

# 黄土高原区基肥对农田土壤水肥和产量的影响

刘孝利<sup>1</sup>, 陈求稳<sup>1</sup>, 曾昭霞<sup>2</sup>

(1. 中国科学院生态环境研究中心 城市和区域生态国家重点实验室, 100085 北京;

2. 中国科学院亚热带农业生态研究所, 湖南长沙 410125)

**摘要:** 黄土高原区农业用地土壤水分含量, 尤其是播种前土壤水贮量是制约当年作物萌发和产量形成的重要因子, 粗放的管理和较低的降雨贮存效率以及降雨的季节分布不均加重了该区土壤水蚀和养分的流失, 该区休闲期较长(当年九月底到次年四月底), 因此休闲期土壤水分恢复的研究尤其重要。研究施肥管理的改变, 着重于休闲期开始时基肥对休闲期间土壤剖面水分的恢复、播种前土壤微生物量碳、生长季土壤水分动态和产量形成的影响。实验设八个基肥处理: 对照((CK)不施肥), 氮肥(N), 磷肥(P), 氮肥磷肥(NP), 有机肥(M), 氮肥有机肥(NM), 磷肥有机肥(PM), 氮肥磷肥有机肥(NPM)。2004—2005连续两年实验结果显示, 不同基肥处理对雨季降雨入渗效率的影响有明显差异, NPM处理最优, CK最差, 施氮处理优于施磷处理。NPM基肥处理休闲期土壤水分恢复增量显著高于其他基肥处理, 微生物碳含量显著高于其他基肥处理。2004年小麦产量和2005年土豆产量与播种前2m土壤剖面水贮量有很强的正相关趋势或显著正相关, 相关系数分别为 $0.621\ 0.774^*$  ( $P < 0.05$ ); 雨季前土壤含水量与雨季后土壤含水量呈明显负相关趋势, 雨季后土壤剖面水分增量与同年作物产量均为显著正相关。

**关键词:** 黄土高原; 休闲期; 基肥; 土壤水分; 可持续管理

**中图分类号:** Q14      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1005-4650(2008)10-0025-05

## The Effects of Base-fertilizer on Soil Water and Nutrients and Wheat Yield in Farmland of Loess Plateau Area

LIU Xiaoli, CHEN Qiulwen, ZENG Zhaoxia

(1. Key Laboratory of Systems Ecology Research Center for Eco-Environmental Sciences Chinese Academy of Sciences Beijing 100085 China

2. Key Laboratory of Agro-ecology Institute of Subtropical Agriculture Chinese Academy of Sciences Changsha Hunan 410125 China)

**Abstract:** Soil water storage especially before sowing is the primary factor of restricting germination and yield forming of crop in the loess plateau region of China. The poor water storage efficiency and uneven distribution of rain falls aggravates soil erosion from these tender farmlands. The region has a long fallow period from the end of September to April next year, so it is most important to research the soil water restoration during the relative long fallow period. This paper focuses on the effects of base-fertilization by altering the conventional fertilization practices on the restoration of soil water and the Microbial Biomass Carbon (MB-C) content before sowing, the dynamic of soil and water and yield formation in the growing season. The research was conducted at the Zhongjanchuan Eco-agriculture Loess Plateau Station Gansu province from 2003 ~ 2005. The experiment designed with a non-fertilizer control treatment (CK) and seven base-fertilization treatments: nitrogen only (N), Phosphorus only (P), nitrogen and Phosphorus (NP), Organic fertilizer only (M), nitrogen and Organic fertilizer (NM), Phosphorus and Organic fertilizer (PM), and nitrogen, Phosphorus and Organic fertilizer (NPM). The two-year results during 2004 ~ 2005 indicated that the efficiency of soil water restoration and MB-C content in NPM treatment was significantly higher than other treatments and the treatments containing N fertilizer were more efficient than those without N fertilizer. Effects of different base-fertilization on rainfall infiltration were obviously different. NPM was the best treatment and CK was the worst. The relationship between wheat potato yields and soil water storage content of the 0-2m soil before planting were positive and significantly positive.  $R = 0.621\ 0.774^*$  ( $P < 0.05$ ) respectively. Correlation between soil water before rain reason and after rain reason was negative. The increments of soil water storage and the crop yields was positive related significantly.

