

# **第一篇**

## **除草剂应用基础知识**



# 第一章 农田杂草化学防治概述

## 第一节 杂草及其危害

杂草及其防治，是与农业生产几乎同时发生、又在长期防治杂草的斗争中逐步发展起来的学科。随着近代化学除草剂的产生和应用，对杂草的分类、生物学、生态学特性以及综合防治技术等要求越来越深入。杂草及其防治已逐步发展成独立的学科体系——杂草学。杂草学在美洲和亚洲等地通常称为 Weed Science，在欧洲常称为 Herbology。它与植物形态学、分类学、生态、生理生化、化学、土壤、气象、作物栽培、耕作、植物保护、农机、农业经济、环境保护等学科有着广泛的联系。它是一门应用性较强的边缘学科。

### 一、杂草的定义

杂草一般是指农田中非有意识栽培的植物。广义地说，杂草是指长错了地方的植物。从生态经济的角度出发，在一定的条件下，凡害大于益的植物都可称为杂草，都应属于防治之列。从生态观点看，杂草是在人类干扰的环境下起源、进化而形成的，既不同于作物又不同于野生植物，它是对农业生产和人类活动均有着多种影响的植物。

### 二、杂草的危害

杂草是农业生产的大敌。它是在长期适应当地的作物、栽培、耕作、气候、土壤等生态环境及社会条件下生存下来的，从不同的方面侵害作物，其表现如下：

#### 1. 与农作物争水、肥、光能等

杂草根系庞大，吸取水肥能力极强。如生产 1kg 小麦干物质需水 513kg，而藜和猪殃殃形成 1kg 干物质分别需耗水 658kg 和 912kg。据测定，每平方米有一年生杂草 100~200 株时，收获时每亩可使谷物减产 50~100kg，即每亩田中的杂草将吸去氮 4~9kg、磷 1.2~2kg、钾 6.5~9kg。

#### 2. 侵占地上和地下部空间，影响作物光合作用，干扰作物生长

如水稻中的稗草、小麦田中的藜、大蓟等常高出作物，影响作物的光合作用；杂草的地下根系对作物生长危害甚大，特别是作物出苗后一个月以内出土的杂草，其根系对作物根系的生长威胁最大，若不防治将严重影响作物的产量。另外，有些杂草还能分泌某些化合物，如植化作用物或称异株超生物，能影响作物生长。如匍匐冰草（*Agropyron repens*）根系分泌物抑制小麦的发芽生长，母菊（*Matricaria recutita* L.）根系分泌物抑制大麦生长。

#### 3. 杂草是作物病害、虫害的中间寄主

由于杂草的抗逆性强，不少是越年生或多年生的植物，其生育期较长，所以病菌及害虫常常是先杂草上寄生或越冬，在作物长出后，则逐渐迁移到作物上进行危害。如棉蚜，先在多年生的刺儿菜、苦苣菜、紫花地丁及越年生的荠菜、夏至草等杂草上寄生越冬，当棉花出苗后再移到棉苗上进行危害。

#### 4. 增加管理用工和生产成本

杂草愈多需要花费在防治杂草上的用工量也愈多。据统计，我国农村大田除草用工量约占田间劳动量的  $1/3 \sim 1/2$ ，草多的稻秧田和蔬菜苗床，其除草用工量往往超过 10 个工/亩。按平均每亩除草用工 2 个计，全国 20 亿亩播种面积，每年用于除草的用工量就需 40 亿个工日。此外，杂草还影响耕作效率，并延长有效工时。

#### 5. 降低作物的产量和品质

由于杂草在土壤养分、水分、作物生长空间和病虫害传播等方面直接、间接危害作物，因此最终将影响作物的产量和质量。如水稻的夹心稗对产量影响极明显。据试验，一丛水稻夹有 1、2 及 3 株稗草时，水稻相应减产 35.3%、62% 和 88%；又如青海的野燕麦严重危害小麦产量，当田间无野燕麦时小麦的亩产为 108kg；当每亩小麦田分别有野燕麦 8.2 万、37.8 万及 70.2 万株时，小麦亩产量则降至 99.6、38.4 和 27.8kg。据农业部全国植物保护总站 1985 年调查统计：全国 20 亿亩播种面积中主要农作物每年受草害的面积为 6.3 亿亩，其中严重受害的约为 1.5 亿亩。平均每年损失粮食 175 亿 kg、棉花 2.5 亿 kg，损失率分别为粮食和棉花总产的 13.4% 和 14.8%。可供上千万人的口粮和穿衣之需要。龙葵的浆果在收获时混于大豆籽粒中，若其果汁染在大豆籽实上形成花斑，则造成豆价降级。另据联合国统计，全世界每年因杂草危害使农产品平均减产 10%。

#### 6. 影响人畜健康

有些杂草如毒麦种子，若大量混入小麦，人吃了含有 4% 的毒麦的面粉就有中毒甚至死亡的危险；误食了混有多量苍耳籽的大豆加工品，同样会引起中毒；毛茛体内含有毒汁，牲口吃了会中毒；豚草（破布草）的花粉可使某些人引起花粉过敏症，使患者出现哮喘、鼻炎、类似荨麻疹。

#### 7. 影响水利设施

水渠两旁长满了杂草，使渠水流速减缓，泥沙淤积，且为鼠类栖息提供了条件，使渠坝受损。

## 第二节 农田杂草化学防治的发展状况

21 世纪已经到来，回顾除草剂研制开发、生产应用的历史，展望除草剂的前景和未来，是非常重要的。新世纪对除草剂的要求可以概括为“三高”：高活性，是建立在对有害生物靶标的高活性基础上，具有低用量高选择性，通过加工可以达到速效、高效；高安全性，对环境影响小，在土壤和水中易降解，对人畜低毒，在生物体内低残留无蓄积作用，保持生态平衡；高效率化，具有成本低、物耗少。

