

# 免耕对旱作燕麦田耕层土壤微生物 生物量碳、氮、磷的影响\*

郭晓霞<sup>1</sup> 刘景辉<sup>1†</sup> 张星杰<sup>1</sup> 李立军<sup>1</sup> 赵宝平<sup>1</sup> Surya N. Acharya<sup>2</sup>

(1 内蒙古农业大学燕麦科技创新团队, 呼和浩特 010019)

(2 Lethbridge Research Centre, Agriculture and Agri-Food Canada, Lethbridge, Alberta, T1J 4B1, Canada)

**摘要** 2005~2008年,在内蒙古清水河县研究了免耕留低茬(NL)、免耕留高茬(NH)、免耕留低茬覆盖(NLS)、免耕留高茬覆盖(NHS)和常规耕作(T)5种耕作方式对旱坡地燕麦田耕层土壤微生物生物量碳、氮、磷的影响。结果表明:各处理土壤微生物生物量碳、氮、磷含量在不同年际间的变化趋势一致。土壤微生物生物量碳、氮含量均呈双峰曲线变化,其中,NHS和NLS处理土壤微生物生物量碳的峰值出现在拔节期和灌浆期,NH、NL和T处理的土壤微生物生物量碳的峰值出现在孕穗期和灌浆期,而土壤微生物生物量氮的峰值则出现在苗期和灌浆期。土壤微生物生物量磷呈单峰曲线变化,各处理的峰值均出现在灌浆期。不同年份间、不同生育期间,土壤微生物生物量碳、氮、磷含量的大小顺序为:NHS>NLS>NH>NL>T。其中,免耕各处理的燕麦产量相对常规耕作呈先降低后增加的趋势,以2008年为例,NHS、NLS、NH、NL燕麦产量分别较T增加了22%、17%、11%、5%。综上所述,免耕有利于提高土壤微生物生物量碳、氮、磷含量,而且可有效地增加作物产量,尤其是NHS和NLS处理比较明显。

**关键词** 免耕;燕麦;耕层;土壤微生物生物量碳、氮、磷;产量

**中图分类号** S154.3 **文献标识码** A

土壤微生物生物量是指生活在土壤中的微生物活体的总量<sup>[1-2]</sup>,虽然土壤微生物生物量仅占有有机质的很小一部分,但对碳、氮、磷的循环和植物生长的有效性具有很大的作用。土壤微生物生物量碳、氮、磷是土壤碳素、氮素和磷素养分转化和循环研究中的重要参数,可直观地反映土壤微生物活性和土壤肥力状况<sup>[3]</sup>。研究土壤微生物生物量的变化规律,有助于我们系统地了解土壤肥力的形成和演变机制,弄清土地利用、环境因子及农业措施对土壤肥力的影响,可为土壤培肥及养分诊断提供一定的理论和技术指导。

微生物生物量的大小可以表明微生物新陈代谢活动的强弱,而微生物生长与死亡的交替过程也就是养分的固定与释放过程<sup>[4]</sup>,许多研究者指出,土壤微生物生物量能够灵敏、及时、准确地反映不同耕作方式下土壤质量的变化状况<sup>[5-6]</sup>。近年来,

土壤微生物生物量测试方法不断改进和完善,对其研究更为广泛和深入,国内外关于土壤微生物量的研究已有很多报道,何容等<sup>[7]</sup>研究了武夷山不同海拔植被土壤微生物量的影响,胡锋等<sup>[8]</sup>研究了蚯蚓活动对土壤微生物量碳的影响,徐华勤等<sup>[9]</sup>对不同施肥措施下土壤微生物生物量碳进行了研究,其他针对农田生态系统土壤微生物生物量的研究包括耕作方式<sup>[10]</sup>和种植制度<sup>[11-12]</sup>等多个方面,而不同免耕方式对北方旱作区农田土壤微生物生物量影响的研究则较少。

微生物作为土壤和作物两者之间极其重要的纽带,推动着土壤有机质和土壤养分的转化与循环,是植物生长养分的重要来源<sup>[13]</sup>。因此,研究土壤微生物生物量和作物产量及之间的关系是必要的。内蒙古清水河县是黄河流域典型的黄土高原农田旱作区,干旱少雨、土地贫瘠、水土流失严重。

\* 国家“十一五”科技支撑计划重点课题(2006BAD15B05)、挑战计划“黄河流域旱作保护性耕作项目”(CPWFY RB200503)、国际玉米小麦改良中心(CIMMYT)、中国农业大学与内蒙古农业大学两校合作基金项目资助

† 通讯作者:刘景辉,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

作者简介:郭晓霞(1983—),女,内蒙古通辽市人,博士研究生,主要从事耕作制度与农业生态系统研究。Tel: 13739987792; E-mail: guoxiaoxia2008@126.com

收稿日期:2011-01-05;收到修改稿日期:2011-05-26

免耕可成为改善本区域农田生态环境,获得生态、经济效益的重要耕作方式。试验通过对燕麦年际间土壤微生物生物量及作物产量的研究,从理论上阐明不同耕作方式影响作物产量的内在原因以及实施免耕的优势。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验区概况

