

## 不同木薯品种留叶数处理的叶绿素荧光和产量差异

林洪鑫, 张志华, 吕丰娟, 汪瑞清, 吕茹洁, 肖运萍, 袁展汽

江西省农业科学院土壤肥料与资源环境研究所/国家红壤改良工程技术研究中心/农业农村部长江中下游作物生理生态与耕作重点实验室, 江西南昌 330200

**摘要:** 以紧凑型品种 SC205、GR4 和伞型品种 SC12、SC15 为试验材料, 设计 9、36、63、90 片留叶数和不摘叶等 5 个处理, 研究不同品种和不同留叶数处理的叶绿素荧光和鲜薯产量差异, 以期明确不同生育时期和留叶数的功能叶叶绿素荧光差异以及叶片数对产量的影响。结果表明: 随着留叶数的增加, 鲜薯产量增加, 薯数、茎叶鲜重和收获指数呈先增后降的趋势。9、36、63、90 片留叶数和不摘叶处理的平均单株产量分别为 0.94、2.22、2.65、2.91、3.35 kg。紧凑型品种的最大荧光产量 ( $F_m$ ) 和最大量子产量 ( $F_v/F_m$ ) 大于伞型品种, 紧凑型  $F_m$ 、 $F_v/F_m$  分别为 0.885、0.739, 伞型分别为 0.838、0.707。最小荧光产量 ( $F_0$ ) 小于伞型品种, 2 种植型品种分别为 0.219、0.231。随着摘叶时期的递进,  $F_0$ 、 $F_m$ 、 $F_v/F_m$ 、ETR 和 Y(II) 下降。随着 PAR 的增加, ETR 逐渐升高, Y(II) 先急剧下降、再平缓下降。不同株型木薯品种的叶绿素荧光变化趋势一致, 而不同留叶数处理的变化规律存在差异。植株留叶数较少时, 木薯功能叶的 ETR 和 Y(II) 略有提高。

**关键词:** 木薯; 品种; 留叶数; 产量; 叶绿素荧光

中图分类号: S533 文献标识码: A

## Difference of Chlorophyll Fluorescence and Yield in Different Cassava Varieties and Leaves Remained Treatments

LIN Hongxin, ZHANG Zhihua, LYU Fengjuan, WANG Ruiqing, LYU Rujie, XIAO Yunping, YUAN Zhanqi

Soil and Fertilizer & Resources and Environment Institute, Jiangxi Academy of Agricultural Sciences / National Engineering and Technology Research Center for Red Soil / Key Laboratory of Crop Ecophysiology and Farming System for the Middle and Lower Reaches of Yangtze River, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Nanchang, Jiangxi 330200, China

**Abstract:** Using compact varieties SC205, GR4 and umbrella varieties SC12, SC15 as the experimental materials, five treatments of 9, 36, 63, 90 leaves remained and no leaves removed were designed to study the differences of chlorophyll fluorescence and fresh tuber root yield to clarify the differences of chlorophyll fluorescence of functional leaves in different growth stages and leaves remained treatments and the effects of leaves number on fresh tuber root yield. The results showed that with the increase of leaves, the fresh tuber root yield increased, and the tuber root number, the fresh weight of stems and leaves and the harvest index increased first and then decreased. The average of tuber root yield per plant of 9, 36, 63, 90 and no leaf removed treatments was 0.94 kg, 2.22 kg, 2.65 kg, 2.91 kg and 3.35 kg, respectively. The maximum fluorescence yield ( $F_m$ ) and maximum quantum yield ( $F_v/F_m$ ) of compact varieties were higher than those of umbrella varieties.  $F_m$  and  $F_v/F_m$  of compact varieties was 0.885 and 0.739, respectively, and those of umbrella varieties was 0.838 and 0.707, respectively. The minimum fluorescence yield ( $F_0$ ) of compact type was smaller than that of umbrella type, and that for the two plant type varieties was 0.219 and 0.231, respectively.  $F_0$ ,  $F_m$ ,  $F_v/F_m$ , ETR and Y(II) decreased with the progress of leaf removed. With the increase of PAR, ETR increased gradually, and Y(II) decreased sharply first and then slowly. The variation trend of chlorophyll fluorescence of cassava varieties with different plant types was the same, but the variation rule of different leaves was different. The ETR and Y(II) of cassava functional leaves increased slightly when the number of leaves remained was small.

收稿日期 2022-08-02; 修回日期 2022-10-12

基金项目 国家自然科学基金项目 (No. 31760359); 财政部和农业农村部: 国家现代农业产业技术体系项目 (No. CARS-11)。

作者简介 林洪鑫 (1983—), 男, 博士, 副研究员, 研究方向: 作物高产理论与技术, E-mail: lhxtfs@163.com。

**Keywords:** cassava; varieties; remained leaf number; yield; chlorophyll fluorescence

**DOI:** 10.3969/j.issn.1000-2561.2023.12.009

木薯 (*Manihot esculenta* Crantz) 是大戟科木薯属热带作物, 是世界三大薯类作物之一, 素有“地下粮仓”和“淀粉之王”的美誉, 起源于热带美洲的巴西与哥伦比亚干湿交替的河谷, 是热带非洲绝大多数国家以及东南亚国家的主要粮食作物之一。19 世纪 20 年代, 我国引入木薯作为粮食和饲料作物, 20 世纪后期, 木薯作为淀粉和酒精加工的主要原料。叶片是光合作用的重要场所。木薯具有无限生长习性, 整个生长期的叶片数一直不断增加。然而, 叶片数过多或过少均不利于作物获得高产, 如在高纬度区域木薯适宜叶片有利于确保木薯产量和养分积累利用<sup>[1]</sup>; 采摘 20.0%~33.3% 的叶片量对木薯鲜薯产量有极显著影响<sup>[2]</sup>, 且木薯摘叶数量与摘叶后的鲜薯产量呈显著负相关<sup>[3]</sup>。在玉米、苹果高产栽培技术中, 适宜的叶片数是获得高产的关键<sup>[4-6]</sup>。

因此, 为了进一步了解不同品种木薯光合效率和叶片数对产量的影响, 本研究以不同株型木薯品种为试验材料, 研究分析不同木薯品种叶绿素荧光和产量差异, 以期为木薯高产栽培提供理论支撑。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

试验于 2020 年在江西省抚州市东乡区圩上桥镇国家木薯产业技术体系南昌综合试验站试验基地进行。紧凑型品种为华南 205 (SC205) 和桂热 4 号 (GR4), 株型直立, 植株无分叉、少分叉。伞型品种为华南 12 号 (SC12) 和华南 15 号 (SC15), 植株有 3~4 个分叉。试验设 4 个摘叶处理, 分别为保留 9、36、63、90 片完全叶, 以不摘叶处理为对照, 其中 90 片留叶数为以往试验拟合的最优叶片数, 按照 27 片叶逐步递减至 9 片叶。每处理选择 10 株生长一致的木薯, 3 次重复。自块根形成初期开始采摘叶片, 采摘植株下部叶片, 使木薯植株的保留叶片数达到设定值。0~60 d, 每 5 d 采摘 1 次; 60~130 d, 每 10 d 采摘 1 次, 至 10 月 27 日结束。木薯于 3 月 20 日种植, 11 月 30 日收获。一次性施用 1050 kg/hm<sup>2</sup> 复合肥 (15-15-15) 作基肥。种植规格 100 cm×80 cm, 其他管理同一般常规栽培。

### 1.2 指标测定

1.2.1 摘叶数 自 6 月 19 日开始摘叶, 记录各株木薯的留叶数和摘叶数, 每处理合计 30 株。

1.2.2 鲜薯产量及产量构成 于块根成熟期, 测定各处理所有木薯的单株鲜薯产量、单株薯数和收获指数。

1.2.3 快速光响应曲线 在块根膨大期 10 d (7 月 29 日)、40 d (8 月 28 日)、70 d (9 月 27 日) 和 100 d (10 月 27 日), 于晴天或多云天气的 8:00—12:00 和 14:00—18:00, 用德国 Walz 公司生产的 PAM-2500 便携式调制叶绿素荧光仪测定最小荧光产量 ( $F_0$ )、最大荧光产量 ( $F_m$ )、最大量子产量 ( $F_v/F_m$ )、实际光合量子产量 [Y(II)] 和光合电子传递速率 (ETR) 等荧光参数, 每处理选择 3 株代表性木薯植株, 选择上部倒数第 8 片完全展开叶的最中间裂叶, 依次设定光合有效辐射 (PAR) 分别为 0、105、257、443、740、1187、1769、2422、3422  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 。

### 1.3 数据处理

采用 Excel 2003 和 Dps v7.05 软件进行数据分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同品种的摘叶数和鲜薯产量分析

