

中图分类号: S532; S342.1 文献标识码: A 文章编号: 1672-3635(2012)06-0325-04

干旱胁迫下马铃薯品种‘克新 1 号’的光响应曲线

黄美杰, 朱炎辉, 孙慧生*, 关翠涛, 石园园, 向新国

(国家马铃薯工程技术研究中心, 山东 乐陵 253619)

摘要: 通过研究马铃薯抗旱品种‘克新 1 号’在干旱胁迫下光响应曲线的变化, 在光合作用方面探讨‘克新 1 号’的抗旱机理。试验以两个抗旱性不同的品种‘克新 1 号’和‘大西洋’为试验材料, 测定了两个品种在正常灌溉和干旱胁迫下各光合参数-光响应曲线。结果显示, 干旱胁迫下, 两个品种的叶片净光合速率、气孔导度及蒸腾速率均大幅度降低, 但‘克新 1 号’叶片净光合速率高于‘大西洋’, 在中强光下, ‘克新 1 号’叶片的气孔导度及蒸腾速率均高于‘大西洋’。

关键词: 抗旱; 克新 1 号; 光强—光响应曲线

Light Response Curve of Photosynthesis of Potato Variety 'Kexin 1' Under Drought Stress

HUANG Meijie, ZHU Yanhui, SUN Huisheng*, GUAN Cuitao, SHI Yuanyuan, XIANG Xinguo

(China National Potato Research Center, Leling, Shandong 253619, China)

Abstract: To unravel the mechanism of drought tolerance in terms of photosynthesis, light response curves of 'Kexin 1' and 'Atlantic' were compared under treatments of regular irrigation and drought stress. Although both varieties showed significantly decrease in net photosynthetic rate, stomatal conductance and transpiration rate under drought stress, 'Kexin 1' still exhibited greater net photosynthetic rate than that of 'Atlantic', and the stomatal conductance and transpiration rate of 'Kexin 1' were higher than those of 'Atlantic' under medium and strong light intensity.

Key Words: drought resistance; Kexin 1; light response curve

马铃薯适应性较强, 我国各省份均有分布, 特别是在内蒙古西部、陕甘宁西北等干旱地区, 是当地的主要作物, 而这些地区水资源短缺, 农业灌溉用水紧张, 种植的马铃薯品种必须具有较强的耐旱性, 才能获得早年稳产、雨水丰年高产。‘克新 1 号’耐旱性较强、产量稳定, 而成为这些地区的主栽品种之一。

干旱胁迫是农业生产中最常遭受的胁迫形式之一^[1], 干旱胁迫下作物产量严重下降, 但作物对干旱环境的抗性因其种类或品种不同而有很大遗传差异^[2, 3], 抗旱性强的品种对干旱的忍耐性强, 产量降低较少。因此深入研究抗旱品种形态结构特

征、生理生化特性及其生长发育等诸方面形成的抗旱机制, 提高作物品种的抗旱性是适应日益干旱的有效途径, 也是作物抗旱育种工作的重点之一。光合作用是物质生产与产量形成的生理基础, 也是作物抗旱生理研究的热点问题之一。光响应曲线是可以反映植物对不同光强的利用规律, 在干旱条件下更能从生理机制方面反映出植物对干旱的适应及自身调节^[4, 5]。因此本研究预想在光合作用上探讨‘克新 1 号’抗旱的机理, 试验以对肥水比较敏感的马铃薯品种‘大西洋’为参照品种, 分别测定正常灌溉和干旱胁迫处理下, ‘大西洋’和‘克新 1 号’两个品种叶片的各光合参数的光响应曲线, 阐明干旱胁迫下

收稿日期: 2012-09-28

作者简介: 黄美杰(1982-) 女, 硕士研究生, 从事马铃薯遗传育种研究。

* 通信作者(Corresponding author): 孙慧生, 研究员, 主要从事马铃薯遗传育种研究, E-mail: sunhuisheng@vip.163.com。

