

中图分类号: S532 文献标识码: A 文章编号: 1672-3635(2023)03-0193-17

DOI: 10.19918/j.cnki.1672-3635.2023.03.001

遗传育种

马铃薯品种抗旱性评价及遗传多样性分析

于佳乐¹, 郑子凡¹, 聂虎帅¹, 刘杰², 魏巍², 王沛捷¹, 武小娟¹, 吴娟¹, 马艳红^{1*}

(1. 内蒙古农业大学, 内蒙古 呼和浩特 010019; 2. 华颂种业(北京)股份有限公司, 北京 102601)

摘要: 马铃薯是重要的粮食作物, 对水分十分敏感, 随着全球气候变暖, 干旱对农业的危害不断增加。为了丰富内蒙古自治区马铃薯抗旱新品种, 以18个马铃薯品种作为供试材料, 测定干旱对马铃薯农艺性状、产量和品质性状的影响。对单株结薯数、平均薯重、大中薯数等10个主要性状进行主成分分析, 得到的3个主成分的累计贡献率达71.293%。根据综合得分值, ‘中薯31号’‘华颂7号’和‘华颂56’为相对抗旱的马铃薯品种。利用SSR分子标记技术对18个马铃薯品种的遗传多样性进行分析, 以遗传距离(Genetic distance, GD)值0.66为基准, 将18个马铃薯品种分为4类: ‘中薯9号’‘中薯28号’‘中薯31号’‘内蒙薯2号’‘大西洋’‘中薯18号’和‘中薯668号’为一类; ‘中薯27号’‘中薯19号’‘V7’‘华颂56’‘希森6号’‘华颂58’‘内蒙薯1号’和‘华颂34’为一类; ‘华颂7号’和‘Innovator’为一类; ‘冀张薯12号’单独归为一类。此研究结果为今后马铃薯种质资源的利用及抗旱育种亲本选配提供了依据。

关键词: 马铃薯; 农艺性状; 产量; 品质性状; SSR分析

Drought Resistance Evaluation and Genetic Diversity Analysis of Potato Varieties

YU Jiale¹, ZHENG Zifan¹, NIE Hushuai¹, LIU Jie², WEI Wei², WANG Peijie¹, WU Xiaojuan¹, WU Juan¹, MA Yanhong^{1*}

(1. Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot, Inner Mongolia 010019, China;

2. Huasong Seed Industry (Beijing) Co., Ltd., Beijing 102601, China)

Abstract: Potato is an important food crop, and sensitive to water. With global warming, drought damage to agriculture is increasing. In order to enrich new varieties of potato resistant to drought in Inner Mongolia Autonomous Region, the main agronomic characters, yield and quality characters related to drought resistance of 18 potato varieties were measured under the drought stress treatments. Principal component analysis was performed on 10 main traits, including the number of tubers per plant, mean tuber weight and number of large- and medium-sized tubers. The cumulative contribution rate of three principal components was 71.293%. According to the comprehensive score, 'Zhongshu 31', 'Huasong 7' and 'Huasong 56' were considered relatively drought-resistant. The genetic diversity of 18 potato varieties was analyzed using SSR molecular marker technology. Based on the genetic distance (GD) value of 0.66, 18 potato varieties were divided into four categories: 'Zhongshu 9', 'Zhongshu 28', 'Zhongshu 31', 'Neinongshu 2',

收稿日期: 2023-04-20

基金项目: 内蒙古自治区科技计划项目(2020GG0221); 内蒙古自治区马铃薯种业技术创新中心项目。

作者简介: 于佳乐(1998-), 女, 硕士研究生, 主要从事马铃薯育种研究。

*通信作者(Corresponding author): 马艳红, 教授, 主要从事马铃薯遗传育种研究, E-mail: mayanhong80@126.com。

'Atlantic', 'Zhongshu 18' and 'Zhongshu 668' in category I; 'Zhongshu 27', 'Zhongshu 19', 'V7', 'Huasong 56', 'Xisen 6', 'Huasong 58', 'Neinongshu 1' and 'Huasong 34' in category II; 'Huasong 7' and 'Innovator' in category III; and 'Jizhangshu 12' in category IV. This study provides a basis for the utilization of potato germplasm resources and the selection of drought resistant breeding parents in the future.

Key Words: potato; agronomic trait; yield; quality trait; SSR analysis

马铃薯(*Solanum tuberosum* L.)是茄科(Solanaceae)茄属(Genus *Solanum*)一年生草本植物, 适应性强, 营养全面, 是粮、菜、饲兼用型作物, 在维持全球粮食安全中扮演重要角色^[1,2]。

马铃薯对水分亏缺敏感^[3], 在任何发育阶段受到干旱胁迫都会最终导致马铃薯块茎的产量、干物质含量和收获指数降低, 从而影响农业创收^[4]。乌兰等^[5]发现苗期水分亏缺使马铃薯苗期叶面积指数与干物质积累均低于充分灌溉。抗艳红等^[6]研究发现, 马铃薯在不同生育时期受到干旱胁迫均会使薯比例增加, 品质也受到影响, 而且认为马铃薯受到干旱胁迫对块茎形成和产量影响最大的时期是马铃薯发棵期, 所以, 发棵期是马铃薯提高产量及品质的关键时期。Lahlou和Ledent^[7]对熟性不同的四个马铃薯品种进行田间试验发现, 干旱使马铃薯匍匐茎的数量增加, 但使其总长度减少。另外, 在马铃薯受到干旱胁迫时, 马铃薯最大根干重减少, 匍匐茎上的不定根数量减少。焦志丽等^[8]在对马铃薯品种‘美康1号’进行盆栽模拟干旱试验中发现, 苗期土壤含水量为田间最大持水量的80%(CK)时, 马铃薯的茎粗、株高、单株叶面积及地上部鲜重均最大, 胁迫至12 d时, 低于80%的土壤含水量开始对马铃薯的生长产生明显的抑制作用, 株高、茎粗、单株叶面积和地上部鲜重明显减小。杨宏羽^[9]通过对88份马铃薯种质材料做抗旱性评价时发现, 与自然降雨环境相比, 控制灌水处理下, 各马铃薯种质资源的单株结薯数、单株生物量鲜重、单株生物量干重、根鲜重、根干重和单株块茎鲜重以及单株块茎干物质积累量均明显降低, 且各性状在两个处理条件下的测定值差异较大。

近年来, 简单重复序列(Simple sequence repeats, SSR)分子标记技术被广泛应用在马铃薯遗传多样

性研究。段艳凤等^[10]构建了88个马铃薯品种的指纹图谱, 通过遗传多样性评价在分子水平上表明供试材料的遗传基础狭窄, 聚类分析结果表明同一栽培区域、同一育种单位育成的品种在不同程度上聚为一类, 1983年之前育成的品种聚在一起, 从而证实中国马铃薯品种遗传背景十分狭窄。石景^[11]利用SSR分子标记对86份彩色马铃薯材料进行了亲缘关系分析, 发现86份供试彩色马铃薯材料的遗传背景相当狭窄, 其中有一部分材料出现了所有扩增片段完全相同的情况。李芳弟等^[12]利用筛选出的7对SSR特异性引物对227份马铃薯杂交后代的遗传多样性进行研究, 发现材料间的相似系数为0.54~1.00, 表明材料间的遗传差异较大、遗传多样性较为丰富。

本研究旨在通过对18个马铃薯品种进行干旱处理, 测定农艺性状、品质性状, 筛选出适合当地推广的高产、农艺性状优良的抗旱品种, 并利用SSR分子标记技术进行遗传多样性分析, 为下一步的育种工作奠定基础。

1 材料与方法

1.1 试验材料

‘中薯28号’‘华颂34’‘中薯668号’‘中薯9号’‘中薯27号’‘中薯19号’‘中薯31号’‘希森6号’‘华颂7号’‘冀张薯12号’‘内农薯2号’‘大西洋’‘V7’‘华颂58’‘华颂56’‘内农薯1号’‘中薯18号’‘Innovator’。供试材料均为原种, 由华颂种业(北京)股份有限公司提供。

1.2 试验地概况

试验地在内蒙古自治区乌兰察布市集宁区, 地处N 40°1', E 113°10', 年平均气温4.4℃, 年日照为3 130 h, 年均降水量384 mm, 无霜期为

