

杭 琼,孙凯文,时佩佩,等. 蚯蚓粪与果园底土混合培养对部分水溶性物质含量的影响[J]. 江苏农业科学,2015,43(9):353-356.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2015.09.114

蚯蚓粪与果园底土混合培养对部分水溶性物质含量的影响

杭 琼¹,孙凯文¹,时佩佩¹,承 杰²,曹雪林²,戴红卫³,盛海君¹,姚粉霞¹,钱晓晴¹

(1. 扬州大学环境科学与工程学院,江苏扬州 225009; 2. 江苏科力农业资源科技有限公司,江苏常州 213115;

3. 南京绿航生态农业有限公司,江苏南京 211516)

摘要:为了评估果园底层土壤与蚯蚓粪等材料合成的技术新成土(Technosol)用于园林、道路绿化、污染退化土壤修复改良的安全性,对该混合物中水溶性物质的含量变化开展研究。以猕猴桃果园底层土壤(30~60 cm)为材料,分别添加0%(CK)、5%、10%、15%、20%的蚯蚓粪,充分混合,探讨蚯蚓粪-底土混合物在培养过程中部分水溶性物质含量变化情况。结果表明:添加适量蚯蚓粪能增加该混合物中水溶性养分含量,满足作物生长对氮、磷、钾等养分的需求;过量加入蚯蚓粪会导致土壤水溶性物质含量过高,可能对作物造成一定程度的胁迫,并引起水环境污染;本试验条件下,加入5%~20%的蚯蚓粪能在一定程度上降低混合物中水溶性有机碳含量。

关键词:蚯蚓粪;底土;水溶性物质

中图分类号: S156 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2015)09-0353-04

当前我国非农用地面积不断增加,耕地资源越来越少,生态环境、地球气候变化以及人为活动都在一定程度上给我国土地资源造成更多压力,对现有耕地进行合理利用与保护显得十分重要^[1-5]。改良果园土壤的方法很多,如传统猕猴桃

果园土壤一般采用一年生作物的管理方式,以清耕、裸露、中耕为主要手段,还包括果园生草,施用无机、有机肥料等手段^[6-10]。以往对土壤改良的研究多集中于土壤表层,关于果园底层土壤改良的研究很少。底层土壤是土表30 cm以下的土壤,也称为底土,它的特点是通气性差、氧扩散率低,不同地区、不同土壤的底土化学性质不同^[11-13]。一般而言,底土养分的有效性远低于耕层土壤,这是由于植物根从底土吸收养分,通过养分循环进入耕层土壤,且耕层大量施用化肥。底土中较高的pH值和大量的活性胶体物质能将养分固定,导致养分很难被植物根利用^[12]。当耕层的资源潜力无法利用或开发达到极限时,改良底土将成为提高农业生产力、增加粮食

收稿日期:2014-08-31

基金项目:江苏省产学研合作前瞻性联合研究项目(编号:BY2013063-09)。

作者简介:杭 琼(1990—),女,江苏张家港人,硕士,主要从事农业资源利用研究。E-mail:574171821@qq.com。

通信作者:钱晓晴,教授,主要从事环境科学研究。E-mail:xiaqingqian@163.com。

[40]王 丽,闫德仁. 生物结皮层覆盖对风沙土水分蒸发特征的影响[J]. 内蒙古农业大学学报:自然科学版,2009,30(1):59-64.

[41]吕貽忠,杨佩国. 荒漠结皮对土壤水分状况的影响[J]. 干旱区资源与环境,2004,18(2):76-79.

[42]Graetz R D, Tongway D J. Influence of grazing management on vegetation, soil structure and nutrient distribution and the infiltration of applied rainfall in a semi-arid chenopod shrubland[J]. Australian Journal of Ecology, 1986, 11: 347-360.

[43]李新荣,张志山,王新平,等. 干旱区土壤-植被系统恢复的生态水文学研究进展[J]. 中国沙漠,2009,29(5):845-852.

[44]West N E. Structure and function of microphytic soil crusts in wild land ecosystems of arid to semiarid regions[J]. Advances in Ecological Research, 1990, 20: 179-223.

