

不同株型夏玉米冠层叶片气孔特性的差异

吉春容^{a,b},李世清^{a,b},冯宏昭^b,李生秀^b

(西北农林科技大学 a 黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, b 资源环境学院, 陕西 杨凌 712100)

【摘 要】 **【目的】**气孔是叶片和外界环境进行气体和水分交换的重要通道,探讨不同株型玉米冠层叶片气孔特性的差异变化,对深入研究气孔特性与光合和蒸腾等重要生理过程的关系具有重要意义。**【方法】**以株型分别为平展型、中间型和紧凑型的玉米品种陕单 9 号、农大 108 和陕单 902 3 个夏玉米品种为试材,采用盆栽试验研究不同生育期及不同冠层叶片气孔密度等特性的差异和变化规律。**【结果】**全生育期内,各夏玉米品种叶片气孔特性存在显著差异($P<0.05$):随生育期推进,叶片气孔密度逐渐上升,气孔面积显著下降,气孔长度和气孔宽度先增加后降低。不同株型玉米品种间叶片气孔密度、气孔长度和气孔宽度均以紧凑型品种高于其他株型品种,平均分别为 101.8 个/ mm^2 、 $72.81\text{ }\mu\text{m}$ 、 $37.45\text{ }\mu\text{m}$;气孔面积的差异与之相反,以平展型品种叶片较大,平均为 $3157.35\text{ }\mu\text{m}^2$ 。全生育期内,不同株型玉米品种不同叶层叶片气孔特性存在显著差异,但缺乏普遍规律性;同株型品种不同叶层比较,气孔密度均表现为上层大于中、下层,且各层间存在显著差异。相关分析表明,气孔长度与气孔宽度、气孔面积之间均呈极显著正相关,而气孔长度和宽度与气孔密度间呈一定负相关,但差异不显著;气孔密度与气孔面积之间也表现出负相关。**【结论】**不同株型玉米品种叶片气孔特性的差异及变化,不仅受其本身基因型控制,而且与生育期及叶层位置有关。因此,在测定作物气孔特性时,不仅要考虑作物生育期,而且在取样时还应考虑叶片冠层位置。

【关键词】 夏玉米;株型;冠层;气孔特性

【中图分类号】 Q944.53;S513.01 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1671-9387(2008)05-0057-07

Study on change rule of stomata characteristics of different maize types

Ji Chun-rong^{a,b}, Li Shi-qing^{a,b}, Feng Hong-zhao^b, Li Sheng-xiu^b

(a State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on Loess Plateau, b College of Resources and Environment, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: **【Objective】** Stomata is the approach of air and water exchange between leaves and environment, and it is very important to investigate the change rule of leaf stomata characteristics at different layers of canopy for studying the correlation between stomata characteristics and net photosynthesis rate and transpiration rate. **【Method】** A pot experiment was carried out with different maize plant types to study the discrepancy and change rule of leaf stomata characteristics at different layers of canopy at different growth stages. The summer maize of different plant types were plate conformation Shandan 9, middle conformation Nongda 108 and compact conformation Shandan 902. **【Result】** The results showed that stomata characteristics of canopy leaf were significantly different among varieties during the whole growth stages with the same fertilizer, and stomata density increased and stomata areas decreased gradually along with the growth, but stomata length and width increased first and then decreased. Among the different maize plant types, stomata density, stomata length and width of compact conformation Shandan 902 were significantly larger than those of other varieties, which the average were 101.81 mm^{-2} , $72.81\text{ }\mu\text{m}$, $37.45\text{ }\mu\text{m}$, and stomata area

* [收稿日期] 2007-05-30
[基金项目] 国家自然科学基金项目(30670326,30571116);中国科学院西部之光联合学者资助项目
[作者简介] 吉春容(1983—),女,四川潼南人,在读博士,主要从事植物营养生理生态研究。E-mail: jcr83@163.com
[通讯作者] 李世清(1963—),男,甘肃秦安人,教授,博士生导师,主要从事土壤-植物氮素营养研究。

of plate conformation Shandan9 was the largest, which the average was $3\,157.35\,\mu\text{m}^2$. The stomata characteristics discrepancy of leaf at different layers of canopy were obviously different among varieties during the whole growth stages, but there was no universal rule. Comparing the different layers of the same plant type, stomata density of up-layer was larger than those of middle-layer and low-layer, and there was a significant difference among different layers. Correlation analysis on leaf stomata characteristics showed there were significantly positive correlations between stomata length, stomata width and stomata area. There was negative correlation between stomata length or width and stomata density, as well as between stomata density and stomata area. 【Conclusion】 The stomata characteristics discrepancy of different variety is related to genotype and layers of canopy as well as the growth stage. Therefore to determine the crops stomata characteristics, the growth stage and the positions of layers of canopy in sampling should be considered.

