

不同马铃薯品种的不同加工产品适宜性评价

杨炳南, 张小燕, 赵凤敏, 杨延辰, 刘 威, 李树君^{*}

(中国农业机械化科学研究院, 北京 100083)

摘 要: 中国是世界马铃薯生产和消费大国, 2015 年初, 国家农业部因势而谋推进马铃薯主粮化战略, 对提升马铃薯重要地位和推进马铃薯加工进步具有积极作用。系统研究马铃薯原料性状与制品品质间关系, 对促进马铃薯产业发展和升级具有积极的借鉴意义。试验采用最大-最小归一化处理将马铃薯油炸薯片、油炸薯条及雪花全粉各个品质指标转化为一维的综合评价指标, 分别与 44 个马铃薯原料品种的特征指标进行拟合并建立回归模型, 建立的马铃薯油炸薯片综合品质评价模型决定系数 $R^2=0.802$, 调整后决定系数 $R^2=0.776$, 随机误差估计值 $\hat{\sigma}=0.101$; 马铃薯油炸薯条综合品质评价模型决定系数 $R^2=0.731$, 调整后 $R^2=0.704$, 随机误差估计值 $\hat{\sigma}=0.141$; 马铃薯雪花全粉综合品质评价模型决定系数 $R^2=0.705$, 调整后 $R^2=0.682$, 随机误差估计值 $\hat{\sigma}=0.170$; 利用 K-means 聚类算法将 44 个品种按加工用途划分为最适宜、较适宜和不适宜 3 类, 得出最适宜加工油炸薯片的 15 个品种, 最适宜加工油炸薯条和雪花全粉各 10 个品种。结果表明, 3 个综合品质评价模型拟合度较高, 误差较小, 模型效果可靠, 可用于实际马铃薯加工制品品质评价; K-means 聚类结果与实际应用情况相符, 可为筛选加工专用品种提供参考和借鉴。

关键词: 薯片; 评价; 品质; 马铃薯; 油炸薯条; 雪花全粉

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2015.20.042

中图分类号: TS215

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2015)-20-0301-08

杨炳南, 张小燕, 赵凤敏, 杨延辰, 刘 威, 李树君. 不同马铃薯品种的不同加工产品适宜性评价[J]. 农业工程学报, 2015, 31(20): 301—308. doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2015.20.042 <http://www.tcsae.org>

Yang Bingnan, Zhang Xiaoyan, Zhao Fengmin, Yang Yanchen, Liu Wei, Li Shujun. Suitability evaluation of different potato cultivars for processing products[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2015, 31(20): 301—308. (in Chinese with English abstract) doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2015.20.042 <http://www.tcsae.org>

0 引 言

马铃薯营养丰富, 粮菜兼用^[1], 是中国产区的主要食物和重要的工业原料, 也是中国保障粮食安全的重要作物。随着国内外市场对马铃薯薯片、薯条及全粉消费量激增, 对适宜加工的马铃薯原料需求量也不断增加, 开展马铃薯食品的综合加工, 可以使马铃薯物尽其用, 创造出更高的经济价值。与世界发达国家相比, 中国马铃薯产业加工专用品种紧缺, 加工利用率低^[3]。鉴于此, 国家对马铃薯产业发展给予了众多政策支持, 2015 年初, 中国政府根据国情、农情、粮情, 研究提出了把马铃薯作为“主粮化”的发展战略。这是一个是改变国人鲜食马铃薯的传统习惯、具有划时代意义的关键性决策, 对促使马铃薯种植发展和推进马铃薯加工进步具有积极作用, 而加工发展的首要任务就是落实加工专用薯种的原料保障^[4-5]。

当前中国马铃薯加工产业蓬勃发展, 在加工工艺开

发、加工装备研发、产业基地及示范等方面成果累累, 研究领域深入到加工生产流水线各个方面, 尤其以中国农业机械化科学研究院为代表的企业率先进行油炸薯片、油炸薯条及全粉生产线自主研发, 逐渐走向成熟工业化^[6-7]; 而在马铃薯品种加工适宜性方面很少有报道。目前国外针对不同加工用途繁育种植特定原料品种, 已基本实现专薯专用。20 世纪末有学者针对北美地区 44 个历史悠久的品种, 研究了不同贮藏条件下马铃薯原料加工油炸薯片的品质, 得出 Lenape 品种性状稳定, 最适合加工薯片^[8]; 2003 年, Lefort 等人研究了贮藏条件和原料品种对加工真空微波马铃薯片的影响^[9]; 2006 年 Coffin 等人针对不同品种研究不同贮藏温度对应油炸薯条的特性^[10]; 2010 年, McCann 等人为研究抑制马铃薯油炸薯片加工过程美拉德反应, 进行了大量的人工培育和野生马铃薯品种的加工油炸薯片适宜性实验^[11]; 2013 年, Decker 等研究了不同品种及加工方式对马铃薯营养价值的强化效果^[12]。相比之下, 国内学者对马铃薯油炸薯片加工品种适宜性研究起步较晚, 涉及品种较少, 且多以感官定性分析为主。肖万军等人 2007 年通过引种、试种、加工等试验从 13 个马铃薯品种筛选出春薯 5 号、大西洋等 5 个适宜油炸薯片加工的品种^[13]; 2009 年, 罗维禄等对薯片加工型马铃薯品种“张薯 7 号”引种进行试验初报^[14]; 2013 年, 国家马铃薯产业技术体系贮藏加工团队评价了国内外广泛种植的马铃薯品种原料用于油炸薯片加工的适宜性^[15]。2015 年, 国家马铃薯体系首席专家金黎平研究员提出马铃薯主粮化的核心在于深加工, 而深

