

CO₂ 与氧气在植物非试管快繁技术中的运用

徐伟忠, 朱丽霞, 苏朝安

(丽水市农业科学研究所 农业智能化快繁中心, 浙江 丽水 323000)

摘要:综述性地阐述了 CO₂ 及氧气这两种最为普通的环境大气因子对植物生长发育及生理代谢的影响, 从而提出了 CO₂ 与氧气农法新概念, 探索讨论与研究它们在农业生产及植物非试管快繁技术上的运用, 提出了充分利用 CO₂ 与氧气的一种新型供气、供液方法, 使这两种气体的运用得到了常规下难以实现的技术效果, 并以试验效果来证明了它的在快繁上促进离体材料生根的神奇效果, 展望了这种物理技术手段的广阔运用前景。

关键词: 二氧化碳; 氧气; 光合作用; 呼吸作用; 生根; 非试管快繁; 物理农业; 离体材料

中图分类号: S339.4; S145.3; S145.2 文献标识码: A 文章编号: 1000-7091(2005)专辑-0113-06

CO₂ and O₂ in Plant non- test Tube Quick Numerous Technology Utilization

XU Wei- zhong, ZHU Li- xia, SU Chao- an

(Agricultural Intelligentized Rapid Propagation Center of Lishui Institution of Agricultural Science, Lishui 323000, China)

Abstract: This article summarized the nature to elaborate CO₂ and the oxygen these two kind of ordinary environment atmosphere factor to the plant growth and the physiological metabolism influence, thus proposed CO₂ and the oxygen agriculture concept, the exploration discussed and studies them in the agricultural production and in the plant non- test tube quick numerous technology utilization, proposed fully used CO₂ and the oxygen one kind of new air feed for the fluid method, caused these two kind of gas the utilization to the technical effect which the convention under realized with difficulty, and by experimented the effect to prove it in was quick numerous on promotes the mysterious effect which took root to the body material, Has foreseen this physical technology method broad utilization perspective.

Key words: CO₂; Oxygen; Photosynthesis; Respiration; Takes root; Non- test tube is quick numerous; Physical agriculture; To body material

CO₂ 与氧气是组成空气的主要成分, 是一切植物生长所必须的生命元素, 没有它就没有地球上的一切生命, 特别是植物在生长发育过程中的主要代谢作用, 如光合作用、呼吸作用就是在这两种气体成分的直接参与下进行的, 这两种气体成分的缺乏就会造成生长的不正常。这方面的研究已成为农业生命科学研究的两大因子, 它的研究与运用对于农业生产及科研上具有极为重要的意义与价值, 现代农业的研究已从自然的气相环境中脱离出

来, 走向人工气相环境的模拟创造来改变与促进农业相关产业的发展。比如 CO₂ 气肥在蔬菜大棚上的运用, 已为菜农带来了直接的经济效益, 表现为显著的增产效果^[1-9]; 在果蔬贮藏上的运用, 也就是气调贮藏技术, 可大大延长保鲜期^[10-12]; 在高密度工厂化养殖中利用增氧技术, 使单位面积的水产产量提高^[13-15]; 在无糖组培中通过增施 CO₂ 达到了很好的壮苗效果。这些运用其实还是在具体生产上运用之一驳, 随着工业技术发展, 农业设施的开发

收稿日期: 2005-12-20

基金项目: 国家星火计划资助项目(2004EA700100)

作者简介: 徐伟忠(1971-), 男, 浙江丽水人, 研究员, 学士, 现任丽水市农科所农业智能化快繁中心主任, 被评为 2004 年度全国农村青年创业致富带头人, 主要从事植物非试管快繁技术, 植物水生诱变技术, 温室大棚控制计算机的研究与开发工作。

运用,对CO₂及氧气的人工运用上已越来越广,越来越深入,日本已提出与形成CO₂农法及氧气农法^[16],把它们作为农业生产中增产增收的一项重点技术来普及推广,在这些深入研究与运用上我国起步较晚,现就CO₂与氧气在植物非试管快繁技术上的运用,笔者结合科研和生产实践做以下阐述,希望能为广大农业生产科研者能起到抛砖引玉的作用。