Key words: summer maize; plant type; canopy; stomata characteristics

气孔是叶片和外界环境进行气体和水分交换的重要通道,气孔形态、大小、分布和数量等显著影响植物的光合和蒸腾等生理活动,因而对植物生命活动有着极其重要的作用。大量研究表明^[1-3],气孔密度、气孔大小、气孔单位面积总长度存在显著的基因型差异。不同玉米杂交种在气孔特征上表现出显著的杂种优势^[4],不同株型玉米品种间群体冠层内的蒸腾速率、气孔导度均存在显著差异^[5]。陶世蓉等^[6]研究指出,紧凑型玉米叶表皮气孔数目多于平展型,上表皮多 17.0%,下表皮多 11.5%。袁莉民等^[7]研究表明,C₄ 转基因水稻叶片气孔密度明显高于其他未转基因品种,但气孔面积减小。对于小麦,其叶片气孔密度既受遗传控制,又受各种环境因子(如光照、温度、CO₂ 浓度和水分条件)及栽培调控措施影响,外界因素通过改变叶面积和气孔总数而改变气孔密度^[8-9]。马清温等^[10]在对北美红杉和水杉进行研究时也有同样的发现,植物气孔特征的差异,与植物种类、叶片位置、叶片发育状况以及同一叶片的不同部位等有关。Salisbury^[11]认为,从植株基部到顶部,叶片气孔密度逐渐增加,但植物高处着生的叶片气孔密度大是植物的特征之一,与单叶面积无关,植物叶片的最终大小表现为从基部到顶部逐渐变小,而气孔密度则为逐渐增加。也有相反的报道认为,从植株基部到顶部气孔指数变化并不明显^[12],而气孔密度逐渐增加,或气孔大小逐渐变小可能与不同部位叶片的不同内外因素相关,主要与

水分的逐渐减少有关^[13-14]。

由于各地区地理条件不同,造成玉米生境上的差异,国内外学者对玉米气孔的研究结论也不尽相同。本试验利用数码图像显微处理系统,观测了不同株型玉米在不同生育期叶片气孔密度、气孔大小和气孔显微结构的变化情况,以期为进一步探索同一地区通过改善群体结构调控光合特性的途径,为形态育种提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

以土垫旱耕人为土为供试土样(表 1),以规格为 25 cm(直径)×20 cm(高)的塑料桶为试验盆钵,在西北农林科技大学黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室盆栽场进行盆栽试验。

试验选用本地区推广的不同株型玉米品种陕单 9 号(S9,平展型)、农大 108(N108,中间型)和陕单 902(S902,紧凑型),采用完全随机试验设计方案,每处理播种 9 盆。每盆装土 8.5 kg,以尿素为氮源,磷酸二氢钾为磷源,在播种前每盆均施纯 N 17 g 和 P₂O₅ 1.275 g,将肥料与土壤充分拌匀。每盆播种 3 粒,出苗后定植,每盆保留 1 株。全生育期共观测 3 次,每次测定 3 盆,相当于重复 3 次。生长期适时浇水(TDR 测定盆内土壤含水量,以保持田间持水量的 70% 为标准进行换算后按量灌水),其他管理措施同常规栽培管理。

表 1 供试土壤的基本理化性质

Table 1 Properties of soil used in experiment

有机质/(g·kg ⁻¹) O. M.	全氮/(g·kg ⁻¹) Total N	有效磷/(mg·kg ⁻¹) Avail. P	NO ₃ ⁻ -N/(mg·kg ⁻¹)	NH ₄ ⁺ -N/(mg·kg ⁻¹)
14.25	0.81	10.16	7.83	9.64

1.2 玉米冠层的垂直分层及取样

根据玉米生育时期株高的差异,按文献^[15-16]

