

陈浩,张秀英,吴玉红,等. 秸秆还田与氮肥管理对稻田杂草群落和水稻产量的影响[J]. 农业资源与环境学报, 2018, 35(6): 500-507.

CHEN Hao, ZHANG Xiu-ying, WU Yu-hong, et al. Effects of straw return and nitrogen fertilizer management on weed community and rice yield in paddy field[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2018, 35(6): 500-507.

秸秆还田与氮肥管理对稻田杂草群落和水稻产量的影响

陈浩^{1,2}, 张秀英^{1,2}, 吴玉红^{1,2}, 李厚华³, 郝兴顺^{1,2*}, 王艳龙^{1,2}, 王薇^{1,2}, 张春辉^{1,2}

(1. 汉中市农业科学研究所, 陕西 汉中 723000; 2. 陕西省水稻研究所, 陕西 汉中 723000; 3. 汉中市农技推广中心, 陕西 汉中, 723000)

摘要:为了研究秸秆还田和氮肥管理对稻油轮作夏季稻田杂草群落分布特征和水稻产量的影响, 试验设5个处理: 常规施肥 NPK+秸秆不还田, N基追肥比例为6:2:2(F₀NS, CK); 常规施肥 NPK+秸秆全量还田, N基追肥比例为6:2:2(F₀S); 常规施肥 NPK+秸秆全量还田+秸秆腐解剂, N基追肥比例为6:2:2(F₀SA); 常规施肥 NPK+秸秆全量还田+秸秆腐解剂, N基追肥比例为7:2:1(F₁SA); 常规施肥 PK, N减量15%+秸秆全量还田+秸秆腐解剂, N基追肥比例为6:2:2(F₂SA)。记录杂草种类、数量、密度、生物量等指标, 并于2016年9月底进行水稻实收测产。结果表明, 与CK相比, F₀S、F₀SA、F₁SA和F₂SA处理的杂草总密度分别降低50.3%、29.2%、20.3%和6.8%, 秸秆还田可以有效降低稻田杂草密度、生物量和杂草多样性; 与F₀S相比, F₀SA、F₁SA和F₂SA处理的杂草发生数量和发生密度差异不显著, 但禾本科和莎草科杂草不同程度地减少, 柳叶菜科和玄参科杂草显著增加, 配施秸秆腐解剂对农田杂草种类影响显著。在秸秆腐解剂和不同施氮措施下, 与F₀SA相比, F₁SA和F₂SA处理杂草种类、生物量增加, 杂草相对密度降低, 但差异不显著; 各处理间优势杂草种类和种群数量减少, 但F₂SA处理下生物多样性指数明显高于F₀SA和F₁SA处理。与CK相比, F₀S、F₀SA、F₁SA和F₂SA处理的水稻产量分别提高7.13%、16.55%、17.80%和10.67%, 其中F₁SA处理作物产量增幅最高。研究表明, 秸秆还田和氮肥管理能有效降低稻田杂草的发生密度、总生物量和生物多样性, 有利于提高水稻产量。

关键词: 秸秆还田; 氮肥管理; 杂草群落; 水稻产量

中图分类号: X713; X176; S147.31 文献标志码: A 文章编号: 2095-6819(2018)06-0500-08 doi: 10.13254/j.jare.2018.0074

Effects of straw return and nitrogen fertilizer management on weed community and rice yield in paddy field

CHEN Hao^{1,2}, ZHANG Xiu-ying^{1,2}, WU Yu-hong^{1,2}, LI Hou-hua³, HAO Xing-shun^{1,2*}, WANG Yan-long^{1,2}, WANG Wei^{1,2}, ZHANG Chun-hui^{1,2}
(1. Hanzhong Agricultural Science Institute, Hanzhong 723000, China; 2. Shaanxi Rice Research Institute, Hanzhong 723000, China; 3. Hanzhong Agricultural Technology Promotion Center, Hanzhong 723000, China)

Abstract: The purpose of this study was to demonstrate the effect of straw return and nitrogen fertilizer management on distribution characteristics of weed community and rice yield in summer rice field. The experiment was conducted in five treatments: Conventional fertilization NPK (F₀NS, CK); conventional fertilization NPK+straw returning (F₀S); conventional fertilization NPK+straw returning+straw microbial inoculant (F₀SA); conventional fertilization NPK, N fertilizer proportion increase in early growth period of rice+straw returning+straw microbial inoculants (F₁SA); conventional fertilization PK, N reduce 15%+straw returning+straw microbial inoculants (F₂SA). The weed species, number, coverage and biomass were recorded and the rice yields were measured at the end of September, 2016. The results showed that compared with CK treatment, the total weed density of F₀S, F₀SA, F₁SA, and F₂SA treatment decreased by 50.3%, 29.2%, 20.3%, and 6.8%, respectively, the total weed density, weed biomass and weed diversity were reduced effectively by straw returned; Compared with F₀S treatment, there was no significant difference in the number and density of weeds of F₀SA, F₁SA, and F₂SA, the grass of Gramineae and Cyperaceae decreased in different degrees, and the grass of Onagraceae and Scrophulariaceae increased significantly, the effect on weed species was significant by application of straw microbial inoculants. Compared with F₀SA treatment, the weed species, and biomass were

收稿日期: 2018-03-27 录用日期: 2018-05-23

基金项目: 陕西省科技统筹创新工程计划项目(2015KTCL02-21, 2016KTZDNY03-01); 陕西省农业科技创新与攻关项目(2016NY-180); 国家现代农业产业技术体系建设专项(CARS-01-83)

作者简介: 陈浩(1983—), 男, 内蒙古土默特左旗人, 硕士, 农艺师, 主要从事农业生态环境评价、农业资源化利用及植物保护等研究。E-mail: 84915135@qq.com

*通信作者: 郝兴顺 E-mail: 372770515@qq.com

increased and weed relative density were decreased in F₁SA and F₂SA treatment, which were no significant difference among treatments; The species and population of dominant weeds decreased among the treatments, and biological diversity index of F₂SA treatment was significantly higher than F₀SA and F₁SA treatments. Compared with CK treatment, the rice yield of F₀S, F₀SA, F₁SA, and F₂SA treatment increased by 7.13%, 16.55%, 17.80%, and 10.67%, respectively, of which crop production of F₁SA treatment was the highest increase. Straw return and nitrogen fertilizer management could effectively reduce the density, total biomass and biodiversity of weeds of paddy fields and was beneficial to rice yield improvement. Adjustment of agricultural management measures, can effectively reduce the growth of dominant weeds in farmland, improve the competitive relationship between weeds and crops, to maintain the balance of farmland ecosystem and biodiversity, and promote crop production.

