

Ca对杂交水稻后期叶片衰老和谷产量的影响^{*}

宋松泉 傅家瑞

(中山大学生命科学学院, 广州 510275)

摘 要 杂交水稻汕优 63中后期施 Ca能提高旗叶中叶绿素和可溶性蛋白质的含量,增加超氧化物歧化酶(SOD)的活性,降低膜脂过氧化产物丙二醛(MDA)的含量. Ca还能增加植株的有效穗、实粒数、千粒重和谷产量,在始穗期前 10 d每盆施 2 g CaCl₂比施 1 g好,1次施用比分两次施用效果好.

关键词 叶片衰老, 谷产量, Ca, 杂交水稻

分类号 Q 233. 25

杂交水稻叶片衰老时叶绿素和蛋白质含量下降,脂质过氧化产物 MDA和脂质氢过氧化物含量增加^[1]. Ca²⁺ 在真核细胞信号转导中起重要作用,调节植物的衰老和成熟等生理生化过程^[2]. Ca²⁺ 能延缓离体水稻^[3]、爪豇豆^[4]和菠菜^[5]叶片的衰老. Ca²⁺ 专一性螯合剂乙二醇双乙胺醚四乙酸(EGTA)促进离体水稻叶片衰老,但能被 Ca²⁺ 处理所逆转^[3]. Ca²⁺ 通道阻断剂戊脉安和氯化镧以及钙调素(CaM)抑制剂氯丙嗪(CPZ)和三氟拉嗪(TFP)有效地促进离体水稻叶片衰老^[3]. 本文以杂交水稻汕优 63为材料,研究了中后期施 Ca对主茎旗叶衰老和谷产量的影响,为利用 Ca²⁺ 调节叶片衰老和增加作物产量提供理论依据.

1 材料和方法

1.1 材 料

供试材料为杂交水稻汕优 63(*Oryza sativa* L. cv. Shanyou 63),由广州市农科所提供. 种子萌发后播种于网室塑料盆中,每盆 10 kg 细土, 2 g 尿素, 2 g 过磷酸钙和 2 g 硫酸钾. 自然光照和温度,管理同常规. 每盆 4 兜,每兜插 1 苗,在植株始穗期前 10 d 和始穗期每盆施加一定数量的 CaCl₂(表 1). 然后分别在始穗后的 0, 10, 20 和 30 d 取主茎旗叶进行各项测定,在植株成熟后进行产量测定.

表 1 CaCl₂ 的施用时期和施用量

Tab. 1 The period and amount applying CaCl₂ /g

项 目	对照 I	II	III	IV
始穗期前 10 d	0	1	2	1 2
始 穗 期	0	0	0	1 2

1.2 方 法

叶绿素含量的测定按 Arnon(1949)的方法. 可溶性蛋白质含量的测定按 Bradford(1976)的考马斯亮蓝 G-250的

* 国家自然科学基金和广东省科委青年科学基金资助项目

收稿日期: 1995-10-29 宋松泉,男,39岁,副教授

方法,以牛血清蛋白作标准.

SOD活性的检测参照 Giannopolitis 和 Ries(1977)的氯化硝基四氮唑蓝(NBT)光化还原的方法,以抑制 NBT光化还原 50% 为一个酶活性单位表示.

MDA含量的测定参照 Cakmak和 Horst^[6]方法,采用硫代巴比妥酸在酸性下加热显色,在 $\lambda_{534-600}$ 测定专一吸收值;用标准 MDA溶液作工作曲线,计算样品中 MDA的含量.

植株经济性状的分析参照张宪政(1992)的方法.

2 结 果

2.1 Ca对叶绿素和可溶性蛋白质含量的影响

表 2表明,在始穗后的 0~30 d,主茎旗叶的叶绿素含量随着始穗后时间的增加而逐渐下降;各种施 Ca处理能延缓叶绿素含量的下降,其中处理II的效果最好,至抽穗后的第 20和 30 d,叶绿素含量分别为同期对照的 140%和 146%;叶绿素含量的顺序为:II > I > III > IV > 对照.

表 2 Ca对旗叶叶绿素含量的影响

Tab. 2 Effect of Ca on chlorophyll content in the flag leaves 干重 /mg·g⁻¹

始穗后天数 /d	0	10	20	30
对照	3.49	2.36	0.75	0.26
I	3.49	2.43	0.95	0.37
II	3.49	2.49	1.05	0.38
III	3.49	2.37	0.94	0.29
IV	3.49	2.44	0.87	0.27

对照,处理I,II,III旗叶的蛋白质含量在始穗后的第 10 d有所增加,其中II的蛋白质含量增加较多,为始穗期的 12%;然后不同程度的下降,至始穗后 30 d,对照,处理I和III旗叶的蛋白质含量均低于始穗期,只有处理II的蛋白质含量仍比始穗期高 12%(图 1).但处理IV旗叶的蛋白质含量随始穗后时间的增加而逐渐下降(图 1).

