

# KHCO<sub>3</sub> 对水稻幼苗光合速率的影响

张丽颖 于洋 郝建军\* (沈阳农业大学农学院, 辽宁沈阳110161)

**摘要** 研究叶绿体、叶切片和完整叶片不同层次上 KHCO<sub>3</sub> 对水稻幼苗光合速率的影响。结果表明: 外加 KHCO<sub>3</sub> 可以使光合速率不同程度的提高, 特别是外加 KHCO<sub>3</sub> 对叶绿体光合放氧的促进作用尤为明显。

**关键词** 水稻幼苗; 光合速率; 影响

中图分类号 Q945.78 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2007)04-01009-02

## Influence of KHCO<sub>3</sub> on Photosynthesis Rate of Rice Seeding

ZHANG Li-ying et al (College of Agronomy, Shenyang Agricultural University, Shenyang, Liaoning 110161)

**Abstract** The influence of KHCO<sub>3</sub> of different consistency on the rice seedling photosynthesis of the chloroplast, the leaf segments and the intact leaf was studied. The results showed that KHCO<sub>3</sub> raised photosynthetic rate of rice seedling, especially the worked chloroplast.

**Key words** Rice seedling; Photosynthetic rate; Influence

水稻是 C<sub>3</sub> 植物, 空气中 CO<sub>2</sub> 浓度低是限制其光合作用的主要因素。已有报道在水稻叶片中有 C<sub>4</sub> 光合酶系统, 但酶活性较低<sup>[1]</sup>。笔者试验通过外施 KHCO<sub>3</sub> 来补充 CO<sub>2</sub> 不足, 同时利用 C<sub>3</sub> 植物中 C<sub>4</sub> 途径酶的活性, 增强 C<sub>3</sub> 作物的光合作用。

### 1 材料与试验方法

**1.1 试验材料** 以辽粳9号水稻秧苗为试材, KHCO<sub>3</sub> 产于沈阳市化学试剂厂。

### 1.2 试验方法

**1.2.1 叶绿体制备与光合速率的测定。** 取4叶龄的水稻叶片, 按郝建军等(2001)方法<sup>[2]</sup>制备叶绿体。叶绿体在不同浓度 KHCO<sub>3</sub> 0、0.01、0.05、0.1 mol/L 条件下, 分别用氧电极测定其光合速率。

**1.2.2 叶切片浸 KHCO<sub>3</sub> 光合速率的测定。** 取4叶龄的水稻叶片切成约 1 mm × 1 mm 小块, 然后将叶切片置于在不同浓度的 KHCO<sub>3</sub> 0、0.01、0.05、0.1 mol/L 条件下, 测定其光合速率。

**1.2.3 外施 KHCO<sub>3</sub> 叶片光合速率的测定。** 设6个 KHCO<sub>3</sub> 浓度:(CK) 0、(K1) 5 mmol/L、(K2) 10 mmol/L、(K3) 15 mmol/L、(K4) 20 mmol/L、(K5) 25 mmol/L。分别在水稻3、4、5叶期用手压喷壶对其叶片进行喷施(使溶液在叶片表面形成均匀且细密的分布), 3 d 后喷施第2次, 次日将叶片切成约 1 mm × 1 mm 小块, 测定其光合速率。为确定 K<sup>+</sup> 对水稻幼苗光合作用的影响, 于水稻5叶期另测外施 NaHCO<sub>3</sub> 后水稻叶片的光合速率, 浓度分别记为(CK) 0、(N1) 5 mmol/L、(N2) 10 mmol/L、(N3) 15 mmol/L、(N4) 20 mmol/L、(N5) 25 mmol/L。

### 2 结果与分析

#### 2.1 不同浓度 KHCO<sub>3</sub> 对水稻幼苗叶绿体光合速率的影响

由图1可知, 未加 KHCO<sub>3</sub> 时, 水稻幼苗叶绿体的光合速率极低, 随着反应体系 KHCO<sub>3</sub> 浓度的增加, 光合速率也随之增加, 当 KHCO<sub>3</sub> 的浓度为 0.01、0.05、0.1 mol/L 时, 光合放氧速率分别为 6.209、14.083、21.185 μmol/(g·min)。这说明 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> 可以作为水稻叶绿体的碳源参与光合作用。

#### 2.2 不同浓度 KHCO<sub>3</sub> 浸4叶龄水稻叶切片对光合速率的影响

由图2可知, 未加 KHCO<sub>3</sub> 时, 水稻叶切片的光合放氧

速率基本为零, 随着反应体系 KHCO<sub>3</sub> 浓度的增加, 光合速率也随之增加, 光合速率与浓度呈线性变化。当 KHCO<sub>3</sub> 的浓度为 0.01、0.05、0.1 mol/L 时, 光合放氧速率分别为 2.9157、12.78、19.0003 μmol/(g·min)。这说明 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> 可以作为水稻叶片的碳源参与光合作用。

