

网络出版时间:2015-09-09 15:41

DOI:10.13207/j.cnki.jnwafu.2015.10.003

网络出版地址:http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20150909.1541.006.html

地膜覆盖对西藏林芝土壤性质及玉米产量的影响

张红锋,王 伟,魏素珍

(西藏大学 农牧学院 资源与环境学院,西藏 林芝 860000)

[摘 要] **【目的】**研究地膜覆盖对西藏土壤性质及玉米生长和产量的影响效应,为提高玉米栽培效益提供科学依据。**【方法】**以西藏林芝为研究区,选择“正红 211”为供试玉米品种,以未覆盖地膜为对照,采用田间试验研究地膜覆盖对土壤性质和玉米生长、产量的影响。**【结果】**与未覆盖地膜相比,地膜覆盖可以有效提高土壤温度和含水量,降低土壤体积质量,增加土壤孔隙度和土壤微生物数量,其中细菌、放线菌、固氮菌和真菌数量分别增加了 28.0%, 29.17%, 118.68% 和 50.95%。地膜覆盖可有效促进土壤 N、P、K 的转化,土壤碱解氮、速效磷和速效钾含量明显提高,但有机质含量略有降低。地膜覆盖玉米生育进程提早,整个生育期缩短 15 d,实际产量显著增加。**【结论】**在西藏林芝地区采用地膜覆盖措施,可以改善土壤水热条件、营养条件和生物条件,使玉米显著增产。

[关键词] 玉米;地膜覆盖;土壤性质;西藏高原

[中图分类号] S513.048

[文献标志码] A

[文章编号] 1671-9387(2015)10-0014-05

Influence of plastic mulching on soil properties and maize yield in Linzhi, Tibet

ZHANG Hong-feng, WANG Wei, WEI Su-zhen

(Department of Resources and Environmental Science, Agriculture and Animal Husbandry College,
University of Tibet, Linzhi, Tibet 860000, China)

Abstract: **【Objective】** The effects of plastic mulching on soil properties and maize growth and yield were studied to provide scientific basis for improve maize planting. **【Method】** To elucidate the soil properties and maize yield changes under plastic mulching cultivation in Tibet, field plot experiments were conducted in Linzhi, using Zhenghong 211 maize as materials and no-mulching field as control. **【Result】** Compared with no plastic mulching, plastic mulching improved soil temperature and moisture, reduced soil bulk density and porosity, and increased soil microbial quantity. Bacteria, actinomycetes, nitrogen-fixing bacteria and fungi were increased by 28.0%, 29.17%, 118.68% and 50.95%, respectively. Plastic mulching also effectively promoted soil N, P, K transformation efficiency and contents of soil alkali-hydrolyzable N, available P and K, but it slightly lowered organic matter content. Maize growth was advanced and the growth period was shortened by 15 d, which significantly increased actual yield. **【Conclusion】** Plastic mulching cultivation is a suitable cultivation method in Linzhi, Tibet to improve soil properties and increase maize yield.

Key words: maize; plastic film mulching; soil properties; Tibet plateau

土壤是作物生长的基础,其水分、温度、养分元素含量等直接影响着作物的产量和品质^[1-3],因此成

为广大学者研究的一个重要方面。在农业生产中,采用一定的生产管理措施,如合理施肥^[4]、科学灌

[收稿日期] 2014-07-09

[基金项目] 国家科技支撑计划项目(2013BAJ03B05)

[作者简介] 张红锋(1968—),女,陕西渭南人,副教授,主要从事高原植物营养与栽培研究。E-mail: xzzhf@21cn.com

溉^[5]及地表覆盖^[6-7]等措施改变土壤的水、热、肥条件,可以改善土壤基本属性,提升土壤质量和生产能力。其中地膜覆盖是一种改善土壤水分、温度条件的重要生产措施,有利于植物根系生长发育,促进作物向高海拔、高寒、干旱半干旱区的延伸^[8],并能改善土壤微生物生活环境,促进土壤养分转化,强化对作物的养分供应,因此被广泛应用。Singh 等^[9]研究发现,薄膜覆盖可以使 0~10 cm 土层土壤温度提高 2.2~3.4 ℃,并且可使番茄产量提高 20.7%~29.8%。地膜覆盖可以显著提高玉米营养生长阶段 0~60 cm 土层土壤含水量,且可以明显提高苗期至拔节期 5~25 cm 土层土壤平均温度^[10]。

