



种植密度对甜高粱冠层结构光合特性和产量形成的影响

邓志兰,王振国,崔凤娟,李 岩,李 默,徐庆全,于春国

(通辽市农业科学研究院,内蒙古 通辽 028015)

摘要:为筛选出适宜通辽地区甜高粱的种植密度,对内蒙古首个甜高粱品种通甜1号在5个不同种植密度下对叶面积指数、单株干物质积累、冠层结构性状、冠层叶片叶绿素含量、光合速率冠层结构光合特性和产量的影响进行了研究。结果表明:同一生育期内,群体叶面积随着密度的增加而增加,抽穗期以后高密度处理下的叶面积指数下降迅速,低密度处理下的叶面积指数下降较为缓慢。整个生育期内以密度为 $9.0 \text{ 万株} \cdot \text{hm}^{-2}$,干物质的积累量最大,各器官的同化物分配量最高,有利于生物产量的积累。高密度冠层顶部叶倾角小,叶向值大,叶片相对挺直。

关键词:密度;甜高粱;冠层结构;光合特性;产量形成

冠层结构是影响作物群体截获和光合效率的重要因素,对其太阳总辐射和净光合效率都有显著影响。只有在群体条件下甜高粱才能获得其生物产量,因此群体冠层结构的构建便于甜高粱对光能的吸收,更好地交换气体,有利于甜高粱生物产量的积累。改善作物群体冠层结构的通风透光能力主要在于提高物质生产能力和光合效率,在以往的生产实践中,提高冠层结构主要通过调整叶片的角度和株型的形状,来获取有效光的截获,从而提高群体的生产力。

各研究表明,选用合理密植的高产品种是高粱高产栽培的发展趋势,不同密度条件下,玉米、大豆等作物对改善作物群体冠层结构而进行的相关研究较多,但对甜高粱的群体冠层结构研究甚少。本文旨在研究不同密度条件下甜高粱冠层特性及其对生物产量的影响,明确甜高粱群体的冠层结构特点,为甜高粱高产栽培提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

选用甜高粱杂交新品种通甜1号,由通辽市农业科学研究院高粱研究所提供。

1.2 方法

1.2.1 试验设计 试验于2014和2015年在内蒙古通辽市农业科学研究院试验区进行,5月2日播种,9月27日收获,土壤肥力中上等。试验材料为甜高粱杂交种通甜1号,由通辽市农业科学研究院

作物所提供。试验设5个密度处理,分别为D1: $4.5 \text{ 万株} \cdot \text{hm}^{-2}$; D2: $7.5 \text{ 万株} \cdot \text{hm}^{-2}$; D3: $9.0 \text{ 万株} \cdot \text{hm}^{-2}$; D4: $10.5 \text{ 万株} \cdot \text{hm}^{-2}$; D5: $12.0 \text{ 万株} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。小区面积 18 m^2 ($3.6 \text{ m} \times 5.0 \text{ m}$),3次重复,共15个小区,随机排列。整个生育期病虫害防治同大田管理一致。

1.2.2 测定项目及方法 叶面积指数(LAI)苗期开始,在各处理的测产区内选取有代表性植株10株,标记样株,分别于苗期、拔节期、挑旗期、抽穗期和成熟期进行测定。测定方法采用长宽系数法,量取高粱叶片中心最长主脉的长度和主脉相垂直的最大距离,即实际叶面积 = 长 \times 宽 $\times 0.75$ (校正系数)。叶面积指数(LAI) = 单株叶面积 \times 株数 / 小区面积。

单株干物质积累:于拔节期、挑旗期、开花期、成熟期每处理取代表性植株10株,按根、茎、叶、穗等器官分样,鲜样 105°C 杀青 30 min, 80°C 烘干、称重。

冠层结构性状:于挑旗期和灌浆初期,每处理选择有代表性植株5株,测定各叶位叶片的叶长、叶宽,参照张宪政^[2]的方法用量角器进行叶倾角的测量,并计算叶向值(LOV)。

$$\text{LOV} = \sum \theta(L_f/L)/n$$

式中, θ 为叶倾角, L_f 为叶基部到叶片最高处的长度, L 为叶片全长, n 为叶片数。

挑旗期测定上数第1、2、3、6和第9片叶的叶倾角;灌浆初期测定上数第2、3和第5片叶的叶倾角。

冠层叶片叶绿素含量:于苗期、拔节期、挑旗期、抽穗期、成熟期,用光合速率测定仪测冠层叶片的叶绿素相对含量(SPAD值),每个处理选取

收稿日期:2018-10-13

第一作者简介:邓志兰(1978-),女,农业推广硕士,副研究员,从事高粱育种栽培研究。E-mail:lt6391@163.com。

通讯作者:徐庆全(1982-),男,学士,副研究员,从事高粱育种栽培研究。E-mail:xuqingquan2008@126.com。

5 株,取叶片上、中、下 3 个点进行读数,取各点的平均值。

光合速率(P_n):于开花期,用便携式 LI-6400 光合系统测定仪在晴天上午 9:00-11:00 对冠层叶片上、中、下部的 光合速率($P_n, \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)进行测定,每片叶重复读数 3 次,每小区重复 3 次。

