

旱地地膜和秸秆二元覆盖栽培下小麦产量与水分效应

党廷辉^{1,2}, 郭栋², 戚龙海²

(1. 西北农林科技大学水土保持研究所, 杨凌 712100; 2. 中国科学院水利部水土保持研究所, 杨凌 712100)

摘要: 通过覆盖措施提高水分利用率对旱地农业生产具有重要意义。该文采用田间对比试验, 研究了旱地冬小麦几种覆盖栽培下产量、水分利用率、土壤水分剖面和硝态氮的分布的差异。结果表明, 地膜和秸秆二元覆盖模式下小麦籽粒产量比对照增产 12.11%~17.65%, 水分利用效率 (WUE) 比常规栽培提高 7.2%~30.8%, 土壤 0~20 cm 土层的含水量提高到 12%~16%, 硝态氮含量提高到 4.70~10.17 mg/kg。地膜和秸秆二元覆盖模式能够显著的提高作物产量和水分利用率, 并显著增加耕层土壤中水分含量和硝态氮含量, 减轻了土壤剖面硝态氮的淋溶累积。

关键词: 二元覆盖, 产量, 水分利用效率, 硝态氮累积

中图分类号: S274.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2008)-10-0020-05

党廷辉, 郭栋, 戚龙海. 旱地地膜和秸秆二元覆盖栽培下小麦产量与水分效应[J]. 农业工程学报, 2008, 24(10): 20-24.

Dang Tinghui, Guo Dong, Qi Longhai. Effects of wheat yield and water use under dual-mulching mode of plastic film and straw in the dryland farming[J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(10): 20-24.(in Chinese with English abstract)

0 引言

在中国北方的旱作农业区, 水分一直都是作物产量的主要限制因子之一, 提高水分资源的利用效率就成为了该地区农业生产面临的主要课题。以往的研究表明^[1,2], 过量施用氮肥会导致严重的硝态氮淋溶累积问题, 造成养分资源浪费。覆盖栽培作为一种重要的旱作农业抗旱栽培手段, 在北方旱作农业区被广泛的推广应用, 成为提高该区农业产量的一个重要措施^[3,4]。许多学者研究认为^[5-7], 覆盖栽培改善了土壤的水、热状况等外部生态环境, 活化了土壤养分, 使养分有效性和水分利用效率提高。但一些研究者认为小麦覆盖栽培并不能显著增加产量^[8]。现有研究多是采用地膜覆盖或是秸秆覆盖单一的覆盖模式, 而采用地膜和秸秆二元覆盖模式的研究较少。本研究以提高小麦产量和水分利用效率为目标, 研究了旱作农业区地膜和秸秆二元覆盖模式下作物的产量和水分利用情况, 期望对农业生产有现实指导意义。

1 材料与方法

试验布置在黄土高原南部沟壑区-陕西长武县境内海拔 1200 m 的塬地上。年日照时数 2226 h, 年均气温 9.1℃, 全年≥0℃的积温 3029℃, 年均降水 584 mm, 无霜期 171 d, 属大陆季风型半湿润易旱气候区。农业生产全部依赖天然降水, 属典型的旱作雨养农业区, 三年四熟(小麦-小麦-豆子-玉米)或一年一熟(小麦)种植。试验年度各月降雨分布见表 1, 除 1998-1999 年和 2001-2002 年

小麦生育年(生育期+播前休闲期)为平水年外, 其余年份都属于偏早年(降雨量 395.9~430.4 mm)。

试验土壤为黑垆土, 耕层 0~20 cm 有机质 10.6 g/kg, 全氮 0.8 g/kg, 碱解氮 67.6 mg/kg, 速效磷 14.4 mg/kg, 速效钾 145.9 mg/kg, 容重 1.3 g/cm³, 田间持水量 26.6%, 凋萎湿度 9%, pH=8.4。

表 1 1998-2003 年试验期间各月降雨分布
Table 1 Rainfall distribution of each months from 1998 to 2003

年份	各月降雨量/mm											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1998						160.5	140.7	29.7	34.8	0	0	
1999	0	0	16.4	47.3	87.7	54.9	106.7	23.3	27.6	73.2	11.3	1.3
2000	11.5	4.2	4.5	16	46.4	104.4	31.8	69.1	42.7	83.7	20.7	2.5
2001	16.3	16.9	1.5	46.8	4	78.4	86.1	62.6	188.9	19.1	3.9	4.2
2002	6.6	7.7	16.8	39.7	72.7	91.4	50.5	35.9	84.5	31.3	3.6	11.2
2003	10.6	2.5	17.5	46.7	38.4	63.2						

