

◆ 品种介绍 ◆

# 新型介离子嘧啶酮类杀虫剂三氟苯嘧啶及其开发

谭海军

(苏州艾科尔化工科技有限公司, 江苏昆山 215300)

**摘要:** 稻飞虱不仅直接危害水稻, 还能够传播病毒, 严重影响水稻的产量和品质。随着稻飞虱对现有常规杀虫剂的抗性风险增加, 新型介离子嘧啶酮类杀虫剂三氟苯嘧啶以其新颖的化学结构和作用机理、对敏感和抗性稻飞虱有特效等显著特点而备受关注。从理化性质、毒理学、代谢与残留、作用特点与活性、产品的开发应用等方面对三氟苯嘧啶进行了介绍。

**关键词:** 三氟苯嘧啶; 介离子嘧啶酮类杀虫剂; 烟碱乙酰胆碱受体抑制剂; 稻飞虱; 抗性防治; 合成路线; 产品应用

中图分类号: TQ 450.1 文献标志码: A doi: 10.3969/j.issn.1671-5284.2019.05.013

## New Mesoionic Pyrimidone Insecticide Triflumezopyrim and Its Development

Tan Hai-jun

(Suzhou ACE Chemical Technology Co., Ltd., Jiangsu Kunshan 215300, China)

**Abstract:** Rice planthoppers caused significant damage to rice yield and quality through direct attack and indirect virus transmission. Along with increasing resistance risk of rice planthoppers against conventional insecticides, a novel mesoionic pyrimidone insecticide triflumezopyrim got more attention as its outstanding features including novel chemical structure and mode of action, excellent insecticidal potency to sensitive and resistant rice planthoppers. Triflumezopyrim and its development was briefly reviewed in terms of physicochemical properties, toxicology, metabolism and residue, characteristics of action and insecticidal activity, product development and application.

**Key words:** triflumezopyrim; mesoionic pyrimidone insecticide; inhibitor of nicotinic acetylcholine receptors; rice planthoppers; resistance control; synthesis route; product application

稻飞虱属于同翅目(*Homoptera*)飞虱科(*Delphacidae*)是水稻种植中的主要害虫之一。其不仅直接刺吸植株汁液, 为害水稻, 还能传播水稻锯齿叶矮缩病毒、水稻草矮病毒和水稻条纹病毒等<sup>[1-2]</sup>, 严重影响水稻的产量和品质。为害亚太地区水稻的飞虱主要有3种: 褐飞虱 *Nilaparvata lugens* (Stål)、白背飞虱 *Sogatella furcifera* (Horvath) 和灰飞虱 *Laodelphax striatellus* (Fallén), 其中以褐飞虱发生和为害最重, 白背飞虱次之。随着稻飞虱对常规药剂抗性的不断增强, 其发生危害程度逐年加重, 迫切需要开发新型杀虫剂来解决这一难题。三氟苯嘧啶是美国杜邦公司专门为亚太市场开发的第一个新型介离子嘧啶酮类杀虫剂<sup>[3]</sup>, 开发代号DPX-RAB55, 其

化学结构和作用机理新颖, 高效、低毒、对环境友好, 可有效防治各种抗性飞虱和叶蝉等害虫<sup>[4]</sup>。

本文对三氟苯嘧啶的理化性质、毒理学、代谢与残留、作用特点、生物活性、产品的开发应用等进行了介绍。

### 1 理化性质

三氟苯嘧啶的化学结构核心为吡啶并嘧啶二酮, 同时具有正负电荷离域的偶极化合物特征, 因而具有3种正负电荷互变异构体(图1)。其中前两种比较常用, 分别为SciFinder检索表达式和杜邦专利表达式。

三氟苯嘧啶的IUPAC化学名称为3,4-二氢-2,4-

收稿日期: 2019-03-26

作者简介: 谭海军(1985—), 男, 湖南省常德市人, 硕士, 工程师, 主要从事精细化工技术与应用工作。E-mail: tanhaijun@foxmail.com

二氧代-1-(嘧啶-5-基甲基)-3-( $\alpha,\alpha,\alpha$ -三氟间甲苯基)-2H-吡啶并[1,2- $\alpha$ ]嘧啶-1-鎓-3-盐, CAS登录号为1263133-33-0, 分子式为 $C_{20}H_{13}F_3N_4O_2$ , 相对分子质量为398.34。三氟苯嘧啶为黄色无味固体, 熔点为 $188.8\sim 190^\circ\text{C}$ ,  $205\sim 210^\circ\text{C}$ 开始分解, 蒸汽压为 $2.88\times 10^{-8}\text{ Pa}$ ( $30^\circ\text{C}$ ), 亨利常数 $4.19\times 10^{-8}\text{ Pa}\cdot\text{m}^3/\text{mol}$ , 相对密度 $1.4502\pm 0.0096$ ( $20^\circ\text{C}$ ), 堆密度 $0.835\text{ g/cm}^3$ , 实密度 $0.913\text{ g/cm}^3$ , pH值(1%水悬浮液)为 $8.0\pm 0.05$ , 正辛醇-水分配系数 $\text{Log}P_{ow}=1.23\pm 0.01$ (pH=4,

