

# 富氢水对植物的生长效应及在芽苗菜生产中的应用前景

田纪元 邬奇 苏娜娜 魏圣军 崔瑾\*

(南京农业大学生命科学学院, 江苏南京 210095)

**摘要:** 氢气 (hydrogen,  $H_2$ ) 是已知最轻的双原子气体分子, 作为一种重要的信号分子, 参与了植物生长发育的调节和植物逆境的修复, 引起了人们的广泛关注。本文就富氢水对植物的生长效应, 及其在芽苗菜栽培中的应用前景进行了综述。在环境胁迫 (盐胁迫、重金属胁迫、农药胁迫) 下,  $H_2$  通过提高植物体内抗氧化酶活性来清除过量的 ROS、调节内源 NO 和激素水平从而缓解胁迫对植物造成的损伤;  $H_2$  可以通过提高芽苗菜的次生代谢产物和抗坏血酸含量来提高其营养品质。

**关键词:** 氢气; 富氢水; 生长效应; 芽苗菜; 生产; 综述

氢气 (hydrogen,  $H_2$ ) 无色、无味, 是已知最轻的双原子气体分子, 质量仅为空气质量的 1/14。早在 1947 年人们就发现高等植物的叶绿体在体外培养时能够释放  $H_2$  (Boichenko, 1947)。Renwick 等 (1964) 在黑麦和大麦中发现了相似的现象。随后, Torres 等 (1986) 也在萌发的大麦种子、玉米和冬黑麦中发现此现象。此外, 禾谷类作物高粱、水稻和小麦也能释放  $H_2$ 。研究人员在对藻类 (莱茵衣藻等) 和微生物中  $H_2$  释放机理的研究中发现, 氢酶 (hydrogenase) 的存在可能是藻类产生  $H_2$  的主要原因。尽管早期已有诸多的报道表明在高等植物中存在  $H_2$  释放现象, 但这一结果并没有引起人们足够的重视。

自从 2007 年, Ohsawa 等 (2007) 研究发现  $H_2$  可选择性中和过氧亚硝基阴离子 ( $ONOO^-$ ) 和羟自由基 ( $\cdot OH$ ), 并清除过量的活性氧 (ROS), 从而缓解脑缺血引起的氧化损伤, 有关  $H_2$  的研究才

逐渐被人们关注。随后, 动物中的研究发现,  $H_2$  是重要的生理调节因子, 具有抗氧化、抵御炎症和细胞凋亡等作用, 从而保护细胞和组织免受氧化损伤 (Buchholz et al., 2008; Huang et al., 2010)。至此, 作为一种新型医疗气体,  $H_2$  在动物中的功能得到了广泛研究, 但其在植物中生理功能的研究目前为止还比较少。由于  $H_2$  具有易燃易爆性, 在实际生产应用中具有很大的局限性。目前比较理想的方法是通过一定压强将  $H_2$  溶解于水或生理盐水中, 制成富氢饱和溶液, 即富氢水, 这样既增加了  $H_2$  应用的途径, 又提高了使用安全性 (秦秀军等, 2013)。本文就富氢水对植物的生长效应及其在芽苗菜生产中的应用前景进行了综述。

## 1 富氢水的制备方法及其存在问题

在生产应用中, 纯净的  $H_2$  (99.99%,  $V/V$ ) 主要通过以电解水为基础的  $H_2$  发生器来制造, 将产生的  $H_2$  以不同的流量和时间泵入水中来制备相应浓度的富氢水 (Cui et al., 2013)。该方法操作简单, 成本低,  $H_2$  纯度高, 适合广泛应用。但  $H_2$  在水中的低溶解量和易散失性仍然是富氢水在动物医疗和农业生产中广泛应用的主要限制因素, 研发高效的富氢水制备技术, 保持水中比较高并且稳定的氢含量是目前亟待解决的问题。

田纪元, 硕士研究生, 专业方向: 气体信号分子, E-mail: 2014116010@njau.edu.cn

\* 通讯作者 (Corresponding author): 崔瑾, 博士, 教授, 专业方向: 光环境因子及气体信号分子, E-mail: cuijin@njau.edu.cn

