

文章编号: 1000-5692(2002)01-0104-05

# 钾元素对植物光合速率、Rubisco 和 RCA 的影响

郑炳松<sup>1</sup>, 程晓建<sup>1</sup>, 蒋德安<sup>2</sup>, 翁晓燕<sup>2</sup>

(1. 浙江林学院 资源与环境系, 浙江 临安 311300; 2. 浙江大学 生命科学学院, 浙江 杭州 310029)

**摘要:** 钾离子可提高叶肉细胞渗透势, 增加植物叶片水势, 减少气孔阻力, 增多叶绿体内基粒, 促进光合电子传递及光合磷酸化, 提高光合关键酶二磷酸核酮糖羧化酶/加氧酶(Rubisco)和 Rubisco 活化酶(RCA)的含量和活性, 明显降低量子需要量, 提高光合速率。Rubisco 是光合速率的关键酶, RCA 对 Rubisco 活性有重要的调节作用。低钾主要导致 Rubisco 及 RCA 含量均降低, 限制了体内 Rubisco 的活化和 Rubisco 总活性, 降低了 Rubisco 的初始活性, 使 CO<sub>2</sub> 固定作用低于 Rubisco 的最大能力, 制约了光合速率和生物产量的提高。同时钾离子对 Rubisco 和 RCA 没有直接的活化作用。参 50

**关键词:** 钾元素; Rubisco; RCA; 光合速率

**中图分类号:** Q945.11; Q946.5; S511.01

**文献标识码:** A

钾是所有生物必需的营养元素, 在植物体中它是含量最丰富的阳离子, 并且在各种生理与生物化学过程(包括光合作用)中起着重要作用。植物生长需要大量的氮和钾。随氮肥用量的增加, 作物产量的提高使南方很多地区氮和钾比例失调已成为生产上的一个突出问题, 钾肥施用已逐渐为人们所重视。一般公认, 缺钾会减缓植物生长并在许多方面扰乱叶片的代谢活动, 但是缺钾对叶片中光合作用(及其各分过程)的影响是全面降低植物生长的重要原因。因此, 有关钾元素对光合作用的影响人们从不同层次进行了研究。本文对近几年来关于钾元素对光合作用和光合关键酶的影响及部分机理等方面的研究进展作一概述。

## 1 钾元素与光合作用的关系

钾能提高叶肉细胞的渗透势<sup>[1]</sup>。因此, 叶片水势与叶钾的浓度密切相关<sup>[2]</sup>。有些物种能适应叶片水势下降(渗透调节), 并能维持细胞膨压以及代谢过程。渗透调节涉及到不同化学组分的积累。有些种在缺水时, 植物内积累起可溶性碳水化合物和钾离子<sup>[3,4]</sup>。已经证实钾离子是在渗透调节中极重要的阳离子<sup>[5]</sup>, 严重缺钾导致水势明显降低, 而水势又与净光合速率之间呈显著直线正相关<sup>[6]</sup>, 因而缺钾间接地影响净光合速率的顺利进行。水势降低又直接影响细胞膨压以及正常代谢<sup>[7]</sup>, 从而缩短叶片光合功能期, 显著降低稻叶尤其剑叶的净光合速率, 引起早衰。

Peasles 和 Moss 报道<sup>[8]</sup>, 缺钾的玉米叶片净 CO<sub>2</sub> 吸收下降与气孔阻力上升密切相关, 并认为钾对光合速率的主要影响可能归咎于气孔的关闭。蒋德安等<sup>[9]</sup>认为低钾使该叶气孔导度明显下降, 且稻叶的气孔导度与净光合速率显著直线正相关。但近年来的研究表明, 缺钾对叶肉细胞内的生化因子(归结为“叶肉阻抗”)的影响大于叶片 CO<sub>2</sub> 导度(与气孔阻力有关)<sup>[10]</sup>。在苜蓿<sup>[11]</sup>与棉花<sup>[12]</sup>中, 因中度缺钾而导致光合作用的减少主要与增加叶肉阻抗有关。气孔阻抗只有在严重缺钾后才会增加。大豆

