

姜 茜,孙炜琳. 浙江省农业面源污染风险分析及防治对策[J]. 江苏农业科学,2018,46(19):311-315.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.19.079

浙江省农业面源污染风险分析及防治对策

姜 茜,孙炜琳

(中国农业科学院农业经济与发展研究所,北京 100081)

摘要:为了解浙江省农业面源污染的现状,通过实地调研分析得出,浙江省产生农业面源污染的污染源包括化肥、农药和畜禽粪便 3 个方面。结合农业生产统计数据和 GIS 技术,采用环境风险指数模型对农业面源污染风险及各污染源的污染风险进行评估。结果表明,浙江省化肥、农药使用量和畜禽养殖量均呈下降趋势,但仍有农业面源污染的风险,风险程度存在明显的地区差异,11 个地级市中有 8 个农业面源污染为中度风险,3 个为轻度风险。在各污染源中,农药污染风险最大,畜禽粪便污染风险最低。因此,降低农药使用量应作为浙江省农业面源污染治理的重点,此外,应以提高化肥利用率为着力点来降低化肥使用量,根据种植和养殖结构,重点发展以猪粪和鸡粪为原料的蔬菜、水果专用精制有机肥。

关键词:农业面源污染;风险分析;浙江省;防治对策

中图分类号: X71 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)19-0311-04

近年来,我国农业发展迅速,粮食产量不断创历史新高,肉、蛋、奶、蔬菜、水果等农产品供应稳定增长,在取得成就的背后,农业面源污染问题日益凸显。农业面源污染因为对水体污染的贡献率最大而在全球范围受到广泛重视^[1],实际上,农业面源污染同样也破坏大气和土壤环境^[2],影响农产品的质量,危害人们的身体健康。我国农业面源污染主要表现为化肥、农药等化学投入品的过量使用,以及畜禽粪便、农作物秸秆和农膜等农业废弃物不合理处置,严重制约着农业的可持续发展。根据原农业部公布的数据,我国氮肥和磷肥的利用率不到 33.3%,农药利用率仅为 35%,畜禽粪便养分还田率约为 50%,农作物秸秆还田率约为 35%,部分地区秸秆焚烧现象严重,农膜回收率不足 67%^[3-4]。我国地域辽阔,不同的地区在农业生产、气候条件、自然资源方面有着较大的差异,存在的农业面源污染问题也不尽相同,因此对农业面源污染的治理要因地制宜。

浙江省是我国唯一的生态循环农业试点省,其在农业面源污染治理过程中出现的问题和采取的措施,对我国其他地区有着重要的借鉴意义。浙江省受台风和梅汛期等影响,强降水时有发生,加之境内平原、丘陵、盆地和山区等多种地形分布,地势起伏大,极易形成地表径流产生冲刷作用^[5],农业面源污染风险较高。本试验在实地调研的基础上,利用农业统计分析浙江省农业面源污染的现状,探讨防治对策,为制定农业面源污染防治措施提供更有针对性的依据,促进浙江省农业的可持续发展。

收稿日期:2017-06-12

基金项目:中国农业科学院创新工程(编号:ASTIP-IAED-2017-07)。

作者简介:姜 茜(1985—),女,山东青岛人,博士,助理研究员,主要从事农业面源污染控制策略研究。Tel:(010)82106151;E-mail:jiangqian02@caas.cn。

通信作者:孙炜琳,博士,研究员,主要从事农业资源环境研究。Tel:(010)82106706;E-mail:sunweilin@caas.cn。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

浙江省位于我国东南沿海的长江三角洲(118°~123°E、27°12'~31°31'N),国土面积 1 018 万 hm^2 ,下辖 11 个地级市,是我国经济最发达的省份之一。属亚热带季风气候,气温适中,光照充足,降水充沛。

