

半干旱农田生态系统覆膜进程和施肥 对春小麦耗水量及水分利用效率的影响^{*}

任书杰¹, 李世清^{1,2}, 王 俊², 凌 莉¹, 李凤民²

(1 西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨陵 712100; 2 兰州大学 干旱农业生态国家重点实验室, 甘肃 兰州 730000)

[摘 要] 在年降水量 415 mm 的黄土高原中部黄绵土上, 以春小麦 (*Triticum aestivum*) 为供试作物进行大田试验, 研究了地膜覆盖 (设不覆膜、播种后覆膜 30 d、覆膜 60 d 和全程覆膜) 和施氮 (设不施氮和施氮 75 kg/hm²) 对春小麦耗水量和水分利用效率的影响。结果表明, 地膜覆盖对春小麦耗水量和水分利用效率的影响与底墒和覆膜进程有关。增加底墒和施肥, 春小麦全生育期耗水量显著增加。高底墒处理的平均耗水量 (327.7 mm) 比低底墒 (285.4 mm) 高 42.3 mm, 差异达显著水平 ($P < 0.05$); 施氮后, 耗水量也显著增加, 不施氮时, 平均耗水量为 299.0 mm, 施氮后平均为 314.1 mm, 施氮比不施氮增加 15.1 mm。在降水相对丰富年份, 对低底墒处理, 不同覆膜进程对春小麦全生育期耗水量没有显著影响, 而对高底墒处理, 覆膜 30 d 和 60 d 作物全生育期耗水量显著高于对照和全程覆膜, 但覆膜 30 d 和 60 d 间, 全程覆膜和不覆膜间的差异均不显著。因此在降水丰富年份, 全程覆膜并没有使作物全生育期耗水量减少, 同时也并没有使作物收获后的残留底墒增加。从总体上看, 覆膜处理比底墒和施肥对作物耗水量的影响小。无论是用地上干物质计算, 还是用籽粒计算, 施氮后水分利用效率明显增加。地膜覆盖对水分利用效率的影响与底墒和覆膜进程有关。在降水正常年份, 当底墒不足时, 覆膜并不能显著增加水分利用效率; 而在高底墒条件下, 无论是干物质, 还是对籽粒, 覆膜后水分利用效率显著提高 ($P < 0.05$)。虽然覆膜 60 d 和全程覆膜间的水分利用效率均显著高于不覆膜, 但覆膜 60 d 和全程覆膜间的水分利用效率差异不大, 未达到显著水平。以上结果充分说明, 无论底墒状况如何, 全程覆膜对提高水分利用效率没有实际意义。

[关键词] 地膜覆盖; 春小麦; 水分利用效率; 耗水量

[中图分类号] Q 948.112; S512.1⁺20.62 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1671-9387(2003)04-0001-05

地膜覆盖后由于土壤养分条件和作物生长状况的改善, 有利于增加作物对养分的吸收利用^[1,2], 提高养分利用效率^[3]。Ala ssir 等发现^[1], 地膜覆盖虽然对莴笋产量没有显著影响, 但覆盖地膜后叶片中的 NO₃⁻-N 和全磷含量却显著增加。Shama 和 Pam ar^[3]对小麦的研究发现, 在抽穗期和开花期分别覆膜, 可使土壤磷的利用效率分别提高 27% 和 17%。由于覆膜改变了土壤养分供应状况, 因此覆膜必然影响肥料的效果。Ala ssir 等^[1]研究表明, 覆膜后土壤中有机氮矿化速率增加, 土壤中 NO₃⁻-N 含量显著增加, 从而导致氮肥肥效不明显, Ruppel 等^[4]研究表明, 地膜覆盖农田不需要施用氮肥就可满足作物对氮素的需要; 但也有相反的研究结果: 王

喜庆等^[5]和 Matitschka 等^[6]研究认为, 覆膜后会使氮肥肥效明显提高。因此, 在这一领域还需要进行深入细致的研究。

地膜覆盖由于改变了田间土壤水分损失状况, 必然也影响作物的耗水量 (ET) 和水分利用效率 (WUE), 但在不同年份和不同地点又存在着明显的分异性。李生秀等^[7]和王喜庆等^[5]的研究表明, 覆膜春玉米植株伤流量和蒸腾量显著高于不覆膜植株, 显然地膜覆盖加快了植株水分代谢, 提高了水分利用效率。李凤民等^[8]对旱地春小麦的研究也表明, 在作物生长前期地膜覆盖可以增加作物耗水量, 提高水分利用效率, 但在前期水分的过度消耗, 不仅会导致作物需水临界期提前, 而且会导致作物生长后期