### 一、国外除草剂发展状况

自从美国的 P.W.Zimmerman 和 A.E.Hitchcock 发现 2,4-滴的除草活性以来，科学家们发现 2,4-滴及有关激素可能对农业生产起巨大的作用。1944 年，有许多家化学公司对销售 2,4-滴产生了兴趣，1945 年美国化学涂料公司用“Weedone”，作商品名销售了第一个选择性除草剂，在此后的 20 年间，2,4-滴的销售从 417t 上升到 2.41 万 t。

20 世纪 50、60 年代主要开发了苯酚、苯甲酸、苯氧羧酸、氨基甲酸酯、二硝基苯胺、脲、三氮苯类和酰胺类除草剂，用量多在  $2 \sim 5\text{kg}/\text{hm}^2$ ，主要在芽前施用。敌稗、除草醚等除

草剂的开发，使水田除草有了较大的发展。

进入 20 世纪 70 年代，随着有机合成化学、生物化学、数量统计学和计算机的发展与学科相互渗透，再加上 QSAR 的建立与深入，导致除草剂的飞速发展，除草剂的年产量、销售值和使用面积逐步跃居农药之首。

进入 20 世纪 80 年代以来，超高效除草剂磺酰脲类化合物的发现，将除草剂品种的开发和应用又推向了一个新阶段，成为农药研究和应用中最活跃的领域。

20 世纪 90 年代以来开发的 1,2,4,5- 四取代苯类原卟啉原氧化酶抑制剂类除草剂等，既高效、又安全，一些用量高、毒性大的除草剂逐渐退出了市场。

目前，世界除草剂年总产量折有效成分约为 70 万 ~ 80 万 t，约占化学农药总产量的 50% 左右；销售额逐年上升，1960~1980 年间，年增长 16%，超过了杀菌剂和杀虫剂，具体发展情况见表 1-1。从不同地区除草剂应用数量来看，发达国家除草剂用量普遍较高，具体调查结果见表 1-2。这一比例在具体的国家差别非常大，如美国的除草剂占农药总量的 65%，日本则占农药总量的 40%。近几年来，美国每年作物播种面积为 1.60 亿  $\text{hm}^2$ ，化学除草面积为 1.44 $\text{hm}^2$ ，其中大豆化学除草面积占播种面积的 94%、玉米占 85%、棉花占 90%、水稻占 98%。

表 1-1 全世界农药市场变化趋势

| 内容           | 农药类别 | 1960 | 1970 | 1980 | 1990 | 1991 | 1992 | 1993 | 1994 | 1996 |
|--------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 销售额<br>(亿美元) |      | 8.5  | 27   | 116  | 264  | 268  | 252  | 253  | 278  | 313  |
|              | 除草剂  | 20   | 35   | 41   | 44   | 44   | 45   | 46   | 47   | 48   |
| 所占份额<br>(%)  | 杀虫剂  | 37   | 37   | 35   | 29   | 29   | 29   | 30   | 29   | 28   |
|              | 杀菌剂  | 40   | 22   | 19   | 21   | 21   | 20   | 19   | 20   | 19   |
|              | 其 它  | 3    | 6    | 5    | 6    | 6    | 6    | 6    | 4    | 5    |

表 1-2 世界各地除草剂用量 (1995)

| 地 区 | 占世界总量的百分比 (%) |
|-----|---------------|
| 北 美 | 42.2          |
| 西 欧 | 25.5          |
| 东 欧 | 3.8           |
| 拉 美 | 10.0          |
| 远 东 | 16.6          |
| 其 它 | 1.9           |

## 二、国内除草剂发展状况

我国的除草剂工业基本上是仿制国外品种。1958 年沈阳化工厂开始生产 2,4-滴，揭开了我国除草剂工业的历史；以后生产的品种不断涌现，1980 年以前主要开发生产了苯酚、苯氧羧酸、氨基甲酸酯、脲、均三氮苯、酰胺、二苯醚类除草剂，约开发生产 20 个除草剂品种；1980 年以后，我国除草剂的生产开始了迅速的发展，相继开发出了二硝基苯胺、有机磷、磺酰脲、咪唑啉酮类除草剂，目前生产除草剂品种约 60 个品种，原药生产厂家有 110

多个。然而我国农药生产以杀虫剂为主，除草剂工业比较薄弱，具体生产情况见表 1-3。

表 1-3 中国农药市场发展状况

| 农药类别 | 内容        | 1970 | 1980 | 1985 | 1990 | 1991 | 1992 | 1993 | 1994 | 1995 | 1996 |
|------|-----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 总 计  | 产量 (万吨)   | 9.28 | 53   | 21   | 23   | 25   | 26   | 23   | 26   | 35   | 35   |
|      | 销售额 (亿元)  |      |      |      |      |      | 58   | 78   | 78   | 140  | 162  |
| 除草剂  | 总产量比率 (%) | 9.6  | 4    | 9    | 9    | 8    | 9    | 12   | 13   | 15   | 13   |
|      | 原药品种数 (个) |      | 17   | 14   | 29   | 29   | 33   | 40   | 45   | 42   | 42   |
| 杀虫剂  | 总产量比率 (%) | 84.6 | 93   | 79   | 79   | 77   | 77   | 76   | 76   | 70   | 73   |
|      | 原药品种数 (个) |      | 40   | 43   | 70   | 75   | 81   | 78   | 80   | 79   | 84   |
| 杀菌剂  | 总产量比率 (%) | 4.8  | 3    | 10   | 11   | 14   | 13   | 10   | 10   | 11   | 10   |
|      | 原药品种数 (个) |      | 28   | 23   | 40   | 39   | 41   | 38   | 41   | 43   | 44   |
| 其 它  | 总产量比率 (%) | 2.0  |      | 2    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 4    | 4    |

