

不同生育时期玉米苞叶叶绿素荧光特性差异分析

徐洪文^{1,2}, 宋凤斌¹, 朱先灿^{1,2}, 童淑媛^{1,2}

(1. 中国科学院 东北地理与农业生态研究所, 吉林 长春 130012; 2. 中国科学院 研究生院, 北京 100049)

摘要:以郑单 958 和农大 364 两个玉米品种为研究材料, 对大田条件下不同生育时期玉米苞叶的叶绿素含量和叶绿素荧光动力学进行了比较分析。结果表明, 不同生育时期玉米苞叶叶绿素含量呈先升后降的变化趋势, 并在灌浆期达到最高值, 且农大 364 苞叶的叶绿素降低速率要低于郑单 958, 这样有利于其保持更为持久的光合能力。不同生育时期玉米品种间苞叶叶绿素荧光参数 (F_m 、 F_v 、 F_v/F_m 、 F_v/F_o 等) 的变化规律基本一致, 郑单 958 高于农大 364, 说明郑单 958 苞叶反应中心活性较高, 具有较高的电子传递速率, 并且苞叶叶片开放的 PS 反应中心捕获激发能的效率高于后者。

关键词:玉米; 苞叶; 叶绿素含量; 叶绿素荧光

中图分类号: S513.01 文献标识码: A 文章编号: 1000-7091(2009)06-0074-04

Analysis on Chlorophyll Fluorescence of Husk Leaves of Maize at Different Growing Stages

XU Hong-wen^{1,2}, SONG Feng-bin¹, ZHU Xian-can^{1,2}, TONG Shu-yuan^{1,2}

(1. Northeast Institute of Geography and Agricultural Ecology, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130012, China; 2. Gradual School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Zhengdan 958 and Nongda 364 were adopted in this experiment, both contents of chlorophyll and chlorophyll fluorescence parameters of husk leaves of maize (*Zea mays* L.) varieties at different growing stages were comparatively studied in the field condition. The results showed that chlorophyll content of husk leaves increased at first and then decreased, and reached the peak value values at milk-filling stage. The degradation rate of chlorophyll in husk leaves of Nongda 364 was lower than that of Zhengdan 958 at different growing stages, which was helpful in keeping photosynthetic activities. It was shown that the same diurnal change trend of chlorophyll fluorescence parameters (F_m , F_v , F_v/F_m , F_v/F_o , etc.) between the two varieties at different stages. Zhengdan 958 had higher chlorophyll fluorescence parameters than Nongda 364, indicating that Zhengdan 958 was higher than Nongda 364 in active of PS reaction center, rate of electron transport, efficiency of excitation energy captured by open PS reaction centers.

Key words: Maize; Husk leaves; Chlorophyll content; Chlorophyll fluorescence

叶绿素荧光与光合作用中各个反应过程密切相关, 通过探测分析植物体内发出的荧光信号, 可以反映出植物的光合生理状况。叶绿素荧光动力学技术在测定叶片光合作用过程中光系统对光能的吸收、传递、耗散、分配等方面具有独特的作用, 随着叶绿素荧光理论和测定技术的进步, 叶绿素荧光动力学技术已经被称作快速、灵敏和无损伤地研究和探测光合生理状况以及多种因子对植物光合作用的影响

的天然探针^[1,2], 成为人们研究光合代谢的新手段, 在国内外已广泛应用在小麦^[3-5]、大豆^[6,7]、水稻^[8-10]、玉米^[11-14]等大田作物研究领域, 作为玉米的变态叶——苞叶的叶绿素荧光特性研究则鲜有报道^[15]。本试验以目前东北主推玉米品种郑单 958 和农大 364 为研究材料, 通过对不同生育时期玉米苞叶叶绿素的荧光特性差异进行分析, 以期开展玉米代谢调控机理研究、产量的发掘和经济系数的

收稿日期: 2009-10-20

基金项目: 国家“863”计划项目(2006AA10Z227)

作者简介: 徐洪文(1979-), 男, 黑龙江齐齐哈尔人, 博士, 主要从事植物生理生态方面的研究。

通讯作者: 宋凤斌(1963-), 男, 吉林前郭人, 研究员, 博士生导师, 主要从事作物抗逆生理生态研究。

提高提供理论基础和技术指导。

1 材料和方法

1.1 材料试验及设计

试验于中国科学院东北地理与农业生态研究所德惠农业示范试验基地(东经 125°33', 北纬 44°12')进行,该基地位于吉林中部平原黑土区,土地肥沃,水资源丰富,雨热同季,其主要作物为春玉米,土壤养分含量见表 1。试验地共分为 2 个小区,每一品

