

DOI: 10.20103/j.stxb.202302100228

曹涛,王淘,周高子,周童露,姬程阳,金春连,刘琦,周伟,邓飞,任万军,陈勇.川西平原五种水旱轮作模式旱作季杂草群落特征.生态学报,2024,44(3):1273-1283.

Cao T, Wang T, Zhou G Z, Zhou T L, Ji C Y, Jin C L, Liu Q, Zhou W, Deng F, Ren W J, Chen Y. Weed community characteristics during upland crop season under five paddy-upland rotations in the western Sichuan Plain. Acta Ecologica Sinica, 2024, 44(3): 1273-1283.

川西平原五种水旱轮作模式旱作季杂草群落特征

曹 涛,王 淘,周高子,周童露,姬程阳,金春连,刘 琦,周 伟,邓 飞,任万军,
陈 勇*

四川农业大学农学院/农业农村部西南作物生理生态与耕作重点实验室,温江 611130

摘要:为明确不同水旱轮作模式对川西平原旱作季杂草群落特征的影响,从而为旱作季杂草的高效防控提供理论依据。基于大蒜-水稻(GR)、小麦-水稻(WR)、蚕豆-水稻(BR)、油菜-水稻(RR)和马铃薯-水稻(PR)五种水旱轮作的长期定位试验,在2022年旱季采用生态学方法探究了不同水旱轮作模式下旱作季农田杂草种类、密度、株高、生物量等杂草群落结构和物种多样性特征。结果表明:(1)五种轮作模式下杂草田间密度表现为WR>BR>RR>GR>PR,生物量表现为WR>BR>GR>RR>PR,物种多样性表现为GR>BR>RR>PR>WR,物种均匀度表现为GR>PR>BR>RR>WR,群落优势度表现为WR>PR>RR>BR>GR,表明GR杂草群落稳定性最高,WR杂草群落稳定性最低且优势物种发生危害的程度最高,RR的杂草种类数少且不易发生危害;(2)五种水旱轮作模式杂草群落相似性较高,相似性指数在0.69—0.84之间,WR杂草生活型以一年生单子叶杂草为主,其余四种模式以一年生双子叶杂草为主;(3)WR优势杂草种类最少,为禾本科棒头草(*Polypogon fugax* Nees ex Steud),其重要值为59.53%;BR优势杂草种类最多,为棒头草、蔊菜(*Rorippa indica* (L.) Hiern)、毛茛(*Ranunculus japonicus* Thunb)和通泉草(*Mazus japonicus* (Thunb.) O. Kuntze);GR优势杂草为苣荬菜(*Sonchus wightianus* DC)和猪殃殃(*Galium spurium* L);RR和PR优势杂草均为三种,都包括为棒头草和蔊菜。因此,以确保旱作季杂草能得到有效控制,不同水旱轮作模式应制定不同的杂草防控措施。GR和PR应重点控制以猪殃殃为代表的双子叶杂草,WR应着重控制以棒头草等为代表的单子叶杂草,BR和RR应注重繁殖力强的单双子叶杂草的综合防治。

关键词:川西平原;杂草群落;水旱轮作;物种多样性;优势杂草

Weed community characteristics during upland crop season under five paddy-upland rotations in the western Sichuan Plain

CAO Tao, WANG Tao, ZHOU Gaozi, ZHOU Tonglu, JI Chengyang, JIN Chunlian, LIU Qi, ZHOU Wei, DENG Fei, REN Wanjuan, CHEN Yong*

College of Agronomy, Sichuan Agricultural University/Key Laboratory of Crop Ecophysiology and Farming Systems in Southwest China, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Wenjiang 611130, China

Abstract: Clarifying the effects of different paddy-upland rotation patterns on the characteristics of weed communities in upland crop season in West Sichuan Plain can provide an important theoretical guidance for weed efficient control. Based on a long-term experiment of five paddy-upland rotations, including garlic-rice (GR), wheat-rice (WR), broad bean-rice (BR), rape-rice (RR), and potato-rice (PR), the weed community structure and species diversity characteristics, including the weed species, density, plant height, biomass, and other related indicators of different paddy-upland rotations were investigated by ecological method in the upland season of 2022. The results showed that: (1) under the five rotation

基金项目:“十四五”国家重点研发计划课题(2022YFD1100204);四川省育种攻关项目(2021YFYZ0005)

收稿日期:2023-02-10; 网络出版日期:2023-11-08

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: xnchengyong@gmail.com

systems, the density of weeds was ordered by $WR > BR > RR > GR > PR$, while the biomass order was $WR > BR > GR > RR > PR$. Species diversity was ordered by $GR > BR > RR > PR > WR$, species evenness was ordered by $GR > PR > BR > RR > WR$, and the community dominance was ordered by $WR > PR > RR > BR > GR$. These results indicated that the stability of weed community was the highest under GR and lowest under WR, but the degree of damage of dominant species was the highest under WR, and also, the quantity of weed species under RR was small and not easy to harm. (2) The Bray-Curtis similarity index of weed communities in the five paddy-upland rotations was high, which was between 0.69 and 0.84. Annual monocotyledonous weeds were the dominant weed life form under WR, while that of the other four systems were annual dicotyledonous weeds. (3) The kind of dominant weed under WR was the least, which was *Polypogon fugax* Nees ex Steud, and its importance value was 59.53%. BR had the most kinds of dominant weed species, which contained *Polypogon fugax* Nees ex Steud, *Rorippa indica* (L.) Hiern, *Ranunculus japonicus* Thunb, and *Mazus japonicus* (Thunb.) O. Kuntze. The dominant species under GR was *Sonchus oleraceus* DC and *Galium spurium* L. There were three dominant weeds under RR and PR, both of which included *Polypogon fugax* Nees ex Steud and *Rorippa indica* (L.) Hiern. To ensure effective weed management in upland crop systems, it is important to tailor the control measures to the specific paddy-upland rotation system in question. For instance, in GR and PR systems, the emphasis should be on managing fast-growing weeds such as *Galium spurium* L. In WR system, monocotyledonous weeds like *Polypogon fugax* Nees ex Steud should be the main target for control measures. Similarly, in BR and RR systems, the effective weed management should focus on controlling both monocotyledonous and dicotyledonous weeds with strong fecundity.