$20^\circ\text{C}$ );水和有机溶剂中的溶解度(g/L):水 $0.23\pm 0.01$ ( $20^\circ\text{C}$ ),  $N,N$ -二甲基甲酰胺377.62, 乙腈65.87, 甲醇7.65, 丙酮71.85, 乙酸乙酯14.65, 二氯甲烷76.07, 邻二甲苯0.702, 正辛醇1.059, 正己烷 $0.0005^{[9]}$ 。

三氟苯嘧啶的稳定性 pH值为4、7和9时对水解稳定( $50^\circ\text{C}$ );自然水中光解( $25^\circ\text{C}$ ) $\text{DT}_{50}$ 值为2.8 d, 缓冲液中光解 $\text{DT}_{50}$ 值为2.1 d;对金属和金属离子稳定( $54^\circ\text{C}$  14 d);不易燃、不自燃, 对热、摩擦和挤压等不敏感<sup>[9]</sup>。

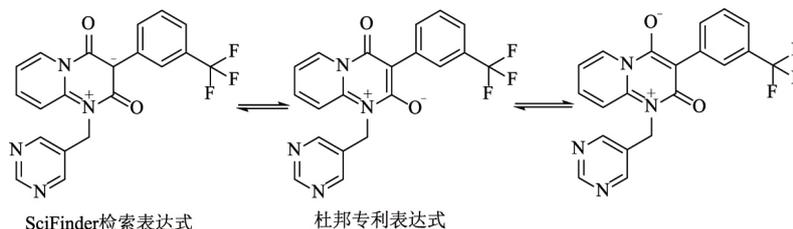


图1 三氟苯嘧啶的3种正负电荷互变异构体

## 2 毒理学

### 2.1 哺乳动物毒性

三氟苯嘧啶对大鼠急性经口 $\text{LD}_{50}$ 值 $>4\ 930\text{ mg/kg}$ , 大鼠急性经皮 $\text{LD}_{50}$ 值 $>5\ 000\text{ mg/kg}$ , 大鼠吸入 $\text{LC}_{50}$ 值(4 h) $>5\text{ mg/L}$ ;对家兔眼睛有轻微刺激性, 对家兔皮肤无刺激性, 对豚鼠皮肤无致敏性;每日允许摄入量约为 $0\sim 0.2\text{ mg/kg}^{[6]}$ 。三氟苯嘧啶无体外基因毒性、致畸性、免疫毒性和神经毒性<sup>[6]</sup>。

### 2.2 生态毒性

三氟苯嘧啶对有益生物的影响较小。北美鹌(*Colinus virginianus*)急性经口 $\text{LD}_{50}$ 值为 $2\ 109\text{ mg/kg}$ , 短期饲喂 $\text{LD}_{50}$ 值 $>935\text{ mg/kg}$ , 鲤鱼(*Cyprinus carpio*)急性 $\text{LC}_{50}$ 值(96 h) $>100\text{ mg/L}$ , 虹鳟鱼(*Oncorhynchus mykiss*)急性 $\text{LC}_{50}$ 值(96 h) $>107\text{ mg/L}$ ;大型溞(*Daphnia magna*) $\text{EC}_{50}$ 值(48 h) $>122\text{ mg/L}^{[7]}$ 。

三氟苯嘧啶对赤子爱胜蚓(*Eisenia foetida*)的 $\text{LC}_{50}$ 值(14 d) $>1\ 000\text{ mg/kg}$ ;对西方蜜蜂(*Apis mellifera*)接触 $\text{LD}_{50}$ 值(72 h)为 $0.39\ \mu\text{g/只}$ , 经口 $\text{LD}_{50}$ 值(72 h)为 $0.51\ \mu\text{g/只}^{[7]}$ , 毒性高于其他烟碱类杀虫剂、乙基多杀菌素、氟虫腈和茚虫威。

三氟苯嘧啶在实验室和田间条件下对多种寄生蜂、瓢虫、捕食天敌如蜘蛛、小花蝽、盲蝽等无害或微毒, 田间使用浓度 $200\text{ g/hm}^2$ 对肉食性天敌蜘蛛无不良影响, 与自然天敌具有良好的相容性, 可用于有害生物综合防治和生态工程项目<sup>[8-9]</sup>。

