

长期定位施肥对土壤效应的研究进展^①

聂胜委^{1,2}, 黄绍敏^{1*}, 张水清¹, 郭斗斗¹, 张巧萍¹, 张玉亭¹, 宝德俊¹, 陈源泉²

(1 郑州国家潮土土壤肥力与肥料效益监测站/农业部郑州潮土生态环境重点野外科学观测试验站, 河南省农业科学院植物营养与资源环境研究所, 郑州 450002; 2 中国农业大学循环农业研究中心, 北京 100193)

摘要: 近年来, 长期定位施肥研究因其经历气候、年份的时间长, 气候类型多, 土壤功能变化幅度大以及获得的研究结论相对准确等特点, 越来越受到研究人员的重视, 国内外在长期定位施肥对土壤效应的影响研究取得了丰硕的成果。本文对国内外的长期定位施肥对土壤物理、养分、微生物以及酶类等方面的影响进行了比较客观详尽的阐述, 并在此基础上提出了未来本领域的研究重点, 以期对开展相关的研究提供借鉴。

关键词: 长期定位施肥; 土壤效应; 影响; 进展

中图分类号: S143.1

土壤不仅是植物吸收各种养分的载体和媒介, 同时也是发生一系列生理生化反应的重要场所, 土壤本身各种理化性质的变化对养分的吸收产生着重大的影响。而且土壤理化性质受外界因子的影响较大, 特别是受肥料的影响。长期定位肥料试验信息量丰富、数据准确可靠、解释力强, 具有常规试验不可比拟的优点, 而且通过长期定位施肥研究, 能系统地研究不同的施肥制度对土壤物理、化学性质等因子影响, 并作出科学的评价, 为农业的可持续发展提供决策依据。国外的长期定位研究开始得较早, 在欧洲, 法国学者布森高于 1834 年建立了第一个农业试验站; 在美洲, 美国于 1875 年在康涅狄格州建立了第一个比较规范的农业试验站; 这些农业试验站的建立, 标志着长期定位的研究正式开始。而有关肥料定位的研究则开始于 1843 年 7 月, 在英国, 由 John Lawes 和 Henry Gilbert 创立的洛桑试验站, 先后 (1843—1956) 设置了 9 个长期肥料定位试验, 是世界上开始最早的肥料长期定位试验。与国外长期定位施肥研究开始的时间相比, 我国的长期定位施肥研究起步较晚, 从建国后, 我国陆续建立了的长期定位研究试验站, 其中多数试验站建立于 20 世纪 80 年代。中国科学院、中国农业科学院以及各省级的研究机构大都建有长期的肥料研究

站。影响较大的有“中科院南京土壤研究所的 CERN 土壤分中心”, 成立于 1992 年; “国家土壤肥力与肥料效益监测站网”, 成立于 1987 年。后者由中国农科院农业资源与农业区划研究所主持, 联合吉林、河南、湖南、浙江等分布在全国 8 个不同土壤生态类型区的省级土壤肥料试验站, 监测和研究我国不同土壤类型长期施肥条件下肥料的农学效应、养分利用率、肥力质量以及环境质量演变等内容, 是建设的国家级大型土壤肥力和肥料效益长期定位检测试验站网络。在国、内外关于长期定位施肥的研究中, 主要是从施肥制度上进行研究, 主要包括: 长期的不施肥 (CK)、单施氮肥 (N)、氮磷配施 (NP)、氮钾配施 (NK)、磷钾配施 (PK)、氮磷钾配施 (NPK) 和氮磷钾配施有机肥 (NPK+OM) 等 7 个方面, 随着研究的深入, 增加了氮磷钾配施秸秆有机肥 (NPK+S) 制度的研究。

土壤是作物吸收养分的贮存库和释放库, 是提高农业生产力和粮食产量的重要基础; 同时也是农业工作者重点关注的领域。国内外有关长期定位研究发表的论文相当得多, 主要是围绕“土壤-作物”两方面来进行相关的研究, 取得了丰硕的研究成果; 长期定位施肥对作物效应的影响, 另有论述。本文只对国、内外长期定位施肥对土壤效应的研究进行总结归纳, 以

①基金项目: 国家“十一五”科技支撑计划沃土工程项目 (2006BAD25B06), 公益性行业科研专项项目 (201203030-05) 和河南农科院人才基金/河南省省院合作项目 (102106000034/092106000011) 资助。

* 通讯作者 (hsm503@126.com)

作者简介: 聂胜委 (1979—), 男, 河南汝州人, 博士, 助理研究员, 主要从事长期定位施肥、农田受损生态系统修复及循环农业等方面的研究。

E-mail: nsw2004@126.com

期为我国在未来开展长期定位施肥相关深入的研究工作提供参考和借鉴。

1 国外长期定位施肥对土壤效应的研究状况

国外的有关研究表明,长期定位施肥对土壤的理化性质产生了较大的影响。在土壤体积质量(容重)上,施用有机肥或者无机肥与有机肥配施可以降低表层0~15 cm土壤体积质量,提高土壤有机碳的含量;而单施无机肥的土壤体积质量值则较大^[1]。在法国,石灰性土壤上长期不施肥对土壤交换性钾的含量影响不大,施用少量钾肥基本可以满足作物对钾肥吸收^[2]。施用有机肥则可以增加水溶性有机碳的含量,而单施化学肥料则对水溶性碳没有多大的影响^[3]。在意大利东北部的黏土、沙土和泥沼质土上,长期施用有机肥可以提高土壤有机碳和腐植酸态碳的含量^[4]。在南美洲,施肥土壤中富里酸、易氧化有机碳含量相对较高,氮磷肥长期配施可以提高土壤易氧化有机碳的含量^[5]。在美国的淤泥沃土和黏质沃土上施氮量 $\geq 90 \text{ kg/hm}^2$ 时,表层0~30 cm土壤中有机碳含量接近或略高于于不施氮肥的土壤^[6]。在印度,淋溶土壤上氮磷钾肥配施有机肥可以提高土壤微生物量碳、氮以及水溶性酸性糖的含量^[7]。长期施用氮肥有助于提高土壤全氮的含量,而且并不会增加反硝化的潜力^[8]。在加拿大韦格勒维尔省的碱性土壤上施用硝酸铵可以降低土壤的pH值;长期施用氮肥降低了土壤微生物量碳、矿化碳氮的含量,随着施氮量的增加这种抑制效应逐渐增强^[9]。在韩国,水稻土上长期施用氮磷钾肥,土壤无机磷的含量变化不大,施用有机粪肥可以降低土壤磷的残效性,提高无机磷的含量^[10]。

