

# 耕作对土壤生物碳动态变化的影响

翟瑞常 张之一

(黑龙江八一农垦大学, 158308)

R.G.Kachanoski and R.P.Voroney

(*Dep. of L. R. S. University of Guelph, Canada N1G 2W1*)

## 摘 要

本文讨论了耕作方法对行作玉米地土壤生物碳动态变化的影响。实验证明,传统耕法、短期免耕和长期免耕处理中的不同点位,土壤生物碳量分布有系统性的差异。土壤生物碳从播种后开始上升,至玉米吐丝期达最高峰,而后下降。其变化趋势与根系生长量相关。长期免耕土壤生物碳量的空间变量与土壤水分含量的空间变量有明显的相关性。

**关键词** 耕作, 土壤生物碳, 土壤水分

土壤耕作是经过机械翻动过程,它构成农业生产过程中的一个主要环节。关于土壤耕作与不同耕作方法对土壤与作物的影响已有不少研究成果问世<sup>[1-8]</sup>,但对于在不同耕作方式条件下,农田土壤在空间与时间上产生哪些动态变化,则研究不多。一般而言,土壤耕作不仅影响土壤物理与化学性质,也影响土壤微生物种群的变化进而影响作物生长。

随根茬,落叶落花与秸秆进入土壤中的生物碳,作为土壤矿质营养的源与库是大家所公认的,因此研究土壤生物碳在不同耕作方式下的空间与时间变化便有其重要意义,这方面已引起不少学者的兴趣,例如 Carter 与 White (1986)曾把土壤生物碳作为由耕作法引起的土壤生物学特性变化的一个指标进行了研究,并发现土壤生物碳对残茬混拌、根系活动和水分都很敏感,在收获后另一次取样中,作者发现免耕处理的土壤生物碳量存在空间差异<sup>[9]</sup>。之前, Doran<sup>[4]</sup> (1980)也发现作物残体的空间分布和数量显著影响土壤生物群体。如硝化细菌和反硝化细菌,均受耕作的影响,并随土层深度而异。

本文是在实验的基础上,在作物不同生育期进行分层多点取样测定的,根据获得的数据,对传统耕作、一年免耕和长期免耕种植玉米条件下,对土壤生物碳量的时空变化进行讨论,并结合作物生长及水分含量加以分析。

## 1 材料和方法

试区设在加拿大安大略省圭尔夫大学土地资源系试验地,供试土壤为潜育灰棕淋溶土,供试作物为

玉米 (*Zea mays* L.)。土壤生物碳量样品取自作物的行上 (用 R 表示), 两行的中点 (用 I 表示) 和介于 R 与 I 点的中间位置 (用 Q 表示)。在取样的同时, 测定了土壤水分含量。用取土铲取 0—5cm 和 5—20cm 土层的土样, 取后置于摄氏 2℃ 的冷藏库中, 然后再测定土壤生物碳量。

每周取样一次, 三个位置各取两个土样, 从 5 月 13 日播种直至 10 月 20 日收获。另外, 于 6 月 10 日、7 月 9 日、8 月 8 日和 9 月 7 日进行多点取样, 传统翻耕 (CT) 的两个土层各取 50 个土样, 一年免耕 (SNT) 和 15 年长期免耕 (LNT) 的两个土层各取 25 个土样。

土壤生物碳量测定是用氯仿熏蒸—提取法 (Voroney 1987), 该法与熏蒸培养法 (Jenkinson 1976) 相似<sup>[10]</sup>, 但可节省时间。具体步骤: 称取二个 25g 土样分别置于 100ml 烧杯中, 其中一只烧杯放入干燥器中, 干燥器的下部放入 70ml 氯仿, 密封后用真空泵抽气, 直至氯仿沸腾 5 分钟, 然后关闭抽气阀门, 在黑暗条件下放置 24 小时; 另一土样不经熏蒸。24 小时后, 在两土样中分别加入 50ml 0.25mol/L  $K_2SO_4$  溶液, 振荡 30min, 用 Whatman 24 号滤纸过滤, 立即用自动分析仪测定滤液的总碳量。土壤生物碳量取自熏蒸和未熏蒸两滤液总碳量之差。在称样的同时测定土壤水分含量。测定样品总数为 1000 个左右。

