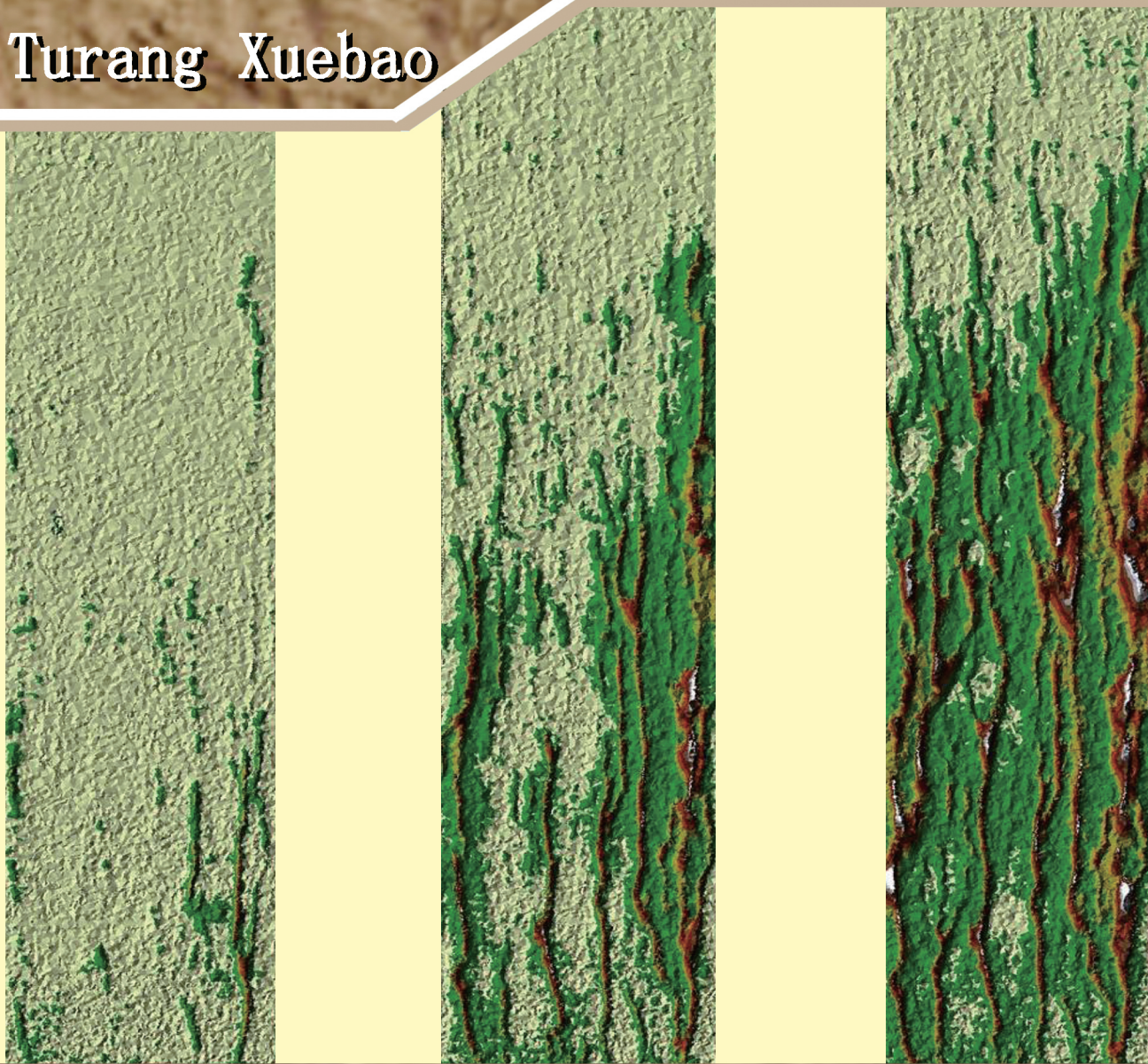


ISSN 0564-3929

Acta Pedologica Sinica 土壤学报

Turang Xuebao



土壤学报

第五十二卷

第一期

二〇一五年一月

科学出版社



中国土壤学会
科学出版社

主办
出版

2015

第52卷 第1期

Vol.52 No.1

《土壤学报》编辑委员会

主 编：史学正

执行编委：(按姓氏笔画为序)

丁维新	巨晓棠	王敬国	王朝辉	史 舟	宇万太	朱永官
李永涛	李芳柏	李保国	李 航	吴金水	沈其荣	张玉龙
张甘霖	张福锁	陈德明	邵明安	杨劲松	杨明义	杨林章
林先贵	依艳丽	周东美	周健民	金继运	逢焕成	胡 锋
施卫明	骆永明	赵小敏	贾仲君	徐国华	徐明岗	徐建明
崔中利	常志州	黄巧云	章明奎	蒋 新	彭新华	雷 梅
窦 森	廖宗文	蔡祖聪	蔡崇法	潘根兴	魏朝富	

编辑部主任：陈德明

责任编辑：汪枫生 卢 萍 檀满枝

土 壤 学 报

Turang Xuebao

(双月刊,1948年创刊)

第52卷 第1期 2015年1月

ACTA PEDOLOGICA SINICA

(Bimonthly, Started in 1948)

Vol. 52 No. 1 Jan., 2015

编 辑 《土壤学报》编辑委员会
地址：南京市北京东路71号 邮政编码：210008
电话：025-86881237
E-mail: actapedo@issas.ac.cn

Edited by Editorial Board of Acta Pedologica Sinica
Add: 71 East Beijing Road, Nanjing 210008, China
Tel: 025-86881237
E-mail: actapedo@issas.ac.cn

主 编 史学正
主 管 中国科学院
主 办 中国土壤学会
承 办 中国科学院南京土壤研究所

Editor-in-Chief Shi Xuezheng
Superintended by Chinese Academy of Sciences
Sponsored by Soil Science Society of China
Undertaken by Institute of Soil Science,
Chinese Academy of Sciences

出 版 科 学 出 版 社
地址：北京东黄城根北街16号 邮政编码：100717

Published by Science Press
Add: 16 Donghuangchenggen North Street,
Beijing 100717, China

印刷装订 北京中科印刷有限公司
总 发 行 科 学 出 版 社
地址：北京东黄城根北街16号 邮政编码：100717
电话：010-64017032
E-mail: journal@mail.sciencep.com

Printed by Beijing Zhongke Printing Limited Company
Distributed by Science Press
Add: 16 Donghuangchenggen North Street,
Beijing 100717, China
Tel: 010-64017032
E-mail: journal@mail.sciencep.com

国外发行 中国国际图书贸易总公司
地址：北京399信箱 邮政编码：100044

Foreign China International Book Trading Corporation
Add: P. O. Box 399, Beijing 100044, China

国内统一刊号：CN 32-1119/P

国内邮发代号：2-560

国外发行代号：BM45

定价：60.00元

国 内 外 公 开 发 行



ISSN 0564-3929



9 770564 392156

DOI: 10. 11766/trxb201404080158

土壤磷解吸特性对菜稻轮作田间渗漏水总磷浓度的影响*

章明清 李娟 孔庆波

(福建省农业科学院土壤肥料研究所, 福州 350013)

