

生物炭、EM 菌有机肥和化肥混施对桃园土壤肥力、 树体生长及果实品质的影响

樊树雷¹, 李忠元², 徐沁怡¹, 孙奇男³, 陆云峰¹, 沙存龙⁴, 郑金土^{1*}

(1. 宁波市农业技术推广总站, 浙江 宁波 315012; 2. 宁波市海曙区甬铭水蜜桃农场, 浙江 宁波 315151; 3. 宁波市奉化区水蜜桃研究所, 浙江 奉化 315502; 4. 宁波市海曙区农业技术推广站, 浙江 宁波 315153)

摘 要: 为改善桃树经济性状, 选取 9 年生湖景蜜露桃园为研究对象, 以常规施肥为对照, 选用不同配比生物炭、EM 菌有机肥与化肥混施, 研究了其对桃园土壤肥力、树体生长及果实品质的影响。结果表明: 生物炭、EM 菌有机肥和化肥混施后: ①土壤 pH 值提高, 土壤肥力指标也明显提高, 在施用量小于对照的情况下有效养分值仍不低于或大于对照; ②树体有效结果枝数量显著增加, 旺长枝数量显著下降, 根系活力增强; ③桃果实品质指标显著提高。综合试验研究结果和投入产出比, 以株混施生物炭: EM 菌有机肥: 化肥 (高钾型三元复合肥) = 3.750 : 6.250 : 0.375 的复混肥 10.375 kg 为最优。

关键词: 生物炭; EM 菌有机肥; 桃; 土壤肥力; 树体生长; 果实品质

生物炭是由生物有机材料在缺氧或低氧条件下热裂解获得的富含碳的物质^[1], 具有丰富的孔隙结构、巨大的比表面积^[2]。多项研究表明, 生物炭能够提高土壤有机碳含量, 改善土壤保水、保肥性能, 减少养分损失, 有益于土壤微生物栖息和活动, 显著促进植物生长^[3-5]。勾芒芒等^[6]在砂壤土中加入 4 种不同比例的生物炭, 发现其有利于增大土壤毛管持水量, 促进了番茄根系的发育和产量的提高。果园施用生物炭后, 土壤速效氮和速效钾含量显著提高, 苹果优质果率增加、产量提高、果实品质得到显著改善^[7]。

EM 菌是从日本引进的复合有益菌群, EM 菌和用 EM 菌制作的有机肥能降低土壤容重, 增加土壤通透性和蓄水保肥性能, 提高土壤阳离子交换量、土壤有益微生物数量和活性, 进而起到提高农作物产量和品质的作用^[8]。陈大明等^[9]的研究表明猕猴桃施用 EM 菌有机肥后, 能够显著提高土

壤氮、磷含量, 促进枝条伸长、增粗, 提早展叶和开花, 提高产量和果实品质, 促早采收。琚溪蜜柚施用 EM 菌制剂生物有机肥后, 产量、品质明显提高, 亩新增产值 1.5 万元以上^[10]。

鉴于生物炭与 EM 菌肥对土壤改良及作物生产的促进作用, 且生物炭多孔结构的孔隙中能够贮存水分和养分, 能够为微生物提供相对稳定的微环境, 增加微生物数量和活性^[11], 因此, 生物炭和 EM 菌肥混合施用可能会取得“1+1>2”的效果。为此, 本研究选用作为宁波市主导水果产业之一的桃为研究对象, 根据桃需肥特性, 通过生物炭、EM 菌有机肥和化肥混施, 研究其对桃园土壤养分、树体新梢生长及果实品质的影响, 为生物炭、EM 菌应用及桃园培肥管理提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料与处理

试验材料主要包括: 生物炭 (竹炭)、EM 菌有机肥 (羊粪经 EM 菌液发酵制得)、有机肥 (羊粪经自然发酵制得)、化肥_{高钾} (三元复合肥, N : P₂O₅ : K₂O = 14 : 6 : 38)、化肥_{平衡} (三元复合肥, N : P₂O₅ : K₂O = 15 : 15 : 15)。以常规施肥为对照 (有机肥 20.0 kg + 化肥平衡 0.5 kg), 不同试验处理及株施用量见表 1。

