

网络出版时间:2022-01-10 14:05

DOI:10.13207/j.cnki.jnwafu.2022.07.012

网络出版地址:https://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1390.s.20220107.2121.011.html

冬绿肥联合稻秆还田对水稻产量及 稻田土壤肥力的影响

崔月贞,王 吕,吴玉红,郝兴顺,张春辉,秦宇航,吴建静

(汉中市农业科学研究所,陕西 汉中 723000)

[摘 要] **【目的】**研究不同品种冬绿肥联合稻秆还田对汉中盆地水稻产量和土壤肥力的影响,为探索适宜汉中水稻生产的绿色栽培技术提供科学依据。**【方法】**通过连续 2 年定位试验,设置水稻秸秆不还田(WSN)、水稻秸秆还田(WS)、紫云英和稻秆还田(CS)、油菜秸秆和稻秆还田(RS)、毛苕子和稻秆还田(HS) 5 个处理,研究紫云英、毛苕子、油菜、冬闲联合稻秆还田对水稻产量及其构成要素、土壤养分含量、微生物数量和酶活性的影响,并对各因子与水稻产量的关系进行相关性分析。**【结果】**与 WSN 处理相比,冬绿肥联合稻秆还田显著提高了水稻产量,CS、HS 和 RS 处理水稻产量 2 年平均增产 14.51%,14.52%和 8.49%。稻田土壤速效磷、有机质和全氮含量均以 CS 处理最高,且均与 WSN 处理达到差异显著水平。与 WSN 比较,CS、RS 和 HS 处理稻田土壤微生物总量分别增加 70.15%~336.19%,48.57%~183.11%和 57.33%~293.55%,其中 CS 处理显著提高了土壤微生物数量,细菌数量比例上调,而真菌和放线菌数量比例下调,细菌与真菌数量的比值(B/F)升高,有效改善了稻田土壤微生物群落结构。CS 处理土壤脲酶、过氧化氢酶、蔗糖酶、脱氢酶活性显著高于其他处理,较 WSN 处理分别增加 17.69%,3.85%,35.36%和 62.32%。相关性分析表明,水稻产量与土壤速效磷、全氮含量,土壤细菌、放线菌数量及土壤脲酶、过氧化氢酶活性之间呈显著($P<0.05$)或极显著($P<0.01$)正相关。**【结论】**冬季种植紫云英联合稻秆还田有利于提高水稻产量和土壤养分含量,改善土壤微生物群落结构,增强土壤酶活性,是适宜汉中水稻生产的绿色高效栽培种植模式。

[关键词] 水稻;绿肥;秸秆还田;土壤微生物;土壤酶活性

[中图分类号] S154;S142⁺.1

[文献标志码] A

[文章编号] 1671-9387(2022)07-0100-09

Effects of winter green manure cultivation and rice straw retention on rice yield and soil fertility in paddy field

CUI Yuezhen, WANG Lü, WU Yuhong, HAO Xingshun,
ZHANG Chunhui, QIN Yuhang, Wu Jianjing

(Hanzhong Agricultural Science Institute, Hanzhong, Shaanxi 723000, China)

Abstract: **【Objective】** This study investigated the effects of winter green fertilizer combined with straw returning on rice yield and soil fertility to provide basis for exploring green cultivation techniques suitable for rice production in the Hanzhong Basin. **【Method】** There were 5 treatments in this study including winter leisure, rice straw no returning (WSN), winter fallow combined rice straw returning (WS), Chinese milk vetch and rice straw combined returning (CS), rape and rice straw returning (RS), and hairy vetch and rice straw combined returning (HS). The effects of Chinese milk vetch, rape, hairy vetch and winter fallow combined rice straw returning on rice yield and its components, soil nutrient contents, soil mi-

[收稿日期] 2021-08-13

[基金项目] 陕西省农业协同创新与推广联盟项目(LM202001);陕西省科技厅重点研发计划项目(2019ZDLNY01-05-01)

[作者简介] 崔月贞(1990—),女,甘肃天水人,农艺师,主要从事土壤微生物及植物病害研究。E-mail:gsaucuiyuezhen@126.com

[通信作者] 郝兴顺(1966—),男,陕西汉中,推广研究员,主要从事植物营养和土壤质量提升研究。E-mail:372770515@qq.com

croorganisms and enzyme activities were studied, and their correlations were analyzed. 【Result】 The winter green fertilizer combined with rice straw returning significantly increased rice yield in comparison with WSN. The two-year average yields of rice treated with CS, HS and RS were increased by 14.51%, 14.52% and 8.49%, respectively. The CS treatment resulted in highest contents of available phosphorus, organic matter and total nitrogen in paddy soil with significant differences compared to other treatments. Compared with WSN, the total numbers of soil microorganisms in CS, RS and HS were increased by 70.15%—336.19%, 48.57%—183.11% and 57.33%—293.55%, respectively. CS treatment effectively improved the structure of soil microbial community in paddy field by significantly increasing the number of soil microorganisms, increasing the proportion of bacteria, decreasing the proportion of fungi and actinomycetes, and increasing the B/F value. The activities of urease, catalase, sucrase and dehydrogenase in CS treatment were significantly higher than those in other treatments, and they were increased by 17.69%, 3.85%, 35.36% and 62.32% in comparison with WSN, respectively. Correlation analysis showed that there was significant ($P < 0.05$) or very significant positive correlations ($P < 0.01$) between rice yield and soil available phosphorus, total nitrogen content, soil bacteria, actinomycetes, soil urease and catalase activities. 【Conclusion】 Chinese milk vetch combined with rice straw returning was beneficial to increase rice yield and soil nutrient contents, improve soil microbial community structure and enhance soil enzyme activity. Thus, it is suitable for rice production in Hanzhong.

