

不同有机物投入对新垦耕地红壤肥力及蔬菜生长的影响

沈建国¹, 王忠¹, 李丹², 朱徐燕³, 谢国雄², 楼玲¹

(1. 杭州市余杭区农业生态与植物保护管理总站, 浙江 杭州 311100;

2. 杭州市植保土肥总站, 浙江 杭州 310020; 3. 杭州市余杭区农业技术推广中心, 浙江 杭州 311100)

摘要: [目的] 比较不同有机物对新垦山地土壤的培肥效果, 为开展新垦耕地后续培肥管护提供科学依据。[方法] 在新垦山地红壤地, 以 3 种不同有机物投入为因素, 以空白为对照, 在一年三熟蔬菜种植模式下, 经连续 3 年小区试验, 比较其对新垦耕地红壤肥力及蔬菜生长的影响。[结果] 在 3 种有机物中, 商品有机肥无论是在土壤培肥方面还是在蔬菜作物生产方面, 均能体现出最佳效果。[结论] 商品有机肥可作为新垦红壤地区施用的外源有机物之一予以推荐。而食用菌废渣的效果次之, 可作为替代物品, 水稻秸秆效果较差。

关键词: 有机物; 新垦耕地红壤; 土壤肥力; 蔬菜生长

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2019)01-0085-06

中图分类号: S156.6

文献参数: 沈建国, 王忠, 李丹, 等. 不同有机物投入对新垦耕地红壤肥力及蔬菜生长的影响[J]. 水土保持通报, 2019, 39(1): 85-90. DOI: 10. 13961/j. cnki. stbctb. 2019. 01. 014; Shen Jianguo, Wang Zhong, Li Dan, et al. Effects of different organic matter on fertility and vegetable growth in newly reclaimed red soil [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2019, 39(1): 85-90.

Effects of Different Organic Matter on Fertility and Vegetable Growth in Newly Reclaimed Red Soil

Shen Jianguo¹, Wang Zhong¹, Li Dan², Zhu Xuyan³, Xie Guoxiong², Lou Ling¹

(1. Yuhang Agro-ecology and Plant Protection Management Station, Hangzhou, Zhejiang

311100, China; 2. Hangzhou Plant Protection and Soil-fertilizer Station, Hangzhou, Zhejiang 310020, China;

3. Agricultural Technology Promotion Center of Yuhang District of Hangzhou City, Hangzhou, Zhejiang 311100, China)

Abstract: [Objective] To explore the effects of different organic matter on soil fertility of newly reclaimed land, in order to provide a scientific basis for subsequent fertilization management of newly reclaimed land. [Methods] Taking three different organic matters as the influencing factor and blank as the control, a 3-year continuous plot experiment was conducted, under a vegetable planting pattern of tree harvest a year, to investigate the effects of different organic matter on fertility and vegetable growth in newly reclaimed red soil. [Results] Among three kinds of organic matters, the treatment of commercial organic fertilizer showed the best effect on newly reclaimed red soil and vegetable growth. [Conclusion] The commercial organic fertilizer can be recommended as one of the foreign organic matter applied in newly reclaimed red soil region. The effect of edible fungus residue is the second, which can be used as an alternative product. The effect of rice straw is poor.

Keywords: organic matter; newly reclaimed red soil; soil fertility; vegetable growth

收稿日期: 2018-09-01

修回日期: 2018-09-14

资助项目: 浙江省科技项目“农村新垦山地高效综合利用关键技术研究及示范”(2015C32102); 杭州市重大科技项目“新垦山地高效综合利用关键技术研究及示范”(20142012A54)。

第一作者: 沈建国(1966—), 男(汉族), 浙江省杭州市人, 学士, 农技推广研究员, 主要从事土壤与肥料方面的研究。E-mail: shenjg660516@163.com。

通讯作者: 谢国雄(1964—), 男(汉族), 浙江省杭州市人, 学士, 农技推广研究员, 主要从事土壤与肥料方面的研究。E-mail: xgx1000@163.com。

