

烟根腐解物对烟草生长的影响

毛振萍^{1,2}, 周冀衡^{1,3,*}, 柳均^{1,4}, 邓小华^{1,2}, 尹光庭^{1,2}, 牛丽娜^{1,3}, 汪林^{1,3}, 陈洁宇^{1,3}

1. 湖南农业大学烟草研究院, 湖南长沙 410128
2. 湖南农业大学农学院, 湖南长沙 410128
3. 湖南农业大学生物科技学院, 湖南长沙 410128
4. 湖北省烟草产品质量监督检验站, 武汉 430030

摘要: 烟草生产过程中会产生大量烟草残体, 为了研究烟草残体对烟草生长的影响, 将烟根、水稻土和无菌水按一定比例混合后, 在适当条件下培养得到烟根腐解物。将烟根腐解物按不同的施用量设置 6 个处理组, 并以未施用烟根腐解物组作为对照, 分别在烟草生长的团棵期、旺长期和成熟期测定烟草的农艺性状、根系活力、硝酸还原酶(nitrate reductase, NR) 和过氧化物酶(peroxidase, POD) 活性以及丙二醛(malondialdehyde, MDA) 含量。结果表明: 在团棵期, 烟根腐解物能显著抑制烟草的生长, 增加烟草中 MDA 含量和 POD 活性, 使根系活力和 NR 活性先升高后降低, 叶鲜质量、根鲜质量及植株干质量明显降低, 表现出较强的化感效应; 随着处理时间的延长, 在旺长期和成熟期, 这种化感抑制效应逐渐减弱并转变为促进作用。此外, 在添加烟根腐解物土壤中生长的烟株发生了较强的烟草花叶病毒(tobacco mosaic virus, TMV) 引起的病害, 且随施用量的增大和处理时间的延长发病率增加。实验结果表明: 烟根腐解物对烟草生长呈现出前期抑制, 后期促进的效应; 从各生长时期的农艺性状、相关酶活性及病害发生情况综合来看, 以施用量 50 g/盆效果最好。

关键词: 烟草; 根腐解物; 化感作用; 农艺性状; 生理指标

文章编号: 1673-5897(2011) 6-422-07 **中图分类号:** X503.23 **文献标识码:** A

Effects of Tobacco Root Decomposition on Tobacco Growth

Mao Zhenping^{1,2}, Zhou Jiheng^{1,3,*}, Liu Jun^{1,4}, Deng Xiaohua^{1,2}, Yin Guangting^{1,2}, Niu Lina^{1,3}, Wang Lin^{1,3}, Chen Jieyu^{1,3}

1. College of Tobacco Research, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China
2. College of Agriculture, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China
3. College of Bioscience and Biotechnology, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China
4. Hubei Tobacco Quality Supervision & Test Center, Wuhan 430030, China

Received 10 November 2010 **accepted** 17 June 2011

Abstract: As lots of tobacco residues remain in the soil during tobacco production, in order to study the decomposition of tobacco residues on the growth of tobacco, tobacco root, paddy soil and water were mixed together in certain proportion to form the decomposition of tobacco root under suitable conditions. Experiments were divided into 6 treatment groups with the application of different dosages of root decomposition, and the group treated with none of root decomposition was used as the control group. The physical property, the activities of root, nitrate reductase (NR) and peroxidase (POD) and the content of malondialdehyde (MDA) were measured in the extending stage, budding stage and mature

收稿日期: 2010-11-10 录用日期: 2011-06-17

基金项目: 文山烟叶特色风格定位研究及品牌导向型基地建设开发(2011YN73)

作者简介: 毛振萍(1986-), 男, 硕士研究生, 研究方向为烟草原料与初加工, E-mail: maoping8697@163.com; * 通讯作者(Corresponding author), E-mail: jhzhou2005@163.com

stage. The results indicated that the decomposition of root restrained the growth of tobacco (*nicotiana tobacum*) during the period of extending stage, showing a strong allelopathic inhibition effect. In the extending stage, the content of MDA and the activity of POD increased; the activity of root and NR increased first and then decreased; the mass of fresh leaves, fresh root and the whole dry plant all decreased significantly. However, during the budding stage and mature stage, the allelopathic inhibition weakened gradually and the tobacco root decomposition turned to serve as a catalyst for tobacco growth. Besides, the decomposition of root could cause the tested tobacco to be infected by tobacco mosaic virus (TMV), the morbidity exhibited a tendency of increase with the extension of treatment time and the increase of dosage. It is demonstrated that the decomposition of root inhibited the growth of tobacco in the early stage, but promoted its growth in the latter period. The best application dosage of tobacco root decomposition was 50 g per pot in terms of the physical property and physiology index of tobacco and its infection rate by TMV.

