不同材料覆盖对土壤温度、水分及玉米水分利用效率的影响

匡恩俊[1],韩锦泽[2],宿庆瑞[1],迟凤琴[1],张久明[1],高中超[1],朱宝国[3]
(1.黑龙江省农业科学院 土壤肥料与环境资源研究所/黑龙江省土壤环境与植物营养重点实验室/黑龙江省肥料工程技术研究中心,黑龙江 哈尔滨 150086;2.黑龙江省农业科学院 佳木斯分院,黑龙江 佳木斯 154007;3.东北农业大学,黑龙江 哈尔滨 150030)

摘要:为了选出适合嫩江县玉米生产的节水保墒、环保无污染的覆盖减蒸技术,采用随机区组试验,对比研究了秸秆整棵覆盖(处理1)、液体地膜地面喷洒(处理2)、光降解地膜覆盖(处理3)、聚乙烯地膜覆盖(处理4)、黄腐酸蒸腾抑制剂叶喷(处理5)等不同减蒸技术条件下土壤水分、温度的变化和玉米的水分利用效率及生长状况。结果表明:不同材料间水分差异较大,地表有覆盖物均可提高土壤含水量。拔节期,处理4、3、1覆盖的土壤水分都高于对照,依次高出8.2、6.0和3.0百分点,均达到差异显著水平($P<0.05$);灌浆期后,只有处理1与对照差异达到显著水平($P<0.05$)。与对照相比,拔节期地膜覆盖提高土壤温度0.6～0.9℃,扬花期和蜡熟期秸秆覆盖降低温度1.0和0.5℃,FA(处理5)叶面喷施后玉米叶面蒸腾速率减少29.5%、气孔导度减少30.6%、净光合速率增加16.7%。拔节期的株高以处理4和处理3最高,与其它处理达到差异极显著水平($P<0.01$),处理1最低。处理3和处理4的产量与其它处理达到差异极显著水平($P<0.01$),比对照增产18.3%和17.6%;处理1造成了减产,减产幅度为6.20%。水分利用效率与产量呈正相关趋势,最高的为处理3和处理4,分别比对照提高了19.0%和18.1%;水分利用率最低的为处理1,比对照降低了5.40%。

关键词:玉米;覆盖;蒸腾抑制;水分利用效率
中图分类号:S1520;S513 文献标识码:A 文章编号:1002-2767(2016)06-0026-05 DOI:10.11942/j.issn1002-2767.2016.06.0026

蒸发量大于降雨量的北方旱作农区,农田覆盖可保护土壤结构、保墒蓄水、调节土温,减少土壤水分的无效蒸发,提高水分的利用效率[1-2],可大幅度提高作物的经济产量[3]。目前生产上应用的覆盖材料主要有:作物秸秆[4]、生物降解地膜[5]、光降解地膜、液态膜[6]和塑料地膜等。有研究表明,在黄土高原旱作区,地膜覆盖使玉米生育前期0～25 cm土层的日平均温度比对照高18.8%,玉米籽粒产量提高19.2%[7]。马树庆[8]研究发现地膜覆盖对低温冷害有一定的防御作用,在东北北部和东部积温相对较低的地区,玉米地膜覆盖增产率达35%～55%,是主要推广区域;胡芬[9]研究了玉米田地膜覆盖的水分调控效应,表明覆膜后土壤储水量增加,农田蒸散量减小。东北地区大部农作物生长发育期间气温较低,积温较低,且年际波动较大[2]。随着地膜覆盖栽培的推广,"白色污染"问题日益严重,新型的可降解膜(生物降解膜和光降解膜)和液态地膜等环保膜先后问世。最新研究表明[10-11]:液态地膜覆盖较塑料地膜覆盖更有利于雨水向土壤中渗入,保持土壤水分,并能自然降解,减少环境污染。该试验针对黑龙江省粮食主产区雨养农业的特点,采用5种覆盖减蒸技术进行玉米栽培试验,研究其对土壤水分、温度以及作物产量和水分利用效率的影响,为选出适合该区域的节水保墒、环保无污染的覆盖减蒸技术并生产应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

嫩江县位于黑龙江省西北部,地跨N48°42′35″～51°00′05″,E124°44′30″～126°49′30″,属中温带大陆性季风气候,历年平均气温－0.1℃、无霜期105 d,降水量570 mm,蒸发量719 mm,有效积温2 283 ℃。土壤为厚层粘底黑土。基本理化性质有机质41.1 g·kg^{-1},全氮(N) 2.2 g·kg^{-1},全

