

控释肥硫膜降解对微域土壤性质的影响*

隋常玲^{1,2} 张 民¹

(¹ 土肥资源高效利用国家工程实验室, 国家缓控释肥工程技术研究中心, 山东农业大学资源与环境学院, 山东泰安 271018;

² 遵义师范学院, 贵州遵义 563002)

摘 要 硫包膜控释肥在农业上的大面积应用, 引起了硫膜降解产物对土壤环境影响的广泛关注。选用山东有代表性的耕作土壤棕壤和潮土, 设置处理包括硫加树脂残膜、硫残膜、硫磺片, 采用尼龙滤网分隔法获取受控释肥硫膜影响较强的微域土壤, 对比研究了硫膜对微域和非微域土壤某些化学性质的影响。结果表明, 在棕壤上施用各含硫材料会显著影响微域土壤的 pH 值, 微域各含硫材料的氧化高峰期出现在 60 d 左右。硫膜降解对潮土 pH 值影响与棕壤相比不显著, 但肥际微域与非微域相比下降明显。硫残膜对土壤中的微量元素能起到一定的活化作用, 尤其是对潮土肥际微域有效铁的影响最为显著, 培养结束时硫加树脂残膜处理是空白处理的 6.58 倍。潮土中施用含硫包膜控释肥可活化土壤养分, 从而提高土壤中有效硫和有效磷的含量。控释肥硫膜降解对土壤性质影响显著的区域是在硫膜 ≤ 5 mm 范围内的土壤, 而对非肥际微域土壤的化学性质无显著影响。

关键词 控释肥; 硫残膜; 肥际微域; 土壤性质

中图分类号 S143.15 **文献标识码** A **文章编号** 1000-4890(2012)8-2050-09

Effects of sulfur-coating residual degradation of controlled-release fertilizers on the soil properties of fertilized microsite. SUI Chang-ling^{1,2}, ZHANG Min^{1**} (¹ National Engineering Laboratory for Efficient Utilization of Soil and Fertilizer Resources, National Engineering & Technology Research Center for Slow and Controlled Release Fertilizers, College of Environment and Resource, Shandong Agricultural University, Tai'an 271018, Shandong, China; ² Department of Biology, Zunyi Normal College, Zunyi 563003, Guizhou, China). *Chinese Journal of Ecology*, 2012, 31(8): 2050–2058.

Abstract: With the application of sulfur-coated controlled-release fertilizers (CRFs) in agriculture, much attention has been paid to the effects of the degraded CRFs sulfur coatings on soil environment. In this study, two types of representative agricultural soils in Shandong Province, *i. e.*, Argosols and Cambosols, and three types of CRFs sulfur-coating residuals including polymer-sulfur residual, sulfur residual, and sulphur slice were selected to study the effects of the residuals on the soil properties of fertilized microsite and non-microsite separated by nylon net. In Argosols, the residuals had significant effects on the fertilized microsite soil pH. In Cambosols, the residuals had little effects on the soil pH of fertilized microsite, but the soil pH of the microsite had more obvious decrease than that of the non-microsite. Sulfur-coating residuals had definite activation effects on soil microelements, especially on the available Fe in Cambosols, with the available Fe content being 6.58 times of the control for polymer-sulfur residual by the end of the experiment. Applying sulfur-coated CRFs in the Cambosols could activate soil nutrients, and increase the available sulfur and phosphorus contents. The prominent effect of the residuals on soil properties was observed within the microsite 5 mm around the sulfur-coatings.

Key words: controlled-release fertilizer (CRF); residual sulfur coating; fertilized microsite; soil property.

* 国家自然科学基金项目(30871593)、“十二五”国家科技支撑计划项目(2011BAD11B01 和 2011BAD11B02)、国家“948”重点项目(2011-G30)、贵州省科学技术基金项目(黔科合 J 字[2012]2342 号)、和遵义师范学院基金项目(2012BSJJ10)红色化资源开发与区域经济研究中心项目(ZE2012008)资助。

** 通讯作者 E-mail: minzhang-2002@163.com

收稿日期: 2012-01-11 接受日期: 2012-04-27

硫磺因其价格低廉,并且被微生物分解后还可以作为营养来源提供植物生长所需的硫,成为控释肥料包膜的理想材料。目前,硫包膜控释肥已经得到了国内外市场的普遍认可 (Zhang *et al.*, 1997; Trenkel *et al.*, 2002; 赵秉强等, 2004), 大量的缓控释肥料也以硫和硫加树脂包膜肥料为主 (Zhang & Karathanasis, 1997; 许秀成等, 2000), 硫膜是硫磺与密封剂、调节剂在肥料颗粒外形成的光滑致密的膜, 硫加树脂膜是在硫膜外包裹一层薄的树脂膜。硫膜中添加的密封剂、调节剂, 内部包裹的不同核芯肥料, 包膜时加热历程不同 (Kochba *et al.*, 1994; Choi & Meisen, 1997) 以及最外层包被的薄树脂层, 都使其在土壤中的降解与其他含硫肥料有一定的差异, 需要对硫膜降解进行系统的研究。随着硫包膜控释肥在农业生产上的大面积应用, 硫膜降解产物对土壤环境影响的研究将具有重要的理论和实践意义。

作为包膜材料的单质硫不能被植物吸收, 硫膜在土壤中逐渐被氧化, 变成植物可吸收的硫酸盐, 这个氧化过程也是肥料养分的逐渐释放过程。鲁如坤 (1999) 把土壤中某些具有和整个土体在性质上有巨大差异并对土壤生产力和植物营养有重大意义的区域定义为土壤微域。硫包膜控释肥施入土壤后, 特别在集中施用时会包膜材料附近造成一个特殊的环境, 我们称这一区域为肥际微域, 是指受硫膜降解的影响, 在物理、化学和生物学性质上不同于整个土体的那部分微域土区。这些不同常常对土壤生产力和植物营养产生很大影响, 这一区域同时也是根系活动旺盛区域。从微域的角度研究硫包膜控释肥施用后土壤的特殊反应及其动态变化有助于揭示硫膜的降解和转化机理。

