新疆早熟棉花品种叶绿素荧光特性初步研究

周小凤,韩焕勇,王方永,王 娟,李保成*　(新疆农垦科学院棉花研究所/农业部西北内陆棉区棉花生物学和遗传育种重点实验室,新疆石河子 832000)

摘要　[目的]为了探讨不同棉花品种光合生理特性的差异性。[方法]选取新疆审定的10个早熟棉花品种,在常规栽培下测定叶绿素荧光参数并对其进行比较。[结果]10个不同棉花品种的叶片 F_0、F_m、F_v、F_v/F_m、F_0'、$\Phi PS\text{Ⅱ}$、q_p、NPQ 值在品种间差异不显著,说明10个棉花品种间叶片光合机构的活性和光合能力较为接近。[结论]在自然条件下棉花品种间PSⅡ反应中心的电子传递变化幅度相对较大,导致品种间差异较明显。棉花盛花期 F_0、F_m、F_v 和 F_0' 与子棉产量呈极显著正相关,而 $\Phi PS\text{Ⅱ}$、NPQ 与子棉产量呈极显著负相关。

关键词　棉花;叶绿素荧光参数;特性分析
中图分类号　S562　　**文献标识码**　A　　**文章编号**　0517 -6611(2015)24 -028 -04

Preliminary Analysis of Xinjiang Cotton Chlorophyll Fluorescence Characteristics

ZHOU Xiao-feng, HAN Huan-yong, WANG Fang-yong, LI Bao-cheng* et al　(Institute of Cotton, Xinjiang Academy of Agricultural Reclamation Sciences / Northwest Inland Region Key Laboratory of Cotton Biology and Genetic Breeding Ministry of Agriculture, Department of Agriculture, Shihezi, Xinjiang 832000)

Abstract　[Objective] The aim was to investigate the physiological characteristics of different cotton varieties. [Method] Under the natural condition, chlorophyll fluorescence parameters of 10 early maturing cotton varieties were determined and compared. [Result] The result showed that F_0、F_m、F_v、F_v/F_m、F_0'、$\Phi PS\text{Ⅱ}$、q_p、NPQ values of 10 different cotton varieties have no significant difference in the varieties. [Conclusion] Under natural conditions ,electronic transmission amplitude changes relatively large in PS II reaction center among cotton cultivars, leading to the difference among varieties was obvious. There is a significantly positive correlation between F_0、F_m、F_v、F_0' and seed cotton yield at cotton flowering stage. $\Phi PS\text{Ⅱ}$, NPQ and seed yield showed significant negative correlation.

Key words　Cotton; Chlorophyll fluorescence parameters; Characteristic analysis

绿色植物通过光合作用为地球上其他生物生命活动提供能量,绿色植物属于放氧光合生物,利用太阳能裂解水释放出了氧气,同时将大气中的 CO_2 合成葡萄糖,为新陈代谢提供能量。在光合作用的原初反应中,将吸收的光能传递、转换为电能的过程中,有一部分光能损耗以荧光的方式释放[1]。自从1931年德国植物生理学家 Kautsky 和 Hirsch 第一次用肉眼发现叶绿素荧光动力学现象以来,随着研究的不断深入,叶绿素荧光特性与植物生长发育及生理代谢的关系越来越受到人们的重视。叶绿素荧光动力学技术被称为快速、无损伤测定叶片光合作用的有效探针。

植物叶片对光能的吸收、传递和利用取决于物种和环境因子[2]。新疆北部早熟棉区气候干旱,棉花生长季节温度较高,日照充足,与长江、黄河流域棉区气候差异较大,其叶绿素荧光参数特性变化规律可能也不同。该文选取新疆审定的10个早熟棉花品种为试验材料,对其叶片叶绿素荧光参数和快速光曲线进行测定分析,探讨不同棉花品种光合生理特性的差异性,旨在为育种过程中亲本选择和棉花生产中品种选择提供基础资料。

