

生物有机肥对连作压砂田土壤肥力及西瓜品质的影响

李停锋, 李 雯, 郭君钰, 刘艳薇, 顾 欣*

(宁夏大学农学院, 宁夏 银川 750021)

摘 要:为解决宁夏连作压砂西瓜田土壤肥力和果实品质下降的问题,通过施用生物有机肥改土培肥,提高压砂西瓜产量和品质。本试验以“金城5号”为试验材料,通过田间小区试验研究了生物有机肥不同施用量对土壤肥力及压砂西瓜品质、产量的影响。结果表明,施用生物有机肥 $3\ 750\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 处理 $0\sim 20\ \text{cm}$ 土壤pH值为8.39,较CK处理降低1.76%;全盐含量为 $2.34\ \text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,较CK处理降低26.18%, $0\sim 20\ \text{cm}$ 土壤有机质含量较CK处理提高12.99%;碱解氮含量较CK处理提高56.06%;有效磷含量较CK处理提高71.63%;速效钾含量较CK处理提高28.78%, $0\sim 20\ \text{cm}$ 土壤全氮含量较CK处理提高176.84%;全磷含量较CK处理提高92.53%。随着土壤理化性质的改善,土壤酶活性也呈现升高趋势,说明两者存在相关性。施用生物有机肥 $3\ 750\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 处理下西瓜果实品质提高,可溶性固形物含量达到14.69%,较CK处理升高22.62%;有机酸含量为0.051%,较CK处理降低41.38%;维生素C含量达到 $12.74\ \text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。通过比较,生物有机肥 $3\ 750\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 为最佳施用量,施用生物有机肥可改善压砂西瓜连作土壤的肥力水平,有效提高土壤酶活性、压砂西瓜产量及品质,有利于宁夏压砂西瓜产业的可持续发展。

关键词:生物有机肥;压砂西瓜;土壤肥力;西瓜品质

我国中西部地区耕地以旱地为主,年降水量不足180 mm,蒸发量为2 400 mm,且地力薄弱^[1],但宁夏中卫由于光照、温度、土壤等条件是西瓜生长的绝佳环境,而且本地区采用压砂这一种植方式,也是中国最适宜的高品质的压砂西瓜种植区域。压砂田是中国西北干旱地区农民经过长期的耕作实践形成的一种抗旱、抗风蚀的耕作方式,具有增湿、保墒等作用^[2]。压砂西瓜作为当地重要的经济来源,单一作物种植规模化,农业复种指数偏高,人地矛盾日益增长。随着种植年限的增加,压砂田出现土壤肥力严重下降,压砂西瓜产量降低、品质变劣等问题^[3]。

农作物品质下降是作物与土壤环境的系统性问题^[4],原因复杂多样。土壤养分偏失、土壤理化性质恶化、农作物自毒物质累积、土壤反应异常、土

壤微生物群落改变是诱导土壤肥力下降、农作物品质下降的重要因素^[5]。随着压砂西瓜种植年限的增加,土壤板结现象在连作土壤中普遍存在,其主要表现为土壤容重提高、孔隙率下降、耕层变浅、气水比下降、氧气含量不足,导致土壤理化性质恶化^[6],同时压砂西瓜长期连作会导致土壤出现养分不平衡和土壤酶活性紊乱等现象,进而引起作物生育状况变差,造成其产量降低、品质变劣^[7]。由于土壤肥力的下降,压砂西瓜种子在发芽期发芽缓慢、出土困难;在苗期出现幼苗易倒伏、死苗等现象,伸蔓期瓜蔓细弱长势慢,极易枯萎死亡;结果期畸形果率高、产量低、甜度低,给当地压砂西瓜产业的可持续发展带来严重问题^[8]。土壤中营养元素失衡、土壤肥力下降、离子拮抗作用加剧等也可诱发农作物发生营养元素缺乏,造成生育障碍^[9],进而影响作物品质。在人地矛盾日益加深和市场需求量增加的社会背景下,本地区高强度连续种植压砂西瓜和土壤肥力下降、西瓜果实品质下降的状况不可避免,所以,提高土壤肥力,改善土壤环境,成为解决宁夏中部干旱带压砂田可持续利用的关键问题。

针对压砂田土壤肥力下降,当地常用的改良措施主要有休田、施用土壤调理剂和有机改良。合理休耕确实对土壤肥力退化具有一定的改良效果,但

收稿日期:2019-08-22;录用日期:2019-11-02

基金项目:国家自然科学基金项目(41761054);宁夏重点研发计划项目(2018BBF02019,2018BBF02004);宁夏自治区科技惠民项目(2019CMG03013)。