收稿日期: 2001-08-20

作者简介: 郑炳松(1972-), 男, 浙江龙游人, 讲师, 硕士, 从事植物分子生理研究。

缺钾所引起的光合降低是与气孔阻抗的增加有关, 然而这并非是导致同化作用降低的主要原因。在不缺钾的植株中, 老叶的光合速率逐渐减低, 而在缺钾植株中则急剧降低。无论是缺钾植株还是对照植株, 其基部叶片的同化速率一般与蒸腾速率的减少和气孔阻抗的增加相关。无论是在缺钾还是对照植物体中, 计算所得的内部  $\text{CO}_2$  浓度则保持相对稳定。因此, 可以推断, 光合作用的首要限制因子<sup>[13]</sup>是叶肉阻抗, 而不是气孔导度。蒋德安等报道<sup>[9, 14]</sup>, 缺钾叶片叶绿体的希尔反应活性降低(按每单位叶绿素计算), 离体类囊体的铁氰化物还原速率和光合磷酸化速率也都是缺钾植株低于对照植株。低钾促使水稻较老叶片光合磷酸化活力和光合传递活力降低, 但该时叶片的叶绿素含量并未下降<sup>[6, 9, 14, 15]</sup>, 单位面积的非环式光合磷酸化活力和电子传递活力分别与净光合速率呈显著直线正相关, 表明低钾营养下叶片光合速率降低源于叶绿体光化学活力的衰退<sup>[9]</sup>。外源 KCl 虽可促进离体叶绿体的光合磷酸化<sup>[6]</sup>和电子传递活力<sup>[9]</sup>, 但这种促进均表现为饱和和动力学类型, 且随反应液中 KCl 含量的提高, 来自低钾和正常钾叶绿体间这 2 种活力的差异变大, 说明除钾离子直接促进光化学活力外, 还引起叶绿体结构的破坏。研究证明低钾不影响水光解, 主要使 PS I 和 PS II 及其氧化还原两侧活力下降<sup>[9]</sup>, 但这种下降是由于组成成分的减少还是失活, 尚有待研究。

## 2 Rubisco 及 RCA 与光合作用的关系

Rubisco [RuBP 羧化酶/加氧酶 (ribulose-1, 5-bisphosphate carboxylase/oxygenase)], 是催化光合碳代谢中光合成与光呼吸最初步骤的酶, 也是目前仅知的几种具有双重催化活性的酶之一。Rubisco 是  $\text{C}_3$  植物光合作用中的关键酶, 控制着  $\text{CO}_2$  固定, 与光合速率具有内在联系。许多研究表明: Rubisco 含量或其羧化活性与光合速率关系密切, Rubisco 初始活力下降是光合衰退的最直接的内在因素<sup>[16~20]</sup>。王仁雷等<sup>[14]</sup>对水稻叶片生育过程中 Rubisco 活性与光合及光呼吸的关系进行了研究, 表明蛋白量与 Rubisco 活化程度协调也制约着光合速率。大量资料表明 Rubisco 可以多种形式存在, 如 ECM, E 与 EC。ECM 是有催化潜力的形式, E 与 EC 是非活性形式。但要进行催化反应, 必须处于活化状态。其活性依靠于非活化形式 E 向活化形态 ECM 转化的程度<sup>[21~24]</sup>。早在 80 年代初人们就认识到 Rubisco 只有在先与  $\text{CO}_2$  和  $\text{Mg}^{2+}$  结合后, 才能催化羧化或加氧反应, 该  $\text{CO}_2$  不同于底物的  $\text{CO}_2$ , 不直接参与反应, 而是作为活化因子存在<sup>[24]</sup>。

