

中图分类号: S532 文献标识码: A 文章编号: 1672-3635(2011)01-0016-04

栽培生理

雾培与基质栽培马铃薯的光合特性

周全卢*, 张玉娟, 李育明

(南充市农业科学院, 国家甘薯改良南充分中心, 四川 南充 637000)

摘要: 试验以川芋 56 脱毒苗为试材, 通过雾化和基质栽培方式研究结薯盛期的光合特性, 得出以下结论: 雾培条件下马铃薯光合有效辐射的利用范围大于基质栽培, 对光的适应性更强。雾培的净光合速率和表观量子效率大于基质栽培, 且雾化栽培在弱光 and 低 CO_2 浓度条件下仍具有较强的光合能力, 在较高光合有效辐射和较高 CO_2 浓度条件下也能继续进行光合同化, 表明雾培更有利于将光能转化为生物质能。雾培和基质栽培净光合速率的降低是受强光下光抑制的加强等非气孔限制因素的影响。雾化栽培下植株能更快的将气孔打开, 蒸腾速率迅速增加, 加快了水分运输, 拉动光合产物的合成, 从而使光合速率迅速增加。

关键词: 马铃薯; 雾培; 基质栽培; 光合

Photosynthetic Characteristics of Potato in Aeroponics and Substrate Culture

ZHOU Quanlu*, ZHANG Yujuan, LI Yuming

(Nanchong Academy of Agricultural Sciences, Nanchong Branch of National Center of Sweet-potato Genetics Improvement, Nanchong, Sichuan 637000, China)

Abstract: The virus-free seedlings from the variety Chuanyu 5 potato, being as the trial material, were researched in the experiment that investigated the photosynthetic characteristics at the flourish tuberizing stage in both aeroponics and substrate culture. The results indicated that the potato utilizing range of photosynthetically active radiation was larger in aeroponics than in substrate culture. Furthermore, potato was more adapted to light. At the same time, under the aeroponics culture both the net photosynthetic rate and apparent quantum efficiency of potato were higher. And its photosynthetic ability was larger in weaker light or lower CO_2 concentration. The photosynthesis proceeded in strong PAR and higher CO_2 concentration, too. All findings suggested that aeroponics culture was more beneficial to light energy transforming into bio-energy. Pn decreasing was effected by non-stomatal limitation such as photoinhibition increasing at strong photo radiation. Potato would open leaf stomata rapidly and transpiration also would become stronger in aeroponics culture, which would speed water transportation, promote photosynthesis, and enhance the photosynthetic rate.

Key Words: potato; aeroponics; substrate culture; photosynthetic

随着马铃薯三级良繁体系的建立和完善, 生产上脱毒种薯的应用将大幅度增加, 对原原种的需求量也将增加, 常规的基质栽培已不能满足马铃薯产业发展的需要, 而雾培作为一种新型的马铃薯脱毒原原种生产方式, 其生产潜力是相当巨大

的^[1], 但如何提高雾培产量以及其增产的原因尚待研究和完善。本文对雾化栽培和基质培养下的光合性能进行了系统分析^[2], 从光合角度出发综合分析了雾培相对于普通基质栽培的优点, 为马铃薯原原种雾化栽培生产提供了一定的理论基础。

收稿日期: 2010-08-19

基金项目: 国家现代农业产业技术体系四川马铃薯创新团队。

作者简介: 周全卢(1979-), 男, 硕士, 助理研究员, 研究方向为甘薯、马铃薯育种、栽培生理及推广。

* 通信作者(Corresponding author): 周全卢, E-mail: zhouquanlu@yahoo.com.cn。

1 材料与方法

1.1 试验材料

川芋 56 马铃薯脱毒苗。

1.2 试验方法

2009 年 9 月 24 日将已生根的马铃薯脱毒苗定植到雾化培养的培养板和基质上。定植 10 d (10 月 2 日) 内喷施营养期营养液 (雾化栽培定时喷雾, 基质栽培人工喷施)。10 d 后出现匍匐茎即改施结薯期营养液, 定植 13 d (10 月 5 日) 匍匐茎出现明显膨大, 定植 20 d 后 (10 月 12 日) 转入薯块膨大盛期。10 月 13 日采用 Li-6400 便携式光合测定仪对两种处理进行测定, 测定时的温度、光强及 CO_2 浓度均由该仪器自动控制。