Keywords: *Nicotiana tobacum*; root decomposition; allelopathy; physical property; physiology index

化感作用是许多植物产生连作障碍的一个重要原因^[1], 化感物质的来源除自身的根系分泌物和淋洗物外, 主要是残体和残茬腐解释放的物质^[2-3]。烟草生产过程中会产生大量烟草残体, 一般通过拔除烟杆进行残株清理, 但烟草根系很难从田间清理干净。在提出“生态农业”的概念以来, 常将烟根和烟杆还田, 有学者已指出这一举措不仅能净化环境, 促进生态农业的发展, 还能提高土壤肥力, 是中国农业持续发展的重要内容^[6-10]。然而也有研究表明, 植物残茬和秸秆腐解产生的化感物质的大量积累可能对土壤物理性状、土壤微生物和酶活性等造成不利影响^[11-12], 并可能对作物种子萌发和幼苗生长产生抑制作用^[13-14]。这些滞留在土壤中的根系腐解物是否会对烟草生长产生化感作用, 是否会导致下茬烟草感病等问题都值得进一步研究和探讨。目前关于烟草腐解物方面的研究少有报道, 本实验模拟大田生产中采用的烟草根系还田的方式, 在盆栽实

验中, 将腐解后的烟根加入烟草生长的土壤中, 研究了烟根腐解物对烟草生长及生理指标的影响, 旨在为烟根等残体还田的烟草培育措施提供理论依据。

1 材料与方法 (Materials and methods)

1.1 供试材料

参照廖周瑜等的方法^[15], 取湖南农业大学烤烟栽培地 0 ~ 20 cm 表层土壤(水稻土, 中等肥力), 去除杂质, 风干后碾碎过 0.25 mm 筛备用; 待正常生长烟株(烤烟 K326) 采收结束后, 采集烟根足量, 将其切碎至约 0.5 cm 长的细丝, 紫外杀菌 30 min, 将其与上述土样混匀后, 再加少许无菌水, 其中烟根、加入的土样及无菌水 3 者的质量比例为 1: 10: 10, 总培养量为 10 kg, 搅拌均匀后置于一定体积的容器中于 28 ℃ 培养箱内遮光腐解; 40 d 后即得到含有烟根腐解物的土壤, 该腐解物基本成泥浆状。烟根腐解物的基本营养状况见表 1。

表 1 供试土壤和烟根腐解物基本肥力状况

Table 1 Basic fertility status of experimental soil and tobacco root decomposition

项 目	有机质 /(g·kg ⁻¹)	全氮 /(g·kg ⁻¹)	全钾 /(g·kg ⁻¹)	全磷 /(g·kg ⁻¹)	碱解氮 /(mg·kg ⁻¹)	速效钾 /(mg·kg ⁻¹)	有效磷 /(mg·kg ⁻¹)	pH
水稻土	44.5	2.46	7.79	0.19	171.0	165.63	33.47	6.47
水稻土 + 烟根腐解物	62.72	4.30	20.60	1.20	227.50	301.45	54.76	6.01

1.2 实验方法

采用盆栽实验, 设 6 个处理: 施入烟根腐解物 0 g/盆(CK)、25 g/盆(T1, 低施用量)、50 g/盆(T2, 低施用量)、75 g/盆(T3, 中施用量)、150 g/盆(T4, 中施用量) 和 250 g/盆(T5, 高施用量)。每 1 个处理设 15 次重复。供试土壤(基本肥力状况见表 1) 经翻晒, 剔除杂质及过筛后放置 2 周, 再与 35 g 基肥

(烟草专用肥, $m(N) : m(P_2O_5) : m(K_2O) = 10: 10: 25$) 充分混匀后装入盆中, 每盆装入 2 kg 供试土壤, 选取株高大致相同的健壮幼苗进行盆栽实验, 烤烟栽培具体管理操作按优质烟叶生产要求进行^[16]。

