

中图分类号: S532 文献标识码: A 文章编号: 1672-3635 (2013) 04-0193-06

遗传育种

4x-4x 和 4x-2x 杂种后代高世代选系比重的比较

李 莹^{1,2}, 吕文河^{1*}, 白雅梅³, 李文霞¹, 徐学谱⁴

(1. 东北农业大学农学院, 黑龙江 哈尔滨 150030; 2. 黑龙江省烟草公司哈尔滨烟叶公司, 黑龙江 哈尔滨 150001; 3. 东北农业大学资源与环境学院, 黑龙江 哈尔滨 150030; 4. 大兴安岭地区农业林业科学研究院, 黑龙江 加格达奇 165000)

摘 要: 马铃薯的比重是加工企业要考虑的一个重要性状。本研究的目的是比较 4x-4x 和 4x-2x 杂种后代高世代选系的比重, 试图利用单向有性多倍化(Unilateral sexual polyploidization, USP)的方法从二倍体栽培种向四倍体普通栽培种转育高比重基因。四倍体亲本为品种或高世代选系, 二倍体亲本是普通马铃薯栽培种(*Solanum tuberosum*) 双单倍体与二倍体栽培种富利亚(*S. phureja*) 杂种的互交后代, 或经轮回选择适应长日照的 *S. phureja*-*S. stenotomum* 杂种后代。从 4x-4x 和 4x-2x 组合各选出 17 个高世代无性系, 以‘克新 18 号’(鲜食)和‘夏坡地’(薯条加工)为对照, 采用随机区组设计, 2011~2012 年在黑龙江省的加格达奇评价了 4x-4x 和 4x-2x 高世代选系比重的表现。4x-2x 和 4x-4x 后代高世代选系比重平均为 1.0727 和 1.0659, 二者差异极显著。但是, 4x-2x 内和 4x-4x 内无性系的差异仍达极显著水平。4x-2x 四倍体后代 HJ04-18-17, HJ04-27-41, HJ04-22-19 以及 HJ04-15-36 比重高于对照品种‘夏坡地’, 并和其有显著差异。结果表明, 和 4x-4x 组合相比, 4x-2x 组合后代含有较高的比重。

关键词: 马铃薯; 二倍体; 4x-2x 杂交; 比重

Comparison for Specific Gravity of Advanced Clones Selected from 4x-4x and 4x-2x Crosses

LI Ying^{1,2}, LU Wenhe^{1*}, BAI Yamei³, LI Wenxia¹, XU Xuepu⁴

(1. College of Agronomy, Northeast Agricultural University, Harbin, Heilongjiang 150030, China; 2. Harbin Tobacco Leaf Company, Heilongjiang Tobacco Company, Harbin, Heilongjiang 150001, China; 3. College of Resources and Environment, Northeast Agricultural University, Harbin, Heilongjiang 150030, China; 4. Daxinganling Academy of Agriculture and Forestry, Jiagedaqi, Heilongjiang 165000, China)

Abstract: Specific gravity is an important character to be considered in potato processing. The purposes of this research were to compare the specific gravity of advanced clones selected from 4x-4x and 4x-2x crosses and try transferring high specific gravity genes from cultivated diploid species to tetraploid cultivars. Tetraploid parents were cultivars or advanced selections; diploid parents were intercrossing progenies of haploid *Tuberosum*-*Phureja* hybrids, or *S. phureja*-*S. stenotomum* hybrids undergone current selection for long-day adaptation. Seventeen advanced clones were selected out from each type of 4x-4x and 4x-2x crosses and evaluated for their specific gravity in a randomized complete block design at Jiagedaqi, Heilongjiang in 2011 and 2012, using 'Kexin 18' (table potato) and 'Shepody' (French fry) as controls. The average of specific gravity of advanced clones from 4x-2x and 4x-4x crosses were 1.0727 and 1.0659, respectively, the difference being significant. However, variations within 4x-2x and 4x-4x crosses were still highly significant. HJ04-18-17, HJ04-27-41, HJ04-22-19 and HJ04-15-36, all from 4x-2x crosses, were significantly higher in specific gravity than the control cultivar 'Shepody'. The results indicated that advanced clones selected from 4x-2x crosses had higher specific gravity than those from 4x-4x crosses.

