

耕作措施对华北夏玉米田土壤温度和酶活性的影响

王福军, 张明园, 张海林, 陈阜*

中国农业大学农学与生物技术学院/农业部农作制度重点开放实验室, 北京 100193

摘要:为探讨长期耕作措施下华北平原夏玉米生长季土壤温度与酶活性的变化规律,本研究对四种耕作处理(免耕秸秆还田NTS,旋耕秸秆还田RTS,翻耕秸秆还田CTS和翻耕秸秆不还田CT)下土壤层次的温度和酶活性进行了测定和分析。结果表明:同一土壤层次的各项耕作处理均从6:00-18:00呈现正弦波的变化特征;免耕、旋耕等保护性耕作处理在玉米的生育期内温度变化平稳,日均差均小于翻耕秸秆还田和翻耕秸秆不还田;免耕秸秆还田处理土壤酶活性最高,脲酶活性在夏玉米的3个生育期(播种期、大喇叭口期和收获期)分别高于翻耕秸秆不还田处理28.98%,35.62%和24.9%,碱性磷酸酶分别高32.7%,11.94%和10.39%,脱氢酶分别高27.53%,20.39%和30.53%,旋耕和翻耕秸秆还田处理3种酶的活性也明显高于翻耕秸秆不还田处理;旋耕与翻耕秸秆还田处理脲酶和碱性磷酸酶的差异不显著,脱氢酶的差异达到了5%的差异显著水平;通过研究表明在华北平原采用少免耕为主的保护性耕作措施,可以提高土壤酶活性,降低成本,提高经济效益。

关键词:耕作措施;少免耕;土壤温度;脲酶;碱性磷酸酶;脱氢酶

中图分类号: S344.5; S154.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-5906 (2012) 05-0848-05

农田土壤微生物酶活性表征了农田土壤肥力的高低和土壤物质能量代谢旺盛的程度,是土壤质量水平、土壤生物化学特性的一个重要指标^[1-2]。同时华北平原是重要的麦玉两熟区,其粮食生产占全国总产量的1/5以上,在全国占有重要的战略地位。因此研究华北麦玉两熟农田土壤微生物酶活性对于指导农业生产、提高作物产量具有重要意义^[3-4]。植物根系及其残体所分泌的酶参与土壤中复杂的生物化学反应,被称为土壤生态系统的核心^[5];近年来,土壤酶学与土壤学、农学、林学、水土保持科学及植物营养学等各学科相互渗透,土壤各种酶活性、土壤微生物多样性以及微生物生物量等的多方面研究也愈来愈多,土壤酶的研究范畴已涉及几乎所有的陆地生态系统^[6-7],但鲜见温度的动态变化与酶的关系角度进行探讨。本研究利用耕作措施的长期定位试验对翻耕秸秆还田、翻耕秸秆不还田、免耕秸秆还田、旋耕秸秆还田等耕作方式,对土壤酶活性进行动态观测,探讨在玉米生育期内保护性耕作对土壤酶活性的影响并进行影响因素分析。以期获得耕作措施对土壤酶活性的动态变化规律,对土壤的质量和生态效益作出评价,为华北平原农田的土壤肥力的培育、生产力的提高提供理论依据^[2]。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

实验点位于河北省栾城县中国科学院农业生

态试验站,该站(北纬37°53'东经114°41')位于河北省石家庄市栾城县聂家庄乡,地处冀中平原的中南部,是太行山前平原的典型代表区属于中国东部暖温带半湿润季风气候。实验站海拔高度50.1 m,年均太阳辐射总量为546.5 KJ·cm⁻²,年日照时数2 544 h,年平均气温12.5 °C,≥0 °C积温4 370 °C,≥10 °C积温4 251 °C,无霜期196 d,光热资源丰富,从作物组合对积温的要求来看,该区属于小麦、玉米套种或年内复种的适宜区。全年平均降水量为494 mm,年际变化较大,年内分布不均,主要集中在7、8月份,并占年降水量的60%左右。该地区土壤类型为潮褐土,土壤质地为粉质壤土,黏粒质量百分数为15.01%。耕层土壤平均体积质量为1.39 g/cm³,土壤pH值为7.8,表层土壤有机碳质量分数为9.11 g/kg。

