

施肥对旱作免耕土壤酶活性与 CO₂ 排放量的影响

张志栋¹, 刘景辉¹, YU Qing², 王永强¹, 崔凤娟¹, 王润莲¹

(1. 内蒙古农业大学, 内蒙古 呼和浩特 010018; 2. 加拿大农业部东部谷物与油料作物研究中心, 加拿大 渥太华 K1A 0C6)

摘要: 通过对不同施肥处理的免耕土壤酶活性和 CO₂ 排放通量测定分析, 研究北方农牧交错区施肥对旱作免耕农田土壤酶活性、CO₂ 排放量的影响及其相互关系, 为提高土壤质量、实现固碳减排和可持续利用提供理论依据。结果表明: 免耕施肥土壤酶活性和 CO₂ 排放通量高于不施肥处理; 氮肥对脲酶、碱性磷酸酶、蔗糖酶活性和 CO₂ 排放通量的增加影响最大, 其次是磷肥, 钾肥最小; 过氧化氢酶活性的增加受钾肥影响最大, 磷肥次之, 氮肥最小; 氮磷或氮磷钾肥配施更能增加土壤酶活性和 CO₂ 排放通量, 单施钾肥土壤过氧化氢酶活性高于氮磷肥配施。蔗糖酶和脲酶活性与土壤 CO₂ 排放量呈显著正相关, 碱性磷酸酶和过氧化氢酶与土壤 CO₂ 排放量之间相关性不显著。

关键词: 旱作; 燕麦; 免耕; 土壤酶活性; CO₂ 排放

中图分类号: S154.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2010)05-0085-07

目前, 全球环境问题倍受国际社会广泛关注, 对以 CO₂ 为主的温室气体排放及其影响的研究不仅成为国内外应对气候变化的策略而且也成为提高土壤固碳能力、培肥地力中一个极其活跃的研究领域^[1]。土壤酶是具有催化活性的蛋白质, 素有生物催化剂之称, 它能促进有机体中的化学反应, 是土壤生物学活性的总体现^[2,3], 是土壤生态系统中最活跃的组分之一, 在一定程度上反映了土壤养分转化动态^[3,4]。随着对土壤酶研究的不断深入, 其活性作为土壤质量和生态系统功能的生物活性指标被广泛重视^[5~7]。土壤 CO₂ 排放和土壤酶活性等生物特性比土壤有机质、养分含量等其它理化性状更能敏感地反映土壤质量的变化^[4,8]。农田是人类活动最活跃的生态系统之一, 旱作农田尤其是常规耕作农田土壤退化严重及 CO₂ 排放增加日益受到关注。据研究, 免耕对改善土壤理化性状、提高土壤保水、保肥、供肥能力效果明显^[9], 施肥是影响土壤质量演化及其可持续利用最为深刻的农业措施之一^[4]。单施磷肥抑制了土壤脲酶活性, 施入钾肥对脲酶活性影响较小而能抑制碱性磷酸酶的活性^[10]。土壤磷酸酶活性与土壤主要养分之间均呈显著正相关^[11]。氮肥对蔗糖酶活性影响不显著^[12], 化肥对土壤过氧化氢酶活性影响较小^[10,13]。土壤 CO₂ 排放和酶活性都是由作物根系、土壤微生物等生命活动产生并对作物和土壤产生影响^[11~16]。对农田土壤 CO₂ 排放的研究多集中在南方水田, 主要探讨温度、水分、肥

料等因素对土壤呼吸的影响^[17~21], 而对土壤酶活性与土壤 CO₂ 排放的关系却鲜有报道, 尤其是对北方农牧交错带生态条件脆弱地区的相关研究更少。本试验是在内蒙古农牧交错带阴山北麓旱作区进行, 旨在研究不同施肥处理免耕旱作燕麦田土壤 CO₂ 排放、酶活性及其相互关系。为提高内蒙古农牧交错带旱作农田土壤质量、实现固碳减排和可持续利用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验于 2008 年至 2009 年在位于呼和浩特市武川县的内蒙古农业大学燕麦良种繁育基地(111°E, 41°N)进行。2008 年做燕麦免耕施肥等预备试验, 2009 年进行试验测定。武川县位于内蒙古自治区中部, 阴山北麓, 海拔 1 500 m 左右, 属中温带大陆性季风气候, 年平均气温 3.0℃, 年平均降水 300 mm 左右, 无霜期约 110 d, 土壤属于栗钙土, 质地偏砂, 易受侵蚀, 是典型的农牧交错带和严重风蚀沙化区。试验土壤 0~10 cm 有机质含量为 7.1 mg/g。

