

土表覆盖高量小麦秸秆对菠菜产量品质和土壤肥力的影响

张永仙¹, 江解增^{2*}, 谢梦薇², 钱佳宇², 张昊², 李东昇², 刘辉²

(1. 扬州市江都区农业技术综合服务中心, 江苏 扬州 225009; 2. 扬州大学水生蔬菜研究室, 江苏 扬州 225009)

摘要:为探究设施水田适宜的小麦秸秆覆盖量, 在大棚内采用塑料栽培箱种植菠菜, 设置小麦秸秆 22.50 t/hm²、37.50 t/hm² 两个覆盖量处理, 以秸秆不覆盖为对照, 各设 3 个重复, 研究土表覆盖不同小麦秸秆量对夏秋茬菠菜产量和土壤肥力的影响。结果表明, 两处理小麦秸秆腐解率分别为 67.48%、62.91%; 两处理和对照折合每 666.7 m² 产量分别为 8 624 kg、8 142 kg、8 025 kg; 处理植株粗纤维含量显著下降, 处理黄酮含量高于对照, 提高植株品质; 两处理植株全磷、全钾含量均高于对照。种植后两处理土壤有机碳含量较种植前分别上升 4.29%、1.18%, 对照下降 5.01%, 有效缓解了有机碳含量的下降; 处理土壤硝酸盐含量下降, 速效磷、速效钾含量上升, 其中 37.50 t/hm² 覆盖较对照上升 48.01%; 种植后两处理土壤蔗糖酶活性均下降, 但降幅明显低于对照, 22.50 t/hm² 覆盖处理的脲酶和酸性磷酸酶活性均上升, 说明小麦秸秆覆盖能改善土壤的酶活性。

关键词: 大棚; 小麦秸秆; 菠菜; 产量; 腐解率; 植株品质; 土壤肥力

中图分类号: S154.4

文献标识码: A

文章编号: 2096-5877(2023)03-0112-06

Effects of Soil Surface Covered with High Amount of Wheat Straw on Yield and Quality of Water Spinach and Soil Fertility

ZHANG Yongxian¹, JIANG Jiezheng^{2*}, XIE Mengwei², QIAN Jiayu², ZHANG Hao², LI Dongsheng², LIU Hui²

(1. Jiangdu Agricultural Technology Integrated Service Center, Yangzhou 225009; 2. Aquatic Vegetable Lab. of Yangzhou University, Yangzhou 225009, China)

Abstract: In order to investigate the optimal amount of wheat straw coverage in facility rice fields. Plastic cultivation boxes were utilized for water spinach planting inside a greenhouse, with wheat straw volumes of 22.50 t/ha and 37.50 t/ha implemented as soil surface coverings in comparison to a control group without straw coverage. Three replicates were performed for each set. This study was conducted to study the effects of different soil straw mulching on the yield and soil fertility of summer and autumn water spinach. The results showed that the decomposing rates of wheat straw were 67.48% and 62.91% in 22.50 t/ha and 37.50 t/ha straw covering treatments, respectively. The total yield of the two treatments was higher than the control. The yield of the two treatments and control were 8 624, 8 142, 8 025 kg, respectively. The content of flavonoids in treatment was higher than that in control, and the quality of plant was improved; the content of total phosphorus in both treated plants was higher than that in the treated plants. Post-harvest soil organic carbon content of the two treatments increased by 4.29% and 1.18%, respectively, and the control decreased by 5.01%, which effectively alleviated the decrease of organic carbon content caused by plant growth and absorption; the nitrate content of the treated soil decreased after planting. The content of available P and K increased, and the coverage of 37.50 t/ha increased by 48.01% compared with the control. The activity of invertase in the two treatments decreased after planting, but the decrease was significantly lower than that of the control 22.50 t/ha. The urease and acid phosphatase activities increased, suggesting that wheat straw mulching can boost soil enzymatic activity.

