保护性耕作对玉米田土壤呼吸及水分利用效率的影响

郭强¹, 于玲玲^{2*}, 韩静然³

(1.唐山市农业科学研究院,河北唐山 063001; 2.唐山市农作物种子管理检验站,河北唐山 063001;
3.内蒙古自治区喀喇沁旗农牧业局,内蒙古赤峰 024400)

摘要:【目的】探索玉米种植的高产、节水和低碳方案。【方法】试验设置免耕秸秆还田(NTS)、旋耕秸秆还田(RTS)、翻耕秸秆还田(PTS)、免耕秸秆不还田(NT)、旋耕秸秆不还田(RT)和翻耕秸秆不还田(PT)共6种不同处理方式,研究了不同处理方式对玉米田土壤呼吸速率、土壤水热和微生物状况、水分利用效率及玉米产量等影响。【结果】2017年5月30日—8月15日各处理土壤呼吸速率一直升高,之后逐渐降低。在整个测定期间,PTS处理下平均土壤呼吸速率最大,为450.4 mg/(m²·h),NT处理的最小,为279.6 mg/(m²·h);翻耕处理下土壤水分与土壤呼吸速率的相关系数最大,为0.86,旋耕其次,免耕最小,为0.51;免耕处理下土壤温度与土壤呼吸速率的相关系数最大,为0.78,旋耕其次,翻耕最小,为0.49;土壤细菌和放线菌数量与土壤呼吸速率的相关系数分别为0.94和0.97,都达到了极显著水平。秸秆还田处理下的玉米水分利用效率为27.1 kg/(hm²·mm),高于秸秆不还田处理下的22.2 kg/(hm²·mm);PTS处理的玉米水分利用效率最高,为28.3 kg/(hm²·mm)。PTS处理的玉米产量最高,为10.51 t/hm²。【结论】PTS处理更有利于玉米高产、节水。

关键词:玉米;保护性耕作;土壤呼吸;微生物;产量;水分利用效率

中图分类号:S274.1

文献标志码:A

doi:10.13522/j.cnki.ggps.20170039

郭强,于玲玲,韩静然.保护性耕作对玉米田土壤呼吸及水分利用效率的影响[J].灌溉排水学报,2018,37(11):57-62.

0 引言

华北地区是我国玉米主产区之一,该地区玉米种植多以连作为主,导致了土壤地力下降,土壤理化性质逐渐恶化,土壤养分缺失,这些都成为限制该区域玉米高产的主要因素^[1-2]。保护性耕作能够有效地改善土壤理化性质,为作物的生长发育提供良好的外部环境。李玉洁等^[3]研究表明不合理的耕作方式会降低土壤中微生物的数量以及酶活性,同时也会使土壤含水率降低。土壤中有机碳也会随着耕作方式的变化而变化,科学合理的耕作方式可以在一定程度上促进土壤中总有机碳量的提升,伴随着土壤中碳的变化,土壤呼吸速率也随之发生变化^[4]。相关研究^[5-7]表明,科学合理的保护性耕作措施能够保持土壤中微生物种群数量的稳定性,优化土壤的理化结构,提高土壤的碳储藏水平以及保水保肥能力,是发展高效生态农业的有效措施。秸秆还田与耕作方式是保护性耕作中非常重要的技术措施,相关研究表明^[8-10],合理的耕作措施和秸秆还田方式相结合既能够增加作物的产量,消化作物的残留秸秆,进而有效地改善土壤水、肥、气、热状况,同时还能够提高环境质量,经济、生态和社会效益都非常显著,是保障农业可持续发展的有效途径。张立强等^[11]研究发现,秸秆还田使春玉米的生育期延长了2~4 d,株高、净光合速率和单株干物质积累量也高于不还田的处理;前人关于耕作方式对玉米产量影响做了许多研究,但结论不一致。宫亮等^[12]研究发现,深翻和深松处理的玉米产量分别较常规旋耕提高20.38%和3.74%,免耕处理较常规旋耕减产15.11%。梁金凤等^[13]研究了不同耕作方式和耕作深度对土壤理化性状及玉米生长的影响,结果显示产量无显著差异。

