

中图分类号: S532 文献标识码: A 文章编号: 1672-3635(2021)04-0360-04

DOI: 10.19918/j.cnki.1672-3635.2021.04.011

综 述

马铃薯无土栽培营养液研究进展

吴明阳*, 赵思毅, 李 益, 杨小丽, 高龙梅, 高 川

(达州市农业科学研究院, 四川 达州 635000)

摘要: 营养液是马铃薯无土栽培过程中植株养分供给的主要来源, 很大程度上决定着马铃薯无土栽培的成败。无土栽培马铃薯的生长分为幼苗期、块茎形成期、块茎增长期、淀粉积累期、成熟期五个时期, 不同时期对营养的需求有所不同。营养液配方、pH、EC值、温度、喷施频率均影响无土栽培马铃薯的生长发育。文章总结了马铃薯生长过程的营养需求规律, 综述了马铃薯无土栽培营养液配方、营养液管理等研究现状, 为后续深入研究和应用提供了依据。

关键词: 马铃薯; 无土栽培; 营养液; 配方; 管理

Progress in Nutrient Solution Research for Potato Soilless Cultivation

WU Mingyang*, ZHAO Siyi, LI Yi, YANG Xiaoli, GAO Longmei, GAO Chuan

(Dazhou Academy of Agricultural Sciences, Dazhou, Sichuan 635000, China)

Abstract: Nutrient solution is the main source of nutrient supply in potato soilless cultivation, which determines the success or failure of potato soilless cultivation to a great extent. The growth of potato in soilless cultivation can be divided into five stages: seedling stage, tuber formation stage, tuber growth stage, starch accumulation stage and maturity stage. The nutritional requirements in different stages are different. Formulation, pH, EC, temperature, spraying frequency of the nutrient solution affect potato growth and development in soilless cultivation. The patterns of nutrient requirement for potato were summarized, and the research status of the nutrient solution formulation and management in potato soilless cultivation were reviewed, which would provide basis for subsequent research and application.

Key Words: potato; soilless cultivation; nutrient solution; formulation; management

马铃薯无土栽培是以基质、营养液等组成的根系环境取代土壤环境栽培马铃薯的一项栽培技术^[1], 主要包括固体基质栽培、水培和气雾栽培^[2], 其较多的应用于微型薯的生产。营养液是马铃薯无土栽培过程中植株养分供给的主要来源, 其配制、管理是马铃薯无土栽培的核心技术, 很大程度上决定着马铃薯无土栽培的成败^[3]。

1 马铃薯生长过程的营养需求规律

无土栽培条件下的植物生长所必需的营养元素

共17种, 包括来源于空气的碳元素, 来源于水的氢、氧元素, 以及来源于营养液的大量元素氮、磷、钾, 中量元素钙、硫、镁, 微量元素铁、锌、锰、硼、钼、铜、氯、镍^[4]。马铃薯无土栽培的生长过程主要分为幼苗期、块茎形成期、块茎增长期、淀粉积累期、成熟期五个时期, 每个时期对营养的需求规律有所不同^[5]。

通常情况下, 生产1000 kg马铃薯需氮3.0~4.0 kg^[6]、磷(P₂O₅)1.0~1.5 kg^[6]、钾(K₂O)4.0~6.0 kg^[6]、钙(CaO)1.5~2.0 kg^[7]、镁0.23~0.48 kg^[8]、硫0.26 kg^[4]、铁

收稿日期: 2021-08-11

基金项目: 四川省农业科技成果转化资金项目(2021NZZJ0014)。

作者简介: 吴明阳(1987-), 女, 硕士, 农艺师, 主要从事马铃薯栽培育种与脱毒薯繁育技术研究与推广。

*通信作者(Corresponding author): 吴明阳, E-mail: 514123859@qq.com。

78.2 g^[4]、锰 7.4 g^[4]、锌 5.3~12.9 g^[4]、铜 3.83 g^[4]、硼 5.8 g^[4]、钼 0.506 g^[4]。马铃薯植株对大量元素氮、磷、钾的吸收在块茎增长期最为活跃, 表现为“慢-快-慢”的单峰曲线变化^[9]; 对中量元素镁的吸收在块茎形成期速率最快、积累量最多^[4], 钙^[7]、硫^[4]的吸收在块茎形成期至块茎增长期速率最快、吸收量最多; 对微量元素锰、锌、钼的吸收在块茎增长期速率最快、吸收量最多^[4], 铁的吸收在块茎增长期至淀粉积累期速率最快、吸收量最多^[10], 铜的吸收在淀粉积累期速率最快、吸收量最多^[4], 硼的吸收在块茎增长期吸收速率最快、在淀粉积累期吸收量最大^[4]。

