

# 江苏省主要农田杂草种子库物种组成和多样性及其与环境因子的相关性分析

章超斌, 马波, 强胜<sup>①</sup>

(南京农业大学杂草研究室, 江苏 南京 210095)

**摘要:** 采用水洗镜检法对江苏省 31 个农田样点(包括旱田和水田)0~15 cm 土层土壤杂草种子库的种类组成和物种多样性进行了调查研究;采用典范对应法分析了杂草种子库种类与环境因子(包括淹水天数、土壤有机质含量、土壤 pH、年降水量、年均温、样点经度和样点纬度)的相关性并绘制了样点和种类与环境因子的二维排序散点图。调查结果表明:在 31 个样点的土壤杂草种子库中共检测到杂草种子 15 科 54 种,旱田和水田各有 41 和 45 种,二者共有种类占多数但优势种有差异,通泉草[*Mazus japonicus* (Thunb.) Kuntze]、异型莎草(*Cyperus difformis* L.)、水苋菜(*Ammannia baccifera* L.)、千金子[*Leptochloa chinensis* (L.) Nees]、棒头草(*Polypogon fugax* Nees ex Steud.)和牛繁缕[*Malachium aquaticum* (L.) Fries]等种类为二者的共有优势种;杂草种类最多的为禾本科(Gramineae)和莎草科(Cyperaceae),分别占种类总数的 22.6% 和 20.8%。旱田不同样点杂草种子库的优势种类变化较大,而水田杂草种子库优势种较稳定;二者优势种频度差异较大,旱田中频度高于 0.30 的杂草有 19 种,水田中频度高于 0.50 的杂草有 20 种;旱田和水田中平均重要值大于 0.03 的杂草各有 11 和 9 种,这些频度高的种类重要值也较大。旱田和水田土壤种子库种子密度分别为 21 015 和 37 847 m<sup>-2</sup>,平均为 31 008 m<sup>-2</sup>;旱田 3 层土壤中种子密度差异不显著,而水田上、中层土壤的种子密度显著高于下层。旱田以夏熟和秋熟杂草为主,而水田则以水田和夏熟杂草为主。按形态类型划分,水田及旱田中杂草种类数和密度从大到小均依次排序为阔叶草类、禾草类、莎草类,且水田中这 3 类杂草的种类数和种子密度均高于旱田。与旱田相比,水田杂草种子库的物种丰富度指数(S)、Shannon-Wiener 指数(H')和 Simpson 指数(D)较高,但 Pielou 均匀度指数(E)较低;旱田杂草种子库的 S、H'和 D 指数随土层深度增加而降低、E 指数逐渐升高,水田各土层的物种多样性指数则无明显变化趋势。第 1 种类排序轴与淹水天数负相关性最高(R=-0.814 3),第 2 种类排序轴与年降水量和经度也有较高的负相关性;相关性分析和 CCA 分析结果均表明淹水天数是影响杂草种子库群落构成的最大因素。通过二维排序可将 31 个样点分为旱田和水田 2 大类,旱田可划分为长期旱连作和水旱轮作 2 个亚类;水田可划分为淮河以北地区和淮河以南长江流域地区 2 个亚类。研究结果说明:杂草种子库潜群落优势种与地上部农田杂草显群落优势种具有一致性,通过土壤杂草种子库的研究可以预测地上杂草的发生和危害情况。

**关键词:** 杂草种子库; 水田; 旱田; 物种多样性; 相关性分析; 环境因子

中图分类号: Q948.15; S451; X171.1 文献标志码: A 文章编号: 1674-7895(2012)01-0001-13

**Analyses of species composition and diversity of weed seed bank of main crop fields in Jiangsu Province and its correlation with environmental factors** ZHANG Chao-bin, MA Bo, QIANG Sheng<sup>①</sup> (Weed Research Laboratory, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China), *J. Plant Resour. & Environ.* 2012, 21(1): 1-13

**Abstract:** The species composition and diversity of weed seed bank of 0-15 cm soil layer in 31 sample sites of main crop fields (including upland and paddy fields) in Jiangsu Province were investigated by water washing-microscopic examination method. And correlation between species in weed seed bank and environmental factors (including waterlogging days, organic matter content and pH in soil, annual

收稿日期: 2011-06-20

基金项目: 江苏省科技支撑计划项目(BE2011353)

作者简介: 章超斌(1986—),男,浙江诸暨人,硕士研究生,主要从事农田杂草种子库研究。

<sup>①</sup>通信作者 E-mail: wrl@njau.edu.cn

precipitation, annual mean temperature, latitude and longitude of sites) was analyzed by canonical correspondence analysis (CCA), and scatter diagrams of CCA two-dimensional ordination about sites- and species- environment factors were also drawn. The investigation results show that weed seeds of 54 species (41 and 45 species respectively in upland and paddy fields) belonging to 15 families are detected in weed seed bank of 31 sample sites, in which, common weed species are in the majority but dominant species are various in upland and paddy fields. The common dominant species are *Mazus japonicus* (Thunb.) Kuntze, *Cyperus difformis* L., *Ammannia baccifera* L., *Leptochloa chinensis* (L.) Nees, *Polypogon fugax* Nees ex Steud. and *Malachium aquaticum* (L.) Fries, etc., and number of weed species in Gramineae and Cyperaceae are the most, accounts for 22.6% and 20.8% of total number of weed species, respectively. The dominant species in weed seed bank in different sites of upland field changes greatly but that of paddy field is relatively stable, while difference of dominant species frequency between upland and paddy fields is greater. There are 19 weeds in upland field with frequency higher than 0.30, while 20 weeds in paddy field with frequency higher than 0.50. And there are 11 and 9 weeds respectively in upland and paddy fields with average important value higher than 0.03, important value of these weeds with high frequency is also high. Seed density of weed seed bank in upland and paddy fields is 21 015 and 37 847 m<sup>-2</sup>, respectively, with an average density of 31 008 m<sup>-2</sup>. Weed seed density in three soil layers in upland field has no significant difference, but that in upper and middle soil layers in paddy field is significantly higher than that in lower layer. Summer and autumn weeds are main types in upland field, while paddy and summer weeds are main types in paddy field. According to morphological type, the species number and density of weed from high to low in order is broadleaf grasses, grasses, sedges, and their species number and density in paddy field are higher than those in upland field. Compared with upland field, species richness (*S*), Shannon-Wiener index (*H'*) and Simpson index (*D*) of weed seed bank in paddy field are higher, while Pielou index (*E*) is lower. And with increasing of soil depth, *S*, *H'* and *D* of weed seed bank in upland field decrease gradually but *E* increases, but change trend of species diversity indexes of different soil layers in paddy field are not obvious. Negative correlation between the first axis of species and waterlogging days is the highest ( $R = -0.8143$ ), and negative correlations between the second axis of species and annual precipitation, longitude are also higher. The results of correlation and CCA analyses all indicate that waterlogging days is the most important factor for impacting the structure of weed seed bank community. According to results of CCA two-dimensional ordination, the 31 sample sites can be divided into two groups of upland and paddy fields, and the upland field group is further divided into two sub-groups of long-term drought continuous cropping and paddy-upland rotation, while paddy field is further divided into two sub-groups of the north area of Huai River and the south area of Huai River-Yantze River basin. It is suggested that dominant species in potential community of weed seed bank is similar to ones in emerged community of above-ground weeds, therefore, status of occurrence and harm of above-ground weeds may be predicted through investigation of weed seed bank in soil.

**Key words:** weed seed bank; paddy field; upland field; species diversity; correlation analysis; environmental factor

土壤种子库是指存在于土壤表面和土壤中的有活力种子的总和<sup>[1]</sup>。农田杂草种子库的存在是杂草得以在频繁受人类活动干扰的农田生态系统中存活延续的关键;杂草种子库能反映不同耕作模式下的杂草群落特征,为了解农田杂草发生的历史和现状提供证据<sup>[2-3]</sup>;它是杂草以潜在杂草群落存在的一种方式,只有耗竭土壤杂草种子库、打断杂草在农田中的生活史周期,才能达到从源头管理杂草的目的。掌握杂草种子库的消长规律可以预测草害的发生状况,为有效防除杂草提供准确信息<sup>[4]</sup>;而探明杂草种子库

的群落组成和分布则有利于揭示杂草群落的消减规律<sup>[5]</sup>,对制定相应的杂草综合管理措施是必不可少的基础工作。在不同环境条件和栽培管理措施的影响下,不同地区农田杂草种子库中包含的杂草种类常常有一定的差异<sup>[6]</sup>。

江苏省南北气候差异较大,农田耕作类型复杂,农业自然资源比较优越,是我国重要的粮食生产省份,但农田杂草一直是影响其农业生产的重要因素。鉴于此,众多学者对农田草害问题进行了深入研究,致力于找到合理有效的控草方案。目前,对江苏省农

