

不同保水措施对退化干旱山地新植核桃园 土壤养分和微生物的影响

刘洋^{1,2}, 史薪钰^{1,2}, 陈梦华^{1,2}, 李保国^{1,2}, 齐国辉^{1,2}, 张雪梅^{1,2}

(1. 河北农业大学 林学院, 河北 保定 071000; 2. 河北省核桃工程技术研究中心, 河北 临城 053400)

摘要: [目的] 探索退化干旱山地不同保水措施对土壤理化特征的影响, 为北方干旱退化山区土壤环境改良提供科学依据。[方法] 以太行山新垦片麻岩山地新植核桃园为试材, 进行保水剂、玉米秸秆覆盖和地膜覆盖等保水措施的不同组合处理, 研究土壤养分和微生物数量的变化。[结果] 秸秆覆盖能显著提高土壤养分含量和微生物数量。细菌、放线菌数量和有机质、全氮、全磷、全钾、有效磷、速效钾含量较对照分别提高了 14.04%, 17.42%, 25.53%, 60.29%, 25.90%, 15.31%, 143.67% 和 51.44%。保水剂使得土壤养分含量和微生物数量略有下降。地膜覆盖降低了土壤细菌、真菌、放线菌、纤维素分解菌数量和有机质、全氮、全磷含量, 较对照分别降低了 27.19%, 21.0%, 10.11%, 31.07%, 1.11%, 22.06% 和 6.06%, 却提高了土壤全钾、有效磷、速效钾含量, 较对照分别提高了 12.6%, 9.65%, 8.09%。多元组合处理对土壤养分含量和微生物数量的影响相互之间差异较大; 而保水剂+秸秆覆盖+地膜覆盖的组合并没有达到最佳效果; 在所有处理中, 保水剂+秸秆覆盖的组合对土壤的改良效果最好, 与对照相比, 提高土壤细菌、放线菌数量和有机质、全氮、全磷、全钾、有效磷、速效钾含量分别达 16.67%, 3.37%, 6.64%, 92.65%, 12.67%, 1.8%, 94.25% 和 105.76%。[结论] 土壤养分、微生物数量与土壤水热气状况密切相关; 保水措施在改变土壤水热气状况的同时, 也改变了土壤养分和微生物数量。

关键词: 干旱山地; 土壤保水措施; 土壤养分; 土壤微生物

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2015)04-0218-05

中图分类号: S664.1

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2015.04.040

Effects of Different Water Conservation Measures on Soil Nutrients and Microorganisms in Newly Planted Walnut Orchard in Degraded Drought Mountain Land

LIU Yang^{1,2}, SHI Xinyu^{1,2}, CHEN Menghua^{1,2}, LI Baoguo^{1,2}, QI Guohui^{1,2}, ZHANG Xuemei^{1,2}

(1. College of Forestry, Agricultural University of Hebei, Baoding, Hebei 071000, China;

2. Research Center for Walnut Engineering and Technology of Hebei, Lincheng, Hebei 053400, China)

Abstract: [Objective] For the purpose of finding a well-behaved soil improvement method in degraded drought mountain lands, the influences of different soil and water conservation measures on soil physical and chemical properties were illustrated. [Methods] Conventional planting (contrast) and combined mulching treatments of water retention agent, maize straw and plastic film were designed in a newly planted walnut orchard in the drought gneiss area in Hebei Taihang Mountain in order to research their effects on soil nutrients and microorganisms. [Results] Soil nutrient content and microorganism population increased significantly under straw mulch as compared with the contrast. Amounts of soil bacteria and actinomycetes, soil organic matter content, soil total N, total P, total K, effective P and available K increased by 14.04%, 17.42%, 25.53%, 60.29%, 25.90%, 15.31%, 143.67% and 51.44% respectively. Soil nutrient content and microorganism population declined slightly under water retention agent treatment. As compared with the contrast, the quantities of soil bacteria, fungi, actinomycetes, cellulose decomposing bacteria and the contents of soil organic matter, total N, total P decreased under plastic film mulching decreased by 27.19%, 21.0%, 10.11%, 31.07%, 1.11%, 22.06% and 6.06%; the contents of total K, effective P and available K, in-