Key words: Greenhouse; Wheat straw; Water leek; Yield; Decomposition rate; Plant quality; Soil fertility

收稿日期: 2020-05-01

基金项目: 江苏省科技攻关项目(BE2017380); 江苏现代农业(蔬菜)产业技术体系项目(JATS[2019]455)

作者简介: 张永仙(1995-), 女, 硕士, 主要从事水生蔬菜栽培生理研究。

通讯作者: 江解增, 男, 博士, 教授, E-mail: jzjiang@yzu.edu.cn

随着集约化种植程度的不断提高,连作障碍现象日益凸显,作物减产,病原性有害生物增多以及有益微生物数量减少等,造成了土壤生态系统退化^[1],严重制约了现代农业的可持续发展。周增辉等^[2]研究发现常规旱生设施园艺基地利用水生蔬菜开展水旱轮作对治理土壤盐渍化具有明显效果。农作物秸秆富含有机碳和矿物质营养素,许多国家建议农民将秸秆纳入土壤中以提高土壤肥力,减轻土壤退化并提高养分利用效率^[3]。研究发现秸秆还田能够提高土壤盐分淋失,增加土壤微生物的生物量和活性,降低土壤盐分^[4-5]。小麦秸秆还田是补充钾肥以增加作物产量并阻止土壤钾素减少的有效措施^[6],长期秸秆还田能够提高作物产量,提高土壤有机质含量^[7],提高全氮、有效磷、速效钾含量^[8-9];秸秆覆盖产生的土壤热液条件还增强了土壤脲酶的活性^[10-11];农业农村部发布的《农业绿色发展技术导则(2018-2030年)》中也提出重点研发“作物秸秆还田土壤增碳技术、有机物还田及土壤改良培肥技术、稻麦秸秆综合利用及肥水高效技术、盐渍化及酸化瘠薄土壤治理与地力提升技术、土壤连作障碍综合治理及修复技术等”。

在以 5 t/hm² 和 7 t/hm² 施用小麦秸秆覆盖下,试验第 1 年和第 2 年的腐解率分别达 51.36% 和 50.51%,小麦秸秆的氮磷钾养分释放率显著高于油菜秸秆,小麦秸秆覆盖的水稻干物质积累量高于无秸秆覆盖^[12]。实验室前期研究表明,15 t/hm² 和 22.50 t/hm² 秸秆覆盖均能提高作物产量,改善土壤肥力,达到了很好的秸秆还田效应^[13-14]。因此,本试验在实验室研究基础上,在夏秋季种植耐炎热,性喜温暖、湿润气候,对土壤适应性强的水薺菜(购买于种子商店),加大小麦秸秆覆盖量至 22.50 t/hm² 和 37.50 t/hm²,研究高量覆盖小麦秸秆对薺菜植株产量和品质以及对土壤肥力的影响,以期寻求更为适宜的秸秆覆盖量。

1 材料与方 法

选用扬州大学农学院试验田的扬麦 16 号小麦秸秆,将秸秆从中间一截两段,在塑料栽培箱内装常规园土 20 cm,按 22.50 t/hm² (折合每箱 450 g) 和 37.50 t/hm² (折合每箱 750 g) 覆盖量均匀覆盖于塑料栽培箱(长×宽×高=500 mm×370 mm×320 mm)土表,以秸秆不覆盖为对照,各设 3 次重复。试验于 2017 年 6 月 4 日开始播种育苗薺菜,6 月 11 日箱内施基肥 150 kg/hm² 复合肥和 375 kg/hm² 尿

素,6 月 18 日开始加水浸泡小麦秸秆,7 月 7 日移栽薺菜。试验根据茬口共计栽培 111 d,期间根据长势于 2017 年 9 月 19 日追施 75 kg/hm² 尿素一次,分别于 2017 年 7 月 24 日、8 月 8 日、8 月 26 日、9 月 26 日采收共收取 4 次薺菜,地上部分测产,植株和土壤留样处理参考严吴炜的方法^[15]。小麦秸秆未完全腐解的部分取出洗净晒干称重测定腐解率。在浸泡秸秆后的第 30 min,第 1、2、3、4、5、6、7、8、9、10、12、14、16、18、21、22、23、24、25、26、27、30、35、44 d 取土壤表层溶液测定电导率及氧化还原电位。

