

常见除草剂

的

CHANGJIAN CHUCAOJI DE
HELI YINGYONG

合理应用



张玉聚 ◎ 主编



金盾出版社

JIN DUN CHU BAN SHE

常见除草剂的合理应用

主 编

张玉聚

编著者

张玉聚 鲁传涛

王志民 赵 辉

金 盾 出 版 社

内 容 提 要

本书介绍了除草剂的吸收与运转、作用机制、选择性、代谢与降解,按种类分别讲述了酰胺类、均三氮苯类、磺酰脲类、二苯醚类、脲类、苯氧羧酸和苯甲酸类、芳氧基苯氧基丙酸和环己烯酮类、联吡啶类、二硝基苯胺类、有机磷类、咪唑啉酮类和吡啶羧酸类除草剂的主要特性、作用部位和症状以及主要品种和应用技术。本书通俗实用,可操作性强,适合农业技术人员和除草剂经销人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

常见除草剂的合理应用/张玉聚主编. —北京:金盾出版社, 2014. 1

ISBN 978-7-5082-7284-9

I. ①常… II. ①张… III. ①除草剂—农药施用 IV. ①S482. 4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 221051 号

金盾出版社出版、总发行

北京太平路 5 号(地铁万寿路站往南)

邮政编码:100036 电话:68214039 83219215

传真:68276683 网址:www.jdcbs.cn

北京盛世双龙印刷有限公司印刷、装订

各地新华书店经销

开本:850×1168 1/32 印张:3.75 字数:50 千字

2014 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

印数:1~7 000 册 定价:16.00 元

(凡购买金盾出版社的图书,如有缺页、
倒页、脱页者,本社发行部负责调换)

前 言

农田杂草是影响农作物丰产丰收的重要因素。杂草与作物共生并竞争养分、水分、光照与空气等生长条件，严重影响着农作物的产量和品质。在传统农业生产中，主要靠锄地、中耕、人工拔草等方法防除草害，这些方法工作量大、费工、费时，劳动效率较低，而且除草效果不佳。杂草的化学防除是克服农田杂草危害的有效手段，具有省工、省时、方便、高效等优点。除草剂是社会、经济、技术和农业生产发展到一个较高水平和历史阶段的产物，是人们为谋求高效率、高效益农业的重要生产资料，是高效优质农业生产的必要物质基础。

近年来，随着农村经济条件的改善和高效优质农业的发展，除草剂的应用与生产发展迅速，市场需求不断增加；然而，除草剂产品不同于其他一般性商品，除草剂应用技术性强，它的应用效果受到作物、杂草、时期、剂量、环境等多方面因素的影响，我国除草剂的生产应用问题突出，药效不稳、药害频繁，众多除草剂生产企业和营销推广人员费尽心机，不停地与农民为药效、药害矛盾奔波，严重地制约着除草剂的生产应用和农业的发展。

除草剂应用技术研究和技术推广，已经成为除草剂行业中的关键课题。近年来，我们先后主持承担了国家和河南省多项重点科技项目，开展了除草剂应用技术研究；同时，深入各级经销商、农户、村庄调研除草剂的营销策略、应用状况、消费心理；并与多家除草剂生产企业开展合作，进行品种的营销策划实践。本套丛书是结合我们多年科研和工作经验，并查阅了大量的国内外文献而编写成的，

旨在全面介绍农田杂草的生物学特点和发生规律，系统阐述除草剂的作用原理和应用技术，深入分析各地农田杂草的发生规律、防治策略和除草剂的安全高效应用技巧，有效地推动除草剂的生产与应用。该书主要读者对象是各级农业技术推广人员和除草剂经销服务人员；同时也供农民技术员、农业科研人员、农药厂技术研发和推广销售人员参考。

除草剂是一种特殊商品，其技术性和区域性较强，书中内容仅供参考。建议读者在阅读本书的基础上，结合当地实际情况和杂草防治经验进行试验示范后再推广应用。凡是机械性照搬本书，不能因地制宜地施药而造成的药害和药效问题，请自行承担。由于作者水平有限，书中不当之处，诚请各位专家和读者批评指正。