130 d, 海拔1 417 m, 属于典型的蒙古高原大陆性气候。

1.3 试验设计及播种管理

干旱胁迫设置2个处理, 干旱胁迫处理为自然降水(生育期内不进行灌溉, 每隔5 d对试验田随机取样, 测得马铃薯生育期内土壤含水量为7%~60%), 以自然降水结合常规灌溉(苗期和块茎形成期各灌水1次, 块茎膨大期灌水2次, 每隔5 d对试验田随机取样, 使试验田的土壤含水量维持在65%~80%)为对照。

播种方式为机械起垄, 人工点播, 株距为0.4 m, 行距为1.1 m, 每个品种3行, 每行10株, 小区面积为20 m², 设3次重复。播种时施用农家有机肥+马铃薯专用肥(N:P₂O₅:K₂O = 17:17:17)共1 200 kg/hm², 后期追加施用大量元素水溶肥(N:P₂O₅:K₂O = 14:14:30)375 kg/hm², 植株生长期及时除草, 防御病虫害草害。本试验于2021年5月17日播种, 9月18日收获。

整个马铃薯生育期内降雨量与土壤含水量变化见图1和图2。

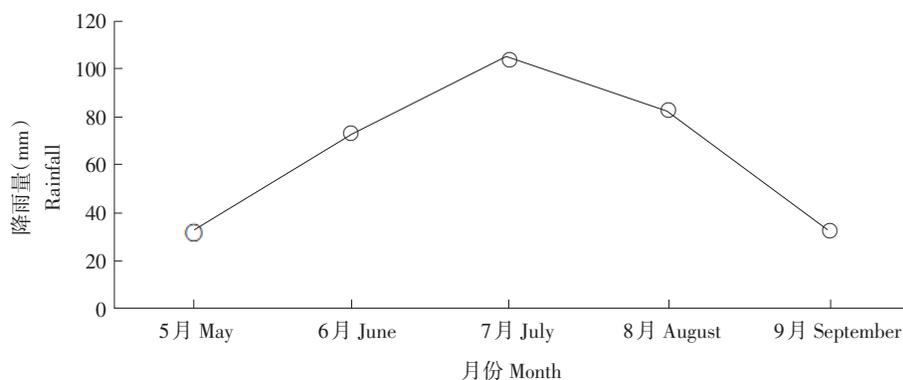


图1 马铃薯生育期内降雨量

Figure 1 Rainfall during potato growth period

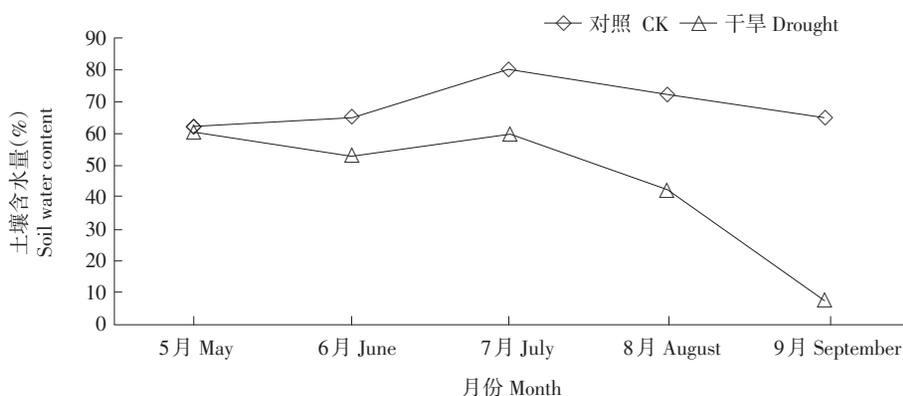


图2 马铃薯生育期内土壤含水量

Figure 2 Soil water content during potato growth period

1.4 研究方法

1.4.1 马铃薯农艺性状的测定

在马铃薯生长期测定株高和茎粗。收获后

测定单株结薯数、产量、大中薯数、平均薯重、商品薯率, 观测块茎形状、薯皮颜色、薯肉颜色、薯皮类型、块茎芽眼深度。

株高(cm): 在盛花期测量地上主花序顶端到地表面的垂直距离。

茎粗(cm): 在盛花期用游标卡尺测量地面基部的横向直径。

块茎形状: 圆形、椭圆形、卵圆形、长圆形、长椭圆形、极长形。

薯皮颜色: 乳白色、白色、浅黄色、淡黄色、黄色、红色。

薯肉颜色: 白色、乳白色、淡黄色、黄色、深黄色、红色。

薯皮类型: 光滑、粗糙、麻皮、轻网纹。

块茎芽眼深度: 浅、中、深。

商品薯是以块茎的不同重量来评价的, 单个薯重 < 75 g 记为小薯, 75 g ≤ 单个薯重 ≤ 150 g 记为中薯, 单个薯重 > 150 g 记为大薯^[13]。

胁迫指数(%) = (对照植株的指标值 - 干旱处理植株的指标值) / 对照植株的指标值 × 100^[14]。

抗旱系数 = 干旱产量 / 对照产量^[15]。

商品薯率(%): 大薯和中薯数量占单株结薯总数的百分率, 即: (大薯数 + 中薯数) / 单株结薯数 × 100。

1.4.2 块茎营养品质的测定

收获后测定马铃薯营养品质, 包括淀粉含量、还原糖含量和蛋白质含量指标, 具体参照张永成和田丰^[16]提出的标准测定。

1.4.3 DNA提取及检测

在苗期, 上午7:00~9:00随机摘取18个马铃薯品种幼嫩的叶片, 置于液氮中速冻保存, 用于提取DNA。按照植物DNA提取试剂盒(TIAN GEN)的操作说明进行DNA的提取, 使用超微量分光光度计检测DNA浓度和纯度, 并采用1%琼脂糖凝胶电泳对其进行质量检测; 将条带清晰明亮、无拖尾及弥散的DNA原液稀释至浓度为30 ng/μL, 置于-40℃冰箱备用。

1.4.4 PCR扩增反应体系

本试验PCR总体系为20 μL, 具体组分见表1。

1.4.5 PCR扩增程序

待PCR体系充分混匀后, 将样品放入Veriti 96-Well Thermal Cycler梯度PCR仪中进行扩增。

PCR扩增程序为: 95℃预变性5 min; 95℃变性30 s; 56℃退火45 s; 72℃延伸90 s, 重复5个循环; 94℃变性30 s; 55℃退火45 s; 72℃延伸90 s, 重复35个循环; 72℃延伸7 min, 完成后温度降至4℃时取出样品。扩增结束后加入6 μL变性剂, 在95℃下变性5 min, 72℃下延伸30 s后冷却至4℃终止。

表1 PCR反应体系

Table 1 PCR reaction system

组分 Component	用量 (μL) Dosage
Buffer	2
dNTP	1.4
Taq酶 Taq enzyme	0.1
ddH ₂ O	13.1
上下游引物 Upstream and downstream primers	0.7 + 0.7
DNA模板 DNA template	2

1.4.6 凝胶电泳及银染检测

制备6%聚丙烯酰胺凝胶, 对PCR产物进行电泳(恒定功率70 W)1.5 h。凝胶染色步骤参照张明飞等^[17]的方法进行。

1.4.7 SSR多态性位点统计

采用0/1赋值法对胶板上扩增出的条带进行SSR多态性统计, 出现条带记为“1”, 无条带的记为“0”, 建立“0”和“1”型矩阵, 多态性位点百分率(简称P)计算公式为:

$$P(\%) = (K/N) \times 100$$

式中: K为扩增出的多态性条带数目, N为扩增出的条带位点总数^[18]。

1.5 数据处理

采用Excel 2017软件进行相关数据的汇总、计算均值等; 采用SPSS 22.0软件进行相关性分析和主成分分析; 采用DPS(Data Processing System) V8.01软件的系统聚类对11个主要性状聚类, SSR采用类平均聚类法(UPGMA)分析。

2 结果与分析

2.1 18个马铃薯品种的块茎表型特征比较

18个马铃薯品种的块茎表型性状各异, ‘中薯28号’‘华颂34’‘中薯19号’‘华颂7号’‘内农薯

2号‘V7’‘华颂56’和‘Innovator’为椭圆形, ‘中薯668号’‘中薯9号’‘冀张薯12号’和‘中薯18号’为长圆形, ‘中薯31号’‘大西洋’和‘内农薯1号’为圆形, ‘中薯27号’和‘华颂58’为卵圆形, ‘希森6号’为长椭圆形。

‘华颂34’‘中薯9号’‘中薯19号’‘中薯31号’‘中薯18号’和‘Innovator’为淡黄色薯皮、淡黄色薯肉, ‘大西洋’为淡黄色薯皮、白色薯肉, ‘中薯27号’为浅黄色薯皮、淡黄色薯肉, ‘中薯668号’

