

两种除草剂的土壤生态效应及其 对后茬作物生长的影响*

谢志坚^{1,2} 李海蓝² 徐昌旭^{1†} 张 焱³ 刘光荣¹

(1 江西省农业科学院土壤肥料与资源环境研究所/农业部长江中下游作物生理生态与耕作重点实验室/
国家红壤改良工程技术研究中心, 南昌 330200)

(2 华中农业大学资源与环境学院, 武汉 430070)

(3 江西农业大学国土资源与环境学院, 南昌 330045)

摘 要 采用盆栽试验研究了两种不同类型除草剂(二氯喹啉酸和苄·丁)及其不同施用剂量对稻田土壤生物学特征和后茬作物生长的影响。结果表明,施用除草剂苄·丁和二氯喹啉酸均不利于后茬冬季绿肥作物紫云英植株干物质的累积,而且随着除草剂的施用量越多,干物质累积越少。低剂量的苄·丁显著降低了紫云英植株中 N 素累积量,而二氯喹啉酸降低紫云英植株中 N 和 K 累积量;施用高剂量苄·丁和二氯喹啉酸则降低了紫云英植株中 N、P 和 K 的累积量。无论是施用低剂量还是高剂量的苄·丁和二氯喹啉酸均降低土壤中 N、K 养分的有效性。低剂量二氯喹啉酸对土壤中有效磷含量影响不显著,而施用高剂量二氯喹啉酸显著降低 P 素养分有效性。施用低剂量苄·丁对土壤中过氧化氢酶、蔗糖酶和脲酶活性的影响均不显著,而低剂量二氯喹啉酸则显著抑制了过氧化氢酶活性。施用高剂量苄·丁和二氯喹啉酸对土壤中蔗糖酶活性影响不显著,但均抑制了过氧化氢酶和脲酶活性。此外,施用低剂量和高剂量苄·丁增加了土壤中细菌数量,而二氯喹啉酸则正好相反。两种剂量的苄·丁和二氯喹啉酸均减少了土壤中放线菌数量,但对真菌数量变化不显著。由此可见,稻田施用二氯喹啉酸对稻田土壤环境以及后茬冬季紫云英作物的药害大于苄·丁。

关键词 除草剂;水稻土;生物学特性;后茬作物;养分吸收累积

中图分类号 S482.4; S182 **文献标识码** A

一方面,水稻是我国长江中下游地区主要种植的粮食作物之一,而紫云英则是该地区最主要种植和利用的冬季绿肥作物,是一种清洁的优质有机肥源,其在调节大气成分、扩容土壤碳氮库、维持土壤肥力和耕地养分循环、保障生态环境与粮食安全等方面均具有巨大的应用前景,而当前国家和社会对于耕地质量、生态环境和优质农产品等提出了更高的要求,这给恢复和发展绿肥生产与利用带来了空前的机遇。另一方面,现代农业已经进入“化学农业”时代,农作物产量因使用化学农药而得到大幅度增加。其中,除草剂因其具有效率高、价格低廉等特点而被广泛应用于各种现代农业生产活动中,是农业生产中使用量最多的农药,对粮食安全具有重要作用。据统计,我国每年使用的除草剂有效成

分就达到 8 万 t 以上(中国农药工业网,2011)。然而,除草剂施入土壤后,除少部分或进入生物体或因挥发进入大气外,大部分进入到土壤环境中并被土壤颗粒吸附而残留于土壤中^[1-2],不仅影响土壤中的动物^[3],污染生态环境,而且不同程度地改变了土壤中微生物种群数量和土壤酶活性等生物学性状,进而影响了土壤肥力状况^[4-6]。显然,残留除草剂也必然会对冬季绿肥作物生长发育产生一定影响,但是其作用机理有待于进一步研究。

二氯喹啉酸($C_{10}H_5Cl_2NO_2$)属内吸式激素型喹啉羧酸类,为选择性芽前、芽后除草剂,主要用于防治稻田中稗草和其他禾本科杂草,是我国稻田常用除草剂之一。虽然其除草性能良好,但其残留期较长^[7],而且对后茬作物容易产生药害,尤其是茄科、

* 国家公益性行业(农业)科研专项(201103005)和江西省农业科学院科技创新及成果转化基金(2009 创-4)资助

† 通讯作者, E-mail: changxux@sina.com

作者简介: 谢志坚(1982—),男,江西萍乡人,博士,助理研究员,主要从事农田环境与植物营养生态研究。E-mail: hoblec@126.com

收稿日期: 2013-09-16; 收到修改稿日期: 2014-01-03

豆科等敏感型作物。研究表明,稻田施用二氯喹啉酸半年后,仍然有大量残留于土壤中,在 309 d 内除水稻外,不适宜种植其他作物,即使是在推荐用量的情况下,也需要经过相当长一段时间才不会对后茬作物(如烟草等)生长发育产生显著影响^[8-9]。苄·丁是苄嘧磺隆($C_{16}H_{18}N_4O_7S$)和丁草胺($C_{17}H_{26}ClNO$)两者的混合制剂。其中,丁草胺是其主要有效成分,属于内吸传导型苯乙酰胺类除草剂,也是我国使用量最大的除草剂之一^[10]。研究表明,丁草胺在土壤中具有明显的持留性,其除对水生生物有较高的毒性外^[11],还可通过植物幼芽和幼根进入体内抑制植物的呼吸作用或作为电子传递的抑制剂、解偶联剂而抑制植物的光合作用,进而影响植物的正常生长发育^[12]。

