

我国新型肥料的研究现状及在水稻上的应用进展

许祥富¹, 林明义² (1. 福清市东张镇人民政府, 福建福清 350305; 2. 福清市农业农村局, 福建福清 350300)

摘要 自我国施用化肥以来, 我国粮食产量逐年攀升, 化学肥料在保证粮食高产方面有着举足轻重的作用, 然而化肥的长期施用所导致的农产品品质下降、土壤性状恶化和环境污染等问题令人担忧, 因此, 对环境友好的新型肥料受到越来越多的关注。新型肥料具有肥料利用率高、调节作物生长机制和改善土壤理化性质等特点, 其在现实农业生产中的应用愈加广泛, 前景巨大。主要从我国化肥利用现状和问题、新型肥料的种类和发展现状以及在水稻上的应用进展等方面进行综述, 并进行展望, 以期新型肥料在农业生产中的利用与开发提供理论依据, 也为其在水稻生产应用的进一步推广提供参考。

关键词 新型肥料; 研究现状; 水稻; 应用进展

中图分类号 S511 **文献标识码** A

文章编号 0517-6611(2021)07-0017-03

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2021.07.005

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Research Status of New Fertilizer in China and Its Application in Rice

XU Xiang-fu¹, LIN Ming-yi² (1. People's Government of Dongzhang Town, Fuqing City, Fuqing, Fujian 350305; 2. Agriculture and Rural Bureau of Fuqing City, Fuqing, Fujian 350300)

Abstract Since the application of chemical fertilizer in China, the grain yield has been increasing year by year. Chemical fertilizer plays an important role in ensuring the high yield of grain. However, the long-term application of chemical fertilizer has led to problems such as the decline of agricultural product quality, the deterioration of soil properties and environmental pollution, which are worrying. Therefore, the new environmentally friendly fertilizer has attracted more and more attention. The new fertilizer has the characteristics of high fertilizer utilization rate, regulating the growth mechanism of crops and improving the physical and chemical properties of soil. Its application in the actual agricultural production is more and more extensive, and its prospect is huge. In this paper, the current situation and problems of fertilizer utilization in China, the types and development of new fertilizers, and the application progress in rice were reviewed, and the prospect was made, in order to provide the theoretical basis for the utilization and development of new fertilizer in agricultural production, and it provides the reference for its further application in rice production.

Key words New fertilizer; Research status; Rice; Application progress

20 世纪 80 年代, 我国化肥工业发展迅速, 化肥的大量应用极大地推动了农业的发展, 我国粮食产量也因此增产 30%~50%^[1], 化肥的投入量与粮食产量呈显著正相关^[2], 被誉为“植物的粮食”。化肥的施用保障了我国以占世界 7% 的耕地养活了占世界 22% 的人口, 对我国粮食安全有着至关重要的作用。然而化肥的长期施用导致的农产品品质下降、土壤性状恶化和环境污染等问题严重影响了我国可持续农业的发展, 面对以上负面影响, 减少化肥用量已迫在眉睫, 在减少化肥施用的基础上如何保障作物稳产或高产已成为现今学者的重要研究方向。新型肥料因具有肥料利用率高、调节作物生长机制和改善土壤理化性质等特点而备受关注, 具有巨大的应用潜力。笔者主要从我国化肥利用现状和问题、新型肥料的种类和发展现状以及在水稻上的应用进展等方面进行综述, 并进行了展望, 以期新型肥料的研究和进一步推广提供参考。

1 我国化肥的利用现状和问题

自 1843 年化学肥料被第一次发现以来, 伴随着化学工业的快速发展, 化学肥料在世界范围内被广泛采用, 世界农业的发展历程证明, 施用化肥对于农业生产来说是最有效、最快速的增产途径^[1]。从 20 世纪 80 年代以来, 我国以每年增加 4% 的化肥供应量支持农业生产, 联合国资料显示, 化肥对我国农业生产有高达 45%~50% 的贡献率^[2]。至 1998 年,

