

凉山州气雾栽培法生产微型马铃薯营养液配方的研究

方志荣,李佩华,汪翠存,蔡光泽,邓琳

(西昌学院,四川 西昌 615013)

摘要:马铃薯原原种气雾栽培法是一种新型的无土栽培技术,相较传统栽培方式,具有较多优势。调控营养液营养元素是获得马铃薯原原种高产的关键技术。以马铃薯“米拉(Mira)”品种的脱毒试管苗为试验材料,在水培壮苗培养阶段采用Box-Behnken设计,对改良霍格兰营养液中硝酸钾、磷酸二氢钾、硝酸铵的比例进行了优化。优化后(即优化霍格兰)的营养液中三者的比例为:硝酸钾645 mg/L、磷酸二氢钾230 mg/L、硝酸铵120 mg/L,采用此营养液用于后续的原原种气雾栽培试验。优化霍格兰在雾培马铃薯植株生长阶段与改良霍格兰和荷兰配方相比,株高和叶面积显著增加,但是匍匐茎数和匍匐茎分枝数低于后两者。在雾培马铃薯结薯期,与营养液中采用230 mg/L磷酸二氢钾喷雾相比,330 mg/L磷酸二氢钾喷雾可显著增加单株结薯数,530 mg/L的磷酸二氢钾喷雾可显著增加单粒重和最大单薯重。雾培马铃薯的不同生育时期可采用不同的营养液,但需要加以验证才能用于大规模生产。

关键词:气雾栽培;马铃薯,微型薯;Box-Behnken 试验设计;磷酸二氢钾

中图分类号:S03,S532 **文献标志码:**A **文章编号:**1673-1891(2019)01-0006-04

Study on Formula of Nutrient Solution for Aeroponic Cultivation of Mini Potato in Liangshan Prefecture

FANG Zhirong, LI Peihua, WANG Cuicun, CAI Guangze, DENG Lin

(Xichang University, Xichang, Sichuan 615013, China)

Abstract: As a soilless cultivation technique developed in recent years, aeroponic cultivation has many advantages over traditional cultivation methods. Regulation of nutrient elements in nutrient solutions is a key technique for higher yields of mini-size potato. In our study, virus-free cuvette plantlets of potato cultivar 'Mira' were used as test materials, and at the stage of hydroponic seedling, the ratio of KNO_3 , KH_2PO_4 and NH_4NO_3 in improved Hoagland solution were optimized by Box-Behnken design. The optimized ratio of the three nutrients (i.e., optimized Hoagland) were: KNO_3 645 mg/L, KH_2PO_4 230 mg/L and NH_4NO_3 120 mg/L, and this nutrient solution was used for the follow-up test of aeroponic cultivation of mini-size potato species. At the plant growth stage in the aeroponic cultivation, the heights and leaf sizes of potato plants cultivated by optimized Hoagland formula both increased significantly compared with those of potato plants cultivated by improved Hoagland and Dutch formulas, but the numbers of stolons and stolon branches of plants cultivated by optimized Hoagland formula were lower than those of plants cultivated by the latter two formulas. At the stage of tuber formation, potato plants cultivated with 330 mg/L KH_2PO_4 produced a significantly larger number of tuber per plant than those cultivated with 230 mg/L KH_2PO_4 , and 530 mg/L KH_2PO_4 can significantly increase single tuber weight and the biggest tuber weight. Different nutrient solutions can be used at different potato growth stages in the aeroponic cultivation, but they need to be further tested and verified before their applications to large-scale potato cultivations.

Keywords: aeroponic cultivation; potato; mini potato; Box-Behnken test design; KH_2PO_4

马铃薯是继水稻、小麦、玉米之后的第4大粮食作物^[1]。目前,我国已成为世界上最大的马铃薯生产国^[2]。但我国马铃薯单产远远低于美国、比利时等国家。种薯缺乏是限制我国马铃薯单产的主要

因素之一。凉山州位于四川省西南部,属于典型的高原山地,区内光照充足、昼夜温差大,十分利于马铃薯的生长,是四川省马铃薯的主产区。马铃薯成为当地农民的主要经济来源之一,是主要的脱贫农

收稿日期:2019-02-21

基金项目:四川省科技厅项目(2016NZYD0003);四川省教育厅项目(16ZB0265,17ZB038);西昌学院博士启动项目(2017BS012)。

作者简介:方志荣(1981—),女,四川冕宁人,讲师,博士,研究方向:植物生理学。

作物。气雾栽培法(简称雾培)是目前马铃薯原种生产的最先进、最有前景的栽培技术。具有繁殖系数高、易调控等优点^[3]。雾培前期试管苗需要在基质中假植20~30 d,生长成本高,劳动强度大,因此徐华超等通过试管苗等直接上雾培并获得了成功^[4]。何卫等采用水培后的马铃薯苗移栽至雾培成活率极高^[5]。营养液的选择是取得高产优质马铃薯雾培微型薯的关键。为了研究适合凉山州本地的马铃薯雾培技术,有必要对雾培营养液的配方进行优化。