投稿日期: 2021-10-15; 录用日期: 2021-12-20

基金项目: 宁波市海曙区科技项目 ([2018] 40 号); 宁波市林特科技示范推广项目 (NBLTF201902)。

作者简介: 樊树雷 (1986-), 硕士研究生, 农艺师, 从事果树生产技术与推广工作。E-mail: nbltkj@126.com。

通讯作者: 郑金土, E-mail: atu888@126.com。

试验地块位于浙江省宁波市海曙区龙观乡，为低山缓坡地，砂壤土，土壤通透性较好，施肥试验前测定土壤 pH 值 4.65，有机碳含量 18.24 g/kg，碱解氮 150.20 mg/kg，有效磷 131.18 mg/kg，速效钾 413.75 mg/kg。供试植株为 9 年生湖景蜜露，2019 年 9 月底开展施肥试验，选取立地条件及生长基本

一致的桃园，按表 1 配比及施肥量配制肥料并在树冠下均匀撒施，施肥后翻耕，深度 20 cm 左右，每株为 1 个重复，每处理重复 5 次。2020 年 4 月取根系和土壤进行根系活力与土壤营养指标检测，2020 年 7 月测定果实品质，11 月冬季修剪前数取新梢数量。

表 1 不同试验处理及株施肥量 (kg)

项目	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	T ₇	T ₈	T ₉	CK
生物炭	3.750	3.750	3.750	5.625	5.625	5.625	7.500	7.500	7.500	有机肥 20.0 kg+ 化肥 _{平衡} 0.5 kg
EM 菌有机肥	6.250	6.250	6.250	9.375	9.375	9.375	12.500	12.500	12.500	
化肥 _{高钾}	0.250	0.375	0.500	0.250	0.375	0.500	0.250	0.375	0.500	
株施用量	10.250	10.375	10.500	15.250	15.375	15.500	20.250	20.375	20.500	20.500

1.2 试验方法与指标测定

从距树干 2/3 冠幅处取土，取土时去除表层浮土，使用取土器钻取 0 ~ 25 cm 深土壤，混匀后检测。土壤 pH 值测定采用电位法^[12]，碱解氮测定采用碱解扩散法，速效钾测定采用乙酸铵浸提-火焰光度法，有效磷测定采用 NaHCO₃ 浸提-钼锑抗比色法，有机碳测定采用重铬酸钾容量法-外加热法^[13]。挖出的新根采用 TTC 法测定根系活力^[14]。新梢生长情况为每处理选取朝向、粗度基本一致的大枝，数取新梢数量，采用游标卡尺测定每条新梢直径，按直径大小将新梢分为 3 类，分别为：短果枝（直径 ≤ 0.3 cm）、中或长果枝（直径在 0.3 ~ 1.0 cm 间）、徒长性结果枝或生长枝（直径 ≥ 1.0 cm）^[15]。每处理取代表性果实 10 个测定品质，单果重采用百分之一天平称取，果实可溶性固形物含量采用 PAL-1 手持糖度计测定；可滴定酸含量采用酸碱滴定法测定，以柠檬酸计；可溶性糖含量采用 DNS 法测定，维生素 C（Vc）含量采用 2, 6-二氯酚靛酚滴定法测定^[16]。

1.3 数据处理分析

试验数据采用 Excel 2010 进行数据整理，采用 SPSS 25.0 进行差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 不同配比生物炭、EM 菌有机肥和化肥混施对土壤 pH 及养分含量的影响

不同配比生物炭、EM 菌有机肥和化肥混施对土壤 pH 及养分含量的影响如表 2 所示。由表 2 可知，9 个处理的 pH 值均高于 CK；各处理间，随生物炭 +EM 菌有机肥施用量的增加，pH 值显著增

加；相同生物炭 +EM 菌有机肥施用量处理间 pH 值差异不显著。T₇ 处理 pH 值最高，为 5.06，较 CK 高 9.3%。不同试验处理对土壤有机碳含量的影响与 pH 值相似，随生物炭 +EM 菌有机肥用量的增加土壤有机碳含量升高，其中 T₈、T₉ 处理与 CK 达到差异显著水平，其余处理间差异不显著。

