

中图分类号: S532 文献标识码: A 文章编号: 1672-3635(2024)03-0193-09

DOI: 10.19918/j.cnki.1672-3635.2024.03.001

遗传育种

二倍体和四倍体马铃薯组培苗结薯性状比较

李 锐¹, 李景幽¹, 李芳艳¹, 翟美英², 郭华春^{1*}

(1. 云南农业大学农学与生物技术学院, 云南 昆明 650201; 2. 双江自治县农业技术推广中心, 云南 临沧 677399)

摘 要: 以 82 份马铃薯材料(2 份 *Solanum tuberosum*, 34 份 *S. phureja*, 12 份 *S. chacoense*, 8 份 *S. polyadenium*, 9 份 *S. stenotomum*, 17 份 *S. vernei*)为试验对象, 调查和分析其结薯性状。2 份 *S. tuberosum* 材料平均单株产量为 35.7 g, 平均单株结薯数为 5.7 个, 平均单薯重为 6.9 g; 34 份 *S. phureja* 材料平均单株产量为 16.0 g, 平均单株结薯数为 3.9 个, 平均单薯重为 5.0 g; 12 份 *S. chacoense* 材料平均单株产量为 10.0 g, 平均单株结薯数为 10.4 个, 平均单薯重为 1.1 g; 8 份 *S. polyadenium* 材料平均单株产量为 11.9 g, 平均单株结薯数为 9.8 个, 平均单薯重为 1.3 g; 9 份 *S. stenotomum* 材料平均单株产量为 13.2 g, 平均单株结薯数为 12.9 个, 平均单薯重为 1.2 g; 17 份 *S. vernei* 材料平均单株产量为 12.6 g, 平均单株结薯数为 7.8 个, 平均单薯重为 1.7 g。四倍体平均单株产量高于二倍体, *S. phureja* 材料又高于其他二倍体材料; *S. chacoense*、*S. polyadenium*、*S. stenotomum* 和 *S. vernei* 单株结薯数高于 *S. tuberosum* 和 *S. phureja*。在产量构成方面, *S. tuberosum* 和 *S. phureja* 单株产量受单株结薯数与单薯重双重影响, 而 *S. chacoense*、*S. polyadenium*、*S. stenotomum* 和 *S. vernei* 单株产量几乎仅受单株结薯数影响。试验结果为研究马铃薯块茎形成机制及二倍体资源利用提供参考。

关键词: 马铃薯; 野生种; 二倍体; 四倍体; 单株产量

Comparison of Potato Tuberization-related Traits in Tissue Culture Plantlets of Diploid and Tetraploid Potatoes

LI Kun¹, LI Jingyou¹, LI Fangyan¹, ZHAI Meiyang², GUO Huachun^{1*}

(1. College of Agronomy and Biotechnology, Yunnan Agricultural University, Kunming, Yunnan 650201, China;

2. Agricultural Technology Extension Center of Shuangjiang Autonomous County, Lincang, Yunnan 677399, China)

Abstract: Eighty-two potato materials (two from *Solanum tuberosum*, 34 from *S. phureja*, 12 from *S. chacoense*, eight from *S. polyadenium*, nine from *S. stenotomum*, and 17 from *S. vernei*) were tested in this study, to investigate and analyze their potato tuberization-related traits. The two *S. tuberosum* lines had an average yield of 35.7 g per plant, with 5.7 tubers per plant, and a mean tuber weight of 6.9 g. The 34 *S. phureja* lines had an average yield of 16.0 g per plant, with 3.9 tubers per plant, and a mean tuber weight of 5.0 g. The 12 *S. chacoense* lines had an average yield of 10.0 g per plant, with 10.4 tubers per plant, and a mean tuber weight of 1.1 g. The eight *S. polyadenium* lines had an average

收稿日期: 2024-04-17

基金项目: 国家自然科学基金项目(32260543); 云南省重大科技专项(202402AE09001702)。

作者简介: 李锐(1998-), 男, 博士研究生, 主要从事马铃薯遗传育种研究。

*通信作者(Corresponding author): 郭华春, 博士, 教授, 主要从事马铃薯生理生化与遗传育种研究, E-mail: ynghe@126.com。

yield of 11.9 g per plant, with 9.8 tubers per plant, and a mean tuber weight of 1.3 g. The nine *S. stenotomum* lines had an average yield of 13.2 g per plant, with 12.9 tubers per plant, and a mean tuber weight of 1.2 g. The 17 *S. vernei* lines had an average yield of 12.6 g per plant, with 7.8 tubers per plant, and a mean tuber weight of 1.7 g. The average yield per plant was higher in tetraploids than in diploids, and the yield was higher in *S. phureja* than in other diploids. The number of tubers set per plant was higher in *S. chacoense*, *S. polyadenium*, *S. stenotomum*, and *S. vernei* than in *S. tuberosum* and *S. phureja*. In terms of yield components, the yield of *S. tuberosum* and *S. phureja* was affected by both the number of tubers set per plant and mean tuber weight, whereas the yield of *S. chacoense*, *S. polyadenium*, *S. stenotomum*, and *S. vernei* was affected almost exclusively by the number of tubers set per plant. This study would provide a basis for research on the mechanism of potato tuber formation and diploid resource utilization.