Key Words: western Sichuan Plain; weed community; paddy-upland rotations; biodiversity; dominant weed

杂草是农业生态系统中的重要生物组成部分^[1],具有维持生态平衡和影响农田生产力的双重效应^[2]。尽管前人研究发现杂草多样性有控制农业害虫、减轻环境污染等功能^[3];但较多研究表明,在农业生产中杂草与作物争夺光照、生存空间、土壤养分与水分资源^[4],影响作物生长导致减产^[5],是农田生态系统生产力提升的重要制约因素。杂草的双重作用代表了一种具有挑战性的权衡,防控时既要防止农田生态平衡被破坏^[6],又要确保杂草对作物生产力的影响最小化^[7]。前人研究发现杂草的多样性、结构和分布不仅影响生态过程,而且影响杂草的管理策略^[8]。因此,了解杂草群落特征并制定相应管理措施是提升生产力和维持生态平衡的关键。

前人研究表明杂草群落组成和草害发生程度受耕作制度^[9]、施肥方式^[10]、灌溉方式^[11]和除草方式^[12]等多方面因素的影响。轮作制度和作物种类是影响杂草群落组成的两大主要因素^[13-14],轮作制度通过作物的轮换种植给杂草提供了多样化的选择压力,限制对连作系统有良好适应性的杂草种类生长,进而影响杂草种子库的组成和密度^[15];同时,由于作物相较杂草更具资源竞争优势且不同作物对资源的竞争强度有差异,因此作物种类是影响杂草群落结构的一个主要原因^[16]。

水旱轮作是我国南方重要的作物种植制度,具有提高复种指数、减少作物病虫害等缺点^[17]。稻季土壤淹水可以大幅降低杂草的萌发,在一定程度上抑制稻作季杂草发生危害^[18],因此旱作季是水旱轮作系统杂草发生危害的主要作物季。前人研究主要以单一轮作模式为对象,探讨特定栽培措施下杂草的发生特征和防治措施,其结论有一定的局限性。而不同水旱轮作模式受作物种类和栽培措施的影响,杂草群落特征和管理方式也应有所差异,但目前仍缺乏相关方面的研究。因此,本研究基于田间长期定位试验,以连续进行 8 年后的五种水旱轮作模式为研究对象,探讨在常规杂草管理水平下旱作季杂草群落特征及其物种多样性,以期对川西平原水旱轮作系统旱作季杂草的高效防控提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究地区概况

试验地点位于四川省崇州市四川农业大学现代农业研发基地(30°33'N, 103°38'E),地处川西平原都江堰

灌区,属亚热带湿润季风气候。该区年平均气温 15.9℃,平均降雨量 1012.4 mm,平均日照时数为 1161.5 h。本试验在开始于 2014 年 9 月的水旱轮作长期定位试验田进行,2022 年 3 月开展杂草群落调查,此时杂草处于盛花期,具有较强代表性。2021 年水稻收割后,各轮作模式 0—20 cm 耕层土壤基础肥力如表 1 所示。

表 1 2021 年各轮作模式水稻收获后土壤理化性质

Table 1 Physical and chemical properties of soil in each rotation system after rice harvest in 2021							
处理 Treatment	土层深度 Soil depth/cm	土壤容重 Soil bulk/ (g/cm ³)	pH	有机碳 Organic C/ (g/kg)	全氮 Total N/ (g/kg)	全磷 Total P/ (g/kg)	全钾 Total K/ (g/kg)
GR	0—20	1.34±0.06	7.51±0.12	19.47±0.21	1.86±0.02	0.87±0.01	21.72±0.45
WR	0—20	1.32±0.01	7.57±0.22	18.08±0.09	1.91±0.03	0.83±0.00	22.83±0.04
BR	0—20	1.37±0.02	7.73±0.07	18.20±0.12	1.80±0.03	0.60±0.02	25.59±0.24
RR	0—20	1.34±0.02	7.51±0.15	18.09±0.39	1.85±0.06	0.66±0.03	22.36±0.01
PR	0—20	1.32±0.03	7.54±0.17	19.33±0.25	2.06±0.02	0.71±0.05	22.16±0.29

GR: 大蒜-水稻模式 garlic-rice system; WR: 小麦-水稻模式 wheat-rice system; BR: 蚕豆-水稻模式 broad-rice system; RR: 油菜-水稻模式 rape-rice system; PR: 马铃薯-水稻模式 photo-rice system

1.2 试验设计及栽培管理

试验采用单因素随机区组设计,设置五种水旱轮作模式处理,分别为大蒜-水稻轮作 (GR)、小麦-水稻轮作 (WR)、油菜-水稻轮作 (RR)、蚕豆-水稻轮作 (BR)、马铃薯-水稻轮作 (PR),3 次重复,15 个小区,小区面积 26 m² (4 m×6.5 m),小区间筑水泥埂隔离。五种模式稻季栽培管理措施相同,旱季各作物播栽期及播栽密度如表 2 所示,栽培管理措施如表 3 所示。各模式均按照常规管理进行杂草防控,除草时间及除草方式如表 4 所示。

表 2 各作物播栽期及播栽密度

Table 2 Seeding period and planting density of each crop					
作物 Crop	品种 Variety	播期(月/日) Sowing period	行距 Row spacing/cm	穴距 Hill spacing/cm	每穴苗数 Number of seedings per hole
水稻 Rice	F 优 498	4/10	33	20	2
大蒜 Garlic	红七星	9/29	20	6	1
小麦 Wheat	川麦 104	10/24	20	10	5
蚕豆 Beat	成胡 14	10/24	50	30	2
油菜 Rape	川油 36	10/10	40	16.5	2
马铃薯 Potato	希森 6 号	12/25	40	25	1

表 3 不同作物耕作、施肥及管理措施

Table 3 Tillage, fertilization and management measures for different crops									
作物 Crop	耕作方式 Tillage	播种方式 Seeding method	秸秆还田 Straw returning	肥料用量 Fertilizer dosage/ (kg/hm ²)			基肥追肥比例 Ratio of base fertilizer to top dressing		
				N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
水稻 Rice	旋耕	移栽	—	180	90	180	1:1	全作基肥	1:1
大蒜 Garlic	免耕	直播	覆盖还田	435	300	180	3:1	全作基肥	全作基肥
小麦 Wheat	免耕	直播	—	165	99	99	全作基肥	全作基肥	全作基肥
蚕豆 Beat	免耕	直播	—	95	95	95	全作基肥	全作基肥	全作基肥
油菜 Rape	免耕	直播	—	115	115	115	1:8	1:8	1:8
马铃薯 Potato	免耕	直播	覆盖还田	165	165	165	全作基肥	全作基肥	全作基肥

