题。欧盟大部分国家已经把农场尺度的氮素收支平衡作为监测农业环境政策效应的一个重要工具。如荷兰,把养分平衡看作是减少养分从农田向地下水和地表水淋失的重要措施。我国氮素盈余量大,且总体上仍在增加,过量施用氮肥导致的环境风险也不断增长。

本研究参考孙波^[15]和武兰芳等^[21]等的研究,将氮素盈余评价指标分为 $0 \sim 200$ 、 $200 \sim 400$ 、 $400 \sim 600 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和 $>600 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,并将它们分别对应低风险区间、潜在风险区间、较高风险区间和高风险区间进行评价。

如图6,1990年研究区的8个县中,只有临泉和霍邱两县氮素盈余量低于 $200 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,处在低风险区间范围,其他6个县均属于 $200 \sim 400 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 的潜在风险区间,其中最高的两个县是沈丘和凤台;2008

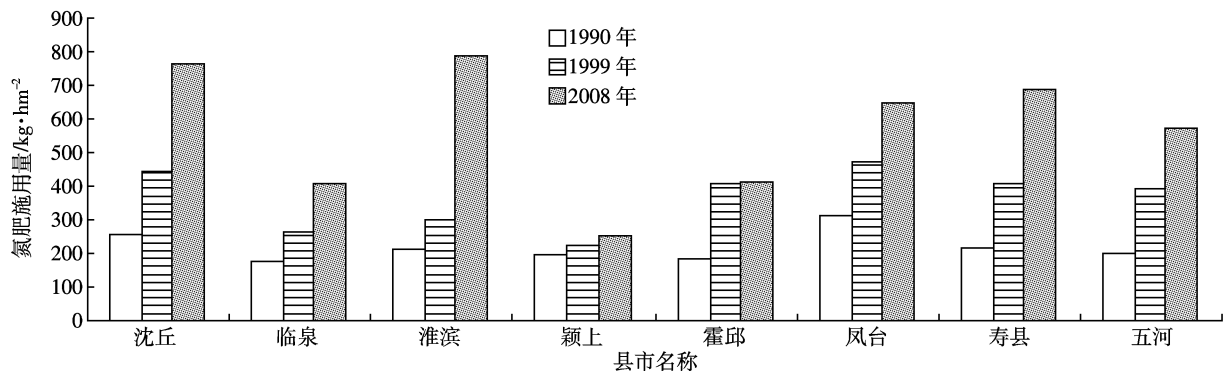


图4 8县氮肥施用情况

Figure 4 The usage of nitrogenous fertilizer in 8 counties

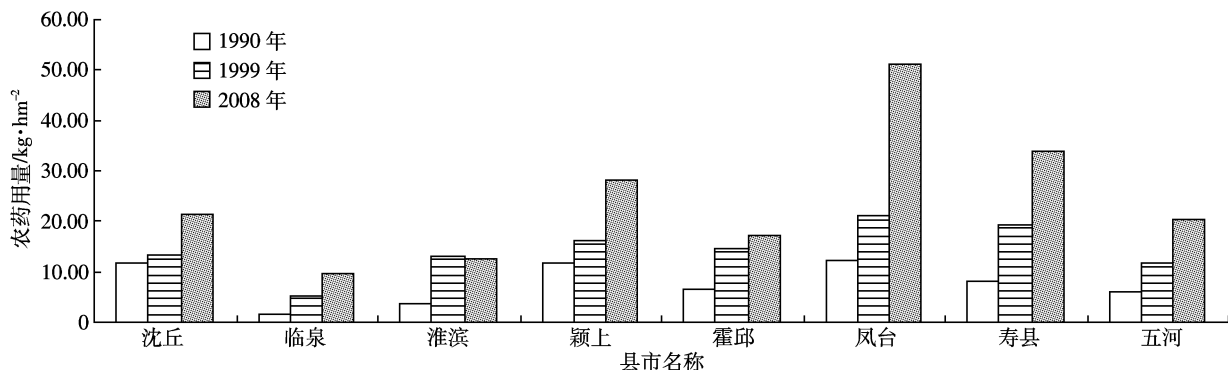


图5 8县农药使用情况

Figure 5 The usage of pesticides in 8 counties

年,氮素盈余量显著增加,颍上、临泉和霍邱3个县处在 $200\sim 400\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 的潜在风险区间,五河、凤台和寿县3个县在 $400\sim 600\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 的较高风险区间,而沈丘、淮滨2个县处在大于 $600\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 的高风险区间,氮素盈余量达到 $606\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 和 $622\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,最低的颍上和临泉氮素盈余量(分别为 245 、 $355\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)也都高于2004年全国 $154\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 的氮素盈余水平。可见,研究区在1990年前后,氮素的盈余量已经处在一个对环境具有潜在风险范围内,说明施氮肥量从上世纪80年代开始,经过90年代化肥产业的发展成熟,氮素盈余量增加十分明显,氮肥的施用量开始超过适宜的范围;到2008年,氮素盈余量已经向高风险趋势发展,氮肥的施用量近几年处在较高水平中并略有增长。

本研究农药评价指标选取1990和2008年2个年份代表,参考林玉锁^[5]的研究,将农药用量划分为

$0\sim 9.9$ 、 $10.0\sim 19.9\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 和大于 $20.0\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,并将它们分别对应低风险区间、较高风险区间和高风险区间进行评价。

由图7可以看出,1990年,沈丘、颍上和凤台3个县的农药使用量处于较高风险的范围,其他5个县处在低风险范围;2008年出现较大变化,凤台、寿县、颍上、沈丘和五河5个县农药用量超过 $20.0\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,达到高风险范围,淮滨、霍邱2个县处在较高风险范围,只有临泉县处于低风险范围。这与我国工业水平的不断提高有着直接的关系,我国农药的生产量一直居于世界第二位,而使用量居于世界第一位。研究区农药的使用在近几年的增长速度仍然很快。