田杂草的调查工作还主要局限于对其地上部分发生状况的调查<sup>[7-9]</sup>, 对大范围内农田杂草种子库的调查工作较为鲜见。王开金<sup>[10]</sup>采用诱萌法研究了江苏省 9 个主要农区的麦田杂草种子库, 表明各农区的杂草种子库存在一定差异; 李伟伟<sup>[11]</sup>的研究结果表明: 在苏南地区 3 种不同耕作方式的农田内, 杂草种子库与地上部分杂草的优势种类及其危害比较相似; 吴竞仑等<sup>[12]</sup>考察了仪征水田杂草种子库的现状, 初步探明了水旱轮作对杂草种子库的影响; 娄群峰等<sup>[13]</sup>认为: 不同耕作类型油菜田的杂草种子库群落状况受到耕作方式和轮作制度的影响。上述研究都采用诱萌法, 只注重当茬作物种子库特征, 并没有明确杂草种子库的整体结构。

作者采用水洗镜检法检测土壤中的杂草种子库, 在江苏全省范围内调查不同区域农田杂草种子库的群落特征, 并探讨不同类型农田土壤中杂草种子库群落在种类组成、空间分布、物种多样性及其与环境因子相关性等方面的差异, 为从根源上防控农田杂草提供科学依据。

## 1 研究区域自然概况和研究方法

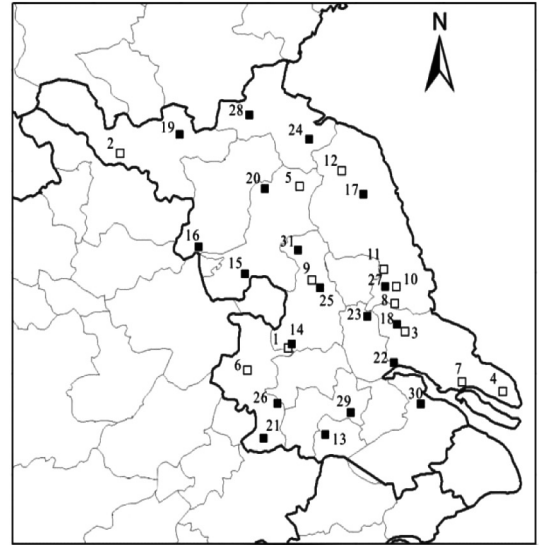
### 1.1 研究区域自然概况

江苏省地处长江和淮河下游、东邻黄海, 地理坐标为东经 116°22′ ~ 121°55′、北纬 30°45′ ~ 35°07′, 总面积 10.26×10<sup>4</sup> km<sup>2</sup>; 境内地势平坦, 多为平原, 少数为山地和丘陵, 河湖纵横密布。全省跨越暖温带、北亚热带、中亚热带 3 个生物气候带, 南北气候差异显著, 年均气温 3℃ ~ 16℃, 南部气温高于北部。土壤类型复杂多样, 水资源丰富; 年降雨量约 850 ~ 1 000 mm, 且多集中在夏、秋两季, 并呈现自东南向西北逐渐递减的趋势。全省平原、水面和低山丘陵面积分别占全省土地总面积的 69%、17% 和 14%; 耕地面积 500.84×10<sup>4</sup> hm<sup>2</sup>, 约占全省土地总面积的 49%。其中, 旱地面积占耕地总面积的近 40%, 主要集中分布在徐淮、沿海和淮南高沙土地区; 水田面积占耕地总面积的 60% 以上, 以太湖、里下河和镇扬丘陵 3 个区域最为集中, 占全省水田总面积的 55%<sup>[14]</sup>。

### 1.2 样点选择

根据江苏各地级市当地的种植制度选取典型的长期耕作田进行农田杂草种子库调查, 共确定 31 个样点, 包括 12 个旱田(旱连作田)样点和 19 个水田

样点。其中, 旱田当茬作物为玉米(*Zea mays* L.)、大豆[*Glycine max* (L.) Merr.]、蔬菜和棉花(*Gossypium* sp.), 与小麦(*Triticum aestivum* L.) 或油菜(*Brassica campestris* L.) 连作; 水田为水稻(*Oryza sativa* L.) 和小麦连作。各样点的分布状况见图 1。



□: 旱田 Upland field; ■: 水田 Paddy field.

图 1 江苏省主要农田杂草种子库调查样点分布示意图  
Fig. 1 Distribution schematic diagram of sample site for investigation of weed seed bank of main crop fields in Jiangsu Province

### 1.3 方法

1.3.1 农田土样的采集 在 2002 年 3 月份进行取样, 每个样点选取有代表性的 10 块农田, 采用对角线法用直径 5.0 cm 的圆筒形取土器在每块农田取深度 15 cm 的耕作层土芯各 10 个, 每个样点共计 100 个土芯。将每个土芯分别分成 3 层, 每层 5 cm, 将同一样点各地块相同土层的土样合并后放入同一塑料袋内, 即每个样点 3 袋土样。将土样带回实验室后置于阴凉处风干, 粉碎后混匀、备用。

1.3.2 土壤杂草种子库的检测 采用水洗镜检计数法<sup>[15]</sup>对各样点土样中的杂草种子库进行检测。称取每袋土样的 1/10 作为待检样本, 并重复取样 3 次, 分别放入 200 目的尼龙网袋中用自来水将泥土冲洗干净, 所得残渣晾干后分别用 60、80、120 和 150 目的样品筛进行分层筛选, 150 目后的残渣一并收集; 然后利用 SZX7 解剖镜(日本 Olympus 公司)对各分层残渣中的有活力种子进行检测, 参照文献[16-17]和南京农业大学杂草种子标本进行种类鉴定, 采用挤压

法<sup>[18]</sup>判定种子活力。

1.3.3 环境因子的分析 从每个样点的 3 袋土样中取等量土壤混合后用于土壤性质分析,均 3 次重复。土壤有机质含量采用重铬酸钾-硫酸油浴法测定;土壤 pH 采用电位法<sup>[19]</sup>测定,用无 CO<sub>2</sub>的蒸馏水浸提土样,水土体积比为 2.5:1。年降水量和年均温以江苏统计信息网公布的 2002 年的数据(<http://www.jssb.gov.cn/sjzl/tjnj/2003/nj01.htm>)为准;淹水天数按实际情况进行统计;各样地经度和纬度以当地实际测定结果为准。

#### 1.4 数据分析

杂草种子库统计结果以各样点土壤中有活力种子为准,种子库密度为 1 m<sup>2</sup> 面积内的种子数量。实验数据采用 Excel 2010 软件进行统计,并使用 SPSS 16.0 软件进行差异显著性分析。

相对重要值(RI)计算公式为:  $RI = (RD + RF) / 2$ , 其中, RD 为相对密度,即某杂草种子的密度占种子库总密度的比例; RF 为相对频度,即种子库中某种杂草出现的频度占所有杂草频度总和的比例。

物种多样性指数包含物种丰富度指数(S)、Shannon-Wiener 指数(H')、Simpson 指数(D)和 Pielou 均匀度指数(E)。其中,S 为样方中杂草种类的总数;  $H' = -\sum_{i=1}^s (\frac{n_i}{N}) \ln(\frac{n_i}{N})$ ;  $D = 1 - \sum_{i=1}^s (\frac{n_i}{N})^2$ ;  $E =$

$\frac{H'}{\ln S}$ 。各式中,N 为样方中所有种子的个体总数;n<sub>i</sub> 为样方中第 i 个种类种子的个体数<sup>[20]</sup>。

用最大值法对环境因子进行标准化处理,采用 Canoco 4.5 for Windows 软件对发生频度大于 0.1 的杂草种类的平均重要值与淹水天数、土壤有机质含量、土壤 pH、年降水量、年均温、样点经度和样点纬度 7 个环境因子进行典范对应分析(CCA),并将分析结果用样点-环境因子和种类-环境因子二维排序散点图表示<sup>[21]</sup>。

## 2 结果和分析

### 2.1 杂草种子库的物种组成分析

2.1.1 种类和密度分析 在调查的 31 个样点的土壤杂草种子库中,平均种子密度为 31 008 m<sup>-2</sup>,其中通泉草[*Mazus japonicus* (Thunb.) Kuntze]、节节菜[*Rotala indica* (Willd.) Koehne]、异型莎草(*Cyperus*

*difformis* L.) 和陌上菜[*Lindernia procumbens* (Krock.) Philcox] 在种子库中的含量较高,这 4 种杂草的种子数量占种子库种子总数的 57.8%。

