

邓禄军,李金玲,夏锦慧,等. 安顺山药光合生理特性研究[J]. 江苏农业科学,2020,48(12):137-140.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2020.12.029

# 安顺山药光合生理特性研究

邓禄军<sup>1</sup>, 李金玲<sup>2</sup>, 夏锦慧<sup>1</sup>, 范士杰<sup>1</sup>, 周智勇<sup>2</sup>, 刘文东<sup>2</sup>

[1. 贵州省农业科学院生物技术研究所, 贵州贵阳 550006; 2. 贵州省药用植物繁育与种植重点(工程)实验室, 贵州贵阳 550025]

**摘要:**研究了山药(*Dioscorea batatas* Decne)的光合生理特性,为山药的高产优质栽培提供理论依据。以安顺山药为试验材料,在其旺盛生长期,用 Li-6400 便携式光合测定仪于晴朗的天气测量其光合日变化、光饱和点、光补偿点、饱和光强度条件下的 CO<sub>2</sub> 饱和点与 CO<sub>2</sub> 补偿点。结果表明,安顺山药的净光合速率日变化曲线呈双峰型,在 11:00 达到第 1 个峰值,为 11.94 μmol/(m<sup>2</sup>·s),在 14:00 达到第 2 个峰值,为 4.58 μmol/(m<sup>2</sup>·s);安顺山药的平均水分利用效率为 4.35 μmol/mmol,最高达到 12.04 μmol/mmol;安顺山药的光饱和点为 1 458.30 μmol/(m<sup>2</sup>·s),光补偿点为 20.41 μmol/(m<sup>2</sup>·s);安顺山药的 CO<sub>2</sub> 饱和点为 1 825.00 μmol/mol,CO<sub>2</sub> 补偿点为 67.16 μmol/mol。由研究结果可以得出,安顺山药为阳生植物,对环境中的光照有较强的适应能力,具有良好的水分利用能力。

**关键词:** 山药;净光合速率;补偿点;饱和点

**中图分类号:** S632.101 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2020)12-0137-04

山药(*Dioscorea batatas* Decne)为薯蓣科薯蓣属多年生缠绕草质藤本植物,已被中华人民共和国国家卫生健康委员会列入食药两用中药名单。山药具有补脾益肺、补肾涩精、生津养肺之功效,可用于缓解脾虚食少、久泻不止、脾虚喘咳、肾虚遗精、虚热消渴等症<sup>[1]</sup>。山药以其地下块茎供人们食用,具有美味可口、营养丰富、易于贮存、便于运输、保质期长等优点,此外,山药富含蛋白质、淀粉、无机盐、烟酸、胡萝卜素、维生素、纤维素、胆碱、皂苷、糖蛋白、黏液蛋白等物质,具有很好的保健作用。山药主产于河南、山西、河北、陕西等省,在山东、江苏、浙江、湖南和广西等地亦有栽培。目前,我国人工栽培的山药品种较多,各地在长期的栽培过程中均已形成了具有自身地方特色的品种,如贵州安顺地区栽培的本地种源成为“安顺山药”品种,2010年

12月,原中华人民共和国农业部批准对“安顺山药”实施农产品地理标志登记保护。山药在中国分布较广,且食用历史悠久,随着人们生活水平的提高,人们的保健意识日益增强,更加注重食疗养生,对山药的消费量也逐年增加,山药在产业中的地位越来越重要。但是,由于山药种植成本较高,在生产上较费工,使得山药农业生产的相关研究还不充分。安顺山药薯块呈圆柱形,其地下块茎可长达 100 cm,皮薄,外表呈淡褐色,密生细须,根皮黄白色,肉白色且有黏液,削皮后肉质呈白色,且久置不会变黄、久煮不散,肉质松软细腻,味稍甜,容易做成山药泥、山药粉等,深受当地人民欢迎,但是不足之处是产量偏低,不能满足市场需求,山药产量因此成为扩大生产的瓶颈。影响山药产量的因素有多种,在栽培过程中光合特性是重要因素。本试验以安顺山药为材料对其光合特性进行初步研究,以期为进一步的研究和品种改良提供基础。