为了描述土壤生物碳的空间和时间概率分布函数, 计算平均数和样本变量; 为了确定耕法、空间位置和取样时间对生物碳的影响, 对每月采取样品进行了变量分析, 显著部分进行 t 值测定; 为了检验空间位置的差异显著性, 对每周取样的小样本用成对数据统计方法进行 t 值测定。全部数据用微机处理。处理数据时采用按天计日法, 即元月 1 日为第 1 天, 12 月 31 日为第 365 天。

## 2 结果与讨论

### 2.1 0—20cm 土层平均土壤生物碳量

在整个玉米生育期, 传统耕作和长期免耕处理 0—20cm 的土层, 其平均土壤生物碳量的变化趋势大致相似 (图 1)。t 值测定表明, 二者之间无显著差异。土壤生物碳的变化趋势与根系发育及有机物腐解有关。土壤生物碳随着根系生长的增加而增加, 其最大值

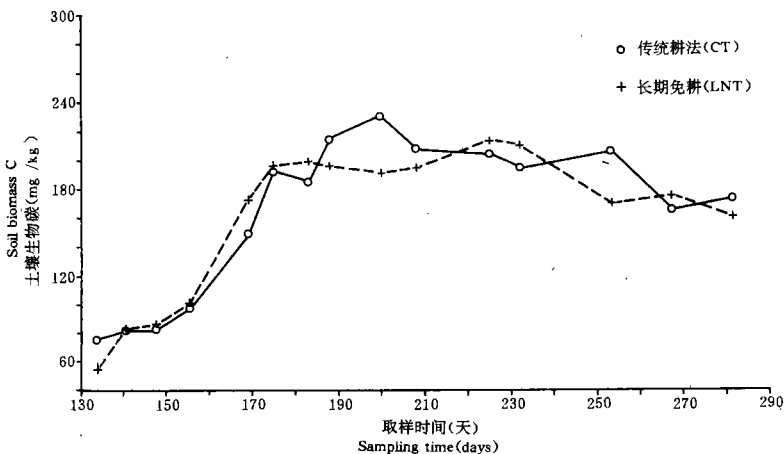


图 1 传统耕作与长期免耕处理 0—20cm 土层的平均土壤生物碳量

Fig. 1 Average soil microbial biomass carbon in the 0—20cm soil layer for CT and LNT through the entire growing season

与根系生长量的最大值相吻合 (Lynch 和 Panting, 1981)<sup>[11]</sup>。本试验研究未测定根系生长量,用 Tollenner<sup>[12]</sup>的计算机模式,计算出玉米根系生长量(主要参数是气象资料,土壤性状数据和品种)。图 2 是模拟玉米根系生长量和土壤生物碳量随时间推移的变化情况。7 月 14 日是玉米扬花期,此时根系停止增长,实际观测时间是 7 月 23 日,恰好与测定土壤的生物碳高峰期相近(7 月 21 日)。玉米扬花期后,土壤微生物量逐渐下降,这说明玉米根系生长是促进土壤生物活性的一个重要因素。根系产生的渗出物、分泌物和根系粘液是土壤微生物的生活物质(Hale, 1978)<sup>[13]</sup>。本研究同时还测定了土壤二氧化碳通量( $\text{CO}_2$  flux),最大值为  $1200\text{mg CO}_2/\text{m} \cdot \text{h}$ ,也出现在 7 月 21 日,进一步证实根系的生长发育可促进土壤生物活性。

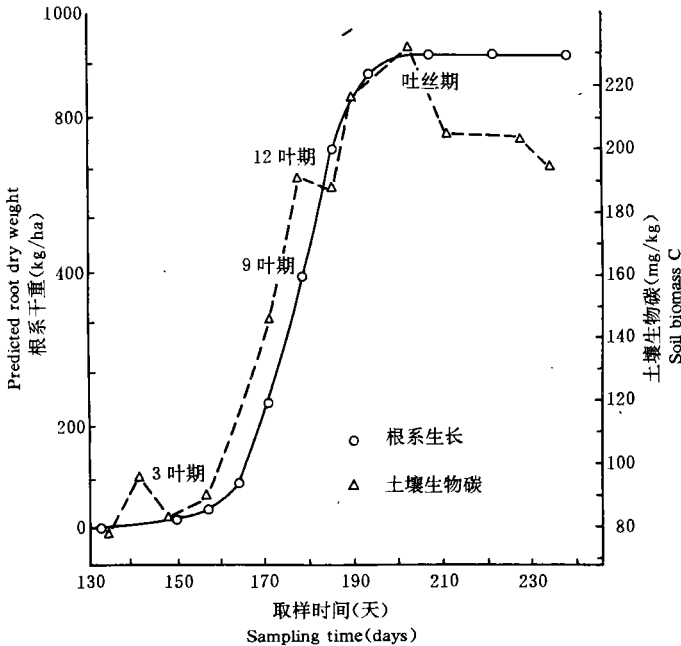


图 2 土壤生物碳量与根系生长之间的关系

Fig. 2 The relationship between predicted root growth and measured soil microbial biomass

