

免耕覆盖夏玉米耗水特性及土壤环境变化研究

王 健¹, 蔡焕杰¹, 刘红英²

(1. 西北农林科技大学水利与建筑工程学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 杨凌职业技术学院水利系, 陕西 杨凌 712100)

摘 要: 2002~2003 年在西北农林科技大学灌溉试验站夏玉米田进行了小麦秸秆不同覆盖量的大田试验。通过不同覆盖处理对夏玉米的耗水特性及土壤水热环境变化影响的研究, 表明采用完全覆盖可使作物耗水减少 27.6%、产量增加 21.22%、1 m 土壤含水率提高 37%, 覆盖焚烧处理耗水量高于免耕覆盖 10%~41%。另外, 利用秸秆免耕覆盖比覆盖焚烧土壤的速效氮、速效磷、速效钾均有所提高。最后, 从节约资源和改善环境污染的角度分析了秸秆覆盖对土壤环境的影响。

关键词: 免耕覆盖; 夏玉米; 耗水特性; 土壤环境

中图分类号: S513.048 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2007)02-0035-05

覆盖免耕能够减少土壤侵蚀, 提高土壤有机质, 改善土壤结构, 同时还具有保墒、保温的作用, 为作物取得高产、稳产奠定基础。薛少平等认为采用麦草覆盖保墒, 使土壤中的有机质含量逐年增加, 提高了土壤的蓄水能力, 增加了土壤肥力, 有利于形成旱地农业可持续发展的良性循环^[1]; 李春友等从等温和非等温水盐动态模拟以及覆盖边界层三个方面, 对秸秆覆盖条件下土壤水、热、盐耦合运动规律进行了模拟研究^[2]。张喜英等通过对秸秆覆盖下的夏玉米蒸发蒸腾、水分利用效率和作物系数变化的研究, 得出秸秆覆盖和优化农田供水制度可以明显提高农田水分利用效率^[3]。沈荣开等定量分析了夏玉米麦秸全覆盖下土壤水热动态的田间试验结果, 建立了夏玉米生长初期麦秸覆盖条件下土壤水热迁移的耦合数值模型^[4]。国内外对免耕法土壤水分变化以及土壤环境变化的研究取得了很大的进展, 表明秸秆覆盖有利于作物生长、产量和水分利用效率的提高。但国内野外焚烧秸秆现象还十分普遍, 这不仅造成了极大的环境污染, 而且浪费了宝贵的生物资源。本文研究秸秆免耕覆盖与免耕覆盖焚烧对土壤墒情、土壤肥力和土壤水热环境变化的影响, 为秸秆直接还田, 发展节水高效农业提供参考。

1 试验概况和方法

1.1 试验概况

试验于 2002~2003 年在西北农林科技大学灌溉试验站夏玉米田进行, 该站(108°04'E, 34°20'N)

所处地理位置属暖温带季风半湿润气候区, 年平均温度为 12.9℃, 多年平均降水量 635.1 mm, 年均日照时数 2 163.8 h, 年均蒸发量 1 440 mm, 年均无霜期 210 d。站内地形平整, 土层深厚, 土壤类型为中壤。夏玉米品种为单 9, 2002 年夏玉米于 6 月 11 日播种, 9 月 30 日收获, 播种密度为 7 株/m², 7 月 22 日灌水, 灌水量为 75 mm, 其田间管理与当地大田水平一致, 生育期间的降水量 194.5 mm, 属平水年。2003 年夏玉米于 6 月 18 日播种, 9 月 30 日收获, 播种密度为 7 株/m²。其田间管理与当地大田水平一致, 生育期间的降水量达 675 mm, 属丰水年。

1.2 试验方法

试验共设 30 个小区, 每个小区面积为 4 m×5 m=20 m², 小区间用塑料布隔离。分免耕覆盖和免耕覆盖焚烧 2 个处理, 每个处理分 5 个水平, 3 个重复, 随机排列, 用上一茬小麦秸秆覆盖试验小区, 各处理覆盖率(即实际覆盖量占所产秸秆的百分比)见表 1。

2 试验测定指标

2.1 土壤含水率测定及储水量的计算

利用 Diviner 2000 土壤水分监测仪测量试验区土壤水分的变化(1~2 次/周); 并用烘干法对其进行修正。土壤储水量采用公式(1)计算^[5]:

$$W = \sum_{i=1}^n (\theta_i \times \gamma_i) \times h_i \quad (i = 1, 2, 3, \dots, 10) \quad (1)$$