耕地是人类赖以生存和发展的物质基础,是农业生产不可替代的最基本生产资料。中国人多地少,以约占 7% 的耕地养活了约占全球 20% 的人口,耕地资源尤为紧缺,耕地对国家粮食生产安全、国民经济发展、社会稳定的作用和地位不可取代^[1]。近几十年来,随着经济迅速发展、工业规模逐步扩大和城市化不断推进,中国对土地的需求也显著增加,经济建设对耕地的占用与国家粮食安全对耕地数量和质量的要求,已经成为当前中国耕地保护的主要矛盾,为了确保耕地占补动态平衡,中国许多地方进行了大面积的补充耕地建设^[2-3],当前人均耕地不足、优质耕地少、耕地后备资源不断减少是中国基本的土地国情^[4]。南方地区耕地后备资源比较缺乏,以开发利用低丘缓坡资源为主的土地开发整理成为补充耕地的主要途径之一^[5]。由于地形地貌、坡度、母质类型、客土来源等因素,使得建成的新垦山地土壤肥力不平衡,基础肥力差,养分含量低,必须进行土壤培肥改良,才能满足作物生长需求^[6-7]。中国学者对有机物投入在耕地土壤培肥效果方面做了大量的研究^[8-10],但绝大多数研究是针对水田、旱地土壤的,对于新垦耕地的有机物土壤培肥方面研究鲜见报道。为此,以杭州市余杭区瓶窑镇南山村 2012—2013 年建成的新

垦山地为研究对象,在蔬菜种植模式下开展连续 3 a 的定位试验,比较不同有机物对新垦耕地红壤肥力和作物生长的影响,为开展新垦耕地培肥改良提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

(1) 供试土壤。试验地点安排在杭州市余杭区瓶窑镇南山村 2012—2013 年建成的新垦山地生产基地内(119°56'13"E, 30°23'39"N),供试土壤为黄泥砂土^[11],属红壤土类、黄红壤亚类,质地偏砂,土壤肥力较差,试验前土壤理化性状详见表 1。

表 1 研究区供试土壤理化性状

项目	容重/ (g·cm ⁻³)	pH 值	有机质/ (g·kg ⁻¹)	全氮/ (g·kg ⁻¹)	有效磷/ (mg·kg ⁻¹)	速效钾/ (mg·kg ⁻¹)
测定值	1.31	5.10	7.89	0.61	3.72	196.67

(2) 供试有机物。供试商品有机肥为杭州绿宝有机肥有限公司生产的以畜禽粪便为主要原料的精制有机肥,食用菌废渣为杭州鑫珑锦生物科技有限公司提供的秀珍菇菌渣,水稻秸秆为杭州满元农业科技有限公司提供的常规晚稻秸秆,其养分含量见表 2。

表 2 研究区供试有机物养分含量

有机物	pH 值	有机质	有机碳	氮(N)	磷(P ₂ O ₅)	钾(K ₂ O)	%
商品有机肥	8.40	57.00	—	3.28	2.89	2.72	
食用菌废渣	7.30	45.10	—	2.06	0.59	3.25	
水稻秸秆	7.30	—	43.00	1.13	0.34	1.39	

(3) 供试化肥。供试尿素(N 46.4%)由灵谷化工有限公司生产;复合肥(N 18%, P₂O₅ 18%, K₂O 18%)由中国—阿拉伯化肥有限公司生产。

(4) 供试作物。供试作物为青菜,品种为冬春 22 青梗菜,种子由福州科翔种业有限公司提供,然后采用基质穴盘育苗,定植密度为 20 cm×10 cm,第一季 4 月上旬定植,5 月上旬收获,第二季 6 月上旬定植,7 月上旬收获,第三季 10 月上旬移栽,10 月下旬收获。

1.2 试验方法

在一年三熟蔬菜种植模式下,以不同有机物为因素,连续 3 a 开展新垦红壤土壤培肥效果定位对比试验,设 4 个处理,3 次重复,共 12 个小区,每个小区面积 48 m²,小区之间用预制五孔板埋深 40 cm 进行隔离,各小区随机排列。T₁(CK)无任何有机物投入,T₂ 每年投入商品有机肥 22 500 kg/hm²,T₃ 每年投入食用菌废渣 22 500 kg/hm²,T₄ 每年投入水稻秸秆 7 500 kg/hm²。商品有机肥、食用菌废渣和水稻秸秆

