

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

黄茂林¹, 梁银丽^{1,2,*}, 周茂娟¹, 韦泽秀¹, 吴 燕¹

(1. 西北农林科技大学资环学院; 2 中国科学院水利部水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 为了探明多年免耕下农田恶性杂草发生的机理, 提高保护性耕作下作物对农田恶性杂草持久稳定的抑制效果, 依据陕西安塞田间 4a 的定位试验, 采用小区调查取样和室内实验相结合的方法, 从物种组成、密度特征、多样性以及相似性特征等方面, 研究了黄土丘陵旱作农区大豆 (*Glycine max*)、玉米 (*Zea mays*)、红小豆 (*Semen Phaseoli*)、马铃薯 (*Solanum tuberosum*) 在翻耕化肥 (CF)、翻耕有机肥 (CM)、翻耕无肥 (CN)、免耕化肥 (NF)、免耕有机肥 (NM)、免耕无肥 (NN) 等水平下的农田土壤种子库。结果表明: (1) 4 种作物 24 种土样中共萌发出 12 个物种 1965 株幼苗, 隶属于 7 科 12 属。1 年生杂草占 94%, 棒头草 (*fugax nees ex steud*)、苋菜 (*Acalypha australis*)、马唐 (*Digitaria sanguinalis*)、早熟禾 (*Poa sphondylodes*) 为优势种, 占 87%。(2) 在 0 ~ 20cm 土层不同处理间, 土壤种子库的密度变动于 $(282.9 \pm 63.4) \sim (7482.5 \pm 1078.3)$ 粒 $\cdot m^{-2}$, 其中, 红小豆小区 > 马铃薯小区 > 大豆小区 > 玉米小区; 翻耕小区 > 免耕小区; 有机肥小区 > 化肥小区 > 无肥小区, 差异极显著。(3) 土壤种子库密度 NM 红小豆最高, NN 玉米最低; 丰富度指数 CF 大豆为 2.30; NN 红小豆为 0.29; 多样性指数 NN 大豆为 5.56, CF 红小豆为 0.45; 生态优势度 NF 玉米为 1.35, CF 大豆为 0.17。玉米、大豆是黄土丘陵沟壑旱作农区免耕下农田抑制杂草最为适宜的作物, NM 玉米、NF 大豆和 NM 大豆是黄土丘陵沟壑旱作农区较优的耕作管理方式, 其农田的生态效应是能够竞争性抑制恶性杂草的蔓延, 优化土壤环境, 杂草的多样性高且比较均衡, 杂草的土壤种子库密度低。

关键词: 保护性耕作; 农田土壤种子库; 多样性; 相似性; 密度

文章编号: 1000-0933(2009)07-3987-08 中图分类号: S451, S157 文献标识码: A

The soil seed bank characteristics in cropland under different conservation tillage and fertilization regimes in Loess Hill and Gully Region

HUANG Mao-Lin¹, LIANG Yin-Li^{1,2,*}, ZHOU Mao-Juan¹, WEI Ze-Xiu¹, WU Yan¹

¹ Northwest Sic-tech University of Agriculture and Forestry;

² Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resource, Yangling, Shaanxi 712100, China

Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(7): 3987 ~ 3994.

Abstract: To better understand the mechanism of weed occurrence and suppression effect of crops on weeds, we conducted a 4-year field experiment in 4 crops under different tillage and fertilization regimes in Ansai, Shaanxi, China. The species composition, seed density, diversity and the similarity were measured in soil seed bank of soybean (*Glycine max*), corn (*Zea mays*), Red Bean (*Semen Phaseoli*) and potato (*Solanum tuberosum*). The tillage and fertilization treatments in each crop included till-chemical fertilizer (CF), till-organic manure (CM), till no fertilizer (CN), no-till chemical fertilizer (NF), no-till-organic manure (NM), and no-till-no fertilizer (NN). The results showed that: (1) There were 12 weed species in 1965 seedlings from 24 soil samples in 4 crops. These species belonged to 7 families and 12 genres and

基金项目: 中国科学院西部行动计划资助项目 (KZCX2-XB2-05-01); 国家科技支撑资助项目 (2006BAD09B07); 中国科学院安塞站和中国科学院水土保持研究所领域前沿资助项目 (SW04302)

收稿日期: 2008-10-08; 修订日期: 2009-03-15

致谢: 此项研究得到中国科学院安塞水土保持综合试验站的大力支持, 美国 North Dakota State University 的薛青武博士对写作给予帮助, 在此一并致谢。