Keywords: straw return; nitrogen fertilizer management; weed community; rice yield

杂草作为农田生态系统初级生产力的重要组成部分,经常与作物竞争土壤养分与生长空间,是影响作物产量和品质的重要限制因素之一^[1-2]。同时,农田杂草在水土保持、减轻农田病虫害发生、提高作物群体竞争优势、维持农田生态系统平衡与稳定等方面也发挥着重要作用^[3-5]。为了追求农业经济效益最大化,人们往往忽视了杂草在农田生态系统中的调节功能,大量施用除草剂进行杂草防控,对粮食安全、农田生态环境和生态系统平衡造成极大的威胁,不利于农业的可持续发展^[6-7]。秸秆还田作为我国一项长期的保护性耕作模式,已成为水旱轮作制度下一项重要的农业耕作措施,通过合理的氮肥管理不仅能节本增效、培肥地力、增加作物产量、改善农田环境^[8-10],还可以抑制恶性杂草生长、减少除草剂施用量和减缓除草剂负面影响,对有效保护农田生物多样性和提高作物在农田生态群落中的竞争力具有重要意义^[11-12]。研究表明,秸秆还田与氮肥管理可以有效调节土壤养分供给,改善土壤理化性质和农田气候环境,影响田间杂草群落分布特征和可控杂草的生物多样性,进而影响作物产量水平^[13-14]。黄爱军等^[15]研究表明,秸秆还田条件下几种施肥方式均能显著改变田间杂草群落的组成,改变某些杂草在群落中的优势地位,从而抑制其发生危害程度。也有研究表明,通过种植绿肥来调节农田氮素管理,能有效降低农田杂草生物总量,抑制杂草对农业生产的危害^[16]。多数学者认为,秸秆还田下采取合理施肥措施是提高秸秆在农田养分中的循环利用效率及氮肥利用率的重要手段,也是兼顾田间杂草危害控制、作物产量提高和杂草物种多样性保护的有效措施^[1,16-17]。目前针对氮肥对秸秆腐解速率和有机质转化、作物氮素吸收与利用,以及秸秆对氮素有效性影响等方面的研究较多^[8,18-20],对农田杂草群落分布规律与作物产量影响对比研究较少,且秸秆腐解剂作为新兴的微生物菌剂,在促进秸秆腐解、加

快养分转化、提高土壤微生物活性、改善土壤理化结构等方面的报道仅局限于对农田作物生长影响的研究^[19,21-23],对农田杂草分布特征及生物多样性方面的报道较为鲜见。本研究借助汉中盆地稻区施肥和秸秆还田长期定位试验,探索常规施肥条件下秸秆还田与不同氮肥管理措施对农田杂草群落分布特征和对水稻产量的影响,以期对秸秆还田下氮肥的合理施用、农田杂草生态防治、农田生物多样性保护,以及维持和提高作物竞争力与产量水平提供科学依据和技术参考。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

该试验设在汉中市农业科学研究所(陕西省水稻研究所)国家水稻产业技术体系汉中综合试验站稻麦油秸秆还田技术综合示范基地(2013年开始,稻-油全程机械化轮作连续实施3年)。该基地位于陕西省汉中市勉县金沙滩农业综合试验示范农场(106°54'15"E,33°09'77"N),地处河谷盆地秦岭和大巴山之间的汉江上游,平均海拔500 m左右,属温暖湿润的亚热带气候。年均温14~15℃,≥10℃积温4500~4800℃,无霜期240~250 d,年降水量800 mm左右。试验前土壤基本理化性质:pH值5.19,有机质18.78 g·kg⁻¹,全氮1.25 g·kg⁻¹,全磷0.95 g·kg⁻¹,全钾14.16 g·kg⁻¹,速效磷35.32 mg·kg⁻¹,速效钾78.91 g·kg⁻¹。

1.2 试验材料

供试水稻品种为当地机械化水稻主推品种国标一级优质籼稻黄华占。试验所用除草剂为含6%苄嘧黄隆苯和16%乙草胺的可湿性混合粉剂25.5 g(商品名为苄乙,浙江天丰生物科学有限公司提供),常规用量为1 hm²稻田施765 g苄乙。

1.3 试验设计

本试验设5个处理:常规施肥NPK+秸秆不还田,

N基追肥比例为6:2:2(F₀NS);常规施肥NPK+秸秆全量还田,N基追肥比例为6:2:2(F₀S);常规施肥NPK+秸秆全量还田+秸秆腐解剂,N基追肥比例为6:2:2(F₀SA);常规施肥NPK+秸秆全量还田+秸秆腐解剂,N基追肥比例为7:2:1(F₁SA);常规施肥PK,N减量15%+秸秆全量还田+秸秆腐解剂,N基追肥比例为6:2:2(F₂SA)。以F₀NS处理为对照(CK),试验为大区试验,不设重复。各试验面积约为2000 m²。具体试验方案见表1。