土表溶液电导率及氧化还原电位使用电导率测试仪和氧化还原电位测试仪测定;土壤有机质采用重铬酸钾容量法-外加热法测定;土壤、植株全氮采用 H₂SO₄-H₂O₂ 消煮测定;土壤全磷采用 NaOH 熔融-钼锑抗比色法测定;土壤全钾采用 NaOH 熔融-火焰光度法测定;土壤速效钾采用 NH₄OAc 浸提-火焰光度法测定;以上指标测定均按《土壤农化分析》^[16] 的方法进行。土壤硝态氮测定采用紫外分光光度法^[17];土壤速效磷测定采用 Olsen 法^[18];土壤蔗糖酶活性测定采用 3,5-二硝基水杨酸比色法^[19],脲酶活性测定采用靛酚蓝比色法^[20],土壤酸性磷酸酶活性测定采用苯磷酸二钠比色法^[20]。维生素 C(Vc)、可溶性蛋白、可溶性糖按邹琦^[21] 的方法测定;总黄酮、总酚、DPPH 的抗氧化性按陈亮等^[22] 的方法测定。粗纤维按 GB/T 5009.10-2003 的方法测定。黄酮、总酚、DPPH 自由基清除率按陈亮等^[22] 的方法测定。

用 Excel 2007 和 DPS 7.05 软件进行数据整理与分析。

2 结果与分析

2.1 不同小麦秸秆还田量土表溶液电导率及氧化还原电位的变化

由图 1 可见,土表覆盖 22.50 t/hm²、37.50 t/hm² 小麦秸秆并栽植薺菜,土壤表层溶液电导率分别表现为第 1 天快速上升至 1 389.67 μ S/cm 和 1 647 μ S/cm,第 2 天后趋缓,并在第 4 天达到最大值 1 721.67 μ S/cm 和 2 490 μ S/cm,之后先迅速下降,而后缓慢下降,最终趋于稳定。且 37.5 t/hm² 处理电导率值始终高于 22.50 t/hm² 处理,而且两个处理的电导率峰值明显高于严吴炜^[15] 夏季 7.50 t/hm² 试验的峰值 1 394 μ S/cm,37.50 t/hm² 覆盖处理的峰值 2 490 μ S/cm 也显著高于谢梦薇^[13] 15 t/hm² 覆盖峰值 1 440 μ S/cm,说明土壤表层溶液电导率随着秸秆量增

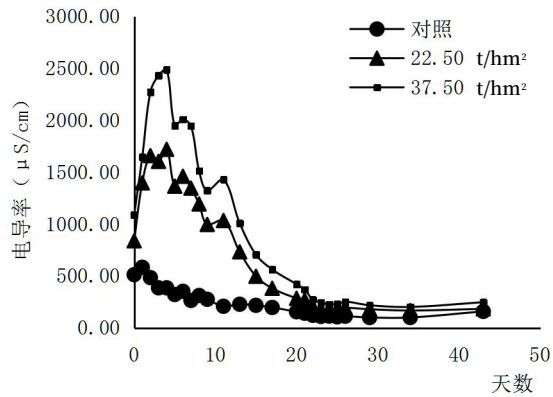


图1 不同秸秆覆盖量对土壤表层溶液电导率的影响

加而增大。第11天出现的一次电导率跃变可能是温度突然升高,秸秆腐解加快所致。

由图2可见,土壤表层溶液氧化还原电位均表现为前期快速下降,两处理分别于第2天和第1天下降至最低值-270.33 mV和-310 mV后开始上升,说明随着秸秆覆盖量的增加,释放的还原性物质随之增加,之后30天内两处理释放氧化还原电位量均高于对照,第34天后由负变正,说明秸秆释放的氧化还原物质与植株生长所需达到平衡,之后两覆盖处理氧化还原电位值均低于对照,最终趋于一致。

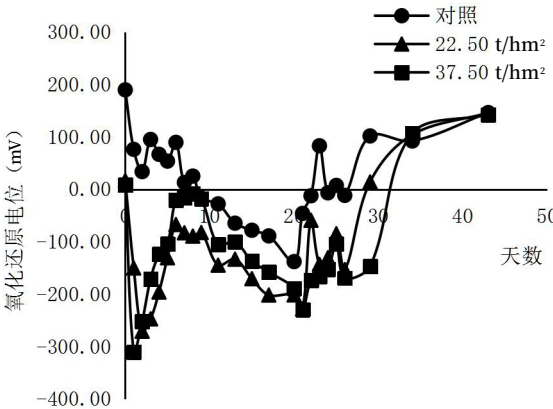


图2 不同秸秆覆盖量对土壤表层溶液氧化还原电位的影响

2.2 小麦秸秆腐解率

由表1可见,经过111天的腐解,22.50 t/hm²覆盖小麦秸秆腐解率为67.48%,37.50 t/hm²覆盖小麦秸秆腐解率为62.91%,高于经过80天的7.5 t/hm²小