图 1 Ca对旗叶可溶性蛋白质含量的影响

Fig. 1 Effect of Ca on the content of soluble protein in the flag leaves

2.2 Ca对 SOD活性的影响

在始穗后第 10和 20 d,各种施 Ca处理不同程度地比始穗期提高主茎旗叶的 SOD活性;至始穗后第 20~30 d, SOD活性则下降(图 2).处理I,II和III在各个取样时期的 SOD活性均比对照提高,而处理IV的 SOD活性则比对照明显下降(图 2).

2.3 Ca对 MDA含量的影响

MDA是脂质过氧化的产物之一,随着始穗后时间的延长,主茎旗叶中 MDA的含量显著增加,如对照旗叶,到始穗后第 20和 30 d,MDA的含量比始穗期增加了 108%和 119%(图 3).各种施 Ca处理能有效地降低旗叶中 MDA的含量,始穗后第 30 d,处理II的 MDA含量比对照降低了 23%. MDA含量的顺序是对照 > I > III > IV > II(图 3).

2.4 Ca对提高杂交水稻谷产量的影响

表 3表明,Ca处理I、II和III能增加杂交水稻的有效穗、每穗的实粒数和结实率,以及

图 2 Ca 对旗叶中 SOD 活性的影响

图 3 Ca 对旗叶中 MDA 含量的影响

Effect of Ca on SOD activity in the flag leaves Fig. 3 Effect of Ca on MDA content in the flag leaves

千粒重,从而提高谷产量;其中以处理II的效果较好,比对照增产 25.4%。而处理IV的有关经济性状却低于对照,谷产量略为降低。

表 3 Ca 对提高杂交水稻谷产量的影响¹⁾

Tab. 3 Effect of Ca on raising grain yield of hybrid rice

项目	株高 /cm	穗长 /cm	有效穗 穗·株 ⁻¹	实粒数 粒·穗 ⁻¹	结实率 /%	千粒重 /g	谷产量 /g·盆 ⁻¹	百分率 /%
对照	93.2±3.5	23.9±1.50	4.56±0.73	78.8±15.1	65.3±5.4	22.35	31.2±6.53	100.0
I	95.8±5.6	24.3±0.98	4.75±0.50	86.5±23.0	70.2±7.7	22.86	37.57±5.73	117.0
II	93.4±2.8	25.6±0.85	4.87±0.95	90.2±17.5	75.9±9.8	22.92	40.27±4.81	125.4
III	92.3±4.9	22.5±1.86	4.93±0.82	79.0±13.6	75.6±8.1	21.22	33.06±2.38	102.9
IV	91.4±3.3	24.7±1.10	4.33±0.87	84.8±13.9	64.6±7.4	21.63	31.77±3.20	98.9

1) 早季栽培,每盆 4 兜

3 讨 论

叶绿素和蛋白质含量的丧失是衰老叶片中的早期事件.杂交水稻汕优 63 主茎旗叶在始穗后叶绿素和蛋白质含量逐渐下降,说明叶片逐步衰老. Ca 处理 I 和 II 明显地保持较高的叶绿素和蛋白质含量(表 2,图 1),说明 Ca 能延缓叶片衰老. Ca 处理 III 的延缓衰老效应不明显,处理 IV 反而促进叶片衰老(表 2,图 1),则说明 Ca 对叶片衰老的影响与施 Ca 的时期和数量密切相关.本实验的结果是在始穗期前 10 d 每盆施 2 g CaCl₂ 比施 1 g CaCl₂ 好;在施 2 g CaCl₂ 的情况下,在始穗期前 10 d 一次施用比在始穗期前 10 d 施 1 g 和始穗期加施 1 g 效果好;当 CaCl₂ 的施用量为每盆 4 g 分两次施用,则起有害的作用,原因是当 Ca²⁺ 浓度过高时,会同磷酸反应形成沉淀而扰乱以磷酸为基础的能量代谢 (Hepler 和 Wayne, 1985). 此

外, Ca 的施用量还应与土壤含 Ca 量和作物的种类有关。

衰老的自由基理论认为,衰老过程是细胞和组织中不断进行着的自由基损伤反应的总和。线粒体进行呼吸和叶绿体进行光合作用时,会产生超氧阴离子自由基($^{\circ}O_2^-$), $^{\circ}O_2^-$ 通过引发膜脂过氧化作用破坏膜系统的结构和功能。SOD 既能清除 $^{\circ}O_2^-$,又能阻止氧化的 Fe^{3+} 重新受 $^{\circ}O_2^-$ 还原成 Fe^{2+} 而催化羟自由基($^{\circ}OH$)的生成。 $^{\circ}OH$ 是一种毒性最强的高活性氧化剂,能无选择性地与所有大分子反应^[7]。SOD 活性在始穗后第 10 和 20 d 增加,然后下降(图 2),可能是由于在旗叶衰老初期, $^{\circ}O_2^-$ 含量增加而诱导 SOD 活性提高;SOD 活性能被各种胁迫条件所诱导^[4];随着叶片进一步衰老;当细胞的结构和功能受到损伤时,SOD 活性则下降。Ca 处理 I、II 和 III,特别是 II 能提高 SOD 活性(图 2),从而能增加 $^{\circ}O_2^-$ 的清除能力,延缓叶片衰老。处理 IV 的 SOD 活性比对照下降, $^{\circ}O_2^-$ 的清除能力则降低。