(经粉碎)每年一次性投入,在第一茬青菜移栽前结合翻耕施入。除处理内容外,各处理的化肥用量一致,施用量为:每季青菜,基施复合肥 375 kg/hm²,3 叶心时施尿素 150 kg/hm²。试验连续实施 3 a(2015—2017 年)。

1.3 测定项目与方法

于试验前后按照“梅花型”布点,分别采集各小区耕层土壤样品,采用常规分析方法测定土壤容重、pH 值、有机质、全氮、有效磷和速效钾等土壤养分指标。具体测定方法为:容重采用环刀法测定;pH 值采用氧化还原电位法测定;有机质采用油浴加热重铬酸钾氧化—容量法测定;全氮含量采用浓硫酸消煮—半微量凯式法测定;有效磷采用盐酸—氟化铵提取—钼锑抗比色法(Bray 法)测定;速效钾含量采用乙酸铵浸提—火焰光度法测定^[12]。在试验过程中,对各小区每季青菜进行测产。其中对 2017 年第一茬青菜生长后期对各小区抽苔情况进行了田间调查记录。

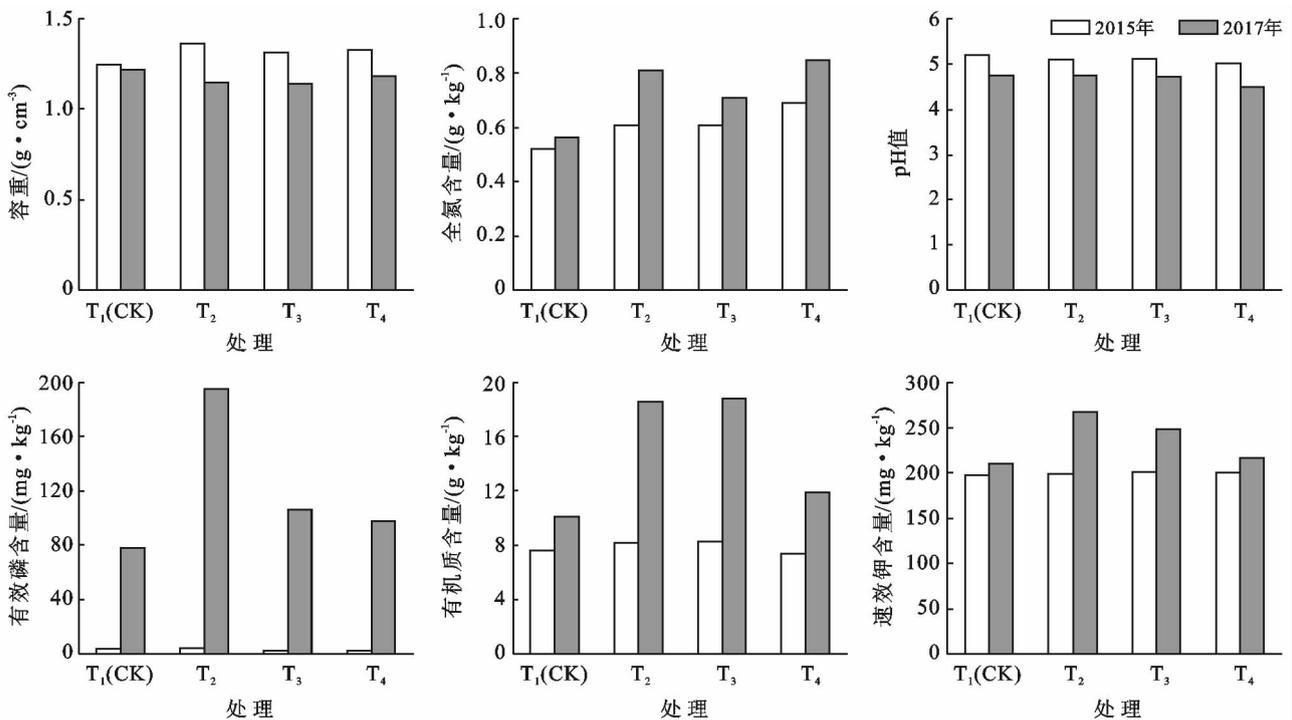
2 结果与分析

2.1 土壤肥力变化动态

土壤肥力是指土壤为植物生长供应和协调养分、水分、空气和热量的能力,是土壤物理、化学和生物学性质的综合反应^[13]。从影响当地新垦红壤肥力的主要因素出发,选取土壤容重、pH 值、有机质、全氮、有效磷、速效钾这 6 个土壤养分指标,将各处理试验前后土壤肥力状况进行比较,由图 1 可知,通过连续 3 a 的土壤培肥, T₁(CK), T₂, T₃, T₄ 各主要肥力指标均发生了显著变化。其中容重分别下降 0.03, 0.21,