GR 和 PR 还田秸秆为水稻秸秆;—表示没有秸秆还田

表 4 各水旱轮作模式周年杂草防控时间及方式

Table 4 Annual weed control time and methods in different paddy-upland rotation systems

作物季 Crop season	除草时间 Time	除草方式 Methods	除草剂名称 Herbicide name	除草对象 Weeding object
稻作季 Rice season	5 月上旬	化学除草	苯·丁	一年生单双子叶杂草
	7 月下旬	人工除草	—	可见单双子叶杂草
旱作季 Upland crop season	9 月中旬	化学除草	草甘膦	一年生和多年生单双子叶杂草
	12 月中旬	人工除草	—	可见单双子叶杂草
	4 月上旬	人工除草	—	可见单双子叶杂草

—表示未使用除草剂

1.3 调查方法及数据分析

杂草调查在 2022 年 3 月 30 日进行,此时大蒜、小麦、蚕豆、油菜、马铃薯分别属于抽薹期、灌浆期、结荚期、角果期、块茎膨大期,各模式大部分杂草处于盛花期。每小区按五点取样法设 5 个样方,每个样方面积 1 m²,统计各样方内的杂草种类与数量,测量地上部高度和鲜重,并将杂草分类后在 75℃ 烘箱烘至恒重后称量。

杂草密度为每平方米的杂草株数;物种丰富度(*S*)为样方中包含的所有杂草种类数。利用 Shannon-Wiener 多样性指数、Simpson 优势度指数、Pielou 均匀度指数^[19]和 Margalef 丰富度指数^[20]等描述物种多样性的程度。利用杂草重要值反应田间杂草重要程度^[20],基于杂草重要值数据计算 Bray-Curtis 相似性指数用于模式间杂草群落相似性分析,各计算公式如下:

Shannon-Wiener 多样性指数:
$$H' = - \sum P_i \ln P_i \tag{1}$$

Simpson 优势度指数:
$$D = \sum P_i^2 \tag{2}$$

Pielou 均匀度指数:
$$J = H' / \ln S \tag{3}$$

Margalef 丰富度指数:
$$H = (S - 1) / \ln N \tag{4}$$

杂草重要值(IV) = (RD+RF+RH+RW)/4×100%
$$\tag{5}$$

Bray-Curtis 群落相似性指数:
$$C_N = 2j_N / (a_N + b_N) \tag{6}$$

式中, $P_i = N_i / N$, N_i 为样方中第*i*个物种总个体数, N 为样方中物种总个体数;RD、RF、RH 和 RW 分别为杂草的相对密度、相对频度、相对高度和相对鲜重,均为每种杂草的数值占该处理所有杂草总和的比例; j 为群落 A 与 B 共有的物种数; a 为群落 A 含有的物种数; b 为群落 B 含有的物种数; a_N 为群落 A 的个体数之和; b_N 为群落 B 的个体数之和; j_N 为群落 A 和群落 B 共有种中个体数较小者之和,即 $j_N = \sum \min(j_N a + j_N b)$ ^[21]。

1.4 数据处理

运用 Microsoft Excel 2021 和 Origin 2022b 进行数据处理和绘图,用 SPSS 22 系统软件分析数据,用 LSD 法进行样本平均数的差异显著性比较($\alpha = 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 不同水旱轮作模式旱作季杂草群落的物种结构特征

由表 5 可知,五种轮作模式共记录 22 种杂草,其中,双子叶杂草 14 科(21 种),单子叶杂草 1 科(1 种);常见科为菊科和十字花科。不同水旱轮作模式间杂草种类和密度差异明显。从杂草种类来看,GR 模式杂草种类最多,为 21 种;BR 模式杂草种类次之,为 17 种;WR 模式和 RR 模式居中,分别为 15 种和 12 种,PR 杂草种类最少,为 9 种。从杂草密度来看,棒头草、通泉草、蔊菜、黄鹌菜、猪殃殃等 5 种杂草密度较大,其中棒头草密度最大,群体数量约占田间杂草的 60%。五种轮作模式杂草密度大小依次为 WR>BR>RR>GR>PR,其中 GR 模式的猪殃殃和通泉草密度较高,分别为 14.22 株/m²、6 株/m²;WR、BR 和 PR 模式均以棒头草密度最高,分别为 356 株/m²、91.33 株/m²和 5.11 株/m²;WR 模式下猪殃殃密度较高,BR 模式蔊菜和黄鹌菜密度较高,分别为 45.11 株/m²和 17.22 株/m²;RR 模式通泉草、棒头草、毛茛密度较高,分别为 46.33 株/m²、42.78 株/m²和 9.22 株/m²。各轮作模式中,单子叶杂草均为棒头草,双子叶杂草中一年生或越年生杂草种类和数量均高于多年生杂草。

