

CO₂ 施肥研究与应用

冯春生

(吉林省农科院原子能利用所)

摘 要

在温室栽培中,施用 CO₂ 气肥能促进作物生长,缩短生育期,大幅度提高产量。在国外,CO₂ 施肥已普遍应用,并发展得相当完善,达到电脑自控程度。CO₂ 施用 1 000ppm,作物能增产 40% 左右,并能提高产物的品质和质量。豆科植物施用 CO₂,能显著提高根瘤的固氮能力,提高子实的产量。在育秧中施用 CO₂,能培育出矮壮苗,根系发达,栽植成活率高。

植物光合作用和积累是植物生理特性与环境因子共同作用的结果,在 CO₂ 施肥中,要改善环境因子的作用。在国外,在 CO₂ 施肥中实行变温综合管理,把一天室温分成三段时间管理,获得显著的经济效益。

在我国,CO₂ 施肥技术研究刚开始,收到了一定效果。CO₂ 施肥研究需要加强研究,研究出适于中国国情的施肥技术,加以推广,推动我国温室栽培技术的发展。

作物的产量有 90% 是由空气中的 CO₂ 和土壤中的水份经过光合作用的产物。作物在生育过程中,增加 CO₂ 的浓度能活化二磷酸核酮糖羧化酶的活性,并且抑制呼吸作用基质乙醇酸的合成,使作物提高光合作用能力,增加光合产物的积累。如果把 CO₂ 作为气体肥料,施用于作物群体中,就能促进作物快速生长,大幅度提高产量。在北欧、日本、美国等国,CO₂ 施肥已从试验阶段进入生产实用阶段,在塑料大棚和温室栽培中广泛应用 CO₂ 施肥技术。在施肥技术和施肥设备方面已经达到相当完善的程度。荷兰是应用 CO₂ 施肥技术比较先进的国家,有 80% 的番茄,70% 的莴苣及黄瓜等都应用 CO₂ 施肥技术。在我国,CO₂ 施肥技术研究刚刚起步。70 年代末,河南、江西、湖南、广东等省就已开展 CO₂ 施肥技术研究,并收到了成效。目前,我国 CO₂ 施肥技术研究还处在试验阶段,有待广泛深入研究。

本文从 CO₂ 在植物光合中的重要作用,CO₂ 施用效果,CO₂ 施用技术及变温综合管理等方面谈谈 CO₂ 施肥技术的研究与应用。

CO₂ 与光合作用

作物利用太阳能把 CO₂ 和水合成有机物质。在光合作用中,所需的 CO₂ 气体绝大部分来自空气,只有少部分来自土壤和植物本身呼吸时所释放出的 CO₂。白天,光合作用旺盛时,由于 CO₂ 大量地被吸收,使作物群体空间中的 CO₂ 浓度大幅度下降。在田间,CO₂ 浓度可由清晨的 400ppm 以上下降到 250ppm 以下。内岛等曾观测玉米地群体中 CO₂ 浓度的变化,晴天中午,CO₂ 浓度降到 100ppm 以下。在空气中,CO₂ 浓度平均为 300ppm,研究表明,对作物生长不是最适宜的浓度,作物最适宜的 CO₂ 浓度是 1 000ppm 左右。所以,为了提高产量,无论是田间和温室,都应该补充 CO₂。

据测量,大气中 CO₂ 浓度每年以 0.01—0.015% 的比率升高,到 2050 年,大气中 CO₂

浓度将增加一倍，达到600ppm。大气中CO₂浓度的增加，给世界农业增产带来好预兆。1982年5月，在美国召开的“大气CO₂浓度上升与植物生产力”的国际会议预测，大气中CO₂浓度增加一倍时，C₃植物的同化率将提高50%，干物重将增加20—45%，对豆科植物的固氮能力也将显著提高。

科学家们对塑料大棚中的CO₂浓度分布状况进行了大量地测量和研究。其基本规律是，在夜间，由于土壤和作物呼吸作用释放出CO₂的积累，棚内CO₂浓度比棚外高。日出前，CO₂浓度可达450ppm以上。可是，随着光照强度的增加，作物光合作用的加强，棚内CO₂浓度逐渐下降，最低时，降到80ppm左右，达到CO₂补偿点水平。采取通风换气补充办法，CO₂浓度也只能维持在260ppm左右。在大棚温室中，由于作物不断地生长发育，叶面指数增大，作物光合能力增强，CO₂降低幅度更显著，不及时补充CO₂，将使作物严重地处在CO₂饥饿状态，CO₂成为光合作用的主要限制因子，严重地影响着作物的长势和产量。

