

天师栗幼苗光合特性研究

李晓东¹, 侯晓星¹, 王柯月¹, 石召华², 叶利春², 舒少华^{1*}

(1. 华中农业大学植物科学技术学院, 湖北武汉 430070; 2. 武汉爱民制药股份有限公司, 湖北鄂州 436070)

摘要 [目的]揭示天师栗幼苗光合特性, 为天师栗优质种苗的培育和优良居群的选择提供理论指导。[方法]以3个不同居群(恩施州ESLZ、神农架林区SNJ、十堰市竹溪县ZXSQ)的天师栗一年生实生苗为试验材料, 利用LI-6800便携式光合作用系统测定各居群天师栗幼苗叶片净光合速率、净光合速率日变化、光响应曲线、CO₂响应曲线, 采用丙酮乙醇混合液法测定各居群天师栗幼苗叶片光合色素含量。[结果]ESLZ的光合性能最优, 其净光合速率(P_n)、气孔导度(G_s)、胞间CO₂浓度(C_i)、蒸腾速率(T_r)均显著高于SNJ、ZXSQ; 3个不同居群天师栗的净光合速率日变化均呈双峰趋势, 存在明显的“光午休”现象, 且ESLZ的2个峰值均显著高于SNJ、ZXSQ; 3个不同居群天师栗均在800 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 、1 400 $\mu\text{mol}/\text{mol}$ 左右达到了光饱和点和CO₂饱和点, ESLZ在光饱和点和CO₂饱和点对应的净光合速率最高; ESLZ的叶绿素a、叶绿素b、类胡萝卜素含量明显高于SNJ、ZXSQ, 且存在显著差异。[结论]ESLZ的光合性能、光合色素含量明显优于其他2个居群, 光能利用率更高, 对光照的适应范围更广, 可作为优良居群推广种植。天师栗幼苗的光饱和点和光补偿点较低, 在幼苗期可采取适当的遮阴措施, 提高光能利用率。

关键词 天师栗; 幼苗; 居群; 光合特性; 光合色素中图分类号 S567.1⁺9 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2022)05-0152-04

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2022.05.038



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Study on Photosynthetic Characteristics of *Aesculus wilsonii* Rehd Seedlings

LI Xiao-dong, HOU Xiao-xing, WANG Ke-yue et al (College of Plant Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan, Hubei 430070)

Abstract [Objective] To reveal the photosynthetic characteristics of *A. wilsonii* seedlings and provide theoretical basis for the cultivation and selection of high-quality populations of *A. wilsonii*. [Method] The *A. wilsonii* 1-year-old seedlings from three different populations (ESLZ, SNJ, ZXSQ) were used as experimental materials. The LI-6800 photosynthesis system was used to measure the net photosynthetic rate, diurnal variation of photosynthesis, light response curve and CO₂ response curve of *A. wilsonii* seedlings. The acetone-ethanol mixture method was used to measure the photosynthetic pigment content of *A. wilsonii* seedlings. [Result] ESLZ had the best photosynthetic performance, and its net photosynthetic rate (P_n), stomatal conductance (G_s), intercellular CO₂ concentration (C_i) and transpiration rate (T_r) were significantly higher than those of SNJ and ZXSQ. The daily changes of photosynthetic rate of three different populations of *A. wilsonii* showed double-peak curves with obvious phenomenon of photosynthetic “noon break” and the two peak values of ESLZ were significantly higher than another two populations. *A. wilsonii* reached the light saturation point and CO₂ saturation point at 800 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ and 1 400 $\mu\text{mol}/\text{mol}$. At the light as well as CO₂ saturation point, ESLZ had the maximum net photosynthetic rate. The contents of chlorophyll a, chlorophyll b and carotenoid of ESLZ were all significantly higher than that of SNJ and ZXSQ. [Conclusion] ESLZ has better photosynthetic characteristics and photosynthetic pigment content than another two populations. It has a higher utilization rate of light energy and a wider range of adaptation to light, so ESLZ is more suitable for promotion and planting. The light saturation point and light compensation point of *A. wilsonii* seedlings are relatively lower, so we can take some shading measures to improve the utilization rate of light energy.

