

根区局部灌溉对有机无机肥配施土壤微生物和玉米水分利用的影响

余江敏¹, 李伏生^{1,2*}, 韦彩会¹, 李志军²

(1. 广西大学农学院, 广西 南宁 530005; 2. 西北农林科技大学教育部旱区农业水土工程重点实验室, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 在不同有机无机肥配施条件下, 研究 3 种灌水方式, 即常规灌溉(CI)、固定部分根区灌溉(FPRI)和分根区交替灌溉(APRI)对土壤微生物数量和玉米水分利用的影响。结果表明: 有机无机肥配施能增加土壤微生物的数量, 但并不随有机肥比例的增加一直递增。在相同灌溉方式下, 以 60% 化肥+40% 有机肥(F3)施肥处理效果较好, 拔节期、孕穗期和灌浆期 3 个时期细菌、真菌和放线菌数量较其他施肥处理高。而在相同施肥条件下, APRI 和 FPRI 土壤细菌、真菌和放线菌的数量高于 CI 处理。与 CI 相比, FPRI 和 APRI 分别平均节水 14.7% 和 16.9%, 水分利用效率则分别平均提高了 20.0% 和 10.4%。这表明根区局部灌溉能创造良好的土壤生物环境, 促进微生物的代谢和繁殖, 提高土壤中微生物的数量, 节约灌水量和提高水分利用效率。

关键词: 根区局部灌溉; 有机无机肥配施; 土壤微生物; 水分利用效率

中图分类号: S154.38 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2008)06-0063-07

建立科学的施肥和灌溉制度, 不仅可以保持和提高农田的生产力, 保持和改善土壤的生物学特性, 提高土壤肥力, 同时也可以促进作物生长, 提高作物产量和水分利用效率^[1~2]。有机无机肥配施是我国农田施肥的有效制度, 它不仅可以促进作物生长和提高作物产量, 而且能提高土壤微生物活性和土壤肥力^[3~6]。如张辉等^[3]进行了化肥、有机肥、生物堆肥、有机无机复合肥和生物有机无机复合肥的田间比较试验, 结果表明, 与不施肥处理比较, 土壤细菌、真菌、放线菌的数量都有显著的增加。

根区局部灌溉, 包括分根区交替灌溉(APRI)和固定部分根区灌溉(FPRI)或称部分根干燥(PRD), 是一种作物局部根系受旱时, 既能控制蒸腾耗水、满足作物水分需求, 又能发挥肥料最大肥效, 并提高作物产量、品质的农田水分调控新思路, 已在干旱半干旱地区玉米、棉花等作物进行了试验研究和应用^[7]。分根区交替灌溉对作物生理、生长发育、养分吸收、产量和提高水分利用效率等方面的影响研究已取得较大的进展^[1,2,7~11]。如 Li 等^[1]的结果表明, 在施肥和充分供水的条件下, 与常规灌溉相比, 分根区交替灌溉节水 38.4%, 水分利用效率和氮肥表现观利用率分别提高 24.3% 和 16.4%。韩艳丽和康绍忠^[2]的研究结果表明, 交替灌水方式较均

匀灌水方式节水 27.6%, 水分利用效率提高 5.3%, 单位耗水量的氮、磷利用效率也有所提高。目前有关根区局部灌溉对土壤微生物的影响也有报道, 如王金凤等^[12]研究发现, 在同一灌水方式下, 轻度水分亏缺处理下微生物数量占有一定的优势, 有时甚至高于充分灌水处理; 交替 1/2 根系灌水根系两侧土壤微生物数量分布均匀。但在不同有机无机肥配施条件下, 根区局部灌溉对土壤微生物数量影响报道较少。因此, 本试验在不同有机无机肥配施条件下, 研究根区局部灌溉对玉米各个生育期土壤中微生物数量的变化和水分利用情况。通过试验, 总结根区局部灌溉对有机无机肥配施土壤微生物的变化和水分利用情况, 更好地指导生产实践。