[45]Greene R S B, Chartres C J, Hodgkinson K C. The effects of fire on the soil in degraded semiarid wood land cryptogam cover and physical and micro-morphological properties[J]. Australian Journal of Soil Research, 1990, 28: 755-777.

[46]Eldridge D J. Cryptogam cover and soil surface condition: effects on hydrology in a semi-arid woodland[J]. Arid Soil Research and

Rehabilitation, 1993, 7: 203-217.

[47]陈荷生. 沙坡头地区生物结皮的水文物理特点及其环境意义[J]. 干旱区研究, 1992, 9(1): 31-38.

[48]Williams J D, Dobrowolski J P, West N E. Microbiotic crust influence on unsaturated hydraulic conductivity[J]. Arid Soil Research and Rehabilitation, 1999, 13(2): 145-154.

[49]刘发民,金 燕,张小军. 梭梭林“肥岛”效应的初步研究[J]. 干旱区资源与环境, 1999, 13(3): 86-88.

[50]Vinton M A, Burke I C. Interactions between individual plant species and soil nutrient status in short grass steppe[J]. Ecology, 1995, 6(4): 1116-1133.

[51]白永飞,许志信,李德新. 内蒙古高原针茅草原群落土壤水分和碳、氮分布的小尺度空间异质性[J]. 生态学报, 2002, 22(8): 1215-1223.

[52]李新荣,张景光,王新平,等. 干旱沙漠区土壤微生物结皮及其对固沙植被影响的研究(英文)[J]. 植物学报, 2000, 42(9): 965-970.

[53]宋 阳,严 平,张 宏,等. 荒漠生物结皮研究中的几个问题[J]. 干旱区研究, 2004, 21(4): 439-443.

产量的重要措施。蚯蚓粪作为一种高效有机肥料,最大特点是富含活性有机物与微生物,与土壤混合后可以多种复杂反应,将植物各生长因子合理结合起来,改善土壤物理化学环境,最终达到增肥、抗病、养土的目的^[14~15]。土壤有机质是保持土壤良好物理性状的必要条件,也是植物营养的重要来源^[16]。蚯蚓粪可促进土壤团粒结构的形成,提高土壤通透性、保水性、保肥力^[17~20]。本研究以猕猴桃果园贫瘠底土为研究对象,在底土中充分混合不同比例的蚯蚓粪,探讨蚯蚓粪-底土混合物在培养过程中部分水溶性物质含量变化情况,旨在为更好地开发利用底土提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试底土取自江苏省南京市六合区某猕猴桃种植园土表以下 30 ~ 60 cm 土层。土壤基本性质: pH 值 5.74, 电导率 5.74 μ S/cm, 有机质含量 9.37 g/kg, 全氮含量 1.063 g/kg, 全磷含量 0.509 g/kg, 全钾含量 1.803 g/kg, 硝态氮含量 5.33 mg/kg, 铵态氮含量 8.12 mg/kg, 速效磷含量 11.0 mg/kg, 速效钾含量 101.9 mg/kg。试验前将土壤风干、磨细、过筛。蚯蚓粪(简称蚓粪): 取自扬州大学奶牛场蚯蚓养殖基地, 为蚯蚓消解牛粪获得的蚓粪; 其养分含量: 有机质 468.9 g/kg, 全氮 39.55 g/kg, 全磷 14.86 g/kg, 全钾 7.385 g/kg, 硝态氮 2.366 g/kg, 铵态氮 134.8 mg/kg, 速效磷 1.54 g/kg, 速效钾 1.65 g/kg。

1.2 试验设计

试验于 2013 年 7—9 月在扬州大学环境科学与工程学院资源环境科学实验室进行。试验采用室内模拟培养方式进行。设 5 个处理, 以不加蚓粪的自然底土为对照(CK), 其余 4 种处理是将自然底土加蚓粪, 蚓粪的添加比例(按质量计

算)分别为 5% (T₁ 处理)、10% (T₂ 处理)、15% (T₃ 处理)、20% (T₄ 处理), 充分混合, 置于塑料周转箱内, 室温条件下连续培养 60 d。培养期间, 维持土壤含水量在 20% ~ 30%。为了减缓水分蒸发, 在混合物表面覆盖 1 层塑料保鲜膜。每周取样 1 次, 测定混合物中部分水溶性物质含量。