Key words *A. wilsonii*; Seedling; Populations; Photosynthetic characteristics; Photosynthetic pigment

天师栗属七叶树科(Hippocastanaceae)七叶树属(*Aesculus* Linn.)落叶乔木, 其种子又称娑罗子, 具有疏肝解郁、和胃杀虫之功效^[1]。现代药理研究表明, 娑罗子的主要药用成分是七叶皂苷A、七叶皂苷B, 具有抗炎、消肿、抗癌作用^[2]。天师栗在我国的分布范围较广, 主要分布在河南西南部、湖北西部、江西西部、贵州和云南等地, 但在各地均呈零星分布, 通常在数株至数十株不等, 长期的地理隔绝使天师栗的形态特征与生理特性产生了较大差异^[3]。天师栗作为中药材娑罗子的主要来源之一, 广泛应用在食品、药材、园林等方面, 其应用价值高、开发前景广阔、市场对其资源需求显著增长, 对天师栗的研究逐渐受到关注^[4]。而目前对天师栗的研究主要集中在化学成分、栽培技术等方面, 对天师栗生理特性的研究鲜有报道。

光合作用是植物生长的基础, 也是评价植物对环境适应性的重要指标^[5], 而且光合特性在一定程度上反映了品种的优劣, 所以探究不同居群天师栗的光合特性, 对优良居群的筛选及制定合理的栽培措施具有重要意义。该试验通过对3个不同居群天师栗幼苗的光合特性、光合色素含量进行比较分析, 探讨不同居群天师栗幼苗对环境的适应性及其光合能力的差异, 以期为天师栗优质种苗培育与优良居群选择提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料 自湖北省十堰市竹溪县(ZXSQ)、神农架林区(SNJ)、恩施州(ESLZ)采集的3个不同居群的天师栗种子, 于2019年3月种于华中农业大学药用植物资源圃, 每个居群选择3株无病虫害、生长健壮的一年生实生苗于2020年8月进行光合数据测定, 各居群天师栗地理位置信息见表1。

1.2 测定内容与方法

1.2.1 天师栗净光合速率测定 2020年8月中旬, 在晴朗无风条件下, 于08:30—11:30利用LI-6800型便携式光合仪测定天师栗一年生实生苗净光合速率(P_n)、胞间CO₂浓度

基金项目 国家重点研发计划项目“娑罗子规模化种植及精准扶贫示范研究”(2017YFC1701002)。**作者简介** 李晓东(1995—), 男, 河北邢台人, 硕士研究生, 研究方向: 中药材栽培。*通信作者, 副教授, 博士, 硕士生导师, 从事中药材栽培研究。**收稿日期** 2021-05-18; **修回日期** 2021-07-01

(C_i)、气孔导度(G_s)、蒸腾速率(T_r)，光强设置为 $1\ 000\ \mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ ， CO_2 浓度设置为 $400\ \mu\text{mol}/\text{mol}$ ，每个居群均选择生长完好的第 4~5 片完全展开叶进行测定，每一叶片重复测量 3 次，取平均值。

表 1 不同居群天师栗信息

Table 1 Information of *A. wilsonii* in different populations

居群名称 Population name	采样地 Sampling place	纬度 Latitude	经度 Longitude	海拔 Altitude m
ESLZ	湖北省恩施州七里坪乡	30.26°N	109.45°E	1 152
SNJ	湖北省神农架林区	31.88°N	110.56°E	1 100
ZXSQ	湖北省十堰市竹溪县	31.97°N	109.69°E	815

1.2.2 天师栗光响应- CO_2 响应曲线测定。

1.2.2.1 光响应曲线测定。于 08:30—11:30 利用 LI-6800 型便携式光合仪测定。设定参比室中 CO_2 浓度为 $400\ \mu\text{mol}/\text{mol}$ ，叶室温度控制在 $30\ ^\circ\text{C}$ ，相对湿度控制在 40%，光照强度设置为 0、50、100、200、300、400、600、800、1 000、1 200 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ ，共 10 个光照强度梯度，测定光响应曲线前，按预估饱和光强及最适 CO_2 浓度对不同居群天师栗进行 30 min 光诱导，使其达最佳生理活动状态，待仪器参数稳定后开始记录数据。每个居群均选择生长完好的第 4~5 片完全展开叶进行测定，每一叶片重复测量 3 次，取平均值。

