

坡耕地草篱系统中土壤阿特拉津残留的迁移规律

夏凡^{1,2}, 陈传胜¹, 李翠², 陈超², 何建荣², 党宏忠³, 王庆海²

(1. 中南林业科技大学环境科学与工程学院, 长沙 410004;

2. 北京市农林科学院北京草业与环境研究发展中心, 北京 100097; 3. 中国林业科学研究院荒漠化研究所, 北京 100091)

摘要: 为探索坡耕地中等高草篱对土壤阿特拉津残留迁移的影响, 采用模拟降雨试验, 研究华北地区不同坡度(15%和20%)条件下草篱系统中土壤阿特拉津残留迁移分布特征。结果表明: 降雨后, 土壤阿特拉津残留纵向迁移占主导地位。草篱处理篱带区阿特拉津残留量远低于无草篱对照的对应区域, 篱带区各土层阿特拉津残留量相近, 而无草篱对照残留量随土层深度增加而降低, 且表层(0—10 cm)显著高于其他层。草篱系统中不同篱域土壤阿特拉津残留量差异显著, 篱带区<沉降区<作物区。最优尺度回归分析结果表明, 草篱系统中各因素对土壤阿特拉津残留量影响程度从大到小依次为草篱>土层深度>土壤含水量>篱域>坡度>坡位, 草篱的重要性超过其他因素。草篱显著影响坡耕地土壤阿特拉津的横向扩散和纵向迁移, 可作为控制坡耕地农药流失的首选措施。

关键词: 阿特拉津; 草篱系统; 坡耕地; 迁移

中图分类号: X52

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2018)05-0047-06

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcbx.2018.05.008

Migration of Atrazine Residue in Hedgerow System on Sloping Croplands

XIA Fan^{1,2}, CHEN Chuansheng¹, LI Cui², CHEN Chao²,

HE Jianrong², DANG Hongzhong³, WANG Qinghai²

(1. College of Environmental Science and Engineering, Central South University of Forestry and Technology, Changsha 410004; 2. Beijing Research and Development Center for Grass and Environment, Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Beijing 100097; 3. Institute of Desertification Studies, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091)

Abstract: For exploring the effects of contour hedgerows on the migration of atrazine residues in soil, the features of migration and distribution of atrazine residue those were influenced by hedgerow system under different slope gradients (15% and 20%) were studied by simulated rainfall experiment. The results showed that the vertical migration of soil atrazine remained dominant after rainfall. Grass hedges significantly reduced atrazine residues compared with the control. The residual levels of atrazine did not differ among 3 soil depths inside the grass hedges, whereas atrazine residues were markedly higher in topsoil than those in subsurface soil, and decreased with increasing soil depth in areas without hedges. Atrazine residues in the surface layer (0—10 cm) were significantly higher than those in other layers. Soil atrazine residues at different areas in the hedgerow system were significant different, and the ranks showed as: Hedgerow zone< deposition zone< crop zone. The optimal scaling regression analysis showed that the degree of influence of various factors on the atrazine residues in the soil was in descending order: Grass hedge > soil depth > soil water content > slope area > slope gradient > slope position, and the role of grass hedge was more important than that of the other factors. In general, the hedgerow can significantly affect the horizontal and vertical migration of the soil atrazine in sloping farmland, which is the primary factor to control the loss of agricultural pesticides.

Keywords: Atrazine; hedgerow system; sloping cropland; migration

收稿日期: 2018-04-27

资助项目: 国家“十二五”科技支撑计划项目(2012BAD14B02); 国家重点研发计划项目(2016YFC0501704-4); 湖南省自然科学基金面上项目(2016JJ2174)

