

中图分类号: S532 文献标识码: A 文章编号: 1672-3635(2023)06-0481-08

DOI: 10.19918/j.cnki.1672-3635.2023.06.001

遗传育种

马铃薯淀粉含量和淀粉产量的品种×年份互作以及稳定性分析

马 力¹, 杨菁菁², 马 达³, 张 峰⁴, 孙海洋¹, 李慧丽¹, 吕文河^{2*}

(1. 黑龙江北薯种业有限公司, 黑龙江 哈尔滨 150090; 2. 东北农业大学农学院, 黑龙江 哈尔滨 150030;

3. 北大荒集团克山农场有限公司 黑龙江 克山农场 161621; 4. 北大荒薯业集团全粉有限公司, 黑龙江 克山农场 161621)

摘 要: 马铃薯适应性强、产量高, 块茎富含淀粉, 其淀粉品质优于其他作物。马铃薯淀粉加工需要品种产量高、淀粉含量高, 且在年际间表现稳定。以垦区主栽品种‘延薯4号’为对照, 评价6个马铃薯品种的块茎产量、淀粉含量、淀粉产量及其稳定性, 以期筛选出适用于当地马铃薯淀粉加工的品种。试验于2019~2021年在克山农场进行, 采用随机区组设计, 4次重复。块茎产量、淀粉含量、淀粉产量品种×年份互作效应显著, 所以需要进行品种稳定性分析。‘北薯2号’淀粉含量21.77%, 淀粉产量11 304 kg/hm², 均显著高于对照品种‘延薯4号’, 且年际间表现稳定, 表现出淀粉加工品种的潜力。‘东农321’淀粉含量14.82%, 稳定性中等, 块茎产量较高, 为53 170 kg/hm², 稳定性好, 由于块茎产量较高, 所以淀粉产量较高且表现稳定, 可作鲜食和淀粉加工兼用型品种试种。研究结果可为马铃薯淀粉加工企业品种选择提供依据。

关键词: 马铃薯; 块茎产量; 淀粉; 基因型×环境互作; 稳定性

Variety × Year Interaction and Stability Analysis for Starch Content and Starch Yield in Potato

MA Li¹, YANG Jingjing², MA Da³, ZHANG Feng⁴, SUN Haiyang¹, LI Huili¹, LU Wenhe^{2*}

(1. Heilongjiang Beishu Seed Industry Co., Ltd., Harbin, Heilongjiang 150090, China; 2. College of Agronomy, Northeast Agricultural University, Harbin, Heilongjiang 150030, China; 3. Keshan Farm Co., Ltd., Beidahuang Group, Keshan Farm, Heilongjiang 161621, China; 4. Potato Flake Co., Ltd., Beidahuang Potato Industry Group, Keshan Farm, Heilongjiang 161621, China)

Abstract: Potato crop has wide adaptability and high yield, and tubers are rich in starch, which is superior in quality to the starch of other crops. Potato starch processor requires varieties with high yield and high starch content, and their performances are stable between years. The purposes of this study were to evaluate the tuber yield, starch content, starch yield, and stability of six potato varieties, using the main cultivated variety 'Yanshu 4' in reclamation area as a control, in order to screen out varieties suitable for local potato starch processing. The experiment was conducted at Keshan Farm from 2019 to 2021, using a randomized complete block design with four replicates. The effects of variety × year interaction for tuber yield, starch content, starch yield were significant, indicating that it is necessary to conduct a variety stability analysis. The starch content of 'Beishu 2' was 21.77%, and the starch yield was 11 304 kg/ha, which are

收稿日期: 2023-11-20

作者简介: 马力(1977-), 男, 硕士, 高级农艺师, 主要从事马铃薯新品种选育、推广和脱毒种薯栽培技术等方面的研究。

*通信作者(Corresponding author): 吕文河, 博士, 研究方向为马铃薯遗传育种, E-mail: luwenhe60@163.com。

significantly higher than those of the control variety 'Yanshu 4', and their performances were stable between years, showing its potential to be used as a starch processing variety. The starch content of 'Dongnong 321' was 14.82%, and its stability was moderate. The tuber yield was 53 170 kg/ha, and its stability was good. Because of its higher tuber yield, the starch yield was also high, and the performance was stable, so it could be potentially used as a variety for both fresh consumption and starch processing. The research results would provide references for potato starch processing enterprises to select varieties.

