



# 中德农业源污染管控制度比较研究

张维理<sup>1</sup>, 张认连<sup>1</sup>, 冀宏杰<sup>1</sup>, KOLBE H<sup>2</sup>, 陈印军<sup>1</sup>

(<sup>1</sup> 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所, 中国北京 100081; <sup>2</sup> 德国撒克森州立农业科学院, Waldheimer Straße 219, D-01683, Germany)

**摘要:** 已有许多研究证实防治农业生产过程中氮磷进入水域以及氮素进入大气环境已成为现代农业面临的巨大挑战之一。为分析中国在农业源污染防治中存在问题, 本文对中国和德国近年来颁布的相关法律、法规、技术标准和实施效果进行了综述和比较分析。研究显示, 与中国相似, 德国人均耕地资源比较少, 以家庭农场为单元的经营方式是德国农业的主要生产方式。农业存在经营规模相对小而分散, 受气象条件和市场影响风险大、利润薄、需要财政补贴才能生存等问题。对于农业源污染治理, 既要实现环境目标, 也要顾及农民利益、农业发展和粮食安全, 难以简单采用关、停、并、转等行政指令和惩罚性措施, 主要是建立和实施农业源污染管控制度。为提高农民施肥技术水平, 减少农田化肥养分投入量, 德国最有效的做法是在长期试验研究基础上, 为农民专门设计和制作了一套比较完整的分区、分类、量化施肥技术指标和规程, 这些指标简单、易记、易懂, 对不同地区土壤和气候条件有良好适用性, 易于推广和普及, 对于提高农民施肥技术水平, 实现减肥增产、减肥高产发挥了重要作用。在防治农业源氮磷进入水环境, 化合态氮进入大气环境方面, 德国主要做法是研究、建立和实施一系列与经济奖惩措施关联的限定性技术标准, 对农田氮素养分投入量、农田氮磷盈余量、施肥期、施肥方法、种植作物类型等给出了明确的规定和技术指标。同时不断探索新的、更有效的监管和监测方法, 充分发挥经济杠杆作用, 鼓励、帮助和疏导农民广泛采用更先进、更精准和环境友好的替代技术。农业源污染管控制度的实施使得自 20 世纪 80 年代以来, 德国农田化肥养分投入量减少了一半, 以农田面积(耕地面积与长期作物面积之和)计化肥养分量从 404 kg·hm<sup>-2</sup> 减少到目前的 192 kg·hm<sup>-2</sup>, 仅为目前中国的 53%, 同期粮食单产仍提高了 56%, 从 4 779 kg·hm<sup>-2</sup> 增加到目前的 7 464 kg·hm<sup>-2</sup>, 比中国目前粮食单产仍然高 37%。中国至今缺少为农民专门设计、适合农民认知和直接采用的量化施肥技术指标。目前也无与国家及地方政府奖惩政策关联的限定性技术标准出台, 无论在全国范围, 还是在重点流域, 至今难以形成有制度性保障的农业源污染管控体系。在占作物总播面 23.6% 的蔬菜、水果、花卉等高收益作物农田上, 农民盲目施肥、过量施肥情形普遍, 在这类农田上, 氮磷养分盈余量远超过德国肥料法规所规定的环境安全限量(50 kg N·hm<sup>-2</sup>、10 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>·hm<sup>-2</sup>)。比较研究还显示, 实施农业源污染管控制度的核心是以创新研究带动法律、法规、相关技术标准和监管方法的出台和广泛实施。而中国近年来公益性土壤肥料专业科研机构的均质化、碎片化, 以及科研机构在绩效考核中对 SCI 论文点数、发文量等量化指标的过分倚重, 使得相关研究薄弱, 亟需加以改进。

**关键词:** 农业源污染; 施肥技术; 农业环境标准; 农民用技术指标; 污染管控制度; 中国; 德国

## A Comparative Study Between China and Germany on the Control System for Agricultural Source Pollution

ZHANG WeiLi<sup>1</sup>, ZHANG RenLian<sup>1</sup>, JI HongJie<sup>1</sup>, KOLBE H<sup>2</sup>, CHEN YinJun<sup>1</sup>

收稿日期: 2019-12-04; 接受日期: 2020-02-13

基金项目: 中国工程院咨询研究项目(2018-XZ-36-03-02)

联系方式: 张维理, E-mail: zhangweili@caas.cn

(<sup>1</sup>*Institute of Agricultural Resources and Agricultural Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China;* <sup>2</sup>*Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Waldheimer Straße 219, D-01683, Germany*)

**Abstract:** A lot of studies has demonstrated that preventing nitrogen and phosphorus from agricultural production into water and atmospheric environments has become one of the largest challenges facing modern agriculture. In order to understand status and problems existing in pollution control from agricultural sources in China, a comparative study between China and Germany on the control systems for agricultural source pollution was carried out. The relevant laws, regulations and technical standards issued by China and Germany were reviewed and summarized, and implementation effects of these regulations in recent years were compared. Study showed that similar to China, because of the short of per capita arable land resources in Germany, the family farm has been the main management form for agriculture in Germany. Farmers in Germany had always to face several problems, such as relatively small management scale, scattered fields, high risks and low profits, due to meteorological and marketing uncertainties. Financial subsidy by government has been essential to farmer's surviving and agricultural development in Germany. Thus, attentions should always be paid not only on environmental objectives, but also on farmer's interests, agricultural surviving and food security. In such conditions, main approach for agricultural source pollution control was to establish and running the control system and mechanisms with institutional guarantee, instead of simply adopting administrative punitive measures to farmers, such as closing, stopping, merging and turning over. For improving farmer's knowledge and techniques of fertilization with the purpose to cut down fertilizer application amount, the most effective way was to design a complete quantitative criterions for best farmer's fertilization practices with differentiated regions and classes' specifications. These simple quantitative criterions were easy to be understood by farmers and applicable to soil and climate conditions in different regions. Subsequently, these quantitative criterions were easy to be disseminated and have contributed greatly in improving crop yield by decreased fertilizer application. For prevention of nitrogen and phosphorus releasing from agriculture into water and atmosphere, main measures in Germany were establishing and implementing a series of technical specifications with legal restriction and punishments, in which nitrogen input, nitrogen and phosphorus surplus of crop land, fertilizing seasons, fertilizing approach as well as crop rotations were clearly regulated. At the same time, new and more effective monitoring and management methods have been studied continuously in the purpose to enhance economic leverage's role, to encourage and to help farmers for accepting more accurate and environmentally friendly technique alternatives. Through implementing agricultural source pollution control strategies, the fertilizer input of Germany has been reduced by 50% since the 1980s. The average fertilizer application amount in terms of farmland area (arable land area and long-term crop area) has been reduced from 404 kg·hm<sup>-2</sup> to 192 kg·hm<sup>-2</sup>, which was 53% of the current value of China. In the same period, the average grain yield in Germany increased by 56%, from 4 779 kg·hm<sup>-2</sup> to 7 464 kg·hm<sup>-2</sup>, which was about 37% higher than the current value of China. For improving farmer's knowledge and techniques of fertilization with the purpose to cut down fertilizer application amount, the most effective approach was to design and complete a set of quantitative criterions for best farmer's fertilization practices with differentiated regions and classes' specifications. These simple quantitative criterions were easy to be understand by the farmers and applicable to soil and climate conditions in different regions. Subsequently, these quantitative criterions were easy to be disseminated and played important role in improving farmers' fertilization techniques and increasing crop yield continuously by decreased fertilizer amount. Up to now, there has been a lack of quantitative criterions for best fertilization practices designed for farmers in China, which were suitable for farmers' cognition and direct use. Also, there has been no technical specifications related to the national and local government's reward and punishment policies issued. Whether in nationwide or in a watershed case, it was still difficult to operate agricultural source pollution control with institutional guarantee. The area of vegetable, fruit, flowers and other cash crops accounted for 23.6% of the total cropping area in China, which was very common for farmers to apply fertilizer blindly or excessively. In such crop field, the nitrogen and phosphorus nutrient surplus far exceeds the environmental safety limit (50 kg N·hm<sup>-2</sup>, 10 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>·hm<sup>-2</sup>) given by German fertilizer regulations. Up to now, there has been a lack of quantitative criterions for the best fertilization practices designed for farmers in China, which were suitable for farmers' cognition and direct use. Also, there has been no technical specifications issued, which was related to the state or local government's reward and punishment policies for environment protection. Whether in nationwide or in a watershed case, it was still difficult to operate agricultural source pollution control with institutional guarantee. Analysis showed that the core for agricultural source pollution control was to issue and implement relevant laws, regulations, technical standards and monitoring methods by innovative research works. In