## 3 代谢与残留

### 3.1 体内代谢

在动物体内, 几乎所有标记的化合物都通过尿液(40%~48%)和粪便(43%~53%)排出, 主要排泄物为母体化合物三氟苯嘧啶(在尿液中占比约为41%, 粪便中占比约为18%), 还有部分去羟基、水解、氧化和去羧基等代谢途径产物<sup>[10]</sup>。

三氟苯嘧啶在植物体内的代谢产物主要为母体化合物三氟苯嘧啶, 还有叶片中的IN-RPA19、叶片和秸秆中的IN-R6U72、谷粒中的IN-Y2186和谷壳中的IN-R3Z91;在土壤中具有潜在的富集性, 其残留不会从土壤中转移到后茬作物。代谢产物IN-SBY68仅在土壤中出现;在水中的光解产物为INRUB93<sup>[10]</sup>。三氟苯嘧啶在环境中的主要代谢产物如图2所示。

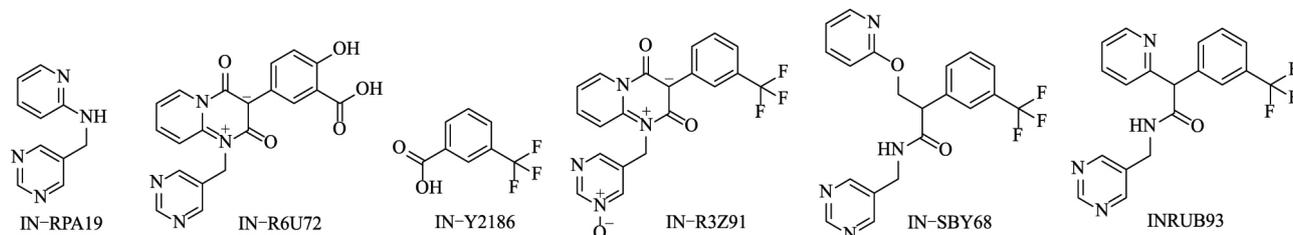


图2 三氟苯嘧啶的6个主要代谢产物

### 3.2 残留限量与检测

美国于2017年对三氟苯嘧啶的最大残留限量进行了规定,在去壳大米和含壳大米中的最大残留限量分别为0.4 mg/kg和1.0 mg/kg。日本于2018年发布的大米中三氟苯嘧啶的最大残留限量为0.01 mg/kg。农药残留联席会议(JMPR)和欧洲食品安全管理局(EFSA)建议的三氟苯嘧啶的最大残留限量<sup>[10]</sup>除JMPR对大米建议为0.2 mg/kg外,其余均为0.01 mg/kg。

三氟苯嘧啶在植物和动物中都可使用液相色谱-串联质谱(LC-MS/MS)进行残留检测,但前处理方法不同<sup>[5,7]</sup>。植物基质使用乙醇+水(体积比7:3)萃取后,用HLB固相萃取柱净化,动物组织、奶和蛋的基质使用乙腈+水(体积比1:1)萃取后直接分析。QuEChERS多残留检测法也适用于三氟苯嘧啶<sup>[5,7]</sup>。彭家慧等<sup>[11]</sup>用乙腈萃取基质后,以分散固相萃取净化结合高效液相色谱仪(DSPE-LC)对水稻(糙米、谷壳和植株)、土壤和田水中的三氟苯嘧啶残留进行了测定。

## 4 作用特点与活性

### 4.1 作用特点

与吡虫啉、氟啶虫胺胍和氟吡呋喃酮等新烟碱类杀虫剂不同,三氟苯嘧啶是现有作用于烟碱乙酰胆碱受体的杀虫剂中唯一一起抑制作用的药剂,即为烟碱乙酰胆碱受体抑制剂。与吡虫啉等烟碱乙酰胆碱受体竞争调节剂一样<sup>[4]</sup>,三氟苯嘧啶通过与烟碱乙酰胆碱受体的正性位点结合,阻断靶标害虫的神经递递而发挥杀虫活性。但由于与烟碱乙酰胆碱受体竞争调节剂对受体的结合方式不同,且与之存在竞争关系<sup>[6]</sup>,三氟苯嘧啶能够有效防治对新烟碱类杀虫剂产生抗性的稻飞虱等害虫,国际杀虫剂抗性行动委员会将其归属于第4E亚组<sup>[12]</sup>。