**Key words:** loess plateau; fallow period; base-fertilization; soil water; sustainable management

收稿日期: 2008-09-15

基金项目: 农田生态系统多目标协调方法与模型(973国家重大项目 No. 2005CB121107)

通讯作者: 陈求稳, 研究员, 主要从事生态水力学、河流健康研究

作者简介: 刘孝利(1979~), 男, 安徽人, 博士研究生, 主要从事土壤学、农业生态学研究

甘肃榆中连川地区是典型的黄土高原雨养农业区, 该区主要粮食作物为豌豆、春小麦、土豆, 且有传统的轮作习惯。该区每年休闲期开始时均进行翻耕, 以保护土壤的墒情, 但却极少施用基肥, 肥料均在播种时施入。该区作物均在春季, 即每年的4月下旬到5月初播种。由于受热量限制致使该区的休闲期较长, 作物出苗以及初期生长取决于播种前土壤在休闲期贮存雨水的多少, 而这又与作物产量形成密切相关<sup>[1, 2]</sup>, 20世纪80年代以后化学肥料的投入, 以及覆膜、集雨技术等近年来的应用, 一定程度上提高了土壤湿度和温度, 同时也提高了短期内的作物产量, 但同时也扰乱了农业生态系统中有机因子及无机因子的平衡。如连续覆膜处理后会导土壤有机质明显下降<sup>[3]</sup>。因此从长远角度考虑, 这些措施对土壤生态系统不是可持续管理方式, 可能会引起土壤质量的恶化和土地退化, 长期定位实验检测结果也显示了一些土壤管理的不当所引起土壤质量的退化<sup>[3, 11]</sup>。

土壤微生物在土壤有机质降解向土壤释放养分的过程中起到非常重要的作用<sup>[4, 5]</sup>, 微生物通过对土壤有机质的降解转化影响土壤养分释放和土壤质量<sup>[6-8]</sup>, 因而微生物是土壤质量最重要的指标之一。

轮作是有效的农业可持续发展模式, 短期虽然能够获得稳定高产, 但长期却造成土壤水分亏损<sup>[11-13]</sup>。由于黄土高原地区降雨季节分布不均, 集中在6、7、8、9, 4个月, 因而造成该区产量不稳定, 早年常常因播种时没有充足的土壤水分供应而耽误农时, 或者播种后种子的萌发率比较低, 初期生长得不到水保障。本研究在以往研究的基础上, 通过改变施肥习惯, 研究休闲期基肥对土壤水分恢复和微生物量碳的影响, 及其对产量形成的影响, 从而为黄土高原地区土壤可持续管理以及农业可持续发展提供理论依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 实验地自然概况

实验地位处北纬  $N 36^{\circ} 2'$ , 东经  $E 104^{\circ} 3'$ , 海拔在 2 300

$\sim 2\ 500\text{ m}$ 之间的榆中连川地区, 近 10 a(1993~2003年)的平均降雨(雪)量为  $328.2\text{ mm}$ 属半干旱气候, 无地下水来源。据 2004年降雨资料记载显示(普通雨量计), 4月到8月整个生长季节的降水仅为  $117\text{ mm}$ ; 而且雨水集中, 有径流产生, 而同期的自由水面蒸发量却是  $1\ 071\text{ mm}$ (自由水面蒸发仪)。

该区年平均气温  $6.5^{\circ}\text{C}$ 年均无霜期  $100\text{ d}$ 主要土壤类型为黑麻土、灰钙土、黄绵土, pH值:  $8.5$ 左右, 表土平均容重  $1.12\text{ g/cm}^3$ 。实验地坡度为  $8.6^{\circ}$ 的北向坡。