收稿日期: 2016-06-30; 接受日期: 2016-07-20

基金项目: 国家自然科学基金项目 (31572169), 江苏省农业科技自主创新基金项目 [CX (15) 1040]

## 2 富氢水在缓解植物逆境胁迫中的作用

### 2.1 富氢水在植物抗盐胁迫中的作用

在拟南芥中的研究发现, H<sub>2</sub> 预处理除了能提高抗坏血酸过氧化物酶 (APX) 的活性外, 还能提高锌指转录因子 ZAT10/12 的含量以及上调其基因的表达, 从而缓解盐胁迫造成的脂质过氧化并清除过量的 ROS (Xie et al., 2012)。此外, H<sub>2</sub> 还能通过调控逆向转运蛋白和 H<sup>+</sup> 泵, 调节细胞内 Na<sup>+</sup> 的排除和隔离, 从而维持植物体内的离子平衡。遗传证据还表明 SOS1 和 cAPX1 可能是 H<sub>2</sub> 信号的靶标 (Xie et al., 2012)。

此外, Xu 等 (2013) 发现, 外源添加富氢水能够提高盐胁迫下水稻种子的发芽率。这主要是通过提高抗氧化酶 (SOD、CAT、APX)、 $\alpha/\beta$  淀粉酶活性, 提高 K<sup>+</sup>/Na<sup>+</sup> 比例来实现的。

### 2.2 富氢水在缓解重金属胁迫中的作用

Chen 等 (2014) 在紫花苜蓿上的研究发现, 铝 (Al) 胁迫能显著抑制苜蓿根的伸长, 外源添加富氢水能缓解 Al 毒对根伸长的抑制作用。外源添加一氧化氮 (NO) 的供体硝普化钠 (SNP) 能够产生和 Al 胁迫相似的抑制效果, 添加富氢水能够缓解 SNP 产生的抑制作用, 而添加 NO 的清除剂具有和富氢水相似的效果。以上结果表明, 富氢水可能是通过降低紫花苜蓿中 NO 的含量, 从而缓解 Al 毒造成的胁迫。Wu 等 (2015) 在普通白菜中的研究发现, 外源添加富氢水能够减少镉离子 (Cd<sup>2+</sup>) 的吸收, 促进 Cd<sup>2+</sup> 向液泡中转运, 提高抗氧化酶活性, 从而提高普通白菜对镉毒的耐性, 这和紫花苜蓿中的研究结果相似 (Cui et al., 2013)。

### 2.3 富氢水在缓解百草枯 (PQ) 胁迫中的作用

在紫花苜蓿中的研究发现, 富氢水处理能够缓解百草枯对幼苗根生长的抑制, 减少脂质过氧化, 降低组织中过氧化氢 (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) 和超氧阴离子 (O<sub>2</sub><sup>-</sup>) 的含量 (Jin et al., 2013)。富氢水能为植物提供 H<sub>2</sub>, 而 H<sub>2</sub> 主要能通过血红素加氧酶 -1 (HO-1) 信号途径来实现对百草枯胁迫的缓解作用, 且在此过程中一氧化碳 (CO) 具有重要的调节作用。

