

垄膜沟种条件下品种和密度对玉米生长的影响

肖继兵¹, 孙占祥², 蒋春光¹, 侯志研², 冯良山², 白伟²

(1. 辽宁省水土保持研究所, 辽宁 朝阳 122000; 2. 辽宁省农业科学院, 沈阳 110161)

摘 要:为提高朝阳地区旱地玉米降雨利用效率,增加旱地玉米产量,选用 3 个玉米品种(中熟品种辽单 33、中晚熟品种沈禾 201 和晚熟品种东单 60),设计 6 种密度(37 500, 45 000, 52 500, 60 000, 67 500, 75 000 株/hm²),采用两因素裂区试验(品种为主区,密度为副区)研究了垄膜沟种微集雨种植条件下品种和密度对玉米生长的影响。结果表明,在微集雨种植条件下,随着密度的增加,株高先增加后降低,但茎粗和棒三叶叶面积逐渐降低, LAI 逐渐增加,且 LAI 在品种或密度的单一作用下及在二者交互作用下均差异显著或极显著;随着密度的增加,产量构成因素(穗长、穗粒数、千粒重等)逐渐降低,但产量却逐渐增加。在各密度水平下,3 个品种以中晚熟品种沈禾 201 平均产量(13 781.89 kg/hm²)最高,水分利用效率[28.73 kg/(mm·hm²)]最大。要想充分发挥该区微集雨种植技术的增产潜力,建议选用中晚熟株型紧凑品种进行合理密植。

关键词:玉米; 垄膜沟种; 品种; 密度; 产量

中图分类号:S513; S318

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2013)01-0134-07

Effect of Variety and Density on Maize Growth under Ridge Film Mulching and Furrow Planting

XIAO Ji-bing¹, SUN Zhan-xiang², JIANG Chun-guang¹, HOU Zhi-yan², FENG Liang-shan², BAI Wei²

(1. Institute of Soil and Water Conservation of Liaoning, Chaoyang, Liaoning 122000, China;

2. Liaoning Province Academy of Agricultural Science, Shenyang 110161, China)

Abstract: In order to increase rainfall use efficiency and yield of maize in dryland in Chaoyang area, Liaoning Province, the effects of variety and density on maize growth under ridge film mulch and furrow planting were studied by split-plot experiment with two factors. This experiment chose three varieties (mid-maturing variety Liaodan 33, mid-late-maturing variety Shenhe 201 and late-maturing variety Dongdan 60) and six kinds of density(37 500, 45 000, 52 500, 60 000, 67 500, 75 000 plants/hm²), and variety was set in main plot and density was arranged in the sub-plot. The results showed that the change rule of plant height increased at first and decreased later, the stem diameter and areas of three ear leaves gradually reduced and LAI gradually increased with the increase of density. The difference of LAI was significant or very significant under single factor of the variety or the density and under the interaction of these two factors. As the density increased, yield components(ear length, grain number per and 1 000-seed weight etc.) gradually reduced, however, the yield gradually increased as the density increased. The average yield (13 781.89 kg/hm²) and WUE (28.73 kg/(mm·hm²)) of Shenhe 201 were the highest among the three varieties. In order to develop fully yield increasing potentiality of micro rainwater-collecting planting, the proposal was to choose mid-late-maturing variety and reasonable dense planting.

Key words: maize; ridge film mulching and furrow planting; variety; density; yield

玉米是我国主要粮食作物和饲料作物,被称为饲料之王,是我国畜牧业的支柱^[1],在农业生产上具有举足轻重的地位,因此提高玉米的产量具有重要的意义。

品种、肥料和密度是影响玉米产量的主要因子。通过选育新品种提高产量是增加玉米产量的一个重要因素,但如果一个好的玉米品种没有好的栽培技术,也

收稿日期:2012-05-22

修回日期:2012-09-03

资助项目:“十二五”国家科技支撑计划(2011BAD09B02)

作者简介:肖继兵(1976—),男,辽宁朝阳人,助理研究员,硕士研究生,主要从事旱作农业研究。E-mail:xiaojb2004@126.com

通信作者:孙占祥(1967—),男,辽宁抚顺人,研究员,博士生导师,主要从事旱作农业研究。E-mail:sunzhanxiang@sohu.com

不能达到增产增效的目的。同一个玉米品种提高其产量的途径有两条:一是提高种植密度,即以群体效应为主,另一个是提高化肥利用效率,配合施用 N、P、K 使肥料相互促进,提高供肥能力,以达到增产的目的^[2-3]。

大量的研究一致认为,在玉米栽培技术中,密度是协调群体与个体最有效的措施^[4]。种植密度对单位面积产量有重要影响^[5],提高种植密度是玉米增产的有效途径。在任何情况下,玉米的密度与产量都密切相关。群体的籽粒产量开始时随密度的提高而迅速提高,以后渐缓,再继续增加密度则产量开始明显下降。密度增加超过一定限度,则破坏了群体与个体发育的平衡关系。植株过密造成郁闭,通风透光不良,特别是中下部叶片受光不好,光合速率明显下降,干物质积累减少^[6-7]。