1.2 实试验计

本试验从2001年开始布置,至2010年是耕作措施试验的第十年。试验共设4个处理,每个处理3次重复,小区面积0.33 hm²。翻耕秸秆不还田(CT):小麦收获前套种玉米,麦秸人工收割并运出。玉米收获后,秸秆及根茬亦全部运出并施撒化肥,翻耕1遍(耕深15~20 cm),旋耕耱平后播种小麦;翻耕秸秆还田(CTS),联合收割机收获小麦后秸秆平铺还田,并留茬30 cm左右,还田秸秆长度在5~20 cm之间。玉米收获后秸秆粉碎全量还田,秸秆粉碎机粉碎秸秆并破

基金项目:公益性行业(农业)科研专项经费资助(201103001)

作者简介:王福军(1970年生),博士研究生,研究方向保护性耕作与农田生态;E-mail:wfg2009@cau.edu.cn

*通讯作者:陈阜,教授,主要从事农作制度和区域农业发展研究;E-mail:chenfu@cau.edu.cn

收稿日期:2012-03-01

除根茬, 秸秆粉碎粒径约 0~20 cm, 翻耕 1 遍(耕深 15~20 cm), 旋耕耢平后播种小麦; 旋耕秸秆还田(RTS), 小麦秸秆处理与 CTS 相同。玉米收获后秸秆粉碎全量还田, 施撒化肥, 旋耕机旋耕 2 遍(耕深 8~10 cm, 粉碎秸秆并破除根茬)播种小麦; 免耕秸秆还田(NTS), 小麦秸秆处理与 CTS 相同。玉米秸秆粉碎全量还田, 玉米收获后使用秸秆粉碎机粉碎秸秆并破除根茬, 小麦免耕播种机一次性完成施肥、播种及镇压等作业。

1.3 取样方法

本试验分别在 2010 年 6 月 5 日(玉米播种期)、2010 年 8 月 8 日(大喇叭口期)和 2010 年 9 月 22 日(玉米收获期)进行取样, 取样深度为 0~20 cm, 取附着在根际上的土壤; 取样方法采用对角线取样法, 每个处理取 3 个点, 进行混合处理, 分别进行保存, 一部分土样 4℃ 冰箱保存, 4 d 之内测定完成土壤酶情况, 另一部分土壤冰冻于 -20℃ 冰箱内冷藏, 以备进行其他数据的测定。

1.4 测定项目与方法

1.4.1 温度的测定

在取样日期内监测玉米田从日出到日落的土壤温度的变化情况, 仪器选用多点遥测温度仪, 深度包括 0、5、10、20 cm, 每隔 2 h 读取一次数据, 并对一个日出到日落的温度变化情况进行分析。

1.4.2 酶的测定

主要测定土壤中的脲酶、碱性磷酸酶和脱氢酶。脲酶采用苯酚钠比色法($\text{mg NH}_2\text{-N}/100 \text{ g}$ 干土, 37℃, 24 h), 碱性磷酸酶采用磷酸苯二钠比色法方法^[4], 脱氢酶采用(TTC)比色法^[4]。

2 结果与分析

2.1 不同耕作方式对土壤温度的影响

农田土壤温度的变化表现为表土白天直接接受太阳辐射而增温, 夜间直接放射长波辐射而冷却, 从早 6:00 时开始到晚 18:00 时温度曲线呈现正弦波变化特征; 表土受环境影响昼夜温差大、波动显著。深层土壤受环境影响较小, 温差小; 在各土壤层次间, 免耕秸秆还田处理土壤温度较低, 而翻耕秸秆不还田处理土壤温度较高。玉米各时期各处理土壤温度变化特征相近, 图 1 是以玉米大喇叭口期为例, 对土壤温度进行变化特征的分析。

耕层土壤温度受到外界环境因素影响, 同时土壤质地不同, 升降温速度、导热速度亦不相同, 其温度曲线的变化也会受到影响。不同的耕作方式引起土壤中固体、液体、气体三相物质的变化, 改变了土壤微环境, 从而产生了各处理间土壤温度变化特征。

