

熏蒸条件下有机肥部分替代化肥对西瓜生长及养分利用的影响

蒲瑶瑶¹, 吕秀敏¹, 邬梦成¹, 王东升², 李伟明²,

王斯琪¹, 李辉信¹, 胡 锋¹, 焦加国¹

(1. 南京农业大学资源与环境科学学院/江苏省有机固体废弃物资源化协同创新中心,

南京 210095; 2. 南京市蔬菜科学研究所, 南京 210042)

摘要: 基于田间大棚试验, 采用等量养分原则, 分析生物有机肥、蚯蚓粪、鸡粪等不同有机肥部分替代化肥对西瓜生长、产量、品质以及养分利用的影响。结果表明, 与单施化肥相比, 有机肥部分替代化肥均不同程度提高了西瓜叶绿素含量、光合性能、产量及品质, 其中以蚯蚓粪与化肥配施效果最佳, 其光合性能显著高于单施化肥, 产量提高了 33.63%, 可溶性糖、可溶性蛋白及维生素 C 含量分别增加了 14.07%、14.47% 和 17.52%。有机肥部分替代化肥施肥处理的肥料利用率高于单施化肥, 土壤养分元素依存率低于单施化肥, 以蚯蚓粪配施化肥作用效果最为显著, 氮、磷、钾肥利用率分别为 26.02%、5.67% 和 29.89%, 土壤氮、磷、钾素依存率分别为 20.96%、20.32% 和 31.55%。熏蒸处理的西瓜枯萎病发病率整体低于未熏蒸处理, 其中熏蒸条件下蚯蚓粪部分替代化肥施肥处理西瓜发病率最低, 仅为 4.76%。

关键词: 有机肥; 熏蒸; 西瓜; 生长; 养分利用

中图分类号: S14; S651

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2017)06-0306-06

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcxb.2017.06.048

Effects of Partial Substitution for Chemical Fertilizer by Organic Manure on the Growth and Nutrient Use of Watermelon Under Fumigation Condition

PU Yaoyao¹, LÜ Xiumin¹, WU Mengcheng¹, WANG Dongsheng²,

LI Weiming², WANG Siqi¹, LI Huixin¹, HU Feng¹, JIAO Jiaguo¹

(1. College of Resources and Environmental Sciences, Nanjing Agricultural University,

Nanjing 210095; 2. Nanjing Institute of Vegetable Science, Nanjing 210042)

Abstract: A field experiment was conducted to study the effects of partial substitution for chemical fertilizer by different organic manure on the growth, yield, quality and nutrient use efficiency of watermelon under equivalent nutrients. Ten treatments were designed, including no fertilizer (CK), conventional chemical fertilizer (CF), chicken manure partial substitution for chemical fertilizer (CM), vermicompost partial substitution for chemical fertilizer (VC) and bio-organic fertilizer partial substitution for chemical fertilizer (BOF) under fumigating with dazomet or not. Results showed that organic manure partial substitution for chemical fertilizer could improve chlorophyll content, photosynthetic performance, yield and quality of watermelon with different degrees. Compared to CF, VC could significantly enhance the leaf photosynthetic performance of watermelon, and the plants under VC were the highest in watermelon yield, soluble sugar, soluble protein, ascorbic acid, i. e. 33.63%, 14.07%, 14.47% and 17.52% respectively, higher than CF. The fertilizer use efficiency was improved significantly under organic manure partial substitution for chemical fertilizer. After watermelon was harvested, the fertilizer utilization efficiencies of nitrogen, phosphorus and potassium in VC treatment were 26.02%, 5.67% and 29.89% respectively. On the other hand, the VC could obviously decline soil nutrient elements dependency, the dependent rate of soil nitrogen, phosphorus and potassium were 20.96%, 20.32% and 31.55% respectively. And biological fumigation had an inhibiting effect on *Fusarium* wilt disease incidence of watermelon, the disease incidence in VC under fumigation condition was only 4.76%, which was the lowest among all treatments.

