

烟田二氯喹啉酸污染的修复技术研究进展

黄国联¹, 张顺², 许家来³, 杨清林⁴, 李斌⁵, 李宏光¹, 陈德鑫^{2*} (1. 湖南省烟草公司郴州市公司, 湖南郴州 423000; 2. 中国农业科学院烟草研究所, 山东青岛 266100; 3. 山东省烟草研究院, 山东济南 250000; 4. 山东中烟工业有限责任公司, 山东济南 250000; 5. 中国烟草总公司四川省公司, 四川成都 610000)

摘要 二氯喹啉酸作为一种长效稻田除草剂, 其在土壤中的残留严重影响了稻烟轮作田块烟叶的产量和质量。综述了二氯喹啉酸在烟草上产生药害的原因和二氯喹啉酸污染治理措施, 主要通过耕作栽培措施、物理治理、化学修复和生物降解等措施治理二氯喹啉酸污染。此外, 讨论了二氯喹啉酸污染治理过程中存在的问题和面临的困难。

关键词 二氯喹啉酸; 污染; 修复

中图分类号 S181.3 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2014)06-01678-03

Advance in Restoration Technology of Quinclorac Pollution in Tobacco Plots

HUANG Guo-lian, CHEN De-xin et al (Chenzhou Company of Hunan Tobacco Company, Chenzhou, Hunan 423000; Tobacco Institute of CAAS, Qindao, Shandong 266100)

Abstract As a long-acting paddy herbicide, quinclorac has seriously affected the yield and quality of tobacco in the rice-tobacco crop rotation plots. This paper firstly summarized reasons for quinclorac producing injury to tobacco and measures of quinclorac pollution control. It stated that major measures include farming and cultivation, physical treatment, chemical restoration and biological degradation. Finally, it discussed existing problems and difficulties in pollution control of quinclorac.

Key words Quinclorac; Pollution; Restoration

农药作为重要的农业生产投入物资, 对促进农业发展、保障粮食供应具有重要作用^[1]。1990~2011年我国农药使用总量增加了100万t, 平均每年生产170万t。近几年随着农村劳动力的转移、劳动力成本上涨以及农田大面积流转, 农药的用量日益增加。但我国农药的有效利用率还不到30%^[2], 大量农药随雨水流入河湖或渗入土壤, 造成环境污染, 尤其是长残效农药如氟磺胺草醚、氯磺隆、2甲4氯、二氯喹啉酸等, 在土壤中降解慢、残效长, 易使下茬作物受害, 给我国农业生产造成严重影响^[3]。

近几年, 我国农药药害事故频频报道, 其中除草剂药害所占比例高达90%^[4]。1995~1996年黑龙江、江苏、广东等19个省(市、区)共发生药害200多起, 药害面积33.3多万hm², 经济损失近5亿元^[5]; 2004年陕西省设施蔬菜栽培面积0.46万hm², 药害受害面积高达0.3万hm², 占总面积的65.2%; 2005年据黑龙江省农业科学院不完全统计药害面积达1842.6hm²^[6]。在广东五华县发现大面积烟草生长畸形现象, 发生面积和受害程度逐年加重, 受害烟株叶缘下卷, 叶片向背面皱缩叶片狭长, 后经分析认定是上茬作物使用二氯喹啉酸除草剂所致^[7]。笔者简要介绍了二氯喹啉酸及其对烟草生长的影响和作用机理, 综述了目前烟田治理二氯喹啉酸污染的常用措施, 并讨论治理措施中存在的问题和解决思路。

1 二氯喹啉酸简介

二氯喹啉酸, 1984年由德国巴斯夫公司开始推广的一种激素型喹啉酸类除草剂, ISO通用名称: Quinclorac, 分子式:

