

玉米不同基因型叶片 PSII光能转换效率的比较研究

张永江^{1,2}, 李少昆^{1,3}, 胡昌浩², 张旭⁴, 董树亭², 高世菊¹

(¹ 中国农业科学院作物育种栽培研究所/农业部作物遗传育种重点开放实验室, 北京 100081; ² 山东农业大学, 泰安 271018;

³ 石河子大学新疆作物高产研究中心, 石河子 832003; ⁴ 中国农业大学作物学院, 北京 100094)

摘要:测定了不同基因型玉米叶片的主要荧光参数以及田间快速测试技术。结果表明,田间对不同基因型玉米的测定暗适应有 5 min 即可,部位以穗上 1 叶的中部为宜。我国骨干自交系的 F_m 、 F_v/F_m 、 F_v/F_0 有随年代推移而逐渐升高的趋势,生育后期表现更为明显;不同株型自交系间荧光参数值差异不显著;杂交种 F_m 、 F_v/F_m 、 F_v/F_0 有明显的超亲优势,乳熟期优势率为 -1.2%~12.0%,并且自交系值高的组配的杂交种也高,为预测杂种优势,筛选和组配高光能转换效率的组合提供了依据和途径。

关键词:玉米;基因型;叶片;荧光诱导动力学参数;光系统II

Studies on the Conversion Efficiency of Light Energy of Photosystem II Among Genotypes in Maize (*Zea mays* L.)

ZHANG Yongjiang^{1,2}, LI Shaokun^{1,3}, HU Changhao², ZHANG Xu⁴, DONG Shuting², GAO Shirju¹

(¹ Institute of Crop Breeding and Cultivation, Key Laboratory of Crop Genetic and Breeding, Ministry of Agriculture, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081; ² Shandong Agricultural University, Taian 271018;

³ Research Center of Xinjiang Crop High-yield, Shihezi University, Shihezi 832003;

⁴ College of Crop, China Agricultural University, Beijing 100094)

Abstract: The main fluorescence parameters of different genotypes in maize was measured in field. The results showed that the optimum measuring part was the middle of the first leaf above the ear position, and the time for dark adaptation was 5 minutes only. As the new inbred lines released, there was a significant increasing tendency of F_m , F_v/F_m , F_v/F_0 from 70's to 90's, especially at late growth stage. There was no significant difference among plant types in inbred lines. Comparing with the value of parents, their hybrids had an obvious heterosis and the excess was -1.2% to 12.3%, and the higher parents resulted in the higher hybrid. It provided theoretical basis of forecasting heterosis and selecting for high conversion efficiency of solar energy.

Key words: Maize; Genotypes; Leaf; Fluorescence induction kinetic parameters; Photosystem II

高光效育种虽在玉米、大豆、水稻等作物上已取得许多有意义的进展^[1,2],但由于以往对品种资源的认识和描述多限于农艺、产量等性状,对光合特性特别是光能转换效率的研究不多,限制了对其有效的利用。叶绿素荧光动力学技术在分析光能吸收、传递、转化方面是一个有用的工具^[3~5],它可以无损地探测植物叶绿体的光合特性,被用来预测光合速率和探索筛选育种材料^[6,7]。Krebs 报道玉米不同基因型间

及不同叶龄叶片存在荧光特性方面的差异^[8]。赵琦等比较了生育中前期玉米杂交种及其双亲的叶片荧光特性,认为杂交种具有明显的杂种优势^[9]。本研究重点探讨籽粒形成期玉米不同基因型叶片 F_v/F_m 等主要荧光参数的变化及田间对大批量材料快速测试的技术,以期为玉米生理育种和栽培提供依据。

收稿日期:2002-02-08

基金项目:国家自然科学基金(30070457)和基础研究发展规划资助项目(G1998010100)