recent years, however, the concerning research work has been weakened up due to homogenization and fragmentation of the research institutions, who are originally specialized for applied research works for soil and fertilization. Also, the quantitative evaluation system for scientific contribution and the excessive dependence on papers with high SCI-index has negative influences on the researches for practical use. This needs to be improved urgently.

**Key words:** agricultural source pollution; fertilization technique; agricultural environment standard; technique criterions for farmers; pollution control system; China; Germany

西欧各国人口密集, 人均土、水资源较为紧缺。

二战后, 随着农业生产水平提高, 农药、化肥等农用化学品用量持续增长, 至 20 世纪 80 年代末, 由农业引起的水体污染、大气污染、生物多样性下降三大环境问题日益严重, 而三大问题均与现代农业发展方式密不可分。研究显示, 农业源污染特别是农业中氮磷进入水域, 化合态氮素进入大气环境, 不仅是地下水硝酸盐污染和地表水富营养化的主要成因<sup>[1]</sup>, 还是氧化亚氮排放和 PM<sub>2.5</sub> 的主要成因之一<sup>[2-3]</sup>。新的研究显示, 仅在过去 10 年中, 以施肥等农业活动为主的人类活动导致的地球大气层中氧化亚氮排放量增加了 44%, 对环境形成重大威胁<sup>[3]</sup>。由此, 防止农业生产过程中氮磷养分进入环境成为农业环境领域中最需要急迫解决的问题。

为应对上述问题, 自 20 世纪 80 年代末以来, 德国以科技创新带动农业源污染管控制度建设, 通过持续努力, 取得一定成效。与 20 世纪 80 年代相比, 目前德国农田(耕地面积与长期作物面积之和)化肥养分投入量减少了一半<sup>[4]</sup>。化肥氮磷养分投入量的大幅度消减使地表水富营养化问题明显改善, 地下水硝酸盐污染恶化趋势有所缓解。中国人均耕地资源仅 0.09 hm<sup>2</sup> (1.4 亩), 比德国(人均 0.15 hm<sup>2</sup>, 折合 2.2 亩)更为紧缺。研究显示: 中国农业源氮磷流失引起的环境问题, 在程度、规模和潜在风险上远超过德国<sup>[1,5]</sup>。例如, 多年来中国蔬菜、水果、花卉等高收益作物农田面积持续增长, 在全国范围, 高收益的作物播种面积目前已占作物总播面 23.6%, 发达的沿海省份平均达到 31.2%<sup>[6]</sup>。在这类农田上, 农民盲目施肥、过量施肥现象十分普遍<sup>[1]</sup>, 农田氮磷养分盈余量远超过德国肥料法规所规定的环境安全限量 (50 kg N·hm<sup>-2</sup>、10 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>·hm<sup>-2</sup>)<sup>[7]</sup>。中国如何在人均耕地面积少、人口众多、粮食安全压力大条件下, 既保障农民利益和农业持续发展, 又能有效控制农业面源污染? 本文目的是通过比较研究, 解析中国在农业源污染管控中存在问题, 以便加以改进。

## 1 源头控制的核心是农业源污染管控制度建设

与点源污染不同, 农业面源污染很难通过管网及水处理设施等末端工程建设进行有效控制<sup>[5,8]</sup>。治理农业源污染最有效的方式是进行源头控制, 帮助农民在生产过程中科学使用肥料, 在实现高产前提下, 促进氮、磷养分在农业生产系统内的循环。30 多年来德国农田源污染治理的主要途径是加强农业面源污染管控制度建设。

与人均耕地资源丰富的北美和澳大利亚相比, 德国人均耕地资源并无优势, 农业为长期需要财政补贴的低效产业, 对农民仅采用应对点源污染的惩罚性措施和行政指令会直接影响到农民收益和农业发展, 需要十分谨慎。受多次战乱和经济危机影响, 德国各界深刻认识到农业是基础产业, 农业关系到粮食安全、食品安全; 更是机械制造业、加工业、运输业、服务业等多个产业的基础, 是维持全社会稳定和经济持续发展的根基<sup>[9]</sup>。另一方面, 农业与其他产业相比, 存在经营规模小而分散, 受气象条件和市场影响风险大、利润薄等问题, 以家庭农场为基本单元的经营方式一直是德国农业最经济和高效的生产方式。尽管随农业规模化、机械化发展, 一些农场被兼并, 家庭农场规模从二战后平均几公顷发展到目前 66 公顷乃至上千公顷<sup>[9-10]</sup>, 但农业风险大、利润薄、生存艰难的客观现实依旧, 农业以一家一户农民为主体的经营模式也没有变化。而为了保障农业稳定和粮食安全, 在过去几十年中, 欧盟对农业的补贴始终为其最大财政支出项, 约占欧盟总预算的 1/3 强<sup>[10]</sup>。由于持续的农业补贴, 才使得总有一部分农民有可能在家庭农场基础上子承父业, 优胜劣汰, 逐步扩大规模, 而没有逐渐消亡。对每个农民持续的补贴保证了农业的稳定, 保障了德国的粮食安全、食品安全和较低的食品价格, 保障了全社会的稳定和发展。然而, 也正由于农业为需要财政补贴的低效产业, 联邦政府和各州政府的农业

源污染管控措施,既要实现环境目标,也要顾及农民利益。难以简单地采用关、停、并、转等行政指令和惩罚性措施。主要是帮助、鼓励和疏导农民掌握并采用更先进、更精准、更环境友好的科学施肥、耕作和轮作措施,规避环境不友好的种养殖方式和农作措施。

## 2 德国农业源污染管控制度体系

对欧盟和德国自 20 世纪 90 年代以来颁布的一系列农业源污染管控法律、法规、技术标准及相关解读文件的综述显示:为推动农民采用环境友好的农作措施替代原有的高化学品投入量、高产量、高污染的集约化农作措施,德国主要通过科学研究和技术创新,推动相关法律和法规的出台,并以法规促进实施绿色农业补贴,带动农民采用环境友好技术,为实现减肥增效、绿色发展提供制度性保障。德国农业源污染管控制度体系主要由以下要件组成。