Key Words: potato; tuber yield; starch; genotype × environment interaction; stability

马铃薯适应性广、丰产性好、营养丰富、经济效益高,已成为世界上继水稻、小麦后第三大粮食作物^[1]。马铃薯块茎干物质的主要成分是淀粉,理化特性优,其中包括较高的白度、透明度、黏度、较低的糊化温度^[2,3],这使其在方便食品、休闲食品、膨化食品等产品的生产上被广泛使用,其优势远远大于玉米淀粉等其他淀粉品种^[4]。马铃薯淀粉这些特殊品质与功能,使其不仅应用于馒头、面条、米粉等传统大众型主食产品的生产上^[5],在其他领域也发挥重要作用。中国马铃薯淀粉加工产业始于20世纪90年代,随着马铃薯淀粉加工产业的提升和发展壮大,对高淀粉马铃薯品种的需求也逐步体现出来^[6]。但是,现在淀粉加工企业使用的原料薯大多不是高淀粉品种,导致生产效益低。因此,选育和筛选淀粉加工型专用马铃薯品种是目前急需解决的问题。

克山农场位于黑龙江省中西部,地理位置和气候条件适合大面积种植马铃薯,农场技术基础雄厚,农场职工马铃薯种植经验丰富。但在品种选择、种植面积、产量等方面都与国内外发达地区有较大差距。在生产实践中,坐落在克山农场的马铃薯加工企业原料供应不足,实际淀粉产量远低于预计产量,达产率低。因而,要进一步加强马铃薯的科学研究,大力选育、引进和繁育高产、高淀粉含量且表现稳定的马铃薯品种,提高单位面积产量,从而提高加工厂的达产率。

本试验以黑龙江省垦区主栽马铃薯品种‘延薯4号’为对照,评价6个晚熟马铃薯品种的块茎产量、淀粉含量和淀粉产量,明确这些性状品种×年份的互作效应,从而选出适合当地使用的淀粉加工型品种。

1 材料与方法

1.1 供试材料

试验供试6个晚熟马铃薯品种,‘东农321’‘北薯2号’‘东农317’‘万米1号’‘北薯1号’和‘红粉佳人’;以垦区主栽马铃薯品种‘延薯4号’为对照。

1.2 试验方法

1.2.1 试验地概况

试验于2019~2021年在北大荒集团克山农场基地进行。该基地属于温凉型气候区,特点是春旱多风,夏季高温多雨,秋季降温迅速,霜冻早。试验地点土壤呈微酸性,pH为5.3,有机质含量4.1%,土壤类型为淋溶黑钙土。

1.2.2 试验设计

采用随机区组设计,4次重复。小区行距90 cm,株距20 cm,4行区,面积21.6 m²。

5月初进行人工播种,施肥量按N 35.1 kg/hm²,P₂O₅ 179.4 kg/hm²,K₂O 180 kg/hm²执行。田间管理同大田,9月中旬收获。收获时每一小区取中间2行(6 m×0.9 m×2=10.8 m²)测产,称量所有块茎重量(直径≥3 cm),根据收获面积产量折合成块茎公顷产量。

小区淀粉产量按小区块茎产量乘以小区块茎淀粉含量计算,然后折合成淀粉公顷产量。

收获后2周内测定块茎淀粉含量,淀粉含量测定采用水比重法。

1.3 统计分析

采用DPS v18.10数据处理系统对3年试验数据作联合方差分析(品种、年份固定,随机区组模型)和处理平均值多重比较采用最小显著差数法(Least significant difference, LSD)。

2 结果与分析

2.1 块茎产量

2.1.1 不同年份块茎产量误差均方同质性测验

样本的 $\chi^2 = 0.408$, 小于 $\chi^2_{0.05,2} = 5.991$, 说明各误差均方同质, 可将3年试验结果进行联合分析(表1)。

2.1.2 块茎产量表现和稳定性分析

供试马铃薯品种和对照品种‘延薯4号’块茎产量联合方差分析(表2)表明, 年份效应不显著, 但品种效应和品种×年份互作效应均极显著。年份、品种和品种×年份互作变异分别占总变异的1.85%、43.00%和33.03%, 说明品种对块茎产量的影响最

