



我国肥料使用中存在的问题及对策

赵玉芬*, 尹应武

厦门大学化学化工学院, 厦门 361005

* 联系人, E-mail: yfzhao@xmu.edu.cn

2015-07-22 收稿, 2015-09-07 接受, 2015-11-24 网络版发表



摘要 从我国化肥用量、结构和肥料管理 3 个角度出发, 阐述了化肥生产和使用的基本现状以及存在的问题. 必须通过调整肥料养分和产品类型来均衡作物必需的营养元素; 通过肥料产业发展规划和政策法规管理来实现肥料可持续发展; 应当以提高肥料利用率为核心, 实施“以质量替代数量”的发展战略. 建议通过技术措施、管理法规和科技创新来建立适合中国国情的绿色肥料保障体系. 围绕绿色肥料, 提出了科技界在构建绿色肥料保障体系过程中, 需要重视和解决的关键科学问题: 研究植物矿质营养学说与有机营养学说的融合; 深入探究新型肥料作用机理与新产品创制技术, 采用新技术革新大宗基础化肥; 加强“肥料-土壤-植物”之间养分转化规律科学问题的梳理; 探讨有机肥开发新的技术途径; 呼吁创立以科学家、农学家、工业专家、企业家、政府主管部门共同主导的“科学的中国肥料体系”.

关键词

化学肥料
环境保护
绿色制造
中低品位磷矿

化肥是农业持续发展的物质基础, 是粮食的“粮食”. 20 世纪, 粮食单产的 1/2、总产的 1/3 来自化肥的贡献. 全国化肥试验网表明, 施用化肥可提高水稻、玉米、棉花单产 40%~50%, 提高小麦、油菜等越冬作物单产 50%~60%. 21 世纪初化肥对粮食总产的贡献率, 小麦为 30.5%、玉米为 25.3%、水稻为 18.7%. 21 世纪前 10 年与 20 世纪相比, 化肥对粮食增产的贡献率虽然有所下降, 但对 3 大主粮总产量的贡献率仍占 1/4^[1]. 化肥对保证粮食安全起了重要作用.

1 肥料使用的国内外现状

1.1 国内现状

当前, 我国肥料当季利用率, 氮肥仅为 30%~35%, 磷肥只有 10%~25%, 钾肥利用率 40%~50%. 我国是肥料资源约束型国家, 人均磷、钾矿产资源为世界平均的 39% 和 7%. 连续大量施用化肥, 不仅浪费资源, 增加农业生产成本, 也带来水体富营养化、

温室气体排放、土壤酸化和病虫害加重等一系列环境问题.

2013 年我国商品肥料实物产量高达 1.8 亿吨, 按 2013 年底大陆人口 13.6 亿计算, 商品肥料人均年实物产量高达 132 kg. 2030 年前后, 我国人口将达最大值, 粮食总需求将达 7.8 亿吨, 未来 17 年我国粮食平均年增长率还要达到 1.6%. 我国肥料产量是否还要继续增长? 这是迫切需要研究的问题.

1.2 与国外比较

据国际肥料工业协会(IFA)《全球肥料供应和贸易 2013-2014》介绍: 2013 年全球养分需求得到了充足供应, 全球合成氨、磷矿石和钾盐产量合计达到 2.344 亿吨纯养分. 2013 年养分销售量达到 2.32 亿吨纯养分, 农用化肥销量占总销量的 78%, 估计近于 1.79 亿吨纯养分, 工业消费和去向不明达 5300 万吨. 2013 年我国化肥产量 7030 万吨, 占全球 2.344 亿吨总产量的 30% 以上, 我国肥料消费量 5912 万吨, 占全球肥料总消费 1.79 亿吨的 33%^[2].

引用格式: 赵玉芬, 尹应武. 我国肥料使用中存在的问题及对策. 科学通报, 2015, 60: 3527-3534

Zhao Y F, Yin Y W. Key scientific problems on establishing green fertilizer insurance system (in Chinese). Chin Sci Bull, 2015, 60: 3527-3534, doi: 10.1360/N972015-00672

20 世纪 80 年代工业发达国家化肥用量达高峰后, 化肥施用量均逐渐下降. 国外经济发达了, 用肥量减少, 而粮食产量不降反增. 为什么我国经济发达了, 化肥反而越用越多, 而作物产量的增幅却不断下降? 这反映了肥料生产使用存在问题, 在施肥量增加到一定水平后, 增(肥)量增产的模式已经走到尽头, 必须转向增效增产的新模式——“以质量代替数量”.