目前,关于不同耕作模式结合秸秆还田方式对华北地区玉米田土壤CO₂排放的影响及其与土壤微生物数量关系的研究比较少;而玉米田CO₂排放、玉米秸秆处理方式以及玉米田水分利用效率等也是当前农业生产中的热点问题。为此,研究免耕秸秆还田、旋耕秸秆还田、翻耕秸秆还田、免耕秸秆不还田、旋耕秸秆不还

收稿日期:2017-12-14

基金项目:河北省自然科学基金项目(C2016105056);唐山市科学技术研究与发展计划项目(15120204B)

作者简介:郭强(1983-),男,博士研究生,主要从事玉米遗传育种和栽培研究。E-mail: guoqiang8081@163.com

通信作者:于玲玲(1985-),女,农艺师,主要从事农作物种子检验与耕作制度研究。E-mail: 351987616@qq.com

田和翻耕秸秆不还田6种保护性耕作方式下华北地区玉米田土壤呼吸速率、土微生物数量以及玉米产量和水分利用效率等变化特点,以及土壤呼吸速率与土壤水热以及微生物数量之间的关系,以期探索华北地区玉米低碳、高产和节水种植方案提供一定理论依据和实践支持。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于2017年在唐山市农业科学研究院试验场进行,该区域位于北纬39°36',东经118°11'。试验地土质为沙壤土,0~20 cm土层中有机质量为11.72 g/kg,全氮量为0.6 g/kg,速效磷量为17.14 mg/kg,速效钾量为117.64 mg/kg,pH值为7.35。试验地平坦,肥力均匀。

1.2 试验设计

试验采用二因素随机区组试验设计,小区面积15 m×10 m,3次重复。试验设耕作方式和秸秆处理2个因素,耕作方式包括免耕、旋耕和翻耕3个水平,秸秆处理模式包括秸秆还田和秸秆不还田2个水平,共有6个处理,分别为免耕秸秆还田(NTS)、免耕秸秆不还田(NT)、旋耕秸秆还田(RTS)、旋耕秸秆不还田(RT)、翻耕秸秆还田(PTS)和翻耕秸秆不还田(PT)。翻耕:用铧式犁翻地30 cm,施肥,旋地2遍;旋耕:施肥,用旋耕机旋地(15 cm)2遍。秸秆还田:上一年玉米收获后,将秸秆全部粉碎,还田。试验材料为当地主栽玉米品种宏辉1号,种植密度60 000株/hm²。2017年5月10日播种,9月14日收获。底肥施沃夫特缓释肥(N、P、K质量比为17:17:17)900 kg/hm²,拔节期施尿素25 kg/hm²。由于降雨等因素影响,整个生育期只在播种结束后,用喷灌进行1次灌溉,灌水量约为50 mm。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 土壤呼吸速率的测定

分别于玉米苗期(5月30日)、大喇叭口期(6月29日)、灌浆初期(7月25日)、灌浆后期(8月15日)和成熟期(9月9日)上午09:00—11:00,采用Li-8100(Li-Cor, Lincon, NE, USA)开路式土壤碳通量测定系统对不同处理下玉米田土壤呼吸速率进行测定,每个处理测定重复3次。

1.3.2 土壤水分和温度的测定

在测定土壤呼吸速率的同时,原位测定0~20 cm土层土壤温度和土壤含水率。土壤温度测定采用曲管地温计,土壤含水率测定采用烘干法。

1.3.3 土壤微生物区系的测定

土壤呼吸速率测定当天,在2行玉米中间0~20 cm土层进行“S”形5点取样,去除土壤中的动植物残体等杂物后,过2 mm土筛,将过筛土样放在冰箱中4℃保存。采用平板涂抹法进行土壤微生物数量的测定^[4],采用牛肉膏蛋白胨培养基进行细菌数量的测定,采用马丁氏培养基进行真菌数量的测定,采用改良高氏一号培养基进行放线菌数量的测定。