在高等植物叶片中 Rubisco 含量占可溶性蛋白质的 50% 以上。Rubisco 只有形成 ECM 复合物时才具有羧化和加氧活性。当脱去  $\text{Mg}^{2+}$  和  $\text{CO}_2$  后即钝化。但钝化的酶可以利用高浓度的  $\text{CO}_2$  (10 mmol),  $\text{Mg}^{2+}$  (30 mmol) 和 pH 值为 8 的条件保温重新活化。因此, 人们曾认为 Rubisco 光调节是由于光下间质  $\text{CO}_2$  增加(因气孔开放)、 $\text{Mg}^{2+}$  增多和 pH 值上升所致。后来人们发现 Rubisco 的调节十分复杂, 其钝化形式有多种, 除了脱去  $\text{Mg}^{2+}$  和  $\text{CO}_2$  的纯酶 (E) 以外, 还有 E-RuBP、ECM-XuBP (木酮糖-1, 5-二磷酸) 和 ECM-CAIP (羧基阿拉伯糖-1, 5-二磷酸) 等, 这些不可或很难被活化纯酶 (E) 的方法所活化<sup>[25~28]</sup>。直到 Somerville 等<sup>[29]</sup>发现只有在极高  $\text{CO}_2$  浓度下才能自养的拟南芥突变体后, Salvucci 等<sup>[30]</sup>证实该突变体缺少 41KD 和 45KD 的 2 条叶绿体可溶性蛋白, 并又证实该蛋白可以在大气  $\text{CO}_2$  浓度条件下依赖 ATP 使多种活化的 Rubisco 活化, 才定名为 Rubisco 活化酶 (Rubisco activase), 简称 RCA。该酶也由核基因编码, 光促进该酶基因表达。该酶活性受 ATP 促进, ADP 抑制。

由于在反应过程及低光强下 Rubisco 钝化失活, RCA 需不断催化 E-糖磷酸脂的解离, 使 Rubisco 活化, 并促进 E 在生理  $\text{CO}_2$  浓度下变为 ECM 活化状态<sup>[21, 22]</sup>。缺少 RCA 的拟南芥突变体和 RCA 反义 RNA 转基因烟草中无 RCA 活性, 导致 Rubisco 在体内的不活化<sup>[30]</sup>, 纯化的酶在 E-RuBP 无 RCA 存在情况下, 固定  $\text{CO}_2$  的能力很低, 加 RCA 6 min 后活力可达到 ECM 的水平, RCA 含量与 E-RuBP 的活化间有线性关系<sup>[32]</sup>, 都充分说明 RCA 在催化 Rubisco 中的功能。RCA 具有内在的 ATPase 活性, 在活化 Rubisco 时必须依赖 ATP 水解产生的能量。RCA 含量与 Rubisco 活性和光合速率呈正相关。RCA 的反义突变使 Rubisco 活化下降与光合速率下降<sup>[35~37]</sup>。从而认为 RCA 水平通过调节 Rubisco 活性, 再来调节光合速率。RCA 活性与光照有关, 许多体外和体内的试验都已发现 RCA 的活性可受光激活<sup>[38, 39]</sup>。从