田间管理:(1)化肥中氮肥为尿素(N 46%),磷肥为过磷酸钙(P₂O₅ 12%),钾肥为氯化钾(K₂O 54%),施肥措施按照当地常规高产栽培技术标准执行;(2)2016年6月1日机械插秧,于插秧7 d后秧苗返青期(2016年6月8日)第一次喷施除草剂,拔节后期(2016年7月23日)第二次喷施除草剂,无其他除草措施;(3)除对照和F₀S处理外,各处理配施同等比例秸秆腐解剂(主要成分:枯草芽孢杆菌、解淀粉芽孢杆菌和米曲霉;有效活菌数≥5.0×10⁸·g⁻¹,由山东临沂市施可丰化工股份有限公司提供),每公顷施用30 kg;(4)油菜茬(30~45 cm)和油菜秸秆(35~50 cm)以浅旋耕方式翻埋田中,翻埋深度在0~15 cm之间;(5)结合当地秸秆综合管理与高效利用模式,除对照外,其他处理为秸秆全量还田,还田量约为5500 kg·hm⁻²;(6)田间灌(排)水、病害防治等其他管理方式与当地大面积生产常规管理方式一致。

1.4 杂草群落调查和水稻测产

杂草调查:于2016年9月初(杂草处于花果期,水稻处于乳熟期)对试验地采用“S”5点取样法进行杂草取样,每处理取样面积均为1 m×1 m,记录样方内杂草种类、株(分蘖)数和各种杂草密度及频度等。采

用相对密度(处理区中某种杂草的密度除以所有杂草密度之和)作为衡量某种杂草重要程度的指标,杂草干质量(取1 m²杂草105 ℃杀青,80 ℃烘干至恒质量)作为杂草生物量指标。利用Shannon多样性指数(H')、Shannon均匀度指数(E)、Margalef物种丰富度指数(D_{Mc})3个指标来计算杂草生物多样性。测算公式如下:

$$H' = (N \lg N - \sum n \lg n) N^{-1}$$

$$E = H' (\ln N)^{-1}$$

$$D_{Mc} = (S - 1) (\ln N)^{-1}$$

式中:N为各小区中1 m²内所有杂草的总数量;n为各小区中1 m²内某种杂草的数量;S为各小区中1 m²内杂草种类数量。

水稻测产:于2016年9月底水稻收获期进行测产,对试验地采用“W”5点取样法进行小区选择,样区面积均为5 m×6 m,对收获稻谷进行晾晒,稻谷水分≤13.5后,测定稻谷产量。

1.5 数据处理

采用Microsoft Excel 2003软件对数据进行处理和绘图,采用DPS 7.05统计分析软件对数据进行方差分析及差异显著性检验(LSD法,P<0.05)。

2 结果与分析

2.1 秸秆还田与氮肥管理对稻田杂草种类、密度和相对密度的影响

通过田间调查(表2)发现,夏季稻田共发现7科,12种杂草,其中单子叶杂草7种,主要以禾本科、莎草科和雨久花科杂草为主,占全部杂草总数的58.33%,其他为双子叶杂草,共5种,占全部杂草总数的41.67%;一年生杂草10种,占杂草种类总数的

表1 试验处理与氮肥管理

Table 1 Experimental treatment and N fertilization management

处理编号 Treatment code	处理描述 Treatment description	氮肥 N/ kg·hm ⁻²	氮肥基追肥比例 N-fertilizer proportion (基肥:返青肥:分蘖肥)	磷肥 P/ kg·hm ⁻²	钾肥 K/ kg·hm ⁻²
F ₀ NS(CK)	常规施肥 NPK Conventional fertilization NPK	180	6:2:2	90	105
F ₀ S	常规施肥 NPK+秸秆还田 Conventional fertilization NPK+straw returning	180	6:2:2	90	105
F ₀ SA	常规施肥 NPK+秸秆还田+秸秆腐解剂 Conventional fertilization NPK+straw returning+straw microbial inoculants	180	6:2:2	90	105
F ₁ SA	常规施肥 NPK+秸秆还田+秸秆腐解剂 Conventional fertilization NPK+straw returning+straw microbial inoculants	180	7:2:1	90	105
F ₂ SA	常规施肥 PK, 施 N 减量 15%+秸秆还田+秸秆腐解剂 Conventional fertilization PK, N reduce 15%+straw returning+straw microbial inoculants	153	6:2:2	90	105

表2 秸秆还田与不同氮肥管理下杂草的种类、密度和相对密度

Table 2 Weed species, density and relative density under straw returning and different N-fertilizer management