1.3.4 叶面积指数和地上生物量

土壤呼吸速率测定当天,测定玉米叶面积指数和地上部干物质量。每个处理小区内选择长势均匀一致的玉米10株,测定叶面积,用长宽系数法计算叶面积指数。选取其中的8株,于烘箱中105℃条件下杀青15 min,然后将烘箱温度调节到80℃,烘干至恒质量。

1.3.5 水分利用效率

于玉米播种前和收获后,测定土壤含水率,取样深度为200 cm(每20 cm为1层)。水分利用效率计算公式为:

$$1) \text{土壤贮水量} = \text{土壤含水率} \times \text{土层深度}$$

$$2) \text{玉米生育期耗水量} = \text{玉米生育期有效降水量} (\text{降水总量} - \text{水分蒸散发量}) + \text{玉米播种前土壤贮水量} - \text{玉米收获后土壤贮水量}$$

$$3) \text{水分利用效率} = \text{玉米产量} / \text{玉米生育期耗水量}$$

试验期间采用翻斗式雨量计进行降水量的测定。

1.3.6 试验统计分析

利用DPS V6.55进行数据的分析,采用Microsoft Excel 2003制表。

2 结果与分析

2.1 降雨量的变化

表1为试验期间,试验地的降水量情况。由表1可知,在玉米生长季(5—9月),降雨量为745.3 mm,占全年降雨量的88.41%。玉米生长季降雨的时间分布不均匀,主要集中在6—9月,6月底玉米开始进入大喇叭口期,由于降水量充足,该时段未灌溉。

表1 唐山市农科院试验场2017年降水量

mm

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
降水量	1.2	4.2	12.5	23.5	68.9	96.2	225.1	263.6	102.5	34.2	22.1

2.2 土壤呼吸速率、水分和温度

表2为各处理土壤呼吸速率的变化特征。由表2可知,不同处理下土壤呼吸速率都呈现出明显的季节变化特征,而且不同处理间土壤呼吸速率都表现出相似的季节变化趋势。5月30日—8月15日各处理的土壤呼吸速率呈现一直升高的趋势,之后速率逐渐下降。由于降水等因素的影响,土壤呼吸速率在8月15日急剧上升并且达到整个观测期间的最大值。在整个测定期间,NTS、NT、RTS、RT、PTS、PT处理土壤呼吸速率平均值分别为298.2、279.6、388.2、307.2、450.4和378.2 mg/(m²·h)。土壤水分(0~20 cm)随降雨量及玉米生育期的变化而变化(表2),各处理间土壤水分的变化规律大体一致,苗期(5月30日)到灌浆初期(7月25日)土壤含水率逐渐降低,由于降雨的影响,8月15日各处理的土壤含水率升高,与秸秆不还田相比,整个玉米生长季秸秆还田的保墒效果大于秸秆不还田。由表2可知,在整个观测时期,同一耕作模式下,秸秆还田处理的土壤温度均高于秸秆不还田;同一秸秆处理方式下,翻耕处理的土壤温度高于免耕和旋耕处理。各处理土壤温度最高值均出现在7月25日,最低值均出现在5月30日。