1.3 方法

采用水土比 5 : 1 浸提混合物获得待测液。采用靛酚蓝比色法测定铵态氮含量, 采用紫外分光光度法测定硝态氮含量, 采用钼蓝比色法测定无机磷含量, 采用总有机碳(TOC)全自动测定仪测定 TOC 含量, 采用过硫酸钾氧化后的紫外分光光度法测定全氮含量, 采用钼蓝比色法测定全磷含量。

1.4 数据统计与分析

采用 Excel 2003、SPSS 软件统计分析数据。

2 结果与分析

2.1 混合物中水溶性无机磷含量变化情况

从表 1 可以看出, 随着培养时间的延长, 5 种处理混合物中水溶性无机磷含量基本呈现先增后降趋势。不添加蚯蚓粪处理(CK)混合物在培养期间水溶性无机磷含量为 0 ~ 3.4 mg/kg, 变幅较小, 低于多数作物对水溶性磷需求的适宜水平。T₁ 处理下混合物中水溶性无机磷含量为 15.1 ~ 39.1 mg/kg, 达到了绝大多数作物对水溶性磷需求的适宜水平, T₁ 处理下混合物水溶性无机磷含量最大值出现在培养第 6 周。随着蚯蚓粪添加比例的增加, 混合物中水溶性无机磷含量明显增加。T₂、T₃、T₄ 处理下混合物中水溶性无机磷含量变幅分别为 46.3 ~ 61.7、49.2 ~ 108.0、74.3 ~ 115.0 mg/kg, 培养 1 ~ 2 周达到最大值, 并且维持在较高水平。培养 8 ~ 9 周后混合物中水溶性无机磷含量虽然趋于平稳, 但仍保留在较高水平, 远超出一般作物对水溶性磷浓度要求的范围。

表 1 不同培养时间混合物中水溶性无机磷含量变化

取样时间	水溶性无机磷含量(mg/kg)				
	CK	T ₁ 处理	T ₂ 处理	T ₃ 处理	T ₄ 处理
第 1 周	0.00Aa	23.4 ± 1.4Aab	50.7 ± 1.10ABCabc	49.2 ± 0.00Aa	74.3 ± 0.3Aa
第 2 周	0.00Aa	21.6 ± 0.0Aab	59.5 ± 1.70CDde	108.0 ± 0.90Fg	115.0 ± 4.9Ce
第 3 周	0.00Aa	18.3 ± 1.4Aab	61.7 ± 0.30De	88.3 ± 0.90DEef	90.3 ± 3.0ABabc
第 4 周	0.00Aa	23.8 ± 0.3Aab	56.5 ± 0.80BCDede	90.1 ± 1.20Eef	86.3 ± 0.3ABbed
第 5 周	1.06 ± 0.00Aab	19.3 ± 0.5Aab	54.5 ± 0.80ABCdbed	76.3 ± 0.90BCc	94.4 ± 0.3ABCabc
第 6 周	1.43 ± 0.00Aab	39.1 ± 28.5Ab	48.3 ± 1.11ABab	85.6 ± 2.30CDEde	108.0 ± 17.9BCde
第 7 周	3.44 ± 0.28Ab	20.1 ± 2.2Aab	59.3 ± 0.80CDde	93.6 ± 2.00Ef	105.0 ± 4.2BCde
第 8 周	2.37 ± 3.36Aab	15.8 ± 1.1Aab	51.9 ± 7.90ABCdabc	68.6 ± 8.20Bb	77.3 ± 0.9Aa
第 9 周	1.27 ± 1.79Aab	15.1 ± 1.1Aa	46.3 ± 0.60Aa	79.2 ± 0.90CDed	76.4 ± 3.9Aa

注: 同列数字后标有不同大写字母表示差异极显著(P < 0.01), 标有不同小写字母表示差异显著(P < 0.05)。下表同。

2.2 混合物中水溶性全磷含量变化情况

从表 2 可以看出, 添加不同比例的蚯蚓粪处理与对照相比, 水溶性全磷含量波动较大。随着蚯蚓粪添加比例的增加, 水溶性全磷含量大幅提高, 但波动性增大。培养 1 周后, 不添加蚯蚓粪的对照(CK)和 T₁ 处理的混合物中水溶性全磷含量减少, T₂、T₃、T₄ 处理下水溶性全磷含量均极显著增加。随着添加蚯蚓粪比例的提高, 混合物中水溶性全磷含量增加; 随着时间的推移, 水溶性全磷含量逐渐趋于平稳, 但仍保持在较高水平, 如果进入水体环境, 水体磷元素富营养化风险较大。