2 我国化肥使用中存在的问题

2.1 大部分地区施肥量过大, 但不同区域、作物间肥料用量差异大

世界粮农组织(FAO)2013 年统计年报(FAO Statistical Yearbook 2013)统计了 2009 年 167 个国家级地区耕地(可耕地及多年生作物耕地)的施肥水平^[3]. 表 1 选择了其中 11 个国家作为比较.

由表 1 可知, 2009 年我国耕地的施肥水平为世界平均水平的 4 倍, 为美国的 414%、以色列的 280%、德国的 250%、英国的 187%、日本的 160%、韩国的 139%、印度的 286%、巴西的 400%、俄罗斯的 29 倍. 在 FAO 统计的 167 个国家与地区中排名第 6 位. 若按《中国统计年鉴 2013》, 我国 2009 年化肥施用量 5404.4 万吨, 耕地(总资源)2008 年底为 1.217159 亿公顷, 2009 年我国耕地的施肥水平为 444 kg/hm², 与 FAO 数据比较仅差 0.4%^[4].

我国耕地的施肥水平表现在作物品种及地区的差异, 据中国农业大学大规模农户调查, 2007~2009

年全国果树的平均施肥水平为 1226 kg/hm², 山东省为 1643 kg/hm², 湖北省仅 405 kg/hm²; 全国蔬菜平均施肥水平 697 kg/hm², 广东为 1045 kg/hm², 四川仅 295 kg/hm²; 大田作物水稻全国平均施肥水平 332 kg/hm², 广西为 424 kg/hm², 黑龙江为 240 kg/hm²; 小麦全国平均为 352 kg/hm², 宁夏为 443 kg/hm², 甘肃为 207 kg/hm²; 玉米全国平均 316 kg/hm², 湖南为 477 kg/hm², 黑龙江为 263 kg/hm². 作物品种或地区间差别均约 4 倍^[1].

总体来说我国单位面积耕地施肥水平过大, 但也有施肥不足的地区及作物品种. 目前, 小麦、玉米、水稻 3 大粮食作物氮肥施用量超过合理施肥量(225 kg/hm²)的比例分别为 37%, 43%和 22%^[1]; 因过量施肥, 2003~2013 年我国氮肥利用率仅 30%~35%^[5]; 我国过量施氮占全球总过量氮的 33%^[6].

2005 年全国化肥施用环境成本(修复环境所需费用)188 亿元, 其中: 大气污染 37.8 亿元, 土壤污染 51.4 亿元, 水体污染 99.1 亿元. 化肥过量施用对水体污染的修复成本最高, 其次为对土壤的污染. 1990~2005 年全国化肥施用环境成本年均增长 7.1%. 2005 年农用化肥使用量 4766.2 万吨, 而 2013 年 5912 万吨, 又增加了 23.8%, 施用环境成本更高^[7].

2.2 化肥品种过“精”, 导致作物养分失衡

(i) 化学肥料中营养元素的失衡. 据统计, 2012 年全国 55 个大中型复合肥料厂复合肥总产量 3260 万吨, 占全国复合(混)厂总产量 5320 万吨的 61%. 55 个大中型厂的复合肥产品平均养分 N 15.27%, P₂O₅ 16.53%,

表 1 单位耕地面积化肥消费量(施肥水平) (kg/hm²)^{a)}
Table 1 Chemical fertilizer consumption unit cultivated area (kg/hm²)

国别	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	总量	N:P ₂ O ₅ :K ₂ O
世界平均	69.3	25.8	14.8	109.9	1:0.37:0.21
中国	296.8	109.4	39.7	445.9	1:0.37:0.13
韩国	136.8	89.7	95.1	321.6	1:0.66:0.70
日本	120.1	106.0	45.0	271.1	1:0.88:0.38
以色列	94.4	16.2	48.9	159.5	1:0.17:0.52
英国	166.8	30.2	41.2	238.2	1:0.18:0.25
德国	129.2	19.4	29.9	178.5	1:0.15:0.23
法国	98.3	20.6	21.3	140.2	1:0.21:0.22
美国	65.9	20.4	21.4	107.7	1:0.31:0.33
印度	91.7	42.5	21.4	155.6	1:0.47:0.23
巴西	35.8	41.0	34.9	111.7	1:1.15:0.97
俄罗斯	10.0	3.2	2.2	15.4	1:0.32:0.22

a) 来源: FAO Statistical Yearbook 2013

K_2O 13.55%, 总养分45.35%^[8]. 高浓度复合肥主要含N, P, K, Cl, S 5种植物营养, 而作物生长必不可少的营养元素有17种. 据2014年农业部全国农业技术推广中心田有国介绍, 最新估测我国耕地土壤中微量元素在缺素临界值以下的比例为: 钙63%, 镁53%, 硫40%, 硼84%, 铁31%, 锌42%, 锰48%, 铜25%, 钼59%, 与第2次土壤普查相比, 缺中、微量元素的耕地面积增加近1倍.