表2 不同处理下土壤呼吸速率以及土壤水分和温度的变化

指标	日期	处理					
		NTS	NT	RTS	RT	PTS	PT
土壤呼吸速率/ (mg·m ⁻² ·h ⁻¹)	0530	152 Ee	120 Dd	192 Ee	147 Ee	210 Ee	187 Ee
	0629	178 Dd	152 Cc	251 Dd	186 Dd	279 Dd	321 Dd
	0725	381 Bb	362 Bb	432 Cc	372 Cc	498 Cc	401 Cc
	0815	410 Aa	398 Aa	581 Aa	433 Aa	698 Aa	532 Aa
	0909	370 Cc	366 Bb	485 Bb	398 Bb	567 Bb	450 Bb
	平均值	298.2	279.6	388.2	307.2	450.4	378.2
土壤含水率/%	0530	22.9 Cc	22.7 Cc	21.8 Dd	22.5 Cc	23.5 Cc	22.6 Cc
	0629	22.4 Dd	22.0 Dd	21.5 Ee	22.4 Cc	22.9 Dd	22.5 Cc
	0725	21.6 Ee	21.1 Ee	22.1 Cc	21.5 Dd	22.3 Ee	21.6 Dd
	0815	28.6 Aa	26.7 Aa	29.7 Aa	27.3 Aa	30.4 Aa	28.4 Aa
	0909	24.9 Bb	24.1 Bb	25.4 Bb	24.3 Bb	26.7 Bb	25.0 Bb
土壤温度/℃	0530	23.5 De	23.2 Dd	23.8 Ee	23.2 Ee	24.3 Dd	23.9 De
	0629	24.6 Cd	24.4 Cc	25.4 Cc	24.9 Cc	25.9 Cc	25.1 Be
	0725	26.9 Aa	26.3 Aa	28.3 Aa	27.2 Aa	29.7 Aa	27.9 Aa
	0815	25.9 Bb	25.1 Bb	26.1 Bb	25.1 Bb	26.3 Bb	25.4 Bb
	0909	24.8 Cc	24.5 Cc	25.0 Dd	24.3 Dd	25.7 Cc	24.9 Cd

注 同列数字后的不同小写字母表示在0.05水平上差异显著,不同大写字母表示在0.01水平上差异显著,下同。

2.3 土壤微生物数量的变化

表3为0~20 cm土层土壤微生物数量的变化情况。由表3可知,0~20 cm土层土壤微生物数量的大小顺序依次为细菌>放线菌>真菌(表3)。细菌数量占三者总量的90%以上。各处理土壤细菌数量的最大值均出现在8月15日,最小值出现在5月30日;各处理土壤放线菌数量的最大值也出现在8月15日;而8月15日真菌数量较7月25日有所降低。

2.4 土壤呼吸与土壤水分和温度的关系

如表4所示,在整个玉米生长季,不同处理间的土壤呼吸速率与土壤水分和温度的相关性差异较大。总体来看,土壤水分与土壤呼吸速率的相关系数表现为翻耕>旋耕>免耕;土壤温度与土壤呼吸速率的相关系数表现为免耕>旋耕>翻耕。旋耕和翻耕处理下,土壤水分与土壤呼吸速率的相关性都达到了显著水平($P<0.05$);不同耕作措施下,土壤温度与土壤呼吸速率都呈现出正相关关系,但相关性都未达到显著水平($P>0.05$)。

不同处理方式下,土壤细菌和放线菌数量与土壤呼吸速率的相关性都达到极显著水平($P<0.01$)(表4);而土壤真菌数量与土壤呼吸速率的相关性在NTS、NT、RT、PTS和PT的5种处理方式下呈负相关关系。

表3 不同处理下0~20 cm土层土壤微生物数量的变化

指标	日期	NTS处理	NT处理	RTS处理	RT处理	PTS处理	PT处理
细菌数量/ (10^4 个·g ⁻¹)	0530	210 Ee	221 Ee	201 Ee	199 Ee	224 Ee	204 Ee
	0629	302 Dd	276 Dd	288 Dd	295 Dd	341 Dd	300 Dd
	0725	398 Bb	348 Bb	384 Bb	369 Bb	442 Bb	362 Bb
	0815	410 Aa	392 Aa	460 Aa	400 Aa	502 Aa	416 Aa
	0909	321 Cc	331 Cc	372 Cc	344 Cc	420 Cc	352 Cc
放线菌数量/ (10^2 个·g ⁻¹)	0530	12.0 Dd	12.8 Ee	11.8 Ee	12.4 Ee	12.1 Dd	11.6 Ee
	0629	13.4 Cc	13.1 Dd	14.2 Dd	13.1 Dd	13.8 Cc	13.3 Dd
	0725	17.8 Bb	16.5 Cc	18.6 Cc	16.9 Cc	18.7 Bb	17.2 Cc
	0815	18.3 Aa	17.6 Aa	20.7 Aa	18.1 Aa	21.3 Aa	19.4 Aa
	0909	17.7 Bb	17.2 Bb	19.7 Bb	17.5 Bb	21.1 Aa	18.6 Bb
真菌数量/ (个·g ⁻¹)	0530	672 Bb	662 Aa	678 Cc	650 Bb	689 Cc	648 Dd
	0629	660 Dd	622 Cc	682 Cc	642 Cc	697 BCc	679 Cc
	0725	699 Aa	561 Dd	720 Bb	698 Aa	710 Bb	718 Bb
	0815	651 Ee	530 Ee	659 Dd	638 Cd	699 Cc	641 Ee
	0909	666 Cc	652 Bb	781 Aa	698 Aa	862 Aa	743 Aa