作者简介:张永江(1977-),男,河北抚宁人,山东农业大学在读硕士研究生,主要从事玉米高产生理研究。本文通讯作者为李少昆, Tel: 010-

68918891; Fax: 010-68975212; E-mail: shaokun0004@sina.com.cn

1 材料与方 法

1.1 供试材料

试验于 2001 年度在河北香河中国农业大学玉米生理育种圃进行。选用 20 世纪 60~90 年代生产中常用玉米自交系 20 份和杂交种 4 份,具体是:综 3、3189、多 26、Mol 7、478、京 C175、自 330、U8、PG9、CAI86、CAI81、32、中系 042、D 黄 212、PI38、许 178、黄 C 66 高 2 89KI51、原齐 123;高光效 1 号(多 26×478)、农大 106(66 高 2×原齐 123)、农大 145(D 黄 212×89KI51)、农大 108(许 178×黄 C)。试验材料随机排列,2 行区,行长 6 m,行距 0.67 m,株距 30 cm,种植密度 50 000 株/ha,春播。田间按常规管理。

1.2 测试方法

玉米叶片叶绿素荧光参数采用英国产 ADC 荧光仪于晴天进行田间活体测定。测定时选取生长一致且受光方向相同的穗上第 1 片叶,重复 3~5 次。获取的主要荧光参数为: F_0 (初始荧光), F_m (最大荧光), F_v/F_m (PSII 最大光化学效率或原初光能转换效率), F_v/F_0 (PSII 的潜在活性)^[5,10]。

1.2.1 暗适应时间的选择 在乳熟期选用 Mol 7、478、黄 C 3 个自交系,设置 0、5、10、15、20、25、30、60 min 8 个暗适应时间处理。

1.2.2 叶片测定部位的确定 选择 Mol 7 和黄 C 顶 2 叶、穗位叶、穗下第 6 叶,分别测定单叶基部、中部、顶部荧光参数值,重复 3 次。

1.2.3 测试叶位的确定 测定 Mol 7 黄 C 单株所有叶位叶片荧光参数值,分棒三叶(中层)、棒三叶以上(上层)和棒三叶以下(下层)3 层进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 玉米叶片荧光测试适宜的暗适应时间

暗适应 0 min 的叶片光荧光参数与 5、10、15、20、25、30、60 min 7 个处理间具极显著差异,5~60 min 各处理间差异未达到显著水平,供试 Mol 7、478、黄 C 3 个自交系表现一致。由此,田间测定玉米叶片荧光暗适应时间有 5 min 即可。本文所用暗适应时间为 15~20 min。

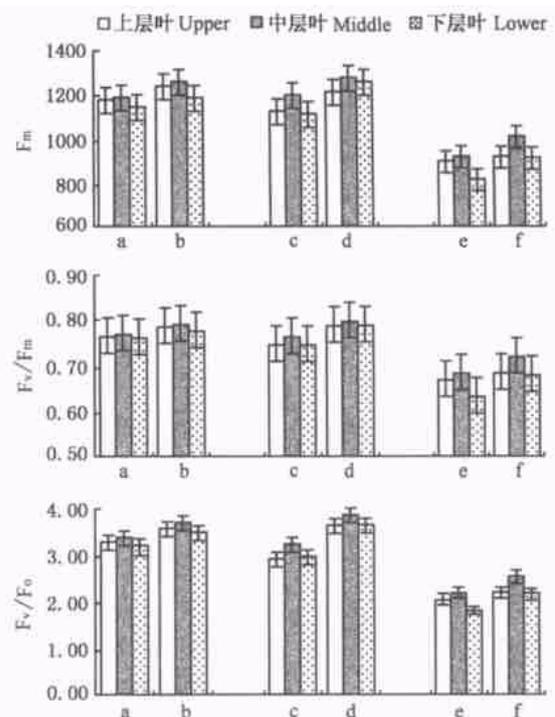
2.2 玉米叶片不同部位主要荧光参数的差异

对 Mol 7、黄 C 顶 2 叶、穗位叶和穗下第 6 叶叶片基部、中部、顶部荧光参数测试表明,同一叶片不同的 F_0 值差异不明显,而 F_m 、 F_v/F_m 、 F_v/F_0 参数值差异显著。乳熟期,除黄 C 顶 2 叶基部 F_m 值稍大于中部以外,两自交系 F_m 、 F_v/F_m 、 F_v/F_0 在其它叶位上均表

