

# 土壤杂草种子库与杂草综合管理

魏守辉 强 胜 马 波 韦继光

(南京农业大学杂草研究室 南京 210095)

**摘 要** 土壤杂草种子库是农田杂草发生危害的主要根源,种子库的动态变化规律对于杂草的综合管理具有非常重要的意义。目前研究表明,杂草种子库的密度和组成变化很大,与田间杂草群落具有密切的联系。杂草种子库时刻处于输入和输出的动态变化之中。耕作方式影响杂草种子在土壤中的垂直分布,从而间接影响种子库的密度和种类组成;作物轮作使杂草的生存环境趋于多样化,能够限制某些对单一种植系统有着良好适应性的杂草种类的生长,作物轮作对杂草种子库种类组成和丰富度的影响要大于耕作方式;杂草管理措施能够大大降低田间杂草的结实,从而减小杂草种子库的规模。随着人们对除草剂使用和环境安全问题的日益关注,发展基于生态规律的杂草管理措施越来越受到人们重视,结合近几年国内外的研究进展,作者提出了杂草种子库今后的一些新的研究发展方向。

**关键词** 杂草种子库;耕作制度;作物轮作;杂草综合管理

**中图分类号** S451.0

杂草种子库 (weed seedbank) 是存留于土壤表面及土层中具有活力的杂草种子的总称<sup>[1,2]</sup>。作为农田中潜在的杂草群落,杂草种子库的大小、组成及结构特点决定了将来田间杂草的发生危害情况,其动态变化与田间作物、控草措施及耕作栽培方式密切相关<sup>[3-8]</sup>。

明确土壤杂草种子库与农田杂草群落间的关系对杂草综合管理 (IWM) 具有重要意义<sup>[9,10]</sup>。目前,由于除草剂的长期、大量使用导致农药残留及杂草抗药性问题的产生,严重破坏了农田生态环境<sup>[11]</sup>。IWM 要求杂草的治理工作必须遵循生态规律,要因地制宜地采取各种与环境相容的除草措施来控制杂草的危害。杂草种子库的动态变化规律为预测杂草的发生危害、在精确农业中定时、定点、定量使用除草剂及其他控草措施提供了重要依据,这样可以减轻盲目使用除草剂对生态环境带来的不利影响,降低除草剂对杂草的选择压力,延缓杂草抗药性的产生<sup>[12]</sup>。

加强杂草种子库研究,掌握杂草种子库的特点和动态变化规律,已成为当前亟需解决的重要课题。目前,国外学者对杂草种子库进行的研究较多,主要侧重于研究杂草种子库的大小和结构特征<sup>[13]</sup>,以及杂草种子库在不同除草措施<sup>[6]</sup>、耕作方式<sup>[5-8]</sup>和轮

作方式<sup>[6-8]</sup>长期作用下的动态变化。国内在这方面的研究则刚刚起步,主要对各类作物田杂草种子库的大小和结构组成进行调查<sup>[14-18]</sup>,缺乏长期动态的研究。本文结合国内外的研究进展,对杂草种子库的特征及其在各种农作措施作用下的动态变化进行了系统总结,并对今后杂草种子库研究应当关注的一些问题进行了探讨。

## 1 杂草种子库的特征

### 1.1 杂草种子库的大小

许多杂草都是 r-生存对策者,植株的结实量非常大,每年都能补充大量种子进入土壤杂草种子库中,并且,杂草种子的休眠时间长短不一,能避免种子短时间内大量萌发。因此,土壤中存留的杂草种子数量是非常庞大的。杂草种子库的大小一般用单位面积土壤中有活力的杂草种子数量来表示。杂草种子库的密度一般介于 0 ~ 1000000 粒/m<sup>2</sup> 的范围,Zhang 等<sup>[19]</sup>报道在不同轮作序列的小麦、玉米、豆类作物田中,杂草种子库的密度多在 2600 ~ 52000 粒/m<sup>2</sup> 之间。Mayor 和 Dessaint<sup>[20]</sup>研究了不同除草方式的玉米-麦类作物田杂草种子库,发现杂草种子库的大小与 Zhang 等<sup>[19]</sup>报道的相似 (2765 ~

国家自然科学基金 (30170164) 和高校博士点基金 (2000030708) 资助项目。

\*通讯作者 (wrl@njau.edu.cn)

43274 粒/m<sup>2</sup>)。而 Barberi 等<sup>[13]</sup>发现,玉米连作田杂草种子库中的种子数量可达 100000 粒/m<sup>2</sup> 以上。

### 1.2 杂草种子库的种类组成

杂草种子库一般由一年生或二年生杂草种子组成,包括夏季杂草和冬季杂草,其中又以阔叶杂草种子占绝大多数<sup>[13]</sup>。在冬小麦-高粱轮作的旱作田中,土壤杂草种子库主要由反枝苋 (*Amaranthus retroflexus*)、马齿苋 (*Portulaca oleracea*)、狗尾草 (*Setaria viridis*) 等杂草组成<sup>[21]</sup>。而在长期进行稻作的水田中,土壤杂草种子库主要由母草属 (*Lindernia* spp.)、节节菜属 (*Rotala* spp.) 和莎草属 (*Cyperus* spp.) 等杂草组成<sup>[22]</sup>。

