

高产高效栽培下春玉米生育后期冠层结构 及其光合特性的研究

田立双¹, 杨恒山¹, 关艳波², 鲍哈斯巴根³, 张瑞富¹, 毕文波¹

(1. 内蒙古民族大学农学院, 内蒙古 通辽 028000; 2. 扎鲁特旗农业技术推广中心, 内蒙古 通辽 028000;
3. 科左中旗达尔罕农业生产资料有限公司, 内蒙古 通辽 028000)

摘要: 以郑单 958 为供试品种, 设高产高效栽培(GCGX)和农户传统栽培(CK)2 个处理, 于 2012 年和 2013 年连续 2 a 进行田间试验, 测定春玉米生育后期冠层结构及其光合特性的变化规律。结果表明: 吐丝期和乳熟期株高、穗位高产高效栽培略高于农户传统栽培。与农户传统栽培相比, 高产高效栽培春玉米叶面积指数较大, 在生育期上表现为吐丝之后更为明显, 在叶位上表现为棒三叶以下叶片最为突出; 不同叶位的叶倾角高产高效栽培显著小于农户传统栽培, 而叶向值均显著大于农户传统栽培, 在棒三叶表现最为明显; 高产高效栽培生育后期净光合速率显著高于农户传统栽培, 冠层光合能力极显著高于农户传统栽培。高产高效栽培下春玉米产量为 $14.009 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ (2012) 和 $13.255 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ (2013), 均极显著高于农户传统栽培。

关键词: 春玉米; 种植密度; 施肥量; 冠层结构; 光合特性; 生育后期

中图分类号: S513; S352.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-7601(2014)06-0159-06

Canopy structure and photosynthetic characteristics of spring maize during late growth stage under the high yielding and high efficiency cultivation

TIAN Li-shuang¹, YANG Heng-shan¹, GUAN Yan-bo², BA Hasibagen³, ZHANG Rui-fu¹, BI Wen-bo¹

(1. Agricultural College of Inner Mongolia University for Nationalities, Tongliao, Inner Mongolia 028000, China;

2. Zhaluteqi Agricultural Technology Promotion Center, Tongliao, Inner Mongolia 028000, China;

3. Kezuozhongqi Agricultural Production Materials Co. Ltd., Tongliao, Inner Mongolia 028000, China)

Abstract: The variation of canopy structure and photosynthetic characteristics of spring maize during late growth stage was determined, and the maize cultivar Zhengdan 958 was used with treatments of high yielding and high efficiency cultivation and farmer conventional method in the 2012 and 2013. The results showed that the plant height and ear position of high yielding and high efficiency cultivation were slightly higher than that of the conventional method in silking stage and milk stage. Compared with conventional cultivation, leaf index of spring maize under high yielding and high efficiency cultivation was larger, especially after silking stage. Leaf angle of different positions of high yielding and high efficiency cultivation were lower than that of conventional method, while that of net photosynthetic characteristics showed the opposite trend. Yields of spring maize of high yielding and high efficiency cultivation in 2012 and 2013 were $14.009 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ and $13.255 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$, respectively, being higher than that of conventional method.

Keywords: spring maize; planting density; canopy structure; photosynthetic characteristics; late growth stage

玉米冠层结构是否合理直接决定群体光合势的大小, 并对叶片群体光能截获率和光合速率产生重要的影响^[1-4]。而光合作用是玉米产量形成的基础, 尤其是生育后期的光合产物是其产量形成的主要来源^[5-6]。围绕玉米冠层结构, 前人已作了大量

研究, 指出玉米冠层结构和功能受到诸如密度^[7]、施肥量^[8]、栽培措施^[9]等多种因素的调控。但种植密度对冠层结构和功能的影响最显著^[10]。增加种植密度, 保证足够的收获穗数, 是实现玉米高产的关键措施^[11]。因此, 研究春玉米在高密度下如何塑造合