‘希森6号’‘华颂7号’‘内农薯2号’‘V7’‘华颂58’为黄色薯皮、黄色薯肉, ‘冀张薯12号’‘华颂56’为白色薯皮、白色薯肉, ‘内农薯1号’为乳白色薯皮、白色薯肉, ‘中薯28号’为红色薯皮、白色薯肉。

在薯皮类型的角度上, 只有‘大西洋’的薯皮为轻网纹, ‘中薯31号’‘华颂58’‘内农薯1号’和‘Innovator’的薯皮为麻皮, 其余品种薯皮均为光滑。在芽眼深度上, ‘希森6号’和‘Innovator’芽眼深度为中, 其他品种的芽眼深度为浅(表2)。

表2 18个品种的块茎表型性状表现

Table 2 Phenotypic performance of tuber in 18 varieties

品种 Variety	薯形 Tuber shape	皮色 Skin color	肉色 Flesh color	薯皮类型 Skin type	芽眼深度 Eye depth
中薯28号 Zhongshu 28	椭圆	红	白	光滑	浅
华颂34 Huasong 34	椭圆	淡黄	淡黄	光滑	浅
中薯668号 Zhongshu 668	长圆	黄	黄	光滑	浅
中薯9号 Zhongshu 9	长圆	淡黄	淡黄	光滑	浅
中薯27号 Zhongshu 27	卵圆	浅黄	淡黄	光滑	浅
中薯19号 Zhongshu 19	椭圆	淡黄	淡黄	光滑	浅
中薯31号 Zhongshu 31	圆	淡黄	淡黄	麻皮	浅
希森6号 Xisen 6	长椭圆	黄	黄	光滑	中
华颂7号 Huasong 7	椭圆	黄	黄	光滑	浅
冀张薯12号 Jizhangshu 12	长圆	白	白	光滑	浅
内农薯2号 Neinongshu 2	椭圆	黄	黄	光滑	浅
大西洋 Atlantic	圆	淡黄	白	轻网纹	浅
V7	椭圆	黄	黄	光滑	浅
华颂58 Huasong 58	卵圆	黄	黄	麻皮	浅
华颂56 Huasong 56	椭圆	白	白	光滑	浅
内农薯1号 Neinongshu 1	圆	乳白	白	麻皮	浅
中薯18号 Zhongshu 18	长圆	淡黄	淡黄	光滑	浅
Innovator	椭圆	淡黄	淡黄	麻皮	中

2.2 干旱胁迫试验对马铃薯生长的影响

2.2.1 干旱胁迫对18个品种株高、茎粗的影响

在干旱胁迫条件下, 18个马铃薯品种的株高和茎粗与对照相比均降低, 其中‘冀张薯12号’‘中薯19号’‘希森6号’和‘中薯18号’的株高较对照有显著降低, 所有品种的茎粗变化均未表现出显著差异。水分对马铃薯株高、茎粗存在一定程

度的影响, 但水分对不同品种的影响程度表现不同(表3)。

各品种的株高胁迫指数在1.04%~27.68%, ‘华颂34’最低, 其次为‘中薯28号’‘中薯27号’和‘大西洋’; 各品种的茎粗胁迫指数在2.43%~40.06%, ‘华颂58’最低, 其次是‘华颂7号’‘V7’和‘中薯28号’。

表3 18个品种不同处理间的株高和茎粗
Table 3 Plant height and stem diameter of 18 varieties under different treatments

品种 Variety	株高(cm) Plant height		株高胁迫指数(%) Plant height stress index	茎粗(mm) Stem diameter		茎粗胁迫指数(%) Stem diameter stress index
	对照 CK	干旱 Drought		对照 CK	干旱 Drought	
V7	114.67 a	90.00 a	21.51	20.17 a	19.07 a	5.45
Innovator	70.67 a	60.67 a	14.15	15.30 a	13.53 a	11.55
中薯28号 Zhongshu 28	73.33 a	71.33 a	2.73	18.87 a	17.57 a	6.89
中薯9号 Zhongshu 9	80.33 a	69.33 a	13.69	20.47 a	16.83 a	17.75
大西洋 Atlantic	67.00 a	60.67 a	9.45	18.53 a	16.20 a	12.59
内农薯1号 Neinongshu 1	63.00 a	52.67 a	16.40	21.30 a	12.77 a	40.06
冀张薯12号 Jizhangshu 12	96.33 a	69.67 b	27.68	23.40 a	16.10 a	31.20
中薯19号 Zhongshu 19	111.00 a	82.67 b	25.53	21.70 a	16.80 a	22.58
华颂7号 Huasong 7	98.33 a	80.33 a	18.31	19.17 a	18.60 a	2.96
华颂56 Huasong 56	118.00 a	93.00 a	21.19	20.20 a	16.90 a	16.34
华颂58 Huasong 58	72.00 a	63.00 a	12.50	16.47 a	16.07 a	2.43
希森6号 Xisen 6	84.33 a	73.00 b	13.44	22.43 a	18.03 a	19.61
中薯18号 Zhongshu 18	92.33 a	67.33 b	27.08	20.77 a	19.33 a	6.90
中薯27号 Zhongshu 27	73.33 a	68.00 a	7.27	19.50 a	17.03 a	12.65
中薯31号 Zhongshu 31	117.33 a	95.67 a	18.47	19.63 a	16.27 a	17.15
内农薯2号 Neinongshu 2	67.67 a	55.00 a	18.72	20.27 a	15.93 a	21.38
华颂34 Huasong 34	64.33 a	63.67 a	1.04	16.47 a	15.17 a	7.89
中薯668号 Zhongshu 668	92.67 a	75.00 a	19.06	21.07 a	15.80 a	25.00

注: 不同小写字母表示品种干旱处理与对照在0.05水平差异显著, 采用新复极差法。下同。

Note: Different lowercase letters indicate that difference between drought treatment and control for a specific variety is significant at 0.05 level as tested using Duncan's multiple range test method. The same below.

2.2.2 干旱胁迫对18个品种产量性状的影响

对18个马铃薯品种在干旱处理和对照条件下产量性状分析发现, 对照条件下18个马铃薯品种的单株结薯数在7~20个, 其中‘中薯19号’的单株结薯数最多, ‘Innovator’的单株结薯数最少。18个马铃薯品种的平均薯重变幅为129.20~332.40 g, 其中‘冀张薯12号’的平均薯重最高, ‘中薯19号’的平均薯重最低。18个马铃薯品种的商品薯率以‘冀张薯12号’最高, 为90.00%, ‘中薯19号’最低, 为55.00%。18个马铃薯品种的产量变幅为980~2 136 kg/667m², 其中‘冀张薯12号’的产量表现最高, ‘中薯28号’的产量最低。

在干旱处理条件下, 18个马铃薯品种的单株结薯数在6~22个, ‘华颂58’和‘中薯31号’的单株结薯数最多, ‘中薯27号’的单株结薯数最少。18个马铃薯品种的平均薯重变幅为86.82~362.86 g,

其中‘中薯28号’的平均薯重最高, ‘华颂58’的平均薯重最低。18个马铃薯品种的商品薯率以‘大西洋’最高, 为88.89%, ‘华颂58’最低, 为36.36%。18个马铃薯品种的产量变幅为621~1 531 kg/667m², 其中‘中薯19号’的产量最高, ‘内农薯1号’的产量最低(表4)。

抗旱系数为18个马铃薯品种的干旱产量与对照产量的比值, 直接反映了材料对于干旱胁迫的敏感程度。各品种的抗旱系数在0.46~1.17, ‘华颂56’和‘内农薯1号’最低, ‘中薯28号’最高。

2.2.3 干旱胁迫对18个品种块茎营养品质性状的影响

在马铃薯收获后, 对干旱胁迫处理及对照下18个马铃薯品种进行淀粉含量、蛋白质含量和还原糖含量测定, 结果如表5所示。在对照条件下, 18个马铃薯品种淀粉含量变幅为10.88%~

17.30%, 其中‘华颂7号’的淀粉含量最高、‘中薯668号’的淀粉含量最低。还原糖含量变幅为0.035 1%~0.041 5%, 还原糖含量最高的是‘华颂58’、含量最低的是‘中薯27号’。蛋白质含量变幅为1.17%~1.81%, 其中‘中薯19号’含量最高、‘中薯31号’蛋白质含量最低。

