

中图分类号: S435.32; S532 文献标识码: A 文章编号: 1672-3635(2024)01-0021-09

DOI: 10.19918/j.cnki.1672-3635.2024.01.003

马铃薯疮痂病抗病种质资源评价筛选

王 越¹, 宿飞飞², 胡柏耿^{3*}

(1. 国家马铃薯工程技术研究中心, 山东 乐陵 253600; 2. 黑龙江省农业科学院经济作物研究所, 黑龙江 哈尔滨 150086;

3. 乐陵希森马铃薯产业集团有限公司, 山东 乐陵 253600)

摘要: 马铃薯疮痂病(*Streptomyces scabies*)近年在中国北方一作区、西南混作区、中原二季作区普遍发生, 选育抗病品种是最有效、经济的防治方法。试验筛选对疮痂病具有抗性的马铃薯品种(系)材料。2022年利用自然病圃法对31个马铃薯品种(系)材料的疮痂病抗性进行评价鉴定并测定产量, 2023年对筛选出的12份材料重复鉴定。2022年参试的31份品种(系)材料中, ‘希森5号’‘Z496’‘Z740’‘Z759’‘Z760’‘Z812’‘Z917’‘Z962’‘Z1148’‘Z1152’‘Z1356’11份品种(系)材料具有疮痂病抗性, 产量表现优异。2023年进一步测试鉴定结果表明, ‘Z962’连续两年抗性鉴定结果为抗病材料(R), 产量与当地主栽品种‘尤金’无显著差异; ‘Z1148’‘Z1152’‘Z1356’‘Z740’‘Z760’‘Z917’产量高于对照品种, 但仅‘Z740’产量与对照差异显著, 对马铃薯疮痂病具有中等抗性(MR)。(‘希森5号’和‘Z496’对疮痂病具有较强抗性, 可作为杂交亲本材料进行疮痂病抗病育种创制杂交组合。研究筛选评价了31份马铃薯材料疮痂病抗性, 为疮痂病抗病育种和病害防控提供基础材料。

关键词: 马铃薯; 品种(系); 疮痂病; 抗性评价; 种质资源筛选

Evaluation and Screening of Germplasm Resources Resistant to Potato Common Scab

WANG Yue¹, SU Feifei², HU Baigeng^{3*}

(1. National Engineering Research Center for Potato, Leling, Shandong 253600, China;

2. Institute of Industrial Crops, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin, Heilongjiang 150086, China;

3. Leling Xisen Potato Industry Co. Ltd., Leling, Shandong 253600, China)

Abstract: Potato common scab (*Streptomyces scabies*) is a widespread disease and highly prevalent in recent years in the one cropping zone of northern China, the mixed cropping zone of southwestern China, and the two cropping zone of the Central Plains. The selection and breeding of potato common scab-resistant varieties is the most effective and economical method. The common scab resistance and the yield were evaluated for 31 potato varieties (lines) in 2022 by natural disease nursery method. In 2023, the 12 potato varieties (lines) identified in previous year were repeatedly evaluated. Among the 31 varieties (lines) tested in 2022, 11 potato varieties (lines), including 'Xisen 5', 'Z496',

收稿日期: 2023-11-27

基金项目: 山东省重大专项(重大科技创新工程)(2022CXGC01060); 山东省重大专项(农业良种工程)(2022LZGC017)。

作者简介: 王越(1994-), 男, 硕士, 农艺师, 主要从事马铃薯育种及病害防控研究。

*通信作者(Corresponding author): 胡柏耿, 博士, 高级农艺师, 主要从事马铃薯育种及新品种推广研究, E-mail: hubaigeng@163.com。

'Z740', 'Z759', 'Z760', 'Z812', 'Z917', 'Z962', 'Z1148', 'Z1152' and 'Z1356', were resistant and their yields performed well. The repeated test results in 2023 showed that the 'Z962' was resistant to common scab (R) for two years, and there was no significant difference in yield compared with the local main variety 'Youjin'. The yields of 'Z1148', 'Z1152', 'Z1356', 'Z740', 'Z760' and 'Z917' were higher than those of the local main variety, but only the yield of 'Z740' was significantly different from the control, and was moderately resistant (MR) to common scab. 'Xisen 5' and 'Z496' were highly resistant to common scab and could be used as parent materials to create hybrid combinations for common scab resistance breeding. In this study, 31 potato materials were evaluated and screened for common scab resistance, which would provide basic materials for common scab resistance breeding, disease prevention and control.