作者简介:李停锋(1995-),男,宁夏隆德人,在读硕士研究生,主要从事干旱区农业资源利用与植物营养研究。E-mail: 927891845@qq.com。

通讯作者:顾欣, E-mail: guxin929@163.com。

是压砂西瓜作为宁夏环香山地区的主要经济作物,休田措施难以大面积实行。目前市场上销售的土壤调理剂,对压砂西瓜土壤改良缺少针对性,局限性较强。生物有机肥是多种有益生物菌群与有机肥结合形成的新型、高效、安全的生物有机复合肥料^[10]。研究表明,生物有机肥可改善土壤理化性质和微生物群落结构,提高土壤肥力水平^[11]。曲成闯等^[12]研究发现生物有机肥能提高设施土壤生产力,消除土壤板结,改善土壤团粒结构,增加土壤透气性,减少土壤养分流失、有效提高土壤有机质含量,进而提高黄瓜品质。Habashy 等^[13]在瘠薄地土壤中施入生物有机肥后发现,土壤磷素缺失现象得到有效解决,土壤硝态氮、铵态氮、有机质含量与原始土壤相比均明显增加,表明施用生物有机肥不仅保护环境,而且能营造作物持续稳产、高产的土壤环境。然而,多数研究采用温室盆栽试验仅单一讨论生物有机肥对土壤理化性质、生物学等影响^[14],而有关压砂瓜大田连作条件下生物有机肥提高土壤养分、调控土壤酶活性等的研究鲜有报道,尤其是压砂瓜品质与土壤性质之间的关系研究较少。本试验通过田间小区试验,设置不同用量生物有机肥处理,探索其最佳用量下土壤性质与西瓜品质的关系,旨在为生物有机肥改良压砂田土壤,提高压砂瓜产量和品质,为当地合理施肥提供一定的理论依据与技术支撑。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验地位于中卫市香山镇景寨柯村(东经 $108^{\circ}28'53.2''$,北纬 $37^{\circ}21'02.8''$)。香山镇地处中卫市城区南部山区,东与海原县兴仁镇接壤,西、北临常乐镇,南连甘肃靖远县。试验地位于宁夏中部干旱带核心区,平均海拔 $1\,740\text{ m}$,日照充足,年均日照时数 $2\,706\text{ h}$,年均温度 7.1°C ,平均气温日较差 13.3°C ,无霜期 $149\sim 171\text{ d}$ 。干旱少雨,年平均降水量 180 mm ,而蒸发量则达 $2\,100\sim 2\,400\text{ mm}$,农业生产对自然降水依赖性很强。

1.2 试验材料

供试地连作年限为6年,土壤为风沙土,肥力较弱,耕层土壤基本理化性质如下:土壤容重 $1.20\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$,pH值8.67,全盐 $2.09\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,有机质 $8.54\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,全磷 $0.26\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,全氮 $0.15\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,碱解氮 $25.36\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,速效钾 $86.61\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,有

效磷 $2.75\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。西瓜品种为金城5号。

供试生物有机肥含有机质43.6%,水分21.6%,pH值8.21,含枯草芽孢杆菌(*Bacillus subtilis*)和巨大芽孢杆菌(*Bacillus megaterium*),有效活菌数 $1.27\times 10^8\text{ CFU}\cdot\text{g}^{-1}$,追肥为沼液肥,稀释500倍施用,其中含有机质0.72%,全氮1.13%,有效磷(P_2O_5)0.29%,氧化钾(K_2O)0.66%,pH值7.01,含枯草芽孢杆菌和巨大芽孢杆菌,有效活菌数 $0.56\times 10^8\text{ CFU}\cdot\text{mL}^{-1}$ 。

1.3 试验设计

试验采用单因素多水平设计,共设6个处理,重复3次,共计18个小区,小区面积为 136 m^2 ,株距为 1.5 m ,行距为 1.7 m 。处理分别为:CK:不施生物有机肥;T1:施生物有机肥 $750\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$;T2:施生物有机肥 $1\,500\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$;T3:施生物有机肥 $2\,250\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$;T4:施生物有机肥 $3\,000\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$;T5:施生物有机肥 $3\,750\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。生物有机肥于2017年4月22日基施,4月26日开穴定植,沼液肥分别在苗期、伸蔓期和挂果期灌根,施用量每次每株 100 mL 。采用膜下滴灌,试验期间采取常规的农作物管理措施。

1.4 土样采集方法

土壤采样方法为S形五点取样,混合后四分法取样,分别在压砂瓜种植前和收获期用土钻分别在各处理小区采取土层 $0\sim 20$ 、 $20\sim 40\text{ cm}$ 土样。采回土样在室内自然风干,在玛瑙研钵中磨碎分别过 0.85 、 0.15 mm 尼龙筛,完成后样品混匀,装袋密封保存,贴标签、编号,进行测定。

1.5 测定项目

土壤化学性质测定:pH值用酸度计法测定;全盐用电导率仪测定;有机质用重铬酸钾-硫酸亚铁滴定法测定;碱解氮用扩散法测定;有效磷用 NaHCO_3 浸提-钼锑抗比色法测定;速效钾用火焰光度法测定;全氮用 $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}_2$ 消煮蒸馏法测定;全磷采用 $\text{HClO}_4\text{-H}_2\text{SO}_4$ 消化,钼锑抗比色法测定^[15]。

土壤酶活性测定:土壤脲酶活性用靛酚蓝比色法测定,以每克土24 h产生的 $\text{NH}_3\text{-N}$ 毫克数表示;过氧化氢酶活性用高锰酸钾滴定法测定,以每克土消耗 $0.1\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}\text{ KMnO}_4$ 毫升数表示;蔗糖酶活性用3,5-二硝基水杨酸比色法测定,以每克土24 h产生的葡萄糖毫克数表示;碱性磷酸酶活性用磷酸苯二钠比色法测定,以每克土24 h产生的酚毫克数表示;脲酶活性采用苯酚-次氯酸钠比色法^[16]测定。

