

沼液处理对连作西瓜枯萎病发生、产量及品质的影响^①

曹 云, 吴华山, 郭德杰, 王秋君, 严少华, 王光飞, 马 艳*

(江苏省农业科学院农业资源与环境研究所, 南京 210014)

摘 要: 利用沼液防治土传病害是实现沼液高值利用重要途径。以西瓜优佳 018 为材料, 采用田间试验方式, 研究等氮磷钾养分下, 沼液结合覆膜、闷棚等综合防治措施, 对西瓜连作土壤中尖孢镰刀菌数量的削减效果以及对西瓜产量及品质的影响。结果表明: 水或沼液结合覆膜、闷棚等处理连作土壤 20 天, 能有效降低土壤中尖孢镰刀菌的数量, 其中沼液处理降低幅度更大。处理期间, 沼液和水处理土壤温度、湿度显著高于对照。沼液处理减缓了西瓜枯萎病大面积发生的时间, 前期(西瓜移栽后的 45 天内)西瓜枯萎病发病率和病情指数均显著低于水处理和对照, 开花期之后发病率大幅提高, 因而西瓜收获时沼液处理与对照发病率无显著差异, 但病情指数显著低于对照。与对照和水处理相比, 沼液处理西瓜产量、商品果产量、维生素 C 含量均显著提高, 而硝酸盐含量降低, 但沼液处理西瓜含糖量低于对照。以上表明, 利用沼液处理西瓜连作土壤能有效增加西瓜产量, 提升品质, 并对枯萎病的发生有一定的延缓作用。

关键词: 枯萎病; 西瓜; 沼液; 连作障碍

中图分类号: Q939.95

畜禽粪便沼液进行农田回用, 是实现畜禽养殖粪便资源化和水肥一体化的重要途径^[1-2]。越来越多的报道表明, 沼液对许多植物病原真菌有明显的生长抑制作用, 对多种植物病害有较好的防治效果, 可以发展成一种替代化学农药防治某些植物病害的有效手段^[3-4]。

西瓜是世界重要的园艺作物, 土传枯萎病对西瓜生产上具毁灭性的病害之一, 在世界各地均有不同程度的发生, 严重制约着西瓜生产^[5]。研究表明土壤中病原菌的浓度与枯萎病的发病率呈显著正相关^[6-7]。目前生产上除培育抗病品种外, 降低土壤中病原菌的数量是防控和减缓西瓜枯萎病发生的主要机理和有效途径^[8-9]。目前生产上用来处理土壤和降低病原微生物的技术主要有: 土壤日光辐射技术、土壤消毒、生物熏蒸、施用生物有机肥等^[10-12]。但环境污染、成本较高和材料不易获取等原因, 限制了上述技术在实际生产中的推广和应用。沼液中 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 含量很高, 施入土壤后在一定条件下转化为氨, 对辣椒疫霉菌^[13]、甘薯软腐病菌^[14]、茄子黄萎病菌^[15]有较强抑制作用。

然而, 在田间条件下, 利用沼液处理连作土壤、削减病原菌的效果如何, 国内外尚无详细报道。本文以西瓜枯萎病为主要病害, 通过田间试验, 明确沼液处理对西瓜连作土壤尖孢镰刀菌的抑制效果, 以及对西瓜生长、产量和品质的影响, 旨在为实现沼液的合理消纳及高值利用提供理论依据, 同时为处理畜禽养殖场周边配套设施农业区土壤连作障碍提供新的方法。

1 材料与方法

1.1 供试材料

大田试验于 2014 年 8—11 月在江苏省农业科学院六合动物科学基地设施大棚进行。大棚长 42 m, 宽 8 m, 棚内连续种植西瓜 3 茬。试验开展前一茬种植西瓜枯萎病发病率 85% 以上。大棚土壤为马肝土, 0~20 cm 土层基本理化性状: 有机质 19.81 g/kg, 全氮 0.66 g/kg, 碱解氮 172.54 mg/kg, 有效磷 76.9 mg/kg, 速效钾 131.7 mg/kg, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 13.4 mg/kg, $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 108.28 mg/kg, pH 7.6。供试沼液采自江苏省农业科学院六合动物科学基地规模化猪场的沼气工程, 基本

①基金项目: 江苏省农业科技自主创新资金项目(CX(13)3035)、农业部公益性行业专项项目(201203050-1)和“江苏省六大人才高峰”项目(NY-035)资助。

* 通讯作者(myjaas@sina.com)

作者简介: 曹云(1981—), 女, 江苏丹阳人, 硕士, 副研究员, 主要研究方向为农业废弃物资源化与保护地土壤质量调控。E-mail: youngtsao66@126.com