长期施用高氮复合肥、高浓度复合肥、高浓度磷复肥, 致使作物营养失调, 使作物抗病害、对不良气候条件的抗逆能力下降, 易遭受病虫害侵袭. 高产作物收获前易产生倒伏, 而倒伏是影响产量进一步提高的制约因素之一.

郑州大学开发的以脲硫酸分解磷矿, 不排出磷石膏, 并在造粒过程中添加钙镁磷肥、熔融磷钾肥, 所形成的中浓度、多营养、功能性复合肥, 含有 $N+P_2O_5+K_2O$ 总养分 36%~42%, $CaO + MgO$ 超过 5%, S +有效 SiO_2 超过 10%, 还含有一定量的Mn, Fe, Zn等微量营养元素. 脲硫酸功能性复肥是一种低成本、环保型复肥新工艺, 总养分 40%的脲硫酸功能性复肥, 其肥效超过 45%的普通复合肥, 是高浓度复合肥的替代性产品.

新兴农业技术大多把重点放在增加农作物的单位面积产量、缩短生长周期和加强抗病虫害上, 而很少关心营养问题, 致使果蔬个头越来越大, 而所含营养素越来越少.

美国某研究所对 1975~1997 年的 12 种新鲜蔬菜测定表明, 它们的平均钙含量减少 27%、铁减少 37%、维生素A减少 21%、维生素C减少 30%. 英国从 1930~1980 年, 50 年间蔬菜钙含量平均减少 19%、铁减少 22%、钾减少 14%; 美国德克萨斯州大学对美国农业部 1950~1999 年记录的近 50 年蔬菜、水果的营养数据进行对比, 这些蔬果的蛋白质、钙、磷、铁、维生素 B_2 、维生素C的含量平均减少 5%~40%不等^[9].

更营养、更有效的方法是通过施入营养全面的肥料, 使产出的农产品更营养, 营养平衡才能生产高品质农产品.

(ii) 无机肥料与有机肥料、含生物菌剂肥料的失衡. 2012 年我国无机肥料实物产量 16030 万吨, 商品化有机肥产量 1130 万吨、含生物菌剂有机肥料 340 万吨, 有机无机复混肥 870 万吨, 商品肥料总量超过 1.8 亿吨. 其中无机肥料占 87%, 其他类型肥料仅占 13%.

2012 年约有 3030 万吨氮磷钾养分以各种途径的有机肥形式返回耕地, 有机质资源带入养分占当年无机、有机总带入养分量的 37%. 研究表明, 当化肥和有机肥各提供植物营养 50%时, 化肥副作用不明显, 农药施用量较低; 化肥比例高于 50%后, 化肥副作用随之出现, 农药施用量急剧增加. 在欧盟目前所施用的各种类型的肥料中, 仅仅 1/2 来自化学肥料, 近 1/2 来自禽畜粪便^[10].

当前, 许多场合作物碳营养不足已成为高产限制因子. 通过施小分子含碳化合物肥补碳, 可降低化肥用量而获得高产. 与二氧化碳比较, 有机碳肥更具明显优越性, 它已是有机态, 无需消耗光能进行有机合成, 可促进作物更快地生长. 在各地大田应用中, 有机碳肥显示了高产、优质、抗病虫害等效果^[11,12].

(iii) 生理酸性肥料与碱性矿质肥料的失衡. 2012 年我国生产的 15388 万吨实物氮、磷肥中, 明确的生理酸性肥料有 11620 万吨, 占 75.5%, 生理中性或生理酸性肥料 3635 万吨, 占 23.6%, 而明确的生理碱性肥料 133 万吨仅占 0.9%; 足见 2012 年我国生产的肥料中生理酸性肥料与碱性矿质肥料相比, 严重失衡.

(iv) 速效与长效肥料的失衡. 当前, 我国商品肥料中长效的缓释肥、有机肥约占 8%, 速效化学肥料占 92%.

2.3 肥料管理政出多门

目前, 我国管理与指导肥料生产的有工业信息化部及相关的肥料协会; 颁发生产许可、制定监管肥料质量标准的有质检部门、工商管理部门; 进行肥料登记管理的有农业部; 肥料的流通管理、市场监管隶属工商部门; 肥料使用管理有各级农业部门. 这种肥料管理的多元化格局、政出多门、法律缺失, 造成多年来肥料生产、销售、使用等环节问题层出不穷. 因此, 必须确立肥料管理主体部门.

3 解决思路与政策建议

我国化肥使用中存在的 3 大主要问题是肥料施用过量、肥料结构失衡、肥料管理主体缺失. 建议肥料发展应当以提高肥料利用率为核心, 实施“以质量替代数量”的发展战略.