不同农田土层中种子密度的统计结果见表 1。由表 1 可见:旱田和水田杂草种子库的种子密度差别较大,旱田上、中、下 3 层土样中种子密度的总和为 21 015 m<sup>-2</sup>;水田较高,为 37 847 m<sup>-2</sup>。旱田上、中、下 3 层土样中种子密度差异不显著;水田上、中层土样中种子密度差异也不显著,但这 2 层土样中的种子密度均显著高于下层土样(P<0.05)。旱田和水田上层土样的种子密度差异不显著,但它们的中、下 2 层土样中的种子密度却具有显著差异(P<0.05)。

表 1 江苏省旱田和水田不同土层杂草种子库种子密度的比较( $\bar{X} \pm SE$ )<sup>1)</sup>

Table 1 Comparison of seed density of weed seed bank in different soil layers of upland and paddy fields in Jiangsu Province ( $\bar{X} \pm SE$ )<sup>1)</sup>

土层 Soil layer	深度/cm Depth	种子密度/m <sup>-2</sup> Seed density	
		水田 Paddy field	旱田 Upland field
上层 Upper layer	0-5	15 084±2 408aA	10 720±4 848aA
中层 Middle layer	5-10	13 388±1 492aA	5 650±1 527aB
下层 Lower layer	10-15	9 375±1 036bA	4 645±1 370aB

<sup>1)</sup> 同列中不同的小写字母表示差异显著(P<0.05) Different small letters in the same column indicate the significant difference (P<0.05); 同行中不同的大写字母表示差异显著(P<0.05) Different capitals in the same row indicate the significant difference (P<0.05).

2.1.2 杂草种子库类群特点分析 参照强胜<sup>[22]</sup><sup>37</sup>的方法,根据农田杂草的生长环境以及杂草的危害类型对农田杂草种子库中的杂草进行分类,大体上可分为水田杂草、夏熟旱作物田杂草和秋熟旱作物田杂草 3 类。其中,水田杂草是指在水田中不断自然繁衍的杂草,如异型莎草、鸭舌草[*Monochoria vaginalis* (Burm. f.) Presl] 和水苋菜(*Ammannia baccifera* L.) 等;夏熟旱作物田杂草是指能够在夏熟旱作物田中不断繁衍的杂草,此类杂草一般冬、春季出苗,春末、夏初开花结实,如荠菜[*Capsella bursa-pastoris* (L.) Medic.] 和看麦娘(*Alopecurus aequalis* Sobol.) 等;秋熟旱作物田杂草是指能够在秋熟旱作物田中不断自然繁衍的杂草,此类杂草一般春、夏季出苗,秋季开花结实,如铁苋菜(*Acalypha australis* L.) 和马齿苋(*Portulaca oleracea* L.) 等。

2.1.2.1 旱田杂草种子库类群特点 不同区域旱田杂草种子库密度变化很大,一般每个样点能检出杂草种子 10 种以上,但由于旱田情况较水田多变,加之地



域差异、农事操作等多方面的原因,旱田不同样点杂草种子库的优势种类变化很大,如东台四灶样点种子库的种子密度最大,主要是水苋菜和异型莎草的种子数量庞大,这些样点或接近水源,或有种植水稻的历史。

江苏省 12 个旱田样点杂草种子库中不同类型杂草的种类数和种子密度统计结果见表 2。由表 2 可见:旱田杂草种子库中的杂草主要由夏熟旱作物田杂草和秋熟旱作物田杂草组成,并含有一些水田杂草;不同旱田样点各类型杂草的种类数和种子密度差异较大。夏熟旱作物田杂草的平均种类数为 5.1 种,平均种子密度为  $9\ 321.9\ m^{-2}$ ,主要种类有荠菜、棒头草 (*Polypogon fugax* Nees ex Steud.)、牛繁缕 [*Malachium aquaticum* (L.) Fries]、看麦娘、繁缕 [*Stellaria media* (L.) Cyr.]、猪殃殃 [*Galium aparine* var. *tenerum* (Gren. et Godr.) Rchb.] 和波斯婆婆纳 (*Veronica*

*persica* Poir.) 等;秋熟旱作物田杂草平均种类数为 3.8 种,平均种子密度为  $9\ 107.4\ m^{-2}$ ,主要种类有铁苋菜、马唐 [*Digitaria sanguinalis* (L.) Scop.]、画眉草 [*Eragrostis pilosa* (L.) Beauv.]、反枝苋 (*Amaranthus retroflexus* L.)、鳢肠 [*Eclipta prostrata* (L.) L.]、狗尾草 [*Setaria viridis* (L.) Beauv.]、牛筋草 [*Eleusine indica* (L.) Gaertn.]、青葙 (*Celosia argentea* L.) 和碎米莎草 (*Cyperus iria* L.) 等;水田杂草平均种类数为 3.3 种,平均种子密度为  $39\ 636.9\ m^{-2}$ ,主要种类有通泉草、水苋菜、异型莎草、千金子 [*Leptochloa chinensis* (L.) Nees] 和陌上菜等,水田杂草较多的样点主要是水旱轮作农田或者有种植水稻历史的农田。由于江苏地处沿海温带亚热带区域,降水较多,田间土壤比较湿润,一些水田杂草(如通泉草、千金子等)也能在旱田中生长,可能是这些旱田含有较多水田杂草种子的主要原因。

表 2 江苏省 12 个旱田样点土壤杂草种子库中不同类型杂草的种类数和种子密度统计结果

Table 2 Statistical results of species number and seed density of different types of weed in weed seed bank in soil of twelve sample sites of upland field in Jiangsu Province

编号 No.	地点 Location	夏熟旱作物田杂草 Summer weed in upland field		水田杂草 Weed in paddy field		秋熟旱作物田杂草 Autumn weed in upland field	
		种类数 Species number	密度/ $m^{-2}$ Density	种类数 Species number	密度/ $m^{-2}$ Density	种类数 Species number	密度/ $m^{-2}$ Density
1	仪征十二圩 Shi' erxu of Yizheng	5	8 887	1	248	7	34 566
2	新沂高流 Gaoliu of Xinyi	4	1 336	0	0	6	4 819
3	如皋东陈 Dongchen of Rugao	6	13 953	5	10 480	2	1 048
4	启东汇龙 Huilong of Qidong	6	2 985	0	0	4	15 553
5	南京江浦 Jiangpu of Nanjing	6	5 531	5	17 103	2	447
6	涟水时码 Shima of Lianshui	3	10 233	4	10 764	6	8 437
7	海门江滨 Jiangbin of Haimen	3	17 612	4	57 340	4	28 094
8	海安胡集 Huji of Hai'an	6	20 826	7	32 111	4	6 165
9	高邮临泽 Linze of Gaoyou	4	3 902	4	19 458	2	1 673
10	东台四灶 Sizao of Dongtai	4	3 865	5	298 965	4	5 436
11	大丰白驹 Baiju of Dafeng	9	10 433	4	28 887	0	0
12	滨海东坎 Dongkan of Binhai	5	12 300	1	287	5	3 051
平均值 Average		5.1	9 321.9	3.3	39 636.9	3.8	9 107.4

2.1.2.2 水田杂草种子库类群特点 江苏省 19 个水田样点杂草种子库中不同类型杂草的种类数和种子密度统计结果见表 3。表 3 结果表明:水田杂草种子库中杂草的种类数有 15 ~ 26 种,平均约 20 种,优势种较为稳定,主要为异型莎草、陌上菜、水苋菜、千金子以及麦茬遗留的通泉草、棒头草和硬草 [*Sclerochloa kengiana* (Ohwi) Tzvel.] 等的种子。如:东海石榴样点主要为棒头草和硬草,分别占该样点杂

草种子库总量的 47.40% 和 29.84%;高淳高柏样点的牛繁缕占该样点杂草种子库总量的 33.41%;如皋东陈样点的看麦娘和棒头草分别占该样点杂草种子库总量的 12.03% 和 11.39%;仪征十二圩样点的硬草占该样点杂草种子库总量的 17.27%。

由表 3 还可见:水田杂草种子库主要由水田杂草和夏熟旱作物田杂草种子组成,也有一些秋熟旱作物田杂草种子。其中,水田杂草主要有通泉草、异型莎

草、陌上菜、丁香蓼 (*Ludwigia prostrata* Roxb.)、千金子、水苋菜、鸭舌草、直球穗扁莎 [*Pycnus globosus* var. *strictus* (Roxb.) C. B. Clarke]、稗 [*Echinochloa crusgalli* (L.) Beauv.] 和水莎草 (*Cyperus glomeratus* L.) 等; 夏熟旱作物田杂草主要有棒头草、牛繁缕、看麦

娘、芥菜、日本看麦娘 (*Alopecurus japonicus* Steud.)、碎米荠 (*Cardamine hirsuta* L.)、早熟禾、泥胡菜 [*Hemistepta lyrata* (Bunge) Bunge] 和茵草 [*Beckmannia syzigachne* (Steud.) Fern.] 等; 秋熟旱作物田杂草优势种只有碎米莎草、牛筋草、鳢肠和马唐。

