

农田杂草土壤种子库对施肥模式的响应^①

潘俊峰^{1,2}, 万开元¹, 程传鹏¹, 付金玲¹, 章力干²,
李儒海³, 王道中⁴, 陈 防^{1,5*}

(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 湖北省农业科学院植保土肥研究所, 武汉 430064; 4 安徽省农业科学院土壤肥料研究所, 合肥 230031;

5 国际植物营养研究所中国项目部, 武汉 430074)

摘 要:通过对肥料长期定位试验点土壤(0~15 cm)的农田杂草种子库大小、物种组成等特征进行调查,采用主成分分析法(PCA)和典范对应分析法(CCA)探讨了农田杂草土壤种子库对施肥模式的响应。结果表明,该试验地杂草土壤种子库主要以大豆种植季杂草种子为主,施氮肥的处理区杂草种子库密度极显著大于未施氮肥的处理区($P<0.01$);施肥明显降低杂草种类数,尤其是土壤速效磷含量的增大;PCA 结果表明施肥模式引起土壤磷素含量的差异是影响杂草土壤种子库的物种组成的最重要因子,而土壤氮、钾也能在一定程度上对土壤种子库的物种组成产生影响;CCA 结果表明不同种类的杂草种子对施肥模式的响应不同,不同种类的杂草适宜生长在不同的施肥区。本研究认为杂草的适应与竞争机制导致不同种类的杂草对施肥模式的响应不同,同一种杂草在不同施肥模式下种子的密度差异明显,影响农田杂草土壤种子库的物种组成与密度,最终形成各物种组合的杂草群落能够更好地适应环境并最大程度利用环境中的各种资源。

关键词:农田杂草;土壤种子库;施肥模式;土壤养分

中图分类号:S154.1;S451.1

杂草是一类能够在农田等人工生境中不断延续其种群的植物^[1]。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种子的总和^[2],是土壤中种子积聚和持续的结果^[3]和植物种群定居、生存、繁衍和扩散的基础^[4]。杂草土壤种子库作为杂草群落综合体的潜种群阶段^[5],能够反映不同耕作模式下的杂草群落特征^[6],可提供过去农田管理的证据,也能预测未来的杂草问题^[7]。农田杂草土壤种子库规模巨大,对地面杂草的发生具有一定的缓冲作用^[8],并且影响着地上杂草群落的发生、消涨与演替,是农田发生杂草危害的根源^[9]。因此,准确了解杂草土壤种子库对于农田杂草综合管理策略的制定有着十分重要的现实意义。

土壤作为农田生态系统的重要组成部分,是农业可持续发展的基础。土壤养分含量直接影响作物的生长发育,是限制作物生长的主要因素,而施肥则是改善土壤养分的重要措施。同时,杂草对土壤矿质养分有着不同的需求与吸收能力^[10],因此,施肥也必然

影响地面杂草的群落特征^[11–14]。Yin 等^[15]研究表明土壤磷素养分是影响玉米地杂草种群组成最重要的因子,土壤氮素养分与田间地面光照条件也能影响杂草群落的物种组成。Wan 等^[16]研究表明晚稻田土壤中氮、磷、钾以及有机质含量都会影响杂草的群落结构。Nie 等^[17]的研究表明影响晚稻田杂草种群组成的因素主要是土壤速效氮与田间地面光照条件,而土壤速效磷也能在一定程度上对杂草种群组成产生影响。

相对地面杂草群落的研究内容和研究结果而言,施肥对农田杂草土壤种子库影响的研究工作尚且停留在对杂草种类、密度、多样性等方面的调查^[18–19],而关于不同杂草种子对施肥模式的响应研究工作不够深入,专题论述极少。随着现代农业的发展,杂草学家逐渐认识到准确理解农田杂草种子库对不同施肥模式的响应有着十分重要的意义:一方面为农田杂草综合管理策略的制定提供科学基础;另一方面可能发现某些对特定土壤养分有着良好适应性的杂草,揭示其相应生理生态适应机制,为将其运用于农作物品

基金项目:国际植物营养研究所基金项目(IPNI-HB-34)和安徽省自主创新基金项目(11Z0101080)资助。

* 通讯作者(fchen@ipni.ac.cn)

作者简介:潘俊峰(1986—),男,安徽黄山人,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

种改良提供理论依据。为此,本研究选择对一个肥料长期定位试验点进行杂草土壤种子库的调查,研究杂草种子对不同施肥模式的响应,了解土壤养分对农田杂草土壤种子库的影响,为开展下一步的研究工作提供基础数据。

