

品种、空间布局及种植密度对春玉米冠层结构、物质生产及产量的影响

朱金城^{1,2}, 陶洪斌¹, 盛耀辉¹, 高英波¹, 杨利华², 张文英², 王 璞¹

(1. 中国农业大学农学与生物技术学院, 北京 100193; 2. 河北省农林科学院粮油作物研究所, 石家庄 050035)

摘 要: 试验以农华 101、先玉 335 及郑单 958 为材料, 通过空间布局及种植密度塑造不同的冠层结构, 分析其对玉米物质生产、转运及产量的影响。结果表明, 不同品种的叶面积指数(LAI)及冠层透光率(DIFN)差异显著, 以郑单 958 表现较好, 常规种植与簇生种植的 LAI 差异不显著, 冠层透光率以常规种植较好; 随着密度增加 LAI 升高, 冠层透光率随之降低。不同品种成熟期干物质生产以先玉 335 较高, 空间布局差异不显著, 随密度增加干物质生产能力提高; 花后物质生产以先玉 335 较高, 簇生种植高于常规种植, 随密度增加花后物质生产能力升高; 叶茎转运量以郑单 958 较大, 常规种植转运量较多, 随密度增加叶茎转运量提高。品种间产量差异显著, 郑单 958 显著高于其他品种; 常规种植与簇生种植产量无显著差异; 各密度处理产量差异显著, 高密度>中密度>低密度处理。

关键词: 春玉米; 空间布局; 密度; 冠层结构

中图分类号: S513.01

文献标识码: A

Effects of Cultivar, Space Distribution and Planting Density on Plant Canopy, Dry Matter Production and Grain Yield of Spring Maize

ZHU Jin-cheng^{1,2}, TAO Hong-bin¹, SHENG Yao-hui¹, GAO Ying-bo¹,
YANG Li-hua², ZHANG Wen-ying², WANG Pu¹

(1. College of Agronomy and Biotechnology, China Agricultural University, Beijing 100193;

2. Institute of Cereal and Oil Crops, Hebei Academy of Agricultural and
Forestry Sciences, Shijiazhuang 050035, China)

Abstract: With NH101, XY335 and ZD958 as the experimental material. Adjust space distribution and plant density to shape different plant canopy, explicating the effect on dry matter production and transportation, finally to obtain higher grain yield. The results showed that the LAI and DIFN had significant difference, ZD958 had good performance, space distribution had no significant influence to LAI, but to DIFN, one plant in a hole had better DIFN; LAI increased with the increased of planting density, but DIFN contrary. XY335 had higher total dry matter, space distribution had no significant influence to total dry matter, total dry matter increased with the increased of planting density; Dry matter after silking had similar performance with total dry matter except space distribution, clumps had higher dry matter than one plant in a hole; Leaf and stem dry matter transportation had different performance in cultivar, space distribution and planting density; ZD958 had higher transportation than others, one plant in a hole has higher transportation than clumps, Leaf and stem dry matter transportation increased with the increased of planting density. Grain yield had significant difference in cultivar, ZD958 had higher yield than others. Space distribution had no significant influence on grain yield, grain yield increased with the increased of planting density, high density> medium density> low density.

Key words: Spring maize; Space distribution; Density; Plant canopy

收稿日期: 2014-06-10

基金项目: 中德合作项目(DFG International Research Training Program)、国家玉米产业技术体系项目(CARS-02)

作者简介: 朱金城(1985-), 男, 山东潍坊人, 博士, 主要从事玉米高产与资源高效利用的研究。

Tel: 13932163365 E-mail: zhujinchenglyac@163.com

王 璞为本文通讯作者。

华北平原是中国主要的农业生产区,提供了占全国75%的小麦产量和35%的玉米产量^[1]。一年两熟(冬小麦-夏玉米)种植制度是该地区主要的种植制度。该地区年均降水量为500 mm,仅有20%~30%降水在冬小麦季,70%~80%的降水在玉米季^[2~4];年均水分需求量为870 mm,其中小麦季耗水量为450 mm,玉米季耗水量为420 mm。为实现小麦季产量的稳定和提高,小麦季要灌溉400 mm左右^[5,6],水资源严重短缺已成为影响该地区农业可持续发展的关键因素之一。