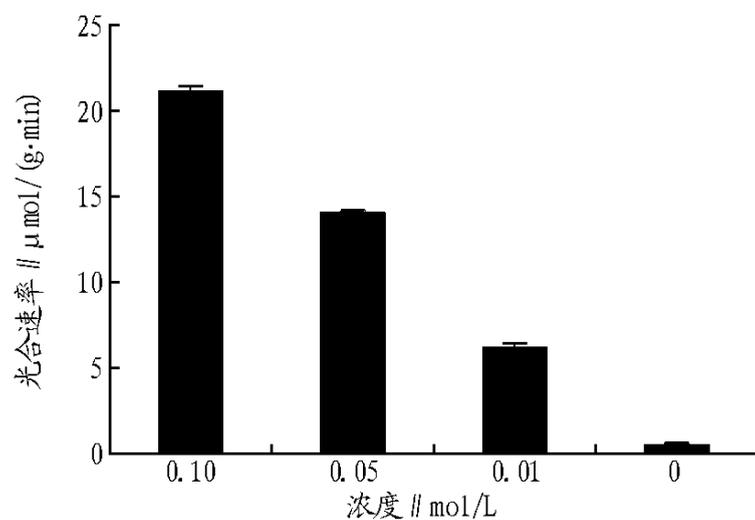


图1 不同浓度 KHCO<sub>3</sub> 的水稻幼苗离体叶绿体光合速率

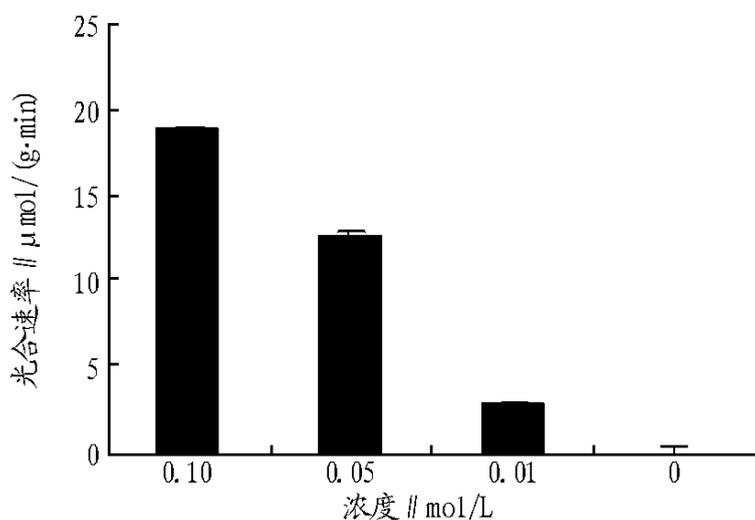


图2 不同浓度 KHCO<sub>3</sub> 的4叶龄水稻叶切片光合速率

#### 2.3 外施不同浓度 KHCO<sub>3</sub> 对水稻幼苗光合速率的影响

**2.3.1 对水稻幼苗第3片叶光合速率的影响。** 由图3可知, 不同浓度 KHCO<sub>3</sub> 对水稻幼苗第3片叶光合速率都有影响, K1 光合速率与对照接近, K2、K3、K4 光合速率上升明显, K3 光合速率最高, K5 光合速率低于 K2、K3、K4。K1 光合速率提高幅度相对较小, 比 CK 提高 1.56%; K2、K3 光合速率提高的幅度有所上升, 分别比对照提高了 5.6%、7.46%, K4、K5 的光合速率提高的幅度有所降低, 但仍分别比 CK 提高了 6.74%、3.16%。

**2.3.2 对水稻幼苗第4片叶光合速率的影响。** 由图4可

知,不同浓度  $\text{KHCO}_3$  对水稻幼苗第4片叶光合放氧速率影响明显,K1、K2、K3 光合速率提高幅度明显,K3 光合速率最高,K4、K5 相对于K3 光合速率有所下降,K1、K2、K3 分别比CK 提高了4.37%、6%、6.51%。