黑暗转入光照条件下, RCA 总是优先于 Rubisco 达到活化饱和状态, 然后才引起稳定的 Rubisco 活化作用, 从而对光合速率起调节作用。

### 3 钾元素对光合关键酶的影响

钾元素对 Rubisco 活力与含量的影响也有报道。Peoples 等<sup>[11]</sup> 研究认为在苜蓿叶片中低钾不影响 PS I 和 PS II 活性, 但降低粗提液中 Rubisco 的活力与含量。由于放线菌素 D 与亚胺环己酮能抑制钾刺激的 Rubisco 合成, 表明钾主要是在 RNA 合成和蛋白质合成水平上影响 Rubisco 合成。缺钾抑制 Rubisco 的合成, 从而降低叶片中的 Rubisco。Makino 等<sup>[40]</sup> 认为低钾对稻叶展开期间 Rubisco 含量没有直接的影响。Yamashita 等<sup>[41]</sup> 也认为在桑树叶中低钾对 Rubisco, 可溶性蛋白含量的影响不大, 但增加淀粉、果糖和葡萄糖的含量, 降低 CO<sub>2</sub> 固定速率, 从而认为影响了 Rubisco 活力。Osaki 等<sup>[42]</sup> 对春小麦、玉米、大豆和马铃薯进行研究发现缺钾都降低 Rubisco 的含量, 对春小麦来说, 缺钾在营养阶段与早期成熟阶段降低 Rubisco/总氮, Rubisco/叶绿素。黄建中等<sup>[43]</sup> 研究认为以单叶计低钾稻叶的 Rubisco 含量与活性均低于正常钾, 这在一定程度上与低钾营养稻叶较小有关。另一方面, 单位鲜质量的含量与活性也是低钾稻叶低, 且 Rubisco 含量与活力在低钾稻叶中仍快速下降, 统计分析表明单叶 Rubisco 含量与活性均分别与光合速率呈线性相关, 叶片含钾量与光合速率之间也呈线性相关。但以上研究均只是研究了酶粗提液在活化后的 Rubisco 总活力。随着 80 年代对 Rubisco 活化过程和钝化过程的认识, 使人们在研究光合速率与 Rubisco 的关系时更重视的 Rubisco 初始活力。Jiang 等<sup>[19]</sup> 报道叶片衰老过程中 Rubisco 初始活力与净光合速率的相关性高于 Rubisco 总活力与净光合速率的相关性, 且前两者的相关性无叶片间的差异, 因此光合速率更直接决定于 Rubisco 的初始活力。通过可溶性淀粉处理可导致植物根系活力下降, 从而导致光合速率及光合速率/Rubisco 活力比值和 Rubisco 活化程度下降。而低钾导致根系发育不良及光合磷酸化活力下降极有可能导致 Rubisco 在体内失活。我们的结果表明在缺钾的条件下, Rubisco 在体内的活化受到抑制。低钾对 Rubisco 总活性的影响在 0~30% 之间, 对 Rubisco 含量的影响在 10%~30% 之间, 低于对光合速率的影响。低钾使 Rubisco 活化酶活性和含量下降 10%~50%。钾对单位面积上可溶性蛋白影响最小, 表明低钾在影响 Rubisco 合成<sup>[7]</sup> 的同时, 增加了其他蛋白的合成。低钾处理的水稻抽穗当日, 剑叶叶绿素含量还高于正常钾处理, 但随着剑叶衰老, 降低较快<sup>[9]</sup>。缺钾是常见的植物生理病害之一, 缺钾后最明显的表现为叶片早衰。而光合作用相关酶类表达的下调及衰老相关基因的启动<sup>[44]</sup>, 自由基的大量产生是导致衰老的主要原因<sup>[27]</sup>。因此, 可以认为缺钾引起的早衰与光合平衡失调, 导致自由基的产生有关。因为在缺钾初期, 叶片的电子传递和光合磷酸化活力并未降低<sup>[9]</sup>, 但 Rubisco 初始活性的下降, Rubisco 活化酶含量和活性的下降, 会导致对同化力 (ATP 和 NADPH) 需求的降低。低钾植株高光强下 SOD 活性的上升也预示着超氧自由基的加剧产生<sup>[45]</sup>, 而同化力的过剩是叶绿体产生超氧自由基的重要原因<sup>[46]</sup>。低钾对水稻剑叶抽提液 Rubisco 初始活性的下降影响最大, 在 0.1~0.4 mol·L<sup>-1</sup> KCl 的范围内, 钾离子只有在 0.1 mol·L<sup>-1</sup> 的浓度下保持 Rubisco 初始活性不变, 而对钝化了的 Rubisco (E 形态) 或 Rubisco 总活性 (含 E 形态) 即使在 0.1 mol·L<sup>-1</sup> KCl 浓度下也有一些抑制作用, 表明过量供钾降低了光合产物的输出速率<sup>[47]</sup>, 造成叶绿体破损, 光合和产量降低<sup>[48, 49]</sup>。这也预示着钾离子对 RCA 没有直接活化作用, 可能钾元素在体内产生另一种物质有利于 Rubisco 活化。李立人等<sup>[18]</sup>, 魏锦诚等<sup>[50]</sup> 报道 Rubisco 酶蛋白及其活化程度协调地制约着光合速率。因此, 缺钾一方面主要通过降低 Rubisco 活化酶的含量, 限制了体内 Rubisco 的活化, 降低了 Rubisco 的初始活性, 另一方面主要是通过降低 Rubisco 含量, 限制了 Rubisco 总活性, 使 CO<sub>2</sub> 固定作用低于 Rubisco 的最大能力, 从而制约了净光合速率和生物产量的提高。

### 4 结语和展望

缺钾可降低植物叶片水势, 减少气孔阻力和叶肉阻力, 且叶绿体内基粒减少, 降低光合电子传递及光合磷酸化, 减少光合关键酶 Rubisco 和 RCA 的含量和活性, 使量子需要量明显增加, 光合速率下降。目前对 Rubisco 和 RCA 的研究进展很快, 并明确 Rubisco 是光合速率的关键酶, RCA 对 Rubisco 活

