

四倍体谷子细胞学鉴定及不同倍性谷子 孕穗期光合因子日响应差异分析

王晓宇¹, 王根全¹, 王节之¹, 郝晓芬¹, 刘鑫¹, 张正¹, 常建忠², 王雪梅³

(¹ 山西省农业科学院谷子研究所, 长治 046011; ² 山西省农业科学院旱地农业研究中心, 太原 030006;

³ 山东省农业科学院作物研究所, 济南 250100)

摘要:从形态学方面对谷子栽培种晋谷 21 号及其四倍体诱变株系进行了比较并从细胞学和解剖学两方面对四倍体株系进行了倍性鉴定。在此基础上, 笔者从谷子生理生化表观特征差异作为切入点, 研究了不同倍性谷子孕穗期叶片中叶绿素及氮含量差异及各自光合因子日响应特性。结果表明: 相较于二倍体对照株, 四倍体谷子旗叶宽度增加 6.11%, 叶形指数由 11.82 减小到 9.25, 主茎直径增加 13.04%, 主穗直径减小 5.39%, 千粒重增加 46.16%, 旗叶长度减小 17.01%, 主茎长度减小 23.29%, 主穗长度减小 5.45, 单株主穗重减小 24.42%, 主穗粒重减小 62.47%, 结实率减小 46.66%。显微扫描结果证明, 四倍体谷子花药增大, 花粉粒增大、部分干瘪, 子房多数呈椭球状, 柱头皱缩, 不育或不实, 生育期延长, 种子萌发率低, 孕穗期谷子氮吸收和同化能力减弱, 叶绿素合成量减少。相较于同源四倍体, 在光量子通量密度一定的前提下二倍体谷子外部微环境及其自身相关各光合因子彼此间效应与互作更为敏感。四倍体不育程度高, 灌浆不充分, 同化产物“库”-“源”失衡是谷子同源四倍体谷子孕穗期净光合速率较低的主要内因。四倍体谷子的表型及相关生理机制的变化是基因组组分之间以及核质基因组之间相容性水平的体现, 并存在选择压力下的再平衡过程。

关键词: 同源四倍体谷子; 倍性鉴定; 孕穗期; 光合因子

Identification of Cytology about Tetraploid Millet and Analysis between Photosynthetic Factors Response for Diurnal Variation of Different Ploidy at Booting Stage

WANG Xiao-yu¹, WANG Gen-quan¹, WANG Jie-zhi¹, HAO Xiao-fen¹, LIU Xin¹,
ZHANG Zheng¹, CHANG Jian-zhong², WANG Xue-mei³

(¹ Institute of Millet Science, Shanxi Academy of Agricultural Sciences, Changzhi 046011;

² Center for Agricultural Research in the Dry Areas, Shanxi Academy of Agricultural Sciences, Taiyuan 030006;

³ Crop Research Institute, Shandong Academy of Agricultural Sciences, Jinan 250100)

Abstract: Data of phenotype and cytology were collected from 2013 to 2015, including data of photosynthetic factor. Cultivar of Jinggu 21 and its autotetraploid were materials of this experiment. We compared them by morphological observation, and ploidy examination was from cytological observation. On the basis of physiological and biochemical characteristics, the experiments studied about photosynthetic factor response for diurnal variation of different ploidy. It turned out that: compared with millet of diploid, tetraploid increased leaf width by 6.11%, decreased index of leaf shape from 11.82 to 9.25, increased length of diameter of main stem by 13.04%, decreased length of diameter of main panicle by 5.39%, increased thousand seed weight by 46.16%, decreased leaf length by

收稿日期: 2017-01-06 修回日期: 2017-02-16 网络出版日期: 2017-08-21

URL: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.4996.S.20170821.0959.008.html>

基金项目: 山西省科技攻关项目(20150300006-1); 所长青年引导专项(ydzx05)

第一作者研究方向为谷子遗传育种。E-mail: wangxiaoyu67@126.com

通信作者: 王节之, 研究方向为谷子新品种选育与栽培技术研究。E-mail: sxczwjz@163.com

王根全, 研究方向为谷子病理与新品种选育。E-mail: gqwang1111@163.com

17.01%, decreased length of main stem length by 23.29%, decreased length of main panicle length by 5.45%, decreased panicle weight by 24.42%, decreased grain weight per panicle by 62.47%, decreased fruiting rate by 46.66%. The results of microscopy scanning showed that tetraploids had long growth period, globular ovaries, cre-nated stigmas, big pollen, some of which were wizened. In addition to these, their seeds had low germination percent-age, and their synthetic amounts of chlorophyll and N were decreased at booting stage. Compared with its tetraploid, photosynthesis factors of diploid affect each other were more sensitive. Unbalance of sink and source was main im-pact factor to low photosynthetic rate of autotetraploid of induced strains at booting stage. Phenotype of tetraploid was the embodiment of interaction between different genomes, and there must be a rebalancing in its evolution.