随着木薯留叶数的增加, 总摘叶数和不同时期的摘叶数随之下降 (表 1), 4 个木薯品种的变化趋势基本一致。随着生育时期的推进, 9 和 36 片留叶数处理的摘叶数随之先增后降, 在块根生长中期达到最高; 随着留叶数的增加, 总摘叶数随之下降, 9、36、63、90 片留叶数处理的平均值分别为 158.00、133.79、83.33、76.87 片。伞型品种的总摘叶数显著多于紧凑型品种, 2 种株型 9、36、63 和 90 片留叶数处理的平均值分别为 127.37、101.64、56.43、25.67 片和 188.64、165.94、110.24、128.08 片。

随着留叶数的增加, 木薯单株鲜薯产量随之增加 (表 2), 4 个品种的变化趋势一致, 9、36、63、90 片留叶数和 CK 处理的平均单株鲜薯产量分别为 0.94、2.22、2.65、2.91、3.35 kg。紧凑型品种的单株鲜薯产量高于伞型品种, 平均值分别为 2.62、

表 1 不同木薯品种留叶数处理的摘叶数  
Tab. 1 Cassava leaves in different varieties and leaf retention treatments

品种 Variety	留叶数 Remained leaves number	总摘叶数 Total number of leaves picked	苗期 Seedling stage	块根生长前期 Early tuber growth stage	块根生长中期 Middle tuber growth stage	块根生长后期 Late tuber growth stage
GR4	9	120.40 <sup>a</sup>	24.87 <sup>a</sup>	32.14 <sup>a</sup>	43.93 <sup>a</sup>	19.46 <sup>a</sup>
	36	84.20 <sup>b</sup>	0.47 <sup>b</sup>	22.93 <sup>a</sup>	41.13 <sup>a</sup>	19.67 <sup>a</sup>
	63	37.59 <sup>c</sup>			19.73 <sup>b</sup>	17.86 <sup>a</sup>
	90	5.47 <sup>d</sup>				5.47 <sup>b</sup>
SC205	9	134.33 <sup>a</sup>	31.53 <sup>a</sup>	34.53 <sup>a</sup>	50.20 <sup>a</sup>	18.07 <sup>a</sup>
	36	119.07 <sup>b</sup>	6.47 <sup>b</sup>	36.13 <sup>a</sup>	56.54 <sup>a</sup>	19.93 <sup>a</sup>
	63	75.26 <sup>c</sup>		7.73 <sup>b</sup>	49.60 <sup>a</sup>	17.93 <sup>a</sup>
	90	45.87 <sup>d</sup>			38.13 <sup>b</sup>	7.74 <sup>b</sup>
SC12	9	218.54 <sup>a</sup>	25.13 <sup>a</sup>	54.54 <sup>a</sup>	98.06 <sup>a</sup>	40.81 <sup>a</sup>
	36	162.00 <sup>b</sup>	0.40 <sup>b</sup>	34.27 <sup>b</sup>	85.59 <sup>a</sup>	41.74 <sup>a</sup>
	63	139.81 <sup>c</sup>		11.73 <sup>b</sup>	86.47 <sup>a</sup>	41.61 <sup>a</sup>
	90	126.41 <sup>c</sup>		2.27 <sup>c</sup>	73.46 <sup>b</sup>	50.68 <sup>a</sup>
SC15	9	158.74 <sup>a</sup>	30.47 <sup>a</sup>	41.93 <sup>a</sup>	60.07 <sup>ab</sup>	26.20 <sup>ab</sup>
	36	169.88 <sup>a</sup>	6.00 <sup>b</sup>	49.74 <sup>a</sup>	72.80 <sup>a</sup>	41.34 <sup>a</sup>
	63	80.66 <sup>b</sup>		9.80 <sup>b</sup>	43.93 <sup>b</sup>	26.93 <sup>b</sup>
	90	129.74 <sup>a</sup>		13.73 <sup>b</sup>	80.81 <sup>a</sup>	35.20 <sup>a</sup>

注：同品种同列数据后不同小写字母表示处理间差异显著 ( $P < 0.05$ )。

Note: Different lowercase letters after the same variety and column of data indicate significant difference ( $P < 0.05$ ).

表 2 不同木薯品种留叶数处理的鲜薯产量  
Tab. 2 Fresh tuber root yield of different cassava varieties and leaves retention treatments

品种 Variety	留叶数 Remained leaves number	单株薯数 Tuber root number per plant	单株鲜薯产量 Fresh tuber yield per plant/kg	单株茎叶鲜重 Fresh weight of stems and leaves per plant/kg	收获指数 Harvest index
GR4	9	10.26 <sup>b</sup>	1.12 <sup>b</sup>	1.01 <sup>b</sup>	0.52 <sup>b</sup>
	36	13.73 <sup>a</sup>	2.58 <sup>a</sup>	1.48 <sup>a</sup>	0.64 <sup>a</sup>
	63	14.00 <sup>a</sup>	3.04 <sup>a</sup>	1.63 <sup>a</sup>	0.65 <sup>a</sup>
	90	15.01 <sup>a</sup>	3.19 <sup>a</sup>	1.88 <sup>a</sup>	0.63 <sup>a</sup>
	CK	17.42 <sup>a</sup>	3.38 <sup>a</sup>	1.91 <sup>a</sup>	0.64 <sup>a</sup>
SC205	9	11.41 <sup>b</sup>	0.85 <sup>b</sup>	0.80 <sup>b</sup>	0.51 <sup>b</sup>
	36	14.59 <sup>a</sup>	2.44 <sup>a</sup>	1.66 <sup>a</sup>	0.60 <sup>a</sup>
	63	15.75 <sup>a</sup>	2.83 <sup>a</sup>	1.83 <sup>a</sup>	0.61 <sup>a</sup>
	90	15.56 <sup>a</sup>	3.16 <sup>a</sup>	1.93 <sup>a</sup>	0.62 <sup>a</sup>
	CK	16.41 <sup>a</sup>	3.57 <sup>a</sup>	1.67 <sup>a</sup>	0.68 <sup>a</sup>
SC12	9	11.04 <sup>b</sup>	0.87 <sup>b</sup>	1.12 <sup>b</sup>	0.44 <sup>b</sup>
	36	12.52 <sup>a</sup>	1.85 <sup>a</sup>	1.22 <sup>ab</sup>	0.60 <sup>a</sup>
	63	12.05 <sup>a</sup>	2.34 <sup>a</sup>	1.31 <sup>a</sup>	0.64 <sup>a</sup>
	90	12.76 <sup>a</sup>	2.71 <sup>a</sup>	1.67 <sup>a</sup>	0.62 <sup>a</sup>
	CK	11.67 <sup>ab</sup>	3.09 <sup>a</sup>	2.12 <sup>a</sup>	0.59 <sup>a</sup>
SC15	9	12.05 <sup>b</sup>	0.92 <sup>b</sup>	0.74 <sup>b</sup>	0.56 <sup>b</sup>
	36	13.71 <sup>a</sup>	2.02 <sup>a</sup>	1.19 <sup>a</sup>	0.63 <sup>a</sup>
	63	14.19 <sup>a</sup>	2.39 <sup>a</sup>	1.13 <sup>a</sup>	0.68 <sup>a</sup>
	90	14.52 <sup>a</sup>	2.58 <sup>a</sup>	1.22 <sup>a</sup>	0.68 <sup>a</sup>
	CK	13.97 <sup>a</sup>	3.37 <sup>a</sup>	1.47 <sup>a</sup>	0.70 <sup>a</sup>

注：同品种同列数据后不同小写字母表示处理间差异显著 ( $P < 0.05$ )。

Note: Different lowercase letters after the same variety and column of data indicate significant difference ( $P < 0.05$ ).

