

沟灌方式和有机无机氮比例对甜糯玉米种植土壤酶活性和活性有机碳的影响^①

吴祥颖, 张潇潇, 李伏生*

(广西大学农学院, 南宁 530005)

摘要: 通过田间试验, 研究了不同沟灌方式与有机无机氮(N)比例对甜糯玉米产量, 不同时期土壤酶活性和活性有机碳含量的影响, 以探讨有利于提高玉米产量和土壤质量的水肥供应模式。结果表明: 60% 无机 N + 40% 有机 N 处理(F3)时, 固定隔沟灌甜糯玉米鲜穗产量比常规沟灌提高 12.0%; 与单施无机氮处理相比, 常规沟灌时 70% 无机 N + 30% 有机 N 处理(F2)和固定隔沟灌时 F3 处理提高玉米鲜穗产量。相同水肥条件下, 抽雄期土壤脲酶和转化酶活性显著高于成熟期。与单施无机氮处理相比, 有机无机氮肥配施有利于增加土壤易氧化碳和可溶性碳含量, 其中 F3 处理最高。与常规沟灌相比, 交替隔沟灌和固定隔沟灌对抽雄期和成熟期土壤过氧化氢酶和转化酶活性、易氧化碳和可溶性碳含量均有不同程度的影响, 且固定隔沟灌与 F3 组合抽雄期和成熟期土壤转化酶活性、易氧化碳和可溶性碳含量以及抽雄期土壤过氧化氢酶活性最高。因此, 固定隔沟灌与 F3 组合有利于提高土壤过氧化氢酶和转化酶活性以及易氧化碳和可溶性碳含量, 从而提高玉米鲜穗产量。

关键词: 固定隔沟灌; 有机无机氮比例; 土壤酶; 活性有机碳; 甜糯玉米

中图分类号: S147.3; S154.3

当前, 我国地面灌溉面积占全国总灌溉面积 95.0% 以上, 以传统沟、畦地面灌溉技术为主。交替隔沟灌与固定隔沟灌是对传统沟灌的改进, 它减少了地面湿润面积, 增加了土壤通透性, 该技术对作物生长发育、产量、养分吸收和水分利用等方面的影响研究已取得较大的进展^[1-4]。如汪顺生等^[2]结果表明: 土壤水分控制下限为田间持水量的 70%~80% 时, 与常规沟灌相比, 交替隔沟灌玉米耗水量降低 21.05%~22.04%, 而产量仅减少 2.85%~3.99%, 因而水分利用效率(WUE)明显提高。Li 等^[3]研究指出: 在施肥和充分供水条件下, 分根区交替灌溉处理节水 29.1%, 总干物质量减少 6.3%, 而 WUE 提高 24.3%, 氮肥利用率提高 16.4%。

土壤酶活性反映土壤中各种生物化学过程的强度和方向, 是土壤肥力评价的重要指标之一^[5]。有机无机氮肥配施能显著提高土壤酶活性^[6-7]。Li 等^[8]研究表明: 土壤过氧化氢酶、脲酶及转化酶活性均随着有机氮肥比例的增加而增加, 酸性磷酸酶活性则在

70% 无机 N + 30% 有机 N 处理下较大。土壤含水量高低影响土壤酶活性, 但对不同土壤酶活性的影响有所不同^[9-10]。分根区交替灌溉处理湿润区土壤脲酶、过氧化氢酶及转化酶活性提高^[8]。

土壤活性有机碳以微生物量碳、易氧化碳和可溶性碳为主, 可以指示早期土壤有机质变化, 还可以为作物生长提供养分。据大量报道, 施氮水平、沟灌方式和水肥处理等均显著影响土壤微生物量碳和易氧化碳含量^[11-13]。长期施用有机肥显著提高土壤活性有机碳含量, 尤其显著提高微生物碳含量^[14-16]。玉米轻度缺水时拔节期—抽雄期进行分根区交替灌溉可以提高土壤微生物量碳含量^[17]。沟灌有利于土壤总有机碳和水溶性有机碳的积累, 滴灌有利于微生物量碳的增加^[18]。但是在田间试验下, 沟灌方式和有机无机氮比例对不同生育期土壤酶活性以及活性有机碳组分的影响报道较少。针对广西南宁地区出现的季节性干旱以及土壤施肥情况, 本文通过田间试验, 在补充灌溉条件下, 研究了不同沟灌方式和有机无机氮比例

基金项目: 国家 863 计划项目(2011AA100504)、国家科技支撑计划项目(2012BAD05B03)、中国科学院战略性先导科技专项子课题(XDA05070403)和国家自然科学基金重点项目(U1033004)资助。

* 通讯作者(zhenz@gxu.edu.cn)

作者简介: 吴祥颖(1989—), 女, 广西河池人, 硕士研究生, 主要从事水土资源利用与环境研究。E-mail: wuxiangying2011@163.com