1.1 地膜对比试验

1998 年 9 月布设, 采用小麦连作。设 W、WM₁ 和 WM₂ 3 个处理, 重复 4 次, 小区面积 6 m×7 m。W 代表常规栽培(行距 20 cm, 不覆膜); WM₁ 代表膜际栽培(覆膜宽 30 cm, 膜间距 60 cm, 膜间种植 4 行, 行距 15 cm); WM₂ 代表膜下栽培(覆膜宽 60 cm, 膜间距 30 cm, 膜上种植 4 行, 行距 15 cm)。利用三季小麦试验资料(1998 年 9 月-2001 年 6 月)对比不同地膜栽培的产量、水分差异。2001 年 9 月小麦播种时, 对处理 WM₂ 进行了改造, 即在膜间同时覆盖小麦秆, 形成处理 WM₂+XG “二元”覆盖模式, 取得两季小麦试验资料(2001 年 9 月-2003 年 6 月), 用 2001 年 9 月-2003 年 6 月 W、WM₂+XG 两个处理资料来分析二元覆盖效果。每个处理在小麦播种前均施 P₂O₅ 75 kg/hm² 的基础上配合施用 N 150 kg/hm²。

收稿日期: 2007-09-15 修订日期: 2008-06-06

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(2005CB121102), 中国科学院重要方向项目(kzcx2-yw-424-2)

作者简介: 党廷辉, 男, 博士, 研究员, 主要从事养分循环与环境效应研究。杨凌 西北农林科技大学水土保持研究所, 712100。

Email: dangth@ms.iswc.ac.cn

1.2 氮肥试验

1998 年 9 月布设, 采用小麦-小麦-黑芸豆-玉米轮作。设 CK (不施 N)、N₁、N₂ 和 N₁M 共 4 个处理, 重复 4 次, 小区面积 6 m×7 m。各处理均以每公顷施 75 kg P₂O₅ 为肥底。N₁ 为低氮用量 (小麦施氮 100 kg/hm², 玉米施氮 120 kg/hm², 豆子不施肥), N₂ 为高氮用量 (小麦施氮 150 kg/hm², 玉米施氮 180 kg/hm², 豆子不施肥), N₁M 指在 N₁ 基础上增施有机肥, 使 N₁M 的施氮量相当于 N₂。一个轮作周期 (1998 年 9 月-2002 年 9 月) 后, 即 2002 年 9 月小麦种植时, 对各处理进行了裂区设置, 每个小区 1/2 保持原处理, 1/2 采取地膜和秸秆的“二元”覆盖模式, 形成不同氮肥基础上的四个“二元”覆盖处理, 即 CK+XG、N₁+XG、N₂+XG、N₁M+XG。施肥同上。

上述两个试验各年份处理设置见表 2。

表 2 地膜对比试验和氮肥试验不同年份播种时处理安排
Table 2 Treatment arrangement of mulching and nitrogen experiments in planting time in different years

试验名称	年份				
	1998	1999	2000	2001	2002
地膜对比试验	W	W	W	W	W
	WM ₁	WM ₁	WM ₁	WM ₁	WM ₁
	WM ₂	WM ₂	WM ₂	WM ₂ +XG	WM ₂ +XG
氮肥试验	CK	CK	CK	CK	1/2 CK, 1/2 CK+XG
	N ₁	N ₁	N ₁	N ₁	1/2 N ₁ , 1/2 N ₁ +XG
	N ₂	N ₂	N ₂	N ₂	1/2 N ₂ , 1/2 N ₂ +XG
	N ₁ M	N ₁ M	N ₁ M	N ₁ M	1/2 N ₁ M, 1/2 N ₁ M+XG

1.3 秸秆对比试验

2002 年布设, 种植小麦, 对比小麦与玉米秆的覆盖差异。设 F (膜下栽培模式)、F+XG (小麦秆“二元”覆盖模式)、F+YG (玉米秆“二元”覆盖模式) 3 个处理。4 次重复, 小区面积 5.5 m×7 m。各处理均施 N 120 kg/hm² 和 P₂O₅ 60 kg/hm²。