我国的化肥生产量和使用量(纯养分)分别为 2 956 万和 3 816 万 t, 皆居世界第一位, 但这并不意味着我国化肥的利用率也处于世界领先水平。在占全球 7% 的耕地上使用了超过全球 30% 的化肥, 相较发达国家而言, 我国单位面积施肥量大约是其安全上限的 2 倍^[3], 2019 年发达国家三大粮食作物的化肥利用率为 50%~60%, 而我国仅为 39.2%^[4], 相比而言还有很大差距。以上皆暴露了我国化肥利用率低的问题。化肥的不合理利用对农业健康发展、生态环境等造成了一系列的负面影响^[5]。近年来, 随着乡村振兴战略的提出, 我国过度依赖资源消耗的农业发展模式需要调整为追求可持续发展理念的新模式, 其中化肥面源的污染问题亟待解决。2015 年我国原农业部出台了《到 2020 年化肥使用量零增长行动方案》, 同年 7 月又发布了《关于推进化肥行业转型发展的指导意见》, 2016—2019 年我国中央一号文件接连强调了“加大治理农业面源污染治理力度, 实施化肥农药零增长行动”“开展农业节肥节药行动, 实现化肥农药使用量负增长”^[6]。在此背景下, 绿色、环保、高效的新型化肥受到越来越多的关注, 大力发展新型肥料已势在必行。

2 新型肥料的种类和研究现状

新型肥料指具有一定肥料功能和增产作用, 由肥料生产企业研制生产, 符合行业或企业标准, 含有机、无机、微生物菌剂或兼有上述成分, 经物理、化学、生物方法加工处理的新品种肥料^[6]。与传统化肥相比, 新型肥料具有成分新、形态新和技术新的特点, 功能上具有高效化、复合化和长效化的特征。目前市场上已存在多种类型新型肥料, 按其性质和功

作者简介 许祥富(1984—), 男, 福建福清人, 农艺师, 硕士, 从事作物栽培研究。

收稿日期 2020-09-01

能可以分为以下 5 类。

2.1 缓/控释肥料 目前国内外对于缓/控释肥料的概念存在较大争议,并没有统一的标准,国际肥料发展中心发表的《肥料手册》中给出的定义指出:缓释肥料指肥料中的养分以化合态或某种物理状态存在,养分的释放具有长效性;控释肥料指肥料中的养分微溶于土壤溶液,其效用贯穿作物的整个生长期,且养分的释放速率与作物的需求相一致^[7]。美国作物营养学会认为缓释和控释之间基本没有区别,并将缓/控释肥料定义为养分相比常规速效肥更加长效的肥料^[8]。

缓/控释肥料通过包膜调控养分的释放速率与释放期来满足作物不同生长时期的需求,通过改变包膜材料使其养分释放模式与不同作物相匹配。近年来缓/控释肥料在我国发展迅速,其使用量已占全世界的 33%^[9],因其节肥环保运用愈加广泛。谢婷婷等^[10]将缓/控释肥运用到贵州春玉米栽培中,结果表明,缓/控释肥能显著提高玉米产量,促进玉米对氮磷钾的吸收,并显著提高土壤有效养分。在蔬菜栽培中施用缓释尿素,可提高蔬菜品质性状和土壤氮素利用率^[11]。刘飞等^[12]在研究缓释氮肥在棉花上的应用效果时发现,在保证棉花纤维品质的前提下,缓释氮肥有利于提高棉花的多种生长指标。缓释肥也可大幅增加紫色土油菜生物量,提高肥料利用率,减小根区土壤养分含量变化^[13]。