近年来发现,在“稻-稻-肥”轮作体系中,稻田土壤残留的除草剂对后茬作物紫云英的生长和产量均产生不利影响,已经成为制约紫云英种植和利用的主要技术瓶颈之一。然而,迄今为止还未见关于不同类型除草剂和不同施用剂量对稻田土壤生物学特征和后茬作物紫云英养分吸收影响的相关报道。因此,本研究旨在探索稻田施用不同剂量二氯喹啉酸和苄·丁后对稻田土壤微生物群落结构和部分酶活性以及紫云英养分吸收的影响,以期为推动恢复和发展冬季绿肥作物紫云英,实现其优质栽培和安全生产、高产与稳产提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试土壤为淹育型水稻土(江西省东乡县红壤野外观测站),土壤基本性质为:pH 4.61,有机质 16.3 g kg^{-1} ,全氮 1.66 g kg^{-1} ,碱解氮 163.0 mg kg^{-1} ,有效磷 8.94 mg kg^{-1} ,速效钾 66.0 mg kg^{-1} 。供试紫云英为“萍乡种”(江西省紫云英种质资源圃提供)。供试除草剂分别为 50% 二氯喹啉酸可湿粉剂 WP(江苏新沂中凯农用化工有限公司生产)和 25.0% 苄·丁可湿粉剂 WP(江西绿川生物科技实业有限公司生产),其中丁草胺质量分数为 24.0%,苄嘧磺隆质量分数为 1.0%。

1.2 试验设计

试验为不同类型(二氯喹啉酸和苄·丁)和不同施用剂量(低剂量和高剂量)除草剂二因素盆栽试验。处理分别为:(1)不施用除草剂(对照 CK);

(2)施用低剂量二氯喹啉酸(Q-L, 450 g hm^{-2});(3)施用高剂量二氯喹啉酸(Q-H, 900 g hm^{-2});(4)施用低剂量苄·丁(DB-L, 600 g hm^{-2});(5)施用高剂量苄·丁(DB-H, 1200 g hm^{-2})。其中,低剂量为大田推荐施用量。每个处理 3 次重复。除草剂于晚稻秧苗移栽后 7 d 拌土撒施,保持盆中约 3 cm 水层持续一周。

除去土壤中的杂草、秸秆以及石块等杂物后,充分混匀、风干并过 4 mm 筛。将过筛后的土壤装入 $20 \text{ cm} \times 25 \text{ cm}$ 的塑料盆中,每盆装土 5 kg。紫云英种子经晒种、选种、浸种、拌种,于晚稻收获后每盆播种 100 粒,接种一定量根瘤菌(中国农业大学生物学院农业微生物资源及其应用农业部重点开放实验室提供),每盆施用等量 P、K 肥作为基肥。待紫云英出苗后,每盆各选留长势相同且生长健壮的幼苗 10 株定植,每隔 5 d 浇一次水,使土壤含水量维持在 80% 田间持水量(称重法)。紫云英植株生长期其他日常管理同大田生产。

1.3 样品采集与测定

紫云英播种前取土壤样品,测定土壤中有效氮、有效磷、速效钾含量以及微生物种群及其数量和部分土壤酶活性。在紫云英盛花期取植株样品,测定干物质重和植株中 N、P 和 K 含量。土壤有机质测定采用重铬酸钾滴定法;土壤全氮测定采用浓 $H_2SO_4-H_2O_2$ 消煮-蒸馏滴定法;土壤碱解氮测定采用扩散吸收法;土壤有效磷测定采用 $0.5 \text{ mol L}^{-1} NaHCO_3$ 提取-钼锑钒比色法;土壤速效钾测定采用 NH_4OAc 浸提-火焰光度法。植株全氮测定采用 $H_2SO_4-H_2O_2$ 消煮-靛酚蓝比色法;植株全磷测定采用钼锑抗吸光光度法;植株全钾测定采用浓 H_2SO_4 消煮-火焰光度法。土壤 pH 按 1:1(v:v)的比例向土壤中加入已除去 CO_2 的蒸馏水,玻璃棒搅匀后静置 30 min 用 pH 计测定^[13]。土壤中细菌、放线菌和真菌采用平板菌落计数法。其中,细菌培养基为牛肉膏蛋白胨培养基,放线菌培养基为高氏 1 号培养基,真菌培养基为马丁培养基。过氧化氢酶活性的测定参见文献[14],蔗糖酶和脲酶活性的测定参见文献[15]。