产量:成熟期,对每处理全区进行测产,植株分成茎秆和叶片(含叶鞘)两部分称鲜重,甜高粱种子晒干后称重即为籽粒产量。

1.2.3 数据分析 试验数据为 2014 和 2015 年的平均值,用 Excel 2007 处理数据和绘制图表,用 DPS 13.8 进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 种植密度对甜高粱叶面积指数的影响

由图 1 可知,在甜高粱的整个生育期,不同生育期各处理叶面积指数均呈抛物线变化,且在挑旗期达最大值。在不同密度下,同一生育期叶面积指数随着密度的增加呈增加趋势,即 $D5 > D4 > D1 > D2 > D3$,从苗期到拔节期,各处理间相差不大,其他生育期间差异较为明显,拔节期到挑旗期,叶面积指数迅速上升,增长幅度随着密度的增加而增大,挑旗期, $D5$ 比 $D1$ 、 $D2$ 、 $D3$ 和 $D4$ 分别高出 20.19%,24.43%,31.68%,8.64%。挑旗期后叶面积指数开始下降,高密度处理下的叶面积指数下降较为迅速,低密度处理下的叶面积指数下降较为缓慢,从抽穗期到成熟期叶面积指数变化不大。成熟期,叶面积指数减少,因底部叶片枯萎、脱落造成。

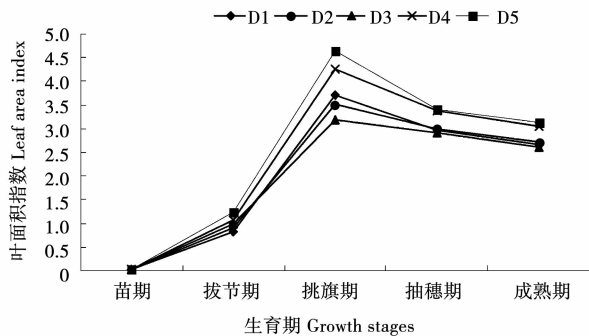


图 1 不同生育时期各处理叶面积指数的变化
Fig.1 The change of LAI in different growth stages under different treatments

2.2 种植密度对甜高粱干物质积累和分配的影响

2.2.1 干物质积累 甜高粱生育期内单株干物

质积累属于 Logistic 函数^[3],自变量为出苗后的天数(t),因变量为干物质重(Y),甜高粱在不同密度下,用 Logistic 函数 $Y=K(1+ae^{-bt})$ (式中 K 、 a 、 b 为参数, K 为生长终值量)对单株干物质积累过程进行模拟。从表 1 可以看出,甜高粱干物质积累过程通过 Logistic 函数很好地进行拟合,相关系数在 0.9387~0.9960,实际观测值与函数模拟拟合较好,相关系数均达到极显著正相关。

表 1 不同处理下单株干物质积累的模拟方程
Table 1 Simulation equation of single plant's dry matter accumulation under different treatments

处理 Treatments	模拟方程 Simulation equation	相关系数 Correlation coefficient
D1	$Y=986.4532/[1+\text{EXP}(4.0246-0.047690X_1)]$	0.9937 **
D2	$Y=1285.5436/[1+\text{EXP}(4.3179-0.041360X_1)]$	0.9866 **
D3	$Y=820.4718/[1+\text{EXP}(5.3763-0.073806X_1)]$	0.9870 **
D4	$Y=817.6486/[1+\text{EXP}(5.1542-0.063385X_1)]$	0.9387 **
D5	$Y=1036.4278/[1+\text{EXP}(5.3142-0.061542X_1)]$	0.9960 **

* * 代表极显著相关。
* * indicate very significant correlation.

