

水稻不同直播方式下土壤微生物群落结构差异研究

周德平¹,曹黎明²,褚长彬¹,范洁群¹,吴淑杭^{1*}

(¹上海市农业科学院生态环境研究所,上海 201403;²上海市农业科学院作物育种栽培研究所,上海 201403)

摘要:在人工撒播、机条播(行距 25 cm)和精量穴直播(行距 25 cm,株距 14 cm)3 种不同水稻直播方式下,研究了稻田土壤微生物种群数量、区系、功能微生物类群间的差异,并分析了土壤微生物生态差异与土壤化学性状的相关性。结果表明:不同水稻直播方式下,土壤微生物群落结构组成有明显差异;不论是分蘖盛期还是孕穗期,人工撒播和精量机穴播处理土壤可培养微生物总量均无差异,但两个水稻生育期间土壤微生物总量变化有 2 个数量级差,分蘖盛期可达 10^7 ,而孕穗期仅为 10^5 ;机条播处理可培养微生物总量在分蘖盛期和孕穗期间波动小,始终保持在 10^6 ,但其真菌种群数量和比例始终最高。在种群比例上,人工撒播处理 B/F 值(细菌种群数量与真菌数量的比值)始终最大,分蘖盛期分别是机条播和精量机穴播的 2.59 倍和 1.69 倍,孕穗期则分别是机条播和精量机穴播的 1.48 倍和 1.22 倍;在土壤微生物代谢类群多样性指数上,不论是分蘖盛期还是孕穗期,精量机穴播均优于人工撒播处理,但差异不显著。

关键词:水稻;直播;土壤微生物;多样性指数

中图分类号:S154.3 **文献标识码:**A

Diversity of soil microflora structure under different direct-seed rice patterns

ZHOU De-ping¹, CAO Li-ming², CHU Chang-bin¹, FAN Jie-qun¹, WU Shu-hang^{1*}

(¹Eco-Environmental Protection Research Institute, Shanghai Academy of Agricultural Sciences, Shanghai 201403, China; ²Crop Breeding and Cultivation Research Institute, Shanghai Academy of Agricultural Sciences, Shanghai 201403, China)

Abstract: The differences of soil microbial populations, floras and functional microorganism groups in rice fields were investigated under 3 different direct-seed rice patterns: artificial scatter, mechanical drilling at row spacing of 25 cm, and precision hill-drop drilling at seed spacing of 25 cm × 14 cm, and the correlations between the ecological differences of soil microorganism and the soil chemical properties were also analyzed. The results showed that the compositions of soil microflora were obviously different under the different direct-seed rice patterns; At full tillering stage or booting stage, the total quantities of soil cultivable microorganisms were nearly the same between the precision hill-drop drilling and the artificial scatter, but the total quantities varied greatly, being up to 10^7 at full tillering stage and only 10^5 at booting stage; The total quantity of cultivable microorganisms under the mechanical drilling varied little between full tillering stage and booting stage, always remaining at 10^6 , but the number and ratio of fungal population were always the highest. The B/F values (population ratio of bacteria to fungi) under artificial scatter were always the maximum, being 1.59 and 0.69 times higher than those respectively under the mechanical drilling and the precision hill-drop drilling at full tillering stage, and 48% and 22% higher than those respectively under the mechanical drilling and the precision hill-drop drilling at booting stage; In terms of soil microbial diversity index, the precision

收稿日期:2013-05-28

基金项目:上海市科委崇明专项(10DZ1960100);上海市自然科学基金(12ZR1427500)资助

作者简介:周德平(1976-),女,硕士,副研究员,研究方向:环境微生物、农业废弃物资源化循环利用和种植土壤的健康保育。

Tel:(021)62202446;E-mail:zhoudeping919@163.com

* 通讯作者, Tel:(021)52232290;E-mail:wushuhang88@163.com

hill-drop drilling was better than the artificial scatter at both full tillering stage and booting stage, though their differences were not significant.

