降解地膜和渗水地膜覆盖对中国北方主要旱地作物产量和水分利用效率效应的 Meta 分析

闫乃桐[1]，张佳丽[1]，王仕稳[1,2]，马登科[2]，殷俐娜[1,2]，姚建民[3]，杨三维[3]，刘虎林[3]

（1. 西北农林科技大学 资源环境学院，陕西 杨陵 712100；2. 中国科学院 水利部 水土保持研究所 黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室，陕西 杨陵 712100；3. 山西省农业科学院农业资源与经济研究所，山西 太原 030031）

摘　要：[目的] 明确降解地膜和渗水地膜的最佳适宜区域、适宜作物，以及和普通地膜的效应差异，为降解地膜和渗水地膜的应用提供理论指导。[方法] 通过文献检索，分析整理关于降解地膜和渗水地膜的田间试验研究成果，进行了 Meta 分析。[结果] 降解地膜覆盖的所有作物产量及水分利用效率均显著高于无覆盖；和普通地膜比，降解地膜覆盖下玉米减产，棉花增产，对其他作物产量无差异；在降雨量小于 500 mm 时，降解地膜覆盖下作物产量低于普通地膜，而降雨量高于 500 mm 时产量无显著差异。渗水地膜覆盖下玉米、小麦、谷子和高粱等作物的产量和水分利用效率均显著高于无覆盖；和普通地膜比，渗水地膜覆盖下玉米和谷子产量及水分利用效率高于普通地膜，尤其是谷子增产效果显著。在降雨量小于 500 mm 的地区，渗水地膜和普通地膜比增产显著，高于 500 mm 则无差异。降解地膜生育后期的土壤温度低于普通地膜，而渗水地膜在低温下增温效果优于高温，且整个生育期温度更适合作物需求。[结论] 降解地膜在降雨量大于 500 mm 的短生育期作物上基本可以替代普通地膜，但是在长生育期作物上及降雨量较低地区应用有风险；而渗水地膜应该优先在降雨量低于 500 mm 地区的短生育期高叶面积指数作物上应用。

关键词：地膜覆盖；降解地膜；渗水地膜；产量；水分利用效率；土壤温度

文献标识码：B　　**文章编号**：1000-288X(2020)06-0121-09　　**中图分类号**：S152.7，S626

文献参数：闫乃桐，张佳丽，王仕稳，等. 降解地膜和渗水地膜覆盖对中国北方主要旱地作物产量和水分利用效率效应的 Meta 分析[J]. 水土保持通报，2020，40(6)：121-129. DOI：10.13961/j.cnki.stbctb.2020.06.018；Yan Naitong，Zhang Jiali，Wang Shiwen，et al. Meta-analysis of effect of degradable plastic film and water-permeable plastic film mulching on dryland crop yield and water using efficiency in Northern China [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation，2020，40(6)：121-129.

Meta-analysis of Effect of Degradable Plastic Film and Water-permeable Plastic Film Mulching on Dryland Crop Yield and Water Using Efficiency in Northern China

Yan Naitong[1], Zhang Jiali[1], Wang Shiwen[1,2], Ma Dengke[2],
Yin Lina[1,2], Yao Jianmin[3], Yang Sanwei[3], Liu Hulin[3]

(1. *College of Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi* 712100, *China*; 2. *Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources/State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on the Loess Plateau, Yangling, Shaanxi* 712100, *China*; 3. *Institute of Agricultural Resources and Economy, Shanxi Academy of Agricultural Sciences, Taiyuan, Shanxi* 030006, *China*)

Abstract: [Objective] The best suitable areas, suitable crops, and the effect difference between degradable and water-permeable mulching film were studied in order to provide theoretical guidance for the application of degradable and water-permeable mulching film. [Methods] The field researches on degradable mulch and water-permeable mulch were collected through the search of literatures, and a meta-analysis was performed based on these studies. [Results] The yield and WUE of all crops covered by degradable mulching film were significantly higher than that of no mulching; compared with ordinary mulching film, the degradable

收稿日期：2020-09-28　　**修回日期**：2020-10-21

资助项目：国家重点研发计划项目“秦巴山、吕梁山主要经济作物提质增效技术集成研究与示范”(2018YFD1001000)

第一作者：闫乃桐(1995—)，女(汉族)，山西省沁水县人，硕士研究生，研究方向为地膜的抗旱节水效果。Email：847867077@qq.com。

通讯作者：王仕稳(1978—)，男(汉族)，陕西省山阳县人，博士，研究员，主要从事旱地农业和作物抗旱生理研究。Email：shiwenwang@nwsuaf.edu.cn。

mulching film reduced the yield of corn and increased the yield of cotton, and there were no difference to other crops. The yield was lower than ordinary mulching film when the rainfall was less than 500 mm, while the rainfall was higher than 500 mm, there was no significant difference in yield. The yield and WUE of corn, wheat, millet and sorghum covered with water-permeable plastic film were significantly higher than those without mulching; compared with ordinary plastic film, the yield and WUE of corn and millet covered with water-permeable plastic film were higher than those of ordinary plastic film, especially in the millet which showed a significant increase in yield. Compared with ordinary mulching film, water-permeable mulching film had a significant increase effect in production in areas where the rainfall was less than 500 mm, and there was no difference above 500 mm. The soil temperature of the degradable mulching film in the late growth period was lower than that of the ordinary mulching film, while the temperature increase effect of the water-permeable mulching film at low temperature was better than that at high temperature, and the temperature of whole the growth period was more suitable for crop needs. [Conclusion] At present, degradable mulching film can basically replace ordinary mulching film on short-growth crops with rainfall greater than 500 mm, but it is risky to apply it on long growth period crops in areas with low rainfall; and water-permeable mulching film should be prioritized when rainfall is less than 500 mm in short growth period crop.

