

四种除草剂对稻田土壤微生物类群的影响

赵 兰,黎华寿

(华南农业大学热带亚热带生态研究所, 广东 广州 510642)

摘 要:采用室内培养方法,研究了4种常用的稻田除草剂(丁草胺、苄嘧磺隆、丁苄混剂、氯酸钾)在不同施用剂量下对稻田土壤微生物数量的影响。结果表明,4种除草剂对稻田土壤微生物均有不同程度的影响。从其影响时间来看,其影响大小依次为:氯酸钾>丁草胺>苄嘧磺隆>丁苄混剂;从其影响程度来看,丁苄混剂对稻田土壤微生物群落的影响是这4种除草剂中最小的。从微生物类群的生物多样性指数来看,施药后各处理的生物多样性指数呈现先下降后恢复上升的趋势,而同一浓度的不同除草剂的处理比较,丁草胺对Shannon-Wiener指数影响较大,而丁苄混剂对其影响比较小。总之,从除草效果及对稻田土壤微生物的影响来看,丁苄混剂成为这几种除草剂的首选,其次为苄嘧磺隆,再次为丁草胺,最后为氯酸钾。

关键词: 丁草胺;苄嘧磺隆;丁苄混剂;氯酸钾;稻田土壤;微生物

中图分类号: X592 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-2043(2008)02-0508-07

The Impacts of Four Typical Herbicides on Microbial Population in Paddy Soil

ZHAO Lan, LI Hua-shou

(Institute of Tropical and Subtropical Ecology, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

Abstract: The effects of butachlor, bensulfuron-methyl, the mixture of bensulfuron and butachlor, potassium chlorate on soil microbial populations in rice paddy were studied. The results indicated that the number of soil fungus, soil actinomycin, soil bacterium population were all affected by these herbicides. In terms of effective time period to inhibit soil microbial population in paddy soil, the order from long to short of these 4 herbicides were potassium chlorate> butachlor> bensulfuron-methyl> the mixture of bensulfuron and butachlor. In terms of magnitude of the impact, the mixture of bensulfuron and butachlor had the lowest impact on soil microbial population. The influence of those herbicides on Shannon-Wiener diversity index of soil microorganisms changed with the applied concentration and incubation time. In general, diversity index decreased in early incubation time and then recovered 7 days after the application of these herbicides. Butachlor had great impact on Shannon-Wiener diversity index, while the mixture of bensulfuron and butachlor only had small impact, indicating that the mixture of bensulfuron and butachlor was the best choice for herbicides in rice paddy, bensulfuron-methyl was the second best, butachlor was the third and the last was potassium chlorate according to their effects on weeds and impacts on soil microbial population in rice paddy.

Keywords: butachlor; bensulfuron-methyl; the mixture of bensulfuron and butachlor; potassium chlorate; rice paddy; microorganism

以除草剂应用为前提的免耕抛秧栽培技术是目前国内外正迅速推广的水稻栽培新技术。据国家农业部资料,截止2006年我国累计推广免耕作物面积达2 000多万hm²,预计到2010年免耕粮食作物面积将占种植面积的20%。大量的试验示范表明,这是一项省工节本、简便易行的新技术,既可促进水稻的生长

发育、提高产量,又可缓和季节矛盾、降低劳动强度、减少水土流失^[1]。

近年来,我国水稻田的化除面积增加很快,除草剂的使用已成为一种必不可少的手段。因而除草剂大量使用的环境污染问题日益突出^[2],对生态系统的平衡产生威胁性影响^[3],引起农产品农药含量超标,或者即使不超标也由于食物链的生物富集最终进入人体危害健康。除草剂在水稻田使用,至少有70%进入土壤,直接影响土壤微生物的生长和代谢^[4]。而土壤生物学功能的维持很大程度上依赖于土壤微生物生物量及其活性,土壤微生物是土壤生态系统物质循环的重要基础。大量研究表明,土壤微生物对农药的降解起

收稿日期:2007-05-30

基金项目:国家重点基础研究“973计划”项目(2006CB1000206);国家自然科学基金(30370289);农药与化学生物学教育部重点实验室基金(药重开05-08)

作者简介:赵 兰(1982—),女,四川人,硕士研究生,研究方向为污染生态学。

通讯作者:黎华寿 E-mail: lihuashou@scau.edu.cn

着重要作用^[5,6]。同时,农药进入土壤后对土壤微生物生物量及其活性也会产生影响,进而影响土壤生物学功能。因此,化学农药进入土壤后对土壤微生物及其活性的影响成为农药生态安全评价与污染生物修复的重要指标之一^[7,8]。

氯酸钾在上世纪曾被作为非选择性除草剂、脱叶剂甚至土壤杀菌剂在农业上大量施用。虽然氯酸盐是植物必需微量元素氯在环境中的存在形式之一,但氯酸根离子强氧化性却对某些植物^[9]以及动物^[9-11]和微生物^[12-16]的生长都具有明显的毒害效应。自从 1998 年我国台湾学者颜昌瑞首次利用氯酸钾作为果树产期调控剂对龙眼催化成功以来^[17],氯酸钾作为果树花期调控剂而得到广泛应用。但由于氯酸盐在农业生产使用后淋失、消毒剂残留及氯酸盐生产厂家排放的含氯酸盐污水等污染稻田也时有发生,因此,明确氯酸盐的土壤生态毒理也具有重要意义。