大, 品种×年份互作对块茎产量的影响次之, 而年份对马铃薯块茎产量的影响最小。

表1 不同年份块茎产量误差均方同质性测验

Table 1 Homogeneity test for error variance of tuber yield in different years

年份 Year	误差均方 S^2	自由度 V	$V \times \ln(S^2)$
2019	24 842 128	18	307
2020	18 584 155	18	301
2021	23 564 145	18	306

注: $\chi^2 = 0.408$, $\chi^2_{0.05,2} = 5.991$ 。

Note: $\chi^2 = 0.408$, $\chi^2_{0.05,2} = 5.991$.

表2 供试马铃薯品种和对照品种‘延薯4号’块茎产量联合方差分析

Table 2 Combined analysis of variance of tuber yield of tested potato varieties and control variety 'Yanshu 4'

变异来源 Source of variation	DF	SS	MS	F	Prob.
年份内区组 Block within year	9	395 699 681.68	43 966 631.30	1.968 9	0.061 3
年份 Year (Y)	2	133 593 219.50	66 796 609.75	2.991 3	0.058 6
品种 Variety (V)	6	3 111 908 686.98	518 651 447.83	23.226 5	<0.000 1
品种×年份 V×Y	12	2 390 116 134.17	199 176 344.51	8.919 6	<0.000 1
试验误差 Error	54	1 205 827 694.57	22 330 142.49		
总变异 Total variation	83	7 237 145 416.89			

供试马铃薯品种和对照品种‘延薯4号’块茎产量年份间比较(表3)表明, 2019、2020和2021年所有品种的块茎产量平均值有差异, 但统计学上差异不显著($P > 0.05$)。

表3 供试马铃薯品种和对照品种‘延薯4号’块茎产量年份间比较

Table 3 Comparison of tuber yield of tested potato varieties and control variety 'Yanshu 4' between years

年份 Year	块茎产量(kg/hm ²) Tuber yield (kg/ha)
2020	49 191 aA
2019	48 368 aA
2021	46 201 aA

注: 平均值后跟不同小写字母和大写字母分别表示处理间在0.05和0.01水平差异显著。最小显著差数(LSD)法。下同。

Note: Treatment means are separated using least significant difference (LSD) method, with different lowercase letter and uppercase letter indicating significant difference at 0.05 and 0.01 levels of probability, respectively. The same below.

3年间各品种块茎产量平均值为35 319 ~ 54 806 kg/hm², 对照品种‘延薯4号’产量最高, ‘东农321’在3年中的两年(2019和2021年)产量最高。3年各品种块茎产量总平均值为47 920 kg/hm², 有4个品种(‘延薯4号’‘东农321’‘北薯2号’‘东农317’)块茎产量高于47 920 kg/hm²。与对照品种‘延薯4号’相比, 所有供试品种的块茎产量均低于对照。‘东农321’和‘北薯2号’与对照产量差异不显著。

品种×年份互作方差的相对变异度变异系数变化范围5.52~19.89, ‘北薯1号’变异系数最高, ‘万米1号’变异系数最低。3年各品种变异系数平均值为12.59, 有4个品种(‘东农321’‘北薯2号’‘万米1号’‘红粉佳人’)的变异系数低于平均值, 稳定性好, ‘延薯4号’和‘东农317’的变异系数高于平均值, 稳定性差, ‘北薯1号’变异系数最大, 稳定性最差。

综合以上数据可见‘东农321’和‘北薯2号’块茎产量高且稳定性好，总体表现较好；‘延薯4号’和‘东农317’块茎产量均值超过3年各品种块茎产量平均值，但稳定性差(表4)。

表4 供试马铃薯品种和对照品种‘延薯4号’块茎产量表现和稳定性
Table 4 Tuber yield performance and stability of tested potato varieties and control variety 'Yanshu 4'