0.17, 0.15 g/cm³, pH 值分别下降 0.44, 0.35, 0.42, 0.52, 有机质含量分别提高 2.50, 10.40, 10.50, 4.50 g/kg, 全氮含量分别提高 0.04, 0.20, 0.10, 0.16 g/kg, 有效磷含量分别提高 74.50, 191.00, 104.30, 87.60 mg/kg, 速效钾含量分别提高 12.00, 68.30, 47.40, 17.00 mg/kg。

总体而言,该 6 项肥力指标中, pH 值呈负向变化,且变化幅度依次为 T₄ > T₁(CK) > T₃ > T₂, 其余 5 项肥力指标均呈正向变化,变化幅度依次为 T₂ > T₃ > T₄ > T₁(CK)。单从指标变化的绝对值方面分析, T₂ 明显优于其他 3 个处理。



注: T₁(CK) 无任何有机物投入; T₂ 每年投入商品有机肥 22 500 kg/hm²; T₃ 每年投入食用菌废渣 22 500 kg/hm²; T₄ 每年投入水稻秸秆 7 500 kg/hm²。下同。

图 1 试验前后各处理土壤肥力指标的比较

2.2 对土壤肥力变化的影响

3 年试验结束后各处理土壤肥力指标比较结果见图 2。由图 2 可知,从 5 个正向变化的肥力指标的变化上分析,3 个有机物投入的处理(T₂, T₃, T₄)均较 T₁(CK) 的变化幅度大,其中容重降幅分别高出 13.04%, 10.58% 和 8.88%, 有机质增幅分别高出 93.93%, 93.61% 和 27.92%, 全氮增幅分别高出 25.09%, 8.07% 和 15.50%, 有效磷增幅分别高出 2 583.82%, 2 154.66% 和 1 458.82%, 速效钾增幅分别高出 28.31%, 17.49% 和 2.45%; 从负向变化 pH 值这个指标的变化上分析,唯有 T₂ 和 T₃, 分别下降 0.35, 0.42 个单位,较 T₁(CK) 下降少,而 T₄ 下降 0.52 个单位,较 T₁(CK) 下降多。由此可见:增施有

机物可使新垦红壤容重下降,有机质、全氮、有效磷、速效钾含量均有提高,且发酵腐熟有机物也可有效缓解土壤酸化,未经发酵腐熟水稻秸秆则有进一步加重土壤酸化的趋势。

2.3 对蔬菜生育的影响

抽薹是蔬菜从营养生产转入生殖生长的主要标志,白菜类蔬菜菜薹的形成与肥水丰缺有密切关系^[14]。试验第 3 a(2017 年)第 1 季青菜生长中后期,首次于发现青菜出现了先期抽薹现象,随之于定植后第 26 d 开始,以 2 d 为 1 个时段,分 4 次对各处理青菜抽薹情况进行调查。

由图 3 可知,第 26 d, 第 28 d, 第 30 d 青菜抽薹率均依次为 T₁(CK) > T₄ > T₃ > T₂, 而第 32 d 青菜

抽苔率则发生变化,表现为 $T_4 > T_1$ (CK) $> T_3 > T_2$, 且彼此之间的差异缩小,趋于一致,可见此时土壤里大部分的速效养分已经消耗,难以维持青菜正常的营