理的冠层来提高生育后期的光合能力高值持续期是玉米高产的潜力所在^[12]。关于玉米高产高效的研究已有相关报道^[13],但涉及到西辽河平原春玉米冠层结构与光合特性的较少^[14]。试验以本地区农民传统栽培方式为对照,通过合理增加种植密度和肥料的搭配使用等措施,以高产高效栽培模式为基础,系统研究春玉米冠层结构及光合特性的影响,为春玉米高产高效生产提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于 2012 年和 2013 年的 5—9 月在地处西辽河平原的内蒙民族大学实验农场(43°36'N, 122°22'E)进行。试验地区为典型的大陆性季风气候,年均气温 6.8℃, ≥10℃的活动积温平均约 3 200℃,平均无霜冻期 150 d 左右,近 56 年平均降水量为 384.6 mm。试验田土壤为灰色草甸土,播前耕层土壤养分

含量两年平均为:土壤有机质含量 15.2 g·kg⁻¹,全氮为 0.86 g·kg⁻¹,碱解氮为 53.45 mg·kg⁻¹,速效磷为 10.63 mg·kg⁻¹,速效钾为 79.88 mg·kg⁻¹,pH 8.2。试验田具有井灌条件。

1.2 试验材料与设计

供试品种为郑单 958,由北京德农种业公司提供。试验设 2 个处理,(1) 高产高效栽培(GCGX):课题组根据前期试验结果,改变农民传统种植方式,提高种植密度,降低肥料施用量,得到的高产春玉米优化栽培模式;(2) 农户传统栽培(CK):为当前大田生产中普通高产栽培模式。每处理 3 次重复,小区面积为 60 m²,随机排列。试验田等行距(55 cm)条播,种植密度高产高效栽培为 7.50 万株·hm⁻²,农户传统栽培为 6.00 万株·hm⁻²。磷、钾肥均一次性基施;N 肥:高产高效和农户均在小口期分别追施 172.5 kg·hm⁻²和 207 kg·hm⁻²。不同处理的其它田间管理一致,试验设计方案见表 1。

表 1 田间试验方案

Table 1 Field experiments

处理 Treatments	整地方式 Site preparation methods	种植密度 /(10 ⁴ 株·hm ⁻²) Density /(10 ⁴ plant·hm ⁻²)	播前施肥量/(kg·hm ⁻²) Fertilizing amount			小口期追肥量(kg/hm ⁻²) Fertilizing quantity small period		
			N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
GCGX	旋耕灭茬、深松 Rotary and deep loosening	7.5	27.0	69.0	45.0	172.5	0	0
CK	旋耕灭茬 Rotary	6.0	40.5	103.5	0	207.0	0	0

1.3 植株形态指标

分别在吐丝期(SS)和灌浆期(MK)测定株高、穗位高、茎基部第二节节长、茎粗。穗高系数 = 穗位高/株高 × 100; 茎粗系数 = [(D₁ + D₂)/2]/株高 × 100,其中,D₁为茎基部第二节节间横截面最大直径;D₂为最小直径。

1.4 叶面积指数(LAI)

分别在拔节期(JS)、大口期(TS)、吐丝期(SS)、灌浆期(MK)、成熟期(MS)测定,3次重复,单叶叶面积 = 长 × 宽 × 系数(系数为 0.5 ~ 0.75,未展开叶片系数为 0.5,展开叶片系数为 0.75)。

1.5 叶向值(LOV)

将叶片分为 3 层,棒三叶为中层,其上为上层,其下 4 片叶为下层。根据公式计算叶向值,每重复 5 株,3 次重复。计算公式为:

$$LOV = \sum_{i=1}^n \theta(L_f/L)/n$$

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。

1.6 光合速率 P_n

用美国产 Li-6400 型便携式光合测定系统分别在吐丝期、灌浆期测定穗位叶 10:00—12:00 的光合速率 P_n,每次测 10 株,单位 μmol·m⁻²·s⁻¹。