Keywords: plastic film mulching; degradable plastic film; water-permeable plastic film; yield; water use efficiency; soil temperature

我国北方具有丰富的土地和光照资源,是我国粮食生产的重要区域之一,也是我国主要的后备耕地资源区[1]。但是该地区蒸发量大,降水量少且年际间分布不均,因此干旱缺水,旱灾频繁是该地区农业生产面临的主要问题[2]。所以该地区农业技术的发展始终围绕着降低无效蒸发,提高水分利用效率这一主题。地膜覆盖自 20 世纪 70 年代引入我国以来,在我国北方旱区得到广泛应用,并扩大到南方高山寒冷地区,应用作物种类几乎包含全部的粮食作物和经济作物,地膜覆盖的面积已经达到 1 840 hm^2[3]。和裸地栽培相比,地膜覆盖可以显著提高土壤温度、抑制土壤蒸发、增加作物蒸腾耗水比例;保水保土、减少耕地水土流失;减少氮素淋失、提高氮素利用率;抑制杂草生长[4-6]。地膜覆盖可以显著提高作物产量和水分利用效率,并作为一种有效的农业措施得到了大面积的推广应用,在确保北方旱区的粮食安全中发挥着重要作用。地膜覆盖在旱区增产和提高水分利用效率效果显著,但随着覆盖年限、施用量和覆盖面积的增加,缺点也逐渐显现出来[7]。例如,在整个生长季节的地膜覆盖会由于后期温度过高,加速根系衰老而不利于产量潜力的发挥,而人工揭膜又会增加投入[8-9]。地膜覆盖在减少土壤蒸发的同时,也会减少降雨入渗,尤其是减少小雨入渗土壤;虽然通过垄沟覆盖,将其减少降雨入渗水降低到较低水平,但是如何实现全部降雨有效入渗,尤其是提高占降雨较大比例的小雨入渗,是地膜覆盖进一步提高水分利用效率需要面对的问题[10-11]。更重要的是由于地膜主要由聚乙烯制成,结构稳定,在自然条件下降解缓慢且大面积回收困难,因此残膜在土壤中逐渐累积,如地膜覆盖 30 a 后土壤中的塑料残留量已达到 71.9~259.1 kg/hm^2[12]。土壤中积累的塑料残留物会破坏土壤结构,降低养分有效性和微生物活性,减缓根系发育,从而影响作物生产,制约农业的可持续发展[12-13]。为了解决地膜覆盖带来的“白色污染”和改善普通地膜的缺陷,人们发展了降解地膜及渗水地膜,并在此基础上发展了降解渗水地膜。降解地膜主要由淀粉、蛋白和纤维素等天然物质为填充原料生产的半降解地膜和 PPC,PBAT 等全生物降解树脂生产的全生物降解地膜,和普通地膜相比,容易降解,可以有效缓解地膜带来的环境污染,但是也会带来破裂过早、保水性能不足等问题,在部分地区用来替换普通地膜,可能有减产风险[14-15]。此外,为了解决地膜阻隔小雨入渗的问题,姚建明等学者们开展了渗水地膜的研制与应用研究,在保持普通地膜基本理化性质不变的情况下,采用化学和机械的方法,吹制出具有单向渗水特性的渗水地膜[16]。渗水地膜狭窄的水分通道受到水的重力作用,通道就会变大,在膜面的雨水就能够顺利入渗,当膜面雨水入渗完毕,狭窄的水分通道受膜的弹力作用会关闭,阻止了膜下水分蒸发[16];同时渗水地膜还有调温功能,使作物生育后期温度比较适宜作物生长,解决了普通地膜温度较高造成作物烧苗的现象[17]。

近年来,又将生物降解地膜和渗水地膜的优势结合起来,开发了生物降解渗水地膜,和普通地膜比,其可完全降解,又具有单向渗水功能。近年来的研究表明,无论是降解地膜还是渗水地膜,在一些单点和普通地膜的比较研究中,大部分情况下其产量和普通地

膜接近,但是也有显著减产的报道[18]。由于降解和渗水地膜的增产效果可能会受到作物种类、温度和降雨量等环境条件的影响,因此其效果难以从单个独立的田间试验中确定。全面评价降解地膜和渗水地膜与普通地膜的效果差异及影响因素,是其替代普通地膜并大面积应用的前提。Meta 分析是对不同研究结果进行整合分析的统计学方法,能在不同独立研究结果的基础上得出区域尺度上的结论[19-20]。因此,本文应用 Meta 分析系统地比较降解地膜和渗水地膜与无覆盖裸地栽培和普通地膜覆盖栽培在产量和水分利用效率的差异,以及作物种类和降雨量的影响,以期明确降解地膜和渗水地膜的最佳适宜区域、适宜作物,以及和普通地膜的效应差异,为降解地膜和渗水地膜的应用提供理论指导。

1　材料与方法

1.1　数据来源

通过对中国知网和 Web of Science 中英文数据库进行检索,搜集从 2000 年 1 月 1 日到 2020 年 7 月 1 日国内外公开发表的关于降解地膜和渗水地膜对作物产量、水分利用效率和温度等影响的田间试验研究论文。中文检索词包括渗水、降解、覆盖、地膜、生长、温度、产量及其组合;英文检索词包括 mulch, mulching, degradation film, growth, yield 及其组合。初步检索后再对文献进行二次筛选,文献须满足以下要求:①试验区域位于中国北方,试验地点明确,年份清楚;②试验处理同时包含降解膜覆盖和不覆盖,或降解膜覆盖和普通地膜覆盖,或降解膜覆盖、普通地膜覆盖和不覆盖;渗水膜和不覆盖,或渗水膜和普通地膜覆盖,或渗水膜覆盖、普通地膜覆盖和不覆盖;③文章包含有相关处理产量、温度及水分利用效率的均值和标准差,或提供了相关处理各重复的产量、温度及水分利用效率;④试验用降解膜和渗水膜类型、厚度和种植方式清晰,且必须与无覆盖和普通地膜类型、厚度和种植方式一致。经以上严格标准筛选,共获得有关渗水地膜 50 篇,其中生物降解渗水地膜 10 篇,降解地膜 250 篇可用文献。由于生物降解渗水地膜数据量较少,同时考虑到生物降解渗水地膜是在降解地膜的基础上发展起来的,其主要是发挥渗水性能,故在 meta 分析时归为渗水地膜进行分析。各试验样点分布如图 1 所示。

1.2　数据分类

为进一步探究渗水地膜和降解地膜在中国北方不同区域及气候环境条件下对作物产量和水分利用效率的影响情况,根据所获得的数据分布,按作物及年降水量对数据进行分类,各分组的样本根据本研究中各独立试验地点年降水量及中国北方降雨特征,分为 <400, 400～500, 500～600, >600 mm 共 4 组。