1 材料与方法

1.1 试验概况

本试验于安徽省蒙城县农业部砂姜黑土生态环境重点野外科学观测试验站的肥料长期定位试验监测点进行。该监测点 1994—1998 年进行小麦-玉米轮作,1998 年至今为小麦-大豆轮作。试验共设 5 个处理,即:不施肥(CK),施磷钾肥(PK),施氮磷肥(P),施氮钾肥(NK),施氮磷钾肥(NPK)。试验 N、P₂O₅、K₂O 用量分别为 187.5 kg/hm²、90 kg/hm²、135 kg/hm²。N、P、K 肥分别为含 N 46% 的尿素、含 P₂O₅ 12% 的普通过磷酸钙、含 K₂O 60% 的氯化钾。小区面积 20 m²,3 次重复,随机区组排列。小麦播种时所有肥料一次性底施,后茬作物不施肥。小麦于每年 10 月 20 日左右进行条播,播种密度为 4685 100 粒/hm²;大豆于每年 6 月 15 日左右进行点播,播种密度为 249 800 粒/hm²。冬小麦、大豆生长季分别采用施药量为 120 g/hm² 的苯磺隆甲基和 1 500 g/hm² 的乙草胺化学除草方式 3 次。2010 年 9 月 28 日在每个处理区使用直径 2 cm 的取样器网状取样 30 次,每个处理区分 0~5、5~10、10~15 cm 3 个深度收集全部土壤,获得 45 份土壤样品。

1.2 样品处理

土壤样品自然风干后混匀,取四分之一的土壤样品包裹在 160 目的尼龙纱网中用自来水淘洗,检出动植物残渣,将留下的杂草种子及部分难以洗去的沙砾风干且分别过 20、40、60、80、100、160 目分样筛,得到不同粒径粗细样品 6 份,移至培养皿,置于双目解剖镜(型号:舜宇 SZM-45B2;最大放大倍数 4×10 倍)下观察,采用镊子挤压法检测种子活力^[20],参照《中国杂草原色图鉴》^[21]对杂草种子进行鉴别并计数。

1.3 数据处理

土壤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^[22]。以 15 个处理小区土壤中 12 种常见杂草种子的密度构成原始数据矩阵,应用 SPSS 13.0 软件进行主成分分析,然后以主成分分析所得前两个主分量及其特征值计算 15 个小区的前两个主向量,以此作 15 个施肥处理小区的散点图^[23]。以 5 种处理土壤中 12 种常见杂草种子的密度构成原始数据矩阵,应用 SPSS 13.0 软件进行典范对应分析,然后以每种杂草的前两个主分量作杂草的二维散点图,并在图上标出 5 个施肥处理的中心位置,连接原点与施肥中心位置成一直线,用这些点和直线来表示杂草与施肥处理之间的关系:杂草与某施肥处理的中心点越靠近,且与原点的距离越远,则表示这种杂草越适宜在这种施肥处理下生长^[24]。

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

2 结果与分析

2.1 施肥模式对农田杂草生长环境的影响

施肥模式显著改变了土壤中碱解氮、速效磷、速效钾的含量(表 1)。土壤碱解氮按照 NK>NPK>NP>PK>CK 方向依次递减,施氮肥的处理明显高于未施氮肥的 CK、PK 处理。速效磷含量按照 NP>PK>NPK>NK>CK 方向依次递减,施磷肥的处理极显著高于未施磷肥的 CK、NK 处理($P<0.01$)。速效钾含量按照 NK>PK>NPK>CK>NP 方向依次递减,NP 处理极显著低于其余施肥处理($P<0.01$)。选择作物和杂草都处于生长旺季(2010 年 4 月 22 日以及 2010 年 7 月 28 日)测量地表光照透过率。小麦种植季 2010 年 4 月 22 日的地表光照透过率按照 CK>PK>NK>NP>NPK 方向依次递减,大豆种植季 2010 年 7 月 28 日的地表光照透过率按照 CK>NK>NP>PK>NPK 方向依次递减。结果表明,施肥模式显著影响土壤有效养分的含量以及地表光照透过率等杂草生长环境。

表 1 不同施肥模式下土壤碱解氮、速效磷、速效钾以及地表光照透过率
Table 1 Soil alkali-hydro N, available P, available K and light transmittance in fields under different fertilization patterns

