



# 高寒阴湿区与干旱区马铃薯试管薯大田直播研究

张 武<sup>1,2</sup>, 高彦萍<sup>1,2</sup>, 孙小花<sup>1</sup>, 王敏<sup>1,2</sup>, 吕和平<sup>1,2</sup>

(1. 甘肃省农业科学院 马铃薯研究所, 兰州 730070;

2. 甘肃省马铃薯脱毒种薯(种苗)病毒检测及安全性评价工程中心, 兰州 730070)

**摘 要** 为明确马铃薯试管薯大田直播栽培技术的可行性及生物产量与块茎淀粉的积累, 采用随机区组设计研究在不同地区不同播种深度对试管薯植株生长发育、生物产量及块茎淀粉等因素的影响。试验以 0.22~0.27 g 的‘陇薯 3 号’试管薯为材料, 以 4、5、6、7 cm 4 个水平的播种深度在甘肃省高寒阴湿区与干旱区进行大田直播试验, 结果表明: (1) 马铃薯试管薯大田直播出苗率在 92.2% 以上, 高寒阴湿区要适当浅播(播深 5 cm), 干旱地区适当深播(播深 7 cm)。 (2) 播种深度对株高无显著影响, 在相同播深下高寒阴湿区株高显著高于干旱区株高, 茎粗在不同播种深度之间以 6 cm 播深茎粗显著高于其他播深; (3) 单株结薯个数在不同种植区及播深下无显著变化, 试管薯块茎产量积累量在高寒阴湿区随播深增加呈现下降的趋势, 干旱地区随播深增加呈增长趋势, 且高寒阴湿区块茎产量积累量高于干旱区; (4) 在同一生育期高寒阴湿区块茎淀粉积累量随着播深增加呈现显著减少的趋势, 而干旱区块茎淀粉积累量随着播深增加呈现显著增加的趋势。在块茎膨大期、淀粉积累期、成熟期高寒阴湿区块茎淀粉积累量高于干旱区。

**关键词** 试管薯; 大田直播; 高寒阴湿区; 干旱区; 播种深度

中图分类号 S318

文献标志码 A

文章编号 1004-1389(2019)12-1987-10

马铃薯试管薯是通过对培养条件及培养基的调控, 诱导脱毒试管苗在容器内形成的微型块茎。试管薯具有体积小、质量轻、生产不受季节限制、便于种质保存和交流等优点<sup>[1]</sup>。试管薯是马铃薯种薯生产体系中的关键环节之一。由于试管薯生产在实验室进行, 不受外界环境条件限制, 可连续扩繁生产, 集中贮藏, 同一时间大面积播种繁殖。同时, 试管薯由脱毒组培苗在组培瓶中密闭环境中生产, 无病毒和病原菌的侵染, 种薯质量极高, 试管薯作为种薯生产的高效技术对于加速无毒种薯生产非常有利。但是目前繁育的试管薯平均质量为 0.16~0.36 g<sup>[2-4]</sup>, 最大薯在 0.75 g 左右, 水分含量高、干物质含量少、大田土壤直播出苗困难。在马铃薯生产实践中, 栽培方式是实现马铃薯高产优质的主要途径之一。不同栽培方式严重地影响着马铃薯的生长发育<sup>[5]</sup>、氮磷钾利用<sup>[6]</sup>和干物质积累与分配<sup>[7]</sup>, 而生态环境条件对马铃薯植株生长、块茎产量形成的影响更为显著<sup>[8]</sup>。近

年来通过进一步研究证明, 正常发芽或打破休眠试管薯<sup>[9]</sup>, 在温室和田间条件下均能正常生长发育<sup>[10]</sup>。因此, 针对试管薯大田栽培生产环节, 以马铃薯试管薯为基础繁殖材料, 为完善脱毒种薯生产技术, 研究分析试管薯大田播种生产原原种产量形成因素, 大田直播生产原原种栽培方式的选择提供理论与实践依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验材料

供试材料为‘陇薯 3 号’试管薯, 由甘肃省农业科学院马铃薯研究所选育并诱导。

### 1.2 试验地点

试验于甘肃渭源县五竹镇、永靖县三塬镇 2 个试验点连续实施 2 a(2015 年、2016 年)。渭源县五竹镇地处西秦岭与黄土高原交汇地带高寒阴湿地区, 位于渭源县南部。海拔 2 373 m, 年均降雨量 718 mm, 集中于夏秋之际, 无霜期 130 d, 平

收稿日期:2019-06-11 修回日期:2019-07-22

基金项目:甘肃省农科院农业科技创新专项(2019GAAS04);国家重点研发计划(2017YFD0201602-4, 2018YFD0200805);兰州市人才创新创业(2016-RC-65);甘肃省农业科学院院列青年基金(2016GAAS40)。

第一作者:张 武, 男, 学士, 研究员, 主要从事马铃薯育种及脱毒种薯繁育技术研究。E-mail:zhwu586@sina.com

通信作者:吕和平, 男, 博士, 研究员, 主要从事植物保护技术研究。E-mail:1950838470@qq.com

均气温 4.4 ℃。土质疏松,土层深厚,养分富钾。永靖县三塬镇位于永靖县西南部,南临刘家峡水库,平均海拔 1 820 m,属温带半干旱偏旱气候类型,平均日照时数 2 534.6 h,年平均降雨量 260

mm,年平均气温 10.3 ℃,全年无霜期 179 d。年平均蒸发量 1 500 mm 左右。各试验点的土壤理化性状和气象条件见表 1 和表 2。

表 1 各试验点土壤理化性状

Table 1 Soil conditions of experimental point

试验点 Test site	土壤类型 Soil type	土壤条件 Soil conditions			
		有机质/(g/kg) Organic matter	速效氮/(mg/kg) Available N	速效磷/(mg/kg) Available P	速效钾/(mg/kg) Available K
五竹 Wuzhu	黑土 Black soil	16.8	134.5	13.4	188.5
三塬 Sanyuan	黄绵土 Loessal soil	12.6	76.3	16.7	177.5

