

不同施肥模式下水稻生育期间杂草群落特征

董春华^{1,2,3}, 刘强¹, 高菊生^{2,3*}, 徐明岗², 文石林^{2,3}, 曾希柏^{4*}

(1. 湖南农业大学资源环境学院, 湖南 长沙 410128; 2. 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所 祁阳农田生态系统国家野外试验站, 湖南 祁阳 426182; 3. 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所 农业部作物营养与施肥重点开放实验室 北京 100081; 4. 中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所 农业部农业环境重点开放实验室 北京 100081)

摘要: 利用中国农业科学院红壤实验站 1982 年布置的红壤稻田长期定位试验, 于 2011 年研究了在无机肥和有机肥含有等量氮磷钾养分的条件下, 长期施用有机肥、化肥和有机无机肥混施模式下水稻生育期间杂草种类和生物量变化。结果表明, 施肥 30 年后, 有机无机肥混施处理早稻和晚稻杂草种类最少, 有机肥处理早稻杂草种类最多, 不施肥处理晚稻最多, 且后者比前者依次分别高出 34.4% 和 39.3%; 有机肥处理两季杂草总量最高, 比无机有机混施、化肥和不施肥处理分别高出 10.7%、4.5% 和 37.7%, 早稻杂草总量和湿生杂草生物量有机肥处理最多, 晚稻不施肥处理最多, 早稻和晚稻浮水杂草生物总量有机无机肥混施处理最多。土壤碱解氮、有效磷与杂草总干物质量显著正相关(相关系数分别为 0.465 和 0.517), 与湿生杂草生物量显著正相关(相关系数分别为 0.482 和 0.542), 土壤有效磷与浮水杂草生物量极显著正相关(相关系数为 0.666), pH 与之极显著负相关(相关系数为 0.516)。土壤有效磷受土壤 pH 和碱解氮及其他因子的共同作用对杂草总干物质量产生影响。通过各种施肥措施维持土壤适宜 pH 及碱解氮、有效磷含量, 能有效控制南方红壤稻田中湿生和浮水杂草生长, 使杂草种类与总生物量达到有益的动态平衡。

关键词: 长期试验; 施肥模式; 双季稻; 杂草群落; 特征

中图分类号: S511.062; S451 文献标识码: A 文章编号: 1004-5759(2013)03-0218-09

DOI: 10.11686/cyxb20130329

杂草是农田生态系统的重要组成部分, 对保持农田生态系统的平衡与稳定发挥着重要作用^[1,2]。过去, 人们一直努力将杂草从农业生态系统中清除出去, 但近年来, 保护农业生产区域中杂草等野生植物的多样性, 以及发挥其在维持生态平衡中的作用逐渐为人们所重视, 并不断引导人们对田间杂草管理策略进行新的思考^[3-6]。国外已经开始采用保持田间一定数量杂草和维持农田生态系统生物多样性等农艺措施来实现农田休闲期养分保持和系统稳定性提高^[7], 国内也在相关领域开展了大量的研究工作^[8,9]。目前, 对旱地系统杂草研究较多^[10-12], 对稻田系统的研究还有待增加。

杂草管理的目的应该是降低杂草对作物产量的影响, 并保持一定可控制杂草的生物多样性, 施肥能对稻田杂草群落产生显著影响^[10]。在不同施肥模式下并经过多年栽培后, 不同稻作模式的稻田各自已形成相对稳定的优势杂草群落, 这可能在不同的养分和生态环境下, 有不同的杂草种类与其相适应。李昌新等^[13]研究表明, 秸秆还田和有机肥施用对冬闲田冬春季杂草群落的调控效应显著, 而且效应的强弱与施用时期和方式密切相关。李儒海等^[14]研究表明, 单施化肥(平衡施用 N、P、K 肥)、化肥配施猪粪、化肥配施夏季、秋季和全年秸秆处理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。黄爱军等^[15]研究表明, 通过合理施肥和秸秆还田措施, 可以对稻油复种模式中春季杂草群落进行有效调控。双季稻面积占我国水稻总面积 75% 以上, 农业生态环境开发潜力巨大。为此, 本研究通过对中国农业科学院红壤实验站双季稻区不同肥料用量的长期定位试验进行研究, 通过监测不同施肥模式下早晚稻杂草群落特征, 以期阐明长期施肥对南方红壤稻田生态系统的影响, 并为稻田杂草多样性的管理提供理论依据和技术参考。

* 收稿日期: 2012-05-30; 改回日期: 2012-07-25

基金项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金(2011-25), 公益性行业(农业)科研专项经费(201203030), 公益性行业(农业)科研专项经费(201103005) 和国家青年科学基金(31100310) 资助。

