

不同生物菌肥对连作西蓝花产量和品质的影响

曹少娜, 吴利晓, 王克雄, 张倩男, 关耀兵

(宁夏农林科学院固原分院 宁夏固原 756000)

摘要:以连作2年(4茬)的西蓝花菜地为研究对象,以常规施肥为CK,采用大田试验,从西蓝花的生长发育、品质、产量以及根际土壤养分和菌群数量变化等角度,综合评价配施不同生物菌肥对西蓝花生长发育和土壤改良效果的影响,为生物菌肥大面积推广应用提供参考。结果表明,与CK相比,配施“金临门”生物菌肥(T5)可显著提高土壤碱解氮含量,配施“贝特”生物菌肥(T6)可显著提高土壤速效钾含量;与CK相比,配施生物菌肥对土壤蛋白酶活性有显著影响,但配施“复土归康”生物菌肥和“贝特”生物菌肥可显著提高土壤脲酶活性和蔗糖酶活性;配施生物菌肥对西蓝花品质指标影响各异,规律性不强,但配施“贝特”生物菌肥可降低硝酸盐含量3.90%~22.44%;与CK相比,配施“海藻菌动力”生物菌肥可显著提高连作土壤中细菌数量、真菌数量、放线菌数量;配施“贝特”生物菌肥西蓝花的株高与CK无显著差异,仅莲座期株幅投影面积显著高于CK,其他时期与CK无显著差异,实现增产6.13%。综上所述,在本试验条件下,“贝特”生物菌肥对连作西蓝花生长、品质、产量以及土壤改良效果更好。

关键词:西蓝花;生物菌肥;产量;品质

中图分类号:S635.3

文献标志码:A

文章编号:1673-2871(2024)08-158-09

Effects of different biological fertilizers on the yield and quality of broccoli under continuous cropping

CAO Shaona, WU Lixiao, WANG Kexiong, ZHANG Qiannan, GUAN Yaobing

(Guyuan Branch, Ningxia Academy of Agricultural and Forestry Sciences, Guyuan 756000, Ningxia, China)

Abstract: In this study, broccoli vegetable plots with 4 crops for 2 years were used as the research object, and a field cultivation experiment was conducted to comprehensively evaluate the effects of different biological fertilizer (using the conventional fertilizer as the control) on the growth and development of broccoli and soil improvement from the perspectives of growth, quality, yield, rhizosphere soil nutrients and microbial population changes, providing reference for the large-scale application of biological fertilizer. The results showed that compared to CK, the combined application of Jinlinmen biofertilizer (T5) significantly increased the content of alkali-hydrolytic nitrogen and Beite biofertilizer (T6) significantly increased the content of available potassium. Compared to CK, the application of biofertilizer had a significant effect on protease activity, but the application of Futuguikang and Beite biofertilizer significantly increased the activity of soil protease and sucrase. The combined application of biofertilizer had varying effects on the quality indicators of broccoli, with weak regularity. However, the combined application of "Beite" biofertilizer could reduce nitrate content by 3.90% to 22.44%. When compared to CK, the application of Haizaojundongli biofertilizer significantly increased the number of bacteria, fungi and actinomycetes in continuous cropping soil. There was no significant difference in plant height between the application of Beite biofertilizer and the CK, except for a significantly higher projected area of plant width during the rosette stage. In summary, under the conditions of this experiment, Beite biofertilizer had better effects on the growth, quality, yield, and soil improvement of continuous cropping of broccoli.

Key words: Broccoli; Biological fertilizer; Yield; Quality

土壤是农业赖以发展的物质基础,其质地、肥力状况、水分含量、土壤生物活性及其他理化特性等可直接影响蔬菜的生长发育和品质^[1]。常年连作

可改变土壤养分及酶活性等土壤理化性状,进而影响土壤养分供给、细胞膜脂合成代谢等途径,从而导致根际微生态失衡,土壤酶活性下降,土壤生态

收稿日期:2023-10-05;修回日期:2024-01-19

基金项目:固原市科技研发类计划(2021GYKYF029)

作者简介:曹少娜,女,助理研究员,研究方向为蔬菜栽培生理与生态。E-mail:1099034545@qq.com

通信作者:王克雄,男,高级农艺师,研究方向为蔬菜遗传育种与栽培。E-mail:wxk61238@163.com

环境恶化,土壤质量退化^[2]。目前,针对菜地连作土壤性状变化以及菜地连作障碍防控技术的研究较多,但主要集中在设施蔬菜上,而对于露地冷凉蔬菜的研究相对较少。冷凉蔬菜产业作为宁夏回族自治区“六特”产业之一,是宁南山区乡村振兴的重要产业。截至2020年固原市冷凉蔬菜种植面积已达3.3万hm²,其中西蓝花种植面积为0.67万hm²^[3]。西蓝花又称青花菜,是一种半耐寒高营养蔬菜,颇受消费者青睐。但随着种植面积逐渐扩大,菜农在种植过程中常年连作和盲目施肥用药,造成菜地土壤板结、次生盐渍化、缓冲性差,导致西蓝花的品质退化、产量下降,土壤连作衍生出一系列问题日益凸显。

随着对生态效益的重视,以及国家对于农药化肥“双减”项目的持续推动,生物菌肥作为一种可以改良土壤的含有活体微生物的功能性肥料,在缓解连作障碍和替代化肥方面的研究不断深入,在诸多作物上效果显著^[4]。已有研究表明,除含有较多有机质外,还含有特定功能的有益微生物,不仅能活化土壤养分,改善土壤环境和土壤微生物群落结构^[5-6],提高土壤肥力和土壤酶活性^[7],还可促进作物养分吸收,提高作物产量和品质^[8-10],增强作物抗病性和抗逆性^[11]。

笔者选择符合生产要求的6种生物菌肥,以连作西蓝花菜地为对象,研究生物菌肥对宁南山区连作西蓝花生长、品质、产量以及根际土壤养分和菌群数量变化的影响,以期生物菌肥大面积推广应用提供参考,为连作菜地土壤质量提升和绿色调控提供科学依据。

