

引种茶树品种光合、荧光特性的比较研究

袁祖丽¹, 孙晓楠¹, 冯松田², 翟永杰²

(1. 河南农业大学 生命科学学院, 河南 郑州 450002; 2. 桐柏茶树良种场, 河南 桐柏 474750)

摘要: 对平阳特早、乌牛早、龙井长叶、龙井43、白毫早、碧香早、安吉白、祁兰8个引进品种的4a生无性系茶树的光合特性、荧光特性进行了比较研究,旨在为河南茶区筛选出优良的茶树栽培品种。结果表明,平阳特早的叶绿素a、叶绿素b、总叶绿素含量明显高于其他品种,适合制作名优绿茶;碧香早、祁兰净具有最高的净光合速率(P_n),PS II最大光化学效率(F_v/F_m)、PS II电子传递速率(F_v/F_o)、PS II实际光化学效率(Φ_{PSII})、表现电子传递速率(ETR);龙井43最耐旱,平阳特早耐旱性最差。

关键词: 茶树; 品种; 光合特性; 荧光特性

中图分类号: S571.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-3268(2010)07-0026-05

Comparative Study on Photosynthetic Characteristics and Fluorescent Characteristics among Introduced Tea Varieties

YUAN Zu-li¹, SUN Xiao-nan¹, FENG Song-tian², ZHAI Yong-jie²

(1. College of Life Science, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China;

2. Tea Varieties Multiplication Farm of Tongbai Country, Tongbai 474750, China)

Abstract: Using portable photosynthetic meter and luminoscope, we measured photosynthetic and fluorescence parameter of eight introduced tea cultivars. The eight tea cultivars were Pingyangtezao, Wuniuzao, Longjingchangye, Longjing 43, Baihaozao, Bixiangzao, Anjibao, Qilan in Tongbai county. The results showed that chlorophyll a, chlorophyll b and total chlorophyll content of Pingyangtezao were the highest among 8 introduced varieties, thus it will be suitable for making high quality green tea. Baihaozao and Qilan had higher potentialities of photosynthesis, such as P_n , F_v/F_m , F_v/F_o , Φ_{PSII} and ETR . Longjing 43 had higher drought resistance, but Pingyangtezao had the lowest drought resistance. This research provided the scientific proofs for introducing tea and cultivating plant in Tongbai area.

Key words: Tea plant; Varieties; Photosynthetic characteristics; Fluorescent characteristics

中国是茶叶生产和消费大国,2008年茶叶总产量达到120万t。茶树是豫南的重要经济作物,在豫南茶产业发展中,高产、优质新品种的选育和推广起到了重要作用。引入优良品种直接利用,是提高茶叶产量和品质的重要途径。然而,每个品种的表

现型除了受限于该品种遗传基因,还与栽培环境密切相关。豫南是茶树分布的北缘,与这些品种的培育地南方茶区相比,存在冬季气温低、干旱、空气湿度小、土壤pH值高等特点。不同品种具有区域性,对光照、土壤、温度、大气、水分等环境条件有特

收稿日期: 2010-04-01

基金项目: 河南农业大学引进人才科研启动基金(2006009)

作者简介: 袁祖丽(1963-),女,河南南阳人,副教授,博士,主要从事茶树栽培、污染生态方面的研究。

E-mail: zuliyan@yahoo.com.cn

定的要求,只有在特定的范围内才能表现出最高的光合效率和最佳的品质,而且不同品种间在光合特性上存在着比较明显并且稳定的遗传差异^[1-3]。茶树光合作用是茶树积蓄能量和形成有机物的过程,也是茶叶产量和品质形成的基础。茶叶的品质成分如茶多酚、咖啡碱、茶氨酸、茶多糖等都是光合作用的产物和其衍生物。因此,茶树光合作用对茶叶的产量和品质起着决定性作用^[6-8]。叶绿素作为光合色素中重要的色素分子,参与光能的吸收、传递和转化,在光合作用中占有极为重要的地位。同时,叶绿素是绿茶干茶和叶底色泽的主要物质^[9],对于绿茶的品质形成具有重要作用。叶绿素含量既受遗传因素制约(品种种性),又受生态环境影响。关于品种、生态因子、季节等因素对茶树光合作用的影响研究有大量报道^[10-16]。在引种试验中,茶树光合生理特性可作为评价茶树生产力和适应性的重要指标^[17]。因此,以桐柏地区引入的一批浙江、福建等地优良茶树品种为材料,对不同品种叶绿素含量、光合参数、荧光参数进行分析,以期筛选适合河南茶区栽培的品种提供科学依据和实践指导。

