

蚓粪施用方式对不同品种番茄生长和土壤肥力的影响^①

滕明姣^{1,2}, 万兵兵^{1,3}, 王东升^{1,3}, 焦加国^{1,2}, 刘满强^{1,2}, 陈小云^{1,2*}

(1 南京农业大学资源与环境科学学院, 南京 210095; 2 江苏省有机固体废弃物资源化协同创新中心, 南京 210095;

3 南京市蔬菜科学研究所, 南京 210042)

摘 要: 肥料的施用方式会影响有机肥料的分解和养分释放过程, 且不同作物品种在养分需求方面也各有差异。蚓粪是一种能够改善土壤和促进植物生长的新型替代肥料。采用盆栽试验研究了蚓粪施用方式对不同番茄品种生长和土壤肥力的影响, 盆栽试验设置为: 两个番茄品种: 金棚三号和艾瑞尔; 4 种施肥方式: 单施化肥(CF); 蚓粪表施(VS), 即蚓粪与盆钵上部 8 cm 厚土壤混施; 蚓粪中施(VL), 即蚓粪均匀平铺紧邻 8 cm 处下方; 蚓粪全土混施(VM), 即蚓粪与所有土壤混合。结果表明: 相比全土混施, 蚓粪表施和中施更能增加番茄的茎叶生物量并且促进其对氮、钾的吸收; 与单施化肥相比, 蚓粪的效果更依赖于施用方式, 蚓粪表施和全土混施比中施更能提高土壤 pH 和有机碳含量。在盛花期, 无论番茄品种, 土壤有效磷、速效钾含量都在蚓粪表施时最高; 而在收获期, 蚓粪表施和全土混施的有效磷含量高于中施处理。相比蚓粪中施和全土混施, 表施降低了艾瑞尔的土壤矿质氮含量。总之, 蚓粪的集中施用如表施和中施, 能促进番茄生长及养分吸收, 并且在不同品种之间效应一致。

关键词: 蚓粪; 施用方式; 植物生长; 土壤肥力

中图分类号: S158.3 **文献标识码:** A

设施集约农业生产追求更高的产量和经济效益, 因此不可避免地长期且大量地投入化肥, 这不仅对环境造成污染, 同时也对土壤质量和作物的生长产生消极影响^[1]。伴随畜禽养殖业的快速发展, 大量有机废弃物的积累和不恰当的处理也导致了严重的环境问题。实际上, 有机废弃物如畜禽粪便的合理利用不仅可以为作物生长提供所必需的大量及微量元素, 也可以促进土壤生物群落发展进而改善土壤功能。利用蚯蚓处理有机废弃物具有悠久的历史, 所获得的堆制产物大部分为蚯蚓取食有机废物而排泄的粪便, 即蚓粪或者蚓堆肥^[2]。蚓粪具有良好的孔性、通气性及保水性, 且质地均一、表面积大, 同时含有多种植物促生物质^[3]。因此, 蚓粪被越来越多地认可为是一种能够部分替代化肥的高效生物有机肥料^[4]。

有机物料养分释放与作物吸收的协调同步是评价有机肥潜力价值的重要因素。虽然研究表明不同种类有机物料的质量或组成差异是决定其分解过程的

重要因素, 但实际上有机物料施用的方式也对养分的释放动态具有重要的影响。很多研究已证明有机物的空间分布异质性对土壤生物群落和分解过程产生显著的影响^[5-6]; 但有机物料的不同施用方式对其在土壤中的作用的影响却极少被关注。理论上, 有机物料在土壤中的空间分布位置会影响其分解和养分释放过程, 进而影响着作物对养分的吸收和利用, 从而影响着作物生长及土壤肥力。目前, 已有学者对肥料不同施肥方式的效果进行了比较和研究, 如表施、混施等^[7-9]。但是严格比较有机物料空间分布位置特别是蚓粪施用方式的研究尚未有报道。除了来自有机物料的影响外, 同一作物的不同品种在养分生理代谢及根系生长等方面的差异也影响其养分吸收和利用^[10-12], 并可能对肥料的空间分布位置会表现出不同的响应特点。迄今, 关于有机肥和作物品种交互作用的研究尚属空白。就蚓粪而言, 关于蚓粪改善土壤肥力和促进作物生长的研究较多^[13-17], 但有关其施用方式的影响特别是与作物品种的相互关系鲜有报道。

基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFD0200305)、公益性行业(农业)科研专项(201503121)及江苏高校优势学科建设工程项目(PAPD)资助。

* 通讯作者(xyichen@njau.edu.cn)