1.7 产量及产量构成因素

各小区测产面积为 30 m²,人工脱粒后测鲜粒重和含水率,并折算成含水率为 14% 的产量。同时,查各测产区内有效穗数,并分别取 10 穗考种,测定穗长、穗粗、穗行数、行粒数、穗粒数,折算 14% 含水率下的千粒重。

1.8 数据处理与统计分析

用 Excel 软件进行数据处理并作图;用 DPS 等软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 植株形态指标

由表 2 可见,高产高效栽培株高、穗位和茎基第二节节长吐丝期均较农户传统栽培有所增加。其中,2012 年穗位高两处理差异显著,2012 年和 2013

年高产高效栽培的茎基第二节节长均显著高于农户习惯栽培。农户习惯栽培茎粗连续两年均显著高于

表 2 高产高效栽培下春玉米植株形态指标

Table 2 Morphological parameters of spring maize plants in high yielding and high efficiency cultivation

年份 Year	生育时期 Growth period	处理 Treatment	株高/cm Plant height	穗位高/cm Ear height	茎粗/cm Stem diameter	茎基第二节节长/cm The second internode length	穗高系数 Ear height coefficient	茎粗系数 Stem diameter coefficient
2012	吐丝期 SS	GCGX	288.00aA	137.67aA	2.36bA	8.17aA	0.4780	0.0082
		CK	282.00aA	133.50bA	2.83aA	7.50bA	0.4734	0.0100
2013	吐丝期 SS	GCGX	289.00aA	140.20aA	2.34bA	8.10aA	0.4851	0.0081
		CK	284.20aA	137.80aA	2.80aA	7.30bA	0.4849	0.0098

注:数据后不同大、小写字母分别表示同一指标同一年度栽培模式间比较差异达 0.01、0.05 显著水平。下同。

Note: Different capital letters and small letters in the same item compare between models of cultivation at same year show significantly different at the 0.01 and 0.05 probability levels, respectively. The same as below.

2.2 冠层结构

2.2.1 单株叶面积 由表 3 所示,吐丝期单株叶面积农户普通栽培 > 高产高效栽培,乳熟期与之相反。吐丝期和乳熟期最大单株单叶叶面积高产高效栽培均位于穗位叶高于农户普通栽培穗下第一片叶。说明高产高效栽培穗位层的光截获能力增强,为穗位层光合作用提供了较为充足的光源,保证了穗位层

叶片物质生产能力。高产高效栽培棒三叶以下叶片叶面积吐丝期较农户普通栽培减少 2.6% (2012)、0.8% (2013);而乳熟期较农户普通栽培增加 5.0% (2012)、6.7% (2013)。说明随生育进程的推进,高产高效栽培穗下层叶面积较大,弥补生育后期植株底层叶片的衰老带来的不利影响,能够很好地解决高密度下穗位层郁闭、穗下叶片衰老快的问题。

表 3 吐丝期和乳熟期春玉米单株叶面积

Table 3 Plant single leaf area of spring maize during silking stage and milk stage

叶序 Phyllotaxy	序号 Sequence number	2012				2013			
		吐丝期 SS		乳熟期 MK		吐丝期 SS		乳熟期 MK	
		GCGX	CK	GCGX	CK	GCGX	CK	GCGX	CK
棒三叶下 Under three-ear leaves	11	123.07	140.19	—	—	124.84	131.65	—	—
	10	158.75	165.55	—	—	142.63	156.24	—	—
	9	232.25	243.25	—	—	230.42	238.52	—	—
	8	435.08	424.85	258.24	—	438.02	440.23	293.61	—
	7	596.78	563.13	364.52	372.42	656.13	625.73	376.28	377.25
	6	660.89	674.83	572.25	407.27	725.41	681.21	560.78	440.45
	5	802.26	858.36	632.34	614.18	812.22	821.64	642.75	616.16
	4	843.65	890.16	712.54	758.37	847.42	871.45	716.90	759.45
	3	869.27	886.50	815.09	887.57	871.53	906.50	840.65	886.88
棒三叶 Three-ear leaves	2	898.15	923.15	847.12	962.29	886.55	910.45	887.83	972.56
	1	946.13	1074.25	850.55	979.24	932.68	1024.31	937.75	980.95
	穗位叶 Ear leaf	994.61	998.86	951.69	798.46	999.97	982.23	996.83	907.43
棒三叶上 Above three-ear leaves	1	803.31	844.88	732.36	700.15	835.78	815.65	826.90	779.52
	2	759.65	791.49	683.47	689.63	755.63	763.54	673.25	676.86
	3	655.13	695.75	546.31	544.56	648.21	695.75	595.44	549.65
	4	458.25	527.38	446.36	456.32	412.46	449.50	460.88	445.63
	5	288.06	336.52	298.18	300.44	235.31	268.32	301.48	295.51