‘克新1号’的光响应变化, 为研究‘克新1号’抗旱机理提供依据, 从而为今后马铃薯抗旱育种工作提供一定的理论依据, 同时为‘克新1号’高产栽培技术提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

选用‘克新1号’和‘大西洋’脱毒微型薯, 于2012年3月1日在希森马铃薯产业集团有限公司山东乐陵基地防蚜温室盆钵种植, 每盆一株, 盆钵高32 cm, 内径为26.5 cm, 每盆装土17 kg, 土壤经高温灭菌, 混施复合肥及防治地下害虫的辛硫磷颗粒剂。

试验共4个处理: ‘大西洋’正常灌溉(A 正常)、‘大西洋’干旱胁迫(A 干旱)、‘克新1号’正常灌溉(K 正常)及‘克新1号’干旱胁迫(K 干旱)。每个处理两次重复。植株生育期间正常灌溉处理的盆钵中土壤含水量保持在70%~80%, 干旱处理的盆钵中土壤含水量保持在40%左右。

1.2 光响应曲线测定方法

选择马铃薯现蕾期, 选取空间取向和角度一致的植株顶部第四复叶的第一对侧小叶, 于2012年4月14日~17日上午9:00~11:00采用美国LI-COR公司生产的LI-6400便携式光合测量系统测定光响应曲线。

测量前, 将待测叶片在 $2000 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}^{-1}$ 光强下诱导30 min(用6400-02B LED红蓝光源叶室)以充分活化光合系统。测定时控制样品室 CO_2 浓度 $400 \mu\text{mol}/\text{mol}$ (用 CO_2 钢瓶控制浓度), 叶片温度 25°C 。测量叶室采用红蓝人工光源, 光合有效辐射梯度为2000、1800、1500、1200、1000、800、600、400、200、150、100、50、20、0 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}^{-1}$, 测定时每个光照强度下平衡3 min, 得到叶片净光合速率、气孔导度、蒸腾速率等参数^[6]。

1.3 数据分析

运用非直角双曲线模型结合SPSS的非线性回归, 并在低光阶段辅以直线回归做补充, 计算出各个处理的净光合速率-光强光响应曲线相关参数并绘制出拟合图形。非直角双曲线模型理论公式如下:

$$P_n = (\text{light} \times Q + P_{\text{max}} \times \text{SQRT}((Q \times \text{light} + P_{\text{max}}) \times (Q \times \text{light} + P_{\text{max}}) - 4 \times Q \times P_{\text{max}} \times \text{light} \times K)) / (2 \times K) - \text{RD}$$

式中: P_n —净光合速率; light —光合有效辐射量; Q —表观量子效率; P_{max} —最大净光合速率; K —光合响应曲线曲角; RD —暗呼吸速率。

对实测光合响应曲线的低光部分(light 为 $200 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}^{-1}$ 及以下)进行线性回归, 与X轴的交点为光补偿点, 与直线 $Y = P_{\text{max}}$ 交点对应的X轴数值为光饱和点^[7-9]。运用Excel 2007绘制各光合参数的光响应曲线。

2 结果与分析

2.1 不同处理净光合速率对光强的响应

2.1.1 不同处理净光合速率的光响应曲线

如图1所示, 不同处理净光合速率的光响应曲线变化趋势相同, 即叶片净光合速率均随着光合有效辐射强度的增加而增加, 尤其在 $200 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}^{-1}$ 以下较弱光强时, 净光合速率几乎成直线增加, 当光强超过 $200 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}^{-1}$ 后, 净光合速率的增加渐缓, 在干旱胁迫处理下, 增加幅度更小, 特别是‘大西洋’品种。