西瓜产量测定:西瓜成熟后各处理小区单独采收,以3次重复产量的平均值来代表该处理的实际产量。

西瓜品质测定:硝酸盐含量的测定采用水杨酸法;有机酸采用NaOH滴定法;可溶性固形物采用手持式糖度计测定;维生素C含量采用2,4-二硝基比色法^[15]测定。

1.6 数据统计及分析

试验数据以Excel 2016软件整理数据和作图,同时采用SPSS 21.0软件进行统计分析,对相关性指标进行显著性检验,显著性水平为 $P<0.05$, $n=5$ 。

2 结果与分析

2.1 生物有机肥对压砂田土壤 pH 值、全盐的影响

土壤pH值、全盐是土壤的基本性质,是土壤肥

力的重要影响因子,也是影响植物生长的必要因素。由图1可知,CK处理下,0~20、20~40 cm土壤pH值分别达到8.51、8.52,碱性偏大,0~20、20~40 cm土壤全盐含量分别达到3.17、2.31 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$,说明该土壤属于盐渍化土,由于易溶性盐分在土壤中的积累作用,使土壤溶液的浓度增加,渗透压增高,对作物根系有腐蚀作用,可能影响到对盐分敏感的作物产量。图1表明,T5、T4、T3、T2、T1处理下0~20、20~40 cm土壤pH值、全盐均较CK处理小,说明施用生物有机肥能不同程度降低土壤pH值和全盐含量。其中T5处理0~20 cm土壤pH值为8.39,较CK处理降低1.76%,全盐含量为2.34 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$,较CK处理降低26.18%,均呈显著性差异。

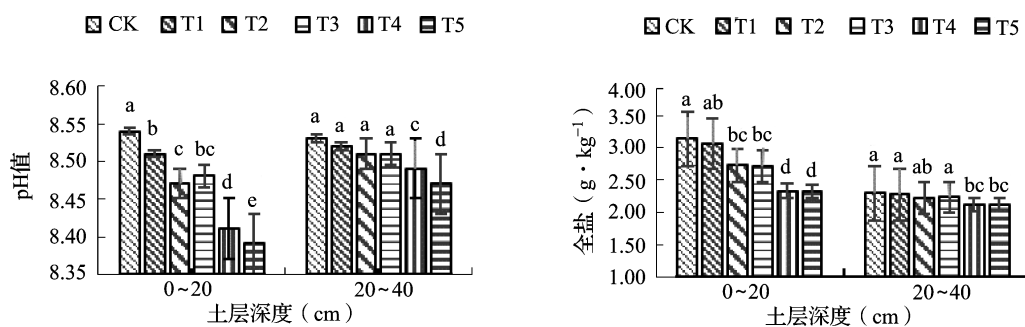


图1 生物有机肥对压砂田土壤 pH 值、全盐的影响

注:不同小写字母表示不同处理间在5%水平上差异显著。下同。

2.2 生物有机肥对压砂田土壤有机质及速效养分的影响

土壤速效养分是土壤中最活跃的部分,是衡量土壤肥力的重要指标,与作物生长关系密切。由表1可以看出,施用生物有机肥后土壤有机质、碱解氮、有效磷、速效钾含量分别呈不同程度的提高,其中0~20 cm土壤养分提高较为明显,这可能是施入生物有机肥后促进了土壤中微生物活性,有利于土壤中速效养分的释放。T1、T2、T3、T4、T5处理下0~20 cm土壤有机质含量较CK处理分别提高0.59%、2.13%、2.72%、7.91%、12.99%,碱解氮含量分别较CK处理提高7.29%、14.56%、33.04%、47.93%、56.06%,有效磷含量分别较CK处理提高27.40%、32.69%、56.49%、70.43%、71.63%,速效钾含量分别较CK处理提高0.41%、4.75%、13.43%、16.56%、28.78%,均呈显著性差异。T1、T2、T3、T4、T5处理下20~40 cm土壤有机质含量较CK处理分别提高7.69%、6.95%、12.07%、12.61%、

14.63%,碱解氮含量分别较CK处理提高11.64%、16.51%、21.79%、26.82%、30.97%,有效磷含量分别较CK处理提高25.00%、41.94%、69.35%、77.82%、84.27%,速效钾含量分别较CK处理提高15.63%、21.37%、32.33%、34.13%、34.66%。总体上看,0~20 cm土层有机质、碱解氮、有效磷、速效钾含量较20~40 cm土层含量高,其T5处理下有机质、碱解氮、有效磷、速效钾含量较高,说明生物有机肥能提高土壤肥力。

2.3 生物有机肥对压砂田土壤全量养分的影响

全氮、全磷含量是衡量土壤氮素、磷素供应的基本指标,受土壤母质、成土作用和耕作施肥的影响很大。由图2可以看出,施用生物有机肥后,土壤全氮、全磷含量均呈现升高趋势。T1、T2、T3、T4、T5处理下0~20 cm土壤全氮含量较CK处理分别提高42.37%、121.47%、141.81%、151.41%、176.84%,全磷含量分别较CK处理提高10.58%、49.71%、55.28%、87.95%、92.53%,均呈显著性