收稿日期: 2015-07-24 修订日期: 2015-09-08

基金项目: 国家马铃薯产业技术体系项目 (CARS-10-P23); 国家自然科学基金项目 (31401582); 公益性行业 (农业) 科研专项经费项目“大宗农产品加工特性研究与品质评价技术 (200903043)”

作者简介: 杨炳南, 男, 北京人, 研究员, 主要从事农产品加工及贮藏工程研究, 北京 中国农业机械化科学研究院, 100083。

Email: yangbn@caams.org.cn

*通信作者: 李树君, 男, 研究员, 博士生导师, 主要从事农产品加工及贮藏工程研究, 北京 中国农业机械化科学研究院, 100083。

Email: lisj@caams.org.cn

加工需从源头谋划,而源头就是专用品种^[16-17]。

本试验通过收集国内广泛种植的马铃薯品种,测定原料的各项感官及理化营养指标,针对不同品种进行油炸薯片、油炸薯条及雪花全粉的加工,引入数学评价模型,分析马铃薯品种差异对加工制品的品质影响,从而进行加工适宜性评价,旨在促进种植与加工之间的衔接,提高马铃薯加工适宜性评价的稳定性和代表性,为薯农种植及厂家加工提供指导意见,对合理扩大马铃薯种植规模、促进马铃薯产业转型升级具有一定的指导意义。试验拟解决两个关键问题,其一是加工原料涉及品种代表性较差的问题,试验在收集原料过程中,避免选用品质性状不稳定、病害易发生、不耐贮藏的品种,最终确定 44 个全国广泛种植、产量较大、性状稳定的品种原料进行后续加工和制品品质评价;其二是马铃薯加工适宜性评价主观性强的问题,试验通过系统分析主流品种原料和加工制品的各项感官、理化、营养等指标,建立油炸薯片、油炸薯条和雪花全粉制品的综合品质与原料关键指标间的数学模型,降低人为因素影响,提高马铃薯加工适宜性评价的科学性和实用性。

1 材料与方法

本试验于 2012 年 9 月至 2014 年 12 月由中国农机院国家食品机械质量监督检验中心与中国农业科学院蔬菜花卉研究所共同研究完成。

1.1 试验材料

试验选用性状较稳定、感官指标参数良好的 44 个马铃薯品种进行油炸薯片、油炸薯条和雪花全粉的加工适宜性研究。受试品种由中国农业科学院蔬菜花卉研究所种植提供,均为国家或地方审定入库品种,由于早熟或中晚熟等不同属性,受试薯种均采用同一级别的微型薯种植于河北坝上张北县海拔 1 500 m 的同一地块,经同样栽培条件种植并收获。各品种到达实验室后统一编号,贮藏温度 $6\pm 1^{\circ}\text{C}$,环境湿度 50~70%RH,避光待检。具体品种名称及编号如表 1 所示。

表 1 44 个马铃薯品种的名称
Table 1 Names of 44 potato cultivars

编号 Number	样品名称 Name	编号 Number	样品名称 Name	编号 Number	样品名称 Name
1	中薯 1 号	16	95P3-3	31	云薯 301
2	卡它丁	17	天薯 5 号	32	白头翁
3	高原 4 号	18	中薯 5 号	33	高原 7 号
4	Red Gold	19	渝马铃薯 1 号	34	青薯 168
5	Estima	20	春薯 1 号	35	Favorita
6	转心乌	21	紫	36	Kondor
7	青薯 2 号	22	L9810-18	37	Hertha
8	丽薯 1 号	23	鄂 95P3-3	38	Atlantic
9	郑薯 5 号	24	马尔科	39	Shepody
10	俄 8	25	东农 303	40	Desiree
11	阿 8084	26	合作 001	41	Spunta
12	陇薯 6 号	27	合作 002	42	GLKS-58-1642.4
13	凉薯 17	28	合作 003	43	TACNA
14	宁薯 7 号	29	克新 19 号	44	LBr-25
15	郑薯 6 号	30	云薯 102		