对甜糯玉米产量、不同时期土壤酶活性和活性有机碳组分的影响,以探讨有利于提高玉米产量和土壤质量的水肥供应模式。

1 材料与方法

1.1 试验材料

大田试验于2012年9月至12月在广西大学试验田进行。供试土壤为第四纪红色黏土发育的水稻土,其土壤pH 5.62,碱解氮(N)68.7 mg/kg(1 mol/L NaOH扩散法),速效磷(P)42.7 mg/kg(0.5 mol/L NaHCO₃法),速效钾(K)205 mg/kg(1 mol/L 中性 NH₄Ac 浸提法),有机质 11.85 g/kg,土壤体积质量(容重)1.29 g/cm³,田间持水量为 285 g/kg。供试作物为甜糯玉米,品种为美玉加甜糯 7 号。

1.2 试验方法

田间试验设 3 种沟灌方式与 3 种有机无机氮(N)比例,共 9 个处理,每个处理 3 个小区,共 27 个小区,随机区组排列。每小区长 7 m,宽 2.4 m,面积 16.8 m²。玉米行距 60 cm,株距 30 cm,每小区种 4 行,每行 22 株。在小区周围留有 1 m 宽的保护行,小区与小区之间用田埂隔离。沟灌方式设常规沟灌(CFI,每次补充灌溉时两条沟等量灌溉)、交替隔沟灌(AFI,前次补充灌溉时对一条沟进行灌溉,每次灌水量为 70% CFI 的灌水量,下次补充灌溉时在相邻另一条沟进行灌溉)和固定隔沟灌(FFI,每次补充灌溉时仅固定对其中一条沟进行灌溉,每次灌水量为 70% CFI 的灌水量,相邻另一条沟始终不灌溉)。有机无机 N 比例设 100%无机 N(F1)、70% 无机 N + 30% 有机 N(F2)和 60% 无机 N + 40% 有机 N(F3)。所有处理均施 N 180 kg/hm²、P₂O₅ 90 kg/hm²和 K₂O 180 kg/hm²。氮肥由尿素(含 N 460 g/kg)与生物有机肥按比例提供,其中生物有机肥中全 N 40 g/kg,全 P₂O₅ 26 g/kg,全 K₂O 20 g/kg 和有机质 350 g/kg。磷肥由过磷酸钙(含 P₂O₅ 120 g/kg)提供,钾肥由氯化钾(含 K₂O 600 g/kg)提供。磷肥与有机肥全部作基肥施用,60% 无机 N 和 K 作基肥施用,其余 40% 无机 N 和 K 分别在玉米拔节期和大喇叭口期各按 20% 追施。

试验于 2012 年 9 月 6 日播种,每穴播 5 粒,9 月 26 日定苗,每穴留 1 株。两次追肥分别在 10 月 9 日、10 月 25 日。试验期间当土壤含水量低于田间持水量的 80% 时进行灌溉,并分别于 10 月 12 日和 11 月 3 日进行了 2 次灌溉。常规沟灌 2 次灌水量分别为 26.7 mm 和 11.9 mm,固定隔沟灌和交替隔沟

灌两次灌水量分别为 8.3 mm 和 19.1 mm,灌水量由水表控制。用雨量筒监测整个生长期降雨量为 219.9 mm。12 月 9 日试验结束。收获时每小区随机选取 15 株鲜穗,称其鲜穗质量,然后估算每公顷鲜穗产量。

1.3 样品采集与测定

试验在玉米抽雄期和成熟期采集土样,每次用土钻在玉米垄上,两棵玉米之间采集 0~20 cm 土层土壤,每个小区内用“S”型进行采样,采集 6 个样点,混合均匀,采集后土壤一部分风干,过 1 mm 筛,封袋保存,用于测定土壤酶活性和土壤有机碳,并用烘干法测定土壤水分含量;另一部分立即处理或者保存在 4℃ 冰箱里,测定前去除多余的植物残体和杂物,过 2 mm 孔径筛,混匀,调节土壤湿度至田间持水量的 40% 左右,用于测定微生物生物量碳和可溶性碳含量。

土壤过氧化氢酶、脲酶、酸性磷酸酶和转化酶活性分别用高锰酸钾滴定法,苯酚-次氯酸钠比色法,磷酸苯二钠比色法和 3,5-二硝基水杨酸比色法测定^[5],其单位分别是 0.002 mol/L KMnO₄ ml/g, NH₃-N mg/(g·24h), Phenol mg/(g·12h)和 Glu. mg/(g·24h)。

土壤有机碳(SOC)用重铬酸钾容量法-外加热法测定,易氧化碳(ROC)用 KMnO₄ 氧化法测定^[18],以每消耗 1 mmol/L KMnO₄ 溶液相当于氧化 9 mg 碳表示。土壤微生物生物量碳(MBC)用氯仿熏蒸法测定^[19],其结果以单位质量干土中 MBC 质量(mg/kg)表示。MBC 计算方法: $MBC = Ec/0.38$ 。式中 Ec 为熏蒸土样有机碳量与未熏蒸土样有机碳量之差,0.38 为氯仿熏蒸杀死的微生物体中的碳被浸提出来的比例。可溶性碳(DOC, mg/kg)测定方法与 MBC 中不熏蒸土样浸提有机碳的方法相同^[20]。