1.4 数据分析

数据统计分析采用 SAS(V.9.1)统计软件,图表分别用 Sigmaplot 10.0 和 MS Excel 2003 绘制。百分数作反正弦转换后再做 ANOVA 方差分析,处理平均数比较采用 LSD 法。

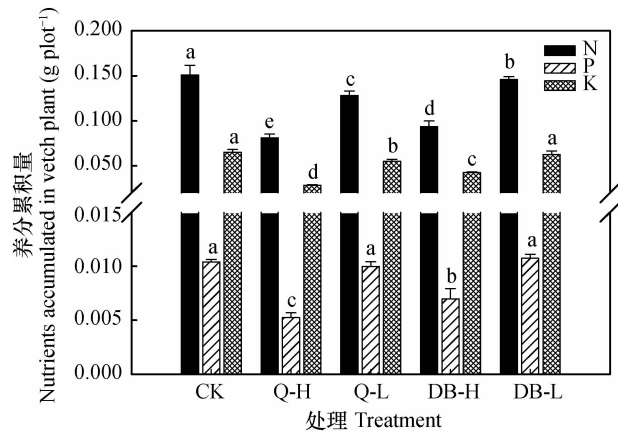
2 结果

2.1 二氯喹啉酸和苄·丁对紫云英养分吸收累积的影响

施用苄·丁和二氯喹啉酸均降低了紫云英植株氮素养分的累积,而且其幅度随着施用剂量的增加而加剧(图1)。与不施用除草剂(CK)相比,施用低剂量苄·丁和二氯喹啉酸后,紫云英植株中氮素累积量分别平均降低10.6%和15.0%;施用高剂量时则分别平均降低37.9%和52.8%,差异均达到显著水平($p < 0.05$)。

施用低剂量苄·丁和二氯喹啉酸对紫云英植株中磷素累积量影响不显著($p > 0.05$),但是施用高剂量时均显著降低紫云英植株中磷素累积量(图1)。与不施用除草剂(CK)相比,施用高剂量苄·丁和二氯喹啉酸分别平均降低紫云英植株中磷素累积量32.7%和49.6%。

施用低剂量的苄·丁对紫云英中钾素累积量影响不显著($p > 0.05$),但是施用高剂量苄·丁或低剂量和高剂量二氯喹啉酸均显著降低了紫云英植株中钾素累积量(图1)。与不施用除草剂(CK)相比,施用高剂量苄·丁后,紫云英植株中钾素累积量平均降低34.5%,而施用低剂量和高剂量二氯喹啉酸后,紫云英植株中钾素累积量分别平均降低



注: CK—对照, Q—二氯喹啉酸, DB—苄·丁, H—高剂量, L—低剂量。同一颜色柱的不同字母表示在 $p < 0.05$ 水平上存在显著差异。下同 Note: CK-Control, Q-quinclorac, DB-bensulfuron-methyl-butachlor, H-higher dose, L-lower dose. Different letters following the same color column mean difference at $p < 0.05$. The same below

图1 二氯喹啉酸和苄·丁对紫云英植株养分累积量的影响

Fig. 1 Effects of quinclorac and bensulfuron-methyl-butachlor on the nutrients accumulation in Chinese milk vetch

15.2%和56.6%。

2.2 二氯喹啉酸和苄·丁对紫云英干物质累积量的影响

施用苄·丁和二氯喹啉酸均降低了紫云英植株干物质累积,而且施用剂量越多,干物质累积越少(图2)。与不施用除草剂(CK)相比,施用低剂量苄·丁和二氯喹啉酸后,紫云英植株干物质累积量分别平均降低13.1%和23.7%;施用高剂量时则分别平均降低44.0%和52.8%,差异均达到显著水平($p < 0.05$)。

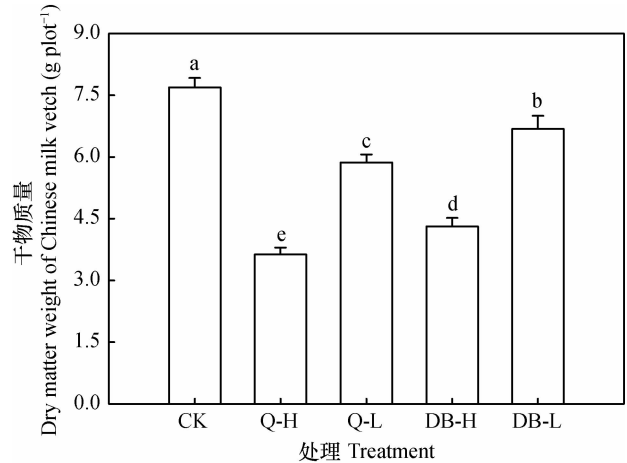


图2 二氯喹啉酸和苄·丁对紫云英植株干物质重的影响
Fig. 2 Effects of quinclorac and bensulfuron-methyl-butachlor on the dry matter weight of Chinese milk vetch