测定植株成熟叶片的光响应曲线和 CO_2 响应曲线。叶室为仪器配置的红蓝光源 (Li 6400-02B, LED), 测定光响应曲线时, 控制 CO_2 的摩尔分数为 $400 \pm 1 \mu\text{mol/mol}$, 温度 $30 \pm 0.5^\circ\text{C}$, 相对湿度 70%~75%; 设定光合强度梯度为 0、20、50、100、150、200、400、600、1 000、1 500、2 000 $\mu\text{mol/m}^2/\text{s}$, 分 11 个梯度进行测定, 光强从强到弱, 每一光强下停留 120~240 s。测定 CO_2 响应曲线时, 控制光合强度为 1 400 $\mu\text{mol/m}^2/\text{s}$; 设定 CO_2 摩尔分数为 0、50、100、150、200、300、400、600、800、1 000、1 200、1 400、1 500 $\mu\text{mol/mol}$, 分 13 个梯度进行测定, CO_2 浓度从 400 到 0, 再由 400 到 1 500, 每一 CO_2 浓度下停留 120~240 s。测定时两种栽培方式分别选 3 个典型植株的成熟叶片, 在以上条件下测定叶片的光合速率 (P_n), 同时得到叶片气孔导度 (G_s)、蒸腾速率 (T_r)、胞间 CO_2 (C_i) 浓度等参数。

用 SPSS 17.0 对测定的光合数据采用非直角双曲

线方法进行拟合, 得出相应的参数, 由各个参数值平均求得非直角双曲线模型 (1) [3]。

$$P_n = \{ \text{light} \times Q + P_{\max} - \text{SQRT}[(Q \times \text{light} + P_{\max})^2 - 4 \times Q \times P_{\max} \times \text{light} \times K] \} / (2 \times K) - R_d \quad (1)$$

式中, P 为净光合速率, P_{\max} 为最大净光合速率, Q 为表观量子效率, K 为曲角, R_d 为光下的呼吸速率。

按在低光强 ($< 200 \mu\text{mol/m}^2/\text{s}$) 下的光强与叶片净光合速率进行线性回归, 得出初始直线部分的方程:

$$P_n = -R_d + Q \times \text{light} \quad (2)$$

此直线方程的斜率为表观量子效率 Q , $P_n = 0$ 时, light 为光合作用的光补偿点 L_{cp} , 当 $P_n = P_{\max}$ 时, light 为光饱和点 L_{sp} (由于该数值是一个近似值, 也被称为近似光饱和点)。

2 结果与分析

2.1 光响应曲线

2.1.1 光响应拟合参数研究

光响应曲线反映了植物光合速率随光强的变化规律。本研究采用的非直角双曲线模型和直线回归模型, 拟合了两种栽培方式光合速率随光强的变化的光响应曲线, 并求出了相应的光合参数。

由图 1 可知, 在光强低于 $200 \mu\text{mol/m}^2/\text{s}$ 时, 两种栽培方式的光合速率几乎呈直线关系迅速增加, 且两种培养方式差异不明显。光照从 $200 \mu\text{mol/m}^2/\text{s}$ 增加到 $2 000 \mu\text{mol/m}^2/\text{s}$ 时, 随着光照强度的增加, 两种培养方式的光合均增加, 但增加幅度逐渐减小。光照强度在 $200 \sim 600 \mu\text{mol/m}^2/\text{s}$ 时, 雾培的光合速率增加了 $9.45 \mu\text{mol/m}^2/\text{s}$; 基质栽培的光合速率增加了 $4.66 \mu\text{mol/m}^2/\text{s}$, 两种栽培方式光合速率仍然增加较快, 但雾化栽培明显大于基质栽培。光强在