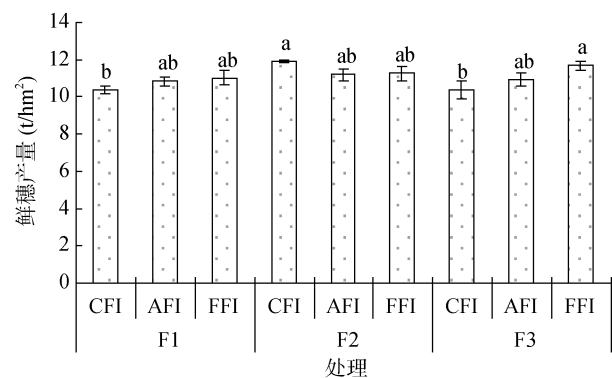
1.4 数据处理

试验各指标不同处理平均值多重比较用 Duncan 法,各处理标注小写字母不同的表示差异显著($P < 0.05$),字母相同的则表示差异不显著($P > 0.05$)。

2 结果分析

2.1 作物产量

图 1 表明,60% 无机 N + 40% 有机 N 处理(F3)时,固定隔沟灌(FFI)方式甜糯玉米鲜穗产量比常规沟灌(CFI)方式提高 12.0%。CFI 方式时 70% 无机 N + 30% 有机 N 处理(F2)鲜穗产量显著高于单施无机 N 肥(F1)和 F3 处理,交替隔沟灌(AFI)方式时各施肥处理间鲜穗产量差异不显著,FFI 方式时 F3 处理鲜穗产量高于 F1 和 F2 处理。



(CFI : 常规沟灌、AFI : 交替隔沟灌 , FFI : 固定隔沟灌 ; F₁ : 100% 无机 N , F₂ : 70% 无机 N + 30% 有机 N , F₃ : 60% 无机 N + 40% 有机 N , 下同)

图 1 沟灌方式和有机无机氮比例对甜糯玉米鲜穗产量的影响

Fig. 1 Effects of irrigation method and ratio of organic to inorganic N on fresh yield of sweet-sticky maize

2.2 土壤酶活性

从表 1 可看出,不同水肥处理下,成熟期土壤过氧化氢酶活性均高于抽雄期。与 CFI 方式相比, F1 处理时,抽雄期 AFI 方式土壤过氧化氢酶活性降低 4.0%,而成熟期 FFI 方式土壤过氧化氢酶活性提高 5.6%; F2 处理时,成熟期 FFI 方式过氧化氢酶活性提高 6.0%; F3 处理时,抽雄期 AFI 方式过氧化氢酶活性降低 4.0%。此外, FFI 方式下,与 F1 处理相比较,抽雄期和成熟期 F3 处理土壤过氧化氢酶活性显著提高。

不同水肥处理下,抽雄期土壤脲酶活性均高于成熟期(表 1)。但是两个时期有机无机氮比例和沟灌方式对土壤脲酶活性的影响不显著。

不同水肥处理下,抽雄期土壤转化酶活性均高于成熟期(表 1)。与 CFI 方式相比, F1 处理时,成熟期 AFI 和 FFI 方式土壤转化酶活性分别提高 76.5% 和

147.0%; F3 处理时,抽雄期 FFI 方式土壤转化酶活性提高 54.3%。成熟期, CFI 方式时, F2 和 F3 处理土壤转化酶活性比 F1 处理分别提高 117.5% 和 113.6%; FFI 方式时, F3 处理土壤转化酶活性比 F2 处理提高 45.4%。

不同水肥处理下,抽雄期土壤酸性磷酸酶活性与成熟期相近(表 1)。不同灌溉方式土壤酸性磷酸酶活性之间的差异不显著。AFI 方式时,成熟期 F2 与 F3 处理土壤酸性磷酸酶活性比 F1 处理分别降低 10.7% 和 11.2%(表 1)。

2.3 土壤有机碳和活性碳组分

从表 2 可以看出,有机无机氮比例、沟灌方式和采样时期均不显著影响土壤有机碳含量。

不同水肥处理下,两个生育期土壤易氧化碳(ROC)含量之间的差异不显著(表 2)。与 CFI 方式相比, F1 处理时,成熟期 AFI 方式土壤 ROC 含量提高 37.0%; F2 处理时,抽雄期与成熟期 AFI 方式土壤 ROC 含量分别提高 17.8% 和 32.1%; F3 处理时,抽雄期 FFI 方式土壤 ROC 含量提高 12.8%,成熟期 AFI 和 FFI 方式土壤 ROC 含量分别提高 34.0% 和 54.2%。与 F1 处理相比, CFI 方式 F2 和 F3 处理土壤 ROC 含量抽雄期分别增加 43.1% 和 53.2%,成熟期分别增加 17.1% 和 12.2%; AFI 方式 F2 和 F3 处理土壤 ROC 含量在抽雄期分别提高 63.4% 和 37.1%,成熟期分别提高 12.9% 和 9.7%; FFI 方式 F2 和 F3 处理土壤 ROC 在抽雄期分别提高 34.7% 和 91.2%,成熟期分别提高 34.1% 和 81.8%。

