

减量施肥对化感水稻抑草效果及产量和品质的影响

彭亮¹ 文明德² 李奇¹ 姬静华¹ 林芳源³ 胡飞^{1*}

(¹ 华南农业大学农学院, 广州 510642; ² 江门市新会区兆峰水稻专业合作社, 广东 江门 529100; ³ 江门市新会区农林局, 广东 江门 529000; * 通讯作者: hufei@scau.edu.cn)

摘要:以具有化感特性的化感稻 3 号、化两优 3 号、华珍优 3 号、农珍优 3 号和常规稻航美香占为材料, 在大田试验条件下分析了减量施肥对化感水稻抑草效果以及对水稻产量和品质的影响。结果表明, 适当减少施肥量可提高水稻产量, 改善稻米品质; 4 个具有化感特性的品种对稻田杂草数量和生物量的抑草作用均随肥料用量的减少而增强, 其中, 化感稻 3 号减肥 20%, 化两优 3 号、华珍优 3 号和农珍优 3 号减肥 30% 时禾本科和阔叶杂草均较常规施肥小区显著减少, 稻谷产量与对照相比没有显著差异, 稻米加工品质和外观品质提高。

关键词:减量施肥; 化感稻; 抑制作用; 杂草

中图分类号:S511.062 **文献标识码:**A **文章编号:**1006-8082(2018)05-0048-07

水稻高产优质对我国粮食安全具有重要意义。改革开放后, 我国由于农村劳动力成本不断上升等原因, 在水稻生产过程中化肥、化学杀虫剂和除草剂的施用量不断增加, 我国化学除草剂的使用面积每年约增加 200 万 hm^2 , 2010 年我国除草剂需求总量达到 8.3 万 t, 比上年增长 3.4%, 农田杂草化学防除面积已达 0.65 亿 hm^2 之多^[1-3]。另一方面, 我国稻田化肥吸收利用率(低于 30%)却大大低于世界平均水平(化肥吸收利用率一般为 30%~50%)^[4]。化肥和化学除草剂的大量使用不仅引起环境污染, 也使杂草产生抗药性^[5-6]。减少化肥和农药用量, 减轻其对环境造成的危害已是当务之急, 我国政府于 2015 年制定了《到 2020 年化肥使用量零增长行动方案》和《到 2020 年农药使用量零增长行动方案》。减肥后稻田中的有害生物与水稻之间的竞争关系必然要发生变化, 杂草是影响水稻产量的重要因子。

水稻化感作用经过长期的研究, 正由前期理论分析, 逐渐进入到生产应用阶段^[7-10]。研究表明, 水稻品种与稗草的竞争关系有明显差异, 具有较高竞争力的水稻品种只需要较低的除草剂就可获得不错的杂草控制效果, 有助于降低人工防除的强度^[12-13]。因此, 化感水稻品种的选育和利用是水稻生产过程中降低化学除草剂用量的有效途径。在国际上已先后选育出了 I-Kung-Pao、Parahainakoru 和 HB-1 等一批既具有高化感指数又具有高田间抑草活性的水稻品种(系)^[14-16]。在我国, 化感品种选育工作也取得了长足的进步。本课题组在前期理论研究基础上, 收集了大量的化感材料, 在国内首次选育了一个化感品种——化感稻 3 号, 并通过广东省品种审定。近年来为了适应水稻生产的要求, 又先

后选育了一批具有化感潜力且高产优质的材料组合如化两优 3 号、华珍优 3 号和农珍优 3 号等。本研究旨在探讨化感水稻在减肥条件下的抑草效果以及减肥对水稻产量和品质的影响。

1 材料与方法

1.1 试验概况

试验于 2014 年在广东省江门市新会区大泽镇张村双季水稻连作稻田进行, 土壤 pH 值为 4.94, 有机质 45.3 g/kg, 碱解氮 191.8 mg/kg, 有效磷 144.2 mg/kg, 速效钾 176.5 mg/kg。调查发现, 本次试验开展前, 在水稻生产中出现的主要杂草有稗草、千金子、异型莎草、丁香蓼、空心莲子草和鸭舌草。

1.2 供试材料

供试水稻材料有 5 个: 化感稻 3 号(常规品种, 广东省审定)、化两优 3 号、华珍优 3 号、农珍优 3 号、航美香占(对照品种, 江门市新会区主栽水稻品种), 分别用 $V_1 \sim V_5$ 表示。

肥料: 商品名“稻谷多”, 为掺混肥料, 由广东省东莞市正太康地农业科技有限公司生产, 标注总养分 $\geq 40\%$, $\text{N:P}_2\text{O}_5:\text{K}_2\text{O}=24:6:10$ 。

1.3 试验设计

2014 年 7 月 17 号播种, 软盘育秧, 3 叶 1 心期(7 月 31 日)人工移栽, 每丛插 3 株, 栽插规格 16 cm \times 20 cm。具体肥料施用时间与减施量见表 1, 以正常施肥的

