

稻田 抗药性杂草

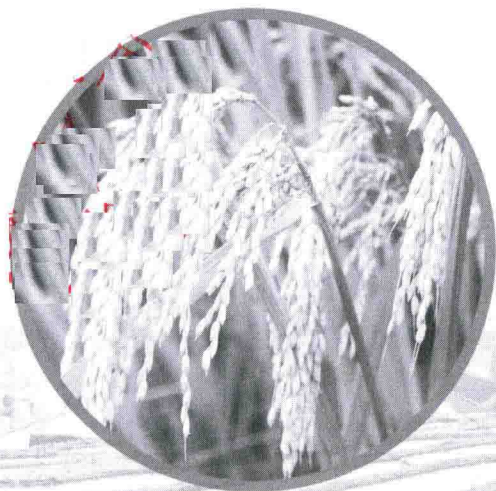
吴明根 李延子 主编



 中国农业出版社

稻田抗药性杂草

吴明根 李延子 主编



中国农业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

稻田抗药性杂草/吴明根, 李延子主编. —北京:
中国农业出版社, 2015. 12

ISBN 978-7-109-21168-1

I. ①稻… II. ①吴…②李… III. ①稻田—抗药性
—杂草—研究 IV. ①S451.21

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 279587 号

中国农业出版社出版

(北京市朝阳区麦子店街 18 号楼)

(邮政编码 100125)

责任编辑 张 利

中国农业出版社印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行

2015 年 12 月第 1 版 2015 年 12 月北京第 1 次印刷

开本: 880mm×1230mm 1/32 印张: 3.625 插页: 8

字数: 95 千字

定价: 18.00 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

前



化学除草剂的普及大大减轻了杂草危害造成的作物产量损失，提高了经济效益，减轻了种地的劳动强度，提高了劳动效率。然而不知何时开始，出现了在同一稻田、使用同一除草剂，打不死同一种类杂草的“怪象”。种稻户怀疑除草剂的商品质量，而除草剂厂家、销售点怀疑种稻户的使用技术不过关，甚至出现“打官司”的纠纷。针对“怪象”，延边大学杂草抗药性研究团队从1999年开始普查东北稻区稻田问题杂草种类及其发生现状。发现随着农村劳动力的城市转移、土壤耕作制度的变更以及对化学除草剂依赖程度的提高，东北稻区稻田杂草种类及群落结构发生了变化，杂草防控难度逐年增加，甚至出现草害而“水改旱”的种稻户。当前控草难的突出表现概括起来为以下3个方面。一是抗药性杂草发生趋势严峻。不仅多种杂草产生抗药性突变、抗药突变生态型出现的频度加快，而且存在交叉抗除草剂生态型，使不少稻区抗药生态型杂草已成为稻田的优势杂草种。二是难防杂草的扩散、蔓延趋势严峻。由于抗药性杂草种多数为异花授粉植物、多结实性，客观上具备了扩散快、蔓延重的条件。同时，机械化收割的普及，给包括抗药生态型杂草、外来入侵杂草等

难防杂草种类的快速、长距离移动提供了途径。三是除草剂药害成为作物增产的制约因素。伴随着稻田杂草防除难度的加大，种稻户的除草剂使用剂量也增加、不合理使用的机会增多，导致除草剂药害发生的概率增加。作物的多数药害是属于隐性药害，普查中发现不少稻田虽然外观形态上不易观察到药害症状，但可以看出分蘖少、生长压抑等隐形药害症状。总之，除草剂打不死杂草的“怪象”既不是厂家的问题，也不是种稻户的问题，而是杂草产生抗药突变的结果。

近 15 年来，延边大学杂草抗药性研究课题组得到国家自然科学基金委的项目（慈姑抗磺酰脲类除草剂突变机理及其防除技术研究，东北稻区杂草稻种子自然死亡机制及其致死措施，杂草抗药突变型 ALS 与其抑制剂相互作用的分子机理）、吉林省世行办的项目（吉林省稻田抗药性杂草灾情预警与安全防控技术集成示范）等支持，得到吉林省农业科学院水稻研究所、吉林市农业科学院水稻研究所等各级农业科学技术单位的支持，对此一并致以衷心的感谢。