养生长所需,逐渐转入生殖生长。同时,从侧面也印证了一个结论,即增施有机物可提高新垦红壤的保水保肥能力,且表现为 $T_2 > T_3 > T_4$ 。

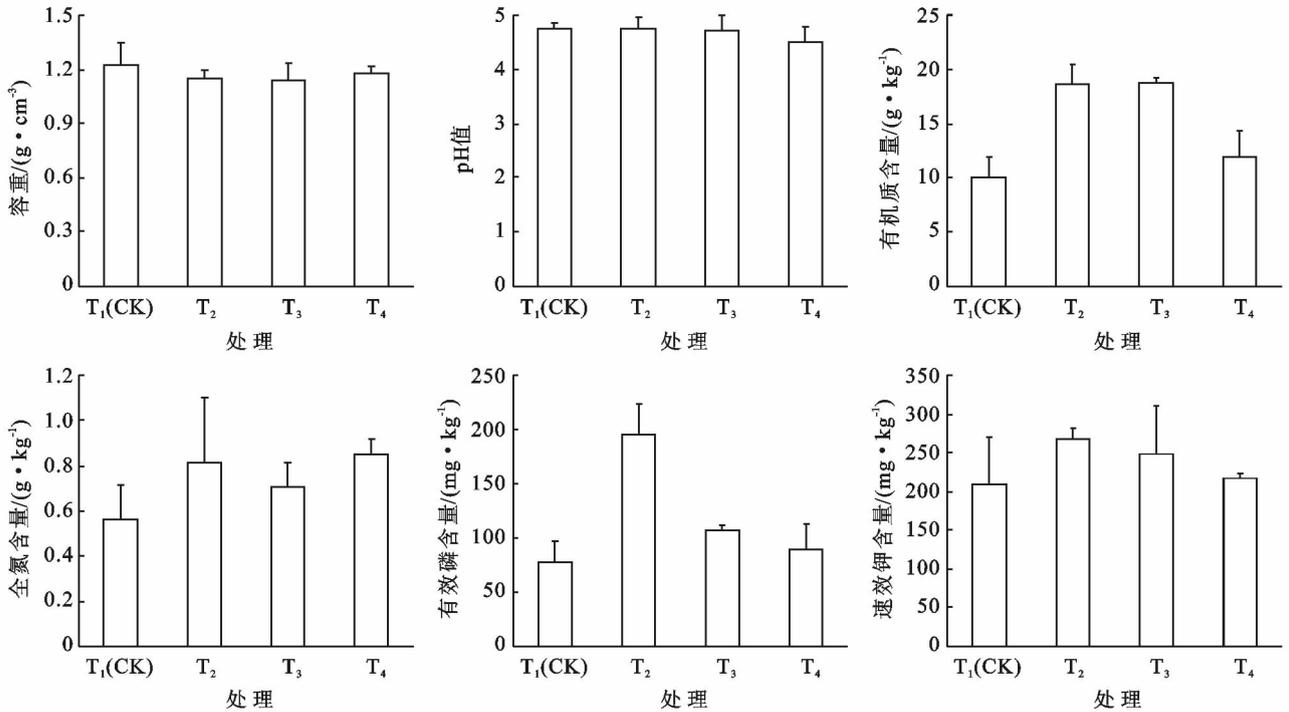


图 2 不同有机肥对土壤肥力指标影响

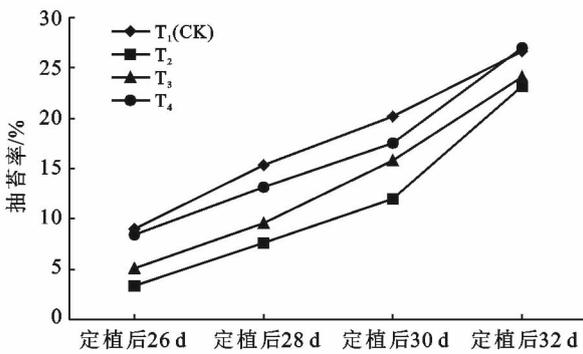


图 3 各处理下青菜抽苔率比较

2.4 对蔬菜产量的影响

作物产量是土壤肥力的综合反映,也能表征土壤

培肥改良的效果^[15]。表 3 为各试验小区的 3 a 平均青菜年产量。从表 3 中可知,较 T₁ (CK) 相比, T₂ 和 T₃ 青菜增产极为显著,增幅分别达 123.07% 和 95.85%,且 T₂ 与 T₃ 之间亦存在极显著差异;而 T₄ 则减产 1.95%,但与 CK 间的差异不显著。