C₁₀H₅Cl₂NO₂, 结构式见图1, 化学名称: 3,7-二氯喹啉-8-羧酸(3,7-dichloroquinoline-8-carboxylic acid), 其常见的商品名有神锄(1代、2代)、快杀稗、杀稗灵、稗草净、克稗星和稗草王等^[8]。

二氯喹啉酸纯品外观为无色透明固体, 稍有气味; 对光、温等外界条件稳定^[9-10], 土壤中二氯喹啉酸的消失与土壤湿度呈线性关系^[11]。在田间自然状态下二氯喹啉酸降解缓慢, 主要依靠土壤中的微生物和有关的降解酶类, 李品新等^[12]研究表明, 稻田在推荐施用量下, 偏酸性土壤, 经过269d后对烟草叶宽的生长没有显著影响, 经过342d后, 才消除对烟草根生长没有显著影响的范围。

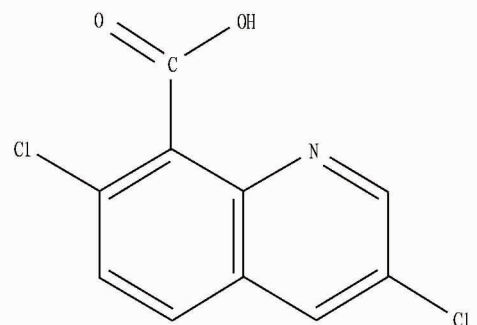


图1 二氯喹啉酸结构式

二氯喹啉酸因其对防治稻田稗草具有良好的效果而得到了广泛的推广和应用, 但由于其半衰期达43.12d^[13], 降解缓慢, 在土壤中残效期长; 且许多茄科和十字花科作物对其极为敏感, 二氯喹啉酸按正常田间使用量12个月内不能种茄子、烟草, 2年内不能种番茄和胡萝卜等十字花科作物^[14]; 因而, 在其大量使用的同时也引起了环境污染并影响烟叶的生产。

2 二氯喹啉酸作用机理

二氯喹啉酸是激素类型除草剂, 其作用靶标为植物体内的合成激素, 使靶标植物代谢紊乱, 叶片扭曲变形, 严重者整

基金项目 中国烟草总公司基金项目(110200902065); 四川省烟草公司基金项目(201302005); 山东省烟草公司基金项目(201001); 湖南省烟草公司基金项目(12-14Aa03)。

作者简介 黄国联(1967-), 男, 湖南涟源人, 农艺师, 从事烟叶生产技术和企业管理。*通讯作者, 副研究员, 硕士, 从事烟草植物保护研究。

收稿日期 2014-02-06

株枯萎死亡,从而达到除草的目的^[15]。

对于二氯喹啉酸的作用机理国内外学者有不同的观点,但大都认为其主要作用物质是乙烯和生成乙烯过程中积累的氰化物使植株受害。KOO 等^[16]研究表明,二氯喹啉酸的靶标位点位于细胞壁的生物合成中,在植物体内起到抑制细胞壁合成的作用,不同禾本科植物的感受位点对二氯喹啉酸的敏感性不同,所以二氯喹啉酸对不同作物具有选择性。

当植株上的二氯喹啉酸受体受到其刺激后经由生长素途径调节基因的转录和表达,导致 ACC(1-氨基环丙烷-1-羧酸)合成酶重新合成,从而使植株体内的 ACC 水平提高。ACC 在 ACC 氧化酶作用下氧化释放出乙烯并产生微量的氰化物,氰化物在敏感植物体内积累使多种生化过程受到抑制,从而起到杀草的目的^[17-18]。也有研究表明,乙烯通过抑制细胞壁合成酶活性而减少细胞壁的合成,同时也会引起 ABA(脱落酸)的积累,促进植株衰老。敏感作物对二氯喹啉酸的作用症状与对 IAA(吲哚-3-乙酸)反应有相似之处,使植株的气孔孔径减小,从而减少对二氧化碳的吸收,增强呼吸作用,同样促进植株的衰老^[19-21]。二氯喹啉酸使植株受害是一个复杂的生化过程,涉及到植株体内多种生长激素水平的变化和有害物质的积累,抑制生长,加速衰老,至于其具体机理还有待于进一步研究。