1.2.2.2 CO_2 响应曲线测定。于 08:30—11:30 利用 LI-6800 型便携式光合仪测定。光照强度设置为 $1\ 000\ \mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ ， CO_2 浓度设置为 0、50、100、200、300、400、600、800、1 000、1 200、1 400、1 600 $\mu\text{mol}/\text{mol}$ ，共 12 个梯度，每个居群均选择生长完好的第 4~5 片完全展开叶进行测定，每一叶片重复测量 3 次，取平均值。

1.2.3 天师栗光合速率日变化。于 06:30—18:30 利用 LI-6800 型便携式光合仪，测定不同居群天师栗净光合速率，光照强度设置为 $1\ 000\ \mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ ， CO_2 浓度设置为 $400\ \mu\text{mol}/\text{mol}$ 。每个居群均选择生长完好的第 4~5 片完全展开叶进行测定，每一叶片重复测量 3 次，每隔 1 h 记录一次测量结果。

1.2.4 天师栗光合色素含量测定。取天师栗第 4~5 片完全展开叶中间位置的健康完整叶片，去叶脉并剪成碎块，称取 0.2 g，置于 50 mL 锥形瓶中，加入 50 mL 45% 乙醇-45% 丙酮-10% 混合液黑暗中浸提 24 h 至叶片全白，取浸提液分别于 470、649 和 665 nm 波长下测定吸光度，按下列公式分别计算出叶绿素 a、叶绿素 b 和胡萝卜素浓度(mg/L)，求得样品各光合色素含量^[6]。

$$C_a = 13.95A_{665} - 6.88A_{649}$$

$$C_b = 24.96A_{649} - 7.32A_{665}$$

$$C_x = (1\ 000A_{470} - 2.05C_a - 114.8C_b) / 245$$

式中， A_{470} 、 A_{649} 、 A_{665} 分别表示叶绿素溶液在波长 470、649 和 665 nm 波长下的吸光度。

1.3 统计分析 采用 Excel 2010 进行数据处理制表绘图，利用 SPSS 21.0 软件对数据进行单因素方差分析、显著性分

析，计算各项数据的均值、标准差，数据均以平均数±标准差表示。

2 结果与分析

2.1 不同居群天师栗光合指标 由表 1 可知，3 个不同居群天师栗光合指标存在显著差异，其中 ESLZ 的净光合速率、气孔导度、胞间 CO_2 浓度、蒸腾速率均为最高，分别为 $6.68\ \mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 、 $0.06\ \text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 、 $233.91\ \mu\text{mol}/\text{mol}$ 、 $1.95\ \text{mmol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ ；其次是 SNJ，其各项光合指标分别为 $5.61\ \mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 、 $0.04\ \text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 、 $214.88\ \mu\text{mol}/\text{mol}$ 、 $1.37\ \text{mmol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ ；ZXSQ 的各项光合指标均最低，分别为 $4.37\ \mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 、 $0.03\ \text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 、 $198.01\ \mu\text{mol}/\text{mol}$ 、 $1.04\ \text{mmol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 。

表 2 不同居群天师栗光合指标

Table 2 The photosynthetic index of *A. wilsonii* in different populations

居群名称 Population name	净光合速率 P_n $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$	气孔导度 G_s $\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$	胞间 CO_2 浓度 C_i $\mu\text{mol}/\text{mol}$	蒸腾速率 T_r $\text{mmol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$
ZXSQ	4.37±0.02 c	0.03±0.01 c	198.01±17.50 c	1.04±0.11 c
SNJ	5.61±0.21 b	0.04±0.01 b	214.88±21.40 b	1.37±0.54 b
ESLZ	6.68±0.09 a	0.06±0.01 a	233.91±8.50 a	1.95±0.26 a

注：同列不同小写字母表示居群间差异显著($P<0.05$)

Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant differences between populations($P<0.05$)

2.2 光响应- CO_2 响应曲线 光响应曲线反映了植物光合速率随光照强度改变而变化的规律，对天师栗光响应曲线进行测定，结果如图 1 所示。由图 1 可知，在光照强度 0~800 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ ，随着光照强度的增加，ESLZ、SNJ 和 ZXSQ 的净光合速率呈上升趋势，3 个居群的天师栗净光合速率均在 800 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 时达到最高值，分别为 7.83、6.86、6.28 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ ；随着光照强度的继续增加，净光合速率的增长趋于平缓，即 800 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 为光饱和点，3 个居群对光合有效辐射的响应曲线基本一致，在光饱和点 ESLZ 对应的净光合速率最高。在光照强度 0~50 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 时，ESLZ、SNJ 和 ZXSQ 的净光合速率(Y)与光照强度(X)之间呈线性相关，线性方程分别为 $Y = 0.034X - 0.80$ 、 $Y = 0.031X - 1.06$ 、 $Y = 0.029X - 1.16$ ，当 $Y=0$ 时，光照强度分别为 23.53、33.90、40.00 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ ，即为三者光补偿点。