1.2 主要仪器设备

KDY-9820 凯氏定氮仪(北京思贝得机电技术研究所);WAY-1S 阿贝折光仪(上海精密仪器厂);SRJX-4-13 高温箱式电阻炉(沈阳市电炉厂);101-IEBS 热电鼓风干燥箱(北京市永光明医疗仪器厂);DK-S24 电热恒温水浴锅(上海森信试验仪器有限公司);SZC-C 脂肪测定仪(上海纤检仪器有限公司);SLQ-6 粗纤维测定仪(上海纤检仪器有限公司);QXJ-700 辊刷清洗机(中国农业机械化科学研究院);QJ-45 多功能切菜机(中国农业机械化科学研究院);TDY-500 恒温电炸锅(山东诸城市同泰食品机械厂);薄层滚筒干燥试验台(中国农业机械化科学研究院自行研制);TMS-PRO 食品物性分析仪(美国 FTC 公司);WSD-III 白度计(北京康光仪器有限公司)。

1.3 试验方法

1.3.1 原料主要成分测定方法

试验对不同品种的马铃薯样品选取具代表性的新鲜块茎,分析测定原料的主要感官指标和理化营养指标。由于芽眼数量直接影响加工产品的感官得分;薯形指数和单茎重影响薯片薯条形状及制品产出效率;水分、可溶性固形物、灰分含量直接影响制品的产量、产能及生产效率;还原糖和总糖与制品颜色息息相关;淀粉指标影响薯条薯条的口感及雪花全粉的产量;蛋白质和维生素 C 不仅是人体不可或缺的营养物质,还在一定程度上影响制品的颜色、口感等感官品质^[17]。因此,最终选定主要感官指标^[18]包括芽眼数量、薯形指数和单茎重;主要理化营养指标包括还原糖^[19]、总糖^[20]、淀粉^[21]、水分或干物质^[22]、灰分^[23]、可溶性固形物^[24]、维生素 C^[25]、蛋白质^[26]、脂肪^[27]和粗纤维^[28],测定方法均参照相应的国家或国家推荐标准。

1.3.2 主要产品的加工工艺

马铃薯加工制品主要包括薯片、薯条及全粉加工,试验选择与原料品质直接相关的三种产品进行加工和品质测定,即油炸薯片(切片型)、油炸薯条和雪花全粉。分别取不同品种的马铃薯样品两份,每份 6~8 个(约 1.5 kg),去皮修整后,第一份的每个样品沿短径处切成厚度为 1 mm 的薄片 8~10 片进行油炸薯片加工,另一份沿长轴切成截面为 7 mm×7 mm 的长条状进行油炸薯条加工;随机选取 3 kg 马铃薯样品室温条件下辊刷去皮,利用实验室小型滚筒干燥机制备雪花全粉。具体加工工艺分别如下:

油炸薯片:新鲜马铃薯→预置(24 h)→清洗→去皮、修整→切片(厚度 1 mm)→漂洗→护色→漂烫(80~100℃, 1~2 min)→冷却→脱水干燥→油炸(棕榈油, 160~180℃, 1.5~3 min)→沥油→品质测定

油炸薯条:新鲜马铃薯→预置(24 h)→清洗→去皮、修整→切条(截面尺寸 7×7 mm)→漂洗→护色→一次漂烫(75℃, 20 min)→冷却→二次漂烫(85℃, 1~2 min)→冷却→脱水干燥→初炸(棕榈油, 160~180℃, 1~2 min)→沥油→速冻(-20℃)→复炸(棕榈油, 160~180℃, 2~3 min)→沥油→品质测定

雪花全粉：新鲜马铃薯→预置（24 h）→清洗→去皮、修整→切片（厚度 8~10 mm）→预煮（71~74℃，20 min）→冷却→蒸煮（98~102℃，15 min）→打浆制泥→滚筒干燥→粉碎过筛→品质测定

1.3.3 主要产品的品质指标测定

油炸薯片主要测定指标为蛋白质、酥脆性（最大折断力）、亨特白度及感官得分。薯片的酥脆性及感官得分均参照文献方法^[16]；薯片蛋白质含量根据国标方法进行测定^[26]；薯片白度采用国产 WSD-III 型白度计进行测定。

油炸薯条主要测定指标为蛋白质、硬度（最大剪切力）、亨特白度及感官得分。薯条硬度通过物性分析仪标准直板探头检测油炸薯条被完全剪切时所用力量的峰值；薯条蛋白质通过凯氏定氮法进行测定^[26]；薯条感官得分通过食品专业的评价小组对形态、色泽、口感等项目进行打分得出，打分标准如表 2 所示；薯条白度采用国产 WSD-III 型白度计进行测定。