3 二氯喹啉酸对烟株生长的影响

二氯喹啉酸在烟株上的药害表现为:叶缘向下弯曲、叶片皱缩变厚(图 2),随二氯喹啉酸田间浓度增大,叶宽逐渐变窄甚至呈鼠尾状,叶片前端分叉;整株烟失去顶端优势,在田间分蘖生长,严重者可分 5~6 蘖。叶片总厚度、上表皮厚度、下表皮厚度、栅栏组织和海绵组织厚度较正常叶片都增厚,茎的表皮厚度、导管直径、髓面积较正常烟株均小^[22]。张倩^[23]在田间测定二氯喹啉酸使用量 5 a. i. g/hm² 时,烟株开始表现出受害症状,但经过一段时间的生长还能自行恢复;但当田间施用浓度达 20 a. i. g/hm² 时,烟株生长受到明显抑制,叶宽变窄;当达到 60 a. i. g/hm² 时严重影响烟叶的产量和品质,甚至绝收。



图 2 受二氯喹啉酸伤害的烟株

受二氯喹啉酸毒害烟株的生理生化变化表现为:氨基酸总含量增加,可溶性糖含量降低,蛋白质合成受阻,导致烟株生长缓慢^[24];叶和根中 SOD(超氧化物歧化酶)、CAT(过氧化氢酶)和 Apx(抗坏血酸过氧化物酶)等酶活性下降, $\cdot\text{OH}$

和 O_2^- ·自由基增加破坏细胞器;叶绿体体积变小,外膜模糊不清,基粒片层减少,叶绿体整体结构受到明显破坏^[25]。

4 烟田二氯喹啉酸污染治理措施

深入了解二氯喹啉酸对烟草生长的影响和其作用机理,对治理烟田二氯喹啉酸污染和开发烟田安全剂有重要意义。目前,针对烟田二氯喹啉酸污染问题的治理措施主要有物理方法治理、化学药剂补救、栽培措施缓解和微生物降解等措施。

4.1 物理措施 物理防治措施主要利用活性炭、粉煤灰等具有吸附特性的物质吸附土壤中残留的二氯喹啉酸。或向田间撒施生石灰中和二氯喹啉酸,减短其在土壤中的半衰期,促进降解。陈泽鹏等^[26]证明,田间施用生石灰(300~600 kg/hm²)对二氯喹啉酸引起的烟草畸形生长症状有一定减轻,但不能使烟草恢复正常,施用活性炭的修复效果较好,施用 93.75 kg/hm² 时烟草即可正常生长,畸形症状逐渐恢复到正常水平。

4.2 栽培措施

4.2.1 移栽壮苗。对移栽在受二氯喹啉酸污染的烟田调查发现,同样品种和管理措施下生长势旺的植株对二氯喹啉酸的耐性稍高,较其他烟株受二氯喹啉酸影响较小,因此,在向施用二氯喹啉酸的稻烟轮作田块移栽烤烟时,应选栽长势旺盛的烟苗。

4.2.2 加强水肥管理。合理追肥,施足底肥,多施有机肥或秸秆还田,能减轻二氯喹啉酸对烟草的影响,因为土壤的吸附作用主要与有机质含量、土壤 pH、温度、表面活性剂、阳离子交换量有关^[27],土壤中有有机质、黏土矿物含量越多对除草剂的吸附能力越强。欧阳彬等研究也表明,有机质含量对二氯喹啉酸在土壤中的降解起着重要作用,其降解率随着有机质含量升高而增加,可能是因为有机质提高了土壤中有关降解酶和降解菌的活性。因此,加强田间管理,促进烟株生长,使用有机肥活化土壤促进二氯喹啉酸的降解和有利二氯喹啉酸的吸附,对烟田二氯喹啉酸污染治理具有积极作用。

