

# 渗水地膜利用旱地小雨量资源研究

姚建民 张宝林 殷海善

(山西省农科院农业资源综合考察研究所·太原市·030006)

**摘要** 经过对半干旱地区降水分布规律的调查和农田生产的实践发现,天然降水中 $< 10\text{ mm}$ /次的发生频率占到 70%左右,这部分水极易被蒸发掉,多为无效降水。为了提高干旱与半干旱地区以小雨量资源利用率为核心的降水资源利用率,我们研制出了渗水地膜(专利号 97115761.8),在山西省 1997 年大旱发生年进行的多点试验示范证明:渗水地膜覆盖可以起到渗水、保水、增温、调温和微通气等多种功能,显著地提高了小雨量资源利用率和旱地农作物产量。这项技术可促进广大干旱与半干旱地区旱地农作物产量的提高。

中图分类号: TS102.54

**关键词:** 渗水地膜 小雨量 旱地

## Rainfall Validated by Water-osmosis Membrane in Semi-arid Land

Yao Jianmin Zhang Baolin Yin Haishan

(Institute of Agricultural Resources of Shanxi Agri-academy, Taiyuan, Shanxi Province, 030006, PRC)

**Abstract** Throughout the controllable analysis of rain resource in semi-arid region, a new water-osmosis plastic membrane was exploited based on validating small rainfall ( $\leq 10\text{ mm}$ ). It can improve rainfall penetration into soil vertically, modify maximum soil temperature, and ventilate soil, it can also increase soil temperature and block evaporation as conventional membrane does. The patent No. is 97115761.8. In order to raise crop yield in dryland region, small rainfall must be deeply developed. The annual frequency of small rainfall was 70% in semi-arid land in Shanxi province, and the water of it equals to 100 mm or more, which has great potentiality of 4 tons per hectare land for maize. The tests showed that: the maize covered with water-osmosis plastic membrane had increased by 38.3% in yield, 1%~4.5% in soil water than conventional membrane, and 103% in yield than that of no-covered. This new technique can enhance agriculture sustainable development in the 21st century.

**Keywords:** water-osmosis plastic membrane; small rainfall resource; arid land

干旱缺水是一世界性难题,高效利用水资源是 21 世纪农业持续发展的关键技术。国外与国内的科学界对旱农技术在理论和实践方面进行过和正在进行着艰苦的探索。地膜覆盖是这方面的一项重要成果,但地膜发展的世界性趋势是降解性,未对渗水功能开展研究,在小雨有效化利用方面仍十分薄弱。就多数旱农地区而言,天然降水中 $< 10\text{ mm}$ /次的频率占到 70%左右,春播作物生育期内小雨总量达 100 mm 左右,而这些宝贵的水资源却得不到有效利用。在提高降水资源利用率技术的研究成果方面,如秸秆覆盖技术,虽然保存了较多的雨水,但不等



## 2 渗水地膜的研制机理

渗水地膜研制机理是,在保持常规地膜理化特性基本不变的前提下,采用机械的和理化的方法,改变了地膜的局部密度,使地膜具有一定的通透性,创造了地膜的单向渗水功能。渗水地膜的单向渗水性具体地讲,是依据膜上水分的重力作用,地面水势梯度力对膜上水的拉力作用以及膜上通道线性变化和自封口的理化弹力作用形成的。依据通道自调节特性,当膜上有重力水存在时,在土壤水势梯度拉力的协同作用下,打开通道,渗水过程发生;当膜上无重力水存在时,通道受弹力作用处于封闭状态。当通道处于封闭状态时,依据变形小孔(不)扩散特性,蒸发过程受到明显抑制或不发生蒸发过程,因此,对水分、温度和通气状况均有自调节作用。渗水地膜系列产品的水分通道由微米到毫米级,可适应不同作物需要。目前世界各国对膜的降解功能较为关注,希望地膜能够被降解。采取的主要技术途径有光降解和生物降解两大类。我们研制的通透性渗水地膜仅是比常规地膜增加了单向渗水特性、自调温特性和微通气特性,它可以与各种功能膜的研究成果结合形成功能更多的渗水地膜,带有很强的综合能力。如:渗水地膜可以和普通降解膜一样添加降解物料产生降解渗水地膜。鉴于目前降解地膜研究技术还不理想的状况,我们在研制渗水地膜时,未加入降解物料。因渗水地膜在极端高温条件下有降温作用,抗老化性强,比降解膜和常规膜形成的碎片更易人工去除,利于减少对土壤的污染,还可用于连年覆盖。