表 5 不同水旱轮作模式旱作季杂草种类及田间密度

Table 5 Species composition and density of weed in upland fields (individual/m ²) under different paddy-upland rotation systems								
序号 No.	科 Family	属 Genus	杂草种类 Weed species	杂草密度 Weed density/(株/m ²)				
				GR	WR	BR	RR	PR
多年生双子叶杂草 Dicotyledonous perennial weeds								
1	菊科	苦苣菜属	苣荬菜 <i>Sonchus oleraceus</i> DC.	3.22	—	0.89	—	—
2	蓼科	酸模属	酸模 <i>Rumexacetosa</i> L.	1.56	3.56	5.00	0.33	0.11
3	豆科	苜蓿属	紫花苜蓿 <i>Medicago sativa</i> L.	0.56	1.44	—	—	—
4	苋科	莲子草属	喜旱莲子草 <i>Alternanthera philoxeroides</i> (Mart.) Griseb.	0.33	—	—	—	—
5	牻牛儿苗科	老鹳草属	老鹳草 <i>Geranium wilfordii</i> Maxim.	0.22	0.33	0.44	—	—
6		毛茛属	毛茛 <i>Ranunculus japonicus</i> Thunb.	0.11	1.44	1.67	9.22	0.11
一年生或越年生双子叶杂草 Dicotyledonous and annual & biennial weeds								
7	茜草科	拉拉藤属	猪殃殃 <i>Galium spurium</i> L.	14.22	21.89	2.67	0.11	2.67
8	菊科	鼠曲草属	鼠麴草 <i>Pseudognaphalium affine</i> (D. Don) Anderb.	3.44	0.67	12.33	1.89	—
9	菊科	黄鹌菜属	黄鹌菜 <i>Youngia Japonica</i> (L.) DC.	1.56	23.78	17.22	—	0.11
10	菊科	联毛紫菀属	钻叶紫菀 <i>Symphytotrichum subulatum</i> (Michx.) G.L.Nesom	2.11	—	—	—	—
11	玄参科	通泉草属	通泉草 <i>Mazus japonicus</i> (Thunb.) O. Kuntze	6.00	1.22	13.44	46.33	—
12	菊科	泥胡菜属	泥胡菜 <i>Hemistepta lyrata</i> (Bunge) Bunge	0.33	4.67	4.11	—	—
13	石竹科	繁缕属	繁缕 <i>Stellaria media</i> (L.) Villars	2.33	6.67	0.44	0.33	0.56
14	菊科	茼蒿属	翅果菊 <i>Lactuca indica</i> L.	0.67	—	—	—	—
15	伞形科	蛇床属	蛇床 <i>Cnidium monnieri</i> (L.) Cass.	0.89	3.78	3.33	2.78	0.11
16	十字花科	蔊菜属	蔊菜 <i>Rorippa indica</i> (L.) Hiern.	0.44	1.67	45.11	8.67	3.67
17	菊科	白酒草属	小飞蓬 <i>Erigeron canadensis</i> L.	0.22	0.22	—	—	—
18	十字花科	荠属	荠菜 <i>Capsella bursa-pastoris</i> (L.) Medik.	0.33	5.22	0.11	1.00	0.11
19	玄参科	婆婆纳属	阿拉伯婆婆纳 <i>Veronica persica</i> Poir.	0.11	—	2.22	1.44	—
20	紫草科	附地菜属	附地菜 <i>Trigonotis peduncularis</i> (Trev.) Benth. ex Baker et Moore	0.11	—	0.78	1.78	—
21	车前科	车前属	平车前 <i>Plantago depressa</i> Willd.	—	—	0.11	—	—
一年生单子叶杂草 Annual monocotyledonous weeds								
22	禾本科	棒头草属	棒头草 <i>Polypogon fugax</i> Nees ex Steud.	0.22	356.00	91.33	42.78	5.11
合计 Total				39.00	432.56	201.22	116.67	12.56

—表示轮作模式中未发现此种杂草

由图 1 可知,WR 模式杂草总生物量最高,PR 模式则显著低于其他四种模式。按照杂草生活型来看,各模式一年生杂草生物量高于多年生杂草生物量。其中一年生单子叶杂草(AM)生物量以 WR 模式最高,为 30.53 g/m²,GR 模式含量最低,为 0.27 g/m²;一年生双子叶杂草(AD)生物量 BR 模式最高,为 26.60 g/m²,GR 模式次之为 25.88 g/m²,PR 模式最低为 1.06 g/m²;多年生双子叶杂草(PD)生物量以 GR 模式含量最高,为 9.19 g/m²,PR 模式含量均较低,为 0.01 g/m²。

2.2 不同水旱轮作模式旱作季杂草种类组成的数量特征

杂草重要值能够反映杂草的相对优势程度,重要值(IV)≥10%的杂草被认为是优势杂草^[20]。由图 2 可知,五种轮作模式间重要杂草种类和相对重要程度差异较大。GR 重要杂草为苣荬菜和猪殃殃,其重要值分别为 10.57%和 30.75%。WR 重要杂草为棒头草,其重要值为 59.53%。RR 重要杂草为黄鹌菜、蔊菜和棒头草,其重要值分别为 12.13%、19.53%和 29.62%。BR 重要杂草最多,为毛茛、通泉草、蔊菜和棒头草,其重要值分别为 13.80%、24.46%、12.94%和 24.24%。PR 重要杂草主要为猪殃殃、蔊菜和棒头草,其重要值分别为 15.82%、40.91%和 24.08%。五种模式中 GR、WR 重要杂草种类少,BR、RR、PR 重要杂草种类较多。

2.3 不同水旱轮作模式旱作季杂草多样性特征

物种丰富度 *S* 即每个模式包含的所有杂草物种数,Margalef 丰富度指数反映杂草群落中的物种丰富程度,由表 6 可知,丰富度 *S* 及丰富度指数 *H* 表现为 GR>WR>BR>RR>PR,表明 GR 杂草种类最多而 PR 杂草种类最少。Shannon-Wiener 指数是丰富度和均匀度的综合多样性指标,各模式多样性指数 *H'* 表现为 GR>BR>RR>PR>WR。Simpson 指数可以反应群落的优势集中性,其值越小说明群落的优势种越不明显,田间杂草难以发生严重危害,五种轮作模式杂草群落优势度 *D* 表现为 WR 显著高于其它四种模式,表明 WR 杂草群落优势种突出且更易发生危害。Pielou 均匀度指数反映了群落中杂草分布的均匀程度,均匀度越高说明杂草优势种群发生危害程度越小,五种水旱轮作模式杂草均匀度指数 *J* 表现为 GR>PR>BR>RR>WR,表明 WR 优势种发生危害的程度最高,RR 和 BR 次之,PR 较低,GR 优势种发生危害的程度最低。群落优势度越小、多样性与均匀度越大杂草群落越稳定^[22],因此,五种水旱轮作模式 GR 杂草群落稳定性强,WR 杂草群落稳定性弱。

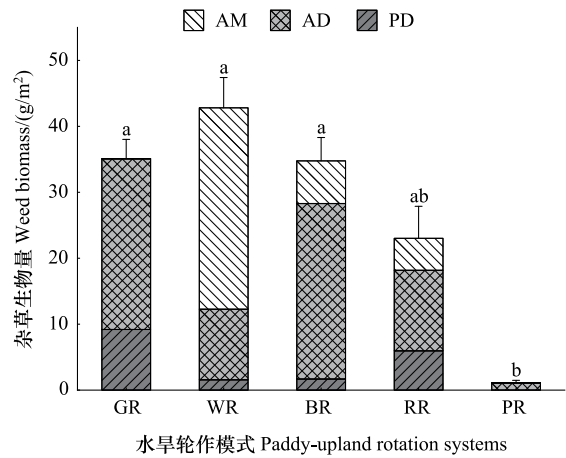


图 1 不同水旱轮作模式旱作季杂草生物量

Fig.1 Weed biomass in upland crop season under different paddy-upland rotation systems