Key words: autotetraploid of millet; ploidy determination; booting stage; photosynthetic factors

谷子 (*Setaria italica* (L.) Beauv.), 又称粟, 禾本科 (Gramineae), 狗尾草属 (*Setaria* Beauv.), 起源于中国黄河流域, 耐旱稳产。目前, 禾谷类作物多倍体诱导在水稻、玉米、高粱已取得一定进展, 主要有 4 个方面, 即多倍体人工诱导、多倍体的生物学特性和生殖特性、多倍体形成过程中基因组的动态变化研究、远缘杂交研究^[1-7], 而谷子多倍体人工诱导已有成功报道并且在表型特征、生殖特性、异缘多倍体与异染色体系的创制及应用方面取得进展^[8-12]。

根据植物分类学家和植物遗传育种学家的研究结果, 在植物的系统发育过程中, 二倍体物种被诱导为多倍体会丰富植物种群的遗传基础, 在植物学特征、生物学特点、生理生化特性和遗传行为等方面都会表现出很大的差异, 促进了变种、亚种和新物种的形成速度, 因此染色体组变异在一定程度上促进了植物物种的多样性, 同时也为植物的遗传改良开辟了新的研究领域, 对创造新的遗传资源或种质资源有重要意义^[13-16]。因此, 深入研究多倍体的生物学特征、生殖特性、遗传行为等具有重要意义。光合作用是将光能转换为可用生命过程的化学能并进行有机物合成的生物过程, 是植物代谢的基本单元, 涉及光能吸收、能量转换、电子传递、ATP 合成、CO₂ 固定等一系列复杂的物理和化学反应过程, 是最能反映植物生理生化反应状态的指标之一^[17-22]。鉴于此, 笔者在对二倍体谷子栽培种晋谷 21 号及其同源四倍体诱变株生物学特征进行研究的基础上, 从细胞学方面对其同源四倍体进行了进一步鉴定, 并对不同倍性谷子孕穗期光合相关因子日响应特性进行了研究。

1 材料与方法

1.1 供试材料

谷子栽培种晋谷 21 号及其同源四倍体诱变株系, 多倍体诱变由山西省农业科学院谷子研究所谷

子育种课题组 1996 年完成, 并经 1997 - 2015 年筛选。

1.2 方法

1.2.1 多倍体诱变与表型指标测量 谷子诱变以幼穗 (0.3 ~ 0.5 cm) 为外植体, 无菌环境下接种, 经诱导培养基 MS + 2,4-D 2 mg/L + KT 0.2 mg/L、分化培养基 MS + NAA 0.2 mg/L + 6-BA 2 mg/L、生根培养基 1/2MS + 50 mg/L 肌醇 + 15 g/L 蔗糖和继代培养基 M; MS + 2,4-D 0.5 mg/L 筛选后转入温室鉴定。2013 - 2015 年于谷子孕穗期从不同试材群体中各随机选取 20 株, 分别对旗叶长度宽度、主茎长度、主茎直径、主穗长度、主穗直径、单株主穗重、主穗粒重以及千粒重进行测量。

数据采集、描述规范与统计方法依据《植物新品种特异性、一致性和稳定性测试指南 谷子》。

1.2.2 细胞学倍性鉴定 挑选供试材料饱满种子沙培, 胚根长至 1 ~ 2 cm 时切取根尖, 对二氯苯饱和溶液预处理 2.5 h, 蒸馏水冲洗后, 卡诺固定液 (酒精: 冰醋酸为 3:1) 4 °C 冰箱内固定 24 h, 其后用 1 mol/L HCl 60 °C 水浴解离 3 min, 石碳酸 - 品红溶液染色压片, 观察统计不同根尖细胞中的染色体数, 选择分散相好的标本用 Olympus BX51 镜检 (10 × 40)。孕穗期, 分别于不同供试材料群体中选取全展叶片, 撕下表皮, 置于载玻片镜检。选取新鲜花药, 将花粉轻涂于载玻片, 10 × 20 倍 Olympus BX51 下镜检。叶片叶绿素和氮含量测定采用 TYS-3N 型植物营养测定仪。

1.2.3 不同倍性谷子净光合速率及相关因子测定

2013 - 2015 年于谷子孕穗期随机选取不同倍性谷子各 10 株, 择顶生 3 片功能叶测定, 叶中部作为测量点。选用 CIRAS-2 型 PP-System 开放式气路于 6:30、7:50、10:00、12:35、14:30、16:40、18:00 在栽培种晋谷 21 号纯质群体及其同源四倍体诱变株系中轮回采集光合参数实时数据, 包括净光合速率 (Pn,