另外,长期施用化肥导致土壤氧化甲烷的能力严重降低,而且肥料的用量越大,氧化能力越弱;施用有机肥的土壤中甲烷氧化率则较高^[11]。在德国中部降雨较少的地区,长期施用无机氮肥严重抑制甲烷氧化;而在黑泥土上甲烷的氧化程度受土壤pH值的影响较大,当pH为6时,化学氮肥严重抑制甲烷氧化细菌的活性,氧化率仅为 $C 0.04 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$,而不施氮肥的氧化率为 $C 0.38 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$;而且过量使用粪肥严重抑制甲烷的氧化^[12]。在德国中部,长达100年的肥料试验表明,水溶性有机碳是土壤微生物活动的主要碳源,酶活性主要受微生物的影响^[13]。施用有机肥能够明显地提高土壤微生物的数量和氨化细菌的活性以及土壤中蚯蚓的数量^[14-15]。化肥配施有机肥可以提高土壤硝化细菌的活性和硝化潜力、土壤微生物量,丛枝菌菌丝和孢子生物量^[16-17]。在瑞典,施用磷肥将降低土壤

中丛枝菌丝孢子数,抑制菌丝孢子的繁殖^[18]。

2 国内长期定位施肥对土壤效应的研究状况

与国外的长期定位施肥研究相比,我国的长期定位施肥对土壤效应的研究虽然开始的时间较短,但是研究的内容相对较丰富。主要围绕不同的施肥制度对土壤的物理效应、土壤的养分效应以及土壤的生物学效应等方面进行相关的研究,并取得了大量的研究成果。

2.1 土壤物理效应

不同的施肥措施对土壤物理效应(如孔隙度、保水性能、团聚体组成以及土壤复合体的组成等)有较大的影响。在东北棕壤上,施用有机肥能够降低土壤体积质量,增加土壤的孔隙度,进而改善土壤的物理特性^[19];河西走廊旱塬灌漠土上长期施用氮肥、磷肥并配施有机肥可以增大土壤的总孔隙度、团粒结构^[20];而在亚热带红壤上,施用有机肥可以明显提高土壤大团聚体的组分含量,减少微团聚体的组分含量^[21]。张靓等^[22]研究认为,长期施用有机肥或有机无机肥配施,土壤 $<10 \mu\text{m}$ 微团聚体含量减少,10~250 μm 微团聚体含量增加,土壤结构系数提高, $<10 \mu\text{m}$ 和 $>10 \mu\text{m}$ 的微团聚体的组成比例显著降低;而且施用高量有机肥能显著增加潮土土壤颗粒的分形维数^[23]。对土壤耕层结构的影响,研究表明长期不施肥的紫色土,耕层结构致密,孔隙发育很少,土壤微结构较差;单施化肥,土壤颗粒未形成结构体,孔隙少;施用有机肥或有机无机肥配施,土壤粗颗粒数量显著增加,结构疏松,而且孔隙量大,动、植物残体丰富,有铁锰结核和腐殖质的形成以及土壤微团聚体的发育^[24]。此外,长期单施无机肥、有机肥,或有机无机肥配施均能提高潮土和旱地红壤两种土壤的原土复合量,有机无机肥配施还可以提高红壤性水稻土耕层的原土复合量;而且施用有机肥或有机无机肥配施还能提高土壤中 G_0 、 G_1 和 G_2 3组复合体的含量,同时促使水稳性弱的复合体向水稳性强的复合体转化^[25]。对土壤水分和二氧化碳排放的影响,研究认为施用有机肥可以提高土壤0~15 cm土层土壤对水分的保蓄能力,降低二氧化碳的排放^[20, 26-27]。

因此,通过长期的施肥研究,认为施用有机肥或有机无机肥配施,能够降低土壤的体积质量,增加孔隙度、团粒结构和耕层结构等;但是研究所得出的结论是在一定的环境条件下进行,各个长期定位研究地点生态类型、气候特点以及土壤类型等存在较大的差异,对土壤物理特性中更为深层次的影响如增加土壤

颗粒的分形维数、各组分团聚体的含量以及微团聚体的发育等方面,需要进一步深入的研究和探索。

2.2 土壤养分效应

2.2.1 土壤有机质 不同施肥制度对土壤有机质的影响不同,研究表明长期单施化肥,土壤有机质、易氧化有机质以及难氧化有机质含量均明显减少^[22];而有机无机肥配施可以显著提高潮土、红壤的土壤有机质含量^[28-30];在黄土高原地区,施用氮磷肥、有机肥或者氮磷肥配施有机肥可以增加土壤有机碳含量,同时氮磷肥配施有机肥还可以降低土壤的 pH 值^[31]。土壤有机质的氧化稳定系数(Kos)也受到施肥制度的影响,长期不施肥或施用常量氮磷钾化肥,氧化稳定系数(Kos)升高,土壤腐殖质组成及其性质均有所恶化;常量氮磷钾化肥与有机肥配施,则可明显降低其 Kos 值,提高腐殖酸含量及 HA/FA 比值,使胡敏酸得到活化和更新^[32]。在棕壤上,宇万太等^[33]研究认为长期施用有机肥土壤的有机碳、易氧化碳(ROC)、溶解性有机碳(DOC)、微生物生物量碳(MBC)、土壤碳素有效率及土壤碳库管理指数等明显高于不施肥的土壤;在黑土上,单施化肥或者化肥配施有机肥均可提高土壤大团聚体内微团聚体之间的粗土壤颗粒有机物(POM)值,与不施肥相比分别高 4.9、7.0 倍;同时还提高了大团聚体包裹的微团聚体内和游离微团聚体内的 POMC 含量^[34]。

2.2.2 土壤氮 施肥对土壤氮的影响研究相对较多,主要是围绕氮的吸收、淋溶以及挥发等方面。不同施肥制度对氮的利用率影响较大,单施氮肥,氮的表观利用率很低,仅 0.51%,同时造成土壤 NO_3^- -N 大量累积和淋移;氮磷钾平衡施肥或者配施有机肥,氮的表观利用率迅速提高,达到 50% 左右,且能有效地缓解土壤对 NO_3^- -N 的积累^[35-36]。在棕壤上单施化肥对耕层土壤有机氮含量及其组成影响较小;但是配施有机肥后,耕层土壤各形态酸解有机氮的含量都有不同程度的提高,其中氨基酸态氮的增加最为明显,提高了土壤的供氮潜力^[37]。在石灰性潮土和亚热带水稻土上,平衡施肥能提高土壤全氮、速效氮含量,而且配施有机肥能加快氮的积累;而单一或不均衡施肥则严重影响作物对氮的吸收、利用和转化^[20,38-39]。不同施肥制度对田间的氮挥发影响较大,研究表明在潮土上进行平衡施肥或者有机无机肥配施可以显著减少小麦季土壤氮的挥发损失,而单施氮肥或者有机肥的田间氮挥发量则较高^[40]。