摘要 通过四季豆-瓢瓜-早稻轮作制不同磷肥用量的 3 年定位田间试验, 探讨土壤磷解吸特性及其解吸特征值对菜稻轮作田间渗漏水总磷浓度的影响和评价指标。结果表明, 提出的解吸模型可较好地拟合土壤磷素随水土质量比变化的解吸过程, 通过该模型能同时得到土壤磷可解吸量 Q 、土壤溶液磷浓度 C_{li} 及其缓冲系数 b 等解吸特征值。菜菜稻轮作的总磷浓度平均只有菜菜连作的 42.6%。土壤磷可解吸量与田间渗漏水总磷浓度之间满足双速率转折点的动态特征。无论是菜菜连作还是菜菜稻轮作, Q 值表征的土壤磷素淋失转折点的差异很小, 平均为 24.4 mg kg^{-1} 。因此, 菜菜稻轮作有利于削减田间渗漏水总磷浓度, 土壤磷可解吸量的双速率转折点 X_0 可用于表征菜田磷素淋失潜力的指标之一。

关键词 土壤; 解吸; 菜田; 轮作; 渗漏水; 总磷

中图分类号 S153 **文献标识码** A

在目前的蔬菜栽培中过量施肥是普遍现象。这造成土壤磷素过度积累, 对部分地区的水环境安全构成了威胁^[1]。土壤溶液中的磷是淋失的主要磷素形态, 而土壤解吸作用是补充土壤溶液磷浓度的主要过程。但是, 尽管吸附和解吸并不是完全可逆的, 目前土壤磷解吸过程大多采用固定水土比下的等温吸附方程来表达^[2], 忽略了田间条件下土壤水分经常变化的事实, 而采用包含水土比参数的土壤解吸模型的研究还很少^[3-4]。曹志洪等^[5]研究指出, 稻田生态系统具有吸纳和消解磷污染物的生态功能。研究表明, 蔬菜和水稻在磷吸收强度上具有明显差异, 菜稻轮作可明显提高磷肥利用率, 减轻菜田磷素过度积累^[6-7], 与蔬菜连作相比, 显著降低了土柱渗漏水总磷浓度^[8], 但菜稻轮作对菜田渗漏水总磷浓度影响的定位试验研究尚少见报道。

田间实际观测可真实地反映菜田磷素淋失风险, 但工作量大和耗时长, 不可能大规模进行。因此, 研究土壤磷解吸特性对菜稻轮作菜田渗漏水磷素浓度的影响, 对通过实验室测定评价菜田磷素流失风险具有重要作用。为此, 在福建省平和县山格镇蔬菜生产基地设置磷肥不同用量的菜稻轮作田

间定位试验, 研究土壤磷解吸模型及其解吸特征值对菜田渗漏水总磷浓度的影响及磷素淋失潜力的评价指标。

1 材料与amp;方法

1.1 供试土壤

2008 年 8 月在福建省平和县山格镇蔬菜生产基地设置田间定位试验。供试土壤为普通铁聚水耕人为土。

1.2 试验设计

选择当地典型的周年轮作制度, 即四季豆 (*Phaseolus vulgaris*)-瓢瓜 (*Lagenaria sicerariae*)-早稻轮作制, 其中, 四季豆生育期为 9 月初至 11 月中旬, 瓢瓜生育期为 12 月初至第 2 年 4 月底; 轮作早稻生育期则为 5 月初至 8 月中旬。磷肥用量设 5 个水平 (表 1)。基础土壤主要理化性状分别为 pH 5.6, 有机质 18.6 g kg^{-1} , 碱解氮、Olsen-P 和速效钾分别为 204.6 mg kg^{-1} 、 110.8 mg kg^{-1} 和 165.0 mg kg^{-1} 。因土壤肥力水平已高于早稻高产临界指标^[9], 轮作早稻不再施肥。试验小区构筑水泥田

* 国际植物营养研究所合作项目 (IPNI, Fujian-10) 资助

作者简介: 章明清 (1963—), 男, 福建永春人, 博士, 研究员, 主要从事平衡施肥和施肥与环境领域研究。Tel.: 0591-87572840, E-mail: zhangmq2001@163.com

收稿日期: 2014-04-08; 收到修改稿日期: 2014-09-09

埂,随机区组排列,3次重复,每个小区面积 10 m²。在每个小区的中央埋设带有陶瓷头的 PVC 管,规格为直径 5 cm 和长度 100 cm。根据试验地地下水水位(100 cm),PVC 管埋设深度为土层 80 cm,露出地面 20 cm。

试验中氮肥用尿素(N46%),磷肥用过磷酸钙(P₂O₅ 12%),钾肥用加拿大红色氯化钾(K₂O 60%),试验地不施有机肥。过磷酸钙全部做基肥,

氮、钾肥则分基肥和追肥施用,基肥中氮、钾肥各占 50%。剩余的氮、钾肥在四季豆做追肥平分 2 次施用,瓢瓜追肥则平分 3 次施用。供试四季豆品种为白珍珠,瓢瓜品种为杭州长瓜,早稻品种则为金优明 100(杂交稻),均为当地大面积种植的良种。试验区周围设置 1 m 宽以上的保护行,其他的栽培管理措施与大田生产一致。

表 1 四季豆—瓢瓜—早稻轮作制田间定位试验设计

Table 1 Designing of the stationary field experiment on garden bean-zucchini-early rice rotating system

编号 No.	处理 Treatments	N-P ₂ O ₅ -K ₂ O(kg hm ⁻²)	
		四季豆 Garden bean (<i>Phaseolus vulgaris</i>)	瓢瓜 Zucchini (<i>Lagenaria sicerariae</i>)
1	P ₀	180-0-90	315-0-225
2	P ₁	180-30-90	315-60-225
3	P ₂	180-60-90	315-120-225
4	P ₃	120-90-90	210-180-225
5	P ₄	180-120-90	315-240-225

注:早稻不施任何肥料 Note: No fertilization for early rice

1.3 样品采集与测定

在试验实施前,按规范方法采集基础土样 20 kg。考虑到定位试验的耕层土样不宜被过多取走而影响试验作物正常生长,在每个轮作周年结束时,每个小区采集耕层混合土样 20 kg。每季作物收获时,每个小区单收单称,分别记录茎叶产量和农产品产量。土壤样品用常规法^[10]测定土壤主要理化性状。在每个轮作周年的瓢瓜和早稻收获时,应用负压方法从各小区埋设的 PVC 管直接抽取管内土壤渗漏水样品,然后加 2 滴四氯化碳溶液,将水样带回试验室,在 24 h 内测定水中总磷浓度。