全生育期内,不同种植密度下甜高粱单株干物质积累呈慢—快—慢“S”型曲线变化,由图 2 可知,拔节期前单株干物质积累较慢,此期出苗到出苗后 35 d 左右主要是叶和叶鞘增加和积累。拔节期以后随着叶面积的增加和叶片光合作用的加强,干物质积累量迅速增加,125 d 单株的干物质积累量仍增加,此时增长幅度不大,到了成熟期,由于叶片衰落及其光合功能的下降,此期穗和茎、叶生长并进时间较长,干物质增长较慢。整个生育期内以密度为 9.0 万株· hm^{-2} ,单株干物质的积累量最大。

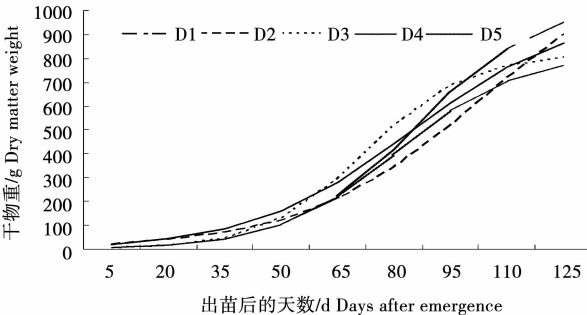
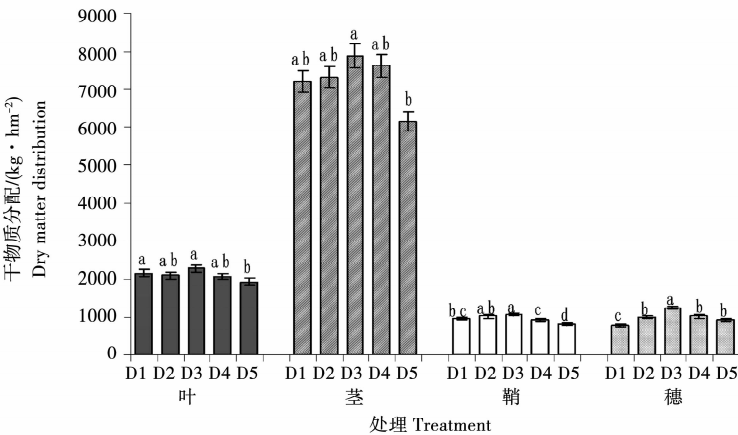


图 2 不同处理下单株干物质积累的变化
Fig.2 Chang of single plant dry matter accumulation under different treatments

2.2.2 对干物质在各器官中分配量的影响 各处理干物质在叶片+鞘中的分配量均表现为D3>D2>D1>D4>D5,D3的干物质在叶片+鞘中的分配量高于其他处理,D1和D2间无显著差异,且高于D4和D5处理,D5处理最低;干物质在茎秆中的分配量表现为D3>D4>D2>D1>D5,D3的干物质在茎秆中的分配量高于其他处

理,D4和D2间无显著差异,高于D1和D5处理,D5处理最低;穗中D3的干物质在穗中的分配量高于其他处理,D1处理最低,分配量表现为D3>D4>D2>D5>D1(图3)。各器官的分配量均表现为茎>叶>鞘>穗,以处理D3各器官同化物的分配量提高,有利于生物产量的积累。



误差线上不同字母表处理间差异显著(LSD, $P<0.05$)。
Different letters above error bars indicate significant difference among treatments by LSD test($P<0.05$)。

图3 不同处理成熟期干物质在各器官中的分配量
Fig 3 Dry matter allocation amounts in different organs at maturity with different treatments

2.3 种植密度对甜高粱叶倾角和叶向值的影响 由表2可知,挑旗期同一处理不同叶位的空间分布存在着差异,随着叶位的下降,叶片的叶倾角的特点是上、下部叶位的叶倾角较大,而中部叶位叶倾角较小,以上数叶位第6片叶的叶倾角最小,这样的植株上部叶片受光强度较强,而下部叶片受光强度较弱。叶向值呈变大的趋势。相同叶

位不同处理的空间分布也存在着差异,上数第1位叶处理D2叶倾角极显著高于其他处理,第2位叶倾角处理D3高于其他处理,第3、6位叶倾角处理D1极显著高于除D2外的其他处理,第9位叶倾角处理D4高于其他处理,并与D1达到极显著水平。各叶位的叶向值整体表现为D5>D4>D3>D2>D1。