朝阳地区是典型的半干旱雨养农业区,旱地是该地区农业用地的主要形式,玉米是该区的主要作物,提高玉米对天然降雨利用率对该区农业可持续发展至关重要。垄膜沟种微集雨种植是指田间起垄覆膜集雨产流、沟垄相间、沟内种植的一种栽培方式。该技术集垄沟种植、覆膜抑蒸、膜面集雨、宽窄行种植技术于一体,使降雨在农田内就地实现空间再分配,将有限的降水尽量保留和集中到沟内种植区^[8-9],增加土壤含水率,改善沟内种植区土壤水分条件,具有增

温、保墒和集雨的作用^[10],进而达到提高降雨资源利用率和增加玉米产量的目的,因此成为水分较为缺乏的半干旱地区的一项重要抗旱、提高降雨利用效率的措施。同时土壤水、温条件的改善可促进微生物的大量繁殖,提高土壤微生物含量^[11]。土壤微生物量是土壤转化土壤有机物质的一个重要指标,高的土壤微生物量说明土壤能提供较多的营养。为此,本文研究垄膜沟种微集雨条件下品种和密度对玉米生长的影响,旨在为朝阳地区玉米垄膜沟种微集雨栽培筛选出适宜的品种和种植密度。

1 试验材料与方法

1.1 试验区概况

试验于 2011 年在辽宁省水土保持研究所示范农场内进行,该示范区位于朝阳市,朝阳地区年降水量有限,年际变化大,季节分布不均,多年平均降水量为 438.9 mm 左右,而且年降水总量的 70%~74%集中在 6—8 月份,常以暴雨出现,产生水土流失,又会造成一定的降雨损失。该区春季降水少,气温高,春风多,蒸发量大,致使土壤大量失墒而干旱,春旱、伏旱和秋吊频繁发生,以旱作农业为主。供试土壤质地为砂壤土,旱作平地,前茬为大豆,肥力中上等,其基本理化性质见表 1。

表 1 供试土壤基本理化性质

土层深度/ cm	容重/ (g·cm ⁻³)	pH 值	有机质/ %	全氮/ %	速效氮/ (mg·kg ⁻¹)	速效磷/ (mg·kg ⁻¹)	速效钾/ (mg·kg ⁻¹)
0—20	1.30	7.79	1.26	0.082	102	24	153

1.2 试验设计

本试验选用 3 个玉米品种,分别为中熟品种(辽单 33, A1)、中晚熟品种(沈禾 201, A2)和晚熟品种(东单 60, A3),密度设 6 个水平,分别为 B1:37 500 株/hm²;B2:45 000 株/hm²;B3:52 500 株/hm²;B4:60 000 株/hm²;B5:67 500 株/hm²;B6:75 000 株/hm²。A1 品种 6 个密度从 B1—B6 处理号依次为 T1—T6, A2 品种依次为 T7—T12, A3 品种依次为 T13—T18,采用两因素裂区设计,主区为品种,副区为密度,共 18 个处理,每个处理 3 条集雨沟,每条集雨沟在膜侧种植两行玉米,即每处理 6 行区,株距依设计密度而定,3 次重复,每个小区面积 36 m²(3.6 m×10 m)。2009 年秋季进行深翻耕,2011 年 5 月 5 日播种,播前浇足底墒水,种肥施有三元复合肥 450 kg/hm²(N 15%, P₂O₅ 15%, K₂O 15%),拔节初期追施尿素 375 kg/hm²。微集雨宽窄行种植,其它管理方式与传统方式相同,具体种植方式见图 1。

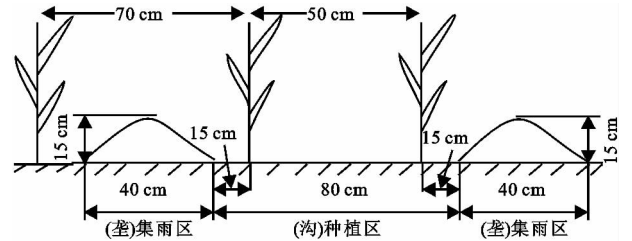


图 1 玉米田间垄膜沟种示意图

1.3 试验测定项目和方法

株高、茎粗:在玉米灌浆期,每处理组合选 30 个样株进行测量;棒三叶叶面积:在玉米灌浆期,每处理组合选 30 个样株进行测量。采用长宽系数法(叶面积=长×宽×0.75)测量;群体叶面积指数(LAI):LAI=单株叶面积×单位土地面积内株数/单位土地面积,每处理组合选样 10 株在灌浆期进行测量;经济性状及产量调查:在玉米籽粒成熟期,随机取 30 穗进行室内考种,测穗长、穗粗、穗粒数和千粒重等产量构成因素,同时取中间沟(中间两行)测产,产量按含水