## 3 试验结果与分析

田间试验设置包括:处理 I——渗水地膜覆盖;处理 II——常规地膜覆盖;处理 III——秸秆覆盖;处理 IV——无覆盖。

采用随机区组田间设计,3次重复,小区面积 $3\text{ m}\times 5\text{ m}$ ,密度 $55\ 500\text{ 株}/\text{hm}^2$ 。在隰县试验点,4月14日~16日放袋3d,每 $1\text{ hm}^2$ 施过磷酸钙 $1\ 125\text{ kg}$ 、碳铵 $1\ 500\text{ kg}$ 、尿素 $375\text{ kg}$ ,4月17日播种,4月18日覆膜,品种为“丹玉13”。基础地力状况是:土壤有机质含量为 $10.1\text{ g}/\text{kg}$ ,全氮含量为 $1.96\text{ g}/\text{kg}$ ,速效磷含量为 $5.01\text{ mg}/\text{kg}$ ,速效钾含量为 $42.69\text{ mg}/\text{kg}$ 。示范田面积 $0.73\text{ hm}^2$ ,每 $1\text{ hm}^2$ 施过磷酸钙 $11\ 255\text{ kg}$ 、碳铵 $1\ 125\text{ kg}$ 、尿素 $187.5\text{ kg}$ ,4月19日播种,4月20日覆膜,品种为“丹玉13”,密度 $52\ 500\text{ 株}/\text{hm}^2$ ,覆膜压边时,要求膜的两边稍高一些,以利膜面集水。试验点位于晋西偏南的隰县黄土残塬区后焉乡青宿村旱地农田。观测内容:土壤含水量、土壤温度、生长动态、产量等。

在晋西南隰县旱源地试验点,播种后3个月共降水14次,小于 $10\text{ mm}$ 降水频率占到100%。6月23日调查,由于渗水地膜覆盖能利用小雨量资源且有好的温度条件,表现出极明显的直观效果,渗水地膜覆盖的高度已达 $130\text{ cm}$ 、茎粗 $35\text{ mm}$ 、鲜重 $810\text{ g}$ ,无覆盖的高度为 $60\text{ cm}$ 、茎粗 $20\text{ mm}$ 、鲜重 $60\text{ g}$ ,而秸秆覆盖的分别只有 $41\text{ cm}$ , $13\text{ mm}$ , $30\text{ g}$ 。渗水地膜覆盖的玉米生物量是常规地膜的2.6倍,是无覆盖的7倍,是秸秆覆盖的27倍。发现秸秆覆盖玉米生物量明显低的原因主要是秸秆覆盖明显降低了地温所致。如5月10日14时测得秸秆覆盖 $5\text{ cm}$ 地温为 $27\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,比无覆盖的低 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。1996年10月初至1997年9月底总降水量 $335.6\text{ mm}$ ,其中4月18日至9月17日生育期总降水量为 $219.7\text{ mm}$ ,其中小于 $10\text{ mm}$ 降水频率为72%,降水总量为 $57.7\text{ mm}$ ,占到同期降水总量的26.3%。渗水地膜覆盖条件下,接纳了雨水,提高