第一作者: 夏凡(1993—), 女, 硕士研究生, 主要从事污染控制工程研究。E-mail: x729520318@163.com

通信作者: 陈传胜(1970—), 男, 副教授, 博士, 主要从事环境生态工程研究。E-mail: 653948140@qq.com

王庆海(1973—), 男, 研究员, 博士, 主要从事植物生理生态学、退化生态系统恢复与重建研究。E-mail: qinghaiw@sina.com

阿特拉津是一种内吸收传导型苗前、苗后三嗪类低毒除草剂,主要用于甘蔗、玉米、高粱等农田及果园、茶园中一年生禾本科杂草和阔叶及杂草的防除,是国内外广泛使用的除草剂之一。但阿特拉津的难生物降解性、土壤淋溶性使其容易通过降水、地表径流、淋溶等途径迁移进入地表和地下水体造成污染^[1]。阿特拉津的残留会对人类饮用水源和水生生态环境构成威胁,每年约有 200~300 万人通过饮用水受到阿特拉津的危害^[2]。阿特拉津还会影响水生生物的生长繁殖,达到一定浓度时会抑制多种藻类的光合作用和正常生长,使蛙类发生性腺变异,造成哺乳类动物繁殖异常,使人患前列腺、乳腺癌和卵巢癌等疾病^[3]。因此,阻控阿特拉津土壤残留进入毗邻水体,减少面源污染,具有十分重要的科学和实践意义。

坡耕地是农业面源污染的主要发生地,径流是阿特拉津从农田向生态系统流动的主要载体^[4]。植物篱系统能有效控制地表径流量和土壤流失量,减少污染物流入受纳水体,对控制坡耕地水土流失、面源污染方面有显著作用。Xiao 等^[5]研究了植物篱对水土流失和土壤养分流失的控制效果,发现植物篱年均可减少 63.2% 的地表径流和 77.7% 的土壤流失,同时使土壤总磷、总氮的流失量分别减少 54.2% 和 69.4%。Xia 等^[6]研究表明,在砂质壤土坡耕地种植香根草、苜蓿等高植物篱,能有效通过地表径流减少氮磷的流失。

表 1 试验小区土壤的主要理化性质

pH	容重/ ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	表层 0—10 cm 硬度/ ($\text{kg} \cdot \text{cm}^{-2}$)	机械组成/%			饱和导水率/ ($\text{cm} \cdot \text{h}^{-1}$)	有机质含量/ ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	全氮含量/ ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	全磷含量/ ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)
			砂粒	粉粒	黏粒				
7.4	1.41	7.87	41.4	24.2	34.4	0.18	15.33	0.85	0.88

1.2 试验设计

试验于 2017 年 10 月在北京市昌平区小汤山镇国家精准农业示范基地坡地植物篱试验点的径流小区进行,每个径流小区大小为 $1.6 \text{ m} \times 11 \text{ m}$,底部装有径流桶以收集径流和泥沙。相邻两个径流小区用与径流小区等长的铁板隔开,不同坡度小区四周用水泥挡板分隔。草篱带选择适合本地生长气候条件,茎秆直立、茎叶发达、抗逆性强且分蘖、保水能力较强的狼尾草植株。试验在模拟降雨条件下进行,设草篱、坡度 2 个因素,其中草篱设无草篱对照(CK)、狼尾草草篱(L)2 个水平。草篱处理,在径流小区底部和中部坡位(坡底和坡中)的等高位置上各配置 1 条宽 0.5 m 的草篱带,草篱带间距为 5 m。草篱带于 2016 年 7 月栽种,种植 3 行,行距 25 cm,本试验开始时均已形成了密集的草篱带,盖率接近 100%。坡度设 15% 和 20% 2 个水平。每处理 3 次重复,共 12 个小区。试验先进行除草剂阿特拉津土壤喷雾处理(各小区均为裸地,模拟玉米播后苗前

污染物在植物篱系统中随降雨发生迁移,在不同坡位会呈现不同的分布特征。以往研究多集中于植物篱对土壤水土流失和土壤养分流失的效益评价上,对农药在植物篱系统中不同位置迁移分布规律研究较少,且有关不同因素对农药残留分布特征的影响程度的研究更少。这些信息的获得有助于深入了解植物篱的作用机制。本文针对我国华北地区,选取该区常用的草篱植物狼尾草(*Pennisetum alopecuroides* (L.) Spreng.) 构建植物篱,研究不同坡度条件下,植物篱系统中土壤阿特拉津随径流流失的迁移分布规律,评价阿特拉津残留迁移扩散的风险,为农业面源污染控制和等高草篱技术的推广提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