### (1) 法律和法规为农业源污染管控提供依据

德国于 1991 年在欧盟水环境保护指导准则下发布了第一个关于畜禽粪便施用的限定性标准,规定各州于每年冬季的 11 月 15 日至来年 1 月 31 日期间,农田禁止施用流质厩肥<sup>[11]</sup>。2009 年德国根据欧盟水环境保护准则<sup>[11]</sup>和欧盟于 2001 年颁布的大气有害气体挥发限量准则<sup>[12]</sup>颁布了肥料法<sup>[13]</sup>,对农田化肥、畜禽粪便施用量和施肥方法进行了更明确的限定。2017 年对 2009 年版的肥料法做了进一步修订和补充<sup>[13]</sup>,同时首次颁布了肥料施用法规<sup>[7]</sup>。2017 年版肥料施用法规中较重要的限定性规定有:将农田全年通过化肥、有机肥、秸秆还田等农作措施投入的氮素控制在  $170 \text{ kg N} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。不同类型作物农田均需要进行氮磷养分投入产出平衡计算,农田氮素盈余应当控制在  $50 \text{ kg N} \cdot \text{hm}^{-2}$  范围内,磷素盈余应当控制在  $10 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \cdot \text{hm}^{-2}$  范围内。

近年来德国发布与农业源管控直接相关的法律和法规主要有:肥料法<sup>[13]</sup>、肥料施用法规<sup>[7]</sup>、商品肥料与土壤调理剂法规<sup>[14]</sup>、肥料与土壤调理剂有害物质限量标准<sup>[15]</sup>、污泥和污泥堆肥产品使用法规<sup>[16]</sup>、土壤保护法<sup>[17]</sup>、土壤保护法规<sup>[18]</sup>、挥发性污染物防治法<sup>[19]</sup>、挥发性污染物防治与畜禽场建造法规<sup>[20]</sup>、饲料法规<sup>[21]</sup>、饲料中有害物质最大限量规定<sup>[22-23]</sup>等。

德国颁布的农业源污染防治相关法律如肥料法、土壤保护法需要议会通过,而欧盟颁布的法律则需要欧盟议会通过。与法律文件配套的法规文件则规定了实施法律的细则,例如:肥料施用法规中颁布了实施

肥料法的具体技术细则,而污泥和污泥堆肥产品使用法规则规定了落实土壤保护法的技术指标和细则。法规也需要议会通过,违规视同违法。农业污染源管控相关法律法规的执法由联邦司法部偕同农业部共同实施。

欧盟和联邦层面颁布的法规和技术指标成为联邦、各州及相关部门制定预算、开展相应工作的依据。根据这些法令和技术指标,联邦和各州政府不仅加大了对绿色农业技术创新研发预算,还根据现有技术条件积极制定绿色农业补贴政策,鼓励农民采用环境友好的技术替代原有技术<sup>[24-32]</sup>。

### (2) 持续进行绿色农业技术创新

在一系列相关政策支持下,德国以联邦和州立公益性农业专业科研机构为主体,持续进行绿色农业技术创新,为农民提供环境友好的替代技术,落实欧盟和德国颁布的法规和农田面源污染管控目标提供技术手段。

实现减肥增产、减肥增效,德国最重要的经验是研究、建立和推广技术上便于农民掌握、经济上也易于为广大农民承担的分区、分类、量化施肥技术指标和规程,这里没有之二。

随现代植物营养学的发展,由专家制作科学施肥配方并不困难,但要为全国每一个农民提供既便于农民本人掌握,又能确保其产量和环境效率的施肥技术指标和规程并不容易。由于农业生产所处地域辽阔,各地土壤、气候和农业生产条件差别大,不能采用相同的技术指标和规程。即使在同一地区的不同地点,土壤、地形、轮作类型不同,也难以采用相同的量化指标与技术规程。当农作措施要兼具增产可靠性、产量、经济效益、环境目标并具有很广的地域以及生产条件适应性时,需要考量的因素增多,农作措施的量化和精准化决策变得十分复杂。与此同时,所有技术指标和规程最终需要农民在田间实现,太过复杂的指标不易为农民接受,指标越简单越便于农民掌握和在田间操作。

德国所构建的分区、分类、量化技术指标和规程具有两大特点。第一是通过布置在各地的大田定位试验,为农民专门设计和建立了一套可覆盖各地不同自然和农业生产条件的、统一的指标体系架构。在这一架构中,技术指标的科学基础、分级体系、分级释义、考量因素和评价方法全国一致。各地仅允许在全国统一的体系架构下,对各分区权限内的专业参数进行调整<sup>[33-40]</sup>。全国统一的体系架构提高了各分区技术指标的稳定性和可扩展性,提高了农业的标准化和量化水

平,促进了国家层面绿色农业补贴政策与农作措施的直接关联。第二是指标分为前台和后台两个层面,以兼顾指标的科学性和农民对指标的易接受度。前台指标供农民使用,主要特点是简单、易记、易懂,指标分级数和各分级释义全国统一;且很少变化,具有极高稳定性。后台指标则是支持前台指标的相关专业技术参数,允许各地农业科研机构根据本地试验结果,在保证前台指标释义不变前提下进行相应调整。覆盖全域的多点定位试验和前、后台指标结合模式使得分区指标对不同地区的土壤和气候条件有良好适用性,保证了其增产可靠性和环境安全性,农民对其接受度很高。由德国农研联(德国农业试验与研究联合会, Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten, VDLUFA)发布的农田磷钾养分管理<sup>[33-35]</sup>、农田氮磷及有机碳平衡算法<sup>[36-38]</sup>、土壤调酸改土五等级评价<sup>[39]</sup>、农田质量百分价<sup>[40-41]</sup>等分区、分类、量化指标成为这类指标的典范。这些量化指标的广泛推广,全面提高了农民科学施肥技术水平,对德国实现减肥增产发挥了巨大作用。

### (3) 环境友好新技术的审核与发布

为促进新技术的推广和应用,德国有3个联邦层面的农业技术与标准权威机构负责对农业标准、规程、方法、技术及设备进行审核和发布,以保证推荐给农民技术的专业性、科学性和权威性。有130年历史的德国农研联(VDLUFA)和德国农业行业协会(DLG, Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft e.V.)主要负责审核和发布各类技术方法、标准和规程。有90多年历史的德国农业技术与设施委员会(KTBL, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft)侧重于新农业机械与设施的审核与发布。

德国在农业领域所颁布的新技术均出自这三家机构。其中,技术标准、方法和规程均由长期从事本领域技术研究的权威专家署名编制,并由不同部门和各州的多名本领域相关专家进行署名审核和修订。权威专家署名编制这一方式,保证了技术标准的科学性,而多部门专家署名审核的方式促进了该标准被广泛认可及实用性。参与编制和审核专家人数多的标准通常为行业影响力大的标准。例如,在德国应用极为广泛的农田磷、钾养分管理方法有80多位署名专家<sup>[33-34]</sup>。

### (4) 政府通过预算推动法规的实施

各州政府依据联邦政府颁布的法规和政策,制定本地区治污目标和财政预算,并根据经过权威机构审

核和发布的替代技术,制定绿色农业税收和补贴政策,鼓励农民采用环境友好的技术替代原有技术。若无成熟替代技术,即使现行技术有一定环境风险,联邦政府原则上不会在肥料法规中禁用现行技术。无论是联邦政府法规还是地方政府的绿色农业补贴政策均需要与适合农民掌握和承担的新技术措施接轨,以此提高农田面源污染管控效率。例如,在20世纪90年代,流质厩肥地表撒施仍为德国农田普遍采用技术。为减少流质厩肥地表撒施引起的氨挥发,德国公益性农业科研机构经过20多年持续研究,研制出空心耙装置,采用空心耙可实现厩肥入土深施,既可将厩肥中氮素挥发从50%以上降至5%以下,还可在牧场、草场和高尔夫球场施用流质厩肥,扩大了流质厩肥的施用面积。在各地的多点定位试验显示,该项技术安全可靠,经济上也可行,适合大面积推广。由此,在2017年颁布的肥料法规中增加了禁止流质厩肥地表撒施的规定<sup>[7]</sup>。目前第三代更环保和高效的空心耙技术仍在研发和测试中。