3.1 可立即实施的建议

实行养分资源综合管理, 进一步推广测土配方

施肥技术;大力发展复合肥料、专用肥料、BB肥料;推行氮素实时监控技术,大力推广环境友好缓释肥料、增值肥料等新型肥料;建立多元化、社会化的农化服务体系,引导农民正确施肥.

3.2 需进一步研究的技术和建议

在完成《我国化肥使用中存在的问题与对策》咨询评议项目的调研中,发现下列技术有一定的应用前景,有助于我国走向肥料强国.

(i) 中低品位磷矿、钾矿的综合利用. 磷矿是一种不可再生的战略资源. 随着富矿资源开采的日益枯竭,中国磷资源即将迈入以中低品位矿开发利用为主的时代. 因此,研究中低品位磷矿的合理利用和经济开发已成为磷及磷化工领域的前沿问题和当务之急.

郑州大学化工与能源学院前身郑州工学院、郑州工业大学自 1963 年至今半个世纪以来,一直从事低品位磷矿不经选矿直接利用的研究. 许秀成教授领导的课题组长期研究含镁熔融磷肥玻璃体结构,对各阴阳离子的配位关系及各阴离子电场强度进行深入研究,早在 1983 年就提出了玻璃结构因子(O_b/Y_b)来描述钙镁磷肥玻璃网络大小,建立了计算 O_b/Y_b 的数学表达式. “钙镁磷肥采用玻璃结构因子配料方法”在国内钙镁磷肥厂得到普遍采用,使磷矿可直接利用的品位从含 $P_2O_5 \geq 24\%$ 降至 $P_2O_5 \geq 14\%$,为矿山和磷肥企业创造了巨大的经济效益及社会效益,1985 年获得国家发明奖^[13,14].

为进一步合理利用中低品位磷矿、选矿尾矿、难溶性钾矿及矿山废弃物,我们将含镁熔融磷肥玻璃体结构扩展至含复杂组分的含磷铝硅酸盐玻璃体,可以扩展到包含 P_2O_5 , K_2O , CaO , MgO , SiO_2 , Fe_2O_3 , FeO , Al_2O_3 , B_2O_3 , MnO , CuO , ZnO , NiO , MoO_2 , CoO , TiO_2 等许多组分的复杂体系,建立了包含这些低化学稳定性复杂组分的玻璃体结构模型,推导出扩展的玻璃结构因子(O_b/Y_b)_{ox}及其计算式. 对高效利用低品位磷矿、磷矿选矿尾矿、难溶性钾矿和低品位磷钾矿制造能为农作物吸收的玻璃体肥料具有一定的理论意义和应用价值^[15]. 中低品位磷矿的合理利用,在国外也得到重视^[16,17].

(ii) 有机废弃物资源综合利用. 植物秸秆、腐植酸、牲畜粪便、农作物加工废弃物、沼气液都是极好的有机肥源,它们不但是天然的“碳源”,同时含有

植物生长必需的其他营养元素,是最佳有机“缓控释肥”. 针对现有化学制浆造纸工艺的严重环境污染和资源巨大浪费及我国竹子与农作物及加工废弃物未能高附加值利用的情况,本团队联合多所大学历经 8 年攻关,发明了具有投资和改造少、成本低、无污染、生态经济特点的“分段式”化学制浆清洁新工艺和有机缓控释肥的新工艺. 在工艺、工程、装备和产品等多方面进行了全面创新,解决了一直困扰制浆行业的传质、传热不均,克服了传统工艺大量用碱、高温蒸煮、使用硫化物、蒽醌有毒有害原料及工艺的弊端,结合了化学与机械制浆的优势,最大程度减少了制浆过程对纤维素、半纤维素的破坏,新工艺使浆料得率从现有工艺的 45%~50% 提高到 70%~85%. 在年产 10 万吨的示范生产线上已经证明新工艺用竹子可高效率、高收率生产出高质量纤维浆料,利用腐殖酸、纤维素或改性纤维素与纤维提余液中的木质素、钾、磷、氮及化肥原料,已经生产出经过大田试验鉴定的具有很好增产和提升品质效果的生物基缓控释肥料. 创新了将新工艺制浆黑液作为生物营养源,通过与腐殖酸及无机肥料的化学反应及物理成型,成功开发了具有很好缓控释及增产、提质效果的富钾生物基肥及有机无机复合肥系列产品,使植物细胞质中的还原糖、有机氮、磷酸盐、钾盐等营养物质得到了充分应用,展示了植物体的全价开发和高附加值大规模、广泛利用的新途径,已经形成具备大规模推广应用价值的完整工艺包.