国内外学者对含硫肥料在土壤中施用对土壤环境的影响进行了研究 (林葆等, 2000; 刘常珍等, 2004; 李新华等, 2006), 硫的研究大多是采用土壤和肥料均匀混合的土壤培养实验 (张昌爱等, 2007; 田霄鸿等, 2008; Wang *et al.*, 2008), 或在田间较大空

间范围内取样测定 (Blair & Lefroy, 1998; 邹长明等, 2004; Wang *et al.*, 2005; 孟赐福等, 2009), 采用这些研究方法难以准确反映硫包膜控释肥料的肥际微域 (≤ 5 mm) 土壤中各种养分含量的动态变化, 硫包膜材料对微域土壤性质的影响以及肥际微域土壤与整个土体性质的差异还需采用新的方法进行研究。

本文通过对不同含硫材料的盆栽试验, 采用尼龙网分隔法获取微域与非微域土壤旨在: 1) 明确硫膜降解过程中形成的肥际微域与非微域对棕壤和潮土酸碱平衡体系的影响; 2) 探讨不同类型土壤的肥际微域中有效态微量元素含量的动态变化以及与 pH 值的相关性; 3) 阐明硫膜降解过程中不同类型土壤肥际微域有效态硫、磷等养分含量的动态变化。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验在山东农业大学南校区“国家缓控释肥工程技术研究中心”中试试验基地的防雨棚中进行, 试验时间为 2009 年 4 月 27 日—2010 年 5 月 23 日。供试土壤选用山东有代表性的棕壤和潮土, 均为耕层土壤 (0 ~ 20 cm)。棕壤取自山东泰安东郊, 在中国土壤系统分类中为普通筒育湿润淋溶土 (Typic Hapli-Udic Argosols)。潮土取自山东桓台, 在中国土壤系统分类中为石灰淡色潮湿锥形土 (Calcaric Ochri-Aquic Cambosols)。供试土壤基本理化性状列于表 1。

供试肥料选用硫包膜尿素 (SCU, sulfur coated urea; 35-0-0; 硫膜占包膜肥料总重量的 18%, 石蜡占 1%) 和硫加树脂包膜尿素 (PSCU, polymer sulfur coated urea; 35-0-0; 硫膜占包膜肥料总重量的 18%, 树脂占 0.5%)。控释期约为 3 个月, 由山东金正大生态工程股份有限公司生产。其他肥料分别为大颗粒尿素、磷酸二氢钾、氯化钾、氯化锌、硫磺片。

供试盆钵为塑料盆, 直径为 25 cm, 高为 16 cm, 将所需土壤混匀, 过 2 mm 筛, 每盆装土 3 kg。供试

表 1 供试土壤的理化性质

Table 1 Physical and chemical properties of tested soil used in pot experiment

土壤类型	pH	有机质 (g · kg ⁻¹)	有效硫 (mg · kg ⁻¹)	全氮 (g · kg ⁻¹)	全磷 (g · kg ⁻¹)	无机氮 NO ₃ ⁻ + NH ₄ ⁺ (mg · kg ⁻¹)	速效磷 (mg · kg ⁻¹)	速效钾 (mg · kg ⁻¹)	电导率 (μS · cm ⁻¹)	CaCO ₃ (g · kg ⁻¹)	砂粒 (g · kg ⁻¹)	粉粒 (g · kg ⁻¹)	粘粒 (g · kg ⁻¹)
棕壤	5.85	11.64	59.87	1.13	0.493	69.72	75.35	86.0	171.7	—	444	353	203
潮土	7.68	12.66	43.34	1.14	1.25	70.15	24.05	168.4	245.5	32.7	125	735	140

pH 水土比为 2.5 : 1。

表 2 肥际土壤微域试验设计方案
Table 2 Design of fertilizer microsite treatments in soil of the pot experiment

序号	处理代号	处理类型	土壤类型	含硫材料 施用量 ($\text{g} \cdot \text{pot}^{-1}$)
1	CKA	空白	棕壤	—
2	SA	硫磺片	棕壤	8
3	SCA	硫残膜	棕壤	8
4	PSCA	硫加树脂残膜	棕壤	8
5	CKC	空白	潮土	—
6	SC	硫磺片	潮土	8
7	SCC	硫残膜	潮土	8
8	PSCC	硫加树脂残膜	潮土	8

作物为乌塌菜 (*Brassica campestris* L. ssp. *chinensis* (L.) Makino var. *rosularis* Tsen et Lee), 品种为中八叶, 生育期 80 ~ 120 d。灌溉水的 pH 值为 7.25。

控释肥硫残膜的制备: 轻轻研磨硫包膜控释肥, 使硫膜产生细缝, 用自来水浸泡并冲洗掉全部的核芯肥料后, 再将硫残膜用自来水冲洗 3 次, 再用蒸馏水漂洗 2 次, 置于干燥箱中 60 °C 烘干。

1.2 试验设计

设置不同硫残膜的 8 个处理 (表 2), 每处理重复 4 次。土壤施入纯 N、 P_2O_5 、 K_2O 分别为 0.217、0.063、0.082 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 土, 将所有肥料与土壤混匀, 作基肥一次性施入。将硫磺粉制成硫残膜大小的硫磺薄片, 使硫磺处理尽量接近硫残膜的物理性状。

在施肥后 30、60、90、120、180、240、360、390 d 时 (共 8 次) 取土壤样品, 样品分为肥际微域与非微域, 共布置 256 盆, 盆栽的管理措施按乌塌菜常规栽培实施。