2.21 kg。紧凑型品种的薯数、单株茎叶鲜重大于伞型品种。9 片留叶数处理的收获指数、单株茎叶鲜重、单株鲜薯产量和单株薯数显著少于其他留叶数处理。随着留叶数的增加,单株薯数、单株茎叶鲜重和收获指数随之呈先增后降的趋势。相关分析表明,4 个品种的留叶数与单株鲜薯产量呈极显著正相关,SC205、GR4、SC12、SC15 的相关系数分别为 0.92<sup>\*\*</sup>、0.85<sup>\*\*</sup>、0.96<sup>\*\*</sup>、0.92<sup>\*\*</sup>。

## 2.2 不同时期功能叶叶绿素荧光分析

2.2.1 最小荧光产量 在木薯块根膨大期 10、70 和 100 d 时,紧凑型品种  $F_0$  的平均值略小于伞型品种,而在块根膨大期 40 d 时  $F_0$  平均值略大于伞型品种(表 3)。综合来看,紧凑型品种的  $F_0$  小于伞型品种,2 种株型品种分别为 0.219、0.231。随着留叶数的增加,SC12 在块根膨大期 10 d 时  $F_0$  随之增加,SC15 在块根膨大期 40 d 时随之增加,GR4 在块根膨大期 40 d 时  $F_0$  随之下降,SC12 和 SC15 在块根膨大期 100 d 时  $F_0$  随之呈先增后降的趋势。随着摘叶时间的递进,紧凑型品种 GR4 的

$F_0$  随之下降,其他 3 个品种随之呈先降后升的趋势。

2.2.2 最大荧光产量 在木薯 4 个摘叶时期,紧凑型品种的  $F_m$  的平均值均大于伞型品种,紧凑型、伞型品种的平均值分别为 0.885、0.838(表 4)。随着留叶数的增加,SC15 在块根膨大期 10 d 时  $F_m$  随之下降,SC205 在块根膨大期 40 d 时  $F_m$  下降,GR4 在块根膨大期 40 d 时  $F_m$  增加,SC12 和 SC15 在块根膨大期 100 d 时  $F_m$  呈先增后降的趋势。随着摘叶时期的递进,木薯功能叶的  $F_m$  随之呈下降的变化趋势。

2.2.3 最大量子产量 PSII 的最大光合量子产量,反映了样品的光合潜能。在块根膨大期第 10、40、70、100 天,紧凑型品种的  $F_v/F_m$  的平均值大于伞型品种,紧凑型、伞型品种的平均值分别为 0.739、0.707(表 5)。随着留叶数的增加,SC205 在块根膨大期 10 d 时  $F_v/F_m$  随之增加,SC15 在块根膨大期 70 d 时  $F_v/F_m$  下降,SC12 和 SC15 在块根膨大期 100 d 时  $F_v/F_m$  呈先增后降的趋势。随着摘叶时期的递进,木薯功能叶的  $F_v/F_m$  随之呈下降的

表 3 不同木薯品种留叶数处理的最小荧光产量

Tab. 3 Minimum fluorescence yield of different cassava varieties and leaves retention treatments

品种 Variety	留叶数 Remained leaves number	块根膨大期 10 d 10th day of tuber root expansion	块根膨大期 40 d 40th day of tuber root expansion	块根膨大期 70 d 70th day of tuber root expansion	块根膨大期 100 d 100th day of tuber root expansion
GR4	9	0.266 <sup>b</sup>	0.257 <sup>a</sup>	0.150 <sup>b</sup>	0.209 <sup>a</sup>
	36	0.247 <sup>b</sup>	0.240 <sup>a</sup>	0.219 <sup>a</sup>	0.200 <sup>a</sup>
	63	0.245 <sup>b</sup>	0.245 <sup>a</sup>	0.214 <sup>a</sup>	0.203 <sup>a</sup>
	90	0.310 <sup>a</sup>	0.234 <sup>a</sup>	0.217 <sup>a</sup>	0.205 <sup>a</sup>
	CK	0.248 <sup>b</sup>	0.237 <sup>a</sup>	0.219 <sup>a</sup>	0.201 <sup>a</sup>
SC205	9	0.212 <sup>b</sup>	0.206 <sup>a</sup>	0.204 <sup>b</sup>	0.201 <sup>b</sup>
	36	0.219 <sup>b</sup>	0.199 <sup>b</sup>	0.214 <sup>a</sup>	0.229 <sup>a</sup>
	63	0.214 <sup>b</sup>	0.199 <sup>b</sup>	0.214 <sup>a</sup>	0.211 <sup>a</sup>
	90	0.212 <sup>b</sup>	0.190 <sup>b</sup>	0.206 <sup>b</sup>	0.211 <sup>a</sup>
	CK	0.229 <sup>a</sup>	0.191 <sup>b</sup>	0.215 <sup>a</sup>	0.231 <sup>a</sup>
SC12	9	0.238 <sup>a</sup>	0.226 <sup>a</sup>	0.222 <sup>a</sup>	0.209 <sup>a</sup>
	36	0.243 <sup>a</sup>	0.219 <sup>a</sup>	0.206 <sup>a</sup>	0.214 <sup>a</sup>
	63	0.248 <sup>a</sup>	0.240 <sup>a</sup>	0.207 <sup>a</sup>	0.240 <sup>a</sup>
	90	0.301 <sup>a</sup>	0.224 <sup>a</sup>	0.212 <sup>a</sup>	0.227 <sup>a</sup>
	CK	0.310 <sup>a</sup>	0.229 <sup>a</sup>	0.206 <sup>a</sup>	0.219 <sup>a</sup>
SC15	9	0.241 <sup>a</sup>	0.199 <sup>b</sup>	0.211 <sup>b</sup>	0.222 <sup>a</sup>
	36	0.225 <sup>a</sup>	0.205 <sup>a</sup>	0.231 <sup>a</sup>	0.225 <sup>a</sup>
	63	0.230 <sup>a</sup>	0.208 <sup>a</sup>	0.231 <sup>a</sup>	0.236 <sup>a</sup>
	90	0.286 <sup>a</sup>	0.211 <sup>a</sup>	0.238 <sup>a</sup>	0.231 <sup>a</sup>
	CK	0.286 <sup>a</sup>	0.211 <sup>a</sup>	0.244 <sup>a</sup>	0.223 <sup>a</sup>

注:同品种同列数据后不同小写字母表示处理间差异显著( $P < 0.05$ )。

Note: Different lowercase letters after the same variety and column of data indicate significant difference ( $P < 0.05$ ).

表 4 不同木薯品种留叶数处理的最大荧光产量

Tab. 4 Maximum fluorescence yield of different cassava varieties and leaves retention treatments

品种 Variety	留叶数 Remained leaves number	块根膨大期 10 d 10th day of tuber root expansion	块根膨大期 40 d 40th day of tuber root expansion	块根膨大期 70 d 70th day of tuber root expansion	块根膨大期 100 d 100th day of tuber root expansion
GR4	9	1.325 <sup>a</sup>	0.860 <sup>a</sup>	0.931 <sup>a</sup>	0.616 <sup>a</sup>
	36	1.257 <sup>b</sup>	0.859 <sup>a</sup>	0.917 <sup>a</sup>	0.553 <sup>b</sup>
	63	1.267 <sup>b</sup>	0.828 <sup>ab</sup>	0.814 <sup>b</sup>	0.548 <sup>b</sup>
	90	1.297 <sup>b</sup>	0.818 <sup>ab</sup>	0.849 <sup>b</sup>	0.573 <sup>b</sup>
	CK	1.327 <sup>a</sup>	0.806 <sup>b</sup>	0.862 <sup>ab</sup>	0.502 <sup>b</sup>
SC205	9	1.150 <sup>a</sup>	0.844 <sup>a</sup>	0.755 <sup>b</sup>	0.709 <sup>b</sup>
	36	1.199 <sup>a</sup>	0.831 <sup>ab</sup>	0.822 <sup>a</sup>	0.760 <sup>a</sup>
	63	1.180 <sup>a</sup>	0.833 <sup>ab</sup>	0.809 <sup>ab</sup>	0.768 <sup>a</sup>
	90	1.157 <sup>a</sup>	0.802 <sup>b</sup>	0.828 <sup>ab</sup>	0.706 <sup>b</sup>
	CK	1.230 <sup>a</sup>	0.812 <sup>ab</sup>	0.799 <sup>ab</sup>	0.582 <sup>b</sup>
SC12	9	1.236 <sup>a</sup>	0.820 <sup>a</sup>	0.828 <sup>a</sup>	0.649 <sup>a</sup>
	36	1.302 <sup>a</sup>	0.820 <sup>a</sup>	0.862 <sup>a</sup>	0.618 <sup>a</sup>
	63	1.247 <sup>a</sup>	0.843 <sup>a</sup>	0.792 <sup>b</sup>	0.545 <sup>b</sup>
	90	1.207 <sup>a</sup>	0.759 <sup>b</sup>	0.751 <sup>b</sup>	0.465 <sup>b</sup>
	CK	1.261 <sup>a</sup>	0.822 <sup>a</sup>	0.787 <sup>b</sup>	0.544 <sup>b</sup>
SC15	9	1.178 <sup>a</sup>	0.662 <sup>b</sup>	0.758 <sup>b</sup>	0.701 <sup>a</sup>
	36	1.128 <sup>a</sup>	0.753 <sup>a</sup>	0.831 <sup>a</sup>	0.638 <sup>ab</sup>
	63	1.176 <sup>a</sup>	0.679 <sup>ab</sup>	0.815 <sup>ab</sup>	0.549 <sup>b</sup>
	90	1.118 <sup>a</sup>	0.817 <sup>a</sup>	0.786 <sup>b</sup>	0.507 <sup>b</sup>
	CK	1.147 <sup>a</sup>	0.756 <sup>a</sup>	0.779 <sup>b</sup>	0.602 <sup>b</sup>

注：同品种同列数据后不同小写字母表示处理间差异显著 ( $P < 0.05$ )。

Note: Different lowercase letters after the same variety and column of data indicate significant difference ( $P < 0.05$ ).

