

亚硫酸氢盐影响植物光合特性的生理学分析

陈屏昭, 蒋 彬, 刘忠荣, 刘健君, 杨顺强

(昭通师范高等专科学校 云南 昭通 657000)

摘 要:亚硫酸氢盐及其衍生物对植物光合特性的影响原因很复杂。现在总结已取得的研究成果的基础上,提出了亚硫酸氢盐及其衍生物影响植物光合作用的原理,并运用这一原理对有关试验事实进行了合理的生理学分析,同时对亚硫酸氢盐及其衍生物的应用前景作了展望。

关键词: 亚硫酸氢盐; 衍生物; 光合特性; 光合作用; 光合色素

中图分类号:O 945.11 文献标识码:A 文章编号:1001-0009(2010)05-0206-05

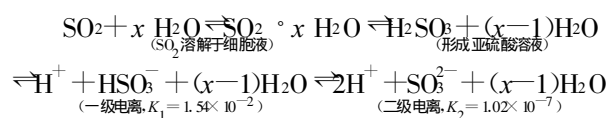
广义上,亚硫酸氢盐应包括二氧化硫(SO_2)、亚硫酸(H_2SO_3)、含亚硫酸根(SO_3^{2-})和亚硫酸氢根(HSO_3^-)等衍生物的各种金属离子、 NH_4^+ 的无机盐类。低浓度亚硫酸氢盐或 SO_2 对植物光合作用的促进效应引起了国内外许多学者的关注^[19]。因 NaHSO_3 价格低廉,在低浓度下使用无害,被作为一种光呼吸抑制剂在我国广泛施用^[2,10];另一些学者认为 NaHSO_3 不是光呼吸抑制剂,而是一种无生态和食品安全问题的植物光合磷酸化促进剂^[6,11-13]。随着研究的深入,有关亚硫酸氢盐或 SO_2 影响植物光合速率、气孔导度、胞间 CO_2 浓度等光合特性参数和光合色素含量的报道已不少;近年来,由于分子生物学的发展及其研究成果被广泛应用于植物生理生理的研究上,使得研究的层次已上升到分子级水平,对低浓度亚硫酸氢盐或 SO_2 促进光合作用的机理有了较深刻的认识。现将这方面的研究成果作一概述。

1 亚硫酸氢盐影响植物光合特性的作用原理

植物在生长发育进行光合的过程中,体内会产生大量的 O_2^- 和 H_2O_2 等氧化性活性物质,尤其在强光、高温、干旱和缺素等逆境条件下更是如此^[14,17]。 O_2^- 和 H_2O_2 在Fe(II)和Cu(II)催化下发生Fenton型和Haber-Weiss

型反应形成。OH^[14, 18, 19], H₂O₂ 还可以歧化产生活性氧[O], 这些活性氧具有很强的氧化性, 能对细胞膜质、叶绿体脂质进行过氧化, 致使膜伤害和细胞死亡^[14-17]; 同时, 这些活性物质可氧化叶绿素和类胡萝卜素, 使光合色素降解, 从而发生光抑制现象^[17, 20]。

适当浓度的 NaHSO_3 被植物细胞吸收后, 存在如下平衡^[21]:



HSO_3^- 及其衍生物 SO_2 、 H_2SO_3 、 SO_3^{2-} 均具有氧化性和还原性, 且还原性较强, 能有效“清除” O_2^- 、 H_2O_2 、 $^{\circ}\text{OH}$ 、 $[\text{O}]$ 等活性氧, 保证细胞膜质、叶绿体脂质以及 PSI、PSII 等光合机构免遭破坏^[17-22], 有关反应见表 1。

但当 NaHSO_3 浓度过高时, 由于 $K_1 > K_2$, 平衡向左移动, 即产生过量的氧化性和漂白能力更强的 SO_2 , 不但与光合色素等有色物质发生加成(漂白)反应^[17, 22], 而且 SO_2 本身能氧化 PSI、PSII 反应中心蛋白复合体等光合机构以及细胞膜质、叶绿体脂质, 对细胞产生更大的伤害。