表 1 供试土壤基本理化性状

Tab.1 Some physical and chemical properties of the used soil

有机质/(g/kg)	全氮/(g/kg)	全磷/(g/kg)	全钾/(g/kg)	速效氮/(mg/kg)	速效磷/(mg/kg)	速效钾/(mg/kg)	pH
O.M.	Total N	Total P	Total K	Avail. N	Avail. P	Avail. K	
26.90	1.20	1.06	16.87	118.80	18.00	111.00	6.60

1.2 测定项目及方法

1.2.1 采样 每个小区按“S”型采样法进行样品测定,采集 5 个样点的植株样品,每个样点 3 次重复,做到随机、等量和多点混合。

1.2.2 叶绿素含量的测定 分别在玉米抽丝期、灌浆期和蜡熟期测定苞叶叶绿素含量,取 0.5 g 苞叶叶片,用剪刀剪碎,浸泡在丙酮-乙醇(V/V=1/1)溶液中 24 h,浸泡液为待测液。测定方法参照张宪政^[16]的方法。

1.2.3 荧光参数的测定 在玉米抽丝期、灌浆期和蜡熟期,选择晴朗无风的天气,测试前先用暗处理夹夹住样品叶片中部暗适应 20 min,用美国 Opti-Science 公司生产的 OS-30 型便携式叶绿素荧光计测定叶绿素荧光诱导动力学参数,包括苞叶的初始荧光(F_0)、最大荧光(F_m)、光系统的原初光能转化效率(F_v/F_m)等,并计算出可变荧光(F_v)和 PSII 潜在活性(F_v/F_0)。

1.2.4 系统分析方法 试验中数据均采用 Excel 2003 统计标准差;采用 SPSS 11.5 软件根据最小显著差数法(LSD法)进行差异显著性($P < 0.05$)分析;作图采用 Origin Pro 7.5 软件。

2 结果与分析

2.1 不同生育时期玉米苞叶叶绿素含量的差异

叶绿素是重要的含氮化合物,叶片中叶绿素含量的高低是反映植物光合能力的重要指标。不同生育时期玉米苞叶叶绿素含量的变化情况见表 2,两个玉米品种苞叶叶绿素含量的变化规律基本一致,随着玉米生育进程的推进,苞叶叶绿素含量均呈先上升后下降的变化规律,在灌浆期达到顶峰。抽丝期至灌浆期,郑单 958 和农大 364 苞叶的叶绿素总量分别提高到原来的 1.76 倍和 2.07 倍。灌浆期至

种为一个小区,每小区面积为 15 00 m²,每个小区按“S”型采样法进行样品测定,采集 5 个样点的植株样品,每个样点 3 次重复,做到“随机”、“等量”和“多点混合”。供试品种为农大 364 和郑单 958,南北行向种植。磷肥、钾肥和部分氮肥作基肥(每小区施入养分含量为 N P₂O₅ K₂O = 15% 15% 15%的玉米专用复合肥 90 kg),其余氮肥于拔节前作追肥(每小区施入 NH₄NO₃ 60 kg),管理措施同大田。

蜡熟期郑单 958 和农大 364 苞叶的叶绿素含量分别下降了 40.46%和 20%。由此可见,郑单 958 属于“升慢降快”的类型,而农大 364 属于“升快降慢”。

表 2 不同生育时期玉米苞叶叶绿素含量的变化

Tab.2 Changes in chlorophyll content of husk leaves of maize at different growing stages

品种 Varieties	叶绿素含量/(mg/g) Chlorophyll content		
	抽丝期 Silking	灌浆期 Milk-filling	蜡熟期 Dough
郑单 958 Zhengdan 958	4.67 ±0.07a	8.23 ±0.09a	4.90 ±0.05b
农大 364 Nongda 364	3.91 ±0.04b	8.10 ±0.09a	6.48 ±0.07a

从表 2 还可以看出,在抽丝期、灌浆期和蜡熟期两个品种间玉米苞叶叶绿素总量(以鲜质量计)的差异分别为 0.76,0.13 和 1.58 mg/g,说明苞叶叶绿素含量在品种间存在着一定差异,且在抽丝期和蜡熟期差异达到显著水平($P < 0.05$)。抽丝期至灌浆期,郑单 958 的叶绿素含量高于农大 364,较高的叶绿素含量更有利于植物捕获更多的光能,为光合作用所利用。灌浆期至蜡熟期,两种类型玉米苞叶叶绿素含量逐渐下降,农大 364 的叶绿素降解速率低于郑单 958,在蜡熟期仍保持较高的叶绿素含量,有利于其保持更为持久的光合能力。