目前国内外仍较少见有从事几种常用除草剂对稻田微生物影响的比较研究。为此,本文研究了模拟稻田土壤生态系统中 4 种常用的免耕稻田除草剂(丁草胺、苄嘧磺隆、丁苄混剂、氯酸钾)对稻田土壤微生物的影响,以了解它们对稻田土壤健康的影响,为其安全性评价提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

采集华南农业大学农场水稻田(连续 3 年内未使用任何农药)2~15 cm 土层新鲜土壤,剔除植物残根和石砾等杂物,风干过 2 mm 筛备用。供试土壤的基本理化性质见表 1。

1.2 主要仪器及化学试剂

Millip Q 超纯水器,超净工作台;智能型人工气候箱(广州市富民测控科技有限公司);生化培养箱(广东省医疗器械厂);THZ-C 恒温振荡器(江苏太仓市实验设备厂)。

丁草胺,(广州润土农药化工有限公司)剂型为 50%的乳油;苄嘧磺隆,(江苏快达农花股份有限公司)又名“稻无草”,剂型为 10%的 WP;丁苄混剂,(广西鑫金泰化工有限公司)商品名称是抛秧丰(农得时),剂型为 30%的 WP;氯酸钾,分析纯(天津市福晨

化学试剂厂);其他化学试剂均为分析纯。

1.3 土壤处理

分别称取 10 g 刚风干的新鲜土样置于 50 mL 的烧杯中,添加适量的蒸馏水,使土壤含水量达最大持水量的 60%,隔两天调节一次,使含水量保持恒定,于人工气候箱(28±1)℃黑暗培养。预培养 7 d,然后添加以超纯净水稀释的各农药,使其在土样中的浓度分别达到 1/2 倍生产用量、生产用量、2 倍生产用量。以不加农药的同样处理作为对照。每个处理设 3 个重复,药剂处理后分别于 1、4、7、14、21、28 d 测定土壤微生物数量。各药剂实验浓度设计以实际生产中应用的浓度为低剂量值(即:每亩用药量×所称土壤质量/(耕作层厚度×每亩地面积×土壤容重),并以倍增值作为中高浓度处理值。具体试验设计见表 2~表 5。

1.4 微生物计数

按常规平板法培养微生物,用 MPN 法计数。细菌用牛肉膏蛋白胨培养基培养,真菌用 PDA 培养基培养,放线菌用改良高氏 1 号培养基培养。

1.5 数据分析

数据分析用 SPSS13.0 进行方差分析,Student-t 检验或 Duncan 新复极差法进行显著差异比较。并根据生态学的 Shannon-Wiener 指数计算公式分别计算了不同施药浓度-施药时间的土壤微生物三大类群的多样性指数。香农-威纳指数计算公式⁽¹⁸⁾:

$$H = - \sum_{i=1}^s P_i \log_2 P_i$$

$$\text{可以简化为: } H = 3.3219 [1 \lg N - (1/N) \sum_{i=1}^s n_i \lg n_i]$$

式中: s 为所有物种数, n 为第 i 物种的个体数, N 为所有物种的个体数,3.3219 为转化系数, P 为第 i 物种个体数占所有物种个体数的比例。

在这里,我们把类作为“物种”,数量作为个体数,它的基本思想是把群落内微生物三大类群与每个生物个体作为信息进行计算。

2 结果与分析

2.1 丁草胺对稻田土壤微生物数量的影响

从表 2 可以看出:试验初期,低浓度(5 mg·kg⁻¹)丁草胺处理对细菌表现出显著的刺激作用,21 d 后与

表 1 供试土壤的基本理化性质

Table 1 Some physico-chemical properties of soils tested

有机质/g·kg ⁻¹	全氮/g·kg ⁻¹	速效钾/mg·kg ⁻¹	速效磷/mg·kg ⁻¹	Eh/mV	pH
24.84	2.85	70.48	39.06	0.93	5.36

对照无显著差异,总的来说,低浓度丁草胺处理对细菌的影响不大;中浓度($10\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)和高浓度($20\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)丁草胺处理对细菌则先表现出显著的抑制作用,随着加药时间的延长,对细菌的生长表现出显著的刺激作用,其中,中浓度处理在加药 21 d 后就恢复至对照水平,高浓度处理则在加药 28 d 后才恢复至对照水平(见表 2)。因此,丁草胺对稻田土壤细菌的影响与其浓度直接相关,高浓度丁草胺对细菌的抑制水平和抑制期均明显超过低浓度丁草胺处理。余柳青等^[19]研究表明, $0.7\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 丁草胺处理,能增加土壤(粉砂壤土)细菌量。陈中云等^[20]的研究表明, $1\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 的丁草胺施用 7 d 后能促进水稻田土壤反硝化细菌的生长,但 $10\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 的丁草胺则对土壤反硝化细菌种群数量有明显的抑制作用。单敏等^[21]的研究也表明, $2\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 $4\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 丁草胺对大棚蔬菜地微生物影响不大,但 $10\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 处理则有明显的抑制作用。此外,Mohanty S R^[22]、赵宇华等^[23]研究丁草胺在淹水条件下对水稻土壤甲烷产量及其氧化作用的影响,也证实了丁草胺作为水稻生产中常用的化学除草剂,在浓度极低的情况下仍然对甲烷产量及其氧化作用有影响,从而对整个地球化学循环产生影响,进而反映出低浓度的丁草胺对水稻土壤各类厌氧细菌也有影响。