1 材料与方 法

1.1 试验地概况和材料

试验于2022年4—7月在宁夏固原市原州区头营镇蒋河村蔬菜生产基地进行,于4月20日采用105孔穴盘开始育苗,5月28日定植。该区属温带大陆性季风气候区,年均气温6.9℃,无霜期平均152d,年降水量350mm。试验地土壤为黄绵土,基本性质:0~20cm土层pH值为9.22,EC值0.42mS·cm⁻¹,全盐含量(w,下同)1.11g·kg⁻¹,有机质含量17.18g·kg⁻¹,碱解氮含量59.72mg·kg⁻¹,有效磷含量41.01mg·kg⁻¹,速效钾含量268.42mg·kg⁻¹。

供试品种为耐寒优秀,由固原丰乐园农业科技有限公司提供种苗。供试肥料为不同种类的商品生物菌肥,分别是由济南谷泉化工有限公司生产的

固体菌肥海藻菌动力,主要含有哈茨木霉、枯草芽孢杆菌、巨大芽孢杆菌,其中有效活菌数≥10亿·g⁻¹;由环润农用微生物菌肥有限公司生产的固体颗粒菌肥环润农用微生物菌肥,主要含复合菌种,其中有效活菌数≥1亿·g⁻¹,有机质含量≥40%;由河北冉邦生物肥料有限公司生产的粉剂全水溶型菌肥复土归康,主要含哈茨木霉菌、枯草芽孢杆菌,其中有效活菌数≥200亿·g⁻¹,哈茨木霉菌≥5亿·g⁻¹;由英国康普恩作物保护有限公司研发生产的粉剂全水溶菌肥根菌消,主要含枯草芽孢杆菌、胶冻样类(胶质)芽孢杆菌、侧芽孢杆菌,其中有效活菌数≥2.0亿·g⁻¹;由宁夏伊品生物科技有限公司生产的固体颗粒菌肥金临门和贝特,主要含复合菌种,其中有效活菌数≥0.8亿·g⁻¹,有机质含量≥40%。

1.2 方 法

试验采用随机区组设计,设置6种不同种类的生物菌肥和常规施肥(CK)处理,其中常规施肥是整个生育期仅施40kg·667m²复合肥、3m³·667m²鸡粪和水溶肥40kg·667m²,不施任何生物菌肥。所有处理分别记为T1处理(海藻菌动力);T2处理(环润农用微生物菌肥);T3处理(复土归康);T4处理(根菌消);T5处理(金临门);T6处理(贝特);CK(常规施肥)。共设7个处理,每处理3次重复,共21个小区。小区长8m,宽7.2m,小区面积为57.6m²,每小区起6垄,垄宽80cm,沟宽50cm,采用一垄双行栽培模式,其中,株距45cm,行距40cm,定植密度37500株·hm⁻²。所有处理均深施复合肥、有机肥和鸡粪,其中复合肥(N16-P₂O₅16-K₂O16)按照40kg·667m²施用,鸡粪按照3m³·667m²施用;所用生物菌肥均按照其田间推荐剂量和方法施用,利用机械起垄。整个生育期病虫害防治等田间管理措施与当地传统管理措施保持一致。

1.3 测定指标和方法

1.3.1 土壤理化性质和土壤酶活性测定 采用5点法取样,取0~20cm土壤,先除去约5cm厚表面土壤,挖取西蓝花的完整根系,轻轻抖去没有根系的大土块,用刷子刷去附在根毛上的土壤,即为根际土壤。将取好的土样平均分为3份放在无菌自封袋中,带回实验室测定土壤理化性质和土壤酶活性。其中采用电位法测定pH值;采用电导率仪法测定全盐含量;采用重铬酸钾外加热法测定有机质含量;采用碱解扩散法测定碱解氮含量;采用0.5mol·L⁻¹NaHCO₃浸提—钼锑抗比色法测定速效磷含量;采用NH₄OAc浸提—火焰光度法测定速效

钾含量;采用苯酚钠-次氯酸钠比色法测定土壤脲酶活性;采用3,5-二硝基水杨酸比色法测定蔗糖酶活性;采用高锰酸钾滴定法测定过氧化氢酶活性;采用磷酸苯二钠比色法测定碱性磷酸酶活性;采用改良茚三酮比色法测定蛋白酶活性。

1.3.2 生长指标、品质指标的测定 在苗期、莲座期、花蕾形成期、花球膨大期,每小区随机选择10株西蓝花,3次重复,测定其株高和株幅投影面积。

株高:植株自然状态下,植株最高处距离地面的垂直高度。

株幅投影面积:用精确度为0.1 cm的直尺先测量已标记植株最大株幅(A),然后十字交叉测量较小株幅(B),利用椭圆面积的计算公式换算得出株幅投影面积。

$$\text{株幅投影面积}/\text{cm}^2 = \pi \times A \times B / 4.$$

π -圆周率;

A-最大株幅;

B-较小株幅。

收获时,每小区随机采2个西蓝花鲜样,3次重复,测定品质指标:用钼蓝比色法测定维生素C含量;用蒽酮法测定可溶性糖含量;用考马斯亮蓝染色法测定可溶性蛋白含量;用硫酸-水杨酸法测定硝酸盐含量;用TD-45手持式数显糖度计测定可溶性固形物含量。

1.3.3 西蓝花花球产量构成因素的测定 收获期,每小区随机选择5株西蓝花,3次重复,测定花球外茎粗、花球横径、单球质量、单株总质量。

花球外茎粗:花球正常收获期,成熟花球外茎中部的横径;

花球横径:花球正常收获期,成熟花球与其纵径垂直的最粗处的直径;

单球质量:花球正常收获期,除去莲座叶及花球外部短缩茎,留两层小叶的花球净质量;

单株总质量:花球正常收获期,去根、带外叶和花球的植株总质量。

1.3.4 西蓝花植株鲜质量和干质量的测定 收获时,每小区随机选取3株,保证根系完整,洗净,分为根、外叶、花球3部分,3次重复,测定地上部和地下部鲜质量,在120℃杀青2h后80℃烘干,测定其干质量。