2.5 对蔬菜增产效果的影响

由图 4 可知,从有机物投入对青菜增产效果上分析,3 a 间的产量较 CK 相比, T₂ 增产幅度依次为 43.02%, 89.82%, 222.52%, T₃ 增产幅度依次为 33.42%, 72.06%, 171.25%, T₄ 增产幅度依次为 -18.37%, 9.38%, 0.33%, 由此可见: T₂ 和 T₃ 的增产效果基本呈倍数提高,尤以 T₂ 表现最为突出,而 T₄ 增产效果不显著,甚至于第 1 年表现出减产。

表 3 各处理小区青菜年产量

处理	各处理产量				产量变化	差异显著性分析
	重复 I	重复 II	重复 III	平均		
T ₁ (CK)	21 123.0	32 958.0	19 687.5	24 589.5	—	b
T ₂	53 743.5	55 341.0	55 471.5	54 852.0	+30 262.5	a
T ₃	58 518.0	44 689.5	41 265.0	48 157.5	+23 568.0	a
T ₄	29 187.0	21 307.5	21 838.5	24 111.0	-478.5	b

注:表中数据为 2015—2017 年 3 a 平均值;“+”,“-”号分别表示与 CK(T₁) 比较的增加或减少量;差异显著性分析栏不同小写字母表示差异显著。

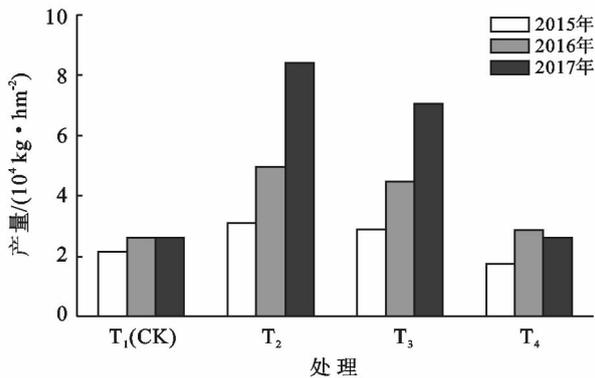


图 4 各处理青菜产量变化

3 讨论

3.1 水稻秸秆还田对土壤 pH 值的影响

本研究过程中,4 个处理中土壤 pH 值均呈下降态势,这与中国南方地区农用地土壤 pH 值下降^[16-21]呈现出了一致性。一般而言,增施有机物应该可以缓解土壤酸化趋势,但以水稻秸秆为有机物的处理实际表现并未和其他 2 类有机肥处理一样缓解土壤酸化,反而加剧了土壤酸化。但高利华等^[22],刘义国等^[23],袁金华等^[24],勾芒芒等^[25]认为秸秆还田可降低耕层土壤 pH 值,这又与其他相关研究结果相吻合。

3.2 水稻秸秆还田对青菜产量的影响

本研究过程中,投入水稻秸秆的处理青菜产量较 T₁(CK)相比并无明显提高,特别是第 1 a 还出现减产现象,极可能与秸秆还田产生的负面影响有关。已有研究^[26-29]认为:秸秆施入土壤后,可能会释放出一些毒素物质,对作物幼苗生长有抑制作用,并会刺激微生物的迅速繁殖,很有可能导致秸秆本身释放出来的氮素短期内不能满足作物需求,转而向土壤吸收氮素,形成氮的生物固定,从而影响作物氮素的供应。这在一定程度上可以解释投入水稻秸秆的处理青菜产量同期较 CK 无明显提高的原因所在。

3.3 有机物投入对青菜抽薹的影响

本研究过程出现青菜抽薹现象,是我们难以预想的,但又从中反映出青菜从营养生产向生殖生长转变的一个重要标志,有研究表明这与肥水丰缺密切相关。而从 4 个时段的监测调查结果与分析,抽薹率总体上呈现出 T₁(CK) > T₄ > T₃ > T₂,可见增施有机物料可提升新垦耕地红壤的保水保肥能力,且提升能力以商品有机肥 > 食用菌废渣 > 水稻秸秆。

3.4 3 种有机物投入量确定

在本研究过程中,将水稻秸秆还田量定为 7 500 kg/hm²,并未与另外两种有机物投入量(22 500 kg/hm²)保持一致。基于以下两方面的因素考虑:一方面

