

doi: 10.11838/sfsc.1673-6257.19209

蚯蚓粪和巨大芽孢杆菌互作对小白菜产量与品质的影响

余小兰^{1, 2}, 李光义^{1, 2}, 邹雨坤^{1, 2}, 刘景坤^{1, 2}, 杨霞^{1, 2}, 王定美^{1, 2}, 李晓亮^{3*}

(1. 中国热带农业科学院环境与植物保护研究所, 海南 海口 571101; 2. 海南省热带生态循环农业重点实验室, 海南 海口 571101; 3. 中国热带农业科学院热带作物品种资源研究所, 海南 儋州 571737)

摘要: 研究蚯蚓粪和巨大芽孢杆菌对小白菜养分含量、产量、品质及土壤理化性质的影响, 以期为提高叶菜品质和科学施肥提供理论依据。以小白菜为研究对象, 采用温室大棚田间试验方法, 研究蚯蚓粪不同尿素替代量(0、20%、40%、60%、80%、100%)和巨大芽孢杆菌(0、6 kg/hm²)对小白菜养分含量、产量、品质(维生素C、游离氨基酸、硝酸盐)和土壤理化性状的影响。结果表明, 与完全施用化肥相比, 蚯蚓粪或蚯蚓粪+巨大芽孢杆菌处理均能显著提高小白菜产量和改善品质, 且蚯蚓粪替代40%尿素时的产量、游离氨基酸、维生素C含量最高, 硝酸盐含量最低, 且在此基础上添加巨大芽孢杆菌能够进一步提高产量、改善品质。蚯蚓粪或蚯蚓粪+巨大芽孢杆菌处理均能显著提高土壤pH值、碱解氮、有效磷和速效钾含量, 且蚯蚓粪替代40%尿素+6 kg/hm²巨大芽孢杆菌时提高作用更为突出。

关键词: 蚯蚓粪; 巨大芽孢杆菌; 小白菜; 产量; 品质

叶菜是人们日常生活中不可或缺的蔬菜产品^[1]。统计年鉴数据表明, 2016年我国叶菜播种面积达 5.49×10^6 hm², 总产量超过1.96亿t, 约占蔬菜总产量的25%。叶菜的高产离不开化肥的施用。研究表明, 叶菜对氮磷钾养分需求比例为1:0.5~0.53:1.07~1.14^[2], 而实际生产中, 菜农为了获得最大蔬菜产量和经济效益, 常过量施用化肥, 尤其是氮肥, 其用量远远超出蔬菜的正常生长需求^[3-4]。然而, 过量施氮不仅会造成产量和维生素C、可溶性糖、可溶性固形物等营养品质下降^[5], 同时叶菜硝酸盐含量急剧上升^[6]。硝酸盐本身无毒, 但在长时间储存过程中, 其在酶和微生物作用下, 易被还原成亚硝酸盐, 而亚硝酸盐被人体吸收后, 在胃酸作用下可与蛋白质分解产物二级胺反应生成致癌性物质——亚硝胺, 进而威胁人体健康。人体摄入的硝酸盐中有72%~94%来源于蔬菜, 而叶菜占据我国蔬菜总供应量的24.6%^[7]。因此, 降低叶菜中硝酸盐含量, 是保证食品安全和

人体健康的重要途径。

应用有机态氮肥和功能微生物, 同时减少化学氮肥用量, 是降低叶菜硝酸盐积累的主要途径^[8]。究其原因这是由于有机肥以有机态养分为主, 速效养分含量低, 可以避免叶菜对氮素的快速吸收与积累^[9-10]。蚯蚓粪是一种优质的有机肥料, 富含有机态氮、腐殖质等物质, 养分丰富且全面^[11]。蚯蚓粪可以提高小白菜、油菜等经济作物的抗逆能力, 提高作物产量、营养品质和外观品质等^[12]。与施用复合肥相比, 使用蚯蚓粪可降低生菜和甘蓝体内的硝酸盐含量, 改善生菜品质^[13-14]。此外, 蚯蚓粪作为一种功能性有机肥^[15], 还被广泛应用于番茄^[16]、草莓^[17]、黄瓜^[18]、辣椒^[19]等经济作物的栽培, 且农产品的产量和品质均得到了显著提升。巨大芽孢杆菌则将硝态氮以微生物氮的形式固定起来, 使氮素缓慢释放, 同时产生亚硝酸还原酶, 减弱氮素脱氧和氧化过程, 从而降低硝酸盐含量^[20]。

目前, 有关蚯蚓粪和巨大芽孢杆菌的协同效应尚不清楚, 有必要开展相关研究, 进一步明确两者在改善叶菜品质中的潜力。因此, 本研究通过设置蚯蚓粪不同尿素替代量及添加巨大芽孢杆菌, 研究蚯蚓粪和巨大芽孢杆菌对土壤肥力和小白菜产量及其品质的影响, 以期为叶菜的合理施肥及高品质蔬菜的打造提供理论依据。