收稿日期: 2017-07-21

资助项目: 国家重点研发计划项目(2016YFD0200106)

第一作者: 蒲瑶瑶(1992—), 女, 硕士研究生, 主要从事有机肥替代化肥研究。E-mail: ml8363626676@163.com

通信作者: 焦加国(1981—), 男, 副教授, 硕士生导师, 主要从事土壤生态学研究。E-mail: jiaguojiao@njau.edu.cn

Keywords: organic manure; fumigation; watermelon; growth; nutrient use efficiency

在农业生产过程中,施用化肥是实现作物产量最大化最有效的途径。联合国粮农组织统计表明,化肥使粮食增产近 55%^[1]。但长期以来我国化肥施用量逐年增加,在增加作物产量的同时造成了土壤酸化、板结等一系列环境问题,使得作物品质降低、养分利用率下降、土传病害频发,严重影响我国农业可持续发展^[2-3]。为此,我国于 2015 年规划明确了“一控、两减、三基本”的目标来治理农村污染,并于 2017 年制定了《开展果菜茶有机肥替代化肥行动方案》,以加快推进农业绿色发展,实现产出高效、产品安全、资源节约、环境友好的现代农业发展之路。

传统化肥施用强调作物对无机营养的吸收,然而一些有机营养也可以被植物吸收利用,相较于化肥,有机肥施用延缓养分有效性,提供持续的养分释放,更贴合作物养分需求^[4-5]。有机无机配施能有效提高土壤肥力,保证土壤养分供应与作物吸收,从而提升作物产量与品质,提高养分利用率^[6]。大量研究表明,有机肥施用能显著促进花椰菜、小白菜等蔬菜的生长,提高产量和品质,增加作物对养分的吸收利用,且增施有机肥能显著提高土壤微生物活性,改善微生物群落结构,防治土传病害^[6-8]。但也有个别研究发现,减量化肥配施有机肥对作物产量及养分吸收无明显影响。

西瓜作为一种重要的蔬菜作物,在其连作过程中,土传病害严重且难以防治。棉隆作为常用的熏蒸剂,是一种广泛应用于防治地下害虫、土传病害和其他有害生物的农业措施。土壤前期采用棉隆熏蒸处理,其土壤微生物数量、群落结构及其活性均显著改变,影响土壤氮、磷的矿化^[9]。本研究选择此前多年种植西瓜且枯萎病较为严重的设施大棚,研究棉隆熏蒸条件下,不同有机肥(鸡粪、蚯蚓粪、生物有机肥)部分替代化肥对西瓜生长及养分利用的影响,旨在为西瓜田间生产提供合理的施肥方案和依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试有机肥:鸡粪、蚯蚓粪和生物有机肥,鸡粪为新鲜鸡粪经高温堆制发酵的腐熟鸡粪,蚯蚓粪为商品

有机肥,生物有机肥为腐熟鸡粪添加解淀粉芽孢杆菌,基本性质见表 1。

表 1 有机肥基本性质 单位:g/kg

有机肥	SOM	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
鸡粪	251.21	9.87	18.73	8.48
蚯蚓粪	394.92	24.96	21.38	13.09
生物有机肥	257.70	9.28	19.91	8.59

供试土壤基本理化:有机碳 25.64 g/kg,全氮 2.95 g/kg,铵态氮 11.46 mg/kg,硝态氮 234.87 mg/kg,全磷 1.45 g/kg,速效磷 268.88 mg/kg,速效钾 175.35 mg/kg,pH 5.36。

供试化肥:尿素(CO(NH₂)₂)、过磷酸钙(Ca(H₂PO₄)₂)和氯化钾(KCl)。

供试作物:西瓜(早佳 8424),经工厂化育苗后移栽至温室大棚。

1.2 试验设计

试验于 2016 年 7 月在南京市蔬菜科学研究所温室大棚开展,试验地点属亚热带季风气候,年平均气温 15.4 ℃,年平均降雨量 1 106 mm,土壤类型为黄棕壤。

试验采用等量养分设计原则,总养分标准为 N 240.0 kg/hm²,P₂O₅ 210.0 kg/hm²,K₂O 135.0 kg/hm²。有机肥施用量 7.5 t/hm²,作为基肥,采用沟施法一次性施入,养分不足的处理用化肥补齐,补施的化肥分为基肥和追肥,追肥(9 月 12 日)采用穴施法。试验共设 5 个施肥处理(表 2),分别进行熏蒸和未熏蒸试验,每个处理 3 次重复,采用完全随机区组排列,小区面积为 8 m²,每个小区种植西瓜 10 株。

2016 年上半年西瓜种植过程中枯萎病发病严重,棉隆熏蒸对西瓜枯萎病有防治效果,因此采用棉隆作为熏蒸剂,2016 年 7 月 25 日对其中 15 个小区进行土壤前期熏蒸覆膜处理,覆膜熏蒸 10 天。8 月 10 日施肥定植,花期自然授粉,田间灌溉采用滴灌方式,保持大棚良好通风。期间各处理田间管理方式一致。10 月 10 日西瓜第一次采摘,测定西瓜品质及瓜皮、瓜瓤养分含量。10 月 24 日西瓜第二次采摘,收获植物蔓、叶,测定其氮、磷、钾养分含量,并采集收获期土壤。