理化性状为：pH 7.14，全氮 303 mg/L，全磷 77 mg/L，全钾 4 mg/L，NH₄⁺-N 含量 204 mg/L，NO₃⁻-N 含量 31 mg/L，COD 含量为 387 mg/L。供试作物西瓜，品种为优佳 018，由江苏省淮安市农科院提供。西瓜在 2014 年 7 月 1 日播种育苗，8 月 26 日移栽定植，10 月 31 日开始收获，11 月 7 日收获完毕。栽培方式为畦栽，吊长，畦面宽 1.5 m，沟宽 0.5 m，每畦栽两行，间距 1 m，株距 50 cm。

1.2 试验设计

本试验采用沼液处理连作土壤的方法，共设置 3 个处理：即对照习惯施肥(CK)、水处理(W)、沼液处理(BS)。每处理 4 个重复分布在 2 个大棚，每个大棚每处理 2 个重复，每个小区面积 18 m × 1.5 m = 27 m²。大棚内各处理随机排列。大棚两头和小区间各空置 1 m，起垄作为缓冲带。

具体土壤处理方法是：大棚土壤平整、作畦、划

定小区后，每个小区单独装一水表，保证水、沼液施用量一致。2014 年 8 月 1 日开始，每天上、下午用微喷带将水或沼液均匀地施入相应小区，连续 3 天，除常规处理外，每个小区共施入水或者沼液 6 t，并覆膜处理 20 天。土壤处理期间封闭设施大棚，并于处理的第 0、4、7、11、20 天测定土壤温度，处理的第 0、7、20 天采集土壤测定相应指标。2014 年 8 月 21 日揭膜、敞棚，土壤晾晒。每个小区施用有机肥 40 kg。CK 和 W 处理小区氮磷钾的施入量均为 1.8、1.5、2.2 kg，BS 处理的小区不施氮肥，根据沼液磷钾含量补充磷钾肥，使得所有小区氮磷钾用量一致。所有化肥分 2 次施入，底肥和开花期分别施入 60%、40%。具体施肥方案见表 1。西瓜移栽前 1 天，习惯施肥处理 (CK) 各小区浇水 1 t，移栽后每天浇水，直至浇水量达 2 t，之后正常田间管理水分和防治病虫害。

表 1 不同处理沼液与化肥施用量
Table 1 The application rate of biogas slurry and chemical fertilizers in different treatments

处理	基肥(60%)							追肥 (40%)					
	有机肥 (kg/小区)	沼液养分量 (kg/小区)			化肥养分量 (kg/小区)			沼液养分量 (kg/小区)			化肥养分量 (kg/小区)		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
CK	40	0	0	0	1.8	1.5	2.2	0	0	0	1.2	1	1.46
W	40	0	0	0	1.8	1.5	2.2	0	0	0	1.2	1	1.46
BS	40	1.8	0.46	0.02	0	1.04	2.18	0	0	0	1.2	1	1.46

1.3 测定方法

土壤理化性质测定按照鲍士旦^[16]《土壤农化分析》。土壤 pH (水土质量比 2.5 : 1) 采用 pH 计测定，电导率 EC (水土比 5 : 1) 采用电导率仪测定，有机碳采用重铬酸钾容量法测定，全氮采用半微量开氏法测定，碱解氮用扩散法测定；有效磷采用 NaHCO₃ 浸提，钼锑抗比色法测定；速效钾采用醋酸铵浸提，火焰光度法测定。NH₄⁺-N 和 NO₃⁻-N 含量采用 2 mol/L KCl 浸提，流动分析仪测定。沼液养分测定参照文献[17]。土壤可培养细菌、真菌、放线菌数量测定按照稀释平板法^[18]，尖孢镰刀菌数量测定采用 Komada 选择性培养基法^[19]。西瓜枯萎病病情分级标准：0 级：植株生长正常；1 级：植株出现枯萎现象；2 级：植株 1/2 以上叶片和茎部出现枯萎；3 级：植株 2/3 以上叶片和茎部出现枯萎；4 级：植株枯萎死亡。发病率(%) = 发病株数/总株数 × 100。病情指数=Σ(级数 × 该级株数)/(总株数 × 最高级数) × 100。防治效果(%) = (对照病情指数 - 处理病情指数)/对照病情指数 × 100。

果实采集与品质的测定：在西瓜成熟时，摘下每小区所有西瓜，并逐个称重，记下总个数与总重。同时每个小区随机选取具有代表性的 10 个瓜带回实验室经蒸馏水洗涤后，迅速测定果实品质。使用手持式折光仪测定含糖量，滴定法测定维生素 C 含量^[20]，硝酸盐含量测定采用紫外分光光度法^[20]，有效酸度用 pH 计^[21]测定。