2.2.3 土壤磷 磷的特性相对较为稳定,在棕壤上单施化学磷肥不能增加土壤中有机磷量,但能够促进

各组分间相互转化;单施有机肥或与化肥配施,均能提高土壤中有机磷的含量,且能促进有机磷组分中的稳定性、中等稳定性有机磷向活性有机磷方向转化^[41]。在潮土、红壤土上,平衡施肥能提高土壤全磷、速效磷含量,其中与有机肥配施能加快磷的积累^[20,30,42];施用有机肥的土壤在 0 ~ 60 cm 土层磷素活化系数明显较高^[43];而且施有机肥或与氮肥配施,都能显著降低非石灰性潮土土壤的最大吸磷量(X_m)、吸附能常数(k)和最大缓冲容量^[44]。对有效磷组分的影响,研究表明长期有机肥与化学磷肥配合施用明显地增加了潮土中磷肥的有效性,土壤无机磷的积累以 $\text{Ca}_2\text{-P}$ 和 $\text{Ca}_8\text{-P}$ 为主,其次为 Al-P 和 Fe-P ,而 O-P 和 $\text{Ca}_{10}\text{-P}$ 量相对较少^[45-46];在棕壤上,不施肥或单施氮肥土壤的 Al-P 、 Fe-P 、 O-P 、 $\text{Ca}_{10}\text{-P}$ 含量均减少,各形态无机磷的剖面分布相似,均为先下降而后略微上升^[47-48]。在紫色土上,单施无机磷肥,磷可迁移至 100 cm 土层, Olsen-P 可迁移至 40 cm 土层;有机无机磷肥配施不但使土壤磷可迁移至相同深度,且迁移量加大, Olsen-P 可迁移至 60 cm 土层,施用有机肥促进了磷素从耕层向底层的迁移^[49]。

2.2.4 土壤钾 施肥是影响土壤供钾能力的重要因素,在黑土上,单施氮肥,土壤的速效钾、缓效钾含量均降低,全钾含量变化不明显;单施有机肥或者有机肥配施氮肥,都能明显提高土壤缓效钾的含量,氮钾肥配施能显著提高水溶态钾的含量^[50-51]。在褐潮土上,氮磷钾均衡施肥能提高土壤速效钾含量,其中氮磷钾配施有机肥能加快土壤钾的积累^[20,52];在非石灰性潮土上,单施有机肥或有机肥与氮肥配施能增加土壤对钾素的吸附量^[53],施有机肥能增加土壤水溶性钾、交换性钾、非交换性钾、矿物钾及全钾含量^[54],化肥与有机肥配施对土壤钾素的垂直移动影响不大,而且能维持土壤中速效钾的平衡^[55]。刘代欢等^[56]研究了长期定位施肥蔬菜保护地土壤(Ca^{2+} 饱和) K^+ 吸附动力学特性,结果表明 K^+ 的吸附速率与反应时间($\ln t$)之间均存在良好线性关系;长期施肥使潮土中 K^+ 解吸速率产生了差异,解吸速率也与 CEC、黏粒含量和高岭石的变化密切相关^[57]。

2.2.5 其他方面 对其他营养元素的影响,研究表明在石灰性土壤上长期施用氮磷肥影响硫素在土壤剖面的垂直分布,部分硫素以可溶无机硫酸盐形式被下渗水淋溶到土体的深层累积^[58];在非石灰性潮土上,单施无机氮肥、有机肥或者有机肥与氮肥、氮磷钾配施均可明显提高土壤全硫含量,且施用的有机肥和氮肥越多,土壤全硫含量增加的幅度越大^[59]。施用氮肥

可以提高土壤中有效 Fe 含量,随着氮肥用量的增加,有效 Fe 含量增加;氮肥与有机肥配施后土壤有效 Fe 含量有所下降^[60];也有研究认为,与不施肥相比,氮磷钾配施、有机无机肥配施使土壤全 Fe、Mn、Cu 和 Zn 呈增加的特点,而土壤有效 B、Zn 的含量与施化肥的关系不大^[61-62];土壤有效 Cu、Zn 含量的增加是因施肥增加的土壤有机物料使土壤固定态 Cu、Zn 活化所致^[63]。此外,不同施肥制度对潮土土壤 CO₂ 的排放通量也有一定的影响,对 CH₄ 的排放通量影响不大,CO₂ 平均排放通量大小依次为:对照<氮钾配施<磷钾配施<氮磷配施<氮磷钾配施;其中施氮磷、氮钾和氮磷钾配施处理土壤的 N₂O 平均排放通量较大,而不施肥和或者磷钾肥配施的土壤 N₂O 平均排放通量较小^[64]。但是在太湖地区的研究表明,施氮肥土壤的矿化率高于氮肥配施有机肥和不施肥,而且 CH₄ 排放量也较大,分别是氮肥配施有机肥和不施肥土壤的 3、27 倍,补施有机肥有助于降低温室气体的排放^[65]。

土壤中的养分是作物生长发育必需的营养保证,长期定位施肥研究得出氮磷钾平衡施肥或者有机无机肥配施对不同类型土壤中有机质、氮、磷、钾以及微量元素等养分的含量都有积极的影响,如提高有机质含量、氮的吸收利用率、有效磷含量等。但是在不同类型的土壤上,土壤养分对不相同的施肥制度的响应机制不同,如在棕壤上,施磷肥不能增加土壤中有机磷的含量,但能促进各组分间的转化;与有机肥配施后,则能够提高有机磷的含量等。因此,进一步深入研究不同土壤类型中养分对不同施肥制度的响应转化机制和机理将成为未来该领域研究的重点之一。

