

水溶性有机肥与常规肥料的肥效对比分析

陈鲜妮*, 孙向前, 汪林峰, 吴姗姗, 黄琳琳, 孙文皓, 崔晓晗, 石兆勇, 常会庆

(河南科技大学农学院, 河南 洛阳 471000)

摘要: 为了探讨水溶性有机肥与传统有机肥、化肥等相比在提高常见蔬菜的产量、品质及土壤速效养分、酶活性等方面的效果, 采用土培小白菜试验, 施用化肥 (NPK)、鸡粪有机肥 (M) 和水溶性有机肥 (WS), 设置 10 个处理: CK (不施肥)、NPK、M、WS1 (0.4 mL/kg 土)、WS2 (2 mL/kg 土)、WS3 (4 mL/kg 土)、WS4 (6 mL/kg 土)、MNPK (1/2NPK+1/2M)、MWS (1/2M+WS2)、NPKWS (1/2NPK+WS2), 分析了收获期小白菜和土壤的相关指标。结果显示, WS 用量越大, 小白菜地上部鲜重越大, 但处理 NPK、MNPK、MWS、NPKWS 的地上部鲜重均与 WS4 (8.62 g/株) 无显著差异; 高剂量 WS 处理 (WS3、WS4) 的粗纤维含量平均比 CK、NPK 处理分别减少 62.6%、38.3%, 处理 M 和 MNPK 对降低粗纤维含量有同等效果。此外, 施用 WS 的剂量越高, 土壤碱解氮、有效磷、速效钾含量越高; 土壤蔗糖酶活性在处理 WS3、WS4 中最高 (均值 10.1 mg/g), 处理 M 次之 (8.81 mg/g), 在 CK 和 NPK 中最低 (均值 6.41 mg/g)。从经济效益来看, WS3、WS4 处理的净收益为负值, 而 NPK 和 MNPK 处理的净收益最高。因此, 从产量、经济效益、土壤肥力可持续性等方面综合考虑, 最佳推荐施肥措施是化肥配施鸡粪有机肥, 水溶性有机肥在降低成本后可推广作为速效有机肥料来施用。

关键词: 有机肥; 水溶性有机肥; 粗纤维; 酶活性; 小白菜

水溶性有机肥通常是有机物料经发酵处理或化学降解等途径生产的全水溶性有机肥料, 它与化肥相比, 可促进茄子幼苗生长和壮苗的形成^[1], 提高黄瓜^[2]、豇豆和辣椒^[3]等产量。近几年, 有些商家将含有机碳的水溶性有机肥定义为“有机碳肥”, 并传播关于植物“碳营养”的理论^[4-6], 认为“增产必须补碳”且应以有机碳的形式进行补碳。目前已有研究从植物“碳营养”的角度, 探讨了“有机碳肥”对作物及蔬菜生长的影响, 并认为该肥料比化肥和普通有机肥对花生^[7]、玉米^[8]、蔬菜^[9]等均有增产和提高经济效益的作用。但一些专家^[10]则对碳营养的相关理论持怀疑态度。从制作原材料^[11]来看, 含有机碳的水溶性有机肥中还含有植物生长所需的各种水溶性矿质养分。那么, 该肥料对作物、果蔬的增产作用是源自于所谓的有机碳营养还是水溶性营养物质, 施用剂量又该

如何界定, 目前未知。

除了作物产量和经济效益, 维持与提升土壤质量也是施肥的主要目的之一。土壤酶活性是土壤中生物活性的重要体现, 土壤酶参与土壤中的物质能量代谢, 可以提高土壤中养分的生物有效性, 例如土壤蔗糖酶可以催化蔗糖水解, 参与土壤有机质转化^[12], 对提高土壤中易溶性营养物质有重要作用, 其活性强弱能够反映出土壤肥力的高低^[13]。大量研究表明, 施用化肥或有机肥可以提高作物产量和品质, 同时提高土壤多种酶活性^[12-16], 含氨基酸水溶肥料比化肥能有效提高辣椒和豇豆土壤中的酶活性^[3]。但水溶性有机肥在提高土壤酶活性方面是否优于普通有机肥或化肥有机肥配施, 少见报道。