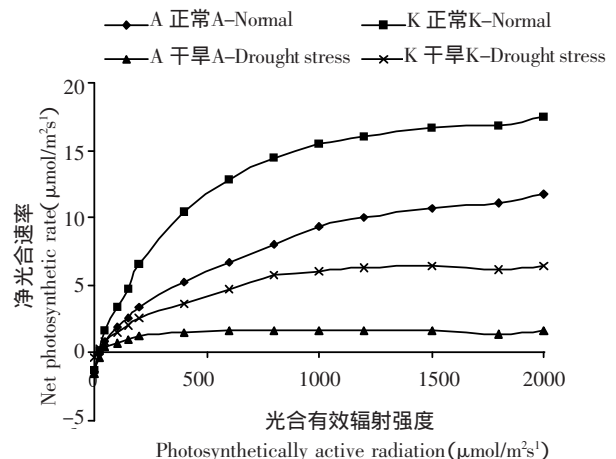


图1 品种间不同处理的光响应曲线

Figure 1 Light response of photosynthetically active radiation of different treatments

干旱胁迫下, 两个品种的净光合速率均大幅度下降, 但‘克新1号’的净光合速率仍然高于‘大西洋’。

2.1.2 不同处理净光合速率与光强的响应参数

在表1中我们可以看到, 干旱胁迫下, 两个品种的净光合速率光响应参数均发生明显变化, 但二者间存在差异, 与正常灌溉水平相比, ‘大西洋’的光饱和点下降89%, 下降幅度较大, 其最大净光合速率下降79%, 光补偿点升高; 而‘克新1号’的光

饱和点下降 25%，最大净光合速率下降 63%，光补偿点降低。‘克新1号’的光饱和点和最大净光合速率均高于‘大西洋’，说明干旱胁迫下，‘大西洋’和‘克新1号’对强光的光合能力下降，光合潜力降低，但‘克新1号’降低幅度小，对光环境的适应性较广，并且对强光的光合能力要高于‘大西洋’；同时两个品种的表现量子效率均较正常灌溉处理时下

降，说明干旱胁迫下，两个品种在弱光下的光合能力均下降。

综上所述，在相同程度的干旱胁迫下，与‘大西洋’相比，‘克新1号’的光合同化潜力更大，在强光下具有更高的光合速率，对光环境的适应性较强，并且暗呼吸速率仅为 $0.035 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}^{-1}$ ，在无光条件下叶片的能量消耗很少，有利于产量的积累。

表 1 不同处理净光合速率光响应参数

Table 1 Photosynthetic parameters from net photosynthetic rate–light response curves of different treatments

不同处理 Different treatments	光合参数 Photosynthetic parameters				
	表观量子效率 Apparent quantum yield (Q)	最大净光合速率 Max net photosynthetic rate (P _{max}) ($\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}^{-1}$)	暗呼吸速率 (RD) ($\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}^{-1}$)	光饱和点 (LSP) ($\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}^{-1}$)	光补偿点 (LCP) ($\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}^{-1}$)
A 正常 A-Normal	0.022	15.848	0.717	1154	32.59
A 干旱 A-Drought stress	0.011	3.267	0.740	122	67.27
K 正常 K-Normal	0.036	20.626	0.638	1090	17.72
K 干旱 K-Drought stress	0.013	7.703	0.035	821	2.69

2.2 不同处理气孔导度–光强的光响应曲线

如图 2 所示，各处理叶片的气孔导度随光合有效辐射强度的增加而增加，只是在干旱胁迫下，增加幅度变缓，特别是‘大西洋’增幅很微小。

干旱胁迫下，两个品种的气孔导度均急剧下降，但二者的变化规律是有一定差异的，在 $0\sim 200 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}^{-1}$ 范围内，‘大西洋’气孔导度远大于‘克新1号’；

而光强超过 $400 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}^{-1}$ 后，‘克新1号’叶片气孔导度超过‘大西洋’，并随光强的增加差距变大。