2 营养液配方

2.1 不同配方的研究

马铃薯无土栽培中, 不同品种、不同时期的最佳营养液配方有所不同。目前, 使用最多的是以MS配方、MX配方、霍格兰配方为基础的营养液。贺晓霞^[11]、Tinerno等^[12]采用MS营养液对多个品种马铃薯进行雾培, 均获得了较高产量。黄敏等^[13]采用1/5MS(生长前期)与1/4MS(生长中后期)营养液水培的植株存活率最高、长势最佳。李娇^[14]采用MS营养液对马铃薯试管苗进行固体基质栽培, 脱毒苗成活率最高达93.12%、单株结薯数最高达5.67个。丁凡等^[15]、李标等^[16]、刘伟等^[17]采用改良MS营养液中铵态氮、硝态氮比例和大量元素比例后配制而成的MX营养液进行马铃薯雾化栽培试验研究, 取得了较好效果。李继嫚^[18]、方志荣等^[19]采用优化后的霍格兰营养液进行气雾培, 马铃薯植株长势、结薯性能表现优良。徐志刚等^[20]研究表明, 根据马铃薯不同生长期分段组合霍格兰营养液、MX营养液、0.6MX营养液最有利于脱毒马铃薯种薯生产。

除此之外, 也有学者根据马铃薯生长和结薯特性, 探索出了特定配方营养液。张雁等^[21]研究了不同浓度倍数“高试园”植株生长(KS)和块茎形成(KT)营养液对马铃薯生长和结薯的影响, 指出1.25KS、1.25KT营养液为最佳营养液。韩忠才等^[22]根据马铃薯微型薯产量、生长性状及采收后损失率, 探索出了大量元素为NH₄NO₃ 296 mg/L, KNO₃ 455 mg/L, KH₂PO₄ 254 mg/L, K₂SO₄ 257 mg/L, MgSO₄·7H₂O 554 mg/L, Ca(NO₃)₂·4H₂O 718 mg/L的

最佳营养液配方。

2.2 不同营养元素的研究

大量元素氮、磷、钾是营养液中含量最多的营养元素, 氮素的不同形态、氮磷钾的不同浓度水平对无土栽培马铃薯的生长发育有着十分显著的影响。唐铭霞等^[23]研究表明, 硝态氮有利于雾培马铃薯植株生长、匍匐茎分化、增加结薯数量, 铵态氮有利于增强植株氮素利用率, 促进块茎膨大。王克秀等^[24,25]研究表明, 适量增氮能促进氮磷钾素营养的吸收, 增强植株长势, 提高植株产量, 气雾栽培马铃薯时240 mg/L的氮素浓度为最佳浓度。李秋琛等^[26]研究表明, 氮素水平影响基质栽培马铃薯的长势和品质, 营养液中氮素浓度为210 mg/L时最佳。陈红燕^[27]、邹曾硕等^[28]研究表明, 磷酸二氢钾可影响雾培马铃薯植株长势, 促进薯块膨大, 提高大薯率。荣田甜等^[29]通过研究雾培马铃薯营养液中不同钾素浓度对植株生长、块茎营养品质和产量的影响, 筛选出适合雾培马铃薯营养液的最佳钾素浓度为9 mmol/L。李秋琛^[1]研究表明, 钾素浓度主要影响光合作用的过程、产量以及块茎淀粉含量和可溶性总糖含量, 基质栽培马铃薯营养液中最佳钾素浓度为450 mg/L; 磷素浓度影响马铃薯植株生长、光合速率、块茎淀粉含量、产量, 基质栽培马铃薯营养液中最佳磷素浓度为20~80 mg/L。

