

基于 GIS 的广东省农业面源污染的时空分异研究

叶延琼^{1,2}, 章家恩^{1,2*}, 李逸勉^{1,2}, 李 韵^{1,2}, 吴睿珊^{1,2}

(1.农业部华南热带农业环境重点实验室, 广州 510642; 2.广东省高等学校农业生态与农村环境重点实验室, 广州 510642)

摘 要:近年来,广东省化肥、农药等农用化学品的投入量大增,农业面源污染问题日趋严重。采用历年统计数据以及 GIS 技术,对广东省农业面源污染的时空分异性进行了分析。结果表明,全省化肥、农药使用量均呈逐年增加态势,化肥使用量由 1990 年的 162.41 万 t 增加到 2010 年的 237.29 万 t,农药由 1990 年的 7.95 万 t 增加到 2010 年的 10.44 万 t。畜禽粪尿排放量则由 2000 年的 339.34 亿 t 减少到 2010 年的 222.08 亿 t;在空间分布上,全省化肥投入强度超过 400 kg·hm⁻² 的县(市)由 1995 年的 35 个增加到 2010 年的 61 个,粤西、粤东全部,珠三角大部以及粤北部分地区均属化肥严重污染区,其原因主要在于对农作物产量增加的追求。农药投入强度超过 30 kg·hm⁻² 的县(市)由 1995 年的 10 个增加到 2010 年的 27 个,这主要是由于广东的气候条件及种植结构改变造成的。畜禽粪尿排放污染情况相对较好,但因粤西的雷州半岛地区以水稻生产为主,大牲畜牛的养殖规模较大,因此畜禽粪尿重度污染主要集中在这一地区。GIS 空间分析的运用,能直观地反映各地区农业面源污染的时空动态变化情况,为有针对性地开展污染治理提供依据。

关键词:农业面源污染;空间分异;广东省

中图分类号:X522 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-2043(2013)02-0369-09 **doi:**10.11654/jaes.2013.02.023

Spatial-temporal Variation of Agricultural Non-point Source Pollution Based on GIS Technology in Guangdong Province, China

YE Yan-qiong^{1,2}, ZHANG Jia-en^{1,2*}, LI Yi-mian^{1,2}, LI Yun^{1,2}, WU Rui-shan^{1,2}

(1.Key Laboratory of Agro-Environment in the Tropics, Ministry of Agriculture, Guangzhou 510642, China; 2.Key Laboratory of Agro-ecology and Rural Environment of Guangdong Regular Higher Education Institutions, Guangzhou 510642, China)

Abstract: Agriculture non-point source pollution (ANSP) is becoming a serious environmental concern in Guangdong Province due to the increased applications of agricultural chemicals such as fertilizers and pesticides in recent years. This study investigated the spatial-temporal variation of ANSP using the historical statistical data and GIS technology. Results showed that the fertilizer, pesticide and other agrochemical applications in Guangdong Province were increased and reached quite a high level in order to secure food supply. The total amount of chemical fertilizer application increased from 1.62×10⁶ t in 1990 to 2.73×10⁶ t in 2010 and the total amount of pesticide application elevated from 7.95×10⁴ t to 10.04×10⁴ t, while the total amount of animal manure application decreased from 3.39×10¹⁰ t in 2000 to 2.22×10¹⁰ t in 2010. The spatial distribution analysis showed that the number of counties with a fertilizer application rate >400 kg·hm⁻² was 35 in 1995 and reached 61 in 2010. The western and eastern parts of Guangdong as a whole as well as the northern part of Guangdong and the major part of the Pearl River Delta were identified as the heavily polluted areas as a result of increasing applications of fertilizers and other agricultural chemicals due to the pressure for increasing crop yields. Meanwhile, the number of counties/cities with the pesticide application rate >30 kg·hm⁻² was 10 in 1995 and reached 27 in 2010, which were the results of the more pesticide production under the tropical and subtropical climate and the change of crop structure. In contrast, the animal manure pollutants discharged from the livestock farms were relatively low. The heavily manure polluted areas were mainly concentrated in Leizhou Peninsula in the southwestern part of Guangdong Province, which was the production of large number of cattle raised for rice field operation. Through GIS mapping, the spatial-temporal distribution of ANSP in the study area was demonstrated. And the GIS And the GIS technology would provide a clear visual pattern for further development of pollution control measures.

Keywords: agricultural non-point source pollution; spatial-temporal variation; Guangdong Province

收稿日期:2012-08-21

基金项目:广东省现代农业产业技术体系建设专项(粤农[2009]380号);广东高校优秀青年创新人才培养计划项目(LYM09035);国家科技支撑计划项目(2009BAD6B007);华南农业大学新学科扶持基金项目(2008X022)