土壤磷素解吸试验方法与土壤钾素解吸试验相同^[4]。即:(1)称取过 1 mm 筛的各土样若干份,每份 400 g 于同样大小的塑料瓶中。其中,第 1 轮作周年称取基础土样 5 份,第 2 和第 3 轮作周年土样则按各处理分别称取 1 份。养分加入量与田间施肥量一致,即以每 666.7m²土壤 15 万 kg 折算,P₀、P₁、P₂、P₃、P₄处理的磷素加入量分别为 0、40、80、120、160 mg kg⁻¹,同时加入与田间施肥量等量的氮钾养分。氮磷钾养分及形态分别由分析纯尿素(N46%)、磷酸二氢钙(P 26.50%)和硫酸钾(K44.83%)提供。同时测定与塑料瓶中土壤相同装填方法的供试土壤最大持水量。(2)肥料溶解于

去离子水中,然后分别加入各自的塑料瓶,再加去离子水至土壤最大持水量。用塑料纸覆盖密封瓶子,放在室温(25±3)℃中培养 2 周。然后取出土样在室温下风干,过 1 mm 筛待用。(3)称取各处理风干土样各 6 份,其中一份 50 g,其他 5 份各 30 g,分别放入 1 000 ml 塑料瓶中,加去离子水使水土质量比分别为 1:1、2:1、3:1、5:1、10:1、20:1,50 g 的那份土样用于配置水土质量比为 1:1,每个水土质量比重复 3 次。然后,放在振荡器上振荡 30 min,后静置 24 h。取清液在高速离心机上离心,用钼锑抗比色紫外可见光光度计法^[9]测定清液磷浓度。田间水样总磷浓度测定^[9]则为硫酸-高氯酸氧化-钼锑抗比色紫外可见光光度计法。

1.4 土壤磷解吸模型

章明清^[11]等在研究土壤磷素解吸特性时,表明土壤溶液磷浓度(C)与其水土质量比(H)之间满足如下关系式:

$$C = C_1 H^{-a} e^{-\lambda H} \quad (1)$$

式中,C₁表示水土比约为 1 时的土壤溶液磷浓度;a 和 λ 描述 C 随 H 的变化趋势,a 和 λ 的数值越大,土壤磷素的缓冲能力越弱。从式(1)模型可得到土壤磷素可解吸量 Q 和田间土壤水分含量(H_i)条件下的土壤溶液磷浓度 C_{li},计算式分别为:

$$Q = C_1 H_{\max}^{1-a} e^{-\lambda H_{\max}} \quad (2)$$

$$C_{ii} = C_1 H_i^{-a} e^{-\lambda H_i} \approx C_1 H_{\min}^{-a} e^{-\lambda H_{\min}} \quad (3)$$

因此,该条件下的土壤磷素平均缓冲系数为: $b = Q/C_{ii}$,其中, H_{\max} 和 H_{\min} 分别表示解吸试验时的最大和最小水土质量比。因此,表征土壤磷素生物有效性或流失潜力的数量指标、强度指标及其缓冲系数均可通过解吸模型同时得到。试验结果采用 MATLAB 软件进行统计分析,并用 MATLAB 语言编程绘图。

2 结 果

2.1 土壤磷素解吸模型及其特征值

根据土壤平衡液磷浓度的测定值与其对应的水土质量比,对式(1)解吸模型进行回归分析,结果见表 2,表明式(1)磷素解吸模型能够较好地模拟菜园土壤磷素的解吸过程。图 1 的模拟结果显示,土

壤磷素在低水土质量比阶段,随着水土质量比的增大,土壤溶液磷浓度逐渐增加,并达到最大值;但当水土质量比超过 5:1 后,土壤溶液磷浓度就随水土质量比的增大而逐渐下降。

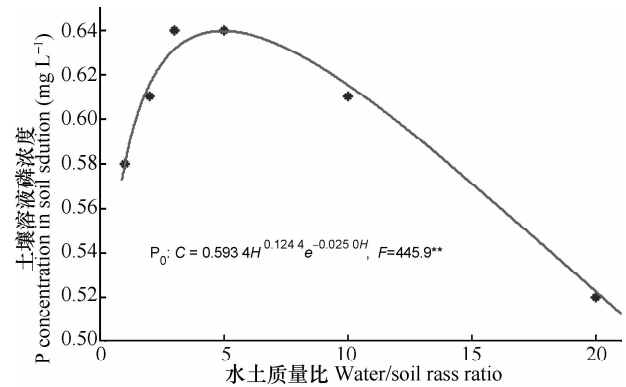


图 1 土壤磷解吸模型的模拟

Fig. 1 Simulation of P desorption in soil with the model

表 2 土壤磷素解吸模型参数

Table 2 Parameters of the model for phosphorus desorption in vegetable field

周年 Years	P (mgkg ⁻¹)	解吸模型参数 Parameters of the desorption model				解吸特征值 Desorption eigenvalue		
		C_1	a	λ	F	Q (mg kg ⁻¹)	C_{ii} (mg L ⁻¹)	b
	0	0.593 4	-0.124 4	0.025 0	445.9 **	10.5	0.61	17.2
第 1 轮 作周年 First year	40	1.237	-0.183 6	0.032 8	567.2 **	22.3	1.28	17.4
	80	1.396	-0.109 2	0.021 4	183.4 **	25.2	1.43	17.7
	120	1.603	-0.127 0	0.021 5	34.9 **	30.5	1.64	18.6
	160	1.844	-0.191 1	0.034 2	49.5 **	33.0	1.91	17.3
第 2 轮 作周年 Second year	0	0.615	-0.112 8	0.023 5	206.1 **	10.8	0.63	17.1
	40	1.221	-0.184 5	0.018 7	69.7 **	23.9	1.26	19.0
	80	1.288	-0.207 8	0.029 4	27.2 **	26.7	1.33	20.1
	120	1.674	-0.133 6	0.022 8	78.0 **	31.7	1.71	18.5
第 3 轮 作周年 Third year	160	2.098	-0.112 1	0.026 4	71.2 **	34.8	2.15	16.1
	0	0.618	-0.060 1	0.014 5	26.6 **	11.1	0.63	17.7
	40	1.276	-0.185 4	0.028 8	40.9 **	25.0	1.31	19.0
	80	1.503	-0.083 6	0.014 6	187.1 **	28.9	1.52	18.9
Third year	120	1.749	-0.135 1	0.022 5	41.6 **	33.4	1.79	18.7
	160	2.269	-0.118 9	0.027 3	66.8 **	37.5	2.33	16.1

注:“**”表示统计显著水平($p < 0.01$)。Note:“**” mean level of significance ($p < 0.01$)。

表 2 表明,由于 λ 值均很小,当 $H = 1$ 时 $e^{-\lambda H}$ 约等于 1,因此式(1)中 C_1 相当于水土质量比(H)为 1 时的土壤溶液磷浓度。分析表明, C_1 值与磷肥加入量有显著水平的线性正相关,相关系数为 0.961 0 ** ($n = 15$);土壤磷素的 a 值都小于土壤无机氮和钾的 a 值^[4,12],说明土壤磷素缓冲能力较大。