真菌对不同浓度丁草胺处理的反应则表现出相同的趋势,试验初期,各浓度处理均表现出显著的抑制作用;随着加药时间的延长,对真菌的生长则产生

了显著的刺激作用。加药 28 d 后,均未恢复至对照水平。单敏等^[21]的研究表明,低浓度($2\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)和中浓度($4\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)丁草胺对真菌数量影响不大,仅在处理 1 d 表现出一定程度的抑制作用,但高浓度($10\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)丁草胺处理土壤中的真菌明显受到抑制,21 d 恢复到对照水平。

低浓度和中浓度丁草胺处理对放线菌的影响与真菌类似,但高浓度丁草胺处理则始终对放线菌的生长产生了显著的抑制作用。三者均在加药 28 d 后达到对照水平。

2.2 苄嘧磺隆对稻田土壤中细菌、真菌和放线菌的影响

试验表明,低浓度($0.7\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)苄嘧磺隆处理对细菌的影响不显著,且在加药 28 d 后恢复到对照水平;中浓度($1.4\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)苄嘧磺隆处理在加药后 1 d 对细菌的生长表现出显著的刺激作用,随着加药时间的延长,则表现出显著的抑制作用,28 d 后仍未恢复到对照水平;高浓度($2.8\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)苄嘧磺隆处理在加药后对细菌的生长均表现出显著的抑制作用,28 d 后仍未恢复到对照水平(见表 3)。朱亚伟^[24]将苄嘧磺隆原药用于水稻田土壤中也证明了好氧细菌对苄嘧磺隆比较敏感,在苄嘧磺隆浓度高于农田施用量时,其数量受到显著的抑制,而厌氧细菌种群数量变化趋势则各不相同。

低浓度苄嘧磺隆处理在加药 4 d 后均对真菌的

表 2 丁草胺对稻田土壤中细菌、真菌和放线菌数量的影响

Table 2 Effect of butachlor on total counts of soil bacteria, fungi and actinomycetes

微生物类群	丁草胺浓度 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	处理时间/d					
		1	4	7	14	21	28
细菌/ $\times 10^5\cdot\text{g}^{-1}$	0	66.00 $\pm$ 3.08Aa	30.00 $\pm$ 2.31Cb	52.50 $\pm$ 3.22Bab	54.67 $\pm$ 2.91Bd	38.80 $\pm$ 1.11Cab	52.33 $\pm$ 4.48Ba
	5	56.75 $\pm$ 1.20Bb	26.67 $\pm$ 0.33Eb	49.50 $\pm$ 1.69Cb	150.00 $\pm$ 10.00Aa	40.60 $\pm$ 1.72Dab	52.83 $\pm$ 3.21BCa
	10	31.75 $\pm$ 1.44Ec	39.33 $\pm$ 2.40Da	59.67 $\pm$ 2.60Ba	115.00 $\pm$ 5.00Ab	42.20 $\pm$ 1.59Da	53.6 $\pm$ 1.33Ca
	20	33.33 $\pm$ 3.28Dc	38.67 $\pm$ 1.76Da	60.33 $\pm$ 4.08Ba	94.00 $\pm$ 2.65Ac	36.00 $\pm$ 1.38Db	51.00 $\pm$ 2.35Ca
真菌/ $\times 10^3\cdot\text{g}^{-1}$	0	56.50 $\pm$ 2.66Ba	49.33 $\pm$ 2.33Cbc	67.67 $\pm$ 3.91Aa	43.00 $\pm$ 1.10CDb	25.20 $\pm$ 3.28Ea	36.33 $\pm$ 2.26Dd
	5	43.75 $\pm$ 1.03Cb	85.00 $\pm$ 1.00Aa	30.00 $\pm$ 1.44Dc	41.60 $\pm$ 0.75Cb	17.60 $\pm$ 1.47Eb	57.33 $\pm$ 1.87Bb
	10	23.75 $\pm$ 1.03Cd	54.50 $\pm$ 3.50Ab	56.17 $\pm$ 4.35Ab	53.20 $\pm$ 1.07ABa	17.60 $\pm$ 0.98Db	48.00 $\pm$ 1.83Bc
	20	34.25 $\pm$ 1.70DEc	43.50 $\pm$ 0.50Cc	37.00 $\pm$ 1.67Dc	51.20 $\pm$ 2.58Ba	29.20 $\pm$ 2.40Ea	62.00 $\pm$ 2.84Aa
放线菌/ $\times 10^4\cdot\text{g}^{-1}$	0	80.00 $\pm$ 2.16Ba	149.33 $\pm$ 3.53Aa	43.71 $\pm$ 0.52Db	62.83 $\pm$ 1.72Cb	30.00 $\pm$ 2.89Fd	35.00 $\pm$ 2.46Ea
	5	46.67 $\pm$ 4.81Db	126.00 $\pm$ 6.22Bb	56.25 $\pm$ 2.39Da	75.67 $\pm$ 1.96Ca	143.33 $\pm$ 8.82Aa	52.33 $\pm$ 4.54Da
	10	52.00 $\pm$ 3.24Db	157.00 $\pm$ 2.86Aa	42.75 $\pm$ 3.09Eb	62.00 $\pm$ 1.86Cb	72.67 $\pm$ 7.22Bb	49.67 $\pm$ 4.42DEa
	20	83.00 $\pm$ 1.73Ba	116.00 $\pm$ 1.63Ab	26.75 $\pm$ 1.55Ec	46.67 $\pm$ 1.36CDc	50.67 $\pm$ 0.33Cc	44.83 $\pm$ 2.87Da