在摄入三氟苯嘧啶后15分钟至数小时,美洲大蠊、桃蚜和褐飞虱等害虫即出现中毒症状,呆滞不动,无兴奋或痉挛现象,随后麻痹、瘫痪,直至死亡<sup>[6,13]</sup>。

三氟苯嘧啶具有内吸传导活性,可在植物木质部移动<sup>[14]</sup>,既可用于叶面喷雾,也可用于育苗箱<sup>[2]</sup>土壤处理。

### 4.2 生物活性

三氟苯嘧啶对飞虱等同翅目害虫及其传播的病毒具有很好的防控效果,增产效果明显<sup>[15]</sup>,可用于水稻、玉米、马铃薯、棉花和大豆等作物及其温室苗圃种植。研究表明,三氟苯嘧啶对玉米蜡蝉、马铃薯叶蝉、水稻褐飞虱和二点黑尾叶蝉均具有较高活

性<sup>[13]</sup>,其LC<sub>50</sub>值为0.2~1.6 mg/kg,对水稻稻飞虱的活性明显高于吡虫啉<sup>[4]</sup>,但对小菜蛾、秋黏虫和桃蚜<sup>[16]</sup>等其他害虫的活性相对较低。三氟苯嘧啶对水稻褐飞虱<sup>[17]</sup>和白背飞虱<sup>[18]</sup>有特效,可用于该类害虫的抗性管理。

## 5 原药的合成供应

### 5.1 合成路线

三氟苯嘧啶可由中间体2-[3-(三氟甲基)苯基]丙二酸二(2,4,6-三氯苯酚)酯或2-[3-(三氟甲基)苯基]丙二酰氯( )与中间体*N*-(5-嘧啶基)甲基-2-吡啶胺( )缩合稠环化得到<sup>[19-20]</sup>,其合成路线见图3。结合原料、操作、反应条件、原子利用率和三废等因素,中间体( )优选2-[3-(三氟甲基)苯基]丙二酰氯( -Cl)。

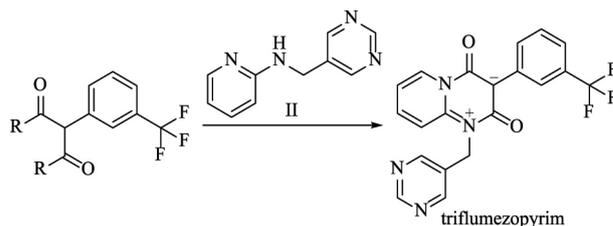


图3 三氟苯嘧啶原药的合成路线  
(R为氯或2,4,6-三氯苯酚基)

以间三氟甲基碘苯( )<sup>[19-20]</sup>或间三氟甲基苯乙酸( )<sup>[21]</sup>为起始原料,经合成共同的中间体2-[3-(三氟甲基)苯基]丙二酸甲酯( )后,在碱性条件下水解<sup>[3,5]</sup>、酰氯化得到中间体2-[3-(三氟甲基)苯基]丙二酰氯( -Cl),其合成路线见图4。其中,共同的中间体( )可由间三氟甲基碘苯( )与丙二酸二甲酯( )偶联得到,或由间三氟甲基苯乙酸( )经酯化后取代得到。

中间体*N*-(5-嘧啶基)甲基-2-吡啶胺( )的合成路线如图5所示。以2-氨基吡啶( )和5-醛基嘧啶( )为原料,经缩合还原<sup>[2]</sup>或一步合成<sup>[20]</sup>得到。

### 5.2 原药分析

三氟苯嘧啶原药可使用带二极管阵列检测器的高效液相色谱仪,用外标法测定其有效成分含量<sup>[22]</sup>。标样和试样用乙腈溶解,以乙腈+0.1%乙酸水溶液(体积比5:5)为流动相,选择波长264 nm进行检测。