CO₂施肥效果

在一定CO₂浓度范围内，作物光合产物的积累与CO₂浓度成正比，这就为人工提高作物群体中的CO₂浓度来增加作物产量提供依据。把CO₂气体作为肥料施用，实现增产目的。

CO₂施肥效果主要表现为以下几个方面：

1. 增加作物鲜重、干重和产量，对叶菜类和根菜类的增产尤为显著；2. 座果早，座果率高，提前成熟期；3. 提高作物体内养分质量和果实品质；4. 培育秧苗强壮，根系发达，吸肥吸水能力强，秧苗移植成活率高，并具有抗低温，耐干旱的优点；5. 提高豆科作物固氮能力。

日本今津、浜田等施用CO₂试验，在CO₂浓度为3 000ppm的试区，着生菜增产5倍，茄子增产3倍。在CO₂浓度为4 000ppm的试区，萝卜增产3.6倍。在日本，冬季1—2月份，黄瓜、番茄开雌花不座果，施用CO₂ 5—7天后，座果率提高20%，果实增加重量30%，番茄含糖量提高15%。汤桥勤施用1 000ppm的CO₂浓度，在变温管理下，黄瓜增产43%，番茄增产15—8%，而且果实品质提高，果品等级也提高。

1983年，在河南鹤壁市鹿楼进行10个点区的CO₂施肥试验，对塑料大棚栽培黄瓜施用1 000ppm的CO₂，黄瓜平均增产47.3%，每亩纯收入千余元。并且黄瓜座果叶位低，座果率高，成熟早。在江西，对矮化梨树用塑料围档办法进行CO₂施肥试验，施用CO₂浓度为1 000ppm，每天6小时共23天，梨平均增产18.3%。

在温室中，大豆施用1 200ppm的CO₂，子实增产50%，茎秆重增加60%。水稻施用2 000ppm的CO₂可增产90%，在美国，在水田里，每亩施用7.5公斤CO₂，水稻增产67%。

豆科植物施用CO₂，根瘤固氮能力明显提高。对田间大豆，每天施用CO₂，一周后，其固氮能力提高539%。施用1 000ppmCO₂时，大豆固氮能力从每公顷75公斤增加到425公斤。

在温室育稻秧和菜苗时，施用CO₂能培育出矮壮苗，根系发达，吸肥和吸水效率高，能提前6—8天移栽，成活率高，作物具有抗低温，耐干旱的能力，为作物快速生长和提高产量奠定基础。

CO₂施肥技术

在温室栽培的蔬菜、花卉、秧苗等作物实行CO₂施肥，明显地促进作物生长，缩短生育期，大幅度提高产量。CO₂施肥技术比较复杂，需要有封闭的环境，CO₂供气设备及综合管理措施等。

1. CO₂气源 目前，CO₂供气源有以下几种方法：①应用植物有机物质和厩肥混入土壤或堆放地面发酵释放CO₂气体。一吨有机物质能释放约1.5吨CO₂气体。Caldwell试验指出，稻草和有机肥料混合覆盖地面产生的CO₂最多，其次是稻草和松树叶的覆盖。用稻草堆肥发酵能持续25—30天，有机肥埋入土壤20天后，CO₂浓度还保持在1%的水平。此方法简便，成本低，作用时间长，易推广。②应用CO₂高压贮气瓶装气。其特点，能自动控制，不燃烧，不产生热量，没有有害气体，使用方便。1公斤CO₂大约能产生0.53立方米CO₂气体。日本汤桥勤在黄瓜、番茄栽培中施用高压CO₂气，配有电磁气体开关阀和定时装置，一天24小时，自动调控供气。因成本较高，适于中小型温室或辅助供气。③应用CO₂发生剂产生CO₂气体。此法是用化学方法制取CO₂。在我国，因其设备简单，成本低，易推广而被采用。应用碳酸钙或碳酸氢铵加1:1的酸产生CO₂，1公斤碳酸钙产生0.44公斤CO₂。1.8公斤碳酸氢铵产生0.9公斤CO₂。一亩地面积高2米的塑料大棚，用2.5公斤碳酸氢铵可使棚内CO₂浓度达到1 000ppm。CO₂产生速度可用加入酸的速度来调节。④应用燃烧天然气、液化气、丙烷、燃料油和煤碳等产生CO₂气体。方法简便、成本低，应用较普遍。然而，燃烧生成水份，产生热量，有时是不利因素。在美国，天然气比较便宜，施肥用CO₂气普遍用天然气灯发生。1立方米天然气可产生2立方米CO₂气体。每平方米栽培面积CO₂成本大约0.2美分。在日本，普遍应用燃烧灯油方法，每小时燃烧油从1.7升至6升的各种燃烧灯有30多种供选用。1公斤CO₂的成本不到人民币1角钱。在欧洲各国，应用煤油灯发生CO₂气体。在荷兰，有人发明一种CO₂回收设备，可把锅炉烟囱中的CO₂引入温室内。我国山西省煤化研究所，设计一种烧焦碳的CO₂发生器，每小时可生产60立方米含CO₂14—15%的气体。一台发生器生产的CO₂气体可供3亩面积的温室应用。

