

文章编号:1001-7380(2017)05-0043-05

江苏沿海滩涂土壤改良技术研究进展

万 欣,江 浩*,王 磊,何冬梅,王 火,祝亚云

(江苏省林业科学研究院,江苏 南京 211153)

摘要:首先,阐述了目前江苏省沿海滩涂盐渍土壤存在土壤含盐量高、土壤养分贫瘠、淡水资源匮乏、土壤渗透性差等现状,并总结了目前盐渍土的改良技术,如改变利用方式、工程措施、物理改良、化学措施、农艺措施、生物措施等。其次,对盐碱土改良剂的分类和性能进行了比较分析,并提出了盐碱改良剂专利存在的问题。最后,针对盐碱土改良剂存在的问题,提出在今后的研究工作中,应将耐盐植被体系选育与滨海滩涂盐渍土改良技术相结合,对滨海重度盐渍土的复合改良剂进行最优配方研发,并就最优复合改良剂对盐渍土改良效应、经济效益及植被体系的应用效果进行评价。

关键词:沿海滩涂;盐渍土;土壤改良技术;土壤改良剂;江苏省

中图分类号:S156.4⁺2

文献标志码:A

doi:10.3969/j.issn.1001-7380.2017.05.011

Progress of soil amelioration technology in coastal beach in Jiangsu Province

WAN Xin, JIANG Hao*, WANG Lei, HE Dong-mei, WANG Huo, ZHU Ya-yun

(Jiangsu Academy of Forestry, Nanjing 211153, China)

Abstract: Firstly, the present situation of saline soil in Jiangsu coastal shoal was elaborated, including high salinity, poor nutrient, lack of fresh water resources, far from urban area, and poor permeability. And the soil improvement technology were summarized such as change of utilization pattern, improvement of physical and chemical properties, taking of engineering, agronomic, biological measures, etc. Secondly, the classification and performance of saline-alkaline soil improvers were compared and analyzed. And the extant problems of the patents about saline-alkali improver were pointed out. Finally, the corresponding suggestions in the future research work were offered, e.g. combination of the system of salt-tolerant plants breeding and mudflat soil improvement, optimal formulation in the compound modifier for saline soil, and evaluation of the applying effects of the optimal compound modifier, vegetation system, and economic benefit.

Key words: Coastal beach; Salty soil; Soil amelioration technology; Soil improver; Jiangsu Province

盐碱土是一种在世界范围内分布广泛的障碍性土壤,遍及各个大陆及亚大陆地区,而土壤盐渍化与次生盐渍化也是当今世界土壤退化的主要问题之一。江苏沿海有大量的滩涂资源,总面积约500 167 hm²,约占全国滩涂总面积的25%,是江苏省重要的后备土地资源^[1]。依据《江苏沿海滩涂围垦开发利用规划纲要》(2010),在2010—2020年,

江苏沿海地区共建设21个围区约18万hm²的垦区,确定新垦滩涂资源的60%须用于农业用地,20%用于生态用地,20%用于建设用地。其中特别指出,在实施沿海滩涂围垦目标中,要注重生态保护,加强沿海防护林、护岸林草、平原水库、湿地等建设^[2]。

本文从江苏省沿海滩涂盐渍土壤存在现状出

收稿日期:2017-09-02;修回日期:2017-09-12

基金项目:江苏省自然科学基金(省青年基金)项目“江苏省滨海湿地生态演替序列温室气体通量及影响因子研究”(BK20141040);江苏省林业科学研究院青年科技基金项目“城市森林土壤微生物群落结构及遗传多样性研究”(Y0004)