表 2 各试验点气象条件

Table 2 Meteorological conditions of experimental point

试验点 Test site	海拔/m Altitude	气象条件 Meteorological conditions			
		年份 Year	降雨量/mm Rainfall	日照时数/h Sunshine hours	积温/℃ Accumulated temp
五竹 Wuzhu	2 373	2015	539.5	1 350	2 206.4
		2016	508	1 521	2 311.8
三塬 Sanyuan	1 820	2015	285	1 507	2 689.3
		2016	242	1 646	2 730.4

### 1.3 试验设计

各试验点均采用随机区组设计。试管薯质量为 0.22~0.27 g。播种深度设 4 cm、5 cm、6 cm、7 cm 4 个水平;2015 年和 2016 年播种时间均为 4 月 26~29 日。播种方式为平作点播,现蕾期中耕培土,行距 60 cm,株距 20 cm,小区面积 21.6 m<sup>2</sup>;前茬作物均为春蚕豆,第 2 年连作;施磷酸二铵 375 kg/hm<sup>2</sup>,尿素 240 kg/hm<sup>2</sup>,硫酸钾 300 kg/hm<sup>2</sup>,现蕾期结合培土追施尿素 60 kg/hm<sup>2</sup>;渭源五竹试验地为旱作地,生育期不灌水,永靖三塬试验地入冬前灌水,播种后块茎膨大期灌水 2 次,田间管理同常规大田,按时做好病虫害防治。

### 1.4 测定项目与方法

每个小区定点 30 株分别于幼苗期、块茎形成期、块茎膨大期淀粉积累期和成熟期调查植株生物产量(根、茎、叶总鲜质量)、块茎的质量和淀粉含量,每次取 5 穴(小区边行不取)。成熟后,各小区单独收获,计产,考查统计块茎质量性状,用比重法测定淀粉含量。

### 1.5 试管薯播前处理

试管薯播前进行变温储藏处理,适当的高低温交叉处理,播前对试管薯进行分拣,剔除受到病害侵染及生理性状发生较重损伤的试管薯。

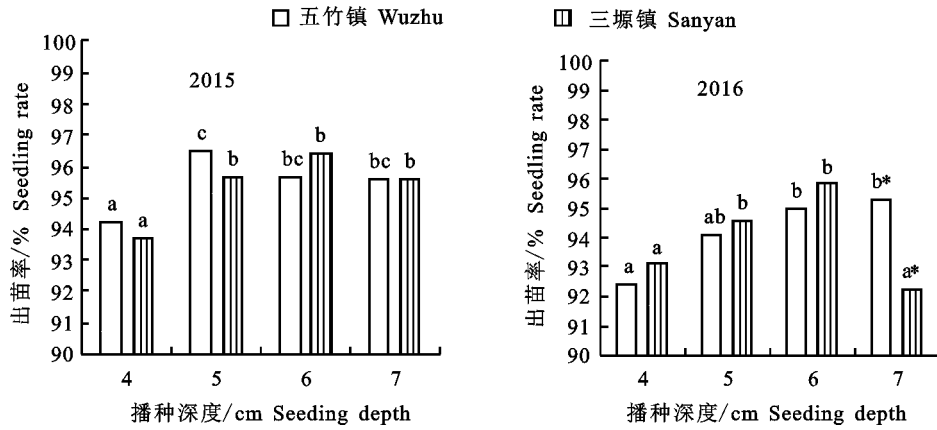
### 1.6 统计分析

使用 Microsoft Excel 2007 软件作图,SPSS 17.0 软件进行单因素随机区组方差分析,显著水平  $\alpha = 0.05$ ,不同播深之间用 LSD(least significant difference test)进行样本平均数的差异显著性检验,不同试验地之间用配对 *t* 检验进行样本平均数的差异显著性检验。

## 2 结果与分析

### 2.1 试管薯直播植株出苗率及物候期状况

本试验选用的试管薯质量只有 0.22~0.27 g,块茎直径 0.3 mm 左右,但在两试验地不同深度的大田土壤直接播种中均能正常出苗,只是播深为 4 cm、5 cm 较播种深 6 cm、7 cm 的出苗早 1 d,且出苗率均在 92.2% 以上,最高为 96.6%。从出苗率来看,适宜播种深度以 6 cm 处理为最佳,出苗率均为 95.0%~96.6%,而在相同播深下两试验地之间没有显著差异(图 1)。不同年份两试验地匍匐茎形成期、块茎膨大期、成熟期在不同播深间无差异。但是 2015 年与 2016 年五竹镇试验地从出苗期到成熟期,所需时间均多于三塬镇试验地,出苗期、匍匐茎形成期、块茎膨大期、成熟期分别平均多出 3.5、4.5、2、10 d(表 3、4)。



1. 柱形图上部小写字母表示在同一试验点不同播深之间的差异性 ( $\alpha = 0.05$ ) Different lowercase letters above the bars indicate statistically differences at the 0.05 significant level between different seeding depths at the same test site; 2. 柱形图上部“\*”表示在相同播深和生育期不同试验点之间差异显著,无“\*”则表示差异不显著 ( $\alpha = 0.05$ ) “\*” indicates difference at the 0.05 significant level between different test points at the same seeding depth and development stage

图 1 试管薯出苗率

Fig. 1 Seedling rate of microtuber

表 3 2015 年试管薯物候期

Table 3 Phenological phase of microtuber in 2015

生育期 Growth period	试验地 Plots	播种深度 Seeding depth			
		4 cm	5 cm	6 cm	7 cm
出苗期 Emergence	五竹镇 Wuzhu	39	39	40	40
	三塬镇 Sanyuan	36	36	37	37
匍匐茎形成期 Stolon formation	五竹镇 Wuzhu	70	70	70	70
	三塬镇 Sanyuan	66	66	66	66
块茎膨大期 Tuber bulking	五竹镇 Wuzhu	79	79	79	79
	三塬镇 Sanyuan	78	78	78	78
成熟期 Maturity	五竹镇 Wuzhu	154	154	154	154
	三塬镇 Sanyuan	144	144	144	144