表 2 试验处理及具体施肥情况

施肥处理	施肥措施	
	基肥/(kg·hm ⁻²)	追肥/(kg·hm ⁻²)
不施肥(CK)		
常规化肥(CF)	N:120.0;P ₂ O ₅ :210.0;K ₂ O:90.0	N:120.0;K ₂ O:45.0
鸡粪+化肥(CM)	鸡粪 7 500;N:46.0;P ₂ O ₅ :70.0;K ₂ O:26.0	N:120.0;K ₂ O:45.0
蚯蚓粪+化肥(VC)	蚯蚓粪 7 500;P ₂ O ₅ :50.0	N:53.0;K ₂ O:37.0
生物有机肥+化肥(BOF)	生物有机肥 7 500;N:50.0;P ₂ O ₅ :61.0;K ₂ O:26.0	N:120.0;K ₂ O:45.0

1.3 样品采集与测定方法

1.3.1 叶绿素含量及光合特性指标测定 叶绿素含量测定采用叶绿素仪 (SPAD—502) 测定其功能叶的 SPAD 值。采用便携式光合测定仪 (LI—6400 XT) 测定西瓜功能叶 (定植 40 天) 净光合速率 (P_n)、气孔导度 (G_s)、胞间 CO_2 浓度 (C_i) 及蒸腾速率 (T_r)。

1.3.2 果实产量与品质指标 在西瓜成熟期内按小区采摘西瓜称其质量, 计算产量。各处理采集同一天授粉坐果的西瓜 3 颗, 可溶性总糖采用蒽酮比色法测定^[10]; 可溶性蛋白采用考马斯亮蓝 G—250 染色法测定^[10]; 维生素 C 采用 2,6—二氯酚酚滴定法测定^[10]。

1.3.3 植株养分含量的测定 西瓜收获时, 各小区采集具有代表性的 3 株植株与 3 颗西瓜, 分别测定各部位 (蔓、叶、瓜皮、瓜瓤) 鲜重, 105 ℃ 杀青, 70 ℃ 烘干至恒重, 测定各部位生物量 (根据各部分总鲜重换算出各部位总生物量), 然后磨碎、制样, 分别测定各部位氮、磷、钾养分含量^[11]。

1.4 参数计算与数据处理

各项指标参照 Tian^[12]、刘敏等^[13] 的方法进行计算, 具体为:

发病率 (%) = 发病株数 / (正常株数 + 发病株数) × 100

各部位氮、磷、钾养分累积量 (kg/hm^2) = 各部位氮、磷、钾养分含量 × 各部位总生物量

肥料利用率 (%) = (施肥区地上部吸肥量 - 不施肥区地上部吸肥量) / 施肥量 × 100

土壤氮、磷、钾素依存率 (%) = 不施肥区植物养分吸收量 / 施肥区植物养分吸收量 × 100

采用 Excel 2013 处理数据和制表, Sigma Plot 12.3 软件制图, SPSS 22 软件对数据进行显著性检验 ($P < 0.05$) 和方差分析。

2 结果与分析

2.1 熏蒸条件下有机肥部分替代化肥对西瓜生长、产量及品质的影响

2.1.1 熏蒸及不同有机肥部分替代化肥对西瓜发病率的影响 通过独立样本 T 检验得出熏蒸条件下西瓜发病率显著低于未熏蒸条件 ($P < 0.05$)。由图 1 可知, 熏蒸处理下的西瓜枯萎病发病率普遍低于未熏蒸处理。熏蒸处理、不同有机肥部分替代化肥下西瓜发病情况具有较大差异, 其中 VC、BOF 处理与 CF 处理相比西瓜发病率降低, 各处理间无显著差异, 但 CM 处理西瓜发病率高于 CF 处理。未熏蒸处理西瓜发病率变化趋势为 $\text{VC} < \text{CM} < \text{CF} < \text{BOF} < \text{CK}$, 各处理间无显著差异。