作者简介:万 欣(1983-),女,山东济宁人,助理研究员,博士。主要从事城市森林生态学及土壤学研究。

* **通信作者:**江 浩(1983-),男,江苏扬州人,助理研究员,博士。主要从事城市森林生态学研究。

发,总结目前盐渍土的改良技术,对盐碱土改良剂的分类和性能进行比较分析,并指出目前盐碱改良剂专利存在的问题,为今后盐渍土的研究工作提供一定的基础和依据。

1 沿海滩涂土壤现状

- (1)土壤含盐量高,大部分滩涂地区土壤含盐量超过 0.6%,达到中重度盐渍化土壤水平,部分地区为重盐土,无法生长任何植物。
- (2)土壤养分贫瘠,滩涂改良前土壤养分含量普遍处于全国第 2 次土壤普查标准的五六级水平,非常匮乏,限制了植物生长。
- (3)淡水资源匮乏,地表水和地下水普遍含盐,

- 对植物生长造成胁迫。
- (4)试验区距离城区较远,附属设施不健全,管理不便。
- (5)土壤渗透性差,易发生渍涝与板结,限制了根系呼吸。

2 盐渍土的改良技术

国内外专家学者在长期的盐碱土的改良利用过程中,对盐渍土的改良技术有大量研究,研发出众多的治理措施,对其进行分类,主要有工程措施改良,物理改良,化学改良,农艺措施改良和生物改良等^[3-8],汇总如表 1 所示。

表 1 国内外盐渍土治理方案方法汇总

改良措施类型	改良措施种类	功能说明
改变利用方式	建筑用地,咸水养殖	土壤质量较差,或有条件避免农业利用的,改变利用方式可减少治理成本
工程措施	围垄截水,滤层铺设,暗管排盐,排灌配套,蓄淡压盐,灌水洗盐,地下排盐,沙柱排水排盐,微地形,平整土地,抬高地形,微区改土	增加淡水截留,充分利用自然降水和灌溉水,淋洗盐分;降低地下水位,防止地下水盐害,及时排水,防止渍涝,加快面域排盐,节约土地
物理改良	物料掺拌,如粗砂、粉煤灰、污泥、沸石、珍珠岩、蛭石、粗石英砂、矿渣等客土 地表覆盖	改变土壤结构,增加孔隙,促进土体盐分淋洗 换为正常土壤,但是要配合工程措施,防止地下水返盐 减弱蒸发,减少盐分表聚
化学措施	改良剂,如聚乙二醇、磷酸二氢钾、脱硫石膏、SAP(高分子吸水树脂)等	置换出土壤胶体吸附的钠离子氯离子,增加土壤孔隙度,加快排盐
农艺措施	施用有机肥,秸秆还田; 深耕晒垡,及时松土; 滴灌,咸水冻融淋盐,微咸水灌溉,分根; 灌溉法,覆膜+滴灌; 种植水稻	增加土壤有机质,增加土壤孔隙度,破除土壤板结,加快土壤团粒结构形成,提高地温; 提高成活率,增加洗盐,减少水分浪费,促进植物生长
生物措施	耐盐植物栽培,如海滨木槿、滨梅、弗吉尼亚栎等 新型耐盐植物选育,如传统方法选育,基因工程选育等	提高成活率,加快改良进程
其他措施	电化学改良,直流电脱盐 微咸水磁化灌溉	排除土体盐分离子,促进土壤结构改善 能够增强植物的耐盐能力

3 盐碱土改良剂的比较分析

在工程水利改良、物理改良、化学改良、农艺措施改良等多种盐碱土改良技术中,盐碱土改良剂的开发及改良机理探究是一个重要的研究热点^[9-10]。盐渍土壤改良剂是加速滨海盐碱地开发利用进程的重要工具与手段,往往可以起到事半功倍的应用效果。目前常用的改良剂主要有高聚物^[11]、有机废弃物^[12]、含钙矿物^[13]等,研究表明,盐碱土改良剂能够改良土壤结构,改善理化性质,提高土壤肥力,防止水土流失,增加保水性能,且有效降低盐碱土盐分胁迫情况,提升作物产量和品质。贺海升等研