玉米是重要的“粮、蔬、经、饲、能”兼用作物,是我国三大粮食作物(稻谷、小麦、玉米)之一,在工农业经济发展中起着非常重要的作用。随着早熟、中熟品种引进和地膜覆盖栽培技术的推广应用,西藏玉米种植有了一定规模的发展,然而较低的年均温、较少的积温和春季干旱成为限制西藏玉米发展的重要因子。针对西藏高原独特的地理环境条件,地膜栽培技术对玉米产量性状影响的研究已有报道^[11-12],但对土壤主要因子及玉米产量形成的系统研究尚比较少见,本研究采用田间小区覆膜与未覆膜栽培对比试验,探讨地膜覆盖对土壤理化性质及玉米生长和产量的影响,以期对西藏玉米增产和农业生态系统可持续发展提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

试验小区设置在位于林芝的西藏大学农牧学院教学实习农场内,地理位置 N29°40'27",E94°20'26",海拔 2 970 m,年平均气温 8.8 ℃,最热月(7 月)平均气温为 18 ℃;≥10 ℃年有效积温 1 800~2 200 ℃,年平均降雨量 650~700 mm,年日照时数 2 000 h 左右,年总辐射量为 $6.1 \times 10^9 \sim 7.0 \times 10^9$ J/m²,光合有效辐射为 $2.5 \times 10^9 \sim 3.0 \times 10^9$ J/m²,无霜期 160~180 d。试验地为多年耕作地,属典型的山地棕壤,质地为沙壤土,砾石含量 30%~40%;耕层浅薄,厚度约为 30 cm;地势平坦,有灌溉条件。土壤 pH 值 6.39,有机质 15.6 g/kg,碱解氮 67.4 mg/kg,速效磷 8.32 mg/kg,速效钾 110.4 mg/kg。

1.2 试验设计

试验设置平作覆盖地膜(以下简称覆膜)和未覆膜(对照)2 种植方式,覆膜玉米选用幅宽 2.0 m、

厚度 0.007 mm 的微膜地膜,膜内种 3 行玉米,行距 65 cm,株距 40 cm,每穴留苗 2 株,种植密度为 75 000 株/hm²。覆膜小区先播种后覆膜,待出苗时破膜,幼苗露出膜外生长。未覆膜玉米行距 65 cm,株距 40 cm,挖穴种植每穴留苗 2 株,种植密度为 75 000 株/hm²。试验小区面积 66.7 m²,每处理设 2 次重复。供试玉米品种为“正红 211”。

水肥管理:播种前,一次性施入基肥,其中磷酸二铵 150 kg/hm²,二元复合肥 1 050 kg/hm²。在玉米拔节期结合除草穴施尿素 375 kg/hm²。覆膜前喷施除草剂阿特拉津和乙草胺混合液防除杂草。播种后立即灌透一次水,待苗高 10 cm 时灌二水,在拔节期,每隔 15 d 灌 1 次水直到雨季来临。如果持续降雨造成田间积水或在长时间土壤水分饱和时,需迅速开沟排涝降渍。

1.3 测定项目与方法

每个小区内分别随机选择 10 株玉米作为观测株,按照玉米的关键生育进程,对其出苗、拔节、抽雄、吐丝、成熟期所出现的时间分别进行观察记载;玉米成熟收获前,在覆膜及未覆膜处理的 2 个小区内分别选取 3 个 15 m² 的样方,每处理共计设 6 个样方,按样方收获,测定相关指标并折合玉米产量。采用地温计每天按早、中、晚 3 次分别测量地表、5 cm 土层和 15 cm 土层土壤温度,同时测定并记录气温数据。取 0~20 cm 土层土壤,采用烘干法测定土壤含水量。播种 30 d 后,每个小区随机采集 3 个 0~20 cm 土层土壤样品,并混合制样。采用环刀法测定土壤体积质量和孔隙度^[13],采用重铬酸钾容量法测定有机质含量,碱解扩散法测定碱解氮含量,Olsen 法测量速效磷含量,M3 浸提火焰光度法测定速效钾含量^[14]。土壤微生物采用平板培养计数法测定。