### 5.3 原药供应

目前三氟苯嘧啶的化合物和合成路线还处于专利期,仅有美国杜邦公司生产。该公司的三氟苯

嘧啶原药在中国最早的登记含量为94%,现已更新为98%;目前在印度的登记含量为94%。三氟苯嘧啶

化合物在中国的专利(CN102665415A)将于2030年8月3日届满。

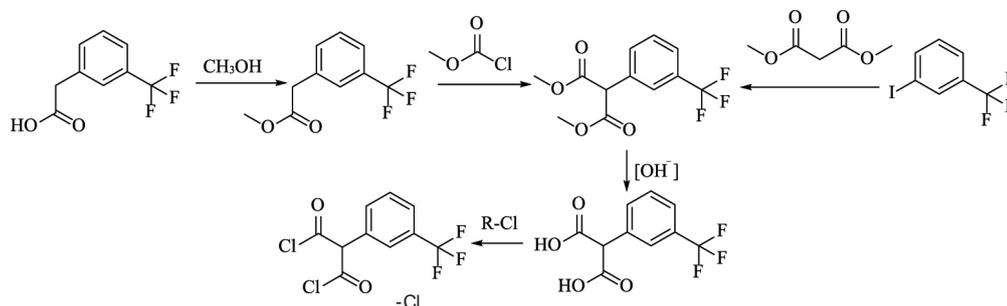


图4 中间体(-Cl)的合成路线

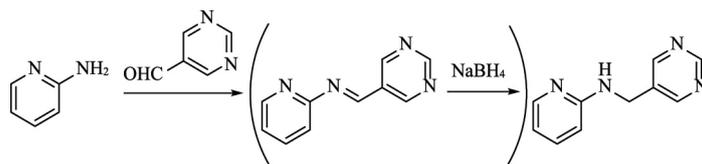


图5 中间体( )的合成路线

## 6 制剂的开发应用

### 6.1 制剂及其应用

目前开发的三氟苯嘧啶单剂主要有10% SC和10.6% SC,于水稻生长早期、稻飞虱虫口密度始繁时茎叶喷雾,可显著防控敏感和抗性稻飞虱。10.6%三氟苯嘧啶SC在印度按剂量237 mL/hm<sup>2</sup>处理防治水稻褐飞虱和白背飞虱,防效优于其他常规药剂,且增产效果明显<sup>[23]</sup>。用于玉米灰飞虱防治的50%三氟苯嘧啶FS和其他单剂及新应用也正在开发中。

三氟苯嘧啶的复配和混用研究开发主要集中在以下2个方面:①与不同作用靶标的杀虫剂复配或混用,如鱼尼丁受体抑制剂氯虫苯甲酰胺和溴氰虫酰胺,钠通道抑制剂茚虫威,蜕皮激素生长调节剂甲氧虫酰肼,以及谷氨酸门控氯离子通道调节剂阿维菌素和甲氨基阿维菌素苯甲酸盐等;②与相同作用靶标但不同作用方式的杀虫剂复配或混用,如噻虫嗪、吡虫啉、烯啶虫胺、噻嗪酮、噻虫啉、噻虫胺、啉虫脒、呋虫胺、氟吡呋喃酮等。

通过与不同作用机理的杀虫剂复配,实现协同增效,降低用量和成本,减少抗性风险。研究表明<sup>[24-26]</sup>,三氟苯嘧啶与氯虫苯甲酰胺桶混或复配(8.3%三氟苯嘧啶+10.7%氯虫苯甲酰胺SC)于稻纵卷叶螟卵孵化高峰期、稻飞虱若虫高峰期施用,可实现对水稻田中的稻飞虱、稻纵卷叶螟和二化螟等多种害虫的有效防控,防效显著且速效性较好,持效期较长,对水稻生长安全,对天敌蜘蛛和黑肩绿盲蝽的影响较小。此外,三氟苯嘧啶与氟吡呋喃酮等1种或多种新烟碱类杀虫剂复配后对多种同翅目、鳞翅目、双翅目、缨翅目和半翅目害虫均具有较好的防效<sup>[27-28]</sup>。

### 6.2 制剂登记

三氟苯嘧啶最早由美国杜邦公司于2016年在中国获得临时登记,商品名为佰靛珑®(10%三氟苯嘧啶SC)叶面喷雾用于防治水稻稻飞虱。国内公司通过授权将其与阿维菌素、氯虫苯甲酰胺和溴氰虫酰胺等邻甲酰氨基苯甲酰胺类杀虫剂进行复配登记,用于水稻上的多种害虫防治。三氟苯嘧啶制剂在中国的登记情况见表1。

表1 三氟苯嘧啶制剂在中国的登记情况

有效成分	含量及剂型	防治对象	用量/(mL·hm <sup>2</sup> )
三氟苯嘧啶	10% SC	稻飞虱	150~240
三氟苯嘧啶+阿维菌素	8%+3% SC	稻飞虱、稻纵卷叶螟	225~300
三氟苯嘧啶+氯虫苯甲酰胺	8.3%+10.7% SC	稻飞虱、稻纵卷叶螟、二化螟	225~300
三氟苯嘧啶+溴氰虫酰胺	8.3%+14.7% SC	稻飞虱、稻纵卷叶螟、二化螟	225~300

