

严佳瑜,张亚萍,宋坤,等.不同耕作深度和轮作模式下上海稻田杂草土壤种子库特征[J].上海农业学报,2021,37(1):82-86.

不同耕作深度和轮作模式下上海稻田杂草土壤种子库特征

严佳瑜¹,张亚萍¹,宋坤^{1,2,3*},田志慧^{4*},陆俊尧¹,王依明⁵,吴雪源⁵,达良俊^{1,2,3}

(¹华东师范大学生态与环境科学学院,上海200241;²上海市城市化生态过程与生态恢复重点实验室,上海200241;

³崇明生态研究院,上海200062;⁴上海市农业科学院生态环境保护研究所,上海201403;

⁵上海市浦东新区农业技术推广中心,上海201201)

摘要:采用水洗镜检的方法,从种子库的物种组成、密度与物种多样性3个方面,研究不同耕作深度(深耕、浅耕)和轮作模式(水稻-绿肥、水稻-休耕、水稻-小麦)下上海稻田杂草土壤种子库的特征。结果表明:1)土壤样品中共检出杂草种子12科30种;2)0—10 cm土层中,浅耕+水稻-绿肥处理杂草土壤种子库密度最大,达 12.27×10^4 粒/m²,浅耕+水稻-休耕处理为 8.99×10^4 粒/m²,两者无显著差异,但均显著高于深耕的3种轮作模式处理;浅耕+水稻-小麦轮作处理的杂草种子库丰富度最低,仅为6,显著低于其他5种处理;深耕+水稻-小麦处理杂草种子库Shannon-Wiener指数最高,为2.07,显著高于浅耕的3种轮作模式。综上,增加耕作深度有利于降低水稻-绿肥和水稻-休耕模式杂草种子库密度,可为上海稻田“三三制”下的杂草管理提供科学依据。

关键词:耕作深度;轮作模式;土壤种子库

中图分类号:S451 文献标志码:A 文章编号:1000-3924(2021)01-082-05

Characteristics of weed soil seedbank under different tillage depths and rotation systems in Shanghai rice paddy fields

YAN Jiayu¹,ZHANG Yaping¹,SONG Kun^{1,2,3*},TIAN Zhihui^{4*},LU Junyao¹,
WANG Yiming⁵,WU Xueyuan⁵,DA Liangjun^{1,2,3}

(¹ School of Ecological and Environmental Sciences, East China Normal University, Shanghai 200241, China;

² Shanghai Key Lab for Urban Ecological Process and Eco-Restoration, Shanghai 200241, China; ³ Institute of

Eco-Chongming, Shanghai 200062, China; ⁴ Eco-Environmental Protection Research Institute, Shanghai

Academy of Agricultural Sciences, Shanghai 201403, China; ⁵ Pudong New District Agro-Technology

Extension Center, Shanghai 201201, China)

Abstract: This study used water washing-microscopic examination method to explore the characteristics of weed soil seedbank of rice paddy under different tillage depths (deep tillage and shallow tillage) and rotation systems (rice-green manure, rice-fallow and rice-wheat) in Shanghai from three aspects: species composition, density and diversity. The results showed that: 1) 12 families of 30 weed seeds were detected in soil samples; 2) In the 0—10 cm soil layer, the density of weed soil seedbank was the highest under shallow tillage + rice-green manure treatment, which was 12.27×10^4 seeds/m², there was no significant difference between shallow tillage + rice-fallow treatment with 8.99×10^4 seeds/m², both were significantly higher than the three deep tillage modes; shallow tillage + rice-wheat treatment had the lowest richness, only 6, which was significantly lower than the other five treatments; the Shannon-Wiener index was the highest under deep tillage + rice-wheat treatment, which was 2.07, significantly higher than the three shallow tillage modes. In summary, increasing tillage depth is conducive to reducing the density of weed soil seedbank in rice-green manure and rice-fallow mode. This can supply scientific evidence for weed management under the “three-three system” in Shanghai rice paddy fields.