AM: 一年生单子叶植物; AD: 一年生双子叶植物; PD: 多年生双子叶植物; GR: 大蒜-水稻模式; WR: 小麦-水稻模式; BR: 蚕豆-水稻模式; RR: 油菜-水稻模式; PR: 马铃薯-水稻模式; 不同小写字母表示不同模式间杂草总生物量差异显著 ($P<0.05$)

表 6 不同水旱轮作模式间旱作季杂草群落物种多样性

Table 6 Species diversity of weed communities in upland fields in different paddy-upland rotation systems

处理 Treatment	物种丰富度 Species richness <i>S</i>	丰富度指数 Richness index <i>H</i>	多样性指数 Diversity index <i>H'</i>	优势度指数 Dominance index <i>D</i>	均匀度指数 Evenness index <i>J</i>
GR	13.67±3.51a	2.69±0.82a	2.07±0.37a	0.19±0.09b	0.80±0.06a
WR	12.67±2.08ab	1.67±0.32b	0.87±0.46c	0.65±0.21a	0.35±0.19b
BR	13.00±0.00ab	1.88±0.06b	1.67±0.17ab	0.29±0.07b	0.65±0.07ab
RR	10.00±1.00bc	1.54±0.17b	1.38±0.23bc	0.35±0.08b	0.60±0.09ab
PR	5.00±1.73c	1.12±0.29b	1.14±0.34bc	0.41±0.19ab	0.72±0.17a

不同小写字母表示不同轮作模式间差异显著 ($P<0.05$)

2.4 不同水旱轮作模式旱作季杂草群落的相似性

由表 7 可知,5 种轮作模式间 Bray-Curtis 群落相似性指数较高。GR 和 WR、GR 和 BR、WR 和 BR、BR 和

RR 群落相似性指数均大于 0.80,其中 GR 和 BR 相似性指数最高,为 0.84;PR 和其他四种模式相似性指数均低于 0.80,且 GR 和 PR 的相似性指数最低,为 0.60。

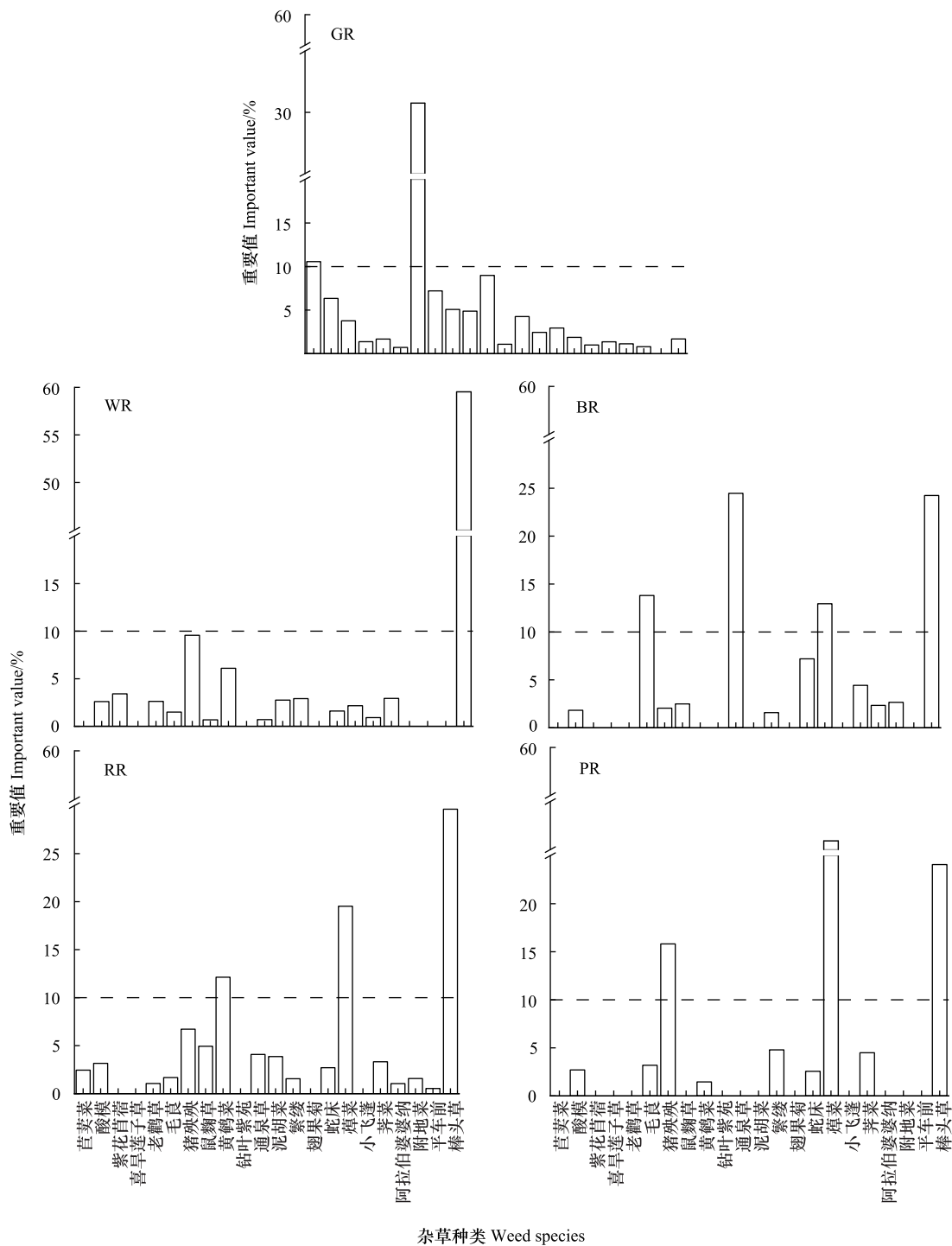


图 2 不同水旱轮作模式旱作季杂草重要值

Fig.2 Important values of weeds in upland crop season under different paddy-upland rotation systems

Sonc: 苣荬菜 *Sonchus wightianus*; Rume: 酸模 *Rumex acetosa*; Medi: 紫花苜蓿 *Medicago sativa*; Alte: 喜旱莲子草 *Alternanthera philoxeroides*; Gera: 老鹳草 *Geranium wilfordii*; Ranu: 毛茛 *Ranunculus japonicus*; Gali: 猪殃殃 *Galium spurium*; Pseu: 鼠麴草 *Pseudognaphalium affine*; Youn: 黄鹌菜 *Youngia japonica*; Symp: 钻叶紫菀 *Symphyotrichum subulatum*; Mazu: 通泉草 *Mazus japonicus*; Hemi: 泥胡菜 *Hemistepta lyrata*; Stel: 繁缕 *Stellaria media*; Lact: 翅果菊 *Lactuca indica*; Cnid: 蛇床 *Cnidium monnieri*; Rori: 葶苈 *Rorippa indica*; Erig: 小飞蓬 *Erigeron canadensis*; Caps: 芥菜 *Capsella bursa-pastoris*; Vero: 阿拉伯婆婆纳 *Veronica persica*; Trig: 附地菜 *Trigonotis peduncularis*; Plan: 平车前 *Plantago depressa*; Poly: 表示棒头草 *Polypogon fugax*;虚线以上为重要杂草