根据表 2 结果,分别计算土壤磷素的解吸量

Q 、解吸试验最小水土比下的土壤溶液磷浓度 C_{ii} 及其缓冲系数 b (表 2)。结果表明, Q 值与磷肥加入量呈极显著的线性正相关($r = 0.942 7 **$, $n = 15$);由于磷肥在土壤中易于积累,虽然每个轮作周年的施磷量相同,但各处理的 Q 和 C_{ii} 数值均有随着施磷年限增加而逐渐提高的趋势。土壤磷素缓冲系数主要受土壤质地、有机质等理化性质的影响,表 2 计算

表明,不同施磷水平下的磷素缓冲系数差异很小, b 值落在 16.1~20.1 之间。

2.2 菜稻轮作对产量和田间渗漏水总磷浓度的影响

3 年定位试验各处理的平均产量见表 3。尽管供试土壤的 Olsen-P 含量较高,但磷肥当季施用量与四季豆和瓢瓜产量均呈现出抛物线型关系,具有显著增产效果;两季蔬菜连续施用磷肥的不同处理,其后效使轮作早稻产量也呈现抛物线型关系,并得到该试验条件下的最高产量水平。以每千克

P_2O_5 5 元、四季豆和瓢瓜 1 元、稻谷 2 元的平均市场价计算施肥效益(表 3)。与对照区相比,增施磷肥对四季豆和瓢瓜均具有显著净增收作用,其后效对轮作早稻的净增收效果亦达到显著水平。在该菜稻轮作制中,与不施磷肥处理相比, P_2 水平处理使一个轮作周年的净效益增加 $16\ 253\ \text{元}\ \text{hm}^{-2}$,较其他施磷水平高出 14.9%~46.8%。因此,在该土壤肥力水平下,种植四季豆和瓢瓜时连续施用 P_2 水平磷肥而早稻不施肥为最佳施磷方案。

表 3 不同磷肥用量对四季豆-瓢瓜-早稻轮作制产量和净增收的影响

Table 3 Effect of P application rate on yield and net profit of the garden bean-zucchini-early rice rotation system

处理 Treatments	四季豆 Garden bean		瓢瓜 Zucchini		早稻 Early rice		总净增收 Total net income increment (Yuan hm^{-2})
	产量 Yield (t hm^{-2})	净增收 Net income increment (Yuan hm^{-2})	产量 Yield (t hm^{-2})	净增收 Net income increment (Yuan hm^{-2})	产量 Yield (kg hm^{-2})	净增收 Net income increment (Yuan hm^{-2})	
	P_0	17.29b	17 290	48.32c	48 320	6 317c	
P_1	20.00a	+2 560c	56.10b	+7 471c	6 723b	+812c	+10 843c
P_2	20.54a	+2 955b	61.05a	+12 126a	6 903a	+1 172b	+16 253a
P_3	21.09a	+3 354a	58.32a	+8 892b	7 107a	+1 580a	+13 826b
P_4	20.50a	+2 615c	54.37b	+4 843d	6 912a	+1 190b	+8 648d

注:净增收是指增产效益与肥本之差; P_1 、 P_2 、 P_3 和 P_4 施磷水平下的净增收是指比 P_0 水平净增收的增加值 Note: Net income increment means the value of the benefit brought about by P fertilization minus fertilization cost. The net income increment of Treatments P_1 , P_2 , P_3 and P_4 refers to the increment in net income over that of Treatment P_0

每个轮作周年分别在瓢瓜和早稻收获时直接采集田间渗漏水,测定总磷浓度(表 4)。结果表明,对照处理在 3 个轮作周年中,田间渗漏水总磷浓度都均维持在较低水平上;在 P_1 、 P_2 的中低施磷量范围内,无论是四季豆-瓢瓜连作还是四季豆-瓢瓜-早

稻轮作,各季作物的处理间总磷浓度没有显著差异;但在 P_3 和 P_4 水平的高施磷量处理,田间渗漏水总磷浓度均显著高于中低施磷量水平,而且 P_4 处理的总磷浓度均显著高于 P_3 处理。

表 4 磷肥不同用量对蔬稻轮作田间土壤渗漏水总磷浓度的影响

Table 4 Effect of P application rate on concentration of total P in percolating water in the field

处理 Treatments	第 1 轮作周年 First year (mg L^{-1})		第 2 轮作周年 Second year (mg L^{-1})		第 3 轮作周年 Third year (mg L^{-1})	
	菜菜连作 G-Z cropping	菜菜稻轮作 G-Z-E rotation	菜菜连作 G-Z cropping	菜菜稻轮作 G-Z-E rotation	菜菜连作 G-Z cropping	菜菜稻轮作 G-Z-E rotation
	P_0	0.31c	0.20c	0.46d	0.15c	0.38d
P_1	0.40c	0.30c	0.74c	0.29c	0.73ed	0.19bcd
P_2	0.49bc	0.37bc	1.05c	0.38bc	0.87c	0.23bc
P_3	0.68b	0.50b	1.23bc	0.54b	1.21b	0.28b
P_4	1.97a	1.07a	1.70a	0.92a	1.95a	0.45a

注:菜菜连作是指四季豆-瓢瓜连作,菜菜稻轮作是指四季豆-瓢瓜-早稻轮作;数据后的字母表示 $p < 0.05$ 的显著水平 Note: G-Z cropping means garden bean-zucchini rotation. G-Z-E means garden bean-zucchini-early rice rotation. Letters after data mean level of significance ($p < 0.05$).

田间渗漏水测定结果(表 4)表明,菜菜稻轮作有效降低了田间渗漏水总磷浓度。在 5 个施磷水平下,菜菜连作的田间渗漏水总磷浓度平均达到 0.94 mg L^{-1} ,与早稻轮作后,田间渗漏水总磷浓度则下降到 0.40 mg L^{-1} ,只有菜菜连作的 42.6%。尤其是取得最佳经济效益的 P_2 施肥水平,实行菜菜稻轮作,土壤渗漏水总磷浓度平均只有菜菜连作的 41.3%。

2.3 土壤磷可解吸量对田间渗漏水总磷的浓度

根据表 2 基础土样不同施磷水平的 Q 值和表 4 的第 1 轮作周年菜菜稻轮作各处理田间渗漏水总磷浓度测定结果绘制成图 2。结果显示,在 P_0 至 P_3 水平下,土壤渗漏水总磷浓度随着土壤磷可解吸量的增加而线性提高,可用线性模型来模拟。但是,当磷用量提高到 P_4 水平时,土壤渗漏水总磷浓度则随着 Q 值的增加而呈现明显的非线性关系。

因此,根据双速率转折点建模方法^[13],分别建立每个轮作周年的菜菜连作和菜菜稻轮作下的线性和非线性回归方程,得到 Q 值的双速率转折点

X_0 ,结果见表 5。3 个轮作周年的菜菜连作或菜菜稻轮作的 Q 值与田间渗漏水总磷浓度之间均满足双速率转折点的动态特征;在同一田块的 Q 值转折点 X_0 差异很小,平均值为 24.4 mg kg^{-1} 。因此,土壤磷素 Q 值的双速率转折点 X_0 可作为土壤磷淋失风险的评价指标之一。