$\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2 \cdot \text{s}$)、气孔导度($G_s, \text{mmol H}_2\text{O}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$)、蒸腾速率($E, \text{mmol H}_2\text{O}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$)、胞间 CO_2 浓度($C_i, \mu\text{mol}/\text{mol}$)。光量子通量密度(PFD, $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$)设定为 1200, Li-6400-02B 人工光源控制。空气相对湿度(RH, %)与叶温($T, ^\circ\text{C}$)实时数据亦来自 DJL-18-G 型温湿光记录仪。

采用 SPSS18.0 进行数据分析。

2 结果与分析

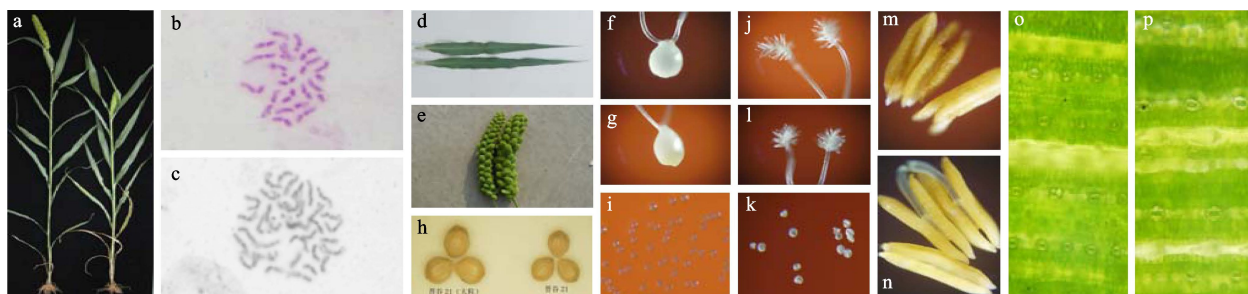
2.1 供试材料表型比较及细胞学鉴定

谷子经人工诱变后, 细胞核内染色体组加倍($2n=4X=36$)(图 1)。基因剂量倍增会带来一些生理和表型的变化。较其二倍体对照株, 四倍体植株生长势、生活力强, 主茎矮小粗壮, 叶片增厚, 旗叶长度减小 17.01%, 旗叶宽度增加 6.11%, 叶形指数由 11.82 减小到 9.25, 主茎长度减小 23.29%, 主茎直径增加 13.04%, 主穗长度减小 5.45%, 主穗直径减小 5.39%。四倍体谷子分蘖数和小穗分支数减少, 育性降低, 不育或不实, 结实率减小 46.66%, 单株主穗重减小 24.42%, 主穗粒重减小 62.47%, 子粒增大, 千粒重增加 46.14%, 分析表

明, 不同倍性谷子旗叶宽度、叶片叶绿素含量和叶片氮含量差异显著($P=0.05$), 而其余表型数据差异均达到极显著($P=0.01$)。四倍体谷子抗逆性强, 生育期延长, 进入孕穗期推迟 5~11 d, 成熟种子萌发率低。细胞学观察结果显示, 四倍体花器增大, 花药、花粉粒、子房及柱头都有相应变化(图 1), 四倍体部分结构与功能成分如可溶性固形物含量存在变化, 据实测值统计结果, 孕穗期氮吸收和同化能力减弱, 叶片叶绿素含量减小 5.46%, 叶片氮含量减小 6.60%, 差异显著($P=0.05$)(表 1)。

2.2 不同倍性谷子净光合速率与其内部相关光合因子及环境因子日响应差异分析

一般条件下栽培植物的光合作用日变化均有规律可循^[21]。图 2 是根据不同倍性谷子孕穗期光合因子实测数据所得到的日响应曲线, 不同倍性谷子叶片净光合速率日变化均呈双峰曲线。不同倍性谷子每日 6:30 净光合速率均为一日中最低, 二倍体对照株及其同源四倍体诱变株实测值分别为 $2.90 \mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ 与 $1.67 \mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2 \cdot \text{s}$, 6:30~7:50 进入快速上升阶段, 7:50 两者均出现