肥际微域土壤的获取: 采用尼龙网分隔法获取微域与非微域土壤 (图 1), 在盆钵的底部装入混合

均匀的土壤约 6 cm 深, 中部铺入一层尼龙滤网, 5 mm 厚土壤与均匀分布的硫残膜相间多层装于滤网中, 盖另一层尼龙滤网, 最上层铺入 6 cm 厚的土壤, 两层尼龙滤网中为微域土壤, 滤网之外为非微域土壤。每盆钵硫残膜用量约为 8 $\text{g} \cdot \text{pot}^{-1}$ 可得到约 400 g 微域土壤 (按乌塌菜常规施氮量, 施用硫包膜控释氮肥 0.86 $\text{g} \cdot \text{pot}^{-1}$, 带入硫膜 0.17 g。本试验每盆施用的硫残膜量相当于当季带入硫膜的 47 倍, 远远高于正常施用量, 得到的非微域土壤的 pH 及有效硫含量等指标会高于正常施用硫包膜控释肥非微域, 但取得的单片硫残膜微域土壤的化学性状与大田硫膜微域土壤相似)。

1.3 分析方法

土壤 pH 值测定采用电位法 (水土比为 2.5 : 1); 土壤 EC 值采用电导法 (水土比为 5 : 1); 有效态 Cu、Zn、Mn、Fe 测定: 潮土采用 DTPA 浸提-原子吸收分光光度法, 棕壤采用 0.1 $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ HCl 浸提-原子吸收分光光度法测定; 土壤有效硫的测定棕壤采用磷酸盐浸提, 潮土采用氯化钙浸提, 硫酸钡比浊法测定。土壤有效磷的测定: 棕壤采用氟化铵-盐酸浸提, 潮土采用碳酸氢钠浸提, 钼蓝比色法; 土壤碳酸钙含量采用气量法测定 (鲁如坤, 2000)。

1.4 数据处理

相关数据的统计分析通过统计分析软件 SAS 8.1 完成, 差异显著性检验采用 ANOVA 过程中的 Duncan 多重比较, 相关分析采用 CORR 方法。

2 结果与分析

2.1 肥际微域土壤 pH 值的动态变化

在土壤微生物的作用下, 硫磺及硫残膜在土壤中的降解, 由单质硫转化为各种含硫的离子, 导致土壤 pH 值的下降。随着硫磺及硫残膜在土壤中的氧化, 棕壤各处理的肥际微域和非微域土壤 pH 均有所下降, 但处理间差异不显著。各处理肥际微域土壤的 pH 值在 0 ~ 60 d 内显著下降 (图 2 棕壤), 60 ~ 120 d 下降趋势变缓, 120 d 以后 pH 趋于稳定, 并略有回升, 0 ~ 30 d 是硫磺片 SA 处理微域土壤 pH 值显著下降的时期, 显著低于同时期的其他处理, 比试验初始土壤下降 1.07 个单位, 而硫残膜 SCA 处理和硫加树脂残膜 PSCA 处理显著下降的时期延迟到了 30 ~ 60 d, 分别下降 0.96 和 0.90 个单位。SA 处理微域 pH 值最低点出现在第 120 天, 而 SCA 和 PSCA 处理的 pH 值最低点则出现在第 180 天, 与 SA

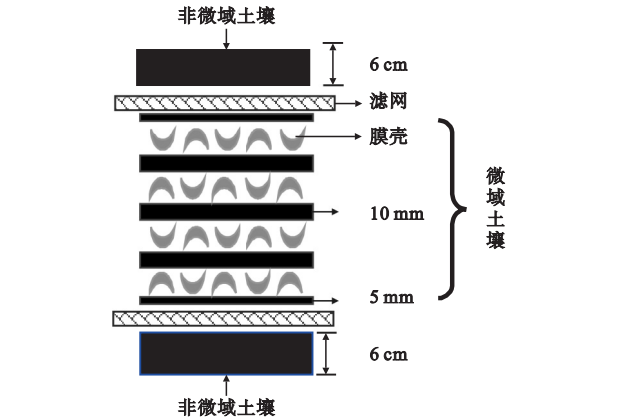


图 1 微域盆栽设计示意图
Fig. 1 Schematic diagram of fertilizer microsite treatments of the pot experiment

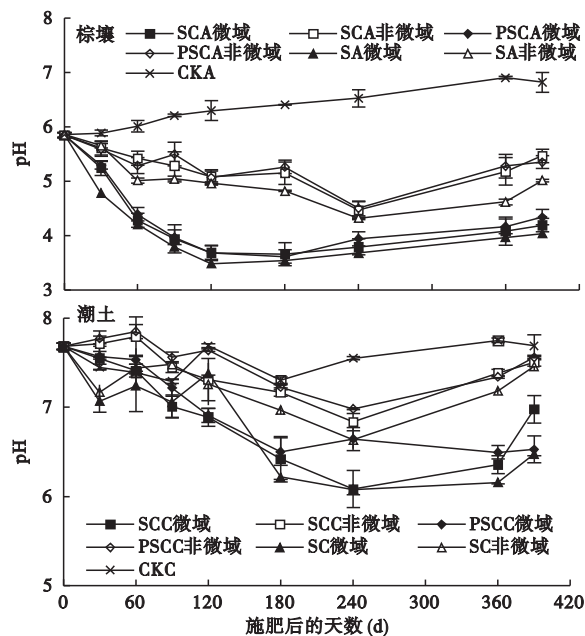


图2 各处理对微域和非微域土壤 pH 值的影响
Fig.2 Effects of different treatments on soil pH of microsite and non-microsite

处理相比分别高了 0.17 和 0.19 个单位。各处理肥际非微域土壤 pH 变化趋势与微域相似,各处理 pH 值最低点出现在第 240 d,而后 pH 值略有回升,各处理间差异不显著。

潮土各处理含硫材料降解对土壤的影响表现在含硫材料施用以后,随着灌溉淋溶和植物的吸收利用,各含硫处理 pH 值呈阶段性的下降,表现为下降-上升-下降的趋势(图 2 潮土)。