表 1 生物有机肥对压砂田土壤有机质及速效养分的影响

处理	土层深度 (cm)	有机质 (g·kg ⁻¹)	碱解氮 (mg·kg ⁻¹)	有效磷 (mg·kg ⁻¹)	速效钾 (mg·kg ⁻¹)
CK	0 ~ 20	8.47 ± 0.05ef	33.32 ± 0.32f	4.16 ± 0.14f	87.62 ± 3.45ef
	20 ~ 40	5.47 ± 0.05d	24.83 ± 0.25d	2.48 ± 0.14d	66.22 ± 3.45e
T1	0 ~ 20	8.52 ± 0.09e	35.75 ± 0.34e	5.30 ± 0.09e	87.98 ± 3.45e
	20 ~ 40	5.89 ± 0.09cd	27.72 ± 0.43cd	3.10 ± 0.09cd	76.57 ± 3.45d
T2	0 ~ 20	8.65 ± 0.06cd	38.17 ± 0.57d	5.52 ± 0.14d	91.78 ± 3.45d
	20 ~ 40	5.85 ± 0.06c	28.93 ± 0.19c	3.52 ± 0.14c	80.37 ± 3.45c
T3	0 ~ 20	8.70 ± 0.05c	44.33 ± 0.25c	6.51 ± 0.18c	99.39 ± 3.45c
	20 ~ 40	6.13 ± 0.05b	30.24 ± 0.16bc	4.20 ± 0.31b	87.63 ± 3.45b
T4	0 ~ 20	9.14 ± 0.06b	49.29 ± 0.41b	7.09 ± 0.09b	102.13 ± 3.45b
	20 ~ 40	6.16 ± 0.06ab	31.49 ± 0.19b	4.41 ± 0.13ab	88.82 ± 5.97ab
T5	0 ~ 20	9.57 ± 0.03a	52.00 ± 0.48a	7.14 ± 0.14a	112.84 ± 3.45a
	20 ~ 40	6.27 ± 0.03a	32.52 ± 0.43a	4.57 ± 0.13a	89.17 ± 5.97a

注：不同小写字母表示不同处理间在 5% 水平上差异显著，下同。

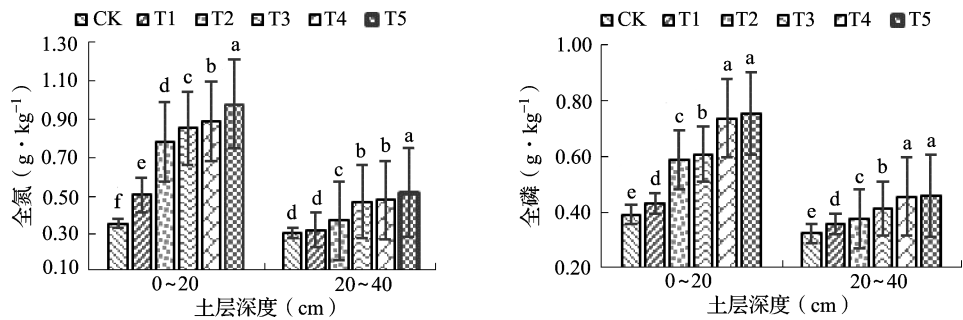


图 2 生物有机肥对压砂田土壤全量养分的影响

差异。T1、T2、T3、T4、T5 处理下 20 ~ 40 cm 土壤全氮含量较 CK 处理分别提高 5.26%、21.25%、54.47%、56.79%、69.08%，全磷含量分别较 CK 处理提高 10.53%、15.57%、27.24%、40.55%、41.65%，均呈显著性差异。

2.4 生物有机肥对压砂田土壤酶活性的影响

土壤酶参与土壤中几乎所有的生物化学过程，其活性高低影响着土壤微生物的种群和数量变化，进而影响土壤养分的高低、作物的品质和产量。如表 2 所示，T1、T2、T3、T4、T5 处理下 0 ~ 20 cm 土壤脲酶活性较 CK 处理分别提高 5.36%、12.50%、16.07%、30.36%、46.43%，蔗糖酶活性分别较 CK 处理提高 7.10%、28.06%、31.62%、40.14%、

44.58%，碱性磷酸酶活性较 CK 处理分别提高 31.58%、43.86%、52.63%、61.40%、73.68%，过氧化氢酶活性较 CK 处理分别提高 0.55%、3.60%、14.11%、17.40%、21.10%，均呈显著性差异。T1、T2、T3、T4、T5 处理下 20 ~ 40 cm 土壤脲酶活性较 CK 处理分别提高 30.00%、32.50%、37.50%、60.70%、70.00%，蔗糖酶活性分别较 CK 处理提高 20.79%、45.39%、46.42%、49.65%、97.56%，碱性磷酸酶活性较 CK 处理分别提高 34.15%、65.85%、78.05%、80.49%、80.49%，过氧化氢酶活性较 CK 处理分别提高 19.04%、28.92%、48.92%、65.06%、81.69%，均呈显著性差异。说明施用生物有机肥能提高土壤酶活性。