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: liangyl@ms.iswc.ac.cn

94% of them were annual weeds. Bangtoug grass (*fugax nees ex steud*), amaranth (*Acalypha australis*), large crabgrass (*Digitaria sanguinalis*) and Poa (*Poa sphondylodes*) were the dominant species and accounted for 87%; (2) In 0–20 cm soil of different treatments, weed density ranged from (282.9 ± 63) to (7482.5 ± 1078.3) seeds $\cdot m^{-2}$. There were significant differences ($P < 0.01$) in weed density among crops, tillage systems, and fertilization regimes. The ranking of weed seed density was Red Bean plot > potato plot > soybean plot > corn plot among 4 crops, tillage plot > no-tillage plot between 2 tillage treatments, and organic fertilizer plot > Fertilizer plot > no fertilizer plot among fertilization treatments; (3) Soil seed bank had the highest weed density in NM Red Bean and the lowest density in NN corn. The richness index was the highest (2.30) in CF soybean and the lowest (0.29) in NN Red Bean. The diversity index was the highest in NN soybean (5.56) and the lowest in CF Red bean (0.45). The ecological advantage of NF corn was the highest (1.35) and that of CF soybean was the lowest (0.17). Among the fertilization treatments, the similar coefficient of soil seed bank ranged from 0 to 0.63 in tilled system and from 0.67 to 0.92 in no-till system. As a result, corn and soybean were optimal crops to inhibit weeds in the dry land farming region of the Loess Plateau, and the best treatments were NM corn, NF soybeans and NM soybean. The ecological benefits of these crops include inhibiting the spread of weeds competitive to crop, maintaining high diversity and equilibrium of weeds, decreasing weed density in soil seed bank and optimizing soil environment.

Key Words: conservation tillage; soil seed bank; diversity; similarity; density

土壤种子库是指存在于一定体积土壤表面及内部全部有活力的种子总和^[1]。农田土壤种子库主要是指存在于农田土壤中各种类型的具有活力的危害农作物的杂草种子,它是农田杂草发生的根源,也是杂草得以自然延续种族和演替的依据。在保护性耕作条件下,农田地表土层干扰少,尽可能地保持了作物残茬的覆盖及结皮,减少了土壤水蚀、风蚀。由此构成了农田杂草种子的地表层累积,使农田草害发生比传统耕作严重,表现在杂草发生早,发生量大而且集中,危害严重^[2]。此外,化学防除杂草代替了翻耕控草使环境和农产品受到了污染,农田生物资源的多样性遭到破坏,杂草的抗药性持续增强,干旱的陕北水源易受影响,因而,农田土壤种子库生态控草措施受到普遍关注。研究保护性耕作下农田土壤种子库的杂草种类、数量、分布,了解田间不同作物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影响,对于农田土壤杂草种群的发生进行预测、控制与可持续治理具有重要的现实意义。

目前,有关农田土壤种子库方面的研究,国内外有诸多报道^[3],已涉及农田的轮作制度^[4,5-10]、除草方式^[11]、耕作方式^[12-15]等对种子库的影响,特别是国内的研究主要集中于对南方的水稻、小麦、油料等类作物的土壤杂草种子库的数量、种类分布方面^[16-18]。关于陕北黄土丘陵沟壑区退耕土壤种子库研究已有报道^[19,20],但是,关于黄土丘陵沟壑区水土保持耕作下农田杂草土壤种子库的研究未见报道。本文从物种组成、密度特征、多样性以及相似性特征等角度对黄土丘陵沟壑区水土保持耕作下的土壤种子库进行了研究,探讨了不同作物及施肥对农田土壤种子库的影响,为水土保持耕作下农田的杂草综合治理及合理的耕作管理提供依据。

1 材料和方法

1.1 试验区概况

试验从2004年4月下旬开始到2008年11月,在中国科学院安塞水土保持综合试验站内试验场进行。试验站位于黄土高原中部丘陵沟壑区,北纬 $36^{\circ}51'30''$,东经 $109^{\circ}19'23''$,海拔1068~1309 m。年均气温 $8.8^{\circ}C$ 。年均降雨量500 mm,属典型的梁峁状丘陵沟壑区,一年一熟。试验地土壤属黄绵土,此前为传统耕作的单一作物玉米地块,土壤质地基本均匀,其理化性质为:pH值8.5,有机质 $8.8 mg/kg$,全氮 $22.4 mg/kg$,全磷 $14.0 mg/kg$ 。

