

长期有机-无机肥配施对农田杂草土壤种子库的影响

潘俊峰^{1,2}, 万开元¹, 章力干², 王道中³, 陶勇¹,
程传鹏¹, 谢娟¹, 陈防^{1,4*}

(1 中国科学院武汉植物园, 中国科学院水生植物与流域生态重点实验室, 武汉 430074;
2 安徽农业大学资源与环境学院, 合肥 230036; 3 安徽省农业科学院土壤肥料研究所, 合肥 230031;
4 国际植物营养研究所(IPNI)武汉办事处, 武汉 430074)

摘要: 为揭示长期有机-无机肥配施处理下农田杂草土壤种子库的特征变化规律, 本研究通过田间长期定位施肥模式试验, 运用群落生态学方法研究了小麦-大豆轮作制度下大豆种植季7种施肥处理区杂草土壤种子库的结构及其生物多样性特征。结果表明, 土壤样品中共检出杂草种子16种, 隶属于10科; 土壤种子库总密度分布在15995~106300 grain/m²范围。长期有机-无机肥配施处理区的杂草土壤种子库优势物种组成较为简单, 优势种为1~2种, 配施麦秸处理区主要以粟米草为主, 配施粪肥处理区主要以水菹菜为主; 土壤种子库的密度显著降低至15995~41900 grain/m²范围; 物种丰富度降低至7.67~9.33范围, 并且将物种多样性和均匀度指数维持在休闲与纯化肥处理区之间(1.5~2.0和0.6~0.8)。长期配施麦秸、粪肥均显著影响土壤杂草土壤种子库的结构特征, 且麦秸与粪肥品种间差异的影响大于麦秸施用量差异的影响。因此, 本研究认为有机-无机肥配施既有利于作物的优质高产, 也可以通过调整有机肥种类以及与施用量来调控杂草土壤种子库, 实现经济效益和生态效益的双赢。

关键词: 长期定位; 有机肥; 农田杂草; 土壤种子库; 多样性特征

中图分类号: S154.1; TQ440.2²

文献标识码: A

文章编号: 1008-505X(2013)02-0480-09

Effects of long-term combined application of organic manure and chemical fertilizers on farmland weed soil seedbank

PAN Jun-feng^{1,2}, WAN Kai-yuan¹, ZHANG Li-gan², WANG Dao-zhong³, TAO Yong¹,
CHENG Chuan-peng¹, XIE Juan¹, CHEN Fang^{1,4*}

(1 Wuhan Botanical Garden, Chinese Academic of Sciences/Key Laboratory of Aquatic Botany and Watershed Ecology, Chinese Academic of Science, Wuhan 430074, China; 2 College of Resources and Environment, Anhui Agricultural University, Hefei 230036, China; 3 Institute of Soil and Fertilizer, Anhui Academy of Agricultural Sciences, Hefei 230031, China;
4 China Program of International Plant Nutrition Institute, Wuhan 430074, China)

Abstract: The effect of long-term mixed application of organic manure and chemical fertilizers on farmland weed soil seedbank was evaluated in this study. The weed soil seed bank's structure and biodiversity characteristics were studied by using the community ecology method under seven different fertilization treatments at soybean cultivating season of the wheat-soybean cropping system. The results show that all the weed seeds affiliated with sixteen species and ten families are detected, and the weed soil seed density is from 15995 to 106300 grain/m². In the treatments with mixed organic manure and chemical fertilizers, the composition of weed species is relatively simple, and the number of the dominated species is from 1 to 2. In the treatment with mixed wheat straw and chemical fertilizers,

收稿日期: 2012-07-23

接受日期: 2012-11-23

基金项目: 国际植物营养研究所资助项目(IPNI-HB-34); 湿地演化与生态恢复湖北省重点实验室开放课题资助。

作者简介: 潘俊峰(1986—), 男, 安徽黄山区人, 硕士研究生, 主要从事植物营养学与农田生态学的研究。E-mail: panjfaau@163.com

* 通信作者 Tel: 027-87510433, E-mail: fchen@ipni.ac.cn

the dominated species is *Mollugo pentaphylla*, and in the treatment with mixed manure and chemical fertilizers, the dominated species is *Ammannia baccifera*. The density of weed soil seedbank is reduced in the range from 15995 to 41900 grain/m². The species richness is reduced in the range from 7.67 to 9.33, and the Shannon-Wiener index and Pielou index are in the range of those of the CK2 and NPK treatments (from 1.5 to 2.0 and from 0.6 to 0.8). Types and application amounts of applying organic fertilizers affect the weed species structure features significantly, and the influences of organic fertilizer types are greater than those of application amounts of wheat straw. The results of this paper show that the mixed application of organic manure and chemical fertilizers not only has beneficial to get high yield, but also regulates weed soil seedbank by adjusting the types and application amount of organic fertilizer to achieve economic and ecological benefits.