作者简介:叶延琼(1976—),女,博士,副教授,主要从事 GIS 与生态规划方面的教学与研究工作。E-mail:llyeyq@scau.edu.cn

* 通信作者:章家恩 E-mail:jeanzh@scau.edu.cn

农业面源污染是指在农业生产过程中不合理的化肥、农药、农膜以及畜禽粪便、生活垃圾等对农业和农村生态环境所造成的大面积污染^[1-2]。在国外,自20世纪60年代以来,日、英等一些发达国家已开始关注农业面源污染研究,主要内容是非点源污染的分类特征,但多局限于定性分析。进入20世纪70年代,面源污染及其治理问题受到西方国家的普遍关注和重视^[3-4],认为农业面源污染是导致地表水污染的主要原因,并对农业面源污染的物理、化学过程进行深入研究,开发了农药输移和径流模型等监测与评估模型;20世纪80年代研究重点转向农业面源污染的管理和控制;20世纪90年代至今,则将“3S”(GIS、RS、GPS)技术引入病原微生物迁移、转化研究和污染风险评估,制定了各类污染排放标准和技术规范^[5]。此外,国外学者对于农业面源污染控制政策的激励效果也进行了深入的理论研究,许多国家还出台了相关的控制政策^[2,4]。在我国,学者们也对农业面源污染问题进行了一些有意义的尝试和探讨,目前的研究主要集中在农业面源污染的社会经济诱因^[6]、形成机理^[7]、农户行为^[8-11]与污染防控政策^[12-13]等方面。但由于农业生产活动的广泛性和普遍性,加上农业面源污染涉及范围广、随机性大、隐蔽性强、不易监测、难量化、控制难度大等原因,国内的农业面源污染研究基本忽视了微观层面上的农业生产主体行为与农业面源污染之间的关系,忽略了不同地区农业生产要素禀赋结构差异对农业面源污染的影响,忽略了国家发展水平间的差距而盲目借鉴发达国家的治理措施,缺乏对农业面源污染的动态研究等^[5]。在研究尺度方面,大多集中于市(县)级的农业面源污染现状与对策研究上,黑龙江^[14]、山东^[15]、青海^[16]、湖南^[17]、福建^[18]等省开展了省域的研究。在空间分布上,目前运用GIS技术来分析农业面源污染的案例也较少^[11,19-20]。而当前,农业面源污染已成为影响我国农村生态环境质量的重要污染源,成为制约我国现代农业发展的瓶颈,农业面源污染治理已刻不容缓^[21-22]。

广东省是我国的农业强省,近年来,随着人口增加和农村经济的快速发展,其化肥及农药的使用量全世界最高^[23],严重威胁着全省农业生产的可持续发展。鉴于此,广东省于2012年启动了全省在农业上利用世界银行贷款最大的项目——农业面源污染治理项目,这也是国内首个利用世行贷款实施农业面源污染治理的项目。项目计划总投资2亿美元,其中世界银行贷款1亿美元,地方政府和项目实施单位配套1

亿美元。重点集中于农药、化肥污染治理以及养殖场废弃物污染治理三方面^[24]。由于广东省地域辽阔,珠江三角洲以及东、西两翼,粤北山区各具特色的自然环境和经济社会发展环境,使全省农业生产的地域差异悬殊,各区域农业面源污染特征各不相同。为此,针对广东省农业面源污染治理世行贷款项目集中的焦点,本文在对全省不同年份间因农药、化肥和畜禽养殖引起的面源污染进行分析的基础上,利用GIS技术,以县(市)为单位,对全省典型年份的农业面源污染进行了空间化和数字化处理,探讨全省农业面源污染的地理空间分布格局,以为全省农业面源污染治理提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

广东省地处中国大陆最南端(20°13'~25°31' N, 109°39'~117°19' E),东邻福建,北接江西、湖南,西连广西,南临南海,珠江三角洲东西两侧分别与香港、澳门特别行政区接壤,西南部雷州半岛隔琼州海峡与海南省相望,地理条件十分优越。广东属于东亚季风区,北回归线沿南澳-从化-封开一线横贯,从北向南分别为中亚热带、南亚热带和热带气候,是全国光、热和水资源最丰富的地区之一,年均气温19~24℃,年均降雨量1300~2500 mm,年均日照时数1 745.8 h。全省陆地面积17.98万km²,海域面积41.9万km²,大陆海岸线长3 368.1 km,居全国第一位,现辖广州、深圳、珠海、汕头、佛山、韶关、河源、梅州、惠州、汕尾、东莞、中山、江门、阳江、湛江、茂名、肇庆、清远、潮州、揭阳以及云浮21个地级市^[25]。近年来,广东省种植业中农药、化肥、畜禽养殖粪尿以及农村生活垃圾和废水等形成的农业面源污染,不仅直接影响土壤、水体和大气的环境质量,而且严重制约农业增效和农民增收,并对食品安全和人体健康造成了威胁^[26]。

1.2 数据来源

本研究使用的关于农业面源污染的化肥折纯施用量、农药使用量以及畜禽养殖量等所有原始数据均来自1991~2011年的广东省农村统计年鉴和广东省统计年鉴^[27-28],另有部分数据来源于网络文献以及当前已发表的论文。

1.3 研究方法

以县(市)为单位,应用Excel数据处理软件对收集到的数据进行计算处理,并以这些数据为基础对广东省各县(市)的面源污染程度进行分级分区,确定了

面源污染程度的分级之后,把 Excel 处理的数据集中整理,导入到 GIS 软件 ArcView3.3 中,按照分级标准将典型年份的化肥、农药、畜禽污染等制成空间分布图。

针对化肥污染,本研究以发达国家为防止化肥对水体造成污染而设置单位面积 $225\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 的警戒线^[22]为标准,将农作物(包括耕地和园地)单位面积化肥年投入强度小于 $225\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 的区域划分为轻度污染区,大于 $225\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 小于 $400\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 的区域为中度污染区,大于 $400\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 的区域为重度污染区^[29]。

对农药污染,由于农药品种繁多、成分复杂,具体施用量受作物类型和气候等多方面因素影响,迄今为止尚未有相关标准作为参考。因此,本研究仅根据农作物单位面积农药施用量来区分农药污染程度^[20]。年单位面积农药施用量小于 $10\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 的区域为轻度污染区,大于 $10\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 小于 $30\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 的区域为中度污染区,大于 $30\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 的区域为重度污染区。

畜禽养殖污染程度则用粪尿排放量强度来表示,即单位土地面积的畜禽粪尿排泄量。根据广东省畜禽养殖现状,其畜禽主要包括猪、牛和家禽 3 类动物。畜禽粪尿排泄量=日排泄系数×饲养天数×饲养数量。本研究在确定畜禽饲养天数以及粪尿排泄系数时,采用了李海鹏等^[26]的研究方法(表 1)。即粪尿排放密度小于 $0.5\text{ 万 kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 的区域为轻度污染区,大于 $0.5\text{ 万 kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 小于 $1\text{ 万 kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 为中度污染区,大于 $1\text{ 万 kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 为重度污染区。

表 1 畜禽污染物的年排泄状况^[26]
Table 1 Annual discharge of pollutants from livestock and poultry breeding^[26]

