

表面活性剂对土壤毛细水上升特性的影响

王兴照, 李英杰, 胡 晶, 周春坚, 田森林, 黄建洪* (昆明理工大学环境科学与工程学院, 云南昆明 650500)

摘要 [目的] 探究表面活性剂对污染土壤理化性质的影响。[方法] 研究土壤修复中常用的 3 种表面活性剂(十二烷基硫酸钠、吐温 40、吐温 80)对土壤毛细水上升高度、上升速度以及土壤含水率的影响。[结果] 表面活性剂的加入均可降低土壤毛细水上升高度, 在 1.00 倍临界胶束浓度(CMC)时, 3 种表面活性剂溶液在土壤中的毛细水上升高度分别减小了 13.6%、22.1% 和 27.9%, 且毛细水上升高度可采用幂函数进行定量预测。土壤毛细水上升速率和含水率随表面活性剂浓度的增加呈减小趋势, 且表面活性剂浓度低于 CMC 时, 影响较大, 随着浓度的继续增加, 影响逐渐减小并趋于平缓。[结论] 该研究对于认识表面活性剂-土壤复合体系的理化性质及进行污染土壤修复工程设计具有重要意义。

关键词 土壤; 表面活性剂; 毛细水上升; 含水率

中图分类号 S 152.7; O 647.6 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2018)18-0098-04

Effects of Surfactants on the Characteristic of Soil Capillary Water Rising
WANG Xing-zhao, LI Ying-jie, HU Jing et al (Faculty of Environmental Science and Technology, Kunming University of Science and Technology, Kunming, Yunnan 650500)

Abstract [Objective] To evaluate the effects of surfactants on soil physical and chemical properties. [Method] Effects of three surfactants, namely SDS, TW 40, TW 80 which were extensively used in remediation of contaminated soils on the capillary water rising height, rate and moisture content in soil were studied. [Result] Addition of surfactant decreased the height of capillary water in soil, and the capillary water rise of the three surfactants in soil at one time of the critical micelle concentration (CMC) decreased by 13.6 %, 22.1 %, 27.9 % respectively and the rise height could be quantitatively predicted by power function. The study also found that the capillary rise rate and water content of soil decreased with the increase of surfactants concentration, and the decreased extent was bigger before CMC. With the increase of surfactant concentration the effect tended to stable. [Conclusion] The study has significance to understand the composite system of surfactant-soil and accurately design the remediation technologies of contaminated soil.

Key words Soil; Surfactants; Capillary water rise; Moisture content

近年来土壤污染日趋严重, 基于表面活性剂的污染土壤修复是一种常见的土壤修复技术。表面活性剂广泛应用于土壤的原位、异位修复工程中。表面活性剂修复经济、高效, 可同时去除多种有机污染物, 但大量使用势必造成土壤的二次污染乃至改变土壤的某些原始性质^[1-3]。此外, 长期使用表面活性剂也会造成土壤-水中表面活性剂浓度升高^[4]。表面活性剂特有的两亲性结构可使其吸附在土壤矿物、土壤空气分子以及疏水性土壤有机质表面, 还可聚集在液/气、固/液表面, 增加水分子之间的距离进而降低土壤溶液的表面张力^[5]。

土壤中水溶液表面张力的降低, 势必影响其毛细水上升高度^[6]。土壤毛细水上升现象既有利也有弊。一方面地下水通过毛细水上升作用可为植物提供水分^[7]; 但另一方面土壤毛细水上升则会导致土壤盐渍化^[8]。土壤毛细水上升高度是土壤修复工程设计中一个必不可少的参数, 如表面活性剂原位淋洗过程中为了避免表面活性剂的迁移而产生污染则必需考虑毛细水上升高度^[9]。因此, 掌握表面活性剂在土壤水中的迁移行为对于重新认识表面活性剂-土壤复杂体系中的理化特性及进行土壤修复工程设计具有积极意义。目前对于土壤中毛细水上升问题, 国内外也有诸多研究。Hazen^[10]较早提出毛细水上升高度经验公式, 但实际测量结果与理论计算结果之间有较大差距。Stenitzer 等^[11]通过估