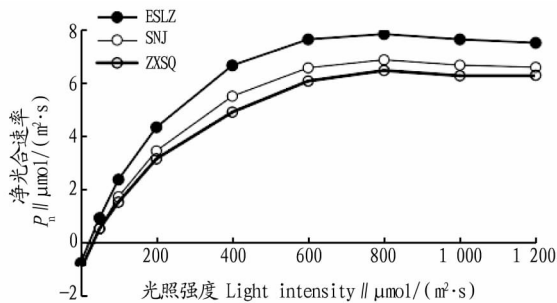


图 1 不同居群天师栗光响应曲线

Fig. 1 Light response curve of three *A. wilsonii* in different populations

CO₂ 响应曲线反映了植物光合速率随胞间 CO₂ 浓度改变而变化的规律,由图 2 可知,在 CO₂ 浓度为 50~100 μmol/mol 时,ESLZ、SNJ、ZXSQ 的净光合速率(Y)与 CO₂ 浓度(X)大致呈线性相关,线性方程分别为 $Y = 0.025X - 2.55$ 、 $Y = 0.024X - 2.90$ 、 $Y = 0.022X - 2.90$,当 $Y = 0$ 时,CO₂ 浓度分别为 102.00、120.83、131.81 μmol/mol,即为三者 CO₂ 补偿点。另外,CO₂ 浓度在 100~1 400 μmol/mol 时,随着 CO₂ 浓度的提高,光合速率逐渐增加,随着 CO₂ 浓度的再增加,3 个不同居群天师栗的光合速率不再提高,即 1 400 μmol/mol 为天师栗的 CO₂ 饱和点,3 个天师栗居群对 CO₂ 浓度的响应曲线基本一致,在 CO₂ 饱和点 ESLZ 对应的净光合速率最高。

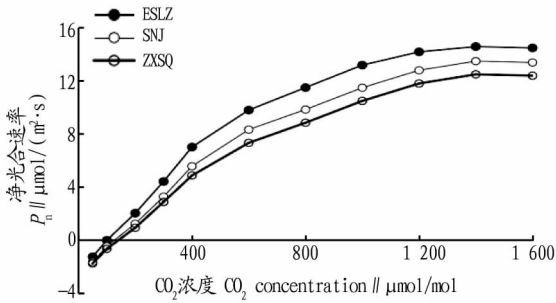


图2 不同居群天师栗 CO₂ 响应曲线

Fig. 2 CO₂ response curve of three *A. wilsonii* in different populations

2.3 不同居群天师栗净光合速率日变化 由图 3 可知,3 个居群的天师栗净光合速率日变化整体呈升高—降低—升高—降低的趋势,天师栗净光合速率在 06:30—10:30 快速提高,于 10:30 达到第 1 个峰值,ESLZ、SNJ、ZXSQ 的峰值分别为 6.5、5.8、5.4 μmol/(m²·s),在 10:30—12:30 天师栗净光合速率开始下降至谷底,这是因为随着中午温度的不断升高,导致叶片出现“光午休”现象。在 12:30—14:30 天师栗净光合速率逐渐升高,14:30 出现第 2 个峰值,ESLZ、SNJ、ZXSQ 的峰值分别为 5.7、5.5、5.0 μmol/(m²·s)。14:30—18:30 天师栗净光合速率逐渐下降至最低,这是因为随着光照减弱、温度逐渐降低所致。3 个居群天师栗净光合速率日变化均呈双峰趋势,存在明显的“光午休”现象。

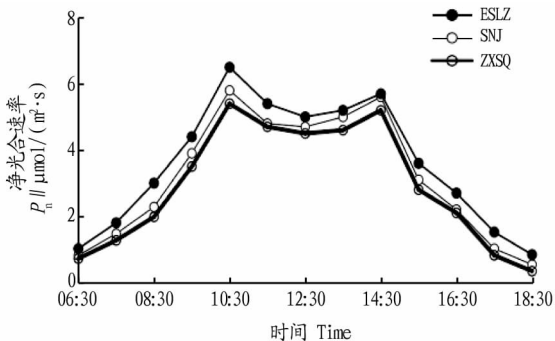


图3 不同居群天师栗净光合速率日变化

Fig. 3 The diurnal variation of net photosynthetic rate of *A. wilsonii* in different populations