笔者赴浙江省开展实地调研,就当前农业面源污染的现状和存在的问题,与当地农业主管部门负责人、种植大户和养殖大户进行座谈,在此基础上分析浙江省产生农业面源污染的主要污染源。调研中发现,浙江省当地农作物复种指数较高,化肥使用量较大,柯紫霞等也指出,浙江省整体和部分地区化肥施用强度处于较高水平^[6]。此外,由于气候温暖湿润,病虫害较易发生,农药的使用量也较大。浙江省自 2013 年起全面推进“五水共治”的战略决策,倒逼养殖业转型升级,关停了相当数量的散户和小规模养殖场,全省畜禽养殖规模化程度大幅度提高,这种高度集约化的养殖模式持续高强度地产生畜禽粪便,对畜禽粪便的合理处置提出了更高的要求^[7]。调研中了解到,浙江省的秸秆综合利用水平较高,80%的秸秆直接还田,剩余的秸秆基本用于制作食用菌培养基、畜禽舍垫料和沼气发酵的原料。此外,浙江省处于亚热带中部,积温高,在农作物种植中较少采用地膜覆盖,不存在严重的地膜残留污染问题。因此,确定浙江省产生农业面源污染的污染源为化肥、农药及畜禽粪便 3 个方面。

1.2 数据来源

本研究采用的农作物产量、化肥折纯施用量、农药使用量、畜禽存栏量和出栏量来自《浙江统计年鉴》以及浙江省所辖 11 个地级市各自的统计年鉴。耕地和园地每年的变动较小,因此耕地和园地的面积采用 2008 年的数据来代替,数据来自于浙江省国土资源厅以及各地级市国土资源局网站公布的土地利用变化情况。

畜禽存栏量和出栏量用 Kellogg 等提出的方法^[8]换算为

畜禽单元,用于计算各类畜禽的年饲养量。1 个畜禽单元等于 454 kg 活体体质量,该方法综合考虑了饲养周期和平均体质量。换算后,不同种类畜禽的年饲养量可以进行叠加,便于不同地区、不同畜禽种类间进行比较^[9-10]。

1.3 研究方法

采用环境风险指数模型评价浙江省的农业面源污染风险程度。该模型由刘钦普提出,最初用于化肥面源污染环境风险评价^[11-12]。本研究采用该模型对单一污染源的环境风险指数和综合环境风险指数分别进行计算,公式如下:

$$R_i = \frac{F_i}{F_i + T_i};$$
$$R = \sum \omega_i R_i。$$

式中: R_i 指单一污染源 i 的环境风险指数; R 指综合环境风险指数; F_i 指污染源强度; F_i 指环境安全阈值; ω_i 指单一污染源 i 对环境影响的权重。环境风险指数模型本质上是采用熵值法对化学类非突发性的生态风险进行评价,通过比较污染源强度 F_i 和环境安全阈值 T_i 对风险程度作出评价。 R_i 与 R 不仅可以反映单一污染源对环境的影响程度,还能够反映多种污染源共同存在时对环境的综合影响程度,适用于对农业面源污染风险进行分析。

确定客观合理的环境安全阈值 T_i 是环境风险指数模型的关键。我国沿海地区和经济发达地区化肥施用中主要是氮肥超量施用^[13]。朱兆良院士提出,在保证产量的前提下,大面积施氮(N)量应控制在 150~180 kg/hm²,可以根据实际的环境效益适当调减^[14]。考虑到浙江省气候和地理条件易形成化肥面源污染,因此取下限 150 kg/hm² 作为化肥施用的环境安全阈值 T_1 ,相应地, F_1 则代表单位农地面积(包括耕地和园地)上化肥 N 的施用量。化肥氮素总量为氮肥(折纯)与复合肥中所含氮素之和,复合肥中 N 含量按照 N:P₂O₅:K₂O 为 1.0:1.0:0.8 的比例折算^[15]。农药品种繁多,成分复杂,多采用施用强度作为判断农药污染程度的指标^[16-17]。环保部印发的《国家生态文明建设示范村镇指标(试行)》中规定农药施用强度(折纯)要低于 2.5 kg/hm²^[18],本研究将该标准作为农药的环境安全阈值 T_2 , F_2 则代表农药施用强度。畜禽粪便的施用量习惯上采用单位耕地面积的 N 负荷量来确定,但实际上畜禽粪便中的氮磷比要低于农作物需求,此外,畜禽粪便在收集、运输、储存和处理过程中 N 损失较大,而磷(P)几乎没有损失,若以 N 负荷作标准,极易造成 P 过量,因此以 P 负荷作为畜禽粪便施用量的安全阈值。瑞典为控制畜禽粪便对耕地和水体的污染,规定在环境敏感区单位耕地面积的粪便 P 负荷应控制在 22 kg/hm² 以下^[19],将该值作为畜禽粪便的环境安全阈值 T_3 , F_3 则代表单位农地面积(包括耕地和园地)上畜禽粪便 P 负荷量。畜禽粪便中所含的 P 量,参照《第一次全国污染源普查畜禽养殖业源产排污系数手册》中的排污系数进行计算。