算的土壤转移函数和测量的水力参数, 应用 SIMWASER 模拟模型计算潜水毛细水上升高度, 但在应用时函数及参数的选取不易确定。史文娟等^[12]、尹娟等^[13]、苗强强等^[14]针对某一类型土壤毛细水上升高度进行研究, 并建立相应的经验公式。以上研究主要关注土壤中毛细水上升高度的试验与模拟, 然而在表面活性剂存在条件下, 土壤毛细水上升高度的研究鲜见报道。笔者选取表面活性剂淋洗修复技术中常使用的 3 种表面活性剂为目标物, 研究其对土壤毛细水上升高度、上升速度及含水率的影响, 并探究影响机理。

1 材料与方法

1.1 土壤样品的准备 所用土样为 0~20 cm 的表层土, 并去除土壤中的砂砾、草杆等杂物。将土壤风干并研磨, 过 10 目(2 mm)筛, 放入 105 ℃ 的烘箱中干燥, 直样品完全烘干, 密封保存备用。土样理化性质: 砂粒(0.02~2.00 mm)占 41.5%, 粉砂(0.002~0.020 mm)占 46.31%, 黏粒(< 0.002 mm)占 12.19%。壤质黏土, 容重 1.25 g/cm³, 含水率 8%, 有机质量 0.3%, 含盐量 0.37 g/kg, pH 6.54。其中, 土壤粒径分布采用 Mastersizer 2000 激光粒度仪进行分析, 土壤质地根据国际土壤学会的分类标准进行划分, 矿物组成采用 X 射线衍射方法(XRD)分析, 其他性质参照程东娟等^[15]的分析方法。

1.2 表面活性剂的筛选 选用表面活性剂淋洗污染土壤技术中常用的 3 种表面活性剂作为目标物: 十二烷基硫酸钠(SDS)、吐温 40(TW40)、吐温 80(TW80)^[16-18]。3 种表面活性剂的临界胶束浓度(CMC)及其他参数见表 2。

1.3 毛细水上升高度试验 毛细水上升高度试验采用竖管法测量^[21]。试验设备包括铁架台、定制玻璃管、恒温水浴

基金项目 国家自然科学基金项目(41761072)。
作者简介 王兴照(1991—), 男, 云南昭通人, 硕士研究生, 研究方向: 土壤污染控制。* 通讯作者, 副研究员, 博士, 从事工业固废及其污染土壤的无害化与资源化技术研究。
收稿日期 2018-03-25

锅、烧杯。定制的玻璃管包含内管和外管,长度均为 50 cm,壁厚 1 mm,内管内径 15 mm,外管内径 35 mm,内、外管夹层之间两端连接处封闭,外管留有进、出水口,内管的一端用透水石英砂堵塞,高度为 2 mm。试验过程中配制含水量 8% 的土壤,采用分层填装,每次填装前将土柱上层刨毛,以便土样

之间很好衔接,土柱高度为 40 cm。土柱装好后将玻璃管固定并将循环水浴的进、出管分别与玻璃管的进、出水口连接,玻璃管的一端没入盛有溶液的烧杯中,烧杯置于恒温水浴中,每隔 10、20、30 min 记录毛细水上升高度,以后每隔数小时记录 1 次,直至毛细水上升到最大高度。

表 1 SDS、TW40、TW80 的相关理化性质
Table 1 The physical and chemical properties of SDS, TW40 and TW80

分子式 Molecular formula	商品名称 Trade name	相对分子质量 Relative molecular mass // g/mol	临界胶束浓度 Critical micelle concentration // mg/L
CH ₃ (CH ₂) ₁₁ OSO ₃ Na	十二烷基硫酸钠	288.38	2 324 ^[19]
C ₆₀ H ₁₂₂ O ₂₆	吐温 40	1 311.68	29 ^[20]
C ₂₄ H ₄₄ O ₆	吐温 80	428.60	13 ^[20]

2 结果与分析

2.1 毛细水上升高度与时间的关系 不同浓度的 SDS、TW40、TW80 对土壤毛细水上升高度随时间变化的影响规律见图 1。由图 1 可知,3 种表面活性剂的加入均可降低土壤的毛细水上升高度,且随表面活性剂浓度的增加毛细水上升

高度下降呈增强趋势。当表面活性剂浓度低于 CMC 时,毛细水上升高度下降较快,而当浓度高于 CMC 时,毛细水上升高度变化较平缓(图 2)。随着时间的延长,土壤毛细水上升高度呈先急剧增加再变平缓的趋势,且不同浓度表面活性剂均呈现类似的规律。