无土栽培马铃薯营养液中的中微量元素含量相对较少, 但在马铃薯生长发育过程中起着十分重要的作用。郝智勇^[4]认为中微量元素影响马铃薯植株的光合性能、养分吸收, 以及块茎品质和产量。杨国才等^[30]以改良MS营养液为基础进行研究, 表明缺乏微量元素影响水培马铃薯植株长势及叶片颜色, 微量元素的植株初期叶片基部淡红, 后期叶片逐渐干枯死亡。赵晨晓和何文寿^[31]研究表明, 适当地增加钙元素浓度可以提高雾培马铃薯植株的生长速度, 改善生长状况, 同时促进植株全钾、全钙、全镁的吸收。Arvin等^[32]研究表明, 水培马铃薯营养液中最佳钙素浓度为400 mg/L。

3 营养液管理

无土栽培马铃薯营养液的管理主要包括营养液pH(酸碱度)、EC值(电导率)、温度和喷施频率。一

一般情况下, 马铃薯无土栽培营养液pH在5.8~6.0较为适宜。固体基质栽培时, 还需使基质的pH保持在5.5~7.0^[33]。但也有研究表明, 短暂酸胁迫对雾培马铃薯植株的生长有利, 能通过调控糖代谢相关基因表达量影响植株对蔗糖的吸收和淀粉的积累, 从而促进了块茎提早结薯^[34]。

营养液的EC值和温度对水培、气雾培马铃薯植株的影响较大。张晓勇等^[35]、张晓勇^[36]研究表明, 水培马铃薯营养液EC值过高过低都会影响植株根系生长、叶片光合性能和结薯, 生长前期适当提高EC值可促进茎叶生长和匍匐茎形成, 块茎形成期和膨大期适度降低EC值可促进结薯, 当EC值为2.91 mS/cm时产量最高。Humberto等^[37]研究表明, 气雾栽培马铃薯营养液EC值约为2.0 dS/m时产量最高。Oraby等^[38]、淳俊等^[39]研究表明, 营养液温度为18℃时能显著提高雾培马铃薯植株根系长度、匍匐茎长度和数量, 延长有效结薯期, 提高单薯重和产量。

营养液喷施频率也会影响无土栽培马铃薯的生长发育。基质栽培马铃薯通常每隔7~10 d喷施1次营养液^[40]。李秋琛^[1]研究表明, 适当增加基质栽培马铃薯的灌溉频率有利于淀粉的积累, 灌溉频率为每隔3 d喷施1次时植株水分利用效率、结薯数和产量最佳。雾培马铃薯通常在不同的生长期采用不同的营养液喷施频率。包蕾^[5]、包蕾等^[41,42]研究表明, 营养生长期喷雾频率为间隔20 min有利于雾培马铃薯植株的生长, 块茎生长期喷雾频率为间隔30 min有利于产量增加。斯南白宗^[43]认为, 雾培马铃薯生长前期喷雾间隔时间为3 min, 生长中期为5 min, 采薯期为15 min时较为适宜。乔建磊^[44]采用初期每间隔5 min、中期每间隔10 min、后期每间隔20 min喷施营养液的方式雾培马铃薯, 取得了较好的效果。

4 展 望

马铃薯无土栽培营养液的科学配制与管理是保证马铃薯产量和品质的关键因素。目前, 对于马铃薯无土栽培营养液配方的研究较多集中在对营养液中大量元素上, 对常用MS、MX、霍格兰配方的改良也较多集中在氮磷钾比例的优化。对营养液中微量元素的研究, 特别是对镍元素的研究十分稀少。中微量元素对植物生长起着重要作用, 如镍元素能

促进生长、提高产量, 但目前常用的营养液配方中均不含镍元素。因此, 加大对微量元素作用、效果以及使用浓度等的研究和应用, 能更好地发挥无土栽培马铃薯产量潜力, 提高无土栽培马铃薯的产量和品质。