品种 Variety	块茎产量(kg/hm ²) Tuber yield (kg/ha)				品种×年份互作 Variety × year interaction	
	2019	2020	2021	均值 Average	方差 Variance	变异系数 Coefficient of variation
延薯4号(CK) Yanshu 4	53 646	65 510	45 262	54 806 aA	76 394 371.80	15.95
东农321 Dongnong 321	57 359	49 213	52 937	53 170 aAB	21 767 121.51	8.77
北薯2号 Beishu 2	56 937	52 083	46 787	51 936 abABC	16 879 857.54	7.91
东农317 Dongnong 317	54 802	39 260	50 716	48 259 bcBCD	80 037 428.07	18.54
万米1号 Wanmin 1	45 862	46 690	48 183	46 911 cCD	6 707 537.37	5.52
北薯1号 Beishu 1	37 641	56 074	41 405	45 040 cD	80 276 148.80	19.89
红粉佳人 Hongfenjiaren	32 328	35 509	38 118	35 319 dE	16 702 051.69	11.57
平均 Average	48 368	49 191	46 201	47 920	42 680 645.25	12.59

2.2 淀粉含量

2.2.1 不同年份淀粉含量误差均方同质性测验

样本的 $\chi^2 = 5.323$ ，小于 $\chi^2_{0.05,2} = 5.991$ ，说明各误差均方同质，可将3年的试验结果进行联合分析(表5)。

2.2.2 淀粉含量表现和稳定性分析

供试马铃薯品种和对照品种‘延薯4号’淀粉含量联合方差分析(表6)表明，年份效应和品种效应均极显著，品种×年份互作效应极显著。年份、品种和品种×年份互作变异分别占总变异的7.56%、85.27%和3.02%，说明品种对淀粉含量的影响最大，年份对淀粉含量的影响次之，而品种×年份互作对淀粉含量的影响最小。需要注意的是，虽

然品种×年份互作效应对淀粉含量的影响极显著，但其影响并不大，只占总变异的3.02%。

表5 不同年份淀粉含量误差均方同质性测验
Table 5 Homogeneity test for error variance of starch content in different years

年份 Year	误差均方 S ²	自由度 V	V×ln(S ²)
2019	0.921 1	18	-1.479 9
2020	1.238 0	18	3.843 1
2021	0.403 9	18	-16.320 5

注： $\chi^2 = 5.323$ ， $\chi^2_{0.05,2} = 5.991$ 。

Note: $\chi^2 = 5.3238$ ， $\chi^2_{0.05,2} = 5.991$.

表6 供试马铃薯品种和对照品种‘延薯4号’淀粉含量联合方差分析
Table 6 Combined analysis of variance of starch content of tested potato varieties and control variety 'Yanshu 4'

变异来源 Source of variation	DF	SS	MS	F	Prob.
年份内区组 Block within year	9	4.007 0	0.445 2	0.521 1	0.852 8
年份 Year (Y)	2	91.473 4	45.736 7	53.536 2	<0.000 1
品种 Variety (V)	6	1 031.458 8	171.909 8	201.225 7	<0.000 1
品种×年份 V×Y	12	36.504 1	3.042 0	3.560 8	0.000 6
试验误差 Error	54	46.132 9	0.854 3		
总变异 Total variation	83	1 209.576 2			

供试马铃薯品种和对照品种‘延薯4号’淀粉含量年份间比较(表7)表明, 2019年参试品种平均淀粉含量为18.30%, 2020年参试品种平均淀粉含量为15.93%, 2021年参试品种平均淀粉含量为17.93%, 2019和2021年品种平均淀粉含量表现差异不显著, 二者与2020年相比差异显著(表7)。

表7 供试马铃薯品种和对照品种‘延薯4号’
淀粉含量年份间比较

Table 7 Comparison of starch content of tested potato varieties and control variety 'Yanshu 4' between years

年份 Year	淀粉含量(%) Starch content
2019	18.30 aA
2021	17.93 aA
2020	15.93 bB

3年间各品种淀粉含量平均值变化为12.54%~21.77%, ‘北薯2号’最高, ‘万米1号’最低。在测试的3年中, 均表现为‘北薯2号’最高, ‘万米1号’最低。3年各品种淀粉含量总平均值为17.39%, 有

4个品种(‘北薯2号’‘红粉佳人’‘北薯1号’‘东农317’)淀粉含量高于17.39%。和对照品种‘延薯4号’相比, 除上述4个品种淀粉含量高于对照外, ‘东农321’淀粉含量也高于对照, 且上述5个品种的淀粉含量与对照差异均显著。

