

杨因君,秦 涛,决 超. 不同有机肥配施土壤调理剂对黄瓜连作土壤碳氮及酶活性的影响[J]. 江苏农业科学,2024,52(1):225-231.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2024.01.032

# 不同有机肥配施土壤调理剂对黄瓜连作土壤碳氮及酶活性的影响

杨因君,秦 涛,决 超

(商丘职业技术学院,河南商丘 476000)

**摘要:**针对设施农业黄瓜连作障碍问题,2020—2023 年,通过田间定位试验,设置单施化肥(CK)、化肥减量 20% + 生物有机肥(SB)、化肥减量 20% + 微生物菌肥、化肥减量 40% + 生物有机肥 + 土壤调理剂、化肥减量 40% + 微生物菌肥 + 土壤调理剂(SMC)5 个处理,研究化肥减量配施生物有机肥/微生物菌肥和土壤调理剂对土壤理化性质、物理结构以及酶活性的改良效果,结合典型相关分析以及冗余分析结果,探讨不同施肥处理条件下土壤酶活性与土壤碳氮及物理结构之间的关系。结果表明,与单施化肥相比,化肥减量配施生物有机肥/微生物菌肥或增施土壤调理剂均能够提高土壤碳氮、速效养分含量、pH 值、酶活性以及土壤总孔隙度,降低土壤容重。而与化肥减量配施生物有机肥/微生物菌肥不施土壤调理剂处理相比,增施土壤调理剂能够显著提高土壤有机碳、全氮、碱解氮以及微生物量碳含量,明显提高土壤酶活性以及土壤总孔隙度,降低土壤容重。相关分析结果表明,土壤酶活性变化与土壤碳氮变化之间密切相关,但不同酶活性变化与碳氮指标间的关系有强有弱。冗余分析结果表明,土壤脲酶、碱性磷酸酶、过氧化氢酶以及蔗糖酶与土壤孔隙度呈正相关关系,与土壤容重呈负相关关系,且空间分散处理点说明土壤酶活性对不同施肥措施条件产生不同的响应。由此可知,化肥减量配施生物有机肥/微生物菌肥和土壤调理剂能够提高土壤肥力以及酶活性,改善土壤结构。

**关键词:**黄瓜;有机肥;土壤调理剂;土壤碳氮;养分;酶活性

**中图分类号:**S642.206;S156.2 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2024)01-0225-07

近年来,随着人们对蔬菜安全和供应时间要求

的不断提高,设施农业成为蔬菜专业化和规模化快速发展的重要载体<sup>[1-2]</sup>。黄瓜是我国设施农业栽培的重要蔬菜作物,受地域性气候因素影响,日光温室种植是我国北方地区春季黄瓜种植的主要模式<sup>[3-4]</sup>。然而,由于日光温室种植模式单一,且复种指数较高,常年集约化生产虽然能够解决黄瓜周年

收稿日期:2023-07-12

基金项目:河南省科技攻关项目(编号:182102110371);河南省高等学校重点科研项目支撑计划(编号:23B2120006)。

作者简介:杨因君(1983—),女,河南商丘人,讲师,从事蔬菜栽培生理与连作障碍研究。E-mail:sqyang1027@sina.com。

[30]Wander M. Soil organic matter fractions and their relevance to soil function[M]//Fred M, Ray R W. Soil organic matter in sustainable agriculture. Boca Raton: CRC Press, 2004: 68-90.

[31]赵鹏志,陈祥伟,王恩姮. 黑土坡耕地有机碳及其组分累积-损耗格局对耕作侵蚀与水蚀的响应[J]. 应用生态学报, 2017, 28(11): 3634-3642.

[32]袁可能,张友金. 土壤腐殖质氧化稳定性的研究[J]. 浙江农业科学, 1964, 9(7): 345-349.

[33]赵馨雅,刘 帅,徐静怡,等. 覆盖作物种植对砂姜黑土团聚体稳定性及其有机碳组分的影响[J/OL]. 农业资源与环境学报, 2023 [2023-02-03]. <https://doi.org/10.13254/j.jare.2022.0822>.

[34]Duval M E, Galantini J A, Capurro J E, et al. Winter cover crops in soybean monoculture: effects on soil organic carbon and its fractions [J]. Soil and Tillage Research, 2016, 161: 95-105.

[35]Novak J M, Busscher W J, Watts D W, et al. Short-term CO<sub>2</sub>

mineralization after additions of biochar and switchgrass to a Typic Kandudult [J]. Geoderma, 2010, 154(3/4): 281-288.

[36]Sharma V, Hussain S, Sharma K R, et al. Labile carbon pools and soil organic carbon stocks in the foothill Himalayas under different land use systems [J]. Geoderma, 2014, 232-234: 81-87.

[37]Lopez-Sangil L, Rovira P. Sequential chemical extractions of the mineral-associated soil organic matter: an integrated approach for the fractionation of organo-mineral complexes [J]. Soil Biology & Biochemistry, 2013, 62: 57-67.