处理	碱解氮 (mg/kg)	速效磷 (mg/kg)	速效钾 (mg/kg)	光照透过率(%)	
				2010-04-22	2010-07-28
CK	63.26 ± 3.86 Bc	0.63 ± 0.13 De	86.21 ± 4.35 Bb	80.66 ± 1.36 Aa	73.27 ± 0.54 Aa
PK	71.14 ± 2.85 ABb	7.65 ± 0.59 Bb	96.39 ± 7.29 Bb	61.87 ± 3.19 Bb	28.74 ± 4.87 Bb
NP	74.72 ± 5.02 Aab	9.42 ± 0.18 Aa	67.08 ± 5.80 Cc	43.06 ± 4.28 CDcd	34.48 ± 3.14 CDcd
NK	79.03 ± 6.70 Aa	1.85 ± 0.19 Cd	114.98 ± 3.78 Aa	51.21 ± 7.53 BCc	54.95 ± 8.46 BCc
NPK	76.25 ± 3.51 Aab	6.91 ± 0.43 Bc	87.49 ± 6.81 Bb	35.51 ± 2.92 Dd	19.31 ± 5.1 Dd

注:同列不同的小写字母表示处理间差异显著($P<0.05$),同列不同的大写字母表示处理间差异极显著($P<0.01$)。

2.2 农田杂草土壤种子库对施肥模式的响应

2.2.1 土壤种子库密度对施肥模式的响应 农田土壤样品中杂草土壤种子库密度分布在 37 933 ~ 122 293 粒/m² 范围(表 1), 共计 18 种, 隶属 11 科, 沿 NPK>NP>NK>CK>PK 顺序依次递减且差异极显著 ($P<0.01$)。其中, 小麦种植季杂草种子的密度在 3 114 ~ 12 314 粒/m² 范围, 共计 6 种, 隶属 5 科, 约占 5.20%~

21.49%, 沿 NK>CK>NP>NPK>PK 顺序依次递减; 大豆种植季杂草种子的密度在 34 820 ~ 115 924 粒/m² 范围, 共计 12 种, 隶属 7 科, 约占 78.51%~94.80%, 沿 NPK>NP>NK>CK>PK 顺序依次递减。结果表明, 该试验地杂草土壤种子库主要以大豆种植季杂草种子为主, 且施氮肥处理区杂草种子库密度极显著大于未施氮肥处理区($P<0.01$)。

表 2 不同施肥模式下农田杂草土壤种子库的物种组成与密度(0~15 cm)(粒/m²)
Table 2 Farmland weed soil seedbank species compositions and densities under different fertilization patterns (0~15 cm)