2.3 土壤化学、生物学效应

2.3.1 土壤腐殖质 长期施用氮磷钾肥、有机肥或有机无机肥配施均能提高潮土、旱地红壤和红壤性水稻土耕层腐殖质、活性腐殖质、胡敏酸和富里酸的含量;单施有机肥或有机无机肥配施还能增加土壤腐殖质的 HA/FA 比,提高耕层松结态、稳结态和紧结态腐殖质的含量^[66-67]。在东北黑土上,有机无机肥配施土壤的松结态腐殖质含量高于单施无机肥,但相对含量呈现相反趋势;稳结态腐殖质相对较稳定,没有明显变化;长期施用有机肥后土壤松/紧比值减小^[68]。在潮土上,与不施肥对照相比,单施有机肥或者有机无机肥配施均可显著提高了土壤腐殖质中胡敏酸的含量^[69];长期施用有机肥不仅能显著提高土壤中有机碳、腐殖质及胡敏酸、富里酸的含量,而且能提高 HA/FA 比值,促进土壤有机碳活化与更新,改善腐殖质的品质;在等氮量的条件下,长期有机无机肥配施比常量

有机肥处理更能提高耕层土壤 HA/FA^[70]。史吉平等^[71]研究得出有机肥或有机无机配施均能降低潮土和旱地红壤胡敏酸的 E4 和 E6 值,提高土壤富里酸和红壤性水稻土胡敏酸的 E4 和 E6 值以及土壤胡敏酸和富里酸的紫外吸收光谱值和总酸性基、羧基和酚羟基含量;而单施化肥对胡敏酸和富里酸含氧功能团含量的影响不大。

2.3.2 土壤微生物 土壤中微生物的数量、种类以及微生物活性受环境因子的影响较大,同时受肥料特别是有机的影响也较大。施用有机肥土壤的微生物多样性指数最高,微生物种类多,群落结构也较复杂^[72]。在紫色水稻土上,与长期单施化肥相比,有机无机肥配施提高土壤的硝化作用和土壤硝化细菌的分子多样性^[73];在东北黑土上,施用有机肥可显著提高土壤有机磷矿化细菌、土壤水溶性磷细菌的数量^[74-76]。在潮土上,长期施有机肥或无机肥均有利于提高土壤细菌和放线菌数量,而且有机肥优于无机肥,但只有施有机肥处理显著提高土壤真菌数量和土壤呼吸强度^[77];平衡施肥土壤中细菌和真菌的数量明显高于缺肥土壤,且平衡施肥土壤中微生物代谢活动的效率较高^[77-78]。单施有机肥或者与无机肥配施,能显著增加非石灰性潮土土壤中细菌、真菌和放线菌的数量,明显提高蛴螬类、弹尾类、线虫类等土壤动物的数量^[79];在东北黑土、南方红壤以及新疆的灰漠土上,单施有机肥或者与无机肥配施的土壤中蚯蚓种群数量以及个体数量明显高于单施无机肥的土壤^[80-81]。

2.3.3 土壤酶 对土壤酶活性的影响,研究认为长期秸秆粪肥或氮磷钾肥能提高潮土中土壤蔗糖酶、脲酶、磷酸酶、蛋白酶、转化酶的活性,降低过氧化氢酶的活性;且施用粪肥可以提高土壤脱氢酶活性,降低土壤中微生物的污染^[84];在褐潮土上,氮磷钾肥与有机肥长期配合施用能明显增强土壤中转化酶、磷酸酶、脲酶、蔗糖酶、蛋白酶、磷酸酶的活性;降低土壤中过氧化氢酶的活性^[52,83]。但在无石灰性潮土上,长期单施有机肥或与无机肥配施均能显著增强土壤中脲酶、蛋白酶、磷酸酶和蔗糖酶的活性^[82];在黄土地上,长期施肥土壤的脲酶、碱性磷酸酶、转化酶和过氧化氢酶活性均明显提高,其中有有机肥(秸秆、厩肥)配施的效果最好^[85]。与不施肥对照相比,单施有机肥或者与无机肥配施均可显著提高潮土中土壤微生物的生物量碳和转化酶的活性^[69]。长期的不同施肥制度下,黑土磷酸酶活性依次为:中性磷酸单酯酶>磷酸二酯酶>磷酸三酯酶;其中施用有机肥可以降低中性磷酸单酯酶活性,提高磷酸二酯酶活性,施用无机肥则相

反;而施肥对磷酸三酯酶活性的影响较小^[86]。也有研究认为长期定位施肥对土壤酶活性影响不显著,在太湖地区水稻土上,不同施肥制度对稻、麦两季 5 种土壤酶活性影响没有明显差异;有机肥与无机肥配施土壤的酸性磷酸酶活性仅在水稻生长季高于小麦生长季^[87]。

2.3.4 土壤农药 长期施肥对农药在土壤中的降解有较大的影响,在褐潮土上,氮磷钾肥与有机肥配施明显加快莠去津在土壤中的降解速率^[88];无论在好氧或厌氧条件下,在红壤上有机肥单施或有机无机配施能显著加速五氯酚(PCP)在土壤中的消解^[89]。在含有莠去津的土壤上,施氮磷钾肥对褐潮土的土壤呼吸表现出一定的促进作用,而且这种作用随土壤中莠去津浓度的增大而增强;氮磷钾肥配施秸秆肥也表现出明显的促进作用,但是氮磷钾肥与有机粪肥配施则表现为一定的抑制作用^[90]。

2.3.5 土壤重金属 施肥对土壤重金属的含量也有较大的影响,研究表明长期施用磷肥和高量有机肥会增加棕壤土壤中 Cd 的含量,同时 Cd 的累积与施肥密切相关^[91];在潮土上,单施氮肥对土壤重金属影响不大;但配施有机肥后,土壤的 Zn、Hg 含量较高;施磷肥增加了土壤重金属含量,特别是 Cu、Zn、Hg 增加幅度较大^[92]。在垆土、潮土上,氮磷肥与有机肥配施、氮磷肥+秸秆覆盖、氮磷肥+有机肥+秸秆覆盖对土壤 Cd、Cr、Ni 的影响不显著,但能增加土壤 Cu、Zn、As、Pb 的含量,降低土壤 Hg 含量^[93-94];在棕壤上,化肥配施高量有机肥能增大 0~20 cm 土层土壤的 Cu、Zn、Pb、Cd 的含量^[95]。在湖南桃园、祁阳和河南封丘的长期定位研究表明,在 0~100 cm 土层深的土壤重金属 Hg 的含量主要受成土母质的影响,施化肥和有机肥不会增加土壤 Hg 含量^[96]。

未来农田土壤生态、环境的健康可持续发展、粮食安全、气候变化等均是国内外关注的热点问题,均与土壤化学、生物学效应密切相关,应进一步深入研究不同施肥制度下对各种土壤类型的化学效应、生物学效应,以便从土壤学的深层机理上研究解决上述问题的关键调控环节,从而为探寻合适的解决途径提供支撑。