表 1 HSO₃⁻ 及其衍生物与植物细胞内活性物质的反应及其产物

HSO ₃ ⁻ 及其 衍生物	植物细胞内活性物质			
	O ₂ ⁻	H ₂ O ₂	·OH	[O]
HSO ₃ ⁻	HSO ₃ ⁻ + 2O ₂ + H ⁺ = SO ₄ ²⁻ + H ₂ O + O ₂	HSO ₃ ⁻ + H ₂ O ₂ = SO ₄ ²⁻ + H ₂ O + H ⁺	HSO ₃ ⁻ + 2·OH = SO ₄ ²⁻ + H ₂ O + H ⁺	HSO ₃ ⁻ + [O] = SO ₄ ²⁻ + H ⁺
SO ₂	SO ₂ + 2O ₂ = SO ₄ ²⁻ + O ₂	SO ₂ + H ₂ O ₂ = SO ₄ ²⁻ + 2H ⁺	SO ₂ + 2·OH = SO ₄ ²⁻ + 2H ⁺	SO ₂ + [O] + H ₂ O = SO ₄ ²⁻ + 2H ⁺
H ₂ SO ₃	H ₂ SO ₃ + 2O ₂ = SO ₄ ²⁻ + H ₂ O + O ₂	H ₂ SO ₃ + H ₂ O ₂ = SO ₄ ²⁻ + 2H ⁺ + H ₂ O	H ₂ SO ₃ + 2·OH = SO ₄ ²⁻ + H ₂ O + 2H ⁺	H ₂ SO ₃ + [O] = SO ₄ ²⁻ + 2H ⁺
SO ₃ ²⁻	SO ₃ ²⁻ + 2O ₂ + 2H ⁺ = SO ₄ ²⁻ + H ₂ O + O ₂	SO ₃ ²⁻ + H ₂ O ₂ = SO ₄ ²⁻ + H ₂ O	SO ₃ ²⁻ + 2·OH = SO ₄ ²⁻ + H ₂ O	SO ₃ ²⁻ + [O] = SO ₄ ²⁻

第一作者简介: 陈屏昭(1964), 男, 云南绥江县人, 本科, 教授, 现主要从事矿物元素分析及植物营养生理研究工作。

基金项目:云南省教育厅科学研究基金资助项目(09Y0448);国家自然科学基金资助项目(30771497)。

收稿日期: 2009—12—30

2 亚硫酸氢盐影响光合特性的生理学分析

2.1 亚硫酸氢盐影响 Pn、Pr 的生理学分析

亚硫酸氢盐处理或者 SO_2 熏蒸能促进光合作用, 提高作物产量已被许多试验所证实。如 Katainen 等^[23] 用 $28.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 的 SO_2 熏蒸松树 (*Pinus sylvestris*) 幼苗后

5~30 d内,净光合速率 P_n 显著增加;Baxter 等^[24] 也观测到用 0.1 mmol/L 的 H_2SO_3 处理泥炭藓(*Sphagnum*)后 P_n 升高的现象。另一些研究表明 SO_2 使 P_n 下降,对植物造成伤害^[25-27]。沈允钢等发现 $NaHSO_3$ 可显著提高水稻(*Oryza sativa* L.)、棉花(*Gossypium hirsutum*)等植物的光合速率和产量^[7];张树芹等^[28] 用 200 mg/kg 的 $NaHSO_3$ 溶液叶面喷施开花后的不同品种小麦,其旗叶的净光合率都明显高于对照,光呼吸则低于对照。低氧(2% O_2)下的光合速率总是高于空气(21% O_2)下的光合速率,表明是光呼吸被抑制而净光合增加的结果。王宏伟等对小麦(*Triticum aestivum* L.)喷施 1~2 mmol/L 的 $NaHSO_3$ 溶液,其叶片在饱和光下和弱光下净光合速率 P_n 都得到了促进^[11],处理不同品种的小麦有类似结果,而且以 2 mmol/L 的 $NaHSO_3$ 溶液效果最佳,持续时间达 3 d 以上,净光合速率和光呼吸速率同步增长,二者比值并未显著改变^[29-30]。对草莓(*Fragaria × ananassa* Duch)喷施 0.5~2 mmol/L 的 $NaHSO_3$ 溶液后, P_n 明显升高,而且最佳浓度为 1 mmol/L,持续时间 5 d 左右,浓度大于 5 mmol/L 后 P_n 受到抑制,而光呼吸速率则无明显波动^[31]。 $NaHSO_3$ 促进柑橘(*Citrus reticulata* Blanco)光合的浓度范围是 1~8 mmol/L^[9,17,32],持续时间因浓度不同而有差异,一般为 6 d 左右。根据树龄和叶片发育的不同,最佳浓度范围为 1~5 mmol/L^[9,33],浓度大于 10 mmol/L 时, P_n 下降;而用 8 mmol/L $NaHSO_3$ 溶液处理柑橘后,观察到在正常供磷和磷过量的情况下, P_n 升高, P_r 无显著变化,光呼吸/光合比(P_r/P_n)显著下降;而在缺磷的情况下, P_n 、 P_r 均显著下降,光呼吸/光合比(P_r/P_n)显著升高。这说明喷洒 $NaHSO_3$ 溶液可促进不缺磷温州蜜柑(*Citrus unshiu* Marc.)叶片进行光合作用,而缺磷情况下无论是否用 $NaHSO_3$ 溶液处理,光合均下降,并且 P_r/P_n 升高显示光呼吸增强^[23]。在缺硫条件下,采用叶面喷洒 $NaHSO_3$ 溶液的方式向缺硫脐橙(*Citrus sinensis* Osbeck)植株供硫,其 P_n 无显著变化^[33]。在常温下,用 5 mmol/L $NaHSO_3$ 溶液处理温州蜜柑叶片后, P_n 提高了约 20%,而低温下,与不涂抹 $NaHSO_3$ 相比, P_n 少下降了 11.5%,表明 $NaHSO_3$ 溶液处理减轻了短期低温对柑橘光合作用的不利影响^[33],但 P_r 如何变化还有待进一步研究。用 2~8 mmol/L $NaHSO_3$ 溶液喷施枇杷(*Eriobotrya japonica* Lindl)和毛叶枣(*Zizyphus mauritiana* Lamk)叶片, P_n 均显著提高,其中尤以 4 mmol/L $NaHSO_3$ 溶液最佳,效果可持续 6 d 左右,且浓度增大,作用时间也延长,而 $NaHSO_3$ 与气孔开度促进剂 KCl 和 6-BA 结合施用,对光合作用促进效果比单纯施用 $NaHSO_3$ 更好^[34],张明生等对惠水金钱橘(*Hui-shu i's Fortunella m argarita*)的研究也有类似的结果^[35]。低浓度亚硫酸氢盐促进光合作用,提高 P_n 的