1　材料与方法

1.1　研究地自然概况　试验设在新疆农垦科学院棉花研究所试验地进行,地理坐标为85°58′ E,44°26′ N,地势平坦,海拔450.8 m。无霜期为169 d,≥0 ℃的活动积温为4 023 ~4 118 ℃,≥10 ℃的活动积温为3 570 ~3 729 ℃。一年中的最高气温出现在7月,平均气温25.1 ~26.1 ℃。年降水量为125.0 ~207.7 mm,一年中降水较多的月份出现在4 ~7月,属于温带大陆性气候。

1.2　供试材料　10个早熟棉花品种为新陆早13号、新陆早22号、新陆早32号、新陆早33号、新陆早36号、新陆早42号、新陆早45号、新陆早47号、新陆早48号、新陆早51号,由新疆农垦科学院棉花研究所提供。

1.3　试验设计　试验地壤土,中等肥力,前作棉花。试验采用随机区组设计,3重复,小区面积1.7 m^2;每小区2行,行长2 m,采用宽窄行种植,平均行距0.425 m,株距0.100 m。2013年4月20日播种,4月30日出苗,生育期膜下滴灌9次,化控5次,病虫害防治和人工除草同大田。

1.4　叶绿素荧光参数的测定　2013 ~2014年,利用超便携式调制叶绿素荧光仪(MINI-PAM)测定10个棉花品种的叶绿素荧光参数。选取棉花倒3叶片进行测定,同一棉花品种各3株,每株测定1个叶片。在叶片自然生长角度不变的情况下,使叶片充分暗适应后测定初始荧光(F_0),随后加一个饱和脉冲光[18 000 μmol photons/(m^2·s)],脉冲时间0.7 s,测定最大荧光(F_m)和稳态荧光(F),同时记录叶表光强和叶温,随后加一个饱和脉冲光[18 000 μmol photons/(m^2·s)],脉冲时间0.7 s,测定光下最大荧光(F_m')。按 Rohacek[3] 公式计算如下参数:光系统Ⅱ(PSⅡ)最大光能转换效率(F_v/F_m)=($F_m - F_0$)/F_m、PSⅡ电子传递量子效率 $\Phi PS\text{Ⅱ} = (F_m' - F)/F_m'$,光下最小荧光 $F_0' = 1/(1/F_0 - 1/F_m + 1/F_m')$,光化学猝灭系数 $q_P = (F_m' - F)/(F_m' - F_0')$,非光化学猝灭 $NPQ = (F_m - F_m')/F_m'$。

1.5　*rETR* 测量　利用调制叶绿素荧光成像系统(MAX-IMAGING-PAM)测量快速光曲线。快速光曲线的测量按 Se-

基金项目　国家科技支撑计划项目(2014BAD09B01);兵团博士资金专项(2013BB001)。
作者简介　周小凤(1975 -),女,安徽庐江人,副研究员,硕士,从事棉花育种及栽培研究。*通讯作者,研究员,从事棉花育种及栽培研究。
收稿日期　2015-06-26

hreiber 等[4]和 White 与 Critchley[5]的方法进行,选取棉花倒 3 叶片进行测定,设置 9 个有效光合作用辐照(*PAR*)梯度:0、102、212、340、519、720、1 070、1 458、2 124 μmol/(m² · s),每个梯度持续 10 s,分别测量实际量子产量 *Y* 和相对电子传递速率(*rETR*),*rETR* 随 *PAR* 的变化值。

1.6　数据统计　采用 SPSS17.0 软件对数据进行相关分析与 One-Way ANOVA 方差分析,并采用 LSD 法进行多重比较,用 Excel 图表法处理快速光曲线的数据。

2　结果与分析

2.1　不同早熟棉花品种叶片叶绿素荧光参数的方差分析　10个不同早熟棉花品种叶片叶绿素荧光参数的方差分析结果表明:*F*、F_m'值在品种间差异达显著水平,F_0、F_m、F_v、F_v/F_m、F_0'、*ΦPS*Ⅱ、q_P、*NPQ* 值在品种间差异不显著。