1.2 试验设计和测定方法

试验设 6 个免耕不同施肥处理(表 1), 小区面积 4 m × 15 m = 60 m², 采用随机区组设计, 重复 3 次。

供试作物为燕麦(*Avena nuda* L.), 品种为燕科 1 号。2009 年 6 月 11 日播种, 10 月 5 日收割。土壤

收稿日期: 2010-03-15

基金项目: 国家自然科学基金(30860135); 国家科技支撑重点课题(2006BAD15B05); 内蒙古农业大学创新团队

作者简介: 张志栋(1979—), 男, 内蒙古人, 在读博士, 研究方向为耕作制度与农业生态系统。E-mail: zhangzd2006@126.com。

通讯作者: 刘景辉(1965—), 男, 内蒙古人, 教授, 博士生导师, 主要从事耕作制度与农业生态系统研究。E-mail: cauljh@yahoo.com.cn。

CO₂ 排放测定时间为 6 月 9 日(播种前)、7 月 9 日(苗期)、8 月 9 日(拔节期)、9 月 9 日(成熟期)和 10 月 9 日(收割后),共测定 5 次,每次测定时间为上午 11 时至 12 时。每次测定土壤 CO₂ 排放前,用土钻分别在各处理小区内按蛇形取样法随机选取 5 点分

别取 0~20 cm 耕层土样,经混匀风干剔除植物残体和其他杂物后过 1 mm 筛,进行酶活性测定。过氧化氢酶活性用高锰酸钾滴定法^[22],蔗糖酶活性用 3,5-二硝基水杨酸比色法^[22],脲酶活性用靛酚比色法^[22],碱性磷酸酶活性用磷酸苯二钠比色法^[22]。

表 1 试验设计
Table 1 Experiment design

代码 Code	处理 Treatment	操作方法 Operation
CK	免耕不施肥 No-tillage with no fertilizer	在前茬燕麦免耕下,燕麦整个生育期不施任何肥料
N	免耕施氮肥 No-tillage with N-fertilizer	在前茬燕麦免耕下,春季播种时以底肥一次性施入土壤,施纯 N 52 kg/hm ² ,选用氮肥为尿素(含 N 46%)
P	免耕施磷肥 No-tillage with P-fertilizer	在前茬燕麦免耕下,春季播种时以底肥一次性施入土壤,施纯 P ₂ O ₅ 45 kg/hm ² ,选用磷肥为过磷酸钙(含 P ₂ O ₅ 17%)
K	免耕施钾肥 No-tillage with K-fertilizer	在前茬燕麦免耕下,春季播种时以底肥一次性施入土壤,施纯 K ₂ O 45 kg/hm ² ,选用钾肥为硫酸钾(含 K ₂ O 50%)
NP	免耕氮磷肥配施 No-tillage with NP-fertilizer	在前茬燕麦免耕下,春季播种时以底肥一次性施入土壤,施纯 N 52 kg/hm ² 、施纯 P ₂ O ₅ 45 kg/hm ² ,选用氮肥为尿素(含 N 46%),磷肥为过磷酸钙(含 P ₂ O ₅ 17%)
NPK	免耕氮磷钾肥配施 No-tillage with NPK-fertilizer	在前茬燕麦免耕下,春季播种时以底肥一次性施入土壤,施纯 N 52 kg/hm ² 、施纯 P ₂ O ₅ 45 kg/hm ² 、施纯 K ₂ O 45 kg/hm ² ,选用氮肥为尿素(含 N 46%),磷肥为过磷酸钙(含 P ₂ O ₅ 17%),钾肥为硫酸钾(含 K ₂ O 50%)

土壤 CO₂ 排放采用静态箱法测定。静态箱由有机玻璃材料制成,呈长方体形,分箱体和底座两部分。箱体规格:30 cm×30 cm×60 cm(长×宽×高),底座规格:35 cm×35 cm×5 cm(长×宽×高)。箱体内装有搅拌空气的小风扇,箱体底面开口,连接带有凹槽的底座。测量时移除测定区地表覆盖物及植株,将底座封闭嵌入土壤内 5 cm,每个取样点固定一个底座,然后将箱体置于底座凹槽内,凹槽内用水密封,保证箱内气体和大气不进行交换。采样前将箱内风扇打开,使箱内气体混合均匀。在盖箱后,分别于 0、10、20、30 min 用 50 ml 注射器采集气体通过旋转三通阀转移到 0.5 L 气体采样袋备测(气袋为化工部大连光明化工研究所生产的铝膜气样袋)。

