

种植密度和行距配置对高产夏玉米冠层特性及产量的影响

冯海娟¹, 张善平^{1*}, 陈海宁^{1,2}, 李玉岭¹, 胡兆平^{1,2}

(1. 金正大生态工程集团股份有限公司, 山东临沭 276700; 2. 农业部植物营养与新型肥料创制重点实验室, 山东临沭 276700)

摘要 [目的]筛选夏玉米适宜的种植密度、行距配置。[方法]采用大田试验,设计不同的品种(登海661、郑单958和先玉335)、密度(67 500和90 000株/hm²)和行距配置(40 cm + 80 cm和60 cm + 60 cm)构建不同的冠层结构,研究密度和行距配置对不同玉米品种冠层结构、功能及产量的影响。[结果]不同品种对于密度和行距配置的调控响应不一致。登海661在90 000株/hm²、大小行种植,郑单958、先玉335均在90 000株/hm²、等行距种植时形成的冠层较合理,表现为产量、群体干物质积累量最高。[结论]该研究可为夏玉米的种植提供参考。

关键词 密度;行距配置;高产夏玉米;冠层特性;产量

中图分类号 S513 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2017)25-0051-04

Effects of Planting Population and Row Spacing Arrangements on Canopy Characteristics and Grain Yield of Summer Corn
FENG Hai-juan¹, ZHANG Shan-ping^{1*}, CHEN Hai-ning^{1,2} et al (1. Kingenta Ecological Engineering Co. Ltd., Linshu, Shandong 276700; 2. Key Laboratory of Plant Nutrition and New Fertilizers Creation, Ministry of Agriculture, Linshu, Shandong 276700)

Abstract [Objective] The objective was to screen suitable planting population and row spacing arrangements. [Method] With different canopy structure building by different varieties (Denghai 661, Zhengdan 958 and Xianyu 335), plant population (67 500 plants per hectare and 90 000 plants per hectare) and row spacing arrangements (40 cm + 80 cm and 60 cm + 60 cm), we studied the effects of planting population and row spacing arrangements on canopy structure, function and grain yields of summer corn in field. [Result] The responds of different varieties to plant population and row spacing arrangements were not coincident. Under 90 000 plants per hectare condition, with wide-narrow row spacing, the canopy structure of Denghai 661 was reasonable and the highest yield and dry matter appeared. But the best row spacing condition of Zhengdan 958 and Xianyu 335 were normal row spacing, and yield and dry matter accumulation were the highest. [Conclusion] The research can offer reference for planting summer maize.

Key words Plant population; Row spacing; High-yield summer maize; Canopy characteristics; Grain yield

2006—2010年全国共涌现出159块15 000 kg/hm²以上的高产田,其中45.3%的高产田为75 000~90 000穗/hm²,80.5%的高产田为67 500~97 500穗/hm²,≤67 500穗/hm²的高产田仅1块(占0.6%),说明合理密植是决定高产的关键之一^[1]。在稳定单穗粒重或单穗粒重稍有减轻的条件下增加种植密度、合理密植是今后超高产栽培的发展趋势^[2-3]。提高种植密度,增加光合势在后期的分配比例和花后净同化率,是获得玉米高产的重要途径^[4]。但随种植密度增加,群体内光截获率加大,植株间相互遮荫,田间郁蔽,透光条件变差^[5-7];过高的群体密度,导致中下部叶层的光照条件变劣,叶片早衰,玉米生长发育后期群体光合能力迅速降低^[8]。前人研究表明,行距配置对于建立良好的群体冠层结构具有重要意义^[9-11]。合理的行距配置可以改善冠层内的光照、温度、湿度和CO₂等微环境,调节群体的光合效率和作物产量^[12]。尤其在高密度条件下,宽窄行种植可扩大光合面积,充分利用不同层次的光资源,改善通风能力,提高中下层叶片的光合性能,更好地协调玉米群体和个体的关系,使光能在玉米群体冠层内的分布更加合理,提高玉米群体的光能利用率^[7,12-16]。因此,在高产条件下选用株型不同的3个品种,设置2个种植密度、2个行距配置。研究不同种植密度和行距配置对冠层特性和产量形成的影响,以期探明高产