2.2　不同早熟棉花品种叶片叶绿素荧光参数比较　由表 1 可知,高于平均值的有新陆早 36 号、新陆早 33 号、新陆早 42 号、新陆早 48 号、新陆早 51 号,但差异不显著;F_m 为最大荧光产量,高于平均值的有新陆早 51 号、新陆早 42 号、新陆早 36 号、新陆早 45 号,但差异不显著;*F* 为稳态荧光,新陆早 51 号显著高于平均值,新陆早 33 号、新陆早 36 号、新陆早 45 号高于平均值,但差异不显著;新陆早 51 号的 F_m'值显著高于平均值,新陆早 33 号、陆早 42 号、新陆早 36 号 F_m'值高于平均值,但差异不显著;新陆早 51 号、新陆早 36 号、新陆早 42 号、新陆早 45 号的 F_v 值高于平均值,但差异不显著;F_v/F_m 值在 0.825 ~ 0.845 之间,品种间差异不显著;新陆早 51 号、新陆早 45 号、新陆早 42 号、新陆早 22 号、新陆早 47 号的 F_v/F_0 值高于平均值,但差异不显著;新陆早 36 号、新陆早 33 号、新陆早 51 号、新陆早 42 号、新陆早 48 号的 F_0'值高于平均值,但差异不显著;新陆早 51 号、新陆早 48 号、新陆早 47 号、新陆早 42 号、新陆早 13 号的 *ΦPS*Ⅱ值都低于平均值,其他都高于平均值,但差异不显著;品种间的 q_P 值和 *NPQ* 值差异不显著;新陆早 48 号、新陆早 45 号、新陆早 36 号、新陆早 32 号、新陆早 51 号的子棉产量高于对照。

表 1　早熟棉花品种叶片叶绿素荧光参数(无量纲)比较

品种	F_0	F_m	*F*	F_m'	F_v	F_v/F_m	F_v/F_0	F_0'	*ΦPS*Ⅱ	q_P	*NPQ*	子棉产量 kg/hm²
新陆早 13 号	267a	1 520a	1 218b	1 320b	1 253a	0.825a	4.730a	258.836a	0.076a	0.093a	0.159a	3 832.5
新陆早 22 号	269a	1 615a	1 310b	1 424b	1 346a	0.834a	5.059a	261.749a	0.078a	0.095a	0.140a	4 045.5
新陆早 32 号	274a	1 591a	1 276b	1 391b	1 318a	0.828a	4.891a	265.108a	0.079a	0.096a	0.159a	4 935.0
新陆早 33 号	288a	1 616a	1 361b	1 493b	1 328a	0.821a	4.674a	282.745a	0.086a	0.106a	0.092a	4 327.5
新陆早 36 号	298a	1 665a	1 353b	1 469b	1 366a	0.821a	4.602a	290.704a	0.079a	0.098a	0.135a	5 073.0
新陆早 42 号	278a	1 627a	1 335b	1 454b	1 350a	0.830a	4.946a	270.588a	0.081a	0.098a	0.127a	4 125.0
新陆早 45 号	272a	1 636a	1 338b	1 448b	1 364a	0.835a	5.084a	265.221a	0.076a	0.092a	0.133a	5 394.0
新陆早 47 号	262a	1 576a	1 289b	1 392b	1 314a	0.834a	5.054a	255.451a	0.075a	0.091a	0.135a	3 652.5
新陆早 48 号	283a	1 612a	1 333b	1 435b	1 329a	0.824a	4.683a	277.051a	0.074a	0.091a	0.121a	5 296.5
新陆早 51 号	281a	1 803a	1 540a	1 652a	1 523a	0.845a	5.465a	276.291a	0.069a	0.082a	0.092a	4 579.5
平均值	277a	1 626a	1 335b	1 448b	1 349a	0.830a	4.919a	270.374a	0.077a	0.094a	0.129a	4 527.0