^{*} [收稿日期] 2002-11-14

[基金项目] 国家自然科学基金项目 (30230230, 39970151 和 39970459); 2002 年度教育部全国优秀青年教师资助项目 (20022096); 国家重点基础研究专项项目 (G2000018603); 国家基础研究重大项目前期研究专项项目“半干旱黄土植被景观覆盖格局与生态系统功能调控”; 黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室基金项目 (10501-104); 农业科技跨越计划项目 (2000-6)

[作者简介] 任书杰 (1976-), 男, 辽宁凌源人, 在读硕士, 主要从事土壤-植物氮素营养研究。

[通讯作者] 李世清 (1963-), 男, 甘肃秦安人, 教授, 博士, 主要从事土壤-植物氮素营养和植物营养生理生态研究。

土壤水分条件的恶化。如果没有降水或者没有及时补充灌溉,土壤剖面中、下部丰富的作物根系无法发挥作用,造成同化产物的浪费,影响了生殖器官的发育,影响后期作物的生长和产量的形成,导致产量下降^[9]。

郭志利和古世禄^[10]在山西寿阳用谷子进行的大田试验表明,地膜覆盖对作物耗水量影响不大,但由于蒸发量减少,蒸腾量增加,结果覆膜后水分利用效率提高 12%~23%。李生秀等^[7]和李世清等^[11]在陕西澄城用玉米进行的大田试验证明,地膜覆盖后作物叶面积指数增大,水分蒸腾损失显著增加,但对蒸腾效率和蒸腾系数影响不大。有关不同覆膜进程对春小麦耗水量和水分利用效率的影响,迄今缺乏试验资料。本研究通过 2 年的大田试验,探讨不同覆膜进程对春小麦耗水量和水分利用效率的影响,了解覆膜和施氮对作物耗水量及水分利用效率影响的交互效应,以期为合理利用地膜提供科学依据。

1 材料和方法

参见前文^[12]报道。

表 1 不同处理全生育期春小麦耗水量和水分利用效率(1999 年)

Table 1 Water consumption amount in the whole growth period and water use efficiency in various treatments

处理 Treatment			ΔW /mm	ΔP /mm	ET /mm	WUE_B ($kg \cdot hm^{-2} \cdot mm^{-1}$)	WUE_G ($kg \cdot hm^{-2} \cdot mm^{-1}$)
低底墒 Low water storage before sow ing	M ₀	N ₀	33.6	239.9	273.5	17.5	7.3
		N ₇₅	50.9	239.9	290.8	20.8	8.8
	M ₃₀	N ₀	34.6	239.9	274.5	19.0	7.5
		N ₇₅	49.0	239.9	288.9	21.9	8.6
	M ₆₀	N ₀	44.3	239.9	284.2	19.4	8.0
		N ₇₅	42.0	239.9	281.9	21.6	8.6
	M _w	N ₀	48.8	239.9	288.7	19.8	7.9
		N ₇₅	60.7	239.9	300.6	22.6	9.1
高底墒 High water storage before sow ing	M ₀	N ₀	72.0	239.9	311.9	17.9	7.0
		N ₇₅	86.5	239.9	326.4	19.1	7.4
	M ₃₀	N ₀	90.3	239.9	330.2	17.8	6.7
		N ₇₅	115.7	239.9	355.6	23.0	8.8
	M ₆₀	N ₀	88.1	239.9	328.0	21.9	8.7
		N ₇₅	108.4	239.9	348.3	25.3	9.5
	M _w	N ₀	60.8	239.9	300.7	22.1	8.7
		N ₇₅	80.0	239.9	319.9	25.0	9.8
LSD _{0.05}			18.9		21.5	2.2	1.4