通过表 2 还可以发现，化肥用量是决定土壤碱解氮、有效磷、速效钾含量的最主要因素，同时生物炭+EM 菌有机肥也起到一定的促进作用，具体来说：随肥料施用总量的增加，土壤碱解氮含量增加；除 T₁ 显著低于 CK 外，其余处理与 CK 间差异不显著，其中 T₆、T₉ 显著高于 T₁、T₄、T₇ 处理；相同化肥施用量时，随生物炭 +EM 菌有机肥施用量的增加土壤碱解氮含量增加，但差异不显著，T₉ 处理最高，为 170.63 mg/kg。土壤有效磷含量随化肥施用量的增加各处理差异不显著，随生物炭 +EM 菌有机肥施用量的增加而增加，其中 T₄ ~ T₉ 与 T₁ ~ T₃ 和 CK 间达到差异显著水平，随生物炭 +EM 菌有机肥施用量的持续增大，促进作用减小，表现为 T₄ ~ T₉ 间差异不显著，以 T₆ 处理有效磷含量最高，为 214.49 mg/kg。不同配比生物炭、EM 菌有机肥和化肥混施后，土壤速效钾含量的变化呈现出与碱解氮和有效磷含量相似的双重效应：所有试验处理均高于 CK；随化肥用量的增加土壤速效钾含量增加，其中 T₃、T₆、T₉ 分别与 T₁、T₄、T₇ 处理达到差异显著水平；且随生物炭 +EM 菌有机肥用量的增加速效钾含量先增加后稳定，T₄、T₅、T₆ 处理分别显著高于 T₁、T₂、T₃，与 T₇、T₈、T₉ 处理间差异不显著，以 T₆ 处理最高，为 1035.59 mg/kg。

表 2 不同配比生物炭、EM 菌有机肥和化肥混施对土壤 pH 及养分含量的影响

处理	pH	有机碳 (g/kg)	碱解氮 (mg/kg)	有效磷 (mg/kg)	速效钾 (mg/kg)
CK	4.63 ± 0.04d	20.29 ± 1.23b	157.11 ± 18.83abc	143.47 ± 10.47bc	461.98 ± 54.12e
T ₁	4.87 ± 0.03bc	21.04 ± 1.37ab	133.50 ± 12.80d	121.87 ± 10.89c	605.73 ± 48.38d
T ₂	4.86 ± 0.02bc	21.11 ± 1.48ab	148.25 ± 8.62bcd	149.77 ± 12.73bc	774.95 ± 53.51c
T ₃	4.83 ± 0.04c	21.48 ± 1.33ab	154.37 ± 9.46abcd	157.18 ± 12.68bc	807.88 ± 64.05c
T ₄	4.91 ± 0.03b	22.02 ± 1.73ab	134.03 ± 12.94cd	201.57 ± 19.45a	829.59 ± 69.43c
T ₅	4.91 ± 0.03b	22.10 ± 1.91ab	154.26 ± 10.13abcd	207.01 ± 13.38a	958.52 ± 43.64ab
T ₆	4.90 ± 0.06b	22.42 ± 1.27ab	168.31 ± 7.36ab	214.49 ± 19.88a	1035.59 ± 86.50a
T ₇	5.06 ± 0.03a	22.59 ± 1.55ab	135.57 ± 9.81cd	192.54 ± 11.36a	864.83 ± 65.20bc
T ₈	4.99 ± 0.07a	23.01 ± 1.12a	156.08 ± 12.95abc	202.85 ± 19.65a	952.97 ± 60.44ab
T ₉	5.03 ± 0.03a	23.11 ± 1.00a	170.63 ± 18.42a	209.31 ± 13.10a	1020.96 ± 87.69a

注：数值后不同字母表示不同处理间差异达到显著水平 ($P < 0.05$)。下同。

2.2 不同配比生物炭、EM 菌有机肥和化肥混施对新梢生长和根系活力的影响

不同配比生物炭、EM 菌有机肥和化肥混施对新梢生长和根系活力的影响如表 3 所示。由表 3 可知，所选大枝中新梢数量无显著性差异。各试验处理直径 0.3 cm 及以下枝条占比均显著高于 CK，直径 0.3 ~ 1.0 cm 新梢占比也高于 CK，除 T₃、T₄、T₇ 处理达到差异显著水平外，其余各处理间差异均不

显著；不同配比生物炭、EM 菌有机肥和化肥混施处理直径 0.3 cm 及以下枝条占比最高为 T₃ 处理，占 77.70%，直径 0.3 ~ 1.0 cm 新梢占比最高为 T₉ 处理，占 15.13%。直径 1.0 cm 及以上新梢占比以对照最高，为 26.20%，显著高于其他处理，且其他处理间差异不显著。生物炭、EM 菌有机肥、化肥混施能提高桃根系活力，不同配比处理间差异不显著，T₂、T₃、T₅、T₆、T₈、T₉ 处理与对照均达到差异显著水平。

