中国农业大学学报　2024,29(8):62-76
Journal of China Agricultural University　http://zgnydxxb.ijournals.cn

降志兵,格桑顿珠,谈建鑫. 不同马铃薯品种(系)在尼泊尔北部山区的适应性评价与筛选[J]. 中国农业大学学报,2024,29(08):62-76.
JIANG Zhibing, Gesangdunzhu, TAN Jianxin. Adaptability evaluation and screening of different potato varieties (lines) in the mountainous region of northern Nepal[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2024, 29(08): 62-76.
DOI: 10.11841/j.issn.1007-4333.2024.08.05

不同马铃薯品种(系)在尼泊尔北部山区的适应性评价与筛选

降志兵[1]　格桑顿珠[2]　谈建鑫[1*]
(1. 西藏自治区农牧科学院 农业研究所, 拉萨 850032;
2. 西藏自治区农牧科学院 农牧科技交流培训处, 拉萨 850032)

摘　要　为筛选出适宜尼泊尔北部山区种植的优异马铃薯品种(系),引进'陇薯7号''陇薯10号''陇薯14号''LK99''L0109-4''云薯105''云薯603''紫云1号''米拉''青薯9号''艾玛1号''艾玛2号'等12个马铃薯品种(系),以当地主栽品种'Rosita'为对照(CK),于2019—2021年在尼泊尔北部山区进行品种(系)比较试验,开展生育期、农艺性状、块茎性状、病害发生情况的调查,测定口感评价、产量及产量性状等指标,并利用主成分分析的方法对13个供试品种(系)的综合品质进行分析。结果表明:供试的13个马铃薯品种(系)均能成熟。所有品种(系)均未发生花叶病毒病、青枯病、早疫病,'云薯105''云薯603'和'紫云1号'晚疫病病株率最低,病情指数均为0;'云薯105'3年平均产量为23.94 t/hm^2,较CK增产72.73%,'青薯9号'3年平均产量为21.01 t/hm^2,较CK增产51.59%;'云薯105'蒸食口感得分82.6分,质地粉或糯,气味清香,接受度高、综合评价中上;块茎营养品质主成分分析综合得分排名前4的依次为:'艾玛1号''陇薯14号''陇薯7号'和'云薯105'。综上,根据尼泊尔缺乏高产品种的现状,'云薯105'可作为尼泊尔北部山区首选马铃薯推广品种,'青薯9号'可作为高产备选推广品种,'艾玛1号''陇薯14号''陇薯7号'可作为尼泊尔北部山区马铃薯生产中的优质备选品种。

关键词　尼泊尔; 马铃薯; 产量; 营养品质; 主成分分析
中图分类号　S532　　**文章编号**　1007-4333(2024)08-0062-15　　**文献标志码**　A

Adaptability evaluation and screening of different potato varieties (lines) in the mountainous region of northern Nepal

JIANG Zhibing[1], Gesangdunzhu[2], TAN Jianxin[1*]
(1. Institute of Agriculture, Xizang Academy of Agricultural and Animal Husbandry Sciences, Lhasa 850032, China;
2. International Cooperation and Training Center, Xizang Academy of Agricultural and Animal Husbandry Sciences, Lhasa 850032, China)

Abstract　To identify the optimal potato varieties (lines) suitable to be planted in the northern mountainous areas of Nepal, 12 potato varieties (lines), 'Longshu 7' 'Longshu 10' 'Longshu 14' 'LK99' 'L0109-4' 'Yunshu 105' 'Yunshu 603' ' Ziyun 1' 'Mira' 'Qingshu 9' 'Emma 1' and 'Emma 2' , were introduced. 'Rosita', the main locally planted variety, was used as a control (CK). Variety (line) comparison trials were conducted in the northern mountainous areas of Nepal from 2019 to 2021. The phenological period, agronomic traits, tuber traits, disease occurrence, organoleptic evaluation, yield traits, and yield performance were thoroughly studied. The comprehensive qualities of these 13 varieties (lines) were analyzed by Principal Component Analysis (PCA). The results showed that: All 13 potato varieties (lines)

收稿日期: 2023-11-28
基金项目: 援尼泊尔北部山区农业技术合作项目(2017400102350102)
第一作者: 降志兵(ORCID ID:0009-0003-9090-9858),助理研究员,主要从事农作物高产栽培技术与示范推广研究,E-mail:nysjzb@126.com
通讯作者: 谈建鑫(ORCID ID:0009-0000-0584-3339),助理研究员,主要从事作物高产栽培机理与成果转化研究,E-mail: m18898010927@163.com

tested were able to mature; All varieties (lines) did not develop mosaic virus disease, bacterial wilt and early blight. 'Yunshu 105' 'Yunshu 603' and 'Ziyun 1' developed the lowest ratio of plants infected late blight and with disease index of 0; The average annual yield of 'Yunshu 105' was 23.94 t/hm^2, which is 72.73% higher than that of CK. The average annual yield of 'Qingshu 9' was 21.01 t/hm^2, which was 51.59% higher than that of CK; The organoleptic scores of steamed 'Yunshu 105' was 82.6, it has aroma fragrant, high acceptance, and above moderate comprehensive evaluation; The top four comprehensive scores in the principal component analysis of tuber nutritional qualities were 'Emma 1' 'Longshu 14' 'Longshu 7' and ' Yunshu 105'. In summary, in terms of the current situation of lacking of high-yield variety in Nepal, 'Yunshu 105' is optimal to be promoted in the northern mountainous areas of Nepal to improve production, 'Qingshu 9' is suitable to be promoted as high-yield variety, 'Emma 1' 'Longshu 14' and 'Longshu 7' could be the alternative high-quality varieties for Nepal.

Keywords　Nepal; potatoes; yield; nutritional qualities; principal component analysis

马铃薯是全球第四大粮食作物，对种植环境的要求较低、整体产量较高并且营养丰富，因此在世界各地得到广泛种植[1-4]。马铃薯在尼泊尔饮食结构中占据重要地位，据不完全统计，尼泊尔人均消耗马铃薯 75 kg/年，从海拔 100 m 以下的南方到海拔高达 4 000 m 的北部山区，马铃薯均有种植，是尼泊尔种植面积较大的农作物，种植面积达 19.70×10^4 hm^2，总产量为 258.63×10^4 t，平均单产仅为 13.13 t/hm^2[5]。尼泊尔马铃薯生产主要集中在北部山区的辛杜巴尔乔克县（Sindhupalchok）等 3 个县，平均海拔 1 500～2 500 m，毗邻中国边境，地势陡峭、滑坡频繁，耕地随山坡而开垦，春季干旱冰雹频繁，夏季雨水不断，冬季寒冷干燥，由于马铃薯适应能力强，而且凉爽的气候适宜生产优质马铃薯，故深受尼泊尔北部地区农民的青睐，是当地主要的种植作物[6]。因此，在"一带一路"倡议的大背景下，在尼泊尔开展农业援助工作尤其是筛选适合尼泊尔种植的马铃薯高产优质品种具有重要意义。

尼泊尔马铃薯种薯生产体系建设起步晚且不健全，育种工作整体滞后，未选育出本国自有马铃薯品种，育种工作均为引种认定，从上世纪 90 年代开始，尼泊尔先后从荷兰、秘鲁、阿根廷、美国、印度等国家引进并认定了 'Desiree' 'Janakdew' 'Khumal Laxmi' 'Khumal Seto-1' 'Khumal Ujjwal' 'Kufri Jyoti' 等马铃薯品种[7]，由于引入的这些马铃薯品种适应性不强，在当地病害发生严重，产量低，因此只在尼泊尔局部地区零星种植，且引进的品种大多已经退化、混杂，目前尼泊尔主要种植的马铃薯品种为 'Rosita' 和当地农家品种，'Rosita' 是 20 世纪 80 年代从瑞士引进的品种，至今未认定，但在尼泊尔适应性较好，目前存在混杂和退化等问题，产量仅为 12～15 t/hm^2，总体而言尼泊尔缺乏马铃薯优良品种，远远不能满足生产需求。因此亟需引入高产、抗病、优质的马铃薯新品种（系），改变当地马铃薯生产现状。鉴于此，本研究通过引进 12 个马铃薯品种（系），在尼泊尔辛杜巴尔乔克县开展品种（系）适应性评价试验，测定不同品种（系）生育期、农艺性状、块茎性状、病害发生情况、口感评价、产量等指标，并用主成分分析对营养品质进行综合评价，旨在筛选出适宜尼泊尔北部山区推广种植的优良马铃薯品种（系），有效补充马铃薯种质资源，以期为推动尼泊尔马铃薯优良品种规模化种植、加工及应用提供品种支撑。