Key words: long-term located experiment; organic manure; farmland weed; soil seedbank; biodiversity characteristics

杂草土壤种子库是存留于土壤中的杂草种子或其营养繁殖体的总体,是杂草得以自然延续种族的关键所在^[1]。杂草土壤种子库作为杂草的潜种群阶段^[2],是杂草种子积聚和持续的结果^[3],影响着地面杂草群落的发生、消涨与演替,是农田发生杂草危害的主要根源^[4]。杂草土壤种子库与地面杂草群落一起构成的杂草群落综合体是农田生态系统的重要组成部分,稳定、合理的杂草群落综合体有利于减少土壤养分流失,维持农田生态平衡,在调节农田生态系统以及保持农田可持续利用方面起着不可或缺的作用^[5-8]。因此,在农业生产上如何对农田杂草综合体进行科学管理,既避免杂草恶性化,又维持农田杂草群落的生物多样性,已成为急需解决的重要课题^[5,8-11]。

施肥是农业生态系统中最重要生产措施之一。除化学肥料外,作物秸秆、粪肥等有机肥的施用越来越受到重视,这些措施可明显提高土壤养分有效性、调节土壤理化性质、改善土壤结构、促进微生物的活动与改善植物的根际营养环境^[12-15],同时也使农田土壤肥力演变的进程显著加快^[15],因此也必然影响农田杂草群落及其演替^[8-9,16-17]。研究分析认为,由施肥引起的土壤养分差异可能改变作物与杂草之间的竞争关系,影响杂草群落^[8,18-20]及其演替过程^[8,17]。为此,必须合理规划施肥,科学施用有机肥,既保证作物的优质高产,又能改善杂草与作物之间的竞争关系,控制优势杂草的危害并且兼顾保护杂草群落的生物多样性。

尽管随着现代农业的发展,杂草群落综合体在维持农田生态系统平衡方面的积极作用越来越受到重视,而且也有很多学者对施肥条件下杂草群落综合体的密度、多样性、群落结构等展开了大量的研究^[18-23],然而综合评价有机肥,尤其是旱地轮作制度下化肥配施有机肥的品种和施用量对杂草土壤种

子库的影响却鲜有报道。为此,本研究通过对长期定位有机肥试验条件下的农田杂草土壤种子库进行调查和分析,以明确小麦-大豆轮作制长期有机-无机肥配施处理下农田杂草土壤种子库的结构演变趋势,为有效评价有机肥的生态环境效应和农田的生物多样性保护提供理论依据和参考。

1 材料与方法

1.1 研究地区概况和试验管理

本研究的长期定位有机肥试验位于安徽省蒙城县农业部蒙城砂姜黑土生态环境重点野外科学观测试验站。该站地处皖北平原中部,属于暖温带半湿润季风气候,常年平均气温 14.8°C,年平均降水量 872.4 mm,年蒸发量 1026.3 mm。供试土壤为暖温带南部半湿润区草甸潜育土上发育而成具有脱潜特征的砂姜黑土(类),普通砂姜黑土亚类,pH 值为 8.0,土壤速效氮、磷、钾分别为 67.0、7.8、111.0 mg/kg。

施肥定位试验开始于 1982 年,1993~1998 年为小麦-玉米轮作,其余均为小麦-大豆轮作。2008 年 10 月 20 日条播烟农 19 号冬小麦,播种密度为 4685100 grain/hm²,小麦生长期所有小区采用 120 g/hm² 的苯磺隆甲基化学除草 3 次;2009 年 6 月 15 日点播中黄 13 号秋大豆,播种密度为 249800 grain/hm²,大豆生长期所有小区采用 1500 g/hm² 的乙草胺化学除草 3 次。每季作物换茬播种前进行浅耕。试验共设 7 个处理:对照(CK1,不施肥);休闲(CK2,不施肥、不耕作、不种植、不除草);化肥+猪粪(NPK+PM);化肥+低量麦秸(NPK+FW);化肥+高量麦秸(NPK+MW);化肥+牛粪(NPK+CM);纯化肥(NPK)。试验中肥料用量:化肥 N、P₂O₅、K₂O 的用量分别为 180、90、135 kg/hm²,氮肥为尿素(含氮 46%),磷肥为普通过磷酸钙(含 P₂O₅ 12%),钾肥为氯化钾(含 K₂O 60%);

高量麦秸为 7500 kg/hm², 低量麦秸为 3750 kg/hm², 猪粪(湿)为 15000 kg/hm², 牛粪(湿)为 30000 kg/hm²。高量麦秸、猪粪、牛粪施用量与当地农民习惯施肥量保持一致, 低量麦秸为当地农民习惯麦秸还田量的一半, 其中麦秸全氮(N)、磷(P₂O₅)、钾(K₂O)含量分别为 0.5%~0.6%、0.2%~0.4%、2.0%~3.0%; 猪粪(新鲜)有机质、全氮(N)、全磷(P₂O₅)、全钾(K₂O)含量分别为 15%、0.6%、0.4%、0.4%; 牛粪(新鲜)有机质、全氮(N)、全磷(P₂O₅)、全钾(K₂O)含量分别为 14.5%、0.3%、0.3%、0.2%。全部肥料在秋季小麦种植前一次性施入, 后茬作物不施肥。试验小区面积 60 m², 设 3 次重复, 随机区组排列。

1.2 土壤采样与样品处理

土壤样品采样于 2009 年 9 月底, 即大豆收获的前一周。每个小区用直径为 2 cm 的取样器取样 30 次, 每个区土壤样品分为 0—5 cm、5—10 cm、10—15 cm 3 个深度收集全部土壤, 获得 63 份土壤样品。土壤样品经自然风干后混匀, 取四分之一的土壤样品包裹在孔径为 0.096 mm 的尼龙纱网中用自来水淘洗, 拣出动植物残渣, 留下的杂草种子及部分难以洗去的沙砾风干。将剩余物分别过筛, 筛孔尺寸为 0.830、0.380、0.250、0.180、0.150、0.096 mm, 得到不同粒径粗细的样品 6 份, 移至培养皿, 置于双目解剖镜下观察(型号为舜宇 SZM-45B2; 最大放大倍数 4×10 倍), 采用镊子挤压法检测种子活力^[24], 参考《中国杂草原色图鉴》^[25]的相关图片对杂草种子进行鉴别并计数。