2.4 不同居群天师栗光合色素含量 从 3 个不同居群的天师栗光合色素含量的测定结果(表 3)可以看出,ESLZ、SNJ 的光合色素含量明显高于 ZXSQ,其中 ESLZ 的叶绿素 a、叶绿素 b、总叶绿素和类胡萝卜素含量均为最高,分别为 1.31、0.65、1.96、0.52 mg/g;其次是 SNJ,4 种光合色素含量分别为 1.15、0.57、1.72、0.43 mg/g;ZXSQ 的 4 种光合色素含量均为最低,分别为 0.93、0.50、1.43、0.40 mg/g。结果表明不同居群天师栗的光合色素含量具有一定差异,且天师栗叶片净光合速率与叶绿素含量之间具有显著相关性。

表 3 不同居群天师栗光合色素含量

Table 3 Photosynthetic pigment content of *A. wilsonii* in different populations

居群名称 Population name	叶绿素 a Chlorophyll a	叶绿素 b Chlorophyll b	总叶绿素 Total chlorophyll	类胡萝卜素 Carotenoid
ESLZ	1.31±0.32 a	0.65±0.03 a	1.96±0.02 a	0.52±0.02 a
ZXSQ	0.93±0.06 c	0.50±0.03 c	1.43±0.01 c	0.40±0.04 c
SNJ	1.15±0.06 b	0.57±0.02 b	1.72±0.01 b	0.43±0.03 b

注:同列不同小写字母表示居群间差异显著($P < 0.05$)

Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant differences between populations ($P < 0.05$)

3 讨论与结论

光合作用是植物生长发育的基础^[7],而光照强度是影响植物光合作用的主要因子,研究不同光照强度下植物的光合特性,对掌握植物生长发育情况、制定合理的栽培措施具有重要的作用^[8-9]。光饱和点和补偿点是评价植物需光特性的 2 个重要指标,光补偿点的高低可以作为判断植物在低光照强度条件下能否生长的标志,光补偿点越小表明植物利用弱光的能力越强;光饱和点反映了植物利用强光的能力,光饱和点越高说明植物在受到强光时不易发生光抑制,植物的耐阴性越强^[10]。对 3 个居群(恩施州 ESLZ、神农架林区 SNJ、十堰市竹溪县 ZXSQ)天师栗一年生幼苗的光合特性研究结果表明,天师栗一年生幼苗的光饱和点为 800 μmol/(m²·s),光补偿点在 23.35~40.00 μmol/(m²·s),天师栗幼苗的光饱和点和光补偿点都较低,这与七叶树属植物耐半阴、怕烈日直射、不耐干热气候的特点相吻合^[11]。同时也有研究发现,经遮阴处理的七叶树幼苗光合利用率更高,七叶树幼苗可对弱光进行高效利用^[12],这也可能是导致天师栗光补偿点和光饱和点较低的原因。晴朗天气下植物的光合作用日变化一般分为单峰型和双峰型 2 种类型,大多数植物在夏季表现为双峰型变化^[13]。该研究中天师栗幼苗的净光合速率日变化均呈双峰曲线,这是因为随着中午光照强度的增加,温度升高,导致天师栗幼苗净光合速率的降低,出现了“光午休”现象。李成忠等^[12]的研究结果表明七叶树幼苗在自然光照下于夏季、秋季生长容易受到光抑制,而适度遮阴可较好地缓解这一问题,这与付忠等^[14]的研究结论一致。而在烈日照射条件下天师栗幼苗也极易受到日灼伤害,因此在天师栗的栽培过程中,应该采取适当的遮阴措施,这样不仅可以使天师栗保持较高的光能利用率,缓解“光午休”现象,而且能防止日灼对天师栗造成伤害。