1 材料与方法

1.1 试验材料

盆栽试验在广西大学农学院农业资源与环境教学实习基地网室大棚中进行。供试土壤采自广西大学农科教学基地的赤红土, 土壤 pH 值为 4.8, 碱解氮 105.4 mg/kg (1 mol/L NaOH 碱解扩散法), 速效磷 15.4 mg/kg (0.5 mol/L NaHCO₃ 法), 速效钾 100.2 mg/kg (1 mol/L 中性 NH₄AC 浸提法)。供试作物为玉米(豫玉 30)。

收稿日期: 2008-03-26

基金项目: 国家自然科学基金(50869001); 广西教育厅研究生教育科研创新计划项目(2007-93); 西北农林科技大学教育部旱区农业水土工程重点实验室基金; 国家 973 计划项目(2006CB403406); 广西教育厅项目(2006-26)

作者简介: 余江敏(1983-), 男, 广西柳州人, 硕士, 研究方向为植物营养与环境理论与技术研究。

* 通讯作者: 李伏生(1963-), 男, 湖南祁阳人, 教授, 研究方向为植物营养与水肥利用理论与技术研究。E-mail: zhenz@gxu.edu.cn.

1.2 试验处理和实施

试验设两个因素:3 种灌水方式和 4 个有机无机肥配施水平,完全方案设计,共 12 个处理,每处理重复 3 次,共 36 盆。灌水方式分别为常规灌溉(CI),每次对盆内土壤全部均匀灌水;固定部分根区灌溉(FPRI),每次始终固定对盆内其中一个 1/2 区域土壤灌水;分根区交替灌溉(APRI),每次交替对盆内 1/2 区域土壤灌水。有机无机肥配施水平分别设 100% 化肥(F₁)、80% 化肥+20% 有机肥(F₂)、60% 化肥+40% 有机肥(F₃)以及 40% 化肥+60% 有机肥(F₄)。N 用尿素(含 N46%)供给,施纯 N 0.15 g/kg 土,即施尿素(分析纯)0.33 g/kg。按 P₂O₅:K₂O 为 1:2 的比例施用磷钾肥,即施 P₂O₅ 0.075 g/kg 和 K₂O 0.15 g/kg。P₂O₅ 全部用磷酸二氢钾(分析纯)供给,施 KH₂PO₄ 0.14 g/kg,其中 K₂O 为 0.049 g/kg。磷酸二氢钾中 K₂O 用量不足用氯化钾(分析纯)供给,施 KCl 0.17 g/kg。有机肥为沤熟的牛粪(N 含量为 0.30%,P₂O₅ 为 0.16%,K₂O 为 0.40%),施用量以纯 N 量计算,各有机无机肥配施处理牛粪用量分别为:0 g/kg,10 g/kg,20 g/kg 和 30 g/kg。所有有机无机肥料均以基肥施入,装盆前与土壤充分拌匀。

试验在聚乙烯塑料桶(盆高 23 cm、直径 30 cm)中进行,所有处理盆中间均用塑料薄膜隔开,以阻止水分交换,两边各装土 6.5 kg,每盆共装土 13 kg。每盆均放置塑料灌水管到桶底部,灌水管的下半截均匀打数个小孔,底部与四周均有细纱布包裹,可以防止土壤因灌水而引起的土壤板结。在播种前将其浇至田间持水量(θ_f)的 80%。

2007 年 8 月 8 日,每盆播 3 粒已催芽的种子,8 月 12 日出苗,8 月 17 日间苗,8 月 18 日(三叶期)开始对供试玉米进行灌水处理。苗期土壤含水量保持在 60% θ_f ~80% θ_f ,拔节期、孕穗期、灌浆期土壤含水量保持在 70% θ_f ~90% θ_f 。固定部分根区灌溉(FPRI)与分根区交替灌溉(APRI)处理每次按常规灌溉(CI)灌水量的 70% 进行灌水。试验期间用磅秤称量盆重,称重间隔时间为 2 d,用水量平衡法确定蒸腾蒸发量,用量筒量取灌水量,并记下每次各个处理的灌水量。FPRI 处理灌水区域为湿润区(Wet),非灌水区域为干燥区(Dry)。APRI 处理取样前最后一次灌水区域称为湿润区(Wet),非灌水区域称为干燥区(Dry)。