作者简介: 滕明姣(1991—), 女, 山东青岛人, 硕士研究生, 主要从事蚯蚓堆肥资源化利用研究。E-mail: temj1216@163.com

番茄是世界范围内广泛种植的蔬菜,长期发展过程中培育出了各种在生长、产量和品质等方面差异明显的品种。本研究选择市场上在产量和品质差异较大的两个品种的番茄,结合有机物料在田间的典型施用方式,如表施、条(穴)施和混施等,通过盆栽调控试验,探讨有机物料的空间分布与作物品种的交互作用,研究结果不仅有助于了解有机肥施用方式对养分释放与作物生长之间协同关系的影响,而且对于利用有机废弃物资源、减少化肥用量和选择合适的品种具有一定的指导意义。

1 材料与方法

1.1 试验材料

本试验中选择的番茄品种为金棚三号和艾瑞尔。金棚三号为高秧类型,上市期熟性较早,产量较高,能达到每亩(667 m²)地 5 000~6 000 kg;艾瑞尔为以色

列进口杂交一代,大红果,硬度好,颜色亮丽,酸甜适中,坐果率强,是目前品质表现最优秀的红果之一。

供试土壤采自南京市蔬菜花卉科学研究所的温室大棚,该大棚前期采用常规化肥方法连续种植过番茄、黄瓜、小青菜等,采集土壤前已闲置 1 a。蚓粪采自南京市汤泉农场附近的蚯蚓养殖场,为赤子爱胜蚓(*Eisenia fetida*)处理半腐熟牛粪近 4 个月的产物。土壤与蚓粪的基本性质见表 1。

1.2 试验设计

盆栽试验于 2014 年 8—12 月在南京市蔬菜花卉科学研究所的温室中进行。采用番茄品种(2 水平)和肥料施用方式(4 水平)双因子完全交互设计,其中番茄品种选用金棚三号和艾瑞尔,肥料施用包括单施化肥(CF)、蚓粪表施(VS)、蚓粪中施(VL)和蚓粪全土混施(VM)4 类方式,共计 8 个处理,每个处理重复 10 次,即保证每次破坏性采样时各处理有 5 个重复。

表 1 供试土壤和蚓粪的基本性质
Table 1 Basic properties of studied soil and vermicompost

材料	pH(H ₂ O)	有机碳(g/kg)	全氮(g/kg)	全磷(g/kg)	全钾(g/kg)	有效磷(mg/kg)	速效钾(mg/kg)
土壤	5.41	27.53	2.84	0.97	17.70	278.55	275.46
蚓粪	7.41	181.14	13.70	12.04	6.80	7 570.43	1 930.00

供试土壤过 5 mm 筛,并挑出其中的植物残体等杂物后,装入 20 cm × 17 cm(高 × 上口径)的盆中,每盆装土 3.5 kg。各肥料处理施入土壤的方式模拟田间肥料施用的不同途径,其中,单施化肥(CF)是将化肥溶解于蒸馏水,然后喷施于土壤;蚓粪表层(VS)混施是将蚓粪与盆钵上部 8 cm 厚土壤混施;蚓粪中施(VL)是将蚓粪均匀一层平铺紧挨 8 cm 处下方;蚓粪全土混施(VM)是将蚓粪与盆内所有土壤混合(图 1)。施用的化肥选用化学纯试剂尿素、磷酸二氢铵和氯化钾。单施化肥处理的施用量根据当地常规生产设定,以 200 kg/hm²纯氮量施用,N:P:K 比例为 2:1:2。根据养分等量原则,蚓粪的施用量依据于化肥中氮施用量计算,换算后每盆施用量约为 76 g,即 42 t/hm²,其余磷、钾养分不足的则用化肥来补足,使每个处理所施用的总养分量保证一致。

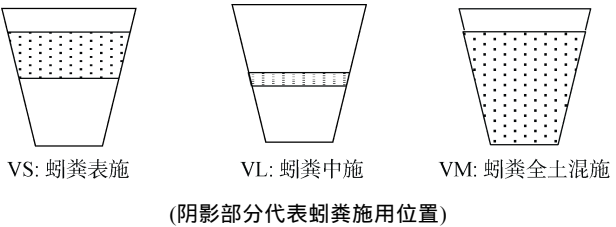


图 1 盆钵中不同肥料施用方式示意图

Fig. 1 Schematic diagram of different fertilization methods in pot experiment

化肥和蚓粪在定植前做基肥一次性施入,定植后,在番茄的生育期内不再追肥。8 月下旬,将已育好的番茄苗移栽到盆钵中,每盆 2 株。1 周后进行间苗,每盆保留 1 株长势基本一致的健壮苗。后期管理措施(浇水、搭架、打叉、去顶)按照当地设施蔬菜种植管理标准并保持一致。

