

旱地全膜双垄沟播玉米生长发育动态 及产量形成规律研究

方彦杰, 黄高宝, 李玲玲, 汪 佳

(甘肃农业大学农学院, 甘肃 兰州 730070)

摘 要: 通过田间试验研究了半干旱旱地全膜双垄沟播栽培技术对玉米生长发育的影响。结果表明, 全膜双垄沟播技术能够加快玉米生长发育进程, 不同程度地增加了玉米株高、叶片数、叶面积指数(LAI)、光合势和单株干物质积累量等, 且玉米生长发育阶段越是干旱, 增加优势越明显, 能明显减轻玉米“卡脖旱”现象; 全膜双垄沟处理较常规半膜平作处理增产 26.76%, 休闲期免耕覆盖处理比免耕立茬增产 10.77%, 比免耕增产 19.75%; 增产主要表现在生育后期(吐丝后)提高双穗率, 即促进雌穗分化发育和提高结实率, 及玉米后期粒重的增加。

关键词: 全膜双垄沟播; 玉米; 生长发育; 产量

中图分类号: S513.01 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2010)04-0128-07

陇中干旱半干旱区降水稀少, 气候干燥, 蒸发强烈, 年降雨量不足, 且季节分布不均, 春季干旱少雨, 降雨量主要集中在 7~9 月份^[1], 属典型的旱作雨养农业区, 由于水资源短缺, 严重制约了该区经济发展和农业生产力的提高^[2]。因此, 从解决水的问题着手, 变无效降水为有效, 充分利用有限的降水资源, 提高作物对降水的利用效率是旱作农业发展的根本出发点。研究表明, 农田覆盖具有降低土面蒸发和保持土壤水分的作用, 能够促进植株蒸腾和提高水分利用率^[3], 并且采用覆盖措施能起到明显的增产作用^[4~8]。地膜和秸秆覆盖除具有显著的保水效果外还具增温效应^[6]。地表覆盖玉米秸秆不仅可减少水分蒸发, 而且降水入渗快, 地表径流少^[7]。赵凡研究发现全膜双垄沟播可使 5 mm 左右的微量降水通过汇集而变成能使玉米种子发芽的有效水^[9]。全膜双垄沟播玉米栽培技术具有充分纳蓄降水和抑制土壤水分蒸发的双重功效, 并且增产显著^[4]。目前对全膜双垄沟播栽培技术及增产效应的报道较多^[4,9~11], 对玉米生长动态的研究较少^[12]。本文对干旱旱地全膜双垄沟播玉米生长动态进行了分析研究。旨在明确全膜双垄沟播栽培技术对玉米生长的影响, 进一步分析研究其增产机理, 为该技术的推广提供科学依据。

1 试验设计与方法

1.1 试验地概况

本试验于 2008 年 11 月~2009 年 10 月在甘肃

省定西市李家堡乡麻子川村进行, 该地位于甘肃省中部偏南, 属中温带半干旱区。平均海拔 2 000 m, 年均太阳辐射 592.85 kJ/cm², 日照时数 2 476.6 h, 年均气温 6.4℃, ≥0℃积温 2 933.5℃, ≥10℃积温 2 239.1℃, 无霜期 140 d。多年平均降雨量 390.9 mm, 年蒸发量 1 531 mm, 干燥度 2.53, 为典型的半干旱雨养农业区。试验地土壤为黄绵土, 0~200 cm 土壤容重平均为 1.17 g/cm³。pH 值 8.36, 土壤有机质 12.01 g/kg, 全氮 0.76 g/kg, 全磷 1.77 g/kg。玉米全生育期降水 292.7 mm。

1.2 试验设计

试验共设 7 个处理(见表 1), 3 次重复。小区面积 52.8 m²(3.3 m × 16 m), 随机区组排列。试验前茬为全膜双垄沟播玉米, 供试玉米品种沈单 16, 播种密度 5.25 万株/hm²。生育期施纯氮 180 kg/hm²、纯磷(P₂O₅)144 kg/hm²。2009 年 4 月 20 日播种, 10 月 12 日收获, 其它田间管理同大田。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 株高及叶面积 从播后 35 d 开始每 15 d 测量 1 次, 株高用直尺直接测量; 叶面积用直尺测量每株各叶片的叶长(L_{ij})和最大叶宽(B_{ij})。

根据叶面积计算光合势 = 叶面积 × 天数(d)