注: M₀, M₃₀, M₆₀和 M_w 分别表示不覆膜和播种后覆膜 30 d, 覆膜 60 d 和全程覆膜; N₀ 和 N₇₅ 分别表示不施氮和施氮 75 kg/hm²; ET 为作物全生育期蒸散量; ΔW 为播种前土壤贮水量与收获后土壤贮水量的差值; ΔP 为作物全生育期补水量; WUE_B 为用地上部干物质计算的水分利用效率; WUE_G 为用籽粒计算的水分利用效率。下表同。

Note: M₀, M₃₀, M₆₀ and M_w represents the no mulching, mulching for 30 d, mulching for 60 d, mulching for the whole growth period after sowing, respectively; N₀ and N₇₅ represent application of no nitrogen fertilizer and application of N 75 kg/hm²; ET represents the evapotranspiration in the whole growth period; ΔW is the difference between the water storage before sowing and the water storage after harvesting; ΔP is the supplemental water; WUE_B is the water use efficiency calculated by aboveground biomass; WUE_G is the water use efficiency calculated by grain yield. These are the same for other tables in the paper.

地膜覆盖后,在抑制蒸发的同时,由于作物长势、叶面积指数和根系吸收能力增加,作物能较多地

2 结果与分析

2.1 地膜覆盖进程对作物全生育期耗水量的影响

作物全生育期耗水量是指作物生长期通过蒸发和蒸腾从土壤中损失的水分,即通过蒸散损失的水分。全生育期耗水量(ET)根据播种前和收获后一定土层(一般为 2 m 土层)贮水量的变化值(ΔW)、作物生长期间的补水量(ΔP) (包括降雨(P)和补充灌溉水(I))计算确定,其计算公式为

$$ET = \Delta W + \Delta P.$$

根据上式,计算出 1999 年春小麦全生育期的耗水量(表 1)。表 1 结果表明,高底墒处理的平均耗水量(327.7 mm)比低底墒处理(285.4 mm)高 42.3 mm,差异达显著水平($P < 0.05$);施氮后,耗水量也显著增加,不施氮时平均耗水量为 299.0 mm,施氮后平均为 314.1 mm,施氮比不施氮增加 15.1 mm($P < 0.05$)。由于在半干旱地区,增加底墒和施氮能够显著增加植物叶面积和根系对水分的吸收能力^[7],蒸腾量显著增加^[11],而在抑制蒸发上的作用有限,因此增加底墒和施肥,耗水量必然显著增加。

利用土壤水分,特别是在作物生长前期,由于较深土层根系发达,能够充分利用中、下层土壤水分,导致

田间植物群体蒸腾损失的水分显著增加^[11]。在 1999 年试验条件下, 对低底墒处理, 不同覆膜进程对春小麦全生育期的耗水量没有显著影响, 而对高底墒处理, 覆膜 30 d 和 60 d 的全生育期耗水量显著高于对照和全程覆膜, 但覆膜 30 d 和 60 d 处理间、全程覆

膜和不覆膜对照间的差异并不显著。因此在降水丰富年份, 全生育期覆膜并没有使作物全生育期耗水量减少, 也没有使作物收获后的残留底墒增加(表 2)。从总体上看, 覆膜处理比底墒和施肥对全生育期作物耗水量的影响小。

表 2 覆膜处理对春小麦耗水量和水分利用效率的影响

Table 2 Effects of plastic film mulching on consumption and water use efficiency of spring wheat

处理 Treatment		播种前底墒/mm Water storage before sowing	耗水量/mm ET	WUE _B / (kg · hm ⁻² · mm ⁻¹)	WUE _G / (kg · hm ⁻² · mm ⁻¹)
低底墒 Low water storage before sowing	M ₀	268.3	282.2	19.2	8.1
	M ₃₀	268.7	281.7	20.5	8.1
	M ₆₀	267.4	283.1	20.5	8.3
	M _w	279.5	294.7	21.2	8.5
高底墒 High water storage before sowing	M ₀	272.5	319.2	18.5	7.2
	M ₃₀	248.7	342.9	20.4	7.8
	M ₆₀	253.5	328.2	23.6	9.1
	M _w	281.3	310.3	23.6	9.3

注: 耗水量的 L_{SD}_{0.05} 为 19.4 mm; WUE_B 和 WUE_G 的 L_{SD}_{0.05} 分别为 2.1 和 1.2 kg/(hm² · mm)。

Note: L_{SD}_{0.05} for ET is 19.4 mm; L_{SD}_{0.05} for WUE_B and WUE_G is 2.1 and 1.2 kg/(hm² · mm), respectively.