不同水肥处理下,两个生育期土壤可溶性碳(DOC)含量之间的差异也不显著(表 2)。与 CFI 方式相比, F1 处理时,抽雄期 FFI 方式土壤 DOC 含量降低 48.8%,成熟期 AFI 方式土壤 DOC 含量降低 27.5%; F2 处理

表 1 沟灌方式和有机无机氮比例对土壤酶活性的影响
Table 1 Effects of irrigation method and ratio of organic to inorganic N on soil enzyme activity

有机无机 氮比例	沟灌 方式	过氧化氢酶(U1)		脲酶(U2)		转化酶(U3)		酸性磷酸酶(U4)	
		抽雄期	成熟期	抽雄期	成熟期	抽雄期	成熟期	抽雄期	成熟期
F1	CFI	1.01 ± 0.01 ab	1.68 ± 0.01 bc	0.84 ± 0.10 a	0.79 ± 0.06 a	27.37 ± 0.29 abc	7.15 ± 0.77 d	0.91 ± 0.04 a	0.94 ± 0.01 abcd
	AFI	0.97 ± 0.01 c	1.70 ± 0.02 b	0.87 ± 0.11 a	0.83 ± 0.05 a	22.56 ± 0.70 c	12.62 ± 0.48 bc	1.09 ± 0.11 a	1.05 ± 0.03 a
	FFI	0.99 ± 0.00 b	1.78 ± 0.01 a	0.90 ± 0.13 a	0.79 ± 0.04 a	30.44 ± 0.51 abc	17.66 ± 0.77 ab	0.88 ± 0.03 a	1.01 ± 0.05 ab
F2	CFI	0.99 ± 0.01 bc	1.66 ± 0.01 c	0.94 ± 0.05 a	0.76 ± 0.03 a	24.40 ± 0.31 bc	15.55 ± 0.82 abc	0.89 ± 0.05 a	0.89 ± 0.02 bcd
	AFI	0.96 ± 0.01 c	1.69 ± 0.03 bc	0.91 ± 0.10 a	0.78 ± 0.06 a	23.94 ± 0.47 bc	11.01 ± 0.48 cd	0.92 ± 0.08 a	0.87 ± 0.01 cd
	FFI	1.00 ± 0.01 ab	1.76 ± 0.00 a	0.99 ± 0.01 a	0.85 ± 0.02 a	33.86 ± 0.3 ab	13.43 ± 1.02 bc	1.01 ± 0.05 a	0.97 ± 0.03 abc
F3	CFI	1.00 ± 0.00 ab	1.72 ± 0.01 b	0.85 ± 0.06 a	0.81 ± 0.04 a	23.12 ± 0.33 bc	15.27 ± 0.76 abc	1.02 ± 0.03 a	0.95 ± 0.07 abc
	AFI	0.96 ± 0.01 c	1.70 ± 0.01 b	0.83 ± 0.09 a	0.77 ± 0.03 a	21.97 ± 0.47 c	11.72 ± 0.83 cd	0.98 ± 0.08 a	0.83 ± 0.02 d
	FFI	1.02 ± 0.01 a	1.71 ± 0.00 b	0.98 ± 0.08 a	0.83 ± 0.04 a	35.68 ± 0.81 a	19.53 ± 1.19 a	0.94 ± 0.07 a	0.96 ± 0.04 abc

注: U1 : 0.002 mol/L KMnO₄ ml/g, U2 : NH₃-N mg/(g·24h), U3 : Glu. mg/(g·24h), U4 : Phenol mg/(g·12h)。

表 2 沟灌方式和有机无机氮比例对土壤有机碳及活性碳组分的影响
Table 2 Effects of furrow method and ratios of organic to inorganic N on soil organic carbon and active carbon fraction