表 4 2016 年试管薯物候期

Table 4 Phenological phase of microtuber in 2016

生育期 Growth period	试验地 Plots	播种深度 Seeding depth			
		4 cm	5 cm	6 cm	7 cm
出苗期 Emergence	五竹镇 Wuzhu	41	41	42	42
	三塬镇 Sanyuan	37	37	38	38
匍匐茎形成期 Stolon formation	五竹镇 Wuzhu	72	72	72	72
	三塬镇 Sanyuan	67	67	67	67
块茎膨大期 Tuber bulking	五竹镇 Wuzhu	82	82	82	82
	三塬镇 Sanyuan	79	79	79	79
成熟期 Maturity	五竹镇 Wuzhu	152	152	152	152
	三塬镇 Sanyuan	142	142	142	142

2.2 试管薯直播植株苗期生长状况

从图 2 可以看出,2015 年和 2016 年两试验

地株高在不同播种深度之间无显著差异,但是在相同播深下五竹镇试验地株高显著高于三塬镇试

验地株高,五竹镇试验地株高分别为 47.05、46.48 cm,三塬镇验地株高分别为 33.33、32.40 cm,平均高出 13.9 cm。图 2 还显示 2015 年和 2016 年两试验地茎粗在不同播种深度之间差异性不一致,五竹镇试验地具有一定差异,尤其是 6 cm 播深处茎粗显著高于其他播深,4、5、6、7 cm 播深对应的 2 a 平均茎粗分别为 4.70、4.70、

5.05、4.55 mm,而三塬镇试验地差异性不显著,4、5、6、7 cm 播深对应的 2 a 平均茎粗分别为 4.65、4.60、4.55、4.55 mm。另外,在相同播深下五竹镇试验地茎粗基本大于三塬镇试验地茎粗,特别是在 6 cm 播深处五竹镇试验地茎粗显著大于三塬镇验地茎粗,平均多出 0.5 mm。

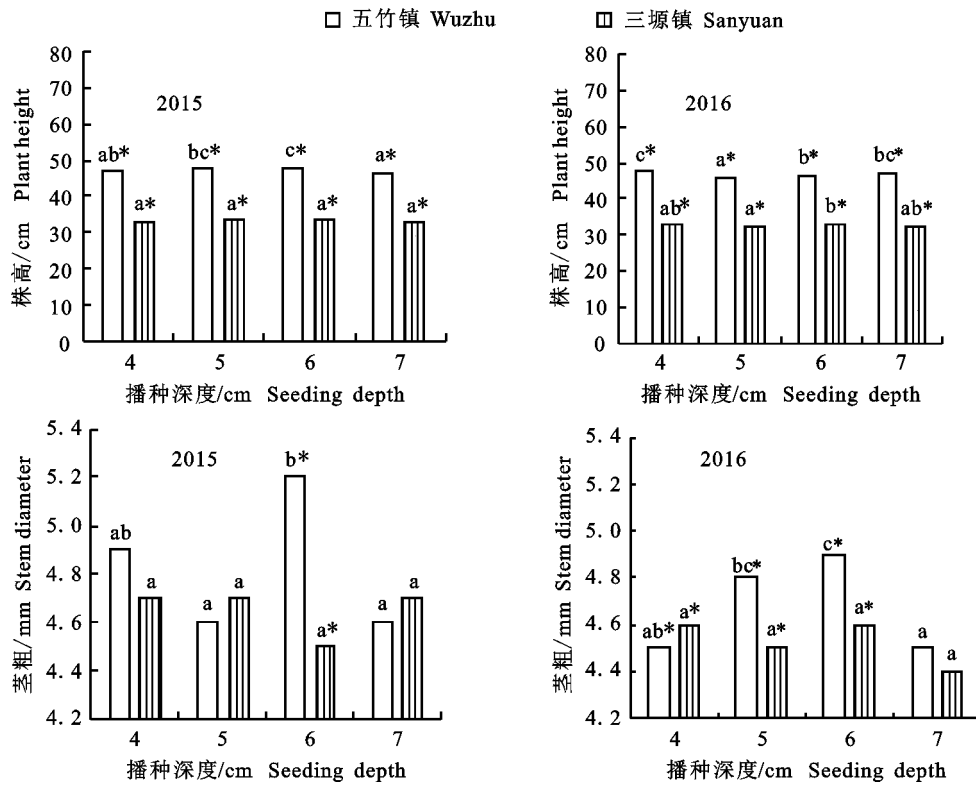


图 2 试管薯出苗后 45 d 株高和茎粗

Fig. 2 Plant height and stem diameter of microtuber after seedling 45 days

### 2.3 试管薯直播栽培生长发育阶段植株生物产量积累

表 5 和表 6 显示,在五竹镇及三塬镇试验地试管薯各生育阶段生物产量在不同播深间差异显著,其中五竹镇试验地随着播深增加而降低,而三塬镇的试验地随着播深增加而增加。另外,在相同播深下五竹镇各生育期生物产量均分别显著高于三塬镇对应的生物产量,从 2 a 平均数据看,在 4、5、6、7 cm 播深处苗期高出 1.27、0.85、0.69、0.39 g,块茎形成期高出 27.77、17.99、21.06、12.31 g,块茎膨大期高出 35.58、26.80、21.75、13.12 g,淀粉积累期高出 46.18、35.30、23.95、18.13 g,成熟期高出 34.50、19.86、26.97、18.64 g。