不同地区的农田由于受不同环境条件和栽培管理措施的影响,杂草种子库中的杂草种类常常有一定差异。Cardina 等<sup>[8]</sup>对俄亥俄州 Wooster 和 Hoytville 两个样点的杂草种子库进行了调查,发现 Wooster 样点的杂草种子库中有杂草 47 种, Hoytville 样点有 45 种,其中有 37 种相同。娄群峰等<sup>[14]</sup>研究了旱茬和稻茬油菜田杂草种子库的组成,发现旱茬油菜田杂草种子库主要由猪殃殃 (*Galium aparine* var. *tenerum*)、泽漆 (*Euphorbia helioscopia*) 和野老鹳草 (*Geranium carolinianum*) 等杂草组成,而稻茬油菜田主要由日本看麦娘 (*Alopecurus japonicus*)、牛繁缕 (*Malachium aquaticum*) 和蔺草 (*Beckmannia syzigachne*) 等杂草组成。

### 1.3 杂草种子库的空间分布格局

杂草种子在土壤中的空间分布格局分为垂直分布和水平分布。我国学者对小麦、油菜、水稻等作物田杂草种子库的垂直分布特征进行了研究,结果表明,杂草种子主要分布于 0~10 cm 的土壤表层<sup>[14, 16-18]</sup>。种子的垂直分布格局主要受耕作栽培方式的影响,因为耕作能形成不同的土壤孔隙,并将杂草种子在农田土壤中上下翻动,从而影响杂草种子在土壤中的垂直分布<sup>[23-25]</sup>。Swanton 等<sup>[26]</sup>研究了不同耕作方式对杂草种子垂直分布的影响,发现免耕、耙耕和犁耕方式下 0~5 cm 土层的杂草种子数量在种子库中所占的比例分别为 90%、27%、12%,其中免耕方式的杂草种子主要分布在 0~5 cm 的土壤表层,耙耕方式主要分布在 5~10 cm (66%) 土层,犁耕方式则集中在 10~15 cm 土层 (63%)。Clements 和 Benoit<sup>[27]</sup>也进行了类似研究,由于试验区的土壤类型与 Swanton 等<sup>[26]</sup>的研究不同,所得到的结果稍有些差异。因此,种子的垂直分布还受土壤类型的

影响,但耕作方式的影响是最主要的。

杂草种子在土壤中的水平分布极不均匀,对于条播作物来说,行内和行间的差异尤为显著。在测定杂草种子库密度时,Wiles 和 Schweizerb<sup>[28]</sup>发现有近 50% 的差异是由于种子的水平分布引起的,因此在土壤取样时应充分考虑杂草种子库的水平分布特点,作物行内的样点距离设置应大于行间距离的 1.5~2 倍,并通过采集大量的小样本来减小误差。Shaukat 和 Siddiqui<sup>[29]</sup>研究了土壤中杂草种子的 3 种分布型指数(扩散系数、Lloyd 平均拥挤度指数和 Morisita 聚集指数),结果表明大多数杂草种子在土壤中的水平分布为聚集分布,这也证实了以前学者提出的杂草种子的水平分布趋于聚集分布的观点<sup>[30-33]</sup>。土壤中杂草种子的水平分布主要受母株种子散播机制和耕作方式的影响<sup>[32, 33]</sup>。

## 2 杂草种子库与田间杂草群落的关系

Fenner<sup>[34]</sup>认为,频繁干扰地带的土壤杂草种子库与地上植被组成关系密切。杂草通常生长于人类频繁干扰的农田中,然而,早期的许多研究表明杂草种子库与田间杂草群落的相关程度很低<sup>[35-37]</sup>,Zhang 等<sup>[19]</sup>分析认为,上述学者测定的杂草种子库规模和组成是经过频繁干扰将土样充分萌发得来的,包括活动种子库(active seedbank)和休眠种子库(dormant seedbank),而休眠种子库对田间杂草群落的建成容易受环境条件的影响,变异较大。通过进一步的研究,Zhang 等发现活动种子库与田间杂草的发生呈显著正相关,活动种子库通常有 3%~7% 的杂草种子能够萌发形成幼苗,各种幼苗数量的差异有 70% 可以由活动种子库中种子的数量差异决定。

杂草种子库组成与地面杂草发生的相关性尽管很显著,但因杂草种类不同,相关系数  $r^2$  的变化比较大,如藜 (*Chenopodium album*) 的  $r^2$  为 0.17~0.46<sup>[38]</sup>、马齿苋的  $r^2$  为 0.43~0.93<sup>[38]</sup>、狗尾草群体 (*Setaria* spp.) 的  $r^2$  为 0.80~0.88<sup>[19]</sup>、苘麻 (*Abutilon theophrasti*) 的  $r^2$  为 0.62<sup>[39]</sup> 等。

## 3 杂草种子库的输入输出动态

杂草种子库时刻都处于输入和输出的动态变化之中,杂草种子的输入主要受杂草的结实(形成种子雨)及种子的传播机制影响;杂草种子的输出主要受杂草种子的寿命、休眠萌发特性及管理措施调