### 1.2 实验设计以及基肥管理

该实验设八个基肥处理: 对照(CK)一直不施肥, 氮肥(N), 磷肥(P), 氮肥磷肥(NP), 有机肥(M), 氮肥有机肥(NM), 磷肥有机肥(PM), 氮肥磷肥有机肥(NPM), 施肥量与当地农业投入量相当, 氮肥(肥种为尿素, 含  $N \geq 46\%$ )  $150\text{ kg/hm}^2$ , 磷肥(肥料种类为普通过磷酸钙, 含  $P_2O_5 \geq 14\%$ )  $375\text{ kg/hm}^2$ , 有机肥施入的为牲畜粪便堆放后的粪土  $4\ 000\text{ kg/hm}^2$ 。实验地 2004~2005年种植作物分别为春小麦、土豆, 2003年9月豌豆收获后开始针对当年传统的播种时施肥改为休闲期开始时基肥处理, 农家肥一次投入, 化学肥料基肥量为总施肥量的一半, 余下的一半次年播种时作为种肥施入, 施肥方式与当地一样伴随翻耕保墒农业活动进行条播。实验期间比较  $2\text{ m}$ 土层水贮量的动态变化, 同时测定表层  $0\sim 20\text{ cm}$ 土层微生物量碳的差异, 分析不同基肥处理对播种前土壤剖面水分状况、微生物活动以及对产量的影响。图 1为 2003~2005年的降雨分布情况, 3 a降雨总量分别为  $322.206.317\text{ mm}$ 。田间管理则同当地居民一样进行一般的农田管理, 包括除草等。每个实验地面积均为  $20\text{ m}$ 长 ( $8\text{ m}$ 宽, 等高方式排成两列, 从上坡位到下坡位分别为 N NM P PM M CK NR NPM。实验小区坡度一致。因为实验小区足够大, 所以没有设置小区重复, 土壤样品为 3重复, 产量测定为 5样方重复。

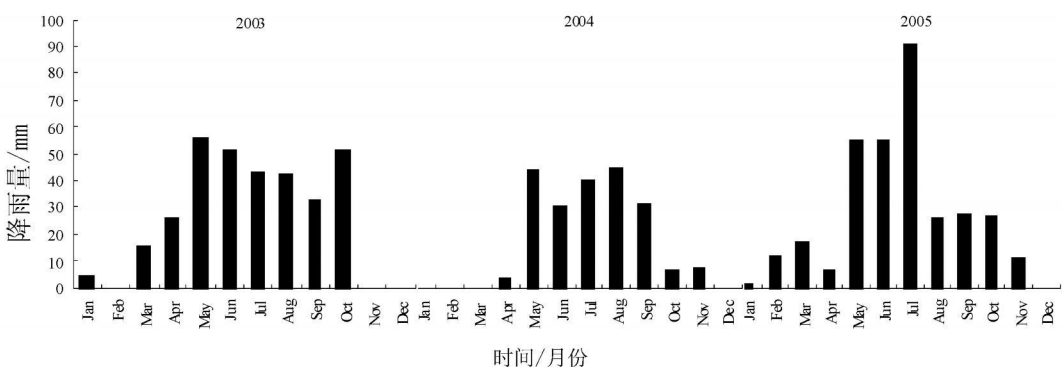


图 1 2003、2004、2005年的降雨月分布

### 1.3 土壤样品采取及分析方法

采样点均设在小区中间, 每次取样并标记取样地点, 以确保多次采样的科学性。取样地点的坡度一致。2004年4月26日、2005年4月20日播种前用直径  $8\text{ cm}$ 土钻取  $0\sim 20\text{ cm}$ 的表层土壤样品用以分析微生物碳; 用土钻分层取土 ( $20\text{ cm}$ 一层)  $0\sim 200\text{ cm}$ (取样时间为: 2003年9月25日, 2004