编著者

目 录

第一章 除草剂的作用原理	(1)
一、除草剂的吸收与运转	(1)
二、除草剂的作用机制	(3)
三、除草剂的选择性	(9)
四、除草剂的代谢与降解	(11)
第二章 除草剂类型和主要品种	(13)
一、酰胺类除草剂	(13)
二、均三氮苯类除草剂	(23)
三、磺酰脲类除草剂	(30)
四、二苯醚类除草剂	(44)
五、脲类除草剂	(53)
六、苯氧羧酸和苯甲酸类除草剂	(57)
七、芳氧基苯氧基丙酸和环己烯酮类除草剂	(66)
八、联吡啶类除草剂	(75)
九、二硝基苯胺类除草剂	(81)
十、有机磷类除草剂	(86)
十一、咪唑啉酮类除草剂	(96)
十二、吡啶羧酸类除草剂	(106)

第一章 除草剂的作用原理

一、除草剂的吸收与运转

除草剂必需被杂草吸收和在体内运转并与作用靶标结合后,才能发挥其生理与生物化学效应,干扰杂草的代谢,导致杂草死亡。因此,杂草对除草剂的吸收与运转状况往往影响除草剂的杀草效果。

(一) 杂草对除草剂的吸收

1. 杂草对土壤处理除草剂的吸收 施于土壤中的除草剂通常溶于土壤溶液中以液态或者以气态通过杂草根或幼芽组织而被吸收,影响吸收的因素有:①土壤特性,特别是土壤有机质含量与土壤含水量。②化合物在水中的溶解度。③除草剂的浓度。④根系体积及不定根在土壤中所处的位置。

(1) 根系吸收 杂草根系是吸收土壤处理除草剂的主要部位。根系一般不含角质层,且以相对多的游离间隙形成较大的吸附表面,因此根系对除草剂的吸收比叶片容易。土壤溶液中的除草剂分子或离子接触分生组织区的根毛后,通过扩散作用进入根内。施药后在杂草吸收的初期阶段,保证土壤含水量可以促进吸收,从而提高除草效果。

(2) 幼芽吸收 杂草萌芽后出苗前,幼芽组织接触含有除草剂的土壤溶液或气体时,便能吸收除草剂。幼芽是吸收土壤处理除



草剂（特别是土表处理除草剂）的重要部位。通常，禾本科杂草主要通过幼芽的胚芽鞘吸收，而阔叶杂草则以幼芽的下胚轴吸收为主。不同种类植物对除草剂吸收的差异是一些除草剂具有选择性的原因之一。

2. 茎叶处理除草剂的吸收 茎叶处理除草剂主要通过叶片吸收而进入植株内部。药液雾滴的特性、大小及其覆盖面积对吸收有显著影响，除草剂雾滴从叶表面到达表皮细胞的细胞质中需通过如下几个阶段：①渗入蜡质（角质）层。②渗入表皮细胞的细胞壁。③进入质膜。④释放于细胞质中。

（二）除草剂在杂草体内的运转

被杂草吸收的除草剂分子或离子，通过蒸腾流、光合产物流与胞质流在植株内进行运转。

根吸收的除草剂进入木质部后，通过蒸腾流向叶片运转，停留于叶组织或通过光合产物流再向其他部位运转。

叶片吸收的除草剂进入叶肉细胞后，通过共质体途径从一个细胞向另一个细胞移动，而后进入维管组织。水溶性除草剂还可通过维管束鞘的伸展，直接穿过叶脉进入维管组织。通常，除草剂在共质体对植物发生毒害作用，而非共质体则为除草剂提供广阔的贮存处。

除草剂在植物体内通过共质体与非共质体的运转。一些光合作用抑制剂被叶片吸收后，运转较短的距离，便可达到其作用靶标，如氟磺胺草醚、三氟羧草醚等，这样的除草剂作用迅速，药害症状出现较快。而大多数除草剂，不论是土壤处理剂或茎叶处理剂，如三氮苯类、脲类以及苯氧羧酸类等，在植物体内均需进行长距离运转，才能到达其作用靶标而发挥杀草效应，这类除草剂的运转要经木质部与韧皮部的非共质体与共质体途径，其药效发挥比较缓慢。