Key Words: potato; variety (line); common scab; resistance evaluation; germplasm resource screening

马铃薯疮痂病是由致病链霉菌引起的土传兼种传病害, 近年在中国北方一作区、西南混作区、中原二季作区呈现普遍高发特点^[1], 严重影响马铃薯产业发展, 尤其对微型薯的生产造成严重威胁^[2]。马铃薯疮痂病对植株地上部无明显影响, 主要危害马铃薯块茎, 在块茎表面形成褐色至黑色块状病斑, 影响商品薯外观品质^[3], 其凹陷性病斑增加去皮厚度, 对加工原料薯造成严重影响^[4]。同时, 病原菌的种传特性影响种薯的生产与外销。随着马铃薯产业的发展, 疮痂病对马铃薯生产的危害正逐年加重。

由于疮痂病病原菌种类多样, 各地气候环境不同, 致使马铃薯疮痂病防治困难。目前, 主要通过化学药剂防治、农业措施防治、生物防治、选育抗病品种等减轻病害的发生^[5]。其中选育抗病品种是最有效、经济的防治方法。国内外学者均已开展疮痂病抗性资源的筛选和抗病育种工作, 国外研究培育了'Freedom Russet'^[6] 'Alta Crown'^[7] 'Teton Russet'^[8]等抗性品种。邢莹莹^[9]鉴定黑龙江省部分地区致病菌为 *Streptomyces turgidiscabies*、*S. acidiscabies* 和 *S. scabies*, 其中 *S. scabies* 为优势种, 同时对'克新18号' '克新13号' '东农303' '中薯5号' '垦薯1号' '早大白' '大西洋' '荷兰15' '尤金' 作温室接种抗性评价, 结果表明病原菌不同, 品种感病程度不同。王腾等^[10]发现'克新28号'病情指数最小。但目前还未有对疮痂病完全免疫的品种报道。

S. scabies 是最早被研究发现可引起疮痂病的病原菌, 朱展鹏^[11]研究表明 *S. scabies* 是中国分布

最广的病原菌。本研究选取自主选育的高代品系材料, 以自然病圃法进行疮痂病抗性和产量评价, 以期筛选出疮痂病抗性品种(系)材料。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于2022年和2023年在黑龙江省农业科学院国家现代化农业示范区马铃薯自然疮痂病圃进行。该地块常年种植马铃薯, 为马铃薯疮痂病高发地块, 土壤中马铃薯疮痂病病原菌富集, 经鉴定优势菌株为 *S. scabies*。

1.2 试验品种(系)

参试的31份马铃薯品种(系)材料由国家马铃薯工程技术研究中心提供。其中马铃薯品种7个, 分别为'希森1号' '希森3号' '希森5号' '希森6号' '希森8号' '希森14号' '布尔班克'。以及自主选育的高代品系材料'Z496' 'Z668' 'Z698' 'Z735' 'Z740' 'Z753' 'Z756' 'Z759' 'Z760' 'Z791' 'Z812' 'Z813' 'Z817' 'Z838' 'Z879' 'Z917' 'Z962' 'Z969' 'Z1148' 'Z1152' 'Z1318' 'Z1323' 'Z1326' 'Z1356', 共24个。

1.3 试验设计

试验采用自然病圃法, 分别于2022年和2023年5至9月完成。2022年参试的31份马铃薯品种(系)材料均采用脱毒原原种播种, 每个品系每个小区种植10株, 重复3次, 采用随机区组设计, 株行距20 cm × 90 cm, 常规田间管理。收获后鉴定小区所有块茎发病病情, 综合考虑产量和抗性两个指标筛选抗性材料留种。

2023 年对 2022 年度筛选得到的抗性材料继续开展疮痂病抗性与产量评价。采用 2022 年试验田收获的带病块茎作种薯切块播种, 随机区组设计, 每个小区播种 80 株, 3 次重复, 株行距 20 cm × 80 cm, 并以当地主栽品种‘尤金’作对照。收获后测算小区产量, 鉴定小区收获所有块茎发病病情。