### 2.4 富氢水对植物激素的调节作用

Zeng 等 (2013) 在水稻中研究发现, 外源添加富氢水能够显著地提高植物内源激素含量, 如脱

落酸、乙烯和茉莉酸等, 从而提高植物对环境胁迫的响应能力。

## 3 富氢水在芽苗菜生产中的应用机理

### 3.1 芽苗菜生产中存在的问题

芽苗菜一般是指利用植物的种子或其他营养体, 在一定条件下培育出可供食用的嫩芽、芽苗、芽球、幼梢或幼茎等芽苗类蔬菜 (张德纯, 2006)。随着人们对芽苗菜需求量的增加, 芽苗菜工业得到了迅猛发展。目前为止, 芽苗菜的生产方式多为小作坊生产。在生产过程中, 为片面追求产量和经济效益, 一些小作坊通常使用各种化学物质对芽苗菜进行浸种或喷洒。由于芽苗菜生长迅速, 生产周期短, 这些措施极易造成化学物质在芽苗菜内部的积累, 从而导致环境污染和食品安全隐患 (马超等, 2010)。因此, 研究开发安全环保、经济有效的芽苗菜生产技术迫在眉睫。H<sub>2</sub> 作为一种重要的气体信号分子, 无色无味, 具有分子量小, 较好的脂溶性、水溶性, 能自由扩散, 处理后不会造成任何环境污染和食品安全隐患等特点, 在植物生长发育过程中具有重要的调节作用。2014 年, GB 31633—2014 食品安全国家标准正式将 H<sub>2</sub> 列为食品添加剂, 因此 H<sub>2</sub> 在作为食品添加剂使用时有了安全保障。H<sub>2</sub> 可以作为芽苗菜生产中一种重要的调控因子, 具有重要的应用价值。以富氢水的方式外源添加 H<sub>2</sub> 调控植物生长, 符合绿色农业的要求, 在芽苗菜工业化生产中具有广阔的应用前景。

### 3.2 富氢水提高萝卜芽苗菜中花青苷的含量

Su 等 (2014) 以扬花萝卜为材料, 以白光为对照, 外源添加富氢水和紫外光照 (UV-A)。结果发现, 与白光相比, UV-A 处理能显著地提高萝卜芽苗菜中花青苷的含量, 外源添加富氢水能够进一步提高花青苷的含量。富氢水可能是通过降低 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 和 O<sub>2</sub><sup>-</sup> 含量, 提高 SOD、APX 的酶活性, 重建 ROS 平衡体系, 从而调节萝卜芽苗菜花青苷的含量。此外, 富氢水也可能是通过上调花青苷生物合成相关基因的表达量, 显著提高芽苗菜中花青苷的含量。

### 3.3 富氢水提高大豆芽苗菜中抗坏血酸的含量

魏圣军 (2015) 以东农 690 大豆品种为试验材料, 以白光和不含 H<sub>2</sub> 的去离子水为对照, 研究

UV-A 和富氢水对大豆中抗坏血酸含量的影响。试验结果表明不同富氢水浓度对大豆芽苗菜下胚轴中抗坏血酸含量有较为明显的影响。光照 36 h 后,与白光相比,UV-A 照射显著提高了下胚轴中还原型抗坏血酸和总抗坏血酸的含量,且随着富氢水浓度的增加呈现出逐渐增加的趋势,富氢水浓度为 100% 时对还原型抗坏血酸和总抗坏血酸含量的提高最为显著。作者推测,外源添加富氢水促进了植物内源 H<sub>2</sub> 的产生,进而上调了抗坏血酸合成、循环和代谢相关基因的表达。

#### 4 展望

H<sub>2</sub> 作为重要的气体信号分子,可以调节植物内源激素的合成,参与植物对环境胁迫的响应,改善芽苗菜的营养品质等,具有十分重要的应用价值和理论研究意义。虽然近几年在植物中有关 H<sub>2</sub> 的研究取得了一定成果,但仍有许多问题尚需解决。如 H<sub>2</sub> 在植物中的作用机理和调控途径尚不清楚,分子和遗传学证据需进一步探究等。H<sub>2</sub> 在芽苗菜工业化生产中的应用研究还很薄弱,需从以下几个方面加强努力:第一,H<sub>2</sub> 在植物中的产生机制和作用机理研究。深入探究植物中产生 H<sub>2</sub> 的酶或非酶类物质,不断拓展 H<sub>2</sub> 的理论研究领域。第二,H<sub>2</sub> 在芽苗菜生产中的应用机理研究。深入探究 H<sub>2</sub> 对芽苗菜生长和品质影响的作用机理,为不断优化 H<sub>2</sub> 处理条件,实现其在芽苗菜工业化生产中的应用提供理论依据。第三,适用于设施栽培的 H<sub>2</sub> 制造、精准调控和检测设备的研发。目前应用于医学和工业用途的制氢设备比较多见,而用于设施栽培的 H<sub>2</sub> 制造和精准调控、检测设备还是空白,亟需不同学科的专家开展研发,这对 H<sub>2</sub> 在设施栽培领域的广泛应用具有重要意义。随着对 H<sub>2</sub> 生物学研究的不断深入,H<sub>2</sub> 在芽苗菜及设施蔬菜栽培中的应用将会具有广阔的前景。

#### 参考文献

马超,张欢,郭银生. 2010. LED 在芽苗菜生产中的应用及前景. 中国蔬菜, (20): 9-13.