控 (图 1)。

### 3.1 杂草种子库的输入

杂草种子可以通过很多途径进入土壤杂草种子库, 其中最主要的方式是田间杂草植株结实<sup>[3]</sup>。多实性是许多杂草种类所具有的生物学特性, 如藜单株可结 72450 粒种子, 反枝苋单株可结 117400 粒种子<sup>[40]</sup>。农田中的杂草由于受到作物竞争、除草剂伤害及其他因素的影响, 其结实率通常低于平均水平, 如苍耳 (*Xanthium strumarium*) 正常情况下每株可产生

7000 粒种子, 但大豆田中苍耳的结实率只有 1100 粒/株<sup>[41]</sup>。苘麻在田间受到作物竞争<sup>[39]</sup>或荫蔽处理<sup>[42]</sup>时, 结实率会大大降低。使用除草剂即使不能杀死杂草, 但也会大大影响其结实率<sup>[43]</sup>。对于杂草种子库的输入来说, 尽管有些管理措施能在很大程度上降低杂草种子雨的强度, 但由于杂草的多实性, 田间杂草种群产生的种子数量一般仍能维持土壤杂草种子库的动态平衡<sup>[44, 45]</sup>。

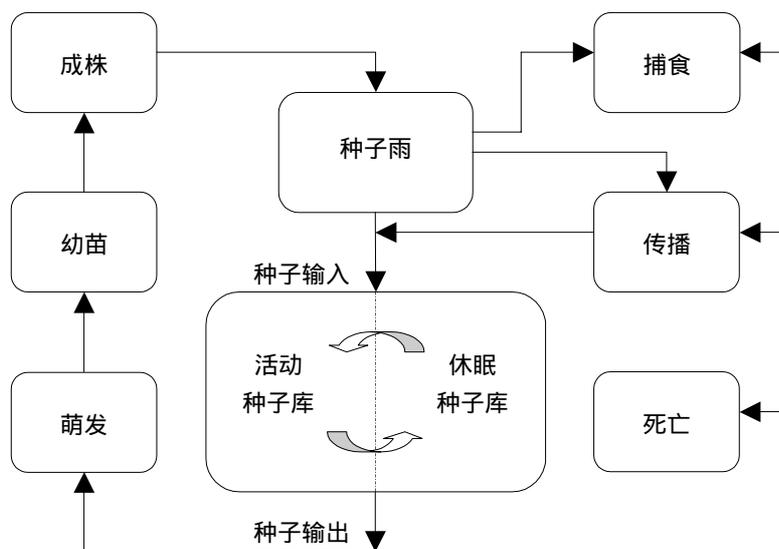


图 1 杂草种子库的输入输出动态

Fig. 1 Dynamics of seeds input and output of the weed seedbank

杂草种子还可以通过生物活动、风力、水流、农用器具、作物种子或肥料混杂等途径进入土壤杂草种子库。蒲公英 (*Taraxacum mongolicum*) 和小飞蓬 (*Conyza canadensis*) 成为免耕田主要杂草的原因就在于它们能适应风力传播<sup>[46]</sup>。Pleasant 和 Schlather<sup>[47]</sup>调查发现, 施用粪肥能将 350 粒/m<sup>2</sup>的杂草种子带入土壤杂草种子库中。联合收割机在田间操作时对杂草种子的传播作用也非常显著<sup>[48]</sup>。虽然上述途径输入杂草种子库的种子数量很少, 但这种途径对于新杂草种 (特别是外来入侵物种) 的侵入是非常重要的。

### 3.2 杂草种子库的输出

杂草种子库的输出有萌发出苗、传播、动物觅食、死亡等方式, 其中萌发和死亡是最主要的输出方式<sup>[2]</sup>。杂草种子通常具有休眠机制, 能调节杂草种子库中杂草种子的萌发, 从而影响杂草种子库的

输出动态。在田间进行的各种农事活动能改变杂草种子所处的环境和土壤条件, 从而对杂草种子的休眠状态产生显著影响<sup>[49]</sup>。杂草种子库中杂草种子的萌发数量取决于杂草种类和环境条件, 通常在 3% ~ 7% 的范围内变化<sup>[19, 35, 36]</sup>。

杂草种子在土壤中的寿命因种类不同而差异较大, 除了受本身遗传特性影响外, 还受到土壤类型、含水量、所处的土层深度及耕作栽培措施等外界因素的影响<sup>[50]</sup>。稗 (*Echinochloa crusgalli*) 在土壤中 3 年后的存活率为 48%, 波斯婆婆纳 (*Veronica persica*) 为 1.3%, 而大巢菜 (*Vicia sativa*) 仅有 0.3%。土壤水分含量会显著影响杂草种子的寿命, 喜湿性杂草如看麦娘、日本看麦娘、蔺草种子在旱田中, 经 3 年后几乎 100% 死亡; 而喜旱性杂草波斯婆婆纳种子在水田中, 经 2 年便全部死亡, 大巢菜、猪殃殃经 3 年全部死亡<sup>[2]</sup>。

