

# 秸秆还田对土壤脲酶活性·微生物量氮的影响

夏强<sup>1</sup>, 陈晶晶<sup>2</sup>, 王雅楠<sup>2</sup>, 王伏伟<sup>1</sup>, 刘曼<sup>1</sup>, 朱林<sup>1\*</sup>

(1. 安徽农业大学资源与环境学院, 安徽合肥 230036; 2. 安徽农业大学生命科学学院, 安徽合肥 230036)

**摘要** [目的] 研究秸秆还田对小麦、玉米一年两熟制下淮北地区砂姜黑土微生物量氮、土壤氮素养分及土壤脲酶活性的影响, 同时探索发展低碳农业、构建资源节约型和环境友好型农业, 为实现粮食生产的可持续发展提供理论依据。[方法] 通过多年的田间定位试验, 并且结合室内分析。[结果] 小麦、玉米秸秆能显著提高土壤的全氮含量、土壤脲酶活性和土壤微生物量氮含量。与对照相比, 小麦、玉米秸秆还田不施肥处理在 2010 年小麦播种期、拔节期、开花期、灌浆期、成熟期和 2011 年玉米播种期、拔节期、大喇叭口期、吐丝期、灌浆期、收获期土壤脲酶的活性增幅分别为 21.93%、4.92%、35.88%、4.71%、21.79%、0.99%、31.52%、21.77%、8.52%、3.74%、12.89%, 小麦、玉米秸秆还田加施肥能显著提高土壤脲酶活性。小麦、玉米秸秆还田不施肥处理的土壤微生物量氮含量比单独施肥处理高出 19.32%。[结论] 秸秆还田是提高土壤微生物量氮的关键因素。

**关键词** 秸秆还田; 土壤脲酶; 微生物量氮

中图分类号 S216.2 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2013)10-04345-05

## Effects of Straw Returning on Soil Urease Activity and Soil Microbial Biomass Nitrogen

XIA Qiang et al (Anhui Agricultural University College of Resources and Environmental Sciences, Hefei, Anhui 230036)

**Abstract** [Objective] The effects of straw returning on soil urease activity and microbial biomass nitrogen were studied to provide a basis for exploring the development of low carbon agriculture, building a resource-conserving and environment friendly agriculture, and realizing the sustainable development of grain production. [Method] Located trails were carried out for a few years and the office analysis methods were used. [Result] The wheat and maize straw returning could obviously increase the total nitrogen content, the urease activity and the microbial biomass nitrogen of the soil. During the growth periods from wheat seeding time to maize harvest time, compared with CK, the soil urease activities of the treatment (wheat and maize straw returning but no fertilizing) were separately increased from 21.93% to 12.89%. Wheat and maize straw returning with fertilization could obviously increase the activity of soil urease. Meanwhile, the soil microbial biomass nitrogen of the treatment (wheat and maize straw returning with no fertilization) was more than 19.32% compared with the one of fertilizing. [Conclusion] The straw returning was the key factor of the increase of the soil urease activity and microbial biomass nitrogen.

**Key words** Straw returning; Soil urease; Microbial biomass nitrogen

土壤是人类生活和赖以生存的重要资源, 又是不可替代的环境。保护土壤环境, 提高土壤质量是实现农业可持续发展的基础。土壤质量不仅取决于土壤的理化性质, 而且与土壤的生物学性质密切相关<sup>[1-2]</sup>。土壤酶作为土壤组分中最活跃的有机成分之一<sup>[3]</sup>, 是由土壤微生物的活动、动植物活体分泌及由动植物残体、遗骸分解并释放到土壤中的具有催化能力的生物活性物质。根据作用机理的不同, 可以分为氧化还原酶类、水解酶类、裂合酶类、转移酶类四大类<sup>[4]</sup>。目前已发现的土壤酶达到 50 多种。研究最多的是氧化还原酶类、水解酶类和转化酶类<sup>[5]</sup>。近年来, 许多学者对土壤酶进行了大量的研究。土壤酶作为土壤的重要组成部分之一, 它在营养物质转化、有机质分解、污染物降解及污染土壤修复等方面起着重要的作用<sup>[6]</sup>。土壤酶活性与土壤理化特性、肥力状况和农业措施有着显著的相关性。土壤酶活性可表征生化反应的方向和强度, 可以作为农业管理实践过程中土壤质量演变的生物活性指标。因此, 研究土壤酶活性的影响因素对于提高土壤酶活性、改善土壤生态环境质量和提高土壤肥力具有积极的意义。