当科学试验已经证明新的、环境更友好的技术措施和标准具有可行性之后,地方政府在推行这些技术措施时,仍会以奖励性政策为主,对尝试采用新技术措施的农民给予补贴。对于一些只适合通过惩罚性管理措施实现的技术措施,则通常会先给出一个调整期,给农民留出适应新技术标准的年限。例如,在肥料法规中,对于将农田氮、磷盈余量分别控制在 $50 \text{ kg N} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、 $10 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \cdot \text{hm}^{-2}$ 范围内的规定,给出的调整期为5年<sup>[7]</sup>。

(5) 关于农业源污染管控标准、指标与环境基准如前所述,标准,特别是标准中的量化指标是农业源污染管控的核心和基础。在中国环境领域,目前相关论文和报告常采用基准表达污染控制的科学指标。新近环境部还成立了国家环境基准专家委员会。为弄清标准、指标、基准之间的区别,笔者在此对这3个概念做一简短梳理。

农业环境领域中,对标准(standard)这一概念很少有异议,其释义为由权威部门为保护环境所作的规定、规范、技术指标或要求,是进行农业环境管控的依据。污染管控通常涉及多项指标(criteria)。例如,对农业面源污染的管控就涉及到农田氮磷投入量、农田氮磷盈余量、施肥期、施肥方法、种植作物类型等多项技术指标。在这些指标中,对某些指标有限量规定,如对农田氮素投入量、农田氮磷素盈余量有最大限量规定,称之为量化指标。

农业源污染管控标准和相关指标又可分为限定性和非限定性两大类型。在德国,限定性标准由联邦政府颁布。由联邦司法部、农业部共同颁布的肥料法规中就给出了多项限定性技术指标。违规视同违法,责任人需要承担相应违法后果。非限定性标准则由农业权威机构制定,如良好农业农田养分管理技术规程、有机农业生产技术规程等,各级政府仅通过宣传和奖励措施鼓励农民采用这些标准,农民若不采用,并不违法。

仅就译文而言,基准这一中文词汇的主要英译为 Benchmark。Benchmark 在英语中主要指衡量或判断某一事物的尺度或参考值;如水准点,就是一种 Benchmark,用以指示高程,可作为地形测量参考。在农业环境领域英文论著中,鲜见采用 Benchmark。笔者注意到,中国在一些环境相关论著中对环境基准这一中文词汇给出的英译文是 environmental criteria。而 criteria 这一英文词汇的中译主要指标准、评价指标、评价准则,而不是类似于水准点的基准。农业面源污染管控的目标是鼓励农民采用环境友好的技术措施,限制农民采用不科学、易于导致环境污染的技术措施,主要内容是根据试验研究制定并不断修订和完善相关标准(standard)和各项技术指标(technical criteria)。如德国颁布的肥料法自 1991 年发布以来,经过 2008 年、2017 年两次修订,肥料法中的技术指标被不断更新和完善。笔者认为,在农业源污染管控中,采用标准和指标而不是用环境基准进行表达,将不易引起混淆和误解。

### 3 德国农业源污染治理效果及存在问题

经过 30 多年努力,德国在农田面源污染管控方面取得了一定成效。根据 FAO 统计数据:自 20 世纪 80 年代以来,德国农田化肥养分总投入量减少了 53%;农田平均化肥养分用量减少了 51%,从 20 世纪 80 年代的  $386 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$  (以 1980—1989 年耕地面积和长期作物面积化肥养分用量均值计算)减少到目前的  $189 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$  (以 2014—2016 年均值计算)<sup>[4]</sup>,仅为目前中国的 58%。根据中国农村统计年鉴,以作物总播种面积和长期作物面积计,2017 年中国化肥养分用量为  $325 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ <sup>[42]</sup>。同期,德国粮食单产仍提高了 56%,从 80 年代  $4\,779 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$  (以 1980—1989 年均值计算)增加到目前的  $7\,464 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$  (以 2014—2016 年均值计

算)<sup>[4]</sup>,高于中国目前粮食单产。根据中国农业年鉴,2016 年我国粮食单产为  $5\,452 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ <sup>[6]</sup>,根据 FAO 统计,2014—2016 年间中国粮食单产的均值为  $5\,284 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ <sup>[4]</sup>。德国农田化肥养分投入量的大幅消减使其地表水富营养化问题明显改善。

农业源污染管控涉及到管理、技术研发、经济、市场、农业与农民多方面问题,是一个复杂的系统工程,且具有长期性,难以在短期见效。新近调查显示,在德国下萨克森州、北威州、巴伐利亚州的一些地区,肥料法规的落实和化肥用量的大幅度消减仍未能控制住地下水硝酸盐含量。养殖业厩肥在农田的高量施用已成为地下水硝酸盐含量超标的主要原因。欧盟已经两次对此问题提出警告,若德国地下水硝酸盐含量继续升高,将向德国每年征收约 4 亿欧元罚款。为此,近期德国正在考虑再次修改施肥法规,将占德国农田 1/3 面积的高地下水硝酸盐污染潜势农区的氮用量在原先基础上 ( $170 \text{ kg N}\cdot\text{hm}^{-2}$ ) 再减少 20%。

为控制畜禽场和畜禽粪便不合理使用造成的环境问题,德国在执行和不断补充和修订肥料法<sup>[13]</sup>、商品肥料与土壤调理剂法规<sup>[14]</sup>、肥料施用法规<sup>[7]</sup>、挥发性污染物防治法<sup>[19]</sup>、挥发性污染物防治与畜禽场建造等法规<sup>[20]</sup>的同时,也在积极进行流质厩肥缩水处理等新技术研发,并尝试建立畜禽粪便交易平台,以减少地下水硝酸盐高污染潜势区的厩肥用量,消减畜禽养殖引起的氨态氮和氧化亚氮排放。

### 4 中国农业源污染管控状况及存在问题

中国人均耕地资源仅  $0.09 \text{ hm}^2$ ,为实现粮食安全,一直采用高投入、高产出的农业发展模式,因而多年来农用化学品投入量快速增长且居高不下。按中国农村统计年鉴,以作物总播种面积与长期作物面积计,2017 年中国化肥养分用量为  $325 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ <sup>[42]</sup>;根据 FAO 统计,2014—2016 年间以耕地面积与长期作物面积计,中国化肥养分用量均值为  $460 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ <sup>[4]</sup>;均超过单位面积化肥养分用量据欧洲之首的荷兰(根据 FAO 统计,荷兰按耕地面积与长期作物面积计,2014—2016 年间化肥养分用量为  $264 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ <sup>[4]</sup>)。中国农田氮磷养分高投入量已导致严重的农业面源污染<sup>[1]</sup>。