动物的捕食和各种微生物的侵染常常影响土壤杂草种子库中杂草种子的留存。当杂草种子散落在土表时, 往往更容易损耗<sup>[51, 52]</sup>。免耕大豆田杂草种子因捕食而丧失的比率(69%)远大于传统耕作条件(27%)<sup>[51]</sup>, 因为在免耕条件下, 杂草种子大量集中于土壤表面, 增加了动物捕食的机会。微生物侵染可以引起杂草种子发生腐烂, 从而消耗杂草种子库中的部分杂草种子<sup>[53]</sup>。此外, 杂草种子库中的杂草种子还能随水流或收获机械带出农田而损耗。

## 4 杂草管理措施与杂草种子库动态

### 4.1 耕作方式

耕作方式可以影响杂草种子库的密度和种类组成。Feldman<sup>[54]</sup>研究了不同耕作方式下小麦田的土壤杂草种子库, 发现杂草种子库的密度随耕作方式的不同而变化, 犁耕方式下的杂草种子库密度最低(15710 粒/m<sup>2</sup>), 而免耕最密集(102179 粒/m<sup>2</sup>)。Cardina 等<sup>[8]</sup>的研究结果也表明, 免耕方式下的杂草种子库密度最高, 随着耕作强度的增加, 杂草种子库密度逐渐降低。Mulugeta 和 Stoltenberg<sup>[50]</sup>研究了在免耕玉米田进行翻耕(8~10 cm 深)对藜种子库的影响, 发现藜的种子损耗是未翻耕处理的 16 倍, 但同时田间的幼苗数量却增加了 6 倍。不同的耕作方式对土壤的干扰程度不一样, 犁耕>耙耕>免耕; 以上研究结果表明, 增加土壤干扰能局部改变杂草种子所处的环境, 有利于打破杂草种子的休眠, 促进萌发, 从而降低杂草种子库的密度。

耕作方式对杂草种子库的种类组成有一定影响。对于那些种子在土壤表层更易于生存、萌发或出苗的杂草种类来说, 免耕或减少耕作的方式会大大增加其种群密度; 而对于那些需要在土壤中深埋以打破休眠、防止天敌生物嗜食的杂草种类来说, 犁耕方式将有利于其种群的发生<sup>[46]</sup>。Buhler 和 Mester<sup>[55]</sup>发现, 大狗尾草(*Setaria faberi*) 在土表萌发的种子数量与 1~4 cm 土层中的萌发数量相似, 但当种子在 6 cm 深时, 大狗尾草的群体数量减少了将近 50%。许多研究表明, 免耕或减少耕作还有利于多年生杂草的发生, 因为在这种条件下多年生杂草的营养繁殖根茎不会因为频繁的耕作活动而折断死亡, 种子也更易于在土壤表层积累, 从而大量萌发繁殖, 种子库密度显著增加<sup>[5, 13]</sup>。

耕作方式影响杂草种子在土壤中的垂直分布, 使种子所处的条件如埋藏深度、水分、光照等发生

改变, 从而间接影响到杂草种子的休眠萌发状况, 因而土壤中杂草种子埋藏深度的不同和相应萌发能力的差异可能是不同耕作条件下杂草种子库组成发生变化的主要原因。

### 4.2 作物轮作

作物轮作是一种非常有效的杂草管理措施, 对杂草种子库的密度和种类组成有显著影响。在玉米连作田中进行玉米-大豆轮作, 土壤中的杂草种子数量可以降低 50% 以上<sup>[56]</sup>。作物轮作越密集, 杂草种子库密度越小, 据甘国福等<sup>[15]</sup>调查, 瓜类-小麦-玉米轮作田的杂草种子数量比小麦-玉米轮作田少得多。Cardina 等<sup>[8]</sup>研究发现, 免耕条件下玉米连作田的杂草种子库密度比玉米-燕麦-干草轮作田高 40%~45%, 而在耙耕和犁耕条件下却要低 45%~72%。通过作物轮作与耕作方式的互作比较, Cardina 等认为, 作物轮作对杂草种子库密度的影响比耕作方式更明显。

Schreiber<sup>[57]</sup>的研究结果表明, 不管耕作方式如何, 大豆-玉米或大豆-小麦-玉米轮作田相对于玉米连作田能大大减少种子库中大狗尾草种子的数量。Cardina 等<sup>[8]</sup>也得到了相似的结果, 发现玉米-燕麦-干草轮作田大狗尾草的相对重要值(relative importance value)比玉米连作田低 80%, 然而, 在同一研究中, 玉米-燕麦-干草轮作田中芥菜(*Capsella bursa-pastoris*)、宾夕黎(*Polygonum pensylvanicum*)、直立婆婆纳(*Veronica arvensis*)等阔叶草种的密度(140~630 粒/m<sup>2</sup>)却显著高于玉米-大豆(10~270 粒/m<sup>2</sup>)或玉米连作田(1~60 粒/m<sup>2</sup>)。分析原因, 可能是禾本科的大狗尾草比阔叶草更能适应玉米连作田的杂草管理措施, 而 Ball<sup>[6]</sup>认为轮作过程中作物种植的顺序是影响杂草种子库种类组成的主要原因。

作物轮作影响杂草种子库密度和种类组成的机制可能在于通过种植不同的作物, 提供了多种方式的资源竞争、他感物质(allelopathy)干扰、土壤翻耕和杂草管理策略, 这些措施形成了一种多样化的环境, 限制了某些对单一种植系统有着良好适应性的杂草种类的生长。

