

硅对赤红壤中锰的解毒效应研究

梁丽萍¹, 黄渝岚¹, 杨 曙¹, 赵尊康¹, 黎晓峰^{1,2}

(1.广西大学农学院, 广西 南宁 530004;

2.亚热带生物资源保护与利用国家重点实验室, 广西 南宁 530004)

摘要: 采用培养试验方法研究了硅肥对酸性土壤中锰毒性的影响, 旨在为酸性土壤锰毒害的防控提供科学依据。结果表明, 甘蔗的根际效应明显, 根际土壤中的 pH 值、有效硅含量较低而活性锰及水溶态锰、交换态锰、有机结合态锰、碳酸盐结合态锰、铁锰氧化态锰含量均显著高于土体。然而, 施用硅肥(偏硅酸钠)后, 土壤活性锰含量和水溶态、交换态、有机结合态锰含量均显著降低, 但是硅肥对根际土壤锰含量和形态的效应弱于土体; 并且, 施用硅肥使甘蔗地上部锰含量(47.1~112.1 mg/kg)显著降低, 并且随着硅肥用量(0.5~2.1 g/kg)增加而降低的趋势; 虽然硅肥的施用也减少甘蔗地上部铁的含量, 但铁锰比值却从对照的 2.51 增加至 2.92~5.72 之间。因此, 施用硅肥后甘蔗株高、总生物量分别提高 4.07%~15.24%、8.41%~28.03%。可见, 硅肥的施用减轻了酸性土壤中锰的毒害。

关键词: 甘蔗; 锰; 硅; 根际; 解毒

中图分类号: S143.7¹

文献标识码: A

文章编号: 1004-874X(2014)17-0062-04

Detoxification effects of Si on Mn in latored soil

LIANG Li-ping¹, HUANG Yu-lan¹, YANG Shu¹, ZHAO Zun-kang¹, LI Xiao-feng^{1,2}

(1.College of Agricultural Science, Guangxi University, Nanning 530004, China;

2.State Key Laboratory for Conservation and Utilization of Subtropical Agro-bioresources, Nanning 530004, China)

Abstract: Effect of Si fertilizer on Mn toxicity in acid soil was investigated by pot culture, in order to provide scientific basis for preventing Mn toxicity in acid soil. The results showed that there was significant rhizosphere effect in sugarcane including lower pH, available Si content and higher contents of active Mn, water soluble Mn, exchangeable Mn, organic chelated Mn, carbonate combined Mn, ferrimanganic oxidation state Mn in rhizosphere soil than those in non-rhizosphere soil. Further, the contents of active Mn, water soluble Mn, exchangeable Mn, organic chelated Mn reduced significantly under applying Si fertilizer (sodium metasilicate), but effects of Si fertilizer on Mn content and form in rhizosphere soil was lower than those in non-rhizosphere soil. Shoot Mn content (47.1~112.1 mg/kg) decreased significantly under applying Si fertilizer compared with no Si fertilizer application in sugarcane, and which decreased further with Si fertilizer application increasing from 0.5 to 2.1 g/kg. Although, shoot Fe content in sugarcane reduced along with Mn content reducing under applying Si fertilizer, the ratios of Fe to Mn increased from 2.92 to 5.72 in the treatments of applying Si fertilizer, which were significantly higher than that of control (2.51). Sugarcane plant height and total biomass under different Si fertilizer treatments increased by 4.07%~15.24% and 8.41%~28.03%. In a word, Si fertilizer can alleviate Mn toxicity in acid soil.