表 5 不同木薯品种留叶数处理的最大量子产量

Tab. 5 Maximum quantum yield of different cassava varieties and leaf retention treatments

品种 Variety	留叶数 Remained leaves number	块根膨大期 10 d 10th day of tuber root expansion	块根膨大期 40 d 40th day of tuber root expansion	块根膨大期 70 d 70th day of tuber root expansion	块根膨大期 100 d 100th day of tuber root expansion
GR4	9	0.799 <sup>b</sup>	0.701 <sup>b</sup>	0.841 <sup>a</sup>	0.660 <sup>a</sup>
	36	0.803 <sup>ab</sup>	0.720 <sup>a</sup>	0.760 <sup>b</sup>	0.634 <sup>a</sup>
	63	0.807 <sup>a</sup>	0.704 <sup>ab</sup>	0.738 <sup>b</sup>	0.628 <sup>b</sup>
	90	0.810 <sup>a</sup>	0.713 <sup>a</sup>	0.744 <sup>b</sup>	0.642 <sup>a</sup>
	CK	0.813 <sup>a</sup>	0.706 <sup>a</sup>	0.745 <sup>b</sup>	0.598 <sup>b</sup>
SC205	9	0.816 <sup>a</sup>	0.757 <sup>a</sup>	0.730 <sup>a</sup>	0.715 <sup>a</sup>
	36	0.817 <sup>a</sup>	0.760 <sup>a</sup>	0.740 <sup>a</sup>	0.695 <sup>ab</sup>
	63	0.818 <sup>a</sup>	0.760 <sup>a</sup>	0.736 <sup>a</sup>	0.723 <sup>a</sup>
	90	0.817 <sup>a</sup>	0.764 <sup>a</sup>	0.750 <sup>a</sup>	0.697 <sup>ab</sup>
	CK	0.813 <sup>a</sup>	0.764 <sup>a</sup>	0.731 <sup>a</sup>	0.597 <sup>b</sup>
SC12	9	0.807 <sup>a</sup>	0.724 <sup>a</sup>	0.729 <sup>a</sup>	0.678 <sup>a</sup>
	36	0.813 <sup>a</sup>	0.733 <sup>a</sup>	0.760 <sup>a</sup>	0.652 <sup>a</sup>
	63	0.801 <sup>a</sup>	0.715 <sup>a</sup>	0.737 <sup>a</sup>	0.594 <sup>a</sup>
	90	0.751 <sup>b</sup>	0.705 <sup>a</sup>	0.717 <sup>a</sup>	0.510 <sup>b</sup>
	CK	0.754 <sup>b</sup>	0.721 <sup>a</sup>	0.738 <sup>a</sup>	0.597 <sup>b</sup>
SC15	9	0.796 <sup>b</sup>	0.699 <sup>b</sup>	0.722 <sup>a</sup>	0.677 <sup>a</sup>
	36	0.801 <sup>ab</sup>	0.725 <sup>a</sup>	0.721 <sup>a</sup>	0.644 <sup>a</sup>
	63	0.804 <sup>a</sup>	0.678 <sup>b</sup>	0.715 <sup>a</sup>	0.568 <sup>b</sup>
	90	0.744 <sup>b</sup>	0.741 <sup>a</sup>	0.696 <sup>b</sup>	0.535 <sup>b</sup>
	CK	0.751 <sup>b</sup>	0.720 <sup>ab</sup>	0.687 <sup>b</sup>	0.625 <sup>ab</sup>

注：同品种同列数据后不同小写字母表示处理间差异显著 ( $P < 0.05$ )。

Note: Different lowercase letters after the same variety and column of data indicate significant difference ( $P < 0.05$ ).

变化趋势。

### 2.3 不同时期电子传递速率分析

2.3.1 块根膨大期 10 d PSII 的 ETR 是反映实际光强下的表观电子传递效率。木薯块根膨大期 10 天, 随着 PAR 的增加, 功能叶 ETR 随之呈先急剧升高、再平缓升高的趋势(图 1)。不同木薯品种的功能叶 ETR 变化曲线存在一定差异, 紧凑型品种 SC205、GR4 和伞型品种 SC12 的 ETR 较高,

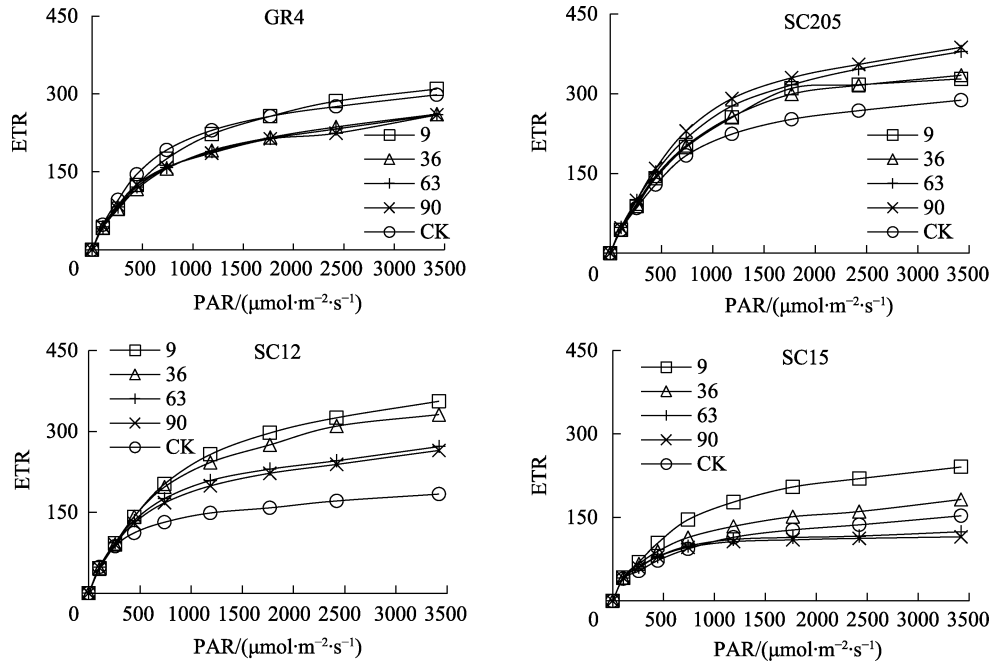


图 1 块根膨大期 10 d 的功能叶电子传递速率

Fig. 1 ETR of functional leaves on the 10th day of tuber root expansion

2.3.2 块根膨大期 40 d 块根膨大期 40 d, 随着 PAR 的增加, 功能叶 ETR 随之逐渐升高(图 2)。不同木薯品种的功能叶 ETR 变化曲线存在差异, 紧凑型品种 SC205 和伞型品种 SC12 的 ETR 较高, 紧凑型品种 GR4 和伞型品种 SC15 较低。同一品种不同留叶数处理的功能叶 ETR 变化趋势不同, 紧凑型品种 GR4 和伞型品种 SC12、SC15 以 9 片留叶数处理较高, 紧凑型品种 SC205 以 90 片留叶数处理较高。紧凑型品种 GR4、SC205 以 36 片留叶数处理的功能叶 ETR 较低, 伞型品种 SC12 以 CK 处理较低, 伞型品种 SC15 以 63 片留叶数处理较低。

2.3.3 块根膨大期 70 d 块根膨大期 70 d, 随着 PAR 的增加, 功能叶 ETR 随之先急剧升高、再平稳升高(图 3)。不同品种的功能叶 ETR 变化曲线存在差异, 紧凑型品种 GR4、伞型品种 SC12 的 ETR 较高, 紧凑型品种 SC205、伞型品种 SC15 较低。同一品种不同留叶数处理的功能叶 ETR 变

而伞型品种 SC15 的 ETR 较低。同一品种不同留叶数处理的功能叶 ETR 变化趋势不同, 紧凑型品种 GR4 和伞型品种 SC12、SC15 以 9 片留叶数处理的 ETR 较高, 紧凑型品种 SC205 以 90 片留叶数处理较高。紧凑型品种 GR4 以 36、63、90 片留叶数处理的 ETR 较低, 紧凑型品种 SC205 和伞型品种 SC12 以不摘叶处理较低, 伞型品种 SC15 以 63、90 片留叶数处理较低。