1.3.5 土壤微生物数量的测定 三大菌数量测定采用平板计数法:细菌采用牛肉膏蛋白胨培养基,真菌采用马丁氏培养基,放线菌采用高氏一号培养基。

1.4 数据分析

采用Excel 2020和SPSS 21.0对试验数据进行统计及差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 不同生物菌肥对连作菜地土壤理化性质的影响

由表1可知,不同生物菌肥对西蓝花根际土壤的有机质含量无显著影响,但对根际土壤的其他理化性质影响各异。其中,T3处理pH显著高于其他处理,达到9.30;T6处理电导率最小,仅为0.25 mS·cm⁻¹;T1处理电导率和全盐含量均显著高于其他处理,分别为0.40 mS·cm⁻¹和1.34 g·kg⁻¹;T6处理碱解氮含量、速效磷含量、速效钾含量均达到最高,其中速效磷含量显著高于其他处理,但碱解氮含量和速效钾含量与T5处理间无显著差异。可见,只有T6处理使用的生物菌肥对西蓝花根际土壤理化性质有显著改善作用。

2.2 不同生物菌肥对连作菜地土壤酶活性的影响

由表2可知,不同生物菌肥对西蓝花根际土壤

表1 不同生物菌肥对连作西蓝花根际土壤理化性质的影响

Table 1 Effects of different biological fertilizers on soil physicochemical properties of continuous cropping of broccoli rhizosphere

处理 Treatment	pH	电导率 EC/ (mS·cm ⁻¹)	w(有机质) Organic matter content/(g·kg ⁻¹)	w(碱解氮) Available nitrogen content/(mg·kg ⁻¹)	w(速效磷) Available phosphorus content/(mg·kg ⁻¹)	w(速效钾) Available potassium content/(mg·kg ⁻¹)	w(全盐) Full salt content/(g·kg ⁻¹)
CK	9.15±0.02 d	0.39±0.002 b	17.08±0.10 a	58.69±2.23 bc	26.12±0.21 e	248.04±7.39 cd	1.32±0.006 b
T1	9.12±0.01 d	0.40±0.003 a	17.24±0.12 a	56.92±1.45 cd	21.51±0.31 g	240.20±2.91 d	1.34±0.008 a
T2	9.24±0.03 b	0.35±0.002 e	17.20±0.26 a	55.22±1.12 d	23.54±0.31 f	241.18±1.72 d	1.18±0.006 e
T3	9.30±0.02 a	0.30±0.002 f	16.96±0.17 a	57.50±0.85 bcd	33.06±0.38 c	264.01±2.58 b	1.04±0.005 f
T4	9.19±0.01 c	0.36±0.002 d	17.11±0.10 a	55.02±0.84 d	30.83±0.22 d	252.21±5.32 c	1.24±0.005 d
T5	9.13±0.01 d	0.37±0.001 c	17.05±0.19 a	59.96±1.25 ab	41.97±0.17 b	290.82±4.54 a	1.25±0.003 c
T6	8.97±0.02 e	0.25±0.001 g	17.09±0.04 a	61.54±1.12 a	54.35±0.85 a	297.35±4.68 a	0.88±0.003 g

注:同列不同小写字母表示处理间在0.05水平差异显著。下同。

Note: Different small letters in the same column indicate significant difference among different treatment at 0.05 level. The same below.

表2 不同生物菌肥对连作西蓝花根际土壤酶活性的影响
Table 2 Effects of different biological fertilizers on soil enzyme activity in the rhizosphere of continuous cropping of broccoli (mg·g⁻¹·min⁻¹)

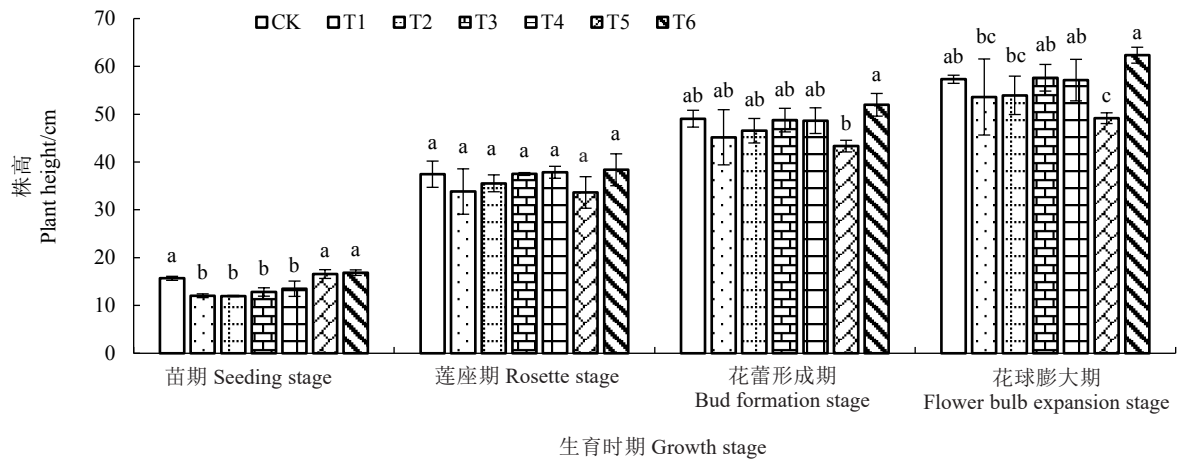
处理 Treatment	脲酶活性 Urease activity	蔗糖酶活性 Sucrase activity	过氧化氢酶活性 Catalase activity	碱性磷酸酶活性 Alkaline phosphatase activity	蛋白酶活性 Protease activity
CK	4.70±0.12 b	4.93±0.09 c	8.38±0.00 ab	4.08±0.10 cd	9.19±0.19 a
T1	4.40±0.12 cd	4.91±0.08 c	8.37±0.02 ab	4.17±0.08 c	6.51±0.11 e
T2	4.59±0.09 bc	4.86±0.10 c	8.39±0.03 a	4.91±0.08 a	4.96±0.06 f
T3	5.19±0.10 a	5.68±0.02 a	8.34±0.02 b	4.74±0.10 a	7.88±0.18 c
T4	4.25±0.17 d	4.97±0.18 c	8.38±0.03 a	3.98±0.06 d	4.26±0.20 g
T5	4.72±0.12 b	5.30±0.09 b	8.36±0.00 ab	4.40±0.02 b	8.75±0.01 b
T6	5.32±0.12 a	5.59±0.02 a	8.39±0.03 a	4.83±0.17 a	6.94±0.02 d