的方法进行分层,分层标准以植株所有展开叶片占总数的 1/3 为基准,将冠层自顶部向地表平均分为

上层、中层和下层。有果穗后以果穗位叶为基准,果穗位叶和其上、下各一片叶确定为中层叶,其余上部所有叶为上层叶,下部所有叶为下层叶。观测分别在拔节期、孕穗期和成熟期进行。

1.3 玉米叶片临时装片的制备

为防止气孔变形,采用印迹法制片^[17]。在玉米活体植株上,选取各层最上部一片完全展开叶,用脱脂棉蘸酒精轻轻擦拭其下表皮灰尘,然后在下表皮中部靠近主脉的两侧快速涂上薄薄一层透明指甲油,待其风干结成膜后,用细镊轻轻取下结膜将其轻压在载玻片上,盖上盖玻片,制成印像后的载玻片,用中性树胶封片,制成临时装片,于数码图像显微镜下进行观测。

1.4 玉米叶片气孔密度和形态特征的观测

玉米叶片气孔密度和形态特征利用具有 130 万像素的 DMB5-223IPL 数码显微镜摄像系统(Motic Digital Imaging,中国)观测,Motic Tek 模块能够将捕捉的图像高速导入电脑,图像处理系统采用 Motic Images Advanced (3.0)软件,可自动显示测量结果,并直接导入 *.xls 文档,进行数据分析。

1.4.1 气孔密度的观测 各层未离体叶片均制 3 个临时装片,于 40 倍数码显微镜下拍照观测。每一装片上随机选 10 个视野,即每个样品共拍 30 幅图片,计算每幅图片上的气孔数,取平均值,除以图片

面积,统计每平方毫米叶片上的气孔数,即气孔密度(Stomata density,SD,个/mm²)。

1.4.2 气孔形态特征的观测 各层未离体叶片均制 3 个临时装片,于 40 倍数码显微镜下拍照观测。每一装片上随机选 10 个视野,即每个样品共拍 30 幅图片,对每幅图片上的气孔,无论大小均测量气孔长度(Stomata length,SL)、宽度(Stomata width,SW)、面积(Stomata area,SA),Motic Images Advanced 3.0 图像处理软件能够自动显示测量结果。

1.5 数据处理

所测数据用 SAS 软件进行差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 不同生育期夏玉米叶片气孔特性的差异

从表 2 可以看出,随生育期推进,玉米叶片气孔密度逐渐上升,拔节期和孕穗期叶片的气孔密度与成熟期差异极显著,其中成熟期叶片气孔密度最高,比拔节期和孕穗期增加约 13%;叶片气孔长度的变化趋势与气孔宽度基本一致,从拔节期到孕穗期,气孔长度和宽度均逐渐增大,而从孕穗期到成熟期,气孔长度和宽度均降低,不同生育期间差异极显著($P<0.01$)。不同生育期玉米叶片气孔面积差异也达到极显著水平($P<0.01$),其中成熟期叶片气孔面积最低,与拔节期相比下降 89.3%。

表 2 不同生育期夏玉米叶片的气孔特性

Table 2 Difference of stomata characteristics of maize at different growth stages

生育时期 Growth stage	气孔密度/(个·mm ⁻²) Stomata density	气孔长度/μm Stomata length	气孔宽度/μm Stomata width	气孔面积/μm ² Stomata area
拔节期 Jointing	96.00 B	79.85 B	41.77 B	4 977.50 A
孕穗期 Booting	97.94 B	97.40 A	50.92 A	3 548.60 B
成熟期 Maturity	108.78 A	31.35 C	17.90 C	2 536.15 C

注:同列数据后标不同大写字母表示差异极显著($P<0.01$)。
Note: Different capital letter of the same column means significance at the 0.01 level.

2.2 不同株型夏玉米品种叶片的气孔特性

株型指植株个体在空间的几何分布,是构成冠层结构的重要因素之一。从表 3 可以看出,紧凑型品种陕单 902 的叶片气孔密度、气孔长度和气孔宽度均高于其他株型品种,而其气孔面积却低于其他

2 个品种;3 个株型玉米品种中,平展型品种陕单 9 号的叶片气孔面积较大。不同株型品种间叶片气孔密度和气孔宽度差异不显著,而气孔长度和气孔面积均存在显著差异($P<0.05$)。

表 3 不同株型夏玉米品种叶片的气孔特性

Table 3 Difference of stomata characteristics of maize among different plant type varieties

品种 Variety	气孔密度/(个·mm ⁻²) Stomata density	气孔长度/μm Stomata length	气孔宽度/μm Stomata width	气孔面积/μm ² Stomata areas
陕单 9 号 S9	101.03 a	65.52 b	36.55 a	3 157.35 a
农大 108 N108	99.87 a	70.27 ab	36.61 a	3 020.30 ab
陕单 902 S902	101.81 a	72.81 a	37.45 a	2 884.60 b

注:同列数据后标不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。下表同。
Note: Different small letter of the same column means significance at the 0.05 level. The same as below.