表1 小麦秸秆腐解情况

覆盖量(g)	种植后剩余秸秆量(g)	腐解率(%)
750	278.17±21.11a	62.91±2.81a
450	146.33±4.33b	67.48±0.96a

注:表中数据后不同小写字母表示差异显著(P<0.05),下同

麦秸秆覆盖量下腐解率55.7%^[23],说明在设施高温高湿环境下加大秸秆覆盖量仍有较高腐解率。

2.3 土表覆盖不同小麦秸秆量对植株产量的影响

由图3可知,4次采收对照、37.50 t/hm²、22.50 t/hm²覆盖每667 m²总产量分别达8 025 kg、8 142 kg、8 624 kg,两处理较对照分别增产1.46%、7.46%,说明土表覆盖小麦秸秆能够达到增产的效果。22.50 t/hm²覆盖处理除第1次外均高于对照,其中第1次采收两处理均低于对照,可能是由于秸秆前期腐解需要消耗大量的氮,而与植株产生了争氮现象。第2次采收22.50 t/hm²覆盖高于对照,37.50 t/hm²覆盖仍低于对照,但第3次和第4次采收两处理高于对照。

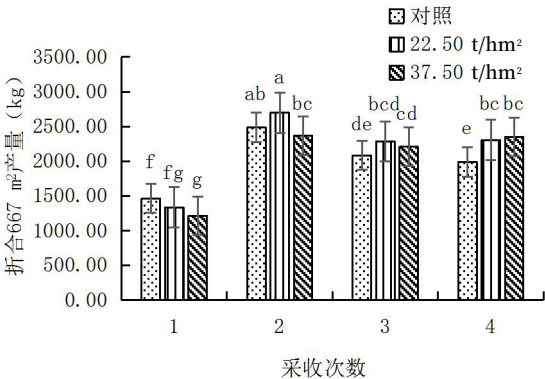


图3 土表覆盖不同小麦秸秆量对植株产量的影响

2.4 土表覆盖不同小麦秸秆量对植株产量及养分的影响

由表2可见,植株全氮含量第2、4次采收两处理均高于对照,第3次两处理低于对照,可能是高温季节秸秆快速腐解消耗氮,使得植株缺氮引起的。22.50 t/hm²处理的植株全氮含量在第3、4次采收略高于37.50 t/hm²处理,但差异不显著。22.50 t/hm²覆盖植株全磷含量第3、4次采收均高

表2 土表覆盖不同小麦秸秆量对植株产量及养分的影响

采收次数	处理	全氮(N) (g/kg)	全磷(P ₂ O ₅) (g/kg)	全钾(K ₂ O) (g/kg)
2	37.50 t/hm²	1.29±0.06d	1.97±0.13a	3.23±0.3e
	22.50 t/hm²	1.29±0.03d	1.78±0.08a	3.58±0.18de
	对照	1.22±0.02d	1.92±0.1a	3.24±0.26e
3	37.50 t/hm²	2.00±0.09bc	1.04±0.06c	10.79±0.28a
	22.50 t/hm²	2.10±0.09ab	1.06±0.03c	8.62±0.3b
	对照	2.31±0.16a	1.03±0.01c	3.05±0.07e
4	37.50 t/hm²	1.87±0.07c	1.23±0.13bc	6.44±0.35c
	22.50 t/hm²	1.91±0.05bc	1.4±0.06b	6.21±0.24c
	对照	1.79±0.04c	1.23±0.02bc	4.24±0.18d

于对照。植株全钾含量两处理均高于对照,其中第3、4次差异显著,且37.50 t/hm²覆盖处理的植株全钾含量均高于22.50 t/hm²处理,说明秸秆腐解会释放大量的钾,且随着秸秆还田量的增加而增加。