Box-Behnken 试验设计(Box-Behnken Design, BBD)是一种3水平的部分因子设计,为响应面法(Response Surface Methodology, RSM)的一种,其最大的优点是能够将多个变量与响应值建立二次多项回归分析模型,并对模型进行分析,最终优化该响应值^[6]。本研究以改良的霍格兰营养液为基础培养液,研究采用Box-Behnken 试验设计,对影响马铃薯试管苗生长的主要成分硝酸钾、磷酸二氢钾、硝酸铵进行了优化,采用优化后的培养液进行壮苗培养和气雾培养,将优化后的培养液与其他培养液进行植株生长性状的比较,并研究结薯期不同浓度的磷酸二氢钾对结薯性状的影响,以期为凉山州马铃薯的气雾栽培法生产马铃薯原种提供理论基础。

1 材料与方 法

1.1 材 料

供试材料为西昌学院马铃薯重点实验室脱毒的“米拉(Mira)”试管苗。

1.2 方 法

1.2.1 水培壮苗营养液的优化

以改良霍格兰营养液为基础,自变量硝酸钾(x_1)、磷酸二氢钾(x_2)、硝酸铵(x_3)的试验水平以-1、1进行编码,采用Box-Behnken方法进行试验设计,共17个试验点。试验因素、水平编码如表1所示,培养液的其余成分保持不变。选择生长一致的试管苗移植到塑料盆中,用上述培养液进行培养,记录植株的鲜重。植株用泡沫塑料板固定,根据需要补充蒸馏水维持盆内液面高度。试管苗培养一周后,取出试管苗,用滤纸吸干水分,测定对应

表1 Box-Behnken 试验设计分析因素与水平编码

因子/(mg·L ⁻¹)	代码	水平		
		-1	0	1
硝酸钾	x_1	250	500	750
磷酸二氢钾	x_2	30	130	230
硝酸铵	x_3	20	70	120

植株的鲜重,以鲜重增加量为对应的y值。采用Design-Expert 8.0优化营养液中硝酸钾、磷酸二氢钾和硝酸铵的比例。

1.2.2 植株生长及匍匐茎萌发期不同营养液喷雾试验

采用优化霍格兰营养液进行水培壮苗培养,将水培壮苗培养后的马铃薯苗定植到三角雾化装置的栽植板上。随即启动自动喷雾系统喷施营养液进行培养,移栽后的7 d内喷雾方式为每隔5 min喷一次,每次10 min。移栽后的两周内选用1/5质量浓度的营养液,之后换为完全营养液。营养液每7天更换一次。采用3种营养液进行喷雾。3种营养液分别为优化霍格兰,改良霍格兰及荷兰温室作物研究所岩棉培滴灌配方(荷兰配方),每处理3个重复,共9个栽培池。在水培苗定植后的45 d,从每个池中选取5株马铃薯苗,测定植株的株高、茎粗、侧枝数、叶面积、根长、匍匐茎数、匍匐茎分枝数。

1.2.3 结薯期不同磷浓度营养液喷雾试验

采用上述优化的霍格兰营养液进行壮苗培养,将水培后的马铃薯苗定植到三角雾化装置的栽植板上。随即启动自动喷雾系统喷施营养液,在雾培马铃薯植株生长阶段采用优化霍格兰营养液进行喷雾,喷雾方法同上。马铃薯雾培苗开始结薯时,即采用4种质量浓度(230、430、430、530 mg/L)梯度的磷酸二氢钾培养液(优化霍格兰配方中其余成分不变)进行喷雾,每处理3个重复,共12个栽培池。收获期,每个栽培池随机选取马铃薯20株,测定单株结薯数,单株产量,最大单薯重,各级种薯数量(≥ 10 g, $> 5 \sim < 10$ g, $> 3 \sim 5$ g, $> 1 \sim 3$ g, ≤ 1 g)、总粒数、总质量等。

1.3 数据收集和 处理

壮苗培养液的优化采用Design-Expert 8.0中的Box-Behnken法进行分析,其余数据采用SPSS 19.0统计软件进行单因素方差分析并用LSD($P < 0.05$)法进行差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 优化后的水培壮苗营养液配方