本试验研究地点位于北京市昌平区小汤山镇国家精准农业示范基地($116^{\circ}26' \text{ E}$, $40^{\circ}10' \text{ N}$),海拔 50 m,该区域地处华北平原北缘,主要地貌类型为平原、丘陵和浅山,属于典型的暖温带半湿润大陆季风气候,年间气候要素变幅较大,昼夜温差大,年均气温 11.5° C ,平均无霜期 190 d, $\geq 0^{\circ} \text{ C}$ 积温 $4\ 400^{\circ} \text{ C}$,年均降水量 640 mm,70% 降雨集中在 6—8 月。主要大田作物为冬小麦(*Triticum aestivum* L.)和玉米(*Zea mays* L.)。试验小区土壤主要理化性质见表 1。

状态),施药量为 $1\ 282.5 \text{ g/hm}^2$,为保证阿特拉津在土层发生充分迁移,最大限度体现降雨对其迁移的影响,施药 1 周后实施人工降雨。使用中农先飞(北京)农业工程技术有限公司建造的人工模拟降雨系统实施降雨^[5]。降雨历时 1 h,间隔 24 h 再模拟降雨 1 h,间隔 1 h 后再降 3 h^[7],用标准雨量筒实际测定雨强为 21.43 mm/h 。模拟降雨结束 1 天后采集土样。

本试验草篱处理各小区土样采集设坡中和坡底 2 个坡位;每个坡位设 3 个篱域:即作物区(草篱带上缘 2.5 m)、沉降区(草篱带上缘 0.5 m)和篱带区 3 个取样位置^[8](图 1);每个篱域设 3 个样点,每个样点分 3 个土层深度(0—10, 10—20, 20—30 cm),3 个样点土样混匀后为该土层土样。CK 处理各小区土样采集点位置与草篱处理相对应。土样用密封袋装袋密封并标记,带回实验室于 -22° C 冷冻保存。每个小区自产流开始至产流结束,每 10 min 收集 1 次径流,取上清液冷藏保存用于测定水样中阿特拉津含量。

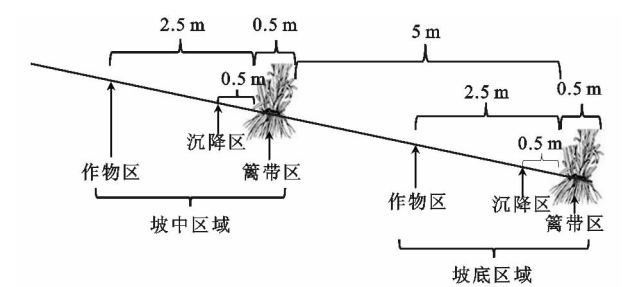


图 1 试验小区土样采集点示意

1.3 土壤和水样阿特拉津含量测定

土样在实验室内用冷冻真空干燥机低温去水干燥,并根据冷冻干燥前后土壤样品的质量差,得出土壤的含水量。土壤阿特拉津的测定采用高效液相色谱法测定^[9]。水样采用固相萃取、高效液相色谱—质谱法测定^[10]。

1.4 数据处理

使用 SPSS 22.0 软件进行统计分析,利用 Origin 8.5 软件进行作图。

2 结果与分析

2.1 草篱系统不同位置土壤含水量的特征

由表 2 可知,降雨后,草篱处理土壤含水量显著高于对照($P<0.01$),比对照组高 5%,可见草篱处理对土壤水分具有明显的蓄积作用。不同坡位,土壤含水量差异显著,坡底高于坡中,表明降水发生了水平移动,汇集在坡底。草篱与坡位有显著的交互效应,草篱处理坡底的土壤含水量比对照坡中高 5.2%。由表 3 可知,土壤含水量随土层深度增加呈降低趋势,表层(0—10 cm)土壤含水量显著高于其他土层,是 10—20 cm 土层的 1.07 倍,20—30 cm 的 1.11 倍,而 10—20,20—30 cm 土层含水量无显著差异。草篱处理各篱域土壤含水量与对照差异显著($P<0.01$),篱带区、沉降区、作物区土壤含水量较对照分别提高了 9.1%,5.4%,2.6%。同时,草篱处理篱域间亦存在显著差异,篱带区含水量最高,沉降区次之,作物区最低;而对照对应位置无明显变化趋势。