基于不对新垦耕地质量产生较大负面影响和该县域范围内新垦耕地土壤培肥改良采用“边种边改”原则的前提下,在设计上追求新垦耕地稳产、增产的前提下,采用不同有机物的最佳用量,并未刻意保持投入量的一致性;另一方面基于当地新垦耕地红壤的肥力水平和 3 种有机物自身的特性确定其投入量,商品有机肥和食用菌废渣养分含量接近,其投入量均受土壤污染风险限制,确定 22 500 kg/hm² 系最佳用量。而水稻秸秆的投入虽在提高土壤总养分和降低土壤污染风险上优于前者,但其势必会对土壤物理性状影响较大,造成保水保肥能力骤降,导致农作物大幅减产,同时鉴于近年来杂交水稻秸秆全量还田(10 500 ~ 12 000 kg/hm²)导致下茬早作小麦或油菜出苗率较低影响产量的现象频发,故此,以当地常规水稻秸秆平均产量为 7 500 kg/hm² 作为参考,确定水稻秸秆投入量。

4 结论

连续 3 a 对商品有机肥、食用菌废渣和水稻秸秆等 3 种不同有机物投入对新垦耕地红壤肥力及蔬菜生长的影响研究表明,从每年投入商品有机肥和食用菌废渣各 22 500 kg/hm²,水稻秸秆 7 500 kg/hm² 对新垦耕地红壤肥力及蔬菜生长所产生影响来看,在 3 种有机物中,商品有机肥无论是在土壤培肥方面还是在蔬菜作物生产方面,其均能体现出最佳效果,在土壤肥力方面,较 CK 增减幅度相比,5 个指标呈正向变化上,容重降幅高出 13.04%,有机质、全氮、有效磷和速效钾含量的增幅分别高出 93.93%,25.09%,2 583.82%和 28.31%,从负向变化上 pH 值仅下降 0.35 个单位,降幅最少;在蔬菜生长方面,青菜抽薹率最低,先后测定的 4 个时段,分别较 T₁(CK)低 5.73%,7.78%,8.17%,3.50%,3 a 间分别较 T₁(CK)实现增产 43.02%,89.82%,222.52%,同期增幅最大,可作为新垦红壤地区施用的外源有机物之一予以推荐。而食用菌废渣的效果次之,可作为替代物品,水稻秸秆效果较差。

[参 考 文 献]

- [1] 陈原,张秋惠,张海峰. 我国耕地资源形式分析及保护对策[J]. 资源与产业,2008,10(5):114-118.
- [2] 中华人民共和国国土资源部. 2012 年国土资源事业发展亮点纷呈、成效突出[EB/OL]. [2013-01-12](2018-09-01) http://www.mlr.gov.cn/xwtd/jrxw/201301/t20130112_1174754.htm.
- [3] 沈建国,王忠,李丹,等. 余杭区新垦红壤耕地肥力特征与地力评价[J]. 土壤通报,2018,49(1):55-60.