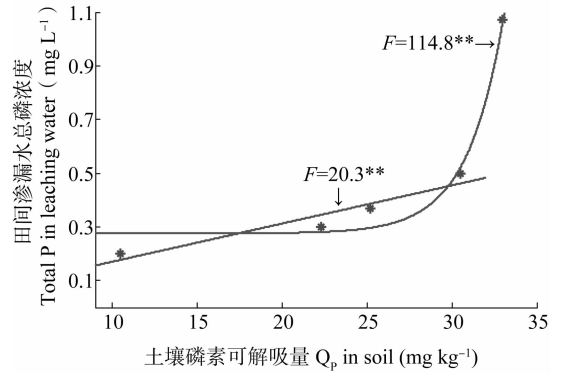


图 2 土壤磷 Q 值对田间渗漏水总磷浓度的影响

Fig. 2 Effect of Q of P on concentration of total P in percolating water

表 5 土壤磷可解吸量 Q 和田间渗漏水总磷浓度的回归方程及其双速率转折点

Table 5 Regression equation and their dual-rate turning point X_0 between amount of desorbable P (Q) of P in soil and concentration of total P in percolating water

周年 Years	种植方式 Cropping pattern	模型类型 Model types	$Q(X, \text{mg kg}^{-1})$ 与渗漏水总磷浓度 ($Y, \text{mg L}^{-1}$) 的回归方程 Regression equation between $Q(X, \text{mg kg}^{-1})$ and concentration of total $P (Y, \text{mg L}^{-1})$	X_0 (mg kg^{-1})
第 1 轮作周年 First year	菜菜连作 G-Z cropping	非线性模型 Nonlinear model	$Y = 0.3849 + 1.9046 \times 10^{-9} e^{0.6223X}$, $F = 351.2^{**}$	26.5
		线性模型 Linear model	$Y = 0.09213 + 0.01708X$, $F = 12.1^*$	
	菜菜稻轮作 G-Z-E rotation	非线性模型 Nonlinear model	$Y = 0.2759 + 1.5377 \times 10^{-7} e^{0.4682X}$, $F = 114.8^{**}$	26.0
		线性模型 Linear model	$Y = 0.02801 + 0.01421X$, $F = 20.3^*$	
第 2 轮作周年 Second year	菜菜连作 G-Z cropping	非线性模型 Nonlinear model	$Y = 0.3371 + 0.0438 e^{0.09809X}$, $F = 107.7^{**}$	21.8
		线性模型 Linear model	$Y = 0.02344 + 0.03637X$, $F = 20.3^*$	
	菜菜稻轮作 G-Z-E rotation	非线性模型 Nonlinear model	$Y = 0.1601 + 0.001790 e^{0.1731X}$, $F = 191.1^{**}$	23.3
		线性模型 Linear model	$Y = -0.06568 + 0.01743X$, $F = 18.9^*$	
第 3 轮作周年 Third year	菜菜连作 G-Z cropping	非线性模型 Nonlinear model	$Y = 0.3657 + 0.01079 e^{0.1327X}$, $F = 424.1^{**}$	23.9
		线性模型 Linear model	$Y = -0.04663 + 0.03431X$, $F = 24.7^*$	
	菜菜稻轮作 G-Z-E rotation	非线性模型 Nonlinear model	$Y = 0.1440 + 0.0006277 e^{0.1646X}$, $F = 275.9^{**}$	24.6
		线性模型 Linear model	$Y = 0.9105 + 0.005889X$, $F = 20.3^*$	

3 讨论

3.1 土壤磷素解吸模型

目前,土壤磷解吸特性研究常用等温吸附模型来描述^[2],但是,解吸和吸附并不是完全可逆的过

程,研究和定量表达土壤解吸过程应尽可能采用土壤解吸模型。Wu 等^[3]提出的土壤解吸模型,适用于描述和定量表达土壤无机氮和钾素的解吸过程^[4,12]。该模型的优点是试验过程较简单,而且考虑了土壤水分变化对解吸过程的影响。

土壤磷解吸过程表现为如图 1 所示的动态解吸

特征,与土壤无机氮和钾的解吸动态过程不同^[4,12]。这是由于南方土壤的磷素以铁磷、铝磷存在形态较多,其解吸过程受溶解—沉淀平衡影响的缘故。在水土重量比为 1:1、2:1、3:1 和 5:1 时,随着水土质量比的增大,土壤溶液中的磷浓度逐渐提高,并达到最大值,此时土壤溶液磷浓度受溶解—沉淀平衡控制。随着水土质量比继续增大,土壤溶液磷浓度受土壤磷解吸能力限制,与土壤无机氮和钾的解吸过程类似。因此,该研究采用的解吸测定法,应当包含了土壤磷素溶解和解吸的过程,对土壤磷的淋溶和径流均有预测作用,但不能预测地表径流固态磷的流失,该部分应当通过地表径流的固体悬浮物的量来加以补充。

3.2 菜稻轮作对田间渗漏水总磷浓度的影响

3 年定位田间试验表明,菜菜稻轮作结合经济施肥的种植模式,可大幅度降低菜田过高土壤渗漏水总磷浓度,起到了控制磷淋失的作用。究其原因,菜稻轮作体系利用了蔬菜和水稻在吸磷强度上的差异^[6],促进了磷养分高效利用,削减菜田过高的磷素积累,从而降低了土壤磷流失潜力。蔬菜生产基地大多分布在平原区域,菜稻轮作对控制磷素流失的效果更佳。

由于不合理的种植制度和施肥管理,许多菜田出现磷素富集导致土壤环境质量恶化^[1,14]。为此,许多研究者提出蔬菜与旱粮轮作^[15]、不同旱生蔬菜品种间轮作^[16]、旱生蔬菜与水生蔬菜轮作^[17]和最佳养分管理^[18-21]等技术措施,但这些措施的具体实施受到当地气候条件、蔬菜销售市场和农田排灌系统完善性等方面的制约。水稻是我国南方的主要粮食作物,菜稻轮作具有普遍适用性,但各地的菜稻轮作模式选择,还需更多的试验研究和实践,才能提出适合于当地生产条件的轮作方式。

3.3 菜田磷养分淋失潜力转折点

由于田间实际观测工作量较大和耗时长,评价菜田磷淋失潜力时采用土壤测试的方法显得十分必要^[22-23]。由(1)式模型可同时得到土壤磷素可解吸数量 Q 和土壤溶液磷浓度 C_{ii} 两个重要参数。但是, C_{ii} 的数值会随着土壤含水量的变化而变化,是个易变的参数,而 Q 是指土壤可解吸的磷素数量,是个相对稳定的参数。因此, Q 值作为菜田磷素淋失潜力的评价指标优于 C_{ii} 参数^[10]。研究表明, Q 值与田间渗漏水总磷浓度之间满足双速率转折点动态特征,同一田块具有相当稳定的磷素淋失转折点 X_0 ; 当 Q 值超过 X_0 指标时,土壤渗漏水总磷浓度