收稿日期:2016-04-22
基金项目:"十二五"国家科技支撑计划资助项目(2012BAD05B01);公益性行业(农业)科研专项资助项目(201303126);国家科技支撑计划资助项目(2013BAD07B01-02);2013年黑龙江省农业科技创新工程重点资助项目
第一作者简介:匡恩俊(1982-),女,黑龙江省海林市人,硕士,助理研究员,从事土壤肥力研究。E-mail:kuangenjun2002@163.com。
通讯作者:宿庆瑞(1962-),男,黑龙江省哈尔滨市人,学士,研究员,从事土壤肥力研究。E-mail:suqingrui2004@aliyun.com。

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

磷(P_2O_5)1.7 g·kg^{-1}，全钾(K_2O)21.0 g·kg^{-1}，碱解氮 166.9 mg·kg^{-1}，速效磷 49.5 mg·kg^{-1}，速效钾 251.0 mg·kg^{-1}，pH6.3，容重 1.15 g·cm^{-3}，田间持水量 30.8%。

表 1　嫩江试验区气象数据

Table 1　Meteorologicaldata of Nenjiang

月份 Month	平均气温/℃ Average temperature		日照时数/h Sunshine duration		降水量/mm Amount of precipitation		有效积温/℃ Effective accumulated temperature	
	2014	历年 Calendar year	2014	历年 Calendar year	2014	历年 Calendar year	2014	历年 Calendar year
5 月 May	12.9	12.4	130.1	281.9	82.3	32.0	2571.2	2283.0
6 月 June	21.4	18.5	222.3	279.0	44.5	84.3		
7 月 July	20.5	20.9	145.2	258.6	133.8	143.0		
8 月 August	20.2	18.5	177.8	259.7	176.3	105.0		
9 月 September	12.2	11.6	212.0	225.2	92.4	61.7		

气象资料显示，2014 年 5-9 月嫩江累计降雨量超出历年同期 103.3 mm，累计日照时数均低于历年同期平均水平 417.0 h，气温超过历年同期平均水平 5.3 ℃，有效积温高于历年同期 288.2 ℃。

1.2　材料

供试玉米品种为德美亚 2 号，覆盖材料分别为：玉米秸秆(上一年收获)、金河液体地膜(江苏连云港)、0.008S 光降解地膜(吉林省农业科学院)、0.008S 聚乙烯地膜(哈尔滨塑料五厂)、黄腐酸(FA)蒸腾抑制剂(新疆双龙腐殖酸有限公司)。

1.3　方法

1.3.1　试验设计　设置 6 个处理：处理 1 玉米秸秆行间整棵覆盖，免中耕。玉米播种后，将玉米秸秆整棵沿垄向棵间覆盖于垄沟，7 500 kg·hm^{-2}。处理 2 液体地膜覆盖，播种后喷雾，30 kg·hm^{-2}，稀释 30～40 倍，免中耕。处理 3 为 0.008S 光降解地膜覆盖，免中耕。处理 4 为 0.008S 聚乙烯地膜覆盖，免中耕。处理 5 黄腐酸(FA)蒸腾抑制剂叶喷，免中耕。拔节期(第六叶完全展开)土壤中度以上干旱时叶面喷施(傍晚喷施，喷施后 4 h 遇降雨则第 2 天傍晚重新喷施)。80 mg·kg^{-1} FA 溶液 450 L·hm^{-2}。其它 5 个处理同期喷施等量清水。处理 6(对照)常规种植，免中耕。

每小区 6 垄(垄宽 70 cm)，10 m 长，3 次重复，随机区组排列；底肥一次性施入缓释肥料(23-11-12)525 kg·hm^{-2}。

1.3.2　测试项目及方法　土壤理化性质，按照常规方法[12]测定；容重及田间持水量采用环刀法测定、容积含水量及地温采用澳作生态仪器有限公司 AZS-100 水分仪测定，植物光合指标采用美国汉莎科学仪器有限公司 CIRAS-2 光合仪测定。