Key words: Tillage depths; Rotation systems; Weed soil seedbank

收稿日期:2019-04-16

基金项目:上海市科委科技创新项目(16391901802、18DZ1204600);上海市科技兴农重点攻关项目[沪农科创字(2018)第2-6号];上海市科委长三角科技联合攻关项目(17295810603);国家自然科学基金项目(31770468)

作者简介:严佳瑜(1995—),女,在读硕士,研究方向为城市生态学与植被生态学。E-mail:18962499730@163.com

*通信作者,E-mail:ksong@des.ecnu.edu.cn;sorbus@163.com

杂草土壤种子库是指存在于土壤上层凋落物和土壤中全部存活杂草种子的总和^[14],土壤种子库时期是杂草生活史的一个重要阶段^[5],决定了杂草的生存、繁衍与扩散^[6-7]。其作为潜在的杂草发生库^[8],影响着地上杂草的群落组成与动态,是农田发生杂草危害的根源^[9]。掌握杂草土壤种子库的消长规律可以预测草害的发生状况^[10],而了解杂草土壤种子库的组成和分布则有利于对未来农田杂草进行综合管理^[11]。杂草土壤种子库已经成为杂草生态研究的热点,受到国内外学者及杂草管理者的高度关注。迄今为止,相关研究多集中在不同除草方式^[9,12]、耕作方式^[4-5]、轮作方式^[13]及施肥方式^[8,11]对杂草土壤种子库大小、种类组成、分布格局^[9]及多样性^[14]的影响等方面。

水稻是上海市主要粮食作物之一,农田管理者常使用大量化肥和农药来控制稻田杂草,以保证水稻产量,但这也造成了许多生态环境问题,如农业面源污染、杂草抗药性^[15]、杂草物种多样性降低^[16]等。实际上,地上杂草与杂草种子库共同构成了杂草群落综合体^[8],其丰富的物种多样性有利于保护益虫、减少土壤养分流失、维持农田生态系统功能的正常发挥^[17-18]。因此,杂草综合治理的目的不在于灭杀全部杂草,而是在减小恶性杂草危害程度和范围的同时保护杂草群落的物种多样性^[19]。

2009年,上海稻田开始推行秋播“三三制”计划,将夏熟茬口由原先的以小麦为主,转为各占耕地面积1/3的深耕、绿肥和大小麦,以期完成粮食生产由注重产量向提升产能的转变^[20]。牛永志等^[21]研究发现,在稻麦轮作模式中,免耕下的杂草数量远多于旋耕和翻耕,且秋季杂草优势种不同;魏守辉等^[15]研究表明,水稻-小麦轮作转为玉米-小麦和大豆-小麦轮作2年后,杂草种子库密度大幅降低。目前针对“三三制”计划的研究多集中在深耕、绿肥对氮肥使用量、土壤结构和理化性质的影响等方面^[22],而稻田杂草土壤种子库方面的研究却鲜有报道。本试验采用水洗镜检法,研究不同农艺措施下杂草土壤种子库的物种组成、密度及物种多样性特征,以期为“三三制”下的杂草管理提供科学依据和参考。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

上海市浦东新区位于上海市东部(30°54'—31°10'N,121°01'—121°21'E),地处滨海地带,东亚季风盛行,气温偏高,降水偏多,为杂草危害的发生提供了有利条件。2017年该地区平均气温17.7℃,比常年(16.3℃)高1.4℃;年均降水量1899.9mm,比常年(1244.4mm)多655.5mm;年日照1694.8h,比常年(1974.4h)少279.6h^[23]。