收稿日期: 2018-03-23

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项(201403030)

表 1 不同处理肥料减施时间和减施量 (kg/hm²)

处理	基肥(07-25)	分蘖肥(08-10)	幼穗分化肥(08-24)	总减施量
T1(化肥减施 40%)	600	0	0	400
T2(化肥减施 30%)	600	50	50	300
T3(化肥减施 20%)	600	100	100	200
CK(不减施)	600	200	200	0

表 2 不同施肥水平对不同水稻品种(组合)分蘖的影响

品种	最大分蘖数(个/m ²)			
	T1	T2	T3	CK
化感稻 3 号	406.3±22.11 b(a)	382.8±7.83 bc(a)	367.2±7.8 b(a)	382.9±14.96 b(a)
化两优 3 号	461.0±34.64 b(ab)	414.1±7.8 b(ab)	476.6±19.67 a(a)	398.5±14.96 b(b)
华珍优 3 号	414.1±26.68 b(a)	375.0±12.76 c(a)	406.3±25.52 b(a)	421.9±29.92 b(a)
农珍优 3 号	453.2±20.17 b(a)	406.3±12.76 bc(ab)	390.7±15.63 b(b)	406.3±12.76 b(ab)
航美香占	546.9±20.18 a(ab)	601.6±19.67 a(a)	539.1±32.2 a(ab)	500.1±40.34 a(b)

品种	成穗率(%)			
	T1	T2	T3	CK
化感稻 3 号	56.3±3.22 ab(b)	66.9±3.88 ab(a)	64.0±1.76 ab(ab)	63.0±3.47 a(ab)
化两优 3 号	65.4±4.54 a(a)	61.9±3.29 b(ab)	54.4±3.18 bc(b)	61.8±2.77 a(ab)
华珍优 3 号	61.8±2.06 a(ab)	78.1±8.95 a(a)	62.1±6.59 ab(ab)	59.0±5.05 a(b)
农珍优 3 号	57.5±5.01 ab(b)	60.2±2.11 b(ab)	72.2±4.31 a(a)	56.4±4.32 a(b)
航美香占	47.3±1.97 b(b)	40.3±1.57 c(b)	44.8±3.36 c(b)	55.1±1.78 a(a)

同列数值后括号外的不同字母表示在同一减肥处理下的不同品种在 0.05 水平差异显著(LSD 法);同行数值后括号内的不同字母表示同一品种在不同减肥处理下的 0.05 水平差异显著(LSD 法)。下同。

处理为对照(CK,用量 66.7 kg/667 m²)。肥料分 3 次施,基肥占 60%,于插秧前 3 d 施用;插秧后 10 d(8 月 10 日)和穗分化始期(8 月 24 日)分别追肥 1 次,各占 20%。试验采用裂区设计,20 个处理,4 次重复,随机区组排列,共 80 个小区,其中以品种为主区,面积为 75 m²;不同肥料用量处理为副区,面积为 15 m²。每小区起垄并在垄上覆膜,单独排灌,为了防止小区间肥料渗透,小区间设置一条宽为 15 cm 的沟。整个生育期不施除草剂,其他管理措施按当地水稻高产栽培技术进行。

1.4 调查方法

将副区平均分为两部分,一部分用于杂草取样,另一部分用于水稻测产,每个小区在测产的部分随机选取 3 丛水稻,挂牌标记,记录分蘖动态,同时在水稻封行前(8 月 24 日)、封行后(9 月 4 日)和乳熟期(10 月 18 日)在杂草取样的部分随机取 1 m² 调查杂草种类和株数,并将调查点的杂草充分松土,全部挖出,用自来水洗净后去除根部,置入恒温干燥箱,105℃杀青 30 min,然后于 80℃烘至恒质量,用万分之一天平分别测定干质量。

成熟期(11 月 1 日)在每小区实测产部分调查连续 20 丛的有效穗数,计算平均有效穗数;同时随机收获 10 丛穗数接近平均有效穗数的水稻考查每穗粒数、结实率和千粒重,计算理论产量;每小区实测产收获面

积 7.5 m²,脱粒后晾晒,并称重。稻谷置于通风处干燥 3 个月后进行米质测定,主要测定项目有糙米率、精米率、整精米率、垩白粒率和垩白度,测定方法参照中华人民共和国国家标准《GB /T17891-1999 优质稻谷》执行。

1.5 数据处理与分析

数据采用 Excel 2010 软件和 DPS 统计软件处理,采用 LSD 法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 减量施肥对水稻分蘖数的影响