我国除草剂的应用研究和推广开始于 20 世纪 50 年代，但直到目前，国外除草剂在我国一直占据重要地位。1956 年在稻田试验、应用 2,4,5-涕是我国化学除草剂应用较早的实例，1963 年开始在麦田使用 2,4-滴，直到 20 世纪 70 年代末期，生产上大量使用的除草剂主要是苯氧羧酸类的 2,4-滴、2 甲 4 氯和二苯醚类除草剂的除草醚、酰胺类的敌稗等，这一阶段是我国化学除草的起始阶段，这一阶段不仅拥有的除草剂品种比较少，而且生产上大面积应用只局限于黑龙江等少数省和地区。20 世纪 80 年代是我国化学除草兴旺发展时期，在此期间，随着我国农药工业结构的调整 and 变化，国产除草剂品种与数量不断增加；同时，开始批量进口比较短缺的除草剂，从而促使化学除草面积迅速扩大，每年以 10% 以上的速度发展。具体发展情况见表 1-4。我国各地除草剂应用情况也不平衡，使用面积较大的是黑龙江、江苏、广东、云南等省；以作物划分，化学除草面积最大的是水稻，其次分别是小麦、大豆、玉米等；在我国目前生产的除草剂中稻田用除草剂 25 种、麦田除草剂 20 种、玉米田除草剂 15 种、大豆田除草剂 20 种、棉花田除草剂 5 种、油菜田除草剂 3 种、花生田除草剂 6 种。

表 1-4 中国农田化学除草面积的发展情况

| 年度                    | 1967 | 1974  | 1979  | 1983  | 1984  | 1985  | 1987  | 1990  | 1998  |
|-----------------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 面积 (万 $\text{hm}^2$ ) | 32.7 | 166.7 | 363.8 | 466.7 | 666.7 | 1 000 | 1 330 | 1 999 | 4 000 |

注：我国目前耕地面积约 1 亿  $\text{hm}^2$ 。

近几年来，我国除草剂的生产量占农药总产量的比率不断增大，但与世界农药市场相比，仍有很大差距，一般来说，工业化程度越高的国家，除草剂用量越大。随着我国农业生产的发展，预计我国化学除草剂的应用将会得到迅速的发展。可能主要体现在以下几个方面：我国农药工业集团化势在必行，随着集团化的发展，除草剂产量上升，价格下降，产品质量会得到较大的改善；仿制越来越多的国外优秀除草剂为我国农业生产服务；新除草剂的创制开发将日益受到各级科研部门、党和政府部门的重视，除草剂的研究和生产投资扩大；复配除草剂将得到大力的发展，某些高效除草剂由于其安全性、价格、除草谱等诸多原因，在生产应用中存在很多不便，省工、省时、高效、广谱的复合型除草剂的使用，不仅能克服除草剂单用的很多缺点，还能弥补我国除草剂品种少的不足，同时也能降低杂草抗药性的产生和延缓杂草群落的演替速度。

## 第二章 农田杂草的生物学

### 第一节 农田杂草的发生特点

在人类长期农业生产活动中，杂草作为防治对象，尽管被人们千方百计的防治，但还是生存下来。其原因是杂草在与农作物竞争以及各种环境条件的影响下，逐渐适应并形成了许多固有的生物学特性，所以尽管人们年年除草，而杂草却年年生长这一现象本身说明了生物体和环境条件的统一。概括起来，杂草具有以下生物学特点。

#### 一、产生大量种子

杂草的一生能产生大量种子繁衍后代，如马唐、绿狗尾、灰绿藜、马齿苋在上海地区一年可产生2~3代，一株马唐、马齿苋就可产生2万~30万粒种子，一株异型莎草、藜、地肤、小飞蓬可产生几万至几十万粒种子，如果农田内没有很好除草，让杂草开花繁殖，必将留下几亿至几十亿粒种子，那么在3~5年内就很难除尽了。

#### 二、多种繁殖方法

有些杂草不但能产生大量种子，而且还具有无性繁殖的能力，杂草的无性繁殖可分为以下几类。

- (1) 根蘖类 如苣荬菜、刺儿菜、大刺儿菜、田旋花。
- (2) 根茎类 如白茅、芦苇、狗牙根、牛毛毡、蔗草、眼子菜等。
- (3) 鳞茎类 如野蒜。
- (4) 匍匐类 如狗牙根、双穗雀稗、李氏禾等。
- (5) 块茎类 如水莎草、香附子。
- (6) 须根类 如狼尾草、老碱草。
- (7) 球茎类 如野荸荠、野慈姑。
- (8) 鸡爪芽 眼子菜的越冬地下芽。
- (9) 珠芽 小根蒜顶上珠芽。

这些地下根茎分枝生长很快，在农田内开始发现1~2株，到年底可长成一大片。另外用锄头清除多年生杂草，锄完后不到几天，很快长出新枝，人们称香附子为“回头青”就是这个意思。因为多年生杂草根茎被切断后还能再生，因此不适当的中耕不能起到防治作用反而促进了它们的繁殖和传播。

#### 三、传播方式的多样性

杂草的种子或果实有容易脱落的特性，有些杂草种子具有适应于散布的结构或附属物，借外力可传播很远；分布很广。例如，蒲公英、剪刀股、小飞蓬、苣荬菜、一年蓬、野塘蒿、刺儿菜、泥胡菜等的种子长有长绒毛，可随风飞扬，飘至远方。牛毛毡、益母草、水苋菜、水苦苣、节节草等种子小而轻，可随水漂流，进入农田。苍耳、牛膝、天明精等杂草种

子有钩或粘性物质，易粘住人、动物，通过它们的活动带到各处；或随农具、交通工具远距离传播。

#### 四、种子休眠

很多杂草种子成熟后不能立即发芽，而要经过一定时间的休眠期才能发芽，以免一落地立即出苗遇上不良气候而灭种，这是一种长期自然选择的结果，如果没有休眠特性，很多杂草就有可能自然淘汰。假如上海地区的稗草、马唐、千金子、牛筋草、马齿苋等杂草种子在9~10月成熟后不休眠，按当时的气温条件完全可以发芽出苗，而到11月上中旬来不及抽穗结子，霜冻来临幼苗就会被冻死，就很有可能面临灭种之灾。