图 1~4 显示,从拔节期、孕穗期到成熟期,不同夏玉米品种气孔特性的变化趋势不同。从图 1 可以看出,不同生育期内,各株型玉米品种叶片气孔密度均存在一定差异。拔节期,平展型品种陕单 9 号和紧凑型品种陕单 902 的叶片气孔密度相当,二者差异不显著,中间型品种农大 108 叶片气孔密度最小,平均为 85.94 个/mm²,较其他 2 个品种降低了约 17.6%;孕穗期与拔节期相反,农大 108 叶片气孔密度大于其他品种,平均为 104.52 个/mm²;成熟期,

叶片气孔密度由小到大依次为陕单 9 号、农大 108、陕单 902,紧凑型品种陕单 902 与平展型品种陕单 9 号间差异显著,二者与中间型品种农大 108 差异均不显著。

由图 2 可知,拔节期各夏玉米品种叶片气孔长度差异不显著,以平展型品种陕单 9 号略高于其他品种;孕穗期和成熟期叶片气孔长度间存在显著差异($P<0.05$),且气孔长度均按陕单 9 号、农大 108、陕单 902 的顺序依次升高。

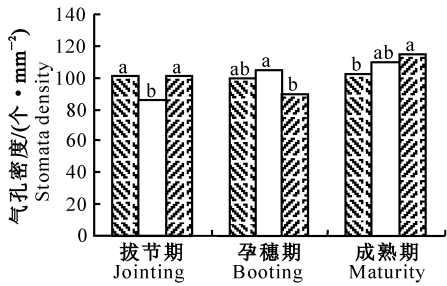


图1 不同生育期不同株型夏玉米品种叶片气孔密度的差异
■.S9; □.N108; ▨.S902

Fig.1 Difference of stomata density among different plant types during different growth stages of maize

从图 3 可以看出,拔节期以平展型品种陕单 9 号叶片的气孔宽度最大,为 44.99 μm,其次是陕单 902,农大 108 最小;孕穗期各夏玉米品种叶片气孔宽度差异不显著;成熟期叶片气孔宽度的变化趋势与拔节期基本相反,陕单 902 和农大 108 叶片气孔宽度较大,显著高于陕单 9 号。

由图 4 可知,不同生育期内各株型玉米品种间叶片气孔面积均存在显著差异。拔节期,平展型品种陕单 9 号气孔面积最大,为 4 316.12 μm²;孕穗期

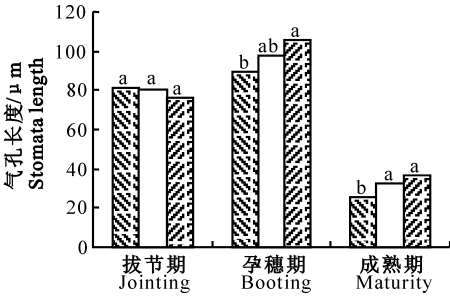


图2 不同生育期不同株型夏玉米品种叶片气孔长度的差异
■.S9; □.N108; ▨.S902

Fig.2 Difference of stomata length among different plant types during different growth stages of maize

和成熟期叶片气孔面积均按照陕单 9 号、农大 108、陕单 902 的顺序依次增大,不同的是孕穗期以陕单 902 显著高于其他两品种,且陕单 9 号和农大 108 间差异不显著,而成熟期陕单 902 和农大 108 间气孔面积相当,二者差异不显著,但均与陕单 9 号差异显著。

以上结果表明,植物叶片气孔特性不仅随生育期变化而发生变化,而且因遗传特性不同,其气孔特征随生育期的变化也存在差异。

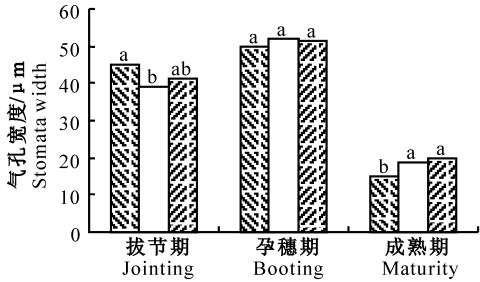


图3 不同生育期不同株型夏玉米品种叶片气孔宽度的差异
■.S9; □.N108; ▨.S902

Fig.3 Difference of stomata width among different plant types during different growth stages of maize