1.4 抗性评价方法

对小区收获的所有块茎发病等级评定, 根据

马铃薯疮痂病分级标准(表 1)^[12], 统计测算疮痂病发病率和病情指数, 根据病情指数(Disease index, DI)将马铃薯品种(系)疮痂病抗性分为 5 类: DI < 10 为高抗(HR); 10 ≤ DI < 30 为抗病(R); 30 ≤ DI < 50 为中抗(MR); 50 ≤ DI < 70 为感病(S); DI ≥ 70 为高感(HS)。

发病率 = 发病块茎数/收获块茎总数 × 100%;

病情指数(DI) = $\sum$ (各等级发病数 × 病级数)/(收获块茎总数 × 最高病级数) × 100。

表 1 马铃薯疮痂病分级标准
Table 1 Standard for potato scab grading

等级 Grade	0	1	3	5	7	9
病斑个数(No.) Number of disease spot	0	1~2	3~4	5~7	8~10	> 10
病斑面积占比 Percentage of diseased area	/	/	< 25	26~33	34~50	> 51

注: 病斑面积占比=病斑面积/块茎表面积×100%。
Note: Percentage of diseased area = Diseased area/tuber surface area×100%.

1.5 数据分析

采用 Excel 2019 和 SAS 9.2 软件分析数据统计。

2 结果与分析

2.1 2022 年各马铃薯品种(系)疮痂病抗性评价

2022 年各马铃薯品种(系)疮痂病抗性评价结果表明(表 2), ‘希森 5 号’‘布尔班克’和‘Z496’抗性评价结果为高抗(HR), 平均发病率及病情指数分别为 39.56%、26.53%、28.79% 和 7.45、5.76、7.47。31 份材料中 38.7% 达到抗病(R)级别, 分别为‘希森 3 号’‘希森 6 号’‘Z735’‘Z740’‘Z759’‘Z760’‘Z812’‘Z962’‘Z1152’‘Z1318’‘Z1323’‘Z1356’, 除‘希森 3 号’‘Z962’和‘Z1356’发病率低于 50% 外, 其余各材料发病率均高于 50%, 介于 52.80%~68.53%。其中病情指数较低的是‘希森 3 号’为 12.87、‘Z962’为 13.29、‘Z1356’为 14.08, 其余材料病情指数在 17.68~29.15。表现中抗(MR)类型材

料 10 份, 表现感病(S)类型 6 份, 两者占供试材料 51.5%。

2.2 2022 年各马铃薯品种(系)产量表现

从 2022 年参试的 31 份马铃薯品种(系)产量结果(表 3)可知, ‘Z1148’产量最高, 达 6 244 kg/667m²。产量超过 5 000 kg/667m²的品种(系)有‘Z1152’为 5 781 kg/667m²、‘Z812’为 5 644 kg/667m²、‘Z917’为 5 584 kg/667m²。参试的 31 份马铃薯品种(系)中 25 份材料平均折合产量超过 3 000 kg/667m², 占参试材料的 80.65%, 仅有‘希森 3 号’‘希森 8 号’‘布尔班克’‘Z668’‘Z698’‘Z735’产量表现较差, 折合产量低于 3 000 kg/667m²。采用系统聚类方法对 31 份马铃薯品种(系)产量数据做聚类分析(图 1), 当阈值取 10 时, 31 份马铃薯品种(系)被分为 3 类, 其中, ‘Z1148’‘Z1152’‘Z917’‘Z812’‘Z740’‘Z962’‘Z1356’‘希森 1 号’分为一类且产量最高, 产量最低的‘布尔班克’单独为一类。

