

地表覆盖种植与节水增产

朱文珊 王 坚

(北京农业大学·北京·100094)

摘 要 对当今我国广泛应用的覆盖种植技术——秸秆覆盖免耕和薄膜覆盖栽培研究表明,在这两种耕作栽培措施下每年可节水20~40mm,节水数量虽然不大,但苗期的土壤水保持着较高能量水平,为提高产量打下良好基础,而从水利用效率角度分析,实际节水每年可达60~200mm,效益更为显著。

关键词 秸秆覆盖免耕 薄膜覆盖栽培 土壤水量平衡 水利用效率

Surface Mulching and Conservation of Soil Water

Zhu Wenshan Wang Jian

(Beijing Agricultural University, Beijing, 100094)

Abstract The research on straw mulching by no-tillage and on film mulching declared that 20~40mm water was saved per year. This was a small quantity, but the soil water potential at the early stage of plant growth was kept higher, and this provided a good condition for high yield. From viewpoint of water using efficiency, the water quantity saved reached 60~200mm.

Key words straw mulching by no-tillage film mulching cultivation soil water balance water using efficiency

地表覆盖种植是公认的一项节水增产措施^[1]。这里的“地表覆盖种植”包括地膜覆盖和秸秆覆盖免耕两种不同的种植技术:1. 地膜覆盖种植,是指播种前(或后)在地面间隔地铺盖一层塑料薄膜,以增温保墒,获得作物良好的长势;2. 秸秆覆盖免耕种植,在北方一年两熟制地区,通常的做法是收割冬小麦后不耕直接播种夏玉米,喷施除草剂,而后将秸秆粉碎撒盖于地表,整个玉米生育期间,除追肥外不再进行其它耕作作业。既争取取农时,又提高土壤肥力,改善土壤持水性状,提高作物产量。

究竟地表覆盖种植技术能节约多少水呢?在近期的文献中很少见到比较确切的报导。现就1986年以来的试验结果作一论述。

1 地膜覆盖的节水效果

1.1 试验的基本条件

1986~1989年在北京西郊冲积扇边缘的草甸褐土上布置地膜棉节水试验,薄膜的覆盖度为

① 收稿日期:1995-09-10

70%。试验地块的土壤为轻壤~中壤,粘粒($<0.002\text{mm}$)含量17%~21%,物理性粘粒($<0.01\text{mm}$)占27%~33%。耕层腐殖质含量约为1.0%~1.2%。地势平坦,地下水位埋深8m以下。这在我国华北地区是较为普通和具有代表性的立地条件。

土壤水分含量和土水势分别用(美)Troxler中子仪和(德)Thies插入式气传感张力计监测。

1.2 结果与分析

应用土壤水量平衡法,将1989年覆膜与不覆膜两个处理中棉花生育阶段的降雨 P 、灌水 I (仅于开花期灌60mm)、1m土体储水量 ΔW 、毛管上升水 U 、渗漏水 D 和蒸散量 ET 列于表1。

表1 膜地棉和露地棉各生育阶段的耗水量(mm)

处理	生育阶段	时间(月.日)	土壤水量平衡各项(mm)					皮棉产量 (kg/hm ²)
			$P+I$	ΔW	U	D	ET	
膜地	播种一出苗	4.19~5.07	37.3	+10.2	0	4.9	22.2	
	苗期	5.08~6.01	15.0	-49.5	5.3	2.0	67.8	
	现蕾期	6.02~6.30	38.1	-42.7	18.6	0.2	99.2	
	开花期	7.01~8.25	255.4	+76.8	16.9	23.2	172.3	
	吐絮期	8.26~10.31	125.9	+23.8	0	0	102.1	
	全生育期	4.19~10.31	471.7	+27.1	40.8	30.3	463.6	1102.5
露地	播种一出苗	4.19~5.02	37.3	-10.3	0	3.5	44.1	
	出苗	5.03~6.12	42.5	-32.9	19.8	0	95.2	
	现蕾期	6.13~7.12	21.1	-51.7	15.2	0	88.0	
	开花期	7.13~9.07	270.2	+87.8	12.1	7.9	186.6	
	吐絮期	9.08~10.31	100.6	+13.1	0	0	87.5	
	全生育期	4.19~10.31	471.7	+6.0	47.1	11.4	501.4	816.0

从表1可看出以下几点:

(1)膜地棉全生育期共耗水463.6mm,露地棉则耗水501.4mm。也就是说,一年一季的覆膜种植可节水37.8mm。

这一结果与前两年的试验数据很相近。1987年膜地棉耗水量为466.4mm,露地棉为509.0mm。覆膜种植节水42.6mm。

尽管各年的气象条件有差异,但在华北平原北部覆膜栽培下大体可节水40mm左右。

(2)地膜的节水作用主要在早春播种出苗至苗期。膜地提前5天出苗,蒸散量为露地棉的一半;出苗到现蕾期,膜地的耗水量也只是露地的70%。因以后的生育阶段,由于地膜棉生长旺盛,植株健壮,其蒸腾量也高,耗水反比露地棉要多^[2]。

(3)虽然覆膜种植只能节省大约40mm水,但却可获得很高的产量,也就是说显著提高了水利用率 $K(K = \text{产量}/ET)$ 。由表1中所列的皮棉产量和总蒸散量便可计算出:膜地棉的水利用效率 $K_M = 1102.5\text{kg} \cdot (\text{hm}^2)^{-1} / 463.6\text{mm} = 2.38\text{kg}/(\text{mm} \cdot \text{hm}^2)$;露地棉的水利用效率 $K_L = 816.0\text{kg} \cdot (\text{hm}^2)^{-1} / 501.4\text{mm} = 1.63\text{kg}/(\text{mm} \cdot \text{hm}^2)$ 。可见 K_M 比 K_L 要大50%。

试想,若按露地棉的水利用效率 K_L 水平,为要达到膜地棉的产量,势必应耗水678mm。于是覆膜栽培的优越性就更为突出了,将能节水200mm以上。应该说这是相当可观的。

2 秸秆覆盖免耕的节水效果

2.1 试验条件

土壤性状和测试方法与(1.1)中的基本相同。

2.2 结果与分析

1986~1990年在相近立地条件下的试验结果基本一致,覆盖免耕比耕翻(常规耕作)可节水30mm左右(见表2)。

表2 耕翻和免耕措施下夏玉米的耗水量和水利利用效率

年份	生育阶段	处理	土壤水平衡各项(mm)				产量 (kg/hm ²)	水利利用效率 kg/(mm·hm ²)	
			P	ΔW	D	ET			
1986年	苗期 (6.19~7.08)	耕翻	253.4	+69.1	119.1	65.2			
		免耕	247.5	+63.9	132.8	50.8			
	穗期 (7.09~9.17)	耕翻	140.1	-99.2	24.1	215.2			
		免耕	140.1	-92.3	30.8	201.6			
	花粒期 (8.18~9.23)	耕翻	264.8	+59.0	35.8	170.0			
		免耕	266.5	+57.1	40.9	168.5			
	全生育期 (6.19~9.23)	耕翻	658.3	+28.9	179.0	450.4	5835	113.35	
		免耕	654.1	+28.7	204.5	423.1	6765	16.05	
	1990年	出苗 (6.20~7.17)	耕翻	176.5	+21.4	5.3	149.8		
			免耕		+32.0	13.7	130.9		
穗期 (7.18~8.14)		耕翻	95.5	-32.8	2.1	126.3			
		免耕		-34.8	10.7	119.6			
花粒期 (8.14~9.26)		耕翻	152.1	-4.1	3.6	152.6			
		免耕		-7.3	4.2	155.2			
全生育期 (6.20~9.26)		耕翻	424.1	-15.4	10.9	428.6	6780	15.75	
		免耕		-10.1	28.5	405.7	7485	18.45	

注:表中耕翻为常规耕作,免耕为秸秆覆盖免耕(以下表、图中均相同)。

由于夏玉米的生育期正与雨季同步,地势平坦,因此基本上不考虑地表径流。于是夏玉米生育期的降雨,除了补充土体储水量 ΔW 以及供给下渗水 D 之外,便可算作为作物的实际蒸散 ET 了。

若从水利利用效率的角度来考察节水效益,以耕翻地的水利利用效率为准,而想获得覆盖免耕地的产量,那就须耗水510.4mm(1986年)或473.5mm(1990年),比同样产量水平的覆盖免耕地多耗水60~68mm。由此看来,覆盖免耕的节水作用也是不可忽视的。这时所节约的水直接向深层下渗,补偿前期消耗的地下水。