表4 土壤水分温度和微生物与土壤呼吸速率的相关性分析

土壤参数	土壤呼吸速率					
	NTS处理	NT处理	RTS处理	RT处理	PTS处理	PT处理
土壤水分	0.53	0.48	0.85*	0.59	0.87*	0.85*
土壤温度	0.81	0.74	0.63	0.62	0.43	0.55
土壤细菌数量	0.88*	0.95**	0.97**	0.92**	0.95**	0.98**
土壤真菌数量	-0.01	-0.65	0.10	-0.14	-0.08	-0.04
土壤放线菌数量	0.94**	0.98**	0.98**	0.96**	0.98**	0.97**

注 * $P<0.05$, ** $P<0.01$,下同。

2.5 玉米产量、叶面积指数、生物量 and 水分利用效率的变化

表5为不同处理下玉米的产量、叶面积指数、生物量 and 水分利用效率的变化情况。由表5可知,同一耕作模式下,秸秆还田处理的玉米产量极显著高于不还田处理;同一秸秆处理模式下,玉米产量的排序为翻耕>旋耕>免耕。同一耕作方式下,秸秆还田处理的最大叶面积指数高于不还田处理的;同一秸秆处理方式下,最大叶面积指数大小顺序为翻耕>旋耕>免耕。各个处理下,生物量的差异达到极显著水平($P<0.01$),其中PTS处理下生物量最大,为24.38 t/hm²,NT处理下生物量最小,为20.45 t/hm²。秸秆还田处理的玉米水分利用效率高于秸秆不还田处理。PTS处理的玉米水分利用效率最高,分别较NTS、NT、RTS、RT和PT增加6.79%、34.76%、6.39%、34.76%和14.11%。

表5 不同处理下玉米产量、叶面积指数、生物量 and 水分利用效率的变化

处理	产量/(t·hm ⁻²)	最大叶面积指数(LAI _{max})	生物量/(t·hm ⁻²)	水分利用效率/(kg·hm ⁻² ·mm ⁻¹)
NTS	9.54 Dd	4.59 Dd	22.36 Dd	26.5 ABb
NT	8.76 Ee	4.35 Ee	20.45 Ff	21 Cd
RTS	10.42 Aa	4.65 Bb	23.98 Bb	26.6 Aa
RT	9.76 Cc	4.62 Cc	22.12 Ee	21 Cd
PTS	10.51 Aa	4.73 Aa	24.38 Aa	28.3 Aa
PT	10.06 Bb	4.65 Bb	22.64 Cc	24.8 Bbc

3 讨论

在整个玉米生育期,土壤呼吸速率表现出明显的季节变化特征,玉米苗期土壤呼吸速率较低,波动范围为152~351 mg/(m²·h),主要原因是玉米苗期根系发育未完全,根呼吸所占比例较低,而根系呼吸是土壤呼吸最主要的部分^[15-17];土壤呼吸速率在大喇叭口期到灌浆期增长最快,增长率在7.6%~40.2%,主要是由于该时段使用尿素进行追肥,尿素的施入不仅促进了玉米根系生长,加速了根呼吸速率,而且为土壤微生物的活动提供了能量来源,这在一定程度上加剧了土壤微生物的呼吸。同一耕作模式下,秸秆还田处理的土壤呼吸速率比秸秆不还田处理高6.7%~26.4%,主要是由于秸秆还田能够为土壤微生物的活动提供碳源和氮源,增加了土壤微生物的活性,这有利于土壤中有有机物的分解并释放出CO₂^[18]。同一秸秆处理方式下,平均土壤