- [4] 陈桂坤,张蕾娜,程锋,等.数量质量并重管理的耕地保护政策研究[J].中国土地科学,2009,23(12):39-43.
- [5] 王盼盼,宋戈,王越.农用地分等定级及土地开发整理成果在耕地占补平衡中的应用[J].农业工程学报,2016,32(11):258-264.
- [6] 顾万帆,蒋玉根,邵赛男,等.富阳市补充耕地的地力现状与提升建议[J].浙江农业科学,2014,55(4):569-572.
- [7] 王忠,沈倩莹,沈建国,等.余杭区新垦耕地土壤理化性状调查及培肥改良对策[J].浙江农业科学,2017,58(8):1467-1470,1476.
- [8] 杨志臣,吕貽忠,张凤荣,等.秸秆还田和腐熟有机肥对水稻土培肥效果对比分析[J].农业工程学报,2008,24(3):214-218.
- [9] 卫婷,韩丽娜,韩清芳,等.有机培肥对旱地土壤养分有效性和酶活性的影响[J].植物营养与肥料学报,2012,18(3):611-620.
- [10] 周江明.不同有机肥对水稻产量和土壤肥力的影响[J].浙江农业科学,2014,55(2):156-162.
- [11] 沈建国.余杭耕地质量与管理[M].北京:中国农业科学技术出版社,2014.
- [12] 鲍士旦.土壤农化分析[M].北京,中国农业出版社,2007.
- [13] 黄昌勇.土壤学[M].北京,中国农业出版社,1999.
- [14] 赵建阳.蔬菜标准化生产技术[M].杭州,浙江科学技术出版社,2008.
- [15] 荣勤雷,梁国庆,周卫,等.不同有机肥对黄泥田土壤培肥效果及土壤酶活性的影响[J].植物营养与肥料学报,2014,50(5):168-1177.
- [16] 郭治兴,王静,柴敏,等.近 30 年来广东省土壤 pH 值的时空变化[J].应用生态学报,2011,22(2):425-430.
- [17] 曾招兵,曾思坚,刘一锋,等.1984 年以来广东水稻土 pH 变化趋势及影响因素[J].土壤,2014,46(4):732-736.
- [18] 邵学新,黄标,顾志权,等.长三角经济高速发展地区土壤 pH 时空变化及其影响因素[J].矿物岩石地球化学通报,2006,25(2):143-149.
- [19] 张永春,汪吉东,沈明星,等.长期不同施肥对太湖地区典型土壤酸化的影响[J].土壤学报,2010,47(3):465-472.
- [20] 周晓阳,徐明岗,周世伟,等.长期施肥下我国南方典型农田土壤的酸化特征[J].植物营养与肥料学报,2015,21(6):1615-1621.
- [21] 孟红旗,刘景,徐明岗,等.长期施肥下我国典型农田耕层土壤的 pH 演变[J].土壤学报,2013,50(6):1109-1116.
- [22] 高利华,屈忠义,丁艳宏,等.秸秆不同还田方式对土壤理化性质及玉米产量的影响研究[J].中国水利水电,2016(9):28-34.
- [23] 刘义国,刘永红,刘洪军,等.秸秆还田量对土壤理化性状及小麦产量的影响[J].中国农学通报,2013,29(3):131-135.
- [24] 袁金华,徐仁扣.生物质炭的性质及其对土壤环境功能影响的研究进展[J].生态环境学报,2011,20(4):779-785.
- [25] 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.
- [26] 马永清,毛仁钊,刘孟雨,等.小麦秸秆的生化他感效应[J].生态学杂志,1993,12(5):36-38.
- [27] 杨思存,霍琳,王建成.秸秆还田的生化他感效应研究初报[J].西北农林学报,2005,14(1):52-56.
- [28] 吴崇海,顾士领.小麦高留茬的经济效益与配套技术[J].土壤肥料,1996(2):11-14.
- [29] 沈裕璇,黄相国,王海庆.秸秆覆盖的农田效应[J].干旱地区农业研究,1998,16(1):45-50.

(上接第 84 页)

- [14] 薛文强,周蓓蓓,毛通,等.纳米碳混合层对土壤水分入渗特性及水分分布影响[J].水土保持学报,2018,32(3):152-159.
- [15] 雷志栋,杨诗秀.土壤水动力学[M].北京:清华大学出版社,1988:5-216.
- [16] 余冬立,刘营营,刘冬冬,等.土壤容重对海涂垦区粉砂土水分垂直入渗特征的影响研究[J].农业现代化研究,2012,33(6):749-761.
- [17] 张晓凤,张旭,蒋晶,等.北京奥林匹克森林公园典型下垫面入渗特性[J].清华大学学报:自然科学版,2012(2):223-228.
- [18] 赵云鹏,白一茹,王幼奇,等.城市绿地覆盖砂石后土壤水分入渗过程及模型分析[J].西北农林科技大学学报:自然科学版,2017,45(7):66-72.
- [19] 余冬立,郑加兴,刘营营,等.围垦年限和土壤容重对海涂土壤水分运动参数的影响[J].农业机械学报,2015,46(2):120-125.
- [20] 吕殿青,邵明安,潘云.容重变化与土壤水分特征的依赖关系研究[J].水土保持学报,2009,23(3):209-212.
- [21] 付晓莉,邵明安. SWCC 测定过程产生的容重变化对 SWCC 参数的影响[J].水土保持学报,2007,21(3):178-182.
- [22] 冯杰,尚曼廷,刘佩贵.大孔隙土壤与均质土壤水分特征曲线比较研究[J].土壤通报,2009,40(5):1006-1009.
- [23] 舒凯民,樊贵盛.砂壤黄土比水容量对土壤容重变异敏感性分析[J].土壤通报,2016,47(4):814-819.