品种×年份互作变异系数变化为2.16~6.77, ‘北薯1号’变异系数最高, ‘北薯2号’变异系数最低。3年各品种变异系数平均值为4.40。总体来看, 与平均值相比, 有3个品种[‘北薯2号’‘东农317’和‘延薯4号’(CK)]的变异系数低于4.40, 稳定性好; ‘红粉佳人’变异系数和平均值相同, ‘东农321’变异系数接近平均值, 稳定性中等; ‘北薯1号’变异系数最大, 表现不稳定。

以上数据可见, ‘北薯2号’淀粉含量最高, 稳定性最好; ‘红粉佳人’和‘东农317’表现次之, 淀粉含量虽然显著低于‘北薯2号’, 但和对照品种‘延薯4号’相比, 淀粉含量显著高于对照, 稳定性表现较好; ‘北薯1号’淀粉含量较高, 但稳定性最差; ‘万米1号’淀粉含量最低且稳定性差(表8)。

表8 供试马铃薯品种和对照品种‘延薯4号’淀粉含量表现和稳定性

Table 8 Starch content performance and stability of tested potato varieties and control variety 'Yanshu 4'

品种 Variety	淀粉含量(%) Starch content				品种×年份互作 Variety × year interaction	
	2019	2020	2021	均值 Average	方差 Variance	变异系数 Coefficient of variation
北薯2号 Beishu 2	22.84	19.79	22.70	21.77 aA	0.222 0	2.16
红粉佳人 Hongfenjiaren	20.71	19.79	22.03	20.85 bAB	0.840 0	4.40
北薯1号 Beishu 1	22.44	17.34	20.58	20.12 bB	1.854 0	6.77
东农317 Dongnong 317	19.53	16.94	18.36	18.27 cC	0.170 0	2.25
东农321 Dongnong 321	15.29	14.26	14.90	14.82 dD	0.610 0	5.27
延薯4号(CK) Yanshu 4	14.78	11.68	13.53	13.33 eE	0.215 0	3.48
万米1号 Wanmi 1	12.54	11.68	13.41	12.54 fE	0.651 0	6.43
平均 Average	18.30	15.93	17.93	17.39	0.651 7	4.40

2.3 淀粉产量

2.3.1 不同年份淀粉产量误差均方同质性测验

样本 $\chi^2 = 0.019$, 小于 $\chi^2_{0.05,2} = 5.991$, 说明各误差均方同质, 可将3年试验结果进行联合分析(表9)。

2.3.2 淀粉产量表现和稳定性分析

供试马铃薯品种和对照品种‘延薯4号’淀粉产

量联合方差分析(表10)表明, 年份效应和品种效应均极显著, 品种×年份互作效应极显著。年份、品种和品种×年份互作变异分别占总变异的4.28%、58.87%和17.53%, 说明品种对淀粉产量的影响最大, 品种×年份互作对淀粉含量的影响次之, 而年份对淀粉产量的影响最小。

表9 不同年份淀粉产量误差均方同质性测验

Table 9 Homogeneity test for error variance of starch yield in different years

年份 Year	误差均方 S^2	自由度 V	$V \times \ln(S^2)$
2019	989 259	18	248
2020	1 049 044	18	250
2021	1 044 240	18	249

注: $\chi^2 = 0.019$, $\chi^2_{0.05,2} = 5.991$ 。

Note: $\chi^2 = 0.019$, $\chi^2_{0.05,2} = 5.991$.

表10 供试马铃薯品种和对照品种‘延薯4号’淀粉产量联合方差分析

Table 10 Combined analysis of variance of starch yield of tested potato varieties and control variety 'Yanshu 4'

变异来源 Source of variation	DF	SS	MS	F	Prob.
年份内区组 Block within year	9	14 068 549.64	1 563 172.18	1.521 3	0.164 1
年份 Year (Y)	2	15 401 595.17	7 700 797.58	7.494 6	0.001 3
品种 Variety (V)	6	211 950 255.57	35 325 042.60	34.379 1	<0.000 1
品种 × 年份 V × Y	12	63 104 201.50	5 258 683.46	5.117 9	<0.000 1
试验误差 Error	54	55 485 772.36	1 027 514.30		
总变异 Total variation	83	360 010 374.24			