2.3 二氯喹啉酸和苄·丁对土壤养分有效性的影响

稻田土壤中施用苄·丁和二氯喹啉酸后,土壤pH变化不显著($p > 0.05$),但是均显著降低土壤中有效氮和速效钾含量,而且降低幅度随着施用剂量的增加而增加(表1)。与不施用除草剂(CK)相比,施用低剂量和高剂量苄·丁后,土壤有效氮含量分别平均降低9.2%和12.1%,速效钾分别平均降低25.8%和28.7%;施用低剂量和高剂量二氯喹啉酸后土壤有效氮含量分别平均降低11.4%和12.8%,速效钾分别平均降低26.5%和29.6%。

施用低剂量苄·丁和二氯喹啉酸后,土壤中有有效磷含量均出现增加的趋势,但是随着施用剂量的增加,有效磷含量显著降低(表1)。与不施用除草剂(CK)相比,施用低剂量苄·丁和二氯喹啉酸后,土壤中有有效磷含量分别平均增加3.1%和4.6%,差异不显著($p > 0.05$);施用高剂量苄·丁和二氯喹啉酸后,土壤中有有效磷含量分别平均降低5.4%和6.1%。

表 1 二氯喹啉酸和苄·丁对土壤养分有效性的影响

Table 1 Effects of quinclorac and bensulfuron-methyl·butachlor on the available nutrients in soil

处理 Treatment	pH	有效氮 Available N (mg kg ⁻¹)	有效磷 Olsen-P (mg kg ⁻¹)	速效钾 Available K (mg kg ⁻¹)
CK	4.61 ± 0.18a	152.9 ± 13.1a	13.0 ± 0.5a	44.9 ± 3.3a
Q-H	4.46 ± 0.40a	133.3 ± 15.7b	12.2 ± 0.6b	31.6 ± 1.7b
Q-L	4.58 ± 0.15a	135.4 ± 32.6b	13.4 ± 0.2a	33.0 ± 2.0b
DB-H	4.65 ± 0.31a	134.3 ± 13.9b	12.3 ± 0.2b	32.0 ± 1.2b
DB-L	4.70 ± 0.19a	138.8 ± 23.5b	13.6 ± 0.8a	33.3 ± 2.3b

注:同一列数值后的不同字母表示在 $p < 0.05$ 水平上存在显著差异,下同 Note: Different letters following the same column mean difference at $p < 0.05$. The same below

2.4 二氯喹啉酸和苄·丁对土壤生物学性质的影响

施用苄·丁增加了土壤中细菌数量,施用二氯喹啉酸则正好相反(表 2)。与不施除草剂(CK)相比,施用低剂量和高剂量苄·丁后,土壤中细菌数量分别平均增加 85.1% 和 77.8%;施用低剂量和高剂量二氯喹啉酸,土壤中细菌数量分别平均减少 16.0% 和 30.6%。

施用苄·丁和二氯喹啉酸(低剂量和高剂量)均降低土壤中放线菌数量(表 2)。与不施除草剂(CK)相比,施用低剂量和高剂量苄·丁后,土壤中放线菌数量分别平均降低 31.5% 和 50.9%;施用低剂量和高剂量二氯喹啉酸后,土壤中放线菌数量分

别平均降低 49.6% 和 51.7%。此外,无论是施用低剂量还是高剂量苄·丁和二氯喹啉酸,土壤中真菌数量均无显著变化($p > 0.05$)。

由表 3 可以看出,施用低剂量二氯喹啉酸显著抑制了土壤中过氧化氢酶活性,而且施用高剂量苄·丁和二氯喹啉酸均显著抑制了土壤中过氧化氢酶和脲酶活性($p < 0.05$)。如,与不施除草剂(CK)相比,施用高剂量苄·丁和二氯喹啉酸后,土壤中过氧化氢酶活性分别平均降低 15.0% 和 18.7%,脲酶活性分别平均降低 32.8% 和 50.6%。此外,无论施用何种剂量的苄·丁和二氯喹啉酸,土壤中蔗糖酶活性变化均不显著($p > 0.05$)。

表 2 二氯喹啉酸和苄·丁对土壤微生物种群数量的影响

Table 2 Effects of quinclorac and bensulfuron-methyl·butachlor on the quantities of soil microorganisms

处理 Treatment	细菌 Bacteria ($\times 10^6$ CFU g ⁻¹)	放线菌 Actinomyce ($\times 10^6$ CFU g ⁻¹)	真菌 Fungi ($\times 10^5$ CFU g ⁻¹)
CK	5.62 ± 0.14c	2.32 ± 0.40a	1.82 ± 0.33a
Q-H	3.90 ± 0.08d	1.12 ± 0.07c	1.75 ± 0.14a
Q-L	4.72 ± 0.09cd	1.17 ± 0.13c	1.85 ± 0.20a
DB-H	9.99 ± 0.79b	1.14 ± 0.11c	1.77 ± 0.18a
DB-L	10.40 ± 1.53a	1.59 ± 0.24b	1.88 ± 0.09a

注:细菌、放线菌、真菌个数是指每克干土中测得 Note: The quantities of bacteria, actinomyce and fungi were of a gram of dry soil

表 3 二氯喹啉酸和苄·丁对土壤酶活性的影响

Table 3 Effects of quinclorac and bensulfuron-methyl·butachlor on the activities of soil enzymes