1 材料和方法

1.1 试验材料

供试材料取自桐柏茶树良种场(位于河南省桐柏县,113°32'E,32°37'N)。该地年平均气温 15℃,平均年降雨量在 1168 mm 左右,无霜期 231 d,年日照时数为 2027 h。土壤类型为黄棕壤,含全氮 0.82 g/kg,有机物 38.4 g/kg,土壤 pH 值为 6.0。供试品种为 2004 年 10 月从浙江、福建省引进的平阳特早、乌牛早、龙井长叶、龙井 43、白毫早、碧香早、安吉白、祁兰 8 个茶树良种,树龄 4 a。

1.2 测定项目与方法

1.2.1 光合色素含量的测定 采用分光光度法^[18]测定光合色素含量。将样品叶用清水冲洗干净、擦干,取剪碎的新鲜叶片 0.5 g 放入研钵中,加少量石英砂及 96%乙醇,研磨成匀浆,再加 5 mL 乙醇继续研磨至组织变白,过滤到 25 mL 容量瓶中,定容。以 96%乙醇作对照,在波长 665 nm、649 nm 和 470 nm 下测定吸光度。叶绿素 a 质量浓度(mg/L): $C_a = 13.95A_{665} - 6.88A_{649}$;叶绿素 b 质量浓度(mg/L): $C_b = 24.96A_{649} - 7.32A_{665}$;类胡萝卜素质量浓度(mg/L): $C_{xc} = (1000A_{470} - 2.05C_a - 114.8C_b)/245$; A_{665} 、 A_{649} 和 A_{470} 分别是叶绿体色素提取液在波长 665 nm、649 nm 和 470 nm 下的吸光度。然后经计算,转化

为叶片鲜质量含量(mg/g)进行分析。

1.2.2 光合特性的测定 采用美国 LI-COR 公司生产的 LI-6400 便携式光合系统测定各项光合生理指标,包括净光合速率(P_n)、蒸腾速率(Tr)、气孔导度(G_s)、胞间 CO_2 浓度(C_i),并计算水分利用效率(WUE)。测定时间为 14:00—16:00,气温 32℃左右,测定部位为形态学上端向下的第四成熟叶。

1.2.3 荧光特性的测定 用 FMS-2 型脉冲调制式叶绿素荧光分析仪(英国 Hansatech 公司生产)测定荧光参数。测定部位为形态学上端向下的第四成熟叶,进行叶英暗处理 15 min 后,测定叶片可变荧光(F_v)、初始荧光(F_o)、光适应后最大荧光(F'_m)、表观电子传递速率(ETR)和最大荧光(F_m)值,并按公式计算出:PS II 最大光化学效率 $F_v/F_m = (F_m - F_o)/F_m$; PS II 实际光化学效率 $\Phi_{sII} = (F'_m - F_s)/F'_m$;光化学荧光猝灭系数 $q_p = (F'_m - F_s)/(F'_m - F_o)$; PS II 电子传递速率 $F_v/F_o = (F_m - F_o)/F_o$ 。

以上每个测定项目重复 5 次,取其平均值。测定时间为 2008 年 8 月 6 日。

1.3 数据处理

图表绘制及数据处理在 Excel 软件下完成,用 DPS v7.05 统计软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同茶树品种成熟叶片光合色素含量的比较