收稿日期: 2019-05-15; 录用日期: 2019-06-22

基金项目: 海南省重大专项(No.ZDKJ2017001); 贵州省科技计划项目(No.黔科合支撑[2016]2547号); 中国热带农业科学院基本科研业务费专项(No.1630042018007)。

作者简介: 余小兰(1985-), 女, 广西桂林人, 助理研究员, 硕士, 研究方向为废弃物综合利用。E-mail: 2005myschool@163.com。

通讯作者: 李晓亮, E-mail: jueshi199777@163.com。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验在海南省海口市龙华区龙泉镇新发地温室大棚进行。供试土壤为砖红壤, 土壤理化性质为有机质 16.38 g/kg, pH 值 7.13, 碱解氮 (N) 111.44 mg/kg, 有效磷 (P_2O_5) 9.35 mg/kg, 速效钾 (K_2O) 25.59 mg/kg。

1.2 试验材料

供试蚯蚓粪为蚯蚓吞食牛粪后的产物, pH 值 7.29, 有机质 21.63%, 碱解氮 (N) 0.21%, 有效磷 (P_2O_5) 0.045%, 速效钾 (K_2O) 0.93%。供试作物为小白菜, 品种台湾高脚甜白菜。

1.3 试验方法

试验设置蚯蚓粪和巨大芽孢杆菌 2 个因素, 其中蚯蚓粪 6 个水平, 分别为替代化肥中氮肥的 0%、20%、40%、60%、80%、100%, 巨大芽孢杆菌设计最佳添加量 (6 kg/hm²) 和不添加 2 个水平, 共计 12 个处理, 每个处理 3 个重复, 具体施肥量见表 1。小区面积为 4 m × 2 m = 8 m², 小区间距为 0.3 m, 保护行为 0.5 m, 株距为 0.5 m。

试验所用氮肥为尿素 (N 46%), 磷肥为过磷酸钙 (P_2O_5 12%), 钾肥为硫酸钾 (K_2O 50%), 巨大芽孢杆菌 (粉剂) 有效活菌数 ≥ 50 亿 cfu/g。肥料施用根据试验设计, 蚯蚓粪、巨大芽孢杆菌、过磷酸钙、硫酸钾全部作基肥使用, 尿素作追肥使用。巨大芽孢杆菌与 5 kg 蚯蚓粪混合均匀后撒施, 蚯蚓粪、过磷酸钙、硫酸钾直接撒施于土壤表面, 肥料撒施完之后用旋耕机耙平。小白菜于 2018 年 7 月 14 日种植, 8 月 18 日收获, 收获时计产并采集土壤及植株样品, 进行各生理指标的测定。

表 1 各处理肥料用量情况

处理		尿素	过磷酸钙	硫酸钾	蚯蚓粪	巨大芽孢
菌	替代率 (%)	(kg/hm ²)	(kg/hm ²)	(kg/hm ²)	(t/hm ²)	杆菌 (kg/hm ²)
不加菌	0	244.57	312.50	144.23	0.00	0.00
	20	195.65	151.25	77.88	57.75	0.00
	40	146.74	0.00	11.54	115.50	0.00
	60	97.83	0.00	0.00	173.25	0.00
	80	48.91	0.00	0.00	231.00	0.00
	100	0.00	0.00	0.00	288.75	0.00
加菌	0	244.57	312.50	144.23	0.00	6.00
	20	195.65	151.25	77.88	57.75	6.00
	40	146.74	0.00	11.54	115.50	6.00
	60	97.83	0.00	0.00	173.25	6.00
	80	48.91	0.00	0.00	231.00	6.00
	100	0.00	0.00	0.00	288.75	6.00

1.4 项目测定

1.4.1 土壤理化性质的测定

土壤 pH 值测定采用土水比为 1 : 10 (m/v) 进行测定; 使用重铬酸钾外加热法测定土壤有机质含量; 碱解扩散法测定土壤碱解氮; 采用氟化铵 - 盐酸浸提土壤, 钼蓝比色法测定土壤有效磷含量; 使用乙酸铵浸提土壤, 用火焰光度计测定速效钾含量。

1.4.2 叶菜品质的测定

于收获后采集新鲜样品测定叶菜地上部分品质指标。维生素 C 含量采用 2, 6- 二氯酚靛酚滴定法测定, 硝酸盐含量采用分光光度法测定, 游离氨基酸含量采用茚三酮比色法测定。

1.5 数据分析

利用 SPSS 18.0 软件对数据进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 蚯蚓粪和巨大芽孢杆菌对小白菜土壤肥力及产量、品质的影响

由表 2 可知, 施加蚯蚓粪显著影响土壤有机质、pH 值、碱解氮、有效磷、速效钾、铵态氮、硝态氮及小白菜产量、维生素 C、硝酸盐、游离氨基酸的含量, 施加巨大芽孢杆菌显著影响土壤有机质、pH 值、碱解氮、有效磷、速效钾、铵态氮及小白菜产量、维生素 C、硝酸盐、游离氨基酸含量, 二者的交互效应显著影响土壤 pH 值、铵态氮、硝态氮及小白菜游离氨基酸含量。