## 2.2 土壤空间位置的生物碳量差异

**2.2.1 相对处理不同层次土壤生物碳量** 成对数据  $t$  值测定表明,传统耕作和长期免耕处理,不同土层的土壤生物碳量不同,长期免耕处理的三个点位上,不同土层间差异达显著水平(表 1),0—5cm 土层自始至终比 5—20cm 的土壤生物碳高,但传统耕作处理 0—5cm 比 5—20cm 略低些(图 3)。这是因为长期免耕,作物残体集中于地表,而传统处理用大型翻耕,作物残体均匀地分布于 20cm 土层内,5—20cm 土层的水分比 0—5cm 略高。

**2.2.2 不同处理土壤生物碳量** 长期免耕 0—5cm 土层的平均土壤生物碳量比传统耕作的高,但 5—20cm 土层则反之(表 1)。最高的土壤生物碳量是长期免耕处理 0—5cm 土层的 1/4 行点位,几乎高于其它处理相同点位的 40%。长期免耕处理 0—5cm 土层 1/4 行点位上土壤生物碳量在大部分期间比同处理同土层 I 点位高(图 4)。这一结果与 Cater 和 White(1986)的结论一致<sup>[9]</sup>。其原因是播种机开沟器将分布于行上的作物残体

推至 1/4 行点位,同时与表土混拌,提高了土壤生物的繁衍程度。

表 1 不同耕法、空间位置和土层的平均土壤生物碳

Table 1 The averages of biomass C for the different soil depths, spatial locations, and tillage systems

		土壤生物碳量					
		Soil biomass carbon(mg C / kg)					
深度		传统耕法			长期免耕		
Depth		Conventional tillage			Long-term no-tillage		
		行上	1/4 行上	行间	行上	1/4 行上	行间
		Row	Quarterrow	Interrow	Row	Quarterrow	Interrow
0—5cm		160.4	163.7	146.8*	164.2	238.5*	175.5
5—20cm		167.9	167.9	167.0*	141.7	148.1	133.5*

注:表中\*为差异显著( $P < 0.05$ )。

表 2 4 个不同采样期不同空间位置、土壤深度和各处理的平均生物碳

Table 2 Averages biomass C for the different spatial locations, soil depths, and tillage systems at four sampling dates

		土壤生物碳量					
		Soil biomass carbon(mg C / kg)					
取样期	空间位置	传统耕法		免耕 1 年		免耕 15 年	
Sampling time	Spatial location	Conventional tillage		1-year no-tillage		15-years no-tillage	
		0—5cm	5—20cm	0—5cm	5—20cm	0—5cm	5—20cm
160 天	行上	55.2*	140.6*	238.1	72.9	228.7*	60.3
	1/4 行	64.6	136.3*	207.4*	77.7	164.3*	61.2
	行间	61.8	135.7*	205.2*	46.3	199.0*	64.1*
	平均	61.5	135.7	214.5*	68.7	189.1*	61.7
189 天	行上	244.4	165.9	180.2*	234.9	240.2	169.1*
	1/4 行	227.4	170.3	198.5*	199.2*	236.5	170.2
	行间	283.5	156.5	218.1*	170.1*	229.8*	159.7*
	平均	245.7	165.8	198.8*	200.9*	283.8	167.3*
218 天	行上	182.7	165.8	150.5*	253.5	210.9*	165.0*
	1/4 行	182.6	173.8	159.3	203.5	237.0*	192.5
	行间	194.6	179.0	183.5	157.7	236.0	195.8*
	平均	185.6	173.1*	173.2*	204.5	230.2*	186.4*
247 天	行上	204.7	194.4	130.2*	172.9	132.7*	150.9*
	1/4 行	197.8	187.5	127.0*	174.8	180.5*	149.8*
	行间	202.1	178.9*	103.4*	140.9	160.2*	148.2*
	平均	200.6	187.0*	120.0*	165.8	160.0*	149.7*