试验分 3 次采集土样,即 9 月 8 日(播后 31 d,拔节期)、9 月 28 日(播后 51 d,孕穗期)和 10 月 11 日(播后 64 d,灌浆期)。每次用土钻分别在湿润区

和干燥区采集土样,采土前用采土区土壤擦拭 2~3 次,并把表土层 0~5 cm 拨开,每次均采集 5~15 cm 土层土壤,混匀后用备好无菌封口袋保存于 4℃ 冰箱中 2~3 d 内分析,同时测定土壤水分(烘干法),以便计算每克干土中微生物数量。10 月 13 日(播后 66 d,灌浆期)试验结束,分别采收植株冠干和地下部,105℃ 杀青 30 min,65℃ 烘干至恒重后称重。水分利用效率用下述公式计算:

$$\text{水分利用效率}(\text{kg}/\text{m}^3) = \frac{\text{干物质总质量即(冠干物质量+根系干物质量)}}{\text{耗水量}}$$

1.3 测定方法

土壤微生物区系分析(平板稀释法)^[13]:细菌、真菌、放线菌分别用牛肉膏蛋白胨琼脂培养基、马丁氏培养基和改良高氏 1 号培养基。

2 结果与讨论

2.1 根区局部灌溉对有机无机肥配施土壤微生物的影响

土壤中微生物分布广、类型最多、数量最大。其中,细菌约占土壤微生物总量的 70%~90%,放线菌、真菌次之^[14,15]。微生物通过其代谢活动在土壤中分解动植物的排泄物以及残体,转化为腐殖质,增强土壤肥力,从而改变土壤的理化性质,进行物质转化,从而供给作物所需的营养。本试验分 3 次采样对土壤细菌、真菌和放线菌进行分析,以每克干土中细菌数量表示。

2.1.1 细菌 表 1 结果表明,在常规灌溉(CI)条件下,与单施化肥(F₁)相比,拔节期 80% 化肥+20% 有机肥(F₂)细菌减少了 41.0%,60% 化肥+40% 有机肥(F₃)和 40% 化肥+60% 有机肥(F₄)处理则分别增加了 76.9% 和 65.8%;孕穗期 F₂、F₃ 和 F₄ 则分别减少了 47.7%、38.5% 和 29.2%;灌浆期 F₂、F₃ 和 F₄ 分别增加 7.6%、49.7% 和 59.51%。在固定部分根区灌溉(FPRI)条件下,与 F₁ 湿润区相比,拔节期其它处理湿润区细菌数量增加了 6%~81%;孕穗期则减少了 14%~17%;灌浆期 F₄ 增加了 17.6%,而 F₂ 和 F₃ 处理分别减少了 19.9% 和 9.0%;与 F₁ 干燥区相比,拔节期细菌数量随着有机肥比例的增加而减少,孕穗期和灌浆期则与之相反。在分根区交替灌溉条件下,湿润区 3 个生育时期均以 F₃ 处理细菌数量最大;干燥区各施肥处理相比,除拔节期 F₄ 略高于其他外,孕穗期和灌浆期仍以 F₃ 处理细菌数量最大。

F₁ 时除孕穗期 APRI 和 FPRI 处理均低于 CI 外,拔节期和灌浆期都以 FPRI 处理下的湿润区和

干燥区细菌数量增加最大。与 CI 相比, F₂ 和 F₃ 的拔节期以 FPRI 的湿润区细菌数量最大, 其它时期以 APRI 处理干燥区和湿润区的最大。F₄ 处理拔

节期和孕穗期均以 APRI 干燥区细菌数量最大, 而灌浆期则以 FPRI 湿润区最大。

表 1 根区局部灌溉对有机无机肥配施土壤细菌数量的影响

Table 1 Effect of partial root-zone irrigation on the number of soil bacteria under combined application of organic and inorganic fertilizers