Key words: sugarcane; Mn; Si; rhizosphere; detoxification

甘蔗(*Saccharum officinarum* L.)属禾本科甘蔗属作物,是我国制糖业的主要原料。我国蔗区分布于长江流域以南的 11 个省(区),近年来,广西甘蔗种植面积持

续稳定在 106.06 万 hm^2 左右,2012/2013 榨季甘蔗产量 7 500 多万 t,产业规模连续 20 年居全国首位^[1]。然而近年来,广西蔗区酸性土壤上相继出现不同程度的甘蔗幼苗黄化问题(黄化植株轻症者新叶出现条纹脉间褪绿,叶尖发黄变白,重症者则整株甘蔗幼苗叶片叶脉白化,叶片细薄,植株矮小,长势弱化,甚至枯萎^[2]),严重威胁我国甘蔗糖产业安全。可见,甘蔗幼苗黄化问题不容忽视,解决此难题意义重大。前人研究表明甘蔗幼苗黄化与土壤中过量的锰有关^[3-4],同时有研究发现水溶液中过多的锰可诱导甘蔗幼苗黄化^[5]。广西的土壤富含锰元素,土壤中锰活性直接受土壤 pH 影响,当土壤 pH

收稿日期:2014-05-29

基金项目:国家自然科学基金(31260497);广西自然科学基金(2012GXNSFDA053010);广西研究生教育创新计划项目(YC BZ2013005)

作者简介:梁丽萍(1987-),女,在读硕士生,E-mail:lianglp87@163.com

——通讯作者:黎晓峰(1963-),男,博士,教授,E-mail:lxfg@gxu.edu.cn

小于 5.5 时,锰活性提高,当过量的锰溶解进入土壤溶液后会对该土壤上的植物产生毒害作用。另一方面,硅是作物的有益元素^[6],在抵御生物胁迫(病虫害)和非生物胁迫(干旱、冻害、盐胁迫、营养缺乏和金属毒害等)方面具有积极作用^[7]。硅也能提高水稻、大麦、南瓜等植物的耐锰能力。然而,硅对酸性中甘蔗锰毒害效应的研究甚少。本研究对硅肥减轻酸性土壤锰毒害的效应及相关机制进行探讨,旨在为酸性土壤中甘蔗幼苗锰毒害的防控提供技术支撑,并为甘蔗根际调控技术的发展提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试甘蔗品种为新台糖 22 号。供试土壤为第四季红土母质发育的赤红壤,采自广西崇左市扶绥县黄化病较严重的甘蔗地,其基本理化性质为: pH 5.30, 碱解氮 70.20 mg/kg、全氮 1.46 g/kg、全磷 1.27 g/kg、速效磷 (P_2O_5) 29.25 mg/kg、全钾 1.21 g/kg、速效钾 50.00 mg/kg、有机质 20.20 g/kg、有效硅 227.82 mg/kg、活性锰 320.97 mg/kg。供试硅肥为偏硅酸钠,含 SiO_2 30%。

1.2 试验方法

试验于 2013 年 11 月在广西大学农学院试验基地进行。采用盆栽试验,每盆装土壤 1.2 kg。试验设施用硅肥 (Na_2SiO_3) 0、0.5、1.0、1.6、2.1 g/kg 5 个处理(分别记为 Si0、Si0.5、Si1.0、Si1.6、Si2.1),3 次重复,完全随机排列。底肥用量为 N 0.3 g/kg、 P_2O_5 0.15 g/kg、 K_2O 0.15 g/kg。硅肥及底肥分别过 2 mm 筛后称重并与供试土壤充分拌匀后装盆。甘蔗种茎(5 芽/盆)播于根际袋中,根际袋埋于盆的正中。根际袋装土 100 g/盆,肥料用量同土体。

甘蔗生长过程中保持土壤含水量为田间持水量的 60%~70%,40 d 后收获甘蔗幼苗根系和地上部,称重并分析锰、铁含量。盆中土壤及根际袋中的土壤拌匀后分析活性锰、铁含量,土样经风干、磨碎、过筛(2 mm)后测 pH、有效硅含量及不同锰形态。