叶面积指数(LAI) 由下式中求得:

$$LAI = 0.75\rho_{\#} \frac{\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n (L_{ij} \times B_{ij})}{m}$$

收稿日期: 2009-12-28

基金项目: 国家自然科学基金项目(40771132); 国家科技支撑计划课题(2006BAD15B06); 甘肃省教育厅项目 0802-07

作者简介: 方彦杰(1982-), 男, 甘肃天水人, 硕士研究生, 主要从事旱地农业理论与实践研究。

通讯作者: 黄高宝, 男, 教授, 博士生导师, 主要从事多熟种植、保护性耕作、节水农业和宏观农业的教学与研究。E-mail: Huanggh@gsau.edu.cn。

式中, n 为第 j 株的总叶片数; m 为测定株数; $\rho_{\text{种}}$ 为 种植密度。

表1 试验处理

Table 1 Treatments and description

| 代号 Code | 处理 Treatments | 操作方式 Description |
|------------|--|--|
| T1 | 露地平作 Flat-planting without mulching | 前茬收后耕耨,不起垄,露地休闲;翌年宽窄行(宽行 0.7 m,窄行 0.4 m)穴播点种 Ploughing after harvesting the previous crop, no ridge, open field fallow; Making bunch planting in alternate wide and narrow rows in the next year (wide row 0.7 m, narrow row 0.4 m). |
| T2 | 半膜平作 Half-mulching and flat-planting | 前茬收后耕耨,11月中旬不起垄平铺地膜,覆膜宽度 0.4 m,膜间距 0.7 m;翌年膜上穴播点种 Ploughing after harvesting the previous crop, flat mulching with plastic film in mid November, no ridge, width of film 0.4 m, distance between films 0.7 m; Making bunch planting in the film in the next year. |
| T3 | 全膜平作 Complete mulching and flat-planting | 前茬收后耕耨,11月中旬不起垄,用 120 cm 的薄膜全地面平铺;播法同处理 2 Ploughing after harvesting the previous crop, no ridge, mulching completely with 120 cm film in mid November; The same planting method as T2. |
| T4 | 全膜双垄沟播 Completely mulched alternating narrow and wide ridges with furrow planting | 前茬收后耕耨,11月中旬起垄铺膜,小垄 40 cm,垄高 15~20 cm,大垄 70 cm,垄高 10~15 cm,人工起垄,用 120 cm 的薄膜全地面覆盖;翌年垄沟内穴播点种 Ploughing after harvesting the previous crop, forming ridge and mulching with film in mid November, small ridge: 40 cm in width and 15~20 cm in height, big ridge: 70 cm in width and 10~15 cm in height, completely mulching with 120 cm film; Making bunch planting in furrow in the next year. |
| T5 | 全膜双垄沟播 + 休闲期免耕 Completely mulched alternating narrow and wide ridges with furrow planting + no-tillage | 前茬收后,清除全部秸秆,保留并管护好地膜,翌年旧膜直接人工穴播点种 Clearing up all stubbles after harvesting the previous crop, maintaining the film and making bunch planting in the old film in the next year. |
| T6 | 全膜双垄沟播 + 休闲期秸秆覆盖 Completely mulched alternating narrow and wide ridges with furrow planting + no-tillage with straw mulching. | 前茬收后,割秸秆并与播种带平行覆盖于膜上,翌年播前清除秸秆后,直接人工穴播点种 Cutting stubbles and laying them on the film after harvesting the previous crop, clearing up the stubbles before sowing in the next year, then making bunch planting. |
| T7 | 全膜双垄沟播 + 休闲期留秸秆立茬 Completely mulched alternating narrow and wide ridges with furrow planting + no-tillage with stubble standing | 前茬收后,保留秸秆直立于地表,翌年播前秸秆清除后,直接人工穴播点种 Maintaining stubbles standing after harvesting the previous crop, and clearing up the stubbles before sowing in the next year, then making bunch planting. |

1.3.2 干物质测定 每小区选择生长整齐一致,有代表性的植株取 3 株,带回室内洗净凉干,分器官称量鲜重后放在 105℃ 的恒温箱内烘 30 min,然后将温度下降到 80℃,继续烘干至恒重测定干重,测定时期为出苗后每 15 d 测定 1 次。

1.3.3 室内考种与计产 玉米成熟后,每小区测产 3 行,每行 4 m 长,以实际株距折算单位面积穗数,并从中随机选取 10 株,用以考察穗部性状及穗粒数、千粒重等指标,并折算实际产量。