有机无机肥 配施比例 Ratio of organic and inorganic fertilizer	灌水方式 Irrigation method	细菌($\times 10^6/g$) Bacteria		
		拔节期 Jointing stage	孕穗期 Booting stage	灌浆期 Filling stage
F ₁	CI	1.17	5.28	1.63
	FPRI-W	2.14	5.27	5.78
	FPRI-D	1.61	2.02	2.39
	APRI-W	1.93	3.30	5.46
	APRI-D	0.94	2.33	2.81
F ₂	CI	0.62	2.73	1.78
	FPRI-W	3.87	4.36	4.63
	FPRI-D	1.81	2.21	3.38
	APRI-W	1.85	4.72	5.63
	APRI-D	1.59	4.18	4.24
F ₃	CI	2.07	3.25	2.46
	FPRI-W	2.26	4.45	5.26
	FPRI-D	1.21	3.41	3.60
	APRI-W	2.04	4.93	6.45
	APRI-D	1.95	4.94	5.25
F ₄	CI	1.94	3.74	2.60
	FPRI-W	2.99	4.70	6.80
	FPRI-D	1.14	3.30	5.29
	APRI-W	2.54	4.44	5.81
	APRI-D	3.26	4.63	6.09

注: CI: 常规灌溉; FPRI-W: 固定部分根区灌溉湿润区; FPRI-D: 固定部分根区灌溉干燥区; APRI-W: 分根区交替灌溉湿润区; APRI-D: 分根区交替灌溉干燥区; 下同。

Note: CI: soil was evenly irrigated with tap water in each watering; FPRI-W: wet area of watering was fixed to half of the soil in the pot, FPRI-D: dry area of watering was fixed to half of the soil in the pot; APRI-W: wet area of watering was alternately applied to the two halves in the pot in consecutive watering, APRI-D: dry area of watering was alternately applied to the two halves in the pot in consecutive watering; the same as followed.

2.1.2 真菌 从表 2 可见, 在 CI 条件下, 与 F₁ 相比, 拔节期 F₂、F₃ 和 F₄ 处理的真菌数量分别增加 27.3%、54.5% 和 472.7%; 孕穗期, F₃ 真菌数量比 F₁ 增加 5.15%; 灌浆期真菌数量均有所提高。在 FPRI 条件下, 与 F₁ 湿润区相比, 3 个生育时期均以 F₃ 真菌数量最大, 分别增加 9.09%、20.6% 和 9.0%; 与 F₁ 干燥区相比, 拔节期 F₃ 增加达 52.2%; 孕穗期和灌浆期则以 F₄ 增加最大, 分别增加 32.3% 和 26.2%。在 APRI 条件下, 与 F₁ 处理相比, 3 个时期湿润区和干燥区均以 F₃ 处理真菌数目最大。

与 CI 相比, F₁ 时除拔节期 APRI 干燥区真菌数量略低外, 3 个时期 FPRI 和 APRI 处理的湿润区和干燥区真菌数量均有所提高, 拔节期以 FPRI 干燥区最大, 而孕穗和灌浆期则以 APRI 湿润区数量最大。F₂ 时拔节期和孕穗期分别以 FPRI 和 APRI 干燥区真菌数量最高, 分别比 CI 增加了 64.3% 和 145.1%。F₃ 时拔节期仍以 FPRI 干燥区最高, 孕穗期和灌浆期则分别以 APRI 湿润区和干燥区最高, 分别比 CI 增加了 77.9% 和 56.1%。F₄ 时 3 个生育时期均以 FPRI 干燥区真菌数量最高。

表 2 根区局部灌溉对有机无机肥配施土壤真菌数量的影响
Table 2 Effect of partial root-zone irrigation on the number of soil fungi
under combined application of organic and inorganic fertilizers