1 CO₂与氧气的植物生理作用

CO₂是植物光合作用的主要原料,是合成碳水化合物的重要化学参予者,如果没有或缺乏CO₂都会对光合作用带来不良影响,使光合效率及净光合量大大降低,从而影响植株体内可溶性固形物及蛋白质、叶绿素、类胡萝卜素等合成^[16],直接影响到生长发育开花结果,使生物产量锐减,如大棚蔬菜如果在不通风的环境下常造成生长纤弱、产量低下,就是与CO₂浓度低有关。另外,CO₂浓度的低下会影响地下根系的生长与块茎类植物的营养积累,造成苗木根系不发达或块茎产量下降,因为CO₂浓度的提高可以使植物的根茎比增大,对于地下茎类植物或苗木培育来说显得较为重要。

氧气是呼吸作用的主要参予者,植物代谢所需的能量就是通过底物在酶作用与氧气的参予下进行的,如果氧气不足或缺氧就会使有氧呼吸作用降低,造成无氧呼吸,从而使大量的呼吸底物糖、淀粉、脂肪处于无氧代谢的生理环境,使释放ATP的能量大大减少,此外还会产生大量的中间代谢产物如乙醇、乙醛、乙酸等造成植株的生理伤害^[17]。植物生长发育过程中各种遗传基因的启动与表达都需要消耗大量的代谢能,如果不能充足供给就会影响基因的有效表达,而使植株表现出各种生长异常现象,造成死株或严重减产。如自然界的洪涝灾害,田间的积水,土壤的板结等都是因氧气不足而造成的生理危害。另外,不同的植物类型与不同的组织部位对氧气的需求量及缺氧敏感性都不一样,通常是草本植物比木本植物,幼嫩组织比衰老组织呼吸作用旺,需氧量大,所以,在苗期受淹对产量影响是最大的^[3]。

CO₂与氧气分别作用与影响植物的两大最重要的生理代谢,即光合作用与呼吸作用,其中光合作用固定能量,呼吸作用放出能量,从而形成了植物体内的能量循环与动态平衡关系的建立,维持着植物的正常生长发育。

2 快繁技术的核心在于CO₂及氧气的最优化

植物的繁殖对于农业生产来说是首要而关键的环节,它能为农业生产提供大量的种苗。当前,用于农业生产的种苗繁殖方法有种子育苗、扦插育苗与嫁接组培育苗等技术,这些技术在农业生产中起到主导性的作用。而对于新型的植物非试管快繁技术来说是近年才发展起来的一项全新育苗技术,它的推广运用将会为种苗产业的发展起到推波助澜的作用,大大加快我国种苗产业化、规模化、工厂化的进程,为我国农业发展及产业结构调整起到了极大的促进作用。但这种新型育苗技术在生产与科研中还存在着一些问题,并有待于解决,特别是对于一些极难繁殖的植物还存在生根成活率低的现象。为探求一种行之有效的解决方案或辅助措施,已成为科研与生产的迫切问题。通过对于植物非试管快繁技术体系的研究,终于找到了一种通过强制供气的方法,来解决一些难以生根繁殖的植物品种的有效技术路径。

首先,植物非试管快繁技术是基于无糖组织及光自养微繁技术基础上,结合计算机自动控制技术与生物技术而形成的一种新型的育苗技术,它从本质上讲,就是通过计算机的环境模拟,为快繁于苗床上的植物离体组织材料创造最佳光合作用与呼吸作用的环境,让材料的净光合碳源得到最大化的自养供给,让有氧呼吸在高湿度环境下能正常进行,从而转化出最大化的代谢能满足生根基因表达对能量的需求,达到离体材料的快速发育与生根生产目的。在这种全光照、高湿度而开放的快繁苗床中,植物的组织材料能获取最充足的光照与保持平衡的水分蒸腾,再加上自然开放的通风环境,使它的自养代谢能力比在密闭的试管或容器内有了更大的改善,所以,采用该技术培育的种苗具有适应性强、根系发达的特点。为了使离体材料的发育有充足的碳源供给,除了光照、温度、湿度环境外,最重要的是要采用人工强制供给CO₂,来提高材料的光自养能量,通常采用于密封的小拱棚内强制地输入CO₂气来实现^[1-8],但这种封闭的环境又会造成夏季的高温胁迫。虽然采用了环境控制计算机来调节环境,但在封闭而全光的拱棚内还会出现各种矛盾,如棚内高温形成后,虽有自动微喷降温,带在封闭环境下,热对流与散发阻碍,还是难以达到适温效果。而如果采用遮光解决,又会影响光合作用。