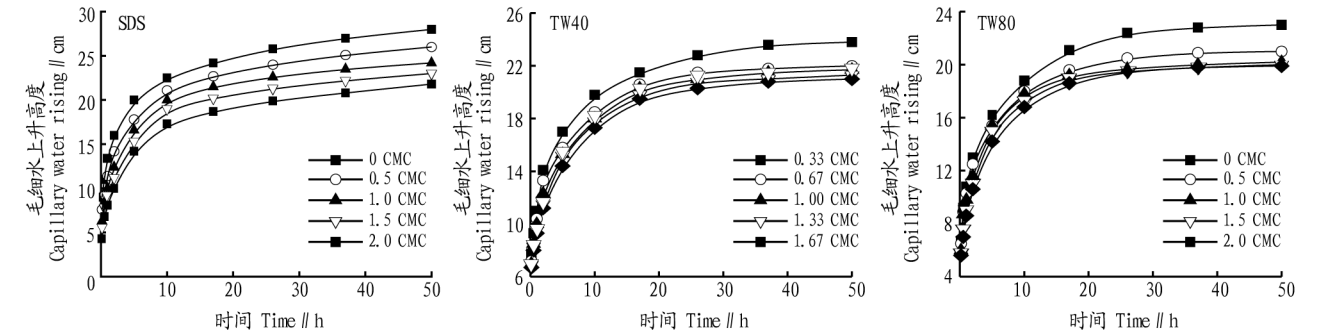


图 1 毛细水上升高度与时间的关系
Fig.1 Relationship between capillary water rising height and time

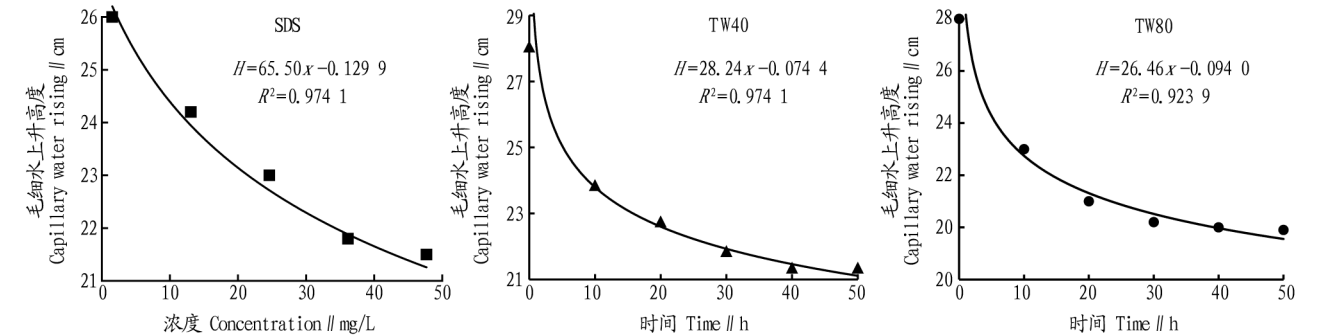


图 2 表面活性剂浓度与毛细水上升高度的关系
Fig.2 Relationship between surfactant concentration and capillary water rising height

为定量描述土壤毛细水上升高度随时间的变化规律,对图 1 的数据进行分析发现,土壤毛细水上升高度随时间的变化符合幂函数关系。采用式(1)的幂函数进行拟合,其拟合结果见表 3。

$$H=mt^n$$
 (1)

式中, H 为毛细水上升高度,cm; t 为毛细水上升时间,h; m 、 n 为拟合参数。由表 3 可知,对于不同浓度的表面活性剂而

言,毛细水上升高度与时间之间的相关系数均高于 0.950 0,说明式(1)对不同溶液毛细水上升高度与时间的拟合精度较高,能较好地反映毛细水上升的过程。因此,式(1)可用来预测不同表面活性剂溶液中土壤毛细水随时间的上升高度。

2.2 毛细水上升速度与时间的关系 为进一步研究土壤毛细水上升高度与时间的关系,探究了毛细水上升速度(V)与时间的变化关系。 V 指单位时间内土壤毛细水上升高度。

因此只需将毛细水上升高度与时间的关系式(1)求一阶导数即可得到,其表达式:

表 3 3 种表面活性剂溶液毛细水上升高度随时间的拟合参数
Table 3 Fitting parameters of three surfactants solution capillary water rise with time