对土壤水的汽化来说,如果将地膜覆盖的地块视为一半封闭系统的话,那么覆盖免耕的田间则几乎是一个完全开放的系统。薄膜隔绝了近地面的湿热交换和水汽传输,其节水机理是显而易见的。被粉碎的麦秸疏松地铺于地表虽然也会对太阳直接辐射和地面有效辐射有一定的拦截、吸收作用,但对汽、热阻隔作用较小,地面孔隙多呈开放状态,汽、热畅通^[3]。那么,覆盖免耕技术为什么也能节水呢?现试从以下几方面作一分析:

(1)耕翻作业虽然疏松了表土层,容重暂时变得很小,但过不了多久土粒便自然沉降,加之降雨淋浸,容重逐渐增大,一个月过后反而超过覆盖免耕地的表土层容重(见表3)。

表3 耕翻和免耕土壤表层容重(g·cm⁻³)

深度 (cm)	处理	日 期							
		6.19	6.27	7.05	7.17	8.01	8.27	9.05	9.26
0~5	耕翻	1.14	1.28	1.36	1.39	1.41	1.41	1.41	1.41
	免耕	1.37	1.38	1.37	1.38	1.38	1.37	1.38	1.37
0~10	耕翻	1.19	1.30	1.39	1.40	1.40	1.41	1.40	1.42
	免耕	1.37	1.39	1.39	1.38	1.38	1.38	1.39	1.38

* 1990年7月4日和14日分别降雨70.1mm和96.4mm。

从表3可以看出,覆盖免耕地的土壤容重在整个作物生育期内一直保持稳定,几乎没有变化,而刚耕翻过的表层虽然开初容重很小(1.14 和 $1.19\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$),但随后不断增大,最终升至 $1.41\sim 1.42\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$,而超过覆盖免耕地。尤其在降雨之后这种变化趋势更为明显。多年试验资料表明,耕翻过的表土如遇一次性降雨在 30mm 以上,就会使土壤容重迅速增大,土层变得非常紧实^[4]。

容重变大实际上反映的是土壤孔隙所遭受的磨难。耕翻作业破坏了表层原来发育良好的土壤结构,摧残了本是大小适中、相互连续和利于水—汽流通的孔隙;加之雨滴打击导致土粒高度分散,稍干后形成结皮,闭塞孔隙,严重阻碍地表水入渗。覆盖免耕土壤的孔隙不仅未遭损害,且随着作物根系穿插会得到改善,孔隙连续度 $1/\tau$ (表现长度 L 与孔隙通道的实际长度 P_L 之比, $1/\tau = L/P_L$)高,又由于地表有麦秸保护,免受雨滴直接打击,不会形成结皮,因此地表水的入渗率和土壤导水率都明显高于耕翻土壤^[5]。现将上述有关数值列于表4,以供比较。

表4 同土壤孔隙状况和导水特性有关的参数

处理	含水量 $\theta_v = 27.7\%$ 时的 $1/\tau$	土表结皮的 分散系数(%)	稳定入渗率 i_D ($\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$)	10~20cm的饱和导 水率 K_s ($\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$)
免耕	0.104	—	14.3	11.3
耕翻	0.053	92.5	2.8	9.1

(2)土壤含水量与基模势的关系曲线,又称水分特征曲线,最能集中地反映土壤的持水性能。多次测定的耕翻地和覆盖免耕地土壤水分特征曲线(见表5和图1),有相当显著的区别。这甚至有点令人感到意外,因为原来完全是同一土壤,仅仅只由于一次耕翻作业,本不指望出现太大差异。可是从图上看到,在较高土壤水吸力范围内,即从 100kPa 起直到永久萎蔫点 1500kPa ,二者之间含水量差别不大;但在较低土壤水吸力范围内($0\sim 100\text{kPa}$),覆盖免耕地的含水量比耕翻地高很多,这时覆盖免耕地可释放的水量为 29.2% ,耕翻地上仅为 23.5% ,前者要高出 $1/4$;如再以 $pF = 2$ (即 $\psi_m = -10\text{kPa}$)为田间持水含量的上限, $pF = 3$ ($\psi_m = -100\text{kPa}$)为速效水的下限,则这时覆盖免耕地可提供给作物的速效水含量为 14% ,耕翻地仅为 7% ,相差一半。由此可见,在同一立地条件下,覆盖免耕地不仅土壤含水量多,而且其能量水平也高,容易被根系吸收,利于作物生长发育,提高水利用效率,说到底有利于节水。