目前关于山药的研究大多是关于其种质资源、化学成分、药理作用及山药产品的开发等<sup>[2-6]</sup>,关于山药高产栽培生理的研究甚少,尤其是关于地方品

收稿日期:2019-07-19

基金项目:贵州省科技计划(编号:黔科合 NY 字[2016]3045号)。

作者简介:邓禄军(1979—),男,贵州凤冈人,硕士,副研究员,主要从事根茎类作物资源评价与栽培技术研究。E-mail: denglujun@163.com。

21(1):5-8,43.

[11]姜勇,张玉革,梁文举. 温室蔬菜栽培对土壤交换性盐基离子组成的影响[J]. 水土保持学报,2005,19(6):78-81.

[12]陈竹君,高佳佳,赵文艳,等. 磷钾肥施用对日光温室土壤溶液离子组成的影响[J]. 农业工程学报,2011,27(2):261-266.

[13]鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京:中国农业科学技

术出版社,2000.

[14]章永松,倪吾钟,林咸永,等. 杭州市郊菜园土壤的有效养分状况与施肥对策[M]. 南京:河海大学出版社,1997.

[15]Scharpf H C, Wehrmann J, Liebig H P. Nutrition and fertilization [M]//Vegetable production: a textbook and reference work for study and practice. Berlin: Verlag Paul Parey, 1986: 111-135.

种安顺山药光合生理特性的研究尚未见报道。本研究在安顺山药旺盛生长期选择晴朗的天气对其光合日变化、水分利用效率、光饱和点与光补偿点以及饱和光照度下的  $\text{CO}_2$  饱和点、 $\text{CO}_2$  补偿点进行系统研究,探索安顺山药的光合生理特性,以期为山药高产栽培奠定基础,并为山药栽培生理研究提供理论支撑。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

以贵州地区的安顺山药为供试材料。在山药旺盛生长期,选取以长势一致、无病害的山药叶片进行测试。

### 1.2 试验方法

本试验于2018年7月在贵州省安顺市西秀区大西桥镇狗场屯村进行,在晴天的08:00—18:00,用LI-6400便携式光合仪测定山药植株中上部功能叶片的净光合速率( $P_n$ ) (以  $\text{CO}_2$  计)、蒸腾速率( $T_r$ )等光合指标,每个处理测定6张叶片。水分利用效率(WUE)的计算公式: $WUE = P_n/T_r$ 。

于晴天的08:00—11:00采用LI-6400型便携式光合仪中的自动light-curve计算山药的光合-光响应曲线。光源为红蓝光源, $\text{CO}_2$ 由小钢瓶提供,参比室  $\text{CO}_2$  浓度设置为  $400 \mu\text{mol}/\text{mol}$ ,光照度梯度设置为  $2\ 000$ 、 $1\ 800$ 、 $1\ 500$ 、 $1\ 200$ 、 $900$ 、 $600$ 、 $300$ 、 $200$ 、 $100$ 、 $75$ 、 $50$ 、 $25$ 、 $0 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。根据直角双

曲线修正模型<sup>[7]</sup>,拟合计算出光补偿点(LCP)、光饱和点(LSP)。

山药  $\text{CO}_2$  响应曲线测定时间及拟合方法同光响应曲线,光照度设置为  $1\ 400 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ,由小钢瓶提供  $\text{CO}_2$ ,参比室  $\text{CO}_2$  浓度梯度设置为  $400$ 、 $300$ 、 $200$ 、 $150$ 、 $100$ 、 $50$ 、 $400$ 、 $600$ 、 $800$ 、 $1\ 000$ 、 $1\ 200$ 、 $500$ 、 $1\ 800$ 、 $2\ 000$ 、 $2\ 200 \mu\text{mol}/\text{mol}$ ,拟合计算出  $\text{CO}_2$  补偿点(CCP)、 $\text{CO}_2$  饱和点(CSP)。