表 2 马铃薯油炸薯条感官得分评价标准
Table 2 Sensory evaluation standard of french fries

项目 Item	感官得分 Sensory evaluation	得分 Score
形态 (共 2 分) Shape (2 points)	条形、长度一致性好，无粘黏，无正常视力可见的外来杂质	2
	条形、长度基本一致，粘黏较少，少数杂点或焦斑	1
	条形长短不一，较多杂质，粘黏严重	0
色泽 (共 2 分) Color (2 points)	浅黄色或金黄色，色泽均匀，小于等于 USDA 薯条颜色标准 0 级	2
	黄色或深黄色，色泽基本均匀，USDA 薯条颜色标准 1~2 级	1
	深褐色，USDA 薯条颜色标准 3~4 级	0
滋味气味 (共 2 分) Flavor (2 points)	马铃薯特有的薯香味，无焦苦味、哈喇味或其他异味	2
	马铃薯特有的薯香味，轻微哈喇味	1
	严重异味	0
口感 (共 2 分) Taste (2 points)	具有油炸薯条特有的外酥里嫩的口感	2
	口感一般，整体较硬或较软	1
	其他不良口感	0
回软时间 (共 2 分) Softening time (2 points)	薯条油炸出锅开始至其变软的时间大于等于 10 min	2
	薯条油炸出锅开始至其变软的时间为 7~10 min	1
	薯条油炸出锅开始至其变软的时间不超过 7 min	0

注：特异颜色薯条色泽评价以平均值为准。
Note: Average value was regarded as the score of potato products with special color.

雪花全粉主要测定指标为感官得分、蛋白质、粘度和游离淀粉率。雪花全粉感官得分采用评价小组打分制，打分标准如表 3 所示；雪花全粉蛋白质含量根据国标方法进行测定^[26]；雪花全粉粘度利用 DV-ii 型旋转粘度计进行测定^[29]；游离淀粉率测定方法^[30]：称取雪花全粉 10 g 各 2 份，其一份移入 100 mL 容量瓶中，定容至刻度，测定其淀粉含量为 A_1 ，另一份倒入 130 目筛中，用清水冲洗 3~5 次，至筛下水无淀粉反应为止，然后将筛上样品移至 100 mL 容量瓶中并定容至刻度，测定其淀粉含量为 A_2 ，则：

$$\text{游离淀粉率}(\%) = (A_1 - A_2) / A_1 \times 100\%$$

表 3 马铃薯雪花全粉感官得分评价标准
Table 3 Sensory evaluation standard of potato flakes

项目 Item	感官得分 Sensory evaluation	得分 Score
色泽 (共 2 分) Color (2 points)	呈白色或明亮的淡黄色，色泽均匀	2
	呈白色或淡黄色，色泽基本均匀	1
	颜色发暗，色泽不均匀	0
气味 (共 2 分) Flavor (2 points)	有马铃薯特有的薯香味，无异味	2
	马铃薯特有的薯香味较淡	1
	无马铃薯特有的薯香味	0
组织形态 (共 3 分) Texture (3 points)	呈干燥、疏松的雪花片状或粉末状，无结块现象	3
	呈干燥、疏松的雪花片状或粉末状，少量结块现象	2
	组织形态不均匀，结块严重	1
斑点杂质 (共 3 分) Impurity (3 points)	肉眼观察每 100 g 样品（40 目筛上物）中的杂色点个数不超过 10	3
	肉眼观察每 100 g 样品（40 目筛上物）中的杂色点个数为 10~50	2
	肉眼观察每 100 g 样品（40 目筛上物）中的杂色点个数超过 50	1

注：特异颜色薯条色泽评价以平均值为准。
Note: Average value was regarded as the score of potato products with special color.

1.4 数据处理方法

试验主要采用 SPSS 19.0 及 Excel 软件对马铃薯原料及加工产品数据进行统计分析。

1.4.1 逐步回归分析

为筛选出所有对因变量影响显著的自变量，并剔除对影响不显著的自变量，建立“最优”回归方程，试验采用逐步回归分析方法进行数据处理与模型建立。逐步回归分析方法考虑全部自变量的显著程度大小，由大到小地逐个引入回归方程，每一步都要在预先给定的 F 水平下进行显著性检验，以保证在引入新变量前回归方程中只含有对影响显著的变量，而不显著的变量已被剔除^[31]。

1.4.2 K-means 聚类分析

K-means 聚类算法是以欧式距离作为相似度测度，采用误差平方和作为聚类准则函数，认为两个对象的距离越近，其相似度就越大。首先给定一个数据点集合和需要的聚类数目 k ，根据特定的距离函数反复把数据分入 k 个聚类中心，剩下其他对象则根据它们与这些聚类中心的相似度，分别分配给与其最相似的聚类；然后计算每个新聚类的聚类中心；不断重复这一过程直到标准测度函数收敛为止，使得最终聚类满足：同一聚类中的对象相似度较高，而不同聚类中的对象相似度较低^[32]。

2 结果与分析

2.1 基础数据分析

2.1.1 原料基础数据分析

试验对 44 个马铃薯品种的芽眼数量、薯形指数等 14 个理化指标进行统计分析，结果如表 4 所示。除脂肪、粗纤维等少数指标外，其他指标最值区间明显，变化区间较大，其中水分指标极值差异较大，主要由于原料品种特性不同及土壤肥力等客观条件差异；单茎重方差最