2.5 土表覆盖不同小麦秸秆量对蔬菜品质的影响

由表3可以看出,粗纤维含量随着时间的推移逐渐减少,37.50 t/hm²处理降幅较22.50 t/hm²处

理和对照大,说明秸秆覆盖量越大,越能促进植株粗纤维的降低,口感越好。可溶性糖含量第2次采收两处理均高于对照,黄酮含量3次采收两处理均较对照高,总酚含量第2次采收两处理均高于对照,后面两次无显著差异。3次采收DPPH无明显差异,但37.50 t/hm²秸秆覆盖处理DPPH均高于22.50 t/hm²处理和对照。说明秸秆覆盖能够提高植株品质。

表3 土表覆盖不同小麦秸秆量对蔬菜品质的影响

采收次数	处理	粗纤维 (mg/g·FW)	可溶性糖 (mg/g·FW)	黄酮 (mg/g·FW)	总酚 (mg/g·FW)	DPPH (%)
2	37.50 t/hm ²	1.51±0.04a	13.33±0.58a	2.33±0.34a	11.47±1.26a	84.54±1.55a
	22.50 t/hm ²	1.39±0.07b	11.06±0.68ab	2.37±0.43a	11.06±0.82a	81.69±1.87ab
	对照	1.24±0.02c	10.99±1.10b	1.96±0.16ab	7.69±0.77b	83.66±1.05a
3	37.50 t/hm ²	1.11±0.05cde	7.33±0.51d	1.64±0.05b	5.54±0.21bc	82.13±0.94ab
	22.50 t/hm ²	1.07±0.06e	7.83±0.29d	1.54±0.12b	5.37±0.46c	79.50±0.86b
	对照	1.08±0.01e	10.32±1.46bc	1.41±0.09b	6.48±0.43bc	80.92±1.83ab
4	37.50 t/hm ²	1.21±0.02cd	8.06±0.36cd	1.51±0.18b	4.38±0.99c	84.10±0.96a
	22.50 t/hm ²	1.04±0.04e	8.20±0.56cd	1.47±0.13b	5.66±1.10bc	82.35±0.48ab
	对照	1.10±0.04de	8.87±0.70bcd	1.45±0.05b	5.09±0.32c	83.44±0.72a

2.6 土表覆盖不同小麦秸秆量对土壤养分的影响

由表4可以看出,土壤有机碳含量两处理均上升,对照下降,其中37.50 t/hm²覆盖上升最多,与对照差异显著,说明秸秆还田能够增加土壤有机碳含量。土壤全氮含量较种植前均下降,37.50

t/hm²处理降幅较对照小,速效氮含量种植后处理和对照均下降,说明淹水栽培能够有效缓解土壤盐渍化。种植后土壤全磷含量均下降,差异不显著;种植后速效磷含量处理和对照均上升。土壤全钾含量22.50 t/hm²覆盖和对照下降,37.50 t/hm²

表4 土表覆盖不同小麦秸秆量对土壤养分的影响

处理	有机碳 (g/kg)	全氮 (g/kg)	速效氮 (mg/kg)	全磷 (P ₂ O ₅ g/kg)	速效磷 (mg/kg)	全钾 (K ₂ O mg/g)	速效钾 (mg/kg)
种植前	37.50 t/hm ²	11.42±0.32a	1.22±0.01a	1655.36±55.11b	3.22±0.06a	336.92±4.61ab	23.14±0.44b
	22.50 t/hm ²	9.78±0.09b	1.19±0.03a	1673.35±25.58b	3.22±0.03a	277.88±39.92b	31.33±1.03a
	对照	9.3±0.66b	1.11±0.06a	1983.75±30.69a	3.23±0.01a	305.76±13.43ab	31.22±1.1a
种植后	37.50 t/hm ²	12.7±0.71a	1.19±0.01a	481.45±10.69c	3.08±0.03a	349.88±4.33a	24.14±0.98b
	22.50 t/hm ²	11.91±0.28a	0.87±0.03b	481.45±16.64c	3.19±0.06a	356.95±4.42a	23.84±0.67b
	对照	8.98±0.31b	0.88±0.04b	478.41±16.68c	3.15±0.19a	333.94±10.16ab	31.01±0.9a