氮肥用尿素, 磷肥用重过磷酸钙, 有机肥用较纯厩肥。小麦肥料全作基肥施用, 玉米 2/3 作基肥, 1/3 作追肥 (喇叭口期)。基肥采用撒施, 追肥采用点施。

2 结果与分析

2.1 小麦几种覆盖方式的增产与水分利用率比较

2.1.1 “二元”覆盖模式的增产效果

由 3 a 的试验结果 (表 3) 知, 与常规栽培 (W) 相比, 小麦膜间种植 (WM₁)、膜下种植 (WM₂) 对籽粒产量都没有明显的增产效果。但在同样的小区第 4 年小麦播种时, 对膜下种植方式进行改进, 即将膜间的裸露地覆上麦草, 形成“地膜+麦秆”的双元覆盖模式 (WM₂+XG), 两年 (2001-2003) 产量结果表明, 这种模式籽粒产量增产显著, 平均比对照 (W) 增产 22.46%。与此同时, 在 2002-2003 年度研究比较了用小麦秆与玉米秆分别与地膜形成两种二元覆盖模式的效果差异, 结果表明, 两种秸秆都能取得较好的增产效果 (12.11%~17.65%), 但玉米秆比小麦秆增产效果稍高。

表 3 不同覆盖方式下的籽粒产量

Table 3 Grain yield with different mulching modes

处 理	施肥/kg·hm ²	籽粒产量/kg·hm ²	增产率/%
1998-2001(3季小麦, 1个平水年, 2个偏旱年)			
W	N150+P75	4580.56	/
WM ₁	N150+P75	4598.54	0.39
WM ₂	N150+P75	4238.59	-7.47
2001-2003(2季小麦, 1个平水年, 1个偏旱年)			
W	N150+P75	3619.79	/
WM ₂ +XG	N150+P75	4432.87**	22.46
2002-2003(1季小麦, 1个偏旱年)			
F	N120+P60	2962.60	/
F+XG	N120+P60	3321.43*	12.11
F+YG	N120+P60	3485.45**	17.65

注: *表示达到 5% 显著水平, **表示达到 1% 显著水平。

2.1.2 不同覆盖方式下水分利用效率比较

在 2002-2003 年度, 我们测定了不同覆盖栽培模式下播种和收获期土壤剖面 (3 m) 水分的变化, 进而研究了不同覆盖模式下的作物水分的利用率。可以看出 (表 4), 常规栽培 (W) 的水分利用率为 12.03 kg/(hm²·mm), 地膜和小麦秆二元覆盖栽培 (WM₂+XG) 的水分利用率为 13.55 kg/(hm²·mm), 表明二元覆盖方式显著地提高了作物水分利用率。为了对比小麦秆和玉米秆在二元覆盖模式中作用大小, 试验研究了地膜和小麦秆 (F+XG) 与地膜和玉米秆 (F+YG) 两种二元覆盖模式的水分利用差异, 结果显示, 小麦秆二元覆盖模式的水分利用率为 10.67 kg/(hm²·mm), 玉米秆二元覆盖模式的水分利用率为 12.28 kg/(hm²·mm), 都比膜下栽培模式 (F) 的水分利用率 10.39 kg/(hm²·mm) 有一定增加, 但是玉米秆比小麦秆的效果更好。

表 4 不同覆盖方式下的水分利用效率 (2002-2003, 偏旱年)
Table 4 Water use efficiency(WUE) with different mulching modes

项 目	W	WM ₂ +XG	F	F+XG	F+YG
土壤耗水(0~300 cm)/mm	79.73	124.94	97.78	99.50	127.06
生育期降雨/mm	186.5	184.3	184.3	184.3	184.3
总耗水/mm	266.23	309.24	282.08	311.36	283.80
籽粒产量/kg·hm ²	3203.13	4189.81	2931.88	3321.43	3485.45
WUE/kg·(hm ² ·mm)	12.03	13.55**	10.39	10.67	12.28*