### 2.4 不同生育时期马铃薯块茎产量状况

表 7 表明,不同试验地及不同播深对试管薯

直播栽培马铃薯单株结薯个数没有显著影响,但随着播种深度的增加,单株结薯个数呈上升趋势。

从播种深度来看,2015 年和 2016 年试管薯块茎产量积累量在各生长发育阶段随着播深变化而呈现较显著的变化,五竹镇试验地随播深增加呈现下降的趋势,三塬镇试验地随播深增加呈增长趋势。同时,相同播深的马铃薯试管薯在各生长发育阶段块茎产量积累量因试验地的不同而差异明显,除块茎形成期之外,都呈现出五竹镇试验地块茎产量积累量高于三塬镇试验地。在 4、5、6、7 cm 播深处,马铃薯块茎产量在块茎形成期到块茎膨大期之间积累量最高,五竹镇试验地年均分别增加 417.26、398.38、390.30、381.87 g,三塬镇试验地年均分别增加 317.40、316.96、329.16、321.01 g;块茎膨大期至淀粉积累期之间积累量

次之,五竹镇试验地年均分别增加 39.25、53.58、39.56、48.87 g,三塬镇试验地年均分别增加 41.03、45.80、38.37、49.87 g;淀粉积累期至成熟

期块茎产量积累量不明显,五竹镇试验地年均分别增加 5.38、2.55、3.68、3.98 g,三塬镇试验地年均分别增加 2.08、1.72、1.30、1.97 g(表 8、表 9)。

表 5 2015 年马铃薯植株不同生育期地上部生物产量

Table 5 Aboveground biological yield per potato plant at different growth period in 2015 g

生育期 Growth period	试验地 Plots	播种深度 Seeding depth			
		4 cm	5 cm	6 cm	7 cm
苗期 Seedling	五竹镇 Wuzhu	3.62 d*	3.42 c*	3.24 b*	2.95 a*
	三塬镇 Sanyuan	2.40 a*	2.67 b*	2.59 b*	2.68 b*
块茎形成期 Tuber formation	五竹镇 Wuzhu	90.31 d*	88.26 c*	83.66 a*	85.38 b*
	三塬镇 Sanyuan	62.06 a*	67.58 c*	64.29 b*	68.54 d*
块茎膨大期 Tuber bulking	五竹镇 Wuzhu	192.34 c*	186.47 b*	184.36 ab*	182.56 a*
	三塬镇 Sanyuan	159.06a*	159.34 a*	164.34 b*	166.10 b*
淀粉积累期 Starch accumulation	五竹镇 Wuzhu	214.93 a*	222.61 a*	221.24 a*	209.09 a
	三塬镇 Sanyuan	176.48 a*	182.43 b*	196.19 c*	202.46 d
成熟期 Maturity	五竹镇 Wuzhu	173.48 b*	170.59 ab*	172.50 b*	163.53 a*
	三塬镇 Sanyuan	140.67 a*	146.47 b*	140.53 a*	144.68 ab*

注:数据后面小写字母表示在同一试验点不同播深之间的差异性( $\alpha=0.05$ );数据后面“\*”表示在相同播深和生育期不同试验点之间差异显著,无“\*”则表示差异不显著( $\alpha=0.05$ )。

Note: Different lowercase letters after data indicate the difference at 0.05 significant level between different seeding depths at the same test site( $\alpha=0.05$ ); “\*” indicates difference at the 0.05 significant level between different test points at the same seeding depth and development stage; the same below.

表 6 在 2016 年马铃薯植株不同生育期地上部生物产量

Table 6 Aboveground biological yield per potato plant at different growth period in 2016 g

生育期 Growth period	试验地 Plots	播种深度 Seeding depth			
		4 cm	5 cm	6 cm	7 cm
苗期 Seedling	五竹镇 Wuzhu	3.75 b*	3.58 b*	3.27 a*	3.21 a*
	三塬镇 Sanyuan	2.40 a*	2.67 b*	2.58 b*	2.68 b*
块茎形成期 Tuber formation	五竹镇 Wuzhu	89.45 c*	82.82 b*	86.43 c*	76.24 a*
	三塬镇 Sanyuan	62.06 a*	67.58 c*	64.29 b*	68.54 d*
块茎膨大期 Tuber bulking	五竹镇 Wuzhu	196.24 c*	187.69 b*	186.34 b*	178.22 a*
	三塬镇 Sanyuan	158.37 a*	161.23 ab*	162.87 b*	168.44 c*
淀粉积累期 Starch accumulation	五竹镇 Wuzhu	228.43 b*	211.06 a*	212.42 a*	217.16 a*
	三塬镇 Sanyuan	174.52 a*	180.65 ab*	189.58 c*	187.54 bc*
成熟期 Maturity	五竹镇 Wuzhu	179.73 b*	164.84 a*	167.62 a*	164.34 a*
	三塬镇 Sanyuan	143.54 a*	149.25 b*	145.66 ab*	146.72 ab*

表 7 试管薯单株结薯情况

Table 7 Potato count from single plant

年份 Year	试验地 Plots	播种深度 Seeding depth			
		4 cm	5 cm	6 cm	7 cm
2015	五竹镇 Wuzhu	3.53 a	3.56 a	3.60 a	3.64 a
	三塬镇 Sanyuan	3.69 a	3.07 a	3.13 a	3.32 a
2016	五竹镇 Wuzhu	3.12 a	3.31 a	3.33 a	3.42 a
	三塬镇 Sanyuan	3.24 a	3.33 a	3.37 a	3.39 a

表 8 2015 年马铃薯植株不同生育期块茎产量  
Table 8 Potato tuber yield per plant at different growth period in 2015 g