### 1.3 数据处理

用Excel 2010进行数据处理、计算和图表的绘制。

## 2 结果与分析

### 2.1 安顺山药净光合速率的日变化

大部分植物的净光合速率日变化都呈“双峰”曲线,少部分植物因为季节、时间或温度等的变化而呈“单峰”曲线。从图1可以看出,安顺山药净光合速率的日变化呈双峰型曲线,上午随着光照度的增强,安顺山药的净光合速率逐渐增加,在11:00达到第1个峰值,为  $11.94 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ,随后安顺山药的净光合速率逐渐下降;至14:00时净光合速率又略微升高,出现第2个峰值,为  $4.58 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ;14:00以后,随着环境中光合有效辐射的继续增强与气温的升高,净光合速率缓缓下降。由此看出,在13:00左右,安顺山药出现了植物典型的光合“午休”生理现象。

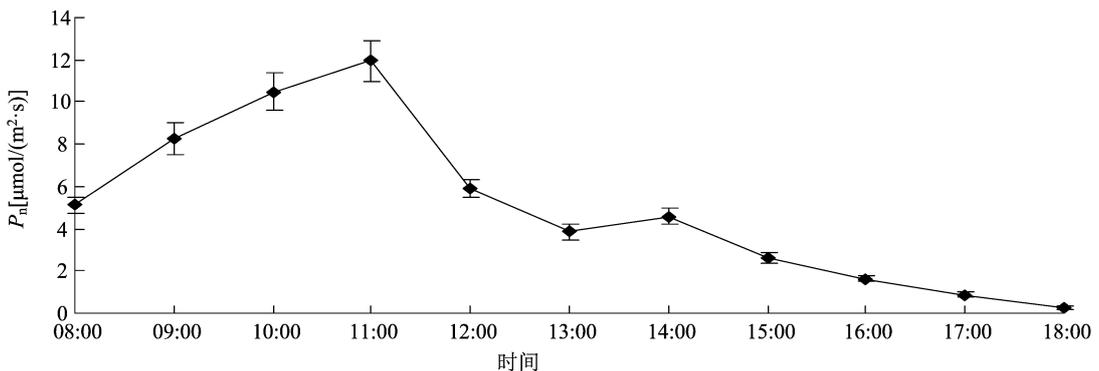


图1 安顺山药净光合速率的日变化

### 2.2 安顺山药蒸腾速率的日变化

蒸腾作用是植物适应环境的一个复杂的生理过程,它不仅受外界环境条件的影响,而且受到植物本身的调节和控制。由图2可见,安顺山药蒸腾速率的变化总体呈先升高后降低的变化趋势,11:00

之前,随着光照度的逐渐增加、温度的缓慢升高,蒸腾速率逐渐增加;11:00—13:00,蒸腾速率达到了顶峰,且变化不大;在14:00,由于过强的光照、高温,气孔会逐渐关闭,蒸腾速率迅速下降;16:00以后,光照渐渐变弱,温度也开始下降,气孔又渐渐开放;