科	种	CK	PK	NP	NK	NPK
莎草科 (Cyperaceae)	阿穆尔莎草 (<i>Cyperus amuricus</i>)	1 415 ± 1 069 Ab	991 ± 245 Ab	7 360 ± 2 827 Aa	4 246 ± 3 628 Aab	4 105 ± 4 168 Aab
	两歧飘拂草 (<i>Fimbristylis dichotoma</i>)	142 ± 245 Aa	—	—	—	—
	烟台飘拂草 (<i>Fimbristylis stauntonii</i>)	16 277 ± 2 560 Cc	9 059 ± 490 Dd	15 145 ± 1 608 Cc	28 875 ± 1 851 Bb	50 531 ± 1 531 Aa
	异型莎草 (<i>Cyperus difformis</i>)	5 662 ± 1 768 Aa	3 822 ± 1 699 Aa	4 105 ± 2 560 Aa	3 114 ± 649 Aa	5 520 ± 2 942 Aa
	稗 (<i>Echinochloa crusgalli</i>)	142 ± 245 ABb	—	—	—	425 ± 0 Aa
禾本科 (Gramineae)	马唐 (<i>Digitaria sanguinalis</i>)	1 557 ± 1 608 Aa	708 ± 490 Aa	142 ± 245 Aa	1 132 ± 1 961 Aa	849 ± 1 123 Aa
	千金子 (<i>Leptochloa chinensis</i>)	283 ± 490 Aa	—	566 ± 649 Aa	—	283 ± 245 Aa
	玄参科 (<i>Scrophulariaceae</i>)	1 415 ± 649 Aa	425 ± 425 Aa	142 ± 245 Aa	1 274 ± 1 274 Aa	—
玄参科 (Scrophulariaceae)	北水苦荬 (<i>Veronica anagallis-aquatica</i>)	—	425 ± 735 Aa	—	—	—
	波斯婆婆纳 (<i>Veronica persica</i>)	—	425 ± 735 Aa	—	—	—
	陌上菜 (<i>Lindernia procumbens</i>)	9 059 ± 2 415 Cc	14 720 ± 245 ABab	16 277 ± 1 491 ABa	11 323 ± 2 560 BCbc	18 401 ± 2 763 Aa
菊科 (Compositae)	鳢肠 (<i>Eclipta prostrata</i>)	1 982 ± 3 072 Aa	1 415 ± 2 095 Aa	425 ± 735 Aa	2 689 ± 2 827 Aa	3 539 ± 2 137 Aa
粟米草科 (Molluginaceae)	粟米草 (<i>Mollugo pentaphylla</i>)	1 557 ± 884 Cc	2 689 ± 649 Cc	27 176 ± 3 316 Aa	3 539 ± 3 611 Cc	16 419 ± 1 915 Bb
豆科 (Leguminosae)	大巢菜(<i>Vicia sativa</i>)	—	—	—	283 ± 245 Aa	—
千屈菜科 (Lythraceae)	水苋菜 (<i>Ammannia baccifera</i>)	3 255 ± 2 137 Cc	1 415 ± 245 Cc	20 948 ± 1 716 Aa	4 105 ± 981 Cc	15 711 ± 2 364 Bb
鸭跖草科 (Commelinaceae)	水竹叶 (<i>Mllrdannia triguetra</i>)	566 ± 981 Aa	—	—	425 ± 735 Aa	142 ± 245 Aa
牻牛儿苗科 (Geraniaceae)	野老鹳 (<i>Geranium carolinianum</i>)	566 ± 245 Aa	566 ± 245 Aa	1 415 ± 1 297 Aa	283 ± 245 Aa	1 840 ± 1 768 Aa
报春花科 (Primulaceae)	泽星宿菜 (<i>Lysimachia candida</i>)	8 776 ± 884 Aa	425 ± 735 Cc	5 237 ± 1 365 Bb	10 050 ± 1 297 Aa	3 680 ± 649 Bb
茜草科 (Rubiaceae)	猪殃殃 (<i>Galium aparine</i>)	708 ± 490 Bb	1 274 ± 425 ABab	2 123 ± 425 Aa	425 ± 425 Bb	849 ± 425 ABb
小麦季杂草(5 科 6 种)		11 465 ± 1 123 Aab	3 114 ± 490 Cd	8 917 ± 1 946 ABb	12 314 ± 1 851 Aa	6 369 ± 1 531 Bc
大豆季杂草(7 科 12 种)		41 897 ± 8 346 Dd	34 820 ± 1 123 Dd	92 144 ± 3 062 Bb	59 448 ± 10 565 Cc	11 5924 ± 3 677 Aa
总计: 11 科 18 种		53 362 ± 7 834 Dd	37 933 ± 884 Ee	101 062 ± 4 310 Bb	71 762 ± 8 947 Cc	122 293 ± 2 247 Aa

注: “—”表示杂草种子在处理区没有出现; 同行不同小写字母表示处理间差异显著($P<0.05$), 同行不同大写字母表示处理间差异极显著($P<0.01$)。

2.2.2 土壤种子库的物种组成对施肥模式的响应

本研究杂草土壤种子库以莎草科(*Cyperus rotundus*)和玄参科(*Scrophulariaceae*)杂草种子为主, 分别约占土壤种子库的 26.33%~50.50% 与 15.05%~41.05%。

不同施肥模式间杂草土壤种子库优势种组成差异明显。不施肥 CK 处理区杂草种类 16 种, 隶属 10 科, 优势种组成为烟台飘拂草(*Fimbristylis stauntonii*)+陌上菜(*Lindernia procumbens*)+泽星宿菜(*Lysimachia*

candida)+异型莎草(*Cyperus difformis*), PK 处理区杂草种类 11 种, 隶属 9 科, 优势种组成为陌上菜+烟台飘拂草+异型莎草, NP 处理区杂草种类 11 种, 隶属 9 科, 优势种组成为粟米草(*Mollugo pentaphylla*)+水苋菜(*Ammannia baccifera*)+陌上菜+烟台飘拂草, NK 处理区杂草种类 14 种, 隶属 11 科, 优势种组成为烟台飘拂草+陌上菜+泽星宿菜, NPK 处理区杂草种类 14 种, 隶属 10 科, 优势种组成为烟台飘拂草+泽星宿菜+粟米草+水苋菜。物种数按 CK>NK=NPK>PK=NP 方向依次递减, 下降趋势与土壤速效磷含量增加的趋势基本一致。结果表明, 施肥明显降低杂草种类数, 尤其是土壤速效磷含量的增大, 而土壤氮、钾也能在一定程度上对土壤种子库物种组成产生影响。