不同品种茶树成熟叶片的叶绿素含量差异见表 1。叶绿素 a 含量最高的是平阳特早,为 0.9401 mg/g,含量最低的是乌牛早,为 0.5726 mg/g。乌牛早比平阳特早低 39.09%。除白毫早和安吉白之间差异不显著外,其他各品种间叶绿素 a 含量差异极显著。叶绿素 a 含量由高到低的顺序为:平阳特早>祁兰>龙井长叶>白毫早>安吉白>龙井 43>碧香早>乌牛早。叶绿素 b 含量最高的品种是平阳特早,为 0.4507 mg/g,碧香早含量最低,为 0.2221 mg/g,碧香早比平阳特早少 50.72%;叶绿素 b 含量由高到低的顺序为:平阳特早>祁兰>乌牛早>龙井长叶>白毫早>安吉白>龙井 43>碧香早。总叶绿素含量最高为平阳特早(1.3908 mg/g),最低为乌牛早(0.8934 mg/g),乌牛早比平阳特早低 35.76%。除白毫早和安吉白之间差异不显著外,其他各品种间差异极显著。总叶绿素含量由高到低的顺序为:平阳特早>祁兰>龙井长叶>白毫早>安吉白>龙井 43>碧香早>乌牛早,与叶绿素 a 含量排序一致。类胡萝卜素含量最高的为龙井长叶

(0.2716 mg/g), 碧香早的含量最低, 为 0.2161 mg/g, 碧香早的含量比龙井长叶少 20.43%; 各品种中类胡萝卜素含量由高到低的顺序为龙井长叶> 祁兰>

白毫早> 平阳特早> 龙井 43> 安吉白> 乌牛早> 碧香早。其中, 龙井长叶的类胡萝卜素含量极显著高于其他品种。

表 1 不同供试茶树品种成熟叶片光合色素含量 mg/g

品种	叶绿素 a	叶绿素 b	总叶绿素	类胡萝卜素
乌牛早	0.5726±0.0048gG	0.3208±0.0054cC	0.8934±0.0080eE	0.2167±0.0034eD
龙井 43	0.7075±0.0055eE	0.2369±0.0012eEF	0.9444±0.0067fF	0.2317±0.0019dC
龙井长叶	0.8342±0.0046cC	0.3070±0.0032cC	1.1412±0.0078cC	0.2716±0.0010aA
白毫早	0.7438±0.0045dD	0.2662±0.0037dD	1.0100±0.0072dD	0.2498±0.0018bcB
平阳特早	0.9401±0.0052aA	0.4507±0.0061aA	1.3908±0.0113aA	0.2483±0.0015cB
安吉白	0.7406±0.0077dD	0.2569±0.0089DE	0.9975±0.0016dD	0.2316±0.0064dC
祁兰	0.9041±0.0030bB	0.3938±0.0044bB	1.2979±0.0074bB	0.2577±0.0001bB
碧香早	0.6732±0.0045fF	0.2221±0.0024eF	0.8953±0.0065fF	0.2161±0.0017eD

注: 同列不同大、小写字母分别表示差异达极显著、显著水平。下同

2.2 不同品种光合特性的比较

2.2.1 净光合速率(*Pn*)和蒸腾速率(*Tr*) 净光合速率以碧香早的为最大(表 2), 达 9.437 μmol/(m²·s), 龙井 43 最小, 为 4.312 μmol/(m²·s), 龙井 43 的净光合速率比碧香早的小 54.31%。各品种净光合速率由大到小的顺序为: 碧香早> 祁兰> 白毫早> 安吉白> 平阳特早> 龙井长叶> 乌牛早> 龙井 43。其中, 碧香早净光合速率显著大于其他 7 个品种, 祁兰、白毫早、安吉白和平阳特早 4 个品种之间差异不显著, 龙井长叶、乌牛早和龙井 43 之间的三者间差异不显著, 但极显著低于其他 5 个品种。

蒸腾速率反映的是茶树单位叶面积瞬间的耗水量。由蒸腾速率的差异可推知不同品种的耗水潜力大小, 耗水量大的品种容易引起土壤干旱^[7]。蒸腾速率以碧香早最大, 为 3.152 mmol/(m²·s), 蒸腾速率最小的品种是龙井 43, 为 1.658 mmol/(m²·s), 龙井 43 的蒸腾速率比碧香早小 47.48%。不同品种蒸腾速率由大到小的顺序为: 碧香早> 平阳特早> 白毫早> 祁兰> 安吉白> 龙井长叶> 乌牛早> 龙井 43。从表 2 可知, 碧香早、白毫早、祁兰等净光合速率较大的品种, 其蒸腾速率也大, 而龙井长叶、乌牛早和龙井 43 等净光合速率小的品种, 其蒸腾速率也小, 这与须海荣等^[19]的研究一致。蒸腾速率排列顺序与净光合速率的顺序不完全相同, 表明不同品种的净光合速率和蒸腾速率不一致, 这为筛选高光合速率、低耗水量的茶树品种提供了依据^[17]。