Key Words: potato; wild species; diploid; tetraploid; tuber yield per plant

马铃薯(*Solanum tuberosum* L.)是继水稻和小麦之后的全球第三大直接消费粮食作物。中国为马铃薯第一种植和生产大国^[1], 马铃薯在保障国家粮食安全和实现乡村振兴中起着不可替代的作用^[2]。

马铃薯种质资源丰富, 在拉丁美洲分布着许多马铃薯种, 是马铃薯遗传改良重要基础遗传材料^[3]。*S. phureja* 为马铃薯二倍体栽培种, 具有适应短日照、缺乏休眠期及抗青枯病等特性, 其育出品种对恶劣环境与病害的抗性较强, 如晚疫病抗性亲本‘I-1039’就有 *S. phureja* 遗传背景^[4]。*S. stenotomum* 为马铃薯原始栽培种, 一些种如 *S. ajanhuiri*、*S. juzepczukii* 和 *S. tuberosum* 均有其遗传背景^[3]。*S. phureja* 与 *S. stenotomum* 杂交后代对晚疫病有较高抗性^[5], 对改善马铃薯块茎铁锌含量有积极作用^[6]。*S. chacoense* 是具多样性且分布广泛的野生种之一, 具有晚疫病、青枯病、甲虫、马铃薯 X 病毒(Potato virus X, PVX)等病虫害及病毒抗性, 已通过常规杂交及体细胞融合等技术将其部分优良性状引入栽培种中^[7]。1976 年美国育成的马铃薯品种‘大西洋(Atlantic)’, 就是以 *S. chacoense* 为原始亲本材料培育而成^[8], ‘大西洋’引入中国后, 又以其为核心亲本育出‘冀张薯 12 号’^[9]、‘陇薯 8 号’^[10]等一系列新品种, ‘大西洋’目前仍是中国主要加工型品种。*S. polyadenium* 对马铃薯跳甲、叶甲等虫害及病毒病、晚疫病等病害具有较强抗性^[10,11]。*S. vernei* 对马铃薯孢囊线虫、马铃薯

X 病毒、马铃薯 Y 病毒(Potato virus Y, PVY)、晚疫病等病虫害及病毒具有抗性^[12-14]。

因此, 对马铃薯近缘栽培种和野生种进行种质资源评价在育种过程中必不可少, 但关于马铃薯不同种间材料的组培苗结薯性状分析鲜有报道。本试验研究了马铃薯不同来源种材料的组培苗结薯差异, 旨在揭示马铃薯不同种间材料的结薯性状差异, 为后续马铃薯块茎形成研究及品种遗传改良提供一定基础。

1 材料与方法

1.1 试验材料

82 份供试材料均由云南农业大学薯类作物研究所繁育(表 1), 其中 2 份 *S. tuberosum* 四倍体栽培种为课题组自繁材料, 34 份 *S. phureja* 材料引自国际马铃薯中心亚太中心, *S. chacoense*, *S. polyadenium*, *S. stenotomum* 和 *S. vernei* 二倍体实生种子由黑龙江省农业科学院惠赠。*S. tuberosum* 与 *S. phureja* 为脱毒组培苗, *S. chacoense*, *S. polyadenium*, *S. stenotomum* 和 *S. vernei* 为实生种子繁殖出的无菌组培苗。

1.2 材料扩繁与种植

2023 年 10 月 15 日于 MS 培养基(4.8 g/L MS 粉+30 g/L 蔗糖, pH 5.8)上扩繁组培苗, 每份材料扩繁 1 瓶, 每瓶扩繁 8~10 株。2023 年 11 月 3 日移苗于育苗盘中, 在温室(22 ℃, 16 h 光照/8 h 黑暗)中炼苗 20 d。2023 年 11 月 23 日移栽至育苗袋(16 cm × 14 cm)中(每盆 1 株组培苗, 共 8 盆), 置

于托盘中，放于玻璃温室中生长；期间施肥一次，大量元素水溶肥(N 15%、P₂O₅ 10%、K₂O 30%，云南创惠农业科技有限公司)以1.2 g/L比例溶解，为保证每盆施肥量一致，向每一托盘倒入4 L肥水；试验期间，每一托盘浇水量相同。2024年3月25日收获，参照《马铃薯种质资源描述规范和数据标准》^[15]选取5盆进行考种，统计相关性状。