Key Words: potato; diploid; 4x-2x cross; specific gravity

收稿日期: 2013-03-16

基金项目: 马铃薯鲜食新品种(系)资源的引进、筛选及评价分析(GA08B10); 东北地区马铃薯标准化、机械化生产技术集成与示范(2012BAD06B0); 高淀粉马铃薯新品种选育与示范(GC12B10)。

作者简介: 李莹 (1985), 女, 初级政工师, 主要从事烟叶的种植和销售。

*通信作者 (Corresponding author): 吕文河, 教授, 主要从事马铃薯遗传育种以及栽培生理研究, E-mail: luwenhe60@163.com。

马铃薯 (*Solanum tuberosum* L.) 的干物质含量是加工企业要考虑的一个重要性状。如果块茎干物质含量较高, 单位重量的原料薯出品率就会较高, 如淀粉、全粉。对油炸产品而言, 可是生产出挺拔、外焦里嫩的薯条, 酥脆可口的薯片, 另外还可以起到省油、节能的作用。一般来说, 适合薯条加工的块茎干物质含量为 21.7% (19.7%~24.1%), 适合薯片加工的块茎干物质含量为 22.7% (21.7%~25.1%), 而适合脱水制品加工的块茎干物质含量则为 21.7% (20.7%~24.1%)。在生产实践中, 马铃薯的干物质含量一般通过测量比重间接获得, 因为二者存在着很好的线性关系^[1]。培育高比重的马铃薯品种一直是育种家所追逐的目标之一。然而, 由于马铃薯遗传基础的狭窄^[2], 限制了对马铃薯品种的进一步改良。Plaisted 和 Peterson^[3]报道, 在美国四倍体马铃薯资源材料中进行轮回选择比重提高甚微, 一个选择周期平均只增长了 0.0004。Douches 等^[4]在研究了一百多年来推广的主栽品种后得出结论, 认为这一期间马铃薯品种的产量改良进展缓慢, 而比重和炸片色泽却得到改善。但应该注意的是, 美国育出的炸片品种之间多有亲缘关系, 高比重的来源都可追溯到一个品种‘Lenape’ (B5141-0)。因此, 有必要寻找新的高比重资源, 扩大马铃薯的遗传基础。二倍体马铃薯栽培种富利亚 (*S. phureja*) 比重高^[5,6], 另外, 经过轮回选择适应长日照的原始二倍体栽培种富利亚和窄刀薯 (*S. phureja*-*S. stenotomum* (PHU-STN) 杂种群体也具有高比重特性^[7-12]。本研究的目的是从育种实践的角度, 比较 4x-4x 和 4x-2x 杂种后代高世

代选系的比重, 试图利用单向有性多倍化 (Unilateral sexual polyploidization, USP) 的方法从二倍体栽培种向四倍体普通栽培种转育高比重基因。

1 材料与方法

1.1 材料

2004 年种植实生苗世代。4x-4x 和 4x-2x 组合各 10 个 (表 1), 四倍体亲本为品种或高世代选系, 二倍体无性系 056 和 057 是普通马铃薯栽培种 (*S. tuberosum*) 双单倍体与二倍体栽培种富利亚 (*S. phureja*) 杂种的互交后代, L 系列是经轮回选择适应长日照的 PHU-STN 杂种后代。二倍体亲本经鉴定产生至少 5% 2n 花粉。2004 年 3 月 12 日将实生种子放于保温杯中浸种催芽, 每个组合播种约 100 粒。3 月 16 日播种于东北农业大学温室的育苗盘中, 3 月 20 日开始出苗。4 月 20 日将实生苗移到小营养钵 (上口直径×高×下口直径为 8 cm×8 cm×6 cm) 中, 置于冷床内, 晚间覆膜保温, 进行苗期抗性锻炼。5 月 30 日移入大营养钵 (上口直径×高×下口直径为 13 cm×12 cm×10 cm) 中, 置于东北农业大学马铃薯研究所的网室内, 2004 年 9 月 29 日按组合单株收获。