2.2.2 气孔导度(*Gs*) 气孔是 CO₂ 进入植物体、水蒸气逸出植物体的通道, 气孔的闭合程度直接影响茶树光合作用和蒸腾作用, 还关系到茶树的水分消耗和

产量形成^[7]。由表 2 可知, 8 个品种中, 气孔导度最大的是平阳特早, 为 0.284 mol/(m²·s), 极显著高于其他品种, 最小的是龙井 43, 为 0.100 mol/(m²·s), 龙井 43 的气孔导度比平阳特早的低 64.79%。8 个品种气孔导度由大到小顺序为: 平阳特早> 白毫早> 碧香早> 安吉白> 祁兰> 龙井长叶> 乌牛早> 龙井 43。

2.2.3 胞间 CO₂ 浓度(*Ci*) 胞间 CO₂ 浓度是反映大气输入和细胞光合利用、光呼吸的 CO₂ 动态平衡瞬间浓度^[17]。胞间 CO₂ 浓度最大的是平阳特早, 为 307.33 μmol/mol, 最小的是祁兰, 为 224.67 μmol/mol, 祁兰的胞间 CO₂ 浓度比平阳特早低 26.90%。胞间 CO₂ 浓度由大到小的顺序为: 平阳特早> 龙井长叶> 白毫早> 乌牛早> 龙井 43> 碧香早> 安吉白> 祁兰, 其中龙井长叶、白毫早、乌牛早、龙井 43 之间差异不显著。

2.2.4 水分利用率(*WUE*) 生产实践中, 通常将植物消耗单位数量的水分所生产的干物质质量定义为水分利用效率, 其生理意义上定义为叶片净光合速率与蒸腾速率的比值, 它能准确反映植物叶片的瞬间或短期反应行为^[20]。所测试的 8 个品种的水分利用率差异较明显(表 2), 以祁兰的水分利用率最大, 为 3.843 mmol/mol, 平阳特早最小, 为 2.042 mmol/mol, 平阳特早水分利用率比祁兰的低 46.86%, 这可能与平阳特早的气孔导度最大有关。水分利用率由大到小顺序为: 祁兰> 安吉白> 碧香早> 龙井 43> 白毫早> 龙井长叶> 乌牛早> 平阳特早。其顺序与净光合速率相比有较大差异。品种间水分利用率的差异表明消耗等量水分条件下, 各品种能够固定 CO₂ 的量有一定差异^[17]。

表 2 不同供试茶树品种光合特性

品种	$Pn / (\mu\text{mol} / (\text{m}^2 \cdot \text{s}))$	$Tr / (\text{mmol} / (\text{m}^2 \cdot \text{s}))$	$G_s / (\text{mol} / (\text{m}^2 \cdot \text{s}))$	$C_i / (\mu\text{mol} / \text{mol})$	$WUE / (\text{mmol} / \text{mol})$
乌牛早	$4.332 \pm 0.2236\text{cC}$	$2.163 \pm 0.2501\text{abAB}$	$0.104 \pm 0.0167\text{cC}$	$277.33 \pm 9.233\text{abcAB}$	$2.180 \pm 0.3621\text{cB}$
龙井 43	$4.312 \pm 0.5562\text{cC}$	$1.658 \pm 0.3178\text{bB}$	$0.100 \pm 0.0225\text{cC}$	$268.50 \pm 21.670\text{bcABC}$	$3.085 \pm 0.5913\text{abcAB}$
龙井长叶	$4.945 \pm 0.3929\text{cC}$	$2.175 \pm 0.0737\text{abAB}$	$0.105 \pm 0.0114\text{cC}$	$279.83 \pm 4.593\text{abAB}$	$2.567 \pm 0.5279\text{bcAB}$
白毫早	$7.680 \pm 0.5898\text{bAB}$	$2.837 \pm 0.2084\text{aAB}$	$0.184 \pm 0.0182\text{bB}$	$278.17 \pm 10.910\text{abcAB}$	$2.783 \pm 0.3156\text{abcAB}$
平阳特早	$7.280 \pm 0.7018\text{bB}$	$3.105 \pm 0.2899\text{aA}$	$0.284 \pm 0.0256\text{aA}$	$307.33 \pm 4.937\text{aA}$	$2.042 \pm 0.1913\text{cB}$
安吉白	$7.415 \pm 0.4197\text{bB}$	$2.498 \pm 0.3195\text{abAB}$	$0.150 \pm 0.0259\text{bcBC}$	$234.67 \pm 13.090\text{dCD}$	$3.739 \pm 0.4145\text{aA}$
祁兰	$7.802 \pm 0.4151\text{bAB}$	$2.732 \pm 0.2155\text{abAB}$	$0.109 \pm 0.0094\text{cC}$	$224.67 \pm 8.385\text{dD}$	$3.843 \pm 0.2415\text{aA}$
碧香早	$9.437 \pm 0.3721\text{aA}$	$3.152 \pm 0.1708\text{aA}$	$0.170 \pm 0.0082\text{bBC}$	$247.00 \pm 2.658\text{cdBCD}$	$3.351 \pm 0.0905\text{abAB}$