夏玉米最适的种植方式,为提高夏玉米单产、保障国家粮食安全提供理论和技术支持。

1 材料与方法

1.1 试验地点概况 试验于2012年在山东农业大学黄淮海区域玉米技术创新中心(36°18' N, 117°12' E)进行,试验田0~20 cm耕层土壤有机质含量10.41 g/kg,全氮0.75 g/kg,碱解氮57.39 mg/kg,速效磷37.05 mg/kg,速效钾127.12 mg/kg。

1.2 试验设计 试验大田种植,选用株型不同的3个玉米品种登海661(DH661)、郑单958(ZD958)和先玉335(XY335),设置2个种植密度67 500株/hm²(D₁)和90 000株/hm²(D₂),2种行距配置40 cm + 80 cm(R₁)和60 cm + 60 cm(R₂),采用裂区设计,密度为主区,行距为裂区,品种为裂裂区,共12个处理,重复4次,每小区面积90 m²(15 m×6 m)。2012年于6月14日播种,10月2日收获。其他管理措施同一般高产田。

1.3 测定项目及方法 干物质积累量:于小喇叭口期(V₉)、开花期(VT)、乳熟期(R₃)和完熟期(R₆)测定。选择生长发育一致的植株5株,按照茎秆(叶鞘)、叶片、雄穗、籽粒、穗轴、苞叶等部分分开后,105℃杀青30 min后80℃烘干至恒重并称重。

群体内透光率:在开花期、蜡熟期选择晴朗无云天气,于10:00—11:00利用SunScan冠层分析仪分别测定顶部、穗位层和底层光强。透光率(%) = 穗位层(底层)光强/冠层顶部光强×100。

叶片的夹角、方位角:参照G. A. Maddonni(2001)的方法

基金项目 玉米种肥一体化节本增效关键技术研发与示范,泰山种业人才团队支撑计划项目,作物节本增效高产关键技术研发与示范,泰山产业领军人才工程。

作者简介 冯海娟(1987—),女,河北沧州人,助理农艺师,硕士,从事作物栽培与生理及新型肥料研究。*通讯作者,助理农艺师,硕士,从事作物栽培及新型肥料研究。

收稿日期 2017-05-17

在蜡熟期测定。叶片夹角分为穗位上叶夹角、穗位下叶夹角;方位角是以植株为圆心的同心圆分为 16 份,每份 22°30′按逆时针编号为 1~16,0~180°线一直处于玉米行内,在铅锤上系一细绳,测量每片叶叶脉最高点所在的分区,将落在 1、8、9、16 区内的定义为与种植行平行,其他为垂直于种植行。叶片垂直率(%)=垂直于行的叶片数/单株总叶片数×100。每处理选择连续的 20 株进行测量,求平均值。

1.4 数据处理 采用 Microsoft Excel 2007 处理数据,并用 DPS v10.0 软件检验处理间的差异显著性(LSD 法)。

2 结果与分析

2.1 产量及产量构成因素 由表 1 可知,随密度的增加,登海 661、郑单 958 和先玉 335 在 2 种行距种植下的平均产量分别提高了 14.59%、21.42%、9.39%。低密度下,大小行种

植对 3 个品种产量的影响不显著;高密度下,登海 661 产量大小行种植显著高于等行距种植,提高了 2.83%,而郑单 958 和先玉 335 则是等行距种植显著高于大小行种植,分别提高了 3.81%、6.23%。不同种植方式对登海 661 和郑单 958 的千粒重影响不显著。2 种行距种植下先玉 335 的平均千粒重在增大密度后显著下降了 2.95%,在低密度下大小行种植无显著差异,高密度下大小行种植则显著降低了 2.00%。随密度增加,登海 661、郑单 958 和先玉 335 在 2 种行距种植下的平均穗粒数分别显著下降了 14.13%、6.17%、16.50%。低密度条件下大小行种植对登海 661、先玉 335 穗粒数的影响不显著,郑单 958 下降了 3.99%;高密度下大小行种植使登海 661 显著增加了 3.18%,而郑单 958、先玉 335 则分别使穗粒数下降了 5.27%、3.61%。