表2 挑旗期不同种植密度下不同叶位叶倾角和叶向值

Table 2 Leaf angle and leaf orientation value different leaf position pick up period										
处理 Treatments	上数第1叶叶位 1 st Leaf position		上数第2叶叶位 2 nd Leaf position		上数第3叶叶位 3 rd Leaf position		上数第6叶叶位 6 th Leaf position		上数第9叶叶位 9 th Leaf position	
	叶倾角/° Leaf angle	叶向值 Leaf orientation value	叶倾角/° Leaf angle	叶向值 Leaf orientation value	叶倾角/° Leaf angle	叶向值 Leaf orientation value	叶倾角/° Leaf angle	叶向值 Leaf orientation value	叶倾角/° Leaf angle	叶向值 Leaf orientation value
D1	38.71 bC	1.77 abA	32.22 aA	3.97 cB	31.62 aA	6.03 dD	28.17 aA	13.15 bB	33.76 bB	16.75 aA
D2	45.66 aA	1.57 bB	30.67 aA	3.97 cB	31.50 aA	6.45 cdCD	26.45 bAB	13.76 bAB	40.29 aA	16.86 aA
D3	39.37 cdC	1.91 aA	32.75 aA	4.33 bA	28.44 bB	6.84 bcBC	25.46 bB	14.69 abAB	39.60 aA	17.01 aA
D4	42.54 bC	1.82 aA	32.60 aA	4.43 bA	29.35 bAB	7.11 abAB	25.68 bB	14.76 abAB	40.38 aA	17.51 aA
D5	39.84 cC	1.94 aA	31.38 aA	4.68 aA	29.21 bAB	7.52 aA	25.28 bB	16.46 aA	40.08 aA	17.56 aA

表中同列数据后不同大小写字母分别表示不同种植密度在0.01和0.05水平上差异显著(LSD法)。下同。
In different density, values followed by different capital and lowercase letters with in a column are significant difference at 0.01 and 0.05 probability level(LSD). The same below.

由表 3 可见,灌浆期同一处理不同叶位的空间分布也存在着差异,随着叶位的下降,叶片的叶倾角开始减小,各处理叶片均为上平展,下紧凑,这样的植株上部叶片光照强,底部光照弱,不利于光能的吸收和利用,进而影响茎秆的生物产量和糖分积累。叶向值呈变大趋势。相同叶位不同处理的空间分布也存在着差异,上数第 2 位的叶倾角表现为 D1>D2>D5>D4>D3,上数第 3 位的叶倾角为 D5>D2>D4>D1>D3,上数第 5 位的

叶倾角表现为 D1>D2>D5>D3>D4,各叶位的叶向值都以处理 5 最大。

说明随密度的增加单位面积叶片数也随之加大,在一定程度上促使叶片趋向直立,随着生育进程的推进,灌浆期叶片逐渐枯萎,叶倾角降低。高密度冠层顶部叶片叶面积较少,导致上层光截获面积较其他处理小,叶倾角小,下层叶片的叶向值大,叶片相对挺直,致使该群体中下层叶片受光条件相对较好。

表 3 灌浆期不同种植密度下不同叶位叶倾角和叶向值
Table 3 Leaf angel and leaf orientation value of different leaf position in heading stage

处理 Treatment	上数第 2 叶位 2 nd Leaf position		上数第 3 叶位 3 rd Leaf position		上数第 6 叶位 5 th Leaf position	
	叶倾角/° Leaf angel	叶向值 Leaf orientation value	叶倾角/° Leaf angel	叶向值 Leaf orientation value	叶倾角/° Leaf angel	叶向值 Leaf orientation value
	叶倾角/° Leaf angel	叶向值 Leaf orientation value	叶倾角/° Leaf angel	叶向值 Leaf orientation value	叶倾角/° Leaf angel	叶向值 Leaf orientation value
D1	49.58 abA	1.70 cdBC	33.33 bA	3.43 abA	27.93 aA	6.27 bA
D2	45.83 abAB	1.33 dC	36.25 abA	3.22 bA	26.53 bB	6.36 bA
D3	39.50 cC	2.10 bAB	32.83 bA	3.69 abA	24.53 dCD	6.96 abA
D4	43.25 bcBC	1.86 bcBC	36.00 abA	3.54 abA	24.23 dD	7.02 abA
D5	45.62 bAB	2.55 aA	37.10 aA	4.15 aA	25.60 bB	8.56 aA

2.4 种植密度对甜高粱冠层叶片叶绿素含量的影响

由图 4 可见,苗期、拔节期、挑旗期、抽穗期处理间大小变化趋势基本一致,均为处理 D5 的 SPAD 值高于其他处理,与其他处理达到显著或不显著差异。成熟期各处理的差异较大,表现为 D3>D4>D1>D2>D5,处理 D5 与处理 D1、D3、

D4 间差异显著,与 D2 间无显著差异。由此可见,不同群体结构引起的冠层叶绿素含量差异,抽穗期之前个处理叶绿素含量随着密度的增加均表现为递增的趋势,各处理间差异变化不大。成熟期各处理间差异加大,这可能是群体内部竞争加剧引起的。