表 7 不同水旱轮作模式旱季杂草群落间的 Bray-Curtis 相似性指数

Table 7 Bray-Curtis similarity index among weed communities in upland fields in different paddy-upland rotation patterns

处理 Treatment	相似性指数 Bray-Curtis index				
	GR	WR	BR	RR	PR
GR	—				
WR	0.83	—			
BR	0.84	0.81	—		
RR	0.73	0.74	0.83	—	
PR	0.60	0.75	0.69	0.76	—

3 讨论

3.1 作物种类对杂草群落的影响

油-稻和麦-稻是我国南方具有代表性的水旱轮作模式,我国是全球大蒜、蚕豆和马铃薯的主产国^[23—25],蒜-稻、豆-稻和薯-稻轮作也在我国广泛分布。轮作模式因旱季作物种类的差异而对杂草造成不同影响^[13]。在空间生态位方面,尺寸不对称理论表明较大的植物在竞争资源中可以获得不成比例的更大份额^[26],本试验调查时油菜正值角果期,高大的株型使杂草空间生态位受到挤压,进而影响杂草光合作用并降低其竞争力;全威等人^[27]研究表明,油菜所具有的化感效应能够改变杂草的抗氧化酶活性和丙二醛积累量,从而抑制杂草生长,因此 RR 杂草物种丰富度和群落优势度均较低,总生物量较小,不易发生危害。而 GR 模式中,大蒜植株矮小,地上部空间较大,适合多种类型杂草的生长,物种丰富度较高。在营养生态位方面,豆科作物可以与固氮细菌和根瘤菌共生固定氮素^[28],且种植豆科作物的土壤有机碳含量较高^[29],利于杂草生长,进而导致 BR 杂草密度较大,IV>10%的杂草种类数较多。小麦因分蘖较强而增加了田间密度,较高的作物覆盖度压缩了杂草的空间生态位,使 WR 杂草物种多样性显著低于其它四种模式,但作物-杂草的管理活动能导致适应本土的杂草生物型累积^[30],高兴祥等^[31]研究表明小麦地禾本科杂草危害程度呈逐年增大趋势,本研究棒头草作为优势物种 IV 值接近 60%,导致 WR 群落优势度显著高于其它四种模式,原因为禾本科杂草生活史与小麦相似,较强的分蘖能力和生长能力促使棒头草在养分和空间上占据竞争优势。

3.2 栽培措施对杂草群落特征的影响

栽培措施会导致作物和杂草之间的生长和竞争力差异,从而改变作物产量和杂草丰度。秸秆还田作为重要的管理措施可以促进作物生长并提高产量^[32],前人研究发现秸秆还田后有保墒、保温、增加土壤养分的效果从而促进杂草生长^[33],但本研究 GR 和 PR 两种模式杂草田间密度较低,Pielou 均匀度指数显著高于其它三种模式,有效降低了杂草密度和优势杂草发生危害的程度,原因为 GR 和 PR 均采用水稻秸秆覆盖还田,阻碍了风传媒种子进入土壤、抑制杂草种子的萌发、影响杂草幼苗的采光^[34],从而降低杂草多样性。但 GR 和 PR 两种轮作模式猪殃殃 IV>10%,表明秸秆覆盖还田对阔叶类杂草猪殃殃发生危害的抑制程度较低。此外,本研究 GR 播种时间最早,杂草物种丰富度和多样性最高,PR 播种时间最晚,杂草物种丰富度和多样性最低。前人研究表明作物播期会显著影响杂草群落结构^[35],原因为作物播期越晚,提前萌发的杂草越多,播种活动会对已萌发的杂草造成干扰,使其在竞争过程中处于劣势而被淘汰,最终降低了杂草的发生程度^[36]。

在养管理方面,王能伟等^[22]研究表明杂草物种丰富度和均匀度均随施肥量的增加而增加,Travlos 等^[37]则表明低氮水平有利于杂草的有效控制。在本研究中,GR 和 BR 杂草物种丰富度和多样性水平均较高,群落优势度较低;WR 物种多样性和群落均匀度最低,群落优势度最高;RR 和 PR 物种多样性、群落均匀度和优势度都位于中等水平,这可以用 Kordbacheh 等人^[38]提出的“植物群落多样性与生产力梯度之间的关系”理论进行解释。本研究 GR 养分投入高,BR 具有固氮功能,二者较高的土壤养分含量减少了杂草根系的养分竞争,导致物种多样性较强;PR、WR 和 RR 养分投入为中等水平,但由于小麦为耗地作物且田间密度较大,养分资源的受限程度增大导致 WR 物种多样性差、优势种突出。本研究五种水旱轮作模式间杂草群落相

似性均较高,杂草田间密度和生物量均以一年生占比较高,原因除了五种轮作模式在同一生态区域外,还与本试验采用免耕的方式有关。前人研究发现耕作方式会影响杂草的群落结构及其物种多样性,常规耕作中一年生生物种占比较高^[9],随着耕作强度的减少,多年生杂草丰度增加^[37],在免耕条件下杂草群落优势度、多样性、丰富度指数等相对较低,而其均匀度指数相对较高^[39],因为一年生杂草群体主要来自土壤种子库,耕作活动容易打破种子休眠,促进种子萌发和幼苗生长,导致一年生杂草占比较高^[40],并且一年生杂草具有发芽时间不统一、生活史短、种子产量高、种子寿命长等生活史对策^[41],进而适应了栽培管理措施的频繁干扰。

