

超高产水稻剑叶的高效光合特性

欧志英 彭长连* 阳成伟 林桂珠 段俊 温学

(中国科学院华南植物研究所, 广东广州 510650)

摘要: 以多年来大面积推广的杂交水稻汕优 63 为对照, 研究了超高产杂交水稻两优培九的光合生理特性。结果表明: 在生殖生长期两优培九剑叶具有较高的叶绿素含量、Fv/Fo、Fv/Fm、qP、 ϕ_i 和 Rubisco 含量, 表明它有相对较高的光能吸收、转化和利用的能力; 且两优培九的 qN 较汕优 63 大, $1-qP/qN$ 比它小, 说明它比对照品种更耐光抑制; 两个品种在剑叶衰老过程中都发生了光碳失衡, 但两优培九光碳失衡状态较轻; 这些可能是超高产水稻两优培九高产的重要原因。

关键词: 高产水稻; 剑叶; 光合能力; 光碳失衡; 光抑制

中图分类号: Q 945.11

文献标识码: A

文章编号: 1005-3395(2003)01-0001-06

High Efficiency Photosynthetic Characteristics in Flag Leaves of Super High-yielding Rice

OU Zhi-ying PENG Chang-lian* YANG Chen-wei LIN Gui-zhu DUAN Jun WEN Xue

(South China Institute of Botany, the Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510650, China)

Abstract: Two hybrid rice cultivars, super high-yielding Liangyoupeijiu (Pei'ai 64S×9311) and high-yielding Shanyou 63 (as control) grown in the field, were used to investigate the photosynthetic characteristics of high production during flag leaves development. It was shown that the contents of chlorophyll and Rubisco, the values of Fv/Fo, Fv/Fm, qP and ϕ_i in flag leaves of cv. Liangyoupeijiu were higher than those of the control, indicating that the former had greater capacity and higher efficiency for light energy absorption, transformation and utilization. The value of qN was higher and $1-qP/qN$ was lower in Liangyoupeijiu than in Shanyou 63, showing that the former was more tolerant to photoinhibition. Photo-carbon imbalance appeared in both cultivars during senescence of flag leaves, but which was less apparent in cv. Liangyoupeijiu. These beneficial factors in photosynthesis in cv. Liangyoupeijiu might be of importance in high production of super high-yielding rice.

Key words: Super high-yielding rice; Flag leaves; Photosynthetic capacity; Photo-carbon imbalance; Photoinhibition

光合作用是利用光能将 CO₂ 和 H₂O 等无机物转化成有机物, 它是作物产量形成的基础, 植物干

物质的 90%–95% 来自光合作用^[1]。现在世界上大部分地区作物的年光能利用率不到 1%^[2], 在一般产量水平下, 作物光能利用率只有 1%–2%, 目前高产水稻光能利用率也仅 1.5%–2%。理论上, 植物光能利用率可高达 13%–14%, 水稻理想的光能利用率应达 3%–5%^[3]。提高光合作用的光能利用效率乃是增加作物生产力和产量的必由之路^[4]。长期以来, 尤其是近二十多年来, 植物生理学家和农学家们从作物个体和整体水平上证明了作物生产力与光合作用呈正相关^[5-7]。但这些工作往往局限于对作物功能叶的叶绿素含量、表观光合速率、光呼吸及光合酶活性方面的比较, 而且大多只是在实验室条件下对作

收稿日期: 2002-07-16 接受日期: 2002-10-09

基金项目: 国家重点基础研究发展规划基金(G1998010100)资助。

* 通讯作者 Corresponding author

感谢中国科学院华南植物研究所林植芳研究员仔细审阅手稿并提出宝贵意见和建议。

缩写 Abbreviations: A_{max}: 最大光合放氧速率 Maximum photosynthetic oxygen evolution; ϕ_i : 表观量子效率 Apparent quantum yield; Rubisco: 核酮糖 1,5-二磷酸羧化酶/加氧酶 Ribulose 1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase; PS II: 光系统 II Photosystem II; Fv/Fo: PS II 反应中心的活性 PS II reaction center activity; Fv/Fm: PS II 原初光化学效率 PS II Primary photochemical efficiency; qP: 叶绿素荧光光化学猝灭系数 Photochemical quenching coefficient of chlorophyll fluorescence; qN: 叶绿素荧光非光化学猝灭系数 Non-photochemical quenching coefficient of chlorophyll fluorescence