性有重要的调节作用, 低钾主要导致 Rubisco 及 Rubisco 活化酶含量均降低, 限制了体内 Rubisco 的活化和 Rubisco 总活性, 降低了 Rubisco 的初始活性, 使 CO<sub>2</sub> 固定作用低于 Rubisco 的最大能力, 制约了净光合速率和生物产量的提高。同时钾离子对 RCA 没有直接的活化作用。但关于低钾胁迫对植物光合作用及其光合关键酶的影响、Rubisco 和 RCA 的组织细胞学定位、表达特性及其钾元素的调控的分子生理基础研究有待于进一步探索。随着生理生化技术的不断提高, 分子生物学技术的应用, 不久将会在钾元素对光合作用及光合关键酶的分子调控、基因工程及其 RCA 新功能等方面有所突破。

## 参考文献:

- [1] Kaiser W M. Correlation between changes in photosynthetic activity and changes in total protoplast volume in leaf tissue from hygro-, meso-, and xerophytes under osmotic stress [ J ]. *Planta*, 1982, **154**: 538—545.
- [2] Graham R D, Ulrich A. Potassium deficiency-induced changes in stomatal behavior, leaf water potentials, and root system permeability in *Beta vulgaris* L. [ J ]. *Plant Physiol*, 1972, **49**: 105—109.
- [3] Bradford M M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding [ J ]. *Am Biochem*, 1976, **72**: 248—257.
- [4] Culter J M, Rains D W. Effects of water stress and hardening on the internal water relations and osmotic constituents of cotton leaves [ J ]. *Physiol Plant*, 1978, **42**: 261—268.
- [5] Flowers T J, Lauchli A. *Encycl Plant Physiol* (new series) [ M ]. Berlin: Springer-verlag, 1993. 651—660.
- [6] 饶立华, 蒋德安, 薛建明, 等. 钾营养对水稻光合器功能的效应与谷粒产量的影响 [ J ]. *植物生理学报*, 1989, **15**(3): 191—197.
- [7] 吉田昌一. 水稻生理学手册 [ M ]. 周良涛, 译. 北京: 北京科学技术出版社, 1975. 57—62.
- [8] Peasles D E, Moss D N. Photosynthesis in K- and Mg-deficient maize leaves [ J ]. *Soil Sci*, 1966, **30**: 220—223.
- [9] 蒋德安, 饶立华, 彭佐权. 低钾条件下水稻的光合特性 [ J ]. *植物生理学报*, 1988, **14**(1): 50—55.
- [10] Humble G D, Raschke K. Stomatal opening quantitatively related to potassium transport [ J ]. *Plant Physiol*, 1971, **48**: 447—453.
- [11] Peoples T R, Koch D W. Role of potassium in carbon dioxide assimilation in *Maliago sativa* L. [ J ]. *Plant Physiol*, 1979, **63**: 878—881.
- [12] Longstreth D J, Nobel P S. Nutrient influences on leaf photosynthesis [ J ]. *Plant Physiol*, 1980, **65**: 541—543.
- [13] Huber S C. Biochemical basis for effects of K-deficiency on assimilate export rate and accumulation of soluble sugars in soybean leaves [ J ]. *Plant Physiol*, 1984, **76**: 424—430.
- [14] 蒋德安, 陆庆, 薛建明, 等. 钾营养对稻叶光合功能及光能吸收的调节 [ J ]. *浙江农业大学学报*, 1992, **18**(4): 25—29.
- [15] 蒋德安, 饶立华, 彭佐权. 钾对水稻产量形成的一些生理效应 [ J ]. *浙江农业大学学报*, 1987, **13**(4): 441—444.