1.4 数据分析

数据分析采用 EXCEL 和 SPSS 统计分析软件。

2 结果与分析

2.1 不同处理对玉米生育进程的影响

试验结果表明,地膜和秸秆覆盖均加快了玉米

的生育进程,各生育时期都比露地平作(T1)提前(表 2),说明地膜和覆盖有增温保墒作用。由于试验区 4~6 月份的大旱(共降雨 65.2 mm),影响了玉米前期生育进程,加之 9 月上、中旬持续的低温干旱,T1 未成熟。而对全膜双垄沟播处理(T4)影响最小,生育期最短,为 157 d,较其它能够成熟各处理提前 2~15 d,尤以玉米生育前期物候期提早天数较多,中期次之,后期甚微。这主要原因可能是由于全膜双垄沟处理能够在降雨量较少的条件下,转无效降雨为有效,更好地吸收和利用土壤及空气水分,促进作物生长。从表中亦可看出,免耕各处理间在整个生育进程上明显延迟,休闲期免耕覆盖(T6)成熟期较免耕立茬(T7)和免耕(T5)分别提前 3 d 和 5 d,说明休闲期秸秆覆盖也可以促进作物的生长发育。

表 2 不同处理对玉米生育期的影响

Table 2 Phenology of corn under different treatments(M - d)

| 处理 Treatments | 播种期 Sowing | 出苗期 Emergence | 拔节期 Jointing | 大喇叭口期 Large bell | 抽雄期 Heading | 吐丝期 Silking | 成熟期 Maturity | 生育期(d) Growing days |
|------------------|---------------|------------------|-----------------|---------------------|----------------|----------------|-----------------|------------------------|
| T1 | 04-21 | 05-15 | 07-22 | 07-27 | 08-16 | 08-25 | — | — |
| T2 | 04-21 | 05-04 | 06-26 | 07-20 | 08-01 | 08-04 | 10-03 | 165 |
| T3 | 04-21 | 05-04 | 06-23 | 07-16 | 07-24 | 07-27 | 09-27 | 159 |
| T4 | 04-21 | 05-04 | 06-23 | 07-16 | 07-22 | 07-25 | 09-25 | 157 |
| T5 | 04-21 | 05-08 | 06-30 | 07-24 | 08-04 | 08-08 | 10-10 | 172 |
| T6 | 04-21 | 05-08 | 06-28 | 07-21 | 08-01 | 08-04 | 10-05 | 167 |
| T7 | 04-21 | 05-08 | 06-30 | 07-23 | 08-03 | 08-07 | 10-08 | 170 |

2.2 不同处理对玉米株高的影响

不同栽培方式及秸秆覆盖处理措施对玉米株高生长速率有明显的影响(图 1),在前期营养生长阶段,各处理均表现出地上部分快速生长。截止 8 月下旬该地区降雨量逐渐增多,不同处理的玉米株高在各生育时期均表现为:T4 > T3 > T2 > T6 > T7 > T5 > T1。8 月下旬后,露地平作(T1)株高大于其它各处理,这是由于其它各处理均已进入生殖生长,而 T1 生育前期干旱,生育时期延迟,发生徒长现象。由上可知,玉米生长发育阶段越是干旱,全膜双垄沟(T4)及全膜平作(T3)处理对株高的增加效果越明显。

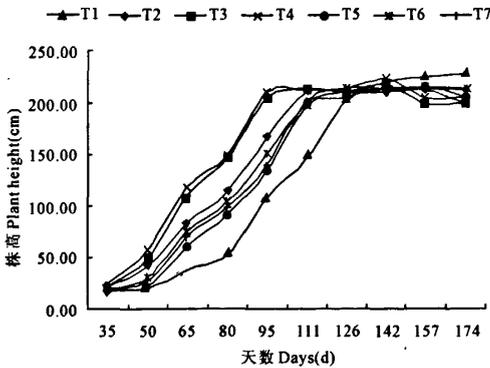


图 1 不同处理玉米株高

Fig.1 Height of maize under different treatments

2.3 不同处理玉米单株叶片数的动态变化

作物的叶片是影响作物光合效率的最重要因素之一,叶片数量的多少更是直接影响到光合效率的高低。对不同栽培和秸秆覆盖模式在玉米苗期至灌浆期间的叶片数进行统计分析(图 2)可知,各处理叶片数动态变化趋势基本一致,苗期至抽雄吐丝前迅速增长阶段,抽雄后叶片数逐渐平稳不变或略有下降趋势。而各处理间叶片数动态变化和株高时空