从表 2 可以看出,最高分蘖数化感稻 3 号和华珍优 3 号在不同施肥水平下差异不大,其他品种在不同施肥条件下差异较大。化两优 3 号在 T3 处理下最高分蘖数显著高于 CK,差异达到 78.1 个/m²;农珍优 3 号在 T1 处理下最高分蘖数显著高于 T3 处理;航美香占在 T2 处理下最高分蘖数显著高于 CK。同一处理下不同品种的最高分蘖数也有差异,其中,在 T1、T2 处理和 CK 中航美香占的最高分蘖数显著高于其他品种,最大差异分别达到 140.6、226.6 和 117.2 个/m²;T3 处理中化两优 3 号和航美香占最高分蘖数显著高于其他品种,最大差异达到 171.9 个/m²;其他处理差异均不显著。

从成穗率来看,在 CK 条件下各品种差异不显著;

表 3 不同品种常规施肥水平下产量构成因素差异

品种	有效穗数 (穗/m ²)	每穗粒数 (粒/穗)	结实率 (%)	千粒重 (g)	理论产量 (kg/m ²)	实际产量 (kg/m ²)
化感稻 3 号	240.00±9.34 ab	157.75±17.77 a	0.91±0.02 a	20.75±0.25 c	0.74±0.09 a	0.67±0.08 ab
化两优 3 号	245.50±8.74 ab	165.00±20.24 a	0.81±0.05 a	25.13±0.43 a	0.75±0.14 a	0.71±0.04 a
华珍优 3 号	244.75±13.03 ab	154.25±9.50 a	0.84±0.04 a	22.63±1.20 bc	0.72±0.05 a	0.56±0.05 bc
农珍优 3 号	228.25±14.82 b	156.50±10.41 a	0.86±0.03 a	23.75±0.43 ab	0.67±0.06 a	0.63±0.01 ab
航美香占	273.50±13.62 a	128.25±5.57 a	0.84±0.04 a	21.25±1.03 c	0.62±0.02 a	0.47±0.03 c

表 4 不同施肥水平下产量构成要素的变化率 (%)

品种	处理	有效穗数	每穗粒数	结实率	千粒重	理论产量
化感稻 3 号	T1	-5.01	-9.11	0.10	-6.68	-21.44
	T2	7.24	0.94	1.10	-3.63	8.09
	T3	-1.90	-7.72	-0.59	-1.83	-21.85
化两优 3 号	T1	21.27	-30.54	1.65	-1.86	-7.00
	T2	4.14	-12.08	-1.53	-4.30	-7.21
	T3	5.29	4.50	-4.49	0.02	20.45
华珍优 3 号	T1	5.59	5.37	-8.95	-1.41	22.45
	T2	19.48	-33.74	-0.79	-2.43	-25.26
	T3	2.00	6.76	-16.00	-5.92	2.73
农珍优 3 号	T1	13.21	-20.21	-3.85	0.06	-27.47
	T2	8.55	-0.55	4.30	0.06	15.84
	T3	24.72	-16.83	-1.82	-2.00	5.35
航美香占	T1	-5.18	14.65	1.39	1.82	22.76
	T2	-10.96	13.09	3.54	-4.15	7.21
	T3	-12.00	16.66	3.78	-0.74	17.22

表中变化率=(处理值-对照值)/对照值。表 6 同。

在 T1 处理下航美香占的成穗率显著低于化两优 3 号和华珍优 3 号;在 T2 处理下航美香占的成穗率显著低于其他品种,华珍优 3 号的成穗率最高;在 T3 处理下农珍优 3 号的成穗率显著高于化两优 3 号和航美香占。化感稻 3 号在 T2 和 T3 处理时成穗率较大;化两优 3 号在 T3 处理中成穗率较 CK 显著下降;华珍优 3 号和农珍优 3 号在各减肥处理中的成穗率均较 CK 高,其中,华珍优 3 号在 T2 处理下增幅显著,农珍优 3 号在 T3 处理下显著增大;航美香占在各减量施肥处理中成穗率较 CK 均显著下降。总体上看,化感水稻在 T2 和 T3 处理的成穗率明显高于 T1 处理和 CK,说明适量减肥可以提高化感水稻的成穗率。

2.2 减量施肥对水稻产量及其构成因素的影响

从表 3 可见,常规施肥条件下化感稻 3 号、化两优 3 号和农珍优 3 号的产量显著高于航美香占;在产量构成要素中,穗粒数和结实率在品种间的差异不显著,航美香占的有效穗数显著高于农珍优 3 号,但千粒重显著低于化两优 3 号和农珍优 3 号。

由表 4 可知,化感稻 3 号在 T1 和 T3 处理下产量较 CK 显著下降,下降的主要原因是有效穗数、穗粒数和千粒重均减少;化两优 3 号在 T1 和 T2 处理下的产

量较 CK 下降,原因在于穗粒数和千粒重显著下降,但 T3 处理下其产量较 CK 略有增加,主要是由于有效穗数和穗粒数上升幅度较大;华珍优 3 号在 T2 处理下产量较 CK 显著降低,主要是由于穗粒数和千粒重显著降低,在 T1 和 T3 处理下产量较 CK 增加;农珍优 3 号在 T1 处理下产量较 CK 显著减少,减产的主要原因是穗粒数和结实率显著降低,在 T2 和 T3 处理下产量较 CK 明显增加;航美香占在不同减肥处理下产量较 CK 均有所增加,减量施肥虽然显著减少了有效穗数,但也显著增加了穗粒数和结实率。可见,适量减肥可以增加化两优 3 号、农珍优 3 号和航美香占的有效穗数或穗粒数,从而实现增产或稳产。