污染源	牛	猪	蛋禽	肉禽
粪/ $\text{kg}\cdot\text{头}^{-1}$	10 950	396	27.38	8.25
尿/ $\text{kg}\cdot\text{头}^{-1}$	6570	522	—	—
饲养天数/d	365	180	365	55

2 结果与分析

2.1 广东省农业面源污染时间分布特征

2.1.1 化肥污染

随着农业的不断发展,广东省化肥施用总量、化肥氮磷用量及施用强度均呈逐年增加态势。近 20 年来,广东省农作物单位面积化肥施用量最低为 1990 年,约 $286.36\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,最高为 2010 年的 $524.45\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,均高于发达国家为防止化肥对水体造成污染而设置的 $225\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 的警戒线,尤其自 2007 年始,全省单位面积化肥施用量均达国际安全警戒线的 2 倍以上。氮肥、磷肥单位面积用量分别从 1990 年的 $168.95\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 和 $20.08\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 增加到 2010 年的 $221.04\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 和 $47.52\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ (表 2)。而有研究表明,当氮素的施用量超过 $150\sim 200\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 时,大量的化肥很有可能会溶于雨水和灌溉水中或者通过渗漏转移到地下水、河流和湖泊中,引起硝酸盐污染^[15]。

2.1.2 农药污染

广东省农药施用多以化学农药为主。2010 年,全

表 2 广东省 1990—2010 年化肥的使用情况
Table 2 Chemical fertilizer application during year 1990—2010 in Guangdong Province

年份	化肥使用量		氮肥		磷肥	
	总量/万 t	单位面积用量/ $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$	总量/万 t	单位面积用量/ $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$	总量/万 t	单位面积用量/ $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$
1990	162.41	286.36	95.82	168.95	20.08	35.40
1995	195.71	368.93	99.49	187.55	27.16	51.20
2000	176.2	341.68	95.89	185.95	18.36	35.60
2001	195.09	371.92	97.42	185.72	20.08	38.28
2002	196.44	408.83	96.55	200.94	20.15	41.94
2003	199.61	410.46	97.58	200.66	18.85	38.76
2004	201.3	418.68	96.03	199.73	18.75	39.00
2005	204.62	424.93	93.78	194.75	18.96	39.37
2006	—	—	—	—	—	—
2007	219.64	503.41	94.52	216.64	21.02	48.18
2008	226.6	514.50	98.12	222.78	20.84	47.32
2009	233.16	520.91	99.68	222.70	21.21	47.39
2010	237.29	524.45	100.01	221.04	21.50	47.52

省农药施用量 10.44 万 t,比 1990 年增加了 31.32%,单位面积平均施用量为 23.07 kg·hm⁻²,比1990 年增加了 64.61%(表 3)。但研究^[27]表明,农药利用率极低,农药施用后仅有 10%~30%的农药作用于靶标作物,其余大部分经迁移转换残留于土壤、水体及大气环境中,对土壤、地表水、地下水和农产品造成污染。

2.1.3 畜禽养殖污染

近年来,随着广东省农业生产方式的转变,其大牲畜牛的存栏量呈现下降趋势,由 1990 年的 476.49 万头下降到 2010 年的 229.18 万头,牛粪尿排放量从 1990 年的 304.71 亿 t 下降到 2010 年的 146.56 亿 t。而与大众生活密切相关的猪出栏量及家禽存栏量均小幅增长,猪粪尿排放量从 1990 年 29.63 亿 t 增加到 2010 年的 61.57 亿 t,禽粪则由 1990 年的 5.01 亿 t 增加到 2010 年 13.95 亿 t(图 1)。从产生粪便的畜禽种类来看,1990 年,有 89.79% 的粪便来源于牛,在 2010 年,这一比例也达到 65.96%。值得注意的是,尽管牛存栏量的减少使得全省畜禽粪尿的总排放量相应减少,但因全省畜禽饲养方式的转变,规模化养殖场快速发展,畜禽粪尿对区域环境的污染也应引起高度重视。

2.2 广东省农业面源污染空间分布特征

对于农业面源污染的空间分布特征,本研究仅选

择 1995 年、2000 年、2005 年和 2010 年 4 个典型时期对 88 个县(市)进行分析。

2.2.1 化肥污染分布

由图 2 可知,广东省各县(市)化肥施用造成的污染较为严重。从数量上看,1995 年、2000 年、2005 年以及 2010 年,全省化肥投入强度大于 400 kg·hm⁻² 的县(市)分别为 35 个、36 个、38 个和 61 个,低于国际化肥安全使用量 225 kg·hm⁻² 的县(市)数量在 1995 年、2000 年、2005 年以及 2010 年则分别为 17 个、16 个、9 个以及 1 个。从地区分布上看,1995 年化肥投入强度大于 400 kg·hm⁻² 的县(市)主要集中在粤西的湛江、茂名、阳江、珠三角地区的广州、深圳、中山、粤东的汕头、揭阳、潮州以及粤北的梅县、韶关市辖区及英德等地;到 2010 年,除河源市和平县化肥投入强度小于 225 kg·hm⁻² 外,珠三角地区的增城、从化、惠东、东莞、鹤山以及粤北山区的始兴、仁化、乳源、新丰、南雄、连南、连山、龙门、兴宁、紫金、龙川、连平、东源,粤西地区的吴川、阳西、新兴等地化肥投入强度则大于 225 kg·hm⁻² 小于 400 kg·hm⁻²,属化肥的中度污染区,其余均超过 400 kg·hm⁻²,属化肥污染严重的地区。其原因一方面在于各地均希望单位面积农业产出量和产值增加,以及农业产业结构和生产结构的调整,如

表 3 广东省 1990—2010 年农药的使用情况
Table 3 Pesticides application during year 1990—2010 in Guangdong Province

年份	农药		年份	农药	
	总量/万 t	单位面积用量/kg·hm ⁻²		总量/万 t	单位面积用量/kg·hm ⁻²
1990	7.95	14.02	2004	8.50	17.68
1995	8.04	15.16	2005	8.70	18.07
2000	8.47	16.42	2007	9.92	22.74
2001	8.59	16.38	2008	10.05	22.82
2002	8.47	17.63	2009	10.37	23.17
2003	8.60	17.68	2010	10.44	23.07