2.2 肥际微域土壤 EC 值的动态变化

棕壤各含硫处理 EC 值(图 3 棕壤)与试验初始值相比,均显著增加。各处理微域 EC 值的最高值均出现在 120 d。第 60 天土壤 EC 值的高低顺序为:硫磺微域>硫加树脂残膜微域>硫残膜微域>硫磺非微域>硫残膜非微域>硫加树脂残膜非微域。尽管所有处理氮、硫的用量一致,但由于含硫材料间性状的差异,土壤 EC 值略有不同,各处理间差异不显著。在施肥后第 240 天硫磺 SA 处理微域土壤的 EC 值比空白 CKA 增加了 185%,硫残膜 SCA 处理增加了 173%,硫加树脂残膜 PSCA 处理增加了 146%,而非微域土壤各含硫处理的 EC 值均显著低于微域土壤。

潮土硫残膜 SCC 处理和硫加树脂残膜 PSCC 处理微域土壤 EC 值在施肥 90 d 达到最高值,而硫磺 SC 处理微域土壤 EC 值在施肥后第 180 天达到最高

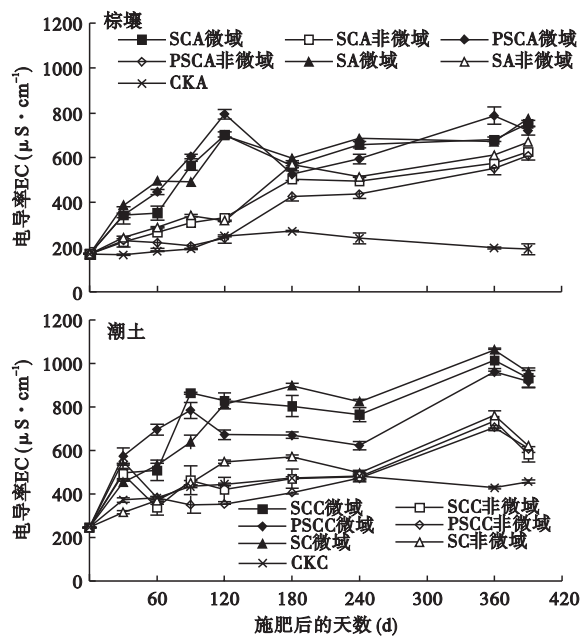


图3 各处理对微域和非微域土壤 EC 值的影响
Fig.3 Effects of different treatments on EC of microsite and non-microsite

值(图 3 潮土),硫残膜 SCC 处理比空白 CKC 增加了 99%,硫加树脂残膜 PSCC 处理增加了 80%,之后的第 120 天、180 天、240 天、360 天、390 天呈现下降-上升-下降的趋势,第 90 天非微域土壤,SCC 处理 EC 值与 CKC 处理相比增加了 $28 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$,PSCC 处理增加幅度仅为 $16 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ 。

2.3 肥际微域土壤有效态微量元素的动态变化

棕壤中施用硫磺及硫残膜对土壤中的微量元素能起到一定的活化作用(图 4),硫残膜 SCA 处理微域土壤在施肥 120 d 时有效态铁含量比 CKA 处理增加了 41%;有效态铜含量增加了 68%,有效态锰含量增加了 61%,有效态锌含量减少了 63%。表明硫残膜的施用活化了棕壤中的微量元素,增加了土壤溶液中有效态铁、有效态锰和有效态铜的浓度。

通过棕壤 pH 值与有效态微量元素的相关分析(表 3)可知,SCA、PSCA 和 SA 处理微域土壤的有效态铁与 pH 值呈显著负相关,与有效态锌呈极显著正相关,与有效态锰呈显著正相关。表明硫残膜在土壤中的降解影响棕壤肥际微域土壤的 pH 值,从而影响有效态微量元素在微域土壤中的含量。在施肥后 0~240 d 内土壤有效态铁、锰、铜含量均有上升的趋势,而有效态锌有下降的趋势。研究表明,在棕壤中施用硫可增加微量元素的有效性。

潮土中硫残膜 SCC 和硫加树脂残膜 PSCC 处理

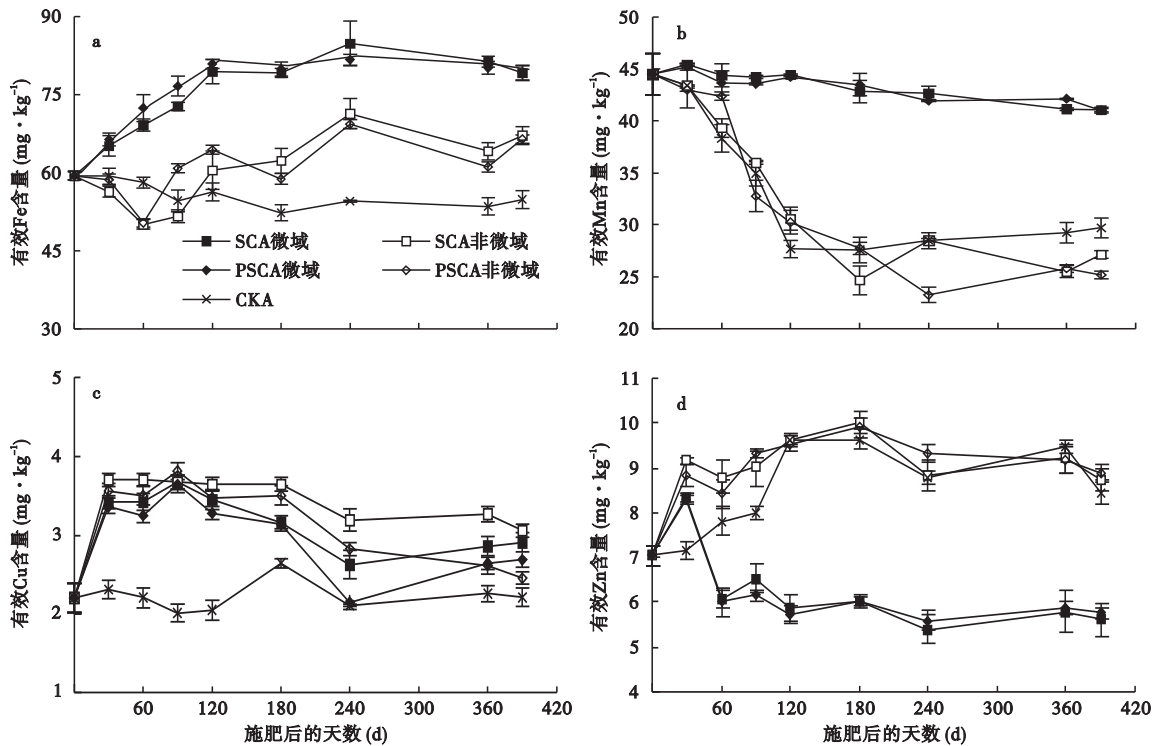


图 4 棕壤硫残膜、硫加树脂残膜处理对土壤有效态微量元素含量的影响
Fig. 4 Effects of sulfur residual coating and poly-sulfur residual coating treatments on contents of HCl-extractable elements in the Argosols