2.3 减量施肥对水稻品质的影响

从表 5 可知,常规施肥条件下,化两优 3 号的糙米率和精米率显著高于化感稻 3 号、航美香占和农珍优 3 号;化两优 3 号的整精米率显著高于化感稻 3 号和农珍优 3 号;农珍优 3 号的垩白粒率和垩白度显著高于其他品种,而航美香占则是显著低于其他品种。

从表 6 可以看出,T1 处理显著降低化感稻 3 号、化两优 3 号、农珍优 3 号和航美香占的糙米率、精米率和整精米率,还显著减少化感稻 3 号、化两优 3 号和农

表 5 不同品种常规施肥水平下品质的差异 (%)

品种	碾磨品质			外观品质	
	糙米率	精米率	整精米率	垩白粒率	垩白度
化感稻 3 号	74.10±0.12 c	64.53±0.19 b	60.65±0.83 c	15.25±0.75 b	2.28±0.45 bc
化两优 3 号	78.45±1.43 a	68.13±1.03 a	63.98±0.78 a	14.25±3.42 b	2.53±0.64 b
华珍优 3 号	76.90±0.87 ab	66.03±0.92 b	61.73±1.52 abc	13.75±3.61 b	3.10±0.63 b
农珍优 3 号	75.93±0.41 bc	65.50±0.40 b	60.78±0.69 bc	28.00±3.32 a	5.58±0.79 a
航美香占	74.58±0.42 bc	65.83±0.39 b	63.20±0.65 ab	2.75±0.75 c	0.53±0.18 c

表 6 不同施肥水平下各品种稻米品质的变化率 (%)

品种	处理	碾磨品质			外观品质	
		糙米率	精米率	整精米率	垩白粒率	垩白度
化感稻 3 号	T1	-0.57	-0.54	-4.08	-10.32	-1.33
	T2	-0.61	-0.04	1.71	-9.77	2.57
	T3	-0.91	-0.93	0.12	44.85	68.80
化两优 3 号	T1	-2.05	-1.73	-0.31	-24.87	-33.98
	T2	-2.50	-4.77	-4.68	-12.97	-20.19
	T3	-2.11	-2.62	-2.11	40.56	44.04
华珍优 3 号	T1	0.89	1.58	4.19	23.21	-6.82
	T2	0.79	1.43	3.44	27.23	2.78
	T3	-0.41	1.65	4.40	21.73	6.66
农珍优 3 号	T1	-1.11	-0.70	-0.04	-29.31	-27.68
	T2	1.60	0.56	1.65	-9.03	-10.56
	T3	-0.48	-1.47	-1.34	-28.25	-25.09
航美香占	T1	-2.63	-2.33	-1.82	550.00	292.50
	T2	-0.69	0.62	-0.15	231.25	246.67
	T3	0.59	0.86	0.57	250.00	285.83

珍优 3 号的垩白粒率和垩白度,但 T1 处理显著提高了华珍优 3 号的糙米率、精米率、整精米率和垩白粒率,而垩白度则显著降低。T2 处理显著降低了化两优 3 号的糙米率、精米率、整精米率、垩白米率和垩白度,但提高了农珍优 3 号的糙米率、精米率和整精米率,降低了其垩白粒率和垩白度。T3 处理显著降低了化两优 3 号和农珍优 3 号的糙米率、精米率和整精米率,增加了化两优 3 号的垩白粒率和垩白度,降低了农珍优 3 号的垩白粒率和垩白度。减量施肥处理显著增加了航美香占的垩白粒率和垩白度。

可见,适度减量施肥可以提高化感稻 3 号、华珍优 3 号、农珍优 3 号和航美香占的碾磨品质,降低化感稻 3 号、华珍优 3 号和航美香占的外观品质,改善农珍优 3 号的外观品质。

2.4 减量施肥对稻田杂草数量及生物量的影响

2.4.1 减量施肥对稻田杂草数量的影响

从图 1 可见,减量施肥处理在封行前、封行后和乳熟期对稻田的禾本科杂草和其他杂草的数量有明显的抑制作用,且不同时期抑制效果不同。

减量施肥处理在封行前、封行后和乳熟期对化感稻 3 号田间禾本科杂草和其他杂草的数量均有明显的

抑制效果,对禾本科杂草数量的抑制能力有随化肥减施量的减小而增大的趋势,其中在封行前的抑制效果最明显,对其他杂草数量的抑制效果因时期不同而异,各时期中 T1 处理的抑草能力相对较大。