表 2 蚯蚓粪和巨大芽孢杆菌对小白菜和土壤相关指标影响的二维方差分析

指标		菌	蚯蚓粪	菌 × 蚯蚓粪
土壤	有机质	0.035	<0.001	NS
	pH 值	<0.001	<0.001	<0.001
	碱解氮	0.009	<0.001	NS
	有效磷	<0.001	<0.001	NS
	速效钾	<0.001	<0.001	NS
	铵态氮	<0.001	0.007	<0.001
	硝态氮	NS	<0.001	<0.001
	产量	<0.001	<0.001	NS
小白菜	维生素 C	0.002	<0.001	NS
	硝酸盐	<0.001	<0.001	NS
	游离氨基酸	<0.001	<0.001	<0.001

注: 表中数值为显著性水平, $P < 0.01$ 为极显著, $P < 0.05$ 为显著, $P > 0.05$ 为不显著, 并以 NS 表示。

2.2 蚯蚓粪替代尿素对小白菜产量的影响

由图 1 可知, 随着蚯蚓粪替代尿素比例的增加, 小白菜产量整体呈先升高后降低的趋势, 且加菌处理明显高于不加菌处理。对于不加菌处理来

说, 蚯蚓粪替代比例为 0% ~ 40% 时, 小白菜产量快速增加, 至替代 40% 时, 小白菜产量达到最大, 为 1.728 kg/区, 之后随着蚯蚓粪替代比例的增加, 小白菜产量逐渐下降。对于加菌处理来说, 小白菜产量均高于不加菌处理, 且蚯蚓粪替代比例为 0% ~ 40% 时, 小白菜产量快速增加, 至替代 40% 时, 小白菜产量达到最大, 为 2.004 kg/区, 之后随着蚯蚓粪替代比例的增加, 小白菜产量逐渐下降。

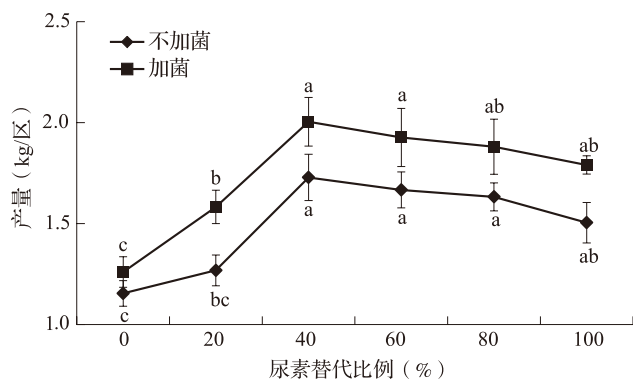


图1 蚯蚓粪替代尿素对小白菜产量的影响

注: 折线上不同字母表示替代尿素处理之间差异显著 ($P < 0.05$), 下同。

2.3 蚯蚓粪替代尿素对土壤 pH 值、有机质及养分含量的影响

由图 2 可知, 随着蚯蚓粪替代尿素比例的增加, 土壤 pH 值呈先增加后降低的趋势, 且加菌处理下的 pH 值高于不加菌处理。对于加菌处理来说, 蚯蚓粪替代比例为 60% ~ 80% 时, 土壤 pH 值最高, 分别为 7.56、7.60。而不加菌处理下, 蚯蚓粪替代比例为 40% 时, 土壤 pH 值最高, 为 7.31。可见, 蚯蚓粪和巨大芽孢杆菌配施能够减缓土壤酸化, 对土壤环境的良性发展有积极的作用。

由图 3 可知, 随着蚯蚓粪替代尿素比例的增加, 土壤有机质含量呈持续上升的趋势, 但加菌处理下的有机质含量低于不加菌处理。土壤碱解氮含量变化规律与有机质一致。蚯蚓粪有机质含量高, 故替代尿素比例越多, 其土壤有机质含量越高。加菌处理下的土壤有机质、碱解氮含量低于不加菌处理, 前者可能是由于加菌处理下微生物通过自身的代谢活动, 将一部分有机物用于自身增殖, 其余有机物则被分解成无机养分, 被植物吸收利用的原因^[21], 后者可能是由于有机质具有胶体特性, 能够吸附较多阳离子, 进而改善土壤营养元素形态, 促进碱解氮形成的原因^[22]。