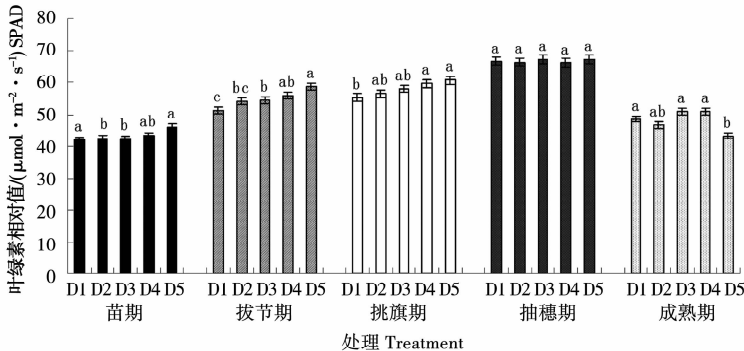


图 4 高粱不同处理群体冠层叶绿素(SPAD 值)比较
Fig. 4 Comparison of canopy chlorophyll content(SPAD value)in different populations of sorghum

2.5 种植密度对甜高粱光合速率的影响

由表 4 可知,甜高粱开花期不同处理 D1 和 D2 光合速率均极显著高于其他处理,D1 的叶片具有较好的光合性能。

气孔是植物体 CO₂ 和 H₂O 进出的主要通道,因此气孔导度的变化将直接影响甜高粱的生长发育。处理 D5 的气孔导度最大,显著高于 D4,但

与其他处理差异不显著,表明 D5 气孔阻力小有利于更好地吸收 CO₂,进行光合作用。

CO₂是作物进行光合作用的原始材料,胞间 CO₂浓度高对作物产量产生很大的影响。处理 D2 胞间 CO₂浓度最高,极显著高于其他处理。

处理 D1 的蒸腾速率最小,极显著低于其他处理,蒸腾速率的减少可以减少水分无限消耗造

成的浪费现象,从而减少营养的流失。

由表 5 可知,光合速率与胞间 CO₂ 浓度极显著正相关($r=0.5254^{**}$);与蒸腾速率极显著负相关($r=-0.9808^{**}$)。随着密度增加,光合速率和胞间 CO₂ 浓度在增加,蒸腾速率在减少。因此合理的密植才能协调好群体与个体的光合关系,以期使光合速率的时间持续更长,来积累更多的同化产物,得到更高的生物产量。

表 4 开花期不同处理的甜高粱光合特性变化

Table 4 Photosynthetic characteristic changes of sweet sorghum of different treatments in flowering period				
处理 Treatments	光合速率/ (mgCO ₂ ·dm ⁻² ·h ⁻¹) Photosynthetic rate	气孔导度/ (mgH ₂ O·dm ⁻² ·h ⁻¹) Stomatal conductance	胞间 CO ₂ 浓度/ (μmol·mol ⁻¹) Intercellular CO ₂ concentration	蒸腾速率/ (mgH ₂ O·dm ⁻² ·h ⁻¹) Stomatal conductance
D1	35.70 aA	0.09 abA	368.00 bB	2.76 cC
D2	33.87 aA	0.07 abA	575.33 aA	2.85 cC
D3	21.41 bB	0.05 abA	329.33 bB	4.08 bB
D4	19.07 bB	0.04 bA	408.00 bB	4.88 aA
D5	14.34 cB	0.14 aA	349.67 bB	4.96 aA

表 5 光合特性间的相关系数

Table 5 The correlation coefficient between photosynthetic characteristics				
光合特性 Photosynthetic characteristic	光合速率/ (mgCO ₂ ·dm ⁻² ·h ⁻¹) Photosynthetic rate	气孔导度/ (mgH ₂ O·dm ⁻² ·h ⁻¹) Stomatal conductance	胞间 CO ₂ 浓度/ (μmol·mol ⁻¹) Intercellular CO ₂ concentration	蒸腾速率/ (mgH ₂ O·dm ⁻² ·h ⁻¹) Stomatal conductance
光合速率	1			
气孔导度	-0.1747	1		
胞间 CO ₂ 浓度	0.5254 ^{**}	-0.1769	1	
蒸腾速率	-0.9808 ^{**}	0.0946	-0.4884	1

2.6 种植密度对甜高粱产量及其构成因素的影响

从表 6 可以看出,不同种植密度对高粱的产量及其产量构成因素有明显的影响。生物产量和籽粒产量随着密度的增加呈显著性增加,当密度增加到一定程度,生物产量和籽粒产量相应下降,在 9.0 万株·hm⁻² (D3) 出现最大值。穗数随着密度的增加呈先升后降的趋势,并且存在着一定的显著差异,9.0 万株·hm⁻² 穗数最大,各处理的千