有机无机肥 配施比例 Ratio of organic and inorganic fertilizer	灌水方式 Irrigation method	真菌($\times 10^4/g$) Fungi		
		拔节期 Jointing stage	孕穗期 Booting stage	灌浆期 Filling stage
F ₁	CI	0.11	1.94	3.08
	FPRI-W	0.11	2.23	4.00
	FPRI-D	0.22	2.54	4.22
	APRI-W	0.13	3.17	4.59
	APRI-D	0.08	2.69	3.83
F ₂	CI	0.14	1.64	4.43
	FPRI-W	0.10	2.56	3.39
	FPRI-D	0.23	2.81	4.37
	APRI-W	0.14	3.33	4.12
	APRI-D	0.18	4.02	4.10
F ₃	CI	0.17	2.04	3.10
	FPRI-W	0.12	2.69	4.36
	FPRI-D	0.46	2.89	4.40
	APRI-W	0.38	3.63	4.74
	APRI-D	0.40	3.61	4.84
F ₄	CI	0.63	1.24	4.05
	FPRI-W	0.08	1.92	3.57
	FPRI-D	0.21	3.36	4.66
	APRI-W	0.16	1.63	3.21
	APRI-D	0.19	2.53	2.83

2.1.3 放线菌 表 3 结果表明,在 CI 条件下,与 F₁ 相比,F₂、F₃ 和 F₄ 处理 3 个时期放线菌平均分别增加 94.3%、17.5%和 109.5%。在 FPRI 条件下,与 F₁ 湿润区相比,F₂、F₃ 和 F₄ 处理 3 个时期均有不同程度的提高,平均分别增加了 59.4%、147.4%和 139.7%。在 APRI 条件下,与 F₁ 湿润区相比,拔节期和孕穗期 F₂、F₃ 和 F₄ 处理湿润区放线菌均有所提高,灌浆期则比 F₃ 提高了 49.2%;与 F₁ 干燥区相比,F₂、F₃ 和 F₄ 处理 3 个生育时期放线菌数量随着有机肥用量的增加而增加。

与 CI 相比,F₁ 处理在拔节期、孕穗期除 APRI 的干燥区增加 18.4%和 11.4%外,其它放线菌均有所下降,而灌浆期则 FPRI 和 APRI 均比 CI 放线菌数量有所增加。F₂ 时除 FPRI 的湿润区在拔节期和孕穗期分别有所增加,3 个生育期各灌溉方式干湿两区均有所下降。F₃ 时 FPRI 的湿润区和干燥区 3 个时期平均分别增加 55.2%和 90.2%,APRI 的湿润区和干燥区 3 个生育时期平均分别增加 135.1%和 117.3%。F₄ 时 APRI 干燥区放线菌均有提高,3

个生育时期平均增加 43.4%,而 FPRI 干燥区和 APRI 湿润区在拔节期和孕穗期也有不同程度的增加。

2.1.4 微生物总数 从表 4 可知,3 个生育期细菌占总菌落百分数,拔节期最大达到 93.0%、孕穗期达到 95.3%、灌浆期达到 85.5%;真菌 3 个生育期所占最大比例则分别为 0.2%、1.3%和 1.4%;放线菌 3 个生育期所占最大比例分别为 28.1%、31.1%和 21.9%。可见,一般真菌和放线菌所占总菌落的比例较低,因此,总菌落的变化规律和细菌一致,不再赘述。

2.2 根区局部灌溉对有机无机肥配施玉米干物质积累与水分利用的影响

表 5 结果表明,与 CI 处理相比,F₁ 时 FPRI 处理冠干物质、根干物质和总干物质质量分别减少了 14.2%、18.1%和 14.8%;F₂ 时则分别增加了 9.8%、18.6%和 11.1%;F₃ 和 F₄ 时冠干物质和总干物质质量分别增加了 2.9%和 1.4%,15.3%和 11.5%,根干物质质量减少了 5.7%和 0.4%。与 CI

表 3 根区局部灌溉对有机无机肥配施土壤放线菌数量的影响

Table 3 Effect of partial root-zone irrigation on the number of soil actinomycetes under combined application of organic and inorganic fertilizers