注:数据后小写字母不同表示 0.05 水平差异显著。

2.3　不同早熟棉花品种叶片叶绿素荧光参数与子棉产量的相关分析　由表 2 可知,F_0 与 F_m、F_v、F_0'、*NPQ* 均呈极显著正相关,F_0 与 F_v/F_m、F_v/F_0、*ΦPS*Ⅱ、q_P 均呈极显著负相关;F_m 与 *F*、F_m'、F_v、F_0'、*NPQ* 均呈极显著正相关,F_m 与 *ΦPS*Ⅱ、q_P 均呈极显著负相关;*F* 与 F_m'、F_v、F_v/F_m、F_v/F_0 均呈极显著正相关,*F* 与 F_0'呈显著正相关;F_m'与 F_v、F_v/F_m、F_v/F_0 呈极显著正相关,F_m'与 *NPQ* 呈极显著负相关;F_v 与 F_0'呈极显著正相关,F_v 与 *ΦPS*Ⅱ、q_P 均呈极显著负相关;F_v/F_m 与 F_v/F_0、*ΦPS*Ⅱ、q_P 均呈极显著正相关,F_v/F_m 与 F_0'、*NPQ* 均呈极显著负相关;F_v/F_0 与 *ΦPS*Ⅱ、q_P 均呈极显著正相关,F_v/F_0 与 F_0'、*NPQ* 均呈极显著负相关;F_0'与 *NPQ* 呈极显著正相关,F_0'与 *ΦPS*Ⅱ、q_P 均呈极显著负相关;*ΦPS*Ⅱ与 q_P 呈极显著正相关,*ΦPS*Ⅱ与 *NPQ* 呈极显著负相关;q_P 与 *NPQ* 呈极显著负相关。

子棉产量与 F_0、F_m、F_0' 均呈极显著正相关,与 F_v 呈显著正相关,与 *ΦPS*Ⅱ、q_P 均呈极显著负相关。

2.4　快速光曲线特性　叶片照射 186 μmol/(m² · s)的光强,达稳态后,立即测量 *rETR* 值,得到的结果如图 1 所示。随光强的升高,*rETR* 逐渐升高,当光强达到饱和点后,*rETR* 达最大值,此后,随光强的升高,*rETR* 逐渐下降。

从图 1 可以看出,7 月 20 日新陆早 36 号的最大潜在相对电子传递速率最高[$rETR_{max}$ = 69.1 μmol/(m² · s)],新陆早 48 号[$rETR_{max}$ = 52.5 μmol/(m² · s)]次之,新陆早 45 号、新陆早 33 号、新陆早 42 号、新陆早 22 号介于 40 ~ 50 μmol/(m² · s)之间;新陆早 13 号、新陆早 51 号、新陆早 32 号、新陆早 47 号较低,均低于 40 μmol/(m² · s)。

8 月 26 日,新陆早 13 号的最大潜在相对电子传递速率最高[$rETR_{max}$ = 55.6 μmol/(m² · s)],新陆早 32 号[$rETR_{max}$ = 53.5 μmol/(m² · s)]次之,新陆早 36 号、新陆早 47 号、新陆早 22 号、新陆早 48 号、新陆早 51 号介于 40 ~ 50 μmol/(m² · s)之间;新陆早 33 号、新陆早 45 号、新陆早 42 号较低,均低于 40 μmol/(m² · s)。

同时发现新陆早 36 号、新陆早 45 号、新陆早 42 号在 7 月 20 日相对电子传递速率均大于 8 月 26 日的相对电子传递速率,而新陆早 13 号、新陆早 32 号、新陆早 47 号在 7 月 20 日相对电子传递速率小于 8 月 26 日的相对电子传递速率,新陆早 48 号、新陆早 51 号这 2 d 的相对电子传递速率相差不大。

表 2 早熟棉花品种叶片叶绿素荧光参数与子棉产量的相关分析

参数	F_0	F_m	F	F_m'	F_v	F_v/F_m	F_v/F_0	F_0'	$\Phi PS\text{Ⅱ}$	q_P	NPQ	子棉产量
F_0	1.000											
F_m	0.702**	1.000										
F	0.211	0.778**	1.000									
F_m'	−0.108	0.530**	0.928**	1.000								
F_v	0.539**	0.978**	0.859**	0.659**	1.000							
F_v/F_m	−0.723**	−0.018	0.449**	0.656**	0.190	1.000						
F_v/F_0	−0.716**	−0.011	0.445**	0.652**	0.196	0.995**	1.000					
F_0'	0.992**	0.732**	0.296*	−0.011	0.576**	−0.685**	−0.682**	1.000				
$\Phi PS\text{Ⅱ}$	−0.858**	−0.705**	−0.239	0.137	−0.584**	0.516**	0.511**	−0.825**	1.000			
q_P	−0.840**	−0.724**	−0.273	0.101	−0.612**	0.472**	0.466**	−0.809**	0.999**	1.000		
NPQ	0.798**	0.405**	−0.243	−0.556**	0.247	−0.718**	−0.700**	0.719**	−0.825**	−0.806**	1.000	
子棉产量	0.377**	0.368**	0.241	0.083	0.325*	−0.171	−0.196	0.391**	−0.406**	−0.406**	0.239	1.000