2005 年种植无性一代, 地点在加格达奇大兴安岭地区农业林业科学研究院马铃薯试验地。按组合单株种植, 株行距为 0.60 m×0.70 m。2005 年 5 月 25 日播种, 按当地栽培马铃薯方式采用常规田间管理, 9 月 10 日人工单株收获。收货时按常规育种程序根据块茎性状进行选择。

2006~2010 年种植无性二~六代, 地点亦为加格

表 1 试验所用 4x-4x 和 4x-2x 组合
Table 1 4x-4x and 4x-2x crosses used in this experiment

4x-4x			4x-2x		
组合代号 Code	母本 Female	父本 Male	组合代号 Code	母本 Female	父本 Male
HJ04-1	Arcade	Sprint	HJ04-14	东农 303	056
HJ04-2	Beluga	Innovator	HJ04-15	Nooksac	056
HJ04-3	Civa	Sprint	HJ04-18	NemaRus	056
HJ04-4	Eurostar	Sprint	HJ04-21	东农 303	057
HJ04-5	Sprint	Recolta	HJ04-22	Green Mountain	057
HJ04-6	BRU93-136	Amora	HJ04-23	Haig	057
HJ04-7	BRU93-136	Velox	HJ04-27	东农 303	L11
HJ04-8	Derby	BRU93-136	HJ04-29	东农 303	L2
HJ04-9	Elvira	CEB77208-5	HJ04-37	东农 303	L14
HJ04-10	Elvira	Felsina	HJ04-40	东农 303	L5

达奇大兴安岭地区农业林业科学研究院马铃薯试验地。株行距为 $0.30\text{ m} \times 0.70\text{ m}$, 均采用常规的田间管理, 秋收时根据块茎表现 (块茎性状, 块茎产量) 进行选择。2010 年秋从 4x-4x 和 4x-2x 组合各选出 17 个无性系供试验用。

1.2 方法

2011~2012 年在加格达奇大兴安岭地区农业林业科学研究院马铃薯试验地进行 4x-4x 和 4x-2x 杂种后代高世代选系比重的比较试验。随机区组设计, 3 次重复, 单行区, 行长 6 m, 垄距 0.80 m, 株距 0.30 m。以‘克新 18 号’ (鲜食) 和‘夏坡地’ (薯条加工) 为对照。2011 年 5 月 16 日播种, 9 月 12 日收获; 2012 年 5 月 11 日播种, 9 月 14 日收获。

在收获后的两周之内, 用中等大小的块茎在空气中的重量/ (空气中的重量-水中的重量) 的方法^[13]

测定块茎的比重。

1.3 统计分析

联合方差分析采用品种、年份固定, 随机区组模型^[14], 按照 Gomez 和 Gomez^[15]的方法进行组间比较 (Between-group comparison) 和组内比较 (Within-group comparison)。

2 结果与分析

2011 年比重平均 1.0701, 2012 年比重平均 1.0684, 两年比重差异不显著 (表 2, 图 1)。两个对照品种‘克新 18 号’和‘夏坡地’比重两年平均 1.0659 和 1.0707, 二者差异不显著 (表 2)。4x-2x 和 4x-4x 后代高世代选系比重平均为 1.0727 和 1.0659, 二者差异极显著 (表 2, 图 2)。但应该指出的是, 4x-2x 内和 4x-4x 内的差异仍达极显著水平 (表 2)。4x-2x

表 2 4x-4x 和 4x-2x 组合高世代选系比重的联合方差分析

Table 2 Combined analysis of variance for specific gravity of advanced clones from 4x-4x and 4x-2x crosses