试验在内蒙古清水河县(111°39'E,39°57'N)进

行,试验地土壤为栗褐土(Chestnut-drads soil),土壤基本理化性质见表1。试验区水浇地不足2 000 km<sup>2</sup>,97%以上为梁坡旱地,属黄土高原丘陵沟壑区,平均海拔1 374 m,年均温7.1℃,≥10℃积温2 370℃,无霜期140 d,年日照时数为2 914 h,年平均大风(指瞬间风速达17 m s<sup>-1</sup>,即八级以上)日数达19 d,年总辐射量为570.6 kJ cm<sup>-2</sup>,年均降雨量365 mm,最高年份为1967年(621 mm),最低年份为1962年(184 mm),年蒸发量2 577 mm,干燥度为3.94。属典型的中温带半干旱大陆性季风气候。

表1 土壤基本理化性质

Table 1 Physical-chemical properties of soil in the 0~20 cm layer

土壤 Soil	总孔隙度 Total porosity (%)	团聚体 Aggregate (g kg <sup>-1</sup> )	有机质 OM (g kg <sup>-1</sup> )	全氮 TN (g kg <sup>-1</sup> )	全磷 TP (g kg <sup>-1</sup> )	碱解氮 Alkalystic N (mg kg <sup>-1</sup> )	速效磷 Avail. P (mg kg <sup>-1</sup> )	速效钾 Avail. K (mg kg <sup>-1</sup> )
栗褐土 Chestnut-drads soil	43.65	118.8	10.96	0.49	0.43	35.10	4.55	118.9

### 1.2 试验设计

试验于2005~2008年进行,设免耕留低茬(NL)、免耕留低茬覆盖(NLS)、免耕留高茬覆盖(NHS)、免耕留高茬(NH)、常规耕作(T)5个处理,重复3次。T处理采用翻耕,分别于作物收获后和播种前各耕作一次,耕深15 cm左右;免耕处理在作物收获后至播种前,不搅动土壤,利用燕麦的残茬和秸秆覆盖地表,采用中国农业大学研发的2MB-5型免耕播种机进行播种,留高茬高度为20 cm,留低茬高度为10 cm,收获后将秸秆覆盖地表,秸秆覆盖度为90%以上,秸秆覆盖量为4 500 kg hm<sup>-2</sup>。在每个生育时期在田间按蛇形采样法随机采集耕层土壤5点,每个样品重复3次,采集后迅速保鲜带回冷藏供测定用。供试作物为燕麦,品种为雁红10号。

### 1.3 测定方法

土壤微生物生物量碳:熏蒸提取—容量分析法;土壤微生物生物量氮:熏蒸提取—茚三酮比色法;土壤微生物生物量磷:熏蒸提取—浸提法。

### 1.4 数据处理

试验数据均采用SPSS13.0软件进行方差分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 免耕方式对土壤微生物生物量碳含量的影响

土壤微生物生物量碳是土壤有机质转化和分解的动力,可反映土壤养分有效状况和生物活性,

常作为土壤对环境响应的指示指标<sup>[14-15]</sup>。由图1可知,2006~2008年,各处理微生物生物量碳的含量均呈双峰曲线变化,且不同处理间各生育期土壤微生物生物量碳含量均表现为:NHS>NLS>NH>NL>T。以2008年燕麦灌浆期为例,NHS、NLS、NH和NL处理土壤微生物生物量碳含量分别较T处理增加了54.12%、47.65%、18.72%和14.28%。随种植年限的增加,土壤微生物生物量碳呈增加的趋势。以NHS为例,2008年、2007年土壤微生物生物量碳含量在第二个峰值分别较2006年增加了13.89%、8.60%。NHS和NLS处理土壤微生物生物量碳含量的峰值出现在拔节期和灌浆期,而NH、NL和T处理的峰值出现在孕穗期和灌浆期。这是由于土壤中绝大多数微生物属于有机营养型生物,随着气温逐渐升高,留在土壤中的植物残茬和作物根茬在分解前释放的简单有机化合物增多,随着植物根系的逐渐死亡,土壤中有机物质又逐渐增加,土壤温度逐渐升高,水分效应突出,加速了秸秆和根茬的分解,营养物质和能源也逐渐增加,从而使微生物数量逐渐增加。各处理的第二个峰值均出现在灌浆期。原因为,在灌浆前期,由于气温逐渐下降、降雨量逐渐增多,使土壤环境得到改善,从而使土壤微生物活性与数量有所增加,因此出现了土壤微生物生物量碳含量的第二个峰值。灌浆期后,气温下降,使土壤温度也逐渐下降,因此土壤微生物生物量碳含量也平缓下降。说明秸秆覆盖不仅