1.4 数据处理

采用 SPSS 16.0 对试验各指标进行数据处理和方差分析。不同处理平均值多重比较用 Duncan 法。

2 结果与分析

2.1 不同处理对土壤水分含量及土壤温度的影响

土壤处理期间采用覆膜方式，使得土壤温度快速升高，水处理 11 天，土壤温度由初始的 29.3℃ 上升到 36.5℃，沼液处理土壤温度由 29.0℃ 上升到 36℃。此后受棚外气温下降的影响，W、BS 两个处理土壤温度略有下降，但始终高于 34℃，且两处理土温差异不大，而对照不覆膜处理的土壤温度一直介于 28.5℃ ~

32℃。整个处理过程中棚外空气温度介于 22℃ ~ 26℃ (图 1)。土壤处理结束后, W 和 BS 两处理的土壤水分含量显著高于对照, 但两处理间水分含量无显著差异(图 2)。

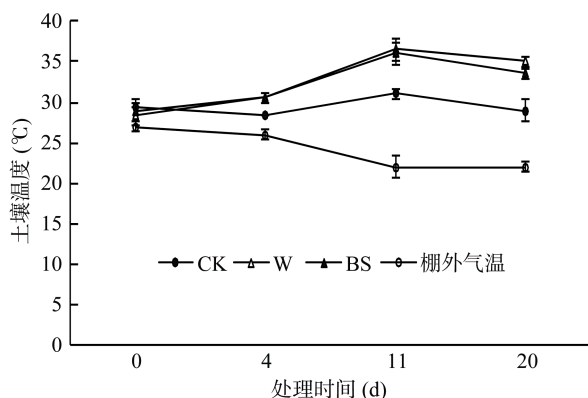
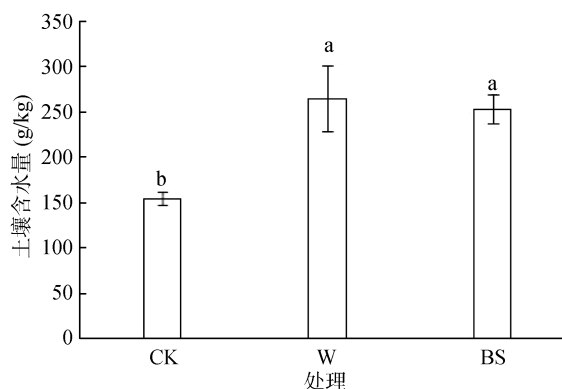


图 1 不同处理期间 0 ~ 15 cm 土壤温度变化

Fig. 1 Changes of air temperature outside greenhouse and soil temperature in 0–15 cm depth during experiment



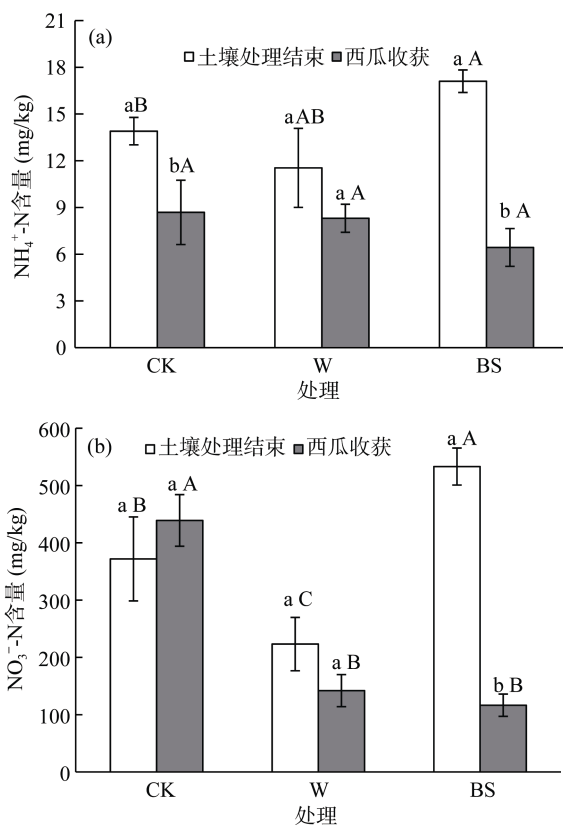
(图中字母不同表示处理间差异达到 $P < 0.05$ 显著水平)

图 2 不同处理对 0 ~ 15 cm 土壤水分含量的影响

Fig. 2 Soil water content in 0–15 cm layer in different treatments

2.2 不同处理对土壤 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 含量的影响

沼液处理 20 天后, 土壤 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 显著增加, 分别比对照、水处理增加 23.1%、48.2%, 对照和水处理间无显著差异。与土壤处理结束时相比, 西瓜收获时(移栽后 70 天)各处理土壤 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 含量均下降, 对照和沼液处理的下降幅度达显著水平, 下降幅度分别为 37.5%、62.4%。与对照相比, 水或沼液处理显著改变了土壤 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 含量, 土壤处理结束时, 水处理 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 含量比对照低 39.9%, 而沼液处理 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 含量比对照高 43.4%, 这可能是沼液中部分 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 经硝化作用后转化为 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 所致。西瓜收获时, 对照和水处理的 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 含量与土壤处理结束时无显著差异, 而沼液处理 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 含量显著下降, 这可能与沼液中的有机氮(如氨基酸)对西瓜硝酸还原酶的激活作用, 进而增加了 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 的吸收和再利用有关。