1.2 试验设计

选取 4 种农作物,即玉米品种为沈玉 17 号,大豆品种为晋豆 20 号,红小豆为龙小豆 2 号,马铃薯为中薯 5 号进行长期定位试验;每种作物试验农田设 6 个处理(即 NF-免耕化肥、NM-免耕有机肥、NN-免耕无肥、CF-翻耕化肥、CM-翻耕有机肥、CN-翻耕无肥),随机区组设计,3 次重复,共 18 个小区,小区面积 $2.5\text{ m} \times 5\text{ m}$ 。N-免耕:上季作物收获后留茬,不进行土壤扰动;C-翻耕:播种时人工铁锹深翻 20cm。M-有机肥:羊粪肥 16675 kg/hm^2 ,作底肥于播种前一次全部施入;F-化肥:施纯 N(尿素, 46% N) 230 kg/hm^2 , P_2O_5 150 kg/hm^2 ,播种前开沟一次施入。大豆、玉米互为前茬,红小豆、马铃薯互为前茬。玉米、马铃薯株距 38cm,行距 60cm,大豆、红小豆株距 28cm,行距 50cm。整个生育期按常规管理,实行旱作农业。

1.3 土壤种子库的取样与萌发

土壤种子库的取样在种子萌发前的早春进行(2008 年 3 月 2 日~3 月 8 日)。每小区设置 3 条样线,采用 S 型五点取样法,用直径为 5cm 土壤取样器取样 15 次,深度 20cm,每条样线共计体积 1963.5 cm^3 ,每种处理共取 45 个土样,设置 6 次重复,同时记录所取区域杂草种类。

将土样充分混匀置于口径 30cm 花盆内,底部铺沙(115°C 烘 48h)浇足水,放在日光温室使其自然萌发。连续观测,记录、辨认杂草,种类鉴定主要以植物的形态特征为主^[21],并与生境杂草标本比照。萌发实验从 2008 年 3 月 9 日开始,到 2008 年 5 月 31 日结束,历时 84d。

2 数据分析与处理

2.1 土壤种子库密度

种子库密度指 1 m^2 土壤内全部有活力的种子数量^[19]。将取样面积的种子数目换算为 $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ 单位面积的数量,即为土壤种子库的种子密度。

2.2 数据分析

不同作物及各处理间土壤种子库密度的差异显著性采用 SAS-V8 软件进行统计分析,文内图中字母(A, B, C)分别表示 $P < 0.01$ 水平下差异极显著。

2.3 物种多样性^[5,19]

(1) 丰富度指数 Margalef 指数

$$MA = \frac{S - 1}{\ln N}$$

式中, S 为种子库物种总数; N 为种子库所有物种个体总数。

(2) 多样性指数 Shanon-Wiener 指数:

$$SW = 3.3219 \left[\lg N - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^s (ni \lg ni) \right]$$

式中 ni 为第 i 种的个体数。

(3) 生态优势度

$$C = \sum_{i=1}^s \frac{ni(ni - 1)}{N(N - 1)}$$

2.4 相似性系数^[5,19]

$$Cc = \frac{2w}{a + b}$$

式中, Cc 为相似性系数; w 为 2 个样地共有种数; a 和 b 分别为 2 个样地各自拥有的物种数。

3 结果

3.1 不同作物及处理对土壤种子库的物种组成的影响

对 24 种土样进行种子萌发试验,共检出 7 科 12 属 12 种杂草幼苗,计 1965 株。具体为苋菜(*Acalypha australis* Linn) 286 株,荠菜(*Capsella bursa-pastoris* (L.) Medic) 10 株,灰藜(*Chenopodium glaucum* Linn) 46 株,车前(*Plantago asiatica* L.) 3 株,马齿苋(*Portulaca oleracea* Linn.) 174 株,田旋花(*Convolvulus arvensis* Linn) 11 株,地肤(*Kochia scoparia* (Linn.) Schrad) 1 株,棒头草(*Polypogon fugax* nees ex steud) 1052 株,硬质早熟禾

(*Poa sphondylodes* Trin) 88 株, 芦苇(*Phragmites Australis* (Cav.) Trin) 1 株, 马唐(*Digitaria sanguinalis* (L.) Scop.) 284 株, 白羊草(*Bothriochloa ischaemum* (L.) Keng) 5 株。另有 2 种植株早死, 归属未能鉴定。其中以棒头草、苋菜、马唐、早熟禾居多, 占 87%, 1 年生杂草占 94%。从表 1 可以看出, 红小豆所有小区的优势杂草为棒头草; 大豆小区以棒头草、苋菜、马齿苋居多; 马铃薯小区以马唐、棒头草居多; 玉米小区以棒头草、苋菜居多。

表 1 4 种作物及处理对土壤优势物种影响

Table 1 Influences of four crops and treatments on relative abundances of soil dominant species

处理 Treatment	红小豆小区 Red bean plot		马铃薯小区 Potato plot		大豆小区 Soybean plot		玉米小区 Corn plot	
CF	棒头草	100%	棒头草	36%	苋菜	26%	苋菜	71%
CM	棒头草	84%	马唐	33%	苋菜	47%	棒头草	32%
CN	棒头草	76%	马唐	85%	棒头草	31%	棒头草	44%
NF	棒头草	82%	棒头草	54%	马齿苋	56%	棒头草	83%
NM	棒头草	84%	棒头草	53%	苋菜	40%	苋菜	61%
NN	棒头草	88%	棒头草	76%	棒头草	78%	棒头草	44%