注：** 在 0.01 水平（双侧）上显著相关；* 在 0.05 水平（双侧）上显著相关。

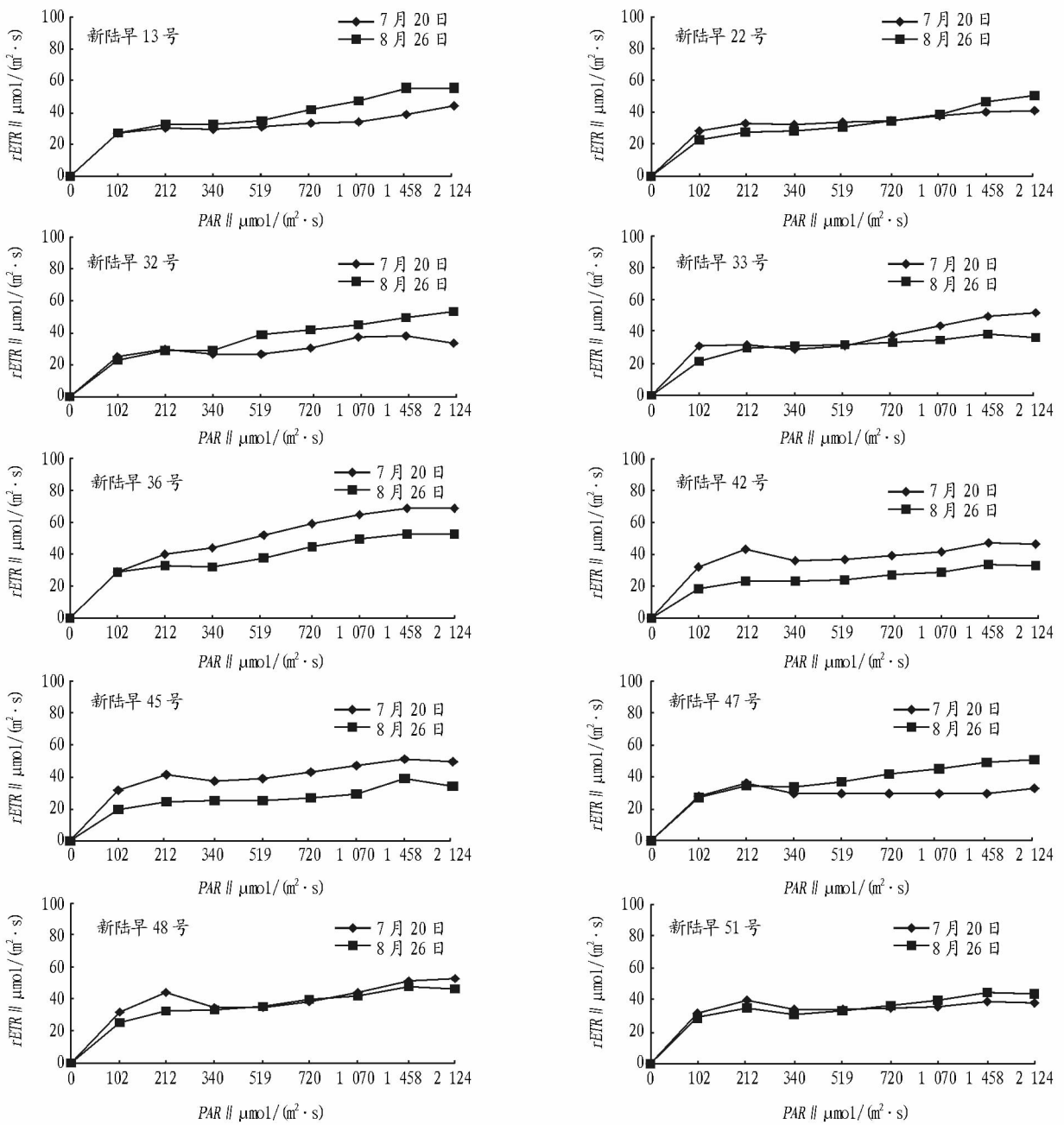

图 1 早熟棉花品种叶片快速光曲线的变化

3　结论与讨论

(1)植物叶片叶绿素吸收的光能主要通过光合电子传递、叶绿素荧光发射和热耗散 3 种途径来消耗,因此可以通过对荧光的观测来研究植物光合作用和热耗散的情况[2]。10 个早熟棉花品种中新陆早 51 号的叶片 F、F_m' 与其他品种间差异达显著水平($P<0.05$),各品种间 F_0、F_m、F_v、F_v/F_m、F_0'、$\Phi PS\text{Ⅱ}$、q_P、NPQ 的差异不显著,说明品种间叶片光合机构的活性和光合能力较为相近。

(2)PSⅡ最大量子产量 F_v/F_m 反映了植物的潜在最大光合能力,正常生理状态下,绝大多数 C_3 植物的 F_v/F_m 在 0.80 ~0.85 之间[6]。该试验中,10 个早熟棉花品种的 PSⅡ最大量子产量 F_v/F_m 均在 0.820 ~0.845 之间,与此结果吻合,说明棉花植株处于正常生理状态。

(3)郭天财等[7]研究发现,小麦灌浆期旗叶 F_v/F_m、F_v/F_0 和 q_N 与子粒产量有显著的相关性。该研究发现棉花花铃期 F_0、F_m、F_v 和 F_0' 与子棉产量有极显著的正相关,与 $\Phi PS\text{Ⅱ}$、NPQ 呈极显著负相关。

(4)通过测量快速光曲线,可以比较植物耐受强光的能力以及最大电子传递速率等[6]。该研究发现,同一棉花品种在不同的时期对耐受强光的能力和最大电子传递速率是不同的;不同棉花品种在同一时间对耐受强光的能力和最大电子传递速率是不同的。在 7 月 20 日新陆早 36 号、新陆早 45 号、新陆早 48 号与其他棉花品种相比,相对电子传递速率比较大,而这些品种的产量也比其他品种的产量高,说明盛花期耐受强光的能力强、最大电子传递速率大的品种,其子棉产量也相对较高。

参考文献

[1] 李晓,冯伟,曾晓春,等. 叶绿素荧光分析技术及应用进展[J]. 西北植物学报,2006,26(10):2186 -2196.

[2] 郑淑霞,上官周平. 8 种阔叶树种叶片气体交换特征和叶绿素荧光特性比较[J]. 生态学报,2006,26(4):1080 -1087.

[3] ROHACEK K. Chlorophyll fluorescence parameters:The definitions, photosynthetic meaning, and mutual relationships[J]. Photosynthetica,2002,40(1):13 -29.

[4] SEHREIBER U,GADEMANN R,RALPH P J,et al. Assessment of photosynthetic performance of *prochloron* in *Lissoelinum patella* in hospite by chlorophyll fluorescence measurements[J]. Plant Cell and Physiology,1997,38:945 -951.

[5] WHITE A J,CRITCHLEY C. Rapid light curves:A new fluorescence method to assess the state of the photosynthetic apparatus[J]. Photosynthesis Research,1999,59:63 -72

[6] 泽泉科技有限公司,德国 WALZ 公司中国技术服务中心. 超便携式调制叶绿素荧光仪 MINI-PAM 操作手册[Z]. 2006.

[7] GUO T C,FENG W,ZHAO H J,et al. Effects of water and nitrogen application on photosynthetic characteristics and yield of winter wheat in the late growing and developing period[J]. Acta Bot Boreal -Occident Sin,2003,23(9):1512 -1517.