表 2 土壤含水量和阿特拉津残留量方差分析

影响因素	自由度	土壤含水量			土壤阿特拉津残留量		
		平方和	F	p	平方和	F	p
g	1	19.752	15.269	<0.0001	2737.481	35.506	<0.0001
s	1	0.199	0.308	0.581	148.040	3.840	0.049
sp	1	4.641	7.133	0.009	162.885	4.225	0.043
sa	2	18.169	15.841	<0.0001	320.555	4.276	0.019
sd	2	87.040	67.288	<0.0001	1302.372	16.892	<0.0001
g×s	1	1.624	1.255	0.291	131.965	1.712	0.188
g×sp	1	0.201	0.156	0.856	4.534	0.059	0.943
g×sa	2	7.918	3.452	0.014	334.343	2.230	0.078
g×sd	3	0.773	0.299	0.878	690.517	4.478	0.003
s×sp	1	4.420	6.833	0.011	64.220	1.666	0.201
s×sa	2	0.517	0.451	0.640	52.198	0.696	0.503
s×sd	2	0.547	0.423	0.657	41.966	0.544	0.583
sp×sd	2	2.900	2.242	0.114	88.227	1.144	0.324
sa×sd	4	0.977	0.426	0.789	84.763	0.565	0.689
g×s×sp	1	1.865	1.442	0.243	129.394	1.678	0.194
g×s×sa	2	0.832	0.363	0.834	239.205	1.595	0.189
g×s×sd	2	1.335	0.516	0.724	14.212	0.092	0.985
g×sp×sd	2	1.059	0.409	0.801	159.297	1.033	0.396
g×sa×sd	4	0.155	0.034	0.912	280.184	0.934	0.496
s×sp×sd	2	1.478	1.143	0.325	24.366	0.316	0.730
s×sa×sd	4	2.582	1.125	0.354	36.629	0.244	0.912
sp×sa×sd	4	1.470	0.627	0.645	47.922	0.151	0.962
g×s×sp×sd	2	0.314	0.121	0.974	43.690	0.283	0.888
g×s×sa×sd	4	1.303	0.284	0.968	80.282	0.268	0.974
s×sp×sa×sd	2	1.151	0.491	0.742	243.841	0.767	0.550

注:g为草篱;s为坡度;sp为坡位;sa为篱域;sd为土层深度。

2.2 地表径流中的阿特拉津含量特征

由表 4 可知,随产流时间的延长,径流中阿特拉津的流出量呈先下降后平缓的趋势,流出量与时间呈负相关关系。草篱可显著降低径流中阿特拉津流出量,降幅为 51%~54%。坡度对径流中阿特拉津的流出量差异显著,坡度为 15%的处理径流中阿特拉津的输出量比 20%坡度的低 15%~17%。各处理径流中的阿特拉津流出量从大到小依次是 20%坡

度+对照、15%坡度+对照、20%坡度+草篱、15%坡度+草篱。这表明草篱和坡度对阿特拉津的横向扩散影响显著。

2.3 草篱系统不同位置的土壤阿特拉津残留量的特征

由表 5 可知,草篱对土壤阿特拉津残留量有显著影响($P<0.01$),草篱处理土壤阿特拉津的残留量比对照减少了 42.1%。草篱和土层深度有显著的交互效应,0—10 cm 土层内草篱带阿特拉津残留量显著