注:登记作物均为水稻。

国外登记方面,美国杜邦公司于2017年在美国

获得了三氟苯嘧啶的进口许可,商品名为PyraXalt®

(10%三氟苯嘧啶SC)。三氟苯嘧啶于2018年在越南获得登记,商品名为Pexena<sup>®</sup>(106 g/L三氟苯嘧啶SC),用于防治水稻褐飞虱、白背飞虱和灰飞虱。同年,10%三氟苯嘧啶SC在印度的9(3)类制剂登记也获得批准。三氟苯嘧啶在日本、韩国、菲律宾、马来西亚、印度尼西亚和泰国等国家的登记正在进行中。

## 7 小结

作为第一个商业化的介离子嘧啶酮类杀虫剂,三氟苯嘧啶以其新颖的作用机理和对同翅目害虫的高防效、长持效性,对哺乳动物和有益生物的无影响或低毒性,对水稻等作物安全的突出特点而被高度关注。三氟苯嘧啶能够有效防控对现有药剂产生抗性的水稻褐飞虱和白背飞虱,同时可控制由稻飞虱传播的多种病毒病害,用于有害生物的综合防治。通过其与不同或相似作用机理的杀虫剂复配,可以扩大杀虫谱,发挥协同防除效果,减缓抗性风险。

由于目前三氟苯嘧啶还处于专利保护初期,其深度开发和研究应用有待进行。随着三氟苯嘧啶在多国登记的陆续获批和应用推广的不断深入,其市场潜力巨大。

### 参考文献

- [1] Cabautan P Q, Cabunagan R C, Choi I R. Rice Viruses Transmitted by the Brown Planthopper *Nilaparvata lugens* (Stål) [M]. Philippine: International Rice Research Institute, 2009: 357-368.
- [2] Vineet S, Robert M L, Daniel R V, et al. DuPont<sup>™</sup> PyraXalt<sup>™</sup> (DPX-RAB55; Triflumezopyrim) for Rice Planthopper Management [C]//Matsuyama: 42<sup>nd</sup> Annual Meeting of Pesticide Science Society of Japan, 2017.
- [3] Holyoke J C W, Zhang W, Tong T M. Mixtures of Mesoionic Pesticides: WO, 2011017351A2 [P]. 2011-02-10.
- [4] Daniel C, Eric A B, Mark E S, et al. Mode of Action of Triflumezopyrim: A Novel Mesoionic Insecticide Which Inhibits the Nicotinic Acetylcholine Receptor [J]. *Insect Biochemistry and Molecular Biology*, 2016, 74: 32-41.
- [5] The Joint FAO/WHO Meeting on Pesticide Residues. Triflumezopyrim (303). [EB/OL]. [2018-10-25]. [http://www.fao.org/fileadmin/templates/agphome/documents/Pests\\_Pesticides/JMPR/Evaluation\\_2017/TRIFLUMEZOPYRIM\\_\\_303.pdf](http://www.fao.org/fileadmin/templates/agphome/documents/Pests_Pesticides/JMPR/Evaluation_2017/TRIFLUMEZOPYRIM__303.pdf).
- [6] Holyoke C W, Zhang W M, Pahutski T F, et al. Triflumezopyrim: Discovery and Optimization of a Mesoionic Insecticide for Rice [M]. Washington, DC: ACS Publication, 2015: 365-378.
- [7] The Joint FAO/WHO Meeting on Pesticide Residues. Triflumezopyrim. [EB/OL]. [2018-10-25]. [http://www.fao.org/fileadmin/templates/agphome/documents/Pests\\_Pesticides/JMPR/Report2017/5.38\\_TRI-FLUMEZOPYRIM\\_\\_303\\_.pdf](http://www.fao.org/fileadmin/templates/agphome/documents/Pests_Pesticides/JMPR/Report2017/5.38_TRI-FLUMEZOPYRIM__303_.pdf).
- [8] Zhu J, Li Y, Jiang H, et al. Selective Toxicity of the Mesoionic Insecticide, Triflumezopyrim, to Rice Planthoppers and Beneficial Arthropods [J]. *Ecotoxicology*, 2018, 27 (4): 411-419.
- [9] Rameshwar R, Vineet S, Daisuke Y, et al. DuPont<sup>™</sup> PyraXalt<sup>™</sup> (DPX-RAB55; Triflumezopyrim): A New Tool for IPM Programs in Rice in AP [C]//Matsuyama: 42<sup>nd</sup> Annual Meeting of Pesticide Science Society of Japan, 2017.
- [10] European Food Safety Authority. Scientific Support for Preparing an EU Position in the 50<sup>th</sup> Session of the Codex Committee on Pesticide Residues. [EB/OL]. (2018-05-17) [2018-10-25]. <https://efsa.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.2903/j.efsa.2018.5306>.
- [11] 彭家慧, 廖丽萍, 聂思桥, 等. 三氟苯嘧啶在水稻、土壤和田水中的残留分析方法 [J]. *农药*, 2018, 57 (1): 50-53.
- [12] Insecticide Resistance Action Committee. Mode of Action Classification [EB/OL]. (2016-04) [2018-09-30]. <http://www.irac-online.org/documents/moa-structures-poster-english/?ext=pdf>.
- [13] Zhang W M, Holyoke C W, Pahutski T F, et al. Mesoionic Pyrido [1,2-*a*]pyrimidinones: Discovery of Triflumezopyrim as a Potent Hopper Insecticide [J]. *Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters*, 2017, 27 (1): 16-20.
- [14] Vineet S, Luis T, Daniel V, et al. Triflumezopyrim (PyraXalt<sup>™</sup>): A New Approach to Rice Plant Hopper Management in Asia Pacific [C]//Orlando, Florida, USA: 2016 Xxv International Congress of Entomology, 2016.
- [15] Guruprasad G S, Pramesh D, Mastana R B G, et al. Triflumezopyrim (DPX-RAB55): A Novel Promising Insecticide for the Management of Plant Hoppers in Paddy [J]. *Journal of Experimental Zoology India*, 2016, 19 (2): 955-961.
- [16] 英君伍, 雷光月, 宋玉泉, 等. 三氟苯嘧啶的合成与杀虫活性研究 [J]. *现代农药*, 2017, 16 (2): 14-16; 20.
- [17] Baehaki S E, Aditya B W, Iskandar Z, et al. Rice Brown Planthopper Baseline Susceptibility to the New Insecticide Triflumezopyrim in East Java [J]. *Research Journal of Agriculture and Environmental Management*, 2016, 5 (9): 269-278.
- [18] Baehaki S E, Iskandar Z, Aditya B W, et al. Resistance of White-backed Planthopper, *Sogatella furcifera* (Horvarth) Against Mesoionic insecticide Triflumezopyrim Using Topical Application Method [J]. *International Journal of Entomology Research*, 2018, 3 (1): 56-64.
- [19] Pahutski T F. Mesoionic Pyrido [1,2-*a*] pyrimidine Pesticides: WO, 2012092115 [P]. 2012-07-05.
- [20] Zhang W M, Annis G D. Malonic Acid Di-salts and a Method for Preparing Malonyl Dihalides: WO, 2013090547 [P]. 2013-06-20.
- [21] Oliva A, De C G, Grams F, et al. Barbituric Acid Derivatives with Antimetastatic and Antitumor Activity: WO, 9858925 [P]. 1998-12-30.

