

不同覆盖栽培方式下四川盆地西缘玉米地土壤水温效应研究^①

陈远学¹, 邓容成^{1,3}, 方 瑾^{1,4}, 刘 静¹, 陈新平², 鲁几源¹, 喻醴之¹, 徐开未^{1*}

(1 四川农业大学资源环境学院, 成都 611130; 2 中国农业大学资源与环境学院, 北京 100193;

3 洪雅县土壤肥料站, 四川眉山 620300; 4 简阳市农业局, 四川资阳 641400)

摘 要:在四川盆地西缘,通过2年(2009、2011)田间试验,探讨了平作无覆盖(CT+NM)、平作秸秆覆盖(CT+SM)、平作地膜覆盖膜侧栽培(CT+PAPF)、平作地膜覆盖膜上栽培(CT+POPF)、垄作地膜覆盖膜侧栽培(RT+PAPF)、垄作地膜覆盖膜上栽培(RT+POPF)等6种覆盖栽培方式对玉米地土壤水分、温度的影响。结果表明:8:00、14:00和18:00时,各生育期10 cm土温均是RT+POPF > CT+POPF > RT+PAPF > CT+PAPF > CT+NM。8:00时覆盖、垄作表现出明显的保温作用,保温效果是膜上栽培优于膜侧栽培,垄作优于平作,覆盖优于无覆盖;14:00和18:00时,各处理10 cm土温都明显增大,增温效果是垄作、膜上栽培大于平作、膜侧栽培。秸秆覆盖有稳定地温的作用,在气温明显下降时(夜晚)有保温作用,8:00时10 cm土温相比CT+NM平均高0.5℃;气温明显升高时(白天,除降雨天)表现出降温作用,14:00时10 cm土温比CT+NM平均低0.3℃,18:00时V12期之前、之后分别平均降温0.9℃、0.5℃。在玉米整个生育期的不同阶段,0~20 cm土壤水分含量均是RT+PAPF > RT+POPF > CT+SM > CT+POPF > CT+PAPF > CT+NM,垄作较平作高10.0%,覆盖较无覆盖高11.4%,即垄作和覆盖有利于集水和保水。垄作条件下玉米膜侧栽培相比膜上栽培更有利于玉米行集水(土壤含水量RT+PAPF比RT+POPF高2.4%);而平作条件下秸秆覆盖的保水效果较地膜覆盖好(土壤含水量CT+SM较CT+POPF、CT+PAPF分别高2.4%、5.1%),膜上栽培的集水保水效果又优于膜侧栽培(土壤含水量CT+POPF比CT+PAPF高3.2%)。因此,在本研究区域玉米生产中,平作秸秆覆盖、垄作地膜覆盖膜侧栽培是最好的选择。

关键词:覆盖;垄作;玉米;土壤水分;土壤温度

中图分类号: S157

玉米(*Zea mays* L.)是四川第二大粮食作物、第一大饲料及加工品原料作物。近年由于饲料加工和酿酒工业的快速发展,四川玉米生产远不能满足需求,每年有近500万吨的缺口。因此,通过不断扩大种植面积以及集成应用高产栽培技术提高玉米单产总产,以最大程度缓解供需矛盾是四川玉米产业发展面临的主要挑战。在四川玉米主产区——川中丘陵区 and 盆周低山区,玉米常受阴雨寡照和季节性干旱的影响,尤其在生长前期的低温干旱和中后期的高温逼热及干旱,常造成玉米减产^[1]。近年来西南地区干旱频发,继2006年和2007年之后2010—2012又连续3年发生大范围的严重干旱,同时气温变化无常,在玉米播种期温度时高时低,给玉米生产带来了严重影响^[2]。已有研究证明,覆盖栽培措施不仅具有阻碍土壤水分蒸散,改善土壤水、热^[3-4]和养分条件,提高土壤生物活性^[5],抑制返盐和杂草

生长^[6],防止土壤侵蚀及退化^[7]等多方面的农田生态效应,而且还能促进作物生长发育和丰产早熟^[8],已经成为旱作农业中协调水热资源、增产增效的重要栽培措施^[9]。玉米生产中地膜或秸秆覆盖^[10-11]和聚土垄作^[12]已被得到广泛应用。但相关的研究在四川还少有报道。基于此,本研究在川西低山深丘区雅安市雨城区布置田间试验,研究秸秆覆盖、地膜覆盖和垄作几种覆盖耕作栽培方式对玉米地土壤水分、温度变化的影响,以理解覆盖、垄作措施对玉米生长土壤环境的作用机制,为四川玉米高产高效生产提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

田间试验设在四川盆地西缘的雅安市雨城区四

基金项目:国家现代农业玉米产业技术体系项目(CARS-02-24)和国家自然科学基金重大国际合(协)作项目(31210103906)资助。

* 通讯作者(xkwei@126.com)

作者简介:陈远学(1971—),男,重庆开县人,博士,副教授,主要从事土壤肥力与作物高产高效研究。E-mail: cyxue2002@aliyun.com

川农业大学雅安湞江试验农场。年平均气温 16.2℃，冬暖夏凉，属亚热带湿润季风气候；多年年均雨日 218 天，降水量 1 732 mm(最多年 2 367 mm，最少年 1 204 mm)，蒸发量 839 mm，年降水量夏季占 50% 左右，秋季占 20% 左右；降水高峰期多在 8 月(可达

450 mm 以上)，最少期在 12 月和 1 月(约 20 mm)；年平均日照时数 1 019 h，年日照率 23%，年均空气湿度为 79%。试验地位于沟槽平地，土壤为紫色湿润锥形土，俗称紫色大土，耕层混合土壤基本理化性质如表 1。

表 1 试验地基础土壤理化性质
Table 1 Physical and chemical properties of tested soil

年份	砂粒 (2.0~0.02 mm) (g/kg)	粉粒 (0.02~0.002 mm) (g/kg)	黏粒 (<0.002 mm) (g/kg)	质地 类型	体积质量 (g/cm ³)	pH	有机质 (g/kg)	全氮 (g/kg)	碱解氮 (mg/kg)	有效磷 (mg/kg)	速效钾 (mg/kg)
2009	459	295	246	砂质重壤土	1.39	7.10	24.5	0.97	112	26.0	80.2
2011						6.40	28.8	1.89	137	42.8	123