Key words: Rice; Direct seeding; Soil microorganism; Diversity index

水稻直播是不进行育秧、移栽而直接将种子播于大田的一种栽培方式。大面积水稻直播可节省大量劳动力,缓解劳动力季节性紧张,对实现水稻生产的轻型化、专业化、规模化具有重要意义,是上海地区近年来主推的示范推广技术。关于直播方式对水稻产量及发育性状影响的研究报道已有很多^[1-4],但不同直播方式对稻田土壤环境和微生物生态的影响却未见报道。土壤微生物是植物-土壤系统中的活跃组分,在养分循环、微环境健康保育和能量流动过程中均起着重要作用,是反应土壤生态系统变化的敏感指标之一,其种群数量、区系结构及代谢活性和多样性对外界环境变化敏感,有一定的响应和演化规律,对作物的健康生长具有指示和预警效应,是评价土壤环境质量的重要参数^[5-7]。土壤微生物群落结构越复杂,土壤生态系统越稳定,对外界环境变化的缓冲效应越强。本试验研究3种不同直播方式下稻田土壤理化指标、可培养微生物种群数量、区系结构以及微生物代谢类群的活性和多样性差异,并分析相关指标间的联系,以期探寻对土壤健康保育及水稻生长最适宜的高产直播方式,为水稻直播方式的遴选提供依据。

1 材料与方方法

1.1 试验地点

试验设在上海崇明岛长江农场水稻种植区,前茬作物为大麦。

1.2 供试材料

供试水稻品种为‘花优-14’。

1.3 试验方法

试验设置人工撒播、机械条播(行距 25 cm)、精量机穴播(行距 25 cm、株距 14 cm)3种直播处理方式,每处理1条田(334 m²左右),3个重复,播种量为 30 kg/hm²。水稻整个生育期的田间管理措施完全相同,分别于水稻分蘖盛期、孕穗期采样,考察不同直播方式下稻田土壤微生物种群、区系及代谢类群活性和多样性的差异状况。

1.4 样品测试与分析

土壤理化指标的测定:pH采用酸度计法(土水比 1:5);EC采用电导仪法(土水比 1:5);速效氮采用碱解氮法;有效磷采用 0.5 mol/L NaHCO₃ 浸提-钼锑抗比色法;速效钾采用 NH₄OAc 浸提-火焰光度计法^[8]。土壤细菌、真菌、放线菌种群数量采用梯度稀释平板混菌法计数,培养基组成见文献^[9];微生物代谢类群多样性分析采用美国 BIOLOG-GEN III 系统和 ECO 板,ECO 板(96 孔)内含与作物根系分泌物相关的 31 种碳源,在同一块板上对每种底物做 3 次重复。

AWCD(每孔平均光密度) = $\sum(C_i - R)/31$,其中: C_i 为所测 31 个反应孔的光密度值; R 为对照孔的光密度值。

Shannon 多样性指数: $H = -\sum(P_i \ln P_i)$,式中: $P_i = (C_i - R)/\sum(C_i - R)$ 。

Evenes(J')均匀度指数(据 Shannon-Wiener 信息指数计算): $J' = H/\ln S$,式中 S 为群落中的总物种数,本研究中以土壤微生物的碳源利用总数计。

McIntosh 指数: $U = \sqrt{\sum n_i^2}$ 。

1.5 数据处理

差异显著性分析、微生物代谢类群多样性指数及碳源利用的营养模糊聚类分别由 DPS 7.05 的多元统计、数学生态学及模糊聚类分析等模块完成,相关分析由 SPSS 11.5 的双变量相关分析模块完成。

2 结果与分析

2.1 不同直播方式下稻田土壤化学性状差异

由表 1 可见,3 种不同直播方式下,土壤化学性状在水稻分蘖盛期和孕穗期无明显规律性差异。土壤 pH 稳定在 7.6~7.8;EC 值分蘖盛期在 233~261 $\mu\text{s}/\text{cm}$,高于孕穗期的 181~196 $\mu\text{s}/\text{cm}$ 。土壤速效 N、P、K 含量分蘖盛期均高于孕穗期,因其受施肥及施肥均匀度的影响较大,无明显规律性表现。