表1 82份供试材料
Table 1 Eighty-two potato materials

来源种	种缩写	材料名称	份数
Species	Species abbreviation	Name	Number
<i>S. tuberosum</i>	tbr	滇薯 1418、大西洋	2
<i>S. phureja</i>	phu	phu218~phu251	34
<i>S. chacoense</i>	chc	chc8、chc11、chc13、chc19、chc27、chc28、chc29、chc30、chc33、chc34、chc35、chc36	12
<i>S. polyadenium</i>	pld	pld14、pld20、pld23、pld25、pld29、pld30、pld42、pld43	8
<i>S. stenotomum</i>	stn	stn5、stn7、stn13、stn19、stn23、stn26、stn30、stn31、stn32	9
<i>S. vernei</i>	vrn	vrn1~vrn17	17

1.3 数据统计与分析方法

采用Office Excel 2019软件统计分析数据，使用GraphPad Prism 8.4.2软件进行方差分析与多重比较。

2 结果与分析

2.1 马铃薯不同来源种材料的单株产量差异

同一来源种的材料间单株产量差异显著(表2)，82份材料中源自*S. vernei*的vrn2单株产量最低，为1.6 g；四倍体栽培种‘滇薯 1418’单株产量最高，为50.3 g，是vrn2的31倍。34份*S. phureja*材料平均单株产量为16.0 g，其中phu240最高，为31.9 g，显著高于除phu246外的其他*S. phureja*材料；phu245最低，为4.4 g。12份*S. chacoense*材料平均单株产量为10.0 g，其中chc13最高，为19.4 g，显著高于除chc35外的其他*S. chacoense*材料；chc19最低，为5.3 g。8份*S. polyadenium*材料平均单株产量为11.9 g，其中pld25最高，为24.1 g，显著高于除pld30外的其他*S. polyadenium*材料；pld43最低，为4.9 g。9份*S. stenotomum*材料平均单株产量为13.2 g，其中stn5最高，为31.9 g，显著高于其他*S. stenotomum*材料；stn19最低，为4.7 g。17份*S. vernei*材料平均单株产量为12.6 g，其中vrn16最高，为24.5 g，但与vrn5、vrn8、vrn9、vrn11、vrn13、vrn15这6份*S. vernei*材料差

异不显著；vrn2最低，为1.6 g。34份*S. phureja*材料平均单株产量高于其他二倍体种，但远低于四倍体栽培种。

*S. phureja*材料单株产量大部分集中在15.1~20.0 g，有12份，占比35.3%；*S. chacoense*材料大部分集中在5.1~10.0 g，有8份，占比66.7%；*S. polyadenium*材料大部分集中在10.1~15.0 g，有3份，占比33.3%；*S. stenotomum*材料大部分集中在10.1~15.0 g，有4份，占比50.0%；*S. vernei*材料大部分集中在10.1~15.0 g，有8份，占比47.1%(图1)。2份四倍体栽培种材料单株产量均超过20.0 g，*S. phureja*中也有9份材料超过15.0 g；而其他种仅有0~2份材料超过这一水平。总体来看，四倍体栽培种单株产量远高于二倍体种；而*S. phureja*又远高于其他二倍体种。

2.2 马铃薯不同来源种材料的单株结薯数差异

82份材料单株结薯数见表2，其中源自*S. phureja*的phu226与phu232单株结薯数最低，均为1个；*S. stenotomum*的stn5单株结薯数最高，为31.2个，为phu226、phu232的31倍。34份*S. phureja*材料平均单株结薯数为3.9个，其中phu230最高，为7.8个，与phu221、phu222、phu223、phu224、phu227、phu231、phu238、phu240、phu241、phu242、phu248无显著差异，显著高于其

他 *S. phureja* 材料。12 份 *S. chacoense* 材料平均单株结薯数为 10.4 个, 其中 chc11 最高, 为 18.8 个, 显著高于除 chc8、chc30、chc35 外的其他 *S. chacoense* 材料; chc29 与 chc34 最低, 均为 6.8 个。8 份 *S. polyadenium* 材料平均单株结薯数为 9.8 个, 其中 pld25 最高, 为 19.0 个, 显著高于其他 *S. polyadenium* 材料; pld23 与 pld43 最低, 为 5.4 个。9 份 *S. stenotomum* 材料平均单株结薯数为 12.9 个, 其中 stn5 最

高, 为 31.2 个, 显著高于其他 *S. stenotomum* 材料; stn19 最低, 为 3.4 个。17 份 *S. vernei* 材料平均单株结薯数为 7.8 个, 其中 vrn11 最高, 为 13.4 个, 显著高于 vrn1、vrn2、vrn3、vrn4、vrn6、vrn12、vrn14, 与其他 *S. vernei* 材料差异不显著。二倍体种中, *S. stenotomum* 平均单株结薯数明显高于其他种, 分别为 *S. phureja*、*S. chacoense*、*S. polyadenium*、*S. vernei* 材料的 3.3、1.2、1.3、1.7 倍。