3 未来长期定位施肥在土壤领域研究的重点及发展趋势

通过对国内外长期定位施肥对土壤效应的研究分析可以看出,不同的施肥制度对土壤物理性质、养分状况、土壤动物、微生物以及酶的活性等影响不同。

均衡配施氮磷钾肥或无机有机肥配施一方面改善了土壤的物理性状,如降低体积质量、改善土壤结构、提高土壤团聚体含量以及土壤对水分的保蓄能力等;另一方面在改变土壤的养分状况,如提高土壤有机质、速效氮、磷、钾的含量,提高土壤蔗糖酶、脲酶、磷酸酶、蛋白酶、转化酶的活性,加快农药在土壤中的降解速率等土壤特性的同时,施用有机肥又加大了土壤重金属累积量。

因此,未来长期定位施肥对土壤效应的研究应集中在以下几个方面:

(1) 不同施肥制度对土壤各种效应的研究上取得了许多有价值的研究成果,如上所述,今后还要从机理和机制上进一步深入研究和探讨,来揭示和阐述施肥后产生这些结果的原因。同时,我国幅员辽阔,气候生态类型以及土壤类型多样,各个长期定位研究地点之间的气候类型、土壤类型差异较大,大量的研究证明有机肥无机肥配施以及氮磷钾化肥配施均能改善土壤的某些理化性质,获得较高的土地生产力。但是从地力培育的角度去研究土壤理化特性改变的机理,当前研究和报道的相对较少。

(2) 大量研究表明,水体富营养化、地下水污染以及温室效应等造成的全球生态环境的恶化主要原因之一是农田过量施用化肥,超过了作物对养分的需求量^[97];在过量施肥条件下,改进种植制度可以减少对环境的负面影响^[98-99]。因此,研究在不同施肥制度和种植制度下,获得作物的高产、高效的同时,减少对环境的负面影响将成为未来长期定位研究的热点领域。

(3) 随着科技的不断发展,新技术、新兴学科的诞生,不仅为进一步研究长期定位施肥提供了更为有利的工具,同时也拓宽了研究土壤领域的广度和深度,土壤不仅要生产出健康的食物,同时还要减少对环境的影响以及应对未来全球气候、生态条件下土壤自身功能的改善等。

总之,长期定位施肥对土壤各方面的影响一直是科研人员关注的领域,随着对长期定位研究的不断深入,人类对作物产量、品质要求的不断提高以及气候、环境等因素的变化,长期定位施肥在土壤领域的研究将成为继续关注的热点领域。

参考文献:

- [1] Rudrappa L, Purakayastha TJ, Dhyani Singh, Bhadrarays S. Long-term manuring and fertilization effects on soil organic carbon pools in a typic Haplustept of semi-arid sub-tropical India. *Soil and Tillage Res.*, 2006, 88(2):180-192

- [2] Jouany C, Colomb B, Bos M. Long-term effects of potassium fertilization on yields and fertility status of calcareous soils of south-west France. *European J. Agr.*, 1996, 12(5): 287-294
- [3] Zsolnay A, Görlitz H. Water extractable organic matter in arable soils: Effects of drought and long-term fertilization. *Soil Bio. Biochemi.*, 1994, 26(9): 1 257-1 261
- [4] Juan G, Ramón R. Long-term fertilization affects on soil organic matter quality and dynamics under different production systems in semiarid Pampean soils. *Soil and Tillage Res.*, 2006, 87(1): 72-79
- [5] Lugato E, Simonetti G, Morari F, Nardi S, Berti A, Giardini L. Distribution of organic and humic carbon in wet-sieved aggregates of different soils under long-term fertilization experiment. *Geoderma*, 2010, 157(3): 80-85
- [6] Raun W R, Johnson G V, Phillips S B, Westerman R L. Effect of long-term N fertilization on soil organic C and total N in continuous wheat under conventional tillage in Oklahoma. *Soil and Tillage Res.*, 1998, 47(4): 323-330
- [7] Manna M C, Swarup A, Wanjari R H, Mishra B, Shahi D K. Long-term fertilization, manure and liming effects on soil organic matter and crop yields. *Soil and Tillage Res.*, 2007, 94(2): 397-409
- [8] Menéndez S, López-Bellido R J, Benítez-Vega J, González-Murua C, López-Bellido L, Estavillo J M. Long-term effect of tillage, crop rotation and N fertilization to wheat on gaseous emissions under rainfed Mediterranean conditions. *European J. Agr.*, 2008, 28(4): 559-569
- [9] McAndrew D W, Malhi S S. Long-term N fertilization of a solonchic soil: Effects on chemical and biological properties. *Soil Bio. Biochemi.*, 1992, 24(7): 619-623
- [10] Chang H L, Chang Y P, Ki D P, Weon T J, Pil J K. Long-term effects of fertilization on the forms and availability of soil phosphorus in rice paddy. *Chemosphere*, 2004, 56(3): 299-304
- [11] Hütsch B W, Webster C P, Powlson D S. Long-term effects of nitrogen fertilization on methane oxidation in soil of the broadbalk wheat experiment. *Soil Bio. Biochemi.*, 1993, 25(10): 1 307-1 315
- [12] Hütsch B W. Methane oxidation in soils of two long-term fertilization experiments in Germany. *Soil Bio. Biochemi.*, 1996, 28(6): 773-782
- [13] Livia B, Frank B. Soil microbiological and biochemical properties affected by plant growth and different long-term fertilization. *European J. Soil Bio.*, 2006, 42(1): 1-1
- [14] Karin E, Karin N, Stefan B, Harald C, John S, Sara H. Long-term impact of fertilization on activity and composition of bacterial communities and metabolic guilds in agricultural soil. *Soil Bio. Biochemi.*, 2007, 39(1): 106-115
- [15] Arend T, Daan B, Janne O, Ron G M. Long-term effects of fertilization regime on earthworm abundance in a semi-natural grassland area. *Pedobiologia*, 2006, 50(5): 427-432
- [16] Miloslavimek J K. Carbon and nitrate utilization in soils: The effect of long-term fertilization on potential denitrification. *Geoderma*, 1998, 83(3): 269-280
- [17] Christopher N, Mareike J, Joachim R, Elke N, Liliane R. The impact of farming practice on soil microorganisms and arbuscular mycorrhizal fungi: Crop type versus long-term mineral and organic fertilization. *Applied Soil Ecology*, 2010, 46(1): 134-142
- [18] Mårtensson A M, Carlgren K. Impact of phosphorus fertilization on VAM diaspores in two Swedish long-term field experiments. *Agri. Eco. Envi.*, 1994, 47(4): 327-334
- [19] 王锋有, 董旭. 长期定位施肥对耕地土壤物理性状与玉米产量的影响. *农业科技与装备*, 2008, 176(2): 19-21
- [20] 陈修斌, 邹志荣. 河西走廊旱塬长期定位施肥对土壤理化性质及春小麦增产效果的研究. *土壤通报*, 2005, 36(6): 888-890
- [21] Huang S, Peng X X, Huang Q R, Zhang W J. Soil aggregation and organic carbon fractions affected by long-term fertilization in a red soil of subtropical China. *Geoderma*, 2010, 154(3): 364-369
- [22] 张靓, 梁成华, 杜立宇, 刘桂琴, 陈新之. 长期定位施肥条件下蔬菜保护地土壤微团聚体组成及有机质状况分析. *沈阳农业大学学报*, 2007, 38(3): 331-335
- [23] 刘永辉, 崔德杰. 长期定位施肥对潮土分形维数的影响. *土壤通报*, 2005, 36(3): 324-327
- [24] 秦鱼生, 涂仕华, 王正银, 冯文强, 孙锡发. 长期定位施肥下紫色土土壤微形态特征. *生态环境学报*, 2009, 18(1): 352-356
- [25] 史吉平, 张夫道, 林葆. 长期定位施肥对土壤有机无机复合状况的影响. *植物营养与肥料学报*, 2002, 8(2): 131-136
- [26] Fan T L, Stewart B A, Wang Y, Luo J J, Zhou G Y. Long-term fertilization effects on grain yield, water-use efficiency and soil fertility in the dryland of Loess Plateau in China. *Agri. Eco. & Envir.*, 2005, 106(4): 313-329
- [27] Zhang S L, Yang X Y, Martin W, Grip H, Lövdahl L. Changes in physical properties of a loess soil in China following two long-term fertilization regimes. *Geoderma*, 2006, 136(3): 579-587
- [28] Cai Z C, Qin S W. Dynamics of crop yields and soil organic carbon in a long-term fertilization experiment in the Huang-Huai-Hai Plain of China. *Geoderma*, 2006, 136(3): 708-715
- [29] Zhang H M, Wang B R, Xu M G, Fan T L. Crop yield and soil responses to long-term fertilization on a red soil in southern China. *Pedosphere*, 2009, 19(2): 199-207

