

# 覆膜对春小麦农田微生物数量和土壤养分的影响

宋秋华, 李凤民\*, 王 俊, 刘洪升, 李世清

(兰州大学干旱农业生态国家重点实验室, 兰州 730000)

**摘要:**研究了黄绵土区不同覆膜时期对旱作麦田土壤微生物数量及其与土壤碳、氮、磷含量的关系。丰水的 1999 年, 土壤微生物数量增长早, 延续时间长, 覆膜 60d 微生物数量最高( $33.938 \times 10^6/\text{g dry soil}$ ), 其次为全程覆膜( $32.259 \times 10^6$ ); 干旱的 2000 年微生物平均数量只有 1999 年的 36.5%, 在后期有一定降水后微生物数量才出现高峰, 以全程覆膜数量最高( $14.836 \times 10^6$ ), 覆膜 60d 次之( $11.529 \times 10^6$ )。1999 年各类群微生物数量同土壤有机碳之间均呈显著或极显著负相关。2000 年相关系数几乎全面下降, 氨化细菌、硝化细菌和反硝化细菌, 甚至微生物总量同土壤有机碳之间都已不再显著相关。1999 年土壤全氮同氨化细菌、硝化细菌、亚硝化细菌、解磷细菌及微生物总量均呈显著或极显著负相关, 2000 年只与氨化细菌、亚硝化细菌、微生物总数显著负相关。土壤速效磷含量在 1999 年与解磷细菌显著负相关, 而在 2000 年相关已不再显著。两年试验结束后, 全程覆膜处理有机质下降 21.2%, 覆膜 60d 处理下降 17.2%, 覆膜 30d 和不覆膜处理下降相对较小(4.3%和 6.7%)。由于施用化肥, 土壤全氮有明显升高。速效磷在 1999 年生长季和随后的休闲期都有升高, 在干旱的 2000 年生长季却又大幅度下降。

**关键词:**土壤微生物; 春小麦; 地膜覆盖; 半干旱黄土高原区; 有机质; 养分

## Effect of Various Mulching Durations with Plastic Film on Soil Microbial Quantity and Plant Nutrients of Spring Wheat Field in Semi-arid Loess Plateau of China

SONG Qiu-Hua, LI Feng-Min\*, WANG Jun, LIU Hong-Sheng, LI Shi-Qing (*The State Key Laboratory of Arid Agroecology, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China*). *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22 (12): 2125~2132.

**Abstract:** Effect of various mulching durations with plastic film on soil microbial quantity and plant nutrients of the spring wheat field was investigated in semi-arid Loess Plateau of northwest China for two years. Four treatments were employed:  $M_0$ -no mulching,  $M_{30}$ -mulching for 30 days from sowing,  $M_{60}$ -mulching for 60 days, and M-mulching for whole growth period. In 1999, a wet year with rich precipitation, the total soil microbial quantity increased faster and the higher level of soil microbial quantity lasted for longer time in the mulching treatments than in control. The highest quantity of soil microbes in total was recorded in the  $M_{60}$  treatment with  $33.938 \times 10^6/\text{g dry soil}$ , the secondary was in M treatment with  $32.259 \times 10^6/\text{g dry soil}$  at the harvest stage. In 2000, a dry year, the mean quantity of all the microbes for all treatments decreased by 63.5% compared with that in 1999. Because rich precipitation occurred in the latter growth period of this year soil microbial quantity for all the treatments increased significantly, and reached the highest in M treatment with  $14.836 \times 10^6/\text{g dry soil}$ , and the secondary was in  $M_{60}$  with  $11.529 \times 10^6/\text{g dry soil}$  at the harvest stage of spring wheat.

基金项目: 国家重点基础研究发展规划资助项目(G2000018603); 国家基础研究重大项目前期研究专项资助项目

收稿日期: 2001-10-02; 修订日期: 2002-05-14

作者简介: 宋秋华(1964~), 女, 江西赣州人, 博士, 副教授。主要从事植物生态与农业生态学研究。现在江西省赣州市南方冶金学院材料化工学院工作。E-mail: Songqiu@163.com

\* 通讯联系人 Author for correspondence, E-mail: fml@lzu.edu.cn

Significantly negative correlation was noticed between soil organic carbon contents and the microbial quantities of various physiological properties which included ammonibacteria, nitrite bacteria, nitrate bacteria, denitrobacteria, cellulose decomposing bacteria,phosphorus bacteria and actinomycetes in 1999. In 2000, however, the correlation coefficients decreased between soil organic carbon contents and the quantities of almost all the microbes above mentioned. No significant correlation was found between soil organic carbon contents and some soil microbes such as ammonibacteria, nitrite bacteria, denitrobacteria, even the total quantity of soil microbes. Significantly negative correlation was shown between soil total nitrogen contents and the soil microbial quantities of ammonibacteria, nitrite bacteria, nitrate bacteria, phosphorus bacteria and all the soil microbes in 1999, but no significantly correlation was found between soil total nitrogen contents and the quantities of nitrite bacteria, phosphorus bacteria and all the soil microbes in 2000. Significantly correlation occurred between soil available phosphorus content and quantity of phosphorus bacteria in 1999, no significantly correlation in 2000.

Soil organic carbon content decreased by 21.2%, 17.2%, 4.3% and 6.7% for M, M60, M30 and M0 treatments, respectively, for the two experimental years. This means that mulching with plastic film for a long period each growth period would result in rapid decomposition of soil organic matter. Because of chemical fertilizer application in sowing periods total nitrogen contents increased significantly in all the treatments. Available phosphorus contents increased significantly in all the treatments during the first growing period of 1999 and the following fallow period, but decreased greatly during the second growing period of 2000.