[38]常汉达,王 晶,张风华. 棉花长期连作结合秸秆还田对土壤颗粒有机碳及红外光谱特征的影响[J]. 应用生态学报, 2019, 30(4): 1218-1226.

[39]刘 骅,佟小刚,马兴旺,等. 长期施肥下灰漠土矿物颗粒结合有机碳的含量及其演变特征[J]. 应用生态学报, 2010, 21(1): 84-90.

供应问题,但也给黄瓜生产带来一系列的连作障碍问题<sup>[5-6]</sup>。有研究表明,黄瓜多年连作种植,不仅使得黄瓜生长不良、病虫害频发、产量及品质降低,还会造成土壤酸化、次生盐渍化以及土传病虫害加重、养分失衡、土壤活性降低等问题<sup>[7-9]</sup>。目前,大多数农户主要通过大量施肥施药解决黄瓜连作障碍问题,但是这样不仅造成经济投入增加、效益下降,土壤持续化生产能力降低,还严重影响了蔬菜安全和生态环境保护等。因此,如何安全有效地解决黄瓜连作障碍问题对我国农业持续化发展有一定的促进意义。吴凤芝等研究发现,与黄瓜连作处理相比,轮作能够明显提高土壤养分含量,改良土壤 pH 值,有利于促进黄瓜生长发育<sup>[10]</sup>;王荣等研究发现,增施有机肥能够提高土壤速效养分及有机质含量,降低土壤 pH 值,促进黄瓜生长发育,有利于提高黄瓜产量及品质<sup>[11]</sup>。轮作倒茬所需时间较长,不利于在现有设施农业的基础上保障黄瓜的周年供应,优化施肥改良黄瓜连作障碍问题更具有生产意义。

外源有机肥是土壤增加有机碳含量的重要来源,因其具有较多的疏松多孔结构,施入土壤中能够促进土壤团聚体形成,有利于提高土壤通风透气,且不同类别有机肥含有特定的微生物菌群,施入土壤中能够提高土壤某种有益微生物的比例,进而提高土壤活性<sup>[12-14]</sup>。有研究表明,无机肥与有机肥配施能够改良土壤质量,提高土壤酶活性以及微生物功能多样性,降低土传病虫害发生<sup>[15-18]</sup>。土壤调理剂是指用于修复土壤物理结构,提高土壤肥力及活性的新型肥料,相比传统土壤改良方式,施用土壤调理剂具有高效、经济的优势<sup>[19-20]</sup>。有研究表明,增施土壤调理剂能够提高土壤渗透性,降低土壤容重以及表层盐含量,有利于促进作物对养分的吸收与利用,进而提高肥料利用率<sup>[21-22]</sup>。目前,有机肥配施土壤调理剂在改良黄瓜连作土壤上的应用未见明确可行性报道,且不同种类有机肥含有的功能不同。因此,本研究在化肥减量配施生物有机肥/微生物菌肥的基础上增施土壤调理剂,探究不同处理条件下土壤碳氮及速效养分含量、酶活性、容重及孔隙度的变化特点,以期改良黄瓜连作土壤质量,提高土壤持续性生产能力提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于 2020 年 8 月至 2023 年 5 月在商丘职业

技术学院试验基地温室大棚内进行。该大棚长 60 m,宽 8 m,大棚脊高 3 m,塑料膜为普通聚烯烃(PO)大棚膜。供试土壤为黄潮土壤土,0~20 cm 基础土壤性状:含碱解氮 56.22 mg/kg、速效磷 62.94 mg/kg、速效钾 109.85 mg/kg,pH 值为 7.92,容重为 1.50 g/cm<sup>3</sup>,孔隙度为 43.66%。试验地为黄瓜连作地块,前 3 年均种植黄瓜。

1.2 试验设计

试验采用随机区组设计,共设 5 个处理:(1)单施化肥(CK);(2)化肥减量 20%+生物有机肥(SB);(3)化肥减量 20%+微生物菌肥(SM);(4)化肥减量 40%+生物有机肥+土壤调理剂(SBC);(5)化肥减量 40%+微生物菌肥+土壤调理剂(SMC)。小区面积 25.2 m<sup>2</sup>,重复 3 次,共 15 个小区。各处理中 70%的化肥以及全部生物有机肥、微生物菌肥和土壤调理剂作为基肥施入土壤中,30%的化肥在黄瓜初花期、坐果前期以及坐果后期分别追施 10%。各处理肥料、调理剂用量见表 1。

表 1 各处理肥料、调理剂用量

处理	施用量(kg/hm <sup>2</sup> )			
	复合肥	生物有机肥	微生物菌肥	土壤调理剂
CK	750			
SB	600	1 500		
SM	600		480	
SBC	450	1 500		600
SMC	450		480	600