因此, 本研究将以最常见的蔬菜—小白菜为试验材料, 采用土培试验, 探讨与传统有机肥、化肥相比, 不同剂量的水溶性有机肥在提高常见蔬菜的产量、品质、经济效益等方面的效果, 以及水溶性有机肥对土壤速效养分、蔗糖酶活性的影响特征, 为农产品种植过程中肥料的选择提供科学依据, 并借此探讨该新型肥料中的速效养分和水溶性有机碳对小白菜生长所起的作用。

收稿日期: 2020-03-11; 录用日期: 2020-06-08

基金项目: 国家自然科学基金 (41601309); 河南省高校省级大学生创新创业训练计划项目 (S201910464049); 河南科技大学 SRTP 项目 (2019375)。

作者简介: 陈鲜妮 (1986-), 女, 河南浉池人, 讲师, 博士, 研究方向为土壤肥力与养分循环。E-mail: xuchen0701@126.com。同时为通讯作者。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试土壤采自河南科技大学开元校区农场(北纬 34.41°, 东经 112.27°), 属于温带季风气候, 年均温 12.8 ~ 15.5 °C, 年均降水量 600 ~ 700 mm。该采样地常年为小麦-玉米的一年两熟制耕作, 配施传统的无机肥料和除草剂。采土深度 0 ~ 20 cm, 检出肉眼可见的秸秆残体和石块, 自然风干, 过 3 mm 筛。土壤有机碳含量 1.35 g/kg, 全氮含量 0.92 g/kg, 碱解氮 24.4 mg/kg, 有效磷 14.1 mg/kg, 速效钾 331 mg/kg, 土壤 pH 值 7.7 (水土比 2.5:1)。

供试植物为小白菜, 十字花科芸薹属上海青 (*Brassica chinensis* L.)。

供试肥料中氮肥为尿素 (N 46%), 磷肥是过磷酸钙 (P_2O_5 18%), 钾肥为氯化钾 (K_2O 60%); 有机肥是由鸡粪制成的商品有机肥 (M), 有机质含量 400 g/kg, 水溶性有机碳含量 8.11 g/kg, 全氮 11.3 g/kg, 硝态氮+铵态氮 1.10 g/kg、有效磷 1.07 g/kg、速效钾 13.2 g/kg; 水溶性有机肥 (WS) 为含腐植酸水溶肥料 [农肥 (2017) 准字 5895 号], 水溶性有机碳含量 203 g/L, 腐植酸 30.0 g/L, 硝态氮+铵态氮 50.0 g/L, 有效磷 30.0 g/L, 速效钾 20.0 g/L, 生产厂家为广东维生温室科技有限公司。

1.2 试验设计

试验设置 10 个处理: CK (不施肥)、NPK (氮肥 0.44 g/kg, 磷肥 0.67 g/kg, 钾肥 0.37 g/kg)、M (27.0 g/kg, 相当于田间 3×10^4 kg/hm²)、WS1 (0.4 mL/kg, 是产品推荐的田间施肥量的 4 倍)、WS2 (2 mL/kg)、WS3 (4 mL/kg)、WS4 (6 mL/kg)、MNP (1/2NPK+1/2M)、MWS (1/2M+WS2)、NPKWS (1/2NPK+WS2), 每个处理重复 3 次, 随机区组设计。用直径 18 cm、深 11 cm 的塑料盆, 每盆装土 1 kg。于 2019 年 9 月 24 日进行小白菜种子的室内催芽, 两天后长出约 5 mm 幼芽时移栽, 每盆移栽 9 颗幼芽, 盖滤纸使之避光并保持湿润, 基本全部出苗后去掉滤纸, 搬至室外, 待苗高约 3 cm 时 (9 月 30 日) 间苗, 每盆留 4 株长势相似的幼苗, 从 10 月 1 日开始定期追肥或浇灌等量水。每个处理中的氮、磷、钾肥和鸡粪有机肥均以固体形态作为基肥与供试土壤混匀后直接装盆; 水溶性有机肥均分为 4 份, 稀释后每盆以 100 mL 溶液的形式,