2.3 不同处理蒸腾速率–光强的光响应曲线

如图 3 所示，各处理叶片蒸腾速率随光合有效辐射强度的增加而增加，但干旱胁迫下蒸腾速率的增加变缓，特别是‘大西洋’几乎无增长。干旱胁迫下，在 $0\sim 500 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}^{-1}$ 范围内时，‘大西洋’的蒸腾

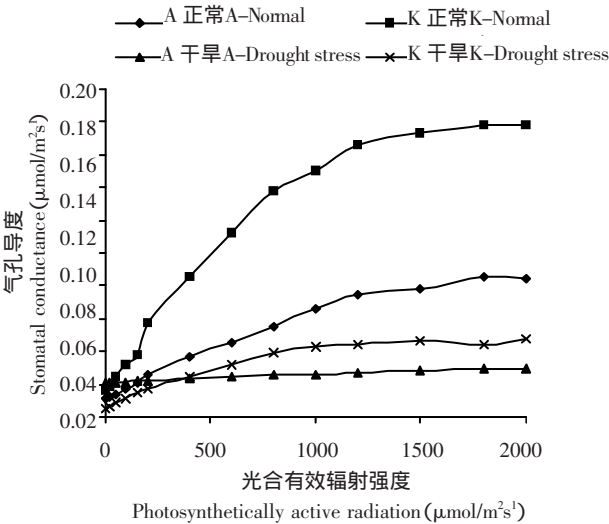


图 2 各处理气孔导度对不同光强的响应
Figure 2 Light response of stomatal conductance of different treatments

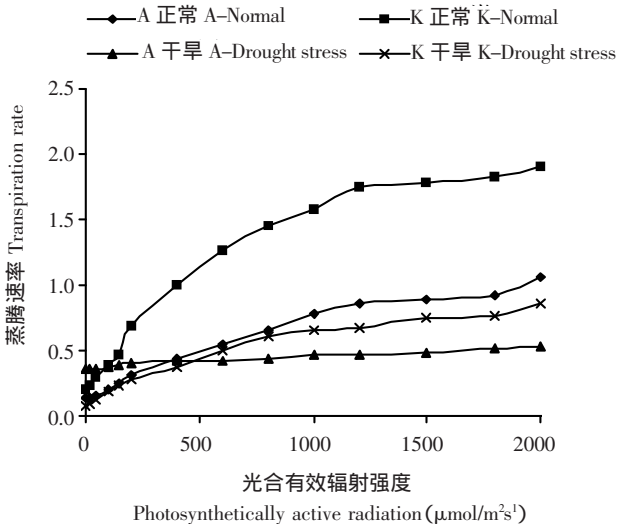


图 3 各处理蒸腾速率对不同光强的响应
Figure 3 Light response of transpiration rate of different treatments

速率高于‘克新1号’,当光和有效辐射强度大于 $500\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}^{-1}$ 时,‘克新1号’的蒸腾速率超过‘大西洋’,并随光强的增加而差距增加。

3 讨 论

植物叶片的光饱和点与光补偿点反应了植物对光照条件的要求,分别体现了植物对强光和弱光的利用能力。光补偿点较低,光饱和点较高的植物对光环境的适应性较强,而光补偿点较高,光饱和点较低的植物对光照的适应性较窄^[10];在一定环境条件下,叶片的最大光合速率表示了叶片的最大光合能力^[11];表观量子效率反映了叶片对光能的利用情况,尤其是对弱光的利用能力^[12]。