表4 干旱胁迫下18个品种的产量性状
Table 4 Yield traits of 18 varieties under drought stress

品种 Variety	单株结薯数(No.) Tuber set per plant		平均薯重(g) Mean tuber weight		商品薯率(%) Marketable tuber percentage		产量(kg/667m ²) Yield		抗旱系数 Drought resistance coefficient
	对照	干旱	对照	干旱	对照	干旱	对照	干旱	
	CK	Drought	CK	Drought	CK	Drought	CK	Drought	
希森6号 Xisen 6	10	19	235.00	128.95	80.00	42.11	1 511	1 090	0.72
冀张薯12号 Jizhangshu 12	10	11	332.40	236.36	90.00	81.82	2 136	1 365	0.64
华颂56 Huasong 56	15	21	178.40	161.90	60.00	61.90	1 724	791	0.46
中薯19号 Zhongshu 19	20	14	129.20	185.00	55.00	71.43	1 598	1 531	0.96
大西洋 Atlantic	10	9	204.00	202.78	80.00	88.89	1 092	744	0.68
中薯668号 Zhongshu 668	19	9	133.37	220.00	57.89	77.78	1 812	1 238	0.68
内农薯1号 Neinongshu 1	14	10	144.14	111.00	57.14	60.00	1 363	621	0.46
华颂34 Huasong 34	9	11	209.78	193.64	77.78	81.82	1 675	1 404	0.84
内农薯2号 Neinongshu 2	15	10	151.73	216.25	73.33	80.00	1 630	1 464	0.90
中薯28号 Zhongshu 28	9	7	180.89	362.86	66.67	85.71	980	1 147	1.17
中薯31号 Zhongshu 31	18	22	136.67	117.61	61.11	54.55	1 980	1 246	0.63
中薯27号 Zhongshu 27	10	6	235.20	310.00	80.00	83.33	1 285	719	0.56
华颂7号 Huasong 7	12	20	189.17	157.50	75.00	65.00	1 439	1 385	0.96
V7	12	14	181.33	168.57	75.00	64.29	1 231	1 246	1.01
中薯9号 Zhongshu 9	9	10	252.22	273.75	77.78	80.00	1 395	1 348	0.97
中薯18号 Zhongshu 18	11	12	262.36	197.50	81.82	66.67	1 298	1 057	0.81
华颂58 Huasong 58	15	22	170.27	86.82	80.00	36.36	1 767	1 132	0.64
Innovator	7	10	218.29	203.00	71.43	80.00	1 167	893	0.76

在干旱胁迫条件下, 18个马铃薯品种淀粉含量变幅为8.50%~18.87%, ‘大西洋’淀粉含量为最高、‘中薯28号’含量最低; 还原糖含量变幅为0.035 7%~0.042 2%, 含量最高的是‘华颂7号’, 最低的是‘中薯18号’和‘中薯668号’两个品种。蛋白质含量变幅为1.26%~1.88%, 含量最高的是‘中薯28号’, 最低的是‘冀张薯12号’。

另外, 同一品质性状, 不同马铃薯品种对干旱胁迫的响应不同。各品种与对照相比, ‘希森6号’‘中薯668号’‘内农薯1号’‘中薯28号’‘华颂7号’‘V7’‘华颂58’和‘Innovator’的淀粉含量在干旱胁迫下显著降低, ‘冀张薯12号’‘华颂56’‘大

西洋’‘内农薯2号’和‘中薯27号’的淀粉含量显著升高。‘中薯18号’‘内农薯2号’和‘中薯668号’的还原糖含量在干旱胁迫下显著降低, 只有‘华颂7号’的还原糖含量在干旱胁迫下显著升高, 其他品种含量变化均未达到显著。‘希森6号’‘冀张薯12号’‘华颂56’‘中薯19号’和‘内农薯1号’的蛋白质含量在干旱胁迫下呈显著下降趋势, 而‘中薯31号’和‘华颂7号’的蛋白质含量呈显著上升趋势, 其余品种的蛋白质含量均未见显著变化。

2.2.4 干旱胁迫下18个品种主要性状的相关性分析

对18个马铃薯品种的10个主要性状进行相关性分析。单株结薯数与大中薯数呈极显著正相

关, 相关系数为0.779, 与平均薯重和商品薯率呈极显著负相关, 相关系数分别为-0.730和-0.833, 与株高呈显著正相关, 相关系数为0.560; 大中薯数与平均薯重呈显著负相关, 相关系数为-0.477, 与株高呈极显著正相关, 相关系数为0.672; 平均薯重与商品薯率呈极显著正相关, 相关系数为0.784, 与蛋白质含量呈显著正相关, 相关系数为

0.491; 株高与茎粗呈显著正相关, 相关系数为0.522; 其他性状间未见显著相关性(表6)。

2.2.5 干旱胁迫下18个品种主要性状的主成分分析

依据特征值大于1的原则, 对18个马铃薯品种的10个主要性状进行主成分分析, 共得到3个主成分(表7), 3个主成分的累计贡献率达71.293%。

表5 干旱胁迫下18个品种块茎的品质性状
Table 5 Tuber quality traits of 18 varieties under drought stress

品种 Variety	处理 Treatment	淀粉(%) Starch	还原糖(%) Reducing sugar	蛋白质(%) Protein
希森6号 Xisen 6	对照	11.47 a	0.038 2 a	1.54 a
	干旱	10.39 b	0.038 7 a	1.52 b
冀张薯12号 Jizhangshu 12	对照	11.06 b	0.040 7 a	1.68 a
	干旱	12.86 a	0.037 1 a	1.26 b
华颂56 Huasong 56	对照	13.57 b	0.038 4 a	1.62 a
	干旱	14.48 a	0.037 5 a	1.56 b
中薯19号 Zhongshu 19	对照	15.34 a	0.038 2 a	1.81 a
	干旱	15.77 a	0.039 1 a	1.58 b
大西洋 Atlantic	对照	14.88 b	0.036 1 a	1.78 a
	干旱	18.87 a	0.035 8 a	1.74 a
中薯668号 Zhongshu 668	对照	10.88 a	0.038 1 a	1.62 a
	干旱	8.83 b	0.035 7 b	1.57 a
内农薯1号 Neinongshu 1	对照	13.57 a	0.037 2 a	1.50 a
	干旱	12.32 b	0.037 4 a	1.48 b
华颂34 Huasong 34	对照	12.44 a	0.039 3 a	1.53 a
	干旱	12.77 a	0.037 1 a	1.62 a
内农薯2号 Neinongshu 2	对照	12.04 b	0.039 8 a	1.43 a
	干旱	14.56 a	0.036 5 b	1.59 a
中薯28号 Zhongshu 28	对照	11.49 a	0.039 9 a	1.67 a
	干旱	8.50 b	0.040 2 a	1.88 a
中薯31号 Zhongshu 31	对照	15.56 a	0.037 9 a	1.17 b
	干旱	15.78 a	0.038 3 a	1.28 a
中薯27号 Zhongshu 27	对照	12.20 b	0.035 1 a	1.63 a
	干旱	12.96 a	0.036 2 a	1.73 a
华颂7号 Huasong 7	对照	17.30 a	0.039 6 b	1.43 b
	干旱	12.71 b	0.042 2 a	1.64 a
V7	对照	12.85 a	0.038 7 a	1.35 a
	干旱	12.09 b	0.039 3 a	1.43 a
中薯9号 Zhongshu 9	对照	12.57 a	0.039 1 a	1.46 a
	干旱	12.59 a	0.040 2 a	1.50 a
中薯18号 Zhongshu 18	对照	14.46 a	0.038 4 a	1.57 a
	干旱	14.52 a	0.035 7 b	1.47 a
华颂58 Huasong 58	对照	14.63 a	0.041 5 a	1.69 a
	干旱	11.99 b	0.040 7 a	1.58 a
Innovator	对照	13.91 a	0.041 5 a	1.69 a
	干旱	13.69 b	0.039 4 a	1.59 a

表6 干旱胁迫下18个品种主要性状间的相关系数
Table 6 Correlation coefficients of main traits of 18 varieties under drought stress

主要性状 Main trait	单株结薯数 Tuber set per plant	大薯数 Large- and medium-sized tuber number	平均薯重 Mean tuber weight	商品薯率 Marketable tuber percentage	产量 Yield	株高 Plant height	茎粗 Stem diameter	淀粉含量 Starch content	还原糖含量 Reducing sugar content	蛋白质含量 Protein content
单株结薯数 Tuber set per plant	1									
大薯数 Large- and medium-sized tuber number	0.779**	1								
平均薯重 Mean tuber weight	-0.730**	-0.477*	1							
商品薯率 Marketable tuber percentage	-0.833**	-0.346	0.784**	1						
产量 Yield	0.151	-0.311	0.081	0.034	1					
株高 Plant height	0.560*	0.672**	-0.112	-0.276	0.241	1				
茎粗 Stem diameter	0.247	0.271	0.192	-0.111	0.298	0.522*	1			
淀粉含量 Starch content	0.140	0.357	-0.260	0.094	-0.131	0.026	-0.075	1		
还原糖含量 Reducing sugar content	0.435	0.321	-0.097	-0.353	0.318	0.254	0.187	-0.276	1	
蛋白质含量 Protein content	-0.380	-0.385	0.491*	0.331	-0.237	-0.308	0.039	-0.148	0.093	1

注: *表示在0.05水平上显著相关; **表示在0.01水平上显著相关。

Note: * means significant correlation at 0.05 level; ** means highly significant correlation at 0.01 level.