1.4 数据处理与分析

采用 SPSS 19.0 软件进行数据处理与分析。

2 结果与分析

2.1 地膜覆盖对玉米地土壤物理性质的影响

2.1.1 土壤温度 从表 1 可见,在玉米苗期(04-25)、拔节期(05-15)和开花期(08-07),地膜覆盖总体上均能明显提高土壤温度,并且跟天气条件无关。众所周知,玉米是典型的喜温作物,低温会影响玉米种子的萌发,降低发芽势和发芽率,导致幼苗活力下降。徐文强等^[15]的研究表明,当气温降低到 15 ℃时,玉米种子发芽率迅速降低,大多种子不能正常萌

发。04-25 未覆膜小区的地表和 5 cm 土层的土壤平均温度分别为 14.5 和 15.2 ℃,而此时覆膜小区的土壤平均温度达到了 21.2 和 19.0 ℃,分别提高了 6.7 和 3.8 ℃,对于高原河谷区农田而言,玉米苗期外界环境气温还比较低,这种地温的提升,肯定有利于玉米种子的萌发。

表 1 地膜覆盖对玉米地土壤温度的影响

Table 1 Effects of plastic film mulching on soil temperature in maize filed

时期 Date	测定时间 Time	气温/℃ Air temperature	土壤温度/℃ Soil temperature					
			地表 Ground surface		5 cm 土层 5 cm soil layer		15 cm 土层 15 cm soilayer	
			未覆膜 Un-mulching	覆膜 Mulching	未覆膜 Un-mulching	覆膜 Mulching	未覆膜 Un-mulching	覆膜 Mulching
04-25 (阵雨转阴 Showers negative)	08:00	7.0	7.5	12.0	8.5	12.5	9.5	11.5
	14:00	18.0	18.5	28.5	17.5	20.0	14.8	16.6
	19:00	16.0	17.5	23.0	19.5	24.5	17.2	20.4
05-15 (晴天 Sunny day)	08:00	8.5	9.9	14.9	11.9	13.0	12.5	14.8
	14:00	27.0	28.2	47.6	32.3	41.4	21.7	25.5
	19:00	18.0	21.3	27.3	24.1	32.6	23.6	27.0
08-07 (多云 Cloudy)	08:00	11.0	11.5	14.5	12.3	15.2	16.0	16.7
	14:00	26.0	25.5	31.0	24.5	26.0	24.0	23.0
	19:00	21.0	21.7	27.7	21.5	24.5	22.8	27.0

2.1.2 耕作层土壤水分含量 覆膜使土壤表面形成了一层物理阻隔,一方面自然降雨时水分不能直接进入土壤,而另一方面又能有效控制土壤水分蒸发,致使土壤表面较长时间保持湿润状态,土壤含水量也相对保持稳定。从表 2 可以看出,在覆膜条件下,从 05-10 至 06-27,无论外界是否降雨土壤含水量一直保持在 25%左右。而未覆膜时,因 05-10 之前没有降雨,土壤含水量仅为 15.1%,而降雨后土壤含水量明显升高;到 07-23 以后,玉米植株长高,在冠层的遮荫作用及地膜破损影响下,覆膜与未覆膜处理的土壤含水量差异较小。

现在研究表明^[15],土壤水分的下降会使玉米种子发芽势、发芽率均呈降低趋势,当土壤含水量低于 10%时会使得玉米幼苗生长受到抑制。高原冬春季多大风天气,空气干燥,其土壤含水量也偏低,一般在 5 月份之前,其土壤自然含水量不足 10%,即使灌溉浇水,也非常容易被大风吹干而导致土壤含水率迅速下降;而覆膜之前进行一次灌溉后再进行地膜覆盖,则可以很好地使土壤水分含量保持在 25%左右,这样不仅有利于苗期玉米的生长发育,同样也利于拔节期玉米生长对水分的需求。

表 2 地膜覆盖对玉米地土壤含水量的影响

Table 2 Effects of plastic film mulching on soil water content in maize field %

处理 Treatment	测定日期 Determination date				
	05-10	05-25	06-27	07-23	08-05
覆膜 Mulching	23.4	23.5	26.4	19.8	14.6
未覆膜 Un-mulching	15.1	26.0	28.7	18.3	16.9

2.1.3 土壤体质量和孔隙度 覆膜能有效避免雨水对地面的直接击打,减小雨滴对土壤表层结构的影响。同时由于相对稳定的土壤含水量,减少了土壤干湿交替作用,对稳定土壤结构也具有非常重要的作用。覆膜与未覆膜处理耕层(0~20 cm)土壤的体质量和孔隙度如表 3 所示。