收稿日期: 2014-10-30

修回日期: 2014-11-23

资助项目: 国家“十二五”科技计划项目“西北区核桃高效生产关键技术研究及示范”(2013BAD14B0103); 河北省科技计划项目(14236811D); 林业公益行业科研专项(201504408)

第一作者: 刘洋(1991—), 男(汉族), 河北省高阳县人, 硕士研究生, 研究方向为经济林栽培生理。E-mail: 1203110893@qq.com。

通信作者: 李保国(1958—), 男(汉族), 河北省武邑县人, 教授, 博士生导师, 主要从事经济林栽培生理、山区开发技术研究及经济林栽培教学工作。E-mail: lbg888@163.com。

creased by 12.6%, 9.65% and 8.09%, respectively. The effects of combined treatments on soil nutrient contents and microorganism population were differently greatly. The most effective treatment on soil nutrients and soil microorganism amounts was not the combined treatment of water retention agent, straw and plastic film were as expected. The best measure was the combined mulching of water retention agent and maize straw. As compared with the contrast, the quantities of soil bacteria and actinomycetes, and the contents of soil organic matter, total N, total P, total K, effective P and available K, increased by 16.67%, 3.37%, 6.63%, 92.64%, 12.67%, 1.8%, 94.25%, and 105.76%, respectively. [Conclusion] Soil nutrient and microorganism population closely interacted with soil moisture, heat, air condition. Soil and water conversation measures can change moisture, heat, and air condition of soil. Through this, mulching can indirectly change soil nutrient and microorganism population.

Keywords: drought mountain; soil and water conversation; soil nutrient; soil microorganism

中国是一个严重干旱缺水的国家,人均水资源量仅为世界平均水平的1/4,是全球人均水资源非常贫乏的国家之一^[1-2]。这种状况在北方山区更为严峻。水资源严重不足是制约北方干旱退化山区综合治理的主要因素。减少土壤水分散失是缓解水资源短缺矛盾的有效途径。核桃是近年北方干旱山区发展速度非常快的重要经济林树种,是山区农民脱贫致富的主要农业支柱产业。土壤水分是核桃幼树栽植成活的限制因素。在北方干旱山地栽植果树或农作物时使用保水剂^[3-6],采取地面覆盖措施等^[7-9]可以减少土壤水分蒸发,还具有调节地表温度^[10],改善土壤理化性状^[11],防止水土流失和显著提高栽植成活率的作用。但是,对保水剂和覆盖措施综合作用效果的研究还鲜见报道。为此,本研究以太行山东麓退化干旱山地的平山县葫芦峪农业科技有限公司的新植核桃园为试材,研究不同保水措施对土壤养分和微生物数量的影响,为探索北方山地果园的最佳土壤保水模式以及北方干旱退化山区土壤环境改良提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地设在河北省中部太行山东麓、滹沱河上游的平山县葫芦峪农业科技有限公司的核桃基地。地理位置为东经114°5'38"—114°7'33",北纬38°26'5"—38°27'47"。该地区属暖温带半干旱季风大陆性气候,四季分明,季节性强,光照充足,降水量偏少,夏暑冬寒,温差较大。年平均气温12.7℃。年最热月份是7月,平均气温26.3℃;最冷月份是1月,平均气温-8.2℃。年较差29.5℃。无霜期平均180d。