2.2 水溶性肥料 我国农业长期面临着水资源短缺和化肥利用率低的双重压力,具有节水节肥功效的水溶性肥料满足了我国可持续农业发展的需要。我国于 2013 年发布了《水溶肥化工行业标准》,规范了水溶肥产业的发展,推动了农业水肥一体化的进程。水溶性肥料是指可以在水中完全溶解且可直接被植物叶面或根部直接吸收利用的一类多元复合肥料^[14],可用于无土栽培和叶面喷施,主要使用于灌溉施肥^[15]。水溶性肥料拥有养分全面、利用率高和经济安全等优点,应用前景广泛。

目前在生产中应用较为广泛的水溶肥有含氨基酸水溶肥、含微量元素水溶肥和含腐殖酸水溶肥等。孔祥龙^[16]在甜菜上施用氨基酸水溶肥的应用试验中发现,在保证甜菜含糖量的基础上,施用氨基酸水溶肥可提高甜菜产量。在太子参上施用氨基酸水溶肥可显著增加太子参产量,增强抗逆性,降低叶斑病发病率^[17]。陈伟等^[18]研究表明,在草莓叶面上喷施氨基酸水溶肥可促进草莓发育,提高草莓果实品质,并延长草莓的储存期。陈莹等^[19]研究发现,在茶树上喷施含微量元素的水溶肥可提高茶树多种生长指标,增加茶叶产量,且该水溶肥安全无污染。在黄瓜栽培上施用有机水溶肥海藻素可提高黄瓜甜度,并减少根结线虫的发生^[20]。在棉花上施用大量元素水溶肥,与常规肥料相比可以延长棉花生长期,达到增产增收的效果^[21]。此外,宋修超等^[22]研究表明施用含海藻酸有机水溶肥可提高辣椒幼苗对于低温胁迫的抗逆性,并促进地上部及根系的发育。

2.3 微生物肥料 微生物肥料又称菌肥、生物肥或接种剂,是以微生物生命活动为作用基础,直接或间接地影响植物的生理代谢,具有特定肥效的一类肥料,可用于基肥、追肥和拌

种等。我国对于微生物肥料的研究已有 70 多年历史^[23],最早投入使用的微生物肥料是张宪武^[24]研制开发的根瘤菌菌剂,现如今由于我国的大力支持,微生物肥料产业发展迅速,从当初仅应用在豆科植物过渡到现在的非豆科植物,菌种的使用也从单一化发展到多样化的复合菌种。2015 年我国从事微生物肥料研发生产的企业已超过 1 000 家,施用面积已逾 1 333 万 hm^2 ;截至 2018 年,我国微生物肥料年总产量达 3 000 万 t,产值达 400 亿元^[25],发展前景十分广阔。

微生物肥料可抑制病原菌增殖,促进土壤中物质转化,提高土壤中肥料利用率,改善土壤团粒结构,进而促进植物生长发育^[26]。吴珏等^[27]在青菜栽培中减少化肥用量配施微生物肥料可提高青菜产量,带来更高的经济效益。岳明灿等^[28]将减少化肥用量配施微生物肥料应用于樱桃番茄上,提升了番茄产量及果实品质,同时改善了土壤肥力。张志鹏等^[29]研究表明,在黄瓜上施用复合微生物菌剂可显著提高黄瓜产量,降低黄瓜病虫害发病率,提升黄瓜的经济效益。在燕麦上减少化肥用量配施微生物肥料,在稳产的前提下提高了肥料利用率,改善了燕麦品质^[30]。肖开兴等^[31]研究表明,复合微生物肥料可促进茶树对土壤中矿质元素的吸收,提升茶叶的商品价值。

2.4 商品有机肥 商品有机肥是畜禽粪便、食用菌菌渣和农作物秸秆等富含有机质的物质为原材料,采用工厂化方式通过微生物分解作用或发酵生产的有机肥料。我国每年可产生 38 亿 t 的畜禽粪污,但利用率还不足 60%^[32],大量未经处理而随意排放的畜禽粪污严重阻碍了我国美丽乡村的建设进程。2013 年国务院发布了《畜禽规模养殖污染防治条例》,在政策上大力支持了商品有机肥的发展^[33],生产和推广商品有机肥一方面可提高畜禽粪污资源利用率,减轻农业面源污染,另一方面可以减少化肥用量,推动健康农业发展。目前我国生产的商品有机肥可分为有机肥、有机-无机复混肥和生物有机肥^[34]。传统的有机肥制备过程较为简单,存在着营养元素比例失衡、携带病原菌等缺点,现代生产工艺下的商品有机肥养分含量全面,传播病虫害的风险也大大降低。