1.2 供试材料

玉米品种川单 418，为四川农业大学玉米研究所选育。试验用肥料尿素(含 N 46%)，过磷酸钙(含 P₂O₅ 12%)，氯化钾(含 K₂O 60%)，复合肥(13-5-7)均购于当地农资门市部。试验用地膜为厚度 0.008 mm，宽度 2.0 m 的普通农用地膜。试验用秸秆为本田的前茬作物蚕豆(*Vicia faba* L.)鲜食收获后的植株苗，切成 3~5 cm 长的节段备用。

1.3 试验设计与实施

共设 6 个处理，处理 1：常规耕作栽培，平作(CT)，无覆盖(NM)(对照，简称平作无覆盖，记为 CT+NM)；处理 2：平作，玉米移栽后玉米行覆盖蚕豆秸秆(SM)(简称平作秸秆覆盖，记为 CT+SM)；处理 3：平作，玉米行盖 67 cm 宽的地膜，玉米膜侧移栽(PAPF)(简称平作地膜覆盖膜侧栽培，记为 CT+PAPF)；处理 4：平作，玉米行盖 100 cm 宽的地膜，玉米膜上移栽(POPF)(简称平作地膜覆盖膜上栽培，记为 CT+POPF)；处理 5：玉米行聚土起垄(RT)，垄行盖 67 cm 宽的地膜，玉米膜侧移栽(简称垄作地膜覆盖膜侧栽培，记为 RT+PAPF)；处理 6：玉米行聚土起垄，垄行盖 100 cm 宽的地膜，玉米膜上移栽(简称垄作地膜覆盖膜上栽培，记为 RT+POPF)。每处理重复 3 次，共 18 个小区，田间随机区组排列，小区面积 2 m × 9.5 m = 19.0 m²。

试验前试验地均匀旋耕，地面整平。平作处理耕地后匀平即可，垄作处理是在玉米行做成宽 50 cm 左右、高 15 cm 左右成瓦背状的垄。雨后或浇透水后盖膜，膜周边压实。玉米苗 2 叶 1 芯时移栽，宽窄行带幅种植，玉米窄行宽 0.6 m，宽行宽 1.4 m。玉米移栽后用土压实地膜。秸秆覆盖的方式是，玉米移栽返青后，在玉米窄行上均匀覆盖一层蚕豆秸秆，秸秆宽幅 1.0 m，厚约 5 cm，每小区约覆盖半鲜秸秆 20 kg 左右。

玉米前作 2009 年是油菜(*Brassica campestris* L.)，2011 年是蚕豆。2009 年玉米窝距 16.7 cm，每窝单株，密度 60 000 株/hm²，5 月 1 日育苗，5 月 10 日移栽，8 月 28 日收获；2011 年玉米窝距 38 cm，每窝双株，密度 50 000 株/hm²，4 月 6 日育苗，4 月 16 日移栽，8 月 8 日收获。各处理肥料用量一致，施 N 195 kg/hm²、P₂O₅ 75 kg/hm²、K₂O 105 kg/hm²，磷钾全作底肥，氮分 3 次施用：底肥 40%、三叶期追 30%、十叶期追 30%。2009 年遇早春干旱，2011 年遇春旱和夏旱，特别是 2011 年玉米移栽初期几乎每天浇水保苗；及时查苗补苗；其他田间管理措施同当地大田生产。

1.4 测定项目及方法

1.4.1 土壤温度 将温度计斜埋于玉米裸间的土壤表层 10 cm 深处，监测 10 cm 土层的温度变化。2009 年是在缓苗期至大喇叭口期之间每 3 天测读 1 次，在大喇叭至十二叶期之间每 6 天读测一次。2011 年是在缓苗期之后全生育期内每天坚持读测。分别读测 8:00、14:00 和 18:00 时的土壤温度数值。

1.4.2 土壤水分 2009 年从缓苗期后到玉米十二叶期，2011 年从缓苗期到收获期内，2009 年每隔 6 天，2011 年每隔 4 天用土钻取玉米裸间 0~20 cm 土层混合土壤测定土壤水分含量。

玉米生育期降雨量数据来源于四川省统计年鉴及四川农业大学气象与生态学系。试验数据用 Excel 2007 计算，DPS 6.0 统计分析，Excel 2007 和 Origin 8.0 作图。

2 结果与分析

2.1 不同覆盖栽培方式下 10 cm 土层温度的变化

2.1.1 2009 年 如图 1 所示，2009 年，相同时段不同覆盖栽培方式下土壤温度有明显的变化。在玉米 V3~V6 时期内，上午 8:00 时各处理 10 cm 土层温度