1.2 试验设计与试验方法

试验设常规栽植(CK)、栽植坑内施用保水剂(B)、秸秆覆盖(J)、地膜覆盖(D)、栽植坑内施用保水剂+秸秆覆盖(B+J)、栽植坑内施用保水剂+地膜

覆盖(B+D)、秸秆覆盖+地膜覆盖(J+D)、栽植坑内施用保水剂+秸秆覆盖+地膜覆盖(B+J+D)共8个处理。每处理每个小区10株树,随机区组排列,3次重复。保水剂为2013年4月由北京汉力森新技术有限公司购进的XL(粒径4~6mm)型保水剂;秸秆为粉碎的3cm长玉米秸秆;地膜为普通农用地膜。于2014年4月10日栽植嫁接核桃苗,品种为绿岭,苗木规格为一级大苗。栽种时开挖深和宽为40cm×40cm的栽植坑,先将保水剂(用量为50g/株,使用前1d加入80~100倍的水使其吸涨)施入栽植坑内,再栽种核桃苗,栽好后充分灌水,之后覆盖秸秆(覆盖厚度为10cm左右)、地膜,地膜覆于秸秆之上。小管出流的出水管置于地膜下,便于灌水。各处理试验期间采用相同的管理措施,不施肥。2014年8月5日每个小区每处理设3个取样点,采取0~20cm土层土样,将每个小区内的3个土样均匀混合,剔除石砾及植物残茬等杂物,一部分新鲜土样用于测定土壤微生物数量,另一部分土壤风干、过筛,用于测定土壤理化性质。

1.3 测定内容及方法

(1) 土壤理化性质测定。土壤水分采用烘干法;土壤pH值采用电位计法测定^[12]。土壤养分含量测定:土壤有机质采用重铬酸钾容量法^[13];全氮采用凯氏定氮法;全磷采用钼锑抗比色法;速效磷采用碳酸氢钠浸提—钼锑抗比色法;全钾和速效钾采用火焰光度法^[14]。

(2) 土壤微生物数量测定。土壤微生物采用平板计数法,细菌、真菌、放线菌、纤维素分解菌所用培养基分别为牛肉膏蛋白胨琼脂培养基、马丁氏培养基、高氏1号培养基、CMC-Na琼脂培养基^[14]。

2 结果与分析

2.1 不同保水措施对土壤有机质和矿质元素的影响
不同土壤保水措施处理的土壤有机质和大量矿

质元素状况详见表 1。从表 1 可见,除保水剂+秸秆覆盖+地膜覆盖的处理外,有秸秆覆盖的处理均显著增加了 0—20 cm 土层的土壤有机质含量;保水剂处理和地膜覆盖处理则相反,均减少了 0—20 cm 土层的土壤有机质含量;保水剂+秸秆覆盖+地膜覆盖的处理突出强化了保水剂、地膜覆盖的叠加作用,极显著减少了 0—20 cm 土层的土壤有机质含量。有秸秆覆盖的处理 0—20 cm 土层的土壤全氮含量均极显著高于对照,保水剂处理和地膜覆盖处理 0—20 cm 土层的土壤全氮含量均低于对照,但差异不显著。有秸秆覆盖的处理 0—20 cm 土层的土壤全磷含量均极显著或显著高于对照;保水剂处理和地膜覆盖处理 0—20 cm 土层的土壤全磷含量均低于对照。除保水剂+地膜覆盖、保水剂+秸秆覆盖+地膜覆盖处理外,其他处理 0—20 cm 土层的土壤全钾含量均极显著或显著高于对照。保水剂处理 0—20 cm 土层的土壤全

钾含量极显著高于对照,秸秆覆盖和地膜覆盖处理 0—20 cm 土层的土壤全钾含量均显著高于对照;保水剂+地膜覆盖和保水剂+秸秆覆盖+地膜覆盖处理 0—20 cm 土层的土壤全钾含量均低于对照,保水剂+秸秆覆盖+地膜覆盖处理与对照差异显著。有秸秆覆盖的处理 0—20 cm 土层的土壤有效磷含量均极显著高于对照,其中秸秆+地膜处理 0—20 cm 土层的土壤有效磷含量最高;地膜覆盖处理 0—20 cm 土层的土壤有效磷含量也高于对照,但差异不显著;保水剂和保水剂+地膜覆盖处理 0—20 cm 土层的土壤有效磷含量均低于对照,差异不显著。有秸秆覆盖的处理 0—20 cm 土层的土壤速效钾含量均极显著高于对照;地膜覆盖处理 0—20 cm 土层的土壤速效钾含量也高于对照,但差异不显著;保水剂+地膜覆盖处理极显著低于对照,保水剂处理土壤速效钾含量也低于对照,但差异不显著。