在农业生产过程中, 限制植物生长的主要因子是氮素。在不施用氮肥或少量施用的情况下, 植物生长所吸收的氮素

养分大部分来自于土壤微生物参与下的土壤有机态氮的矿化产物。大部分的矿化氮来自土壤微生物量氮。这是因为土壤有机氮的转化速率仅为微生物量氮转化速率的 1/5 左右<sup>[7]</sup>。土壤微生物量氮是土壤氮素的重要储备库, 在土壤氮素循环与转化过程中起着重要的调节作用。研究土壤微生物量氮的动态变化对于揭示土壤氮素养分变化具有重要意义。

秸秆还田是一项重要的农田管理措施, 能在很大程度上改善土壤结构, 增加土壤有机质, 减少过量施用化肥带来的土壤退化和污染。它对农业的可持续发展具有重要作用。目前, 在长期土壤培肥过程中, 对土壤肥力和作物产量的影响研究报道较多, 但对诸如土壤酶活性等生物指标的影响及其与土壤养分供应关系的研究报道较少<sup>[8-9]</sup>。笔者研究了小麦和玉米轮作条件下小麦、玉米秸秆还田对土壤脲酶活性、土壤微生物量氮、土壤氮素含量的影响, 为提高土壤质量、实现农业的可持续发展提供理论根据。

## 1 材料与方法

**1.1 试验地概况** 试验在安徽省蒙城县现代农业示范园内进行。该区属于典型的暖温带半湿润气候区, 平均海拔为 40 m, 全县年平均气温为 14.7 °C, 平均光照为 2 320 h, 年平均无霜期为 216 d, 年平均降水量为 822 mm。试验始于 2008 年。土壤类型为砂姜黑土, 0~20 cm 土层土壤养分含量为: 有机质 12.46 g/kg、全氮 136.60 mg/kg、碱解氮 80.20 mg/kg。

**1.2 供试材料** 玉米供试品种为郑单 958; 小麦供试品种为烟农 19。

**基金项目** 国家科技支撑计划项目(2007BAD89B10)和安徽省自然科学基金(090411026)。

**作者简介** 夏强(1987-), 男, 安徽合肥人, 硕士研究生, 研究方向: 土壤微生物。\* 通讯作者, 教授, 博士, 硕士生导师, 从事土壤微生物方面的研究, E-mail: zhulin@ahau.edu.cn。

**收稿日期** 2013-03-09

**1.3 试验设计** 试验设置6个处理,3次重复。玉米秸秆采取全量粉碎翻埋还田,玉米秸秆量约为12 000 kg/hm<sup>2</sup>;小麦秸秆全量粉碎覆盖还田,小麦秸秆量约为7 500 kg/hm<sup>2</sup>,并且施肥播种同步完成。各个处理设置情况见表1。

表1 小麦、玉米秸秆还田田间试验设计

编号	还田情况	施肥情况
CK	小麦、玉米秸秆均不还田	不施肥
CK-F	小麦、玉米秸秆均不还田	施肥
M-F	小麦秸秆不还田,玉米秸秆还田	施肥
WM-NF	小麦、玉米秸秆均还田	不施肥
WM-F	小麦、玉米秸秆均还田	施肥
W-F	小麦秸秆还田,玉米秸秆不还田	施肥

小麦播种行距为20 cm,播种量为135 kg/hm<sup>2</sup>,密度为270万株/hm<sup>2</sup>。其中,施肥处理全生育期施纯N 240 kg/hm<sup>2</sup>,基肥追肥比为5.5:4.5。结合整地,基施600 kg/hm<sup>2</sup>复合肥和42 kg/hm<sup>2</sup>纯N,另45%的氮肥于拔节期追施。氮肥为尿素,复合肥为散装掺混肥料(N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O含量为15-15-15)。

玉米等行距播种,行距60 cm,播种量为37.5 kg/hm<sup>2</sup>。密度为6.75万株/hm<sup>2</sup>。全生育期施纯N 300 kg/hm<sup>2</sup>,播种时基施复合肥450 kg/hm<sup>2</sup>,小喇叭口期配合降雨施纯N 112.5 kg/hm<sup>2</sup>,大喇叭口期配合降雨施纯N 120 kg/hm<sup>2</sup>。