1.3 分析方法

植株锰、铁:微波炉 (Marks) 消解-原子吸收法 (AAS)。土壤活性锰:为水溶性锰,交换态锰和易还原

性锰的总和,采用醋酸铵(pH7.0)浸提交换态锰,0.2%对苯二酚+醋酸铵(pH7.0)浸提易还原性锰,浸出液中锰用 AAS 法测定。土壤活性铁:酸性草酸-草酸铵溶液 (pH3.2)浸提-AAS;土壤 pH:电位法(土水比 1:2.5);有效硅:柠檬酸提取-硅钼蓝比色法;锰形态按照 Tessier 形态分析法连续提取。

显著性测验采用多重比较 (Duncan 法),根际与土体间的差异采用 T 测验法进行显著性分析。

2 结果与分析

2.1 硅肥对根际土壤中有效硅及活性锰和铁含量的影响

施用 0.5~2.1 g/kg 硅肥,根际土壤有效硅含量为 174.4 (± 19.2)~314.6 (± 20.3) mg/kg (表 1),为对照的 1.04~1.87 倍。可见施用硅肥能够显著提高土壤中有效硅的含量。施用硅肥后,随着土壤中硅含量的增加土壤 pH 值明显提高(表 1)。对照根际土壤 pH 为 5.13 \pm 0.02,而施用 0.5~2.1 g/kg 硅肥后,根际土壤 pH 值升至 5.24 \pm 0.05~6.03 \pm 0.03。

表 1 土壤有效硅含量及 pH 值

处理	有效硅(mg/kg)		pH 值	
	根际	土体	根际	土体
Si 0	168.2 \pm 3.6c	200.5 \pm 9.8d	5.13 \pm 0.02d	5.21 \pm 0.04e
Si 0.5	174.4 \pm 19.2bc	264.7 \pm 17.8c	5.24 \pm 0.05d	5.66 \pm 0.02d
Si 1.0	216.7 \pm 6.7b	305.4 \pm 10.6c	5.54 \pm 0.03c	5.98 \pm 0.04c
Si 1.6	286.2 \pm 11.6a	372.5 \pm 15.4b	5.77 \pm 0.05b	6.29 \pm 0.04b
Si 2.1	314.6 \pm 20.3a	482.7 \pm 0.02a	6.03 \pm 0.03a	6.50 \pm 0.07a

注:同列数据后小写英文字母不同者表示差异显著,表 2~表 5 同;根际与土体间 $t=4.295$, $t_{0.05(4)}=2.776$, $t_{0.01(4)}=4.604$ 。

施用硅肥后土壤活性锰和活性铁含量降低而活性铁锰比值显著增加(表 2)。施用 0.5~2.1g/kg 硅肥,根际土壤中活性锰含量分别为 336.7 (± 6.1)~285.4 (± 15.5) mg/kg,较对照少 8.3%~32.6%。硅肥施用后土壤活性铁含量也有所降低。然而,硅肥施用却显著提高土壤活性铁/锰比值(1.83 \pm 0.06~2.53 \pm 0.18)。虽然 Si0.5、Si 1.0 处

表 2 硅肥对甘蔗土壤活性锰、铁及铁锰比值的影响

处理	活性锰		活性铁		根际活性铁/锰
	根际(mg/kg)	土体(mg/kg)	根际(mg/kg)	土体(mg/kg)	
Si 0	368.9 \pm 6.5a	341.4 \pm 4.4a	583.0 \pm 32.1c	575.6 \pm 11.4a	1.58 \pm 0.08c
Si 0.5	336.7 \pm 6.3b	172.1 \pm 3.5b	616.8 \pm 18.4bc	555.9 \pm 3.0ab	1.83 \pm 0.06bc
Si 1.0	336.7 \pm 6.1b	181.7 \pm 10.7b	622.0 \pm 3.9bc	532.8 \pm 17.4abc	1.85 \pm 0.05bc
Si 1.6	318.5 \pm 8.8b	179.8 \pm 3.3b	661.9 \pm 5.2b	542.0 \pm 9.4bc	2.08 \pm 0.07b
Si 2.1	285.4 \pm 15.5c	191.3 \pm 6.6b	716.5 \pm 14.5a	512.8 \pm 14.7c	2.53 \pm 0.18a
t 值	4.603		2.949		