由表 3 可知,覆膜条件下土壤体质量明显低于未覆膜处理,较未覆膜处理下降 14.18%。覆膜处理使土壤孔隙度明显增加,覆膜条件土壤孔隙度达 52%,较未覆膜处理增加了 6%。

2.2 地膜覆盖对玉米地土壤微生物的影响

土壤微生物是土壤物质转化的关键驱动因子^[16],而土壤理化性质和气候因子均会对土壤微生物种群构成和数量等产生重要影响。地膜覆盖可以提高土壤温度和湿度,从而为土壤微生物的生长发育创造良好的生活环境,促进微生物群体数量的扩增和种群丰富度的增加。由表 4 可知,地膜覆盖明显增加了耕层(0~20 cm)的土壤微生物数量,与未覆膜处理相比,细菌、放线菌、真菌和固氮菌分别增

表 3 地膜覆盖对玉米地耕层(0~20 cm)

土壤体质量和孔隙度的影响

Table 3 Effects of plastic mulching on soil surface (0—20 cm) on soil volume weight, and porosity

处理 Treatment	土壤体质量/(g·cm ⁻³) Volume weight	孔隙度/% Porosity
覆膜 Mulching	1.21	52
未覆膜 Non-mulching	1.41	46

加 28.0%,29.17%,50.95%和 118.68%。

表 4 地膜覆盖对玉米地耕层(0~20 cm)土壤微生物数量的影响

Table 4 Effects of plastic mulching (0—20 cm) on number of soil microorganisms					g ⁻¹	
处理 Treatment	细菌(×10 ⁶) Bacteria	放线菌(×10 ⁴) Actinomycetes	真菌(×10 ³) Fungi	固氮菌(×10 ²) Azotobacter		
覆膜 Mulching	64	93	31.7	19.9		
未覆膜 Non-mulching	50	72	21.0	9.1		

2.3 地膜覆盖对玉米地土壤养分含量的影响

2.3.1 土壤有机质 覆膜对土壤有机质含量的影响如表 5 所示。由表 5 可知,覆膜和未覆膜处理的土壤有机质含量差别较小,但覆膜处理的土壤有机质含量与未覆膜处理相比降低了 4.64%,这可能是

由于覆膜处理提高了土壤温度和湿度,促进了土壤微生物活动,使土壤中周转周期较短的易氧化有机碳迅速分解^[17],导致部分不稳定态有机碳转化为 CO₂ 排放到大气中所致。

表 5 地膜覆盖对玉米地耕层(0~20 cm)土壤养分含量的影响

Table 5 Effects of plastic mulching (0—20 cm) on soil nutrient contents				
处理 Treatment	有机质/(g·kg ⁻¹) Organic matter	碱解氮/(mg·kg ⁻¹) Available N	速效磷/(mg·kg ⁻¹) Available P	速效钾/(mg·kg ⁻¹) Available k
覆膜 Mulching	18.5	77.0	15.6	142.8
未覆膜 Non-mulching	19.4	75.1	8.4	133.0

2.3.2 土壤主要有效养分 由表 5 可知,覆膜处理对土壤有效养分具有增加效应。覆膜处理土壤碱解氮、速效磷、速效钾的含量分别为 77.0,15.6,142.8 mg/kg,较未覆膜处理土壤分别增加 2.53%,46.2%,6.9%,这与覆膜处理改善了表层土壤水、热条件,提高了土壤养分矿化分解微生物的活性和群体数量有关。

示。由表 6 可知,覆膜处理明显加快了玉米各生育期的进程,覆膜处理玉米的平均出苗期较未覆膜处理提早 6 d,覆膜处理玉米的出苗期在 04-26,而未覆膜处理玉米到 05-02 才出苗。与未覆膜相比,覆膜处理出苗率提高了 5.2%,拔节期提早了 12 d,抽雄期提早了 13 d,吐丝期提早了 14 d,成熟期提早了 14 d,生育期缩短 15 d。方差分析检验结果表明,覆膜处理对供试区玉米出苗率、生育期及生长时间的影响均达到了极显著水平($P<0.01$)。