CO₂ 排放用气相色谱法测定。CO₂ 排放通量计算公式^[23]如下:

$$F = dc/dt(hM_wT_u)/M_v(T_u + T)$$

式中:F 为排放速率[mg/(m²·h)]。dc/dt 为箱内痕量气体随时间的变化率;h 为采样箱高度;M_w 为痕量气体的摩尔质量;T_u 为标准状态下的温度 273.2K;M_v 为痕量气体的摩尔体积;T 为测定时土壤温度。

1.3 数据统计与分析方法

数据分析采用 Excel 2003 和 SPSS 10.0^[24] 数据统计分析软件完成。相关性分析按 5 次取样土壤酶活性与对应 CO₂ 排放通量计算。

表 2 不同施肥处理土壤酶活性平均值
Table 2 The average of soil enzymatic activities on the different fertilizer treatments

代码 Code	处理 Treatment	脲酶 Urease [NH ₄ -N mg/(g·24h)]	碱性磷酸酶 Alkali-phosphatase (Phenolic mg/g)	蔗糖酶 Invertase [Glucose mg/(g·24h)]	过氧化氢酶 Catalase (0.1N KMnO ₄ ml/g)
CK	免耕不施肥 No-tillage with no fertilizer	2.67c	1.25d	3.47b	1.67d
N	免耕施氮肥 No-tillage with N-fertilizer	3.27ab	2.21a	4.27a	1.90cd
P	免耕施磷肥 No-tillage with P-fertilizer	2.83c	1.68c	4.25a	2.35b
K	免耕施钾肥 No-tillage with K-fertilizer	2.83c	1.44cd	3.74b	2.56ab
NP	免耕氮磷肥配施 No-tillage with NP-fertilizer	3.54a	2.54a	4.60a	2.24bc
NPK	免耕氮磷钾肥配施 No-tillage with NPK-fertilizer	3.31ab	1.69bc	4.60a	2.84a

注:表中小写字母 a、b、c、d 表示同列数据在 0.05 水平上的差异显著性。下同。
Note: a~d with the same column represent significant differences at 5%. The same as below.

2 结果与分析

2.1 不同施肥处理对免耕土壤酶活性的影响

2.1.1 脲酶 脲酶是专一性的尿素水解酶^[3], 因此脲酶活性可表示土壤氮素供应及衡量土壤氮素养分状况的指标^[25]。图 1 可知, 免耕不同施肥处理土壤脲酶活性在整个测定期间呈先增加后降低的趋势, 燕麦拔节期(8 月 9 日)达到最大值。收割后(10 月 9 日)脲酶活性高于播种前(6 月 9 日)。各测定时期施肥处理脲酶活性均高于不施肥处理; 施肥处理中, 氮磷肥配施脲酶活性最高, 其次是氮磷钾肥配施和单施氮肥, 单施磷肥和单施钾肥对脲酶活性的提高影响最小。以 8 月 9 日拔节期为例, 氮磷肥配施处

理脲酶活性为 4.14 mg/(g·24h)、氮磷钾肥配施处理为 3.97 mg/(g·24h)、单施氮肥处理为 3.93 mg/(g·24h)、单施磷肥处理为 3.14 mg/(g·24h)、单施钾肥处理为 3.02 mg/(g·24h), 分别比不施肥处理高 39.86%、34.12%、32.77%、6.08% 和 2.03%。处理间平均脲酶活性比较: 氮磷肥配施、氮磷钾肥配施、单施氮肥、单施磷肥、单施钾肥处理分别比不施肥处理高 32.58%、23.97%、22.47%、5.99% 和 5.99% (表 2); 氮磷肥配施、氮磷钾肥配施、单施氮肥与不施肥处理间差异显著, 与单施磷肥、单施钾肥间差异亦显著, 单施磷肥、单施钾肥与不施肥处理间差异不显著(表 2)。