量 18% 计产;降雨量:试验区设有虹吸式自计雨量计观测降雨量;土壤含水量:采用烘干法测定,设 3 个取样点,分别在垄中、膜侧和沟中于播前和收获后测 1 m 深土壤水分;土壤贮水量、水分利用效率:

$$W=h \times p \times b \% \times 10$$

式中: W ——土壤贮水量 (mm); h ——土层深度 (cm); p ——土壤容重 (g/cm^3); $b\%$ ——土壤水分重量百分数。

$$ET=P+\Delta W$$

$$WUE=Y/ET$$

式中: ET ——作物耗水量 (mm); WUE ——水分利用效率 [$\text{kg}/(\text{mm} \cdot \text{hm}^2)$]; P ——作物生育期间降雨量 (mm); Y ——按沟垄总面积计算的玉米籽实产量 (kg/hm^2); ΔW ——作物播前和收获后测定的 1 m 土层土壤贮水量的变化 (mm)。玉米生育期间未灌溉,且试验区地势平坦,同时地下水埋藏很深,因此地表径流和地下水补给量可忽略不计。

1.4 试验数据处理

采用 DPS 8.5 软件进行方差分析和多重比较 (LSD), Microsoft Excel 2003 进行数据处理及制图。

2 结果与分析

2.1 降雨特征分析

由图 2 可知,2011 年玉米生育期间 5、8 和 9 月的降雨量低于多年平均月降雨量,6 月和 7 月的降雨量多于多年平均月降雨量。2011 年玉米生育期间总计降雨量为 359 mm,同期近 20 a 平均降雨量为 382 mm,同期近 10 a 平均降雨量为 366 mm,总体来说,2011 年属于降雨正常年份。

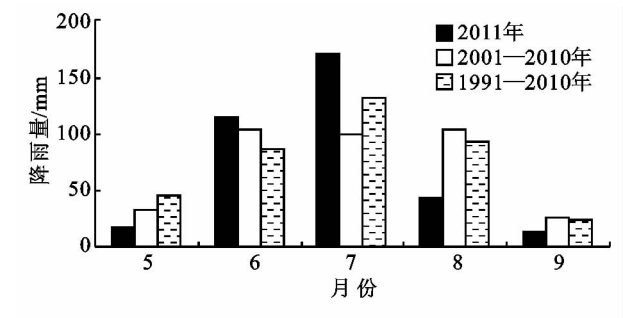


图 2 玉米生育期月降雨量和多年月平均降雨量

玉米生育期间总计降雨 29 次。从图 3 中可以看出,本年度玉米生育期间降雨分布比较均匀,6 月和 7 月降雨相对集中,降雨量较多。最大次降雨量出现在 7 月 29 日,降雨量达 32.5 mm。7 月份降雨最多,为 170.5 mm,占降雨总量的 47.42%。8 月份总计有 5 次降雨,降雨量为 43.5 mm,占总降雨量的 12.13%。

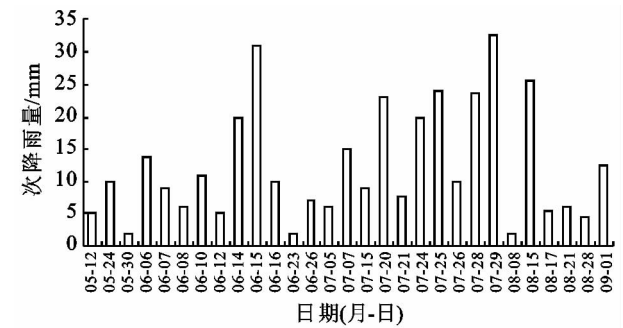


图 3 2011 年玉米生育期间降雨分布

2.2 不同处理组合对玉米生物学性状的影响

2.2.1 不同处理对玉米株高和茎粗的影响 从图 4 可知,各处理玉米株高总体上先随密度的增加而增高,而后随密度的增加而降低。基本上在 52 500~60 000 株/ hm^2 之间株高达到最高。其中品种 A1 各处理玉米株高以 T3(313.91 cm)最高,T5(288.54 cm)最低,两者相差 25.37 cm;品种 A2 各处理玉米株高以 T10(309.87 cm)最高,T11(300.21 cm)最低,两者相差 9.66 cm;品种 A3 各处理株高以 T17(343.50 cm)最高,T16(332.02 cm)最低,两者相差 11.48 cm。