物的某一、两个生长时期进行研究,对光合机构(photosynthesis machinery)^[8]光化学特性尤其是田间自然生长条件下水稻光合机构的光化学特性动态变化的研究较少。本文以多年来大面积推广的三系杂交高产水稻汕优 63 和二系亚种间杂交超高产水稻两优培九为材料,探讨超高产水稻的一些基本光化学特性及其与产量的关系,为超高产、高光效育种及进一步提高光能利用率提供理论依据。

1 材料和方法

材料 水稻 (*Oryza sativa* L.) 品种汕优 63 和两优培九 (培矮 64S×9311) 种子由湖南省杂交水稻中心提供。2001 年 8 月 1 日播种,种植于广州中国科学院华南植物研究所试验田,常规水肥管理和病虫害防治。供试材料都为剑叶,分别于 9 月 24 日(分蘖末期),10 月 20 日(孕穗期),11 月 5 日(灌浆期),11 月 11 日(黄熟期),11 月 22 日(完熟期)采样进行各项指标测定。

叶绿素含量的测定 取叶圆片用 80% 丙酮浸提,按林植芳等^[9]的方法用 UV-Vis 分光光度计 (Lambdas 25, Perkin Elmer Inc., USA) 测定叶绿素含量。

光合放氧的测定 在不同生育期选择晴朗的天气采样,于 25℃ 恒温、饱和 CO₂ 情况下,用叶圆片氧电极 (Hansatech, England) 测定光合放氧。

叶绿素 a 荧光测定 使用脉冲调制荧光仪 PAM 101/102/103 (Heinz Walz, Effeltrich, Germany) 室温 25℃ 测定离体水稻叶片叶绿素 a 荧光诱导动力学。测量前叶片暗适应 15 min,用弱测量光 1.6 kHz (0.05 μmol m⁻² s⁻¹) 测定 Fo; 强饱和闪光 (Schott lamp KL 1500 FL 103, 光强 6 000 μmol m⁻² s⁻¹, 脉冲时间 2s) 诱导 Fm; 作用光 300 μmol m⁻² s⁻¹, 同时由 PAM 102 提供的 100 kHz 的光用以提高信噪比稳定荧光输出信号。PS II 原初光化学效率: Fv/Fm = (Fm - Fo) / Fm, PS II 活性: Fv/Fo = (Fm - Fo) / Fo; qP、qN 的计算参照 Genty 等^[10]的方法。光合机构发生光抑制的可能程度用 1 - qP/qN 表示^[11]; 所有样品都是在天气晴朗的中午 14:00 采集。

Rubisco 含量的测定 参照刘拥海等^[12]的方法。

生育期观察 考种测定株高、穗长、收获指数、单株产量、理论产量等指标。

考种方法 收获前在田间测定两个品种的株高、穗长、有效穗数,收获时在大田对角线选择长势均匀一致的 5 个点,每个点分别收割 10 株,带回室内,80℃ 恒温烘干,考察单穗实粒数、空秕粒数,计算结实率和收获指数,测定单株产量并估算理论产量。

理论产量 (kg hm⁻²) = [每公顷有效穗数 × 每穗总粒数 × 千粒重 (g)] / (1000 × 1000)

数据处理及回归分析 用 Microsoft Excel 进行数据处理。回归分析以播种后天数为横坐标,5 个时期各个参数的值为纵坐标分别作图,并绘出曲线的直线型趋势线,以直线的斜率表示各参数的下降速率。