1.2 研究方法

1.2.1 试验设计

试验于2016年在上海浦东新区新滨示范基地进行,前茬种植作物均为水稻。设置2种耕作深度:(1)深耕(deep tillage,DT),耕作深度为20cm以上;(2)浅耕(shallow tillage,ST),耕作深度为5—10cm;3种轮作模式:(1)水稻-绿肥(rice-green manure rotation,RG);(2)水稻-休耕(rice-fallow rotation,RF);(3)水稻-小麦(rice-wheat rotation,RW)。采用双因素混合试验设计,共设6个处理:深耕+水稻-绿肥(DT+RG)、深耕+水稻-休耕(DT+RF)、深耕+水稻-小麦(DT+RW)及浅耕+水稻-绿肥(ST+RG)、浅耕+水稻-休耕(ST+RF)、浅耕+水稻-小麦(ST+RW),其中浅耕+水稻-小麦为原处理模式。每个处理试验地长65m,宽20m,间隔为宽0.5m的田埂。试验期间每年施氮肥316.05kg/hm²、磷肥78.60kg/hm²、钾肥86.4kg/hm²。

1.2.2 样品采集与处理

于2017年5月26日进行土壤采样,在各处理样方中随机选取8个样点,用半径2.5cm、长度20cm的圆柱形取土器分别钻取深度为0—10cm和10—20cm土芯,共采集96个土壤样品,放置在塑封袋中备用。

1.2.3 杂草土壤种子库测定方法

采用水洗镜检法^[24]进行杂草土壤种子库测定。将风干后的土壤样品放在0.125mm孔径的尼龙网筛中用自来水淘洗,所剩残渣35℃烘干,依次过0.850mm、0.425mm、0.125mm孔径网筛,得到不同粒径样品3份^[10],移至培养皿,用LC30体视显微镜(日本Olympus公司)观察,采用挤压法^[25]判定种子活力,参考《杂草种子彩色鉴定图鉴》和《农田杂草种子原色图鉴》的相关图片进行种类鉴定和计数。

1.2.4 数据处理

杂草土壤种子库密度为单位面积土壤内全部活力杂草种子数量^[15]。

通过丰富度指数、Shannon-Wiener 指数对杂草土壤种子库物种多样性进行评估^[8]：

(1) 物种丰富度 S 为规定区域内所有杂草的种类数。

(2) Shannon-Wiener 指数 $H = -\sum P_i \ln P_i$

式中, P_i 为种 i 的个体数 N_i 在全部个体 N 的比例, 即 $P_i = N_i/N$ 。

多样性指数在 R 语言环境中利用 Vegan 包计算, 使用 SPSS 软件进行统计分析, 处理间差异显著性采用 LSD 法检验, 并用 Origin 软件作图。

2 结果与分析

2.1 杂草土壤种子库物种组成

共检出杂草种子 12 科 30 种(表 1), 以禾本科(Poaceae)和十字花科(Brassicaceae)为主, 分别占土壤种子库的 46.29% 和 33.27%, 合计约 80%。优势种为硬草(*Sclerochloa dura*)、碎米荠(*Cardamine hirsuta*)、芥(*Capsella bursa-pastoris*)、蚊母草(*Veronica peregrina*), 相对多度分别为 25.37%、21.61%、11.66%、9.55%, 占种子库总数的 68.19%; 而短叶水蜈蚣(*Kyllinga brevifolia*)、小茨藻(*Najas minor*)、小蓬草(*Erigeron canadensis*)、刺果毛茛(*Ranunculus muricatus*)的相对多度均未超过 0.10%。