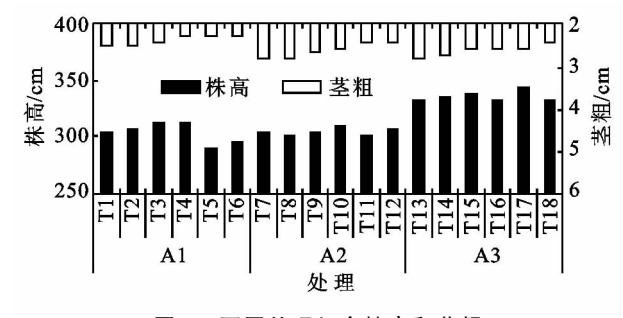


图 4 不同处理组合株高和茎粗

不同品种不同密度各处理组合玉米茎粗的变化趋势同样表现为随密度的增加,茎粗随之减小。品种 A1 以 T1 茎粗(2.553 3 cm)最粗,T6 茎粗(2.309 6 cm)最细,二者相差 0.243 7 cm;品种 A2 以 T8 茎粗(2.827 0 cm)最粗,T12 茎粗(2.447 8 cm)最细,二者相差 0.379 2 cm;品种 A3 以 T13 茎粗(2.848 6 cm)最粗,T18 茎粗(2.435 7 cm)最细,二者相差 0.412 9 cm。

对株高和茎粗进行方差分析可知,株高在品种或密度的单一作用下及在二者交互作用下的差异均不显著。茎粗在品种×密度交互作用下的差异不显著,但在品种或密度的单一作用下的差异均显著或极显著。

2.2.2 不同处理对玉米棒三叶平均叶面积和 LAI 的影响 图 5 表明,不同品种随着密度的增大,棒三叶平均叶面积呈逐渐下降的趋势。其中品种 A1 以 T1 平均棒三叶叶面积(916.07 cm^2)最大,T5(860.87 cm^2)最小,二者相差 55.20 cm^2 ;品种 A2 以 T8 平均棒三叶叶面积(786.50 cm^2)最大,T12(724.20 cm^2)最小,二者相差 62.30 cm^2 ;品种 A3 以 T13 平均棒三

叶叶面积(877.30 cm²)最大,T18(760.57 cm²)最小,二者相差 116.73 cm²。群体叶面积指数(LAI)总体随着密度的增加而升高,3 个品种都以 75 000 株/hm² 叶面积指数最高。可见,种植密度对玉米棒三叶面积有较大的影响。随着密度增加,玉米单株叶面积下降,导致单株干物质积累速率降低,但群体密度的增加有效弥补了单株干物质的减少量,从而群体干物质积累较多,产量也相应提高。

经方差分析可知,棒三叶平均叶面积在品种×密度交互作用下的差异不显著,但在品种或密度的单一作用下的差异均极显著。LAI 在品种或密度的单一

作用下及二者交互作用下均差异显著或极显著。为进一步比较不同品种、不同密度下玉米生物学性状差异显著性,进行多重比较,详见表 2。

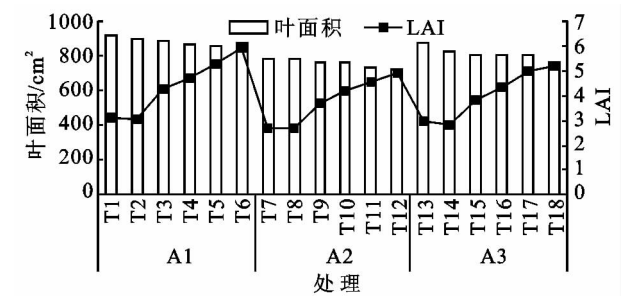


图 5 不同处理组合棒三叶平均叶面积和 LAI

表 2 品种和密度因素间株高、茎粗、棒三叶平均叶面积和 LAI 的多重比较

品种	株高/cm	茎粗/cm	叶面积/cm ²	LAI	密度	株高/cm	茎粗/cm	叶面积/cm ²	LAI
A1	302.99bA	2.4055bA	883.52aA	4.41aA	B1	312.63aA	2.7313aA	859.13aA	2.95eE
					B2	314.92aA	2.6796aA	836.04abAB	2.87eE
A2	304.02bA	2.6308aA	761.4cB	3.79bB	B3	318.87aA	2.5712bB	821.39bcB	3.93dD
					B4	318.33aA	2.5011bcBC	811.52bcdBC	4.44cC
A3	336.27aA	2.6304aA	813.78bAB	4.04bAB	B5	310.75aA	2.4524cdC	803.59cdBC	4.94bB
					B6	311.07aA	2.3977dC	785.82 dC	5.36aA

注:表中小写字母表示 5%水平显著,大写字母表示 1%水平显著,下表同。

从表 2 可以看出,品种间株高以 A3 最高,其次为 A2,品种 A1 株高最低,即晚熟品种株高最高,中熟品种株高最低。晚熟品种东单 60 与辽单 33 和沈禾 201 株高差异显著,辽单 33 和沈禾 201 株高差异不显著,这是由品种本身的特性决定的。不同品种间茎粗以 A1 最细,品种 A2 和 A3 之间茎粗差异不显著,但二者与 A1 差异显著。三个品种间棒三叶平均叶面积差异都达到了显著水平,以品种 A1 棒三叶叶面积最大,品种 A2 棒三叶叶面积最小。LAI 以品种 A1 最大,A2 最小,A3 居中,A1 和 A2 叶面积指数差异达极显著水平。