1.3 数据处理

种子库的密度是指单位面积土壤内所含有的活力种子数量^[26-28]。土壤杂草种子库的物种多样性采用如下统计学公式^[29-30]。

物种丰富度指数 S 为群落中包含的所有杂草种类数。

物种多样性指数(Shannon-Wiener index)

$$H' = -\sum P_i \ln P_i \quad (1)$$

群落优势度指数(Simpson index)

$$D = P_i^2 \quad (2)$$

群落均匀度指数(Pielou index)

$$J = H' / \ln S \quad (3)$$

Sorenson 相似性指数

$$C_s = 2j / (a + b) \quad (4)$$

Bray-Curtis 相似性系数

$$C_N = 2j_N / (a_N + b_N) \quad (5)$$

式中: P_i 属于种 i 的个体数 N_i 在全个体 N 的比例, 即 $P_i = N_i / N$; j 为群落 A 与 B 所共有的物种数; a 、 b 为群落 A、B 所含的全部物种数; j_N 为群落 A、B 共有种个体数目较小者之和; a_N 、 b_N 分别为群落 A、B 所含有物种的个体数目。

研究数据使用 Excel 2003 和 MVSP 3.1 进行处理、绘图, 并使用 SPSS 13.0 进行统计分析, 采用 LSD 法检验各处理的差异显著性。

2 结果与分析

2.1 杂草土壤种子库的物种组成特征

土壤样品中共检出杂草种子 16 种, 隶属于 10 科(表 1)。其中, 鳢肠(*Eclipta prostrate*)、粟米草(*Mollugo pentaphylla*)、野老鹳草(*Geranium carolinianum*)、水苋菜(*Ammannia baccifera*)、陌上菜(*Lindernia procumbens*)、阿穆尔莎草(*Cyperus amuricus*)、烟台飘拂草(*Fimbristylis stauntonii*)、异型莎草(*Cyperus difformis*)等 8 个物种在 7 个处理区均出现; 大巢菜(*Vicia sativa*)、北水苦荬(*Veronica anagallis-aquatica*)、两歧飘拂草(*Fimbristylis dichotoma*)分别只在对照、休闲、纯化肥处理区中出现; 稗(*Echinochloa crusgalli*)只在休闲与配施牛粪处理区出现; 泽星宿菜(*Lysimachia candida*)在配施猪粪处理区没有出现; 马唐(*Digitaria sanguinalis*)在配施低量麦秸处理区没有出现; 猪殃殃(*Galium aparine*)在对照与纯化肥处理区没有出现; 千金子(*Leptochloa chinensis*)在对照、配施猪粪以及配施牛粪处理区没有出现。对照处理区杂草种类 11 种, 隶属 9 科, 优势种组成为烟台飘拂草 + 水苋菜 + 泽星宿菜; 休闲处理区杂草种类 14 种, 隶属 10 科, 优势种组成为马唐 + 水苋菜 + 烟台飘拂草 + 北水苦荬 + 陌上菜; 化肥配施猪粪处理区杂草种类 10 种, 隶属 8 科, 优势种为水苋菜; 化肥配施少量麦秸处理区杂草种类 11 种, 隶属 9 科, 优势种组成为粟米草 + 水苋菜; 化肥配施高量麦秸处理区杂草种类 12 种, 隶属 9 科, 优势种为粟米草; 化肥配施牛粪处理区杂草种类 12 种, 隶属 9 科, 优势种为水苋菜; 纯化肥处理区杂草种类 12 种, 隶属 8 科, 优势种组成为烟台飘拂草 + 粟米草 + 水苋菜。结果表明, 与休闲处理区比较, 施肥降低了杂草土壤种子库中的物种种类, 尤其是长期有机-无机肥配施处理区杂草土壤种子库的优势种组成较为简单, 优势种数为 1~2 种, 配施麦秸处理区主要以粟米草为主, 配施粪肥处理区主要以水苋菜为主(表 1)。

表 1 不同施肥处理下农田杂草土壤种子库的分布和密度 (0—15 cm) (grain/m²)
Table 1 Farmland weed soil seedbank density under different fertilization treatments (0—15 cm)