(图中小写字母不同表示同一处理在不同时间差异达到 $P < 0.05$ 显著水平, 大写字母不同表示不同处理在同一时间差异达到 $P < 0.05$ 显著水平)

图 3 土壤处理结束与西瓜收获时不同处理土壤

$\text{NH}_4^+\text{-N}$ (a)、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ (b)含量

Fig. 3 Ammonium (a) and nitrate (b) contents in different treatments at the end of the experiment and at harvest of watermelon

2.3 不同处理对土壤微生物数量的影响

土壤处理期间, 土壤细菌数量持续上升, 较处理前相比, 水处理、沼液处理结束时, 土壤细菌的数量分别提高了 63.7 倍和 34.5 倍; 土壤真菌数量则持续降低, 分别比处理前降低了 89.6%、90.7%。放线菌数量分别下降了 98.2%、93.7%。土壤处理期间, 各处理土壤尖孢镰刀菌数量也呈持续下降趋势。土壤处理 7 天时, 水处理和沼液处理分别降低了 85.5%、63.3%, 处理 20 天两处理尖孢镰刀菌数量下降幅度分别为 96.5%、94.0%。与水处理相比, 沼液处理病原菌数量下降更快, 处理 7 天时, 沼液处理病原菌数量就显著低于处理前数量, 而处理 20 天后, 水处理病原菌数量才与初始数量差异达显著水平。土壤处理结束时, 对照尖孢镰刀菌数量最多, 其次为水处理, 沼液处理最少, 且 3 处理间差异达显著水平(表 2)。

西瓜移栽后, 土壤微生物数量开始变化。西瓜收获时, 各处理土壤细菌、放线菌的数量恢复到土壤处理前水平, 且处理间无显著差异。土壤真菌数量, 除对照上升至初始水平外, 水处理和沼液处理真菌数量依然较低, 但两处理间无显著差异。种植西瓜后, 病

表 2 不同处理土壤微生物数量变化
Table 2 Dynamics of soil microorganisms in different treatments

处理时间 (d)	处理	细菌 ($\times 10^8$ cfu/g)	真菌 ($\times 10^3$ cfu/g)	放线菌 ($\times 10^4$ cfu/g)	尖孢镰刀菌 ($\times 10^2$ cfu/g)
0	CK/W/BS	2.67 $\pm$ 0.34 c	29.87 $\pm$ 5.46 a	125.12 $\pm$ 30.3 abc	145.23 $\pm$ 26.34 a
7	CK	2.91 $\pm$ 0.39 c	27.5 $\pm$ 0.58 a	115.59 $\pm$ 3.6 abc	134.41 $\pm$ 6.2 a
	W	7.71 $\pm$ 0.15 c	8.46 $\pm$ 0.07 b	69.48 $\pm$ 4.1 bc	89.51 $\pm$ 8.6 abc
	BS	2.14 $\pm$ 0.75 c	12.84 $\pm$ 1.38 ab	116.78 $\pm$ 3.4 abc	51.73 $\pm$ 6.4 bcd
20	CK	6.38 $\pm$ 1.21 c	15.06 $\pm$ 5.4 ab	52.15 $\pm$ 2.75 bc	88.51 $\pm$ 5.58 abc
	W	66.35 $\pm$ 1.2 a	26.8 $\pm$ 1.5 a	2.21 $\pm$ 0.67 c	14.94 $\pm$ 0.01 d
	BS	37.19 $\pm$ 2.28 b	3.02 $\pm$ 1.1 b	7.88 $\pm$ 2.64 c	8.68 $\pm$ 0.71 e
西瓜收获	CK	1.33 $\pm$ 0.1 c	28.02 $\pm$ 10.2 a	179.99 $\pm$ 50.3 ab	69.75 $\pm$ 12.16 bcd
	W	1.15 $\pm$ 0.31 c	3.05 $\pm$ 0.27 b	104.81 $\pm$ 11.5 abc	25.65 $\pm$ 5.44 cd
	BS	3.81 $\pm$ 0.54 c	5.99 $\pm$ 2.61 b	208.63 $\pm$ 49.3 a	14.52 $\pm$ 1.91 cd

注：同列数据小写字母不同表示差异达到 $P<0.05$ 显著水平。

原菌数量处理间变化不一。水处理和沼液处理土壤尖孢镰刀菌数量比处理结束时期分别上升了 216%、67%，对照尖孢镰刀菌数量较西瓜移栽初期略有下降，但各处理间差异均不显著(表 2)。