净光合速率直接反映了植物光合作用能力的强弱,通过 3 个居群天师栗幼苗的光合指标可以看出,ESLZ 的净光合速率(P_n)、气孔导度(G_s)、胞间 CO_2 浓度(C_i)、蒸腾速率(T_r)明显优于其他 2 个居群,综合天师栗幼苗的光响应曲线、 CO_2 响应曲线可以看出,ESLZ 的光利用范围更广,在饱和点对应的净光合速率最高,能更好地适应强光和弱光环境。植物叶片光合色素含量与植物光合能力密切相关^[15],可直接反映植物叶片光合能力的大小^[16],而叶绿素 a 和叶绿素 b 具有捕获吸收光能的作用^[17],因此叶绿素含量的高低是影响叶片光合特性的重要因素。对 3 个居群天师栗幼苗的光合色素含量研究表明,ESLZ 的叶绿素 a、叶绿素 b、总叶绿素和类胡萝卜素含量均为最高,SNJ 次之,ZXSQ 的各种光合色素含量最低,这与天师栗各项光合指标的分析结果相同,说明天师栗幼苗光合能力的强弱受到光合色素的直接影响,同时也进一步说明 ESLZ 的光合性能优于其他 2 个居群,为天师栗优良居群的选择提供了参考。

植物的光合速率是影响植物产量和品质的重要因素^[18],也是评价品种优劣的重要条件,而植物光合作用的强弱与植物种类、品种特性和环境因子密切相关^[19-20]。该研究对 3 个居群天师栗的光合特性研究表明,在同样的栽培条件下,不同居群天师栗的净光合速率、胞间 CO_2 浓度、气孔导度、蒸腾速率、光合色素含量具有一定差异,其中 ESLZ 的各项光合指标明显优于其他 2 个居群,说明 ESLZ 的光合性能更强,更有利于有机物质的积累促进其生长发育,更适宜作为优良居群推广种植。该试验从光合特性的角度对 3 个不同居群天师栗进行了初步研究,对天师栗的种苗培育与优良居群选择具有一定的指导意义,今后可结合天师栗的形态学性状、药材质量性状进行进一步评价。

参考文献

[1] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典:一部[S]. 北京:化学工业出版社

(上接第 131 页)

参考文献

- [1] 李云洲,默宁,闫见敏,等. 番茄斑萎病毒病研究进展[J]. 园艺学报, 2018, 45(9): 1750-1760.
- [2] 李英梅,刘晨,张伟兵,等. 警惕番茄斑萎病毒病在陕西流行[J]. 西北园艺, 2019(4): 49-50.
- [3] 尼秀媚,陈长法,封立平,等. 番茄斑萎病毒研究进展[J]. 安徽农业科学, 2014, 42(19): 6253-6255, 6406.
- [4] 王泽华,吴青君,徐宝云,等. 西花蓟马对多杀菌素的抗性汰选和遗传方式[J]. 应用昆虫学报, 2011, 48(3): 553-558.
- [5] 任锡毅,刘永翔,谭玉梅,等. 贵州烟草病毒病的主要种类及分布特点[J]. 贵州农业科学, 2014, 42(5): 117-120.
- [6] 方小端,吴伟南,刘慧,等. 以植绥螨为主防治入侵害虫西方花蓟马研究进展[C]//生物入侵与生态安全:“第一届全国生物入侵学术研讨会”论文摘要集. 北京:中国植物保护学会生物入侵分会, 2007.
- [7] 李四光,何孝兵,杨亚,等. 烟草番茄斑萎病毒病防治措施[J]. 植物医生, 2015, 28(6): 37-38.
- [8] 陆亚春,李自林,年夫照,等. 不同有机肥对烤烟生长及产质量的影响[J]. 江西农业学报, 2020, 32(9): 102-106.
- [9] 王宁. 气相色谱、流动分析仪在烟草分析中的应用[J]. 科技创新与应