1　材料与方法

1.1　试验地概况

试验地尼泊尔马铃薯作物发展中心（Potato Crop Development Center），位于尼泊尔辛杜巴尔乔克县（Sindhupalchok）牧迪镇（Mude）尼格拉村（Nigale）（27°40′ N，85°56′ E，海拔 2 550 m）。试验地气温最低在 1 月（－3.5 ℃），最高在 8 月（25.5 ℃），年平均降雨量 4 000 mm 左右，主要集中在每年 6—8 月的雨季，平均相对湿度 85%，平均气压 75.53 kPa。试验站位于尼泊尔北部高山地区，无灌溉条件，属于典型的"雨养农业区"。

1.2　试验材料

供试的 13 个马铃薯品种（系）中，12 个来自中国，其中 'L0109-4' 为品系，其余为品种，引进的品种（系）在青海、甘肃、云南等省均有稳定的产量和抗病性表现；以当地广泛种植的品种 'Rosita' 作为对照品种（CK）。供试品种均为一级脱毒种薯，各马铃薯品种（系）名称及来源见表 1。

表1 马铃薯品种(系)名称及来源

Table 1 Names and sources of potato varieties (lines)

品种(系) Variety(line)	供种单位 Seed supply unit	来源 Source
陇薯7号	甘肃省农业科学院	甘肃
陇薯10号	甘肃省农业科学院	甘肃
陇薯14号	甘肃省农业科学院	甘肃
LK 99	甘肃省农业科学院	甘肃
L0109-4	甘肃省农业科学院	甘肃
云薯105	云南省农业科学院	云南
云薯603	云南省农业科学院	云南
紫云1号	云南省农业科学院	云南
米拉	云南省农业科学院	德国
青薯9号	西藏自治区农牧科学院	青海
艾玛1号	日喀则市农业科学研究所	西藏
艾玛2号	日喀则市农业科学研究所	西藏
Rosita(CK)	尼泊尔马铃薯作物发展中心	瑞士

1.3 试验设计

2019—2021年试验进行3年,试验采用随机区组试验设计,四周种植保护行2行。每个品种(系)设3次重复,共39个小区,小区面积20 m^2,播种前精细整地、人工开沟、点播后垄作,株距20 cm,行距60 cm,播深8~10 cm,开沟条施农家肥16 000 kg/hm^2、尿素200 kg/hm^2、磷酸二铵177 kg/hm^2、硫酸钾590 kg/hm^2作为底肥,苗期中耕、除草、培土,追施一次尿素100 kg/hm^2。

各品种(系)2019年3月27日播种,2020年1月24日播种,2021年2月8日播种,各品种(系)根据实际成熟时间收获。

1.4 测定指标及方法

1.4.1 物候期生育期记载

自播种后每7 d观察1次,以50%的植株达到某一生育阶段为到达某一物候期为准。在接近某一物候期时,每天进行观测,分别记录其各个物候期。记载播种期、出苗期、现蕾期、开花期、成熟期和收获期[8]。生育期按出苗期-成熟期的时间计算,类型分为极早熟(生育期<60 d)、早熟(60~75 d)、中早熟(76~90 d)、中熟(91~105 d)、中晚熟(106~120 d)、晚熟(121~135 d)、极晚熟(>135 d)[9-10]。

1.4.2 农艺性状和块茎性状调查

按NY/T 1489—2007《农作物品种试验技术规程 马铃薯》[8],每个小区选取10株,调查株高、株型、主茎数、茎色、叶色、花冠色、花繁茂性、结实性、匍匐茎长短等植株形态特征;收获时每个小区选10株,调查单株块茎数、单株块茎鲜重、单薯鲜重、二次生长、裂薯率、空心率等块茎性状。

块茎分级标准,大薯指单薯重>100 g,中薯指单薯重50~100 g,小薯指单薯重<50 g。商品薯率=(大薯产量+中薯产量)/总产量×100%[8,11]。

1.4.3 病害调查

小区内分别调查马铃薯花叶病毒病、卷叶病毒病、青枯病、晚疫病、早疫病发病率和晚疫病病情指数[12]。

$$病株率=小区病株数/小区总株数\times 100\%$$

$$病情指数(I)=\frac{\sum(各严重度级值\times 该级病株数)}{调查总株数\times 最高级代表值}\times 100$$

1.4.4 产量测定

马铃薯达到完全成熟时测定各小区的实际产量。

1.4.5 品质测定

根据GB 5009.3—2016《食品安全国家标准 食品中水分测定》[13]测定干物质含量;用张中宁等[14]的方法测定比重;采用碘比色法[15]测定淀粉含量,用H_2SO_4-H_2O_2消煮-火焰光度计法[15]测定K含量,用HNO^{3-}-$HClO_4$消煮-TAS-986原子吸收分光光度法[15]测定Fe、Ca、Zn含量;利用考马斯亮蓝G250染色法[16]测定蛋白质含量,用钼蓝比色法[16]测定VC含量;采用3,5-二硝基水杨酸比色法[17]测定还原糖含量;根据GB 5009.4—2016《食品安全国家标准 食品中灰分的测定》[18]测定灰分;根据GB 5009.6—2016《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》[19]测定脂肪;根据GB/T 5009.10—2003《植物类食品中粗纤维的测定》[20]测定粗纤维;根据文献[21-22]测定碳水化合物;根据何梅等[23]的方法测定并计算热量值。

收获后,每个品种(系)取中等大小块茎蒸1 h后,经10~20人从质地、香气、食味等方面进行综合评价。定100分制,蒸食口感评分≤70为下,70<蒸食口感评分≤80为中,蒸食口感评分>80为中上[11]。

1.5 数据分析

对不同品种(系)的产量进行单因素方差分析(ANOVA),并采用Duncan法进行多重比较。采用主成分及因子分析综合评价每个品种(系)的综合

营养品质。试验数据采用Excel 2021及SPSS 27.0进行统计分析。

2　结果与分析

2.1　不同马铃薯品种（系）生育期观测比较

由表2可知，2019—2021年，供试13个马铃薯品种（系）都可以成熟，生育期在59～104 d，早中熟品种（系）都有，早熟品种（系）2个，中早熟品种（系）8个，包括Rosita（CK），中熟品种（系）3个；其中‘云薯105’‘云薯603’‘紫云1号’生育期较长，为81～104 d，为中熟品种；‘LK 99’‘艾玛1号’生育期较短，为59～77 d，为早熟品种；其余品种（系）为中早熟。

表2　不同品种（系）物候期

Table 2　Phenological periods of different varieties（lines）

年份 Year	品种（系） Variety（line）	播期 Sowing date	出苗期 Emergence date	现蕾期 Budding date	开花期 Flowering date	成熟期 maturation date	收获期 Harvesting date	生育期/d Growth period
2019	陇薯7号	03-27	04-24	05-22	06-01	07-14	07-16	82
	陇薯10号	03-27	04-22	05-21	05-28	07-15	07-16	85
	陇薯14号	03-27	04-22	05-21	06-01	07-14	07-16	84
	LK 99	03-27	04-24			06-24	07-08	62
	L0109-4	03-27	04-24	05-21	05-28	07-14	07-16	82
	云薯105	03-27	04-21	05-23	06-20	08-02	08-04	104
	云薯603	03-27	04-24	05-16	05-26	08-03	08-04	102
	紫云1号	03-27	05-01	05-30	06-04	08-02	08-04	94
	米拉	03-27	04-19	05-26	06-03	07-07	07-08	80
	青薯9号	03-27	04-20	05-26	06-09	07-14	07-16	86
	艾玛1号	03-27	04-21	05-21	06-02	07-06	07-08	77
	艾玛2号	03-27	04-20	05-19	06-01	07-07	07-08	79
	Rosita（CK）	03-27	04-25	05-30	06-11	07-15	07-16	82
2020	陇薯7号	01-24	04-03			06-21	06-23	80
	陇薯10号	01-24	04-10	05-15	05-24	06-22	06-23	74
	陇薯14号	01-24	04-01			06-21	06-23	82
	LK 99	01-24	04-04			06-01	06-12	59
	L0109-4	01-24	04-02	04-27	05-12	06-10	06-12	70
	云薯105	01-24	04-06	05-22	06-04	07-02	07-03	88
	云薯603	01-24	04-08	05-02	05-14	07-02	07-03	86
	紫云1号	01-24	04-08	05-11	05-23	07-03	07-03	87
	米拉	01-24	03-30			06-03	06-12	66
	青薯9号	01-24	04-03	05-13	05-23	06-15	06-23	74
	艾玛1号	01-24	04-02			06-16	06-23	75
	艾玛2号	01-24	03-26			06-02	06-12	69
	Rosita（CK）	01-24	04-03	05-13	05-22	07-01	07-03	90