分别在 10 月 1 日、6 日、11 日、16 日作为追肥施入。在 2019 年 10 月 28 日收获整个小白菜植株并采集土壤样品。

1.3 样品分析

小白菜收获后测定其形态特征 (株高、最大叶片长宽、地上部鲜重)、粗纤维含量 (质量法)^[17], 根据肥料用量与价格等成本计算不同施肥处理下种植小白菜的经济效益; 收集盆钵中的土壤, 风干过筛, 采用常规分析方法测定土壤速效养分含量^[18], 用 3, 5-二硝基水杨酸比色法测定土壤蔗糖酶活性^[19]。

1.4 数据处理

所有数据用 Excel 2010 初步计算, 在 SAS 9.3 中经正态分布验证后, 进行方差分析、多重比较 (LSD 法)。试验数据及分析结果用软件 Origin 8.0 (OriginLab Inc., USA) 和 Excel 2010 绘图。

2 结果与分析

2.1 小白菜形态特征受不同施肥措施的影响

小白菜的株高、叶长、叶宽、地上部鲜重在不同处理间均表现出了一定差异 (表 1)。与对照 CK 和低剂量水溶性有机肥处理 (WS1, WS2) 相比, 高剂量的水溶性有机肥处理 (WS3, WS4) 可以显著增加小白菜的株高、叶长、叶宽、地上部鲜重 ($P<0.05$)。对于小白菜株高而言, 处理 MNP、NPK、MWS 与 WS4 差异不显著, 处理 M 和 NPKWS 显著低于 WS4, 但与 WS3 差异不显著。对于小白菜地上部鲜重, 仅施有机肥的处理 M (6.04 g/株) 显著低于 WS4 (8.62 g/株), 处理 NPK、MNP、MWS、NPKWS 均与 WS4 无显著差异, 也获得了相对较高的产量。

2.2 小白菜地上部粗纤维含量受不同施肥措施的影响

小白菜茎叶中粗纤维含量决定了其食用口感, 粗纤维含量高则口感较差、品质较低。在该研究中, 不同施肥处理对小白菜地上部粗纤维含量产生了显著影响 (图 1)。处理 WS3、WS4 的小白菜粗纤维含量在所有处理中最低 (均值 0.06 mg/g), 且与处理 M、WS2、MNP 未呈现显著差异。由于盆栽所用的土壤肥力较低, 处理 CK 的小白菜长势弱小, 粗纤维含量最高 (0.16 mg/g), 其次为处理 WS1 (0.11 mg/g) 和 NPK (0.10 mg/g)。

表 1 不同处理条件下小白菜形态特征

处理	株高 (cm)	最大叶长 (cm)	最大叶宽 (cm)	地上部鲜重 (g/株)
CK	8.62 ± 1.74d	4.67 ± 0.60e	2.70 ± 0.54f	2.35 ± 0.48e
NPK	15.9 ± 1.56ab	9.89 ± 1.49ab	6.25 ± 1.02bc	7.25 ± 1.43bc
M	13.8 ± 0.64bc	8.07 ± 0.50cd	4.77 ± 0.34d	6.04 ± 0.84cd
WS1	9.45 ± 1.88d	5.39 ± 1.35e	3.23 ± 0.66ef	2.95 ± 0.68e
WS2	12.5 ± 2.59c	7.54 ± 1.50d	4.27 ± 0.78de	5.23 ± 1.17d
WS3	16.2 ± 1.03ab	10.8 ± 0.54a	6.92 ± 0.80ab	7.57 ± 1.29abc
WS4	17.6 ± 1.62a	11.1 ± 1.47a	7.92 ± 0.84a	8.62 ± 0.72ab
MNPK	16.2 ± 0.29ab	9.79 ± 0.47ab	6.58 ± 0.44b	8.91 ± 0.60a
MWS	16.3 ± 1.16ab	9.72 ± 0.67abc	6.12 ± 0.78bc	7.22 ± 0.24bc
NPKWS	14.2 ± 1.13bc	8.24 ± 0.43bcd	5.30 ± 0.29cd	8.75 ± 1.02ab