2. CO₂施肥浓度 CO₂施用量以加速作物生长和提高产量为标准。CO₂适宜浓度与作物种类、品种、生育期有关，同时也受气候因子的影响。因季节、天气、光强、温度及湿度等条件不同而有变化。所以，CO₂施用浓度要根据作物种类、生长期和环境条件来决定。大部分作物对CO₂的饱和点在800—1 600ppm。当CO₂浓度在50—80ppm时，就会发生CO₂饥饿状态，而严重的抑制作物的同化，CO₂浓度过高，会抑制气孔的开闭度而影响生长。因此，在生产上一定要注意保持作物生长所需的CO₂适宜浓度。目前，各国施用CO₂的浓度标准，晴天1 000—1 500ppm，多云天500—1 000ppm。

在生产中，施用CO₂时，为了有一个可靠的估计量，可根据CO₂的理化特性来计算。为了简便，暂不考虑一些不确定因素的影响，可用经验公式来计算CO₂用量：

$$P = \frac{0.59 (C_i - C_0) \cdot V}{500 C_0}$$

式中：P是CO₂施用重量（斤）；
C_i是CO₂施用浓度（ppm）；

C_0 是室内原有 CO_2 浓度,空气是300ppm;

V 是室内体积(米³)。

CO_2 浓度调节因 CO_2 供气方式不同而异。高压 CO_2 供气采用调节流速,燃烧法供气应采用灯的燃灭方法调节,用 CO_2 发生剂供气,应调节加酸的量或滴加速度。

3. CO_2 施肥时间 CO_2 施肥目的是增加光合作用,提高产量,因此,应在晴天施肥。对作物不同生育期如座果和抽穗后施用 CO_2 效果显著。在一天内,日出后1小时开始施用,到中午放风时止;下午14时至16时施用为宜。 CO_2 施用开始时间,根据作物种类有所不同。一般情况下,黄瓜、甜瓜在幼苗第一片叶展开后就应施用 CO_2 ;而番茄、茄子和辣椒要在第2—3片叶开始施用。

环境的影响和变温综合管理

作物的光合强度和积累是作物生理特征和光、温、水、肥和气等环境因子共同作用的结果,只注重提高 CO_2 的浓度是达不到显著增产效果的。

湿度过大将造成作物徒长,枝叶过于繁茂,会影响叶子蒸腾作用及作物对水肥的吸收,同时,也会导致植物病虫害的发生。如黄瓜的白粉病、斑点病和番茄的叶霉病都与湿度过大有关。相反,干燥使作物长势不好,造成减产。对一般作物来说,温室湿度控制在50—80%之间较适宜。温室换气是为了降低湿度和温度,从大气中向室内补充 CO_2 。

光和温度对光合作用起控制作用。在一定范围内,光越强,温度越高,光合作用强度就越大。作物在强光下,对 CO_2 的利用率为33%,在中强光下,对 CO_2 的利用率为23%,在弱光下,对 CO_2 的利用率为7%。另外,在光合作用中, CO_2 浓度效应与日照量的效应之间,存在互补关系,增加 CO_2 浓度,能补偿日照量的减少。