2 结果和分析

2.1 主要农艺性状

表 1 可见,立秋前播种的两个水稻品种两优培九和汕优 63,前者比后者有更好的农艺性状,理论产量增加了 29.6%,单穗重增加 31.5%;收获指数和结实率分别比对照增加了 3.0% 和 2.2%。分蘖力中等,有效分蘖适中,汕优 63 株高为 88.7 cm,穗长 23.1 cm,而两优培九分别为 101.9 cm 和 23.4 cm,比对照更接近理想株型模式:即株高 100 cm 左右、穗长 25 cm 左右^[13]。生育期两优培九为 115 d,而汕优 63 为 114 d,两者相近。

2.2 剑叶色素含量和 PS II 光化学反应特性

叶绿素和类胡萝卜素的含量随着生育期的延长而下降(图 1),灌浆期之前含量较稳定,随后迅速降解。超高产水稻各个生育期的光合色素含量都比对照汕优 63 高,叶绿素含量比对照增加了 0.3% - 20.7%,类胡萝卜素含量增加了 2.7% - 22.7%,平均分别增加了 6.1% 和 13.6%。两优培九和汕优 63 从孕穗期到完熟期叶绿素含量分别下降了 37.9% 和 32.3%、类胡萝卜素含量分别下降了 37.5% 和

表 1 两个品种主要农艺性状比较
Table 1 Comparison of main agronomic traits between two cultivars

品种 Cultivars	株高 Plant height (cm)	穗长 Panicle length (cm)	有效穗 Effective panicle number	生育期 Growth duration (d)	结实率 Seed set (%)	收获指数 Harvest index	单穗重 Weight per panicle (g)	理论产量 Theoretical production (kg hm ⁻²)
Liangyoupeijiu	101.9±2.44	23.42±0.9	6.92±1.32	115	55.83±2.87	0.475±0.02	3.34±0.51	11097±1844
Shanyou 63	88.67±4.88	23.05±1.5	7.64±1.5	114	54.63±10.3	0.461±0.03	2.54±0.56	8564±1426

44.8%，回归分析表明叶绿素含量的下降用斜率表示分别为-0.92 和-0.79。类胡萝卜素含量的下降用斜率表示分别为-0.90 和-1.05。超高产水稻有较高的光合色素含量可能是它有较高光能吸收能力，从而成为获得高产的重要因子之一。

Fv/Fo 和 Fv/Fm 在整个生育期逐步降低，在完熟期，两优培九和汕优 63 的 Fv/Fo 仍有分蘖期的一半以上，而 Fv/Fm 则分别下降了 17.1%和 17.9%。5 个生育期两优培九的 Fv/Fo 和 Fv/Fm 分别比对照高出 5.2%~14.9% (图 2A) 和 2.51%~12.1% (图 2B)。

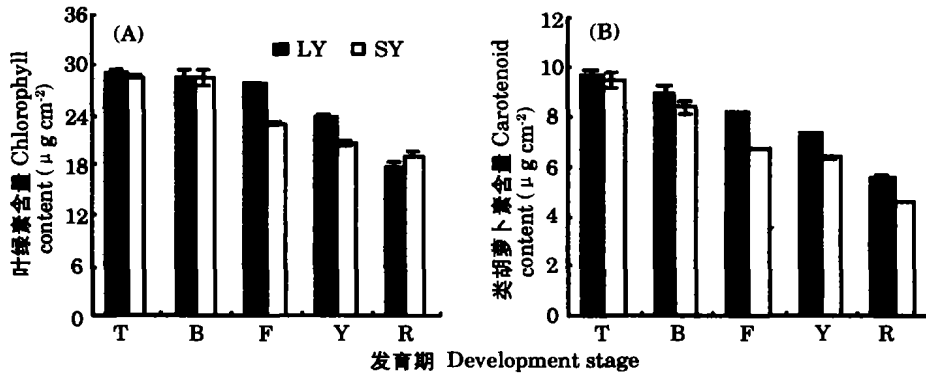


图 1 两优培九 (LY) 和汕优 63 (SY) 不同生育期叶绿素含量 (A) 和类胡萝卜素含量 (B) 的变化

Fig. 1 Changes in contents of chlorophyll (A) and carotenoid (B) at different development stages of cultivars Liangyoupeijiu (LY) and Shanyou 63 (SY)