1.3 样品采集与测定

2014 年 10 月和 12 月分别在番茄盛花期和收获期时进行 2 次破坏性采样,每个处理采集 5 个重复:将整个盆钵中的土壤全部倒在干净的塑料袋上,挑出番茄植株的根系后,把土壤均匀平铺,利用四分法取适量土样。新鲜土样一部分放入 4℃ 冰箱中保存,另一部分在阴凉处自然风干,用于测定土壤的理化性质。其中,土壤 pH 采用电位法测定(水土比为 5:1);土壤有机碳采用重铬酸钾容量-外加热法测定;有效磷用 NH₄F-HCl 浸提,钼锑抗比色法测定;速效钾采用 NH₄OAc 浸提,火焰光度法测定;矿质氮采用 2 mol/L KCl 浸提,连续流动分析仪测定滤液中铵态氮和硝态氮含量^[18]。

植株茎叶采集时,用剪刀贴土壤表面将其剪断,各盆植株分别装入纸袋中;根系采集在实验室内,将根系从土壤中挑出,用水将其冲洗干净,再用吸水纸擦干根系表面水分。茎叶和根系分别在 105℃ 烘箱

杀青 30 min, 然后在 70 ~ 80℃ 下烘干至恒重, 称量生物量干重。烘干后, 磨碎并过 0.5 mm 筛, 用于测定养分含量。全氮、全磷、全钾在 H₂SO₄-H₂O₂ 消煮后, 分别用凯氏定氮法、钒钼黄比色法、火焰光度计法进行测定^[18]。

1.4 数据统计与分析

采用 SPSS17.0 统计软件对数据进行分析, 以重复测量方差分析评估蚓粪施用方式和番茄品种、采样时间(番茄生长期)对各变量的主效应和交互效应。基于采样期的影响一般都达到显著水平, 因此在各采样时间内以单因素方差分析考察蚓粪施用方式和番茄组合处理间的差异。均值多重比较检验采用 Duncan 新复极差法(显著水平选择 $P < 0.05$)。数据以平均值 ± 标准误呈现。

2 结果与分析

2.1 蚓粪不同施用方式对番茄生长的影响

番茄的茎叶生物量和根冠比明显受蚓粪施用方式的影响(表 2)。在番茄盛花期, 3 种蚓粪施用方式中, 蚓粪表施和中施比全土混施明显增加了金棚三号的茎叶生物量, 艾瑞尔的茎叶生物量同样以蚓粪表施最高(图 2A); 番茄的根冠比在两品种间的趋势一致, 都以蚓粪中施最低(图 2E)。在收获期, 金棚三号的茎叶生物量以蚓粪中施最大, 而艾瑞尔以蚓粪表施最大(图 2B), 同时, 蚓粪中施艾瑞尔的根冠比显著降低(图 2F)。根系生物量在不同生长期均未受到蚓粪施用方式的显著影响(图 2C、2D)。同时, 番茄的茎叶和根系生物量在两品种间也有明显差异(表 2), 相同施肥方式下, 艾瑞尔的都高于金棚三号(图 2)。

番茄植株的氮、磷、钾养分总吸收量同样受蚓粪施用方式的显著影响(表 2)。在盛花期, 金棚三号的植株氮吸收量以蚓粪表施和中施最高, 与蚓粪全土混施差异显著, 且高于单施化肥处理, 而艾瑞尔在各处理间没有明显差异(图 3A)。植株磷吸收量在两品种

间都以蚓粪中施最低, 全土混施最高(图 3C), 而钾吸收量则在蚓粪表施最高, 但与单施化肥处理相比无明显差异(图 3E)。在收获期时, 金棚三号的磷、钾吸收量在各处理间无明显差异, 氮吸收量以蚓粪表施最高; 艾瑞尔的氮磷钾吸收量都以蚓粪表施最高, 全土混施最低(图 3B、3D、3F)。

2.2 蚓粪不同施用方式对土壤肥力的影响

土壤的 pH、矿质氮、有效磷和速效钾含量受蚓粪施用方式的影响, 但 pH 和矿质氮含量在不同品种间的差异不显著, 而土壤有效磷和速效钾的含量在品种间的差异达到显著水平(表 3)。在番茄盛花期, 蚓粪中施土壤 pH 最低, 这在两个品种中表现一致(表 4)。金棚三号的土壤有机碳、矿质氮含量以蚓粪中施最低, 而艾瑞尔在各处理间没有显著差异。两品种在 3 种蚓粪施用方式中, 土壤有效磷和速效钾含量都以蚓粪表施最高(表 4)。

相比于番茄盛花期, 收获期的土壤 pH 整体提高, 而速效养分含量减少(表 5)。两品种的土壤 pH 变化趋势与盛花期一致, 都以蚓粪中施最低, 有机碳含量也以蚓粪中施最低。矿质氮含量在金棚三号中处理间差异不显著, 而艾瑞尔的矿质氮含量以蚓粪表施最低, 且与其他处理差异显著; 土壤有效磷含量都以蚓粪中施最低, 而速效钾含量在本生长期各处理间差异不显著(表 5)。