变异来源 Source	df	SS	MS	F	$F_{0.05}$	$F_{0.01}$
年份内区组 Block	4	0.000132	3.30808E-05	0.7601	2.4363	3.4561
年份 Year	1	0.000145	0.000145	3.3310	3.9087	6.8194
无性系 (品种) Clone (cultivar)	35	0.018100	0.000517	11.8822**	1.5073	1.7815
对照 vs. 被测无性系 Control vs. clone	1	0.000011	1.09889E-05	0.2525	3.9087	6.8194
克新 18 号 vs. 夏坡地 Kexin 18 vs. Shepody	1	0.000071	7.0805E-05	1.6269	3.9087	6.8194
4x-4x vs. 4x-2x	1	0.002332	0.002332	53.5791**	3.9087	6.8194
4x-2x 内 Within 4x-2x	16	0.007580	0.000474	10.8845**	1.7162	2.1312
4x-4x 内 Within 4x-4x	16	0.008107	0.000507	11.6416**	1.7162	2.1312
无性系 (品种) × 年份 Clone (cultivar) × Year	35	0.001115	3.1847E-05	0.7317	1.5073	1.7815
试验误差 Error	140	0.006093	4.35223E-05			
总和 Total	215	0.025585				

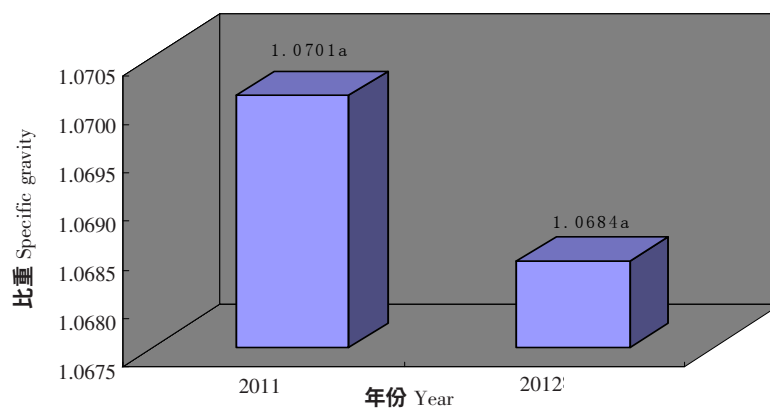


图 1 2011 年和 2012 年马铃薯的比重

Figure 1 Specific gravity of potato of 2011 and 2012

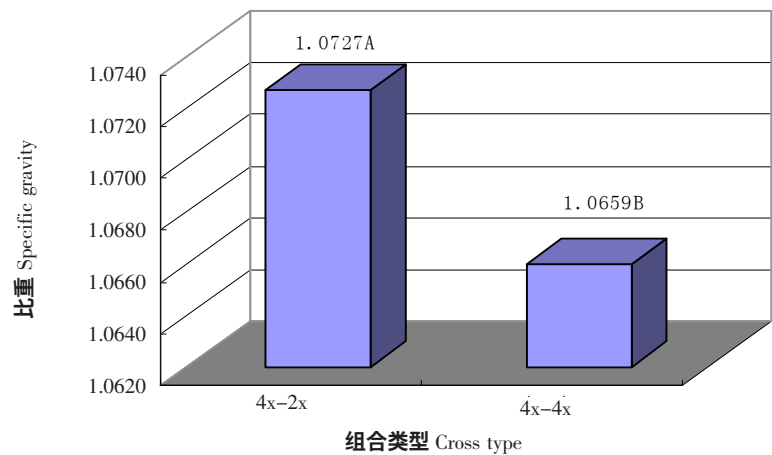


图 2 4x-2x 和 4x-4x 组合高世代选系比重

Figure 2 Specific gravity of advanced selections from 4x-2x and 4x-4x crosses

后代高世代选系比重变化范围 1.0578~1.0906, 4x-4x 后代高世代选系比重变化范围 1.0489~1.0767。试验没有发现比重的品种和年份互作现象(表 3)。

从两年的平均值来看(表 3), 比重在 1.080 以上的高世代选系有 4 个(HJ04-18-17, HJ04-27-41, HJ04-22-19, HJ04-15-36), 他们均来自 4x-2x 组合, 而且表现稳定性良好。如果以‘夏坡地’为对照, HJ04-18-17, HJ04-27-41, HJ04-22-19 和 HJ04-15-36 比重都高于‘夏坡地’, 并和其有显