1.3 检测项目和测定方法

分别在团棵期(栽后 30 d)、旺长期(栽后 60 d) 和成熟期(栽后 100 d) 这 3 个时期对植株进行农艺

性状、相关生理生化指标的测定以及病害的调查。各农艺性状指标的具体测定参照韩锦峰的方法^[17],根系活力采用氯化三苯基四氮唑(TTC)法测定^[18],硝酸还原酶(nitrate reductase, NR)活性采用磺胺比色法测定^[19],丙二醛(malondialdehyde, MDA)含量采用硫代巴比妥酸(TBA)比色法测定^[19],过氧化物酶(peroxidase, POD)的测定采用愈创木酚法^[20],烟草花叶病毒(tobacco mosaic virus, TMV)引起的病害的调查参照谈文等的方法,并采用发病率=发病烟株数/总处理烟株数×100%来计算^[21]。

1.4 数据处理

采用 Microsoft Excel 2003 及 DPS 7.05 软件对数据进行统计分析, LSD 多重比较分析在 $p = 0.05$ 水平上进行。

2 结果与分析(Results and analysis)

2.1 烟根腐解物对烟草生长的影响

由表 2 可知,不同生长时期的烟草农艺性状在不同处理条件下表现不同。在团棵期,烟草的各项农艺性状参数随施用量的增加呈现出先升后降的单峰现象,与对照相比,低施用量处理(T1 和 T2)和高施用量处理(T5)对烟草农艺性状表现出一定的抑

制作用,而中施用量(T3 和 T4)处理表现出一定的促进作用。中施用量处理与对照相比,在株高和茎围指标上差异较为明显,在其他指标上差异并不明显。由于高施用量(T5)处理的抑制作用较强,在叶鲜质量、根鲜质量和植株干质量指标上与对照差异显著。

在旺长期,烟根腐解物处理对烟草的农艺性状的影响与团棵期的影响规律基本一致,随着施用量的增加呈现先升后降的单峰现象,但 2 个生长期的各农艺性状的最高值有所不同。旺长期各处理条件下烟草的农艺性状与对照相比的差异如下:各处理条件下的叶鲜质量均有所增加,并与对照差异显著,其中 T5 处理促进率最高,可达 48.92%; T2 处理对根鲜质量的促进作用最强,促进率为 26.65%; T1 和 T4 处理对烟草的农艺性状表现出一定的抑制作用, T4 处理条件下的茎围最大,并表现出微弱的促进作用;株高和植株干质量均在 T3 处理条件下最大。与对照相比,各施用量对烟草农艺性状的影响均不显著,仅有各处理的叶鲜质量和 T5 处理的植株干质量与对照相比差异显著。