可为微生物提供营养物质,而且为作物提供丰富营养而提高根系分泌物含量,从而为微生物提供丰富

的能量,进而使微生物生长繁殖加快、土壤微生物生物量碳含量增加。

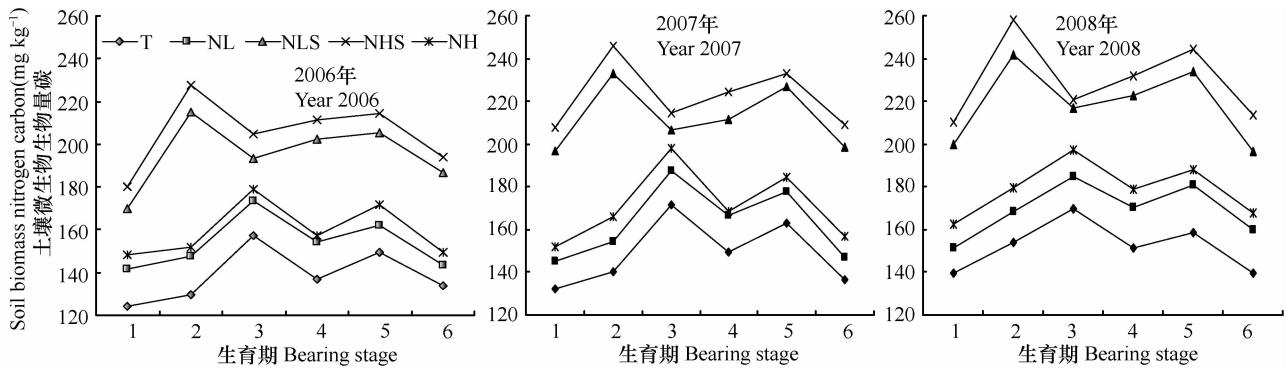


图 1 免耕方式对土壤微生物生物量碳含量的影响

Fig. 1 Effects of different non-tillage methods on soil microbial biomass carbon

1: 苗期 Seedling stage; 2: 拔节期 Jointing stage; 3: 孕穗期 Booting stage; 4: 抽穗期 Heading date; 5: 灌浆期 Filling stage; 6: 成熟期 Maturing stage

## 2.2 免耕方式对土壤微生物生物量氮含量的影响

土壤微生物生物量氮是土壤有机氮的重要组成部分,它的数量虽少,但却控制着土壤中碳、氮养分循环,对土壤养分的供给以及有机无机养分转化起着非常重要的作用<sup>[15-17]</sup>。由图 2 可知,2006~2008 年,各处理土壤微生物生物量氮含量的变化趋势均呈双峰曲线变化,其峰值均出现在苗期和灌浆期。主要是因为,苗期降雨和肥料的施入,使土壤含水量升高,土壤养分增加,再加之土壤温度逐渐升高,为微生物的繁殖和生活提供了较适合的空间,使微生物生物量氮含量达到最大值。燕麦拔节期土壤微生物生物量氮含量相对较低,以后随着作物氮吸收量的减少和外界温度的升高,土壤微生物生物量氮含量上升,燕麦灌浆期土壤微生物生物量氮达到第二个峰值,随后下降。从生育期看,燕麦

拔节期土壤微生物生物量氮含量较低<sup>[18]</sup>,这与作物对养分吸收的敏感期及土壤养分变化对微生物生命活动的影响有关。燕麦拔节期需要吸收大量的氮素营养,一部分微生物生物量氮矿化成为作物可利用的氮源,使微生物生物量氮减少<sup>[19]</sup>。在燕麦各生育时期,5 种处理的土壤微生物生物量氮含量均以 NHS 最高,其次为 NLS、NH、NL 和 T 处理。2008 年土壤微生物生物量氮的变化情况与前两年相同,以灌浆期为例,NHS、NLS、NH 和 NL 土壤微生物生物量氮分别较 T 处理增加了 31.53%、27.91%、15.65% 和 10.98%。以 NHS 为例,2008 年、2007 年年平均土壤微生物生物量氮含量分别较 2006 年增加了 15.59% 和 6.59%。综合以上分析,说明免耕留茬覆盖方式提高了土壤的微生物生物量氮含量,并呈随年限的增加而增加的趋势。

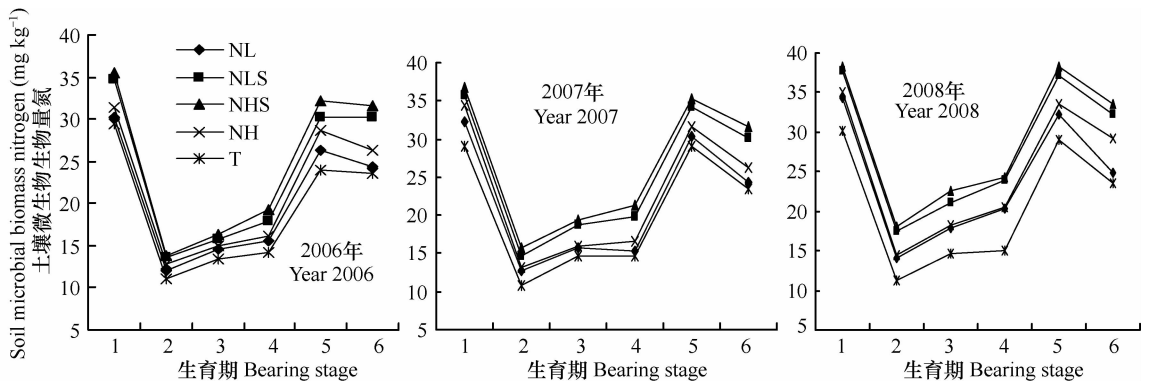


图 2 免耕方式对土壤微生物生物量氮含量的影响

Fig. 2 Effects of different non-tillage methods on soil microbial biomass nitrogen