2.4 地膜覆盖对玉米生长的影响

覆膜与未覆膜处理玉米生育期的变化如表 6 所

表 6 地膜覆盖对玉米生育期的影响

Table 6 Effect of plastic film mulching on maize growth period								
处理 Treatment	出苗率/% Emergence rate	播种期 Sowing date	出苗期 Emergence stage	拔节期 Elongation stage	抽雄期 Tasseling stage	吐丝期 Silking stage	成熟期 Mature period	生长时间/d Growth period
覆膜 Mulching	98.4	04-17	04-26	06-13	07-03	07-08	08-12	116
未覆膜 Non-mulching	93.5	04-17	05-02	06-25	07-16	07-22	08-26	131
t-检验 t-test	**	—	**	**	**	**	**	**

注:**表示差异极显著($P<0.01$)。下表同。
Note: ** shows extremely significant difference ($P<0.01$). The same below.

2.5 地膜覆盖对玉米产量及其构成要素的影响

考种,分别计算理论产量、实际产量,结果见表 7。

在成熟期每小区分别收取 10 株玉米进行室内

表 7 地膜覆盖对玉米产量及其构成要素的影响

Table 7 Effect of plastic film mulching on composition and influence factors of maize yield							
处理 Treatment	株高/cm Height	有效小穗数 Available spikelet	穗粒数 Grain number	千粒质量/g 1 000-grain weight	小区实际 产量/kg Yield in experiment plot	理论产量/ (kg·hm ⁻²) Theoretical yield	实际产量/ (kg·hm ⁻²) Real yield
覆膜 Mulching	227.1	381.5	433.0	286.1	44.2	7 113.9	6 630.0
未覆膜 Non-mulching	225.4	269.5	270.0	284.6	18.9	3 131.7	2 835.0
t-检验 t-test	NS	**	**	NS	**	**	**

注:NS表示差异不显著($P>0.05$)。
Note: NS means insignificant difference ($P>0.05$).

由表 7 可知,覆膜显著提高了玉米的主要经济性状指标,具有显著增产作用。与未覆膜处理相比,覆膜处理株高增加 1.7 cm,有效小穗数增加 112 个,每穗粒数增加 163 粒,千粒质量增加 1.5 g,小区产量增加 25.3 kg,理论产量增加 3 982.2 kg/hm²,实际产量增加 3 795.0 kg/hm²。方差分析检验结果表明,地膜覆盖处理对有效小穗数、穗粒数、小区实际产量、理论产量和实际产量的影响均达到极显著水平,而对株高和千粒质量影响不显著。

3 结论与讨论

本研究发现,在西藏林芝进行玉米覆膜栽培可以有效提高土壤温度,在地表及其以下 5 cm 处,覆膜处理的土壤温度明显高于未覆膜处理,这将有利于提升土壤环境的平均温度和有效积温,促进植物根系生长和生理活性。而在地表以下 15 cm 处,由于受到大气升温和降温速率及土壤热传导特性的影响,土壤温度的变化特征相对较为复杂。

本研究中,地膜覆盖栽培具有稳定和保持土壤水分的作用,在无降雨的相对干旱时期,地膜覆盖可以明显使土壤保持较高的含水量,这与李彩霞等^[18]的研究结果基本一致。此外,地膜覆盖可以减少降雨对土壤表面的冲击溅蚀作用,从而对于维护表层土壤结构和性质起到非常好的保护作用,故本研究中地膜覆盖处理的土壤体积质量呈降低趋势,而土壤孔隙度则明显增加。

地膜覆盖为土壤微生物生活提供了相对良好的土壤水分和温度环境条件,从而促进了土壤微生物的生长和生物活性的提升,故本研究中覆膜处理土壤的主要微生物群体数量均高于未覆膜处理。此外,微生物对土壤养分物质的转化起到非常关键的促进作用,微生物群体的增加促进了土壤氮、磷、钾等养分的矿化,加快了土壤养分的释放,提高了土壤的有效氮、磷、钾含量,同时促进了土壤有机质的分解。故在本研究中,与未覆膜相比,地膜覆盖处理明显提高了土壤碱解氮、速效磷和速效钾的含量,而有机质含量则呈降低趋势。

地膜覆盖对作物的生长发育和增产效应已得到广大学者的认可^[19-20]。本研究表明,地膜覆盖可以加速西藏高原地区玉米的生长发育进程,使其生育期平均缩短 15 d,实际产量增加 57.2%,证实地膜覆盖对西藏林芝供试区玉米的增产增收有非常好的促进作用,可以在当地推广利用。

参考文献

[1] Letey J. Relationship between soil physical properties and crop production [J]. *Advances in soil science*,1985(1):277-294.