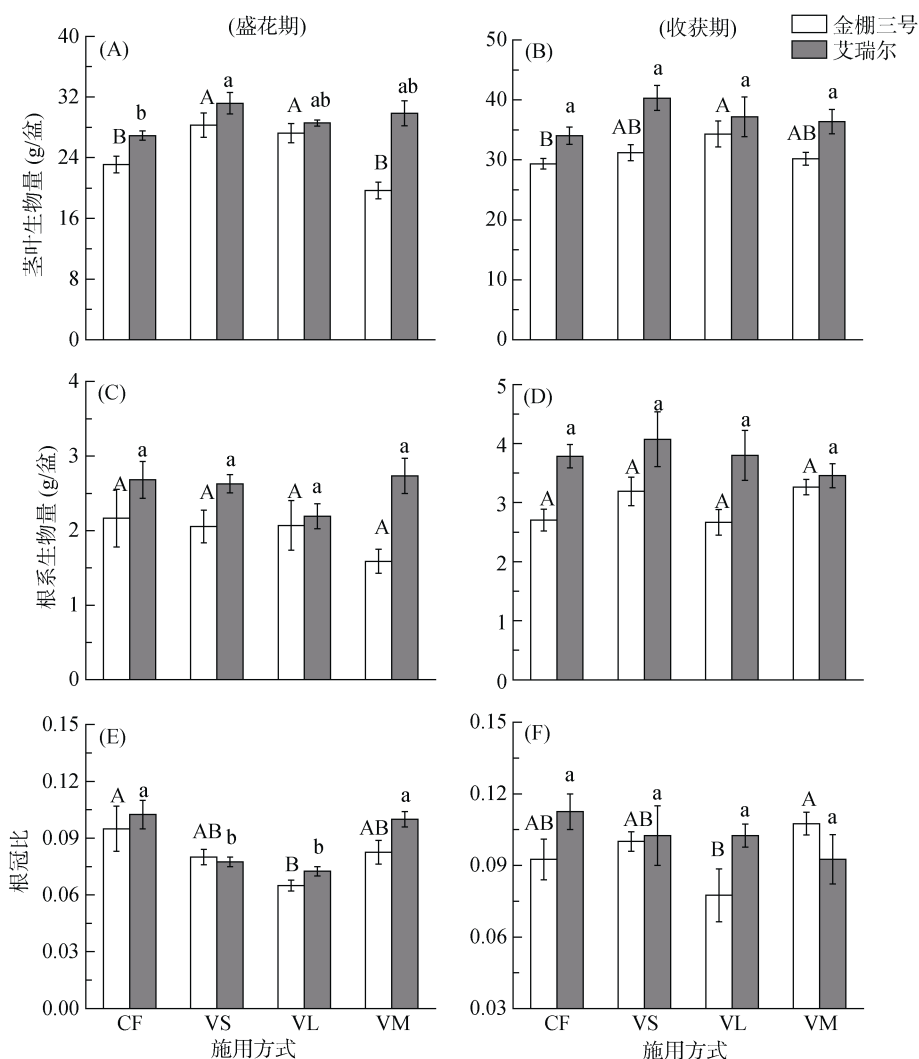
3 讨论

3.1 蚓粪施用方式对番茄生长的影响

蚓粪促进了番茄的生长, 增加了植株的生物量及养分吸收量。有研究表明, 蚓粪能够促进番茄生长、及氮磷钾吸收^[19]。蚓粪中含有丰富的养分, 且比传统堆肥以更高比例的植物易吸收的形式存在, 如硝酸盐、可交换的磷和可溶性钾、钙、镁等, 能够被植物直接吸收利用, 促进植物生长发育, 同时作物的不同品种对蚓粪的响应也存在差异^[20]。

表 2 番茄品种、蚓粪施用方式及采样时间对番茄生长影响的重复测量方差分析(F 值及 $P < 0.05$ 显著水平)
Table 2 ANOVA results of effects of tomato cultivar, vermicompost application modes and sampling time on tomato growth parameters

变异来源	自由度 df	生物量			植株养分吸收量		
		茎叶	根系	根冠比	氮	磷	钾
品种	1	15.3 *	22.5 *	2.8	4.7 *	1.7	0.5
蚓粪施用方式	2	4.01 *	1.7	8.4 *	7.7 *	4.1 *	6.4 *
时间	1	74.2 *	53.8 *	22.3 *	65.7 *	1.7	877.0 *
品种 × 蚓粪施用方式	2	1.5	0.04	1.7	0.1	1.7	1.4
品种 × 时间	1	2.0	0.1	0.3	0.1	2.4	0.4
蚓粪施用方式 × 时间	2	0.8	0.1	0.9	0.1	6.5 *	2.4
品种 × 蚓粪施用方式 × 时间	2	2.1	3.1	2.6	2.0	3.3	0.6