为防治农业产生污染,中国自“八五”以来投入巨资,启动了一系列相关科研计划和示范工程,组织相关科研院所进行联合攻关。国家还在全国范围实施



了测土配方施肥项目，在重点流域持续实施农业面源污染治理专项，推动减肥增效和农田面源污染管控。为提高科学施肥、环境友好农业技术的标准化和规范化程度，近年来国家、部门和地方颁布了数以百计的科学施肥、绿色农业和生态农业技术标准、规范和规程。尽管国家、各部门和各地已付出很大努力，调查显示，农民施肥技术水平并无明显提升，在蔬菜、水果、花卉等高收益作物农田上，农民盲目施肥、过量施肥现象依然普遍，在这类农田上，氮磷养分盈余量远超过德国肥料法规所规定的环境安全限量（ $50 \text{ kg N} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、 $10 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \cdot \text{hm}^{-2}$ ）<sup>[1,43]</sup>。

对中国已颁布相关国标、行标和地方标准的综述研究显示，中国在农田面源污染管控的制度性建设方面仍然存在以下问题：

（1）尚缺少为农民专门设计、便于农民掌握的量化施肥技术指标

对中国近年发布的多个国颁、部颁和地方相关标准的综述研究显示：中国在关于科学施肥和绿色农业技术的相关国标和行标中，主要是对科学施肥原则的重述。例如在 2010 年发布的部颁标准“化学使用安全技术导则”中，主要是对在教科书中已为科学界认可的专业常识进行了再次叙述。如导则中对“化肥用量控制”的规定为：需要综合考虑作物类型、产量目标、土壤养分状况确定化肥用量等一般性概念<sup>[44]</sup>。农民很难将这些原则转化为农田技术，各流域也难以用这些概念约束和规范农民技术措施。

在科学施肥和环境友好农业相关的地方标准中，所涉及的技术内容和范畴也各不相同，有测土配方施肥方法规程<sup>[45-46]</sup>、土壤样品采集技术规范<sup>[47]</sup>、绿色农业县域循环模式技术规范<sup>[48]</sup>等。多数标准针对的是专业人员，缺少专为农民设计和编制的科学施肥量化指标。虽然有一些地方标准为一些农作物定制了养分推荐量<sup>[49-56]</sup>，由于不同标准中，量化指标的科学基础、分级系统、分级释义、考量因素各不相同，某一地方提出的指标难以适合其他地区农民采用。

如前所述，德国实现减肥增效最重要的技术措施是为农民专门设计和定制了可覆盖不同自然和农业生产区域的、分区、分类、量化技术指标。中国由于至今缺少为农民专门设计、适合中国农民认知和直接采用的量化施肥技术指标，导致农民施肥技术水平长期落后。就为农民提供施肥配方和为农民设计和制作施肥技术指标两种方式而言，前者等同于授之以鱼，后者等同于授之以渔。要使中国农民

施肥技术水平得到普遍提高，需要尽早解决和大力促进授之以渔的问题。

综述结果还显示，中国目前颁布的与农田面源污染管控相关的国标、行标和地方标准在内涵上缺少层级化衔接<sup>[57-59]</sup>。例如土壤样品采集技术规范属于专业领域标准，需要全国统一，而颁布的标准却是地方标准<sup>[47]</sup>。很多标准的起草人并非为长期从事相关领域工作的专业人员，导致这些标准内容空泛、缺少明确的目标和科学基础，相互重叠又相互矛盾。研究中笔者还发现，德国无论是欧盟或联邦政府制定的肥料法规，还是 VDLUFA、DLG、KTBL 三大机构发布的技术标准，或是州立农业部门对联邦标准的解译文件，在相关网站上均可无偿获取。而中国发布的农业及环境方面相关国标、行标和地方标准绝大多数在网上不能无偿获取，需要缴费。农业技术标准，特别是与科学施肥、农业源污染管控相关标准的无偿和公开共享，不仅有利于农业源污染防治技术的推广，也有利于科学界和行业对标准的审核、修订和不断完善。在信息技术高度发展的今天，不硬性要求国标、行标和地方标准在网上无偿、公开发布，还助长了大量僵尸标准的生成。

（2）缺少能与农业源污染管控奖惩政策关联的限定性技术标准和考核方法

德国经验显示：进行农业面源污染管控的关键是制定和实施对农民在经济上和技术上均具有可行性、且能与国家奖惩政策关联的限定性技术标准。如德国于 1991 年在欧盟指导准则下发布的冬季农田禁用流质厩肥<sup>[11]</sup>，之后陆续发布的禁止地表撒施肥料、农田氮磷盈余允许限量等一系列限定性技术标准<sup>[7, 13-14]</sup>对德国实现减肥增效发挥了重要作用。

中国无论在国家层面还是水污染严重的流域，至今仍无类似限定性技术标准发布。因而，在全国范围或重点流域，难以制定针对性的奖惩政策，引导农民采用环境友好的替代技术。未能发布限定性技术标准的主要原因，一方面由于各地在治污中更关注短期能见效、也更易获得国家财政补贴的工程类措施，因而忽视见效慢、且难以靠一次性财政补贴就能实现的面源污染管控制度性建设；另一方面，中国相关的科学基础也比较薄弱。限定性技术标准直接影响到控污效果，并与每一个农民的经济利益挂钩，需要有充分的科学性、经济和技术可行性。为建立限定性技术标准，德国进行了大量研究。如冬季农田禁用流质厩肥的规定主要源于 20 世纪 80 年代的多点长期定位试验观测

结果。新肥料法中关于农田氮磷盈余允许限量的规定也源于数以百计的定位试验研究和数以万计的农户调查。为帮助农民执行这一限定性技术指标,德国于20世纪末开始农田与农场氮磷平衡算法研究,2007年正式颁布并在全中国范围推广这一算法<sup>[36]</sup>,至2017年方才将氮磷盈余量限量纳入限定性技术标准<sup>[7]</sup>,也是先完成相关研究和配套技术试运行,再正式发布限定性技术指标。

就编制定性技术标准而言,目前中国相关研究基础依然薄弱。中国自然条件与农业生产条件特征与国外相差大,难以套用国外技术标准。例如,德国规定:农田氮磷养分盈余量的最大限量为 $50\text{ kg N}\cdot\text{hm}^{-2}$ 和 $10\text{ kg P}_2\text{O}_5\cdot\text{hm}^{-2}$ ,按这一限量,中国1/5以上农田均难以达标。中国疆域辽阔,各地气候差异大,编制定性的技术指标需要因地制宜,考虑到分区、分类。

限定性技术标准与国家和地方政府绿色农业奖惩政策相关联,为保证其实施效果,还需要对农民的实际执行情况进行监测和考核。同主要根据耕地面积发放的一般性农业补贴相比,用经济杠杆推动农业面源污染管控要难得多。为进行有效管控,德国各州立公益性农业科研机构,针对主要限定性技术标准,研究并尝试采用新的监管和监测方法,以便适应农户地点分散、监管人手少、缺少直观考核指标等客观条件,更有效的发挥经济杠杆作用。中国至今尚无此方面的研究。

(3) 尚未形成有制度性保障的农业源污染管控体系

缺少为农民设计、便于农民掌握的量化施肥技术指标,缺少在全国范围或重点流域能与国家及地方政府奖惩政策关联的限定性技术标准,造成尽管中国对农田面源污染治理已进行多年,但无论在全国范围还是在重点流域至今未能形成有制度性保障的农业源污染管控体系。在农业源污染严重的流域,经常采用的措施之一是将农田改为生态景观用地和禁止养殖。这种做法虽然改善了部分地区水环境,却也导致发达地区农业的弱化以及对进口农产品依赖度的进一步加剧,难以持续。而德国在实施农业源污染管控的同时并未使农业弱化。自20世纪80年代至目前,德国不仅粮食总产和单产分别增加了38%和56%<sup>[4]</sup>,2000年以来德国向中国出口的肉、奶产品快速增长,仅2017年1—10月,德国向中国出口猪肉达240万t,占德国生猪出栏量的1/5,目前德国向中国出口的肉、奶产品占总出口量的1/2<sup>[60]</sup>。