生育期 Growth period	试验地 Plots	播种深度 Seeding depth			
		4 cm	5 cm	6 cm	7 cm
块茎形成期 Tuber formation	五竹镇 Wuzhu	2.74 b*	2.74 b*	2.43 a*	2.27 a*
	三塬镇 Sanyuan	3.26 a*	3.53 a*	3.62 a*	4.33 b*
块茎膨大期 Tuber bulking	五竹镇 Wuzhu	417.50 d*	400.43 c*	390.51 b*	382.53 a*
	三塬镇 Sanyuan	324.72 ab*	319.22 a*	334.12 c*	326.27 b*
淀粉积累期 Starch accumulation	五竹镇 Wuzhu	458.43 b*	457.71 b*	442.58 ab*	430.39 a*
	三塬镇 Sanyuan	362.27 a*	367.54 ab*	371.67 ab*	374.20 b*
成熟期 Maturity	五竹镇 Wuzhu	462.33 c*	461.54 c*	446.18 b*	433.60 a*
	三塬镇 Sanyuan	364.72 a*	369.27 ab*	372.37 ab*	376.80 b*

表 9 2016 年马铃薯植株不同生育期块茎产量  
Table 9 Potato tuber yield per plant at different growth period in 2016 g

生育期 Growth period	试验地 Plots	播种深度 Seeding depth			
		4 cm	5 cm	6 cm	7 cm
块茎形成期 Tuber formation	五竹镇 Wuzhu	2.87 ab	3.36 b	3.10 ab	2.71 a*
	三塬镇 Sanyuan	2.83 a	3.05 a	3.42 a	4.40 b*
块茎膨大期 Tuber bulking	五竹镇 Wuzhu	422.63 d*	402.43 c*	395.61 b*	386.19 a*
	三塬镇 Sanyuan	316.17 a*	321.28 ab*	331.23 c*	324.47 bc*
淀粉积累期 Starch accumulation	五竹镇 Wuzhu	460.20 d*	452.31 c*	422.66 a*	436.06 b*
	三塬镇 Sanyuan	360.67 a*	364.55 ab*	370.42 bc*	376.27 c*
成熟期 Maturity	五竹镇 Wuzhu	467.07 d*	453.58 c*	426.41 a*	440.80 b*
	三塬镇 Sanyuan	362.38 a*	366.27 ab*	372.32 bc*	377.60 c*

2.5 不同生育时期马铃薯块茎淀粉积累情况

在马铃薯全生育期内,随着马铃薯植株块茎形成、膨大持续进行,块茎淀粉含量不断增加。试管薯植株块茎淀粉积累量在块茎形成期、块茎膨大期、淀粉积累期和成熟期的分配比例分别为 0.3%、53.1%、44.8% 和 1.8%,可以看出,在块茎形成期淀粉积累极少,到块茎膨大期和淀粉积累期淀粉的积累量最多,几乎占块茎淀粉积累总量的 98%,到成熟期块茎淀粉积累量明显减少。

同时结果还表明,五竹镇试验地块茎淀粉积累量在同一生育期随着播深增加呈现显著减少的趋势,而三塬镇试验地块茎淀粉积累量随着播深增加呈现显著增加的趋势。在相同播深和生育期内两试验地淀粉积累量具有显著差异,表现为在块茎形成期五竹镇试验地淀粉积累量低于三塬镇试验地,在块茎膨大期、淀粉积累期、成熟期五竹镇试验地淀粉积累量高于三塬镇试验地(表 10、表 11)。

表 10 2015 年马铃薯植株不同生育期块茎淀粉含量

Table 10 Starch percent content in potato tubers per unit weight at different growth period in 2015 %

生育期 Growth period	试验地 Plots	播种深度 Seeding depth			
		4 cm	5 cm	6 cm	7 cm
块茎形成期 Tuber formation	五竹镇 Wuzhu	0.00 a*	0.00 a*	0.00 a*	0.00 a*
	三塬镇 Sanyuan	0.07 ab*	0.05 a*	0.10 b*	0.07 ab*
块茎膨大期 Tuber bulking	五竹镇 Wuzhu	10.56 a	10.52 a	10.49 a	10.36 a
	三塬镇 Sanyuan	10.76 a	10.95 a	10.86 a	10.93 a
淀粉积累期 Starch accumulation	五竹镇 Wuzhu	16.83 a*	16.78 a	16.80 a*	16.67 a*
	三塬镇 Sanyuan	18.16 a*	18.30 a	18.27 a*	18.26 a*
成熟期 Maturity stage	五竹镇 Wuzhu	16.95 a*	17.89 a	16.85 a*	16.84 a
	三塬镇 Sanyuan	18.25 a*	18.33 a	18.37 a*	18.34 a

表 11 2016 年马铃薯植株不同生育期块茎淀粉含量

Table 11 Starch percent content in potato tubers per unit mass at different growth period in 2016 %

生育期 Growth period	试验地 Plots	播种深度 Seeding depth			
		4 cm	5 cm	6 cm	7 cm
块茎形成期 Tuber formation	五竹镇 Wuzhu	0.07 b	0.10 b	0.00 a*	0.11 b
	三塬镇 Sanyuan	0.12 b	0.12 b	0.06 a*	0.10 ab
块茎膨大期 Tuber bulking	五竹镇 Wuzhu	10.64 a	10.67 a	10.56 a*	10.62 a
	三塬镇 Sanyuan	11.16 a	11.24 a	11.17 a*	11.24 a
淀粉积累期 Starch accumulation	五竹镇 Wuzhu	17.62 a	17.66 a	17.79 a	17.62 a
	三塬镇 Sanyuan	18.28 a	18.26 a	18.14 a	18.22 a
成熟期 Maturity stage	五竹镇 Wuzhu	17.74 a	17.80 a	17.86 a	17.71 a
	三塬镇 Sanyuan	18.36 a	18.41 a	18.26 a	18.30 a

