

光合作用高效光能转化的机理 及其在农业中的应用^{*}

关键词 光合作用, 高效光能转化

1 首席科学家

匡廷云 中国科学院院士, 中国科学院植物研究所研究员。1962 年获前苏联莫斯科大学生物系哲学博士; 1981—1982 年在美国密执安州立大学和美国能源部植物实验室做访问学者, 被授予“卓越的访问学者”证书。现任中国植物学会理事长。

我国光合膜绿体膜结构与功能研究领域的开拓者之一, 在光合作用研究领域内, 形成了系统的、独特的学术思想, 取得了系统的、创造性的成果。发表论文 200 余篇, 获得国际同行的重视, 有关论文被国内外学者广泛引用。曾先后获国家自然科学基金二等奖及中国科学院多项奖励, 被评为国家级有突出贡献的中青年专家, 在发展我国光合作用、叶绿体膜结构与功能的研究中做出了重要贡献, 在国际上亦产生了重要影响。

2 科学内涵及意义

光合作用高效吸能、传能和转能的分子机理及其调控原理是光合作用研究的核心问题, 是重大的科学关键问题。在光合膜系统中, 在最适宜的条件下, 传能的效率可高达 94%—98%, 在反应中心, 只要光子能传到其中, 能量转化的量子效率几乎为 100%。光合作用光能吸收、传递与转化效率如此之高是当今科学技术远不能达到的。据预测, 在 21 世纪初的 10—20 年内, 光合作用机理在农业、工业生产和高科技中的应用研究孕育着重大突破。这不仅能阐明光合作用高效吸能、传能和转能的分子机理, 带动复杂系统凝聚态物理、化学的理论研究, 丰富和发展超分子体系的电子传递及能量传递理

论, 促进生命科学、农业科学、环境科学、信息科学及材料等科学的发展, 而且还能大幅度提高农作物光能转化效率、开辟太阳能利用的新途径、新一代生物电子器件及生物芯片的研制提供理论依据、新思路和新途径。

该项目的科学目标是要阐明绿色植物光合膜超分子凝聚态体系中高效吸能、传能和转能的分子机理及其调控原理, 为农业大幅度增产提供理论基础和新途径, 推动我国经济的发展。长远目标是提出光能传递和转化机理的新理论, 开辟更广阔的应用前景。

3 研究进展及创新点

3.1 光合作用光能转化机理及其结构基础研究

(1) 提出光系统 II 反应中心原初电荷分离两步反应的动力学模型。用飞秒及皮秒超快光谱技术, 对光系统 II 颗粒、核心复合物及反应中心三个层次的光合系统进行研究, 首次测到 2.9ps 和 20.1ps 两个组分与 PSII 反应中心光化学反应活性有关。

(2) 首次发现紫细菌反应中心色素转换和激发能在色素高激发态能级上的传递。

(3) 测定了三种生长速度不同的植物——菠菜、三七和水葫芦叶绿体光系统 II 反应中心的转能效率, 第一次肯定植物生长速度特性可体现在光合作用原初过程中。该结果首次将能量的微观过程同作物生长的宏观特性相联系。

(4) 成功地观测到视黄酸自由正离子与 TiO_2 表面束缚电子复合而形成的三线态视黄酸分子, 并对其光谱和动力学过程进行纳秒时间分辨光谱表征。

^{*} 收稿日期: 2001 年 12 月 26 日

(5) 建立了国内第一套具有国际先进水平的 THz 远红外飞秒脉冲新型光源及相应的时域光谱测量系统, 将应用于对光合膜系统在光激发下蛋白质的动态过程进行直接探测。

(6) 首次获得黄瓜和菠菜膜蛋白捕光叶绿素 a/b 蛋白复合体(LHCII) 能进行衍射的三维晶体; 首次建立光系统 II 外周天线叶绿素 a/b 蛋白复合体 II 型基因 Lhcb2 表达产物与色素在体外的重组系统; 解析出光系统 II 内周天线叶绿素 a 蛋白复合体(CP43 及 CP47) 的磁圆二色光谱, 提出 CP43 和 CP47 色素间的能量传递机制; 提出光合细菌天线色素分子之间相互作用的新模型。