Box-Behnken 试验设计方案与结果见表2。采用Design-Expert 8.0软件对数据结果进行多项式的回归拟合,并通过响应面模型进行优化,得到鲜重增加值y最大时,三者的比例为:硝酸钾 645 mg/L、磷酸二氢钾 230 mg/L、硝酸铵 120 mg/L,在此条件下鲜重增加1.32 g。此配方为优化霍格兰配方,用于试管苗的水培壮苗培养和气雾栽培试验。

表2 Box-Behnken试验方案与结果(N=10)

处理	因子/(mg·L ⁻¹)			鲜重增加量,y/g
	硝酸钾 x ₁	磷酸二氢钾 x ₂	硝酸铵 x ₃	
1	500	130	70	1.02
2	750	130	20	1.00
3	250	130	20	0.81
4	750	130	120	1.16
5	500	230	20	0.53
6	250	230	70	0.70
7	500	30	20	1.19
8	250	130	120	0.34
9	500	130	70	0.96
10	750	230	70	0.72
11	500	230	120	1.24
12	500	130	70	0.94
13	750	30	70	0.75
14	500	30	120	0.24
15	500	130	70	1.14
16	500	130	70	1.00
17	250	30	70	0.18

2.2 不同营养液对马铃薯植株生长及匍匐茎萌发的影响

由表3可知,优化霍格兰喷雾的植株株高显著高于改良霍格兰和荷兰配方,茎粗和侧枝数方面三者无显著差异。优化霍格兰喷雾的植株叶面积高于荷兰配方喷雾的植株叶面积,二者无显著差异,但显著高于改良霍格兰喷雾的植株叶面积。荷兰配方喷雾植株的根长显著高于优化霍格兰和改良霍格兰喷雾植株的根长。荷兰配方喷雾植株的匍匐茎数和匍匐茎分枝数高于改良霍格兰和优化霍格兰喷雾植株的匍匐茎数和匍匐茎分枝数,并与优化霍格兰喷雾的植株存在显著差异。

表3 不同营养液对马铃薯植株生长及匍匐茎萌发的影响

营养液	株高/cm	茎粗/cm	侧枝数	叶面积/cm ²	根长/cm	匍匐茎数	匍匐茎分枝数
优化霍格兰	84.8±3.7a	1.7±0.1a	19.6±1.3a	41.5±3.7a	45.9±2.2a	2.1±0.5a	5.9±1.3a
改良霍格兰	67.5±3.6b	1.5±0.1a	17.1±0.8a	23.6±2.5b	47.3±3.0a	4.1±0.7b	18.3±1.7b
荷兰配方	72.5±4.1b	1.6±0.1a	18.3±0.9a	33.9±2.6a	56.8±5.3b	4.5±1.0b	22.7±3.2b

注:相同字母表示差异不显著,不同字母表示差异显著(P<0.05),下同。

2.3 营养液中不同磷酸二氢钾质量浓度对结薯性状的影响

由表4可知,随着磷酸二氢钾质量浓度的增加,单株产量增加,在磷酸二氢钾质量浓度330 mg/L时达到最大,此后增加磷酸二氢钾的浓度单株产量不再增加。单株结薯数随着磷酸二氢钾质量浓度的

增加而增加,在330 mg/L时达到最大,磷酸二氢钾质量浓度为530 mg/L结薯数反而下降,最大单薯重随着磷酸二氢钾质量浓度的增加而增加,并在530 mg/L时达到最大值。由表5可知,单粒重随磷酸二氢钾质量浓度的增加而增加,在磷酸二氢钾质量浓度为530 mg/L时达到最大,并与其他处理表现出显著差异。随着磷酸二氢钾质量浓度的增加,>5~<10 g和≥10 g的微型薯粒数增加,在430 mg/L时达到最大,530 mg/L时反而降低,可能跟单株结薯数减少有关。总粒数在磷酸二氢钾质量浓度为330 mg/L达到最大,在530 mg/L时反而降低。总质量随着磷酸二氢钾质量浓度的增加而增加,并在530 mg/L时达到最大值。

表4 营养液中磷酸二氢钾质量浓度对原原种性状的影响

ρ(KH ₂ PO ₄)/(mg·L ⁻¹)	原原种性状		
	单株产量/g	单株结薯量/个	最大单薯质量/g
230	33.5±4.3a	5.6±0.4a	22.796
330	61.1±4.5b	8.2±0.8b	34.300
430	57.9±8.1b	8.1±1.0b	45.467
530	61.9±8.0b	6.3±0.8ab	50.955

