



不同有机氮替代部分无机氮对水稻产量及土壤微生物的影响

崔月贞, 吴玉红, 郝兴顺, 张春辉, 秦宇航, 王晓娥, 杨云霞

(汉中市农业科学研究所, 陕西汉中 723000)

摘要 通过田间试验,探索不同有机氮肥替代部分无机氮对汉中盆地水稻产量及土壤微生物的影响,旨在探索该区水稻生产的氮肥减量技术。试验共设不施肥(CK)、无机氮肥(100%N)、沼渣有机肥替代20%无机氮(80%N+BRO)、微生物有机肥替代20%无机氮(80%N+BOF)、秸秆替代20%无机氮(80%N+SW)5个处理。采用稀释涂平板的方法测定水稻移栽前期、苗期、分蘖期、孕穗期和成熟期0~20 cm土层的土壤微生物数量,并测定水稻产量及构成要素。结果表明,80%N+BOF处理可显著增加水稻有效穗数和穗粒数,较CK和100%N水稻籽粒产量分别增加77.21%和2.72%;水稻整个生育期土壤细菌和真菌数量先降低再升高,放线菌先升高再降低;80%N+BRO处理可显著提高水稻各生育期细菌、放线菌和微生物总数量,在水稻苗期、分蘖期和孕穗期效果最显著;80%N+BOF处理可显著提高水稻各生育期B/F值、降低真菌数量,并减小微生物群落结构变化,在水稻孕穗期和成熟期效果最显著。80%N+BOF处理在水稻上应用效果较好,可显著提高产量构成要素、水稻籽粒产量及土壤微生物数量,且有利于改善土壤微生物结构,为适宜于汉中盆地稻田化学氮肥减量的有效措施。

关键词 汉中盆地;水稻;有机氮替代;有机肥;土壤微生物

中图分类号 S143.1⁺5;S143.1⁺6;S143.1⁺9 **文献标志码** A **文章编号** 1004-1389(2019)10-1689-09

化肥对促进农作物生长具有重要作用,合理施肥是提高作物产量的重要保障^[1]。但近年来,由于化肥的不合理使用,尤其是氮肥的过量使用,不仅制约了作物产量的提高,同时产生的农业面源污染问题日益突出^[2-3]。有机肥富含有机质、腐殖质、微量营养元素、多种氨基酸、酶类和有益微生物^[4],用其替代化肥可以有效改善土壤氮、磷、钾等养分的平衡状况,改良土壤理化性状,增加土壤有机质含量和养分的有效性,可实现在保证作物高产稳产的情况下培肥土壤、提高生态系统生产力,减少化肥施用量,从而提高肥料利用率,达到减排的效果^[5],这对减少土壤和面源污染具有重要作用。

土壤微生物在生态系统中扮演重要角色,土壤有机物质的分解与转换、土壤的形成、养分的循环利用等重要的生态学过程都受其影响^[6]。此外土壤微生物物种多样性及代谢活动与土壤肥力和生产力密切相关^[7],其参数可用于反映土壤质量,

真菌和细菌的比值通常被作为评价生态系统自我调控能力大小的重要指标^[8]。而增施有机肥或用有机肥替代无机肥对调节土壤营养物质的循环,维持土壤肥力,提高微生物数量和活性,促进作物的养分吸收具有重要意义^[9]。相关研究^[10-11]表明,沼肥替代部分化肥可以提高小麦根际土壤微生物数量和酶活性,商品有机肥替代化肥能够增强微生物群落代谢活性,提高土壤质量。

汉中盆地是陕西省重要的水稻生产基地,水稻种植面积约占全省的70%,同时汉中盆地是南水北调中线工程的水源涵养地^[12]。赵佐平^[13]研究显示该地区水稻氮肥使用量普遍较高,且化学氮肥的投入水平远高于有机肥氮的量,潜在的面源污染问题较为突出。所以探索有机氮替代部分化肥氮技术,对提高汉中盆地水稻产量和肥料利用率,减少面源污染具有重要意义。目前,关于有机肥替代化肥在设施蔬菜、南方双季稻和黄河三角洲水稻等方面均有不少研究^[14-16],但是针对不

收稿日期:2019-04-19 修回日期:2019-05-15

基金项目:陕西省农业科技创新转化项目(NYKJ-2018-HZ01);陕西省重点研发计划(2019ZDLNY01-05-01)。

第一作者:崔月贞,女,硕士研究生,从事土壤微生物及植物病害研究。E-mail:gsaucuiyuezheng@126.com

通信作者:郝兴顺,男,本科,高级农艺师,主要从事植物营养和土壤质量提升方面研究。E-mail:372770515@qq.com

同有机肥替代化肥在陕西南部水稻及稻田土壤微生物上的研究较少。因此,本研究分别用沼渣有机肥、微生物有机肥和秸秆替代 20%无机氮后,测定其对汉中盆地水稻产量及构成要素的影响,并测定其对水稻全生育期稻田土壤微生物数量动态变化的影响,旨在分析比较不同有机氮替代方法在陕西南部水稻和土壤微生物上的应用效果,优化化肥减量配施方法,为提高土壤质量和培育土壤肥力提供科学依据,也为稻田减肥减药示范推广提供技术支撑。

