综 述

营养液栽培法在马铃薯研究中的应用

卢泳全 陈伊里 吕文河

徐艳波 杜春雨

(东北农业大学农学系 哈尔滨 150030)

(黑龙江省鹤岗市东山区农业局 154106)

1 前 言

所谓营养液栽培法是与肥力特性的土壤栽培方式相对而言的,它是一种无土壤和无土壤肥力的栽培方式。土壤是岩石经风化形成的砂砾、粘土、矿物质被腐殖质熟化而成。这种团粒结构具有保水、通气、贮存养分等特性。土壤栽培实际上就是根据农田的土壤性质、土壤的质地、耕层的深度等进行不同的培肥管理,使作物在具有一定适宜的营养成分和浓度的环境中,持续不断地吸收各种营养。营养液栽培抛开了复杂的土壤环境,将作物直接放在具有适宜营养成分和浓度的培养液中进行栽培。根据供氧机制不同,营养液栽培可分为循环流动、水气培及喷雾培等多种栽培方式。

营养液栽培是作为作物栽培生理,特别是养分、水分吸收生理的研究手段而发展并被应用的。1648年范·霍尔蒙特进行的柳树试验是近代植物营养研究的启蒙,他据此试验提出了“水说”(Water theory)。1669年任德瓦德用箱子进行水培,结果证明除水外,作物还要吸收土壤的养分,从而否定了霍尔蒙特的水说。1731年戴维提出了“土说”(Earth theory),1761的华莱士提出了“腐殖质学说”(Humus theory)。1893年斯普兰格

尔指出:要使作物能长好,在肥沃的田中必须包含 Fe、Mn、Mg、K、Na、Cl、P、S 和与氮化合的腐殖质。1840年李比希创建了有机物的分析法,提出了植物的“无机营养学说”(Mineral theory)。在此后的几十年里,人们纷纷对植物体所需的各种元素进行深入研究。然而,实用的营养液栽培技术是格里克里教授于1929年在加利福尼亚农业试验站才开始开发。10年后即二战末期,由于军事的需要,这项技术才在实际应用中得到了发展。迄今为止,营养液栽培已经深入蔬菜、花卉乃至作物研究和实践的许多领域^[1~3]。下面,将营养液栽培在马铃薯中的应用作以介绍。

2 植物营养的研究

由于营养液栽培便于控制体系的营养成分,同时可以对其进行有效监测等优点,它已成为植物营养研究中必不可少的手段。

Balamani 等^[4]研究了钙在马铃薯形成中的作用。试验将马铃薯品种 Ruseet burbank 种在温室内,昼/夜温度 24 °C/18 °C,光周期 16 h,然后将已经结块茎植株的单节腋芽叶片培养在含 Ca 培养基中。无 Ca 处理采用蒸馏水。培养腋芽叶时的光期 12 h,光强 450 微爱因斯坦/m² s,昼/夜温度 23 °C/19 °C,每个处理有 6~8 个腋芽叶,重复 2 次以上。

结果表明, 马铃薯的腋芽叶在水中或 Hogland 液中培养 5~7 d 后发育成小块茎, 5 mmol EGTA (乙二醇双乙胺醚-N, N'-四乙酸) + 50 μmol Ca²⁺ 载体 A23187 预处理的马铃薯腋芽叶上不产生块茎, 但是转移到含 CaCl₂ 的培养基中生长, 即可形成块茎, 这表明钙在马铃薯块茎形成过程中具有重要作用。

Kapitsimadi 等^[5]研究了长链脂肪醇—三十烷醇对不同园艺作物生长和产量的影响。试验在水培条件下, 将三十烷醇喷施于马铃薯等作物 3 片幼叶上, 施用时间是马铃薯移植后第 45 d。试验结果使马铃薯增产 29%。

Rashkovich 等^[6]用已感染马铃薯 X、Y、S 病毒的材料和未感染病毒的材料分别栽培在营养液中, 试验共有 103、205、308、410 mg N/L 4 种不同的水平处理。结果表明, 未感病品种有较高的干物重和较多的块茎, N 的吸收量也比感病的材料高, 而感病材料的每克块茎内所含的 N 较未感病材料要高。这表明, 感病材料需要高水平的 N 来达到其最高产量。