温度对 CO_2 施肥效果有明显影响。温度高, CO_2 施肥效果显著。白天影响同化产物,夜间影响代谢速度。近年来,日本等国对温室气温实行变温管理,把温室温度分为三段时间调节。8时—17时为光合作用时间;17时—22时为促进运转时间;22时—8时为抑制呼吸时间。这三段时间的温度一般分别控制在光合时间为28℃—25℃;运转时间为16℃—13℃;抑制时间为12℃—10℃。并且要提高2℃夜温。但不是绝对的,因作物种类不同而有变化。日本汤桥勤报道,棚栽黄瓜,施用 CO_2 浓度为1000ppm,并实行夜间变温管理,两个试区运转和抑制的夜温变化是18℃→12℃、16→10℃,结果是两个试区黄瓜产量都比不施 CO_2 ,夜温变化为14℃→8℃对照区高43%,增产效果极显著。

黄瓜叶中光合物质有3/4是在夜间运转,提高夜温能加速光合物质运转。夜温低,叶中淀粉沉积,导致叶子黄化。因此,夜温要提高2℃。

日本温室总面积居世界第一,在温室管理上已进入现代化。对温室环境因子实行电脑自动监控。各种作用因子都数字化,编制管理程序输入电脑。换气、调温、光照和灌水等都由中央处理机执行,节省了人力,提高了生产效率。

在我国, CO_2 施肥应用是有待发展的新技术。它的推广应用将促进大棚温室的生产发展,为我国农业工厂化生产提供新的技术。

参 考 文 献

(1) 李正德等: 气体肥料— CO_2 , 《营口农业科技》, 1979, 第2期, 8—10。

(2) 刘国屏等: 关于作物施用 CO_2 气肥的若干问题, 《共产主义劳动大学学报》, 1980, 第3、4期。

(3) 王兴才等: 气体CO₂的应用与经济效益的研究, <百泉农专学报>, 1983, 第2期, 18-23.

(4) 户田干彦: 施設园艺作物への炭酸ガス施用点検—正しく施用されているか—, <农业技术研究>, 1982, 第2期, 37-39.

(5) 汤桥勤: 施設野菜への液化炭酸ガスの利用法, <农业技术研究>, 1982, 第6期, 28-31.

(6) 内嶋善兵卫: CO₂浓度と升と气候变化と食粮生产, <农业および园艺>, 1984, 第59卷, 第1号15-22, 第2号9-13.

(7) 汤桥勤: 施設野菜に対する炭酸ガス施用—温度管理について—, <农业技术研究>, 1985, 第11期, 33-35.

(8) Manan, J.J.: Use of natural gas for CO₂ Production in greenhouses, Colo. Flower Growers 'Assoc. Bull, 1972, 262, 1-5.

(9) PEET, M.M., S.C. PATTERSON, Acclimation to high CO₂ in monoecious Cucumbers. I. Carbon exchange rates, enzyme activities, and starch and nutrient concentrations, Plant Physiol, 1986, 80: 63-67.

(上接第42页)

表4 RE对大豆油脂含量的影响

项 目 条 件	油脂含量 (%)	脂肪酸成份(%)		
		亚麻酸	亚油酸	油酸
CK	18.8	8.02	56.33	21.74
处 理	19.2	7.15	59.89	23.20
增 长 率(%)	2.1	-12.20	6.30	6.70

表5 RE的增产效果

项 目 处 理 条 件	单 产		百 粒 重		虫 食 率 %
	净重(公 斤/亩)	增长率 (%)	净 重 (克)	增长率 (%)	
10	227	5.5	21.9	3.8	1
20	233	8.4	22.2	5.2	1
30	244	13.5	23.2	10	2
CK	215	—	21.1	—	3

三、结 语

大豆施用稀土是一项简便易行的增产增收措施。

1. RE成本低, 增产多。一般可增产5—10%, 经济效益大, 施用方法简单, 利于推广应用。

2. RE能促进种子萌发。RE除使种子萌发快之外, 还能使幼苗茁壮, 有利于营养生长和生殖生长。

3. RE有利于根系和根瘤的生长。提高大豆叶片叶绿素含量和光合速率。

参 考 文 献

(1) Пашнева Г.Е и Др., Микроэлементы в сель.хоз. и Медицине. Тезисы докл и всесоюз. Совещ. 1966, 3, 186.

(2) Иванова И. А. Изв. На Инсм по физиология на рлсменияма, Болгорска Акад на науките. 1970, 16, 235.

(3) 郭伯生: 稀土农用研究的现状及前景<中国稀土学报>1985, 3: 3.