

不同覆盖措施对旱区农田土壤酶活性及西瓜产量的影响

吴宏亮^{1,2}, 许强², 陈阜¹, 康建宏², 张海林¹, 张战胜²

(1. 中国农业大学农学与生物技术学院/农业部农作制度重点实验室, 北京 100193;

2. 宁夏大学农学院, 宁夏 银川 750021)

摘要: 基于大田试验, 研究了砂石+地膜覆盖, 砂石覆盖, 地膜覆盖 3 种旱区农田地表不同覆盖措施下的土壤酶活性及西瓜产量, 以农田不覆盖(CK)为对照。结果表明: 砂石+地膜覆盖在西瓜不同生育时期和不同土壤层次由于土壤水分条件的改善, 可显著提高土壤酶活性, 其中土壤脲酶活性提高了 34.5%, 碱性磷酸酶提高了 13.0%, 过氧化氢酶提高了 29.5%, 砂石覆盖次之(分别提高了 31.4%, 11.5%, 25.5%), 地膜覆膜处理虽然也有提高土壤三种酶活性的效果, 但作用甚微(仅 0.9%, 1.4%, 2.9%)。对西瓜产量及商品率的影响, 砂石+地膜覆盖、砂石覆盖处理与对照相比增产效果显著, 分别增产 50 倍和 30 倍, 地膜覆盖与对照相比增产 7 倍, 但是商品率较低(2.16%)。表明在当地旱区农业生产中, 砂石+地膜覆盖或砂石覆盖是抗旱、增产增收的有效措施。

关键词: 砂石覆盖; 地膜覆盖; 西瓜; 土壤酶活性; 土壤含水量; 旱地农田

中图分类号: S651.048; S154.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-7601(2014)03-0173-06

Effect of different mulching methods on soil enzyme activity and watermelon production in farmland of arid areas

WU Hong-liang^{1,2}, XU Qiang², CHEN Fu¹, KANG Jian-hong², ZHANG Hai-lin¹, ZHANG Zhan-sheng²

(1. College of Agronomy and Biotechnology, China Agricultural University; Key Laboratory of Farming System,

Ministry of Agriculture, Beijing 100193, China; 2. College of Agronomy, Ningxia University, Yinchuan 750021, China)

Abstract: Soil enzyme activity and watermelon production were investigated by field experiment in arid areas. Four treatments were performed, gravel-sand and plastic film mulching (GFM), gravel-sand mulching (GM), plastic film mulching (FM), and bare farmland (CK). The results indicated that the GFM significantly increased activities of soil urease, alkaline, catalase phosphatase by 34.5%, 13.0%, and 29.5%, as compared with the CK, due to the improved the soil water content in different soil depth during different growth stages. GM treatment also showed significant effect, with those enzymes increased by 31.4%, 11.5%, 25.5%, respectively. In addition, minimal influence of FM was detected. Watermelon yield and its commercialization rate varied with the treatments. In comparison with the CK, the yield was significantly increased by 50 times and 30 times for GFM and GM respectively. By contrast, the commercialization rate was very low (2.16%). It was suggested that the combination of gravel-sand and plastic film mulching (GFM) or gravel-sand mulching (GM) should be employed to improve drought resistance and thereby watermelon yield for arid areas.

Keywords: gravel-sand mulching; plastic film mulching; watermelon; soil enzyme activity; soil water content; dryland

酶活性是土壤生物活性的整体表现, 酶活性的高低体现了土壤中营养物质的储量与转化强弱, 是反映土壤肥力状况的重要指标, 可以敏感地反映出土壤生化反应的方向与强度。所以土壤酶活性常被作为评价土壤质量的指标^[1]。土壤酶活性是影响土壤有机质和养分转化的关键因子, 主要参与土壤中

收稿日期: 2013-12-20

基金项目: 国家农业科技成果转化项目(2012GB2G300479); 宁夏自然科学基金项目(NZ12130)