Cao 等^[7]研究了在不同的 pH 下马铃薯对不同形态氮的反应。试验共有 4 个处理: (1) 含 NO₃⁻ 的营养液, pH 分别为 3.5、4、5、6、7 和 7.5; (2) 含 NH₄⁺ 的营养液, pH 分别为 3.5、4、5、6、7 和 7.5; (3) 含 NO₃⁻ 与 NH₄⁺ 混合营养液, pH 分别为 4、4.5、5、6、6.5 和 7; (4) 使含 NO₃⁻、NH₄⁺ 及 NO₃⁻ 与 NH₄⁺ 混合的 3 种营养液的 pH 都保持在 5 与 6 两个水平。每个处理含氮总量都是 4 mM。试验将马铃薯品种 Norland 的脱毒茎段培养在琼脂培养基上, 3 周后, 将生长一致的植株移植到温室内。光期 12 h, 平均温度: 光照时为 21.4±0.3 °C; 黑暗时为 16.0±0.3 °C; 平均湿度为 70%±4%, 移植 28 d 后收获。结果表明, 营养液的 pH 水平对每个处

理下的马铃薯生长都产生严重的影响, 在 NO₃⁻-N 营养液中, 当 pH 5 时, 干物重、叶面积、块茎数最高; 在 NH₄⁺-N 营养液中, 当 pH 6 时, 干物重、叶面积、块茎数最高, NO₃⁻ 与 NH₄⁺ 混合的营养液中, pH 6 时干物重最大, 只在 pH 4 时生长量有较大下降, 其余只是少量下降。这说明 NO₃⁻ 与 NH₄⁺ 混合使用的产量比单独使用任何一种形态氮的产量都高。这与以前的报道一致^[8]。同时也证明了 NO₃⁻ 与 NH₄⁺ 混合使用可以扩大马铃薯对 pH 的忍耐范围。

其它有关矿物元素和有机物质对马铃薯生长及产量的影响的报道也很多, 如池田英男 [日]^[1]用营养液栽培法研究了包括马铃薯在内的 25 种蔬菜对 NO₃⁻、NH₄⁺ 和 NO₂⁻ 的适应性; Polizotto 等^[9]研究了马铃薯对 NO₃⁻-N 和 NH₄⁺-N 的吸收和利用; Davis 等^[10]研究了马铃薯对 NO₃⁻-N 的反应及薯块膨大期对 NO₃⁻-N 的反应。Kang Jong Goo 等^[11]研究了马铃薯对不同水平的 N 的反应。总之, 营养液栽培无论是对马铃薯还是其它作物的营养研究, 都有不可替代的作用。

3 生物性状及其机理的研究

与土壤栽培相比, 营养液栽培非常便于对作物的地下部分进行观察, 为研究作物, 尤其是马铃薯这种作物的地下部提供了十分便利的条件。

Waylen 等^[12]研究了改变营养液的 pH 对马铃薯块茎膨大的影响。试验在无菌条件下进行茎段快繁, 并在琼脂培养基上培养, 21 d 后移植到营养液中。试验控制光周期在 12 h, 株冠处光合通量为 390±20 μmol·m⁻²·s⁻¹, 光期温度为 18±0.3 °C, 暗期温度为 15±0.6 °C, 相对湿度 75%±3%。在移植后的

第 30、35、40 这三天进行改变 pH 的处理, 处理时关闭营养液循环系统。处理分 pH 3、pH 5 和保持原营养液的 pH 5.5 三个水平, 10 h 后恢复原来状态, 移植后第 54 d 收获。结果表明, 对营养液 pH 的适当调控可以作为诱导马铃薯块茎形成的有效措施。

Cao 等^[7]的研究还证明, 最适宜马铃薯生长的 pH 为 5 或 6。Krauss 等^[13]研究表明, 在营养液栽培条件下, 特殊的环境压力可以诱导块茎形成。例如, 营养液中 N 素缺乏可诱导块茎发生。Sattelmacher 等^[14]也有类似的报道。

Mitsuru Osaki 等^[15]研究了 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 和 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 对马铃薯块茎膨大的影响。结果表明, $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 可以刺激马铃薯匍匐茎分枝, 促进主茎生长, $\text{NH}_4^+ - \text{N}$, 可以促进块茎膨大。

Cao 等^[16]利用营养液栽培研究了马铃薯根际受到水分胁迫后的反应。试验使马铃薯品种 Norland 的根际恒保持在 -0.5 Pa 的水分胁迫条件下, 同时设置对照。结果受到胁迫的植株在移植后第 27 d 时所结薯块的重量的重量比对照高, 说明当马铃薯受到水份胁迫时, 生物量会提前向块茎转移。同时试验还表明, 水分胁迫造成叶片对 CO_2 同化速率降低, 叶组织中 N、P、Zn、Cu 的浓度降低及 Fe 含量的增加等几方面的影响。Tibbitts 等^[17]对这方面也进行相应的研究, 也说明了水分胁迫对马铃薯生长是有影响的。