变化均相似。灌浆期 T4、T3 玉米平均叶片数分别为 18.67 片、18.44 片,较其它各处理平均多出 1~2.22 个叶片。说明全膜双垄沟播栽培模式(T4)能够增加产生营养物质的光合源,减少光能损失,进一步提高玉米产量。

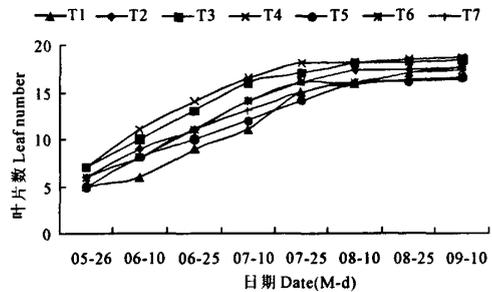


图 2 不同处理玉米叶片数的动态变化

Fig.2 Dynamics of maize leaf number under different treatments

2.4 不同处理对玉米叶面积指数(LAI)的影响

叶面积指数(LAI)是反映植物群体生长状况的一个重要指标,其大小直接与最终产量高低密切相关。从表 3 可以看出,半干旱地区玉米一生的叶面积指数呈“S”型曲线变化规律,即苗期较低,之后到拔节期逐渐上升,抽雄期达到最大,之后平稳发展,直到乳熟期开始下降。不同处理之间表现为:苗期相差不大,拔节期、抽雄期直到乳熟末期一直以 T4 为最高,T3 略低,依次为 T2、T6、T7、T5、T1 最低。同样由表 3 可得出,玉米全生育期平均叶面积指数变化与叶片数变化趋势一致,同样 T1 由于发生营养徒长,平均叶面积指数较其它各处理低。T4 最高,较 T3 高出 6.14%,较 T5 高出 62.40%。在三个休闲期免耕处理中,T6 高出 T7 处理 3.57%、T5 处理 13.1%。上述结果说明:全膜双垄沟播玉米栽培技术能够通过增加叶面积指数而增加玉米产量,休闲期免耕覆盖处理(T6)较其它免耕处理叶面积指数高。

表 3 不同处理叶面积指数(LAI)的变化

Table 3 Dynamics of leaf area index under different treatments

| 处理 Treatments | LAI | | | | | | | | | |
|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|-------|
| | 35(d) | 50(d) | 65(d) | 80(d) | 95(d) | 110(d) | 125(d) | 140(d) | 155(d) | 平均 |
| T1 | 0.042 | 0.055 | 0.191 | 0.372 | 1.424 | 2.906 | 3.746 | 4.100 | 3.734 | 1.841 |
| T2 | 0.069 | 0.375 | 1.037 | 1.746 | 2.963 | 4.173 | 3.276 | 2.857 | 2.463 | 2.107 |
| T3 | 0.098 | 0.531 | 1.805 | 2.710 | 4.247 | 4.561 | 4.316 | 3.855 | 2.345 | 2.719 |
| T4 | 0.095 | 0.670 | 2.050 | 2.836 | 4.618 | 4.909 | 4.351 | 3.988 | 2.457 | 2.886 |
| T5 | 0.041 | 0.115 | 0.527 | 1.160 | 2.215 | 3.535 | 2.951 | 2.766 | 2.683 | 1.777 |
| T6 | 0.047 | 0.203 | 0.704 | 1.442 | 2.779 | 3.852 | 3.258 | 3.231 | 2.566 | 2.009 |
| T7 | 0.046 | 0.158 | 0.693 | 1.318 | 2.712 | 3.561 | 3.164 | 3.148 | 2.659 | 1.940 |

2.5 不同处理对玉米光合势的影响

从不同处理玉米光合势的动态变化(图 3)可以看出,光合势与叶面积的发展趋势基本一致。

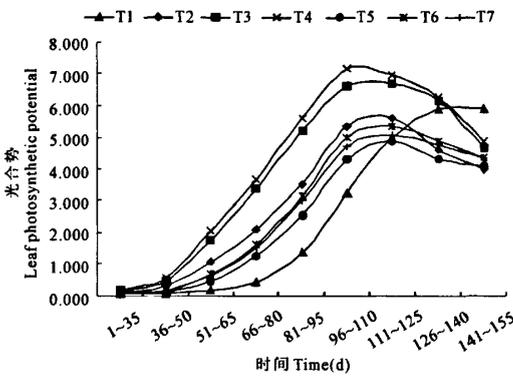


图 3 不同处理光合势的动态变化

Fig.3 Dynamics of leaf photosynthetic potential under different treatments

光合势是叶面积与光合作用时间的乘积,与产量关系更密切,在一定范围内与产量呈正相关。各处理的阶段光合势,从苗期开始随生育进程的推移逐渐增大,播种后 110d 左右时(开花后)达最大,然后逐渐降低。除播种后 35 d 以前外,T4、T3 处理各阶段光合势都明显高于其它各处理,而以 T1 处理最