处理 Treatment	过氧化氢酶 Catalase (ml g ⁻¹ h ⁻¹)	蔗糖酶 Sucrase (mg g ⁻¹ d ⁻¹)	脲酶 Urease (mg g ⁻¹ d ⁻¹)
CK	32.6 ± 3.6a	4.18 ± 0.41a	453.7 ± 10.5a
Q-H	26.5 ± 0.6c	4.08 ± 0.16a	224.2 ± 12.4c
Q-L	29.2 ± 0.8b	4.11 ± 0.15a	441.3 ± 13.5a
DB-H	27.7 ± 3.5c	3.97 ± 0.18a	304.7 ± 19.0b
DB-L	30.7 ± 1.8ab	4.17 ± 0.11a	447.2 ± 40.1a

3 讨论

施用除草剂后不仅影响了农田生态系统中养分的有效性,还降低了直播覆盖作物对养分的利用率^[16],尤其抑制了豆科作物共生固氮菌的活性,显著降低其结瘤率^[17]。因此,施用低剂量苄·丁后显著降低了紫云英植株中氮素累积量,而施用二氯喹啉酸后则降低了紫云英植株中氮和钾累积量。此外,施用二氯喹啉酸后,由于促进了植株体内乙烯的生物合成以及脱落酸的累积,导致气孔缩小和CO₂吸收减少等,干扰了植株的光合作用及其产物的合成,特别是施用高剂量二氯喹啉酸后可能抑制了植株分生组织的分化,堵塞根系等的疏导组织,减少了供给地下部的光合产物的数量,进而影响了植株根系的生长发育和活性及其对养分的吸收利用;而丁草胺则通过植株幼苗和幼根进入体内后抑制其呼吸和光合作用,从而不利于植株对养分的吸收累积以及生长发育,而且施用苄·丁和二氯喹啉酸后还可能杀死或者抑制了土壤中某种微生物种群的活动,限制了土壤酶的分泌及其活性,降低植株根际有效养分含量,这些均可能是施用高剂量苄·丁和二氯喹啉酸后降低紫云英植株中养分(氮、磷和钾)累积量的原因之一,尤其是豆科作物对二氯喹啉酸的表现更为敏感。由此可见,施用低剂量苄·丁或二氯喹啉酸后主要限制了后茬作物紫云英对氮素或者氮和钾素营养的累积,而高剂量苄·丁和二氯喹啉酸则对三种必需大量营养元素(氮、磷和钾)均有限制作用,从而不利于紫云英植株体内干物质的累积。

土壤中有效氮主要来源于有机氮素的矿化。有研究表明,除草剂对土壤中氮素转化存在一定影响。一方面,施用除草剂并不抑制土壤中尿素的氨化作用,甚至还有促进的趋势;另一方面,施用丁草胺等除草剂显著促进土壤中反硝化作用^[18],无疑增加了氮素的气态损失,从而减少了土壤中总矿化氮量(铵态氮和硝态氮),而且随着施用量的增加而减少越多^[19]。这可能是施用除草剂苄·丁和二氯喹啉酸后显著降低了土壤中氮素养分有效性的原因之一。此外,施用低剂量二氯喹啉酸后,土壤中有效磷含量有所增加,但是随着施用量的增加,土壤中有效磷含量出现减少。这可能是因为在施用低剂量的除草剂时刺激了土壤中溶磷微生物的活性^[20],但是高剂量时却又抑制了土壤中磷酸酶活

性的缘故^[21]。

土壤微生物种群及其数量和土壤酶活性等重要的生物学特征,对土壤养分的有效性具有至关重要的作用。除草剂施入土壤后容易被土壤胶体粒子吸附而残留于土壤中^[22],对土壤微生物生物量和酶活性的影响及其程度因除草剂种类和施用剂量的不同而有所差异^[23-24]。除草剂苄·丁的有效成分中主要为丁草胺,土壤对其有较强的吸附能力,而且移动性小^[2,25],因此,其在土壤中表现出明显的持留性,而且其与土壤微生物之间相互作用,相互影响。本研究结果表明,施用低剂量苄·丁增加了土壤中细菌数量。有研究表明,除草剂能增加土壤中硝化细菌数量,而施用低浓度丁草胺时刺激了土壤中反硝化细菌的生长^[26-27],加大了土壤氮素养分NH₃挥发和反硝化脱氮(N₂O)损失的风险,降低了土壤中有效氮含量,从而减少了后茬作物紫云英植株中累积的氮素养分。此外,施用除草剂后,土壤中过氧化氢酶、脲酶和转化酶等酶活性在一定时间内表现出“抑制-刺激-恢复”等交替变化规律,与除草剂性质、施用剂量、土壤环境等因素密切相关^[28]。本研究结果表明,施用低剂量苄·丁对土壤中过氧化氢酶、蔗糖酶和脲酶活性的影响均不显著,施用高剂量苄·丁抑制了过氧化氢酶和脲酶活性,可能是由于高剂量的苄·丁杀死或抑制了土壤中某种微生物种群(如放线菌等)的活动,限制了酶的分泌而降低了其活性。这与前人研究结果有所差异^[29],可能是因为土壤性质、除草剂施用剂量和环境等因素不同所致。