有机无机 氮比例	沟灌 方式	SOC (g/kg)		ROC (g/kg)		DOC (mg/kg)		MBC (mg/kg)	
		抽雄期	成熟期	抽雄期	成熟期	抽雄期	成熟期	抽雄期	成熟期
F1	CFI	10.73±0.99 a	10.98±0.61 a	1.88±0.05 e	1.81±0.03 f	41.24±4.30 c	47.37±3.56 bc	200.1±12.6 abc	134.8±22.4 cd
	AFI	10.79±1.00 a	10.41±0.75 a	1.94±0.06 e	2.48±0.03 c	32.80±1.72 c	34.33±2.17 d	219.1±18.3 ab	231.8±17.3 a
	FFI	10.09±1.14 a	10.68±0.78 a	1.70±0.11 c	1.70±0.09 f	21.11±2.13 d	40.85±4.35 bcd	243.1±19.4 a	142.2±20.3 cd
F2	CFI	10.92±0.80 a	10.86±0.50 a	2.69±0.13 c	2.12±0.05 de	23.06±1.42 d	19.12±2.17 e	215.7±15.8 ab	186.4±15.0 abc
	AFI	11.84±0.76 a	10.57±0.65 a	3.17±0.10 ab	2.80±0.05 b	34.10±2.81 c	51.71±4.35 b	185.1±16.7 bc	201.3±14.0 ab
	FFI	10.59±0.32 a	11.13±0.50 a	2.29±0.09 d	2.28±0.04 d	40.91±2.03 c	38.68±4.35 cd	159.8±12.3 cd	161.8±10.2 bcd
F3	CFI	11.00±0.76 a	10.66±0.86 a	2.88±0.17 bc	2.03±0.09 e	50.98±3.62 b	29.99±3.76 de	87.5±12.9 e	152.7±14.6 bcd
	AFI	11.51±1.06 a	11.30±0.91 a	2.66±0.11 c	2.72±0.07 b	35.07±2.98 c	40.85±2.17 bcd	126.4±18.9 de	174.2±14.8 bc
	FFI	10.36±1.13 a	11.08±0.87 a	3.25±0.01 a	3.09±0.09 a	62.02±3.44 a	69.10±3.76 a	93.2±10.7e	122.0±6.0 d

时,抽雄期 AFI 和 FFI 方式土壤 DOC 含量分别提高 47.9% 和 77.4%,成熟期 AFI 和 FFI 方式土壤 DOC 含量分别提高 170.5% 和 102.3%;F3 处理时,抽雄期 AFI 方式土壤 DOC 含量降低 31.2%,而 FFI 方式土壤 DOC 含量提高 21.7%,成熟期 FFI 方式土壤 DOC 含量提高 130.4%。与 F1 处理相比,CFI 方式时,抽雄期 F2 处理土壤 DOC 含量降低 44.1%,而 F3 处理土壤 DOC 含量提高 23.6%,成熟期 F2 和 F3 处理土壤 DOC 含量分别降低 59.6% 和 36.7%;AFI 方式时,成熟期 F2 处理土壤 DOC 含量提高 50.6%;FFI 方式时,抽雄期 F2 和 F3 处理土壤 DOC 含量分别提高 93.8% 和 193.8%,成熟期 F3 处理土壤 DOC 含量提高 69.2%。不同水肥处理下,两个生育期土壤微生物生物量碳(MBC)之间的差异也不显著(表 2)。与 CFI 方式相比,F1 处理时,成熟期 AFI 方式土壤 MBC 提高 72.0%;F2 处理时,抽雄期 FFI 方式土壤 MBC 降低 25.9%,而成熟期 AFI 方式提高 8.0%。与 F1 处理相比,CFI 方式时,抽雄期 F3 处理土壤 MBC 降低 56.3%;AFI 方式时,抽雄期和成熟期 F3 处理土壤 MBC 分别降低 42.3% 和 24.8%;FFI 方式时,抽雄期 F2 和 F3 处理土壤 MBC 分别降低 34.3% 和 61.7%。

3 讨论

3.1 作物产量

潘英华和康绍忠^[1]研究发现,收获等产量的玉米,交替隔沟灌比常规沟灌节水 33.3%;同等灌水量下,交替隔沟灌不降低玉米产量。Stone 和 Nofziger^[21]的结果表明,隔沟灌溉水分利用效率比常规沟灌提高 15%,收获等产量的棉花,采用隔沟灌溉节水 38%;灌水量相同时,采用隔沟灌溉可增产 48%。本研究表明,60%无机 N + 40% 有机 N 处理(F3)时,固定隔沟灌(FFI)比常规沟灌(CFI)提高甜糯玉米鲜穗产量,

与上述结果相近。梁金凤等^[22]研究指出,有机与无机肥配施有利于改善土壤理化性状,促进玉米根系发育,提高作物产量。何炎森和李瑞美^[23]指出,有机与无机肥配施对甘蔗的增产有积极作用。本研究也表明,与单施无机氮相比,CFI 方式时 70% 无机 N + 30% 有机 N 处理(F2)和 FFI 方式时 F3 处理提高玉米鲜穗产量。

3.2 土壤酶活性

魏占彬等^[24]研究表明,随着生育期的进展,土壤脲酶和转化酶活性迅速提高,在玉米生长旺盛时期达到最大值。熊明彪等^[25]发现,小麦不同生育期土壤脲酶活性表现为前期上升,拔节期到孕穗期达到最大,之后酶活性逐渐下降并趋于稳定。本试验也表明,抽雄期土壤脲酶和转化酶活性显著高于成熟期。

艾孜古丽·木拉提^[26]指出,施用有机无机肥料都可以明显提高冬小麦/夏玉米轮作土壤脲酶和转化酶活性,且施用化肥配秸秆还田使土壤酶活性显著高于无肥对照和施用化肥处理。吕卫光等^[27]发现,尿素与有机肥配合对土壤酶活性有显著影响,且猪粪为原料研制的有机肥比其他原料好。本试验也表明,FFI 方式时土壤脲酶和转化酶活性在有机氮比例较高的 F3 处理下达到最大值,说明有机无机氮肥配施能提高土壤脲酶和转化酶活性。与单施化肥相比,不同有机肥与化肥配施对新植根甘蔗土壤过氧化氢酶活性提高 23.5%~38.6%^[23]。Li 等^[8]指出,随着有机氮肥的增加,土壤过氧化氢酶活性也增大。本试验也表明,FFI 方式时有机氮比例较高的 F3 处理土壤过氧化氢酶活性显著高于 F1 处理且在抽雄期 F3 处理活性最高。