- 社, 2005: 206.
- [2] 王绪英,赵永芳. 中药娑罗子的化学组分及七叶皂苷药用价值的研究[J]. 唐山师范学院学报, 2001, 23(5): 7-11.
- [3] 张辰露,李新生,梁宗锁. 七叶树属植物的分布特征及化学成分研究进展[J]. 西北林学院学报, 2009, 24(6): 142-145.
- [4] 熊超,李西文,关小羽,等. 天师栗无公害规范化种植的探讨[J]. 世界科学技术-中医药现代化, 2019, 21(4): 808-814.
- [5] GAGO J, DALOSO D M, CARRIQUÍ M, et al. The photosynthesis game is in the "inter-play": Mechanisms underlying CO_2 diffusion in leaves [J/OL]. Environmental and experimental botany, 2020, 178[2021-01-21]. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2020.104174.
- [6] 苏正淑,张宪政. 几种测定植物叶绿素含量的方法比较[J]. 植物生理学通讯, 1989, 25(5): 77-78.
- [7] 张聪颖,方炎明,姬红利,等. 遮荫处理对红叶石楠和洒金桃叶珊瑚光合特性的影响[J]. 应用生态学报, 2011, 22(7): 1743-1749.
- [8] SALGADO-LUARTE C, GIANOLI E. Herbivory may modify functional responses to shade in seedlings of a light-demanding tree species[J]. Functional ecology, 2011, 25(3): 492-499.
- [9] 何科佳,王中炎,王仁才. 夏季遮阴对猕猴桃园生态因子和光合作用的影响[J]. 果树学报, 2007, 24(5): 616-619.
- [10] 吴家森,宋福强,陈荣,等. 3 种七叶树属植物叶片气体交换特征和叶绿素荧光特性比较[J]. 植物研究, 2008, 28(4): 438-441.
- [11] 明孟碟. 天师栗规范化种植技术研究[D]. 武汉:湖北中医药大学, 2017.
- [12] 李成忠,居萍,孙燕,等. 遮阴对七叶树幼苗光合特性的影响[J]. 江苏农业科学, 2017, 45(22): 162-165.
- [13] ZHU Y, LIU F, WANG C K, et al. Diurnal variation and light response of net ecosystem carbon exchange in a temperate broadleaved deciduous forest at Maershan, Northeast China[J]. The journal of applied ecology, 2020, 31(1): 72-82.
- [14] 付忠,谢世清,徐文果,等. 不同光照强度下谢君魔芋的光合作用及能量分配特征[J]. 应用生态学报, 2016, 27(4): 1177-1188.
- [15] 赵辉,吕贺贺,路鑫,等. 杂种金叶银杏叶片光合特性分析[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2020, 44(1): 193-199.
- [16] 李春喜,韩蕊,邵云,等. 小麦开花期旗叶光合特性与地上部干物质量的相关和通径分析[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(6): 66-70.
- [17] 汤文华,窦全琴,潘平平,等. 不同薄壳山核桃品种光合特性研究[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2020, 44(3): 81-88.
- [18] 刘星劫,张永清,李佳. 山东省两种欧李栽培品种的光合特性研究[J]. 世界科学技术-中医药现代化, 2018, 20(4): 547-552.
- [19] 阮晓,王强,颜启传. 药用植物生理生态学[M]. 北京:科学出版社, 2010: 80-88.
- [20] 薛建平,王兴,张爱民,等. 地黄光合特性研究[J]. 中国中药杂志, 2009, 34(6): 778-780.

用, 2016(14): 172.

- [10] 董大志,秦西云,张丽坤. 云南烟草害虫及其天敌近期调查研究[C]//云南省昆虫学会. 云南省昆虫学会 2011 年学术年会论文集. 北京:科学出版社, 2011: 252-257.
- [11] 王俊平,郑长英. 对蓟马类害虫高致病性球孢白僵菌的分离、鉴定[J]. 茶叶科学, 2011, 31(4): 295-299.
- [12] 何振贤,宋瑞珍,景继伟. 登封市园林植物蓟马种类及综合防控技术[J]. 现代农业科技, 2014(19): 144.
- [13] 郑雪,李兴勇,陈晓燕,等. 番茄斑萎病毒与传毒蓟马发生流行的相关性[J]. 江苏农业科学, 2015, 43(5): 118-121.
- [14] 郭秀英,袁亮. 稻蓟马的识别与综合防治[J]. 农技服务, 2013, 30(6): 577.
- [15] 穆春,潘悦,蒋水萍,等. 释放捕食螨对蓟马传播烟草番茄斑萎病的控制效果[J]. 贵州农业科学, 2016, 44(9): 63-67.
- [16] 袁盛勇,孔琼,薛春丽,等. 球孢白僵菌对棕榈蓟马的毒力测定[J]. 中国蔬菜, 2013(16): 92-95.
- [17] 陈斌,张琦,桂富荣,等. 球孢白僵菌不同分离株对西花蓟马的毒力测定[J]. 生物安全学报, 2012, 21(1): 14-19.
- [18] 付步礼,曾东强,刘奎,等. 蓟马类害虫抗药性研究进展[J]. 农学报, 2014, 4(3): 28-34.