(上接第 8 页)

[19] 王志新,谭进波,彭禄,等. 茴芹属 16 种植物的花粉形态及系统学分析[J]. 西北植物学报,2012,32(8):1592 -1598.

[20] 洪德元. 植物细胞分类学[M]. 北京:科学出版社,1990.

[21] BYUNG-YUN S,PARK J H,KWAK M J,et al. Chromosome counts from the flora of Korea with emphasis on Apiaceae[J]. Journal of Plant Biology,1996,39:15 -22.

[22] HEYWOOD V H. Systematic Survey of Old World Umbelliferae[M]// HEYWOOD V H. The biology and chemistry of the Umbelliferae. Academic Press,1971:31 -41.

[23] 潘泽惠,秦慧贞,吴竹君,等. 伞形科植物染色体数目报告[J]. 植物分类学报,1985,23(2):97 -102.

[24] KRISHNAPPA D G,BASAPPA A N. SOCGI plant chromosome number reports-VI[J]. Journal of Cytology and Genetics,1988,23:38 -52.

[25] YURTSEVA O V. The cytologic study of some species of the genus *Pimpinella* L. (Umbelliferae-Apioideae)[J]. Biologi českije Nauki,1988,11:78 -85.

[26] 马毓泉. 内蒙古植物志:第 3 卷:伞形科[M]. 呼和浩特:内蒙古人民出版社,1989:620.

[27] 秦慧贞,潘泽惠,佘孟兰,等. 伞形科植物染色体数目报告[J]. 植物分类学报,1989,27(4):268 -272.

[28] PIMENOV M G,ALEXEEVA T V,ARTEM'EVA G M,et al. IOPB chromosome data 13[J]. Newslett Int Organ Pl Biosyst(Oslo),1998,29:23 -24.

[29] PIMENOV M G,ALEXEEVA T V,KLJUYKOV E V,et al. IOPB chromosome data 15[J]. Newslett Int Organ Pl Biosyst(Pruhonice),1999,31:13 -16.

[30] 李国泰,李尧. 大叶芹染色体的核型分析[J]. 吉林农业大学学报,2005,27(5):511 -513.

[31] 蒲吉霞,何兴金,张雪梅,等. 横断山区伞形科 4 种 7 个居群植物的核型研究[J]. 西北植物学报,2006,26(10):1989 -1995.

[32] 张丹,杨柳,李本红,等. 云南产四种伞形科植物的核型[J]. 植物科学学报,2010,28(5):540 -543.

[33] TABANCA N,DOUGLAS A W,BEDIR E,et al. Patterns of essential oil relationships in *Pimpinella*(Umbelliferae)based on phylogenetic relationships using nuclear and chloroplast sequences[J]. Plant Genetic Resources,2005,3(2):149 -169.

[34] MAGEE A R,VAN WYK B E,TILNEY P M,et al. Phylogenetic position of African and Malagasy *Pimpinella* species and related genera(Apiaceae, Pimpinelleae)[J]. Plant Systematics and Evolution,2010,288:201 -211.

[35] WANG Z X,DOWNIE S R,TAN J B,et al. Molecular phylogenetics of Pimpinella and allied genera(Apiaceae),with emphasis on Chinese native species,inferred from nrDNA ITS and cpDNA intron sequence data[J]. Nordic Journal of Botany,2014,32(5):642 -657.

[36] ZHOU J,PENG H,DOWNIE S R,et al. A molecular phylogeny of Chinese Apiaceae subfamily Apioideae inferred from nuclear ribosomal DNA internal transcribed spacer sequences[J]. Taxon,2008,57:402 -416.

[37] ZHOU J,GONG X,DOWNIE S R,et al. Towards a more robust molecular phylogeny of Chinese Apiaceae subfamily Apioideae:Additional evidence from nrDNA ITS and cpDNA intron(*rpl*16 and *rps*16)sequences[J]. Molecular Phylogenetics and Evolution,2009,53:56 -68.

[38] SPALIK K,DOWNIE S R. The evolutionary history of Sium sensu lato (Apiaceae):dispersal,vicariance,and domestication as inferred from ITS rDNA phylogeny[J]. American Journal of Botany,2006,93:747 -761.