大喇叭口期是玉米生长的旺盛时期, 不同耕作处理土壤地表 0 cm 温度的差异不显著, 除 6:00 外, 不同处理的地温相差都在 1℃ 范围之内。由

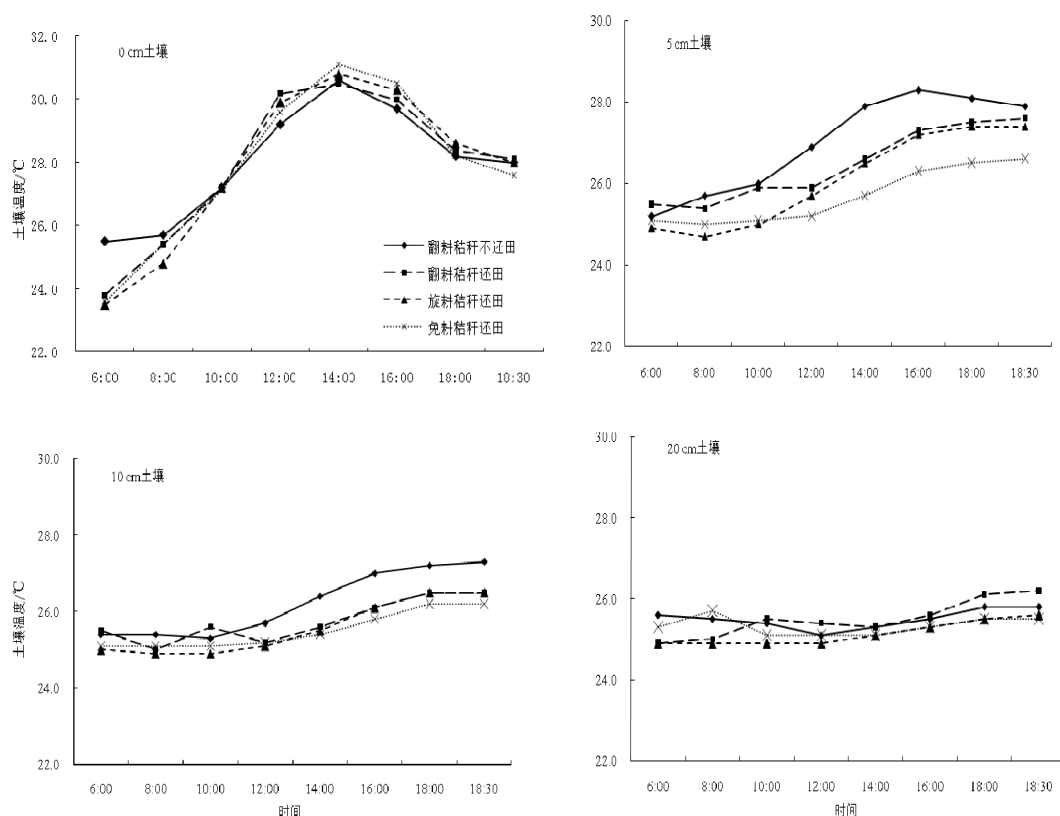


图 1 玉米大喇叭口期各处理土壤层次间温度变化特征

于 CT 处理没有秸秆覆盖,因此升温较快,6:00 时温度比其他处理高很多。表土温度波动剧烈,从早六点的最低温度 23.5℃到下午 14:00 点的最高温度 31.1℃,中间相差 7.6℃。

5 cm 和 10 cm 土壤温度也随着外界温度变化波动,但波动程度逐渐递减,20 cm 土壤温度不仅监测周期内波动不显著,而且各处理间的差异也较小。各处理温度曲线虽然均呈正弦波动,但不同处理不同深度土壤温度变化特征有着一定的差异:翻耕秸秆不还田 5 cm 土壤温度在 16:00 时温度达到最高值,而另外 3 种处理方式最高值则出现在 18:00,这主要是由于秸秆还田具有明显的保温作用。各处理 10 cm 土壤温度的最高值出现在 18:00。20 cm 土壤温度变化很小;不同的耕作方式在一个观测日中的日均差变异幅度也有很大的差异,在 5 cm 土壤温度图中可以看出,翻耕秸秆不还田的日较差达到 3.1℃,翻耕秸秆还田的日较差为 2.1℃,旋耕秸秆还田的日较差为 2.5℃,免耕秸秆还田的日较差只有 1.4℃,免耕秸秆还田的日较差最小,并且在玉米根系生长的最适范围之内,这促进了玉米根系的生长和酶活性的提高。10 cm 地温和 20 cm 地温图得出了相同的规律。