低于对照的对应区域。草篱处理各土层深度阿特拉阿特拉津残留量差异显著,且随着土层深度的增加呈津残留量比较接近,无显著差异。而对照各土层土壤降低趋势。

表 3 不同坡度条件下不同坡位土壤含水量

坡度/%	处理	土层 深度/cm	土壤含水量/%					
			篱带区		沉降区		作物区	
			坡底	坡中	坡底	坡中	坡底	坡中
15	CK	0—10	21.99±2.51a	21.25±0.63a	21.55±1.21a	22.55±1.72a	21.80±0.04a	21.74±0.10a
		10—20	20.45±1.12a	19.55±0.36a	19.92±0.05a	20.68±1.42a	18.79±2.01b	20.26±1.28a
		20—30	19.71±1.12a	19.65±0.78a	19.72±0.59a	20.37±1.73b	17.73±1.48b	20.61±0.83b
	L	0—10	23.51±0.51a	22.96±0.28a	22.89±0.62b*	23.34±1.19a	22.67±0.99b	22.35±0.54b
		10—20	22.01±0.85a	22.21±0.40a	19.69±0.76b	21.14±0.12b	19.63±1.21b	21.12±0.38b
		20—30	21.12±0.59a	21.90±0.67a	18.65±0.82b	21.56±0.25a	17.71±2.60b	20.44±0.44b
20	CK	0—10	21.25±0.85a	21.86±0.43a	21.57±1.28a	21.11±0.62a	21.87±1.02a	21.60±0.37a
		10—20	20.10±0.95a	20.53±0.53a	20.25±0.34a	19.45±2.44b	20.30±0.77a	19.49±1.09b
		20—30	18.36±1.50a	19.73±0.39a	19.02±1.24a	19.46±0.72a	19.18±1.29a	18.84±2.11b
	L	0—10	23.54±0.18a	23.31±0.40a	22.55±0.83b	21.41±0.93b	22.07±1.10b	21.10±0.31b
		10—20	21.90±0.55a	21.84±0.32a	21.40±0.64a	20.63±0.67b	20.15±1.26b	20.37±0.08b
		20—30	21.15±0.35a	21.18±0.47a	20.86±1.08a	20.71±0.99a	20.55±0.49a	20.35±0.41a

注:不同小写字母表示坡中或坡底不同篱域间差异显著($P<0.05$);*表示同一篱域坡中与坡底之间差异显著($P<0.05$)。

表 4 不同时间径流量中阿特拉津的输出量

坡度/%	处理	径流中阿特拉津的流出量/ μg					
		第 10 min	第 20 min	第 30 min	第 40 min	第 50 min	第 60 min
15	CK	1.80±0.13a*	1.62±0.21ab*	1.35±0.13ab	0.90±0.13b	0.93±0.08b*	0.81±0.05b*
	L	0.66±0.03a	0.50±0.03a	0.42±0.02a	0.30±0.02a	0.22±0.02a	0.18±0.01a
20	CK	2.40±0.18a*	1.68±0.17ab*	1.26±0.12ab	1.05±0.15b	0.99±0.06b*	0.93±0.05b*
	L	0.69±0.11a	0.58±0.06a	0.50±0.13a	0.42±0.06a	0.36±0.07a	0.30±0.05a

注:不同小写字母表示同一处理各时间段差异显著性($P<0.05$);*表示相同坡度不同草篱处理下差异显著性($P<0.05$)。

坡度对土壤阿特拉津残留量有显著影响,20%坡度处理低于 15%坡度处理。而且,草篱与坡度具有显著的交互效应,坡度为 20%的草篱组阿特拉津残留量远低于对照,比对照减少了 51.8%。草篱处理各篱域阿特拉津残留量与对照的对应位置差异显著,篱带区、沉降区、作物区残留量较对照对应区域分别减少了 55.9%,39.5%,28.4%。草篱处理不同篱域土壤中阿特拉津残留量亦存在显著差异,篱带区低于沉降区和作物区;而对照的各对应区域间则无显著差异。

表 5 不同坡度条件下不同坡位土壤阿特拉津残留量

坡度/%	处理	土层 深度/cm	土壤阿特拉津残留量/ $(\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1})$					
			篱带区		沉降区		作物区	
			坡底	坡中	坡底	坡中	坡底	坡中
15	CK	0—10	48.87±5.01a*	35.18±3.82a	43.62±1.85a*	22.93±0.44b	29.01±2.76b	27.32±3.43b
		10—20	35.07±6.58a*	23.51±1.16a	32.34±4.62a*	19.69±2.48a	21.48±1.77b	18.49±2.59a
		20—30	19.79±5.29a	22.62±1.71a	22.65±0.65a	19.05±5.43a	19.79±3.75a	16.08±0.48a
	L	0—10	15.22±2.32a	14.02±1.35a	21.25±4.74b	20.45±3.91b	26.07±1.84c	19.13±4.07b
		10—20	15.03±1.61a	15.35±1.38a	13.80±1.89a*	17.71±2.44b	20.71±0.98b	17.96±0.58b
		20—30	17.13±1.68a	15.60±1.57a	15.88±2.91a	14.75±1.37a	19.95±1.96b*	14.19±2.72a
20	CK	0—10	49.83±9.89a*	34.67±3.70a	33.06±1.22b	36.22±10.47a	37.22±6.85b*	25.55±3.27b
		10—20	42.49±4.55a*	27.44±6.47a	28.02±1.29b	20.24±3.34b	18.09±2.54c	21.09±4.37b
		20—30	21.48±5.87a	16.41±4.22a	18.10±6.70a	13.97±0.39a	11.99±2.40b	16.65±12.93a
	L	0—10	8.04±1.01a	6.89±0.04a	15.15±2.15b	15.37±6.84b	18.54±5.22b	21.11±5.41c
		10—20	7.35±0.13a	6.82±0.10a	15.89±5.92b*	7.95±0.63a	13.93±3.34b	10.60±2.92b
		20—30	6.83±0.19a	6.91±0.09a	11.40±3.95b	8.63±0.76a	10.71±3.07b	10.68±3.39a