3.3 优势杂草种群形成原因及防治策略

Andrade 等^[42]研究表明在同一生长季种植不同作物时,杂草群落组成和优势杂草种类不同。本研究进一步发现,五种水旱轮作模式优势杂草种类包含苣荬菜、猪殃殃、棒头草、毛茛、通泉草、蔊菜、黄鹌菜。其中苣荬菜为 GR 特有的优势物种,是一种以芽根繁殖为主的多年生杂草,芽根以休眠的方式越冬,翌年解除休眠后继续萌发新株^[43],除草剂和人工除草均难以控制地下芽发生。深根系苣荬菜和浅根系大蒜能形成养分空间生态位差异,因此苣荬菜能获取深层土壤的养分而成为优势杂草,可采用化学除草结合人工除草进行控制。RR 模式中,秋冬季油菜处于苗期,对养分和空间的竞争能力弱,而黄鹌菜繁殖力强且生物量较大^[44],在秋季出苗后能迅速生长,因具有较强的抗逆和耐逆能力可以顺利越冬;入春后油菜快速生长抑制了其它杂草的生长,但对黄鹌菜抑制能力弱,促使黄鹌菜发展成优势种群,因此可在油菜苗期采用化除法进行控制。毛茛和通泉草为 BR 的优势杂草,二者均是耐荫植物且繁殖力强,蚕豆固氮作用为优势杂草提供了适宜的生长条件。蚕豆、油菜和马铃薯地上部生物量较大,对喜光照杂草具有一定的抑制作用,但蔊菜根系发达和抗旱耐阴的特点使其能适应 BR、RR 和 PR 三种模式成为优势杂草,同时毛茛、通泉草和蔊菜株型矮小,人工除草对其防治效果差,可在传统杂草防治的基础上增加苗期化学除草进行控制。猪殃殃通过匍匐和攀援方式迅速生长,GR 和 PR 模式中秸秆覆盖减少了其它杂草出苗,但猪殃殃出苗后可以快速生长形成优势种群,可在其 5—7 轮真叶时期时进行防控^[45]。禾本科杂草种子量大,适宜萌发的土壤深度为 10 cm 以内^[26],免耕方式导致种子在土壤中的表聚,使其成为 WR、BR、RR 和 PR 多种模式的优势杂草。作物类型和管理措施对杂草的生存起选择作用,促使环境适应型杂草成为优势物种,有针对性的对不同轮作模式进行杂草管理是提高杂草防控效率的重要步骤。

4 结论

4.1 不同水旱轮作模式旱作季杂草群落特征不同

在传统杂草管理条件下,不同水旱轮作模式旱作季杂草群落特征表现为 GR 模式杂草丰富度指数、多样性指数及均匀度指数均显著高于其它四种模式,优势物种较少,群落结构稳定,一年生双子叶杂草种类较多但不易发生危害;WR 模式杂草总生物量及密度最大,群落优势度最高,均匀度指数最低,优势种发生危害的程度最高;PR 模式杂草总生物量、密度和丰富度指数最低,重要杂草种类少,发生危害的程度均为最低;BR 模式杂草总生物量及田间密度较高、重要杂草种类数高于其它四种模式;RR 模式杂草总生物量较小,物种丰富度和群落优势度均较低,杂草种类数较少且发生危害程度较轻。

4.2 不同水旱轮作模式旱作季杂草管理对策

根据杂草群落类型和分布特征进行有针对性的管理是提高农田生产力的关键。本研究表明,在传统杂草防治的基础上,应重点控制优势杂草种群的发生。GR 和 PR 杂草密度和优势杂草发生危害的程度虽然小,但还应注重对阔叶类杂草猪殃殃的防控;WR 应重点防控单子叶杂草棒头草;BR 和 RR 应注重对繁殖力强的单双子叶杂草的综合防治。

参考文献 (References):

- [1] Li S J, Huang G Q. A review of research directions and research methods of farmland weeds. NASS Journal of Agricultural Sciences, 2021, 3