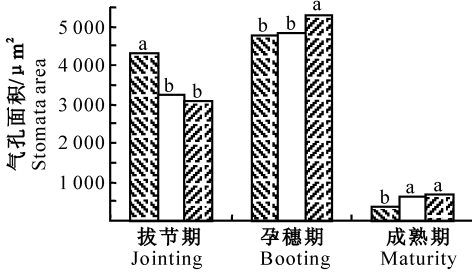


图4 不同生育期不同株型夏玉米品种叶片气孔面积的差异
■.S9; □.N108; ▨.S902

Fig.4 Difference of stomata areas among different plant types during different growth stages of maize

2.3 夏玉米不同叶层叶片的气孔特性

2.3.1 不同生育期间的差异 比较不同生育期不

同叶层叶片气孔特性发现(表 4),各玉米品种叶片气孔特性呈现出完全不同的变化趋势。在拔节期和

孕穗期,叶片气孔密度均表现为上层大于中、下层,成熟期以上层最高,但下层略高于中层;拔节期上层气孔长度和气孔宽度均显著大于中、下层,孕穗期和成熟期以中层大于上、下层,但成熟期气孔长度以下层较小,气孔宽度以上层较小;气孔面积在各生育期的差异无一定规律性,拔节期为上层>下层>中层,孕穗期和成熟期为中层>上层>下层。

表 4 不同叶层叶片气孔特性随夏玉米生育时期的变化

Table 4 Change of leaf stomata characteristics at different layers of canopy along with the growth of maize					
生育期 Growth stage	叶层 Layer	气孔密度/(个·mm ⁻²) Stomata density	气孔长度/μm Stomata length	气孔宽度/μm Stomata width	气孔面积/μm ² Stomata areas
拔节期 Jointing stage	上层 Upper-layer	104.5 a	101.5 a	52.4 a	5 309.5 a
	中层 Middle-layer	91.7 b	70.2 b	36.6 b	2 329.0 c
	下层 Lower-layer	91.7 b	67.9 b	36.3 b	3 007.4 b
孕穗期 Booting stage	上层 Upper-layer	104.5 a	99.2 ab	49.0 a	4 986.2 ab
	中层 Middle-layer	97.5 b	103.6 a	54.8 a	5 367.8 a
	下层 Lower-layer	91.7 c	89.4 b	49.0 a	4 578.6 b
成熟期 Maturity stage	上层 Upper-layer	115.0 a	30.5 ab	16.6 a	489.4 b
	中层 Middle-layer	103.4 b	34.3 a	18.8 a	630.4 a
	下层 Lower-layer	108.0 b	29.2 b	18.3 a	488.6 b

2.3.2 不同夏玉米品种间的差异 对同一玉米品种不同叶层的比较发现(表 5),3 个品种叶片气孔密度均表现为上层大于中、下层,且各层间存在显著差异;平展型品种陕单 9 号气孔长度、气孔宽度和气孔面积均表现为上层>下层>中层,中间型品种农大 108 却表现为中层>上层>下层,紧凑型品种陕单 902 均表现为上层>中层>下层。

在不同生育期内,由于不同玉米品种不同叶层叶片的光合呼吸等生理过程不同,同化产物的累积及其转移也存在差异,因而其叶片气孔特性的差异也不完全一致,但其原因还有待于进一步研究。

表 5 不同叶层叶片气孔特性随夏玉米品种的变化

Table 5 Change of leaf stomata characteristics at different layers of canopy along with the variety of maize					
品种 Variety	叶层 Layer	气孔密度/(个·mm ⁻²) Stomata density	气孔长度/μm Stomata length	气孔宽度/μm Stomata width	气孔面积/μm ² Stomata areas
S9	上层 Upper-layer	106.8 a	70.3 a	38.6 a	3 569.7 a
	中层 Middle-layer	99.9 b	59.5 b	33.3 b	2 625.9 b
	下层 Lower-layer	96.4 b	66.8 ab	37.7 ab	3 276.5 ab
N108	上层 Upper-layer	110.3 a	72.3 b	35.0 b	2 895.9 ab
	中层 Middle-layer	91.7 b	78.2 a	40.5 a	3 233.3 a
	下层 Lower-layer	97.5 ab	60.3 c	34.3 b	2 524.6 b
S902	上层 Upper-layer	106.8 a	88.7 a	44.4 a	4 319.5 a
	中层 Middle-layer	101.0 ab	70.3 b	36.4 ab	2 467.9 b
	下层 Lower-layer	97.5 b	59.4 c	31.5 b	2 273.4 b