表7 干旱胁迫下18个品种主要性状的主成分分析
Table 7 Principal component analysis of main traits of 18 varieties under drought stress

性状指标 Trait index	主成分1 Principal component 1	主成分2 Principal component 2	主成分3 Principal component 3
单株结薯数(No.) Tuber set per plant	0.957	-0.081	-0.134
大薯数(No.) Large- and medium-sized tuber number	0.836	0.092	0.343
平均薯重(g) Mean tuber weight	-0.715	0.616	0.169
商品薯率(%) Marketable tuber percentage	-0.764	0.262	0.486
产量(kg) Yield	0.289	0.571	0.145
株高(cm) Plant height	0.669	0.427	0.292
茎粗(mm) Stem diameter	0.314	0.681	0.195
淀粉含量(%) Starch content	0.162	-0.436	0.697
还原糖含量(%) Reducing sugar content	0.439	0.449	-0.520
蛋白质含量(%) Protein content	-0.539	0.278	-0.278
特征值 Eigenvalue	3.847	1.903	1.379
贡献率(%) Contribution rate	38.472	19.029	13.792
累计贡献率(%) Cumulative contribution rate	38.472	57.501	71.293

主成分1的特征值为3.847, 贡献率为38.472%。在主成分1的特征向量中, 载荷量较高且为正值性状有单株结薯数、大薯数和中薯数, 特征向量值最高的是单株结薯数, 为0.957, 其他2个性状特征向量值分别为0.836和0.669。

主成分2的特征值为1.903, 贡献率为19.029%。在主成分2的特征向量中, 载荷量较高且为正值性状是平均薯重、产量和茎粗, 特征向量值最高的是茎粗, 为0.681, 其他2个性状平均薯重和产量特征向量值分别为0.616和0.571。

主成分3的特征值为1.379, 贡献率为13.792%。在主成分3的特征向量中, 载荷量较高且为正值性状是淀粉含量, 特征向量值为0.697。

综上所述, 主成分1主要反映产量构成因子和株高, 主成分2主要反映产量构成因子和茎粗, 主成分3反映的是与品质相关的性状。

Y值能够量化反映不同品种主要性状的好坏, 分值越高代表主要性状越好。由表8可见, 在干旱胁迫条件下, 18个品种主要性状表现较好的是‘中薯31号’‘华颂7号’‘华颂56’‘V7’和‘中薯19号’。

2.2.6 干旱胁迫下18个品种主要性状的系统聚类分析

对18个马铃薯品种的单株结薯数、大薯数、平均薯重、商品薯率、产量、株高、茎粗、淀粉含量、还原糖含量和蛋白质含量进行聚类分析, 以遗传距离(Genetic distance, GD)GD=4.13为基准, 可将18个品种分为4类: 第1类包含‘中薯668号’‘内农薯2号’‘华颂34’‘中薯9号’‘冀张薯12号’‘中薯18号’‘Innovator’和‘内农薯1号’共8个品种; 第2类仅包含‘大西洋’; 第3类包含‘中薯27号’和‘中薯28号’共2个品种; 第4类包含‘V7’‘中薯19号’‘华颂7号’‘中薯31号’‘华颂56’‘华颂58’和‘希森6号’共7个品种(图3)。

2.3 18个品种的SSR遗传多样性分析

2.3.1 SSR引物筛选

本试验所选用的20对引物均为NCBI网站(<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/>)公布马铃薯SSR引物。试验从20对马铃薯SSR特异性引物中, 筛

选出PCR扩增条带清晰、重复性好、多态性丰富的10对SSR适宜引物(表9), 用于18个马铃薯品种的遗传多样性分析。

表8 干旱胁迫下18个品种主要性状的主成分综合得分值
Table 8 Principal component comprehensive score values of main traits of 18 varieties under drought stress

品种 Variety	Y值 Y value	排名 Ranking
中薯668号 Zhongshu 668	-0.706 5	13
中薯27号 Zhongshu 27	-1.638 4	17
V7	1.179 6	4
内农薯2号 Neinongshu 2	-0.701 0	12
中薯9号 Zhongshu 9	-0.050 1	10
华颂7号 Huasong 7	1.820 3	2
华颂58 Huasong 58	0.438 0	7
中薯18号 Zhongshu 18	0.124 2	8
大西洋 Atlantic	-1.186 2	16
冀张薯12号 Jizhangshu 12	0.113 5	9
中薯28号 Zhongshu 28	-0.961 0	14
华颂34 Huasong 34	-0.404 0	11
中薯19号 Zhongshu 19	0.917 1	5
中薯31号 Zhongshu 31	1.916 7	1
Innovator	-1.071 8	15
华颂56 Huasong 56	1.324 2	3
希森6号 Xisen 6	0.636 4	6
内农薯1号 Neinongshu 1	-1.751 1	18

2.3.2 18个品种的基因组DNA质量检测

提取18个马铃薯品种的基因组DNA进行纯度检测, 结果如图4所示, 电泳得到的DNA条带质量好、清晰、无弥散及拖尾现象, 表明提取的DNA纯度高, 能够满足SSR分子标记分析的要求。

2.3.3 SSR扩增结果

利用筛选出的10对SSR引物对18个马铃薯品种的基因组DNA进行PCR扩增, 10对引物共扩增出稳定、清晰的条带111条, 其中多态性条带103条, 每对引物平均扩增出10.3条条带, 其多态性比率占92.79%(表10), 表明各供试材料的多态性丰富。

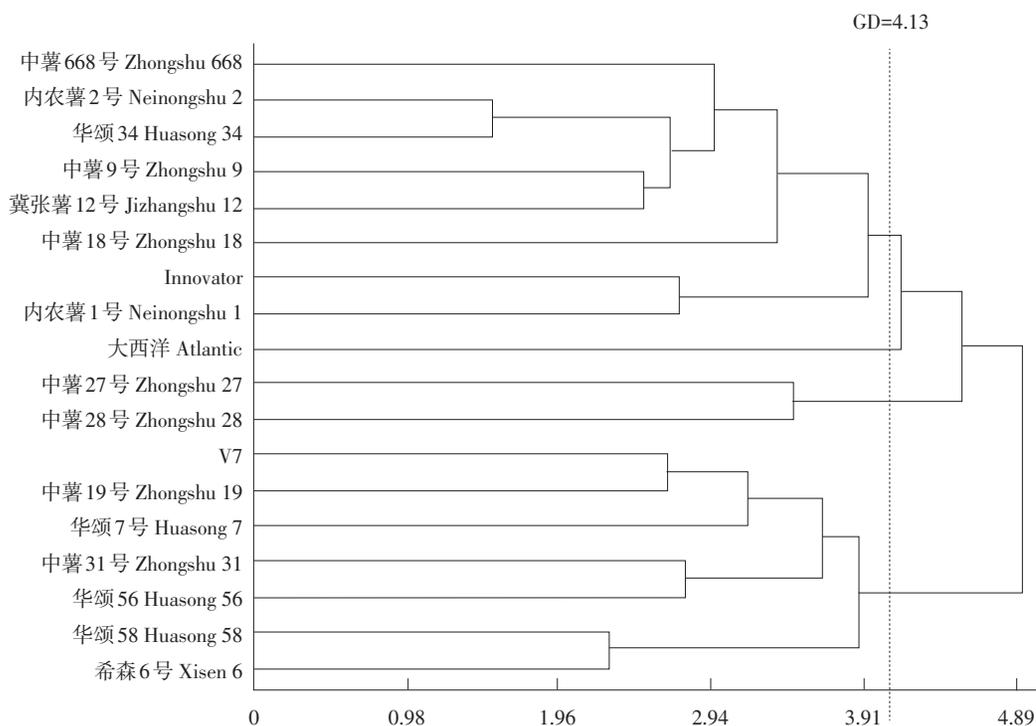


图3 干旱胁迫下18个品种主要性状的系统聚类结果

Figure 3 Hierarchical clustering of main traits of 18 varieties under drought stress