科 Family	杂草种类 Weed species	密度 Density/株·m ⁻²					相对密度 Relative density/%				
		F ₀ NS(CK)	F ₀ S	F ₀ SA	F ₁ SA	F ₂ SA	F ₀ NS(CK)	F ₀ S	F ₀ SA	F ₁ SA	F ₂ SA
禾本科 Gramineae	稗草 <i>Echinochloa crusgalli</i> (L.) Beauv.	40.0±8.9a	33.3±7.6a	36.7±5.7a	29.3±6.8a	45.7±11.5a	55.21±8.84a	71.01±8.09a	65.41±4.27a	42.10±3.36a	55.85±9.45a
	双穗雀稗 <i>Paspalum paspaloides</i> (Michx.) Scribn.	0	0	0	0.3±0.1	0	0	0	0	0.34±0.07	0
	千金子 <i>Leptochloa chinensis</i> (L.) Nees	9.3±1.5a	0.7±0.1b	2.0±0.4b	0	3.3±0.4b	12.53±3.05a	4.76±1.20a	3.12±0.55a	0	7.09±0.53a
莎草科 Cyperaceae	香附子 <i>Cyperus rotundus</i> L.	0	0	1.7±0.7a	1.0±0.5a	0	0	0	2.6±0.59a	1.82±0.50a	0
	碎米莎草 <i>Cyperus iria</i> L.	5.0±1.8a	0	3.7±1.9ab	0	1.0±0.8b	9.09±1.05a	0	4.82±1.45a	0	2.13±0.22a
	异型莎草 <i>Cyperus difformis</i> L.	0.7±0.4	0	0	0	0	1.13±0.26	0	0	0	0
	日照飘拂草 <i>Fimbristylis miliacea</i> (L.) Vahl.	11.3±1.0a	0	0.7±0.3b	0	0.3±0.2b	8.91±3.94ab	0	1.35±1.26b	0	15.08±4.00a
雨久花科 Pontederiaceae	鸭舌草 <i>Monochoria vaginalis</i> (Burm. f.) Preslex Kunth	0.7±0.3b	0	0	25.0±7.9a	0	1.13±0.67b	0	0	49.69±10.70a	0
菊科 Compositae	鲤肠 <i>Eclipta prostrata</i> L.	7.3±2.3a	0	1.0±0.0b	1.3±0.5b	8.3±1.8a	10.48±3.89a	0	1.24±0.55b	2.16±1.42b	5.07±1.74ab
千屈菜科 Lythraceae	水苋菜 <i>Ammannibaccifera</i> L.	0.7±0.2b	3.3±1.5ab	0.3±0.2b	1.3±0.6b	5.3±1.8a	1.13±0.85b	24.23±6.12a	0.52±0.23b	1.37±0.72b	2.78±1.59b
柳叶菜科 Onagraceae	丁香蓼 <i>Ludwigia prostrata</i> Roxb.	0	0	3.7±1.3a	1.3±0.7a	5.3±0.9a	0	0	12.41±3.97a	2.16±1.20b	10.42±2.89a
玄参科 Scrophulariaceae	陌上菜 <i>Lindernia procumbens</i> (Krock.) Philcox	0	0	3.3±1.4a	0.3±0.2b	0.7±0.4b	0	0	9.29±3.45a	0.34±0.15b	1.42±0.94b
	总密度 Total density	75.0	37.3	53.1	59.8	69.9	—	—	—	—	—

注:同行不同小写字母表明处理间差异显著($P<0.05$)。下同。

Note: Different small letters in the same row show significant difference among treatments at 0.05 level. The same below.

83.33%;一年或越年生杂草1种,占杂草种类总数的8.33%;多年生杂草1种,占杂草种类总数的8.33%。7科杂草中,禾本科(3种)和莎草科(4种)杂草种类较多,共7种,占调查杂草种类的58.33%;雨久花科、菊科、千屈菜科、柳叶菜科和玄参科杂草各有1种,共5种,占杂草种类总数的47.27%。就杂草种类而言,稗草(*Echinochloa crusgalli*(L.) Beauv.)、千金子(*Leptochloa chinensis*(L.) Nees)、日照飘拂草(*Fimbristylis miliacea*(L.) Vahl.)、鸭舌草(*Monochoria vaginalis*(Burm. f.) Preslex Kunth)、鲤肠(*Eclipta prostrata* L.)、水苋菜(*Ammannibaccifera* L.)和丁香蓼(*Ludwigia prostrata* Roxb.) 7种杂草发生密度较大,群体数量占整个稻田杂草的90%以上。

秸秆还田和不同氮肥管理措施对杂草种类和数量影响较大。CK处理的杂草总密度最高(75.0株·m⁻²),F₀S处理杂草总密度最低(37.3株·m⁻²),F₀S、F₀SA、F₁SA和F₂SA处理的杂草总密度较CK分别降低50.3%、29.2%、20.3%和6.8%,说明秸秆还田能有效降低杂草的密度。在CK处理中,稗草、日照飘拂草、千金子、鲤肠和碎米莎草(*Cyperus iria* L.)5种杂草生长优势明显,发生密度较大,占该处理杂草密度的97.2%,其中,稗草发生密度最大,占该处理杂草密度

的53.3%。F₀S处理中,杂草种类和密度明显减少,尽管稗草密度低于CK,但稗草生长优势凸显,占该处理杂草总密度的89.3%。F₀SA、F₁SA和F₂SA处理与CK相比,杂草总数和总密度无显著差异,但禾本科和莎草科杂草不同程度地减少,其中,千金子和日照飘拂草发生密度显著降低,而柳叶菜科和玄参科杂草显著增加,说明秸秆还田配施秸秆腐解剂对农田杂草种类影响显著。

秸秆还田和不同氮肥管理措施不仅影响田间的杂草密度,而且对群落中优势杂草的组成也有显著影响。从表2可以看出,CK处理中,稗草、千金子、鲤肠、碎米莎草和日照飘拂草为优势种,其相对密度之和为94.22%,其中稗草相对密度(55.21%)明显高于其他4种杂草相对密度之和(39.01%)。F₀S处理中,优势种为稗草和水苋菜,总相对密度为95.24%,且稗草的相对密度(71.01%)显著高于水苋菜(24.23%)。说明常规施肥管理下,仅添加秸秆使杂草种类明显减少。F₀SA处理中,优势种为稗草、丁香蓼和陌上菜(*Lindernia procumbens*(Krock.) Philcox),总相对密度为87.11%,且稗草(65.41%)的相对密度显著高于其他两种杂草相对密度之和(21.70%)。F₁SA处理中,优势种为稗草和鸭舌草,总相对密度为91.79%,且鸭

舌草相对密度(49.69%)高于稗草(42.10%)。F₂SA处理中,优势种为稗草、日照飘拂草、丁香蓼和千金子,总相对密度为88.44%,且稗草(55.85%)的相对密度显著高于其他两种杂草相对密度之和(32.59%)。在常规施肥和秸秆还田下,秸秆腐解剂和氮肥管理改善土壤养分状况,使各物种间的农田资源分配与竞争关系发生一定变化,从而影响田间优势种群的形成。