表2 2022年各品种(系)疮痂病抗性评价
Table 2 Resistance evaluation of variety (line) in 2022

品种(系) Variety (Line)	发病率(%) Incidence	病情指数 Disease index	抗性等级 Resistance grade
希森1号 Xisen 1	91.22±14.40	57.92±14.27abAB	S
希森3号 Xisen 3	43.74±7.98	12.87±2.80jklHIJ	R
希森5号 Xisen 5	39.56±13.90	7.45±3.89klIJ	HR
希森6号 Xisen 6	54.97±1.82	19.75±7.77ijklEFGHIJ	R
希森8号 Xisen 8	79.22±4.65	41.17±6.61bcdefghABCDEFGF	MR
希森14号 Xisen 14	90.45±4.50	55.84±11.97abcdABC	S
布尔班克 Russet Burbank	26.53±3.05	5.76±2.93IJ	HR
Z496	28.79±37.19	7.47±11.26klIJ	HR
Z668	74.44±16.03	41.58±11.32bcdefghABCDEFGF	MR
Z698	76.13±8.63	34.98±23.38defghiBCDEFGHI	MR
Z735	58.19±19.14	25.21±7.94hijklDEFGHIJ	R
Z740	59.89±5.30	17.70±3.64ijklFGHIJ	R
Z753	93.19±10.37	63.07±22.94aA	S
Z756	94.59±4.69	63.12±13.77aA	S
Z759	52.80±17.29	17.68±10.33ijklFGHIJ	R
Z760	62.48±8.62	19.73±5.58ijklEFGHIJ	R
Z791	86.59±3.35	56.19±6.55abcABC	S
Z812	63.29±9.23	25.98±7.30ghijklDEFGHIJ	R
Z813	87.90±12.14	55.49±22.82abcdABC	S
Z817	78.93±11.08	35.62±8.19cdefghiABCDEFGFH	MR
Z838	83.50±11.43	43.25±17.60abcdefghABCDEF	MR
Z879	70.16±15.30	31.01±20.76efghijBCDEFGHIJ	MR
Z917	83.38±13.30	47.27±16.87abcdefABCDE	MR
Z962	45.73±30.59	13.29±10.85jklHIJ	R
Z969	84.20±10.50	46.24±16.42abcdefgABCDE	MR
Z1148	81.33±12.27	33.76±8.79efghijBCDEFGHI	MR
Z1152	68.53±10.12	26.35±8.74ghijklDEFGHIJ	R
Z1318	58.47±14.24	27.35±9.69fghijkDEFGHIJ	R
Z1323	62.54±14.74	29.15±15.93efghijCDEFGHIJ	R
Z1326	76.73±22.59	48.54±28.25abcdeABCD	MR
Z1356	44.34±2.76	14.08±0.80jklGHIJ	R

注: 数值为平均值±标准差, 不同小写字母表示0.05水平差异显著, 不同大写字母表示0.01水平差异显著, 采用最小显著差数(LSD)法。下同。

Note: Values are mean±SD. Different lowercase letters indicate significant differences at the 0.05 level and different uppercase letters indicate significant differences at the 0.01 level, as tested using least significant difference (LSD) method. The same below.

表3 2022年各品种(系)产量表现
Table 3 Yield of various variety (line) in 2022

品种(系) Variety (Line)	小区产量(kg/1.8 m ²) Yield per plot	折合产量(kg/667m ²) Equivalent yield	排名 Ranking
希森1号 Xisen 1	13.28±2.47bcdeABCD	4 921	6
希森3号 Xisen 3	8.08±1.49hijFGH	2 994	26
希森5号 Xisen 5	8.68±0.90hiEFGH	3 216	23
希森6号 Xisen 6	10.31±3.48defghiDEFG	3 820	13
希森8号 Xisen 8	7.74±0.62hijFGH	2 868	29
希森14号 Xisen 14	10.76±1.87defghiDEFG	3 987	10
布尔班克 Russet Burbank	5.19±0.48jH	1 923	31
Z496	10.16±2.29defghiDEFG	3 765	14
Z668	7.59±0.79ijGH	2 813	30
Z698	7.85±0.55hijFGH	2 909	28
Z735	7.98±1.36hijFGH	2 957	27
Z740	11.94±2.12cdefgBCDEF	4 424	8
Z753	8.62±1.86hiEFGH	3 194	24
Z756	10.90±2.69defghCDEFG	4 039	9
Z759	10.54±3.18defghiDEFG	3 906	11
Z760	10.04±0.41fghiDEFG	3 720	16
Z791	10.41±1.21defghiDEFG	3 857	12
Z812	15.23±3.41abAB	5 644	3
Z813	8.75±4.14ghiEFGH	3 242	22
Z817	9.18±0.72ghiDEFGH	3 402	20
Z838	8.39±2.08hijFGH	3 109	25
Z879	8.96±0.87ghiEFGH	3 320	21
Z917	15.07±2.67abcABC	5 584	4
Z962	12.75±3.34bcdefABCDE	4 725	7
Z969	10.02±1.13fghiDEFG	3 713	17
Z1148	16.85±1.47aA	6 244	1
Z1152	15.60±1.54abAB	5 781	2
Z1318	10.06±1.50efghiDEFG	3 728	15
Z1323	9.23±1.04ghiDEFGH	3 420	18
Z1326	9.22±0.58ghiDEFGH	3 417	19
Z1356	13.36±1.85bcdABCD	4 951	5