供试黄瓜品种为粤秀 1 号(广东省农业科学院蔬菜研究所选育),其秋季生育期为 8 月 10 日至 12 月 20 日,春季生育期为 2 月 10 日至 5 月 20 日。黄瓜株行距分别为 40、60 cm,试验过程中仅有肥料、土壤调理剂作不同试验处理,其他田间管理措施如除草、浇水等均按照当地习惯进行。供试土壤调理剂为高钾型类沸石矿物质调理剂,含有丰富的钙镁铁等矿质元素(购自山西屹米达环保材料有限公司);供试化肥为复合肥(N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>O 含量均为 15%,购自河南心连心化工集团有限公司);供试生物有机肥有机质含量≥30%,N+P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>+K<sub>2</sub>O 含量≥6%,有效活菌数≥0.2 亿 CFU/g(购自河北丰农有机肥制造有限公司);供试微生物菌肥有机质含量≥60%、N+P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>+K<sub>2</sub>O 含量≥5%,有效活菌数≥5 亿 CFU/g(购自河北旺润农业科技有限公司)。

1.3 样品采集

2023 年黄瓜坐果后期,通过五点取样法,采集

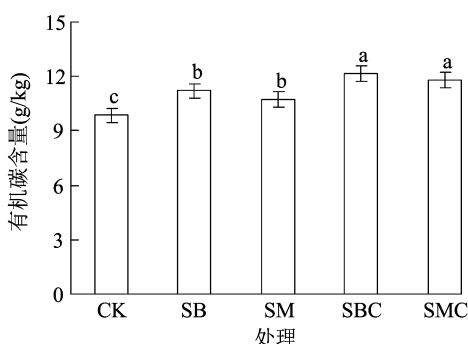
0~20 cm 土层黄瓜根际土壤混合土样,带回实验室后分成 2 个部分,一部分保存在 4℃ 冰箱内,用于土壤微生物量碳氮含量的测定;另一部分在室内自然阴干用于土壤指标的测定。利用环刀采集 0~20 cm 土层土壤样品,用于土壤容重与孔隙度的测定。

#### 1.4 测试指标与方法

土壤有机碳含量采用重铬酸钾氧化法测定;微生物量碳含量采用三氯甲烷熏蒸-硫酸钾浸提法测定;全氮含量采用  $\text{H}_2\text{SO}_4-\text{H}_2\text{O}_2$  消煮蒸馏法测定;土壤微生物量氮含量采用三氯甲烷熏蒸-硫酸钾浸提法测定;碱解氮含量采用碱解扩散法测定;速效磷含量采用硫酸钼锑抗比色法测定;速效钾含量采用火焰光度计法测定;pH 值采用电位法测定;脲酶活性采用苯酚钠比色法测定;碱性磷酸酶活性采用磷酸苯二钠比色法测定;过氧化氢酶活性采用高锰酸钾滴定法测定;蔗糖酶活性采用 3,5-二硝基水杨酸比色法测定;土壤容重、总空隙度均采用土壤环刀法测定<sup>[23-24]</sup>。

#### 1.5 数据处理

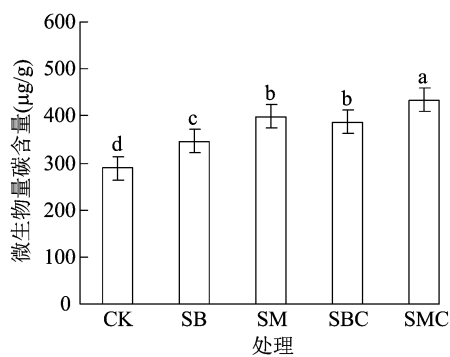
试验数据通过 Excel 2010 软件进行计算与作图;通过 SPSS 19.0 软件进行多重比较与方差分析;通过 Canoco 4.5 软件进行冗余分析。



## 2 结果与分析

### 2.1 不同有机肥配施土壤调理剂对土壤有机碳、微生物量碳含量变化的影响

由图 1 可知,不同施肥处理间土壤有机碳及微生物量碳含量存在显著差异 ( $P < 0.05$ )。与 CK 相比,化肥减量配施生物有机肥/微生物菌肥或增施土壤调理剂都能够显著提高土壤有机碳、微生物量碳含量。土壤有机碳含量总体表现为  $\text{SBC} > \text{SMC} > \text{SB} > \text{SM} > \text{CK}$ 。其中, SBC、SMC 处理土壤有机碳含量最高,较 CK 分别显著提高 23.23%、19.68%。化肥减量配施生物有机肥或微生物菌肥增施土壤调理剂处理土壤有机碳含量均显著高于不施土壤调理剂处理,而 SB 与 SM 处理间以及 SBC 与 SMC 处理间均无显著差异。土壤微生物量碳含量总体表现为  $\text{SMC} > \text{SM} > \text{SBC} > \text{SB} > \text{CK}$ 。其中, SMC 处理土壤微生物量碳含量最高,较 SB、SM、SBC 处理分别显著提高 25.08%、8.66%、12.10%,较 CK 显著提高 49.95%。增施或不施土壤调理剂时,化肥减量配施微生物菌肥处理土壤微生物量碳含量均高于化肥减量配施生物有机肥处理。整体来看,化肥减量配施生物有机肥/微生物菌肥和土壤调理剂能够提高土壤有机碳、微生物量碳含量。