粒重差异不大,均在 25.6 g 左右,差异不显著,穗粒数随着密度的增加呈现先下降后上升的趋势。从产量构成因素来看,随着密度的增加,单位面积的穗数先增加后下降,穗粒数先降低后增加,而对千粒重没有显著的影响。这说明高密度下高粱增产的主要原因是增加了单位面积的穗粒数。从种植密度与甜高粱产量及构成因素结果来看,通甜 1 号适宜种植密度为 9.0 万株·hm⁻²。

表 6 不同种植密度下高粱产量及其构成因素

Table 6 Yield and its components of sorghum in different Planting density					
处理 Treatment	生物产量/(kg·hm ⁻²) Biological yield	籽粒产量/(kg·hm ⁻²) The grain yield	穗数/个 10 ⁴ ears·hm ⁻²	穗粒数/个 Kernels per ear	千粒重/g 1000-kernel weight
D1	5077.35 bB	4380.52 bBC	7.8 bB	4492.8 cC	26.2 aA
D2	5156.64 bB	4908.61 aAB	9.0 aA	4331.8 dD	25.8 aA
D3	5510.97 aA	5319.48 aA	10.2 aA	3927.5 dCD	25.6 aA
D4	4669.50 cC	4349.69 bBC	6.9 cC	4661.2 bB	26.1 aA
D5	4153.91 dD	4283.69 bC	7.1 cC	4758.2 aA	25.4 aA

3 结论与讨论

合理的群体结构是提高作物光能利用率获得高产的必要条件,抽穗到开花这段时期能维持较大的光合面积是作物获得高产,群体结构的重要指标之一^[1]。因此合理密植可以有效的构建群体结构,建立良好的生育群体,使单位面积内有合理

的密度、光合面积、空间分布等,使作物群体充分利用自然资源。叶面积是植物截获光能的物质载体^[2],其在冠层中的分布是反映作物冠层结构性能的重要指标。而叶面积指数是反映植物群体生长的一个重要指标,其大小直接与最终产量高低有关。在一定范围内,作物的产量随叶面积指数

的增大而提高。当叶面积指数达到一定临界点时,由于田间遮闭,光照不足,光合作用减弱,产量会随之下落群体叶面积发展动态是直接影响光合效率重要因子之一^[3-4]。本研究结果表明,同一生育期内,群体叶面积随着密度的增加而增加,抽穗期以后高密度处理下的叶面积指数下降迅速,低密度处理下的叶面积指数下降较为缓慢。这与黄瑞冬等^[5]研究结果一致,研究结果为叶面积指数从苗期到拔节期逐渐升高,而后逐渐下降。但与王岩等^[6]研究结果不同,他们认为,叶面积指数是从苗期到开花期逐渐升高,而后逐渐下降。

叶面积指数与干物质积累有着极为密切的关系,生育后期适当提高群体的叶面积指数,可以增加干物质的积累量^[5]。本研究结果为甜高粱的积累过程属 Logistic 模型,表现为慢-快-慢“S”型曲线变化,生育后期积累速度快,峰值高,在整个生育时期,甜高粱茎秆干物质分配率在增加。与李淮滨等^[7]研究结果一致,本试验的研究结果为整个生育期内以密度为 9.0 万株·hm⁻²,干物质的积累量最大,各器官的分配量均表现为茎>叶>鞘>穗,且以密度为 9.0 万株·hm⁻²,各器官的同化物分配量最高,有利于生物产量的积累。

叶倾角和叶向值是高粱群体结构的主要参数,改善冠层结构特征,能增加光的有效截获,增强群体光合能力^[6]。叶角是直接从田间测量得到的一级参数,而叶向值是综合了影响直立上冲的主要因素而得到的二级参数。从叶向值的计算公式可见,叶角只是衡量叶片上冲挺直程度的一个参数。叶角越小,叶向值越大,叶片越上冲挺直,所以叶向值更能准确表现叶片上挺的程度^[7]。本研究结果表明,挑旗期同一处理不同叶位的空间分布存在差异,以上数叶位的第 6 片叶的叶倾角最小,叶向值最大,相同叶位不同处理的空间分布也存在差异,各叶位的叶向值均表现为处理 D5 最高;灌浆期同一处理不同叶位的空间分布,表现为随着叶位的下降,叶片的叶倾角开始减少,叶向值呈变大的趋势,相同叶位不同处理的叶倾角有区别,叶向值均表现为处理 D5 最大。说明随密度的增加单位面积叶片数也随之加大,在一定程度上促使叶片趋向直立,随着生育进程的推进,灌浆期叶片逐渐枯萎,叶倾角降低。高密度冠层顶部叶片叶面积较少,导致上层光截获面积较其他处理小,叶倾角小,下层叶片的叶向值大,叶片相对挺直,致使该群体中下层叶片受光条件相对较好。