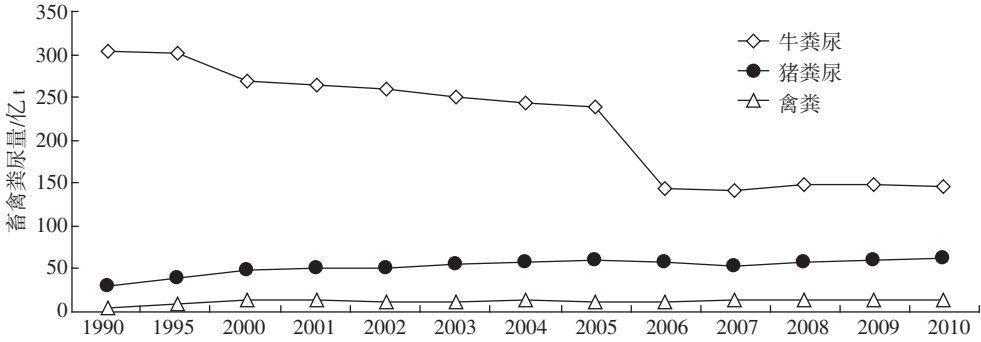


图 1 广东省 1990—2010 年畜禽粪尿排放量的变化

Figure 1 Change of pollutants discharge from livestock and poultry breeding during year 1990—2010 in Guangdong Province

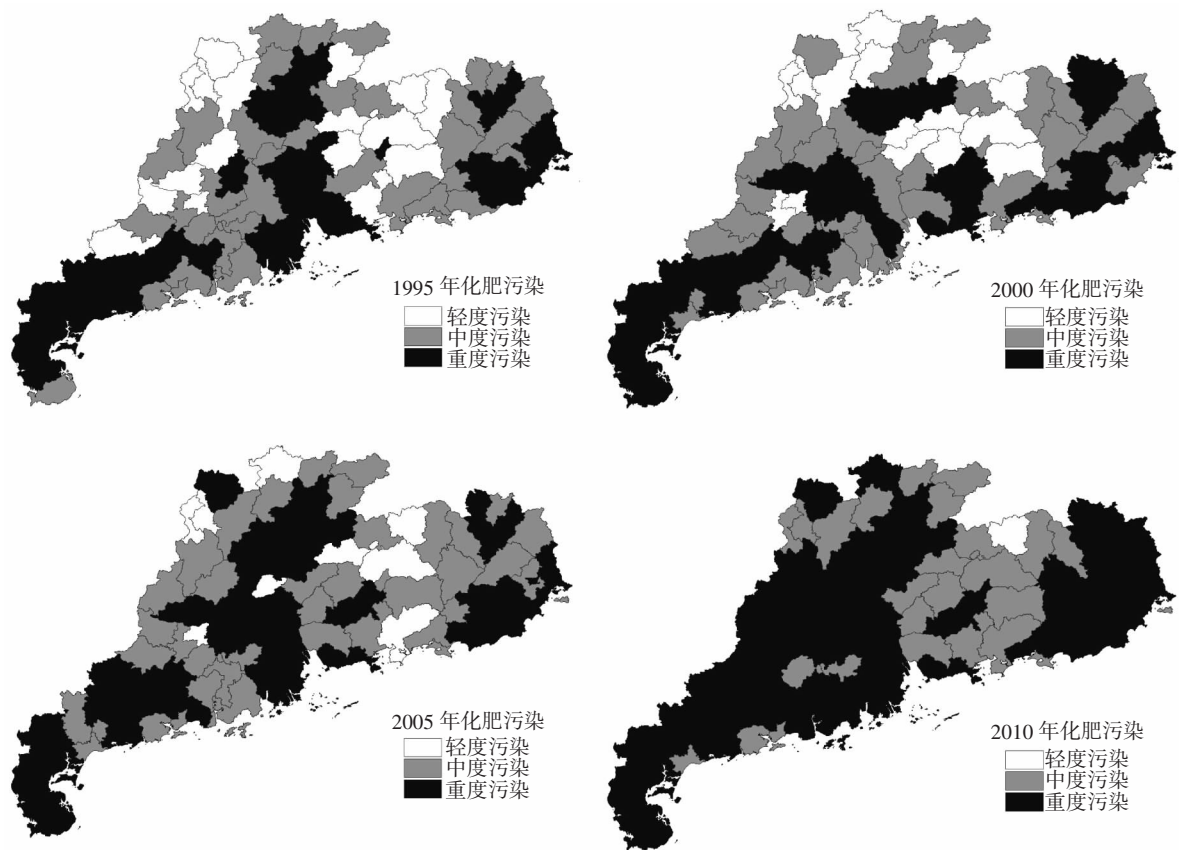


图2 广东省各县(市)不同年份化肥的投入强度分布

Figure 2 Distribution of chemical fertilizer input intensity in different years in Guangdong Province

从单纯的水稻生产改变为“稻-稻-菜”模式,粤西以及珠三角冬种模式的广泛推广等;另一方面则是过去10余年里,国家为保护农业发展和保障农民利益,对化肥企业给予“优惠+补贴+限价”的政策^[31],最终导致化肥大量施用。

2.2.2 农药污染分布

由于农药构成的复杂性,加之没有很好的指标来表征其污染,本研究只能从相对角度来说明其污染状况^[20]。由图3可知,全省农药投入强度超过 $30\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 的县(市)由1995年的10个增加到2010年的27个,而低于 $10\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 的县(市)则从1995年的27个下降到2010年的8个。在空间分布上,除在2010年广东省农药投入强度较大外,其他年份农药投入强度的空间分布差异不大。粤西地区的高州、郁南、新兴、珠三角地区的深圳、东莞、广州、从化、佛山、博罗、粤东地区的普宁、粤北山区的韶关市城区、英德、梅州城区、梅县、饶平等县(市)的农药投入强度在历年均超过 $30\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,属农药污染最为严重的地区。而粤北山区的连南、乳源、五华、紫金,珠三角地区的增城以及惠东等地,农药投入强度均低于 $10\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,属农