韦泽秀等^[19]研究表明,水分降低能提高土壤脲酶活性,土壤中微生物多样性与土壤脲酶、蔗糖酶活性呈一定的相关性。与常规灌溉相比,根区局部灌

溉的湿润区土壤过氧化氢酶、脲酶和转化酶活性增大^[8]。本试验表明,有机氮肥比例较高时 FFI 方式土壤脲酶和转化酶活性最大,与 CFI 和 AFI 方式相比,FFI 方式土壤过氧化氢酶活性一般也提高,说明 FFI 方式有利于提高土壤过氧化氢酶活性。在本试验中,在自然条件下 FFI 方式也呈现一定程度的干湿交替状态,且其效果较 AFI 和 CFI 方式好,这与前人的研究的结论一致。

3.3 土壤有机碳组分

石峰^[28]研究表明,长期施用化肥增加土壤中难氧化有机碳的含量,从而提高土壤有机碳的氧化稳定性,土壤 ROC 含量下降。张春霞等^[29]研究表明,有机肥或有机无机配施降低有机质的氧化稳定性,能明显提高土壤 ROC 含量,提高土壤肥力水平。本试验也表明,与 F1 处理相比,有机无机氮肥配施土壤 ROC 含量一般提高,且在有机氮比例较大的 F3 处理达到最大值。本试验还表明,在玉米两个生育期,F3+FFI 组合土壤 ROC 含量均达到最大值。ROC 与土壤有机碳的比值反映了土壤腐殖质的稳定性,比值越大土壤碳的活性越大,稳定性越差^[30]。本试验中,各处理下土壤 ROC 占有有机碳的比例为 16.8%~31.4%,其中 F3+FFI 组合比值较高,说明该处理土壤腐殖质稳定性降低,因此 ROC 比例较高。韩琳^[31]研究指出,滴灌土壤易氧化有机碳最高,其次是渗灌,而沟灌最低。本试验表明,F3 处理下成熟期 FFI 方式土壤 ROC 含量显著高于 CFI 和 AFI 方式,说明 FFI 方式有利于土壤 ROC 的积累。

曹宏杰和汪景宽^[32]研究表明,有机肥配施化肥有利于提高土壤 DOC 含量,高量有机肥与化肥配施处理含量最高。杨长明等^[33]指出,与单施化肥(NPK)相比,NPK+S(秸秆)和 NPK+M(厩肥)能增加土壤中的 DOC 含量。本试验也表明,有机无机氮肥配施土壤 DOC 含量一般高于单施化肥处理,且有机氮比例较高的 F3(60% 无机 N+40% 有机 N)处理土壤 DOC 含量较高。宇万太等^[34]研究表明,土壤含水量为田间持水量的 70% 可提高土壤有机碳的溶出和导致团聚体的分散进而增加土壤 DOC,提高土壤有效碳库。韩琳等^[18]指出,沟灌有利于土壤总有机碳和 DOC 的积累。本试验发现,在有机无机氮配施下,与 CFI 方式相比,AFI 和 FFI 方式土壤 DOC 含量一般提高,说明有机无机氮肥配施与 AFI 和 FFI 方式组合有利于土壤 DOC 含量的增加。

土壤 MBC 的消长反映了微生物利用土壤碳源进行自身细胞构建、繁殖以及微生物细胞解体使有机碳

矿化的过程。侯化亭等^[35]研究表明,玉米各生育期间土壤 MBC 存在显著差异,土壤 MBC 在拔节期处于最低,抽雄期含量最高。本试验也发现,在单施化肥时,抽雄期土壤 MBC 较成熟期高,这与作物对养分吸收的敏感期及养分变化对微生物生命活动的影响有关。在 AFI 和 FFI 方式下,F1 处理土壤 MBC 含量最高,这与前人研究的有机无机肥配施能提高土壤 MBC 的结论不一致^[30,35],可能原因是与农家有机肥相比,本试验选用的生物有机肥效果不明显。此外,土壤干湿交替易影响微生物生物量及其活性,且会加速土壤微生物体的分解,从而释放营养元素^[36]。本试验也发现,在成熟期 AFI 方式土壤 MBC 有所提高。

因此,固定隔沟灌与 60% 无机 N+40% 有机 N 组合有利于提高土壤过氧化氢酶和转化酶活性、ROC 和 DOC 含量,从而提高玉米鲜穗产量。

4 结论

(1) 60% 无机 N+40% 有机 N(F3)处理时,固定隔沟灌(FFI)比常规沟灌(CFI)提高甜糯玉米鲜穗产量。与单施无机氮相比,CFI 方式时 70% 无机 N+30% 有机 N 和 FFI 方式时 F3 处理提高玉米鲜穗产量。