1.3.3 数据处理　数据采用 Excel 2007 和 SPSS 17 软件完成。

2　结果与分析

2.1　不同处理对土壤含水量及地温的影响

土壤含水量直接反映出土壤水分的丰缺程度，通常情况下，在松嫩平原西部、北部地区，影响作物产量的主要因素就是土壤水分。不同时期的调查显示，地表有覆盖物均可提高土壤含水量，6 月 18 日(拔节期)调查显示，聚乙烯地膜覆盖(处理 4)、光降解地膜覆盖(处理 3)、秸秆整棵覆盖(处理 1)都高于对照，依次分别高出了 8.2、6.0 和 3.0 百分点(见表 2)，这 3 个处理与对照相比差异达到显著水平，其它两个处理(处理 2 和处理 5)略低于对照，但差异不显著；7 月 13 日(扬花期)调查显示，秸秆整棵覆盖(处理 1)、光降解地膜覆盖(处理 3)和聚乙烯地膜覆盖(处理 4)的含水量仍高于对照，以秸秆整棵覆盖和光降解地膜覆盖最高，分别高出 4.6 和 2.4 百分点，差异达到显著水平；到 9 月 18 日(蜡熟期)，只有秸秆整棵覆盖(处理 1)和光降解地膜覆盖(处理 3)分别高出对照 2.2 和 0.9 百分点，且只有秸秆整棵覆盖(处理 1)与对照达到了 5%差异显著水平，其它 3 个处理略低于对照且不显著。

在测量土壤水分的同时，对各小区地温进行了测定。玉米拔节期(6 月 18 日)地温最高的是聚乙烯地膜覆盖(处理 4)，其次是光降解地膜覆盖(处理 3)，分别高出对照 0.9 ℃和 0.6 ℃，秸秆整棵覆盖(处理 1)最低，比对照低 0.6℃，液体地

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

膜(处理2)和FA叶喷(处理5)与对照差别不大；扬花期(7月13日)、蜡熟期(9月18日)秸秆整棵覆盖仍低于对照1.0 ℃和0.5 ℃，其它处理与对照差异都不大。

表2　不同处理土壤含水量及地温比较

Table 2　Soil moisture content and temperature of different treatments

处理 Treatments	06-18		07-13		09-18	
	含水量/% Moisture content	地温/℃ Soil temperature	含水量/% Moisture content	地温/℃ Soil temperature	含水量/% Moisture content	地温/℃ Soil temperature
1	12.3±1.2 b	26.2±0.9	27.1±0.9 a	23.0±0.1	23.5±0.7 a	21.8±0.2
2	9.2±0.6 c	27.0±0.2	22.3±0.4 c	24.2±0.2	20.8±1.4 b	22.2±0.1
3	15.3±0.7 a	27.4±0.4	24.9±1.0 b	23.9±0.3	22.2±0.9 ab	22.1±0.1
4	17.5±0.9 a	27.7±0.4	23.6±0.4 bc	24.3±0.1	20.7±1.1 b	22.2±0.2
5	9.1±0.9 c	26.7±0.4	21.9±1.5 c	24.1±0.4	21.6±1.7 b	22.2±0.1
6(CK)	9.3±0.9 c	26.8±0.5	22.5±1.3 c	24.0±0.2	21.3±0.5 b	22.3±0.1

小写字母为0.05水平上差异显著。下同。Lowercases mean significant difference at 0.05 levels. The same below.

2.2　FA对植株蒸腾速率、气孔导度及净光合速率的影响

本试验选在玉米最关键的生育时期拔节期进行叶面喷施。结果表明，喷施FA的小区植株叶面蒸腾速率平均为3.7 mmol·m^{-2}·s^{-1}，比对照减少28.8%；气孔导度平均为128 mmol·m^{-2}·s^{-1}，比对照减少了30.6%；净光合速率平均为28.0 μmol·m^{-2}·s^{-1}，比对照增加了16.67%(见表3)。

表3　FA叶喷对植株光合指标的影响

Table 3　The influence of FA foliar spray on plant photosynthesis

处理 Treatments	蒸腾速率/(mmol·m^{-2}·s^{-1}) Tr	气孔导度/(mmol·m^{-2}·s^{-1}) Gs	净光合速率/(μmol·m^{-2}·s^{-1}) Pn
对照CK	5.2±0.20 A	186±11 A	24.0±1.2 a
FA叶喷 FA foliar spray	3.7±0.17 B	129± 2.0 B	28.0±1.0 a

大写字母为0.01水平上显著。下同。

Capital letters mean significant difference at 0.01 levels. The same below.