在正常条件下,由木质部运转的除草剂不能从被处理的叶片向外传导,而由韧皮部运转的除草剂则能向植株的各部位传导。除草剂在韧皮部是通过活的韧皮组织进行运转,所以不能把它快速杀伤,否则将阻碍其运转功能,草甘膦的优点就在于高浓度时对叶片的直接伤害作用很缓慢。有时,一种除草剂分次用低剂量进行处理,其除草效果往往优于一次性高剂量处理。大多数传导性茎叶处理除草剂在被叶片吸收的数量中,仅有少部分从处理部位通过韧皮部向其他部位运转。

二、除草剂的作用机制

除草剂被杂草吸收和在体内运转并与作用靶标结合后,通过干扰与抑制植物的生理代谢而造成杂草死亡,其中包括光合作用、细胞分裂、蛋白质及脂类生物合成等,这些生理过程往往由不同的酶系统所引导;除草剂通过对靶标酶的抑制,而干扰杂草的生理作用。不同类型除草剂会抑制不同的靶标位点(靶标酶)的代谢反应,只有在对这些除草机制充分把握的基础上,才能做到除草剂的合理应用;同时,它也是除草剂合理混用与轮用的理论基础。

(一) 抑制光合作用

光合作用是绿色植物吸收太阳光的能量,同化二氧化碳和水,制造有机物质并释放氧的过程。光合作用是在植物叶绿体上进行的,它包括光反应和暗反应两个过程,光反应是在光照条件下、在基粒片层(光合膜)上进行的;暗反应是在暗处(也可以在光下)、由若干酶所催化进行的化学反应,是在基质(叶绿体的可溶部分)中进行的;光合作用是光反应和暗反应的综合。

叶绿体中包括两个光系统,光系统I的光反应是长波长反应,其

主要特征是NADP的还原。当光系统I的作用中心色素分子 P_{700} 吸收光能而激发后,反电子供给Fd,在NADP还原酶的参与下,Fd把NADP还原为NADPH。光合系统II的光反应是短波光反应,其主要特征是水的光解和放氧。其作用中心的色素分子(可能是 P_{680})吸收光能,把水分解,夺取水中的电子供给光合系统I。连接着两个光反应之间的电子传递是由几种排列紧密的物质完成的,各种物质具有不同的氧化还原电位,这一系列互相衔接着的电子传递物质称为电子传递链。光合链中的电子传递体是质体醌、细胞色素等。

1. 作用于光合系统I的除草剂 作用于光合系统I的除草剂有联吡啶类除草剂,代表品种有百草枯。

联吡啶类除草剂可以被植物茎与叶迅速吸收,但传导性差,是一种触杀性除草剂。在光照条件下,处理后数小时植物便枯黄、死亡;而在黑暗条件下,死亡较慢或几乎不受影响,再植于光照条件下,植物非常迅速地死亡。生产中施药不当,如误用、飘移到作物后会迅速产生药害,重者可致作物死亡。

2. 作用于光合系统II的除草剂 作用于光合系统II的除草剂较多,主要类别和代表品种如下:

均三氮苯类:莠去津、扑草净、氰草净、西草净、氟草净、莠灭净等。

取代脲类:绿麦隆、异丙隆、利谷隆、莎扑隆等。

酰胺类:敌稗。

腈类:溴苯腈、碘苯腈。

苯并噻二唑类:苯达松。

杂草受害后的典型症状是叶片失绿、坏死与干枯死亡。该类除草剂不抑制种子发芽,也不直接影响根系的发育,在植物出苗见光后才产生中毒症状死亡。生产中施药不当或误用、飘移到其他非靶

标作物后会产生严重药害，重者可致作物死亡。

3. 碳同化 活跃化学能转变为稳定化学能是通过碳同化完成的，碳同化是将 ATP 和 NADPH_2 中的活跃化学能转换为贮存在碳水化合物中的稳定化学能，在较长的时间内供给生命活动的需要，由于这一过程不需要光照，因此也称为暗反应。有一些除草剂对这一系统的酶有直接的抑制作用，也将严重的干扰植物的光合作用。