生物基肥料具有平衡营养,肥效高,富含木质素、腐殖酸及其他生物生长所需要的微生物可降解有机和无机营养成分,不会造成白色污染,可提高土壤有机钾、磷的含量,减少钾和磷元素的流失,促进土壤中固定钾和磷利用,改善土壤理化性质和土壤团粒结构,降低土壤密实性,增加土壤的保肥、保水能力;提高肥料缓效性,提高作物抗逆能力、改善作物品质、改善土壤生态.

清华大学、厦门大学、西南大学、华南农业大学、西北农林科技大学等与企业 在盐碱地改造、清洁制浆、水性肥、缓控释有机肥料、腐殖酸磷酸盐、秸秆磷酸盐、木质素磷酸盐水溶性大分子和水溶性有机小分子及构型复合肥等实用生产工艺合作开发和应用评价方面实现重大突破,使大规模、低成本生产具有保水和保肥土壤修复及大规模盐碱地和沙漠的改造成为可能.

3.3 建立统一归口的肥料管理体系

我国化肥管理呈多元化格局,肥料管理政出多门,建议从肥料生产(工业)、销售(商业)、使用(农业)等环节进行协调,统一管理.在生产环节,统一生产许可和登记管理,细化产品列单、肥料属性要求和有毒有害物质指标限制,并纳入法规文本,建立标签制度;在流通环节,统一市场检查、检验、监督机构,加强处罚和赔偿;在使用环节,提高农户施肥的专业技术水平;创建农业科技服务公司;建立现代化的物流运输体系.通过肥料产业发展规划和政策法规管理来实现肥料可持续发展.

粮食增产模式应从粗放型转变为高效、绿色,以提高肥料利用率为核心,实现“以质量替代数量”,建议通过技术措施、管理法规和科技创新来建立适合中国国情的绿色肥料保障体系,使我国化肥事业走上健康发展的道路.

4 建立绿色肥料保障体系的关键科学问题

4.1 绿色肥料

绿色肥料的定义之一为:利用现代技术来设计和生产能够最大限度减少肥料对人类健康危害、减轻环境污染而又能维持相对高的农产品质量和品质的肥料品种,它必须满足最少资源和能源消耗、最轻环境污染且具有最大的养分可循环利用^[18].它比较全面地提出了对绿色肥料的要求.

4.2 绿色肥料保障体系

美、日、欧盟各国肥料总量、肥料源污染强度,在20世纪80年代均已通过顶峰,而我国至今仍处于上升阶段,为使我国肥料农用总量及对环境的污染强度尽快跨过顶峰,并迅速减量,必须建立绿色肥料保障系统.

绿色肥料保障体系是指:不单纯要生产“绿色肥料”,而必须从“绿色化肥原料”、“绿色生产工艺”、“绿色肥料的性能或特征”多方面构建肥料保障体系.绿色肥料体系的内容包括:绿色原料、绿色制造、绿色产品、绿色流通和绿色施用.对绿色原料、绿色制造的要求在“绿色肥料产业体系构建及其科学问题”已有论述.

(i) 绿色原料. 肥料包括化学肥料、有机肥、含微生物菌剂的肥料.氮肥充分利用低热值非无烟

煤制合成气及工业废弃资源生产氮肥,符合原料绿色化的要求;磷肥高效利用低品位磷矿、磷矿选矿尾矿、难溶性低品位钾长石、海绿石、含钾页岩、云母矿生产钙镁硅磷钾肥,上述原料均符合原料绿色化的原则.

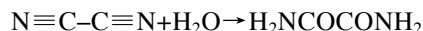
钾肥从难溶性钾矿中制取钾肥或从海水综合利用提取钾盐,符合原料绿色化原则.

有机肥充分利用有机废弃物中的养分,符合原料绿色化的原则.

含微生物菌剂的肥料能提供一个解决施肥太多,过量使用农药的替代方案.

(ii) 绿色制造. 采用具有低能耗、低排放、零排放的绿色合成路线、绿色反应条件的生产工艺.特别是与工农业废弃物(秸秆、果汁厂、中药厂等残渣等)污染治理技术相结合的制造工艺.西北农林科技大学刘存寿课题组^[19]模拟自然植物营养循环原理,生产仿生有机复合肥的生产工艺;磷酸生产用半水或半水-二水法取代二水法工艺,可减少硫酸消耗、提高 P_2O_5 得率、减少磷石膏煅烧能耗^[20].

草酰胺($(NH_2)_2C_2O_2$)是缓释氮肥,含氮31.81%,100 g水中溶解度0.02 g,施入土壤后,被微生物分解,而氮能被缓慢吸收.通过水解双氰可制取草酰胺,其原子效率100%,反应式如下:



双氰价格昂贵,无竞争能力,这种方法未得到发展.而由CO偶联法合成草酸二酯工艺,生产安全,不污染环境^[21].