表 1 不同土壤保水措施处理后 0—20 cm 土层的土壤有机质与 N、P、K 含量

mg/kg

处理	有机质含量	全氮含量	全磷含量	全钾含量	有效磷含量	速效钾含量
CK	20.64±0.69 ^{BC}	0.068±0.017 ^{CDc}	0.363±0.004 ^{CD}	53.81±2.91 ^{BCDd}	26.63±0.22 ^{DE}	141.37±12.34 ^{Eef}
B	18.57±1.38 ^{CD}	0.053±0.011 ^{De}	0.318±0.005 ^E	63.5±4.44 ^{Aa}	24.16±0.30 ^E	129.12±6.17 ^{Ef}
J	25.91±1.05 ^A	0.109±0.011 ^{Bb}	0.457±0.016 ^A	62.05±5.5 ^{ABab}	64.89±3.22 ^A	214.09±14.36 ^{Cc}
D	20.41±0.40 ^{BC}	0.053±0.011 ^{De}	0.341±0.004 ^{DE}	60.59±3.35 ^{ABCabc}	29.20±0.64 ^D	152.81±10.20 ^{Ee}
B+J	22.01±0.69 ^B	0.131±0.011 ^{ABab}	0.409±0.009 ^B	54.78±1.68 ^{ABCDcd}	51.73±0.86 ^B	290.88±8.61 ^{Aa}
B+D	15.13±0.69 ^E	0.590±0.017 ^{De}	0.318±0.013 ^E	52.84±4.45 ^{CDd}	23.30±1.05 ^E	107.06±7.49 ^{Fg}
J+D	22.24±0.40 ^B	0.157±0.007 ^{Aa}	0.407±0.002 ^B	56.23±3.03 ^{ABCbed}	68.51±1.25 ^A	250.85±12.34 ^{Bb}
B+J+D	16.51±0.69 ^{DE}	0.153±0.011 ^{Aa}	0.379±0.001 ^{BC}	46.05±3.36 ^{De}	36.80±1.51 ^C	179.77±8.61 ^{Dd}

注:表中数值为平均值±标准差;不同大写字母表示在 0.01 水平上差异极显著,不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著。下同。

2.2 不同土壤保水措施对土壤微生物数量的影响

不同土壤保水措施处理的土壤微生物数量详见表 2。从表 2 可见,有秸秆覆盖的处理 0—20 cm 土层的土壤细菌数量均极显著高于对照,其中保水剂+秸秆覆盖处理 0—20 cm 土层的土壤细菌数量最多。各处理 0—20 cm 土层土壤真菌数量均极显著低于对照,其中秸秆覆盖+地膜覆盖处理 0—20 cm 土层的土壤真菌数量最少。

除保水剂+秸秆覆盖+地膜覆盖处理外,其他有秸秆覆盖的处理 0—20 cm 土层的土壤放线菌数量均高于对照,没有秸秆覆盖的处理均低于对照。秸秆覆盖+地膜覆盖和保水剂+秸秆覆盖+地膜覆盖处理 0—20 cm 土层的土壤纤维素分解菌数量均高于对照,但差异不显著;其他处理均低于对照,其中保水剂+地膜覆盖处理 0—20 cm 土层的土壤纤维素分解菌数量最少。