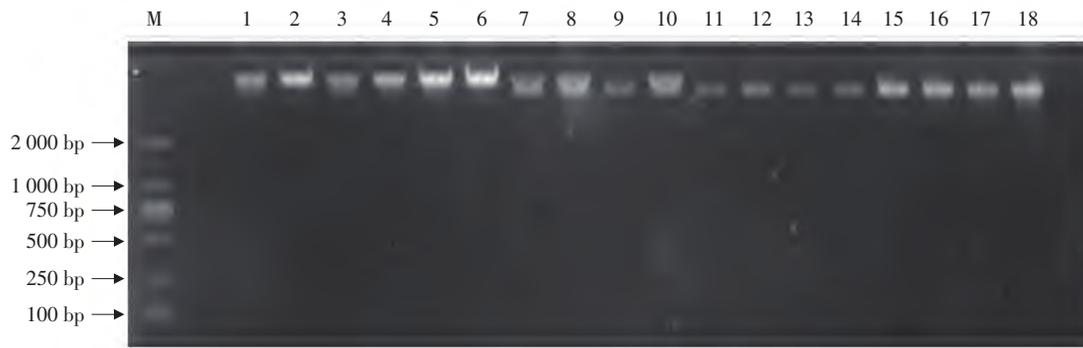
表9 SSR适宜引物名称和序列

Table 9 Names and sequences of primers suitable for SSR

引物名称 Primer name	正向引物 Forward primer	反向引物 Reverse primer
STG0016	5'-AGCTGCTCAGCATCAAGAGA-3'	5'-ACCACCTCAGGCACTTCATC-3'
S153	5'-TATGTTCCACGCCATTTTCAG-3'	5'-ACGGAAACTCATCGTGCATT-3'
STM1049	5'-CTACCAGTTTGTGATTGTGGTG-3'	5'-AGGGACTTTAATTTGTTGGACG-3'
S118	5'-AGATCGATGTAAAAACACGT-3'	5'-GTGGCATTTCATGGATT-3'
S7	5'-GACTGGCTGACCCTGAACTC-3'	5'-GACAAAATTACAGGAACTGCAAA-3'
S189	5'-CCTTGTAGTACAGCAGTGGTC-3'	5'-TCCGCCAAGACTGATGCA-3'
C59	5'-TCATCACAACGTGACCCCA-3'	5'-GGGCTTGAATGATGTGAAGCTC-3'
STI049	5'-TCATCACAACGTGACCCCA-3'	5'-CGGGCTTGAATGATGTGAAGCT-3'
S184	5'-TCATCACAACGTGACCCCA-3'	5'-GGGCTTGAATGATGTGAAGCTC-3'
S174	5'-TGAGGGTTTTTCAGAAAGGGA-3'	5'-CATCCTTGCAACAACCTCCT-3'

10对适宜引物中多态性条带较多的是引物STG0016和引物S184(图5和图6), 其多态性比率分别为88.24%和93.75%, 引物S118和S174的多

态性比率均达到了100%(图7和图8), 这些引物都能够很好的将18个马铃薯品种区分开, 表明本试验所选的18个马铃薯品种的遗传多样性较为丰富。



注: M. DNA marker DL2000; 1. 中薯9号; 2. 华颂7号; 3. 中薯27号; 4. V7; 5. 华颂56; 6. 冀张薯12号; 7. Innovator; 8. 内农薯2号; 9. 希森6号; 10. 中薯28号; 11. 中薯668号; 12. 中薯31号; 13. 中薯19号; 14. 内农薯1号; 15. 大西洋; 16. 华颂58; 17. 华颂34; 18. 中薯18号。

Note: M. DNA marker DL2000; 1. Zhongshu 9; 2. Huasong 7; 3. Zhongshu 27; 4. V7; 5. Huasong 56; 6. Jizhangshu 12; 7. Innovator; 8. Neinongshu 2; 9. Xisen 6; 10. Zhongshu 28; 11. Zhongshu 668; 12. Zhongshu 31; 13. Zhongshu 19; 14. Neinongshu 1; 15. Atlantic; 16. Huasong 58; 17. Huasong 34; and 18. Zhongshu 18.

图4 18个品种DNA质量检测
Figure 4 DNA quality detection of 18 varieties

表10 18个品种的SSR扩增
Table 10 SSR amplification of 18 varieties

引物 Primer name	扩增条带总数(No.) Number of amplified loci	多态性条带(No.) Number of polymorphic loci	多态性比率(%) Percentage of polymorphic loci
STG0016	17	15	88.24
S153	11	10	90.91
STM1049	9	7	77.78
S118	12	12	100
S7	11	10	90.91
S189	10	9	90.00
C59	8	8	100
STI049	8	8	100
S184	16	15	93.75
S174	9	9	100
总计 Total	111	103	92.79

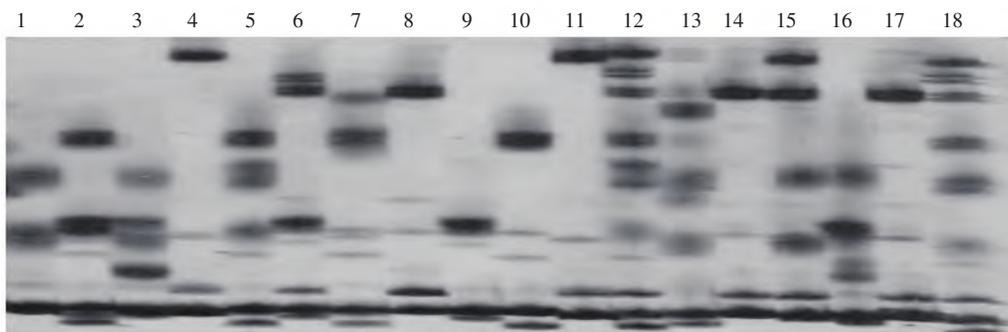
2.3.4 18个品种的聚类分析

由表11可知, 18个马铃薯品种间的遗传距离介于0.446 4~0.796 6, 平均GD值为0.651 9。‘华颂7号’与‘中薯668号’的遗传距离最大, GD值为0.796 6, 表明这2个材料间的亲缘关系相对较远; ‘内农薯1号’与‘华颂34’的遗传距离最小,

GD值为0.446 4, 表明这2个材料间的亲缘关系相对较近。

以GD值0.66为基准, 可将18个马铃薯品种分为4类(图9): ‘中薯9号’‘中薯28号’‘中薯31号’‘内农薯2号’‘大西洋’‘中薯18号’和‘中薯668号’为第一类; ‘中薯27号’‘中薯19号’

‘V7’‘华颂56’‘希森6号’‘华颂58’‘内农薯1号’ 为第三类；‘冀张薯12号’单独归为一类，为第
和‘华颂34’为第二类；‘华颂7号’和‘Innovator’ 四类。



注：1. 中薯9号；2. 华颂7号；3. 中薯27号；4. V7；5. 华颂56；6. 冀张薯12号；7. Innovator；8. 内农薯2号；9. 希森6号；10. 中薯28号；11. 中薯668号；12. 中薯31号；13. 中薯19号；14. 内农薯1号；15. 大西洋；16. 华颂58；17. 华颂34；18. 中薯18号。下同。

Note: 1. Zhongshu 9; 2. Huasong 7; 3. Zhongshu 27; 4. V7; 5. Huasong 56; 6. Jizhangshu 12; 7. Innovator; 8. Neinongshu 2; 9. Xisen 6; 10. Zhongshu 28; 11. Zhongshu 668; 12. Zhongshu 31; 13. Zhongshu 19; 14. Neinongshu 1; 15. Atlantic; 16. Huasong 58; 17. Huasong 34; and 18. Zhongshu 18. The same below.