表 3 江苏省 19 个水田样点土壤杂草种子库中不同类型杂草的种类数和种子密度统计结果

Table 3 Statistical results of species number and seed density of different types of weed in weed seed bank in soil of nineteen sample sites of paddy field in Jiangsu Province

编号 No.	地点 Location	夏熟旱作物田杂草 Summer weed in upland field		水田杂草 Weed in paddy field		秋熟旱作物田杂草 Autumn weed in upland field	
		种类数 Species number	密度/ $m^{-2}$ Density	种类数 Species number	密度/ $m^{-2}$ Density	种类数 Species number	密度/ $m^{-2}$ Density
13	宜兴徐舍 Xushe of Yixing	7	36 455	11	29 531	4	3 996
14	仪征十二圩 Shi' erxu of Yizheng	8	54 204	10	76 871	3	3 353
15	盱眙高桥 Gaoqiao of Xuyi	9	17 650	11	61 370	1	2 318
16	泗洪双沟 Shuanggou of Sihong	7	10 008	6	40 294	3	2 751
17	射阳陈洋 Chenyang of Sheyang	6	5 859	9	43 521	3	4 613
18	如皋东陈 Dongchen of Rugao	9	159 346	8	70 564	3	1 862
19	邳州官湖 Guanhu of Pizhou	5	9 032	9	61 764	3	2 575
20	涟水时码 Shima of Lianshui	6	45 942	9	59 928	3	4 328
21	溧水东屏 Dongping of Lishui	5	27 063	9	82 127	1	249
22	靖江西来 Xilai of Jingjiang	7	94 020	9	47 377	2	1 867
23	姜堰沈高 Shen' gao of Jiangyan	9	36 530	9	81 852	3	2 273
24	灌云扬集 Yangji of Guanyun	4	2 643	9	57 924	4	2 878
25	高邮临泽 Linze of Gaoyou	9	29 866	9	50 709	3	1 747
26	高淳高柏 Gaobai of Gaochun	9	104 070	11	62 628	3	2 068
27	东台台东 Taidong of Dongtai	10	55 190	9	37 120	4	2 349
28	东海石榴 Shiliu of Donghai	11	164 699	10	31 663	5	5 380
29	常州前黄 Qianhuang of Changzhou	11	124 088	11	60 098	4	1 960
30	常熟谢桥 Xieqiao of Changshu	12	83 116	11	37 400	2	2 832
31	宝应曹甸 Caodian of Baoying	8	45 213	5	32 020	5	4 162
	平均值 Average	6.8	41 562.7	9.1	59 426.9	2.8	2 755.3

2.1.3 不同形态类型杂草种子库比较 根据形态特征对杂草进行分类,在杂草的防治中具有重要的实际意义,许多除草剂的选择性也与杂草的形态特征有关<sup>[22][171]</sup>。根据形态性状,将调查的 31 个旱田和水田样点杂草种子库的杂草分为禾草类、莎草类和阔叶草类 3 种类型,各类型杂草的种类数和种子密度的统计结果见表 4。

由表 4 可以看出:水田中这 3 类杂草的种类数和种子密度均高于旱田;除水田中莎草类杂草的种类数显著高于旱田外 ( $P < 0.05$ ),水田和旱田中其他类型杂草的种类数和种子密度均无显著差异。水田和旱田中,阔叶草类杂草的种子密度和种类数均最高,莎草类杂草的种子密度和种类数均最低;在水田和旱田中,3 类杂草的种类数均差异显著 ( $P < 0.05$ ),但旱田

中 3 类杂草的种子密度差异不显著,水田中阔叶草类杂草的种子密度显著高于禾草类和莎草类杂草 ( $P < 0.05$ ),且后两者间差异不显著。

## 2.2 杂草种子库的优势种类分析

调查的 31 个样点中共检测到 54 种杂草,隶属于 15 科。其中,旱田杂草种子库有 41 种,水田杂草种子库有 45 种,且大部分为旱田和水田杂草种子库共有种类,各种类的频度及重要值见表 5。

调查的 31 个农田样点中杂草种类最多的科为禾本科 (Gramineae) 和莎草科 (Cyperaceae),分别占杂草种类总数的 22.6% 和 20.8%;较多的科有石竹科 (Caryophyllaceae)、玄参科 (Scrophulariaceae)、苋科 (Amaranthaceae)、千屈菜科 (Lythraceae)、十字花科 (Cruciferae) 和菊科 (Compositae)。

表4 江苏省旱田和水田中不同形态类型杂草的种类数和种子密度比较( $\bar{X}\pm SE$ )<sup>1)</sup>Table 4 Comparison of species number and seed density of different morphological types of weed in upland and paddy fields of Jiangsu Province ( $\bar{X}\pm SE$ )<sup>1)</sup>

农田类型 Type of crop field	不同类型杂草的种类数 Species number of different types of weed			不同类型杂草的种子密度/m <sup>-2</sup> Seed density of different types of weed		
	禾草类 Grasses	莎草类 Sedges	阔叶草类 Broadleaf grasses	禾草类 Grasses	莎草类 Sedges	阔叶草类 Broadleaf grasses
	旱田 Upland field	3.6±0.38bA	1.6±0.47cB	7.36±0.53aA	4 806±1 622aA	3 400±1 553aA
水田 Paddy field	6.0±0.43bA	4.6±0.21cA	10.00±0.39aA	10 272±2 907bA	7 973±594bA	19 039±2 510aA

<sup>1)</sup>同行中不同的小写字母表示不同类型杂草间差异显著( $P<0.05$ ) Different small letters in the same row indicate the significant difference among different types of weed ( $P<0.05$ ); 同列中不同的大写字母表示不同类型农田间差异显著( $P<0.05$ ) Different capitals in the same column indicate the significant difference among different types of crop field ( $P<0.05$ ).

表5 江苏省旱田和水田杂草种子库中各种类的频度和平均重要值<sup>1)</sup>Table 5 Frequency and average important value of different species in weed seed bank of upland and paddy fields in Jiangsu Province<sup>1)</sup>

编号 No.	种类 Species	频度 Frequency		平均重要值 Average important value	
		旱田 Upland field	水田 Paddy field	旱田 Upland field	水田 Paddy field
		1	通泉草 <i>Mazus japonicus</i>	0.83	1.00
2	异型莎草 <i>Cyperus difformis</i>	0.67	1.00	0.124	0.154
3	水苋菜 <i>Ammannia baccifera</i>	0.67	0.95	0.140	0.071
4	陌上菜 <i>Lindernia procumbens</i>	0.50	1.00	0.019	0.099
5	芥菜 <i>Capsella bursa-pastoris</i>	1.00	0.63	0.047	0.016
6	千金子 <i>Leptochloa chinensis</i>	0.50	1.00	0.036	0.059
7	棒头草 <i>Polypogon fugax</i>	0.50	0.79	0.031	0.049
8	鸭舌草 <i>Monochoria vaginalis</i>	0.25	0.95	0.023	0.022
9	丁香蓼 <i>Ludwigia prostrata</i>	-	1.00	-	0.031
10	马唐 <i>Digitaria sanguinalis</i>	0.67	0.58	0.060	0.009
11	碎米莎草 <i>Cyperus iria</i>	0.17	0.89	0.016	0.021
12	牛繁缕 <i>Malachium aquaticum</i>	0.42	0.74	0.033	0.035
13	直球穗扁莎 <i>Pycnus globosus</i> var. <i>strictus</i>	0.17	0.84	0.002	0.012
14	鳢肠 <i>Eclipta prostrata</i>	0.33	0.63	0.011	0.017
15	牛筋草 <i>Eleusine indica</i>	0.33	0.68	0.051	0.009
16	看麦娘 <i>Alopecurus aequalis</i>	0.33	0.63	0.014	0.027
17	铁苋菜 <i>Acalypha australis</i>	0.83	0.21	0.037	0.002
18	日本看麦娘 <i>Alopecurus japonicus</i>	0.17	0.58	0.008	0.020
19	稗 <i>Echinochloa crusgalli</i>	-	0.63	-	0.007
20	飘拂草 <i>Fimbristylis dichotoma</i>	0.17	0.53	0.009	0.012
21	北水苦苣 <i>Veronica anagallis-aquatica</i>	0.17	0.47	0.003	0.020
22	水莎草 <i>Cyperus glomeratus</i>	-	0.58	-	0.029
23	未知种 1 No. 1 of unknown species	0.33	0.32	0.022	0.003
24	水虱草 <i>Fimbristylis miliacea</i>	-	0.47	-	0.015
25	蚊母草 <i>Veronica peregrina</i>	-	0.42	-	0.011
26	硬草 <i>Sclerochloa kengiana</i>	0.08	0.37	0.002	0.038
27	画眉草 <i>Eragrostis pilosa</i>	0.58	-	0.089	-
28	节节菜 <i>Rotala indica</i>	0.08	0.32	0.001	0.003
29	泥胡菜 <i>Hemistepta lyrata</i>	0.08	0.32	0.001	0.003
30	狗尾草 <i>Setaria viridis</i>	0.33	0.11	0.015	0.001
31	聚穗莎草 <i>Cyperus imbricatus</i>	0.17	0.21	0.007	0.002
32	未知种 2 No. 2 of unknown species	0.25	0.16	0.006	0.001
33	碎米荠 <i>Cardamine hirsuta</i>	-	0.32	-	0.005
34	早熟禾 <i>Poa annua</i>	-	0.32	-	0.005
35	猪殃殃 <i>Galium aparine</i> var. <i>tenerum</i>	0.25	0.16	0.004	0.002
36	茵草 <i>Beckmannia syzigachne</i>	-	0.26	-	0.015