It is concluded that mulching with plastic film in dryland farming system promotes activity of soil microbes, accelerates the decomposition of soil organic matter, and releases nutrients for plants. However, because of rapid decomposition of soil organic matter soil holding capacity to fertility decreases seriously, which would damage flexibility, stability, and sustainability of agro-ecosystem. Therefore, maintaining and improving soil organic matter content through increasing input of organic matter input into field should be paid attention in agro-ecosystem management under the condition of plastic film mulching.

**Key words:**soil microbes; spring wheat; plastic film mulch; Semi-arid Loess Plateau; soil organic matter; plant nutrients

文章编号:1000-0933(2002)12-2125-08 中图分类号:Q948.112;S505 文献标识码:A

微生物是土壤生态系统中最具活力的组成部分<sup>[1]</sup>,通过对土壤物理、化学和生物学性质及其变化过程的影响调节着土壤质量<sup>[2]</sup>。土壤微生物对土壤环境质量的反映是通过其种类、数量和分布来表现的,对土壤气候因子、物理和化学养分组成的变化很敏感<sup>[2,3]</sup>,在农田生态系统中土壤微生物承担着物质的转化功能,如有机质的分解,矿质元素的转化等,以及它们的一些新陈代谢产物共同影响着作物的生长吸收利用<sup>[4~7]</sup>。通过系统的土壤微生物调查,可为评估土壤的退化程度以及生态重建提供量化指标<sup>[8,9]</sup>。因此,研究土壤微生物对揭示土壤养分转化、释放机制和土壤质量变化过程都有重要意义。本文选取与半干旱黄土高原土壤主要元素 C、N、P 转化有关的微生物类群,研究不同覆膜时间对土壤养分释放、利用和土壤质量变化的机理。

1 研究方法

1.1 实验地区自然概况

实验于 1999 年和 2000 年在甘肃省定西县唐家堡农科院实验站进行。该地区平均海拔 1970 m;平均年光能辐射总量  $141.4 \times 4.18 \text{kJ}/(\text{cm}^2 \cdot \text{a})$ ,日照时数 2500.2h/a;年均气温 6.2℃,≥10℃积温 2075.1℃,≥5℃积温 2591.8℃,≥0℃积温 2787.7℃,无霜期 140d;年平均降水量 415.2mm,属中温带半干旱气候。作物一年一熟。该地区降水少,年降水变率大,且分布不均。1958~1992 年间年降水变率为 24%,6~9 月份即春小麦生长期降雨量占年降水的 68%,3~5 月份降水量少;400mm 降水保证率为 48%,对春小麦生产有效性差。地下水位 10m,作物生长水源主要为天然降水,无灌溉条件,为旱地雨养农业。

试验所在地为典型的半干旱黄土丘陵沟壑区,试验地土壤为黄绵土,肥力中等。0~20cm 土壤含有机

碳 10.15g/kg,全氮 0.955g/kg,全磷 1.266g/kg,速效磷 11.0mg/kg。2m 深平均土壤容重为 1.15g/cm<sup>3</sup>,田间持水量为 21.18%,凋萎湿度为 7.17%。1999 年前作为春小麦,休闲期为 248d;2000 年试验田前茬是 1999 年试验田,休闲期为 243d。

1.2 材料和处理

实验材料为甘肃省定西县唐家堡农业实验站提供的春小麦(*Triticum aestivum* L.)陇春 8139-2,用穴播机播种,行距 15cm,穴距 11cm,播量 250.0kg/hm<sup>2</sup>。以含 N 46% 的尿素为氮源,以含 16% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 的过磷酸钙为磷源,施入量分别为 N:75kg/hm<sup>2</sup> 和 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 化:120kg/hm<sup>2</sup>。

试验设 4 个处理:对照(M<sub>0</sub>)、覆膜 30d(M<sub>30</sub>)、覆膜 60d(M<sub>60</sub>)和全程覆膜(M),3 次重复,每小区面积 5.6m×3.3m=18.5m<sup>2</sup>,随机区组排列。2000 年小区排列布置同 1999 年。播种前,补充灌溉底墒水 44mm,以保证出苗。

1999 年和 2000 年降雨量如图 1。1999 年整个春小麦生育期 126d,降水量为 251.6mm,达到该区有效农业降水量 10mm<sup>[10]</sup>的降雨量有 9 次,除前 30d 降雨仅 5.3mm 外,其它时间分布较为均匀。2000 年整个春小麦生育期 115d 的降雨量仅 91.1mm,分布不均,有效农业降水 2 次,都在小麦生长后期;为保证小麦正常生长发育,所有小区参照 1999 年同期降水量在 46d 和 61d 时分别补充灌溉 27.00mm 和 32.00mm。

1.3 采样和分析方法

1.3.1 采样方法 1999 年分别在覆膜 30d、60d 和收获时采集土样。2000 年在播种前一天增加一次采样,以了解播种前各处理之间的背景差异。采样深度为 0~20cm,每小区梅花形 5 点随机取样,无菌塑料袋包装,在袋内充分混合,置于 4℃ 冰箱中保存以备分析。

1.3.2 分析方法 土壤含水量用烘干称重法测定;土壤温度用地温计在每日 8:00、14:00、和 20:00 定时测定 5cm 土壤深度的温度,然后取平均值;土壤有机质测定用重铬酸钾容量法;全氮测定用半微量开氏法,消化后用凯氏定氮仪(Kjetec Auto 1030 Analyzer,瑞典 FOSS TECATOR 公司制造)进行分析;NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 用碱解扩散法,直接用凯氏定氮仪测定;NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 和 NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N 用 2mol/L KCl 浸提后,在流动注射分析仪(FIAstar 5000 Analyzer,瑞典,FOSS TECATOR 公司制造)上测定;速效磷用 NaHCO<sub>3</sub> 浸提,钼蓝比色法测定。