薛志士等研究表明,玉米生长期和华北平原降水的时间分布和空间分布耦合度最好,而春玉米光温水生产潜力优于夏玉米^[7]。孟庆锋等研究认为,两年三熟(冬小麦-夏玉米-春玉米)、一年一熟(春玉

米连作)的水分利用效率要优于一年两熟(冬小麦-夏玉米)种植制度,但是产量差距较大,春玉米产量潜力未充分发挥影响了新型种植制度的可持续发展^[8]。本研究通过品种、空间布局及种植密度的调整塑造不同的春玉米群体冠层结构,探讨其对玉米物质生产、转运的影响,实现春玉米产量的进一步提高。

1 试验方法

1.1 试验设计

试验于2011年在中国农业大学沧州市吴桥实验站进行。实验站位于黑龙港流域中部,供试土壤为壤土,0~40 cm基础地力如表1。

表1 2011年试验地基础地力
Table 1 Soil fertility of experiment field in 2011

土层(cm) Soil layer	有机质(%) SOM	全氮(mg/g) Total N	速效磷(mg/kg) Available P	速效钾(mg/kg) Available K
0~20	1.01	0.83	4.33	133.4
21~40	0.52	0.49	4.01	92.1

本试验为3因素试验,分别为品种、空间布局、种植密度。裂区设计,品种为主区,分别为农华101(NH101)、先玉335(XY335)、郑单958(ZD958);空间布局为副区,分别为常规种植(单株等行距)、簇生种植^[9](一穴3株,6粒种子摆放在边长为10 cm的等边三角形顶点上,三叶展定苗为一穴3株);种植密度为副副区,分别为45 000株/hm²(低密度)、67 500株/hm²(中密度)、90 000株/hm²(高密度)。常规种植行距60 cm,株距分别为37、24.7、18.5 cm;簇生种植行距

为75 cm,株距分别为89、59、44 cm。共18个处理,3次重复,小区面积为46.2 m²。

肥料用量为纯氮261 kg/hm²、P₂O₅138 kg/hm²、K₂O112.5 kg/hm²,10%纯氮、50% P₂O₅和全部K₂O作为种肥侧施到种植行10 cm处;53%纯氮在大喇叭口期追施;37%纯氮和50% P₂O₅于吐丝后10 d追施。肥料种类为尿素、磷酸二铵、硫酸钾。试验于5月5日足墒播种,7月17日灌水60 mm,9月16日收获,全生育期134 d。

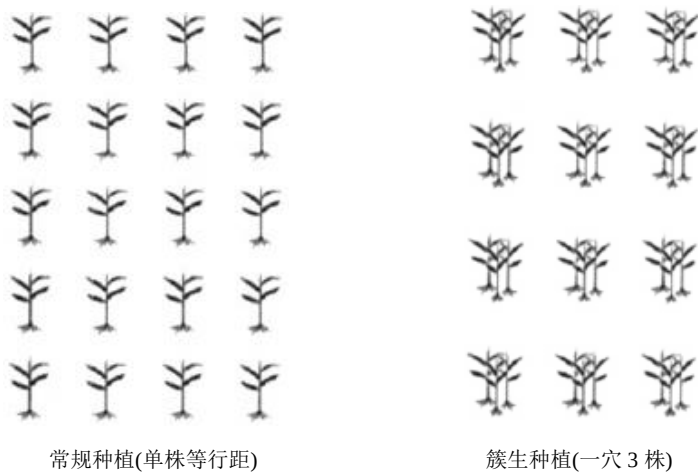


图1 不同空间布局图

Fig.1 Different space distribution

1.2 测定项目

1.2.1 形态指标

叶面积指数(LAI):吐丝期测定叶面积指数,叶面积指数=单株叶面积×种植密度/土地面积;单株叶面积根据长宽系数法计算,单叶叶面积=长×宽×系数(展开叶系数0.75,未展开叶系数0.5)^[10]。

冠层透光率:吐丝期在各小区选取3处长势均匀能代表整个小区的群体,用冠层分析仪(LAI-2000)在行间靠近植株25%、50%及75%的位置测量底层及穗位层的透光率^[11]。