- [30] Huang S, Zhang WJ, Yu XC, Huang QR. Effects of long-term fertilization on corn productivity and its sustainability in an Ultisol of southern China. *Agri. Eco. Envi.*, 2010, 138(1): 44–50
- [31] Guo SL, Dang TH, Hao MD. Phosphorus changes and sorption characteristics in a calcareous soil under long-term fertilization. *Pedosphere*, 2008, 18(2): 248–256
- [32] 韩志卿, 张电学, 陈洪斌, 常连生, 于玉桥, 刘东强, 王介元. 长期定位施肥小麦-玉米轮作制度下土壤有机质质量演变规律. *河北职业技术师范学院学报*, 2003, 17(4): 10–14
- [33] 宇万太, 赵鑫, 马强, 周桦. 长期定位试验下施肥对潮棕壤活性碳库及碳库管理指数的影响. *土壤通报*, 2008, 39(3): 539–544
- [34] 陈茜, 梁成华, 杜立宇, 陈新之, 王峰. 长期定位施肥对设施土壤团聚体内颗粒有机碳含量的影响. *黑龙江农业科学*, 2008(4): 37–39
- [35] 刘树堂, 刘培利, 迟睿, 王锋, 魏志刚. 长期定位施肥对无石灰性潮土 0~100 cm 土层 $\text{NO}_3\text{-N}$ 动态变化的影响. *水土保持研究*, 2005, 12(5): 153–155
- [36] Yang SM, Li FM, Suo DR, Guo TW, Wang JG, Song BL, Jin SL. Effect of long-term fertilization on soil productivity and nitrate accumulation in Gansu oasis. *China Agri. Sci.*, 2006, 5(1): 57–67
- [37] 高晓宁, 韩晓日, 刘宁. 长期定位施肥对棕壤有机氮组分及剖面分布的影响. *中国农业科学*, 2009, 42(8): 2 820–2 827
- [38] Ju XT, Liu XJ, Zhang FS, Christie P. Effect of Long-Term fertilization on organic nitrogen forms in a calcareous alluvial soil on the north China plain. *Pedosphere*, 2006, 16(2): 224–229.
- [39] Huang QR, Hu F, Huang S, Li HX, Yuan YH, Pan GX, Zhang WJ. Effect of long-term fertilization on organic carbon and nitrogen in a subtropical paddy soil. *Pedosphere*, 2009, 19(6): 727–734
- [40] 倪康, 丁维新, 蔡祖聪. 有机无机肥长期定位试验土壤小麦季氨挥发损失及其影响因素研究. *农业环境科学学报*, 2009, 28(12): 2 614–2 622
- [41] 程艳丽, 程希雷, 邹德乙. 棕壤长期定位施肥 15 年后磷素形态及有效性. *土壤通报*, 2009, 40(6): 1 362–1 367
- [42] Hu JL, Lin XG, Wang JH, DaiJ, Cui XC, Chen RR, Zhang JB. Arbuscular mycorrhizal fungus enhances crop yield and P-uptake of maize (*Zea mays* L.): A field case study on a sandy loam soil as affected by long-term P-deficiency fertilization. *Soil Bio. Biochemi.*, 2009, 41(12): 2 460–2 465
- [43] 雷明江, 杨玉华, 杜昌文, 王火焰, 周健民, 陈小琴, 田应兵. 长期定位施肥试验中土壤可溶性有机磷的变化规律及其有效性研究. *植物营养与肥料学报*, 2007, 13(5): 844–849
- [44] 张敬敏, 李文香, 桑茂鹏, 刘树堂. 长期定位施肥对非石灰性潮土磷素吸附与解吸的影响. *山东农业科学*, 2008(3): 79–82
- [45] 介晓磊, 杨先明, 黄绍敏, 刘芳, 刘世亮, 宝德俊, 化党领, 李有田. 石灰性潮土长期定位施肥对小麦根际无机磷组分及其有效性的影响. *中国土壤与肥料*, 2007(2): 53–59
- [46] 杜立宇, 梁成华. 长期定位施肥对蔬菜保护地土壤无机磷组分的影响. *土壤通报*, 2009, 40(4): 52–54
- [47] 韩晓日, 马玲玲, 王晔青, 王颖, 战秀梅. 长期定位施肥对棕壤无机磷形态及剖面分布的影响. *水土保持学报*, 2007, 21(4): 51–55
- [48] 刘树堂, 姚源喜, 隋方功, 孟祥霞, 王秀珍. 长期定位施肥对土壤磷、钾素动态变化的影响. *生态环境*, 2003, 12(4): 452–455
- [49] 秦鱼生, 涂仕华, 孙锡发, 冯文强, 廖鸣兰. 长期定位施肥对碱性紫色土磷素迁移与累积的影响. *植物营养与肥料学报*, 2008, 14(5): 880–885
- [50] 张鸿龄, 梁成华, 孙铁珩. 长期定位施肥对保护地土壤供钾特性的影响. *生态学杂志*, 2007, 26(9): 1 339–1 343
- [51] 刘代欢, 杜立宇, 梁成华, 刘学, 刘丽. 长期定位施肥对蔬菜保护地土壤钾素 Q/I 特性的影响. *湖南农业大学学报(自然科学版)*, 2009, 35(1): 43–47
- [52] 孙瑞莲, 赵秉强, 朱鲁生, 徐晶, 张夫道. 长期定位施肥对土壤酶活性的影响及其调控土壤肥力的作用. *植物营养与肥料学报*, 2003, 9(4): 406–410
- [53] 林明和, 郑庆柱, 刘永辉, 崔德杰. 长期定位施肥对土壤钾素吸附动力学的影响. *青岛农业大学学报(自然科学版)*, 2007, 24(2): 113–116
- [54] 崔德杰, 刘永辉, 隋方功, 张玉龙. 长期定位施肥对土壤钾素形态的影响. *莱阳农学院学报*, 2005, 22(3): 165–167
- [55] 姚源喜, 刘树堂, 邹恒福. 长期定位施肥对非石灰性潮土钾素状况的影响. *植物营养与肥料学报*, 2004, 10(3): 241–244
- [56] 刘代欢, 梁成华, 杜立宇, 刘丽, 刘学. 长期定位施肥对蔬菜保护地土壤 K^+ 吸附动力学的影响. *西北农业学报*, 2009, 18(4): 202–207
- [57] 崔德杰, 刘永辉, 隋方功, 张玉龙. 长期定位施肥对非石灰性潮土 K^+ 解吸动力学的影响. *植物营养与肥料学报*, 2006, 12(2): 213–218
- [58] 樊军, 郝明德. 旱地长期定位施肥土壤剖面中有效硫累积及其影响因素. *植物营养与肥料学报*, 2002, 8(1): 86–90
- [59] 高树涛, 李文香, 钟希杰, 刘树堂, 殷允春. 长期定位施肥对非石灰性潮土全硫动态变化的影响. *中国农学通报*, 2008, 24(10): 306–309
- [60] 杨丽娟, 李天来, 曲慧, 接晓辉. 长期定位施肥对菜田土壤有效铁及相关因素影响. *沈阳农业大学学报*, 2007, 38(6): 821–824
- [61] 任顺荣, 邵玉翠, 高宝岩, 王德芳. 长期定位施肥对土壤有效硼含量的影响. *中国生态农业学报*, 2006, 14 (3): 56–57
- [62] 任顺荣, 邵玉翠, 高宝岩, 王德芳. 长期定位施肥对土壤微量元素含量的影响. *生态环境*, 2005, 14(6): 921–924