ω_i 是单一污染源 i 对环境影响的权重,采用专家打分-层次分析法来确定各风险源对生态环境影响的权重,以此来确定综合环境风险指数。由专家根据各污染源对生态环境影响的相对重要性作出评分,评分等级依次为 1(同等重要)、3(略重要)、5(重要)、7(很重要)、9(极其重要),依据专家评分结果构建判断矩阵,进行一致性检验,计算得出各污染源的

表 1 环境风险指数分级

级别	环境风险指数 R	风险程度
1	<0.5	安全
2	$\geq 0.5 \sim <0.65$	轻度
3	$\geq 0.65 \sim <0.8$	中度
4	$\geq 0.8 \sim \leq 1.0$	重度

权重。根据环境风险指数 R (或 R_i),将风险程度分为 4 个等级(表 1)。

2 结果与分析

2.1 浙江省农业生产情况

从图 1 可以看出,农作物总产量呈先增加后减少的变化特征,但变动幅度较小,2014 年农作物总产量与 2002 年相比仅降低 2.7%。播种面积由 2002 年的 306.4 万 hm² 降至 2014 年的 241.4 万 hm²,下降幅度为 21.2%。浙江省的农作物种植以粮食、蔬菜和水果为主,其中蔬菜年产量最高,远高于粮食、水果等其他农作物,且保持稳定。粮食和水果年产量变动幅度较大,粮食年产量呈下降趋势,与 2002 年相比,2014 年粮食产量下降幅度达 21.1%,而水果年产量则呈增加趋势,增长幅度高达 43.6%。

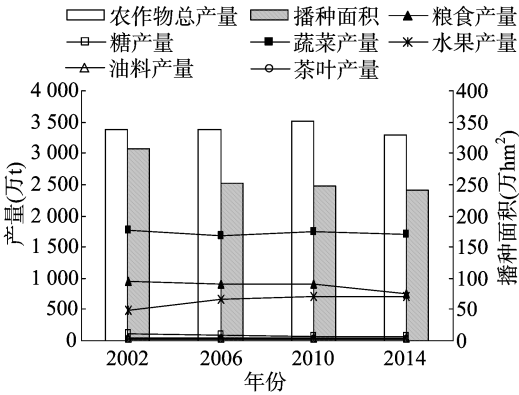


图 1 浙江省 2002—2014 年农作物产量及播种面积变化

从图 2 可以看出,浙江省以“五水共治”倒逼畜禽养殖污染治理效果显著,2014 年浙江省畜禽养殖总量与 2010 年相比大幅度下降,由 296.72 万个畜禽单元下降至 231.69 万个畜禽单元,下降幅度达 21.9%,相当于全省调减了 519 万头的生猪养殖量,养殖总量回落至比 2002 年 258.46 万个畜禽单元还低的水平。由此可判断,畜禽粪便污染负荷也随之降低,浙江省畜禽粪便消纳的压力减小。浙江省畜禽养殖以生猪为主,其次为家禽,二者的养殖量在 2014 年均出现大幅度回落,与 2010 年相比,下降幅度分别为 23.2%、24.8%。