4.2.3 深耕覆土。深耕覆土对二氯喹啉酸的土壤污染也可以起到一定的缓解作用,因为除草剂在土壤中的移动性很弱,一般只存在于表土层 30 cm^[28]。因此,采用深耕覆土技术可以将二氯喹啉酸含量较高的表层土与深层土相混,起到稀释二氯喹啉酸的目的,减轻对地上烟株的影响。

4.3 化学措施 化学措施对烟田二氯喹啉酸污染的修复,主要是对已经出现二氯喹啉酸药害的烟株进行修复,常用的药剂有 75% 赤霉素、15% 高效氨基酸糖磷脂、0.01% 芸苔素内酯、植保素、水杨酸等,对受害烟苗有一定的生长恢复功能^[26]。刘华山等^[29]用 0.01 mmol/L 的硝普钠处理受害烟苗,测得烟株体内 SOD、CAT、Apx 等酶的活性提高, O_2^- ·和 $\cdot\text{OH}$ 等自由基含量和过氧化物产量减少,使受害烟株生长得到一定程度的恢复。此外,刘华山等^[30]研究也表明,外源钙离子能提高活性氧和相关保护酶系统的活性,减轻二氯喹啉酸的影响。

4.4 生物措施 二氯喹啉酸在土壤中降解主要依靠微生物分解和土壤中有关酶类的降解,因此从多年连续施用二氯喹啉

酸的稻田土壤中分离对二氯喹啉酸具有高效降解功能的菌株用于二氯喹啉酸污染土壤的治理是一个很好的解决思路。

LU等^[31-33]从农药厂的污水处理厂分离到2株二氯喹啉酸的高效降解菌株,分别为菌株LS(苍白杆菌属, *Ochrobactrum sp.*)和WZ1洋葱伯克氏菌(*Burkholderia cepacia*),研究表明,2菌株对二氯喹啉酸的最终降解率分别可达95.7%和93.5%。徐淑霞等^[34]从二氯喹啉酸农药厂的污水处理池中分离到一株二氯喹啉酸高效降解菌株HN36(博德特氏菌属, *Bordetella sp.*),48h对二氯喹啉酸的降解率达96.2%。黄宁^[7]向稻田土壤中按梯度施用二氯喹啉酸进行菌株驯化,从稻田土中分离出一株B51菌株,可将500mg/L的二氯喹啉酸降解65%;并对分离到的菌株进行二氯喹啉酸受害烟株的修复试验,其对受害较轻的烟株修复率可达70%,对受害较严重的烟株修复率也达到50%以上。董俊宇等^[35]采用富集培养技术从长期施用二氯喹啉酸的土壤中分离得到1株能够降解二氯喹啉酸的细菌J3(*Alcaligenes sp.*),对二氯喹啉酸的降解率可达70%以上,对受二氯喹啉酸药害的盆栽烟草恢复率可达69%。

利用降解菌治理二氯喹啉酸污染的土壤不仅可以从根本解决二氯喹啉酸在土壤中残留问题,还可以活化土壤中过氧化氢酶、过氧化物酶、脲酶、蛋白酶、脱氢酶等酶的活性,改善土壤活性^[36-37];同时也增强了叶片中SOD、CAT、POD等酶的活性,增强叶片对 $O_2 \cdot$ 和 $\cdot OH$ 等自由基的清除能力;恢复烟株的正常生长,被破坏的叶绿体等细胞器逐渐恢复,基粒片层变得清晰,烟叶成熟时化学成分与对照无明显差异^[16,22,38]。