1 棒头草 *Polypogon fugax* nees ex steud; 2 马唐 *Digitaria sanguinalis* (L.) Scop; 3 苋菜 *Acalypha australis* Linn; 4 马齿苋 *Portulaca oleracea* Linn

3.2 不同作物及处理对土壤种子库密度分布的影响

作物、耕作方式及施肥对土壤杂草种子库密度有着显著的影响。从图 1 看, 在 4 种作物中, 土壤种子库密度由高到低依次为: 红小豆小区 > 马铃薯小区 > 大豆小区 > 玉米小区, 其值分别为: 4176 粒·m⁻²、2315.9 粒·m⁻²、2069.7 粒·m⁻²、1734.3 粒·m⁻²。从耕作方式角度来看, 翻耕小区 > 免耕小区, 其值分别为 2874 粒·m⁻²、2274 粒·m⁻²。从有无肥料的角度看, 有机肥小区 > 化肥小区 > 无肥小区, 而且方差分析表明 3 类差异极显著($p < 0.01$)。

不同作物对土壤养分、水分及生长空间、阳光的利用能力不同, 其竞争能力显著不同。从图 2 看, 红小豆小区无论翻免耕土壤种子库都以有机肥小区最高, 而以 CF、NN 较低。马铃薯小区以 CF、CN 居高, 而以 NN 最低。大豆小区以 CM 最高, 以 NM 最低。玉米小区以 NF 最高, 以 NN 最低。除 NN 外, 玉米小区中有机肥也比较低。不同处理水平的土壤种子库密度一般都在 282.9 ~ 7482.2 粒·m⁻² 之间, 红小豆小区 NM 中的密度最高, 为 7482.2 粒·m⁻², 而玉米小区中 NN 的密度最低, 为 282.9 粒·m⁻²。

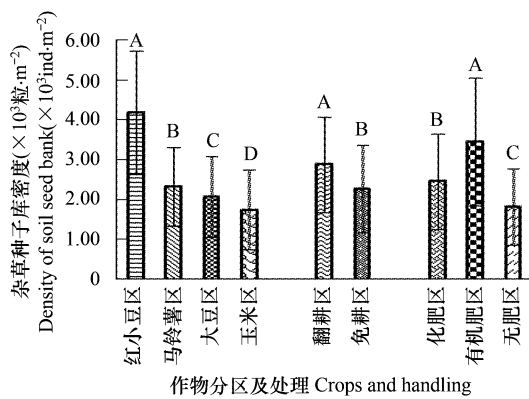


图 1 不同作物及处理对杂草种子库密度的影响

Fig.1 The impact of different crops and treatments to soil seed bank density

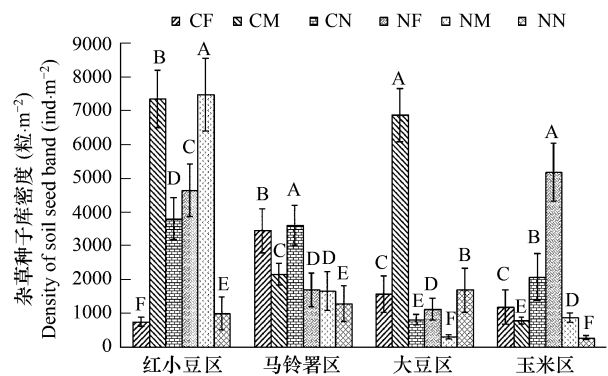


图 2 不同作物及处理对土壤杂草种子库密度的影响

Fig.2 The impact of different crops and treatments to soil weed seed bank density

3.3 不同作物及处理对土壤种子库的多样性的影响

从图 3 可以看出, 在四种作物中, 无论翻免耕都以大豆小区土壤杂草物种丰富度指数最高, 在翻耕下, 以

玉米小区的物种丰富度指数最低,在免耕下,以红小豆小区物种丰富度指数最低。总体来说,大豆小区物种丰富度指数 1.84 最高,红小豆小区 1.20 最小。

从图 4 可以看出,在 CF、NF、NM 水平下,大豆小区土壤种子库丰富度指数比较高,其中,CF 大豆小区达到了 2.30。除 CM 外,红小豆小区一般最低,其中,红小豆小区 NN 丰富度指数仅为 0.29,是四种作物不同处理下的最低点。