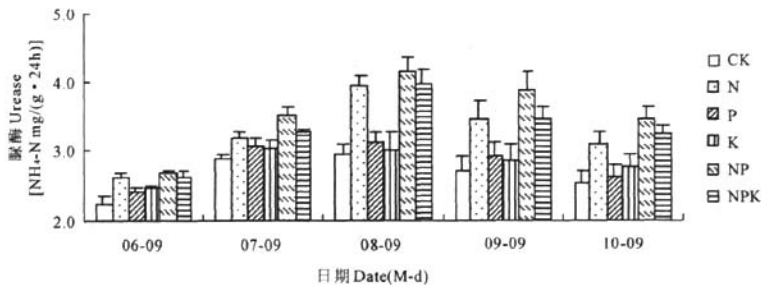


图 1 施肥对免耕土壤脲酶的影响

Fig.1 Effects of urease in different fertilizer with no-tillage

2.1.2 碱性磷酸酶 磷酸酶在土壤中能促进有机磷化合物的水解^[25], 释放出可供作物吸收的无机磷酸盐, 提高土壤磷素的有效性, 是土壤对作物供磷能力的重要指标^[26]。土壤中的磷酸酶分为酸性、中性和碱性, 由于酸碱性不同导致三种磷酸酶的比例不同, 一般认为可选择活性比例最大的一种作为磷酸酶的生物活性, 另两种磷酸酶活性可不予考虑^[10,27]。本研究地区为偏碱性土壤, 所以对碱性磷酸酶活性进行了测定和分析。图 2 显示, 各处理碱性磷酸酶活性呈先增加后降低的趋势变化, 最大值出现在成熟期(9 月 9 日)。收割后(10 月 9 日)的碱性磷酸酶活性高于播种前(6 月 9 日)也高于燕麦苗期(7 月 9 日)。总体上, 施肥处理碱性磷酸酶活性比不施肥处理均有不同程度增加, 氮磷肥配施碱性磷酸酶活性增加幅度最大, 其次为单施氮肥, 燕麦生长前期氮磷钾肥配施处理高于单施磷肥, 而后期则低于单施磷肥, 单施钾肥碱性磷酸酶活性增加幅度最小。处理间碱性磷酸酶平均活性比较: 氮磷肥配施、单施氮肥、氮磷钾肥配施、单施磷肥、单施钾肥分别是不施肥处理的 2.03 倍、1.77 倍、1.35 倍、1.34

倍和 1.15 倍(表 2); 氮磷肥配施、单施氮肥、氮磷钾肥配施、单施磷肥与不施肥处理差异显著, 单施钾肥与不施肥处理差异不显著(表 2)。

2.1.3 蔗糖酶 蔗糖酶也叫转化酶, 广泛存在于土壤中, 主要来源于根系分泌物。当根系生物量尤其是细根生物量大幅增加时, 会使根系分泌的蔗糖酶增加, 土壤蔗糖酶活性提高^[28]。图 3 可见, 各处理蔗糖酶活性随测定时期均呈先增加后减小的变化规律; 除单施钾肥处理蔗糖酶活性在拔节期(8 月 9 日)达到最大值外, 其它处理均在成熟期(9 月 9 日)达到最大值(略高于拔节期)。总体上, 不同时期氮磷肥配施和氮磷钾肥配施蔗糖酶活性最高, 单施氮肥、单施磷肥次之, 再次是单施钾肥, 不施肥处理最低。处理间蔗糖酶平均活性比较: 氮磷肥配施、氮磷钾肥配施、单施氮肥、单施磷肥和单施钾肥分别比不施肥处理提高 32.56%、32.56%、23.05%、22.48% 和 7.78%(表 2); 氮磷肥配施、氮磷钾肥配施、单施氮肥、单施磷肥与不施肥处理差异均显著, 单施钾肥与不施肥处理差异不显著(表 2)。