供试马铃薯品种和对照品种‘延薯4号’淀粉产量年份间比较(表11)表明, 2019年参试品种平均淀粉产量为8 751 kg/hm², 2020年参试品种平均淀粉产量为7 703 kg/hm², 2021年参试品种平均淀粉含量为8 193 kg/hm², 2019年淀粉产量最高, 与2020和2021年的差异显著, 而后者之间差异不显著。

表11 供试马铃薯品种和对照品种‘延薯4号’

淀粉产量年份间比较

Table 11 Comparison of starch yield of tested potato varieties and control variety 'Yanshu 4' between years

年份 Year	淀粉产量(kg/hm ²) Starch yield (kg/ha)
2019	8 751 aA
2021	8 193 bAB
2020	7 703 bB

3年淀粉产量平均值为5 890~11 304 kg/hm², ‘北薯2号’淀粉产量最高, ‘万米1号’的最低。在测试的3年中, ‘北薯2号’均表现淀粉产量最高,

‘万米1号’有两年(2019和2020年)表现淀粉产量最低。3年淀粉产量平均值8 216 kg/hm², 有3个品种(‘北薯2号’‘北薯1号’‘东农317’)淀粉产量高于平均值8 216 kg/hm²。‘北薯2号’‘北薯1号’‘东农317’‘东农321’和‘红粉佳人’5个品种淀粉产量都高于对照品种‘延薯4号’, 但只有‘北薯2号’‘北薯1号’‘东农317’和对照品种差异显著。

品种×年份互作变异系数变化为4.44~17.55, ‘东农317’变异系数最高, ‘东农321’变异系数最低。3年变异系数平均值为12.20。总体来看, 与平均值相比, 有3个品种(‘北薯2号’‘东农321’和‘万米1号’)的变异系数低于12.20, 稳定性好, ‘北薯1号’和‘延薯4号’变异系数略高于平均值, 稳定性一般。‘东农317’变异系数最大, 表现不稳定。

通过以上数据可以看出, ‘北薯2号’淀粉产量高且稳定, 总体表现最好; ‘北薯1号’虽然淀粉产量较高, 但稳定性一般; ‘东农321’淀粉产量一般, 但稳定性好; ‘东农317’淀粉产量较高, 但稳定性最差(表12)。

表 12 供试马铃薯品种和对照品种‘延薯 4 号’淀粉产量表现和稳定性

Table 12 Starch yield performance and stability of tested potato varieties and control variety 'Yanshu 4'

品种 Variety	淀粉产量(kg/hm ²) Starch yield (kg/ha)				品种 × 年份互作 Variety × year interaction	
	2019	2020	2021	均值 Average	方差 Variance	变异系数 Coefficient of variation
北薯 2 号 Beishu 2	12 987	10 303	10 621	11 304 aA	995 705.19	8.83
北薯 1 号 Beishu 1	8 433	9 815	8 529	8 926 bB	1 581 268.86	14.09
东农 317 Dongnong 317	10 697	6 635	9 323	8 885 bB	2 431 458.04	17.55
东农 321 Dongnong 321	8 772	7 023	7 885	7 893 cBC	122 977.46	4.44
红粉佳人 Hongfenjiaren	6 700	7 018	8 410	7 376 cC	1 304 667.17	15.49
延薯 4 号 (CK) Yanshu 4	7 927	7 660	6 126	7 237 cC	1 041 252.65	14.10
万米 1 号 Wanmin 1	5 743	5 470	6 456	5 890 dD	410 695.82	10.88
平均 Average	8 751	7 703	8 193	8 216	1 126 860.74	12.20