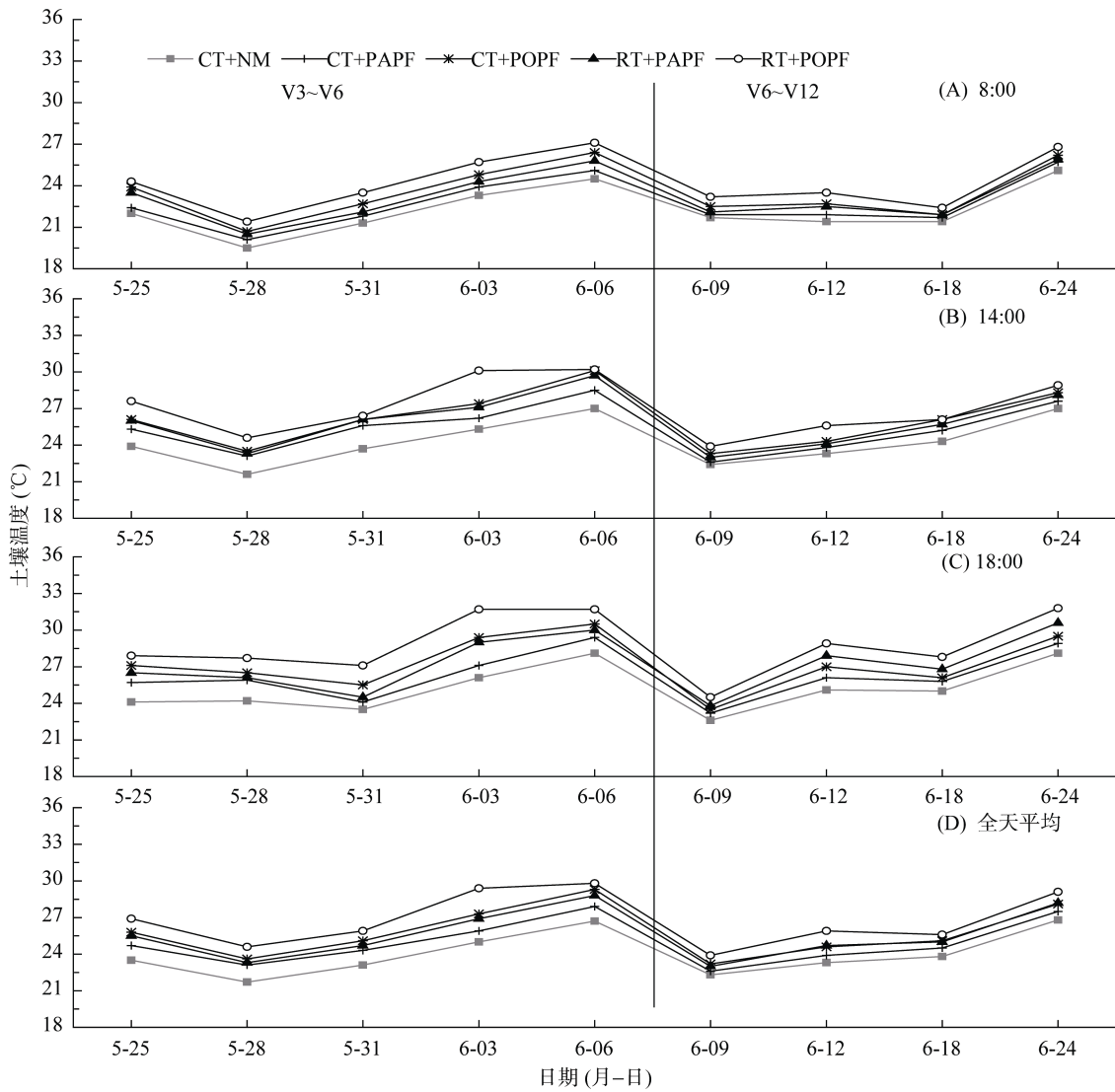


图 1 2009 年玉米生育期不同时刻 10 cm 土层温度变化情况
 Fig. 1 Temperature changes of 10 cm soil layer at different corn growth stages in 2009

是 RT+POPF > CT+POPF > RT+PAPF > CT+PAPF > CT+NM，经过一夜的地面降温，保温效果最显著的是 RT+POPF 处理 较 CT+NM 处理高 1.9℃ ~ 2.6℃；其次是 CT+POPF、RT+PAPF、CT+PAPF，分别比 CT+NM 处理高 1.2℃ ~ 1.9℃、0.8℃~1.5℃、0.4℃ ~ 0.6℃。中午 14:00 时，不同覆盖栽培处理的 10 cm 土层温度都有明显上升，相比 8:00 时 RT+POPF、RT+PAPF、CT+POPF、CT+PAPF、CT+NM 处理分别增温 2.9℃ ~ 8.3℃、2.5℃ ~ 7.5℃、2.2℃ ~ 7.1℃、2.9℃ ~ 7.0℃、1.9℃ ~ 4.9℃，可见垄作、膜上栽培较平作、膜侧栽培增温幅度更大；不同覆盖栽培处理间，变化趋势是 RT+POPF>CT+POPF RT+PAPF > CT+PAPF > CT+NM，RT+POPF、RT+PAPF、CT+POPF、CT+PAPF 分别比 CT+NM 高 2.7℃ ~ 5.7℃、1.7℃~3.9℃、1.9℃ ~ 2.7℃、0.9℃ ~ 2.7℃。傍晚 18:00 时，不同覆盖栽培

处理的 10 cm 土层温度进一步上升，RT+POPF 处理的温度最高，达到 33.8℃，RT+POPF、RT+PAPF、CT+POPF、CT+PAPF 土壤温度分别比 CT+NM 处理高 3.5℃ ~ 5.6℃、1.0℃ ~ 2.9℃、2.0℃ ~ 3.3℃、0.6℃ ~ 1.7℃。

V6 ~ V12 时期内，10 cm 土层温度随气温波动较大，并随植株荫蔽度增大各处理温度差异小于 V3 ~ V6 时期。上午 8:00 时各处理 10 cm 土层温度是 RT+POPF > CT+POPF > RT+PAPF > CT+PAPF > CT+NM，RT+POPF、RT+PAPF、CT+POPF、CT+PAPF 分别比 CT+NM 处理高 1.0℃ ~ 2.1℃、0.4℃ ~ 1.1℃、0.5℃ ~ 1.3℃、0.2℃ ~ 0.6℃。中午 14:00 时，不同覆盖栽培处理的 10 cm 土层温度都有明显上升，相比 8:00 时 RT+POPF、RT+PAPF、CT+POPF、CT+PAPF、CT+NM 各处理分别增温 0.7℃ ~ 3.7℃、0.9℃ ~ 3.8℃、0.8℃ ~

4.2℃、0.7℃ ~ 3.5℃、0.7℃ ~ 2.5℃；不同覆盖栽培处理间，变化趋势是 RT+POPF > CT+POPF > RT+PAPF > CT+PAPF > CT+NM，RT+POPF、RT+PAPF、CT+POPF、CT+PAPF 分别比 CT+NM 高 1.5℃~3.1℃、0.6℃ ~ 1.8℃、0.9℃ ~ 2.1℃、0.2℃ ~ 1.2℃，可见垄作、膜上栽培较平作、膜侧栽培增温幅度更大。傍晚 18:00 时，不同覆盖栽培处理的 10 cm 土层温度

RT+POPF、RT+PAPF、CT+POPF、CT+PAPF 分别比 CT+NM 高 1.9℃ ~ 3.8℃、1.2℃~2.8℃、0.9℃ ~ 1.9℃、0.6℃~ 1.0℃。

2.1.2 2011 年 2011 年玉米整个生育期土壤温度受到气温和降雨的影响出现较大范围波动，处理间的温度变化规律与 2009 年类似，仍是生育前期的差异较中后期明显(图 2)。