施用商品有机肥可增加土壤有机质含量,改善土壤物理性状和微生物群落结构,增加作物产量,提升农产品品质。张玉娟等^[35]在马铃薯生产中配施商品有机肥提高了出苗率和单株块茎重,同时提升了马铃薯的产量和品质。王道兵等^[36]研究发现,配施生物有机肥可有效提升西兰花的产量和外观商品性,并改善土壤基础理化性质。在小麦上用商品有机肥替代部分化学肥料,可显著提高小麦单位面积产量,减小土壤容重,改善土壤物理性状^[37]。与仅施化肥相比,配施商品有机肥可显著提高西瓜产量和含糖量,且随着有机肥比例加大西瓜的产量和含糖量也随之升高^[38]。

2.5 中微量元素肥料 中微量元素肥料简称微肥,指含有一种或多种植物生长所必需的中、微量元素的一类肥料。通常将作物需求量大的氮、磷、钾称为大量元素,硫、镁、钙归为中量元素,铁、锰、锌、铜等需求量小的元素称为微量元素。

然而不论需求量多少,大量元素和中微量元素都是植物正常生长必不可少的。近几十年来,我国农业发展中长期大量地施用氮磷钾肥而忽视了中微量元素的补给,造成了耕地土壤营养元素失衡。有研究显示,我国超过50%的耕地土壤存在着微量元素的缺乏^[39],这使得投入再多的氮磷钾肥也无法提高农作物的产量和品质。随着耕地土壤“营养不良”问题的暴露,“化肥使用量零增长”政策的逐步实施,中微量元素肥料逐渐被重视,使用愈加广泛。

中微量元素肥料具有提高作物产量和品质、提升化肥利用率、减轻病虫害和环境污染等作用^[40]。在冬枣上喷施微量元素水溶肥料可显著提高冬枣产量,增强长势^[41]。韦云东等^[42]研究表明,在木薯种植中增施中微量元素可提高鲜薯产量和薯块淀粉含量。在酿酒葡萄上混合配施多种微量元素可提高葡萄百粒重及还原糖、可溶性糖含量,显著提升葡萄品质^[43]。栗海英^[44]研究表明,在苹果生长的各个时期喷施微量元素可改善果实生物学性状,提升坐果率,与常规化肥相比可增产1 671 kg/hm²,增产5.61%。何艳明等^[45]研究了微量元素水溶肥料对黄瓜产量的影响,结果显示,喷施微量元素肥料显著增加了黄瓜的重量和长度,可增收7 619.4元/hm²,降低了投入产出比。

3 新型肥料在水稻上的应用进展

水稻作为我国第一大粮食作物,其产量约占我国粮食总产量的40%,是我国人民主要的消费口粮,消费人群占我国总人口的60%^[46]。因此,水稻产业的健康发展对于我国粮食安全具有重大意义。目前我国水稻生产仍然面临着许多挑战,其中施肥现状中存在的问题日益突出。首先,我国许多地区稻田施用氮、磷、钾肥比例失衡,氮肥用量过多,而钾肥较少^[47];其次,忽视了中微量元素的补充,造成耕地土壤营养元素失衡;最后,与化学肥料相比有机肥的施用所占比重较低,造成土壤理化性状下降,土壤板结,肥力下降^[48]。随着新型肥料的发展,一定程度地缓解了以上问题,并在实际生产中取得了一些效果。