作者简介: 董春华(1976-) 男, 湖南祁阳人, 助理, 博士。E-mail: dch200707@yahoo.com.cn

* 通讯作者。E-mail: gjusheng@163.com zengxb@cjac.org.cn

1 材料与方法

1.1 自然条件

试验地点设在湖南省祁阳县官山坪中国农业科学院红壤试验站内,东经 111°52′23″,北纬 26°45′12″,海拔约 120 m,年平均温度 18.0℃,最高温度 36.6~40.0℃,≥10.0℃的年积温 5 600℃,年降水量 1 250 mm,年蒸发量 1 470 mm,无霜期约为 300 d,年日照时数 1 610~1 620 h,太阳辐射量 4 550 MJ/m²,温、光、热资源丰富。

1.2 供试土壤与试验设计

试验始于 1982 年,供试土壤为第四纪红土母质发育稻田,土壤质地为壤质粘土,耕层土壤:pH 5.2,有机质含量为 19.8 g/kg,全氮为 1.44 g/kg,碱解氮为 82.8 mg/kg,全磷为 0.48 g/kg,速效磷为 9.6 mg/kg,缓效钾为 237 mg/kg,速效钾为 65.9 mg/kg。

试验选取 4 个处理:1) M; 2) NPK; 3) NPKM; 4) CK。小区面积:1.8 m×15.0 m=27 m²,3 次重复,随机排列,小区间均用水泥埂分隔。一年两熟双季稻,肥料施用量见表 1。每季水稻施肥量相等,为:尿素(N 46%) 157.5 kg/hm²,过磷酸钙(P₂O₅ 12%) 450.4 kg/hm²,氯化钾(K₂O 60%) 56.3 kg/hm²,有机肥为腐熟的牛粪 22 500 kg/hm²(折合养分含量:N 72.0 kg/hm²,P₂O₅ 56.3 kg/hm²,K₂O 33.8 kg/hm²),牛粪养分含量为多年测定的平均值。所有肥料均作底肥一次施入。试验水稻(*Oryza sativa*)品种为当地常用品种,3~5 年更换一次。

表 1 试验处理及肥料施用量
Table 1 Treatments with different fertilizers

处理 Treatment	肥料施用量* Amount of fertilizer applied				肥料养分含量* Nutrients content in fertilizer		
	化肥施用量* Chemical fertilizer applied			有机肥用量* Manure	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O				
CK	0	0	0	0	0	0	0
M	0	0	0	22 500	72.5	56.3	33.8
NPK	72.5	56.3	33.8	0	72.5	56.3	33.8
NPKM	72.5	56.3	33.8	22 500	145.0	112.6	67.6

* : 每季水稻施肥量 Amounts of fertilizer applied each season.

1.3 测定项目及方法

于 2011 年早稻和晚稻生育期间分别采集分蘖始期、分蘖盛期和成熟期 4 个生育期 0~20 cm 耕层土壤样,测定项目为碱解氮、速效磷、速效钾含量及 pH。早稻土壤样品采集时间分别为 5 月 27 日、6 月 18 日和 7 月 15 日,晚稻分别为 8 月 15 日、9 月 10 日和 10 月 11 日。

在早稻和晚稻上述生育时期,每小区采集有代表性的 0.25 m² 水面及土壤中杂草,计算杂草种类后,分为湿生杂草和浮水杂草分别称取干物质量。湿生杂草为生长在稻田土壤上的杂草,维持一定土壤含水量即可生存,主要有鸭舌草(*Monochoria vaginalis*)、牛毛毡(*Eleocharis yokoscensis*)、异型莎草(*Cyperus difformis*)、节节菜(*Rotala indica*)、稗子(*Echinochloa crusgalli*)、绿藻(*Chlorella*)和空心莲子草(*Alternanthera philoxeroides*)等,浮水杂草为生长在稻田水中的杂草,主要有浮萍(*Lemna minor*)和四叶萍(*Marsilea quadrifolia*)等^[16]。

碱解氮用扩散法,速效磷用 Olsen 法,pH 采用水土比为 2.5 进行,速效钾用 1 mol/L NH₄OAc 浸提-火焰光度法^[17]。

1.4 分析方法

采用 Excel 2003、SPSS 13.0 软件进行统计分析,不同施肥处理间采用 LSD 法进行差异显著性检验(α=0.05)。

2 结果与分析

2.1 长期不同施肥对稻田杂草生长的影响

2.1.1 对稻田杂草种类数量和优势杂草的影响 长期施肥 30 年后稻田杂草变化明显(表 2)。早稻杂草种类 M 处理最多,晚稻 CK 处理最多,早稻和晚稻 NPKM 处理都最少,早稻 M、NPK 和 CK 处理比 NPKM 种类数量分别高出 34.4%、24.6% 和 31.1%,晚稻分别高出 24.6%、11.5% 和 39.3%;早稻 NPKM 和 NPK 处理浮萍覆盖率达 95% 以上,其次为 M 处理,CK 处理几乎没有;早稻只有 M 和 CK 处理出现牛毛毡,晚稻狗牙根(*Cynodon dactylon*) 仅未在 NPKM 处理中占优势。不同处理不同生育期杂草种类数量不一样,出现不同优势杂草,这可能是因为不同施肥模式下作物长势不同,导致农田小气候差异显著,进而影响作物与杂草以及杂草与杂草之间的竞争关系,从而引起杂草群落演变,同时也可能是因为杂草对养分利用具有选择性,因而不同施肥措施能显著影响农田养分状况,进而影响杂草间的养分分配,也可能与杂草生育周期有关^[18-20]。