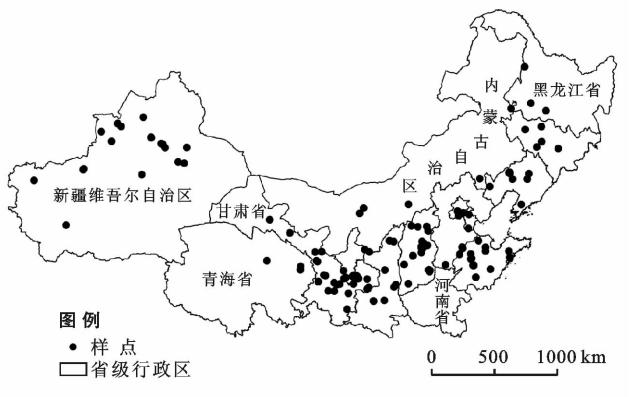


图 1　中国北方干旱区覆膜试验样点分布

1.3　数据分析方法

本研究采用反应比(response ratio, R)作为效应量来刻画降解地膜和渗水地膜对作物产量及水分利用效率的影响[21],其计算公式为:

$$\ln R=\ln(X_e/X_c)=\ln(X_e)-\ln(X_c) \quad (1)$$

式中:X_e, X_c 分别为独立研究中试验组和对照组的平均值。上述反应比再转化为百分比变化率[22],其计算公式为:

$$Y=(e^{\ln R}-1)\times 100\% \quad (2)$$

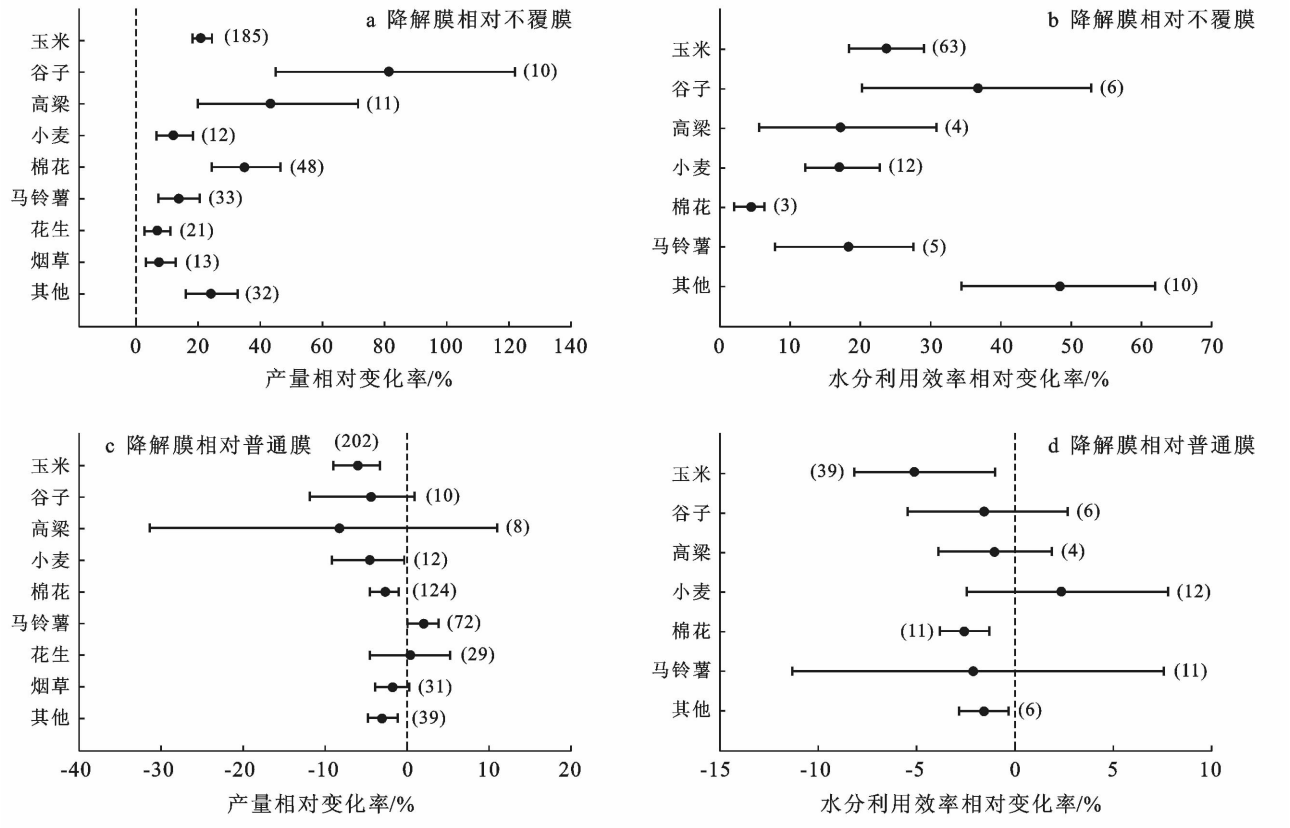
式中:Y 值为正表示覆盖降解地膜或渗水地膜产生了正效应,Y 值为负数则表示覆盖降解地膜或渗水地膜产生了负效应。如果 Y 值的 95% 置信区间与 0 重叠,则覆盖降解地膜和渗水地膜的效应不显著,反之效应显著。在各亚组分析中,如果不同分组内各 Y 值的 95% 置信区间没有重叠,则组间差异显著,反之组间差异不显著[23]。本研究利用 MetaWin 2.1[24] 进行整合分析,用 SPASS16.0, Excel 2007 和 SigmaPlot 13.0 进行分析及绘图。

2　结 果

2.1　降解地膜覆盖对不同作物产量及水分利用效率的影响

分析图 2 可以看出,与无覆盖相比,降解地膜的玉米、谷子、高粱、小麦、棉花、马铃薯和烟草的产量分别显著提高 20.9%, 81.5%, 43.4%, 12.2%, 34.9%, 14.0% 和 7.7% ($p<0.05$),其中降解地膜对谷子和高粱的增产效果优于对玉米和小麦的增产效果,且其对谷子的增产效果最为显著;与无覆盖相比,降解地膜覆盖下的玉米、谷子、高粱、小麦、棉花、马铃薯和其他作物的水分利用效率分别显著提高了 23.9%, 36.8%, 17.4%, 17.2%, 4.6%, 18.5% 和 48.5%,其

中对于谷子而言，降解地膜对其水分利用效率提升效果最为显著。降解地膜与普通地膜相比，降解地膜覆盖下的马铃薯产量显著增加 2.1%，玉米、小麦和棉花分别减少 5.9%，4.6%和 2.7%，对谷子、高粱、花生和烟草产量和普通地膜覆盖无显著差异；降解地膜与普通地膜相比，玉米、棉花和其他作物的水分利用效率分别显著降低了 5.1%，2.5%和 1.5%（$p<0.05$），值得注意的是，小麦水分利用效率在降解地膜覆盖和普通地膜覆盖之间无显著差异；但降解地膜与普通地膜相比，显著降低了玉米和棉花的水分利用效率。