注:表中同一微生物类群分别同行(大写字母)或同列(小写字母)数据比较,数据后面字母不相同的表示差异显著,以下各表同。

Note: Means within a row or a column followed with different letters are different significantly different in the same microbe (DMRT method, $P<0.05$). The same below.

生长有显著的抑制作用,21 d 后恢复至对照水平;中浓度苄嘧磺隆处理在处理前期对真菌的生长表现出显著的抑制作用,14 d 后恢复到对照水平;高浓度苄嘧磺隆处理对真菌的生长也表现出显著的抑制作用,21 d 后恢复至对照水平。朱亚伟^[24]的研究也表明苄嘧磺隆对真菌的生长有一定的浓度效应。

放线菌对苄嘧磺隆的敏感性低于真菌,低浓度苄嘧磺隆对放线菌数量影响不大,仅在处理 1 d 表现出显著的抑制作用,随后与对照无显著差异;中浓度苄嘧磺隆处理在加药后 1 d 对放线菌的生长表现出显著的抑制作用,随后则表现出显著的抑制作用,21 d 后达到对照水平;高浓度苄嘧磺隆处理在加药 7 d 前对放线菌的生长都产生了显著的抑制作用,随后则表现显著的刺激作用,21 d 后恢复到对照水平。而朱亚伟^[24]的研究则表明苄嘧磺隆有利于稻田土壤中放线菌的生长,对其生长有刺激作用,且浓度越高刺激效应越强。

2.3 丁苄混剂对稻田土壤中细菌、真菌和放线菌的影响

试验表明,低浓度($2\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)丁苄混剂处理在加药后 4 d 以前,对细菌的生长都表现出显著的抑制作用,随后则表现出显著的刺激作用,14 d 后细菌数量恢复到对照水平;中浓度($4\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)丁苄混剂处理对细菌数量的影响与低浓度处理相似;高浓度丁苄混剂处理则在加药后 14 d 才现出显著的刺激作用,但都在处理 14 d 后达到正常水平(见表 4)。总体看来,稻田土壤细菌数量受丁苄混剂影响不大。

真菌对丁苄混剂各浓度反应的敏感性较强,低浓度丁苄混剂处理在 14 d 后才表现出显著的抑制作

用,随后表现出显著的促进作用,28 d 后未恢复到对照水平;中浓度丁苄混剂处理在 7 d 前对真菌表现出显著的抑制作用,7 d 后则对真菌数量的增多具有显著的促进作用;高浓度丁苄混剂处理在 14 d 前对真菌的生长都表现出显著的抑制作用,随后则表现出显著的刺激作用。各处理在加药 28 d 后均未恢复到对照水平。

放线菌对不同丁苄混剂浓度的反应表现出相同的趋势,刚加药时对放线菌的生长表现出显著的抑制作用,处理 4 d 后则表现为显著的刺激作用,但都在加药 28 d 后恢复到对照水平。

2.4 氯酸钾对稻田土壤中细菌、真菌和放线菌的影响

试验表明,氯酸钾各浓度处理对细菌的生长均有显著的抑制作用,高浓度氯酸钾($80\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)对细菌的抑制水平和抑制期均比低浓度($20\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)和中浓度($40\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)的高(见表 5)。张修玉等^[25]研究了氯酸钾对果园土壤微生物的影响结果也证明了实验室条件下氯酸钾对土壤微生物减少具有明显的剂量效应。

低浓度氯酸钾处理对真菌的生长都具有显著的抑制作用,21 d 后达到对照水平;中浓度氯酸钾处理对真菌数量的变化均表现为显著的抑制作用,28 d 后达到对照水平;高浓度氯酸钾处理在试验前期对真菌的生长有显著的抑制作用,随着加药时间的延长,则表现为显著的促进作用,28 d 后仍未达到对照水平。

低浓度氯酸钾处理对放线菌的生长在加药 14 d 以前均表现为显著的抑制作用,随着加药时间的延长,21 d 后恢复到正常水平;中浓度氯酸钾处理在加药后 1 d 对放线菌的生长表现为显著的抑制作用,随后则表现为一定程度的促进作用,28 d 后达到正常水

表 3 苄嘧磺隆对稻田土壤中细菌、真菌和放线菌数量的影响

Table 3 Effect of bensulfuron-methyl on total counts of soil bacteria, fungi and actinomycetes