微生物的分离、培养和计数<sup>[11,12]</sup>:氨化细菌、解磷细菌、放线菌采用洗涤稀释平板法,硝化细菌、亚硝化细菌、反硝化细菌和纤维素分解细菌采用洗涤稀释法。微生物总数为各主要类群微生物数量之和。微生物数量单位以每克干土所含有的微生物个数(Num/g dry soil)来表示。

处理之间的差异用 *T* 测验检验,相关性用线性相关性分析,显著性水平均为 *p*=0.05<sup>[13]</sup>。

2 结果与分析

2.1 地膜覆盖对土壤微生物数量的影响

麦田地膜覆盖改善了土壤水热状况,土壤微生物数量增加。但不同覆盖时间对土壤微生物数量影响不同,相同覆膜处理在不同降雨年份对土壤微生物数量的影响也不同。

表 1 为 1999 年主要土壤微生物类群的数量。本年度微生物数量增长较快,在播种后 60d 就已经接近收获时的最高水平。当小麦生长至 30d 时,氨化细菌、硝化细菌、亚硝化细菌、反硝化细菌、纤维素分解细菌,以及放线菌数量在覆膜与不覆膜处理之间就有了显著差异,但解磷细菌是个例外。由于解磷细菌数量所占比例最大,致使微生物总数在覆膜与不覆膜之间没有显著差异。在播种后 60d,M<sub>60</sub>和 M 处理各类群细菌数量与 M<sub>0</sub> 处理均有显著差异;M<sub>30</sub>(已揭膜)处理的氨化细菌、亚硝化细菌和纤维素分解细菌与 M<sub>0</sub> 处理有显著差异,其它类群数量上未见显著性差异,表明在揭膜后,随着土壤水热条件的变化,各类群细菌所做出的反应不同。放线菌在各处理间没有显著差异,原因在于其对温度要求较高、对低水分耐受性较好,现有

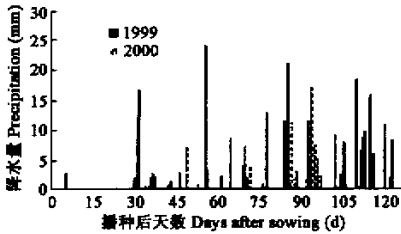


图 1 春小麦生长季降水量分布

Fig. 1 Rainfall during the growth period of spring wheat

的水热条件的改变还不至于使它产生大的变化。收获时, 氨化细菌数量  $M_{60}$  处理最高,  $M$  次之, 二者都显著高于  $M_0$  和  $M_{30}$ , 氨化细菌在  $M$  处理中由于覆膜造成的后期高温, 数量的进一步增加受到影响; 解磷细菌和纤维素分解细菌数量在  $M$  处理中最大, 但各处理间差异不显著, 表明此类细菌比氨化细菌对高温的适应能力更强; 由于覆膜限制了土壤与外界空气的交流, 形成一定程度的缺氧环境, 因而  $M$  处理的反硝化细菌显著高于其它处理,  $M_{60}$  处理尽管微生物总数多, 但由于揭膜后可以与空气自由交换, 因而极大地抑制了反硝化细菌的生长, 数量急剧下降; 放线菌由于  $M$  处理后期温度的升高而显著增加。

表 1 1999 年不同覆膜处理各类群微生物数量

Table 1 The quantities of soil microbe groups with different physiological properties in 1999

采样时间 Sampling date	处理 Treat- ment	氨化菌 Ammoni- bacteria ( $\times 10^6$ /g dry soil)	硝化菌 Nitrite bacteria ( $\times 10^3$ /g dry soil)	亚硝化菌 Nitrate bacteria ( $\times 10^3$ /g dry soil)	反硝化细菌 Denitro- bacteria ( $\times 10^3$ /g dry soil)	纤维素分解菌 Cellulose decomposing bacteria ( $\times 10^3$ /g dry soil)	解磷细菌 Posphorus bacteria ( $\times 10^6$ /g dry soil)	放线菌 Actino- mycetes ( $\times 10^4$ /g dry soil)	总数 Total ( $\times 10^6$ /g dry soil)
April 23	$M_0$	2.47 <sup>a</sup>	0.45 <sup>a</sup>	0.09 <sup>a</sup>	0.90 <sup>a</sup>	1.53 <sup>a</sup>	6.32 <sup>a</sup>	2.28 <sup>a</sup>	8.809 <sup>a</sup>
	$M_{30}$	2.87 <sup>b</sup>	0.67 <sup>b</sup>	0.27 <sup>b</sup>	2.23 <sup>b</sup>	1.69 <sup>b</sup>	7.43 <sup>b</sup>	1.89 <sup>b</sup>	10.327 <sup>b</sup>
	$M_{60}$	2.87 <sup>b</sup>	0.67 <sup>b</sup>	0.27 <sup>b</sup>	2.57 <sup>b</sup>	1.69 <sup>b</sup>	7.43 <sup>b</sup>	1.72 <sup>c</sup>	10.326 <sup>b</sup>
	$M$	2.87 <sup>b</sup>	0.67 <sup>b</sup>	0.27 <sup>b</sup>	2.57 <sup>b</sup>	1.69 <sup>b</sup>	7.43 <sup>b</sup>	1.72 <sup>c</sup>	10.326 <sup>b</sup>
May 23	$M_0$	2.42 <sup>a</sup>	0.47 <sup>a</sup>	1.74 <sup>a</sup>	4.11 <sup>a</sup>	1.77 <sup>a</sup>	13.81 <sup>a</sup>	2.30 <sup>ab</sup>	16.239 <sup>a</sup>
	$M_{30}$	6.48 <sup>b</sup>	0.58 <sup>a</sup>	2.17 <sup>b</sup>	4.35 <sup>a</sup>	1.14 <sup>b</sup>	15.98 <sup>b</sup>	2.00 <sup>a</sup>	22.474 <sup>b</sup>
	$M_{60}$	7.48 <sup>b</sup>	0.70 <sup>b</sup>	2.54 <sup>c</sup>	11.50 <sup>c</sup>	4.48 <sup>c</sup>	19.62 <sup>c</sup>	2.40 <sup>b</sup>	27.122 <sup>c</sup>
	$M$	7.48 <sup>b</sup>	0.70 <sup>b</sup>	2.5 <sup>bc</sup>	11.50 <sup>c</sup>	4.48 <sup>c</sup>	19.62 <sup>c</sup>	2.40 <sup>b</sup>	27.122 <sup>c</sup>
July 20	$M_0$	5.34 <sup>a</sup>	1.15 <sup>a</sup>	2.39 <sup>a</sup>	9.67 <sup>a</sup>	4.61 <sup>a</sup>	17.32 <sup>a</sup>	4.97 <sup>a</sup>	22.718 <sup>a</sup>
	$M_{30}$	5.34 <sup>a</sup>	1.15 <sup>a</sup>	2.39 <sup>a</sup>	9.67 <sup>a</sup>	4.61 <sup>a</sup>	17.32 <sup>a</sup>	4.97 <sup>a</sup>	22.718 <sup>a</sup>
	$M_{60}$	14.39	1.47 <sup>b</sup>	2.45 <sup>a</sup>	6.20 <sup>b</sup>	7.35 <sup>b</sup>	19.48 <sup>b</sup>	4.70 <sup>a</sup>	33.938 <sup>b</sup>
	$M$	10.67	1.11 <sup>a</sup>	1.97 <sup>b</sup>	16.48 <sup>c</sup>	11.74 <sup>c</sup>	21.47 <sup>c</sup>	9.13 <sup>b</sup>	32.259 <sup>b</sup>
Mean		5.89	0.82	1.59	6.81	3.90	14.44	3.37	20.363