除去两歧飘拂草(*Fimbristylis dichotoma*)、稗(*Echinochloa crusgalli*)、千金子(*Leptochloa chinensis*)、波斯婆婆纳(*Veronica persica*)、大巢菜(*Vicia sativa*)以及水竹叶(*Millrdannia trigueta*)等 6 个偶见物种, 以 15 个处理小区土壤中的 12 种常见杂草种子密度构成原始数据矩阵进行主成分分析, 主成分 1 与主成分 2 的方差累积贡献率为 54.35%(图 1)。15 个施肥处理小区的杂草土壤种子库可以分为两大类: 第一类是集中分布在第一、二、四象限的 PK、NP、NPK 处理区, 第二类是集中分布在第三象限的 CK 与 NK 处理区, 即不施磷素的处理小区。结果表明, 施肥模式引起土壤磷素含量的差异是影响杂草土壤种子库物种组成的最重要因子, 而土壤氮、钾也能在一定程度上对土壤种子库物种组成产生影响。

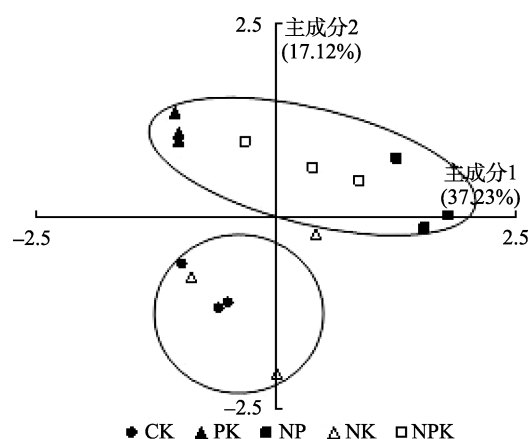


图 1 15 个施肥处理小区杂草土壤种子库的主成分分析
Fig. 1 PCA ordination diagram of weed soil seedbank in 15 fertilization treatment plots

2.3 不同杂草种子对施肥模式的响应

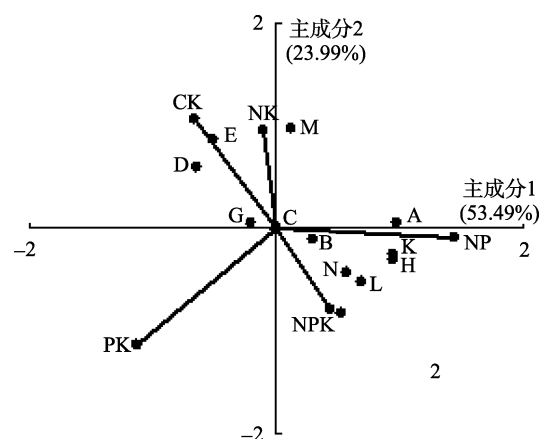
2.3.1 杂草种子的分布对施肥模式的响应 本研究的土壤种子库(表 1) 阿穆尔莎草(*Cyperus amuricus* Maxim)、烟台飘拂草(*Fimbristylis stauntonii*)、异型莎草(*Cyperus difformis*)、马唐(*Digitaria sanguinalis*)、陌

上菜(*Lindernia procumbens*)、鳢肠(*Eclipta prostrate*)、粟米草(*Mollugo pentaphylla*)、水苋菜(*Ammannia baccifera*)、野老鹳(*Geranium carolinianum*)、泽星宿菜(*Lysimachia candida*)以及猪殃殃(*Galium aparine*)11 个物种在 5 个处理均出现; 而两歧飘拂草(*Fimbristylis dichotoma*)、波斯婆婆纳(*Veronica persica*)以及大巢菜(*Vicia sativa*)3 个物种分别只在 CK、PK 和 NK 施肥处理区出现; 稗(*Echinochloa crusgalli*)在 CK 和 NPK 两个处理区出现; 千金子(*Leptochloa chinensis*)在 CK、NK、NPK 3 个处理区出现; 水竹叶(*Millrdannia trigueta*)在 CK、NK、NPK 3 个处理区出现; 北水苦蕒(*Veronica anagallis-aquatica*)在除 NPK 外的 4 个处理区均出现。结果表明, 不同种类的杂草种子对施肥模式的响应不同。