表2（续）

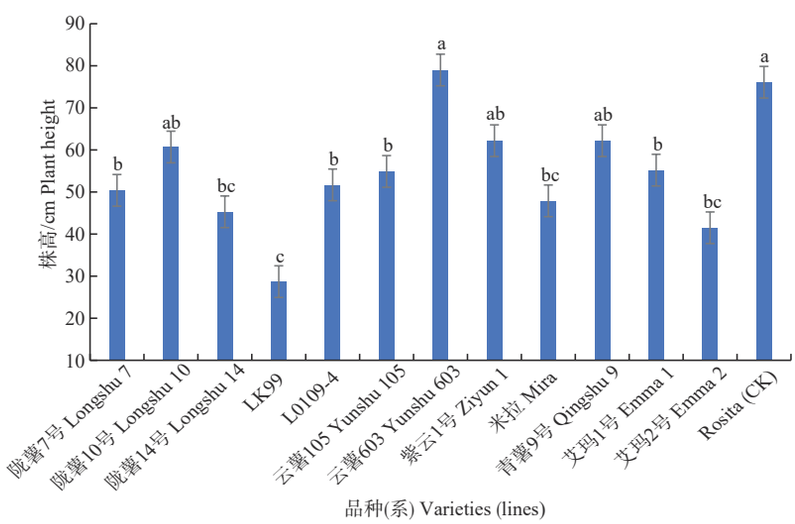
年份 Year	品种（系） Variety（line）	播期 Sowing date	出苗期 Emergence date	现蕾期 Budding date	开花期 Flowering date	成熟期 maturation date	收获期 Harvesting date	生育期/d Growth period
	陇薯7号	02-08	03-31	06-02	06-12	07-03	07-06	95
	陇薯10号	02-08	04-12	05-17	05-26	07-02	07-06	82
	陇薯14号	02-08	04-03	05-30	06-11	07-02	07-06	91
	LK 99	02-08	04-08			06-16	07-06	70
	L0109-4	02-08	04-05	05-15	05-28	06-20	07-07	77
	云薯105	02-08	04-09	05-23	06-07	07-05	07-07	88
2021	云薯603	02-08	04-15	05-11	05-21	07-04	07-07	81
	紫云1号	02-08	04-14	05-18	05-31	07-05	07-07	83
	米拉	02-08	04-03	06-02	06-13	06-26	07-07	85
	青薯9号	02-08	04-06	05-21	06-04	06-25	07-07	81
	艾玛1号	02-08	04-06	05-29	06-11	06-19	07-07	75
	艾玛2号	02-08	03-29			06-19	07-07	83
	Rosita（CK）	02-08	04-09	05-16	05-29	07-01	07-07	84

注：2019年由于海关出关问题，晚播了2个月左右，导致成熟期推迟。

Note: In 2019, due to the customs clearance problem, it was delayed for about 2 months, resulting in a delay in maturity.

2.2 不同马铃薯品种（系）农艺性状

由图1可知，参试的13个品种（系）株高在28.7～79.0 cm。其中‘云薯603’株高最高，为79.0 cm；‘陇薯10号’‘云薯603’‘紫云1号’‘青薯9号’与CK的株高均无显著差异；‘LK 99’株高最低，为28.7 cm，与CK差异显著（$P<0.05$）。各品种（系）主茎数在2.5～4.2个。‘米拉’的主茎数最多，为4.2个；‘紫云1号’主茎数最少，为2.5个；CK主茎数为3.9个。



不同小写字母表示差异显著（$P<0.05$）。

Different lowercase letters indicate significant differences at level of 0.05.

图1 不同马铃薯品种（系）株高

Fig. 1 Plant height of different potato varieties (lines)

参试品种（系）株型均为直立型。‘云薯603’和‘紫云1号’的茎色为紫绿，‘青薯9号’为褐绿，其余品种（系）均为绿色。所有参试品种（系）的叶色均为深绿或绿色；除‘米拉’‘青薯9号’‘艾玛2号’少量开花，‘LK 99’无花，其余品种（系）均开花繁茂，‘陇薯10号’‘云薯105’‘青薯9号’和CK的花冠为紫色或浅紫，其余均为白色。‘陇薯14号’和‘L0109-4’结实较多，其余品种（系）结实少或无天然结实；除‘紫云1号’和CK的匍匐茎较长以外，其余品种（系）均为中短长度（表3）。

表3　不同马铃薯品种（系）农艺性状

Table 3　Agronomic characters of potato varieties (lines)

品种（系）Variety (line)	主茎数 Stem number	株型 Plant type	茎色 Stem color	叶色 Leaf color	花繁茂性 Flower flourish	花冠色 Corolla color	结实性 Fruitfulness	匍匐茎 Stolon
陇薯7号	3.9±0.9	直立	绿	绿	繁	白	少	中
陇薯10号	3.7±1.0	直立	绿	深绿	繁	紫	无	短
陇薯14号	2.9±0.6	直立	绿	绿	繁	白	中	中
LK 99	2.8±1.0	直立	绿	绿	无	无	无	短
L0109-4	3.2±0.9	直立	绿	绿	繁	白	多	短
云薯105	3.6±0.8	直立	绿	深绿	繁	浅紫	无	短
云薯603	3.0±0.5	直立	紫绿	深绿	繁	白	无	中
紫云1号	2.5±0.5	直立	紫绿	深绿	繁	白	少	长
米拉	4.2±1.5	直立	绿	绿	少	白	少	短
青薯9号	3.4±0.7	直立	褐绿	深绿	少	紫	无	短
艾玛1号	3.8±1.2	直立	绿	绿	繁	白	无	中
艾玛2号	3.8±1.4	直立	绿	绿	少	白	少	中
Rosita（CK）	3.9±1.5	直立	绿	绿	中	浅紫	少	长

2.3　不同马铃薯品种（系）块茎质量性状

通过2019和2021年的调查，‘L0109-4’‘云薯105’‘青薯9号’的商品薯率较高，均＞85%，CK商品薯率较低，＜50%；‘陇薯7号’‘L0109-4’‘云薯105’‘云薯603’的裂薯率在4.20%～16.84%，各品种（系）均无二次生长、空心和烂薯现象（表4）。

表4　不同品种（系）块茎质量性状

Table 4　Tuber quality traits of varieties (lines)　　%

品种（系）Variety (line)	2019年		2021年	
	商品薯率 Commodity rate	裂薯率 Cracking rate	商品薯率 Commodity rate	裂薯率 Cracking rate
陇薯7号	87.88	12.65	77.17	12.65
陇薯10号	88.94	0.00	87.15	0.00
陇薯14号	86.57	0.00	76.76	0.00
LK 99	85.80	0.00	68.70	0.00
L0109-4	86.45	0.00	100.00	5.58
云薯105	89.53	16.84	94.01	4.20
云薯603	78.23	12.18	31.84	0.00
紫云1号	57.74	0.00	81.25	0.00
米拉	59.68	0.00	53.51	0.00
青薯9号	87.59	0.00	88.84	0.00
艾玛1号	68.27	0.00	40.46	0.00
艾玛2号	71.51	0.00	17.88	0.00
Rosita（CK）	58.72	0.00	41.93	0.00

2.4 不同马铃薯品种(系)田间病害发生情况

由表5可知,13个参试品种(系)均未发生花叶病毒病、青枯病、早疫病病害,但卷叶病毒病、晚疫病、癌肿病有不同程度的发生。各品种(系)晚疫病病株率为2%～100%,病情指数为0～0.89。其中'LK99'和'艾玛2号'晚疫病病株率较高,为100%,病情指数为0.89,易感晚疫病;其次是'米拉'和'艾玛1号'晚疫病病株率分别为90%和70%,病情指数分别为0.60和0.54;'云薯105''云薯603'和'紫云1号'晚疫病病株率较低,为2%～4%,病情指数为0,抗晚疫病。

表5 不同马铃薯品种(系)田间病害发生情况

Table 5 Occurrence of diseases in potato varieties (lines)