表 2 烟根腐解物对烟草农艺性状的影响

Table 2 Effects of tobacco root decomposition on physical properties of tobacco

生长时期	实验处理	叶鲜质量/g	根鲜质量/g	茎围/cm	株高/cm	植株干质量/g
团棵期	CK	99.33 ± 11.68 a	6.67 ± 0.58 a	4.27 ± 0.67 ab	11.13 ± 1.90 b	12.33 ± 1.53 a
	T1	83.00 ± 4.00 bc	6.67 ± 0.58 a	4.30 ± 0.26 ab	11.27 ± 1.99 b	9.67 ± 0.58 abc
	T2	75.67 ± 6.43 c	4.83 ± 0.29 ab	3.93 ± 0.40 ab	11.53 ± 2.21 b	9.33 ± 0.58 bc
	T3	93.00 ± 12.53 ab	5.83 ± 2.08 ab	4.17 ± 0.32 ab	12.67 ± 3.71 ab	12.00 ± 4.00 ab
	T4	92.00 ± 1.00 ab	6.50 ± 1.00 a	4.57 ± 0.21 a	15.97 ± 1.12 a	12.00 ± 2.65 ab
	T5	68.30 ± 8.74 c	4.00 ± 0.87 b	3.63 ± 0.25 b	8.90 ± 1.65 b	8.00 ± 1.00 c
旺长期	CK	139.00 ± 12.17 b	20.00 ± 1.73 a	5.00 ± 0.00 a	33.67 ± 9.29 ab	42.67 ± 2.52 b
	T1	192.00 ± 25.36 a	17.33 ± 4.51 a	4.83 ± 0.29 a	32.00 ± 4.36 ab	48.33 ± 6.35 ab
	T2	168.33 ± 15.82 ab	25.33 ± 5.95 a	5.00 ± 0.00 a	25.00 ± 4.36 b	45.00 ± 4.58 ab
	T3	186.33 ± 45.00 a	20.67 ± 1.50 a	5.00 ± 1.00 a	36.67 ± 5.51 a	51.00 ± 8.00 ab
	T4	185.67 ± 17.01 a	17.67 ± 3.51 a	5.33 ± 0.58 a	34.33 ± 8.14 ab	47.00 ± 4.36 ab
	T5	207.00 ± 23.07 a	20.33 ± 2.52 a	4.67 ± 0.58 a	35.67 ± 1.53 ab	54.33 ± 6.80 a
成熟期	CK	168.00 ± 2.83 b	31.50 ± 2.12 b	5.75 ± 0.35 ab	44.00 ± 1.41 d	47.50 ± 0.71 b
	T1	219.50 ± 0.71 a	40.50 ± 13.44 ab	5.50 ± 0.00 b	53.50 ± 0.70 cd	73.50 ± 9.19 ab
	T2	241.00 ± 1.41 a	59.50 ± 16.26 a	6.75 ± 0.35 a	79.00 ± 1.41 a	93.50 ± 4.95 a
	T3	210.00 ± 29.70 a	47.50 ± 10.61 ab	6.10 ± 0.14 ab	62.50 ± 3.54 bc	79.50 ± 23.33 a
	T4	211.00 ± 12.73 a	54.50 ± 7.78 ab	6.25 ± 1.06 ab	73.50 ± 6.36 ab	81.50 ± 2.12 a
	T5	201.00 ± 24.04 ab	36.50 ± 9.19 ab	6.25 ± 0.35 ab	71.00 ± 14.14 ab	69.00 ± 11.31 ab

注:表中不同小写字母表示 5% 水平显著差异($p < 0.05$)。

在成熟期,烟草农艺性状在不同施用量处理下规律并不明显。与对照相比,各处理均表现出积极的促进作用。其中,T2 处理下各农艺性状均达到最高值,其促进作用最为显著。除 T1 处理在茎围和株高方面与其他各施用量处理相比差异显著或极显著外,各施用量处理间农艺性状差异均不显著。

总体上看,烟根腐解物对烟草生长的影响基本表现为:团棵期以抑制作用为主,促进作用微弱,但随着生长时间延伸至旺长期和成熟期,抑制作用减弱,促进作用增强。在各施用量处理中,并非施用量越大促进作用越强,反而是低施用量或中等施用量处理时的促进作用最大。

2.2 烟根腐解物对烟草 MDA 含量及 POD 和 NR 活性的影响

烟草中的 MDA 是膜脂过氧化作用的最终分解产物,其含量可以反映植物遭受逆境伤害的程度^[2]。如图 1 所示,在烟根腐解物的影响下,烟草 MDA 含量随着生长时间的延长表现出逐渐增加的趋势,同一生长时期的不同施用量处理,影响规律不明显。烟根腐解物对 MDA 含量的影响主要是在团棵期,与对照相比,除在 T2 处理时烟草 MDA 含量表现出微弱的减少外,其余各处理均使之有所增加,并随着施用量的增大 MDA 含量增大,表明毒害作用增大。在旺长期,烟草中 MDA 含量继续增加,此时 T3 处理中 MDA 含量较对照组有一定的降低。到成熟期时,各处理中烟草 MDA 含量均达到最大值,但除 T2 处理中 MDA 含量高于对照,其余各处理均低于对照。

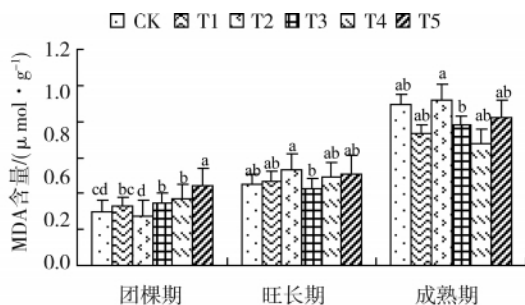


图1 烟根腐解物对烟草中丙二醛(MDA)含量的影响

Fig. 1 Effect of tobacco root decomposition on the content of malondialdehyde (MDA)