吴文革等^[49]研究发现,施用水稻专用新型肥料可延长水稻分蘖期,增加产量,同时可节肥184.65 kg/hm²,减少人工成本1 125元/hm²,达到了节本增收的效果。吴萍萍等^[50]试验结果表明,较普通尿素而言施用含锌和含腐殖酸的尿素可使水稻分别增产5.6%和4.3%,同时提高了水稻的氮素吸收率,改善了土壤理化性质。卢俊等^[51]研究了11种新型肥料对水稻生产的影响,结果发现,施用缓控释肥相比常规肥料可增产2.1%~6.4%,增收2.9%~39.0%。张娜^[52]研究表明,用商品有机肥替代10%左右的化学肥料可使水稻增产5.1%,氮肥利用率提高3.3%。伍龙梅等^[53]探究了中微量元素对超级杂交稻的影响,结果发现,中微量元素可改善水稻叶片形态,增加叶片SPAD值,促进干物质的积累。以上研究结果皆表明新型肥料对于水稻生产具有增产增收、提高水稻品质、改良土壤等优点,今后应筛选出更多适合水稻生产的新型肥料,按照因地制宜、科学合理的方式进一步推广新型肥料在水稻生产上的应用。

4 问题与展望

根据资料显示,目前我国新型肥料的施用量仅占总体肥料使用量的10%左右^[6],化学肥料仍然是水稻施肥的主体部分,形势不容乐观。有关制约新型肥料发展推广的因素,首先,在生产环节,新型肥料相比于传统肥料成分复杂,生产程序繁多,企业需要投入更多进行技术改造升级;由于政策不够完善,肥料生产企业皆被视为化工产业,缺乏政策扶持而发展受限。以上增加了企业的生产成本,导致新型肥料市场价格偏高。其次,在销售环节,新型肥料在经历了冗余的营销链条后被层层加价,销售商为拓宽销量而降价,减小了利润空间,打击了销售商的推销积极性。最后,在使用环节,肥料销售者往往受教育程度偏低,缺乏肥料专业知识,未能给予农户正确的引导,造成农户对新型肥料认知不足,施用意愿较低。

在乡村振兴战略和农业供给侧改革的稳步推进下,新型肥料的应用与推广已势在必行,而稻米作为我国人民最主要的口粮,水稻产业能否健康发展,关乎国民生计。新型肥料在水稻生产上的应用已取得了积极的效果,但目前仍未占主导地位。面对新型肥料的应用与推广,应当做到:①积极引导新型肥料生产企业发展,给予足够的政策扶持;②对新型肥料推出专项补贴,降低市场价格;③加强对肥料经销商及农户的专业知识培训,使其增加对新型肥料的认知度,提高销售与施用意愿。