同时,过多的依赖于微喷降温又会造成基质水分过多而出现离体材料的切口缺氧腐烂现象。在解决这些环境控制的矛盾中,只有选择采用开放的环境来实现。这样就导致高温季节强制供气技术难以实施。而非试管快繁中这些微材料生根最重要的碳源来源就是通过光自养来实现,不像传统组培技术可以依赖培养基的糖分来供给发育所需的能量。

非试管快繁技术具有其他技术无可比拟的优越性就是把传统育苗因环境因子存在的限制性都能得到有效的解决,如光照、温度、湿度等。运用计算机环控技术让接种于无机基质苗床上的微小离体材料能有一个无菌而能独立完成光自养的环境条件,从而使微材料在没有人工碳源补充的情况下能充分利用光合碳源以满足自身发育的需要。于是,如何发挥离体材料光合效率最大化就成为该项技术成功运用的核心,而离体材料的光合作用速率在光照强度及环境因子一定的情况下,主要由表面的 CO₂ 浓度所决定,当 CO₂ 浓度提高至 1000~1500mg/kg 时,单位叶面积的光合作用效率可相应地提高 3~5 倍^[19],但也不是越高越好,过高的 CO₂ 浓度也会造成生理障碍,如使气孔关闭而影响蒸腾与吸收,产生负反馈效应,而不再提高,甚至产生中毒现象。根据这个原理,把离体材料的气相环境成倍地提高,可以促进材料的快速发育与生根,使种苗的成活率提高,生根时间缩短,根茎比与鲜根重大大提高。特别是利用幼嫩的植物微材料,因叶绿素含量少,光合效率低的情况下,采用强制供给 CO₂ 更显示了它的重要性。

除此之外,由于快繁是在特殊的高湿度环境下进行,虽然植物的离体材料是繁于透气相对良好的珍珠岩环境下,但也常由于夏季高温喷水较多而影响基质透气性,常会出现切口缺氧而腐烂现象,这种现象在呼吸作用较强的微小幼嫩材料上较易发生,也就是缺氧导致无氧呼吸而腐烂,影响育苗的成活率。通过上述分析表明,在环境控制技术相对稳定一致的情况下,氧气与 CO₂ 就成为生根成活的限制因素。如何解决 CO₂ 的科学供给及切口富氧环境的创造就成为提高成活率,解决难生根植物的主要技术问题。

3 开放环境下难以实现气体的科学供给

植物非试管快繁技术从传统组培或光自养微繁封闭或半开放环境过渡到全开放的环境下育苗,虽然在植物发育过程中克服了密闭环境培育的一

些障碍因子,如组培培育的苗出现玻璃化,光合作用、呼吸作用模式不能正常建立,根系少而不发达,炼苗难而成活率低的现象。但同时也为开放环境实现计算机的环境控制带来了困难,常出现顾此而失彼的现象。特别是在高温炎热的夏季,苗床常需处于通风及高湿度弥雾环境下,由于通风而使 CO₂ 气的补充不能实现,或因高温而频繁弥雾而使基质水分过多而缺氧。这些环控上的矛盾自然就成为一些难培育植物的生根壮苗之障碍。比如采用 CO₂ 气即使对苗床进行施放,但通风的环境很快就被飘逸弥散,难以达到提高浓度的效果。而氧气的施放更难,使用常规方法根本就无法实现切口基部的增氧。为了解决这种应用上的矛盾,一种有效而实用的方法应运而生,它就是借鉴于日本碳酸水农法与氧气农法基础上的一种运用,极易实施而效果极佳。

4 运用气液混合技术解决开放式补气

农业生产上常用中耕除草疏松土壤来提高根系部位的氧气,或者通过施入有机肥促进微生物活动而形成固气液三相合理的团粒结构,也可以用 CO₂ 发生器或通过有机肥的分解而提高 CO₂ 气浓度^[1-9]。但对于快繁来说,所要求的最适指标大大要高于自然环境下的指标,针对这个问题,发达国家率先采用了纯氧输入技术,特别是在水培蔬菜上使用,可以使蔬菜的生长速度提高 3~5 倍^[20],这种技术已在新加坡被一些农场所用,但是如何让氧气更多的融于水中便成为技术的核心。只要让更多的氧气溶于灌溉的营养液或水中,就可以实施氧气灌溉,提高基质或土壤中氧气的含量,日本的氧气农法就是通过压缩装置把氧气或压缩空气溶于水而进行灌溉的一种方法,这样可实现在无需物理松土的情况下使土壤或基质中有更多的氧气,从而大大增进了根系的有氧呼吸与需氧微生物的活动,达到促进根系生长与提高肥料转换率的效果,这就是日本推行的氧气农法,在无需增加施肥量的同时就可提高产量与优化土壤环境。同样道理 CO₂ 气也可用相似的方法强制性地让其溶于水或营养液中,使其变成碳酸水,再用喷施的方法洒于植物叶片的表面,达到增加微环境 CO₂ 浓度的方法,可以有效解决开放环境下的 CO₂ 飘逸散失现象,从而就形成了碳酸水农法。这技术在日本常用于水耕栽培,把 CO₂ 输入水中,而达到增产的效果,也有用于叶片的喷施。