密度因素间株高随密度增加先增加后降低,但各密度水平间株高差异不显著。随着密度的加大,茎粗逐渐减小,差异显著增加。较低密度 B1 和 B2 的茎粗与中密度 B3 和 B4 及较高密度 B5 和 B6 的茎粗差异达极显著水平。可见,密度的增加对玉米茎粗的影响要大于其对株高的影响。随着密度的增加,玉米棒三叶平均叶面积也呈现出逐渐降低的趋势。B1—B3 的棒三叶平均叶面积与最高密度 B6 的叶面积差异达到了极显著水平。可见,玉米种植密度对其功能叶叶面积有较大的影响,进而影响到产量。随着密度的增加,茎粗和棒三叶叶面积都呈现出下降的趋势,这是由于种植密度的增加使个体的通风受光条件、营养状况都发生了改变,造成个体之间竞争加剧,特别是植株生育后期易郁蔽^[12],造成高密度种植个体生长变

差。随着密度的增加,LAI 呈增加的趋势。其中 B2 叶面积指数最低,B6 最高。B1 和 B2 叶面积指数差异不明显,但二者与 B3,B4,B5 和 B6 均差异极显著,且 B3—B6 相互间 LAI 差异极显著。LAI 是决定群体吸收光能效率的重要因素,又是光合性能中对产量形成影响最大、最为活跃而又最容易变动和控制的因子^[13-14]。其值与光截获量、消光系数等指标密切相关,LAI 较高时,群体可以截获较多的光能,从而有效地提高光能利用率,为实现高产奠定基础。但当 LAI 过高时,会造成上部叶片遮荫下部叶片,使下部叶片由于光照不足而导致叶片早衰,影响高产目标的实现^[15]。

2.3 不同处理组合对玉米产量的影响

从表 3 可以看出,不同玉米品种间各经济性状除千粒重和行粒数外,都以 A3 最大,其中千粒重以 A1 最大,行粒数以 A2 最大,这些都与品种本身特性有关。但不同密度水平间玉米各经济性状随着种植密度的增加,穗长、穗粗、行粒数、穗粒数和千粒重基本呈现出下降的趋势,且差异显著性增加,穗行数无明显变化规律,且各密度水平下差异不明显。但产量总体上并没有随密度的增加而减少,反而随着密度的增加而增加,这是由于随着密度的增加,群体有效穗数增多,通过影响穗粒数来影响产量。其中 B1 产量最低,B5 产量最高,二者差异达极显著水平,且 B5 与 B2 和 B3 产量差异也达极显著水平。

表 3 品种和密度两因素玉米经济性状、产量和水分利用效率多重比较

性状	A1	A2	A3	B1	B2	B3	B4	B5	B6
穗长/cm	18.50bB	18.78bB	19.89aA	20.51aA	20.09abAB	19.40bBC	18.60cCD	18.16cdD	17.61dD
穗粗/cm	5.2742bB	5.0775cC	5.7458aA	5.4759aA	5.4556aAB	5.3935abABC	5.3368bcBCD	5.2794cCD	5.2538cD
穗行数/行	15.81bB	15.93bB	19.08aA	17.07aA	17.11aA	17.07aA	16.73aA	16.91aA	16.76aA
行粒数/粒	36.17bB	40.62aA	39.88aAB	42.23aA	40.72abAB	39.43bBC	37.47cCD	37.23cCD	36.24cD
穗粒数/粒	570.94cC	646.83bB	761.69aA	725.66aA	699.74abA	674.14bAB	626.14cBC	627.27cBC	605.98cC
千粒重/g	413.76aA	389.92bB	338.44cC	389.62aA	383.58aA	372.04bB	370.52bCB	362.35cB	346.91dC
产量/(kg·hm ⁻²)	12464.23bA	13781.89aA	12591.29abA	10351.17dD	11784.87cC	12950.47bBC	13719.86abAB	14530.26aA	14339.17aA
水分利用效率/(kg·mm ⁻¹ ·hm ⁻²)	27.40aA	28.73aA	25.33aA	21.69dC	25.16cBC	27.15bcAB	28.61abAB	29.77abA	30.55aA

不同品种间产量表现为中晚熟品种 A2>晚熟品种 A3>中熟品种 A1,以中晚熟品种沈禾 201 产量最高,其产量比晚熟品种东单 60 增加 9.46%,比中熟品种辽单 33 增加 10.57%,且产量差异与辽单 33 达显著水平,中熟品种辽单 33 和晚熟品种东单 60 产量差异不显著,这与史振声等^[16]的研究结果基本吻合。各品种间水分利用效率以中晚熟品种沈禾 201 为最高,晚熟品种东单 60 最低。玉米各密度水平下的水分利用效率随密度的增加而增加,其中 B1 最低,B6 最高,二者差异达极显著水平。