(2) 相同水肥处理下,抽雄期土壤脲酶和转化酶活性显著高于成熟期。

(3) 与 CFI 方式相比,交替隔沟灌(AFI)和 FFI 方式对抽雄期和成熟期土壤过氧化氢酶和转化酶活性、易氧化碳和可溶性碳含量均有不同程度的影响。与单施无机氮相比,有机无机氮肥配施有利于增加土壤易氧化碳和可溶性碳含量,其中 60% 无机 N+40% 有机 N(F3)处理最高,且 FFI+F3 组合抽雄期和成熟期土壤转化酶活性、易氧化碳和可溶性碳含量以及抽雄期土壤过氧化氢酶活性最高。

参考文献:

- [1] 潘英华,康绍忠. 交替隔沟灌溉水分入渗规律及其对作物水分利用的影响[J]. 农业工程学报, 2000, 16(1): 39-43
- [2] 汪顺生,费良军,孙景生,高传昌,傅渝亮. 控制性交替隔沟灌溉对夏玉米生理特性和水分生产效率的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2011, 29(5): 115-119, 138
- [3] Li FS, Liang JH, Kang SZ, Zhang JH. 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
- [4] Hu TT, Kang SZ, Li FS, Zhang JH. Effects of partial root-zone irrigation on the nitrogen absorption and utilization of maize[J]. Agricultural Water Management, 2009, 96(2): 208-214

- [5] 关松荫, 张德生, 张志明. 土壤酶及其研究法[M]. 北京: 农业出版社, 1986
- [6] 韦翔华, 李华兴, 冯宏, 张志红, 蔡燕飞, 陈昀云. 不同肥料对后茬土壤微生物及玉米生长的影响[J]. 水土保持学报, 2009, (2): 138-142
- [7] 姜丹丹. 有机无机肥配施对土壤无机氮、土壤 DOM 及土壤酶活性的影响[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2013
- [8] Li FS, Yu JM, Nong ML, Kang SZ, Zhang JH. Partial root-zone irrigation enhanced soil enzyme activities and water use of maize under different ratios of inorganic to organic nitrogen fertilizers[J]. Agricultural Water Management, 2010, 97 (2): 231-239
- [9] 丁文金, 马友华, 胡宏祥, 田雁飞, 李丁, 方凡, 孙本发. 秸秆还田与减量施肥对双季稻产量及土壤酶活性的影响[J]. 农业环境与发展, 2013, 30(4): 72-77
- [10] 柴强, 黄高宝, 黄鹏. 供水及间甲酚对小麦间作蚕豆土壤微生物多样性和酶活性的影响[J]. 应用生态学报, 2006, 17(9): 1 624-1 628
- [11] 高会议, 郭胜利, 刘文兆, 车升国. 施氮水平对黄土旱塬区麦田土壤呼吸变化的影响[J]. 环境科学, 2010, 31(2): 390-396
- [12] 金兰淑, 郑佳, 徐慧, 莫旭华. 施氮及灌溉方式对玉米地土壤硝化潜势及微生物量碳的影响[J]. 水土保持学报, 2009, 23(4): 218-220
- [13] 王光华, 齐晓宁, 金剑, 刘俊杰, 王洋. 施肥对黑土农田土壤全碳、微生物量碳及土壤酶活性的影响[J]. 土壤通报, 2007, 38(4): 661-666
- [14] 徐春阳, 沈其荣, 冉炜. 长期免耕与施用有机肥对土壤微生物量碳、氮、磷的影响[J]. 土壤学报, 2002, 39(1): 89-96
- [15] 倪进治, 徐建民, 谢正苗, 王德建. 不同施肥处理下土壤水溶性有机碳含量及其组成特征的研究[J]. 土壤学报, 2003, 40(5): 724-730
- [16] 沈宏, 曹志洪. 不同农田生态系统土壤碳库管理指数的研究[J]. 生态学报, 2000, 20(4): 663-668
- [17] 刘水, 李伏生, 韦翔华, 农梦玲. 分根区交替灌溉对玉米水分利用和土壤微生物量碳的影响[J]. 农业工程学报, 2012, 28(8): 71-77
- [18] 韩琳, 张玉龙, 金烁, 王娇, 魏岩岩, 崔宁, 魏巍. 灌溉模式对保护地土壤可溶性有机碳与微生物量碳的影响[J]. 中国农业科学, 2010, 43(8): 1 625-1 633
- [19] 韦泽秀, 梁银丽, 井上光弘, 周茂娟, 黄茂林, 张建锋, 吴燕. 水肥处理对黄瓜土壤养分、酶及微生物多样性的影响[J]. 应用生态学报, 2009, 20(7): 1 678-1 684
- [20] 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, 2000: 231-240
- [21] Stone JF, Nofziger DL. Water use and yields of cotton grown under wide-spaced furrow irrigation[J]. Agricultural Water Management, 1993, 24: 27-28
- [22] 梁金凤, 王胜涛, 文方芳, 张怀文, 崔良满, 石文学. 等氮条件下有机无机配施对玉米产量及氮肥利用率的影响[J]. 中国农技推广, 2010, 26(10): 38, 41-43
- [23] 何炎森, 李瑞美. 有机无机肥配施对甘蔗产量及土壤酶活性的影响[J]. 中国糖料, 2004(4): 36-38
- [24] 魏占彬, 李春霞, 李友军, 袁孟丽. 豫西地区不同耕作方式对夏玉米生育期内土壤酶活性的影响[J]. 安徽农学通报(下半月刊), 2009, 15(16): 42-43, 53
- [25] 熊明彪, 田应兵, 雷孝章, 宋光煜, 曹叔尤. 小麦生长期土壤养分与土壤酶活性变化及其相关性研究[J]. 水土保持学报, 2003, 17(4): 27-29
- [26] 艾孜古丽·木拉提. 施肥及秸秆还田对农田土壤有机碳及其组分和酶活性的影响[D]. 陕西杨凌: 西北农林科技大学, 2012
- [27] 吕卫光, 黄启为, 沈其荣, 贾建业, 余廷国, 诸海涛. 不同来源有机肥及有机肥与无机肥混施对西瓜生长期土壤酶活性的影响[J]. 南京农业大学学报, 2005, 28(4): 68-71
- [28] 石峰. 管理措施对草地土壤有机碳含量的影响[D]. 北京: 中国农业科学院, 2009
- [29] 张春霞, 郝明德, 魏孝荣, 王旭刚. 黑垆土长期轮作培肥土壤有机质氧化稳定性的研究[J]. 土壤肥料, 2004, (3): 11-12, 16
- [30] 徐秋芳, 姜培坤. 不同森林植被下土壤水溶性有机碳研究[J]. 水土保持学报, 2004, 18(6): 84-87
- [31] 韩琳. 灌溉方式对保护地土壤有机碳组分及其剖面分布的影响[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2010
- [32] 曹宏杰, 汪景宽. 长期不同施肥处理对黑土不同组分有机碳的影响[J]. 国土与自然资源研究, 2012, (3): 39-41
- [33] 杨长明, 欧阳竹, 董玉红. 不同施肥模式对潮土有机碳组分及团聚体稳定性的影响[J]. 生态学杂志, 2005, 24(8): 887-892
- [34] 宇万太, 赵鑫, 马强, 周桦. 长期定位试验下施肥对潮棕壤活性碳库及碳库管理指数的影响[J]. 土壤通报, 2008, 39(3): 539-544
- [35] 侯化亭, 张丛志, 张佳宝, 陈效民. 不同施肥水平及玉米种植对土壤微生物生物量碳氮的影响[J]. 土壤, 2012, 44 (1): 163-166
- [36] 徐永刚, 宇万太, 马强, 周桦. 长期不同施肥制度对潮棕壤微生物生物量碳、氮及细菌群落结构的影响[J]. 应用生态学报, 2010, 21(8): 2 078-2 085