2.2 秸秆还田与氮肥管理对稻田杂草生物多样性的影响

采用3种应用比较普遍的多样性指数对田间杂草的生物多样性进行比较。其中D_{MC}是对一定总数量的田间杂草中其种类数的量度;E是对田间杂草群落中不同杂草之间数量分布均匀程度的量度;H'是对田间杂草物种丰富度和物种均匀度的综合量度。

由表3可知,CK处理的杂草H'最高,且显著高于F₀S、F₀SA和F₁SA处理。F₀S处理H'最低,施用秸秆后由于杂草种类减少,以稗草为绝对优势种群形成的杂草群落结构单一,生物多样性显著降低。F₀SA、F₁SA、F₂SA处理在不同氮肥管理措施和秸秆腐解剂的共同作用下,土壤养分分布规律和土壤物理结构改变,杂草种类较多,杂草群落构成的优势种发生变化,进而影响杂草群落的生物多样性。其中,F₂SA处理的生物多样性指数最高,F₁SA处理的生物多样性最低,氮肥措施的改变对杂草生物多样性产生一定的影响,但处理间差异不显著。

CK处理的E和D_{MC}均高于其他处理,F₀S处理最低,与CK相比差异显著。由于受到秸秆腐解剂和不同氮肥措施的影响,其他处理的田间杂草种类数和空间分布均有不同程度的增加,与CK相比差异不显著。说明常规施肥下,秸秆还田、秸秆腐解剂和不同氮肥措施可以使杂草种类、数量、空间分布发生变化,进而影响杂草生物多样性。

2.3 秸秆还田与氮肥管理对稻田杂草生物量的影响

在秸秆还田和不同氮肥施用措施下,各处理田间杂草种类、数量和群落构成差异明显,导致其杂草生物量存在一定差异,但各处理间差异不显著(图1)。CK处理杂草生物量最大,为52.0 g·m⁻²,高于其他处

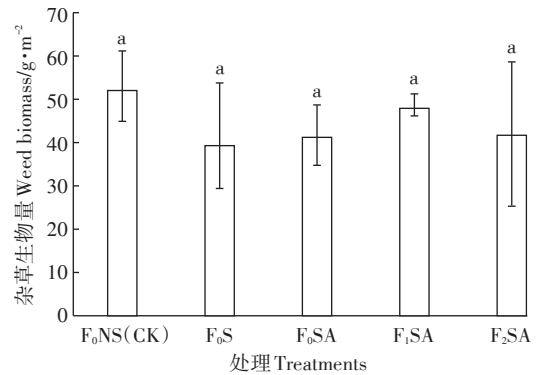


图1 秸秆还田与不同氮肥管理下杂草生物量

Figure 1 Weed biomass under straw returning and different N-fertilizer management

理的杂草生物量(平均42.6 g·m⁻²)。在秸秆还田的4个处理中,F₀S处理的杂草生物量最低,这与田间杂草群落构成和组成数量关系较大。F₀SA处理在施用腐解剂后,杂草种类和数量有所增加,但稗草数量增加不明显,生物量增幅不大。F₁SA处理中稗草种群密度最低,但鸭舌草生长旺盛,个体数量剧增,生物量明显增加。F₂SA处理中稗草虽然数量最多,但个体生物量较小,其他优势杂草个体和数量较小,生物量增幅不明显。

2.4 秸秆还田与氮肥管理对水稻产量的影响

从图2可见,F₀S、F₀SA、F₁SA、F₂SA 4个处理的水稻产量分别比CK处理提高7.13%、16.55%、17.80%和

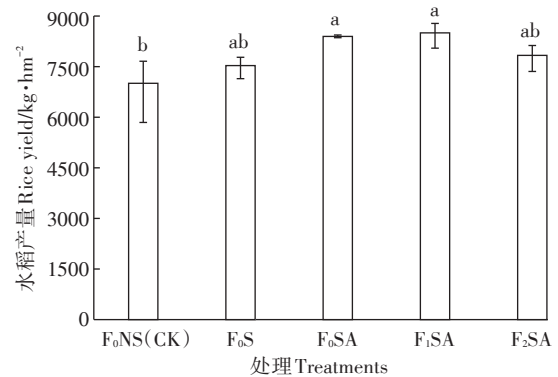


图2 秸秆还田与不同氮肥管理下的水稻产量

Figure 2 The yield of rice under straw returning and different N-fertilizer management

表3 秸秆还田与不同氮肥管理下杂草的生物多样性指数

Table 3 The biodiversity indices of weed under straw returning and different N-fertilizer management

生物多样性指标 Biodiversity indicators	F ₀ NS(CK)	F ₀ S	F ₀ SA	F ₁ SA	F ₂ SA
Shannon's H'	0.52±0.07a	0.20±0.08c	0.30±0.15bc	0.29±0.04bc	0.45±0.15ab
Shannon's E	0.13±0.02a	0.05±0.02b	0.08±0.05a	0.07±0.01ab	0.07±0.01ab
Margalef's D _{MC}	1.05±0.39a	0.28±0.04b	0.74±0.36ab	0.76±0.55ab	0.80±0.43ab

10.67%,说明秸秆还田有利于土壤培肥、提高作物产量。其中, F_0SA 、 F_1SA 处理水稻产量与CK处理差异显著, F_0S 、 F_2SA 处理水稻产量与CK处理差异不显著。在秸秆还田、秸秆腐解剂和不同氮肥管理措施的影响下,各处理水稻产量都有不同程度的增加。尽管 F_0S 、 F_0SA 、 F_1SA 和 F_2SA 处理之间水稻产量差异不显著,但 F_0SA 、 F_1SA 、 F_2SA 处理水稻产量有高于 F_0S 处理的趋势。