表 2 82 份供试马铃薯材料结薯情况统计

Table 2 Statistics of tuber yield-related traits in 82 potato materials

来源种 Species	材料名称 Name	单株产量(g) Tuber yield per plant	单株结薯数(个) Number of tuber per plant (No.)	单薯重(g) Mean tuber weight
<i>S. phureja</i>	phu218	10.3±1.4hijkl	4.0±1.8bedefgh	3.1±1.5def
	phu219	16.0±1.6defgh	3.2±1.2cdefgh	5.6±1.6bedef
	phu220	20.2±4.8cdef	3.8±1.9bedefgh	7.5±5.3abcde
	phu221	8.5±1.8ijkl	7.0±1.8ab	1.3±0.4f
	phu222	15.9±2.0defgh	6.4±1.2abc	2.5±0.4def
	phu223	15.9±1.8defgh	5.6±1.5abcde	3.0±0.5def
	phu224	20.4±2.1cde	5.0±1.3abcdef	4.2±0.7bedef
	phu225	14.2±2.2efghi	4.0±0.9bedefgh	3.7±0.9cdef
	phu226	4.7±3.3l	1.0±0.0h	4.7±3.3bedef
	phu227	14.6±2.9efghi	4.8±1.2abcdefg	3.1±0.6def
	phu228	10.1±1.5hijkl	2.0±0.6fgh	5.8±2.9bedef
	phu229	12.1±3.3ghijk	2.4±0.8efgh	5.6±1.9bedef
	phu230	15.8±1.4defgh	7.8±1.3a	2.1±0.2ef
	phu231	22.1±4.6cd	4.8±1.5abcdefg	4.9±1.2bedef
	phu232	8.2±1.4ijkl	1.0±0.0h	8.2±1.4abcd
	phu233	13.2±1.2fghij	3.0±0.9defgh	4.8±1.6bedef
	phu234	6.7±0.7jkl	2.0±0.6fgh	3.7±1.2cdef
	phu235	17.9±3.9cdefg	1.6±0.5gh	12.4±4.2a
	phu236	18.7±2.7cdefg	3.6±1.0cdefgh	5.8±2.5bedef
	phu237	18.1±2.5cdefg	3.4±0.8cdefgh	5.6±1.5bedef
	phu238	20.8±3.9cde	5.2±1.3abcdef	4.3±1.5bedef
	phu239	19.2±3.1cdefg	3.4±1.4cdefgh	6.1±1.4bedef
	phu240	31.9±3.0a	5.8±0.7abcd	5.6±0.7bedef
	phu241	20.8±3.4cde	5.2±1.2abcdef	4.2±1.1bedef
	phu242	22.5±2.0bcd	5.4±1.4abcde	4.4±1.0bedef
	phu243	18.2±4.2cdefg	3.2±1.6cdefgh	7.3±3.5abcde
	phu244	23.2±0.9bc	3.0±1.3defgh	9.0±3.1abc
	phu245	4.4±0.4l	3.0±0.6defgh	1.5±0.2f
	phu246	29.4±2.0ab	4.0±2.5bedefgh	9.5±4.0ab

续表

来源种 Species	材料名称 Name	单株产量(g) Tuber yield per plant	单株结薯数(个) Number of tuber per plant (No.)	单薯重(g) Mean tuber weight
<i>S. chacoense</i>	phu247	17.9±3.1cdefg	4.2±1.0bcdefgh	4.4±0.8bcdef
	phu248	19.1±1.0cdefg	6.4±1.0abc	3.1±0.6def
	phu249	9.7±1.0hijkl	4.2±0.7bcdefgh	2.4±0.4ef
	phu250	5.1±0.8kl	1.6±0.5gh	3.4±0.7cdef
	phu251	19.2±2.5cdef	2.8±0.7defgh	7.3±2.1abcde
	chc8	10.8±2.8cd	12.8±2.7abc	0.9±0.2b
	chc11	14.2±2.5bc	18.8±2.6a	0.8±0.1b
	chc13	19.4±1.5a	7.4±1.9c	2.8±0.6a
	chc19	5.3±1.0g	8.4±2.2c	0.7±0.1b
	chc27	7.7±1.4defg	9.0±2.3c	0.9±0.3b
	chc28	5.5±0.9fg	7.8±2.3c	0.7±0.2b
	chc29	6.5±2.0efg	6.8±2.1c	1.0±0.1b
	chc30	9.6±2.2de	13.0±3.8abc	0.8±0.5b
	chc33	9.6±1.7def	10.0±4.2bc	1.2±0.7b
	chc34	7.3±2.7defg	6.8±2.2c	1.1±0.1b
<i>S. polyadenium</i>	chc35	15.5±3.0ab	15.6±3.0ab	1.0±0.2b
	chc36	8.6±2.3defg	7.8±1.2c	1.1±0.2b
	pld14	8.1±2.6c	5.8±1.7bc	1.6±1.0a
	pld20	11.5±7.1bc	9.2±2.6bc	1.3±0.6a
	pld23	6.1±1.9c	5.4±2.1c	1.3±0.5a
	pld25	24.1±5.4a	19.0±2.1a	1.3±0.2a
	pld29	10.9±3.7bc	11.4±4.6b	1.0±0.2a
	pld30	17.6±3.5ab	10.2±3.1bc	1.9±0.6a
	pld42	12.3±2.2bc	11.6±1.9b	1.1±0.2a
	pld43	4.9±1.7c	5.4±1.0c	0.9±0.2a
<i>S. stenotomum</i>	stn5	31.9±1.6a	31.2±7.2a	1.1±0.2ab
	stn7	13.1±5.0bc	15.2±4.7b	0.8±0.1b
	stn13	16.8±4.2b	15.6±6.8b	1.2±0.3ab
	stn19	4.7±0.9d	3.4±0.5c	1.4±0.3ab
	stn23	13.5±2.6bc	8.6±2.7bc	1.8±0.9a
	stn26	10.7±2.3bcd	13.2±6.9bc	1.0±0.4ab
	stn30	7.0±1.7cd	5.8±1.7bc	1.3±0.4ab
	stn31	8.5±2.5cd	12.8±5.6bc	0.7±0.2b
	stn32	12.8±3.3bc	10.4±2.1bc	1.2±0.3ab
<i>S. vernei</i>	vrn1	6.0±1.0ef	4.6±1.0de	1.3±0.3bcd
	vrn2	1.6±0.5f	2.4±0.5e	0.7±0.2d
	vrn3	9.8±1.4cdef	6.6±2.2ede	1.6±0.4bcd
	vrn4	12.6±3.1bcde	3.6±1.0de	3.6±0.6a
	vrn5	13.2±3.2abcde	8.0±2.0abcde	1.7±0.4bcd
	vrn6	12.2±2.1bcde	7.0±1.3bcde	1.8±0.3bcd