[2] Evanylo G, Sherony C, Spargo J, et al. Soil and water environmental effects of fertilizer-, manure-, and compost-based fertility practices in an organic vegetable cropping system [J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*,2008,127(1):50-58.

[3] Whitmore A P, Whalley W R. Physical effects of soil drying on roots and crop growth [J]. *Journal of Experimental Botany*, 2009,60(10):2845-2857.

[4] Mylavarapu R S, Zinati G M. Improvement of soil properties using compost for optimum parsley production in sandy soils [J]. *Scientia horticulturae*,2009,120(3):426-430.

[5] Geerts S, Raes D. Deficit irrigation as an on-farm strategy to maximize crop water productivity in dry areas [J]. *Agricultural Water Management*,2009,96(9):1275-1284.

[6] Mullan D J, Reynolds M P. Quantifying genetic effects of ground cover on soil water evaporation using digital imaging [J]. *Functional Plant Biology*,2010,37(8):703-712.

[7] Qu H, Tao H, Tao Y, et al. Ground cover rice production system increases yield and nitrogen recovery efficiency [J]. *Agronomy Journal*,2012,104(5):1399-1407.

[8] 张明峰. 地膜覆盖栽培对玉米种植区域的延伸程度 [J]. *玉米科学*,1995,3(3):40-43.
Zhang M F. Expanding of maize growing regions under plastic mulch cultivation [J]. *Journal of Maize Sciences*,1995,3(3):40-43. (in Chinese)

[9] Singh A K, Kamal S. Effect of black plastic mulch on soil temperature and tomato yield in mid hills of Garhwal Himalayas [J]. *Journal of Horticulture and Forestry*,2012,4(4):77-79.

[10] 曹玉军, 魏雯雯, 徐国安, 等. 半干旱区不同地膜覆盖滴灌对土壤水温变化及玉米生长的影响 [J]. *玉米科学*,2013,21(1):107-113.
Cao Y J, Wei W W, Xu G A, et al. Effects of different films on soil water, temperature and corn growth characteristics under drip-irrigation conditions in semi-arid region [J]. *Journal of Maize Sciences*,2013,21(1):107-113. (in Chinese)

[11] 何艳, 卓嘎, 昌西, 等. 西藏林芝地区玉米地膜栽培产量性状分析 [J]. *安徽农业科学*,2011,39(30):18466-18468.
He Y, Zhuo G, Chang X, et al. Analysis of the yield character of the corn covered with mulching membrane in Linzhi area of Tibet [J]. *Journal of Anhui Agriculture Science*,2011,39(30):18466-18468. (in Chinese)

[12] 刘翠花, 王庆祥, 田晓梅, 等. 西藏玉米杂交种的繁育技术研究 [J]. *玉米科学*,2002,10(S):56-59.
Liu C H, Wang Q X, Tian X M, et al. Study on production techniques of Tibet hybrid maize [J]. *Journal of Maize Sciences*,2002,10(S):56-59. (in Chinese)

[18] 郝 飞,翟梅枝,王 元,等.胡桃醌对小麦种子萌发及幼苗生长的化感效应 [J]. 西北植物学报,2012,32(3):518-524.
Hao F,Zhai M Z,Wang Y,et al. Allelopathic effects of juglone on the growth of wheat seedlings and seed germination [J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica,2012,32(3):518-524. (in Chinese)

[19] Leather G R,Einhellig F A. Bioassays in the study of allelopathy [M]//Putnam A R,Tang C S. The science of allelopathy. New York:John Wiley and Sons,1986:133-145.

[20] 张咏梅,周国逸,吴 宁. 土壤酶学的研究进展 [J]. 热带亚热带植物学报,2004,12(1):83-90.
Zhang Y M,Zhou G Y,Wu N. A review of studies on soil enzymology [J]. Journal of Tropical and Subtropical Botany,2004,12(1):83-90. (in Chinese)

[21] 张立芙,吴凤芝,周新刚,等. 盐胁迫下黄瓜根系分泌物对土壤养分及土壤酶活性的影响 [J]. 中国蔬菜,2009(14):6-11.
Zhang L F,Wu F Z,Zhou X G,et al. Effects of cucumber root exudates on soil nutrients and enzyme activities under salt stress [J]. China Vegetables,2009(14):6-11. (in Chinese)