表 3 不同配比生物炭、EM 菌有机肥、和化肥混施对新梢生长和根系活力的影响

处理	当年生新梢 总数	不同直径枝在新梢总数中占比 (%)			根系活力 [$\mu\text{g TTF} / (\text{g FW} \cdot \text{h})$]
		$\leq 0.3 \text{ cm}$	0.3 ~ 1.0 cm	$\geq 1.0 \text{ cm}$	
CK	54.33 ± 6.11a	64.17 ± 4.31b	9.64 ± 3.05c	26.20 ± 5.77a	126.81 ± 12.51b
T ₁	45.00 ± 8.00a	75.57 ± 0.10a	13.35 ± 0.15ab	11.08 ± 0.26b	136.18 ± 5.74ab
T ₂	50.33 ± 6.03a	74.24 ± 0.92a	13.18 ± 2.24ab	12.58 ± 2.42b	149.38 ± 13.54a
T ₃	54.00 ± 2.65a	77.70 ± 3.74a	12.38 ± 1.41abc	9.92 ± 2.35b	154.58 ± 8.33a
T ₄	59.67 ± 2.52a	77.72 ± 2.61a	11.16 ± 0.58bc	11.11 ± 2.12b	142.43 ± 16.87ab
T ₅	57.67 ± 4.73a	74.56 ± 0.46a	14.40 ± 1.73a	11.04 ± 1.49b	153.54 ± 19.29a
T ₆	46.33 ± 4.16a	74.83 ± 0.63a	13.05 ± 2.81ab	12.12 ± 2.45b	149.38 ± 12.01a
T ₇	60.00 ± 7.21a	76.75 ± 2.27a	12.27 ± 0.62abc	10.99 ± 2.31b	143.47 ± 17.63ab
T ₈	58.00 ± 10.15a	73.84 ± 3.30a	13.18 ± 0.36ab	12.99 ± 3.63b	156.67 ± 9.94a
T ₉	55.33 ± 6.81a	75.36 ± 0.71a	15.13 ± 0.86a	9.52 ± 1.56b	155.97 ± 12.21a

2.3 不同配比生物炭、EM 菌有机肥和化肥混施对果实品质的影响

不同配比生物炭、EM 菌有机肥和化肥混施对果实品质的影响如表 4 所示。由表 4 可知，生物炭、EM 菌有机肥、化肥混施较 CK 能显著提高果实

单果重、可溶性固形物及可溶性糖含量，其对果实单果重的影响随生物炭 +EM 菌有机肥施用量的增加呈先促后抑的作用，但整体都大于 CK，其中 T₄ 处理果实单果重最大，为 263.74 g，显著大于 CK 和 T₇ ~ T₉ 处理；其对果实可溶性固形物及可溶性糖含