a. 有机碳含量  
b. 微生物量碳含量  
柱上不同小写字母表示处理间在 0.05 水平上差异显著。图 2、图 3 同

图1 不同施肥处理土壤有机碳、微生物量碳含量变化

### 2.2 不同有机肥配施土壤调理剂对土壤全氮、微生物量氮含量变化的影响

由图 2 可知,不同施肥处理间土壤全氮及微生物量氮含量也存在显著差异 ( $P < 0.05$ )。与 CK 相比,化肥减量配施生物有机肥/微生物菌肥或增施土壤调理剂都能够不同程度提高土壤全氮、微生物量氮含量。土壤全氮含量总体表现为  $\text{SBC} > \text{SMC} > \text{SB} > \text{SM} > \text{CK}$ 。其中, SBC 处理土壤全氮含量最高,

较 SM 处理显著提高 5.81%, 较 CK 显著提高 9.64%。化肥减量配施生物有机肥/微生物菌肥和土壤调理剂处理土壤全氮含量均高于不施土壤调理剂处理。土壤微生物量氮含量总体表现为  $\text{SMC} > \text{SBC} > \text{SM} > \text{SB} > \text{CK}$ 。其中, SMC 处理土壤微生物量氮含量最高,较 SB、SM、SBC 处理分别显著提高 39.07%、19.78%、16.79%, 较 CK 显著提高 74.04%。化肥减量配施生物有机肥/微生物菌肥和

土壤调理剂处理土壤微生物量氮含量均高于不施土壤调理剂处理。整体来看,化肥减量配施生物有

机肥/微生物菌肥和土壤调理剂能够提高土壤全氮、微生物量氮含量。

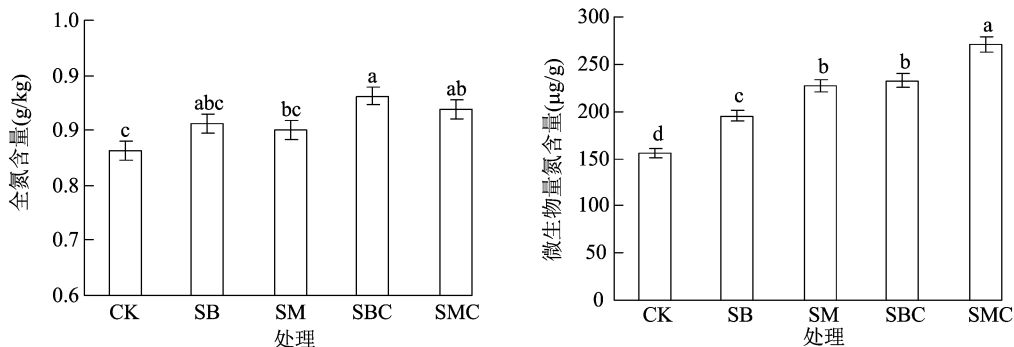


图2 不同施肥处理土壤全氮、微生物量氮含量变化

2.3 不同有机肥配施土壤调理剂对土壤速效养分含量、pH 值变化的影响

由表 2 可知,与 CK 相比,化肥减量配施生物有机肥/微生物菌肥或增施土壤调理剂能够显著 ( $P < 0.05$ ) 提高土壤碱解氮、速效磷以及速效钾含量,土壤 pH 值无显著性变化。SBC 处理土壤碱解氮含量最高,较 SB、SM 处理分别显著提高 8.95%、5.54%,较 CK 处理显著提高 17.95%,且化肥减量配施有机肥和

土壤调理剂处理显著高于不施土壤调理剂处理;SMC 处理土壤速效磷、速效钾含量最高,较 CK 分别显著提高 13.40%、16.42%。增施有机肥或复合土壤调理剂能够提高土壤 pH 值,但与 CK 无显著性差异。整体来看,化肥减量配施生物有机肥/微生物菌肥和土壤调理剂能够提高土壤速效养分含量以及土壤 pH 值,防止土壤酸化。

表 2 不同施肥处理土壤速效养分含量及 pH 值变化

处理	碱解氮含量 (mg/kg)	速效磷含量 (mg/kg)	速效钾含量 (mg/kg)	pH 值
CK	47.35 ± 2.47c	58.06 ± 4.35b	102.26 ± 7.15b	7.86 ± 0.04a
SB	51.26 ± 2.93b	63.25 ± 3.08a	113.42 ± 6.22a	7.99 ± 0.02a
SM	52.92 ± 3.40b	62.89 ± 3.80a	110.87 ± 9.81a	8.01 ± 0.04a
SBC	55.85 ± 3.20a	65.15 ± 4.38a	116.50 ± 5.29a	8.04 ± 0.03a
SMC	55.66 ± 1.85a	65.84 ± 2.61a	119.05 ± 6.70a	8.05 ± 0.03a