1 材料与方 法

1.1 供试材料

试验于 2018 年 4 月至 9 月在陕西省汉中市农科所韩塘试验基地进行。该地(33°8'3"N, 107°0'40"E)海拔约 500 m,属亚热带湿润季风性气候,年平均气温约 14 °C,年均降水量 800~1 000 mm,无霜期 235 d,年均日晒时数约 1 400 h,≥10 °C 的年积温为 4 480 °C。供试土壤为水稻土,试验前土壤基本理化性质:pH 为 6.58,有机质 15.64 g/kg、碱解氮 124.37 mg/kg、速效钾 104.12 mg/kg、速效磷 17.27 mg/kg。试验以杂交籼稻‘荃香优 1521’为供试材料。

供试肥料尿素[w(N)≥46.4%]由四川美丰化工有限公司生产,过磷酸钙[w(P₂O₅)≥12%]由湖北祥云化工股份有限公司生产,钾肥为氯化

钾[w(K₂O)≥60%])由湖北宜昌涌金工贸有限公司生产,沼渣有机肥[w(N+P₂O₅+K₂O)≥5%]由陕西军鑫农业发展有限公司生产,微生物有机肥[w(N+P₂O₅+K₂O)≥32%]由山东金正大公司生产,油菜秸秆由汉中市农科所韩塘实验基地提供。

1.2 试验设计

试验设不施肥(CK)、无机氮肥(100% N)沼渣有机肥替代 20%无机氮(80%N+BRO)、微生物有机肥替代 20%无机氮(80%N+BOF)、秸秆替代 20%无机氮(80%N+SW)5 个处理,20%有机肥替代指通过有机肥中氮养分折合所替代的化学氮肥的百分比,各处理磷钾肥用量相同。采用随机区组试验,各处理 3 次重复。小区面积为 20 m²(4 m×5 m),各小区间设置田埂,并用塑料膜包裹隔开,避免水肥相互渗透,田埂宽约 0.4 m;试验区间和四周设有灌溉渠,渠宽 0.5 m,采用当地习惯灌溉模式和田间管理方式。

化肥常规用量为 N 180 kg/hm²、P₂O₅ 90 kg/hm²、K₂O 105 kg/hm²。使用尿素[w(N)≥46.4%]、过磷酸钙[w(P₂O₅)≥12%]、氯化钾[w(K₂O)≥60%],无机氮由尿素提供,各处理氮肥用量见表 1。所有处理中氮肥 70%做基肥,30%做分蘖肥,有机氮肥均做基肥一次性施用;磷肥、钾肥做基肥一次性施用。

表 1 不同处理氮肥用量

Table 1 Nitrogen fertilizer amounts under different treatments

处理 Treatment	氮肥/(kg/hm ²) Nitrogen fertilizer	
	尿素 Urea	有机肥 Organic fertilizer
CK	0	0
100% N	391	0
80%N+BRO	313	3 600(沼渣有机肥 Biogas residue organic fertilizer)
80%N+BOF	313	336(微生物有机肥 Microbial organic fertilizer)
80%N+SW	313	6 000(油菜秸秆 Rape stalk)

1.3 测定项目与方法

1.3.1 测产及考种 水稻成熟后收割前,各处理随机取 10 株,测定有效穗数、穗粒数、结实率和千粒质量,水稻收获后,测定实收籽粒产量。

1.3.2 土壤样品采集 采用梅花 5 点取样法,取 0~20 cm 耕作层土壤。采集时间为水稻生长发育的 5 个时期,即水稻移栽前(5 月 26 日)、苗期(6 月 15 日)、分蘖期(7 月 5 日)、抽穗期(8 月 15

日)和成熟期(9 月 14 日)。

1.3.3 土壤微生物测定 采用稀释涂平板法来测定土壤微生物的数量。具体操作步骤参考文献[17]中的方法。

1.4 数据处理

采用 Microsoft Excel 2010 对试验统计分析,并用 SPSS 12.0 进行方差分析,处理间采用 Duncan's 新复极差法进行差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 不同有机氮替代无机氮对水稻产量及构成要素的影响

表 2 表明,不同有机氮替代无机氮对水稻产量构成要素的影响各不相同,对水稻有效穗数和穗粒数的影响差异显著,对结实率和千粒质量影响不显著。有机氮替代无机氮可显著提高有效穗数,80%N+BRO、80%N+BOF 和 80%N+SW 较 CK 增幅分别为 56.32%、60.92%和 54.02%,但各施肥处理间差异不显著;水稻穗粒数以

80%N+SW 最高,显著高于其他各处理,较 CK 和 100% N 增幅分别为 10.78%和 4.19%,80%N+BRO 和 80%N+BOF 显著高于对照,低于 100% N 处理,但差异不显著;有机氮替代无机氮可增加结实率和千粒质量,但较 CK 差异不显著;有机氮替代无机氮对水稻产量均有提高,其中 80%N+BOF 最高,较 CK 和 100% N 增幅分别为 77.21%和 2.72%,其次为 80%N+SW 产量高于 CK 和 100% N,较 CK 增幅为 74.21%,但各处理间差异性不显著。

表 2 不同有机氮替代无机氮对水稻产量及产量构成要素的影响($\bar{x} \pm s$)