(图 A、C、E 为盛花期结果，图 B、D、F 为收获期结果；图中生物量以干重计；误差线为标准误；不同大(小)写字母代表金棚(艾瑞尔)不同施肥方式间差异在 $P < 0.05$ 水平显著；下同)

图 2 蚓粪不同施用方式对番茄生物量及根冠比的影响

Fig. 2 Effects of vermicompost application modes on biomass and root/shoot ratios of tomato plants

相比蚓粪全土混施,表施和中施更能促进番茄植株的生长及其对养分的吸收。植物根系的生长具有趋肥性,中施蚓粪肥料比较集中,而全土混施加大了肥料与土壤的接触面积,使根系分布得更广,因此蚓粪中施下的根冠比较小。在盛花期时,蚓粪表施和中施相比全土混施,明显提高了植株的生物量。番茄植株的氮养分吸收量同样在这两个处理中最高,说明在这两种施用方式中,蚓粪中氮的利用率高。番茄生长前期,植株根系大多分布在土层上部,蚓粪表施与中施的处理养分比较集中,缩短了根系与养分的吸收距离,方便植物吸收利用,促进了植物生长^[10]。在不同小麦品种上研究不同施用方式下氮的利用率的结果表明,侧深施比混施更有利于氮素向小麦转移,且氮肥利用率高^[10]。目前,田间条件下有关蚓粪施用方式对不同番茄生长的影响研究鲜有报道,未来需结

合田间试验加强有机肥施用方式与作物品种相互关系的研究。

3.2 蚓粪施用方式对土壤肥力的影响

与单施化肥相比,蚓粪施用对土壤 pH 和有机碳含量的提升效果更依赖于施用方式。在蚯蚓消化道作用下,蚓粪 pH 趋于中性^[21]。本研究中,蚓粪与土壤表层及全部土壤混施更能明显提高土壤 pH,可能是植物-微生物相互作用的复杂结果,尚难以给出满意的解释。虽然蚓粪能够增加土壤有效养分^[22-23],但与单施化肥相比,在番茄盛花期,由于不同品种对磷的需求量不同,两种番茄对土壤有效磷的影响截然不同。同时,添加蚓粪的土壤中速效钾及矿质氮的含量与单施化肥比都有所降低。蚓粪中养分大部分是以有机态的形式存在,主要通过生物矿化过程被逐渐释放^[24],因此速效养分水平较低。不过,由于蚓粪中含有大量