续表

来源种 Species	材料名称 Name	单株产量(g) Tuber yield per plant	单株结薯数(个) Number of tuber per plant (No.)	单薯重(g) Mean tuber weight
<i>S. tuberosum</i>	vrn7	11.4±3.9bcdef	7.6±2.1abcde	1.5±0.4bcd
	vrn8	18.2±1.9abc	8.2±2.4abcde	2.4±0.7b
	vrn9	17.0±4.2abcd	7.6±1.4abcde	2.2±0.4bc
	vrn10	12.4±2.8bcde	9.8±2.8abcd	1.3±0.5bcd
	vrn11	21.4±11.2ab	13.4±5.0a	1.5±0.5bcd
	vrn12	7.3±1.7def	5.4±1.9cde	1.4±0.2bcd
	vrn13	13.3±1.9abcde	13.2±5.0ab	1.3±0.9bcd
	vrn14	6.8±1.0ef	5.6±0.8cde	1.2±0.0cd
	vrn15	14.5±7.6abcde	9.6±2.7abcd	1.4±0.4bcd
	vrn16	24.5±2.1a	11.6±2.7abc	2.2±0.6bc
	vrn17	12.6±3.1bcde	9.2±1.5abcd	1.4±0.1bcd
	大西洋	21.1±6.9b	4.8±0.7a	4.5±1.5b
	滇薯 1418	50.3±7.9a	6.6±3.4a	9.2±3.4a

注: 数值为平均值 ± 标准差。不同小写字母表示同来源种的不同材料在 0.05 水平差异显著, 采用 Turkey 法进行多重比较; 2 份 *S. tuberosum* 采用 *t* 检验。

Note: Values are means ± standard deviation. Different lowercase letters indicate that different materials of the same source species differ significantly at the 0.05 level as tested using the Turkey method. The *t*-test was used to detect significant differences between two *S. tuberosum* materials.

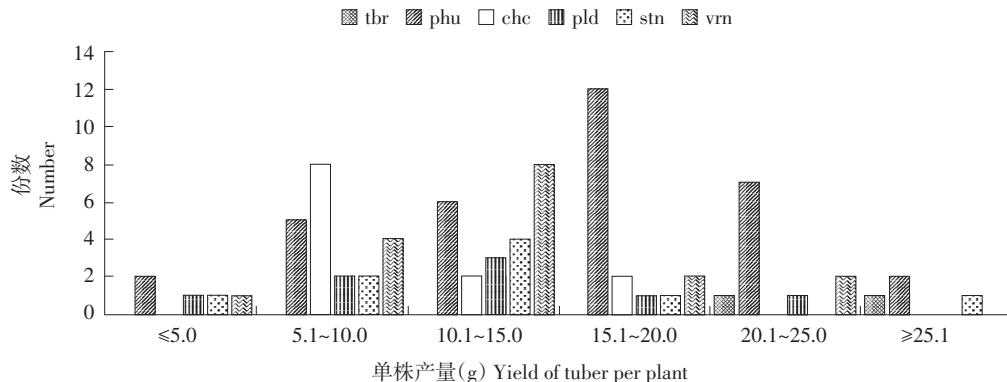


图1 马铃薯不同种材料的单株产量分布情况

Figure 1 Distribution of tuber yield per plant in different potato species

S. phureja 材料平均单株结薯数大部分集中在 3.1~6.0 个, 有 19 份, 占比 55.9%; *S. chacoense* 材料大部分集中在 6.1~9.0 个, 有 7 份, 占比 58.3%; *S. polyadenium* 材料大部分集中在 9.1~12.0 个, 有 4 份, 占比 50.0%; *S. stenotomum* 材料除没有 ≤ 3.0 个区间, 其余区间分布较为均匀; *S. vernei* 材料大部分集中在 6.1~9.0 个, 有 6 份, 占比 35.3%