注：图中线段附近括号内数字为样点编号。下同。

图 2 降解地膜对不同作物产量及水分利用效率（WUE）的影响

2.2 渗水地膜覆盖对不同作物产量及水分利用效率的影响

由图 3 可知，渗水地膜与不覆盖相比，玉米、谷子、高粱、小麦和其他作物的产量分别显著增加了 41.4%，66.4%，31.1%，21.3%和 41.7%（$p<0.05$），渗水地膜覆盖对玉米和谷子增产效果均优于对其他作物的增产效果，且其对谷子的增产效果最为显著；相比不覆盖，渗水地膜覆盖下的玉米、谷子和小麦的水分利用效率分别显著提高了 35.0%，56.3%和 13.6%（$p<0.05$）。渗水地膜与普通地膜覆盖相比，玉米、谷子和高粱产量分别显著增加了 13.3%，35.4%和 13.2%（$p<0.05$）；相比普通地膜，渗水地膜覆盖下的玉米、谷子和小麦的水分利用效率也有不同程度提高。

2.3 不同年降水量下降解地膜对作物产量及水分利用效率的影响

由图 4 可见，降解地膜覆盖对不同降雨量下的作物增产效果影响存在较大差异。与无覆盖相比，降解地膜覆盖下作物的平均产量当降雨量从 400 mm 增加到 600 mm 以上，其增产效果下降近 50%；降解地膜与无覆盖相比，随着降雨量的增加，其对作物水分利用效率的提升效果呈现先增加后减小，然后再增加的趋势。在降雨量＜400 mm 时，降解地膜覆盖下作物的水分利用效率比无覆盖显著提高了 31.0%；当降雨量为 400～500 mm 时，水分利用效率提高了 7.8%；当降雨量＞500 mm，其水分利用效率呈现增加趋势。降解地膜与普通地膜覆盖相比，作物产量在降雨量＜400，400～500 mm 时降低了 5.8%和 7.5%（$p<0.05$），当降雨量大于 500 mm 时降解地膜和普通地膜覆盖之间无显著差异；与普通地膜相比，当降雨量小于 400 mm 时，其水分利用效率显著降低，当降雨量大于 400 mm 时，其与普通地膜无显著差异。

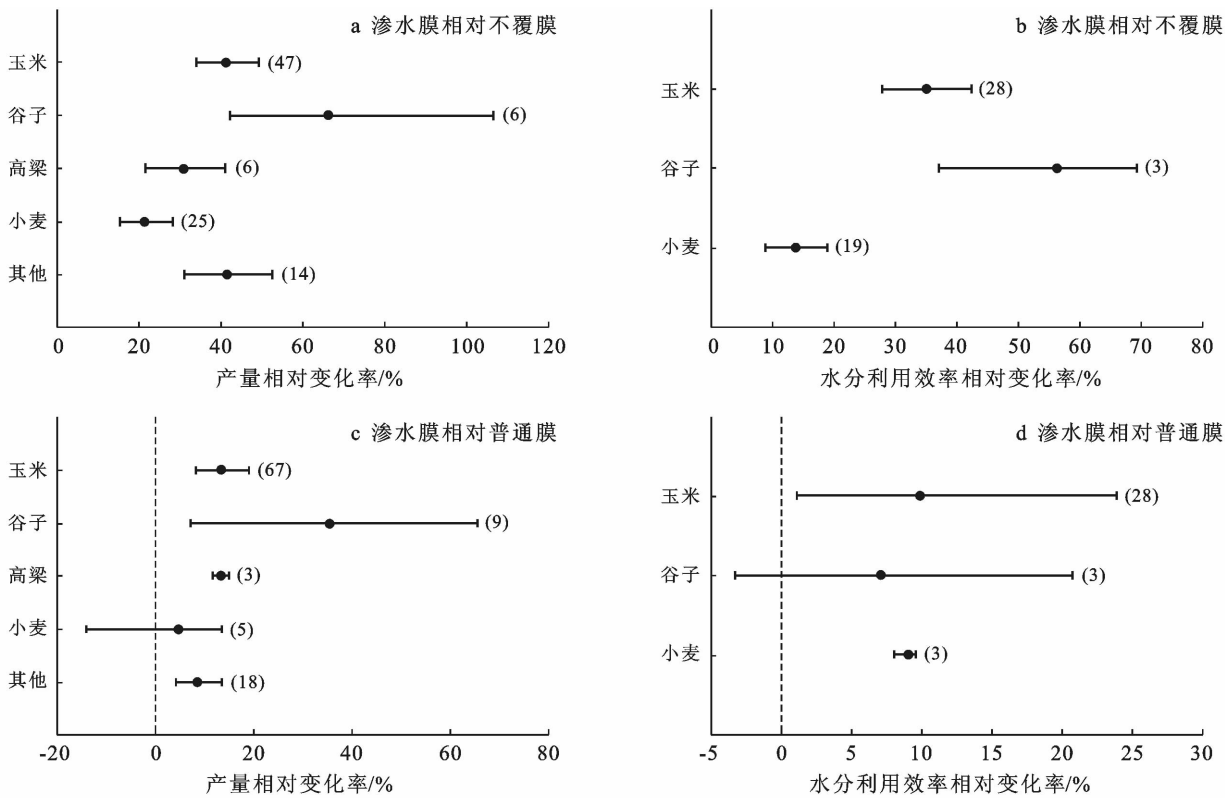
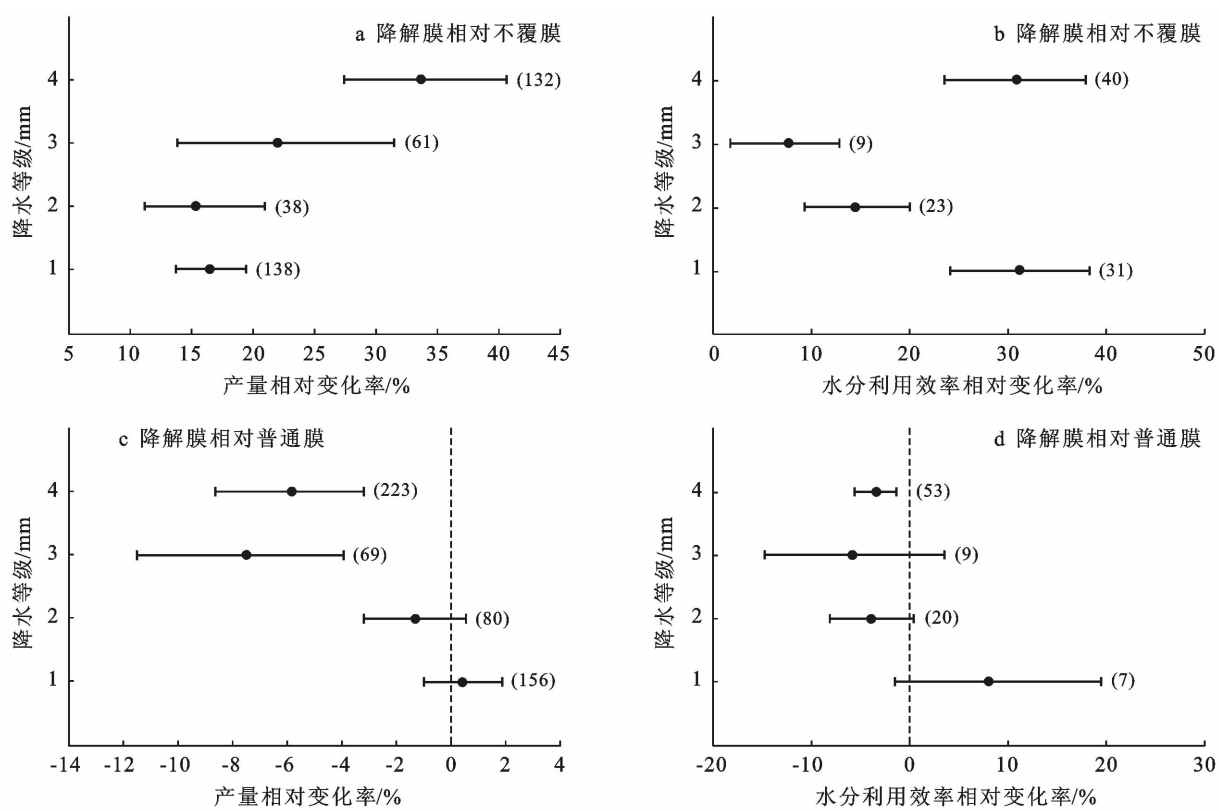