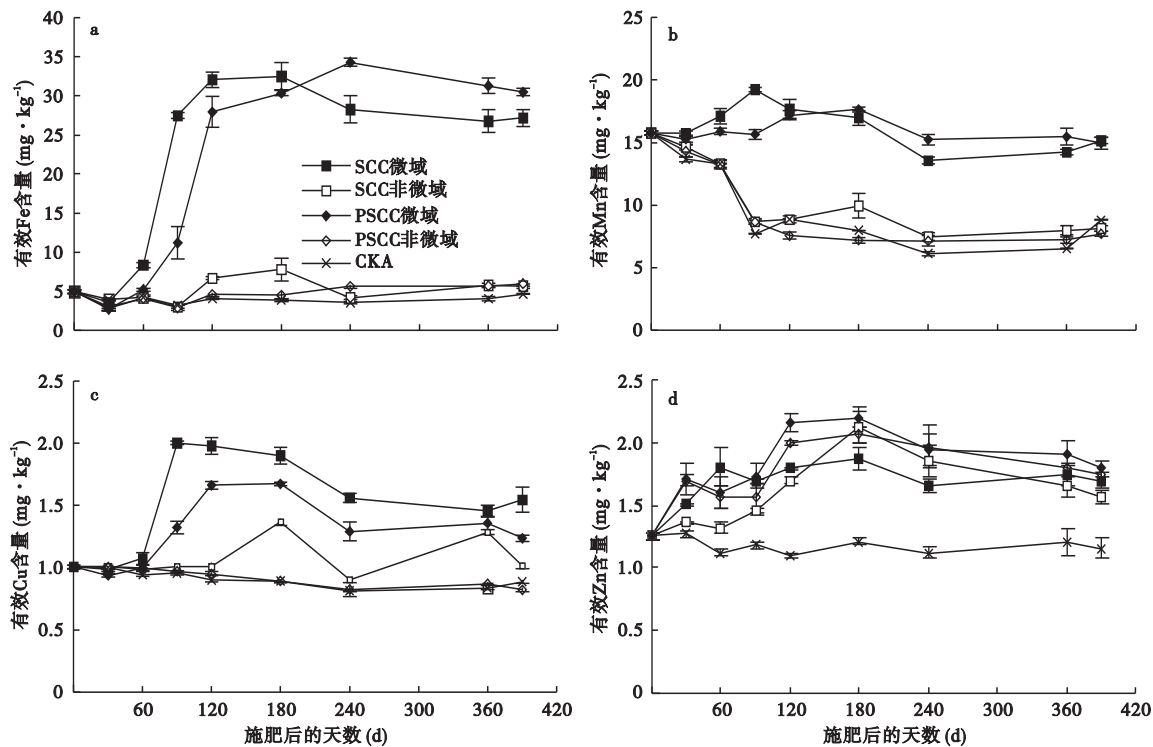


图 5 潮土硫膜、硫加树脂膜处理对土壤有效态微量元素含量的影响
Fig. 5 Effects of sulfur residual coating and poly-sulfur residual coating treatments on contents of DTPA-extractable elements concentrations in the Cambosols

表 3 有效态铁、锰、铜、锌含量与 pH 值的相关分析 (n=24)
Table 3 Correlation coefficient of contents of available trace elements and pH

处理	土壤 pH	Fe	Mn	Cu	Zn
SCC	微域	-0.823 **	0.369	-0.603 **	-0.580 **
	非微域	-0.353	0.727 **	-0.140	-0.839 **
PSCC	微域	-0.966 **	-0.164	-0.720 **	-0.762 **
	非微域	-0.504 *	0.700 **	0.774 **	-0.619 **
SC	微域	-0.820 **	0.403	-0.638 **	-0.609 **
	非微域	0.082	0.481 *	0.382	-0.465 *
SCA	微域	-0.881 **	0.441 *	-0.440 *	0.741 **
	非微域	-0.539 **	0.659 **	-0.327	-0.501 *
PSCA	微域	-0.945 **	0.439 *	-0.301	0.770 **
	非微域	-0.522 *	0.694 **	-0.074	-0.593 **
SA	微域	-0.458 *	0.467 *	-0.065	0.798 **
	非微域	-0.773 **	0.828 **	0.416 *	-0.539 **

** P<0.01, * P<0.05。

中微域有效态铁含量变化(图 5a),SCC 处理微域有效态铁含量高峰期出现在施肥后第 180 天,而 PSCC 处理微域有效态铁含量高峰期出现在施肥后第 240 天,相对 SCC 处理的高峰滞后 60 d。施肥后第 240 天,PSCC 处理微域有效态铁含量比空白 CKC 处理增加 8.79 倍。PSCC 处理有效态锰和有效态铜含量高峰期都出现在第 180 天,同样相对 SCC 处理的高峰滞后 90 d。施肥后第 240 天,PSCC 处理微域有效态锰含量比空白 CKC 处理增加 1.49 倍,PSCC 处理微域有效态铜含量比空白 CKC 处理增加 0.59 倍。