### 4.3 除草措施

采取有效的控草措施能够大大减少杂草的开花结实, 从而显著降低杂草种子库的输入量。稻田实行化学除草时, 土壤杂草种子库密度每年可减少 3.4%~18.5%<sup>[22]</sup>。玉米田连续 3 年使用阿特拉津并进

行间作后，土壤中的杂草种子数量可减少近 70%，但若停止阿特拉津的使用，改用栽培措施控草，3年后杂草种子库大小是连续使用阿特拉津小区的 25 倍<sup>[45]</sup>。Burnside 等<sup>[4]</sup>也进行了类似的研究，发现经过 5 年无草处理后，土壤杂草种子库中阔叶杂草和禾本科杂草的种子密度减少了 95%，但在第 6 年停用除草剂后，土壤中杂草种子的密度又恢复到原来的 90%。上述研究表明，当采取有效措施减少或阻断杂草种子的进入时，杂草种子库的密度将很快下降，当管理措施不是很有效时，一些留存的杂草种子就会伺机萌发、成熟，在很短时间内产生大量的种子补充到杂草种子库中，从而维持杂草种子库的动态平衡。

不同的除草方式对杂草种子库的大小、组成及物种丰富度的影响不一样。Barberi 等<sup>[13]</sup>研究了玉米连作田杂草种子库的情况，发现在有机培肥、物理方法控草条件下杂草种子库最大，达 100761 粒/m<sup>2</sup>，全化学施肥、使用除草剂条件下杂草种子库最少，只有 27601 粒/m<sup>2</sup>。Mayor 和 Dessaint<sup>[20]</sup>调查了玉米-麦类作物田不同除草方式下的杂草种子库大小，发现在机械除草时，杂草种子库密度最大（11530~28596 粒/m<sup>2</sup>），化学除草的杂草种子库密度最小（5653~2765 粒/m<sup>2</sup>），综合防治的杂草种子库密度介于两者之间。在不同除草方式的长期作用下，土壤杂草种子库的优势种也发生了变化，1993 年的调查结果表明，机械除草时，土壤杂草种子库主要由芥菜(*Capsella bursa-pastoris*)组成；综合防除时，主要由藜(*Chenopodium album*)组成；而化学除草时，杂草种子库的主要杂草种类变化不大，主要由早熟禾(*Poa annua*)组成，但反枝苋的优势度（6.1%）显著高于其他除草方式（<0.5%）。

## 5 研究展望

杂草的发生危害在很大程度上依赖于土壤杂草种子库。明确杂草种子库的结构及组成，了解田间杂草群落与杂草土壤种子库间的相关性以及各种农作措施对杂草种子库的动态影响，可以帮助我们进行杂草的发生预测，揭示未来农田杂草的发生危害情况，从而采取适宜的杂草控制策略。从目前国内外的研究进展来看，今后杂草种子库的研究要注重以下几个方面：

### 5.1 物种组成

我国农业生产对土地的利用比较频繁，很多地

区都是 1 年 2 熟或 3 熟，目前学者对杂草种子库物种结构组成的研究还不够全面，只是侧重于研究单季作物田的杂草种子库，如研究夏季作物田（水稻、玉米、大豆等）杂草种子库时往往忽略了冬春季作物田（油菜或麦类等）发生的杂草。今后在研究多熟种植制度农田的杂草种子库特征时，应全面了解夏季和冬春季作物田杂草种子的结构、年际消长动态及相互关系，为杂草治理提供更准确的信息。

### 5.2 空间分布格局

目前对杂草种子库的垂直分布规律了解得较多，水平分布规律则知之甚少。随着农业现代化程度的提高，精确农业的实施已成为可能，而杂草种子库水平分布的规律对于精确农业中“定点”杂草管理策略的实施是非常重要的。因此，应加强杂草种子水平散布规律，以及不同耕作方式、种植方式对杂草种子的辅助散布作用研究。

### 5.3 杂草预测模型

杂草种子库是潜杂草群落，而地上杂草植被是显杂草群落，它们之间互相联系、互相作用，共同构成了农田杂草群落综合体<sup>[58]</sup>。长期定点研究农田主要杂草种子库特征与田间杂草种群的数量关系，充分考虑温度、光照、降雨、土壤湿度、耕作栽培措施等因素的影响，建立两者间的定量关系数学模型，可以进而建立基于杂草种子库的杂草发生预测模型。在准确掌握将来田间杂草的发生时间、危害程度及其动态变化规律后，可以更好地调整杂草管理策略，使管理措施的应用更有针对性，从而大大提高控草效果。

### 5.4 种子休眠萌发机制及种子命运

杂草种子普遍具有休眠特性，杂草种子库的萌发输出通常只有 3%~7%，因此杂草种子库在一般情况下是很难耗竭的。如果加强杂草种子休眠萌发机制的研究，明确种子休眠的原因，就可以筛选和应用促进种子萌发的化学物质或天然提取物，打破种子的休眠，提高输出比例，可以加快耗竭整个杂草种子库。同时，研究种子库中杂草种子的年龄谱系，加强各种生物因素如动物、真菌对杂草种子的噬食和侵染研究，以及各种环境因子对杂草种子寿命的影响研究，提高杂草种子库中杂草种子的输出比例，同样可以加快杂草种子库耗竭的进程，达到有效治理农田杂草的目的。