1: 苗期 Seedling stage; 2: 拔节期 Jointing stage; 3: 孕穗期 Booting stage; 4: 抽穗期 Heading date; 5: 灌浆期 Filling stage; 6: 成熟期 Maturing stage

### 2.3 免耕方式对土壤微生物生物量磷含量的影响

土壤微生物生物量磷是土壤微生物生物量的重要组成部分,也是土壤有机磷最活跃的部分,由于其周转速率快,可迅速参与养分循环,因而成为植物有效磷的重要来源。由表 2 可知,2006~2008 年,各处理土壤微生物生物量磷含量的变化趋势一致,均呈单峰曲线变化,各处理的峰值均出现在灌浆期。在燕麦的各生育时期,5 种处理的土壤微生物生物量磷含量均以 NHS 最高,其次为 NLS、NH、NL 和 T 处理。其中留茬覆盖和留茬不覆盖均以高茬处理的效果最佳,可能是由于该地区风沙较大,NHS 能够减少秸秆的流失量,从而增加了秸秆对土

壤的保护作用。

土壤微生物生物量磷的含量随着生育期的推进而增加,到灌浆期达到峰值,之后有所下降。以 2008 年灌浆期为例,NHS、NLS、NH 和 NL 的土壤微生物生物量磷分别较 T 增加了 147.1%、133.7%、78.03% 和 51.90%。以 NHS 为例,2008 年、2007 年年平均土壤微生物生物量磷含量分别较 2006 年增加了 70.11% 和 19.78%。说明免耕留茬覆盖方式提高了土壤的微生物生物量磷含量,并且随着年限增加,NHS、NLS 较 T 增加显著,而免耕留茬处理土壤微生物生物量磷含量增加规律不明显。

表 2 免耕方式对土壤微生物生物量磷含量的影响

Table 2 Effects of different non-tillage methods on soil microbial biomass phosphorus (mg kg<sup>-1</sup>)

年份 Year	处理 Treatment	生育期 Bearing stage					
		苗期	拔节期	孕穗期	抽穗期	灌浆期	成熟期
		Seedling stage	Jointing stage	Booting stage	Heading stage	Filling stage	Maturing stage
2006	NL	2.60 dB	3.85 cC	4.40 cC	4.80 dC	5.75 dC	5.57 cC
	NLS	3.25 bA	4.05 bB	4.85 bB	5.59 bB	6.37 bB	6.31 bB
	NHS	3.55 aA	4.35 aA	5.20 aA	6.47 aA	7.65 aA	7.35 aA
	NH	2.74 cB	3.80 cC	4.45 cC	4.96 cC	5.86 cC	5.46 cC
	T	2.02 eC	2.50 dD	2.95 dD	3.85 eD	4.75 eD	4.63 dD
2007	NL	2.26 cB	2.64 dD	4.91 cC	6.03 dC	8.16 dC	7.51 dD
	NLS	3.53 aA	3.91 bB	5.29 bB	6.58 bB	9.35 bB	8.67 bB
	NHS	3.56 aA	4.85 aA	6.13 aA	7.22 aA	10.02 aA	9.76 aA
	NH	2.40 bB	3.36 cC	4.26 dD	6.16 cC	8.32 cC	8.04 cC
	T	2.07 dC	2.68 dD	3.71 eE	4.53 eD	5.84 eD	5.43 eE
2008	NL	3.28 dD	5.93 cC	6.40 dC	8.38 dD	9.40 dD	10.41 cB
	NLS	4.16 bB	6.92 bB	8.52 bA	10.27 bB	14.46 bB	13.03 bA
	NHS	4.75 aA	7.39 aA	8.67 aA	10.90 aA	15.29 aA	13.64 aA
	NH	3.64 cC	6.83 bB	7.91 cB	8.71 cC	11.02 cC	9.82 dC
	T	2.33 eE	3.53 dD	4.53 eD	5.24 eE	6.19 eE	5.79 eD

注:表中同列不同小写或大写字母数值间差异为 0.05 或 0.01 水平显著,下同 Note: Different lowercase letters or uppercase letters suffixing the data in the same column mean significant difference at 0.05 level or 0.01 level. The same below

### 2.4 免耕方式对燕麦产量的影响

由表 3 可知,免耕方式直接影响作物产量。实施免耕的前 3 年,作物产量不稳定,甚至造成减产,但留茬覆盖处理的产量相对较高,原因可能为免耕初期土壤比较板结、杂草较多、秸秆覆盖形成土壤

低温、出苗延迟等影响了产量;第 4 年免耕增产效应有所显现,以 NHS 单产最高,总体表现为 NHS > NLS > NH > NL > T,各处理分别较 T 增产 22%、17%、11%、5%。说明长期免耕秸秆覆盖是旱作农田增产的重要技术环节。