著差异, 其中, HJ04-18-17, HJ04-27-41, HJ04-22-19 和‘夏坡地’有极显著差异。比重和‘夏坡地’没有显著差异的高世代选系有 22 个(包括‘克新 18 号’), 其中来自 4x-2x 组合的高世代选系有 11 个, 来自 4x-4x 组合的高世代选系有 10 个。比重显著低于‘夏坡地’的高世代选系有 9 个, 其中来自 4x-2x 组合的 2 个, 来自 4x-4x 组合的 7 个(表 3)。以上结果说明, 和 4x-4x 组合相比, 4x-2x 组合后代含有较高的比重。

表 3 4x-4x 和 4x-2x 组合高世代选系及对照比重表现及稳定性参数

Table 3 Specific gravity and stable parameter of 4x-4x and 4x-2x advanced selections and control cultivars

品种 Selection (cultivar)	2011 年 (Year)	2012 年 (Year)	平均 Average	变异度 Coefficient of variability
HJ04-18-17	1.0898	1.0914	1.0906	0.2088
HJ04-27-41	1.0840	1.0875	1.0857	0.3394
HJ04-22-19	1.0839	1.0860	1.0850	0.2420
HJ04-15-36	1.0818	1.0788	1.0803	0.0893
HJ04-1-6	1.0801	1.0732	1.0767	0.3479
HJ04-7-10	1.0778	1.0735	1.0756	0.1733
HJ04-14-8	1.0756	1.0756	1.0756	0.1076
HJ04-4-2	1.0760	1.0748	1.0754	0.0329
HJ04-37-10	1.0748	1.0754	1.0751	0.1455
HJ04-7-16	1.0727	1.0766	1.0747	0.3591
HJ04-1-36	1.0789	1.0697	1.0743	0.4951
HJ04-7-36	1.0750	1.0711	1.0731	0.1528
HJ04-7-49	1.0727	1.0727	1.0727	0.1102
HJ04-37-7	1.0723	1.0730	1.0726	0.1500
HJ04-21-32	1.0786	1.0657	1.0722	0.7388

(续表 3)

品种 Selection (cultivar)	2011 年 (Year)	2012 年 (Year)	平均 Average	变异度 Coefficient of variability
HJ04-29-2	1.0691	1.0747	1.0719	0.4802
HJ04-29-21	1.0696	1.0741	1.0718	0.4084
夏坡地 Shepody	1.0715	1.0699	1.0707	0.0026
HJ04-6-10	1.0695	1.0710	1.0703	0.2071
HJ04-21-109	1.0751	1.0653	1.0702	0.5376
HJ04-23-21	1.0713	1.0672	1.0693	0.1595
HJ04-22-61	1.0681	1.0666	1.0673	0.0054
克新 18 号 Kexin 18	1.0697	1.0621	1.0659	0.3967
HJ04-8-17	1.0679	1.0636	1.0658	0.1817
HJ04-21-69	1.0659	1.0652	1.0656	0.0586
HJ04-7-23	1.0656	1.0638	1.0647	0.0074
HJ04-40-15	1.0646	1.0648	1.0647	0.1232
HJ04-3-18	1.0644	1.0617	1.0630	0.0697
HJ04-4-32	1.0635	1.0612	1.0623	0.0479
HJ04-5-19	1.0603	1.0601	1.0602	0.0965
HJ04-21-42	1.0599	1.0598	1.0599	0.1066
HJ04-6-29	1.0534	1.0633	1.0584	0.7714
HJ04-40-4	1.0590	1.0566	1.0578	0.0524
HJ04-3-59	1.0567	1.0534	1.0551	0.1079
HJ04-3-60	1.0497	1.0493	1.0495	0.0877
HJ04-10-7	1.0535	1.0444	1.0489	0.5054
LSD _{0.05} =0.0075				
LSD _{0.01} =0.0099				