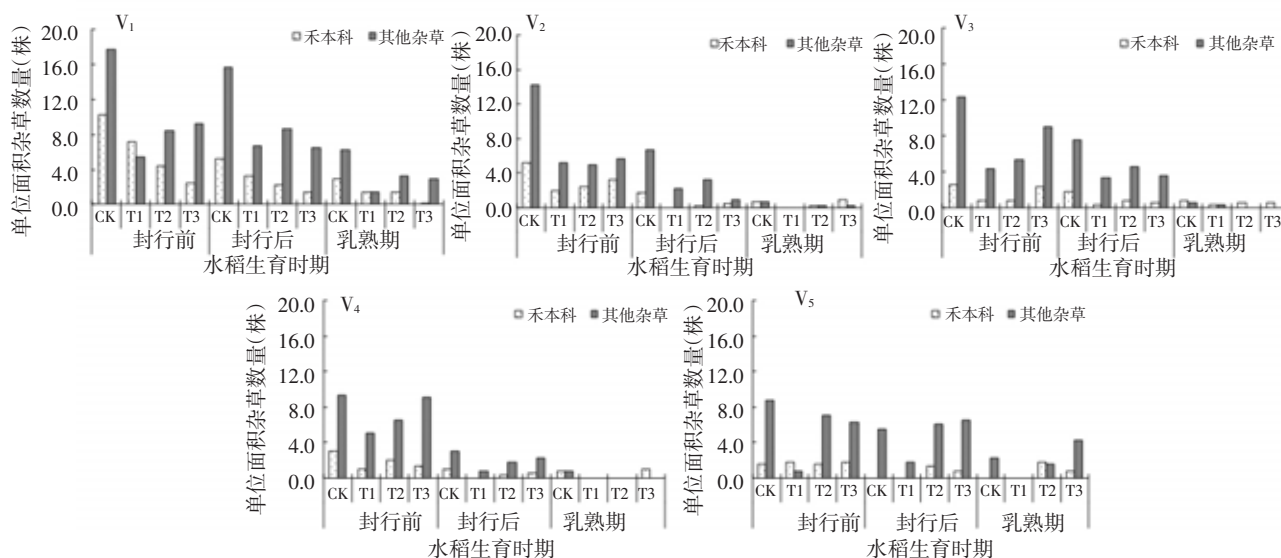
各减量施肥处理对化两优 3 号、华珍优 3 号和农珍优 3 号封行前和封行后的杂草抑制作用较明显,其中 T1 处理对杂草数量的抑制明显高于其他处理,T3 处理对杂草数量的抑制效果相对较弱。

减量施肥处理对航美香占杂草数量的影响表现不一,各处理中禾本科杂草数量差异不大,T1 处理对杂草数量有明显的抑制作用,T2 和 T3 处理在水稻生育后期对稻田杂草数量抑制效果较差。

2.4.2 减量施肥对稻田杂草生物量的影响

从图 2 可见,减量施肥处理在对稻田的禾本科和其他杂草的生物量有明显的抑制影响,影响的大小随水稻生育时期和杂草种类的不同而不同。

减量施肥处理对化感稻 3 号杂草生物量的抑制能力随生育时期的后移而增强,其中在封行前的抑制作用较弱。各时期中,T1 处理对其他杂草生物量的抑制作用较强;各时期对禾本科杂草的抑制作用随化肥减施量的减小而增大。