秦秀军,安全,张伟,李建国,李炜宾,李幼忱,闻建华. 2013. 富氢水制备及保存方法的初步研究. 癌变·畸变·突变, (6): 457-460.

魏圣军. 2015. UV-A 和 H<sub>2</sub> 提高大豆芽苗菜中抗坏血酸含量及调

节机理研究 [硕士学位论文]. 南京:南京农业大学.

张德纯. 2006. 体芽菜及其营养. 中国食物与营养, (2): 48-49.

Boichenko E A. 1947. Hydrogenase from isolated chloroplasts. Biokhimiya, 12: 153-162.

Buchholz B M, Kaczorowski D J, Sugimoto R, Yang R, Wang Y, Billiar T R, McCurry K R, Bauer A J, Nakao A. 2008. Hydrogen inhalation ameliorates oxidative stress in transplantation induced intestinal graft injury. American Journal of Transplantation, 8: 2015-2024.

Chen M, Cui W, Zhu K, Xie Y, Zhang C, Shen W. 2014. Hydrogen-rich water alleviates aluminum-induced inhibition of root elongation in alfalfa via decreasing nitric oxide production. Journal of Hazardous Materials, 267: 40-47.

Cui W, Gao C, Fang P, Lin G, Shen W. 2013. Alleviation of cadmium toxicity in *Medicago sativa* by hydrogen-rich water. Journal of Hazardous Materials, 260: 715-724.

Huang C S, Kawamura T, Toyoda Y, Nakao A. 2010. Recent advances in hydrogen research as a therapeutic medical gas. Free Radical Research, 44: 971-982.

Jin Q, Zhu K, Cui W, Xie Y, Han B, Shen W. 2013. Hydrogen gas acts as a novel bioactive molecule in enhancing plant tolerance to paraquat-induced oxidative stress via the modulation of heme oxygenase-1 signalling system. Plant, Cell & Environment, 36: 956-969.

Ohsawa I, Ishikawa M, Takahashi K, Watanabe M, Nishimaki K, Yamagata K, Katsura K I, Katayama Y, Asoh S, Ohta S. 2007. Hydrogen acts as a therapeutic antioxidant by selectively reducing cytotoxic oxygen radicals. Nature Medicine, 13: 688-694.

Renwick G M, Giumarro C, Siegel S M. 1964. Hydrogen metabolism in higher plants. Plant Physiology, 39: 303-306.

Su N, Wu Q, Cui J. 2014. Hydrogen-rich water reestablishes ROS homeostasis but exerts differential effects on anthocyanin synthesis in two varieties of radish sprouts under UV-A irradiation. Agricultural and Food chemistry, 62: 6454-6462.

Torres V, Ballesteros A, Fernandez V M. 1986. Expression of hydrogenase activity in barley (*Hordeum vulgare* L.) after anaerobic stress. Archives of Biochemistry and Biophysics, 245: 174-178.

Wu Q, Su N, Cai J, Shen Z, Cui J. 2015. Hydrogen-rich water enhances cadmium tolerance in Chinese cabbage by reducing cadmium uptake and increasing antioxidant capacities. Journal of Plant Physiology, 175: 174-182.

Xie Y, Mao Y, Lai D, Zhang W, Shen W. 2012. H<sub>2</sub> enhances *Arabidopsis* salt tolerance by manipulating ZAT10/12-mediated antioxidant defence and controlling sodium exclusion. PLoS One, 7: e49800.

Xu S, Zhu S, Jiang Y, Wang N, Wang R, Shen W, Yang J. 2013. Hydrogen-rich water alleviates salt stress in rice during seed germination. Plant and Soil, 370: 47-57.