低。T4 较其它各处理全生育期总光合势高 6.19%~68.9%。休闲期免耕处理间,各阶段光合势都以 T6 处理最高,T7 次之,T5 最低,全生育期总光合势 T6 分别比 T7 和 T5 高 4.15% 和 14.65%。

2.6 不同处理对玉米干物质积累的影响

对比不同处理各时期干物质积累量,有助于分析各处理玉米不同生育阶段的生长情况。各处理干物质积累呈慢-快-慢的规律^[13](表 4)。不同处理间,一生中各个时期干物质积累量都表现为 T4 > T3 > T2 > T6 > T7 > T5 > T1。相关性分析表明,玉米干物质与产量达极显著相关^[14]。最终干物质质量 T4 最高,较 T3 高出 6.52%,较最低的 T1 高出 49.26%。在三个休闲期免耕处理中,T6 高出 T7 处理 4.09%,高出 T5 处理 11.33%。出苗后天数与干物质积累量可用 Logistic 方程 $Y = A / (1 + Be^{-kx})$ 来描述,由表 5 可以看出,各处理干物质积累动态模型 r 均达极显著水平。对干物质积累方程求一阶导数可得干物质积累速率方程,进一步可以求出最大干物质积累速率出现时间 (T_{max})、最大干物质积累速率 (V_{max}) 等特征参数(表 5)。理论最大干物质积累速率出现时间各处理都在出苗后 89.4~121.1 d,理论最大干物质积累速率 T4 最高,较 T3 高出 10.38%,较最低的 T1 高出 97.56%。在三个休闲期免耕处理中,T6 高出 T7 处理 2.78%,T5 处理 17.28%。

表 4 不同处理干物质积累动态(g/(株·d))

Table 4 Dynamics of dry matter accumulation under different treatments(g/(plant·d))

| 处理 Treatments | 35 d | 50 d | 65 d | 80 d | 95 d | 110 d | 125 d | 140 d | 155 d | 170 d |
|------------------|------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| T1 | 0.46 | 0.62 | 2.50 | 6.25 | 30.46 | 139.14 | 246.83 | 274.26 | 288.69 | 303.89 |
| T2 | 0.59 | 5.14 | 23.27 | 58.16 | 118.73 | 198.81 | 330.39 | 367.10 | 386.42 | 406.76 |
| T3 | 0.76 | 8.59 | 41.22 | 103.04 | 203.57 | 284.54 | 364.08 | 404.53 | 425.82 | 425.82 |
| T4 | 0.79 | 11.30 | 50.61 | 126.54 | 240.02 | 287.75 | 387.82 | 430.92 | 453.60 | 453.60 |
| T5 | 0.44 | 1.19 | 9.21 | 23.03 | 67.65 | 158.87 | 297.19 | 330.21 | 347.59 | 365.89 |
| T6 | 0.42 | 2.44 | 14.39 | 35.96 | 109.79 | 225.04 | 330.87 | 367.64 | 386.99 | 407.36 |
| T7 | 0.46 | 1.97 | 13.29 | 33.22 | 128.77 | 217.30 | 317.88 | 353.20 | 371.79 | 391.36 |

表 5 不同处理干物质积累动态模型及特征参数
Table 5 Mathematic model and parameters of dry matter accumulation