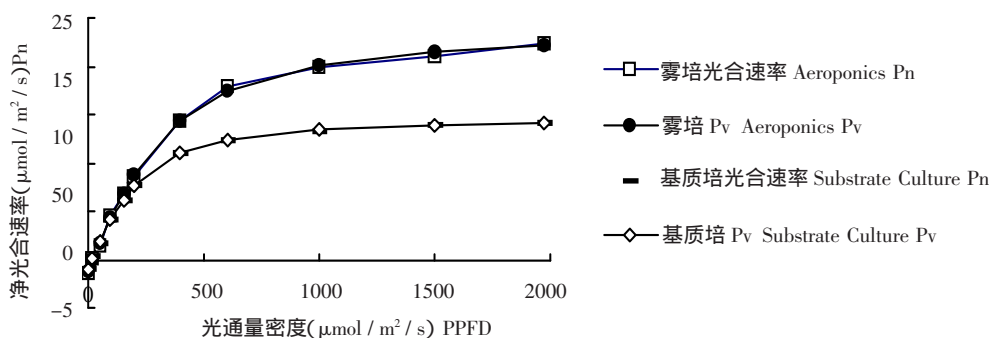


图 1 非直角双曲线拟合的雾化培养、基质培养光响应曲线

Figure 1 Light response curves with angle hyperbolic fitting of aeroponics and substrate culture

600~1 000 $\mu\text{mol} / \text{m}^2 / \text{s}$ 时，雾化栽培的光合速率增加了 2 $\mu\text{mol} / \text{m}^2 / \text{s}$ ；基质栽培的光合速率增加了 0.9 $\mu\text{mol} / \text{m}^2 / \text{s}$ ，增加速度均有所放慢，雾化栽培大于基质栽培。光强增加到 1 000~2 000 $\mu\text{mol} / \text{m}^2 / \text{s}$ 之间时，雾培的光合速率增加了 2.5 $\mu\text{mol} / \text{m}^2 / \text{s}$ ，基质栽培的光合速率增加了 0.68 $\mu\text{mol} / \text{m}^2 / \text{s}$ ，光合速率增长趋于缓和。

由图 1 可见，公式(1)可以较好地模拟光合速率随光强的变化，两种栽培方式拟合曲线的 $R^2 = 0.999$ ，模拟结果能够反映实际情况。

由光响应曲线中光强在 200 $\mu\text{mol} / \text{m}^2 / \text{s}$ 以下的线性方程，公式(2)拟合效果亦较好，雾化培养 $R^2 = 0.9905$ ，基质培养的 $R^2 = 0.9928$ 。利用公式(1)、公式(2)对测定数据进行拟合，可以求出两种栽培方式光响应曲线的特征参数(表 1)。

由表 1 可知，两种栽培方式下的最大净光合速率相差较大，雾化栽培的最大净光合速率明显大于

基质栽培。在外界条件一致的条件下，最大净光合速率在一定程度上取决于 Rubisco 活性和电子传递速率，雾化栽培具有较高的 Rubisco 活性和电子传递速率，有利于干物质的积累，为较高产量奠定了良好的物质基础。

光补偿点和光饱和点是植物利用光能的重要指标。由表 1 可知，虽然雾培的光补偿点比基质栽培高，但相差不大，只大了 5.01 $\mu\text{mol} / \text{m}^2 / \text{s}$ ，雾培条件下光合有效辐射的利用范围为 20.404~669.59 $\mu\text{mol} / \text{m}^2 / \text{s}$ ，而基质栽培条件下的光合有效辐射的利用范围只有 15.394~352.54 $\mu\text{mol} / \text{m}^2 / \text{s}$ ，说明雾培条件下马铃薯对光的适应性更强，更有利于将光能转化为生物质能，从而促进马铃薯植株形态的建成。

表观量子效率 Q 是植物对 CO_2 同化的表观光量子效率，反映了植物光合作用的光能利用效率，尤其是对弱光的利用能力。在两种栽培方式下雾培

表 1 不同栽培方式马铃薯光响应曲线的特征参数

Table 1 The characteristic parameters of light response curve in different cultivations of potato

材料 Material	K	R^2	$Lcp(\mu\text{mol} / \text{m}^2 / \text{s})$	$P_{\max}(\mu\text{mol} / \text{m}^2 / \text{s})$	$Lsp(\mu\text{mol} / \text{m}^2 / \text{s})$	Q	$R_d(\mu\text{mol} / \text{m}^2 / \text{s})$
雾培 Aeroponics	0.664	0.999	20.404	25.176	669.59	0.050	1.307
基质培 Substrate Culture	0.728	0.999	15.394	15.727	352.54	0.044	0.999