表面活性剂 Surfactants	浓度 Concentration mg/L	拟合参数 The fitting parameters		R ²
		m	n	
SDS	0	13.53	0.196 2	0.975 6
	0.50	12.04	0.210 3	0.981 9
	1.00	10.83	0.221 9	0.970 8
	1.50	9.960	0.229 7	0.970 9
	2.00	8.758	0.229 7	0.970 9
TW40	0.33	11.74	0.405 0	0.980 2
	0.67	11.06	0.195 0	0.965 5
	1.00	10.69	0.199 3	0.972 3
	1.33	10.37	0.202 9	0.968 6
	1.67	10.02	0.207 6	0.973 4
TW80	0.33	11.20	0.202 0	0.975 5
	0.67	10.78	0.189 7	0.967 2
	1.00	10.40	0.190 6	0.952 4
	1.33	9.792	0.204 6	0.952 3
	1.67	9.316	0.216 3	0.960 8

$$V=\frac{dH}{dt}=mnt^{(n-1)}$$

(2)

式中,V为毛细水上升速度,cm/h。将对应的参数代入式(2)即可计算出3种表面活性剂溶液的V值,结果见表4、5和6。从表4、5和6可以看出,3种表面活性剂的V值随时间的变化趋势基本一致,即毛细管中水上升速度都遵循一个规律,即毛细管中的V值一般是先快后慢,随着时间的增加V值趋于稳定。以SDS溶液中土壤的V值为例,由表4可知,前17 h SDS的V值变化较大,特别是0~10 min V值变化最大,为11.21 cm/h。17 h后V值基本恒定。造成这种变化趋势的原因是由于开始土柱毛细孔产生向上的毛细力远大于上升的毛细水产生的重力,二者之间产生一个向上的合力促使毛细水加速上升,随着时间的推移二者合力逐渐减小,上升速度也越来越小。随着SDS浓度的增加,V值趋于逐渐递减趋势,这与表面活性剂降低溶液的表面张力有关,即当表面活性剂溶液浓度低于CMC时,表面张力随浓度的增加而迅速减小,随着浓度的继续增加,表面张力变化较小。由Young-Laplace方程可知^[6],毛细水上升高度与溶液的表面张力呈正相关趋势,而毛细水上升高度与上升速度也呈正相关,因此当表面活性剂浓度逐渐增大时,毛细水上升速度基本呈下降趋势。TW40和TW80中土壤的毛细水上升速率与时间的变化也呈类似的规律。

表 4 SDS 毛细水上升速度与时间的关系

Table 4 The relationship between capillary water rising velocity and time of SDS solution

时间 Time//h	速率 Rate//cm/h				
	0 CMC	0.50 CMC	1.00 CMC	1.50 CMC	2.00 CMC
0.17	11.210 0	10.420 0	9.689 0	9.905 0	7.998 0
0.50	4.634 0	4.377 0	4.121 0	3.905 0	3.431 0
1.00	2.655 0	2.532 0	2.403 0	2.288 0	2.012 0
2.00	1.521 0	1.465 0	1.401 0	3.343 0	1.179 0
5.00	0.728 1	0.710 4	0.686 9	0.662 2	0.582 3
10.00	0.417 1	0.410 9	0.400 6	0.388 3	0.341 4
17.00	0.272 2	0.270 3	0.265 1	0.258 0	0.226 9
26.00	0.193 5	0.193 2	0.190 5	0.186 0	0.163 5
37.00	0.145 7	0.146 2	0.144 7	0.141 7	0.124 6
50.00	0.114 4	0.115 3	0.114 5	0.112 4	0.010 0

表 5 TW 40 毛细水上升速度与时间的关系

Table 5 The relationship between capillary water rising velocity and time of TW 40 solution

时间 Time//h	速率 Rate//cm/h				
	0.33 CMC	0.67 CMC	1.00 CMC	1.30 CMC	1.67 CMC
0.17	9.725 7	9.124 0	8.944 0	8.776 0	8.604 0
0.50	3.478 6	3.768 0	3.711 0	3.656 0	3.603 0
15.00	2.303 0	2.157 0	2.131 0	2.104 0	2.081 0
25.00	1.524 7	1.234 0	1.223 0	1.211 0	1.201 0
55.00	0.883 9	0.590 4	0.587 2	0.583 3	0.581 1
105.00	0.585 2	0.337 9	0.337 1	0.335 7	0.335 5
175.00	0.426 8	0.220 4	0.220 4	0.219 9	0.220 3
265.00	0.331 4	0.156 6	0.156 9	0.156 7	0.157 4
375.00	0.268 7	0.117 9	0.118 3	0.118 3	0.119 0
505.00	0.224 6	0.092 5	0.092 9	0.093 1	0.093 7