理的根际土壤中活性铁/锰比值与对照(Si 0)的相当,但 Si 1.6、Si 2.1 处理的显著高于对照。

硅肥的施用显著影响土壤中锰的形态(表 3),但是硅肥施用对不同形态锰的影响不同。硅肥施用对碳酸盐结合态和铁锰氧化态锰含量的影响不显著。然而,硅肥施用显著降低土壤水溶态锰、交换态锰和有机结合态锰含量,并且,硅肥对有机结合态锰的影响最显著。

施用 0.5~2.1 g/kg 硅肥,根际土壤中有机结合态锰变化在 26.27~37.43 mg/kg 之间,仅相当于对照(43.39 mg/kg)的 86.26%~60.54%。硅肥对水溶态锰的影响也较大,施硅处理的含量(1.17~2.46 mg/kg)相当于对照(2.86 mg/kg)的 86.01%~40.90%。硅肥对交换态锰的影响小于前者,硅肥施用后根际土壤交换态锰含量仅下降 19.26%~49.03%。

表 3 硅肥对土壤中锰形态分布的影响 (mg/kg)

处理	水溶态		交换态		碳酸盐结合态		铁锰氧化态		有机结合态	
	根际	土体	根际	土体	根际	土体	根际	土体	根际	土体
Si 0	2.86a	2.65a	26.12a	18.94a	15.19b	9.31a	567.10a	430.77a	43.39a	38.96a
Si 0.5	2.46b	1.65b	21.09b	13.28b	17.03ab	10.17a	611.97a	433.57a	37.43a	34.11ab
Si 1.0	1.91c	1.24c	18.01c	12.38bc	17.06ab	10.15a	629.67a	462.90a	27.93b	27.30bc
Si 1.6	1.56d	1.04c	16.44c	10.87cd	19.43ab	10.43a	620.14a	484.93a	26.28b	24.01c
Si 2.1	1.17e	0.84c	13.08d	9.17d	22.63a	11.80a	600.59a	492.10a	26.27b	21.53c
t 值	4.691		8.813		8.829		16.462		2.859	

2.2 根际效应

甘蔗的根际效应明显,根际土壤 pH 低于土体而有效锰含量及上述形态锰含量均显著或极显著高于土体(表 1~表 3)。根际土壤中有效硅含量显著低于土体($t=4.295 > t_{0.05(4)}$,表 1)。虽然硅肥处理后,根际土壤及土体中有效硅水平平均显著提高,但硅对土体中硅含量的影响较大。硅肥施用后土体有效硅水平提高 0.32~1.41 倍而根际的含量仅提高 0.04~0.87 倍。硅肥施用对根际及土体中锰的影响大小不同。硅肥施用后,土体中活性锰含量从对照的 341.4(± 4.4)mg/kg 下降至 172.1(± 3.5)~191.3(± 6.6)mg/kg,减少了 49.6%~43.0%。但是,硅肥施用的根际土壤中活性锰高达 336.70~285.40 mg/kg,仅比对照少 8.73%~22.64%。可见,甘蔗根系活动对根际土壤中的锰含量及硅肥有效性有显著的影响。

甘蔗根系对土壤中锰的形态也有明显的影响,水溶态、交换态、碳酸盐结合态锰、铁锰氧化态锰和有机结合态均显著或极显著高于土体(表 3)。并且硅肥施用对根际土壤水溶态、交换态和碳酸盐结合态的影响均小于土体。硅肥施用后土体中水溶态锰含量为 1.65~0.84 mg/kg,较对照少 37.7%~68.3%,而根际土壤的减