微生物类群	苄嘧磺隆浓度 / $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	处理时间/d					
		1	4	7	14	21	28
细菌/ $\times 10^5\cdot\text{g}^{-1}$	0	66.00 $\pm$ 3.08Aab	30.00 $\pm$ 2.31Cc	52.50 $\pm$ 3.22Ba	54.67 $\pm$ 2.91Ba	38.80 $\pm$ 1.11Ca	52.33 $\pm$ 4.48Ba
	0.7	72.67 $\pm$ 1.76Aa	31.33 $\pm$ 5.33Dc	43.33 $\pm$ 1.84Cb	57.00 $\pm$ 5.00Ba	36.25 $\pm$ 0.63Da	52.83 $\pm$ 3.10Ba
	1.4	60.33 $\pm$ 1.20Ab	61.00 $\pm$ 0.58Aa	54.83 $\pm$ 2.57Ba	22.50 $\pm$ 1.50Eb	29.00 $\pm$ 1.35Db	41.00 $\pm$ 1.97Cb
	2.8	52.00 $\pm$ 2.83Ac	46.00 $\pm$ 3.46Bb	48.17 $\pm$ 2.07ABab	35.00 $\pm$ 5.00Cb	29.75 $\pm$ 0.96Db	44.00 $\pm$ 1.81Bab
真菌/ $\times 10^3\cdot\text{g}^{-1}$	0	56.50 $\pm$ 2.66Ba	49.33 $\pm$ 2.33Ca	67.67 $\pm$ 3.91Aa	43.00 $\pm$ 1.10CDa	25.20 $\pm$ 3.28Ea	36.33 $\pm$ 2.26Da
	0.7	51.00 $\pm$ 2.35Aa	40.00 $\pm$ 0.00Bb	48.83 $\pm$ 2.64Ac	35.50 $\pm$ 1.59Cb	27.40 $\pm$ 2.44Da	40.00 $\pm$ 0.93Ba
	1.4	37.00 $\pm$ 2.12Bb	38.00 $\pm$ 3.00Bb	58.17 $\pm$ 1.68Ab	43.17 $\pm$ 1.08Ba	28.80 $\pm$ 2.13Ca	40.00 $\pm$ 2.34Ba
	2.8	35.25 $\pm$ 0.48Ab	28.50 $\pm$ 4.50Bc	37.00 $\pm$ 1.88Ad	35.33 $\pm$ 1.61Ab	32.80 $\pm$ 5.25Ba	38.00 $\pm$ 4.92Aa
放线菌/ $\times 10^4\cdot\text{g}^{-1}$	0	80.00 $\pm$ 2.16Ba	149.33 $\pm$ 3.53Aa	43.71 $\pm$ 0.52Db	62.83 $\pm$ 1.72Cb	30.00 $\pm$ 2.89Fa	35.00 $\pm$ 2.46Ea
	0.7	57.25 $\pm$ 4.07Bb	159.00 $\pm$ 9.17Aa	45.14 $\pm$ 1.61Cb	59.33 $\pm$ 2.67Bb	40.00 $\pm$ 0.00CDa	34.67 $\pm$ 1.84Da
	1.4	39.75 $\pm$ 2.78CDc	118.00 $\pm$ 5.29Ab	44.00 $\pm$ 0.87Cb	69.17 $\pm$ 1.76Bc	28.67 $\pm$ 4.51Ea	36.00 $\pm$ 1.55Da
	2.8	62.25 $\pm$ 0.63Cb	117.00 $\pm$ 4.04Ab	57.14 $\pm$ 2.27Ca	83.67 $\pm$ 1.74Ba	33.00 $\pm$ 9.17Da	36.17 $\pm$ 1.94Da

表 4 丁苄混剂对稻田土壤中细菌、真菌和放线菌的影响

Table 4 Effect of bensulfuron and butachlor on total counts of soil bacteria, fungi and actinomycetes

微生物类群	丁苄混剂浓度 /mg · kg ⁻¹	处理时间/d					
		1	4	7	14	21	28
细菌/×10 ⁵ · g ⁻¹	0	66.00±3.08Aa	30.00±2.31Ca	52.50±3.22Bb	54.67±2.91Ba	38.80±1.11a	52.33±4.48Ba
	2	45.00±3.51Cb	19.67±1.86Eb	72.33±4.46Aa	58.00±2.00Ba	35.00±0.58Da	56.33±3.44Ba
	4	49.00±2.08Bb	27.00±1.91Dab	64.17±2.87Aa	61.50±3.50Aa	37.67±2.03Ca	51.17±3.41Ba
	8	62.75±5.71Aa	24.00±2.74Dab	67.83±4.36Aa	56.00±3.61Ba	38.00±3.06Ca	58.33±2.70Ba
真菌/×10 ³ · g ⁻¹	0	56.50±2.66Ba	49.33±2.33Cb	67.67±3.91Aa	43.00±1.10CDd	25.20±3.28Ea	36.33±2.26Db
	2	58.75±1.18Aa	48.00±2.00Cbc	50.83±1.25BCb	49.17±1.14BCc	19.50±2.18Dab	53.67±2.60Ba
	4	33.25±1.44Dc	35.00±5.51CDc	39.17±0.91Cc	54.83±0.65Ab	28.00±0.41Ea	47.00±1.86Ba
	8	48.75±1.89Cb	63.50±0.50Aa	56.17±2.37Bb	68.00±1.37Aa	16.75±2.25Db	49.67±3.21Ca
放线菌/×10 ⁴ · g ⁻¹	0	80.00±2.16Ba	149.33±3.53Ac	43.71±0.52Db	62.83±1.72Cb	30.00±2.89Fc	35.00±2.46Ea
	2	61.25±2.69Cb	219.00±0.58Aa	51.50±1.82Da	71.33±1.61Ba	48.00±1.15Db	40.33±3.03Ea
	4	67.00±3.11Bb	208.00±3.06Ab	54.83±0.31Ca	49.17±1.54Cc	35.00±9.54Dc	35.17±2.66Da
	8	65.75±2.25Bb	118.00±3.06Ad	56.33±2.60Ca	58.00±2.88Cb	63.67±0.33Ba	36.00±2.42Da