3 讨论

本研究发现,各处理以禾本科、莎草科、菊科和千屈菜科杂草为共生杂草,稗草是稻油轮作夏季稻田主要优势杂草种群,其发生数量和发生密度高于其他杂草,稗草对土壤环境和养分结构的变化具有较强的适应性。在秸秆还田、秸秆腐熟剂、不同氮肥管理措施交互作用下,农田杂草间竞争格局发生改变,优势杂草种类和种群数量有不同程度的减少,其中禾本科和莎草科杂草种类明显减少,使杂草群落组成的优势种出现明显交替,杂草生物多样性差异明显。与CK相比,秸秆还田可以有效抑制杂草生长,降低稻田杂草的总密度和生物量^[15]。但在本次调查研究中发现,虽然 F_2SA 处理稗草种群发生数量较大,但杂草群落生物量较小,可能是由于在不同施肥处理下同种杂草生物量存在差异,导致杂草生物量与总密度不一致^[24]。除了秸秆还田使农田土壤温度、湿度、含水量等农田土壤生境发生改变影响了杂草种子的萌发^[24-25],秸秆在土壤中的化感作用也抑制了杂草的生长^[26]。但也有研究认为,由于秸秆还田对农田土壤具有保湿保温效果,才利于杂草种子的保存和生长,使杂草发生数量和密度增加,这可能与秸秆还田时间、还田量、还田深度有关^[27]。

秸秆腐解剂是提高秸秆还田利用效率、促进秸秆养分转化的重要农业措施,能够提高土壤中微生物数量,优化土壤环境,利于杂草生长。本研究表明,秸秆还田下配施秸秆腐熟剂,杂草种类、数量、密度、生物量均有不同程度的增加,杂草多样性提高。但在不同的施氮措施下,杂草群落在农田的分布特征差异明显^[15,24]。在氮肥基追肥比例前移条件下,水稻生育前期农田土壤养分增加,杂草与作物及杂草种群间养分竞争关系减弱,田间杂草生长养分得到充分供给,稻田早期杂草种类和数量呈增加趋势,生长优势明显,限制了稻田后期其他杂草在空间上的分布,生物多样性降低。而氮肥减量加剧了作物与杂草对养

分的竞争,由于作物在农田生态系统中的种群优势明显,能够充分汲取农田氮肥,且各杂草种类的耐氮性不同,导致其生长状况产生差异^[17]。本研究表明,稗草具有较强的耐氮性^[17],能够很好地适应农田缺氮环境,这使该杂草大面积发生,限制了其他优势杂草生长,其中株型直立高大的一年生或多年生禾本科和莎草科杂草明显减少,使田间透光性和通风性增强,利于菊科、千屈菜科、柳叶菜科和玄参科等一年生矮小杂草的生长,其发生面积和数量明显增加,农田杂草生物多样性提高。

秸秆还田作为一项重要农业措施,能改善土壤物理结构,增加土壤通透性和土壤微生物活性,利于氮素、有机质等在秸秆与土壤间的转化和循环利用,对当季和后茬作物产量提高具有显著作用^[28-29]。本试验结果表明,与CK相比,秸秆还田培肥增产效果明显,说明秸秆还田增加土壤养分供给,增加了水稻有效穗数,使水稻产量提高^[30]。但也有研究发现,秸秆还田会造成作物减产^[10],研究结果的差异可能与秸秆还田方式、农田耕作制度及农田管理措施等因素有关。

秸秆腐解剂作为加快作物秸秆腐解和物质转化利用的重要辅助措施,能够加快秸秆腐解速率和秸秆养分在土壤中的矿化作用,增强秸秆在土壤中的供氮能力,提高氮肥的利用效率,使农田养分增加,促进作物生长和产量水平^[28]。本试验结果表明,秸秆腐解剂配施可以使水稻产量显著增加。其中, F_1SA 处理水稻产量提高最为明显,说明常规施肥下,氮肥施用比例前移促进水稻前期生长,利于水稻分蘖增加和有效分蘖的形成,增产效果明显。而 F_2SA 处理由于施氮量减少,造成田间养分不足影响作物生长,水稻产量增幅低于 F_0SA 和 F_1SA 处理。为防止前期秸秆分解时微生物与作物“争氮”,在不增加氮肥总用量的前提下,可以适当地提高前期的施氮比例来降低土壤碳氮比、促进秸秆矿化分解,缓解秸秆还田对水稻早期生长的负面影响,提高水稻产量^[15,31]。但在相同处理情况下,氮肥基追肥比例前移产量最高。说明在作物生育前期增施氮肥可以较好地满足作物前期氮肥利用需求、提高氮肥生理利用率,同时秸秆腐解剂加快了秸秆腐解速率,减缓了秸秆与作物争氮的负面影响^[18]。但也有学者认为,要根据秸秆养分释放先快后慢的特点,并结合不同秸秆养分释放特点和水稻品种对氮肥吸收利用的差异性,来适当降低基肥的比例,适时增加水稻分蘖肥或穗粒肥^[32]。因此,关于秸秆还田下氮肥施用不同比例对作物生长和产量的研究需

要进一步探讨。氮肥减量是我国农业新常态下农业可持续发展的重要措施,施氮量减少必然会导致作物生长必需营养元素供应不足,降低秸秆氮素在土壤中的转化与输出,但可以有效提高氮肥利用率,达到作物稳产增产效果。本研究结果表明,在正常施用K、P情况下,施N减少15%,同样可以提高水稻产量,尽管增幅不显著。水稻增产原因可能是秸秆腐解剂对秸秆氮素转化和土壤有机质提升的贡献较大,弥补了少氮土壤环境下作物生长的养分需要,也可能与水稻品种的耐氮性有关^[33]。

4 结论

(1) 秸秆还田和氮肥管理能有效降低稻田杂草的发生密度、总生物量和生物多样性,有利于提高水稻产量。

(2) 从产量效应和氮肥的吸收利用效率方面考虑,可以通过配施秸秆腐解剂或提高水稻生育前期氮肥基追肥比例,促进秸秆氮素转化,减轻秸秆微生物与作物生长、杂草与作物生长争氮的不利影响,达到抑制优势杂草生长、提高秸秆腐解效率及增加作物产量的效果。