2.3　对玉米生育的影响

6月18日(拔节期)调查株高可知，聚乙烯地膜覆盖(处理4)和光降解地膜覆盖(处理3)与其它处理差异达到极显著水平($P<0.01$，见表4)，分别比对照高13.0和12.8 cm，相对提高24.9%和24.5%；秸秆整株覆盖(处理1)最低，其它几个处理间无显著差异。收获期产量调查显示，光降解地膜(处理3)和聚乙烯地膜(处理4)覆盖与其它处理的产量达到差异极显著水平($P<0.01$)，并分别比对照增产18.3%和17.6%；秸秆整棵覆盖(处理1)产量最低，降低了6.2%。

表4　不同处理玉米株高及产量比较

Table 4　Yield and height of maize in different treatments

处理 Treatments	株高/cm Plant height	产量/(kg·hm^{-2}) Yield	增产率/% Increased rate
1	49.7±0.7 bB	9244±435 bB	-6.20
2	51.2±0.3 bB	10105±726 bB	2.54
3	65.0±0.6 aA	11657±435 aA	18.28
4	65.2±1.2 aA	11588±199 aA	17.58
5	52.1±1.6 bB	10051±416 bB	1.99
6(CK)	52.2±1.0 bB	9855±437 bB	-

2.4　不同处理对玉米水分利用效率的影响

由图1和表4可以看出，自然降水的水分利用效率与产量呈正相关趋势，利用率最高的为光降解地膜覆盖(处理3)和聚乙烯地膜覆盖(处理4)，与其它处理差异达到显著水平($P<0.05$)，分别比对照提高了19.0%和18.1%；水分利用率最低的为秸秆整棵覆盖(处理1)，比对照降低了5.4%。

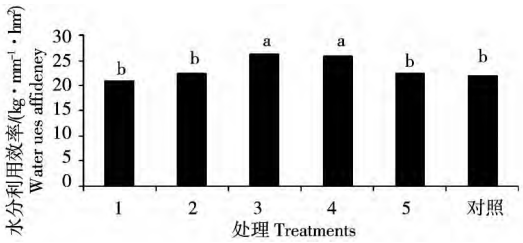

图1　不同处理的水分利用效率

Fig. 1　Water use efficiency of different treatments

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

3　结论与讨论

在东北地区，玉米地膜覆盖增产效果显著，主要的原因是地膜覆盖后土壤温度的提高和水分状况的改善[13]。地膜覆盖在丰水年份具有良好的贮水保水作用，在缺水年份效果则不显著。李凤民等[14]对春小麦的研究发现，在干旱年份，地膜覆盖后根系生长显著增加，作物生长后期土壤水分供应不足，不利于土壤肥力的维持，导致产量大幅度下降。由于 2014 年玉米生育期降雨较多（高于历年同期 103 mm），土壤水分就不是作物生长的主要限制因子，而是温度，也就是说土壤温度较高的覆盖技术条件下玉米的株高（尤其是在苗期）及产量也相对较高。

玉米拔节期前聚乙烯地膜覆盖、光降解地膜覆盖及秸秆整棵覆盖都具有良好的保墒作用。随着玉米生育进程的发展，地膜覆盖的保墒作用渐渐小于秸秆整棵覆盖，这是因为降解地膜降解速率与自然光强弱[15]、降雨量有关[16]，随着温度的不断升高地膜降解速率增加，开始出现裂缝，保水性能也开始下降；还由于 7、8 月份降雨量增大（133.8 mm、176.3 mm），秸秆覆盖处理的降雨能从秸秆缝隙中下渗到土壤中，减少地表径流；同时秸秆覆盖有效抑制了蒸发耗水，将富余水分蓄存在土壤中，保证了作物生育中期关键的生产性蒸腾耗水。也正是由于秸秆覆盖在地表，阻碍了太阳辐射，使得土壤温度低于聚乙烯地膜和光降解地膜覆盖，这与王敏[17]研究结果一致。虽然液体地膜覆盖比塑料地膜覆盖更有利于雨水向土壤中渗入，增加土壤水分含量，但在温度高、光照强的玉米生育中后期，地表蒸发是主要的限制因子[10-11]，这是在本试验中，液体地膜保水效果不好的主要原因。