注:同列数据后不同小写字母表示不同处理间在 0.05 水平上差异显著。表 3 同。

2.4 不同有机肥配施土壤调理剂对土壤容重、总孔隙度变化的影响

由图 3 可知,与 CK 相比,化肥减量配施生物有机肥/微生物菌肥或增施土壤调理剂能够降低土壤容重,提高土壤孔隙度。土壤容重总体表现为 CK > SM > SB > SMC > SBC。其中,SMC、SBC 处理较 CK 分别显著降低 5.26%、6.58%,与 SB、SM 处理相比无显著差异。化肥减量配施生物有机肥/微生物菌肥和土壤调理剂处理土壤容重明显低于不施土壤调理剂处理。土壤总孔隙度总体表现为 SBC > SB > SMC > SM > CK。其中 SBC、SB、SMC、SM 处理较 CK 分别显著提高 8.05%、6.25%、6.10%、5.05%,各有机肥处理间均无显著差异。而化肥减量配施生

物有机肥或微生物菌肥增施土壤调理剂处理土壤总孔隙度明显高于对应不施土壤调理剂处理。整体来看,化肥减量配施生物有机肥/微生物菌肥和土壤调理剂能够降低土壤容重,提高土壤总孔隙度。

2.5 不同有机肥配施土壤调理剂对土壤酶活性变化的影响

由表 3 可知,与 CK 相比,化肥减量配施生物有机肥/微生物菌肥或增施土壤调理剂能够显著 ( $P < 0.05$ ) 提高土壤脲酶、碱性磷酸酶、过氧化氢酶、蔗糖酶活性。其中,SMC 处理土壤脲酶、碱性磷酸酶、蔗糖酶活性最高,较 CK 分别显著提高 16.98%、47.39%、15.33%,SMC 处理脲酶活性较 SB、SBC 处理分别显著提高 8.77%、5.08%,碱性磷酸酶活性

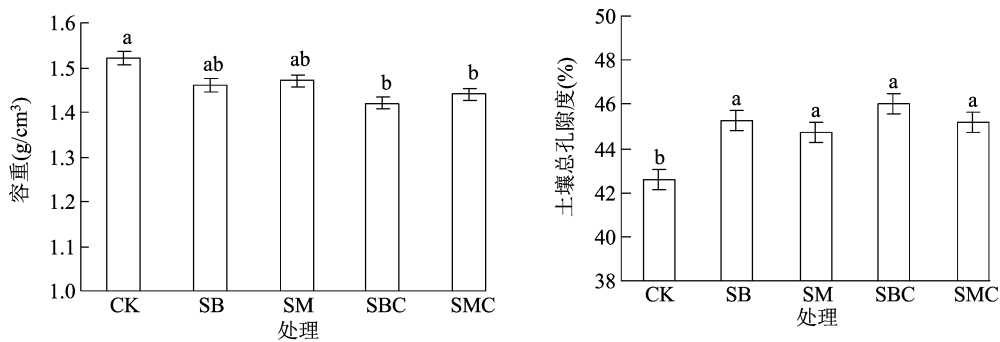


图3 不同施肥处理土壤容重、总孔隙度变化

表 3 不同施肥处理土壤酶活性变化

处理	脲酶活性 [ mg/(g · d) ]	碱性磷酸酶活性 [ mg/(g · d) ]	过氧化氢酶活性 [ mL/(g · h) ]	蔗糖酶活性 [ mg/(g · d) ]
CK	1.06 ± 0.06c	5.36 ± 0.36d	23.15 ± 2.84c	32.15 ± 1.69c
SB	1.14 ± 0.10b	6.87 ± 0.30c	26.44 ± 2.02ab	34.92 ± 2.31b
SM	1.19 ± 0.11ab	7.29 ± 0.44bc	25.52 ± 1.82b	35.55 ± 2.02ab
SBC	1.18 ± 0.09b	7.45 ± 0.58b	26.98 ± 1.46a	35.81 ± 1.85ab
SMC	1.24 ± 0.08a	7.90 ± 0.47a	26.05 ± 1.93ab	37.08 ± 2.56a

较 SB、SM、SBC 处理分别显著提高 14.99%、8.37%、6.04%，蔗糖酶活性较 SB 处理显著提高 6.19%。SBC 处理过氧化氢酶活性最高，较 CK 显著提高 16.54%，较 SM 处理显著提高 5.72%。化肥减量配施生物有机肥/微生物菌肥增施土壤调理剂处理土壤酶活性均高于不施土壤调理剂处理。整体来看，化肥减量配施生物有机肥/微生物菌肥和土壤调理剂能够显著提高土壤脲酶、碱性磷酸酶、过氧化氢酶、蔗糖酶活性。