作者简介: 吴宏亮(1976—), 男, 山西大谷人, 博士, 讲师, 主要从事农作制度及农业生态研究。E-mail: nxuww@163.com。

* 通信作者: 陈阜(1964—), 男, 山西浑源人, 博士, 教授, 主要从事宏观农业和农作制度研究。E-mail: chenfu@cau.edu.cn。

许多重要的生物化学过程和物质循环,能够促进土壤中物质转化与能量交换^[2],可以客观地反应土壤的肥力状况。土壤酶活性受种植模式、地理位置、植被、气候变化以及土壤类型等诸多因子的影响,可以直接反映土壤的肥力状况,因此常被用于土壤肥力评价、环境监测,尤其在确定认为扰动对土壤性状的影响方面具有重要意义^[3],并且有人提出将土壤蔗糖酶、脲酶、磷酸酶、过氧化氢酶等 4 种酶活性作为评价土壤肥力的指标^[4]。土壤酶参与了几乎所有土壤微生物化学过程,提高了养分元素的有效性,为作物生长与产量形成提供了重要的物质保证。

旱地农业在我国农业生产中占有十分重要的战略地位,秸秆覆盖、地膜覆盖和少耕覆盖等保护性耕作技术大面积推广为西北干旱、半干旱区的农业可持续发展做出了重要贡献^[5]。旱区农田采用不同的地表覆盖物,可不同程度地改变土壤湿度、温度,进而影响到土壤酶活性与微生物群落的发育,因此也显著地影响到作物的产量与效益^[6]。黄土高原边缘地带典型的旱作农区,由于干旱少雨,土壤贫瘠,传统的耕作方法作物产量低下,大旱之年甚至绝产,农

民经过多年的实践创造的压砂地,使没有灌溉条件的地方,甚至不平整的土地,每年可以获得相对高而稳定的产量,砂石覆盖作为一种特殊的保护性耕作措施,具有明显的增渗、减蒸、保温、抗蚀作用^[7]。本研究采用砂石覆盖、地膜覆盖、砂石 + 地膜覆盖的方式,以裸田种植为对照,研究了不同覆盖措施下几种土壤酶活性在时间和空间上的变化,从理论上探讨不同覆盖方式影响作物产量的内在原因。

1 材料与方法

1.1 试验地点

定点试验位于宁夏中卫市香山乡红圈子村(105°09'E,37°02'N),海拔 1 700 m,地处腾格里沙漠的边缘。年平均降水量为 247.4 mm,且降水分布不均衡,集中于 5—9 月;年均蒸发量 2 100 ~ 2 400 mm,是全国最干旱的地区之一。年均气温 6.8℃,年平均太阳总辐射量 567.09 kJ·cm⁻²,昼夜温差 12℃ ~ 16℃,无霜期 140 ~ 170 d。无灌溉条件,是典型的雨养农区。试验地土壤基础理化性状如表 1 所示。

表 1 试验地土壤的基础理化性质
Table 1 Physicochemical properties of the test soil

指标 Index	有机质 Organic matter /(g·kg ⁻¹)	全氮 Total nitrogen /(g·kg ⁻¹)	全磷 Total phosphorus /(g·kg ⁻¹)	碱解氮 Alkali - hydrolyzable nitrogen /(mg·kg ⁻¹)	速效磷 Available phosphorus /(mg·kg ⁻¹)	速效钾 Available potassium /(mg·kg ⁻¹)	pH	全盐 Total salt /(g·kg ⁻¹)
数值 Value	7.26	0.49	0.56	26.3	2.349	127	8.49	0.27