注:表中\*为差异显著( $P < 0.05$ )。

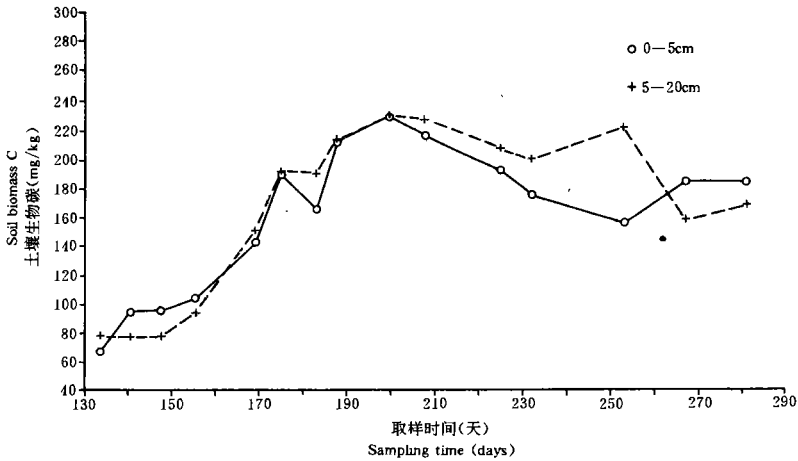


图3 传统耕作处理0—5cm和5—20cm土层的平均土壤生物碳量

Fig. 3 Mean soil microbial biomass carbon in the 0—5 and 5—20cm soil layer for CT throughout the entire growing season

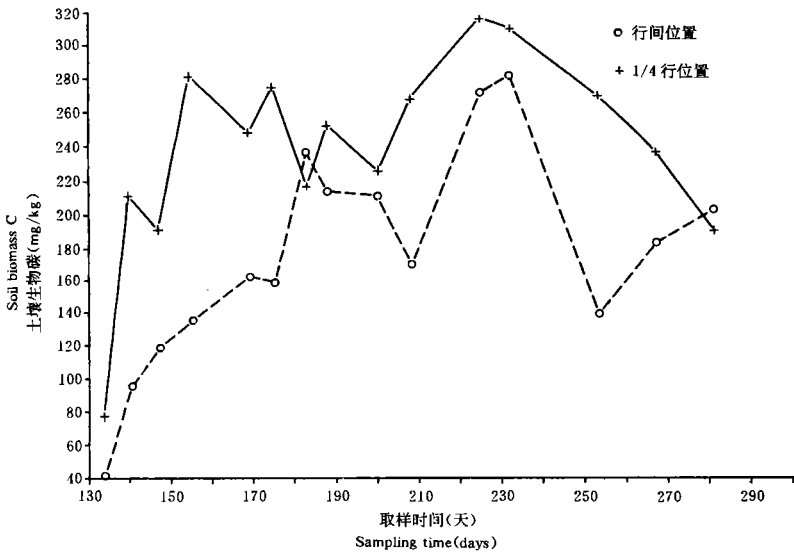


图4 长期免耕处理0—5cm土层行间和1/4位置的平均土壤生物碳量

Fig. 4 Mean soil microbial biomass carbon in the 0—5cm soil layer at interrow and quarterrow position for LNT throughout the entire growing season

### 2.3 每月取土样土壤生物碳量分析

将每月四次所取土样测定结果整理列于表2。经变量分析结果列于表3。结果表明,除耕作×空间位置外,0—5cm土层其他因子之间的交互作用均显著。变量分析表明,该层0—5cm生物碳对各种因子均很敏感,变化亦较大。5—20cm土层的微生物与表土相比,较为稳定。0—5cm土层的生物碳在作物生长周期内,每一空间点位上,每种耕作处理表现不同。时间、耕作方法与空间点位的交互作用的总变量是0—5cm和5—20cm分

别为 60% 和 46%。由此可见一次取样很难反应耕作方法对土壤生物碳量的影响。取样时间更显重要,例如,5 月 10 日取样表明,传统耕作处理 0—5cm 土层的土壤生物碳量却显著低于 5—20cm 的。

表 3 每月取样土壤生物碳变量分析结果

Table 3 Significance levels for the analysis of variance of the monthly soil biomass carbon measurements