表 2 2011 年水稻生育期间稻田杂草种类数量与优势杂草
Table 2 Weed species number and dominant weeds at different growing stages of rice in 2011

季别 Season	处理 Treatments	杂草种类数 Weed species number			平均 Mean (No.)	优势杂草 Dominant weed species
		分蘖始期	分蘖盛期	成熟期		
		ITS	ATS	MS		
早稻 Early rice	M	6.7±0.6	8.7±1.2	9.3±0.6	8.2±1.4	浮萍、四叶萍、鸭舌草 <i>L. minor</i> , <i>M. quadrifolia</i> , <i>M. vaginalis</i>
	NPKM	6.7±1.2	6.0±0.0	5.7±1.2	6.1±0.5	浮萍、四叶萍、鸭舌草 <i>L. minor</i> , <i>M. quadrifolia</i> , <i>M. vaginalis</i>
	NPK	7.3±1.2	8.3±0.6	7.3±0.6	7.6±0.6	浮萍、四叶萍、鸭舌草 <i>L. minor</i> , <i>M. quadrifolia</i> , <i>M. vaginalis</i>
	CK	7.7±0.6	7.7±0.6	8.7±0.6	8.0±0.6	绿藻、节节菜、牛毛毡 <i>Chlorella</i> , <i>R. indica</i> , <i>E. yokoscensis</i>
晚稻 Late rice	M	7.0±1.0	7.7±0.6	8.0±1.0	7.6±0.5	四叶萍、鸭舌草、狗牙根 <i>M. quadrifolia</i> , <i>M. vaginalis</i> , <i>C. dactylon</i>
	NPKM	5.3±1.2	6.3±0.6	6.7±0.6	6.1±0.7	四叶萍 <i>M. quadrifolia</i>
	NPK	6.3±0.6	7.0±1.0	7.0±0.0	6.8±0.4	四叶萍、狗牙根 <i>M. quadrifolia</i> , <i>C. dactylon</i>
	CK	8.0±0.0	8.7±0.6	8.7±0.6	8.5±0.4	牛毛毡、节节菜、狗牙根 <i>E. yokoscensis</i> , <i>R. indica</i> , <i>C. dactylon</i>

ITS: Initial tillering stage; ATS: Active tillering stage; MS: Maturing stage. 下同 The same below.

2.1.2 对杂草种类与密度的影响 早稻杂草中,矮慈姑(*Sagittaria pygmaea*)、四叶萍、稗子、节节菜和牛毛毡是稳定性杂草品种,晚稻杂草中,四叶萍、稗子、节节菜、鸭舌草和异型莎草是稳定性杂草品种,其他出现的杂草随水稻生育期变化而变化(表 3)。早稻不同施肥模式中:狗牙根分蘖始期少量出现在 NPKM 处理中,在分蘖盛期和成熟期消失,而在其他处理中一直存在;鸭舌草分蘖始期最先出现在 CK 处理中,且密度一直保持最低;丁香蓼(*Ludwigia prostrata*) 开始只出现在 NPK 处理中,但在成熟期大量出现在 CK 处理中;空心莲子草只出现在 NPK 和 NPKM 处理中,成熟期在 NPKM 处理中消失;异型莎草最晚出现在 NPKM 处理中,且密度最低;绿藻分蘖始期大量出现在 CK 处理中,但在成熟期中消失。晚稻不同施肥模式中:狗牙根分蘖盛期少量出现在 NPKM 处理中,且保持最低密度;一年蓬(*Erigeron annuus*) 和陌上菜(*Lindernia procumbens*) 只在成熟期出现在 CK 处理中,牛毛毡一直未在 NPKM 处理中出现。水稻早晚稻杂草种类及密度的不同和变化与外界环境相关,尤其是施肥与竞争,与杂草生活史也密不可分^[21-22]。

2.1.3 对稻田杂草干物质质量的影响 早稻以 M 处理杂草总干物质质量高,晚稻 CK 处理最高,两季以 M 处理最高,M 处理两季总干物质质量比 NPKM、NPK 和 CK 处理分别高出 10.7%、4.5% 和 37.7%(图 1)。

早稻分蘖始期、分蘖盛期和成熟期杂草干物质总量最低是 CK 处理,最高分别是 NPK、NPKM 和 M 处理,且同一生育时期比 CK 处理分别高出 77.9%、289.9% 和 410.5%(图 1);晚稻分蘖始期、分蘖盛期和成熟期杂草干物质总量最高的处理分别是 M、NPK 和 CK,且同一生育时期比 NPKM 处理分别高出 56.6%、29.9% 和 75.7%(图 1)。