图 3　渗水地膜对不同作物产量及水分利用效率(WUE)的影响



注:纵坐标中降水等级 1,2,3,4 分别表示>600 mm,500～600 mm,400～500 mm,<400 mm 等级的降雨量。下同。

图 4　不同年降水量下降解地膜对作物产量和水分利用效率的(WUE)影响

2.4　不同年降水量下渗水地膜对作物产量及水分利用效率的影响

由图 5 分析可知,与无覆盖相比,降雨量在<400,400～500,500～600 mm 和>600 mm 的地区,渗水地膜覆盖下作物的产量分别比不覆盖显著提高了 69.3%,32.4%,32.1%和 34.9%($p<0.05$),降雨量

越低，其增产效果越显著；降雨量在 400～500，500～600 mm 和＞600 mm 的地区，渗水地膜覆盖下作物水分利用效率比无覆盖显著增加了 45.3%，27.6% 和 21.7%（$p<0.05$）。与普通地膜覆盖相比，降雨量在＜400，400～500，500～600 mm 的地区，渗水地膜覆盖下作物的产量分别比普通地膜显著提高了 32.4%，17.8% 和 6.8%（$p<0.05$），其增产效果随着年降水量的降低而增加；在降雨量 400～500 mm 的地区，渗水地膜覆盖下作物的水分利用效率比普通地膜高 19.2%；在降雨量 500～600 mm 的地区，渗水地膜覆盖下作物的水分利用效率与普通地膜之间无显著差异；在降雨量＞600 mm 的地区，渗水地膜覆盖下作物的水分利用效率比普通地膜覆盖降低了 7.4%。总之，渗水地膜与普通地膜覆盖相比在大于 500 mm 地区对水分利用效率无显著影响，小于 500 mm 则呈现显著增加。