少量仅为 14.0%~59.1%。硅肥施用后根际土壤中交换态锰含量(13.08~26.12 mg/kg)的变化(对照的 50.1%~80.7%)也小于土体(对照 48.4%~70.1%)。可见,甘蔗根系活动也显著影响硅肥对土壤中锰形态的效应。

2.3 硅肥对甘蔗铁锰及生长的影响

2.3.1 硅肥对锰铁含量的影响

施用硅肥甘蔗幼苗地上部锰铁含量均显著降低,而地上部铁锰比值显著提高(表 4)。施用 0.5~2.1 g/kg 硅肥,甘蔗幼苗地上部锰含量分别为 112.09 \pm 5.43、75.66 \pm 6.69、68.10 \pm 2.12、47.10 \pm 1.64 mg/kg,分别为对照的 77.2%、52.1%、46.9%和 32.5%。硅肥施用后根系中锰含量也显著降低,施用 0.5~2.1 mg/kg 硅肥后根系中锰含量仅为对照 74.7%~36.6%。根系和地上部中锰含量均有随着施硅量的增加而降低的趋势(表 4)。硅肥施用后根系中铁含量有所增加,而地上部铁含量却显著减少,但减少的幅度(9.9%~35.8%)较锰(32.8%~77.5%)小。因此,硅处理后,地上部铁锰(Fe/Mn)比值显著增加。Si 0 处理的 Fe/Mn 是 2.51 \pm 0.15,而硅肥处理的比值变化在 2.92 \pm 0.07~5.72 \pm 0.07,是对照的 1.16~2.27 倍。可见,硅肥能够显著降低甘蔗锰含量而改善植株铁锰平衡。

表 4 硅肥对甘蔗幼苗锰铁含量的影响

处理	Mn		Fe		地上部 Fe/Mn
	地上部(mg/kg)	根系(mg/kg)	地上部(mg/kg)	根系(g/kg)	
Si 0	145.11 \pm 7.79a	164.04 \pm 21.97a	362.79 \pm 9.95a	3.75 \pm 0.18b	2.51 \pm 0.15c
Si 0.5	112.09 \pm 5.43b	122.46 \pm 17.60ab	326.76 \pm 12.43b	4.03 \pm 0.31b	2.92 \pm 0.07c
Si 1.0	75.66 \pm 3.98c	77.20 \pm 4.61bc	329.22 \pm 7.15b	4.26 \pm 0.24b	4.37 \pm 0.19b
Si 1.6	68.10 \pm 2.60c	74.17 \pm 10.27c	287.37 \pm 10.07c	5.56 \pm 0.58a	4.56 \pm 0.44b
Si 2.1	47.10 \pm 1.64d	43.79 \pm 11.63c	269.05 \pm 5.17c	5.51 \pm 0.53a	5.72 \pm 0.17a

2.3.2 硅肥对甘蔗生长的影响 培养 40 d 后,对照甘蔗株高为 57.4(±3.3)cm,而硅肥处理的高度达到 59.7~66.2 cm,较对照高 2.3~8.8 cm(表 5)。硅肥的施用虽然对甘蔗根系生长的影响不显著,但显著促进地上部的生长。因此,硅肥施用后甘蔗的生物产量显著增加。Si 0.5 处理总的生物产量为 1.37(±0.06)g/盆(FW),是对照的 1.28 倍。其他硅肥处理的生物产量也显著高于对照。这些结果说明,硅肥施用减轻了土壤中锰对甘蔗的毒害。

表 5 硅肥处理对甘蔗生长的影响

处理	生物产量(g/盆,FW)			
	株高(cm)	地上部	根系	合计
Si 0	57.4±3.3b	0.86±0.08b	0.21±0.02a	1.07±0.16b
Si 0.5	66.2±0.8a	1.10±0.01a	0.27±0.03a	1.37±0.06a
Si 1.0	64.0±2.9ab	0.97±0.03ab	0.23±0.03a	1.20±0.10ab
Si 1.6	59.7±1.2ab	0.96±0.06ab	0.20±0.02a	1.16±0.14ab
Si 2.1	59.9±2.2ab	0.99±0.06ab	0.21±0.00a	1.20±0.11ab