还有不少杂草如藜、小藜、异型莎草、鸭舌草、马齿苋等种子在一般情况下发芽率不高，这本身也是一种保存生命的特性。如果杂草种子发芽率高，发芽整齐，一次齐苗，那就很容易被我们一次中耕全部消灭，但事实上杂草种子出苗很不整齐，即使被消灭一批，它再出一批，很难除尽。例如，藜的种子有三种类型：大种子表面平、褐色，只要条件允许能立即出苗；小种子、黑色，成熟后过两年才能发芽。还有苍耳种子，包于刺果内，其中有两粒种子，上部一粒种子要经过几个月或几年后才发芽，下部一粒种子，如果条件许可可能立即萌发。

#### 五、种子寿命

杂草种子在土壤中的寿命是很长的，根据报道，野燕麦、看麦娘、蒲公英、冰草、牛筋草种子存活在5年以内；金狗尾、荠菜、狼尾草、苋菜、繁缕的种子可存活10年以上；狗尾草、蓼、苋菜、马齿苋、龙葵、羊蹄、车前、薊的种子可存活30年以上；反枝苋、豚草、独行菜、车前、马齿苋的种子可存活40年以上；黑芥、水葬的种子可存活50年；月光花、毒鱼草种子寿命高达80多年。杂草种子的“高寿”对于保存种源、繁衍后代有十分重要的意义。

杂草种子的寿命与外界条件的关系很大。根据我们试验，土壤中的水分状况对在土壤中杂草种子的寿命影响最大，例如水生杂草稗草种子在水田内经过4年后死亡率才达47%~65.8%，而在旱田内第三年死亡率为99%~100%。同样，水苋菜、异型莎草、千金子的种子在水田内第四年死亡率为68%、77%、76.8%，而在旱田内死亡率为77.0%、87.8%、85.3%。而旱地杂草则相反，婆婆纳、猪殃殃的种子埋在旱田内，4年后的死亡率分别为26.5%、90.3%、60.0%，而水田里的死亡率为69.8%、100%。另外，日本看麦娘种子埋在旱田内二年后，死亡率为72.3%，而埋在水田内种子死亡率为100%。

#### 六、杂草的出苗、成熟期参差不齐

大部分杂草出苗不整齐，例如臭莽、荠菜、小藜、繁缕、婆婆纳等，除最冷的1~2月和最热的7~8月外，一年四季都能出苗、开花；看麦娘、牛繁缕、早熟禾、大巢菜等在上海郊区于9月至翌年2~3月都能出苗，早出苗的于3月中旬开花，晚出苗的至5月下旬还能陆续开花，先后延续2个多月；又如马唐、绿狗尾、马齿苋、牛筋草在上海地区从4月中旬开始出苗，一直延续到9月份，先出苗的于6月下旬开花结果，先后相差4个月。即使同株杂草上开花也很不整齐，禾本科杂草看麦娘、早熟禾等，穗顶端先开花，随后由上往下逐渐开花，先开花的种子先成熟，一般主茎穗和早期分蘖先抽穗、开花，后期分蘖晚开花。牛繁



缕、大巢菜属无限花序，4月上旬开始开花，到6月上旬，一边开花，一边结果，可延续3~4个月。

由于杂草开花、种子成熟的时间延续得很长，早熟的种子早落地，晚熟的晚落地，因此它在田间休眠、萌发也很不整齐，这给杂草的防治带来很大困难。

## 七、杂草种子和作物种子大小形状相似

一些杂草种子和作物种子大小形状相似，例如麦种内混有的野燕麦、毒麦种子，稻谷内混有的稗草、扁秆蔗草种子，由于它们大小、形状、重量相近，风选、筛选、水选都难于清除它们。

## 八、杂草的出苗与成熟期和作物相似

一个地区的主要农田杂草的出苗、成熟期和农作物相似，例如看麦娘、牛繁缕的出苗和成熟期与麦子、油菜相似；稗草、马唐的出苗、成熟分别和水稻、棉花相似。这样就形成了一个作物有几种比较固定的伴生杂草。

## 九、杂草的竞争力强

多数农田杂草属  $C_4$  光合作用植物，利用光能、水资源和肥料效率高，因此生长速度快，竞争力强。

### （一）利用光能力强

根据报道杂草在不同光强度下利用率比农作物高2~2.54倍，它的光合作用能和光范围比农作物大2~5倍。根据试验资料，稗草、牛筋草在不同光强度下，生长速度比水稻快得多。另外杂草利用水的效率比农作物高1.6~2.7倍，在土壤含水量低的情况下，大部分杂草比农作物显得更为耐旱。

### （二）杂草吸肥力强

杂草吸肥力较作物强，在草害严重的情况下，施肥只会促进杂草生长，加重杂草危害。

### （三）杂草生长速度快

由于大多数杂草利用光、水及肥料的能力比作物强，所以生长快。根据试验，单季晚稻移栽时秧苗已长到16.5~33cm，而后4~6天稗草、异型莎草、水苋菜等杂草开始萌芽出苗，两个月后这些杂草株高就能超过水稻，造成草害。另据调查，水稻秧苗3~4叶期，异型莎草刚刚出苗，但两个星期后，其株高和鲜重与水稻几乎相等，至3周后异型莎草鲜重达15g，株高32cm，而水稻的株重仅为7.58g，株高为28cm。

## 十、适应性和抗逆性

杂草对环境的适应性和抗逆性比农作物强。干旱等不良环境中其忍耐力比作物强。当作物难以生存时，杂草却仍能生存，或者有的杂草种子休眠不出苗或缩短生育期，提早开花结实，以保存其种子的繁衍。