表 3 2011 年早晚稻不同生育期杂草种类与密度

Table 3 Species and density of weeds at different growing stages of rice in 2011													株 Plant/0.25 m ²	
生育时期	处理	矮慈姑	四叶萍	稗子	节节菜	狗牙根	鸭舌草	丁香	空心莲子	一年蓬	异型莎	陌上菜	绿藻	牛毛毡
Growth period	Treatments	<i>S. pyg- maea</i>	<i>M. quadri- folia</i>	<i>E. crus- galli</i>	<i>R. in- dica</i>	<i>C. dac- tylon</i>	<i>M. vagina- lis</i>	<i>L. prostra- ta</i>	<i>A. philox- croides</i>	<i>E. ann- uus</i>	<i>C. dif- formis</i>	<i>L. proc- umbens</i>	<i>Chlorella</i>	<i>E. yoko- scensis</i>
始分蘖期	M	168.0	16.7	21.7	5.3	1.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	+	+
ITS	NPKM	94.3	14.3	20.3	1.0	0.3	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	+	+
(早稻	NPK	65.3	8.7	6.7	0.7	3.0	0.0	0.3	1.0	0.0	0.0	0.0	+	+
Early rice)	CK	27.7	4.3	8.7	2.7	0.7	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	+	+
分蘖盛期	M	13.3	24.7	22.3	117.7	1.7	218.0	0.0	0.0	0.0	34.7	0.0	+	+
ATS	NPKM	20.3	47.0	24.7	16.0	0.0	159.7	0.0	0.7	0.0	0.0	0.0	+	+
(早稻	NPK	36.7	32.0	7.0	33.3	0.7	140.7	0.4	1.7	0.0	6.3	0.0	+	+
Early rice)	CK	35.0	21.0	7.0	140.7	0.3	28.0	0.0	0.0	0.0	3.0	0.0	+	+
成熟期	M	7.3	9.0	24.3	126.0	3.0	206.0	0.0	0.0	0.0	45.3	0.0	+	+
MS	NPKM	7.7	22.0	21.7	16.7	0.0	145.0	0.0	0.0	0.0	1.7	0.0	+	+
(早稻	NPK	21.3	20.0	6.0	42.7	2.0	128.7	0.7	1.7	0.0	5.0	0.0	+	+
Early rice)	CK	21.3	13.0	3.0	472.0	2.3	76.0	38.7	0.0	0.0	43.3	0.0	-	+
始分蘖期	M	0.0	16.7	12.7	6.7	2.7	20.7	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	-	+
ITS	NPKM	0.0	34.3	9.3	1.7	0.0	17.7	0.3	0.0	0.0	0.3	0.0	-	-
(晚稻	NPK	0.0	33.3	3.7	7.0	7.7	7.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-	+
Late rice)	CK	0.0	9.3	1.7	85.7	3.3	17.3	3.7	0.0	0.0	9.0	0.0	-	+
分蘖盛期	M	0.0	14.3	12.3	39.0	2.7	28.7	1.7	0.0	0.0	62.3	0.0	-	+
ATS	NPKM	0.0	29.3	8.7	5.0	1.0	19.7	0.3	0.0	0.0	8.0	0.0	-	-
(晚稻	NPK	0.0	29.0	4.0	17.0	19.3	20.7	0.7	0.0	0.0	7.7	0.0	-	+
Late rice)	CK	0.0	10.3	0.7	198.0	21.3	23.0	10.0	0.0	0.0	12.3	0.0	-	+
成熟期	M	0.0	22.0	11.7	14.0	41.0	1.0	2.7	0.0	0.0	11.7	0.0	-	+
MS	NPKM	0.0	32.3	8.3	28.0	0.7	8.0	1.0	0.0	0.0	6.7	0.0	-	-
(晚稻	NPK	0.0	22.3	2.7	20.7	35.7	2.7	0.3	0.0	0.0	4.7	0.0	-	+
Late rice)	CK	0.0	4.3	0.7	118.0	38.7	1.7	2.7	0.0	10.3	2.0	13.3	-	+

* “+”代表出现的杂草,“-”代表未出现的杂草 “+” represent appeared weeds,“-” represent non-appeared weeds.

不同施肥处理下稻田湿生杂草干物质质量(图 1)和浮水杂草干物质质量(图 1)有明显差异,浮水杂草对湿生杂草的抑制和竞争作用明显,尤其是浮萍在早稻分蘖始期对杂草抑制作用强烈,在分蘖盛期和成熟期湿生杂草则抑制和竞争浮水杂草,同一时期湿生杂草生物总量与浮水杂草生物总量呈消长变化(图 1)。早稻各个生育时期湿生杂草生物量都以 M 处理最高,且分蘖盛期和成熟期比分蘖始期分别增加 165.7% 和 325.0%,晚稻都以 CK 处理最高,且分蘖盛期和成熟期比分蘖始期分别增加 167.8% 和 261.0%,不同处理下,湿生杂草生物量随早晚稻生育时期的推进普遍呈上升趋势;早稻和晚稻各生育时期浮水杂草生物总量都以 NPKM 处理为最高,且早稻分蘖盛期和成熟期比分蘖始期分别增加 52.5% 和 29.6%,晚稻分蘖盛期和成熟期比分蘖始期分别增加 98.3% 和 49.4%,不同处理下,湿生杂草生物量随早晚稻生育时期的推进普遍呈先升后降趋势。