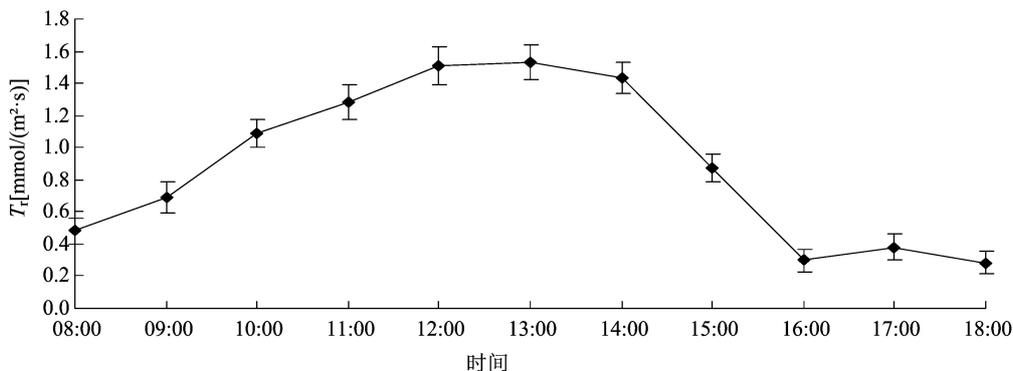


图2 安顺山药蒸腾速率的日变化

17:00左右蒸腾速率略有回升。

### 2.3 安顺山药水分利用效率的日变化

由图3可以看出,安顺山药的水分利用效率随着环境中光合有效辐射的上升而增加,09:00左右安顺山药的水分利用效率最高,达12.04  $\mu\text{mol}/\text{mmol}$ ;09:00以后,安顺山药的水分利

用效率波动地下降,在13:00时水分利用效率降到最低值;16:00时,安顺山药的水分利用效率再次上升,出现第2次峰值,为5.44  $\mu\text{mol}/\text{mmol}$ ;16:00之后,安顺山药的水分利用效率随着光合作用强度的减小而降低。分析可得,安顺山药平均水分利用效率为5.72  $\mu\text{mol}/\text{mmol}$ 。

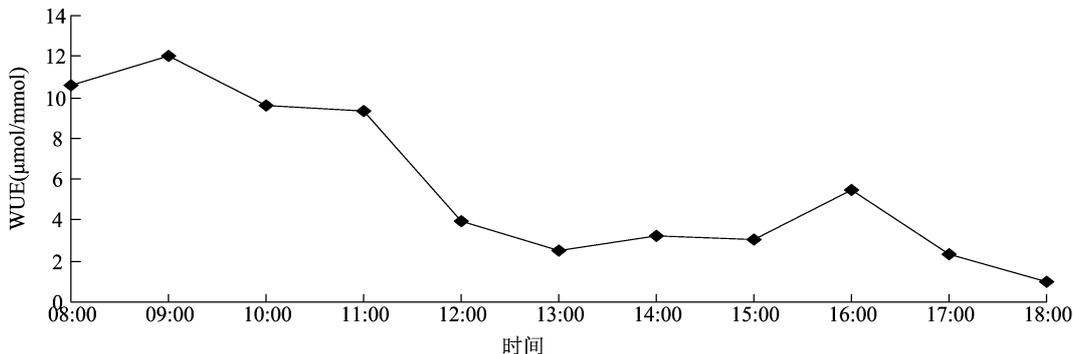


图3 安顺山药水分利用效率的日变化

### 2.4 安顺山药的光补偿点与光饱和点

光补偿点与光饱和点可以反映植物对环境中光照的需求,可以衡量植物的光合能力。由图4可知,安顺山药光响应曲线的  $r=0.9676$ ,已达到极显著水平;光照度为0~600  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 时,净光合速率急剧上升;光照度为600~1500  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 时,净光合速率缓慢上升;光照度超过1500  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$

后,净光合速率开始下降。通过模型拟合曲线计算得出,安顺山药的光饱和点为1458.30  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ,光补偿点为20.41  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。由上述结果可知,山药是典型的阳生植物。

### 2.5 安顺山药的CO<sub>2</sub>补偿点与CO<sub>2</sub>饱和点

由图5可知,当CO<sub>2</sub>浓度为0~1000  $\mu\text{mol}/\text{mol}$ 时,安顺山药的净光合速率呈直线上升的趋势;当