表 1 直播方式对土壤化学性状的影响
Table 1 Effects of direct-seed rice patterns on soil chemical properties

		pH	EC/ $\mu\text{s} \cdot \text{cm}^{-1}$	速效 N/ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$	速效 P/ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$	速效 K/ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$
分蘖盛期	人工撒播	7.8	233	184	38	226
	机条播	7.8	261	166	59	199
	精量机穴播	7.7	250	131	45	245
孕穗期	人工撒播	7.7	196	87	38	167
	机条播	7.6	195	123	40	158
	精量机穴播	7.6	181	114	40	132

2.2 不同直播方式下稻田土壤微生物种群数量及区系差异

2.2.1 水稻分蘖盛期

土壤细菌与真菌的数量比值用 B/F 值表示,放线菌与真菌的数量比值用 S/F 值表示,它们是土壤微生物区系结构的两个重要特征指标,可反映土壤理化性质、养分、盐分及土壤微生物群落的健康平衡状况,与作物的健康生长紧密相关。

水稻分蘖盛期,机条播处理土壤细菌数量最少,分别为人工撒播和精量机穴播的 73% 和 72%;真菌数量最多;可培养微生物总数和 B/F 值均低于人工撒播和精量机穴播处理(图 1)。人工撒播处理,不仅可培养微生物总数高,其 B/F 值也大于其他 2 组处理,分别是机条播和精量机穴播的 2.59 倍和 1.69 倍。精量机穴播处理可培养微生物总数虽然与人工撒播相当,但 B/F 值相对较低,为人工撒播处理的 59%,真菌种群比例相对较高。从分蘖盛期的土壤微生物种群数量及区系分析结果看,人工撒播和精量机穴播处理比机条播处理对稻田土壤微生态平衡更为有利。

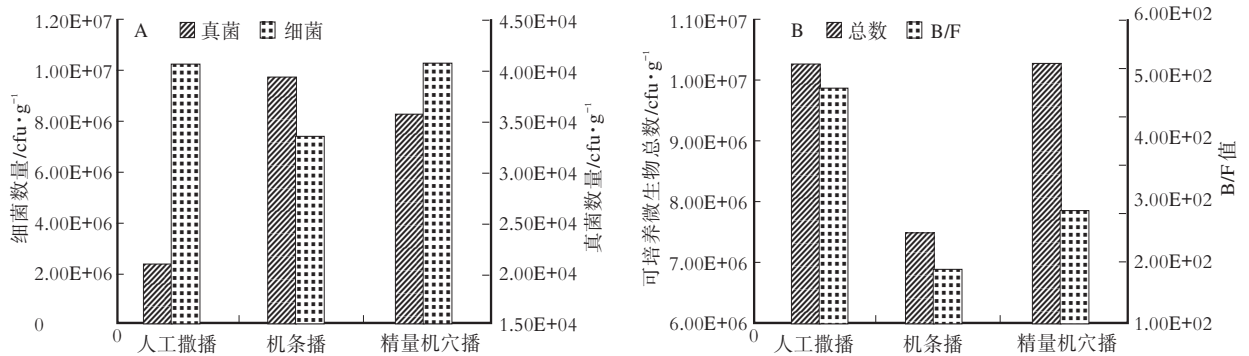


图 1 不同直播方式对水稻分蘖盛期土壤微生物种群数量及区系的影响

Fig. 1 Effects of direct-seed rice patterns on quantities and floras of soil microorganisms at full tillering stage

2.2.2 水稻孕穗期

水稻孕穗期,机条播处理土壤细菌、放线菌和真菌种群数量及可培养微生物总数均高其他 2 个处理(图 2),细菌数量分别是人工撒播和精量机穴播的 1.52 倍和 1.59 倍;放线菌数量分别是人工撒播和精量机穴播的 1.53 倍和 1.38 倍;真菌数量分别是人工撒播和精量机穴播的 2.17 倍和 1.85 倍;可培养微生物总数分别是人工撒播和精量机穴播的 1.53 倍和 1.52 倍。但微生物区系结构分析显示,机条播处理的 B/F 值和 S/F 值均是 3 种直播方式中最低的,B/F 值分别是人工撒播和精量机穴播的 70% 和 86%;S/F 值分别是人工撒播和精量机穴播的 71% 和 75%,与水稻分蘖盛期的分析结果一致。这说明水稻孕穗期,虽然机条播处理土壤可培养微生物三大类数量高于其他 2 种直播方式,但土壤微生物偏向于“真菌型”发展,区系结构平衡性不如人工撒播和精量机穴播处理。而人工撒播与精量机穴播处理土壤细菌、放线菌和可培养微生物总数相当,但人工撒播 B/F 值更高,是精量机穴播的 1.22 倍。