1.2.2 干物重

干物重:在吐丝期及成熟期取样,分成叶、茎(茎秆+叶鞘)、苞叶、穗轴、子粒,在烘箱中105℃杀青30 min,80℃下烘干至恒重。

吐丝后干物重=成熟期各器官干物重-吐丝期各器官干物重;叶茎干物质总转运量=吐丝期叶茎总干物重-成熟期叶茎总干物重。

1.2.3 产量及产量构成

测产面积为12 m²,计算穗数、空秆数、双穗数,

室内考种测定穗行数、行粒数、千粒重等,产量=穗数×穗粒数×千粒重。

1.3 统计分析

采用 Microsoft Excel 2010 进行数据的整理、平均数及标准误分析,利用 SAS9.0 软件进行方差分析及相关性检验。

2 结果与分析

2.1 冠层结构

2.1.1 叶面积指数(LAI)

从表2、表3看出,不同品种的叶面积指数存在显著差异,ZD958的LAI最大,达到4.13;NH101达到3.88;XY335为3.47。从空间布局分析,常规种植比簇生种植的LAI稍大,但差异不显著。随密度增加LAI相应增加,从低密度的2.82增加到高密度的4.85,增加幅度达到72%,3个密度水平达到显著差异。各试验因素互作效应中两两表现不显著,但是三者互作效应达到显著水平。品种、空间布局及种植密度在调整LAI的大小时种植密度起主要作用。

表2 品种、空间布局及种植密度对吐丝期春玉米冠层结构的影响
Table 2 Effects of cultivar, space distribution and planting density on silking LAI and plant canopy of spring maize

品 种 Cultivar	田间布局 Space distribution	种植密度(株/hm ²) Density	叶面积指数 LAI	冠层透光率 Canopy light transmittance	
				底层 Base layer	穗位层 Ear layer
NH101	常规种植	45 000	3.03±0.26	0.13±0.004	0.33±0.005
		67 500	4.21±0.43	0.09±0.004	0.27±0.005
		90 000	4.72±0.32	0.07±0.005	0.19±0.003
	簇生种植	45 000	2.95±0.25	0.16±0.003	0.28±0.004
		67 500	3.45±0.25	0.09±0.005	0.20±0.009
		90 000	4.90±0.59	0.08±0.004	0.21±0.005
	常规种植	45 000	2.49±0.07	0.16±0.001	0.34±0.004
		67 500	3.40±0.20	0.11±0.004	0.18±0.003
		90 000	4.70±0.29	0.11±0.004	0.18±0.003
XY335	簇生种植	45 000	2.52±0.08	0.18±0.006	0.27±0.012
		67 500	3.23±0.16	0.10±0.007	0.21±0.008
		90 000	4.49±0.35	0.08±0.002	0.20±0.006
	常规种植	45 000	2.93±0.07	0.13±0.004	0.35±0.005
		67 500	4.04±0.42	0.08±0.004	0.25±0.006
		90 000	5.53±0.32	0.06±0.003	0.25±0.003
	簇生种植	45 000	2.98±0.26	0.19±0.002	0.33±0.006
		67 500	4.52±0.44	0.09±0.007	0.26±0.008
		90 000	4.75±0.26	0.07±0.005	0.21±0.006

2.1.2 冠层透光率

不同品种因为株型的差异造成了冠层透光率的差异,且底层与穗位层的冠层透光率表现并不一致,具体表现为底层透光率XY335>ZD958>NH101,穗

位层透光率ZD958>NH101>XY335。从底层与穗位层透光率看出,郑单958株型更合理,上部不郁闭,下部漏光少。从空间布局分析,常规种植与簇生种植存在显著差异,底层为簇生种植大于常规种植,穗

位层为常规种植大于簇生种植,说明在空间布局上常规种植更合理。从种植密度角度分析,随着密度增加冠层透光率逐渐降低,底层从0.161降至0.079,穗位层从0.317降至0.206。3个种植密度水平冠层透光率达到极显著水平,各试验因素互作效应达到极显著水平。

表3 品种、空间布局及种植密度对吐丝期春玉米冠层结构的方差分析
Table 3 ANOVA analyses of cultivar, space distribution and planting density on silking LAI and plant canopy of spring maize