1.2 试验处理

试验设置 3 种覆盖措施:砂石 + 地膜覆盖(GFM),砂石覆盖(GM),地膜覆盖(FM);以不覆盖的农田为对照(CK)。覆膜方式为条覆膜,覆砂方式为田面平铺。试验采用区组试验,重复 3 次,小区面积 60 m²,供试作物西瓜(品种:金城 5 号),行距 2.0 m,株距 1.5 m。具体操作如下:在试验前一年秋季降雨后,选取地势平坦开阔的旱地农田,将田块划分为覆盖砂石和不覆盖砂石两部分,然后铺设砂石,按照当地的习惯,因第 2 年砂石覆盖农田土壤水分分布不均匀,加之当地习惯在铺砂的第 2 年不进行种植,故待第 3 年春季种植前划分试验小区、种植西瓜(4 月 25 日)并分别在农田和砂石覆盖的农田上再划出一半的位置分别覆盖地膜。

1.3 测定指标与方法

分别在西瓜生育时期(团棵期、开花坐果期、膨瓜期、成熟期)分层取样(0 ~ 10 cm、10 ~ 20 cm、20 ~ 30 cm),同层混合;土壤脲酶活性测定采用苯酚 - 次

氯酸钠比色法,土壤过氧化氢酶活性测定采用 KMnO₄滴定法,土壤碱性磷酸酶活性测定采用磷酸苯二钠比色法。

采用烘干法,测定土壤 0 ~ 10 cm,10 ~ 20 cm,20 ~ 30 cm 土壤含水量,并取相同位置同时测定 5 cm,10 cm,20 cm,30 cm 处地温。

西瓜成熟后,实收实打、折算亩产。

1.4 数据处理

采用 DPS7.05 对试验数据进行方差分析、采用 Duncan's 新复极差法进行多重比较, SigmaPlot12.5 作图。

2 结果与分析

2.1 不同覆盖措施对土壤酶活性的影响

2.1.1 对土壤脲酶的影响 由图 1A 可知,不同覆盖方式均有提高土壤脲酶活性的能力,但以 GFM 处理提高最为明显,其它依次为 GM 处理、FM 处理及对照处理(CK);与 CK 相比,以西瓜全生育期间土壤

酶平均活性(0 ~ 30 cm)来看,GFM 处理提高了 34.5%,GM 处理提高了 31.4%,覆膜处理仅提高了 0.9%,由此说明前两种覆盖措施对提高土壤脲酶活性作用显著。不同生育时期,土壤脲酶活性有一定的变化,基本趋势是随西瓜生育进程脲酶活性逐渐增大,到膨瓜期达到最大值,此后又逐渐下降,其中 GFM 处理、GM 处理变化明显,FM 处理与 CK 变化不明显。对于上述现象分析其原因是:农田地表覆盖不同砂石或地膜后均有提高土壤温度和湿度的作用,同时土壤温、湿度的改善也可促进土壤微生物的活性,增加了微生物的分泌物质,因此使得土壤脲酶活性增加,当温度与水分条件改善程度越大时,脲酶活性也就相应增大,本研究中的 GFM 处理、GM 处理水热条件改善较为显著,因此脲酶活性也显著提高,FM 处理中,单一地膜覆盖条件下,水热条件略有改善,但不足为微生物及脲酶活性提供足够的物质与能量动力,因此,脲酶活性提高有限。脲酶活性随西瓜生育进程的趋势变化,主要原因是由于西瓜生物量的不断增长,需氮量也不断提高,并且自然界的降水、气温、空气湿度的不断增加(提高),使得土壤环境也逐步改善,因此,脲酶活性亦不断提高,西瓜进入成熟期,生长速度趋于平缓,需氮量下降,因此脲酶活性开始下降,FM 处理与 CK,由于水热条件较差,西瓜生长量较小,因此导致脲酶活性变化不显著。