2.4 夏玉米叶片气孔性状间的相关分析

表 6 表明,叶片气孔长度与宽度之间呈极显著正相关;气孔长度、气孔宽度与气孔面积之间的相关性均达到极显著水平,但二者与气孔密度呈一定负相关,且差异不显著;气孔密度与气孔面积之间也表现出负相关。

表 6 夏玉米叶片不同气孔特征指标间的相关分析

Table 6 Correlation coefficient among different stomata characteristics of maize				
指标 Index	气孔长度 Stomata length	气孔宽度 Stomata width	气孔密度 Stomata density	气孔面积 Stomata area
气孔长度 Stomata length	1.000 0	0.986 35* *	-0.287 54	0.979 68* *
气孔宽度 Stomata width		1.000 0	-0.261 85	0.983 71* *
气孔密度 Stomata density			1.000 0	-0.254 68
气孔面积 Stomata area				1.000 0

注: * 表示相关达到显著水平($P<0.05$), * * 表示相关达到极显著水平($P<0.01$)。

Note: * and * * indicate significance of correlation at the 0.05 and 0.01 probability level, respectively.

3 讨 论

植物叶片表面的气孔是调控 CO_2 进入植物体内和植物体内水分向体外蒸散的主要通道,其对植物的蒸腾强度和光合作用等生理过程有重要影响,是影响植物光合效率和物质生产能力的重要因素。本研究中,不同株型玉米品种间叶片气孔密度、气孔长度和气孔宽度均以紧凑型品种高于其他株型品种,这与前人的研究结果一致^[1,2,6],但气孔面积的差异与之相反,以平展型品种叶片气孔面积较大,且品种间叶片气孔密度和气孔宽度差异均不显著,而气孔长度和气孔面积间均存在显著差异。本试验结果还表明,不同株型玉米品种叶片气孔特性随生育期的变化差异显著,但因遗传特性不同,其差异变化并无一致性。在本试验条件下,不同玉米品种全生育期不同叶层叶片气孔特性存在显著差异。苗芳等^[18]在对小麦进行研究时发现,随着植株叶位的上升,叶表皮气孔缩小,气孔密度增大。本试验对同一玉米品种不同叶层的比较发现,3 个品种叶片气孔密度均表现为上层大于中、下层,且各层间均存在显著差异,这与前人研究结果一致^[2,4,18];但不同株型品种不同叶层叶片气孔特性的差异变化趋势并不相同,这可能与植物本身的基因型、株型结构以及各叶层的差异变化和生育期有关。

相关分析结果表明,玉米叶片气孔长度与气孔密度呈一定负相关,这与前人在玉米^[2]、水稻^[19]、大豆^[1]上的研究结果一致。但叶片气孔长度与宽度之间呈极显著正相关,这与王秀玲等^[4]认为气孔长度与宽度呈一定负相关的结果明显不同。不同观测结果的差异性可能与选择的品种以及环境因素有关,品种不同,气孔特征差异很大;环境因素如温度、水分和光照的改变,不仅影响气孔密度,也可能使气孔长度增加或减小^[19]。

气孔是植物进行水分和气体代谢的门户,有研究表明,气孔的大小、数量及分布形式等,不仅影响植株的蒸腾强度和光合作用等生理过程,而且与植株的抗逆性密切相关^[20]。还有研究发现^[21],不同土壤水分和种植密度,不仅影响叶片的气孔密度,也影响叶片的气孔分布。本研究初步探索了不同株型玉米品种、不同冠层叶片气孔特性的差异及随生育期的变化规律,对于深入研究玉米气孔特性与光合和蒸腾等重要生理过程的关系具有重要意义,但本研究所得结果是建立在单一生态点之上,关于不同外界环境因子对玉米叶片气孔特性的影响,还有待于