续表 5 Table 5 (Continued)

编号 No.	种类 Species	频度 Frequency		平均重要值 Average important value	
		旱田 Upland field	水田 Paddy field	旱田 Upland field	水田 Paddy field
37	繁缕 <i>Stellaria media</i>	0.33	-	0.017	-
38	反枝苋 <i>Amaranthus retroflexus</i>	0.33	-	0.009	-
39	青葙 <i>Celosia argentea</i>	0.33	-	0.008	-
40	雀舌草 <i>Stellaria uliginosa</i>	-	0.21	-	0.004
41	小藜 <i>Chenopodium serotinum</i>	0.08	0.16	0.007	0.002
42	野老鹳草 <i>Geranium carolinianum</i>	0.08	0.16	0.008	0.002
43	波斯婆婆纳 <i>Veronica persica</i>	0.17	0.05	0.013	-
44	旋鳞莎草 <i>Cyperus michelianus</i>	0.17	0.05	0.007	-
45	麦瓶草 <i>Silene conoidea</i>	-	0.11	-	0.001
46	蚤缀 <i>Arenaria serpyllifolia</i>	0.17	-	0.024	-
47	粘毛卷耳 <i>Cerastium viscosum</i>	0.08	0.05	0.001	0.001
48	篇蓄 <i>Polygonum aviculare</i>	-	0.05	-	-
49	扁秆蔗草 <i>Scirpus planiculmis</i>	-	0.05	-	-
50	播娘蒿 <i>Descuminia sophia</i>	0.08	-	0.002	-
51	合萌 <i>Aeschynomene indica</i>	0.08	-	0.003	-
52	糠稷 <i>Panicum bisulcatum</i>	0.08	-	0.002	-
53	苦苣菜 <i>Ixeris chinensis</i>	-	0.05	-	-
54	香附子 <i>Cyperus rotundus</i>	0.08	-	0.001	-

<sup>1)</sup> -: 未检出 Undetected.

2.2.1 优势种的频度分析 表5数据表明:不同类型农田中杂草优势种的频度差异较大。旱田中频度大于0.30的杂草有19种,包括荠菜、通泉草、铁苋菜、马唐、水苋菜、异型莎草、画眉草、千金子、陌上菜、棒头草、牛繁缕、反枝苋、繁缕、鳢肠、狗尾草、青葙、看麦娘、牛筋草和未知种1,其中荠菜的频度最高,达到1.00。水田中频度大于0.50的杂草有20种,包括通泉草、异型莎草、陌上菜、丁香蓼、千金子、水苋菜、鸭舌草、碎米莎草、直球穗扁莎、棒头草、牛繁缕、牛筋草、看麦娘、荠菜、鳢肠、稗、日本看麦娘、水莎草、马唐和飘拂草[*Fimbristylis dichotoma* (L.) Vahl],其中的前7种杂草频度较高,均在0.95以上,说明它们几乎出现在水田的每个样点中,为水田常见杂草。

2.2.2 优势种的重要值分析 由表5还可见:旱田中平均重要值大于0.03的杂草有11种,按平均重要值由大至小依次排序为水苋菜、异型莎草、通泉草、画眉草、马唐、牛筋草、荠菜、铁苋菜、千金子、牛繁缕、棒头草;其中,长期连作旱田以牛繁缕、蚤缀(*Arenaria serpyllifolia* L.)、牛筋草、碎米莎草、马唐和画眉草为优势种;水旱轮作旱田中遗留了一些子实细小、结实量大的水田杂草种子。水田中平均重要值大于0.03的杂草有9种,按平均重要值由大至小依次排序为通泉

草、异型莎草、陌上菜、水苋菜、千金子、棒头草、硬草、牛繁缕、丁香蓼。

总体上看,频度较高的杂草平均重要值也较高,说明这类杂草不仅发生面积广,而且在数量上也占据优势,为农田恶性杂草。

### 2.3 杂草种子库的物种多样性分析

调查的31个旱田和水田样点中不同土层杂草种子库的物种多样性指数见表6。由表6可见:旱田同一土层的物种多样性指数( $S$ )、Shannon-Wiener指数( $H'$ )和Simpson指数( $D$ )普遍低于水田,但Pielou均匀度指数( $E$ )高于水田。旱田各土层的 $S$ 、 $H'$ 和 $D$ 指数随土层加深从上到下逐渐降低, $E$ 指数则逐渐提高;而在水田中,各土层的 $S$ 、 $H'$ 和 $D$ 指数无明显变化规律,其中中层土壤的 $S$ 、 $H'$ 和 $D$ 指数均最高,而 $E$ 指数则随土层加深逐渐升高。

### 2.4 杂草种子库与环境因子的相关性分析

应用典范对应分析(CCA)对江苏省主要农田杂草种子库中发生频度大于0.1的杂草种类的平均重要值与淹水天数、土壤有机质含量、土壤pH、年降水量、年均温、样点经度和样点纬度7个环境因子的相关性进行分析,第1和第2种类排序轴及7个环境因子间的相关系数见表7。



表 6 江苏省旱田和水田不同土层土壤种子库的物种多样性分析 ( $\bar{X} \pm SE$ )Table 6 Analysis of species diversity of weed seed bank in different soil layers of upland and paddy fields in Jiangsu Province ( $\bar{X} \pm SE$ )

农田类型 Type of crop field	土层 Soil layer	深度/cm Depth	物种丰富度指数 Species richness index	Shannon-Wiener 指数 Shannon-Wiener index	Simpson 指数 Simpson index	Pielou 均匀度指数 Pielou evenness index
旱地 Upland field	上层 Upper layer	0-5	10.077±0.729	1.622±0.101	0.713±0.040	0.715±0.041
	中层 Middle layer	5-10	7.923±0.780	1.502±0.102	0.695±0.031	0.755±0.037
	下层 Lower layer	10-15	6.923±0.796	1.416±0.121	0.676±0.046	0.760±0.041
	总体 Overall		13.308±0.820	1.790±0.104	0.746±0.034	0.683±0.038
水田 Paddy field	上层 Upper layer	0-5	14.053±0.669	1.534±0.140	0.825±0.029	0.592±0.054
	中层 Middle layer	5-10	14.579±0.623	1.655±0.139	0.856±0.020	0.629±0.055
	下层 Lower layer	10-15	12.789±0.740	1.611±0.120	0.840±0.023	0.648±0.050
	总体 Overall		20.895±0.768	2.070±0.050	0.808±0.011	0.695±0.016

表 7 江苏省主要农田杂草种子库种类排序轴与部分环境因子间的相关系数<sup>1)</sup>Table 7 Correlation coefficients between species axes of weed seed bank of main crop fields in Jiangsu Province and some environmental factors<sup>1)</sup>

因子 Factor	ax1	ax2	D	C	pH	P	T	Lat	Long
ax1	1.000 0								
ax2	-0.015 0	1.000 0							
D	-0.814 3	0.024 2	1.000 0						
C	-0.197 1	-0.161 4	0.259 9	1.000 0					
pH	0.391 2	-0.024 9	-0.407 0	-0.310 5	1.000 0				
P	0.005 2	-0.651 8	-0.039 3	0.274 2	-0.226 0	1.000 0			
T	-0.066 8	-0.270 2	0.117 8	0.545 6	-0.423 3	0.750 0	1.000 0		
Lat	0.019 8	0.548 0	-0.057 7	-0.411 2	0.403 4	-0.809 2	-0.619 0	1.000 0	
Long	0.123 6	-0.761 1	-0.152 7	-0.012 5	0.176 1	0.613 5	0.219 9	-0.408 3	1.000 0

<sup>1)</sup> ax1: 第 1 种类排序轴 The first axis of species; ax2: 第 2 种类排序轴 The second axis of species; D: 淹水天数 Waterlogging days; C: 土壤有机质含量 Organic matter content in soil; pH: 土壤 pH pH of soil; P: 年降水量 Annual precipitation; T: 年均温 Annual mean temperature; Lat: 纬度 Latitude; Long: 经度 Longitude.