2.3 混合物中水溶性硝态氮含量的变化

从表 3 可以看出, 随着培养时间的延长, 5 种处理混合物中水溶性硝态氮含量呈增长趋势, 不添加蚯蚓粪(CK)处理混合物中水溶性硝态氮含量为 14.5 ~ 26.9 mg/kg。T₁ 处理下混合物中水溶性硝态氮含量范围为 37.7 ~ 77.6 mg/kg, 能较好地满足多数作物生长的需求。随着蚯蚓粪添加比例的不断增加, 培养中后期混合物中水溶性硝态氮含量都出现了大幅度上升。蚯蚓粪添加过多会导致混合物硝态氮含量增加, 对水环境可能造成径流污染。

2.4 混合物中水溶性铵态氮含量的变化

从表 4 可以看出, 随着培养时间的延长, 不同处理混合物

表 2 不同培养时间混合物水溶性全磷含量变化

取样时间	水溶性全磷含量 (mg/kg)				
	CK	T ₁ 处理	T ₂ 处理	T ₃ 处理	T ₄ 处理
第 1 周	6.63 ± 3.82Ab	30.2 ± 0.70Aa	43.0 ± 0.0Aa	72.9 ± 13.9Aa	77.3 ± 1.4Aa
第 2 周	4.26 ± 2.87Aab	28.8 ± 2.80Aa	62.4 ± 2.1CDcd	114.0 ± 0.5Cd	127.0 ± 3.0De
第 3 周	4.60 ± 3.35Aab	21.0 ± 0.20Aa	65.2 ± 4.4Dd	97.7 ± 7.2BCc	105.0 ± 2.8Ce
第 4 周	1.90 ± 0.48Aa	29.5 ± 0.20Aa	63.0 ± 5.4CDcd	96.0 ± 0.5BCc	106.0 ± 0.3Ce
第 5 周	1.22 ± 0.00Aa	19.9 ± 0.70Aa	52.9 ± 0.0BCb	78.6 ± 2.7ABab	94.9 ± 1.9BCbc
第 6 周	2.57 ± 0.48Aab	23.1 ± 2.70Aa	60.8 ± 1.3CDcd	89.4 ± 1.4ABbc	108.0 ± 1.1Cd
第 7 周	4.77 ± 1.67Aab	20.2 ± 0.25Aa	65.2 ± 4.4Dd	95.8 ± 6.2BCc	108.0 ± 0.0Cd
第 8 周	3.59 ± 1.91Aab	29.3 ± 13.00Aa	56.7 ± 0.6BCDbc	80.7 ± 3.5ABab	101.0 ± 2.5BCcd
第 9 周	2.57 ± 0.96Aab	20.2 ± 0.70Aa	50.2 ± 1.3ABb	88.2 ± 1.3ABbc	89.2 ± 11.1ABb