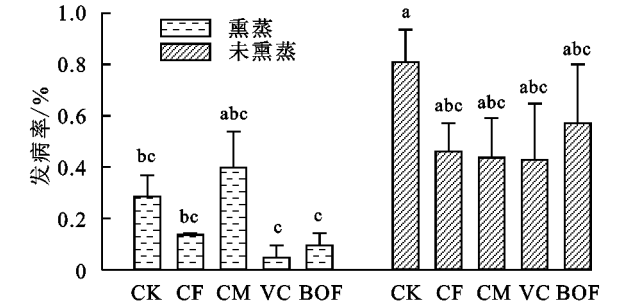


图 1 不同有机肥部分替代化肥对西瓜发病率的影响

2.1.2 有机肥部分替代化肥对西瓜长势的影响 总体来说 (表 3), 熏蒸条件下西瓜叶片叶绿素含量与光合特性普遍高于未熏蒸处理。等量养分条件下, 有机肥部分替代化肥可不同程度提高西瓜叶片中叶绿素含量与光合性能, 其中以蚯蚓粪处理提升最为明显。通过双因素方差分析发现, 有机肥施用对叶绿素含量和光合性能的影响均达到显著水平, 熏蒸对叶绿素含量和光合性能无显著影响, 有机肥施用和熏蒸不存在交互作用, 但熏蒸与有机肥共同作用下的叶绿素含量、光合性能比未熏蒸下施用有机肥效果好。

表 3 有机肥部分替代化肥对西瓜叶片叶绿素含量及光合性能的影响

熏蒸措施	施肥处理	叶绿素	净光合速率/ ($\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	气孔导度/ ($\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	胞间 CO_2 浓度/ ($\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$)	蒸腾速率/ ($\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)
熏蒸	CK	48.98±0.73bc	9.80±0.93cd	0.13±0.02d	244.54±17.37cd	5.47±0.74bcd
	CF	49.70±1.20abc	10.24±1.66cd	0.18±0.00cd	272.17±3.81cd	6.92±0.94bc
	CM	51.19±0.90abc	15.94±1.67abc	0.39±0.07abcd	281.24±12.11bc	7.64±0.76abc
	VC	53.07±0.96a	19.69±1.57a	0.62±0.14a	381.71±11.75a	10.06±1.53a
	BOF	50.62±1.37abc	19.34±2.57a	0.44±0.14abc	314.47±20.55b	8.03±0.73ab
未熏蒸	CK	47.72±1.16c	8.11±1.33d	0.16±0.02d	237.84±8.77d	2.92±0.17d
	CF	48.52±0.43c	11.27±1.36bcd	0.20±0.07cd	270.76±7.81cd	5.14±0.34cd
	CM	50.93±0.94abc	15.86±2.48abc	0.22±0.02bcd	278.21±13.60bc	5.58±0.35bcd
	VC	52.38±1.17ab	17.17±2.08ab	0.48±0.12ab	374.74±11.58a	7.70±0.92abc
	BOF	49.43±0.48bc	16.76±2.76ab	0.30±0.05bcd	280.71±2.66bc	7.21±1.10bc

注: 同列不同小写字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$)。下同。

2.1.3 有机肥部分替代化肥对西瓜产量和品质的影响 由表 4 可知, 熏蒸条件下西瓜产量与品质普遍优于未熏蒸处理。等量养分条件下, 有机肥部分替代化肥可不同程度提高西瓜产量与品质, VC 处理西瓜产

量显著高于 CF 处理。双因素方差分析得知熏蒸对西瓜可溶性糖和维生素 C 影响达到显著水平, 有机肥施用对西瓜产量和品质均产生显著影响, 二者交互作用对西瓜产量和品质无显著影响, 但具有熏蒸下施

用有机肥产量高、品质好的变化趋势。

表 4 有机肥部分替代化肥对西瓜产量和品质的影响					
熏蒸措施	施肥处理	产量/ (t·hm ⁻²)	可溶性 糖/%	可溶性蛋白/ (mg·g ⁻¹)	维生素 C/ (mg·100g ⁻¹)
熏蒸	CK	13.46±1.62bc	2.46±0.09c	1.35±0.13ab	5.96±0.81bc
	CF	13.65±0.98bc	2.70±0.14abc	1.52±0.10ab	7.42±0.20ab
	CM	14.23±0.48bc	2.88±0.07ab	1.67±0.15a	8.61±0.61a
	VC	18.24±0.79a	3.08±0.23a	1.74±0.17a	8.72±0.42a
	BOF	13.72±0.64bc	2.82±0.03abc	1.67±0.19a	8.63±0.50a
未熏蒸	CK	12.41±0.79c	2.43±0.10c	1.14±0.12b	4.91±0.23c
	CF	12.88±1.61c	2.60±0.11bc	1.36±0.08ab	6.25±0.86bc
	CM	13.96±0.69bc	3.03±0.17a	1.50±0.13ab	6.39±0.07bc
	VC	16.53±1.03ab	3.05±0.08a	1.64±0.11a	7.69±0.56ab
	BOF	13.81±0.76bc	2.71±0.10abc	1.45±0.09ab	7.46±0.87ab