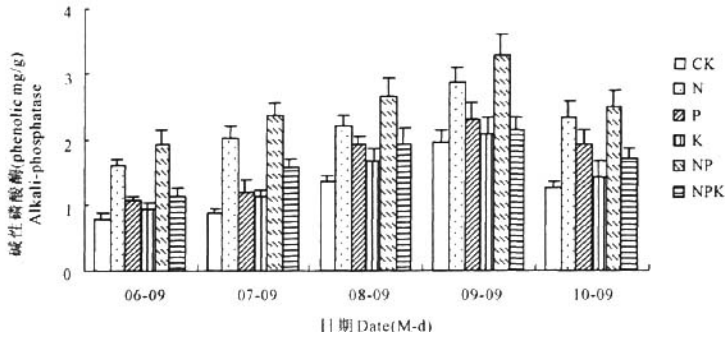


图 2 施肥对免耕土壤碱性磷酸酶的影响

Fig.2 Effects of alkali-phatase in different fertilizer with no-tillage

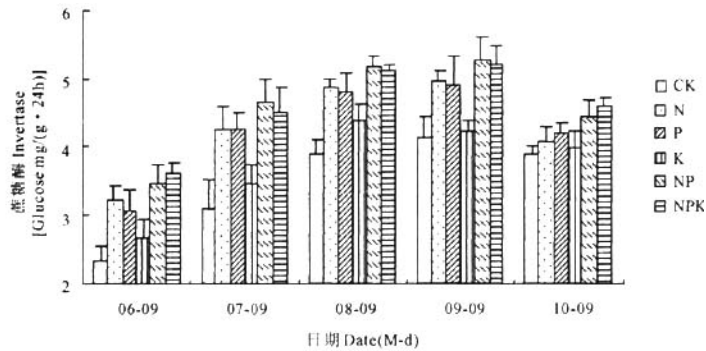


图 3 施肥对免耕土壤蔗糖酶的影响

Fig.3 Effects of invertase in different fertilizer with no-tillage

2.1.4 过氧化氢酶 过氧化氢酶主要来源于细菌、真菌以及植物根系的分泌物,是衡量土壤中氧化方向和强度的指标,其活性高低可以反映土壤解除呼吸过程中产生过氧化氢对土壤生物体毒害的能力^[29]。图 4 显示,总体上,过氧化氢酶活性呈先增加后减小的趋势变化,最大值出现在燕麦拔节期(8月9日)。不同测定时期,各施肥处理过氧化氢酶活性均高于不施肥处理;施肥处理中,氮磷钾肥配施过

氧化氢酶活性最高,其次是单施钾肥,再次是单施磷肥和氮磷肥配施,单施氮肥最低。处理间过氧化氢酶平均活性比较:氮磷钾肥配施、单施钾肥、单施磷肥、氮磷肥配施和单施氮肥分别比不施肥处理高 69.82%、53.21%、40.55%、34.28% 和 13.67% (表 2);氮磷钾肥配施、单施钾肥、单施磷肥和氮磷肥配施与不施肥处理差异均显著,单施氮肥与不施肥处理差异不显著(表 2)。

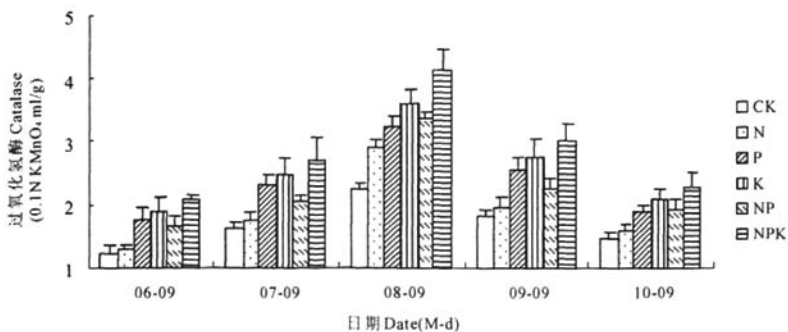


图 4 施肥对免耕土壤过氧化氢酶的影响

Fig.4 Effects of catalase in different fertilizer with no-tillage

2.2 不同施肥处理对免耕土壤 CO₂ 排放的影响

表 3 表明,免耕燕麦土壤 CO₂ 排放通量随测定时期呈先增加后降低的规律,播种前较低,播种后逐渐上升,拔节期(8 月 9 日)达到最大值,以后呈逐渐下降趋势。播种前(6 月 9 日)和收割后(10 月 9 日)气温相对较低,排放通量仅相当于峰值的 39.83%~51.33%;总体上,氮磷钾肥配施 CO₂ 排放通量最

大,其次为氮磷肥配施、单施氮肥、单施磷肥、单施钾肥,不施肥处理最低。处理间 CO₂ 平均排放通量比较:氮磷钾肥配施、氮磷肥配施、单施氮肥、单施磷肥、单施钾肥分别比不施肥处理高 22.91%、16.18%、12.73%、9.38%和 4.29%;氮磷钾肥配施、氮磷肥配施、单施氮肥与不施肥处理差异显著,单施磷肥和单施钾肥与不施肥处理差异不显著。

表 3 不同施肥处理免耕土壤 CO₂ 排放通量变化
Table 3 The Change of CO₂ emission fluxes with different fertilizer in no-tillage

代码 Code	处理 Treatment	CO ₂ 排放通量 CO ₂ flux[mg/(m ² ·h)]					均值
		06-09	07-09	08-09	09-09	10-09	
CK	免耕不施肥 No-tillage with no fertilizer	268.57a	371.09a	555.70a	376.87a	277.63a	369.97a
N	免耕施氮肥 No-tillage with N-fertilizer	274.07a	445.97bc	638.30bc	432.87ab	294.19a	417.08bc
P	免耕施磷肥 No-tillage with P-fertilizer	288.77a	402.01ab	620.48abc	411.87ab	300.32a	404.69abc
K	免耕施钾肥 No-tillage with K-fertilizer	290.14a	365.47a	584.33ac	389.32a	299.91a	385.83ac
NP	免耕氮磷肥配施 No-tillage with NP-fertilizer	282.78a	447.88bc	678.20bd	436.36ab	303.99a	429.84bd
NPK	免耕氮磷钾肥配施 No-tillage with NPK-fertilizer	285.61a	502.67c	717.00d	468.65b	299.71a	454.73d