表 3 不同培养时间混合物中水溶性硝态氮含量变化

取样时间	水溶性硝态氮含量 (mg/kg)				
	CK	T ₁ 处理	T ₂ 处理	T ₃ 处理	T ₄ 处理
第 1 周	17.3 ± 0.0ABab	40.7 ± 1.0Bb	68.1 ± 0.4Aa	84.7 ± 0.2Aa	132.2 ± 1.3Aa
第 2 周	14.5 ± 0.4Aa	39.4 ± 0.9ABab	82.0 ± 0.8Bb	121.2 ± 0.2Bb	165.7 ± 0.3Bb
第 3 周	19.9 ± 0.3ABabc	37.7 ± 0.7Aa	104.6 ± 0.1Cc	139.7 ± 0.5Cc	188.6 ± 2.0Cc
第 4 周	21.4 ± 1.2ABabc	58.6 ± 0.8Dd	108.4 ± 0.9Dd	188.2 ± 0.1Dd	223.6 ± 1.48Dd
第 5 周	19.0 ± 0.0ABab	55.3 ± 0.3Cc	127.8 ± 0.2Ee	218.2 ± 1.2Ee	269.9 ± 3.4Ee
第 6 周	21.6 ± 0.0ABabc	60.4 ± 0.8Dd	140.6 ± 0.5Ff	250.1 ± 0.3Ff	303.6 ± 0.3Ff
第 7 周	26.9 ± 9.1Bc	72.2 ± 1.3Ff	154.0 ± 1.3Gg	275.8 ± 2.4Gg	327.5 ± 1.9Hh
第 8 周	20.7 ± 1.0ABabc	69.4 ± 0.1Ee	171.5 ± 1.0Hh	278.7 ± 1.3Gh	348.7 ± 2.7Ii
第 9 周	23.0 ± 0.3ABbc	77.6 ± 1.2Gg	175.6 ± 0.5Ii	311.3 ± 1.0Hi	311.1 ± 1.4Gg

表 4 不同培养时间混合物中水溶性铵态氮含量变化

取样时间	水溶性铵态氮含量 (mg/kg)				
	CK	T ₁ 处理	T ₂ 处理	T ₃ 处理	T ₄ 处理
第 1 周	0.99 ± 0.14Bb	1.27 ± 0.09Cc	1.15 ± 0.42Cd	1.18 ± 0.05De	1.24 ± 0.10Ca
第 2 周	0.22 ± 0.04Aa	0.86 ± 0.08BCbc	0.62 ± 0.06ABCabc	0.58 ± 0.09ABCbc	0.66 ± 0.08ABCab
第 3 周	0.60 ± 0.04ABab	0.65 ± 0.20ABbc	0.34 ± 0.17ABab	0.15 ± 0.11Aa	0.64 ± 0.10ABCab
第 4 周	0.93 ± 0.39Bb	0.21 ± 0.08Aa	0.72 ± 0.11ABCbcd	0.34 ± 0.09ABab	0.22 ± 0.12Aa
第 5 周	0.64 ± 0.08ABab	0.75 ± 0.09Bbc	0.63 ± 0.21ABCabc	0.71 ± 0.07BCcd	0.82 ± 0.26ABCbc
第 6 周	1.02 ± 0.29Bb	0.67 ± 0.19ABbc	0.71 ± 0.12ABCbcd	0.92 ± 0.15CDde	1.18 ± 0.20Cc
第 7 周	0.76 ± 0.10ABb	1.00 ± 0.28BCcd	0.91 ± 0.16BCcd	0.74 ± 0.20BCcd	0.95 ± 0.26BCbc
第 8 周	0.60 ± 0.10ABab	0.51 ± 0.12ABab	0.21 ± 0.14Aa	0.36 ± 0.19ABab	0.30 ± 0.14ABa
第 9 周	0.65 ± 0.16ABab	0.65 ± 0.07ABbc	0.69 ± 0.01ABCbcd	0.85 ± 0.09CDcd	1.00 ± 0.28Cbc

中水溶性铵态氮含量均呈波动下降趋势,但变化范围均不大。所有处理下混合物中水溶性铵态氮含量都在 1.3 mg/kg 以下。尽管蚯蚓粪本身含有一定浓度的铵态氮,但可能由于底土的吸附、固定作用,或是培养过程中微生物的生物固定、硝化作用等,导致混合物中水溶性铵态氮含量并未随蚯蚓粪添加比例的提高而显著增加。

2.5 混合物中水溶性全氮含量变化

从表 5 可以看出,不添加蚯蚓粪(CK)和添加 5% 蚯蚓粪(T₁)2 个处理下混合物中水溶性全氮含量变化幅度相对较小。T₂、T₃、T₄ 处理下混合物中水溶性全氮含量随着培养时间的延长基本上一直增加。随着蚯蚓粪添加比例的提高,混合物中水溶性全氮含量提高,可以推测添加过高比例的蚯蚓粪存在一定的导致水体氮素富营养化风险。