2.4 不同处理对西瓜枯萎病发病率的影响

西瓜移栽 30 天后开始发病，但发病率均较低。在发病初期，处理间发病率有显著差异，CK 发病率最高，BS 处理发病率最低。移栽 45 天后，各处理西瓜枯萎病发病率均显著上升，平均发病率由 2.6% 上升至 16.5%，其中 BS 处理发病率仍然最低(10.1%)，水处理发病率最高(22.8%)。移栽 70 天后，枯萎病平均发病率上升至 70%，水处理发病率显著高于对照和沼液处理。沼液处理发病率最低，但与对照无显著差

异。由于沼液处理的大部分植株发病时间较水处理及对照晚，发病程度较轻，因而西瓜收获时病情指数显著低于对照和水处理(表 3)。

2.5 不同处理对西瓜生长及果实产量的影响

单果重是表征西瓜外观品质的最直观的指标，其大小决定西瓜的商品价值，比产量更能反映其经济价值。不同处理西瓜的产量见表 4。对照的平均单果重、商品果产量及总产量均最低，沼液处理最高。水处理提高了西瓜的平均单果重和商品果产量，但总产与对照无显著差异。不同处理对西瓜植株生长略有差异。从表 4 可以看出，不同处理对成熟期西瓜叶片数量、叶片干重无显著影响，但沼液处理的西瓜主蔓长及根茎干重显著高于对照和水处理。

表 3 不同处理西瓜枯萎病发病率与病情指数
Table 3 Watermelon fusarium wilt disease incidence in different treatments

移栽后时间 (d)	发病率(%)			病情指数		
	CK	W	BS	CK	W	BS
30	5 $\pm$ 0.8 cA	2.5 $\pm$ 0.6 cB	0.5 $\pm$ 0.5 cC	3.8 $\pm$ 0.8 cA	2.1 $\pm$ 0.5 cA	0.3 $\pm$ 0.1 cB
45	16.4 $\pm$ 0.6 bA	22.8 $\pm$ 4.3 bA	10 $\pm$ 5.2 bB	10.2 $\pm$ 0.2 bA	16.7 $\pm$ 2.8 bA	4.2 $\pm$ 0.8 bB
70	66 $\pm$ 6.9 aA	84 $\pm$ 6.9 aA	60 $\pm$ 6.1 aA	56 $\pm$ 5.3 aA	69.6 $\pm$ 6.4 aA	33.2 $\pm$ 5.3 cB

注：表中大写字母不同表示同一时间、不同处理间差异达到 $P<0.05$ 显著水平，小写字母不同表示同一处理、不同时间差异达到 $P<0.05$ 显著水平。

表 4 不同处理对西瓜植株生长及产量的影响
Table 4 Effects of soil treatments on the growth and yield of watermelon

处理	叶片数	主蔓长 (cm)	根茎干重 (g/株)	叶片干重 (g/株)	平均单果重 (kg)	总产量 (kg/小区)	商品果产量 (kg/小区)
CK	14 $\pm$ 0.3a	145.6 $\pm$ 8.4 b	14.5 $\pm$ 2.0 b	27.1 $\pm$ 2.9 a	0.79 $\pm$ 0.06 b	58.75 $\pm$ 2.48 b	30.52 $\pm$ 3.3 c
W	14 $\pm$ 0.1a	148.1 $\pm$ 4.3 b	13.9 $\pm$ 3.2 b	28.3 $\pm$ 2.2 a	1.01 $\pm$ 0.11 a	64.17 $\pm$ 2.34 b	43.09 $\pm$ 4.2 b
BS	16 $\pm$ 2.5a	171.2 $\pm$ 5.8 a	22.4 $\pm$ 2.9 a	30.1 $\pm$ 1.9 a	1.11 $\pm$ 0.14 a	73.4 $\pm$ 3.68 a	53.28 $\pm$ 3.9 a

注：表中同列数据小写字母不同表示处理间差异达到 $P<0.05$ 显著水平，下表同。

2.6 不同处理对西瓜品质的影响

除了外观品质,果实的风味品质和营养品质也是决定其市场竞争力的重要指标。甜味和酸味的组合是构成水果风味的重要因素,含糖高且糖酸比低的水果在市场上更受欢迎。本试验中不同处理对西瓜品质的影响见表 5,水处理西瓜的含糖量和糖酸比与对照无

显著差异。各处理西瓜有效酸度无显著差异。尽管沼液处理的西瓜含糖量和糖酸比值均最低,但沼液处理提高了西瓜果实的营养品质。从表 5 可以看出,沼液处理显著提高了西瓜维生素 C 含量,比对照提高 63.3%。沼液处理的西瓜硝酸盐含量分别比对照和水处理降低 36.2%、26.5%。