现为中部>基部>顶部;在蜡熟期,两自交系各叶位 3 个荧光参数均表现为基部>中部>顶部,说明叶片基部和中部具有较大的 PSII 原初光能转化效率和潜在活性,且叶片中部在主要功能期维持较高的水平,到了后期叶片衰老时才表现下降趋势。故本文确定以叶片中部作为荧光参数测定部位。

2.3 玉米不同叶位主要荧光参数的差异

统计表明, F_0 在供试自交系叶位间差异不明显; F_m 、 F_v/F_m 、 F_v/F_0 在吐丝期两自交系均表现为中层叶>上层叶>下层叶;乳熟期棒三叶仍显著高于上层和下层叶,而上层和下层叶间差异不明显。蜡熟期,3 个参数均为棒三叶>上层叶>下层叶(图)。由此可见,玉米自交系棒三叶的最大荧光产量、PSII 最大光能转换效率和潜在活性均高于上层叶和下层叶,且以后期尤为明显,其较长的功能期和较高的光能转化效率对产量贡献最大。据此,在田间对不同基因型荧光参数测定时,应选择表现稳定的棒三叶,并由于穗位叶茎叶夹角、伸展方向受雌穗发育及大小影响较大,故推荐穗上第 1 叶为测定叶。



a、b:吐丝期 Mol 7、黄 C; c、d:乳熟期 Mol 7、黄 C; e、f:蜡熟期 Mol 7、黄 C a 和 b: Mol 7 and HuangC at silking stage; c 和 d: Mol 7 and HuangC at milky stage; e 和 f: Mol 7 and HuangC at doughy stage
图 不同叶位玉米自交系主要荧光参数比较

Fig. Comparison of chlorophyll fluorescence parameters among different leaf position of maize inbred lines

2.4 不同年代骨干玉米自交系主要荧光参数的变化 从表 1 可见,3 个年代玉米骨干自交系叶片 F_0

变化没有明显规律, F_m 、 F_v/F_m 、 F_v/F_0 有随年代推移而增大的趋势, 其中乳熟期相应参数 80's 骨干自交系比 70's 分别高出 9.6%、1.1% 和 4.9%; 90's 比 80's 和 70's 分别高出 7.3%、2.3%、9.7% 和 16.1%、3.4%、14.1%。蜡熟期, 80's 自交系比 70's 分别增加了 7.9%、4.6% 和 13.5%, 90's 比 80's 和 70's 分别增加了 12.5%、5.2%、15.2% 和 19.4%、9.5%、26.7%。此外, 70's、80's 和 90's 3 个年代的骨干自交系平均单株绿叶面积由乳熟期至蜡熟期分别衰减 10.8%、8.8% 和 6.3%, 表现出随年代推移

叶片保绿性改善的趋势。

2.5 不同株型玉米自交系间主要荧光参数的差异
分别选择紧凑型玉米自交系综 3、3189、478、U-832、D 黄 212、P138、黄 C 和平展型自交系多 26、Mol 7、京 CI 75、自 330、PG9、CA186、CA181、中系 042, 于乳熟期和蜡熟期进行荧光参数测定, 结果表明(表 2), 紧凑型和平展型玉米自交系 F_0 、 F_m 、 F_v/F_m 、 F_v/F_0 间均无显著差异。说明玉米株型和荧光特性是两个互不相关的形态和生理特征。

表 1 不同年代骨干玉米自交系的荧光参数及单株绿叶面积(LA)

Table 1 Comparison of chlorophyll fluorescence parameters and green leaf area in key inbred lines used in different eras