在干旱年份, 特别是在作物生长后期遇到严重干旱时, 覆膜后作物耗水高峰提前出现在播种至拔节期, 导致作物生长前期大量消耗土壤水分, 后期对损失的土壤水分又得不到及时有效补充, 因此覆膜会显著增加全生育期耗水量^[8]。

2.2 地膜覆盖进程对作物水分利用效率的影响

水分利用效率是用来描述作物生长量与水分利用状况之间关系的指标。由于计算时所用的水分概念不同, 水分利用效率有不同的表达方式^[13~15]。本研究用地上部干物质或者籽粒产量与作物生育期总耗水量的比值表示水分利用效率, 用这一公式可以评价栽培措施对生产体系中损失水分(包括蒸发和蒸腾)所造成的水分损失的差别, 以及水分有效利用的程度。结果表明, 无论是用地上干物质计算, 还是用籽粒计算, 施氮后水分利用效率明显增加, 底墒对水分利用效率的影响不显著。覆膜对水分利用效率的影响与底墒和覆膜进程有关(表 2), 在低底墒条件下, 无论是用干物质计算的水分利用效率, 还是用籽粒计算的水分利用效率, 不覆膜、覆膜 30 d、覆膜 60 d 和全程覆膜间的差异不显著, 不同处理水分利用效率的差值很小, 对干物质变化在 19.2~21.2 kg/(hm² · mm), 对籽粒变化在 8.1~8.5 kg/(hm² · mm), 其差值均在试验误差范围内。说明在降水正常年份, 当底墒不足时, 覆膜并不能显著增加水分利用效率。在高底墒条件下, 无论是用干物质计算, 还是用籽粒计算, 覆膜后水分利用效率显著提高($P < 0.05$)。不覆膜时, 消耗每毫米水分生产干物

质 18.5 kg/hm², 籽粒 7.2 kg/hm²; 覆膜 30 d、覆膜 60 d 和全生育期覆膜时, 消耗每毫米水分分别生产干物质 20.4、23.6 和 23.6 kg/hm², 生产籽粒 7.8、9.1 和 9.3 kg/hm², 分别比对照增加干物质 1.9 (10.3%), 5.1 (27.6%) 和 5.1 kg/hm² (27.6%), 增加籽粒 0.6 (8.0%), 1.9 (26.3%) 和 2.1 kg/hm² (29.2%)。尽管覆膜 60 d 和全生育期覆膜处理的水分利用效率均显著高于不覆膜的处理, 但覆膜 60 d 和全生育期覆膜处理间水分利用效率的差异不大, 没有达到显著水平。以上结果充分说明, 无论底墒状况如何, 全生育期覆膜对提高水分利用效率没有实际意义。

3 讨论

由于适时的地膜覆盖能够抑制蒸发, 增加植物叶面积和根系对水分的吸收能力, 因此必然会增加植物群体蒸腾和水分利用效率。但对这一推断缺乏严格的试验证明。要研究植物群体蒸腾, 最好的办法是严格控制蒸发(同时还要能够保证降水的入渗), 根据作物播种前、收获后和全生育期的降水量, 确定作物生长期通过蒸腾损失的水分, 显然比测定单位叶面积蒸腾强度更加准确和具有意义。由于用小麦进行这一研究比较困难, 因此为了进一步说明地膜覆盖对作物群体蒸腾的影响和用蒸腾量计算水分利用效率, 可用春玉米进行的试验结果予以讨论^[11]。对春玉米, 生长后期降水(7~9月)丰富, 温度又低, 在施肥量较高时全程覆膜不会导致后期作物脱水脱