一方面,稻田使用的除草剂大部分进入土壤后直接影响了土壤微生物的生长及其代谢^[30],另一方面,微生物或其分泌的酶类物质通过降解除草剂而改变了土壤自身的生理生化组成,从而最终影响了土壤微生物活性。另有研究表明,土壤中细菌(如产甲烷细菌)数量随着二氯喹啉酸施用浓度的增加显著减少,而且施用高浓度二氯喹啉酸时也抑制了土壤中放线菌数量,但是土壤中真菌数量对二氯喹啉酸并不敏感^[24,31]。本研究结果表明,无论是施用低剂量还是高剂量的二氯喹啉酸均降低了土壤中细菌和放线菌数量。这可能是因为在施用除草剂(如二氯喹啉酸)后减少了土壤中有效养分(N、P和K)的含量,降低土壤肥力,不仅影响了根系数量和活力以及植株生长发育,从而改变了土壤系统中的有机碳源,而且还不同程度地破坏了土壤微生物的生存环境,继而间接影响了土壤微生物数量和

活性^[32-33]。此外,施用低剂量二氯喹啉酸显著抑制了土壤中过氧化氢酶活性,而施用高剂量时抑制了土壤中脲酶活性,这与张昀等的研究结果类似^[21]。

4 结 论

稻田施用不同类型除草剂(二氯喹啉酸和苄·丁)后主要影响了土壤中细菌、放线菌的数量。使用二氯喹啉酸后抑制了土壤中过氧化氢酶和脲酶活性,高剂量苄·丁则抑制了土壤中脲酶活性,降低了土壤中氮、钾养分的有效性,而且高剂量二氯喹啉酸还显著降低了土壤中有效磷含量,从而降低后茬作物植株对各养分(氮、磷和钾)的吸收与累积,进而不利于干物质的累积,而且随着施用量越多,干物质累积越少。

参 考 文 献

- [1] 吴春先,慕立义,吕潇,等. 灭线磷在 3 种土壤中移动性的研究. 农药科学与管理,2003,24(4):9—13. Wu C X, Mu L Y, Lü X, et al. Studies on the mobility of ethoprophos in three kinds of soil (In Chinese). Pesticide Science and Administration, 2003,24(4):9—13
- [2] 叶常明,雷志芳,王杏君. 丁草胺在土壤中的吸附及环境物质的影响. 环境化学,2003,22(1):14—18. Ye C M, Lei Z F, Wang X J. Adsorption of butachlor in soil and influence of environmental substances (In Chinese). Environmental Chemistry, 2003,22(1):14—18
- [3] 李淑梅,盛东峰,许俊丽. 苯磺隆除草剂对农田土壤动物影响的研究. 土壤通报,2008,39(6):1369—1371. Li S M, Sheng D F, Xu J L. Effects of tribenuron-methyl herbicide on soil animal in farmland (In Chinese). Chinese Journal of Soil Science, 2008,39(6):1369—1371
- [4] Tu C M. Effect of four experimental insecticides on enzyme activities and levels of adenosine triphosphate in mineral and organic soils. Journal of Environmental Science and Health, Part B, 1990, 25(6):787—800
- [5] 谢志坚,张崧,徐昌旭,等. 除草剂对稻田土壤微生态环境及紫云英养分吸收的影响. 南京农业大学学报,2013,36(3):129—132. Xie Z J, Zhang Q, Xu C X, et al. Effects of different herbicides on paddy soil micro-ecology environment and nutrient absorption of Chinese milk vetch (*Astragalus sinicus* L.) plants (In Chinese). Journal of Nanjing Agricultural University, 2013, 36(3):129—132
- [6] 余柳青,徐福强,俞圣康,等. 丁草胺和杀草丹对稻田土壤放线菌及其白色链霉菌的影响. 中国农业科学,1997,30(6):81—83. Yu L Q, Xu F Q, Yu S K, et al. The effect of butachlor and saturn on actinomycetes and *Streptomyces albus* in paddy field (In Chinese). Scientia Agricultura Sinica, 1997, 30(6):81—83
- [7] 欧阳彬,郭正元,蔡智华. 二氯喹啉酸及其代谢体在 3 种土壤中的吸附. 湖南农业大学学报:自然科学版,2006,32(1):73—76. Ouyang B, Guo Z Y, Cai Z H. Absorption of quinclorac and metabolism in three different types of soil (In Chinese). Journal of Hunan Agricultural University: Natural Sciences, 2006, 32(1):73—76
- [8] 王静,陈泽鹏,万树青,等. 二氯喹啉酸在烟草水培液中的消解动态及对烟苗生长的影响. 广东农业科学,2007(2):59—61. Wang J, Chen Z P, Wan S Q, et al. Study on degradation dynamic of quinclorac in water and inhibiting activity to tobacco (In Chinese). Guangdong Agricultural Sciences, 2007(2):59—61
- [9] 陈泽鹏,王静,万树青,等. 烟区土壤残留二氯喹啉酸的消解动态. 农药,2007,46(7):479—480,483. Chen Z P, Wang J, Wan S Q, et al. Degradation dynamic of quinclorac in soil of growing tobacco (In Chinese). Pesticides, 2007, 46(7):479—480,483
- [10] 张敏恒. 新编农药商品手册. 北京:化学工业出版社,2006. Zhang M H. New edition pesticide commodity manual (In Chinese). Beijing: Chemical Industry Press, 2006
- [11] Farah M A, Ateeg B, Ali M N, et al. Studies on lethal concentrations and toxicity stress of some xenobiotics on aquatic organisms. Chemosphere, 2004, 55:257—265
- [12] Chen Z, Juneau P, Qiu B S. Effects of three pesticides on the growth, photosynthesis and photoinhibition of the edible cyanobacterium *Ge-Xian-Mi* (*Nostoc*). Aquatic Toxicology, 2007, 81(3):256—265
- [13] Soil Survey Laboratory methods manual. 2004. <http://soils.usda.gov/technical/lmm>
- [14] 中国科学院南京土壤研究所微生物研究室. 土壤微生物研究法. 北京:科学出版社,1985. Department of Microorganism, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences. Research methods of soil microorganisms (In Chinese). Beijing: Science Press, 1985
- [15] 关松荫. 土壤酶及其研究法. 北京:农业出版社,1986. Guan S Y. Soil enzyme and its research methods (In Chinese). Beijing: Agriculture Press, 1986
- [16] Damin V, Trivelin P C O, Franco H C J, et al. Nitrogen (¹⁵N) loss in the soil-plant system after herbicide application on *Pennisetum glaucum*. Plant Soil, 2010, 328(1/2):245—252
- [17] 王利平,王金信,孙艾蕊,等. 5 种土壤处理用除草剂对紫花苜蓿-根瘤菌共生固氮的影响. 山东农业大学学报:自然科学版,2007,38(1):39—42. Wang L P, Wang J X, Sun A R, et al. Fluence of five herbicides on rhizobium-alfalfa symbiotic nitrogen-fixation (In Chinese). Journal of Shandong Agricultural University: Natural Sciences, 2007, 38(1):39—42
- [18] 丁洪,郑祥洲,雷俊杰,等. 除草剂对尿素氮在土壤中转化的影响. 生态环境学报,2012,21(3):551—554. Ding H, Zheng X Z, Lei J J, et al. Effects of herbicides on transformation of urea nitrogen in vegetable plantation soil (In Chinese). Ecology and Environmental Sciences, 2012, 21(3):551—554
- [19] Jana T K, Debnath N C, Basak R K. Effect of herbicides on decomposition of soil organic matter and mineralization of nitrogen in fluventic ustochrept soil. Journal of Interacademia, 2004, 8(2):