2.3.2 主要杂草种子的密度对施肥模式的响应

同一种杂草在不同施肥模式下种子的密度差异明显(表 1)。阿穆尔莎草在 NP 处理中显著大于其他施肥处理($P < 0.05$); 烟台飘拂草在 NPK 处理中显著大于其他施肥处理($P < 0.05$), 在 PK 处理中显著小于其他施肥处理($P < 0.05$); 陌上菜在 NPK 处理中显著大于其他施肥处理($P < 0.05$), 而在 CK 处理中显著小于其他施肥处理($P < 0.05$); 粟米草在 NP 处理中显著大于其他施肥处理($P < 0.05$); 水苋菜在 NP 处理中显著大于其他施肥处理($P < 0.05$); 猪殃殃在 NP 处理中显著大于其他施肥处理($P < 0.05$); 泽星宿菜在 NK 与 CK 处理中显著大于其他施肥处理($P < 0.05$), 在 PK 处理中显著小于其他施肥处理($P < 0.05$); 异型莎草、马唐、鳢肠、野老鹳在各处理间无显著性差异。

以本研究土壤样品中 12 种常见杂草种子密度构成原始数据矩阵进行典范对应分析, 主成分 1 与主成分 2 的方差累积贡献率为 77.48%(图 2)。结果显示:



(A: 阿穆尔莎草; B: 烟台飘拂草; C: 异型莎草; D: 马唐; E: 北水苦蕒; F: 陌上菜; G: 鳢肠; H: 粟米草; K: 水苋菜; L: 野老鹳; M: 泽星宿菜; N: 猪殃殃)

图 2 12 种杂草与施肥模式的典范对应分析

Fig. 2 Canonical correspondence analysis of weed species and fertilization patterns

各杂草对不同施肥模式有不同的适应性:马唐、北水苦苣比较适宜在不施肥区生长,泽星宿菜、醴肠比较适宜在 NK 处理区生长,阿穆尔莎草、粟米草、水苋菜比较适宜在 NP 处理区生长,烟台飘拂草、异型莎草、陌上菜、野老鹳、猪殃殃比较适应在 NPK 处理区生长。

3 讨论

3.1 土壤种子库对土壤养分的响应

本研究结果表明随土壤中速效磷含量的增大,杂草土壤种子库的物种数明显减少,而土壤氮、钾也能在一定程度上对土壤种子库物种组成产生影响。以往的研究表明磷素可以显著影响植物的光合作用、呼吸作用及生物合成过程^[25-27]。生长在缺磷土壤上的植株生长延缓,植株矮小,分枝或分蘖减少,叶片的光合效率低,结实状况比较差。本试验中 CK 与 PK 处理区的土壤速效磷含量极显著低于其他施肥处理区,该处理区杂草的生长发育都受到影响。土壤中氮、磷、钾等养分条件可以直接影响作物的生长发育,改变田间的透光率,影响杂草的光照条件,直接影响杂草种子的萌发和地面杂草群落的演替,从而间接影响土壤中杂草种子的分布。此外,还存在着作物与杂草、杂草与杂草之间的竞争作用,生态位较窄的杂草种类(如本研究中只在 CK 处理区出现的两歧飘拂草、PK 处理区出现的波斯婆婆纳等)可能无法适应环境的变化而逐渐被淘汰,有着良好适应性的杂草种类(如本研究中的优势种烟台飘拂草、陌上菜、水苋菜等)可能继续生存,最终形成各种物种组合的杂草群落能够更好地适应环境并最大程度利用环境中的各种资源。

3.2 主要杂草种子对土壤养分状况的响应

研究认为杂草的发生、发展一方面与肥料密切相关,另一方面不同种类的杂草耐瘠薄能力不同,杂草各自的需肥特性也不同^[10, 28],且不同施肥模式下田间杂草竞争状况各异,导致不同施肥模式下杂草群落结构的差异。同一种杂草在不同施肥模式下产生的种子数量也存在差异,影响土壤中主要杂草种子的密度与分布。本研究调查发现阿穆尔莎草、烟台飘拂草、粟米草、水苋菜的种子密度在施用氮肥的处理区密度显著大于未施氮肥的 CK 与 PK 处理区,初步认为这 4 个物种比较适宜在施氮肥的环境中生长。这也是施氮肥的处理区杂草土壤种子库总密度显著大于未施氮肥处理区的主要原因。