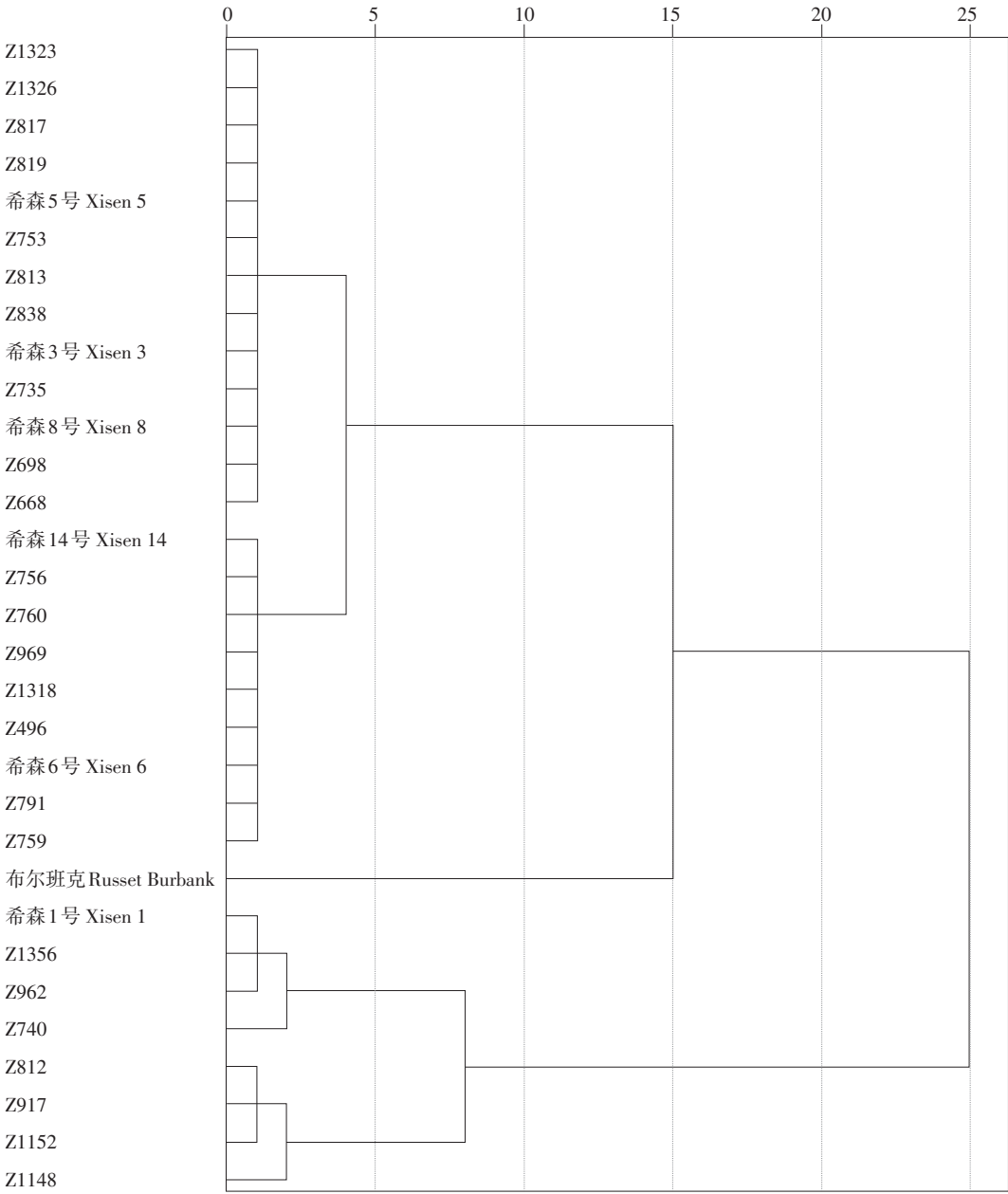


图1 2022年不同马铃薯品种(系)产量聚类分析

Figure 1 Cluster analysis of yield of different potato varieties (lines) in 2022

综合考虑疮痂病抗性和产量表现, 筛选高抗(HR)疮痂病材料‘希森5号’‘Z496’, 抗病(R)材料‘Z740’‘Z759’‘Z760’‘Z812’‘Z962’‘Z1152’‘Z1356’, 中抗材料(MR)‘Z917’‘Z1148’及高产品种‘希森1号’共12份品种(系)材料, 以‘尤金’为对

照, 进行2023年度马铃薯疮痂病抗性和在黑龙江省地区产量表现的重复鉴定。

2.3 2023年各马铃薯品种(系)疮痂病抗性鉴定结果

2023年对2022年度筛选出的12份材料进一步抗性鉴定(表4)。由于使用2022年度带病种薯播

种, 2023 年 12 份材料发病率及病情指数普遍高于 2022 年度, 因此抗性等级也较 2022 年低。表现抗病(R)等级的品种(系)有‘希森 5 号’病情指数为 11.76、‘Z962’病情指数为 15.08 和‘Z496’病情指数为 24.64, ‘Z962’在 2022 和 2023 年度均表现为抗病(R)等级, ‘希森 5 号’和‘Z496’2022 年表现高抗(HR), 2023 年表现抗(R); ‘Z740’‘Z760’‘Z1356’‘Z759’‘Z1152’在 2022 年表现抗病(R), 2023 年表现中抗(MR); ‘Z1148’‘Z917’两年均表现中抗(MR), ‘希森 1 号’2022 和 2023 年度均不具有疮痂病抗性, 2022 年抗性评价为感病(S), 2023 年抗性评价为高感(HS)。由此可见, ‘希森 5 号’‘Z962’和‘Z496’抗性评价为抗病(R), 为马铃薯疮痂病抗性材料。

表 4 2023 年各马铃薯品种(系)抗性评价结果
Table 4 Resistance evaluation of variety (line) in 2023