在我国各大流域,对水污染治理的规划至今仍以工程措施为主,对农业源污染的治理规划主要是设立大区目标。例如:将整个农区化肥用量减少10%等。缺少关于限定性技术标准制定、农田面源污染管控体系构建方面的具体目标。笔者新近在参加一个地区水污染治理规划时发现:该区域已实施过多轮水污染治理项目,在每次规划中,全区农田化肥养分量都有大幅度下调,目前全区农田化肥养分量已远低于全国平均水平,难以支持该区远高于全国平均水平的高产。在新一轮规划中,减肥目标实在难以继续下调。实际上,这一地区水体氮磷含量一直有增无减,而由统计部门给出的数据与农民抽样调查结果相差较大。

## 5 结语

比较研究显示,以创新研究带动制度建设是提高农业源污染管控成效,实现向绿色农业转型的关键。针对中国现存问题,提出政策建议如下。

(1) 建立并在全中国范围推广便于农民掌握的分区、分类、量化施肥技术指标

鉴于中国农民施肥技术水平仍然落后,应当尽快研究、建立并在全中国范围推广专为农民设计的分区、分类、量化施肥技术指标。构建专供农民用技术指标的关键是首先建立全国统一的体系架构,保证分区标准的科学基础、分级体系、分级释义、考量因素和评价方法全国一致。之后再逐步建立和完善各分区技术指标。在为农民设计和构建量化科学施肥技术指标方面,可参考德国经验。德国为农民设计的农田养分五等级管理、农田质量百分价等分区、分类、量化技术指标的应用已近半个世纪,得到农民广泛认可,对减肥增效发挥了巨大作用。

中国在进行分区、量化施肥技术指标推广时,还可引入现代人工智能、人机互动、区块链和大数据技术,加速农民施肥技术水平的提升。

(2) 加强农业源污染管控限定性技术标准的研究与编制

限定性技术标准是农业源污染防控制度的技术基础。限定性技术标准不仅与中央和地方奖惩关联,还需要长期实施,对农民、农业、监管部门及财政预算均有较大影响,其科学性和可操作性十分重要。建议在具备研究和技术基础、财政及及管理条件的重点流域先期试行。不具备科学和技术基础的流域,不要忙于发布限定性技术标准,而需要先研究和建立实施限定性技术标准所必须的配套技术,并通过对配套技术



的推广, 查验实施限定性技术标准的可行性。同时在典型农区, 积极探索简捷、高效的监管方式, 使得与限定性技术标准绑定的奖惩措施真正发挥作用。与点源污染相比, 面源污染更为隐蔽, 科学、有效的监测和监管方法是提高经济杠杆作用、实现污染管控精准化的技术保障。

### (3) 重视农业源污染管控的制度性建设

在农业源排放已成为地表水富营养化、地下水硝酸盐污染主因的流域和地区, 要十分重视农田面源污染管控的制度性建设。农田面源污染管控的制度建设含政策法规、农民可广泛采用的环境友好技术、与国家奖惩政策绑定的限定性技术标准、有效监管四大要件。建议在国家和地方相关部门组织的联合攻关和示范项目中, 更重视考核示范项目对农业源污染管控制性建设的实际贡献, 促成中国相关限定性技术标准的建立和实施, 而不是仅考核统计部门出具的数据。

### (4) 重视维护相关研究稳定性

研究显示, 多年来德国在面源污染管控中发布和采用的几乎全部限定性或非限定性技术标准、新技术及新的监管和监测方法主要源于德国各土壤肥料专业科研机构的长期研究成果。如为农民设计和编制的分区、分类、量化科学施肥技术指标研究已持续了 50 多年, 流质厩肥施肥的空心耙技术也已持续了近 30 年, 而这些技术仍在继续修订和改进中。新近, 德国政府对经过两代科学家持续研究近 60 年的农田有机质平衡算法继续投资, 使第三代科学家能将这一对农田氮素和肥力管理具有实际意义的研究继续下去。

客观的说, 近年来中国在农业科研与环境治理方面投入的经费一直在增加。与此同时, 因公益性土壤肥料专业研究机构的撤并和不断调整所导致的科研机构均质化、碎片化、行政化问题加深, 越来越难以实施需要在某一专业领域长期投入力量的应用技术和应用基础研究。对 SCI 论文发文量等量化指标的过分倚重, 使得并不需要长期工作经验而论文产出多的研究生培养一枝独秀, 需要有长期科研工作累积的应用和应用基础研究不断被削弱和空洞化, 这类问题已不是单靠增加科研投入就能解决。鉴于科学施肥和农业源污染管控技术对农业、环境和国计民生的重要意义, 需要加以改进, 才能为农业源污染管控提供制度性保障。

## References

[1] 张维理, 武淑霞, 冀宏杰, Kolbe H. 中国农业面源污染形势估计及

控制对策 I. 21 世纪初期中国农业面源污染的形势估计. 中国农业科学, 2004, 37(7): 1008-1017.

ZHANG W L, WU S X, JI H J, KOLBE H. Estimation of agricultural non-point source pollution in China and the alleviating strategies I: Estimation of agricultural non-point source pollution in China in early 21 century. *Scientia Agricultura Sinica*, 2004, 37(7): 1008-1017. (in Chinese)

[2] FRICK F. Feinstaub vom Acker. *Bild der Wissenschaft*, 2019(9): 78-81. (in German)

[3] THOMPSON R L, LASSALETTA L, PATRA P K, WILSON C, WELLS K C, GRESSENT A, KOFFI E N, CHIPPERFIELD M P, WINIWARTER W, DAVIDSON E A, TIAN H, CANADELL J G. Acceleration of global N<sub>2</sub>O emissions seen from two decades of atmospheric inversion. *Nature Climate Change*, 2019. <http://doi.org/10.1038/s41558-019-0613-7>.

[4] FAO-Statistics. 1980-2017.

[5] 张维理, 徐爱国, 冀宏杰, Kolbe H. 中国农业面源污染形势估计及控制对策 III. 中国农业面源污染控制中存在问题分析. 中国农业科学, 2004, 37(7): 1026-1033.

ZHANG W L, XU A G, JI H J, KOLBE H. Estimation of agricultural non-point source pollution in China and the alleviating strategies III. A review of policies and practices for agricultural non-point source pollution control in China. *Scientia Agricultura Sinica*, 2004, 37(7): 1026-1033. (in Chinese)

[6] 中国农业年鉴 2017. 北京: 中国农业出版社, 2018. *China Agriculture Statistical Yearbook 2017*. Beijing: China Agriculture Press, 2018. (in Chinese)

[7] ANONYM. *Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen (Düngeverordnung -DüV)*. Germany: Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz, 2017: 1-46. <https://www.gesetze-im-internet.de/>. (in German)

[8] 张维理, 冀宏杰, Kolbe H, 徐爱国. 中国农业面源污染形势估计及控制对策 II. 欧美国家农业面源污染状况及控制. 中国农业科学, 2004, 37(7): 1018-1025.