试验因素 Experimental factor		叶面积指数 LAI	冠层透光率 DIFN	
			底 层	穗位层
			Base layer	Ear layer
品 种	NH101	3.88 b	0.103 c	0.245 b
	XY335	3.47 c	0.123 a	0.230 c
	ZD958	4.13 a	0.107 b	0.276 a
空间布局	常规种植	3.89 a	0.105 b	0.261 a
	簇生种植	3.76 a	0.117 a	0.240 b
种植密度	45 000株/hm ²	2.82 c	0.161 a	0.317 a
	67 500株/hm ²	3.81 b	0.093 b	0.230 b
	90 000株/hm ²	4.85 a	0.079 c	0.206 c
均 方	品种	1.96***	0.002 0***	0.001 0***
	空间布局	0.25	0.002 0***	0.006 0***
	种植密度	18.55***	0.035 0***	0.062 0***
	品×空	0.02	0.001 0***	0.000 5***
	品×密	0.17	0.000 2***	0.000 7***
	空×密	0.08	0.000 2***	0.002 8***
	品×空×密	0.46**	0.000 3***	0.003 0***

注:同列相同试验因素不同字母表示达到0.05显著水平。*、**和***分别表示0.05、0.01和0.001显著水平。下表同。
Note: Letters indicated statistical significance at 0.05 level within the same column. *, ** and *** represented significance at 0.05, 0.01 and 0.001 probability level, respectively. The same below.

2.2 干物质生产与转运

表4 品种、空间布局及种植密度对春玉米干物质生产及转运的影响
Table 4 Effects of cultivar, space distribution and planting density on dry matter production and transportation t/hm²

品 种	田间布局	种植密度	成熟期干物重	吐丝后干物重	占总干物重	叶茎干物质总转运量
Cultivar	Space	(株/hm ²)	Dry matter weight	Dry matter weight	比例(%)	Total transportation of
	distribution	Plant density	at maturity	after silking	Ratio to total dry matter	leaf and stem
NH101	常规种植	45 000	15.4±0.2	9.1±0.1	0.59±0.00	0.88±0.00
		67 500	16.5±0.4	8.8±0.4	0.53±0.01	2.32±0.16
		90 000	16.1±0.4	7.9±0.2	0.49±0.01	1.95±0.14
	簇生种植	45 000	15.4±0.1	10.1±0.3	0.65±0.01	0.29±0.26
		67 500	14.9±0.5	9.1±0.4	0.61±0.01	1.60±0.13
		90 000	17.3±0.2	10.2±0.1	0.59±0.01	2.00±0.07
	常规种植	45 000	14.1±0.1	8.1±0.1	0.57±0.01	2.07±0.09
		67 500	16.7±0.1	10.0±0.2	0.59±0.01	1.87±0.31
		90 000	19.0±0.2	10.5±0.1	0.55±0.01	2.63±0.10
XY335	簇生种植	45 000	15.8±0.3	10.8±0.4	0.68±0.01	0.08±0.18
		67 500	18.0±0.6	12.0±0.6	0.67±0.02	0.67±0.30
		90 000	18.3±0.1	10.8±0.2	0.59±0.01	1.21±0.08
	常规种植	45 000	14.9±0.1	9.2±0.3	0.61±0.01	1.10±0.26
		67 500	16.7±0.2	9.9±0.5	0.59±0.02	2.47±0.56
		90 000	19.4±0.5	10.6±0.4	0.55±0.01	3.55±0.04
	簇生种植	45 000	14.9±0.3	9.4±0.4	0.63±0.02	1.17±0.28
		67 500	17.1±0.1	10.2±0.1	0.60±0.01	1.15±0.08
		90 000	17.5±0.3	9.8±0.1	0.56±0.00	2.64±0.03

表5 品种、空间布局及种植密度对春玉米干物质生产及转运的影响

Table 5 ANOVA analyses of cultivar, space distribution and planting density on dry matter production and transportation of spring maize t/hm²

试验因素 Experimental factor		成熟期干物重 Dry matter weight at maturity	吐丝后干物重 Dry matter weight after silking	占总干物重 比例(%) Ratio to total dry matter	叶茎干物质总转运量 Total transportation of leaf and stem
品 种	NH101	15.9 c	9.2 c	0.58 c	1.50 b
	XY335	17.0 a	10.3 a	0.61 a	1.39 b
	ZD958	16.7 b	9.8 b	0.59 b	2.01 a
空间布局	常规种植	16.6 a	9.3 b	0.57 b	2.09 a
	簇生种植	16.5 a	10.3 a	0.62 a	1.18 b
种植密度	45 000株/hm ²	15.1 c	9.4 b	0.62 a	0.90 c
	67 500株/hm ²	16.7 b	10.0 a	0.60 b	1.68 b
	90 000株/hm ²	17.9 a	10.0 a	0.56 c	2.33 a
均 方	品种	5.43***	5.87***	0.005***	1.97***
	空间布局	0.02	11.39***	0.038***	11.21***
	种植密度	36.14***	1.80***	0.020***	9.18***
	品×空	2.02***	3.78***	0.006***	1.66***
	品×密	3.06***	2.17***	0.001***	0.97***
	空×密	1.25***	0.59*	0.000 2	0.12
	品×空×密	3.17***	1.99***	0.001***	0.63***