本书的编写是在历届课题组全体成员参与的研究报告基础上完成的。由于实地调查范围广、调研内容有所创新，加上编者水平所限，书中难免出现一些疏漏和不妥之处，敬请读者谅解和批评指正。

编 者

2015 年 11 月

目 录



前言

第一部分 稻田杂草抗药性突变特征及其防除原理

一、农田杂草群落变化特征	1
二、化学除草剂作用原理	4
三、我国农田抗药性杂草发生现状	6
四、抗药性杂草特征	7
五、杂草抗药性突变	8
六、稻田抗药性杂草治理	18
七、建立稻田抗药性杂草灾情预警体系意义	21

第二部分 吉林省主稻区稻田抗药性杂草发生现状与防除

一、2011—2014 年吉林省主稻区杂草普查概况	24
二、2011—2014 年吉林省主稻区杂草抗药性 特征鉴定结果	27
三、吉林省主稻区慈姑抗药性突变机理	40
四、稻田杂草发生量与水稻产量关系	45
五、吉林省主稻区抗药性杂草灾情预警系统构建与分析	49
六、吉林省稻田抗药性杂草以及其他问题杂草的 防控技术措施	52

附录	75
附录 1 除草剂（单剂、复配剂）有效成分、 商品名称及其特性	75
附录 2 东北地区农田控制恶性杂草除草剂实用技术	97
附录 3 东北地区特殊经济作物除草技术	99

第一部分 稻田杂草抗药性突变特征及其防除原理

一、农田杂草群落变化特征

“杂草”虽然是一种宝贵的植物资源，但因其在错误的时间、错误的地点出现，让其成为了农田防除的对象。自古以来农民就恨杂草，投入大量的劳力、财力进行防除。如果任由杂草生长，因杂草生长势和环境适应能力强，在与作物竞争养分、光照、水分等方面总是占据优势地位，导致作物减产。此外，有些杂草类具有异株克生的作用（化感作用），可严重阻碍周围农作物的生长发育。杂草群落的茂盛也易成为害虫、病菌的寄生和传播源。据分析资料表明，全球每年农作物受病虫害引起的粮食减产可达 20% 以上，其中，受草害引起的减产损失超过 10%，我国每年农作物受草害引起的作物减产损失也达 5%~10%。

杂草竞争力强的特点概括起来包括以下几个方面：①多数杂草是 C_4 型植物，光合作用效率高，生长速度快，吸收养分、水分能力大于作物。②杂草生殖能力强。大多数杂草既能进行种子繁殖，又能进行营养繁殖，而且种子的繁殖系数特别高，有些杂草种一株可结几万粒种子。③抗逆性强，适应于多变不良环境。④扩散能力强，扩散途径多样化。⑤种子具有很强的休眠特性，在土壤中寿命长。

地球上 20 多万种的高等植物中，影响农作物生长发育的杂草大约有 200 种，其中危害农作物产量的只有几十种。它们只分

布在少数 12 个科中。其中属于禾本科、菊科、莎草科的杂草占全部杂草的 43%。

不同的杂草对农作物的危害程度不一样。一般发生在农田且对作物生长发育及农业生产有害的植物称为农田杂草。农田杂草当中，发生数量多，竞争能力强，对农作物产生较大危害的杂草种类称为问题杂草。在问题杂草当中，对农作物产量危害大且难以防除的杂草种类称为恶性杂草。一般在农田杂草群落中，发生数量多，竞争能力强，具有统治其他种的杂草种称为优势种。