从几个主要生育时期脲酶在土壤不同层次的活性来看,不同覆盖条件下,也有很大差别,脲酶活性有以下表现:(1) 不同处理脲酶活性总体上的变化趋势在各个生育时期基本一致,即随土壤深度的增加脲酶活性先增加后降低,但脲酶活性数值大小顺序依次是 GFM > GM > FM > CK。(2) 无论哪种处理或生育时期,土壤剖面上的脲酶活性最大值均出现在 10 ~ 20 cm 之间,表层(0 ~ 10 cm)和下层(20 ~ 30 cm)脲酶活性相对较小。出现上述现象的主要原因是西瓜的根系主要分布在 10 ~ 20 cm 的土层内,而根系活跃层是作物吸收 N 素营养的主要层次和微生物活跃层,因此脲酶活性较高。

2.1.2 对土壤碱性磷酸化酶活性的影响 图 1B 为不同覆盖措施下西瓜生育期内碱性磷酸酶活性的变化情况。由图可以看出:随着西瓜生育期的推进,各处理土壤碱性磷酸酶活性发生了不同的变化。GM、GFM 处理的土壤碱性磷酸酶随着时间的推移呈现出先上升后下降的变化趋势,峰值出现在西瓜膨大期,之后又缓慢回落,这种现象与西瓜生物量大小、根系活力、土壤结构、外界气候因素和水分养分条件

及微生物状况等有很大的关系,苗期、收获期生境条件较差,西瓜植株生长需求也不及伸蔓期和膨瓜期,所以酶活性也表现为相对较低水平;而 FM 处理与 CK 的碱性磷酸酶活性较低,但仍表现为缓慢上升趋势,这可能是由于这两种处理西瓜植株发育缓慢,团棵期较长,根系活力低,与土壤环境的互作效应较差,难以实现养分、水分等条件的快速转化,因而也间接也影响了土壤碱性磷酸酶活性的发挥。

土壤碱性磷酸酶活性变化幅度较小,这可能与土壤磷素含量有关,但 3 种处理措施下土壤碱性磷酸酶均有不同程度的提高,平均活性高低依次为:GFM > GM > FM > CK,分别比对照提高了 13.0%、11.5% 和 1.4%,其中 GFM、GM 处理对改善耕作层土壤碱性磷酸酶活性作用较显著。

各处理在西瓜生长的全生育内土壤碱性磷酸酶活性随土壤深度的增加呈现出不同的变化,但总体上表现为降低趋势,且 20 ~ 30 cm 处的土壤酶活性明显低于表层,裸田、裸田覆膜处理的土壤磷酸酶活性均表现为先上升后下降的变化趋势。而砂田、砂田覆膜的土壤酶在 0 ~ 10 cm 土层表现较为活跃,这可能是由土壤水热条件得到改善导致的,而裸田、裸田覆膜处理 0 ~ 10 cm 土层由于蒸发剧烈,导致水分条件差,不利土壤酶活性发挥。

2.1.3 对土壤过氧化氢酶活性的影响 由图 1C 可以看出不同处理的过氧化氢酶活性在西瓜整个生育期的变化趋势和脲酶活性变化趋势基本一致。各种覆盖方式处理仍然有提高土壤过氧化氢酶活性的作用。在西瓜各个生育时期中的变化同样是先升后降,在膨瓜期达到最大值,作用大小顺序为处理 GFM > GM > FM > CK,分别比对照提高了 29.5%、25.5% 和 2.9%,GFM、GM 处理作用明显,FM 处理作用较小。一般认为土壤中的过氧化氢酶活性的大小与土壤中的湿度、通气性等状况有很大关系,只要在温、湿度适中,土壤通气性良好的条件下过氧化氢酶活性均较大,反之,当土壤干旱或水分过多,粘重条件下过氧化氢酶活性则较小。本研究是在旱区农田中进行的,无灌溉条件,不同覆盖措施可改善土壤环境条件,为提高过氧化氢酶活性创造了条件。

2.2 不同覆盖措施下土壤水热与酶活性的相关性分析

不同覆盖处理下土壤水热差异可从表 2 看出,不同生育期的各土层来看,几种处理的土壤温度差异不大,GFM、GM 和 FM 三种处理由于覆盖材料吸热,呈现不同程度的降温现象,使得各层次土壤温度普遍低于 CK,从而避免高温对植物根系造成的伤