(下转第 56 页)

### 3 结论与讨论

在供试的几种具有植物生长调节功能的化合物处理中,在生长期的第30 d时处理2的两个稀释倍液的可溶性糖含量均低于CK,其中处理3的800倍液在所有处理中的含糖量最高。在所有处理中第30 d时马铃薯幼苗叶片中的蛋白质含量较CK最显著的是处理5和6,且两者均是400倍液处理的蛋白质含量高于800倍液。同一个处理不同浓度的马铃薯幼苗呈现出不同的生长状态,在合适的浓度下马铃薯幼苗呈现健壮的生长状态。各处理叶片中的氨基酸含量随着植物的生长而增加,增长幅度高于CK。在成熟块茎中的淀粉含量也呈现出较好的结果,对马铃薯块茎中的淀粉累积具有一定的促进作用,增加马铃薯干物质的含量,达到改善马铃薯品质的目的。综合马铃薯品质的多个指标来看,各处理在可溶性糖含量、氨基酸含量、淀粉含量等各方面具有较高的改善品质的作用。

#### 参考文献

- [1] 赵敏,邵凤赟,周淑新,等.植物生长调节剂对农作物和环境的安全性[J].环境与健康杂志,2007,24(5):370-371.
- [2] Zhang J H, Zhu L F, Yu S M, et al. Involvement of 1-Methylcyclopropene in Plant Growth, Ethylene Production, and Synthase Activity of Inferior Spikelets in Hybrid Rice Differing in Panicle Architectures[J]. Journal of Plant Growth Regulation, 2014, 33(3): 551-561.
- [3] Bendevis M A, Sun Y J, Shabala S, et al. Differentiation of Photopeptide-Induced ABA and Soluble Sugar Responses of Two Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) Cultivars[J]. Journal of Plant Growth Regulation, 2014, 33: 562-570.
- [4] Gururani M A, Upadhyaya C P, Baskar V, et al. Plant Growth-Promoting Rhizobacteria Enhance Abiotic Stress Tolerance in *Solanum Tuberosum* Through Inducing Changes in the Expression of ROS-Scavenging Enzymes and Improved Photosynthetic Performance[J]. Plant Growth Regulation, 2013, 32: 245-258.