本研究同时也发现醴肠种子密度在 NPK 处理区明显大于其他施肥处理区,典范对应分析结果却表明

比较适宜在 NK 处理区生长;猪殃殃种子密度在 NP 处理区显著大于其他施肥处理区,典范对应分析结果却表明比较适宜在 NPK 处理区生长。这些结果的不一致性很令人费解,是否由于杂草间的相互作用,如一种杂草的出现对其他种类杂草的发生、群落的演替起到抑制作用?或是因为杂草种子的密度在某种施肥处理下显著小于其他处理,但是在该处理中该物种的个体数量还是显著大于其他杂草物种的个体数量,影响数据分析的结果?比如本研究中 CK 处理区陌上菜的种子密度显著小于 NPK 处理区的($P < 0.01$),但却接近 CK 处理区种子库总密度的五分之一。目前现有的研究难以做出科学合理的解释,期待进一步的研究去解开谜团,这也是我们今后工作的重点和方向。

3.3 杂草地上群落和地下土壤种子库对土壤养分的响应

对比 2009 年至 2012 年期间内的试验区杂草地上群落和地下土壤种子库时发现,土壤种子库的密度远大于地上杂草的发生量;某些杂草在种子库中占很大比例,然而地上杂草群落的发生规模却不大(例如烟台飘拂草、粟米草等);有些虽然种子库中数量很少,但是在地上杂草群落中处于优势地位,危害性很强(例如猪殃殃、大巢菜等)。表面上地上部分杂草群落与地下杂草种子库的联系不确定,李伟伟^[29]曾指出人为因素、地理环境等影响地上部杂草和种子库之间存在的差异。尹力初和蔡祖聪^[30]研究地上杂草群落时也得出土壤速效磷是影响地面杂草群落组成的最重要因素。本研究也表明土壤速效磷含量是影响杂草土壤种子库物种组成的最重要因子,然而这是否意味着土壤中速效磷含量对地上杂草群落和地下土壤种子库的作用机制相同呢?笔者认为杂草作为 r -对策者的典型代表,有很强的适应性和进化性,可能地上杂草群落与地下土壤种子库对土壤养分的响应机制不同,而且每种杂草本身的生物学特征也各异,造成杂草对土壤养分响应机制的多样化。当然,这需要进一步的研究验证。

参考文献:

- [1] 强胜. 杂草学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2008: 2-3
- [2] Leck MA, Simpon RL. Ecology of soil seed banks [M]. San Diego: Academic Press, 1989: 149-209
- [3] Decaens T, Mariani L, Betancourt N, Jimenez JJ. Seed dispersion by surface casting activities of earthworms in Colombian grasslands [J]. Acta Oecologica-International Journal of Ecology, 2003, 24(4): 175-185
- [4] 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势[J]. 土壤, 2012, 44(4): 562-569