- a. 株型: 左为对照株晋谷 21 号, 右为其同源四倍体诱变株: 植株矮小、粗壮, 节间缩短; b. 对照株染色体数目: $2n=2X=18$;
c. 同源四倍体染色体数目: $2n=4X=36$; d. 叶形: 下为二倍体, 上为四倍体: 叶面加宽, 叶形指数变小;
e. 穗型: 左为二倍体, 右为四倍体: 穗长减小, 穗茎粗增加; f. 对照株子房: 球状; g. 同源四倍体子房: 椭球状;
h. 子粒: 右为二倍体, 左为四倍体: 外形增大, 灌浆不充分; i. 二倍体花粉粒; k. 四倍体花粉粒: 体型不一, 干瘪;
j. 二倍体柱头; l. 四倍体柱头: 皱缩; m. 二倍体花药; n. 四倍体花药: 增大, 颜色较浅;
o. 二倍体气孔器; p. 四倍体气孔器: 外形增大, 气孔密度变小
- a. Plant type: On the left is Jingu 21 of reference strain, on the right is its autotetraploid: stem became short and thick, internode length decreased. b. Number of chromosomes of reference strain: $2n=2X=18$.
c. Number of chromosomes of its autotetraploid: $2n=4X=36$. d. Leaf shape: on the bottom is diploid, on the top is autotetraploid: breadth of leaf increased, index of leaf shape decreased. e. Panicle type: on the left is diploid, on the right is its autotetraploid: panicle length decreased, ear stem width increased. f. Reference strain ovary: globular. g. Its autotetraploid ovary: ellipsoidal. h. Grain: On the right is diploid, on the left is its autotetraploid: boundary dimension of grains increased, grouting was not enough.
i. Diploid pollen grains. k. Its autotetraploid pollen grains: size is different, wizened. j. Diploid stigma.
l. Its autotetraploid stigma: crenated. m. Diploid anther. n. Its autotetraploid anther: boundary dimension increased, light-colored.
o. Diploid stomas. p. Its autotetraploid stomas: boundary dimension increased, density of them decreased

图 1 二倍体谷子(晋谷 21 号)及其同源四倍体表型比较及细胞学观察

Fig. 1 Comparison of characters and cytological observation about diploid of millet (Jingu 21) and its autotetraploid

表 1 不同谷子参试材料性状比较

Table 1 Comparison of character about experimental material of millet

性状 Character	旗叶长度 (cm) Flag leaf length	旗叶宽度 (cm) Flag leaf width	主茎长度 (cm) Stem length	抽穗期 (年. 月. 日) Heading date	主穗长度 (cm) Main spike length	主茎直径 (cm) Stem diameter	主穗直径 (cm) Main spike diameter
二倍体 Diploid	42.56 ± 3.01 Aa	3.6 ± 0.27 Aa	168.45 ± 9.63 Aa	2016. 07. 27-29	24.6 ± 1.39 Aa	0.7095 ± 0.04125 Aa	3.34 ± 0.24 Aa
四倍体 Autotetraploid	35.32 ± 3.87 Bb	3.82 ± 0.29 Ab	129.22 ± 10.91 Bb	2016. 08. 03-07	23.26 ± 1.47 Bb	0.8020 ± 0.06140 Bb	3.16 ± 0.29 Bb

性状 Character	单株主穗重 (g) Spike weight	主穗粒重 (g) Grain weight	结实率 (%) Fructification percentage	千粒重 (g) 1000-grain weight	叶片叶绿素含量 (SPAD) Chlorophyll content	叶片氮含量 (mg/g) N content
二倍体 Diploid	37.18 ± 2.91 Aa	31.23 ± 1.91 Aa	74.60 ± 2.76 Aa	2.72 ± 0.31 Aa	4.58 ± 0.32 Aa	57.24 ± 4.59 Aa
四倍体 Autotetraploid	28.1 ± 3.27 Bb	11.72 ± 2.61 Bb	39.79 ± 4.23 Bb	3.975 ± 0.24 Bb	4.33 ± 0.38 Ab	53.46 ± 4.83 Ab

a,b 表示在 0.05 水平上差异显著;A,B 表示在 0.01 水平上差异显著
a and b mean 0.05 significant level,A and B mean 0.01 significant level