T:分蘖期 Tilling stage; B:孕穗期 Booting stage; F:灌浆期 Filling stage; Y:黄熟期 Yellow-ripening stage; R:完熟期 Ripening stage. 图 2-5 的图注同图 1. Abbreviations are the same for Fig. 2 to Fig. 5

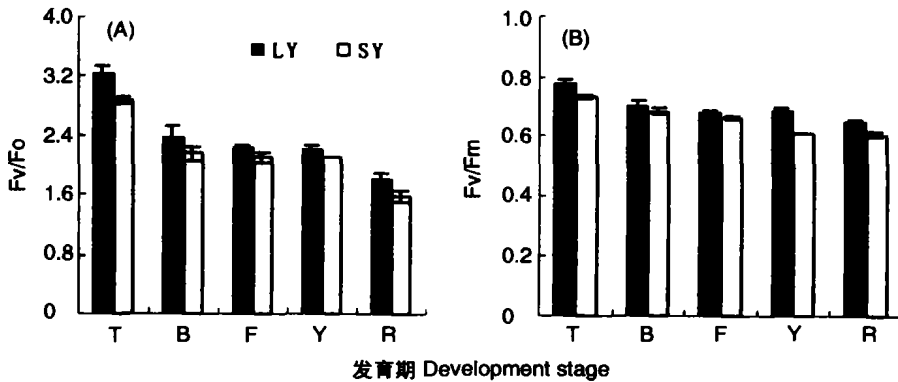


图 2 两优培九 (LY) 和汕优 63 (SY) 不同生育期的 Fv/Fo (A) 和 Fv/Fm (B) 的变化

Fig. 2 Changes in Fv/Fo (A) and Fv/Fm (B) at different development stages in cultivars Liangyoupeijiu (LY) and Shanyou 63 (SY)

qP 在灌浆期之前无明显变化，保持在 0.8 左右，随后逐渐下降 (图 3A)。到完熟期两优培九和对照的 qP 仍达到灌浆期的 82.7%和 75.4%。5 个生育期中，超高产水稻的 qP 比对照品种高出 0.9%~11.3%，平均高出 4.9%。从孕穗期到成熟期两优培九和汕优 63 的 Fv/Fm 分别下降了 8.1%和 11.7%、Fv/Fo 分别下降了 22.9%和 26.5%、qP 分别下降了 17.2%和 24.8%。直线回归分析得知，两优培九和汕优 63 Fv/Fm 的下降速率分别为 -0.24 和 -0.39、Fv/Fo 的下降速率分别为 -0.67 和 -0.74、qP 的下降速率分别为 -0.54 和 -0.80，表明超高产水稻在生殖生长期 PS II 的光化学活性和效率优于汕优 63。qN

在灌浆期之前下降，之后上升，且上升速度比下降快 (图 3B)；两优培九 5 个时期的 qN 都比对照高，分别是对照的 119.8%、107.6%、112.7%、106.8%和 108.3%，显示两优培九耗散过剩光能的能力大于汕优 63。参数 1-qP/qN 表示发生光抑制的可能程度，由图 3C 可知：分蘖期、孕穗期、灌浆期和黄熟期超高产水稻发生光抑制的可能程度分别只有对照的 55.7%、52.9%、71.4%和 59.1%，完熟期发生光抑制的可能程度只比对照稍低。