生育期 Growth stage	年代 Era	自交系 Inbred lines	F_0	F_m	F_v/F_m	F_v/F_0	单株绿叶面积 Leaf area per plant (cm^2 / plant)
乳熟期 Milky	70's	Mol 7	249	995	0.750	3.000	3217
		自 330 Zi330	241	1013	0.762	3.202	2940
		$\bar{x} \pm s$	245 ± 5.4	1004 ± 13	0.756 ± 0.008	3.101 ± 0.143	3079 ± 195
	80's	CV %	2.2	1.3	1.1	4.6	6.3
		综 3 Zong3	250	1014	0.754	3.058	3826
		32	272	1150	0.763	3.230	2685
		D 黄 212 Dhuang212	278	1153	0.759	3.153	3354
		478	244	1123	0.783	3.606	4582
		$\bar{x} \pm s$	261 ± 16.4	1110 ± 66	0.765 ± 0.013	3.262 ± 0.240	3612 ± 798
	90's	CV %	6.3	5.9	1.7	7.4	22.1
		多 26 Duo26	248	1167	0.787	3.705	4423
		CA186	240	1078	0.777	3.494	4554
		许 178 Xu178	285	1317	0.784	3.623	4949
		黄 C HuangC	265	1227	0.784	3.628	5034
		$\bar{x} \pm s$	259 ± 20.0	1197 ± 101	0.783 ± 0.004	3.612 ± 0.087	4740 ± 297
蜡熟期 Doughy	70's	CV %	7.7	8.4	0.5	2.4	6.3
		Mol 7	288	825	0.651	1.873	2745
		自 330 Zi330	271	752	0.639	1.776	2815
	80's	$\bar{x} \pm s$	279 ± 11.9	788 ± 51.8	0.645 ± 0.008	1.824 ± 0.068	2780 ± 49
		CV %	4.3	6.6	1.3	3.8	1.8
		综 3 Zong3	256	847	0.697	2.308	3322
		32	289	839	0.656	1.906	2345
		D 黄 212 Dhuang212	285	796	0.642	1.793	3050
		478	274	941	0.708	2.432	4565
	90's	$\bar{x} \pm s$	276 ± 14.7	856 ± 61	0.676 ± 0.032	2.002 ± 0.308	3320 ± 926
		CV %	5.3	7.2	4.7	14.6	27.9
		多 26 Duo26	291	993	0.706	2.410	3996
		CA186	268	923	0.709	2.447	4455
		许 178 Xu178	287	1021	0.719	2.564	4879
		黄 C HuangC	275	974	0.717	2.534	4513
$\bar{x} \pm s$	280 ± 10.4	978 ± 42	0.713 ± 0.006	2.488 ± 0.072	4461 ± 362		
CV %	3.7	4.3	0.9	2.9	8.1		

表 2 玉米自交系不同株型荧光参数比较¹⁾

Table 2 Comparison of chlorophyll fluorescence parameters of different plant-type in inbred lines of maize

生育时期 Growth stage	株型 Plant type	F_0	F_m	F_v/F_m	F_v/F_0
乳熟期 Milky	紧凑型 The compact	260 ± 14.4	1105 ± 83.3	0.764 ± 0.013	3.248 ± 0.239
	平展型 The flat	256 ± 14.2	1065 ± 97.2	0.758 ± 0.020	3.170 ± 0.346
	F 值 F value	0.41 ^{NS}	0.78 ^{NS}	0.41 ^{NS}	0.27 ^{NS}
蜡熟期 Doughy	紧凑型 The compact	284 ± 20.8	909 ± 148.6	0.681 ± 0.041	2.194 ± 0.420
	平展型 The flat	280 ± 12.6	897 ± 11.6	0.685 ± 0.029	2.207 ± 0.284
	F 值 F value	0.27 ^{NS}	0.04 ^{NS}	0.05 ^{NS}	0.005 ^{NS}