从表 4 可以看出,品种 A1 各密度水平以 B6 产量最高,其次是 B5 和 B4,B6 和 B5 间产量差异不显著,但二者与 B4 产量差异显著,较低密度 B1、B2 和 B3 间产量差异极显著。品种 A2 各密度水平以 B6 产量最高,其次是 B5 和 B4,三者之间产量差异不显著,较低密度 B1、B2 和 B3 间产量差异极显著。品种 A3 各密度水平以 B3 产量最高,其次是 B5 和 B4,最高密度 B6 产量仅大于 B1。B3 与 B1 相比产量差异显著,除 B3 外,其余各密度水平间产量差异不显著。

表 4 玉米不同处理组合产量比较

品种	密度	产量/ (kg·hm ⁻²)	水分利用效率/ (kg·mm ⁻¹ ·hm ⁻²)
A1	B1	9468.73dD	20.45eD
	B2	11178.59cC	23.45dCD
	B3	12441.22bB	27.02cBC
	B4	13012.50bAB	28.61bcAB
	B5	14342.17aA	31.11abA
	B6	14344.17aA	33.75aA
A2	B1	9782.89dD	20.86cD
	B2	11732.86cC	26.11bC
	B3	13152.57bB	27.62bBC
	B4	15289.64aA	32.23aAB
	B5	16242.12aA	32.43aAB
	B6	16491.24aA	33.14aA
A3	B1	11802.90bA	23.76aA
	B2	12443.22abA	25.92aA
	B3	13256.63aA	26.82aA
	B4	12856.43abA	24.98aA
	B5	13005.50abA	25.77aA
	B6	12182.09abA	24.75aA

3 个品种水分利用效率的变化趋势与产量变化趋势基本一致。当种植密度介于 45 000~67 500 株/hm² 时,沈禾 201 水分利用效率最高。当种植密度为 37 500 株/hm² 时,晚熟品种东单 60 水分利用效率最高。当种植密度为 75 000 株/hm² 时,中熟品种辽单 33 水分利用效率最高。

从图 6 可以看出,辽单 33 和沈禾 201 的产量随密度的变化趋势一致,均随种植密度的增加而增加。辽单 33 和沈禾 201 都在 75 000 株/hm² 处产量达到一个相对大值。晚熟品种东单 60 的产量随密度的增加先增加后降低。在 37 500~52 500 株/hm² 种植密度间,产量随种植密度的增加而增加,在 52 500 株/hm² 处产量达到相对大值,而后随密度的增加产量降低。

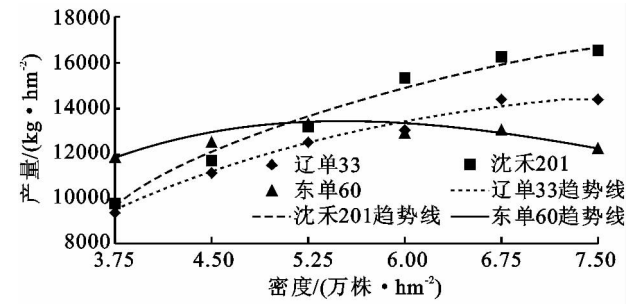


图 6 不同品种产量和种植密度的散点图及趋势线

综合分析表 4 和图 6 可以看出,各品种在 6 个密度水平下的产量:中熟品种和中晚熟品种相对适宜密度为 60 000~75 000 株/hm² 之间,而晚熟品种东单 60 在微集雨种植条件下相对适宜密度较宽。晚熟品种东单 60 推荐种植密度为 42 000~45 000 株/hm²,即该品种比较适宜稀植,但在垄膜沟种微集雨种植条件下,较高密度下的产量与较低密度下的产量差异并不明显,这可能是由于垄膜沟种微集雨种植有效改善了种植区土壤水、温和养分状况,即使种植密度增加,但由于生长环境条件得到改善,可以满足高密度条件下玉米个体对营养的需求,即微集雨种植条件下,玉米可以适当增加种植密度。

3 个供试玉米品种中,东单 60 和沈禾 201 都是辽宁省比较有代表性的晚熟品种和中晚熟品种,6 个密度水平试验结果表明,在较低密度下(密度≤52 500

株/hm²),晚熟品种东单 60 的产量大于中晚熟品种沈禾 201 和中熟品种辽单 33。当密度>52 500 株/hm²,晚熟品种东单 60 的产量在各密度水平下都低于沈禾 201 和辽单 33,即与中晚熟品种沈禾 201 和中熟品种辽单 33 相比,晚熟品种东单 60 更适宜稀植,而中晚熟品种沈禾 201 在垄膜沟种微集雨种植条件下与其他两个品种相比具有更大的增产潜力。对 3 个品种产量 y (kg/hm²)与密度 x (万株/hm²)进行回归拟合,可得以下 3 个二次曲线回归方程:

辽单 33: $y_1 = -262.66x_1^2 + 4267x_1 - 2795.60$

($F=116.25$ $P=0.0014$ $R^2=0.9873$)

沈禾 201: $y_2 = -329.30x_2^2 + 5579.20x_2 - 6642$

($F=140.42$ $P=0.0011$ $R^2=0.9894$)