综上所述我们可以看到,在干旱胁迫下,两个抗旱性不同的试验品种的光响应是不同的,与‘大西洋’相比,‘克新1号’对强光的利用能力较强,光合同化潜力较大,而气孔导度是反映气孔开放的一个重要指标^[13],在光强超过 $400\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}^{-1}$ 的中强光刺激下‘克新1号’气孔能较快打开,更好的保证了叶片外界 CO_2 的供应,同时其蒸腾速率亦较快增加,从而光合速率也较快增加,这可能是‘克新1号’耐旱的一个生理基础。实践证明‘克新1号’的耐旱能力强,在没有灌溉设施的条件下,只要有1~2次降雨,其产量明显高于其他品种,因此能在干旱少雨地区种植,达到稳产目的。‘克新1号’之所以耐旱,在形态上分析叶片厚而浓绿,叶片的这个特性是否与上述光合效率高有一定关系,尚待进一步证实。另外经测量,其根系发达,较其他品种入土深而分布广,因此,在干旱情况下能够充分吸取土壤中有限的水分,提高光合效能^[14]。光强是植物光合作用能力的最终源泉,也是影响光合作用生态生理因子的根本因素。但光合作用是个极其复杂的生理过程,叶片光合效率与自身因素如叶绿素含量、叶片厚度、叶片成熟程度密切相关^[15],又受光强度、气温、空气相对湿度、土壤含水量等外界因子影响^[16]。而本文仅就光强方面分析了‘克新1号’耐旱的机制,今后对其

他的重要因子有必要做进一步研究和分析。

[参 考 文 献]

- [1] 孙广玉, 邹琦. 大豆光合速率和气孔导度对水分胁迫的响应[J]. 植物学报, 1991, 33(1): 43-49.
- [2] Levitt J. Responses of plants to environmental stresses: water, radiation, salt and other stresses [M]. New York: Academic Press, 1980: 325.
- [3] Tuener N C. Drought resistance and adaptation to water deficits in crop plants[M]// Mussel H, Staples R C, Rockefeller F, et al. Stress physiology in crop plant. New York: John Wiley and Sons, 1979: 343-372.
- [4] 朱永宁, 张玉书, 纪瑞鹏, 等. 干旱胁迫下3种玉米光响应曲线模型的比较[J]. 沈阳农业大学学报, 2012, 43(1): 3-7.
- [5] 秦玉芝, 陈珏, 邢铮, 等. CIP引进马铃薯资源光合作用特性研究[M]//陈伊里, 屈冬玉. 马铃薯产业与科技扶贫. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学出版社, 2011: 178-183.
- [6] Bodlaender K B A. Effects of drought on water use, photosynthesis and transpiration of potatoes. 1. Drought resistance and water use [M]// Beekman A G B. Potato Research of Tomorrow. Wageningen, Netherlands, 1986: 36-43.
- [7] 刘宇峰, 萧浪涛, 董建华, 等. 非直角双曲线模型在光合光响应曲线数据分析中的应用[J]. 农业基础科学, 2005, 121(8): 76-79.
- [8] 叶子飘. 光合作用对光合 CO_2 响应模型的研究进展[J]. 植物生态学报, 2010, 34(6): 727-740.
- [9] Walker D A. Automated measurement of leaf photosynthetic O_2 evolution as a function of photo flux density [J]. Philosophical Transactions of the Royal Society London, 1989, 323: 313-326.
- [10] 武维华. 植物生理学[M]. 北京: 科学出版社, 2003: 168-170.
- [11] Lu P L, Luo Y, Liu J D, et al. Characteristic parameters of light response of curves of photosynthesis of winter wheat in North China [J]. Journal of Applied Meteorology, 2000, 11(2): 236-241.
- [12] Lian H Y, Zhou S Q. The photosynthetic characteristics in leaves of carpenter grass-Axonopus compressus [J]. Guihaia, 2003, 23(2): 181-184.
- [13] 张小全, 徐德应. 温度对杉木中林龄针叶光合生理生态的影响[J]. 林业科学, 2002, 38(3): 27-33.
- [14] 孙慧生. 马铃薯育种学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2003: 242-245.
- [15] 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.
- [16] Durl Z, Goldstein G. Photo synthesis, photo inhibition, and nitrogen use efficiency in native and invasive tree ferns in Hawaii [J]. Oecologia, 2001, 126: 345-354.