\* 在每次取样的同一列上, 有相同字母的数值表示在  $p=0.05$  下  $T$  检验差异不显著 Means within columns for same sampling time followed by the same letter are not significantly different at  $p=0.05$  ( $T$  test)

干旱的 2000 年微生物平均数量只有丰雨的 1999 年的 36.5%, 下降幅度达 63.5% (表 1, 表 2), 最大差值出现在播种后的 60d, 正是全年土壤含水量的最低时期。2000 年氨化细菌比 1999 年略低, 而其它测定的微生物均有大幅度下降, 使氨化细菌一跃成为数量最多的微生物类群。解磷细菌对干旱较敏感, 2000 年比 1999 年降低一个多数量级。硝化细菌、亚硝化细菌、反硝化细菌、纤维素分解细菌、放线菌分别下降 36.6%, 47.2%, 72.2%, 49.7%, 26.1%。微生物总数在 30d 时仅有  $M$  与其它处理有显著差异, 60d 时尚覆膜的  $M_{60}$  和  $M$  同  $M_0$  差异显著。收获时以  $M$  处理数量最多。

2.2 土壤微生物数量与土壤水热条件的关系

地膜覆盖对土壤水热状况的影响主要表现在上层土壤, 且丰水年与干旱年覆膜效应不同 (图 2)。1999 年 (丰水年份) 小麦生长前期 (0~60d) 覆膜处理表层土壤含水量略高于对照, 之后, 由于覆膜小麦长势均好于  $M_0$ , 作物耗水增加, 各覆膜处理 0~20cm 土壤水分含量低于  $M_0$ 。至收获时, 所有处理土壤水分含量基本趋于一致。由于干旱, 2000 年播前补充的底墒水迅速被蒸发, 0~20cm 的土壤水分无论覆膜与否在 5 月初都降至土壤凋萎湿度以下, 表明在干旱年份无水可保的状况下地膜覆盖就会失去作用。但在后期有降雨的情况下, 覆膜仍然有一定的保水作用。

从图 3 可看到, 1999 年地膜增温效应呈“U”形, 整个生长季地膜平均日增温 1.71℃。在小麦生长的前 30d 里, 由于地温低和土壤含水量高, 增温作用显著, 日平均升高 2.75℃; 在 41~80d, 小麦郁闭度增加, 遮荫明显, 日增温低于在 1℃左右; 其后, 随着小麦下部叶片衰老, 叶面积下降, 对地面的遮荫作用减弱, 覆膜的增温作用又逐渐加强, 至 125d 时日增温达到 2.1℃。地膜覆盖每日的增温效应也有变化, 在 5 月中旬前由于气温较低, 覆膜增温效应明显, 20:00 时次之, 之后, 14:00 的增温效应下降, 20:00 的上升, 表现为地膜覆盖使得土壤散热能力下降, 高温持续时间延长。

表 2 2000 年不同覆膜处理各类群微生物数量

Table 2 The numbers of soil microbe groups with different physiological properties in 2000