注：同列不同小写字母表示同一指标在不同处理间差异显著 ($P<0.05$)。下同。

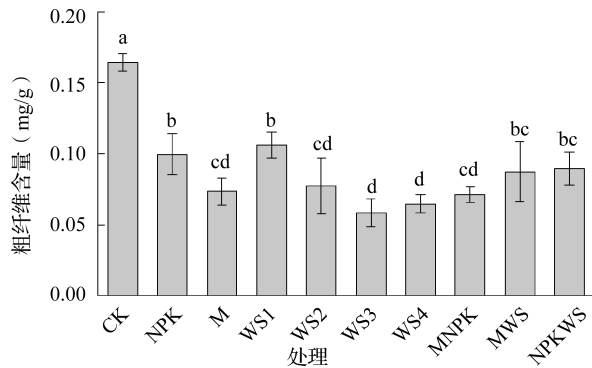


图 1 不同处理小白菜地上部粗纤维含量

注：不同小写字母表示不同处理间差异显著 ($P<0.05$)。下同。

2.3 不同处理小白菜经济效益分析

将不同处理条件下小白菜地上部鲜重作为产量，同时按照肥料、蔬菜的市场零售价格，计算了每盆小白菜的肥料投入成本、市场价值和净收益（表 2）。处理 CK 不投入肥料成本，有一定的净收益。WS1 处理条件下肥料的投入成本低，但小白菜产量也较低，其收益与 CK 相近。除了 CK 和 WS1，其他处理的单盆蔬菜市场价值均较高，但肥料投入成本差异较大，使得处理 NPK、MNPK 的净收益最高（分别为 16.6×10^{-2} 、 17.9×10^{-2} 元），M 和 NPKWS 次之，WS3 和 WS4 的净收益为负值。

2.4 小白菜收获后土壤速效养分受施肥的影响

小白菜收获后土壤中的速效养分在不同处理间的差异性如图 2 所示。水溶性有机肥的施用剂量越高，则对土壤速效养分的提高幅度越大，WS4 处理条件下的土壤碱解氮、有效磷、速效钾的含量均显

著高于其他处理 ($P<0.05$)。除了处理 M、MNPK、MWS，其余处理中土壤碱解氮含量均显著高于 CK (15.0 mg/kg , $P<0.05$)。对于土壤有效磷含量，处理 NPK、M、WS3、MNPK、MWS 的值均仅次于处理 WS4 的最高值 (37.4 mg/kg)，但显著高于 CK (17.9 mg/kg , $P<0.05$)。与 CK 相比，处理 M、WS2、WS3、WS4、MWS 的土壤速效钾含量分别提高了 27.7%、20.5%、49.5%、70.4%、15.9% ($P<0.05$)，处理 NPK、WS1、NPKWS 对土壤速效钾含量影响不显著。

表 2 不同处理条件下小白菜经济效益

($\times 10^{-2}$ 元/盆)			
处理	肥料成本	市场价值	净收益
CK	0.00	5.64	5.64
NPK	0.77	17.4	16.6
M	6.30	14.5	8.20
WS1	2.40	7.09	4.69
WS2	12.0	12.6	0.55
WS3	24.0	18.2	-5.83
WS4	36.0	20.7	-15.3
MNPK	3.53	21.4	17.9
MWS	15.2	17.3	2.17
NPKWS	12.4	21.0	8.61