原因在于: HSO_3^- 及其衍生物具有还原性,可清除植物细胞内的 O_2 和 H_2O_2 等氧化性活性物质,保护了光合机构,使 P_n 相对于 P_r 保持了更高的增加幅度,表现为 $NaHSO_3$ 降低了光呼吸,抑制了光合产物的逆转;而在高温、强光等特定逆境下,为了消耗过剩光能或同化力,光呼吸增强,表现为 P_n 、 P_r 同步增强,有时 P_r 甚至超过 P_n 的增加速率^[36-38],这是植物的一种自我保护机制。

2.2 亚硫酸氢盐对植物气孔导度和胞间 CO_2 浓度的影响及其生理学分析

气孔是植物进行气体交换的主要通道,胞间 CO_2 浓度是碳同化的物质基础,气孔开度的变化和胞间 CO_2 浓度的高低势必影响到植物的光合作用^[34,40]。用不同浓度的 $NaHSO_3$ 溶液处理柑橘、榨菜(*Brassica juncea* var. tsatsai Mao)后,气孔导度(G_s)和胞间 CO_2 浓度(C_i)无明显变化, P_n 增加^[9,17,41],敖红等^[42] 用不同浓度的 Na_2SO_3 和 $NaHSO_3$ 的混合液喷施云杉(*Picea koraiensis* var.)后,却观测到 G_s 、 C_i 变化不显著,而 P_n 下降的现象;王宏伟等^[13] 和朱素琴等^[43] 用 1~2 mmol/L 的 $NaHSO_3$ 溶液处理水稻,郭延平等^[31] 用 0.5~2 mmol/L 的 $NaHSO_3$ 溶液处理草莓,均观察到 P_n 增加, G_s 无明显变化,而 C_i 明显下降的情况。上述事实说明适量的 HSO_3^- 及其衍生物清除了植物细胞内的氧化性活性物质,保护了光合机构,使 P_n 增强,而当 HSO_3^- 及其衍生物含量过高时,光合色素会降解,光合机构会受损, P_n 会下降。另外一些事实如谭实等^[29] 用 2 mmol/L 的 $NaHSO_3$ 溶液处理小麦和烟草(*Nicotiana tabacum*),胡正一等^[44] 对分裂盛期水稻喷施 200 mg/L 的 $NaHSO_3$,均观察到 G_s 下降又很快恢复且并不影响光合作用的现象。可见 P_n 的升降与 G_s 无关,而与 CO_2 的消耗量呈正相关。

陈杭芳等^[45] 用不同浓度的 $NaHSO_3$ 溶液喷洒茶(*Camellia sinensis*)芽后观察到 P_n 和 G_s 升高,而 C_i 处理前期呈现增大趋势,后期反而下降的现象。这可能与 $NaHSO_3$ 促进 P_n 增加,并刺激气孔进行更多的物质(气体)交换有关,与之相应的则是 G_s 升高使得 C_i 也随之增大,但 P_n 的增加限度超过 G_s 时, C_i 随 G_s 的增加趋势减缓而消耗速率增大,使后期胞间 CO_2 浓度下降。上述事实说明 $NaHSO_3$ 溶液对不同的植物,作用的机理可能是不同的。