2.3 不同品种荧光参数的比较

2.3.1 PS II 电子传递速率和最大光化学效率的比较 F_v/F_m 代表 PS II 的最大光化学效率, F_v/F_o 代表 PS II 的潜在活性, 二者的变化可以反映叶绿体将光能转化有机质能的潜力^[21]。从表 3 可以看出, 8 个品种 F_v/F_m 和 F_v/F_o 有较大差异, 都表现为: 祁兰> 碧香早> 龙井 43> 白毫早> 龙井长叶> 乌牛早> 安吉白> 平阳特早。祁兰的 PS II 最大光化学效率和潜在活性最高, 平阳特早的 PS II 最大光化学效率和潜在活性最低。

2.3.2 光化学猝灭系数(q_p)的比较 光化学猝灭系数是 PS II 天线色素吸收的光能用于光化学电子传递的份额, 反映 PS II 所捕获的光量子转化为化学能的效率, 代表 PS II 反应中心开放部分的比例, q_p 值越大, PS II 反应中心开放的比例就越大^[22]。即 q_p 值的提高, 有助于 PS II 实际光化学效率的提高, 最终有助于为光合碳同化提供更充足的还原力^[23]。从表 3 看出, 8 个茶树品种 q_p 值存在差异, 其中安吉白的 q_p 值最大, 比 q_p 值最小的龙井 43 高 5.6%。

q_p 值由高到低排列顺序为: 安吉白> 祁兰> 龙井长叶> 碧香早> 乌牛早> 平阳特早> 白毫早> 龙井 43。

2.3.3 PS II 实际光化学效率(Φ_{PSII})的比较 代表 PS II 非环式电子传递效率或光能捕获的效率。从表 3 可以看出, 祁兰具有较高的 Φ_{PSII} 值, 高于其他 7 个品种, 表明其叶片具有较高的 PS II 光能转化效率, 为暗反应的光合碳同化积累更多能量, 促进碳同化的高效运转和有机物的积累。 Φ_{PSII} 从小到大依次为: 祁兰> 碧香早> 龙井长叶> 白毫早> 安吉白> 平阳特早> 乌牛早> 龙井 43。

2.3.4 表观电子传递速率(ETR)的比较 PS II 的非循环光合电子传递速率是反映实际光强条件下的表观电子传递速率。8 个品种的 ETR 从大到小依次为: 祁兰> 碧香早> 龙井 43> 安吉白> 龙井长叶> 乌牛早> 平阳特早> 白毫早。 ETR 的大小与到达该叶片的实际光强的大小有密切关系, 还与光合机构内的循环式光合电子传递和与抗坏血酸的电子传递的过程有关^[24] (表 3)。