2.2 化肥、农药施用的变化趋势

图 3 为 2002—2014 年浙江省化肥、农药总使用量以及单位产量农作物化肥、农药消耗量的变化情况。整体而言,化肥、农药的总使用量均有所减少,化肥总使用量由 2002 年的 91.91 万 t 减少至 2014 年的 89.61 万 t,减少 2.5%,农药总使用量则由 6.39 万 t 减少至 5.87 万 t,减少 8.1%。

与总量变化情况有所不同是,单位产量农作物的化肥消耗量在 2010 年之前呈下降趋势,到 2014 年有所上升,与 2002 年的 27.18 kg/t 相比增加 0.2%,而与 2010 年的 26.24 kg/t 相比则增加 3.8%。单位产量农作物的农药消耗量呈下降趋

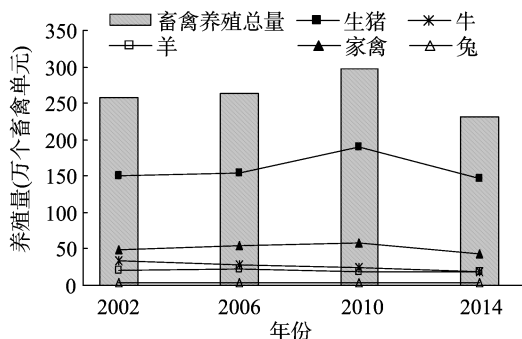


图2 浙江省 2002—2014 年畜禽养殖量变化情况

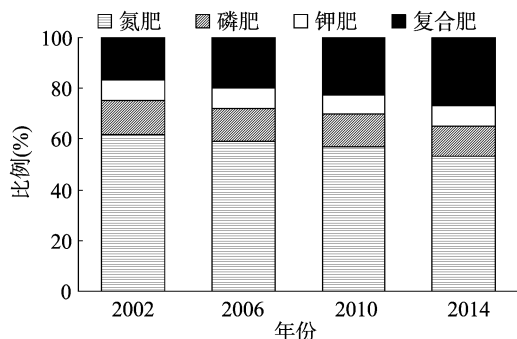
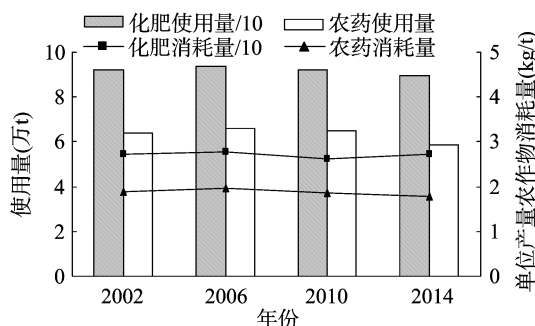


图4 浙江省 2002—2014 年化肥施用结构变化



为使数字在图中显示为相同数量级便于对比，化肥使用量除以 10，单位农产品农作物化肥消耗量除以 10

图3 浙江省 2002—2014 年化肥、农药总使用量及单位产量农作物的化肥、农药消耗量的变化情况

势，由 2002 年的 1.89 kg/t 降至 2014 年的 1.79 kg/t，下降幅度为 5.3%，小于农药总使用量的下降幅度。由此推测，浙江省化肥、农药总使用量的减少很大程度上是由种植面积减少而引起的。当前农业部推行化肥、农药使用量零增长行动，要求通过提高化肥、农药利用率来达到减少化肥、农药使用量的目的，因此浙江省应着重提高化肥、农药利用率。

浙江省化肥施用结构也发生了显著变化，如图 4 所示，复合肥在化肥施用中所占的比例大幅度提高，从 2002 年的 16.5% 上升到 2014 年的 26.9%，施用量增加了近 1 倍；氮肥所占比例下降幅度较大，由 2002 年的 61.7% 下降至 2014 年的 53.2%；磷肥所占的比例也有所下降，由 13.6% 下降至 11.9%；钾肥所占比例基本保持稳定。化肥施用结构的变化反映了农户化肥施用偏好的变化。