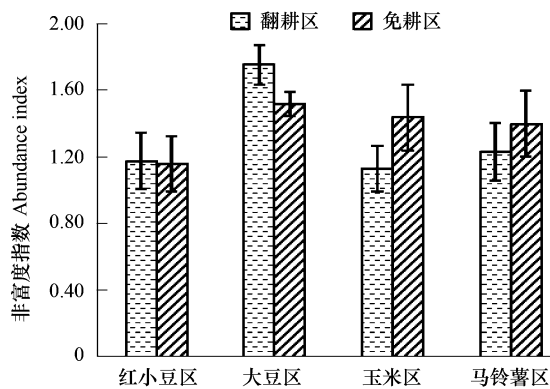


图 3 翻免耕对土壤杂草种子库丰富度的影响

Fig. 3 The impact of plow tillage and no-tillage to abundance of soil seed bank

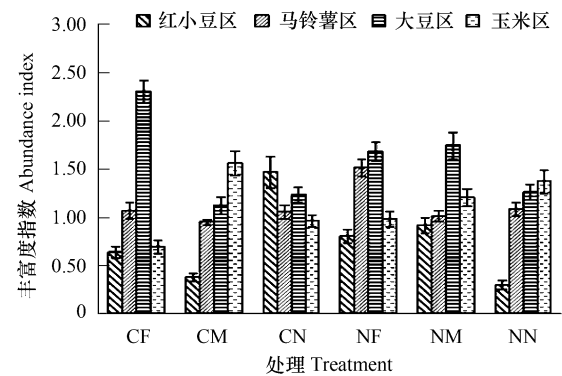


图 4 免耕施肥对土壤杂草种子库丰富度的影响

Fig. 4 The impact of no-tillage fertilization to abundance of soil seed bank

从图 5 可以看出,农田土壤杂草生态优势度以红小豆小区最大,大豆小区最小。就处理而言,NF 玉米小区 1.35 生态优势度最高,CF 大豆小区 0.17 最低。马铃薯小区仅小于红小豆小区。

从图 6 可以看出,红小豆小区土壤杂草多样性指数最低,大豆小区多样性指数最高。其中,NN 大豆小区 5.56 最高,CF 红小豆小区 0.45 最小。马铃薯、玉米小区介于大豆小区和红小豆小区之间。

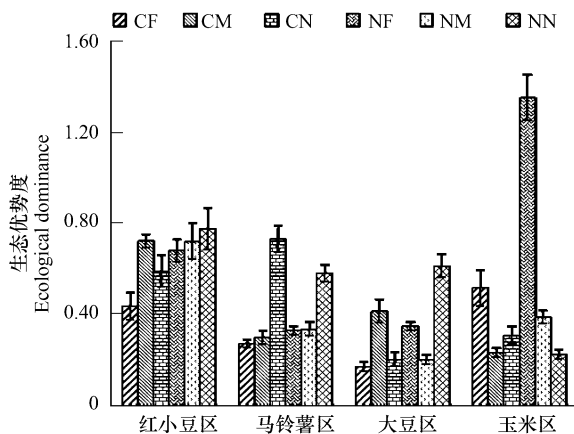


图 5 免耕施肥对土壤杂草种子库生态优势度的影响

Fig. 5 The impact of no-tillage fertilization to the ecological advantages of soil bank

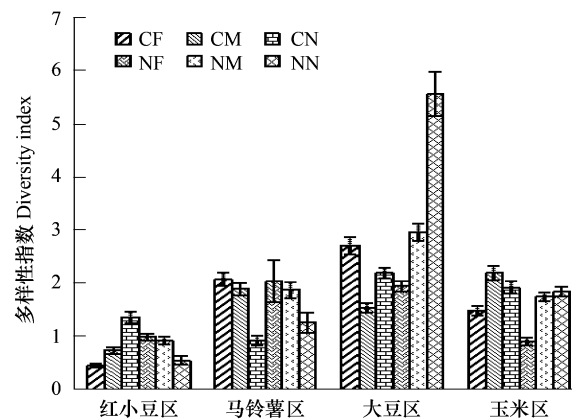


图 6 不同作物及处理对土壤杂草种子库多样性的影响

Fig. 6 The impact of different crops and treatments to diversity of soil seed bank

3.4 不同作物及处理对土壤种子库的相似性的影响

从表 2、3 可看出,翻耕化肥小区的土壤种子库相似系数变化范围为 0~0.63,翻耕有机肥小区的为 0.6~0.77,翻耕无肥小区的为 0.55~0.8。免耕化肥小区的土壤种子库相似系数变化范围为 0.67~0.92,免耕有机肥小区的为 0.55~0.8,免耕无肥小区的为 0.5~0.8。同时,CF 红小豆小区与 CF 玉米小区相似系数为

0,表现出了很大的异质性,NF红小豆小区与NM大豆小区相似系数为1,两者土壤种子库结构与组成表现出了很高的相似性。此外,CF红小豆小区与其它作物小区土壤种子库相似性都比较小。