(1) 类胡萝卜素生物合成抑制剂 如吡嗪酮类的氟草敏等，能够抑制催化八氢番茄红素向番茄红素转换过程的去饱和酶（脱氢酶），从而抑制类胡萝卜素的生物合成。也有一些除草剂也能抑制类胡萝卜素的生物合成，但具体作用点不清楚，有些文献报导是双萜生物合成抑制剂，如三唑类除草剂杀草强（amitrole）、恶唑烷二酮类的异恶草酮。类胡萝卜素在光合作用过程中发挥着重要作用，它可以收集光能，同时还有防护光照伤害叶绿素的功能。

4-羟基苯基丙酮酸双加氧酶抑制剂（简称 HPPD 抑制剂），如三酮类除草剂的磺草酮、异恶唑类除草剂的异恶唑草酮等。HPPD 抑制剂是抑制 HPPD 的合成，导致酪氨酸和生育酚的生物合成受阻，从而影响类胡萝卜素的生物合成。HPPD 抑制剂与类胡萝卜素生物合成抑制剂的作用症状相似。

该类除草剂施药后药害表现迅速，杂草中毒后失绿、黄化、白化，而后枯萎死亡。

(2) 原卟啉氧化酶抑制剂 在叶绿素生物合成过程中，于其合成血红素或叶绿素的支点上有一个关键性的酶，即原卟啉氧化酶，通过对该酶的抑制可以导致叶绿素的前体物质——原卟啉 IX 的大量瞬间积累，导致细胞质膜破裂、叶绿素合成受阻，而后植物叶片细胞坏死，叶片发褐、变黄、快速死亡。

主要除草剂类型及代表品种如下。

二苯醚类：三氟羧草醚、乙羧氟草醚、氟磺胺草醚、乳氟禾草

灵、乙氧氟草醚。

环状亚胺类：丙炔氟草胺、氟烯草酸、恶草酮、丙炔恶草酮、氟唑草酮。

该类除草剂主要起触杀作用，受害植物的典型症状是产生坏死斑，特别是对幼嫩分生组织的毒害作用较大。对于乙氧氟草醚等芽前封闭除草剂，主要是在杂草发芽过程中，幼芽接触药土层而死亡；对于茎叶施用的除草剂，主要是叶片斑点性坏死。接触药剂的部分出现症状而死亡。

（二）抑制氨基酸生物合成

氨基酸生物合成过程是植物体的重要生命过程，目前作用于这类过程的除草剂有以下两类，即抑制芳香族氨基酸的生物合成和抑制支链氨基酸的生物合成。

1. 抑制芳香族氨基酸的生物合成 莽草酸途径是一个重要的生化代谢路径，一些芳香族氨基酸如色氨酸、酪氨酸、苯丙氨酸和一些次生代谢产物如类黄酮、花色糖苷、激素、生物碱的生物合成都与莽草酸有关。在这类物质的生物合成过程中，5-烯醇丙酮酸基莽草酸-3-磷酸合成酶（简称EPSP 合成酶）发挥着重要的作用。草甘膦可以抑制5-烯醇丙酮酸基莽草酸-3-磷酸合成酶，从而阻止芳香族氨基酸的生物合成，是该类典型的除草剂。

草甘膦主要抑制杂草分生组织的代谢和生物合成过程，植物生长受抑制，最终死亡。受害后的杂草首先失绿、黄化，随着黄化而逐渐生长停滞、枯萎死亡。从施药到完全死亡所需时间较长，一般情况下死亡需要7~10天。

2. 抑制支链氨基酸的生物合成 支链氨基酸如亮氨酸、异亮氨酸、缬氨酸是蛋白质生物合成中的重要组成成分。这些支链氨基酸的生物合成过程中具有一个重要的酶，即乙酰乳酸合成酶（简称