究了 17 种盐碱土改良剂,验证了其中 11 种有效改良剂能降低土壤电导率和 pH,并能提高白菜种子发芽各项指标^[14]。

3.1 盐碱土改良剂分类

目前对盐碱土改良剂的研究中,主要可归为化学改良措施,部分改良剂也结合了生物措施。结合部分文献综述和大量盐碱改良剂专利^[15-17],将改良剂分为以下几类:

第 1 类,石膏、磷石膏、脱硫石膏、硫酸铝等^[18-19]。通过其中的 Ca^{2+} 或 Al^{3+} 等离子的水解作用,产生 H^{+} ,在一定程度上中和土壤中的 OH^{-} ,同时,由于 Ca^{2+} 或 Al^{3+} 离子的置换作用,置换出土壤

中的 Na^+ , 提高土壤的阳离子交换量和盐基饱和度, 改善盐碱土性质。如谭小毛的专利“一种盐碱土壤改良剂”主要成分为脱硫石膏^[20], 吉林农业大学的专利“一种盐碱土改良剂及改良方法”只运用硫酸铝改良盐碱土^[21]。

第2类, 为硫酸、醋酸、盐酸、柠檬酸、水杨酸、草酸等酸性物质, 直接中和盐碱土中的 OH^- 。如张伟华等研究了腐植酸类材料对盐碱土的改良效果^[22], 周红娟等研究了木醋液对土壤化学、生物学性质的影响^[23], 发现2者都能显著改良土壤性状。路振国的专利“盐碱土壤改良剂及其制备方法”由冰乙酸、柠檬酸、草酸和水制备盐碱土壤改良剂^[24]。

第3类, 为化学肥料或其他矿物。盐碱土养分含量贫乏, 对植物也是一大限制因素, 通过提高土壤养分含量, 能够部分促进植物生长。如 Tozsin 等研究了废用黄铁矿对试验土壤和植物的影响, 发现处理能使试验土壤的酸碱性和交换性钠含量显著降低, 增加的基本植物微量营养素和小麦干物质重量^[25], 该研究与 Sharma 等在1989年的研究结论一致^[26]。上海农业科学院的专利“盐碱土壤改良专用缓释肥料及其制备方法”主要利用普通化肥和缓释包膜尿素, 提高土壤的保肥性能, 为农作物创造良好的土壤环境^[27]。

第4类, 为天然有机物或人工有机废弃物。如腐殖酸、草炭、风化煤、有机肥、秸秆等, 可为增加土壤有机质, 培肥地力, 促进土壤团聚体形成。如刘海崇的专利“一种盐碱土壤改良剂”所述, 应用磷石膏、风化煤、腐熟锯末、黄腐酸、腐熟酒糟、磷矿渣、生根剂等物料改良盐碱土, 其中大部分为工农业废弃物, 既减少了废弃物的产生, 又改良了土壤^[28]。

第5类, 为生物改良剂, 如植物激素、植物生长调节剂、有益微生物菌群等。这些生物改良剂可优化土壤生态环境, 改善植物生长状况, 部分提高植物的耐盐能力, 如赵亚彬等的专利“盐碱土壤改良方法应用乳酸菌改良盐碱土”^[29]。Idris 等^[30]研究了 *Bacillus subtilis* 菌系作为生物改良剂对植物的影响, 发现其对植物生长有较好的促进效果。

第6类, 为人工合成大分子物质^[31-32]。如卢玉献的专利“一种盐碱土壤改良剂应用”就是利用732型阳离子交换吸附树脂(H^+ 型)和有机聚合物配合其他成分进行盐碱土改良^[33]。