Table 2 Effects of partial replacement of chemical fertilizer by organic manure on yield and yield components of rice

处理 Treatment	有效穗($\times 10^4$)/ hm^{-2} Effective panicles	穗粒数 Grains perpanicle	结实率/% Seed-setting rate	千粒质量/g 1 000-grain mass	产量/(kg/hm^2) Yield
CK	175.77 \pm 0.36 b	125.84 \pm 23.30 b	94.32 \pm 1.07 a	30.84 \pm 0.11 a	6 408.14 \pm 64.39 b
100%N	284.19 \pm 0.69 a	133.80 \pm 18.49 ab	95.19 \pm 1.58 a	30.63 \pm 0.13 a	11 055.21 \pm 83.44 a
80%N+BRO	274.76 \pm 0.81 a	131.30 \pm 5.46 ab	94.17 \pm 0.03 a	31.15 \pm 0.36 a	10 650.74 \pm 66.98 a
80%N+BOF	282.84 \pm 0.40 a	131.65 \pm 24.9 ab	95.35 \pm 1.49 a	31.46 \pm 0.26 a	11 355.91 \pm 10.34 a
80%N+SW	270.72 \pm 0.82 a	139.40 \pm 13.62 a	95.73 \pm 0.57 a	30.99 \pm 0.85 ba	11 164.02 \pm 43.95 a

注:同列数据后不同小写字母表示经 Duncan's 新复极差法检验在 $P < 0.05$ 水平差异显著。下同。

Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant difference at level of $P < 0.05$ by Duncan's new multiple range test. The same below.

2.2 不同有机氮替代无机氮对土壤细菌的影响

表 3 表明,土壤细菌数量在水稻整个生育期呈先降低再升高的趋势,细菌数在 $1.40 \times 10^7 \sim 5.79 \times 10^7$ cfu/g。施肥处理可提高稻田土壤细菌的数量,100%N 显著提高水稻苗期、分蘖期和孕穗期细菌数量,较 CK 增幅分别为 12.83%、15.79%和 13.22%,但在成熟期差异不显著;而有机肥替

代无机氮可显著提高水稻后期即孕穗期和成熟期细菌数量,其中 80%N+BRO 细菌数量均高于其他各处理,且显著高于 CK 和 100%N,在水稻苗期、分蘖期、孕穗期和成熟期较 CK 增幅分别为 25.92%、50.89%、50.69%和 53.22%;其次为 80%N+BOF,较 CK 增幅分别为 25.92%、50.89%、50.69%和 53.22%。

表 3 不同有机氮替代无机氮对土壤细菌数量的影响

Table 3 Effects of partial replacement of chemical fertilizer by organic manure on soil bacterial population

处理 Treatment	移栽前 Before transplant	苗期 Seedling stage	分蘖期 Tillering stage	孕穗期 Booting stage	成熟期 Mature stage
CK	57.92 \pm 1.91 a	43.33 \pm 4.71 b	19.00 \pm 3.00 c	14.00 \pm 0.35 d	24.67 \pm 1.15 c
100%N	—	48.89 \pm 3.85 ab	22.00 \pm 0.00 b	18.67 \pm 0.12 c	25.50 \pm 2.12 c
80%N+BRO	—	54.56 \pm 5.09 a	28.67 \pm 2.31 a	23.70 \pm 0.51 a	37.80 \pm 4.81 a
80%N+BOF	—	54.56 \pm 0.9 ab	26.67 \pm 3.06 a	20.01 \pm 0.69 bc	30.00 \pm 1.70 b
80%N+SW	—	49.17 \pm 2.20 a	23.67 \pm 1.15 b	22.00 \pm 0.61 bab	27.50 \pm 2.12 bc

2.3 不同有机氮替代无机氮对土壤真菌的影响

表 4 表明,土壤真菌数量在水稻整个生育期呈先降低再升高的趋势,真菌数在 $2.20 \times 10^4 \sim 5.11 \times 10^4$ cfu/g。施肥处理可不同程度降低稻田土壤真菌数量,但常规施肥 100%N 降低差异不显

著;不同有机氮替代无机氮对稻田土壤真菌数量的影响各不相同,其中 80%N+BOF 降低水稻全生育期稻田土壤真菌数量,苗期、分蘖期、孕穗期和成熟期分别较 CK 分别降低 35.0%、13.74%、52.69%和 5.33%;80%N+SW 降低水稻苗期、孕

穗期和成熟期土壤真菌的数量,较 CK 分别降低 34.21%、41.94%和 9.27%;80%N+BRO 降低水稻孕穗期土壤真菌数量,较 CK 降低 34.84%。

表 4 不同有机氮替代无机氮对土壤真菌数量的影响

Table 4 Effects of partial replacement of chemical fertilizer by organic manure on soil fungi ($\times 10^4$) cfu/g