科 Family	种 Species	CK1	CK2	NPK + PM	NPK + FW
报春花科 Primulaceae	泽星宿菜 <i>Lysimachia candida</i>	9200 ± 3536 aA	708 ± 649 bB	—	708 ± 884 bB
豆科 Leguminosae	大巢菜 <i>Vicia sativa</i>	142 ± 245 aA	—	—	—
菊科 Compositae	鳢肠 <i>Eclipta prostrata</i>	425 ± 736 aA	142 ± 245 aA	142 ± 245 aA	425 ± 0 A
粟米草科 Molluginaceae	粟米草 <i>Mollugo pentaphylla</i>	849 ± 0 dD	566 ± 245 dD	1982 ± 490 dD	13729 ± 4036 cC
牻牛儿苗科 Geraniaceae	野老鹳草 <i>Geranium carolinianum</i>	283 ± 490 aA	708 ± 649 aA	708 ± 245 aA	142 ± 245A a
千屈菜科 Lythraceae	水苋菜 <i>Ammannia baccifera</i>	11040 ± 2548 aA	6228 ± 1915 cA	7360 ± 1226 bcA	10050 ± 1608 abA
茜草科 Rubiaceae	猪殃殃 <i>Galium aparine</i>	—	142 ± 245 bA	425 ± 425 abA	1840 ± 2179 aA
玄参科 Scrophulariaceae	北水苦苣 <i>Veronica anagallis-aquatica</i>	—	5662 ± 1297 aA	—	—
禾本科 Gramineae	陌上菜 <i>Lindernia procumbens</i>	4246 ± 736 bB	5378 ± 1716 bAB	2831 ± 1365 bB	5803 ± 884 bAB
	稗 <i>Echinochloa crusgalli</i>	—	2123 ± 1471 aA	—	—
	马唐 <i>Digitaria sanguinalis</i>	4529 ± 884 bB	6794 ± 1531 aA	283 ± 245 cC	—
	千金子 <i>Leptochloa chinensis</i>	—	283 ± 490 aA	—	708 ± 649 aA
莎草科 Cyperus rotundus	阿穆尔莎草 <i>Cyperus amuricus</i>	1699 ± 1274 bcdB	283 ± 245 dB	425 ± 736 cdB	2831 ± 1365 bAB
	两歧飘拂草 <i>Fimbristylis dichotoma</i>	—	—	—	—
	烟台飘拂草 <i>Fimbristylis stauntonii</i>	34112 ± 1768 bB	5804 ± 1226 cC	566 ± 490 dC	2548 ± 1274 cdC
	异型莎草 <i>Cyperus difformis</i>	2548 ± 1274 abA	1699 ± 736 abA	1274 ± 849 bA	3114 ± 1069 aA
总密度 Total density		69073 ± 2984 bB	36518 ± 2651 cC	15995 ± 3611 dD	41900 ± 4275 cC
		NPK + MW	NPK + CM	NPK	平均值 Mean
报春花科 Primulaceae	泽星宿菜 <i>Lysimachia candida</i>	283 ± 245 bB	425 ± 425 bB	2689 ± 649 bB	2396
豆科 Leguminosae	大巢菜 <i>Vicia sativa</i>	—	—	—	142
菊科 Compositae	鳢肠 <i>Eclipta prostrata</i>	849 ± 425 aA	142 ± 245 aA	283 ± 245 aA	344
粟米草科 Molluginaceae	粟米草 <i>Mollugo pentaphylla</i>	21231 ± 2972 bB	2123 ± 425 dD	31423 ± 6284 aA	10272
牻牛儿苗科 Geraniaceae	野老鹳草 <i>Geranium carolinianum</i>	142 ± 245 aA	142 ± 245 aA	283 ± 245 aA	344
千屈菜科 Lythraceae	水苋菜 <i>Ammannia baccifera</i>	5945 ± 1531 cA	7927 ± 2415 abcA	9908 ± 1716 abA	8351
茜草科 Rubiaceae	猪殃殃 <i>Galium aparine</i>	849 ± 1123 abA	708 ± 884 abA	—	793
玄参科 Scrophulariaceae	北水苦苣 <i>Veronica anagallis-aquatica</i>	—	—	—	5662
禾本科 Gramineae	陌上菜 <i>Lindernia procumbens</i>	5662 ± 1365 bAB	2548 ± 1123 bB	10616 ± 4310 aA	5298
	稗 <i>Echinochloa crusgalli</i>	—	142 ± 245 B	—	1133
	马唐 <i>Digitaria sanguinalis</i>	283 ± 490 cC	142 ± 245 cC	283 ± 490 cC	2052
	千金子 <i>Leptochloa chinensis</i>	142 ± 245 aA	—	566 ± 649 aA	425
莎草科 Cyperus rotundus	阿穆尔莎草 <i>Cyperus amuricus</i>	2406 ± 980 bcAB	1840 ± 1069 bcdB	4813 ± 2095 aA	2042
	两歧飘拂草 <i>Fimbristylis dichotoma</i>	—	—	142 ± 245 aA	142
	烟台飘拂草 <i>Fimbristylis stauntonii</i>	1698 ± 1471 cdC	2406 ± 648 cdC	43454 ± 4540 aA	12941
	异型莎草 <i>Cyperus difformis</i>	2406 ± 1069 abA	850 ± 736 bA	1840 ± 649 abA	1962
总密度 Total density		41897 ± 2414 cC	19393 ± 2890 dD	106300 ± 6903 aA	47297

注 (Note): “—”表示杂草种子在处理区没有发现 Indicates the weed species was not found in the plots. 同行数据后不同小、大写字母分别表示处理间差异达 5% 和 1% 显著水平 Values followed by different small and capital letters in same row mean significant at the 5% and 1% levels, respectively.

2.2 土壤种子库的密度特征

该试验田块土壤种子库总密度分布在 15995 ~ 106300 grain/m² 范围(表 1),按 NPK > CK1 > NPK + FW > NPK + MW > CK2 > NPK + CM > NPK + PM 方向依次递减。其中,纯化肥处理区土壤种子库总密度极显著大于其他处理($P < 0.01$);配施猪粪与牛粪处理区土壤种子库密度极显著小于其他处理($P < 0.01$),且两者之间无统计学差异;配施低量麦秸与高量麦秸处理区的种子库总密度基本相同,无统计学差异;休闲处理区土壤种子库的总密度介于配施麦秸与粪肥之间,且三者差异极显著($P < 0.01$),对照区土壤种子库的总密度仅小于纯化肥处理区,且与其他处理区差异极显著($P < 0.01$)。总体上看,对照与纯化肥处理区的种子库总密度极显著大于有机-无机配施处理区($P < 0.01$);配施麦秸处理区的种子库总密度极显著大于配施粪肥处理区($P < 0.01$)。从以上结果看出,与纯化肥处理区比较,长期有机-无机肥配施可以显著降低土壤种子库的总密度,且麦秸与粪肥品种间差异的影响大于麦秸施用量差异的影响。