品种(系) Variety(line)	病株率/% Diseased plant rate			晚疫病病情指数 Late blight disease index
	卷叶病毒病 Leafroll virus	癌肿病 Wart disease	晚疫病 Late blight	
陇薯7号	0	0	73	0.32
陇薯10号	0	0	60	0.27
陇薯14号	0	0	75	0.33
LK 99	0	0	100	0.89
L0109-4	0	0	70	0.31
云薯105	0	0	2	0.00
云薯603	0	0	4	0.00
紫云1号	30	10	2	0.00
米拉	0	0	90	0.60
青薯9号	0	0	20	0.04
艾玛1号	0	0	70	0.54
艾玛2号	40	0	100	0.89
Rosita (CK)	0	0	15	0.03

2.5 不同马铃薯品种(系)的产量性状

由表6可知,除'LK 99'单株块茎数显著低于CK($P<0.05$)外,其余品种(系)的单株块茎数均与CK无显著差异。'云薯105'单株块茎重极显著高于CK($P<0.01$),'青薯9号'单株块茎重排第2,显著高于CK($P<0.05$),其余品种均与CK无显著差异。'青薯9号'的单薯重最高,'陇薯10号'次之,均极显著高于CK($P<0.01$);'L0109-4''陇薯14号''云薯105''LK 99'单薯重均显著高于CK($P<0.05$),其余品种(系)与CK无显著差异。

2.6 不同马铃薯品种(系)的产量

由表7可知,13个供试材料的产量在年际间无显著差异,但品种间差异显著($P<0.05$)。2019年,'云薯105''青薯9号''陇薯10号''米拉''陇薯7号'的产量均极显著高于CK($P<0.01$);2020和2021年,仅'云薯105'的产量分别显著($P<0.05$)和极显著($P<0.01$)高于CK,其余品种(系)与CK均无显著差异。各品种(系)3年平均产量在8.09～23.94 t/hm^2,'云薯105'的3年平均产量为23.94 t/hm^2,较CK增产72.73%($P<0.01$),'青薯9号'3年平均产量为21.01 t/hm^2,较CK增产51.59%($P<0.05$),'LK 99'和'紫云1号'的3年平均产量较低,分别是8.09和8.71 t/hm^2,低于CK,但差异不显著。

2.7 不同马铃薯品种(系)块茎口感评价

由表8可知,参试的13个品种(系)块茎口感表现不一,其中有4个品种(系)蒸食口感得分>80,质地粉或糯,气味清香,接受度高、综合评价为中上的是'云薯105''云薯603''紫云1号'和CK;其余品种(系)得分均<80,综合评价为中或中下,接受度为中或低。

表 6　不同马铃薯品种（系）产量性状

Table 6　Yield traits of potato varieties（lines）

品种（系） Variety（line）	单株块茎数 Tuber number per plant	单株块茎重/kg Tuber weight per plant	单薯重/g Weight per tuber
陇薯 7 号	5.7±1.6 Aab	0.29±0.07 ABCDabc	55.27±13.79 ABCDbcd
陇薯 10 号	3.9±1.5 ABbc	0.29±0.14 ABCDabc	72.22±11.11 ABab
陇薯 14 号	3.6±0.5 ABbc	0.21±0.03 BCDcd	63.34±19.82 ABCabc
LK 99	2.3±0.8 Bc	0.13±0.01 Dd	60.43±19.65 ABCDbc
L0109-4	4.4±0.2 ABabc	0.29±0.04 ABCabc	65.17±7.31 ABCabc
云薯 105	5.5±0.2 Aab	0.37±0.05 Aa	63.90±14.43 ABCabc
云薯 603	4.2±0.8 ABbc	0.22±0.02 ABCDcd	49.08±2.10 BCDcde
紫云 1 号	4.1±1.5 ABbc	0.14±0.06 CDd	32.57±3.92 De
米拉	6.5±1.5 Aa	0.23±0.04 ABCDbcd	33.93±2.62 De
青薯 9 号	3.8±0.6 ABbc	0.34±0.08 ABab	83.23±13.48 Aa
艾玛 1 号	5.2±2.1 ABab	0.19±0.04 BCDcd	33.85±2.60 De
艾玛 2 号	4.9±1.6 ABab	0.19±0.09 BCDcd	36.46±8.78 CDde
Rosita（CK）	5.3±0.4 ABab	0.19±0.02 BCDcd	37.20±2.07 CDde

注：同一列不同大写字母表示达 0.01% 显著水平，同一列不同小写字母表示达 0.05% 显著水平。下同。

Note: Different uppercase letters in the same column indicate the significant level of 0.01 %, and different lowercase letters in the same column indicate the significant level of 0.05 %. The same below.

表 7　不同马铃薯品种（系）产量

Table 7　Yield of potato varieties（lines）　　t/hm²

品种（系） Variety（line）	2019 年	2020 年	2021 年	3 年平均 Average yield of 3 years
陇薯 7 号	20.39±4.52 ABabc	16.35±4.38 ABCDEbcd	13.44±0.69 BCDcde	16.73±3.49 ABCDbcd
陇薯 10 号	21.01±1.77 ABab	11.65±2.85 BCDEcdef	16.02±1.55 BCbc	16.23±4.68 ABCDbcd
陇薯 14 号	14.85±2.22 BCDcd	14.72±4.59 ABCDEbcde	10.91±1.29 CDEdef	13.49±2.24 BCDEcdef
LK 99	10.14±1.32 Dde	7.00±2.49 Ef	7.13±0.74 Eg	8.09±1.78 Ef
L0109-4	19.66±3.40 ABCbc	18.66±6.30 ABCabc	17.47±0.99 ABb	18.60±1.10 ABCabc
云薯 105	25.96±2.06 Aa	23.51±4.81 Aa	22.34±0.36 Aa	23.94±1.85 Aa
云薯 603	14.75±2.24 BCDcd	13.73±1.84 BCDEbcdef	12.01±3.07 CDEde	13.50±1.38 BCDEcdef
紫云 1 号	7.99±1.81 De	8.51±0.44 DEef	9.64±0.87 DEefg	8.71±0.84 DEef
米拉	21.01±3.96 ABab	16.71±3.18 ABCDbcd	12.93±1.51 BCDcde	16.88±4.04 ABCbcd
青薯 9 号	25.64±5.18 Aa	19.88±3.86 ABab	17.51±3.26 ABb	21.01±4.18 ABab
艾玛 1 号	15.52±1.41 BCDbcd	15.67±3.07 ABCDEbcd	11.77±3.06 CDEde	14.32±2.21 BCDEcde
艾玛 2 号	19.29±2.77 ABCbc	9.86±1.51 CDEdef	7.52±0.42 Efg	12.22±6.23 CDEdef
Rosita（CK）	12.27±4.43 CDde	15.18±4.25 ABCDEbcde	14.12±4.12 BCDbcd	13.86±1.47 BCDEcdef

表8 不同马铃薯品种(系)块茎口感评价

Table 8 The organoleptic evaluation of potato varieties (lines)

品种(系) Variety(line)	质地 Texture	香气 Aroma	蒸食口感 Steamed taste	综合评价 Comprehensive evaluation	接受度 Acceptance
陇薯7号	较粉	较清香	77.8	中	中
陇薯10号	较粉	较清香	75.4	中	中
陇薯14号	较粉	较清香	73.1	中	中
LK 99	软	一般	68.5	中下	低
L0109-4	软	一般	69.3	中下	低
云薯105	粉	清香	82.6	中上	高
云薯603	糯	清香	84.0	中上	高
紫云1号	糯	清香	85.5	中上	高
米拉	软	一般	67.3	中下	低
青薯9号	粉	较清香	74.7	中	中
艾玛1号	较粉	较清香	79.8	中	中
艾玛2号	较粉	较清香	73.4	中	中
Rosita(CK)	糯	清香	88.2	中上	高

2.8 不同马铃薯品种(系)块茎营养品质比较

由表9可知,各参试品种(系)块茎干物质含量均在16.20%~23.15%,'云薯603'最高,'L0109-4'最低,CK为21.26%。淀粉含量在13.45~18.50 g/100 g,'艾玛2号'最高,'L0109-4'最低,CK为15.21 g/100 g。蛋白质含量在1.38~2.12 g/100 g,'陇薯7号'最高,'L0109-4'最低,CK为1.65 g/100 g。还原糖含量在0.02~0.72 g/100 g,'L0109-4'最高,'陇薯7号'最低,CK为0.45 g/100 g。VC含量在12.50~23.60 mg/100 g,'紫云1号'最高,'艾玛1号'最低,CK为15.88 mg/100 g。热量在261.38~378.37 kJ/100 g,CK最高,'陇薯10号'最低。Fe含量在3.60~7.20 mg/kg,'紫云1号'最高,'L0109-4'最低,CK为4.60 mg/kg。Zn含量在1.60~2.60 mg/kg,'陇薯14号'最高,'L0109-4''云薯603'和'紫云1号'较低,CK为1.90 mg/kg。