ALS)。很多除草剂可以抑制乙酰乳酸合成酶，从而导致蛋白质合成受阻，植物生长受抑而死亡。抑制乙酰乳酸合成酶的除草剂主要有以下几类。

磺酰脲类：噻磺隆、苯磺隆、烟嘧磺隆、砒嘧磺隆、苄嘧磺隆隆。

咪唑啉酮类：咪唑乙烟酸、甲氧咪草酸。

磺酰胺类：唑嘧磺草胺、双氟磺草胺。

嘧啶水杨酸类：双草醚、肟草醚。

抑制乙酰乳酸合成酶的除草剂主要抑制杂草生物合成过程，植物生长受抑制，最终死亡。受害后的杂草根、茎叶生长停滞，生长点部位失绿、黄化，生长逐渐停滞、枯萎死亡。该类除草剂对杂草作用迅速，施药后很快抑制杂草生长，但从施药到完全死亡所需时间较长，一般情况下死亡需要 10~30 天。

(三) 干扰内源激素

激素调节着植物的生长、分化、开花和成熟等，有些除草剂可以作用于植物的内源激素，抑制植物体内广泛的生理生化过程。苯氧羧酸和苯甲酸类。

苯氧羧酸类和苯甲酸类是典型的激素类除草剂。作用途径类似于吲哚乙酸 (IAA)，微量的 2, 4- 滴可以促进植物的伸长，而高剂量时则使分生组织的分化被抑制，伸长生长停止，植株产生横向生长，导致根、茎膨胀，堵塞输导组织，从而导致植物死亡。

吡啶羧酸类的二氯吡啶酸、氯氟吡氧乙酸等，也具有生长激素类除草机制，至于其具体作用机制尚不清楚。

最近研究发现，喹啉羧酸衍生物，如二氯喹啉酸、氯甲喹啉酸，可以有效地促进乙烯的生物合成，导致大量脱落酸的积累，导致气孔缩小、水蒸发减少、 CO_2 吸收减少、植物生长减慢，有趣的是二



氯喹啉酸可以有效地防治稗草，氯甲喹啉酸可以有效地防治猪殃殃。另外，草除灵等也是通过干扰植物激素而发挥除草作用的。

激素类除草剂，它们主要是诱导作物致畸，导致根、茎叶、花和穗的生长产生明显的畸形变化，并逐渐枯萎、死亡。作物受该类除草剂的药害后症状持续时间较长，而且生育初期所受的影响，直到作物抽穗后仍能显现出来。受害植物不能正常生长，敏感组织出现萎黄、生长发育缓慢、萎缩死亡。

（四）抑制脂类的生物合成

植物体内脂类是膜的完整性与机能以及一些酶活性所必需的物质。目前，影响酯类合成的除草剂有 2 类：①乙酰辅酶 A 羧化酶；②抑制脂肪酸的生物合成。

1. 乙酰辅酶 A 羧化酶抑制剂 芳氧基苯氧基丙酸类、环己烯酮等类除草剂的主要作用机制是抑制乙酰辅酶 A 合成酶，从而干扰脂肪酸的生物合成，影响植物的正常生长。它的主要作用部位是植物的分生组织，一般于施药后 48 小时即开始出现药害症状，生长停止、心叶和其他部位叶片变紫变黄，最明显的症状是叶片基部坏死、茎节腐烂，而后逐渐枯萎死亡。

2. 脂肪酸合成抑制剂 硫代氨基甲酸酯类和酰胺类等类除草剂的主要作用机制是抑制脂肪酸的生物合成，影响植物种子的发芽和生长。该类除草剂主要是土壤封闭除草剂，其症状就是杂草种子不能发芽而坏死，施药后在土表难以直接观察死草症状。

（五）抑制细胞分裂

二硝基苯胺类和磷酰胺类除草剂是直接抑制细胞分裂的化合物。二硝基苯胺类除草剂的氟乐灵和磷酰胺类的胺草磷是抑制微管的典型代表，它们与微管蛋白结合并抑制微管蛋白的聚合作用，造

成纺锤体微管丧失，使细胞有丝分裂停留于前期或中期，产生异常多型核。氨基甲酸酯类除草剂作用于微管形成中心，阻碍微管的正常排列。同时，它还通过抑制 RNA 的合成从而抑制细胞分裂。