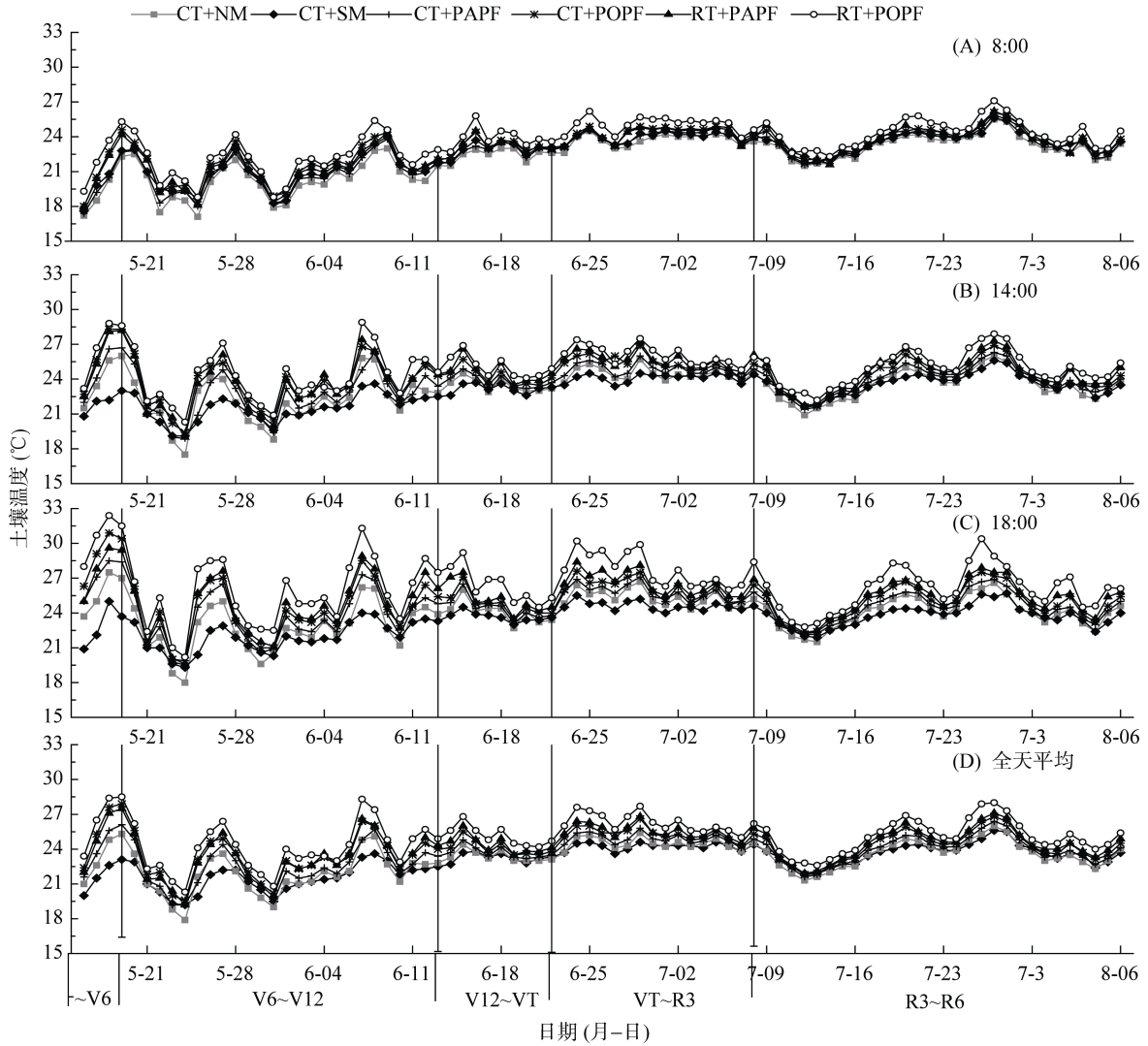


图 2 2011 年玉米生育期内不同时刻 10 cm 土层温度变化
Fig. 2 Temperature changes of 10 cm soil layer at different corn growth stages in 2011

在幼苗期至 V12 期，上午 8:00 时各处理相对对照处理(CT+NM)都有明显保温作用，RT+POPF、CT+POPF、RT+PAPF、CT+SM 和 CT+PAPF 的 10 cm 土壤温度分别比 CT+NM 高 0.9℃ ~ 3.4℃、0.5℃ ~ 2.4℃、0.4℃ ~ 2.1℃、0.1℃ ~ 2.0℃ 和 0℃ ~ 1.2℃，保温效果是膜上栽培优于膜侧栽培，有覆盖优于无覆盖，垄作优于平作。在 14:00 时，土壤升温较快，处理间温差拉大，CT+PAPF、CT+POPF、RT+PAPF、RT+POPF 分别较 CT+NM 增温 0.5℃、1.5℃、1.4℃、

2.2℃，此时膜上栽培增温作用大于膜侧栽培，垄作大于平作。在 18:00 时，地膜覆盖处理均表现出增温作用，增温效果依次为 RT+POPF > CT+POPF > RT+PAPF > CT+PAPF，分别比 CT+NM 增温 1.3℃ ~ 5.7℃、0.4℃ ~ 4.1℃、0.3℃ ~ 3.0℃ 和 0.1℃ ~ 2.1℃。

V12 期至 R3 期，是玉米植株对水分敏感和养分吸收量最大的时期，此期土壤温度变化对根系生长和产量形成都将有明显影响。从图 2 可以看出，在 8:00 时，RT+POPF 处理保温作用最明显，10 cm 土层温

度较 CT+NM 升高 $0.7^{\circ}\text{C} \sim 2.9^{\circ}\text{C}$,其他覆盖方式也有一定的保温作用,效果依次为 $\text{CT}+\text{POPF} > \text{RT}+\text{PAPF} > \text{CT}+\text{PAPF}$,保温作用是膜上栽培优于膜侧栽培。在 14:00 时,土壤温度变化规律和前期(幼苗期至 V12 期)一致。在 18:00 时,各处理土壤温度差异较大,RT+POPF 处理增温作用最明显,土壤温度最高时接近 30°C ,较 CT+NM 高 $1.0^{\circ}\text{C} \sim 3.8^{\circ}\text{C}$,较其他处理多增温 1.0°C 以上;RT+PAPF 处理温度提高 $0.6^{\circ}\text{C} \sim 2.8^{\circ}\text{C}$;CT+POPF 处理可能是由于降雨过程中地膜表面受到土壤污染,增温幅度减小,比 CT+NM 增温 $0.3^{\circ}\text{C} \sim 1.4^{\circ}\text{C}$;CT+PAPF 温度增加不到 1.0°C 。