东单 60: $y_3 = -316.61x_3^2 + 3683.10x_3 + 2411$

($F=11.99$ $P=0.0371$ $R^2=0.8888$)

对上述 3 个回归方程分别求一阶导数,并令其等于零,可得 3 个品种最高产量下的种植密度。

辽单 33: $x_1 = 81227$ 株/hm²

沈禾 201: $x_2 = 84714$ 株/hm²

东单 60: $x_3 = 58165$ 株/hm²

即 3 个品种垄膜沟种微集雨种植条件下最高产量下的种植密度分别为 81 227 株/hm²、84 714 株/hm²和 58 165 株/hm²,中熟品种辽单 33 和中晚熟品种沈禾 201 的推荐种植密度分别为 48 000~52 500 株/hm²和 52 500~60 000 株/hm²之间,则二者最高产量的种植密度分别较推荐种植密度增加 54.72%~69.22%和 41.19%~61.36%;晚熟品种东单 60 推荐种植密度为 42 000~45 000 株/hm²,采用微集雨种植措施下其最高产量的种植密度比推荐密度增加了 29.26%~38.49%。微集雨种植下 3 个品种最高产量下的种植密度都远远高于该品种的推荐种植密度,这是由于垄膜沟种微集雨种植,能有效地起到汇集天然降雨的作用,使降雨集中在沟内种植区,使有限的降雨集中作用,有效的满足玉米对水分的需求。同时,垄上覆盖地膜可有效抑制无效蒸发,在低温季节可提高土壤温度,进而促进玉米生长。即垄膜沟种微集雨种植条件下,为充分发挥该技术的增产潜力,玉米的种植密度要相应增加。

3 结论与讨论

不同品种,不同种植密度对玉米株高、茎粗、棒三叶叶面积及 LAI 都有一定的影响。各品种间株高以晚熟品种东单 60 最高,中熟品种辽单 33 最低,二者株高差异达显著水平。茎粗以辽单 33 最细,其值与沈禾 201 和东单 60 茎粗差异达显著水平,沈禾 201 和东

单 60 间茎粗差异不明显。3 个品种间棒三叶叶面积差异显著,以辽单 33 最大,沈禾 201 最小。LAI 以辽单 33 最大,沈禾 201 最小,二者差异达极显著水平。

不同种植密度下,株高差异不明显。但茎粗、棒三叶叶面积和 LAI 差异显著,基本随密度的增加,茎粗和棒三叶叶面积逐渐降低,LAI 逐渐增加。较低密度 B1 和 B2 的茎粗与较高密度 B5 和 B6 的茎粗差异达极显著水平。B1 和 B2 的棒三叶叶面积与最高密度 B6 的叶面积差异达到了极显著水平。较低密度 B1 和 B2 叶面积指数差异不明显,但二者与 B3、B4、B5 和 B6 差异均极显著。群体的 LAI 反映了叶片的漏光程度及光能的利用情况。随着密度的增加,LAI 逐渐增加,可截获更多的光能,形成更多的干物质,这也是产量随密度增加而增加的主要因素。但过高的 LAI 将会阻碍产量的进一步提高,这一点在东单 60 的产量变化上非常明显。

同一品种不同种植密度对玉米经济性状的影响明显,穗长、穗粗、行粒数、穗粒数、千粒重等性状总体呈现出随着种植密度的增加而逐渐下降的趋势。垄膜沟种微集雨种植条件下,不同品种间以中晚熟品种沈禾 201 产量最高,中熟品种辽单 33 产量最低,二者差异达显著水平。水分利用效率以沈禾 201 最高,东单 60 最低,二者差异不显著。不同密度水平间,产量和水分利用效率总体随着密度的增加呈增长的趋势。其中 B1 产量和水分利用效率最低,B5 产量最高,B6 水分利用效率最高。

中熟品种辽单 33 和中晚熟品种沈禾 201 的推荐种植密度分别为 48 000~52 500 株/hm²和 52 500~60 000 株/hm²之间,微集雨种植下二者最高产量的种植密度分别较推荐种植密度增加 54.72%~69.22%和 41.19%~61.36%;晚熟品种东单 60 推荐种植密度为 42 000~45 000 株/hm²之间,采用微集雨种植其最高产量的种植密度比推荐密度增加 29.26%~38.49%。辽单 33 和沈禾 201 都属于紧凑型品种,适宜密植,因此在微集雨种植条件下,其高产密度远远高于其推荐密度。东单 60 属于非紧凑型品种,不适宜密植。因此在微集雨种植条件下,其高产密度虽高于其推荐密度,但高出幅度远低于紧凑型品种。

已有大量研究认为宽窄行种植可以克服密植带来的植株间互相遮光不透气的不良状况,减轻倒伏,从而获得增产^[17]。在 70 cm 和 50 cm 行距下,玉米生育后期叶片具有较高的叶绿素含量,延缓了叶片的衰老,延长了叶片功能期,叶片光合速率高于其它处理,表现出明显的增产优势^[12]。同时由于水、温及营养条件的改善,满足了高密种植条件下玉米个体对营养的