表 1 不同处理玉米产量及其构成因素
Table 1 Yield and yield components of maize under different treatment

品种 Cultivar	处理 Treatment	实际穗数 Actual ear 万穗/hm ²	穗行数 Row No. per spike//行	行粒数 Grains per row//粒	穗粒数 Grains per ear//粒	千粒重 1 000-kerne weight//g	产量 Yield t/hm ²
登海 661	D ₁ R ₁	6.67 b	14.93 a	33.92 a	506.49 a	376.77 a	12.73 c
Denghai 661	D ₁ R ₂	6.78 b	15.07 a	33.73 a	508.25 a	374.28 a	12.90 c
	D ₂ R ₁	8.83 a	14.33 b	31.50 ab	451.50 b	373.58 a	14.89 a
	D ₂ R ₂	8.85 a	14.73 a	29.70 b	437.58 c	373.84 a	14.48 b
郑单 958	D ₁ R ₁	6.78 b	15.03 a	35.22 a	529.42 b	374.33 a	13.44 d
Zhengdan 958	D ₁ R ₂	6.83 b	14.93 a	36.87 a	550.54 a	368.83 a	13.87 c
	D ₂ R ₁	8.89 a	14.43 b	34.33 a	495.54 c	369.39 a	16.27 b
	D ₂ R ₂	8.78 a	14.83 ab	35.17 a	521.64 b	368.72 a	16.89 a
先玉 335	D ₁ R ₁	6.78 b	15.60 b	31.65 a	493.74 a	422.88 a	14.16 c
Xianyu 335	D ₁ R ₂	6.89 b	15.97 a	30.87 a	492.84 a	420.17 a	14.27 c
	D ₂ R ₁	8.95 a	15.13 c	27.48 b	415.91 c	404.99 c	15.08 b
	D ₂ R ₂	9.00 a	15.57 b	27.68 b	430.94 b	413.07 b	16.02 a

注:同列数据后不同小写字母表示品种间差异达 0.05 显著水平
Note:Different lowercase at the same column stand for significant differences at 0.05 level

2.2 干物质积累 由表 2 可知,随密度的增加,登海 661、郑单 958 和先玉 335 完熟期 2 种行距种植下平均单株干物质积累量均显著下降,分别下降了 26.65%、12.39%、26.20%。登海 661 完熟期单株干物质积累量在低密度下不同行距配

置间差异不显著,高密度下大小行种植则显著提高了 9.64%;群体干物质积累量在 90 000 株/hm²、40 cm+80 cm 时干物质积累能力最强,显著高于等行距种植。郑单 958 的单株干物质积累量在低密度条件下大小行种植比等行距种

表 2 种植方式对不同玉米品种干物质积累的影响
Table 2 Effect of plant pattern on dry matter accumulation of different maize cultivars