覆盖上升,速效钾含量较种植前上升,可能是箱内钾下沉,速效钾吸附于土壤表层引起的,且37.50 t/hm²处理速效钾增幅显著大于22.50 t/hm²处理,说明秸秆释放钾量随着秸秆还田量的增加而增加。

2.7 土表覆盖不同小麦秸秆量对土壤酶活性的影响

由表5可以看出,种植后,两处理土壤蔗糖酶活性均下降,22.50 t/hm²覆盖处理的脲酶和酸性磷酸酶活性均上升,说明秸秆覆盖能改善土壤的酶活性。两处理蔗糖酶活性降幅明显低于对照,可

表5 土表覆盖不同小麦秸秆量对土壤酶活性的影响

处理	蔗糖酶 [mg/(g·d)]	脲酶 [μg/(g·d)]	酸性磷酸酶 [μg/(g·d)]
种植前	37.50 t/hm ²	89.57±15.44a	360.58±8.35a
	22.50 t/hm ²	50.85±10.77b	336.77±19.97a
	对照	52.02±11.10b	357.34±34.62a
种植后	37.50 t/hm ²	6.99±1.58c	338.27±31.46a
	22.50 t/hm ²	6.37±0.78c	379.58±26.20a
	对照	4.98±1.14c	347.80±33.29a

能是由于秸秆腐解产生大量的碳和氮,提高了土壤碳素与氮素的供应水平,有利于土壤微生物活性的提高,减弱了酶活性的降低。

3 小结与讨论

本试验在大棚内覆盖小麦秸秆并种植蔬菜,经过夏秋茬口共 111 天的腐解,22.50 t/hm² 和 37.50 t/hm² 覆盖的小麦秸秆腐解率分别达 67.48%、62.91%,高于小麦秸秆土表植株行间覆盖还田一年后腐解率为 51.36 % 的结果^[12]。37.50 t/hm² 处理腐解率低于 22.50 t/hm² 处理,这可能是由于在同一施肥水平下,过高的秸秆覆盖导致土壤碳氮比提高,土壤中没有足够的氮素供微生物繁殖生长,微生物的数量和活性降低所致^[24],可考虑在下季试验中增施氮肥调节碳氮比。本试验结果表明在设施高温高湿环境下,能显著提高小麦秸秆腐解率,且在加大覆盖量时腐解率仍较高。37.50 t/hm²、22.50 t/hm² 覆盖 4 次采收总产量较对照分别增产 1.46%、7.46%,说明土表覆盖小麦秸秆能够达到增产的效果,这与郑金玉等^[25]研究结果一致。两处理植株粗纤维含量显著下降,两处理黄酮、全磷、全钾含量高于对照,第 2、3 次采收植株硝态氮含量处理均低于对照,说明秸秆还田能够降低植株内硝酸盐含量,提高植株品质。

试验结果表明,两个处理的电导率峰值显著高于对照,37.50 t/hm² 处理的电导率峰值 2 490 μS/cm 显著高于谢梦薇^[13]1 000 kg/666.7 m² 水稻秸秆覆盖峰值 1 440 μS/cm 和李换平^[14]1 000 kg/666.7 m² 小麦秸秆覆盖的峰值 1 806 μS/cm,说明随着小麦秸秆覆盖量的增加,小麦秸秆腐解释放的养分离离子也大幅增加。同时在处理与对照等量施肥的情况下,小麦秸秆 37.50 t/hm²、22.50 t/hm² 覆盖蔬菜总产量分别较对照增产 1.46%、7.46%,表明小麦秸秆覆盖达到了作物增产的效果,Yordanova 等^[26]研究也有此发现。

土壤有机碳是土壤有机质的主要成分,在养分供应方面起着重要作用,并改善了土壤的生物和物理特性^[27]。本试验结果表明,种植后两处理土壤有机碳含量均上升,Xie 等,Choudhury 等^[28-29]研究也发现秸秆还田能够提高土壤有机碳含量。其中 22.50 t/hm² 覆盖涨幅大于 37.50 t/hm² 覆盖,这与白建忠等^[30]研究结果类似,秸秆还田对年际间土壤有机质提升并不呈叠加效应,且土壤有机质含量也不随秸秆还田量增加而同步增加。秸秆覆盖还提高了土壤速效磷、速效钾含量,说明秸秆腐解