V₁, 化感稻 3 号、V₂, 化两优 3 号、V₃, 华珍优 3 号、V₄, 农珍优 3 号、V₅, 航美香占(对照)。下同。

图 1 不同处理在不同时期的杂草数量差异

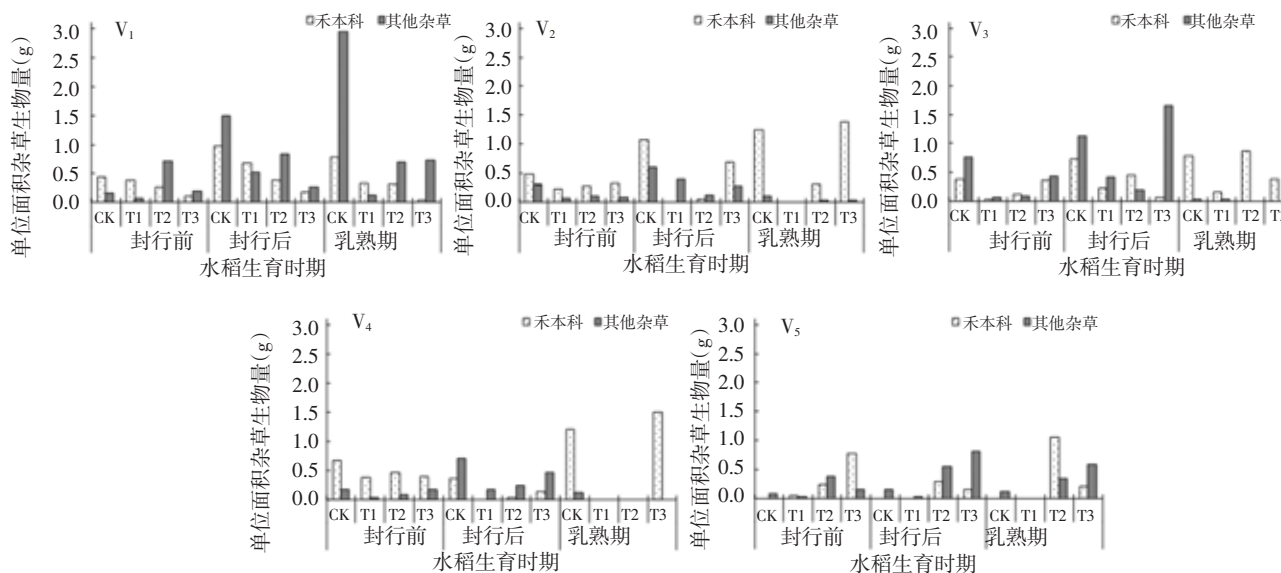


图 2 不同处理在不同时期的杂草生物量差异

各处理对化两优 3 号封行前和封行后的杂草生物量的抑制作用均较强,其中 T1 和 T2 处理对化两优 3 号封行后和乳熟期的杂草生物量有明显的抑制作用。对于华珍优 3 号的各减量施肥处理来说,T1 和 T2 处理对封行前和封行后的杂草生物量的抑制作用均较明显,T1 处理在各时期和 T3 处理在封行后对禾本科杂草生物量的抑制效果较好。农珍优 3 号品种的 T1 和 T2 处理对各时期的杂草生物量的抑制效果明显优于 T3 处理,其中在封行前对其他杂草生物量抑制能力最强,在封行后对禾本科杂草生物量的抑制效果最好。各处理对航美香占的杂草生物量的影响不一,其中只有

T1 处理对各时期杂草生物量有抑制作用,T2 和 T3 处理对杂草的生物量无抑制作用。

3 结论与讨论

有研究表明,在华南稻区减量施肥可以实现增产或稳产的目标^[17-20]。由本试验可知,在保证不减产的情况下,可以将化两优 3 号、华珍优 3 号和航美香占的施肥量减少 20%左右,而农珍优 3 号的施肥量可减少 30%,这样不仅降低农业生产成本,还缓解了因施肥量过大造成的环境污染等问题。本研究中的化感稻 3 号在减量施肥时减产,可能是因为其对肥料的需求量较

大,而减量施肥后土壤营养不能满足其基本需求,这需要进行进一步的试验加以研究验证。

莫钊文等^[9]研究表明,适度减氮处理能保持或改善华南早晚兼用型水稻的稻米品质,本研究结果与之不完全一致。在本试验中,减量施肥 20%或 30%时会降低化感稻 3 号和化两优 3 号稻米的糙米率、精米率和整精米率,而垩白粒率和垩白度会增大,这可能是由于灌浆结实期土壤肥力不足,导致叶片发黄,光合能力下降,灌浆不均匀,籽粒发育不良,致使米质变劣。但减少施肥量 20%~30%可以提高华珍优 3 号和农珍优 3 号稻米的糙米率、精米率和整精米率,且对垩白粒率和垩白度的影响不大。说明适量减氮可以改善或保持华珍优 3 号和农珍优 3 号稻米的碾磨品质和外观品质。

水稻与杂草的资源竞争和化感作用是水稻与杂草相互关系的两个方面^[21]。目前,国内外有关水稻对杂草的化感作用研究已有很多报道^[15],但主要集中在具有稳定抑草性状水稻品种(系)的遗传改良和化感水稻品种的田间应用基础研究上,而在田间条件下水稻与杂草的相互关系往往是上述两方面共同作用的结果,而且资源竞争表现更普遍、更直接。本研究结果表明,与当地常规施肥水平相比,4 个化感品种对稻田杂草数量和生物量均有抑制作用,且随着化肥减施量的增大呈现增强的趋势,航美香占在减量施肥处理中的抑草效果均较差。抑草差异主要表现品种和时期上。在减施肥 20%时化感稻 3 号对禾本科和阔叶杂草数量的抑制作用达到最大,减施肥 30%~40%时化两优 3 号对禾本科和阔叶杂草数量的抑制作用较强,而华珍优 3 号和农珍优 3 号最大抑制作用出现在减施肥 40%处理中。可见,减施肥 20%~40%时可提高供试水稻封行前和封行后期的田间抑制杂草的能力。