将以非线性形式急剧增大,反之,则以线性形式增加。因此, X_0 指标是从动态的角度评价土壤磷流失潜力。

目前,土壤有效磷测试水平评估法^[22-23]和土-水磷素转折点评估法^[24-26]等方法常用来表征土壤磷流失潜力及其转折点,但评估模型是线性模型,忽略了土壤可溶性磷高量富集对磷面源污染的强烈影响。因此,将这些评价指标与 X_0 指标结合起来,就可从“静态”和“动态”的角度综合评价土壤磷素流失潜力。

4 结 论

本研究通过四季豆-瓢瓜-早稻轮作制 3 年定位田间试验,得到如下结论:(1)提出的土壤磷解吸模型可较好地拟合土壤磷素随水土比变化的解吸过程,3 个轮作周期的 15 个解吸模型均达到统计显著水平;从模型参数中可同时得到磷可解吸量、土壤溶液磷浓度及其缓冲系数等解吸特征值;(2)在 3 个轮作周期中,菜菜稻轮作的田间渗漏水平均总磷浓度只有菜菜连作的 42.6%;(3)土壤磷可解吸量 Q 与田间渗漏水总磷浓度之间满足双速率转折点的动态特征。在本试验条件下, Q 值转折点为 21.8 ~ 26.5 mg kg⁻¹, 平均为 24.4 mg kg⁻¹。

参 考 文 献

- [1] 张维理,武淑霞,冀宏杰,等. 中国农业面源污染形势估计及控制对策 I. 21 世纪初期中国农业面源污染的形势估计. 中国农业科学, 2004, 37(7): 1008—1017. Zhang W L, Wu S X, Ji H J, et al. Estimation of agricultural non-point source pollution in China and the alleviating strategies 1. Estimation of agricultural non-point source pollution in China in early 21 century (In Chinese). Scientia Agricultura Sinica, 2004, 37(7): 1008—1017
- [2] 蒋以超,张一平. 土壤化学过程的物理化学. 北京: 中国科学技术出版社, 1993: 342—374. Jiang Y C, Zhang Y P. Physical chemistry of soil chemical process (In Chinese). Beijing: China Science and Technology Press, 1993: 342—374
- [3] Wu Q T, Xu Z L, Meng Q Q, et al. Characterization of cadmium desorption in soils and its relationship to plant uptake and cadmium leaching. Plant and Soil, 2004, 258: 217—226
- [4] 章明清,颜明娟,林琼,等. 土壤钾素解吸模型及其特征值的作物效应. 土壤学报, 2008, 45(1): 120—129. Zhang M Q, Yan M J, Lin Q, et al. Soil K desorption model and crop responses to its eigenvalues (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2008, 45(1): 120—129
- [5] 曹志洪,林先贵,杨林章,等. 论“稻田圈”在保护城乡生态

- 环境中的功能 I. 稻田土壤磷素径流迁移流失的特征. 土壤学报, 2005, 42(5): 799—804. Cao Z H, Lin X G, Yang L Z, et al. Ecological function of "paddy field ring" to urban and rural environment I. Characteristics of soil P losses from paddy field to water bodies with runoff (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2005, 42(5): 799—804
- [6] 章明清, 李娟, 孔庆波, 等. 菜-稻轮作对菜田氮、磷利用特性和富集状况的影响. 植物营养与肥料学报, 2013, 19(1): 117—126. Zhang M Q, Li J, Kong Q B, et al. Effect of vegetable-paddy rice rotation system on N and P utilization characters and their enrichments in vegetable fields (In Chinese). *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2013, 19(1): 117—126
- [7] 王强, 徐建明, 姜丽娜, 等. 平衡施肥对大棚茄子-水稻轮作土壤中作物生产和土壤养分的影响. 浙江大学学报: 农业和生命科学版, 2012, 38(2): 197—203. Wang Q, Xu J M, Jiang L N, et al. Effects of balanced fertilization on crop production and soil nutrient status under long-term greenhouse (In Chinese). *Journal of Zhejiang University: Agriculture & Life Science*, 2012, 38(2): 197—203
- [8] 章婧虹, 章明清, 张群林, 等. 蔬菜经济施肥模式对菜稻轮作土柱渗漏水氮磷浓度的影响. 福建农业学报, 2012, 27(2): 181—186. Zhang J H, Zhang M Q, Zhang Q L, et al. Effect of rotational planting of vegetable and rice with economic vegetable fertilization on N and P in leached water of soil pillar (In Chinese). *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 2012, 27(2): 181—186
- [9] 李娟, 章明清, 孔庆波, 等. 福建早稻测土配方施肥指标体系研究. 植物营养与肥料学报, 2010, 16(4): 938—946. Li J, Zhang M Q, Kong Q B, et al. Soil testing and formula fertilization index for early rice in Fujian Province (In Chinese). *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2010, 16(4): 938—946
- [10] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法. 北京: 中国农业科技出版社, 1999: 146—196. Lu R K. *Analytical methods for soil and agricultural chemistry* (In Chinese). Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 1999: 146—196
- [11] 章明清. 土壤-作物系统养分运移和生态经济施肥量的研究. 广州: 华南农业大学资源与环境学院, 2006. Zhang M Q. Nutrient migration and their ecological and economic application rate in soil-crop planting system (In Chinese). Guangzhou: Resource and Environmental College of South China Agricultural University, 2006
- [12] 颜明娟, 章明清, 陈子聪, 等. 菜园土壤无机氮解吸特性对硝态氮流失潜能的影响. 应用生态学报, 2007, 18(1): 94—100. Yan M J, Zhang M Q, Chen Z C, et al. Desorption characteristics of inorganic nitrogen in vegetable garden soil and their effects on soil NO_3^- -N loss potential (In Chinese). *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2007, 18(1): 94—100
- [13] 章明清, 姚宝全, 李娟, 等. 福建菜田氮、磷积累状况及其淋失潜力研究. 植物营养与肥料学报, 2014, 20(1): 148—155. Zhang M Q, Yao B Q, Li J, et al. N and P accumulation status and their leaching loss potentialities of vegetable fields in Fujian Province (In Chinese). *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2014, 20(1): 148—155
- [14] 刘兆辉, 江丽华, 张文君, 等. 山东省设施蔬菜施肥量演变及土壤养分变化规律. 土壤学报, 2008, 45(2): 296—303. Liu Z H, Jiang L H, Zhang W J, et al. Evolution of fertilization rate and variation of soil nutrient contents in greenhouse vegetable cultivation in Shandong (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2008, 45(2): 296—303
- [15] 孟艳玲, 刘子英, 李季. 菜粮轮作对温室土壤盐分和硝酸盐含量的影响. 河南农业科学, 2006, (10): 81—87. Meng Y L, Liu Z Y, Li J. Effect of vegetable-grain rotating system on salt and nitrate content in greenhouse soil (In Chinese). *Henan Agricultural Science*, 2006, (10): 81—87
- [16] 施毅超, 胡正义, 龙为国, 等. 轮作对设施蔬菜大棚中次生盐渍化土壤盐分离子累积的影响. 中国生态农业学报, 2011, 19(3): 548—553. Shi Y C, Hu Z Y, Long W G, et al. Effect of crop rotation on ion accumulation in secondary salinization soil of vegetable field in greenhouse (In Chinese). *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2011, 19(3): 548—553
- [17] 江解增, 缪旻珉, 曾晓萍, 等. 设施内蔬菜水旱轮作新模式. 中国蔬菜, 2011, (9): 46—49. Jiang J Z, Liao M M, Zeng X P, et al. Rice field-upland field rotation new models in greenhouse vegetable (In Chinese). *China Vegetables*, 2011, (9): 46—49
- [18] 张维理, 冀宏杰, Kolbe H, 等. 中国农业面源污染形势估计及控制对策 II. 欧美国家农业面源污染状况及控制. 中国农业科学, 2004, 37(7): 1018—1025. Zhang W L, Ji H J, Kolbe H, et al. Estimation of agricultural non-point source pollution in China and the alleviating strategies II. Status of agricultural non-point source pollution and the alleviating strategies in European and American countries (In Chinese). *Scientia Agricultura Sinica*, 2004, 37(7): 1018—1025
- [19] Jiao Y, Hendershot W H., Whalen J K. Agricultural practices influence dissolved nutrients leaching through intact soil cores. *Soil Science Society of America Journal*, 2004, 68: 2058—2068
- [20] Gaynor J D, Findlay W I. Soil and phosphorus loss from conservation and conventional tillage in corn production. *Journal of Environmental Quality*, 1995, 24: 734—741
- [21] Nissen T M, Wander M M. Management and soil-quality effects on fertilizer-use efficiency and leaching. *Soil Science Society of America Journal*, 2003, 67: 1524—1532
- [22] 姜波, 林咸永, 章永松. 杭州市郊典型菜园土壤磷素状况及磷素淋失风险研究. 浙江大学学报: 农业与生命科学版, 2008, 34(2): 207—213. Jiang B, Lin X Y, Zhang Y S. Phosphorus status and index for predicting environmental risk of phosphorus leaching in typical vegetable soils of Hangzhou (In Chinese). *Journal of Zhejiang University: Agricultural & Life Science*, 2008, 34(2): 207—213
- [23] McDowell R, Sharpley A, Brookes P, et al. Relationship between soil test phosphorus and phosphorus release to solution. *Soil Science*, 2001, 166(2): 137—149
- [24] Heckrath G, Brookes P C, Poulton P R, et al. Phosphorus leaching from soils containing different phosphorus concentrations in the B roadbalk Experiment. *Journal of Environmental Quality*, 1995, 24: 904—910