在农田中，问题杂草、恶性杂草或优势杂草种并不是固定不变的，而是受栽培作物的种类、土壤耕翻方法、施肥技术、除草技术等人类采取的农艺措施的影响而发生变化。也许现在人类食用的作物或不引起注意的植物，将来也可能转变成难以控制的杂草，现在难以防除的杂草将来也可能转变为有用的植物资源或者是作物，或者是次要的杂草。例如，目前难以防除的杂草——野燕麦曾经一度被作为粮食作物和饲料作物加以利用过。尤为值得注意的是农田杂草种类随着农业耕作方法的变化也发生很大变化。人类在 19 世纪以前，作物播种时采取散播形式而除草方法采取人工手段，在这样的条件下，与作物类似的相似性杂草种类中，多年生营养繁殖、深根系、多粒型杂草种类成为农田的优势种；进入 19 世纪后，在农田已开始使用肥料，随着施肥量的增加，农田耐肥性杂草占据优势；而人类应用除草剂防除农田杂草的 21 世纪的今天，对除草剂表现出耐药性或抗药性的杂草已成为难以对付的优势杂草种类。近几十年来，在水田中占优势的杂草种类也有较大的变化。20 世纪的 50 年代利用 2,4-D 类除草剂防除稻田杂草的结果，有效地控制了双子叶杂草，但却使稗草上升为优势种。60 年代开始推广应用多种有效的除稗剂已控制了稻田中的稗草，但又使某些多年生杂草有所扩展，80 年代开始，磺酰脲类除草剂的推广，虽然有效控制住了莎草科及某些多年生阔叶杂草，但长期连用农得时、草克星使得对磺酰脲类除草剂农

得时、草克星产生抗性突变的雨久花、慈姑、藨草等逐步成为某些稻田的优势种。另外，到 20 世纪 90 年代初期为止，水稻生产上通过酰胺类除草剂的土壤封闭技术有效地控制了稻田稗草类的发生。但进入 90 年代后期，很多稻区开始出现仅靠酰胺类除草剂土壤封闭技术难以有效控制的稻田稗草类，因此出现了二氯喹啉酸等中后期再进行稻田茎叶处理控草措施。进入 21 世纪后，长期依赖二氯喹啉酸茎叶处理控制稗草的农田迅速出现抗二氯喹啉酸的稗草生态型。近几年针对抗二氯喹啉酸稗草生态型改用千金（芳氧苯氧基丙酸类除草剂）或稻杰（三唑并嘧啶磺酰胺类）后，有效地控制了稻田稗草等禾本科杂草类，但一些稻区又开始出现千金、稻杰杀不死的稗草类。

化学除草剂的问世，解决了作物生产过程中最劳累的难题。由于化学除草剂具有化学除草效率高，省工、省力、成本低，适合于机械化规模经营等特点，因此深受生产者的青睐。但除草剂毕竟是属于农药类的一种，也具有污染环境、食品残留等问题。目前随着转基因生物技术的发展，大量开发、种植抗除草剂转基因作物品种，使化学除草技术进一步向高效、低成本的灭生性除草剂使用发展。值得一提的是，即使人类发明抗除草剂作物品种，但同样某一种除草剂长期连用，仍会诱导杂草对该除草剂的抗药突变生态型产生。因此，人类与杂草的“战争”也会长期持续下去。另外，抗病、抗虫育种技术的进步，大大降低了杀虫剂、杀菌剂的使用量。目前为止，利用他感作用原理（化感作用）的抗草作物品种育种技术方面，虽然已探明他感作用植物中分泌抑制周围其他植物生长的几种化合物，并正在进行这些物质的代谢途径及其基因定位等研究，甚至有些控制他感作用合成代谢的基因通过转基因技术转入到作物品种当中，但实际生产上推广利用具有他感作用的作物品种还处于探索阶段。因此，在目前的世界农药类市场份额当中，除草剂销售额超过杀虫剂、杀菌剂和生长调节剂，占第一位。

目前,随着农产品贸易国际化的发展,外来入侵的杂草种类剧增。不仅是国外的,而且是异地的、原来本地区没有的杂草种成为新的问题杂草。如吉林省延边地区 20 世纪 70 年之前成为检疫对象的狼把草、美国狼把草,已经成为本地区稻田水渠中的优势种杂草种之一。

外来入侵杂草种能够迅速成为问题杂草的主要机理认为,外来草种不仅缺少天敌物种,而且一些物种本身含有独特的“化感”成分,当这些物种的个体分泌出化感物质,抑制了周围原有的植物种类时,即形成群落单一、物种优势的农田或荒野的优势杂草种。