2.3 亚硫酸氢盐对光合色素含量的影响及生理学意义

光合色素的含量直接影响叶绿体对光能的吸收、传递以及在光系统 I(PSI)、光系统 II(PSII)之间的分配和转化为化学能的量^[39]。 HSO_3^- 对光合色素含量的影响,因不同的植物、不同的浓度范围有所不同,而且影响情况和程度也不一样。通常低浓度的 HSO_3^- 溶液能提高光合色素的总量,而高浓度则使光合色素含量降低。周广业等和涂传林等用不同浓度的 $NaHSO_3$ 溶液处理小

麦和葡萄 (*Vitis vinifera*) 后, 叶绿素总量显著增加^[10,46]。用不同浓度的 NaHSO_3 溶液处理茄子 (*Solanum melongena* L.)、草莓、茶树和桑树 (*Morus alba* Linn) 后, 发现叶绿素 a (Chla)、叶绿素 b (Chlb) 的含量和叶绿素总量增加, 但 Chla/Chlb 降低^[47,50]。周青等用不同浓度 NaHSO_3 溶液处理沙梨 (*Pyrus pyrifolia*)、葡萄和桃树 (*Prunus persica*) 叶片, 发现高浓度溶液使叶绿素含量降低, 低浓度溶液则使叶绿素含量升高^[51-52]。赵昶灵等^[53]报道, 各浓度的 NaHSO_3 溶液均能提高砀山酥梨 (*Dangshan's Pyrus sorotina*) 叶片中 Chlb 的含量和叶绿素总量, 而高浓度下 Chla 的含量略有提高, 低浓度下 Chla 的含量反而降低。而彭燕等^[41]和刘昌平等^[54]用 NaHSO_3 溶液处理榨菜和菜豆 (*Phaseolus vulgaris* Linn.) 后, Chla 含量和总叶绿素含量均显著增加, Chlb 含量变化不大。廖飞勇等^[55]用 NaHSO_3 溶液处理油桐 (*Vernicia fordii*) 后, Chla、Chlb、类胡萝卜素 (Car) 和总叶绿素含量均增加。李东波等^[56]发现 NaHSO_3 可以减缓 U V-B 胁迫下红芸豆 (*Phaseolus vulgaris*) 叶片中叶绿素和类胡萝卜素的降低。陈屏昭等^[17]和郭延平等^[9]用不同浓度的 NaHSO_3 溶液处理柑橘后, Chla、Chlb、Car 和光合色素总量无明显变化, 但浓度高于 8 mmol/L 时, Chla、Chlb、Car 和光合色素总量显著降低^[17], 而脐橙在短期缺硫条件下, 叶面喷施 1 mmol/L 的 NaHSO_3 溶液可使较低的 Chla、Chlb、Car 和光合色素总量恢复正常水平^[33]。敖红等^[42]用不同浓度的 Na_2SO_3 和 NaHSO_3 的混合液喷施云杉后, 发现叶片 Chla、Chlb 和 Car 含量均下降。这些事实是不难解释的。通常, 植物叶片细胞内产生的氧化性活性物质会逐渐累积, 在强光、高温、缺素等逆境下尤为突出。一方面, 氧化性活性物质与光合色素反应, 使光合色素被降解消耗, 含量降低, 减少了对光能的吸收, 减轻了光氧化的压力。另一方面, 为适应强光、高温、缺素等逆境条件, 光合色素含量会主动下调, 以减少对光能的吸收, 其中 Car 还是活性氧的有效猝灭剂^[33, 38, 57]。这是一种主动适应逆境的自我保护机制。 NaHSO_3 的浓度适量时, 可恰到好处地清理掉细胞内累积的活性氧或自由基, 使光合器官得到保护, 光合色素含量升高; 而 HSO_3^- 及其衍生物含量过高时, 在将 H_2O_2 、 O_2^- 、 $^{\circ}\text{OH}$ 、 $[\text{O}]$ 等活性物质清除的同时, 还可与光合色素分子发生加成反应, 将光合色素“清除”掉, 使光能的吸收受到影响。同时, SO_2 还可取代 O_2^- 等活性物质氧化光合机构, 使光合受到抑制, 光合速率下降^[17], 对光合作用产生负面效应。

由于存在种间差异, Chla、Chlb、Car 含量和光合色素总量是升高还是降低, 主要取决于喷施的浓度、喷施的次数、喷施的时间间隔以及植株本身的土、肥、水、温湿度和状态等因素。