肥现象而造成减产。因此采用全程覆膜技术,研究覆膜与不覆膜对作物群体蒸腾和田间蒸发的影响。

该试验在西北农林科技大学澄城试验站进行^[11]。试验在不种覆膜、种植覆膜与种植不覆膜 3 种种植方式下设不施氮和施氮 30, 60, 90, 120 kg/hm²等 5 个水平,组成完全方案,共 15 个处理。在春玉米生长期,每隔 10 d 分层测定各处理 2 m 土层中的水分和春玉米生长量(干物质)。降雨或灌溉前及时揭膜使土壤接纳水分。覆膜未种作物的处理,在作物生长期损失的水分是揭膜期间蒸发造成的。覆膜种植作物的处理,地膜遮盖了整个地面(春玉米行间全部覆膜,株间两膜重叠),因此损失的水分扣除不种覆膜处理所损失的水分后,可视为由蒸腾所致;未覆膜的处理既有作物蒸腾,也有土壤蒸发,损失的水分当然是蒸发和蒸腾共同作用的结果。覆膜后土壤的水肥气热状况均与未覆膜者不同,覆膜时的蒸腾量不能当作不覆膜时的蒸腾量。然而覆

膜与不覆膜间水、肥、气、热等各方面的差异均会表现在作物生长量上,而生长量又是叶面积,从而也是蒸腾量的函数。从此考虑,首先建立覆膜时蒸腾量与生长量的回归方程,再根据方程和不覆膜情况下不同处理作物的生长量,计算其各个时期的蒸腾量,进而计算蒸发量。按照这一方法,对不覆膜情况下的蒸发、蒸腾量进行了估算。计算表明,覆膜后作物的蒸腾量与作物生长量呈密切的线性关系,相关系数为 0.957 ($N = 8$),回归方程为 $Y = 14.38 + 1.187X$ (式中 X 为生长量, Y 为蒸腾量(mm))。用这一方程可计算出不覆膜时不同处理的蒸发和蒸腾量。计算结果表明,覆膜(平均蒸腾损失的水分为 236.7 mm)比不覆膜(平均蒸腾损失的水分为 164.1 mm)蒸腾量增加 74.1 mm (45.5%) ($P < 0.01$),原因在于覆膜后,一方面作物长势、叶面积指数和根系吸收能力增加,作物能较多地利用土壤水分;另一方面是蒸发损失的水分显著减少。

[参考文献]

- [1] Al-Assir IA, Rubeiz IG, Khoury R Y. Response on fall greenhouse cos lettuce to clear mulch and nitrogen fertilizer[J]. J Plant Nutr, 1991, 14(10): 1017- 1022
- [2] Hasure R R, Um rani N K. Effects of irrigation water saving methods (mulches) on uptake of nutrients in summer sunflower[J]. Journal of Maharashtra Agricultural Universities, 1995, 20(3): 485
- [3] Shama P K, Pamard K. The effect of phosphorus and mulching on the efficiency of phosphorus use and productivity of wheat grown on a mountain Alfisol in the Western Himalayas[J]. Soil Use Manage, 1998, 14(1): 25- 29
- [4] Ruppel S, Maksowat E. Effects of black plastic mulch on nitrogen balance in cultivation of pickles (*Cucumis sativus* L.) [J]. Gartenbauwissenschaft, 1996, 61(5): 230- 237
- [5] 王喜庆, 李生秀, 高亚军. 地膜覆盖对旱地春玉米生理生态和产量的影响[J]. 作物学报, 1998, 24(3): 348- 353
- [6] Matitschka G, Hahndel R, W ichmann W. Mineral dynamic, N uptake and growth of lettuce as affected by mulch[J]. Acta Horticulture, 1996, 428: 85- 94
- [7] 李生秀, 李世清, 高亚军, 等. 施用氮肥对提高旱地作物利用土壤水分的作用机理和效果[J]. 干旱地区农业研究, 1994, 12(1): 39- 46
- [8] 李凤民, 王 俊, 王同朝. 地膜覆盖导致减产的机理[J]. 中国农业科学, 2001, 33(2): 330- 333
- [9] 李凤民, 王 俊, 郭安红. 供水方式、根源信号与春小麦水分利用效率[J]. 水利学报, 2000, 20(3): 510- 513
- [10] 郭志利, 古世禄. 覆膜栽培方式对谷子产量及效益的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2000, 18(2): 33- 39
- [11] 李世清, 王喜庆, 高亚军, 等. 施肥对提高作物蒸腾, 减少蒸发的影响[A]. 汪德水. 旱地农田水肥关系原理与调控技术[C]. 北京: 中国农业科技出版社, 1995. 187- 190
- [12] 沈新磊, 黄思光, 凌 莉, 等. 半干旱农田生态系统地膜覆盖模式和施氮水平对小麦产量和氮效率的效应[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2003, 31(1): 1- 14
- [13] Foale M A, Peries R, Fukai S. Water use efficiency of grain sorghum in Australia[A]. Proceeding of International Conference on Dryland Farming: Challenge in Dryland Agriculture- A Global Perspective[C]. Texas: Amarillo/Bushland, 1988. 185- 189
- [14] Onken A B, Wendt C W, Halorson A D. Soil fertility and water use efficiency[A]. Proceeding of International Conference on Dryland Farming: Challenge in Dryland Agriculture- A Global Perspective[C]. Texas: Amarillo/Bushland, 1988. 441- 444
- [15] Gregory P J. Plant and management factors affecting the water use efficiency of dryland crops[A]. Proceeding of International Conference on Dryland Farming: Challenge in Dryland Agriculture- A Global Perspective[C]. Texas: Amarillo/Bushland, 1988. 171- 175