3.2 盐碱改良剂存在的问题

目前, 已授权的盐碱土壤改良剂专利的研究主

要从化学改良和生物改良的角度进行, 数量很大, 质量参差不齐。

上述几种改良剂对盐碱土改良虽然都有一定效果, 但是都有其局限性。首先, 都增加了土壤中盐分离子的数量, 尤其是第一类和第二类, 增加的数量较大, 短期内将增加土壤的盐分含量, 增加对植物的盐胁迫。其次, 都只能解决部分问题, 难以全面解决问题。第3, 效果难以持久。只是在表层施用, 只能短期起到效果, 不能根本上解决土壤结构改良和盐分排出的问题^[34]。这些专利有的采取措施较为繁琐, 难以精确定量实施, 不易取得良好效果, 如天津吉天环境科技发展有限公司的专利“一种盐碱土壤改良剂及其制备方法”^[35]。有的配方较为复杂, 需要添加的改良物料种类非常多, 不易配制, 并且其配制比例范围过大, 难以确定精确用量, 而在实际操作中, 经常由于部分物料的品质问题, 导致改良剂无法发挥最好的效果, 如杨德志的专利“盐碱土壤改良剂及其制备方法与应用”^[36]。有的改良剂需要特殊原料, 或者本身成本较高, 或者当地无法取得, 需要长距离运输, 较大地提高了改良剂的成本, 限制了其使用范围, 如江苏东珠景观股份有限公司的专利“一种华北地区盐碱土壤改良方法”^[37]。有的改良剂成分种类类同, 功能原理单一, 如上海市农业科学院的专利“盐碱土壤改良专用缓释肥料及其制备方法”^[27], 主要利用普通化肥和缓释包膜尿素, 难以全面高效地达到改良效果。有的改良剂种类过于单一, 如吉林农业大学的专利“一种盐碱土壤改良剂及改良方法”^[21], 只运用硫酸铝一种物料, 赵亚彬等的专利“盐碱土壤改良方法”^[29], 只运用乳酸菌一种微生物, 改良效果不全面。

部分专利利用不同行业的废弃物或伴生物配制盐碱土壤改良剂, 如天津市北方绿业生态科技有限公司的专利“一种盐碱土改良增肥调理剂及制备方法利用城市生活污水”^[38], 天津泰达绿化集团有限公司的专利“一种由园林废弃物制成的土壤改良基质及其制备方法利用城市园林废弃物”^[39], 田俊杰的专利“一种盐碱土壤改良剂及其制备方法利用鱼类水产加工废弃物”^[40]。该类盐碱土壤改良剂可以在较大程度上节约资源, 废物利用, 既减少了废弃物数量, 又改良了盐碱土。该类改良剂也存在部分局限性。首先, 来源问题, 城市废弃物一般只能应用于城市周边改良, 农业废弃物只能应用于农村

当地改良,水产加工废弃物总量较少^[41]。第2,成分难以把握,不同地区的废弃物成分差异极大,较难把握其总体情况,无法按照部分专利的配比精确确定,或者,按照部分专利的配方配制后的效果难以达到最佳效果。第3,城市来源的废弃物中的有害成分较多,如多聚芳烃、多氯联苯、重金属等,在实际应用中,只能部分解决盐碱土的盐害和碱化,但是又引入了新的重金属污染或有机污染物,仍然不能使用,得不偿失。

总之,目前的盐碱土壤改良剂研究中,在改良物料种类的选择和用量的确定方面,主要存在以下4个问题:

(1)部分改良剂研究过程缺乏研究方法论述,其物料添加种类和用量缺少细致的说明和探讨。这无疑降低了其科学性和说服力。

(2)部分改良剂改良物料种类过于单一。

(3)部分改良剂改良物料种类选择过多,其具体用量配方较难进行科学试验。

(4)部分改良剂配方中的物料选取往往其作用原理重复而不全面^[42]。

4 展望

综上所述,目前的土壤改良剂存在很多问题,需要继续研发新型复合改良剂,进而研究其对滨海盐渍土壤的调理作用及其在重度盐碱障碍立地植被体系构建的效应,为消减土壤盐碱障碍,构建生态植被体系,实现滩涂资源的高效和可持续利用,提供重要的理论依据和广阔的应用前景。笔者认为,在今后的土壤改良研发中,应从以下3方面进行深入研究:

(1)耐盐植被体系选育与滨海滩涂盐渍土改良技术优化集成。

(2)针对滨海重度盐渍土的复合改良剂最优配方研发,并分析复合改良剂对盐渍土的改良效应和对植物生长的促进作用。

(3)最优复合改良剂对盐渍土改良效应、经济效益及植被体系的应用效果评价。

参考文献:

[1] 江苏省人民政府办公厅.省政府办公厅关于转发省发展改革委省沿海办江苏沿海滩涂围垦开发利用规划纲要的通知[Z]. 2010-09-06.
[2] 《江苏沿海地区发展规划》解读[J].海洋开发与管理,2009,26(12): 32-45.

[3] 毕玉波,刘守军.黄河三角洲滨海盐渍土改良措施[J].农业开发与装备,2014(9):48.
[4] CHEN W, HOU Z, WU L, et al. Evaluating salinity distribution in soil irrigated with saline water in arid regions of northwest China [J].Agricultural Water Management,2010, 97(12):2001-2008.
[5] HASANUZZAMAN M, NAHAR K, ALAM M M, et al. Potential use of halophytes to remediate saline soils[J]. BioMed Research International, 2014: 1-12. <http://dx.doi.org/10.1155/2014/589341>
[6] 虎啸天,余冬梅,付江涛,等.盐渍土改良方法研究现状及其展望[J].盐湖研究,2014(2):68-72.
[7] 俞仁培,陈德明.我国盐渍土资源及其开发利用[J].土壤通报,1999,30(4):158-159,177.
[8] 赵 宣,韩零昌,王欢元,等.盐渍土改良技术研究进展[J].中国农学通报,2016,32(8):113-116.
[9] 李志杰,孙文彦,马卫萍,等.盐碱土改良技术回顾与展望[J].山东农业科学,2010(2):73-77.
[10] 孙蓓锋,王 旭.土壤调理剂的研究和应用进展[J].中国土壤与肥料,2013(1):1-7.
[11] 龙明杰,张宏伟.高聚物土壤结构改良剂的研究:Ⅱ.高聚物对土壤肥料的研究[J].中国土壤与肥料,2000(5):13-18.
[12] 代立兰,张怀山,夏曾润,等.有机废弃物菌糠和醋糟对次生盐渍化土壤修复效果研究[J].干旱地区农业研究,2014,32(1):218-222.
[13] 吴洪生,陈小青,周晓冬,等.磷石膏改良剂对江苏如东滨海盐土理化性状及小麦生长的影响[J].土壤学报,2012,49(6):1262-1266.
[14] 贺海升,王文杰,朱 虹,等.盐碱地土壤改良剂施用对种子萌发和生长的影响[J].生态学报,2008,28(11):5338-5346.
[15] 樊丽琴,杨建国.工业废弃物在盐碱地改良中的应用研究进展[J].河南农业科学,2012,41(1):21-24.
[16] 杨卫东,吴永健,刘春光.盐碱土改良剂的研究和应用进展[J].天津科技,2014(2):17-20.
[17] 邹东月.施地佳土壤改良剂在新疆的选择应用研究进展[J].农业科技通讯,2015(8):135-138.
[18] LI Y, XU Q. Study the effect of the use of FGD gypsum into the alkalization soil to improve soil property[J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2013(448-453):482-487.
[19] 李焕珍,徐玉佩,杨伟奇,等.脱硫石膏改良强度苏打盐渍土效果的研究[J].生态学杂志,1999,18(1):25-29.
[20] 谭小毛.一种盐碱土壤改良剂:中国,CN201210574143.4[P]. 2014-07-02.
[21] 吉林农业大学.一种盐碱土改良剂及改良方法:中国,CN200410010772.x[P]. 2005-10-05.
[22] 张伟华.风化煤、泥炭等腐植酸物质在改良盐碱土中的应用及前景[J].腐植酸,2010(1):35.
[23] 周红娟,耿玉清,丛日春,等.木醋液对盐碱土化学性质、酶活性及相关性的影响[J].土壤通报,2016,47(1):105-111.
[24] 路振国.盐碱土壤改良剂及其制备方法:中国,CN200910176749.0[P]. 2010-03-03.
[25] TOZSIN G. Use of waste pyrite as an alternative to gypsum for al-