化趋势不同, GR4 和 SC12 以 CK 处理较高, SC205 以 90 片留叶数处理较高, SC15 以 9 片留叶数处理较高。紧凑型品种 GR4、SC205 分别以 63、9 片留叶数处理的 ETR 较低, 伞型品种 SC12 以 36 片留叶数处理较低, 伞型品种 SC15 以 90 片留叶数处理较低。

2.3.4 块根膨大期 100 d 块根膨大期 100 d, 随着 PAR 的增加, 功能叶 ETR 随之平缓升高(图 4)。不同品种的 ETR 变化曲线存在差异, 紧凑型品种 GR4、伞型品种 SC12 的 ETR 较高, SC205、SC15 较低。同一品种不同留叶数处理的 ETR 变化趋势不同, GR4 以 90 片留叶数处理较高, SC205、SC12 和 SC15 以 9 片留叶数处理较高。紧凑型品种 GR4 以 9、36、63 片留叶数和 CK 处理的 ETR 较低, 紧凑型品种 SC205 以 CK 处理较低, 伞型品种 SC12 以 90 片留叶数处理较低, 伞型品种 SC15 以 90 片留叶数和 CK 处理较低。

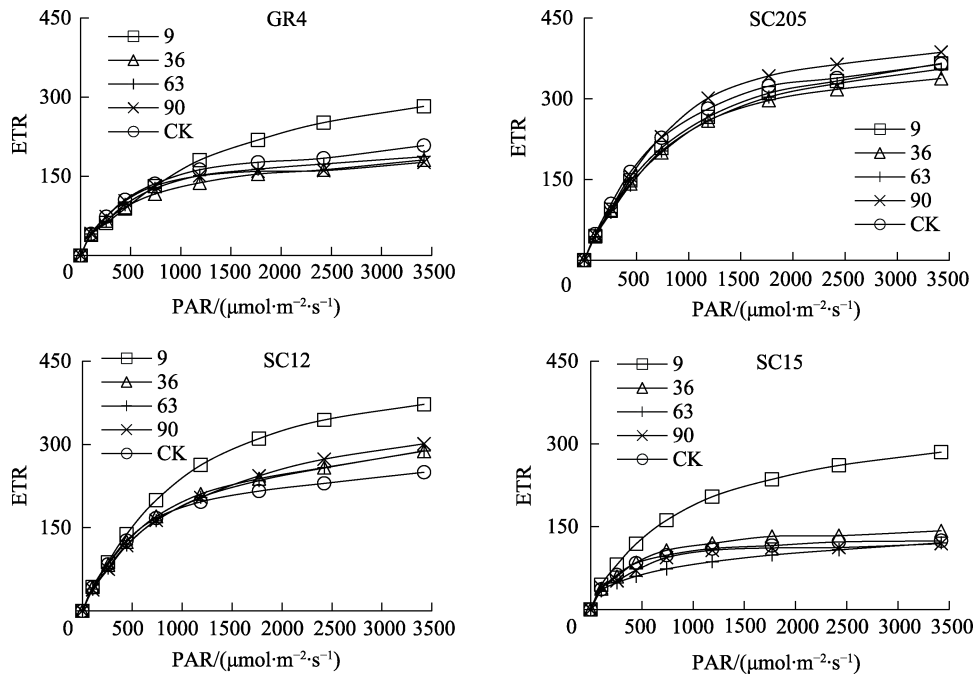


图 2 块根膨大期 40 d 的功能叶电子传递速率  
Fig. 2 ETR of functional leaves on the 40th day of tuber root expansion

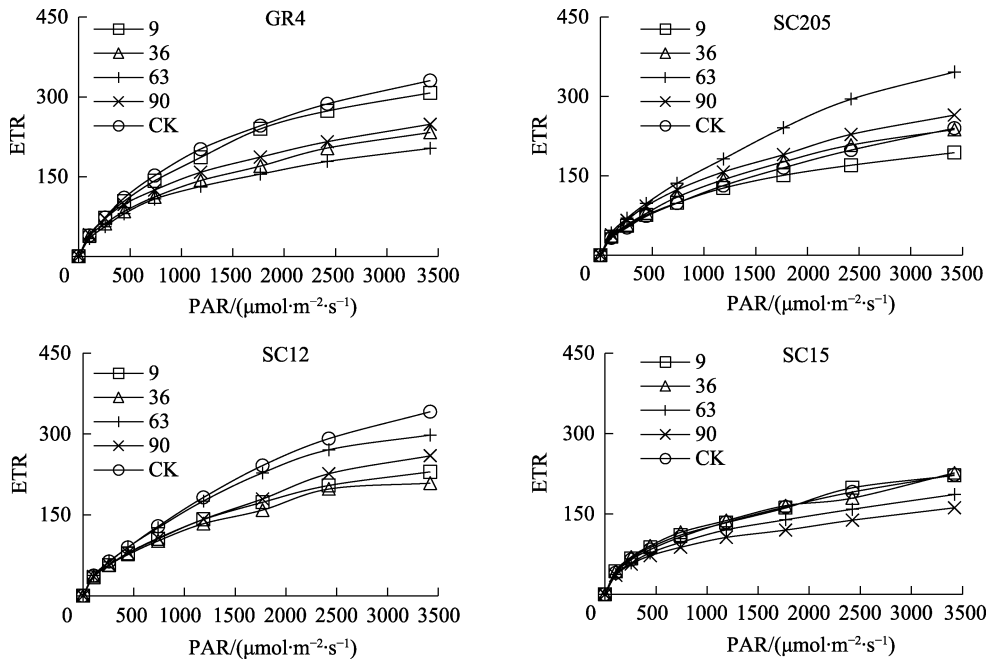


图 3 块根膨大期 70 d 的功能叶电子传递速率  
Fig. 3 ETR of functional leaves on the 70th day of tuber root expansion

2.4 光量子产量分析

2.4.1 块根膨大期 10 d Y(II)反映光下叶片的实际光能转化效率。块根膨大期 10 d, 随着 PAR 的增加, 不同株型不同品种功能叶 Y(II)随之先急剧下降、再平缓下降 (图 5)。不同株型木薯品种的功能叶 Y(II)变化曲线存在一定的差异, 紧凑型品种 SC205 的 Y(II)较高, SC15 较低。同一品种不

同留叶数处理的 Y(II)变化趋势不同, 紧凑型品种 GR4 以 CK 处理较高, SC205 以 90 片留叶数处理较高, 伞型品种 SC12 和 SC15 以 9 片留叶数处理较高。紧凑型品种 GR4 以 36、63、90 片留叶数处理的 Y(II)较低, 紧凑型品种 SC205 和伞型品种 SC12 以 CK 处理较低, 伞型品种 SC15 以 63、90 片留叶数处理较低。