2.2 熏蒸条件下有机肥部分替代化肥对西瓜养分累积及养分利用的影响

2.2.1 有机肥部分替代化肥对西瓜养分累积的影响
从图 2 可以看出,等量养分条件下,施用有机肥可不同程度提高西瓜氮、磷、钾养分累积量,以施用蚯蚓粪效果最为明显,熏蒸处理西瓜养分累积量普遍高于未熏蒸处理。不同施肥处理中,VC 处理西瓜氮、磷、钾养分累积量均为最高。VC 处理氮累积量显著高于 CF 处理,CM 和 BOF 处理氮累积量高于 CF 处理,但无显著差异。

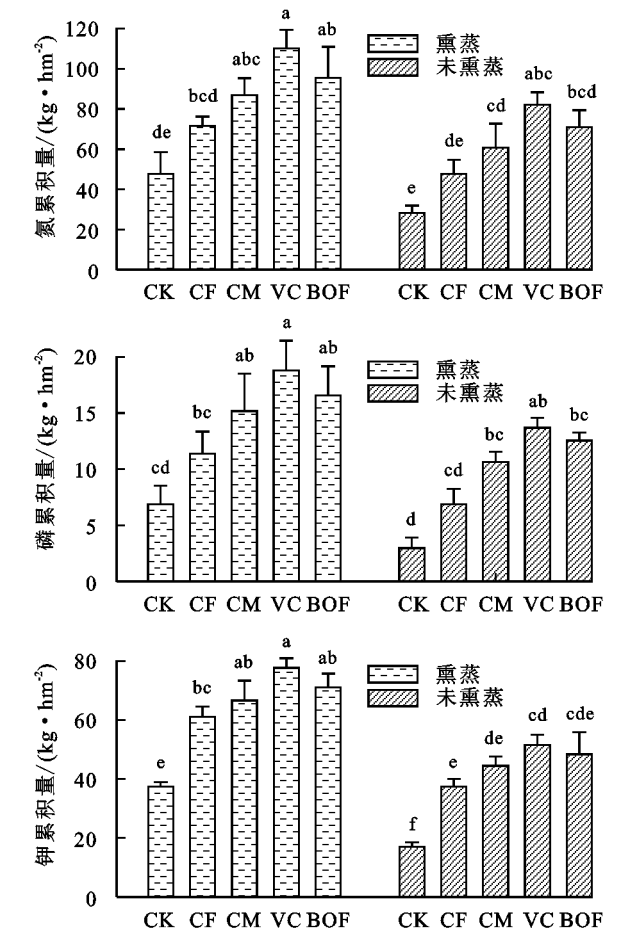


图 2 不同有机肥部分替代化肥对西瓜养分累积量的影响
磷累积量变化规律为 VC>BOF>CM>CF,VC 处理与 CF 处理有显著差异。相对于 CF 处理,施用

有机肥能提高西瓜钾累积量,其中 VC 处理显著提高西瓜钾累积量。通过图 2 可以看出,西瓜氮、磷、钾养分累积量整体表现为有机肥部分替代化肥处理高于单施化肥处理,说明有机肥施用可以促进西瓜生长,增加西瓜对养分的吸收和累积。

2.2.2 有机肥部分替代化肥对养分利用的影响
养分利用率是评价可持续农业的重要指标,国内针对作物养分利用率的分析没有形成统一标准,国外通常采用肥料利用率(FRE)以及肥料农学利用率(FAE)等侧面反应作物对肥料的利用效率^[14]。

不同有机肥部分替代化肥处理西瓜肥料利用率及土壤养分元素依存率见表 5。总体上,等量养分条件下,施用有机肥可提高西瓜肥料利用率、降低土壤养分元素依存率,以施用蚯蚓粪效果最为显著。熏蒸处理下肥料利用率普遍高于未熏蒸处理,土壤养分元素依存率普遍低于未熏蒸处理,其中土壤磷素依存率熏蒸处理高于未熏蒸处理。

无论熏蒸与否,各施肥处理西瓜氮、磷、钾肥利用率均表现为 VC>BOF>CM>CF。双因素方差分析结果表明,氮、钾肥利用率均受到熏蒸与有机肥施用的显著影响,磷肥利用率仅受到熏蒸的显著影响,熏蒸与有机肥施用对氮、磷、钾肥利用率不具有叠加效应,但与产量表现出相同的变化趋势。