2.3 浙江省农业面源污染环境风险分析

由 10 名专家针对化肥、农药和畜禽粪便对生态环境影响的权重进行打分，评分结果均通过一致性检验，采用层次分析法求得化肥、农药和畜禽粪便的权重系数依次为 0.49、0.36、0.15。

以 2014 年为例，分析浙江省农业面源污染环境风险的空间分布，如图 5 所示。从图 5-a 可以看出，各地级市的农业面源污染风险为轻度和中度，且呈现集中连片式分布。有 2 个区域的农业面源污染风险为轻度，分别为舟山市和丽水-温州区，除此以外 8 个地级市均为中度，全省 6 个种植业大市（杭州、宁波、绍兴、金华、嘉兴、台州）^[20] 均包含在内。农业面源污染风险最高的是嘉兴市，其综合环境风险指数为 0.75；最低的是丽水市，综合环境风险指数为 0.60。

单一污染源的环境风险程度差别较大，同一类污染源在

不同地级市产生的环境风险也存在较大差异。对比图 5-b、图 5-c 可以看出，浙江省农药污染最为严重，从空间分布上看，所有地级市均为农药重度污染区。农药污染最高的是湖州，农药污染风险指数为 0.925；风险最小的丽水市，但农药污染风险指数也高达 0.845。畜禽粪便产生的污染风险较小，仅有 3 个地级市为轻度污染区，其余不存在污染风险。由此可见，浙江省的农业面源污染主要是由种植业引起的。

3 浙江省农业面源污染防治对策建议

浙江省农作物种植以蔬菜、粮食和水果为主，蔬菜产量最高且保持稳定，粮食产量呈下降趋势，水果产量的增长幅度较大。畜禽养殖以生猪和家禽为主。化肥、农药总使用量均有所下降，但总使用量的减少主要是由农作物种植面积减少而引起的。浙江省大部分地区为中度农业面源污染风险区。11 个地级市均存在化肥、农药污染风险，而农药的过量施用尤为严重。

结合浙江省种植业、养殖业结构以及农业面源污染特点，提出农业面源污染防治对策如下：（1）浙江省化肥使用总量有所降低，但单位产量农作物消耗的化肥量有所增加，由此可见，控制化肥污染的关键在于提高化肥的利用率。政府有关部门应该采取措施，从提高化肥利用率入手来减少化肥总使用量，加大测土配方等先进施肥技术的推广力度，对农户开展相关的宣传和培训。根据农户化肥施用偏好的变化，结合测土配方施肥工作的开展，配制适合当地土壤养分特点的复合肥，合理调整氮磷比。（2）受气候条件的影响，浙江省农药使用量大，在 3 个污染源中产生的污染风险最高。当前控制农药污染风险的关键不仅仅在于提高农药利用率，更要从多方面入手，大幅度降低农药的使用量。为此，浙江省应推进农作物病虫害专业化统防统治，改变当前农户各自独立用药的局面；采用理化诱控、生物防治、生态调控等绿色防控措施，替代化学药剂的使用；加强田间管理，减少病虫害的发生，以此减少农药使用量。（3）畜禽粪便产生的环境风险最小，但这是基于畜禽粪便作为有机肥均匀施用在各地级市的耕地及园地的假设得出的，而浙江省畜禽养殖的高度规模化和集约化，使得这一假设难以实现，畜禽粪便污染的治理仍应引起重视。根据这一情况，应该大力发展以猪粪和鸡粪为原料的精制有机肥，使其能够满足长距离运输的要求，扩大畜禽粪便的消纳区域。另一方面，浙江省的蔬菜、水果产量大，且有增加的趋势，在调研中也发现，果农和菜农已经认识到有机肥能够提高水果、蔬菜的品质，与粮食种植者相比有着更强的有机肥施用意