表 3 免耕方式对燕麦产量的影响

Table 3 Effects of different non-tillage methods on the yield of oat ( $\text{kg hm}^{-2}$ )

处理 Treatment	年份 Year			
	2005	2006	2007	2008
NL		1 702 eE	2 062 eE	2 114 dD
NLS	1 794 bB	1 934 cC	2 277 bB	2 339 bB
NHS		2 021 bB	2 359 aA	2 445 aA
NH		1 817 dD	2 168 cC	2 218 cC
T	2 217 aA	2 053 aA	2 084 dD	2 004 eE

## 2.5 土壤微生物生物量碳、氮、磷年平均含量与燕麦产量的相关性分析

相关分析结果表明(图 3),土壤微生物生物量碳、氮、磷含量均与燕麦产量呈显著正相关。土壤微生物生物量碳、氮含量与燕麦产量呈极显著正相关( $p < 0.01$ ),其关系式分别为: $y = 864.03\ln(x) -$

$2275.7, r = 0.9840; y = 1253.8\ln(x) - 1750.9, r = 0.9864$ 。而土壤微生物生物量磷含量与燕麦产量呈显著正相关( $p < 0.05$ ),其关系式为: $y = 567.19\ln(x) + 1191.1, r = 0.9059$ 。因此,土壤微生物生物量的多少和土壤微生物活性的高低与燕麦产量呈显著相关关系。

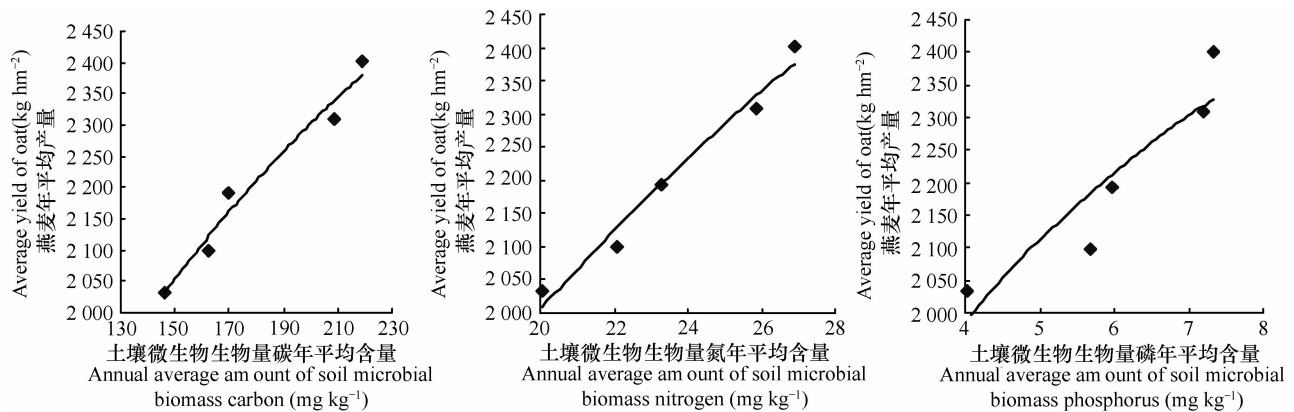


图 3 各处理年平均土壤微生物生物量碳、氮、磷与燕麦产量的相关性

Fig. 3 Relativity between annual mean values of soil microbial biomass C, N, P and yield of oat of different treatments

## 3 讨论

土壤微生物生物量碳虽然在土壤全碳含量中占有很小比例,但它是土壤有机质中最为活跃的部分<sup>[20]</sup>,调节着土壤养分的矿化和固定过程,可反映土壤养分有效性状况和土壤生物活性。Carter 等<sup>[21]</sup>曾将土壤微生物生物量碳含量作为由不同耕作法引起土壤生物学性质变化的一个指标。土壤微生物生物量碳主要取决于输入有机物质的数量和质量,在一定条件下,有机物质输入越多,土壤微生物生物量碳就越高<sup>[22]</sup>。本研究结果表明,不同免耕处理土壤微生物生物量碳含量均表现为  $\text{NHS} > \text{NLS} > \text{NH} > \text{NL} > \text{T}$ ,说明秸秆覆盖使土壤综合生态因子得到改善,成为“微生物加工厂”。其直接结果

是增加了土壤中有机的投入,为微生物的繁殖和生长提供了大量的碳源,C/N 增高;其中 2 个留茬覆盖处理的第一个峰值均早于其他处理。说明秸秆覆盖处理的土壤温度和水分效应突出,加速了根茬和秸秆的分解,增强了土壤微生物活性。

土壤微生物生物量氮是土壤氮素的一个重要储备库,是土壤微生物对氮素矿化与固持作用的综合反映,在土壤氮素循环与转化过程中起着重要的调节作用。土壤微生物生物量氮转化迅速,能在检测到土壤总氮变化之前表现出较大的差异,是比较敏感的生态学指标<sup>[23]</sup>,能够及时、准确地反应土壤的性状。本研究结果表明,不同免耕方式土壤微生物生物量氮含量为  $\text{NHS} > \text{NLS} > \text{NH} > \text{NL} > \text{T}$ 。其中 NHS 和 NLS 处理土壤微生物生物量氮含量增加的比较明显,其次为 NH 和 NL, T 最低。从生育期看,