处理 Treatment	移栽前 Before transplant	苗期 Seedling stage	分蘖期 Tillering stage	孕穗期 Booting stage	成熟期 Mature stage
CK	3.71±0.69 a	3.80±0.20 ab	3.13±0.12 a	4.65±0.21 a	5.07±0.31 ab
100%N	—	3.40±0.40 ab	2.73±0.12 b	4.40±0.40 a	5.00±0.28 ab
80%N+BRO	—	4.63±0.64 a	3.33±0.42 a	3.03±0.78 ab	5.11±0.43 a
80%N+BOF	—	2.47±0.62 b	2.70±0.14 b	2.20±0.31 b	4.80±0.28 b
80%N+SW	—	2.50±0.99 b	3.40±0.57 a	2.70±0.99 b	4.60±1.70 b

2.4 不同有机氮替代无机氮对土壤放线菌的影响

表 5 表明,土壤放线菌数量在水稻整个生育期呈先升高再降低的趋势,放线菌数在 $7.09 \times 10^5 \sim 3.67 \times 10^6$ cfu/g。有机氮替代无机氮可不同程度提高水稻各生育期土壤放线菌数量,其中 80%

N+BRO 显著高于其他各处理,较 CK 增幅分别 43.48%、16.05%、31.56% 和 35.67%;其次为 80%N+BOF,较 CK 增幅分别 38.79%、13.19%、31.56%和 37.68%;80%N+SW可提高水稻苗期放线菌数量,较 CK 增加 22.27%。

表 5 不同有机氮替代无机氮对土壤放线菌数量的影响

Table 5 Effects of partial replacement of chemical fertilizer by organic manure on soil actinomycetes

($\times 10^5$) cfu/g

处理 Treatment	移栽前 Before transplant	苗期 Seedling stage	分蘖期 Tillering stage	孕穗期 Booting stage	成熟期 Mature stage
CK	7.09±0.64 a	25.60±0.60 c	27.97±2.96 c	14.67±1.29 c	10.02±0.60 c
100%N	—	30.07±2.31 b	30.73±1.11 b	16.20±1.00 b	13.50±0.30 b
80%N+BRO	—	36.73±2.44 a	32.46±1.71 a	19.53±1.44 a	16.6±1.47 a
80%N+BOF	—	35.53±1.78 b	31.66±1.0 ab	19.30±1.7 a	15.80±1.00 ab
80%N+SW	—	31.30±3.9 b	22.20±1.40 c	14.50±1.10 c	9.40±1.20 c

2.5 不同有机氮替代无机氮对微生物结构的影响

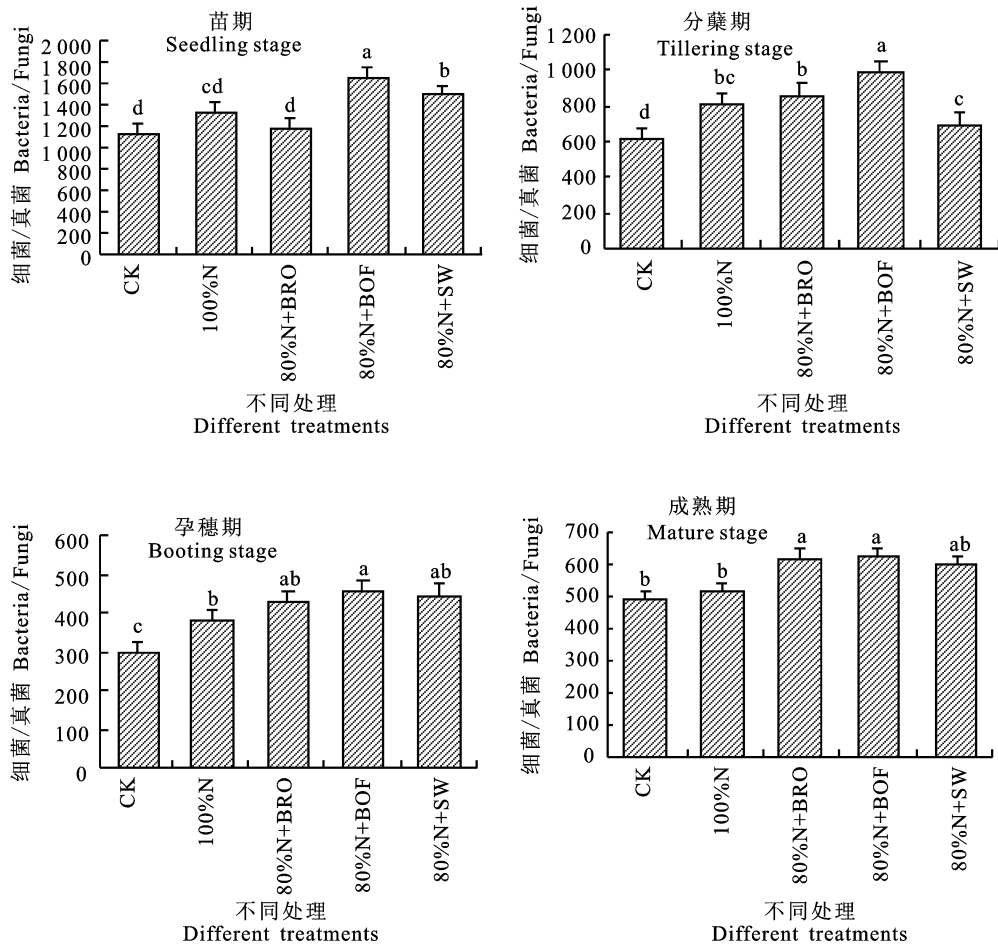
土壤中微生物中细菌/真菌的比值可作为土壤肥力的衡量指标,其与土壤养分含量呈显著正相关。图 1 显示,不同有机氮替代无机氮对水稻各生育期 B/F(细菌/真菌)值均有不同程度提高,表明不同有机氮替代无机氮对水稻各生育期土壤肥力均有不同程度的提高,其中 80%N+BOF 在水稻各生育期 B/F 值最高,且在水稻苗期和分蘖期显著高于其他处理,在苗期、分蘖期、孕穗期和成熟期较 CK 增幅分别为 46.32%、52.89%、51.16% 和 28.39%;在孕穗期和成熟期 80%N+BRO 较 CK 分别增加为 43.11%、27.05%、48.50%和 22.78%。