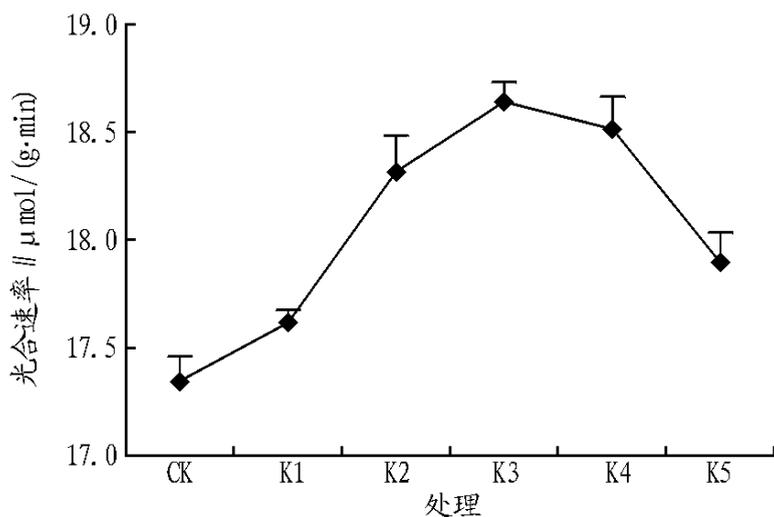


图3 不同浓度  $\text{KHCO}_3$  的水稻幼苗第3片叶光合速率

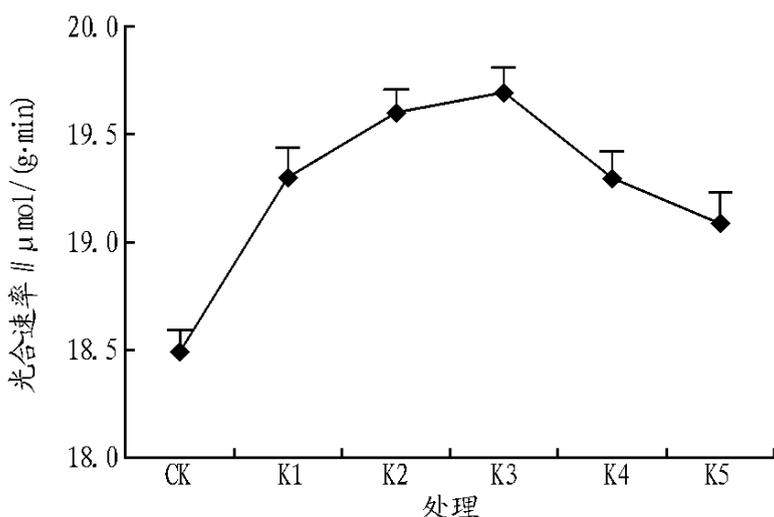


图4 不同浓度  $\text{KHCO}_3$  的水稻幼苗第4片叶光合速率

**2.3.3 对水稻幼苗第5片叶光合速率的影响。**由图5可知,不同浓度  $\text{KHCO}_3$  对水稻幼苗第5片叶的光合速率影响很大,K1、K2、K3 相对于CK 提高明显,对光合速率促进最大的为K3,比CK 提高了3.57%,从整体上讲,各处理对水稻幼苗的光合速率促进幅度随浓度的增大而提高,但是当浓度超过一定范围时,光合速率提高幅度减小,K5 仅比CK 提高了0.12%。

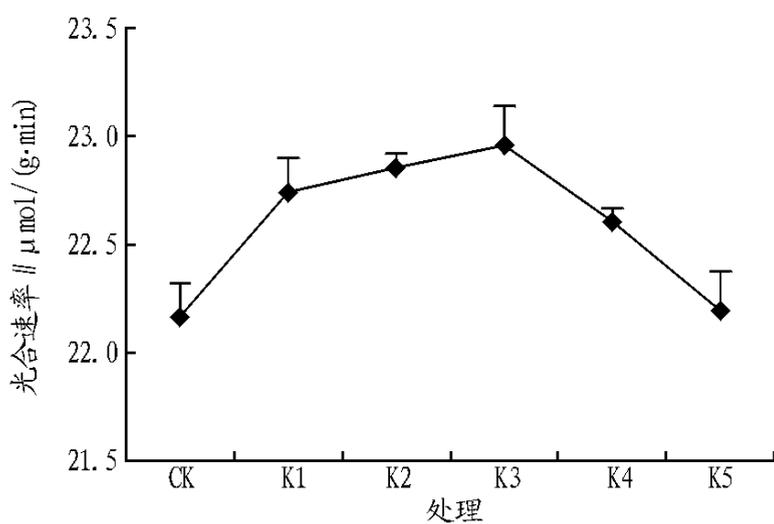


图5 不同浓度  $\text{KHCO}_3$  的水稻幼苗第5片叶光合速率

**2.3.4 对水稻幼苗第5片叶光合速率的影响。**由图6可知,不同浓度  $\text{NaHCO}_3$  对水稻幼苗第5片叶的光合速率影响较大,N1、N2、N3 相对于CK 有所提高,对光合速率促进最大的为N2,比CK 提高了3.35%,然而当浓度超过一定范围时,光合速率提高幅度减小,当浓度继续提高时,N5 比CK 低了0.68%, $\text{NaHCO}_3$  对光合速率有轻微抑制作用。