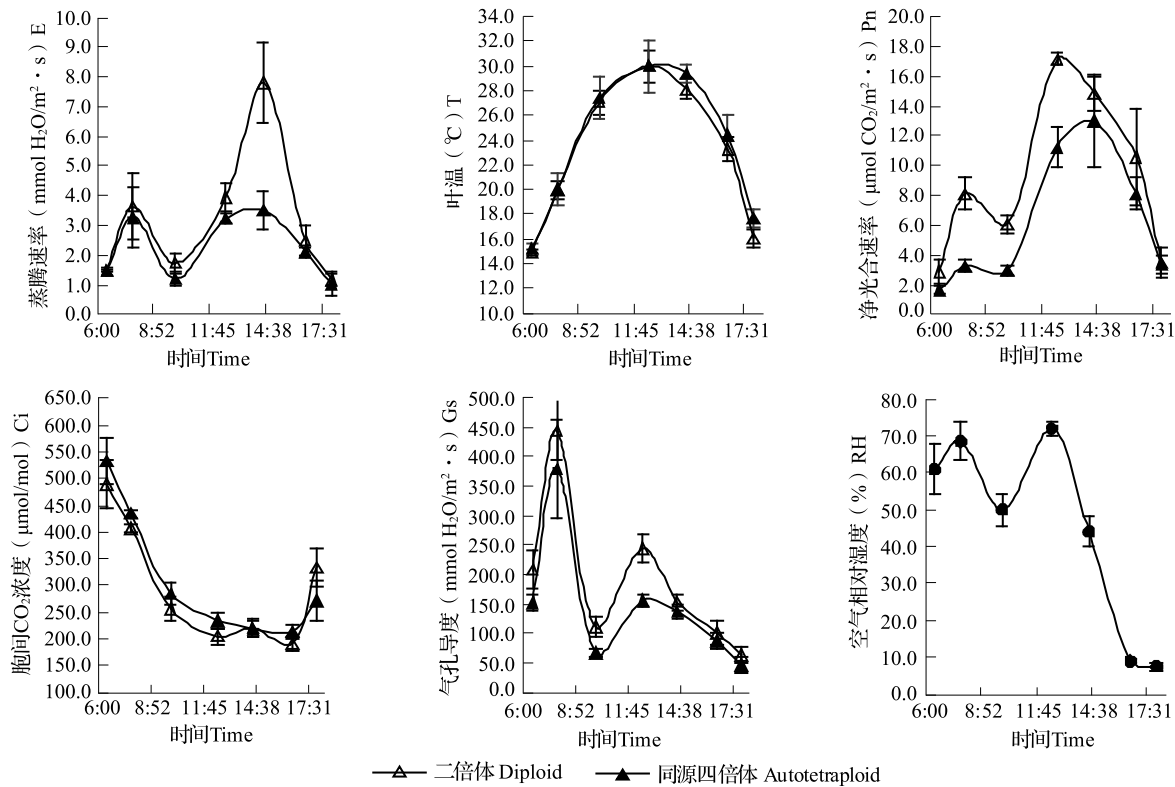


图 2 二倍体谷子(晋谷 21 号)及其同源四倍体自身及其微环境光合因子日响应

Fig. 2 Response of photosynthetic factors for diurnal variation of micro-environment and themselves about diploid of millet (Jingu21) and its autotetraploid

该时段极值,其后趋于下降,10:00 后再次上升,12:35 二倍体净光合速率达到一日中的最大值 17.16 μmol CO₂/m²·s,而四倍体该值出现在 14:30,

为 12.99 μmol CO₂/m²·s,其后两者净光合速率逐渐回落。
叶温不仅影响植物叶片的光合利用能力,也影响

其光能利用效率^[22-25]。不同倍性谷子叶温一日中对外部环境因子及其生理生化反应响应趋势相同,最适叶温为 25~30℃,但四倍体谷子叶温在孕穗期整体较二倍体高,同一测量时段温差变化范围在 0~1.62℃之间。每日 12:35–16:40,变化幅度对不同倍性谷子均为一日中最大,该时段二倍体及其四倍体

净光合速率均值分别为 14.19 $\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ 与 10.78 $\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ 。相关分析表明(表 2),不同倍性谷子净光合速率与叶温之间均呈极显著正相关;因此,叶温是影响净光合速率的主要环境因子,且对谷子同源四倍体净光合速率效应更大。

表 2 不同谷子参试材料净光合速率与环境因子相关系数矩阵

Table 2 Correlation matrix of the net photosynthesis rate and the environment factor of experimental material of millet

光合因子 Photosynthetic factors	胞间 CO ₂ 浓度 Ci	蒸腾速率 E	气孔导度 Gs	净光合速率 Pn	叶面温度 T	空气相对湿度 RH
胞间 CO ₂ 浓度 Ci	1	-0.41 ^{2X}	0.422 ^{2X}	-0.730 ^{2X**}	-0.820 ^{2X**}	0.302 ^{2X}
蒸腾速率 E	-0.187 ^{4X}	1	0.218 ^{2X}	0.759 ^{2X**}	0.596 ^{2X*}	0.253 ^{2X}
气孔导度 Gs	0.511 ^{4X*}	0.628 ^{4X*}	1	0.161 ^{2X}	-0.42 ^{2X}	0.744 ^{2X**}
净光合速率 Pn	-0.711 ^{4X**}	0.709 ^{4X**}	-0.101 ^{4X}	1	0.844 ^{2X**}	0.262 ^{2X}
叶面温度 T	-0.755 ^{4X**}	0.517 ^{4X*}	-0.164 ^{4X}	0.789 ^{4X**}	1	0.263 ^{2X}
空气相对湿度 RH	0.475 ^{4X}	0.482 ^{4X}	0.635 ^{4X*}	0.010 ^{4X}	0.169 ^{4X}	1

*, **: 分别表示 0.05 和 0.01 水平显著。2X, 4X 分别表示二倍体谷子对照株及同源四倍体谷子诱变株

*, **: Significant at 0.05 and 0.01 probability level, respectively. 2X, 4X denote diploid of millet of reference strains and autotetraploid of millet of induced strains