二、化学除草剂作用原理

(一) 除草剂的杀草作用

除草剂的杀草作用(药效)指的是除草剂干扰、破坏杂草正常的生理生化作用。不同类型除草剂具有不同的作用机制。一般除草剂的作用机理概括为:①干扰植物正常的光合作用过程。②抑制植物正常的呼吸作用过程。③抑制植物体内核酸、蛋白质、脂肪等合成。④抑制植物正常的生长发育。⑤干扰植物体内内源激素的平衡。⑥阻碍植物色素的形成和破坏植物色素。不同结构种类除草剂的作用点(或靶标)是往往不同的,但也有不同结构种类除草剂的靶标是一样的,如乙酰乳酸合成酶(ALS)抑制剂有多种不同结构类型。除草剂的结构种类不同,其靶标数目也会不同。

(二) 除草剂的选择性

除了灭生性除草剂(对所有植物均产生毒性作用的除草剂类)以外,其他除草剂对某个作物都有一定的安全使用剂量范围,这种除草剂对作物的安全特性称为除草剂选择性。除草剂对

某一作物的选择性系数越大，其对该作物的安全系数就越大，反过来也称之为作物（或杂草）的耐药性。但除草剂的选择性范围越广，其杀草谱会变窄，降低杂草综合防除效果。而灭生性除草剂无选择性，所以其杀草谱很广，也叫灭生性（非选择性）除草剂。

除草剂的选择性是主要靠作物和杂草的不同形态、生态、生理和生化特性而产生的。除草剂的结构种类、作用机理不同，其选择性机理也不同。随着除草剂研发水平的提高，目前很多高效除草剂的选择性系数也非常大，而且选择性机理从生态选择性、植物形态选择性为主转向植物生理选择性、生物化学方面的选择性（包括：除草剂在植物体内钝化反应的差异而产生的选择性和除草剂在植物体内活化反应的差异而产生的选择性）、植物体内同工异构酶的选择性、利用解毒物质而获得选择性以及复合选择性发展。

（三）影响除草剂药效、药害的环境因素

正因为某一种除草剂具有自己独特的作用机制和选择性，因此要充分发挥除草剂的药效达到除草而安全两个目的，必须做好：

（1）依据作物种类（或亚种）和杂草发生特点，选好除草剂品种。

（2）因地制宜，选好除草剂施用适期，包括作物不同时期的耐药性差异、温度条件、土壤湿度条件、天气特征、杂草发生特征等。

（3）稻田必须做到平整。

属于下列条件时，做到“五不施”：①有露水不施；②土壤过干过湿不施；③水层过深过浅不施；④喷雾时降雨刮风天不施；⑤渗漏性大的稻田不采用土壤封闭处理方法。凡是低温、过湿等对植物生长不利的环境条件，不仅降低除草剂药效，而且易

引发除草剂药害。

另外，为了扩大杀草谱、提高药效，在经济上减少用药量而降低成本，在实际应用中，往往将两种或两种以上的除草剂进行混合施用。但是并非所有的除草剂都能混用，要根据除草剂的性能、作物的敏感性以及环境条件等，采取适当的混配组合。一般多数除草剂之间或除草剂与其他农药混用，会导致拮抗效应，造成药效下降。因此，必须在已鉴定除草剂混合效果分析而认可的基础上，才能混用。

三、我国农田抗药性杂草发生现状

大量化学除草剂的高频率重复使用，导致杂草对除草剂产生了抗药性。抗药性杂草种群（抗药性生态型）在全球迅速出现和蔓延，给以化学防除为主体的杂草管理措施提出了新的课题。据国际官方公布，到 2014 年为止，全世界 59 个国家发现 200 多种、400 多个抗除草剂生态型杂草。其中，抗乙酰乳酸合成酶（Acetolactate Synthase，以下简称 ALS）为靶标的除草剂的生态型为 100 多种，突变频率最高。杂草抗药性突变已成为农田杂草防除领域的新的课题。