R3 时期以后是玉米作物需水量最大的时期,各处理增温作用受植株荫蔽作用的影响,温度差异减小。8:00 时,除 RT+POPF 处理有明显保温效果外,其他处理间 10 cm 土壤温度差异较小。在 14:00 时和 18:00 时,CT+SM \sim RT+POPF 相比 CT+NM 有一定的增温作用,规律和之前基本一致。到了灌浆中后期,RT+POPF 处理可能是植株较早衰老荫蔽度下降,增温作用较为明显,地温较 CT+NM 升高 $1.0^{\circ}\text{C} \sim 4.3^{\circ}\text{C}$,比 RT+PAPF 高 1.0°C 左右;RT+PAPF 较 CT+NM 增温 $0.5^{\circ}\text{C} \sim 1.9^{\circ}\text{C}$ (平均 1.14°C) ;其他覆盖处理温度亦有小幅上升。

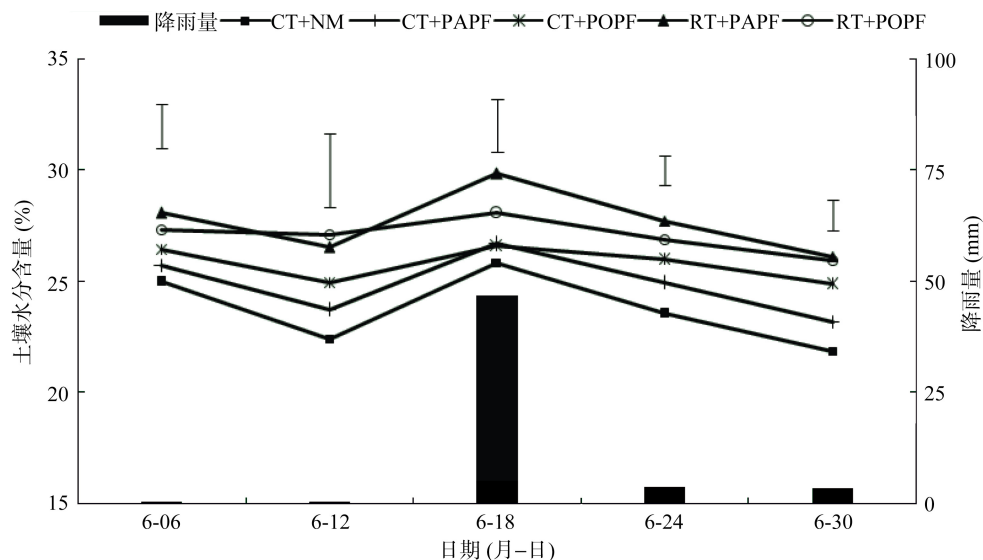
秸秆覆盖处理对 10 cm 土壤温度的影响与地膜覆盖处理不同,整个生育期内 CT+SM 处理的土壤温度在 8:00 时相比 CT+NM 有一定保温作用,平均高 0.48°C ,但在个别天气出现了与 CT+NM 持平或稍低。

在 14:00 时,可能由于秸秆对太阳辐射的吸收或遮挡,除降雨天外,CT+SM 处理的土壤温度较 CT+NM 平均低了 0.3°C 。傍晚 18:00 时,CT+SM 处理的土壤温度与 CT+NM 差异更大,表现出明显的降温特性,除明显降水天气外,降温作用在生育前期大于后期,在 V12 期之前平均降温 0.9°C ,在 V12 期之后平均降温 0.5°C 。

综上所述,地膜覆盖、垄作可以有效改善玉米地土壤耕层的温度状况,8:00 时表现出保温特性,14:00 时和 18:00 时表现出增温特性,以膜上栽培和垄作的增温和保温效果最好。秸秆覆盖处理有稳定土温的作用,在土壤温度下降时期(夜晚)表现出增温作用,但在土壤温度上升时期(白天,降雨天除外)表现出降温作用,从而使耕层土壤温度保持相对稳定的状态。各处理土壤温度变化在玉米 V3 \sim V6 期明显高于 V6 \sim V12 期,在 R3 期以后,处理间土壤温度变化明显缩小。

2.2 不同覆盖栽培方式对玉米地 0 ~ 20 cm 土层土壤水分含量的影响

2.2.1 2009 年玉米生育前半期 如图 3 所示 2009 年试验区玉米生长季前半期的降雨量明显偏低,尤其是玉米移栽(5 月 10 日)至 6 月 12 日期间几乎无有效降雨,完全靠土壤储存水来供给玉米的生长需求。不同覆盖栽培处理下,各监测时期 0 ~ 20 cm 土层土壤水分含量的变化趋势基本一致,即 $\text{RT}+\text{PAPF} > \text{RT}+\text{POPF} > \text{CT}+\text{POPF} > \text{CT}+\text{PAPF} > \text{CT}+\text{NM}$,总体上,



(图中误差线为 $\text{LSD}_{0.05}$ 值,处理间土壤水分含量大于 $\text{LSD}_{0.05}$ 值即表示之间差异显著。下同)

图 3 2009 年玉米生育前半期降雨量及不同覆盖栽培方式下 0 ~ 20 cm 土层土壤水分含量变化

Fig. 3 Precipitation and soil moisture content changes of 0 - 20 cm layer during the earlier growth stage of maize under different mulch and tillage patterns in 2009

RT+PAPF、RT+POPF、CT+POPF、CT+PAPF、CT+NM 的前期土壤水分平均含量分别为 27.7%、27.1%、25.8%、24.9% 和 23.7%，前 4 个处理分别比 CT+NM 高 16.6%、14.1%、8.6%、4.8%；垄作比平作平均高 10.4%；同在垄作措施下，膜侧栽培比膜上栽培平均高 2.2%；同在不作措施下，膜上栽培比膜侧栽培平均高 3.7%。表明覆盖、垄作在生育前半期均有较好的保墒作用；垄作条件下膜侧栽培较膜上栽培有更好的集水作用，而平作条件下膜上栽培的保水效果优于膜侧栽培。