二倍体谷子及其同源四倍体叶片胞间 CO₂ 浓度 6:30 为一日中最高,分别为 489.67 $\mu\text{mol}/\text{mol}$ 和 533 $\mu\text{mol}/\text{mol}$,7:50 后均显著下降,但趋势不同。前者在 12:35 出现第 2 个峰值,16:40 为一日中最低,实测值为 190.55 $\mu\text{mol}/\text{mol}$,18:30 后又有所回升,属典型的三峰曲线。四倍体日变化含 2 个峰值,分别出现在 6:30 和 18:00,16:10 为一日中最低,实测值为 213.78 $\mu\text{mol}/\text{mol}$ 。相关性分析表明(表 2),不同倍性谷子净光合速率与胞间 CO₂ 浓度之间呈极显著负相关,且胞间 CO₂ 浓度对二倍体叶片净光合速率的影响程度大于其同源四倍体。

光量子通量密度一定的情况下不同倍性谷子叶片蒸腾速率日响应趋势基本一致,两者第一峰值与第二峰值均分别出现在 7:50 和 14:30,不同之处主要在于,与二倍体相比,四倍体蒸腾速率日响应曲线更为平缓,与各自净光合速率响应曲线相比也是基本一致的,差别在于二倍体蒸腾速率的峰值出现时间要晚于其净光合速率。相关性分析表明,二倍体与四倍体叶片净光合速率和蒸腾速率各自均呈极显著正相关,但同源四倍体净光合速率对蒸腾速率变化的敏感程度较二倍体要小。

不同倍性谷子叶片气孔导度在光量子通量密度一定的情况下日响应曲线峰值均出现在 7:50 与 12:35(图 2)。二倍体叶片气孔导度与其叶面蒸腾速率之间的相关性分析结果并无理论的统计学意

义。因此,叶面蒸腾速率的直接拉动力是温湿条件日变化,制约因子为气孔导度,而气孔导度受内在遗传生理特性及状态影响很大^[25]。对于其同源四倍体两者达到显著正相关(表 2),即气孔导度成为其蒸腾速率的直接影响因子。不同倍性谷子气孔导度日响应趋势与其净光合速率是一致的,但整体并无相关性,叶片净光合速率的极值出现在 12:35,气孔导度的极值出现在 7:50,因此在光量子通量密度一定的情况下不同光合因子对谷子叶片净光合速率的影响在不同时段的贡献率是不同的,10:00 后气孔导度并非净光合速率的直接影响因子。

分析表明,光量子通量密度一定的情况下,空气相对湿度与不同倍性谷子叶片净光合速率相关性不显著,并不是其直接制约因子。此外,不同倍性谷子 CO₂ 胞间浓度与叶温呈极显著负相关,蒸腾速率与叶温各自呈显著正相关,气孔导度与空气相对湿度呈极显著或显著正相关,且同源四倍体谷子 CO₂ 胞间浓度、叶面蒸腾速率以及气孔导度受微环境温湿条件的影响程度要弱于其二倍体对照株。

3 讨论

3.1 基于表型突变的不同倍性谷子孕穗期净光合速率差异的生理原因探析

该研究结果表明,谷子孕穗期尽管外部微环境温湿条件和自身各相关光合因子都与其净光合速率

存在直接或间接效应,但二倍体响应更敏感,体现了二倍体谷子自身碳同化及相关代谢过程与环境因子在长期互作中的有效适应与平衡。依照表型比较结果,不同倍性谷子尽管叶形指数存在差异,但叶面积差异并不显著,因此叶面接受光有效辐射面积并无太大差异。可以推定,在进入生殖生长后,谷子叶片同化产物大部分被运往生殖器官,由于四倍体结实率显著降低,糖和淀粉的“库”需求量减少,无法拉动“源”的光合产物运输出叶片,相关功能蛋白和参与光合反应的活性物质如叶绿素合成减少,造成光合作用进行缓慢而在营养器官积累较多,这可能成为谷子同源四倍体净光合速率的主要制约因素,也可能是四倍体谷子生育期延长的因素之一。尽管已有报道证实,植物染色体加倍后光合能力显著增强^[26-28]。但笔者认为,其光合能力在不同材料和同一材料生育期的不同阶段其表征是不同的,并无一般规律。对于生殖生长明显的作物如该研究中的谷子同源四倍体来说,孕穗期包括灌浆期光合能力反而下降。