表 1 杂草土壤种子库物种组成
Table 1 Species composition of weed soil seedbank

物种名	科	相对多度	
		0—10 cm 土层	10—20 cm 土层
硬草(<i>Sclerochloa dura</i>)	禾本科	28.64	20.29
茵草(<i>Beckmannia syzigachne</i>)	禾本科	1.47	0.73
狗尾草(<i>Setaria viridis</i>)	禾本科	1.64	2.54
马唐(<i>Digitaria sanguinalis</i>)	禾本科	1.60	2.96
千金子(<i>Leptochloa chinensis</i>)	禾本科	3.60	3.79
棒头草(<i>Polypogon fugax</i>)	禾本科	0.60	2.08
早熟禾(<i>Poa annua</i>)	禾本科	2.57	3.43
牛筋草(<i>Eleusine indica</i>)	禾本科	1.27	2.75
稗(<i>Echinochloa crus-galli</i>)	禾本科	0.40	0.26
看麦娘(<i>Alopecurus aequalis</i>)	禾本科	2.70	0.83
日本看麦娘(<i>Alopecurus japonicus</i>)	禾本科	4.24	2.85
扁秆荆三棱(<i>Bolboschoenus planiculmis</i>)	莎草科	0.40	0.36
香附子(<i>Cyperus rotundus</i>)	莎草科	0.23	0.67
异型莎草(<i>Cyperus difformis</i>)	莎草科	0.33	0.00
短叶水蜈蚣(<i>Kyllinga brevifolia</i>)	莎草科	0.00	0.05
鳢肠(<i>Eclipta prostrata</i>)	菊科	0.63	1.56
小蓬草(<i>Erigeron canadensis</i>)	菊科	0.10	0.00
泽漆(<i>Euphorbia helioscopia</i>)	大戟科	0.77	0.99
斑地锦(<i>Euphorbia maculata</i>)	大戟科	0.40	0.42
铁苋菜(<i>Acalypha australis</i>)	大戟科	0.67	1.35
碎米荠(<i>Cardamine hirsuta</i>)	十字花科	24.43	17.23
芥(<i>Capsella bursa-pastoris</i>)	十字花科	8.38	16.76
球序卷耳(<i>Cerastium glomeratum</i>)	石竹科	0.27	0.21
鹅肠菜(<i>Myosoton aquaticum</i>)	石竹科	1.07	1.04
小藜(<i>Chenopodium ficifolium</i>)	苋科	0.47	1.76
蚊母草(<i>Veronica peregrina</i>)	车前科	8.68	10.90
通泉草(<i>Mazus pumilus</i>)	通泉草科	0.87	0.78
小茨藻(<i>Najas minor</i>)	水鳖科	0.00	0.05
刺果毛茛(<i>Ranunculus muricatus</i>)	毛茛科	0.07	0.10
水苋菜(<i>Ammannia baccifera</i>)	千屈菜科	3.50	3.27

2.2 不同耕作深度和轮作模式下杂草土壤种子库密度

不同处理模式下杂草土壤种子库密度差异明显(表 2)。0—10 cm 土层中, 浅耕 + 水稻-绿肥处理杂草种子库密度最大, 达 12.27×10^4 粒/ m^2 , 与浅耕 + 水稻-休耕处理无显著差异, 但显著高于其他 4 种处理, 浅耕 + 水稻-小麦处理杂草种子库密度最小, 仅为 3.08×10^4 粒/ m^2 ; 10—20 cm 土层中, 浅耕 + 水稻-休耕处理杂草种子库密度最大, 达 6.47×10^4 粒/ m^2 , 与深耕 + 水稻-小麦、深耕 + 水稻-休耕及浅耕 + 水稻-绿肥

处理无显著差异,但显著高于其他 2 种处理,浅耕 + 水稻-小麦处理杂草种子库密度最小,仅为 1.32×10^4 粒/ m^2 。浅耕 + 水稻-绿肥处理的 0—10 cm 土层杂草种子库密度显著高于 10—20 cm 土层,有 70.1% 的杂草种子集中分布在土壤上层,而其他 5 种处理不同土层间均无显著差异。

表 2 不同耕作深度和轮作模式下杂草土壤种子库密度
Table 2 Density of weed soil seedbank under different tillage depths and rotation systems

土层深度/ cm	种子密度/($\times 10^4$ 粒· m^{-2})					
	DT + RG	DT + RF	DT + RW	ST + RG	ST + RF	ST + RW
0—10	4.19 ± 2.13 Ab	4.82 ± 1.87 Ab	4.79 ± 0.85 Ab	12.27 ± 5.72 Aa	8.99 ± 3.89 Aa	3.08 ± 2.77 Ab
10—20	2.57 ± 0.67 Abc	3.79 ± 1.56 Aab	5.14 ± 2.54 Aab	5.23 ± 1.66 Ba	6.47 ± 2.37 Aa	1.32 ± 0.91 Ac