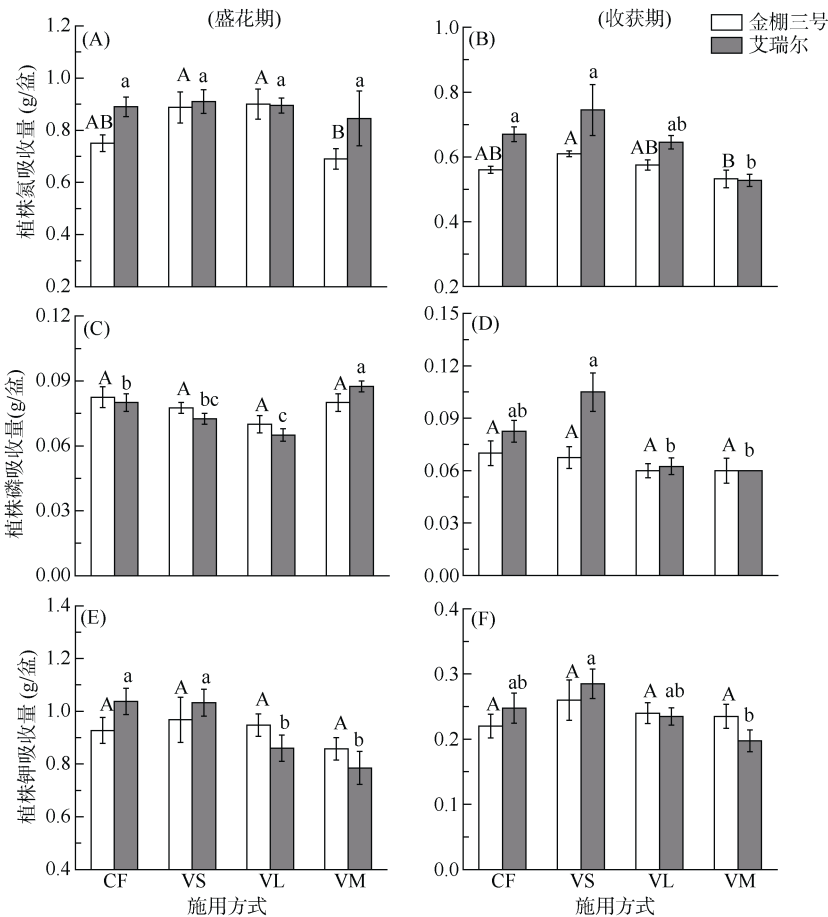


图 3 蚓粪不同施用方式对番茄植株氮、磷、钾吸收量的影响
Fig. 3 Effects of vermicompost application modes on total N, P and K uptakes of tomato plants

表 3 番茄品种、蚓粪施用方式及采样时间对土壤肥力影响的重复测量方差分析(*F* 值及 *P* < 0.05 显著水平)
Table 3 Repeated-measure ANOVA results of effects of tomato cultivar, application modes of vermicompost and sampling time on soil fertilities

变异来源	自由度 <i>df</i>	pH	有机碳	矿质氮	有效磷	速效钾
品种	1	0.8	0.4	0.3	24.5 *	40.3 *
蚓粪施用方式	2	20.2 *	2.6	11.2 *	8.7 *	4.0 *
时间	1	112 *	0.01	33.5 *	133.5 *	87.9 *
品种×蚓粪施用方式	2	0.9	1.6	4.9 *	3.2	0.9
品种×时间	1	1.4	0.1	0.8	27.3 *	0.8
蚓粪施用方式×时间	2	0.1	0.7	0.4	2.0	1.3
品种×蚓粪施用方式×时间	2	1.4	2.3	3.4	0.5	0.5

表 4 蚓粪不同施用方式对番茄盛花期土壤肥力的影响
Table 4 Effects of vermicompost application modes on soil fertilities at blooming stage

品种	处理	pH(H ₂ O)	有机碳(g/kg)	矿质氮(mg/kg)	有效磷(mg/kg)	速效钾(mg/kg)
金棚三号	CF	5.87 ± 0.18 b	26.81 ± 0.35 b	215.47 ± 5.43 a	291.22 ± 9.44 c	156.43 ± 5.71 a
	VS	6.33 ± 0.05 a	28.32 ± 0.29 b	133.32 ± 7.84 c	387.61 ± 13.28 a	149.38 ± 5.51 ab
	VL	6.17 ± 0.02 a	27.48 ± 0.89 b	118.12 ± 5.49 c	342.09 ± 10.57 b	134.81 ± 3.97 b
	VM	6.26 ± 0.02 a	30.42 ± 0.82 a	157.03 ± 9.07 b	328.33 ± 12.49 b	143.42 ± 5.23 ab
艾瑞尔	CF	5.64 ± 0.04 c	26.01 ± 0.35 b	190.78 ± 7.12 a	323.58 ± 7.66 a	178.67 ± 4.43 a
	VS	6.40 ± 0.05 a	29.02 ± 0.62 a	130.41 ± 4.81 b	306.61 ± 8.75 ab	168.21 ± 2.24 ab
	VL	6.19 ± 0.02 b	28.28 ± 1.07 a	140.32 ± 6.14 b	289.27 ± 17.73 ab	150.83 ± 5.44 b
	VM	6.32 ± 0.05 a	27.61 ± 0.69 ab	133.38 ± 5.57 b	285.52 ± 8.77 b	164.12 ± 9.31 ab

注：表中数据为平均值 ± 标准误，不同小写字母表示同一番茄品种下不同施肥方式间差异在 *P* < 0.05 水平显著；下同。

表 5 蚓粪不同施用方式对番茄收获期土壤肥力的影响
Table 5 Effects of vermicompost application modes on soil fertilities at harvesting stage

品种	处理	pH(H ₂ O)	有机碳(g/kg)	矿质氮(mg/kg)	有效磷(mg/kg)	速效钾(mg/kg)
金棚三号	CF	6.09 ± 0.01 c	25.42 ± 0.76 b	134.01 ± 4.33 a	260.91 ± 1.31 ab	115.52 ± 6.26 a
	VS	6.61 ± 0.03 a	29.52 ± 0.24 a	105.18 ± 4.84 b	269.38 ± 1.35 a	108.18 ± 1.65 a
	VL	6.41 ± 0.03 b	27.47 ± 1.17 ab	109.43 ± 6.73 b	251.42 ± 5.31 b	114.39 ± 2.12 a
	VM	6.58 ± 0.05 a	28.70 ± 0.45 a	115.43 ± 4.44 b	255.09 ± 8.51 ab	107.58 ± 1.37 a
艾瑞尔	CF	6.09 ± 0.05 c	26.31 ± 0.08 b	125.10 ± 6.84 a	261.41 ± 4.48 a	128.71 ± 4.28 a
	VS	6.62 ± 0.03 a	29.02 ± 0.08 a	109.39 ± 2.02 b	253.32 ± 8.00 ab	138.20 ± 3.42 a
	VL	6.45 ± 0.04 b	27.58 ± 0.54 ab	114.81 ± 3.48 ab	244.03 ± 4.37 b	127.81 ± 4.76 a
	VM	6.48 ± 0.08 ab	28.61 ± 0.71 ab	127.90 ± 5.41 a	265.12 ± 1.52 a	123.52 ± 7.78 a