从表4可以看出,红小豆小区翻免耕之间土壤种子库相似性较低。在马铃薯小区中,无肥小区土壤种子库相似性较低,玉米小区则是化肥小区土壤种子库相似性较低。

表2 翻耕下4种作物土壤种子库的相似性

Table 2 Similarity of the seed banks in four crops agricultural ecosystems under tillage planting

处理 Treatment	CN1	CM1	CF1	CN2	CM2	CF2	CN3	CM3	CF3	CN4	CM4	CF4
CN1	1											
CM1	0.55	1										
CF1	0.22	0.5	1									
CN2	0.76	0.5	0.33	1								
CM2	0.8	0.6	0.25	0.83	1							
CF2	0.78	0.31	0.18	0.67	0.67	1						
CN3	0.71	0.67	0.29	0.55	0.62	0.5	1					
CM3	0.62	0.75	0.33	0.6	0.67	0.4	0.91	1				
CF3	0.86	0.67	0.29	0.91	0.92	0.6	0.67	0.7	1			
CN4	0.77	0.75	0.33	0.8	0.83	0.5	0.73	0.8	0.91	1		
CM4	0.71	0.67	0.29	0.73	0.77	0.6	0.67	0.7	0.83	0.91	1	
VCF4	0.57	0.22	0	0.55	0.46	0.5	0.33	0.4	0.5	0.55	0.67	1

1 红小豆区 Red bean plot;2 大豆区 Soybeans plot;3 马铃薯区 Potato plot;4 玉米区 Corn plot

表3 免耕下4种作物土壤种子库的相似性

Table 3 Similarity of seed banks in four crops agricultural ecosystems under no-tillage planting

处理 Treatment	NF1	NM1	NN1	NF2	NM2	NN2	NF3	NM3	NN3	NF4	NM4	NN4
NF1	1											
NM1	0.55	1										
NN1	0.57	0.5	1									
NF2	0.67	0.62	0.22	1								
NM2	1	0.55	0.57	0.73	1							
NN2	0.91	0.67	0.5	0.77	0.91	1						
NF3	0.83	0.62	0.44	0.86	0.83	0.9	1					
NM3	0.8	0.73	0.57	0.67	0.8	0.7	0.83	1				
NN3	0.6	0.73	0.57	0.5	0.6	0.6	0.67	0.8	1			
NF4	0.91	0.67	0.5	0.77	0.91	0.8	0.92	0.9	0.73	1		
NM4	0.8	0.73	0.57	0.5	0.8	0.7	0.67	0.6	0.6	0.73	1	
NN4	0.89	0.6	0.67	0.55	0.89	0.8	0.73	0.7	0.44	0.8	0.89	1

1 红小豆区 Red bean plot;2 大豆区 Soybeans plot;3 马铃薯区 Potato plot;4 玉米区 Corn plot

4 讨论

(1)农田土壤种子库组成除了受杂草分布的地域限制外,土壤特性、作物、人工干扰程度及杂草的种子传播方式等都会对其造成重要的影响。在本实验中,胖头草、苋菜、马唐、硬质早熟禾等农田杂草时间、空间生态位比较广,适应能力强,分布相对多度比较高,它们占杂草总量的87%。在作物及处理方面,影响最大的是红小豆,小区的优势种杂草全部为棒头草;其

次是马铃薯的无肥小区、玉米的化肥小区。说明胖头草的适应能力强,生态位较广,同时也与红小豆长势弱,

表4 耕作方式对4种作物土壤种子库相似性的影响

Table 4 Impact of different farming methods on soil seed bank similarity of four crops

作物区 Crops plot	CN/NN	CM/NM	CF/NF
红小豆 Red bean	0.4	0.44	0.3
大豆 Soybeans	0.73	0.83	0.71
马铃薯 Potato	0.55	0.8	0.92
玉米 Corn	0.89	0.91	0.5

植株盖度小,生态位较狭窄,竞争能力差有关,导致杂草的结实率高,容易出现一年生单一种类恶性杂草的蔓延,因而不适宜在陕北黄土丘陵沟壑旱作农区用于免耕农田管理。此外,一年生杂草占 94%,与退耕地^[19]不同,农田杂草种子库组成也与魏守辉^[4]的研究不同。其原因有三:一是地域环境、杂草的生物学特性不同;二是作物的生长特性及耕作管理不同;三自然情况下,陕北的光照、温度、水分及干扰等条件同时满足杂草完成一个生育周期的时间比较短。总之,地域环境、作物特性、耕作管理等使不同作物在生长期所形成的微环境发生显著变化,从而使光照、温度、水分等受到影响,产生对杂草的选择,引起不同处理下杂草种子库的变异。