2.2.2 群体 LAI 动态 由图 1 可以得出,拔节期后高产高效栽培春玉米 LAI 均显著高于农户传统栽

培。高产高效栽培和农户传统栽培春玉米 LAI 均在吐丝期达最大值(2012 年分别为 7.89 和 7.91,2013

年分别为 6.62 和 6.47)。吐丝期到乳熟期,高产高效栽培 LAI 下降了 1.36(2012)、1.08(2013),低于农户传统栽培的 1.54(2012)、1.26(2013);从乳熟期到成熟期,高产高效栽培 LAI 下降了 2.71(2012)、2.74(2013),高于农户传统栽培下降 2.40(2012)、2.37(2013)。但成熟期高产高效栽培 LAI 仍维持在 3.82 以上,而农户传统栽培则降至 2.84 以下。说明生育后期高产高效栽培 LAI 仍保持较高值。

2.2.3 不同叶层叶面积指数变化动态 高产高效栽培和农户传统栽培春玉米不同叶层 LAI 均为棒三叶以下 > 棒三叶 > 棒三叶以上(表 4)。高产高效栽培

在吐丝期和乳熟期各层位 LAI 都大于农户传统栽培差异均达到显著水平。与农户传统栽培相比,高产高效栽培棒三叶以下叶 LAI 吐丝期增加了 21.7%(2012)、23.9%(2013),乳熟期增加了 31.3%(2012)、33.3%(2013);其次是棒三叶吐丝期增加了 17.7%(2012)、23.1%(2013),乳熟期增加了 27.5%(2012)、29.4%(2013);最小为棒三叶以上叶,吐丝期增加了 14.9%(2012)、17.6%(2013),乳熟期增加了 24.4%(2012)、28.8%(2013)。表明高产高效栽培,有利于高光效光合生产体系的建立。

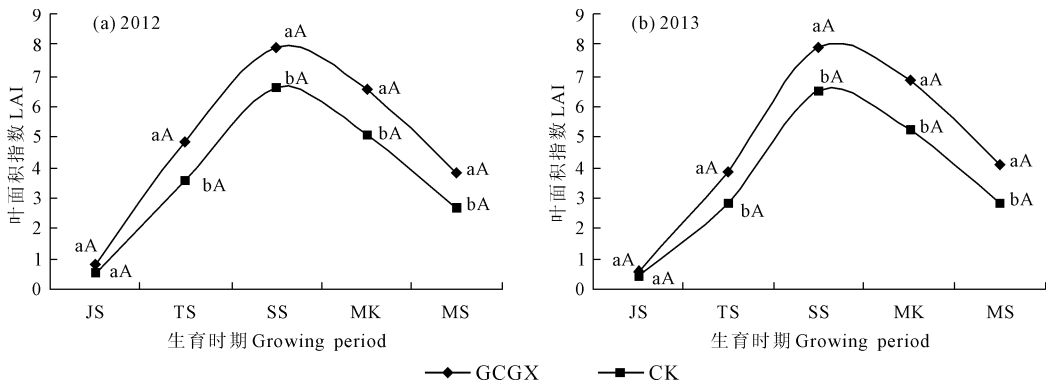


图 1 不同生育时期春玉米叶面积指数的变化

Fig. 1 The changes of LAI of spring maize in different growing period of spring maize