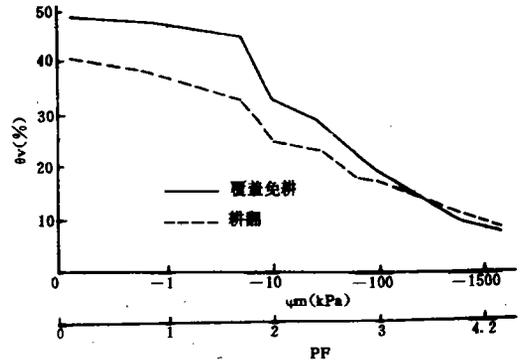


图1 免耕和耕翻土壤的水分特征曲线图

表5 免耕和耕翻土壤的水分特征曲线

基模吸力(kPa)	0	5	10	30	70	100	300	600	1500	
pF	0	1.7	2.0	2.5	2.8	3.0	3.5	3.8	4.2	
当量孔径(μm)	300	60	30	10	4	3	1	0.5	0.2	
含水量										
(θ_v %)	免耕	47.5	43.8	32.5	27.1	21.2	19.3	14.4	9.4	8.5
	耕翻	36.0	27.5	25.1	23.9	18.2	17.9	14.2	10.3	8.3

3 结论

在众多的农业节水技术中,地表覆盖种植是一项有效的节水措施。通过土壤水量平衡计算与

常规耕作相比,每年可节省20~40mm。

从表面上看,这个数字并不算大,不过实际节水作用大得多,只是由于后期植株生长旺盛,蒸腾量大,部分地抵消了生育前期的节水效果。如果从提高水利用效率的角度来考察,地表覆盖的实际节水量达60~200mm。

地表覆盖种植技术具有提高土壤肥力、合理利用土水资源和改善生态环境的综合效益,如能尽快解决好与其有关的一些技术问题,例如提高地膜的降解性能以消除污染,改进秸秆覆盖免耕的配套机具等,那么这项种植技术将在我国农业的持续发展中发挥重要作用。

参考文献

- 1 姜成后. 我国北方旱区农业现代化. 北京:气象出版社,1989,137~147
- 2 Bond, J. J. et al. soil water evaporation, Surface residue rates and placement effects. *Soil Sci Am. Proc.* 1969, 33, 445~448
- 3 Greb, W. et al. Effects of straw mulch rates on soil water storage during summer fallow in the Great Plains. *Soil sci. Soc. Am. Proc.* 1967, (31):556~559
- 4 朱文珊. 中国少耕免耕与覆盖技术研究. 北京:科学技术出版社 1991, 11~21
- 5 Beisecker, R. Auswirkungen Langjährig unterschiedlicher Bodenbearbeitungssysteme auf die Porenstruktur und die Wasserinfiltration eines Löss- und eines Sandbodens. *Z. F. Kulturtechnik und Landentwicklung.* 1991. (32): 87~95

(上接第135页)

- 4 赵聚宝,梅旭荣. 晋东南地区旱地农田土壤水分状况及水分循环特征. *中国农业科学*, 1992, 25(6)
- 5 刘文兆,李玉山. 黄土高原节水农业的理论与实践. *水土保持学报*, 1992, 6(1)
- 6 李守谦,兰念军. 干旱地区农作物需水量及节水灌溉研究. 甘肃省科学技术出版社, 1992, 25~34
- 7 蔺海敏,胡恒觉. 旱地农业生态学. 兰州大学出版社, 1992, 75~83
- 8 赵立新,荆家海,王韶唐. 不同施肥水平对旱地冬小麦水分利用效率的影响. *植物生态学与地植物学学报*, 1991, 15(4)
- 9 陶阳文,裴步祥. 农田蒸散和土壤水分变化的计算方法. *气象学报*, 1979, 37(4):78~87
- 10 邓振镛,林日暖. 甘肃省土壤水分变化特征与分区的研究. *干旱地区农业研究*, 1991, 3
- 11 Anders Lindroth Theo verwijst seven Halldin water use efficiency of willion: variation with season, humidity and biomass allocation. *Journal of Hydrology*, 1994, 156, 1~19