¹⁾ "NS" 表示不显著 "NS" Non-significant

2.6 玉米杂交种与其亲本主要荧光参数的关系

杂交种与其亲本自交系 F_0 值之间没有一定规律性,而大多数组合 F_1 的 F_m 、 F_v/F_m 、 F_v/F_0 值显著高于双亲,差异达显著或极显著水平,存在明显的杂种优势(表 3)。说明杂交种叶绿体的 PSII 活性和原初光能转化效率较高,对光的吸收利用能力强,

且以生育后期的优势更强,但后者不排除杂交种与亲本生育进程不同的影响。此外,从 4 个杂交种及其亲本荧光参数值的比较可见,有双亲 F_m 、 F_v/F_m 、 F_v/F_0 值高的自交系,组配的杂交种也高的趋势,因此在筛选自交系时,筛选 F_m 、 F_v/F_m 和 F_v/F_0 高的自交系,有可能组配出光合能力高的杂交种。

表 3 玉米杂交种及其亲本荧光参数比较¹⁾

Table 3 Comparison of leaf chlorophyll fluorescence parameters among maize hybrid and parents

	乳熟期 Milky stage				蜡熟期 Doughy stage			
	F_0	F_m	F_v/F_m	F_v/F_0	F_0	F_m	F_v/F_m	F_v/F_0
66 高 2 66 Gao2 ♀	272	1184	0.770	3.357	277	787	0.648	1.845
原齐 123 Yuanqil 23 ♂	256	1056	0.758	3.132	263	788	0.666	1.999
农大 106 Nongdal 06 F_1	269	1130	0.762	3.205	266	869	0.693	2.264
F 值 F value	-	20.51**	6.68*	6.81*	-	6.92*	11.03**	10.94**
中亲值 Mid parents value	264	1120	0.764	3.245	270	788	0.657	1.922
超中亲 Excess(%)	-	0.9	-0.3	-1.2	-	9.3	5.2	15.1
D 黄 212 Dhuang212 ♀	278	1153	0.759	3.153	285	796	0.680	1.793
89 K151 ♂	249	1154	0.784	3.645	277	865	0.739	2.124
农大 145 Nongdal 45 F_1	270	1188	0.773	3.409	270	985	0.725	2.654
F 值 F value	-	1.30 ^{NS}	11.16**	9.98**	-	26.91**	29.23**	41.09**
中亲值 Mid parents value	263	1154	0.772	3.399	281	830	0.709	1.958
超中亲 Excess(%)	-	3.0	0.2	0.3	-	15.7	2.2	26.2
多 26 Duo26 ♀	248	1167	0.787	3.705	291	993	0.706	2.410
478 ♂	244	1123	0.783	3.606	274	941	0.708	2.432
高光效 1 号 GaoGuangxiaol F_1	266	1301	0.795	3.892	281	1078	0.739	2.839
F 值 F value	-	13.02**	2.07 ^{NS}	2.10 ^{NS}	-	5.82*	9.02**	9.44**
中亲值 Mid parents value	246	1145	0.785	3.655	283	967	0.707	2.421
超中亲 Excess(%)	-	12.0	1.3	6.1	-	10.3	4.3	14.7
许 178 Xul 78 ♀	285	1317	0.784	3.623	287	1021	0.719	2.564
黄 C HuangC ♂	265	1227	0.784	3.628	275	974	0.717	2.534
农大 108 Nongdal 08 F_1	262	1279	0.795	3.886	270	1120	0.759	3.153
F 值 F value	-	14.52**	5.28*	5.40*	-	11.58**	28.69**	31.69**
中亲值 Mid parents value	275	1272	0.784	3.625	281	997	0.718	2.549
超中亲 Excess(%)	-	0.5	1.5	6.7	-	11.0	5.4	19.2

¹⁾ NS、*、** 分别为不显著, 0.05、0.01 水平显著。NS、*、** represented non-significant, significant at 0.05 and 0.01 level, respectively