(7) 提出放氧中心结构和放氧机理的新模型, 合成了 11 个含有放氧中心结构单元 Mn/O/N 或 Mn/O 的模型化合物; 发现光系统 II 氧化侧存在碳酸酐酶的生化证据。

(8) 首次证明 Cytb₆f 中 β -Car 分子, 无论是结合态还是处于自由的状态, 都是 9 顺式构型的分子, 存在于一种不对称的蛋白环境中, 它不能有效地向 Chla 传递光能, 但对 Chla 具有明显的光保护功能; 解析出 Cytb₆f 559 磁圆二色光谱(MCD), 发现 Cytb₆f 559 的 MCD 信号是对反应中心相应波段 MCD 信号的贡献, 首次证明 Cytb₆f 559 含 Chla 而不含类胡萝卜素, 发现细胞色素 b₆ 559 在光保护中的功能不仅与其高低电势有关, 而且与其质子化程度有关。

(9) 证明光照射光系统 II 反应中心诱导产生的¹O₂ 使 pheo 受到破坏; 提出 PSII 中由质子化半醌自由基与¹O₂ 反应生成超氧阴离子自由基 O₂⁻ 的分子机制。

(10) 首次提出 ϵ 亚基抑制 ATP 酶水解和堵塞质子通道两种功能可能是相互联系的观点; 阐明了碳酸氢根促进 PSII 电子传递的机理, 证明亚硫酸氢钠有促进光合磷酸化的功能。

(11) 利用突变体首次证实呼吸电子传递和光合循环电子传递在状态调节中起关键作用等; 克隆了编码细胞色素 b₆ 559 的 α 和 β 亚基, 其重组体可在体外表达出是有氧化还原活性的 Cytb₆f 559。

3.2 稻麦等主要作物光合作用光能利用效率研究

(1) 对多个超级稻组合与多年来大面积使用的

杂交稻汕优 63 的光合特性进行了比较。发现多个超级稻品种光能利用效率比普通杂交稻汕优 63 高 15%—27%, 与其产量提高的幅度一致。

(2) 对过去 60 年来不同产量水平的有关小麦品种的光合作用特性进行了系统研究。发现高产品种具有高的净光合速率、低的暗呼吸速率、低的光补偿点、高的光饱和点。并发现小麦产量与光合速率呈显著正相关。

(3) 发现 C₃ 植物大豆一些叶片具有完整的 C₄ 代谢途径, 高产品种具有高的光化学利用效率、高的光系统 II 活性、RuBPCase 活性以及高的 C₄ 途径酶活性。表明 C₃ 植物在特定阶段有 C₄ 途径关键酶基因的高效表达。具有重要的理论和实践意义。

通过对水稻、小麦、大豆、玉米光合特性的系统研究, 显示其叶片光合速率的提高与产量的增加成正相关, 表明通过遗传改良可以获得高光合速率的品种, 为通过提高作物光合效率增加产量提供了理论依据。根据对农作物不同基因型、生态型光合特性的研究所获得的作物高效光能利用规律, 提出了育种理论的新思路, 即要综合考虑三个因素: 株型(个体和群体外在的光能利用效率) + 高光效(光合作用内在的光能转化效率) + 杂种优势的利用。

3.3 其它进展

在光合作用光抑制、光破坏和光保护的机理方面, 证明光系统 II 反应中心的可逆失活是一种保护性的能量耗散机制; 证明叶黄素循环在防止类囊体膜酸化中起关键作用; 首次发现衰老小麦叶片对光抑制较为敏感, 证明这种敏感性的增加是由于衰老叶片叶黄素循环代谢功能的增强所致; 抑制差异机制的研究发现粳稻为光氧化的抗性型, D₁ 蛋白不易降解, 半衰期较长, 而籼稻为光氧化敏感型, D₁ 蛋白易降解, 半衰期较短; 揭示籼粳 D₁ 蛋白耐光差异的分子机理, 可能与调控基因表达的上游因子相关。