| 处理 Treatments | 数学模型 Mathematic model | | W_{max} (g/株) (g/plant) | T_{max} (d) | V_{max} [g/(株·d)] [g/(plant·d)] |
|------------------|---|---------|------------------------------|------------------|--------------------------------------|
| T1 | $Y = 305.18 / (1 + 660.04e^{-0.0536x})$ | 0.992** | 305.18 | 121.1 | 4.09 |
| T2 | $Y = 409.03 / (1 + 692.27e^{-0.0625x})$ | 0.991** | 409.03 | 104.6 | 6.39 |
| T3 | $Y = 427.23 / (1 + 559.51e^{-0.0685x})$ | 0.992** | 427.23 | 92.4 | 7.32 |
| T4 | $Y = 454.3 / (1 + 574.87e^{-0.0711x})$ | 0.988** | 454.30 | 89.4 | 8.08 |
| T5 | $Y = 367.9 / (1 + 835.14e^{-0.0617x})$ | 0.996** | 367.90 | 109.0 | 5.67 |
| T6 | $Y = 408.9 / (1 + 982.98e^{-0.0651x})$ | 0.993** | 408.90 | 105.8 | 6.65 |
| T7 | $Y = 393.1 / (1 + 857.71e^{-0.0658x})$ | 0.933** | 393.10 | 102.6 | 6.47 |

注: ** 相关性显示在 0.01 水平上达到极显著水平。

Note: ** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

2.7 不同处理对玉米干物质分配的影响

从表 6 不同处理对成熟期干物质分配的影响可以看出,各处理植株地上部分各器官所占比例(除露地平作处理 T1)基本一致,均为籽粒 > 茎秆 > 叶片 > 苞叶 > 叶鞘、穗轴。T4 单株干重最高,达 453.60 g/株,较其它处理高出 6.52% ~ 49.26%;籽粒部分所占比例即经济系数比其它各处理高出 0.34% ~ 8.34%(由于露地平作处理(T1)未成熟,没有进行干物质向籽粒的转移,未作比较,下同);叶片

部分所占比例比其它各处理高出 0.33% ~ 1.34%;叶鞘部分所占比例比其它各处理高出 -1.81% ~ -1.49%;苞叶部分所占比例比其它各处理高出 -3.86% ~ 1%;茎秆部分所占比例比其它各处理高出 -3.96% ~ 0.18%;穗轴部分所占比例比其它各处理高出 0.76% ~ 6.62%。以上说明在干物质向籽粒的相对转移上,全膜双垄沟播处理(T4)各器官尤以叶鞘、苞叶及茎秆转移量最多,叶片次之,穗轴最少。

表 6 不同处理对成熟期干物质分配的影响

Table 6 Effect of different treatments on dry matter distribution at mature

| 处理 Treatments | 叶片 Leaf | | 叶鞘 Sheath | | 苞叶 Bract | | 茎秆 Stalk | | 籽粒 Grain | | 穗轴 Cob | | 单株 Plant | |
|------------------|---------|-------|-----------|-------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|--------|-------|----------|-----|
| | (g/株) | (%) | (g/株) | (%) | (g/株) | (%) | (g/株) | (%) | (g/株) | (%) | (g/株) | (%) | (g/株) | (%) |
| T1 | 60.97 | 20.06 | 36.09 | 11.88 | 64.20 | 21.13 | 85.20 | 28.04 | — | — | 27.04 | 8.90 | 303.89 | 100 |
| T2 | 50.37 | 12.38 | 29.58 | 7.27 | 40.40 | 9.93 | 57.94 | 14.24 | 199.21 | 48.97 | 29.26 | 7.19 | 406.76 | 100 |
| T3 | 57.03 | 13.39 | 36.09 | 8.48 | 27.00 | 6.34 | 54.68 | 12.84 | 215.21 | 50.54 | 57.31 | 13.46 | 425.82 | 100 |
| T4 | 62.22 | 13.72 | 30.25 | 6.67 | 33.30 | 7.34 | 59.04 | 13.02 | 230.80 | 50.88 | 64.49 | 14.22 | 453.60 | 100 |
| T5 | 49.81 | 13.61 | 29.79 | 8.14 | 43.66 | 11.93 | 65.43 | 17.88 | 155.66 | 42.54 | 25.86 | 7.07 | 365.89 | 100 |
| T6 | 53.30 | 13.09 | 31.18 | 7.65 | 40.80 | 10.01 | 64.06 | 15.72 | 190.29 | 46.71 | 33.27 | 8.17 | 407.36 | 100 |
| T7 | 49.18 | 12.57 | 28.02 | 7.16 | 43.85 | 11.20 | 66.44 | 16.98 | 179.09 | 45.76 | 29.73 | 7.60 | 391.36 | 100 |

2.8 不同处理对玉米穗部性状及产量的影响

从表 7 可以看出,各处理产量表现为 T4 > T3 > T2 > T6 > T7 > T5,全膜双垄沟处理(T4)比其它各处理增产 9.86%、26.76%、31.59%、45.77%、57.59%,达极显著差异;休闲期免耕处理中以免耕覆盖(T6)处理产量最高,比免耕立茬(T7)增产 10.77%,比免耕(T5)增产 19.75%,达极显著差异。各处理双穗率表现与产量完全一致,与产量呈极显著相关($R = 0.954^{**}$)。由于玉米第二个果穗的影响,穗长表现