- [5] Ghasemi S, Khoshgoftarmanesh A H, Hadadzadeh H, et al. Synthesis of Iron-Amino Acid Chelates and Evaluation of Their Efficacy as Iron Source and Growth Stimulator for Tomato in Nutrient Solution Culture[J]. Plant Growth Regulation, 2012, 31: 498-508.
- [6] 张巽,王鑫.植物生长调节剂的研究现状及其在马铃薯田的应用进展[J].安徽农学通报,2006,12(13):61-63.
- [7] Wang H Q, Xiao L T. Effects of Chlorocholine Chloride on Phytohormones and Photosynthetic Characteristics in Potato (*Solanum tuberosum* L.) [J]. Plant Growth Regulation, 2009, 28: 21-27.
- [8] Ramirez I, Dorta F, Espinoza V, et al. Effects of Foliar and Root Applications of Methanol on the Growth of Arabidopsis, Tobacco, and Tomato Plants[J]. Plant Growth Regulation, 2006, 25: 30-44.
- [9] 徐军.4种植物生长调节剂对马铃薯的影响[J].甘肃农业科技,2013(4):26-27.
- [10] 李宝华,徐春全.马铃薯生长期喷施调节剂对其产量及淀粉含量的影响[J].中国马铃薯,2002,16(4):229.
- [11] 许良忠,吴华龙,陈蔚燕,等.含萘二甲酰胺基团的化合物及其制备方法以及含有所述化合物的植物生长调节剂组合物:ZL,201410021206.2[P].2014-04-16.
- [12] 许良忠,陈蔚燕,王明慧,等.一种萘二甲酰胺类化合物及其盐作为植物生长调节剂的应用:ZL,201310730613.6[P].2014-03-19.
- [13] 许良忠,吴华龙,陈蔚燕,等.一种肉桂酰胺类化合物作为植物生长调节剂的应用:ZL,201410028243.6[P].2014-04-16.
- [14] 许良忠,陈蔚燕,王明慧,等.一种含肉桂酰胺基团的甜菜碱型植物生长调节剂:ZL,201310732463.2[P].2014-04-02.
- [15] 许良忠,陈蔚燕,王明慧,等.一种山梨酰胺类化合物及其盐作为植物生长调节剂的用途:ZL,201310729318.9[P].2014-04-12.
- [16] 许良忠,陈蔚燕,王明慧,等.一种含山梨酰胺基团的甜菜碱型植物生长调节剂:ZL,201310732348.5[P].2014-04-02.
- [17] 曹建康,姜微波,赵玉梅.果蔬采后生理生化实验指导[M].北京:中国轻工业出版社,2007.
- [18] 高俊凤.植物生理学实验技术[M].西安:世界图书出版公司,2000.
- [19] 符云鹏,刘国顺,刘学芝.烤烟叶片发育过程中氨基酸含量变化的研究[J].中国烟草学报,1998,4(1):15-19.

(责任编辑:徐娟)

(上接第 46 页)

- [22] 俞建忠,谢均,姜宜飞,等. Triflumezopyrim 10% 悬浮剂高效液相色谱分析方法研究[J]. 农药科学与管理, 2015, 36(3): 49-51.
- [23] Ranjith K E, Guruprasad G S, Arun K H, et al. Bioefficacy of Novel Insecticides Against Planthoppers in Direct Seeded Rice [J]. Plant Archives, 2017, 17(2): 1047-1051.
- [24] 唐涛,叶波,刘雪源,等.多靶标杀虫剂—三氟苯嘧啶混配剂对水稻害虫的田间防治效果[J].植物保护,2016,42(6):202-207.
- [25] 陈时健,薛金龙.19%氯虫·三氟苯嘧啶悬浮剂防治稻飞虱、稻纵

- 卷叶螟田间效果试验简报[J].上海农业科技,2017(4):129;131.
- [26] 梁锋,谭德锦,韩凌云,等.19%三氟苯嘧啶·氯虫苯甲酰胺悬浮剂对水稻主要害虫的田间防治效果及对两种天敌的影响[J].南方农业学报,2017,48(10):1824-1831.
- [27] 张伟.一种含三氟苯嘧啶的复配杀虫组合物:ZL,104430473A[P].2015-03-25.
- [28] 张志伟,陈佛祥,王礼文,等.含有氟吡呋喃酮和三氟苯嘧啶的杀虫组合物:ZL,105432635A[P].2016-03-30.

(责任编辑:石凌波)