害;由于砂石具有的蓄水保墒功能,使 GFM、GM 处理在各生育时期的各土层土壤含水量均高于 CK,

FM 在 0~10 cm 土壤含水量高于 CK(0.95 个百分点),而在其它层次均低于 CK。

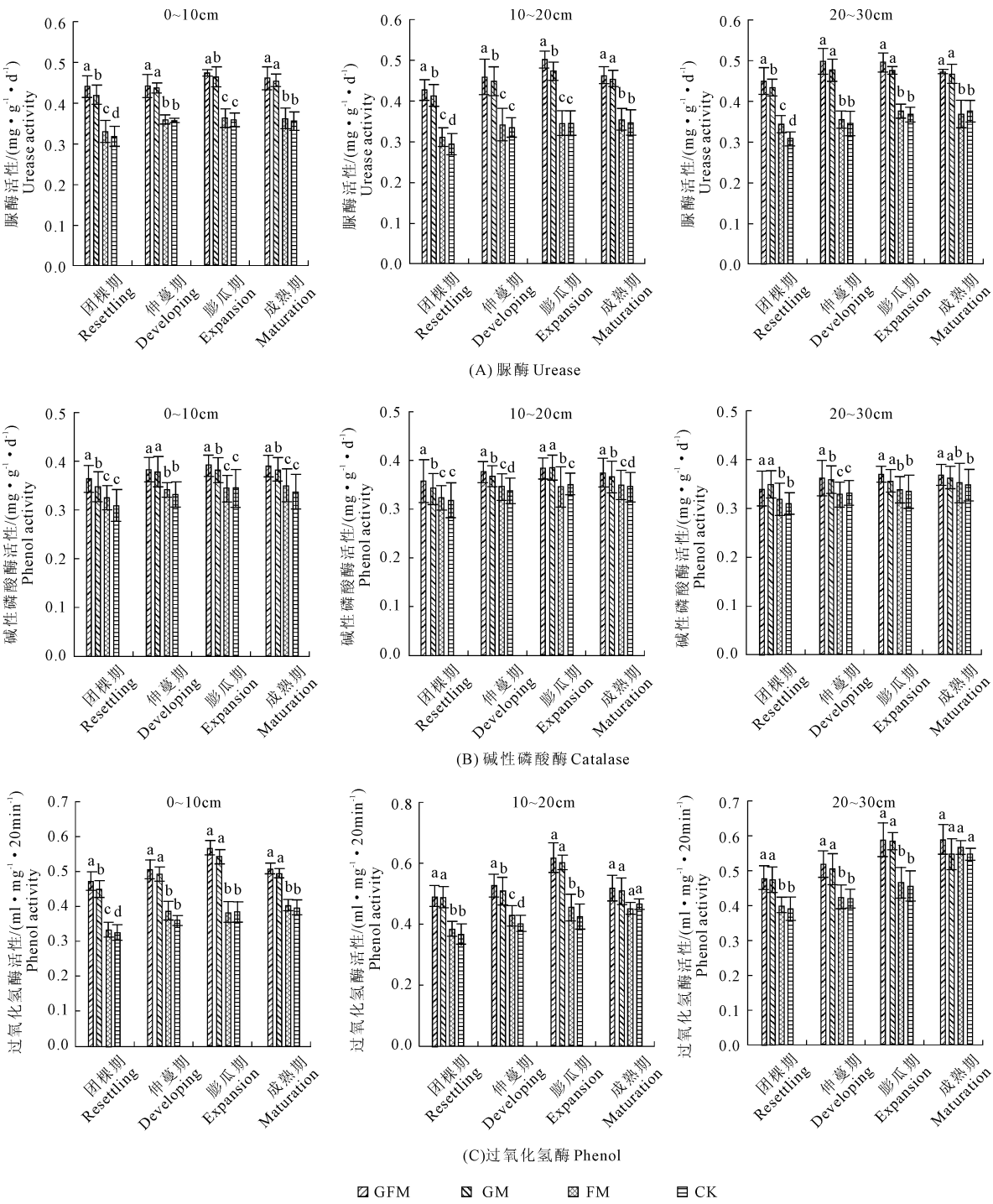


图 1 土壤各层次酶活性
Fig.1 Soil enzymatic activity in different soil depth

不同覆盖措施下土壤各层次的水热与酶活性相关分析(表 3)表明,提高土壤含水量与土壤温度均可不同程度地提高土壤酶活性,土壤含水量与三种酶活性之间均存在显著(极显著)正相关,表明土壤含水量可以显著提高各种酶活性;土壤温度与脲酶活性相关性不显著,与过氧化氢酶活性、碱性磷酸酶

活性呈显著(极显著)差异,温度可以显著提高过氧化氢酶及碱性磷酸酶活性,表明土壤水分和温度条件的改善均对三种土壤酶活性的提高影响极为显著。随着土壤温度的提高,土壤酶活性也出现增加的趋势,由表 2 可知,3 种处理的土壤温度均低于 CK,而从图 1 看出,CK 在各土层的酶活性均最低,

因此,温度的改变并不是提高酶活性的关键因素;随着水分含量的增加,土壤酶活性均出现不同程度的提高,从图 1 看出,酶活性的变化趋势中,各个处理土壤酶活性均高于 CK。旱区农田由于地表覆盖各

种物质,使得表层温度出现不同程度的下降,表现为降温效应,而土壤含水量较 CK 则出现不同程度的增加,因此可以确定土壤酶活性的差异主要是由土壤含水量的差异而非温度的差异引起的。

表 2 不同处理土壤各层次地温及含水量
Table 2 Water content and temperature in different soil depth

生育时期 Growth stage	土层深度/cm Soil depth	含水量 Soil water content/%				地温 Soil temperature/℃			
		GFM	GM	FM	CK	GFM	GM	FM	CK
团棵期 Resettling	0 ~ 10	11.88	11.41	9.28	8.33	21.79	21.40	18.73	24.37
	10 ~ 20	13.70	12.68	9.86	10.65	19.22	19.94	17.44	20.82
	20 ~ 30	15.65	14.86	14.28	13.33	16.99	18.26	16.97	17.65