参考文献

- [1] 闫湘.我国化肥利用现状与养分资源高效利用研究[D].北京:中国农业科学院,2008.
- [2] 崔学军,陈宏坤.化肥供给侧结构性改革调研报告(2017年)[M].北京:化学工业出版社,2018.
- [3] 张余萍.化肥利用现状与养分高效利用[J].江西农业,2017(23):33.
- [4] 洪婷.浅谈微生物肥料研究进展[J].南方农业,2019,13(35):157-158.
- [5] 张海亮,王智博.西北某地区农村农药化肥污染问题的调查研究[J].中国集体经济,2016(33):16-17.
- [6] 连煜阳.新型肥料生产、销售和使用环节制约因素研究[D].北京:中国农业科学院,2019.
- [7] 崔德杰,杜志勇.新型肥料及其应用技术[M].北京:化学工业出版社,2017.
- [8] 翟军海,高亚军,周建斌.控释/缓释肥料研究概述[J].干旱地区农业研究,2002,20(1):45-48.
- [9] 姚先荣.缓/控释肥料的研究进展及发展趋势[J].现代农业科技,2019(2):133,135.
- [10] 谢婷婷,肖厚军,赵欢,等.贵州春玉米产量与养分利用及土壤肥力对新型缓/控释肥料的响应[J].贵州农业科学,2020,48(2):15-20.
- [11] 杨阳,倪晓宇,刘斌美,等.基质型缓释尿素对蔬菜产量、品质及氮肥利用率的影响[J].中国土壤与肥料,2020(2):146-153,212.
- [12] 刘飞,叶洒洪,李国庆.脲甲醛叶面缓释氮肥在棉花上的应用效果[J].中国棉花,2020,47(4):37-39.
- [13] 麻井彪,高洁,张建菲.缓释肥对紫色土油菜生长和养分吸收利用的影响[J].土壤学报,2020,57(4):1040-1050.
- [14] 周路茵.水溶性肥料产业新时代[J].新经济导刊,2014(4):63-66.
- [15] 韩春晓.水溶性肥料发展前景及速溶硫酸钾产品开发[J].盐科学与化工,2020,49(2):4-6,16.
- [16] 孔祥龙.“息壤”氨基酸水溶肥在甜菜上的应用试验[J].现代农村科技,2020(4):71.
- [17] 龙胜云,李大庆,秦治勇,等.含氨基酸水溶肥料(施芳)不同用量对太子参产量及叶斑病的影响[J].现代农业科技,2020(7):67-68.
- [18] 陈伟,陈睿,应霄,等.叶面喷施含氨基酸水溶肥在草莓上的施用效果[J].浙江农业科学,2020,61(2):239-242.
- [19] 陈莹,丁文斌,徐玉琴,等.茶树喷施“中茶早”水溶肥效果试验初报[J].上海农业科技,2020(2):92,109.

干重、苗鲜重、苗干重、发芽势、发芽率、根冠比、相对发芽率等指标之间呈显著或极显著负相关,以 200 mmol/L 浓度处理为标准,对应相对盐害率进行耐盐级别评价,海稻 86 的耐盐性达到“极强”,这与赵记伍等^[14]研究结果一致,博 II 优 15 和深两优 58 香油占的耐盐性达到“强”,而广 8 优 2168 的耐盐性在 4 个品种中最弱,属于中等。但是,这些结果只是在实验室鉴定的结果,若需要推广应用还需进行田间鉴定;而且该研究选用不同水稻类型的供试品种只有 1 种,无法表明品种的耐盐能力与品种类型的相关性,下一步试验应多选取几个相同类型的品种进行综合分析。另外,对品种耐盐性的评价与鉴定,不仅局限于芽期和苗期的形态指标,更应该通过后续试验对水稻的不同生育时期的生理生化指标、农艺性状、生物量和产量以及分子水平探究盐胁迫对水稻的影响。

综上所述,盐胁迫会降低水稻种子的发芽率和发芽势,缩短根长,减少根数,相对盐害率与种子萌发特性和幼苗生长特性的相关指标呈显著(极显著)负相关,相对盐害率可以在一定程度上反映不同水稻品种的受盐害程度,可对不同水稻品种进行耐盐性评价。

参考文献

[1] LIU L, CHEN J, TAN Y N, et al. Increasing fatty acids in rice root improves

silence of rice seedling to salt stress[J]. Rice science, 2019, 26(6): 339–342.