3 讨论

目前关于光合生理特性改良的研究表明,玉米不同基因型之间光合速率存在差异^[9,11~14]。近年来随着调制叶绿素荧光动力学技术的发展,为光合作用过程中光能吸收、传递和转化的研究又提供了新的的重要手段。本研究利用叶绿素荧光测试技术进一步证明,玉米基因型之间在光能利用方面存在一定差异。并且从不同年代骨干自交系演替来看,表现为随年代推移,叶绿体 PSII 活性和原初转化效率有升高的趋势,与赵明等研究不同年代骨干玉米自交系单叶光合速率的变化特点一致^[11]。此外,在株型上,紧凑型和平展型间荧光参数无显著差异,与李

少昆等研究玉米自交系株型与单叶光合速率之间没有显著相关关系的结果相一致^[12]。由此可见,紧凑型的高产主要是因株型改善使单位土地面积内能容纳较大的群体所致。故在玉米光合生理育种中,通过兼顾株型和光合特性两个方面,筛选株型紧凑、光能转换效率高的类型是提高玉米产量的重要途径。

比较玉米杂交种与亲本的光合速率,杂交种具有明显的光合优势^[13]。赵琦等用荧光参数作指标也看到类似的遗传特性^[9],但其仅探讨了一个玉米组合在生育前期(幼苗 5 片叶时)的表现。本研究以多个组合,研究了产量形成关键时期杂交种和亲本的主要荧光参数,表明杂交种比亲本有较高的 PSII 原初光能转化效率和潜在活性,同时还发现,如果亲

本的 F_m 、 F_v/F_m 、 F_v/F_0 高,那么组配的杂交种也高。这说明可以利用筛选高 F_m 、 F_v/F_m 、 F_v/F_0 值的自交系来组配高光合效率的杂交种。因此,荧光参数可作为高光效育种选择的指标。此外,在本研究中,玉米杂交种与亲本荧光参数在生育后期表现出较大的差异,其原因不能排除材料间生育进程不同造成的差异。同时,关于荧光参数是否存在特定的遗传关系如母系遗传^[11],以及配合力的大小等均需要在以后的工作中进一步探讨。

在具体的测试技术方面,本研究认为,在田间对玉米基因型的筛选测定以穗上第 1 叶中部为宜。关于暗适应时间,许多研究者采用 5 min^[15](甘蔗)、30 min^[16](小麦)、60 min^[9](玉米)不等。在我们的试验条件下观察到玉米暗适应 5 min 即可,这样既不影响测定的准确性,又可以大大提高测定速度,减少由测定时间过长,光照强度等环境条件差别带来的负面影响。此外,由于荧光参数值受光照影响较大,在测定大批材料时,宜采用轮回测定的方法。