(图 2)。 *S. tuberosum* 和 *S. phureja* 种大部分材料的单株结薯数未超过 6 个, 只有小部分材料位于 6.1~9.0 个; 而其他 4 个种大部分材料单株结薯数超过 6 个, 仅一小部分材料小于 6 个。

2.3 马铃薯不同来源种材料的平均单薯重差异

不同二倍体材料间单株产量与单株结薯数均存在较大差异, 二倍体种中, *S. phureja* 单株产量

远高于其他二倍体材料, 但单株结薯数却较低。为此, 计算并分析了 82 份材料的单薯重(表 2)。34 份 *S. phureja* 材料平均单薯重为 5.0 g, 其中 phu235 最高, 为 12.7 g, 显著高于除 phu246、phu244、phu232、phu220、phu243 和 phu251 外的其他 *S. phureja* 材料; phu221 最低, 为 1.3 g。12 份 *S. chacoense* 材料平均单薯重为 1.1 g, 其中 chc13 最高, 为 2.8 g, 显著高于其他 *S. chacoense* 材料, 且其他材料间的单薯重无显著差异; chc19 和 chc28 最低, 均为 0.7 g。8 份 *S. polyadenium* 材料平均单薯重为 1.3 g, 其中 pld30 最高, 为 1.9 g, 但 *S. polyadenium* 材料间的单薯重无显著差异。9 份 *S. stenotomum* 材料平均单薯重为 1.2 g, 其中 stn23 最高, 为 1.8 g, 显著高于 stn7 和 stn31; stn31 最低, 为 0.7 g。17 份 *S. vernei* 材料平均单薯重为 1.7 g, 其

中 vrn4 最高, 为 3.6 g, 显著高于其他 *S. vernei* 材料; vrn2 最低, 为 0.7 g。*S. phureja* 种平均单薯重远高于其他二倍体种, 分别为 *S. chacoense*, *S. polyadenium*, *S. stenotomum*, *S. vernei* 的 4.5、3.8、4.2、2.9 倍, 但远低于 *S. tuberosum*。

S. phureja 大部分材料平均单薯重集中在 3.1~5.0 g, 有 14 份, 占比 41.2%; *S. chacoense* 大部分材料集中在 ≤1.0 g, 有 8 份, 占比 66.7%; *S. polyadenium* 大部分材料集中在 1.1~3.0 g, 有 6 份, 占比 75.0%; *S. stenotomum* 大部分材料集中在 1.1~3.0 g, 有 6 份, 占比 66.7%; *S. vernei* 大部分材料集中在 1.1~3.0 g, 有 15 份, 占比 88.2%(图 3)。二倍体 *S. phureja* 种大部分材料的平均单薯重在 3.1~10.0 g; 而其他种大部分二倍体材料的平均单薯重未超过 3 g, 仅 1 份材料超 3 g。