这种供气方式的改变与应用,正好可以有效地

解决快繁苗床的 CO_2 供应及切口环境的增氧问题。而如何让更多的气体溶于水中正是生产设备上需解决的技术关键,如果把气直接通入水中是难以达到良好效果的,因为水中的饱和溶解度是由大气压及水温所决定的,在没有改变外界气压及水温的情况下,最多的溶入量只能是饱和状况,还不能达到最佳的供气指标。针对这个问题,生产上开发了一种用压缩机与压力罐结合的方法来解决,把水液环境的大气压提高,然后再将气液进行混合,而制备成高于常压下几倍的溶氧量,这种方法需要配备压力罐与压缩机等装备,生产上运用起来还是较为繁琐,但早期的技术实现也基本上是采用这种方法。随着工业技术发展,现在国内外已开发出一种专用的气液混合泵能直接把 CO_2 或氧气气体通过泵的高压装置直接溶入,可以使溶入的气体气泡最微小化,大大提高了气液接触表面积,在常规情况下气体输入水中常呈大气泡状而逸出,而这种混合装置能使气泡的直径达到 20~30 μm 的指标,使气液溶入量达到 18~9,采用这技术就能轻松地制取高氧水或碳酸水。结合气液混合技术就可以节省了压缩机与高压罐的庞大繁琐装备,可以轻松混合,直接用于生产。

5 气液补充对离体材料生理变化的影响

对于难生根的品种或者极为幼嫩的离体材料通过强制供气可以产生极好的效果,现就供气后离体材料产生的生理变化及生根效果试验作一些介绍,以指导生产。通过气液混合装置后至少可以达到相应温度及大气压下的饱和溶解度的上限,比如说在 20 $^{\circ}\text{C}$, 一个大气压的情况下 CO_2 的饱和溶解度是 1.78(g/L 水),氧气的饱和溶解度是 44.3(g/L 水),这个指标在常规自然情况下是根本达不到的,但通过气液混合装置后可达到比一个大气压情况下更高的饱和溶解度,也就是至少可超过常规溶解度的上限值。经高压强制溶入后,就分别变成了富氧水与碳酸水,再把这些水经弥雾管道间歇性地供给苗床上的离体材料表面,达到促进光合作用与生根的目的。在具体应用时,可以用解压后的液氧与干冰为气源,接入气液混合泵的进气管再把启动电源联接至自动控制的快繁计算机接口上,就可实现自动弥雾供气,一般在计算机程序设定上,每天以 3~4 次为佳,每次以叶片湿润为宜。对于极难生根品种可以采用叶片见干即喷的见干见湿模式弥雾。但氧气不宜太频繁,一般每天 3~4 次即可,否则也

会提高叶片的光呼吸,影响净光合积累,对于富氧水供给,通常按照晚上稍多、白天稍少的原则进行供给。

通过弥雾方式供给离体材料或叶片表面大量的碳酸水与富氧水后,发生了如下的吸收生理反应。溶于水中的 CO_2 部分变成碳酸(H_2CO_3),碳酸电离产生碳酸氢根离子(HCO_3^-)和氢离子。当 CO_2 溶液提供给离体材料时,单位时间内扩散及被离体材料吸收的 CO_2 和碳酸氢根离子的量增加。其次,溶解在材料中的碳酸氢根离子在广泛存在于植物中的 CO_2 脱水酶(碳酸酐酶)的催化作用下迅速转化为 CO_2 。结果,叶绿体基质中的 CO_2 浓度和作为 CO_2 固定酶的核酮糖二磷酸羧酶的基质浓度变高^[21],刺激光合作用,从而提高了材料的生根能力。