**1.4 测定项目与分析方法** 2010年自小麦播种期起至2011年玉米收获期止,分别采集小麦播种期、拔节期、开花期、灌浆期、成熟期和2011年玉米播种期、拔节期、大喇叭口期、吐丝期、灌浆期、收获期的0~20 cm土层样本,带回实验室。部分风干、过筛,用于测定土壤全氮、碱解氮、脲酶;另一部分保存于-20℃冰箱中,用于日后测定土壤微生物量氮。土壤全氮的测定采用凯氏定氮法;碱解氮的测定采用碱解扩散法<sup>[10]</sup>;土壤脲酶的测定采用靛酚蓝比色法<sup>[11]</sup>;土壤微生物量氮的测定采用氯仿熏蒸法<sup>[12]</sup>。

## 2 结果与分析

**2.1 土壤全氮、碱解氮含量** 93%~97%的土壤氮素以有机氮的形式存在于耕作层中。在作物生长季节,1.0%~3.0%土壤有机氮被矿化,释放出无机氮,供作物利用。因此,微生物的矿化-同化作用是土壤氮素库-源调节的重要

机制<sup>[13-14]</sup>。土壤全氮量是衡量土壤氮素基础肥力的重要指标<sup>[15]</sup>,而土壤碱解氮与植物生长关系密切,是能被作物直接吸收的氮素。

由图1可知,从小麦成熟期经过小麦生长和玉米生长的各个阶段到玉米成熟期,各处理的土壤全氮含量均呈降低趋势,在2011年玉米成熟期,各处理土壤的全氮含量从低到高依次是CK、WM-NF、W-F、CK-F、M-F、WM-F处理,CK和WM-NF处理均为不施氮磷钾肥处理,土壤的全氮含量处于最低水平。相比而言,其他各施肥处理的土壤全氮含量较高。这表明施肥因素对土壤全氮含量的影响较大。与CK相比,玉米成熟期CK-F处理土壤全氮含量高出24.0%,而WM-NF处理的土壤全氮含量则高出12.0%。这说明施肥因素相比秸秆还田因素对于减缓土壤全氮含量降低的作用更大。WM-F处理的土壤全氮含量相比WM-NF处理提高了23.8%。因此,在秸秆还田的基础上施肥能满足作物对氮素养分的需求,而秸秆还田本身对稳定土壤全氮含量有着积极的作用。

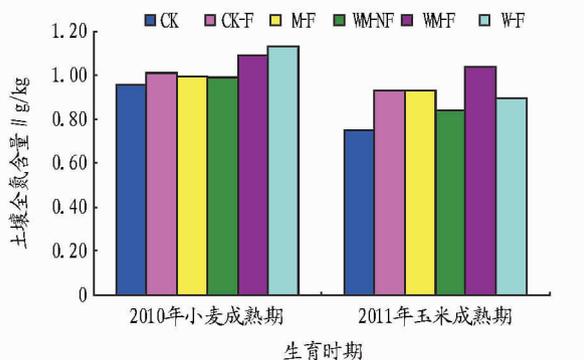


图1 小麦、玉米秸秆还田对土壤全氮含量的影响

由图2可知,2010年从小麦拔节期至玉米收获期,CK碱解氮含量均处在一个较低水平,不利于作物的生长;在小麦和玉米整个生育期内WM-NF处理水平均较低,特别在作物生长的中后期如小麦成熟期以后、玉米拔节期以后土壤碱解氮含量比其他处理要低,不利于作物生长;在作物生长前期CK-F处理较好,但在后期相比施肥加秸秆还田要低,说明仅采取秸秆还田措施而不施肥易出现后劲不足的现象。结果表明,秸秆还田的同时配施肥料能较大幅度地满足作物生长对氮素养分的需求。