酶活性影响各异。其中,T6、T3 处理脲酶活性和蔗糖酶活性均显著高于其他处理,分别达到了 5.32、5.19 mg·g⁻¹·min⁻¹和 5.59、5.68 mg·g⁻¹·min⁻¹;各处理过氧化氢酶活性范围为 8.34~8.39 mg·g⁻¹·min⁻¹;T2、T3 和 T6 处理的碱性磷酸酶活性显著高于其他处理,但这三者之间并未达到显著差异水平,T4 处理碱性磷酸酶活性最低,仅为 3.98 mg·g⁻¹·min⁻¹;蛋白酶活性从高到低依次为 CK>T5 处理>T3 处理>T6 处理>T1 处理>T2 处理>T4 处理,且各处理之间均

有显著差异。可见,配施生物菌肥对土壤的蛋白酶活性有显著影响,T3 处理和 T6 处理可显著提高土壤脲酶和蔗糖酶活性。

2.3 不同生物菌肥对西蓝花生长指标的影响

由图 1 可知,不同生物菌肥对西蓝花不同生育期株高的影响,总体随生育进程呈现先快后慢变化趋势,不同生育期 T6 处理的株高均大于其他处理。其中,在苗期,T6、T5 处理和 CK 株高显著高于其他处理,T6 处理株高最大,为 16.87 cm;在莲座



注:不同小写字母表示处理间在 0.05 水平差异显著。下同。

Note: Different small letters indicate significant difference among different treatment at 0.05 level. The same below.

图 1 不同生物菌肥对连作西蓝花株高的影响

Fig. 1 Effects of different biological fertilizers on plant height of continuous cropping of broccoli

期,各处理间株高无显著差异,但 T6 处理比其他处理高出 1.40%~14.12%;在花蕾形成期,T6 处理株高显著高于 T5 处理,但与其他处理间无显著差异;在花球膨大期,T6 处理仅显著高于 T5 处理、T1 处理和 T2 处理。

由图 2 可知,不同生物菌肥对西蓝花不同生育

期株幅投影面积的影响,总体随生育进程呈现均速增长,除苗期外,T6 处理的株幅投影面积均达到了最大。在苗期,T4 处理株幅投影面积显著高于 CK、T5、T6 处理,但与其他处理未达到显著差异水平;在莲座期,T6 处理株幅投影面积显著高于 CK、T1、T2、T5 处理;在花蕾形成期,T6 处理株幅投影面

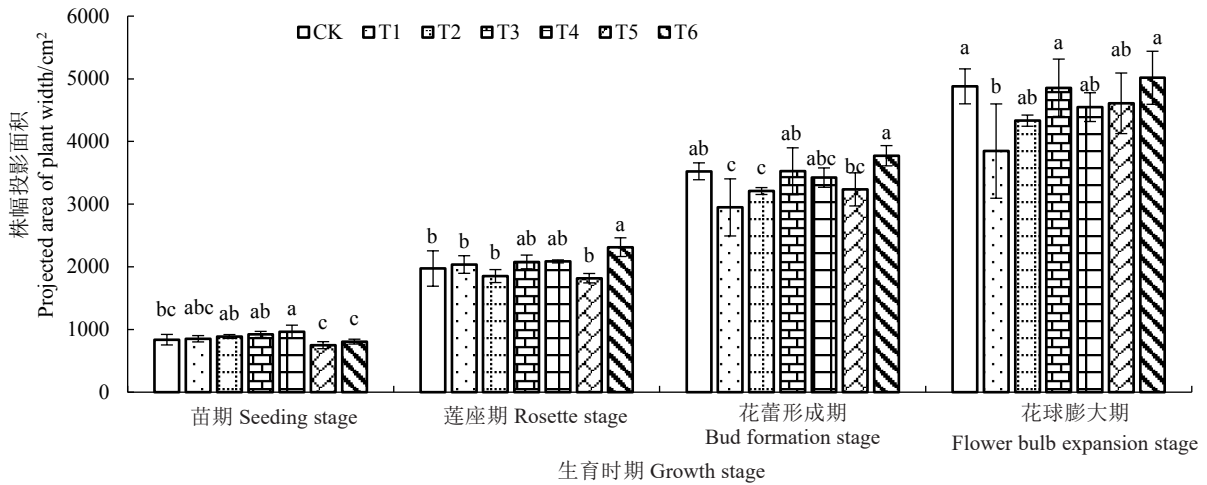


图2 不同生物菌肥对连作西蓝花株幅投影面积的影响

Fig. 2 Effects of different biological fertilizers on the projected area of continuous cropping of broccoli plants

积最大,仅显著高于 T1、T2 和 T5 处理;在花球膨大期,CK、T3、T6 处理株幅投影面积显著高于 T1, T6 处理株幅投影面积分别比其他处理高出 2.81%、30.41%、15.79%、3.28%、10.30%和 8.83%。苗期至花球膨大期,株幅投影面积增幅最大的为 T6 处理,达到了 521.88%,增幅最小的为 T1 处理,仅为 351.28%。相比之下,从莲座期开始,T6 处理株高和株幅投影面积均大于其他处理,生长相对更加旺盛。

2.4 不同生物菌肥对连作西蓝花品质的影响

不同生物菌肥对连作西蓝花品质指标的影响各不相同。由图 3 可知,T2 处理的西蓝花维生素 C 含量(w,后同)显著高于其他处理,达到了 112.66 mg · 100 g⁻¹,含量最低的为 T4 处理,仅为 92.78 mg · 100 g⁻¹。由图 4 可知,可溶性糖含量最高的为 T1 处理,显著高于除 T5 处理外的其他处理,可溶性糖含量最低的为 CK。由图 5 可知,T5 处理可溶性蛋白含量显著高于其他处理,CK 可溶性蛋