变量来源 Source of Variation	自由度 DF	深度 Depth 0—5cm		深度 Depth 5—20cm	
		平方和来源 总平方和	显著水平	平方和来源 总平方和	显著水平
		Source SS Total SS	Significance level	Source SS Total SS	Significance level
时间	3	0.292	> 0.001	0.346	> 0.001
耕作	2	0.054	> 0.001	0.028	0.001
空间位置	2	0.006	0.036	0.003	NS
时间×耕作	6	0.323	> 0.001	0.110	> 0.001
时间×空间	6	0.012	> 0.001	0.001	NS
耕作×空间	4	0.004	NS	0.002	NS
时间×耕作×空间	12	0.028	> 0.001	0.002	NS
总和		0.719	> 0.001	0.546	> 0.001

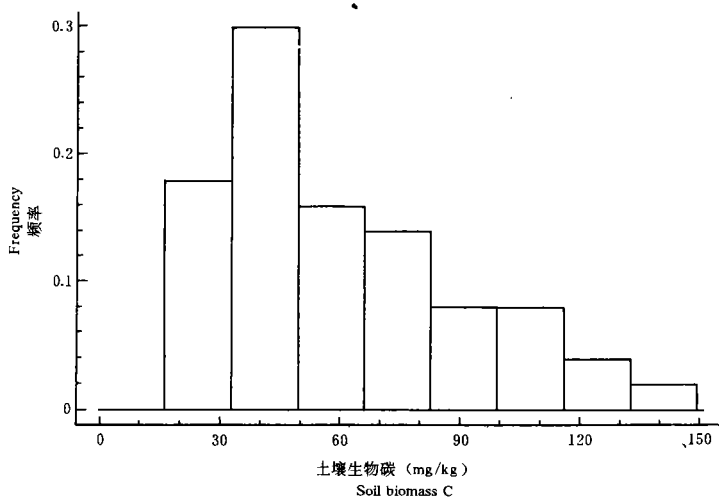


图 5 160 天传统耕作处理 0—5cm 土层土壤生物碳量的空间概率分布函数

Fig. 5 The spatial probability distribution function for the CT 0—5cm soil biomass C on day 160

土壤生物碳量空间变化状况和统计偏斜度列于表 4。统计结果说明,每月样品出现值有明显的空间变异。0—5cm 土层生物碳的变异系数范围在 9—49%, 5—20cm 则在 12—43% 之间,有些偏斜度表现极为显著。表 4 的参数来自两个土层三个不同点位。为

了进一步证实不同点位间的差异,对所有数据进行了概率分布函数分析。以6月10日采集的0—5cm土层样品为例,传统耕作处理的生物碳概率分布函数表明,样本是同一群体,但有轻微正偏斜(图5),但8月9日样品的概率分布函数表现出二次性分布(图6),说明该次取样的土壤生物碳确属不同群体。因此在研究碳循环时一定要考虑不同的空间位置。

表4 土壤生物碳空间统计参数

Table 4 Spatial statistical parameters of soil biomass C

		土壤生物碳					
		Soil biomass carbon (mg C / kg)					
取样时间	统计参数	传统耕法		免耕1年		免耕15年	
Sampling time	Statistical parameter	Conventional tillage		1-year no-tillage		15-years no-tillage	
		0—5cm	5—20cm	0—5cm	5—20cm	0—5cm	5—20cm
160天	均值	61.5	135.7	214.5	68.7	189.1	61.7
	标准差	30.1	28.2	47.4	29.2	41.6	24.1
	偏斜度	0.8*	0.5	-0.7*	0.0	0.0	0.7*
189天	均值	245.7	165.8	199.8	200.9	238.8	167.3
	标准差	57.4	58.8	32.3	31.2	33.5	21.1
	偏斜度	0.5	0.8*	0.5	0.2	-0.7*	-0.7*
218天	均值	185.6	173.1	173.2	204.5	230.2	186.4
	标准差	40.3	34.9	63.0	61.4	20.9	34.1
	偏斜度	0.5	-0.5	0.4	1.0*	-0.2	-0.3
247天	均值	200.6	187.0	120.0	165.8	160.0	149.7
	标准差	27.4	37.2	24.9	20.7	34.4	17.9
	偏斜度	0.0	-0.2	0.4	0.9	0.2	-0.3