2.6 混合物中水溶性 TOC 含量的变化

从表 6 可以看出,随着培养时间的延长,不同处理下混合物中水溶性 TOC 含量呈“下降 - 上升”多次波动变化趋势。

与对照相比,T₁、T₂、T₃、T₄ 处理下混合物中水溶性 TOC 含量均明显降低,添加蚯蚓粪在一定程度上有助于减少混合物中水溶性总有机碳含量,有利于减少有机碳流失。随着蚯蚓粪添加比例的增加,土壤有机质含量显著增加的同时,也有利于抑制有机碳的流失及其引起的环境污染负荷。

3 结论与讨论

蚯蚓粪含有丰富的高品质有机质、大量的营养物质,添加蚯蚓粪既可以提高土壤综合肥力,也可能引起高浓度电解质对作物渗透胁迫程度加重。添加适量蚯蚓粪,不但能使混合物中水溶性养分含量处于作物生长适宜水平,而且可以使水溶性养分含量在较短时间内达到相对平衡状态。添加适量蚯蚓粪并不会对混合物中水溶性氮、磷含量产生很大影响,同时可以避免水体污染,降低混合物中水溶性总有机碳的含量及碳素流失的风险。过量添加蚯蚓粪,能较大幅度地提高混合物中水溶性氮、磷含量,对水体环境污染风险较大。

表 5 不同培养时间混合物中水溶性全氮含量变化

取样时间	水溶性全氮含量 (mg/kg)				
	CK	T ₁ 处理	T ₂ 处理	T ₃ 处理	T ₄ 处理
第 1 周	40.8 ± 7.7Aa	55.3 ± 1.2ABab	72.9 ± 4.3Aa	97.5 ± 4.3Aa	135.8 ± 5.0Aa
第 2 周	17.3 ± 7.7Aa	51.0 ± 5.8Aa	87.6 ± 3.6Ab	123.6 ± 3.3Bb	178.0 ± 3.8Aab
第 3 周	31.4 ± 15.1Aa	83.8 ± 19.7ABc	109.3 ± 7.2Bc	155.5 ± 3.7Cc	205.2 ± 10.7ABb
第 4 周	23.3 ± 0.7Aa	71.5 ± 5.4ABbc	116.7 ± 3.9BCc	200.7 ± 0.8Dd	263.0 ± 50.5BCc
第 5 周	36.6 ± 14.4Aa	58.6 ± 4.2ABab	129.6 ± 0.6Cd	219.1 ± 4.5Ee	270.8 ± 3.4BCDe
第 6 周	53.8 ± 60.0Aa	62.7 ± 1.5ABab	145.7 ± 0.4De	256.5 ± 2.1Ff	335.3 ± 44.0CDd
第 7 周	27.2 ± 1.1Aa	86.2 ± 3.1ABc	159.6 ± 10.4DEf	282.8 ± 1.2Gg	329.2 ± 6.4CDd
第 8 周	22.5 ± 4.8Aa	72.9 ± 5.0ABbc	175.4 ± 1.6EFg	282.8 ± 2.0Gg	338.9 ± 1.7CDd
第 9 周	37.4 ± 29.5Aa	82.2 ± 5.0ABc	177.6 ± 1.6Fg	312.0 ± 2.9Hh	316.2 ± 8.6Ded

表 6 不同培养时间混合物中水溶性 TOC 含量变化

取样时间	水溶性 TOC 含量 (mg/kg)				
	CK	T ₁ 处理	T ₂ 处理	T ₃ 处理	T ₄ 处理
第 1 周	1 374.4 ± 1.3Hh	948.2 ± 2.9Hh	1 282.0 ± 2.4Gg	760.2 ± 2.9Ee	560.6 ± 8.9Ff
第 2 周	492.2 ± 1.3Bb	311.1 ± 0.2Aa	366.6 ± 1.0Bb	361.6 ± 0.4Bb	262.4 ± 5.9Bb
第 3 周	596.6 ± 0.1Cc	338.7 ± 3.2Cc	299.3 ± 1.5Aa	385.7 ± 1.5Bb	376.6 ± 2.0Cc
第 4 周	449.5 ± 5.9Aa	322.6 ± 3.3ABab	304.2 ± 0.2Aa	232.5 ± 0.2Aa	248.7 ± 0.1Aa
第 5 周	689.5 ± 8.8Ee	468.5 ± 3.1Ee	362.6 ± 5.6Bb	344.6 ± 5.6Bb	421.5 ± 0.2Dd
第 6 周	1 089.7 ± 2.3Gg	326.4 ± 9.5BCbc	378.6 ± 1.4Cc	217.5 ± 72.3Aa	415.4 ± 3.1Dd
第 7 周	620.2 ± 4.2Dd	363.5 ± 0.4Dd	560.2 ± 1.4Ee	362.4 ± 3.9Bb	511.4 ± 1.5Ee
第 8 周	761.3 ± 1.5Ff	589.3 ± 0.0Gg	483.5 ± 7.3Dd	505.1 ± 0.1Cc	578.6 ± 4.2Gg
第 9 周	757.0 ± 0.0Ff	555.7 ± 4.7Ff	615.4 ± 0.2Ff	648.3 ± 1.5Dd	667.9 ± 0.3Hh