方差分析结果(表 4)表明,施肥和生育时期 2 个因素都对稻田杂草生物量产生显著影响,且施肥和水稻季别、水稻季别和生育时期之间有显著交互作用。其中以生育时期对稻田杂草总干物质质量的影响最大。

2.2 长期不同施肥后土壤有效养分及 pH 与杂草生长的关系

相关分析(表 5)表明,土壤不同养分含量变化对杂草生长有明显影响。土壤碱解氮、有效磷与杂草总干物质

量显著正相关,速效钾与之极显著负相关,各土壤养分对湿生杂草干物质质量的影响与对杂草总干物质质量的影响一致;浮水杂草对有效磷含量变化非常敏感,增加土壤有效磷含量能促进浮水杂草生长,但 pH 与浮水杂草干物质质量极显著负相关。

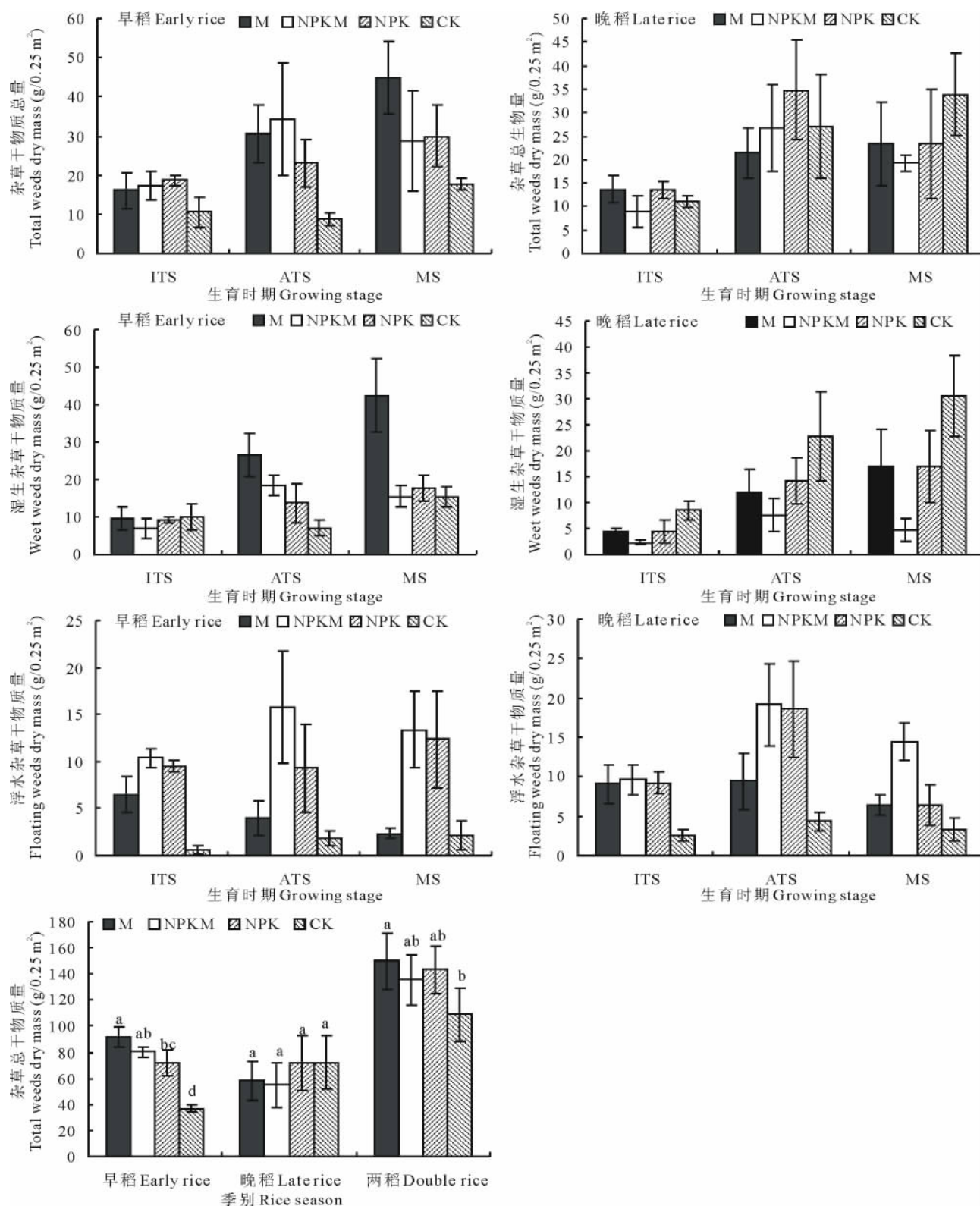


图1 2011年水稻生育期间杂草干物质质量动态变化

Fig.1 Dynamic changes of weed dry mass at different growing stages of rice in 2011

不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。The different small letters mean the significant difference at $P < 0.05$.