4 实用的马铃薯生产技术

营养液栽培这种方法从诞生到现在, 已有几百年的历史, 科学家们用它进行了各种各样的研究工作。然而, 营养液栽培走出实验室, 作为蔬菜、粮食等作物的商品生产手段还是近些年的事儿。从 1929 年格里克里教授在加利福尼亚农业试验站开始开发至今, 它以其独特的魅力, 越来越受到人们的重视。

最早关于营养液栽培进行商品薯生产的报道在 1952 年, 其产量约是土壤栽培的 7 倍。虽然营养液栽培有如此可观的经济效益, 但是在最初它并没有被视为真正的科学。由于受到有经验的科研人员及科研单位的重视, 改造并创新了许多实用的技术使得营养液栽培发展成为农业经济学的一个重要分支, 无论在实践还是研究中, 越来越受到人们的关注。

在营养液法进行各种作物商品生产的过程中, 人们创造了新的技术和方法。例如营养液膜技术 (NFT)、深水法 (DFT)、浮板毛管法等。Raymond 等^[18]对营养液栽培的营养液膜技术 (简称 NFT) 作了较详细的报道。营养液膜技术就是使植物根系浸在一层薄薄的营养液中, 而营养液是不断流动的, 并通过一定手段向营养液中添加氧气, 令作物健康生长的一种栽培技术。试验在 2.4 m 长, 1.8 m 宽的生长室中进行。马铃薯品种为 Denali 和 Norland。营养液循环利用, 自动补充水分, 每周 2 次添加补充营养液。同时设有 pH 自动调节系统, 可自动向系统内添加 0.39 M HNO_3 以保持在 6.0 左右。结果 Denali 每株块茎产量 2850 g , Norland 每株 1800 g 。

由于 NFT、DFT 等系统中, 马铃薯匍匐枝浸在液体中, 抑制块茎形成^[19], 块茎皮易增厚, 并容易腐烂, 造成品质低劣。其原因在于根周围 O_2 不足。所以, 人们又开始了营养液喷雾栽培法的研究。据 Zobel 等^[20]报道, 喷雾式 (Aero) 栽培根周围 O_2 丰富, 克服了 NFT 的不足。

Kang Jong Goo 等^[20]将 Aero 与 DFT (深液式)、NFT 作了比较试验, 试图寻找适合马铃薯营养液栽培的方法。试验表明, Aero 匍匐枝生长比 DFT (深液式) 和 NFT 好得多, 块茎形成也快。据尹作全等^[21]研究表明, 马铃薯脱毒试管扦插苗在保持根际黑暗

的条件下,采用定时喷雾栽培,单株可结薯50~60粒,重量8~10 g/粒,每m²可结薯800~1000粒。这是国内气雾法应用于生产的首次报道。

其它有关用营养液法进行实用化马铃薯小薯栽培的研究也很多^[22~24]。Gabel等^[24]还作了有关营养液栽培设备的报道。

5 其它方面的应用

美国国家航天局(NASA: National Aeronautics and Administration)的生活空间维持系统(CELSS: Controlled Ecological Life Support System)想在宇航飞行器中,通过营养液栽培的方法,利用宇航员自身的排泄物来生产粮食、蔬菜,使物质循环利用,以解决因宇航器长时间飞行而携带食物太多的问题。由于马铃薯是CELSS计划研究的植物之一,所以关于这方面的报道也较多^[18,26~29]。

马铃薯是世界上最重要的食用作物之一。它的产量仅次于小麦、水稻、玉米。且有粮菜兼用,各种营养成分全面而均衡,富含Vc和氨基酸等优点,有人称它为21世纪的健康食品。但在生产上,马铃薯以无性繁殖为主,这样极易使病毒在块茎中积累而导致品种迅速退化。近些年,为了避免种薯退化而发展起来的马铃薯种薯脱毒快繁技术,促进了马铃薯优良品种的推广。但由于无菌条件下生产出来的微型薯不能直接用于大田生产,必须在温室或防虫网棚内繁殖小薯。这样,不仅增加了时间和工序,而且,由于连年种植,使保护地内土传病害日趋严重。由于无土栽培能避免土壤传播的病虫害及连作障碍,具有肥效利用率高,节约水资源等优点,使其在马铃薯生产中日趋受到重视。相信,今后随着研究的深入,这种方法将被逐渐应用和推广。