式中, W 为计划湿润层内的储水量(mm); θ_i 为第 i

收稿日期: 2006-11-06
基金项目: 教育部青年教师奖资助项目(200139); 西北农林科技大学拔尖人才项目(200508)
作者简介: 王 健(1976—), 男, 陕西子洲人, 实验师, 从事作物需水量和灌溉制度研究。Email: wangjian786@nwsuaf.edu.cn。
通讯作者: 蔡焕杰(1962—), 男, 教授, E-mail: caihj@nwsuaf.edu.cn。

层土壤重量含水率($\%$); γ_i 为第 i 层土壤的干容重 (g/cm^3); h_i 为第 i 土层的厚度(mm)。用(1)式即可计算出某土层的土壤储水量,可根据播种前和收获后储水量的变化计算储水量的利用量。

表 1 免耕覆盖与免耕覆盖焚烧田间试验处理										
Table 1 Field experimental treatment about no-tillage with mulch and burned straw										
项目 Item	免耕覆盖 No-tillage with mulch					免耕覆盖焚烧 Burned straw				
	N1	N2	N3	N4	N5	S1	S2	S3	S4	S5
覆盖率 Coverage rate($\%$)	0	25	50	75	100	0	25	50	75	100

2.2 覆盖区土壤温度的测定

将 5 套地温计分别布置在免耕覆盖区,对免耕覆盖区的地温变化进行观测,观测深度为 5、10、15、20、25cm,生育期内每日 8:00、14:00 和 20:00 定时记录。

2.3 土壤肥力的测定

利用 UV7500 紫外可见分光光度计、离子色谱仪对不同覆盖处理夏玉米播种前和收获后的速效氮、速效钾、速效磷和有机质进行测定。土样采集采用梅花状多点采集的方法,分别在每个小区采集 5~6 个样品,取样深度为 0~20 cm 土层,然后通过

充分混合、阴干、研磨、过筛、浸提、消解等步骤后测定。

3 结果与分析

3.1 不同覆盖条件下的耗水量

根据 2002 年夏玉米的生长情况,将夏玉米的生育期分为播种~出苗、出苗~拔节、拔节~抽穗、抽穗~灌浆、灌浆~蜡熟、蜡熟~收获 6 个生长期,分别对不同生长期的耗水量、水分生产效率、1 m 土层土壤储水量进行了分析计算,结果见表 2 和表 3。

表 2 不同覆盖下夏玉米不同生育阶段耗水强度(mm/d)							
Table 2 Water consumption rate of summer maize for different phrases under different mulch treatment							
处理 Treatment	生长阶段(月-日) Growing period(m-d)						全生育期 Total stage
	播种~出苗 Sowing to seeding	出苗~拔节 Seeding to jointing	拔节~抽穗 Jointing to heading	抽穗~灌浆 Heading to filling	灌浆~蜡熟 Filling to pre-harvest	蜡熟~收获 Pre-harvest to harvest	
	06-11~06-21	06-22~07-10	07-11~07-30	07-31~08-28	08-29~09-16	09-17~09-28	
N1	2.87	3.81	3.37	4.54	2.97	1.24	378.11
N2	2.42	3.46	3.15	4.22	2.84	1.20	349.51
N3	1.97	3.11	2.94	3.89	2.72	1.10	320.20
N4	1.73	2.91	2.75	3.59	2.54	0.96	295.97
N5	1.48	2.72	2.56	3.28	2.41	0.92	273.76
S1	2.89	3.78	3.41	4.56	3.12	1.20	381.51
S2	2.71	3.90	3.45	4.80	2.97	1.35	388.55
S3	2.80	3.85	3.38	4.65	3.18	1.25	385.67
S4	2.90	3.88	3.28	4.70	3.00	1.15	382.20
S5	2.69	3.92	3.50	4.54	3.23	1.26	386.22