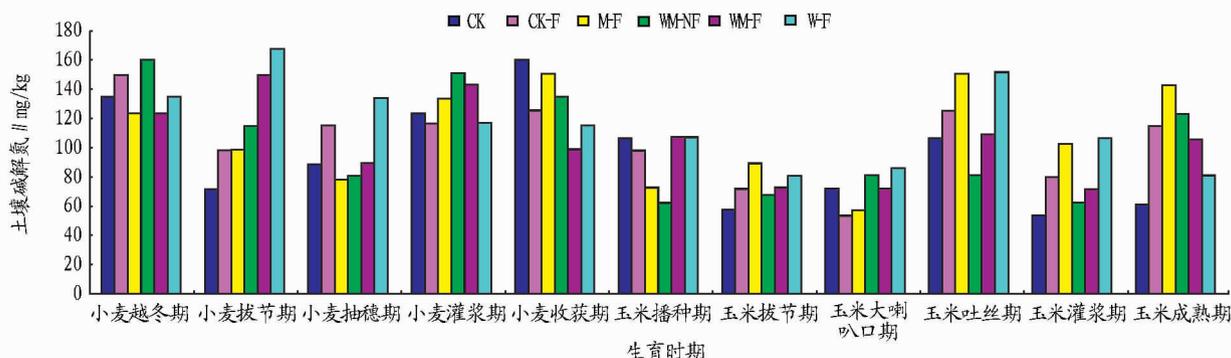


图2 小麦、玉米秸秆还田后土壤碱解氮含量的动态变化

**2.2 土壤脲酶活性** 脲酶是一种含镍的寡聚酶,具有绝对专一性,特异性地催化尿素水解释放出氨和二氧化碳,广泛

存在于土壤中,是研究得比较深入的一种酶。脲酶与土壤供氮能力有着密切的关系,能够表示土壤氮素的供应程度。土壤脲酶活性的提高对于土壤中稳定性较高的有机态氮向有效态氮的转化具有重要意义,从而改善土壤向植物提供氮素养分的状况。尿素氮肥的水解受脲酶活性的影响。脲酶的酶促产物——氨是植物的主要氮源之一。有机肥料中也存在游离的脲酶。同时,脲酶的活性与土壤其他的理化生物因

子(有机质含量、微生物数量)有关。

由表2、3可知,土壤脲酶活性在小麦、玉米生长的各个时期具有阶段性变化规律。在小麦生长阶段,土壤脲酶活性不断增加,从越冬期至灌浆期土壤脲酶活性增加;在玉米生长阶段,土壤脲酶活性先增加,后在玉米大喇叭口期降低至最小,而后其活性增加,到玉米成熟期土壤脲酶活性又有所降低,呈W型。

表2 小麦不同生育期土壤脲酶活性

mg/(g·24h)

处理	播种期	拔节期	大喇叭口期	吐丝期	灌浆期	成熟期
CK	35.58 ± 1.12b	30.85 ± 1.58d	13.71 ± 1.71d	52.43 ± 3.56d	53.19 ± 1.03b	25.03 ± 0.64b
CK-F	48.96 ± 4.23a	34.15 ± 0.39d	13.97 ± 0.60d	56.83 ± 2.00cd	57.71 ± 4.69ab	30.41 ± 0.80ab
M-F	49.09 ± 5.09a	46.58 ± 2.68b	20.78 ± 1.25a	60.34 ± 2.67bc	57.49 ± 1.35ab	28.81 ± 0.94b
WM-NF	53.63 ± 1.06a	39.38 ± 1.46c	14.45 ± 0.25cd	66.66 ± 2.10b	57.67 ± 1.58ab	30.15 ± 1.59ab
WM-F	49.45 ± 7.74a	49.87 ± 0.47b	18.47 ± 0.85ab	62.12 ± 0.59bc	59.95 ± 1.04ab	34.91 ± 1.39a
W-F	50.47 ± 1.32a	58.55 ± 1.97a	17.37 ± 0.18bc	77.73 ± 1.44a	63.70 ± 1.82a	30.70 ± 3.79ab

注:同列不同小写字母表示差异在0.05水平显著。

表3 玉米不同生育期土壤脲酶活性

mg/(g·24h)

处理	越冬期	拔节期	抽穗期	灌浆期	收获期
CK	29.03 ± 7.78c	45.23 ± 4.62a	58.62 ± 0.27d	86.38 ± 6.36a	34.28 ± 5.29c
CK-F	43.86 ± 8.41abc	61.81 ± 5.54a	62.27 ± 3.51cd	90.79 ± 5.93a	64.70 ± 2.21b
M-F	37.85 ± 1.27bc	46.75 ± 15.64a	76.95 ± 3.58b	98.10 ± 8.48a	73.45 ± 3.09ab
WM-NF	45.91 ± 6.91abc	51.01 ± 5.41a	73.07 ± 1.26bc	93.68 ± 12.01a	73.75 ± 2.63ab
WM-F	56.18 ± 3.20a	65.01 ± 1.76a	97.11 ± 3.53a	95.28 ± 3.69a	82.73 ± 9.17a
W-F	48.50 ± 2.11ab	62.19 ± 3.56a	84.18 ± 7.32b	93.91 ± 8.74a	81.97 ± 4.21a