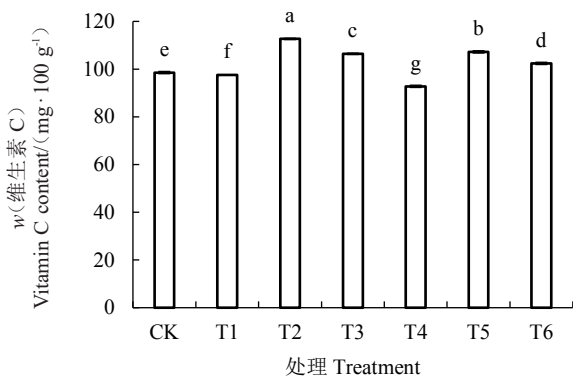


图3 不同生物菌肥对连作西蓝花维生素 C 含量的影响
Fig. 3 Effects of different biological fertilizers on vitamin C content of continuous cropping of broccoli

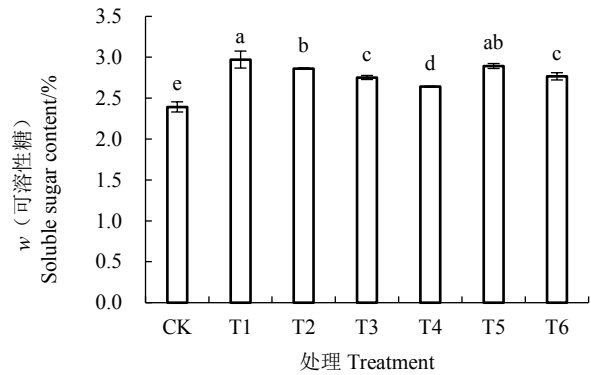


图4 不同生物菌肥对连作西蓝花可溶性糖含量的影响
Fig. 4 Effects of different biological fertilizers on soluble sugar content of continuous cropping of broccoli

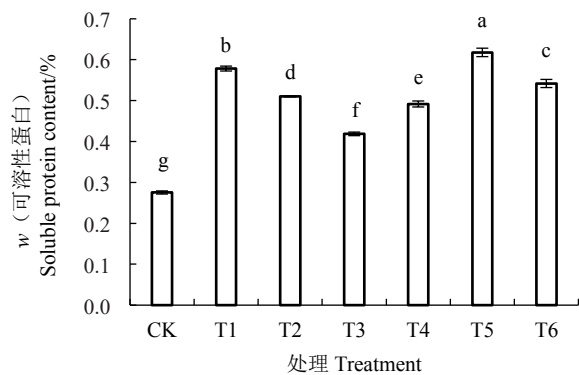


图5 不同生物菌肥对连作西蓝花可溶性蛋白含量的影响
Fig. 5 Effects of different biological fertilizers on soluble protein content of continuous cropping of broccoli

白含量显著低于其他处理,仅为 0.28%,说明增施生物菌肥可以显著提高连作西蓝花的可溶性蛋白含量。由图 6 可知,CK 和 T6 处理硝酸盐含量显著低于其他处理(除 T2 处理),其中硝酸盐含量最低的

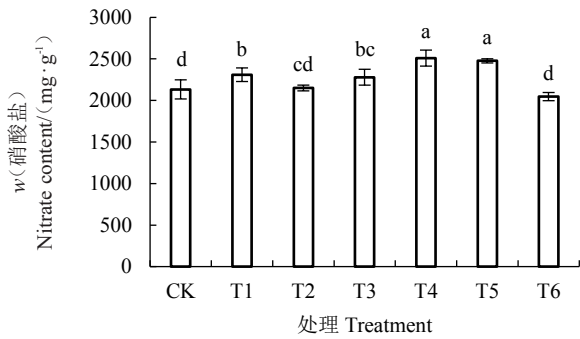


图6 不同生物菌肥对连作西蓝花硝酸盐含量的影响
Fig. 6 Effects of different biological fertilizers on nitrate content of continuous cropping of broccoli

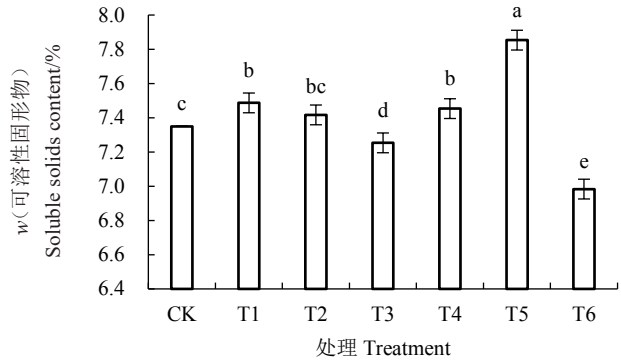


图7 不同生物菌肥对连作西蓝花可溶性固形物含量的影响
Fig. 7 Effects of different biological fertilizers on soluble solid content of continuous cropping of broccoli

为T6处理,分别比其他处理低3.90%、12.68%、4.88%、11.22%、22.44%和20.98%。由图7可知,T5处理可溶性固形物含量为7.85%,显著高于其他处理,可溶性固形物含量最低的为T6处理,仅为6.98%。综上可知,配施生物菌肥对西蓝花品质指标影响各异,规律不明显。

2.5 不同生物菌肥对连作西蓝花干物质积累的影响

由表3可知,不同生物菌肥对连作西蓝花地下部鲜质量和干质量影响未达显著差异水平。其中,T1处理地下部鲜质量和T4处理地下部干质量达到最大,各处理地下部鲜质量范围为59.08~68.36g,地

2.6 不同生物菌肥对连作西蓝花产量构成因素的影响

下部干质量范围为12.49~15.09g;T3处理地上部鲜质量和地上部干质量均达到最大,分别为1884.27g和150.55g,比其他处理分别高出2.59%~25.07%和8.75%~31.74%;根冠比最大的为CK,显著高于T2处理和T6处理,但与其他处理间差异不显著。