的激素、类激素和腐殖酸物质^[25]，能够显著促进植物生长和养分吸收(图 2、3)，这可能也加剧了蚓粪添加处理中土壤速效养分限制的状况。在番茄盛花期，蚓粪中施的土壤速效养分含量比蚓粪混施低，这是因为蚓粪中施使有效养分集中分布于土壤某层中，利于根系的吸收利用，故而呈现减少的趋势。在收获期时，蚓粪表施的矿质氮含量比中施和全土混施的含量低，一方面可能与植物的吸收利用有关，另一方面可能是氮素以氨的形式挥发造成的。有研究表明，氮肥深施可使肥料集中在深层土壤中，从而减少表层土壤的氮肥浓度，有效降低铵态氮向氨气的转化速率及氮肥的硝化速率，提高氮肥利用率^[26]。

4 结论

蚓粪的相对集中施用，如表施和中施，更能增加番茄的茎叶生物量及氮磷钾的吸收。与单施化肥相比，蚓粪施用方式对土壤 pH 和有机碳含量影响更大。在番茄盛花期，金棚三号的土壤矿质氮含量以蚓粪中施最低；而两种番茄的土壤有效磷和速效钾含量同样都以蚓粪表施最高。在收获期时，两种番茄的土壤有效磷含量都以蚓粪中施最低。总之，在施用等量蚓粪的条件下，蚓粪的集中施用如表施和中施，由于提高了养分的浓度，更能促进番茄的养分吸收及生长，且在不同品种之间效应一致，说明肥料集中施用更能发挥其效用。但在本研究中并未表现出明显的蚓粪施用方式与作物品种二者的交互作用。

参考文献：

[1] 张桃林, 李忠佩, 王兴祥. 高度集约农业利用导致的土壤退化及其生态环境效应[J]. 土壤学报, 2006, 43(5): 843-850

[2] Edwards C A, Arancon N Q, Sherman R L. Vermiculture technology: earthworms, organic wastes, and environmental management[M]. USA: Taylor and Francis, 2010

[3] Lim S L, Wu T Y, Lim P N, et al. The use of vermicompost in organic farming: overview, effects on soil and economics[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2015, 95: 1143-1156

[4] Joshi R, Singh J, Vig A P. Vermicompost as an effective organic fertilizer and biocontrol agent: effect on growth, yield and quality of plants[J]. Reviews in Environmental Science and Bio-Technology, 2015, 14(1): 137-159

[5] Loecke T D, Robertson G P. Soil resource heterogeneity in terms of litter aggregation promotes nitrous oxide fluxes and slows decomposition[J]. Soil Biology & Biochemistry, 2009, 41(2): 228-235

[6] Magid J, Neergaard A D, Brandt M. Heterogeneous distribution may substantially decrease initial decomposition, long-term microbial growth and N-immobilization from high C-to-N ratio resources[J]. European Journal of Soil Science, 2006, 57(4): 517-529

[7] Duong T T, Penfold C, Marschner P. Amending soils of different texture with six compost types: impact on soil nutrient availability, plant growth and nutrient uptake[J]. Plant & Soil, 2012, 354(1/2): 197-209

[8] Wu D, Liu M Q, Song X C, et al. Earthworm ecosystem service and dis-service in an N-enriched agroecosystem: Increase of plant production leads to no effects on yield-scaled N₂O emissions[J]. Soil Biology & Biochemistry, 2015, 82(1): 1-8

[9] Maguire R O, Kleinman P J, Dell C J, et al. Manure application technology in reduced tillage and forage systems: a review[J]. Journal of Environmental Quality, 2011, 40(2): 292-301

[10] 张文玲, 王文科, 李桂花. 施肥方式对不同小麦品种生长和氮肥利用率的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2009(2): 47-51

[11] Truong H D, Wang C H. Studies on the effects of vermincompost on physicochemical properties and growth of two tomato varieties under greenhouse conditions[J]. Communications in Soil Science & Plant Analysis, 2015, 46(12): 1494-1506