近几年，我国稻田、小麦田陆续出现抗药性杂草突变型。稻田抗药性杂草种类主要有稗草、雨久花、慈姑等；小麦田抗药性杂草主要有日本看麦娘、蒭娘蒿等。地多人稀，除草剂使用剂量大的东北稻区抗药性杂草突变出现频度高于南方稻区。东北稻区慈姑、雨久花、藨草、牛毛毡等原对磺酰脲类除草剂极敏感的杂草和对二氯喹啉酸、芳氧苯氧基丙酸类除草剂敏感的稗草发生密度急剧增加，逐步成为本地区稻田的优势杂草种，造成草害减产、增加除草剂使用量和除草成本、加大除草剂污染程度等问题，严重影响水稻安全生产。甚至近几年引发“假劣除草剂”纠纷事件增多趋势，农户反映施药农田杂草不死的“怪象”，农民

误认为买的是假药，而技术员误认为是施药技术上有错，其实很可能是杂草抗药性突变的原因。

因此，研究、普及杂草 ALS 抗药性突变机理、抗药性 ALS 遗传信息、抗药性 ALS 同工异构酶抗药性特征，探明杂草抗药性遗传规律和后代扩繁、扩散规律，了解抗药性特征（抗药系数、交叉抗性特点等）的变化特点以及研究抗药性杂草鉴别方法，为今后治理农田抗药性杂草和作物生产提供安全、有效的杂草防除技术具有重要意义。针对吉林省主要稻区发生的抗药性杂草鉴定难、蔓延快、灾情重以及过量、重复施药等问题，本课题组采用灾情预警系统指标“对症下药”，有效控制抗药性杂草的同时，达到水稻安全优质生产的目的和减轻农药污染的问题。

四、抗药性杂草特征

（一）除草剂抗性与耐性定义

抗药性（Herbicide resistance）：是指长期、大量使用除草剂的选择压或人为的诱导、遗传操作条件下，一种植物生物型在对野生型致死剂量处理下，能生存繁殖的可遗传能力。

耐药性（Herbicide tolerance）：是指一种植物天然耐受除草剂毒性的可遗传能力（对某一种除草剂不敏感——具有选择性）。

（二）抗药性类型

单一抗药性：是指一种除草剂的选择压下，一种植物仅对该种除草剂具有抗性的现象。

交叉抗药性：是指一种除草剂的选择压下，一种植物不仅对该种除草剂具有抗性，而且对其他种除草剂也产生抗性现象。

复合抗药性：是指多种除草剂的选择压下，一种植物对两种以上除草剂产生抗性现象。

五、杂草抗药性突变

(一) 杂草抗除草剂的突变机理

除草剂的作用机理和选择性机理有多种。一切阻碍除草剂的正常作用机理和提高选择性功能的突变，都会提高杂草的抗药性能。因此，杂草抗药性突变机理也有多样性。

杂草的抗除草剂机理根据其作用点分为两大类型——靶标抗性和非靶标抗性。

靶标抗性：杂草体内除草剂作用位点的改变（如产生同工异构酶）、靶标（特定酶）的过量表达或活性增加而阻碍、削弱除草剂正常作用的杂草抗药性突变。

非靶标抗性：杂草通过对除草剂的代谢解毒能力增强、传导能力降低或作用点的隔离、屏蔽作用增强等产生的抗药性突变。

与非靶标突变型相比，靶标突变型抗性系数大但抗性范围相对狭窄。目前对靶标抗性的突变机理研究较为深入，而非靶标抗性突变机理尚不清楚。凡是一切阻碍除草剂的正常作用机理和提高选择性功能的因数，都会导致杂草的抗药性突变。

(二) 杂草产生抗药性原因

一是与杂草种群内存在遗传差异相关。这种不同植物种群、种群内个体之间抗药或耐药性遗传差异是本身存在的或可以突变的。自然突变或人为突变、抗药性突变的前提是不丧失其功能条件下的突变。因此，抗药性基因突变（或靶标酶突变）是有特定突变位的。非定位的随机性突变会导致其正常功能的丧失而突变个体无法生存或者是与除草剂作用点无关的突变。同时，与抗性基因遗传特征如抗药性基因数量、显隐性等特征相关。基因突变位点的不同而突变频率也不同，即使同一基因位点但不同杂草种类的突变频率也不尽相同。与除草剂