进一步研究和试验证明。

4 结 论

在本试验条件下,全生育期内各玉米品种叶片气孔特性存在显著差异,随生育期推进,叶片气孔密度逐渐上升,叶片气孔面积显著下降,叶片气孔长度和气孔宽度先增加而后降低。不同株型夏玉米品种间叶片气孔密度、气孔长度和气孔宽度均以紧凑型品种高于其他株型品种,气孔面积以平展型品种较高。全生育期内,不同株型玉米品种不同叶层叶片气孔特性大小存在显著差异,但缺乏普遍规律性,不同株型玉米品种叶片气孔特性的差异与叶片位置有关。

[参考文献]

- [1] 路贵和,刘学义,张学武,等. 不同抗旱类型大豆品种气孔特性初探 [J]. 山西农业科学,1994,22(4):8-10.
Lu G H, Liu X Y, Zhang X W, et al. Preliminary study on stomata characteristics in different types of drought-resistant soybean cultivars [J]. Journal of Shanxi Agricultural Science, 1994,22(4):8-10. (in Chinese)
- [2] 王秀玲,赵 明,王启现,等. 玉米不同基因型气孔特征和叶温差的研究 [J]. 华北农学报,2004,19(1):71-74.
Wang X L, Zhao M, Wang Q X, et al. Studies on stomata characters and leaf temperature gap of different maize genotypes [J]. Acta Agriculture Boreali-Sinica, 2004, 19(1): 71-74. (in Chinese)
- [3] 刘自学,郑群英,汪 玺. 6 种不同草坪叶片的气孔特征与气孔传力 [J]. 草业科学,2005,22(8):71-75.
Liu Z X, Zheng Q Y, Wang X. The form and conductance of leaves stoma for six turfgrasses [J]. Pratacul Tural Science, 2005,22(8):71-75. (in Chinese)
- [4] 王秀玲,赵 明,王启现,等. 玉米杂交种及亲本自交系气孔特征 [J]. 作物学报,2004,30(3):293-296.
Wang X L, Zhao M, Wang Q X, et al. Leaf stomata characters of maize inbred lines and their F1 hybrid [J]. Acta Agronomica Sinica, 2004,30(3):293-296. (in Chinese)
- [5] 武志海,杨美英,吴春胜,等. 玉米群体冠层内蒸腾速率与气孔导度的变化特性 [J]. 吉林农业大学学报,2001,23(4):18-24.
Wu Z H, Yang M Y, Wu C S, et al. Varying characteristics of transpiration rate and stomata conductance in maize canopy [J]. Journal of Jilin Agricultural University, 2001, 23(4): 18-24. (in Chinese)
- [6] 陶世蓉,初庆刚,东先旺,等. 不同株型玉米叶片形态结构的研究 [J]. 玉米科学,1995,3(2):51-53.
Tao S R, Chu Q G, Dong X W, et al. Study on leaf morphological structure of maize with different types [J]. Maize Science, 1995,3(2): 51-53. (in Chinese)
- [7] 袁莉民,仇 明,王 朋,等. C_4 转基因水稻秧苗叶片气孔与叶