### 5.5 杂草抗药性、遗传工程

杂草种子库具有记忆功能，杂草种子库中保存

了不同年龄结构的杂草种子和丰富的基因型,可以用来进行遗传工程研究。对于抗性杂草来说,杂草种子库中不同年龄结构的杂草种子,是杂草抗性产生过程的记忆,可以借此分析杂草的抗性产生机制,因而对于杂草抗药性研究具有极其重要意义。

### 5.6 污染土壤的生物修复

生物修复是治理土壤中有机污染物的既安全又经济的方法<sup>[59, 60]</sup>。人们通常重视研究土壤微生物的活动,而较少关注杂草种子库中某些超积累植物的存在<sup>[61~64]</sup>。Tang 等<sup>[65]</sup>发现安徽铜陵矿区土壤中的鸭跖草(*Commelina communis*)具有超积累 Cu 的能力,其萌发生长对矿区或农区土壤的生态修复有着十分重要的意义。加强农田土壤杂草种子库中对农用化学品(农药、化肥等)有较强积累及转化能力的杂草种类筛选,对于发展绿色食品生产,保障粮食安全同样具有非常重要的意义。

### 5.7 外来杂草

外来杂草如薇甘菊(*Mikania micrantha* Kunth.)、紫茎泽兰(*Eupatorium adenophorum* Spreng.)的入侵导致的生境破坏和生物多样性资源的丧失引起了公众的广泛关注,恢复受破坏的生境,控制外来杂草的进一步入侵已成为人们面临的迫切任务。Sheley 和 Krueger-Mangold<sup>[66]</sup>提出,对外来入侵物种的管理需要建立在生态学原则的基础上,土壤杂草种子库在外来杂草的入侵过程中发挥着非常重要的作用,外来杂草种子的传播、在土壤杂草种子库中的休眠萌发机制、杂草种子命运的研究越来越受到生态学者的关注。

### 参考文献

- 1 Roberts HA. Seed banks in soils. *Advances in Applied Biology*, 1981, 6: 1 ~ 55
- 2 强胜主编. 杂草学. 北京: 中国农业出版社, 2001, 17 ~ 23
- 3 杨小波, 陈明智, 吴庆书. 热带地区不同土地利用系统土壤种子库的研究. *土壤学报*, 1999, 36(3): 327 ~ 333
- 4 Burnside OC, Moomaw RS, Roeth FW, Wicks GA, Wilson RG. Weed seed demise in soil in weed-free corn (*Zea mays*) production across Nebraska. *Weed Science*, 1986, 34: 248 ~ 251
- 5 Cardina J, Regnier E, Harrison K. Long-term tillage effects on seed banks in three Ohio soils. *Weed Science*, 1991, 39: 186 ~ 194
- 6 Ball DA. Weed seedbank response to tillage, herbicides and crop rotation sequence. *Weed Science*, 1992, 40: 654 ~ 659
- 7 Barberi P, Cascio BL, Cascio B. Long-term tillage and crop rotation effects on weed seedbank size and composition. *Weed Research*, 2001, 41(4): 325 ~ 340
- 8 Cardina J, Herms CP, Doohan DJ. Crop rotation and tillage system effects on weed seedbanks. *Weed Science*, 2002, 50: 448 ~ 460
- 9 Buhler DD, Hartzler RG, Forcella F. Implications of weed seedbank dynamics to weed management. *Weed Science*, 1997, 45: 329 ~ 336
- 10 冯远娇, 王建武. 农田杂草种子库研究综述. *土壤与环境*, 2001, 10(2): 158 ~ 160
- 11 陈晶中, 陈杰, 谢学俭, 张学雷. 土壤污染及其环境效应. *土壤*, 2003, 35 (4): 298 ~ 303
- 12 Boutsalis P, Powles SB. Seedbank characteristics of herbicide-resistant and susceptible *Sisymbrium orientale*. *Weed Research*, 1998, 38, 389 ~ 395
- 13 Barberi P, Cozzani A, Macchia M, Bonari E. Size and composition of the weed seedbank under different management systems for continuous maize cropping. *Weed Research*, 1998, 38: 319 ~ 334
- 14 姜群峰, 张敦阳, 王庆亚, 黄建中. 不同耕作型油菜田土壤杂草种子库的研究. *杂草科学*, 1998, (1): 6 ~ 8, 39
- 15 甘国福, 王德卿, 徐生海. 武威地区玉米田杂草种子库调查简报. *植保技术与推广*, 2000, 20(6): 28 ~ 29
- 16 吴竞仑, 周恒昌. 稻田土壤杂草种子库研究. *中国水稻科学*, 2000, 14(1): 37 ~ 42
- 17 郑永利, 滕敏忠. 稻茬免耕麦田杂草土壤种子库调查. *浙江农业科学*, 2002, (2): 90 ~ 91
- 18 张红梅, 白容霖, 张慧丽, 曲力涛. 长春市郊区旱田土壤杂草种子库的研究. *吉林农业大学学报*, 2002, 24(1): 42 ~ 46
- 19 Zhang J, Hamill AS, Gardiner IO, Weaver SE. Dependence of weed flora on the active soil seedbank. *Weed Research*. 1998, 38: 143 ~ 152
- 20 Mayor JP, Dessaint F. Influence of weed management strategies on soil seedbank diversity. *Weed Research*, 1998, 38: 95 ~ 105
- 21 Unger PW, Miller SD, Jones OR. Weed seeds in long-term dryland tillage and cropping system plots. *Weed Research*. 1999, 39: 213 ~ 223
- 22 Sago R. Weed seedbank response to herbicide use in paddy rice fields. *Journal of Weed Science and Technology*, 2000,