作用相关的靶标位点的替代残基种类也影响抗药性系数和抗药性范围的大小。如：ALS氨基酸残基替代的突变类型中，理化性质、分子大小差异大的不同种类氨基酸的替换会导致高抗和广抗。

二是与杂草的生理生化特性和生物学特性相关。一般对除草剂反应敏感的、多结实性的、异花授粉的、多途径易扩散等特性的杂草种类易发生抗药突变性生态型。

三是与除草剂特性相关。一般高效性的、残效期长的、单一靶标的除草剂易导致（或易出现）杂草抗药突变性生态型。

四是与除草剂使用方法相关。单一除草剂的长期、过量、连续使用会提高杂草生存环境的除草剂选择压，导致加快非抗性生态型死亡的同时缩短了抗性生态型个体的出现时间，增加抗性种群数量密度。

抗除草剂生态型杂草的产生是不是除草剂诱导突变的问题目前一直存在争议。有人认为除草剂并不是引发抗药性的突变物质，基因突变是自然的。但抗药性杂草的问世又与除草剂的使用密切相关。可以断定的是除草剂的选择压缩短和促进了抗药性杂草个体出现的时间表和数量。

从目前 200 多种抗药性突变的杂草种类及其抗药种类分析来看，不同杂草种类突变成抗药性生态型的概率和不同种类除草剂诱发杂草抗药性的概率是不同的。一般多粒型、对除草剂敏感性的杂草种类易突变成抗药生态型；药效高、作用靶标单一的除草剂易诱发抗药性杂草生态型，所以在农田出现的抗药性生态型杂草是除草剂和杂草共同作用的结果。

（三）抗药突变型杂草发生的稻田特征

一般施药后杂草不死会联想到除草剂失效或使用技术不当等问题。如果除草剂正确施用后多种杂草被控制但仍出现 1~2 个杂草种，且发生的杂草种过去是对该除草剂很敏感且易控制时，

很可能这类稻田发生了抗药性杂草生态型。由于杂草抗性系数（抗性强度）不同，有时出现部分个体死亡现象，这时要区分好抗性与耐性杂草之分（彩图 1 至彩图 20）。

（四）稻田抗磺酰脲类除草剂生态型杂草鉴别

防除抗药性杂草并不难，关键在于正确鉴别抗药性生态型及其抗性特征。抗药性杂草鉴别方法与技术手段较多，包括分子水平的鉴定、室内鉴定和室外田间鉴定等。通过鉴别效果及其技术难度分析，田间杂草发生后按推荐剂量的 3 倍剂量直接茎叶处理后，定期观察杂草是否出新叶或死亡症状等方法认为是最经济、简易、有效地鉴别方法之一。

（五）抗磺酰脲类除草剂慈姑、雨久花生态型鉴定

在实际生产管理中，发现部分稻田发生的慈姑在农得时 3 倍标准剂量 $[50\text{g (a. i.) /hm}^2]$ 处理下仍然不死的现象。对此，在稻田进行了重量法的抗磺酰脲类除草剂农得时、草克星的抗性鉴定。结果表明，在抑制 50% 慈姑生长量的除草剂剂量水平下，抗药性慈姑对农得时的抗性系数 (R_{50}/S_{50}) 值（即除草剂倍数）为 8.5，对草克星的抗性系数 (R_{50}/S_{50}) 值为 10.9（表 1），并对农得时和草克星产生了交叉抗性。这种对磺酰脲类除草剂农得时、草克星毒性表现不敏感的慈姑确定为抗药性生态型。

表 1 抗、感性慈姑的抗性系数

杂草	除草剂	毒力回归方程	R^2	ED ₅₀ [g (a. i.) /hm ²]	抗性 系数
慈姑（抗药性）	农得时	$y=0.8132x+3.5215$	0.8827	35.0	8.5
慈姑（敏感性）	农得时	$y=1.9421x+3.8104$	0.9889	4.1	
慈姑（抗药性）	草克星	$y=1.0932x+3.5604$	0.9855	20.7	10.9
慈姑（敏感性）	草克星	$y=3.2986x+4.1224$	0.8490	1.9	