2.3 光合速率和 Rubisco 含量

图 4A 看出，两优培九 5 个时期的 Φ_i 都比汕优 63 高，分别是对照的 1.14、1.02、1.1、1.02 和 1.13

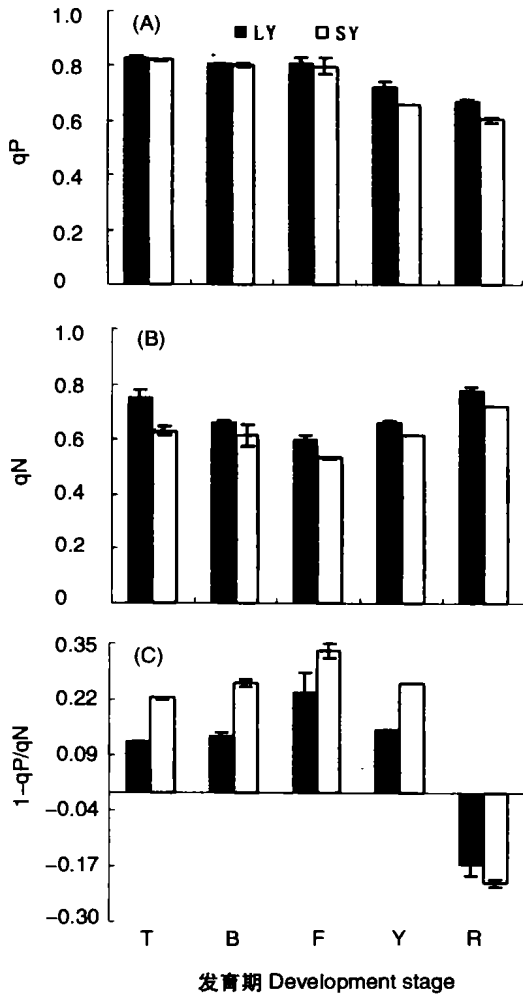


图 3 两优培九 (LY) 和汕优 63 (SY) 不同生育期的 qP (A), qN (B) 和 $1-qP/qN$ (C) 的变化
 Fig. 3 Changes in qP (A), qN (B) and $1-qP/qN$ (C) at different development stages of cultivars Liangyoupeijiu (LY) and Shanyou 63 (SY)

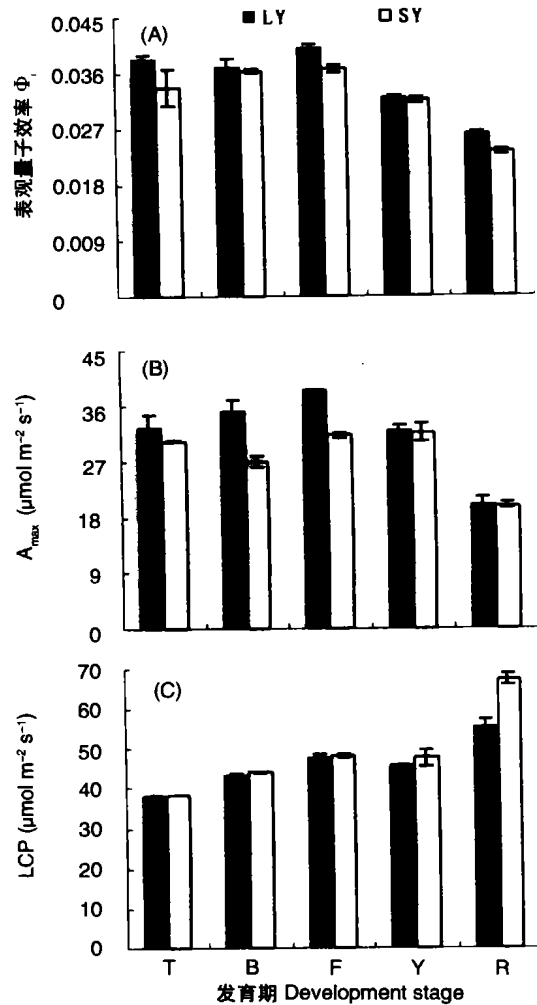


图 4 两优培九 (LY) 和汕优 63 (SY) 不同生育期的表现量子效率 ϕ_i (A)、 A_{max} (B) 和光补偿点 (LCP) (C) 的变化
 Fig. 4 Changes in ϕ_i (A), A_{max} (B) and light compensation point (LCP) (C) at different development stages of cultivars Liangyoupeijiu (LY) and Shanyou 63 (SY)

倍,两个品种都是灌浆期的 ϕ_i 最大,此后随着叶片的衰老而逐渐下降,完熟期两优培九和汕优 63 的 ϕ_i 分别比孕穗期下降了 29% 和 36.3%。不同生育期两优培九的 A_{max} 变化趋势与 ϕ_i 相似,前 3 个时期明显大于汕优 63,分别是它的 1.07、1.3 和 1.24 倍。灌浆期后 A_{max} 持续下降,至完熟期时两优培九和汕优 63 分别只有孕穗期的 38.1% 和 34.4% (图 4B)。图 4C 表明超高产水稻的光补偿点略低于汕优 63,这说明超高产水稻比汕优 63 能更充分地利用弱光能,光补偿点随植株发育成熟而呈上升的趋势,但两优培九的上升比对照慢。