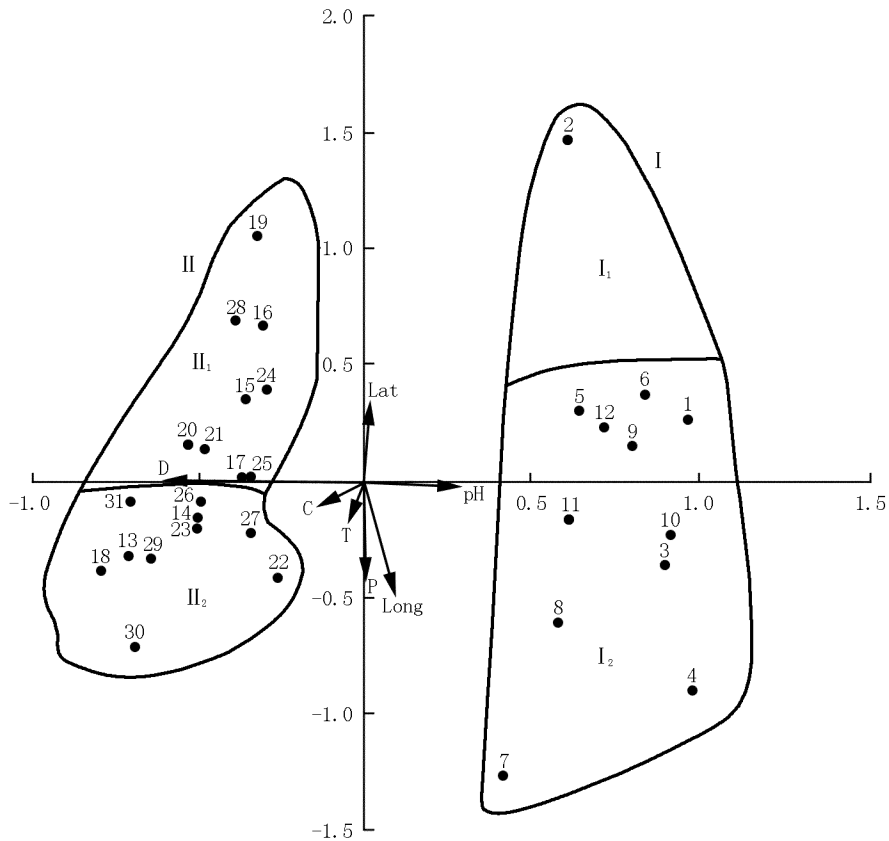
第 1 和第 2 种类排序轴与环境因子的相关性极高,特征值分别为 0.839 0 和 0.832 0;而 2 个种类排序轴间的相关系数很小,仅为 -0.015 0,表示利用第 1 和第 2 种类排序轴获得的排序图能较好地反映出物种、样点与环境变量间的关系。第 1 种类排序轴与淹水天数相关系数较高,达到 -0.814 3;第 2 种类排序轴与年降水量和样点经度存在较高相关性,相关系数分别为 -0.651 8 和 -0.761 1。

江苏省主要农田 31 个样点和种子库中 42 种杂草与 7 个环境因子的 CCA 二维排序散点图分别见图 2 和图 3。参照文献[23]并根据地理和主要杂草组成,可对 31 个样点进行划分。由图 2 可见:分布在第一和第四象限的样点全部为旱田,为 I 类样点,并可分为 2 个亚类 I<sub>1</sub> 和 I<sub>2</sub>,其中亚类 I<sub>1</sub> 样点位于苏北的温带平原区,而亚类 I<sub>2</sub> 样点多位于苏中的东部沿海区;样点 1、2 和 12 属于长期连作旱田,其余样点均属于水旱轮作田或有水稻种植历史的旱田,这些样点均表现为土壤水分含量较少、当茬农作物没有受到水

淹,土壤 pH 较高且有机质含量较低,主要杂草类型为喜旱喜碱性杂草。分布在第二和第三象限的样点全部为水田,为 II 类样点,也可划分为 2 个亚类 II<sub>1</sub> 和 II<sub>2</sub>,其中亚类 II<sub>1</sub> 样点多分布在淮河以北地区,而亚类 II<sub>2</sub> 样点主要分布在淮河以南的长江流域地区;在稻茬阶段这些田块的土壤均处于淹水状态,土壤有机质含量较高但 pH 较低,喜湿性水田杂草的优势度比较大,麦茬作物伴生杂草的种子含量也较高。

由图 3 可见:旱田的典型杂草种类集中分布在第一和第四象限,即在淹水天数的反方向,主要种类为铁苋菜、马唐、画眉草、狗尾草、反枝苋、青苜和芥菜等;第二和第三象限中沿淹水天数方向分布的基本为水田杂草,典型的种类有陌上菜、丁香蓼、稗、水虱草和节节菜等,另一部分杂草种子为麦茬田遗留的种类,包括早熟禾、看麦娘、日本看麦娘、硬草和蔺草。

综合分析结果表明:田间淹水天数可导致土壤饱和和水含量的差异,对江苏省主要农田杂草群落构成的影响最大。



1: 仪征十二圩 Shi'erxu of Yizheng; 2: 新沂高流 Gaoliu of Xinyi; 3: 如皋东陈 Dongchen of Rugao; 4: 启东汇龙 Huilong of Qidong; 5: 南京江浦 Jiangpu of Nanjing; 6: 涟水时码 Shima of Lianshui; 7: 海门江滨 Jiangbin of Haimen; 8: 海安胡集 Huji of Hai'an; 9: 高邮临泽 Linze of Gaoyou; 10: 东台四灶 Sizao of Dongtai; 11: 大丰白驹 Baiju of Dafeng; 12: 滨海东坎 Dongkan of Binhai; 13: 宜兴徐舍 Xushe of Yixing; 14: 仪征十二圩 Shi'erxu of Yizheng; 15: 盱眙高桥 Gaoqiao of Xuyu; 16: 泗洪双沟 Shuanggou of Sihong; 17: 射阳陈洋 Chenyang of Sheyang; 18: 如皋东陈 Dongchen of Rugao; 19: 邳州官湖 Guanhu of Pizhou; 20: 涟水时码 Shima of Lianshui; 21: 溧水东屏 Dongping of Lishui; 22: 靖江西来 Xilai of Jingjiang; 23: 姜堰沈高 Shen'gao of Jiangyan; 24: 灌云扬集 Yangji of Guanyun; 25: 高邮临泽 Linze of Gaoyou; 26: 高淳高柏 Gaobai of Gaochun; 27: 东台台东 Taidong of Dongtai; 28: 东海石榴 Shiliu of Donghai; 29: 常州前黄 Qianhuang of Changzhou; 30: 常熟谢桥 Xieqiao of Changshu; 31: 宝应曹甸 Caodian of Baoying. D: 淹水天数 Waterlogging days; C: 土壤有机质含量 Organic matter content in soil; pH: 土壤 pH pH of soil; P: 年降水量 Annual precipitation; T: 年均温 Annual mean temperature; Lat: 纬度 Latitude; Long: 经度 Longitude. I: 旱田样点 Sample sites of upland field; II: 水田样点 Sample sites of paddy field.

图 2 江苏省 31 个水田和旱田样点与环境因子的 CCA 二维排序散点图

Fig. 2 Scatter diagram of CCA two-dimensional ordination between thirty-one sample sites of upland and paddy fields in Jiangsu Province and environmental factors