其次, 目前对马铃薯无土栽培营养液的管理大多采用人工监测和调节pH、EC值等传统的操作管理方式。近年来, 随着信息科学技术和应用, 利用传感技术、物联网技术等对无土栽培营养液进行自动化监控和调节, 使营养液管理过程实现远程智能化管理, 将智能控制系统应用于无土栽培管理领域具有十分广阔的发展前景。

[参 考 文 献]

- [1] 李秋琛. 水肥供应及光照对马铃薯微型薯生长发育的影响 [D]. 银川: 宁夏大学, 2018.
- [2] 徐小莲. 我国蔬菜无土栽培现状与发展趋势 [J]. 农业工程, 2019, 9(10): 121-123.
- [3] 张娟. 三种蔬菜无土栽培养分调控的调查 [D]. 合肥: 安徽农业大学, 2012.
- [4] 郝智勇. 中微量元素在马铃薯生产上的应用 [J]. 中国马铃薯, 2017, 31(5): 307-311.
- [5] 包蕾. 营养液浓度与喷雾频率对雾培马铃薯生长及养分吸收的影响 [D]. 银川: 宁夏大学, 2019.
- [6] 高媛, 韦艳萍, 樊明寿. 马铃薯的养分需求 [J]. 中国马铃薯, 2011, 25(3): 182-187.
- [7] 贾立国, 李利, 秦永林, 等. 马铃薯钙素营养研究进展 [J]. 北方农业学报, 2018, 46(1): 72-75.
- [8] 卜文宣, 贾立国, 樊明寿. 镁元素营养研究现状及其在马铃薯生产上的展望 [J]. 北方农业学报, 2020, 48(3): 92-96.
- [9] 郝智勇. 马铃薯养分需求及生长发育过程中的影响因素 [J]. 中国马铃薯, 2018, 32(2): 114-117.
- [10] 马丽美. 不同马铃薯品种钾钙铁锌的吸收积累规律 [D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2014.
- [11] 贺晓霞. 雾培马铃薯不同品种生长及微型薯产量比较 [J]. 中国马铃薯, 2019, 33(1): 15-20.
- [12] Tierno R, Carrasco A, Ritter E, *et al.* Differential growth response and minituber production of three potato cultivars under aeroponics and greenhouse bed culture [J]. American Journal of Potato Research, 2014, 91(4): 346-353.