不同生育期的超高产水稻两优培九皆有较高的 Rubisco 含量,且降解较慢 (图 5),5 个时期分别比汕优 63 高出 17.1%、13%、1.5%、38.3% 和 46.7%。收获时两优培九和汕优 63 的 Rubisco 含量比孕穗期分别下降了 44.7% 和 57.4%。回归分析可知,两

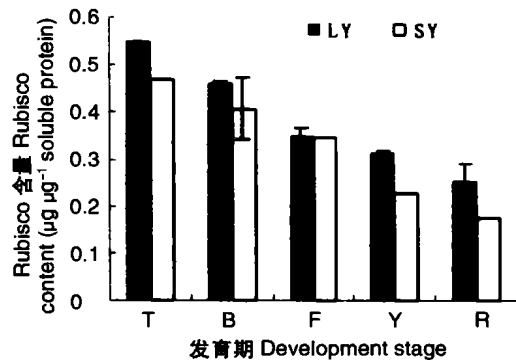


图 5 两优培九 (LY) 和汕优 63 (SY) 不同生育期的 Rubisco 含量的变化
 Fig. 5 Rubisco content during different development stages of cultivars Liangyoupeijiu (LY) and Shanyou 63 (SY)

优培九和汕优 63 从孕穗期至完熟期 3 个与碳固定直接相关的参数的降解速率: Rubisco 含量分别为 -0.64 和 -0.81 、 ϕ_i 分别为 -0.65 和 -0.81 、 A_{max} 分别

为-0.53和-0.60,说明两优培九在结实期间一直能维持比汕优63更高的光合碳同化能力。

3 讨论

超高产水稻两优培九是在理想株型与杂种优势利用的基础上选育出来的。1999年通过审定之后,以其高产、优质、结实率高、适应性强等特点获得大面积推广。我们的实验结果表明,与多年来大面积推广的三系杂交稻汕优63相比,两优培九理论产量增加了29.6%,单穗产量增加了31.5%(表1),两优培九具有袁隆平提出的超高产稻株形态模式^[13]。

稻谷产量的40%~60%直接来自剑叶的光合作用^[14]。两优培九剑叶各个生育期光合作用较汕优63具有明显的优势,如较高的叶绿素含量、Fv/Fo、Fv/Fm、qP和 ϕ_i (图1A,图2,图3A)水平,显示其叶片能捕获更多的光能且光能利用效率也较高;较高的光合碳同化关键酶Rubisco蛋白含量(图4A),而叶片的光合能力随着Rubisco含量的增加而增强^[15];具有较高的 A_{max} 和较低的光补偿点(图4B,C)。超高产水稻两优培九剑叶这种相对较强的光能吸收、转化和利用能力,为其籽粒充实提供了充足的物质基础,这可能是其高产的重要生理基础之一。在整个生殖生长期两优培九的qN都较汕优63大(图3B),而 $1-qP/qN$ 值较汕优63小(图3C),高qN值表明光合机构在强光下热耗散过剩激发能的能力较强^[16],而较低的 $1-qP/qN$ 值说明其发生光抑制的可能性较汕优63小。

本文的qN、qP数据都是在晴天14:00光强在一天中接近最大时采样测定的,此时光合机构最容易在强光下发生光抑制而引起表观量子效率和光化学效率下调^[17]。超高产水稻两优培九在强光下具有较高的抗光抑制胁迫能力,表明了它能有效地抵御强光胁迫,在中午强光下也能保持较高的光合效率,这可能是超高产水稻高产的另一个重要原因。灌浆期qN最低,可能是这一时期体内代谢最旺盛,同化物向穗运转活跃,光合碳同化能力增强,具有较高的qP、 A_{max} 和 ϕ_i 所致。