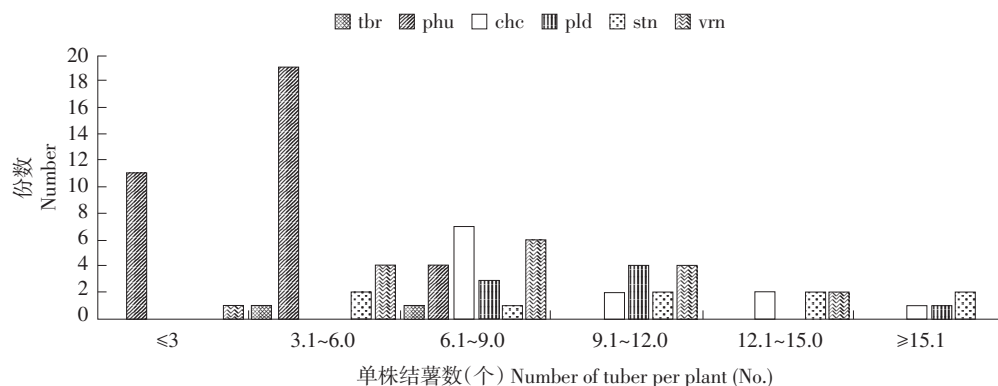


图 2 马铃薯不同来源种材料的单株结薯数分布情况

Figure 2 Distribution of tuber number per plant in different potato species

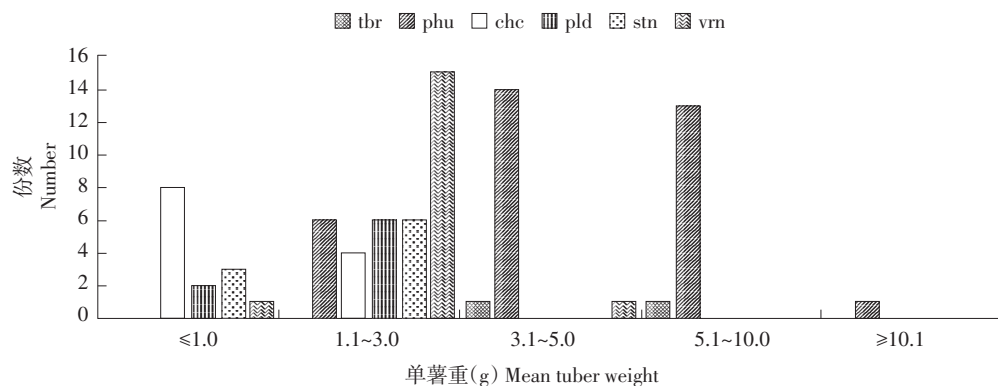


图 3 马铃薯不同来源种材料的单薯重分布情况

Figure 3 Distribution of mean tuber weight in different potato species

不同来源种材料在产量构成上存在较大差异。就 *S. tuberosum* 和 *S. phureja* 而言, 单株结薯数与单薯重均对单株产量起着重要影响, 如phu235单株结薯数仅为phu236和phu237的50%左右, 但其单薯重却是phu236和phu237的2倍左右, 因而这3份材料平均单株产量均在18.0 g左右。而其他4个来源种材料的单株产量构成基本上只受单株结薯数影响, 受单薯重影响较少; 大部分材料间单薯重无太大差异, 均在1 g左右。这4个二倍体种中, 单株产量最低的材料其相应单株结薯数也是较低的, 如 *S. chacoense* 的chc19、*S. polyadenium* 的pld43、*S. stenotomum* 的stn19、*S. vernei* 的vrn2。

3 讨 论

研究马铃薯不同来源种材料组培苗栽培的结薯差异, 发现马铃薯不同种间, 其单株产量、单株结薯数与单薯重间存在较大差异。所有供试材料中‘滇薯1418’单株产量最高, 达到50.3 g, 2份四倍体栽培种平均单株产量为35.7 g, 远高于 *S. phureja*、*S. chacoense*、*S. polyadenium*、*S. stenotomum* 和 *S. vernei* 二倍体材料。从单株产量分布范围来看, 四倍体大部分材料单株产量集中在15.0 g以上, 而二倍体大部分材料集中在15.0 g以下。分析认为, 栽培种材料平均单株重高于野生种, 李成东等^[16]比较马铃薯四倍体与二倍体的单株产量, 也发现四倍体材料的单株产量远高于二倍体。大部分二倍体材料的单株结薯数要高于栽培种, 同时相同来源种的不同材料间单株结薯数也存在较大差异。*S. tuberosum* 和 *S. phureja* 大部分材料的单株结薯数都小于6个, 而 *S. chacoense*、*S. polyadenium*、*S. stenotomum* 和 *S. vernei* 大部分材料都超过这一水平, 其中stn5甚至达到了31个。同时, *S. tuberosum* 中stn19单株结薯数仅3.4个, 约为stn5的十分之一, 后期可作为研究马铃薯块茎形成的重要材料。目前, 组培苗基质栽培的单株结薯数在1~5个, 而气雾栽培可以达到10个以上^[17,18]。本研究中, *S. tuberosum* 和 *S. phureja* 大部分材料单株结薯数也小于6个, 而其他4个种大部分在6个以上。同时发现 *S. chacoense*、*S. polyadeni-*

um、*S. stenotomum* 和 *S. vernei* 匍匐茎远长于 *S. tuberosum* 和 *S. phureja*; 栽培种在基质栽培时匍匐茎较短, 而气雾栽培时匍匐茎较长。因此, 马铃薯结薯数是否与匍匐茎长度有关, 仍需进一步研究。

野生种是马铃薯遗传改良中众多优良性状的来源, 其相关性状还值得进一步挖掘。34份 *S. phureja* 材料薯皮薯肉颜色丰富, 多为彩色马铃薯。大部分 *S. phureja* 材料皮色为红色, 肉色为黄色, 尤其有10份材料块茎肉色为深黄色, 这是鲜食马铃薯改良的重要性状。*S. phureja* 材料可作为马铃薯花色苷研究与彩色马铃薯选育的重要遗传材料^[19]。同时 *S. phureja* 种中也发现部分种质具有耐盐与抗旱等特性^[20,21]。对这些材料进行更全面调查将有助于马铃薯遗传改良的研究。