表 2 生物有机肥对压砂田土壤酶活性的影响

(mg · g⁻¹)

土层深度 (cm)	处理	脲酶	蔗糖酶	碱性磷酸酶	过氧化氢酶
0 ~ 20	CK	0.56 ± 0.15f	5.63 ± 0.05e	0.57 ± 0.08d	7.30 ± 0.01f
	T1	0.59 ± 0.05e	6.03 ± 0.10d	0.75 ± 0.02c	7.34 ± 0.02e
	T2	0.63 ± 0.05d	7.21 ± 0.13cd	0.82 ± 0.01bc	7.56 ± 0.05d
	T3	0.65 ± 0.10c	7.41 ± 0.20c	0.87 ± 0.05b	8.33 ± 0.00c
	T4	0.73 ± 0.11b	7.89 ± 0.17b	0.92 ± 0.10ab	8.57 ± 0.04b
	T5	0.82 ± 0.10a	8.14 ± 0.03a	0.99 ± 0.09a	8.84 ± 0.02a
20 ~ 40	CK	0.40 ± 0.00d	4.33 ± 0.15e	0.41 ± 0.00d	4.15 ± 0.02f
	T1	0.52 ± 0.11c	5.23 ± 0.14d	0.55 ± 0.05c	4.94 ± 0.01e
	T2	0.53 ± 0.12bc	6.15 ± 0.15c	0.68 ± 0.05bc	5.35 ± 0.03d
	T3	0.55 ± 0.01b	6.34 ± 0.14bc	0.73 ± 0.02b	6.18 ± 0.02c
	T4	0.64 ± 0.00ab	6.48 ± 0.05b	0.74 ± 0.10b	6.85 ± 0.04b
	T5	0.68 ± 0.02a	6.59 ± 0.08a	0.81 ± 0.05a	7.54 ± 0.03a

2.5 生物有机肥对压砂瓜产量的影响

图 3 表明施用生物有机肥能提高压砂西瓜产量, 且各处理均呈显著性差异。其中 CK 处理下压砂西瓜产量为 31 515.75 kg · hm⁻², 而 T1、T2、T3、T4、T5 各处理下压砂西瓜产量分别为 35 626.50、37 388.25、38 562.75、42 477.75、46 392.75 kg · hm⁻², 分别较 CK 处理增产 4 110.70、5 872.50、7 047.00、10 962.00、14 877.00 kg · hm⁻², 增产率分别达到 13.04%、18.63%、22.36%、34.70%、47.20%。

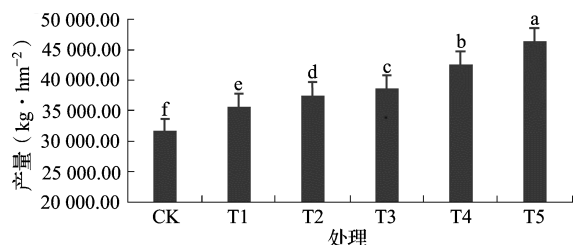


图 3 生物有机肥对压砂西瓜产量的影响

2.6 生物有机肥对压砂西瓜品质的影响

硝酸盐、维生素 C、可溶性固形物、有机酸是衡量瓜菜品质的重要指标。表 3 表明, 随着生物有机肥施用量的增加, 硝酸盐、有机酸含量呈下降趋势, 而维生素 C、可溶性固形物含量则呈上升趋势。其中 T5 处理硝酸盐含量为 21.18 mg · kg⁻¹, 分别较 CK、T1、T2、T3、T4 处理减小 8.63%、8.59%、8.51%、8.43%、0.70%, 有机酸含量为 0.051%, 分别较 CK、T1、T2、T3、T4 处理减小 41.38%、40.00%、29.17%、16.39%、13.56%, 维生素 C 含量为 12.74 mg · kg⁻¹, 分别较 CK、T1、T2、T3、T4 处理增加 39.23%、38.78%、27.66%、12.15%、5.38%, 可溶性固形物含量为 14.69%, 分别较 CK、T1、T2、T3、T4 处理增加 22.62%、19.82%、13.96%、7.62%、5.76%。

表 3 生物有机肥对压砂西瓜品质的影响

处理	硝酸盐 (mg · kg ⁻¹)	维生素 C (mg · kg ⁻¹)	可溶性固形物 (%)	有机酸 (%)
CK	23.18 ± 0.02a	9.15 ± 0.00ef	11.98 ± 0.01f	0.087 ± 0.00a
T1	23.17 ± 0.01a	9.18 ± 0.02e	12.26 ± 0.05e	0.085 ± 0.05ab
T2	23.15 ± 0.00a	9.98 ± 0.01d	12.89 ± 0.00d	0.072 ± 0.01b
T3	23.13 ± 0.02a	11.36 ± 0.00c	13.65 ± 0.01c	0.061 ± 0.02bc
T4	21.33 ± 0.00b	12.09 ± 0.05b	13.89 ± 0.01b	0.059 ± 0.01c
T5	21.18 ± 0.05bc	12.74 ± 0.00a	14.69 ± 0.05a	0.051 ± 0.05d