药污染较轻的地区。造成这一空间分布格局的原因在于广东水稻和蔬菜的大面积种植,尤其是广东商品蔬菜的产业化发展,进一步加剧了农药的使用及其污染。如上述农药严重污染的粤西地区是广东的冬种北运蔬菜生产基地、珠三角地区是城郊商品蔬菜基地、粤北地区则是高档蔬菜出口基地。

2.2.3 畜禽养殖污染分布

由于广东省1995年各县(市)的家禽只统计了全年饲养量而未统计年末存栏量,为保证数据的统一性,本文在对畜禽养殖污染分布进行研究时,仅选择了2000年、2005年和2010年3个年份。由图4可知,广东省畜禽粪尿排放强度在2000年和2005年的分布大体相似,排放强度大于 $10\,000\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 的重度污染区主要集中在雷州半岛,这与雷州半岛地区种植业以水稻种植为主,部分地区一年三熟,大牲畜牛的养殖规模大有关。中度污染区集中分布于粤西阳江、云浮、珠三角的广州、佛山、深圳、惠州以及粤东地区的揭阳、汕头等地,广大粤北山区则一直维持轻度污染状态。近年来,因规模化畜禽养殖对环境污染较大,珠三角地区针对性地减少了畜禽养殖规模,使得全

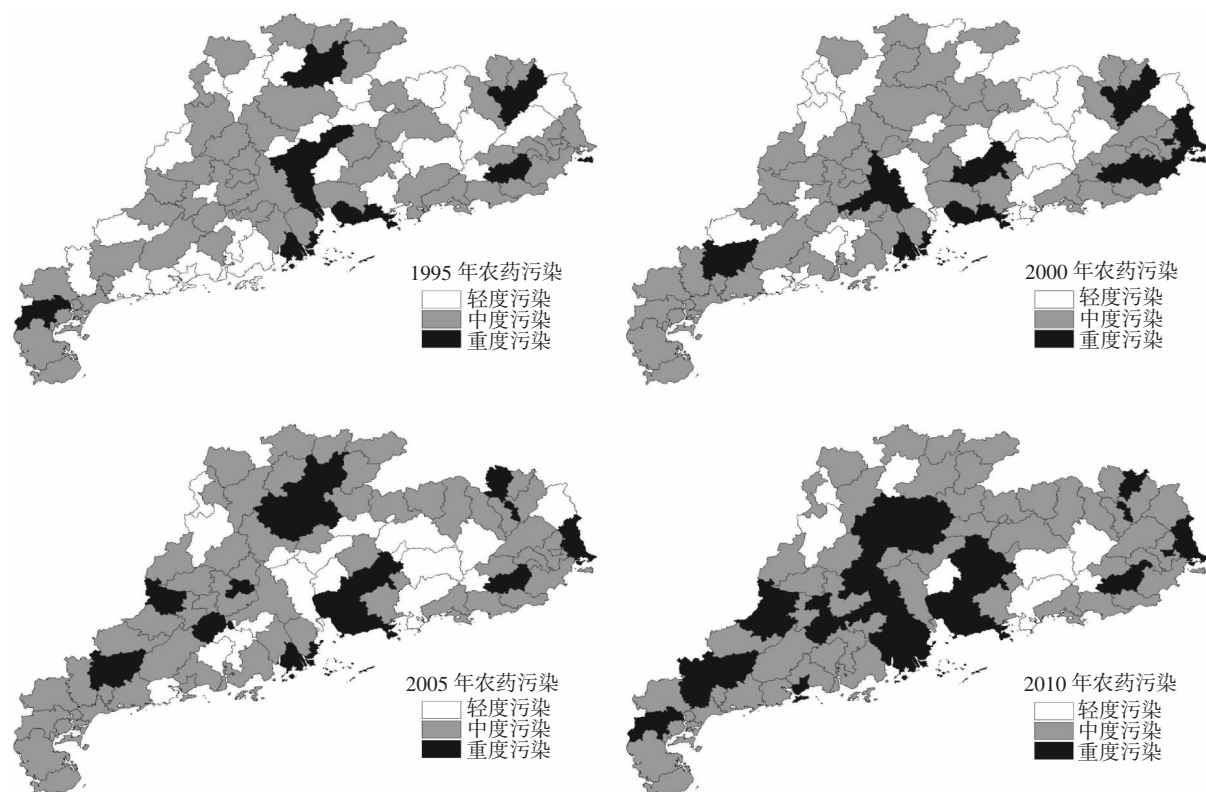


图3 广东省各县(市)不同年份农药的投入强度分布

Figure 3 Distribution of pesticides input intensity in different years in Guangdong Province

省重度污染地区主要集中在雷州半岛以及新兴县,中度污染地区大幅缩小,从2000年的27个县(市)和2005年33个县(市)缩减到2010年的20个县(市)。这主要是由于雷州半岛地区是水稻的主要种植区,一年种植两季或三季,致使农药化肥污染增加,而且,大牲畜牛的养殖规模较大,畜禽粪尿污染也相对严重。

3 讨论

(1)随着我国高产、优质、高效农业的发展,化肥施用量越来越大,化肥施用对粮食增产也起到了积极作用。广东省是我国的农业生产大省,其各种作物产量的不断增长与化肥用量的不断增加关系密切。此外,广东省因地处热带、亚热带地区,气候高温湿润,作物栽培时间长、栽培面积比较稳定,因此各种作物病虫害的发生比其他地区更为严重,且为害时期长,某些病虫害一年有多个高峰期,加上很多是单一作物的大面积种植,使得病虫害极易大面积发生,由此导致农药使用量较大。

(2)从广东省农业面源污染空间分布格局可知,全省各地均以农药、化肥施用污染最为典型,而畜禽

养殖污染严重地区主要以雷州半岛为主。因此,随着全省世界银行贷款项目——农业面源污染治理项目在惠州、江门的试点实施,全省应不断总结经验,大力发展生态农业,推广测土配方施肥,扩大农业面源污染治理范围;而在雷州半岛地区,还需加大对养殖污染的治理力度,按照土地消纳容量确定养殖容量^[19]。