朱自玺等[1]研究结果显示，秸秆覆盖可有效提高水分的利用效率，增加作物产量。周凌云等[2]研究表明，秸秆覆盖麦田后，棵间蒸发量比对照减少了 26.3%，提高了田间水的利用效率。与本试验的结果相反，可能是由于朱自玺等研究的条件是在河南省一年两熟的种植制度下，而本试验是在北方低温区开展的，温度成为了结果的主要决定因素。

作物生育期内 90%的水分都是通过蒸腾作用而散失掉的，因此在干旱条件下如何降低作物的蒸腾作用就很关键[18]。抑制蒸腾剂就是在对光合作用和物质积累影响不大的情况下，改善作物的水分状况，使供应作物的水分不过度耗竭，提高水分利用率和产量。

本试验中喷施黄腐酸蒸腾抑制剂后，玉米的蒸腾速率和气孔导度都有降低的趋势，且与对照相比，差异均达到极显著水平，净光合速率也有升高的趋势，与周莉娜[19]、袁瑞江[20]等研究结果一致。

农田覆盖材料的选用，不仅仅只考虑其增温保墒、调水等效果，还应重视对环境的影响。东北典型地区平均地膜农残已经达到 2.43 kg·hm^{-2}[21]，对农业可持续发展构成严重威胁，而目前应用最大的粮食作物就是玉米[22]。就覆盖材料本身特性而言，光降解膜、生物降解膜的实用性还不是很强，多处在研究阶段，许多技术问题还没有得到解决，如降解速度与膜强度的矛盾问题、市场上难以购买等问题，同时部分产品成本较高，只能用在收益较高的经济作物上。而液态地膜也有它生产及实际应用上的局限性，如成膜强度不够、生产检测无统一标准、喷膜设备不配套及市场化前进步伐慢等问题[23]。就覆盖材料成本而言，在本试验中聚乙烯地膜需 75 kg·hm^{-2}，成本 1 425 元·hm^{-2}，光降解地膜需 6 kg·hm^{-2}，成本 990 元·hm^{-2}，单位面积覆盖光降解膜的成本较普通聚乙烯地膜低，且覆盖效果和普通地膜无显著差异。

参考文献：

[1] 朱自玺，方文松，赵国强，等. 麦秸和残茬覆盖对夏玉米农田小气候的影响[J]. 干旱地区农业研究，2000，18(2)：19-24.

[2] 周凌云，徐梦雄. 秸秆覆盖对麦田耗水量与水分利用效率影响的研究[J]. 土壤通报，1997，28(5)：205-206.

[3] 张德奇，廖允成，贾志宽. 旱区地膜覆盖技术的研究进展及发展前景[J]. 干旱地区农业研究，2005，23(1)：208-213.

[4] 吴涌泉，屈明，孙芬，等. 秸秆覆盖对土壤理化性状、微生物及生态环境的影响[J]. 中国农学通报，2009，25(14)：263-268.

[5] 胡宏亮，韩之刚，张国平. 生物降解地膜对玉米的生物学效应及其降解特性[J]. 浙江大学学报：农业与生命科学版，2015，41(2)：179-188.

[6] 周新国，李彩霞，强小嫚，等. 喷灌条件下液膜覆盖对玉米干物质积累及水分利用效率的影响[J]. 农业工程学报，2010，26(11)：43-48.

[7] 杜社妮，白岗栓. 玉米地膜覆盖的土壤环境效应[J]. 干旱地区农业研究，2007，25(5)：56-59.

[8] 马树庆，王琪，郭建平，等. 东北地区玉米地膜覆盖增温增产效应的地域变化规律[J]. 农业工程学报，2007，23(8)：66-71.

[9] 胡芬，陈尚谟. 旱地玉米农田地膜覆盖的水分调控效应研究[J]. 中国农业气象，2000，21(4)：14-17.