Key words: rice; green manure; returning straw to the field; soil microorganism; soil enzyme

水稻是我国的重要粮食作物,其高产稳产对保障我国粮食安全具有重要意义,但生产中化肥和农药过量施用现象较为普遍^[1],这不仅影响水稻产量和品质的提升,而且造成稻田土壤养分失衡、土壤生产力下降、农业面源污染等问题日益凸显^[2]。因此,寻求绿色高效的培肥措施十分必要。秸秆作为最重要的有机物料,原位直接还田可有效提高土壤肥力,改善土壤结构和耕性^[3-4]。绿肥是一种养分全面、绿色环保的优质生物肥源,翻压还田能够提高土壤有机质、碱解氮等养分含量,增强土壤蔗糖酶、脲酶等的活性,提高土壤微生物数量和微生物群落物种丰富度、优势度,改善土壤微生物环境等,同时冬季种植绿肥具有保水保墒、有效抑制田间杂草生长的功效^[5-6]。秸秆和绿肥联合还田是提高水稻产量、改善土壤理化性质、减少面源污染的重要措施,可以达到“以田养田、以地养地、用养结合”的目的,是一种高效提高土壤生产力和可持续发展的栽培方式^[7-8]。目前关于稻田绿肥和秸秆还田对南方双季稻产量与品质、土壤养分含量、土壤理化性质和土壤结构等方面的研究较多^[9-11]。

汉中是陕西省水稻主产区,也是优质籼稻的适宜生态种植区,常年种植面积 933 万 hm^2 左右,年产稻谷 55 万~60 万 t,占全省水稻种植面积和总产量的 70% 以上,占汉中地区粮食播种面积和总产量的 30% 和 50%^[12-13]。该地区主要种植制度为冬季

种植油菜,存在种植制度较为单一、不够科学合理等问题,加之近年来粮油种植效益低下及劳动力短缺问题,撂荒冬闲田比例呈逐步上升趋势^[14-15],因此冬闲田利用及培肥地力技术急需解决。探索冬季种植绿肥原位还田联合稻秆还田技术,对提高汉中盆地水稻产量、改革单一的种植制度、实行科学的冬绿肥利用和减少农业面源污染具有重要意义。但是关于冬绿肥联合稻秆还田对陕西南部地区水稻生产及稻田土壤微生物和酶活性影响的研究较少,因此本研究通过连续 2 年的定位试验,研究了紫云英、毛茛子、油菜、冬闲联合稻秆还田对水稻籽粒产量及其构成要素、稻田土壤微生物和酶活性的影响,为探索适宜汉中水稻生产的绿色栽培技术提供科学依据,也为陕南水稻生产的可持续发展和耕地质量的提升提供技术支撑。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于陕西省汉中市农业科学研究所韩塘试验基地进行。该地位于 $33^{\circ}08'03''\text{N}$, $107^{\circ}00'40''\text{E}$,海拔约 500 m,属亚热带湿润季风性气候,年平均气温 14°C ,年均降水量 800~1 000 mm,无霜期 235 d,年均日照时数 1 400 h, $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的年积温 $4\,480^{\circ}\text{C}$ 。供试土壤为水稻土,试验前土壤基本理化性质: pH 值 6.58,有机质含量 15.64 g/kg,碱解氮含量 1.24

g/kg,速效钾含量 104.12 mg/kg,速效磷含量17.27 mg/kg。

供试肥料:尿素(质量分数≥46.4%),由四川美丰化工有限公司生产;复合掺混肥(N、P、K 质量比为 19:19:19,总养分质量分数≥57%),由湖北浩斯特化肥有限公司生产。

供试品种:供试水稻品种杂交籼稻‘荃香优 1521’,由汉中市农业科学研究所提供;常规优质籼稻‘黄华占’,由广东省农业科学院水稻研究所提供。供试油菜品种为‘丰油 737’,种子由湖南省农业科学研究所提供;供试紫云英品种‘闽紫 7 号’,种子由福建省农业科学院土壤肥料研究所提供;供试毛苕子品种‘光叶紫花苕’,种子由江苏天之福绿化工程有限公司提供。

1.2 试验设计及田间操作

1.2.1 试验设计 试验于 2018 年 9 月至 2020 年 10 月进行。试验共设置冬闲和稻秆不还田(WSN)、冬闲和稻秆还田(WS)、紫云英和稻秆还田(CS)、油菜和稻秆还田(RS)、毛苕子和稻秆还田(HS) 5 个处理。其中 CS、HS 处理是从 2018 年开始,每年 9 月下旬将毛苕子和紫云英免耕直播,翌年 5 月绿肥作物盛花期原位翻压还田;RS 处理是 9 月下旬播种油菜,5 月上旬油菜收获后秸秆原位翻压还田;稻秆还田处理均是 9 月份水稻收获后秸秆全量粉碎还田;WSN 处理是 9 月份水稻收获后秸秆移出田块。所有处理在水稻季施肥量为 N 180 kg/hm²、P₂O₅ 90 kg/hm²、K₂O 92.5 kg/hm²。

1.2.2 田间操作 试验采用随机区组设计,小区面积为 20 m²(4 m×5 m),每个处理重复 3 次。2019 年供试水稻品种为杂交籼稻‘荃香优 1521’,4 月 15 日育秧,5 月 25 日插秧,株行距 16.5 cm×30.0 cm,9 月 26 日收获。2020 年供试水稻品种为常规优质籼稻‘黄华占’,4 月 16 日育秧,5 月 27 日插秧,移栽密度 16.5 cm×26.5 cm,9 月 24 日收获。各小区间设置田埂隔开,避免水肥相互渗透,田埂宽 0.4 m。试验区区间和四周设有灌溉渠,渠宽 0.5 m。水稻田间栽培管理同当地大田模式。

1.3 测定项目及方法

1.3.1 水稻测产及考种 2019 年 9 月和 2020 年 9 月分别在水稻成熟后收割,各小区调查具有代表性的水稻植株 60 穴,统计有效穗数,随机取 10 穴进行考种,测定穗粒数、千粒质量。各小区四边除去 50 cm,剩余按实收单独脱粒计产。

1.3.2 土壤养分含量、微生物和酶活性测定 (1)

土壤样品采集。在水稻移栽前(2020 年 5 月 26 日)和水稻收获后(2020 年 9 月 29 日)采集土壤样品。采用梅花 5 点取样法,采集 0~20 cm 土层土壤样品,去除可见的植物根系和石砾后混匀,用无菌袋密封。土样分为两部分,一部分过孔径 2.0 mm 筛后,于 4℃冰箱保鲜冷藏,用于土壤微生物数量的测定;另一部分在室内自然风干、磨细,过孔径 1.0 mm 筛备用,用于土壤养分含量和土壤酶活性的测定。