- 197—206
- [20] Das A C, Anjan D. Effect of systemic herbicides on N₂-fixing and phosphate solubilizing microorganisms in relation to availability of nitrogen and phosphorus in paddy soils of West Bengal. *Chemosphere*, 2006, 65 (6) : 1082—1086
- [21] 张昀, 关连珠, 胡克伟, 等. 吡啶磺隆二氯喹啉酸对土壤呼吸强度和酶活性的影响. *农业环境科学学报*, 2005, 24 (增刊) : 73—76. Zhang Y, Guan L Z, Hu K W, et al. Effect of pyrazosulfuron-thyl and quinclorac on microbial respiration and enzyme activities in paddy soil (In Chinese). *Journal of Agro-Environment Science*, 2005, 24 (Suppl) : 73—76
- [22] Liu W P, Wang Q Q, Yang W C, et al. Adsorption of acetanilide herbicides on soil and its components; IV. Sorption of acetanilide herbicides on soils and its correlation with soil properties. *Pedosphere*, 2001, 11 (3) : 217—226
- [23] 徐建民, 黄昌勇, 安曼, 等. 磺酰脲类除草剂对土壤质量生物学指标的影响. *中国环境科学*, 2000, 20 (6) : 491—494. Xu J M, Huang C Y, El-Ghamry A M, et al. Effect of sulfonylurea herbicides on biological indicators characterizing the soil quality (In Chinese). *China Environmental Science*, 2000, 20 (6) : 491—494
- [24] 吕镇梅, 闵航, 叶央芳. 除草剂二氯喹啉酸对水稻田土壤中微生物种群的影响. *应用生态学报*, 2004, 15 (4) : 605—609. Lü Z M, Min H, Ye Y F. Effect of herbicide quinclorac on microbial populations in paddy soil (In Chinese). *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, 15 (4) : 605—609
- [25] 郑和辉, 叶常明. 乙草胺和丁草胺在土壤中的移动性. *环境科学*, 2001, 22 (5) : 117—121. Zheng H H, Ye C M. The transferability of acetochlor and butachlor in soil (In Chinese). *Environmental Science*, 2001, 22 (5) : 117—121
- [26] Sandor Z, Katai J, Tallai M, et al. The effect of herbicides applied in maize on the dynamics of some soil microbial groups and soil enzyme activity. *Cereal Research Communications*, 2007, 35 (2) : 1025—1028
- [27] 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. *应用生态学报*, 2003, 14 (10) : 1765—1769. Chen Z Y, Min H, Wu W X, et al. Effects of pesticide-contamination on population size and denitrification activity of denitrifying bacteria in paddy soils (In Chinese). *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 14 (10) : 1765—1769
- [28] 刘惠君, 詹秀明, 刘维屏. 四种酰胺类除草剂对土壤酶活性的影响. *中国环境科学*, 2005, 25 (5) : 611—614. Liu H J, Zhan X M, Liu W P. Influence of four acetanilide herbicides on soil enzyme activity (In Chinese). *China Environmental Science*, 2005, 25 (5) : 611—614
- [29] 张世敏, 刘晓霞, 徐淑霞, 等. 二氯喹啉酸对土壤微生物的影响. *江苏农业学报*, 2012, 28 (3) : 538—541. Zhang S M, Liu X X, Xu S X, et al. Effects of quinclorac on soil microbes (In Chinese). *Jiangsu Journal of Agricultural Sciences*, 2012, 28 (3) : 538—541
- [30] 陆怡通, 朱有为. 基本农田保护区域的环境污染及防治对策. *上海环境科学*, 1995, 14 (8) : 45—46. Lu Y T, Zhu Y W. Environmental pollution and control countermeasures of the basic farmland conservation area (In Chinese). *Shanghai Environmental Sciences*, 1995, 14 (8) : 45—46
- [31] 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. *农药学报*, 2005, 7 (4) : 383—386. Shan M, Yu Y L, Fang H, et al. Effect of butachlor on soil microbial populations and enzyme activities (In Chinese). *Chinese Journal of Pesticide Science*, 2005, 7 (4) : 383—386
- [32] Van Veen J A, Liljeroth E, Lekkerkerk L J A, et al. Carbon fluxes in plant-soil systems at elevated atmospheric CO₂ levels. *Ecological Applications*, 1991, 1 : 175—181
- [33] 杜社妮, 梁银丽, 徐福利, 等. 施肥对日光温室土壤微生物与酶活性变化的影响. *中国生态农业学报*, 2007, 15 (4) : 68—71. Du S N, Liang Y L, Xu F L, et al. Effect of fertilization on soil microorganisms and enzyme activity under greenhouse condition (In Chinese). *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2007, 15 (4) : 68—71