增加种植密度是进一步提高甜高粱生物产量的有效途径,然而密度的增加会造成生育后期叶片的早衰,生育后期,绿叶面积减少,光合能力下降^[8-10]。冠层通过对光合有效辐射的截获和吸

收而影响作物光合作用。光合速率是光合作用的量度,光合速率与产量之间存在显著的相关性^[11]。本研究结果表明抽穗期各处理叶绿素含量差异不大,而成熟期差异加大。光合速率与胞间 CO₂ 浓度极显著正相关,与蒸腾速率极显著负相关。随着种植密度的增加,光合速率和胞间 CO₂ 浓度在增加,蒸腾速率在减少。

甜高粱生物产量是指除根、籽粒以外茎、叶、穗等物质总量^[12]。是经济产量的重要指标之一,对平衡各器官产量有重要意义。甜高粱属高秆作物,其生物产量受密度影响比矮秆作物明显。Thorat^[13]研究表明,甜高粱“CV—SSV84”在密度为 184 000 株·hm⁻² 时干茎叶和籽粒产量达到最大。Saheb 等^[14]认为,密度为 12 万株·hm⁻² 时可以显著提高甜高粱的干物质产量。王岩等^[15]研究表明高密度(8.25 万株·hm⁻²)下甜高粱籽粒产量和鲜株产量均达到最高。罗利红^[16]研究表明,种植密度对“吉大 104”的茎秆产量和籽粒产量影响较大;本研究表明:生物产量和籽粒产量随着密度的增加呈显著性增加,当密度增加到一定程度,生物产量和籽粒产量相应下降,在 9.0 万株·hm⁻² 出现最大值。单位面积的穗粒数是高粱增产的主要原因。从种植密度与甜高粱产量及构成因素结果来看,通甜 1 号在内蒙古通辽地区适宜种植密度为 9.0 万株·hm⁻²。

参考文献:

- [1] 董振国. 农田作物层环境生态[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1994.
- [2] 张宪政. 作物生理研究法[M]. 北京: 农业出版社, 1992.
- [3] 王桂梅. 高粱叶片角度遗传研究初报[J]. 作物学报, 1998(1): 8-12.
- [4] 黄振喜, 王永军, 王空军, 等. 产量 15000 kg·ha⁻¹ 以上夏玉米灌浆期间的 光合特性[J]. 中国农业科学, 2007, 40(9): 1898-1906.
- [5] 张小燕, 杜吉到, 郑巍峰, 等. 大豆不同群体叶面积指数及干物质积累与产量的关系[J]. 中国农学通报, 2006(11): 161-163.
- [6] 王岩, 黄瑞冬. 种植密度对甜高粱生长发育、产量及含糖量的影响[J]. 作物杂志, 2008(3): 49-51.
- [5] 黄瑞冬, 周宇飞, 李卓. 不同密度对帚用高粱生长发育农艺性状的影响[J]. 作物杂志, 2003(5): 13-14.
- [7] 李淮滨, 翟婉莹, 于贵等. 甜高粱和粒用高粱干物质积累分配与产量形成的比较研究[J]. 作物学报, 1991, 17(3): 204-212.
- [8] Maddonni G A, Otegui M E, Cirilo A G. Plant population densities, rows spacing and hybrid effects on maize canopy architecture and light attenuation[J]. Field Crops Research, 2001, 71(3): 183-193.
- [9] 周紫阳, 徐国安, 马忠良, 等. 高粱不同株型叶角和叶向值的分析[J]. 吉林农业科学, 1998(1): 28-30.
- [10] Gan S, Amasino R M. Making sense of senescence(molecular genetic regulation and manipulation of leaf senescence)[J]. Plant Physiology, 1997, 113: 313-319.
- [11] Pastori G M, DelRio L A. Natural senescence of pea leaves-An activated oxgen-mediated function for per

- oxisomes[J]. Plant Physiology, 1997, 113: 411-418.
- [10] Prochazkova D, Sairam R K, Srivastava G C, et al. Oxidative stress and antioxidant activity as the basis of senescence in maize leaves [J]. Plant Science, 2001, 161: 765-771.
- [11] 刘建国, 李俊华, 张煌新, 等. 大豆群体冠层结构及光合特性的研究[J]. 石河子大学学报(自然科学报), 2003, 7(3): 398-401.
- [12] 卢庆善. 高粱学[M]. 中国农业出版社, 1999, 381-415.
- [13] Horat B P. etc. Response of sweet sorghum to plant population, nitrogen and phosphorus[J]. Indian Journal of Agronomy, 1995, 40(4): 601-603.
- [14] Saheb SD. etc. Effect of plant population and nitrogen on biomass and juice yields of sweet sorghum[J]. Indian Journal of Agronomy, 1997, 42(4): 634-636.
- [15] 王岩, 黄瑞冬. 种植密度对甜高粱生长发育、产量及含糖量的影响[J]. 作物杂志, 2008(3): 48-52.
- [16] 罗利红. 密度及氮磷钾肥料配施对甜高粱含糖量和生物产量影响的研究[D]. 长春: 吉林大学, 2012.