(2)测定指标及方法。土壤有机质含量采用外加热-重铬酸钾容量法^[16]测定,土壤速效磷含量采用 0.5 mol/L NaHCO₃ 浸提-钼锑抗比色法测定,土壤速效钾含量采用 1 mol/L NH₄OAc 浸提-火焰光度法测定,土壤全氮含量采用 1 mol/L KCl 浸提-连续流动分析仪(AA3)测定^[17]。土壤微生物(细菌、真菌、放线菌)数量采用稀释涂平板法测定^[18]。土壤脲酶活性采用苯酚钠-次氯酸钠比色法测定,酶活性以 24 h 后 1 g 土壤中 NH₃-N 的质量(mg)表示;土壤过氧化氢酶活性采用高锰酸钾滴定法测定,酶活性以 24 h 后 1 g 干土消耗 0.1 mol/L KMnO₄ 的体积(mL)表示;土壤蔗糖酶活性采用 3,5-二硝基水杨酸比色法测定,酶活性以 24 h 后 1 g 土生成葡萄糖的质量(mg)表示;土壤脱氢酶活性用氯化三苯基四氮唑(TTC)还原法测定,酶活性以 24 h 后 1 g 土中生成的三苯基甲(TPF)的质量(μg)表示。土壤酶总活性按下式计算。

$$E_t = \sum_{i=1}^n \frac{X_i}{X}$$

式中:X_i表示各种供试土壤第*i*种土壤酶活性的测定值,X表示各供试土壤相同酶活性的平均值,E_t表示土壤酶总活性^[19]。

1.4 数据处理

采用 Microsoft Excel 2010 对试验数据进行处理和绘图,并用 SPSS 12.0 进行方差分析,采用 Duncan 新复极差法对相关数据进行差异显著性检验,采用积距 Pearson 双侧检验法进行相关性分析。

2 结果与分析

2.1 冬绿肥联合稻秆还田对水稻产量及其构成要素的影响

由表 1 可以看出,稻秆还田各处理水稻产量显著高于稻秆不还田处理,绿肥联合稻秆还田处理水稻产量又高于冬闲稻秆还田处理,其中紫云英、毛苕子联合稻秆还田处理水稻产量显著高于其他处理,但二者之间水稻产量差异不显著。2019 年水稻产

量表现为 HS>CS>RS>WS>WSN,其中 HS 处理水稻产量最高,为 10 550.53 kg/hm²,较 WSN 处理增产 14.9%,较 WS 处理增产 8.3%;2020 年水稻产量表现为 CS>HS>RS>WS>WSN,其中 CS 处理水稻产量最高,为 9 315.53 kg/hm²,较 WSN 处理增产 14.1%,较 WS 处理增产 8.9%,差异均显著。可见,冬绿肥联合稻秆还田对水稻产量增产效果明显,并且紫云英和毛苕子联合稻秆还田的增产效果优于油菜联合稻秆还田处理。

由表 1 还可以看出,绿肥联合稻秆还田可以提

表 1 冬绿肥联合稻秆还田对水稻产量及其构成要素的影响

Table 1 Effects of winter green manure cultivation and rice straw returning on yield and yield components of rice					
年份 Year	处理 Treatment	有效穗数/($\times 10^4 \cdot \text{hm}^{-2}$) Effective panicles	穗粒数 Grains perpanicle	千粒质量/g 1 000-grain mass	水稻产量/($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$) Yield
2019	WSN	140.67 $\pm$ 0.36 c	135.64 $\pm$ 23.30 c	30.60 $\pm$ 0.11 a	9 160.45 $\pm$ 64.39 c
	WS	192.24 $\pm$ 0.69 b	143.13 $\pm$ 18.49 b	30.94 $\pm$ 0.13 a	9 417.14 $\pm$ 83.44 b
	CS	201.51 $\pm$ 0.81 ab	158.53 $\pm$ 5.46 a	31.54 $\pm$ 0.36 a	10 450.52 $\pm$ 66.98 a
	RS	197.17 $\pm$ 0.40 b	139.44 $\pm$ 24.9 c	31.51 $\pm$ 0.26 a	9 870.47 $\pm$ 10.34 b
	HS	203.22 $\pm$ 0.82 a	147.95 $\pm$ 24.9 b	30.52 $\pm$ 0.85 a	10 550.53 $\pm$ 43.95 a
2020	WSN	131.67 $\pm$ 0.36 d	125.84 $\pm$ 23.30 c	30.34 $\pm$ 0.08 a	8 105.45 $\pm$ 64.39 c
	WS	187.24 $\pm$ 0.81 c	131.98 $\pm$ 18.49 b	30.94 $\pm$ 0.12 a	8 615.00 $\pm$ 83.44 b
	CS	202.22 $\pm$ 0.82 a	153.36 $\pm$ 5.46 a	30.54 $\pm$ 0.56 a	9 315.53 $\pm$ 43.95 a
	RS	183.17 $\pm$ 0.40 c	145.09 $\pm$ 13.62 b	30.51 $\pm$ 0.34 a	8 853.47 $\pm$ 10.34 b
	HS	190.51 $\pm$ 0.69 b	150.14 $\pm$ 13.62 a	31.52 $\pm$ 0.19 a	9 230.52 $\pm$ 66.98 a

注:同列数据后标不同小写字母表示不同处理间差异显著($P<0.05$)。下表同。
Note:Different lowercase letters indicate significant difference between treatments ($P<0.05$). The same below.

2.2 冬绿肥联合稻秆还田对稻田土壤养分含量的影响

由图 1 可以看出,冬绿肥联合稻秆还田明显提高了稻田土壤养分含量。2020 年 9 月,冬季休闲联合稻秆还田处理的稻田土壤速效钾、速效磷、有机质和全氮含量均显著高于稻秆不还田处理。土壤速效磷和全氮含量均表现为 CS>HS>RS>WS>WSN,CS 处理显著高于 RS、WS 和 WSN 处理,但与 HS 处理差异不显著。土壤有机质含量表现为 CS>RS>HS>WS>WSN,CS 处理显著高于 HS、WS 和 WSN 处理,但与 RS 处理差异不显著。土壤速效钾含量表现为 RS>HS>CS>WS>WSN,RS 处理显著高于 CS、WS 和 WSN 处理,但与 HS 处理差异不显著。可见,冬绿肥联合稻秆还田具有明显增加土壤养分含量的作用,并且以紫云英联合稻秆还田处理效果最好。