量的影响与单果重类似,也有先促后抑的趋势,但相互间差异不显著, T_5 处理可溶性固形物和可溶性糖含量最高,分别为 11.37% 和 9.26%,显著高于对

照,所有试验处理果实可溶性糖含量均高于对照。不同配比生物炭、EM 菌有机肥、化肥混施对果实可滴定酸和 Vc 含量的影响较小,且差异不显著。

表 4 不同配比生物炭、EM 菌有机肥和化肥混施对果实品质的影响

处理	单果重 (g)	可溶性固形物含量 (%)	可滴定酸含量 (%)	可溶性糖含量 (%)	Vc 含量 (mg/100 g)
CK	177.74 ± 7.72d	8.00 ± 0.50b	0.36 ± 0.02a	6.06 ± 0.41d	9.29 ± 0.66a
T_1	223.51 ± 15.36abc	9.50 ± 0.56ab	0.39 ± 0.03a	7.36 ± 0.31c	8.57 ± 0.51a
T_2	245.66 ± 17.38ab	10.07 ± 0.55ab	0.40 ± 0.03a	8.64 ± 0.33ab	9.69 ± 0.29a
T_3	225.45 ± 10.06abc	9.67 ± 0.29ab	0.40 ± 0.02a	8.17 ± 0.30bc	9.44 ± 0.36a
T_4	263.74 ± 27.19a	10.33 ± 0.21a	0.46 ± 0.02a	8.66 ± 0.42ab	9.62 ± 0.59a
T_5	250.76 ± 8.71ab	11.37 ± 0.86a	0.48 ± 0.02a	9.26 ± 0.32a	10.14 ± 0.78a
T_6	233.32 ± 13.38abc	11.10 ± 0.82a	0.49 ± 0.03a	8.92 ± 0.29ab	8.95 ± 0.29a
T_7	216.46 ± 10.71bcd	10.57 ± 1.29a	0.42 ± 0.02a	8.30 ± 0.32abc	9.56 ± 0.37a
T_8	200.27 ± 16.44cd	10.63 ± 1.03a	0.47 ± 0.02a	8.40 ± 0.29ab	8.59 ± 1.03a
T_9	196.99 ± 11.85cd	10.30 ± 0.89a	0.42 ± 0.03a	8.16 ± 0.35bc	9.23 ± 1.57a

3 讨论

土壤是植物根系生长的外环境,土壤肥力是指土壤能够持续适量供应植物生长所必需的水、肥、气、热等生活因素的能力,是决定植物生长状态最重要的因素之一。生物炭和 EM 菌肥均能起到改良土壤理化性状,提高土壤肥力、作物产量和品质的作用^[7-8],本研究结果与之相符。本研究中,与常规施肥相比,生物炭、EM 菌有机肥和化肥混施使土壤 pH 值、有机碳和土壤有效养分含量显著提高(表 2),新梢中结果枝比例显著提高,旺长枝条比例下降,根系活力提升(表 3),果实品质也显著提高(表 4)。

土壤 pH 值的提高应是生物炭组分起到主要作用,生物炭表面存在金属氧化物、碳酸盐和碱性官能团,一般呈碱性,施入土壤后有利于促进土体 pH 值升高^[17],这与本研究中随生物炭施用量增加土壤 pH 值显著增加,而相同生物炭施用量时,增加化肥组分施用量土壤 pH 值无显著变化的结果相符。本研究还发现,生物炭+EM 菌有机肥对土壤有机碳和氮、磷、钾等养分含量的提升作用大于单施有机肥,其养分含量在氮、磷、钾等养分施用量小于对照的情况下仍不低于或大于 CK(施肥处理化肥为高钾型,CK 为平衡型,表 2 中,土壤碱解氮含量:除 T_1 显著低于 CK 外,其余处理与 CK 间差异不显著;土壤有效磷含量: $T_1 \sim T_3$ 与 CK 间

差异不显著, $T_4 \sim T_9$ 显著高于 CK; T_1 处理土壤速效钾含量显著高于 CK),原因可能是施生物炭对土壤有机碳含量的提高作用显著大于施等量有机肥^[18],且生物炭能有效延缓肥料养分在土壤中释放,并降低淋洗损失^[19],而施用经 EM 菌发酵的有机肥,土壤有机质及有效氮、磷、钾含量等也显著提高^[20],因此,两者混施对土壤营养供给的改善作用要大于单施有机肥,这与谢勇等^[21]生物炭和有机肥、化肥混施对降低氮、磷流失作用好于有机肥配施化肥的研究结果相符。再加上因土壤 pH 值提高,氮、磷、钾等有效性增加^[22]的综合作用,使得土壤肥力显著提高。此外,本研究还发现,生物炭+EM 菌有机肥对土壤氮、磷、钾等有效性的提高存在一定的“瓶颈效应”,即生物炭+EM 菌有机肥合计用量从 15 kg(处理 T_4 、 T_5 、 T_6)提高到 20 kg(处理 T_7 、 T_8 、 T_9)时,土壤碱解氮、有效磷、速效钾含量无显著变化(表 2),这与张爱平等^[23]的研究结果相符,可能与生物炭含碳量丰富,若生物炭施用量过高,会导致土壤的 C/N 升高,影响土壤养分的平衡和有效性有关^[24]。

果枝是果树生长、结果的基础,短果枝,是丰产期树的最主要结果部位;中、长果枝在结果的同时还能抽生结果枝,形成结果枝组,可在一定程度反映桃树的连续结果能力;徒长性结果枝或生长枝一般不结果,旺长树此类枝条较多^[15]。由本试验结果可知,生物炭、EM 菌有机肥和化肥混施后树