Zeng J, Zhang M, Sun X. 2013. Molecular hydrogen is involved in phytohormone signaling and stress responses in plants. PLoS One, 8: e71038.

# 不同工艺转光膜对日光温室环境及番茄生长发育的影响

李岩<sup>1, 2</sup> 米庆华<sup>2, 3</sup> 史庆华<sup>1, 2</sup> 杨凤娟<sup>1</sup> 王秀峰<sup>1</sup> 魏珉<sup>1, 2\*</sup>

(<sup>1</sup> 山东农业大学园艺科学与工程学院, 作物生物学国家重点实验室, 农业部黄淮地区园艺作物生物学与种质创制重点实验室, 山东泰安 271018; <sup>2</sup> 农业部黄淮海设施农业工程科学观测实验站, 山东泰安 271018; <sup>3</sup> 山东农业大学科技处, 山东泰安 271018)

**摘要:** 在日光温室栽培条件下, 以番茄品种金棚荣耀为试材, 研究加入同种转光剂、采用不同加工工艺的消雾无滴转光膜的透光性、保温性及对番茄植株生长、果实品质和产量的影响。结果表明: 与多层共挤和内添加型棚膜相比, 涂覆型棚膜的透光性及保温性均有所提高, 明显促进番茄植株生长, 显著提高产量和果实番茄红素、VC 含量。

**关键词:** 转光膜; 涂覆型; 多层共挤; 内添加型; 日光温室; 番茄

覆盖材料对日光温室、塑料大棚等设施温、光环境产生重要影响, 在蔬菜生产过程中起着举足轻重的作用(余亚等, 2000; 李晔等, 2007), 可以实现蔬菜的反季节上市, 而且能够提高其产量和品质

(马光恕等, 2002; 胡飞虎和丁为民, 2009; 李强等, 2010)。其中, 塑料棚膜是目前节能日光温室的主要透明覆盖材料, 其原料、加工工艺不同对日光温室光、温环境的影响很大(宋亚英和陆生海, 2005; 陈修德等, 2010; 姚蓉, 2010; 程强等, 2011), 进而影响设施内作物的生长发育。设施生产上选用透光率高、保温性能好、耐用、防尘、防雾效果好的塑料棚膜是获得高产优质蔬菜的前提和条件(杨春玲等, 2005)。而且, 随着优质、高效、配套设施栽培技术的不断完善, 新型覆盖材料的研制与应用迅速发展, 一批具有改善透光性、提高保

李岩, 男, 博士, 讲师, 专业方向: 设施蔬菜与无土栽培, E-mail: edmonlee@163.com

\* 通讯作者 (Corresponding author): 魏珉, 男, 博士, 教授, 博士生导师, 专业方向: 设施蔬菜与无土栽培, E-mail: minwei@sdau.edu.cn

收稿日期: 2016-06-30; 接受日期: 2016-07-20

基金项目: “十三五”国家重点研发计划项目(2016YFB0302403), “十二五”国家科技支撑计划项目(2012BAD11B01), 山东省农业科技成果转化资金项目〔鲁科农字(2013)56号〕

## Effects of Hydrogen-rich Water on Plant Growth and its Application Prospect in Sprout Seedling Production

TIAN Ji-yuan, WU Qi, SU Na-na, WEI Sheng-jun, CUI Jin\*

(College of Life Sciences, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, Jiangsu, China)

**Abstract:** Hydrogen ( $H_2$ ), known as the lightest diatomic gas molecule, is an important signal one. It is involved in the regulation of plant growth and development, and repairing of plant adversity, thus has attracted widespread attention of the people. This paper reviews the effects of hydrogen gas on plant growth, and its application prospect in sprout seedling cultivation. Hydrogen gas removes excess ROS by increasing the activity of antioxidant enzymes, and regulating endogenous NO and hormone levels to relieve the injury under the environmental stress (salt stress, pesticide stress, heavy metal stress). Hydrogen gas can improve the level of secondary metabolites and ascorbic acid content of Sprout seedling to improve its nutritional quality.

**Key words:** Hydrogen; Hydrogen-rich water; Growth effect; Sprout seedling; Production; Review