- [13] 黄敏, 冯焱, 何建, 等. 紫色马铃薯脱毒苗水培快繁技术研究初报[J]. 南方农业, 2015, 9(22): 86–88.
- [14] 李娇. 不同基质配比对马铃薯微型薯氮磷钾吸收的影响[D]. 长春: 吉林农业大学, 2017.
- [15] 丁凡, 唐道彬, 吕长文, 等. 不同营养方式对雾培法生产脱毒种薯的影响[J]. 中国马铃薯, 2008, 22(4): 193–196.
- [16] 李标, 王季春, 黄振霖, 等. 叶片数量调控对雾培马铃薯生长发育的影响[J]. 中国马铃薯, 2008, 22(2): 77–80.
- [17] 刘伟, 王季春, 高旭, 等. 匍匐茎调控对雾培马铃薯生长的影响[J]. 中国马铃薯, 2010, 24(6): 341–344.
- [18] 李继嫒. 气雾培马铃薯种薯生长不同阶段营养液的配制研究[D]. 长春: 吉林大学, 2013.
- [19] 方志荣, 李佩华, 汪翠存, 等. 凉山州气雾栽培法生产微型马铃薯营养液配方的研究[J]. 西昌学院学报: 自然科学版, 2019, 33(1): 6–9.
- [20] 徐志刚, 王笑笑, 陈松, 等. 马铃薯脱毒种薯植物工厂繁育的营养液类型与浓度优化调控[J]. 农业工程学报, 2018, 34(17): 199–206.
- [21] 张雁, 高航, 金美玉, 等. 无土栽培营养液浓度对马铃薯植株生长和微型薯形成的影响[J]. 延边大学农学学报, 2016, 38(2): 117–121.
- [22] 韩忠才, 张胜利, 孙静, 等. 气雾栽培法生产脱毒马铃薯营养液配方的筛选[J]. 中国马铃薯, 2014, 28(6): 328–330.
- [23] 唐铭霞, 王克秀, 胡建军, 等. 不同氮素形态比对雾培马铃薯生长和原原种产量的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2018(3): 20–25.
- [24] 王克秀, 汪翠存, 唐铭霞, 等. 氮素水平对雾培马铃薯氮磷钾吸收、积累和分配规律的影响[J]. 西南农业学报, 2020, 33(12): 2852–2861.
- [25] 王克秀, 唐铭霞, 胡建军, 等. 氮素水平对雾培马铃薯植株生长和产量的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2019(5): 38–45.
- [26] 李秋琛, 温江丽, 郭文忠, 等. 氮水平对微型马铃薯种薯特性及氮素吸收的影响[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(11): 103–108.
- [27] 陈红燕. KH_2PO_4 含量对雾培马铃薯微型薯产量的影响研究[J]. 种子科技, 2020, 38(7): 15, 17.
- [28] 邹曾硕, 刘国凤, 成长英, 等. 磷酸二氢钾对雾培马铃薯脱毒种薯增产的研究[J]. 中国马铃薯, 2010, 24(2): 89–90.
- [29] 荣田甜, 何文寿, 王斌, 等. 气雾培营养液钾素浓度对马铃薯农艺性状及块茎品质的影响[J]. 江苏农业科学, 2020, 48(23): 98–102.
- [30] 杨国才, 陈家吉, 张远学, 等. 营养物质组成对马铃薯水培苗生长的影响[J]. 湖北农业科学, 2016, 55(16): 4117–4119, 4128.
- [31] 赵晨晓, 何文寿. 不同钙素浓度与不同水源对雾培马铃薯植株的影响[J]. 种子科技, 2021, 39(10): 3–6, 9.
- [32] Arvin M J, Habib A, Donnelly D J. Effects of calcium concentrations in medium on microtuberization of potato (*Solanum tuberosum* L.) [J]. Iranian Journal of Biotechnology, 2005(3): 152–156.
- [33] 王芳. 无土基质栽培生产脱毒马铃薯微型薯的关键技术[J]. 作物杂志, 2008(5): 97–100.
- [34] 张雁. 胁迫迫下气雾培马铃薯植株生理指标及糖代谢相关基因表达量变化研究[D]. 延吉: 延边大学, 2017.
- [35] 张晓勇, 唐道彬, 王季春, 等. 水培营养液离子浓度对脱毒马铃薯生长发育和光合性能的影响[J]. 西南农业学报, 2017, 30(2): 345–353.
- [36] 张晓勇. 离子浓度、光质和激素对水培马铃薯苗薯繁殖及光合性能的影响[D]. 重庆: 西南大学, 2017.
- [37] Humberto C A, Leandro F T, Carlos F J, et al. Electrical conductivity of the nutrient solution and plant density in aeroponic production of seed potato under tropical conditions (winter/spring) [J]. Bragantia, 2017, 76(1): 23–32.
- [38] Oraby H, Lachance A, Desjardins Y. A low nutrient solution temperature and the application of stress treatments increase potato mini-tubers production in an aeroponic system [J]. American Journal of Potato Research, 2015, 92(3): 387–397.
- [39] 淳俊, 桑有顺, 冯焱, 等. 三重调控对雾培繁殖马铃薯原原种产量性状的影响[J]. 西南农业学报, 2019, 32(12): 2763–2768.
- [40] 高彦萍, 张武, 吕和平, 等. 马铃薯试管薯无土基质繁育原原种技术规程[J]. 甘肃农业科技, 2021, 52(2): 83–86.
- [41] 包蕾, 魏子奇, 王振龙, 等. 不同营养液浓度与喷雾频率对雾培马铃薯前期生长的影响[J]. 分子植物育种, 2019, 17(9): 3030–3039.
- [42] 包蕾, 王振龙, 金文录, 等. 不同营养液浓度与喷雾频率对雾培马铃薯生长及产量的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2019(4): 148–155.
- [43] 斯南白宗. 迪庆脱毒马铃薯雾培生产技术[J]. 蔬菜, 2018(8): 50–53.
- [44] 乔建磊. 马铃薯雾培营养调控机理研究[D]. 长春: 吉林大学, 2011.