与产量不相关($R = -0.29$),而穗粗与穗粒数、产量均呈极显著相关($R = 0.859^{**}$; 0.953^{**})。穗行数、行粒数均与穗粒数呈显著相关($R = 0.914^{*}$, 0.906^{*})。千粒重表现为 T4 > T3 > T7 > T2 > T6 > T5,与产量呈极显著相关($R = 0.936^{**}$)。由此可知,在本试验条件下,对旱地玉米进行全膜双垄沟播栽培的增产效应主要表现在提高双穗率即促进雌穗分化发育和提高结实率,及玉米后期粒重的增加。

表7 不同处理对产量及产量构成因素的影响

Table 7 Effect of different treatments on yield and its components

| 处理 Treatments | 双穗率 Double ear rate (%) | 穗长 Ear length (cm) | 穗粗 Ear diameter (cm) | 穗行数 Grain rows per ear | 行粒数 Grain number per row | 穗粒数 Ear grain number | 千粒重 1000-grain weigh (g) | 产量 Yield (kg/hm ²) |
|------------------|-------------------------------|--------------------------|----------------------------|------------------------------|--------------------------------|----------------------------|--------------------------------|--------------------------------------|
| T2 | 15 | 20.15 | 52.09 | 14.41 | 35.34 | 509.45 | 342.6 | 8158.78** |
| T3 | 48 | 20.21 | 54.69 | 16.43 | 37.77 | 620.63 | 376.5 | 9413.97** |
| T4 | 78 | 20.68 | 55.18 | 15.52 | 39.48 | 612.66 | 382.7 | 10341.73** |
| T5 | 4 | 20.75 | 51.48 | 15.25 | 36.96 | 563.71 | 327.1 | 6562.49** |
| T6 | 10 | 20.47 | 52.56 | 15.14 | 37.10 | 561.67 | 341.5 | 7858.62** |
| T7 | 7 | 20.24 | 50.93 | 14.93 | 35.30 | 526.83 | 347.8 | 7094.59** |

注:**相关性显示在0.01水平上达到极显著水平;*相关性显示在0.05水平上达到极显著水平。

Note:** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed); * Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

3 小结

通过本试验研究表明,在降雨量较少的干旱半干旱地区,全膜双垄沟播技术作为一种新型集水农业技术,恰好利用了无效蒸发和形成径流的水分,解决自然降水与农作物需水的供需错位,解决大气干旱与降水资源浪费的矛盾,挖掘自然降水资源潜力,实现降水资源的时空调配,提高农业生态系统生产力^[1]。已有研究表明,全膜双垄沟播具有保温增温,增加有效积温,使玉米提早成熟的作用^[5,14-16]。本试验研究得出,全膜双垄沟播栽培技术能够加快玉米生长发育进程,生育期缩短2~15 d;玉米叶片数平均增加1~2.2片,玉米株高等一些形态指标都明显优于其它栽培模式,并且表明玉米生长发育阶段越是干旱,增加优势越明显;干物质积累呈慢—快—慢的规律,各生育时期干物质积累量都表现为T4>T3>T2>T6>T7>T5>T1。干物质向籽粒的相对转移上,全膜双垄沟处理(T4)尤以叶鞘、苞叶及茎秆转移量最多,叶片次之,穗轴最少。

在甘肃旱农区试验结果表明,全膜双垄沟播具有显著的增产效应^[14-17]。2007年玉米平均产量达到8376 kg/hm²,较半膜覆盖增产2266.5 kg/hm²,增产率37.1%;马铃薯平均产量29730 kg/hm²,较对照增产6871.5 kg/hm²,增产30.1%^[10],本试验得出全膜双垄沟处理较常规半膜平作处理增产26.76%,达极显著差异。休闲期免耕覆盖处理比免耕立茬增产10.77%,比免耕增产19.75%。

分析认为,在本试验条件下,对旱地玉米进行全膜双垄沟播栽培的增产效应主要是通过改善农田土壤水温状况而影响作物生长。虽然表现在整个生育期,但在降雨相对较少的前期(抽雄期前)促进作用最明显,该技术能明显减轻玉米“卡脖子”现象。而增产主要表现在生育后期(吐丝后)提高双穗率即促