土壤微生物生物量氮在燕麦苗期含量最高,拔节期土壤微生物生物量氮较低,这与作物对养分吸收的敏感期及土壤养分变化对微生物生命活动的影响有关。燕麦拔节期需要吸收大量的氮素营养,一部分微生物生物量氮矿化为供作物可利用氮源,使微生物生物量氮减少<sup>[18]</sup>。随着试验进行土壤微生物生物量氮含量有所下降,在后期各个处理中有所升高,至灌浆期达到第二个峰值,之后呈下降的趋势。

土壤微生物生物量磷是土壤有机磷中最为活跃的部分,是作物磷素营养非常重要的来源<sup>[24]</sup>,土壤微生物生物量磷高低在一定程度上反映土壤供磷水平。微生物生物量磷的年流通量至少是微生物生物量磷含量的2倍,在数量上是植物每年吸收磷的4~10倍。因此,微生物生物量磷对调控土壤磷的植物有效性及磷的生态循环具有十分重要的意义<sup>[25]</sup>。在某种意义上,施入土壤的磷肥进入微生物生物量越多,被土壤吸附固定的就越少,土壤活性磷库就越大,供磷能力亦提高。本研究结果也证明了这一点,留茬覆盖处理的土壤微生物生物量磷含量最高,其次为留茬不覆盖,常规耕作最低。说明秸秆覆盖能够增加土壤微生物数量,从而加速了土壤微生物生物量磷的周转速率,可迅速参与养分循环,因而成为植物有效磷的重要来源。

本研究还得出,实施免耕的前3年,作物产量不稳定,甚至造成减产,但留茬覆盖处理的产量相对较高,第4年免耕增产效应有所显现。不同免耕方式土壤微生物生物量碳、氮、磷的年平均含量与燕麦产量均呈显著相关关系,其中,土壤微生物生物量碳、氮含量与燕麦产量呈极显著正相关关系( $p < 0.01$ ),而土壤微生物生物量P含量与燕麦产量呈显著正相关关系( $p < 0.05$ )。因此,土壤微生物生物量的多少和土壤微生物活性的高低与燕麦产量的关系密切。

土壤微生物是土壤中物质转化和养分循环的驱动力,微生物生物量碳、氮、磷被认为是土壤活性养分的储存库,是植物生长可利用养分的重要来源,同时,微生物生物量又能灵敏地反映环境因子的变化,所以,它又可作为评价土壤质量的重要指标之一,成为近年来土壤学界研究的热点。研究得出,免耕不扰动土层,使得土壤中水、气、热三相比比例合理,促进了土壤微生物活性的发挥,秸秆覆盖在表土层中,可提供充足能量以维持微生物生命活动需求,为土壤微生物的生存提供了丰富的养分和良好的生长环境。而常规耕作,虽然通过翻耕使土

壤通气状况有所改善,但因耕翻加大了土壤水分的散失,破坏了土壤团粒结构,微生物与有机物的接触面增大,从而使外加有机物和土壤原有有机质的矿化分解加快,相应地土壤微生物生物量较低<sup>[26]</sup>。同时免耕覆盖能有效的调节土壤温度,日变化振幅明显减小<sup>[27-28]</sup>,使得微生物不会因为温度的激变造成失活或死亡;在防治水分蒸腾和提高持水能力上效果明显,说明秸秆覆盖的土壤温度和水分效应突出。在风蚀和水蚀严重的内蒙古黄河流域黄土高原丘陵区,留茬能减少风蚀对土壤表面覆盖物的运移,特别是在风蚀比较严重的春季效果比较明显,而当雨季来临时,在坡耕地上留茬更能有效地减缓和阻止土壤表面养分和水分的流失,这时高茬与低茬间就有了比较明显的差别。因此免耕留高茬和免耕留高茬覆盖耕作方式的土壤微生物生物量要明显高于免耕留低茬。随着耕作年限的增加,免耕留茬覆盖土壤微生物生物量碳、氮、磷含量均提高,可能与投入秸秆随时间推移,被微生物分解程度增加有关。

## 参考文献

- [1] 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. 土壤, 1997, 29(2): 61—69. He Z L. Soil microbial biomass and the significance of it in the nutrient cycling and environmental quality assessment (In Chinese). Soils, 1997, 29(2): 61—69
- [2] 曹志平, 胡诚, 叶钟年, 等. 不同土壤培肥措施对华北高产农田土壤微生物生物量碳的影响. 生态学报, 2006, 26(5): 1486—1493. Cao Z P, Hu C, Ye Z N, et al. Impact of soil fertility maintaining practice on microbial biomass carbon in high production agro-ecosystem in northern China (In Chinese). Acta Ecologica Sinica, 2006, 26(5): 1486—1493
- [3] 王继红, 刘景双, 于君宝, 等. 氮磷肥对黑土玉米农田生态系统土壤微生物量碳、氮的影响. 水土保持学报, 2004, 18(1): 35—38. Wang J H, Liu J S, Yu J B, et al. Effect of fertilizing N and P on soil microbial biomass carbon and nitrogen of black soil corn agro ecosystem (In Chinese). Journal of Soil and Water Conservation, 2004, 18(1): 35—38
- [4] 王志明, 朱培立, 黄东迈, 等. 秸秆碳的田间原位分解和微生物量碳的周转特征. 土壤学报, 2003, 40(3): 446—453. Wang Z M, Zhu P L, Huang D M, et al. Straw carbon decomposition in situ field and characteristics of soil biomass carbon turnover (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2003, 40(3): 446—453
- [5] Lupwayi N Z, Rice W A, Clayton G W. Soil microbial diversity and community structure under wheat was influenced by tillage and crop rotation. Soil Biology and Biochemistry, 1998, 30: 1733—1741
- [6] Bending G D, Turner M K, Rayns F. Microbial and biochemical soil quality indicators and their potential for differentiating areas