- kaline soil amelioration [J]. International Journal of Mining Reclamation & Environment, 2015, 29 (3): 169-177.
- [26] SHARMA B M, YADAV J S P, et al. Removal during leaching and availability of iron and manganese in pyrite and farmyard-manure-treated alkali soil [J]. Soil Science, 1989, 147 (1): 17-22.
- [27] 上海市农业科学院. 盐碱土壤改良专用缓释肥料及其制备方法; 中国, CN201310078882.9 [P]. 2014-09-17.
- [28] 刘海崇. 一种盐碱土壤改良剂; 中国, CN 201310080579.2 [P]. 2014-12-03.
- [29] 赵亚彬, 臧青旺. 盐碱土壤改良方法; 中国, CN201310359499.0 [P]. 2015-03-04.
- [30] IDRIS E E, BOCHOW H, ROSS H, et al. Use of *Bacillus subtilis* as biocontrol agent. VI. Phytohormone-like action of culture filtrates prepared from plant growth-promoting *Bacillus amyloliquefaciens* FZB24, FZB42, FZB45 and *Bacillus subtilis* FZB37 [J]. Journal of Plant Diseases and Protection-New Series, 2004, 111 (6): 583-597.
- [31] 龙明杰, 张宏伟, 曾繁森. 高聚物土壤结构改良剂的研究 I. 淀粉接枝共聚物改良赤红壤的研究 [J]. 土壤学报, 2001, 38 (4): 584-589.
- [32] 王 雪. 土壤结构改良剂的研究利用现状综述 [J]. 中小企业管理与科技 (下旬刊), 2009 (9): 199.
- [33] 卢玉献. 一种盐碱土壤改良剂; 中国, CN201210297471.4 [P]. 2014-03-12.
- [34] 武 玉, 徐 刚, 吕迎春, 等. 生物炭对土壤理化性质影响的研究进展 [J]. 地球科学进展, 2014, 29 (1): 68-79.
- [35] 天津吉天环境科技发展有限公司. 一种盐碱土壤改良剂及其制备方法; 中国, CN201310300314.9 [P]. 2015-01-21.
- [36] 杨德志. 盐碱土壤改良剂及其制备方法与应用; 中国, CN201210203263 [P]. 2012-11-07.
- [37] 江苏东珠景观股份有限公司. 一种华北地区盐碱土壤改良方法; 中国, CN201410287425.5 [P]. 2014-10-15.
- [38] 天津市北方绿业生态科技有限公司. 一种盐碱土改良增肥调理剂及制备方法; 中国, CN200710059730.9 [P]. 2008-04-09.
- [39] 天津泰达绿化集团有限公司. 一种由园林废弃物制成的土壤改良基质及其制备方法; 中国, CN201210008115 [P]. 2012-07-18.
- [40] 田俊杰. 一种盐碱土壤改良剂及其制备方法; 中国, CN201210286131 [P]. 2012-12-05.
- [41] 王晓洋, 陈效民, 李孝良, 等. 不同改良剂对滨海盐渍土盐特性的影响 [J]. 水土保持通报, 2013, 33 (1): 261-264.
- [42] 杨劲松. 中国盐渍土研究的发展历程与展望 [J]. 土壤学报, 2008, 45 (5): 837-845.