参 考 文 献

- [1] 山崎肯哉 [日]. 营养液栽培大全. 北京: 北京农业大学出版社, 1989, 28~35
- [2] Hydroponics. Fifthed London Oxford Univ, 1959, 6~7
- [3] 郑光华等. 蔬菜花卉无土栽培技术. 上海: 上海科学技术出版社, 1990, 2~8
- [4] Balamani V et al. 钙在马铃薯形成中的作用. *Plant Physiology*, 1986, 80 (4): 856~858
- [5] Kapitsimadi C. et al. Effect of a long chain aliphatic alcohol (triacontanol) on growth and yield of different horticultural crops. *Acta Horticulturae*, 1995, 379 (16): 237~243
- [6] Rashkovich N L et al. Characteristics of consumption of native nitrogen by infected and decontaminated potato plant. *Izvestiya-Timiryazevskoi-Sel skokhozyaistvennoi-Akademii*, 1993, 4 (3): 196~200
- [7] Weixing Cao et al. Responses of potatoes to solution pH levels with different forms of nitrogen. *Jour of Plant Nutr*, 1994, 17 (1): 109~126
- [8] Cao W et al. Study of various NH₄⁺/NO₃⁻ mixtures for enhancing growth of potatoes. *J Plant Nutr*, 1993, 9: 109~126
- [9] Polizotto K R et al. Response of growth and mineral composition of potato to nitrate and ammonium nitrogen. *J Amer Soc Hort Sci*, 1975, 100: 165~168
- [10] Davis J M et al. Responses of potato to nitrogen form and to change in nitrogen form at tuber initiation. *J Amer Soc Hort Sci*, 1986, 111: 70~72
- [11] Kang Jong Goo et al. Effect of nitrogen levels on the plant growth, tuberization and quality of potatoes grown in aeroponics. *Journal of the Korean Society for Horticultural Science*, 1996, 37 (6): 761~766
- [12] Waylen Y Wan et al. Tuber initiation in hydroponically grown potatoes by alteration of solution pH. *HortScience*, 1994, 29 (6): 621~623
- [13] Krauss A et al. Influence of nitrogen, day length and temperature on contents of gibberlic and abscisic acid and on tuberization in potato plants. *Potato Res*, 1982, 25: 13~21
- [14] Sattelmacher B et al. Relation between nitrogen nutrition, cytokinin activity and tuberization on *Solanum tuberosum*. *Physiol Plant*, 1972, 44: 65~68
- [15] Mitsuru Osaki et al. Effects of ammonium and nitrate assimilation on the growth and tuber swelling of potato plants. *Soil*

- Sci Plant Nutr, 1995, 41 (4): 709~719
- [16] Cao Wei Xing et al. Using a porous-tube system to study potato responses to constant water tension in a rooting matrix. Journal of the American Society for Horticultural Science, 1996, 121 (3): 399~403
- [17] Tibbitts T W et al. Development of siphon system with porous tubers for maintaining a constant negative water pressure in a rooting matrix. Biotronics, 1995, 24 (6) 7~14
- [18] Raymond M Wheeler et al. Potato growth and yield using nutrient film technique (NFT). American Potato Journal, 1990, 67: 177~187
- [19] Kang Jong Goo et al. Growth and tuberization of potato (*Solanum tuberosum* L.) cultivars in aeroponics, deep flow technique and nutrient film technique culture system. J Kor Soc Hort Sci, 1996, 37 (1): 24~27
- [20] Zobel R W et al. Method for growing plants aeroponically. Plant Physiol, 1976, 57: 344~346
- [21] 尹作全等. 马铃薯脱毒小薯无基质喷雾栽培技术研究初报. 马铃薯杂志, 1999, 13 (1) 23~24
- [22] Kim HyunJun et al. Mass production of potato seed tuber via hydroponic culture. Journal of the Korean Society for Horticultural Science, 1997, 38 (1): 24~28
- [23] Kim-HJ et al. Studies on small seed potato (*Solanum tuberosum* L.) multiplication by hydroponic and its practical use. RDA Journal of Agricultural Science, Horticulture, 1993, 35 (1): 524~529
- [24] Fong K H et al. Growing potato plant by the water culture technique. Amer Potato J, 1969, 46: 269~272
- [25] Gabel B V et al. Hydroponic installation for cultivation of seed minitubers of potato. Soviet Plant Physiology, 1992, 38 (5) part 2: 747~749
- [26] Raymond M et al. Utilization of potatoes for life support systems in space. 1. Cultivar-photoperiod interactions. American Potato Journal, 1986, 63: 315~323
- [27] Raymond M et al. Utilization of potatoes for life support systems in space. 2. The effects of temperature under 24 h and 12 h photoperiods. American Potato Journal, 1986, 63: 639~647
- [28] Raymond M et al. Utilization of potatoes for life support systems in space. 3. Productivity at successive harvest dates under 12 h and 24 h photoperiods. American Potato Journal, 1987, 64: 311~320
- [29] Mackowiak C L et al. Recycling crop residues for use in recirculating hydroponic crop production. Acta Hort (Ishs), 1996, 440: 19~24