图 2 显示,稻田土壤微生物 3 大菌种百分比(真菌、细菌和放线菌)随着水稻生育期的改变而不断产生变化,尤其在水稻分蘖期和孕穗期群落结构发生较大变化,土壤细菌百分比显著下调,而生物有机肥(80%N+BOF)和沼渣有机肥

(80%N+BRO)替代无机氮减小了微生物菌种百分比的变化,起到了维持群落结构稳定性的作用。

3 讨论

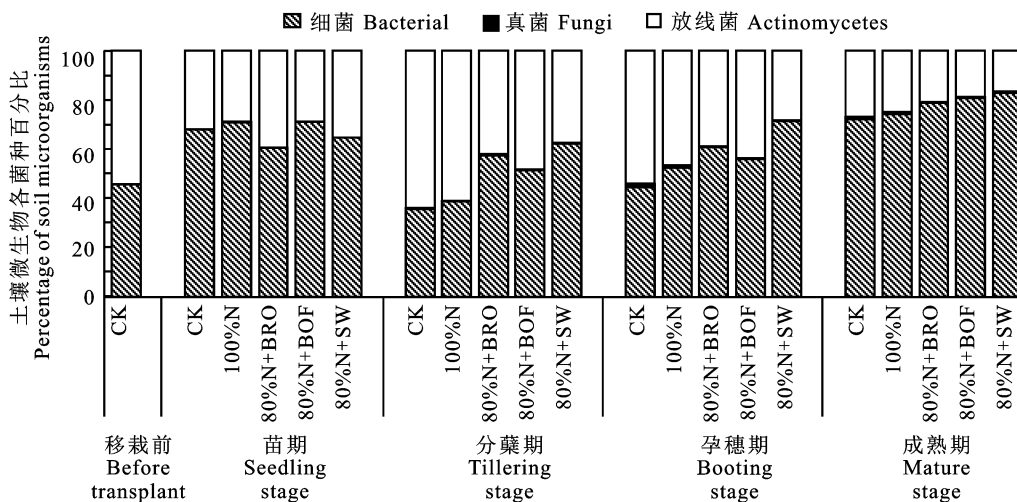
微生物有机肥含有丰富的有益微生物、活性酶和微量元素,增施微生物有机肥或用其替代部分化肥可促进植物生长、提高作物产量,刘玉英等^[18]研究发现,适量施入有机无机肥可以不同程度增加结球甘蓝的生物产量、平均单球质量、小区产量;徐立功等^[19]研究发现,生物有机肥替代部分化肥可显著促进番茄植株的生长,提高产量。另外,众多研究结果表明有机氮替代无机氮在小麦、荞麦^[20]和黄瓜^[21]等多种作物上均具有增产效果。同样,本研究结果表明,用微生物有机肥替代部分无机氮提高了水稻产量构成要素,对水稻有效穗数和穗粒数的提高最为显著,水稻籽粒产量较 CK 和 100%N 籽粒产量分别增加 77.21%和 2.72%,这与前人研究结果一致。



不同小写字母表示差异显著 Different lowercase letters indicate significant difference

图 1 不同有机氮替代无机氮对土壤细菌/真菌(B/F值)的影响

Fig.1 Effects of replacement of chemical fertilizer by organic manure on bacterial/ fungi value at different growth stages of rice



(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

图 2 不同有机氮替代无机氮对 3 类微生物百分比的影响

Fig.2 Effects of partial replacement of chemical fertilizer by organic manure on percentage of three kinds of microorganisms

微生物菌肥是在复混肥的基础上接种有益微生物而生产的一种肥料,具有预防和减轻作物病虫害的作用,靳海波等^[22]研究发现,增施生物有机肥 GSJ-1 显著降低了土壤中马铃薯疮痂病原菌含量。李春花等^[23]研究不同生物有机肥对荞麦病害及产量的影响结果表明,施用生物有机肥可以有效降低荞麦褐斑病发病率。在本研究中,发现微生物有机肥部分替代无机氮显著降低稻田土壤中真菌数量,且在水稻孕穗期和成熟期效果最显著,而植物病害的 70%~80% 均是由真菌造成的^[24],水稻多种真菌病害如稻瘟病、纹枯病和稻曲病等,多在水稻后期严重发生^[25],因此推测微生物有机肥替代无机氮对水稻病害具有一定的防治作用,降低了因土壤带菌引起的土传病害发病率,但具体是否能够抑制土壤中病原真菌、抑制何种病原真菌以及其如何发挥防控作用等,还有待进一步探索与研究。