EFFECTS OF TWO KINDS OF HERBICIDES ON PADDY SOIL ECOLOGY AND GROWTH OF SUCCEEDING CROPS

Xie Zhijian^{1,2} Li Hailan² Xu Changxu^{1†} Zhang Qin³ Liu Guangrong¹

(1 Institute of Soil & Fertilizer and Resource & Environment, Jiangxi Academy of Agricultural Sciences/

Key Laboratory of Crop Ecophysiology and Farming System for the Middle and Lower Reaches of the Yangtze River,

Ministry of Agriculture/National Engineering and Technology Research Center for Red Soil Improvement, Nanchang 330200, China)

(2 College of Resource and Environment, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China)

(3 School of Environmental and Land Resource Management, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045, China)

Abstract A pot experiment was conducted to study effects of two kinds of herbicides, varying in dosage, on bio-characteristics of paddy soil and nutrients absorption and accumulation of succeeding crops. Results show that the application of either bensulfuron-methyl · butachlor or quinclorac in paddy soil decreased the dry matter weight of Chinese milk vetch, and the higher the application rate, the less the dry matter accumulated. Low doses of bensulfuron-methyl · butachlor sig-

nificantly decreased N accumulation in Chinese milk vetch, while low doses of quinclorac decreased not only N, also K accumulation in the plant. And high doses of either of the two herbicides decreased N, P and K accumulation in the plant. The application of either bensulfuron-methyl · butachlor or quinclorac, regardless of dosage, decreased the availability of soil N and K. Low doses of quinclorac did not affect much available P content in the soil, while high doses of the herbicide did significantly decrease the availability of soil P. Low doses of bensulfuron-methyl · butachlor did not have much influence on the activities of catalase, sucrase and urease in the soil, while low doses of quinclorac inhibited markedly the activities of catalase. High doses of either of the herbicides did not affect much the activity of sucrase, but did inhibit those of catalase and urease. Furthermore, the application of bensulfuron-methyl · butachlor, either high or low in dosage, increased the amount of bacteria, and while that of quinclorac acted just reversely. The application of either of the herbicides at either high or low rate, decreased the amount of actinomyce, but did not cause much change in that. It is, therefore, quite clear that, the application of quinclorac in paddy field is more harmful to the paddy soil environment and the growth of Chinese milk vetch than bensulfuron-methyl · butachlor.

Key words Herbicide; Paddy soil; Bio-characristics; Succeeding crops; Nutrient absorption

(责任编辑:陈德明)