2.7 土壤理化性状与土壤酶活性、压砂瓜品质指标的相关性分析

由表 4 可以看出, 土壤理化性状与土壤酶活性、压砂西瓜品质均存在一定的相关性。其中, 土壤 pH 值、全盐与脲酶、蔗糖酶、碱性磷酸酶、过氧化氢酶、Vc、可溶性固形物均呈极显著和显著负相关, 与硝酸盐、有机酸呈极显著和显著正相

关。土壤有机质、碱解氮、有效磷、速效钾、全氮、全磷与脲酶、蔗糖酶、碱性磷酸酶、过氧化氢酶、Vc、可溶性固形物均呈现正相关关系, 与硝酸盐、有机酸呈现负相关关系。土壤理化性质决定着土壤酶活性的高低, 相反, 土壤酶活性也影响着土壤理化性质, 进而影响压砂西瓜品质的高低。

表 4 土壤理化性状与土壤酶活性、压砂西瓜品质指标的相关系数

指标	脲酶	蔗糖酶	碱性磷酸酶	过氧化氢酶	硝酸盐	维生素 C	可溶性固形物	有机酸
pH 值	-0.969**	-0.944**	-0.929**	-0.899*	0.905*	-0.927**	-0.936**	0.916*
全盐	-0.939**	-0.972**	-0.921**	-0.926**	0.877**	-0.950**	-0.945**	0.947**
有机质	0.991**	0.840*	0.829*	0.897*	-0.945**	0.917*	0.921*	-0.871*
碱解氮	0.960**	0.938**	0.921**	0.990**	-0.881*	0.994**	0.983**	-0.969**
有效磷	0.892*	0.946**	0.971**	0.943**	-0.799	0.943**	0.948**	-0.946**
速效钾	0.975**	0.892*	0.872*	0.967**	-0.856*	0.973**	0.981**	-0.952**
全氮	-0.865*	0.992**	0.968**	0.890*	-0.674	0.909*	0.943**	-0.965**
全磷	0.933**	0.989**	0.940**	0.934**	-0.838*	0.957**	0.959**	-0.968**

注: * 表示 $P<0.05$, ** 表示 $P<0.01$ 。

3 讨论

土壤肥力是影响作物产量及品质的重要原因。研究表明, 施用生物有机肥可以提高土壤养分^[17], 有利于根际微生物区系的改良, 促进作物根系生长, 提高作物品质与产量^[18]。所以, 施用生物有机肥可以为作物创造良好的生长环境, 提高土壤肥力, 显著改善作物生长, 为作物优质高产提供保证。

土壤是压砂西瓜生长的基础, 而连年种植及单一使用化肥导致压砂田肥力严重下降。土壤理化性质是土壤肥力的重要组成部分。本研究表明, 随着施用生物有机肥量的增加, 土壤 pH 值、全盐含量呈现下降趋势, 有利于压砂瓜生长。土壤盐碱化是易溶性盐分在土壤中的累积现象, 使土壤溶液的浓度增加, 渗透压增高, 对作物根系有腐蚀作用^[19]。宁夏香山地区气候干旱, 蒸发量大。水分蒸发后盐分在土壤表层积累, 进而导致作物的生长受害。赵婧文等^[20]研究表明, 膜下滴灌配施有机肥处理的土壤, pH 值和全盐含量较未施生物有机肥处理有所降低, 与本研究结果一致。这可能是生物有机肥的施用改善了土壤团粒结构, 使土壤碱性降低, 淋溶作用增强, 土壤离子间代换量提高, 导致多种元

素流失^[21]。土壤有机质能提供作物生长所需物质, 本研究表明, 施生物有机肥 3 750 kg · hm⁻² 处理土壤 0 ~ 20 cm 有机质含量达到 9.57 g · kg⁻¹, 且土壤碱解氮、有效磷、速效钾含量也显著提高, 说明生物有机肥能提高土壤有机质含量, 促进速效养分的释放, 与郑镁钰等^[22]研究结论一致。全氮、全磷含量是衡量土壤基础肥力的重要指标。本研究表明, 施用生物有机肥能提高土壤全氮、全磷含量, 其中施用生物有机肥 3 750 kg · hm⁻² 处理下 0 ~ 20 cm 土壤全氮含量较未施用生物有机肥处理提高 176.84%, 全磷含量较未施用生物有机肥处理提高 92.53%, 与王立刚等^[23]关于生物有机肥对作物生长、土壤肥力及产量的影响研究结果一致。

常文颖等^[24]研究认为, 施用生物有机肥能显著提高 0 ~ 20 cm 土壤脲酶、蔗糖酶和碱性磷酸酶活性。本研究表明 T5 处理下 0 ~ 20 cm 土壤脲酶活性较 CK 处理提高 46.43%, 蔗糖酶活性较 CK 处理提高 44.58%, 碱性磷酸酶活性较 CK 处理提高 73.68%, 过氧化氢酶活性较 CK 处理提高 21.10%。这说明土壤理化性质与土壤酶活性具有相关性, 随着土壤肥力的提高, 土壤酶活性也呈升高趋势, 与胡景田等^[25]研究结果一致。土壤脲酶、蔗糖酶及过氧化氢酶都与土壤微生物活动相关, 其酶活性的