4.5 抗二氯喹啉酸烟草品种选育 通过转基因技术将代谢二氯喹啉酸相应酶的基因转移到烟草中,培育抗性品种也是解决烟田二氯喹啉酸污染的一个新思路。自1996年第一批抗草甘膦转基因作物培育^[39]到现在已有许多抗除草剂作物新品种的报道,如抗咪唑啉酮玉米、水稻、油菜和甜菜品种的培育等^[40-42]。目前,将烟草ALS突变基因导入作物中创造出了抗磺酰脲类除草剂的烟草品种;将细菌Klebsiella ozaeae编码的腈水解酶(brom oxynilspecific nitrilase, BXN)基因转入烟草,获得了抗溴化苯腈的转基因烟草品种^[41];将*Pseudomonas fluorescens*的HPPD基因导入烟草,获得了高抗恶唑草酮除草剂的烟草品种^[43];但抗二氯喹啉酸除草剂的烟草品种尚未见报道,有待于进一步的研究开发。

5 讨论

(1)物理治理中向二氯喹啉酸污染的烟田撒施生石灰中和土壤中残留二氯喹啉酸,加快其降解的同时,也改变了土壤质地,使土壤的酸性增强,不利于烟草的生长,因为烟株在偏酸性土壤中生长更好。与此同时,利用活性炭和生石灰还易造成二次污染,使防治成本大大提高。

(2)栽培耕作措施只能缓解二氯喹啉酸对下茬烟草生长的影响,无法从根本上清除烟田土壤中残留的二氯喹啉酸,对二氯喹啉酸残留较多的烟田效果不明显。

(3)虽然喷施芸苔素内酯、赤霉素、高效氨基酸糖磷脂、

植保素、水杨酸等药剂在一定程度上能恢复烟株生长,但二氯喹啉酸在烟株上产生的药害是不可逆的,但土壤中较高浓度的二氯喹啉酸残留对烟叶的质量和品质仍有一定的影响。而且,化学药剂缓解二氯喹啉酸药害有一定限度,激素类化学药剂使用不当还可能加重药害,适得其反。

(4)生物降解技术相对上述3种治理措施,能从根本上解决烟田土壤二氯喹啉酸污染问题,且目前已经分离到几株对二氯喹啉酸具有高效降解效果的细菌降解菌株。虽然目前分离到的降解菌株在实验室条件下有很好的降解效果,但由于田间环境复杂,田间降解效果试验较少,市场上也没有能够用于田间二氯喹啉酸污染治理的生防菌剂;有待于进一步的研究,明确降解菌的作用机理,探究更高效降解菌剂的开发。另外,大量施用降解菌剂对二氯喹啉酸田间稗草的防效影响也是值得思考的问题。

(5)利用转基因技术培育抗除草烟草品种,不仅可以解决土壤中残留二氯喹啉酸对烟草的毒害作用,还能够有效减轻烟农的劳动量。但基因的漂流问题也会加快杂草对除草剂抗性的进化速度,使除草剂的药效降低甚至丧失。

二氯喹啉酸污染的物理治理措施、栽培耕作措施、化学药剂缓解措施和微生物降解方法虽都能在在一定程度上治理烟田二氯喹啉酸的污染,但都存在一定的弊端,在组合应用这些举措的同时还应从分子层面研究二氯喹啉酸对烟株生长影响的作用机理,开发相应的烟田除草剂安全剂,或利用转基因技术探索抗除草剂的烟草品种培育;另一方面,从源头解决二氯喹啉酸污染问题,选用残效期较短的替代性稻田除草剂,减轻对下茬烟草的影响。