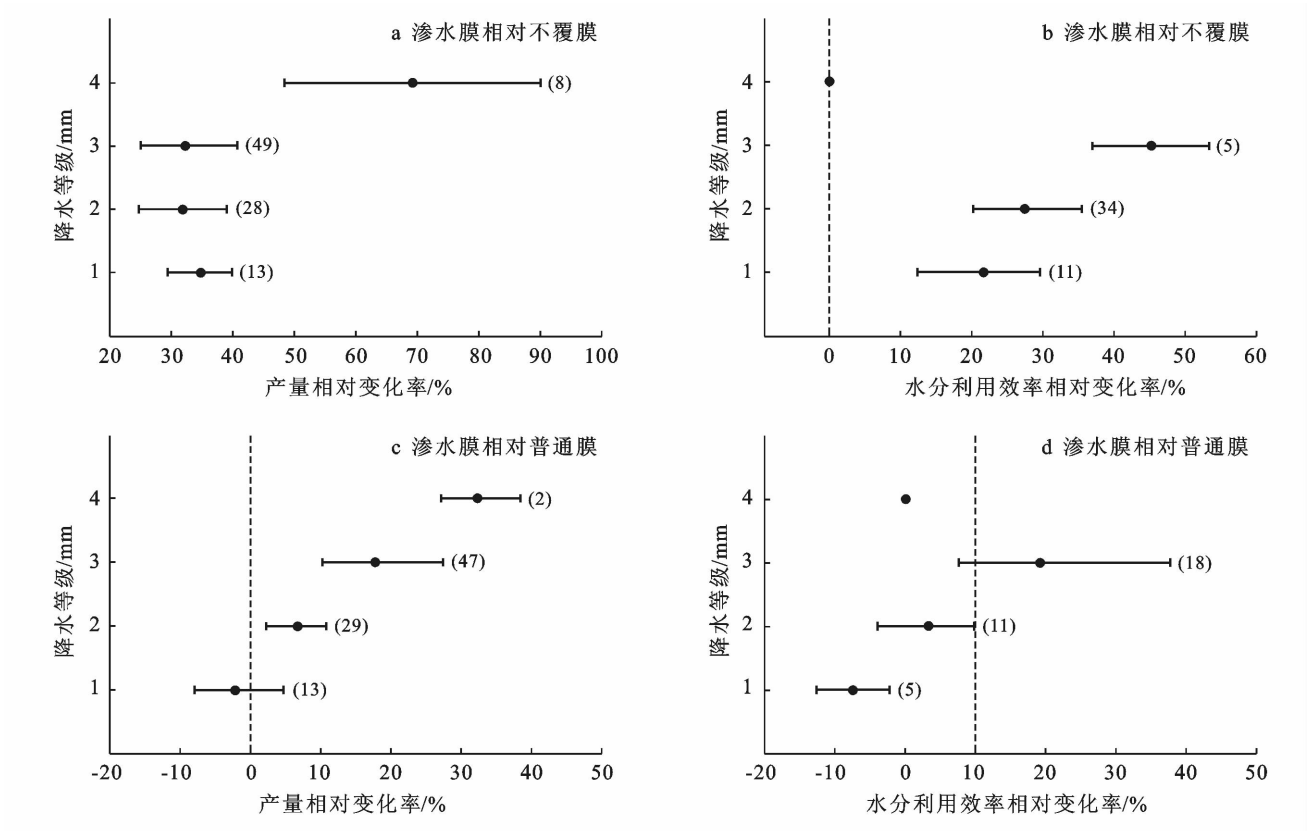


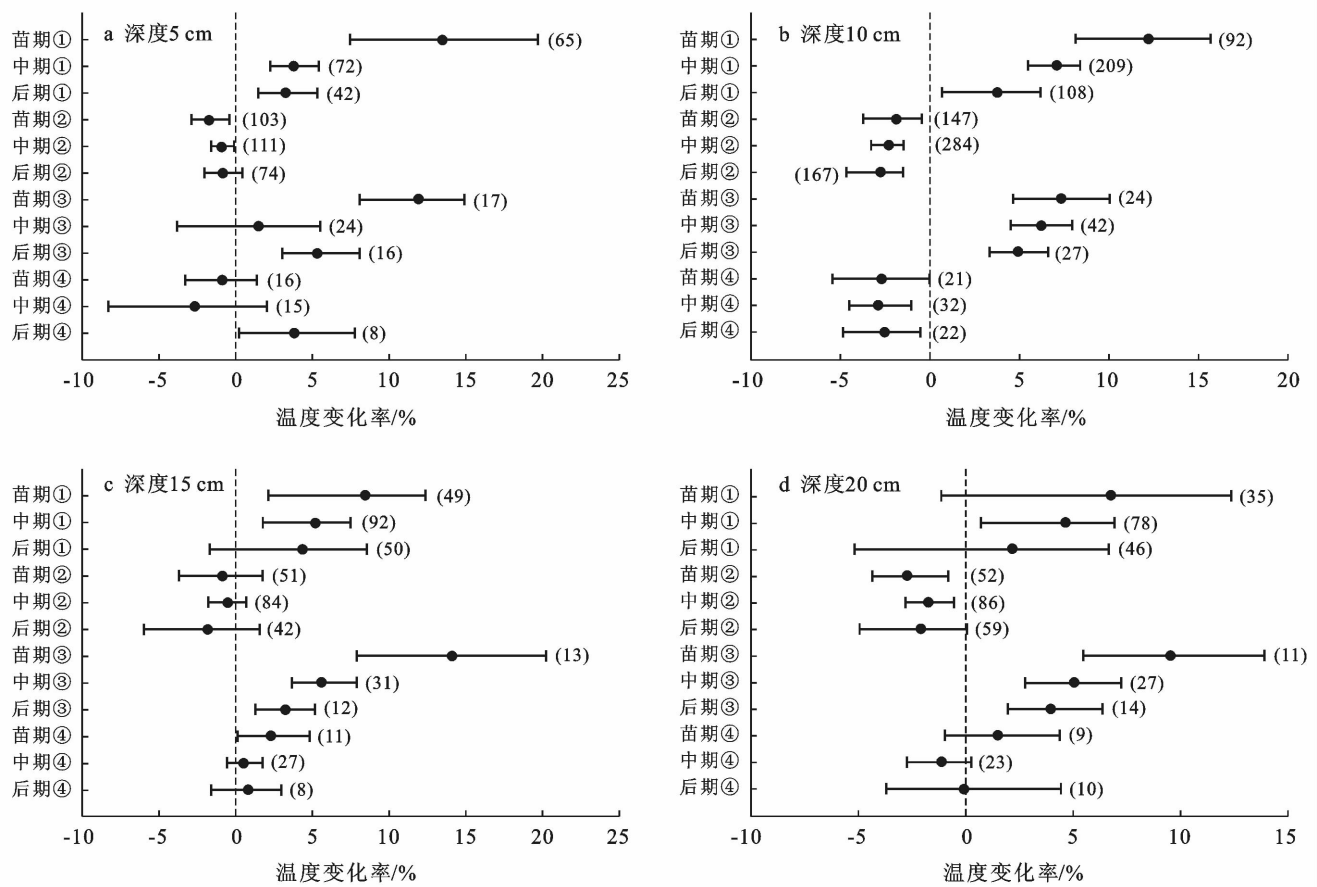
图 5 不同年降水量下渗水地膜对不同作物产量和水分利用效率（WUE）的影响

2.5 降解地膜和渗水地膜覆盖对作物不同深度温度的影响

图 6 为不同覆膜方式对不同深度（5，10，15，20 cm）土壤温度的影响。分析图 6 可知，与无覆盖相比，降解地膜覆盖下的土壤 5 cm 温度在作物苗期、中期和后期分别比无覆盖显著提高了 13.5%，3.8% 和 3.3%（$p<0.05$）；降解地膜覆盖下的土壤 10 cm 温度在作物苗期、中期和后期温度分别比不覆盖显著增加了 12.2%，7.1% 和 3.8%（$p<0.05$）；降解地膜覆盖下的土壤 15 cm 温度在作物苗期和中期温度分别比不覆盖显著提高了 8.4% 和 5.2%（$p<0.05$）；降解地膜覆盖下的土壤 20 cm 温度在作物中期比无覆盖显著提高了 4.7%。降解地膜相对裸地栽培在作物苗期的增温效果最好，从苗期到后期，增温效果依次递减。与普通地膜相比，降解地膜覆盖下的土壤 5 cm 温度在作物苗期和中期分别比普通地膜显著降低了 1.7% 和 0.9%（$p<0.05$）；降解地膜覆盖下的土壤 10 cm 温度在作物苗期、中期和后期分别比普通地膜覆盖显著降低了 1.9%，2.3% 和 2.8%（$p<0.05$）；降解地膜覆盖下的土壤 15 和 20 cm 温度与普通地膜无显著差异。

与无覆盖相比，渗水地膜覆盖下的土壤 5 cm 温度在作物苗期和后期分别比无覆盖显著增加了 11.9% 和 5.4%（$p<0.05$）；渗水地膜覆盖下的土壤 10 cm 温度在作物苗期、中期和后期分别比不覆盖显著增加了 7.4%，6.3% 和 4.9%（$p<0.05$）；渗水地膜覆盖下的土壤 15 cm 温度在作物苗期、中期和后期分别比无覆盖显著增加 14.1%，5.6% 和 3.3%（$p<0.05$）。渗水地膜覆盖下的土壤 20 cm 温度在作物苗期、中期和后期分别比无覆盖显著提高 9.5%，5.1% 和 3.9%（$p<0.05$）。与普通地膜相比，渗水地膜覆盖下土壤 5 cm