3 讨 论

马铃薯的比重是培育加工型品种需要考虑的一个重要性状。由于现有马铃薯品种之间存在一定的亲缘关系, 所以品种间杂交很难进一步改进新品种的比重, 这迫切需要引入新的种质资源。本研究所用的二倍体材料一是普通马铃薯栽培种 (*S. tuberosum*) 双单倍体与二倍体栽培种富利亚 (*S. phureja*) 杂种的互交后代, 二是经轮回选择适应长日照的 PHU-STN 杂种后代, 试图利用 USP 的方法从二倍体栽培种向四倍体普通栽培种转育高比重基因。二倍体亲本可以通过有交换的第一次分裂重组 (First-division restitution with crossing over, FDR-CO) 或没有交换的第一次分裂重组 (First-division restitution without crossing over, FDR-NCO) 产生 2n 花粉^[16,17]。通过异常减数分裂, 其受突变等位基因 *ps* ('parallel

spindles') 控制, 二倍体 FDR-CO 无性系产生 2n 花粉可以把大约 80% 的异质性传递给四倍体后代, 保留有大部分的上位 (位点间) 互作^[18,19]。如果两个减数分裂突变等位基因, *ps* 和 *sy-3* (synaptic 3), 结合在一起, FDR-NCO 配子可以把二倍体亲本中几乎 100% 的异质性和上位性传递给后代^[20]。因此, 这两种类型的 2n 花粉是育种过程中极其有用的工具, 他们不仅传递加性效应, 而且还可以传递显性和上位性效应^[21]。赵明辉^[22]估计了 PHU-STN 群体比重的广义遗传力为 0.6938, 95% 置信区间为 (0.5997, 0.7658); 于萌^[23]估计了 PHU-STN 群体干物质含量的广义遗传力为 0.6622, 95% 置信区间为 (0.4564, 0.7901)。二者颇为相近, 比重 (干物质含量) 遗传力中等偏上。

Wannamaker 和 Collins^[5]报道, PHU-STN 无性系的高比重特性可以很容易通过 4x-2x 杂交传递给四

倍体后代。Sterrett 等^[24]研究发现, 一些以 PHU-STN 为父本的 $4x-2x$ 杂种后代即抗热坏死 (internal heat necrosis, IHN), 也含有较高的比重。本研究结果表明, 可以利用 $4x-2x$ 组合方式进行 USP, 把二倍体马铃薯高比重的特性从二倍体转移到四倍体。应该指出的是, 该研究结果不是从一定的遗传设计获得, 而是从育种实践出发, 通过多年对块茎性状、产量性状等进行选择, 然后比较 $4x-2x$ 和 $4x-4x$ 高世代选系的比重。虽然所用的亲本有一定的局限性, 但结果应该还是可信的。

为筛选早熟或淀粉积累早的无性系, 试验设在加格达奇。加格达奇位于 $50^{\circ}24'N$, $124^{\circ}07'E$, 海拔 371.7 m。这里无霜期 110 d 左右, 活动积温 $1\ 900\sim 2\ 100^{\circ}C$ 。由于加格达奇纬度高, 无霜期短, 所以马铃薯的比重均较低, 这可从对照品种‘夏坡地’的比重只有 1.0707 看出。

本研究没有发现环境 $\times$ 比重的互作效应, 这与宿飞飞等^[25]的结论不同。宿飞飞等^[25]等的试验在纬度、海拔高度差异较大的环境中进行, 而本试验则是在一个地点进行了两年, 可能是这两年的环境因素差异不大导致没有发现环境 $\times$ 比重的互作效应。

[参 考 文 献]