体有效结果枝数量显著增加,旺长枝数量显著下降(表3),起到了改善树体结果性能、缓和树势的作用。这可能与生物炭能延缓肥料养分在土壤中释放的作用有关^[19],肥料缓释有助于树体地上部树势中庸,不旺长,有利于开花坐果和保障果园丰产稳产^[25]。根系活力的提高应与生物炭和EM菌有机肥的作用有关^[26-27]。

本研究中,生物炭、EM菌有机肥和化肥混施相较常规施肥对果实可滴定酸和Vc含量的影响小,差异不显著,能提高果实单果重、可溶性固形物和可溶性糖含量,其中株施生物炭+EM菌有机肥15 kg处理(T₄~T₆)与CK达到差异显著水平(表4)。果实品质的改善与土壤理化性状的改善有关。生物炭和EM菌都能提高土壤通透性^[8, 17],土壤通透性好,温度日差较大,有利于根系向深层发展,有利于果实糖分的积累和优良果品质量的形成^[28];较高的氮、磷、钾等矿质营养水平和生物炭+EM菌有机肥的缓释作用也有利于果实品质发育,缓释氮肥可增加单果重、可溶性固形物和还原糖含量,同时增施磷、钾肥也可起到相似的作用^[15]。本研究中还发现,株施生物炭+EM菌有机肥20 kg(T₇、T₈、T₉)时,对果实品质形成有一定的消极作用,应该与土壤养分的变化有关,具体原因有待进一步研究。

4 结论

综上所述,生物炭、EM菌有机肥和化肥混施对桃树体生长和果实品质改善的作用好于常规施肥,以树体生长和果实品质指标作为肥效的评价标准,以T₅处理最佳,若综合考虑投入产出情况,T₂与T₅处理间差异不显著,以T₂为最优处理,即按生物炭:EM菌有机肥:高钾型三元复合肥=3.750:6.250:0.375混制肥料,株施10.375 kg最好。

参考文献:

- [1] Glaser B, Haumaier L, Guggenberger G, et al. Black carbon in soils: the use of benzenecarboxylic acids as specific markers [J]. *Organic Geochemistry*, 1998, 29 (4): 811-819.
- [2] 勾芒芒, 屈忠义. 生物炭对改善土壤理化性质及作物产量影响的研究进展 [J]. *中国土壤与肥料*, 2013(5): 1-5.
- [3] 韩晓日, 葛银凤, 李娜, 等. 连续施用生物炭对土壤理化性质及氮肥利用率的影响 [J]. *沈阳农业大学学报*, 2017, 48 (4): 392-398.
- [4] 勾芒芒, 屈忠义, 王凡, 等. 生物炭施用对农业生产与环
- 境效应影响研究进展分析 [J]. *农业机械学报*, 2018, 49 (7): 1-12.
- [5] Akatar S S, Li G, Andersen M N, et al. Biochar enhances yield and quality of tomato under reduced irrigation [J]. *Agricultural Water Management*, 2014, 138: 37-44.
- [6] 勾芒芒, 屈忠义. 土壤中施用生物炭对番茄根系特征及产量的影响 [J]. *生态环境学报*, 2013(8): 1348-1352.
- [7] 李哈灏, 李文庆, 王媛, 等. 生物炭对砂土水肥保持及苹果生长的影响研究 [J]. *园艺学报*, 2019, 46 (3): 559-566.
- [8] 李维炯. EM菌群与土壤改良和修复 [J]. *西北园艺: 果树*, 2016(2): 11-14.
- [9] 陈大明, 王永平, 陈光平, 等. EM菌的制作及其在猕猴桃生产中的应用 [J]. *热带农业科学*, 2019, 39 (7): 87-91.
- [10] 何志发. EM菌制剂有机肥对琯溪蜜柚产量和效益的影响 [J]. *东南园艺*, 2013, 1 (6): 1-3.
- [11] 饶霜, 卢阳, 黄飞, 等. 生物炭对土壤微生物的影响研究进展 [J]. *生态与农村环境学报*, 2016, 32 (1): 53-59.
- [12] 陈立新. 土壤实验学习教程 [M]. 哈尔滨: 东北林业大学出版社, 2005.
- [13] 鲍士旦. 土壤农化分析 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1999.
- [14] 赵世杰, 史国安, 董新纯. 植物生理学实验指导 [M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2002.
- [15] 张克斌. 桃 [M]. 北京: 经济管理出版社, 1998.
- [16] 余前媛. 植物生理学实验教程 [M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2014.
- [17] 李金文, 顾凯, 唐朝生, 等. 生物炭对土体物理化学性质影响的研究进展 [J]. *浙江大学学报(工学版)*, 2018, 52 (1): 192-206.
- [18] 李喜凤, 杨小妮, 罗艳君, 等. 生物炭及有机肥对苹果园土壤有机碳组分及果树生长的影响 [J]. *西北农业学报*, 2017, 4 (26): 135-142.
- [19] Day D, Evans R J, Lee J W, et al. Valuable and stable carbon co-product from fossil fuel exhaust scrubbing [J]. *American Chemical Society, Division of Fuel Chemistry Preprints*, 2004, 49 (2): 802-804.
- [20] 张宇, 王海新, 史普想, 等. 不同类型有机肥+EM菌对花生光合特性、土壤养分和产量的影响 [J]. *花生学报*, 2020, 194 (3): 77-81, 91.
- [21] 谢勇, 赵易艺, 张玉平, 等. 南方丘陵地区生物黑炭和有机肥配施化肥的应用研究 [J]. *水土保持学报*, 2018, 32 (4): 197-203, 215.
- [22] 林大仪. 土壤学 [M]. 北京: 中国林业出版社, 2002.
- [23] 张爱平, 刘汝亮, 高霁, 等. 生物炭对宁夏引黄灌区水稻产量及氮素利用率的影响 [J]. *植物营养与肥料学报*, 2015, 21 (5): 1352-1360.
- [24] 郭碧林, 陈效民, 景峰, 等. 施用生物炭对红壤性水稻土壤金属钝化与土壤肥力的影响 [J]. *水土保持学报*, 2019, 33 (3): 298-304.