烟草中的 POD 与呼吸作用、光合作用及生长素的氧化等都密切相关,因其能使组织中所含的某些碳水化合物转化为木质素,增加木质化程度,所以它

可作为组织老化的一种生理指标^[2]。由图 2 可知烟根腐解物对烟草中 POD 活性的影响:从团棵期到成熟期 POD 活性先降低后升高,同一生长时期的不同施用量处理的 POD 活性变化无一致的规律。在团棵期,各处理中 POD 活性均高于对照,其中 T5 处理活性最高,除了 T3 处理与对照差异不显著外,其他各处理与对照相比差异均达到显著水平;在旺长期,各处理中 POD 活性减少,其中低施用量处理(T1 和 T2)反而低于对照,烟根腐解物对其表现出微弱的抑制效应,但各处理间差异不显著;到成熟期时,各处理中 POD 活性再次高于对照,且各处理间差异较大,其中以 T2 处理中 POD 活性最高,除了 T5 处理与对照差异不显著外,其他各处理与对照相比都达到显著水平。

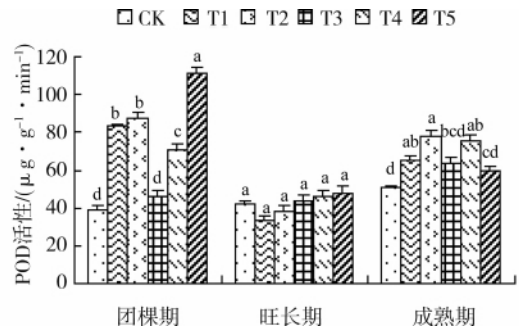


图2 烟根腐解物对烟草中过氧化物酶(POD)活性的影响

Fig. 2 Effect of tobacco root decomposition on the activity of peroxidase (POD)

烟草根系是活跃的营养吸收和物质合成的器官,根系的生长状况和活力水平直接影响地上部分的生长和品质^[2]。由图 3 可知,不同生长时期烟草根系活力在烟根腐解物的影响下,基本表现为先升高后降低的趋势,同一生长时期的不同施用量处理对根系活力的影响变化规律不明显。团棵期随着腐解物施用量的增大,烟草的根系活力呈下降趋势,以 T3 处理抑制作用最为明显;而在旺长期各处理条件下的根系活力与对照相比均有所升高;到成熟期时,各处理间差异较小,基本趋于稳定。

烟草中的 NR 是一种诱导酶,它是烟草氮代谢中的关键酶,能够直接影响烟草对土壤中无机氮的利用率,从而影响烟草的生长发育和产质量^[2]。从图 4 可知,不同生长时期烟草中 NR 活性在烟根腐解物的影响下,表现为先升高后降低的趋势,同一生长时期的不同施用量处理对 NR 活

性的影响规律各异。团棵期各施用量处理的 NR 活性均显著低于对照,且各处理间的规律不明显;到旺长期时,各施用量处理条件下的 NR 活性均增加,但依然显著低于对照,各处理间的差异不显著;到成熟期时,除 T3 低于对照外,其他各处理条件下的 NR 活性均有一定的提高,各施用量间除 T3 处理与 T5 处理之间差异达到显著水平外,其他各处理均无显著差异。