注: *表示达到 5% 显著水平, **表示达到 1% 显著水平。

2.2 小麦“二元”覆盖栽培下作物产量与土壤水氮效应

2.2.1 在不同氮肥施用条件下小麦“二元”覆盖栽培的增产效果与水分利用率比较

秸秆覆盖增加土壤的有机质含量, 但同时造成地温下降, 而地膜覆盖则很好地解决了地温下降问题, 因此将二者有机的结合, 发挥各自的优势, 将会获得较好的效果。我们在 2002-2003 年度将原来的常规栽培小麦氮肥试验小区进行了裂区设计, 对比了常规栽培与“地膜+小麦秆”的双元覆盖栽培的氮肥增产效果 (表 5)。结果显示, 旱塬地区小麦常规栽培下施用氮肥增产效果显著 (39.54%~47.67%), 但采取二元覆盖后氮肥增产更加显

著 (84.62%~90.38%)。因施肥条件的不同, 双元覆盖措施的增产率达到 7.49%~45.19%。同时发现, 双元覆盖模式更有利于发挥氮肥改善水分利用效率 (WUE) 的效果 (表 6), 在常规栽培下, 处理 CK、N₁、N₂、N₁M 的 WUE 分别为 7.62、10.64、10.98 和 11.88 kg/(hm²·mm), 氮肥提高 WUE 3.02~4.26 kg/(hm²·mm); 双元覆盖下 WUE 分别为 8.17、13.92、14.26 和 15.24 kg/(hm²·mm), 氮肥提高 WUE 5.75~7.07 kg/(hm²·mm)。4 种施肥处理下, 双元覆盖比常规栽培 WUE 分别提高 7.2%、30.8%、30.0% 和 28.3%。

表 5 双元覆盖栽培下的增产效果 (2002-2003, 偏旱年)

处理	施肥 /kg·hm ⁻²	籽粒产量 /kg·hm ⁻²	氮肥增产率 /%	“双元”覆盖增产率/%
常规栽培				
CK	N0+P75	2239.58	0	/
N ₁	N100+P75	3223.96*	43.95	/
N ₁ M	N150+P75	3307.29*	47.67	/
N ₂	N150+P75	3125.00*	39.54	/
地膜+小麦秆覆盖栽培				
CK+XG	N0+P75	2407.41	0	7.49
N ₁ +XG	N100+P75	4444.44**	84.62	37.86
N ₁ M+XG	N150+P75	4583.33**	90.38	38.58
N ₂ +XG	N150+P75	4537.04**	88.46	45.19

注: *表示达到 5% 显著水平, **表示达到 1% 显著水平。

表 6 双元覆盖栽培下的水分利用率 (2002-2003, 偏旱年)

项目	CK	N ₁	N ₂	N ₁ M	CK+XG	N ₁ +XG	N ₂ +XG	N ₁ M+XG
土壤耗水(0~300 cm)/mm	107.36	116.55	98.11	91.82	110.40	134.95	133.93	116.43
生育期降雨/mm	186.5	186.5	186.5	186.5	184.3	184.3	184.3	184.3
总耗水/mm	293.86	303.05	284.61	278.32	294.70	319.25	318.23	300.73
籽粒产量/kg·hm ²	2239.58	3223.96	3125.00	3307.29	2407	4444.44	4537.04	4583.33
WUE/kg·(hm ² ·mm)	7.62	10.64*	10.98*	11.88*	8.17	13.92**	14.26**	15.24**

注: *表示达到 5% 显著水平, **表示达到 1% 显著水平。

2.2.2 小麦“双元”覆盖栽培下土壤水分分布

图 1 分别是 2002-2003 年度对照 (CK)、低氮 (N₁)、高氮 (N₂ 和 N₁M) 处理常规栽培与双元覆盖栽培模式的土壤剖面水分含量比较图。可以看出, 在偏旱年份, 双元覆盖模式极大地提高了耕层的含水量, 常规栽培模式下土壤 0~20 cm 的含水量为 5%~6%, 双元覆盖模式下土壤 0~20 cm 土层的含水量提高到了 12%~16%。这主要与地膜覆盖部分可以有效地防止水分蒸发, 而秸秆又可以在降雨时蓄积较多的水分有很大的关系。随着土层的增加, 双元覆盖栽培各土层含水量均比常规栽培下的含水量要高, 尤其以不施肥对照处理两者之间的差异更为明显, 亦即双元覆盖模式提高了土壤各层的含水量, 以耕层含水量提高最为明显。