3.2 同源四倍体谷子的表型突变及造成生物学特征差异的遗传基础探析

同源四倍体谷子基因组存在大量的重复基因,多数重复基因能在较长的时间内应该保持与在二倍体基因组中相同或相似的功能,并正常表达^[3],因此主茎直径、主穗直径、叶片宽度、气孔器、花器、花药、花粉粒以及成熟子粒外形增大,即所谓的四倍体的“巨大性”,主茎矮化粗壮、叶片肥厚紧凑、生育期延长以及经济系数较低对于可作饲草作物的谷子而言在育种实践和种质改良中具有重要意义,多倍体诱变已成为饲草育种新的策略^[12]。但也发现了二倍体谷子在染色体加倍后各器官甚至不同组织表征变化的不同步与不平衡,如四倍体谷子诱变株主茎长度、叶片长度、气孔密度及千粒重较其二倍体对都有不同程度减小,部分花粉粒干瘪,柱头皱缩,子粒灌浆普遍不充分,同时也出现了孕穗期部分功能物质生成量减少和相关光合因子响应和互作稳定性改变等现象。M. Dujardin 等^[8]曾采用秋水仙碱对谷子纯系材料进行诱变,所获得的多倍体材料植株矮小,花期延迟,千粒重增加 20%,但结实率减小 2 倍以上,单穗粒重减小 46%,并指出收获指数低成为多倍体育种的主要制约因素^[8]。此外, A. Benabdelmouna 等^[9]通过解剖学研究发现同源四倍体谷子花粉粒着色异常,说明其物质组成及理化性质与二倍体存在差异,可能与该试验证实的四倍体

谷子花粉粒脱水较快有一定关联。谷子同源四倍体花序长度减小与该试验证实的主穗长度减小也是相互印证的。

有报道证实多倍体基因组间的相互作用可直接诱发基因沉默,可能使一些重复的功能基因失去表达性而成为假基因^[29-31]。笔者认为,核-质之间 DNA 量在诱变和分裂过程中的比例失衡也可能引起遗传效应和表观遗传的改变和调控网络的失调或紊乱,多倍体基因组中也会出现新的功能基因或表达位点。因此四倍体谷子形态学特征及相关生理机制的变化也是基因组组分之间以及核质基因组之间相容性水平的体现,谷子在基因剂量突变后可能存在各基因组组分之间以及核质基因组之间的再平衡过程,这也为多倍体体系的分化提供了一个遗传变异的源泉,研究不同倍性谷子转录组异同和调控机制将会成为多倍体研究新的热点。

参考文献

- [1] Wan Y, Petolino J F, Widholm J M. Efficient production of doubled haploid plants through colchicine treatment of anther-derived maize callus[J]. Theor Appl Genet, 1989, 32: 889-892
- [2] 杨继. 植物多倍体基因组的形成与进化[J]. 植物分类学报, 2001, 35(4): 357-371
- [3] 梁凤山. 同源四倍体高粱与约翰逊草种间杂种优势利用研究[J]. 华北农学报, 2000, 15(2): 1-5
- [4] 鲍文奎. 高产四倍体水稻无性系[J]. 中国农业科学, 1985, 18(6): 64-66
- [5] 韩同文. 玉米加倍及不同倍性玉米与四倍体多年生类玉米远缘杂交对基因组 DNA 甲基化的影响[D]. 雅安: 四川农业大学, 2013
- [6] 刘爱华, 王建波. 序列消除与异源多倍体植物基因组的进化[J]. 武汉植物学研究, 2004, 22(2): 158-162
- [7] Ahanchede A, Poirier-Hamon S, Darmency H. Why no tetraploid cultivar of foxtail millet[J]. Genet Resour Crop Evol, 2004, 51(3): 227-230
- [8] Dujardin M, Hanna W W. Fertility improvement in tetraploid pearl millet[J]. Euphytica, 1989, 42(3): 285-289
- [9] Benabdelmouna A, Shi Y, Abirached-Darmency M, et al. Genomic in situ hybridization (GISH) discriminates between the A and the B genomes in diploid and tetraploid *Setaria* species[J]. Genome, 2001, 44(44): 685-690
- [10] Wang R, Gao J, Liang G H. Identification of primary trisomics and other aneuploids in foxtail millet[J]. Plant Breeding, 2010, 118(1): 59-62
- [11] Darmency H, Ouin C, Pernes J. Breeding foxtail millet (*Setaria italica*) for quantitative traits after interspecific hybridization and polyploidization[J]. Genome, 1987, 29(3): 453-456
- [12] Dewey D R. Some applications and misapplications of induced polyploidy to plant breeding[J]. Basic Life Sci, 1980, 13(13): 445-470
- [13] Leitch A R, Leitch I J. Genomic plasticity and the diversity of polyploid plants[J]. Science, 2008, 320: 481-483
- [14] Ni Z, Kim E D, Ha M, et al. Altered circadian rhythms regulate growth vigour in hybrids and allopolyploids[J]. Nature, 2009, 457: 327-331
- [15] Rozema J, Flowers T. Ecology crops for a salinized world[J]. Science, 2008, 322(5907): 1478-1480