此外,氧溶液促进材料生根的作用机理如下:首先,当氧溶液提供给材料时,氧气浓度要高于大气压中氧分压下溶于水中的氧气浓度。然后,在由细胞构成的植物体内部和植物体外周形成浓度梯度,结果氧气扩散并进入离体材料。材料由此获得氧气作为维持生命所需要的能量。也就是说, NADH 和 FADH₂ 产生电子,例如,糖酵解、脂肪酸氧化,或柠檬酸循环,通过系列电子载体传递给氧气,生成 ATP。需要生物聚合体生物合成或其他能量的反应通过与该 ATP 水解结合而得以实现。氧气的供给提高了各种生物聚合体的合成或加速了其他新陈代谢,从而提高了材料的生根能力^[22]。同时进入基质的富氧水为切口环境也创造了充足的有氧呼吸空间,大大降低了因切口厌氧而造成的腐烂现象。

至于植物叶片中的光呼吸作用,氧气和 CO_2 竞争作为 CO_2 固定酶的核酮糖二磷酸羧酶的基质,并相互抑制其他基质的反应。即,植物在高浓度氧气的气体环境下得到光,植物的光呼吸会提高,其成为依据植物种类的由于光呼吸而降低植物生物量的一个因子。因而,向材料喷雾氧溶液,最好选在光照阴暗或黑暗期,或采用基质灌溉法供给,让离体材料切口直接吸收氧溶液,但为了考虑生产上的实用性,我们也可用弥雾法,只是做到白天稍少、黑夜稍多即可。

6 采用强制供液、供气技术产生的促根效果

为了说明这两种供液、供气法对生根的促进作用,特选择一些较难生根的木本植物为例,进行试

验验证, 但它的运用是具有普遍性的, 不管哪种类型的植物都有促进生根与壮苗效果, 现把该技术作为植物快繁技术中一项重要的补充技术来运用。选择难以生根的蓝桉与耳形金合欢为试品, 设计安排以下试验。

试验 1: 从耳形金合欢两年生的树体上, 取下带叶枝梢制成一叶一芽或一叶两芽的离体材料, 经消毒与生根处理后, 快繁于以珍珠岩为基质的智能化苗床中, 并于计算机上设定喷雾程序, 有光照的白天, 每隔 1h 喷碳酸水 1 min, 碳酸水的 CO₂ 浓度为 2400mg/kg, 在整个育苗期内如此循环。另两组处理, 材料相同, 喷雾的方式也相同, 一组为喷含氧量为 60mg/kg 的富氧水, 一组为喷自来水处理。经 48d 后检查成活率, 结果见表 1。

表 1 耳形金合欢处理的试验结果比较
Tab.1 Acacia auriculiformis processing test result comparison

试验	喷雾溶液	生根率 (%)
A	CO ₂	100
B	O ₂	80
C	自来水	70

注: 各处理随机取离体材料 100 个

试验 2: 从二年生的蓝桉上取下幼嫩枝制作成离体材料, 经消毒与生根处理后, 快繁于以珍珠岩为基质的苗床中, 开启计算机系统, 并设定喷雾供液程序, CO₂ 溶液 (2100mg/kg) 以见干即喷的方式, 就是利用智能叶片传感器来实现, 白天大约 15~20min 喷 1 次, 每次约 1 min。富氧水 (40mg/kg) 的供给以每隔 8h 灌溉基质 1 次的方式供给。另外, 单纯喷与灌自来水的对照也采取相同的供给方式, 经 43d 后统计成活率, 结果见表 2

表 2 蓝桉处理的试验结果比较
Tab.2 Eucalyptus globulus processing test result comparison

试验	离体材料数 (个)	生根数 (根)	生根率 (%)
碳酸水与富氧水结合	100	73	73
自来水	100	0	0

通过上述试验结果证明, 不管是单纯供给 CO₂ 水与富氧水, 还是两者结合, 都能大大提高离体材料的生根率, 这对于难生根的植物来说是一种极为有效的方法; 对于易生根的植物也可以使苗的根系更加发达, 植株更为粗壮。