表 4 高产高效栽培下春玉米各层位叶面积指数

Table 4 Leaf area index of each layer of spring maize in high yielding and high efficiency cultivation

年份 Year	生育时期 Growth period	处理 Treatment	棒三叶上 Above three-ear leaves	棒三叶 Three-ear leaves	棒三叶下 Under three-ear leaves
2012	吐丝期 SS	GCGX	1.62aA	2.06aA	4.21aA
		CK	1.41bA	1.75bA	3.46bA
	乳熟期 MK	GCGX	1.48aA	1.90aA	3.15aA
		CK	1.19bA	1.49bA	2.40bA
2013	吐丝期 SS	GCGX	1.54aA	2.08aA	4.30aA
		CK	1.31bA	1.69bA	3.47bA
	乳熟期 MK	GCGX	1.52aA	2.07aA	3.24aA
		CK	1.18bA	1.60bA	2.43bA

2.2.4 不同叶层叶倾角和叶向值 由表 5 可以得出,高产高效栽培各层位的叶倾角均显著小于农户传统栽培,尤以棒三叶为甚。叶向值则表现为高产高效栽培显著大于农户传统栽培,在棒三叶和棒三叶以上叶表现更为明显。说明高产高效栽培与农户传统栽培相比,虽然增大了种植密度,但群体自身调节使其具有较好的受光态势,在一定程度上减缓了群体密度增加造成个体受光变差的问题,对光合生产能力的增加有益。

2.3 穗位光合特性

由表 6 可见,在吐丝期和乳熟期高产高效栽培下春玉米净光合速率均显著高于农户普通栽培。冠层光合能力是净光合速率与叶面积指数的综合反映。高产高效栽培春玉米冠层光合能力在吐丝期和乳熟期均极显著高于农户普通栽培。冠层光合能力吐丝期高产高效栽培较农户普通栽培高 40.41%(2012)、58.60%(2013),乳熟期高 62.07%(2012)、77.88%(2013),高产高效栽培春玉米生育后期较强

的冠层光合能力,是其高产的重要生理基础。

表5 高产高效栽培下春玉米叶倾角和叶向值的变化

Table 5 Leaf angle and leaf orientation value of spring maize in high yielding and high efficiency cultivation

年份 Year	处理 Treatment	棒三叶上 Above three-ear leaves		棒三叶 Three-ear leaves		棒三叶下 Under three-ear leaves	
		叶倾角/(°) Leaf angle	叶向值 LOV	叶倾角/(°) Leaf angle	叶向值 LOV	叶倾角/(°) Leaf angle	叶向值 LOV
		2012	GCGX	9.77bA	61.34aA	21.82bA	54.27aA
	CK	11.82aA	55.84bA	23.44aA	49.17bA	26.42aA	47.34bA
2013	GCGX	10.67bA	70.21aA	16.11bA	59.26aA	21.75bA	55.24aA
	CK	12.33aA	65.36bA	17.97aA	54.74bA	23.03aA	52.09bA

表6 春玉米净光合速率和冠层光合能力

Table 6 Net photosynthetic rate and canopy photosynthesis ability of spring maize

年份 Year	处理 Treatment	吐丝期 SS		乳熟期 MK	
		净光合速率 /($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) Net photosynthetic rate	光合能力($P_n \times \text{LAI}$) Canopy photosynthesis ability	净光合速率 /($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) Net photosynthetic rate	光合能力($P_n \times \text{LAI}$) Canopy photosynthesis ability
		2012	GCGX	36.10aA	284.83aA
	CK	29.57bA	202.85bB	24.88bA	126.39bB
2013	GCGX	43.88aA	349.72aA	26.55aA	185.32aA
	CK	35.28bA	220.50bB	20.23bA	104.18bB

2.4 产量及其构成

由表7可见,高产高效栽培下春玉米产量为 $14.009 \text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$ (2012)和 $13.255 \text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$ (2013),与农户普通栽培相比,各年度差异均达到极显著水平,春玉米穗粒数和千粒重高产高效栽培较农户普通栽培