- 45(2): 88 ~ 95
- 23 张海林, 秦耀东, 朱文珊. 耕作措施对土壤物理性状的影响. 土壤, 2003, 35(2): 140 ~ 144
- 24 Staricka JA, Burford PM, Allmaras RR, Nelson WW. Tracing the vertical distribution of simulated shattered seeds as related to tillage. Agronomy Journal, 1990, 82: 1131 ~ 1134
- 25 Yenish JP, Doll JD, Buhler DD. Effects of tillage on vertical distribution and viability of weed seed in soil. Weed Science, 1992, 40: 429 ~ 433
- 26 Swanton CJ, Shrestha A, Knezevic SZ, Roy RC, Ball-Coelho BR. Influence of tillage type on vertical weed seedbank distribution in a sandy soil. Canadian Journal of Plant Science. 2000, 80: 455 ~ 457
- 27 Clements DR, Benoit DL. Tillage effects of weed seed return and seedbank composition. Weed Science, 1996, 44: 314 ~ 332
- 28 Wiles L, Schweizer E. Spatial dependence of weed seed banks and strategies for sampling. Weed Science, 2002, 50: 595 ~ 606
- 29 Shaukat SS, Siddiqui IA. Spatial pattern analysis of seeds of an arable soil seed bank and its relationship with above-ground vegetation in an arid region. Journal of Arid Environments, 2003, 55: 411 ~ 417
- 30 Benoit DL, Kenkel NC, Cavers PB. Factors influencing the precision of soil seed bank estimates. Canadian Journal of Botany, 1989, 67: 2833 ~ 2840.
- 31 Dessaint FG, Barralis ML, Caixinhas JP, et al. Precision of soil seedbank sampling: how many soil cores? Weed Research, 1996, 36: 143 ~ 151
- 32 Rahman A, James TK. Weed seedbank estimation, spatial distribution, decline and potential for predicting future weed populations. Plant Protection, 1998, 13: 117 ~ 122
- 33 Mulugeta D, Boerboom CM. Seasonal abundance and spatial pattern of *Setaria faberi*, *Chenopodium album*, and *Abutilon theophrasti* in reduced-tillage soybeans. Weed Science, 1999, 47: 95 ~ 106
- 34 Fenner M. Seed ecology. New York: Chapman & Hall, 1985
- 35 Roberts HA, Ricketts ME. Quantitative relationship between the weed flora after cultivation and the seed population in the soil. Weed Research, 1979, 19: 269 ~ 275
- 36 Forcella F, Wilson RG, Renner KA, Dekker J, Harvey RG, Alm DA, Buhler DD, Cardina J. Weed seed banks of the U.S. corn belt: Magnitude, variation, emergence, and application. Weed Science, 1992, 40: 636 ~ 644
- 37 Cardina J, Sparrow DH. A comparison of methods to predict weed seedling populations from the soil seedbank. Weed Science, 1996, 44: 46 ~ 51
- 38 Wilson RG, Derr ED, Nelson LA. Potential for using weed seed content in the soil to predict future weed problems. Weed Science, 1985, 33: 171 ~ 175
- 39 Lindquist JL, Maxwell BD, Buhler DD, Gunsolus JL. Velvetleaf(*Abutilon theophrasti*) recruitment, survival, seed production, and interference in soybean(*Glycine max*). Weed Science, 1995, 43: 226 ~ 232
- 40 Stevens OA. Weights of seeds and numbers per plant. Weeds, 1957, 5: 46 ~ 55
- 41 Senseman SA, Oliver LR. Flowering patterns, seed production, and somatic polymorphism of three weed species. Weed Science, 1993, 41: 418 ~ 425
- 42 Bello IA, Owen MDK, Hatterman-Valenti HM. Effect of shade on velvetleaf(*Abutilon theophrasti*) growth, seed production, and dormancy. Weed Technology, 1995, 9: 452 ~ 455
- 43 Biniak BM, Aldrich RJ. Reducing velvetleaf(*Abutilon theophrasti*) and giant foxtail(*Setaria faberi*) seed production with simulated-roller herbicide applications. Weed Science, 1986, 34: 256 ~ 259
- 44 Hartzler RG. Velvetleaf(*Abutilon theophrasti*) population dynamics following a single year's seed rain. Weed Technology, 1996, 10: 581 ~ 586
- 45 Schweizer EE, Zimdahl RL. Weed seed decline in irrigated soil after six years of continuous corn(*Zea mays*) and herbicides. Weed Science, 1984, 32: 76 ~ 83
- 46 Buhler DD. Influence of tillage systems on weed population dynamics and management in corn and soybean production in the central USA. Crop Science, 1995, 35: 1247 ~ 1257
- 47 Pleasant MJ, Schlather KJ. Incidence of weed seed in cow (*Bos* sp.) manure and its importance as a weed source for cropland. Weed Technology, 1994, 8: 304 ~ 310
- 48 Currie RS, TF Peeper. Combine harvesting affects weed seed germination. Weed Technology, 1988, 2: 499 ~ 504
- 49 Dyer WE. Exploiting weed seed dormancy and germination requirements through agronomic practices. Weed Science, 1995, 43: 498 ~ 503
- 50 Mulugeta D, Stoltenberg DE. Increased weed emergence