大, 主要由于马铃薯农艺性状差异, 相较于品质指标数值, 没有上限最值, 不同品种单茎重量波动幅度大于其他指标。统计数据表明不同马铃薯品种的主要品质指标

存在较大差异, 但马铃薯原料指标众多, 在建立马铃薯制品和原料品质间的评价模型时, 需筛选核心关键指标, 消除冗余, 降低评价负担。

表 4 44 个马铃薯原料各指标测量值统计
Table 4 Data distribution of 44 potato samples' indicators

	芽眼数量 Eye number/个	薯形指数 Shape index	单茎重 Mean weight/g	还原糖 Reducing sugar/(g·100 g ⁻¹)	总糖 Total sugar/(g·100 g ⁻¹)	淀粉 Starch/(g·100 g ⁻¹)	水分 Moisture/(g·100 g ⁻¹)
最小值 Min	5.00	1.07	90.49	0.11	0.30	11.17	69.30
最大值 Max	17.00	2.57	268.80	1.26	1.77	25.75	85.20
均值 Mean	10.00	1.29	165.13	0.42	0.80	17.44	78.71
方差 Var.	7.58	0.07	1 597.78	0.06	0.08	13.18	12.32

	干物质 Dry matter/ (g·100 g ⁻¹)	灰分 Ash/ (g·100 g ⁻¹)	可溶性固形物 Total soluble Solids/ (g·100 g ⁻¹)	维生素 C Vitamin C/(g·100 g ⁻¹)	蛋白质 Protein/(g·100 g ⁻¹)	脂肪 Fat/(g·100 g ⁻¹)	粗纤维 Crude fiber/ (g·100 g ⁻¹)
最小值 Min	14.80	0.80	4.50	8.99	0.32	0.01	0.05
最大值 Max	30.70	1.60	8.22	31.00	3.02	0.25	0.58
均值 Mean	21.29	1.07	5.98	14.74	2.01	0.14	0.35
方差 Var.	12.32	0.03	0.67	19.15	0.27	0.00	0.01

2.1.2 马铃薯制品基础数据分析

将不同马铃薯品种按 1.3.2 所示的加工流程制作成马铃薯油炸薯片、油炸薯条和雪花全粉。测定并分析制品的主要感官、营养及产品特征指标, 结果如表 5 所示。三种制品的最值差距明显, 方差相对较高, 表明马铃薯原料性状差异导致加工制品特征品质存在较大差异, 由于原料指标对制品各项品质指标影响方向不一致, 有必要将制品品质指标进行归一化处理。

表 5 44 个马铃薯原料加工制品的品质指标数据统计
Table 5 Data distribution of 44 processed products' quality

油炸薯片 Potato chips	感官得分 Sensory evaluation	蛋白质 Protein/ (g·100 g ⁻¹)	酥脆性 Crispness/ N	亨特白度 Hunter whiteness/ %
最小值 Min	4.33	1.07	1.74	51.53
最大值 Max	7.24	3.10	3.10	52.68
均值 Mean	5.93	2.48	2.24	52.37
方差 Var.	0.53	0.15	0.08	0.06

油炸薯条 French fries	感官得分 Sensory evaluation	蛋白质 Protein/ (g·100 g ⁻¹)	硬度 Hardness/ N	亨特白度 Hunter whiteness/ %
最小值 Min	5.16	0.81	3.13	54.72
最大值 Max	9.79	3.51	4.72	70.62
均值 Mean	7.70	2.50	3.78	61.21
方差 Var.	1.75	0.27	0.12	12.32

雪花全粉 Potato flakes	感官得分 Sensory evaluation	蛋白质 Protein/ (g·100 g ⁻¹)	粘度 Viscosity/ mPa·s	游离淀粉率 Free starch ratio/ %
最小值 Min	5.13	4.24	3.92	2.06
最大值 Max	9.25	7.09	5.47	3.07
均值 Mean	7.47	5.81	4.76	2.59
方差 Var.	1.08	0.50	0.13	0.09

2.2 品质指标归一化

为得到统一且具有代表性的马铃薯制品综合评价指标, 采用最大-最小归一化处理并计算各指标间的欧

氏距离^[33], 可分别将油炸薯片、油炸薯条及雪花全粉的 4 个评价指标转化为 1 组一维数据, 将得到的一维数据作为制品的综合评价指标。

计算得出的油炸薯片综合评价指标与薯片感官得分、蛋白质、酥脆性和亨特白度的相关系数分别为 0.609、0.308、0.575 和 0.716; 薯条综合评价指标与感官得分、蛋白质、硬度、亨特白度的相关系数分别为 0.545、0.511、0.694 和 0.695; 全粉综合评价指标与感官得分、蛋白质、粘度、游离淀粉率的相关系数分别为 0.654、0.579、0.699 和 -0.499。除薯片综合评价指标与薯片蛋白质在 0.05 水平上显著相关外, 其他均在 0.01 水平上显著相关。表明得到的归一化综合评价指标准确可靠, 且能有效代表加工制品的综合品质。