有所降低,但差异均未达到极显著水平。而有效穗数高产高效栽培却极显著高于农户普通栽培。从产量的构成来看,适当增加种植密度是实现春玉米高产的有效途径。

表7 高产高效栽培下春玉米产量及其构成

Table 7 Yield and yield components of spring maize in high yielding and high efficiency cultivation

年份 Year	处理 Treatment	有效穗数/($10^4 \text{ plant}\cdot\text{hm}^{-2}$) Effective spike	穗粒数/粒 Grain number per spike/grain	千粒重/g 1000-grain weight	实测产量/($\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$) Actual yield
2012	GCGX	7.31aA	569.22bA	338.28bA	14.009aA
	CK	5.83bB	634.41aA	367.31aA	13.571bB
2013	GCGX	7.18aA	565.83bA	366.41bA	13.255aA
	CK	5.73bB	586.70aA	384.56aA	12.101bB

3 讨论与结论

玉米产量的高低与群体的冠层功能密切联系,高效的冠层能增强植株的光合能力,生产较多的干物质^[15-16]。然而,种植密度的增加是影响玉米冠层的重要因素^[17],过高的种植密度容易导致花后中下部叶层叶片早衰,绿叶面积减小,群体光合能力下降^[18],明显降低籽粒产量^[19-20]。因此,进一步提高玉米单产,需合理密植,协调单株与群体的矛盾^[21]。本试验中,棒三叶以下叶片叶面积占整株叶面积比

例高产高效栽培吐丝期53.4%(2012)、54.3%(2013)和乳熟期48.2%(2012)、47.4%(2013),高于农户传统栽培吐丝期52.3%(2012)、53.6%(2013)和乳熟期47.2%(2012)、46.6%(2013)。棒三叶叶面积占整株叶面积比例高产高效栽培吐丝期降低为26.1%(2012)、26.1%(2013),农户传统栽培则增大为26.4%(2012)、26.2%(2013);乳熟期高产高效栽培降低为29.1%(2012)、30.3%(2013),而农户栽培模式增大为29.3%(2012)、30.7%(2013)。说明高产高效栽培穗位层竞争减弱,穗下层叶面积较大弥

补生育后期植株底层叶片的衰老带来的不利影响,能够很好地解决高密度下穗位层郁闭,穗下叶片衰老快的问题。

叶面积是植物截获光能的物质载体,其在冠层中的分布是反映作物冠层结构性能的重要指标^[14]。Konno Y^[22]、刘伟等^[23]等认为,玉米叶面积和叶向值随种植密度提高而增加,而叶倾角却变小。本试验中,高产高效栽培春玉米的叶面积指数在吐丝期达最大值 7.89(2012)、7.91(2013),比农户传统栽培 6.62(2012)、6.47(2013)高 1.27(2012)、1.44(2013);乳熟期高产高效栽培春玉米的叶面积指数 6.53(2012)、6.83(2013),比农户传统栽培 5.08(2012)、5.21(2013)高出 1.45(2012)、1.62(2013);并且高产高效栽培生育后期各叶层叶面积指数均显著高于农户传统栽培,与农户传统栽培相比,以棒三叶以下叶片叶面积指数增加最大,在吐丝期增加了 21.7%(2012)、23.9%(2013),乳熟期增加了 31.3%(2012)、33.3%(2013);。叶倾角和叶向值是玉米群体结构的主要参数,改善株型和叶角等冠层结构特征,能增加光的有效截获,增强群体光合能力^[24]。本试验中,高产高效栽培各层位的叶倾角均显著小于农户传统栽培,尤以棒三叶为甚。叶向值则表现为高产高效栽培显著大于农户传统栽培,在棒三叶和棒三叶以上叶表现更为明显,说明高产高效栽培春玉米叶倾角变小,叶向值增大,改善了群体的受光态势,提高了光合生产力,并且保持较高的叶面积指数和吐丝后较长的持续期,使高产高效栽培春玉米群体形成了高光效的冠层结构,在吐丝期和乳熟期具有较高的冠层光合能力,达到了春玉米群体结构与个体功能的协同增益,是高产高效栽培产量增加的主要原因。