进雌穗分化发育和提高结实率,及玉米后期粒重的增加,但对粒重增加与卜玉山等的研究结论不一致^[18],有待于更进一步的研究。

参考文献:

- [1] 肖国举,王静.黄土高原集水农业研究进展[J].生态学报,2003,23(5):1003-1008.
- [2] Li F-M, Zhao S-L, Geballe G-T. Water use patterns and agronomic performance for some cropping systems with and without fallow crops in a semi-arid environment of northwest China[J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2000, 79:129-142.
- [3] 赵秉宝,李克焯.干旱与农业[M].北京:中国农业出版社,1995:254-332.
- [4] 张雷,牛建彪,赵凡.旱作玉米提高降水利用率的覆膜模式研究[J].干旱地区农业研究,2006,24(2):8-11,17.
- [5] 李志军,赵爱萍,丁晖兵,等.旱地玉米垄沟周年覆膜栽培增产效应研究[J].干旱地区农业研究,2006,24(2):12-17.
- [6] 巩杰,黄高宝,陈利顶,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] 陈素英,张喜英.秸秆覆盖对夏玉米生长过程及水分利用的影响[J].干旱地区农业研究,2002,20(4):55-57,66.
- [8] 刘跃平,刘太平.玉米整秆秸秆覆盖的集水增产作用[J].中国水土保持,2003,(4):32-33.
- [9] 赵凡.旱地玉米双垄面集雨全膜覆盖技术[J].甘肃农业科技,2004,(11):23-24.
- [10] 李来祥,刘广才,杨祁峰.甘肃省旱地全膜双垄沟播技术研究与应用进展[J].干旱地区农业研究,2009,27(1):114-118,106.
- [11] 赵凡.玉米双垄面集雨全膜覆盖技术优势及应用前景[J].耕作与栽培,2005,(6):62-63.
- [12] 卜玉山,苗果园,邵海林,等.对地膜覆盖和秸秆覆盖玉米生长发育与产量的分析[J].作物学报,2006,(7):1090-1093.
- [13] 董钻,沈秀瑛.作物栽培学总论[M].北京:中国农业出版社,2000:42-44.
- [14] 张雷,牛建彪,赵凡.旱作玉米双垄面集雨全地面覆膜沟播抗旱增产技术研究[J].甘肃科技,2004,20(11):174-175.
- [15] 杨祁峰,岳云,熊春蓉,等.不同覆膜方式对陇东旱地玉米田土壤温度的影响[J].干旱地区农业研究,2008,26(6):29-33.

- [16] 马淑珍,王生菊,陈娟娟,等. 旱地覆膜方式对土壤水热效应及玉米的影响[J]. 甘肃农业科技, 2008, (6): 20—23.
- [17] 李国华. 全膜双垄沟播玉米不同覆膜时期水分生产效率研究[J]. 中国农学通报, 2009, 25(18): 205—207.
- [18] 付国占,李潮海,王俊忠,等. 残茬覆盖与耕作方式对夏玉米光合产物生产与分配的影响[J]. 华北农学报, 2005, 20(3): 62—66.

Yield and growth dynamics of rainfed maize in the system of completely mulched alternating narrow and wide ridges with furrow planting

FANG Yan-jie, HUANG Gao-bao, LI Ling-ling, WANG Jia

(Agronomy Faculty, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China)

Abstract: Effects of completely mulched alternating narrow and wide ridges with furrow (T4) planting on maize growth and yield in semiarid area was studied using field experiments. The results showed that the growth and development of maize was promoted, in some extent, plant height, leaf number, LAI, photosynthetic potential and dry matter accumulation were all improved by (T4), drier at the growth stages, more yield was produced with completely mulched alternating narrow and wide ridges with furrow treatment. Compared with flat-planting without mulching, the maize yield of completely mulched alternating narrow and wide ridges with furrow planting was increased by 26.76%; while the yield of maize stalk covering and no-tillage was increased by 10.77% and 19.75%, compared with stubble standing with no-tillage. The effects of completely mulched alternating narrow and wide ridges with furrow planting was more significant in earlier growing stages (before heading) when the precipitation was relatively low, it could also alleviate the drought in water critical period of maize; yield increasing in later growth stages (after silking) was mainly due to the promotion of ear differentiation and development and the increases of seed - setting rate and its weight.

Keywords: completely mulched alternating narrow and wide ridges with furrow; maize; growth and development; yield