参考文献

- [1] 刘长江,门万杰,刘彦军,等. 农药对土壤的污染及污染土壤的生物修复[J]. 农业系统科学与综合研究,2002,18(4):295-297.
- [2] 王塞妮,李蕴成. 我国农药使用现状、影响和对策[J]. 现代预防医学,2007,34(27):3853-3855.
- [3] 王险峰,范志伟,胡荣娟,等. 除草剂药害新进展与解决方法[J]. 农药,2009,5(5):384-388.
- [4] 赵海平,王秀梅,王强军,等. 农美利等除草剂对水稻要害的研究[J]. 浙江农业学报,2000,12(6):368-373.
- [5] 顾宝根. 农药药害和中毒问题不容忽视-1995年~1996年部分省市农药药害中毒情况及原因分析[J]. 农药科学与管理,1997,62(2):31-32.
- [6] 黄春艳. 黑龙江省2005年农药药害发生特点及2006年预防建议[J]. 黑龙江农业科学,2006(2):41-43.
- [7] 黄宁. 二氯喹啉酸降解菌的筛选及其降解条件的研究[D]. 开封:河南农业大学,2009.
- [8] GROSSMANN K. Auxin herbicides: current status of mechanism and mode of action[J]. Pest Management Science,2010,66(2):113-120.
- [9] STERING T M. Mechanism of herbicide absorption across plasma membranes and accumulation plant cells[J]. Weed Sci,1994,42:263-267.
- [10] 王静,陈泽鹏,万树青,等. 二氯喹啉酸在烟草水培液中的消解动态及对烟草生长的影响[J]. 广东农业科学,2007(2):59-61.
- [11] HILL B D, MOYER J R, INABA D J, et al. Effect of moisture on quinclorac dissipation in Lethbridge soil[J]. Canadian Journal of Plant Science, 1998,78(4):697-702.
- [12] 李星新,韩锦峰,刘华山,等. 二氯喹啉酸对烤烟种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 河南农业科学,2010(2):37-39.
- [13] 李欣. 二氯喹啉酸在烟地中的残留降解吸附及烟地和烟叶中的效应研究[D]. 长沙:湖南农业大学,2011.
- [14] CHEN Z P, WANG J, WAN S Q, et al. Degradation dynamic of quinclorac in soil of growing tobacco[J]. Agrochemicals,2007,46(7):479-4831.

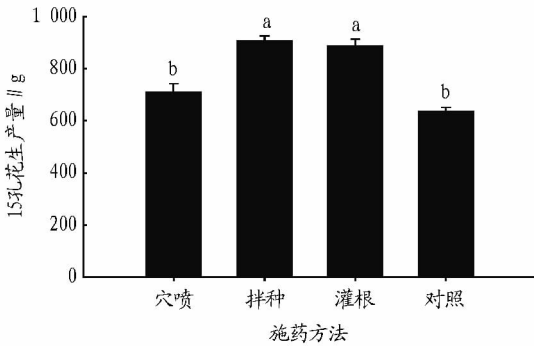


图3 不同施药方法对花生果实产量的影响

3 结论与讨论

(1) 由试验结果可以看出,3种药剂对蛴螬均具有一定的控制效果,且不同药剂对蛴螬的防治效果、对花生的保果效果和产量都没有显著性差异。此结果与曲明静等^[6]试验得出的毒死蜱和辛硫磷对花生保果效果较好的结果相一致。

(2) 在3种施药方法中,穴喷雾处理是最好的防治方法,其对蛴螬的防治效果及对花生的保果效果均优于其他2种施药方法。与刘琪等^[7]通过研究得出的对蛴螬防治效果最好的3种防治方法中,有2种即为穴喷雾处理的研究结果一致。

(3) 尽管穴喷雾处理对蛴螬的防治效果及对花生的保果

效果最好,但收获的花生产量却没有拌种和灌根处理的高。造成这一结果的原因可能是:①在测算花生产量时,每个小区取15穴花生,但这15穴花生中可能由1颗苗发育而来的,也可能由2颗苗发育而来的,从而可能造成最后测产数据的不准确;②该试验地2012年的蛴螬发生并不严重,出苗率的高低对花生产量的影响在一定程度上比药剂防治蛴螬更大。总之,在3种施药方法中,穴喷雾法对花生蛴螬的防治效果最好。当然,这个结论是在3种药剂的单一浓度,且蛴螬发生量不大的条件下得出的,若改变药剂浓度,或蛴螬为害加重,是否会造成3种施药方法防治效果的变化还需进一步研究和探讨。