表 5 不同处理对西瓜果实品质的影响
Table 5 Effects of soil treatments on watermelon quality

处理	糖(g/kg)	酸(pH)	糖/酸	维生素 C 含量(mg/kg)	硝酸盐含量(mg/kg)
CK	85.5 ± 5.7 a	5.49 ± 0.31 a	1.56 ± 0.19 a	27.5 ± 7.5 b	40.9 ± 1.5 a
W	79.5 ± 4.9 a	5.64 ± 0.22 a	1.41 ± 0.07 a	39.4 ± 3.4 a	35.5 ± 6.7 a
BS	74.5 ± 0.6 b	5.50 ± 0.11 a	1.35 ± 0.06 b	44.9 ± 2.3 a	26.1 ± 3.3 b

3 讨论与结论

目前,设施蔬菜地连作土壤的处理方法主要包括客土法、施用有机肥料、土壤接种有益微生物、短期淹水、土壤消毒、生物熏蒸等措施^[9-12]。本试验提供了一种用沼液结合覆膜、闷棚等措施的综合处理西瓜连作土壤,提高产量的方法。土壤沼液或者水处理过程中,土壤温度显著高于对照。在较高的环境温度下,尖孢镰刀菌在土壤中的生长繁殖能力衰退,在温度高于 35℃ 时已基本不能在土壤中繁殖^[22]。贺春萍等^[23]研究表明西瓜枯萎病病原菌分生孢子萌发的致死温度为 60℃,菌丝生长的致死温度为 80℃。说明高温是控制尖孢镰刀菌致病菌生长的一种有效的因素。土壤处理 20 天后,土壤尖孢镰刀菌数量下降了 90%以上,且沼液处理对病原菌的削减效果比水处理更好,这可能是因为除了高温抑制作用外,沼液中大量的氨对病原菌具有杀灭作用^[13]。在本试验中,土壤处理结束时,沼液处理土壤 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 含量显著高于对照和水处理,增强了对尖孢镰刀菌的削减效果。因此,沼液处理显著减缓了西瓜枯萎病大面积暴发时间和发病程度,西瓜生长的前期和中期,沼液处理的枯萎病发病率均显著低于对照,但西瓜生长后期(果实膨大期),沼液处理枯萎病发生率大幅提高,且与对照无显著差异,这可能是因为西瓜根系分泌物的刺激作用下,尖孢镰刀菌数量快速增殖并感染西瓜根系,导致植株发病^[24-25]。但西瓜收获时沼液处理的病情指数显著低于对照,这与沼液处理的西瓜发病时间较晚,发病程度较轻有关。此外,尽管在西瓜移栽初期,沼液处理土壤的 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 含量较高,但随着硝化作用的进行, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 逐步转化为 $\text{NO}_3^-\text{-N}$,失去了持续杀灭病原菌的能力。这也说明,选用 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 含量较高的沼液或适当提高土壤 pH,提高土壤中 NH_3 强度,

或在西瓜栽植后,配合施用生物有机肥或者接种有益微生物等措施,有可能达到持续防控西瓜枯萎病的效果。西瓜收获时,水处理的枯萎病发生率比对照还高,这是因为土壤含水量也能显著影响尖孢镰刀菌的生长和繁殖^[22]。本研究中土壤处理结束后,水处理土壤的含水量高达 26%,显著高于对照(15%)。在一定范围内,初始含水量越高则越利于镰刀菌在土壤中繁殖^[22]。

沼液处理过的土壤栽植西瓜后,商品果产量和总产量较对照提高,主要原因在于沼液减缓了西瓜大面积枯萎病发生的时间,减小了枯萎病对西瓜产量的负面影响。此外,沼液除了含有氮磷钾等大量营养元素外,还有各类氨基酸、赤霉素、糖类和核酸等“生理活性物质”,它们对西瓜生长有调控作用^[26]。本研究中沼液处理的西瓜糖分含量下降,与很多报道不一致^[2,27],这是因为土壤湿度影响水果水分含量^[28],在西瓜幼苗栽植期,沼液处理的土壤水分含量显著高于对照,造成果实的糖含量、糖酸比等品质指标下降。沼液提升作物维生素 C 含量、降低硝酸盐含量的报道很多^[2,27,29],本研究结果与之一致。薛延丰等^[30]认为沼液可有效增加 AsA-GSH 循环中相关酶活性和相关物质含量,促进了 AsA-GSH 循环,间接地增加了作物体内 Vc 含量。沼液处理后,耕作层土壤的 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 含量较对照高,是因为大量的沼液施入土壤后,沼液中的 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 在硝化微生物作用下逐步转化为 $\text{NO}_3^-\text{-N}$,这与汪吉东等^[2]的研究结果相似。但由于西瓜根系发达,分布在根系范围内的大部分 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 可被吸收利用,因此在西瓜收获时沼液处理土壤 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 含量并不高(图 3),这可能与沼液中的有机氮(如氨基酸)对植株硝酸还原酶的激活作用,进而提高了 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 在作物体内的转化速率有关^[31]。