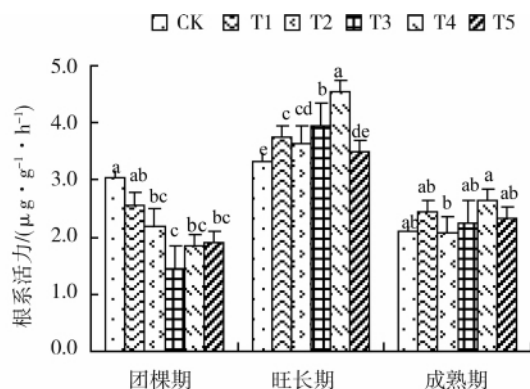


图3 烟根腐解物对烟草根系活力的影响

Fig. 3 Effect of tobacco root decomposition on the activity of root

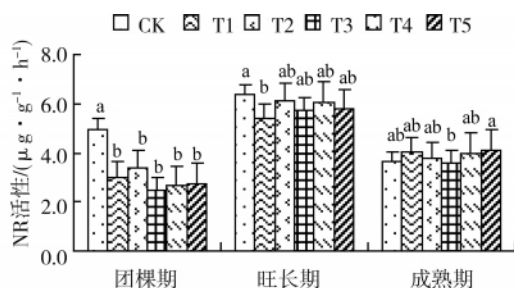


图4 烟根腐解物对烟草中硝酸还原酶(NR)活性的影响

Fig. 4 Effect of tobacco root decomposition on the activity of nitrate reductase (NR)

2.3 烟根腐解物对 TMV 发病率的影响

TMV 引起的烟草花叶病一直是困扰世界各烟区的主要病害, TMV 能在多种植物上越冬, 苗床带毒的病苗、粪肥、土壤中病残体和其他带病的寄主植物是造成大田发病的初侵染源^[23]。实验过程中发现烟草产生了较为严重的 TMV 病情, 且不同施用量处理的烟株随着生长时期的变化 TMV 的发病率呈现出一定的规律。如表 3 所示, 随着烟根腐解物施用量的加大和处理时间的延长, TMV 发病情况渐趋严重。

表3 烟根腐解物处理后烟草普通花叶病感病率调查

Table 3 Infection rate of tobacco by tobacco mosaic virus (TMV) after treatment

生长时期	with tobacco root decomposition (%)					
	CK	T1	T2	T3	T4	T5
团棵期	0	0	0	6.67	6.67	6.67
旺长期	0	0	6.67	13.33	13.33	20
成熟期	6.67	6.67	13.33	20	26.67	33.33

3 讨论 (Discussion)

3.1 烟根腐解物对烟草生长的影响

在团棵期, 烟根腐解物抑制烟草的生长, 表现出较强的化感抑制效应。随着处理时间的延长, 到旺长期和成熟期时, 这种化感抑制效应逐渐转变为促进作用, 这可能是因为烟根腐解物中既存在一定量的可抑制烟草生长的化感物质, 又存在较丰富的可促进烟草生长的营养物质, 如腐解所产生的有机物质等。烟草生长前期化感物质对其生长的抑制作用大于其腐解养分的促进作用, 因而烟草生长受到抑制; 而在烟草生长后期, 随着形成的化感物质逐渐减少, 形成的营养物质起到促进烟草生长的作用, 其抑制作用越来越小, 因而总体表现为促进作用大于抑制作用。不同施用量处理的影响为: 团棵期表现为抑制作用, 但未表现出施用量越多抑制作用越大的递进规律, 但最高施用量抑制作用最大; 旺长期和成熟期各施用量的促进作用也并不是随施用量的增大而增强, 反而是低施用量或中等施用量处理时, 其促进作用最大。

3.2 烟根腐解物对烟草相关酶活性和 MDA 含量的影响

烟根腐解物对烟草相关酶活性和 MDA 含量的影响随着生长时间的延长而变化, 烟根腐解物处理增加了烟草中 MDA 的含量和保护酶 POD 的活性, 根系活力及硝酸还原酶则表现为先升高后降低。在团棵期, 烟根腐解物对烟草 MDA, 保护酶和生长相关酶的活性均产生较强的危害作用, 这可能与烟草在该生长时期抵抗能力弱, 在吸收烟根腐解物营养的同时吸收过多化感抑制性物质有关。随着生长时期延长至旺长期, 烟草生长旺盛, 吸收了大量养分, 抵抗能力增强, 同时土壤中化感物质残留减少, 此时, 烟根腐解物对烟草 MDA 含量、保护酶和生长相关酶的活性的危害作用减弱, 甚至出现一定的促进

生长的作用。到成熟期时,可能由于烟草自身的衰老,烟草中 MDA 含量增加、保护酶活性增强和生长相关酶的活性降低。侯永侠等^[3]的研究表明: 辣椒秸秆腐解物对根系活力、根系保护酶、MDA 生成量及生长指标产生了较强的化感效应,并随着时间的延长和施用量的加大而增强;李志宏等^[24]研究表明: 番茄残体腐解物对番茄幼苗生长及相关酶活性的抑制作用强弱为: 根残体 > 茎残体 > 叶残体。大量研究^[4,25-26]证明: 植株残体腐解物对种子萌发及幼苗的生长及酶活性可产生较强的抑制作用,这与本实验研究结果基本一致。从各生长时期的农艺性状及相关酶活性综合来看,烟根腐解物的施用量为 50 g/盆效果最好。