品种 Cultivar	处理 Treatment	单株干物质积累 Dry matter accumulation per plant//g				群体干物质积累 Population dry matter accumulation //t/hm ²			
		小喇叭口期 V9	开花期 VT	乳熟期 R3	完熟期 R6	小喇叭口期 V9	开花期 VT	乳熟期 R3	完熟期 R6
登海 661	D ₁ R ₁	48.24 a	108.91 a	192.02 a	320.94 a	3.26 b	7.35 b	12.96 c	21.66 b
Denghai 661	D ₁ R ₂	46.77 a	107.74 a	184.98 b	314.51 a	3.16 b	7.27 b	12.49 d	21.23 b
	D ₂ R ₁	43.32 b	86.74 b	177.98 c	262.40 b	3.90 a	7.81 a	16.02 a	23.62 a
	D ₂ R ₂	42.39 b	91.41 b	160.92 d	239.32 c	3.82 a	8.23 a	14.48 b	21.54 b
郑单 958	D ₁ R ₁	44.84 b	133.91 a	222.94 a	339.50 a	3.03 b	9.04 b	15.05 c	22.92 c
Zhengdan 958	D ₁ R ₂	58.02 a	117.68 b	215.30 b	321.88 b	3.92 a	7.94 c	14.53 d	21.73 d
	D ₂ R ₁	42.32 b	105.12 c	183.24 d	285.72 d	3.81 a	9.46 a	16.49 b	25.71 b
	D ₂ R ₂	45.17 b	97.25 d	197.47 c	302.76 c	4.07 a	8.75 b	17.77 a	27.25 a
先玉 335	D ₁ R ₁	43.84 b	135.24 a	227.62 b	332.86 b	2.96 a	9.13 a	15.36 b	22.47 d
Xianyu 335	D ₁ R ₂	54.37 a	135.14 a	234.85 a	373.31 a	3.67 a	9.12 a	15.85 a	25.20 b
	D ₂ R ₁	39.28 b	102.96 b	154.05 d	257.13 d	3.53 a	9.27 a	13.86 c	23.14 c
	D ₂ R ₂	42.47 b	93.65 c	175.50 c	302.44 c	3.82 a	8.43 b	15.80 a	27.22 a

注:同列数据后不同小写字母表示品种间差异达 0.05 显著水平
Note:Different lowercase at the same column stand for significant differences at 0.05 level

植显著提高了 5.47%,而在高密度条件下反而下降了 5.96%;群体干物质积累在 90 000 株/hm²、60 cm + 60 cm 时最大。先玉 335 单株干物质积累量在高、低密度下均是等行距种植显著高于大小行种植,分别提高了 17.62%、12.15%;群体干物质积累在高密度条件下大小行种植显著降低了群体干物质生产能力,在 90 000 株/hm²、60 cm + 60 cm 时群体干物质积累量最大。

2.3 透光率 由表 3 可知,随密度的增大,3 个品种的底层、穗位层透光率均显著下降。不同品种透光率对大小行种植响应不同。在低密度条件下,大小行种植时登海 661 和郑单 958 底层透光率无显著差异,先玉 335 在开花期显著降低了 2.62%,在蜡熟期显著降低了 3.3%;在高密度条件下的开花期,登海 661 大小行种植比等行距种植显著提高了

2.78%,郑单 958 和先玉 335 则分别下降了 0.98%、2.18%,而在蜡熟期,登海 661 和先玉 335 不同行距处理间无明显差异,郑单 958 的大小行种植则比等行距种植显著提高了 1.28%。在开花期不同密度下,大小行种植使登海 661 穗位层透光率分别显著提高了 2.31%、6.97%,而郑单 958 和先玉 335 则显著下降了 10.31%、4.44% 和 2.83%、1.8%,而在蜡熟期不同密度下,大小行种植使登海 661 穗位层透光率显著提高了 2.38%、2.25%,使郑单 958 在低密度下显著下降了 12.95%,在高密度下无显著差异,使先玉 335 显著下降了 4.72%、3.79%。两时期相比较,3 个品种底层透光率、穗位层透光率在后期均显著提高,这说明,随着生育进程的发展,玉米植株自身具有一定的调节能力,能增大通风透光能力,有利于叶片光合作用的进行,从而获得高产。

表 3 不同种植方式下 3 个品种的透光率的变化
Table 3 Percent transmission of three summer maize cultivars under different planting patterns %