- [16] Ishitani M, Arakawa K, Takebe T. Mechanisms of salinity tolerance in plants[J]. Plant Physiol, 1988, 87(3):547-550
- [17] Kalaji H M, Bosa K K, Oscielniak J, et al. Effects of salt stress on photosystem II efficiency and CO₂ assimilation of two Syrian barley landraces[J]. Environ Exp Bot, 2011, 73(1):64-72
- [18] Kudoh H, Sonoike K. Irreversible damage to photosystem I by chilling in the light: Cause of the degradation of chlorophyll after returning to normal growth temperature[J]. Planta, 2002, 215(4):541-548
- [19] Yan K, Chen P, Shao H, et al. Responses of photosynthesis and photosystem II to higher temperature and salt stress in sorghum[J]. J Agron Crop Sci, 2012, 198(3):218-226
- [20] Oukarrouma A, Bussottib F, Goltsev V, et al. Correlation between reactive oxygen species production and photochemistry of photosystems I and II in *Lemna gibba* L. plants under salt stress[J]. Environ Exp Bot, 2015, 109:80-88
- [21] 满为群, 杜维广, 张桂茹, 等. 高光效大豆品种光合作用的日变化[J]. 中国农业科学, 2002, 35(7):860-862
- [22] 廖建雄, 王根轩. 谷子叶片光合速率日变化及水分利用效率[J]. 植物生理学报, 1999, 25(4):362-368
- [23] 张治安, 李亚东, 徐晨, 等. 4 种不同类型越桔叶片光合作用温度特性的比较研究[J]. 吉林农业大学学报, 1999, 21(4):16-19
- [24] 李亚东, 张治安, 吴林. 红豆越桔光合作用特性的研究[J]. 园艺学报, 1996, 23(1):86-88
- [25] 徐克章, 王英典, 徐惠风, 等. 高粱叶片光合作用特性的研究[J]. 吉林农业大学学报, 1999, 21(3):1-6
- [26] 程金水. 园林植物遗传育种学[M]. 北京: 中国林业出版社, 2002:170-174
- [27] 刘小莉, 刘飞虎. 花卉育种技术研究进展[J]. 亚热带植物科学, 2003, 32(2):64-68
- [28] 庄文庆. 药用植物育种学[M]. 北京: 农业出版社, 1993:103-110
- [29] Wendel J F. Genome evolution in ploidyploids[J]. Plant Mol Biol, 2000, 42:225-249
- [30] Pickett F B, Meeks-Wagner D R. Seeing double: appreciating genetic redundancy[J]. Plant Cell, 1995, 7(9):1347-1356
- [31] Stephens S G. Possible significance of duplication in evolution[J]. Adv Gene, 1951, 4:247-265

欢迎订阅 2018 年《河南农业科学》

《河南农业科学》是河南省农业科学院主办的综合性农业科技期刊。本刊连续被评为全国中文核心期刊、中国科技核心期刊、中国农业核心期刊,被遴选为中国科学引文数据库(CSCD)来源期刊、RCCSE 中国核心学术期刊,被评为“全国优秀农业期刊”,连续荣获“河南省优秀科技期刊一等奖”、“河南省自然科学期刊综合质量检测一级期刊”、“河南省自然科学二十佳期刊”。

本刊栏目设置有综述、作物栽培·遗传育种、农业资源与环境、植物保护、园艺·林学、畜牧·兽医、农产品加工与安全·农业工程·农业信息技术。

月刊,每期定价 18 元,全年 216 元。全国各地邮局均可订阅,邮发代号:36-32。如错过订期,可直接与本刊编辑部联系订阅。

地址:郑州市花园路 116 号

邮编:450002

电话:0371-65739041

传真:0371-65712747

网址:<http://www.hnnykx.org.cn>

E-mail:hnnykx@163.com

欢迎订阅 2018 年《中国油料作物学报》

《中国油料作物学报》是由中国农业科学院油料作物研究所主办,科学出版社出版,全国唯一的一种有关油料作物的专业学术期刊。本刊分别于 2008 年、2011 年和 2014 年连续三届被评为中国精品科技期刊,多次被评为全国优秀农业期刊和湖北省精品期刊。载文被国内外 26 家重要数据库收录,如《CABAbstract》、《CA》、《WTI》、《AgrisInternation》、中国科技论文统计源期刊、CEPS 中文电子期刊(中国台湾)等。

本刊主要刊登油菜、大豆、花生、芝麻、向日葵、胡麻及其他特种油料作物有关品种资源、遗传育种、栽培生理、土肥植保、综合加工利用以及品质测试技术等方面的首创性研究论文、综述专论等,主要供农业科研、教学和农业技术人员查阅和参考。

双月刊,每期定价 25 元,全年 150 元。全国各地邮局均可订阅,邮发代号:38-13。国外发行:中国国际图书贸易有限公司,国外代号:BM6551,每册定价 20 美元。也可直接向编辑部订阅。

地址:武昌徐东二路 2 号中国农业科学院油料作物研究所学报编辑部

邮编:430062

电话:027-86813823

传真:027-86813823

E-mail:ylxb@oilcrops.cn

网址:<http://www.jouoilcrops.cn>