2.2 不同生育时期玉米苞叶叶绿素荧光参数

2.2.1 不同生育时期玉米苞叶 F_v 和 F_m 的变化 叶绿素荧光参数能够反映光合机构内一系列重要的适应调节过程,通过对各种荧光参数的分析,可以得到有关光能利用途径的信息。基础荧光(F_0)表示 PS 反应中心全部开放时即原初电子受体(QA)全部氧化时的荧光水平^[17],理论上用来指反应中心恰未能发生光化学反应时的叶绿素荧光。最大荧光(F_m)是 PS 反应中心全部关闭时的荧光,反映了可变荧光 PS 的电子传递情况。可变荧光

$F_v = F_m - F_o$, 反映 QA 的还原情况, 可作为 PS 反应中心活性大小的相对指标。

图 1 显示不同生育时期两个品种玉米苞叶的 F_m 和 F_v 的变化趋势。不同生育时期, 两个玉米品种苞叶的 F_m 和 F_v 均值皆有一定的差异, 表现为郑单 958 高于农大 364, 说明郑单 958 苞叶反应中心活

性较高, 具有较高的电子传递速率。在玉米整个生育过程中, 两个品种玉米苞叶的 F_m 和 F_v 的变化规律基本一致, 即经历了“由低到高转而又降低”动态变化趋势, 最高值出现在灌浆期, 两个玉米品种的变化幅度存在差异。

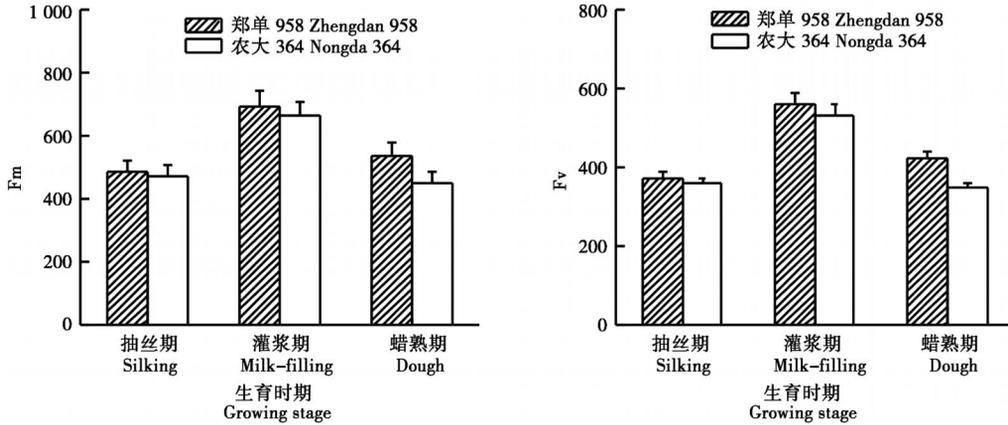


图 1 不同生育时期玉米苞叶 F_v 和 F_m 的变化

Fig. 1 Changes in F_v and F_m of husk leaves of maize at different growing stages

2.2.2 不同生育时期玉米苞叶 F_v/F_m 和 F_v/F_o 的变化 荧光参数 F_v/F_m 和 F_v/F_o 是表明光化学反应状况的两个重要参数, 常用于度量植物叶片 PS 原初光能转化效率和 PS 潜在活性^[18]。 F_v/F_o 值的变化可以衡量光合机构是否受到损伤, 暗适应后的 F_v/F_m 值影响 PS 潜在量子效率, 并被认为是植物光合能力的敏感指标。不同生育时期两个品种玉米苞叶 PS 原初光能转化效率和 PS 潜在活性变化如表 3, 从 F_v/F_m 和 F_v/F_o 的变化情况来看, 两个品种玉米苞叶的变化趋势均相对一致, 表现为先升后降的变化趋势。

抽丝期至灌浆期, 郑单 958 和农大 364 苞叶 F_v/F_m 和 F_v/F_o 值逐渐上升, F_v/F_m 分别上升了 6.50% 和 5.26%, F_v/F_o 分别上升了 29.28% 和 26.90%, 二者均在灌浆期达到最高值。灌浆期至蜡熟期, F_v/F_m 和 F_v/F_o 值逐渐下降, F_v/F_m 分别下降了 4.88% 和 3.75%, F_v/F_o 分别下降了 11.57% 和 14.96%。可见苞叶的 F_v/F_m 和 F_v/F_o 的下降幅度以及恢复快慢在品种间有差异。从整个生育时期来看, 郑单 958 的 F_v/F_m 和 F_v/F_o 值均高于农大 364。说明郑单 958 苞叶叶片开放的 PS 反应中心捕获激发能的效率高于农大 364。