土壤中微生物可作为土壤肥力的衡量指标,细菌、放线菌数量与土壤理化性质、土壤养分含量呈显著正相关^[26],真菌由于自身菌丝体的特性,养分贫瘠条件更适于生长^[27],而在本试验中分别用微生物有机肥和沼渣有机肥替代无机氮对细菌和放线菌均有所提高,但两者间之间差异不显著,而且在水稻生长后期(孕穗期和成熟期)微生物有机肥真菌数量显著低于沼渣有机肥,说明两种有机肥替代无机氮肥在水稻生长前期均能显著提高土壤养分含量,而且微生物有机肥较沼渣有机肥肥效更为持久,在水稻生长后期不仅能满足作物生长对养分的需求,而且能满足土壤微生物对养分的需求。

土壤微生物群落结构极易受外界环境和人类活动的影响^[28],不同作物、生长季节和施肥处理等均可使群落结构发生改变^[29],同样在本研究中稻田土壤微生物菌种百分比随着水稻生育期的改变而不断产生变化,尤其在水稻分蘖期和孕穗期群落结构发生较大变化,土壤细菌百分比显著下调,而生物有机肥和沼渣有机肥替代无机氮减小了微生物菌种百分比的变化,起到了维持群落结构稳定性的作用。另外,微生物有机肥替代无机氮后细菌/真菌值在水稻各生育期均高于沼渣有机肥替代无机氮肥,尤其在水稻苗期、分蘖期和孕穗期效果显著,说明微生物有机肥对群落结构调节和改善作用方面优于沼渣有机肥,但具体是如何调控土壤微生物群落结构及菌种间关联关

系,还有待进一步采用高通量测序等技术手段进行分析探讨。

4 结论

微生物有机肥替代 20% 无机氮肥在水稻上应用效果较好,可显著增加水稻有效穗数和穗粒数,较 CK 和 100% N 水稻产量增加 77.21% 和 2.72%,且可提高水稻各生育期土壤细菌、放线菌数量和 B/F 值、降低真菌数量,有利于土壤微生物结构的改善,为适宜于汉中盆地水稻上氮肥减量配施的方法。

参考文献 Reference:

- [1] 自由路.植物营养与肥料研究的回顾与展望[J].中国农业科学,2015,48(17):3477-3492.
BAI Y L.Review on research in plant nutrition and fertilizers[J].*Scientia Agricultura Sinica*, 2015, 48(17): 3477-3492.
- [2] 侯红乾,刘秀梅,刘光荣,等.有机无机肥配比比例对红壤稻田水稻产量和土壤肥力的影响[J].中国农业科学,2011,44(3):516-523.
HOU H Q,LIU X M,LIU G R,*et al*.Effect of long-term located organic-inorganic fertilizer application on rice yield and soil fertility in red soil area of China[J].*Scientia Agricultura Sinica*, 2011, 44(3): 516-523.
- [3] 杜少平,马忠明,薛亮.不同有机肥对砂田西瓜产量、品质和养分吸收的影响[J].应用生态学报,2019,30(4):1269-1277.
DU SH P,MA ZH M,XUE L.Effects of different kinds of organic fertilizer on fruit yield, quality and nutrient uptake of watermelon in gravel-mulched field[J].*Chinese Journal of Applied Ecology*, 2019, 30(4): 1269-1277.
- [4] 龚海青,付海美,徐明岗,等.黑土有机氮肥替代率演变及其对土壤有机碳的响应[J].植物营养与肥料学报,2018,24(6):1520-1527.
GONG H Q,FU H M,XU M G,*et al*.Potential substitution rate of chemical nitrogen with organic nitrogen in black soil and its correlation with soil organic carbon[J].*Journal of Plant Nutrition and Fertilizer*, 2018, 24(6): 1520-1527.
- [5] BAI Z,MA L,JIN S,*et al*.Nitrogen, phosphorus, and potassium flows through the manure management chain in China [J].*Environmental Science Technology*, 2016, 50(24): 13409-13418.
- [6] LYNCH J M,BENEDETTI A,INSAM H,*et al*.Microbial diversity in soil:ecological theories,the contribution of molecular techniques and the impact of transgenic plants and transgenic microorganisms[J].*Biology and Fertility of Soils*, 2004, 40(6): 363-385.
- [7] BLAGODATSKAYA E,KUZYAKOV Y.Active microor-