2.4 亚硫酸氢盐促进光磷酸化和质子区域化的生理学分析

20 世纪 70 年代, 沈允钢等^[7]发现 NaHSO_3 可显著提高水稻、棉花等植物的光合速率和产量; 谭实等^[29]发现用 NaHSO_3 处理小麦后 Pn 和 Pr 同步增长, Pn/Pr 并未显著改变, NaHSO_3 不是光呼吸抑制剂, 而是植物光磷酸化促进剂^[6, 12], 可显著提高小麦、水稻^[6, 11, 13, 43]、柑桔^[9]、草莓^[31]等的光合速率和环式光磷酸化, 促进低光下环式光磷酸化形成更多的 ATP^[43], 并使叶片的叶绿素毫秒延迟荧光慢相加强, 反映与光磷酸化活力有关的跨类囊体膜质子梯度增加, 反映循环电子传递的叶绿素荧光在作用光关闭后可短时上升^[19, 11, 13, 31], 王宏伟等^[11, 13]用已知可促进循环光磷酸化的辅助因子硫酸甲酯吩嗪 (phenazine methosulfate, PMS) 和 NaHSO_3 分别和共同处理小麦叶片, 结果未出现叠加效应, 气孔因子没有明显的变化, 而且也排除了 NaHSO_3 作为硫肥的可能性^[6, 58]。由表 1 可以看出, HSO_3^- 及其衍生物清除氧化性活性物质的反应分别在不同的叶肉细胞内进行, 产生了 H^+ 浓度差—质子区域化, 打破了跨膜体系间化学势原有的平衡, 反映与光磷酸化活力有关的跨类囊体膜质子梯度 ΔpH 增加, 电位差 $\Delta\varphi$ 增大, 叶绿素毫秒延迟荧光的慢相加强。质子的区域化加速了 NADP^+ 与 NADPH 的周转, 增加了耦联因子 (H^+ -ATP 合成酶) 的产量, 使 ATP 的量增加, 从而促进了围绕 PSI 的循环电子传递及其耦联的光磷酸化^[17, 22, 38]。而敖红等^[42]用不同浓度的、摩尔浓度比为 3 : 1 的 Na_2SO_3 和 NaHSO_3 的混合液喷施云杉后, 发现叶片 Pn 下降, 这可能与混合液的强碱性消耗了 H^+ , 使得跨类囊体膜质子梯度降低, $\Delta\varphi$ 减小, 围绕 PSI 的循环电子的传递速率减弱, ATP 的量减少, 耦联的光磷酸化受到抑制有关。

3 结论

亚硫酸氢盐及其衍生物对植物光合作用的促进效应, 由一系列相互关联、相互制约的十分复杂的生理过程组成, 有关的作用机理有不同的观点。由于 HSO_3^- 、 SO_3^{2-} 和 SO_2 等与光合色素和各种酶发生作用的过程和底物还不清楚, 对光合作用的促进效应可能存在种间差异, 就同一种植物而言, 在不同的生长发育期和不同的水、肥、温湿度条件下, 其喷施量、喷施次数和喷施时机均有所不同, 这些因素都决定了亚硫酸氢盐及其衍生物作用机理的复杂性而使其施用的范围受到了限制。随着叶绿素荧光技术^[59]以及分子生物学研究成果的应用, 弄清亚硫酸氢盐及其衍生物影响光合作用的机理, 并将其研制、开发成一种提高产量、改善品质、促进早熟、简易高效的叶面喷施复合肥料已为期不远。