从表 2 可看出,免耕覆盖处理随覆盖量的增加,玉米的耗水量逐渐减小,从全覆盖至对照(未覆盖)作物耗水量从 273.76 mm 增加到 378.11 mm;相对于对照全覆盖节水率最大,达到 27.60%,并随覆盖量的减小而减小。表现在各个生长期的日均耗水量上,在播种~出苗阶段,玉米种植试验区覆盖处理的节水效果与地膜覆盖类似,不覆盖日均耗水量达到 2.87 mm/d,而完全覆盖日均耗水量只有 1.48

mm/d。在覆盖焚烧区玉米的总耗水量从 381.51 mm 至 388.55 mm,总耗水量差值较小,均值为 385.66 mm。但与不同覆盖条件相比,平均耗水量比 100%覆盖~25%覆盖增加约 10%~41%。由此可以看出,覆盖焚烧夏玉米的总耗水量高,从环境和能源来说,焚烧秸秆不仅对环境造成污染,而且使秸秆资源严重浪费。

表 3 不同覆盖下夏玉米水分生产效率

Table 3 Water productivity of summer maize under different mulch treatment

处理 Treatment	产量 Yield (kg/hm ²)	降水量 Raifall (mm)	灌水量 Irrigation (mm)	土壤储水利用量 WUE of soil water storage (mm)	全生育期耗水量 Water consumption in total stage (mm)	水分生产效率 Water productivity (kg/m ³)
N1	5622.38	194.50	75.00	108.61	378.11	1.49
N2	5727.90	194.50	75.00	80.01	349.51	1.64
N3	5860.58	194.50	75.00	50.70	320.20	1.83
N4	6204.02	194.50	75.00	26.47	295.97	2.10
N5	6818.76	194.50	75.00	4.26	273.76	2.49
S1	5667.44	194.50	75.00	112.01	381.51	1.49
S2	5994.83	194.50	75.00	119.05	388.55	1.54
S3	6095.88	194.50	75.00	116.17	385.67	1.58
S4	6040.57	194.50	75.00	112.70	382.20	1.58
S5	6110.07	194.50	75.00	116.72	386.22	1.58

从表 3 可看出,在覆盖试验区随覆盖量的增加,玉米的水分生产效率逐渐增大。从全覆盖(100%)至对照(未覆盖)水分生产效率从 2.49 kg/m³ 降到 1.49 kg/m³,相对于对照全覆盖增产率最大,达到 21.22%;在焚烧区玉米的水分生产效率变化很小。从土壤储水量的变化情况可以看出,免耕覆盖对改善土壤储水量具有明显的作用,随覆盖量的增加土壤储水量利用率减小,从不覆盖至完全覆盖土壤储水利用量从 108.61 mm 降至 4.26 mm,这使 1 m 土壤含水率提高 37%,对覆盖秸秆分解创造了有利的条件。这主要是因为秸秆覆盖相当于在地表面形成了一层保护层,与覆膜不同的是这样既有利于降水均匀入渗,又可防止土壤水分过多的蒸发,还可使作物根区土壤水分保持相对稳定,提高了水分利用率,同时还为下一季作物的生长提供良好的水分条件。分析覆盖焚烧区的水分生产效率、土壤储水利用量变化发现,覆盖焚烧与对照相比提高了水分生产效率,这可能是由于覆盖焚烧提高了土壤速效磷和速效钾的缘故,覆盖焚烧对土壤储水利用量的影响不大。

3.2 覆盖对土壤肥力的影响

2002 年夏玉米播种前和收获后,对不同免耕覆盖和不同免耕覆盖焚烧处理的土壤肥力进行测定表明(见表 4 和表 5)。由表 4 可以看出,免耕覆盖对土壤中的速效氮、速效磷、速效钾影响较大,且随覆盖量的增加而增大。由表 5 可以看出,免耕覆盖焚烧对土壤中的速效磷、速效钾影响较大,且随覆盖量的增加而增大,通过对表 4 和表 5 对比分析表明,采用秸秆免耕覆盖比免耕覆盖焚烧的速效氮、速效磷、速效钾均有所提高;不同覆盖处理的免耕覆盖在播前和收获后的土壤有机质含量均有所增加,且随覆盖量的增加而增大;这是因为秸秆分解过程中产生的腐殖质及土壤微生物生物固氮的作用,使秸秆中的木质素在缓慢的降解中产生植物生长激素,相当于有机生态肥料,不仅提高了土壤有机质,还改善了土壤环境,提高了土壤肥力。对免耕覆盖焚烧在播前和收获后的土壤有机质含量影响较小,且有所降低。这说明秸秆免耕覆盖不仅可以增加土壤有机质含量,还可以改善土壤环境。

表 4 不同免耕覆盖对土壤肥力的影响(mg/kg)