表 4 施肥、水稻级别、生育时期三因素对杂草干物质总量的影响

Table 4 Effects of fertilization , rice season and growing stages on total dry mass of weeds

变异来源 Source of variation	平方和 Type III sum of squares	自由度 Degree of freedom	均方 Mean square	F 值 F value	P 值 P value
F	162.3	3	54.1	8.57	0.029
G	916.2	2	458.1	13.28	0.006
S	23.9	1	23.9	0.69	0.438
F × G	176.1	6	29.3	0.85	0.576
F × S	471.2	3	157.1	4.55	0.035
G × S	86.9	2	43.5	4.06	0.049
误差 Error	207.0	6	34.5		
总和 Total	14 072.8	24			

决定系数为 0.549(校正决定系数为 0.412)。R Squared =0.549 (Adjusted R Squared =0.412)。F: 施肥 Fertilizer; S: 水稻季别 Rice season; G: 生育时期 Growing stage.

表 5 早稻和晚稻生育期间土壤有效养分及 pH 与杂草干物质质量的相关关系

Table 5 Correlations of available nutrient contents and soil pH with dry mass of weeds during early and late rice season

土壤养分 Soil nutrient	杂草总干物质质量		湿生杂草干物质质量		浮水杂草干物质质量	
	Total weed dry mass		Wet weed dry mass		Floating weed dry mass	
	方程 Equation	r	方程 Equation	r	方程 Equation	r
碱解氮 Alkali-hydrolyzable N	$y = 2.213\ 9x + 115.1$	0.465*	$y = 1.179\ 6x + 132.59$	0.482*	$y = 1.871\ 7x + 127.6$	0.336
有效磷 Available P	$y = 1.599\ 8x + 8.981\ 5$	0.517*	$y = 2.407\ 9x + 23.997$	0.542*	$y = 3.001\ 1x + 9.471$	0.666**
速效钾 Available K	$y = -2.125\ 5x + 208.66$	-0.493**	$y = -2.512\ 2x + 196.44$	-0.582**	$y = 1.776\ 2x + 146.24$	0.234
pH	$y = -0.001\ 4x + 6.127\ 6$	-0.096	$y = 0.002\ 7x + 6.057\ 1$	0.194	$y = -0.012\ 7x + 6.200\ 2$	-0.516**

* $P < 0.05$, ** $P < 0.01$.

直接途径系数以土壤碱解氮和 pH 较大,表明二者对杂草总干物质质量直接影响最大(表 6)。有效磷与 pH 对杂草总干物质质量的影响皆为负效应,但经过其他因子影响,两者对杂草总干物质质量的间接效应皆起到了正作用;土壤中有效磷对杂草总干物质质量的直接影响较小,且为负效应,其间接影响为正效应,但与杂草总干物质质量最终表现为显著正效应;土壤碱解氮对杂草总干物质质量的直接和间接影响皆为正效应,且影响作用较大。因此适宜的土壤 pH 和碱解氮、有效磷含量能有效调控稻田杂草生物量。

表 6 土壤有效养分及 pH 对杂草总干物质质量的影响

Table 6 Effects of available nutrient contents and pH of paddy soil on dry mass of weeds

因素 Factor	r	直接途径 Direct path	间接途径 Indirect path				合计 Total
			碱解氮 Alkali-hydrolyzable N	有效磷 Available P	速效钾 Available K	pH	
碱解氮 Alkali-hydrolyzable N	0.465	0.625		0.168	0.227	-0.185	0.210
有效磷 Available P	0.517	-0.169	-0.045		-0.058	0.156	0.053
速效钾 Available K	-0.493	-0.834	-0.303	-0.288		0.426	-0.165
pH	-0.096	-0.415	0.041	0.054	0.016		0.111

3 讨论

长期不同施肥对湘南红壤双季稻田早晚稻杂草群落的作用,是通过影响土壤状况(包括养分体系、有机质动态、土壤温度、土壤氧化还原状况等)产生影响的^[23-25],作物和杂草以及杂草之间对养分、光照、水分等环境资源存在着激烈竞争关系^[18]。有研究表明,土壤养分和 pH 与杂草生物量存在显著相关关系^[10,11,26,27]。本试验进行 30 年后,早稻和晚稻施用有机肥(牛粪)处理下杂草种类比使用化肥处理多,而且两季杂草总生物量也要高,说明在等养分情况下,施用有机肥更能提高杂草多样性和生物量;试验中有机无机肥混施处理肥量增加了 1 倍,但早晚稻杂草种类最少,且其两季杂草总生物量仅高于不施肥处理,说明有机、无机肥混施使杂草类群和生物量明显得到抑制;稻田中杂草狗牙根,生存力极强,对水稻生产破坏力极大,各处理中只有有机、无机混施处理下优势杂草种类中无狗牙根,早稻分蘖始期有机、无机肥混施处理下出现极少量狗牙根,但在分蘖盛期和成熟期消失,晚稻分蘖盛期开始出现狗牙根,其密度保持最低水平,说明有机、无机肥混施处理对狗牙根繁殖有一定的抑制作用。早稻和晚稻都出现较稳定的适应性杂草品种,但更多杂草品种的出现随水稻生育期变化而变化,这可能与环境变化有关,因为随着水稻生育期变化,光照强度、土壤理化性质等都会发生相应的改变,而最终影响到相关杂草能否生存。