品种 Cultivar	处理 Treatment	底层透光率 Percent transmission of bottom		穗位层透光率 Percent transmission of ear layer	
		开花期 VT	蜡熟期 R4	开花期 VT	蜡熟期 R4
登海 661 Denghai 661	D ₁ R ₁	8.95 a	11.42 a	25.11 a	28.60 a
	D ₁ R ₂	9.06 a	10.64 a	22.80 b	26.22 b
	D ₂ R ₁	6.46 b	8.71 b	18.72 c	19.42 c
	D ₂ R ₂	3.68 c	8.46 b	11.75 d	17.17 d
郑单 958 Zhengdan 958	D ₁ R ₁	5.34 a	10.70 a	18.79 b	22.87 b
	D ₁ R ₂	5.71 a	10.01 a	29.10 a	35.82 a
	D ₂ R ₁	2.29 c	7.17 b	8.40 d	14.28 c
	D ₂ R ₂	3.27 b	5.89 c	12.84 c	15.91 c
先玉 335 Xianyu 335	D ₁ R ₁	6.13 b	7.90 b	16.33 b	18.53 b
	D ₁ R ₂	8.75 a	11.20 a	19.16 a	23.25 a
	D ₂ R ₁	2.62 d	4.71 c	11.36 d	16.07 c
	D ₂ R ₂	4.80 c	5.17 c	13.16 c	19.86 b

注:同列数据后不同小写字母表示品种间差异达 0.05 显著水平
Note:Different lowercase at the same column stand for significant differences at 0.05 level

2.4 冠层构成因素 由表 4 可知,3 个品种在增大密度和大小行种植后,穗位上叶夹角、穗位下叶夹角均显著减小,使株型更加紧凑,有利于提高冠层整体的通风透光能力,有利于

提高光能利用率,但是先玉 335 穗位上叶夹角对密度的调控不敏感。

表 4 冠层构成因素对种植密度和行距配置的响应
Table 4 Responses of canopy components to plant population and row spacing form %

品种 Cultivar	处理 Treatment	穗位上叶夹角 Leaf angle above ear	穗位下叶夹角 Leaf angle under ear	垂直占有率 Percentage of leaves perpendicular	叶长 Leaf length	叶宽 Leaf width
登海 661	D2vsD1	10.54 ↓	5.08 ↓	22.69 ↑	4.66 ↑	3.72 ↓
Denghai 661	R1vsR2	21.48 ↓	28.65 ↓	2.31 ↑	2.01 ↓	2.79 ↓
郑单 958	D2vsD1	30.75 ↓	20.42 ↓	6.83 ↓	4.76 ↑	3.19 ↓
Zhengdan 958	R1vsR2	21.80 ↓	23.75 ↓	8.62 ↓	2.87 ↑	1.91 ↑
先玉 335	D2vsD1	0.26 ↓	21.43 ↓	3.75 ↓	0.62 ↑	4.68 ↓
Xianyu 335	R1vsR2	2.51 ↓	17.65 ↓	3.98 ↓	2.26 ↓	1.82 ↓

大小行种植对于登海 661 叶片的垂直占有率影响不显著,郑单 958 则显著下降了 8.62%,先玉 335 显著下降了 3.98%;在高密度下登海 661 显著提高,这也是其比较耐密植的原因之一,郑单 958、先玉 335 分别下降了 6.83%、3.75%。3 个品种受密度、行距影响大小的顺序依次是登海 661、郑单 958、先玉 335。

大小行种植使登海 661 和先玉 335 的叶长、叶宽都有显

著下降,分别下降了 2.01%、2.79% 和 2.26%、1.82%,而郑单 958 相反,分别增加了 2.87%、1.91%;增加密度后,3 个品种表现趋势相同,均是叶长显著增加,叶宽显著减小。

3 结论与讨论

种植密度对冠层结构和功能的影响要大于其他栽培措施^[17]。李登海^[18]认为,紧凑型玉米在适当高的密度下,穗位上叶夹角较小(10°~15°)。吕丽华等^[11]认为,在中低密度