### 3 结论与讨论

马铃薯试管薯块茎小、营养物质含量少,是大田生产栽培中出苗困难主要制约因素<sup>[11]</sup>。研究增加试管薯产量和用试管薯做种薯在大田土壤直接播种栽培技术一直是农业推广技术人员所关心的问题。付翔<sup>[12]</sup>、董黎明<sup>[13]</sup>采用营养土在苗床、育苗盘和育苗杯育苗试管薯出苗,然后大田移栽,生产马铃薯种薯。而用试管薯作为种薯大田直接播种栽培未见报道。本试验结果表明,在不同区域试管薯大田土壤直接播种均能正常出苗,且出苗率均在 92.2% 以上,从出苗率来看,适宜播种深度以 6 cm 为宜。不同区域出苗率不一致的原因可能是两试验地由于前期各自不同的处理均满足了试管薯出苗的基本条件,因此表现出两试验地之间无显著差异。结果也表明播深仅仅对出苗时间有一定的影响,随播深增加出苗时间推迟,同时,两试验地由于生态条件的不同导致试管薯植株到达不同生育期的时间有较大差异,表现为五竹镇较三塬镇试验地推迟(表 3、4,图 1)。播深对苗后 45 d 植株株高无显著影响,但是茎粗却表现为五竹镇试验地 6 cm 播深较粗,三塬镇无显著差异,且两试验地在 6 cm 播深除有显著差异(图 2)。以试管薯作为种薯,大田播种前要求对土壤进行精细处理,植株苗期生长势较弱,田间除草、中耕和病虫害管理要及时到位,为试管薯植株的生长发育提供适宜环境条件。促进地上部分冠层发育,提高光合作用利用效率,增加植株生物产量积累,为增产增收奠定基础。

马铃薯生物产量的生产特性是光合产物在植株不同器官中合成、分配与积累的结果,而生态条件、栽培方式二者互作效应对马铃薯生物产量的

积累存在极显著的影响。马铃薯整株和块茎的干物质积累均表现出明显的“S”型曲线特征,有研究指出生态环境对马铃薯干物质积累量影响显著<sup>[14-15]</sup>。本研究结果表明,马铃薯试管薯植株前期生长缓慢,块茎膨大期和淀粉积累期生长迅速,成熟期生长速度急剧下降。同时,不同播深的试管薯直播栽培植株各生育阶段生物产量积累量差异明显,在年降雨量 500 mm 以上的区域,试管薯植株生长发育时期生物产量的积累随着播种深度的增加呈下降趋势,而在干旱地区试管薯植株生长发育时期生物产量的积累随着播种深度的增加呈上升趋势(表 5、表 6)。不同播种深度使试管薯植株根系、地下茎空间分布改变,导致其根际土壤温度、根系的呼吸作用产生差异。张丽莉等<sup>[16]</sup>研究表明,低温胁迫下马铃薯根系活力下降,吸收能力减弱,最终导致干物质在各器官中的分配比例和各生育阶段干物质积累量的差异。整体看来,不同的生态区域,采用适宜的播种深度,可使试管薯植株在生长发育各阶段均能保持较高的干物质积累量,具有较高的增产潜力。

马铃薯试管薯单株结薯个数在两试验地之间差异不显著,同样在不同播种深度试管薯植株单株结薯个数之间差异不显著(表 7)。试管薯块茎产量积累量在各生长发育阶段随着播深变化而呈现较显著的变化,五竹镇试验地随播深增加呈现下降的趋势,三塬镇试验地随播深增加呈增长趋势。同时,相同播深的马铃薯试管薯块茎产量积累量呈现出五竹镇试验地块茎产量积累量高于三塬镇试验地(表 8、表 9)。这可能是由于高寒阴湿地区气候冷凉,马铃薯植株根系浅,有利于根际周围气温的提升,促进植株生长发育,为植株块茎干物质积累奠定了基础。马铃薯淀粉产量是植株干

物质积累、分配、运输与转化的结果。有关高产马铃薯干物质积累特性已有大量报道<sup>[17-19]</sup>。生态环境条件是影响马铃薯试管薯生长的重要因素<sup>[20]</sup>，马铃薯栽培的土壤含水量、温度和光照直接影响着马铃薯块茎的膨大<sup>[21]</sup>、淀粉合成积累及产量的形成。本试验研究结果表明，不同生态条件下，以试管薯作种薯大田直播时块茎的淀粉含量随着生态区域气候干燥度的减少而增高。在块茎形成期积累比较缓慢，在块茎膨大期呈直线增长，从淀粉积累期开始变缓，到成熟期块茎淀粉积累很少，淀粉含量达最大值。但随着试管薯播种深度的不同，块茎淀粉含量的积累速率不同。具体表现为，高寒阴湿区随着播种深度的增加，马铃薯块茎淀粉积累速率下降；而干旱地区随着播种深度的增加，马铃薯块茎淀粉积累速率呈上升趋势。

马铃薯淀粉的积累是干物质形成转化的结果，淀粉在马铃薯不同生育时期块茎中的积累量不同，并随生育进程的推进而发生变化。这一结果表明，马铃薯产量的形成过程就是植株生长、块茎膨大和淀粉积累的过程，以及根茎叶中的干物质向块茎中转移的过程，试管薯植株生育期内一半以上的淀粉及 90% 块茎产量是在块茎膨大期内所形成的。

因此，用试管薯大田直播繁育马铃薯种薯时，高寒阴湿等冷凉地区要适当浅播（播深 5 cm），干旱地区适当深播（播深 7 cm），促进早出苗，提高提高出苗率，培育壮苗，为马铃薯种薯的高效生产奠定基础。不同种植区域马铃薯试管薯植株具有不同的干物质积累与分配特性，为使马铃薯种薯生产获得高产，应根据具体的生态条件，采用合理的栽培技术措施对其有效调控。目前种薯生产主要有组培苗基质繁育和雾培法，基质繁育一般在温室或网棚中进行，占用空间或面积较大，需要用特殊的基质蛭石作为定植组培苗的载体，蛭石存在成本高、难以重复利用的缺点，基质繁育单株结薯数一般在 2.5 个左右，产量较低，容易受到病虫害侵染<sup>[22]</sup>；雾培法一般在温室进行，占用空间较大，成本高，由于湿度大容易受到病害侵染、块茎后期储藏容易腐烂，但该法生育期内结薯数一般在 40 粒以上，产量高<sup>[23]</sup>。相对而言，试管薯生产成本低、占用空间小、易运输、在较密闭容器中难以受到病虫害侵染，单株结薯数一般在 2 个，比组培苗容易栽植等优点，但是该法也存在需要进一步提升结薯量及适当增大薯块大小的问题<sup>[2]</sup>。但