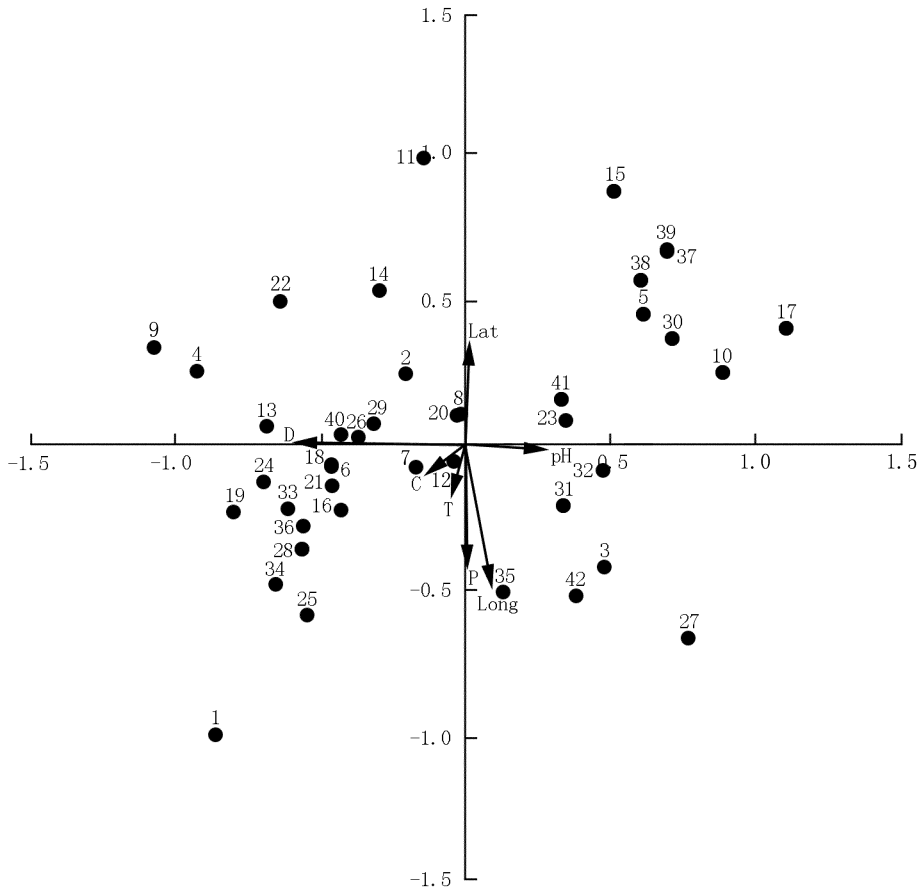
### 3 讨 论

#### 3.1 江苏省主要农田杂草种子库种类组成和结构差异的影响因素分析

杂草种群的发生及其群落组成受到许多因素的制约,其中耕作制度和田间水分条件为重要的影响因素<sup>[9]</sup>。不同的耕作制度可导致田间水分状况差异巨大,如在长时间的灌水淹渍条件下稻茬作物田的土壤含氧量和酸碱度发生变化,不同生理生态特性的杂草种子的存活率也随之改变。强胜等<sup>[8]</sup>认为:水分差异

是造成不同耕作制度棉田杂草群落差异的主要原因;韦继光<sup>[24]</sup>的研究结果表明:夏熟旱作物田和秋熟旱作物田土壤种子库中杂草种子的出苗种类数和出苗率均随淹水强度增加而下降,而水田杂草则变化不大或稍有上升;娄群峰等<sup>[13]</sup>的研究结果也印证了这一结论。

在对江苏主要农田杂草种子库的统计中,通过上、中、下 3 层土壤中种子密度的比较可见:旱田上、中、下 3 层土壤的种子密度差异不显著,水田上、中 2 层土壤的种子密度显著高于下层,水田土壤的杂草种子密度均大于旱田的同一土层;水田中频度大于 0.50



1: 通泉草 *Mazus japonicus*; 2: 异型莎草 *Cyperus difformis*; 3: 水苋菜 *Ammannia baccifera*; 4: 陌上菜 *Lindernia procumbens*; 5: 芥菜 *Capsella bursa-pastoris*; 6: 千金子 *Leptochloa chinensis*; 7: 棒头草 *Polypogon fugax*; 8: 鸭舌草 *Monochoria vaginalis*; 9: 丁香蓼 *Ludwigia prostrata*; 10: 马唐 *Digitaria sanguinalis*; 11: 碎米莎草 *Cyperus iria*; 12: 牛繁缕 *Malachium aquaticum*; 13: 直球穗扁莎 *Pycurus globosus* var. *strictus*; 14: 鳢肠 *Eclipta prostrata*; 15: 牛筋草 *Eleusine indica*; 16: 看麦娘 *Alopecurus aequalis*; 17: 铁苋菜 *Acalypha australis*; 18: 日本看麦娘 *Alopecurus japonicus*; 19: 稗 *Echinochloa crusgalli*; 20: 飘拂草 *Fimbristylis dichotoma*; 21: 北水苦蕒 *Veronica anagallis-aquatica*; 22: 水莎草 *Cyperus glomeratus*; 23: 未知种 1 No. 1 of unknown species; 24: 水虱草 *Fimbristylis miliacea*; 25: 蚊母草 *Veronica peregrina*; 26: 硬草 *Sclerochloa kengiana*; 27: 画眉草 *Eragrostis pilosa*; 28: 节节菜 *Rotala indica*; 29: 泥胡菜 *Hemistepta lyrata*; 30: 狗尾草 *Setaria viridis*; 31: 聚穗莎草 *Cyperus imbricatus*; 32: 未知种 2 No. 2 of unknown species; 33: 碎米荠 *Cardamine hirsuta*; 34: 早熟禾 *Poa annua*; 35: 猪殃殃 *Galium aparine* var. *tenerum*; 36: 蔺草 *Beckmannia syzigachne*; 37: 繁缕 *Stellaria media*; 38: 反枝苋 *Amaranthus retroflexus*; 39: 青葙 *Celosia argentea*; 40: 雀舌草 *Stellaria uliginosa*; 41: 小藜 *Chenopodium serotinum*; 42: 野老鹳草 *Geranium carolinianum*. D: 淹水天数 Waterlogging days; C: 土壤有机质含量 Organic matter content in soil; pH: 土壤 pH pH of soil; P: 年降水量 Annual precipitation; T: 年均温 Annual mean temperature; Lat: 纬度 Latitude; Long: 经度 Longitude.

图 3 江苏省主要农田杂草种子库中 42 种杂草与环境因子的 CCA 二维排序散点图

Fig. 3 Scatter diagram of CCA two-dimensional ordination between forty-two weeds in weed seed bank of main crop fields in Jiangsu Province and environmental factors

的杂草种类多于旱田。水田的物种多样性指数 ( $S$ )、Shannon-Wiener 指数 ( $H'$ ) 和 Simpson 指数 ( $D$ ) 普遍高于旱田, 但 Pielou 均匀度指数 ( $E$ ) 指数低于旱田; 在旱田中, 从上层到下层土壤的  $S$ 、 $H'$  和  $D$  指数依次降低,  $E$  指数提高, 而在水田中这一变化趋势并不明显, 表明旱田中土壤种子库分布相对比较均匀。水田杂草种子库在种类和数量上都高于旱田, 这是由于稻麦轮作两茬作物的不同水分需求促使水旱 2 类杂草生长, 成熟时期大量种子留存在土壤中; 而旱田始终以

单一喜旱性杂草为主<sup>[8]</sup>。还可能与耕作措施和种植制度有关, 旱地多免耕套种, 使分布在土壤表层的种子比例提高<sup>[25-26]</sup>; 而水田在换茬时常需翻耕或深耕, 土壤的上下翻动促进种子均匀分布在耕作土层中。此外, 绝大多数杂草种子体积小且具有漂浮能力, 灌水也会促进杂草种子的传播<sup>[27-28]</sup>, 不同田块间、田边、田埂的杂草种子都会随水流传播, 从而增加了种子库的多样性和空间分布的均匀度, 与旱田相比, 这些效应在灌水频繁的水田中更为突出。

杂草的发生是杂草种子库与环境因子相互作用的综合结果,与土壤、温度和水分等环境因子都有密切关系<sup>[29]</sup>;耕作制度和控草措施均能影响杂草种子库的结构、动态变化及其与田间杂草的关系<sup>[30]</sup>。CCA分析结果显示:影响农田杂草种子库群落最重要的环境因素是田间淹水天数,并据此可将江苏主要农田的杂草种子库群落分为明显的水田和旱田2类,其中旱田群落又可分为长期旱连作和水旱轮作2个亚类;水田群落可分为南北2个亚类,各水田样点间群落的相似性比旱田略高。强胜等<sup>[31]</sup>指出:水旱轮作可减弱由于地理区域和地带性差异造成的生态因素差异对杂草群落结构的影响,表明水田环境可使各个样点杂草群落有相似的生长环境,使田间杂草群落表现出一定的相似性。

### 3.2 江苏省主要农田潜、显杂草群落的差异分析

关于江苏省农田杂草地上部分的发生状况已有许多调查报道。薛达元等<sup>[32]</sup>与李淑顺等<sup>[33]</sup>对江苏省域内稻田杂草的调查显示:水田的优势杂草主要为稗、丁香蓼、鸭舌草、节节菜、水苋菜、千金子、异型莎草和鳢肠等;王开金等<sup>[7,34]</sup>对江苏南北麦田杂草群落进行了研究,确定稻茬麦田的主要优势杂草为看麦娘、日本看麦娘、茵草、硬草、棒头草、野燕麦、猪殃殃、大巢菜(*Vicia sativa* L.)和芥菜等。本研究结果显示:江苏水田杂草种子库中属于稻茬喜湿性优势杂草的种类有异型莎草、陌上菜、丁香蓼、千金子、水苋菜、鸭舌草、碎米莎草、直球穗扁莎、鳢肠、稗、水莎草和节节菜等;麦茬田杂草种子库的优势种有棒头草、牛繁缕、牛筋草、看麦娘、芥菜和硬草等。虽然各地区的杂草优势种存在一定差异,但总体上水田土壤种子库中的优势杂草种类与地上部分优势杂草种类基本一致。强胜等<sup>[9]</sup>认为:江苏省棉田主要优势杂草为马唐、铁苋菜、狗尾草、牛筋草、马齿苋、波斯婆婆纳和香附子等种类;钱新民等<sup>[35]</sup>认为:江苏省玉米田主要优势杂草为马唐、稗、牛筋草、千金子、碎米莎草、狗尾草、鸭跖草、鳢肠、铁苋菜、牛繁缕和刺儿菜等种类。这些调查结果均与本研究旱田杂草种子库的优势种类较为相似。