References

- [1] Tu Z P, Lin X Z, Cai W J, Yu Z Y. Reprobing into rice breeding for high photosynthetic efficiency. *Acta Botanica Sinica*, 1995, 37(8): 641 - 651. (in Chinese)
屠增平,林秀珍,蔡惟涓,余昭榘.水稻高光效育种的再探索.植物学报,1995,37(8):641 - 651.
- [2] Du W G, Zhang G R, Man W Q, Chen Y, Luan X Y, Hao N B, Ge Q Y, Gu X Z. Development of soybean cultivars (Germplasm) with high photosynthetic efficiency (HPE) and re-discussion of breeding for HPE. *Soybean Science*, 2001, 20(2): 110 - 115. (in Chinese)
杜维广,张桂如,满为群,陈怡,栾晓燕,郝乃宾,戈巧英,谷秀芝.大豆高光效品种(种质)选育及高光效育种再探讨.大豆科学,2001,20(2):110 - 115.
- [3] Krause and Weis. Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: The basic. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol.* 1991, 42: 313 - 349.
- [4] Anthony J, White and Chista Critchley. Rapid light curves: a new fluorescence method to assess the state of photosynthetic apparatus. *Photosynthesis Research*, 1999, 59: 63 - 67.
- [5] Lin S Q, Xu C H, Zhang Q D. Some application of chlorophyll fluorescence kinetics to plant stress physiology phytoecology and agricultural modernization. *Chinese Bulletin of Botany*, 1992, 9(1): 1 - 16. (in Chinese)
林世青,许春辉,张其德.叶绿素荧光动力学在植物抗性生理学、生态学和农业现代化中的应用.植物学通报,1992,9(1): 1 - 16.
- [6] Seaton G G R, Walker D A. Chlorophyll fluorescence as a measure of photosynthetic carbon assimilation. *Proc. R. Soc. Lond B*, 1990, 242: 29 - 35.
- [7] Earl H J. Relationship between thylakoid electron transport and photosynthetic CO₂ uptake in leaves of three maize (*Zea mays* L.) hybrids. *Photosynthesis Research*, 1998, 58: 3: 245 - 257.
- [8] Krebs D, Synkova H. Chlorophyll fluorescence measurements for genetic analysis of maize cultivars. *Photosynthetica*, 1996, 32: 4: 595 - 608.
- [9] Zhao Q, Tang C Q, Kuang T Y. Preliminary studies on photosynthetic characteristics of maize hybrid and its parents. *Acta Agronomica Sinica*, 1996, 22(5): 560 - 564. (in Chinese)
赵琦,唐崇钦,匡廷云.玉米(*Zea mays* L.)杂交种(中单14)及其亲本部分光合特性的研究.作物学报,1996,22(5):560 - 564.
- [10] Zhang Q D, Zhu X G, Wang Q, Lu C M, Kuang T Y, Zhang W X, Zhang J H. Photosynthetic characters of F₁ hybrids in winter wheat and their parents. *Acta Agronomica Sinica*, 2001, 27(5): 653 - 657. (in Chinese)
张其德,朱新广,王强,卢从明,匡廷云,张文祥,张建华.冬小麦杂种 F₁ 及其亲本光合特性的研究初报.作物学报,2001, 27(5): 653 - 657.
- [11] Zhao M, Li S K. The development character of plant type and photosynthetic traits of corn self bred lines in China. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 1998, 13(Suppl.): 1 - 4. (in Chinese)
赵明,李少昆.我国玉米自交系株型和光合性状的演变特点.华北农学报,1998,13(增):1 - 4.
- [12] Li S K, Zhao M. Relationships of plant type and photosynthetic characteristics in different inbred lines of maize. *Journal of China Agricultural University*, 1999, 4(5): 77 - 81. (in Chinese)
李少昆,赵明.玉米自交系株型及其光合特性的研究.中国农业大学学报,1999,4(5):77 - 81.
- [13] Zhao M, Wang M Y. Relationship between inbreds and hybrids in photosynthetic rate of corn (*Zea mays* L.). *Acta Agriculturae Universities Pekinensis*, 1995, 21(3): 265 - 269. (in Chinese)
赵明,王美云.玉米亲本及杂交种光合速率的关系.北京农业大学学报,1995,21(3):265 - 269.
- [14] Li S K, Zhao M. Studies on the characteristics of photosynthesis of maize crosses. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 1998, 13(Suppl.): 5 - 8. (in Chinese)
李少昆,赵明.玉米杂交组合光合特性的研究.华北农学报,1998,13(增):5 - 8.
- [15] Luo J, Zhang M Q, Lü J L, Lin Y Q. Effects of water stress on the chlorophyll a fluorescence induction kinetics of sugarcane genotypes. *Journal of Fujian Agricultural University*, 2000, 29(1): 18 - 22. (in Chinese)
罗俊,张木清,吕建林,林彦铨.水分胁迫对不同甘蔗品种叶绿素 a 荧光动力学的影响.福建农业大学学报,2000,29(1): 18 - 22.
- [16] Zhang Q D, Liu H Q, Zhang J H, Li J M. Effects of limited irrigation on some photosynthetic functions of flag leaves in winter wheat. *Acta Agronomica Sinica*, 2000, 26(6): 869 - 873. (in Chinese)
张其德,刘合芹,张建华,李建民.限水灌溉对冬小麦旗叶某些光合特性的影响.作物学报,2000,26(6):869 - 873.