是总体而言，试管薯的应用意义不可忽略，应该进一步改进试管薯生产方法，提升试管薯产量和质量。

#### 参考文献 Reference:

- [1] 王 谧, 王西瑶, 刘 帆, 等. 大量元素不同浓度组合对试管马铃薯结薯的影响[J]. 中国农学通报, 2007, 23(2): 65-69.  
WANG M, WANG X Y, LIU F, *et al.* The effect of the different combination of macroelements concentration on the microtuberization of test-tube potato [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2007, 23(2): 65-69.
- [2] 张延丽, 达 琼, 谢 婉, 等. 马铃薯试管薯的诱导和应用[J]. 中国马铃薯, 2011, 25(4): 197-199.  
ZHANG Y L, DA Q, XIE W, *et al.* Induction and application of potato in vitro [J]. *Chinese Potato Journal*, 2011, 25(4): 197-199.
- [3] 刘尚前, 王晓春, 刘志增. 马铃薯试管薯诱导方法改进[J]. 中国蔬菜, 2007, 1(3): 29-30.  
LIU SH Q, WANG X CH, LIU ZH Z. Improvement of induction method of potato in vitro [J]. *China Vegetables*, 2007, 1(3): 29-30.
- [4] 张 武, 齐恩芳, 王一航, 等. 马铃薯试管薯诱导集成优化研究[J]. 长江蔬菜, 2008(8b): 31-33.  
ZHANG W, QI E F, WANG Y H, *et al.* Study on the optimization of integration system to induce potato microtuber [J]. *Chinese Journal of Changjiang Vegetables*, 2008(8b): 31-33.
- [5] 姚玉璧, 王润元, 赵 鸿, 等. 甘肃黄土高原不同海拔气候变化对马铃薯生育脆弱性的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2015, 31(2): 52-58.  
YAO Y B, WANG R Y, ZHAO H, *et al.* Impacts of climatic change on potato growth vulnerability at different elevation in the loess plateau of Gansu [J]. *Chinese Journal of Agricultural Research in the Arid Areas*, 2015, 31(2): 52-58.
- [6] 段 玉, 张 君, 李焕春, 等. 马铃薯氮磷钾养分吸收规律及施肥肥效的研究[J]. 土壤, 2016, 46(2): 212-217.  
DUAN Y, ZHANG J, LI H CH, *et al.* Fertilization effect and nutrition use efficiency of potato in inner mongolia [J]. *Chinese Journal of Soils*, 2016, 46(2): 212-217.
- [7] 田再民, 龚学臣, 冯 琰, 等. 张北地区 2 种马铃薯品种干物质积累与分配特征比较[J]. 干旱地区农业研究, 2013, 31(5): 95-98.  
TIAN Z M, GONG X CH, FENG Y, *et al.* Accumulation and distribution characteristics of arid matter of two potato cultivars in Zhangbei Area [J]. *Chinese Journal of Agricultural Research in the Arid Areas*, 2013, 31(5): 95-98.
- [8] 徐建飞, 金黎平, 庞万福, 等. 不同生态条件对马铃薯单株块茎数的影响[M]//陈伊里, 屈冬玉. 马铃薯产业与农村区域发展. 重庆: 哈尔滨地图出版社, 2013: 307-312.  
XU J F, JIN L P, PANG W F, *et al.* Effects of different ecological conditions on the number of tubers per plant[M]//