呼吸速率为翻耕>旋耕>免耕,分别为413、347.7和288.9 mg/(m²·h),这可能是因为翻耕增加了土壤与大气接触的表面积,而且土壤的通透性和保水保温性也比较好,这在一定程度上有利于土壤有机物分解释放CO₂;免耕处理土壤与大气接触的表面积较小,土壤的紧实度增加,通透性降低,土壤的保温保水性也较差,这些因素使得土壤呼吸速率较弱;与翻耕和免耕相比,旋耕处理对土壤的扰动不如翻耕剧烈,土壤的通透性、紧实度和保水保温性也介于翻耕和免耕之间^[19]。

细菌数量在土壤微生物群体中所占比例达到90%以上,主要是因为在整个玉米生长季,玉米根系为根际细菌的生长和繁殖提供了物质保障,同时较高的根际细菌活性能够在一定程度上加速土壤有机物质的分解,进一步改善土壤肥力状况进而促进植物生长^[20-22]。8月15日土壤细菌和放线菌的数量达到最大值,可能是由于8月11日晚降雨,导致土壤含水率较高,而此时气温较高,导致地温也比较高,加剧了以上2种微生物的繁殖。而真菌具有需氧的特性,当土壤水分较高时,土壤微生物处于低氧的状态,这就限制了土壤真菌的正常生长,同时土壤真菌数量与土壤呼吸速率呈负相关($P>0.05$),这可能是由于真菌具有贮存养分的能力,因此其更能有效地利用土壤有机碳和有机氮来完成自身的微生物量积累,这在一定程度上减少了土壤CO₂的排放。

曾木祥等^[23]针对我国19个省市进行的秸秆还田试验进行了梳理和总结,虽然各地的气候、耕作方式、作物类型等不尽相同,秸秆类型和秸秆还田方式千差万别,但秸秆还田都具有一定的保水保温、培肥地力、抑制杂草和增产提质的效果,同时还可以降低秸秆焚烧引起的空气污染。周怀平等^[24]研究表明长期秸秆还田对玉米增产增收效果显著,减少田间含水率,提高水分利用效率。本研究表明秸秆还田处理的最大LAI值、产量和水分利用效率大于非秸秆还田处理,这与前人的研究结果基本一致^[25-26]。

相关研究表明秸秆还田配合深翻耕,能够最大程度的发挥二者优势,增加作物产量,提高水分利用效率^[27,28]。本试验中,各处理玉米产量高低依次为PTS(10.51 t/hm²)>RTS(10.42 t/hm²)>PT(10.06 t/hm²)>RT(9.76 t/hm²)>NTS(9.54 t/hm²)>NT(8.76 t/hm²),这与前人的研究结论基本一致。Kar等^[29]研究表明,深翻能够降低耕层土壤的体积质量,增加土壤的孔隙度,能够有效地起到保墒和提高水分利用效率的效果,深耕+秸秆还田能够在一定程度上降低农田耗水量和棵间蒸发量,提高水分利用效率和作物产量。

4 结论

1)翻耕秸秆还田处理的玉米产量最高,为10.51 t/hm²;平均土壤呼吸速率最大,为450.4 mg/(m²·h);水分利用效率最高,为28.3 kg/(hm²·mm)。秸秆还田处理下平均玉米水分利用效率为27.1 kg/(hm²·mm),高于秸秆不还田处理下的22.2 kg/(hm²·mm)。

2)翻耕处理下,土壤水分与土壤呼吸速率的相关系数平均值最大,为0.86,旋耕其次,免耕最小,为0.51;免耕处理下土壤温度与土壤呼吸速率的相关系数平均值最大,为0.78,旋耕其次,翻耕最小,为0.49;土壤细菌和放线菌数量与土壤呼吸速率的相关系数平均值分别为0.94和0.97,都达到极显著水平。土壤真菌数量与土壤呼吸速率在免耕秸秆还田、翻耕秸秆还田、免耕秸秆不还田、旋耕秸秆不还田和翻耕秸秆不还田5种处理方式下呈负相关关系,但未达到显著水平($P>0.05$)。