从表4、表5中看出,不同品种的干物质生产总量存在显著差异,XY335>ZD958>NH101;不同空间布局间无显著差异;随着种植密度增加干物质生产总量呈上升趋势,3个密度水平差异显著,从15.1 t/hm²至17.9 t/hm²,增加18.5%;各试验因素互作效应显著。不同品种吐丝后干物质积累量与干物质生产总量趋势一致;常规种植显著低于簇生种植处理,相差1.0 t/hm²;低密度处理吐丝后干物质积累量与中密度及高密度差异显著,中密度与高密度处理差异不显著;各试验因素互作效应显著。吐丝后干物质积累量占干物质生产总量的比例大约为60%,不同处理差异显著,品种间XY335>ZD958>NH101;簇生种植显著大于常规种植;低密度处理显著高于中密度处理,中密度处理显著高于高密度处理,说明随着密度增加花后物质生产效率降低;各试验因素除空间布局与种植密度互作效应不显著外其余各试验因素互作效应显著。叶茎总干物质转运量以ZD958最大,显著高于NH101和XY335,NH101和XY335差异不显著;常规种植显著高于簇生种植,相差0.91 t/hm²;随着密度的增加叶茎干物质转运量呈增加趋势,且各处理差异达到显著水平,说明密度增加后虽然花后物质生产效率降低,但是花前转运量呈增加趋势;各试验因素除空间布局与种植密度互作效应不显著外其余各试验因素间互作效应显著。

2.3 产量及产量构成

从表6、表7可看出,品种间产量差异显著,ZD958显著高于XY335,XY335显著高于NH101,穗数差异不显著,产量差异主要是由于穗粒数及千粒重造成的差异,ZD958的穗粒数及千粒重都较高,XY335穗粒数较低,NH101千粒重较低。常规种植与簇生种植相比产量无明显差异,均在10.1 t/hm²左右,虽然千粒重存在差异,但是穗数及穗粒数弥补了其差异。各种植密度处理产量差异显著,高密度>中密度>低密度,高密度与低密度差异达1.5 t/hm²,随着种植密度增加,收获穗数增加,穗粒数及千粒重随之降低,但收获穗数能够弥补穗粒数及千粒重降低的影响,最终产量仍以高密度处理较高。从收获穗数看各试验因素无明显互作效应;从穗粒数及千粒重看各试验因素互作效应显著;从产量角度看各试验因素除空间布局与种植密度互作效应不显著外其余各试验因素间互作效应均达到显著水平。

2.4 冠层结构及物质转运与产量及产量构成因素的相关分析

从表8中看出,在本试验中穗数与产量呈正相关关系(0.68),且达到极显著水平($P<0.001$);穗粒数与产量为负相关(-0.60),达到极显著水平($P<0.001$);千粒重与产量为负相关(-0.21)。各产量构成因素中穗数与穗粒数及千粒重均呈负相关关系,相关系数

分别为-0.96、-0.64, 相关均达到极显著水平($P<0.001$); 穗粒数与千粒重相关系数为0.53, 相关达到极显著水平($P<0.001$)。LAI 及 DMT 与产量为正相关, 相关系数分别为0.72、0.63, 正相关达到极显著水平($P<0.001$), DIFN 与产量为负相关, 相关系数分别为-0.67, 负相关达到极显著水平($P<0.001$)。LAI

及 DMT 与穗数呈正相关, 与 DIFN 呈负相关, 即群体增大造成了叶面积指数增大, 冠层透光率降低, 使茎叶干物质转运量增加。LAI 及 DMT 与穗粒数呈负相关关系, 与 DIFN 呈正相关关系, 千粒重与穗粒数有类似的规律。

表 6 品种、空间布局及种植密度对春玉米产量及产量构成的影响
Table 6 Grain yield and yield components in different treatments