表9 不同马铃薯品种(系)块茎营养品质指标

Table 9 Tuber nutritional qualities of potato varieties (lines)

品种(系) Variety (line)	干物质/(g/100 g) Dry matter	比重/(kg/m^3) Density	淀粉/(g/100g) Starch	蛋白质/(g/100 g) Protein	还原糖/(g/100 g) Reducing sugar	VC/(mg/100 g)	灰分/(g/100 g) Ash	脂肪/(g/100 g) Fat
陇薯7号	22.13	1.10	16.78	2.12	0.02	14.83	1.29	0.08
陇薯10号	17.89	1.13	16.54	1.95	0.42	19.61	1.08	0.07
陇薯14号	20.88	1.09	17.55	2.04	0.19	15.51	1.65	0.08
LK 99	18.15	1.17	15.02	1.66	0.26	14.96	1.20	0.08
L0109-4	16.20	1.11	13.45	1.38	0.72	12.55	1.08	0.18
云薯105	21.80	1.09	15.81	1.44	0.29	18.59	1.25	0.29
云薯603	23.15	1.18	15.59	1.93	0.43	19.02	1.57	0.03

表9（续）

品种（系）Variety（line）	干物质/（g/100 g）Dry matter	比重/（kg/m³）Density	淀粉/（g/100g）Starch	蛋白质/（g/100 g）Protein	还原糖/（g/100 g）Reducing sugar	VC/（mg/100 g）	灰分/（g/100 g）Ash	脂肪/（g/100 g）Fat
紫云1号	23.07	1.14	15.42	1.91	0.54	23.60	1.33	0.17
米拉	20.76	1.12	18.18	1.76	0.27	14.87	1.24	0.18
青薯9号	17.82	1.10	15.50	1.90	0.14	15.34	1.24	0.18
艾玛1号	21.05	1.06	17.68	1.72	0.36	12.50	1.37	0.16
艾玛2号	20.22	1.07	18.50	1.48	0.25	15.16	1.14	0.21
Rosita（CK）	21.26	1.12	15.21	1.65	0.45	15.88	1.41	0.16

品种（系）Variety（line）	粗纤维/（g/100 g）Crude fiber	碳水化合物/（g/100 g）Carbohydrate	热量/（kJ/100 g）Energy	Fe/（mg/kg）	Ca/（mg/kg）	K/（mg/kg）	Zn/（mg/kg）
陇薯7号	2.03	14.16	275.21	5.60	15.50	5 255.40	2.10
陇薯10号	2.11	13.53	261.38	4.10	20.20	4 451.60	1.70
陇薯14号	2.09	18.10	339.67	5.90	12.00	5 276.30	2.60
LK 99	2.25	14.28	269.57	6.90	10.30	4 617.90	2.30
L0109-4	2.19	16.73	309.57	3.60	13.40	4 179.60	1.60
云薯105	2.01	16.52	311.20	4.20	23.50	4 398.80	2.00
云薯603	2.64	19.06	352.08	5.10	12.90	4 151.80	1.60
紫云1号	2.71	15.41	295.99	7.20	14.20	4 554.20	1.60
米拉	2.33	15.72	299.04	6.10	21.60	795.00	1.80
青薯9号	2.18	15.73	301.55	4.60	13.00	3 906.80	2.30
艾玛1号	2.01	14.83	282.74	4.20	13.60	4 883.50	2.50
艾玛2号	2.46	17.46	324.58	5.50	14.80	5 540.30	1.80
Rosita（CK）	2.43	20.62	378.37	4.60	12.20	4 546.80	1.90

2.9　不同马铃薯品种（系）块茎各营养品质的相关性分析

由表10可知，马铃薯块茎中的蛋白质含量与脂肪含量呈极显著负相关（$P<0.01$）；热量值与碳水化合物含量呈极显著正相关（$P<0.01$），与灰分含量呈显著正相关（$P<0.05$）；灰分含量与干物质含量呈显著正相关（$P<0.05$）；还原糖含量与淀粉含量、Zn含量呈显著负相关（$P<0.05$）；粗纤维含量与Zn含量呈显著正相关（$P<0.05$）。

2.10　不同马铃薯品种（系）块茎各营养品质的主成分分析

将13个马铃薯品种（系）块茎的15项营养指标值标准化处理后进行主成分分析，根据特征值>1的原则，提取到5个主成分（表11），累计贡献率82.80%，能代表所测营养指标的82.80%。第1主成分（P_1）贡献率为24.54%，其中载荷比较高的是粗纤维和比重，可作为纤维因子。第2主成分（P_2）贡献率为21.11%，其中载荷比较高的是蛋白质、Zn、还原糖和灰分，可代表蛋白质、Zn因子。第3主成分（P_3）贡献率为16.75%，其中载荷比较高的是碳水化合物、热量和Fe，可作为热量、Fe因子。第4主成分（P_4）贡献率为13.46%，其中载荷比较高的是Ca、淀粉、干物质含量和脂肪，可作为Ca、淀粉因子。第5主成分（P_5）贡献率为6.95%，其中载荷比较高的是K和VC，可当成K、VC因子，见表11。

将标准化后的原始数据（X_i）带入模型 $Y=t\times X_i$，其中 t 为标准化后的特征向量矩阵，得到各主成分的表达式如下：

$$Y_1=0.295\,5X_1+0.335\,1X_2-0.111\,0X_3+0.153\,2X_4+0.147\,0X_5+0.295\,0X_6+0.321\,1X_7-0.205\,4X_8+0.432\,6X_9+0.309\,1X_{10}+0.315\,3X_{11}+0.226\,7$$

表10 不同马铃薯品种(系)块茎各营养品质的相关性分析

Table 10 Correlation analysis of nutritional qualities of tubers from potato varieties (lines)

指标 Index	干物质 Dry matter	比重 Density	淀粉 Starch	蛋白质 Protein	还原糖 Reducing sugar	VC	灰分 Ash	脂肪 Fat	粗纤维 Crude fiber	碳水化合物 Carbo hydrate	热量 Energy	Fe	Ca	K	Zn
干物质	1.00														
比重	0.05	1.00													
淀粉	0.34	−0.50	1.00												
蛋白质	0.34	0.22	0.25	1.00											
还原糖	−0.19	0.28	−0.56*	−0.45	1.00										
VC	0.46	0.46	−0.13	0.30	0.21	1.00									
灰分	0.65*	0.11	0.17	0.48	−0.18	0.13	1.00								
脂肪	−0.04	−0.55	0.02	−0.70**	0.11	−0.07	−0.38	1.00							
粗纤维	0.37	0.55	−0.14	0.01	0.40	0.53	0.19	−0.10	1.00						
碳水化合物	0.30	0.05	−0.12	−0.23	0.24	−0.01	0.55	0.08	0.43	1.00					
热量值	0.34	0.03	−0.09	−0.17	0.20	0.02	0.58*	0.08	0.43	1.00**	1.00				
Fe	0.38	0.39	0.21	0.35	−0.28	0.34	0.24	−0.24	0.47	−0.14	−0.12	1.00			
Ca	0.11	−0.20	0.30	−0.15	−0.07	0.26	−0.36	0.45	−0.27	−0.28	−0.27	−0.24	1.00		
K	0.07	−0.25	−0.07	0.06	−0.09	0.04	0.15	−0.17	−0.13	0.07	0.06	−0.08	−0.46	1.00	
Zn	−0.06	−0.43	0.34	0.24	−0.62*	−0.48	0.36	−0.09	−0.62*	−0.15	−0.13	0.07	−0.31	0.28	1.00

注:*表示$P<0.05$显著相关,**表示$P<0.01$极显著相关。

Note: * means $P<0.05$ significant correlation, ** means $P<0.01$ extremely significant correlation.