注：参考肥料单价分别为尿素 5.00 元/kg，过磷酸钙 4.00 元/kg，硫酸钾 7.50 元/kg，商品有机肥 2.30 元/kg，水溶性有机肥 60.0 元/L；参考小白菜市场售价为 6.00 元/kg。

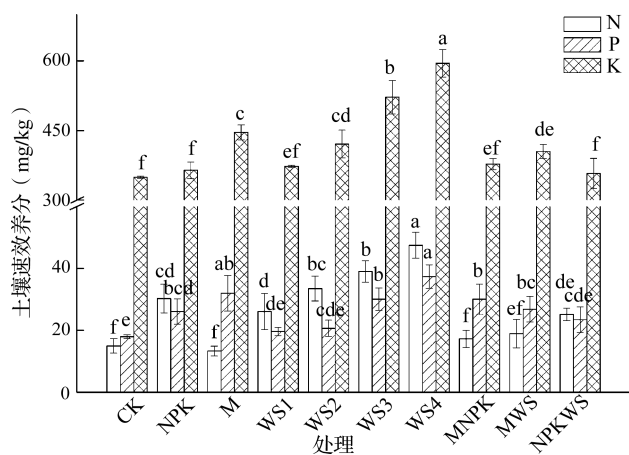


图2 不同处理的土壤碱解氮、有效磷、速效钾含量

2.5 小白菜收获后土壤蔗糖酶活性受施肥的影响

土壤蔗糖酶是由土壤微生物产生的具有催化作用的蛋白质, 容易受到施肥措施影响。土壤蔗糖酶活性的强弱能够反映出土壤肥力的高低^[11]。由图3可见, 土壤蔗糖酶活性在高剂量水溶性有机肥处理 (WS3、WS4) 条件下最高 (均值 10.1 mg/g), 其次是 M 处理 (8.81 mg/g), WS1、WS2、MWS、NPKWS 均与 M 处理无显著差异, 土壤蔗糖酶活性在 CK 和 NPK 处理中最低 (均值 6.41 mg/g)。

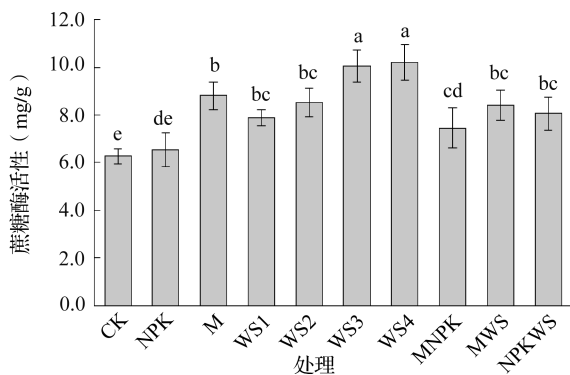


图3 不同处理间土壤蔗糖酶活性

3 讨论

长期施用有机肥可以培肥地力, 提高土壤中碱解氮、有效磷、速效钾等养分含量, 且肥料施用量越大, 提高幅度也越大^[20-21]; 在短期内施用有机肥或者化肥配施有机肥也可以维持或提升肥力较低的土壤中速效态的氮、磷、钾养分含量, 为植物提供速效养分, 弥补植物生长因吸收养分所导致的土壤养分亏缺^[22-23]。本研究发现, 与不施肥处理相比, 单施有机肥或化肥配施有机肥均可在一定程度上提高土壤速效养分含量, 这与前人的研究结果基