2.3 土壤酶活性与 CO₂ 排放的相关性

表 4 显示,蔗糖酶与土壤 CO₂ 排放呈极显著正相关($P=0.0042$);脲酶与 CO₂ 排放呈显著正相关($P=0.032$);碱性磷酸酶和过氧化氢酶与 CO₂ 排放相关性不显著。表明蔗糖酶和脲酶活性可以正相关地反映在 CO₂ 排放的强弱上;碱性磷酸酶和过氧化氢酶活性对 CO₂ 排放通量的影响不明显。

表 4 土壤酶活性与 CO₂ 排放通量的相关性
Table 4 Correlative coefficient between soil enzymatic activities and CO₂ flux

指标 Index	脲酶 Urease	碱性磷酸酶 Alkali-phosphates	蔗糖酶 Ivertase	过氧化氢酶 Catalase
CO ₂ 排放通量 CO ₂ flux	0.847*	0.595	0.946**	0.596

*: $P<0.05$; **: $P<0.01$.

3 结论与讨论

1) 免耕施肥增加了土壤酶活性和 CO₂ 排放通量。脲酶、过氧化氢酶活性及 CO₂ 排放通量均在燕麦拔节期出现最大值,碱性磷酸酶和蔗糖酶活性在成熟期出现最大值。这一结果与刘恩科等^[4]关于施肥能够提高土壤脲酶活性的结果相一致,而与单施磷肥抑制了土壤脲酶活性^[10]相反。其原因可能是:施肥增加了土壤速效养分的供给,促进了根系和地上部的生长,使根系及分泌物和有机残体增加,同时也使土壤微生物数量和活性增加,进而增加了土壤酶活性和 CO₂ 排放;拔节期是燕麦营养生长和根系生长的旺盛期,需要大量的氮素供燕麦生长,根系吸

收氮的强度最大,促进了脲酶活性的增强^[10],旺盛的生长也需要较多的能量和吸收大量的矿质养分,加上气温较高,土壤微生物活性增加,根系呼吸强烈,产生的过氧化氢也较多,激发并增强了过氧化氢酶活性,也使 CO₂ 排放通量增大^[19];燕麦生长后期属生殖生长及籽粒成熟期,并伴随着核蛋白物质增加,根系对磷素吸收剧增,从而激发碱性磷酸酶活性增加^[30],此时根系生物量增大,籽粒糖分累积加快,诱导了土壤蔗糖酶活性增强。

2) 本研究认为:氮肥对增加脲酶、碱性磷酸酶、蔗糖酶活性和 CO₂ 排放通量影响最大,磷肥次之,钾肥最小;氮磷或氮磷钾肥配施进一步提高了脲酶、碱性磷酸酶、蔗糖酶活性和 CO₂ 排放通量。可能是脲酶增加了燕麦对所施氮肥的分解吸收,促进了植株和根系生长,也增加了燕麦对土壤磷的吸收,致使脲酶、碱性磷酸酶、蔗糖酶活性的增加;有报道则认为,施氮肥对蔗糖酶活性无显著影响^[12];单施磷肥增加了土壤的有效磷含量,由于氮素供应不足使根系进一步吸收磷素受阻,抑制了碱性磷酸酶活性的进一步增加;氮磷或氮磷钾肥配施有利于燕麦对养分的均衡吸收,使地上和地下部分生长旺盛,更增加了对氮素养分的吸收,激发了脲酶活性的增强;促进了含磷化合物的水解,增加了土壤中碱性磷酸酶的合成^[21]和对土壤蔗糖酶活性的促进和诱导作用,CO₂ 排放量增加;氮肥对促进燕麦营养生长和根系生长的影响大于磷、钾肥,致使氮肥对土壤呼吸作用的影响大于磷、钾肥。本研究得出:钾肥对增加过氧化氢

酶活性的影响最大,磷肥对过氧化氢酶活性影响显著,其显著性不如钾肥,氮肥对过氧化氢酶活性影响较小,氮磷钾肥配施对增加过氧化氢酶活性的影响更大,氮磷肥配施过氧化氢酶活性低于单施钾肥;与王娟等在西北半干旱区关于钾肥可以增加土壤过氧化氢酶活性的报道较一致^[10];与氮肥对过氧化氢酶活性有抑制作用不相一致^[10]。