表 3 不同供试茶树品种的荧光参数

品种	F_v / F_o	F_v / F_m	q_p	Φ_{PSII}	ETR
乌牛早	$4.2589 \pm 0.2429\text{bcB}$	$0.8082 \pm 0.0086\text{bcB}$	$0.9004 \pm 0.0098\text{aAB}$	$0.7066 \pm 0.0179\text{cB}$	$3.3624 \pm 0.1951\text{bBC}$
龙井 43	$4.5509 \pm 0.0680\text{bcAB}$	$0.8198 \pm 0.0022\text{abcAB}$	$0.8662 \pm 0.0086\text{bB}$	$0.7054 \pm 0.0075\text{cB}$	$3.9400 \pm 0.0726\text{aA}$
龙井长叶	$4.4111 \pm 0.3234\text{bcB}$	$0.8122 \pm 0.0125\text{bcB}$	$0.9024 \pm 0.0117\text{aAB}$	$0.7267 \pm 0.0063\text{bcAB}$	$3.3868 \pm 0.0666\text{bBC}$
白毫早	$4.4884 \pm 0.2966\text{bcB}$	$0.8154 \pm 0.0103\text{bcAB}$	$0.8954 \pm 0.0229\text{abAB}$	$0.7226 \pm 0.0109\text{bcAB}$	$3.0316 \pm 0.0623\text{cC}$
平阳特早	$4.0865 \pm 0.1349\text{cB}$	$0.8028 \pm 0.0053\text{cB}$	$0.8976 \pm 0.0047\text{abAB}$	$0.7112 \pm 0.0063\text{bcB}$	$3.2570 \pm 0.0771\text{bcBC}$
安吉白	$4.0908 \pm 0.0949\text{cB}$	$0.8032 \pm 0.0037\text{cB}$	$0.9176 \pm 0.0053\text{aA}$	$0.7202 \pm 0.0038\text{bcB}$	$3.5092 \pm 0.3930\text{bB}$
祁兰	$5.3418 \pm 0.2722\text{aA}$	$0.8412 \pm 0.0073\text{aA}$	$0.9112 \pm 0.0043\text{aA}$	$0.7577 \pm 0.0086\text{aA}$	$4.1702 \pm 0.1237\text{aA}$
碧香早	$4.7445 \pm 0.1121\text{abAB}$	$0.8258 \pm 0.0035\text{abAB}$	$0.9020 \pm 0.0096\text{aAB}$	$0.7358 \pm 0.0061\text{abAB}$	$4.0778 \pm 0.0365\text{aA}$

3 结论

研究表明, 8 个品种之间, 叶绿素 a 含量最高相差 39.09%, 叶绿素 b 含量最高相差 50.72%, 总叶绿素含量最高相差 35.76%。平阳特早的叶绿素 a、

叶绿素 b、总叶绿素含量明显高于其他品种, 排第 2 的是祁兰, 平阳特早、祁兰也适宜制作名优绿茶。

8 个茶树良种中的碧香早、祁兰的净光合速率、PS II 最大光化学效率、PS II 电子传递速率、PS II 实际光化学效率、表观电子传递速率具有明显优势, 表

明这 2 个品种具有高产潜力。

本研究中叶绿素含量与净光合速率排序不完全一致,其中碧香早的叶绿素含量较低但其光合效率最高,其净光合速率比龙井 43 高出 54.31%,该结论与刘晓军等的研究结果一致^[21],但与施嘉潘、叶乃兴等的研究结果不一致^[25,26],这可能与参与光合作用的酶活性及数量有关,其原因有待于进一步研究。

以往研究表明,植物耗水量大小与萎蔫先后顺序较为一致,且与叶片蒸腾速率之间有显著的相关性^[27],抗旱性强的植物为低耗水、高水分利用效率^[28]。本研究表明,龙井 43 的蒸腾速率比碧香早低 47.48%,而其气孔导度比平阳特早的低 64.79%,因此,龙井 43 最耐旱,乌牛早、龙井长叶具有较低的蒸腾速率和较小的气孔导度,其耐旱能力次之。平阳特早具有最大的气孔导度、较高的蒸腾速率和最低水分利用率,在生产过程中,平阳特早会消耗较多的土壤水分,在干旱季节要加强其水分管理,确保茶树生命活动正常进行。

参考文献:

- [1] Dwyer L M, Tollenaar M. Genetic improvement in photosynthetic response of hybrid maize cultivars, 1959 to 1988 [J]. Can J Plant Sci, 1989, 69: 81-91.
- [2] 郭小强, 赵明, 李少昆. 不同玉米自交系光合特性的研究[J]. 玉米科学, 1997, 5(3): 46-49.
- [3] 王少先, 李再军, 王雪云, 等. 不同烟草品种光合特性比较研究初报[J]. 中国农学通报, 2005, 21(5): 245-257.
- [4] 翟虎渠, 曹树青, 唐运来, 等. 籼型杂交水稻光合性状的配合力及遗传力分析[J]. 作物学报, 2002, 28(2): 154-160.
- [5] 满为群, 杜维广, 张桂茹, 等. 高光效大豆几项光合生理指标的研究[J]. 作物学报, 2002, 29(5): 697-700.
- [6] 廖万有. 试论茶树高光效育种的前景[J]. 广东茶业, 1999 (Z1): 51-52.
- [7] 朱保葛, 柏惠侠, 张艳, 等. 大豆叶片净光合速率、转化酶活性与籽粒产量的关[J]. 大豆科学, 2000, 19(4): 346-350.
- [8] 孙海林, 田丰, 张永成. 马铃薯光合速率与产量相关性研究[J]. 中国马铃薯, 2005, 19(1): 26-28.
- [9] 倪德江, 陈玉琼, 袁芳亭, 等. 绿针茶加工过程中叶绿素的变化与色泽品质的形成[J]. 华中农业大学学报, 1996, 15(6): 594-597.
- [10] 金洁, 骆耀平. 茶树光合作用研究进展[J]. 茶叶科学, 2002(1): 1-5.
- [11] 庄雪岚. 茶树光合作用的研究进展[J]. 国外农学茶叶, 1982(3): 1-9.
- [12] 须海荣, 童启庆, 骆耀平, 等. 浙江茶树资源光合特性的研究[J]. 浙江农业大学学报, 1992, 18(增刊): 35-39.
- [13] 陶汉之, 张承慧. 冬季茶树光合作用及其春茶产量的形成[J]. 中国茶叶, 1984(5): 16-17.
- [14] 林金科, 詹梓金, 赖明志. 铁观音茶树的光合特性[J]. 茶叶科学, 1999, 19(1): 35-40.
- [15] 胡志敏, 童启庆, 庄晚芳. 浙江省十二个茶树良种光合特性的研究[J]. 浙江农业大学学报, 1988, 14(2): 155-160.
- [16] 陶汉之. 茶树光合生理的研究[J]. 茶叶科学, 1991, 11(2): 169-170.
- [17] 唐茜, 叶善蓉, 单虹丽, 等. 引进茶树品种光合特性的比较研究[J]. 四川农业大学学报, 2006, 24(3): 303-308.
- [18] 邹琦. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 中国农业出版社, 2003.
- [19] 须海荣, 童启庆, 骆耀平, 等. 福建茶树资源光合特性的研究[J]. 福建茶叶, 1992(1): 15-18.
- [20] Eamus D. The interaction of rising CO₂ and temperatures with water use efficiency[J]. Plant Cell and Environment, 1991, 14: 843-852.
- [21] 刘晓军, 唐晓波, 李春华. 不同绿茶品种秋季叶绿素与光合效率比较及相关性研究[J]. 西南农业学报, 2008, 21(4): 975-978.
- [22] 陈四龙, 孙宏勇, 陈素英, 等. 不同冬小麦品种(系)叶绿素荧光差异分析[J]. 麦类作物学报, 2005, 25(3): 57-62.
- [23] Maxwell K, Johnson G N. Chlorophyll fluorescence: a practical guide [J]. Journal of Experimental Botany, 2002, 51: 659-688.
- [24] 吕芳德, 徐德聪, 候红波, 等. 5 种红山茶叶叶绿素荧光特性的比较研究[J]. 经济林研究, 2003, 21(4): 4-7.
- [25] 施嘉瑶. 茶树的光合作用研究概况[J]. 福建茶叶, 1998(3): 2-4.
- [26] 叶乃兴, 陈兴琰. 茶树的叶色、光合色素与单叶净光合速率的相关分析[J]. 茶叶科学简报, 1990(2): 14-19.
- [27] 葛晋纲, 宋刚, 韩艳丽, 等. 7 种暖季型草坪草抗旱性的评价及其生理机制的初步研究[J]. 江苏林业科技, 2004, 31(2): 12-15.
- [28] 山仑, 徐炳成. 论高粱的抗旱性及在旱区农业中的地位[J]. 中国农业科学, 2009, 42(7): 2342-2348.