2.3 不同直播方式下稻田土壤微生物代谢类群多样性差异

2.3.1 水稻分蘖盛期

在 BIOLOG-ECO 板上,通过测定培养过程中微孔板内培养物的光密度值变化来衡量微生物利用各种碳源的能力,一种底物 3 次重复,碳源利用状况用每孔平均光密度(AWCD)来描述。水稻分蘖盛期(图 3-A),人工撒播处理 AWCD 初期上升快,培养 92 h 到达平台期;精量机穴播处理 AWCD 值初期上升慢,平台期数值低于其他 2 种直播方式;机条播处理 AWCD 值最初慢于人工撒播处理,平台期数值则稍高于人工撒播处理。分蘖盛期,在 AWCD 值上人工撒播和机条播相近,精量机穴播最低。

基于 BIOLOG-ECO 板 31 种碳源利用情况,选取培养 92 h 的 AWCD 值对 3 种直播方式下土壤微生物

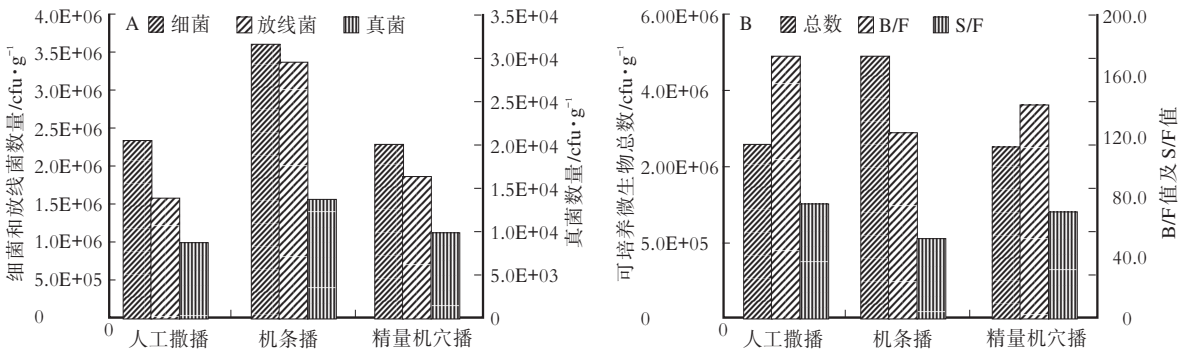


图2 不同直播方式对水稻孕穗期土壤微生物种群数量和比例的影响

Fig. 2 Effects of direct-seed rice patterns on quantities and ratios of soil microorganisms at booting stage

物代谢类群进行模糊聚类(图 3-B);机条播和精量机穴播对所试 31 种碳源的代谢相似性达 85%,二者聚为一类;人工撒播处理土壤微生物代谢类群与其他 2 个处理的差异明显,相似率低于 75%,单独聚为一类。这说明人工撒播处理土壤微生物对 31 种碳源底物的利用较为独特,与机械化耕作不同。