(2)在本试验中,红小豆、马铃薯小区农田杂草种子库密度高,玉米、大豆小区比较低,有机肥小区比化肥小区及无肥小区高,其中,红小豆小区土壤种子库密度是玉米的 2.4 倍,有机肥小区是化肥小区的 1.4 倍,是无肥小区的 1.9 倍。除肥力影响外,可能是作物对土壤养分、水分、阳光及生长空间利用争夺的能力不同。玉米、大豆早期生长迅速,植株盖度大,遮荫效果好,导致杂草结实率低,马铃薯、红小豆小区则比较小。此外,还由于羊粪肥中含有一定量杂草种子的带入,有机肥处理的农田小区土壤杂草种子库密度就高一些,达到了 (3443 ± 863) 粒 $\cdot m^{-2}$ 。免耕对土壤扰动最小,落于农田地表的杂草种子因陕北黄土高原丘陵沟壑区水热气等环境条件剧烈变化的胁迫及动物的取食,其一年生杂草种子数量、活力受到了影响,或因风蚀作用而流失,或处于休眠状态,所以免耕处理的农田土壤杂草种子库密度比较小 $((2274 \pm 411)$ 粒 $\cdot m^{-2})$,而翻耕使一些杂草种子埋于土中,避免了动物的取食和大风的搬移,或打破了 1 年生土壤杂草种子的休眠,促进萌发,土壤种子库密度高 $((2874 \pm 413)$ 粒 $\cdot m^{-2})$ 。

(3)物种多样性是生物群落的重要特征,也与农田土壤生产力发展变化紧密关联,其结构、组成通常用多样性指数、丰富度指数、生态优势度、相似性等来表征。在本研究中,翻免耕化肥小区的农田土壤种子库相似性变化趋势彼此相反:免耕化肥的土壤种子库相似性高(0.67~0.92),而翻耕化肥相似性低(0~0.63),翻免耕有机肥、无肥小区的变化趋势基本一致(0.5~0.8),可能是耕作方式、化肥影响了农田杂草群落的多样性。四种作物小区的农田土壤种子库密度与生态优势度变化趋势基本一致,红小豆、马铃薯小区高,而玉米、大豆小区小。多样性指数与丰富度指数变化趋势也基本相同,红小豆小区小,而大豆小区高。可能是大豆、玉米对土壤养分、水分等的利用比较均衡,空间、时间生态位较宽,演替早期的先锋杂草生态位与之交叠度大,受到抑制,不易发展,只有生态位小,且能够利用不同剩余生态空间的杂草才能生存,因而杂草多样性高,原有生态系统较稳定。

综上所述,在陕北黄土丘陵沟壑区适宜于进行水土保持耕作的作物为玉米、大豆。NM 玉米、NF、NM 大豆分别为陕北黄土丘陵沟壑旱作农区较优的耕作管理方式。其农田的生态效应是能够竞争性抑制恶性杂草的蔓延,优化土壤环境,杂草的多样性高且比较均衡,杂草的土壤种子库密度低,原有生态系统较稳定。至于四种作物与杂草的竞争机理,有待进一步研究。

References:

- [1] Bai W J, Jiao J Y. A review on the research methods of soil seed bank. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2006, 24(6): 196—197.
- [2] Feng Y J, Wang J W. Review on study of farmland weed seed bank. *Soil and Environmental Sciences*, 2001, 10(2): 158—160.
- [3] Liu X, Cheng R M, Xiao W F. Review and Prospect on Soil Seed Bank Research. *World Forestry Research*, 2008, 21(17): 27—31.
- [4] Wei S H, Qiang S, Ma B, *et al.* Effects of different crop rotation system on the characteristics of soil weed seed bank. *Chinese Journal of Ecology*, 2005, 24(4): 385—389.
- [5] Shinichi Takagawa Jun Nishihiro Izumi Washitani. Safe sites for establishment of *Nymphoides peltata* seedlings for recovering the population from the soil seed bank. *Ecol Res*, 2005, 20: 661—667.
- [6] Liu G H, Luo L M, Bin Wang, Wei Li, Zhiping Song. Comparison of genetic variation in populations of wild rice, *Oryza rufipogon*, plants and their soil seed banks, 2006, 7: 909—917.
- [7] Davis A S, Renner K A, Gross K L. Weed seed bank in organic farming. *Agronomy Research*, 2005, 2, 13—22.
- [8] Feng W, Wu X M, Pan G X, *et al.* Comparison of soil seed bank structure in natural wetlands and their corresponding reclaimed paddy fields at lower reaches of Yangtze River in Anhui, China. *Chinese Journal of Ecology*, 2008, 27(6): 874—879.