不同水稻品种在不同施肥条件下对稻田杂草的抑制作用和对产量品质的影响存在差异,化感稻 3 号减施肥 20%,化两优 3 号、华珍优 3 号和农珍优 3 号减施肥 30%时可明显促进其对杂草的抑制作用,且能维持较高的产量和改善稻米品质。生产实践中利用具有较强抑草能力的水稻品种,同时结合减量施肥施药措施,将有助于形成以抑草水稻品种为基础的稻田杂草生态管理和田间应用技术体系,进而达到减少化肥和化学除草剂的使用、减少稻田杂草的发生和促进水稻生态安全生产的目的。虽然这样的综合抑制作用在评价标准、研究方法等方面还有待进一步完善,但作为水稻田杂草综合治理的重要组成部分,水稻品种抑草能力的

利用与减肥、减药相结合无疑是非常有吸引力的杂草管理策略之一。

参考文献

- [1] 周锡跃,徐春春,李凤博,等.世界水稻产业发展现状、趋势及对我国的启示[J].农业现代化研究,2010,31(5):525-528.
- [2] 彭少兵,黄见良,钟旭华,等.提高中国稻田氮肥利用率的研究策略[J].中国农业科学,2002,35(9):1 095-1 103.
- [3] 赵春风.化学除草剂污染的分析与治理[J].北方水稻,2011,42(1):60-61.
- [4] 朱兆良.中国土壤氮素肥力与农业中的氮素管理[M]//沈善敏.中国土壤肥力.北京:科学出版社,1999:160-211.
- [5] 莫钊文,李武,段美洋,等.减氮对华南早晚兼用型水稻产量、品质及氮吸收利用的影响[J].西北农林科技大学学报,2014,42(9):83-90.
- [6] 张朝贤,钱益新,胡祥恩.农田化学除草与可持续发展农业[J].农药,1998,37(4):8-13.
- [7] Ju X T, Xing G X, Chen X P, et al. Reducing environmental risk by improving N management in intensive Chinese agricultural systems[J]. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 2009, 106(9): 3 041-3 046.
- [8] 李录久,王家嘉,李东平,等.减量施氮对水稻生长和肥料利用效率的影响[J].安徽农业科学,2013,41(1):99-100.
- [9] 李贵,吴竞仑,王一专,等.不同水稻品种抑制杂草潜力的田间评价[J].中国农业科学,2010,43(5):965-971.
- [10] 徐正浩,谢国雄,周宇杰,等.不同株型和化感作用特性水稻对 3 种稻田主要杂草的干扰控制作用[J].作物学报,2013,39(7):1 293-1 302.
- [11] 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):1 160-1 165.
- [12] Gibson K D, Hill J E, Foin T C, et al. Water-seeded rice cultivars differ in ability to interfere with watergrass[J]. *Agron J*, 2001, 93(2): 326-332.
- [13] Johnson D E, Dingkuhn M, Jones M P, et al. The influence of rice plant type on the effect of weed competition[J]. *Weed Res*, 1998, 38: 207-216.
- [14] 林文雄,何海斌,熊君,等.水稻化感作用及其分子生态学研究进展[J].生态学报,2006,26(8):2 687-2 694.
- [15] 周勇军,李迪,陆永良,等.水稻品种化感潜力的双重评价与筛选[J].生态学报,2005,25(7):1 599-1 603.
- [16] 孔垂华,胡飞,陈雄辉,等.作物化感品种资源的评价利用[J].中国农业科学,2002,35(9):1 159-1 164.
- [17] 钟旭华,黄农荣,欧杰文,等.实地养分管理技术(SSNM)在华南双季晚稻上的应用效果[J].中国稻米,2006,12(6):34-36.
- [18] 钟旭华,黄农荣,郑海波.华南双季杂交稻氮素养分消耗量及其影响因素研究[J].植物营养与肥料学报,2007,13(4):569-576.
- [19] 何健灵,李茂禾,廖美敬,等.增城市水稻测土配方施肥田间肥效试验应用效果[J].广东农业科学,2009(4):54-56.
- [20] 钟旭华,梁向明,黄农荣,等.水稻化肥减量栽培技术规范[J].广东农业科学,2010(12):71-72.
- [21] 朱德峰.水稻异株克生作用-稻田杂草防治新途径[J].中国稻米,1996,2(6):34-35.

(下转第 57 页)

异不显著)。相关分析表明,氰氨化钙配施比例与晚稻产量和单位面积有效穗数呈显著正相关,与氮素偏生产力、氮肥农学效率和氮肥利用率呈正相关关系。

本试验初步证明,尿素配施氰氨化钙对湘南晚稻有较好的增产增效作用,且初步认为配施40%氰氨化钙效果最好,但就氰氨化钙的合理配施量还需从投出与产出角度做进一步研究。同时,也需要从土壤特性、水稻生理特性等角度就氰氨化钙对水稻的作用机理开展进一步研究。