- 鞘维管束结构特征[J]. 中国农业科学, 2006, 39(5): 902-909.
- Yuan L M, Qiu M, Wang P, et al. Scientia agricultural sinica structure characteristics of stomata in leaves and vascular bundles in culms of transgenic rice expressing C_4 photosynthesis enzymes [J]. Scientia Agriucultura Sinica, 2006, 39(5): 902-909. (in Chinese)
- [8] 赵瑞霞, 张齐宝, 吴秀英. 干旱对小麦叶片下表皮细胞、气孔密度及大小的影响[J]. 内蒙古农业科技, 2001(6): 6-7.
- Zhao R X, Zhang Q B, Wu X Y. Effect of drought on leaf epidermis cell, stomatal density and size of wheat [J]. Inter Mongolia Agricultural Science and Technology, 2001(6): 6-7. (in Chinese)
- [9] 张永平, 王志敏, 吴永成, 等. 不同供水条件下小麦不同绿色器官的气孔特性研究[J]. 作物学报, 2006, 32(1): 70-75.
- Zhang Y P, Wang Z M, Wu Y C, et al. Stomatal characteristics of different green organs in wheat under different irrigation regimes [J]. Acta Agronomica Sinica, 2006, 32(1): 70-75. (in Chinese)
- [10] 马清温, 李凤兰, 李承森. 气孔参数的变异系数和影响因素[J]. 北京林业大学学报, 2005, 27(1): 19-23.
- Ma Q W, Li F L, Li C S. Coefficients of variation and factors affecting stomatal parameters [J]. Journal of Beijing Forestry University, 2005, 27(1): 19-23. (in Chinese)
- [11] Salisbury E J. On the causes and ecological significance of stomatal frequency, with special reference to the woodland flora [J]. Philos Trans R Soc Lond B Bio Sci, 1927, 216: 1-65.
- [12] 林植芳, 李双顺, 林桂珠. 叶片气孔的分布与光合途径[J]. 植物学报, 1986, 28(4): 387-395.
- Lin Z F, Li S S, Lin G Z. Distribution of leaf stomatal and photosynthetic pathway [J]. Acta Botanica Sinica, 1986, 28(4): 387-395. (in Chinese)
- [13] Ma Q W, Li C S. Epidermal structures of *Sequoia sempervirens* (D. Don) Endl. (Taxodiaceae) [J]. Taiwaniana, 2002, 47(3): 194-202.
- [14] 马清温, 张金保. 水杉(杉科)的叶表皮结构[J]. 植物研究, 2003, 23(1): 32-35.
- Ma Q W, Zhang J B. Epidermal structures of *Metasequoia glyptostroboides* Hu et Cheng (Taxodiaceae) [J]. Bull Bot Res, 2003, 23(1): 32-35. (in Chinese)
- [15] 蒋海荣, 王纪华, 谢瑞芝, 等. 玉米叶片纤维素含量与冠层光谱特征的研究[J]. 农业工程学报, 2005, 21(10): 5-8.
- Jiang H R, Wang J H, Xie R Z, et al. Canopy spectral reflectance in relation to the leaf cellulose content at different vertical layers of maize plants [J]. Transactions of the CSAE, 2005, 21(10): 5-8. (in Chinese)
- [16] 郭焱, 李保国. 玉米冠层的数学描述与三维重建研究[J]. 应用生态学报, 1999, 10(1): 39-41.
- Guo Y, Li B G. Mathematical description and three-dimensional reconstruction of maize canopy [J]. Chin J Appl Ecol, 1999, 10(1): 39-41. (in Chinese)
- [17] 郑淑霞, 上官周平. 近一世纪黄土高原区植物气孔密度变化规律[J]. 生态学报, 2004, 24(11): 2457-2464.
- Zheng S X, Shangguan Z P. Stomata density changes of the plants in the Loess Plateau of China over last century [J]. Acta Ecologica sinica, 2004, 24(11): 2457-2464. (in Chinese)
- [18] 苗芳, 张高午. 小麦植株发育过程中顶三叶结构的变化特征[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2004, 32(10): 15-19.
- Miao F, Zhang S W. Change characteristics of the top-three leaves' structure in wheat development process [J]. Journal of Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry: Natural Science Edition, 2004, 32(10): 15-19. (in Chinese)
- [19] 刘丽霞, 程红卫, 陈温福. 水稻叶片气孔长度、宽度和密度及其相关性的研究[J]. 沈阳农业大学学报, 2000, 31(6): 531-533.
- Liu L X, Cheng H W, Chen W F. Studies on stomatal length, width and density of rice leaves [J]. Journal of Shenyang Agricultural University, 2000, 31(6): 531-533. (in Chinese)
- [20] 朱元骏, 黄占斌, 辛小桂, 等. 分根区施保水剂对玉米气孔导度和单叶 WUE 的影响[J]. 西北植物学报, 2004, 24(4): 627-631.
- Zhu Y J, Huang Z B, Xing X G, et al. Effects on leaf stomatal conductance and single leaf water use efficiency of maize by aqua sorb rootzone-divided use [J]. Acta Bot Boreal-Occident Sin, 2004, 24(4): 627-631. (in Chinese)
- [21] 张晓艳, 杨惠敏, 侯宗东, 等. 土壤水分和种植密度对春小麦叶片气孔的影响[J]. 植物生态学报, 2003, 27(1): 133-136.
- Zhang X Y, Yang H M, Hou Z D, et al. Stomatal densities and distributions of spring wheat leaves under different planting densities and soil moisture levels [J]. Acta Phytoecologica Sinica, 2003, 27(1): 133-136. (in Chinese)