相关性分析结果表明,2020 年 9 月土壤速效磷和全氮含量均与水稻产量呈极显著正相关($P<0.01$),相关系数分别为 0.983 和 0.978,土壤速效钾和有机质含量均与水稻产量呈显著正相关($P<0.05$),相关系数分别为 0.921 和 0.896。

高水稻有效穗数和穗粒数。与 WSN 处理相比,2019 年稻秆还田处理水稻有效穗数和穗粒数增幅分别为 40.2%~44.5%和 2.8%~16.9%,2020 年增幅分别为 39.1%~53.6%和 15.3%~21.9%。水稻穗粒数均以 CS 处理最高,其次为 HS,二者较 WSN 分别增加 16.9%~21.9%和 9.1%~19.3%,说明冬种紫云英和毛苕子联合稻秆还田处理可显著增加水稻有效穗数和穗粒数。各处理间水稻千粒质量无显著差异。

2.3 冬绿肥联合稻秆还田对稻田土壤微生物的影响

2.3.1 微生物数量 由表 2 可以看出,冬绿肥联合稻秆还田和水稻生育期明显影响稻田土壤微生物数量。水稻移栽前和水稻收获后,WS 处理稻田土壤微生物总数较 WSN 处理分别增加 99.03%和 28.09%;与 WSN 处理比较,CS、RS 和 HS 处理稻田土壤微生物总数分别增加 70.15%~336.19%,48.57%~183.11%和 57.33%~293.55%。可见,不同冬绿肥联合稻秆还田对土壤微生物总数的提升效果均有显著增强,并且以紫云英联合稻秆还田对土壤微生物总数提升效果最好。

由表 2 还可知,与 WSN 处理比较,CS、HS 和 RS 处理稻田土壤细菌数量在水稻移栽前增幅分别为 348.86%,304.55%和 189.77%,在水稻收获后增幅分别为 73.68%,63.16%和 55.26%。冬绿肥联合稻秆还田对稻田土壤真菌数量有明显抑制作用,在水稻收获后,与 WSN 处理比较,CS、HS 和 RS 处理对稻田土壤真菌数量抑制率分别为 36.99%,16.44%和 13.70%。冬绿肥联合稻秆还田对稻田土壤放线菌数量有一定提高作用,与 WSN 处理比

较,CS、HS 和 RS 处理稻田土壤放线菌数量在水稻移栽前增幅分别为 20.25%,6.90%和 9.36%,在水稻收获后增幅分别为 51.46%,25.00%和 11.04%。可见冬绿肥联合稻秆还田对土壤细菌数量有明显提高作用,并且水稻移栽前的增幅大于收获后。

相关性分析结果表明,水稻移栽前和水稻收获后,土壤细菌和放线菌数量均与水稻产量呈显著正相关($P<0.05$),而土壤真菌数量与水稻产量呈显著负相关($P<0.05$)。

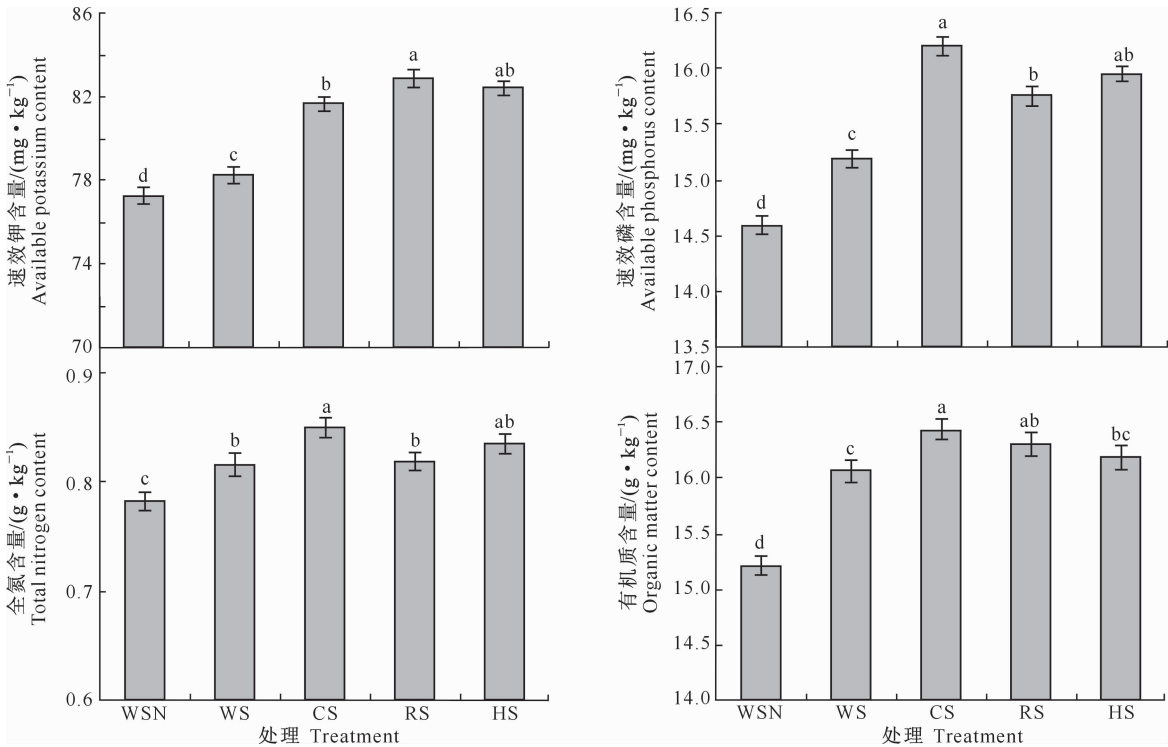


图 1 冬绿肥联合稻秆还田对水稻收获后土壤养分含量的影响

Fig. 1 Effects of winter green manure cultivation and rice straw returning on soil nutrient content after harvest

表 2 冬绿肥联合稻秆还田对稻田土壤微生物数量的影响

Table 2 Effects of winter green manure cultivation and rice straw returning on soil microbial quantity in paddy field