参考文献

- [1] 张亦涛,刘宏斌,王洪媛,等. 农田施氮对水质和氮素流失的影响[J]. 生态学报, 2016, 36(20): 6 664-6 676.
- [2] Zheng X H, Xian S. Systematic studies of nitrogen loss from paddy soils through leaching in the Dongting Lake area of China [J]. *Pedosphere*, 2011, 21(6): 753-762.
- [3] 张鸿燕,陈燕,刘宇新,等. 缓控释肥种类和用量对南方梗稻产量和收益的影响[J]. 中国稻米, 2016, 22(5): 35-37.
- [4] 邓安凤,杨从党,陈清华,等. 不同施肥方式对不同密度下直播稻的产量及群体光合物质生产的影响 [J]. 中国稻米, 2017, 23(4): 123-129.
- [5] Wan L B, Chen H K, Yu-Ming G E. Some problems to be settled urgently in the industrial development of slow / controlled release fertilizer in China[J]. *Phosphate & Compound Fertilizer*, 2009 (3): 9-10.
- [6] Ritter C, Richter E, Knoelck I, et al. Laboratory studies on the effect of calcium cyanamide on wireworms (*Agriotes ustulatus*, Coleoptera: Elateridae)[J]. *J Plant Dis Protect*, 2014, 121(3): 133-137.
- [7] Zheng W Q, Guo Y, Li W M, et al. Bioassay of Rongbao (active ingredients of calcium cyanamide) against housefly maggots [M]// *New horizons in insect science: towards sustainable pest management*, 2015: 101-112.
- [8] 刘思超,唐利忠,石泉,等. 氰氨化钙在农业生产中的应用研究进展[J]. 中国土壤与肥料, 2017(5): 1-6.
- [9] 唐利忠,刘思超,李超,等. 氰氨化钙颗粒肥在水稻栽培中的应用效果初探[J]. 作物研究, 2016(4): 381-386.
- [10] 韩伟,陈细桂,李传斌,等. 施用“荣宝”(正肥丹)对中稻作物产量的影响[J]. 农村经济与科技, 2013, 24(6): 166-168.

Effects of Combined Application of Calcium Cyanamide and Urea on Yield and Nitrogen Use Efficiency of Late Rice in Southern Hunan

TANG Lizhong[#], CAO Yajuan[#], SHI Quan, LIU Sichao, LI Chao, Tu Naimei, ZHOU Wenxin^{*}, YI Zhenxie^{*}

(College of Agronomy, Hunan Agricultural University/South Regional Collaborative Innovation Center for Grain and Oil Crops in China, Changsha 410128, China; [#]Co-first author: 975624569@qq.com; ^{*}Corresponding author: yizhenxie@126.com)

Abstract: A field experiment was conducted to explore the application effects of calcium cyanamide granular fertilizer in rice production in Hengyang county, Hunan province. The results showed that under the condition of total nitrogen application rate of 150 kg/hm², the yield of late rice was increased with the application of calcium cyanide granular fertilizer. The yield of 40% combined treatment was significantly increased. The nitrogen accumulation was increased in treatments of combined applying 40%~60% of calcium cyanamide, and significantly increased in 60% treatment. Combined applying of calcium cyanamide could improve nitrogen utilization efficiency, NPFP and ANUE were the highest in 40% treatment, while NUE was the highest in 60% treatment. The correlation analysis showed that the applying proportion of calcium cyanamide were significantly positive correlated with the yield, effective panicles, NPFP and ANUE. So, under the condition of total nitrogen application rate of 150 kg/hm², combined applying 40% of calcium cyanamide could get higher yield and nitrogen use efficiency of late rice in southern Hunan.

Key words: southern Hunan; calcium cyanamide; late rice; yield; nitrogen use efficiency

(上接第 53 页)

Effects of Reducing Fertilization on Yield, Quality and Grass Suppression of Allelopathic Rice

PENG Liang¹, WEN Minde², LI Qi¹, JI Jinghua¹, LIN Fangyuan³, HU Fei^{1*}

(¹ College of Agriculture, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China; ² Zhao Feng Rice Specialty Cooperation of Xinhui District of Jiangmen City, Jiangmen, Guangdong 529100, China; ³ Xinhui Agricultural and Forestry Bureau, Jiangmen, Guangdong 529000, China; ^{*}Corresponding author: hufei@scau.edu.cn)

Abstract: The experiment was conducted under different fertilizer levels to explore the combined effects from allelopathy and the reduced use of fertilizers, with Allelopathy rice 3, Hualiangyou 3, Huazhenyou 3, Nongzhenyou 3 and Hangmeixiangzhan as materials. The results showed that a moderate amount of reducing fertilizer could increase yield and improve quality of rice, the four rice materials with allelopathy characteristics could cause the inhibition of paddy weeds number and biomass, the suppression effect was increasing with the decreased of fertilizer, the Allelopathy rice 3 and Hualiangyou 3 with fertilizer decrease 20% compared with conventional fertilization use could obviously reduce gramineae and broad-leaved weeds, and keep yield and improve quality, the same as Huazhenyou 3 and Nongzhenyou 3 with fertilizer decrease 30%.

Key words: reducing fertilization; allelopathic rice; inhibiting effect; weeds