(iii) 绿色产品. 具有绿色肥料性能或特征的产品.由工农业废弃物通过有限制的降解(不必完全氧化至 CO_2)生成亚微米级(100~1000 nm)小分子含碳化合物,如酵母发酵液、味精废液降解后的产品;由低品位磷矿、难溶性钾盐通过熔融或烧结生成的熔融磷钾肥、硅钙钾肥;由微粉碎磷矿,农用微生物与禽畜粪便发酵后所获得的有机肥;添加0.3%即能减少化肥用量30%的纳米碳、纳米氢氧化镁、纳米腐殖酸肥等.这些新型肥料具有与污染治理相结合,或者有利于资源可持续利用,或者用量很少而效果显著等特征,可提高肥料利用率,与大宗基础肥料相结合可提升肥料性能,达到以“质量代替数量”的发展战略.

(iv) 绿色流通、绿色施用. 我国每生产和施用1吨氮肥所引起的温室气体排放达13.5吨 CO_2 eq.而欧洲为9.7吨.氮肥温室气体排放中,生产和运输

环节占 61%, 农田施用环节占 39%^[22].

计算表明, 年销售 15 万吨的复合肥料厂, 在本省的市场占有率达 16%, 即可在本省内消化. 但是我国很大一部分基础肥料、复合肥料的销售运距在 1000 km 以上.

农业的循环之道是地产地销, 遵循最低限度物料移动原则^[23]. 绿色流通、绿色施用是尽可能使用地产生化肥, 并通过深施, 减少挥发损失. 合理利用有机肥, 种养结合, 养分就近还田, 减少化肥投入.

4.3 建立绿色肥料保障体系的关键科学问题

(i) 植物矿质营养学说与有机营养学说的融合. 1840 年德国化学家李比希发表了《化学在农业和植物生理学上的应用》, 他批驳了当时认可的腐殖质营养学说, 并提出矿质营养有碳、氮、磷、钾、钙、镁、硫、铁和硅. 作物收获从土壤中取走了这些矿质营养, 必须额外补充归还于土壤, 他提出了植物矿质营养学说, 奠定了化学肥料工业的基础^[24]. 我国一些科学家认为植物矿质营养学说应该与有机营养学说相融合才全面.

化学肥料的大量施用, 集约化的高投入使农业获得了高回报(high input and high return). 一些国家对化肥发放了补贴, 更促进了肥料的施用. 但土壤结构、土壤健康状况却在下降, 农作物非常容易受到虫害和真菌的侵袭. 施用化肥后, 野草生长迅速, 除草剂得到广泛应用. 这一切都无可避免地对环境造成破坏. 到了 20 世纪 30 年代, 美国中西部的土壤肥力损失殆尽, 沙尘暴使大地变为荒芜, 土壤表层的腐殖质已经无法聚集有机物质, 被风沙吹得无影无

踪^[25,26]. 随后, 美国的农业政策转向低投入、持续性农业, 而日本则选择了环境保全持续性农业^[27].

在高产、高效的持续性农业中, 植物营养将是矿质肥料与有机质相结合的肥料体系. 在高产寡照的人工温室中, 增加有机碳营养是必不可少的.

(ii) 加强肥料-土壤-植物之间养分转化规律科学问题的梳理. 肥料施入土壤后成为土壤溶液中的植物营养, 而随水被作物吸收利用是作物营养学的基础问题, 在连年大量施入水溶性肥料并维持多年持续高产的我国特定条件下, 耕作土壤-微生物-农作物生态系统如何适应? 如何产生排异? 微生物多样性有何变化? 不断涌现的各种新型肥料, 它们在土壤中如何发挥作用? 其作用机制如何? 均应进行梳理, 确认哪些是对土壤生态系统有利的, 哪些会影响作物的营养价值甚至危害人类健康.

这些问题的梳理, 对保证粮食安全、食品安全均有重要意义.

“建立绿色肥料保障体系的关键科学问题”为主题的香山科学会议, 就是要集中多学科专家的学术交流、思想碰撞, 创立以科学家、农学家、工业专家、企业家、政府主管部门共同主导“科学的中国肥料体系”, 这是“战略”层面的指导; 而当前, 我国是以营销、策划指导、宣传引导的“策略”层面的中国肥料体系. 只有建立在战略层面的肥料体系, 才能彻底解决我国化肥使用中存在的问题, 这不仅对中国乃至对世界化肥工业的发展均有指导作用.

香山科学会议作为我国顶层的“科学前沿论坛”, 第一次将肥料问题列为学术会议讨论, 无疑将对我国肥料领域的科学、健康、可持续发展起到推动作用.