- [25] Hesheth N, Brookes PC. Development of indicator for risk of phosphorus leaching. *Journal of Environmental Quality*, 2000, 29:105—110
- [26] 吕家珑, Fortune S, Brookes PC. 土壤磷淋溶状况及其 Olsen 磷“突变点”研究. *农业环境科学学报*, 2003, 22(2): 142—146
146. Lu J L, Fortune S, Brookes P C. Research on phosphorus leaching from soil and its Olsen-P “shreshhold volume” (In Chinese). *Journal of Agro-Environment Science*, 2003, 22(2): 142—146

SOIL P DESORPTION CHARACTERISTICS AND THEIR EFFECTS ON TOTAL P CONCENTRATION IN PERCOLATING WATER IN FIELDS UNDER VEGETABLE-RICE ROTATION SYSTEM

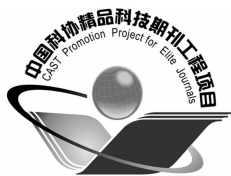
Zhang Mingqing Li Juan Kong Qingbo

(*Soil and Fertilizer Institute, Fujian Academy of Agricultural Science, Fuzhou, 350013, China*)

Abstract A 3-year stationary field experiment was carried out to explore soil phosphorus desorption characteristics and their effects on phosphorus concentration in percolating water from fields under the garden bean (*Phaseolus vulgaris*)-zucchini (*Lagenaria siceraria*)-paddy rice rotation system, as affected by P application rate, and a model and indices for their evaluation as well. Results show that the model the authors designed fit quite well soil P desorption process varying with water/soil ratio. With the aid of the model it was feasible to acquire simultaneously P desorption characteristics, like amount of desorbable soil P (Q) and soil solution P concentration (C_{ii}) and its buffer coefficient (b). The concentration of total phosphorus in the percolating water in the field under the vegetable-vegetable-rice rotation was on average only 42.6% of that in the field under vegetable-vegetable rotation. The relationship between Q and concentration of total P in percolating water in the field fit the dynamic characteristics of “dual rate turning point”. The turning point X_0 of soil P loss characterized by Q varied very slightly and averaged to be 24.4 mg kg^{-1} , no matter the field was under the vegetable-vegetable-rice rotation or vegetable-vegetable rotation. It could, therefore, be concluded that the vegetable-vegetable-paddy rice rotation system is conducive to reducing the concentration of total P in percolating water, and the dual-rate turning point X_0 of the amount of soil desorbable P may be used as one of the indices to characterize the potential of soil phosphorus leaching loss in vegetable fields.

Key words Soil; Desorption; Vegetable field; Rotation; Percolating water; Total phosphorus

(责任编辑:汪枫生)



土壤学报

(Turang Xuebao)



第 52 卷 第 1 期 2015 年 1 月

目 次

综述与评论

农业土壤学研究:侯光炯学术思想形成之考察——纪念侯光炯先生诞辰 110 周年..... 申丽娟 丁恩俊 陈绍兰等(1)

土壤多样性研究趋势与未来挑战 任圆圆 张学雷(9)

土壤磷酸盐氧同位素分析方法和应用研究进展 张 晗 王佳妮 郭庆军等(19)

研究论文

土壤制图中多等级代表性采样与分层随机采样的对比研究 杨 琳 朱阿兴 张淑杰等(28)

河南省典型淋溶土土系划分研究 鞠 兵 吴克宁 李 玲等(38)

黄土坡面细沟侵蚀发育过程与模拟 吴淑芳 刘政鸿 霍云云等(48)

黄土丘陵区小流域土壤有效水空间变异及其季节性特征 高晓东 吴普特 张宝庆等(57)

科尔沁沙丘-草甸相间地区表土饱和和导水率的土壤传递函数研究 孙 丽 刘廷玺 段利民等(68)

砒砂岩风化物对土壤水分特征曲线及蒸发的影响 张 磊 齐瑞鹏 张应龙等(77)

稳定同位素 ²⁰²Hg 稀释技术测定土壤汞有效性——与化学提取方法比较 郑顺安 徐志宇 王 飞等(87)

土壤提取液中酰基高丝氨酸内酯的气相色谱-质谱检测方法优化 生弘杰 宋 洋 卞永荣等(95)

复合污染土壤中土霉素的吸附行为及其对土壤重金属解吸影响的研究 陈励科 马婷婷 潘 霞等(104)

污染区千金子和酢浆草根际土壤中 PAHs 结合态残留的梯度分布 王意泽 高彦征 彭安萍等(112)