下,小株小穗型和中株中穗型品种穗位上叶夹角保持在 $13.6^{\circ} \sim 14.2^{\circ}$,大株大穗型品种保持在 $18.5^{\circ} \sim 19.3^{\circ}$ 。该研究表明,增大密度和大小行种植均使穗位上叶夹角和穗位下叶夹角减小,下降的最大是郑单 958 高密度条件下,达到了 30.75%,最小的是先玉 335 高密度条件下,仅为 0.26%;增大密度和大小行种植均使郑单 958 和先玉 335 的叶片垂直占有率下降,而登海 661 相反,尤其是在高密度条件下,显著提高了 22.69%,这也是其比较耐植的原因之一。增大密度,3 个品种均使叶片更加的细长,而大小行种植对三者叶长、叶宽的影响不一致:登海 661 和先玉 335 显著下降,郑单 958 显著上升,说明大小行种植更有利于郑单 958 叶片的生长。

不同玉米群体在同一生育阶段的冠层结构不尽相同,其透光率不同,各生育期群体不同叶层的透光率均随密度的增加而减少;同一玉米群体在不同生育阶段的透光率也不相同^[19]。吕丽华等^[11]研究认为,冠层内透光率、叶夹角均随着密度的增加而降低,说明高密度易造成群体内光分布不合理。武志海等^[16]和梁熠等^[20]研究认为,采用适宜宽窄行种植的玉米较等行距种植的冠层特性具有明显优势,可扩大光合面积,增大叶面积指数,增加中部冠层的透光率,充分利用不同层次的光资源。研究表明,随密度的增大,3 个品种的透光率均显著下降。不同品种对大小行种植响应不同。在低密度条件下,大小行种植对登海 661 和郑单 958 底层透光率差异不显著,先玉 335 显著降低,在高密度下登海 661 显著提高,郑单 958 和先玉 335 则显著下降。2 种密度下,大小行种植登海 661 穗位层透光率均显著提高,而郑单 958 和先玉 335 则显著下降。两时期比较,3 个品种在蜡熟期无论是底层透光率还是穗位层透光率均高于开花期,说明随着生育进程的发展,玉米植株自身具有一定的调节能力,能增大通风透光能力,有利于叶片的光合作用,从而获得高产。

不同的品种、密度和行距配置构建了不同的冠层结构。合理的冠层结构有利于构建高产群体^[5,21-22]。合理的冠层可以高效地利用光温资源,将其固定下来,形成干物质。干物质是籽粒产量的物质基础,产量和干物重呈密切的正相关^[23]。研究表明,单株干物质积累量 3 个品种均是高密度显著低于低密度,这与前人研究一致。3 个品种都是在群体干物质积累量达到最大时产量达到最大。登海 661 单株干物质积累量高密度下大小行种植显著提高了 9.64%,群体干物质积累量在 90 000 株/hm²、40 cm + 80 cm 时干物质积累能力最强,其产量亦达到最大;郑单 958 单株干物质积累量、群体干物质积累量在低密度条件下大小行种植显著高于等行距种植,而在高密度条件下等行距种植时干物质积累量最大;先玉 335 单株干物质积累量、群体干物质积累量在不同密度下均是等行距种植显著高于大小行种植,在高密度等行距种植时干物质积累量最大,这与郑单 958 的反应一致。这说明,不同品种对大小行种植的响应不一致,对于紧凑型登海 661 在高密度大小行种植时构成的冠层结构合理。对于

半紧凑型的郑单 958 在高密度下等行距种植时构成的冠层较合理,干物质积累最高,在低密度下大小行种植要比等行距种植干物质积累量高。采用低密度等行距种植的方式对于肥力不高的农田具有重要意义,可以显著提高光能利用率。对于中下部叶片较为平展的先玉 335,在不同的密度下,等行距种植所构建的冠层相对是最合理的。

不同株型的玉米品种对于种植密度和行距配置的响应不一致。对于其相互作用机理是怎样的,是对作物本身生理生化影响大,还是对不同冠层的小气候条件的影响大,还是两者相互作用的结果,还需要进一步的研究。