2.2.2 2011 年玉米全生育期 从图 4 可以看出，2011 年玉米生长前期降雨偏少，而中后期降雨相对偏多。在玉米整个生育期的不同阶段，不同覆盖栽培处理下 0~20 cm 土壤水分含量的变化趋势基本一致，都是 RT+PAPF > RT+POPF > CT+SM > CT+POPF > CT+PAPF > CT+NM，全生育期各处理的平均值分别是 24.6%、23.9%、23.0%、22.4%、21.9%、20.8%。RT+PAPF、RT+POPF、CT+SM、CT+POPF 和 CT+PAPF 较 CT+NM 处理分别高 18.2%、15.2%、10.5%、8.0%和 5.2%。表现为垄作处理(平均为 24.2%) > 平作处理(平均为

22.1%)，垄作较平作高 9.5%；覆盖处理(平均为 23.1%) > 无覆盖处理(平均为 20.8%)，覆盖较无覆盖高 11.4%。在垄作、平作不同耕作方式下，不同覆盖措施对土壤水分影响不同，垄作条件下是膜侧栽培较膜上栽培土壤水分含量高 2.6%；而在平作条件下是秸秆覆盖处理 > 膜上栽培处理 > 膜侧栽培处理，秸秆覆盖较膜上、膜侧栽培分别高 2.4%、5.1%，膜上栽培较膜侧栽培高 2.7%。说明，垄作和覆盖有利于集水和保水，垄作条件下玉米膜侧栽培相比膜上栽培更有利于集水，而在平作条件下秸秆覆盖的集水保水效果优于地膜覆盖，玉米膜上栽培的集水保水效果又比膜侧栽培好。

0~20 cm 土壤水分含量在不同覆盖栽培处理间的差异在吐丝期(6月29日左右)前较大，RT+PAPF、RT+POPF、CT+SM、CT+POPF、CT+PAPF 和 CT+NM 各处理的平均值分别为 26.5%、25.7%、24.7%、24.2%、23.4%和 22.3%，差值幅度为 4.2%；而吐丝期后，各处理的平均值分别为 21.7%、21.2%、20.4%、19.8%、19.5% 和 18.5%，差值幅度降为 3.2% (图 4)。

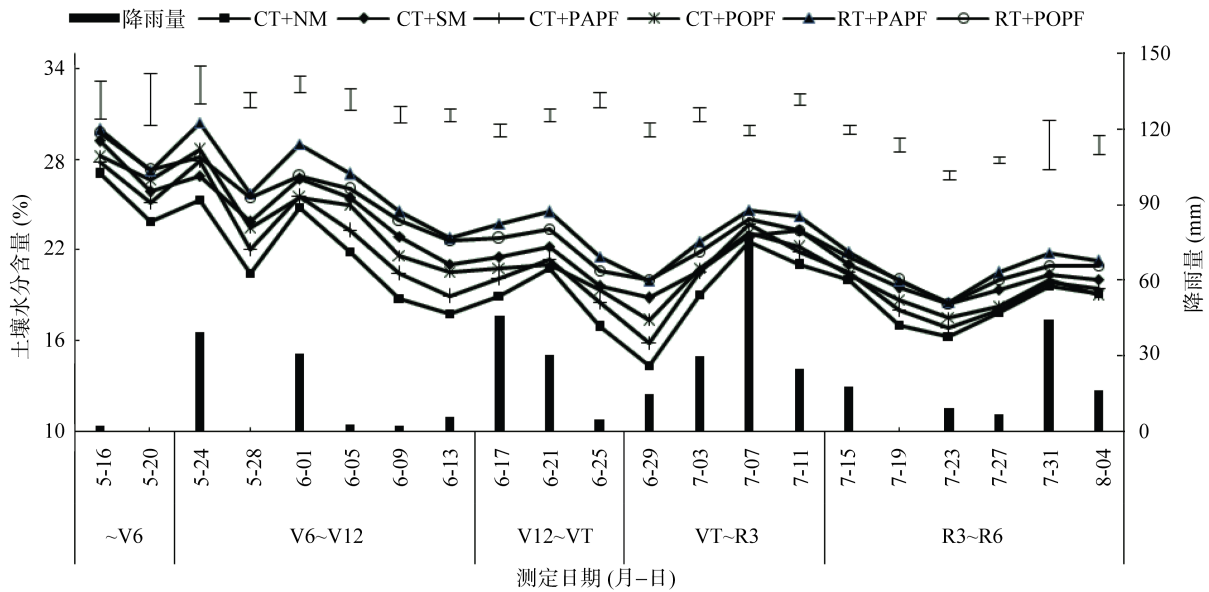


图 4 2011 年全生育期内降雨量及不同覆盖栽培方式下 0~20 cm 土壤水分含量变化

Fig. 4 Precipitation and soil moisture changes of 0~20 cm layer during the growth stage of maize under different mulch and tillage patterns in 2011

3 讨论

四川玉米常受阴雨寡照，早春低温、夏季高温以及春旱、夏旱、伏旱等突发性干旱或连旱等气象因素影响，因而生产中前期增温保水抗旱、中后期降温节水抗旱的技术需求强烈，秸秆覆盖、地膜覆盖、垄作、横坡分带种植、膜上或膜侧移栽等技术措施不断在生

产中探索应用，但在不同生态区玉米适宜的覆盖耕作栽培措施不同。林超文等^[12]研究表明，在川中丘陵紫色旱坡地区，不采取覆盖措施条件下平作不利于该区域玉米抗旱稳产，横坡分带耕作是适用于当地的高效节水农耕措施；秸秆覆盖能显著提高雨水的土壤蓄积量，提高降雨有效性，是适用于该区域的节水抗旱农艺措施；地膜覆盖增加雨水土壤蓄积量的效果不