通过潮土 pH 值与有效态微量元素的相关分析(表 3)可知,微域 SCC 和 PSCC 处理的有效态铁、有效态铜、有效态锌与 pH 值呈极显著负相关,有效态锰相关性不显著。表明潮土肥际微域土壤受硫膜降解影响了土壤的 pH 值,在施肥后 0~240 d 内土壤有效态铁、锰、铜和锌含量均有上升的趋势。研究表明,在潮土中施用硫可增加微量元素的有效性,尤其在肥际微域土壤中更为显著。

2.4 肥际微域土壤有效硫含量的动态变化

有效硫包括水溶性硫、吸附性硫和部分有机态硫。硫包膜肥料进入土壤缓慢释放,硫膜在土壤中降解产物与硫磺降解过程(林葆等,2000)相似 $S^0 \rightarrow S_2O_3^{2-} \rightarrow S_4O_6^{2-} \rightarrow SO_4^{2-}$,硫膜降解会造成肥际微域土壤酸化,但与一次性施用其他含硫肥料相比减少了 SO_4^{2-} 在土壤中的固定,增加了土壤有效硫的含量。

棕壤肥际微域土壤与非微域土壤有效硫含量有显著差异(图 6 棕壤)。各处理微域有效硫含量显著变化的时期均出现在施肥后 0~120d 左右,此时

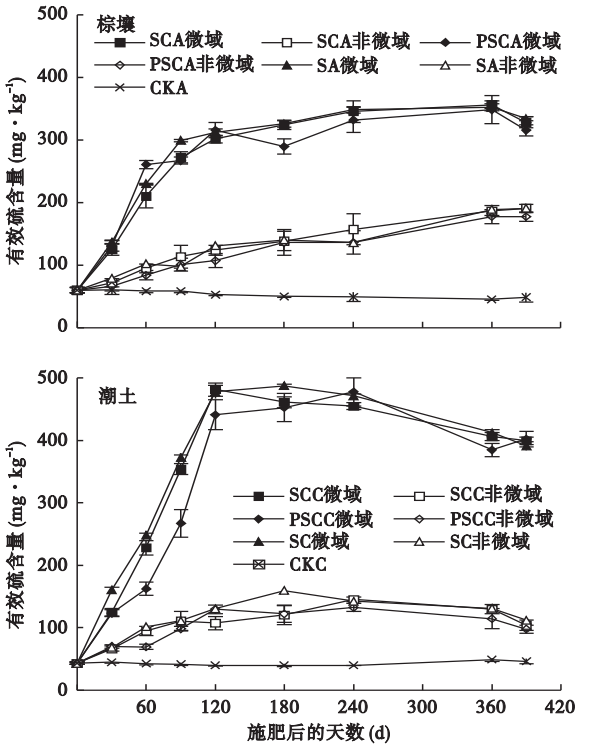


图 6 各处理对微域和非微域土壤有效硫含量的影响
Fig. 6 Effects of different treatments on available sulfur of microsite and non-microsite

恰好是肥际微域 pH 值显著降低的时期。并且在培养过程中,各处理非微域有效硫含量有逐渐上升的趋势,表明有效硫有由微域向非微域迁移的趋势。PSCA 处理微域有效硫含量在培养的过程中均低于其他处理微域,并在 180 d 显著低于其他处理,表明硫加树脂残膜外包被的薄树脂层减少了单质硫与土壤的接触面积,减缓了土壤微生物的作用,降低了残膜在土壤中的氧化速率。SCA 处理和 PSCA 处理的非微域有效硫含量变化相似,都是在施肥后 0~240 d 中缓慢上升,这是由于试验中除硫残膜外未施用其他硫肥,因此,除作物吸收部分硫素外,其余残留于土壤中,以 SO_4^{2-} 形态在灌溉淋溶作用下由微域向非微域土壤迁移。

潮土硫残膜 SCC 处理与硫加树脂残膜 PSCC 处理微域与非微域也表现出显著差异(图 6 潮土),与棕壤表现不同的是硫残膜 SCC 处理和硫磺 SC 处理肥际微域土壤有效硫含量都在施肥后第 120 天达到最高值,硫加树脂残膜 PSCC 处理在第 240 天达到最高值,SCC 处理微域土壤第 120 天有效硫含量是初始土壤的 11.10 倍,PSCC 处理微域土壤第 240 天有效硫含量是初始土壤的 10.17 倍,在相同施用量

的情况下,PSCC 处理在第 120 天后有效硫还有持续上升的趋势,而 SCC 处理第 120 天后无趋势。表明硫加树脂残膜外包被的薄树脂层减少了单质硫与土壤的接触面积,减缓了土壤微生物的作用,降低了残膜在土壤中的氧化速率,使 PSCC 处理土壤中有效硫的含量的高峰期滞后于 SCC 处理。

由棕壤和潮土中各处理有效硫含量的变化(图 6)可知,潮土初始有效硫的含量低于棕壤,在培养结束时,潮土各处理的微域得到了比棕壤高的有效硫含量,表明潮土中硫残膜降解营造的微酸性土壤环境促进了硫残膜在肥际微域土壤中的降解,增加了肥际微域有效硫的含量。相同施用量的情况下,潮土微域中有效硫含量明显高于棕壤微域。

2.5 肥际微域土壤有效磷的动态变化

棕壤硫残膜和硫加树脂残膜处理土壤有效磷含量变化不显著(图 7 棕壤),微域土壤有效磷含量反而比非微域土壤有效磷含量低,这是因为微域土壤 pH 值的显著下降在酸性土壤中反而降低了磷的有效性。

在潮土中施用硫残膜和硫加树脂残膜增加了微域土壤中的有效磷的含量(图 7 潮土),这是因为硫残膜和硫加树脂残膜在土壤中的降解降低了土壤

pH 值,从而活化了石灰性土壤中的难溶性磷,使土壤有效磷在一定时期内显著增加,在施肥后第 90 天,硫残膜 SCC 处理微域是非微域土壤有效磷含量的 3.29 倍,硫加树脂残膜 PSCC 处理微域是非微域土壤有效磷含量的 1.75 倍。随着硫残膜在土壤中降解时间的延长,土壤有效磷呈逐渐上升的趋势。