- [63] 陈建国, 张杨珠, 曾希柏, 周卫军. 长期定位施肥对湖南水稻土有效态微量养分的影响. 湖南农业大学学报, 2008, 34(5): 591-596
- [64] 董玉红, 欧阳竹, 李鹏, 张磊. 长期定位施肥对农田土壤温室气体排放的影响. 土壤通报, 2007, 38(1): 97-100
- [65] Zheng JF, Zhang XH, Li LQ, Zhang PJ, Pan GX. Effect of long-term fertilization on C mineralization and production of CH₄ and CO₂ under anaerobic incubation from bulk samples and particle size fractions of a typical paddy soil. Agri. Eco. Envi., 2007, 120(2): 129-138
- [66] 接晓辉, 杨丽娟, 周崇峻, 曲慧, 曲全威. 长期定位施肥对保护地土壤腐殖质含量的影响. 农业科技与装备, 2008, 177(3): 32-34
- [67] 史吉平, 张夫道, 林葆. 长期定位施肥对土壤腐殖质结合形态的影响. 土壤肥料, 2002(6): 8-12
- [68] 张鸿龄, 梁成华, 杜立宇, 陈新之, 李纪柏. 长期定位施肥对保护地土壤腐殖质结合形态的影响. 应用生态学报, 2006, 17(5): 831-834
- [69] 王俊华, 林先贵, 尹睿, 褚海燕, 陈梅生, 戴珏, 钦绳武. 长期定位施肥对潮土腐植酸含量及其相关因素的影响. 植物营养与肥料学报, 2009, 15(2): 352-357
- [70] 王薇, 李絮花, 章燕平, 林治安, 赵朋. 长期定位施肥对盐化潮土土壤腐殖质组分的影响. 山东农业科学, 2008(3): 65-67
- [71] 史吉平, 张夫道, 林葆. 长期定位施肥对土壤腐殖质理化性质的影响. 中国农业科学, 2002, 35(2): 174-180
- [72] 王英, 王爽, 李伟群, 魏丹, 周宝库, 王玉峰. 长期定位施肥对土壤生理转化菌群的影响. 生态环境, 2008, 17(6): 2 418-2 420
- [73] 辜运富, 张小平, 涂仕华, 孙锡发, Kristina L. 长期定位施肥对紫色水稻土硝化作用及硝化细菌群落结构的影响. 生态学报, 2008, 28(5): 2 123-2 130
- [74] Hu JL, Lin XG, Wang JH, Chu HY, Yin R, Zhang JB. Population size and specific potential of P-mineralizing and solubilizing bacteria under long-term P-deficiency fertilization in a sandy loam soil. Pedobiologia, 2009, 53(1): 49-58
- [75] Wei D, Yang Q, Zhang JZ, Wang S, Chen XZ, Zhang XL, Li WQ. Bacterial community structure and diversity in a black soil as affected by long-term fertilization. Pedosphere, 2008, 18(5): 582-592
- [76] Shen JP, Zhang LM, Guo JF, Ray J L, He JZ. Impact of long-term fertilization practices on the abundance and composition of soil bacterial communities in Northeast China. Applied Soil Eco., 2010, 46(1): 119-124
- [77] 王俊华, 胡君利, 林先贵, 崔向超, 戴珏, 尹睿, 钦绳武. 长期定位施肥对潮土微生物活性和小麦养分吸收的影响. 土壤通报, 2010, 41(4): 807-810
- [78] Zheng SX, Hu JL, Chen K, Yao J, Yu ZN, Lin XG. Soil microbial activity measured by microcalorimetry in response to long-term fertilization regimes and available phosphorous on heat evolution. Soil Bio. Biochemi., 2009, 41(10): 2 094-2 099
- [79] 刘树堂, 刘培利, 韩晓日, 隋方功, 迟睿. 长期定位施肥对无石灰性潮土生物环境影响研究. 水土保持通报, 2006, 26(1): 26-30
- [80] Xiang CG, Zhang PJ, Pan GX, Qiu DS, Chu QH. Changes in diversity, protein content, and amino acid composition of earthworms from a paddy soil under different long-term fertilizations in the Tai Lake Region, China. Acta Ecologica Sinica, 2006, 26(6): 1 667-1 673
- [81] 林英华, 黄庆海, 刘骅, 彭畅, 朱平, 张树清, 张夫道. 长期耕作与长期定位施肥对农田土壤动物群落多样性的影响. 中国农业科学, 2010, 43(11): 2 261-2 269
- [82] 秦韧, 杨团结, 刘树堂, 王万志, 韩晓日. 长期定位施肥对无石灰性潮土酶活性的影响. 中国生态农业学报, 2007, 15(1): 33-36
- [83] 孙瑞莲, 赵秉强, 朱鲁生, 徐晶, 张夫道. 长期定位施肥田土壤酶活性的动态变化特征. 生态环境, 2008, 17(5): 2 059-2 063
- [84] Xie WJ, Zhou JM, Wang HY, Chen XQ, Lu ZH, Yu JB, Chen XB. Short-term effects of copper, cadmium and cypermethrin on dehydrogenase activity and microbial functional diversity in soils after long-term mineral or organic fertilization. Agri. Eco. Environ., 2009, 129(4): 450-456
- [85] 高瑞, 吕家珑. 长期定位施肥土壤酶活性及其肥力变化研究. 中国生态农业学报, 2005, 13(1): 143-145
- [86] 刘耀鹏, 武志杰, 陈利军, 张丽莉, 史云峰. 长期定位施肥对黑土磷酸酶活性的影响. 土壤通报, 2010, 41(1): 60-63
- [87] 唐玉姝, 慈恩, 颜廷梅, 魏朝富, 杨林章, 沈明星. 长期定位施肥对太湖地区稻麦轮作土壤酶活性的影响. 土壤, 2008, 40(5): 732-737
- [88] 王军, 朱鲁生, 谢慧, 宋艳, 孙瑞莲, 张夫道. POPs 污染物莠去津在长期定位施肥土壤中的残留动态. 环境科学, 2007, 28(12): 2 821-2 827
- [89] 王诗生, 卞永荣, 王芳, 杨兴伦, 李忠佩, 蒋新. 五氯酚在长期定位施肥土壤中的残留动态. 土壤, 2009, 41(3): 442-447
- [90] 王军, 朱鲁生, 谢慧, 孙瑞莲, 徐荣娟, 徐琦峰, 张夫道. 莠去津对四种长期定位施肥土壤的呼吸影响. 农业环境科学学报, 2006, 25(5): 1 285-1 288
- [91] 韩晓日, 王颖, 杨劲峰, 付时丰, 刘宁. 长期定位施肥对土壤中镉含量的影响及其时空变异研究. 水土保持学报, 2009, 23(1): 107-110
- [92] 任顺荣, 邵玉翠, 高宝岩, 王德芳. 长期定位施肥对土壤重金属含量的影响. 水土保持学报, 2005, 19(4): 96-99