增加往往反映了土壤氮素和有机质含量的升高^[26]。土壤碱性磷酸酶活性增加与土壤有机磷含量增加具有较强的相关性,所以在压砂田中施用生物有机肥,土壤酶活性的增高在一定程度上反映了土壤肥力的提升^[27]。

哈雪姣等^[28]研究表明施用生物有机肥能提高西瓜产量和品质。本研究表明T5处理下压砂西瓜产量为 $46\,392.75\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,较CK处理增产 $14\,877.00\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,增产率为47.20%。随着生物有机肥施用量的增加,硝酸盐、有机酸含量呈下降趋势,而维生素C、可溶性固形物含量则呈现上升趋势。李亚娟等^[29]研究表明施用生物有机肥能提高西瓜可溶性固形物含量,该指标对鉴定果蔬、糖用作物的品质具有重要意义。本研究表明,T5处理下西瓜可溶性固形物含量达到14.69%,较CK处理升高,与此研究结果一致。有机酸广泛存在于植物体中,一定的酸度可增加果蔬的风味,但过量时又会呈显出不良的品质^[30]。T5处理的果实有机酸含量为0.051%,较CK处理降低41.38%。维生素是人体生命活动不可缺少的物质,具有多种生理作用。本研究中,T5处理果实的维生素C含量达到 $12.74\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,分别较CK、T1、T2、T3、T4处理增加39.23%、38.78%、27.66%、12.15%、5.38%,说明施用生物有机肥能增加作物维生素C含量,与段大海等^[31]研究结果一致。

目前,有关连作压砂田生物有机肥最佳施用量的研究较少。鉴于本研究仅为一年的试验结果,而生物有机肥是缓效肥,其对土壤的持续性影响还有待长期的试验结果进行验证,并结合经济效益进行综合分析研究。

4 结论

施用生物有机肥可以有效改善土壤理化性质,提高土壤酶活性,对压砂瓜产量和品质具有改善作用,能够有效缓解土壤肥力下降。本试验中施用生物有机肥 $3\,750\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 处理为最佳处理,可有效降低土壤pH值、全盐含量,提高土壤碱解氮、有效磷、速效钾、全氮、全磷含量,进而提高土壤蔗糖酶、碱性磷酸酶、过氧化氢酶、脲酶活性。相关性分析表明,土壤理化性状与土壤酶活性、压砂瓜品质均存在一定的相关性,其中施用生物有机肥 $3\,750\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 处理的压砂瓜产量为

$46\,392.75\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,产量显著提高,其维生素C含量、可溶性固形物也显著提高。

参考文献:

- [1] 顾欣,孙权,王锐,等. 菌肥与有机肥配施对拱棚西瓜土壤的改良效果[J]. 干旱地区农业研究, 2017, 35(3): 219–225.
- [2] 王菲,王建宇,贺婧,等. 压砂瓜连作对土壤酶活性及理化性质影响[J]. 干旱地区农业研究, 2015, 33(5): 108–114.
- [3] Louwsa F J, Rivard C L, Kubota C. Grafting fruiting vegetables to manage soilborne pathogens, foliar pathogens, arthropods and weeds[J]. Scientia Horticulturae, 2010, 127: 127–146.
- [4] 赵佳. 施用微生物有机肥对连作作物产量品质的影响[D]. 晋中: 山西农业大学, 2018.
- [5] 吴正锋,成波,王才斌,等. 连作对花生幼苗生理特性及荚果产量的影响[J]. 花生学报, 2006, 35(1): 29–33.
- [6] 李永刚,王丽艳,张思奇,等. 玉米连作障碍主要因子对苗期玉米生长影响的初步分析[J]. 东北农业科学, 2017, 42(2): 27–31.
- [7] 闵红. 大棚蔬菜连作障碍机理研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2010.
- [8] 张晓玲,潘振刚,周晓峰,等. 自毒作用与连作障碍[J]. 土壤通报, 2007, 38(4): 781–784.
- [9] Van W, Phillips D, Li H, et al. Severity of crown and root diseases of strawberry and associated fungal and oomycete pathogens in Western Australia[J]. Australia Plant Pathology, 2011, 40(2): 109–119.
- [10] 曲成闯,陈效民,张志龙,等. 生物有机肥提高设施土壤生产力减缓黄瓜连作障碍的机制[J]. 植物营养与肥料学报, 2019, 25(5): 814–823.
- [11] 孙家骏,付青霞,谷洁,等. 生物有机肥对猕猴桃土壤酶活性和微生物群落的影响[J]. 应用生态学报, 2016, 27(3): 829–837.
- [12] 曲成闯,陈效民,韩召强,等. 施用生物有机肥对黄瓜不同生育期土壤肥力特征及酶活性的影响[J]. 水土保持学报, 2017, 31(6): 279–284.
- [13] Habashy N R, Abou A W, Zali R N. Effects of organic and biofertilizers on phosphorus and some micronutrients availability in a calcareous soil[J]. Research Journal of Agriculture & Biological Sciences, 2008, 53: 545–552.
- [14] 林森. 土壤-水稻体系施用有机肥的主要生态效应研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2018.
- [15] 鲍士旦. 土壤农化分析(第3版)[M]. 北京: 中国农业出版社, 2005.
- [16] 关松荫. 土壤酶及其研究法[M]. 北京: 中国农业出版社, 1986.
- [17] 毛晓梅. 设施西瓜连作障碍缓解技术研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2014.
- [18] 张鹏. 生物有机肥对连作番茄和辣椒根际土壤微生物区系的