ZHANG W L, JI H J, KOLBE H, XU A G. Estimation of agricultural non-point source pollution in China and the alleviating strategies II. Status of agricultural non-point source pollution and the alleviating strategies in European and American countries. *Scientia Agricultura Sinica*, 2004, 37(7): 1018-1025. (in Chinese)

[9] FINK A. *Festschrift zum 100-jährigen Bestehen des Verbandes Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten e.V.* Darmstadt. Germany: VDLUFA, 1988: 1-147. (in German)

- [10] ANONYM. *Statistik und Berichte des BMEL*. Germany: BMEL, 2019. <https://www.bmel-statistik.de/>. (in German)
- [11] ANONYM. *Richtlinie zum Schutz der Gewässer vor Verunreinigung durch Nitrat aus landwirtschaftlichen Quellen Council Directive 91/676/EEC of 12 December 1991*. Brussels: EU Council Directive, 1991: 1-13. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/>. (in German)
- [12] ANONYM. *Richtlinie 2001/81/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2001 über nationale Emissionshöchst-mengen für bestimmte Luftschadstoffe*. Brussels: EU Council Directive, 2001: 1-9. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/>. (in German)
- [13] ANONYM. *Düngegesetz. vom 9. Januar 2009 (BGBl. I S. 54, 136)*. Germany: Bundesministeriums der Justiz und für Verbraucherschutz, 2009: 1-13. [https://dejure.org/BGBl/2009/BGBl\\_I\\_S\\_54/](https://dejure.org/BGBl/2009/BGBl_I_S_54/). (in German)
- [14] ANONYM. *Verordnung über das Inverkehrbringen von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln*. Germany: Bundesministeriums der Justiz und für Verbraucherschutz. 2017: 1-116. <https://www.gesetze-im-internet.de/>. (in German)
- [15] ANONYM. *Neue Schadstoffregelungen für Düngemittel, Bodenhilfsstoffe, Kultursubstrate und Pflanzenhilfsmittel*. Germany: Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, 2011: 1-7. <https://www.bmel.de/>. (in German)
- [16] ANONYM. *Verordnung über die Verwertung von Klärschlamm, Klärschlammgemisch und Klärschlammkompost (Klärschlammverordnung)*. Germany: Bundesministeriums der Justiz und für Verbraucherschutz, 2017: 1-47. <https://www.gesetze-im-internet.de/>. (in German)
- [17] ANONYM. *Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten (Bundes-Bodenschutzgesetz-BBodSchG)*. Ausfertigungsdatum: 17.03.1998 Zuletzt geändert durch 27.9.2017. 2017, Germany: Bundesministeriums der Justiz und für Verbraucherschutz, 2017: 1-11. <https://www.gesetze-im-internet.de/>. (in German)
- [18] ANONYM. *Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV)*. Ausfertigungsdatum: 12.07.1999 vom 27. September 2017 (BGBl. I S. 3465). Germany: Bundesministeriums der Justiz und für Verbraucherschutz, 2017: 1-33. <https://www.gesetze-im-internet.de/>. (in German)
- [19] ANONYM. *Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz - BImSchG)*. Germany: Bundesministeriums der Justiz und für Verbraucherschutz, 2019: 1-57. <https://www.gesetze-im-internet.de/>. (in German)
- [20] ANONYM. *Vierte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen - 4. BImSchV)*. Germany: Bundesministeriums der Justiz und für Verbraucherschutz. 2017: 1-32. <https://www.gesetze-im-internet.de/>. (in German)
- [21] ANONYM. *Futtermittelverordnung FuttMV 1981 die zuletzt durch Artikel 2 der Verordnung vom 18. Juli 2018 (BGBl. I S. 1219)*. Germany: Bundesministeriums der Justiz und für Verbraucherschutz, 2018: 1-39. <https://www.gesetze-im-internet.de/>. (in German)
- [22] ANONYM. *No 1275/2013 of 6 December 2013 amending Annex I to Directive 2002/32/EC of the European Parliament and of the Council as regards maximum levels for arsenic, cadmium, lead, nitrites, volatile mustard oil and harmful botanical impurities*. Brussels: EU Council Directive, 2013: 1-7. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/>. (in German)
- [23] ANONYM. *2019/1869 of 7 November 2019 amending and correcting Annex I to Directive 2002/32/EC of the European Parliament and of the Council as regards maximum levels for certain undesirable substances in animal feed*. Brussels: EU Council Directive, 2019: 1-5. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/>. (in German)
- [24] ANONYM. *Düngeberatung-Anforderungen und Perspektiven. Tagung des Verbandes der Landwirtschaftskammern e.V. (VLK) und des Bundesarbeitskreises Düngung (BAD)*. Germany: Bundesarbeitskreis Düngung (BAD), 2006: 1-84. [www.duengung.net](http://www.duengung.net). (in German)
- [25] ANONYM. *Umsetzung der Düngeverordnung. Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft*. Dresden, Germany: Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, 2007: 1-166. <https://www.Landwirtschaft.Sachsen.de/LFL>. (in German)
- [26] ANONYM. *Phosphor- und Kaliumdüngung: brauchen wir neue Düngekonzepte*. Germany: Verbandes der Landwirtschaftskammern e. V. (VLK) und des Bundesarbeitskreises Düngung (BAD), 2010: 1-169. [https://www.iva.de/sites/default/files/benutzer/uid/publikationen/tb2010\\_0.pdf](https://www.iva.de/sites/default/files/benutzer/uid/publikationen/tb2010_0.pdf). (in German)
- [27] DLG. *Grunddüngung effizient gestalten DLG-Merkblaetter*, 2008(349): 1-85. <https://www.dlg.org/>. (in German)
- [28] DLG. *Die Düngeverordnung umsetzen. DLG-Merkblatt*, 2018(426): 1-6. <https://www.dlg.org/>. (in German)
- [29] DLG. *Grunddüngung effizient gestalten. DLG-Merkblaetter*, 2008 (349): 1-85. <https://www.dlg.org/>. (in German)
- [30] ANONYM. *Düngebedarfsermittlung und N-Düngung auf Ackerland im Herbst ab 2017*. Thüringer Germany: Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft. 2017: 1-5. <http://www.tll.de/www/daten/pflanzenproduktion/duengung/>. (in German)
- [31] DLG. *Technik zur Ausbringung fester Mineral Düngung*. DLG-Merkblatt 410, 2017. <https://www.dlg.org>.
- [32] ANONYM. *Stallgebäude erfolgreich errichten Ein Leitfaden für die*