参考文献

- [1] 肖嵘. 中国花生产品国际竞争力研究[D]. 武汉:华中农业大学,2010.
 - [2] 苏卫华,戚仁德,朱建祥,等. 辛硫磷35CS释放特性与施药方法对花生蛴螬防治效果的影响[J]. 安徽农业科学,2012,40(8):4542-4543,4636.
 - [3] 陈建明,俞晓平,陈列忠,等. 我国地下害虫的发生为害和治理策略[J]. 浙江农业学报,2004(6):389-394.
 - [4] 刘小民,郭巍,李瑞军,等. 12种药剂对蛴螬的田间药效评价[J]. 花生学报,2010,39(3):12-15.
 - [5] SPSS Inc. Statistical package for social sciences [M]. Chicago, IL: SPSS Inc., 2007.
 - [6] 曲明静,姜晓静,鞠倩,等. 4种杀虫剂对花生蛴螬的防治效果及农药残留研究[J]. 植物保护,2011,37(2):167-169.
 - [7] 刘琪,吴峰,邹华丽,等. 花生地下害虫防治药剂筛选试验[J]. 湖北植保,2012(1):21-22.
- (上接第1680页)
- [15] 邓建朝. 二氯喹啉酸对烟草致畸机理及畸形恢复研究[D]. 广州:华南农业大学,2005.
 - [16] KOO S J, NEAL C, DITOMASO J M. Mechanism of action and selectivity of quinclorac in grass roots [J]. Pesticide Biochemistry and Physiology, 1997, 57(1):44-53.
 - [17] LOPEZ-MARTINEZ N, SHIMABUKURU R H, PRADU R, et al. Effect of quinclorac on auxin induced growth transmembrane proton gradient and ethylene biosynthesis in *Echinochloa* spp. [J]. Australian Journal of Plant Physiology, 1998, 25(7):851-857.
 - [18] GROSSMAN K, SCHMULLING T. The effects of the herbicide quinclorac on shoot growth in tomato is alleviated by inhibitors of ethylene biosynthesis and by the presence of the auxin construct to the 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid (ACC) synthase gene in transgenic plants [J]. Plant Growth Regulation, 1995, 16(2):183-188.
 - [19] GROSSMANN K. A Role for Cyanide, Derived from Ethylene Biosynthesis, in the Development of Stress Symptoms [J]. Pesticide Biochemistry and Physiology, 1996, 97(4):772-775.
 - [20] GROSSMAN K, SCHELTRUP F. Selective induction of 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid (ACC) synthase activity is involved in the selectivity of the auxin herbicide quinclorac between barnyard grass and rice [J]. Pesticide Biochemistry and Physiology, 1997, 58(2):145-153.
 - [21] 宋稳成, 杨仁斌, 郭正元, 等. 二氯喹啉酸除草剂残留与降解研究进展[J]. 世界农药, 2005, 27(3):42-44.
 - [22] 韩锦峰, 张志勇, 刘华山, 等. 稻田残留二氯喹啉酸对后茬烤烟的危害及其修复研究进展[J]. 中国烟草学报, 2013(1):81-83.
 - [23] 张倩. 二氯喹啉酸在不同土壤中的降解规律及其影响因素[J]. 中国烟草科学, 2013, 34(6):83-88.
 - [24] 王静. 土壤残留二氯喹啉酸引起烟草畸形生长的研究[D]. 广州:华南农业大学, 2004.
 - [25] 刘华山, 左涛, 韩锦峰, 等. 降解菌 HN36 对二氯喹啉酸胁迫下烤烟茎尖及叶片超微结构的影响[J]. 植物生态学报, 2012, 36(3):262-268.
 - [26] 陈泽鹏, 邓建朝, 万树青, 等. 二氯喹啉酸致烟草畸形的解剂筛选解毒效果[J]. 生态环境, 2007, 16(2):453-456.