如秸秆覆盖显著,但地膜覆盖能够减少土壤水无效蒸发,同时在玉米生育前期还能提高地温,促进玉米早发快长,其增产效果较秸秆覆盖更好。而吴永成等^[13]在川中丘陵区对比露地平栽、稻草覆盖平栽、地膜覆盖平栽、顺坡垄作地膜覆盖、顺坡膜侧栽培和露地横坡垄作 6 种耕作处理对玉米干物质积累运转及产量的影响后得出,基于简化栽培考虑,膜侧栽培和地膜覆盖平播是该区较好的春玉米耕作栽培方式。本研究试验区域在四川盆地西缘低山区,相比川中丘陵区气温较低、降雨较多,生育期偏迟,不同覆盖栽培方式对玉米生长及土壤水分、温度的影响与之^[12-13]既有相同规律存在,也有不同之处。

本研究中,不同覆盖栽培方式下,上午 8:00 时、中午 14:00 时和傍晚 18:00 时,玉米各生育期 10 cm 地温都是 RT+POPF > CT+POPF > RT+PAPF > CT+PAPF > CT+NM,8:00 时覆盖、垄作有明显保温作用,保温效果是膜上栽培优于膜侧栽培,垄作优于平作,覆盖优于无覆盖;14:00 时和 18:00 时各处理 10 cm 土温都明显增大,增温效果是垄作、膜上栽培较平作、膜侧栽培大。如在幼苗期至 V12 期,10 cm 地温 2009 和 2011 两年平均结果,8:00 时 RT+POPF、CT+POPF、RT+PAPF、CT+PAPF 处理分别比 CT+NM 处理高 1.0℃~3.0℃、0.5℃~2.3℃、0.4℃~1.8℃、0.1℃~0.9℃,14:00 时分别高 1.5℃~5.7℃、0.9℃~3.5℃、0.6℃~3.9℃、0.2℃~2.7℃,18:00 分别高 1.6℃~5.7℃、0.7℃~3.7℃、0.7℃~3.0℃、0.4℃~1.9℃。说明保温、增温效果是垄作优于平作,地膜覆盖优于无覆盖,膜上栽培优于膜侧栽培。但 CT+SM 处理却表现为上午 8:00 时较 CT+NM 有保温作用(10 cm 土温平均高 0.5℃),在 14:00 时和 18:00 时除降雨天外表现为降温作用(14:00 时 10 cm 土温平均低 0.3℃,18:00 时 V12 期之前平均降温 0.9℃,V12 期之后平均降温 0.5℃),说明秸秆覆盖在气温明显下降时(夜晚)有保温作用,气温明显升高时(晴天白天)有降温作用,这与相关研究结果基本一致^[6,10,14]。有研究指出,在一定范围内温度升高 1℃玉米植株生长速率会提高 5%,温度下降 1℃则减产 10%以上^[15]。但地温超过玉米根系的最适生长温度,会加速根系的老化^[16-17]。有学者试验证实,全程全膜覆盖容易造成玉米早衰^[18]。因此,为防止玉米受高温早衰的影响,可以采取垄作膜侧栽培或对全膜覆盖栽培的玉米在生育中后期(吐丝期后)进行揭膜^[19]。

土壤水分含量一般随降雨而发生波动,但相同气

候条件下不同覆盖栽培措施对土壤水分有显著影响。试验结果表明,在玉米整个生育期的不同阶段,不同覆盖栽培处理下 0~20 cm 土壤水分含量都是 RT+PAPF > RT+POPF > CT+SM > CT+POPF > CT+PAPF > CT+NM,平均而言,各处理较 CT+NM 处理分别高 17.4%、14.6%、10.5%、8.3% 和 5.0%,垄作较平作高 10.0%,覆盖较无覆盖高 11.4%;垄作情况下膜侧栽培较膜上栽培高 2.4%,平作条件下却是膜上栽培较膜侧栽培高 3.2%,秸秆覆盖又比膜上、膜侧栽培分别高 2.4%、5.1%。说明垄作和覆盖有利于集水和保水,垄作条件下玉米膜侧栽培较膜上栽培更有利于玉米行集水,而在平作条件下保水效果是秸秆覆盖 > 膜上栽培 > 膜侧栽培。这是因为垄作覆膜有利于降雨的收集及集中渗入玉米棵周围,而覆盖秸秆能积蓄降雨并重新分配给土壤,干旱时又能减少水分蒸发,从而提高对降雨的有效利用,从而达到节水抗旱^[1,12,19]。

4 结语

实际生产中,玉米到底采用哪种覆盖栽培方式要根据当地地形条件、土壤条件、气候条件以及高产高效经验而定。在本试验区域,综合考虑不同覆盖栽培方式下土壤的保温增温及集水保水效果、玉米生长及产量表现(另文刊出)以及农民高产经验,平作秸秆覆盖、垄作地膜覆盖膜侧栽培或膜上栽培中后期揭膜是玉米种植优选的措施。

参考文献:

- [1] 徐精文,杨文钰,任万军,袁继超. 川中丘陵区主要农业气象灾害及其防御措施[J]. 中国农业气象, 2002, 23(3): 49-52
- [2] 潘光堂,杨克诚. 我国西南地区玉米育种面临的挑战及相应对策探讨[J]. 作物学报, 2012, 38(7): 1 141-1 147
- [3] Wang TC, Wei L, Wang HZ, Ma SC, Ma BL. Responses of rainwater conservation, precipitation-use efficiency and grain yield of summer maize to a furrow-planting and straw-mulching system in northern China[J]. Field Crops Research, 2011, 124(2): 223-230
- [4] Jing M, Li QK, Cheng XG. Spring maize soil water evaporation variation and its cumulative evaporation under different mulching material at arid region[J]. Advanced Materials Research, 2012, 518: 4 649-4 652
- [5] Kihara J, Mukalama J, Njoroge S, Bationo A. Crop and soil response to tillage and crop residue application in a tropical Ferralsol in sub-humid western Kenya[A]. Lessons Learned from Long-term Soil Fertility Management Experiments in Africa, 2012: 41-57