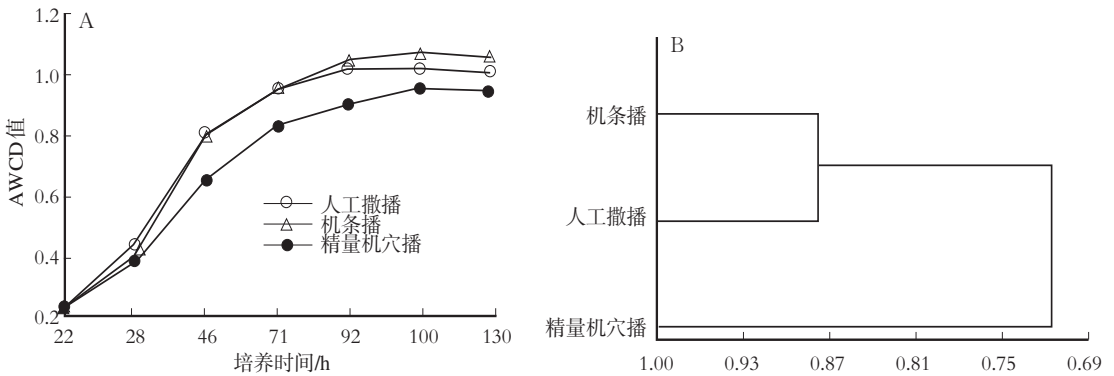


图3 不同直播方式下水稻分蘖盛期土壤微生物 AWCD 值差异及碳源代谢聚类

Fig. 3 Full-tillering-stage soil microorganism AWCD values and carbon metabolic clustering under direct-seed rice patterns

以培养 92 h 的 AWCD 值进行土壤微生物代谢类群多样性指数分析,结果表明:水稻分蘖盛期,精量机穴播处理在 Shannon、McIntosh 以及均匀度指数上均最高,其次为人工撒播,而平台期 AWCD 值最高的机条播处理代谢多样性指数最低,各处理间无显著差异(表 2)。

表 2 直播方式对分蘖盛期稻田土壤微生物多样性指数的影响

Table 2 Effects of direct-seed rice patterns on biodiversity index of soil microorganisms at full tillering stage

	物种丰富度(<i>S</i>)	Shannon(<i>H</i>)	均匀度(<i>J'</i>)	McIntosh(<i>Dmc</i>)
人工撒播	31 a	4.899 a	0.989 a	0.819 a
机条播	31 a	4.880 a	0.985 a	0.817 a
精量机穴播	31 a	4.903 a	0.990 a	0.820 a

2.3.2 水稻孕穗期

图 4-A 显示,水稻孕穗期,机条播处理 AWCD 值在整个培养周期中都是 3 种处理中的最低值,平台期值与人工撒播持平;精量机穴播平台期 AWCD 值最大。基于 BIOLOG-ECO 板 31 种碳源利用情况,选取培养 72 h 时的 AWCD 值对 3 种直播方式下土壤微生物代谢类群进行模糊聚类分析(图 4-B):人工撒播和机条播处理在水稻孕穗期土壤微生物代谢类群的相似性相对较高,二者聚为一类,精量机穴播则自成一类。孕穗期的 AWCD 值及聚类分析与分蘖盛期明显不同,波动幅度较大。

以培养 72 h 的 AWCD 值进行土壤微生物代谢类群多样性指数分析,结果表明:水稻孕穗期,精量机穴播处理在 Shannon、McIntosh 以及均匀度指数上均最高,与分蘖盛期一致;其次为机条播;人工撒播处理代谢多样性指数最低,各处理间无显著差异(表 3)。

2.4 稻田土壤微生物生态指标与环境因子的相关性分析

2.4.1 水稻分蘖盛期

由表 4 可见,在水稻分蘖盛期,与细菌种群数量相关性高的土壤理化指标为速效 P(负相关,pearson 系数为 -0.934)和速效 K(正相关,pearson 系数为 0.924);与真菌种群数量相关性最高的理化指标为 EC

值(正相关, pearson 系数为 0.981);与 AWCD 值相关性高的理化指标为 pH(正相关, pearson 系数为 0.921)和速效 K(负相关, pearson 系数为 -0.980);与 B/F 值相关性高的理化指标为 EC 值(负相关, pearson 系数为 -0.998*, 达显著水平)和速效 P(负相关, pearson 系数为 -0.930)。