本一致。

除了普通有机肥, 本研究还主要涉及到水溶性有机肥与普通化肥、有机肥的肥效对比。有报道认为, 相对于常规施肥, 含有机碳的水溶性有机肥可增加农作物及蔬菜等的产量及经济效益^[7-9], 但是本研究结果与该结论并非完全一致。本研究发现, 单纯施用水溶性有机肥需要较大剂量, 即施用量达到肥料推荐施用量的 10 倍左右才能实现高产, 而施用常规化肥或化肥配施有机肥小白菜亦可较好地生长并获得相同产量; 仅施低剂量水溶性有机肥所获得的产量较低, 但配施少量化肥后产量则显著提高。化肥能够提供丰富的氮磷钾营养, 却不含有有机碳, 普通有机肥中水溶性有机碳的含量也较低, 这可能意味着高剂量水溶性有机肥处理中对小白菜的高产起主要作用的是肥料中的水溶性矿质养分, 而不是有机碳。另外, 与不施肥处理和化肥处理相比, 施用高剂量的水溶性有机肥可以减少小白菜地上部粗纤维含量, 提高蔬菜品质, 但是单独施用商品有机肥或与无机肥配合施用也可实现类似效果; 再者, 施用水溶性有机肥达到一定剂量虽然能够获得高产量, 但因肥料成本较高, 导致净收益极低。在经济效益的估算方面, 多数研究所选用的水溶性肥料均来自于福建省绿洲生化有限公司^[7-9], 而本研究在材料准备时因购买途径有限, 选购了不同公司的产品, 这可能导致了小白菜经济效益估算的偏差。

基于本研究的结果, 单纯施用化肥或化肥配施有机肥是在短期内实现较高产量和较好经济效益的最佳措施。但是, 众所周知, 随着施肥时间的延长, 有机肥对土壤速效养分的提升作用将逐渐优于化肥, 且能表现出良好的养分持续供应能力^[22]。而农业种植不仅要考虑产量、经济效益, 还必须考虑土壤肥力的可持续性, 因此, 化肥配施普通有机肥将是最优推荐的措施。本研究中化肥配施有机肥的处理中有机肥的用量较低, 在实际应用中可以增加有机肥的投入量, 可以取得更好、更长远经济效益。

若不讨论经济效益, 仅看施肥效果, 与不施肥处理相比, 施用高剂量的水溶性有机肥确实与化肥配施有机肥或化肥配施低剂量水溶性有机肥等处理一样, 提高了小白菜的产量、改善了小白菜的品质, 增加了土壤中速效养分含量, 提高了土壤酶活性。这首先是因为制作水溶性有机肥料的原材料是

各种有机物料,肥料成品中除了水溶性有机碳之外,还含有植物所必需的丰富的矿质元素,这些矿质养分可以为植物生长提供营养。本研究及付红梅等^[24]均发现施用含有机碳的水溶性有机肥可显著提高土壤中速效养分的含量。因此,高剂量水溶性有机肥在蔬菜产量、品质等方面均表现出比单施化肥或单施普通有机肥具有更大优势的原因可能有两方面:1)传统化肥因缺少有机物质,对土壤中养分有效性的改善作用有限,普通有机肥虽含有大量有机质,但速效养分较少,无法满足植物短期对养分的大量需求,而水溶性有机肥中除了水溶性有机碳、腐植酸之外,还有大量的氮、磷、钾等矿质养分,同时补充了有机和无机营养;2)水溶性有机肥在为植物提供丰富有机无机营养的基础上,发挥了普通有机肥的作用,即肥料里面的有机分子参与了植物生长过程中所需要的刺激和调节作用^[25-27],同时可能改变了土壤微生物群落结构^[28],提高了土壤中蔗糖酶活性及养分有效性,促进了植物对养分的吸收。