土壤养分元素依存率反映了土壤养分元素对作物营养的贡献率^[13]。总体而言,土壤养分元素依存率均表现为 VC<BOF<CM<CF。熏蒸对土壤氮、磷素依存率产生显著影响,施用有机肥对土壤氮、钾素依存率的影响达到显著水平,二者对土壤氮、磷、钾素依存率的影响不存在互作效应,但熏蒸下施用有机肥比未熏蒸下施用有机肥的土壤养分元素依存率低。

综上所述,与单施化肥相比,有机肥部分替代化肥提高肥料利用率,降低土壤养分元素依存率,这说明有机肥部分替代化肥条件下西瓜对土壤氮、磷、钾的依存性减弱,而对肥料的依赖性增强,且作物从肥料中吸收养分越多,施肥对作物增产效果越好。

3 讨论

3.1 有机肥部分替代化肥对西瓜生长、产量及品质的影响

连作土壤中致病真菌类微生物大量繁殖及微生物区系变化会引发连作障碍,西瓜发病情况直接影响西瓜生长及其产量。本试验研究结果表明,熏蒸条件下 VC 及 BOF 处理西瓜发病率低于 CF 处理,这可能是由于生物有机肥本身含有大量微生物,施入土壤后提高了土壤微生物活性,改善了土壤微生物平衡,恢复被破坏的土壤生态系统,建立复杂而健康的土壤微生物体系,从而抑制土壤病原菌生长,减轻土传病害

的发生^[15],但 CM 处理发病率高,这可能由于鸡粪作为一种普通的有机粪肥,显著影响土壤真菌群落多样性,使得致病真菌微生物大量繁殖,导致土传病害发生^[16]。植株光合性能与产量之间存在显著正相关,西瓜产量是确定西瓜经济效益的一项重要指标,可溶性糖、维生素 C 等是检测西瓜果实品质的重要指标^[17]。有研究表明,有机无机配施显著提高作物叶片光合性能,促进作物干物质累积,从而增加作物产量,提高作物可溶性糖和维生素 C 含量,提升果实品质^[18-19]。

而本研究结果得出,不论何种有机肥替代化肥,与单施化肥相比,均能显著促进西瓜植株生长,提高

叶片光合性能,提升产量及品质,其中又以施用蚯蚓粪作用效果最为显著。这与前人研究结果一致。可能是由于施用有机肥可显著提高土壤保水、保肥能力,协调土壤水、肥、气的关系,从而改善土壤生态环境,为作物根系生长提供更好的土壤环境,促进作物生长,提高作物产量及果实品质^[18]。VC 处理作用效果最为显著,可能是由于蚯蚓粪与另外两种有机肥相比,不仅含有大量作物可利用氮和有机质,还存在生长素、赤霉素和细胞分裂素等促进作物生长的植物激素类物质,对作物生长、产量及品质的提升具有显著促进作用^[20]。

表 5 有机肥部分替代化肥对肥料利用率及土壤养分元素依存率的影响 单位: %

熏蒸措施	施肥处理	肥料利用率			土壤养分元素依存率		
		氮	磷	钾	氮	磷	钾
熏蒸	CF	9.93±1.94bc	2.14±0.93b	17.55±2.56b	32.09±1.97ab	34.41±7.09a	40.28±2.36ab
	CM	16.26±3.56abc	3.95±1.58ab	21.69±4.96ab	26.81±2.77b	26.94±6.85ab	37.50±4.17b
	VC	26.02±3.85a	5.67±1.27a	29.89±2.40a	20.96±1.65b	20.32±3.32ab	31.55±1.37b
	BOF	19.87±6.46abc	4.61±1.24ab	24.93±3.51ab	25.44±4.82b	23.12±3.70ab	34.70±2.25b
未熏蒸	CF	8.14±2.88c	1.87±0.64b	15.13±1.92b	43.44±6.64a	33.71±8.04a	51.70±3.82a
	CM	13.61±4.93abc	3.65±0.44ab	20.34±2.30ab	35.41±7.42ab	20.10±1.78ab	43.47±2.92ab
	VC	22.48±2.57ab	5.11±0.42ab	25.63±2.56ab	24.42±1.97b	15.52±0.97b	37.47±2.68b
	BOF	17.80±3.55abc	4.57±0.34ab	23.22±5.55ab	28.71±3.17b	16.89±0.90b	41.54±6.31ab