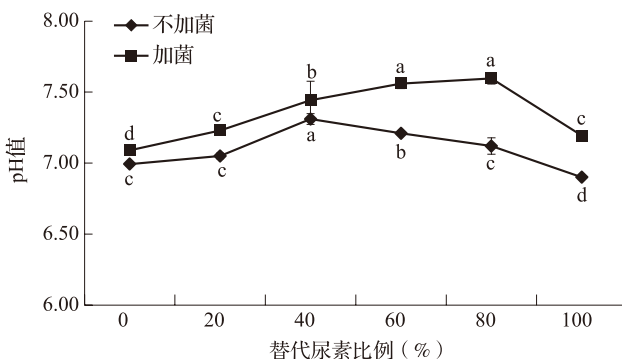


图2 蚯蚓粪替代尿素对土壤 pH 值的影响

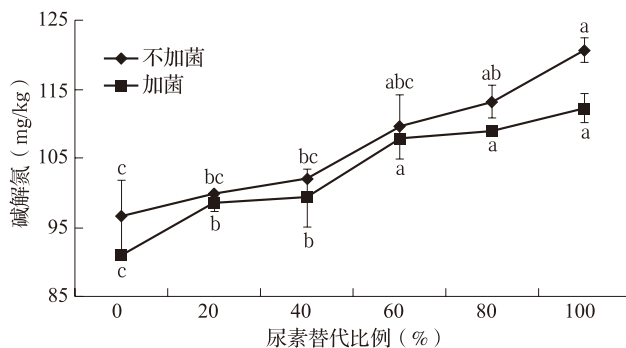
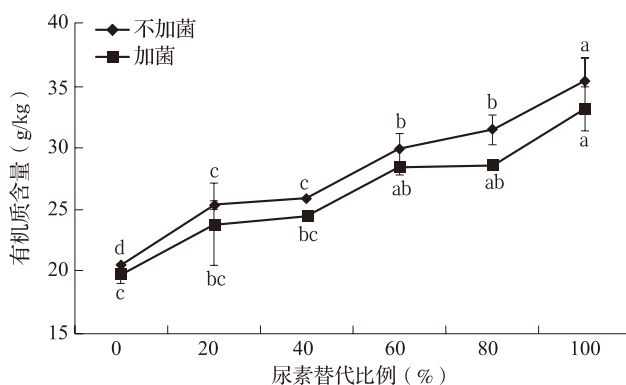


图3 蚯蚓粪替代尿素对土壤有机质、碱解氮含量的影响

由图 4 可知, 随着蚯蚓粪替代尿素比例的增加, 土壤有效磷、速效钾含量呈先增加后降低的趋势, 且加菌处理下的有效磷含量高于不加菌处理。对于不加菌处理来说, 当蚯蚓粪替代比例为 60% 时, 有效磷含量最高, 为 154.07 mg/kg。对于加菌处理来说, 当蚯蚓粪替代比例为 40% 时, 土壤有效磷含量最高, 为 170.39 mg/kg。加菌处理和不加菌处理均在蚯蚓粪替代比例为 40% 时, 土壤速效钾含量最高, 分别为 406.02、390.18 mg/kg。巨大芽孢杆菌具有解磷固钾的作用, 故加菌处理的土壤有效磷和速效钾含量高于不加菌处理。

由图 5 可知, 随着蚯蚓粪替代尿素比例的增加, 土壤铵态氮、硝态氮含量呈先降低后增加的趋势。

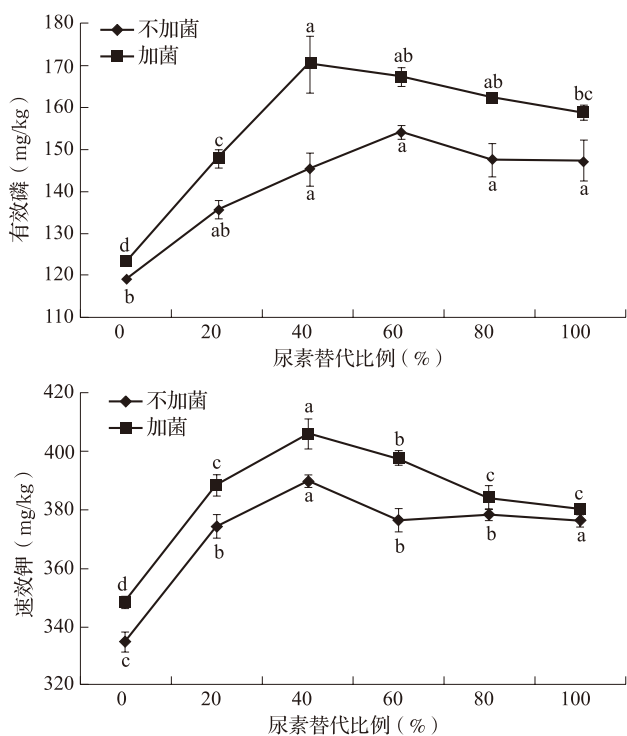


图4 蚯蚓粪替代尿素对土壤有效磷、速效钾含量的影响

势,且整体上加菌处理低于不加菌处理。加菌处理下,土壤铵态氮含量在蚯蚓粪替代比例为40%时含量最低,而土壤硝态氮则在蚯蚓粪替代比例为60%时含量最低;对于不加菌处理来说,土壤铵态氮、硝态氮含量在蚯蚓粪替代比例为100%时含量最高。