有机无机肥配施比例 Ratio of organic and inorganic fertilizer	灌水方式 Irrigation method	放线菌 Actinomycetes($\times 10^6/g$)		
		拔节期 Jointing stage	孕穗期 Booting stage	灌浆期 Filling stage
F ₁	CI	0.38	0.44	0.81
	FPRI-W	0.24	0.28	0.95
	FPRI-D	0.31	0.41	1.03
	APRI-W	0.19	0.36	1.22
	APRI-D	0.45	0.49	0.87
F ₂	CI	0.75	0.92	1.43
	FPRI-W	0.29	0.65	1.19
	FPRI-D	0.99	1.09	1.24
	APRI-W	0.30	0.68	1.04
	APRI-D	0.56	0.63	0.86
F ₃	CI	0.40	0.53	1.03
	FPRI-W	0.77	0.82	1.22
	FPRI-D	0.93	1.18	1.19
	APRI-W	0.96	1.53	1.82
	APRI-D	1.15	1.19	1.44
F ₄	CI	0.75	1.00	1.65
	FPRI-W	0.74	0.82	1.12
	FPRI-D	0.86	1.19	1.57
	APRI-W	0.95	1.03	1.21
	APRI-D	1.25	1.55	1.79

表 4 根区局部灌溉对有机无机肥配施土壤微生物总数的影响

Table 4 Effect of partial root-zone irrigation on the total number of soil microorganism under combined application of organic and inorganic fertilizers

有机无机肥配施比例 Ratio of organic and inorganic fertilizer	灌水方式 Irrigation method	微生物总数 Total amount of microorganism($\times 10^6/g$)		
		拔节期 Jointing stage	孕穗期 Booting stage	灌浆期 Filling stage
F ₁	CI	1.55	5.30	2.47
	FPRI-W	2.38	5.29	6.77
	FPRI-D	1.92	2.05	3.46
	APRI-W	2.02	3.33	6.73
	APRI-D	1.39	2.36	3.72
F ₂	CI	1.37	2.78	3.22
	FPRI-W	4.16	4.39	5.85
	FPRI-D	2.80	2.24	4.66
	APRI-W	2.13	4.75	6.71
	APRI-D	2.15	4.22	5.14
F ₃	CI	2.47	3.27	3.50
	FPRI-W	3.03	4.48	6.52
	FPRI-D	2.14	3.44	4.83
	APRI-W	3.00	4.97	8.32
	APRI-D	3.10	4.98	6.74
F ₄	CI	2.70	3.75	4.29
	FPRI-W	3.63	4.58	7.96
	FPRI-D	2.00	3.52	6.91
	APRI-W	3.49	4.46	7.05
	APRI-D	4.44	4.69	7.02

相比,除 F₂ 时 APRI 处理冠干物质和总干物质质量增加了 6.1% 和 5.2%, F₃ 冠干物质质量略有增加外,其他有机无机肥配施处理冠干物质、根干物质和总干物质质量均有不同程度的减少。

在相同施肥条件下,FPRI 和 APRI 处理的耗水

量均低于 CI 处理的耗水量,而水分利用效率(WUE)则高于 CI 处理。不同有机无机肥配施条件下,与 CI 相比,FPRI 和 APRI 处理平均分别节水 14.7% 和 16.9%;水分利用效率平均则分别提高 20.0% 和 10.4%。

表 5 根区局部灌溉对有机无机肥配施玉米干物质积累与水分利用的影响

Table 5 Effect of partial root-zone irrigation on dry mass accumulation and water use in maize under combined application of organic and inorganic fertilizers

有机无机肥 配施比例 Ratio of organic and inorganic fertilizer	灌水方式 Irrigation method	地上部干重 (g/株) Shoot dry weight (g/plant)	根系干重 (g/株) Root dry weight (g/plant)	干物质总重 (g/株) Total dry weight (g/plant)	耗水量 (kg/株) Water use (kg/plant)	水分利用效率 Water use efficiency (kg/m ³)
F ₁	CI	98.39	18.57	116.97	25.02	4.67
	FPRI	84.41	15.21	99.62	20.13	4.95
	APRI	72.81	16.73	89.54	19.09	4.69
F ₂	CI	72.71	13.12	85.83	20.54	4.18
	FPRI	79.82	15.56	95.38	19.58	4.87
	APRI	77.16	13.12	90.27	19.08	4.73
F ₃	CI	68.24	15.01	83.25	21.87	3.81
	FPRI	70.23	14.16	84.39	17.67	4.78
	APRI	68.41	11.28	79.69	18.29	4.36
F ₄	CI	68.78	12.57	81.35	20.89	3.89
	FPRI	79.29	11.45	90.74	17.67	5.14
	APRI	66.14	9.49	75.63	16.65	4.42