值得一提的是,关于植物碳营养的理论在提出的时候应该更严谨些,植物可以吸收一定量含有机碳的物质^[5],但过分夸大有机碳的营养作用则不可取。从物质转化效率的角度来讲,植物对任何肥料中养分的吸收都不可能达到100%,假设植物对水溶性有机肥中的碳全部吸收并转化为植物有机体,那么,植物有机体所能增加的质量也仅有肥料中有机碳量的1.724倍^[10],比如本研究的WS2处理条件下,由水溶性有机肥提供的有机碳约为0.41 g/盆,而小白菜从种植到收获增加干重约2.47 g/盆;而在单施化肥或化肥配施有机肥处理条件下,由肥料所提供的有机碳量极低,小白菜却仍然获得了较高产量。上述研究结果证明植物绝大多数生物量并非主要来自于肥料中的有机碳,植物生长主要还是要靠矿质养分,要“靠天补碳”。

4 结论

从作物产量、经济效益、土壤肥力可持续性等方面综合考虑,最优推荐的施肥措施是化肥配施普通有机肥。如果能够降低水溶性有机肥料的生产成本和销售价格,那么,该肥料则可推广作为速效有机肥料来施用,它在短期内能够起到与化肥配施有机肥相类似的肥效,肥效的可持续性仍需验证。

此外,在对该类肥料的科技宣传方面应注重科学理论。

参考文献:

- [1] 鲁荣海,向娟,岁立云,等.不同有机水溶肥对茄子幼苗生长的影响[J].湖北农业科学,2019,58(13):40-43.
- [2] 张洋.有机水溶肥料(水剂)在设施黄瓜上的应用效果[J].青海农林科技,2019(2):5-7.
- [3] 王蓓,黄忠阳,徐明喜,等.含氨基酸水溶肥料在设施辣椒和豇豆上的田间效应研究[J].土壤通报,2017,48(3):683-691.
- [4] 朱昌雄,李瑞波.液态有机碳肥概述[J].磷肥与复肥,2013,28(4):16-18.
- [5] 廖宗文,毛小云,刘可星.重视有机营养研究与有机碳肥创新—关于植物营养经典理论的现代思考[J].植物营养与肥料学报,2017,117(6):290-294.
- [6] 廖宗文,毛小云,刘可星.有机碳肥对养分平衡的作用初探—试析植物营养中的碳短板[J].土壤学报,2014,51(3):656-659.
- [7] 刘保成,王百顺.有机碳肥对花生产量及经济效益的影响[J].现代农业,2019(4):20-21.
- [8] 王百顺,刘保成.有机碳肥不同用量对玉米产量及经济效益的影响[J].现代农业科技,2018(17):17-18.
- [9] 陈秀莲,魏晓琼,吴德森.液态有机碳肥对蔬菜品质的影响[J].中国果菜,2014,34(12):67-69.
- [10] 白由路.植物营养中理论问题的追本溯源[J].植物营养与肥料学报,2019,25(1):5-14.
- [11] 罗寅辉,叶松波,刘家乐,等.有机碳肥的研究进展[J].现代化工,2019,39(2):33-36.
- [12] 罗世琼,杨雪鸥,林俊青.施肥对烤烟土壤微生物群落结构多样性及蔗糖酶活性的影响[J].贵州农业科学,2013,41(7):124-128.
- [13] 殷陶刚,窦向丽,刘晶婧,等.兰州新区不同土地利用类型对土壤有机质和养分及酶活性的影响[J].中国土壤与肥料,2019(6):32-37.
- [14] 宋震震,李絮花,李娟,等.有机肥和化肥长期施用对土壤活性有机氮组分及酶活性的影响[J].植物营养与肥料学报,2014,20(3):525-533.
- [15] 罗安程,Subedi T B,章永松,等.有机肥对水稻根际土壤中微生物和酶活性的影响[J].植物营养与肥料学报,1999,5(4):34-40.
- [16] 赵晶,孟庆峰,周连仁,等.长期施用有机肥对草甸碱土土壤酶活性及养分特征的影响[J].中国土壤与肥料,2014(2):23-26.
- [17] 李小方,张志良.植物生理学实验指导(第5版)[M].北京:高等教育出版社,2016.
- [18] 鲍士旦.土壤农化分析(第3版)[M].北京:中国农业出版社,2008.
- [19] 关松荫.土壤酶及其研究法[M].北京:农业出版社,