土壤磷解吸特性对菜稻轮作田间渗漏水总磷浓度的影响 章明清 李 娟 孔庆波(120)

湖区小麦-玉米轮作模式下不同施肥措施调控氮磷养分流失研究 谭德水 江丽华 谭淑樱等(128)

鄱阳湖洲滩湿地土壤-水-植物系统中磷的静态迁移研究 徐 进 徐力刚 丁克强等(138)

菇菜套作对土壤微生物群落的影响 陈 敏 王军涛 冯有智等(145)

黄土高原油松根际土壤酶活性及真菌群落多样性研究——以黄龙山林场为例 褚洪龙 李 莎 唐 明(154)

硅介导番茄青枯病抗性的土壤定量蛋白质组学研究 陈玉婷 林威鹏 范雪滢等(162)

有机无机肥配施对红壤旱地花生生理特性、产量及品质的影响 许小伟 樊剑波 陈 晏等(174)

氮素富集对青藏高原高寒草甸土壤有机碳迁移和累积过程的影响 李林森 程淑兰 方华军等(183)

长期施肥下黑土活性有机质和碳库管理指数研究 何翠翠 王立刚 王迎春等(194)

火烧和保留采伐剩余物对土壤有机碳矿化的影响 吴君君 杨智杰 刘小飞等(203)

研究简报

碳氮稳定同位素检测能力的验证——2013 年实验室间比对分析结果的汇总 曹亚澄 韩 勇 唐昊冶等(212)

土壤厚度的划分标准与案例研究 易 晨 李德成 张甘霖等(220)

积盐条件下土壤酸化过程的特异性研究 王媛华 段增强 赵 宇等(228)

四川省不同区域水稻氮肥施用效果研究 张 智 王伟妮 李 昆等(234)

小叶锦鸡儿灌丛化对退化沙质草地土壤孔隙特征的影响 李宗超 胡 霞(242)

信息

《土壤学报》2013 年度优秀论文评选揭晓 (241)

封面图片:黄土坡面细沟形态发育过程(由吴淑芳提供)

CONTENTS

Reviews and Comments

Agricultural soil science research: Formation of Hou Kuangchun's academic thought—Celebrate 110th anniversary of Mr Hou Kuangchun's birth Shen Lijuan, Ding Enjun, Chen Shaolan, et al. (8)

Study on pedodiversity: Status quo and future challenges Ren Yuanyuan, Zhang Xuelei (17)

Advance in study on method for oxygen isotopic analysis of phosphate in soil and its application Zhang Han, Wang Jiani, Guo Qingjun, et al. (26)

Research Articles

A comparative study of multi-grade representative sampling and stratified random sampling for soil mapping Yang Lin, Zhu A-xing, Zhang Shujie, et al. (37)

Classification of Typical Argosols of Henan Province at soil series level of Chinese Soil Taxonomy Ju Bing, Wu Kening, Li Ling, et al. (47)

Development of rill erosion on loess slope and its simulation Wu Shufang, Liu Zhenghong, Huo Yunyun, et al. (55)

Spatial variability of available soil moisture and its seasonality in a small watershed in the hilly region of the Loess Plateau Gao Xiaodong, Wu Pute, Zhang Baoqing, et al. (66)

Prediction of saturated hydraulic conductivity of surface soil in sand-dune-and-meadow interlaced region of Horqin with pedo-transfer functions method Sun Li, Liu Tingxi, Duan Limin, et al. (75)

Effects of amendment of aeolian sandy soil and loess with soft sandstone on soil water retention curve and evaporation Zhang Lei, Qi Ruipeng, Zhang Yinglong, et al. (85)

Comparison between stale isotope ²⁰²Hg dilution technique and chemical extraction in determining Hg availability in two typical soils of China Zheng Shunan, Xu Zhiyu, Wang Fei, et al. (94)

Optimization of determination of N-acyl-homoserine lactones in soil solution with Gas-Chromatography-Mass Spectrometry Sheng Hongjie, Song Yang, Bian Yongrong, et al. (102)

Sorption behavior of oxytetracycline in complex contaminated soil and its effects on desorption of heavy metals in the soil Chen Like, Ma Tingting, Pan Xia, et al. (111)

Gradient distribution of bound-PAH residues in different layers of rhizosphere soils of moleplant and wood sorrel growing in polluted regions Wang Yize, Gao Yanzheng, Peng Anping, et al. (118)

Soil P desorption characteristics and their effects on total P concentration in percolating water in fields under vegetable-rice rotation system Zhang Mingqing, Li Juan, Kong Qingbo (127)

Effects of fertilization controlling nitrogen and phosphorus loss from farmland under wheat-maize rotation in Nansi Lake region Tan Deshui, Jiang Lihua, Tan Shuying, et al. (137)

Static transfer of phosphorus in the soil-water-plant system of beach wetlands in Poyang Lake Xu Jin, Xu Ligang, Ding Keqiang, et al. (144)

Changes in soil microbial community in response to tomato-*Agaricus bisporus* interplanting Chen Min, Wang Juntao, Feng Youzhi, et al. (152)

Soil enzyme activity and fungal community diversity in rhizosphere of *Pinus tabulaeformis* Carr. growing on Loess Plateau— A case study of Huanglongshan forest farm Chu Honglong, Li Sha, Tang Ming (161)

Soil quantitative proteomic analysis of silicon-mediated resistance of tomato (*Solanum lycopersicum*) to *Ralstonia solanacearum* Chen Yuting, Lin Weipeng, Fan Xueying, et al. (172)

Effect of manure combined with chemical fertilizer application on yield, kernel quality and physiological characteristics of peanut to red soil in subtropical China Xu Xiaowei, Fan Jianbo, Chen Yan, et al. (181)

Effects of nitrogen enrichment on transfer and accumulation of soil organic carbon in alpine meadows on the Qinghai-Tibetan Plateau Li Linsen, Cheng Shulan, Fang Huajun, et al. (192)

Effect of long-term fertilization on labile organic matter in and carbon pool management index of black soil He Cuicui, Wang Ligang, Wang Yingchun, et al. (202)

Effect of prescribed burning and reservation of logging residues on soil organic carbon mineralization Wu Junjun, Yang Zhijie, Liu Xiaofei, et al. (210)

Research Notes

Testing of proficiency for measurement of carbon and nitrogen stable isotopes Cao Yacheng, Han Yong, Tang Haoye, et al. (218)

Criteria for partition of soil thickness and case studies Yi Chen, Li Decheng, Zhang Ganlin, et al. (227)

Specificity of soil acidification affected by salt accumulation Wang Aihua, Duan Zengqiang, Zhao Yu, et al. (233)

Effects of nitrogen fertilization on rice in different regions of Sichuan Province Zhang Zhi, Wang Weini, Li Kun, et al. (240)

Effects of shrub (*Caragana microphylla* Lam) encroachment on soil porosity of degraded sandy grassland Li Zongchao, Hu Xia (248)

Cover Picture: Rill morphological development process on loess slope (by Wu Shufang)