Effect of plastic film mulching on spring wheat's water consumption and water use efficiency in semiarid agro-ecological system

REN Shu-jie¹, LI Shi-qing^{1,2}, WANG Jun², LI NG Li¹, LI Feng-min²

(1 State Key Laboratory of Arid Agroecology, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China;

2 College of Resources and Environmental Sciences, Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: A field experiment was carried out on cultivated loessial soil in semiarid area with 415 mm precipitation and spring wheat (*Triticum aestivum*) used as an indicating crop to study the effects of plastic film mulching period (including no mulching, mulching for 30 days, mulching for 60 days, after sowing and mulching for whole growing period) and nitrogen fertilizer application (including no nitrogen application and nitrogen application $N\ 75\ kg/hm^2$) on the spring wheat's water consumption and water use efficiency (WUE). The results showed that the effects of plastic film mulching on spring wheat's water consumption and water use efficiency (WUE) had relation with soil water storage amount in soil profile before sowing and plastic film mulching course. Spring wheat's water consumption in all growing period remarkably increased when soil water storage amount in soil profile before sowing increased and nitrogen fertilizer was applied. The water consumption in high soil water storage amount (327.7 mm) in soil profile before sowing was higher than low soil water storage amount (285.4 mm) in soil profile before sowing, and the difference was 42.3 mm ($P < 0.05$); water consumption was also increased when nitrogen fertilizer was applied, and the average water consumption was 299.0 mm when there was no nitrogen fertilizer, while it was 314.1 mm when nitrogen fertilizer was applied, the difference was 15.1 mm. In year with normal precipitation, the different plastic film mulching course had no remarkable effect on the water consumption of spring wheat's growing period in the treatment of low soil water storage amount in soil profile before sowing, while in the treatments of high soil water storage amount in soil profile before sowing, the water consumption for the plastic film mulching for 30 days and 60 day's treatment were higher than control and plastic film mulching for the whole growing period, but the difference between the two treatments wasn't significant, and the difference between plastic film mulching for the whole growing period and control was also not significant. So in the year with normal rain, water consumption was not decreased and the residual soil water storage amount at harvest wasn't increased in the treatment of plastic film mulching for the whole growing period. As a whole, the treatment of film mulching had less effect on crop's water consumption than the treatment of nitrogen fertilizer. WUE was apparently increased no matter it was counted on dry matter or on seed. The effect of plastic film mulching on WUE had relation with that of soil water storage amount in soil profile before sowing and mulching course. In the normal rain year, the WUE wasn't remarkably increased for plastic film mulching when the soil water storage amount in soil profile before sowing was scarce, but it was remarkably increased ($P < 0.05$) when the soil water storage amount in soil profile before sowing was high no matter WUE was counted on dry matter or on seed. Though the WUE of plastic film mulching for 60 days and that of plastic film mulching for the whole growing period were remarkably higher than control, the WUE's difference between the two treatments wasn't significant. The above result adequately show that plastic film mulching for the whole growing period have no realistic significance in WUE's increase regardless of soil water storage amount in soil profile before sowing.

Key words: plastic film mulching; spring wheat; water use efficiency; water consumption