3 讨论

王金凤等^[12]指出 CI 处理由于长期灌水造成含水量过高而造成厌氧环境,不利于细菌生长;FPRI 处理孕穗期和灌浆期湿润区均高于干燥区,是因为长时间的干燥,抑制细菌的生长;APRI 处理由于改善了土壤的孔隙结构,有效地改善土壤的通气状况,既不会由于长期缺水土壤干燥引起微生物的死亡,又不会由于长期水分含量过高,抑制好氧微生物的生命活动,为微生物提供了有益的生存环境,因此,本研究 APRI 和 FPRI 整体提高土壤微生物的数量效果优于 CI。

有机肥与 N、P、K 化肥的合理配施能促进微生物生长繁殖^[16]。由于有机肥中含有大量的碳水化合物和 N、P、K 等矿质营养,为细菌的生长提供了丰富的碳源和氮源,并能提高土壤通气性,比化肥更能激发细菌的生长和繁育,从而极大地增加了细菌的数量^[17],本研究结果与之相似。当有机肥与无机肥按某一比例配施时,可以减少真菌数量^[18],这一结论在本研究中恰好得到了验证。本研究放线菌数量随着有机肥比例的增加而增加,而张辉^[19]等的研究结果也显示:有机无机复合肥显著提高土壤微生物活性,这与本试验结果一致。

物活性,这与本试验结果一致。

在 3 次采样中,各处理细菌数量除常规灌溉外,其他处理在灌浆期均达到最大值。顾峰雪等^[20]认为在植物生长旺盛期,其根系土壤微生物将会显著增加,这在本试验中真菌和放线菌的数据得到了很好的验证。这是由于玉米处于生长高峰期,根系代谢旺盛,根系分泌物增多,灌溉频繁,土壤温度升高,有机肥营养逐渐释放,有利于微生物的生长。

另外,APRI 耗水量减少,干物质有所下降,而水分利用效率提高,这与梁宗锁^[8]的研究结果相似。

4 结论

1) 本实验条件下,添加有机肥处理细菌、真菌和放线菌数量均有不同程度的增加,在相同灌溉方式下,以 60% 化肥+40% 有机肥(F₃)施肥处理效果较好。在相同施肥条件,APRI 和 FPRI 整体提高土壤微生物的数量效果优于 CI。因此 APRI 结合 F₃ 能创造良好的土壤生物环境,促进微生物的代谢和繁殖,增加土壤微生物的数量。

2) 与 CI 相比,FPRI 处理冠干物质和总干物质有所增加,根干物质则有所减少,平均节水 14.7%,

水分利用效率平均提高 20.0%; APRI 干物质积累略有减少, 灌溉平均节水量 16.9%, 水分利用效率提高了 10.4%。因此根区局部灌溉能有效地节约灌溉水和提高作物水分利用效率。

参考文献:

- [1] Li F S, Liang J H, Kang S Z, et al. Benefits of alternate partial root zone irrigation on growth, water and nitrogen use efficiencies modified by fertilization and soil water status in maize[J]. *Plant and Soil*, 2007, 295: 279—291.
- [2] 韩艳丽, 康绍忠. 分根区交替灌溉对玉米养分吸收的影响[J]. *灌溉排水*, 2001, 20(2): 49—51.
- [3] 张辉, 李维炯, 倪永珍. 生物有机无机复合肥对土壤微生物活性的影响[J]. *农业生态环境*, 2004, 20(1): 34—40.
- [4] 洪坚平, 谢英荷. 不同施肥条件下土壤微生物生物量的研究[J]. *山西农业大学学报*, 1996, 16(1): 19—21.
- [5] 隋跃宇, 焦晓光, 张兴义, 等. 不同施肥制度对大豆生育期土壤微生物量的影响[J]. *土壤通报*, 2006, 37(5): 894—896.
- [6] 罗明, 文启凯, 纪春燕, 等. 不同施肥措施对棉田土壤微生物量及其活性的影响[J]. *土壤*, 2001, (1): 53—56.
- [7] 梁宗锁, 康绍忠, 胡炜, 等. 控制性分根区交替灌溉的节水效应[J]. *农业工程学报*, 1997, 13(4): 58—63.
- [8] 梁宗锁, 康绍忠, 张建华, 等. 控制性分根区交替灌溉对作物水分利用效率的影响及节水效应[J]. *中国农业科学*, 1998, 31(5): 88—90.
- [9] Kang S Z, Liang Z S, Hu W, et al. Water use efficiency of con-

trolled alternate irrigation on root-divided maize plants[J]. *Agric Water Manage*, 1998, 38: 69—76.