采样时间 Sampling date	处理 Treatments	氨化细菌 Ammoni- bacteria ( $\times 10^6$ /g dry soil)	硝化菌 Nitrite bacteria ( $\times 10^3$ /g dry soil)	亚硝化细菌 Nitrate bacteria ( $\times 10^3$ /g dry soil)	反硝化细菌 Denitro- bacteria ( $\times 10^3$ /g dry soil)	纤维素分解菌 Cellulose decomposing bacteria ( $\times 10^3$ /g dry soil)	解磷细菌 Phosphorus bacteria ( $\times 10^6$ /g dry soil)	放线菌 Actino- mycetes ( $\times 10^4$ /g dry soil)	总数 Total ( $\times 10^6$ /g dry soil)
March 24	M <sub>0</sub>	0.85 <sup>a</sup>	0.52 <sup>ab</sup>	0.09 <sup>a</sup>	0.70 <sup>a</sup>	1.39 <sup>a</sup>	0.16 <sup>a</sup>	0.06 <sup>a</sup>	1.005 <sup>a</sup>
	M <sub>30</sub>	0.53 <sup>ab</sup>	0.54 <sup>ab</sup>	0.07 <sup>a</sup>	0.43 <sup>a</sup>	1.40 <sup>a</sup>	0.15 <sup>a</sup>	0.07 <sup>a</sup>	0.683 <sup>b</sup>
	M <sub>60</sub>	0.52 <sup>ab</sup>	0.47 <sup>a</sup>	0.07 <sup>a</sup>	0.57 <sup>a</sup>	1.39 <sup>a</sup>	0.15 <sup>a</sup>	0.09 <sup>a</sup>	0.672 <sup>b</sup>
	M	0.38 <sup>b</sup>	0.57 <sup>b</sup>	0.06 <sup>a</sup>	0.83 <sup>a</sup>	1.47 <sup>a</sup>	0.11 <sup>a</sup>	0.09 <sup>a</sup>	0.491 <sup>c</sup>
April 23	M <sub>0</sub>	2.81 <sup>a</sup>	0.48 <sup>a</sup>	0.64 <sup>a</sup>	1.83 <sup>a</sup>	1.36 <sup>a</sup>	1.18 <sup>a</sup>	1.74 <sup>a</sup>	4.013 <sup>a</sup>
	M <sub>30</sub>	2.76 <sup>a</sup>	0.62 <sup>b</sup>	1.53 <sup>b</sup>	1.63 <sup>a</sup>	1.66 <sup>a</sup>	1.19 <sup>a</sup>	3.32 <sup>b</sup>	3.989 <sup>a</sup>
	M <sub>60</sub>	2.51 <sup>a</sup>	0.47 <sup>a</sup>	1.55 <sup>b</sup>	2.37 <sup>b</sup>	1.56 <sup>a</sup>	1.05 <sup>a</sup>	1.88 <sup>a</sup>	3.593 <sup>b</sup>
	M	2.84 <sup>b</sup>	0.45 <sup>a</sup>	1.31 <sup>b</sup>	1.87 <sup>a</sup>	1.43 <sup>a</sup>	2.28 <sup>b</sup>	3.01 <sup>b</sup>	5.150 <sup>c</sup>
May 23	M <sub>0</sub>	4.56 <sup>a</sup>	0.35 <sup>a</sup>	0.09 <sup>a</sup>	1.07 <sup>a</sup>	0.35 <sup>a</sup>	0.37 <sup>a</sup>	0.98 <sup>a</sup>	4.939 <sup>a</sup>
	M <sub>30</sub>	5.80 <sup>c</sup>	0.32 <sup>a</sup>	0.09 <sup>a</sup>	1.00 <sup>a</sup>	0.23 <sup>ab</sup>	0.16 <sup>b</sup>	0.49 <sup>b</sup>	5.959 <sup>bc</sup>
	M <sub>60</sub>	6.27 <sup>c</sup>	0.49 <sup>c</sup>	0.17 <sup>a</sup>	1.07 <sup>a</sup>	0.31 <sup>abc</sup>	0.83 <sup>c</sup>	1.11 <sup>a</sup>	7.110 <sup>c</sup>
	M	6.46 <sup>c</sup>	0.59 <sup>d</sup>	0.21 <sup>a</sup>	1.17 <sup>a</sup>	0.28 <sup>abc</sup>	0.90 <sup>c</sup>	1.90 <sup>c</sup>	7.382 <sup>c</sup>
July 17	M <sub>0</sub>	8.09 <sup>a</sup>	0.52 <sup>a</sup>	1.02 <sup>a</sup>	1.93 <sup>a</sup>	3.14 <sup>a</sup>	2.39 <sup>a</sup>	3.50 <sup>a</sup>	10.518 <sup>a</sup>
	M <sub>30</sub>	6.85 <sup>b</sup>	0.73 <sup>b</sup>	1.14 <sup>a</sup>	1.77 <sup>a</sup>	2.82 <sup>ab</sup>	3.36 <sup>b</sup>	3.20 <sup>a</sup>	10.250 <sup>a</sup>
	M <sub>60</sub>	7.28 <sup>b</sup>	0.58 <sup>a</sup>	1.22 <sup>a</sup>	1.83 <sup>a</sup>	4.21 <sup>c</sup>	4.19 <sup>c</sup>	5.30 <sup>b</sup>	11.529 <sup>b</sup>
	M	11.13 <sup>c</sup>	0.59 <sup>a</sup>	1.13 <sup>a</sup>	5.15 <sup>b</sup>	6.19 <sup>d</sup>	4.66 <sup>d</sup>	3.40 <sup>a</sup>	14.836 <sup>c</sup>
Mean		5.61	0.52	0.84	1.89	1.96	1.88	2.49	7.439

\* 在每次取样的同一列上,有相同字母的数值表示在  $p=0.05$  下  $T$  检验差异不显著 Means within column for same sampling time followed by the same letter are not significantly different at  $p=0.05$  ( $T$  test)