$X_{12}-0.193\,9X_{13}+0.012\,5X_{14}-0.198\,1X_{15}$

$Y_2=0.211\,3X_1-0.109\,6X_2+0.321\,5X_3+0.406\,3X_4-0.441\,7X_5-0.066\,3X_6+0.322\,0X_7-0.260\,2X_8-0.163\,5X_9-0.093\,9X_{10}-0.068\,6X_{11}+0.222\,0X_{12}-0.137\,1X_{13}+0.157\,4X_{14}+0.413\,1X_{15}$

$Y_3=0.033\,4X_1-0.329\,4X_2+0.020\,8X_3-0.250\,5X_4+0.025\,2X_5-0.308\,5X_6+0.242\,3X_7+0.199\,4X_8-0.083\,9X_9+0.469\,4X_{10}+0.463\,7X_{11}-0.276\,4X_{12}-0.191\,2X_{13}+0.192\,4X_{14}+0.201\,9X_{15}$

$Y_4=0.408\,3X_1-0.230\,2X_2+0.415\,3X_3-0.054\,9X_4-0.144\,3X_5+0.218\,2X_6+0.038\,7X_7+0.380\,8X_8+0.086\,6X_9+0.074\,6X_{10}+0.100\,0X_{11}+0.071\,1X_{12}+0.518\,8X_{13}-0.267\,5X_{14}-0.146\,4X_{15}$

$Y_5=0.216\,4X_1-0.231\,1X_2+0.108\,7X_3-0.012\,7X_4+0.103\,8X_5+0.448\,5X_6-0.073\,4X_7+0.152\,8X_8-0.024\,5X_9-0.138\,1X_{10}-0.130\,2X_{11}-0.080\,3X_{12}-0.010\,8X_{13}+0.774\,5X_{14}-0.056\,8X_{15}$

根据表达式计算出各主成分得分值,将各主成分得分值带入公式$Y=(-24.543Y_1+21.105Y_2+16.748Y_3+13.455Y_4+6.950Y_5)/82.808$,得出各品种(系)块茎营养品质主成分分析的综合得分及排名(表12)。Y_1代表纤维因子,其值越低越好,得分较低的是'艾玛1号'和'云薯105',口感较细腻。Y_2代表蛋白质、Zn因子,'陇薯14号'和'陇薯7号'得分较高,蛋白质和Zn含量高,营养价值好。Y_3代表热量、Fe因子,CK和'陇薯14号'得分靠前,能量值和Fe含量高。Y_4代表Ca、淀粉因子,'米拉'和'云薯105'得分较高,Ca^{2+}含量和淀粉含量高,适合做加工型马铃薯。Y_5代表K、VC因子,得分较高的是'紫云1号'和'云薯105',说明K、VC含量均较高。根据综合得分,排名前四的是'艾玛1号''陇薯14号''陇薯7号'和'云薯105',说明综合营养品质较高,CK、'L0109-4''紫云1号'和'云薯603'排名靠后,说明综合营养品质较差。

表 11　马铃薯块茎主要营养品质指标的主成分分析

Table 11　Principal component analysis of main nutritional qualities of potato tubers

指标 Index	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5
干物质 Dry matter	0.567	0.376	0.053	0.580	0.221
比重 Density	0.643	−0.195	−0.522	−0.327	−0.236
淀粉 Starch	−0.213	0.572	0.033	0.590	−0.111
蛋白质 Protein	0.294	0.723	−0.397	−0.078	−0.013
还原糖 Reducing sugar	0.282	−0.786	0.040	−0.205	0.106
VC	0.566	−0.118	−0.489	0.310	0.458
灰分 Ash	0.616	0.573	0.384	0.055	−0.075
脂肪 Fat	−0.394	−0.463	0.316	0.541	0.156
粗纤维 Crude fiber	0.830	−0.291	−0.133	0.123	−0.025
碳水化合物 Carbohydrate	0.593	−0.167	0.744	0.106	−0.141
热量 Energy	0.605	−0.122	0.735	0.142	−0.133
Fe	0.435	0.395	−0.438	0.101	−0.082
Ca	−0.372	−0.244	−0.303	0.737	−0.011
K	0.024	0.280	0.305	−0.380	0.791
Zn	−0.380	0.735	0.320	−0.208	−0.058
特征值 Eigenvalue	3.681	3.166	2.512	2.018	1.043
贡献率/% Contribution rate	24.543	21.105	16.748	13.455	6.950
累计贡献率/% Cumulative contribution rate	24.543	45.649	62.396	75.851	82.801

表 12　不同马铃薯品种（系）块茎营养品质主成分分析综合得分及排名

Table 12　Principal component analysis comprehensive score and ranking of nutritional qualities for potato varieties (lines)

品种（系） Variety (line)	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	Y_5	Y	排名 Rank
艾玛 1 号	−4.12	2.51	1.96	−0.15	0.35	2.26	1
陇薯 14 号	1.49	5.76	2.73	−0.55	−0.15	1.48	2
陇薯 7 号	−1.87	4.66	−1.65	−0.21	0.53	1.42	3
云薯 105	−2.97	−2.31	1.19	3.20	1.09	1.14	4
艾玛 2 号	−1.09	−0.68	2.01	1.73	0.76	0.90	5
青薯 9 号	−2.48	0.87	0.32	−1.11	−0.50	0.80	6
米拉	−1.05	−0.61	−2.15	3.51	−2.68	0.06	7
陇薯 10 号	−2.54	−1.24	−4.02	−0.62	0.65	−0.42	8
LK 99	−0.41	0.90	−2.52	−3.40	−0.53	−0.75	9
Rosita（CK）	3.99	−1.82	3.94	−0.22	−0.27	−0.91	10
L0109-4	−2.45	−6.72	1.50	−2.88	−0.28	−1.18	11
紫云 1 号	5.52	−1.21	−3.35	1.11	1.52	−2.31	12
云薯 603	7.98	−0.11	0.04	−0.40	−0.49	−2.49	13

3　讨　论

马铃薯的生育期受品种和光、温、水等气候因子影响，不同气候条件下生育期会发生变化[24]，本试验结果显示，2019—2021 年供试的 13 个马铃薯品种（系）都可以完成物候期，生育期在 59～104 d，早熟品种（系）2 个，中早熟品种（系）8 个，中熟品种（系）3 个，引进的 12 个品种（系）3 年生育期均有不

同程度的缩短，这可能由于尼泊尔北部山区与12个品种（系）来源地气候差异导致。本研究结果显示，‘LK99’3年均未开花，‘艾玛2号’在2020和2021年连续未开花，而马铃薯的开花受品种和温度、湿度、光照等因素影响[25]，已有研究表明，光照充足、长日照能促进花蕾的分化与形成，尤其对开花少的早熟品种（系）更加明显[25-26]，‘LK 99’来源于甘肃，‘艾玛2号’来源于西藏，而尼泊尔北部山区降雨量大、湿度大、日照短，加之两品种的特征特性，这可能是未开花的主要原因，另外两品种在本试验中晚疫病病情指数并列第一，晚疫病病情指数均为0.89，病株率均为100%，田间植株未开花就已枯黄，也可能是未开花的原因之一。选育和种植抗病品种是防治农作物病害最有效的措施[27]，本研究结果显示，‘云薯105’‘云薯603’‘紫云1号’表现出高抗晚疫病，晚疫病病株率分别为2%、4%、2%；Rosita（CK）较抗晚疫病，病株率为15%；其余品种晚疫病病株率均高于CK，这是由于品种自身的抗性差异导致的。

2019—2021年，‘云薯105’的产量均表现为最高，年平均产量为23.94 t/hm^2，较CK增产72.73%（$P<0.01$）；不易感病，且晚疫病病情指数最低，为0.00，CK为0.03；块茎大小整齐，CK表现为不整齐；在口感评价中表现为质地粉、气味清香、蒸食口感得分为82.6、接受度为高，商品薯率为94.01%（仅次于‘L0109-4’），CK的商品薯率仅为41.93%。‘云薯105’的丰产性、抗病性、口感评价、商品薯率均表现良好。‘青薯9号’在2019—2021年的产量表现均排在第2位，年平均产量为21.01 t/hm^2，较CK增产51.59%（$P<0.05$）；块茎大小整齐；在口感评价中表现为质地粉、气味清香、蒸食口感得分为74.7、接受度为中，晚疫病病情指数0.04，高于CK的0.03；商品薯率88.84%。‘L0109-4’‘米拉’‘陇薯7号’‘陇薯10号’‘艾玛1号’5个品种（系）的3年平均产量均高于CK，但无显著差异，基于尼泊尔高产马铃薯品种稀缺的现状，以及‘青薯9号’较高产和商品薯率高的特点，‘青薯9号’较适宜在尼泊尔北部山区种植和推广，但需要做好晚疫病防控。