注:同列不同小写字母表示差异在0.05水平显著。

由图3可知,在不施用氮磷钾肥的条件下,从小麦越冬期至小麦灌浆期土壤脲酶活性逐渐增加,至灌浆期达到最大酶活,而后降低。WM-NF处理的土壤脲酶活性要高于CK,从小麦越冬期至小麦收获期WM-NF处理土壤脲酶活性比CK分别增加了23.30%、11.33%、19.78%、7.79%、53.52%。而在玉米生育期内,WM-NF处理的土壤脲酶活性也要高于

CK,从玉米播种期至拔节期、吐丝期、灌浆期、成熟期土壤脲酶活性分别增加了33.66%、21.66%、21.35%、7.77%和16.98%。这表明在不施肥的条件下,小麦、玉米秸秆均还田后可以显著性地增加土壤脲酶活性。这可能是由于还田作物秸秆的降解为微生物的生长提供了营养,并且增加了土壤有机物质的含量,使得土壤脲酶活性增强。

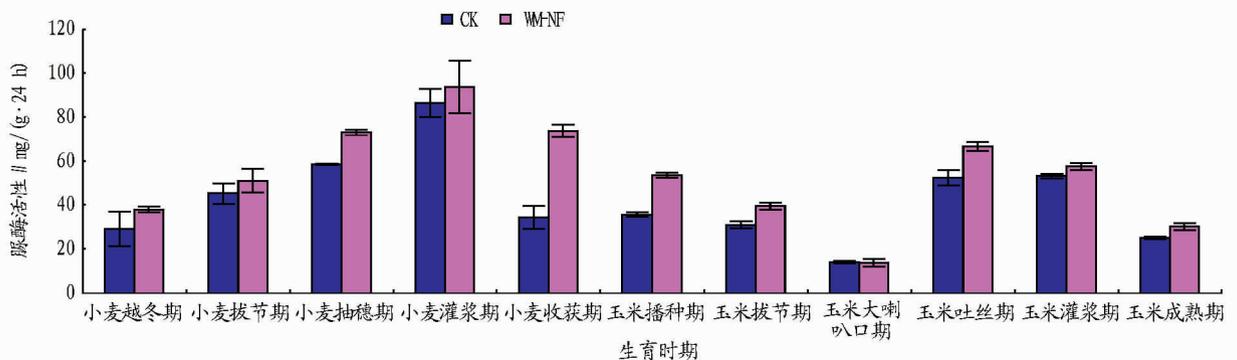


图3 不施肥条件下秸秆还田对土壤脲酶活性的影响

由图4可知,在施用氮磷钾肥的条件下,在小麦和玉米的生育期(小麦越冬期-玉米成熟期)内,WM-F处理土壤酶活较CK-F处理高,增幅分别达21.93%、4.92%、35.88%、4.71%、21.79%、0.99%、31.52%、21.77%、8.52%、3.74%、12.89%,增幅差异达0.01显著水平。从图中还可以看出,由于秸秆还田的效应,在小麦生长发育的后期(灌浆期)小麦、玉米秸秆还田施肥处理土壤脲酶活性仍维持较高的水平。

由图5可知,M-F处理土壤脲酶活性比W-F处理要高一些,但没有达到显著水平。这可能是由于玉米秸秆还田可以刺激土壤中某种微生物的活动,脲酶活性增大。在小麦的生育期内,这一现象表现得尤为明显。由图3~5可知,玉米大喇叭口期各处理的脲酶活性最低。这可能与当时采取土样时田间的含水量和温度低,土壤微生物活性低有关。