参考文献:

[1] 骆永明, 滕 应. 我国土壤污染退化状况及防治对策[J]. 土壤, 2006, 38(5): 505 – 508.

[2] 赵沁娜, 杨 凯, 张 勇. 土壤污染治理与开发的环境经济调控对策研究[J]. 环境科学与技术, 2005(5): 49 – 50.

[3] 梅祖明, 袁平凡, 殷 婷, 等. 土壤污染修复技术探讨[J]. 上海地质, 2010, 31(增刊): 128 – 132.

[4] 林 强. 我国的土壤污染现状及其防治对策[J]. 福建水土保持, 2004, 16(1): 25 – 28.

[5] 徐咏文, 段 萍, 罗志华. 浅析中国土壤分类的发生与现状[J]. 安徽农业科学, 2005, 33(10): 2003 – 2004.

[6] 赵英杰. 猕猴桃果园生草效应及栽培技术[J]. 落叶果树, 2010(3): 58 – 59.

[7] 庄伊美. 试论亚热带红壤果园土壤改良熟化[J]. 热带地理, 1991(4): 320 – 327.

[8] 来 源, 同延安, 陈黎岭, 等. 施肥对猕猴桃产量和品质的影响[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2011, 39(10): 171 – 176.

[9] 徐爱春, 陈庆红, 顾 霞. 猕猴桃不同果园土壤和叶片营养状况分析[J]. 中国土壤与肥料, 2011(5): 53 – 56.

[10] 刘科鹏, 黄春辉, 冷建华, 等. 猕猴桃园土壤养分与果实品质的多元分析[J]. 果树学报, 2012(6): 1047 – 1051.

[11] Arancon N Q, Galvis P A, Edwards C A. Suppression of insect pest populations and damage to plants by vermicomposts[J]. Bioresource Technology, 2005, 96(10): 1137 – 1142.

[12] 申建波, 张福锁, 毛达如. 底土胁迫效应与植物根系的适应性[J]. 中国生态农业学报, 2001, 9(2): 60 – 63.

[13] 王小彬, 蔡典雄, 华 璐, 等. 土壤保持耕作——全球农业可持续发展优先领域[J]. 中国农业科学, 2006, 39(4): 741 – 749.

[14] Arancon N Q, Edwards C A, Bierman P. Influences of vermicomposts on field strawberries: part 2. Effects on soil microbiological and chemical properties[J]. Bioresource Technology, 2006, 97(6): 831 – 840.

[15] 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.

[16] 王凤艳. 蚯蚓粪对土壤的影响[J]. 吉林农业, 2005(10): 25.

[17] 斐庆海. 蚯蚓粪的优点、作用和对土壤的影响[J]. 农村实用科技信息, 2005(10): 18.

[18] 唐 健, 宋贤冲, 王会利. 不同配比蚯蚓粪复合肥对桉树生长及土壤性质的影响[J]. 南方农业学报, 2012, 43(3): 341 – 344.

[19] 张荣涛, 周东兴, 申雪庆. 蚯蚓粪对盐碱土壤速效养分和碱化指标的影响[J]. 国土与自然资源研究, 2013(4): 83 – 86.

[20] 张洪钦, 董延涛. 蚯蚓粪改良老化土壤效果好[J]. 技术与市场, 2004(1): 29.