参 考 文 献:

- [1] 沈秀瑛,戴俊英,朱佩华.应用作物生态学[J].沈阳:辽宁科学技术出版社,1994:67-108.
- [2] 郭江,肖凯,郭新宇,等.玉米冠层结构、光分布和光合作用研究综述[J].玉米科学,2005,13(2):55-59.
- [3] 董树亭,胡昌浩,岳寿松,等.夏玉米群体光合速率特性及冠层结构、生态条件的关系[J].植物生态学与植物学学报,1992,16(4):372-379.
- [4] 靳立斌,张吉旺,李波,等.高产高效夏玉米的冠层结构及其光合特性[J].中国农业科学,2013,46(12):2430-2439.
- [5] Simmons S R, Jones R J. Contributions of pre-silking assimilate to grain yield in maize[J]. Crop Sci,1985,25:1004-1006.
- [6] Hashemi A M, Herbert S J, Putnam D H. Yield response of corn to crowding stress[J]. Agron J,2005,97:839-846.
- [7] 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.
- [8] 吕丽华,赵明,赵久然,等.不同施氮量下夏玉米冠层结构及光合特性的变化[J].中国农业科学,2008,41(9):2624-2632.
- [9] 武志海,王晓慧,陈展宇,等.玉米大垄双行种植群体冠层结构及其微环境特性的研究[J].吉林农业大学学报,2005,27(4):355-359.
- [10] 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.
- [11] 王庆成,牛玉贞,王忠孝,等.源-库比改变对玉米群体光合和其它性状的影响[J].华北农学报,1997,12(1):1-6.
- [12] 董树亭,高荣枝,胡昌浩,等.玉米花粒期群体光合性能与高产潜力研究[J].作物学报,1997,23(3):318-325.
- [13] Jin L B, Cui H Y, Li B, et al. Effects of integrated agronomic management practices on yield and nitrogen efficiency of summer maize in north China[J]. Field Crops Research,2012,134:30-35.
- [14] 张玉芹,杨恒山,高聚林,等.超高产春玉米冠层结构及其生理特性[J].中国农业科学,2011,44(21):4367-4376.
- [15] 李瑞平,刘武仁,郑金玉,等.种植方式对玉米单株叶片光合性能及产量的影响[J].吉林农业科学,2013,38(3):9-11.
- [16] 徐丽娜,黄收兵,陶洪斌,等.不同氮肥模式对夏玉米冠层结构及部分生理和农艺性状的影响[J].作物学报,2012,38(2):301-306.
- [17] 靳立斌,张吉旺,李波,等.高产高效夏玉米的冠层结构及其光合特性[J].中国农业科学,2013,46(12):2430-2439.
- [18] 徐恒永,赵君实.高产冬小麦的冠层光合能力及不同器官的贡献[J].作物学报,1995,21(2):204-209.
- [19] Ma B L, Dwyer L M. Nitrogen uptake and use of two contrasting maize hybrids in leaf senescence[J]. Plant and Soil,1998,199:283-291.
- [20] Davide Ceppi. Geno type-dependent leaf senescence in maize[J]. Plant Physiol,1987,85:720-725.
- [21] 陈国平,王荣焕,赵久然.玉米高产田的产量结构模式及关键因素分析[J].玉米科学,2009,17(4):89-93.
- [22] Konno Y. Feedback regulation of constant leaf standing crop in Sasa suboiana grasslands[J]. Ecological Research,2001,16:459-469.
- [23] 刘伟,吕鹏,苏凯,等.种植密度对夏玉米产量和源库特性的影响[J].应用生态学报,2010,21(7):1737-1743.
- [24] Maddonni G A, Otegui M E, Cirilo A G. Plant population density, rows pacing and hybrid effects on maize canopy architecture and light attenuation[J]. Field Crops Research,2001,71(3):183-193.