Effects of Plant Density on Photosynthetic Characteristics of Canopy Structure and Yield of Sweet Sorghum

DENG Zhi-lan, WANG Zhen-guo, CUI Feng-juan, LI Yan, LI Mo, XU Qing-quan, YU Chun-guo
(Tongliao Academy of Agricultural Sciences, Tongliao 028015, China)

Abstract: In order to select the suitable planting density of sweet sorghum in Tongliao area, the effects of five densities treatments on leaf area index, dry matter accumulation, canopy structure traits, chlorophyll content, photosynthetic rate and yield formation of Tongtian No. 1, the first sweet sorghum cultivar in Inner Mongolia, were studied. The results showed that canopy leaf area were increased with planting density during the same growth stage. After the heading stage, leaf area index rapidly descend at high densities, and leaf area index slowly descend at low densities. When the plant density was at the ranges of 90 thousands plants \cdot hm^{-2} , accumulation of dry matter have reached a higher level, the homogenization of each organ was the highest, and conducive to the accumulation of biological production. Small leaf angle, large leaf to value and blade is comparatively erect at canopy top.

Keywords: density; sweet sorghum; canopy configuration; photosynthetic characteristic; yield formation

(上接第3页)

- [3] 赵杨, 钱春荣, 王俊河, 等. 不同种植模式对玉米产量与农艺性状影响分析[J]. 中国农学通报, 2012, 28(9): 106-109.
- [4] 王宏庭, 王斌. 种植方式、密度、施肥量对玉米产量和肥料利用率的影响[J]. 玉米科学, 2009, 17(5): 104-107.
- [5] 李凤海, 范秀玲, 史振声. 不同种植方式对玉米形态生理指标及产量的影响[J]. 中国种业, 2011(4): 38-40.
- [6] 王春虎, 杨文平. 不同施肥方式对夏玉米植株及产量性状的影响[J]. 中国农学通报, 2011, 27(9): 305-308.
- [7] 李猛, 陈现平, 张建, 等. 不同密度与行距配置对紧凑型玉米产量效应研究[J]. 中国农学通报, 2009, 25(8): 132-136.

Effects of Different Horizontal Cropping Models on Agronomic Characters and Yield of Maize in the Central and Southern Areas of Heilongjiang Province

ZHANG Yu

(Maize Research Institute, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin 150086, China)

Abstract: In order to select suitable flat cropping patterns in the central and southern part of Heilongjiang province, the effects of different patterns and densities on maize yield and agronomic traits were studied under flat cropping conditions. The results showed that the grain yield of A7 (spacing 45 cm + 85 cm), A8 (spacing 55 cm + 75 cm) and A3 (spacing 55 cm) increased by 5.9%, 3.3% and 0.9% compared with the control. The order of grain yield under different densities was B3 (7500 plants \cdot hm^{-2}) > B4 (86250 plants \cdot hm^{-2}) > B1 (52500 plants \cdot hm^{-2}) > B2 (63750 plants \cdot hm^{-2}) > B5 (97500 plants \cdot hm^{-2}). The top three grain yields of all combinations were A8 \times B3, A7 \times B3 and A8 \times B4. The top three order of planting methods of agronomic traits were as follows: A7 > A8 > A1 (CK), and A7 > B7 > A8 > A1, respectively. A8 > A3, bald tip: A2 (spacing 45 cm) > A4 (spacing 65 cm) > A6 (spacing 85 cm), row number per panicle: A7 > A8 > A3, row number of grains: A7 > A8 > A1. The order of panicle length, panicle diameter, panicle row number and grain number per row under different densities was B1 > B2 > B3 > B4 > B5, and the order of bare tip value was B5 > B4 > B3 > B2 > B1. When A7 (45 cm + 85 cm), A8 (55 cm + 75 cm) and planting density were combined with 75000-86250 million plants \cdot hm^{-2} , the yield level increased significantly compared with the control, and the best agronomic traits could be obtained synthetically.

Keywords: maize; culture; density; yield