年4月26日, 2004年9月28日, 2005年5月3日)和  $0\sim 100\text{ cm}$ (取样时间为: 2004年7月10日和同年8月20日; 2005年6月28日和同年9月1日)土层土样, 以分析基肥对2004和2005年休闲期  $2\text{ m}$ 土壤水分恢复变化, 以及雨季前后土壤剖面水分储量动态变化的影响。土壤水分用烘干法测定, 即  $105^{\circ}\text{C}$ 下烘  $8\text{ h}$ 测定, 微生物量碳用三氯甲烷熏蒸方法测

定 (Voroney and Winter 1993)。产量取 1 m<sup>2</sup>的样方测定, 所测指标土壤样品取样均为 3 重复, 作物产量均为 5 个重复。表中给出的结果为平均值及标准差。研究中采用 Excel 2003 和 SPSS 2.0 for window 进行数据描述分析和方差差异统计处理。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同基肥处理对休闲期 2 m 土层贮水量的影响

由表 1 看出, 从 2003 年 9 月 25 日 ~ 2004 年 4 月 26 日与 2004 年 9 月 28 ~ 2005 年 5 月 3 日的两个休闲期的 2 m 土层剖面贮水量差值比较看出, 除 P 肥处理, 其它处理都显著

表 1 不同基肥处理下休闲期 2 m 土层贮水量变化<sup>1)</sup>

Treats	2003年 9月 25日	2004年 4月 26	Increment	2004年 9月 28	2005年 5月 3日	Increment
基肥处理	基肥时 /mm	播种时 /mm	增量 /mm	基肥时 /mm	播种时 /mm	增量 /mm
CK	241 ± 6	269 ± 5	28 <sup>a</sup>	255 ± 7	277 ± 6	22 <sup>a</sup>
N	203 ± 7	242 ± 10	39 <sup>b</sup>	241 ± 9	273 ± 3	32 <sup>b</sup>
P	261 ± 11	251 ± 9	-10	249 ± 10	267 ± 21	18 <sup>a</sup>
NP	245 ± 8	288 ± 8	42 <sup>b</sup>	274 ± 4	304 ± 19	30 <sup>b</sup>
M	247 ± 7	270 ± 9	22 <sup>a</sup>	254 ± 8	274 ± 8	20 <sup>a</sup>
NM	229 ± 6	241 ± 5	11 <sup>c</sup>	240 ± 12	259 ± 10	19 <sup>a</sup>
PM	247 ± 9	269 ± 7	22 <sup>a</sup>	266 ± 9	286 ± 7	20 <sup>a</sup>
NPM	250 ± 7	300 ± 9	50 <sup>d</sup>	271 ± 14	311 ± 9	40 <sup>c</sup>

1): 同列含不同字母标示 P=0.05 水平上差异显著

CK 无基肥对照处理; N 单施氮肥; P 单施磷肥; NP 氮肥加磷肥处理; M 单施有机肥; NM 氮肥加有机肥; PM 磷肥加有机肥; NPM 氮磷肥加有机肥。

1): Means in the same column followed by the same letter are not significantly differed at P < 0.05

CK: none base-fertilizer treatment; N: nitrogen fertilizer only; P: Phosphorous fertilizer only; NP: nitrogen and Phosphorous combined fertilization treatment; M: organic fertilizer only; NM: nitrogen and organic; PM: Phosphorous and organic; NPM: nitrogen Phosphorous and organic

### 2.2 不同基肥处理对雨季 1 m 土层贮水量的影响

有研究表明, 施肥增加了雨季前期作物对土壤水分的消耗, 造成一定程度上的水分亏缺<sup>[13]</sup>, 本研究对 2004 年 7 月 10 8 月 19 20 日的 3 次集中强降雨 (期间降雨总量为

71mm) 两次降雨有径流产生)前后 1 m 土壤剖面水分变化以及 2005 年雨季 6 月 28 日至 9 月 1 日期间降雨 (期间降雨总量为 148mm) 有 1 次较强的地面径流产生)进行了分析 (见表 2)。