- and seed bank depletion by soil disturbance in a no-tillage system. *Weed Science*, 1997, 45: 234 ~ 241
- 51 Brust GE, House GJ. Weed seed destruction by arthropods and rodents in low-input soybean agroecosystems. *American Journal of Alternative Agriculture*, 1988, 3: 19 ~ 25
- 52 Reader RJ. Control of seedling emergence by ground cover: A potential mechanism involving seed predation. *Canadian Journal of Botany*, 1991, 69: 2084 ~ 2087
- 53 Kremer RJ. Management of weed seed banks with microorganisms. *Ecol. Appl.*, 1993, 3: 42 ~ 52
- 54 Feldman SR. The effect of different tillage systems on the composition of the seedbank. *Weed Research*, 1997, 37: 71 ~ 76
- 55 Buhler DD, Mester TC. Effect of tillage systems on the emergence depth of giant (*Setaria faberi*) and green foxtail (*Setaria viridis*). *Weed Science*, 1991, 39: 200 ~ 203
- 56 Forcella F, Lindstrom M J. Movement and germination of weeds in ridge-till crop production systems. *Weed Science*, 1988, 36: 56 ~ 59
- 57 Schreiber MM. Influence of tillage, crop rotation, and weed management on giant foxtail (*Setaria faberi*) population dynamics and corn yield. *Weed Science*, 1992, 40: 645 ~ 653
- 58 Qiang Sheng. Weed diversity of arable land in China. *J. of Korean Weed Science*, 2002, 22 (3): 187 ~ 198
- 59 黄铭洪, 骆永明. 矿区土地修复与生态恢复. *土壤学报*, 2003, 40 (2): 161 ~ 169
- 60 刘世亮, 骆永明, 丁克强, 曹志洪. 土壤中有机污染物的植物修复研究进展. *土壤*, 2003, 35 (3): 187 ~ 192
- 61 王学东, 欧晓明, 王慧利, 樊德方. 除草剂咪唑烟酸在土壤中的微生物降解研究. *土壤学报*, 2004, 41(1): 126 ~ 159
- 62 滕应, 黄昌勇, 骆永明, 龙健, 姚槐应. 铅锌银尾矿区土壤微生物活性及其群落功能多样性研究. *土壤学报*, 2004, 41 (1): 113 ~ 119
- 63 Hu F, Li HX, Wu SM. Differentiation of soil fauna populations in conventional tillage and no-tillage red soil ecosystems. *Pedosphere*, 1997, 7 (4): 339 ~ 348
- 64 Liang WJ, Chen LJ, Li Q, Wang P, Duan YX. Responses of nematode communities to inorganic fertilizer disturbance in a farmland ecosystem. *Pedosphere*, 2002, 12 (3): 193 ~ 200
- 65 Tang SR, Huang CY, Zhu ZX. *Commelina communis* L.: Copper hyperaccumulator found in Anhui Province of China. *Pedosphere*, 1997, 7 (3): 207 ~ 210
- 66 Sheley RL, Krueger-Mangold J. Principles for restoring invasive plant-infested rangeland. *Weed Science*, 2003, 51: 260 ~ 265

## SOIL WEED SEEDBANK AND INTEGRATED WEED MANAGEMENT

WEI Shou-hui    QIANG Sheng    MA Bo    WEI Ji-guang

( *Weed Research Laboratory, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095* )

**Abstract** Soil weed seedbank is the primary source of future weed infestations and knowledge of seedbank dynamics is beneficial to integrated weed management (IWM). Current advances show that the density and species composition of the soil weed seedbank vary greatly and are closely linked to the above ground weed communities. The weed seedbank is always in equilibrium between seed input and output. Tillage systems affect vertical distribution of weed seeds in the soil and have indirect influence on the seedbank density and species composition. Crop rotation provides diverse environments for weed seeds and prevents proliferation of the weed species well adapted to a single cropping system. The effect of crop rotation on weed species composition and abundance is higher than that of tillage systems. Weed control measures can greatly reduce weed seed production and decrease the size of seedbank in the soil. Recent public attitude towards the use of herbicides and environmental safety has placed increased emphasis on development of ecology- based weed management system (EBWM). Taking into account current progresses in the study on weed seedbank both inland and abroad, the author put forth some new perspectives for future research.

**Key words** Weed seed bank, Tillage system, Crop rotation, Integrated weed management