参考文献:

- [1] 田慎重,王瑜,李娜,等. 耕作方式和秸秆还田对华北地区农田土壤水稳性团聚体分布及稳定性的影响[J]. 生态学报, 2013, 33(22): 7 116-7 124.
- [2] 于玲玲,郭强,赵贵元. 保护性耕作对华北地区玉米产量及水分利用效率的影响[J]. 内蒙古农业大学学报(自然科学版), 2017, 38(3): 19-23.
- [3] 李玉洁,王慧,赵建宁,等. 耕作方式对农田土壤理化因子和生物学特性的影响[J]. 应用生态学报, 2015, 26(3): 939-948.
- [4] 米迎宾,杨劲松,姚荣江,等. 农田管理措施对滨海盐渍化土壤碳平衡的影响[J]. 灌溉排水学报, 2017, 36(3): 85-88.
- [5] 王碧胜,蔡典雄,武雪萍,等. 长期保护性耕作对土壤有机碳和玉米产量及水分利用的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2015, 21(6): 1 455-1 464.
- [6] 张婧,张仁陟,左小安. 保护性耕作对黄土高原农田土壤理化性质的影响[J]. 中国沙漠, 2016, 36(1): 137-143.
- [7] 张笑培,周新国,王静丽,等. 耕作方式对豫东夏玉米产量和水分利用效率的影响[J]. 灌溉排水学报, 2017, 36(9): 13-19.
- [8] 赵七雄. 不同种植方式对旱作春玉米土壤酶活性及生长状况的影响[J]. 灌溉排水学报, 2016, 35(11): 92-96.
- [9] 张大伟,刘建,王波,等. 连续两年秸秆还田与不同耕作方式对直播稻田土壤理化性质的影响[J]. 江西农业学报, 2009, 21(8): 53-56.
- [10] WANG X B, WU H J, DAI K, et al. Tillage and crop residue effect on rain fed wheat and maize product ion in northern China [J]. Field Crops Research, 2012, 132(14): 106-116.
- [11] 张立强,汪有科,员学锋,等. 不同水分状况下秸秆覆盖量对玉米根、冠生长的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2016, 25(5): 46-51.
- [12] 宫亮,孙文涛,包红静,等. 不同耕作方式对土壤水分及玉米生长发育的影响[J]. 玉米科学, 2011, 19(3): 118-120, 125.