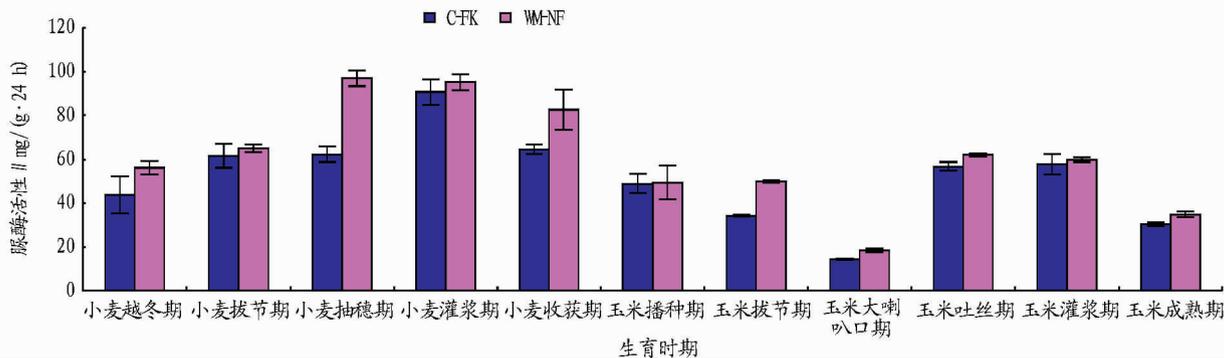


图4 施肥条件下秸秆还田对土壤脲酶活性的影响

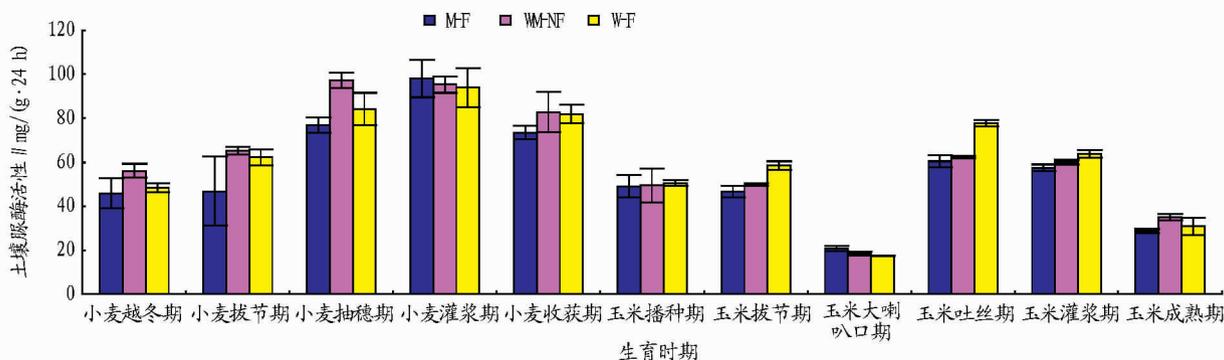


图5 不同秸秆还田方式对土壤脲酶活性的影响

**2.3 玉米生育期内土壤微生物量氮含量** 秸秆直接还田后腐解过程是微生物驱动下的生物化学过程。在对秸秆进行腐解的同时,土壤微生物利用秸秆中的碳源物质大量进行自身繁殖,将秸秆中的碳同化为微生物碳,并从土壤中吸取部分氮、磷等养分作为自身机体的组成部分,将土壤氮、磷养分同化为微生物体氮、磷<sup>[16]</sup>。

由图6可知,在玉米生育期内自玉米播种期起至玉米吐丝期各处理的微生物量氮含量逐渐增加,而后开始逐渐降低,说明土壤微生物量氮含量随着玉米生长而变化。土壤微生物量氮的最大值出现在玉米吐丝期的W-F处理,达8.14 mg/kg,而后逐渐降低。土壤微生物量氮达到最大值后下降,意味着微生物在分解秸秆过程中对氮素的净固持阶段结束,转入氮素的净释放阶段<sup>[17]</sup>。

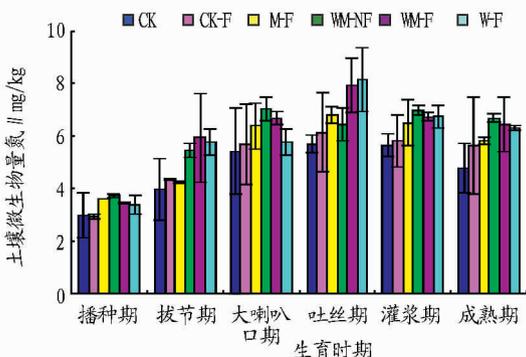


图6 玉米生育期内土壤微生物量氮含量

从图6还可以看出,WM-NF与WM-F 2组处理的土壤微生物量氮在玉米的各生育期没有显著性差异,说明施肥对提

高土壤微生物量氮的作用不大。相比而言,WM-NF处理的土壤微生物量氮含量比CK高出了约30%,表明秸秆还田可以显著提高土壤微生物量氮含量,而WM-F处理的土壤微生物量氮含量较其他处理而言基本上是最大的。这可能是因为小麦和玉米秸秆均还田为土壤微生物提供了大量的碳源,同时由于复合肥的施入为土壤微生物提供了氮源。这2种措施为土壤微生物的生长创造出一个适宜的环境,因此这一处理的微生物量氮的含量最大。