深度的温度在作物苗期和中期与普通地膜覆盖无显著差异,但是在作物后期渗水地膜覆盖下的土壤 5 cm 温度比普通地膜覆盖显著提高了 3.8%($p<0.05$);渗水地膜覆盖下的土壤 10 cm 温度在作物苗期、中期和后期与普通地膜相比分别有轻微降低;渗水地膜覆盖下的土壤 15 cm 温度在作物苗期比普通地膜覆盖显著增加了 2.3%;渗水地膜覆盖下的土壤 20 cm 温度与普通地膜覆盖之间无显著差异。可以看出,渗水地膜覆盖在低温下增温显著,而在高温下(生育中期)增温不显著。



注:纵坐标中①,②,③,④分别表示降解地膜相对于裸地,降解地膜相对于普通地膜覆盖,渗水地膜相对于裸地,渗水地膜相对于普通地膜覆盖。

图 6　降解地膜或渗水地膜相对不覆盖或普通地膜覆盖对不同深度土壤温度的影响

3　讨 论

本研究结果表明,降解地膜和渗水地膜在大多数情况下其增产和保水性能已经接近普通地膜,但是在不同作物、不同的降雨情况下有所不同。降解地膜和普通地膜相比,在玉米上应用有减产风险,而在马铃薯上则可以显著增产,在其他作物上产量和普通地膜无显著差异;在降雨量大于 500 mm 地区无减产风险,降雨量小于 500 mm 地区有减产风险;而渗水地膜影响则相反,降雨量越低,其效果越好,当降雨量低于 500 mm 时,其产量显著高于普通地膜。同时,在玉米、高粱和谷子上效果显著,尤其是对谷子增产效果显著。降解地膜和普通地膜比,其在不同作物,不同降雨量下效果不同[25]。如在玉米上显著减产,而在马铃薯上则可以显著增产,这可能与不同作物的生育期长短、生长特性以及对温度和降雨的需求不同有关[26]。例如玉米和马铃薯相比,玉米有更长的生育期,同时整个生育期对地面的覆盖较低,蒸发强烈;而马铃薯生育期短于玉米,同时在马铃薯中后期有更大的叶面积指数。当前降解地膜最大的问题是过早破裂从而导致保水效果下降,因此在玉米等长生育期作物上如果地膜过早破裂则效果差于普通地膜[27];而在马铃薯上,由于生育期较短,同时降解地膜破裂的时候马铃薯地上枝叶已经对地面形成有效覆盖,从而弥补了地膜过早破裂带来无效蒸发增加;同时和普通地膜相比,后期地膜破裂,可以延缓后期的根系早衰[28-29]。而在降雨上也表现相同的规律,例如在降雨量大于 500 mm 地区,其降雨缺乏的程度往往低于降

雨量低的地区,降解地膜后期破裂,此时刚好赶上雨季,虽然保水效果下降,但是对产量和水分利用效率影响不大[30]。

在中国的北方地区,大量的降雨以小于 5 mm 的无效降雨形式存在,占比可达到 40%[31]。渗水地膜设计的初衷是为了提高降雨利用效率,增加降雨入渗,尤其是单次小型降雨占比较高地方[32]。本研究结果表明,和普通地膜比,渗水地膜增产和增加水分利用效率效果随着降雨量增加而下降。当降雨量小于 500 mm 时,渗水地膜的效果好于普通地膜,而降雨量大于 500 mm 时,和普通地膜比无显著差异。渗水地膜也面临和降解地膜相同的问题,即其会过早破裂,导致后期保水效果差。所以渗水地膜在生育期较短,后期叶面积指数较大,低矮的作物上应用效果好于玉米等高杆作物。本研究结果也表明,和玉米及高粱比,渗水地膜对谷子的正效应更大,这是因为在中国北方旱区,谷子播种一般晚于玉米半个到一个月,而后期其较大的播种量和分蘖,因此对地面覆盖程度远远大于玉米高粱等,因此渗水地膜在谷子上应用效果好于在玉米高粱等高杆作物。

地膜覆盖除了减少蒸发,提高水分利用效率外,还可以有效提高土壤温度,增加有效积温从而来提前播种,延长生育期也是地膜大面积应用及增产的重要原因[33]。但是普通地膜在作物生育前期可以有效提高土壤温度,增加积温,促进作物生长;但是在生育后期覆盖,由于外界气温过高,则会导致土壤温度过高,引起根系早衰,不利于产量潜力的发挥;同时过高的温度,不利用土壤微生物活性和根系活性,从而对养分吸收利用产生不利影响[34]。如需要避免地膜覆盖的这些不利影响,则需要后期揭膜[35],而后期揭膜则又会增加投入,因此如何降低地膜覆盖造成后期土壤温度过高的不利影响也是地膜覆盖待解决的问题。本研究表明,降解地膜早期对土壤温度影响和普通地膜无差异,生育后期则显著降低了土壤温度。渗水地膜对土壤温度的影响则更符合作物的需求,在生育前期低温时增加温度显著,而高温时增温效果低于普通地膜。其原因主要是渗水地膜在气温较低时,孔径会缩小,会减少土壤热量散失,具有保温效果;当气温过高时,膜下形成较高的蒸汽压,使之孔径变大,利于散热和内外气体交换,同时土壤中水分分布也较为均匀[36]。

4 结论

当前无论是降解地膜还是渗水地膜,其保水和增产性能虽然不能完全替代普通地膜,但是在一些作物和降雨地区,其性能已经可以替代普通地膜。对于降解地膜来说,当前在玉米等长生育期作物上应用,和普通地膜比,还存在一定的差距,大面积替换有减产的风险;但是在生育期较短,降雨量相对较高的地区(大于 500 mm)基本可以替代普通地膜。对于渗水地膜,本研究结果表明渗水地膜在降雨量较低的地区(小于 500 mm)有优势,在对土壤温度的影响上更符合作物的需求,但是当前破裂过早问题还有待解决。当前的降解地膜应该优先应用在降雨量较高的短生育期作物上,而渗水地膜应用在降雨量小于 500 mm 地区的短生育期高叶面积指数作物上效果更好。

[参 考 文 献]

[1] 解文艳,周怀平,杨振兴,等. 不同覆盖方式对旱地春玉米土壤水分及作物生产力的影响[J]. 水土保持学报,2014,28(4):128-133.

[2] 邓浩亮. 黄土高原不同生态区垄沟覆盖对春玉米生产力和土壤质量的影响及其机理[D]. 甘肃 兰州:甘肃农业大学,2019.

[3] Gao Haihe, Yan Changrong, Liu Qin, et al. Effects of plastic mulching and plastic residue on agricultural production: A meta-analysis [J]. Science of The Total Environment, 2018,651(1):484-492.

[4] Tomokazu Haraguchi, Atsushi Marui, Kozue Yuge, et al. Effect of plastic-film mulching on leaching of nitrate nitrogen in an upland field converted from paddy [J]. Paddy and Water Environment, 2004, 2(2):67-72.