参考文献

- [1] Zelitch I. a Hydroxysulfonates as inhibitors of the enzymic oxidation of

- glycolic and lactic acids [J]. J. Biol Chem. 1957, 224: 251-260.
- [2] Zelitch I. Increased rate of net photosynthetic carbon dioxide uptake caused by the inhibition of glycolate oxidase [J]. Plant Physiol. 1966, 41: 1623-1631.
- [3] Black V J, Unsworth M H. A system for measuring effects of sulphur dioxide on gas exchange of plants [J]. J Exp Bot. 1979, 30: 81-88.
- [4] Black V J, Unsworth M H. Effects of low concentrations of sulphur dioxide on net photosynthesis and dark respiration of *Vicia faba* [J]. J Exp Bot. 1979, 30: 473-483.
- [5] Takemoto B K, Noble R D. The effects of short-time SO₂ fumigation on photosynthesis and respiration in soybean Glyde max [J]. Environ Pollut (Series A), 1982, 28: 67-74.
- [6] Wang H W, Shen Y G. How Bisulfite Enhances Photosynthesis [J]. Journal of Plant Physiology and Molecular Biology, 2002, 28(4): 247-252.
- [7] 沈允钢, 李德耀, 魏家绵 等. 改进干重法测定光合作用的应用研究 [J]. 植物生理学通讯, 1980(2): 37-41.
- [8] 张贤泽, 庞士铨. 亚硫酸氢钠对大豆的增产作用 [J]. 中国农业科学, 1984(1): 36-39.
- [9] Guo Y P, Hu M J, Zhou H F, et al. Low concentrations of NaHSO₃ increase photosynthesis, biomass and attenuate photoinhibition in Satsuma mandarin (*Citrus unshiu* Marc.) plants [J]. Photosynthetica, 2006, 44(3): 333-337.
- [10] 周广业, 王宏凯. 光呼吸抑制剂亚硫酸氢钠的增产效果研究 [J]. 土壤肥料, 2000(6): 35-38.
- [11] 王宏伟, 魏家绵, 沈允钢. 喷施低浓度亚硫酸氢钠可促进小麦叶片光合磷酸化和光合作用 [J]. 科学通报, 2000, 45(4): 394-397.
- [12] Wang H W, Wei J M, Shen Y K. Enhancement in wheat leaf photo-phosphorylation and photosynthesis by spraying low concentration of NaHSO₃ [J]. Chinese Sci. Bull. 2000, 45: 1380-1311.
- [13] 王宏伟, 魏家绵, 沈允钢 等. 低浓度 NaHSO₃ 促进田间水稻的光合磷酸化和光合作用 [J]. 植物学报, 2000, 42(12): 1295-1299.
- [14] 蒋明义, 郭绍川. 水分亏缺诱导的氧化胁迫和植物的抗氧化作用 [J]. 植物生理学通讯, 1996 32(2): 144-150.
- [15] 林植芳, 彭长连, 林桂珠. 木本植物阳生和阴生叶片叶绿体 O₂ 和 NO₂ 光还原作用 [J]. 热带亚热带植物学报, 2001, 9(1): 1-6.
- [16] 王爱国, 罗广华. 植物的超氧化物自由基与羟胺反应 [J]. 植物生理学通讯, 1990, 26(6): 55-57.
- [17] 陈屏昭, 罗家刚, 王磊 等. 亚硫酸氢钠影响脐橙叶片光合作用的原因 [J]. 西北农业学报, 2004 13(1): 69-75.
- [18] Upadhyaya A, Sankhla D, Davis T D. Effect of daclotrazol on the activities of some enzyme of activated oxygen metabolism and lipid peroxidation in senescing soybean leaves [J]. Plant Physiol. 1985 121: 453-461.
- [19] 林植芳, 彭长连, 林桂珠. 不同光合途径植物叶圆片对光氧化作用响应的比较 [J]. 植物学报, 1998, 40(8): 721-728.
- [20] 陈屏昭, 王磊, 代勋 等. 缺磷强光下脐橙的过剩能量耗散机制 [J]. 应用生态学报, 2005, 16(6): 1061-1066.
- [21] 北京师范大学, 华中师范学院. 无机化学 [M]. 3 版. 北京: 高等教育出版社, 1992: 460-462.
- [22] 陈屏昭, 刘忠荣, 罗家刚 等. 磷和 NaHSO₃ 交互作用对温州蜜柑叶片光合作用的影响 [J]. 广东微量元素科学, 2003, 10(1): 21-27.