MDA 是脂质过氧化的主要产物之一,其含量可以表示脂质过氧化的程度;而且 MDA 可与蛋白质结合引起蛋白质分子内和分子间的交联,从而毒害细胞。旗叶中 MDA 含量随始穗后时间的延长而显著增加(图 3),说明脂质过氧化作用加强与叶片衰老密切相关^[11]。各种施 Ca 处理,尤其是处理 II 能明显地降低旗叶中 MDA 的含量(图 3),原因可能是 Ca^{2+} 能提高 SOD 活性(图 2)和降低脂氧合酶活性^[4],从而降低脂质过氧化作用。

水稻谷粒产量的 2/3~3/4 是来自抽穗后绿叶的光合作用产物。延缓叶片衰老就能延长光合作用时间和增加光合作用速率,为籽粒充实和其他化合物代谢提供碳水化合物和碳骨架。所以 Ca 处理 I 和 II 能有效地增加杂交水稻汕优 63 的有效穗、每穗的实粒数、千粒重和提高谷产量。

在我国,作物的 Ca 营养研究较少,Ca 营养是作物营养与施肥的重点研究课题之一(洪绂曾主编,1995),而 Ca 对植物不仅是一种大量营养元素,而且是植物代谢和发育的主要调控者,因此深入研究作物生长发育过程中对 Ca 的需要量以及 Ca 的第二信使作用,对合理施用 Ca 肥,提高作物产量都具有重要的意义。

参 考 文 献

- 1 宋松泉,傅家瑞.杂交水稻叶片衰老与膜脂过氧化作用的关系.中山大学学报论丛(自然科学),1995(1): 15~ 19
- 2 Bethke P C, Gilrog S, Jones R L. Calcium and plant hormone action. In Davies P J(ed). Plant Hormones. Dordrecht Kluwer Academic Publishers, 1995. 298~ 317
- 3 Huang Y, Chen C T, Kao C H. Senescence of rice leaves X X IV. Involvement of calcium and calmodulin in the regulation of senescence. Plant Cell Physiol, 1990, 31(7): 1015~ 1020
- 4 Swamy P M, Suguna P. Influence of calcium chloride and benzyladenine on lipoxygenase of *Vigna unguiculata* leaf discs during senescence. Physiol Plant, 1992, 84: 467~ 471
- 5 种康,敬兰花,杨成德.外源 Ca^{3+} 对离体菠菜叶片衰老的影响.西北植物学报,1993,13(3): 179~ 185
- 6 Cakmak I, Host W J. Effect of aluminium on lipid peroxidation, superoxide dismutase, catalase, and peroxidase activities in root tip of soybean(*Glycine max*). Physion Plant, 1991, 83: 463~ 468
- 7 Scandalios J G. Oxygen stress and superoxide dismutases. Plant Physiol, 1993, 101: 7~ 12
- 8 Bowler C, Montagu M V, Iné D. Superoxide dismutase and stress tolerance. Annu Rev Plant Physiol Plant Mol Biol, 1992, 43: 83~ 116

Effect of Ca on Leaf Senescence at Late Stage and Grain Yield in Hybrid Rice

Song Songquan^{*} *Fu Jiarui*

Abstract Ca, which was applied at the middle and late stages of hybrid rice Shanyou 63, could raise the contents of total chlorophyll and soluble protein, could increase superoxide dismutase(SOD) activity and could decrease the content of malondialdehyde(MDA) which is a product of membrane lipid peroxidation in flag leaves. In addition, Ca could also increase the effective panicle of plant, full grains per panicle, 1 000 grain weight and grain yield. It was preferable to apply 2 g CaCl₂ per pot than 1 g CaCl₂ per pot for ten days before heading and to apply the same amount of CaCl₂ in once than twice.

Keywords leaf senescence, grain yield, Ca, hybrid rice

· 简 讯 ·

本刊入编《中国学术期刊(光盘版)》

中山大学学报(自然科学版)从 1996 年起入编《中国学术期刊(光盘版)》,现已将 1996 年第 1~3 期和增刊共 4 期交《光盘版》编辑部.中山大学学报论丛中的理科论丛也从 1996 年起入编.

《中国学术期刊(光盘版)》是我国第一个具有权威性的集成化、多功能电子学术期刊,由新闻出版署批准,清华大学光盘国家工程研究中心和北京清华信息系统工程公司联合主办,月刊,与印刷版同时出版.该刊遴选国内中、英文核心期刊和专业特色期刊 3 000 余种,分为理工、农业、医疗卫生、经济法律、文史哲、社科综合、政论、教育八个专辑.本刊归入理工类.《中国学术期刊(光盘版)》具有全文检索管理系统即电子版系统支撑软件,多入口全文检索、检索管理、英汉双向翻译、期刊统计研究、作者文献检索服务等十大功能.

(芊 子)

* School of Life Sciences, Zhongshan University, Guangzhou, 510275