(3)研究选用指标多为总量指标,如农药、畜禽粪尿等均采用的是施用或排放总量,没有采用各类污染物的具体化学指标(COD、BOD₅、TN、TP)^[32],而化肥污染在空间分析中也未进一步区分氮肥与磷肥^[30],由此进行分门别类地分析,故无法深入地分辨实际的污染程度与效果。

(4)本研究中,农业面源污染源重点研究了化肥、农药以及畜禽粪尿,而农膜、作物秸秆、水产养殖、农村生活垃圾和生活污水排放以及水土流失等都属于农业面源污染之列^[17-18,32],但因数据获取等原因,并未对上述污染类型进行研究。今后还应加强对这些方面的研究,使研究结果更为全面,更能反映实际情况。

(5)研究结果显示,广东省粤北山区的大部分地区畜禽养殖污染属于排放强度低于 $0.5 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 的轻度污染区。但近年来,许多大型养殖业向粤北迁移,这

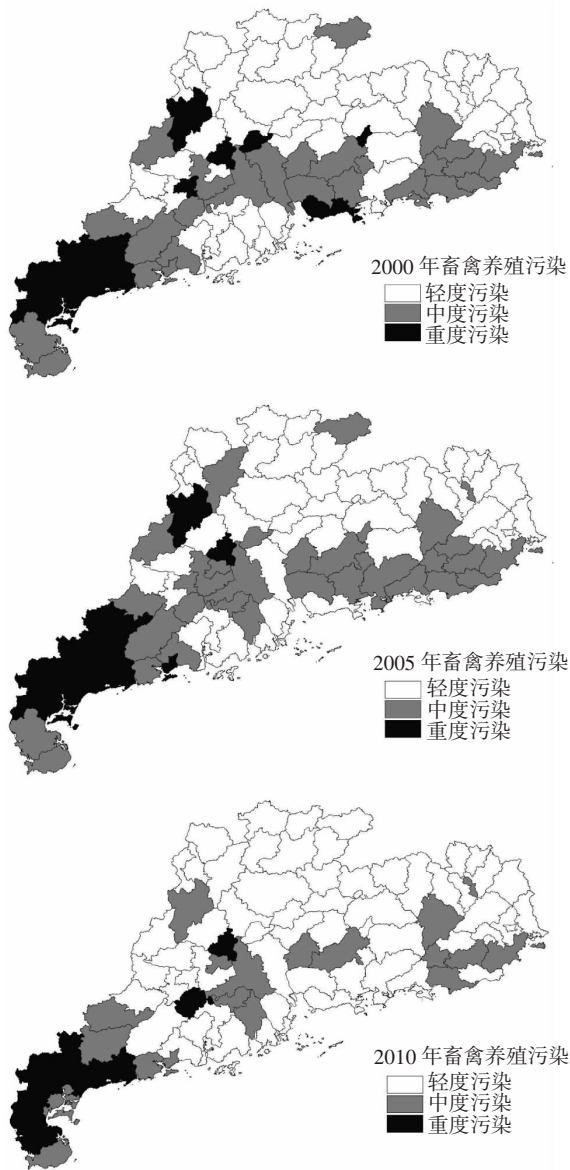


图4 广东省各县(市)不同年份畜禽粪尿的排放强度分布

Figure 4 Distribution of pollutants discharge intensity in livestock and poultry breeding in different years in Guangdong Province

方面带来的污染也不可忽视。此外,粤北地区还十分注重畜禽粪便资源化利用,如粤北山区是广东省畜禽粪便能源化——沼气推广的示范区,同时还积极发展畜-沼-果等生态种养模式,对减少畜禽养殖污染的贡献将随着沼气用户的增加及生态种养模式的推广而愈加突出,但因相关统计资料还非常缺乏,本研究也未加考虑,这在一定程度上影响了畜禽养殖污染的判定^[32]。

4 结论

(1)广东省化肥、农药使用量的逐年增多,加剧了全省化肥和农药污染程度。全省化肥投入强度从1990年的 $286.36 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 上升到2010年的 $524.45 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,增加了83.14%,且分别是发达国家设置的化肥投入警戒线 $225 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 的1.27倍和2.33倍。农药投入强度从1990年的 $7.95 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 上升到2010年的 $10.44 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,增加了64.61%。此外,由于大牲畜牛的存栏量逐年下降,使得全省畜禽粪尿的排放强度由2000年的 $6010.46 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 减少到2010年的 $4446.28 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,减少了26.02%。

(2)利用GIS技术,对全省主要年份农业面源污染的空间分异特征进行了初步分析。到2010年,化肥投入强度超过 $400 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 的地区达到61个县(市),在空间分布上则表现为粤西、粤东的全部,粤北和珠三角的大部分地区均属于化肥污染严重的地区。在农药使用方面,各年份农药投入强度低于 $10 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 的县(市)数量较少。由于广东省养殖业的地区调整,畜禽粪尿排放污染严重地区在逐渐减少,且主要集中在以水稻种植为主,大牲畜牛的养殖规模较大的雷州半岛地区。

参考文献:

- [1] 张文东, 许仕俊. 江西省农业面源污染空间分布格局[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(16): 9056-9059.
ZHANG Wen-dong, XU Shi, LU Jun. Spatial distribution pattern of agricultural non-point source pollution in Jiangxi Province[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2012, 40(16): 9056-9059.
- [2] 谭绮球, 苏柱华, 郑业鲁. 国外治理农业面源污染的成功经验及对广东的启示[J]. 广东农业科学, 2008(4): 67-71.
TAN Qi-qiu, SU Zhu-hua, ZHENG Ye-lu. Successful experience of foreign agricultural non-point source pollution controlling and its enlightenment for Guangdong Province[J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2008(4): 67-71.
- [3] 宋涛, 成杰民, 李彦, 等. 农业面源污染防治研究进展[J]. 环境科学与管理, 2010, 35(2): 39-42.
SONG Tao, CHENG Jie-min, LI Yan, et al. The research of agricultural non-point source pollution[J]. *Environmental Science and Management*, 2010, 35(2): 39-42.
- [4] 程磊磊, 尹昌斌, 鲁明中. 国外农业面源污染控制政策的研究进展及启示[J]. 中国农业资源与区划, 2010, 31(2): 76-80.
CHENG Lei-lei, YIN Chang-bin, LU Ming-zhong. Foreign agricultural non-point source pollution control policies: A literature review[J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2010, 31(2): 76-80.