表 2 雨季前后不同基肥处理下生长旺季 1 m 土壤剖面贮水量的变化分析<sup>1)</sup>

Treats	10 Jul 2004	20 Aug 2004	雨季前后变化	小麦产量	28 Jun 2005	1 Sep 2005	雨季前后变化	土豆产量
基肥处理	/mm	/mm	/mm	t/ha	/mm	/mm	/mm	t/ha
CK	137 ± 5	169 ± 10	31 <sup>a</sup>	0.58	144 ± 7	177 ± 14	33 <sup>a</sup>	9.25
N	111 ± 11	172 ± 7	61 <sup>b</sup>	0.75	121 ± 9	168 ± 15	47 <sup>b</sup>	16.09
P	127 ± 5	178 ± 10	51 <sup>c</sup>	0.68	133 ± 12	185 ± 21	52 <sup>b,c</sup>	11.98
NP	129 ± 6	197 ± 5	68 <sup>b</sup>	1.15	118 ± 7	201 ± 8	83 <sup>d</sup>	20.32
M	128 ± 4	172 ± 5	53 <sup>c</sup>	0.63	122 ± 10	179 ± 7	57 <sup>c</sup>	13.04
NM	123 ± 12	183 ± 8	59 <sup>b</sup>	0.99	117 ± 6	194 ± 14	77 <sup>e</sup>	14.86
PM	123 ± 7	185 ± 11	61 <sup>b</sup>	0.77	132 ± 7	207 ± 16	75 <sup>e</sup>	13.64
NPM	122 ± 9	210 ± 15	87 <sup>d</sup>	1.58	115 ± 18	210 ± 14	95 <sup>f</sup>	25.03

1): 同列含不同字母标示 P=0.05 水平上差异显著。缩写同表 1。

1): Means in the same column followed by the same letter are not significantly differed at P < 0.05

The abbreviations are described the same as table 1.

结果表明, 2004年降雨较少, 集中在7~8月, NP、NPM处理在雨季前消耗了较多的土壤浅层水分, CK对照在降雨前水分状况最好, 1 m土壤剖面贮水量高于其它处理。降雨后CK水分变为最差, 而NPM处理2004年几次降雨后1 m土层贮水量增量为87 mm, 大于此期间的降雨总量71 mm, 说明NPM基肥处理在降雨稀少并且集中的情况下能够接纳坡地其他上坡位所产生的径流雨水资源。其次是NP处理, 1 m土层贮水量增量达到68 mm。2005年雨季NPM处理1 m土层贮水量增量为95 mm, 仍显著高于其他处理, 其次是NP处理, CK处理1 m土层贮水量增量最小。2004年小麦产量与2005年土豆产量同样以NPM基肥处理最高, 其次是NP, CK最差。

CK虽然土壤水分一直都有较好, 但是降雨前后贮存的雨水增量最少, 雨前(指有径流产生的降雨)土壤水分状况与降雨入渗量成反比, 由此可见CK处理的径流流失也最大, 不施肥对农业生产用地的土壤系统来说并不是一个可持续的管理模式, 单施有机肥效果也不明显。尤其在降雨相对较少而季节分布不均的年份, 合理的土壤管理, 适当改变的施肥习惯无疑是减少产量形成风险的有效方法, 也是实现该区水肥耦

合、提高降雨利用效率、减少农田水土肥流失的有效方法。

### 2.3 不同基肥处理对播种前表层土壤微生物量碳(MB-C)的影响

土壤微生物量碳的大小反映了微生物的活动性高低, 也是土壤质量、土壤肥力的最重要指标之一。由表3的看出, NPM处理微生物碳量显著高于其它基肥处理( $P < 0.05$ )。

施入基肥后提高了播种前土壤微生物碳的含量, 从2004~2005连续两年的基肥对休闲期微生物碳的影响来看, 影响大小顺序为: NPM > NM > NP > N > FM > P > M > CK, 可见N比P肥更能刺激微生物活性, 单一有机肥并不是提高微生物活动的有效措施, 化学肥料比单一有机肥更能刺激微生物的活性, NPM配合施用的基肥处理增量最大而且含量最高。可见休闲期有机无机肥料的合理配合基肥处理, 可以提高黄土区土壤生态系统微生物活性, 促进有效养分的释放, 保证初期作物初期生长的水、肥供应。