参考文献

- 1 Zhang W F, Zhang F S. Report on Chinese Fertilizer Development 2012 (in Chinese). Beijing: China Agricultural University Press, 2013. 26–59 [张卫峰, 张福锁. 《中国肥料发展研究报告 2012》. 北京: 中国农业大学出版社, 2013. 26–59]
- 2 Michel Prud'homme. IFA: “Global Fertilizer Supply and Trade 2013–2014” 39th IFA Enlarged Meeting of the Committee (in Chinese). Paris, France on December 4–5, 2013 [Michel Prud'homme. IFA: 《全球肥料供应和贸易 2013–2014》第 39 届 IFA 委员会扩大会议. 法国, 巴黎, 2013 年 12 月 4–5 日]
- 3 FAO Statistical Yearbook 2013. Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2013
- 4 National Bureau of Statistics of the People's Republic of China. China Statistical Yearbook 2013 (in Chinese). Beijing: China Statistics Press, 2013 [中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴 2013. 北京: 中国统计出版社, 2013]
- 5 Charlotte Hebebrand. IFA: Global production and use of fertilizer: Issues and Challenges (in Chinese). Potassium Potash, 2013, (5): 17–22 [Charlotte Hebebrand. IFA: 全球肥料生产和使用: 问题和挑战. 钾盐与钾肥, 2013, (5): 17–22]
- 6 West P C, Gerber J S, Engstrom P M, et al. Leverage points for improving global food security and the environment. Science, 2014, 345: 325–328