- [16] 王仁雷, 魏锦城. 杂交稻及其三系生育过程中 R 及有关光合酶的变化 [ J ]. *作物学报*, 1996, **22**(1): 6—10.
- [17] Madhler F, Nosberger J. Regulation of Rubisco activity in intact wheat leaves by light, CO<sub>2</sub> and temperature [ J ]. *J Exp Bot*, 1980, **31**(2): 1485—1491.
- [18] 李立人, 王维光, 韩祺. 苜蓿二磷酸核酮糖 (RuBP) 羧化酶体内活化作用的调节 [ J ]. *植物生理学报*, 1986, **12**(1): 33—39.
- [19] Jiang D A, Xu Y F. Internal dominant factors for declination of photosynthesis during rice leaf senescence [ J ]. *J Zhejiang Agric Univ* (浙江农业大学学报), 1995, **21**(5): 533—538.
- [20] Jiang D A, Lu Q, Weng X Y, et al. Regulation of Rubisco carboxylation activity and photosynthetic rate by Rubisco activase during leaf senescence in rice [ J ]. *J Zhejiang Univ* (浙江大学学报) 2000, **26**(2): 119—124.
- [21] Portis Jr. Regulation of ribulose 1, 5-bisphosphate carboxylase/oxygenase activity [ J ]. *Annu Rev Plant Mol Biol*, 1992, **43**: 415—437.
- [22] Portis Jr. The regulation of Rubisco by Rubisco activity [ J ]. *J Exp Bot*, 1995, **46** (Special issue) 1285—1291.
- [23] Salvucci M E, Loo E J, Van de. The mechanism of Rubisco activase: insight from studies of the properties and structure of the enzyme [ J ]. *Photosynt Res*, 1996, **47**: 1—7.
- [24] Hartman F C, Hapel M R. Structure, function, regulation and assembly of Rubisco [ J ]. *Annu Rev Biochem*, 1994, **63**: 197—234.
- [25] 毛伟华. 水稻不同品种光合及 Rubisco 的研究 [ D ]. 杭州: 浙江大学, 1999.
- [26] 翁晓燕. 水稻 Rubisco 活化酶及其光合作用调节机理的研究 [ D ]. 杭州: 浙江大学, 1999.
- [27] 曾广文, 蒋德安. *植物生理学* [ M ]. 成都: 成都科技大学出版社, 2000. 102—103.
- [28] Sage R F, Reid C D, Seemann J R. Long-term kinetics of ribulose-1, 5-bisphosphate carboxylase/oxygenase activity in plants with and without 2-carboxyarabinitol 1-phosphate [ J ]. *Planta*, 1993, **19**: 222—230.
- [29] Smerville C R, Portis A R Jr, Ogren W L. A mutant of *Arabidopsis thaliana* which lacks activation of RuBP carboxylase in vivo [ J ]. *Plant Physiol*, 1982, **70**: 381—387.
- [30] Salvucci M E, Portis A R Jr, Ogren W L. A soluble chloroplast protein catalyzes ribulose bisphosphate carboxylase/oxygenase activation in vivo [ J ]. *Photosynt Res*, 1985, **7**: 193—201.
- [31] 翁晓燕, 蒋德安, 毛伟华. Rubisco 活化酶及其对 Rubisco 的调节作用 [ J ]. *植物生理学通讯*, 1998, **34**(1): 69—73.
- [32] Robinson S P, Streusand V J, Mark J C, et al. Purification and assay of Rubisco activase from leaves [ J ]. *Plant Physiol*, 1988, **88**: 1008—