与江苏农田地上部显杂草群落发生状况相比,作者调查的土壤(地下)种子库群落与之有一定的相似性,但也存在一定差异,主要原因是农田杂草发生量的调查综合了杂草密度、作物相对高度及盖度等一系列指标,而种子库检测主要是从数量上进行衡量。尽

管一些杂草[如稗、大巢菜、猪殃殃和野燕麦(*Avena fatua* L.)等]地上部分在田间表现出较高的优势度,但由于种子体积大、种子产量相对较少,故在种子库中的含量比较低;而另一些杂草(如通泉草、水苋菜和陌上菜等)则恰好相反,在农田中一般处于下层,但其种子很小且结实量巨大,在种子库中往往表现为优势种。从防除角度看,应该综合杂草的种子繁殖能力和地上部分对农作物的危害程度来制定具体的防除措施,这也是基于杂草种子辅助决策模型<sup>[36]</sup>必须考虑的内容。

有学者认为:土壤杂草种子库为2~3个没有表现的潜杂草群落,而地上发生的杂草则为显杂草群落,杂草种子库与地上部分农田杂草群落互为库源,共同构成杂草群落综合体<sup>[37]</sup>。通过对潜杂草和显杂草群落的研究,以及各种耕作措施、管理系统对杂草种子库影响的研究,可以为田间杂草发生的预测提供基础信息,并使除草对策的制定更有针对性。

### 参考文献:

- [1] 张志权. 土壤种子库[J]. 生态学杂志, 1996, 15(6): 36-42.
- [2] WILSON R G, KERR E D, NELSON L A. Potential for using weed seed content in the soil to predict future weed problems[J]. *Weed Science*, 1985, 33(2): 171-175.
- [3] FORCELLA F, WILSON R G, DEKKER J, et al. Weed seed bank emergence across the corn belt[J]. *Weed Science*, 1997, 45(1): 67-76.
- [4] 强 胜. 杂草科学面向生物科学时代的机遇与挑战(下)[J]. *世界农业*, 2001(5): 42-43.
- [5] 魏守辉, 强 胜, 马 波, 等. 土壤杂草种子库与杂草综合管理[J]. *土壤*, 2005, 37(2): 121-128.
- [6] CARDINA J, HERMS C P, DOOHAN D J. Crop rotation and tillage system effects on weed seedbanks[J]. *Weed Science*, 2002, 50(4): 448-460.
- [7] 王开金, 强 胜. 江苏省长江以北地区麦田杂草群落的定量分析[J]. *江苏农业学报*, 2002, 18(3): 147-153.
- [8] 强 胜, 沈俊明, 张成群, 等. 种植制度对江苏省棉田杂草群落影响的研究[J]. *植物生态学报*, 2003, 27(2): 278-282.
- [9] 强 胜, 魏守辉, 胡金良. 江苏省主棉区棉田杂草草害发生规律的研究[J]. *南京农业大学学报*, 2000, 23(2): 18-22.
- [10] 王开金. 江苏省麦田潜显性杂草群落特征及防除技术的研究[D]. 南京: 南京农业大学生命科学学院, 2001.
- [11] 李伟伟. 苏南地区水田杂草潜群落及潜综合草害评价的研究[D]. 南京: 南京农业大学农学院, 2005.
- [12] 吴竞仑, 周恒昌. 稻田土壤杂草种子库研究[J]. *中国水稻科学*, 2000, 14(1): 37-42.
- [13] 娄群峰, 张敦阳, 王庆亚, 等. 不同耕作型油菜田土壤杂草种子库的研究[J]. *杂草科学*, 1998(1): 6-8, 39.



- [14] 江苏农业地理编写组. 江苏农业地理[M]. 南京:江苏科学技术出版社, 1979.
- [15] 马波, 强胜, 魏守辉. 农田杂草种子库研究方法[J]. 杂草科学, 2004(2): 5-8.
- [16] 关广清. 杂草种子图鉴[M]. 1版. 北京:科学出版社, 2000.
- [17] 李扬汉. 中国杂草志[M]. 1版. 北京:中国农业出版社, 1998.
- [18] GRUBER S, PEKRUN C, CLAUPEIN W. Seed persistence of oilseed rape (*Brassica napus*): variation in transgenic and conventionally bred cultivars[J]. The Journal of Agricultural Science, 2004, 142(1): 29-40.
- [19] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京:中国农业科技出版社, 2000.
- [20] 马克平, 刘玉明. 生物群落多样性的测度方法: I $\alpha$ 多样性的测度方法(下)[J]. 生物多样性, 1994, 2(4): 231-239.
- [21] 郭水良, 强胜. 金华郊区58种杂草分布与土壤6种重金属元素关系的分析[J]. 南京农业大学学报, 2002, 25(2): 21-26.
- [22] 强胜. 杂草学[M]. 1版. 北京:中国农业出版社, 2001.
- [23] QIANG S. Multivariate analysis, description, and ecological interpretation of weed vegetation in the summer crop fields of Anhui Province, China [J]. Journal of Integrative Plant Biology, 2005, 47(10): 1193-1210.
- [24] 韦继光. 不同杂草管理模式对农田潜杂草群落动态影响的研究[D]. 南京:南京农业大学生命科学学院, 2005.
- [25] SWANTON C J, SHRESTHA A, KNEZEVIC S Z, et al. Influence of tillage type on vertical weed seedbank distribution in a sandy soil [J]. Canadian Journal of Plant Science, 2000, 80(2): 455-457.
- [26] FELDMAN S R, TORRES C A P S, LEWIS P. The effect of different tillage systems on the composition of the seedbank [J]. Weed Research, 1997, 37(2): 71-76.
- [27] 左然玲, 强胜, 李儒海. 稻作区灌溉水流传播的杂草种子与稻田土壤杂草种子库的关系[J]. 中国水稻科学, 2007, 21(4): 417-424.
- [28] 吴竞仑, 周恒昌. 稻田土壤多年生杂草种子库研究[J]. 中国水稻科学, 2006, 20(1): 89-96.
- [29] 王开金, 强胜. 江苏麦田杂草群落数量分析[J]. 草业学报, 2007, 16(1): 118-126.
- [30] GHOSHEH H, AL-HAJAJ N. Weed seedbank response to tillage and crop rotation in a semi-arid environment [J]. Soil and Tillage Research, 2005, 84(2): 184-191.
- [31] 强胜, 胡金良. 江苏省棉区棉花杂草群落发生分布规律的数量分析[J]. 生态学报, 1999, 19(5): 705-709.
- [32] 薛达元, 李扬汉. 太湖农业区稻田杂草区系研究[J]. 江苏农业科学, 1988(5): 20-22.
- [33] 李淑顺, 张连举, 强胜. 江苏中部轻型栽培稻田杂草群落特征及草害综合评价[J]. 中国水稻科学, 2009, 23(2): 207-214.
- [34] 王开金, 强胜. 江苏南部麦田杂草群落发生分布规律的数量分析[J]. 生物数学学报, 2005, 20(1): 107-114.
- [35] 钱新民, 王伟中, 徐建明, 等. 江苏省玉米田杂草群落演化和防除技术进展[J]. 江苏农业科学, 2003(4): 45-46.
- [36] KROPFF M, WALLINGA J, LOTZ L A P. Weed population dynamics [M] // International Weed Control Congress, BROWN H, International Weed Science Society, et al. Proceeding of the Second International Weed Control Congress. Slagelse; Department of Weed Control and Pesticide Ecology, 1996: 3-14.
- [37] QIANG S. Weed diversity of arable land in China [J]. Journal of Korean Weed Science, 2002, 22(3): 187-198.

(责任编辑: 佟金凤)

## 《植物资源与环境学报》启事

为了扩大科技期刊的信息交流,充分实现信息资源共享,《植物资源与环境学报》已先后加入“中国学术期刊(光盘版)”、“万方数据——数字化期刊群”和“中文科技期刊数据库”等数据库,因此,凡在本刊发表的论文将编入数据库供上网交流、查阅及检索,作者的著作权使用费与本刊稿酬一次性给付,不再另付。如作者不同意将文章编入数据库,请在来稿时声明,本刊将做适当处理。