表3 2004、2005年播种前不同基肥处理对表层0-20 cm土壤微生物C的含量的影响<sup>1)</sup>

基肥处理	2003年 9月 25日	2004年 4月 26日	MB-C /(mg/kg)	2004年 9月 28日	2005年 5月 3日	MB-C /(mg/kg)
	基肥时 / (mg/kg)	播种时 / (mg/kg)		基肥时 / (mg/kg)	播种时 / (mg/kg)	
109.2±10.2	118.3±6.5	9.1 <sup>ax</sup>	110.3±6.3	133.5±9.4	23.2 <sup>a</sup>	
110.0±9.5	132.4±9.2	22.4 <sup>c</sup>	109.5±5.0	146.3±4.4	36.7 <sup>b</sup>	
129.6±12.1	145.4±7.6	15.8 <sup>b</sup>	124.7±7.1	150.1±14.6	25.4 <sup>a</sup>	
133.5±8.1	159.3±11.0	25.7 <sup>cd</sup>	127.6±9.9	155.4±9.0	27.8 <sup>a</sup>	
112.3±8.7	126.6±10.9	14.3 <sup>b</sup>	122.0±10.2	149.6±11.9	27.6 <sup>a</sup>	
139.2±11.0	177.0±13.7	37.8 <sup>d</sup>	139.1±7.3	188.3±10.2	49.2 <sup>c</sup>	
143.3±10.4	161.6±9.3	18.2 <sup>b</sup>	138.9±14.3	174.1±7.6	35.1 <sup>b</sup>	
130.9±11.9	189.9±16.3	58.9 <sup>e</sup>	141.06±9.5	207.4±12.1	66.4 <sup>d</sup>	

1) 同列含不同字母标示  $P=0.05$  水平上差异显著。缩写同表1。

1) Means in the same column followed by the same letter are not significantly differed at  $P < 0.05$

The abbreviations are described the same as table 1.

### 2.4 播种前 MB-C、雨季前后土壤水分动态与当年作物产量的相关关系分析

表4给出了播种前微生物碳, 土壤剖面不同时期水分动态与当年作物产量的相关分析。结果表明, 2004年小麦产量与播种前2 m土层贮水量相关系数为  $R=0.621$ , 呈强正相关趋势; 小麦产量与作物生长旺季雨季前1 m土层贮水量  $R=-0.229$  呈负相关趋势。雨季前水贮量与雨季后水贮量以及雨季前后水贮量增量相关趋势  $R$  值分别为  $=0.131$ ,  $-0.548$ 。小麦产量与7~8月降雨后土壤贮水量、降雨前后

贮水量增量, 以及播种前微生物碳含量均成显著正相关,  $R=0.840^{**}$  ( $P < 0.01$ ),  $0.934^{**}$  ( $P < 0.01$ ),  $0.836^{**}$  ( $P < 0.05$ ); 2005年播种前2 m土壤贮水量与同年土豆产量显著正相关  $R=0.774^{**}$  ( $P < 0.05$ ), 与雨季前1 m土层贮水量显著负相关  $R=-0.789^{**}$  ( $P < 0.05$ ), 但与雨季前后增量显著正相关  $R=0.821^{**}$  ( $P < 0.05$ )。播种前 MB-C 含量与土豆产量显著正相关  $R=0.693^{**}$  ( $P < 0.05$ ), 雨季前1 m土层贮水量与雨季后贮水量和雨季前后增量呈负相关以及显著负相关  $R=-0.333$ ,  $-0.725^{**}$  ( $P < 0.05$ )。