3) 本研究认为:土壤蔗糖酶和脲酶活性与 CO₂ 排放量呈显著正相关关系,土壤碱性磷酸酶和过氧化氢酶活性与 CO₂ 排放量间相关关系不显著。可能与酶的作用不同有关,有报道认为,蔗糖酶可以反映土壤中碳的转化和呼吸强度^[26],可衡量土壤中碳转化能力和降解土壤植物残体的能力^[16];脲酶促进了尿素的水解,生成氨和 CO₂,所生成的 CO₂ 成为一种释放源^[7];而碱性磷酸酶和过氧化氢酶则对土壤碳变化及呼吸作用影响较小。

参 考 文 献:

- [1] 韩 宾,孔凡磊,张海林,等.耕作方式转变对小麦/玉米两熟农田土壤固碳能力的影响[J].应用生态学报,2010,21(1):91—98.
- [2] Abdul K S, Kimura K A. Activities of some soil enzymes in different land use system after deforestation in hilly areas of west Lampung, South Sumatra, Indonesia[J]. Soil Sc, 2000,80:91—97.
- [3] 章 铁,刘秀清,孙晓莉.栗茶间作模式对土壤酶活性和土壤养分的影响[J].中国农学通报,2008,24(4):265—268.
- [4] 刘恩科,赵秉强,李秀英,等.长期施肥对土壤微生物量及土壤酶活性的影响[J].植物生态学报,2008,32(1):176—182.
- [5] 王俊华,尹 睿,张华勇,等.长期定位施肥对农田土壤酶活性及其相关因素的影响[J].生态环境,2007,16(1):191—196.
- [6] Veronica A M, Leo C, David S R, et al. Enzyme activities as affected by soil properties and land use in a tropical watershed[J]. Applied Soil Ecology, 2007,35:35—45.
- [7] 王 灿,王德建,孙瑞娟,等.长期不同施肥方式下土壤酶活性与肥力因素的相关性[J].生态环境,2008,17(2):688—692.
- [8] Doran J W, Sarrantonio M, Liebig M A. Soil health and sustainability[J]. Advances in Agronomy,1996,56:1—5.
- [9] 杨招弟,蔡立群,张仁陟,等.不同耕作方式对旱地土壤酶活性的影响[J].土壤通报,2008,39(3):514—517.
- [10] 王 娟,刘淑英,王 平,等.不同施肥处理对西北半干旱区土壤酶活性的影响及其动态变化[J].土壤通报,2008,39(2):299—303.
- [11] 于群英.土壤磷酸酶活性及影响因素研究[J].安徽技术师范学院学报,2001,15(4):5—8.
- [12] 武 术,林先贵,尹 睿,等.大气 CO₂ 浓度升高对添加麦秸条件下稻田土壤酶活性的影响[J].生态与农村环境学报,2008,24(4):32—36.
- [13] 樊 军,郝明德.旱地黑垆土剖面酶活性分布特征与生育期变化[J].土壤通报,2003,34(5):444—447.
- [14] 张 宇,张海林,陈继康,等.耕作方式对冬小麦田土壤呼吸及各组分贡献的影响[J].中国农业科学,2009,42(9):3354—3360.
- [15] 孙小花,张仁陟,蔡立群,等.不同耕作措施对黄土高原旱地土壤呼吸的影响[J].应用生态学报,2009,20(9):2173—2180.
- [16] 陈全胜,李凌浩,韩兴国,等.水热条件对锡林河流域典型草原退化群落土壤呼吸的影响[J].植物生态学报,2003,27(2):202—209.
- [17] 谢军飞,李玉娥.农田土壤温室气体排放机理与影响因素研究进展[J].中国农业气象,2002,23(4):47—52.
- [18] Linn D M, Doran J W. Effects of water filled pore space on carbon dioxide and nitrous oxide production in tilled and nontilled soils[J]. Soil Science Society of America Journal, 1984,48:1267—1272.
- [19] 张国明,郭李萍,史培军,等.农田土壤生态系统冬小麦玉米轮作 CO₂ 排放特征研究[J].北京师范大学学报(自然科学版),2007,43(4):457—460.
- [20] 董玉红,欧阳竹,李 鹏,等.长期定位施肥对农田土壤温室气体排放的影响[J].土壤通报,2007,38(1):97—100.
- [21] 孟凡乔,关桂红,张庆忠,等.华北高产农田长期不同耕作方式下土壤呼吸及其季节变化规律[J].环境科学学报,2006,26(6):992—999.
- [22] 关松荫.土壤酶及其研究法[M].北京:农业出版社,1986.
- [23] 李 琳,胡立峰,陈 阜,等.长期不同施肥类型对稻田甲烷和氧化亚氮排放速率的影响[J].农业环境科学学报,2006,25(增刊):707—710.
- [24] 薛 薇.SPSS 统计分析方法与应用[M].北京:电子工业出版社,2004:326—348.
- [25] 李阜棣,喻子牛,何绍江.农业微生物实验技术[M].北京:中国农业出版社,1996.
- [26] 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.
- [27] 熊明彪,雷孝章,田应兵,等.长期施肥对紫色土酶活性的影响[J].四川大学学报(工程科学版),2003,35(4):60—63.
- [28] Cotrufo M F, Ineson P. Effects of enhanced atmospheric CO₂ and nutrient supply on the quality and subsequent decomposition of fine roots of *Betula pendula* Roth. and *Picea sitchensis* (Bong) Carr[J]. Plant and Soil, 1995,170(2):267—277.
- [29] 吴凤芝,孟立君,王学征.设施蔬菜轮作和连作土壤酶活性的研究[J].植物营养与肥料学报,2006,12(4):554—558.
- [30] 李科江,张素芳,贾文竹,等.半干旱区长期施肥对作物产量和土壤肥力的影响[J].植物营养与肥料学报,1999,5(1):21—25.