### 3 结论

研究表明,小麦、玉米秸秆还田对土壤养分特性、土壤生物学特性产生显著影响。小麦、玉米秸秆还田能够满足小麦、玉米旺盛生长阶段拔节期对氮素养分的需求。秸秆还田处理或施肥处理的全氮含量在小麦拔节期达最低值,而小麦、玉米秸秆不还田不施肥的对照土壤全氮含量最低值出现在小麦抽穗期。在施肥的前提下,仅小麦秸秆或玉米秸秆还田对土壤的全氮含量影响的结果差异性不是很大,土壤全氮含量的变化趋势也相同。

秸秆还田结合施肥能够在小麦的整个生育期显著提高土壤碱解氮含量。仅单季作物秸秆还田并施肥提高幅度不大。单独施肥或单独秸秆还田不能够满足作物生长后期的养分需求。无施肥也无秸秆还田在作物的整个生育期内土壤碱解氮含量较低,满足不了作物的生长需要。这说明秸秆还田加施肥能显著提高土壤碱解氮水平,对作物生长起到良好的促进作用。

土壤酶催化土壤中的各种生物化学反应,驱动着土壤生态系统的物质循环和能量转化。其活性大小反映土壤中

各种生物化学过程的强度和方向,是土壤肥力高低的重要指标之一。小麦、玉米秸秆还田无施肥的处理可以较大幅度地提高土壤脲酶活性,但其增加的幅度没有小麦、玉米秸秆均还田有施肥处理的高,后者在小麦-玉米的生育期内较秸秆还田有施肥的处理分别提高了 21.93%、4.92%、35.88%、4.71%、21.79%、0.99%、31.52%、21.77%、8.52%、3.74%、12.89%,增幅差异达 0.01 显著水平。这说明在小麦、玉米秸秆还田又施肥的条件下,土壤脲酶活性能够被大幅度地提高。

秸秆还田无施肥和秸秆还田有施肥处理均能提高土壤微生物量氮含量,两者没有显著性差异。仅仅施肥而无秸秆还田的处理对于提高土壤微生物量氮的效果微乎其微,说明秸秆还田是土壤微生物量氮提高的核心因素。Witter<sup>[18]</sup>在长达 30 年的肥料试验田上的研究表明,长期施用有机肥或有机物料如秸秆、绿肥、农家肥等土壤中微生物量较高。化肥的施用对土壤微生物的影响比较复杂。一般来说,长期施用磷肥能够促进土壤微生物量的增长,而长期施用氮肥则降低土壤微生物量。施用磷肥一般对土壤微生物量的影响不明显,但也有在实验室培养中发现微生物量降低和增加的报道<sup>[19-20]</sup>。该研究也恰恰印证了前人的研究结果。

秸秆还田是一项增强土壤生物肥力、改善土壤生物学性状的措施,在农业生态系统中具有重要意义。秸秆还田对土壤养分和土壤生物学特性的影响是十分复杂的过程。在以后的研究过程中,可以利用分子生物学的手段,在更深层次进行探究,为农业的可持续发展提供理论基础。

#### 参考文献

[1] 江永红,字振荣,马永良. 秸秆还田对农田生态系统及作物生长的影响[J]. 土壤通报,2001(5):54-58.

[2] WU T Q. The development of sustainable agriculture in Taiwan[J]. Soil and Environment,2001,3:1-10.

[3] MARX M C, WOOD M, JARVIS S C. A microplate fluorimetric assay for the study of enzyme diversity in soils[J]. Soil Biology & Biochemistry, 2001,33(12/13):1633-1640.

[4] 张咏梅,周国逸,吴宁. 土壤酶学的研究进展[J]. 热带亚热带植物学报,2004,12(1):83-90.

(上接第 4241 页)

[5] CHANG H X, TANG L H, WANG Y, et al. Graphene fluorescence resonance energy transfer aptasensor for the thrombin detection[J]. Analytical Chemistry, 2010,82(6):2341-2346.

[6] KIM H, ABDALA A A, MACOSKO C W. Graphene/polymer nanocomposites[J]. Macromolecules, 2010,43(16):6515-6530.

[7] WANG S F, XIE F R, HU F. Carbon-coated nickel magnetic nanoparticles modified electrodes as a sensor for determination of acetaminophen[J]. Sensors and Actuators B-Chemical, 2007,123(1):495-500.

[8] LAVIRON E. General expression of the linear potential sweep voltammogram in the case of diffusionless electrochemical systems[J]. Journal of Electroanalytical Chemistry, 1979,101(1):19-28.