7 结束语

近年, 我国农业科技发展极为迅猛, 从传统农业到现代农业; 从化学农业到物理农业; 从传统育苗到现代高科技计算机育苗; 从试管育苗到现在到非试管育苗, 这些科技的发展无不受现代工业科技与交叉学科的影响与溶合。其中氧气与 CO₂ 溶液的运用也是基于现代科技基础之上, 也是基于人们对环境因子充分研究与利用基础上, 基于人们对植物生理深入研究的基础上。这些看似普通的而常令人遗忘的 CO₂ 与氧气却有如此神奇之效果, 不管在大田生产还是工厂化育苗, 或者设施栽培, 都表现出它特有的魅力与增产增收潜力。相信, 随着科技的发展会有更多的象 CO₂ 与氧气一样, 看似是司空见惯的环境因子, 却能产生如此神奇效果的新技术出现, 如现在物理农业中的电磁声波场、激光、纳米等。这些方法与 CO₂ 及氧气一样都可属于物理方法, 不会对环境造成任何的残留与污染, 是目前可持续循环农业的主要研究范畴, 随着科研人员的不断努力, 相信会有更多、更新的物理农业技术得能涌现与运用, 从而为人类的科研、生产挖掘与开发出更为广阔的发展空间。

参考文献:

- [1] 张德健, 等. 保护地立体栽培技术[J]. 内蒙古农业科技, 2001, (职教专辑): 22- 23.
- [2] 曾 玖. 冬春日光温室综合增效措施[J]. 内蒙古农业科技, 2002, (增刊): 148- 149.
- [3] 周 宏, 徐攻乔. 大棚西瓜增施二氧化碳气肥的效果试验[J]. 内蒙古农业科技, 2003, (2): 29- 30.
- [4] 邵庆华, 等. 日光温室黄瓜、番茄二氧化碳施肥试验[J]. 内蒙古农业科技, 1998, (增刊): 208- 209.
- [5] 韦艳红, 等. 日光温室蔬菜 CO₂ 的施用[J]. 内蒙古农业科技, 1998, (增刊): 210- 211.
- [6] 姚 刚, 等. 施用 CO₂ 对保护地番茄生长发育及产量的影响[J]. 内蒙古农业科技, 1998, (6): 33- 35, 48.
- [7] 高 文, 等. 保护地黄瓜施用 CO₂ 气肥的试验研究[J]. 内蒙古农业科技, 2004, (5): 22- 23.
- [8] 邱宏良, 等. 棚内释放 CO₂ 对草莓生长的影响[J]. 内蒙古农业科技, 2001, (5): 12.
- [9] 刘滨疆, 等. 电抑雾灭菌促生技术在温室蔬菜生产中的应用[J]. 内蒙古农业科技, 2001, (绿色专辑): 111- 112.
- [10] 陈文虹, 等. 微型节能冷库蒜薹贮藏保鲜技术[J]. 内蒙古农业科技, 2004, (6): 60- 63.
- [11] 秦海峰, 等. 果蔬采后贮运保鲜初探[J]. 内蒙古农业科技, 2002, (4): 16.

- [12] 任文明,等.相关气体对杏贮藏的影响[J].内蒙古农业科技,1999,(2):18-19.
- [13] 杨祖国,等.夏秋季节防止鱼群泛塘[J].内蒙古农业科技,2004,(增刊):204.
- [14] 段海清.大口鲶鱼人工繁殖研究[J].内蒙古农业科技,2002,(增刊):186.
- [15] 繆丽梅,等.80:20池塘主养德黄鲤试验[J].内蒙古农业科技,2003,(6):23.
- [16] 安場健一郎,屋代幹雄.トマトの酸素農法による高品質栽培技術の確立[A].農業環境工学関連5学会合同大会要旨集[C].日本东京:千叶大学,2003,359.
- [17] 胡田田,康绍忠.植物淹水胁迫响应的研究进展[J].福建农林大学学报(自然科学版),2005,34(1):18-24.
- [18] 张玉琼,张鹤英.淹水逆境下玉米若干生理生化特性的变化[J].安徽农业大学学报,1998,25(4):378-381.
- [19] 肖平,杨建荣,陈燕.植物组织无糖暴露培养工厂化生产技术[J].农村实用工程技术:温室园艺,2003,(12):35-36.
- [20] 後藤英司,菅原大輔,李盈德,高倉直.酸素ガスを用いたハウレンソウ水耕の溶存酸素制御[A].日本植物工場学会平成9年度大会学術講演要旨集[C].日本东京:千叶大学,1997,256-257.
- [21] 陈德欣.高浓度CO₂影响下植物的生理响应[J].福建农业科技,2005,(2):58-59.
- [22] 嶋津光鑑,蔵田憲次.溶存酸素濃度制御によるニンジン不定胚培養の同調性改良[J].生物環境調節,1999,37(3):179-184.