表 5 氯酸钾对稻田土壤中细菌、真菌和放线菌数量的影响

Table 5 Effect of potassium chlorate on total counts of soil bacteria, fungi and actinomycetes

微生物类群	氯酸钾/mg · kg ⁻¹	处理时间/d					
		1	4	7	14	21	28
细菌/×10 ⁵ · g ⁻¹	0	66.00±3.08Aa	30.00±2.31Cb	52.50±3.22Bb	54.67±2.91Bb	38.80±1.11Ca	52.33±4.48Ba
	20	37.00±3.85CDb	42.00±2.89BCa	36.33±2.11Dc	63.00±5.00Ab	27.00±2.41Eb	44.00±1.00Bab
	40	44.25±4.35Cb	28.33±3.18Db	41.50±2.31Cc	92.00±3.00Aa	27.00±1.30Db	51.33±2.63Ba
	80	38.00±2.83Cb	21.67±2.73Db	68.50±3.69Aa	54.00±9.00Bb	25.60±1.03Db	42.83±1.35Cb
真菌/×10 ³ · g ⁻¹	0	56.50±2.66Ba	49.33±2.33Ca	67.67±3.91Aa	43.00±1.10CDb	25.20±3.28Ea	36.33±2.26Db
	20	26.00±2.74Bc	32.00±0.00Ab	37.83±1.87Ac	34.00±1.95Ac	19.50±2.18Cab	31.17±2.97Ab
	40	38.75±2.17Cb	41.33±3.18BCab	45.83±0.91ABb	50.00±2.21Aa	28.00±0.41Da	36.00±3.00Cb
	80	36.25±0.96Cb	31.00±7.00Db	43.50±1.31Bbc	43.00±3.00Bb	16.75±2.25Eb	48.50±3.19Aa
放线菌/×10 ⁴ · g ⁻¹	0	80.00±2.16Ba	149.33±3.53Aa	43.71±0.52Db	62.83±1.72Cb	30.00±2.89Fb	35.00±2.46Ea
	20	66.40±4.17Cb	142.00±0.82Aa	32.80±1.16Dc	75.00±3.71Ba	28.33±3.67Db	33.00±2.41Da
	40	48.20±4.08Cc	149.00±2.89Aa	60.00±2.61Ba	59.33±2.56Bb	41.33±3.18CDa	36.33±2.85Da
	80	37.00±0.45Cd	135.00±19.74Aa	56.80±2.52Ba	66.04±1.69Bb	31.00±4.04Cab	39.83±2.17Ca

平;高浓度氯酸钾处理对放线菌的影响与中浓度相同,21 d 后也恢复到对照水平。

2.5 4 种除草剂对稻田土壤微生物类群多样性的动态影响

根据 Shannon–Wiener 多样性指数计算公式分别计算了各药剂的不同施药浓度–施药时间的土壤微生物三大类群的多样性指数。由表 6 可以看出,低浓度各种除草剂处理在加药后前期(7 d 以前)对 Shannon–Wiener 指数影响较大的是苄嘧磺隆,随着加药时间的延长,丁草胺对 Shannon–Wiener 指数影响较大。中浓度各种除草剂处理在加药后前期(7 d 以前)对 Shannon–Wiener 指数影响较大的是苄嘧磺隆,随着加药时间的延长,丁草胺对 Shannon–Wiener 指数影响较大。加药后前期,高浓度的丁草胺处理对

Shannon–Wiener 指数影响不及其他几种除草剂,但是其影响时间却比较持久。总的来说,各处理在施药后微生物多样性指数呈现先下降后恢复上升的趋势。这可能与施用除草剂后微生物的稳定性下降,敏感的微生物菌群受影响,多样性指数下降;随着时间的推移,各类群微生物数量逐渐恢复,多样性指数回升。

此外,由表 6 可同时看出,在整个试验阶段,与对照相比,同一浓度的不同除草剂的不同处理中,丁草胺对 Shannon–Wiener 指数影响比较大,而丁苄混剂对其影响比较小。