表 2 不同土壤保水措施处理后 0—20 cm 土层的土壤微生物数量

处理	细菌数量/ (10 ⁷ 个·g ⁻¹)	真菌数量/ (10 ⁴ 个·g ⁻¹)	放线菌数量/ (10 ⁶ 个·g ⁻¹)	纤维分解菌数量/ (10 ⁵ 个·g ⁻¹)
CK	1.14±0.03 ^{Bc}	2.19±0.07 ^{Aa}	1.78±0.14 ^{ABbc}	1.03±0.05 ^{ABab}
B	1.16±0.04 ^{Bbc}	1.75±0.07 ^{BCbc}	1.66±0.16 ^{BCbc}	0.93±0.05 ^{ABCabc}
J	1.30±0.02 ^{Aa}	1.91±0.05 ^{ABb}	2.09±0.06 ^{Aa}	0.80±0.05 ^{BCDede}
D	0.83±0.06 ^{Ce}	1.73±0.16 ^{BCbc}	1.60±0.11 ^{BCcd}	0.71±0.07 ^{CDde}
B+J	1.33±0.02 ^{Aa}	1.38±0.09 ^{DEde}	1.84±0.10 ^{ABabc}	0.90±0.10 ^{ABCDbcd}
B+D	0.93±0.01 ^{Cd}	1.45±0.16 ^{CDEde}	1.04±0.08 ^{De}	0.66±0.06 ^{De}
J+D	1.25±0.05 ^{ABab}	1.21±0.08 ^{Ec}	1.90±0.05 ^{ABab}	1.11±0.06 ^{Aa}
B+J+D	1.30±0.03 ^{Aa}	1.53±0.11 ^{CDcd}	1.36±0.09 ^{CDd}	1.10±0.08 ^{Aa}

2.3 土壤微生物、养分之间相关性分析

土壤微生物、养分之间相关性分析结果如表 3 所示。

从表 3 可知,放线菌数量与有机质、有机质与全

磷、全磷与有效磷、有效磷与速效钾均呈极显著相关关系;细菌与纤维素分解菌、细菌与全磷、细菌与速效钾、真菌与全氮、放线菌与全磷、放线菌与有效磷、有机质与有效磷、全磷与速效钾均呈显著相关关系。

表 3 土壤微生物和养分相互之间相关性分析

项目	相关系数									
	细菌	真菌	放线菌	纤维分解菌	有机质	全氮	全磷	全钾	有效磷	速效钾
细菌	1									
真菌	-0.14	1								
放线菌	0.54	0.24	1							
纤维分解菌	0.67*	-0.10	0.31	1						
有机质	0.42	0.22	0.95**	0.07	1					
全氮	0.63	-0.69*	0.03	0.47	0.06	1				
全磷	0.72*	-0.06	0.74*	0.28	0.81**	0.57	1			
全钾	-0.20	0.28	0.52	-0.40	0.53	-0.60	0.02	1		
有效磷	0.64	-0.37	0.70*	0.30	0.76*	0.66	0.90**	0.12	1	
速效钾	0.69*	-0.47	0.63	0.36	0.63	0.65	0.79*	-0.04	0.84**	1

注: ** 表示在 0.01 水平上显著相关; * 表示在 0.05 水平上显著相关。

3 讨论与结论

(1) 早在 2000 年前的西汉时期就有关于秸秆覆盖使庄稼增收的记载^[15]。秸秆覆盖所需的生物材料取材方便,操作简单,省时省工,对土壤有较好的培肥改良作用,有利于改善土壤的生态环境从而促进植物的生长。王中堂等^[11],Nie^[16],谢文等^[17]研究也表明,有机物覆盖可提高土壤养分含量。本试验中,有秸秆覆盖的处理土壤养分含量均有不同程度的增高。秸秆分解可以增加土壤有机质和腐殖质含量,有机质和腐殖质的分解又可以增加其它养分含量,这是一个连续的过程。施加保水剂的处理,各养分含量均有所下降,原因可能是保水剂促进植物生长,加快了养分从土壤到植物的转移速率,从而降低了土壤养分;也可能是保水剂有吸肥、保肥的功效,保水剂将土壤中的养分吸收到自己体内,从而降低了土壤中的养分含量。本试验首次将保水剂、秸秆和地膜进行组合,其对土壤养分的影响是复杂的、连续的。土壤养分含量变化差异可能与不同土壤保水措施处理后造成的土壤水分、温度、微生物数量、土壤酶活性和根系生长等具体状况不同有关。保水剂、秸秆覆盖和地膜覆盖的各种组合处理对土壤养分的影响不仅仅是单一处理的累加效果,而是相互叠加后所起的综合效果,是复杂的、连续的和相互的。