- [10] 黄春燕, 李伏生, 覃秋兰, 等. 两种施肥水平下根区局部灌溉对甜玉米水分利用的效应[J]. *节水灌溉*, 2004, (6): 8—12.
- [11] 康绍忠, 蔡焕杰. 作物根系分区交替灌溉和调亏灌溉的理论与实践[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000. 14—38.
- [12] 王金凤, 康绍忠, 张富仓, 等. 控制性根系分区交替灌溉对玉米根区土壤微生物及作物生长的影响[J]. *中国农业科学*, 2006, 39(10): 2056—2062.
- [13] 许光辉, 郑洪元. 土壤微生物分析方法手册[M]. 北京: 农业出版社, 1986.
- [14] 黄秀梨. 微生物学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2001. 194—195.
- [15] 王家玲. 环境微生物学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1988. 55—57.
- [16] 罗明, 文启凯, 纪春燕, 等. 不同施肥措施对棉田土壤微生物量及其活性的影响[J]. *土壤*, 2001, (1): 53—56.
- [17] Ndayeyamiye A, Cote D. Effect of long-term pig slurry and solid cattle manure application on soil chemical and biological properties[J]. *Can J Soil Sci*, 1989, 69(1): 39—47.
- [18] Nanda S K, Das P K, Behera B. Effects of continuous manuring on microbial population, ammonification and CO₂ evolution in a rice soil[J]. *Oryza*, 1998, 25(4): 413—416.
- [19] 张辉, 李维炯, 倪永珍. 生物有机无机复合肥对土壤微生物活性的影响[J]. *农业生态环境*, 2004, 20(1): 34—40.
- [20] 顾峰雪, 文启凯, 潘伯荣, 等. 塔克拉玛干沙漠腹地人工植被下土壤微生物的初步研究[J]. *生物多样性*, 2000, 8(3): 297—303.

Effect of partial root-zone irrigation on soil micro-organism and maize water utilize under combined application of organic and inorganic fertilizers

YU Jiang-min¹, LI Fu-sheng^{1,2*}, WEI Cai-hui¹, LI Zhi-jun²

(1. Agricultural College, Guangxi University, Nanning, Guangxi 530005, China;

2. Key Laboratory for Agricultural Soil and Water Engineering in Arid Area of Education, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: A pot experiment was carried out to study the effects of three kinds of water irrigation, i.e. conventional irrigation (CI), fixed partial root zone irrigation (FPRI) and alternate partial root zone irrigation (APRI) on the number of soil microorganism and maize water use under different combined application of organic and inorganic fertilizer. The results showed that the combined application of organic and inorganic fertilizer increased the number of soil microorganism which, however, did not keep on increasing with the increase of the use ratio of organic fertilizer. Under the same irrigation treatment, 60% inorganic fertilizer combined with 40% organic manure treatment increased the number of soil bacteria, fungi and actinomycetes in jointing, booting and filling stage than other treatments. While under the same fertilization level treatment, the number of soil bacteria, fungi and actinomycetes in APRI and FPRI treatments were higher than CI treatment. Compared with CI treatment, FPRI and APRI treatments average saved irrigation water by 14.7% and 16.9%, and water use rate increased by 20.0% and 10.4%. Above results showed that partial root zone irrigation (PRI) created a good soil biological environment, promoted the metabolism and reproduction of the microorganism, the number of soil microorganisms, and saved irrigation water use amount and raised water utilizing rate.

Keywords: partial root zone irrigation; combined application of organic and inorganic fertilizer; soil microorganism; water use rate