- ganisms in soil: critical review of estimation criteria and approaches[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2013, 67(8): 192-211.
- [8] 聂江文,王幼娟,吴邦魁,等.施氮对冬种紫云英不还田条件下稻田土壤微生物数量与结构的影响[J]. *生态学杂志*, 2018, 37(12): 3617-3624.
- NIE J W, WANG Y J, WU B K, *et al.* Effects of nitrogen application on the abundance and community of soil microbes in paddy field under the condition of no returning Chinese milk vetch[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2018, 37(12): 3617-3624.
- [9] 张绪美,沈文忠,李梅.有机肥替代化肥对土壤质量、稻谷产量及农田水氮含量的影响[J]. *上海农业科技*, 2017(2): 97-99.
- ZHANG X M, SHEN W ZH, LI M. Effect of organic fertilizer on soil quality, rice yield and water and nitrogen content in farmland[J]. *Shanghai Agricultural Science and Technology*, 2017(2): 97-99.
- [10] 冯伟,管涛,王晓宇,等.沼液与化肥配施对冬小麦根际土壤微生物数量和酶活性的影响[J]. *应用生态学报*, 2011, 22(4): 1007-1012.
- FENG W, GUAN T, WANG X Y, *et al.* Effects of combined application of biogas slurry and chemical fertilizer on winter wheat rhizosphere soil microorganisms and enzyme activities[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2011, 22(4): 1007-1012.
- [11] 刘益仁,郁洁,李想,等.有机无机肥配施对麦-稻轮作系统土壤微生物学特性的影响[J]. *农业环境科学学报*, 2012, 31(5): 989-994.
- LIU Y R, YU J, LI X, *et al.* Effects of combined application of organic and inorganic fertilizers on soil microbiological characteristics in a wheat-rice rotation system[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2012, 31(5): 989-994.
- [12] 唐海明,肖小平,李超,等.冬季覆盖作物秸秆还田对双季稻田根际土壤微生物群落功能多样性的影响[J]. *生态学报*, 2018, 38(18): 6559-6569.
- TANG H M, XIAO X P, LI CH, *et al.* Effects of recycling straw of different winter covering crops on rhizospheric microbial community functional diversity in a double-cropped paddy field[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2018, 38(18): 6559-6569.
- [13] 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.
- [14] 吕真真,吴向东,侯红乾,等.有机-无机肥配施比例对双季稻田土壤质量的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2017, 23(4): 904-913.
- LÜ ZH ZH, WU X D, HOU H Q, *et al.* Effect of organic-inorganic fertilizer ratio on soil quality of double cropping rice field[J]. *Journal Plant Nutrition and Fertilizer*, 2017, 23(4): 904-913.
- [15] 刘增兵,束爱萍,刘光荣,等.有机肥替代化肥对双季稻产量和土壤养分的影响[J]. *江西农业学报*, 2018, 30(11): 35-39.
- LIU Z B, SHU A P, LIU G R, *et al.* Effects of partial replacement of chemical fertilizer by organic manure on rice yield and soil nutrient in double cropping system[J]. *Acta Agriculturae Jiangxi*, 2018, 30(11): 35-39.
- [16] 赵庆雷,刘奇华,信彩云,等.增施有机肥和生物肥对黄河三角洲新垦土壤肥力及稻谷产量的影响[J]. *山东农业科学*, 2019, 51(1): 110-114.
- ZHAO Q L, LIU Q H, XIN C Y, *et al.* Effects of organic fertilizer and biological fertilizer on soil fertility and rice yield in the Yellow River Delta[J]. *Shandong Agricultural Sciences*, 2019, 51(1): 110-114.
- [17] 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 CH 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.
- [18] 刘玉英,罗云米,李戎,等.有机无机肥施用对结球甘蓝形态、产量及品质的影响[J]. *中国农学通报*, 2016, 32(4): 44-47.
- LIU Y Y, LUO Y M, LI R, *et al.* Effects of organic and inorganic fertilizer on cabbage morphology, yield and quality[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2016, 32(4): 44-47.
- [19] 徐立功,徐坤,刘会诚.生物有机肥对番茄生长发育及产量品质的影响[J]. *中国蔬菜*, 2006(4): 8-11.
- XU L G, XU K, LIU H CH. Effect of microbial organic fertilizer on growth, yield and quality of tomato[J]. *Chinese Vegetables*, 2006(4): 8-11.
- [20] 周陈,李许滨,徐德彬,等.生物有机肥对土壤微生物及冬小麦产量效应研究[J]. *耕作与栽培*, 2008(1): 12-14.
- ZHOU CH, LI X B, XU D B, *et al.* Effects of bio-organic fertilizer on soil microorganisms and winter wheat yield[J]. *Tillage and Cultivation*, 2008(1): 12-14.
- [21] 王春林,王凤琴,曹志强.不同生物有机肥对白皮黄瓜产量和品质的影响[J]. *蔬菜*, 2016(3): 11-13.
- WANG CH L, WANG F Q, CAO ZH Q. Effects of different bio-organic fertilizers on yield and quality of white cucumber[J]. *Vegetables*, 2016(3): 11-13.
- [22] 靳海波,王文丽,邱慧珍,等.生物有机肥 lieGSJ-1 对马铃薯土壤疮痂病原菌分布影响及生防效果研究[J]. *干旱地区农业研究*, 2015, 33(2): 165-169.
- JIN H B, WANG W L, QIU H ZH, *et al.* Effect of organic fertilizer lieGSJ-1 on distribution of pathogens of potato