[10] 杨青华，韩锦峰，贺德先，等. 液体地膜覆盖保水效应研

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

究[J]. 水土保持学报,2004,18(4):29-32.
[11] 俞满源,方锋,黄占斌. 保水剂、液态地膜在苗木栽植中的应用研究[J]. 干旱地区农业研究,2003,21(3):30-33.
[12] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京:中国农业科技出版社,2000.
[13] Li F M,Guo A H,Wei H. Effects of plastic film mulch on yield of spring wheat[J]. Field Crop Res,1999,63(1):79-86.
[14] 李凤民,鄢珣,王俊,等. 地膜覆盖导致春小麦产量下降的机理[J]. 中国农业科学,2001,34(3):330-333.
[15] Kijchavengkul T,Auras R,Rubino M,et al. Assessment of aliphatic-aromatic copolyester biodegradable mulch films. Part I: Field study[J]. Chemosphere,2008,71:942-953.
[16] 赵爱琴,李子忠,龚元石. 生物降解地膜对玉米生长的影响及其田间降解状况[J]. 中国农业大学学报,2005,10(2):74-78.
[17] 王敏,王海霞,韩清芳,等. 不同材料覆盖的土壤水温效应及对玉米生长的影响[J]. 作物学报,2011,37(7):1249-1258.
[18] 杜太生,康绍忠,魏华. 保水剂在节水农业中的应用研究现状与展望[J]. 农业现代化研究,2000,21(5):51-54.
[19] 周莉娜,孙丽蓉,毛晖,等. 黄腐酸抗旱营养剂对小麦和玉米生长的影响[J]. 干旱地区农业研究,2012,30(1):154-158.
[20] 袁瑞江,姚银娟,王丽乔,等. 生物腐植酸(黄腐酸)及其在农业中的应用[J]. 河北农业科学,2009,13(7):36-38,133.
[21] 杜晓明,徐刚,许端平,等. 中国北方典型地区农用地膜污染现状调查及其防治对策[J]. 农业工程学报,2002(21):225-227.
[22] 严昌荣,刘恩科,舒帆,等. 我国地膜覆盖和残留污染特点与防控技术[J]. 农业资源与环境学报,2014,31(2):95-102.
[23] 刘蕊. 我国液体地膜覆盖技术发展现状及存在的问题[J]. 河南化工,2011,28(6):31-33.

Effect of Different Materials Covering on Temperature, Moisture and Water Use Efficiency of Maize

KUANG En-jun[1], HAN Jin-ze[2], SUQing-rui[1], CHI Feng-qin[1], ZHANGJiu-ming[1], GAO Zhong-chao[1], ZHUBao-guo[3]

(1. Institute of Soil Fertilizer and Environment Resource, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, The Key Laboratory of Soil Environment and Plant Nutrition of Heilongjiang Province, Heilongjiang Fertilizer Engineering Research Centre, Harbin, Heilongjiang 150086; 2. School of Resources and Environmental Sciences, Northeast Agricultural University, Harbin, Heilongjiang 150030; 3. Jiamusi Branch of Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Jiamusi, Heilongjiang154007)

Abstract: In order to choose the suitable mulching technology of water-saving and moisture-preserving, environmental protectionfor maize production of Nenjiang county, through the randomized block design, effects of different mulching materials were measured which included themaize straw(treatment 1), liquid film(treatment 2), photodegradation film (treatment 3), plastic film (treatment 4), fulvic acid foliar spray (treatment 5) on soil moisture, temperature, corn growth and water use efficiency. The results showed that there were obvious differences on moisture among different treatments, and the surface mulching could improve soil moisture content. At maize elongation stage, the soil moisture of treatment 4, treatment 3 and treatment 1 had significant differences ($P<0.05$) compared with control, about 8.2%、6.0% and 3.0%, respectively. Only treatment 1 reached significant level ($P<0.05$) after maize filling stage. Compared with control, plastic film mulching treatments increased soil temperature by 0.6～0.9 ℃ in jointing stage, while straw mulch decreased temperature by 0.5～1.0 ℃. The maize leaf transpiration rate and stomatal conductance decreased by 29.5% and 30.6%, net photosynthetic rate increased by 16.7% after spraying FA(treatment 5)on the leaf. The maize height of treatment 4 and 3 had a significant higher than others at elongation stage, and thetreatment 1 was the lowest treatment. The yield of treatment 3 and 4 processing had the extremely significant difference ($P<0.01$), the yield increased by 18.3% and 17.6% than control, while treatment 1 declines of 6.2%. Water use efficiency had positively correlated trends with yield, the highest for treatment 3 and 4, by 19.0% and 18.1% higher than that of control respectively, the lowest for treatment 1, which was reduced by 5.4%.

Keywords: maize; mulching; transpiration suppression; water use efficiency

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net