(3) 从生态环境方面和农业可持续发展方面考虑,可以合理减少氮肥施入量,通过秸秆还田来抑制优势杂草生长和提高杂草生物多样性,并配施秸秆腐解剂加快秸秆营养物质分解速率,增加土壤肥力,减少潜在的农田环境污染,提高氮肥的利用效率,达到稳产、增产的作用。

综上所述,通过调整农业管理措施可以有效降低农田优势杂草生长,改善杂草与作物之间的生长竞争关系,从而达到维持农田生态系统平衡、增加生物多样性、促进作物增产的目的。

参考文献:

- [1] 程传鹏, 崔佰慧, 汤雷雷, 等. 长期不同施肥模式对杂草群落及早稻产量的影响[J]. 生态学杂志, 2013, 32(11): 2944-2952.
CHENG Chuan-peng, CUI Bai-hui, TANG Lei-lei, et al. Effects of long-term fertilization regimes on weed community and early rice yield [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2013, 32(11): 2944-2952.
- [2] Vollmann J, Wagentristsl H, Hartl W. The effects of simulated weed pressure on early maturity soybeans[J]. *European Journal of Agronomy*, 2010, 32(4): 243-248.
- [3] 林新坚, 王 飞, 王长方, 等. 长期施肥对南方黄泥田冬春季杂草群落及C、N、P化学计量的影响[J]. 中国农业生态学报, 2012, 20(5): 573-577.
LIN Xin-jian, WANG Fei, WANG Chang-fang, et al. Effects of long-

- term fertilization on weed community characteristics and carbon, nitrogen and phosphorus stoichiometry during winter-spring season in yellow-clay paddy fields of south China[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2012, 20(5): 573-577.
- [4] Fried G, Petit S, Dessaint F, et al. Arable weed decline in northern France: Crop edges as refugia for weed conservation[J]. *Biological Conservation*, 2009, 142(1): 238-243.
- [5] Zhang Z P. Advances in cropland weed management in China[J]. *Plant Protection*, 2004, 30(2): 28-33.
- [6] 赵玉信, 杨慧敏. 作物格局、土壤耕作和水肥管理对农田杂草发生的影响及其调控机制[J]. 草业学报, 2015, 24(8): 199-210.
ZHAO Yu-xin, YANG Hui-min. Effects of crop pattern, tillage practice and water and fertilizer management on weeds and their control mechanisms[J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2015, 24(8): 199-210.
- [7] Mclaughlin A, Mineau P. The impact of agricultural practices on biodiversity[J]. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 1995, 55(3): 201-212.
- [8] 张 珊, 石祖梁, 杨四军, 等. 施氮与秸秆还田对晚播小麦养分平衡和产量的影响[J]. 应用生态学报, 2015, 26(9): 2714-2720.
ZHANG Shan, SHI Zu-liang, YANG Si-jun, et al. Effects of nitrogen application rates and straw returning on nutrient balance and grain yield of late sowing wheat in rice-wheat rotation[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2015, 26(9): 2714-2720.
- [9] Shi Z L, Li D D, Jing Q, et al. Effects of nitrogen applications on soil nitrogen balance and nitrogen utilization of winter wheat in a rice-wheat rotation[J]. *Field Crops Research*, 2012, 127(1): 241-247.
- [10] Usman K, Khan E A, Khan N, et al. Response of wheat to tillage plus rice residue and nitrogen management in rice-wheat system[J]. *Journal of Integrative Agriculture*, 2014, 13(11): 2389-2398.
- [11] Yin L C, Cai Z C, Zhong W H. Changes in weed community diversity of maize crops due to long-term fertilization[J]. *Crop Protection*, 2006, 25(9): 910-914.
- [12] Saito K, Linquist B, Johnson D E, et al. Planted legume fallows reduce weeds and increase soil N and P contents but not upland rice yields[J]. *Agroforest System*, 2008, 74(1): 63-72.
- [13] 董春华, 刘 强, 高菊生, 等. 不同施肥模式下水稻生育期间杂草群落特征[J]. 草业学报, 2013, 22(3): 218-226.
DONG Chun-hua, LIU Qiang, GAO Ju-sheng, et al. Effects of different fertilization models on the characteristics of weed communities during the rice growing seasons[J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2013, 22(3): 218-226.
- [14] Davis A S. Nitrogen fertilizer and crop residue effects on seed mortality and germination of eight annual weed species[J]. *Weed Science*, 2007, 55(2): 123-128.
- [15] 黄爱军, 赵 锋, 陈雪凤, 等. 施肥与秸秆还田对太湖稻-油复种系统春季杂草群落特征的影响[J]. 长江流域资源与环境, 2009, 18(6): 515-521.
HUANG Ai-jun, ZHAO Feng, CHEN Xue-feng, et al. Long-term effects of straw returning and fertilization on community characteristics of spring weed in rice-rape seed cropping system[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2009, 18(6): 515-521.
- [16] 赵 锋, 董文军, 芮雯奕, 等. 不同施肥模式对南方红壤稻田冬春