[5] Moreno M M, Moreno A. Effect of different biodegradable and polyethylene mulches on soil properties and production in a tomato crop [J]. Scientia Horticulturae, 2008, 116(3):256-263.

[6] Massimo Prosdocimi, Paolo Tarolli, Artemi Cerdà. Mulching practices for reducing soil water erosion: A review [J]. Earth-Science Reviews, 2016, 161:191-203.

[7] 陈玉章. 覆盖模式对旱地马铃薯田水热环境及产量形成的影响[D]. 甘肃 兰州:甘肃农业大学,2019.

[8] Hou Xiaoyan, Wang Fengxin, Han Jiangjiang, et al. Duration of plastic mulch for potato growth under drip irrigation in an arid region of Northwest China [J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2009, 150(1):115-121.

[9] Gu Xiaobo, Li Yuannong, Du Yadan. Biodegradable film mulching improves soil temperature, moisture and seed yield of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.) [J]. Soil & Tillage Research, 2017, 171:42-50.

[10] 吴杨. 黄土高原不同覆盖种植技术对农田水温效应及玉米生长的影响[D]. 陕西 杨凌:西北农林科技大学,2016.

[11] 宋幽静,何俊仕,董克宝,等. 膜下滴灌对降雨入渗影响研究[J]. 节水灌溉,2017(11):1-5.

[12] Yan Changrong, Liu Enke, Shu Fan, et al. Review of agricultural plastic mulching and its residual pollution and prevention measures in China [J]. Journal of Agricultural Resources and Environment, 2014, 31(2): 95-102.

[13] Zhang Dan, Liu Hongbin, Hu Wanli, et al. The status and distribution characteristics of residual mulching film in Xinjiang, China [J]. Journal of Integrative Agriculture, 2016,15(11):2639-2646.

[14] 康虎,敖李龙,秦丽珍,等.生物质可降解地膜的田间降解过程及其对玉米生长的影响[J].中国农业通报,2013,29(6):54-58.

[15] 胡琼恩,李婷,马丕明,等.生物可降解地膜的研究进展[J].塑料包装,2017,27(3):34-41.

[16] 殷海善,姚建民.渗水地膜覆盖玉米试验研究综述[J].水土保持研究,2000,7(4):47-49.

[17] 夏雪岩,宋世佳,刘猛,等.夏播旱地谷子渗水地膜穴播增产机理研究[J].中国农业科技导报,2016,18(3):119-125.

[18] 孙东宝.北方旱作区作物产量和水肥利用特征与提升途径[D].北京:中国农业大学,2017.

[19] Lei Xiangdong, Peng Changhui, Tian Dalin, et al. Meta-analysis and its application in global change research [J]. Chinese Science Bulletin, 2007,52(3):289-302.

[20] 孙宝娣,崔丽娟,李伟,等.湿地价值评估尺度转换方法:Meta 分析研究概述[J].湿地科学与管理,2016,12(1):58-62.

[21] 马登科,殷俐娜,刘溢健,等.施氮量对黄土高原旱地冬小麦产量和水分利用效率影响的整合分析[J].中国农业科学,2020,53(3):486-499.

[22] Li Qiang, Li Hongbing, Zhang Li, et al. Mulching improves yield and water-use efficiency of potato cropping in China: A meta-analysis [J]. Field Crops Research, 2018, 221:50-60.

[23] Blair J M, Crossley D A. Errata: Nitrogen Additions and Litter Decomposition: A Meta-Analysis [J]. Ecology, 2008, 89(3):888-888.

[24] Sun Binfeng, Zhao Hong, Lü Yizhong et al. The effects of nitrogen fertilizer application on methane and nitrous oxide emission/uptake in Chinese croplands [J]. Journal of Integrative Agriculture, 2016,15(2): 440-450.

[25] 李荣,张睿,贾志宽.不同覆盖材料对耕层土壤温度及玉米出苗的影响[J].干旱地区农业研究,2009,27(3):13-16,26.

[26] 赵引,毛晓敏,段萌.覆膜和灌水量对农田水热动态和制种玉米生长的影响[J].农业机械学报,2018,49(8):275-284.

[27] 周昌明.地膜覆盖及种植方式对土壤水氮利用及夏玉米生长、产量的影响[D].陕西 杨凌:西北农林科技大学,2016.

[28] 银敏华,李援农,李昊,等.覆盖模式对农田土壤环境与冬小麦生长的影响[J].农业机械学报,2016,47(4):127-135,227.

[29] 马建涛,陈玉章,程宏波,等.覆盖方式对旱地不同熟性马铃薯土壤水热特征和产量的影响[J].灌溉排水学报,2020,39(7):7-16.

[30] 唐文雪,马忠明.地膜降解特征对土壤水热效应和玉米产量的影响[J].农业环境科学学报,2018,37(1):114-123.

[31] 莫非.垄沟覆盖下品种熟性与施肥量对东非高原玉米生产力的影响及机理[D].甘肃 兰州:兰州大学,2016.

[32] 单智超,冯良山,田建全,等.渗水地膜对玉米水分利用效率的影响[J].水土保持研究,2017,24(3):194-197.

[33] 吴杨,贾志宽,边少锋,等.不同方式周年覆盖对黄土高原玉米农田土壤水热的调控效应[J].中国农业科学,2018,51(15):52-65.

[34] 刘凯,谢英荷,李廷亮,等.地膜覆盖对我国干旱半干旱地区土壤温度及土壤水分的影响[J].山西农业科学,2019,47(10):1847-1852.

[35] 陈发.新疆残膜回收机械化技术研究、应用与建议[J].新疆农业科学,2008(S2):127-134.

[36] 姚建民.渗水地膜研制及其应用[J].作物学报,2000,26(2):185-189.

(上接第 120 页)

[21] Shen Zhenyao, Hong Qian, Yu Hong, et al. Parameter uncertainty analysis of the non-point source pollution in the Daning River watershed of the Three Gorges Reservoir Region, China [J]. Science of the Total Environment, 2008, 405(1/3):195-205.

[22] 龙银平,张耀南,赵国辉,等.SWAT 模型水文过程模拟的数据不确定性分析:以青海湖布哈河流域为例[J].冰川冻土,2012,34(03):660-667.

[23] Albek M, Ulker B, Albke E. Hydrological modeling of Seydi Suyu. Watershed (Turkey) with HSPF [J]. Journal of Hydrology, 2004, 285(1/4):260-271.

[24] Luo Chuan, Li Zhaofu, Liu Hongyu, et al. Differences in the responses of flow and nutrient load to isolated and coupled future climate and land use changes [J]. Journal of Environmental Management, 2019, 256: 109918.