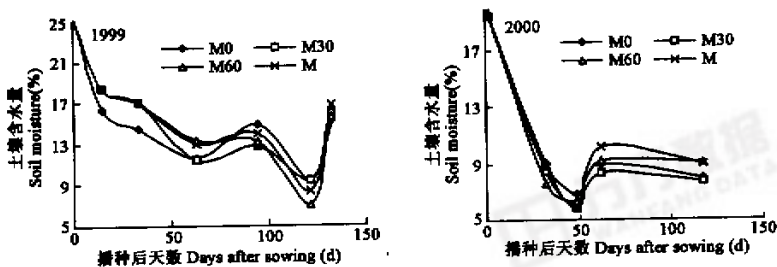


图 2 不同覆膜处理的土壤水分动态变化(0~20cm)

Fig. 2 Dynamic of soil moisture (0~20cm) in different mulching treatments

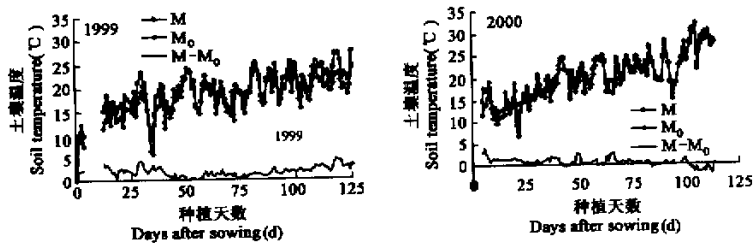


图 3 春小麦生育期间 5cm 土壤温度变化

Fig. 3 Fluctuations of soil temperature at 5cm soil depth

2000 年地膜增温作用较弱,整个生长季平均日增温 0.81℃,仅及 1999 年的一半。随着小麦生长季的延伸,增温作用不断下降,只在两次补充灌水后有短暂的回升;在小麦生长后期,地膜不仅不增温,而且还

使覆膜的土壤温度低于对照,100d 后该现象出现得更频繁,以 14:00 时的温度更为突出。

将全年所有处理和所有取样次数获取的水热状况和微生物数量进行相关分析得到表 3。1999 年各类群微生物数量和总数都与土壤温度呈极显著正相关,而与土壤湿度呈极显著(反硝化细菌为显著)负相关。在干旱的 2000 年,微生物各类群的数量和总数同土壤湿度和温度的相关性几乎全部下降。硝化细菌、纤维素分解细菌的数量与土壤湿度已不相关;硝化细菌、亚硝化细菌、反硝化细菌的数量与土壤温度也不再相关。氨化细菌与土壤温度仍呈极显著正相关,其相关性还有所增加,表明氨化细菌在丰水年与旱年对温度的敏感性都较强,旱年尤其如此。

表 3 土壤微生物数量同土壤湿度与温度的相关性分析

Table 3 Correlation analyses of soil microbial quantities with various physiological properties versus soil moisture and temperature in both the years

年 Year	土壤湿度 /温度 Soil moisture /temperature	氨化细菌 Ammoni- bacteria	硝化细菌 Nitrite bacteria	亚硝化 细菌 Nitrate bacteria	反硝化 细菌 Denitro- bacteria	纤维素 分解细菌 Cellulose decomposing bacteria	解磷细菌 Posphorus bacteria	放线菌 Actino- mycetes	总数 Total
1999	湿度 Soil moisture(%)	-0.739**	-0.739**	-0.798**	-0.613*	-0.704**	-0.818**	-0.747**	-0.831**
	温度 Soil temperature(℃)	0.711**	0.867**	0.712**	0.807**	0.850**	0.808**	0.854**	0.841**
2000	湿度 Soil moisture(%)	-0.645**	0.028	-0.686**	-0.512*	-0.203	-0.513*	-0.659**	-0.643**
	温度 Soil temperature(℃)	0.930**	0.303	0.367	0.475	0.549*	0.761**	0.720**	0.931**

2.3 土壤微生物数量与土壤养分分子的关系

表 4 是两年试验期间不同阶段土壤养分的变化状况。1999 年和 2000 年生长季结束后所有处理土壤有机碳均有明显下降,覆膜之后更加明显,特别是覆膜 60d 和全程覆膜下降幅度更大。两年试验结束后,全程覆膜处理有机质下降 21.2%,覆膜 60d 处理下降 17.2%,覆膜 30d 和不覆膜处理下降相对较小。土壤全氮在 1999 年生长季中变化不大,休闲期有明显的回升,在 2000 生长季中有一定下降,两年期间总氮有明显升高,各处理之间差异不大。这与每个生长季都使用氮肥有关。速效磷在第 1 个生长季和休闲期都有升高,

表 4 地膜覆盖对麦田 0~20cm 土壤不同时间段 C、N、P 含量的影响

Table 4 Soil C, N, P contents of 0~20 cm soil of spring wheat field in different periods

养分类型 Nutrients	处理 Treatments	Δ1999	Δfallow	Δ2000	Δ2y	Δ2y(%)
有机碳 Organic C (g·kg <sup>-1</sup> )	M <sub>0</sub>	-1.37	1.14	-0.45	-0.68	-6.7
	M <sub>30</sub>	-1.67	1.82	-0.59	-0.44	-4.3
	M <sub>60</sub>	-2.42	2.4	-1.73	-1.75	-17.2
	M	-2.23	1.97	-1.89	-2.15	-21.2
全氮 Total N(g·kg <sup>-1</sup> )	M <sub>0</sub>	0.016	0.248	-0.128	0.136	14.2
	M <sub>30</sub>	-0.014	0.245	-0.097	0.134	14.0
	M <sub>60</sub>	0.002	0.246	-0.057	0.192	20.1
	M	0.064	0.189	-0.117	0.136	14.2
有效磷 Available P (mg·kg <sup>-1</sup> )	M <sub>0</sub>	10.16	11.82	-19.82	2.16	19.6
	M <sub>30</sub>	6.18	14.67	-14.67	6.18	56.2
	M <sub>60</sub>	6.67	14.18	-14.17	6.68	60.7
	M	8.10	12.26	-13.53	6.83	62.1