表5 营养液中不同磷酸二氢钾质量浓度对原原种质量的影响

ρ(KH ₂ PO ₄)/(mg·L ⁻¹)	单粒质量/g	各级原原种数量					总粒数	总质量/g
		≥10g	>5~<10g	>3~5g	>1~3g	≥1g		
230	5.9±0.6a	15	19	19	31	2	86	505.78
330	7.5±0.6a	35	22	26	33	7	123	917.07
430	7.1±0.6a	30	31	19	34	8	122	868.67
530	9.8±0.9b	35	23	13	21	3	95	928.58

3 结论与讨论

气雾栽培法的优点之一就是根据马铃薯的生长周期特点,进行营养液的合理调配,从而达到生产优质高产马铃薯原原种的目的。王素梅^[7]和孙海宏^[8]通过对营养液内不同化学元素含量配比的研究,筛选出了高产量的配方。本研究通过Box-Behnken试验设计的响应面法,对水培壮苗培养的培养液中硝酸钾、磷酸二氢钾和硝酸铵的比例进行了优化,优化后的营养液即优化霍格兰中三者的比例为:ρ(KNO₃)=645 mg/L、ρ(KH₂PO₄)=230 mg/L、ρ(NH₄NO₃)=120 mg/L,此营养液亦可在马铃薯的气雾栽培中使用。健壮的植株是马铃薯植株结薯的先决条件之一。叶片是植物进行光合作用的器官,叶面积的大小又与植株的健壮度相关。植株高度从另一方面反映了植株的健壮程度。马铃薯匍匐茎是由地下部分茎节上的腋芽伸长而成,其

顶端膨大形成块茎。匍匐茎和匍匐茎分枝数的多少影响着马铃薯的产量,匍匐茎的数量与马铃薯的产量成正相关^[3]。优化霍格兰在株高及叶面积方面高于其他两种营养液,但在匍匐茎数和匍匐茎分枝数方面低于其他两种营养液。因此在以后的试验或生产中,马铃薯雾培前期可以采用优化霍格兰进行喷雾,在匍匐茎萌发生长阶段可以采用荷兰配方喷雾来达到既增加植株健壮程度,又增加匍匐茎数的目的,以提高马铃薯原原种增产的潜力。

马铃薯是喜钾植物。研究表明:马铃薯叶面喷施磷酸二氢钾可以提高块茎产量、淀粉含量,提高

大薯率^[9-10]。邹曾硕等^[11]在薯块膨大期用磷酸二氢钾喷施马铃薯叶片,结果表明叶面喷施磷酸二氢钾可显著地增加匍匐茎和1 g以上脱毒薯的数量,提高大薯率和单株产量。不同磷酸二氢钾质量浓度喷雾条件下对马铃薯结薯性状及原原种质量比较结果表明:在薯块形成期,采用330 mg/L的磷酸二氢钾喷雾,可以增加单株结薯数,后期采用530 mg/L的磷酸二氢钾喷雾,可增加单粒质量,进一步提高马铃薯原原种的质量。

本研究分析了马铃薯生长、匍匐茎萌发及生长、块茎形成及膨大期的雾培马铃薯营养液配方,但需要加以验证才能用于大规模生产。

参考文献:

- [1] 高广金,李求文.马铃薯主粮化产业开发技术[M].武汉:湖北科学技术出版社,2016.
- [2] 岳晓甜,曲峻岭,郭燕枝.中国马铃薯产业现状、影响因素及对策初探[J].农业展望,2016,12(11):55-58.
- [3] 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.
- [4] 徐华超,邹曾硕,严欣,等.马铃薯脱毒原原种雾培生产栽培法探索[J].中国马铃薯,2012,26(2):89-91.
- [5] 何卫,王克秀,胡建军,等.一种水培方式培育马铃薯脱毒试管苗的方法:CN102657081A[P].2012-09-12.
- [6] ANNADURAI G. Design of optimum response surface experiments for adsorption of direct dye on chitosan[J]. Bioproc Eng, 2000,23:451-45.
- [7] 王素梅,王培伦,王秀峰,等.营养液成分对雾培脱毒微型马铃薯产量的影响[J].山东农业科学,2003(4):32-34.
- [8] 孙海宏.马铃薯雾培微型薯营养液筛选试验[J].中国种业,2008(S1):80-81.
- [9] 郭志平,李升林.马铃薯叶面喷施磷酸二氢钾增产效果的研究[J].中国马铃薯,2002(3):143-145.
- [10] 张东昱,夏叶,张文斌,等.叶面喷施磷酸二氢钾对加工型马铃薯生长的影响[J].中国马铃薯,2010,24(5):298-300.
- [11] 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.

(责任编辑:蒋召雪)