调查和分析马铃薯不同来源种材料组培苗的结薯特异性差异, 发现不同种间材料在结薯方面存在较大差异。其中, 四倍体单株产量高于二倍体, 二倍体 *S. phureja* 栽培种高于其他二倍体种。二倍体 *S. chacoense*、*S. polyadenium*、*S. stenotomum* 和 *S. vernei* 单株结薯数远高于 *S. tuberosum* 和 *S. phureja*, *S. tuberosum* 和 *S. phureja* 间单株结薯数差异不大。*S. phureja* 材料间的单薯重差异较大, 而其他二倍体材料间单薯重无明显差异。在产量构成方面, 单株结薯数与单薯重均对 *S. tuberosum* 和 *S. phureja* 单株产量起重要影响, 而 *S. chacoense*、*S. polyadenium*、*S. stenotomum* 和 *S. vernei* 单株产量几乎仅受单株结薯数影响。本研究可为马铃薯块茎形成及后期马铃薯遗传改良提供基础。

[参 考 文 献]

- [1] 卢肖平. 马铃薯主粮化战略的意义、瓶颈与政策建议[J]. 华中农业大学学报: 社会科学版, 2015(3): 1-7.
- [2] 吕健菲, 孙一文, 王澳雪, 等. 马铃薯产业发展的农民增收带动效应分析—以甘肃省定西市为例[J]. 中国马铃薯, 2023, 37(6): 560-572.
- [3] 孙慧生. 马铃薯育种学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2003.
- [4] 段绍光. 马铃薯种质资源遗传多样性评价和重要性状的遗传分析[D]. 北京: 中国农业科学院, 2017.

- [5] Haynes K G, Christ B J. Heritability of resistance to foliar late blight in a diploid hybrid potato population of *Solanum phureja* × *Solanum stenotomum* [J]. Plant Breeding, 1999, 118(5): 431–434.
- [6] 王潇, 张伟, 白雅梅, 等. 二倍体马铃薯富利亚和窄刀薯杂种块茎中铁和锌的含量及广义遗传力 [J]. 作物杂志, 2014(4): 59–64.
- [7] 刘园园, 董建科, 单雅成, 等. 马铃薯野生种 *Solanum chacoense* 的特征特性及其在育种中的利用 [J]. 中国马铃薯, 2023, 37(1): 53–61.
- [8] Webb R E, Wilson D R, Shumaker J R, *et al.* Atlantic: a new potato variety with high solids, good processing quality, and resistance to pests [J]. American Journal of Potato Research, 1978, 55: 141–145.
- [9] 左庆华, 尹江, 田国联, 等. 马铃薯新品种冀张薯12号选育 [J]. 中国马铃薯, 2012, 26(2): 127–128.
- [10] 李高峰, 王一航, 文国宏, 等. 超高淀粉马铃薯新品种陇薯8号的选育 [J]. 中国蔬菜, 2010(20): 82–84.
- [11] Gibson R W. Glandular hairs on *Solanum polyadenium* lessen damage by the Colorado beetle [J]. Annals of Applied Biology, 1976, 82(1): 147–150.
- [12] Bhatia N, Tiwari J K, Kumari C, *et al.* Screening of wild species and transcriptome profiling to identify differentially regulated genes in response to late blight resistance in potato [J]. Frontiers in Plant Science, 2023, 14: 1212135.
- [13] Bryan J, McLean K, Bradshaw E, *et al.* Mapping QTLs for resistance to the cyst nematode *Globodera pallida* derived from the wild potato species *Solanum vernei* [J]. Theoretical and Applied Genetics, 2002, 105(1): 68–77.
- [14] Sørensen K K, Madsen M H, Kirk H G, *et al.* Linkage and quantitative trait locus mapping of foliage late blight resistance in the wild species *Solanum vernei* [J]. Plant Breeding, 2006, 125(3): 268–276.
- [15] 刘喜才, 张丽娟. 马铃薯种质资源描述规范和数据标准 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2006.
- [16] 李成东, 刘娟, 李建武, 等. 二倍体和四倍体马铃薯气孔特征及光合特性的比较研究 [J/OL]. 甘肃农业大学学报, 1–18[2024–05–06]. <https://link.cnki.net/urlid/62.1055.S.20240412.1837.002>.
- [17] 吴玉, 彭杰椿, 黄相伟, 等. 雾培条件下马铃薯新品种(系)农艺性状及微型薯产量比较 [J]. 黑龙江农业科学, 2021(5): 14–18.
- [18] 杨雯婷, 崔阔澍, 唐铭霞, 等. 苗源及栽培密度对马铃薯原种生产的影响 [J]. 中国马铃薯, 2021, 35(5): 406–413.
- [19] Riveros-Loaiza L M, Benhur-Cardona N, Lopez-Kleine L, *et al.* Uncovering anthocyanin diversity in potato landraces (*Solanum tuberosum* L. Phureja) using RNA-seq [J]. PLoS One, 2022, 22, 17 (9): e0273982.
- [20] 赵明辉, 白雅梅, 吕文河. 离体条件下评价二倍体马铃薯 (*Solanum phureja* × *S. stenotomum*) 耐盐性 [J]. 核农学报, 2020, 34(1): 1–9.
- [21] 陈永坤, 李灿辉, 雷春霞, 等. 二倍体马铃薯 *S. phureja* 种质资源的抗旱性鉴定与综合评价 [J]. 分子植物育种, 2019, 17(10): 3416–3423.