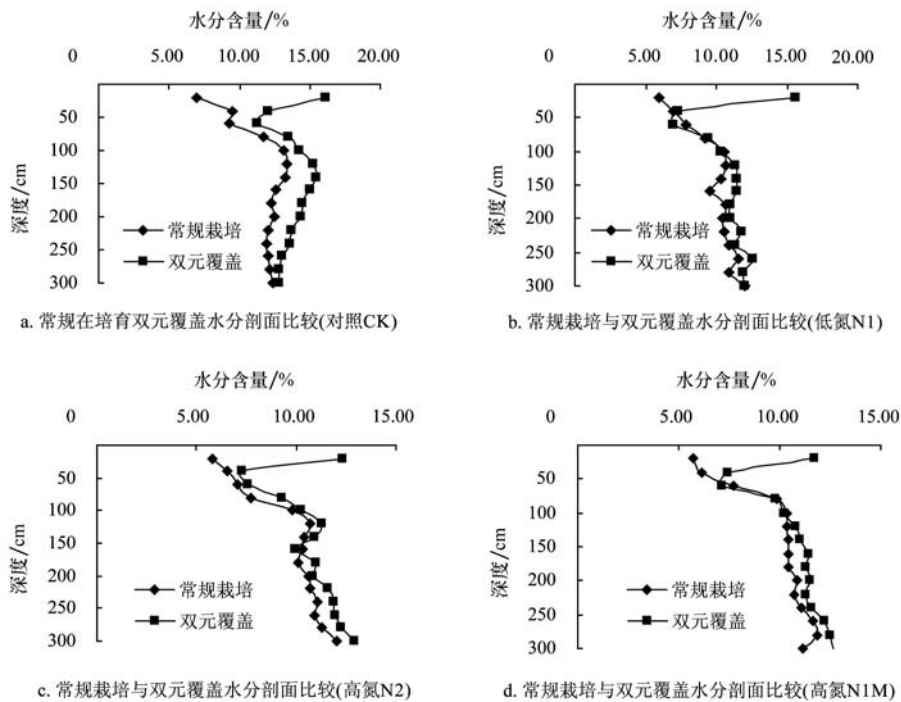


图 1 小麦常规栽培与双元覆盖栽培土壤剖面水分含量

Fig.1 Soil profile water content with conventional cultivation and dual mulching mode

2.2.3 小麦“双元”覆盖栽培下土壤硝态氮分布

图 2 分别是 2002-2003 年度对照 (CK)、低氮 (N₁)、高氮 (N₂ 和 N₁M) 处理常规栽培与双元覆盖栽培模式土

壤剖面硝态氮含量比较图。可以看出, 在偏旱年份, 双元覆盖栽培模式极大的提高了耕层土壤的硝态氮含量, 减轻了硝态氮的淋溶累积问题。在常规栽培模式下, 耕

层土壤 (0~20 cm) 的硝态氮含量为 4.19~7.93 mg/kg, 除对照外, 其他处理在深层土壤中均出现了明显的累积峰, 而二元覆盖栽培模式下, 各处理耕层土壤 (0~20 cm) 的硝态氮含量都有较大的增加, 达到了 4.70~10.17 mg/kg,

但土壤剖面下层硝态氮含量均有降低, 没有出现明显的硝态氮累积现象。这可能与二元覆盖保水保肥, 增加作物对深层硝态氮的利用有关。结果表明, 二元覆盖具有缓解硝态氮深层淋溶累积的作用。