- scab and control effect[J]. *Agricultural Research in Arid Areas*, 2015, 33(2): 165-169.
- [23] 李春花, 孙道旺, 何成兴, 等. 不同生物有机肥对芥麦病害及产量的影响[J]. *中国农学通报*, 2018, 34(19): 1-4.
- LI CH H, SUN D W, HE CH X, *et al.* Effects of different bio-organic fertilizers on disease and yield of buckwheat [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2018, 34(19): 1-4.
- [24] 陈仲南, 黄少伟, 陈健超, 等. 40%咪铜·氟环唑悬浮剂用于水稻田防治纹枯病、稻曲病、稻瘟病田间药效试验[J]. *广西农学报*, 2017, 32(6): 1-5, 23.
- CHEN ZH N, HUANG SH W, CHEN J CH, *et al.* 40% suspending agent of mi-copper epoxiconazole: field efficacy trials in prevention and control of rice sheath blight, false smut and blast[J]. *Journal of Guangxi Agriculture*, 2017, 32(6): 1-5, 23.
- [25] 李秀英, 赵秉强, 李絮花, 等. 不同施肥制度对土壤微生物的影响及其与土壤肥力的关系[J]. *中国农业科学*, 2005, 48(8): 1591-1599.
- LI X Y, ZHAO B Q, LI X H, *et al.* Effects of different fertilization systems on soil microbe and its relation to soil fertility[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2005, 48(8): 1591-1599.
- [26] 白震, 张旭东, 何红波, 等. 长期氮肥施用对农田黑土 NLFA 与 PLFA 特性的影响[J]. *土壤学报*, 2007, 44(4): 709-716.
- BAI ZH, ZHANG X D, HE H B, *et al.* Effect of long-term nitrogen fertilizer application on nlfa and plfa in mollisol farmland [J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2007, 44(4): 709-716.
- [27] 张信娣, 曹慧, 徐冬青, 等. 光合细菌和有机肥对土壤主要微生物类群和土壤酶活性的影响[J]. *土壤*, 2008, 40(3): 443-447.
- ZHANG X D, CAO H, XU D Q, *et al.* Effects of photosynthetic bacteria and organic fertilizer on soil microorganisms and soil enzyme activities[J]. *Soils*, 2008, 40(3): 443-447.
- [28] 夏昕, 石坤, 黄欠如, 等. 长期不同施肥条件下红壤性水稻土微生物群落结构的变化[J]. *土壤学报*, 2015, 52(3): 697-705.
- XIA Q, SHI K, HUANG Q R, *et al.* The changes of changes of microbial community structure in red paddy soil under long-term fertilization [J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2015, 52(3): 697-705.

Effects of Partial Replacement of Chemical Fertilizer by Organic Manure on Rice Yield and Soil Microorganisms in Hanzhong Basin

CUI Yuezhen, WU Yuhong, HAO Xingshun, ZHANG Chunhui,
QIN Yuhang, WANG Xiao'e and YANG Yunxia

(Hanzhong Research Institute of Agricultural Sciences, Hanzhong Shaanxi 723000, China)

Abstract In order to explore the technology of reducing nitrogen fertilizer in rice production, field experiments were conducted to investigate the effects of different organic nitrogen fertilizers on rice yield and soil microorganisms in Hanzhong basin. Five treatments were set up, including no fertilizer (CK), 100% urea (100%N), replacing 20% inorganic nitrogen with biogas residue organic fertilizer (80%N + BRO), replacing 20% inorganic nitrogen with microbial organic fertilizer (80%N + BOF), replacing 20% inorganic nitrogen with straw (80%N + SW). The yield and yield components of rice under different treatments were determined. The number of soil microorganisms in 0-20 cm soil layer was determined by dilution method of plate counting at different stages, which included pre-transplantation, seedling stage, tillering stage, booting stage and maturity stage of rice. Fertilizer reduction combined with microbial bacterial fertilizer could significantly increase the number of effective panicles and grains per panicle in rice. Compared with control and conventional fertilization, rice grain yield increased by 77.21% and 2.72% respectively. During the whole growth period of rice, the number of soil bacteria and fungi decreased first, then increased, and actinomycetes increased first and then decreased. The total amount of bacteria, actinomycetes and microorganisms could significantly increased by application of biogas residue organic fertilizer and chemical fertilizer reduction, and the effect was most significant at seedling stage, tillering stage and booting stage of rice. Fertilizer reduction combined with microbial organic fertilizer could significantly increase the B/F value, reduce the number of fungi, and

reduce the change of microbial community structure. The effect was most significant at booting and maturing stages of rice. Replacement of chemical fertilizer by microbial organic fertilizer on rice was better. It could significantly increase rice grain yield, yield components and soil microbial quantity, and improve soil microbial structure. It is suitable for fertilizer reduction in rice production in Hanzhong basin.

Key words Hanzhong basin; Rice; Organic nitrogen substitution; Organic fertilizer; Soil microorganism

Received 2019-04-10

Returned 2019-05-15

Foundation item The Agricultural Science Innovation and Transfer Project of Shaanxi Province (No. NYKJ-2018-HZ01); the Key Research and Development Project of Shaanxi Province (No. 2019ZDLNY01-05-01).

First author CUI Yuezhen, female, master student. Research area: soil microorganisms and plant diseases. E-mail: gsaucuiyuezhen@126.com

Corresponding author HAO Xingshun, male, bachelor, senior agronomist. Research area: plant nutrition and soil quality. E-mail: 372770515@qq.com

(责任编辑: 史亚歌 **Responsible editor: SHI Yage**)