对照处理区优势种烟台飘拂草种子的密度接近该处理总密度的一半,显著大于其在所有处理的平均值,泽星宿菜种子的密度极显著大于其在其他处理区($P < 0.01$);休闲处理区优势种马唐、水苋菜、烟台飘拂草、北水苦蕒、陌上菜种子的密度较为均匀,其中马唐种子的密度极显著大于其在其他处理区($P < 0.01$),显著大于其在所有处理的平均值;化肥配施猪粪处理区优势种水苋菜大于该处理的其他杂草种子密度;化肥配施少量麦秸处理区优势种粟

米草与水苋菜大于该处理的其他杂草种子密度;化肥配施高量麦秸处理区优势种组成为粟米草大于该处理的其他杂草种子密度,显著大于其在所有处理的平均值;化肥配施牛粪处理区优势种组成为水苋菜大于该处理的其他杂草种子密度;纯化肥处理区优势种粟米草、烟台飘拂草种子的密度极显著大于其在其他处理区($P < 0.01$),显著大于其在所有处理的平均值。因此,长期不同施肥处理显著影响土壤中杂草种子的分布特征。

2.3 土壤种子库的 α 多样性特征

α 多样性是用于测量群落内生物种类数量以及生物种类间相对多度的一种测量,反映群落内物种间通过竞争资源或者利用同种生境而产生的共存结果^[31]。长期不同施肥处理的杂草土壤种子库生物多样性差异明显(表 2)。物种数分布在 7.67 ~ 11.00 种之间,休闲处理区物种丰富度指数(S)显著高于其他施肥处理($P < 0.05$),配施猪粪处理区显著低于其他施肥处理($P < 0.05$);有机-无机肥配施处理区物种数均低于休闲与纯化肥处理区,其中配施麦秸高于配施粪肥处理,牛粪处理区高于猪粪处理区。群落优势度指数(Simpson index, D)在 0.15 ~ 0.32 之间,配施高量麦秸高于其他处理区,休闲处理区低于其他处理区,配施高量麦秸与休闲处理区之间差异极显著($P < 0.01$);有机-无机肥配施处理区的群落优势度指数按高量麦秸 > 猪粪 > 牛粪 > 低量麦秸顺序依次递减。物种多样性指数(Shannon-Wiener index, H')在 1.54 ~ 2.05 之间,休闲处理区显著高于其他施肥处理($P < 0.05$),纯化肥、配施麦秸、对照处理区显著低于其他施肥处

表 2 不同施肥处理下杂草土壤种子库的 α 多样性特征(0—15 cm)

Table 2 α biodiversity of weed soil seedbank under different fertilization treatments(0—15 cm)

处理 Treatment	物种丰富度 No. of species	群落优势度 Simpson index	物种多样性 Shanon-Wiener index	群落均匀度 Pielou index
CK1	9.00 ± 1.00 bcAB	0.30 ± 0.03 aA	1.56 ± 0.09 cC	0.71 ± 0.01 bcBC
CK2	11.00 ± 0.00 aA	0.15 ± 0.01 dC	2.05 ± 0.07 aA	0.86 ± 0.03 aA
NPK + PM	7.67 ± 0.58 cB	0.28 ± 0.03 abAB	1.58 ± 0.09 cBC	0.78 ± 0.04 abABC
NPK + FW	9.33 ± 1.53 bcAB	0.21 ± 0.04 cdBC	1.80 ± 0.06 bB	0.81 ± 0.08 aAB
NPK + MW	9.33 ± 0.58 bcAB	0.32 ± 0.09 aA	1.55 ± 0.24 cC	0.69 ± 0.11 bcBC
NPK + CM	8.67 ± 0.58 bcAB	0.23 ± 0.05 bcABC	1.75 ± 0.10 bBC	0.81 ± 0.07 aAB
NPK	9.67 ± 0.58 abAB	0.28 ± 0.03 abAB	1.54 ± 0.09 cC	0.68 ± 0.03 cC

注(Note): 同列数据后不同小、大写字母分别表示处理间差异达 5% 和 1% 显著水平 Values followed by different small and capital letters in same column mean significant at the 5% and 1% levels, respectively.

理($P < 0.05$);有机-无机肥配施处理区的物种多样性指数介于休闲与纯化肥处理之间,按照低量麦秸 > 牛粪 > 猪粪 > 高量麦秸顺序依次递减。群落均匀度指数(Pielou index, J)在 0.68 ~ 0.86 之间,休闲处理区显著高于其他施肥区($P < 0.05$),纯化肥处理区显著低于其他施肥区($P < 0.05$),4 种有机-无机肥配施处理区介于休闲与纯化肥处理区之间,其中猪粪、低量麦秸、牛粪处理三者之间差异不显著,而显著高于高量麦秸处理($P < 0.05$)。结果说明,长期有机-无机肥配施会降低物种丰富度,将物种多样性和均匀度指数维持在休闲与纯化肥处理区之间(1.5 ~ 2.0 和 0.6 ~ 0.8),可能更有利于调节和维持农田生态系统。

2.4 土壤种子库的 β 多样性特征

β 多样性是指沿着环境梯度的变化物种替代的程度^[32],反映群落内或者群落间环境异质性的尺寸及其对物种多度的影响。本研究采用 Sorenson(C_s)与 Bray-Curtis(C_N)相似性指数计算 β 多样性指数对试验地土壤杂草种子 β 多样性进行分析(表 3)。Sorenson 相似性指数(C_s)是指从物种水平上的定性测度描述群落间的相似性,结果表明,对照处理区与配施猪粪、牛粪、纯化肥处理区,低量麦秸、高量麦秸、配施牛粪、纯化肥 4 种有机-无机肥配施处理之间的相似性较高;配施猪粪与对照、休闲、纯化肥处理区的相似性较低。Bray-Curtis 相似性指数(C_N)是指从物种水平上的定量测度描述群落间的