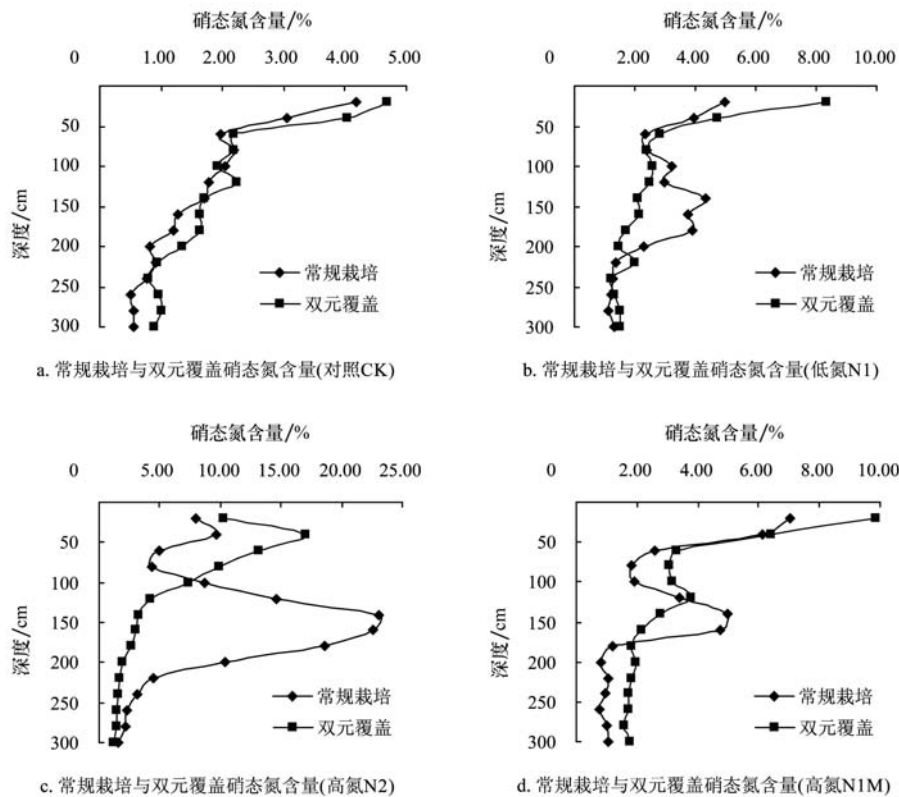


图 2 小麦常规栽培与二元覆盖栽培土壤剖面硝态氮含量

Fig.2 Soil profile $\text{NO}_3\text{-N}$ content with conventional cultivation and dual mulching mode

3 结论与讨论

在黄土高原南部沟壑区塬地黑垆土上, 采用田间试验研究了冬小麦不同覆盖栽培下产量与水分效应, 结果表明, 采取地膜和秸秆的二元覆盖栽培模式可以显著地改善土壤水分状况, 增加小麦产量, 提高水分利用率。

1) 在平水年和偏早年, “地膜+秸秆”二元覆盖栽培模式能够显著地提高小麦籽粒产量, 施用氮肥有利于二元覆盖栽培模式增产效果的发挥。在二元覆盖栽培模式下, 地膜覆盖部分增温保墒, 有利于作物的根系生长, 有利于土壤中的微生物活性增加, 促进有机质的矿化; 秸秆覆盖部分蓄水保墒, 防止土壤温度过高, 也可以增加土壤中的有机质含量, 这些都为作物生长创造了良好的水肥环境和温度条件, 进而促进作物产量的增加。

2) 在偏早年, “地膜+秸秆”二元覆盖栽培模式显著提高了水分利用率。无论与常规栽培对比, 还是与膜下栽培对比, “地膜+小麦秆”或“地膜+玉米秆”二元覆盖模式的水分利用率显著提高。在四种施氮处理中, 二元覆盖模式比常规栽培 WUE 分别提高 7.2%、30.8%、30.0% 和 28.3%。同时表明, 施用氮肥促进了二元覆盖栽培模式改善水分利用率的效果发挥。以往研究指出, 覆盖栽培可以有效减少裸间土壤水分蒸发, 增加贮水量, 降低水分亏缺程度, 总体耗水量有所减少^[9,10], 同时覆盖

栽培可提高小麦灌浆高峰期灌浆速度和功能叶光合速率, 显著提高旱地作物产量^[11], 因而提高水分生产效率效果明显。也有人认为, 覆盖栽培模式可以使水分消耗由物理过程向生理过程转化, 由无效消耗向有效消耗转化, 从而提高小麦水分利用效率^[12]。

3) 在偏早年, “地膜+秸秆”二元覆盖栽培模式提高耕层土壤的水分和硝态氮含量, 改善土壤剖面各层水分和硝态氮分布。一些学者指出, 秸秆覆盖可使地面层显热通量增大, 潜热通量和土壤通量减少, 从而使土壤蒸发受限^[12], 同时秸秆覆盖有利于降水的均匀入渗, 可以很好的积蓄降水, 而地膜覆盖的透水透气性较差, 能够有效的防止蒸发, 因而提高了土壤含水量; 地膜覆盖可以明显的增加地温, 促进了有机质的矿化, 同时秸秆的腐解作用, 不同程度的提高了土壤有机质和氮、磷、钾养分含量^[13], 因此耕层土壤硝态氮含量有明显的提高, 这也与高亚军等人的研究一致^[14]。同时, 秸秆覆盖缓冲了降水的入渗速率, 从而降低了硝态氮随水下渗淋溶, 减轻了硝态氮的深层淋溶累积。