伸蔓期 Developing	0 ~ 10	11.45	11.78	9.64	9.24	26.57	26.42	23.76	28.31
	10 ~ 20	12.68	13.41	11.01	10.80	23.80	25.12	22.57	25.83
	20 ~ 30	16.30	15.58	15.07	14.35	21.39	23.92	22.44	22.49
膨瓜期 Expansion	0 ~ 10	12.25	13.22	10.14	9.06	31.38	28.65	26.43	31.50
	10 ~ 20	13.19	14.86	10.72	11.30	28.03	27.14	25.31	28.87
	20 ~ 30	15.65	17.75	12.75	13.70	25.37	26.16	25.12	25.98
成熟期 Maturation	0 ~ 10	11.01	11.96	10.72	10.51	29.14	28.35	26.35	30.59
	10 ~ 20	12.90	13.77	11.09	11.88	26.43	27.13	25.31	28.17
	20 ~ 30	14.78	15.94	13.48	13.55	24.88	26.48	25.43	26.06

表 3 不同覆盖下土壤酶活性与水热的相关系数
Table 3 Correlation coefficients between enzyme activities and soil moisture and temperature for different mulching treatments

项目 Item	脲酶活性 Urease activity	过氧化氢酶活性 Catalase activity	碱性磷酸酶活性 Alkaline phosphatase activity
土壤含水量 Soil water content	0.53**	0.68**	0.29*
土壤温度 Soil temperature	0.25	0.29*	0.52**

注: * 表示 $P < 0.05$ 水平上差异显著, ** 表示 $P < 0.01$ 水平上差异显著。
Note; * indicates significant difference at $P < 0.05$ level, ** indicates significant difference at $P < 0.01$ level.