了土壤含水量,增加了地积温,为旱地高产提供了良好的物能基础。从4月播种到9月中旬对0~100 cm土层7次观测的土壤含水量,比常规地膜平均提高了2.0%,其中0~10 cm提高3.2%,10~20 cm提高了2.5%,20~40 cm提高了1.9%,40~60 cm提高了1.6%,60~80 cm提高了1.2%,80~100 cm提高了1.4%,详见表3。5月10日观测渗水地膜的10 cm地温比秸秆覆盖增加2℃~5℃。经小区试验,玉米平均单产达到7 792.5 kg/hm<sup>2</sup>,比常规地膜增产38.3%,比秸秆覆盖增产133.5%,比无覆盖增产103.0%,经统计检验产量差异达到极显著水平;渗水地膜覆盖条件下玉米水分生产效率达到23.25 kg/(mm·hm<sup>2</sup>·a),而常规地膜仅为16.8 kg/(mm·hm<sup>2</sup>·a),无覆盖的为11.4 kg/(mm·hm<sup>2</sup>·a),秸秆覆盖为9.9 kg/(mm·hm<sup>2</sup>·a)。从中还发现秸秆覆盖的玉米在长势长相和产量上均劣于无覆盖的玉米,主要是与试验区海拔高达1 200 m,积温条件较差有关。渗水地膜覆盖的玉米示范田平均产量达到7 000.5 kg/hm<sup>2</sup>,而无覆盖的对照田玉米产量仅3 396 kg/hm<sup>2</sup>,增产106.1%。渗水地膜覆盖的烟草示范田比常规地膜覆盖的增产一倍以上,品质增加一个等级。

表3 渗水地膜覆盖较常规地膜覆盖土壤含水量增量

深度 (cm)	观 测 日 期 (月 日)						
	0421	0509	0623	0709	0723	0822	0921
10	2.7	7	2.5	5.7	-0.2	3.7	0.8
20	0.1	4.5	2.8	4.1	0	1.7	4.3
40	0.7	3.3	1.8	1.1	1.2	1	4.2
60	1.8	0.4	3.6	0.5	1.1	1.5	2.8
80	-0.1	0.1	1.8	1.1	0	2.4	3.2
100	-0.1	-0.2	0.3	1.3	1.1	2.4	5.3

从表3渗水地膜与常规地膜覆盖的土壤含水量对比中可以看出:(1)渗水地膜覆盖的0~100 cm土层的含水量在玉米的整个生育期间均比常规地膜覆盖的土壤含水量高;(2)在玉米生育前期,渗水地膜覆盖接纳了较多的小雨,使土壤含水量增加的幅度在土壤表层最大,并随着土层深度的增加土壤含水量增加的幅度在减小;(3)在玉米生育后期,渗水地膜覆盖的深层土壤含水量比对照增加的幅度明显加快;(4)在7月17日和18日大雨之后的第5天观测,渗水地膜与常规地膜覆盖的土壤含水量基本相同;(5)大雨之后的干旱又使得渗水地膜覆盖明显高于常规地膜覆盖的土壤含水量。

在晋中盆地太原市旱川地试验点,旱地冬小麦渗水地膜覆盖比常规地膜增产15.7%,比无覆盖增产102.2%;渗水地膜覆盖的晋麦47号半冬性品种在太原安全越冬,产量构成因素中穗粒数和千粒重分别比常规地膜覆盖的晋麦43号增加36.7%和41.5%,单产量水平达到7 635 kg/hm<sup>2</sup>,增产93.2%,比渗水地膜覆盖的晋麦43号增产66.7%,是无覆盖晋麦43号的3.4倍。

在晋东榆次市山庄头旱塬地试验点,1~10月份总降水192.9 mm,比历史上大旱的光绪三年模拟降水量还要少。4月23日至7月9日共降水16次,降水量为46.7 mm,其中小于10 mm/次的15次,降水量为28.6 mm占此期间降水量的61.2%。7月10日调查,渗水地膜的株高比常规地膜的增加20 cm,叶片增加1枚,比无覆盖的增加105 cm,叶片增加5枚,比秸秆覆

盖的增加 130 cm, 叶片增加 9 枚。渗水地膜覆盖的产量达到  $8\,226\text{ kg/hm}^2$ , 比常规地膜增产 13.8%, 比秸秆覆盖增产 43.7%, 比无覆盖增产 46.5%。示范田平均产量达到  $8\,419.5\text{ kg/hm}^2$ 。