表 3 不同施肥处理下杂草土壤种子库的相似性指数(0—15 cm)

Table 3 Similarity index of weed soil seedbank among different fertilization treatments (0—15 cm)

处理 Treatment	CK1	CK2	NPK + PM	NPK + FW	NPK + MW	NPK + CM	NPK
CK1	1.00	0.45	0.32	0.40	0.31	0.37	0.63
CK2	0.77	1.00	0.45	0.44	0.37	0.46	0.30
NPK + PM	0.69	0.65	1.00	0.51	0.47	0.71	0.22
NPK + FW	0.72	0.72	0.71	1.00	0.77	0.59	0.50
NPK + MW	0.84	0.75	0.78	0.89	1.00	0.49	0.53
NPK + CM	0.80	0.75	0.78	0.85	0.81	1.00	0.29
NPK	0.82	0.71	0.61	0.80	0.81	0.80	1.00

注(Note): 对角线上为 Bray-Curtis 相似性指数(C_N), 对角线下分别为 Sorenson 相似性指数(C_s) Above diagonal were Bray-Curtis index (C_N), below diagonal were Sorenson index (C_s).

相似性,结果表明,低量麦秸与高量麦秸处理区,配施猪粪与配施牛粪处理区的相似性极高;低量麦秸处理区与配施猪粪、配施牛粪,纯化肥处理区与对照处理的相似性较高;纯化肥处理区与配施猪粪、牛粪处理区的相似性较低。

根据 Bray-Curtis 相似性指数(C_N)采用 UPGMA 距离法进行聚类分析,得到树状图(图 1)。本研究的 7 种施肥处理对杂草土壤种子库的影响基本可以分为 4 种类型:第一类是低量麦秸与高量麦秸处理区聚在一起,第二类是配施猪粪与配施牛粪处理区聚在一起,第三类是对照与纯化肥处理区聚在一起,另外单独的是休闲处理区。因此可以看出,长期配施麦秸、粪肥均显著影响土壤杂草土壤种子库的结构特征,且麦秸与粪肥品种间差异的影响大于麦秸施用量差异的影响。

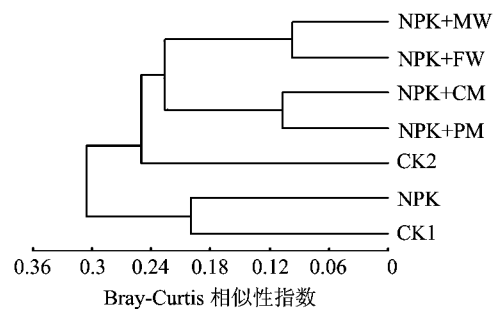


图 1 不同施肥方式下杂草土壤种子库群落的聚类分析(0—15 cm)

Fig. 1 The dendrogram of the weed soil seedbank communities under different fertilization treatments from clustering analysis based on Bray Curtis index (0—15 cm)

3 讨论

3.1 化肥配施有机肥对杂草土壤种子库优势种和密度的影响

本研究结果表明,长期有机-无机肥配施显著影响杂草土壤种子库优势种组成,这与冯伟等^[21]的研究结论相似。本试验中纯化肥处理区种子库以烟台飘拂草和粟米草为主,配施麦秸处理区以粟米草为主,配施粪肥处理区以水苋菜为主,醴肠与野老鹳两个物种在7个施肥处理区无显著性差异。笔者分析认为粟米草、水苋菜、烟台飘拂草对有机肥种类较为敏感,而醴肠与野老鹳或许对土壤养分以及肥料种类不敏感,能较好适应长期低氮、磷、钾素的养分条件,而且在长期的适应过程中可能演化出对这些养分高效吸收或者高效利用机制,因而土壤养分环境对其生长发育的影响不大,表现为种子密度在各施肥处理间无统计学差异。

本研究发现,长期有机-无机肥配施显著降低杂草土壤种子库的总密度,尤其是化肥配施粪肥处理更能有效控制土壤杂草种子库的总密度。进一步分析土壤种子库的物种组成,发现施用麦秸的数量对土壤种子库总密度没有影响,然而却显著影响粟米草、水苋菜种子的密度。配施低量麦秸的粟米草种子密度显著低于高量麦秸处理区,水苋菜种子密度显著高于高量麦秸处理区。这里发现粟米草与水苋菜对麦秸施用量的响应研究结果尚属首次发现,对于指导我国旱地轮作区科学秸秆还田,兼顾控制优势杂草的危害和保护杂草生物多样性具有重要意义。

3.2 化肥配施有机肥对杂草土壤种子库多样性的影响

从本研究结果可以看出,长期有机-无机肥配施可以降低物种丰富度,并且将物种多样性和均匀度指数维持在休闲与纯化肥处理区之间(1.5~2.0之间和0.6~0.8之间);长期配施麦秸、粪肥处理均显著影响土壤杂草土壤种子库的结构特征,且麦秸与粪肥品种间差异的影响大于麦秸施用量差异的影响。笔者分析认为,可能因为有机肥的种类和施肥量改变了土壤养分条件^[13],对在作物-杂草系统中处于绝对优势地位作物的生长发育产生极大影响,进而影响田间光照透过率、杂草可利用的土壤养分资源与空间资源等,改变作物与杂草之间的竞争关系,抑制杂草的生长,影响杂草群落^[8,18-20]及其演替过程^[8,17];杂草对环境适应能力也存在差异,