水稻生育期 Rice growth	处理 Treatment	细菌 Bacterial		真菌 Fungi		放线菌 Actinomycetes		微生物总数量 Microbial count	
		活菌数/ (×10 ⁶ cfu· g ⁻¹)	增幅/% Amplification	活菌数/ (×10 ⁴ cfu· g ⁻¹)	增幅/% Amplification	活菌数/ (×10 ⁵ cfu· g ⁻¹)	增幅/% Amplification	活菌数/ (×10 ⁶ cfu· g ⁻¹)	增幅/% Amplification
		Viable count		Viable count		Viable count		Viable count	
水稻移栽前 Before rice transplant	WSN	36.67 e	—	4.60 a	—	13.53 a	—	38.06 e	—
	WS	74.17 d	102.26	4.47 a	—2.90	14.12 a	4.36	75.76 d	99.03
	CS	164.58 a	348.86	4.55 a	—1.09	16.27 a	20.25	166.05 a	336.19
	RS	106.25 c	189.77	4.67 a	1.45	14.80 a	9.36	107.77 c	183.11
	HS	148.33 b	304.55	4.53 a	—1.45	14.47 a	6.90	149.82 b	293.55
水稻收获后 After rice harvest	WSN	15.83 e	—	4.87 a	—	27.47 d	—	18.62 d	—
	WS	20.83 d	31.59	4.70 ab	—3.42	29.80 c	8.50	23.85 c	28.09
	CS	27.50 a	73.68	3.07 c	—36.99	41.60 a	51.46	31.69 a	70.15
	RS	24.58 c	55.26	4.20 ab	—13.70	30.50 c	11.04	27.67 b	48.57
	HS	25.83 b	63.16	4.07 b	—16.44	34.33 b	25.00	29.30 b	57.33

2.3.2 微生物群落结构 土壤微生物中细菌与真菌数量的比值(B/F)可作为土壤肥力的衡量指标,其与土壤养分含量呈显著正相关。由图 2 可以看出,水稻移栽前和水稻收获后,WS 处理 B/F 值显著高于 WSN 处理,CS 处理 B/F 值均显著高于其他各

处理。可见紫云英联合稻秆还田处理对 B/F 值提升效果最好。

相关性分析结果表明,土壤微生物 B/F 值与水稻产量呈正相关,相关系数为 0.83。

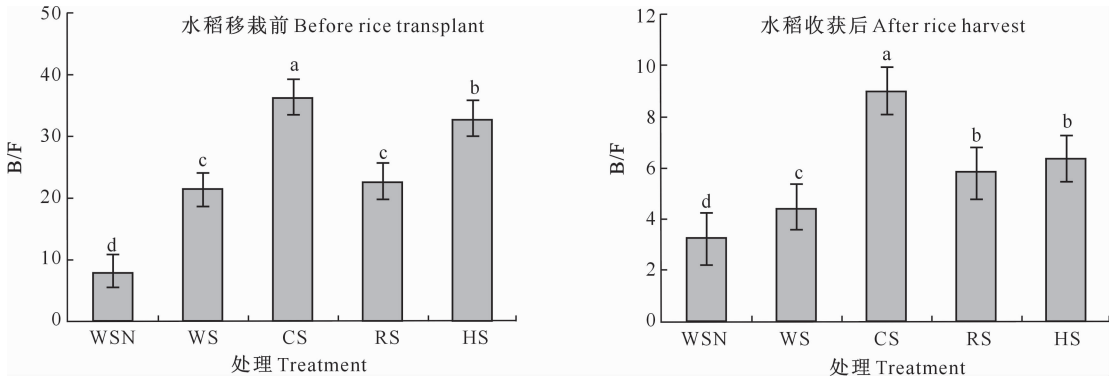


图 2 冬绿肥联合稻秆还田对稻田土壤细菌与真菌数量比值(B/F)的影响

Fig. 2 Effects of winter green manure cultivation and rice straw returning on bacterial/fungi value

由图 3 可以看出,冬绿肥联合秸秆还田对土壤微生物结构有一定的调整作用。水稻移栽前,WS 处理土壤微生物中细菌占比高于 WSN 处理,而土壤真菌、放线菌占比低于 WSN 处理。CS、HS 和 RS 处理土壤细菌占比均显著高于 WSN 处理,而土壤真菌、放线菌占比均低于 WSN 处理,且后者差异显著。水稻收获后,CS、HS 和 RS 处理土壤细菌占比均显著高于 WSN 处理,而土壤真菌、放线菌占比均低于 WSN 处理,且后者差异显著。可见,冬绿肥联合稻秆还田提高了土壤细菌比例,降低了真菌和放线菌比例,将土壤微生物由真菌型结构向细菌型结构调整,有效地改善了土壤微生物群落结构。

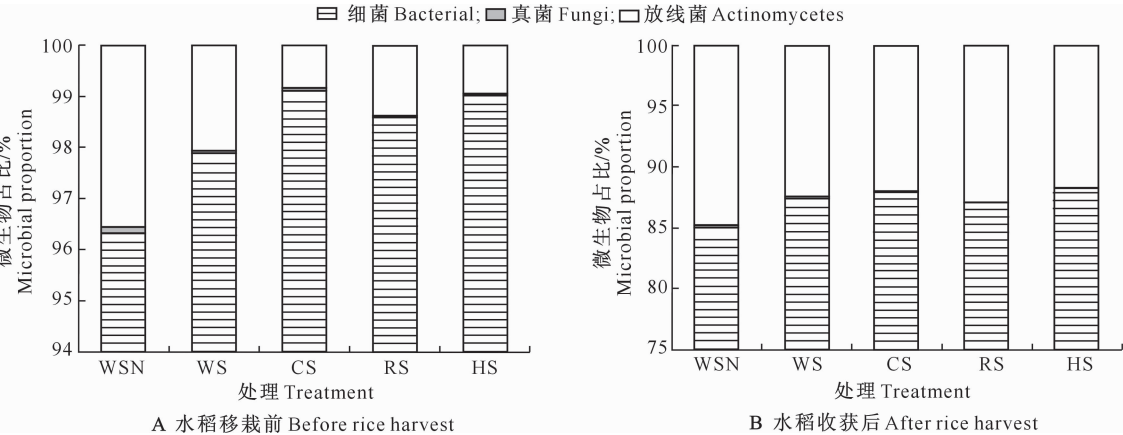


图 3 冬绿肥联合稻秆还田对稻田土壤微生物比例的影响

Fig. 3 Effects of winter green manure cultivation and rice straw returning on microbial proportion in paddy soil