\* 1999 年播种前营养物质含量:有机碳 10.15g/kg,全氮 0.955g/kg,有效磷 11.0mg P/kg。Δ1999,Δfallow,Δ2000,Δ2a 分别表示 1999 年生长季、1999~2000 年休闲期间、2000 年生长季以及从 1999 年播种前到 2000 年收获后期间土壤养分的变化量,Δ2a(%) 为两年试验结束后土壤营养物质变化的百分比。Soil nutrients contents of Organic C, total N, available P were 10.15g/kg, 0.955g/kg and 11.0mg P/kg, respectively, before sowing in 1999. Δ1999, Δfallow, Δ2000, Δ2a express the differences of soil nutrients content during the growing period of 1999, the fallow period from the harvest stage of 1999 to the sowing stage of 2000, the growing period of 2000, and the period from sowing stage to the harvest stage of 2000, respectively. Δ2a(%) is the percentage of Δ2000 based on the pre-sowing data in 1999.



而在 2000 年生长季却又大幅度下降,湿润年份覆膜有助于磷素的释放,有效性升高,而干旱年份磷素活性下降。

从 2a 中各类群微生物数量同土壤养分相关性可以看出(表 5),1999 年各类群微生物数量同土壤有机碳之间均呈显著或极显著负相关,2000 年相关系数几乎全面下降,氨化细菌、硝化细菌和反硝化细菌,甚至微生物总量同土壤有机碳之间都已不再显著相关。1999 年土壤全氮同氨化细菌、硝化细菌、亚硝化细菌、解磷细菌及微生物总量均呈显著或极显著负相关,2000 年只与氨化细菌、亚硝化细菌、微生物总数显著负相关。土壤速效磷含量在 1999 年与解磷细菌显著负相关,而在 2000 年已无显著相关。

表 5 各类群微生物与土壤养分的相关分析

Table 5 The correlation analyses of the quantities of soil microbes with various physiological properties with soil C, N, P contents in both the two years

年 Year	土壤养分 Soil nutrients	氨化细菌 Ammoni- bacteria	硝化菌 Nitrite bacteria	亚硝化细菌 Nitrate bacteria	反硝化菌 Denitro- bacteria	纤维素分解菌 Cellulose decompos- ing bacteria	解磷细菌 Posphorus bacteria	放线菌 Actino- mycetes	总数 Total quantity
1999	有机碳 <sup>①</sup>	-0.905 **	-0.672 *	-0.885 **	-0.754 **	-0.762 **	-0.951 **	-0.634 *	-0.985 **
	全氮 <sup>②</sup>	-0.662 *	-0.607 *	-0.941 **			-0.879 **		-0.828 **
	速效磷 <sup>③</sup>						-0.710 **		
2000	有机碳 <sup>①</sup>	-0.368	-0.337	-0.662 **	-0.374	-0.541 *	-0.594 *	-0.656 **	-0.473
	全氮 <sup>②</sup>	-0.574 *	0.069	-0.620 *			-0.458		-0.612 *
	速效磷 <sup>③</sup>						-0.473		

①Organic C;②Total N;③Available P

3 讨 论

本研究中一个值得注意的问题是,土壤微生物数量与土壤有机碳含量、全氮和速效磷之间呈现显著或极显著负相关。也就是说,土壤微生物数量越多而土壤有机碳、全氮和速效磷就会越少。这里有两个因素在起作用。首先,微生物数量多的时期正是水热条件较好的时期,也正是作物生长旺盛的时期,作物吸收大量的土壤氮和磷,从而导致现存总氮和速效磷的减少;另一个原因是,黄土区土壤,特别是黄绵土的有机碳含量水平很低,在土壤微生物活跃时期,土壤有机碳分解作用加强,使土壤有机碳含量明显下降,从而导致土壤有机碳含量降低。显然这是与土地退化、土壤质量下降密切相关的。

土壤水分、温度的改善使微生物自身的生长繁殖和对土壤中养分的分解利用发生作用,从而影响着土壤养分的供应<sup>[14~16]</sup>。在丰水的 1999 年,地膜覆盖条件下微生物数量高峰出现得早,释放土壤有效养分不仅时间早,而且延续时间长,增加了土壤中有机养分的分解消耗和无机养分的转化。1999 年 M<sub>0</sub>、M<sub>30</sub>、M<sub>60</sub>和 M 各处理小麦产量分别为 2424.3、3138.5、3305.3 和 3123.1kg/hm<sup>2</sup>,覆膜小麦产量均显著高于不覆膜处理。在干旱年份,土壤微生物总数量只相当于 1999 年的 36.5%,土壤微生物数量与土壤养分的负相关程度下降,意味着土壤有机物质降解、释放养分和作物对养分的吸收利用都在下降,与水分条件协同作用,使小麦产量大幅度下降。2000 年 M<sub>0</sub>、M<sub>30</sub>、M<sub>60</sub>和 M 各处理小麦产量分别为 1366.1、1763.3、1771.4 和 2144.5kg/hm<sup>2</sup>。在生长后期,地膜覆盖使微生物与小麦都有较好的生长环境,因此,随着覆膜时间的延长,产量有一定程度的增加。全程覆膜处理具有最高的土壤生物数量以及最高的籽粒产量。因此,在不同的降雨年份选择相应的覆膜时间对提高春小麦产量才能有较好的效果<sup>[17]</sup>,但实际上,由于旱地农业生产过程中水热条件的不可预测性,特别是降水变率较大,这就使地膜覆盖技术必然会存在一定风险。