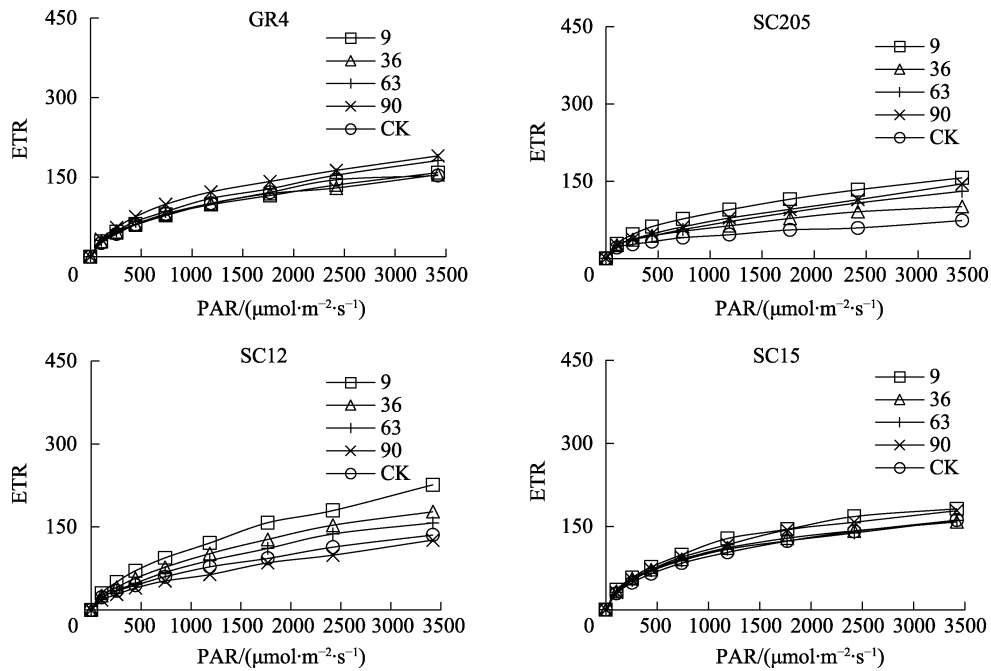


图 4 块根膨大期 100 d 的功能叶电子传递速率

Fig. 4 ETR of functional leaves on the 100th day of tuber root expansion

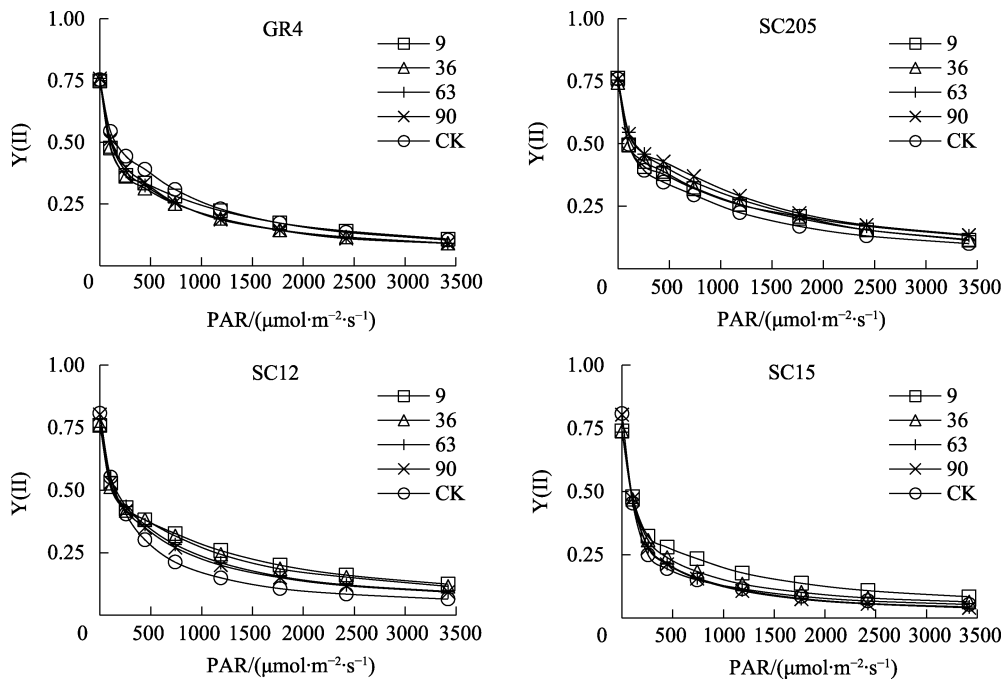


图 5 块根膨大期 10 d 的功能叶光量子产量

Fig. 5 Y(II) of functional leaves on the 10th day of tuber root expansion

2.4.2 块根膨大期 40 d 块根膨大期 40 d, 随着 PAR 的增加, 不同株型不同品种 Y(II) 随之先急剧下降、再平缓下降 (图 6)。不同木薯品种的 Y(II) 曲线变化存在一定的差异, 紧凑型品种 SC205 和伞型 SC12 的 Y(II) 较高, 紧凑型品种 GR4 和伞型 SC15 较低。同一品种不同留叶数的 Y(II) 变化趋势不同, GR4 在 PAR 为 0~500 时以 CK 处理较高,

在 PAR 为 500~3500 时以 9 片留叶数处理较高; SC205 在 PAR 为 0~500 时以 CK 处理较高, 在 PAR 为 500~3500 时以 90 片留叶数处理较高; SC12 和 SC15 以 9 片留叶数处理较高。紧凑型品种 GR4、SC205 以 36 片留叶数处理的 Y(II) 较低, 伞型品种 SC12 以 CK 处理较低, 伞型品种 SC15 以 63 片留叶数处理较低。

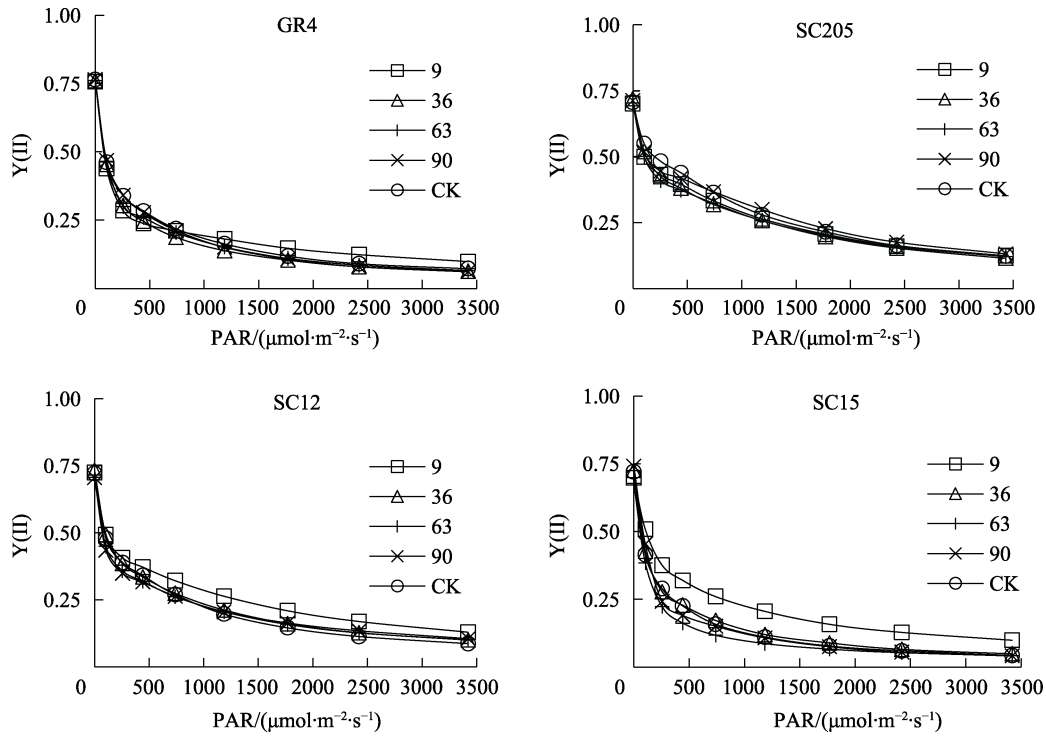


图 6 块根膨大期 40 d 的功能叶光量子产量

Fig. 6 Y(II) of functional leaves on the 40th day of tuber root expansion

2.4.3 块根膨大期 70 d 块根膨大期 70 d，随着 PAR 的增加，不同株型不同品种 Y(II)随之先急剧下降、再平缓下降(图 7)。紧凑型品种 GR4、SC205 的光量子产量较高，伞型 SC12、SC15 较低。同

一品种不同留叶数的 Y(II)变化趋势不同，GR4 以 9 片留叶数较高；SC205 以 90 片留叶数较高；SC12 以 63 片留叶数和 CK 处理较高，SC15 以 90 片留叶数处理较低。

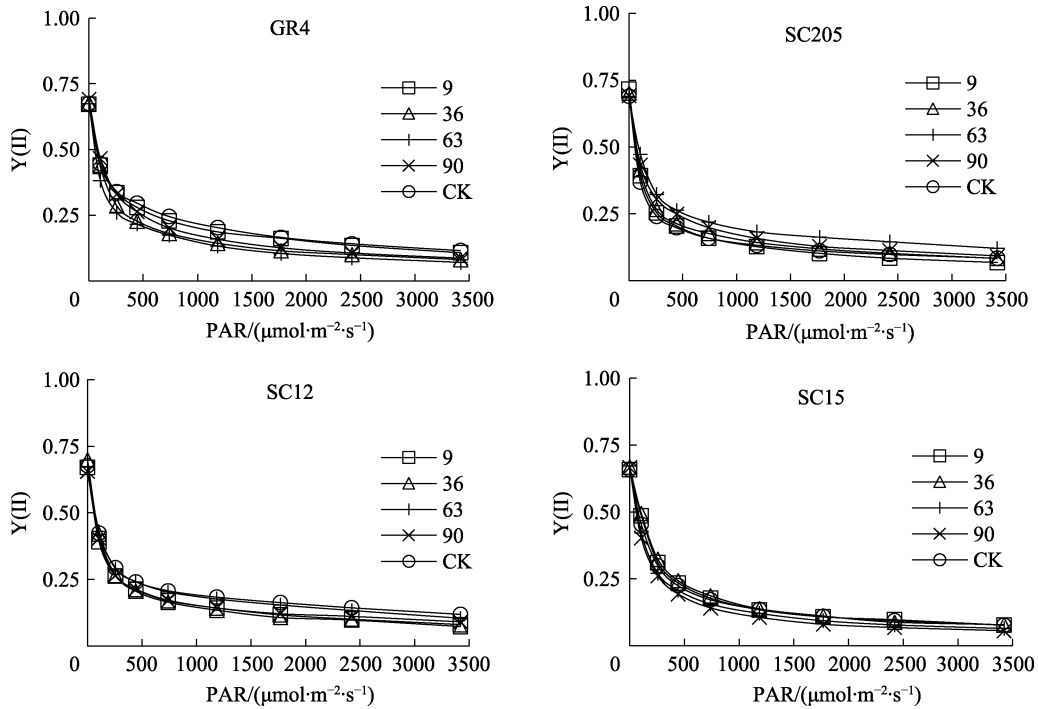


图 7 块根膨大期 70 d 的功能叶光量子产量

Fig. 7 Y(II) of functional leaves on the 70th day of tuber root expansion

2.4.4 块根膨大期 100 d 块根膨大期 100 d, 随着 PAR 的增加, 不同株型不同品种 Y(II)随之先急剧下降、再平缓下降(图 8)。不同木薯品种的 Y(II)曲线变化存在一定差异, 紧凑型品种 GR4 和伞型品种 SC15、SC12 的 Y(II)较高, 紧凑型 SC205 较小。同一品种不同留叶数的 Y(II)变化趋势不