3 讨 论

马铃薯块茎产量和淀粉含量是受多基因控制的数量性状, 其性状的表现受环境的影响, 并且存在基因型 × 环境互作^[7-14]。了解基因型 × 环境互作在新品种选育及推广方面非常重要^[15]。基因型 × 环境互作是基因型在不同环境中表现不同^[16], 是由于相同基因对环境变化的不同反应导致, 或是由于不同基因在不同环境的表达引起。对于基因型 × 环境互作, 基因型之间的不一致表现为不同环境中基因型的等级顺序发生变化(交叉互作), 或者表现为基因型之间绝对差异发生改变, 但却不影响等级顺序^[17,18]。基因型 × 环境互作的这两种形式分别被称为定性和定量互作^[17]。基因型 × 环境互作对数量性状的影响往往大于质量性状^[19-21]。育种家和种植者大多希望能够获得高产、稳产且与环境互作较小的基因型(品种)^[22]。甚至有人认为, 培育稳产的马铃薯品种比高产更为重要^[23]。评价品种稳产性的方法有很多^[24-29], 本研究采用品种 × 年份互作效应的方差估值及其变异系数^[30]分析供试马铃薯品种块茎产量、淀粉含量以及淀粉产量的稳定性。

‘延薯 4 号’因产量高在克山农场和周边地区广为种植, 但其是一个鲜食品种, 淀粉含量一般仅有 14% 左右。高产、高淀粉含量且表现稳定的马铃薯品种一直是该地区追求的目标。高产会使农民受益, 高淀粉会使淀粉加工企业受益, 高产又高淀粉

含量会使双方均受益。如果能筛选出高产、高淀粉含量且表现稳定的马铃薯品种会极大地促进该地区马铃薯产业的健康发展。马铃薯产量和淀粉含量是受多基因控制的数量性状, 因此需要在多个环境种植评价其表现和是否存在基因型 × 环境互作效应。本研究选择有淀粉加工潜力的 6 个晚熟马铃薯品种, 在克山农场连续种植 3 年, 试图选出适合淀粉加工的马铃薯品种。试验结果表明, 产量、淀粉含量、淀粉产量品种 × 年份互作效应显著, 所以需要进行品种稳定性分析。在淀粉含量方面, 虽然品种 × 年份互作效应对其影响达极显著水平, 但其影响并不大, 只占总变异的 3.02%, 说明淀粉含量性状相对稳定。在块茎产量方面, 排第 1 位为对照品种‘延薯 4 号’, 达 54 806 kg/hm², 但其 3 年平均淀粉含量仅有 13.33%, 淀粉产量为 7 237 kg/hm², 在 7 个参试品种里排第 6 位, 稳定性一般。因此, 在无高淀粉加工专用品种的情况下, 可选用‘延薯 4 号’做主栽品种。‘东农 321’淀粉含量 14.82%, 稳定性中等, 块茎产量较高, 仅次于‘延薯 4 号’, 为 53 170 kg/hm², 稳定性好。由于其较高的块茎产量, 所以淀粉产量也较高, 且表现稳定, 可当作鲜食和淀粉加工兼用型品种试种。‘北薯 2 号’淀粉含量 21.77%, 淀粉产量为 11 304 kg/hm², 均显著高于对照品种‘延薯 4 号’, 且年际间表现稳定, 块茎产量排第 3 位, 亦表现稳定。所以, ‘北薯 2 号’可以当作淀粉加工型品种试种。

[参 考 文 献]