在半干旱黄土丘陵区,传统旱地农业系统中,土壤肥力、土壤水分以及温度条件都处在一个较低的水平,在生产力不高的情况下,生态系统处于一种相对平衡状态。一旦引入地膜覆盖技术,农田水热资源重新分配,地表水热条件得到改善,土壤微生物群落结构发生重大变化,土壤有机质分解和有机态养分的释放大幅度提升。本试验中,水热条件较好的 1999 年,一个生长季内地膜覆盖导致土壤有机质平均下降 21%,而不覆膜的对照数据下降 13%,前者比后者约高出 54%。而由于每个生长季都使用化肥,因此,土壤全氮和速效磷都有明显增加。但由于有机质的大幅度下降,施入的氮肥则很容易损失,磷肥也很容易矿化,变成无

效态,使土壤生态系统的缓冲能力和稳定性大大下降。如何通过土壤碳库的有效管理改善土壤质量、维护良好的农田生态系统运行状态就成了必须面对的严峻挑战<sup>[18]</sup>。因此,在半干旱黄土丘陵地区,任何一项通过改善水热条件而使作物产量得到提高的农艺措施都必须进行系统深入的基础研究<sup>[19]</sup>,并据此形成配套的生态系统管理模式,才能保证生态环境的不断改善和农田生态系统的可持续发展,才能发挥农业新技术的增产潜力。

参考文献

[ 1 ] Chen H K (陈华癸), Li F D (李阜棣), Chen W X (陈文新), *et al.* *Soil microbiology*(in Chinese). Shanghai: Shanghai Sci-tech Press, 1981.

[ 2 ] Doran J W and Parkin T B. Defining and assessing soil quality. In: Doran J W, Coleman D C, Bezdicek D F and Stewart B A ed. *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment*. Madison, WI, USA: SSSA Special Publication Number 35, 1994. 3~21.

[ 3 ] Kandeler E, Tscherko D, Bardgett R D, *et al.* The response of soil microorganisms and roots to elevated CO<sub>2</sub> and temperature in a terrestrial model ecosystem. *Plant and Soil*, 1998, **202**: 251~262.

[ 4 ] Arshad M, Frankenberger Jr W T. Microbial production of plant hormones. *Plant and Soil*, 1991, **133**: 1~8.

[ 5 ] Diao Zh-M (刁治民). Study of rhizosphere microbial effect of spring wheat soil in Xining region. *Soils and Fertilizers*(in Chinese)(土壤与肥料), 1996, **2**: 27~30.

[ 6 ] Li Y (李元), Yang J L (杨济龙), Wang X L (王勋陵), *et al.* The effect of UV-B radiation on the population quantity of spring wheat rhizosphere microorganisms. *China Environmental Science*(in Chinese)(中国环境科学), 1999, (2):157~160.

[ 7 ] Wang G H (王国惠), Yu L J (于鲁冀). The study and its ecological significance on physiological groups of bacteria. *Acta Ecologica Sinica*(in Chinese)(生态学报), 1999, **19**(1):128~139.

[ 8 ] Wick B, Kühne R F, Vlek P L G. Soil microbiological parameters as indicators of soil quality under improved fallow management systems in south-western Nigeria. *Plant and Soil*, 1998, **202**: 97~107.

[ 9 ] Zhang P (张萍). Effect of slash-and-burn cultivation on soil microbial and soil fertility. *Chinese J. of Ecology* (in Chinese)(生态学杂志), 1996, **15**(3):64~67.

[10] Wang Q (王谦). Analyses and evaluation of agro-climate resources in Dingxi County of Gansu Province. *Agricultural Research in the Arid Areas*(in Chinese)(干旱地区农业研究), 1988, **2**(1):69~74.

[11] Institute of Soil Science of CAS (中国科学院南京土壤研究所). *Research methods for soil microbiology*(in Chinese). Beijing: Science Press, 1985.

[12] Li F D (李阜棣), *et al.* *Experimental technology for agro-microbiology*(in Chinese). Beijing: China Agriculture Press, 1996.

[13] Wang H N (王宏年). *Biostatistics* (in Chinese). Lanzhou: Lanzhou University Publisher, 1988. 184~208.

[14] Wu W L (吴文良), Song J G (宋建国), Lin Sh (林杉), *et al.* Evaluation of soil easily mineralizable nitrogen and microbial biomass nitrogen for biological available index. *Acta Ecologica Sinica* (in Chinese)(生态学报), 2001, **21**(2): 290~294.

[15] Zhang C E (张成娥), Chen X L (陈小莉), Zhen F L (郑粉莉). Study on relationship between soil microbial biomass and fertility in different environments of Ziwuling forest area. *Acta Ecologica Sinica*(in Chinese)(生态学报), 1998, **18**(2): 218~222.

[16] Zhou J B (周建斌), Chen Z J (陈竹君), Li S X (李生秀). Contents of soil microbial biomass nitrogen and its mineralized characteristics and relationships with nitrogen supplying ability of soils. *Acta Ecologica Sinica* (in Chinese)(生态学报), 2001, **21**(10): 1718~1725.

[17] Li F M (李凤民), Guo A H(郭安红), Wei H(魏虹). Effects of plastic film mulch on the yield of spring wheat. *Field Crops Research*, 1999, **63**(1): 79~86.

[18] Shen H (沈宏),Cao Z H (曹志洪). Study on soil C pool management index of different farmland ecosystems. *Acta Ecologica Sinica*(in Chinese)(生态学报), 2000,**20**(4): 663~668.

[19] Chen S S (陈锡时), Guo S F (郭树凡), Wang J K (汪景宽), *et al.* Influence of mulching cultivation with plastic film on population and bio-activity of soil micro-organisms. *Chinese Journal of Applied Ecology*(in Chinese)(应用生态学报)(4): 435~439.