[22] 周 科,刘 欣,聂刘旺,等. 凤丹连作对土壤理化性质和酶活性影响的研究 [J]. 生物学杂志,2011,28(2):17-20.
Zhou K,Liu X,Nie L W,et al. Research on the rhizosphere soil physiochemical properties and enzyme activity variations caused by continuous cultivating of *Paeonia ostii* [J]. Journal of Biology,2011,28(2):17-20. (in Chinese)

[23] Zelles L. Fatty acid patterns of phospholipids and lipopolysaccharides in the characterization of microbial communities in soil:A review [J]. Biology and Fertility of Soils,1999,29:111-129.

[24] 杨江山,张恩和,黄高宝,等. 保护性耕作对麦药轮作土壤酶活性和微生物数量的影响 [J]. 生态学报,2010,30(3):824-829.
Yang J S,Zhang E H,Huang G B,et al. Effects of conservation tillage on soil microbes quantities and enzyme activities in wheat-herb rotation system [J]. Acta Ecologica Sinica,2010,30(3):824-829. (in Chinese)

[25] Diamantidis G,Efosse A,Potier P,et al. Purification and characterization of the first bacterial laccase in the rhizospheric bacterium *Azospirillum lipoferum* [J]. Soil Biology and Biochemistry,2000,32(7):919-927.

[26] Aon M A,Colaneri A C. Temporal and spatial evolution of enzymatic activities and physico-chemical properties in an agricultural soil [J]. Applied Soil Ecology,2001,18(3):255-270.

[27] 徐 强,程智慧,孟焕文,等. 玉米-线辣椒套作系统中土壤养分与根际土壤微生物、酶活性的关系 [J]. 应用生态学报,2007,18(12):2747-2754.
Xu Q,Cheng Z H,Meng H W,et al. Relationships between soil nutrients and rhizospheric soil microbial communities and enzyme activities in a maize-capsicum intercropping system [J]. Chinese Journal of Applied Ecology,2007,18(12):2747-2754. (in Chinese)

(上接第 18 页)

[13] 四川温江农业学校. 土壤肥科学实验实习指导 [M]. 北京:农业出版社,1987.
Sichuan Wenjiang Agricultural School. Soil and fertilizer science experiment and practice guidance [M]. Beijing: Agriculture Press,1987. (in Chinese)

[14] 鲍士旦. 土壤农化分析 [M]. 北京:中国农业出版社,2000:12.
Bao S D. Soil agricultural chemistry analysis [M]. Beijing: China Agriculture Press,2000:12. (in Chinese)

[15] 徐文强,杨祁峰,牛俊义,等. 温度与土壤水分对玉米种子萌发及幼苗生长特性的影响 [J]. 玉米科学,2013,21(1):69-74.
Xu W Q,Yang Q F,Niu J Y,et al. Effects of temperatures and soil moisture content on seed germination and seedling growth characteristics of maize [J]. Journal of Maize Sciences,2013,21(1):69-74. (in Chinese)

[16] Allison S D,Wallenstein M D,Bradford M A. Soil-carbon response to warming dependent on microbial physiology [J]. Nature Geoscience,2010,3(5):336-340.

[17] Zou X M,Ruan H H,Fu Y,et al. Estimating soil labile organic carbon and potential turnover rates using a sequential fumigation-incubation procedure [J]. Soil Biology and Biochemistry,2005,37(10):1923-1928.

[18] 李彩霞,周新国,强小嫚,等. 不同水分处理下液体地膜覆盖玉米田土壤环境与产量效应 [J]. 玉米科学,2010,18(3):108-112.
Li C X,Zhou X G,Qiang X M,et al. Effects of liquid film mulching on soil moisture,temperature and yield of summer maize field under different water conditions [J]. Journal of Maize Sciences,2010,18(3):108-112. (in Chinese)

[19] Ibarra-Jimenez L,Zermeño-González A,Munguia-Lopez J,et al. Photosynthesis,soil temperature and yield of cucumber as affected by colored plastic mulch [J]. Acta Agriculturae Scandinavica Section B: Soil and Plant Science,2008,58(4):372-378.

[20] Zhang S,Li P,Yang X,et al. Effects of tillage and plastic mulch on soil water,growth and yield of spring-sown maize [J]. Soil and Tillage Research,2011,112(1):92-97.