- [1] Schipper P A. The relationship between specific gravity and percentage dry matter in potato tuber [J]. Am Potato J, 1976, 53: 111-122.
- [2] Mendoza H A, Haynes F L. Genetic relationship among potato cultivars grown in the United States [J]. HortScience, 1974, 9: 328-330.
- [3] Plaisted R L, Peterson L C. Two cycles of phenotypic recurrent selection for high specific gravity [J]. Am Potato J, 1963, 40: 396-402.
- [4] Douches D S, Mass D, Jastrzebski K, et al. Assessment of potato breeding progress in the USA over the last century [J]. Crop Sci, 1996, 36: 1544-1552.
- [5] Wannamaker M J, Collins W W. Transfer of high dry matter from the $2x$ to $4x$ level in potato [J]. Am Potato J, 1992, 69: 613.
- [6] Wolters P J C C, Collins W W. Estimation of genetic parameters for resistance to Erwinia soft rot, specific gravity and calcium concentration in diploid potatoes [J]. Crop Sci, 1995, 35: 1346-1352.
- [7] Haynes F L. The use of cultivated diploid *Solanum* species in potato breeding [C]. French E R. Prospects for the potato in the developing world. International Potato Center symposium. Lima, Peru: International Potato Center, 1972: 100-110.
- [8] Haynes K G, Haynes F L. Selection for tuber characters can maintain high specific gravity in a diploid potato breeding population [J]. HortSci, 1990, 25: 227-228.
- [9] Haynes K G, Haynes F L, Henderson W R. Heritability of specific gravity of diploid potato under high temperature growing conditions [J]. Crop Sci, 1989, 29: 622-625.
- [10] Ruttenclutter G, Haynes F L, Moil R H. Estimation of narrow sense heritability for specific gravity in diploid potatoes (*Solanum tuberosum* subsp. *phureja* and *stenotomum*) [J]. Am Potato J, 1979, 56: 447-453.
- [11] Haynes K G, Wilson D R, Kang M S. Genotype $\times$ environment interactions for specific gravity in diploid potatoes [J]. Crop Sci, 1995, 35: 977-981.
- [12] Haynes K G. Variance components for yield and specific gravity in a diploid potato population after two cycles of recurrent selection [J]. Amer J of Potato Res, 2001, 78: 69-75.
- [13] 门福义, 刘梦芸. 马铃薯栽培生理 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1995.
- [14] 唐启义, 冯明光. DPS[®] 数据处理系统-实验设计、统计分析及数据挖掘 [M]. 北京: 科学出版社, 2007.
- [15] Gomez K A, Gomez A A. Statistical procedure for agricultural research [M]. 2nd ed. New York: John Wiley and Sons, 1984.
- [16] Hermundstad S A, Peloquin S J. Breeding at $2x$ level and sexual polyploidization [M]// Jellis G J, Richardson D R. The production of new potato varieties: technological advances. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 1987: 197-210.
- [17] Peloquin S J, Yerk G L, Werner J E, et al. Potato breeding with haploids and $2n$ gametes [J]. Genome, 1989, 31: 1000-1004.
- [18] Hermesen J G Th. Mechanisms and genetic implications of $2n$ -gamete formation [J]. Iowa State J Res, 1984, 58: 421-434.
- [19] Barone A, Gebhardt C, Frusciante L. Heterozygosity in $2n$ gametes of potato evaluated by RFLP markers [J]. Theor Appl Genet, 1995, 91: 98-104.
- [20] Peloquin S J. Genetic engineering with meiotic mutants [M]// Mulcahy D L, Ottaviano E. Pollen: biology and implications for plant breeding. Amsterdam: Elsevier Science Publishing Inc, 1983: 311-316.
- [21] Tai G C C. Use of $2n$ gametes [M]// Bradshaw J E, Mackay G R. Potato genetics. Wallingford, UK: CAB International, 1994: 109-132.
- [22] 赵明辉. 马铃薯二倍体杂种群体主要性状的遗传分析 [D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2005.
- [23] 于萌. 富利亚和窄刀薯杂种农艺性状和品质性状分析 [D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2010.
- [24] Sterrett S B, Henninger M R, Yench G C, et al. Stability of internal heat necrosis and specific gravity in tetraploid $\times$ diploid potatoes [J]. Crop Sci, 2003, 43: 790-796.
- [25] 宿飞飞, 陈伊里, 石瑛, 等. 不同纬度环境对马铃薯淀粉含量及淀粉品质的影响 [J]. 作物杂志, 2009(4): 27-31.