2.3 马铃薯加工制品品质评价模型建立

2.3.1 逐步回归模型建立

为全面具体考察马铃薯原料品质对其加工特性的影响, 试验测定了马铃薯原料的 14 个理化及营养指标, 而这些指标对于马铃薯加工制品品质影响的显著程度不一。为了筛选对制品品质影响显著的原料, 剔除影响不显著的指标, 可应用逐步多元回归分析的方法建立“最优”回归方程, 以便对因变量进行预报或控制。

根据 F 值概率大小筛选引入模型的显著变量 ($p < 0.05$) 和需剔除的不显著变量 ($p > 0.1$), 引入变量或剔除变量每一步都要进行 F 检验, 直到在逐步回归方程中的变量都不能剔除而又无新变量可以引入时为止。最后, 对油炸薯片综合评价指标 (Y_1) 作用显著的变量有还原糖 (X_1)、灰分 (X_2)、蛋白质 (X_3)、芽眼数量 (X_4) 和可溶性固形物 (X_5); 对油炸薯条综合评价指标 (Y_2) 作用显著的变量有水分 (X_6)、蛋白质 (X_3)、还原糖 (X_1) 和单茎重 (X_7); 对马铃薯全粉综合评价指标 (Y_3) 显著的变量有淀粉 (X_8)、芽眼数量 (X_4) 和总糖 (X_9)。其他指标由于对马铃薯制品的品质贡献较小、显著性 $\text{sig.} > 0.1$ 被剔除, 引入模型的各变量系数如表 6 所示。

表 6 马铃薯加工制品综合品质评价模型系数
Table 6 Coefficients of potato processed products' comprehensive evaluation model

模型 Model	变量名称 Variables	非标准化系数 Unstandardized coefficients		标准化系数 Standardized coefficients		<i>t</i>	<i>sig.</i>
		回归系数 B	标准误差 Std. error	试用 Beta			
油炸薯片 Potato chips	常量 Constant	0.748	0.162			4.613	<0.001
	还原糖 Reducing sugar	-0.381	0.075	-0.431		-5.064	<0.001
	灰分 Ash	0.395	0.117	0.304		3.363	0.002
	蛋白质 Protein	0.088	0.033	0.214		2.687	0.011
	芽眼数量 Eye number	-0.024	0.006	-0.305		-3.684	0.001
油炸薯条 French fries	可溶性固形物 Total soluble solids	0.052	0.022	0.201		2.369	0.023
	常量 Constant	4.386	0.517			8.491	<0.001
	水分 Moisture	-0.043	0.006	-0.583		-6.845	<0.001
	蛋白质 Protein	0.202	0.043	0.403		4.640	<0.001
	还原糖 Reducing sugar	-0.295	0.092	-0.274		-3.215	0.003
雪花全粉 Potato flakes	单茎重 Mean weight	-0.001	0.001	-0.191		-2.234	0.031
	常量 Constant	0.515	0.177			2.917	0.006
	淀粉 Starch	0.054	0.007	0.652		7.483	<0.001
	芽眼数量 Eye number	-0.048	0.010	-0.442		-4.903	<0.001
	总糖 Total sugar	0.216	0.093	0.207		2.328	0.025

表 6 中, 3 个模型的常量及指标系数的显著性水平 $sig.<0.05$, 说明引入各个回归模型的原料指标对马铃薯加工制品品质影响显著, 存在显著的线性关系, 三种制品的逐步回归方程为:

油炸薯片: $Y_1=0.748-0.381X_1+0.395X_2+0.088X_3-0.024X_4+0.052X_5$

油炸薯条: $Y_2=4.386-0.043X_6+0.202X_3-0.295X_1-0.001X_7$

雪花全粉: $Y_3=0.515+0.054X_8-0.048X_4+0.216X_9$
式中: $Y_1\sim Y_3$ 分别代表马铃薯油炸薯片、油炸薯条和雪花全粉的综合评价指标; $X_1\sim X_9$ 分别代表马铃薯原料的还原糖、灰分、蛋白质、芽眼数量、可溶性固形物、水分、单茎重、淀粉和总糖指标。

2. 3. 2 逐步回归模型有效性评价

3 种制品综合指标评价模型的精度可通过决定系数 R^2 来评价, 模型可信度通过 F 检验来判断。模型决定系数及随机误差汇总表如表 7 所示: 马铃薯油炸薯片综合品质评价模型决定系数 $R^2=0.802$, 调整后 $R^2=0.776$, 随机误差估计值 $\hat{\sigma}=0.101$; 马铃薯油炸薯条综合品质评价模型决定系数 $R^2=0.731$, 调整后 $R^2=0.704$, 随机误差估计值 $\hat{\sigma}=0.141$; 马铃薯雪花全粉综合品质评价模型决定系数 $R^2=0.705$, 调整后 $R^2=0.682$, 随机误差估计值 $\hat{\sigma}=0.170$ 。说明各评价模型拟合度较高, 随机误差较小, 能满足实际评价需求。