牛粪等有机物料富含氮、磷等养分,但其肥效较化肥缓慢^[28]。施有机肥处理两季杂草总生物量最高,早稻也最高,晚稻虽然不是最高,但与最高值差异不显著,这也可能与施用牛粪有机肥后土壤中养分残留较多有关,有机肥施用时期越晚,数量越多,残留养分对杂草的促进效应就越明显,有机无机肥混施处理施肥量最多,但其两季杂草总生物量比化肥氮磷钾处理还低,其晚稻杂草生物量最少,这显示了其生境中植物间竞争非常激烈,同时也说明了,土壤养分和 pH 变化及植物间竞争程度可能是造成杂草种类和生物量产生差异的主因。

在早晚稻不同生育时期杂草干物质总量最高值对应的处理是变化的,这种变化可能反映了杂草与水稻之间总的竞争趋势,同时,稻田中浮水杂草和湿生杂草的生长存在相互抑制作用,早晚稻不同生育时期湿生杂草和浮水杂草生物量呈消长变化,这充分说明了湿生杂草和浮水杂草竞争的激烈性;当然生育期间的气候条件差异^[29]也是引起杂草干物质质量差异的原因之一,尤其是杂草之间及杂草与水稻之间对光照的竞争值得进一步研究。

本研究借助 30 余年的长期定位试验,发现长期不同施肥后,土壤碱解氮、有效磷都与杂草总干物质质量显著相关,土壤有效磷和 pH 与浮水杂草生物量极显著相关。通径和逐步回归分析表明,土壤碱解氮对稻田杂草干物质质量的影响为直接作用,其中,有效磷和 pH 的直接作用为负效应,他们通过其他因子的影响间接起到了正效应。因此,在农业生产中,采用各种措施维持土壤适宜 pH 及碱解氮和有效磷含量,能够有效抑制稻田湿生杂草和浮水杂草的发生,使杂草生物总量和种类数量与作物之间达到一个有益的动态平衡。

致谢: 该长期试验由刘更另院士设计并一直在刘更另院士指导下进行。高菊生同志从 1984 至今,一直负责该试验田间管理、调查、取样、收产等项工作。同时,在研究过程中得到了徐明岗研究员、黄鸿翔研究员等的大力支持。在此,一并致谢!

参考文献:

- [1] 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其 C、N、P 化学计量的影响[J]. 中国生态农业学报, 2012, 20(5): 573-577.
- [2] 沈浦,高菊生,徐明岗,等. 长期施用含硫和含氯化肥对稻田杂草生长动态的影响[J]. 应用生态学报, 2011, 22(4): 992-998.
- [3] Fried G, Pettit S, Dessaint F, et al. Arable weed decline in Northern France: Crop edges as refugia for weed conservation[J]. Biological Conservation, 2009, 142: 238-243.
- [4] Altieri M A. How best can we use biodiversity in agroecosystem[J]. Outlook on Agriculture, 1991, 20: 15-23.
- [5] McLaughlin A, Mineau P. The impact of agricultural practices on biodiversity[J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 1995, 55: 201-212.