注:表中\*为差异显著( $P < 0.05$ )。

## 2.4 土壤生物碳量与土壤含水量

McG: 11 (1986) 报导,土壤水分含量能控制土壤生物的短期动态变化<sup>[7]</sup>。据此,分析了土壤水分含量空间变量与平均土壤生物碳量空间变量的关系,从表5可以看出,长期免耕处理0—5cm和5—20cm土层的 $\text{Var.}(B)$ 与 $\bar{\theta}$ 、 $\text{Var.}(\theta)$ 呈显著相关( $P < 0.01$ ),这说明在该处理中,土壤水分含量的变异程度影响土壤生物碳量的变异。平均含水量 $\bar{\theta}$ 与 $\text{Var.}(B)$ 呈负相关,这是由于行上、行间雨水接收量和土壤干燥率不同所引起的。换言之,土壤含水量空间位置上的差异增大, $\text{Var.}(\theta)$ 与 $\text{Var.}(B)$ 也随之增加。在一定的测定时期,长期免耕处理土壤生物碳空间变化的量导因是土壤含水量的空间变量,而后者则与土壤空间点位上的雨水接收和干燥率有关。传统耕法处理的 $\bar{\theta}$ 、 $\text{Var.}(B)$ 和 $\text{Var.}(\bar{\theta})$ 值之间关

系不显著,这是因为  $\text{Var}(\bar{\theta})$  值很低,表明该处理中行上、行间的水分含量并不如长期免耕处理变化显著,因此,其空间水分含量变化对土壤生物碳空间变化的影响也不明显。

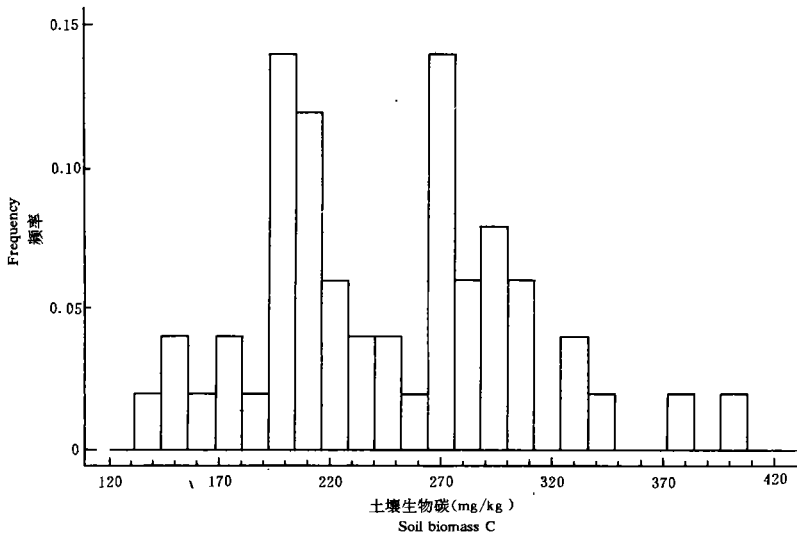


图 6 189 天传统耕作处理 0—5cm 土层土壤生物碳量的空间概率分布函数

Fig. 6 The spatial probability distribution function the CT 0—5cm soil biomass C on day 189

表 5 土壤生物碳空间变量指数与土壤水分平均含量及土壤水分含量变量的相关性

Table 5 Correlation between the index of spatial variation of soil biomass and the mean and variance of soil water content over the growing season

土壤水分 Soil water (0—20cm)	相关系数 Correlation coefficient, r			
	传统耕作土壤生物碳量变量(CT) Conventional tillage, Var.(B)		长期免耕土壤生物碳量变量(LNT) Long-term no-tillage, Var.(B)	
	0—5cm	5—20cm	0—5cm	5—20cm
	水分平均值( $\theta$ )	-0.10	-0.28	-0.83**
水分变量(Var. $\theta$ )	0.33	0.55*	0.79**	0.75**

注:表中\*为差异显著  $P < 0.05$ , \*\*为差异显著  $P < 0.01$ 。

### 3 结 论

1. 长期免耕与传统耕作 0—20cm 土层的平均土壤生物碳量季节性变化趋势相似。长期免耕处理 0—5cm 土层在整个研究期间明显高于 5—20cm 土层。传统处理在作物生育早期, 0—5cm 土层比 5—20cm 土层的生物碳量低, 但后期无明显差异。