2.2 不同耕作方式对土壤酶的影响

土壤酶是土壤新陈代谢的重要促进因子,其与微生物一起共同推动着土壤的代谢过程,二者的活性密切相关。土壤酶与土壤微生物对于土壤肥力的提高及土壤质量的改良具有积极的作用。

2.2.1 土壤脲酶

脲酶是一种将酰胺态有机氮化物水解转化为植物可吸收利用的无机氮化物的酶,对尿素在土壤中的水解及作物对尿素氮的利用有重大影响,

脲酶活性的高低在一定程度上反映了土壤供氮水平的高低^[4,8]。

表 1 为不同耕作措施对土壤脲酶活性的影响,在玉米的生长季中脲酶的变化具有很强的规律性:从播前开始逐渐增高,大喇叭口期旺盛生长,至灌浆期达到最大值,以后逐渐降低。由于连续十年进行保护性耕作的方式,保护性耕作措施与传统的耕作方式(翻耕秸秆不还田)脲酶含量比较有极显著的差异。在玉米播种期,免耕秸秆还田、旋耕秸秆还田、翻耕秸秆还田比翻耕秸秆不还田分别高 28.98%、9.92%和 15.14%。在大喇叭口期保护性耕作促进脲酶活性的提高得到了充分的体现,分别高 35.62%、13.38%和 11.68%。成熟期保护性耕作方式中下土壤脲酶的含量仍显著高于翻耕秸秆不还田的耕作方式,免耕方式比翻耕不还田仍高达 24.9%,显示出了极强的生态效益。

2.2.2 土壤碱性磷酸酶

碱性磷酸酶是土壤微生物和植物根系的一种分泌产物,其活性受土壤紧实度影响较小,但受土壤通气状况影响较大^[9-10]。碱性磷酸酶的酶促作用能够加速有机磷化合物的水解,对于提高土壤磷素的有效性促进土壤磷素的转化有重要的作用,是土壤磷素的重要指标。因此研究耕作措施下碱性磷酸酶的分布特征有一定意义^[5]。

从表 2 可以看出土壤中的碱性磷酸酶随着玉米的生长呈现出逐渐增加的趋势,并在灌浆前后达到最大值,随着玉米的成熟、根系衰亡以及土壤微环境改变而呈现出下降的趋势。在播前,由于长期采用保护性耕作,免耕秸秆还田的耕作方式中碱性磷酸酶比其他耕作方式高,达到差异显

表 1 不同耕作方式对土壤脲酶 mg·g⁻¹·d⁻¹

处理	播种期	大喇叭口期	灌浆期(收获前)	较翻耕不还田增加/%		
	6月4日	8月8日	9月22日	6月4日	8月8日	9月22日
免耕还田	4.94Aa	6.21Aa	6.62Aa	28.98	35.62	24.9
旋耕还田	4.21Ab	5.34Bb	5.44Bc	9.92	13.38	2.64
翻耕还田	4.41Ab	5.26Bb	5.97Ab	15.14	11.68	12.64
翻耕不还田	3.83Bc	4.71Bc	5.30Bc			

表中数据后的大写字母表示在 P≤0.01 水平上显著差异,小写字母表示在 P≤0.0 水平上 5 显著差异

表 2 不同耕作方式对土壤碱性磷酸酶活性的影响 mg·g⁻¹·d⁻¹

处理	播种期	大喇叭口期	灌浆期(收获前)	较翻耕不还田增加/%		
	6月4日	8月8日	9月22日	6月4日	8月8日	9月22日
免耕还田	0.69Aa	0.75Aa	0.85Aa	32.7	11.94	10.39
旋耕还田	0.58Bb	0.68Bbc	0.75Bb	11.54	1.49	-2.58
翻耕还田	0.56Bb	0.71Bb	0.75Bb	7.69	5.97	-2.58
翻耕不还田	0.52Bc	0.67Bbc	0.77Bb			