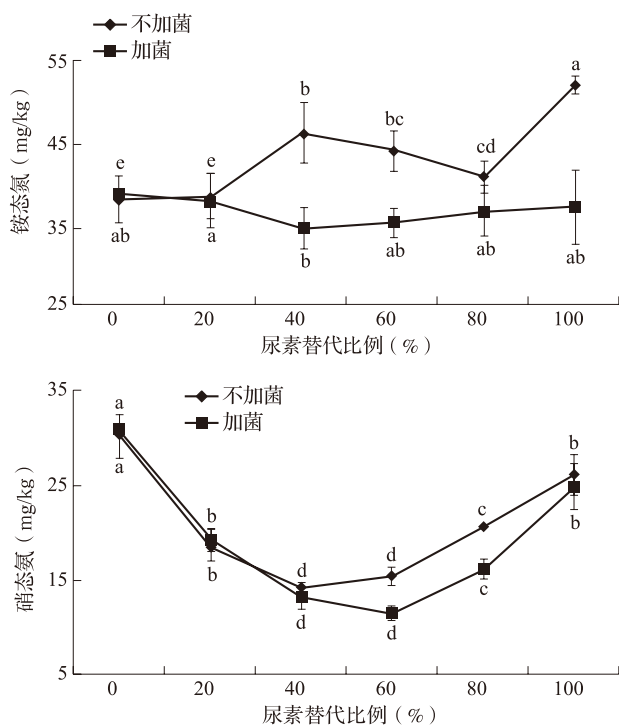


图5 蚯蚓粪替代尿素对土壤铵态氮、硝态氮含量的影响

2.4 蚯蚓粪替代尿素对小白菜品质的影响

由图6可知,随着蚯蚓粪替代比例的增加,小白菜维生素C、游离氨基酸含量整体呈先增加后降低的趋势,且加菌处理显著高于不加菌处理。对维生素C含量来说,加菌处理和不加菌处理均在替代比例为40%~60%时达到最高,而游离氨基酸含量则均在替代比例为40%时达到最高。由图7可知,随着蚯蚓粪替代比例的增加,小白菜硝酸盐含量整体呈先降低后增加的趋势,且加菌处理低于不加菌处理。对于不加菌处理来说,当蚯蚓粪替代比例为60%时,小白菜硝酸盐含量最低,而对于加菌处理来说,蚯蚓粪替代比例为40%时最低。