在非叶器官的光合器结构和功能方面, 首次发现大豆豆荚具有与叶片光合器官相似的光合结构和功能系统。同时还发现豆荚表现出很强的 C₄ 光合途径特点。豆荚的光合功能对大豆产量的形成

(转至 36 页)

Progress of Functional Genome Studies in Epididymis

Zhang Yonglian

(Institute of Biochemistry and Cell Biology, CAS, 200031 Shanghai)

It is well established that sperm maturation is not intrinsic to sperm themselves but acquired during their transit in the epididymis. The unique role of the epididymis in sperm maturation, storage and protection has long been recognized and led to the proposal of the epididymis as a target for contraceptives. We have currently investigated the region-specific gene expression pattern in rat and monkey epididymis (works for monkey were collaborated with Dr. FS French's lab in the University of North Carolina at Chapel Hill). We have obtained 13 epididymis-specific novel full-length cDNA clones so far (2 in the rat caput region, 4 in monkey caput region, 4 in monkey corpus region and 3 in the monkey cauda region). Further studies of their roles are on the way. Recently, we found that one rat gene, named Bin1b had certain antimicrobial activity and expressed in a high level during the fertile active period of the animal. These results implied that it might be important in sperm maturation and the innate host defense system in epididymis. The results have been published on the top journal *Science*.

张永莲 女, 中国科学院院士, 上海生命科学研究院生物化学与细胞生物学研究所研究员。1957年毕业于复旦大学化学系。长期从事雄激素对基因表达调控的研究。曾先后在英国 ICRF、美国芝加哥大学和威斯康星大学、荷兰 ERUSMUS 大学、美国北卡罗莱纳大学、澳大利亚悉尼大学进行合作研究。1993年获中国科学院自然科学奖一等奖, 1997年获国家自然科学奖三等奖, 1998年获上海市科技成果奖二等奖, 2000年获生物化学、生物物理学和分子生物学杰出研究论文奖。并获得上海市劳动模范、上海市“三八”红旗手标兵、上海市巾帼科技精英等荣誉。

*

*

*

(接 44 页)

有重要贡献。对小麦穗部器官的研究表明, 芒、颖片、内稃和外稃等非叶光合器官均具有完整的光合结构与功能。

在光合效率的常规育种和基因工程研究方面, 在多年研究的基础上, 育出几个较目前常规大豆品种的光合效率和产量都高的新品种。对成功将玉米 PEPC 基因转入水稻的工程植株的光合特性进行了全面的研究。发现转基因水稻有明显的 C_4 植物光合特性。

首次从水稻和小麦中克隆了 *vde* 基因, 获得了大量转基因烟草植株, 为进一步研究叶黄素循环的机制提供了新途径。该项目组已有效、成功地把跨度大的一级学科——生物学、物理学、化学、农学等

研究力量有机地组织起来, 开展光合作用机理和作物光合特性及其提高作物光能利用效率的研究。并在国际竞争激烈、难度相当大的前沿领域, 取得了一些基础性、前瞻性的进展。

二年来共完成学术论文 227 篇, 其中在国内外 *SCI* 和 *SCI Search* 上发表论文 179 篇, 同时, 结合光合作用的光能转换机理及其提高作物光合效率的研究, 建立了与国际先进水平可比的技术平台, 建立了适合生物样品测试的时间分辨超快光谱、时间分辨的波谱技术、当代生化及分子生物学、基因工程等方面的研究技术。更主要的是在前期工作的基础上, 找出了进一步研究的焦点, 有望在 5—10 年内取得大的突破。