Table 4 Effect of soil fertility under different no-tillage mulch

时间 Time	N1				N5				N4				N3				N2			
	N	P	K	O	N	P	K	O	N	P	K	O	N	P	K	O	N	P	K	O
播前 Before sowing	15	20	125	22	15	20	125	22	15	20	125	22	15	20	125	22	15	20	125	22
收获后 After harvesting	14	18	125	23	19	23	146	30	18	21	144	28	17	21	142	26	16	20	135	24

注:表中 N、P、K 和 O 分别表示速效氮、速效磷、速效钾和有机质;有机质(Organic)含量单位为 g/kg,下表同。

Note: N, P, K and O mean available N, available P, available K and oragnic, respectively; the unit of oragnic is g/kg; The same as below .

3.3 覆盖对土壤温度的影响

秸秆覆盖后,由于地表热学性质和动力学性质的变化,使近地层水热状况发生改变,对太阳辐射的吸收转化和热量传导都有较大的影响^[6]。覆盖处理白天能提高近地层的空气温度,减小近地层空气

湿度,明显降低地温,覆盖后夏玉米田乱流交换系数增大,显热通量增大,潜热通量减小,即用于土壤蒸发的能量减小,从而达到保墒节水的目的^[7],夜间反之。

表 5 不同免耕覆盖焚烧对土壤肥力的影响(mg/kg)
Table 5 Effect of soil fertility under different burned straw

时间 Time	S1				S5				S4				S3				S2			
	N	P	K	O	N	P	K	O	N	P	K	O	N	P	K	O	N	P	K	O
播前 Before sowing	15	20	125	22	15	20	125	22	15	20	125	22	15	20	125	22	15	20	125	22
收获后 After harvesting	14	18	125	23	14	23	150	22	14	21	144	22	13	21	142	22	13	20	135	22

2003 年小麦秸秆覆盖对夏玉米田 0~25 cm 土壤平均温度的变化的影响如图 1。从图 1 可以看出,夏玉米整个生育期内,7 月下旬 0~25 cm 土壤平均地温随覆盖量的增加而降低,其余时间随覆盖量的增加而升高,这从地温变化的角度进一步证明了秸秆覆盖保墒、保温作用,这与已有的研究结果基本相同。进一步分析图 1 发现,2003 年 7 月下旬夏玉米正处于抽穗阶段,地面已经完全覆盖,其叶面积指数达到 2.3,根据已有的研究结果^[8],该阶段覆盖

的降温作用应该减弱。而在我们的研究中却相反,这可能是由于受气温影响的缘故,2003 年夏玉米生育期平均温度最高期就发生在这一时期,空气平均温度达 28.8℃。从改善土壤环境的角度来说,秸秆覆盖在盛夏酷暑降低了夏玉米根部土壤温度,增强了土壤的保墒效应,对夏玉米抽穗灌浆这一生殖生长期创造了适宜的生长环境,对提高夏玉米的产量具有重要的意义。

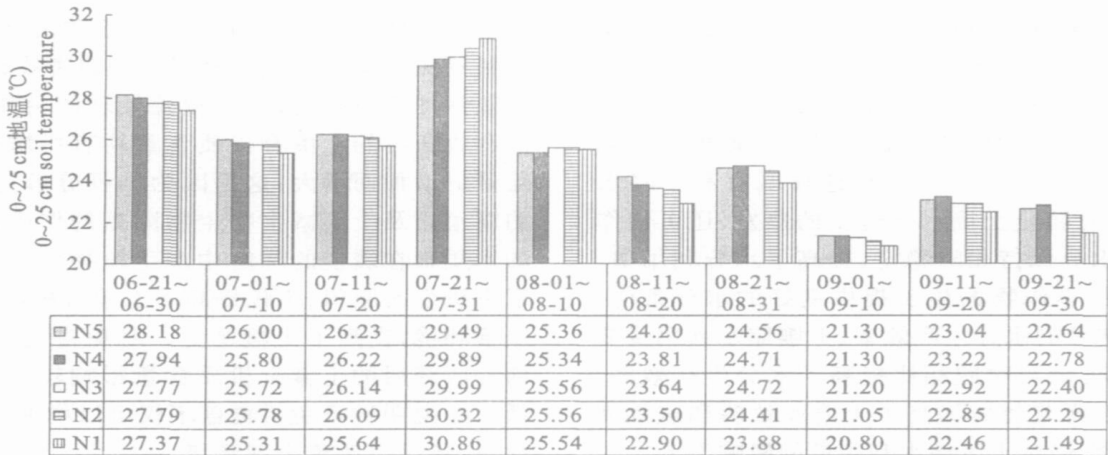


图 1 2003 年秸秆免耕覆盖处理对土壤温度变化的影响

Fig.1 Effect of soil temperature under different no-tillage mulch treatment in 2003