- 杂草群落特征的影响[J]. 杂草科学, 2009(1):7-12.
- ZHAO Feng, DONG Wen-jun, RUI Wen-yi, et al. Effects of different fertilization patterns on weed community characteristics in red soil paddy fields of southern China[J]. *Weed Science*, 2009(1):7-12.
- [17] 潘俊峰, 万开元, 李祖章, 等. 施肥模式对晚稻田杂草群落的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2015, 21(1):200-210.
- PAN Jun-feng, WAN Kai-yuan, LI Zu-zhang, et al. Effect of fertilization patterns on weed community in late rice fields[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2015, 21(1):200-210.
- [18] 何虎, 吴建富, 曾研华, 等. 稻草全量还田下氮肥运筹对双季晚稻产量及其氮素吸收利用的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2014, 20(4):811-820.
- HE Hu, WU Jian-fu, ZENG Yan-hua, et al. Effects of nitrogen management on yield and nitrogen utilization of double cropping late rice under total rice straw incorporation[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2014, 20(4):811-820.
- [19] 丁文成, 李书田, 黄绍敏. 氮肥管理和秸秆腐熟剂对¹⁵N标记玉米秸秆氮有效性及去向的影响[J]. 中国农业科学, 2016, 49(14):2725-2736.
- DING Wen-cheng, LI Shu-tian, HUANG Shao-min. Bioavailability and fate of nitrogen from ¹⁵N-labeled corn straw as affected by nitrogen management and straw microbial inoculants[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2016, 49(14):2725-2736.
- [20] Sun L M, Li C J, He P, et al. Long-term application of K fertilizer and straw returning improve crop yield, absorptive capacity in north China[J]. *Frontiers of Agriculture in China*, 2011, 5(4):563-569.
- [21] 于建光, 常志州, 黄红英, 等. 秸秆腐熟剂对土壤微生物及养分的影响[J]. 农业环境科学学报, 2010, 29(3):563-570.
- YU Jian-guang, CHANG Zhi-zhou, HUANG Hong-ying, et al. Effect of microbial inoculants for straw decomposing on soil microorganisms and the nutrients[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2010, 29(3):563-570.
- [22] Monaco S, Hatch D J, Sacco D, et al. Changes in chemical and biochemical soil properties induced by 11 year repeated additions of different organic materials in maize-based forage system[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2008, 40(3):608-615.
- [23] 解媛媛, 谷洁, 高华, 等. 微生物菌剂酶制剂化肥不同配比对秸秆还田后土壤酶活性的影响[J]. 水土保持研究, 2010, 17(2):233-238.
- XIE Yuan-yuan, GU Jie, GAO Hua, et al. Dynamic changes of soil enzyme activities in microorganism inoculants, enzymes and chemical fertilizers in different proportions after straw returning soil[J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2010, 17(2):233-238.
- [24] 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 Qiao-zhen, YANG Xue-yun, SUN Ben-hua, et al. Weed biodiversity in winter wheat field of loess soil under different fertilization regimes[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2007, 18(5):1038-1042.
- [25] 马丽荣, 蔺海明, 陈玉梁, 等. 兰州引黄灌区玉米田杂草群落及生态位研究[J]. 草业学报, 2007, 16(2):111-117.
- MA Li-rong, LIN Hai-ming, CHEN Yu-liang, et al. Weed communities and the eco-niche in *Zea Mays* fields in the Yellow River valley of Lanzhou[J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2007, 16(2):111-117.
- [26] 胡飞, 孔垂华, 徐效华, 等. 水稻化感材料的抑草作用及其机制[J]. 中国农业科学, 2004, 37(8):1160-1165.
- HU Fei, KONG Chui-hua, XU Xiao-hua, et al. Weed-suppressing effect and its mechanism of allelopathic rice accessions[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2004, 37(8):1160-1165.
- [27] 赵玉信. 保护性耕作对陇东黄土高原轮作田杂草发生的影响及其机制研究[D]. 兰州:兰州大学, 2015.
- ZHAO Yu-xin. Effect of conservation tillage on weeds in a rotation system and its mechanisms on the Loess Plateau of eastern Gansu[D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2015.
- [28] 彭英湘, 王凯荣, 谢小立, 等. 水肥条件与稻草还田对土壤供氮及水稻产量的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2007(4):40-43, 48.
- PENG Ying-xiang, WANG Kai-rong, XIE Xiao-li, et al. Effects of rice straw incorporation on soil nitrogen supply and rice yield under different irrigation and fertilizer regimes[J]. *Soil and Fertilizer Sciences in China*, 2007(4):40-43, 48.
- [29] 彭娜, 王凯荣, 王开峰, 等. 不同氮肥配施方法下稻草还田短期效应研究[J]. 中国农业生态学报, 2007, 4(7):64-67.
- PENG Na, WANG Kai-rong, WANG Kai-feng, et al. Effect of incorporating rice straw into the soil on rice growth, soil N and P nutrients under different N and P fertilization models[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2007, 4(7):64-67.
- [30] 吴建富, 曾研华, 潘晓华, 等. 稻草还田方式对双季水稻产量和土壤碳库管理指数的影响[J]. 应用生态学报, 2013, 24(6):1572-1578.
- WU Jian-fu, ZENG Yan-hua, PAN Xiao-hua, et al. Effects of rice straw returning mode on rice grain yield and soil carbon pool management index in double rice-cropping system[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2013, 24(6):1572-1578.
- [31] 王国忠, 杨佩珍. 麦秸还田及水稻氮肥配施技术研究[J]. 土壤肥料, 2011(6):34-37.
- WANG Guo-zhong, YANG Pei-zhen. The techniques of wheat straw return to field and nitrogen fertilizer combined application for rice[J]. *Soils and Fertilizers*, 2011(6):34-37.
- [32] 刘红江, 郑建初, 郭智, 等. 太湖地区氮肥减量对水稻氮素吸收利用的影响[J]. 生态学杂志, 2016, 35(11):2960-2965.
- LIU Hong-jiang, ZHENG Jian-chu, GUO Zhi, et al. Effects of reduced nitrogen application on nitrogen uptake and use efficiency of rice in Taihu Area[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2016, 35(11):2960-2965.
- [33] 陈帅, 刘峙嵘, 曾凯. 腐秆剂对水稻秸秆腐解性能的影响[J]. 环境工程学报, 2016, 10(2):839-844.
- CHEN Shuai, LIU Zhi-rong, ZENG Kai. Effect of straw-decomposing inoculant on decomposition of rice straw[J]. *Chinese Journal of Environmental Engineering*, 2016, 10(2):839-844.