氨基甲酸酯类具有抑制微管组装的作用。

氯乙酰胺类具有抑制细胞分裂的作用。

另外，二苄醚类中的环庚草醚，氧乙酰胺类的苯噻酰草胺，乙酰胺类的双苯酰草胺、萘丙胺，哒嗪类的氟硫草定等类除草剂也有抑制细胞分裂的作用。

该类除草剂的主要作用机制是抑制细胞分裂，根尖分生组织内细胞变小或伸长区细胞未明显伸长，特别是皮层薄壁组织中细胞异常增大，胞壁变厚，从而影响植物种子的发芽和生长；由于细胞极性丧失，细胞内液泡形成逐渐增强，因而在最大伸长区开始放射性膨大，从而造成通常所看到的根尖呈鳞片状。该类除草剂主要是土壤封闭除草剂，其作用症状就是杂草种子不能发芽而坏死，药害症状是抑制幼芽的生长和次生根的形成，具体药害症状是根短而粗，无次生根或次生根稀疏而短，根尖肿胀成棒头状，芽生长受到抑制，下胚轴肿胀，受害植物芽鞘肿胀、接近土表处出现破裂，植物出苗畸形、缓慢死亡。

三、除草剂的选择性

农田应用的除草剂必须具有良好的选择性，亦即在一定用量与使用时期范围内，能够防治杂草而不伤害作物；由于化合物类型与品种不同，形成了多种方式的选择性。

（一）形态选择性

不同种植物形态差异造成的选择性比较局限，安全幅度较窄。



1. 叶片特性 叶片特性对作物能起一定程度保护作用,如小麦、水稻等禾谷类作物的叶片狭长,与主茎间角度小,向上生长。因此,除草剂雾滴不易粘着于叶表面,而阔叶杂草的叶片宽大,在茎上近于水平展开,能截留较多的药液雾滴,有利于吸收。

2. 生长点位置 禾谷类作物节间生长,生长点位于植株基部并被叶片包被,不能直接接触药液,而阔叶杂草的生长点裸露于植株顶部及叶腋处,直接接触除草剂雾滴,极易受害。

3. 生育习性 大豆、果树等根系庞大,入土深而广,难以接触和吸收施于土表的除草剂,一年生杂草种子小,在表土层发芽,处于药土层,故易吸收除草剂;这种生育习性的差异往往是导致除草剂产生位差选择性。

(二) 生理选择性

生理选择性是不同植物对除草剂吸收及其在体内运转差异造成的选择性。

(三) 生物化学选择性

生物化学选择性是除草剂在不同植物体内通过一系列生物化学变化造成的选择性,大多数这样的变化是酶促反应。

(四) 人为选择性

人为选择性是根据除草剂特性,利用作物与杂草生育特性的差异,在使用技术上造成的选择性,这种选择性的安全幅度小,要求一定的条件。

位差选择性:利用作物与杂草根系及种子萌发所处土层的差异造成的选择性,如水稻插秧返育后,将丁草胺拌土撒施,药剂接触水层后。扩散、下沉于表土层被吸附,不向下移动,稗草幼芽接触

药剂吸收而死亡，水稻根系处于药土层之下，叶片在水层之上，故不受害。

时差选择性：利用作物与杂草发芽出土时期的差异，在使用时期上人为造成选择性。

局部选择性：在作物生育期采用保护性装置喷雾或定向喷雾，消灭局部杂草。

四、除草剂的代谢与降解

除草剂施用后，在防治杂草的同时，也进入生态环境中，通过物理、化学与生物学途径逐步消失。

（一）光 解

施于植物及土壤表面的除草剂，在日光照射下进行光化学分解，此种光解作用是由波长40~4000埃的紫外光引起的，光解速度决定于除草剂类型、品种及其分子结构、紫外光供应量、除草剂分子对光的吸收容量及温度。

（二）挥 发

挥发是除草剂、特别是土壤处理剂消失的重要途径之一，挥发性强弱与化合物的物理特性、特别是饱和蒸汽压密切相关，同时也受环境条件制约。在环境因素中，温度与土壤湿度对除草剂挥发的影响最大。

（三）土壤吸附

吸附作用与除草剂的生物活性及其在土壤中残留与持效期有密切关系。土壤对除草剂的吸附一方面决定于除草剂理化特性，另一