注:不同小写字母表示坡中或坡底不同篱域间差异显著($P<0.05$);*表示同一篱域坡中与坡底之间差异显著($P<0.05$)。

2.4 试验因素与土壤含水量、阿特拉津残留量回归分析

草篱、坡度、坡位、篱域和土层深度等因素不同程度地影响土壤中阿特拉津的空间分布,为进一步定量

分析各影响因素对土壤阿特拉津迁移的贡献,以草篱、坡度、坡位、篱域和土层深度为自变量,土壤含水量和阿特拉津残留量为因变量,进行最优尺度回归分析。模型的 R^2 分别为 0.717,0.705,显著性检验结

果表明 $P<0.05$,说明土壤含水量和阿特拉津残留量关于这些因素的最优尺度回归分析是有意义的。由表 6 可知,草篱、坡位、篱域、土层深度 4 个因素对土壤含水量均有显著影响($P<0.05$),其中土层深度的影响最大(重要性为 0.714,回归系数为 0.731),其次是草篱,再是坡位和篱域,而坡度对土壤含水量无显著影响($P>0.05$)。各因素对土壤阿特拉津残留量

影响程度从大到小依次为草篱>土层深度>土壤含水量>篱域>坡度>坡位,均达到显著水平。由此可见,草篱在本研究中对土壤阿特拉津残留迁移和分布的贡献率超过其他因素,是影响土壤阿特拉津分布特征的首要影响因子。阿特拉津残留量还与土壤含水量具有显著的相关性,水分作为阿特拉津的运输载体,对阿特拉津迁移亦起着相当重要的作用。

表 6 土壤含水量、阿特拉津残留量与各因素的回归分析

影响因素	土壤含水量					土壤阿特拉津残留量				
	回归方程		回归系数	<i>P</i>	重要性	回归方程		回归系数	<i>P</i>	重要性
	<i>R</i> ²	<i>P</i>				<i>R</i> ²	<i>P</i>			
草篱	0.717	<0.001	0.337	<0.001	0.151	0.705	<0.001	0.618	<0.001	0.414
坡度			-0.005	0.992	<0.001			-0.184	0.008	0.046
坡位			0.115	<0.001	0.090			-0.161	0.017	0.025
篱域			-0.062	<0.001	0.046			0.073	0.002	0.051
土层深度			-0.731	<0.001	0.714			-0.374	<0.001	0.328
土壤含水量								-0.196	<0.001	0.109

3 讨论

3.1 草篱系统不同位置的土壤含水量

本研究结果显示草篱是土壤含水量的主要影响因素,草篱能显著增加土壤含水量。已有研究^[11]表明,植物篱可以减少降雨对土壤的直接冲刷,缓解水土侵蚀,还可以显著增大土壤孔隙度,增强土壤入渗能力,促进降水向下迁移,增加壤中流,提高土壤含水量。本试验中坡度对土壤含水量无显著性差异,但在王庆海等^[11]研究中不同坡度对土壤含水量存在差异,这可能是由于土壤原始含水量较低,降雨后大部分水入渗到土壤中,削弱了坡度对土壤含水量的影响。土壤含水量随土层深度的增加呈降低趋势,表层显著高于其他土层。黄鑫等^[12]研究表明,植物篱措施对表层土壤含水量的提高有显著影响。由于植物根系在表层分布居多,一方面可以增大表土孔隙度,促进水分入渗率;另一方面根系死亡腐殖质化,可显著增加土壤有机质,进而改善土壤团粒结构,提高土壤保水性,使表土含水量较其他土层高。