注:不同小写字母表示相同土层深度不同处理差异显著($P < 0.05$),不同大写字母表示相同处理不同土层深度差异显著($P < 0.05$)。下同。

2.3 不同耕作深度和轮作模式下杂草土壤种子库物种多样性

2.3.1 丰富度

由图 1 可知,不同处理模式下杂草土壤种子库丰富度差异明显。0—10 cm 土层中,深耕 + 水稻-小麦处理杂草种子库丰富度最高,约为 12,与深耕 + 水稻-休耕、浅耕 + 水稻-绿肥及浅耕 + 水稻-休耕处理无显著差异,而浅耕 + 水稻-小麦处理杂草种子库丰富度最低,仅为 6,显著低于其他 5 种处理;10—20 cm 土层中,深耕 + 水稻-小麦处理杂草种子库丰富度最高,约为 11,与浅耕 + 水稻-绿肥及浅耕 + 水稻-休耕处理无显著差异,而浅耕 + 水稻-小麦处理杂草种子库丰富度最低,为 5.6,显著低于其他 5 种处理。除浅耕 + 水稻-绿肥处理 0—10 cm 土层杂草种子库丰富度显著高于 10—20 cm 土层外,其他 5 种处理不同土层间均无显著差异。

2.3.2 Shannon-Wiener 指数

由图 2 可知,不同处理模式下杂草土壤种子库 Shannon-Wiener 指数差异明显。0—10 cm 土层中,深耕 + 水稻-小麦处理杂草种子库 Shannon-Wiener 指数为 2.07,与深耕 + 水稻-绿肥及深耕 + 水稻-休耕处理无显著差异,但显著高于浅耕的 3 种轮作处理。10—20 cm 土层中,深耕 + 水稻-小麦及深耕 + 水稻-休耕处理杂草种子库 Shannon-Wiener 指数显著高于浅耕 + 水稻-小麦处理,分别为 1.96、1.85 和 1.56,但与其他 3 种处理无显著差异。同一处理不同深度土层间均无显著差异。

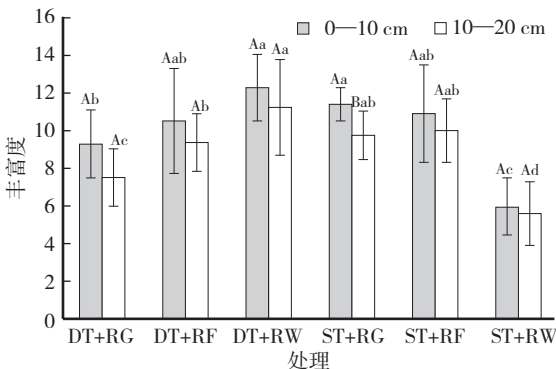


图 1 不同耕作深度和轮作模式下杂草土壤种子库的丰富度
Fig. 1 Richness of weed soil seedbank under different tillage depths and rotation systems

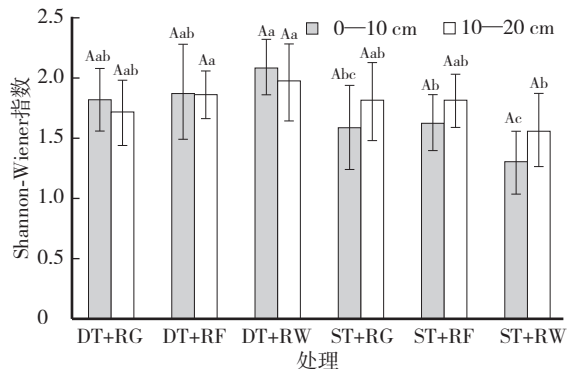


图 2 不同耕作深度和轮作模式下杂草土壤种子库的 Shannon-Wiener 指数
Fig. 2 Shannon-Wiener index of weed soil seedbank under different tillage depths and rotation systems