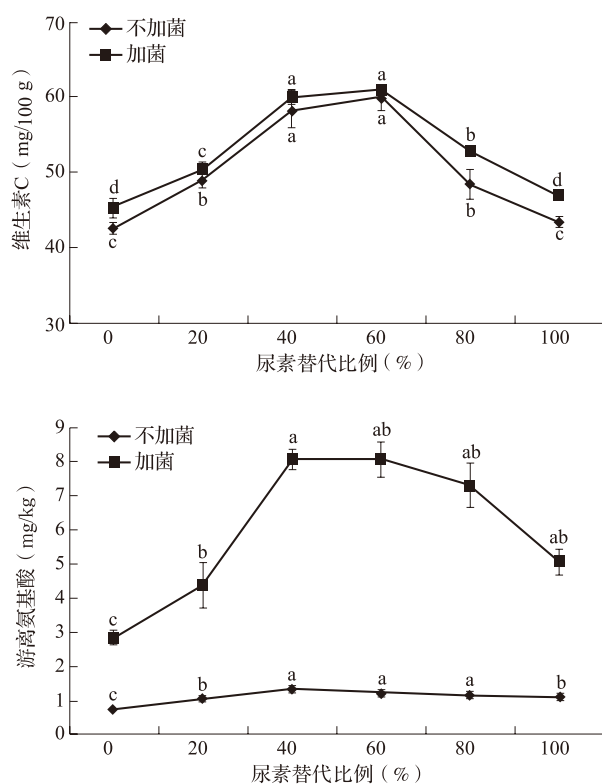


图6 蚯蚓粪替代尿素对小白菜维生素C、游离氨基酸含量的影响

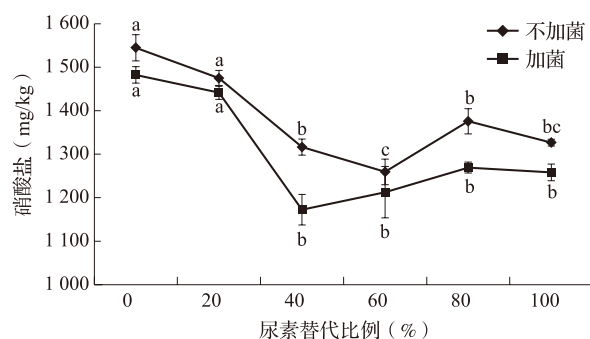


图7 蚯蚓粪替代尿素对小白菜硝酸盐含量的影响

3 讨论

蚯蚓粪是利用蚯蚓吞食禽畜粪便等生物质废弃物产生的团粒物质。和普通有机肥相比,蚯蚓粪干净、卫生、无异味,具有有机肥的优良属性,同时更加安全^[23]。每公顷草莓施用 30 ~ 45 t 蚯蚓粪,可增产 1 458.3 kg/hm²,降低 26.2% ~ 41.5% 的硝酸盐含量^[24],提高土壤肥力,增加草莓可溶性固形物和维生素 C 等^[25]。以蚯蚓粪、秸秆等制成的蚯蚓粪有机肥,可使番茄^[26]、西兰花^[27]、黄瓜^[28]平均产量分别增加 10.10%、9.57%、12.57%。此外,蚯蚓粪在甘蓝^[29]、康乃馨^[30]、樱桃萝卜^[31]、西瓜^[32]等作物上,也表现出较好的促生长、增产、提质等方面的作用。本研究认为,与单纯施用尿素相比,使用蚯蚓粪替代部分尿素能显著提高土壤有机质及速效养分含量,增加小白菜产量,改善其品质,且在替代比例为 40% 时效果最好,这与上述研究结果基本一致。

巨大芽孢杆菌是一种好氧产孢的革兰氏阳性细菌,具有较强的促生长、解磷解钾^[33]和降低叶菜硝酸盐含量的功能^[34]。本研究结果表明,施用巨大芽孢杆菌效果显著,可提高小白菜产量 59.05%,改善小白菜品质,其中硝酸盐含量可降低 26.44%,这与上述研究结果基本一致。在不施磷肥条件下接种巨大芽孢杆菌,能够促进油菜生长,增加油菜产量 39.6% ~ 75.0%^[35];在低氮条件下增施巨大芽孢杆菌能提高油菜产量,降低硝酸盐含量,其降低幅度可达 40.81%^[36];用食用菌菌渣和巨大芽孢杆菌 BM002 制成的生物有机肥,在施用量为 0.1 g/kg 土时,可显著促进油菜根系生长,增加油菜产量^[37]。

目前,有关蚯蚓粪和巨大芽孢杆菌互作对蔬菜增产、提质的研究比较缺乏。本研究发现,蚯蚓粪配施巨大芽孢杆菌下土壤 pH 值,碱解氮、有效磷、速效钾含量,小白菜产量、品质均优于不加菌处理,这与蚯蚓粪和其他益生菌互作研究结果基本一致。赵磊^[38]用桔黄假单胞菌 JD37、解淀粉芽孢杆菌 S3-1、巨大芽孢杆菌 LY11、草炭、蚯蚓粪和无机养分制成的全元生物有机肥,可显著增加菠菜产量,提高菠菜叶绿素 a、Vc 和可溶性固形物含量,降低硝酸盐含量。与常规堆肥相比,蚯蚓堆肥配施解淀粉芽孢杆菌或荧光假单胞菌,可提高西瓜、茄子产量分别为 9.9%、14.9%,同时改善两种作物的

品质^[39]。但是,本研究结果中,蚯蚓粪配施巨大芽孢杆菌下土壤有机质低于不加菌处理,可能是由于微生物自身增殖所用及微生物将有机物质分解成无机养分被植物吸收利用的原因。此外,研究结果中,加菌降低了土壤中铵态氮、硝态氮含量以及叶菜硝酸盐含量,同时提高了叶菜游离氨基酸含量,表明在添加蚯蚓粪的条件下,巨大芽孢杆菌能够促进无机氮向游离氨基酸的转化,而且二者提高叶菜氨基酸含量上具有较强的交互效应。

4 结论

适量蚯蚓粪和巨大芽孢杆菌能显著提高土壤有机质及速效养分含量,促进小白菜的生长并提高其品质,其中,蚯蚓粪替代 40% 尿素 +6 kg/hm² 巨大芽孢杆菌时,小白菜产量和品质提高效果最好。因此,在蔬菜生产中,可减少化学氮肥施用,并增施适量蚯蚓粪和巨大芽孢杆菌,以提高小白菜的产量和经济价值。本研究仅开展了蚯蚓粪和巨大芽孢杆菌在叶菜上的协同效应研究,明确了两者在增加叶菜产量,改善叶菜品质,尤其是降低硝酸盐含量方面的潜力,故今后可进一步开展蚯蚓粪和巨大芽孢杆菌协同降低叶菜硝酸盐的机制研究。

参考文献:

- [1] 王荣萍,余炜敏,梁嘉伟,等. 改性生物炭对菜地土壤磷素形态转化的影响[J]. 生态环境学报, 2016, 25 (5): 872-876.
- [2] Amagloh F K, Atuna R A, McBride R, et al. Nutrient and total polyphenol contents of dark green leafy vegetables, and estimation of their iron bioaccessibility using the in vitro digestion/Caco-2 cell model [J]. Foods, 2017, 6 (7): 54-66.
- [3] Jiao Y, Du R, Wang J, et al. Effect of composted Ageratina adenophora on soil bacteria, nutrients, and pepper yield and quality [J]. Acta Microbiologica Sinica, 2017, 57 (2): 209-219.
- [4] 胡凡. 陕西省猕猴桃和蔬菜施肥现状及主要作物肥料用量分析[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2017.
- [5] Xu Z Z, Yu Z W, Wang D, et al. Nitrogen accumulation and translocation for winter wheat under different irrigation regimes [J]. Journal of Agronomy & Crop Science, 2010, 191 (6): 439-449.
- [6] Hisatomi H, Yoshinori Y, Yoshihito S, et al. Variations in nitrogen uptake and nitrate-nitrogen concentration among sorghum groups [J]. Soil Science & Plant Nutrition, 2000, 46 (1): 97-104.
- [7] Brkić D, Bošnjak J, Bevardi M, et al. Nitrate in leafy green