草篱处理对不同篱域土壤含水量差异显著,篱带区含水量最高,沉降区次之,作物区最低。这表明草篱不仅能显著改善篱带区的土壤含水量,而且对周围环境的土壤含水量也有一定的积极影响。关于草篱系统不同位置土壤含水量的变化规律,也有研究^[13]表明,篱带区附近的土壤含水率较高,沿坡面向上,离篱带区越远土壤含水量越低。这可能是由于随径流冲刷,细土粒一般在草篱前或篱带下(沉降区)沉积,且植物篱的枯枝落叶就地归还至篱带及其边缘,土壤有机质等胶结物质增多,从而增加了土壤颗粒的吸水保水能力^[14],使得篱带区和沉降区土壤含水量较作物区高。

3.2 地表径流中的阿特拉津

草篱和坡度对阿特拉津的横向扩散影响显著。坡耕地阿特拉津残留主要是通过地表径流的水相而流失的^[15],因此减少阿特拉津横向流动污染水体最主要的措施是减少地表径流中阿特拉津的输出量^[3]。由此可见,草篱措施可以有效控制阿特拉津随地表径流向外输出。植物可以通过茎秆拦截雨水,降低径流速度,增加入渗率,从而减少阿特拉津水平移动^[15]。

3.3 草篱系统不同位置的土壤阿特拉津残留量

草篱对土壤阿特拉津残留量有显著影响。草篱处理篱带区阿特拉津残留量远低于无草篱对照组的对应区域,且篱带区各土层阿特拉津的残留量相近。无草篱对照土壤阿特拉津残留量随土层深度增加而降低,且表层(0—10 cm)显著高于其他层。这些结果可能是因为表层土壤中根系分布较多,根系吸收、根际效应降解可以减少阿特拉津残留量;植物根茎在土壤中构成地下根孔导流系统,形成的垂直根系运输结构,促进阿特拉津向更深层土壤迁移。王庆海等^[16]研究表明,草篱带内比对应无草篱区域有更多的农药残留下渗到 15 cm 以下的土层中,农药在坡耕地土壤中纵向迁移表现明显。在本研究中,地表径流和土壤渗流液是阿特拉津迁移的两个主要途径,且下渗后各土层阿特拉津残留量高于表层径流输出量,说明在扩散过程中,阿特拉津的纵向迁移占主导地位,这与肖春艳等^[17]的研究结果一致。

坡度对土壤阿特拉津残留量有显著影响,坡度越大,残留量越低。出现这种结果可能是因为阿特拉津随水分入渗,坡度越小,土壤入渗率越大^[18];当土壤含水量饱和时,阿特拉津随径流输出。这也说明坡度越大,污染物越容易发生扩散。草篱处理各篱域阿特拉津残留量显著低于对照对应的位置。草篱处理不

同篱域之间土壤阿特拉津残留量亦存在显著差异,篱带区低于沉降区和作物区。植物篱能通过植物茎秆的阻挡和过滤作用拦截土壤颗粒,改善土壤理化性质,增强土壤对污染物的吸附、溶解和降解能力;另外,植物还能通过自身对污染物质的吸收降解作用,减少土壤中污染物的残留,减少污染物对环境的危害^[19]。

本研究通过坡耕地径流试验,分析不同因素对阿特拉津在植物篱系统中不同位置迁移分布特征的影响,从纵向迁移和横向扩散两方面探究阿特拉津在坡耕地土壤中的迁移规律。研究表明,草篱能有效降低阿特拉津随径流流失量,对阿特拉津引起的农业面源污染具有较好的防治效果。此外,阿特拉津迁移过程中,土壤有机质含量、微生物降解作用等对阿特拉津残留量均有一定程度的影响,这有待进一步研究。

4 结论

土壤各土层中阿特拉津残留量高于地表径流输出量,阿特拉津的纵向迁移占主导地位。地表径流中阿特拉津的输出量呈现先下降后平缓的趋势,而各土层中残留量不同。

草篱对坡耕地阿特拉津土壤残留横向迁移具有阻控作用。草篱系统中不同篱域土壤阿特拉津残留量差异显著,篱带区<沉降区<作物区;而无草篱对照的对应区域间却无明显差异。

草篱能够促进坡耕地土壤阿特拉津残留纵向迁移。阿特拉津残留量在不同土壤层次中变化特征不同,无草篱对照沿土壤坡面的变化趋势为随深度增加而降低,且表层(0—10 cm)显著高于其他土层。草篱处理篱带区阿特拉津残留量远低于无草篱对照的对应区域,且篱带区各土层阿特拉津的残留量相近。