3.3 烟根腐解物诱发 TMV 病害

实验中,随烟根腐解物施用量的增加和时间的延长,烟株 TMV 病害的发病率增加,由此可初步推断添加烟根腐解物可能是产生病害的原因。烟草生产过程中烟根一般残留在土壤中,但在烟草-水稻轮作的烟田,推广烟草秸秆还田,未见有严重病害的发生。TMV 在干土中存活力很强,当土壤含水率超过 60% 时存活力降低^[2]。由于水旱轮作,改变了烟草生长土壤的微生态环境,烟草秸秆经过较长时间淹水条件下的腐解,化感物质被分解转化或流失,同时,残留的烟草病害的病原体在厌氧环境中丧失活性,所以下茬烟草品质和产量较少受到影响。烟草秸秆经过腐解后反而增加了土壤有机质和氮磷钾的含量,可促进水稻和烟草的生长,这证实了谈文等^[27]报道的烟稻轮作的可行性。但是,在旱作条件下,烟根腐解物自身带毒,且短期腐解不能杀死烟根中的 TMV。大片烟草碎茎及根在不冷冻、不干燥和不完全腐烂的情况下,TMV 可在土壤中存活 2 年^[22],因此,旱地烟草种植的田间卫生尤为重要,要引起足够重视。

通讯作者简介: 周冀衡(1957—),男,教授,博士生导师,长期从事烟草科学与烟草经济研究。

参考文献:

- [1] Asao T, Hasegawa K, Sueda Y, et al. Autotoxicity of root exudates from taro [J]. *Scientia Horticulturae*, 2003, 97(3-4): 389-396
- [2] Ballester A. Alelopatía: Interacción química entre especies vegetales [J]. *Acta Cient Compostelana*, 1972, 9: 145-151
- [3] 侯永侠, 周宝利, 吴晓玲, 等. 辣椒秸秆腐解物化感作用的研究 [J]. *应用生态学报*, 2006, 17(4): 699-702
- Hou Y X, Zhou B L, Wu X L, et al. Allelopathy of decomposing pepper stalk on pepper growth [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2006, 17(4): 699-702 (in Chinese)
- [4] 王树起, 韩丽梅, 杨振明, 等. 大豆根茬腐解液和营养液残液对大豆生长发育的自感效应 [J]. *中国油料作物学报*, 2000, 22(3): 43-47
- Wang S Q, Han L M, Yang Z M, et al. Effect of decomposed liquids from soybean stubs and remnants of nutrient solution on soybean growth [J]. *Chinese Journal of Oil Crop Sciences*, 2000, 22(3): 43-47 (in Chinese)
- [5] Tukey H B. Implications of allelopathy in agricultural plant science [J]. *Botanical Review*, 1969, 35(1): 1-16
- [6] 张海林, 高旺盛, 陈阜, 等. 保护性耕作研究现状、发展趋势及对策 [J]. *中国农业大学学报*, 2005, 10(1): 16-20
- Zhang H L, Gao W S, Chen B, et al. Prospects and present situation of conservation tillage [J]. *Journal of China Agricultural University*, 2005, 10(1): 16-20 (in Chinese)
- [7] 王云, 张云华, 王芳, 等. 论保护性耕作及其技术体系 [J]. *中国农业科技导报*, 2004, 6(3): 31-35
- Wang Y, Zhang Y H, Wang F, et al. Discussing protective cultivation and its technological system [J]. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 2004, 6(3): 31-35 (in Chinese)
- [8] Adem H H, Tisdall J M. Management of tillage and crop residues for double-cropping in fragile soils of south-eastern Australia [J]. *Soil and Tillage Research*, 1984, 4(6): 577-589
- [9] 韩永俊, 尹大庆, 赵艳忠. 秸秆还田的研究现状 [J]. *农机化研究*, 2003(2): 39-40
- [10] 张无敌, 孙世中, 宋洪川. 秸秆综合利用技术评价 [J]. *农业与技术*, 1999, 19(2): 14-18
- Zhang W D, Sun S Z, Song H C. The technological assessment on comprehensive utilization of straws [J]. *Agriculture and Technology*, 1999, 19(2): 14-18 (in Chinese)
- [11] 马云华, 王秀峰, 魏琨, 等. 黄瓜连作土壤酚酸类物质积累对土壤微生物和酶活性的影响 [J]. *应用生态学报*, 2005, 16(11): 2149-2153
- Ma Y H, Wang X F, Wei M, et al. Accumulation of phenolic acids in continuously cropped cucumber soil and their effects on soil microbes and enzyme activities [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2005, 16(11): 2149-2153 (in Chinese)
- [12] 范小峰, 俞诗源, 范亚娜, 等. 黄土高原大棚黄瓜不同年限连作对土壤主要理化性状的影响 [J]. *中国土壤与肥料*, 2006(6): 20-22