品 种 Cultivar	田间布局 Space distribution	种植密度(株/hm ²) Plant density	穗数(穗/hm ²) Ear number	穗粒数(粒) Kernels per ear	千粒重(g) 1 000-kernel weight	产量(t/hm ²) Grain yield
NH101	常规种植	45 000	44 361±599	590±5	359.8±5.5	9.3±0.2
		67 500	66 861±922	513±6	311.0±3.9	10.1±0.1
		90 000	88 647±1 178	410±14	302.0±4.0	10.3±0.1
	簇生种植	45 000	44 243±1 251	607±7	353.4±8.3	9.1±0.1
		67 500	66 673±1 075	473±11	323.0±5.7	9.7±0.2
		90 000	87 908±1 270	412±4	290.5±2.3	9.6±0.2
XY335	常规种植	45 000	44 246±791	603±17	370.8±5.9	9.2±0.2
		67 500	66 851±567	483±33	352.7±1.8	10.3±0.2
		90 000	89 192±771	374±0	350.8±4.6	10.2±0.2
	簇生种植	45 000	44 393±851	583±23	371.4±4.0	9.2±0.2
		67 500	66 943±664	451±8	368.6±3.4	10.0±0.1
		90 000	87 690±1 353	374±18	347.0±5.0	10.6±0.4
ZD958	常规种植	45 000	44 654±1 388	616±2	356.5±7.6	9.7±0.1
		67 500	66 583±769	484±13	345.1±4.0	10.6±0.1
		90 000	88 797±1 632	399±7	339.6±4.3	12.2±0.1
	簇生种植	45 000	44 288±879	580±8	377.9±3.3	9.7±0.1
		67 500	66 828±1 137	507±5	349.4±4.4	11.2±0.2
		90 000	89 151±936	429±5	337.5±0.9	12.2±0.1

表 7 品种、空间布局及种植密度对春玉米产量及产量构成的影响
Table 7 ANOVA analyses of cultivar, space distribution and planting density on grain yield and yield components

试验因素 Experimental factor		穗数(穗/hm ²) Ear number	穗粒数(粒) Kernels per ear	千粒重(g) 1 000-kernel weight	产量(t/hm ²) Yield
品 种	NH101	66 449 a	500.7 a	323.4 c	9.67 c
	XY335	66 552 a	478.0 b	360.2 a	9.91 b
	ZD958	66 717 a	502.6 a	351.0 b	10.92 a
空间布局	常规种植	66 688 a	496.9 a	343.2 b	10.19 a
	簇生种植	66 458 a	490.6 a	346.5 a	10.14 a
种植密度	45 000 株/hm ²	44 364 c	596.4 a	365.0 a	9.35 c
	67 500 株/hm ²	66 790 b	485.2 b	341.6 b	10.30 b
	90 000 株/hm ²	88 564 a	400.0 c	328.0 c	10.86 a
均 方	品种	328 729	3 370.0***	8 807.0***	7.93***
	空间布局	715 991	529.0	198.0**	0.05
	种植密度	8.79×10 ⁹ ***	175 243.0***	8 391.0***	10.46***
	品×空	326 261	57.05*	155.0**	0.47***
	品×密	287 942	581.0*	887.0***	1.23***
	空×密	564 132	979.0**	438.0***	0.002
	品×空×密	574 794	1 325.0***	194.0***	0.19**

表8 冠层结构及物质转运与产量及产量构成因素的相关分析

Table 8 Correlation analysis of plant canopy and dry matter production with grain yield and its components

指 标	产 量	穗 数	穗粒数	千粒重	叶面积指数	冠层透光率	叶茎干物质转运量
Index	Grain yield	Ear number	Kernels per ear	1 000-kernel weight	LAI	DIFN	DMT
产 量	1.00						
穗 数	0.68***	1.00					
穗粒数	-0.6***	-0.96***	1.00				
千粒重	-0.21	-0.64***	0.53***	1.00			
叶面积指数	0.72***	0.88***	-0.81***	-0.63***	1.00		
冠层透光率	-0.67***	-0.85***	0.79***	0.70***	-0.79***	1.00	
叶茎干物质转运量	0.63***	0.64***	-0.57***	-0.43***	0.68***	-0.61***	1.00