- CHEN Y L, QU D Y. Potato Industry and Rural Area Development. Chongqing: Harbin Map Press, 2013: 307-312.
- [9] ALIREZA I, MOSTAFA E, GHOLAMREZA B K. The ontogenetic trends of microtuber formation in potato (*Solanum tuberosum* L.) [J]. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 2007, 10(6): 843-851.
- [10] 郝智勇, 夏平, 邱广伟, 等. 马铃薯试管薯诱导研究进展及其应用[J]. *中国种业*, 2014(1): 24-25.  
HAO ZH Y, XIA P, QIU G W, *et al.* Research progress and application of induction of potato microtuber [J]. *China Seed Industry*, 2014(1): 24-25.
- [11] BOLANDI AR, HAMIDI H, GHAVIDEL R A. The effects of size and microtuber dormancy on production of potato minitubers [J]. *World Applied Sciences Journal*, 2011, 13(3): 502-506.
- [12] 付翔. 马铃薯试管薯大田育苗栽培生产种薯的研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2007.  
FU X. Study on production seed of potato cultivation technique of potato microtuber [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2007.
- [13] 董黎明. 马铃薯试管薯茎植株苗期生长阻滞的机理与克服[D]. 武汉: 华中农业大学, 2016.  
DONG L M. Growth retardation and improvement of potato microtubers plants [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2016.
- [14] 刘星, 张书乐, 刘国锋, 等. 连作对甘肃中部沿黄灌区马铃薯干物质积累和分配的影响[J]. *作物学报*, 2016, 40(7): 1274-1285.  
LIU X, ZHANG SH L, LIU G F, *et al.* Effects of continuous cropping on arid matter accumulation and distribution of potato plants in the yellow river irrigation areas of middle gansu province [J]. *Chinese Journal of Acta Agronomica Sinica*, 2016, 40(7): 1274-1285.
- [15] 王弘, 孙磊, 梁杰, 等. 氮肥基追比例及追施时期对马铃薯干物质积累分配及产量的影响[J]. *中国农学通报*, 2016, 30(24): 224-230.  
WANG H, SUN L, LIANG J, *et al.* Effects of ratio of nitrogen basal and topdressing and application time on arid matter accumulation and distribution and tuber yield of potato [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2016, 30(24): 224-230.
- [16] 张丽莉, 祁雪, 张良, 等. 低温对马铃薯根系发育的影响[M]// 陈伊里, 屈冬玉. 马铃薯产业与农村区域发展. 重庆: 哈尔滨地图出版社, 2013: 388-391.
- ZHANG L L, QI X, ZHANG L, *et al.* Effect of low temperature on root development of potato[M]// CHEN Y L, QU D Y. Potato Industry and Rural Area Development. Chongqing: Harbin Map Press, 2013: 388-391.
- [17] 陈杨, 贾立国, 秦永林, 等. 微垄覆膜沟播对阴山丘陵旱作区马铃薯干物质积累及产量的影响[J]. *中国土壤与肥料*, 2015(1): 91-95.  
CHEN Y, JIA L G, QIN Y L, *et al.* Effect of micro-ridge with plastic cover and furrow seeding on the arid matter and yield of rain fed potato in Yinshan area of Inner Mongolia [J]. *China Soil and Fertilizer*, 2015(1): 91-95.
- [18] 杨瑞平, 张胜, 高翔, 等. 羊厩肥与氮磷化肥配施对马铃薯干物质积累及产量的影响[J]. *内蒙古农业大学学报*, 2011, 32(1): 63-67.  
YANG R P, ZHANG SH, GAO X, *et al.* The effects of stable manure and NP fertilizer on accumulation arid matter and yield of potato [J]. *Journal of Inner Mongolia Agricultural University*, 2011, 32(1): 63-67.
- [19] 杨相昆, 魏建军, 张占琴, 等. 不同栽培措施对马铃薯干物质积累与分配的影响[J]. *作物杂志*, 2012(4): 130-133.  
YANG X K, WEI J J, ZHANG ZH Q, *et al.* Study on accumulation and distribution of arid matter in potato under different cultivation [J]. *Chinese Journal of Crops*, 2012(4): 130-133.
- [20] HOSSAIN M S, HOSSAIN M M, HAQUE M M, *et al.* Varietal evaluation of potato microtuber and plantlet in seed tuber production [J]. *International Journal of Agronomy*, 2017(1): 2-5.
- [21] 常宏, 王玉萍, 王蒂, 等. 光质对马铃薯试管薯形成的影响[J]. *应用生态学报*, 2009, 20(8): 1891-1895.  
CHANG H, WANG Y P, WANG D, *et al.* Effects of light quality on microtuber induction of *Solanum tuberosum* [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2009, 20(8): 1891-1895.
- [22] 谭体琼, 陈红艳, 唐虹, 等. 大棚网室马铃薯脱毒原种繁育技术[J]. *中国园艺文摘*, 2015, 31(10): 166-167.  
TAN T Q, CHEN H Y, TANG H, *et al.* Breeding technology of virus-free potato in greenhouse net room [J]. *Chinese Horticulture Abstracts*, 2015, 31(10): 166-167.
- [23] 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.  
HE X X. Comparison of different potato varieties for their growths and minituber yields in aeroponics [J]. *Chinese Potato Journal*, 2019, 33(1): 15-20.

## Studies on Direct-seeding of Potato Microtuber in the Alpine Wetland and Arid Area

ZHANG Wu<sup>1,2</sup>, GAO Yanping<sup>1,2</sup>, SUN Xiaohua<sup>1</sup>, WANG Min<sup>1,2</sup> and LÜ Heping<sup>1,2</sup>,

(1. Potato Institute of Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou 730070, China; 2. Gansu Engineering Center for Virus Detection and Safety Evaluation of Potato Seed (Seedling), Lanzhou 730070, China)

**Abstract** In order to determine the direct-seeding feasibility of potato microtubers and figure out its effects on the growth, biological yield and starch accumulation of microtubers. The randomized block experiments of direct seeding was conducted with different seeding depths, including 4, 5, 6 and 7 cm, in alpine wetland and arid area of Gansu province. ‘Longshu 3’ (The mass ranged from 0.22—0.27 g) was served as material. The results showed that were as follows: (i) The emergence rate of direct-seeding potato microtubers was more than 92.2%. The proper sowing depth was about 5 cm in alpine wetland and about 7 cm in arid areas. (ii) Plant height had no significant differences among different treatments of seeding depth in the same areas, nevertheless, the plant height exhibited significantly higher in alpine wetland than in arid area at the same seeding depth. The treatment of 6 cm seeding depth had significantly longer stem diameter than the other seeding depths. (iii) The tuber number per plant displayed no significant changes in seeding areas and seeding depths. The microtuber yield reduced with the increase of seeding depths in the alpine wetland, but in the opposite trend in the arid area. Moreover, the tuber yields were higher in the alpine wetland than in the arid area. (iv) The starch accumulation of tuber decreased with the increase of seeding depths in the alpine wetland but increased in the opposite trend in the arid area. The starch accumulation was higher in the alpine wetland than in the arid area at the bulking stage, starch accumulation stage and maturity stage.

**Key words** Potato microtuber; Direct-seeding; Alpine wetland; Arid areas; Seeding depth

**Received** 2019-06-17

**Returned** 2019-07-02

**Foundation item** The Gansu Academy of Agricultural Sciences Science and Technology Innovation Project (No. 2019GAAS04); the National Key Research and Development Program (No. 2017YFD0201602-4, No. 2018YFD0200805); Lanzhou Talent Innovation and Entrepreneurship Project (No. 2016-RC-65); Youth Foundation Project of Gansu Academy of Agricultural Sciences (No. 2016GAAS40).

**First author** ZHANG Wu, male, bachelor, research fellow. Research area: potato breeding and virus-free seed potato breeding technology. E-mail: zhwu586@sina.com

**Corresponding author** LÜ Heping, male, Ph. D, research fellow. Research area: plant protection technology. E-mail: 1950838470@qq.com

(责任编辑: 成敏 Responsible editor: CHENG Min)