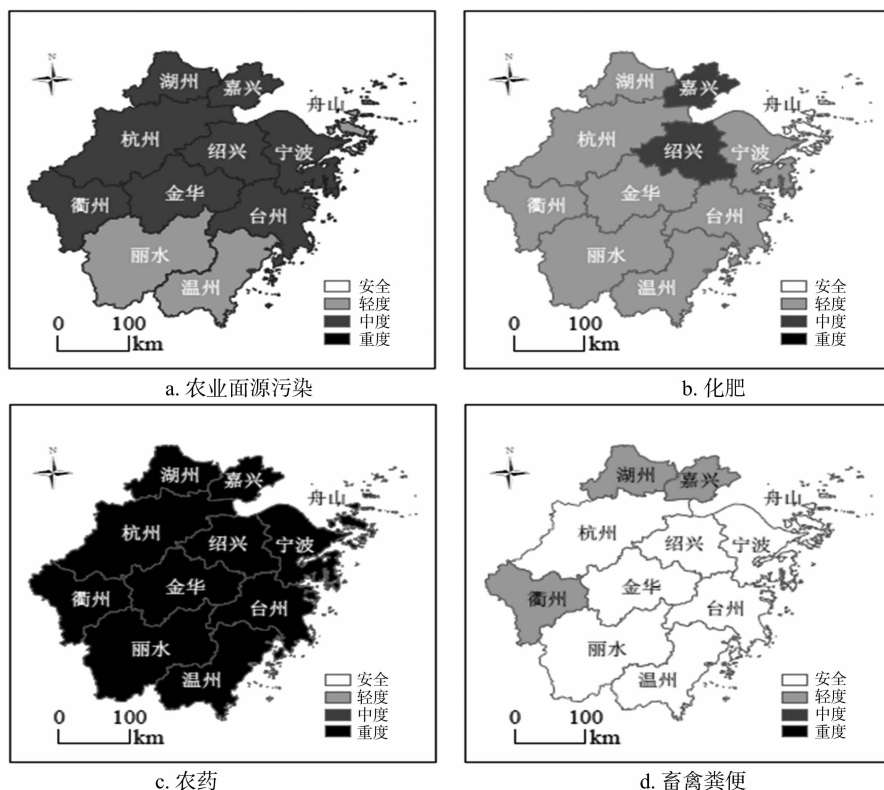


图5 2014 年浙江省农业面源污染风险以及 3 个主要污染源污染风险分布

愿,因此可着重发展果蔬专用有机肥,替代部分化肥。(4)化肥、农药和畜禽粪便 3 类污染源产生污染风险的程度不同,这与实行的农业政策有着重要的关系。化肥、农药补贴政策对农业面源污染的防治起了一定的负面作用。针对浙江省化肥、农药施用过量的情况,可以降低化肥、农药的补贴额度,并实施定额配给的政策,即根据种植面积和种植结构给农户确定化肥、农药的基本使用量,在基本使用量以内的给予相应补贴,超出的部分按比例收税。浙江省推行“五水共治”以来,对畜禽污染的防控力度不断升级,从本研究结果来看效果显著。浙江省对应用有机肥予以补贴,但调研中种植户普遍反映补贴额度与有机肥价格和施用成本相比明显不足。为此,可以将化肥、农药中减少的补贴和征收的税款用于有机肥的补贴,配合农技推广服务,引导农户主动减少使用化肥、农药,增施有机肥。

致谢:感谢浙江省农业厅计财处在调研中给予的大力协助。

参考文献:

- [1]Chen M, Chen J, Sun F. Agricultural phosphorus flow and its environmental impacts in China [J]. Science of the Total Environment, 2008, 405 (1/2/3): 140–152.
- [2]Zheng M M, Zheng H, Wu X Y, et al. Changes in nitrogen budget and potential risk to the environment over 20 years (1990–2010) in the agroecosystems of the Haihe Basin, China [J]. Journal of Environmental Sciences, 2015, 28 (2): 195–202.
- [3]中华人民共和国农业部种植业管理司. 农业部关于印发《到 2020 年化肥使用量零增长行动方案》和《到 2020 年农药使用量零增长行动方案》的通知 [EB/OL]. (2015–03–18) [2016–07–

18]. http://www.moa.gov.cn/zwllm/tzgg/tz/201503/t20150318_4444765.htm.