2.3 不同覆盖措施对西瓜产量的影响

方差分析表明(表 4),GFM、GM 处理的西瓜产量与 FM、CK 呈显著差异,产量表现依次为 $GFM > GM > FM > CK$, 分别比 CK 高出 50.5 倍、30.7 倍和 7.5 倍,处理间呈显著性差异;GFM 与 CK、FM 和 GM,GM 与 FM 和 CK,FM 与 CK 处理分别存在显著差异。

在西瓜全生育期内 121.6 mm 降水条件下,FM 处理与 CK,尽管在西瓜生长后期雨水较为频繁,但总降水量较小,前期雨水虽多,但由于其保水蓄墒效果差,作物生长量小,西瓜生长缓慢,虽能坐瓜但在关键需水期干旱缺水导致果实瘦小,甚至开裂变形,形成歪瓜,没有商品价值;GFM 处理和 GM 处理西瓜

表 4 不同覆盖措施对西瓜产量的影响
Table 4 Watermelon yield of different mulching treatments

处理 Treatment	产量/(kg·667m ⁻²) Yield			平均产量 Mean yield /(kg·667m ⁻²)	商品率(≥5kg) Commercialization rate/%	增产 Increase /kg	比率 Ratio /%
	I	II	III				
GFM	1644.2	1710.0	1653.1	1669.1a	86.10	1636.7	5051.54
GM	885.7	1217.1	978.5	1027.1b	63.89	994.7	3070.06
FM	262.2	281.3	280.5	274.7c	2.16	242.3	747.84
CK	42.8	27.6	26.9	32.4d	0	—	—

注:同列不同字母表示差异显著($P < 0.05$)。 Note: Different letters in the same column indicated significant difference at $P < 0.05$ level.

均能正常生长,商品率均高于 FM 与 CK,分别达到了 86.10%和 63.89%,具有比较高的商品价值。

旱区砂田由于特有的降温保墒蓄水功能,使得其在各层次上的土壤温度均低于 CK,而土壤含水量均高于 CK,改变了土壤的物理性能,从而在一定程度上提高了土壤各层次酶活性。脲酶和碱性磷酸酶高表征土壤中固定态的氮磷转化为速溶性的氮磷的能力较高,较高的过氧化氢酶有效防止了过氧化氢积累产生的毒害作用,从而使得植物处于一个良好的生长环境,促进增产。

由此可见,砂石+覆膜(GFM)和砂石覆盖(GM)后使得土壤水热条件得以改善,促进了土壤酶活性的增加,因此,砂石覆盖是干旱区农田蓄墒保墒的重要措施,也是作物增产的一项关键技术。

3 结论与讨论

本研究中旱区农田在不同地表覆盖措施下,土壤脲酶、过氧化氢酶及碱性磷酸酶活性有很大的差别。压砂+覆膜处理的三种酶活性都表现为最大,其次为压砂处理,再次为裸地覆膜处理。前两种处理提高酶活性的作用非常显著,而裸地覆膜处理虽然也有提高土壤酶活性的作用,但效果不显著。土壤酶活性在一定程度上反映了微生物的活性及其在土壤养分循环过程中的作用。水分和温度条件的改善首先影响到土壤微生物类群组成及数量,进而影响到土壤酶的酶促反应,从而加速土壤潜在养分的分解,土壤供肥能力增快,土壤水温条件改善的越明显,酶促反应强度也越大,作物生长发育健壮^[8]。本研究中,不同覆盖措施下,土壤表层各层次土壤温度均低于大田;覆盖地膜与对照相比土壤含水量互有高低之外,砂石覆盖及砂石+覆膜双层覆盖下土壤含水量均高于对照,与丁秀玲等研究结果一致^[9-10]土壤温度和水分改善对三种土壤酶活性都有积极的影响,但由于几种处理温度大都低于对照,因此可以判定是水分条件的改善显著影响到酶活性,与前人研究结果基本一致^[8]。不同覆盖措施均有提高土壤酶活性的作用,其作用大小顺序排列为砂石+覆膜>砂石覆盖>地膜覆盖>裸地对照。