本研究采用沼液与水处理土壤,并结合覆膜、闷

棚等措施 20 天,能有效降低西瓜连作土壤中尖孢镰刀菌数量,有效控制西瓜生长苗期、伸蔓期枯萎病的发病率,其中沼液处理土壤的效果更佳,这与较高的土壤温度及 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 含量有关。但西瓜进入果实膨大期后,沼液处理发病率与对照无显著差异,表明要取得持续的病害控制效果,必须将移栽前的土壤处理和移栽后的其他措施相耦合。沼液处理提高了西瓜产量和营养品质(维生素 C 含量上升,硝酸盐含量下降),但糖含量有所下降,说明土壤水分含量会影响果实风味,利用沼液处理瓜果类连作土壤时,须考虑沼液的施用量、施用方法及移栽时的土壤湿度。

参考文献:

- [1] Jiang X, Sommer SG, Christense KV. A review of the biogas industry in China[J]. Energy Policy, 2011, 39: 6 073–6 081
- [2] 汪吉东, 曹云, 常志州, 张永春, 马洪波. 沼液配施化肥对太湖地区水蜜桃品质及土壤氮素累积的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2013, 19(2): 379–386
- [3] Cao Y, Chang ZZ, Wang JD, Ma Y, Yang H, Fu GQ. Potential use of anaerobically digested manure slurry to suppress *Phytophthora* root rot of chilli peppe[J]. Scientia Horticulturae, 2014, 168: 124–131
- [4] Min YY, Sato E, Shirakashi T, Wada S, Toyota K, Watanabe A. Suppressive effect of anaerobically digested slurry on the root lesion nematode *Pratylenchus penetrans* and its potential mechanisms[J]. Japanese Journal of Nematology, 2007, 37(2): 93–100
- [5] Ling N, Zhang WW, Tan SY, Huang QW, Shen QR. Effect of the nursery application of bioorganic fertilizer on spatial distribution of *Fusarium oxysporum* f. sp. niveum and its antagonistic bacterium in the rhizosphere of watermelon[J]. Applied Soil Ecology, 2012, 59: 13–19
- [6] Ling N, Xue C, Huang QW, Yang XM, Xu YC, Shen QR. Development of a mode of application of bioorganic fertilizer for improving the biocontrol efficacy to *Fusarium wilt*[J]. BioControl, 2010, 55: 673–683
- [7] Lorenzo F, Christian B, Finotto A, Lazzeri L, Malaguti L, Patalano G, Parker W. The efficacy of biofumigant meals and plants to control wireworm populations[J]. Industrial Crops and Products, 2010, 31: 245–254
- [8] 何欣, 黄启为, 杨兴明, 冉炜, 徐阳春, 沈标, 沈其荣. 香蕉枯萎病致病菌筛选及致病菌浓度对香蕉枯萎病的影响[J]. 中国农业科学, 2010, 43(18): 3 809–3 816
- [9] 黄新琦, 温腾, 孟磊, 张金波, 朱同彬, 蔡祖聪. 土壤厌氧还原消毒对尖孢镰刀菌的抑制研究[J]. 土壤, 2014, 46(5): 851–855
- [10] Harender R, Sharma SD. Integration of soil solarization and chemical sterilization with beneficial microorganisms for the control of white root rot and growth of nursery apple[J]. Scientia Horticulturae, 2009, 119(2): 126–131
- [11] Cao Y, Zhang Z, Ling N, Yuan Y, Zheng XY, Shen B, Shen QR. *Bacillus subtilis* SQR 9 can control *Fusarium wilt* in cucumber by colonizing plant roots[J]. Biology and Fertility of Soils, 2011, 47: 495–506
- [12] Wang QJ, Ma Y, Yang H, Chang ZZ. Effect of biofumigation and chemical fumigation on soil microbial community structure and control of pepper *Phytophthora blight*[J]. World Journal of Microbiology and Biotechnology, 2014, 30: 507–518
- [13] Cao Y, Chang Z, Wang J, Ma Y, Fu G. The fate of antagonistic microorganisms and antimicrobial substances during anaerobic digestion of pig and dairy manure[J]. Bioresource Technology, 2013, 136: 664–671
- [14] Tenuta M, Lazarovits G. Ammonia and nitrous acid from nitrogenous amendments kill the microsclerotia of *Verticillium dahliae*[J]. Phytopathology, 2002, 92(3): 255–264
- [15] 李顺鹏, 沈标, 樊庆生. 沼气发酵液对甘薯软腐病病原菌的抑制机制研究[J]. 中国沼气, 1991, 9(3): 6–9
- [16] 鲍士旦. 土壤农化分析方法[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000
- [17] 国家环境保护总局水和废水监测分析方法编委会. 水和废水监测分析方法[M]. 第 4 版. 北京: 中国环境科学出版社, 2002
- [18] 李阜棣, 喻子牛, 何绍江. 农业微生物学实验技术[M]. 北京: 中国农业出版社, 1996: 33–38
- [19] Komada H. Development of a selective medium for quantitative isolation of *Fusarium oxysporum* from natural soil[J]. Review Plant Protect Research, 1975, 8: 114–125
- [20] 李合生. 植物生理生化原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006: 123–124
- [21] 杜少平, 马忠明. 密度、氮肥互作对旱砂田西瓜产量、品质及氮肥利用率的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2013, 19(1): 150–157
- [22] 彭双, 王一明, 叶旭红, 林先贵, 戴勋, 王军伟, 谢新乔. 土壤环境因素对致病性尖孢镰刀菌生长的影响[J]. 土壤, 2014, 46(5): 845–850
- [23] 贺春萍, 黄志强, 吴伟怀, 郑肖兰, 郑服丛. 一株西瓜尖孢镰刀菌的致死温度和最适碳氮营养源[J]. 热带作物学报, 2008, 29(5): 648–652
- [24] Ling N, Zhang W, Wang D, Mao J, Huang Q, Guo S, Shen Q. Root Exudates from grafted-root watermelon showed a certain contribution in inhibiting *Fusarium oxysporum* f. sp. niveum[J]. PLoS ONE, 2013, 8(5): e63383
- [25] Broeckling CD, Broz AK, Bergelson J, Manter DK, Vivanco JM. Root exudates regulate soil fungal community composition and diversity[J]. Applied and Environmental Microbiology, 2008: 738–744
- [26] 张利, 李立军, 冯志国, 张耀文, 王瑞珍. 施用沼肥对西瓜品质和产量的影响[J]. 中国沼气, 2012, 30(3): 41–44, 55
- [27] 邵志鹏. 沼液对葡萄生长和产量及抗病性的影响[J]. 黑龙江农业科学, 2012(10): 47–48
- [28] 刘明池, 陈杭, 小岛孝之. 不同土壤水分条件下草莓果实模拟贮藏中的损伤易感性[J]. 果树学报, 2005, 22(3): 238–242