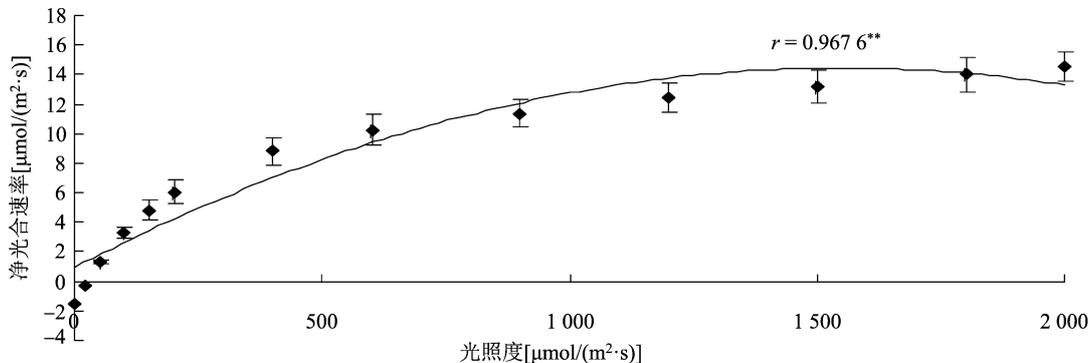


图4 安顺山药的光合-光响应曲线

CO<sub>2</sub> 浓度为 1 000 ~ 1 500 μmol/mol 时, 安顺山药的净光合速率呈平缓上升的趋势; 当 CO<sub>2</sub> 浓度为 1 500 ~ 1 800 μmol/mol 时, 安顺山药的净光合速率变化平稳; 当 CO<sub>2</sub> 浓度在 1 800 μmol/mol 以上时, 安顺山药的净光合速率出现下降趋势。通过拟合方程计算得出, 安顺山药的 CO<sub>2</sub> 补偿点为 67.16 μmol/mol, CO<sub>2</sub> 饱和点为 1 825.00 μmol/mol。

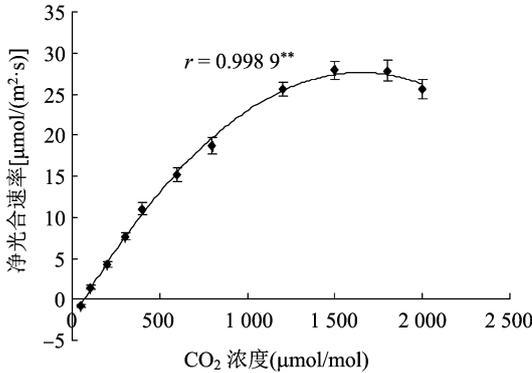


图5 安顺山药的光合-CO<sub>2</sub> 响应曲线

### 3 讨论

安顺山药净光合速率日变化呈现“双峰”曲线, 反映了安顺山药具有明显的光合“午休”现象, 这与鲁西地区的山药研究结果相似<sup>[8]</sup>。在一定时间范围内, 蒸腾速率随着光照度的持续增加而呈现较快的上升趋势, 使水分通过气孔蒸腾而大量散失, 水分利用效率下降, 与接骨草等植物相似<sup>[9]</sup>。水分利用效率是栽培管理的重要指标, 也是选择抗旱植物品种的重要因素之一<sup>[10]</sup>。山药水分利用效率的变化趋势反映了山药对环境中的水分的利用效率较高。在栽培过程中, 通过田间观察发现, 山药块根膨大后怕水大, 如水分过多, 根茎会出现畸形。光饱和点反映了植物利用环境中强烈光照的能力, 饱和点越高, 说明植物的耐阴性越强, 从而证明植物在受到强光照时不容易被动而受到抑制。有研究发现, 光补偿点为 0 ~ 10 μmol/(m<sup>2</sup>·s) 的为阴生植物, 大于 10 μmol/(m<sup>2</sup>·s) 的为阳生植物<sup>[11]</sup>。本研究结果表明, 安顺山药的光补偿点为 20.41 μmol/(m<sup>2</sup>·s), 光饱和点为 1 458.30 μmol/(m<sup>2</sup>·s), 可见本研究所用山药品种为阳生植物, 并对光照的变化具有广泛的适应能力。因此, 在山药种植选地的过程中, 要选择光照充足的环境。