3.3 研究区氮肥、农药使用的综合评价

综合分析研究区8个县氮素和农药使用的结构

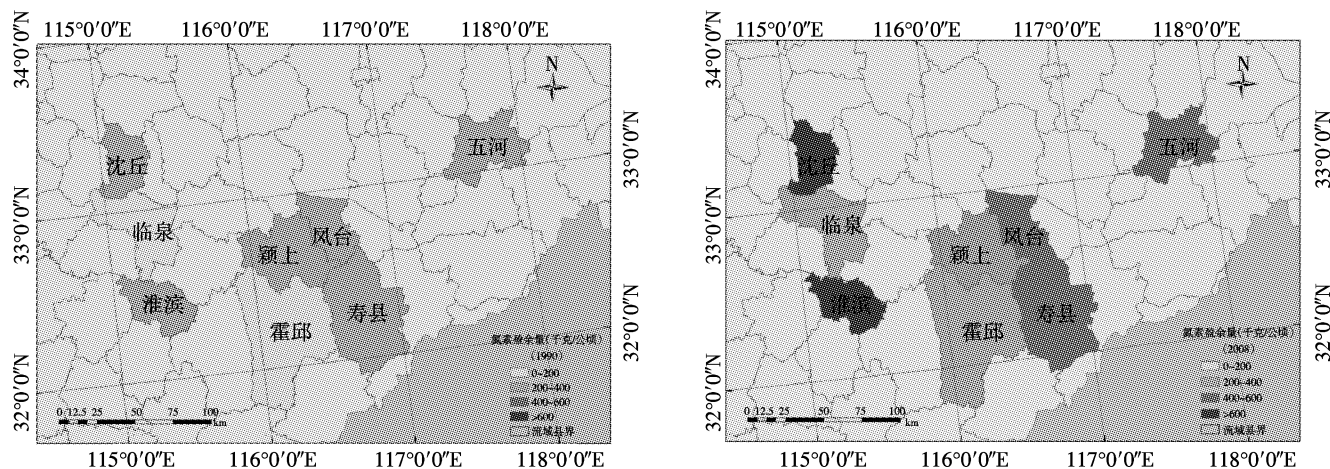


图6 各县耕地氮素盈余量

Figure 6 Nitrogen balance for farm land in countryside

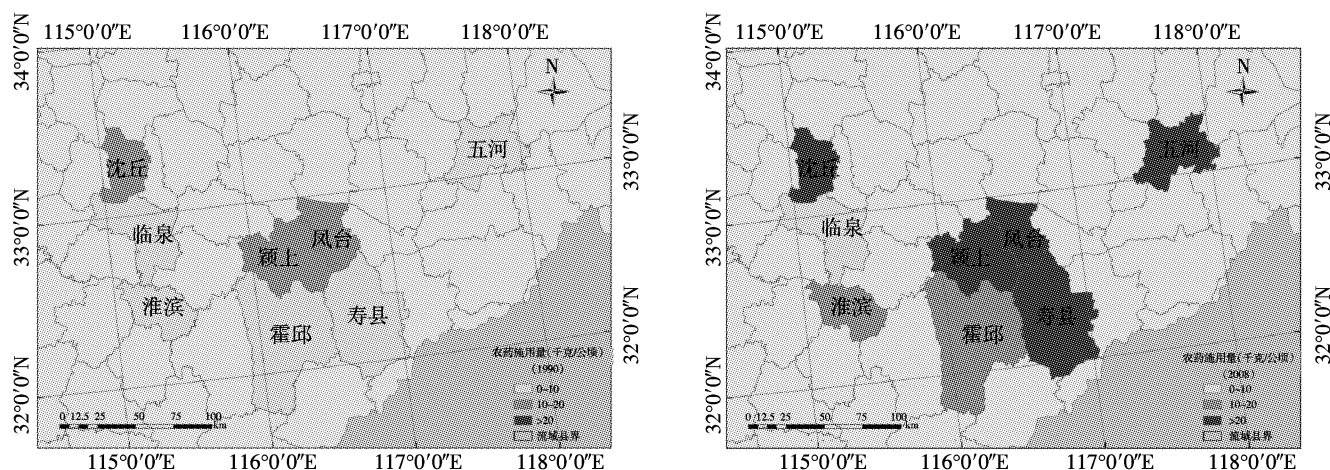


图7 各县耕地农药用量

Figure 7 Pesticides usage for farm land in countryside

水平情况,不难发现,研究区 8 个县氮素和农药的增长趋势与全国同期氮素和农药的增长趋势是吻合的。一方面是自上世纪 80 年代开始,我国的化肥和农药产量不断增加,农民对化肥农药能提高作物产量的认识不断增长,导致一味依靠增加氮肥农药量来增产增收;另一方面是大力发展菜篮子工程,不断调整种植结构,集约化程度大幅度提高,经济作物和大棚蔬菜的种植面积逐渐扩大。有研究显示,各流域菜果花(蔬菜、水果、花卉)播种面积大量增加,达 50%以上菜果花等经济作物施肥过量;种植业发展为新兴产业,农民并未掌握合理的施肥技术,为了追求效益,超量施用氮肥、农药,各地蔬菜农药高残留的报道也屡见不鲜,不仅破坏了菜田的土壤结构,对土壤环境与地下水也造成较大污染,成为水体富营养化潜在威胁^[15]。研究区的 8 个县之间的差异也是十分明显的,氮肥农药的使用,不仅受施用技术、土壤性质和作物管理等影响,还受到当地社会管理和经济水平等因素作用。当地工业相对发达、农民收入、农村劳力、运输方便程度以及农民对化肥农药的认识程度等,均可能在一定程度上影响耕地氮素盈余量和农药使用水平。对于具体的原因,有待通过进一步研究加以解释。