- under contrasting agricultural management regimes. *Soil Biology and Biochemistry*, 2004, 36: 1 785—1 792
- [ 7 ] 何容, 王国兵, 汪家社, 等. 武夷山不同海拔植被土壤微生物量的季节动态及主要影响因子. *生态学杂志*, 2009, 28(3): 394—399. He R, Wang G B, Wang J S, et al. Seasonal variation and its main affecting factors of soil microbial biomass under different vegetations along an elevation gradient in Wuyi Mountains of China (In Chinese). *Chinese Journal of Ecology*, 2009, 28(3): 394—399
- [ 8 ] 胡锋, 王霞, 李辉信, 等. 蚯蚓活动对稻麦轮作系统中土壤微生物量碳的影响. *土壤学报*, 2005, 42(6): 965—969. Hu F, Wang X, Li H X, et al. Effects of earthworms on soil microbial biomass carbon in rice-wheat rotation agro-ecosystem (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2005, 42(6): 965—969
- [ 9 ] 徐华勤, 肖润林, 杨建等. 不同培肥措施对红壤茶园土壤微生物量碳的影响. *生态学杂志*, 2007, 26(7): 1 009—1 013. Xu H Q, Xiao R L, Yang Z J, et al. Effects of different fertilization on red soil microbial biomass C in tea garden (In Chinese). *Chinese Journal of Ecology*, 2007, 26(7): 1 009—1 013
- [ 10 ] Ekenle M, Tabatabai M A. Effects of liming and tillage systems on microbial biomass and glycosidase in soils. *Biology and Fertility of Soil*, 2003, 39: 51—61
- [ 11 ] Salinas-García J R, Velázquez-García J D, Gallardo-Valdez A. Tillage effects on microbial biomass and nutrient distribution in soils under rain-fed corn production in central-western Mexico. *Soil and Tillage Research*, 2002, 66: 143—152
- [ 12 ] 王芸, 李增嘉, 韩宾, 等. 保护性耕作对土壤微生物量及活性的影响. *生态学报*, 2007, 27(8): 3 384—3 390. Wang Y, Li Z J, Han B, et al. Effects of conservation tillage on soil microbial biomass and activity (In Chinese). *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(8): 3 384—3 390
- [ 13 ] 张成娥, 梁银丽, 贺秀斌. 地膜覆盖玉米对土壤微生物量的影响. *生态学报*, 2002, 22(4): 508—512. Zhang C E, Liang Y L, He X B. Effects of plastic cover cultivation on soil microbial biomass (In Chinese). *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(4): 508—512
- [ 14 ] 宋秋华, 李凤民, 刘洪升, 等. 黄土区地膜覆盖对麦田土壤微生物体碳的影响. *应用生态学报*, 2003, 14(9): 1 512—1 516. Song Q H, Li F M, Liu H S, et al. Effect of plastic film mulching on soil microbial biomass in spring wheat field in semi-arid loess area (In Chinese). *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 14(9): 1 512—1 516
- [ 15 ] Patra D D, Bhandari S C, Misra A. Effect of plant residues on the size of microbial biomass and nitrogen mineralization in soil incorporation of cowpea and wheat straw. *Soil Science and Plant Nutrition*, 1992, 38: 1—6
- [ 16 ] Paul J W, Beauchamp E G. Soil microbial biomass C, N mineralization and N uptake by corn in dairy cattle slurry-and urea-amended soils. *Canadian Journal of Soil Science*, 1996, 76: 469—472
- [ 17 ] Abbasi M K, Shah Z, Adams W A. Mineralization and nitrification potentials of grassland soils at shallow depth during laboratory incubation. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 2001, 164: 497—502
- [ 18 ] 王淑平, 周广胜, 孙长占, 等. 土壤微生物量氮的动态及其生物有效性研究. *植物营养与肥料学报*, 2003, 9(1): 87—90. Wang S P, Zhou G S, Sun C Z, et al. The dynamics of soil microbial biomass nitrogen and its biological availability (In Chinese). *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2003, 9(1): 87—90
- [ 19 ] 张成娥, 梁银丽. 不同氮磷施肥量对玉米生育期土壤微生物量的影响. *中国生态农业学报*, 2001, 9(2): 72—74. Zhang C E, Liang Y L. Effect of different amounts of nitrogen and phosphorus fertilizers applied on soil microbial biomass during corn growth periods (In Chinese). *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2001, 9(2): 72—74
- [ 20 ] 俞慎, 李勇, 王俊华, 等. 土壤微生物生物量作为红壤质量生物指标的探讨. *土壤学报*, 1999, 36(3): 413—421. Yu S, Li Y, Wang J H, et al. Study on the soil microbial biomass as a bio-indicator of soil quality in the red earth ecosystem (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 1999, 36(3): 413—421
- [ 21 ] Carter M R, White R P. Determination of variability in soil physical and microbial biomass under continues-planted com. *Canada Journal of Soil Science*, 1986, 66: 747—750
- [ 22 ] Lin Q M, Brookes P C. An evaluation of the substrate-induced respiration method. *Soil Biology and Biochemistry*, 1999, 31: 1 969—1 983
- [ 23 ] 陈吉, 赵炳梓, 张佳宝, 等. 长期施肥处理对玉米生长期潮土微生物生物量和活度的影响. *土壤学报*, 2010, 47(1): 122—130. Chen J, Zhao B Z, Zhang J B, et al. Effect of long-term fertilization on microbial biomass and activity in fluvo-aquic soil during maize growth period (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2010, 47(1): 122—130
- [ 24 ] Brookes P C, Poelson D S, Jenkinson D S. Phosphorus in the soil microbial biomass. *Soil Biology and Biochemistry*, 1984, 16: 169—175
- [ 25 ] 殷士学. 土壤微生物量及其养分循环关系的研究进展. *土壤学进展*, 1993, 21(4): 1—8. Yin S X. Progress of soil microbial biomass and its nutrient cycling relationship (In Chinese). *Progress in Soil Science*, 1993, 21(4): 1—8
- [ 26 ] 樊丽琴, 南志标, 沈禹颖, 等. 保护性耕作对黄土高原小麦田土壤微生物量碳的影响. *草原与草坪*, 2005(4): 51—53. Fan L Q, Nan Z B, Shen Y Y, et al. Effects of conservation tillage practices on soil microbial biomass carbon in wheat field in the Loess Plateau (In Chinese). *Grassland and Turf*, 2005(4): 51—53
- [ 27 ] Zhang S L, Lovdah L, Grip H. Effects of mulching and catch cropping on soil temperature, soil moisture and wheat yield on the Loess Plateau of China. *Soil and Tillage Research*, 2009, 102: 78—86
- [ 28 ] Sarkar S, Paramanick M, Goswami S B. Soil temperature, water use and yield of yellow sarson (*Brassica napus* L. var. *glauca*) in relation to tillage intensity and mulch management under rainfed lowland ecosystem in eastern India. *Soil and Tillage Research*, 2007, 93: 94—100