- [23] Katainen H S, Mäkinen E, Jokinen J et al. Effects of SO₂ on the photosynthetic and respiration rates in Scots pine seedlings [J]. Environ Pollut, 1987, 46: 241-251.
- [24] Baxter R, Emes M J, Lee J A. Effects of the bisulphite ion on growth and photosynthesis in *Sphagnum cuspidatum* Hoffm [J]. New Phytol. 1989, 111: 457-462.
- [25] 关岚岚, 刘楠, 韦强 等. 华南地区 8 种藤本植物叶绿素荧光特性对模拟二氧化硫污染的响应 [J]. 热带亚热带植物学报, 2008 16(2): 95-103.
- [26] 陈洪国, 肖骥. 桂花幼苗对不同浓度 SO₂ 处理的生理响应 [J]. 北方园艺, 2006(5): 116-117.
- [27] 李雪梅, 黄海英, 吕岩. 亚硫酸对玉米和高粱苗的伤害及磷酸缓冲液的防护作用 [J]. 生态学杂志, 2000, 19(3): 16-19.
- [28] 张树芹, 王宪泽, 赵士杰 等. NaHSO₃ 对小麦光合速率、光呼吸及籽粒氨基酸组成的影响 [J]. 麦类作物, 1999 19(1): 44-46.
- [29] 谭实, 沈允钢. 亚硫酸氢钠对光合机构及其运转的影响 [J]. 植物生理学报, 1987, 13(1): 42-50.
- [30] 王宪泽, 张树芹, 田纪春 等. 喷洒亚硫酸氢钠对小麦籽粒产量和蛋白质含量的影响 [J]. 中国农业科学, 2002 35(3): 277-281.
- [31] Guo Y P, Peng Y, Lin M L, et al. Different pathways are involved in the enhancement of photo-synthetic rate by sodium bisulfite and benzyladenine: a case study with strawberry (*Fragaria ananassa* Duch.) plants [J]. Plant Growth Regulation, 2006 48: 65-72.
- [32] 陈屏昭, 何崛, 袁晓春. 喷施亚硫酸氢钠溶液对缺硫脐橙光合生理特性的影响 [J]. 应用生态学报, 2007, 18(2): 327-332.
- [33] 郭延平, 苏吉虎, 王宏伟 等. 亚硫酸氢钠处理减轻低温对温州蜜柑光合作用的影响 [J]. 园艺学报, 2003 30(2): 195-197.
- [34] 周慧芬, 郭延平, 林建勋. NaHSO₃ 对枇杷和毛叶枣叶片光合速率的促进作用 [J]. 果树学报, 2003 20(3): 239-241.
- [35] 张明生, 王素英, 臧红兵 等. NaHSO₃ 对惠水金钱橘叶片光合速率的影响 [J]. 种子, 2004 23(6): 21-23.
- [36] 管雪强, 赵世杰, 李德全 等. C₃ 植物光呼吸及其生理功能 [J]. 西北植物学报, 2003 23(10): 1849-1854.
- [37] 赵世杰, 艾希珍, 王绍辉 等. 叶黄素循环和呼吸对生姜光抑制破坏的防御作用 [J]. 西北农业学报, 1999 8(3): 81-85.
- [38] 陈屏昭, 武卫华, 田虹 等. 柑橘光合作用的过剩能量耗散机制及其生理意义 [J]. 云南农业大学学报, 2007, 22(5): 681-687.
- [39] 陈屏昭, 樊钦平, 罗家刚 等. 缺磷胁迫对脐橙光合色素和光合作用的影响 [J]. 广东微量元素科学, 2002 9(12): 30-34.
- [40] 许大全. 光合作用气孔限制分析中的一些问题 [J]. 植物生理学通讯, 1997, 33(4): 241-244.
- [41] 彭燕, 许真, 郭得平 等. 亚硫酸氢钠促进榨菜植株的光合作用研究 [J]. 长江蔬菜, 2007(1): 47-49.
- [42] 敖红, 张羽. 亚硫酸钠和亚硫酸氢钠混合液对 2 种云杉某些生理指标影响的比较 [J]. 植物生理学通讯, 2007 43(2): 259-263.
- [43] 朱素琴, 季本华, 焦德茂. 亚硫酸氢钠对转 PEP C 基因水稻叶片光合作用的促进作用 [J]. 科技通报, 2004 20(6): 523-528.
- [44] 胡正一, 李茹, 王义彰. NaHSO₃ 对气孔与光合的影响 [J]. 安徽农业技术师范学院报, 1996 10(3): 18-19.
- [45] 陈抗芳, 胡民强, 朱麒麟 等. 喷洒 NaHSO₃ 对茶芽生长和光合作用的影响 [J]. 浙江农业学报, 2005 17(1): 11-14.
- [46] 涂传林, 郭金华, 张备战. 亚硫酸氢钠在葡萄上的应用研究 [J]. 中国农学通报, 2004 20(3): 30-32.
- [47] 曾凌. 亚硫酸氢盐对茄子幼苗生长发育的影响 [J]. 安徽农业科学, 2007, 35(1): 38-39.
- [48] 晋宏, 朱凤林. 两种光呼吸抑制剂对草莓若干生理指标及产量品质的影响 [J]. 亚热带植物科学, 2006, 35(3): 22-24.
- [49] 唐庆华. NaHSO₃ 对丘陵茶园光合产物分配的影响 [J]. 蚕桑茶叶通讯, 1999(2): 24-25.
- [50] 郭金华, 牛志电, 梅建设 等. NaHSO₃ 对桑树光合作用及蚕茧产量和质量的影响 [J]. 蚕业科学, 2001, 27(2): 83-86.