- 影响 [D]. 南京: 南京农业大学, 2012.
- [19] 肖娟. 水质对盐碱地水盐耦合运移和作物生长影响的研究 [D]. 北京: 中国农业大学, 2005.
- [20] 赵婧文, 张庆伟, 李政, 等. 膜下滴灌施用生物有机肥对土壤盐分及棉花产量的影响 [J]. 中国农业科技导报, 2019, 21 (3): 102-108.
- [21] 谷思玉, 耿泽铭, 汪睿, 等. 不同配比生物有机肥对盐渍土改良效果的分析 [J]. 东北农业大学学报, 2014, 45 (7): 26-30.
- [22] 郑镁钰, 林浩洋, 王雪, 等. 生物有机肥对苦瓜品质及土壤氮、磷、有机质含量的影响 [J]. 中国林副特产, 2018, 2 (2): 21-23.
- [23] 王立刚, 李维炯, 邱建军, 等. 生物有机肥对作物生长、土壤肥力及产量的效应研究 [J]. 土壤肥料, 2004, (5): 12-16.
- [24] 常文颖, 何倩, 李俊华. 滴灌条件下穴施生物有机肥对土壤酶活性时空动态分布的影响 [J]. 干旱地区农业研究, 2019, 37 (2): 102-107, 113.
- [25] 胡景田, 马琨, 王占军, 等. 荒地不同压砂年限对土壤微生物区系、酶活性与土壤理化性状的影响 [J]. 水土保持通报, 2010, 30 (3): 53-58.
- [26] 郑慧芬, 吴红慧, 翁伯琦, 等. 施用生物炭提高酸性红壤茶园土壤的微生物特征及酶活性 [J]. 中国土壤与肥料, 2019, (2): 68-74.
- [27] 赵雪淞, 宋王芳, 杨晨曦, 等. 膨润土对花生连作根际土壤肥力和作物产量的影响 [J]. 中国土壤与肥料, 2019, (3): 63-68.
- [28] 哈雪姣, 左继民, 司长城, 等. 施用生物有机肥及生物菌剂对西瓜产量、品质及土壤养分含量的影响 [J]. 中国瓜菜, 2018, 31 (10): 45-48.
- [29] 李亚娟, 邱慧珍, 高启发, 等. 生物有机肥对保护地西瓜生长、产量和品质的影响 [J]. 土壤与作物, 2017, 6 (2): 127-131.
- [30] 臧小平, 周兆禧, 林兴娥, 等. 不同用量有机肥对芒果果实品质及土壤肥力的影响 [J]. 中国土壤与肥料, 2016, (1): 98-101.
- [31] 段大海, 孙顶国, 张培莘. 生物有机肥不同用量与方法对西瓜产量和品质的影响 [J]. 当代生态农业, 2006, (21): 106-108.

Effects of bio-organic fertilizer on soil fertility and watermelon quality in continuous cropping sand pressing field

LI Ting-feng, LI Wen, GUO Jun-yu, LIU Yan-wei, GU Xin* (School of Agronomy Ningxia University, Yinchuan Ningxia 750021)

Abstract: In order to solve the problem of soil fertility deterioration and fruit quality decline in Ningxia sand watermelon, the effects of different quantity of bio-organic fertilizer on quality and yield of watermelon were studied in field plot experiment using “Jincheng No. 5” as the experimental material. The results showed that when 3 750 kg · hm⁻² bio-organic fertilizer was applied, the soil pH was 8.39, the total salt content was 2.34 g · kg⁻¹, which decreased 1.76% and 26.18%, respectively, compared to CK in 0 ~ 20 cm soil layer. The distribution range of organic matter increased by 12.99%, the content of alkali nitrogen increased by 56.06%, the content of available phosphorus increased 71.63% and the available potassium increased 28.78% compared with CK. The total nitrogen content of 0 ~ 20 cm soil layer increased by 176.84% and the total phosphorus content increased by 92.53% compared with CK. With the improvement of soil physical and chemical properties, soil enzyme activity also showed increasing trend. The soluble solid content reached 14.69%, which increased by 22.62% than CK. The organic acid content was 0.051% and decreased by 41.38% compared with CK. The vitamin C content reached 12.74 mg · kg⁻¹. The best application rate of bio-organic fertilizer was 3 750 kg · hm⁻², which could decrease the continuous cropping obstacle of watermelon, and increase the activity of soil enzyme, yield and quality of sand watermelon, meanwhile accelerate the sustainable development of sand watermelon industry in Ningxia.

Key words: bio-organic fertilizer; sand-pressed watermelon; soil fertility; quality of watermelon