图5 引物STG0016扩增的SSR指纹

Figure 5 SSR fingerprint amplified by primer STG0016

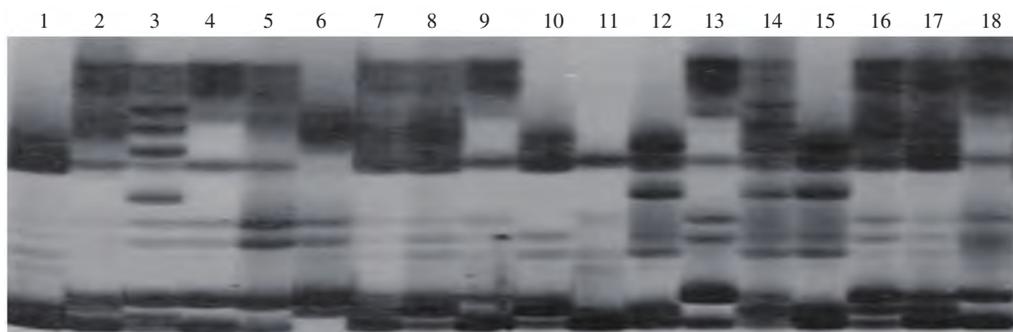


图6 引物S184扩增的SSR指纹

Figure 6 SSR fingerprint amplified by primer S184

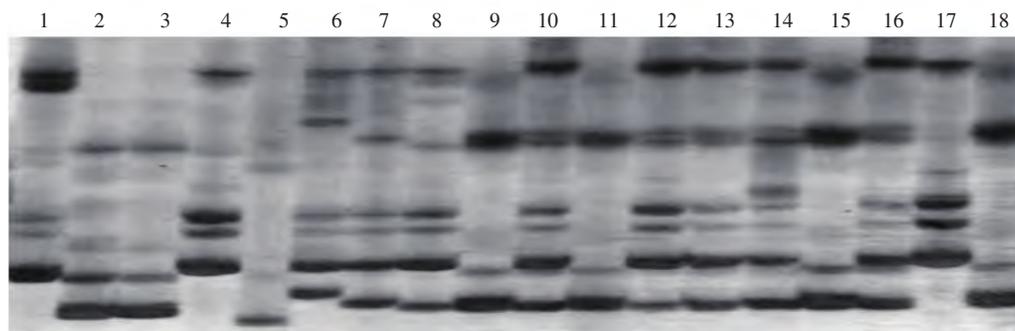


图7 引物S118扩增的SSR指纹

Figure 7 SSR fingerprint amplified by primer S118

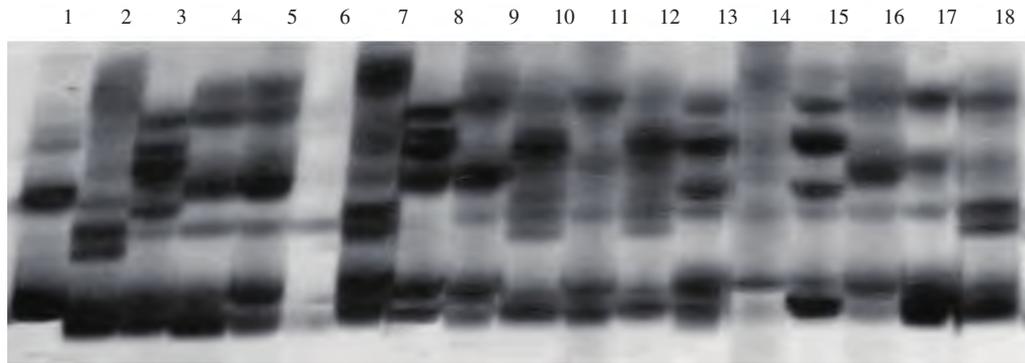


图8 引物S174扩增的SSR指纹

Figure 8 SSR fingerprint amplified by primer S174

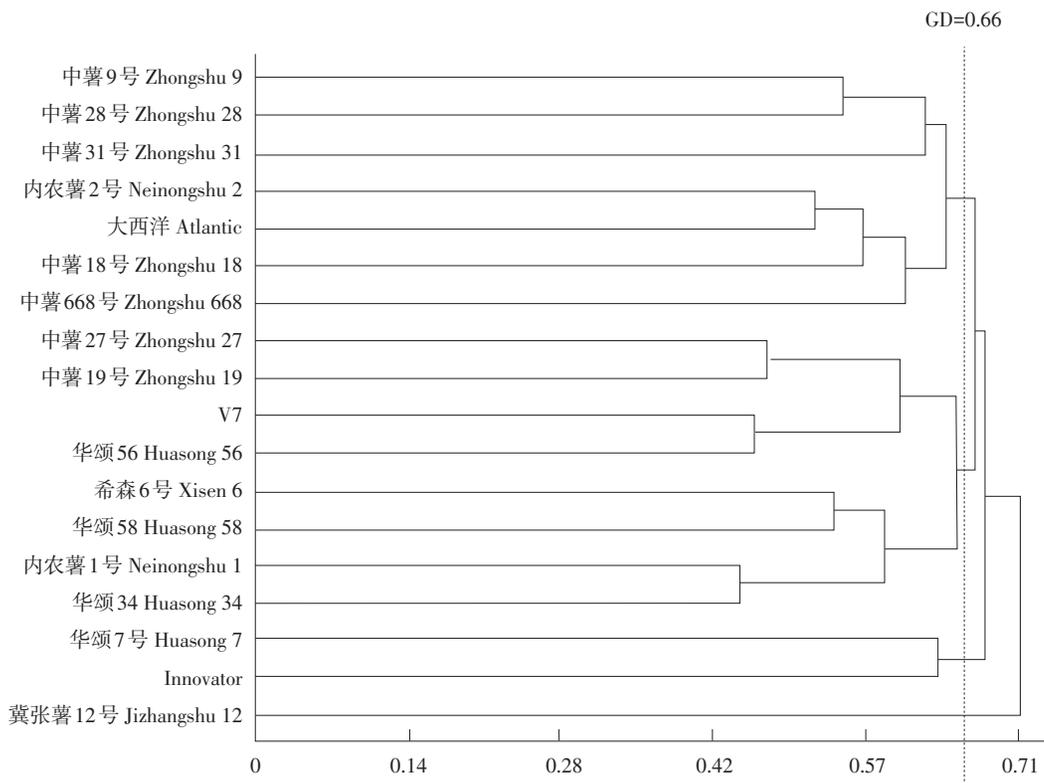


图9 18个品种的SSR聚类

Figure 9 SSR clustering of 18 varieties

3 讨论

本试验中对18个马铃薯品种的产量分析发现, ‘中薯28号’和‘V7’在干旱胁迫下的产量比对照高, 可能是因为在在本试验中, 块茎形成期(7月)

和块茎膨大期(8月)的自然降雨量较大, 其充足降雨可能会对干旱胁迫的产量产生一定的影响, 导致干旱胁迫的产量高于对照的产量。这是因为在充足的降雨情况下, 即使进行干旱处理, 植株仍然可以获得足够的水分来维持其正常的生长和

表 11 供试品种的遗传距离矩阵
Table 11 Genetic distance matrix of tested varieties

品种 Variety	中薯9号 Zhongshu 9	华颂7号 Huasong 7	中薯 Zhongshu 27	V7	华颂56 Huasong 56	冀张薯 12号 Jizhangshu 12	Innovator	内农薯2号 Neinongshu 2	希森 6号 Xisen 6	中薯28号 Zhongshu 28	中薯 668号 Zhongshu 668	中薯31号 Zhongshu 31	中薯19号 Zhongshu 19	内农薯1号 Neinongshu 1	大西洋 Atlantic	华颂58 Huasong 58	华颂34 Huasong 34		
华颂7号 Huasong 7	0.767 9																		
中薯27号 Zhongshu 27	0.600 0	0.644 1																	
V7	0.666 7	0.706 9	0.616 7																
华颂56 Huasong 56	0.745 8	0.625 0	0.671 9	0.461 5															
冀张薯12号 Jizhangshu 12	0.678 6	0.694 9	0.731 3	0.688 5	0.794 1														
Innovator	0.678 0	0.627 1	0.587 3	0.666 7	0.697 0	0.788 7													
内农薯2号 Neinongshu 2	0.607 1	0.672 1	0.630 8	0.666 7	0.656 3	0.697 0	0.636 4												
希森6号 Xisen 6	0.642 9	0.661 0	0.596 8	0.655 7	0.645 2	0.687 5	0.705 9	0.603 2											
中薯28号 Zhongshu 28	0.540 0	0.566 0	0.666 7	0.661 0	0.650 0	0.672 1	0.606 6	0.559 3	0.682 5										
中薯668号 Zhongshu 668	0.692 3	0.796 6	0.725 8	0.603 8	0.689 7	0.733 3	0.709 7	0.644 1	0.655 2	0.636 4									
中薯31号 Zhongshu 31	0.688 5	0.742 4	0.681 2	0.716 4	0.760 6	0.777 8	0.626 9	0.722 2	0.800 0	0.550 0	0.738 5								
中薯19号 Zhongshu 19	0.689 7	0.683 3	0.473 7	0.509 1	0.576 3	0.764 7	0.625 0	0.666 7	0.590 2	0.616 7	0.678 0	0.656 7							
内农薯1号 Neinongshu 1	0.592 6	0.661 0	0.640 6	0.698 4	0.764 7	0.666 7	0.666 7	0.557 4	0.566 7	0.661 3	0.721 3	0.695 7	0.735 3						
大西洋 Atlantic	0.644 1	0.723 1	0.621 2	0.697 0	0.646 2	0.686 6	0.739 7	0.516 1	0.676 5	0.550 0	0.561 4	0.575 8	0.676 5	0.636 4					
华颂58 Huasong 58	0.631 6	0.693 5	0.541 0	0.623 0	0.656 3	0.612 9	0.656 7	0.593 8	0.533 3	0.650 8	0.769 2	0.756 8	0.625 0	0.580 6	0.666 7				
华颂34 Huasong 34	0.574 1	0.709 7	0.603 2	0.593 2	0.692 3	0.671 9	0.671 6	0.541 0	0.681 8	0.600 0	0.725 8	0.700 0	0.661 5	0.446 4	0.681 2	0.491 5			
中薯18号 Zhongshu 18	0.746 3	0.619 0	0.602 9	0.676 5	0.606 1	0.685 7	0.647 9	0.588 2	0.637 7	0.600 0	0.590 2	0.579 7	0.597 0	0.729 7	0.537 3	0.684 9	0.662 0		