- [5] Harper JL. Population Biology of Plants [M]. London: Academic Press, 1977: 256–263
- [6] 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[M]. 植物资源与环境学报, 2012, 21(1): 1–13
- [7] 李岗. 江苏省稻田潜显性杂草群落特征及新型稻田除草剂 LGC-42153 应用技术研究(硕士学位论文)[D]. 南京: 南京农业大学, 2003: 30
- [8] 马波. 江苏省农田杂草综合体及其复配除草剂筛选控制的研究(硕士学位论文)[D]. 南京: 南京农业大学, 2004: 59
- [9] 魏守辉, 强胜, 马波, 韦继光. 土壤杂草种子库与杂草综合管理[J]. 土壤, 2005, 37(2): 121–128
- [10] 李照全. 农田管理措施对红壤稻田土壤养分及杂草种群的影响(硕士学位论文)[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2008: 5
- [11] 李儒海, 强胜, 邱多生, 储秋华, 潘根兴. 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
- [12] 李儒海, 强胜, 邱多生, 储秋华, 潘根兴. 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
- [13] 戴晓琴, 欧阳竹, 李运生. 耕作措施和施肥方式对麦田杂草密度和生物量的影响[J]. 生态学杂志, 2011, 30(2): 234–240
- [14] 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): 1 744–1 749
- [15] Yin LC, Cai ZC, Zhong WH. Changes in weed community diversity of maize crops due to long-term fertilization [J]. Crop Protection, 2006, 25(9): 910–914
- [16] Wan KY, Tao Y, Li RH, Pan JF, Tang LL, Chen F. Influences of long-term different types of fertilization on weed community biodiversity in rice paddy fields[J]. Weed biology and management, 2012, 12: 12–21
- [17] Nie J, Yin LC, Liao YL, et al. Weed community composition after 26 years of fertilization of late rice[J]. Weed Science, 2009, 57: 256–260
- [18] 黄茂林, 梁银丽, 周茂娟, 韦泽秀, 吴燕. 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): 3 987–3 994
- [19] 万开元, 潘俊峰, 李儒海, 王道中, 汤雷雷, 陈防. 长期施肥对旱地土壤杂草种子库生物多样性影响的研究[J]. 生态环境学报, 2010, 19(4): 836–842
- [20] Barberi P, Cozzani A, Macchia M, Bonari E. Size and composition of the weed seed bank under different management systems for continuous maize cropping[J]. Weed Research, 1998, 38: 319–334
- [21] 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]. 中国: 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
- [22] Brenchley WE, Warrington 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
- [23] Derksen DA, Lafond GP, Thomas GJ, Loepky HA, Swanton C. Impact of agronomic practices on weed communities: Tillage systems[J]. Weed Science, 1993, 41: 409–417
- [24] Barberi P, Silvestri N, Bonari E. Weed communities of winter wheat as influenced by input level and rotation[J]. Weed Research, 1997, 37(5): 301–313
- [25] 蔡柏岩, 葛菁萍, 祖伟. 磷素水平对不同大豆品种产量和品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2008, 14(1): 65–70
- [26] 赵静, 刘嘉儿, 严小龙, 廖红. 磷有效性对大豆碳代谢的生理调控及基因型差异[J]. 华南农业大学学报, 2010, 31(3): 1–4
- [27] 谢甫绶, 孙海妹, 张惠君, 王海英, 敖雪, 于翠梅, 程海涛. 磷素对不同品质类型大豆光合生理的影响[J]. 大豆科学, 2012, 31(2): 232–236
- [28] 张学友, 金丽华, 陈柏森, 韩娟, 冒宇翔. 氮磷钾对杂草生长影响的研究[J]. 西北农林科技大学学报, 2003, 31(2): 109–111
- [29] 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(硕士学位论文)[D]. 南京: 南京农业大学, 2005: 41
- [30] 尹力初, 蔡祖聪. 长期不同施肥对玉米田间杂草种群组成的影响[J]. 土壤, 2005, 37(1): 56–60

Responses of Farmland Weed Soil Seed Bank to Different Fertilization Patterns

PAN Jun-feng^{1,2}, WAN Kai-yuan¹, CHENG Chuan-peng¹, FU Jin-ling¹, ZHANG Li-gan²,
LI Ru-hai³, WANG Dao-zhong⁴, CHEN Fang^{1,5*}

(1 Key Laboratory of Aquatic Botany and Watershed Ecology, Chinese Academy of Sciences Wuhan Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430074, China; 2 College of Resources and Environment, Anhui Agricultural University, Hefei 230036, China; 3 Institute of Plant Protection and Soil Science, Hubei Academy of Agricultural Sciences, Wuhan 430064, China; 4 Institute of Soil and Fertilizer, Anhui Academy of Agricultural Sciences, Hefei 230031, China; 5 China Program of International Plant Nutrition Institute, Wuhan 430074, China)

Abstract: The soil seed bank (0~15cm) of weed in a long-term fertilizer experiment was surveyed. Its density and species composition were analyzed by PCA and CCA, and the responses of the soil seed bank to different fertilization patterns were explored. The results showed that the weed in soybean growing season was the main contributor for the soil seed bank of this experimental field. The density of soil seed bank in plots applied N were bigger than that in plots without N. Fertilization significantly reduced the number of weed species, especially the increase of the available P. The results of PCA showed that soil available P was the most influential factor compared to N and K. Soil alkali-hydro N and available K partially showed effect on the weed species composition. The results of CCA showed that weed grew at different fertilization treatments and showed different response to fertilization patterns. Our preliminary results revealed that the mechanism of adaptation and competition might lead to different responses of weed soil seed bank in different fertilization patterns. The same weed seed's density in different fertilization patterns were differed obviously which significantly affected the density and species composition of the soil seed bank. Weed community ultimately forming which was combined by various species can use the environmental resources furthest.

Key words: Farmland weed, Soil seed bank, Fertilization patterns, Soil nutrient