涝渍对植物光合作用的影响及其生理危害

李德明, 张秀娟, 陈娟

(长江大学 园艺园林学院, 湖北 荆州 434025)

摘要: 基于国内外有关于植物涝渍相关文献从光合作用以及其它生理角度探讨涝渍对植物的危害, 发现涝渍对植物的伤害不仅仅是水分本身对植物的伤害, 而是由水分过多引起的次生胁迫的危害, 如光合作用、呼吸作用、根系对水分和矿质元素的吸收、活性氧代谢等方面失调。该文还就涝渍对植物形态学及其他方面的影响进行了一定程度的讨论。

关键词: 涝渍; 光合作用; 生长发育; 生理危害

中图分类号: S 311 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-0009(2010)05-0210-03

涝渍已成为破坏全球生态系统的原因之一。我国是世界上涝渍频繁而严重的国家, 易受涝渍危害的低产田面积较大, 严重影响这些地区农业生产和国民经济的发展。我国南方地处亚热带或热带季风气候区, 雨量充

沛, 自6月开始进入雨季, 7、8月份进入降雨的高峰期, 此时正是棉花、玉米、花生、水稻等主要农作物生长旺盛时期。这一时期的降雨特点是降雨次数多, 且强度大。进入汛期以后, 农田地下水位普遍较高, 但地下水位回落过程慢, 在排水不畅地区, 往往地下水位尚未降到适宜高度, 又遇第二次降雨, 形成先涝后渍, 涝去渍存, 有涝易渍, 涝渍交替发生, 即存在着涝渍相伴相随的特点^[1]。在属于典型湿地农区的江汉平原农业经营中, 除要保护好依然存在的部分自然湿地、发挥湿地的生物和生态功能外, 农业经营本身还或多或少受到当地湿地特

第一作者简介: 李德明(1972-), 男, 湖北武汉人, 博士, 工程师, 博士, 副教授, 主要研究方向为植物矿质营养、逆境生理生化及发育生理和园林植物应用。E-mail: lidmn@163.com。

基金项目: 长江大学博士启动基金资助项目(2007018)。

收稿日期: 2009-11-17

- [51] 周青, 钟甫, 郭金华. 亚硫酸氢钠在C3果树上的应用及生理效应研究[J]. 农业现代化研究, 1997, 18(2): 112-115.
- [52] 周青, 黄晓华, 叶亚新. 亚硫酸氢钠影响桃树产量和质量的生理学分析[J]. 应用与环境生物学报, 2000, 6(5): 432-35.
- [53] 赵昶灵, 武绍波, 李文祥等. 亚硫酸氢钠对砀山酥梨光合色素效应研究[J]. 山西果树, 2002(1): 3-4.
- [54] 刘昌平, 闵运江, 胡娟. 亚硫酸氢钠对菜豆光合产量的影响研究[J]. 中国林副特产, 2008(3): 13-15.
- [55] 廖飞勇, 叶海燕, 吕梁. 不同浓度NaHSO₃对油桐光合特性的影响[J]. 西南林学院学报, 2005, 25(3): 5-9.
- [56] 李东波, 王晓敏, 张东凯等. UV-B胁迫下NaHSO₃对红芸豆叶片

保护作用[J]. 植物学通报, 2008, 25(5): 543-551.

[57] Bungard R A, Ruban A V, Hibberd J M, et al. Unusual carotenoid composition and a new type of xanthophyll cycle in plants[J]. Proc Natl Acad Sci USA, 1999, 96: 1135-1139.

[58] Wang H W, Su J H, Shen Y G. Difference in Response of Photosynthesis to Bisulfite Between Two Wheat Genotypes[J]. Journal of Plant Physiology and Molecular Biology, 2003, 29(1): 27-32.

[59] Govindjee. Sixty-Three Years Since Kautsky: Chlorophylla Fluorescence[J]. Aust. J. Plant Physiol, 1995, 22: 131-160.

(致谢: 昭通师范高等专科学校夏文忠和段奎老师为本文提供了大量的文献资料, 在此深表感谢。)

Physiological Analysis for Effect of Bisulfite on Plants Photosynthetic Characteristics

CHEN Ping-zhao, JIANG Bin, LIU Zhong-rong, LIU Jian-jun, YANG Shun-qiang
(Zhaotong Normal University, Zhaotong, Yunnan 657000)

Abstract: The cause that the bisulfite and its ramification affect the photosynthetic characteristics in plants is very complicated. The article pointed the principle of the impact of bisulfite and its ramification on photosynthesis, which was on the basis of summarizing the obtained results, and uses it to analyze the associated experiment facts physiologically and rationally. Meanwhile, it prospected the application of bisulfite as well.

Key words: bisulfite; ramification; photosynthetic characteristics; photosynthesis; photosynthetic pigment