发育。此外, 植株也可能会通过调整其生理状态和代谢机制来适应干旱条件, 使得其在干旱处理下表现更好。但这并不意味着这些品种即使在严重干旱的情况下仍然能够保持高产。因此, 需要更深入的探讨水分对马铃薯产量的影响, 并且干旱结合时间、强度等因素来更好地解释这个现象。这样的研究不仅可以帮助理解马铃薯对水分胁迫的适应机制, 还可以为提高农业生产和改善生态环境提供有益的启示。

对18个马铃薯品种的主要性状进行相关性分析发现, 商品薯率与单株结薯数呈极显著负相关, 这与韩志刚等^[19]的研究结果相似。株高与茎粗呈显著正相关, 商品薯率与平均薯重呈极显著正相关, 这与赵娜勤^[20]的研究结果一致。单株结薯数与平均薯重呈极显著负相关, 这与何虎翼等^[21]的结论一致。

主成分分析法的主要思想是降维^[22], 目前是一种较为常用的数据降维算法。由于不同的指标之间存在一定的联系, 所以测量的数据会在一定程度上出现重叠。主成分分析可以将原始指标中所包含的信息用少量的指标代替, 并且可以客观确定各指标所占的比重, 从而避免主观随意性^[23]。何虎翼等^[21]对63份马铃薯品种(系)的株高、单株块茎数、商品薯率等10个农艺性状进行主成分分析, 结果表明生育期、出苗率、主茎数、株高、单株块茎数和单株块茎质量这6个农艺性状的累计贡献率达到了85.198%。李守强等^[24]对15个马铃薯品种(系)的干物质、粗蛋白、粗淀粉等7个营养品质指标进行主成分分析, 共提取到4个主成分, 累计贡献率达到89.592%。本试验通过对18个马铃薯品种的主要性状进行主成分分析提取到3个主成分, 累计贡献率达到71.293%。通过对10个主要性状的主成分计算综合得分值, ‘中薯31号’‘华颂7号’和‘华颂56’为相对抗旱的马铃薯品种。

本研究中, 基于10个主要性状的系统聚类和基于SSR标记的UPGMA聚类呈现出相似的聚类模式, 即两种聚类均将18个马铃薯品种分为4类。不同点在于SSR分子标记聚类的标记性状数

目不受限制, 不受生长发育时期和环境的影响, 具有简单、快速、灵敏等优点, 已经被国内外不少学者用于各种作物种群划分^[25]。但是在种质资源研究中, 利用农艺性状的鉴定和描述仍然是种质资源研究的最基本的方法和途径^[26], 并且更为直观, 不可缺少。

[参 考 文 献]

- [1] 谢从华. 马铃薯产业的现状与发展[J]. 华中农业大学学报: 社会科学版, 2012, 97(1): 1-4.
- [2] Spooner D M, Mclean K, Ramsay G, et al. A Single domestication for potato based on multilocus amplified fragment length polymorphism genotyping [J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2005, 102(41): 14694-14699.
- [3] 韩德鹏, 尹智宇, 杨蓓, 等. 干旱胁迫对冬播马铃薯现蕾期生理生化指标的影响[J]. 中国马铃薯, 2020, 34(2): 78-85.
- [4] 赵鸿. 黄土高原(定西)旱作农田垄沟覆膜对马铃薯产量和水分利用效率影响[D]. 兰州: 兰州大学, 2012.
- [5] 乌兰, 石晓华, 杨海鹰, 等. 苗期水分亏缺对马铃薯产量形成的影响[J]. 中国马铃薯, 2015, 29(2): 80-84.
- [6] 抗艳红, 赵海超, 龚学臣, 等. 不同生育期干旱胁迫对马铃薯产量及品质的影响[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(30): 16820-16822.
- [7] Lahlou O, Ledent J F. Root mass and depth, stolons and roots formed on stolons in four cultivars of potato under water stress [J]. European Journal of Agronomy, 2004, 22(2): 159-173.
- [8] 焦志丽, 李勇, 吕典秋, 等. 不同程度干旱胁迫对马铃薯幼苗生长和生理特性的影响[J]. 中国马铃薯, 2011, 25(6): 329-333.
- [9] 杨宏羽. 马铃薯种质资源的抗旱性评价和抗旱机理研究[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2016.
- [10] 段艳凤, 刘杰, 卞春松, 等. 中国88个马铃薯审定品种SSR指纹图谱构建与遗传多样性分析[J]. 作物学报, 2009, 35(8): 1451-1457.
- [11] 石景. 基于SSR标记的彩色马铃薯亲缘关系分析及指纹图谱构建[D]. 武汉: 华中农业大学, 2011.
- [12] 李芳弟, 王鹏, 窦俊焕, 等. 加工型马铃薯实生群体的SSR鉴定与遗传多样性分析[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2018, 46(4): 49-60.
- [13] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 31784—2015 马铃薯商品薯分级与检验

- 规程[S]. 北京: 中国标准出版社, 2015.
- [14] 杜培兵, 张永福, 白小东, 等. 主成分分析和隶属函数法对马铃薯品种抗旱性的评价[J]. 种子, 2019, 38(8): 120-126.
- [15] 徐建飞, 刘杰, 卞春松, 等. 马铃薯资源抗旱性鉴定和筛选[J]. 中国马铃薯, 2011, 25(1): 1-6.
- [16] 张永成, 田丰. 马铃薯试验研究方法[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2007.
- [17] 张明飞, 于卓, 于肖夏, 等. 7个马铃薯新品系的主要农艺性状与营养品质及其细胞学和SSR分析[J]. 西北植物学报, 2018, 38(4): 644-653.
- [18] 焦欣磊. 马铃薯新品系重要性状及染色体构型和SSR指纹分析[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2017.
- [19] 韩志刚, 谢锐, 金晓蕾, 等. 基于表型性状的马铃薯种质资源遗传多样性分析[J]. 北方农业学报, 2021, 49(5): 9-17.
- [20] 赵娜勤. 马铃薯杂种F₁优良无性株系选育[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2021.
- [21] 何虎翼, 谭冠宁, 何新民, 等. 63份马铃薯品种(系)资源农艺性状的主成分与聚类分析[J]. 江苏农业学报, 2017, 33(1): 27-33.
- [22] 苏键, 陈军, 何洁. 主成分分析法及其应用[J]. 轻工科技, 2012, 28(9): 12-13, 16.
- [23] 崔妍, 杨丹璐, 陈姗姗, 等. 基于主成分分析法的泡菜风味马铃薯饼干研制[J]. 食品研究与开发, 2021, 42(18): 116-122.
- [24] 李守强, 田世龙, 李梅, 等. 主成分分析和隶属函数法综合评价15种(系)马铃薯的营养品质[J]. 食品工业科技, 2020, 41(6): 272-276, 291.
- [25] 王胜军, 陆作楣, 万建民. 采用表型和分子标记聚类研究杂交籼稻亲本的遗传多样性[J]. 中国水稻科学, 2006, 20(5): 475-480.
- [26] 孙亚东, 梁燕, 吴江敏, 等. 番茄种质资源的遗传多样性和聚类分析[J]. 西北农业学报, 2009, 18(5): 297-301.