## 十一、杂草拟态性

凡有作物就有杂草，作物播种后，杂草就出苗，稗草和稻苗，苋菜、苍耳和大豆，狗尾草和谷子其形态很相似，人工除草时难于分辨，往往以假乱真，杂草未能除尽，反而伤了作物。

## 十二、杂草有多种授粉途径

杂草既能异花授粉受精，又能自花授粉受精，授粉的媒介有风、水、昆虫等，因此杂草具有远缘亲合性。自花授粉受精可以保证在单独、单株存在时仍可正常受精结实，保证其种子的延续生存。异花授粉受精有利于杂草创造新的变异和生命力强的变种、生态种，提高其生存的能力和机会。

## 第二节 农田杂草的类型

杂草的分类是进行杂草研究和杂草防治的基础。由于农田杂草的种类繁多，为便于应用，不同的工作者常根据各自的需要从不同的角度对杂草进行分门别类，常用的有按植物系统、生态及生物学特性、生活史和危害作物等分类方法。

### 一、按植物系统分类

按植物系统分类即采用植物分类学的经典方法，根据植物的形态及繁殖等特性的相似性来判断其在进化上的亲缘关系，并根据这种亲缘关系的远近来将某一植物纳入分为不同等级门、纲、目、科、属、种的分类系统中。这种分类法较为科学、系统和完善。

在除草剂应用的初始阶段，主要是应用这种分类法。例如，在研究2,4-滴和2-甲-4-氯时发现此类化合物的杀草谱为双子叶植物，而对单子叶植物安全。随着除草剂新品种的开发，对杂草分类的要求越来越细，尤其是敌稗等属间除草剂的出现，更要求杂草的分类精确到种的水平。

大多数杂草均属种子植物门的被子植物亚门，只有四叶葎、木贼、问荆等少数杂草属蕨类植物门。

根据全国农田草害调查报告，我国目前农田杂草共580种，属77科，其中菊科种类最多，共77种，占13%；禾本科种类居第二位，共66种，占11%；莎草科种类居第三位，35种。以下依次为唇形科（28种）、豆科（27种）、蓼科（27种）、十字花科（25种）、藜科（18种）、玄参科（8种）、石竹科（4种）、蔷薇科（13种）、伞形科（12种），其它杂草分属于各科，比较散，有的杂草如马齿苋、眼子菜等为一科一属一种。

### 二、按生物学特性分类

#### （一）异养型杂草

以其它植物为寄主，杂草已部分或全部失去以光合作用自我合成有机养料的能力，而营寄生或半寄生的生活，如菟丝子、列当、瓜列当、独脚金等。

## (二)自养型杂草

杂草可进行光合作用，合成自身生命活动所需的养料，根据生活史长短可分为多年生、二年生和一年生杂草。

### 1. 多年生杂草

营养繁殖能力较发达是多年生杂草的重要特点，因而依据其营养繁殖方式可分为以下三种类型。

(1) 地下根繁殖型 如苣荬菜、刺儿菜和田旋花等；

(2) 地下茎繁殖型 如白茅、芦苇、狗牙根、双穗雀稗、牛毛毡、眼子菜、矮慈姑、野薹等；

(3) 地上茎繁殖型 如鳞茎繁殖的小根蒜，匍匐茎繁殖的空心莲子草、双穗雀稗，块茎繁殖的香附子、水莎草、扁秆蔗草等。

需要指出的是很多多年生杂草主要以营养器官进行无性繁殖，但也可在一定程度上进行种子繁殖，如水莎草虽主要靠块茎繁殖，但在秋天也能开花结实，产生种子。

### 2. 二年生杂草

此类杂草需在二年内完成其整个生活史，如草木樨、小飞蓬等在当年秋季萌发至翌年秋季开花结籽，种子至再次年的秋季方可萌发。

### 3. 一年生杂草

此类杂草可在一年内完成其从种子到种子的生活史，根据其生活史特点可分为以下三种类型。

(1) 越冬型或称冬季一年生杂草，于秋、冬季萌发，至春、夏季开花结果而完成一个生活周期，如看麦娘、碎米荠和婆婆纳等；

(2) 越夏型或称夏季一年生杂草，于春、夏间萌发，至秋天开花结实而死亡，如稗草、马唐、藜和苋等；

(3) 短生活史型可在一至二个月的很短期间完成萌发、生长和繁殖的整个生活史，如上海地区的春蓼和小藜在3月上旬出苗，至5月即可开花结籽而死亡。这种类型常为杂草对不适环境的一种特殊适应。

## 三、按生态型分类

根据杂草对其生长环境水分及热量的要求，可分为以下几种类型。

### (一) 水分

#### 1. 水生杂草

或称喜水杂草，主要为危害水田作物的杂草，根据其在水中的状态又可细分为以下几种。

(1) 沉水杂草如金鱼藻、虾藻、苦草和矮慈姑；

(2) 浮水杂草如眼子菜、紫背萍、青萍、绿萍、荇菜和槐叶萍等；

(3) 挺水杂草如水莎草、野慈姑和芦苇等。

#### 2. 湿性杂草

又称喜湿杂草，主要生长于地势低、湿度高的田内，在浸水田和旱田内均无法生长或生

长不良，如石龙芮、异型莎草、鳢肠、看麦娘和千金子等；

### 3. 旱生杂草

包括耐旱杂草和喜旱杂草，主要危害棉花、大豆、玉米等旱地作物，如马唐、马齿苋、香附子、猪殃殃、婆婆纳和大巢菜等。

## (二) 热量

### 1. 喜热杂草

生长在热带或发生于夏天的杂草，如龙爪茅、两耳草、含羞草、马齿苋和牛筋草等。

### 2. 喜温杂草

生长在温带或发生于春、秋季节的杂草，如小藜、藜和狗尾草等；

### 3. 耐寒杂草

生长在高寒地区的杂草，如野燕麦、冬寒菜和鼬瓣花等。

## 第三节 农田杂草的主要种类和分布

### 一、农田杂草的主要种类

我国幅员辽阔，各地区的地貌、气候、土壤等自然条件差异很大，农作物种类繁多，耕作和栽培方式也不相同。由于农田生态环境的多样化，杂草作为农田生态系统的重要组成部分，杂草种类繁多，危害严重。