在晋北风沙区阳高县的后营旱地试验点, 1~9 月份共降水 297.5 mm, 渗水地膜覆盖的  $2\text{ hm}^2$  示范田平均产量达到  $7\,500\text{ kg/hm}^2$ , 而常规地膜覆盖的大田玉米平均产量仅为  $5\,625\text{ kg/hm}^2$ , 增产 25%~42.9%, 是无覆盖的大田玉米产量  $1\,875\text{ kg}$  的 4 倍。渗水地膜覆盖的小区谷子产量达到  $4\,500\text{ kg/hm}^2$ 。

## 4 结论与讨论

渗水地膜是在研究“单向渗水理论”的基础上研制出的一种新技术产品, 可有效地利用天然降水中的小雨量资源。单向渗水理论的提出及渗水地膜的研制成功, 不但在干旱地区具有显著的增产增收经济效益和明显的生态效益及社会效益, 而且还具有重要的理论价值和科学意义。主要表现在: (1) 经济效益: 在不增加资金投入的条件下, 使旱地农田种植的玉米比常规地膜覆盖的增产幅度可达 20% 以上, 收入增加 30% 左右, 使旱地农田种植的烟草增加单产一倍以上, 收入增加 150%, 起到了增产增收的双重作用。渗水地膜在水浇地应用, 可以起到节约用水和降低成本的作用。由于渗水地膜是一种新技术产品, 比常规地膜具有更多更好的功能, 可以进行产品开发, 促进地膜工业的发展和地膜的更新换代。(2) 生态效益: 试验表明: 渗水地膜覆盖在 0~100 cm 土层的土壤含水量, 比常规地膜平均提高了 2.0%。渗水地膜可以有效地接纳雨水, 不但使小雨量资源有效化, 而且也在减少表层土壤水分无效蒸发的同时创造了利于作物生长的根际微生态环境条件, 提高了光、热、肥料及作物品种资源的利用率。渗水地膜由于到作物生育后期仍保持了较好的弹性, 利于地膜的回收, 减少了对土壤的污染, 还可以通过一次铺膜 2 a 应用的方式减少对土壤环境的人为破坏。(3) 社会效益: 由于渗水地膜的前两项效益, 所以可为经济与社会的可持续发展提供充裕的农业食物和良好的生存环境条件。(4) 理论价值与科学意义: 在“单向渗水理论”中创造性地提出的“小孔自调节原理”和“变形小孔(不)扩散原理”是对著名的“黑洞原理”和“小孔扩散原理”的进一步充实和完善。以“单向渗水理论”为指导, 可以进一步探讨旱地水分的生产潜力达到  $23.25\text{ kg}/(\text{mm}\cdot\text{hm}^2\cdot\text{a})$  以上的新生态学原理, 研究“土壤—作物—大气”连续体的界面控制原理, 研究土壤微生态环境改变的模式特点对作物的增产机理, 研究生态系统中以水资源带动光、热资源利用率提高的协同利用原理与潜力, 研究水热资源利用率提高后引种其它区域高产品种和栽培模式的可能性。

由于渗水地膜是一种新开发的技术产品, 还存在许多问题, 需要做进一步的研究才能发挥其应有的作用。生产工艺方面: 在许多环节上仍存在问题, 如理化加工的质量稳定性方面还需进一步完善; 产品的工业性开发还需要在资金、组织和技术力量等方面进一步加强, 才能使该项研究取得理想成果。(1) 农田作物增产效果方面: 因为仅有一年多的试验, 还需要进行多点多年多种作物覆盖的重复试验, 才能真正揭示渗水地膜的增产效应, 发现问题并逐步解决完善。(2) 农艺操作方面: 由于膜的结构和形式发生了改变, 作物栽培种植方式和所需要的农机具应做相应的调整, 应当研制出与渗水地膜覆盖增产机理相配套的农机具。(3) 渗水地膜增产机理方面: 需要对渗水地膜覆盖下的根际微生态环境进行深入研究。