- vegetables and estimated intake [J]. *African Journal of Traditional Complementary & Alternative Medicines* Ajtcam, 2017, 14 (3): 31–41.
- [8] 任人, 汪李平, 杨敏, 等. 不同有机肥在盆栽绿叶蔬菜上的使用效果比较 [J]. *长江蔬菜*, 2017, (20): 78–83.
- [9] 邱永祥, 李国良, 刘中华, 等. 不同肥料种类及用量对秋季叶菜用甘薯产量与品质影响的研究 [J]. *江苏师范大学学报 (自然科学版)*, 2017, 35 (3): 39–43.
- [10] 袁文静. 优质有机肥在无公害蔬菜生产中的示范效果 [J]. *现代农业科技*, 2015, (16): 82.
- [11] 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]. *J Sci Food Agric*, 2015, 95 (6): 1143–1156.
- [12] 王东升, 毛久庚, 常义军, 等. 蚓粪复合育苗基质对番茄幼苗生长的影响 [J]. *金陵科技学院学报*, 2012, 28 (1): 64–68.
- [13] 单颖, 赵凤亮, 林艳, 等. 蚯蚓粪对土壤环境质量和作物生长影响的研究现状与展望 [J]. *热带农业科学*, 2017, 37 (6): 11–17.
- [14] Papathanasiou F, Papadopoulos I, Tsakiris I, et al. Vermicompost as a soil supplement to improve growth, yield and quality of lettuce (*Lactuca sativa* L.) [J]. *Journal of Food Agriculture & Environment*, 2012, 10 (2): 677–682.
- [15] Fornes F, Mendozahernández D, Garcíadelafuente R, et al. Composting versus vermicomposting: a comparative study of organic matter evolution through straight and combined processes [J]. *Bioresource Technology*, 2012, 118 (4): 296–305.
- [16] 王耀晶, 王步宇, 刘鸣达. 药渣蚓粪对番茄幼苗生长发育的影响 [J]. *北方园艺*, 2010, (10): 48–49.
- [17] 左亚男. 蚯蚓粪对草莓植株生长发育的影响及作用机制 [D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2017.
- [18] 徐月明, 王波, 杜庆平, 等. 混配蚯蚓粪复合基质在黄瓜育苗中的应用 [J]. *扬州大学学报 (农业与生命科学版)*, 2017, 4 (21): 116–120.
- [19] Nunes R R, Pigatin L B F, Oliveira T S, et al. Vermicomposted tannery wastes in the organic cultivation of sweet pepper: growth, nutritive value and production [J]. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 2018, 7: 313–324.
- [20] 罗岩, 孙君社, 张京声, 等. 巨大芽孢杆菌产亚硝酸还原酶活性测定条件优化 [J]. *中国酿造*, 2011, (6): 27–31.
- [21] 简保权, 朱舒平, 邓昌彦, 等. 猪粪堆肥过程中 NH_3 和 H_2S 的释放及除臭微生物的筛选研究 [J]. *农业工程学报*, 2006, (S2): 183–186.
- [22] 周艳, 王婷, 葛怀娜, 等. 不同有机质对滨海盐渍土碱解氮含量及羊草生长特性的影响 [J]. *天津农学院学报*, 2015, (4): 24–28.
- [23] 张晓蕾, 王波, 王亦丰, 等. 蚯蚓粪复合基质氮素添加量对番茄幼苗生长的影响 [J]. *中国蔬菜*, 2010, 16: 47–53.
- [24] 于跃跃, 王胜涛, 金强, 等. 施用蚯蚓粪对草莓生长和土壤肥力的影响 [J]. *中国农学通报*, 2013, 30 (7): 219–223.
- [25] 郑世英, 郑建峰, 王宝泉, 等. 蚯蚓粪对草莓土壤肥力及产量和品质的影响 [J]. *北方园艺*, 2017, (10): 24–28.
- [26] 刘敏. 蚯蚓粪复合基质的原料配比研究及其对生菜和观赏番茄生长的影响 [D]. 泰安: 山东农业大学, 2008.
- [27] 魏晓明. 蚯蚓粪有机肥的制备及其对不同蔬菜产量和抗病性的影响 [J]. *长江蔬菜*, 2015, (2): 64–66.
- [28] 赵海涛, 罗娟, 单玉华, 等. 蚓粪有机无机复混肥对黄瓜产量和品质的影响 [J]. *植物营养与肥料学报*, 2010, 16 (5): 1288–1293.
- [29] 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.
- [30] 陈玲玲. 蚓粪复合基质应用于康乃馨育苗的效果研究 [D]. 扬州: 扬州大学, 2011.
- [31] 王东红. 蚯蚓粪对小白菜、樱桃萝卜生长和品质的影响 [D]. 泰安: 山东农业大学, 2010.
- [32] 曾令涛, 王东升, 常江杰, 等. 蚯蚓堆肥与益生菌配施对西瓜生长和品质的影响 [J]. *中国土壤与肥料*, 2017, (1): 103–110.
- [33] 吕黎, 王蕾, 周佳敏, 等. 巨大芽孢杆菌的研究现状及应用 [J]. *农业科学研究*, 2014, 35 (3): 48–52.
- [34] 韩立伟. 微生物对油菜硝态氮累积的影响研究 [D]. 太原: 山西大学, 2012.
- [35] 李娟, 王文丽, 卢秉林. 解磷微生物菌剂对油菜生长及产量的影响 [J]. *中国土壤与肥料*, 2010, (3): 67–69.
- [36] 王梦亮, 韩立伟, 王俊宏, 等. 氮肥及巨大芽孢杆菌对油菜生长和硝酸盐含量的影响 [J]. *长江蔬菜*, 2012, (8): 57–59.
- [37] 柳艳艳, 骆洪义, 王凤忠, 等. 巨大芽孢杆菌 (BM002) 生物有机肥对油菜生长发育的影响 [J]. *山东农业科学*, 2012, 44 (7): 63–66.
- [38] 赵磊. 植物根际促生菌复合发酵及其与外源物的联合应用 [D]. 上海: 上海师范大学, 2016.
- [39] 曾令涛. 蚯蚓堆肥与益生菌互作对西瓜/茄子生长及土壤性质的影响 [D]. 南京: 南京农业大学, 2016.