研究发现, 一般 C<sub>3</sub> 植物的 CO<sub>2</sub> 补偿点为 30 ~ 70 μmol/mol<sup>[12]</sup>, 净光合速率为 10 ~ 35 μmol/(m<sup>2</sup>·s)<sup>[13]</sup>, 而安顺山药的 CO<sub>2</sub> 补偿点为

67.16 μmol/mol, 净光合速率约为 12 μmol/(m<sup>2</sup>·s), 是典型的 C<sub>3</sub> 植物。

### 4 结论

安顺山药的净光合速率日变化呈双峰曲线, 上午出现的峰值比下午出现的峰值高; 安顺山药具有良好的水分利用效率; 安顺山药的光饱和点为 1 458.30 μmol/(m<sup>2</sup>·s), 光补偿点为 20.41 μmol/(m<sup>2</sup>·s), 对环境中的光照有较强的适应能力, 为阳生植物; 安顺山药的 CO<sub>2</sub> 饱和点为 1 825.00 μmol/mol, CO<sub>2</sub> 补偿点为 67.16 μmol/mol, 对环境中的 CO<sub>2</sub> 浓度有较广的适应范围。

### 参考文献:

- [1] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典(一部)[M]. 北京: 中国医药科技出版社, 2015: 103.
- [2] Zhou R, Kang Y H. Rheological properties and effects of *in vitro* gastrointestinal digestion on functional components and antioxidant activities of cooked yam flour[J]. Food Science and Biotechnology, 2019, 28(4): 991 - 1001.
- [3] Andriamparany J N, Buerkert A. Effect of ultrasonic dormancy breaking on seed germination and seedling growth of three wild yam species (*Dioscorea* spp.) from SW - Madagascar [J]. Genetic Resources and Crop Evolution, 2019, 66(6): 1167 - 1174.
- [4] Zhang C Q, Chen X, Ding K. Structural characterization of a galactan from *Dioscorea opposita* Thunb. and its bioactivity on selected *Bacteroides* strains from human gut microbiota [J]. Carbohydrate Polymers, 2019, 218: 299 - 306.
- [5] Zhang N, Liang T S, Jin Q, et al. Chinese yam (*Dioscorea opposita* Thunb.) alleviates antibiotic - associated diarrhea, modifies intestinal microbiota, and increases the level of short - chain fatty acids in mice [J]. Food Research International, 2019, 122: 191 - 198.
- [6] 南怀林, 刘建平, 王耀琴, 等. 6 个山药品种的比较试验 [J]. 山西农业科学, 2019, 47(6): 938 - 940.
- [7] 叶子飘, 李进省. 光合作用对光响应的直角双曲线修正模型和非直角双曲线模型的对比研究 [J]. 井冈山大学学报(自然科学版), 2010, 31(3): 38 - 44.
- [8] 李敏, 张桂荣. 鲁西地区六个山药地方品种光合特性比较研究 [J]. 北方园艺, 2013(3): 19 - 22.
- [9] 董磊磊, 黎云祥, 权秋梅, 等. 中药接骨草光合生理特性研究 [J]. 草地学报, 2013, 21(4): 816 - 820.
- [10] 王茹. 杜仲光合生理和蒸腾特性的研究 [D]. 合肥: 安徽农业大学, 2012.
- [11] 马彦曹, 曹致中, 李毅. 绒毛胡枝子光合作用特性及其影响因子分析 [J]. 草地学报, 2010, 18(2): 183 - 187.
- [12] 孙年喜, 李隆云, 钟国跃, 等. 半夏光合特性研究 [J]. 西南农业学报, 2009, 22(1): 71 - 73.
- [13] 潘瑞焱. 植物生理学 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2010: 95 - 98.