表4 土壤贮水量 (mm) 变化与播种前 MB-C 与当年小麦、土豆产量的相关关系分析<sup>1)</sup>

	2004			小麦产量 / (t ha <sup>-1</sup> )	2005			土豆产量 / (t ha <sup>-1</sup> )
	雨季前	雨季后	增量		雨季前	雨季后	增量	
播种前	0.314	0.541	0.015	0.621	-0.304	0.639	0.890 <sup>**</sup>	0.774 <sup>*</sup>
雨前		-0.131	-0.548	-0.229		-0.333	-0.725 <sup>*</sup>	-0.789 <sup>*</sup>
雨后			0.879 <sup>*</sup>	0.840 <sup>**</sup>				0.603
雨前后增量				0.934 <sup>**</sup>				0.821 <sup>*</sup>
播种前 MB-C				0.836 <sup>*</sup>				0.693 <sup>*</sup>

1) \*  $P < 0.05$  \*\*  $P < 0.01$

可以得出,黄土高原区的产量形成与每阶段的土壤水肥状况均密切相关。通过研究发现基肥处理可以使黄土高原区脆弱的土壤生态系统的水肥更好耦合。分析连续两年基肥实验结果得出,雨前与雨后呈负相关趋势,雨前与雨后水贮量增量相关系数  $R = -0.548, 0.725^*$ , 呈较强的负相关以及显著负相关关系。说明黄土高原区降雨的有效性与管理方式,作物的利用情况有很大关系。

### 3 讨论

黄土高原地区农业生产的关键期之一就是播种期,播种期没有较好的土壤水分就有可能错过农时或者造成出苗不齐,从而造成减产。播种前土壤水肥状况会影响土壤功能状况以及作物生长全过程,该区的雨水资源不充分的就地入渗贮存以及利用就必然会造成更大的水、肥、土流失,必然会使土壤系统功能越来越差,形成恶性循环,加速土壤质量的退化。

土壤水分和土壤微生物活性影响土壤有机质的降解以及速效养分的释放,从而影响土壤对作物的养分供应<sup>[9,10]</sup>。黄土高原特殊的农业环境,土壤肥力、土壤水以及温度条件都处于一个较低的水平,增加土壤有机质可以减缓土壤质量的退化,有机质含量的一定程度上的恢复,可以稳定半干旱黄土区的农作物产量,但仍存在严重水分亏缺,时常因此错过农时造成产量的波动<sup>[11~14]</sup>,因此播种初期的土壤水分含量更是产量形成的保证<sup>[11]</sup>。本研究结果显示合理的基肥处理可以提高土壤休闲期过程中对雨水的涵养能力,接纳更多的雨水同时具有更高的微生物碳含量,配合有机、无机肥施入土壤可以刺激微生物的活性。

NPM基肥处理 2004年 7~8月降雨期间贮存雨水量超过试验期间的降雨总量。可见 NIM基肥处理在降雨稀少并且集中的情况下能够接纳坡地其他区域所产生的径流。说明把施肥总量的一半作为基肥并把有机肥一次性在休闲期开始时施入土壤可以有效地增强土壤生态系统对水分涵养和微生物活性的能力,可以一定程度上促进作物播种期籽粒萌发、初期的生长并提高对土壤水分的利用。从表 1 表 2 发现,播种前 NIM NP两个基肥处理 2 m土壤剖面的水分状况最好,可见施肥可以提高土壤得保墒能力,而到雨季前土壤水分状况则比 CK等大部分处理方式都要差。因为 N P两种肥料是限制产量最为主要的养分,所以该处理由于养分搭配较为合理,所以作物在生长季消耗较多的土壤水分。同时发现 NEM处理丰沛的降雨前后的入渗量增量也是最高的处理方式,同时连续两年的作物产量也最高。得出, NEM基肥处理方式下的土壤系统最稳定,水肥耦合最佳。

把有机肥作为底肥休闲期开始前配合一定的化学肥料以基肥方式随着冬耕保墒翻耕活动投入到农田中,比单一的有机肥投入更能提高播种前土壤水分、微生物活动,并能够

刺激雨季前作物对土壤水分和肥料的有效利用。虽然该种方式的基肥处理雨季前会造成一定的土壤水分亏缺,但可使生长季降雨更能有效的就地入渗,减少径流带来的水肥土流失量,同时提高作物产量。