- [1] Bhaskar P B, Venkateshwaran M, Wu L, *et al.* *Agrobacterium*-mediated transient gene expression and silencing: a rapid tool for functional gene assay in potato [J]. PLoS ONE, 2009, 4(6): e5812.
- [2] Singh J, Singh N. Studies on the morphological, thermal and rheological properties of starch separated from some Indian potato cultivars [J]. Food Chemistry, 2001, 75(1): 67-77.
- [3] Liu J J, He Z H, Zhao Z D, *et al.* Wheat quality traits and quality parameters of cooked dry white Chinese noodles [J]. Euphytica, 2003, 131(2): 147-154.
- [4] 谭秀环, 李长乐, 史海慧, 等. 论马铃薯淀粉特征及应用现状 [J]. 粮食问题研究, 2018(5): 25-28.
- [5] 潘明. 马铃薯淀粉和玉米淀粉的特性及其应用比较 [J]. 中国马铃薯, 2001(4): 222-226.
- [6] 李增杰. 不同生态条件下马铃薯淀粉含量及其品质差异分析 [J]. 科学技术创新, 2019(2): 143-144.
- [7] Tai G C C, Young D A. Genotypic stability analysis of eight potato varieties tested in a series of ten trials [J]. American Potato Journal, 1972, 49: 138-150.
- [8] Tai G C C. Analysis of genotype-environment interaction of potato yield [J]. Crop Science, 1979, 19: 434-438.
- [9] Dejong H, Tai G C C, Russell W A, *et al.* Yield potential and genotype-environment interaction of tetraploid-diploid (4x-2x) potato hybrids [J]. American Potato Journal, 1981, 58: 191-199.
- [10] Yildirim M B, Caliskan C F. Genotype $\times$ environment interaction in potato (*Solanum tuberosum* L.) [J]. American Potato Journal, 1985, 62: 371-375.
- [11] Stephen L L, Joseph J P. Relationship of clonal means to the uniformity and stability of tuber specific gravity in potatoes [J]. American Journal of Potato Research, 1991, 68(8): 543-550.
- [12] Haynes K G, Wilson D R, Kang M S. Genotype $\times$ environment interaction for specific gravity in diploid potatoes [J]. Crop Science, 1995, 35: 977-981.
- [13] Tekalign T. Phenotypic stability for tuber yield in elite potato (*Solanum tuberosum* L.) genotypes in eastern Ethiopia [J]. Tropical Agriculture, 2003, 80(2): 110-113.
- [14] Hassanpanah D. Analysis of G $\times$ E interaction by using the additive main effects and multiplicative interaction in potato cultivars [J]. International Journal of Plant Breeding and Genetics, 2010, 4: 23-29.
- [15] Ortiz R, Ilse de Cauwer. Genotype $\times$ environment interaction and testing environments for plantain and banana (*Musa* spp. L.) breeding in West Africa [J]. Tropicicultura, 1999, 3: 98-102.
- [16] Fox P N, Crossa J, Romagosa I. Multi-environment testing and genotype $\times$ environment interaction [M]//Kempthorne R A, Fox P N. Statistical methods for plant variety evaluation. London: Chapman and Hall, 1997: 117-138.
- [17] Crossa J, Cornelius P L, Sayre K, *et al.* A shifted multiplicative model fusion method for grouping environments without cultivar rank change [J]. Crop Science, 1995, 35: 54-62.
- [18] Bernardo R. Breeding for quantitative traits in plants [M]. Woodbury: Stemma Press, 2002.
- [19] Mather K, Jinks J L. Biometrical genetics [M]. 3rd ed. London: Chapman and Hall, 1982.
- [20] Dabholkar A R. Elements of biometrical genetics [M]. New Delhi: Concept Publishing Company, 1992.
- [21] Falconer D S, Mackay T F C. Introduction to quantitative genetics [M]. 4th ed. Harlow: Pearson Prentice Hall, 1996.
- [22] Yan W, Kang B M, Woods S, *et al.* GGE biplot vs AMMI analysis of genotype-by-genotype environment data [J]. Crop Science, 2007, 47: 643-655.
- [23] Cotes J M, Nustez C E, Martinex R, *et al.* Analyzing genotype by environment interaction in potato using yield-stability index [J]. American Journal of Potato Research, 2002, 79: 211-218.
- [24] Eberhart S A, Russell W A. Stability parameters for comparing varieties [J]. Crop Science, 1966, 6(1): 36-40.
- [25] Tai G C C. Genotypic stability analysis and its application to potato regional trials [J]. Crop Science, 1971, 11(2): 184-190.
- [26] Shukla G K. Some statistical aspects of partitioning genotype-environmental components of variability [J]. Heredity, 1972, 29 (10): 237-245.
- [27] Crossa J, Gauch H G, Zobel R W. Additive main effects and multiplicative interaction analysis of two international maize cultivar trials [J]. Crop Science, 1990, 30(3): 493-500.
- [28] Zobel R W, Wright M J, Gauch H G. Statistical analysis of a yield trial [J]. Agronomy Journal, 1988, 80(3): 388-393.
- [29] Yan W K, Fetch J M, Fregeau-Reid J. Genotype $\times$ location interaction patterns and testing strategies for oat in the Canadian Prairies [J]. Crop Science, 2011, 51(5): 1903-1914.
- [30] 莫惠栋. 农业试验统计 [M]. 2版. 上海: 上海科学技术出版社, 1992.