据全国农田杂草考查组在全国 27 个省、市、自治区，303 个县，30 000 多块样点（田）调查，共发现杂草种类有 77 科、580 种，其中稻田杂草 129 种，占 22%；旱地杂草 427 种，占 74%；水旱田均有的杂草 24 种，占 4%。在这些杂草中，一年生杂草所占比例最大，共计 278 种，占 48%；其次是多年生杂草，共计 243 种，占杂草总数的 42%；越年生杂草 59 种，占杂草总数的 10%。其中，菊科杂草种类最多，共计 77 种，占 13%；禾本科杂草共计 66 种，占 11%；莎草科杂草居第三位，共计 35 种，占 6%；以下依次为唇形科（28 种）、豆科（27 种）、蓼科（27 种）、十字花科（25 种）、藜科（18 种）、玄参科（18 种）、石竹科（14 种）、蔷薇科（13 种）、伞形科（12 种）。

根据对每种杂草在所调查的样田中出现频率的分析结果，全国范围分布的常见杂草有 120 种，地区性分布的常见杂草有 135 种，总计 55 科，255 种。在这些杂草种中，稻田杂草 62 种，占 24%；旱地杂草 177 种，占 70%；水旱田均有出现的杂草 15 种，占 6%。一年生杂草所占比例最大，共 149 种，占杂草总数的 59%；其次为多年生杂草，78 种，占 30%；越年生杂草 28 种，仅占 11%。禾本科杂草最多，共计 45 种，占杂草总数的 18%；菊科杂草种类居第二位，34 种，占 13%；莎草科杂草和蓼科杂草各为 17 种，分别占 7%，以下依次为唇形科（12 种）、藜科（10 种）、豆科和玄参科（各 9 种）、大戟科（7 种）、石竹科（6 种）、苋科（5 种）。

不同种类的杂草对作物的危害程度不同，从防治角度来看，其重要性也是不同的。根据杂草危害程度和防治上的重要性，可以把全国的农田杂草种类分为四大类：

第一类为重要杂草，指全国或多数省市范围内普遍危害，对农作物危害严重的种类，共 17 种。其中水旱田均有的杂草 1 种，即旱稗（*Echinochloa crus-galli* L.）；水田杂草 5 种，包

括稗草(*Echinochloa oryzicola* V.)、异型莎草(*Cyperus difformis* L.)、鸭舌草(*Monochoria vaginalis* P.)、眼子菜(*Potamogeton distinctus* A.)和扁秆蔗草(*Scirpus planiculmis* F.)；旱地杂草 11 种，包括野燕麦(*Avena fatua* L.)、看麦娘(*Alopecurus aequalis* S.)、马唐(*Digitaria sanguinalis* S.)、牛筋草(*Eleusine indica* G.)、绿狗尾草(*Setaria viridis* B.)、香附子(*Cyperus rotundus* L.)、藜(*Chenopodium album* L.)、酸模叶蓼(*Polygonum lapathifolium* L.)、反枝苋(*Amaranthus retroflexus* L.)、牛繁缕(*Malachium aquaticum* F.)和白茅(*Imperata cylindrica* D.)。

第二类为主要杂草，指危害范围较广，对农作物危害程度较为严重的杂草种类。该类杂草共计 31 种，其中水田杂草 9 种，包括萤蔺(*Scirpus juncoides* R.)、牛毛毡(*Eleocharis yokoscensis* T.)、水莎草(*Juncellus serotinus* C.)、碎米莎草(*Cyperus iria* L.)、野慈姑(*Sagittaria sagittifolia* L.)、矮慈姑(*Sagittaria pygmaea* M.)、节节菜(*Rotala indica* K.)、空心莲子草(*Alternanthera philoxeroides* G.)和四叶萍(*Marsilea quadrifolia* L.)；旱地杂草 19 种，包括金狗尾草(*Setaria glauca* B.)、双穗雀稗(*Paspalum distichum* L.)、棒头草(*Polypogon fugax* N.)、狗牙根(*Cynodon dactylon* P.)、猪殃殃(*Galium aparine* L.)、繁缕(*Stellaria media* C.)、小藜(*Chenopodium serotinum* L.)、凹头苋(*Amaranthus ascendens* L.)、马齿苋(*Portulaca oleracea* L.)、大巢菜(*Vicia amoena* F.)、鸭跖草(*Commelina communis* L.)、刺儿菜(*Cephalanoplos segetum* K.)、大蓟(*Cephalanoplos setosum* K.)、扁蓄(*Polygonum aviculare* L.)、播娘蒿(*Descurainia sophia* S.)、苣荬菜(*Sonchus brachyotus* D.)、田旋花(*Convolvulus arvensis* L.)、小旋花(*Calystegia hederacea* W.)、荠菜(*Capsella bursa-pastoris* M)和蔊菜(*Thlaspi arvense* L.)；水旱田兼有杂草 3 种，包括千金子(*Leptochloa chinensis* N.)、细叶千金子(*Leptochloa panicea* O.)和芦苇(*Phragmites communis* T.)。

第三类为地域性主要杂草，指在局部地区对农作物危害较严重的杂草种类，共计 24 种。

第四类为次要杂草，指一般不对农作物造成严重危害的常见杂草，共计 183 种。

## 二、农田杂草的分布

我国农田杂草危害严重，主要农作物稻、麦、玉米、大豆、棉花、蔬菜、花生、油菜、果园等作物中等以上草害面积分别达 1 665.7 万、1 612.9 万、722.4 万、4 826.5 万、313.3 万、243.4 万、121.8 万、70.7 万、149.1 万  $\text{hm}^2$ ；按调查资料计算，稻、麦、棉、豆、杂粮（主要是玉米）、花生等作物田因杂草危害损失率分别达 13.4%、15.0%、14.8%、19.0%、10.0%、9.0%，损失稻谷约 103 亿 kg、麦 40 亿 ~ 50 亿 kg、杂粮 25 亿 kg、棉花 2.5 亿 kg、大豆 5 亿 kg。