- [2] 信彩云, 马惠, 赵庆雷, 等. 不同浓度 NaCl 胁迫对水稻种子发芽及幼苗生长的影响[J]. 大麦与谷类科学, 2019, 36(3): 7–10.
- [3] 陈名蔚, 王峰, 瞿钰峰, 等. 水稻盐碱地种植可行性初探[J]. 农业与技术, 2017, 37(2): 50–51.
- [4] MUTHAYYA S, SUGIMOTO J D, MONTGOMERY S, et al. An overview of global rice production, supply, trade, and consumption[J]. Annals of the New York academy of sciences, 2014, 1324(1): 7–14.
- [5] 刘贵富, 陈明江, 李明, 等. 水稻育种行业创新进展[J]. 植物遗传资源学报, 2018, 19(3): 416–429.
- [6] 饶刚顺, 肖立中, 甘海梅, 等. 气候变暖情况下广东水稻最适播种期初探[J]. 中国农学通报, 2012, 28(5): 300–305.
- [7] 蔡裕硕, 谭红建. 海平面加速上升对低海拔岛屿、沿海地区及社会的影响和风险[J]. 气候变化研究进展, 2020, 16(2): 163–171.
- [8] 姚栋萍, 吴俊, 胡忠孝, 等. 水稻耐盐碱的生理机制及育种策略[J]. 杂交水稻, 2019, 34(4): 1–7.
- [9] 魏征, 屠乃美, 易镇邪. 盐碱地对水稻的胁迫效应及其改良与高效利用的研究进展[J]. 湖南生态科学学报, 2019, 6(4): 45–52.
- [10] 贺奇, 王昕, 马洪文, 等. 盐胁迫下梗稻种子发芽特性及耐盐性评价[J]. 中国稻米, 2018, 24(1): 28–32.
- [11] 张治振, 李稳, 周起先, 等. 不同水稻品种幼苗耐盐性评价[J]. 作物杂志, 2020(3): 92–101.
- [12] 郭彦, 张文会, 杨洪双, 等. 盐胁迫下水稻发芽特性和幼苗耐盐生理基础[J]. 安徽农业科学, 2006, 34(6): 1053–1054.
- [13] 袁杰, 王学强, 张燕红, 等. 水稻种质资源苗期耐盐性鉴定[J]. 分子植物育种, 2020, 18(20): 6808–6814.
- [14] 赵记伍, 雷传松, 刘永权, 等. 海稻 86 萌发期耐盐碱性特征初探[J]. 中国稻米, 2018, 24(3): 87–92.

(上接第 19 页)

- [20] 马雪莲, 郑险峰, 王朝辉, 等. 有机水溶肥海藻素在设施黄瓜上使用效果研究[J]. 西北园艺(综合), 2020(2): 49–50.
- [21] 吕银亮, 刘江涛, 王金国. 大量元素水溶肥在棉花上的施用效果[J]. 农村科技, 2020(1): 16–19.
- [22] 宋修超, 张杨, 高岩, 等. 含海藻酸有机水溶肥料对低温胁迫下辣椒幼苗生长的影响[J]. 现代园艺, 2020(2): 4–6.
- [23] 侯晶毅, 索升州, 姚丹, 等. 微生物肥料研究进展及其在农业生产中的应用[J]. 安徽农业科学, 2019, 47(11): 13–17.
- [24] 张宪武. 生物固氮机制研究的进展[J]. 科学通报, 1965, 10(8): 705–713.
- [25] 李俊, 姜昕, 马鸣超, 等. 我国微生物肥料产业需求与技术创新[J]. 中国土壤与肥料, 2019(2): 1–5.
- [26] 马原松, 黄志璞. 微生物肥料的研究进展[J]. 山东工业技术, 2017(11): 259–260.
- [27] 吴珏, 王伟群, 瞿洁, 等. 化肥减量配施微生物肥料对青菜生长的影响[J]. 上海蔬菜, 2020(2): 52–54.
- [28] 岳明灿, 王志国, 陈秋实, 等. 减施化肥配施微生物菌剂对番茄产质量和土壤肥力的影响[J]. 土壤, 2020, 52(1): 68–73.
- [29] 张志鹏, 蔡燕飞, 段继贤, 等. 复合微生物菌剂在设施黄瓜上的应用效果研究[J]. 安徽农业科学, 2020, 48(2): 168–170.
- [30] 李琦, 姚拓, 杨晓玫, 等. 半干旱地区不同剂型微生物菌肥替代部分化肥对燕麦生长和品质的影响[J]. 干旱区资源与环境, 2020, 34(3): 159–165.
- [31] 肖开兴, 肖析蒙, 杨瑶君, 等. 复合微生物肥对茶树生长的促进作用初探[J]. 四川林业科技, 2019, 40(6): 48–54.
- [32] 农业部, 国家发展改革委, 财政部, 等. 关于印发《关于推进农业废弃物资源化利用试点的方案》的通知: 农计发[2016] 90 号[A]. 2016.
- [33] 郑利杰, 王波. 我国商品有机肥发展瓶颈及策略研究[J]. 环境与可持续发展, 2017, 42(3): 38–41.
- [34] 曾德武, 李立, 彭孟祥, 等. 商品有机肥特征及其在烟草行业的应用潜力[J]. 现代农业科技, 2019(7): 177–178, 180.
- [35] 张玉娟, 李继明. 定西市安定区马铃薯化肥减量增效试验[J]. 现代农业科技, 2020(5): 54–55, 57.