通过三种制品的模型方差分析表 8 给出的模型偏差分解及 F 检验结果显示, 油炸薯片、油炸薯条和雪花全

粉的逐步回归方程 F 统计量分别为 $F_1=30.729$ 、 $F_2=26.536$ 及 $F_3=31.809$, 经计算 $F(0.001,5,38)=5.190$, $F(0.001,4,39)=5.730$, $F(0.001,3,40)=6.595$, 即 3 个评价模型的 F 值明显超过 F 检验的临界值, 显著性水平 $sig.$ 值均小于 0.001, 可认为所建立的 3 个回归方程线性关系非常显著, 用于评价油炸薯片、油炸薯条和雪花全粉的综合品质是有效的。

表 7 马铃薯加工制品综合品质评价模型效果汇总
Table 7 Effect summary of potato processed products' comprehensive evaluation model

模型	<i>R</i>	R^2	Adjusted R^2	随机误差估计值 Std. error of the estimate
油炸薯片 Potato chips	0.895	0.802	0.776	0.101
油炸薯条 French fries	0.855	0.731	0.704	0.141
雪花全粉 Potato flakes	0.839	0.705	0.682	0.170

表 8 模型方差分析表
Table 8 ANOVA table of model

模型 Model		平方和 SS	自由度 <i>df</i>	均方 MS	<i>F</i>	<i>Sig.</i>
油炸薯片 Potato chips	回归 SS_R	1.557	5	0.311	30.729	<0.001
	残差 SS_{Re}	0.385	38	0.010		
	总计 SS_T	1.942	43			
油炸薯条 French fries	回归 SS_R	2.100	4	0.525	26.536	<0.001
	残差 SS_{Re}	0.772	39	0.020		
	总计 SS_T	2.872	43			
雪花全粉 Potato flakes	回归 SS_R	2.758	3	0.919	31.809	<0.001
	残差 SS_{Re}	1.156	40	0.029		
	总计 SS_T	3.914	43			

注: t 为 t -检验的值; $sig.$ 表示显著性水平。
Note: t is t -test value; $sig.$ represents significance level.

结果表明, 马铃薯油炸薯片品质主要由原料的还原糖、灰分、蛋白质、芽眼数量及可溶性固形物 5 个指标决定, 水分、蛋白质、还原糖和单茎重 4 个指标主要影响油炸薯条的品质, 而淀粉、芽眼数量和总糖 3 个指标主要决定马铃薯雪花全粉的品质。

将 44 个马铃薯品种的主要原料指标值代入回归方程得出油炸薯片、油炸薯条和雪花全粉的综合指标预测值, 将预测值与实测值进行比较, 效果分别如图 1 所示, 样品点较集中地分布在 45°线周围, 表明预测值接近实测值, 即通过测定原料的还原糖、灰分、蛋白质、芽眼数量、可溶性固形物、水分、单茎重、淀粉和总糖 9 个指标, 就可较准确地预测不同马铃薯品种原料用于加工油炸薯片、油炸薯条和雪花全粉的综合品质。

2. 4 不同马铃薯品种加工适宜性分类

试验采用 K -means 算法, 通过计算每个对象与各聚类中心之间组内联接的欧式距离, 对 44 个马铃薯品种的油炸薯片、油炸薯条和雪花全粉综合评价指标进行聚类分析, 设置 $k=3$, 最大迭代次数为 50 次, 当聚类中心没有改动达到收敛时迭代停止, 最终三种制品的聚类迭代次数分别为 5 次、5 次、4 次, 初始中心间的最小距离分别为 0.469、0.570 和 0.719, 将 44 个常见品种按照加工用途初步划分为最适宜、基本适宜和不适宜三类, 如表 9

所示,筛选出最适宜加工马铃薯油炸薯片的品种有 15 个,最适宜加工油炸薯条和雪花全粉的品种各有 10 个。其中 GLKS-58-1642.4、Atlantic、Hertha、云薯 301 和陇薯 6 号品种最适合加工油炸薯片; GLKS-58-1642.4、转心乌、LBr-25、高原 7 号和 Shepody 品种最适宜加工油炸薯条;

Red Gold、转心乌、高原 7 号、凉薯 17 和云薯 102 品种最适宜加工雪花全粉。聚类结果中,最适宜加工的品种涵盖当前马铃薯加工业主要原料品种,与实际应用情况吻合,筛选出的适宜品种对于马铃薯加工专用品种选育、薯农种植选种等也具有一定的参考价值。