表中数据后的大写字母表示在 P≤0.01 水平上显著差异,小写字母表示在 P≤0.05 水平上显著差异

著的水平 ($P \leq 0.01$)，其他三种处理的差异不显著。玉米在大喇叭口期进入旺盛生长阶段，四种处理的碱性磷酸酶含量亦有一定差异 ($P \leq 0.05$)，免耕秸秆还田仍比翻耕秸秆不还田高 11.94%，比旋耕秸秆还田和翻耕秸秆还田高 1.49%和 5.97%。灌浆期（收获前）免耕碱性磷酸酶的含量仍高翻耕还田 10.39%，但翻耕秸秆还田、旋耕秸秆还田的碱性磷酸酶的含量低于翻耕不还田。总体来说，少免耕等保护性耕作方式对土壤碱性磷酸酶的活性具有促进作用，免耕的促进最用最为明显。

2.2.3 土壤脱氢酶

土壤脱氢酶属于胞内酶，是土壤中很重要的一种酶。土壤肥力和施肥方式可直接影响土壤脱氢酶活性。胞外酶是从细胞内分泌到体外，吸附于土壤作为非生命组分而保持活性，与这些酶不同，脱氢酶是在细胞内起作用，催化有机物质脱氢，起着氢的中间转化和传递的作用，因此脱氢酶活性可以作为微生物氧化还原系统的指标，被认为能很好地表征土壤中微生物的氧化能力^[6,7]。分析土壤脱氢酶活性变化，对研究土壤生物学和施肥方式有重要的意义^[9]。

表 3 表明：在玉米的全生育期内脱氢酶也是随着玉米的生长量的增加，呈现出逐渐增加的趋

势，灌浆后期有明显的下降趋势，与另外两种酶的测定结果相同。免耕和旋耕处理土壤脱氢酶含量高于翻耕不还田的耕作模式，并且都达到极显著水平。免耕处理土壤脱氢酶显著高于其他 3 个处理，在播种前期、大喇叭口期、和灌浆期（收获前）分别比翻耕秸秆不还田高 27.53%、20.38%和 30.53%。在这 3 个时期，旋耕秸秆还田比翻耕秸秆不还田分别高 13.09%、16.21%和 16.79%，翻耕秸秆还田比翻耕秸秆不还田也分别高 13.77%、9.83%和 14.66%。表明了保护性耕作方式、秸秆还田能显著提高土壤脱氢酶的活性；另外，免耕还田耕作方式与旋耕还田和翻耕还田土壤中的脱氢酶含量也达到了极显著差异，从而也证明减少土壤扰动可以促进土壤脱氢酶的活性。

3 讨论

保护性耕作措施下土壤温度日均差较小，尤其是在作物的生育期内，利于土壤中酶的存活从而促进土壤中酶活性的提高^[11-12]，测定的 3 种酶的活性均高于翻耕秸秆不还田，国内相关报道：秸秆还田保护性耕作 2~6 a 的增产率为 2.63%~6.08%^[13-14]，但保护性耕作的增产效果并未在本试验中体现，因此未来研究仍需从耕作措施、土壤酶与肥力的相关性及其产量上进行研究。

表 3 不同耕作方式对土壤脱氢酶活性的影响

处理	播种期	大喇叭口期	灌浆期（收获前）	较翻耕不还田增加/%		
	6 月 4 日	8 月 8 日	9 月 22 日	6 月 4 日	8 月 8 日	9 月 22 日
免耕还田	56.5Aa	75.0Aa	85.5Aa	27.53	20.39	30.53
旋耕还田	50.1Bb	72.4ABa	76.5Bb	13.09	16.21	16.79
翻耕还田	50.4Bb	68.3Bb	75.1Bb	13.77	9.63	14.66
翻耕不还田	44.3Cc	62.3Cc	65.5Cc			