(上接第 37 页)

- [2] 冷春梅, 陈家长, 巩俊霞, 等. 溴氰菊酯在水环境中的降解及对三种水生动物的毒性 [J]. 环境保护科学, 2009, 35 (4): 43-45, 53.
- [3] 罗 成, 应盛华, 冯明光. 球孢白僵菌对斜纹夜蛾高毒菌株筛选与制剂的研发 [J]. 中国生物防治学报, 2011, 27 (2): 188-196.
- [4] 张星耀, 骆有庆. 中国森林重大生物灾害 [M]. 北京: 中国林业出版社, 2003: 140-156.
- [5] 蒲蛰龙. 昆虫病理学 [M]. 广州: 广东科技出版社, 1992.
- [6] 曹 琼. 苏云金杆菌杀虫增效作用研究进展 [J]. 武汉科技学院学报, 2004, 17 (2): 44-48.
- [7] 赵善欢, 黄炳球, 胡美英. 川楝素与青虫菌等农药混用对菜青虫增效作用 [J]. 昆虫学报, 1989, 32 (2): 158-165.
- [8] 申继忠, 钱传范. 苏云金杆菌杀虫剂增效途径的研究进展 [J]. 生物防治通报, 1994, 10 (3): 135-140.
- [9] 许文耀. 添加物对 Bt 制剂杀灭鳞翅目害虫的增效作用 [J]. 华东昆虫学报, 2002, 11 (2): 99-104.
- [10] 苗建才. 灭幼脉类杀虫剂防治森林害虫的研究进展 [J]. 林业科学, 1989, 25 (6): 536-541.
- [11] 吴秋雁, 仇序佳. 灭幼脉作用机制的研究进展 [J]. 昆虫知识, 1991, 28 (3): 180-181.
- [12] 徐 明, 刘冬梅, 徐福元, 等. Bt 与灭幼脉混剂对美国白蛾第 2, 3 代幼虫的联合毒力及防治效果 [J]. 林业科学, 2013, 49 (12): 171-174.
- [13] 黄芙蓉. 白僵菌与病毒、苏云金杆菌、溴氰菊酯混合防治木毒蛾的研究 [J]. 福建林业科技, 2000, 27 (3): 55-58.
- [14] 丁 珊, 汤 坚, 王成树, 等. 灭幼脉与白僵菌的相容性及增效作用的研究 [J]. 安徽农业大学学报, 1996, 23 (3): 366-370.
- [15] 段彦丽, 陶万强, 曲良建, 等. HcNPV 和 Bt 复配对美国白蛾的致病性 [J]. 中国生物防治, 2008, 24 (3): 223-238.
- [16] BELL M R, RORNINE C L. *Heliothis virescens* and *H. zea* (Lepidoptera: Noctuidae) dosage effects of feeding mixtures of *Bacillus thuringiensis* and a nuclear polyhedrosis virus on mortality and growth [J]. Environmental Entomology, 1986, 15 (6): 1161-1165.
- [17] REED T, BASS M H. Larval and postlarval effects of diflubenzuron on the soybean Looper [J]. 1980, 73 (2): 332-338.
- [18] 殷向东, 徐 健, 刘 琴, 等. Bt 与 PuGV-Ps 复配最佳增效配比筛选方法 [J]. 植物保护学报, 2004, 31 (2): 219-220.
- [19] 陈 立, 徐汉虹, 李云宇, 等. 农药复配最佳增效配方筛选方法的探讨 [J]. 植物保护学报, 2000, 27 (4): 349-354.
- [20] 徐红梅, 陈京元, 江建国, 等. 灭幼脉Ⅲ号与阿维菌素乳油混剂防治马尾松毛虫试验 [J]. 中国森林病虫, 2003, 22 (6): 38-39.
- [21] 林晓安. 飞机超低量喷洒灭幼脉Ⅲ号与阿维菌素混剂防治试验 [J]. 林业科技开发, 2005, 19 (5): 69-70.