2. 4 冬绿肥联合稻秆还田对稻田土壤酶活性的影响

由表 3 可以看出,冬绿肥联合稻秆还田显著影响土壤酶活性。水稻收获后,与 WSN 处理比较,CS、HS 和 RS 处理稻田土壤酶总活性分别增加 27.29%,21.96%和 19.81%。CS 处理土壤脲酶、

过氧化氢酶、蔗糖酶、脱氢酶活性均显著高于其他处理,较 WSN 处理分别增加 17.69%,3.85%,35.36%和 62.32%。可见,冬绿肥联合稻秆还田对土壤酶活性具有明显增强作用,并且紫云英联合稻秆还田的增强效果最好。

表 3 冬绿肥联合稻秆还田对水稻收获后土壤酶活性的影响

Table 3 Effects of winter green manure cultivation and rice straw returning on soil enzymes activities after rice harvest

处理 Treatment	脲酶活性/ ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$) Urease activity	过氧化氢酶活性/ ($\text{mL} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$) Catalase activity	蔗糖酶活性/ ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$) Catalase activity	脱氢酶活性/ ($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$) Dehydrogenase activity	酶总活性 Total activity
WSN	26.74±8.12 d	10.74±9.42 b	4.79±0.45 c	0.79±0.01 d	3.44±0.12 d
WS	27.30±6.34 c	10.82±9.36 b	6.19±0.94 b	0.97±0.03 c	3.87±0.34 c
CS	31.47±7.66 a	11.15±4.21 a	6.48±0.78 a	1.28±0.04 a	4.38±0.25 a
RS	29.18±9.35 b	10.83±4.87 b	6.22±0.62 b	1.16±0.01 b	4.12±0.16 b
HS	29.92±6.54 ab	10.89±3.87 b	6.34±0.89 b	1.19±0.02 b	4.19±0.19 b

相关性分析结果表明,水稻收获后土壤过氧化氢酶、脲酶活性与水稻产量呈显著正相关($P < 0.05$),土壤蔗糖酶、脱氢酶活性与水稻产量呈正相关。

3 讨 论

研究表明,绿肥与稻草联合还田能够提高南方双季稻产量^[20],这与本研究中紫云英和毛苕子联合稻秆还田能够提高汉中盆地水稻产量的结果一致。本研究结果显示,水稻有效穗数和穗粒数以紫云英联合稻秆还田处理最高,相关性分析结果表明,水稻籽粒产量与有效穗数和穗粒数呈显著正相关,这与廖育林等^[21]的研究结果一致,说明紫云英联合稻秆还田主要通过促进水稻有效穗数和穗粒数的增加来达到水稻籽粒产量提高的目的。

绿肥和秸秆还田均能提高土壤质量,稻草高茬-紫云英联合还田具有提升土壤养分、改善土壤肥力的作用^[22]。本研究中,绿肥联合稻秆还田能够明显提高土壤有机质、速效钾、速效磷和全氮含量,其中紫云英联合稻秆还田处理土壤的速效磷、有机质和全氮含量高于其他各处理,表明紫云英的培肥作用比油菜、毛苕子联合稻秆还田或者单独稻秆还田更强。

微生物作为土壤微生态环境中生理活性最强的部分之一,在营养元素的循环利用、土壤肥力的保持与提高等方面有着极其重要的作用^[23]。本研究结果表明,紫云英联合稻秆还田可显著提高土壤细菌、放线菌和微生物总量,这与杨曾平等^[24]就长期种植绿肥对红壤性稻田土壤微生物影响的研究结果一致。本研究发现,在水稻移栽前,紫云英和毛苕子联合稻秆还田处理可有效改善稻田土壤微生物群落结构,在土壤微生物总量中细菌比例上调,而真菌和放线菌比例下调,B/F 值升高。这可能是由于紫云英和毛苕子与稻秆还田后降低了土壤 C/N,提高了土壤养分含量,这不仅促进了水稻地上部和根系生长,同时为土壤微生物繁殖提供了充足的碳源,促进了土壤细菌的繁殖,抑制了土壤真菌数量的增加,使土壤微生物由真菌型向细菌型结构调整,从而达到改善土壤微生物环境的效果。本研究还发现,在水稻移栽前和收获后,紫云英联合稻秆还田处理的 B/F 值高于其他处理,说明紫云英具有持续改善土壤微生物群落结构、提高土壤生物活性的作用,较毛苕子和油菜更具潜在优势,但其具体如何发挥作用还有待进一步探索。

土壤酶主要由土壤动物、根系产生,或来自残体分解和土壤微生物代谢过程,其活性高低能反映出土壤的生物活性和生化反应强度。土壤酶活性与土壤肥力和土壤健康状况密切相关,是衡量土壤生态环境质量的重要生物学指标^[25-26]。刘国顺等^[27]研究表明,连年翻压绿肥可显著增加土壤酶活性,这与本研究结果一致,原因可能在于绿肥根系在生长过程中对土壤形成穿刺效应,根老化凋亡后,土壤形成很多微孔隙,秸秆还田腐解后也能增加土壤的孔隙度,在改善土壤根系通透性方面两者起到双重作用,有效增强了土壤含氧量,从而提高了土壤酶活性。由相关性分析可知,土壤脲酶和过氧化氢酶活性与水稻籽粒产量呈显著正相关,说明紫云英联合稻秆还田主要通过增加土壤脲酶和过氧化氢酶活性,从而提高了土壤的生物活性,进一步促进了水稻籽粒产量的增加。

4 结 论

冬绿肥联合稻秆还田有利于水稻产量增加,以及耕层土壤速效钾、速效磷、有机质和全氮含量的积累。冬绿肥联合稻秆还田显著提高了土壤微生物总数,使土壤细菌比例上调,而真菌和放线菌比例下调,有效地改善了土壤微生物群落结构。冬绿肥联合稻秆还田有利于土壤脲酶、脱氢酶、蔗糖酶活性的增强。紫云英联合稻秆还田表现效果最佳,毛苕子和油菜联合稻秆还田表现相当。因此,冬种紫云英联合稻秆还田有利于水稻产量增加和土壤养分含量提升,同时有利于土壤微生物群落结构改善和土壤酶活性增强,为适宜汉中地区水稻生产的绿色高效栽培种植模式。

[参考文献]