参考文献

- [1] 陈国平,高聚林,赵明,等. 近年我国玉米超高产田的分布、产量构成及关键技术[J]. 作物学报,2012,38(1):80-85.
- [2] 李猛,蔡宗兴,万明长,等. 不同种植方式对玉米产量的影响[J]. 贵州农业科学,1999,27(21):53.
- [3] 杨利华,张丽华,张全国,等. 种植样式对高密度夏玉米产量和株高整齐度的影响[J]. 玉米科学,2006,14(6):122-124.
- [4] 陈传永,侯海鹏,李强,等. 种植密度对不同玉米品种叶片光合特性与碳、氮变化的影响[J]. 作物学报,2010,36(5):871-878.
- [5] 董树亭,胡昌浩,岳寿松,等. 夏玉米群体光合速率特性及其与冠层结构、生态条件的关系[J]. 植物生态学与地植物学学报,1992,16(4):372-379.
- [6] 范厚明,余莉,余慧明. 不同种植方式对玉米生长发育及产量的影响[J]. 贵州农业科学,2003,31(4):25-26.
- [7] 陆雪珍,沈雪芳,沈才标,等. 不同种植密度下糯玉米产量及相关性状研究[J]. 上海农业学报,2008,24(2):61-64.
- [8] 李少昆,王崇桃. 作物株型和冠层结构信息获取与表述的方法[J]. 石河子大学学报(自然科学版),1997,1(3):250-256.
- [9] 赵殿忱,陈渊. 大豆宽窄行密植栽培技术试验研究[J]. 农业系统科学与综合研究,2000,16(1):45-49,65.
- [10] 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.
- [11] 吕丽华,陶洪斌,夏来坤,等. 不同种植密度下的夏玉米冠层结构及光合特性[J]. 作物学报,2008,34(3):447-455.
- [12] 杨吉顺,高辉远,刘鹏,等. 种植密度和行距配置对超高产夏玉米群体光合特性的影响[J]. 作物学报,2010,36(7):1226-1233.
- [13] DAYNARD T B, MULDOON J F. Plant-to-plant variability of maize plants grown at different densities[J]. Canadian journal of plant science,1983,63(1):45-59.
- [14] WALL G W, KANEMASU E T. Carbon dioxide exchange rates in wheat canopies. Part I. Influence of canopy geometry on trends in leaf area index, light interception and instantaneous exchange rates[J]. Agricultural and forest meteorology,1990,49(2):81-102.
- [15] MCGOWAN M, TAYLOR H M, WILLINGHAM J. Influence of row spacing on growth, light and water use by sorghum[J]. Journal of agricultural science,1991,116(3):329-340.
- [16] 武志海,张治安,陈展宇,等. 大垄双行种植玉米群体冠层结构及光合特性的解析[J]. 玉米科学,2005,13(4):62-65.
- [17] 李明,李文雄. 肥料和密度对寒地高产玉米源库性状及产量的调节作用[J]. 中国农业科学,2004,37(8):1130-1137.
- [18] 李登海. 从事紧凑型玉米育种的回顾与展望[J]. 作物杂志,2000(5):1-5.
- [19] 丁希武,许晓明,郑玉龙,等. 不同生态类型玉米光分布规律的研究[J]. 黑龙江农业科学,1998(1):5-9.
- [20] 梁熠,齐华,王敬亚,等. 宽窄行栽培对玉米生长发育及产量的影响[J]. 玉米科学,2009,17(4):97-100.
- [21] 王之杰,郭天财,朱云集,等. 超高产小麦冠层光辐射特征的研究[J]. 西北植物学报,2003,23(10):1657-1662.
- [22] 张旺锋,王振林,余松烈,等. 膜下滴灌对新疆高产棉花群体光合作用冠层结构和产量形成的影响[J]. 中国农业科学,2002,35(6):632-637.
- [23] 陈国平. 玉米的干物质生产与分配(综述)[J]. 玉米科学,1994,2(1):48-53.