渗水地膜在年降水量为 300 ~ 500 mm 的广大干旱与半干旱地区具有适宜性, 在这些地区的玉米、烟草、棉花、小麦、蔬菜等多种农作物的渗水地膜覆盖栽培会显著提高产量。对年降水量少于 300 mm 的地区, 结合一定的农田灌溉条件具有适宜性。对于年降水量较少和积温条件较差的农业边缘地区, 也具有一定的适用性, 利于在这一地区防止荒漠化和生态环境恢复。在年降水量大于 500 mm 地区的缺水季节也具有适宜性。在城郊区蔬菜生产基地推广渗水地膜, 可起到节约用水缓解城乡用水矛盾的作用。渗水地膜还可用于旱地蔬菜栽培, 生产优质蔬菜和无公害蔬菜, 提高蔬菜质量, 增加旱农地区的经济收入。由于渗水地膜覆盖比常规地膜的水分利用率高、风险小, 可充分利用每年累计总量在 100 mm 以上的小雨, 粮食增产能力可达  $1\ 500\ \text{kg}/\text{hm}^2$ , 以此计算出山西省 267 万  $\text{hm}^2$  旱地的粮食增产能力可达 40 亿 kg, 增产幅度为 40% ~ 50%。渗水地膜技术可缓解我省乃至我国面临的人地矛盾, 实现 21 世纪的农业可持续发展战略。

### 参 考 文 献

- 1 丁永齐等. 山西旱地农业. 太原: 山西科学技术出版社, 1992
- 2 姚建民, 聂宏声, 桑选民. 关于植物生态位数量化方法探讨. 生态学研究进展, 北京: 科学技术出版社, 1991. 82 ~ 83
- 3 Vernon W. Ruttan. Agriculture Environment & Health — Sustainable Development in the 21st Century. University of Minnesota Press USA 1994
- 4 姚建民, 王海存, 殷海善. 旱地冬小麦渗水地膜全覆盖穴播试验. 山西农业科学, 1998, (1)
- 5 姚建民, 马蓉丽. 最大概率原理在农田生态系统中的应用. 生态学杂志, 1993, (4)
- 6 康绍忠, 刘晓明, 熊运章著. 土壤——植物——大气连续体水分传输理论及其应用. 北京: 水利电力出版社, 1994
- 7 姚建民. 黄土残塬沟壑区土地开发适宜性评价方法研究. 自然资源学报, 1994, 9(2): 185 ~ 192
- 8 萧复兴等. 黄土高原残塬沟壑区提高农田降水利用率的技术体系与水分基础研究. 华北农学报, 1995, 109 ~ 116
- 9 耿鸿江, 沈必成. 水文干旱的定义及其意义. 干旱地区农业研究, 1992, 10(4): 91 ~ 93

### 作者简介

姚建民, 男, 1956 年生, 1982 年山西农业大学农学专业毕业, 副研究员。1994 年 6 月至 1995 年 7 月曾在加拿大多伦多 YORK 大学地理系作访问学者。参加过农业资源调查, 主持过土地利用评价、农村经济规划、流域治理、决策分析等方面的研究课题, 获省部级科技成果二等奖 2 项、3 等奖 2 项、参加奖多项, 被推荐为一等奖 1 项 (待批)、鉴定成果 1 项, 在国内外学术刊物上发表论文 37 篇, 参加编写专著 2 部。目前主持山西省科技攻关项目“渗水地膜研制及应用”课题并得到山西省回国人员研究经费资助, 同时主持国家“九·五”重点科技攻关项目 (95-004-05-06) 中的子课题“旱塬区地面集流与高效灌溉技术研究”。

代表性论文有: 黄土残塬沟壑区土地开发适宜性评价方法研究. 自然资源学报, 1994 年 2 期; 晋南半干旱地区农作物生产布局调控方法研究. 生态学报, 1991 年 2 期; 最大概率在农田生态系统中的应用. 生态学杂志, 1993 年 4 期; 利用整群抽样技术进行地类监测, 自然资源学报, 1987 年 3 期。