[参 考 文 献]

- [1] 党廷辉, 郭胜利, 樊军, 等. 长期施肥下黄土旱塬土壤硝态氮的淋溶分布规律[J]. 应用生态学报, 2003, 14(8): 1265-1268.

- [2] 郭胜利, 党廷辉, 郝明德. 黄土高原沟壑区不同施肥条件下土壤剖面中矿质氮的分布特征[J]. 干旱地区农业研究, 2000, 18(1): 22-27.
- [3] Li Fengmin, Guo Anhong, Wei Hong. Effects of clear plastic film mulch on yield of spring wheat[J]. Field Crops Res, 1999, 63: 79-86.
- [4] 李世清, 李凤民, 宋秋华, 等. 半干旱地区不同地膜覆盖时期对土壤氮素有效性的影响[J]. 生态学报, 2001, 21(9): 1519-1526.
- [5] 汪景宽, 张继宏. 地膜覆盖对土壤肥力影响的研究[J]. 沈阳农业大学学报, 1992, 23(Z09): 32-37.
- [6] 赵海祯, 梁哲军, 齐宏立, 等. 旱地小麦覆盖栽培高产机理研究[J]. 干旱地区农业研究, 2002, 20(2): 1-4.
- [7] 周劲松. 覆盖对土壤理化性状的影响[J]. 青海大学学报, 1996, 14(2): 60-64.
- [8] 党廷辉, 郭胜利, 郝明德, 等. 旱作冬小麦施氮肥与地膜栽培的水肥效应[J]. 中国生态农业学报, 2002, 10(4): 44-47.
- [9] 陈奇恩. 中国塑料膜覆盖农业[J]. 中国工程科学, 2002, 4(4): 12-17.
- [10] 胡芬, 姜雁北. 半湿润易旱区农业节水技术研究[J]. 农业工程学报, 1998, 14(1): 76-80.
- [11] 赵海祯, 梁哲军, 齐宏立, 等. 旱地小麦覆盖栽培高产机理研究[J]. 干旱地区农业研究, 2002, 20(2): 1-4.
- [12] 朱自玺, 赵国强, 邓天宏, 等. 秸秆覆盖麦田水分动态及水分利用效率研究[J]. 生态农业研究, 2000, 8(1): 34-37.
- [13] 卜玉山, 苗果园, 周乃健, 等. 地膜和秸秆覆盖土壤肥力效应分析与比较[J]. 中国农业科学, 2006, 39(5): 1069-1075.
- [14] 高亚军, 杨君林, 陈林, 等. 旱地冬小麦不同栽培模式、施氮量和种植密度土壤水分利用状况[J]. 干旱地区农业研究, 2007, 25(3): 45-50.

Effects of wheat yield and water use under dual-mulching mode of plastic film and straw in the dryland farming

Dang Tinghui^{1,2}, Guo Dong², Qi Longhai²

(1. Institute of Soil and Water Conservation, Northwest Agriculture and Forestry University, Yangling 712100, China;

2. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling 712100, China)

Abstract: It is very important to study the mulched measure for improving water use efficiency (*WUE*) in dryland farming. The effects of water, nitrogen fertilizer and yield on the dry farmland with different straw and plastic film mulching modes were studied in the field experiment from 1998 to 2003. The results show that, under the dual mulching mode of plastic film and straw, the grain yield increase by 12.11%~17.65%, the *WUE* increase by 7.2%~30.8%, the water content in arable layer increased to 12%~16%, and the nitrate nitrogen content in arable layer increase to 4.70~10.17 mg/kg. The dual mulching mode of plastic film and straw can remarkably increase crop yield and *WUE*. At the same time, it can remarkably increase the water content and the nitrate nitrogen content in arable layer, so nitrate leaching and accumulation in soil profile is alleviated.

Key words: dual mulching mode, yield, water use efficiency, nitrate-nitrogen accumulation