4 结论

利用农田养分平衡法研究发现,淮河流域研究区单位 N 素盈余量和单位农药使用量均呈现增加趋势,从 1990—2008 年按耕地平均,N 素盈余量由 227 kg·hm⁻² 增加到 453 kg·hm⁻²,农药的使用量从 7.43 kg·hm⁻² 增加到 22.63 kg·hm⁻²;从空间差异来看,在研究区的 8 个县中,有 6 个县的耕地 N 素盈余量在 400 kg·hm⁻² 以上,其中 2 个县的耕地氮素盈余量超过了 600 kg·hm⁻²;5 个县的农药施用量在 20.00 kg·hm⁻² 以上,有 2 个县农药施用量超过 30.00 kg·hm⁻²;8 个县中最高 N 素盈余量和农药施用量分别是最低的 2.54 倍和 5.29 倍。

按朱兆良提出的标准,在 1990 年左右氮肥的施用属于较合理的范围,环境潜在污染风险较低,2008 年,氮肥的施用量远远超过合理范围,使环境潜在污染风险增大,其中淮滨、沈丘、凤台和寿县氮素盈余量大于 500 kg·hm⁻²。2008 年农药的使用,沈丘、寿县和凤台等县大于 20.0 kg·hm⁻²,环境潜在污染风险高。综合研究区氮素和农药对环境的影响,对研究区潜在风险进行分级:沈丘、淮滨、凤台、寿县属于高风险区,五河、霍邱、颍上属于较高风险区,临泉属于中等风险区。

研究表明,淮河流域氮素和农药的使用量较大,从而对环境产生影响的可能性也将增大,为了避免有环境的污染而对人体健康产生不良影响,应加强控制环境污染潜在风险高的地区氮肥、农药的使用和管理,减少因氮肥、农药等污染因素带来的流域性非点源污染,以便为不同的区域制定具体而有效的实施办法提供一定的理论依据。

参考文献:

- [1] 朱兆良,孙波. 中国农业面源污染控制对策研究[J]. 环境保护, 2008, 394(4B): 4-6.
- [2] Kopinski J, Tujaka A, Igras J. Nitrogen and phosphorus budgets in Poland as a tool for sustainable nutrients management[J]. *Acta Agriculturae Slovenica*, 2006, 87(1): 173-181.
- [3] 鲁如坤,时正元,施建平. 我国南方 6 省农田养分平衡现状评价和动态变化研究[J]. 中国农业科学, 2000, 33(2): 63-67.
LU Ru-kun, SHI Zheng-yuan, SHI Jian-ping. Nutrient balance of agro-ecosystem in six provinces in Southern China[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2000, 33(2): 63-67.
- [4] 卢树昌,陈清,张福锁,等. 河北省果园氮素投入特点及其土壤氮素负荷分析[J]. 植物营养与肥料学报, 2008, 14(5): 858-865.
LU Shu-chang, CHEN Qing, ZHANG Fu-suo, et al. Analysis of nitrogen input and soil nitrogen load in orchards of Hebei Province[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2008, 14(5): 858-865.
- [5] 屠豫钦,袁会珠,齐淑华,等. 我国农药的有效利用率与农药的负面影响问题[J]. 世界农药, 2003, 25(6): 1-4.
- [6] Gabriel G, Monika C, James R C. An ecologic study of nitrate in municipal drinking water and cancer incidence in Trnava District, Slovakia[J]. *Environmental Research Section A*, 2002, 88: 182-187.
- [7] 张庆乐,王浩,张丽青,等. 饮水中硝态氮污染对人体健康的影响[J]. 地下水, 2008, 30(1): 57-60.
- [8] Cai G X, Yang N C, Lu W F, et al. Gaseous loss of nitrogen from fertilizers applied to a paddy soil in South-Eastern China[J]. *Pedosphere*, 1998, 8(1): 45-52.
- [9] Zhu Z L, Chen D L. Nitrogen fertilizers use in China—contributions to food production, impacts on the environment strategies[J]. *Nutrient Cycling Agro-ecosystems*, 2002, 63(2): 117-127.
- [10] 杨林章,孙波,刘健. 农田生态系统养分迁移转化与优化管理研究[J]. 地球科学进展, 2002, 17(3): 441-445.
YANG Lin-zhang, SUN Bo, LIU Jian. Progress in translocation and transformation of nutrients in agro-ecosystems and its optimized management[J]. *Advances in Earth Science*, 2002, 17(3): 441-445.
- [11] Fu G M, Hu X F, Yao Z H, et al. Downward movement and leaching of NO₃-N from nitrogen-fertilized corn on dry-land soil[J]. *Pedosphere*, 1998, 8(1): 59-64.
- [12] 邢光熹,施书莲,杜丽娟,等. 苏州地区水体氮污染状况[J]. 土壤学报, 2001, 38(4): 540-546.
XING Guang-xi, SHI Shu-lian, DU Li-juan, et al. Situation of nitrogen pollution in water bodies in Suzhou Region[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2001, 38(4): 540-546.