4 结 论

通过对免耕覆盖与免耕覆盖焚烧夏玉米耗水特性及土壤环境变化试验研究表明,小麦收获后充分利用秸秆覆盖夏玉米田与不覆盖相比,完全覆盖可使水分消耗减少 27.6%,增产 21.22%,水分生产效率达到 2.49 kg/m³,土壤储水量的利用率减小,1 m

土壤含水率提高 37%,为秸秆的有效分解创造了有利条件。利用地温变化分析了秸秆覆盖保墒、保温效应以及在盛夏酷暑改善生长环境的作用。从改善土壤肥力考虑,采用秸秆免耕覆盖比免耕覆盖焚烧的速效氮、速效磷、速效钾均有所提高,且随覆盖率的增加而增大;研究还发现秸秆焚烧对作物生长没有多大的影响,秸秆覆盖焚烧区耗水量高于免耕覆

盖 10%~41%。秸秆覆盖大大降低了由于秸秆焚烧造成的环境污染和秸秆资源严重浪费。

从不覆盖至全覆盖 5 个处理的所有数据表明, 全覆盖处理效果最佳。这进一步说明秸秆覆盖是一项具有广阔应用前景和研究潜力的节水措施。

参 考 文 献:

[1] 薛少平, 朱 琳, 姚万生, 等. 麦草覆盖与地膜覆盖对旱地可持续利用的影响[J]. 农业工程学报, 2002, 18(6): 71—73.
[2] 李春友, 任 理. 秸秆覆盖条件下土壤水热盐耦合运动规律模拟研究进展[J]. 水科学进展, 2000, 11(3): 325—332.

[3] 张喜英, 陈素英, 裴 冬, 等. 秸秆覆盖下的夏玉米蒸散、水分利用效率和作物系数的变化[J]. 地理科学进展, 2002, 21(6): 583—592.
[4] 沈荣开, 任 理, 张瑜芳. 夏玉米麦秸全覆盖下土壤水热动态的田间试验和数值模拟[J]. 水利学报, 1997, (2): 14—21.
[5] 李 红, 周连第, 侯旭峰, 等. 京郊平原区粮田深层土壤水分的预测[J]. 节水灌溉, 2002, (2): 20—23.
[6] 巩 杰, 黄高宝, 陈利项, 等. 旱作麦田秸秆覆盖的生态综合效应研究[J]. 干旱地区农业研究, 2003, 21(3): 69—73.
[7] 朱自玺, 赵国强, 邓天宏, 等. 覆盖麦田的小气候特征[J]. 应用气象学报, 2000, 11(增刊): 112—118.
[8] 陈素英, 张喜英, 裴 冬, 等. 秸秆覆盖对夏玉米田棵间蒸发和土壤温度的影响[J]. 灌溉排水学报, 2004, 23(4): 32—36.

Water consumption characteristics and soil environment for summer corn under no-tillage with mulch

WANG Jian¹, CAI Huan-jie^{1*}, LIU Hong-ying²

(1. Key Laboratory of Agricultural Soil & Water Engineering in the Arid and Semiarid Areas of Ministry of Education, Northwest A & F University, Yangling 712100, China;
2. Department of Conservancy, Yangling Vocational and Technological College, Yangling 712100, China)

Abstract: Burned straw in farmland not only polluted environment but also wasted straw resource. Field experiment with different mulch quantity of wheat straw was conducted in irrigation experimental station of Northwest A & F University in 2002 and 2003. Effect of different mulch treatment on water consumption characteristics and soil environment for summer maize was studied. The result showed that straw mulch can totally reduce water consumption by 27.6%, maize yield increased by 21.22%, soil moisture in 1m layer increased by 37%, water consumption by burned straw increased by 10% to 41%. Moreover, no-tillage with mulch could increase the contents of N、P、K and organic of soil in comparison with burned straw. At last, the effect of straw mulch on soil environment was analyzed from viewpoint of saving resource and reducing environment pollution.

Keywords: no-tillage with mulch; summer maize; water consumption characteristics; soil environment