3 讨论

Murphy 等^[26]研究表明,在免耕条件下,实施强度更大的轮作模式有利于减少种子库密度;甘国福等^[27]发现,在原瓜类-小麦-玉米轮作田中去除瓜类的种植会使杂草种子数量大幅增加。本研究中,试验地稻田夏熟茬口由小麦转为绿肥和休耕后,浅耕处理下的杂草土壤种子库密度增加 3 倍左右,与前人研究结果一致。其原因可能是采用一季稻种植后杂草管理措施强度降低^[9],且小麦对杂草的化感抑制作用和资源竞争压力得到解除^[28-29],同时绿肥和休耕能有效提高土壤有机质含量,提升土壤肥力^[30],有利于杂草定居、生长和繁衍。

Feldman^[31]研究发现,深耕下的小麦田杂草土壤种子库密度最低,为 15 710 粒/ m^2 ,而免耕条件下高达

102 179 粒/m²;Cardina 等^[13]研究表明,随着耕作深度的增加,杂草种子库密度逐渐降低。本研究中,深耕处理下绿肥和休耕茬口种子库密度仅为浅耕的 42% 左右,且与原浅耕 + 水稻-小麦模式无显著差异,与前人研究结果一致。种子库的减少和输出通常以种子的死亡或萌发两种形式完成^[3],深耕降低种子库密度的原因可能在于:(1)通过上下翻动将上层种子带到下层土壤中,导致一些杂草种子发生腐烂和损害;(2)改变了杂草局部生长环境,一些杂草种子休眠被打破,促进了其的萌发^[9]。

光照、水分、土壤条件的改变使得具有不同生物学和生态学特性的杂草得以萌发及生长,进而影响杂草土壤种子库的多样性^[32]。本研究中,原浅耕 + 水稻-小麦模式下杂草土壤种子库的丰富度与 Shannon-Winener 指数均最低,可能与长期施行同一种耕作模式有关,比如,单一除草剂的持续使用会导致杂草物种多样性降低^[33],使个别耐药性杂草成为优势种。相较之下,采用其他夏熟茬口或深耕措施后,种子库多样性有所提高,这与魏守辉等^[15]的研究结果相似。下一步,将探究种子库与地面杂草群落的关系,比较不同耕作深度和轮作模式对杂草群落综合体的影响,筛选可有效降低杂草密度且能维持一定杂草物种多样性的农艺措施,以为稻田杂草的综合管理与可持续治理提供科学依据和实际指导。