品种(系) Variety (Line)	发病率(%) Incidence	病情指数 Disease index	抗性等级(2023) Resistance grade (2023)
希森 1 号 Xisen 1	100±0	79.33±11.62aA	HS
Z1148	95.87±6.57	48.27±19.06bcBC	MR
Z1152	88.32±17.63	35.18±16.07cdeBCDEF	MR
Z1356	88.45±6.32	30.73±3.40defCDEF	MR
希森 5 号 Xisen 5	56.79±28.30	11.76±9.88gF	R
Z496	84.33±6.82	24.64±5.01efgDEF	R
Z740	93.50±4.60	32.74±9.67cdeCDEF	MR
Z759	90.29±7.36	30.75±9.93defCDEF	MR
Z760	91.67±8.75	31.27±7.77cdefCDEF	MR
Z812	95.89±1.48	57.50±14.12bAB	S
Z917	98.89±1.92	47.98±5.97bcdBCD	MR
Z962	71.75±14.53	15.08±2.29fgEF	R
尤金(CK) Youjin (CK)	95.70±5.91	37.24±8.36cdeBCDE	MR

2.4 2023 年各马铃薯品种(系)产量表现

2023 年各马铃薯品种(系)材料产量表现为‘Z740’产量最高, 达到 3 142 kg/667m², 其次为‘Z1356’‘Z1152’平均产量达到 3 018 kg/667m²和 2 905 kg/667m²(表 5)。12 份材料中, ‘希森 5 号’‘Z496’‘Z759’较对照品种‘尤金’分别减产 20.35%、5.66%和 14.97%, ‘Z1148’‘Z1152’‘Z1356’‘Z740’‘Z760’‘Z812’‘Z917’‘Z962’‘希森 1 号’共 9 份品种(系)材料较对照品种‘尤金’增产。其中‘Z740’增产达 48.12%, 与对照品种‘尤金’差异显著; ‘希森 1 号’增产幅度最小, 仅为 8.08%, 与对照品