Effects of Furrow Method and Ratio of Organic to Inorganic N on Enzymatic Activity and Active Carbon Fraction in Sweet-sticky Maize Planting Soils

WU Xiang-ying, ZHANG Xiao-xiao, LI Fu-sheng^{*}
(College of Agriculture, Guangxi University, Nanning 530005, China)

Abstract: The effects of furrow methods and ratios of organic to inorganic nitrogen (N) on yields of sweet-sticky maize, soil enzyme activities and active carbon fractions at different growth stages were investigated by field experiment in order to obtain water and fertilizer supply mode in improving maize yield and soil quality. The results showed that compared to conventional furrow irrigation (CFI), fixed furrow irrigation (FFI) increased fresh yield of sweet-sticky maize by 12.0% when fertilized with 60% inorganic N + 40% organic N (F3). Compared to the only inorganic N treatment, the 70% inorganic N+30% organic N treatment at CFI and the F3 treatment at FFI increased the fresh yield. Under the same fertilization and irrigation condition, soil urease and invertase activities at the tasselling stage were significantly higher than those at the maturing stage. Compared to the only inorganic N treatment, the treatments combined organic and inorganic N increased the contents of readily oxidizable carbon (ROC) and dissolved organic carbon (DOC) in soils, and the F3 treatment increased most. Compared to the CFI, the alternate furrow irrigation and FFI could influence the activities of invertase and catalase and the contents of ROC and DOC in soils at the tasselling and maturing stages to some extent. The FFI-F3 treatment had the highest activity of invertase and the contents of ROC and DOC in soils at the tasselling and maturing stages and the highest activity of catalase at the tasselling stage. Therefore, the FFI-F3 treatment can enhance the activities of catalase and invertase and increase the contents of ROC and DOC in soils, thus it can increase the fresh yield of sweet-sticky maize.

Key words: Fixed furrow irrigation, Ratio of organic to inorganic N, Soil enzyme, Active organic carbon, Sweet-sticky maize