本研究对供试13个品种（系）的15种品质指标进行了检测，并进行相关性分析发现，在所测定的各营养成分中，部分指标之间存在显著或极显著的相关性，Xing等[16]、颉瑞霞等[28]、潘峰等[29]和文国宏等[30]也得出了类似结果。本研究结果表明，马铃薯块茎中的蛋白质含量与脂肪含量呈极显著负相关（$P<0.01$）；热量与碳水化合物含量呈极显著正相关（$P<0.01$），与灰分含量呈显著正相关（$P<0.05$）；灰分含量与干物质含量呈显著正相关（$P<0.05$）；还原糖含量与淀粉含量、Zn含量均呈显著负相关（$P<0.05$）；粗纤维含量与Zn含量呈显著正相关（$P<0.05$）。本研究中，‘云薯603’的干物质含量最高，‘艾玛2号’淀粉含量最高，‘陇薯7号’蛋白质含量最高，‘陇薯7号’还原糖含量最低，‘紫云1号’的VC含量最高，CK的热量最高。‘紫云1号’Fe含量最高，‘陇薯14’的Zn含量最高，故单一指标无法准确对马铃薯的品质进行综合性评价，需用多个指标进行评价。

为确定影响引进马铃薯品种（系）综合品质的主要指标，进行了主成分分析。主成分分析可以将多个指标，用综合变量的方法进行概况，因此更易分析并且更加直观，从而达到准确综合评价作物品质的目的[31-33]。目前，这种方法已经成熟应用于马铃薯的品质性状综合评价中[34-36]。本研究根据特征值>1的原则，提取到5个主成分（P_1，P_2，P_3，P_4，P_5），累计贡献率为82.80%，可代表马铃薯块茎品质性状的大部分变异，根据表达式计算出各主成分得分值（Y_1，Y_2，Y_3，Y_4，Y_5），将各主成分得分值带入公式得出各品种（系）块茎营养品质主成分分析的综合得分（Y）及排名，综合得分排名前4的品种依次为：‘艾玛1号’‘陇薯14号’‘陇薯7号’和‘云薯105’，表明综合营养品质较高，综合得分排名第10—第13的品种（系）依次为：CK、‘L0109-4’‘紫云1号’和‘云薯603’，表明综合营养品质较差。从综合营养品质层面考虑，‘艾玛1号’‘陇薯14号’‘陇薯7号’和‘云薯105’为优质品种。

4 结 论

本研究通过连续3年马铃薯品种（系）比较试验发现，‘云薯105’3年产量均为最高，丰产性、抗病性、口感评价、商品薯率均表现良好，品质综合得分第4，根据尼泊尔马铃薯产业发展现状，可作为尼泊尔北部山区及尼泊尔类似生态区域种植推广的首选品种。‘青薯9号’丰产性较好，可作尼泊尔马铃薯高产推广备选品种；‘艾玛1号’‘陇薯14号’‘陇薯7号’综合营养品质较高，可作为尼泊尔马铃薯高品质推广品种供生产选择。

参考文献 references

[1] 张帆，付锦涛，陈梦茹，张香竹，李源，邢英英，魏子晗，黎吉璐，王秀康．基于主成分分析和聚类分析的14份马铃薯种质资源的品质评价[J]．种子，2022，41(12)：85-92
Zhang F，Fu J T，Chen M R，Zhang X Z，Li Y，Xing Y Y，Wei Z H，Li J L，Wang X K．Quality evaluation of 14 potato germplasm resources based on principal component analysis and cluster analysis[J]．*Seed*，2022，41(12)：85-92（in Chinese）

[2] Wang X K，Guo T，Wang Y，Xing Y Y，Wang Y F，He X L．Exploring the optimization of water and fertilizer management practices for potato production in the sandy loam soils of Northwest China based on PCA[J/OL]．*Agricultural Water Management*，(2020-07-01)．DOI：10.1016/j.agwat.2020.106180

[3] FAO．*Statistical Pocketbook*[M]．Rome：Food and Agriculture Organization of the United Nations，2019

[4] 刘可心，王克秀，唐铭霞，何卫，杨雯婷，李萍，胡建军．施钾量对马铃薯生长发育及氮磷钾积累分配的影响[J]．中国农学通报，2023，39(2)：51-56
Liu K X，Wang K X，Tang M X，He W，Yang W T，Li P，Hu J J．Effect of potassium application rates on potato growth and N P K accumulation and distribution[J]．*Chinese Agricultural Science Bulletin*，2023，39(2)：51-56（in Chinese）

[5] National Potato Research Program．*Annual Report*（*2015*）[M]．Kathmandu：Nepal Agricultural Research Council，2016

[6] 中华人民共和国商务部国际贸易经济合作研究院．对外投资合作国别（地区）指南 尼泊尔（2021）[EB/OL]．[2023-10-01]．http://www.mofcom.gov.cn/dl/gbdqzn/upload/niboer.pdf
Chinese Academy of International Trade and Economic Cooperation．Guidelines for Foreign Investment Cooperation Countries（Regions）：Nepal(2021)[EB/OL]．[2023-10-01]．http://www.mofcom.gov.cn/dl/gbdqzn/upload/niboer.pdf(in Chinese)

[7] Bal K J，Madan R B，Krishna H G，Mahendra K，Suk B G，Rajeev D，Bhuwon S．*Released and Promising Crop Varieties for Mountain Agriculture in Nepal*(*1959-2016*)[M]．Pokahara：Bioversiy International，2017

[8] NY/T 1489—2007 农作物品种试验技术规程 马铃薯[S]．北京：中国标准出版社，2008
NY/T 1489—2007 Rules for the trial technology of potato varieties[S]．Beijing：Standards Press of China，2008(in Chinese)

[9] 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
Zhang Y C，Tian F．*Research Method of Potato Experiments*[M]．Beijing：China Agricultural Science and Technology Press，2007（in Chinese）

[10] 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，2003
Liu X C，Zhang L J．*Descriptors and Data Standard for Potato Germplasm Resources*[M]．Beijing：China Agriculture Press，2003（in Chinese）

[11] 梁金平，张川，张志勇，周美玲，郑新妹．闽西菜用型马铃薯新品种比较试验[J]．中国马铃薯，2022，36(5)：396-404
Liang J P，Zhang C，Zhang Z Y，Zhou M L，Zheng X M．Comparative test of new table potato varieties in western Fujian[J]．*Chinese Potato Journal*，2022，36(5)：396-404（in Chinese）

[12] 马红梅．西北地区部分马铃薯主栽品种晚疫病抗性鉴定和抗病基因组成分析[D]．杨凌：西北农林科技大学，2015
Ma H M．Resistance genes analysis of main potato cultivars to phytophthora infestans in Northwestern China[D]．Yangling：Northwest A&F University，2015（in Chinese）

[13] GB 5009．3—2016 食品安全国家标准 食品中水分的测定[S]．北京：中国标准出版社，2017
GB 5009．3—2016 National food safety standard-determination of moisture in food[S]．Beijing：Standards Press of China，2017（in Chinese）

[14] 张中宁，张晨霞，吴莘玲，陈晨，刘震宇，陈德华，陈媛．种植密度对马铃薯产量和淀粉品质的影响[J]．江苏农业科学，2022，50(7)：59-66
Zhang Z N，Zhang C X，Wu S L，Chen C，Liu Z Y，Chen D H，Chen Y．Effects of planting density on potato yield and starch properties[J]．*Jiangsu Agricultural Sciences*，2022，50(7)：59-66(in Chinese)

[15] 张胜．遗传因素和环境条件对马铃薯产量、品质、养分吸收影响的研究[D]．呼和浩特：内蒙古农业大学，2011
Zhang S．Effects of genetic factors and environmental conditions on potato tuber yield，quality and nutrients uptake[D]．Hohhot：Inner Mongolia Agricultural University，2011(in Chinese)

[16] Xing Y Y，Niu X L，Wang N，Jiang W T，Gao Y G，Wang X K．The Correlation between soil nutrient and potato quality in Loess Plateau of China based on PLSR[J/OL]．*Sustainability*，(2020-02-20)．DOI：10.3390/su12041588