的表观量子效率大于基质栽培的表观量子效率，说明雾培的光能利用率高于基质培养方式。

暗呼吸速率 R_d 主要受植物的生理活性和温度的影响，本试验在同一玻璃温室进行，温度恒定，暗呼吸速率 R_d 主要受生理活性影响，由表 1 可知，雾化栽培有相对较高的生理活性。

2.1.2 光合参数的响应过程

胞间 CO_2 浓度的下降是判定光合作用受气孔限制不可或缺的条件，由图 2 可知，在达到光饱和点之前，随着光强的增加，雾培和基质培养的胞间 CO_2 浓度均呈下降趋势；在达到光饱和点之后，雾培的胞间 CO_2 浓度有所增加，而基质栽培的胞间 CO_2 浓度依然在降低。结合气孔导度(图 3)可以看出，雾培和基质栽培在达到光饱和点之后气孔导度仍在不断上升，表明雾培和基质栽培净光和速率的降低不是由于气孔关闭引起的 CO_2 供应不足造成的，而是受强光下光抑制的加强等非气孔限制因素的影响。

由图 4 可知，随着光强的增加，雾培、基质栽培的蒸腾速率逐渐升高，而雾化栽培的增加速率高于基质栽培，这与气孔导度的变化基本相似。结合气孔导度(图 3)可看出雾化栽培能更快的将气孔打开，蒸腾速率迅速增加，加快了水分运输，拉动光合产物的合成，从而使光合速率迅速增加。