3 结论与讨论

本研究发现,施用硅肥显著降低土壤中活性锰含量并改变锰的形态,供试土壤中活性锰含量高达 320.97 mg/kg,在该土壤上的甘蔗发生明显的锰毒害(杨曙等,未发表)。活性锰是评价土壤可给态锰的重要指标^[9]。土壤锰的含量和形态受土壤的 pH、Eh、有机质等多因素的影响^[9-10]。本试验中,施用硅肥后,土壤 pH 明显升高。硅肥的施用显著提高了土壤有效硅含量,从而降低了土壤酸性,促使土壤中水溶态、交换态锰含量向碳酸盐结合态和铁锰氧化态进行转化,活性锰含量剧减。朱端卫等发现土壤交换态锰随土壤 pH 值升高而下降^[11]。相反,碳酸盐结合态锰则随土壤 pH 上升显著增加^[12]。地里拜尔等研究也发现,土壤中铁锰氧化态锰、交换态锰、碳酸盐结合态锰与 pH 值呈显著或极显著负相关^[13]。本研究还发现,硅肥施用后土壤 pH 值及铁锰氧化态锰、交换态锰、碳酸盐结合态锰含量均增加。这些结果说明,硅肥施用后土壤活性锰含量的降低可能是土壤 pH 增加和水溶性、交换态等形态的锰含量降低的结果。

本研究结果表明,硅肥的施用显著降低甘蔗中锰含量、促进植物的生长。锰含量的减少,可能与硅抑制锰的吸收有关。有研究发现,硅可增加根系的氧化能力,从而减少对锰的吸收^[14]。硅也能增加植物对锰的耐性,因为硅使锰在植物叶片微域分布上更加均匀,降低敏感部位的相对锰浓度^[15]。组织内硅也能抑制锰毒诱导的过氧化物酶活性,减轻锰引起的膜脂过氧化并减少棕色斑点的形成^[16-17]。体内硅还有利于锰在叶表的毛囊、质外体的储积而提高植物的耐锰性^[18-20]。

植物正常的生长需要维持体内铁锰营养的平衡,

铁锰营养不平衡会引起植物生长失调。已有研究发现,高锰可以诱导大麦等植物的缺铁失绿黄化^[14]。相反,高锰能够缓解高铁的毒害。黎晓峰等^[21]研究也发现,过多的锰会诱发水稻缺铁胁迫。本研究结果表明,硅肥的施用显著提高了土壤活性铁锰比值和甘蔗地上部铁锰比值。可见,调节甘蔗中铁锰元素的平衡可能是硅肥施用后甘蔗生长改善的重要原因。

本研究还发现甘蔗根系的生长强烈影响土壤中锰的形态和活性。根际土壤中较高的活性锰可能与较低的 pH 及根系分泌物有关。通常情况下,受根系分泌物的影响作物根际中的有机质和微生物数量丰富。有机质和微生物的呼吸作用均有利于根际中锰活性的提高。本研究中我们也发现,根际土壤中有有机结合态锰含量显著高于土体,暗示根际土壤有机质可能较丰富。硅肥施用后对根际土壤 pH、活性锰、有效硅含量均低于土体,说明根系生长活动也强烈影响硅肥对土壤锰毒的效应。可见,根际土壤中锰和硅的存在状况可能更客观地反映锰毒害大小和硅肥效应。

总之,本研究结果表明,施用硅肥能改变根际土壤中锰形态、降低土壤中活性和甘蔗中锰的含量,促进甘蔗生长,显著降低锰对甘蔗的毒害。

参考文献:

- [1] 陈静. 广西 2012/2013 榨季甘蔗产量逾 7500 万吨 [EB/OL]. <http://www.ynsugar.com/Article/ZXZX/chanqu/201303/38531.html>, 2013-03-21.
- [2] 陈桂芬,唐其展,黄玉溢,等.宿根甘蔗幼苗黄化的原因初探[J].南方农业学报,2012,43(1):50-52.
- [3] 唐仕云,谭裕模,杨荣仲,等.喷施微肥对宿根甘蔗黄化苗的影响[J].安徽农业科学,2009,37(30):14648-14649.
- [4] 龙光霞,黄渝岚,何红,等.甘蔗幼苗失绿的土壤营养特性初探[J].南方农业学报,2011,42(8):931-934.
- [5] 吴星.锰诱导甘蔗幼苗黄化及成因分析[D].南宁:广西大学,2013.
- [6] 田福平,陈子萱,张自和等.硅对植物抗逆性作用的研究[J].中国土壤与肥料,2007(3):10-14.
- [7] Savant N K, Snyder G H, Datnoff L E. Silicon management and sustainable rice production[J].Adv. Agron, 1997,58:151-199.
- [8] 黄建国.植物营养学[M].北京:中国林业出版社,2003: 217-221.
- [9] 任立民,刘鹏.锰毒及植物耐性机理研究进展[J].生态学报,2007,27(1):357-367.
- [10] Marshner H. Mechanisms of adaptation of plants to acid soils[J]. Plant Soil, 1991, 134:1-20.
- [11] 朱端卫,成端喜,刘景福,等.土壤酸化与油菜锰毒关系研究[J].热带亚热带土壤科学,1998,7(4):280-283.
- [12] 谢忠雷,郭平,刘鹏,等.茶园土壤锰的形态分布及其影响因素[J].农业环境科学学报,2007,26(2):645-650.

(下转第 82 页)

3 结论与讨论

依据形态学观察和 ITS 序列分析,将诱发大麻顶枯的病原菌之一的 DM-1 菌株鉴定为厚垣镰孢霉(*F. chlamyosporum*)。目前对此病原菌的研究报道相对较少,有报道认为该菌是引起小麦赤霉病的病原菌之一^[10];邢安在黑龙江烟草上分离到此病原菌^[11],陈剑山在海南省的荔枝、芋头及玉米上均分离到了此病原菌^[12],但其在农作物上的与大麻顶枯病相似的发病症状未见报道。但据刘开军等报道,镰刀菌产生的毒素可导致植物萎蔫、根腐、穗腐等各种病症^[13]。据此推测,大麻染病后表现生长点坏死、小叶粗生、节间缩短和穗腐等症状可能与镰刀菌侵染过程中产生的毒素相关。

本研究阐明了温度、pH 值、光照及碳源和氮源对大麻厚垣镰孢霉菌丝生长的影响。该菌菌丝的适宜生长温度为 20~30℃,最适生长温度为 28℃;适宜生长 pH 值为 5~10,最适 pH 值为 7;完全光照有利于菌丝的生长;果糖、麦芽糖和阿拉伯糖 3 种碳源最有利于菌丝生长,酵母浸膏、牛肉浸膏、蛋白胨、硝酸钾、硝酸钠 5 种氮源最有利于菌丝生长。这些结果可为大麻顶枯病的应用基础研究及今后的病害防控提供借鉴。然而,关于环境因子对病原菌孢子萌发的影响、病害侵染机制、病害与寄主相互关系和防治技术,有待于进一步开展研究。

本研究结果表明厚垣镰孢霉是大麻顶枯病的病原之一,该病可能是一种或多种病菌共同作用而诱发的病害,其他病菌的单独作用及几者混合侵染作用有待进一步的研究。

参考文献:

(上接第 65 页)