- [9] Li J M, Xu H L, Zhang Z J, *et al.* The characteristics of soil seed bank and standing vegetation in differently degraded areas in the lower reaches of Tarim River. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(8): 3626—3635.
- [10] Tong C, Feng X, Zhang Y M, *et al.* Soil seed banks in different grazing exclusion restoring succession stages in the Xiligole degraded steppe. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(5): 1991—2001.
- [11] Wei S H, Qiang S, Ma B, *et al.* Soil weed seed bank and integrated weed management. *Soils*, 2005, 37(2): 121—128.
- [12] Zheng Y L, Teng M Z. The survey of rice weed seed bank in no-till treatment. *Journal of Zhejiang Agricultural Sciences*, 2001(2): 90—91.
- [13] Niu Y Z, Li F B, Liu J G, *et al.* The effect of Straw and different farming methods on soil weed seed bank in the rice-wheat rotation field. *Journal of Jiangsu Agricultural Sciences*, 2008(1): 79—81.
- [14] Jha, P Norsworthy, J K & Malik, M S. Effect of tillage and soybean canopy formation on temporal emergence of Palmer amaranth from a natural seed bank. *Proc. South. Weed Sci. Soc.*, 2007, 60: 11.
- [15] Chauhan B S, Gill G, Preston C. Influence of tillage systems on vertical distribution, seedling recruitment and persistence of rigid ryegrass (*Lolium rigidum*) seed bank. *Weed Sci.*, 2006b, 54, 669—676.
- [16] Lou Q F, Zhang D Y, Wang Q Y, *et al.* The study of soil weed seed bank in different tillage rape field. *Weed Sciences*, 1998(1): 6—8.
- [17] Wu Z G, Wang D H, Xu Z Sh, *et al.* *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2004, 32(6): 1143—1144, 1150.
- [18] Wang Y Zh, Wu J L, Li Y F. Species, Population, Vertical Distribution and Succession Regularity of Weed Seedbank in Nanjing Paddy Fields. *Jiangsu J. of Agr. Sci.*, 2007, 23(5): 428—431.
- [19] Bai W J, Jiao J Y, Zhang Z G. Characteristics of soil seed banks in abandoned croplands at Ansai County on the Hilly2 gullied Loess area. *Science of Soil and Water Conservation*, 2007, 5(2): 65—72.
- [20] Wang J Z. Influence of protective farming on soil water of wheat field. *Science of Soil and Water Conservation*, 2007, 5(5): 71—74.
- [21] Li H Y. China weeds flora. Beijing: China Agriculture Press, 1998.

参考文献:

- [1] 白文娟, 焦菊英. 土壤种子库研究方法综述, 干旱地区农业研究, 2006, 24(6): 196~197.
- [2] 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.
- [3] 刘旭, 程瑞梅, 肖文发. 土壤种子库研究进展. 世界林业研究, 2008, 21(17): 27~31.
- [4] 魏守辉, 强胜, 等. 不同轮作制度对土壤杂草种子库特征的影响. 生态学杂志, 2005, 24(4): 385~389.
- [8] 冯伟, 吴新民, 潘根兴. 皖江湿地及其开垦为稻田后土壤种子库结构比较. 生态学杂志, 2008, 27(6): 874~879.
- [9] 李吉玫, 徐海量, 张占江, 等. 塔里木河下游不同退化地区地表植被和土壤中子库特征. 生态学报, 2008, 28(8): 3626~3635.
- [10] 全川, 冯秀, 张元鸣, 等. 锡林郭勒退化草原不同禁牧恢复演替阶段土壤中子库比较. 生态学报, 2008, 28(5): 1991~2001.
- [11] 魏守辉, 强胜, 等. 土壤杂草种子库与杂草综合管理. 土壤, 2005, 37(2): 121~128.
- [12] 郑永利, 藤敏忠. 稻茬免耕麦田杂草种子库调查. 浙江农业科学, 2001(2): 90~91.
- [13] 牛永志, 李风博, 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. 江苏农业科学, 2008(1): 79~81.
- [16] 娄群峰, 张敦阳, 等. 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.
- [17] 吴宗国, 王德好, 等. 稻麦连作田土壤杂草种子库的研究. 安徽农业科学, 2004, 32(6).
- [18] 王一专, 吴竟仑, 等. 南京地区稻田土壤杂草种子库的数量特征及演替规律. 江苏农业科学, 2007, 23(5): 428~431.
- [19] 白文娟, 焦菊英, 张振国. 安塞黄土丘陵沟壑区退耕地的土壤种子库特征. 中国水土保持科学, 2007, 5(2): 65~72.
- [20] 王建政. 旱地小麦保护性耕作对土壤水分的影响. 中国水土保持科学, 2007, 5(5): 71~74.
- [21] 李扬汉主编. 中国杂草志. 北京: 中国农业出版社, 1998.