- [4]中华人民共和国农业部发展计划司. 关于印发《全国农业可持续发展规划(2015—2030 年)》的通知 [EB/OL]. (2015–05–27) [2016–07–18]. http://www.moa.gov.cn/zwllm/ghjh/201505/t20150527_4620031.htm.
- [5]杨 飞, 杨世琦, 诸云强, 等. 中国近 30 年畜禽养殖量及其耕地氮污染负荷分析 [J]. 农业工程学报, 2013, 29 (5): 1–11.
- [6]柯紫霞, 赵 多, 汪 勇, 等. 浙江省农业面源污染源头控制途径与对策 [J]. 环境污染与防治, 2009, 33 (11): 104–106.
- [7]Nesme T, Senthilkumar K, Mollier A. Effects of crop and livestock segregation on phosphorus resource use: a systematic, regional analysis [J]. European Journal of Agronomy, 2015, 71: 88–95.
- [8]Kellogg R L, Lander C H, Moffitt D C, et al. Manure nutrients relative to the capacity of cropland and pastureland to assimilate nutrients: spatial and temporal trends for the United States [J]. Proceedings of the Water Environment Federation, 2000 (16): 18–157.
- [9]李 帷, 李艳霞, 张丰松, 等. 东北三省畜禽养殖时空分布特征及粪便养分环境影响研究 [J]. 农业环境科学学报, 2007, 26 (6): 2350–2357.
- [10]孟 岑, 李裕元, 许晓光, 等. 亚热带流域氮磷排放与养殖业环境承载力实例研究 [J]. 环境科学学报, 2013, 33 (2): 635–643.
- [11]刘钦普. 江苏省农田化肥使用环境风险评价及影响因素 [J]. 江苏农业科学, 2014, 42 (8): 310–312.
- [12]刘钦普. 中国化肥投入区域差异及环境风险分析 [J]. 中国农业科学, 2014, 47 (18): 3596–3605.
- [13]朱兆良. 肥料与农业和环境 [J]. 大自然探索, 1998, 17 (4): 26–29.

刘兴斌,王 月,陈振华,等. 不同膜材包膜尿素对黑土生物学活性的影响[J]. 江苏农业科学,2018,46(19):315-318.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.19.080

不同膜材包膜尿素对黑土生物学活性的影响

刘兴斌¹,王 月¹,陈振华²,韩晓日¹

(1. 沈阳农业大学土地与环境学院/土壤肥料资源高效利用国家工程实验室,辽宁沈阳 110866;

2. 中国科学院沈阳应用生态研究所,辽宁沈阳 110016)

摘要:为从土壤生态角度评价不同包膜材料在黑土上应用的安全性,采用为期 480 d 的土培试验来考察分别以聚乳酸(PLA)、聚丁二酸丁二醇酯(PBS)、聚碳酸酯(PC)为主要膜材的 3 种包膜尿素对黑土生物学活性的影响。通过不同培养时间和不同考察指标发现,施用不同尿素在短时间均会对土壤生物学活性产生影响,但随时间的延长施肥对土壤生物学活性的影响逐渐消失。具体而言,包膜尿素不仅有效延长氮的释放时间,还有助于在较长时间内维持较高的微生物量氮和较低的碳氮比;与施用常规尿素的处理相比,施用 PLA、PBS 或 PC 包膜的 3 种包膜尿素均能有效缓解因施用普通尿素对黑土 FDA 水解酶、脱氢酶及脲酶产生的影响,施用包膜尿素可以实现土壤中酶活性的相对稳定。由试验结果可知,在黑土土壤上应用 PLA、PBS 或 PC 包膜尿素不会对黑土的生物学活性产生不利影响,反而有利于维持土壤生物学活性的稳定,因此在黑土区域可以大力推广采用这 3 种膜材的包膜肥料。