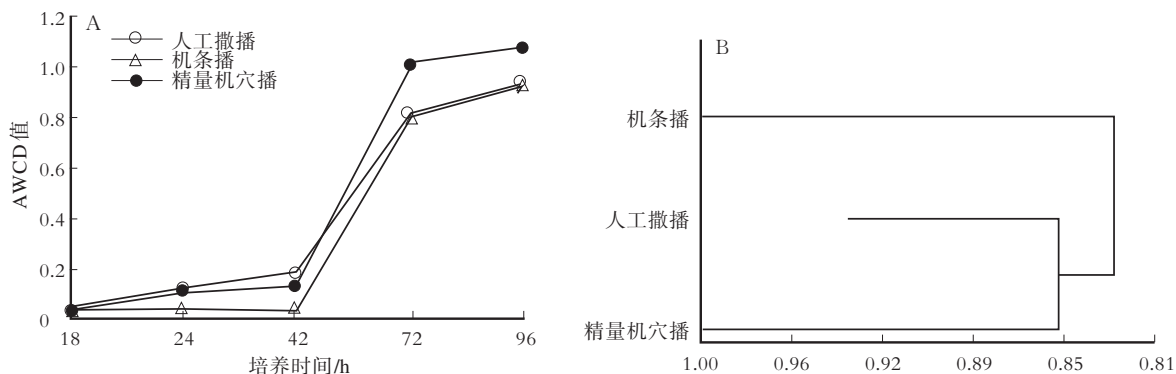


图 4 不同直播方式下水稻孕穗期土壤微生物 AWCD 值差异及碳源代谢聚类

Fig. 4 Booting-stage soil microorganism AWCD values and carbon metabolic clustering under direct-seed rice patterns

表 3 直播方式对水稻孕穗期土壤微生物多样性指数的影响

Table 3 Effects of direct-seed rice patterns on biodiversity index of soil microorganisms at booting stage

	物种丰富度(<i>S</i>)	Shannon(<i>H'</i>)	均匀度(<i>J'</i>)	McIntosh(<i>D_{mc}</i>)
人工撒播	31 a	4.710 a	0.951 a	0.801 a
机条播	31 a	4.718 a	0.952 a	0.803 a
精量机穴播	31 a	4.799 a	0.969 a	0.811 a

表 4 分蘖盛期稻田土壤微生物生态指标与环境因子间的相关性分析(Pearson 相关系数)

Table 4 Pearson correlation coefficients between ecological indexes of soil microorganisms and environmental factors at full tillering stage

	pH	EC 值	速效 N	速效 P	速效 K	细菌	真菌	AWCD 值	B/F 值
pH	1								
EC 值	-0.123	1							
速效 N	0.943	-0.447	1						
速效 P	0.189	0.951	-0.150	1					
速效 K	-0.812	-0.480	-0.570	-0.727	1				
细菌	-0.527	-0.779	-0.213	-0.934	0.924	1			
真菌	-0.314	0.981	-0.613	0.873	-0.300	-0.642	1		
AWCD 值	0.912	0.295	0.723	0.575	-0.980	-0.829	0.103	1	
B/F 值	0.184	-0.998*	0.502	-0.930	0.425	0.739	-0.991	-0.235	1

* 在 0.05 概率水平下相关显著。

2.4.2 水稻孕穗期

由表 5 可见,在水稻孕穗期,与 AWCD 值相关性高的理化指标为 EC 值(负相关, pearson 系数为 0.996)和速效 K(负相关, pearson 系数为 -0.962);与 B/F 值相关性高的理化指标为 pH(正相关, pearson 系数为 -0.921)和速效 P(负相关, pearson 系数为 -0.921)。

表 5 孕穗期稻田土壤微生物生态指标与环境因子间的相关性分析(Pearson 相关系数)

Table 5 Pearson correlation coefficients between ecological indexes of soil microorganisms and environmental factors at booting stage

	pH	EC	速效 N	速效 P	速效 K	细菌	真菌	放线菌	AWCD 值	B/F 值
pH	1									
EC	0.551	1								
速效 N	-0.971	-0.334	1							
速效 P	-1.000**	-0.551	0.971	1						
速效 K	0.699	0.982	-0.507	-0.699	1					
细菌	-0.440	0.507	0.643	0.440	0.334	1				
真菌	-0.611	0.325	0.783	0.611	0.140	0.980	1			
放线菌	-0.658	0.267	0.819	0.658	0.079	0.966	0.998*	1		
AWCD 值	-0.477	-0.996	0.252	0.477	-0.962	-0.579	-0.404	-0.348	1	
B/F 值	0.921	0.182	-0.988	-0.921	0.364	-0.756	-0.871	-0.899	-0.097	1