张荣铎等提出光合功能期是水稻产量的限制因素之一^[18]。从回归分析可知,孕穗期到完熟期两个品种的 A_{max} 、 ϕ_i 、Rubisco含量下降较快而Fv/Fm、Fv/Fo、qP下降较慢,这反映叶片衰老过程中,PS II光化学反应功能的稳定性高于Rubisco羧化反应的稳定性,从另一个角度支持了张荣铎等^[18]的“光碳

失衡”观点,即叶片光合功能衰退过程中RuBPCase活性的下降速度比电子传递活性下降速度快,从而打破能量供需平衡,导致叶片光合功能丧失。生育后期超高产水稻两优培九这些参数的下降速率皆比汕优63的慢,说明其光碳失衡状态较轻,不易早衰(即光合功能期较长),这可能也是其高产的原因之一。至于两品种叶片光合功能衰退过程中电子传递与碳同化运转状况的比较及失衡的具体机制还有待进一步探讨。

参考文献

- [1] Shen Y G (沈允钢), Shi J N (施教耐), Xu D Q (许大全). Kinetic Photosynthesis [M]. Beijing: Science Press, 1998. 1-3. (in Chinese)
- [2] Carlson P S. The Biology of Crop Productivity [M]. New York: Academic Press, 1980. 3.
- [3] Loomis R S, Williams W A. Maximum crop productivity: an estimate [J]. Crop Sci, 1963, 3:67-72.
- [4] Gardner F P, Pearce R B, Mitchell R L. Physiology of Crop Plants [M]. Ames: Iowa State University Press, 1985. 3.
- [5] Wells R, Schulze L L, Asahley D A, et al. Cultivar difference in canopy apparent photosynthesis and their relationship to seed yield in soybeans [J]. Crop Sci, 1982, 22(14):886-890.
- [6] Peng S, Krig D R, Cirna F S. Leaf photosynthetic rate is correlated with biomass and grain production in grain Sorghum lines [J]. Photosyn Res, 1991, 28:1-3.
- [7] Hu C H (胡昌浩), Dong S T (董树亭), Yue S S (岳寿松), et al. Studies on the relationship between canopy apparent photosynthesis rate and grain yield in high yielding summer corn (*Zea mays* L.) [J]. Acta Agron Sin (作物学报), 1993, 19(1):63-69. (in Chinese)
- [8] Nakano T, Kimura T, Kaneko I, et al. Molecular mechanism of chloroplast development regulated by plant hormones [J]. RIKEN Rev, 2001, (41):86-87.
- [9] Lin Z F (林植芳), Li S X (李双顺), Lin G Z (林桂珠), et al. Super-oxide dismutase activity and lipid peroxidation in relation to senescence of rice leaves [J]. Acta Bot Sin (植物学报), 1984, 26: 605-615. (in Chinese)
- [10] Genty B, Briantais J M, Baker N R. The relationship between the quantum yield of non-photochemical quenching of chlorophyll fluorescence and the rate of photosystem 2 photochemistry in leaves [J]. Biochim Biophys Acta, 1989, 990:87-92.
- [11] Osmond C B, Grace S C. Perspectives on photoinhibition and photorespiration in the field: quintessential inefficiencies of the light and dark reactions of photosynthesis? [J] J Exp Bot, 1995, 46: 1351-1362.
- [12] Liu Y H (刘拥海), Peng X X (彭新湘), Li M Q (李明启). Degradation of ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase in rice leaves under oxidative stress induced by methyl viologen [J]. Acta Phytophysiol Sin (植物生理学报), 2000, 26(6):481-486. (in Chinese)
- [13] Yuan L P (袁隆平). Hybrid rice breeding for super high yield [J].