注：表中数据后的大写字母表示在 $P \leq 0.01$ 水平上显著差异，小写字母表示在 $P \leq 0.0$ 水平上 5 显著差异

土壤酶活性受土壤微环境的影响，轻微的环境改变会产生土壤中酶活性的变化，因此土壤酶能更早地反映出土壤的质量和健康状况，与单一酶活性相比，用土壤中分布最广泛的酶活性总体来表征土壤质量是可行的^[12]，有关保护性耕作酶活性的总体综合性评价有待进一步研究。

少免耕、秸秆还田等措施可以改善土壤理化性状从而提高土壤中酶活性，本研究保护性耕作方式明显提高土壤中脲酶、脱氢酶、碱性磷酸酶活性，可能是由于少免耕动土程度弱，秸秆还田为微生物提供了良好的生存环境。但具体的影响机理并不十分明确，需要进一步研究。

4 结论

不同耕作方式温度从 6:00-20:00 温度呈现出正弦波变化；表层土壤温度（0 cm、5 cm）日变化明显，生层次土壤温度（10 cm、20 cm）变化不显著；

免耕秸秆还田处理土壤温度日波动较其他处理小，同时土壤温度较低；同时秸秆覆盖减缓了地表土壤升温过程。

不同耕作方式耕作层内（0~20 cm）脲酶、碱性磷酸酶、土壤脱氢酶均随着玉米的生长而增加，灌浆期后开始下降；免耕秸秆还田与其他耕作方式相比，显著提高了酶的活性，在全生育期与翻耕秸秆不还田相比，有极显著的差异，其次是旋耕秸秆还田和翻耕秸秆还田；少免耕促进了酶活性的提高，改善了土壤的微环境，有着很好的生态效益。

参考文献：

[1] 陈军胜.华北平原免耕冬小麦田土壤水热特征及其对冬小麦生长发育影响研究[D]. 北京：中国农业大学, 2005.
CHEN Junsheng. Characteristics of soil temperature and soil water for winter wheat with no-tillage and effect on winter wheat growth in North China Plain[D].Beijing: China Agricultural University, 2005.