根据全国农田杂草考查组几十年的调查，根据气候特点的类似性、农业生产相对一致性以及农田杂草的共同性把我国农田杂草划分成八个草害区，它们分别是：

**珠江流域草害区** 本区又划分为海南草害亚区和闽广草害亚区。海南草害亚区包括海南岛和广东、广西北纬 23 度以南的热带地区，主要农作物为水稻等；闽广草害亚区包括福建中部、广东和广西大部属亚热带地区，主要作物为双季稻等。

**长江流域草害区** 本区包括江苏、上海、浙江、江西、安徽、湖南、湖北、四川大部以及河南信阳、陕西汉中等中北部亚热带地区，年平均气温在 14 ~ 18℃，年降雨量 1 000 mm 左右，主要农作物有稻、麦、油菜，一年 2 ~ 3 熟。由于四季分明，杂草种类繁多。本区主要杂草有稗草、看麦娘、马唐、千金子、牛繁缕、凹头苋、扁秆蔗草、牛筋草、眼子菜、鸭舌草、异型莎草、马齿苋等，杂草危害率分别达 42%、32.5%、25.2%、22.4%、20.6%、

16.8%、16.6%、15.4%、10.1%、7.7%、6.8%、7.3%。该区主要农作物有稻、麦、玉米、大豆、棉花、蔬菜、花生、油菜、果桑茶园等，草害面积分别达 72%、73%、82%、80%、83%、68%、82%、47%、98%，中等以上草害面积分别达 45.6%、62.0%、57.5%、38.0%、61.7%、42.9%、38.0%、22.3%、94.0%。

**黄淮海草害区** 本区包括黄河、淮河、海河流域，有山东、河北、河南、晋南、皖北、关中平原以及北京、天津等暖温带地区，年平均气温在 10~14℃，年降雨量 780mm。主要作物有小麦、棉花、大豆、玉米、花生，一年二熟或二年三熟，杂草以夏季杂草为主，也有部分冬季杂草。主要农作物稻、麦、玉米、大豆、棉花、蔬菜、花生、果园的草害面积分别达 91%、82%、88%、68%、75%、90%、94%、92%，中等以上草害占 71.5%、65.0%、55.0%、46.0%、50.4%、64.0%、80.0%、84.0%。本区主要杂草有稗草、马唐、扁秆藨草、牛筋草、马齿苋、鸭舌草、播娘蒿、田旋花、反枝苋、凹头苋、眼子菜，危害率分别达 66.4%、44.4%、43.0%、24.6%、22.6%、16.0%、15.0%、11.9%、11.4%、11.4%、10.1%。

**松辽平原草害区** 本区包括辽宁、吉林、黑龙江三省，属温带—寒温带地区，除北部寒温带地区年平均气温在 0℃以下，大部分地区年平均气温在 2~8℃，主要农作物有玉米、小麦、大豆、水稻等，一年一熟，均为春播，没有冬季作物和冬季杂草。该区主要杂草有马唐、稗草、眼子菜、卷茎蓼、野燕麦、马齿苋、本氏蓼、凹头苋、反枝苋、扁秆藨草。

**黄土高原草害区** 本区包括晋中北部、陕北、内蒙古、宁夏南部，海拔 1 000m 以上，属温带地区，年平均气温在 8.2~9.4℃，年降雨量 400~500mm。主要农作物有麦、棉花。

**青藏高原草害区** 本区包括青海、西藏以及四川西部海拔 2 000m 以上的农田，年平均气温在 5.6~7.1℃，近似温带气候。主要作物有青稞、油菜、蔬菜等。

**西北草害区** 本区包括新疆、甘肃中西部、宁夏北部，海拔在 1 000~1 500m 之间，杂草种类较少。

**云贵草害区** 本区包括云南、贵州及四川南部地区，杂草种类较多。

## 第四节 农田杂草的种群和群落

### 一、种群和群落

单纯一株杂草为一个个体，杂草往往是由很多个体组成的群体，同种杂草的几个个体组成的群体叫种群。几个种群组成的群体叫群落。

### 二、杂草种群的动态

杂草种类、密度、分布和生长状况是杂草群落的四大构成因子。杂草种类决定杂草的群落性状，由一种杂草构成的群落是纯合群落，由多种杂草构成的群落则是混合群落。密度决定杂草群落的大小。每种杂草群落都有一上限密度和下限密度。上限密度是杂草群体所能容纳的最高密度。下限密度是维持杂草世代延续所需的最低密度。群落中杂草植株的分布状况则主要影响群体的增长速率，一般情况下，均匀分布有利于个体生育和群体的增长。群落中个体生长状况主要反映植株的健康程度、死亡率及叶龄等。

影响杂草种群动态的主要因素是土壤中杂草种子库的动态。杂草种子库是土壤中经年积

月累而聚集起来的种类繁多、数目庞大的杂草种子群体的总称，它由输入、输出和滞留三个子系统组成。输入子系统包括草籽的传播输入和结实输入；输出子系统包括草籽的萌发、死亡及传播输出；滞留子系统由休眠种子亚库和待萌种子亚库构成，可见杂草种子库是一个非稳定的动态系统。设滞留系统中的草籽量为  $N_t$ ，当年输入草籽量为  $V_t$ ，当年输出草籽量为  $S_t$  则种子库中下年的草籽量为：

$$N_{t+1} = N_t + V_t - S_t$$

当年输入草籽量  $V_t >$  当年输出草籽量  $S_t$  时，杂草种子库种子量增加，种群增大；反之，种子库中的草籽量减少，种群缩小；当  $V = S$  时，杂草种子库达到动态平衡，种群既不增大，也不缩小。Eweiger (1987) 通过种子库数学模型模拟了德国冬麦田中卷茎蓼的群体动态，发现在结实量平均为 93 粒/株，出苗率为 7.8%，草籽自然损失率为 22.8% 的前提下，土壤中该草籽的群体增减主要取决于除草效果。除草效果高于 97% 时，土壤中该草籽的数量将逐年减少，低于 90% 时，则逐年迅猛增多。