(2) 土壤微生物是土壤生态系统中极其重要和最为活跃的部分,能够参与有机质分解、腐殖质形成、养分转化和循环等各个生化过程,对土壤结构尤其是

团聚体形成及其稳定性起着决定作用^[14,18]。土壤微生物的种类、数量及变化在一定程度上影响土壤养分供给状态和有效性;反过来,土壤养分状况也会影响土壤微生物的变化,二者存在一定的联系,有机质含量高,其土壤中微生物数量也多。本试验中放线菌数量与有机质含量呈极显著相关关系,这与上述研究结果一致。一些研究^[19-20]结果表明,秸秆覆盖可以提高土壤表层 0—20 cm 的微生物数量,尤其是氮化细菌、真菌和放线菌的数量。本试验中,有秸秆覆盖的各处理在不同程度上提高了细菌和放线菌的数量,这与前人的研究结果相一致。地膜覆盖处理的土壤细菌、真菌、放线菌和纤维素分解菌数量均低于对照,这可能是该地区绝大多数微生物属于中温型微生物,其繁殖最适宜温度在 20~40 °C,在夏季,无任何处理的土壤表层温度就在 40 °C 以上,地膜覆盖使得土壤表层温度高于对照,高温降低了微生物繁殖速率;如果是在春秋季节,结果可能就会相反。

(3) 土壤保水措施对土壤的改良作用是一个长期和连续的过程。特别是一年中不同时期不同保水措施处理的土壤有机质、微生物多样性及土壤理化性状等指标变化的机理及相互关系,应需进一步研究和探讨。

[参 考 文 献]

- [1] 王媛,盛连喜,李科. 中国水资源现状分析与可持续发展对策研究[J]. 水资源与水工程学报, 2008, 19(3): 10-14.
- [2] 武敏. 中国水资源现状与利用问题研究[J]. 新乡学院学报, 2011, 25(3): 25-27.