- [6] 张福锁. 植物营养生态生理学和遗传学[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1993.
- [7] Canadian General Standards Board. National Standard of Canada: Organic Agriculture[S]. 1999.
- [8] 杨健源, 杨贤智. 我国杂草科学的研究与应用进展[J]. 广东农业科学, 1998, (5): 26-29.
- [9] 陈海坚, 黄昭奋, 黎瑞波, 等. 农业生物多样性的内涵与功能及其保护[J]. 华南热带农业大学学报, 2005, 11(2): 24-27.
- [10] 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: 910-914.
- [11] Yin L C, Cai Z C, Zhong W H. Changes in weed composition of winter wheat crops due to long-term fertilization[J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2005, 107: 181-186.
- [12] Saito K, Linquist B, Johnson D E, *et al.* Planted legume fallows reduce weeds and increase soil N and P contents but not up land rice yields[J]. Agroforestry System, 2008, 74(1): 63-72.
- [13] 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.
- [14] 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.
- [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.
- [16] 刘克, 赵文吉, 郭逍宇, 等. 野鸭湖典型湿地植物光谱特征[J]. 生态学报, 2010, 30(21): 5853-5861.
- [17] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000: 107-109, 147-149, 150-152, 166-168, 179-181, 191-195.
- [18] 古巧珍, 杨学云, 孙本华, 等. 不同施肥条件下黄土麦地杂草生物多样性[J]. 应用生态学报, 2007, 18(5): 1038-1042.
- [19] 张磊, 欧阳竹, 董玉红, 等. 农田生态系统杂草的养分和水分效应研究[J]. 中国水土保持学报, 2005, 19(2): 69-74.
- [20] Colbach N, Dtlr C, Chauvel B, *et al.* Effect of environmental conditions on *Alopecurus myosuroides* germination II. Effect of moisture conditions and storage length[J]. Weed Research, 2002, 42(3): 210-221.
- [21] 王斌, 张荣. 半干旱区农田杂草的生活史对策研究[J]. 草业学报, 2011, 20(1): 257-260.
- [22] 高宗军, 李美, 高兴祥, 等. 不同耕作方式对冬小麦田杂草群落的影响[J]. 草业学报, 2011, 20(1): 15-21.
- [23] 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.
- [24] Johnson K H, Clark H J, Schmitz O J, *et al.* Biodiversity and the productivity and stability of ecosystem[J]. Trends in Ecology & Evolution, 1996, 11: 372-377.
- [25] 邢福, 周景英, 金永君, 等. 我国草田轮作的历史、理论与实践概览[J]. 草业学报, 2011, 20(3): 245-255.
- [26] 蔡树美, 蔡玉琪, 李广水, 等. 施用尿素、有机-无机复混肥和包膜有机肥对几种水稻田土表水层 pH 的影响[J]. 土壤, 2010, 42(2): 288-291.
- [27] 李华, 陈英旭, 梁新强, 等. 浮萍对稻田面水中氮素转化与可溶性氮的影响[J]. 水土保持学报, 2006, 20(5): 92-94, 129.
- [28] 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.
- [29] 贺建林. 湖南省水旱灾害及其时空分布[J]. 长江流域资源与环境, 1997, 6(2): 187-192.

Effects of different fertilization models on the characteristics of weed communities during the rice growing seasons

DONG Chun-hua^{1 2 3}, LIU Qiang¹, GAO Ju-sheng^{2 3}, XU Ming-gang², WEN Shi-lin^{2 3}, ZENG Xi-bai⁴

(1. College of Resource and Environment , Hunan Agricultural University , Changsha 410128 , China;

2. Institute of Agricultural Resources and Regional Planning CAAS , Qiyang Agro-ecosystem of National Field Experimental Station , Qiyang 426182 , China; 3. Institute of Agricultural

Resources and Regional Planning CAAS/Ministry of Agriculture Key Laboratory of Crop

Nutrition and Fertilization , Beijing 100081 , China; 4. Institute of Agricultural

Environment and Sustainable Development CAAS/Key Laboratory of

Agro-Environment , Ministry of Agriculture

of China , Beijing 100081 , China)

Abstract: An investigation was made at a double-rice paddy field set up in 1982 in the Red Soil Field Experimental Station , CAAS , China to study the species and biomass of weeds growing during the rice (*Oryza sativa*) growing seasons. Over a 30-year period , organic , chemical , and a mixed organic and inorganic fertiliser were applied with the same rates of nitrogen (N) , phosphorus (P) , and potassium (K) . Compared with other treatments , long-term application of mixed fertiliser resulted in the least number of weed species in both rice growing seasons. Organic fertiliser application resulted in the greatest number of weed species in the early rice growing season , while treatment without fertiliser application resulted in the greatest number in the late growing season: 4.4% and 39.3% higher than the former two respectively. Long-term application of organic fertiliser resulted in the highest biomass of weeds in both seasons , 10.7% , 4.5% and 37.7% higher than the applications of mixed , chemical , and no fertiliser respectively. Long-term application of organic fertiliser resulted in the highest biomass of all weeds and floating weeds in the early season , the treatment without fertiliser application resulted in the highest biomass of both in the late season , while mixed fertiliser application resulted in the highest biomass of floating weeds in both seasons. Soil alkali-hydrolyzable N and available P were positively correlated with the dry mass of weeds ($r=0.465$, $P<0.05$ and $r=0.517$, $P<0.05$, respectively) , and of wet weeds ($r=0.482$, $P<0.05$ and $r=0.542$, $P<0.05$, respectively) . Dry mass of floating weeds was positively correlated with soil available P ($r=0.666$, $P<0.01$) , and was negatively correlated with soil pH ($r=0.516$, $P<0.01$) . Soil available P , under the co-effects of soil pH , alkali-hydrolyzable N and other factors , had an indirect effect on the dry mass of weeds. If effective control of the growth of wet and floating weeds in red soil paddy of south China is to be attempted by achieving a beneficial dynamic equilibrium between the weed species and total biomasses , the best way is to adopt various fertilisation measures to maintain proper alkali-hydrolyzable N and available P contents and soil pH.

Key words: long-term experiment; fertilisation model; double cropping rice; weed community; characteristics