### 三、杂草群落的演变

在生物和非生物因素的影响下，农田杂草群落不但会在体积上随季节和年份的变动而发生量的增减，而且会在结构上发生质的变异。表现在群落中各物种的优势度发生了变更，老物种被新物种取代，群落面目皆非。杂草群落在结构上发生的这种变异叫演替 (succession)。演替可以是内因自发的，也可以是外因诱发的。自发演替是由于群落本身的生物因素如物种的遗传变异、种间竞争及生态适应性的提高与下降等而引起的演替，在废弃的农田上常可见到这种演替。诱发演替是由于外界生物或非生物因素而引起的，是农田杂草群落的一种主要演替方式。引起农田杂草诱发演替的主要因素有：

#### 1. 杂草繁殖器官的传播

杂草繁殖器官尤其是种子的传播，常是导致杂草群落演变的主要原因。风、水及人类的引种活动等常把一些杂草从一地传到另一地，使其在那里迅速定植、繁殖，从而改变当地杂草的群落构成。野燕麦就是通过饲用大麦的引种而在北爱尔兰蔓延并上升为当地优势杂草的。

#### 2. 土壤肥力

土壤肥力可通过改变杂草物种之间的竞争关系而使杂草群落发生演变。施氮可压制问荆、独脚金 (*Strica* sp.) 及水芹等厌氮杂草，滋长群落中香附子、猪殃殃、繁缕及稗草等喜氮杂草。土壤缺磷时，反枝苋会很快从群落中消失。

#### 3. 土壤湿度

增加土壤湿度可导致杂草群落向以香附子、异型莎草、看麦娘等为主的喜湿杂草群落演变，干旱则会导致杂草群落向以马齿苋、蒺藜、蟋蟀草及马唐等耐旱杂草群落方向演替。水田改旱田时，风眼莲、眼子菜、慈姑、泽泻等种群会迅速消失，旱稗、马唐、狗尾草、反枝苋等旱生杂草则会乘虚而入。

#### 4. 土壤 pH

土壤 pH 值的变动也会引起杂草群落变迁，随着土壤 pH 值的升高，酸模、反枝苋及大爪草的种群将逐渐减少，问荆、繁缕和婆婆纳种群则逐步增大。

#### 5. 轮作和种植制度

不同作物要求不同的播种期、群体密度、施肥灌水制度、土壤耕作制、植物保护措施及

收获期，这些因素对杂草群落无不产生影响。轮作时这些因素就会交替出现，从而通过改变农田生境而影响杂草群落的演替。轮作方式、轮作组合及轮作周期不同，对杂草群落的影响程度也不同，以中耕作物为主的轮作组合，可导致农田杂草向一年生杂草群落方向演替，而以禾谷类作物为主的轮作组合，则会导致农田杂草向看麦娘、野燕麦等禾本科杂草群落方向演替。印度北方就曾因传统种植制度向灌溉小麦加旱稻的集约式种植制度的变革，导致了麦田杂草的大发生，现在那里的麦田杂草危害如此严重，以致于人工铲除三次，小麦仍有大幅度减产的危险。

#### 6. 土壤耕作

不同杂草对土壤耕作的反应和忍耐能力不同。增加土壤耕作会导致杂草群落向短命杂草演变，而减少土壤耕作会使杂草群落向多年生群落变迁。

#### 7. 除草剂的施用

连施一种选择性除草剂是现代农田杂草演替的重要起因。在英国由于在禾谷类作物中连施2,4-滴除草剂导致了农田阔叶杂草逐年减少和野燕麦、看麦娘等为主的禾本科杂草逐年上升。我国黑龙江地区，60年代2,4-滴的广泛施用，压制了阔叶杂草，也导致了20世纪70年代末、20世纪80年代初麦田杂草向禾草型明显演替，迫使人们改施杀禾本科杂草的除草剂。杀禾本科杂草的除草剂的连续施用有效地压制了禾草，但又很快导致了阔叶杂草群落的回升，使得近年来卷茎蓼等杂草迅速蔓延危害；在美洲和欧洲，阿特拉津的广泛施用还导致了至少38种高抗除草剂的杂草生态型的出现，使抗除草剂的杂草群落应运而生。



# 第三章 农田杂草化学防治原理

## 第一节 除草剂的吸收与运转方式

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，干扰杂草的代谢作用，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。由于除草剂品种的特性及其使用方法不同，他们被杂草吸收与运转的途径也不同。

### 一、杂草对除草剂的吸收

吸收作用是发挥除草剂活性的首要步骤。激发吸收活性机制所需的条件是：①温度系数要高，②对代谢抑制剂敏感，③吸收速度与外界浓度非线性函数关系，④类似结构化合物对吸收产生竞争。

#### 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。根系吸收与除草剂浓度直线相关，开始阶段吸收迅速，其后逐步下降。从开始吸收至达到最大值所需时间因除草剂品种及杂草种类而异。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。

除草剂进入根内的途径有三：即非共质体、共质体与非共质体一共质体。非共质体途径是除草剂由细胞壁向木质部运转，这种途径要求除草剂通过凯氏带再依次进入细胞壁、木质部；共质体途径是除草剂最先进入细胞壁，然后进入表皮与皮层细胞的原生质中，再通过胞间连丝进入内皮层、中柱及韧皮部；非共质体一共质体途径基本与共质体途径相同，但除草剂也可通过凯氏带，再进入细胞壁，然后进入木质部。

(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，挥发性的除草剂如硫代氨基甲酸酯类、二硝基苯胺类等更是以幼芽吸收为主。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。