由此我们得出如下结论:①黄土高原区单一投入有机肥并不能有效的解决水、肥资源利用率低和水土肥流失严重问题,有机肥必须结合化学肥料合理配方才能有效利用土壤肥力并减少流失;②有机无机肥的配合基肥处理可以减小播种期的干旱风险;③合理基肥处理无疑是其他农业可持续发展措施实际可行的有效补充,也是提高该区雨水、肥料资源利用效率,降低水土肥流失风险的一项有效措施。

### 参考文献

- [1] MUSICK J T, JONES O R, STEWART B A, et al. Water-use yield relationships for irrigated and dryland wheat in the U S [ J ]. *Southem Plains Agric J* 1994, 86: 980-986.
- [2] 李凤民, 王俊. 地膜覆盖导致春小麦产量下降的机理. *中国农业科学*, 2001, 34(3): 330-333.
- [3] LI F M, SONG Q H. Dynamics of microbial biomass C and soil fertility in crop land mulched with plastic film in a semiarid agro-eco system [ J ]. *Soil Biology & Biochemistry* 2004, 36: 1893-1902.
- [4] BONDE A T, SCHNIRER J, ROSSWALL T. Microbial biomass as a fraction of potentially mineralizable N in soil from long-term field experiments. *Soil Biology & Biochemistry* 1988, 20: 447-452.
- [5] DUXBURY J M, LAUREN J G, FRUCI J R. Measurement of the biologically active soil nitrogen fraction by <sup>15</sup>N technique. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 1991, 14: 54-58.
- [6] BOTNER P. Response of microbial biomass to alternate moist and dry conditions in soil incubated with <sup>14</sup>C and <sup>15</sup>N-labeled plant material [ J ]. *Soil Biology & Biochemistry* 1985, 17: 29-33.
- [7] GUPTA V V S R, GERMIDA J J. Distribution of microbial biomass and its activity in different soil aggregate size fractions as affected by cultivation [ J ]. *Soil Biology & Biochemistry* 1988, 21: 777-787.
- [8] PERFECTE KAY B D, LOON W K P. Van Factors influencing soil structural stability with in a growing season. *Soil Science Society of American Journal* 1990, 54: 173-179.
- [9] VORONEY R P, WINTER J P. Soil microbial biomass C and N in. *Career M R (Ed), Soil Sampling and Method of Analysis Canadian Society of Soil Science/Lewis Publishers J.* Boca Raton 1993: 277-286.
- [10] 宋建国. 土壤易矿化有机态氮和微生物态氮作为土壤氮素生物有效性指标的评价 [ J ]. *生态学报*, 2001, 21(2): 290-294.
- [11] 张成娥, 陈小莉. 子午岭林区不同环境土壤微生物生物量与肥力关系 [ J ]. *研究生态学报*, 1998, 18(2): 218-222.
- [12] ZHU Z, STEWART B A, FU X. Double cropping wheat and corn in a sub-humid region of China [ J ]. *Field Crops Res* 1994, 36: 175-183.
- [13] HIRTH J R, HANES P J, RDLEY A M, et al. Lucerne in crop rotations on the Riverine Plain: 2. Biomass and grain yields, water use efficiency, soil nitrogen and profitability [ J ]. *Aust J Agric Res* 2001, 52: 279-294.
- [14] AMIR J, KRİKUM J, ORION D, FUTTER J, et al. Wheat production in an arid environment: 1. Water use efficiency as affected by management practices [ J ]. *Field Crops Res* 1991, 27: 351-364.
- [15] HUANG M B, SHAO M AN, ZHANG L, et al. Water use efficiency and sustainability of different long-term crop rotation systems in the Loess Plateau of China [ J ]. *Soil & Tillage Research* 2003, 72: 95-104.
- [16] 张富仓, 康绍忠, 李志军, 等. 施肥对旱地土壤供水特征的影响 [ J ]. *沈阳农业大学学报*, 2004, 35(5): 408-410.