Effect of vermicompost and bacillus megaterium interaction on yield and quality of pakchoiYU Xiao-lan^{1, 2}, LI Guang-yi^{1, 2}, ZOU Yu-kun^{1, 2}, LIU Jing-kun^{1, 2}, YANG Xia^{1, 2}, WANG Ding-mei^{1, 2}, LI Xiao-liang^{3*}

(1. Environment and Plant Protection Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Haikou Hainan 571101; 2. Hainan Key Laboratory of Tropical Ecocircular Agriculture, Haikou Hainan 571101; 3. Tropical Crops Genetic Resources Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Danzhou Hainan 571737)

Abstract: Effect of vermicompost and bacillus megaterium on nutrient content, yield, quality and soil physical and chemical properties of pakchoi were studied to provide a theoretical basis for improving leaf vegetable quality and scientific fertilization. Pakchoi was used as test materials, effects of different treatments on nutrient content, yield and quality (vitamin C, free amino acid and nitrate) and soil physical and chemical properties in pakchoi were studied by cultivation experiment in greenhouses, and the treatments were respectively that vermicompost replaced the amount of urea (0, 20%, 40%, 60%, 80%, 100%) and bacillus megaterium application (0, 6 kg/hm²). The results showed that compared with the chemical fertilizer, the application of vermicompost, vermicompost + bacillus megaterium significantly improved the yield and quality of pakchoi, and yield, free amino acid, vitamin C content was the highest and the content of nitrate was the lowest when 40% urea was replaced by vermicompost. On this basis, the addition of bacillus megaterium could further increase the yield and improve the quality. The application of vermicompost, vermicompost + bacillus megaterium significantly increased pH, available nitrogen, available phosphorus and available potassium in soil, and the improvement was more prominent when vermicompost replaced 40% urea + 6 kg/hm² bacillus megaterium.

Key words: vermicompost; bacillus megaterium; pakchoi; yield; quality

[上接第 153 页]

volatilization were studied with laboratory experiments. The results showed that compared with RU treatment, MSU treatment reduced nitrogen leaching (by 9.2 percentage points) and ammonia volatilization (by 8.7 percentage points); MSU treatment increased soil inorganic nitrogen concentration (by $\geq 6.7\%$); MSU treatment increased leaf area (by $\geq 8.5\%$) and leaf SPAD (by $\geq 18.4\%$); MSU treatment improved leaf net photosynthetic rate (by $\geq 11.1\%$), stomatal conductance (by $\geq 14.3\%$), and carboxylation efficiency (by $\geq 25.1\%$); MSU treatment improved leaf nitrate reductase activity (by $\geq 11.4\%$); MSU treatment increased root area (by $\geq 7.7\%$); MSU treatment increased plant biomass (by $\geq 18.4\%$) and nitrogen apparent recovery efficiency (by $\geq 7.3\%$); however, MSU treatment had little effects on vegetable quality (e.g., vitamin C, crude protein, soluble sugar, and nitrate nitrogen). Overall, MSU is a promising slow-release fertilizer for production of vegetables such as water spinach, due to its effects on improving plant growth and apparent recovery efficiency and reducing the risk of nitrogen loss.

Key words: vegetable; nitrogen loss; biomass; photosynthesis; nitrate nitrogen