关键词:聚乳酸;聚丁二酸丁二醇酯;聚碳酸酯;生物量碳氮;脱氢酶;脲酶

中图分类号: S143.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)19-0315-04

包膜肥料能有效延缓肥料养分释放,提高肥料利用率^[1],是顺应国家化肥零增长战略的重要技术之一,但随着包膜肥料大量使用,入土壤的包膜材料是否会对土壤微环境产生不利影响,是当前大力强调农业生态环境可持续发展中不能回避的问题。黑土是我国东北主要土壤类型之一,也是我国最具生产力的宝贵土壤资源,须要倍加珍惜和呵护。施肥会对土壤生物活性产生影响^[2],那么施用包膜肥是否会对黑土的生物活性产生不良影响,值得深入了解并对今后包膜肥在该土壤类型上的应用进行可观的评估和科学的指导。

土壤微生物群落的组成和活性对自然或人为扰动,以及一些农业管理措施(如化肥、农药、植物生长调节剂等施用)导致的土壤环境质量变化反应敏感^[3],近年来被公认为是对

环境变化最敏感的生物指标之一,同时已被广泛用作指示土壤环境质量变化的早期预警指标。土壤酶对环境或管理因素的变化反应敏感,并具有较好的时效性,已被成功地用于区分许多土壤管理措施^[4],尤其在确定污染或严重扰动对土壤健康的影响方面。研究人员普遍认为基本的土壤质量和健康生物指标应当包括微生物生物量和土壤酶活性指标^[5]。

目前关于不同膜材对黑土生物学活性影响的研究不多。因此,本研究以不同膜材包膜的尿素为样本,以土培试验为手段考察不同膜材包膜的尿素施用后黑土土壤微生物量碳氮、相关酶活性等生化指标的变化,以期对以聚乳酸、聚丁二酸丁二醇酯、聚碳酸酯为主要包膜材料的 3 种包膜尿素对黑土产生的生物影响作出客观评价,为今后采用这 3 种包膜材料的包膜肥产品在黑土区的应用推广提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

大颗粒尿素:山西兰花科技创业股份有限公司化肥分公司生产,粒径为 2.5~4.0 mm;包膜材料:聚乳酸购于浙江海正生物制品有限公司;聚丁二酸丁二醇酯购于安徽和兴化工有限公司;聚碳酸酯购于浙江路佳工程塑料有限公司。

收稿日期:2017-05-25

基金项目:国家自然科学基金(编号:41602363);国家科技支撑计划(编号:2013BAD07B03)。

作者简介:刘兴斌(1977—),男,河南新乡人,博士,主要从事新型肥料研究。E-mail:liu_xingbin@163.com。

通信作者:韩晓日,博士,教授,博士生导师,主要从事新型肥料与现代农业施肥技术、植物营养与土壤肥力、植物营养诊断、植物营养的土壤化学研究。E-mail:hanxiaori@163.com。

[14]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.

[15]李书田,金继运. 中国不同区域农田养分输入、输出与平衡[J]. 中国农业科学,2011,44(20):4207-4229.

[16]徐丽萍,杨其军,王 玲,等. 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):150-153.

[17]叶延琼,章家恩,李逸勉,等. 基于 GIS 的广东省农业面源污染的时空分异研究[J]. 农业环境科学学报,2013,32(2):369-377.

[18]中华人民共和国环境保护部. 关于印发《国家生态文明建设示

范村镇指标(试行)》的通知[EB/OL]. (2014-01-17) [2016-07-18]. [http://www. zhb. gov. cn/gkml/hbb/bwj/201401/t20140126_266962. htm](http://www.zhb.gov.cn/gkml/hbb/bwj/201401/t20140126_266962.htm).

[19]Ulen B,Bechmann M,Folster J,et al. Agriculture as a phosphorus source for eutrophication in the north-west European countries, Norway,Sweden,United Kingdom and Ireland;a review[J]. Soil Use and Management,2007,23(增刊):5-15.

[20]国家统计局浙江调查总队. 浙江种植业全产业链发展研究[EB/OL]. (2016-12-30) [2017-04-18]. [http://www. zjso. gov. cn/fxyj/201612/t20161230_72443. html](http://www.zjso.gov.cn/fxyj/201612/t20161230_72443.html).