由表4可知,T3、T4处理花球外茎粗显著大于T1处理和T2处理,但与其他处理差异不显著;

表3 不同生物菌肥对连作西蓝花干物质积累的影响

Table 3 Effects of different biological fertilizers on dry matter accumulation of continuous cropping of broccoli

处理 Treatment	地下部 Root		地上部 Shoot		根冠比 Root-shoot ratio
	鲜质量 Fresh mass/g	干质量 Dry mass/g	鲜质量 Fresh mass/g	干质量 Dry mass/g	
CK	61.25±5.89 a	12.49±1.13 a	1506.57±140.79 b	114.28±10.97 b	0.127±0.007 a
T1	68.36±7.75 a	14.57±2.16 a	1515.90±102.64 b	122.08±8.07 b	0.115±0.015 abc
T2	59.08±11.48 a	14.00±1.74 a	1739.47±144.29 ab	134.31±9.51 ab	0.096±0.013 bc
T3	59.21±6.47 a	12.85±1.48 a	1884.27±193.10 a	150.55±18.69 a	0.101±0.017 abc
T4	65.42±7.06 a	15.09±1.78 a	1719.37±73.41 ab	134.16±6.07 ab	0.106±0.010 abc
T5	62.17±3.38 a	14.26±1.23 a	1705.53±193.21 ab	117.66±8.14 b	0.125±0.022 ab
T6	67.23±8.84 a	14.61±2.18 a	1836.73±181.97 a	138.44±23.16 ab	0.092±0.017 c

表4 不同生物菌肥对连作西蓝花产量构成因素的影响

Table 4 Effects of different biological fertilizers on the yield composition of continuous cropping of broccoli

处理 Treatment	花球外茎粗	花球直径	单球质量	单株质量
	Flower bulb out stem thickness/mm	Flower bulb diameter/mm	Single flower bulb mass/g	Single plant mass/g
CK	47.62±1.55 ab	137.37±6.17 a	474.41±36.29 a	1537.89±99.99 ab
T1	44.44±1.49 bc	119.48±3.12 c	414.28±36.44 bc	1372.97±92.61 c
T2	44.25±1.42 c	118.95±4.60 c	393.93±31.09 c	1428.08±51.20 bc
T3	48.10±1.26 a	130.66±5.48 ab	499.87±39.11 a	1616.69±65.19 a
T4	47.87±1.30 a	126.04±4.23 bc	483.59±18.76 a	1542.73±38.99 ab
T5	46.42±2.81 abc	134.38±10.81 ab	465.69±35.96 ab	1489.93±140.07 abc
T6	46.69±1.44 abc	139.77±1.98 a	503.48±6.71 a	1568.30±43.09 ab

花球直径最大的为 T6 处理,达到了 139.77 mm,但与 CK、T3 和 T5 处理无显著性差异;单球质量最大的为 T6 处理,显著大于 T1 和 T2 处理,比其他处理分别高出 6.13%、21.53%、27.81%、0.72%、4.11%和 8.11%;单株质量最大的为 T3 处理,显著高于 T1 和 T2 处理。可见,T6、T3、T4、T5 处理所施菌肥对西蓝

花的产量无显著影响。而 T1、T2 处理所施用生物菌肥则对西蓝花无增产作用。

2.7 不同生物菌肥对连作西蓝花经济效益的影响

由表 5 可知,T2 处理产量和产值均显著低于除 T1 外的其他处理,T1 处理的产量和产值与 T2、T5 差异不显著,显著低于其他处理。产量、产值最

表 5 不同生物菌肥对连作西蓝花产量和经济效益的影响

Table 5 Effects of different biological fertilizers on yield and economic benefits of continuous cropping of broccoli

处理 Treatment	产量 Yield/(kg·hm ⁻²)	生产投入 Production inputs/(Yuan·hm ⁻²)					产值 Output/ (Yuan·hm ⁻²)	经济效益 Economic benefits/(Yuan·hm ⁻²)
		肥料 Manure	种苗 Seedling	机耕 Machine farming	人工费 Labor costs	农药 Pesticide		
CK	17 790.40±1 360.96 a	3150	9375	2250	7500	1500	71 161.62±5 443.82 a	47 386.62±5 443.82 a
T1	15 535.65±1 366.41 bc	4650	9375	2250	7500	1500	62 142.60±5 465.63 bc	36 867.60±5 465.63 bc
T2	14 772.23±1 165.72 c	5550	9375	2250	7500	1500	59 088.90±4 662.87 c	32 913.90±4 662.87 c
T3	18 745.00±1 466.67 a	3255	9375	2250	7500	1500	74 979.99±5 866.68 a	51 099.99±5 866.68 a
T4	18 134.50±703.54 a	3277.5	9375	2250	7500	1500	72 537.99±2 814.17 a	48 635.49±2 814.17 a
T5	17 463.48±1 348.49 ab	4950	9375	2250	7500	1500	69 853.90±5 393.95 ab	44 278.90±5 393.95 ab
T6	18 880.59±251.70 a	4950	9375	2250	7500	1500	75 522.37±1 006.80 a	49 947.37±1 006.80 a

注:按 2022 年西蓝花收购价 4 元·kg⁻¹, 全量复合肥 3150 元·hm⁻², T1 菌肥 1500 元·hm⁻², T2 菌肥 2400 元·hm⁻², T3 菌肥 105 元·hm⁻², T4 菌肥 127.5 元·hm⁻², T5 菌肥 1800 元·hm⁻², T6 菌肥 1800 元·hm⁻², 种苗 0.25 元·株⁻¹, 每 667 m² 种植 2500 株, 种苗费 9375 元·hm⁻², 人工费 7500 元·hm⁻², 农药 1500 元·hm⁻²。

Note: That the purchase price of broccoli is 4 Yuan·kg⁻¹ in 2022, full compound fertilizer is 3150 Yuan·hm⁻², T1 bacterial fertilizer is 500 Yuan·hm⁻², T2 bacterial fertilizer is 2400 Yuan·hm⁻², T3 bacterial fertilizer is 105 Yuan·hm⁻², T4 bacterial fertilizer is 27.5 Yuan·hm⁻², T5 bacterial fertilizer is 1800 Yuan·hm⁻², T6 bacterial fertilizer is 1800 Yuan·hm⁻². Seedlings 0.25 strains 2500 plants 667 m². Planting cost: 9375 Yuan·hm⁻², labor: 7500 Yuan·hm⁻², pesticide: 1500 Yuan·hm⁻².