- ***
- [13] 地里拜尔·苏里坦,艾尼瓦尔·买买提,蒿娟.土壤中铁锰的形态分布及其有效性研究[J].生态学杂志,2006,25(2):155-160.
- [14] Okuda A,Takahashi E. Studies on the physiological role of silicon in crop plants (part5):Effect of silicon supply on the injuries due to excess amounts of Fe²⁺, Mn²⁺, Cu²⁺, As³⁺, Al³⁺, Co²⁺ of barley and rice plant[J].J. Sci. Soil and manure, 1962,33:1-8.
- [15] Horst W J, Marschner H. Effect of silicon on manganese tolerance of bean plants(*Phaseolus vulgaris* L.)[J]. Plant and Soil, 1978, 50: 287-303.
- [16] Horiguchi T. Mechanism of manganese toxicity and tolerance of plant, IV. Effects of silica on alleviation of manganese toxicity of rice plant[J].Soil Sci. Plant Nutr, 1988, 34(1):65-73.
- [17] 钱琼秋,宰文珊,朱祝军,等.外源硅对盐胁迫下黄瓜幼苗叶绿体活性氧清除系统的影响[J].植物生理与分子生物学学报,

- [1] 赵向旭,王宜满,张世全,等.亚麻、苧麻、大麻纤维的鉴别研究[J].中国纤检,2010,15:65-69.
- [2] 2010—2011 国家麻类产业技术体系发展报告[M].北京:中国农业科学技术出版社,2012:185.
- [3] 伍菊仙,杨明,郭孟璧,等.大麻顶枯现象与原因的探究[J].中国麻业科学,2010,32(1):30-34.
- [4] 陶耀明,李向东.春播工业大麻主要病虫害防治技术[J].农村实用技术,2006(4):43.
- [5] 方中达.植病研究方法[M].北京:中国农业出版社,1998:194.
- [6] White T J, Bruns T, Lee S, et al. Amplification and direct sequencing of fungal ribosomal RNA gene for phylogenetics[A]. Innis M A, Gelfand D H, Sninsky J J, et al. PCR protocols: a guide to methods and applications [M].New York: Academic Press, 1990:315-322.
- [7] 方中达.植病研究方法[M].北京:中国农业出版社,1998:46-50,153-154.
- [8] Booth C. The genus *Fusarium*[M]. UK(Kew) and USA(Surrey): Common wealth Mycological Institute, 1971:1-237.
- [9] 陈剑山.来自海南岛的镰刀菌的种类鉴定[D].儋州:华南热带农业大学,2007.
- [10] 全国小麦赤霉病研究协作组.我国小麦赤霉病穗部镰刀菌种类、分布及致病性[J].上海师范大学学报(自然科学版),1984, (3):72-85.
- [11] 邢安.黑龙江省主要作物及其根际土壤中的镰孢菌分类鉴定[D].哈尔滨:东北农业大学,2009.
- [12] 陈剑山.来自海南岛的镰刀菌的种类鉴定[D].儋州:华南热带农业大学,2007:29.
- [13] 刘开军,罗少波,王亚琴,等.镰刀菌毒素对植物形态和结构的影响[J].中国农学通报,2010,26(4):53-56.

(责任编辑 白雪娜)

2006,32(1):107-112.

- [18] Iwasaki K, Matsumura A. Effect of silicon on alleviation of manganese toxicity in pumpkin (*Cucurbita moschata* Duch cv. Shintosa)[J]. Soil Sci. Plant Nutr, 1999,45(4):909-920
- [19] Doncheva S N,Poschenrieder C, Stoyanova Z L, et al. Silicon amelioration of manganese toxicity in Mn-sensitive and Mn-tolerant maize varieties[J]. Environ Exp Bot, 2009, 65: 189-197.
- [20] Iwasaki K, Maier P, Fecht M, et al. Effect of silicon supply on apoplastic manganese concentrations in leaves and their relation to manganese tolerance in cowpea[*Vigna unguiculata* (L.) walp][J]. Plant and Soil, 2002, 238:281-288.
- [21] 黎晓峰,顾明华,白厚义,等.水稻锰毒与铁素营养关系的研究[J].广西农业大学学报,1996,15 (3):190-194.

(责任编辑 杨贤智)