随着季节的变化及作物生育期的推进,农田土壤酶活性呈现规律性变化^[11]。从空间分布来看,土壤酶活性呈现分层现象,随着土层的加深呈现上升或者下降趋势^[11-12]。本研究中土壤酶活性在空间上也表现为一定的层次性,从三种酶在土壤不同剖

面上的活性来看,以中间层(10~20 cm)土壤酶活性较大,表层(0~10 cm)和下层(20~30 cm)活性较低,但均无显著差异,这与试验所选取的层次及所选的作物有一定的关系,因本地区气候干旱,西瓜根系难以下扎,而作物生育期内表层土壤水分变动较大有关。

不同覆盖措施下保墒作用可促进养分的释放,从而提高了土壤酶活性。压砂+覆膜处理和压砂处理产量极显著高于覆膜处理和裸地对照,其原因就是土壤水分条件的明显改善,促进了土壤微生物的活动和酶活性。不同覆盖措施均可促进土壤酶活性,但在旱区条件下,以砂石+覆膜处理效果最为理想,单一砂石处理效果次之,单一地膜覆盖虽也有提高土壤酶活性的作用,但效果甚微。从对西瓜产量的影响来看,与对照相比砂石+地膜覆盖、砂石覆盖处理增产效果最为显著,且商品率大大提高,单一地膜覆盖有一定的增产效果,但商品率同样很低。因此,在当地旱区农业生产条件下,砂石+地膜覆盖和砂石覆盖是两种较为理想的抗旱保墒、增产增收的农业技术措施。

参 考 文 献:

[1] 刘建新.不同农田土壤酶活性与土壤养分相关关系研究[J].土壤通报,2004,(4):523-525.

[2] 邱莉萍,刘 军,王益权,等.土壤酶活性与土壤肥力的关系研究[J].植物营养与肥科学报,2004,(3):277-280.

[3] 刘恩科,赵秉强,李秀英,等.长期施肥对土壤微生物量及土壤酶活性的影响[J].植物生态学报,2008,(1):176-182.

[4] 周礼恺.土壤酶学[M].北京:科学出版社,1987:292.

[5] 信乃谄,侯向阳,张燕卿.我国北方旱地农业研究开发进展及对策[J].中国生态农业学报,2001,(4):58-138.

[6] 张 洁,姚宇卿,吕军杰,等.豫西旱坡地长期保护性耕作土壤酶活性及其与肥力关系[J].干旱地区农业研究,2011,29(2):142-146.

[7] 许 强,吴宏亮,康建宏,等.旱区砂田肥力演变特征研究[J].干旱地区农业研究,2009,27(1):37-41.

[8] 温晓霞,殷瑞敬,高茂盛,等.不同覆盖模式下旱作苹果园土壤酶活性和微生物数量时空动态研究[J].西北农业学报,2011,(11):82-88.

[9] 丁秀玲,许 强.不同覆盖物下的农田地温和蒸发量对比[J].长江蔬菜,2010,(20):27-32.

[10] 丁秀玲,许 强.不同覆盖方式西瓜土壤水分变化规律及利用效率[J].北方园艺,2010,(17):49-52.

[11] Aon M A, Cabello M N, Sarena D E, et al. I. Spatio-temporal patterns of soil microbial and enzymatic activities in an agricultural soil[J]. Applied Soil Ecology, 2001,18(3):239-254.

[12] 高秀君,张仁陟,杨招弟.不同耕作方式对旱地土壤酶活性动态的影响[J].土壤通报,2008,(5):1012-1016.