3 讨论

3.1 控释肥硫膜降解与施入的硫磺片对土壤 pH 值影响

本研究试验中,硫磺和硫残膜在土壤中的降解,导致了棕壤各处理微域土壤 pH 值的显著变化,对土壤的酸碱平衡的影响程度为:硫磺>硫残膜>硫加树脂残膜,而对非微域土壤影响较小,在培养的中后期 pH 值均有回升。棕壤 pH 值变化的结果表明,各处理含硫材料在土壤中的氧化速度为硫磺>硫膜>硫加树脂膜,但总体趋势硫膜及硫加树脂膜微域氧化与硫磺相似。硫残膜由硫磺添加密封剂、调节剂在肥料颗粒外形成的光滑致密的硫膜和硫加树脂膜包裹的薄树脂层都减少硫与土壤接触面积,延缓了硫的氧化,与硫磺处理相比氧化相对滞后。随着培养时间的延长,非微域土壤 pH 值呈逐渐下降的趋势,这是由于作物种植的过程伴随着作物根系的活动,作物对养分离子的吸收,灌溉淋溶等作用,使微域土壤中的 SO_4^{2-} 迁移至非微域土壤。

潮土的缓冲性能使各含硫处理对土壤酸碱平衡体系的影响较轻,微域土壤也有酸化的趋势,pH 值在一定范围内波动,下降幅度较小。各处理对肥际微域土壤酸化的影响显著大于非肥际微域土壤,潮土各处理含硫材料降解对土壤的影响表现在含硫材料施用以后,随着灌溉淋溶和植物的吸收利用,各含硫处理 pH 值呈阶段性的下降,表现为下降-上升-下降的趋势,这是由于土壤中有较多的游离 $CaCO_3$ 等物质存在,硫氧化过程中产生的 H^+ 优先和土壤中的碱性物质发生了中和反应,因此硫在潮土上施用造成的土壤 pH 值的降低不如棕壤显著。由 pH 值变化的结果可知含硫处理在潮土中的氧化速度是:硫磺>硫残膜>硫加树脂残膜。这与吴曦等(2007)在碱性土壤施用硫磺,在 0~20 d 下降明显,20~60 d 逐渐回升的研究结论类似。张昌爱等(2007)在石灰性土壤上对比施用不同量的硫磺和硫包膜控释肥对土壤化学性质的影响,但研究侧重在 2 种物质在土壤中的降解速度上。本研究限定在微域的范围

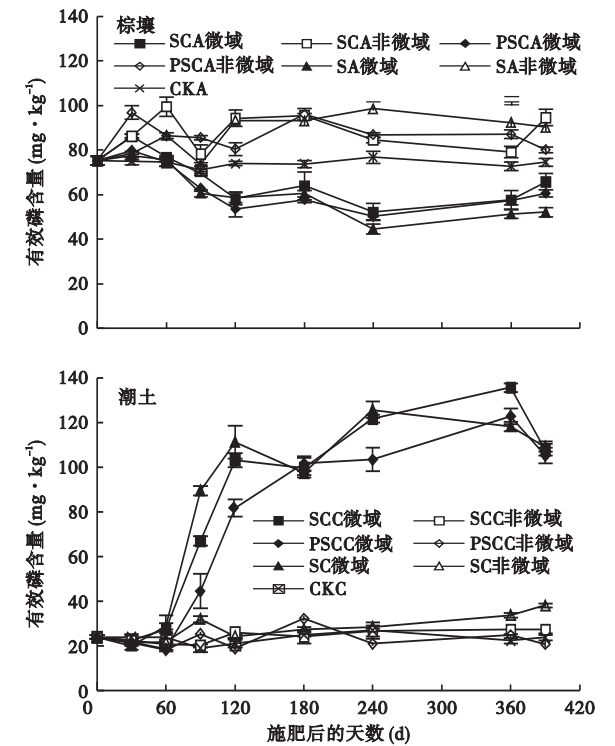


图 7 各处理对微域和非微域土壤有效磷含量的影响
Fig.7 Effects of different treatments on available phosphorus of microsite and non-microsite

内,用硫降解对土壤微域、非微域土壤性质的影响进行了更细致的研究。

3.2 控释肥硫膜降解与施入的硫磺片对土壤 EC 值影响

土壤电导率可用来估测土壤可溶性盐浓度,能不同程度的反映土壤中盐分、水分、有机质含量、土壤质地结构和孔隙度等参数的大小(Pettersson *et al.*, 2006; 刘广明等, 2008)。土壤电导率的变化,可以反映硫膜降解过程中土壤溶液中的可溶性盐含量的变化。

由试验结果可知,随着施入的尿素和硫磺及不同硫残膜在土壤中的作用,造成了土壤可溶性盐含量的增加,表现在 EC 值呈上升的趋势。在棕壤中施用的硫磺、硫残膜、硫加树脂残膜显著增加了微域土壤的 EC 值,而非微域土壤 EC 值变化不显著。与硫磺、硫残膜相比硫加树脂残膜处理由于最外层包被的薄树脂膜有效延缓了土壤 EC 值变化趋势,缓和了硫元素降解对土壤可溶性盐含量的影响。

与棕壤相比潮土各处理对微域土壤 EC 值影响较显著,硫膜的降解产物在调节石灰性土壤的酸碱度,活化其他营养元素的同时也显著增加了微域土壤溶液中可溶性盐的含量,由此试验结果可知,与其他硫肥相比施用硫加树脂包膜控释肥会减缓硫对土壤水溶性总盐量的影响,随着时间的延长土壤水溶性总盐量趋于降低。各含硫处理对微域土壤水溶性总盐量影响显著,而对非微域影响不显著。