1 014.

- [ 33] Uchida N, Fukayama H, Koshinura H, *et al.* Effects of nitrogen nutrition and light intensity on Rubisco activase content and photosynthesis in rice leaf[ A]. *Proceedings of the International Photosynthesis Congress: Volume 5* [ C]. Montpellier, France, 1995. 329—332.
- [ 34] Fukayama H, Uchida N. Relationships between photosynthetic activity and the amounts of Rubisco activase and Rubisco in rice leaves from emergence through senescence[ J]. *Jpn J Crop Sci*, 1996, **65** (2): 296—302.
- [ 35] Mata C J, Hulsom G S, Caemmerer S V, *et al.* Reduction of Rubisco activase levels in tobacco by antisense RNA reduce Rubisco carboxylation and impair photosynthesis[ J]. *Plant Physiol*, 1993, **102**: 1 119—1 128.
- [ 36] Jiang G Z. Antisense RNA inhibition of Rubisco activase expression[ J]. *Plant J*, 1994, **5**: 787-789.
- [ 37] Eckardt N A, Snyder G W, Portis A R, *et al.* Growth and photosynthesis under high and low irradiance of *Arabidopsis thaliana* antisense mutants with reduced Rubisco activase content[ J]. *Plant Physiol*, 1997, **113**: 576—586.
- [ 38] Lan V, Woodrow I E, Mott K A. light-dependent changes in RCA activity in leaves[ J]. *Plant Physiol*, 1992, **99**: 304—311.
- [ 39] Mizioro H M, Lorimer G H. Ribulose 1, 5-bisphosphate carboxylase/ oxygenase[ J]. *Annu Rev Biochem*, 1983, **52**: 507—515.
- [ 40] Makino A, Mae T, Ohira K. Photosynthesis and ribulose-1, 5-bisphosphate carboxylase in rice leaves. changes in photosynthesis and enzymes involved in carbon assimilation from leaf development through senescence[ J]. *Plant Physiol*, 1983, **21** (5): 533—538.
- [ 41] Yanashita T, Hikasa S. Changes in photosynthesis and content of ribulose bisphosphate carboxylase and other cellular constituents depending on the level of potassium supplied to mulberry (*Morus alba* L.) [ J]. *Soil Sci Plant Nutr*, 1988, **34** (4): 627—631.
- [ 42] Osaki M, Shirano T, Tadano T. Effect of nitrogen, phosphorus, or potassium deficiency on the accumulation of ribulose-1, 5-bisphosphate carboxylase/ oxygenase and chlorophyll in several field crops[ J]. *Soil Sci Plant Nutr*, 1993, **139** (3): 417—425.
- [ 43] 黄建中, 饶立华, 陆定志. 钾营养对杂交稻叶片发育期间光合作用的影响[ J]. 植物生理学通讯, 1991, **27** (2): 91—94.
- [ 44] Gan S, Amasino R M. Making sense of senescence: molecular genetic regulation and manipulation of leaf senescence[ J]. *Plant Physiol*, 1997, **113**: 313—319.
- [ 45] 蒋德安, 翁晓燕, 陆庆, 等. 钾营养对水稻光合速率、Hill 反应及 SOD 活力日变化的影响[ J]. 浙江农业大学学报, 1996, **22** (1): 87—93.
- [ 46] Demming-Adams B, Adams G. Photoprotection and other response of plant to high light stress[ J]. *Annu Rev Plant Physiol Plant Mol Biol*, 1992, **43**: 599—630.
- [ 47] 谢学民, 蒋德安, 翁晓燕, 等. 暗处理和钾营养对水稻<sup>14</sup>C<sub>2</sub>同化及其产物输出的影响[ J]. 浙江农业大学学报, 1993, **19** (3): 298—302.
- [ 48] 饶立华, 薛建明, 蒋德安, 等. 钾营养对杂交稻光合作用动态及产量形成的效应. [ J]. 中国水稻科学, 1990, **4** (2): 106—112.
- [ 49] 饶立华, 薛建明, 蒋德安. 钾营养对杂交稻光合作用生理参数及产量形成的效应[ J]. 江苏农业学报, 1990, **6** (增刊): 11—19.
- [ 50] 魏锦城, Agata W I. 水稻叶片生育过程中 Rubisco 活性与光合呼吸的关系[ J]. 植物生理学报, 1994, **20** (3): 285—292.

## Effects of potassium on Rubisco, RCA and photosynthetic rate of plant

ZHENG Bing-song<sup>1</sup>, CHENG Xiao-jian<sup>1</sup>, JIANG De-an<sup>2</sup>, WENG Xiao-yan<sup>2</sup>

(1. Department of Resources and Environment, Zhejiang Forestry College, Lin'an 311300, Zhejiang, China;

2. Department of Life Science, Zhejiang University, Hangzhou 310029, Zhejiang, China)

**Abstract:** Potassium resulted in high osmotic potential and water potential, low stomatal resistance, increasing chloroplast grana, activities of electron transport and photophosphorylation, activities and contents of Rubisco and Rubisco activase, and net photosynthetic rate. Rubisco is the key enzyme of photosynthesis, and RCA regulates the activities of Rubisco. The contents of Rubisco and RCA in plant leaves sharply decreased with decreasing potassium nutrition, as a results, the initial Rubisco activity, total Rubisco activity and RCA activity decreased. Potassium ion on the activity of pure Rubisco and RCA in vitro was unavailable. The reseach progress about the effect of potassium on photosynthesis and its key enzymes of plant is discussed.

**Key words:** potassium; Rubisco; Rubisco activase; photosynthesis