- [2] 张星杰, 刘景辉, 李立军, 等. 保护性耕作对旱作玉米土壤微生物和酶活性的影响[J]. 玉米科学, 2008, 16(1): 91-95.
ZHANG Jie, LIU Jinghui, LI Lijun, et al. Effects of different conservation tillage on soil microbes quantities and enzyme activities in dry cultivation[J]. Journal of Maize Science, 2008, 16(1): 91-95.
- [3] 北京农业大学. 农业气象[M]. 北京: 北京农业大学出版社, 1982: 32-48.
Beijing Agricultural University. Agricultural meteorology[M]. Beijing: Beijing Agricultural University Press, 1982: 32-48.
- [4] 关松荫. 土壤酶活性影响因子的研究: I. 有机肥料对土壤中酶活性及氮磷转化的影响[J]. 土壤肥料, 1989, 26(1): 72-78.
GUAN Songyin. Studies on the factors influencing soil enzyme activities: I. effects of organic manures on soil enzyme activities and N, P transformations[J]. Acta Pedologica Sinica, 1989, 26(1): 72-78.
- [5] 苗林, 王立, 黄高宝, 等. 保护性耕作对旱地麦田土壤酶活性的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2009, 27(1): 6-11.
MIAO Lin, WANG Li, HUANG Gaobao, et al. Effects of conservation tillage on soil enzymatic activities in rainfed wheat field[J]. Agricultural Research in Arid Areas, 2009, 27(1): 6-11.
- [6] 周礼恺. 土壤酶学[M]. 北京: 科学出版社, 1987: 229-230.
ZHOU Likai. Soil enzymology[M]. Beijing: Science Press, 1987: 229-230.
- [7] 李东坡, 武志杰, 陈利军, 等. 长期培肥黑土脱氢酶活性动态变化及其影响因素[J]. 土壤通报, 2005, 36(5): 679-683.
LI Dongpo, WU Zhijie, CHEN Lijun, et al. Dynamics of dehydrogenase activity of black soil treated by long-term fertilization[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2005, 36(5): 679-683.
- [8] 张洁, 姚宇卿, 吕军杰, 等. 豫西旱坡地长期保护性耕作土壤酶活性及其与肥力关系[J]. 干旱地区农业研究, 2011, 29(2): 142-146.
ZHANG Jie, YAO Yuqing, LV Junjie, et al. Effects of long-term conservation tillage on soil enzyme activity of sloping dryland and its relation to soil fertility[J]. Agricultural Research in Arid Areas, 2011, 29(2): 142-146.
- [9] 杨江山, 张恩和, 黄高宝, 等. 保护性耕作对麦药轮作土壤酶活性和微生物数量的影响[J]. 生态学报, 2010, 30(3): 0824-0829.
YANG Jiangshan, ZHANG Enhe, HUANG Gaobao, et al. Effects of conservation tillage on soil microbes quantities and enzyme activities in wheat-herb rotation system[J]. Acta Ecologica Sinica, 2010, 30(3): 0824-0829.
- [10] 林先贵. 土壤微生物研究原理与方法[M]. 北京: 高等教育出版社, 2008: 244-245.
LIN Xiangui. Research principle and methods of soil microorganism[M]. Beijing: Higher Education Press, 2008: 244-245.
- [11] BOSSIO D A, FLECK J A, SCOW K M, et al. Alteration of soil microbial communities and water quality in restored wetlands[J]. Soil Biology & Biochemistry, 2006, 38(6): 1223-1233.
- [12] TABATABAI M A, DICK W A. Enzymes in soil. Research and developments in measuring activities[M]. Activity, Ecology, and Applications. New York, USA: Marcel Dekker, Inc, 2002.
- [13] BANDICK A K, DICK R P. Field management effects on soil enzyme activities[J]. Soil Biology and Biochemistry, 1999, 31: 1471-1479.
- [14] 赵凡, 何秀云, 沈玉梅, 等. 玉米秸秆还田保护性耕作对产量及土壤理化性状影响的灰色关联分析[J]. 干旱地区农业研究, 2011, 29(4): 208-213.
ZHAO Fan, HE Xiuyun, SHEN Yumei, et al. Analysis of grey correlation between conservation tillage modes and corn yield and soil physiochemical properties[J]. Agricultural Research in Arid Areas, 2011, 29(4): 208-213.

Soil temperature dynamics and enzyme activities as influenced by tillage in north China

WANG Fujun, ZHANG Mingyuan, ZHANG Hailin, CHEN Fu

College of Agronomy and Biotechnology/ Key Laboratory of Farming System, Ministry of Agriculture,
China Agricultural University, Beijing 100193, China

Abstract: This study intends to investigate soil temperature dynamics and enzyme activities under different tillage treatment systems in North China. The experiment has four tillage treatments: no-tillage with straw retention (NTS), rotary tillage with straw retention (RTS), conventional tillage with straw retention (CTS), and conventional tillage without straw (CT). Soil temperature and enzyme activity were monitored in corn growing season. Soil temperature displayed a sinusoidal variation from 6 am to 18 pm. The soil temperature waves of NTS and RTS fluctuated moderately. At sowing stage, flare opening stage, and harvest stage, urease activity under NTS was 28.98%, 35.62% and 24.9% higher than that under CT; alkaline phosphates under NTS was 32.7%, 11.94%, and 10.39% higher than that under CT; and dehydrogenase content under NTS was 27.53%, 20.39% and 30.53% higher than that under CT. The treatments of RTS and CTS also had higher amount of soil enzymes than the CT treatment. There were no significant differences in urease and alkaline phosphates between CTS and RTS treatments. However, the content of dehydrogenase differed significantly (at $P \leq 0.05$) between the CTS and RTS treatments. Our results suggest that conservation tillage has the advantages of improving soil enzyme activity, reducing costs, and bringing about ecological benefits in the North China Plain.

Key words: tillage practice; minimum and no-tillage; soil temperature; urease; alkaline phosphates; dehydrogenase