3.2 有机肥部分替代化肥对西瓜养分累积及养分利用的影响

与单施化肥相比,施用有机肥可提高西瓜养分累积量。Tian 等^[12]研究发现施用微生物有机肥与缓释肥可显著提高植物体内氮素累积。蚯蚓粪与化肥配施显著促进根系发育,提高根、茎、叶干物质量及氮、磷、钾养分吸收量^[20]。有机肥不仅含有较高的氮,还含有许多大量元素及微量元素,能够以最佳速率释放作物所需的氮、磷、钾;可通过总养分增加、养分矿化、为微生物活动提供碳源及降低土壤对磷的吸附能力等方面影响养分有效性^[6]。

随着植物吸收氮增多,植物分枝数增加,生长发育增强,磷素累积促进植物酶促反应和光合作用等过程,钾素累积促进植物各器官发育,使得西瓜产量显著提高^[21]。本试验研究结果表明,施用有机肥显著提高西瓜肥料利用率,降低土壤养分元素依存率,其中以 VC 处理作用效果最为显著。Duan 等^[22]研究发现有机肥与磷肥配施提高小麦和玉米的产量及养分利用率。秸秆还田配施无机肥能显著提高玉米植株吸氮量和氮素利用率,降低土壤氮素依存率,蚯蚓粪与化肥配施显著提高作物养分利用率^[13,20]。有机肥的施入能够显著增加固氮细菌和总细菌数,而细菌,尤其是固氮细菌,能刺激根系生长,影响作物养分利用率^[15];蚯蚓粪中含有微生物分解产生的腐殖质及其它影响植物生长类物质,蚯蚓粪被施入土壤后,使得土壤微生物生物量和活性显著增加,从而促进作

物生长、提高产量及肥料利用率^[23]。

有研究表明有机肥替代化肥比例并非越高越好,而是存在适宜的比例^[24]。本试验中 3 种有机肥施入量相同,由于其养分含量高低,导致替代比例不同,其中以蚯蚓粪替代比例最高,对养分利用效率最佳,其原因可能是与鸡粪、生物有机肥替代比例相比,施用该比例蚓粪更能提高土壤有机质含量,促进微生物活性,促使蚯蚓粪被分解吸收;而微生物活性增强使得其能固定更多的无机氮,当作物需肥量增加时,大量微生物死亡,释放被固持的氮素供作物吸收利用,形成缓急相济的养分供应条件^[23,25]。

3.3 熏蒸对西瓜生长、产量、品质及养分利用的影响

本研究中,相比于未熏蒸而言,熏蒸处理的西瓜发病率更低,叶绿素含量、光合性能、产量及品质均有所提高。而有研究表明生物熏蒸显著增强植物光合作用,促进生长,提高产量,提升品质,这可能是由于熏蒸影响土壤中微生物种类及数量,进而影响 Rubisco 合成及活性,对植物叶片光合作用强度、作物生长及果实品质产生作用^[9]。同时,土壤熏蒸降低了西瓜植株发病率,表明对于土传病害严重的土壤,进行土壤前期预处理能有效抑制病害产生,这与前人研究结果一致^[26]。有研究表明熏蒸剂抑制土壤中亚硝化细菌活性,从而促进土壤矿化,增加作物对养分吸收,提高作物养分尤其是氮素的利用率^[27]。本试验中土壤熏蒸处理后,养分累积量及肥料利用率提高,土壤氮、钾素依存率降低,但土壤磷素依存率升高,这可能

是由于生物熏蒸能改善土壤生态环境,增加植株对养分吸收,但与未熏蒸相比,熏蒸条件下单施化肥处理磷吸收的增加量大于有机肥施肥处理磷吸收的增加量^[28],导致熏蒸条件下土壤磷素依存率高。

4 结论

本研究得出,等量养分条件下,不同有机肥部分替代化肥能明显促进西瓜生长,提高产量和品质,增加养分利用率,降低土壤养分元素依存率。熏蒸能明显抑制西瓜枯萎病,并对西瓜生长及养分利用具有促进作用。本研究结果对有机肥合理替代部分化肥,及其对蔬菜产量和养分利用的生理学研究具有一定的理论参考。本文只开展了熏蒸条件下不同有机肥部分替代化肥对西瓜生长及养分利用影响的效应研究,接下来将进一步研究有机肥部分替代化肥促进养分转化及利用的关键微生物过程及作用机制。

参考文献:

- [1] 曾靖,常春华,王雅鹏. 基于粮食安全的我国化肥投入研究[J]. 农业经济问题, 2010(5):66-70.
- [2] 梁银丽,陈志杰,徐福利,等. 黄土高原设施农业中的土壤连作障碍[J]. 水土保持学报, 2004,18(4):134-136.
- [3] 肖新,朱伟,杜超,等. 轮作与施肥对滁菊连作土壤微生物特性的影响[J]. 应用生态学报, 2015,26(6):1779-1784.
- [4] Schmidt S, Raven J A, Paungfoo-Lonhienne C. The mixotrophic nature of photosynthetic plants[J]. Functional Plant Biology, 2013,40(5):425-438.
- [5] Redding M R, Lewis R, Kearton T, et al. Manure and sorbent fertilisers increase on-going nutrient availability relative to conventional fertilisers[J]. Science of the Total Environment, 2016, 569/570(1):927-936.
- [6] Lee J. Effect of application methods of organic fertilizer on growth, soil chemical properties and microbial densities in organic bulb onion production [J]. Scientia Horticulturae, 2010, 124(3):299-305.
- [7] 马俊艳,左强,吴建新,等. 不同耕作与施肥方式对花椰菜生长及养分利用的影响[J]. 水土保持学报, 2012,26(2):95-98.
- [8] 张玉平,荣湘民,刘强,等. 有机无机肥配施对旱地作物养分利用率及氮磷流失的影响[J]. 水土保持学报, 2013,27(3):44-48.
- [9] Klose S, Acosta-Martinez V, Ajwa H A. Microbial community composition and enzyme activities in a sandy loam soil after fumigation with methyl bromide or alternative biocides [J]. Soil Biology and Biochemistry, 2006, 38(6):1243-1254.
- [10] 高俊凤. 植物生理学实验指导[M]. 北京:高等教育出版社, 2006.
- [11] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 第3版. 北京:中国农业出版社, 2011.
- [12] Tian C, Zhou X, Liu Q, et al. Effects of a controlled-release fertilizer on yield, nutrient uptake, and fertilizer usage efficiency in early ripening rapeseed (*Brassica napus* L.)[J]. Journal of Zhejiang University, Science B, 2016,17(10):775-786.
- [13] 刘敏. 不同秸秆量与无机肥配施对土壤理化性状和玉米生长的影响[D]. 泰安:山东农业大学, 2014.
- [14] 徐新朋,魏丹,李玉影,等. 基于产量反应和农学效率的推荐施肥方法在东北春玉米上应用的可行性研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2016,22(6):1458-1467.
- [15] Liu Y, Shi J, Feng Y, et al. Tobacco bacterial wilt can be biologically controlled by the application of antagonistic strains in combination with organic fertilizer[J]. Biology and Fertility of Soils, 2013,49(4):447-464.
- [16] Kamaa M, Mburu H, Blanchart E, et al. Effects of organic and inorganic fertilization on soil bacterial and fungal microbial diversity in the Kabete long-term trial, Kenya[J]. Biology and Fertility of Soils, 2011,14(3):315-321.
- [17] Colla G, Roupahel Y, Cardarelli M, et al. Effect of salinity on yield, fruit quality, leaf gas exchange, and mineral composition of grafted watermelon plants[J]. HortScience, 2006,41(3):622-627.
- [18] Saikia P, Bhattacharya S S, Baruah K K. Organic substitution in fertilizer schedule: Impacts on soil health, photosynthetic efficiency, yield and assimilation in wheat grown in alluvial soil[J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2015,203(5):102-109.
- [19] 许小伟,樊剑波,陈晏,等. 有机无机肥配施对红壤旱地花生生理特性、产量及品质的影响[J]. 土壤学报, 2015,52(1):174-182.
- [20] Uma B, Malathi M. Vermicompost as a soil supplement to improve growth and yield of *Amaranthus* species[J]. Research Journal of Agriculture and Biological Sciences, 2009,5(6):1054-1060.
- [21] Marschner H. Marschner's mineral nutrition of higher plants[M]. Pittsburgh: Academic Press, 2011.
- [22] Duan Y, Xu M, Wang B, et al. Long-term evaluation of manure application on maize yield and nitrogen use efficiency in China[J]. Soil Science Society of America Journal, 2011,75(4):1562-1573.
- [23] Arancon N Q, Edwards C A, Babenko A, et al. Influences of vermicomposts, produced by earthworms and microorganisms from cattle manure, food waste and paper waste, on the germination, growth and flowering of petunias in the greenhouse[J]. Applied Soil Ecology, 2008,39(1):91-99.
- [24] 汪吉东,张辉,张永春,等. 连续施用不同比例鸡粪氮对水稻土有机质积累及土壤酸化的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2014,20(5):1178-1185.