3 结论与讨论

大量的试验研究所采用的除草剂均为纯品^[2,11,26],而本试验采用的则是生产中直接使用的成品,更接近

表 6 4 种除草剂处理对稻田土壤微生物类群多样性指数的动态影响

Table 6 Dynamic changes of diversity index of soil microbial populations after applied herbs

药剂名称	浓度/mg · kg ⁻¹	处理时间/d					
		1	4	7	14	21	28
丁草胺	0	3.617±0.007Aa	2.904±0.070Bb	3.554±0.37Aab	3.599±0.0.02Aa	3.530±0.057Aa	3.557±0.058Aa
	5	3.620±0.009Aa	3.174±0.025Ca	3.530±0.021Bab	3.232±0.027Cc	2.655±0.034Dc	3.642±0.004Aa
	10	3.512±0.021Bb	3.052±0.064Dab	3.610±0.029Aa	3.439±0.022Bb	3.186±0.031Cb	3.619±0.016Aa
	20	3.298±0.033Cc	3.206±0.034Da	3.514±0.037ABb	3.454±0.008Bb	3.542±0.039ABa	3.601±0.032Aa
苄嘧磺隆	0	3.617±0.007Aab	2.904±0.070Bb	3.554±0.037Ab	3.599±0.002Aa	3.530±0.057Aa	3.557±0.058Aa
	0.7	3.560±0.007Aab	2.752±0.045Bb	3.636±0.008Aab	3.565±0.022Aa	3.578±0.033Aa	3.612±0.020Aa
	1.4	3.546±0.020Ab	3.165±0.069Ca	3.621±0.014Aab	3.293±0.021Bb	3.622±0.012Aa	3.631±0.006Aa
	2.8	3.571±0.023Aab	3.210±0.021Ca	3.616±0.008Aa	3.377±0.044Bb	3.530±0.057Aa	3.608±0.012Aa
丁苄混剂	0	3.617±0.007Aa	2.904±0.070Ba	3.554±0.037Aa	3.599±0.002Ab	3.530±0.057Aa	3.557±0.058Aa
	2	3.613±0.018Aa	2.285±0.047Cb	3.569±0.007Aa	3.595±0.012Ab	3.424±0.049Ba	3.593±0.025Aa
	4	3.506±0.046Bb	2.318±0.072Cb	3.591±0.017ABa	3.637±0.005Aa	3.598±0.011ABa	3.609±0.016ABa
	8	3.607±0.019Aa	3.093±0.083Ba	3.628±0.014Aa	3.628±0.004Aa	3.484±0.096Ba	3.548±0.038Aa
氯酸钾	0	3.617±0.007Aa	2.904±0.070Ba	3.554±0.037Ab	3.599±0.002Aa	3.530±0.057Aa	3.557±0.058Aa
	20	3.355±0.117Bb	2.910±0.038Ca	3.632±0.007Aa	3.486±0.022ABc	3.608±0.017Aa	3.592±0.029Aa
	40	3.602±0.024Aa	2.783±0.107Bab	3.585±0.015Aab	3.533±0.015Ab	3.577±0.337Aa	3.503±0.052Aa
	80	3.647±0.002Aa	2.563±0.078Bb	3.567±0.010Aab	3.583±0.006Aa	3.596±0.007Aa	3.618±0.008Aa

于实际情况,所得试验结果与他人的研究结果有少许不同,其原因可能是除草剂配方中其他成分对稻田土壤微生物数量的变化也产生了影响。此外,本试验所采用的土壤为新鲜的稻田土壤,与大棚蔬菜地是不同的。因此实验结果可更能反映广大免耕水稻田使用除草剂后的土壤微生物效应。

从 4 种除草剂在生产中常用浓度对微生物的影响时间来看,其大小依次为:氯酸钾>丁草胺>苄嘧磺隆>丁苄混剂。而从 4 种除草剂对稻田土壤微生物群落动态变化的影响来看,在整个试验阶段,丁苄混剂对 Shannon-Wiener 多样性指数的影响程度都比其他几种除草剂小。由此,无论是从对稻田土壤微生物类群的影响程度还是从影响时间上看,丁苄混剂都比其他几种除草剂小。

在实际生产中,这几种典型除草剂的用量大小分别是:氯酸钾>丁草胺>丁苄混剂>苄嘧磺隆。研究表明^[27],复配型除草剂可以利用农药的不同特性,在杀草范围上起到优势互补作用,其防治效果和增产效果均优于单一种类的除草剂。目前,我国农药混合剂的品种及生产厂家迅猛发展^[28],通过对丁苄混剂对稻田土壤微生物的影响,从而比较除草剂单剂与混剂的生态毒理效应,为科学生产提供参考依据。

总之,从免耕稻田防治杂草的效果及其对稻田土壤微生物的影响方面综合来看,丁苄混剂成为这 4 种常见免耕稻田除草剂的首选,其次为苄嘧磺隆,再次

为丁草胺,最后为氯酸钾。进一步开展这 4 种除草剂的水生生物生态毒理与环境化学行为的比较研究,对指导免耕稻田除草剂的安全使用和无公害水稻的节本栽培,将具有重要的现实意义。

参考文献:

- [1] 梁书英,彭世宜,韦毓安. 水稻免耕抛秧栽培试验初报[J]. 广西农业科学,2005,36 (3):312.
- [2] 汤树德,李汉昌,石昌波. 化学除草剂对土壤中微生物生态和物质转化过程的影响[J]. 土壤学报,1984, 21:95-103.
- [3] 郑 重. 农药的微生物降解[J]. 环境科学,1990, 11(2):68-72.
- [4] 陆贻通,朱有为. 基本农田保护区的环境污染及防治对策[J]. 上海环境科学,1995, 14(8):45-46.
- [5] 朱鲁生,王 军,林爱军,等. 二甲戊乐灵的土壤微生物生态效应[J]. 环境科学,2002, 23(3):88-91.
- [6] YuY L, ChenY X, LuoY M, et al. Rapid degradation of butachlor in wheat rhizosphere soi[J]. *Chemosphere*,2003, 50:771-774.
- [7] Marx M C, Wood M, Jarvis S C. A microplate fluorimetric assay for the study of enzyme diversity in soils[J]. *Soil Biology&Biochemistry*,2001,33: 1633-1640.
- [8] Trasar, Cepeda C, Leiros M C, et al. Limitations of soil enzymes as indicators of soil pollution [J]. *Soil Biology&Biochemistry*,2000, 32:1867-1875.
- [9] 黎华寿,张修玉,姜春晓. 氯酸盐生态毒理研究进展[J]. 生态学杂志, 2005,24(11):1323-1328.
- [10] Clarke M L, Harvey D G, Humphreys D J. Veterinary toxicology[M]. (second ed), Bailliere Tindall, London, 1981.
- [11] Buck W B, Osweiler G D, VanFelder G A. Clinical and diagnostic veterinary toxicology[M]. (second ed), Kendall/Hunt Publishing Com-

- pany, Dubuque, IA, 1976.
- [12] Rosemarin A, Mattsson J, Lehtinen K J, et al. Effects of pulp mill chlorate (ClO_3^-) on *Fucus vesiculosus*: a summary of projects[J]. *Ophe-lia Suppl.* 1986, 4:219–224.
- [13] Rosemarin A, Mattsson J, Lehtinen K J, et al. Effects of treated and untreated softwood pulp mill effluents on Baltic sea algae and invertebrates in model ecosystems[J]. *Nord Pulp Pap Res J*, 1990, 2: 83–87.
- [14] Rosemarin A, Lehtinen K J, M Notini, et al. Effects of pulp mill chlorate on Baltic sea algae[J]. *Environ Pollut*, 1994, 85: 3–13.
- [15] Lehtinen K J, Notini M, Mattson J, et al. Disappearance of bladderwrack (*Fucus vesiculosus* L.) in the Baltic sea: relation to pulp mill chlorate[J]. *Ambio*, 1988, 17: 387–393.
- [16] Van Wijk D, Kroon S G M, Gattener–Arends I C M. Toxicity of chlorate and chlorite to selected species of algae, bacteria, and fungi[J]. *Ecotoxicol Environ Safety*, 1998, 40: 206–211.
- [17] 颜昌瑞.龙眼催花方法与周年生产[J].高雄区农业专讯, 1999, 28: 14–15.
- [18] Magurran A E. Ecological diversity and its measurement[M]. Princeton University Press, New Jersey, 1988.
- [19] 余柳青, 张 雷, 何圣岳, 等.丁草胺药肥对土壤微生物的抑制作用及其增产效果[J].中国水稻科学, 1993, 7(1): 55–57.
- [20] 陈中云, 闵 航, 吴伟祥, 等.农药污染对水稻田土壤反硝化细菌种群数量及其活性的影响[J].应用生态学报, 2003, 14(10): 1765–1769.
- [21] 单 敏, 虞云龙, 方 华, 等.丁草胺对土壤微生物数量和酶活性的影响[J].农药学报, 2005, 7(4): 383–386.
- [22] Mohanty S R, Nayak D R, Babu Y J, et al. Butachlor inhibits production and oxidation of methane in tropical rice soils under flooded condition[J]. *Microbiological Research*, 2004, 159: 193–201.
- [23] 赵宇华, 梅其志, 陈美慈, 等.丁草胺对水稻土甲烷释放和厌氧细菌的影响[J].微生物学报, 1997, 37(6): 477–479.
- [24] 朱亚伟.磺酰脲类除草剂苄嘧磺隆对水稻土微生物种群和酶活性影响及其降解菌的分离、鉴定[D].杭州:浙江大学, 2005.
- [25] 张修玉, 曾祥有, 姜春晓, 等.龙眼产期调控剂氯酸钾对果园土壤微生物的影响[J].农业环境科学学报, 2006, 25(2): 317–321.
- [26] 谢晓梅, 廖 敏, 黄昌勇, 等.除草剂苄嘧磺隆对稻田土壤微生物活性和生物化学特性的影响[J].中国水稻科学, 2004, 18(1): 67–72.
- [27] 许 国, 范西玉.丁草胺、农得时混配除治稻田杂草研究初报[J].河南农业科学, 1994, 7: 17–18.
- [28] 朱鲁生, 李光德, 冯 玲, 等.我国农药混合剂的发展现状研究[J].山东农业大学学报, 1997, 28 (3): 354–360.