需求。因此,垄膜沟种微集雨种植条件下,玉米的适宜种植密度要适当高于该品种的推荐密度,通过本文的研究初步认为高出幅度应在30%以上。同时微集雨种植条件下,3个供试品种以中晚熟品种沈禾201产量最高,其高产水平下的种植密度也最高。因此,在朝阳地区,要想充分发挥垄膜沟种微集雨种植技术的增产潜力,建议选用中晚熟株型紧凑品种进行合理密植。

该试验密度因素共设6个水平,水平上限设置为75 000株/hm²,通过回归分析得出沈禾201和辽单33最适种植密度均大于设计上限。因此,如果密度水平上限设置为90 000株/hm²,结果可能会更有说服力。本年度玉米生育期间降雨相对较多,属于平水年,在丰水年或枯水年各密度水平下产量表现如何有待进一步研究。另外,不同处理组合玉米各项生理指标的测定及不同密度水平间的土壤水分变化状况,也有待进一步研究。

参考文献:

- [1] 佟屏亚,程延年.玉米高产是一个永恒的课题[J].作物杂志,2004,20(1):10-12.
- [2] 黄开健.秋玉米高产栽培技术的最佳密度和施肥量研究[J].玉米科学,2001,9(1):57-59.
- [3] 金柏年,韩晓日,刘小虎,等.玉米优化配方施肥模型研究[J].杂粮作物,2005(2):107-108.
- [4] 李万星,刘永忠,曹晋军,等.肥料与密度对玉米农艺性状和产量的影响[J].中国农学通报,2011,27(15):194-198.
- [5] 吕淑果.玉米饲用栽培的物质生产特性及营养品质研究[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2003:28-32.
- [6] 刘武仁,郑金字,冯艳春,等.玉米品种不同密度下的质量

效应[J].玉米科学,2005,13(2):99-101.

- [7] 张永科.玉米密植和营养改良之研究[J].玉米科学,2005,3(2):87-90.
- [8] 王俊鹏,蒋骏,韩清芳,等.宁南半干旱地区春小麦农田微集水种植技术研究[J].干旱地区农业研究,1999,17(2):8-13.
- [9] 朱国庆,史学贵,李巧珍.定西半干旱地区春小麦农田微集水种植技术研究[J].中国农业气象,2001,22(3):7-9.
- [10] Ren X L, Jia Z K, Chen X L. Rainfall concentration for increasing corn production under semiarid climate[J]. Agriculture Water Management, 2008, 95 (12): 1293-1302.
- [11] Li F M, Song Q H, Jjemba P K, et al. Dynamics of soil microbial biomass C and soil fertility in cropland mulched with plastic film in a semiarid agro-ecosystem[J]. Soil Biology & Biochemistry, 2004, 36 (11): 1893-1902.
- [12] 高亚男,曹庆军,韩海飞,等.不同行距对春玉米产量和光合速率的影响[J].玉米科学,2010,18(2):73-76.
- [13] 齐华,梁熠,赵明,等.栽培方式对玉米群体结构的调控效应[J].华北农学报,2010,25(3):134-139.
- [14] 孙锐,彭畅,丛艳霞,等.不同密度春玉米叶面积系数动态特征及其对产量的影响[J].玉米科学,2008,16(4):61-65.
- [15] 李凤海,周芳,王志斌.不同玉米品种最佳密度研究[J].种子,2007,26(2):77-80.
- [16] 史振声,张世煌,李凤海,等.辽宁中熟、中晚熟与晚熟玉米品种的产量性能比较与分析[J].玉米科学,2008,16(6):6-10.
- [17] 张永科,孙茂,张雪君,等.玉米密植和营养改良之研究:Ⅱ.行距对玉米产量和营养的效应[J].玉米科学,2006,14(2):108-111.

(上接第133页)

- [9] 金磊,张伟,菅晓蕾.水热条件与特定区域天然牧草生物量的关系[J].内蒙古农业科技,2008(3):71-72.
- [10] 宋炳煜.草原群落蒸发蒸腾的研究[J].气候与环境研究,1997,2(3):222-235.
- [11] 何秀珍,宋乃平,刘孝勇,等.荒漠草原区不同类型草地土壤水分特征研究[J].干旱区资源与环境,2012,26(4):117-122.
- [12] 张扬,赵世伟,侯庆春,等.草地植被恢复对次降雨土壤

水分动态的影响分析[J].水土保持研究,2009,16(3):70-73.

- [13] 黄德青,张耀生,赵新全,等.祁连山北坡主要草地类型的土壤水分动态研究[J].草业科学,2005,22(8):6-11.
- [14] 刘艳萍,荣浩,邢恩德,等.不同措施对退化草地土壤和植被的影响[J].水土保持研究,2007,14(6):345-347.
- [15] 侯琼,沈建国,乌兰巴特尔.典型草原区土壤水分变化特征及影响因素分析[J].自然资源学报,2005,20(6):836-842.