释放了大量养分离离子,不仅供植株吸收,还改善了土壤性质,可考虑在下茬减少磷钾肥的施用。

土壤酶作为一个敏感指标,能够反映土壤质量在时间序列或各种不同条件下的变化,已被视为与土壤管理和农业实践中 SOC 变化相关的最重要的土壤质量指标之一^[31]。本试验种植后,两处理土壤蔗糖酶活性均下降,可能是淹水栽培抑制了土壤酶活性。22.50 t/hm² 覆盖处理的脲酶和酸性磷酸酶活性均上升,这与 Guan 等^[32]研究结果一致。37.50 t/hm² 覆盖处理的脲酶和酸性磷酸酶活性均下降,这可能与秸秆还田量有关,Wu 等^[33]也得到了同样结果。肖嫩群等^[34]研究发现,不同的稻草还田量对土壤微生物数量、微生物活度、土壤酶活性以及土壤微生物作用强度的影响存在差异。

综上所述,在设施高温高湿的环境下,加大小麦秸秆覆盖量,仍能有较高的腐解率,且能提高蔬菜的产量和品质,显著改善土壤性质。又因其腐解不充分,接下来可考虑研究小麦秸秆覆盖对旱作蔬菜的腐解后效应,实现秸秆的充分腐解,或可在下次试验增施氮肥调节碳氮比,减少前期秸秆腐解与植株争氮现象,提高秸秆资源利用效率,更好地推进农业绿色发展。

参考文献:

- [1] Ning L, Deng K Y, Y S, et al. Variation of rhizosphere bacterial community in watermelon continuous mono-cropping soil by long-term application of a novel bioorganic fertilizer[J]. Microbiological Research, 2014, 169: 7-8.
- [2] 周增辉,张娜,徐媛,等.设施水旱轮作对盐渍化土壤盐分的影响[J].扬州大学学报(农业与生命科学版),2015, 36(2):63-67.
- [3] Dolan M S, Clapp C E, Allmaras R R, et al. Soil organic carbon and nitrogen in a Minnesota soil as related to tillage: residue and nitrogen management[J]. Soil & Tillage Research, 2006, 89: 221-231.
- [4] Zhao Y G, Li Y Y, Wang J, et al. Buried straw layer plus plastic mulching reduces soil salinity and increases sunflower yield in saline soils[J]. Soil & Tillage Research, 2016, 155: 363-370.
- [5] Xie W J, Wu L F, Wang J S, et al. Effect of salinity on the transformation of wheat straw and microbial communities in a saline soil Commun[J]. Soil Science and Plant Analysis, 2017, 48: 1455-1461.
- [6] 刘武仁,郑金玉,罗洋,等.秸秆循环还田土壤环境效应变化研究[J].吉林农业科学,2015,40(1):32-36.
- [7] Chen Z M, Wang H Y, Liu X W, et al. Changes in soil microbial community and organic carbon fractions under short-term straw return in a rice-wheat cropping system[J]. Soil & Tillage Research, 2017, 165: 121-127.
- [8] Xiu L Q, Zhang W M, Sun Y Y, et al. Effects of biochar and