- [5] 宋家永, 李英涛, 宋宇, 等. 农业面源污染的研究进展[J]. 中国农学通报, 2010, 26(11): 362-365.
SONG Jia-yong, LI Ying-tao, SONG Yu, et al. Research and prospect on non-point pollution from agriculture[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2010, 26(11): 362-365.
- [6] 张智奎, 肖新成. 经济发展与农业面源污染关系的协整检验: 基于三峡库区重庆段 1992—2009 年数据分析[J]. 中国人口·资源与环境, 2012, 22(1): 57-61.
ZHANG Zhi-kui, XIAO Xin-cheng. Cointegration test on the relationship between agricultural non-point source pollution and economic development: Based on the data analysis of Chongqing section of the Three Gorges Reservoir region in 1992—2009 [J]. *China Population, Resources and Environment*, 2012, 22(1): 57-61.
- [7] 刘鸿渊, 闫泓. 农业面源污染形成机理的实证研究: 以四川省 1982—2006 年统计数据为例[J]. 农村经济, 2010(5): 98-101.
LIU Hong-yuan, YAN Hong. Case study of agricultural non-point source pollution in Sichuan Province: Based on the statistic data between 1982—2006[J]. *Rural Economy*, 2010(5): 98-101.
- [8] 魏欣, 李世平, 张忠潮, 等. 基于农地产权制度视角的农户农业面源污染行为分析[J]. 农村经济, 2012(5): 108-112.
WEI Xin, LI Shi-ping, ZHANG Zhong-chao, et al. Analysis on the farm household's behavior upon agricultural non-point source pollution based on the perspective of farmland property right system [J]. *Rural Economy*, 2012(5): 108-112.
- [9] 杨小山, 金德凌. 农业非点源污染控制中政府与农户的博弈分析[J]. 山西农业大学学报(社会科学版), 2011, 10(9): 898-944.
YANG Xiao-shan, JIN De-ling. Analysis on the game between government and farmers in agricultural non-point source pollution control[J]. *Journal of Shanxi Agricultural University (Social Science Edition)*, 2011, 10(9): 898-944.
- [10] 唐学玉, 张海鹏, 李世平. 农业面源污染的经济价值: 基于安全农产品生产户视角的支付意愿分析[J]. 中国农村经济, 2012(3): 53-67.
TANG Xue-yu, ZHANG Hai-peng, LI Shi-ping. The economic value of agricultural non-point source pollution: An analysis based on the perspective of safe agricultural products' production households [J]. *Chinese Rural Economy*, 2012(3): 53-67.
- [11] 韩洪云, 杨增旭. 农户农业面源污染治理政策接受意愿的实证分析: 以陕西眉县为例[J]. 中国农村经济, 2010(1): 45-52.
HAN Hong-yun, YANG Zeng-xu. Empirical analysis on the farm household's accepting willingness of the control policy of agricultural non-point source pollution: A case study in Mei County in Shanxi[J]. *Chinese Rural Economy*, 2010(1): 45-52.
- [12] 侯玲玲, 孙倩, 穆月英. 农业补贴政策对农业面源污染的影响分析: 从化肥需求的视角[J]. 中国农业大学学报, 2012, 17(4): 173-178.
HOU Ling-ling, SUN Qian, MU Yue-ying. Impact of agricultural subsidy policy on agricultural non-point pollution from the perspective of fertilizer demand[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2012, 17(4): 173-178.
- [13] 王利荣. 农业补贴政策对环境的影响分析[J]. 中共山西省委党校学报, 2010, 33(1): 54-56.
WANG Li-rong. Impact of agricultural subsidy policy on environment [J]. *Academic Journal of Shanxi Provincial Committee Party School of C. P. C.*, 2010, 33(1): 54-56.
- [14] 张彦涛, 张旭东. 黑龙江农业面源污染的现状调查分析 [J]. 环境科学与管理, 2008, 33(6): 27-31.
ZHANG Yan-tao, ZHANG Xu-dong. Investigation on non-point pollution of agriculture in Heilongjiang Province[J]. *Environmental Science and Management*, 2008, 33(6): 27-31.
- [15] 徐钰, 刘兆辉, 江丽华, 等. 山东省农业面源污染现状分析及其防治对策[J]. 中国农业气象, 2010, 31(增1): 61-65.
XU Yu, LIU Zhao-hui, JIANG Li-hua, et al. Present situation analysis and prevention and cure countermeasures on agricultural non-point source pollution in Shandong Province [J]. *Chinese Journal of Agrometeorology*, 2010, 31(Sup.1): 61-65.
- [16] 张亚丽. 青海省农业面源污染现状及其防治对策 [J]. 青海科技, 2007(2): 47-80.
ZHANG Ya-li. Present situation and care countermeasures on agricultural non-point source pollution in Qinghai Province[J]. *Qinghai Technology*, 2007(2): 47-80.
- [17] 燕惠民. 湖南省农业面源污染现状及防治[J]. 安徽农学通报, 2007, 13(17): 54-56.
YAN Hui-min. Current situation and care of agricultural non-point source pollution in Hunan Province[J]. *Anhui Agricultural Science Bull*, 2007, 13(17): 54-56.
- [18] 许静, 陈永快, 曹志全, 等. 福建省农业面源污染现状及防控措施 [J]. 福建农业科技, 2011(3): 75-79.
XU Jing, CHEN Yong-kui, CAO Zhi-quan, et al. Present situation and care countermeasures on agricultural non-point source pollution in Fujian Province[J]. *Fujian Agriculture and Technology*, 2011(3): 75-79.
- [19] 姜世英, 韩鹏, 贾振邦, 等. 南水北调中线丹江口库区农业面源污染 PSR 评价与基于 GIS 的空间特征分析 [J]. 农业环境科学学报, 2010, 29(11): 2153-2162.
JIANG Shi-ying, HAN Peng, JIA Zhen-bang, et al. Evaluation with PSR model and GIS analysis of agricultural non-point source pollution in Danjiangkou Reservoir of the Mid-Route of the South-to-North Water Transfer Project[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2010, 29(11): 2153-2162.
- [20] 徐丽萍, 杨其军, 王玲. 新疆地区农业面源污染空间分异研究[J]. 水土保持通报, 2011, 31(4): 150-158.
XU Li-ping, YANG Qi-jun, WANG Ling, et al. Spatial variation of agricultural non-point pollution in Xinjiang Area[J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2011, 31(4): 150-158.
- [21] 黄绍平, 姚月华, 吴常青, 等. 我国农业面源污染研究进展 [J]. 现代农业科技, 2011(11): 264-265.
HUANG Shao-ping, YAO Yue-hua, WU Chang-qing, et al. Research advances on agricultural non-point source pollution in China[J]. *Modern Agricultural Science and Technology*, 2011(11): 264-265.
- [22] 尚丽丽. 农业面源污染研究的文献综述[J]. 农村经济与科技, 2012, 23(2): 13-16.