- [29] 赵莉, 于建光, 常志州, 周淑霞. 施用沼液对水芹产量及品质的影响[J]. 土壤, 2014, 46(1): 94-99
- [30] 薛延丰, 冯慧芳, 石志琦, 严少华, 郑建初. 水葫芦沼液对青菜生长及 AsA-GSH 循环影响的动态研究[J]. 草业学报, 2011, 20(3): 91-98
- [31] Liu XQ, Ko KYK, Lee SH. Enhancement of nitrate uptake and reduction by treatment with mixed amino acids in red pepper (*Capsicum annuum* L.)[J]. Acta Agriculturae Scandinavica, Section B-Soil and Plant Science, 2007, 57: 167-172

Effect of Biogas Slurry Application on Incidence of Fusarium wilt, Fruit Yield and Quality of Watermelon

CAO Yun, WU Hua-shan, GUO De-jie, WANG Qiu-jun, YAN Shao-hua, WANG Guang-fei, MA Yan*
(Institute of Agricultural Resources and Environment, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China)

Abstract: Suppression of soil borne diseases by biogas slurry application is an important way to achieve high-value-use of the resource. A field experiment was conducted to study the effect of biogas slurry application combined with mulching and heat suffocation on the reduction of the density of *Fusarium oxysporum* in soil, and the yield and quality of watermelon. Results showed that both biogas slurry and water treatment combined with mulching and heat suffocation for 20 d could reduce the number of the pathogen significantly, and the reduction was more pronounced for the treatment with biogas slurry. During the soil treatment, the soil temperature of biogas slurry and water treatment was significantly higher than that of control. Application of biogas slurry significantly slowed down fusarium wilt explosion in the field. The fusarium wilt disease incidence in the treatment with biogas slurry was significantly lower than those in water treatment and control within 45 d after transplantation. After blossom period, the incidence increased greatly in all treatments, and no significantly difference was observed between the biogas slurry treatment and the control. However, the fusarium wilt disease index was significantly lower in biogas slurry treatment than those in control and water treatment. Compared with water treatment and control, the total fruit yield, merchantable fruit yield and vitamin C content in the fruit were greater in the biogas slurry treatment. The nitrate content and sugar content in the fruit was lower in biogas slurry treatment than those of control. Therefore, pretreatment of continuous watermelon cropping soil with biogas slurry could effectively increase fruit yield and quality and slow down fusarium wilt explosion in field.

Key words: Fusarium wilt; Watermelon; Biogas slurry; Continuous cropping obstacle