参 考 文 献

- [1] VAN-DER-VALK A G, DAVIS C B. The role of seed banks in the vegetation dynamics of prairie glacial marshes[J]. *Ecology*, 1978, 59(2):322-335.
- [2] 张志权. 土壤种子库[J]. *生态学杂志*, 1996, 15(6):36-42.
- [3] 强胜. 杂草学[M]. 北京:中国农业出版社, 2001.
- [4] 郭玉莲, 黄春艳, 王宇, 等. 不同耕作模式对大豆田土壤杂草种子库的影响[J]. *安徽农业科学*, 2016, 44(31):89-93, 104.
- [5] 黄春艳, 郭玉莲, 王宇, 等. 不同耕作模式对玉米田土壤杂草种子库的影响[J]. *安徽农业科学*, 2016, 44(32):37-42.
- [6] HARPER J L. Population biology of plant[M]. London: Academic Press, 1977.
- [7] 白文娟, 章家恩, 全国明. 土壤种子库研究的热点问题及发展趋向[J]. *土壤*, 2012, 44(4):562-569.
- [8] 潘俊峰, 万开元, 章力干, 等. 长期有机-无机肥配施对农田杂草土壤种子库的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2013, 19(2):480-488.
- [9] 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.
- [10] 章超斌, 马波, 强胜. 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[J]. *植物资源与环境学报*, 2012, 21(1):1-13.
- [11] 潘俊峰, 万开元, 程传鹏, 等. 农田杂草土壤种子库对施肥模式的响应[J]. *土壤*, 2014, 46(1):76-82.
- [12] BURNSIDE O C, MOOMAW R S, ROETH F W, et al. Weed seed demise in soil in weed-free corn (*Zea mays*) production across Nebraska[J]. *Weed Science*, 1986, 34(2):248-251.
- [13] 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.
- [14] 黄茂梁, 梁银丽, 周茂娟, 等. 陕北黄土丘陵沟壑区水土保持耕作及施肥下农田土壤种子库特征[J]. *生态学报*, 2009, 29(7):3987-3994.
- [15] 魏守辉, 强胜, 马波, 等. 不同作物轮作制度对土壤杂草种子库特征的影响[J]. *生态学杂志*, 2005, 24(4):385-389.
- [16] 郭水良, 赵铁桥. 除草剂对杂草微观进化及多样性的影响[J]. *生物多样性*, 1997, 5(4):301-306.
- [17] JOHNSON K H, CLARK H J, SCHMITZ O J, et al. Biodiversity and the productivity and stability of ecosystem[J]. *Trends in Ecology & Evolution*, 1996, 11:372-377.
- [18] TILMAN D, KNOPS J, WEDIN D. The influence of functional diversity and composition on ecosystem processes[J]. *Science*, 1997, 277:1300-1302.
- [19] 魏有海, 郭青云, 郭良芝, 等. 青海保护性耕作农田杂草群落组成及生物多样性[J]. *干旱地区农业研究*, 2013, 31(1):119-225.
- [20] 陈洪凡, 陈勇章, 顾德平, 等. 关于完善粮食茬口布局, 倡导一季稻种植方式的建议[EB/OL]. (2017-05-23) [2018-12-13]. <http://www.shszx.gov.cn/node2/node5368/node5376/node5388/u1ai98970.html>.
- [21] 牛永志, 李凤博, 柳建国, 等. 秸秆还田和不同耕作方式对稻麦轮作田土壤杂草种子库的影响[J]. *江苏农业科学*, 2008(1):79-81.
- [22] 马俊艳, 左强, 王世梅, 等. 深耕及增施有机肥对设施菜地土壤肥力的影响[J]. *北方园艺*, 2011(24):186-190.
- [23] 史志办. 浦东年鉴 2017 年概况[EB/OL]. (2018-03-19) [2018-12-13]. http://www.pudong.gov.cn/shpd/about/20180319/008006031003_8ba64629-dc34-40dc-a6e8-5253938ab3d6.htm.
- [24] 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.
- [25] GRUBER S, PEKRUN C, CLAUPEIN W. Seed persistence of oilseed rape (*Brassica napus*): variation in transgenic and conventionally bred cultivars[J]. *Journal of Agricultural Science*, 2004, 142(1):29-40.
- [26] MURPHY S D, CLEMENTS D R, BELAOUSSOFF S, et al. Promotion of weed species diversity and reduction of weed seedbanks with conservation tillage and crop rotation[J]. *Weed Science*, 2006, 54(1):69-77.
- [27] 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[J]. *植保技术与推广*, 2000, 20(6):28-29.
- [28] 彭少麟, 邵华. 化感作用的研究意义及发展前景[J]. *应用生态学报*, 2001, 12(5):780-786.
- [29] 潘俊峰, 万开元, 章力干, 等. 作物轮作制度对土壤种子库特征影响的研究进展[J]. *土壤通报*, 2013, 44(2):490-495.
- [30] 程传鹏, 潘俊峰, 万开元, 等. 轮作对农田杂草的影响研究进展[J]. *中国农学通报*, 2013, 29(30):1-9.
- [31] FELDMAN S R. The effect of different tillage systems on the composition of the seedbank[J]. *Weed Research*, 1997, 37:71-76.
- [32] 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.
- [33] 王一专, 吴竞仓, 李永丰. 南京地区稻田土壤杂草种子库的数量特征及演替规律[J]. *江苏农业学报*, 2007, 23(5):428-431.