- [13] William F S, Syers J K, Lingard J. A conceptual model for conducting audits at national , regional , and global scales[J]. *Nutrient Cycling Agro-ecosystems*, 2002, 62(1):61–72.
- [14] 王建国, 刘鸿翔, 王守宇, 等. 黑土农田养分平衡与养分消长规律[J]. 土壤学报, 2003, 40(2):246–251.
WANG Jian-guo, LIU Hong-xiang, WANG Shou-yu, et al. Law of nutrient equilibrium, gain and loss in black soil farmland[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2003, 40(2):246–251.
- [15] 朱兆良, David Norse, 孙 波. 中国农业面源污染控制对策 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2006.
ZHU Zhao-liang, David Norse, SUN Bo. Policy for reducing non-point pollution from crop production in China[M]. Beijing: China Environmental Science Press, 2006.
- [16] 杜 伟, 姜小三, 陈国岩. 长三角地区典型稻作农业小流域氮素平衡及其污染潜势[J]. 生态与农村环境学报, 2010, 26(1):9–14.
DU Wei, JIANG Xiao-san, CHEN Guo-yan. Balance and pollution potential of nitrogen in a typical rice-based agricultural watershed of Yangtze River Delta Region[J]. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2010, 26(1):9–14.
- [17] 邓美华, 谢迎新, 熊正琴, 等. 长江三角洲氮收支的估算及其环境影响[J]. 环境科学学报, 2007, 27(10):1709–1716.
DENG Mei-hua, XIE Ying-xin, XIONG Zheng-qin. Nitrogen budgets of the Yangtze Delta region and their effect on the environment[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2007, 27(10):1709–1716.
- [18] 朱兆良. 农田中氮肥的损失与对策[J]. 土壤与环境, 2000, 9(1):1–6.
ZHU Zhao-Liang. Loss of fertilizer N from plants-soil system and the Strategies and techniques for its reduction[J]. *Soil and Environment*, 2000, 9(1):1–6.
- [19] 孙剑辉, 王国良, 张 干, 等. 黄河中下游表层沉积物中有机氯农药及含量分布[J]. 环境科学, 2007, 28(6):1332–1337.
SUN Jian-hui, WANG Guo-liang, ZHANG Gan, et al. Distribution of organochlorine pesticides in surface sediments from the middle and lower reaches of the Yellow River [J]. *Environmental Science*, 2007, 28(6):1332–1337.
- [20] 王 泰, 张祖麟, 黄 俊, 等. 海河与渤海湾水体中溶解态多氯联苯与有机氯农药污染状况调查[J]. 环境科学, 2007, 28(4):730–735.
WANG Tai, ZHANG Zu-lin, HUANG Jun, et al. Occurrence of dissolved polychlorinated biphenyls and organic chlorinated pesticides in the surface water of Haihe River and Bohai Bay, China [J]. *Environmental Science*, 2007, 28(4):730–735.
- [21] 武兰芳, 欧阳竹. 种养结合生产区农田氮素平衡分析——以山东省禹城为例[J]. 农业环境科学学报, 2008, 27(4):1312–1319.
WU Lan-fang, OUYANG Zhu. Nitrogen budget of farmland in crop-animal mixed farming system area: A case study of Yucheng County in Shandong Province[J]. *Journal of Agro-environment Science*, 2008, 27(4):1312–1319.

致谢:感谢河南省土肥站,安徽省农业科学院提供的相关数据,以及庄大方教授的悉心指导。