- SHANG Li-li. Literature review of agricultural non-point source pollution[J]. *Rural Economy and Science-Technology*, 2012, 23(2):13-16.
- [23] 徐 靖. 化肥农药单亩用量广东竟为世界之最[N/OL]. 广州日报, 2010-1-7 <http://www.aweb.com.cn>
- [24] 粤最大农业世行贷款项目前期工作驶上快车道[R/OL]. http://www.gd.agri.gov.cn/zwxx/tzwdt/201205/t20120523_194553.htm
- [25] 广东概况[R/OL]. <http://www.gd.agri.gov.cn/nygk/gdgk/>
- [26] 张艳丽, 刘东生, 李 想, 等. 广东低碳农业与面源污染减排[J]. 广东农业科学, 2011(4):133-135.
- ZHANG Yan-li, LIU Dong-sheng, LI Xiang, et al. Low-carbon agriculture and non-point pollution reduction in Guangdong Province[J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2011(4):133-135.
- [27] 广东省统计局. 广东省统计年鉴(历年)[M]. 北京:中国统计出版社.
- The Editorial Board of the Statistical Yearbook of Guangdong Province. Statistical yearbook of Guangdong(over the years)[M]. Beijing:Chinese Statistical Publishing House.
- [28] 广东农村统计年鉴编辑委员会. 广东省农村统计年鉴(历年)[M]. 北京:中国统计出版社.
- The Editorial Committee of Rural Statistical Yearbook of Guangdong Province. Rural statistical yearbook of Guangdong(over the years)[M]. Beijing:Chinese Statistical Publishing House.
- [29] 李海鹏, 张俊飏. 中国农业面源污染的区域分异研究[J]. 中国农业资源与区划, 2009, 30(2):8-12.
- LI Hai-peng, ZHANG Jun-biao. Studies on regional differentiation of non-point source pollution contamination in China agriculture[J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2009, 30(2):8-12.
- [30] 叶 春, 王云鹏. GIS 支持的珠江三角洲农业面源污染时空分析[J]. 农机化研究, 2007(2):40-43.
- YE Chun, WANG Yun-peng. Spatio-temporal analysis of agriculture non-point pollution in Pearl River Delta based on GIS [J]. *Journal of Agricultural Mechanization Research*, 2007(2):40-43.
- [31] 黄文芳. 农业化肥污染的政策成因及对策分析[J]. 生态环境学报, 2011, 20(1):193-198.
- HUANG Wen-fang. Analysis of the policy causes of pollution from agriculture fertilizers and its countermeasures[J]. *Ecology and Environmental Sciences*, 2011, 20(1):193-198.
- [32] 黄红兰, 曾 斌, 王 胜, 等. 赣州市农业面源污染的区域空间分异性研究[J]. 江西农业大学学报, 2010, 32(4):835-841.
- HUANG Hong-lan, ZENG Bin, WANG Sheng, et al. A preliminary study on spatial differences of agricultural non-point source pollution in Ganzhou City, Jiangxi Province[J]. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*, 2010, 32(4):835-841.

欢迎订阅 2013 年 《农业环境科学学报》

《农业环境科学学报》(原《农业环境保护》)是由农业部主管,农业部环境保护科研监测所、中国农业生态环境保护协会主办的全国性学术期刊。是中文核心期刊、中国科技核心期刊、中国科学引文数据库核心期刊,列于被引频次最高的中国科技期刊 100 名之内并编入《中国学术期刊(光盘版)》。本刊还被国外多家著名检索机构收录,如美国《化学文摘》(CA)和俄罗斯《文摘杂志》(AJ),美国《剑桥科学文摘社网站:水系统、水科学与渔业文摘、环境工程、水资源文摘及环境科学与污染管理》等 7 种国际检索系统列为来源期刊。本刊主要刊登农业生态环境科学领域具有创新性的研究成果,包括新理论、新技术和新方法。读者对象为从事农业科学、环境科学、林业科学、生态学、医学和资源保护等领域的科技人员和院校师生。

《农业环境科学学报》为月刊,每月 20 日出版,大 16 开,224 页,每本定价 75.00 元,全年定价 900.00 元。国内外公开发行,全国各地邮局征订,邮发代号 6-64。如读者在当地邮局漏订,可通过邮局汇款至本刊编辑部补订。此外,编辑部存有 2010 年以前的各卷合订本,欢迎选购。

编辑部地址:天津市南开区复康路 31 号

邮编:300191

电话:(022)23674336

传真:(022)23674336

邮箱:caep@vip.163.com

网址:<http://www.aes.org.cn>