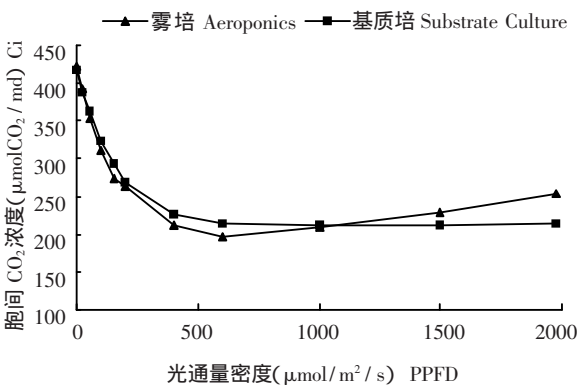


图 2 胞间 CO_2 浓度的光响应

Figure 2 Light response of C_i

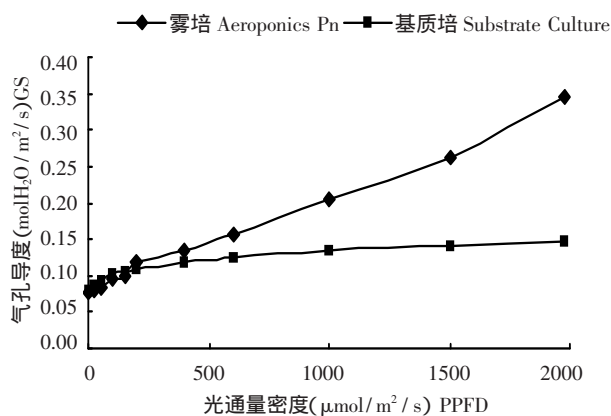


图3 气孔导度的光响应

Figure 3 Light responses of Gs

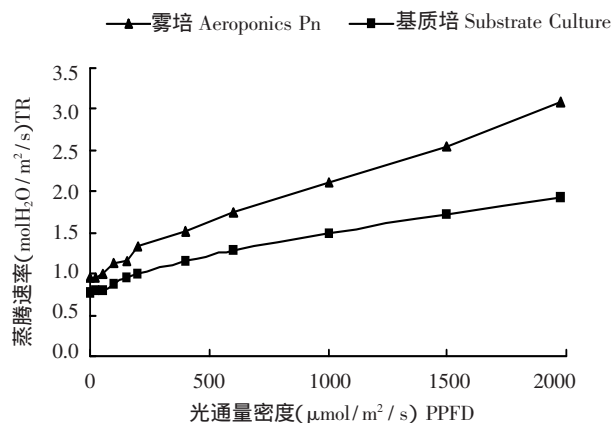
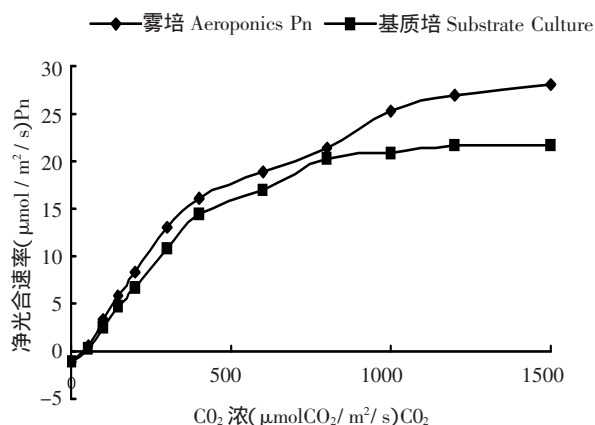


图4 蒸腾速率的光响应

Figure 4 Light response of Tr

2.2 CO₂ 响应曲线

由净光合速率对 CO₂ 浓度的响应曲线(图 5) 可以看出, 在较低的 CO₂ 浓度下(50~400 μmol CO₂/mol), 两种培养方式下的马铃薯叶片净光合速率随 CO₂ 浓度增加而迅速增加; 当 CO₂ 浓度在 400 ~ 800 μmol CO₂/mol 时, 其净光合速率增加缓慢; 当 CO₂ 浓度在 800~1500 μmol CO₂/mol 时, 基质栽培的净光合速率仅增加 1.4 μmol / m² / s, 雾培的净光合速率仍在不断增加, 在所测范围之内 CO₂ 浓度一直没达到饱和点。通过对低 CO₂ 浓度(0~200 μmol CO₂/mol)的光合速率的数据进行线性回归, 得出雾化培养的补偿点为 30.926 μmol CO₂/mol, 基质栽培的 CO₂ 补偿点为 36.126 μmol CO₂/mol, 雾化栽培的羧化效率为 0.0489, 基质栽培的羧化效率为 0.0404, 说明雾化栽培下植株对 CO₂ 的同化效率较高, 比基质栽培更有利于植株形态的建成。

图5 两种栽培方式的 CO₂ 响应曲线Figure 5 CO₂ response of net photosynthetic rate of Sharpshoot Oak

3 讨论

雾培条件下光合有效辐射的利用范围为 20.404~669.59 μmol / m² / s, 而基质栽培条件下的光合有效辐射的利用范围只有 15.394~352.54 μmol / m² / s, 表明雾培条件下马铃薯对光的适应性更强, 光饱和点更高, 更适合在高光环境下种植。雾培的最大净光合速率大于基质栽培, 表明雾化栽培具有较高的 Rubisco 活性和电子传递速率^[4], 有利于干物质的积累, 为较高产量奠定了良好的物质基础。

表观量子效率 Q 是植物对 CO₂ 同化的表观光量子效率, 反映了植物光合作用的光能利用效率, 尤其是对弱光的利用能力^[5], 本文用光强小于 200 μmol / m² / s 以下是直线方程, 得出的表观量子效率在 0.0479~0.0544 之间, 这与植物的最大初始量子效率实际值在 0.04~0.07 之间^[6-8]的理论相符。雾培的表观量子效率大于基质栽培, 也就更有利于将光能转化为生物质能, 从而促进马铃薯植株形态的建成。雾培的暗呼吸速率大于基质栽培, 雾化栽培有相对较高的生理活性。

雾培、基质栽培净光合速率的降低不是由于气孔关闭引起的 CO₂ 供应不足造成的, 而是受强光下光抑制的加强等非气孔限制因素的影响。雾化栽培能更快的将气孔打开, 蒸腾速率迅速增加, 加快了水分运输, 拉动光合产物的合成, 从而使光合速率迅速增加。