[5] WELP G. Inhibitory effects of the total and water-soluble concentrations of nine different metals on the dehydrogenase activity of a loesssoil[J]. Biol Fertil Soils, 1999,30:132-139.

[6] GIANFREDA L, SANNINO F, VTOANTE A. Pesticide effects on the activity of urease, immobilized and invertase[J]. Soil Biol & Biochem, 1995,27(9):1201-1208.

[7] 周建斌,陈竹君,李生秀. 土壤微生物量氮含量、矿化特性及其供氮作用[J]. 生态学报,2001,21(10):1718-1725.

[8] 张镜清. 农作物根茬培肥土壤的作用[J]. 土壤通报,1984,15(2):63-64.

[9] 肖玲,李岗,和文祥,等. 旱地不同培肥方式对土壤酶活性影响的研究[J]. 西北农业大学学报,1999,27(5):142-146.

[10] 中国土壤学会农业化学专业委员会. 土壤农业化学常规分析方法[M]. 北京:科学出版社,1983.

[11] 关松荫. 土壤酶及其研究方法[M]. 北京:农业出版社,1986.

[12] 吴金水,林启美,黄巧云,等. 土壤微生物量测定方法及其应用[M]. 北京:气象出版社,2006.

[13] 何振立. 土壤微生物量及其在养分循环和环境质量评价中的意义[J]. 土壤,1997(2):61-69.

[14] 刘守龙,肖和艾,童成立,等. 亚热带稻田土壤微生物量碳、氮、磷状况及其对施肥的反应特点[J]. 农业现代化研究,2003,24(4):279-283.

[15] GALE W J, CAMBARDELLA C A. Carbon dynamics of surface residue and root-derived organic matter under simulated no-till[J]. Soil Science Society of America Journal, 2000,64:190-195.

[16] LIANG W, YUE J, WU J, et al. Seasonal variations of soil microbial biomass respiration rate and CH<sub>4</sub> emission in black earth rice fields[J]. Chin J Appl Ecol, 2003,14(12):2278-2280.

[17] 李贵桐,赵紫鹃,黄元仿,等. 秸秆还田对土壤氮素转化的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2002,8(2):162-167.

[18] WITTER E, MARTINSSON A M, GARICA F V. Size of the soil microbial biomass in a long term experiment as affected by different N-fertilizers and organic manures[J]. Soil Biol & Bio Chem, 1993,25:659-669.

[19] 陈安磊,王凯荣,谢小立. 施肥制度与养分循环对稻田土壤微生物量碳氮磷的影响[J]. 农业环境科学学报,2005,24(6):1094-1099.

[20] 陶水龙,林启美,赵小蓉. 土壤微生物量研究方法进展[J]. 土壤肥料, 1998(5):15-18.

[21] 刘佳斌,李传宝,王宏燕. 秸秆还田不同处理方式对黑土微生物数量和土壤酶活性的影响[J]. 安徽农业科学,2012,40(9):5285-5287.

[22] 周俊国,杨鹏鸣. 不同肥料对土壤脲酶和碱性磷酸酶活性的影响[J]. 西南农业学报,2012(2):577-579.

[23] LU Z W, WAN G F, YANG Z J, et al. Effects of straw processing methods and irrigation sources on enzymatic activity of soils under winter wheat[J]. Agricultural Science & Technology, 2012,13(7):1465-1468,1515.

[24] 南雄雄,游东海,田霄鸿,等. 关中平原农田作物秸秆还田对土壤有机碳和作物产量的影响[J]. 华北农学报,2011(5):222-229.

[9] ZARE H R, SOBHANI Z, MAZLOUM-ARDAKANI M. Electrocatalytic oxidation of hydroxylamine at a rutin multi-wall carbon nanotubes modified glassy carbon electrode; improvement of the catalytic activity[J]. Sensors and Actuators B-Chemical, 2007,126:641-647.

[10] FRANZOI A C, PERALTA R A, NEVES A, et al. Biomimetic sensor based on (MnMnII)-Mn-III complex as manganese peroxidase mimetic for determination of rutin[J]. Talanta, 2009,78(1):221-226.

[11] YANG S L, QU L B, LI G, et al. Gold nanoparticles/ethylenediamine/carbon nanotube modified glassy carbon electrode as the voltammetric sensor for selective determination of rutin in the presence of ascorbic acid[J]. Journal of Electroanalytical Chemistry, 2010,645(2):115-122.