3 结论与讨论

品种间产量差异显著,ZD958显著高于XY335,XY335显著高于NH101;收获穗数差异不显著,主要是由穗粒数及千粒重造成差异,ZD958的穗粒数及千粒重都较高,XY335穗粒数较低,NH101千粒重较低。空间布局主要通过株距及行距的变化改变微生境,形成地上及地下不同层面的生态位供植株个体占有。俞凤芳等进行的穴播种植研究认为,一穴3株比一穴双株和单株更能促进产量的提高^[12]。本研究认为,常规种植与簇生种植相比叶面积指数差异不显著,但是冠层透光率以常规种植更有利于光分布。成熟期总干物质质量二者差异不显著,但是花后簇生种植生物量更大,而叶茎干物质转运量为常规种植显著高于簇生种植,最终产量二者差异不显著。随着种植密度的增加,叶面积指数增加,冠层透光率随之降低,利于光的截获,差异达到显著水平。随着种植密度增加干物质生产总量呈上升趋势,3个密度水平差异显著,从15.1 t/hm²至17.9 t/hm²,增加18.5%。随着种植密度增加花后物质生产效率降低,但是花前叶茎转运量呈增加趋势。各密度处理产量差异显著,高密度>中密度>低密度,高密度与低密度差异达1.5 t/hm²,随着种植密度增加,收获穗数增加,穗粒数及千粒重随之降低,但收获穗数能够弥补穗粒数及千粒重降低的影响,最终产量仍以高密度处理较高。

种植密度造成的冠层差异、物质生产、转运与最终产量要大于品种对其的影响,而常规种植与簇生种植差异不明显。本研究为一年田间试验结果,还需增加不同年际间的试验结果,以增加结果的准确性。

参考文献:

[1] 中国国家统计局. 中国农业年鉴[M]. 北京:中国农业出版社, 2009.

[2] Liu C M, Yu J J, Kend E. Groundwater exploitation and its impact on the environment in the North China Plain[J]. Water International, 2001, 26: 265-272.

[3] Sun H Y, Shen Y J, Yu Q, et al. Effect of precipitation change on water balance and WUE of the winter wheat-summer maize rotation in the North China Plain[J]. Agricultural Water Management, 2010, 97: 1139-1145.

[4] Wang E L, Yu Q, Wu D R, Xia J. Climate, agricultural production and hydro-logical balance in the North China Plain[J]. International journal of climatology, 2008, 28: 1959-1970.

[5] 王志敏,王 璞,兰林旺,等. 黄淮海地区优质小麦节水高产栽培研究[J]. 中国农学通报,2003, 19(4):22-25,43.

Wang Z M, Wang P, Lan L W, et al. A water-saving and high-yielding cultivation system for bread wheat in Huang-Huai-Hai area of China[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2003, 19(4): 22-25, 43. (in Chinese)

[6] Zhang X Y, Pei D, Hu C S. Conserving groundwater for irrigation in the North China Plain[J]. Irrigation Science, 2003, 21: 159-166.

[7] 薛志士,罗其友,宫连英. 节水农业宏观决策基础研究[M]. 北京:气象出版社,1998.

[8] Meng Q F, Sun Q P, Chen X P, et al. Alternative cropping systems for sustainable water and nitrogen use in the North China Plain[J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2012, 146: 93-102.

[9] 吴雪梅,陈源泉,李宗新,等. 玉米空间布局种植方式研究进展评述[J]. 玉米科学,2012,20(3):115-121.

Wu X M, Chen Y Q, Li Z X, et al. Research progress of maize planting spatial layout pattern[J]. Journal of Maize Sciences, 2012, 20(3): 115-121. (in Chinese)

[10] 郭庆法,王庆成,汪黎明. 中国玉米栽培学[M]. 上海:上海科学技术出版社,2004.

[11] Raymond F D, Thomason W E, Alley M M, et al. Reducing corn yield variability and enhancing yield through the use of corn-specific growth models[J]. Journal of Crop Improvement, 2009, 23: 467-485.

[12] 俞凤芳,丁成芳. 种植方式和密度对高产玉米产量及相关性状的影响[J]. 湖北农业科学,2010,49(6):1297-1299.

Yu F F, Ding C F. Effect of cultivation methods patterns and plant density on yield and related traits of maize[J]. Hubei Agricultural Sciences, 2010, 49(6): 1297-1299. (in Chinese)

(责任编辑:高 阳)