影响杂草群落的演替;秸秆还田影响幼苗采光^[33],对杂草种子的萌发具有一定的抑制作用;粪肥转化过程中产生的有机酸在一定程度上可改变土壤的酸碱度^[34],影响杂草种子的萌发。地面杂草群落与土壤种子库的相互作用,影响杂草种子库的输入与输出,表现为不同施肥处理区土壤种子库的结构及其生物多样性差异显著。这与古巧珍等^[18]、李昌新等^[14]、以及张志铭等^[35]研究地面杂草群落时认为长期的不同施肥量和肥料品种的搭配使土壤养分结构发生变化,杂草长期适应土壤条件及与作物竞争的结果影响杂草的群落结构和生物多样性的结论相似,然而关于配施不同种类以及不同施用量的有机肥对农田杂草土壤种子库多样性的作用机理尚需进一步研究。

4 结论

长期有机-无机肥配施显著影响土壤中杂草种子的分布特征,使得优势种组成较为单一,土壤种子库的密度和物种丰富度显著降低,并且将物种多样性和均匀度指数维持在休闲与纯化肥处理之间;长期配施麦秸、粪肥的处理均显著影响土壤杂草土壤种子库的结构特征,且麦秸与粪肥品种间差异的影响大于麦秸施用量差异的影响。因此本研究认为,有机-无机肥配施既有利于作物的优质高产,也可以通过调整有机肥种类以及施用量来调控农田杂草土壤种子库,实现经济效益和生态效益的双赢。

参考文献:

- [1] 强胜. 杂草学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2001. 244-247.
Qiang S. Weed science[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2001. 244-247.
- [2] Harper J L. Population biology of plants[M]. London: Academic Press, 1977. 256-263.
- [3] Decaens T, Mariani L, Betancourt N, Jimenez J J. Seed dispersion by surface casting activities of earthworms in Colombian grasslands[J]. Acta Oecol.-Intern. J. Ecol., 2003, 24(4): 175-185.
- [4] 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.
Wei S H, Qiang S, Ma B et al. Soil weed seed bank and integrated weed management[J]. Soils, 2005, 37(2): 121-128.
- [5] Buhler D D, Liebman M, Obrycki J J. Theoretical and practical challenges to an IPM approach to weed management[J]. Weed Sci., 2000, 48: 274-280.
- [6] Andreasen C, Skovgaard I M. Crop and soil factors of importance for the distribution of plant species on arable fields in Denmark[J]. Agric., Ecosyst. Environ., 2009, 133: 61-67.