- [13] 梁金凤, 齐庆振, 贾小红, 等. 不同耕作方式对土壤性质与玉米生长的影响研究[J]. 生态环境学报, 2010, 19(4): 945-950.
- [14] 裘浪, 全文智, 毕银丽, 等. 覆膜与接种微生物对半干旱区玉米生长特性和水分利用效率的影响[J]. 灌溉排水学报, 2017, 36(10): 7-13.
- [15] 禄兴丽, 廖允成. 不同耕作措施对旱作夏玉米田土壤呼吸及根呼吸的影响[J]. 环境科学, 2015, 36(6): 2266-2273.
- [16] 王妮, 郭继勋. 嫩草甸草地碱茅群落根呼吸对土壤呼吸的贡献[J]. 科学通报, 2006, 51(5): 559-564.
- [17] 史晶晶, 耿元波. 内蒙古羊草草原根呼吸和土壤微生物呼吸区分的研究[J]. 环境科学, 2014, 35(1): 341-347.
- [18] 赵亚丽, 薛志伟, 郭海斌, 等. 耕作方式与秸秆还田对土壤呼吸的影响及机理[J]. 农业工程学报, 2014, 30(19): 155-165.
- [19] 张俊丽, SIKANDER K T, 温晓霞, 等. 不同耕作方式下旱作玉米田土壤呼吸及其影响因素[J]. 农业工程学报, 2012, 28(18): 192-199.
- [20] LV G F. The preliminary study on seasonal dynamics of soil microbe in Hordein sandy land[J]. Journal of Desert Research, 1999(19): 107-109.
- [21] 董卿, 程红艳, 张建国, 等. 醋糟菌糠对3种作物土壤微生物及酶活性的影响[J]. 中国生态农业学报, 2016, 24(12): 1655-1662.
- [22] 侯鹏, 王永军, 王空军, 等. 超高产夏玉米田土壤微生物与土壤酶的动态变化[J]. 应用生态学报, 2008, 19(8): 1741-1746.
- [23] 曾木祥, 王蓉芳, 彭世琪, 等. 我国主要农区秸秆还田试验总结[J]. 土壤通报, 2002, 28(5): 336-339.
- [24] 周怀平, 解文艳, 关春林, 等. 长期秸秆还田对旱地玉米产量、效益及水分利用的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2013, 19(2): 321-330.
- [25] 慕平, 张恩和, 王汉宁, 等. 不同年限全量玉米秸秆还田对玉米生长发育及土壤理化性状的影响[J]. 中国生态农业学报, 2012, 20(3): 291-296.
- [26] 解文艳, 樊贵盛, 周怀平, 等. 秸秆还田方式对旱地玉米产量和水分利用效率的影响[J]. 农业机械学报, 2011, 42(11): 60-67.
- [27] 赵亚丽, 郭海斌, 薛志伟, 等. 耕作方式与秸秆还田对冬小麦-夏玉米轮作系统中干物质生产和水分利用效率的影响[J]. 作物学报, 2014, 40(10): 1797-1807.
- [28] 郭强, 于玲玲, 徐阳, 等. 保护性耕作对冀东地区玉米产量和土壤特性的影响[J]. 河北科技师范学院学报, 2015, 29(4): 14-17.
- [29] KAR G, KUMAR A. Evaluation of post rainy season crops with residual soil moisture and different tillage methods in rice fallow of eastern India[J]. Agricultural Water Management, 2009, 96(6): 931-938.

Soil Respiration and Water Use Efficiency of Corn Field Under Conservative Tillage with and Without Straw Incorporation

GUO Qiang¹, YU Lingling^{2*}, HAN Jingran³

(1. Tangshan Academy of Agricultural Science, Tangshan 063001, China; 2. Tangshan Crop Seed Management Testing Stations, Tangshan 063001, China; 3. Kalaqin Agriculture and Animal Husbandry Bureau, Chifeng 024400, China)

Abstract: **【Objective】**Tillage affects soil functions and water use efficiency. This paper aimed to explore how yield, water use efficiency and soil reposition of a corn field varied with different tillage and agronomic managements. **【Method】**The experiment investigated six conservative tillages: no-tillage with straw incorporation (NTS), rotary tillage with straw incorporation (RTS), ploughing tillage with straw incorporation (PTS), no-tillage without straw incorporation (NT), rotary tillage without straw incorporation (RT) and ploughing tillage without straw incorporation (PT). Soil respiration, soil water and temperature, soil microbial activity, water use efficiency and yield of the corn were measured in each treatment. **【Result】**From May 30 to August 15 in 2017, soil respiration in all treatments increased first and then decreased. During the experiment, PTS had the highest average soil respiration rate at 450.4 mg/(m²·h), while NT had the lowest at 279.6 mg/(m²·h). The correlation between soil moisture and soil respiration rate was highest under ploughing tillage at 0.86, followed by rotary tillage, with the lowest under no-tillage. The correlation between soil temperature and soil respiration was the highest for no-tillage at 0.78, followed by rotary tillage, with the ploughing tillage having the lowest correlation. The correlation between soil bacteria, actinomycetes and the soil respiration rate was 0.94 and 0.97, respectively. In all treatments, water use efficiency under straw incorporation was higher than that without straw incorporation. PTS had the highest water use efficiency and yield, which were 28.3 kg/mm and 10.51 t/hm² respectively. **【Conclusion】**PTS treatment is the most appropriate for increasing yield and water use efficiency of the corn field.

Key words: maize; conservation tillage; soil respiration; microorganism; yield; water use efficiency

责任编辑:陆红飞