种‘尤金’差异不显著。

3 讨 论

抗性材料筛选是马铃薯疮痂病抗病品种选育的基础, 对选育的品种或高代品系进行抗性评价并结合分子标记辅助育种, 可进一步加快选育进程^[13]。国外研究发现‘Russet Burbank’和‘Russet Rural’具有疮痂病抗性^[14]。本研究中‘布尔班克’对疮痂病的抗性评价与前人研究结果一致。李爽^[15]通过田间自然感病试验, 筛选出‘荷兰 806’和‘荷兰 18’2 个抗病品种。赵远征等^[16]在呼和浩特市开展

表5 2023年各马铃薯品种(系)产量表现
Table 5 Yield of various varieties (lines) in 2023

品种(系) Variety (Line)	小区产量(kg/12.8 m ²) Yield per plot	折合产量(kg/667m ²) Equivalent yield	较对照增减产(%) Compared with control
希森1号 Xisen 1	43.99±3.79abcdAB	2 292	8.08
Z1148	51.44±14.49abcdAB	2 681	26.38
Z1152	55.74±4.68 bcAB	2 905	36.94
Z1356	57.92±2.09abAB	3 018	42.30
希森5号 Xisen 5	32.42±4.70dB	1 689	-20.35
Z496	38.40±18.98cdAB	2 001	-5.66
Z740	60.29±21.36aA	3 142	48.12
Z759	34.61±1.02dAB	1 804	-14.97
Z760	46.73±1.01abcdAB	2 435	14.81
Z812	48.97±4.90abcdAB	2 552	20.31
Z917	49.32±10.81abcdAB	2 570	21.17
Z962	47.92±27.44abcdAB	2 497	17.73
尤金(CK) Youjin (CK)	40.70±1.40bcdAB	2 121	

品种抗性鉴定, 筛选出‘布尔班克’‘希森5号’‘冀张薯14号’‘中薯13号’‘冀张薯15号’‘超荷’‘N1’‘希森6号’8个高抗品种(系), 无免疫品种(系), 本研究也得到一致结果。对未推广种植的高代品系材料进行抗性鉴定, 可减轻品种示范推广种植过程中疮痂病危害, 本研究参试的高代品系材料中, 大部分为感病材料或中间型材料, 2023年在病原压力增大情况下, 针对 *S. scabies* 病原菌, 品系‘Z962’表现较强抗性, 且在疮痂病地块条件下产量与对照品种无差异, 可在疮痂病高发地块推广种植。

疮痂病病原菌致病性相关基因聚集在约660 bp大小的同一区域, 称为致病岛(Pathogenicity island, PAI), 且病原链霉菌PAI可在种间平移造成新的致病菌出现^[17,18]。目前已报道的致病菌多达十几种^[19], 同一品种(系)对不同菌株抗性也不同, 所以在抗性评价工作中, 应先明确致病菌株, 同时寻找对不同致病菌株具有广谱抗性的马铃薯材料。研究表明, 马铃薯野生种材料中存在广谱抗性材料^[20]。疮痂病的综合防控形势严峻, 针对不

同致病菌株寻找抗性材料, 深入了解植物-病原互作机制, 结合生物防治及化学药剂使用, 形成以防为主、防治结合的综合防控体系, 对疮痂病的防治具有深远意义^[21]。

经2022年和2023年重复鉴定筛选, 综合考虑抗病性和产量表现, ‘Z962’品种抗性强, 连续两年抗性稳定, 产量与对照品种无显著性差异, 适合在黑龙江省地区推广种植。‘Z1148’‘Z1152’‘Z1356’‘Z740’‘Z760’‘Z917’产量高于对照品种, 但仅‘Z740’产量与对照差异显著, 对马铃薯疮痂病具有中等抗性, 也可作为优异材料在马铃薯疮痂病轻发地块种植。‘希森5号’和‘Z496’可作为马铃薯疮痂病抗病育种的亲本材料创制杂交组合。

[参 考 文 献]

- [1] 李宇晨. 内蒙古马铃薯疮痂病菌的分离鉴定及多样性[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2020.
- [2] 白晓东, 杜珍, 范向斌, 等. 基质对马铃薯疮痂病抑制效果研究初报[J]. 中国马铃薯, 2002, 16(6): 332-334.