- [1] 李 峰,周方亮,黄雅楠,等.紫云英和秸秆还田对土壤肥力性状的影响[J].中国土壤与肥料,2020(3):75-81.
Li F, Zhou F L, Huang Y N, et al. Effects of Chinese milk vetch and straw returning on soil fertility characters [J]. Soils and Fertilizers Sciences in China, 2020(3): 75-81.
- [2] 唐海明,肖小平,李 超,等.不同土壤耕作模式对双季水稻生理特性与产量的影响[J].作物学报,2019,45(5):740-754.
Tang H M, Xiao X P, Li C, et al. Effects of different soil tillage patterns on physiological characteristics and yield of double cropping rice [J]. Journal of Crops, 2019, 45(5): 740-754.
- [3] 龙 莉,杨旭初,熊 斌,等.冬作物秸秆还田对双季稻产量和土壤肥力的影响[J].作物研究,2019,33(2):104-109.
Long L, Yang X C, Xiong B, et al. Effect of winter crops straw returning on yield and soil fertility in a double cropping rice

- paddy [J]. Crop Research, 2019, 33(2): 104-109.
- [4] 王 飞, 李清华, 何春梅, 等. 稻秆与紫云英联合还田提高黄泥田氮素利用率和土壤肥力 [J]. 植物营养与肥料学报, 2021, 27(1): 66-74.
- Wang F, Li Q H, He C M, et al. Combined returning of milk vetch and rice straw improves fertilizer nitrogen recovery and fertility of yellow-mud paddy soil [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2021, 27(1): 66-74.
- [5] Sharma S, Thind H S, Yadvinder-Singh, et al. Effects of crop residue retention on soil carbon pools after 6 years of rice-wheat cropping system [J]. Environmental Earth Sciences, 2019, 78(10): 1-14.
- [6] 才 硕, 时 红, 潘晓华, 等. 绿肥与稻草联合还田对机插稻光合特性、养分吸收和产量品质的影响 [J]. 江西农业大学学报, 2020, 42(2): 229-240.
- Cai S, Shi H, Pan X H, et al. Influence of the combination of returning green manure cultivation and rice straw on photosynthetic characteristics and nutrient absorption and yield quality of machine-transplanted double-season rice [J]. Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis, 2020, 42(2): 229-240.
- [7] Egodawatta W C P, Sangakkara U R, Stamp P. Impact of green manure and mineral fertilizer inputs on soil organic matter and crop productivity in a sloping landscape of Sri Lanka [J]. Field Crops Research, 2012, 129: 21-27.
- [8] Piotrowska A, Wilczewski E. Effects of catch crops cultivated for green manure and mineral nitrogen fertilization on soil enzyme activities and chemical properties [J]. Geoderma, 2012, 189-190: 72-80.
- [9] 黄 晶, 刘淑军, 张会民, 等. 水稻产量对双季稻-不同冬绿肥轮作及环境的响应 [J]. 生态环境学报, 2016, 25(8): 1271-1276.
- Huang J, Liu S J, Zhang H M, et al. The response of rice yields on long-term double cropping rice with different winter green manure rotation and environment [J]. Ecology and Environment Sciences, 2016, 25(8): 1271-1276.
- [10] 高菊生, 曹卫东, 李冬初, 等. 长期双季稻绿肥轮作对水稻产量及稻田土壤有机质的影响 [J]. 生态学报, 2011, 31(16): 4542-4548.
- Gao J S, Cao W D, Li D C, et al. Effects of long-term double-rice and green manure rotation on rice yield and soil organic matter in paddy field [J]. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(16): 4542-4548.
- [11] 唐海明, 程凯凯, 肖小平, 等. 不同冬季覆盖作物对双季稻田土壤有机碳的影响 [J]. 应用生态学报, 2017, 28(2): 465-473.
- Tang H M, Cheng K K, Xiao X P, et al. Effects of different winter cover crops on soil organic carbon in a double cropping rice paddy field [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2017, 28(2): 465-473.
- [12] 司 华, 赵朋飞. 汉中市水稻生产现状及发展对策 [J]. 现代农业科技, 2019(23): 53-55.
- Si H, Zhao P F. Present situation and development countermeasures of rice production in Hanzhong City [J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2019(23): 53-55.
- [13] 刘长彦, 徐福利. 陕西省汉中地区水稻生产的问题及对策 [J]. 安徽农业科学, 2018, 46(22): 34-37.
- Liu C Y, Xu F L. Problems and countermeasures of rice production in Hanzhong area of Shaanxi province [J]. Anhui Agricultural Science, 2018, 46(22): 34-37.
- [14] 吴玉红, 郝兴顺, 田霄鸿, 等. 秸秆还田与化肥配施对汉中盆地稻麦轮作农田土壤固碳及经济效益的影响 [J]. 作物学报, 2020, 46(2): 259-268.
- Wu Y H, Hao X S, Tian X H, et al. Effect of straw returning combined with NPK fertilization on soil carbon sequestration and economic benefits under rice-wheat rotation in Hanzhong basin [J]. Acta Agronomica Sinica, 2020, 46(2): 259-268.
- [15] 赵佐平. 秦巴山区主要农作物肥料投入现状评估分析 [J]. 中国农业大学学报, 2015, 20(4): 127-133.
- Zhao Z P. Fertilizer application analysis for main crops in Qin-Ba mountain area [J]. Journal of China Agricultural University, 2015, 20(4): 127-133.
- [16] 刘宝林, 邹小云, 宋来强, 等. 稻田不同轮作系统作物产量、效益和氮素吸收及前后作土壤养分动态比较研究 [J]. 江西农业学报, 2017, 29(12): 1-7, 31.
- Liu B L, Zou X Y, Song L Q, et al. Comparative studies on crop yield, profit, nitrogen absorption and soil nutrient dynamics in paddy fields under different crop rotation systems [J]. Acta Agriculturae Jiangxi, 2017, 29(12): 1-7, 31.
- [17] 张英利, 许安民, 尚浩博, 等. AA3 型连续流动分析仪测定土壤和植物全氮的方法研究 [J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2006, 34(10): 128-132.
- Zhang Y L, Xu A M, Shang H B, et al. Determination study of total nitrogen in soil and plant by continuous flow analytical system [J]. Journal of Northwest A&F University (Nat Sci Ed), 2006, 34(10): 128-132.
- [18] 王 颖, 杨成德, 薛 莉, 等. 拮抗内生细菌 *Bacillus mojavensis* ZA1 在马铃薯根内及根际的定殖动态及其对土壤微生物的影响 [J]. 中国生物防治学报, 2016, 32(3): 372-378.
- Wang Y, Yang C D, Xue L, et al. Colonization of antagonistic endophytic bacteria *Bacillus mojavensis* ZA1 in the root of potato and rhizosphere soil and its effect on soil microorganism [J]. Chinese Journal of Biological Control, 2016, 32(3): 372-378.
- [19] 高菊生, 黄 晶, 杨志长, 等. 绿肥和稻草联合还田提高土壤有机质含量并稳定氮素供应 [J]. 植物营养与肥料学报, 2020, 26(3): 472-480.
- Gao J S, Huang J, Yang Z C, et al. Improving organic matter content and nitrogen supply stability of double cropping rice field through co-incorporation of green manure and rice straw [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2020, 26(3): 472-480.
- [20] 刘颖颖, 卜容燕, 唐 杉, 等. 连续秸秆-紫云英协同还田对双季稻产量、养分积累及土壤肥力的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2020, 26(6): 1008-1016.
- Liu Y Y, Bu R Y, Tang S, et al. Effects of continuous straw and astragalus sinicus synergistic returning on yield, nutrient