2.6 相关性分析

对土壤酶活性与土壤碳氮指标进行相关性分析，结果(表 4)表明，土壤脲酶活性与土壤全氮含量

呈显著正相关关系( $P < 0.05$ )，与土壤微生物量氮呈极显著正相关关系( $P < 0.01$ )，与土壤有机碳、微生物量碳含量的相关性未达到显著性水平；碱性磷酸酶活性、过氧化氢酶活性与土壤有机碳、微生物量碳、全氮、微生物量氮含量均呈正相关关系，但相关性均未达到显著性水平；蔗糖酶活性与土壤有机碳、微生物量氮含量呈显著正相关关系( $P < 0.05$ )，与土壤微生物量碳含量呈极显著正相关关系( $P < 0.01$ )，与土壤全氮含量的相关性未达到显著性水平。这说明土壤酶活性变化与土壤碳氮含量变化之间密切相关，但不同酶活性变化与碳氮指标间的关系有强有弱，需要进一步研究探讨。

表 4 不同施肥条件下土壤酶活性变化与土壤碳氮含量间的相关性分析结果

指标	相关系数						
	脲酶活性	碱性磷酸酶活性	过氧化氢酶活性	蔗糖酶活性	有机碳含量	微生物量碳含量	全氮含量
碱性磷酸酶活性	0.87 *						
过氧化氢酶活性	0.65	0.85 *					
蔗糖酶活性	0.85 *	0.64	0.81 *				
有机碳含量	0.77	0.62	0.72	0.89 *			
微生物量碳含量	0.70	0.76	0.67	0.94 **	0.74		
全氮含量	0.85 *	0.79	0.70	0.74	0.89 *	0.73	
微生物量氮含量	0.94 **	0.67	0.72	0.69 *	0.79	0.92 **	0.87 *

注：\*、\*\* 分别表示在 0.05、0.01 水平上显著相关。

由表 4 可知，土壤酶活性变化与土壤碳氮含量变化密切相关。为进一步探讨不同施肥条件下土

壤酶活性的变化，对土壤酶活性与土壤容重、总孔隙度进行冗余分析，结果(图 4)表明，排序轴 1、2 能

够在累积变量 61.94% 水平上解释土壤各酶活性与土壤容重、总孔隙度的关系。土壤脲酶、碱性磷酸酶、过氧化氢酶以及蔗糖酶活性与土壤总孔隙度呈正相关关系,与土壤容重呈负相关关系,而表征不同施肥条件的处理点不规则地分散在空间各处,表

明土壤各酶活性对不同施肥措施条件产生不同的响应,这说明改善土壤物理结构,提高土壤总孔隙度、降低土壤容重能够促进土壤酶活性提高。由此可知,土壤酶活性变化受多种因子共同制约影响。

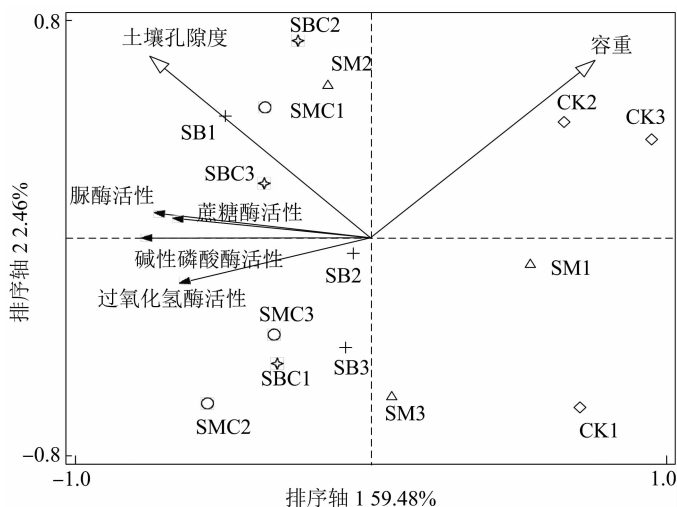


图4 不同施肥条件下土壤酶活性与土壤物理结构的冗余分析

### 3 讨论与结论

土壤碳、土壤氮是土壤肥力的核心物质,其含量变化能够反映土壤肥力状况及生产力水平<sup>[25]</sup>。而土壤微生物碳、微生物氮是土壤碳、氮组成中最活跃的部分,对外界环境变化响应敏感,能够在一定程度上反映出土壤活性变化<sup>[26]</sup>。有研究表明,无机肥与有机肥配施能够提高土壤碳、氮及速效养分含量<sup>[27]</sup>;也有研究表明,添加土壤调理剂可以改良土壤性状,减少速效养分淋失,进而提高土壤速效养分含量<sup>[28]</sup>。本研究结果表明,与单施化肥处理相比,化肥减量配施有机肥或增施土壤调理剂均可显著提高土壤有机碳、全氮、微生物量碳氮以及碱解氮、速效磷、速效钾含量,pH 值无显著变化。这与张建鹏的研究结果<sup>[29]</sup>较为一致。本研究中,增施土壤调理剂处理土壤碳、氮及速效养分含量明显高于不施土壤调理剂处理。这是因为土壤调理剂自身具有膨大及黏着性特点,施入土壤中能够促使大粒径团聚体形成,有利于土壤碳氮累积,提高土壤微生物活性,使得土壤中难溶养分更易分解,进而提高土壤速效养分含量<sup>[30]</sup>。