随着 CO₂ 浓度的增加, 两种栽培方式的净光合速率都不断增加, 且雾化栽培高于基质栽培, 雾化

中图分类号: S532 文献标识码: A 文章编号: 1672-3635(2011)01-0020-03

冀中南地区马铃薯种薯大小对商品薯产量的影响

齐连芬¹, 冯五平², 卢天啸¹, 张 军², 连 勇^{3*}

(1. 石家庄市农林科学研究院, 河北 石家庄 050021; 2. 石家庄市种子管理站, 河北 石家庄 050051; 3. 中国农业科学院蔬菜花卉研究所, 北京 100081)

摘 要: 试验以 5~35 g 大小的费乌瑞它脱毒马铃薯种薯为材料, 研究了冀中南地区不同种薯大小对商品薯产量的影响。结果表明: 不同重量的种薯播种产量之间存在显著差异, 以种薯重量为 20~25 g 的小型种薯株高平均值最大, 产量最高; 整薯播种比切块播种产量增加, 增产幅度为 1.2%~26.7%。冀中南地区生产商品马铃薯, 应采用重量为 20~25 g 左右的小整薯作为种薯, 可以获得较高的产量。

关键词: 马铃薯; 种薯大小; 产量; 冀中南地区

Influence of Seed Tuber Size on Commercial Potato Production in Central-south Hebei Province

QI Lianfen¹, FENG Wuping², LU Tianxiao¹, ZHANG Jun², LIAN Yong^{3*}

(1. Shijiazhuang Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Shijiazhuang, Hebei 050021, China; 2. Shijiazhuang Seed Management Station, Shijiazhuang, Hebei 050051, China; 3. Institute of Vegetables and Fowers, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract: The seed tuber size of 5~35 g of cv. Farorita was studied for its effects on commercial potato production. Significance was found among various treatments, with the treatment of 20~25 g seed tuber being the highest in plant height and tuber yield. The whole seed was higher in the yield than that of the seed piece, with yield increased by 1.2%-26.7%. It was recommended that whole seed of 20~25 g be planted in Central-south Hebei Province for commercial potato production in order to get high yield.

Key Words: potato; seed tuber size; yield; central-south Hebei Province planting

收稿日期: 2010-06-02

作者简介: 齐连芬(1972-), 女, 高级农艺师, 从事蔬菜作物新品种选育和栽培技术研究工作。

* 通信作者(Corresponding author): 连勇, 研究员, 从事蔬菜作物育种研究, E-mail: lianyong@mail.caas.net.cn。

栽培 CO₂ 补偿点和羧化效率均大于基质栽培。表明雾化栽培在弱光 and 低 CO₂ 浓度条件下仍具有较强的光合能力, 在较高光合有效辐射和较高 CO₂ 浓度条件下也能继续进行光合同化, 这是雾化栽培植株生态建成高于基质栽培的主要生理原因。

[参 考 文 献]

- [1] 尹作全, 沈德茹, 于洪涛, 等. 马铃薯脱毒小薯无基质喷雾栽培技术研究初报[J]. 马铃薯杂志, 1999, 13(1): 23-24.
- [2] 孙周平, 李天来, 姚莉, 等. 雾培法根际 CO₂ 对马铃薯生长和光合作用的影响[J]. 园艺学报, 2004, 31(1): 59-63.

- [3] Walker D A. Automated measurement of leaf photosynthetic O₂ evolution as a function of photon flux density [J]. Philosophical Transactions of the Royal Society of London B. 1989: 323, 313-326.
- [4] 刘宇峰, 萧浪涛, 童建华, 等. 非直线双曲线模型在光合光响应曲线数据分析中的应用[J]. 中国农学通报, 2005, 21(8): 76-79.
- [5] 蹇洪英, 邹寿青. 地毯草的光合特性研究[J]. 广西植物, 2003, 23(2): 83-85.
- [6] 陆佩玲, 于强, 罗毅, 等. 冬小麦光合作用的光响应曲线的拟合[J]. 中国农业气象, 2001, 22(2): 12-14.
- [7] 张中锋, 黄玉清, 莫凌, 等. 岩溶区 4 种石山植物光合作用的光响应[J]. 西北林学院学报, 2009, 24(1): 44-48.
- [8] 郭江, 郭新宇, 王纪华, 等. 不同株型玉米光响应曲线的特征参数研究[J]. 西北植物学报, 2005, 25(8): 1612-1617.