## EFFECTS OF NON-TILLAGE ON SOIL MICROBIAL C, N AND P IN PLOUGH LAYER OF OAT FIELD

Guo Xiaoxia<sup>1</sup> Liu Jinghui<sup>1†</sup> Zhang Xingjie<sup>1</sup> Li Lijun<sup>1</sup> Zhao Baoping<sup>1</sup> Surya N. Acharya<sup>2</sup>

(1 *Oat Scientific and Technical Innovation Team, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010019, China*)

(2 *Lethbridge Research Centre, Agriculture and Agri-Food Canada, Lethbridge, Alberta T1J 4B1, Canada*)

**Abstract** A field experiment was carried out in 2005 ~ 2008 to a study effects of different tillage methods on soil microbial biomass C, N and P in plough layer of an oat field in Qingshuihe County, Inner Mongolia. The experiment was designed to have five treatments, i. e. non-tillage with short stubbles (NL), non-tillage with tall stubbles (NH), non-tillage with short stubbles and mulch (NLS), non-tillage with tall stubbles and mulch (NHS) and conventional tillage (T). Results show no much difference between the treatments in trend in interannual variation of soil microbial biomass C, N and P in amount. Both soil microbial biomass C and N followed a double-peak curve. The peaks appeared at the jointing and filling stages, separately in Treatments NLS and NHS, and at booting and filling stages, separately in Treatments NL, NH and T while the peaks of soil microbial biomass N did at the seedling and filling stages, separately. However, the amount of soil microbial biomass P varied following a single-peak curve, with the peak appearing at the filling stage in all the treatments. Regardless of years or growing stages, the treatments followed a decreasing order of Treatment NHS > Treatment NLS > Treatment NH > Treatment NL > Treatment T in amount of soil microbial biomass C, N and P. All the non-tillage treatments affected yield of the crop, which declined first and then rose as compared with CK or Treatment T. Taking 2008 as an example, yield of the crop increased by 22%, 17%, 11% and 5%, respectively, in Treatment NHS, Treatment NLS, Treatment NH and Treatment NL. To sum up, non-tillage especially non-tillage with stubbles and mulch, is conducive to improvement of contents of soil microbial biomass C, N and P, and yield of the crop.

**Key words** Non-tillage; Oat; Plough layer; Soil microbial biomass carbon, nitrogen and phosphate; Yield