2. 各处理 0—5cm 土层生物碳的时间变量同时间、耕作方法以及空间点位间的交互



作用非常显著,大幅度上升值出现在播种期到扬花期,这与根系生长势相吻合。根系增长影响土壤生物碳量可以从根系停止增长后,生物碳量下降这一事实得到证明。

3.长期免耕处理 0—5cm 和 5—20cm 土层的生物碳的空间变量与土壤水分平均含量的空间变量显著相关。除传统耕作处理 5—20cm 土层的生物碳变量与水分含量相关性较低外(但 0—5cm 土层较高)。传统耕作处理水分含量空间变化明显低于长期免耕处理。空间位置 R.I.Q 的土壤生物碳量显著不同,而且时间、耕作方法、点位间的交互作用亦很显著。

### 参 考 文 献

1. Cassel, D.K. and L.A. Nelson., 1985: Spatial and temporal variability of soil physical properties of Norfolk loamy Sand as affected by tillage Res.5: 5—17.
2. Van Wesenbeeck, I. and R.G. Kanchanoski., 1988: Spatial and temporal distribution of soil water in the tilled layer under a corn crop. Soil Sci Soc. Am. J., 52: 363—368.
3. Zhai, R., R.G. Kanchanoski, and R.P. Voroney., 1990: Tillage effects on the spatial and temporal variations of soil water. Soil Sci. Am. J., 54: 186—192.
4. Doran, J. w. , 1980: Microbial changes associated with residue management with reduced tillage. Soil Sci. soc. Am. J. 44: 518—524.
5. McCulla, T. M. and T. L. Lavy. , 1967: Microorganisms and their increasing importance in today' s agriculture. Nebraska Exp. Sta. Bul. 453 (Revised) : 1—46.
6. Juma, N. G. and E. A. Paul. , 1984: Minerlizable soil nitrogen amounts and extractability ratio. Soil. Sci. Soc. Am. J. 48: 76—80.
7. McGill, W. B. , 1986: Dynamics of microbial biomass and water-soiluble organic C in soils. Can. J. of Soil Sci. Vol. 66: 181.
8. Coleman, D. C. , C. P. P. Raid, and C. V. cole. , 1983: Biological strategies of nutrient cycling in soil water system. Adv. Ecol. Res. 13: 1—55.
9. Carter, M. R. and R. P. White., 1986: Ditermination of variability in soil physical properties and microbial biomass under continuous-planted corn. Can J. of Soil Sci. 66: 747—750.
10. Voroney, R. P. , 1987: A rapid method for measuring microbial biomass carbon and nitrogen in Soil Proc. Canadian Society of Soil Sci. 33rd Annual meeting 1987 Ottawa.
11. Lynch, J. M. and L. M. Panting. , 1981: Measurements of the microbial biomass in intact core of soil, Microb. Ecol. 7: 229—234.
12. Tollenaar, M. , 1985: Unpublished software. Model for Predicting corn growth in Ontario Dept. of Crop Sci. U. of G. Guelph, Ontario, Canada.
13. Halé, M. G. , 1978: Root exudates and xeu dation, in : Interaction between non-pathogenic soil microorganisms and plants, pp. 163—204, Elsevier, Amsterdam.

## EFFECTS OF TILLAGE ON DYNAMICS OF SOIL BIOMASS CARBON

Zhai Ruichang and Zhang Zhiyi

(*Hei longjiang August First Land Reclamation University, 158308*)

R.G.Kachanoski and R.P.Voroney

(*Department of Land Resource Science, Univ. of Guelph, Canada N1G 2W1*)

### Summary

The objective of this study was to examine the effects of tillage on soil microbial biomass carbon under a crop of corn (*Zea mays* L.) Soil microbial biomass carbon was measured every two weeks and every month in conventional tillage (CT), 1-year no-tillage (SNT), and long-term (> 15 years) no-tillage (LNT) plots using the chloroform fumigation-extraction technique. The plots are located near Guelph, Ontario, Canada on a Typic Hapludalf (loam) soil. Sampling sites were in the corn row, directly between corn rows (interrow), and half way between the row and interrow (quarter row). Systematic spatial differences in soil microbial biomass carbon within and between tillage treatments were observed throughout the entire growing season of crop. The major changes in the biomass occurred as a large increase between the time of planting and the time of silking and were correlated with predicted and expected root growth. Spatial variations of LNT biomass carbon were significantly correlated to spatial variations in soil water content over the crop growth season.

**Key words** Tillage, Soil biomass carbon, Soil water