- [36] 王道兵, 韩兴涛, 杨雷, 等. 生物有机肥施用量对土壤性状及西兰花商品性、产量的影响[J]. 南方农业, 2020, 14(1): 30–33.
- [37] 徐汉亿, 周祥, 孙进, 等. 张璇. 施用商品有机肥对沿海地区小麦产量及耕地质量的影响[J]. 大麦与谷类科学, 2019, 36(6): 34–37.
- [38] 陈乃祥, 李艳莉, 杨霞光, 等. 商品有机肥替代化肥对设施西瓜生产的影响[J]. 上海蔬菜, 2018(6): 55–57.
- [39] 中国有机肥协会. 中微量元素肥料的作用[N]. 江苏农业科技报, 2019–12–25(005).
- [40] 李闻芝. 助力微量元素肥四两拨千斤[J]. 化工管理, 2016(10): 57–59.
- [41] 潘国玲, 李祝斌. 微量元素水溶肥料在冬枣上的应用效果研究[J]. 现代农业科技, 2020(4): 58.
- [42] 韦云东, 郑华, 刘翠娟, 等. 增施中微量元素肥料对木薯生长及产量的影响[J]. 热带农业科学, 2020, 40(1): 7–14.
- [43] 王锐, 王竞, 杨玉春, 等. 配施中微量元素对宁夏夏酿酒葡萄产量及品质的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2019(6): 166–171.
- [44] 栗海英. 微量元素水溶肥料对苹果增产效应的试验研究[J]. 农业科技与装备, 2019(3): 9–10, 13.
- [45] 何艳明, 何红喜, 杨庆祝. 喷施微量元素水溶肥料(粉剂)对黄瓜产量的影响初探[J]. 南方农业, 2019, 13(15): 187–188.
- [46] 方福平, 程式华. 论中国水稻生产能力[J]. 中国水稻科学, 2009, 23(6): 559–566.
- [47] 王伟妮, 鲁剑巍, 鲁明星, 等. 湖北省早、中、晚稻施磷增产效应及磷肥利用率研究[J]. 植物营养与肥料科学报, 2011, 17(4): 795–802.
- [48] 鲁剑巍, 李荣. 水稻常见微量元素缺乏症状图谱及矫正技术[M]. 北京: 中国农业出版社, 2010.
- [49] 吴文革, 习敏, 李红春, 等. 不同水稻专用新型肥料减肥增效对比研究[J]. 安徽农业科学, 2019, 47(2): 135–137, 140.
- [50] 吴萍萍, 李录久, 耿言安, 等. 不同新型肥料对江淮地区水稻生长及氮素吸收利用的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2019(3): 149–153.
- [51] 卢俊, 陈锦珠, 朱孔志, 等. 不同新型高效肥料在苏北地区水稻上的应用效果研究[J]. 现代农业科技, 2020(7): 10–11.
- [52] 张娜. 水稻商品有机肥替代化肥减量施肥技术研究[J]. 现代农业科技, 2020(7): 12, 14.
- [53] 伍龙梅, 李惠芬, 张彬, 等. 中微量元素肥料对超级杂交籼稻株型和干物质积累的影响[J]. 中国农学通报, 2019, 35(28): 1–6.