**、* 分别表示在 0.01 和 0.05 概率水平下相关显著。

3 讨论

土壤微生物群落结构指在一定区域内或生境下,土壤微生物组成、数量及相互关系,其结构组成及活性变化是衡量土壤质量、维持土壤肥力和作物生产力的重要指标。本研究对3种不同水稻直播方式下土壤微生物种群数量和区系结构进行分析,结果显示:3种直播方式下,不论是分蘖盛期还是孕穗期,人工撒播和精量机穴播处理在土壤可培养微生物总数上都很接近,精量机穴播略高于人工撒播处理;但在微生物种群区系比例上,人工撒播 B/F 值大于精量机穴播处理;机条播处理土壤微生物种群数量变化幅度大,水稻分蘖盛期是3种直播方式中最少的,而在孕穗期却最多,但其真菌种群数量多,是其他2种直播方式的近2倍,B/F值仍然是3种直播方式中的最低者,为人工撒播的70%和精量机穴播的86%,与分蘖盛期的结果一致。综合而言,3种直播方式下,虽然水稻不同生育期土壤可培养微生物总数波动较大,但 B/F 值的趋势则保持相对稳定,人工撒播和精量机穴播处理在土壤微生物区系结构平衡上优于机条播处理。土壤微生物代谢活性分析结果显示,不论是水稻分蘖盛期,还是孕穗期,虽然人工撒播 AWCD 值初期上升相对较快,但精量机穴播的多样性指数更高。

3种水稻直播方式中,在土壤微生物群落结构和种群比例上,人工撒播和精量机穴播优于机条播处理;而精量机穴播处理的土壤微生物代谢类群多样性指数则相对更高,优于人工撒播。此种土壤微生物区系结构和代谢活性间的差异与作物生长的联系究竟如何,本试验没有进一步跟踪监测。顾春军等^[10]研究结果显示,3种直播方式间水稻生育期无明显差异,但水稻单产精量机穴播最高,比人工撒播增产 573 kg/hm²,比机条播增产 738 kg/hm²,与本研究土壤中土壤微生态结构平衡性差异趋势精量机穴播>人工撒播>机条播的结果一致。

3种直播方式下,微生物生态指标与土壤理化性状间的相关性无稳定规律性,这可能与大田试验中施肥均匀度等各方面干扰因素较多有关,其中 AWCD 值和 B/F 值与 EC 值和 pH 间的关联相对较为紧密。

参 考 文 献

- [1] 许寿增,徐立军,方卫东,等.不同播种方式对油菜田水稻生长发育的影响[J].浙江农业科技,2005(5):393-394.
- [2] 苏昌龙,钱晓刚,冯跃华,等.水稻直播不同播期试验研究初探[J].耕作与栽培,2012(1):19-20.
- [3] 陈光玉,文云书,刘辉,等.水稻直播不同品种不同播期效果研究[J].耕作与栽培,2009(6):20-21.
- [4] 薛正平,李军,辛跳儿,等.直播水稻最佳播期的生物生态学特征初探[J].高原气象,2008,27(S1):183-189.
- [5] Feng Y, Motta A C, Reeves D W, et al. Soil microbial communities under conventional-till and no-till continuous cotton systems[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2003, 35(12): 1693-1703.
- [6] 董锡文,杜春梅,顿圆圆,等.长期使用大棚栽培蔬菜对土壤 pH 值及微生物的影响[J].河南农业科学,2013,42(5):86-88.
- [7] 张历,马德华,杜胜利,等.土壤 B/F 值与黄瓜生长关系的初探[J].天津农业科学,1992(1):9-11.
- [8] 李阜棣,喻子牛,何绍江.农业微生物学实验技术[M].北京:中国农业出版社,1996.
- [9] 鲁如坤.土壤农业化学分析方法[M].北京:中国农业科技出版社,2002.
- [10] 顾春军,王志雄,戴国忠.水稻不同播种方式对产量影响试验[J].上海农业科技,2012(3):46.