 - [27] MBUYA O S, NKEDI KIZZA P, BOOTE K J. Fate of atrazine in sandy soil cropped with sorghum [J]. Environ Qual, 2001, 30:71-77.
 - [28] THURMAN E M, ARON E C. Atmospheric transport deposition and fate of triazine herbicides and their metabolites in Pristine areas at Isle Royale National Park [J]. Environ Sci Technol, 2000, 34:3079-3085.
 - [29] 刘华山, 李晶新, 韩锦峰, 等. 二氯喹啉酸胁迫下 SNP 对烟苗活性氧及保护酶系统的修复效应[J]. 华北农学报, 2010, 25(2):156-158.
 - [30] 刘华山, 王晓军, 韩锦峰, 等. 外源钙对二氯喹啉酸胁迫下烤烟活性氧及保护酶的修复效应[J]. 河南农业科学, 2012(2):64-67.
 - [31] LU Z M, LI Z M, SANG L Y, et al. Characterization of a Strain Capable of Degrading a Herbicide Mixture of Quinclorac and Bensulfuronmethyl [J]. PEDOSPHERE, 2008, 18(5):554-563.
 - [32] LU Z M, WU S W, RUAN A D. phylogenetic and degradation characterization of *Buerkholderia cepacia* WZ1 degrading quinclorac [J]. Environ Sci Heal B, 2003, 38(6):771-782.
 - [33] LU Z M, MIN H, YE Y F, et al. Influences of Quinclorac on Culturable Microorganisms and Soil Respiration in Flooded Paddy Soil [J]. Biomedical and Environmental Sciences, 2003, 16:314-322.
 - [34] 徐淑霞, 周杰, 黄宁, 等. 二氯喹啉酸降解菌 HN36 的分离、鉴定及降解特性研究[J]. 安全与环境学报, 2012(4):45-48.
 - [35] 董俊宇, 罗坤, 柏连阳, 等. 二氯喹啉酸降解菌的分离鉴定及降解特性分析[J]. 农药学报, 2013, 15(3):316-322.
 - [36] 刘华山, 左涛, 韩锦峰, 等. 博德特氏菌 HN36 对土壤酶活性和呼吸强度的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2011(3):83-86.
 - [37] 易建华, 韩锦峰, 刘华山, 等. 博德特氏菌 HN36 对二氯喹啉酸胁迫下烤烟的修复效应[J]. 河南农业科学, 2012, 41(3):51-55.
 - [38] 左涛, 刘华山, 韩锦峰, 等. 二氯喹啉酸胁迫下降解菌对烤烟叶片中活性氧及保护酶的影响[J]. 河南农业科学, 2010(12):36-39.
 - [39] 陈海伟, 张鲁华, 陈德富, 等. 除草剂及抗除草剂作物的应用现状与展望[J]. 生物技术通报, 2012(10):35-40.
 - [40] NEWHOUSE K, SINGH B, SHANER D, et al. Mutations in corn conferring resistance to imidazolinone herbicides [J]. Theor Appl Genet, 1991, 83(1):65-70.
 - [41] SWANSON E B, HERRGESELL M J, ARNOLDO M, et al. Microspore mutagenesis and selection: Canola plants with field tolerance to the imidazolinones [J]. Theor Appl Genet, 1989, 78(4):525-530.
 - [42] WEBSTER E P, MASSON J A. Acetolactate synthase-inhibiting herbicides on imidazolinone-tolerant rice [J]. Weed Sci, 2001, 49(5):652-657.
 - [43] MATRINGE M, SAILAND A, PELLISSIER B, et al. p-Hydroxyphenylpyruvate dioxygenase inhibitor-resistant plants [J]. Pest Manag Sci, 2005, 61(3):269-276.