表 6 TW80 毛细水上升速度与时间的关系

Table 6 The relationship between capillary water rising velocity and time of TW80 solution

时间 Time//h	速率 Rate//cm/h				
	0.33 CMC	0.67 CMC	1.00 CMC	1.30 CMC	1.67 CMC
0.17	9.452 0	8.734 0	8.453 0	8.331 0	8.206 0
0.50	3.417 0	3.586 0	3.473 0	3.477 0	3.469 0
1.00	2.262 4	2.045 0	1.982 0	2.003 0	2.015 0
2.00	1.498 0	1.166 0	1.131 0	1.154 0	1.171 0
5.00	0.868 3	0.555 0	0.539 0	0.557 0	0.570 8
10.00	0.574 9	0.316 5	0.307 4	0.320 9	0.331 6
17.00	0.419 2	0.205 9	0.200 1	0.210 4	0.218 8
26.00	0.325 6	0.145 9	0.141 9	0.150 1	0.156 8
37.00	0.263 9	0.109 6	0.106 6	0.113 4	0.118 9
50.00	0.220 6	0.085 9	0.083 6	0.089 2	0.093 9

2.3 不同浓度表面活性剂对土壤含水率的影响 土壤含水率是土壤的一个重要物理化学参数,反映土壤的持水能力。表面活性剂的加入影响土壤毛细水上升高度和速率,因而也可能影响土壤的含水率。由图 3 可知,对于 3 种表面活性剂,当毛细水上升高度一定时,随着表面活性剂浓度的增加土壤含水率呈降低趋势,且随着浓度的持续增加,含水率降低趋势逐渐减弱。毛细水上升高度的降低,意味着表面活性剂导致浸润土壤的水分迅速降低。SDS 是阴离子钠盐型表面活性剂,钠离子能使土壤结构改变,破坏土壤的结构,进而影响毛细水的运动,这种影响程度与钠离子浓度成正比^[22]。此外,表面活性剂随毛细水上升与土壤颗粒接触,吸附在颗

粒上的表面活性剂使固/液(土壤/溶液)之间的接触角增加,进而影响土壤的含水率,式(3)可用于描述此过程^[21]。

$$H^2=\frac{\bar{C}r\cos\alpha}{2\mu}$$

(3)

式中, C 为毛细管因子, r 为毛细管平均半径,cm; t 为毛细水上升时间,h; μ 为黏度,Pa·s,当颗粒堆积密度相同时 $\bar{C}r$ 为定值。做 H^2-t 图,直线的斜率为 $\frac{\bar{C}r\cos\alpha}{2\mu}$,对于同一种表面活性剂而言,当浓度增加时黏度也随之增加,由图 1 可知,毛细水上升高度与时间的切线斜率呈减小趋势, $\cos\alpha$ 值变大,即润湿角变大,疏水性加剧,含水率变小。

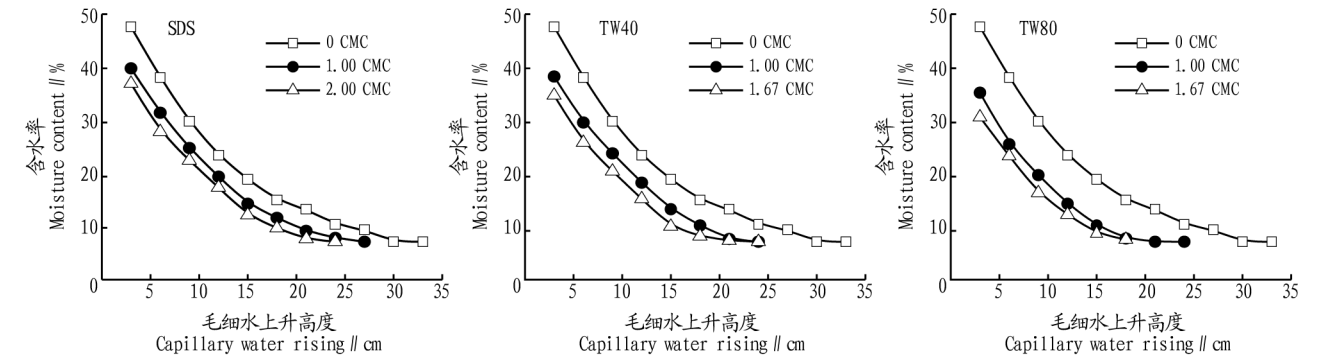


图 3 3 种表面溶液毛细水上升高度与含水率的关系

Fig.3 Relationship between the capillary water rising height of three kinds of surfactant and moisture content