土壤容重、孔隙度大小能够影响土壤水肥分布及微生物活性,在一定程度上可以反映土壤物理结构及土壤紧实度<sup>[31]</sup>。因此,良好的土壤容重及孔隙度能够提高土壤肥力,改善作物根系吸收环境<sup>[32]</sup>。

本研究结果表明,与单施化肥处理相比,化肥减量配施有机肥或增施土壤调理剂能够显著降低土壤容重,提高土壤总孔隙度。这与李圆宾等的研究结果<sup>[33]</sup>较为一致。这是因为增施有机肥和土壤调理剂可以促使土壤大粒径团聚体形成,增加土壤团聚体稳定性,减少土壤过度紧实,能够改良土壤结构,提高土壤蓄水保墒能力。

土壤酶能参与土壤中大多数生物化学反应,其活性高低能够反映出土壤活性大小以及生化反应程度<sup>[34-35]</sup>。本研究结果表明,与单施化肥处理相比,增施有机肥能够提高土壤酶活性。其中,增施微生物菌肥处理土壤酶活性明显高于生物有机肥处理。这是因为微生物菌肥中含有大量的有益菌,施入土壤中能够利用菌肥提供的碳源快速繁殖,提高土壤微生物代谢活动,加速土壤养分转化与分解,进而提高土壤酶活性。与不施土壤调理剂处理相比,增施土壤调理剂处理土壤脲酶、碱性磷酸酶、蔗糖酶活性均不同程度地升高。这是因为相比于增施有机肥处理,增施土壤调理剂能够更大程度地改良土壤结构,提高土壤通风透气状况,改善微生物生态环境,进而提高微生物代谢活性以及土壤酶活性<sup>[36]</sup>。通过土壤酶活性与土壤碳、氮组分以及土壤物理结构的相关性分析可知,不同措施条件下土壤酶活性产生不同的变化,且酶活性变化与土壤养分及物理结构密切相关。

本研究结果表明,与单施化肥相比,化肥减量配施有机肥或增施土壤调理剂能够提高土壤碳氮及速效养分含量,降低土壤容重,提高土壤总孔隙度及土壤酶活性。其中,增施土壤调理剂处理效果明显优于不施土壤调理剂处理。

#### 参考文献:

- [1]张相锋,杨晓绒,焦子伟. 生物炭在连作障碍治理中的应用综述[J]. 现代园艺,2018(19):82-85.
- [2]陈晓璐. 设施黄瓜连作土壤性状变化特征及质量评价体系研究[D]. 泰安:山东农业大学,2022.
- [3]尹义蕾,李 恺,侯 永,等. 轻简水肥一体机的设计及其在日光温室黄瓜种植中的应用效果试验[J]. 节水灌溉,2021(9):7-11.
- [4]任卫华,于子淇.“四位一体”日光温室蔬菜大棚早春茬黄瓜栽培技术[J]. 中国果菜,2020,40(8):98-101.
- [5]徐 宁,张方园,孙晓慧,等. 外源硅对连作黄瓜生长发育、产量及品质的影响[J]. 北方园艺,2022(16):46-51.
- [6]周冉冉,陈 佩,郭世荣,等. 醋糟和菇渣基质改良剂对连作障碍土壤理化性质及栽培黄瓜的影响[J]. 中国蔬菜,2021(3):57-64.
- [7]王锡增,徐浴力,周 昕,等. 玉米青秸秆还田对土壤理化性状及连作黄瓜生长发育的影响[J]. 扬州大学学报(农业与生命科学版),2022,43(6):37-43,110.
- [8]崔继荣,宋 根,路 莎,等. 复合微生物肥对设施连作黄瓜枯萎病和根结线虫病防治效果[J]. 河北科技师范学院学报,2022,36(3):34-39.
- [9]杨 凡,王建宏,蔡毓新,等. 设施黄瓜连作障碍灾变机制及酵素菌应用研究进展[J]. 中国瓜菜,2022,35(7):6-12.
- [10]吴风芝,朱维伟. 不同轮作模式对黄瓜幼苗生长及土壤化学性质的影响[J]. 东北农业大学学报,2020,51(5):1-9.
- [11]王 荣,刘吉青,周海霞,等. 生物有机肥与保水剂对设施连作黄瓜生长和土壤肥力的影响[J]. 河南农业科学,2018,47(8):45-53.
- [12]李德近,马 想,孙 悦,等. 典型区域秸秆和有机肥混土填埋后的腐解特征[J]. 中国农业科学,2023,56(6):1127-1138.
- [13]张 瑞,王鸿飞,吴恰慧,等. 化肥与有机肥配施对设施土壤团聚体稳定性及其有机碳、全氮含量的影响[J]. 中国土壤与肥料,2023(2):1-9.
- [14]彭玉龙,万 军,苟剑渝,等. 有机肥配施比例对植烟土壤供氮能力和温室气体排放的影响[J]. 西南农业学报,2023,36(2):374-385.
- [15]万小琪,窦维卉,杨 雪,等. 不同农艺型措施对温室黄瓜连作土壤的改良效果[J]. 江苏农业科学,2022,50(23):228-234.
- [16]王启尧,赵庚星,赵永昶,等. 滨海盐渍棉田施用微生物菌肥的降盐效果及棉花长势响应[J]. 华北农学报,2021,36(增刊1):267-274.
- [17]曲成闯,陈效民,张志龙,等. 施用生物有机肥对黄瓜连作土壤有机碳库和酶活性的持续影响[J]. 应用生态学报,2019,30(9):3147-3154.
- [18]沈宗专,孙 莉,王东升,等. 石灰碳铵熏蒸与施用生物有机肥