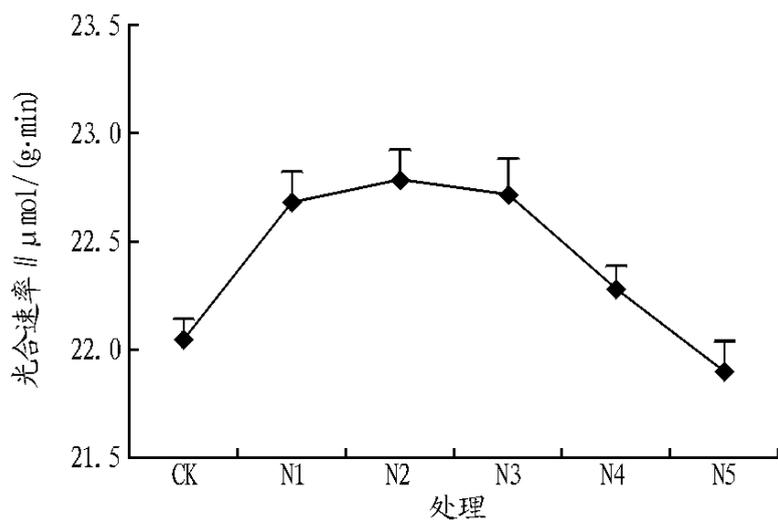


图6 不同浓度  $\text{KHCO}_3$  的水稻幼苗第5片叶光合速率

### 3 讨论

(1) 水稻叶绿体、叶切片在相同浓度  $\text{KHCO}_3$  处理下,叶绿体光合速率明显高于叶切片的光合速率,可能是由于  $\text{HCO}_3^-$  在叶细胞及细胞间隙间的运输的距离长阻力大,而在离体叶绿体中, $\text{HCO}_3^-$  无需穿越叶肉组织只需穿越叶绿体被膜直接进入叶绿体间质参与光合碳代谢。

(2) 外施  $\text{KHCO}_3$  处理的水稻叶片光合速率明显低于  $\text{KHCO}_3$  渗透切叶处理,原因可能是:水稻叶表皮细胞表面均覆盖蜡质层,下有角质层与硅质层,在细胞列间或外壁上着生有钩状或针状绒毛,外施离子很难进入叶肉细胞,影响了  $\text{HCO}_3^-$  的运输速度,进而影响其参与碳同化的速度。

(3) 不同浓度的  $\text{KHCO}_3$  外施处理对不同叶龄的水稻叶片反映不同,喷施效果表现为4叶期好于5叶期,3叶期好于4叶期。外施  $\text{KHCO}_3$  处理水稻叶片以3叶期效果最佳。K1、K2、K3、K4 处理均表现出对光合放氧速率的促进,其中K1 提高光合放氧速率的幅度很小,有时接近对照。K2、K3 提高光合放氧速率的幅度比较大,并且K3 的光合速率大于K2 的光合速率,K4 相对于对照光合速率提高幅度也比较大,但与K3 差异较小,并低于K3 的光合速率。低浓度  $\text{KHCO}_3$  处理叶片均表现出对光合放氧速率的促进,其中以K3 处理浓度最佳。

(4) 外施与  $\text{KHCO}_3$  相同浓度  $\text{NaHCO}_3$  的水稻幼苗第5片叶光合速率较低。原因可能是: $\text{K}^+$  可促进气孔开放,增大气孔导度,有利于空气中  $\text{CO}_2$  和喷施的  $\text{HCO}_3^-$  进入叶肉细胞,有利于光合作用进行。

(5) 使用  $\text{KHCO}_3$  可显著提高水稻幼苗的光合速率的原因:一是  $\text{HCO}_3^-$  可作为光合作用的底物参与碳同化循环;二是叶绿体中  $\text{CO}_2$  浓度相应升高, $\text{CO}_2/\text{O}_2$  值升高,Rubisco 羧化活性提高。水稻幼苗光呼吸显著,其生化过程始于Rubisco 的加氧反应,加氧活性的大小又取决于叶绿体中  $\text{CO}_2/\text{O}_2$  值。施用  $\text{HCO}_3^-$  使该值升高,从而抑制了光呼吸。

### 参考文献

- [1] WANG Q, LU C M, ZHANG Q D, et al. Characterization of photosynthesis, photo-inhibition and the activities of  $\text{C}_4$  pathway enzymes in a superhigh yield rice [J]. *Liangyoupeijiu Sci in China*, 2002(5): 468 - 476.
- [2] 郝建军, 刘延吉. 植物生理学实验技术[M]. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 2001.
- [3] 迟伟, 焦德茂. 转PEPC 基因水稻的光合生理特性[J]. 植物学报, 2001, 43(6): 657 - 660.
- [4] 季本华, 朱素琴, 焦德茂. 转玉米  $\text{C}_4$  光合酶基因水稻株系中的光合  $\text{C}_4$  微循环[J]. 作物学报, 2004, 30(6): 536 - 543.