[17] 余斌．引进马铃薯种质资源表型多样性分析及块茎品质的综合评价[D]．兰州：甘肃农业大学，2018
Yu B．Genetic diversity analysis of phenotypic traits and comprehensive assessment of tuber quality in introduced potato germplasm resources[D]．Lanzhou：Gansu Agricultural University，2018（in Chinese）

[18] GB 5009．4—2016 食品安全国家标准 食品中灰分的测定[S]．北京：中国标准出版社，2017
GB 5009．4—2016 National food safety standard - determination of ash content in food[S]．Beijing：Standards Press of China，2017（in Chinese）

[19] GB 5009．6—2016 食品安全国家标准 食品中脂肪的测定[S]．北京：中国标准出版社，2017
GB 5009．6—2016 National Food Safety Standard - Determination of fat in Food[S]．Beijing：Standards Press of China，2017（in Chinese）

[20] GB 5009．10—2003 植物类食品中粗纤维的测定[S]．北京：中国标准出版社，2004
GB 5009．10—2003 Determination of crude fiber in plant foods[S]．Beijing：Standards Press of China，2004（in Chinese）

[21] 高俊凤．植物生理学实验指导[M]．北京：高等教育出版社，2006
Gao J F．*Experimental Guidance for Plant Physiology*[M]．Beijing：Higher Education Press，2006（in Chinese）

[22] 张志良，瞿伟菁．植物生理学实验指导[M]．3版．北京：高等教育出版社，2003
Zhang Z L，Qu W J．*The Experimental Guide for Plant Physiology*[M]．3rd ed．Beijing：Higher Education Press，2003（in Chinese）

[23] 何梅，边立华，王辛，于波，梁晓聪，杨月欣．包装食品可利用碳水化物和能量分析误差研究[J]．中国食品卫生杂志，2007，19(6)：498-501
He M，Bian L H，Wang X，Yu B，Liang X C，Yang Y X．Laboratory analytical variety for available carbohydrate and energy in prepackaged foods[J]．*Chinese Journal of Food Hygiene*，2007，19(6)：498-501（in Chinese）

[24] 池再香，杜正静，杨再禹，熊应祥，刘建粤．贵州西部马铃薯生育期气候因子变化规律及其影响分析[J]．中国农业气象，2012，33(3)：417-423
Chi Z X，Du Z J，Yang Z Y，Xiong Y X，Liu J Y．Climate factors variation during potato growth period and its effect in western Guizhou Province[J]．*Chinese Journal of Agrometeorology*，2012，33(3)：417-423（in Chinese）

[25] 门福义，刘梦芸．马铃薯栽培生理[M]．北京：中国农业出版社，1995
Men F Y，Liu M Y．*Potato Cultivation Physiology*[M]．Beijing：China Agriculture Press，1995（in Chinese）

[26] 李华鹏，彭小荷，王琳，梁晓，王平，沈学善．成都平原地区增加光照时数对

马铃薯开花的影响[J]. 西南农业学报,2018,31(1):136-140
Li H P,Peng X H,Wang L, Liang X,Wang P,Shen X S. Effects of increasing illumination hours on potato blossoming in Chengdu Plain Area[J]. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*,2018,31(1):136-140 (in Chinese)

[27] Deng Y W,Zhai K R, Xie Z,Yang D Y,Zhu X D,Liu J Z,Wang X,Qin P, Yang Y Z,Zhang G M,Li Q, Zhang J F,Wu S Q, Milazzo J,Mao B Z, Wang E T, Xie H A, Tharreau D, He Z H. Epigenetic regulation of antagonistic receptors confers rice blast resistance with yield balance[J]. *Science*,2017,355(6328):962-965

[28] 颉瑞霞,张小川,吴林科,郭志乾,张国辉,余帮强. 马铃薯种质资源主要品质性状分析与评价[J]. 分子植物育种,2020,18(20):6828-6836
Xie R X,Zhang X C, Wu L K,Guo Z Q, Zhang G H, Yu B Q. Main quality traits analysis and evaluation of potato germplasms[J]. *Molecular Plant Breeding*,2020,18(20):6828-6836 (in Chinese)

[29] 潘峰. 马铃薯种质资源品质性状及利用价值的评价[D]. 哈尔滨:东北农业大学,2019
Pan F. Evaluation of quality characters and utilization value of potato germplasm resources [D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2019 (in Chinese)

[30] 文国宏,李高峰,李建武,张荣,马胜,贾小霞. 陇薯系列马铃薯品种营养品质评价及相关性分析[J]. 核农学报,2018,32(11):2162-2169
Wen G H, Li G F,Li J W,Zhang R,Ma S, Jia X X. Nutrition quality evaluation and correlation analysis of Longshu potato varieties named with series[J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*,2018,32(11):2162-2169 (in Chinese)

[31] 元玉碧,张莹莹,梁家豪,朱艳芳,闫佳,殷亚超. 夏玉米产量与农艺性状的主成分分析和灰色关联度分析[J]. 河南农业,2020(23):15-16
Yuan Y B, Zhang Y Y,Liang J H,Zhu Y F, Yan J, Yin Y C. Principal component analysis and grey correlation analysis of yield and agronomic traits of summer maize[J]. *Agriculture of Henan*,2020(23):15-16 (in Chinese)

[32] 黄晨晨,宋晓,黄绍敏,张珂珂,刘亚茹. 基于主成分分析和聚类分析的磷高效品种筛选和评价[J]. 中国土壤与肥料,2021(6):292-299
Huang C C, Song X, Huang S M,Zhang K K, Liu Y R. Screening and evaluation of phosphorus high efficient varieties based on principal component analysis and cluster analysis[J]. *Soil and Fertilizer Sciences in China*,2021(6):292-299 (in Chinese)

[33] 田治国,王飞,张文娥,赵秀明. 多元统计分析方法在万寿菊品种抗旱性评价中的应用[J]. 应用生态学报,2011,22(12):3315-3320
Tian Z G, Wang F, Zhang W E, Zhao X M. Drought-resistance evaluation of marigold cultivars based on multiple statistics analysis [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*,2011,22(12):3315-3320 (in Chinese)

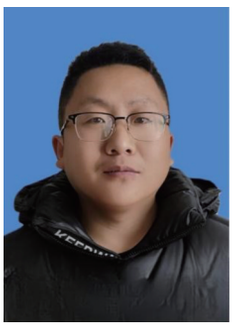
[34] 李守强,田世龙,李梅,葛霞,田甲春,程建新. 主成分分析和隶属函数法综合评价15种(系)马铃薯的营养品质[J]. 食品工业科技,2020,41(6):272-276,291
Li S Q, Tian S L, Li M, Ge X, Tian J C, Cheng J X. Comprehensive evaluation of the nutrition quality of 15 varieties of potatoes by principal component analysis and subordinate function method [J]. *Science and Technology of Food Industry*,2020,41(6):272-276,291 (in Chinese)

[35] 朱永永,赵贵宾,熊春蓉,岳云,赵小文,边彩燕. 全膜垄作侧播栽培模式下主要旱作马铃薯品种营养品质综合评价[J]. 干旱地区农业研究,2018,36(5):88-93
Zhu Y Y, Zhao G B, Xiong C R, Yue Y, Zhao X W, Bian C Y. A comprehensive evaluation of the nutritional quality of potato varieties in the drought-planting mode under side-seeding on ridge and full plastic-film mulching[J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*,2018,36(5):88-93 (in Chinese)

[36] 何文,张秀芬,郭素云,阳景阳,李恒锐,刘连军. 基于主成分分析和聚类分析对22份马铃薯种质的综合评价[J]. 种子,2021,40(3):80-86
He W, Zhang X F,Guo S Y, Yang J Y,Li H R, Liu L J. Comprehensive evaluation of 22 potato germplasms based on principal component analysis and cluster analysis[J]. *Seed*,2021,40(3):80-86 (in Chinese)

责任编辑:吕晓梅

第一作者简介:降志兵,西藏自治区农牧科学院农业研究所助理研究员。主要从事农作物高产栽培技术研究与示范推广,参与选育甘蓝型油菜新品种'年河18号',主持和参与国家重点研发计划、国家自然科学基金、省级重点研发计划等项目10项,独立及参与发表论文10篇,参与制定地方标准6个。



通讯作者简介:谈建鑫,西藏自治区农牧科学院农业研究所助理研究员。主要从事作物栽培机理与成果转化研究,先后主持和参与国家重点研发计划、国家科技支撑计划、省级项目等30项,其中主持国家重点研发计划子课题1项;发表论文20篇,授权专利2个,登记软件著作权4个,参编专著2部,参与制定标准10个。