- Fan X F, Yu S Y, Fan Y N, et al. Effect of cucumber continuous cropping in plastic greenhouse on the soil physicochemical properties on loess plateau [J]. Soil and Fertilizer Science in China, 2006(6): 20–22 (in Chinese)
- [3] Booker F L, Blum U, Fiscus E L. Short-term effects of ferulic acids on ion uptake and water relations on cucumber seedlings [J]. Journal of Experimental Botany, 1992, 43(5): 649–655
- [4] Jose S, Gillespie A R. Allelopathy in black walnut (*Juglans nigra*L.) alley cropping. II. Effects of juglone on hydroponically grown corn (*Zea mays*L.) and soybean (*Glycine max*L. Merr.) growth and physiology [J]. Plant and Soil, 1998, 203(2): 199–206
- [5] 廖周瑜, 赵则海, 侯玉平, 等. 五爪金龙凋落叶腐解物的化感潜力研究 [J]. 生态环境, 2007, 16(4): 1249–1252
- Liao Z Y, Zhao Z H, Hou Y P, et al. Allelopathic potential of early decomposition of leaf litter of *Ipomoea cairica* [J]. Ecology and Environment, 2007, 16(4): 1249–1252 (in Chinese)
- [6] 汪耀富. 优质烤烟生产新技术 [J]. 河南农业, 2003(4): 8
- [7] 韩锦峰. 烟草栽培生理 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1996: 68–75
- [8] 邹琦. 植物生理生化实验指导 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1995: 26–108
- [9] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2000: 260–261
- [10] 张志良. 植物生理学实验指导 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2001: 154–155
- [11] 谈文, 吴元华. 烟草病理学 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2003: 387–391
- [12] 郝建军, 康宗利, 于洋, 等. 植物生理学实验技术 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2007: 53, 62, 101, 159
- [13] 胡荣海. 云南烟草栽培学 [M]. 北京: 科学出版社, 2007: 311–312
- [14] 李志宏, 秦勇, 彭思健, 等. 加工番茄植株残体腐解物化感作用的研究 [J]. 园艺园林科学, 2008, 24(6): 306–309
- Li Z H, Qin Y, Peng S J, et al. Allelopathy of decomposing processing tomato plant residue on processing tomato growth [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2008, 24(6): 306–309 (in Chinese)
- [15] 李敬雷, 乜兰春, 刘丰亮, 等. 芦笋根腐解物对作物种子萌发及胚根伸长的影响 [J]. 河北农业大学学报, 2010, 33(4): 43–45
- Li J L, Nie L C, Liu F L, et al. Effect of *Asparagus* root decomposition on seed germination and radicle elongation of crops [J]. Journal of Agricultural University of Hebei, 2010, 33(4): 43–45 (in Chinese)
- [16] 李艳宾, 张琴, 万传星, 等. 棉秆腐解物的化感作用及其主要化学成分分析 [J]. 棉花学报, 2009, 21(6): 497–502
- Li Y B, Zhang Q, Wan C X, et al. Allelopathy and chemical constituents of decomposing products from cotton stalk [J]. Cotton Science, 2009, 21(6): 497–502 (in Chinese)
- [17] 谈文, 赵松义. 再论烟稻轮作制 [J]. 烟草科技, 1998(1): 39–40