- [25] 刘荣宁, 张守仕, 彭福田. 袋控缓释肥对桃幼树生长发育的影响[J]. 果树学报, 2008, 25(4): 47-51.
- [26] 蒋健, 王宏伟, 刘国玲, 等. 生物炭对玉米根系特性及产量的影响[J]. 玉米科学, 2015(4): 62-66.
- [27] 郑扬波, 李明, 张梓豪, 等. EM菌对连作广藿香扦插苗生长特性及土壤微生态的影响[J]. 华南农业大学学报, 2019, 40(2): 60-64.
- [28] 关军锋. 果实品质生理[M]. 北京: 科学出版社, 2008.

Effects of mixed application of biochar, EM bacteria organic fertilizer and chemical fertilizer on soil fertility, tree growth and fruit quality in peach orchard

FAN Shu-lei¹, LI Zhong-yuan², XU Qin-yi¹, SUN Qi-nan³, LU Yun-feng¹, SHA Cun-long⁴, ZHENG Jin-tu^{1*}
(1. Ningbo Agricultural Technology Extension Station, Ningbo Zhejiang 315012; 2. Ningbo Haishu District Yongming Honey Peach Farm, Ningbo Zhejiang 315151; 3. Ningbo Fenghua District Peach Research Institute, Fenghua Zhejiang 315502; 4. Ningbo Haishu District Agricultural Technology Extension Station, Ningbo Zhejiang 315153)

Abstract: In order to improve the economic properties of peach trees, the 9-year-old 'Hujingmilu' garden was selected as the research object, the conventional fertilization was used as the control, and the mixed application of different proportions of biochar, EM bacteria organic fertilizer and chemical fertilizer was used to study its effects on soil fertility, tree growth and fruit quality. The results showed that after the combined application of biochar, EM bacteria organic fertilizer and chemical fertilizer: ① The pH value and fertility index of soil increased significantly. When the application rate was less than the control, the effective nutrient value was still not lower than the control; ② The number of effective fruiting branches increased significantly, the number of prosperous and long branches decreased significantly, and the root activity increased; ③ The quality index of peach fruit was significantly improved. Based on the experimental results and input-output ratio, the optimal fertilization method is 10.375 kg compound fertilizer with the ratio of biochar: EM bacteria organic fertilizer: chemical fertilizer (high potassium ternary compound fertilizer) = 3.750: 6.250: 0.375.

Key words: biochar; EM bacteria organic fertilizer; peach; soil fertility; tree growth; fruit quality