回归分析结果表明,各因素对土壤阿特拉津残留量影响程度从大到小依次为草篱>土层深度>土壤含水量>篱域>坡度>坡位,草篱的重要性超过其他因素,可作为控制坡耕地阿特拉津流失的首选措施。

参考文献:

- [1] 毛萌,任理.阿特拉津的主要降解产物在土壤中转化与运移的研究进展[J].中国农业科学,2009,42(5):1690-1697.
- [2] Papadakis E, Tsaboula A, Kotopoulou A, et al. Pesticides in the surface waters of Lake Vistonis Basin, Greece: Occurrence and environmental risk assessment [J]. Science of the Total Environment, 2015, 536: 793-802.
- [3] 瞿梦洁,李慧冬,刘伟,等.水环境介质中阿特拉津修复过程研究进展[J].生态毒理学报,2017,12(4):119-128.
- [4] Reichenberger S, Bach M, Skitschak A, et al. Mitigation strategies to reduce pesticide inputs into ground- and surface water and their effectiveness: A review [J]. Science of

- the Total Environment, 2007, 384 (1/3): 1-35.
- [5] Xiao B, Wang Q, Wu J, et al. Protective function of narrow grass hedges on soil and water loss on sloping croplands in Northern China [J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2010, 139: 653-664.
- [6] Xia L, Liu G, Ma L, et al. The effects of contour hedges and reduced tillage with ridge furrow cultivation on nitrogen and phosphorus losses from sloping arable land [J]. Journal of Soils and Sediments, 2014, 14(3): 462-470.
- [7] Wu J Y, Huang D, Teng W J, et al. Grass hedges to reduce overland flow and soil erosion [J]. Agronomy for Sustainable Development, 2010, 2(30): 481-485.
- [8] Rachman A, Anderson S H, Gantzer C J. Computed-tomographic measurement of soil macroporosity parameters as affected by stiff-stemmed grass hedges [J]. Soil Science Society of America Journal, 2005, 69(5): 1609-1616.
- [9] 乔雄梧,马利平.土壤中残留的阿特拉津及其代谢产物的高效液相色谱和气—质谱联用分析[J].色谱,1995,13(3):170-173.
- [10] 任晋,蒋可,徐晓白.阿特拉津及其降解产物的磺酸化聚合物柱固相萃取及高效液相色谱—质谱法测定[J].分析化学,2004,32(10):1273-1277.
- [11] 王庆海,庞卓,郑瑞伦,等.模拟降雨条件下草篱对坡地浅层土壤水分分布特征的影响[J].水土保持学报,2016,30(4):110-115.
- [12] 黄鑫,蒲晓君,郑江坤,等.不同植物篱对紫色土区坡耕地表层土壤理化性质的影响[J].水土保持学报,2016,30(4):173-177.
- [13] 蒲玉琳,林超文,谢德体,等.植物篱—农作坡地土壤团聚体组成和稳定性特征[J].应用生态学报,2013,24(1):122-128.
- [14] 刘绪军,任宪平,杨亚娟,等.东北黑土区植物篱土壤入渗性能研究[J].水土保持通报,2017,37(2):45-49.
- [15] Qinghai W, Li C, Chen C, et al. Effectiveness of narrow grass hedges in reducing atrazine runoff under different slope gradient conditions [J]. Environmental Science & Pollution Research, 2018, 25(8): 7672-7680.
- [16] 王庆海,庞卓,郑瑞伦,等.等高草篱对坡耕地土壤苯磺隆残留迁移的影响[J].农业环境科学学报,2016,35(6):1081-1089.
- [17] 肖春艳,邵超,赵同谦,等.降雨中有机氯农药土壤—水界面迁移过程的实验模拟[J].环境化学,2012,31(12):1953-1959.
- [18] 陈诚,郝治邦.模拟降雨下不同坡度土壤坡面产流产沙特征及磷和钾素流失研究[J].水土保持研究,2017,24(2):70-76.
- [19] 林庆祺,蔡信德,王诗忠,等.植物吸收、迁移和代谢有机污染物的机理及影响因素[J].农业环境科学学报,2013,32(4):661-667.