3 结论

(1)土壤毛细水上升高度受表面活性剂的影响,随浓度的增加毛细水上升高度逐渐减小,呈浓度依附性。

(2)土壤毛细水上升高度(H)与时间(t)之间呈幂函数关系。SDS、TW40、TW80 溶液中土壤的 H 与 t 满足关系式 $H=mt^n$ 。SDS 在 0 CMC、1.00 CMC、2.00 CMC 时毛细水上升高度与时间的关系分别为 $H_{\text{SDS}}=13.53t^{0.1962}$ 、 $H_{\text{SDS}}=10.83t^{0.2219}$ 、 $H_{\text{SDS}}=8.758t^{0.2297}$;TW40 在 0.33 CMC、1.00 CMC、1.67 CMC 时毛细水上升高度与时间的关系分别为 $H_{\text{TW40}}=11.74t^{0.4050}$ 、 $H_{\text{TW40}}=10.69t^{0.1993}$ 、 $H_{\text{TW40}}=10.02t^{0.2076}$;TW80 在 0.33 CMC、1.00 CMC、1.67 CMC 时毛细水上升高度与时间的关系分别为 $H_{\text{TW80}}=11.20t^{0.2020}$ 、 $H_{\text{TW80}}=10.40t^{0.1906}$ 、 $H_{\text{TW80}}=9.316t^{0.2163}$ 。

(3)毛细水上升的速度可根据毛细水上升高度与时间的关系式求得,即 $V=\frac{dH}{dt}mnt^{(n-1)}$ (其中 $H=mt^n$),且毛细水上升速度随表面活性浓度的增加呈减小趋势。土壤含水率随表面活性剂浓度的增加而减小。

参考文献

[1] UPPOT J O,STEPHENSON R W.Permeability of clays under organic permeants[J].Journal of geotechnical engineering,1989,115(1): 115-131.

[2] SAI J O,ANDERSON D C.Long-term effect of an aqueous landfill leachate on the permeability of a compacted clay liner[J].Hazardous waste and hazardous materials,1991,8(4): 303-312.

[3] HUECKEL T,KACZMAREK M K,CARAMUSCIO P.Theoretical assessment of fabric and permeability changes in clays affected by organic contaminants [J].Canadian geotechnical journal,2011,34(4): 588-603.

显微视野下平均产孢量分别为 42、32、35 个。可见, 配组②在产孢量与产孢周期上均优于燕麦片培养基和大麦粒培养基, 综合培养基原料的经济成本与获得难易程度, 认为配组②在稻瘟病菌培养产孢方面是一种非常理想的新型培养基组方, 适宜广泛推广应用。

3 结论与讨论

从总体趋势看, 该研究配制的 6 种稻瘟病菌产孢培养基菌株生长速率从快到慢依次为配组②、配组①、配组④、配组③、配组⑥、配组⑤; 产孢量在 6 种不同配制培养基上从多到少依次为配组①、配组⑤、配组③、配组④、配组①、配组⑥。由此可见, 配组②是最佳的稻瘟病菌培养、产孢培养基, 其主要成分为 1 份稻秸浸出液与 1 份 PDA 培养基等比例混合而成。供试菌株在该培养基上生长最快, 菌丝生长最旺, 产孢量最多, 并且菌丝生长状态与产孢量之间呈正相关。

该研究配制的配组②培养基(稻秸浸出液:PDA 培养基=1:1, V/V)接种稻瘟病菌生长速度最快, 产孢量最多, 这对于一般的稻瘟病菌生理小种鉴定、致病性分化研究和水稻品种抗性鉴定研究完全能够达到要求。该研究进行了配组②、燕麦片培养基、大麦粒培养基稻瘟病菌产孢培养各项指标比较, 发现供试菌株在配组②培养基上从接菌到产孢所需时间