- (2):5.
- [2] 薛建新. 水稻杂草发生规律及防治技术. 乡村科技, 2016(12): 81.
- [3] Storkey J, Neve P. What good is weed diversity? *Weed Research*, 2018, 58(4): 239-243.
- [4] Chaudhary A, Adhikari B B, Shrestha J. Effect of weed species on drought tolerant rice genotypes at Sundarbazar, Lamjung, Nepal. *Open Agriculture*, 2019, 4(1): 65-78.
- [5] 房锋, 张朝贤, 黄红娟, 李美, 高兴祥, 李燕, 魏守辉. 麦田节节麦发生动态及其对小麦产量的影响. *生态学报*, 2014, 34(14): 3917-3923.
- [6] 韩惠芳, 宁堂原, 田慎重, 王瑜, 王丙文, 仲惟磊, 李增嘉, 田欣欣. 土壤耕作及秸秆还田对夏玉米田杂草生物多样性的影响. *生态学报*, 2010, 30(5): 1140-1147.
- [7] Adeux G, Vieren E, Carlesi S, Bürberi P, Munier-Jolain N, Cordeau S. Mitigating crop yield losses through weed diversity. *Nature Sustainability*, 2019: 1018-1026.
- [8] Leon R G, Agüero R, Calderón D. Diversity and spatial heterogeneity of weed communities in a sugarcane cropping system in the dry tropics of Costa Rica. *Weed Science*, 2017, 65(1): 128-140.
- [9] Derrouch D, Dessaint F, Fried G, Chauvel B. Weed community diversity in conservation agriculture: post-adoption changes. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2021, 312: 107351.
- [10] Pan J F, Zhang L G, Wang L, Fu S L. Effects of long-term fertilization treatments on the weed seed bank in a wheat-soybean rotation system. *Global Ecology and Conservation*, 2020, 21: e00870.
- [11] 邱佩, 崔远来, 韩焕豪, 刘博. 淹灌和间歇灌溉对晚稻田杂草群落多样性的影响. *农业工程学报*, 2015, 31(22): 115-121.
- [12] Guerra J G, Cabello F, Fernández-Quintanilla C, Peña J M, Dorado J. How weed management influence plant community composition, taxonomic diversity and crop yield: a long-term study in a Mediterranean vineyard. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2022, 326: 107816.
- [13] He Y H, Gao P L, Qiang S. An investigation of weed seed banks reveals similar potential weed community diversity among three different farmland types in Anhui Province, China. *Journal of Integrative Agriculture*, 2019, 18(4): 927-937.
- [14] Satorre E H, de la Fuente E B, Mas M T, Suárez S A, Kruk B C, Guglielmini A C, Verdú A M C. Crop rotation effects on weed communities of soybean (*Glycine max* L. Merr.) agricultural fields of the Flat Inland Pampa. *Crop Protection*, 2020, 130: 105068.
- [15] 魏守辉, 强胜, 马波, 韦继光. 不同作物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.
- [16] Nagy K, Lengyel A, Kovács A, Türei D, Csörgő A M, Pinke G. Weed species composition of small-scale farmlands bears a strong crop-related and environmental signature. *Weed Research*, 2018, 58(1): 46-56.
- [17] 潘艳华, 王攀磊, 郭玉蓉, 王应学, 刘树芳, 张庆, 朱红业, 戴陆园. 水旱轮作模式下作物配置和肥水优化对作物产量及土壤养分的影响. *西南农业学报*, 2018, 31(2): 276-283.
- [18] 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, 2005.
- [19] 黄红娟, 黄兆峰, 姜翠兰, 张朝贤, 李儒海, 周振荣, 李贵, 周凤艳, 朱文达, 魏守辉. 长江中下游小麦田杂草发生组成及群落特征. *植物保护*, 2021, 47(1): 203-211.
- [20] 王丰, 赖彦岑, 唐宗翔, 郑敏敏, 史俊, 顾麦云, 沈健英, 曹林奎, 沙之敏. 浮萍覆盖对稻田杂草群落组成及多样性的影响. *中国生态农业学报: 中英文*, 2021, 29(4): 672-682.
- [21] 杨滨娟, 黄国勤, 徐宁, 王淑彬. 长期水旱轮作条件下不同复种方式对稻田杂草群落的影响. *应用生态学报*, 2013, 24(9): 2533-2538.
- [22] 王能伟, 葛秀丽, 李升东. 耕作和养分管理方式对冬小麦-夏玉米轮作农田春季杂草群落的影响. *应用生态学报*, 2017, 28(3): 871-876.
- [23] 祝捍敏. 我国大蒜出口贸易与国际竞争力评价分析. *中国瓜菜*, 2022, 35(10): 111-116.
- [24] 王海飞, 关建平, 马钰, 孙雪莲, 宗绪晓. 中国蚕豆种质资源 ISSR 标记遗传多样性分析. *作物学报*, 2011, 37(4): 595-602.
- [25] 李中慧, 张颖城, 王秀丽. 中国马铃薯供需现状及发展前景. *农业展望*, 2022, 18(6): 79-85.
- [26] Xi N X, Wu Y, Weiner J, Zhang D Y. Does weed suppression by high crop density depend on crop spatial pattern and soil water availability? *Basic and Applied Ecology*, 2022, 61: 20-29.
- [27] 全威, 郑成忠, 东保柱, 孟焕文, 孙瑞锋, 周洪友. 油菜对 4 种杂草种子的化感抑制效应及田间应用. *河南农业科学*, 2022, 51(7): 102-111.
- [28] Vincent-Caboud L, Casagrande M, David C, Ryan M R, Silva E M, Peigne J. Using mulch from cover crops to facilitate organic no-till soybean and maize production. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 2019, 39(5): 45.
- [29] 郭小鸥, 崔晓辉. 有机农田杂草-主作物共生系统的氮素吸收及土壤肥力特征. *山东农业大学学报: 自然科学版*, 2022, 53(1): 52-59.
- [30] 张峥, 卜德孝, 强胜. 不同稻田综合种养模式下杂草长期控制效果的调查. *植物保护学报*, 2022, 49(2): 693-704.
- [31] 高兴祥, 张悦丽, 安传信, 李美, 李健, 房锋, 张双应. 山东省冬小麦田杂草群落调查及其变化原因分析. *中国农业科学*, 2021, 54(24): 5230-5239.

- [32] Chen L M, Sun S L, Yao B, Peng Y T, Gao C F, Qin T, Zhou Y Y, Sun C R, Quan W. Effects of straw return and straw biochar on soil properties and crop growth: a review. *Frontiers in Plant Science*, 2022, 13: 986763.
- [33] 李昌新, 赵锋, 芮雯奕, 黄欠如, 余喜初, 张卫建. 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. *草业学报*, 2009, 18(3): 142-147.
- [34] 桂浩然, 王建, 董雄德, 陈丽, 黄雅祺, 陈志杰, 韩士杰. 不同秸秆还田对冬闲期农田杂草多样性的影响. *农业环境科学学报*, 2022, 41(4): 746-754.
- [35] Anestis K, Athanasios A, Despoina A, Giannoulis Kyriakos D, Rodanthi A, Niki K, Avgerinos S, Spyridon S, Christos K. Using post-emergence herbicides in combination with the sowing date to suppress *Sinapis arvensis* and *Silybum marianum* in durum wheat. *Agronomy*, 2022, 12(10): 2583.
- [36] 何霞, 杨建春. 播种对胡麻田杂草发生及胡麻产量的影响. *南方农机*, 2021, 52(6): 65-67.
- [37] Travlos Ilias S, Nikolina C, Ioannis R, Bilalis Dimitrios J. Weed-species abundance and diversity indices in relation to tillage systems and fertilization. *Frontiers in Environmental Science*, 2018, 6:11.
- [38] Farnaz K, Flaten Don N, Gulden Robert H. Weed community dynamics under repeated fertilization with different nutrient sources over 5 years. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2023, 346: 108328.
- [39] 张震, 曹亚蒙, 武建勇, 马友华, 何金铃, 周迪. 不同耕作方式对冬小麦田杂草群落多样性的影响. *生态与农村环境学报*, 2019, 35(2): 210-216.
- [40] 谷艳芳, 胡楠, 丁圣彦, 张丽霞. 开封地区不同土地利用方式农田杂草群落结构及动态. *生态学报*, 2007, 27(4): 1359-1367.
- [41] Santín-Montanyú M I, Zambrana-Quesada E, Tenorio-Pasamón J L. Weed abundance and soil seedbank responses to tillage systems in continuous maize crops. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 2018, 64(12): 1705-1713.
- [42] Andrade J F, Satorre E H, Ermúcora C M, Poggio S L. Weed communities respond to changes in the diversity of crop sequence composition and double cropping. *Weed Research*, 2017, 57(3): 148-158.
- [43] 柳建伟, 岳德成, 李青梅, 姜延军, 史广亮, 韩菊红, 王宗胜. 几种除草剂对恶性杂草苣荬菜和打碗花的防除效果. *农药*, 2019, 58(6): 458-461.
- [44] 童林金. 两种黄鹌菜的生存机制研究[D]. 雅安: 四川农业大学, 2013.
- [45] 傅秀清. 旱田常见杂草的特性及化学防除措施. *园艺与种苗*, 2021, 41(5): 76-77.