表 3 不同生育时期玉米苞叶 F_v/F_m 和 F_v/F_o 的变化

Tab. 3 Changes in F_v/F_m and F_v/F_o of husk leaves of maize at different growing stages

品种 (Varieties)	参数 (Parameters)	生育时期 (Growing stages)		
		抽丝期 (Silking)	灌浆期 (Milk-filling)	蜡熟期 (Dough)
郑单 958 (Zhengdan 958)	F_v/F_m	0.77 ± 0.07a	0.82 ± 0.06a	0.78 ± 0.07a
农大 364 (Nongda 364)	F_v/F_m	0.76 ± 0.06a	0.80 ± 0.07a	0.77 ± 0.08a
郑单 958 (Zhengdan 958)	F_v/F_o	3.21 ± 0.02a	4.15 ± 0.04a	3.67 ± 0.03a
农大 364 (Nongda 364)	F_v/F_o	3.16 ± 0.05a	4.01 ± 0.03b	3.41 ± 0.04b

3 讨论

叶绿素是捕获光能的物质基础, 叶绿素荧光参数 F_v/F_m 和 F_v/F_o 是表征植物叶片 PS 原初光能转化效率和 PS 潜在活性的重要参数。从本试验结果表明, 随着玉米生育进程的推进, 叶绿素含量和 F_v/F_m 和 F_v/F_o 值均呈先上升后下降的变化趋势, 在灌浆期达到最高值。灌浆期较高的叶绿素含量有利于植物捕获更多的光能, 为光合作用所利用。较

高的 F_v/F_m 和 F_v/F_o 值则有利于灌浆期维持较高的光合生产能力, 通过热量耗散的增加来保护叶片不受强光的伤害, 并且有利于苞叶维持较高的叶面积系数和叶绿素含量^[19]。由于玉米苞叶具有较高的光合产物转化能力^[20], 因此可以把吸收的光能充分地用于光合作用, 从而保证玉米灌浆期籽粒获得更充足的光合产物。

叶绿素荧光参数的差异主要是由于品种之间差异所致, 因此, 可以通过测定不同品种玉米苞叶荧光

参数的差异,作为辅助选育和鉴定优良玉米品种的重要指标。综合本试验研究结果可以看出,农大 364 苞叶叶绿素含量和原初光能转化效率均较低于郑单 958。可以选择对农大 364 采用内生菌根液浸种^[21]及低浓度 NaCl 处理^[22]等方法提高植物叶片的叶绿素含量,同时可以在一定范围内增施氮肥来调控和改善 PS 的光化学活性和光化学最大效率^[23,24],增加 PS 开放部分的比例及光合电子传递速率和 PS 总的光化学量子产额,降低非辐射能耗散,从而保证玉米灌浆期籽粒获得更充足的光合产物。但同时也要注意三大营养元素的均衡^[25],因为不合理的氮、磷、钾配比可能会影响植物对氮肥的吸收,另外还要采取保墒灌溉等合理的农艺措施^[26],从而保证维持较高的叶绿素含量和 PS 的光化学活性的适宜条件。

参考文献:

- [1] Genty B, Briantais J M, Baker N R. The relationship between the quantum yield of photosynthetic electron transport and quenching of chlorophyll fluorescence[J]. *Biochimica et Biophysica Acta*, 1989, 990: 87 - 92.
- [2] Schreiber U, Bilger W, Neubauer C. Chlorophyll fluorescence as a non-destructive indicator for rapid assessment of in vivo photosynthesis[J]. *Ecological Studies*, 1994, 100: 49 - 70.
- [3] Kuckenberger J, Tartachnyk I, Noga G. Detection and differentiation of nitrogen deficiency, powdery mildew and leaf rust at wheat leaf and canopy level by laser-induced chlorophyll fluorescence[J]. *Biosystems Engineering*, 2009, 103: 121 - 128.
- [4] 王晓楠, 付连双, 李卓夫, 等. 低温驯化及封冻阶段不同冬小麦品种叶绿素荧光参数的比较[J]. *麦类作物学报*, 2009, 29(1): 83 - 88.
- [5] 牟会荣, 姜东, 戴廷波, 等. 遮荫对小麦旗叶光合及叶绿素荧光特性的影响[J]. *中国农业科学*, 2008, 41(2): 599 - 606.
- [6] Strauss A J, Krüger G H J, Strasser R J, et al. Ranking of dark chilling tolerance in soybean genotypes probed by the chlorophyll a fluorescence transient O-J-I-P[J]. *Environmental and Experimental Botany*, 2006, 56: 147 - 157.
- [7] 王伟, 李兴涛, 慕左莹, 等. 低钾胁迫对不同效应型大豆光合特性及叶绿素荧光参数的影响[J]. *大豆科学*, 2008, 27(3): 452 - 456.
- [8] Panda D, Sharma S G, Sarkar R K. Chlorophyll fluorescence parameters, CO₂ photosynthetic rate and regeneration capacity as a result of complete submergence and subsequent re-emergence in rice (*Oryza sativa* L.) [J]. *Aquatic Botany*, 2008, 88: 127 - 133.
- [9] 沈波, 蒋靓, 於卫东, 等. 水稻苗期盐胁迫下叶绿素荧光参数的 QIL 分析[J]. *中国水稻科学*, 2009, 23(3): 319 - 322.
- [10] 滕中华, 智丽, 宗学凤, 等. 高温胁迫对水稻灌浆结实期叶绿素荧光、抗活性氧活力和稻米品质的影响[J]. *作物学报*, 2008, 34(9): 1662 - 1666.
- [11] Lu C, Zhang J. Photosynthetic CO₂ assimilation, chlorophyll fluorescence and photoinhibition as affected by nitrogen deficiency in maize plants[J]. *Plant Science*, 2000, 151: 135 - 143.
- [12] Maria D, Anna T, Tadeusz B. Age-dependent response of maize leaf segments to cadmium treatment: Effect on chlorophyll fluorescence and phytochelatin accumulation[J]. *Journal of Plant Physiology*, 2003, 160: 247 - 254.
- [13] 梁哲军, 陶洪斌, 赵海祯, 等. 苗期土壤水分亏缺后玉米光合生理的恢复[J]. *华北农学报*, 2009, 24(2): 117 - 121.
- [14] 顾万荣, 李召虎, 翟志席, 等. 叔胺类活物质对玉米叶片光合特性与叶绿素荧光特性的调控效应[J]. *华北农学报*, 2008, 23(3): 85 - 89.
- [15] 徐洪文, 宋凤斌, 董淑媛. 两种不同基因型玉米苞叶叶绿素荧光特性差异分析[J]. *核农学报*, 2008, 22(5): 717 - 721.
- [16] 张宪政. 作物生理研究法[M]. 北京: 农业出版社, 1992: 129 - 150.
- [17] 武立权, 沈圣泉, 王荣富, 等. 水稻黄叶突变体光合特性的日变化[J]. *核农学报*, 2007, 21(5): 425 - 429.
- [18] Krause G H, Weis E. Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: The Basics[M]. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 1991, 42: 313 - 349.
- [19] 李友军, 熊瑛, 陈明灿, 等. 不同品质类型小麦叶绿素荧光特性及其与籽粒产量和淀粉积累的关系[J]. *麦类作物学报*, 2005, 25(6): 82 - 86.
- [20] Fujita K, El-Shemy H A, Sakurai N, et al. Sugar metabolism in expanding husk leaf of flint corn (*Zea mays* L.) genotypes differing in husk leaf size[J]. *Plant Nutrition: Food Security and Sustainability of Agro-ecosystems*, 2001, 92: 278 - 279.
- [21] 史应武, 娄恺, 李春. 内生真菌对甜菜主要农艺性状及氮糖代谢关键酶活性的影响[J]. *作物学报*, 2009, 35(5): 946 - 951.
- [22] 王宝增. 低浓度 NaCl 对玉米幼苗光合作用的影响[J]. *云南植物研究*, 2009, 31(2): 163 - 165.
- [23] 鞠正春, 于振文. 追施氮肥时期对冬小麦旗叶叶绿素荧光特性的影响[J]. *应用生态学报*, 2006, 17(3): 395 - 398.
- [24] 张绪成, 上官周平. 施氮对旱地不同抗旱性小麦叶片光合色素含量与荧光特性的影响[J]. *核农学报*, 2007, 21(3): 299 - 304.
- [25] 李瑞海, 黄启为, 徐阳春, 等. 不同配方叶面肥对辣椒生长的影响[J]. *南京农业大学学报*, 2009, 32(2): 76 - 81.
- [26] 员学锋, 吴普特, 汪有科, 等. 保墒灌溉条件下夏玉米生理生态效应研究[J]. *灌溉排水学报*, 2009, 28(2): 66 - 69.