高的为 T6 处理,其次是 T3 处理;除去生产投入, T2 处理经济效益最低,显著低于除 T1 外的其他处理;T1 处理经济效益次低,与 T2、T5 处理差异不显著,与其他处理差异显著。经济效益最高的为 T3 处理,其次是 T6 处理,但二者之间无显著差异。

2.8 不同生物菌肥对菌群数量的影响

土壤微生物是评价土壤健康质量的重要指标。菌肥中的有益菌与土壤微生物一起参与了土

壤中几乎全部的物质循环和能量代谢。由表 6 可知, T1 处理土壤中的细菌数量、真菌数量和放线菌数量均显著高于其他处理,分别为 40.00×10⁴ cfu·g⁻¹、63.33×10³ cfu·g⁻¹、17.67×10⁴ cfu·g⁻¹, T4 处理的细菌数量、真菌数量和放线菌数量均为最少。可能是因为 T1 处理所用生物菌肥(海藻菌动力)含有效活菌数较多。

2.9 土壤各理化指标与产量之间的相关性

由表 7 可知,pH 与蔗糖酶活性呈极显著负相关,EC 值与全盐含量呈极显著正相关,但与碱性磷酸酶活性和产量分别呈极显著负相关和显著负相关,说明蔗糖酶活性主要受土壤 pH 影响,土壤 EC 值主要影响碱性磷酸酶活性和产量,且土壤 EC 值越高,则产量越低。碱解氮含量、速效磷含量、速效钾含量之间呈极显著正相关,且三者与脲酶活性、蔗糖酶活性、蛋白酶活性间均呈极显著正相关,脲酶活性、蔗糖酶活性和蛋白酶活性三者之间也互呈显著或极显著正相关。说明土壤碱解氮含量、速效磷含量、速效钾含量对脲酶活性、蔗糖酶活性、蛋白

表 6 不同生物菌肥对菌群数量的影响

Table 6 Effects of different biological fertilizers on the number of microbiota

处理 Treatment	细菌数量/ (×10 ⁴ cfu·g ⁻¹)	真菌数量/ (×10 ³ cfu·g ⁻¹)	放线菌数量/ (×10 ⁴ cfu·g ⁻¹)
T1	40.00±4.00 a	63.33±10.26 a	17.67±2.52 a
T2	2.60±0.60 b	38.00±4.58 b	4.97±0.25 c
T3	5.60±0.40 b	6.67±0.65 de	3.90±0.60 c
T4	2.60±0.60 b	1.37±0.15 e	3.00±0.20 c
T5	3.40±0.60 b	12.00±2.00 d	3.17±0.87 c
T6	4.70±0.30 b	23.67±2.08 c	10.63±1.18 b
CK	3.23±0.75 b	6.23±0.50 de	4.10±1.55 c

表7 土壤各理化指标与产量之间的相关性
Table 7 The correlation between the physical and chemical properties of soil and yield

指标 Index	pH	EC值 Electrical conductivity	有机质含量 Organic matter content	碱解氮含量 Available nitrogen content	速效磷含量 Available phosphorus content	速效钾含量 Available potassium content	全盐含量 Full salt content	脲酶活性 Urease activity	蔗糖酶活性 Sucrase activity	过氧化氢酶活性 Catalase activity	碱性磷酸酶活性 Alkaline phosphatase activity	蛋白酶活性 Protease activity	产量 Yield
pH	1	0.269	-0.142	-0.321	0.046	0.030	0.269	0.185	-0.665**	-0.364	0.035	-0.159	-0.221
EC值	1	0.261	0.060	0.327	0.295	1.000**	-0.138	-0.173	-0.002	-0.730**	0.046	-0.447*	-0.447*
Electrical conductivity		1	-0.209	-0.285	-0.314	0.261	-0.323	-0.156	0.310	-0.017	-0.297	-0.211	-0.211
有机质含量			1	0.716**	0.060	0.606**	0.713**	-0.125	-0.124	0.849**	0.304	0.304	0.304
碱解氮含量				1	0.953**	0.327	0.674**	0.625**	-0.117	-0.406	0.727**	0.334	0.334
Available nitrogen content					1	0.295	0.641**	0.592**	-0.205	-0.327	0.800**	0.306	0.306
速效磷含量						1	-0.138	-0.173	-0.002	-0.730**	0.046	-0.447*	-0.447*
Available phosphorus content							1	0.475*	-0.292	0.187	0.770**	0.359	0.359
速效钾含量								1	0.224	-0.097	0.611**	0.413	0.413
Available potassium content									1	0.053	-0.309	-0.043	-0.043
全盐含量										1	-0.043	-0.006	-0.006
Full salt content											1	0.311	0.311
脲酶活性												1	1
Urease activity													1
蔗糖酶活性													1
Sucrase activity													1
过氧化氢酶活性													1
Catalase activity													1
碱性磷酸酶活性													1
Alkaline phosphatase activity													1
蛋白酶活性													1
Protease activity													1
产量													1
Yield													1

注:*表示在0.05水平显著相关,**表示在0.01水平极显著相关。

Note: * means significant correlation at 0.05 level, ** means extremely significant correlation at 0.01 level.