- [3] 杜社妮,耿桂俊,白岗栓,等. 保水剂施用方式对土壤水分及向日葵生长的影响[J]. 水土保持学报, 2011, 25(4): 139-143.
- [4] 王存兴,赵银河,祝钰,等. 土壤保水剂荒山造林应用技术研究[J]. 现代农业科技, 2012, (23): 167-168.
- [5] 姚建武,王艳红,唐明灯,等. 施用保水剂对旱地赤红壤持水能力及氮肥淋失的影响[J]. 水土保持学报, 2010, 24(5): 191-194.
- [6] Zahra M, Davood Hi, Ahmad A, et al. Effects of super absorbent polymer and plant growth promoting rhizobacteria on yield and yield components of maize under drought stress and normal conditions[J]. African Journal of Agricultural Research, 2011, 6(19): 4471-4476.
- [7] 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, 20(11): 82-88.
- [8] Som B, Pao S, Ouk M, et al. Effects of straw mulch on mungbean yield in rice fields with strongly compacted soils[J]. Field Crops Research, 2011, 124(3): 295-301.
- [9] Moslem J, Jalil A, Pour H, et al. Mulching impact on plant growth and production of rainfed fig orchards under drought conditions[J]. Journal of Food, Agriculture & Environment, 2012, 10(1): 428-433.
- [10] 陈素英,张喜英,裴冬,等. 秸秆覆盖对夏玉米田棵间土壤温度影响[J]. 排水学报, 2004, 23(4): 32-36.
- [11] 王中堂,彭福田,唐海霞,等. 不同有机物料覆盖对桃园土壤理化性质及桃幼树生长的影响[J]. 水土保持学报, 2011, 25(1): 142-166.
- [12] 杜森,高祥照. 土壤分析技术规范[M]. 北京: 中国农业出版社, 2006.
- [13] 孙萌,张雪梅,牛宝清,等. 河北太行山干旱片麻岩山地土壤理化性质[J]. 林业科技开发, 2013, 27(6): 15-19.
- [14] 李明,崔世茂,王怀栋. 不同地表覆盖对温室黄瓜根际土壤微生物和养分变化的影响[J]. 水土保持学报, 2014, 28(1): 173-177.
- [15] 张锐,孟宪昌,赵小凤. 生物覆盖的历史和发展趋势[J]. 山西农业科学, 2007, 35(9): 15-18.
- [16] Nie Shengwei, Chen Yuanquan, Enejin A E, et al. Impacts of maize intercropping with ryegrass and alfalfa on environment in fields with nitrogen fertilizer over-dose[J]. Journal of Food, Agriculture & Environment, 2012, 10(2): 896-901.
- [17] 谢文,潘木军,翟均平,等. 不同垄作覆盖栽培对土壤理化性状、耗水特性和玉米产量的影响[J]. 西南农业学报, 2007, 20(3): 365-369.
- [18] 张逸飞,钟文辉,李钟佩,等. 长期不同施肥处理对红壤水稻土壤酶活性及微生物群落功能多样性的影响[J]. 生态与农村环境学报, 2006, 22(4): 39-44.
- [19] 张桂玲. 秸秆和生草覆盖对桃园土壤养分含量、微生物数量及土壤酶活性的影响[J]. 植物生态学报, 2011, 35(12): 1236-1244.
- [20] 刘久俊,方升佐,谢宝东,等. 生物覆盖对杨树人工林根际土壤微生物、酶活性及林木生长的影响[J]. 应用生态学报, 2008, 19(6): 1204-1210.

(上接第 217 页)

- [4] 赵玉宇,魏永华,魏永霞,等. 不同沟灌方式对玉米光合速率和蒸腾速率的影响[J]. 灌溉排水学报, 2010, 29(5): 110-113.
- [5] 唐光木,何红,杨金钰,等. 灌溉定额对膜下滴灌玉米生理性状及产量的影响[J]. 水土保持研究, 2014, 21(3): 293-297.
- [6] 李维敏. 滴灌条件下不同覆膜方式对春玉米生理特性及土壤环境的影响[D]. 内蒙古 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2014.
- [7] 范雅君,吕志远,田德龙,等. 河套灌区玉米膜下滴灌灌溉制度研究[J]. 干旱地区农业研究, 2015, 33(1): 123-129.
- [8] 姜佰文,戴建军,王春宏,等. 氮素调控对寒地玉米氮素吸收与叶片 SPAD 值影响的初探[J]. 中国土壤与肥料, 2010(3): 41-44.
- [9] 郑捷,李光永,韩振中. 中美主要农作物灌溉水分生产率分析[J]. 农业工程学报, 2008, 24(11): 46-50.
- [10] 汪志农. 灌溉排水工程学[M]. 2 版. 北京: 中国农业出版社, 2013: 103-117.
- [11] 李漫. 不同密度及灌溉方式对春玉米生长发育及产量的影响[D]. 新疆 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2012.
- [12] 郭维. 黑龙江省西部玉米膜下滴灌试验研究[D]. 黑龙江 哈尔滨: 东北农业大学, 2010.
- [13] Grassini P, Thorburn J, Burr C, et al. High-yield irrigated maize in the Western US Corn Belt (I): On-farm yield, yield potential, and impact of agronomic practices[J]. Field Crops Research, 2011, 120(1): 142-150.
- [14] 秦永林. 不同灌溉模式下马铃薯的水肥效率及膜下滴灌的氮肥推荐[D]. 内蒙古 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2013.
- [15] 康静,黄兴法. 膜下滴灌的研究及发展[J]. 节水灌溉, 2013(9): 71-74.