[12] 崔云玲, 王生录, 陈炳东, 等. 不同品种油菜对盐胁迫响应研究[J]. 土壤学报, 2011, 48(5): 1051-1058

- [13] 周东兴, 申雪庆, 周连仁, 等. 蚯蚓粪对番茄农艺性状和品质的影响[J]. 东北农业大学学报, 2012(11): 28-33
- [14] 李建龙, 王永和, 成太祥, 等. 蚯蚓粪改良剂对草莓产量和品质的影响[J]. 北方园艺, 2014(6): 163-165
- [15] 张舒玄, 常江杰, 李辉信, 等. 奶牛粪蚯蚓堆肥的基质配方及对草莓育苗的影响[J]. 土壤, 2016, 48(1): 59-64
- [16] Singh R, Singh R, Soni S K, et al. Vermicompost from biodegraded distillation waste improves soil properties and essential oil yield of *Pogostemon cablin* (patchouli) Benth[J]. Applied Soil Ecology, 2013, 70(70): 48-56
- [17] 黄忠阳, 杨巍, 常义军, 等. 茶渣蚓粪基质对小白菜幼苗生长的影响[J]. 土壤, 2015, 47(5): 863-867
- [18] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法 [M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000
- [19] Tejada M, Benítez C. Application of vermicomposts and Compost on Tomato Growth in Greenhouses[J]. Compost Science & Utilization, 2015, 23(2): 94-103
- [20] Zaller J G. Vermicompost as a substitute for peat in potting media: Effects on germination, biomass allocation, yields and fruit quality of three tomato varieties[J]. Scientia Horticulturae, 2007, 112(2): 191-199
- [21] 王斌, 李根, 刘满强, 等. 不同生活型蚯蚓粪化学组成及其性状的研究[J]. 土壤, 2013, 45(2): 313-318
- [22] 李静娟, 周波, 张池, 等. 中药渣蚓粪对玉米生长及土壤肥力特性的影响[J]. 应用生态学报, 2013, 24(9): 2651-2657
- [23] 吕振宇, 马永良. 蚯蚓粪有机肥对土壤肥力与甘蓝生长、品质的影响[J]. 中国农学通报, 2005, 21(12): 236-240
- [24] Chaoui H I, Zibilske L M, Ohno T. Effects of earthworm casts and compost on soil microbial activity and plant nutrient availability[J]. Soil Biology & Biochemistry, 2003, 35(2): 295-302
- [25] 陈毛华, 徐阳春. 蚓粪与猪粪堆肥配合对腐殖质组成变化和产量的影响 [J]. 华北农学报, 2014, 29(2): 233-238
- [26] 李鑫, 巨晓棠, 张丽娟, 等. 不同施肥方式对土壤氮挥发和氧化亚氮排放的影响[J]. 应用生态学报, 2008, 19(1): 99-104

Effects of Vermicompost Application Modes on Growth of Two Tomato Cultivars and Soil Fertility

TENG Mingjiao^{1,2}, WAN Bingbing^{1,3}, WANG Dongsheng^{1,3}, JIAO Jiaguo^{1,2},
LIU Manqiang^{1,2}, CHEN Xiaoyun^{1,2*}

(1 College of Resources and Environmental Sciences, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China;
2 Jiangsu Collaborative Innovation Center for Solid Organic Waste Resource Utilization, Nanjing 210095, China;
3 Nanjing Institute of Vegetable Science, Nanjing 210042, China)

Abstract: Application method affects the processes of decomposition and nutrient release of organic amendments, and moreover different crop cultivars varies in terms of growth and nutrient requirements. Vermicompost is a new kind of alternative fertilizers to promote soil quality and plant growth. A pot experiment was conducted to explore the effects of vermicompost application (including VS, vermicompost mixed evenly with topsoil above 8 cm depth; VL, vermicompost applied evenly just below 8 cm depth; VM, vermicompost mixed evenly with total soil) on the growth of two tomato cultivars (Jin Peng and Ai Ruier) and on soil fertility. The results showed that VS and VL increased shoot biomass and promoted nutrient uptakes including nitrogen, phosphorus and potassium. Compared with chemical fertilizer only (CF), vermicompost effect was dependent on application method, VS and VM increased more soil pH and organic carbon content than VL. At blooming stage, soil available phosphorus and potassium were highest under VS regardless of tomato cultivars. At harvesting stage, soil available phosphorus content was least under VL compared with VS and VM. VS decreased soil mineral nitrogen content for the cultivar of Ai Ruier compared with VL and VM. In summary, vermicompost applies intensively in soil such as VS and VL can promote tomato growth and nutrient uptake, and such effect is consistent between different tomato cultivars.

Key words: Vermicompost; Application mode; Plant growth; Soil fertility