3.3 控释肥硫膜降解与施入的硫磺片对土壤微量元素的影响

棕壤中施用硫残膜和硫加树脂残膜起到了活化微域土壤中的微量元素的作用施肥后 120 d,硫残膜 SCA 处理与空白 CKA 处理相比有效态铁增加 41%、有效态铜增加 68%,有效态锰含量增加了 61%。潮土中硫残膜和硫加树脂残膜的施用也显著活化了微域土壤中的微量元素,施肥后第 390 天, PSCC 处理微域有效态铁含量是空白 CKC 处理的 6.58 倍, PSCC 处理微域有效态锰含量是空白 CKC 处理的 1.70 倍, PSCC 处理微域有效态铜含量是空白 CKC 处理的 1.39 倍。这种情况是在超量模拟条件下发生的,在实际田间施用时,硫膜对土壤微量元素的影响有待进一步探讨。

有效态铁、锰、铜、锌含量与 pH 值的相关分析结果表明,土壤 pH 值是影响土壤中微量元素有效性的一个重要因素。土壤酸碱平衡体系的变化,也

直接或间接地对微量元素在硫残膜微域中的活化状况产生影响。

3.4 控释肥硫膜降解与施入的硫磺片对土壤有效硫、磷的影响

本研究棕壤中施用硫包膜控释肥显著提高了微域土壤有效硫的含量,非微域中有效硫也有升高的趋势,含硫处理对有效磷影响不明显。潮土施用硫包膜控释肥,显著提高了微域土壤中有效硫和有效磷的含量,随着硫膜在土壤中降解时间的延长,非微域土壤的有效硫、有效磷含量也有上升的趋势。潮土中研究结果与吴曦等(2007)在苏打盐化土中施用硫磺试验结果相似。

3.5 控释肥硫膜降解与施入的硫磺片对土壤微域的影响

肥际微域(≤ 5 mm)土壤受硫膜降解产物的影响显著,而与微域土壤相比对非微域(> 5 mm)土壤影响并不明显。表明硫包膜或硫加树脂包膜控释肥在土壤中施用只会显著影响小范围土壤的化学性质,而对整个土体无显著影响。因此,在试验中施用硫包膜控释肥未对土壤理化性质造成不良影响。

参考文献

- 李新华, 刘景双, 于君宝, 等. 2006. 土壤硫的氧化还原及其环境生态效应. 土壤通报, **37**(1): 159-163.
- 林葆, 李书田, 周卫. 2000. 影响硫磺在土壤中氧化的因素. 土壤肥料, **5**(5): 3-8.
- 刘常珍, 赵言文, 胡正义, 等. 2004. 硫元素对蔬菜地土壤 NO_3^- 淋溶损失的影响. 南京农业大学学报, **27**(3): 54-57.
- 刘广明, 杨劲松, 姚荣江. 2005. 影响土壤浸提液电导率的盐分化学性质要素及其强度研究. 土壤学报, **42**(2): 247-252.
- 鲁如坤. 1999. “微域土壤学”一个可能的土壤学的新分支. 土壤学报, **36**(2): 287-288.
- 鲁如坤. 2000. 土壤农业化学分析方法. 北京: 中国农业科技出版社.
- 孟锡福, 姜培坤, 曹志洪, 等. 2009. 硫素与其他营养元素的交互作用对作物养分吸收、产量和质量的影响. 土壤, **41**(3): 329-334.
- 田霄鸿, 南雄雄, 赵晓进, 等. 2008. 施用硫磺和 ALA 对碱性盐土上作物生长发育及土壤性质的影响. 生态环境, **17**(6): 2407-2412.
- 吴曦, 陈明昌, 杨治平. 2007. 碱性土壤施硫磺对油菜生长、土壤 pH 和有效磷含量的影响. 植物营养与肥料学报, **13**(4): 671-677.
- 许秀成, 王好斌, 李的萍. 2000. 包裹型缓释/控制释放肥料专题报告第三报包膜(包裹)型控制释放肥料各国研究进展. 磷肥与复肥, **15**(6): 7-12.

- 张昌爱, 张 民, 曾跃春. 2007. 硫对石灰性土壤化学性质的影响. *应用生态学报*, **18**(7): 1453–1458.
- 赵秉强, 张福锁, 廖宗文, 等. 2004. 我国新型肥料发展战略研究. *植物营养与肥料学报*, **10**(5): 536–545.
- 邹长明, 高菊生, 王伯仁, 等. 2004. 长期施用含氯和含硫肥料对土壤性质的影响. *南京农业大学学报*, **27**(1): 117–119.
- Trenkel ME. (石元亮等译). 2002. 农业生产中的控释与稳定肥料. 北京: 中国科学技术出版社.
- Blair G, Lefroy R. 1998. Sulfur and carbon research in rice production systems. *Field Crops Research*, **56**: 177–181.
- Choi MMS, Meisen A. 1997. Sulfur coating of urea in shallow spouted beds. *Chemical Engineering Science*, **52**: 1073–1086.
- Kochba M, Ayalon O, Avnimelech Y. 1994. Slow release rate; Individual granules and population behaviour. *Fertilizer Research*, **39**: 39–42.
- Petterson CG, Söderström M, Eckersten H. 2006. Canopy reflectance, thermal stress, and apparent soil electrical conductivity as predictors of within-field variability in grain yield and grain protein of malting barley. *Precision Agriculture*, **7**: 343–359.
- Wang TJ, Yang HM, Gao LJ. 2005. Atmospheric sulfur deposition on farmland in East China. *Pedosphere*, **15**: 120–128.
- Wang YP, Li QB, Wang H, *et al.* 2008. Effect of sulphur on soil Cu/Zn availability and microbial community composition. *Journal of Hazardous Materials*, **159**: 385–389.
- Zhang M, Alva AK, Li YC, *et al.* 1997. Chemical association of Cu, Zn, Mn, Pb in selected sandy citrus soils. *Soil Science*, **162**: 181–188.
- Zhang M, Karathanasis AD. 1997. Characterization of iron-manganese concretions in Kentucky Alfisols with perched water tables. *Clays and Clay Minerals*, **45**: 428–439.
-
- 作者简介** 隋常玲, 女, 1977 年生, 博士, 讲师, 植物营养与新型肥料研制与应用。E-mail: suichangling@sohu.com
- 责任编辑** 魏中青
-