- [93] 王改玲, 李立科, 郝明德, 张萌. 长期定位施肥对土壤重金属含量的影响及环境评价. 水土保持学报, 2010, 24(3): 60–63
- [94] Li BY, Huang SM, Wei MB, Zhang HL, Shen AL, Xu JM, Ruan XL. Dynamics of soil and grain micronutrients as affected by long-term fertilization in an aquic inceptisol. *Pedosphere*, 2010, 20(6): 725–735
- [95] 李双异, 刘赫, 汪景宽. 长期定位施肥对棕壤重金属全量及其有效性影响. 农业环境科学学报, 2010, 29 (6): 1 125–1 129
- [96] Zheng YM, Liu YR, Hu HQ, He JZ. Mercury in soils of three agricultural experimental stations with long-term fertilization in China. *Chemosphere*, 2008, 72(9): 1 274–1 278
- [97] Nie SW, Gao WS, Chen YQ, Sui P, Eneji AE. Review of current status and research approaches for nitrogen pollution in farmlands. *China Agri. Sci.*, 2009, 8(7): 843–849
- [98] 聂胜委, 陈源泉, 高旺盛, 隋鹏, 李媛媛, 黄坚雄. 玉米与不同功能植物间作对环境的影响的研究初探. 农业环境科学学报, 2009, 28(10): 2 204–2 210
- [99] Nie SW, Gao WS, Chen YQ, Sui P, Eneji AE. Use of life cycle assessment methodology for determining phytoremediation potentials of maize-based cropping systems in fields with nitrogen fertilizer over-dose. *J. Cleaner Production*, 2010, 10: 1–5

Effects of Long-term Located Fertilization on Soils: A Review

NIE Sheng-wei^{1,2}, HUANG Shao-min¹, ZHANG Shui-qing¹, GUO Dou-dou¹,
ZHANG Qiao-ping¹, ZHANG Yu-ting¹, BAO De-jun¹, CHEN Yuan-quan²

(1 *National Soil Fertility and Fertilizer Effects Long-term Monitoring Network-Zhengzhou Fluvo-aquic Station/Key Field Scientific Observation Station of Zhengzhou Fluvo-aquic Soils Ecology Environment, Ministry of Agriculture, Institute of Plant Nutrient and Environmental Resources, Henan Academy of Agricultural Science, Zhengzhou 450002, China;* 2 *Research Center of Circular Agriculture, China Agricultural University, Beijing 100193, China*)

Abstract: In recent years more and more attentions have been paid to the researches of long-term located fertilization, because it could experience more climate types and greater changes of soil functions as well as could obtain more accurate results, etc. This paper reviewed the effects of long-term located fertilization on soil physical and chemical characteristics, nutrients, microbes and enzymes and proposed the future research trends and focuses.

Key words: Long-term Fertilization, Soil, Effects, Review