同, GR4 以 90 片留叶数较高; SC205、SC12、SC15 以 9 片留叶数较高。紧凑型品种 GR4 以 9、36、63 片留叶数和 CK 处理的 Y(II)较低, 紧凑型品种 SC205 以 CK 处理较低, 伞型品种 90 片留叶数和 SC12 以 CK 处理较低, 伞型品种 SC15 以 CK 处理较低。

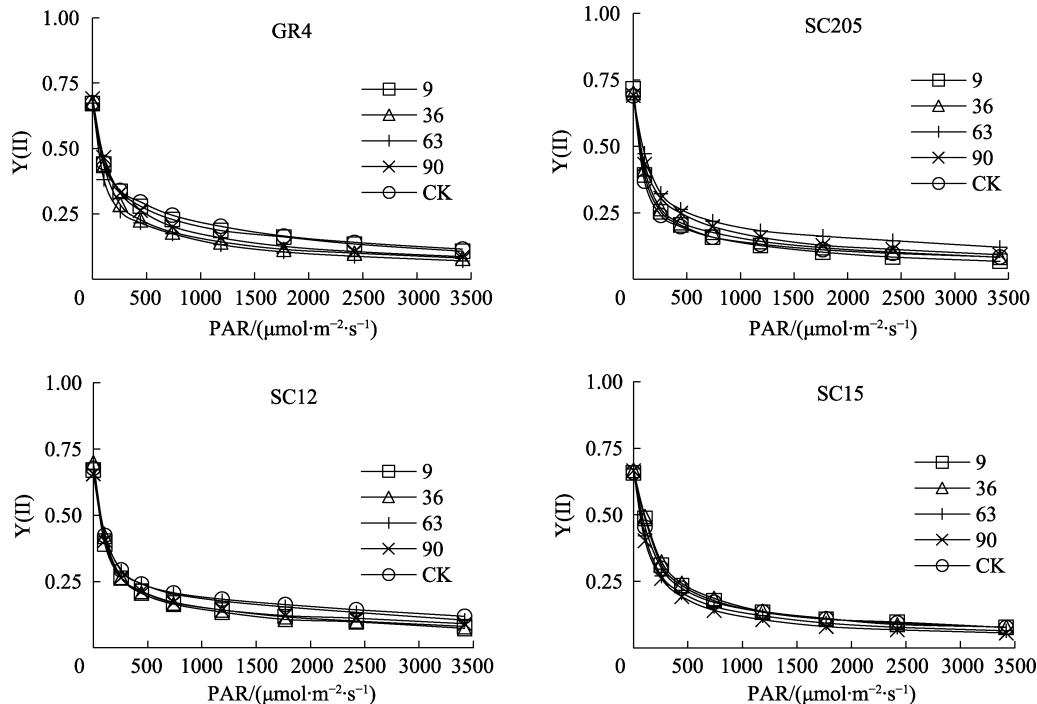


图 8 块根膨大期 100 d 的功能叶光量子产量

Fig. 8 Y(II) of functional leaves on the 100th day of tuber root expansion

### 3 讨论

木薯喜高温, 温度 18~20 °C 能生长正常, 最适宜生长温度为 25~29 °C, 在 14 °C 时生长缓慢, 10 °C 以下停止生长, 并受寒害<sup>[7]</sup>。光合作用是植物最基本的生理过程, 涉及光合色素、电子传递系统、光系统以及碳同化等诸多反应过程, 是植物进行能量储存的重要方式。栽培种木薯具有高光效特性, 对木薯块根高产量和淀粉积累具有十分重要的决定作用。功能叶片是木薯进行光合作用的重要场所, 是至关重要的“源”器官, 木薯功能叶片数的多少直接关系到“源”的大小, 并对“库”的数量和质量起着决定性作用。

高光合速率、优良的株型是木薯块根高产的决定因素<sup>[8]</sup>。前人就木薯光合作用进行了较多的研究。光系统 II 中的光合效率  $\Phi_{PSII}$  以 SC205>橡胶木薯>W14<sup>[9]</sup>。张振文等<sup>[10]</sup>研究认为, 木薯不同品种光合作用存在差异, SC5 的 CO<sub>2</sub> 补偿点最

低, 饱和点最高, 而 SC7 的光补偿点最高, 光饱和点最低。康亮<sup>[11]</sup>研究表明, 在木薯块根形成期和膨大期, SC205 的  $F_v/F_m$  显著高于 SC10, 在块根形成期, SC205 的 [Y(II)] 显著高于 SC10。低温胁迫后 PS II 反应中心的捕光能力、开放程度及光化学转化效率显著下降, 从而抑制叶片光合速率<sup>[12]</sup>。复盐胁迫后, 木薯幼苗净光合速率、蒸腾速率、气孔导度、胞间 CO<sub>2</sub> 浓度、水分利用效率及气孔限制值总体呈先升后降的趋势<sup>[13]</sup>。另有研究表明<sup>[14]</sup>, 不同木薯品种对光强的响应不一致, 在 25 °C 条件下, SC8、SC9 和 SC205 叶片的  $P_n$  值随着光强的增强而升高。本研究结果表明, 紧凑型品种的  $F_m$  和  $F_v/F_m$  大于伞型品种, 而  $F_0$  小于伞型品种。不同株型木薯品种的叶绿素荧光的变化趋势一致, 而不同留叶数处理的变化规律存在一定的差异。可见, 紧凑型品种的光合能力强于伞型品种, 表现为单株产量高于伞型品种。主要原因是木薯株

型直立, 不分叉, 通风透光性能好。木薯植株分叉后, 叶片随之变小, 叶片数增加, 可能会降低单一叶片的光合能力。本研究还表明, 随着 PAR 的增加, 功能叶 ETR 随之逐渐升高, Y(II)随之先急剧下降、再平缓下降。

马铃薯人工去顶和摘叶, 标记的新叶和功能叶叶绿素含量呈逐渐降低趋势, 块茎产量降低<sup>[15]</sup>。本研究表明, 随着留叶数的增加, 木薯鲜薯产量随之提高, 摘叶降低了木薯产量, 9 片留叶数处理的鲜薯产量显著降低。植物叶片叶绿素荧光与光合作用中光系统对光能的吸收、传递、耗散和分配等反应紧密相连, 各种因素对光合作用的影响都可通过叶绿素荧光参数的变化反映出来<sup>[16]</sup>。西瓜在逆境胁迫下, PS II 反应中心失活将严重影响光化学反应<sup>[17]</sup>。本研究表明, 随着摘叶时期的递进, 木薯功能叶  $F_0$ 、 $F_m$  和  $F_v/F_m$  随之呈下降趋势, ETR 和 Y(II)随之下降。主要原因是, 随着木薯生育时期的递进, 江西气温呈现由高至低的变化趋势。可见, 随着江西气温的降低, 木薯叶片的光合能力逐渐呈减弱趋势。光系统 II 是光合作用中对温度较为敏感的组分<sup>[18-19]</sup>。本研究表明, 木薯留叶数较少时, 植株通风透光条件好, 不同品种功能叶的 ETR 和 Y(II)提高。陈展宇等<sup>[20]</sup>研究发现, 人参去除部分叶片后, 存留叶片光合速率明显增加, 平均提高 8.1%。可见, 在留叶数较少时, 植株光合作用略有提高。

#### 4 结论

随着木薯留叶数的增加, 总摘叶数和不同时期的摘叶数随之下落, 单株鲜薯产量随之增加, 单株薯数、茎叶鲜重和收获指数随之呈先增后降的趋势。紧凑型品种的  $F_m$  和  $F_v/F_m$  大于伞型品种, 而  $F_0$  小于伞型品种。随着摘叶时期的递进, 功能叶  $F_0$ 、 $F_m$  和  $F_v/F_m$  随之呈下降趋势, ETR 和 Y(II)随之下落。随着 PAR 的增加, 功能叶 ETR 随之逐渐升高, Y(II)随之先急剧下降、再平缓下降。不同株型木薯品种的叶绿素荧光变化趋势一致, 而不同留叶数处理的变化规律存在差异。木薯植株留叶数较少时, 功能叶的 ETR 和 Y(II)提高。

#### 参考文献

[1] 林洪鑫, 袁展汽, 张志华, 肖运萍, 汪瑞清, 吕丰娟. 摘叶对不同株型木薯品种产量和氮磷钾素积累分配的影响[J].