- straw returning on the key cultivation limitations of Albic soil and soybean growth over 2 years[J]. *Catena*, 2019, 173: 481–493.
- [9] Dossou-Yovo E R, Brüggemann N, Ampofo E, et al. Combining no-tillage, rice straw mulch and nitrogen fertilizer application to increase the soil carbon balance of upland rice field in northern Benin[J]. *Soil & Tillage Research*, 2016, 163:152–159.
- [10] Yang K Y, Wu G, Mo P A, et al. The combined effects of maize straw mulch and no-tillage on grain yield and water and nitrogen use efficiency of dry-land winter wheat (*Triticum aestivum* L.)(J). *Soil & Tillage Research*, 2020, 197:104485.
- [11] Akhtar K, Wang W Y, Ren G X, et al. Integrated use of straw mulch with nitrogen fertilizer improves soil functionality and soybean production[J]. *Environment International*, 2019, 132: 105092.
- [12] Feng J Y, Sun Y J, Xu H, et al. The effect of straw mulch on nitrogen, phosphorus and potassium uptake and use in hybrid rice [J]. *Paddy and Water Environment*, 2019, 17: 23–33.
- [13] 谢梦薇. 设施水田土表稻秸秆的覆盖量对其腐解规律及蔬菜产量品质的影响[D]. 扬州:扬州大学, 2019.
- [14] 李换平. 设施内土表覆盖截段小麦秸秆的腐解效应及水生蔬菜产量品质的影响[D]. 扬州:扬州大学, 2018.
- [15] 严吴炜. 设施浅水土表覆盖水稻秸秆的腐解效应及对蔬菜产量、品质的影响[D]. 扬州:扬州大学, 2017.
- [16] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京:中国农业出版社, 2000: 30–106.
- [17] 宋歌, 孙波, 教剑英. 测定土壤硝态氮的紫外分光光度法与其他方法的比较[J]. *土壤学报*, 2007, 44(2): 288–293.
- [18] 吕贻忠, 李保国. 土壤学试验[M]. 北京:中国农业出版社, 2010: 189–190.
- [19] Frankeberger W T, Johanson J B. Method of measuring invertase activity in soils Plant Soil[J]. *Plant & Soil*, 1983, 74(3): 301–311.
- [20] Elsas J D V. Methods of soil analysis Part 2-Microbiological and biochemical properties[J]. *Scientia Horticulturae*, 1995, 63(1): 131–133.
- [21] 邹琦. 植物生理学实验指导[M]. 北京:中国农业出版社, 2000: 110–173.
- [22] 陈亮, 王克勤. 芹菜中总黄酮测定方法的探讨[J]. *四川食品与发酵*, 2006(6): 47–49.
- [23] 张路. 设施水田土表覆盖小麦秸秆对蔬菜及土壤性质的影响[D]. 扬州:扬州大学, 2019.
- [24] Stubbs T L, Kennedy A C, Reisenauer P E, et al. Chemical composition of residue from cereal crops and cultivars in dryland ecosystems[J]. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 2010, 57(3): 717–719.
- [25] 郑金玉, 刘武仁, 罗洋, 等. 秸秆还田对玉米生长发育及产量的影响[J]. *吉林农业科学*, 2014, 39(2): 42–46.
- [26] Yordanova M, Gerasimova N. Effect of mulching on weed infestation and yield of beetroot (*Beta vulgaris* ssp. *rapaceae* *atrorubra* Krass)(J). *Organic Agriculture*, 2016, 6: 133–138.
- [27] Bi L D, Zhang B, Liu G R, et al. Long-term effects of organic amendments on the rice yields for double rice cropping systems in subtropical China[J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2009, 129: 534–541.
- [28] Xie W J, Chen Q F, Wu L F, et al. Coastal saline soil aggregate formation and salt distribution are affected by straw and nitrogen application: A 4-year field study[J]. *Soil & Tillage Research*, 2020, 198:104535.
- [29] Choudhury S G, Srivastava S, Singh R, et al. Corrigendum to “Tillage and residue management effects on soil aggregation, organic carbon dynamics and yield attribute in rice-wheat cropping system under reclaimed sodic soil” [J]. *Soil & Tillage Research*, 2014, 136: 76–83.
- [30] 白建忠, 陈泽, 丁永锋, 等. 秸秆还田量对水旱轮作物产量和土壤肥力的影响[J]. *土壤通报*, 2017, 48(5): 1185–1191.
- [31] Oleszczuk P, Joško, L Futa, et al. Effect of pesticides on microorganisms, enzymatic activity and plant in biochar-amended soil [J]. *Geoderma*, 2014, 214: 10–18.
- [32] Guan X K, Li W, Turner N C, et al. Improved straw management practices promote in situ straw decomposition and nutrient release, and increase crop production[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2020, 250:119514.1–119514.13.
- [33] Wu F P, Jia Z K, Wang S G, et al. Contrasting effects of wheat straw and its biochar on greenhouse gas emissions and enzyme activities in a Chernozemic soil[J]. *Biology and Fertility of Soils*, 2013, 49: 555–565.
- [34] 肖嫩群, 张杨珠, 谭周进, 等. 稻草还田翻耕对水稻土微生物及酶的影响研究[J]. *世界科技研究与发展*, 2008(2): 192–194.

(责任编辑:刘洪霞)