为 10 d, 燕麦片培养基为 12 d, 大麦粒培养基为 15 d; 产孢量从多到少分别是配组②(42 个/显微视野)、大麦粒培养基(35 个/显微视野)、燕麦片培养基(32 个/显微视野)。可见, 配组②培养基在稻瘟病菌产孢等各项指标上不比燕麦片培养基和大麦粒培养基差, 反而略有优势, 综合考虑培养基原料的经济成本及来源难易程度, 认为在配组②是在稻瘟病菌培养、产孢研究中更具有优势的培养基, 至少是目前主要稻瘟病菌产孢培养基的有益补充, 具有很高的应用价值。

参考文献

- [1] 方中达. 植病研究方法[M]. 北京: 农业出版社, 1979.
- [2] 朱明哲. 田间试验及统计分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 1995.
- [3] 陈永萱. 诱发稻瘟病菌(*Piricularia oryzae*)分生孢子产生的方法[J]. 南京农业大学学报, 1983, 6(2): 39-43.
- [4] 孙国昌, 申宗坦, 孙漱沅. 稻瘟病菌产孢条件的研究[J]. 浙江农业大学学报, 1990, 16(1): 51-54.
- [5] OU S H. Rice diseases[M]. Kew Surrey, England: Commonwealth Mycological Institute, 1972: 368.
- [6] 王国平, 罗宽. 稻瘟病菌产孢培养基的筛选[J]. 湖南农学院学报, 1989, 15(2): 58-62.
- [7] 杨绳桃. 稻瘟病菌的分离与产孢试验[J]. 湖北农业科学, 1988(10): 26-28.
- [8] 李桦. 稻瘟病菌培养技术的研究[J]. 植物保护, 1986, 12(4): 45-46.
- [9] 兰波, 李湘民, 杨迎青, 等. 稻瘟病菌产孢技术研究[J]. 江西农业学报, 2012, 24(2): 74-76.
- [10] 尹娟, 费良军, 程东娟. 均质土壤毛管水上升特性室内试验研究[J]. 农业工程学报, 2007, 23(6): 91-94.
- [11] 苗强强, 陈正汉, 田卿燕, 等. 非饱和含黏土砂毛管上升试验研究[J]. 岩土力学, 2011(S1): 327-333.
- [12] 程东娟, 张亚丽. 土壤物理实验指导[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2012: 1-54.
- [13] PELUFFO M, PARDO F, SANTOS A, et al. Use of different kinds of persulfate activation with iron for the remediation of a PAH-contaminated soil[J]. Science of the total environment, 2016, 563/564: 649-656.
- [14] AHN C K, KIM Y M, WOO S H, et al. Soil washing using various nonionic surfactants and their recovery by selective adsorption with activated carbon[J]. Journal of hazardous materials, 2008, 154(1/2/3): 153-160.
- [15] TAYLOR T P, PENNELL K D, ABRIOLA L M, et al. Surfactant enhanced recovery of tetrachloroethylene from a porous medium containing low permeability lenses: 1. Experimental studies[J]. Journal of contaminant hydrology, 2001, 48(3): 325-350.
- [16] SHI Z, SIGMAN M E, GHOSH M M, et al. Photolysis of 2-chlorophenol dissolved in surfactant solutions[J]. Environmental science & technology, 1997, 31(12): 3581-3587.
- [17] YEH D H, PENNELL K D, PAVLOSTATHIS S G. Toxicity and biodegradability screening of nonionic surfactants using sediment-derived methanogenic consortia[J]. Water science and technology, 1998, 38(7): 55-62.
- [18] 沈钟, 赵振国, 康万利, 等. 胶体与界面化学[M]. 4 版. 北京: 化学工业出版社, 2012: 99-100.
- [19] SO H, AYLMOORE L. How do sodic soils behave? The effects of sodicity on soil physical behavior[J]. Australian journal of soil research, 1993, 31(6): 761-777.

(上接第 101 页)

科技论文写作规范

作者 论文署名一般不超过 5 个。中国人姓名的英文名采用汉语拼音拼写, 姓氏字母与名字的首字母分别大写; 外国人姓名、名字缩写可不加缩写点。

文内标题 文章内标题力求简短, 一般不超过 20 字, 标题内尽量不用标点符号。标题顶格书写, 文内标题层次不宜过多, 一般不超过 4 级, 分别以 1; 1.1; 1.1.1; 1.1.1.1 方式表示。