- [6] Yang SY, Jiang CJ, Chen Q, Zhang XT, Wang DL. Study on heat preservation effects of straw mulching in the tea plantation[J]. World Automation Congress (WAC), 2012: 1-4
- [7] Zhang HY, Liu QJ, Yu XX, Lü GA, Wu YZ. Effects of plastic mulch duration on nitrogen mineralization and leaching in peanut (*Arachis hypogaea*) cultivated land in the Yi-meng mountainous area, China[J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2012, 158: 164-171
- [8] Murungu FS, Chiduzo C, Muchaonyerwa P, Mkeni PNS. Mulch effects on soil moisture and nitrogen, weed growth and irrigated maize productivity in a warm- temperate climate of South Africa[J]. Soil & Tillage Research, 2011, 112(1): 58-65
- [9] Shen JY, Zhao DD, Han HF, Zhou XB, Li QQ. Effects of straw mulching on water consumption characteristics and yield of different types of summer maize plants[J]. Plant, Soil and Environment, 2012, 58(4): 161-166
- [10] 李洪勋, 吴伯志. 地膜和秸秆覆盖对夏玉米的调温保墒效应[J]. 玉米科学, 2006, 14(3): 96-98
- [11] 王维, 郑曙峰, 路曦结, 徐道青. 农田秸秆覆盖技术研究进展[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(18): 8 343-8 346
- [12] 林超文, 罗春燕, 庞良玉, 付登伟, 黄晶晶, 涂仕华, 张新全. 不同覆盖和耕作方式对紫色土坡耕地降雨土壤蓄积量的影响[J]. 水土保持学报, 2010, 24(3): 213-216
- [13] 吴永成, 朱小波, 刘家强, 袁继超, 杨世民, 陈明祥, 郭富祥. 川中丘区不同耕作处理对玉米干物质积累转运和产量的影响[J]. 四川农业大学学报, 2010, 28(3): 276-279
- [14] 梁美英, 卜玉山, 李伟, 周秋香, 牛昭坤, 史晓凯, 马茹茹. 不同地膜与覆盖方式土壤水温与作物增产效应[J]. 山西农业大学学报, 2010, 30(5): 426-431
- [15] 王琪, 马树庆, 郭建平, 张铁林, 于海, 徐丽萍. 温度对玉米生长和产量的影响[J]. 生态学杂志, 2009(2): 255-260
- [16] 张冬梅, 池宝亮, 黄学芳, 刘恩科, 张健. 地膜覆盖导致旱地玉米减产的负面影响[J]. 农业工程学报, 2008, 24(4): 99-102
- [17] Lal R. Soil temperature, soil moisture and maize yield from mulched and unmulched tropical soils[J]. Plant and Soil, 1974, 40(1): 129-143
- [18] 贺润喜, 王玉国, 赵金鱼. 不同生育期揭膜对旱地地膜覆盖玉米生理性状和产量的影响[J]. 山西农业大学学报, 1999, (1): 19-21
- [19] 李海龙, 宠天荣, 李辉. 川中丘陵旱区玉米地膜覆盖栽培研究[J]. 耕作与栽培, 2000(6): 29-31

Effect of Mulching and Cultivation Patterns on Soil Temperature and Soil Water of Maize in Western Edge of Sichuan Basin, China

CHEN Yuan-xue¹, DENG Rong-cheng^{1,3}, FANG Jin^{1,4}, LIU Jing¹, CHEN Xin-ping²,
LU Ji-yuan¹, YU Xi-zhi¹, XU Kai-wei^{1*}

(1 College of Resource and Environmental Sciences, Sichuan Agricultural University, Chengdu 611130, China; 2 College of Resource and Environmental Sciences, China Agricultural University, Beijing 100193, China; 3 Hongya Soil and Fertilizer Station, Meishan, Sichuan 620300, China; 4 Jianyang Agricultural Bureau, Ziyang, Sichuan 641400, China)

Abstract: This study focused on the effects of six mulching and cultivation patterns on soil temperature and soil moisture by a 2-year (2009, 2011) field experiment conducted in Ya'an Experimental Farm of Sichuan Agricultural University in the western edge of Sichuan basin, China. Six patterns of mulching and cultivation included conventional tillage (CT) with no mulch (NM) marked as CT+NM, CT with straw mulching (SM) as CT+SM, CT with plastic film mulching and maize planting along the plastic films (PAPF) as CT+PAPF, CT with plastic film mulching and maize planting on the plastic films (POPF) as CT+POPF, ridge tillage (RT) with PAPF as RT+PAPF and RT with POPF as RT+POPF. The results showed that: 1) Soil temperature of 0–10 cm topsoil (10cm ST) at 8:00, 14:00 and 18:00 in each growth period were RT+POPF > CT+POPF > RT+PAPF > CT+PAPF > CT+NM. At 8:00 mulching and RT showed significant heat preservation and the effect of POPF was better than PAPF, RT was better than CT, mulching was better than NM; at 14:00 and 18:00 10 cm ST of each treatment increased obviously, the temperature raising effect of RT and POPF were higher than CT and PAPF. SM had the stable effect on ground temperature namely having heat preservation during the declining period of air temperature (night) as its 10 cm ST was higher averagely by 0.5°C than CT+NM at 8:00; while it showed a decline in ground temperature for SM during the rising period of air temperature (daytime, except the raining day) as its 10cm ST was average 0.3°C lower at 14:00 and average 0.9°C lower before the period of V12 and 0.5°C lower after the period of V12 at 18:00 than CT+NM. 2) Soil moisture content of the 0–20 cm soil layer (20 cm SMC) varied as RT+PAPF > RT+POPF > CT+SM > CT+POPF > CT+PAPF > CT+NM in different growth stages during whole maize-growth period, RT and mulching helped collecting and maintaining soil water, 20 cm SMC of RT was higher by 10.0% than CT and that of mulching was higher by 11.4% than NM. There was a superiority of the collection of soil water for PAPF to POPF when with RT as 20 cm SMC of PAPF was higher by 2.4% than POPF, while when with CT there was a superiority of the maintain of soil water for SM to plastic films mulching (PFM) as 20 cm SMC of SM were higher by 2.4%, 5.1% than that of POPF and PAPF, respectively. Furthermore, there was a superiority of the collection and maintain of soil water for POPF to PAFM as 20cm SMC of POPF was higher by 3.2% than PAPF when with CT. In conclusion, CT+SM and RT+PAPF are the best choice for maize production in this research area.

Key words: Mulching; Ridge tillage; Maize; Soil moisture; Soil temperature