- Hybrid Rice (杂交水稻), 1997, 12(6):1-6. (in Chinese)
- [14] Yoshida S. Physiological analysis of rice yield [A]. In: Fundamentals of Rice Crop Science [C]. Los Banos: The International Rice Research Institute, 1981. 231-251.
- [15] Hikosaka K. Effects of leaf age, nitrogen nutrition and photon flux density on the organization of the photosynthetic apparatus in leaves of a vine (*Ipomoea tricolor* Cav.) grown horizontally to avoid mutual shading of leaves [J]. *Planta*, 1996, 198:144-150.
- [16] Van Kooten O, Snel J F H. The use of chlorophyll fluorescence nomenclature in plant stress physiology [J]. *Photosyn Res*, 1990, 25:147-150.
- [17] Ögren E, Evans J R. Photoinhibition *in situ* in six species of *Eucalyptus* [J]. *Aust J Plant Physiol*, 1992, 19:223-232.
- [18] Zhang R X (张荣铨), Dai X B (戴新宾), Xu X M (许晓明), et al. Photosynthetic function of leaf and the potential photosynthetic productivity of crops [J]. *J Nanjing Normal Univ (Natural Sci)* [南京师范大学学报(自然科学版)], 1999, 22(3):376-386. (in Chinese)

中国生态系统研究网络第十一次工作会议暨学术交流会在三亚召开

中国生态系统研究网络 (Chinese Ecosystem Research Net, CERN) 第十一次工作会议暨学术交流会于 2003 年 2 月 25-28 日在海南三亚市举行。CERN 是为了监测中国生态环境变化, 综合研究中国资源和生态环境方面的重大问题, 发展资源科学、环境科学和生态学, 于 1988 年开始组建并受到世界银行资助。目前该研究网络由中国科学院所属各研究所的 36 个野外试验站, 以及水分、土壤、大气、生物、水域生态系统 5 个学科分中心和 1 个综合研究中心组成。

本次会议共有 161 名代表参加, 收到论文 94 篇, 大会报告 11 个, 分组报告 63 个。会议总结了 2002 年度 CERN 的工作, 强调了 CERN 的工作重点是长期监测, 利用网络作为研究平台, 并充分发挥科学委员会作用。

大会学术报告内容包括全球变化与可持续发展、生态学研究进展、生态过程要素相互作用与综合集成研究、恢复生态学的发展现状与趋势、土壤质量与农产品安全的关系、化学计量学与全球变化、生态服务功能的研究进展、富营养化对湖泊生态系统结构的影响及其反馈、海南三亚湾的红树林和珊瑚礁等生态学研究前沿问题, 会议还介绍了中国林业生态系统研究网络 (CFERN) 的建设与发展情况。

分组报告分 4 个主题, 分别探讨了以下领域的主要成果与进展:

1) 森林生态: 探讨了森林生态系统的恢复发展现状和趋势; 南亚热带植被恢复中农林复合模式的能物流整合评估与应用问题, 自然演替模拟及森林演变机制与动态评价; 凋落物如何改善土壤生态功能; 凋落物的年月变化特征与演替趋势的关系; C、N 的储量、循环特征及其对生态系统演替的作用; 热带森林林窗在影响光辐射方面的作用; 土壤大气生态界面交换机制; 生物量和次生林净初级生产力的研究进展; 遥感在森林演替监测上的应用等。

2) 农田生态: 系统的水循环与运输过程模拟及对水环境的监测评价; 典型农业生态系统养分平衡与消长规律, 尤其是 N、P 的循环利用特征; 黄土高原生态环境建设及设施农业生产力和可持续发展; 不同栽培、灌溉、施肥措施及间作方式对植物生长发育的影响; 气候状况分析与调节功能等。

3) 水生生态: 中国主要水体与湿地生态系统的生态环境变化趋势与特征; 沼泽湿地开垦对土壤水热条件和性质的影响; 水环境和富营养化问题; 小波分析在生态环境研究中的应用初探; 区域湖泊学研究新方法等。

4) 信息、监测技术与综合研究: 加强空间数据的建设以及数据处理方法及质量控制; 介绍了 LI-6400 光合作用测定仪、气相色谱仪等先进监测仪器在生态学研究中的应用。

与会者对 CERN 的工作有了更全面、更深刻的认识, 并明确了今后的工作重点。代表间进行了广泛的工作、学术交流。会后参观了海南热带海洋生物实验站。

(中国科学院华南植物研究所 张倩媚)