- 对连作黄瓜和西瓜枯萎病及生物量的影响[J]. 应用生态学报,2017,28(10):3351-3359.
- [19]张 蕾,吴文强,王维瑞,等. 土壤调理剂及其配施微生物菌肥对设施菜田次生盐渍化土壤改良效果研究[J]. 中国土壤与肥料,2021(3):264-271.
  - [20]陈绍荣,余根德,白云飞,等. 土壤酸化及酸性土壤调理剂应用概述[J]. 化肥工业,2013,40(2):66-68.
  - [21]贾圣青,杨园媛,任 苗,等. 不同肥料及土壤调理剂对辣椒生长及土壤理化性质的影响[J]. 黑龙江农业科学,2021(7):24-28.
  - [22]贾 璇,赵 冰,吴昊天,等. 餐厨垃圾调理剂对果园土壤团聚体组成及分布的影响[J]. 环境科学研究,2020,33(9):2163-2168.
  - [23]鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3 版. 北京:中国农业出版社,2000.
  - [24]关松荫. 土壤酶及其研究法[M]. 北京:农业出版社,1986:260-338.
  - [25]石思博,王旭东,叶正钱,等. 菌渣化肥配施对稻田土壤微生物量碳氮和可溶性碳氮的影响[J]. 生态学报,2018,38(23):8612-8620.
  - [26]程会丹,鲁艳红,聂 军,等. 减量化肥配施紫云英对稻田土壤碳、氮的影响[J]. 农业环境科学学报,2020,39(6):1259-1270.
  - [27]朱桃川,明玉飞,李传福,等. 增施有机肥对黄河三角洲盐碱地碳氮组分和微生物群落的影响[J]. 水土保持学报,2022,36(6):387-393.
  - [28]索文康,杨金翰,胡晨阳,等. 氮肥和调理剂对土壤碳氮含量及莠麦产量的影响[J]. 中国生态农业学报,2023,31(6):858-867.
  - [29]张建鹏. 土壤调理剂配施有机肥对连作马铃薯土壤的改良效果[J]. 江苏农业科学,2023,51(11):219-226.
  - [30]秦 萍,张俊华,孙兆军,等. 土壤结构改良剂对重度碱化盐土的改良效果[J]. 土壤通报,2019,50(2):414-421.
  - [31]张佳倩,李 福,孙峰成,等. 秸秆还田条件下不同耕作方式对玉米田土壤物理性状的影响[J]. 江西农业大学学报,2022,44(3):759-772.
  - [32]李 静,陈瑞州,兰子汉,等. 有机肥替代部分无机肥对菜园土壤理化特性及果实养分的影响[J]. 热带作物学报,2018,39(4):656-660.
  - [33]李圆宾,李 鹏,王舒华,等. 稻麦轮作体系下有机肥施用对作物产量和土壤性质影响的整合分析[J]. 应用生态学报,2021,32(9):3231-3239.
  - [34]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,2014,20(5):1168-1177.
  - [35]范志伟,张奇瑞,刘小林,等. 外源茉莉酸甲酯对连作草莓土壤酶活性和酚酸类物质含量的影响[J]. 江苏农业科学,2022,50(17):253-258.
  - [36]宋福如,宋利强,曹子库,等. 有机硅土壤调理剂对苏打型盐碱土的改良效果及对水稻产量的影响[J]. 农学学报,2021,11(12):58-63,79.