- Landwirtschaft*. Germany: Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft. 2014: 1-31. <https://www.lfl.bayern.de/ilt/umwelttechnik/>. (in German)
- [33] VDLUFA. *Phosphordüngung nach Bodenuntersuchung und Pflanzenbedarf*. Germany: VDLUFA-Standpunkt, 1997: 1-8. <https://www.vdlufa.de/de/index.php/fachinformation>. (in German)
- [34] VDLUFA. *Phosphordüngung nach Bodenuntersuchung und Pflanzenbedarf*. Germany: VDLUFA-Standpunkt, 2018: 1-11. <https://www.vdlufa.de/de/index.php/fachinformation>. (in German)
- [35] VDLUFA. *Kalium-Düngung nach Bodenuntersuchung und Pflanzenbedarf*. Germany: VDLUFA-Standpunkt, 1999: 1-5. <https://www.vdlufa.de/de/index.php/fachinformation>. (in German)
- [36] VDLUFA. *Nährstoffbilanzierung im landwirtschaftlichen Betrieb*. Germany: VDLUFA-Standpunkt, 2007: 1-9. <https://www.vdlufa.de/de/index.php/fachinformation>. (in German)
- [37] VDLUFA. *Humusbilanzierung: Methode zur Beurteilung und Bemessung der Humusversorgung von Ackerland*. Germany: VDLUFA-Standpunkt, 2004: 1-12. <https://www.vdlufa.de/de/index.php/fachinformation>. (in German)
- [38] VDLUFA. *Humusbilanzierung-Eine Methode zur Analyse und Bewertung der Humusversorgung von Ackerland*. Germany: VDLUFA-Standpunkt, 2014: 1-21. <https://www.vdlufa.de/de/index.php/fachinformation>. (in German)
- [39] VDLUFA. *Bestimmung des Kalkbedarfs von Acker- und Grünlandböden*. Germany: VDLUFA-Standpunkt, 2000: 1-8. <https://www.vdlufa.de/de/index.php/fachinformation>. (in German)
- [40] ANONYM. *Gesetz zur Schätzung des landwirtschaftlichen Kulturbodens (Bodenschätzungsgesetz -BodSchätzG)*. Germany: Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz. 2007: 1-10. <https://www.juris.de>. (in German)
- [41] ANONYM. *Bodenschätzungsdurchführungsverordnung-BodSchätzDV*. Germany: Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz. 2014: 1-114. <https://www.juris.de>. (in German)
- [42] 中国农村统计年鉴 2018. 北京: 中国统计出版社, 2019.  
*China Rural Statistical Yearbook 2018*. Beijing: China Statistics Press, 2019. (in Chinese)
- [43] 张怀志, 唐继伟, 袁硕, 黄绍文. 津冀设施蔬菜施肥调查分析. 中国土壤与肥料, 2018(2): 54-60.  
ZHANG H Z, TANG J W, YUAN S, HUANG S W. Investigation and analysis of greenhouse vegetable fertilization in Tianjin and Hebei Province. *Soil and Fertilizer Sciences in China*, 2018(2): 54-60. (in Chinese)
- [44] 中华人民共和国环境保护部. 标准化肥使用环境安全技术导则: HJ 555—2010. 北京: 中国环境科学出版社, 2010: 1-6.  
People's Republic of China Environment Protection Ministry. Technical Guideline on Environmental Safety Application of Chemical Fertilizer: HJ 555—2010. Beijing: China Environmental Science Press, 2010: 1-6. (in Chinese)
- [45] 中华人民共和国农业行业标准 NY/T 1118—2006. 测土配方施肥技术规范. 2006: 1-13.  
People's Republic of China Agricultural Standard NY/T 1118—2006. *Technical Specification of Balanced Fertilization by Soil Testing*. 2006: 1-13. (in Chinese)
- [46] 辽宁省地方标准 DB21/T 1288—2008. 测土配方施肥技术规程. 2008: 1-16. (in Chinese)  
Local Standard of Liaoning Province DB21/T 1288—2008. *Technical Specification of Balanced Fertilization by Soil Testing*, 2008: 1-16. (in Chinese)
- [47] 四川省地方标准 DB51/T 1048—2010. 土壤样品采集技术规范. 2010: 1-8.  
Local Standard of Sichuan Province DB51/T 1048—2010. *Technical Specification for Soil Sample Collection*. 2010: 1-8. (in Chinese)
- [48] 甘肃省地方标准 DB62/T 2273—2012. 绿色农业县域循环模式技术规范. 2012: 1-9.  
Local Standard of Gansu Province DB62/T 2273—2012. *Technical Specifications for Green Agriculture Recycling County Mode*. 2012: 1-9. (in Chinese)
- [49] 安徽省地方标准 DB34/T 1019—2009. 中籼稻施肥技术规程. 2009: 1-6.  
Local Standard of Anhui Province DB34/T 1019—2009. *Technical Regulation of Fertilization for Middle-season Indica Rice*. 2009: 1-6. (in Chinese)
- [50] 安徽省地方标准 DB34/T 1226—2010. 水稻土壤养分分区与一季中稻推荐施肥技术. 2010: 1-6.  
Local Standard of Anhui Province DB34/T 1226—2010. *Subarea of Paddy Soil and Recommend Fertilization Techniques in Single Mid-Season Rice*. 2006: 1-6. (in Chinese)
- [51] 安徽省地方标准 DB34/T 1225—2010. 水稻—油菜轮作区油菜高效施肥推荐. 2010: 1-8.  
Local Standard of Anhui Province DB34/T 1225—2010. *High Efficiency Fertilization of Rapeseed in Rapeseed-Rice Rotation Field*. 2010: 1-8. (in Chinese)
- [52] 安徽省地方标准 DB34/T 1427—2011. 环巢湖地区水稻氮磷减量控制栽培技术规程. 2011: 1-9.  
Local Sandard of Anhui Province DB34/T 1427—2011. *Technical Regulation of Rice Nitrogen and Phosphorus Reduction Control cultivation in Chaohu Area*. 2011: 1-9. (in Chinese)

- [53] 河北省地方标准 DB13/T 775—2006. 冬小麦节肥节水技术规程. 2006: 1-11.  
Local Standard of Hebei Province DB13/T775—2006. *Technical Specification for Saving Fertilizer and Water of Winter Wheat*. 2006: 1-11. (in Chinese)
- [54] 南京市地方标准 DB3201/T 071—2004. 无公害农产品肥料施用规程. 2004: 1-6.  
Local Standard of Nanjing City DB3201/T 071—2004. *Fertilization Specification for Pollution-Free Agricultural Products*. 2004: 1-6. (in Chinese)
- [55] 天津市地方标准 DB12/T 728—2017. 设施果菜类蔬菜高效安全施肥技术规程. 2017: 1-5.  
Local Standard of Tianjin City DB12/T 728—2017. *Technical Regulation for Efficient and Safe Fertilization of Fruit Vegetables in Greenhouse*. 2017: 1-5. (in Chinese)
- [56] 安徽省地方标准 DB34/T 1426—2011. 环巢湖地区保护地氮磷减量施肥技术规程. 2011: 1-7.  
Local Standard of Anhui Province DB34/T 1426—2011. *Technical Regulation of Reduced Nitrogen and Phosphorus Fertilization in Covered Field in Chaohu Area*. 2011: 1-7. (in Chinese)
- [57] 中华人民共和国农业行业标准 NY/T 1105—2006. 肥料合理使用准则-氮肥. 2006: 1-7.  
People's Republic of China Agricultural Standard NY/T 1105—2006. *The Rule of Rational Fertilization Nitrogen Fertilizer*. 2006: 1-7. (in Chinese)
- [58] 河北省地方标准 DB13/T 608—2005. 无公害果品肥料使用准则. 2005: 1-10.  
Local Standard of Hebei Province DB13/T 608—2005. *The Rule of Fertilization for Pollution-Free Fruit Products*. 2005: 1-10. (in Chinese)
- [59] 山东省淄博市地方标准 DB3703/T 003—2005. 无公害蔬菜生产投入品使用准则. 2005: 1-6.  
Local Standard of Hebei Province Zibo City DB3703/T 003-2005. *The Rule of Material Input for Pollution-Free Vegetables*. 2005: 1-6. (in Chinese)
- [60] KAGERMEIER E. Deutsche Schweine für China. *Zeit online*, <https://www.zeit.de/wirtschaft/2018-01/fleischatlas-fleischkonsum-deutschland-2018>. (in German)

(责任编辑 李云霞)