- [3] Hiltunen L H, Weckman A, Ylhäinen A, *et al.* Responses of potato cultivars to the common scab pathogens, *Streptomyces scabies* and *S. turgidiscabies* [J]. *Annals of Applied Biology*, 2005, 146(3): 395–403.
- [4] Archuleta J G, Easton G D. The cause of deep-pitted scab of potatoes [J]. *American Potato Journal*, 1981, 58: 385–392.
- [5] 夏善勇, 盛万民. 我国马铃薯疮痂病及其防治研究进展 [J]. *植物保护*, 2022, 48(1): 7–16, 28.
- [6] Groza H I, Bowen B D, Bussan A J, *et al.* Freedom Russet: A dual purpose russet potato cultivar with resistance to common scab and good fry quality [J]. *American Journal of Potato Research*, 2009, 86(5): 406–414.
- [7] Bizimungu B, Holm D G, Kawchuk L M, *et al.* Alta Crown: a new russet potato cultivar with resistance to common scab and a low incidence of tubers deformities [J]. *American Journal of Potato Research*, 2011, 88: 72–81.
- [8] Novy R G, Whitworth J L, Stark J C, *et al.* Teton Russet: an early-maturing, dual-purpose potato cultivar having higher protein and vitamin C content, low asparagine, and resistances to common scab and *Fusarium* dry rot [J]. *American Journal of Potato Research*, 2014, 91(4): 380–393.
- [9] 邢莹莹. 黑龙江省部分地区马铃薯疮痂病原鉴定及主栽品种的抗性评价 [D]. 大庆: 黑龙江八一农垦大学, 2015.
- [10] 王腾, 马爽, 孙继英, 等. 不同马铃薯品种对疮痂病的田间抗性比较 [J]. *黑龙江农业科学*, 2018(2): 58–60.
- [11] 朱展鹏. 马铃薯疮痂病原菌多样性分析及抗病种质筛选 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2020.
- [12] 刘凌云, 卢丽丽, 陈是元, 等. 云南省马铃薯新品种及主要资源品系的疮痂病抗性评价 [J]. *作物研究*, 2022, 36(3): 253–259.
- [13] 聂峰杰, 巩樵, 张丽, 等. 马铃薯疮痂病抗病育种展望 [J]. *宁夏农林科技*, 2020, 61(5): 56–57.
- [14] Wilson C R. Variability within clones of potato cv. Russet Burbank to infection and severity of common scab disease of potato [J]. *Journal of Phytopathology*, 2001, 149(10): 625–628.
- [15] 李爽. 23 个马铃薯品种资源疮痂病抗性鉴定和评价指标筛选 [D]. 长春: 吉林农业大学, 2019.
- [16] 赵远征, 徐利敏, 聂峰杰, 等. 不同马铃薯品种抗疮痂病的田间鉴定与评价 [J]. *北方农业学报*, 2020, 48(1): 81–86.
- [17] Kers J A, Cameron K D, Joshi M V, *et al.* A large, mobile pathogenicity island confers plant pathogenicity on *Streptomyces* species [J]. *Molecular Microbiology*, 2005, 55(4): 1025–1033.
- [18] Loria R, Kers J, Joshi M. Evolution of plant pathogenicity in *Streptomyces* [J]. *Annual Review of Phytopathology*, 2006, 44: 469–487.
- [19] 聂峰杰, 陈虞超, 巩樵, 等. 马铃薯疮痂病致病链霉菌分类及其致病机理研究进展 [J]. *分子植物育种*, 2018, 16(4): 1313–1319.
- [20] Maxted N, Kell S, Ford-Lloyd B, *et al.* Toward the systematic conservation of global crop wild relative diversity [J]. *Crop Science*, 2012, 52(2): 774–785.
- [21] 盛万民, 李庆全, 牛志敏, 等. 2022 年黑龙江省马铃薯生产概况、存在问题及建议 [C]//中国作物学会马铃薯专业委员会. 马铃薯产业与种业创新. 哈尔滨: 黑龙江科学技术出版社, 2023.