- [7] Smith R G, Mortensen D A, Ryan M R. A new hypothesis for the functional role of diversity in mediating resource pools and weed-crop competition in agroecosystems[J]. *Weed Res.*, 2010, 50: 37-48.
- [8] 汤雷雷, 万开元, 陈防. 养分管理与农田杂草生物多样性和遗传进化的关系研究进展[J]. *生态环境学报*, 2010, 19(7): 1744-1749.
Tang L L, Wan K Y, Chen F. Advances in studies on weeds biodiversity and genetic evolution in farmland in relation to nutrient management[J]. *Ecol. Environ. Sci.*, 2010, 19(7): 1744-1749.
- [9] 李儒海, 强胜, 邱多生, 等. 长期不同施肥方式对稻油两熟制油菜田杂草群落多样性的影响[J]. *生物多样性*, 2008, 16(2): 118-125.
Li R H, Qiang S, Qiu D S *et al.* Effects of long-term fertilization regimes on the diversity of weed communities in oilseed fields under rice-oilseed rape cropping system[J]. *Biodiv. Sci.*, 2008, 16(2): 118-125.
- [10] 强胜. 我国杂草学研究现状及其发展策略[J]. *植物保护*, 2010, 36(6): 1-5.
Qiang S. Current status and development strategy for weed science in China[J]. *Plant Protect.*, 2010, 36(6): 1-5.
- [11] Conn J S, Werdin N R, Beattie K L. Development of the Alaska agricultural weed flora 1981-2004: a case for prevention[J]. *Weed Res.*, 2011, 51: 63-70.
- [12] 沈裕璇, 黄相国, 王海庆. 秸秆覆盖的农田效应[J]. *干旱地区农业研究*, 1998, 16(1): 45-50.
Shen Y H, Huang X G, Wang H Q. Field effects of straw mulching[J]. *Agric. Res. Arid Areas*, 1998, 16(1): 45-50.
- [13] 樊羿. 有机肥资源利用现状调查与施用有机肥对土壤环境的影响研究[D]. 郑州: 河南农业大学硕士学位论文, 2006. 2-4.
Fan Y. The state of organic manure utilization in present and its effects to soil environment[D]. Zhengzhou: Ms thesis, Henan Agricultural University, 2006. 2-4
- [14] 李昌新, 赵锋, 芮雯奕, 等. 长期秸秆还田和有机肥施用对双季稻田冬春季杂草群落的影响[J]. *草业学报*, 2009, 18(3): 142-147.
Li C X, Zhao F, Rui W Y *et al.* The long-term effects of returning straw and applying organic fertilizer on weed communities in a paddy field with a double rice cropping system[J]. *Acta Pratac. Sin.*, 2009, 18(3): 142-147.
- [15] Guo J H, Liu X J, Zhang Y *et al.* Significant acidification in major Chinese croplands[J]. *Science*, 2010, 327: 1008-1010.
- [16] Storkey J, Moss S R, Cussans J W. Using assembly theory to explain changes in a weed flora in response to agricultural intensification[J]. *Weed Sci.*, 2010, 58: 39-46.
- [17] 李儒海, 强胜, 邱多生, 等. 长期不同施肥方式对稻油轮作制水稻田杂草群落的影响[J]. *生态学报*, 2008, 28(7): 3236-3243.
Li R H, Qiang S, Qiu D S *et al.* Effects of long-term fertilization regimes on weed communities in paddy fields under rice-oilseed rape cropping system[J]. *Acta Ecol. Sin.*, 2008, 28(7): 3236-3243.
- [18] 古巧珍, 杨学云, 孙本华, 等. 不同施肥条件下黄土表地杂草生物多样性[J]. *应用生态学报*, 2007, 18(5): 1038-1042.
Gu Q Z, Yang X Y, Sun B H *et al.* Weed biodiversity in winter wheat field of loess soil under different fertilization regimes[J]. *Chin. J. Appl. Ecol.*, 2007, 18(5): 1038-1042.
- [19] Yin L C, Cai Z C, Zhong W H. Changes in weed community diversity of maize crops due to long-term fertilization[J]. *Crop Prot.*, 2006, 25(9): 910-914.
- [20] Wan K Y, Tao Y, Li H R *et al.* Influences of long-term different types of fertilization on weed community biodiversity in rice paddy fields[J]. *Weed Biol. Manag.*, 2012, 12: 12-21.
- [21] 冯伟, 潘根兴, 强胜, 等. 长期不同施肥方式对稻油轮作田土壤杂草种子库多样性的影响[J]. *生物多样性*, 2006, 14(6): 461-469.
Feng W, Pan G X, Qiang S *et al.* Influences of long-term fertilization on soil seed bank diversity of a paddy soil under rice-rape rotation[J]. *Biodiv. Sci.*, 2006, 14(6): 461-469.
- [22] 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.
Niu Y Z, Li F B, Liu J G *et al.* Straw and different tillage methods on rice-wheat rotation field soil weed seed bank[J]. *Jiangsu Agric. Sci.*, 2008, (1): 79-81.
- [23] 黄茂林, 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.
Huang M L, Liang Y L, Zhou M J *et al.* The soil seed bank characteristics in cropland under different conservation tillage and fertilization regimes in Loess Hill and Gully Region[J]. *Acta Ecol. Sin.*, 2009, 29(7): 3987-3994.
- [24] Roberts H A, Ricketts M E. Quantitative relationships between the weed flora after cultivation and the seed population in the soil[J]. *Weed Res.*, 1979, 19: 269-275.
- [25] 中华人民共和国农业部农药检定所, 日本国财团法人日本植物调节剂研究协会. 中国杂草原色图鉴[M]. 北京: 中华人民共和国农业部农药检定所, 日本国股份公司全国农村教育协会, 2000.
Institute for the control of agrochemicals of China, Japan Association for Advancement of Phyto-Regulators. Chinese colored weed illustrated book [M]. Beijing: Institute for the control of agrochemicals of China, National rural education association, stock company in Japan, 2000.
- [26] Brenchley W E, Warington K. The weed seed population of arable soil I. Numerical estimation of viable seeds and observations on their natural dormancy[J]. *Ecology*, 1930, 10: 235-272.
- [27] Brenchley W E, Warington K. The weed seed population of arable soil II. The influence of crop, soil and methods of cultivation upon the relative advance of viable seeds [J].

- Ecology, 1933, 21: 103-127.
- [28] Brenchley W E, Warington K. The weed seed population of arable soil III. The establishment of weed species after reduction by following[J]. Ecology, 1936, 24: 479-501.
- [29] 马克平, 刘玉明. 生物群落多样性的测度方法 I. α 多样性的测度方法(下)[J]. 生物多样性, 1994, 2(4): 231-239.
Ma K P, Liu Y M. Measurement of biotic community diversity I. α diversity (Part 2) [J]. Biodiv. Sci., 1994, 2(4): 231-239.
- [30] 马克平, 刘玉明. 生物群落多样性的测度方法 II. β 多样性的测度方法[J]. 生物多样性, 1995, 3(1): 38-43.
Ma K P, Li Y M. Measurement of biotic community diversity II. β diversity [J]. Biodiv. Sci., 1995, 3(1): 38-43.
- [31] 李博. 生态学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000. 345.
Li B. Ecological[M]. Beijing: Higher Education Press, 2000. 345.
- [32] Whitaker R H. Evolution and measurement of species diversity [M]. Taxon, 1972, 21: 213-251.
- [33] 郭宪, 金玉美, 连海明, 等. 麦秸覆盖对杂草萌发及玉米产量的影响[J]. 安徽农业科学, 2007, 35(9): 2584-2596.
Guo X, Jin Y M, Lian H M *et al.* Effect of wheat stalk covering on weed germination and yield of summer corn [J]. J. Anhui Agric. Sci., 2007, 35(9): 2584-2596.
- [34] 黄治平, 徐斌, 涂德浴. 连续施用猪粪菜地土壤基质化研究[J]. 安徽农业大学学报, 2007, 34(2): 262-264.
Huang Z P, Xue B, Tu D Y. Organic substrate change in the swine manure-applied vegetable soils [J]. J. Anhui Agric. Univ., 2007, 34(2): 262-264.
- [35] 张志铭, 黄绍敏, 叶永忠, 等. 长期不同施肥方式对麦田杂草群落结构及生物多样性的影响[J]. 河南农业科学, 2010, (6): 67-70.
Zhang Z M, Huang S M, Ye Y Z *et al.* The effects of long term different fertilization on community and biodiversity of crop weeds [J]. J. Henan Agric. Sci., 2010, (6): 67-70.