accumulation and soil fertility of double cropping rice [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2020, 26 (6): 1008-1016.

[21] 廖育林,鲁艳红,周 兴,等. 不同施氮量下紫云英与稻草协同利用对双季稻的产量效应 [J]. 湖南农业科学, 2017(12): 57-60, 74.

Liao Y L, Lu Y H, Zhou X, et al. Effects of synergistic utilization of rice straw and *Astragalus sinicus* L. on double cropping rice yield under different nitrogen fertilizer rates [J]. Hunan Agricultural Sciences, 2017(12): 57-60, 74.

[22] 周国朋,谢志坚,曹卫东,等. 稻草高茬-紫云英联合还田改善土壤肥力提高作物产量 [J]. 农业工程学报, 2017, 33(23): 157-163.

Zhou G P, Xie Z J, Cao W D, et al. High stubble rice straw and milk vetch returning to improve soil fertility and increase crop yield [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2017, 33(23): 157-163.

[23] 颜志雷,方 宇,陈济琛,等. 连年翻压紫云英对稻田土壤养分和微生物学特性的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2014, 20(5): 1151-1160.

Yan Z L, Fang Y, Chen J C, et al. Effect of turning over Chinese milk vetch (*Astragalus sinicus* L.) on soil nutrients and microbial properties in paddy fields [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2014, 20(5): 1151-1160.

[24] 杨曾平,高菊生,郑圣先,等. 长期冬种绿肥对红壤性水稻土壤微生物特性及酶活性的影响 [J]. 土壤, 2011, 43(4): 576-583.

Yang Z P, Gao J S, Zheng S X, et al. Effects of long-term winter planting-green manure on microbial properties and enzyme activities in reddish paddy soil [J]. Soils, 2011, 43(4): 576-583.

[25] 王丹英,彭 建,徐春梅,等. 油菜作绿肥还田的培肥效应及对水稻生长的影响 [J]. 中国水稻科学, 2011, 26(1): 85-91.

Wang D Y, Peng J, Xu C M, et al. Effects of rape straw manuring on soil fertility and rice growth [J]. Chinese Journal of Rice Science, 2011, 26(1): 85-91.

[26] 赵晓萌,刘婧娜,易丽霞,等. 绿肥还田对双季稻根际土壤产甲烷古菌群落结构的影响 [J]. 作物学报, 2015, 41(5): 698-707.

Zhao X M, Liu J N, Yi L X, et al. Community structure of methanogens from double-rice rhizosphere soil as affected by green manure incorporation [J]. Acta Agronomica Sinica, 2015, 41(5): 698-707.

[27] 刘国顺,李 正,敬海霞,等. 连年翻压绿肥对植烟土壤微生物量及酶活性的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2010, 16(6): 1472-1478.

Liu G S, Li Z, Jing H X, et al. Effects of consecutive turnover of green manures on soil microbial biomass and enzyme activity [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2010, 16(6): 1472-1478.

(上接第 99 页)

[27] 食典通. 限量值[DB/OL]. (2017-10-01)[2021-06-30]. <http://www.sdtdata.com/fx/fcv1/itemLib>.

Food Codex Data. Limits [DB/OL]. (2017-10-01)[2021-06-30]. <http://www.sdtdata.com/fx/fcv1/itemLib>.

[28] 中华人民共和国农业部. 农作物中农药残留试验准则: NY/T 788—2018 [S]. 北京: 中国农业出版社, 2018.

Ministry of Agriculture of the People's Republic of China. Guideline for the testing of pesticide residues in crops: NY/T 788—2018 [S]. Beijing: China Agriculture Press, 2018.

[29] 郑坤明,龚 瑾,苏建峰,等. 代森锌及其代谢物在小白菜中的残留及消解动态 [J]. 农药, 2019, 58(10): 749-751.

Zheng K M, Gong J, Su J F, et al. Residues and dissipation dynamics of zineb and its metabolites in pakchoi [J]. Agrochemicals, 2019, 58(10): 749-751.

[30] 冯立志,李瑞娟,张爱娟,等. 代森锌在胡萝卜和豌豆中的残留行为研究及安全性评价 [J]. 安徽农业科学, 2020, 48(21): 210-212, 270.

Feng Y Z, Li R J, Zhang A J, et al. Residue behaviour study and safety evaluation of zineb in carrots and peas [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2020, 48(21): 210-212, 270.

[31] 尹 曙,刘一平,田 京,等. 代森锌在柑橘中的残留及消解动态研究 [J]. 广东化工, 2019, 46(1): 16-17.

Yin S, Liu Y P, Tian J, et al. Residues and dissipation dynamics of zineb in citrus [J]. Guangdong Chemical Industry, 2019, 46(1): 16-17.

[32] 贺 敏,贾春虹,赵尔成,等. 80%代森锌可湿性粉剂在苹果和土壤中的残留安全性评价 [J]. 食品安全质量检测学报, 2018, 9(16): 4229-4234.

He M, Jia C H, Zhao E C, et al. Safety evaluation of residues of 80% zineb wettable powder in apple and soil [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2018, 9(16): 4229-4234.