- 7 Lai L, Huang X J, Wang H, et al. Environmental cost estimate of chemical fertilizer in China (in Chinese). *Acta Pedol Sin*, 2009, 46: 45–69 [赖力, 黄贤金, 王辉, 等. 中国化肥施用的环境成本估算. *土壤学报*, 2009, 46: 45–69]
- 8 China Phosphate Fertilizer Industry Association, China Sulfuric Acid Industry Association. Sulfate, compound fertilizer technical and economic information, 2012 Annual Report, 2012 (in Chinese) [中国磷肥工业协会, 中国硫酸工业协会. 硫酸、磷复肥技术经济信息, 2012 年报, 2012]
- 9 Wu J. Modern fruit and vegetable nutrition is diluted (in Chinese). *Life Times*, 207, 12-07-01, 8th ed. [吴佳. 现代果蔬营养被稀释. *生命时报*, 207 12-07-01, 第 8 版]
- 10 Zhuo M B, Hu Y C, Schmidhalter Urs. Impact of agricultural and environmental policy on fertilizer consumption and production in the European Union (in Chinese). *Phosphate Compound Fertilizer*, 2004, 39: 11–14 [卓懋白, 胡云才, Schmidhalter Urs. 欧盟农业和环境政策对化肥消费和生产的影响. *磷肥与复肥*, 2004, 39: 11–14]
- 11 Liao Z W, Mao X Y, Liu K X. Effect of organic carbon fertilizer on nutrient balance — Analysis of carbon, a short board, in plant nutrition (in Chinese). *Acta Pedol Sin*, 2014, 51: 237–240 [廖宗文, 毛小云, 刘可星. 有机碳肥对养分平衡的作用初探——试析植物营养中的碳短板. *土壤学报*, 2014, 51: 237–240]
- 12 Li R B, Wu S Q. Biological Humic Acid and Organic Carbon Fertilizer (in Chinese). Beijing: Chemical Industry Press, 2014 [李瑞波, 吴少全. 生物腐植酸与有机碳肥. 北京: 化学工业出版社, 2014]
- 13 Xu X C, Hou C H, Zhao B Q, et al. Phosphorus resource characteristics determine how long the value of low grade phosphate rock can be exploited (in Chinese). *Agricult Mater Rev*, 2014-03-28 [许秀成, 侯翠红, 赵秉强, 等. 磷资源特性决定中低品位磷矿价值可以开采多久. *农资导报*, 2014 年 3 月 28 日]
- 14 Xu X C. FCMP vitreous structure theory and its application (in Chinese). *J Zhengzhou Institute Technol*, 1982, 2: 1–10 [许秀成. 钙镁磷肥玻璃体结构理论及其应用. *郑州工学院学报*, 1982, 2: 1–10]
- 15 Xu X C, Hou C H, Wang H B, et al. Glass structure of aluminosilicate containing phosphate with low chemical stability and complex component—Development of glass structure model of aluminosilicate containing phosphate and manufacture of glass fertilizer (in Chinese). *Sci Sin Chim*, 2010, 40: 922–926 [许秀成, 侯翠红, 王好斌, 等. 低化学稳定性复杂组分含磷铝硅酸盐玻璃体结构——含磷铝硅酸盐玻璃体结构模型与肥料开发. *中国科学: 化学*, 2010, 40: 922–926]
- 16 Harnessing igneous phosphate rock? *Fertilizer Inte*, 2009, (432): 48–53
- 17 Improved hard process adds value resources. *Fertilizer Inte*, 2011, (445): 39–42
- 18 Huang L Z, Shi W Y. Green fertilizer's technical design route (in Chinese). *Fertilizer Ind*, 2003, 30: 8–10 [黄立章, 石伟勇. 绿色肥料设计的技术路线. *化肥工业*, 2003, 30: 8–10]
- 19 Zhao L, Liu C S. Effects of different organic materials on soil fertility and aggregates stability (in Chinese). *J Northwest A&F Univ (Nat Sci Ed)*, 2013, (2): 138–144 [赵亮, 刘存寿. 不同有机肥料对土壤肥力及团聚体稳定性的影响. *西北农林科技大学学报(自然科学版)*, 2013, (2): 138–144]
- 20 Gong C S. Accelerate the development of green phosphorus chemical industry (in Chinese). *Inorg Salt Ind China*, 2015, (1): 17–24 [贡长生. 加快发展我国绿色磷化工产业. *中国无机盐*, 2015, (1): 17–24]
- 21 Hu Y R, Wang K, Li Y, et al. The new type of slow-release nitrogen fertilizer oxalamide (in Chinese). *Tech Develop Chem Ind*, 2012, 41: 31–33 [胡玉容, 王科, 李杨, 等. 新型缓释氮肥草酰胺. *化工技术与开发*, 2012, 41: 31–33]
- 22 Zhang F S, Fan M X. The Basic Research for Major Food Crops Yielding Cultivation and Efficient Use of Resources (in Chinese). Beijing: China Agriculture Press, 2013. 830–831 [张福锁, 范明先. 主要粮食作物高产栽培与资源高效利用的基础研究. 北京: 中国农业出版社, 2013. 830–831]
- 23 Shinohara T. The Way of Agriculture Circulation in Society (in Japanese). Tokyo: Soshinsha Inc., 2003 [篠原孝. 农的循环社会への道. 东京: 创森社, 2003]
- 24 Encyclopedia of China Agriculture: Agricultural Chemicals Volume, Liebig entries (in Chinese). Beijing: Agriculture Press, 1996. 174 [中国农业百科全书: 农业化学卷, 李比希词条. 北京: 农业出版社, 1996. 174]
- 25 Miller G T Jr. Living in the Environment. 14th edi. Thomson Brooks/Cole US 2005. 276–278
- 26 Craig S, Huang Y L, Trans. The Fragile Earth, Behind the Food (in Chinese). HongKong: HK Joint Publishing Limited, 2004. 48–50 [Craig S, 著, 黄又林, 译. 脆弱的地球, 食物的背后. 香港: 三联书店有限公司出版, 2004. 48–50]
- 27 The 21st Century Agricultural Research Editor. The agriculture: Agriculture Outlook, Circular in Society (in Japanese). Tokyo: Tokyo Agriculture University Press, 2004. 48 [21 世纪农业农学研究会编. 农业·农学的展望, 循环性社会に向けて. 东京: 东京农大出版社, 2004. 48]

Key scientific problems on establishing green fertilizer ensurance system

ZHAO YuFen & YIN YingWu

School of Chemistry and Chemical Engineering, Xiamen University, Xiamen 361005, China

Basic situation and existing problems of chemical fertilizer production and utilization are expounded from the perspective of three aspects of chemical fertilizer dosage, structure and management. It is necessary to balance the essential nutrient elements by adjusting fertilizer nutrient and product type; to realize the sustainable development through fertilizer industrial development planning and policies & regulations management, to implement the development strategy of “quality instead of quantity” by improving fertilizer efficiency. Establish a green fertilizer ensurance system adapted for Chinese practice through technical measures, management regulations and scientific & technological innovation. Centered the green fertilizer, the key scientific issues need to be paid attention and solved in the process of establishing the green fertilizer ensurance system are put forward. The research on the integration of plant mineral nutrition theory and organic nutrition theory, and further explore on the mechanism of new fertilizer and new product development technology, new technology to innovate traditional basic fertilizer; to strengthen the research on the scientific problems of the transformation of “fertilizer, soil and plant”, and explore the new technical ways of organic fertilizer, called for establishing the “scientific Chinese fertilizer system”, which is led by scientists, agricultural experts, industry experts, entrepreneurs and government departments.

chemical fertilizer, environmental protection, green production, low-grade phosphate rock

doi: 10.1360/N972015-00672