Effects of different fertilizers on soil enzyme activities and soil CO₂ emission under no-tillage on dry land in farming-pastoral zone of northern China

ZHANG Zhi-dong¹, LIU Jing-hui¹, YU Qing², WANG Yong-qiang¹,

CUI Feng-juan¹, WANG Run-lian¹

(1. Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot, Inner Mongolia 010018, China;

2. East Cereal and Oilseed Research Centre, Agriculture and Agri-Food Canada, Ottawa K1A 0C6, Canada)

Abstract: Soil enzymatic activities and CO₂ emission of no-tillage lands with different treatments of fertilizers was determined, analysed and estimated for their effects on soil enzymatic activities and CO₂ emission under no-tillage lands in farming-pastoral zone of northern China and their correlations. Valuable data were provided for improving soil quality, enhancing farmland carbon sequestration, reducing CO₂ emission and conducting sustainable utilization in dry land region. The results showed: the soil enzymatic activities and CO₂ emission in the fertilizer treatments were higher than those from the no-fertilizer treatment under no-tillage. The increased activities of Alkali-phosphates, Ivertase and CO₂ emission was mostly influenced by N-fertilizer, followed by P-fertilizer and K-fertilizer while the increased Catalase activities were mainly affected by K-fertilizer. The soil enzymatic activities and CO₂ emission was further enhanced by the combined uses of NP-fertilizer or NPK-fertilizer. However, K-fertilizer treatment, compared to N-P fertilizer treatment, showed a better increase on Catalase activity. Conclusively, a highly positive correlation existed between soil CO₂ emission and Ivertase and Urease activity while Alkali-phosphates and Catalase activity do not correlate CO₂ emission.

Keywords: dry farming; oat; no-tillage; soil enzyme activity; CO₂ emission

(上接第70页)

Effects of nitrogen fertilizer rates on yield formation and nitrogen utilization of winter wheat

ZHAO Xin-chun, WANG Zhao-hui

(College of Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: A field experiment was conducted to study the effect of N rate on wheat growth, yield, N accumulation and uptake and utilization efficiency with an aim to determine the differences of the transfer of dry matter and N from shoots to seeds at the late stages of winter wheat and the rational N rate. The soil used for the trial was deficient in available N and thus it had good response to N fertilizer. The experiment included four treatments: control (without N application) and addition of 80, 160 and 240 kg N per ha, respectively. During the experimental period, changes of dry matter of different organs (stem and leaf, ear chaff and seed) and N in the aboveground part were measured. The results showed that when N rate was adequate, wheat yield was remarkably increased. Application of 80 kg N per ha had the highest efficiency, and 1 kg N increased 33 kg of wheat grain, almost reaching the highest limit of N function. There was no significant effect of application of N fertilizer on N harvest index. The biomass of wheat was increased with wheat developing time, and the peak value occurred at grain filling stage. Wheat took up much higher N from N fertilizer than from soil. At the same growing stages, the N content or concentration in plants was increased with the rise of N rate while at the late stages the concentration was declined higher for the higher N rate than for the lower N rate. However, the N uptake amount was continuously increased until grain filling stage when peak values were reached. Application of N fertilizer played a great role for grain to accumulate N and a large part of N in grains was originated from the transfer of N accumulated in plants during the grain filling stage. Evaluated by N utilization efficiency and its impact on the environment, application of 80 kg N per ha was the best choice for the soil used in the trial.

Keywords: nitrogen fertilizer rate; winter wheat; biomass; grain yield; N uptake; distribution and transfer