- 1986.
- [20] 宇万太, 姜子绍, 马强, 等. 施用有机肥对土壤肥力的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2009, 15 (5): 1057-1064.
- [21] 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.
- [22] 龚雪蛟, 秦琳, 刘飞, 等. 有机类肥料对土壤养分含量的影响 [J]. 应用生态学报, 2020, 31 (4): 1403-1416.
- [23] 梁路, 马臣, 张然, 等. 有机无机肥配施提高旱地麦田土壤养分有效性及酶活性 [J]. 植物营养与肥料学报, 2019, 25 (4): 544-554.
- [24] 付红梅, 曹华, 温从育. 有机碳肥对油茶林地土壤养分和产量的影响 [J]. 江苏林业科技, 2017, 44 (3): 31-34.
- [25] Ertani A, Cavani L, Pizzeghello D, et al. Biostimulant activity of two protein hydrolyzates in the growth and nitrogen metabolism of maize seedlings [J]. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 2009, 172 (2): 237-244.
- [26] Rose M T, Patti A F, Little K R, et al. A meta-analysis and review of plant-growth response to humic substances: Practical implication for agriculture [J]. Advances in Agronomy, 2014, 124: 37-89.
- [27] 曾宪成. 腐植酸本性肥料可持续发展 [J]. 腐植酸, 2013 (4): 1-6.
- [28] 艾超. 长期施肥下根际碳氮转化与微生物多样性研究 [D]. 北京: 中国农业科学院, 2015.

Comparative analysis between the effects of water-soluble organic fertilizer and conventional fertilizer

CHEN Xian-ni*, SUN Xiang-qian, WANG Lin-feng, WU Shan-wei, HUANG Lin-lin, SUN Wen-hao, CUI Xiao-han, SHI Zhao-yong, CHANG Hui-qing (Henan University of Science and Technology, Luoyang Henan 471000)

Abstract: In order to explore the effects of organic carbon fertilizer on the yield and quality of vegetables as well as soil available nutrients and soil enzyme activity comparing with traditional inorganic or organic fertilizer, inorganic fertilizer (NPK), chicken manure (M) and water-soluble organic fertilizer (WS) were used in soil cultivation of *Brassica chinensis* to conduct ten treatments: CK (no fertilization), NPK, M, WS1 (0.4 mL/kg), WS2 (2 mL/kg), WS3 (4 mL/kg), WS4 (6 mL/kg), MNPK (1/2NPK+1/2Manure), MWS (1/2Manure+WS2), NPKWS (1/2NPK+WS2). The relevant indexes of *Brassica chinensis* and soil were analyzed. Results showed that the higher the amount of WS applied, the higher the aboveground biomass of *Brassica chinensis* was. There was no significant difference in the aboveground biomass between WS4 (8.62 g per plant) and NPK, MNPK, MWS, NPKWS. The crude fiber content in treatments with high amount of WS fertilization (WS3 and WS4, on average) was 62.6% and 38.3% lower than that of CK and NPK, respectively. Treatments M and MNPK had the same effect on reducing crude fiber content as WS3 and WS4. In addition, the contents of soil available N, P, K were higher with higher amount of WS applied. Soil sucrase activity showed the highest value in WS3 and WS4 (10.1 mg/g, on average), followed by M (8.81 mg/g), and the lowest in CK and NPK (6.41 mg/g on average). In terms of economic benefits, the net income of WS3 and WS4 treatments were negative, while NPK and MNPK treatments showed the highest net income. Therefore, considering the yield, economic benefit and the sustainability of soil fertility comprehensively, chemical fertilizer combined with chicken manure is recommended. The WS fertilizer can be applied as fast-release organic fertilizer after reducing cost.

Key words: organic fertilizer; water-soluble organic fertilizer; crude fiber; enzyme activity; *Brassica chinensis*