植物营养与肥料学报, 2021, 27(10): 1829-1848.

LIN H X, YUAN Z Q, ZHANG Z H, XIAO Y P, WANG R Q, LYU F J. Effects of foliage removal on tuber yield and NPK accumulation and distribution in different cassava types and cultivars[J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizers, 2021, 27(10): 1829-1848. (in Chinese)

[2] 刘倩, 段春芳, 李月仙, 姜予强, 严炜, 张林辉, 李亚男, 刘光华. 不同叶片采摘量及采摘时间对华南 205 木薯主要生长性状的影响[J]. 云南农业大学学报(自然科学), 2017, 32(5): 873-878.

LIU Q, DUAN C F, LI Y X, LOU Y Q, YAN W, ZHANG L H, LI Y N, LIU G H. Effects of different leaves-picking amount and picking interval time on SC205 cassava growth traits[J]. Journal of Yunnan Agricultural University (Natural Science), 2017, 32(5): 873-878. (in Chinese)

[3] 张光勇, 杜浩, 孙寅虎, 李宗锴, 高梅, 邓成菊, 刘学敏, 杨绍琼, 陈伟强. 源库关系调控对木薯主要农艺性状的影响[J]. 热带农业科学, 2019, 39(4): 12-15, 20.

ZHANG G Y, DU H, SUN Y H, LI Z K, GAO M, DENG C J, LIU X M, YANG S Q, CHEN W Q. Effects of source-sink relationship regulation on main agronomic traits of cassava (*Manihot esculenta* Crantz)[J]. Chinese Journal of Tropical Agriculture, 2019, 39(4): 12-15, 20. (in Chinese)

[4] LIU T N, GU L M, DONG S T, ZHANG J W, LIU P, ZHAO B. Optimum leaf removal increases canopy apparent photosynthesis, <sup>13</sup>C-photosynthate distribution and grain yield of maize crops grown at high density[J]. Field Crops Research, 2015, 170(1): 32-39.

[5] 沙建川, 王芬, 贾志航, 刘照霞, 邢玥, 葛顺峰, 姜远茂. 叶果比和摘叶方式对苹果 <sup>13</sup>C 同化物向果实转运及果实品质的影响[J]. 植物生理学报, 2020, 56(1): 93-100.

SHA J C, WANG F, JIA Z H, LIU Z X, XING Y, GE S F, JIANG Y M. Effect of leaf-fruit ratio and leaf-picking methods on translocation of <sup>13</sup>C-photoassimilates to fruit and fruit quality in apple[J]. Plant Physiology Journal, 2020, 56(1): 93-100. (in Chinese)

[6] RAZA M A, FENG L Y, WERF W V, LQBAL N, KHALID M B, CHEN K Y, WASAYA A, AHMED S, DIN A M, KHAN A, AHMED S, YANG F, YANG W Y. Maize leaf-removal: a new agronomic approach to increase dry matter, flower number and seed-yield of soybean in maize soybean relay intercropping system[J]. Scientificreports, 2019, 9(1): 13453.

[7] 中国热带农业科学院, 华南热带农业大学. 中国热带作物栽培学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1998.

Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, South China Tropical Agricultural University. Tropical crop cultivation in China[M]. Beijing: China Agricultural Press, 1998. (in Chinese)

- [8] 张振文, 李开绵, 叶剑秋, 许瑞丽. 木薯光合作用特性研究[J]. 云南大学学报(自然科学版), 2007, 29(6): 628-632.  
ZHANG Z W, LI K M, YE J Q, XU R L. The study on photosynthetic characteristic of cassava[J]. Journal of Yunnan University (Natural Science), 2007, 29(6): 628-632. (in Chinese)
- [9] 安飞飞, 陈霆, 杨龙, 陈松笔. 木薯叶片显微结构及叶绿素荧光参数比较[J]. 生物技术通报, 2018, 34(1): 104-109.  
AN F F, CHEN T, YANG L, CHEN S B. Comparison on microstructure and chlorophyll fluorescence parameter in cassava [J]. Biotechnology Bulletin, 2018, 34(1): 104-109. (in Chinese)
- [10] 张振文, 郑永清, 叶剑秋, 李开绵. 木薯叶片光合特性研究[J]. 西南农业学报, 2009, 22(2): 300-303.  
ZHANG Z W, ZHENG Y Q, YE J Q, LI K M. Study on photosynthetic characteristic for cassava leaves[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2009, 22(2): 300-303. (in Chinese)
- [11] 康亮. 不同氮效率木薯根系生长、光合作用及转录组分析[D]. 南宁: 广西大学, 2019.  
KANG L. The root growth, photosynthesis and transcriptome analyses of two cassavas with different nitrogen efficiency[D]. Nanning: Guangxi University, 2019. (in Chinese)
- [12] 安飞飞, 李庚虎, 陈霆, 李开绵. 低温胁迫对木薯叶片叶绿素荧光参数及 PS II 相关蛋白表达水平的影响[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2014, 40(2): 148-152.  
AN F F, LI G H, CHEN T, LI K M. Influence of low temperature stress on chlorophyll fluorescence parameters and expression levels of proteins in PS II of cassava[J]. Journal of Hunan Agricultural University (Natural Sciences Edition), 2014, 40(2): 148-152. (in Chinese)
- [13] 孟富宣, 段元杰, 杨玉皎, 刘光华, 刘海刚. 复盐胁迫对木薯幼苗光合特性及抗氧化酶活性的影响[J]. 中国农学通报, 2019, 35(1): 34-39.  
MENG F X, DUAN Y J, YANG Y J, LIU G H, LIU H G. Effects of mixed saline stress on photosynthetic characteristics and antioxidant enzymes activity of cassava seedlings[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2019, 35(1): 34-39. (in Chinese)
- [14] 张振文, 黎良贤, 简纯平, 陈松笔, 李开绵. 不同温度对不同木薯品种盆栽苗叶片光合特性的影响[J]. 热带作物学报, 2015, 36(1): 103-109.  
ZHANG Z W, LI L X, JIAN C P, CHEN S B, LI K M. Photosynthetic characteristic of temperature response for cassava seeding leaf[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2015, 36(1): 103-109. (in Chinese)
- [15] 何天久, 吴巧玉, 夏锦慧. 源库比改变对马铃薯产量的影响[J]. 江苏农业科学, 2015, 43(8): 103-105.  
HE T J, WU Q Y, XIA J H. Effect of source sink ratio on potato yield[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2015, 43(8): 103-105. (in Chinese)
- [16] ROHACKE K, BARTAK M. Technique of the modulated chlorophyll fluorescence: Basic concepts, useful Parameters, and some application[J]. Photosynthetica, 1999, 37(3): 339-363.
- [17] 刘慧英, 朱祝军, 史庆华. 低温胁迫下嫁接对西瓜光合特性及叶绿素荧光参数影响的研究[J]. 石河子大学学报(自然科学版), 2007, 25(2): 163-167.  
LIU H Y, ZHU Z J, SHI Q H. Effects of low temperature stress on characteristics of photosynthesis in leaves of own-rooted and grafted watermelon seedling[J]. Journal of Shihezi University (Natural Science), 2007, 25(2): 163-167. (in Chinese)
- [18] TEWARI A K, TRIPATHY B C. Acclimation of chlorophyll bio-synthetic reactions to temperature stress in cucumber (*Cucumis sativus* L.)[J]. Planta, 1999, 208: 431-437.
- [19] TEWARI A K, TRIPATHY B C. Temperature-stress-induced impairment of chlorophyll biosynthetic reactions in cucumber and wheat[J]. Plant Physiology, 1998, 117: 851-858.
- [20] 陈展宇, 张美善, 张治安, 徐克章. 人参去叶对存留叶片光合作用及物质生产日变化的影响[J]. 吉林农业大学学报, 2005, 27(5): 478-480, 485.  
CHEN Z Y, ZHANG M S, ZHANG Z A, XU K Z. Effects of removing leaves on diurnal changes of photosynthesis and mass production of remainder leaves of *Panax ginseng*[J]. Journal of Jilin Agricultural University, 2005, 27(5): 478-480, 485. (in Chinese)