酶活性均有促进作用。

3 讨论与结论

生物菌肥作为绿色肥料,能产生对蔬菜生长有益的各种生理活性物质,刺激和调控蔬菜生长,进而改善蔬菜的口感、耐贮运性等,同时增产增收,为农业可持续发展和农产品安全提供重要保障^[12]。前人研究表明,施用生物菌肥的处理与单纯施用化肥的处理相比,生物菌肥与复合肥配施可显著提高辣椒产量,尤其是以施用高量生物肥料的效果更好^[13],其中,功能菌型复合肥能有效提高结球甘蓝的维生素C含量和可溶性糖含量,降低硝酸盐含量。

在本试验条件下,T5处理对根际土壤理化性质改善效果更好。T4处理地下部干物质积累最多,这与陈建生等^[14]、张迎春等^[15]指出的生物菌肥配合适量常规化肥可显著提高花生、莴笋干物质的积累量相吻合。

配施生物菌肥对土壤蛋白酶活性有显著影响,与CK相比,T3处理和T6处理可显著提高土壤脲酶活性和蔗糖酶活性,这与李敏等^[16]研究得出的冲施生物菌肥可提高蔗糖酶活性29.02%的结论一致,但与提高蛋白酶活性20.21%的结论并不一致。程伟等^[17]研究表明,增施生物菌肥可显著提高碱性磷酸酶活性,这与本试验结果相吻合。T2处理抗坏血酸含量显著高于其他处理5.08%~21.43%,这与王亚玲^[18]、周旋等^[19]在设施黄瓜和露地甘蓝上得出的结论一致,即无机肥配施生物菌肥能有效提高维生素C含量、可溶性糖含量和可溶性蛋白含量,降低硝酸盐含量。

T6处理的株高和株幅投影面积均达到最大,其中T6处理株幅投影面积增幅达到351.28%~521.88%,植株更加健壮、生长更加旺盛,T6处理硝酸盐含量比其他处理低3.90%~22.44%;T6处理单球质量比其他处理高0.72%~27.81%,这与周进^[20]、叶勇等^[21]研究得出的施用生物菌肥能提高辣椒的生长量和产量、改善辣椒的品质、提高经济效益的结果一致。

细菌、真菌和放线菌作为土壤三大类微生物,是维持农田可持续发展和生态系统平衡的关键指标。本研究结果表明,T1处理配施生物菌肥土壤细菌数量、真菌数量和放线菌数量均显著增加,与张迎春等^[15]、王亚玲^[18]指出的无机肥配施生物菌肥有利于提高土壤细菌数量和放线菌数量、土壤的微生物数量、土壤质量的结论一致。说明在无机肥基础

上添加生物菌肥,有利于土壤生态系统健康和稳定性的提高。

综合考量不同生物菌肥对西蓝花生长发育、产量及对连作菜地土壤的改良效果,得出施用T6处理(贝特生物菌肥)后,连作2a(4茬)的西蓝花植株生长更加旺盛,品质改善效果更佳,增产效果更好,生产上优先推荐使用T6处理(贝特生物菌肥)。

参考文献

- [1] 田恬,田永强,高丽红.设施菜田土壤质量研究进展[J].中国蔬菜,2021(10):35-44.
- [2] 王双双.河北省设施蔬菜土壤质量调查及改良技术研究[D].河北保定:河北农业大学,2019.
- [3] 魁妍,田宇,马晓琼.供应链视角下固原市冷凉蔬菜流通渠道发展对策研究[J].山西农经,2021(20):74-75.
- [4] 包昌艳,赵晋,贺占雪,等.不同种类生物菌肥及用量对猕猴桃果实品质的影响[J].中国土壤与肥料,2021(2):262-269.
- [5] 王广印,郭卫丽,王胜楠,等.秸秆、生物菌肥和土壤调理剂施用对日光温室越冬茬番茄生长、坐果及果实品质的影响[J].中国农学通报,2018,34(15):55-59.
- [6] 于会丽,徐国益,徐变变,等.施用生物菌肥对桃园土壤养分及微生物功能多样性的影响[J].干旱地区农业研究,2020,38(6):91-97.
- [7] 范娜,彭之东,白文斌,等.微生物菌剂对土壤酶活性及高粱生长的影响[J].中国农业科技导报,2021,23(2):185-192.
- [8] 王丹,赵亚光,马蕊,等.微生物菌肥对盐碱地枸杞土壤改良及细菌群落的影响[J].农业生物技术学报,2020,28(8):1499-1510.
- [9] 邓妍,王娟玲,王创云,等.生物菌肥与无机肥配施对藜麦农艺性状、产量性状及品质的影响[J].作物学报,2021,47(7):1383-1390.
- [10] 阎世江,柴文臣,王生武.生物菌肥与化肥配施对青椒生长、产量及果实品质的影响[J].土壤通报,2020,51(1):159-163.
- [11] 武舒华.不同菌肥对温室连作土壤的短期改良效果研究[D].陕西杨凌:西北农林科技大学,2021.
- [12] 瞿云明,徐小燕.氢氧化钙处理酸化土壤后配施微生物菌肥对花椰菜的影响[J].中国瓜菜,2023,36(5):115-119.
- [13] 刘广友.复合肥与生物菌肥配施对大棚辣椒生长发育的影响[D].长春:吉林农业大学,2019.
- [14] 陈建生,李文金,康涛,等.花生上生物菌肥替代化肥减施增效技术研究[J].山东农业科学,2021,53(7):73-76.
- [15] 张迎春,颀建明,李静,等.生物有机肥部分替代化肥对莴笋及土壤理化性质和微生物的影响[J].水土保持学报,2019,33(4):196-205.
- [16] 李敏,王胜楠,邵美乐,等.生物菌肥冲施对黄瓜生长及土壤酶活性的影响[J].北方园艺,2015(16):153-156.
- [17] 程伟,隋跃宇,焦晓光,等.土壤有机质含量与磷酸酶活性关系研究[J].农业系统科学与综合研究,2008,24(3):305-307.
- [18] 王亚玲.单控和组配施肥模式对设施黄瓜养分利用、品质及土壤性状的影响[D].河北保定:河北农业大学,2020.
- [19] 周旋,杨斌玲,彭建伟,等.功能菌型复合肥减施对结球甘蓝产量、品质及经济效益的影响[J].中国农业科技导报,2022,24(2):184-192.
- [20] 周进.生物菌肥施用对温室辣椒光合特性、产量和品质的影响[J].北方园艺,2021(1):42-47.
- [21] 叶勇,吴康云,肖玖军,等.不同生物菌肥对山地辣椒产量与品质的影响[J].中国瓜菜,2022,35(11):50-55.