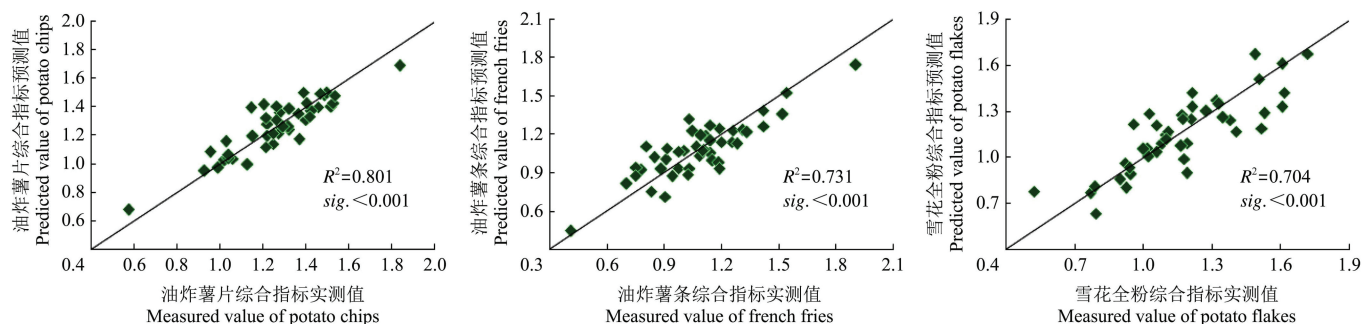


图1 油炸薯片、薯条和雪花全粉的综合评价指标实测值与预测值散点图

Fig.1 Scatter diagram of predicted and measured value of comprehensive indicators of potato chips, French fries and potato flakes

表9 马铃薯品种加工适宜性分类

Table 9 Classification of potato cultivars' processing suitability

制品 Products	适宜性 Suitability	分类标准 Classification standard	数量 Amount	马铃薯品种 Potato cultivars
油炸薯片 Potato chips	最适宜	$Y_1 > 1.36$	15	GLKS-58-1642.4、Atlantic、Hertha、云薯 301、陇薯 6 号、云薯 102、LBr-25、Red Gold、马尔科、Desiree、白头翁、青薯 168、丽薯 1 号、郑薯 5 号、TACNA
	较适宜	$1.06 < Y_1 \leq 1.36$	20	转心乌、卡它丁、高原 4 号、青薯 2 号、俄 8、阿 8084、凉薯 17、宁薯 7 号、郑薯 6 号、95P3-3、渝马铃薯 1 号、春薯 1 号、鄂 95P3-3、合作 002、合作 003、克新 19 号、高原 7 号、Favorita、Shepody、Spunta
	不适宜	$Y_1 \leq 1.06$	9	Estima、天薯 5 号、中薯 5 号、紫、L9810-18、东农 303、合作 001、Kondor、中薯 1 号
油炸薯条 French fries	最适宜	$Y_2 > 1.20$	10	GLKS-58-1642.4、转心乌、高原 7 号、LBr-25、Shepody、云薯 102、云薯 301、青薯 168、Spunta、TACNA
	较适宜	$0.93 < Y_2 \leq 1.20$	22	Red Gold、Atlantic、丽薯 1 号、郑薯 5 号、俄 8、陇薯 6 号、宁薯 7 号、郑薯 6 号、95P3-3、天薯 5 号、渝马铃薯 1 号、L9810-18、鄂 95P3-3、东农 303、合作 001、合作 002、合作 003、白头翁、Favorita、Kondor、Hertha、Desiree
	不适宜	$Y_2 \leq 0.93$	12	中薯 1 号、卡它丁、高原 4 号、Estima、青薯 2 号、阿 8084、凉薯 17、中薯 5 号、春薯 1 号、紫、马尔科、克新 19 号
雪花全粉 Potato flakes	最适宜	$Y_3 > 1.36$	10	Red Gold、转心乌、凉薯 17、高原 7 号、云薯 102、天薯 5 号、鄂 95P3-3、云薯 301、GLKS-58-1642.4、Hertha
	较适宜	$1.01 < Y_3 \leq 1.36$	22	高原 4 号、Estima、青薯 2 号、阿 8084、陇薯 6 号、宁薯 7 号、郑薯 6 号、95P3-3、渝马铃薯 1 号、春薯 1 号、L9810-18、马尔科、合作 003、克新 19 号、白头翁、青薯 168、Atlantic、Shepody、Desiree、Spunta、TACNA、LBr-25
	不适宜	$Y_3 \leq 1.01$	12	东农 303、中薯 1 号、卡它丁、丽薯 1 号、郑薯 5 号、俄 8、中薯 5 号、紫、合作 001、合作 002、Favorita、Kondor

注: Y_1 、 Y_2 、 Y_3 分别为油炸薯片、油炸薯条和雪花全粉的综合评价指标。

Note: Y_1 , Y_2 and Y_3 represent the comprehensive evaluation indicators of potato chips, French fries and potato flakes respectively.

3 结 论

本试验针对国内常见种植的 44 个马铃薯品种进行分析研究其加工适宜性,重点针对原料加工特性核心指标深入研究,以油炸薯条、油炸薯片、雪花全粉为最终产品,依托标准及科学分析,建立了原料特性与制品品质的相互联系,并为 3 种不同加工用途提供了适宜品种。

1) 不同品种马铃薯原料及其加工制品各指标差异明显,变化区间较大,表明不同马铃薯品种的性状和加工效果存在较大差异;采用归一化处理方法将制品各项品质指标转化为一维综合评价指标,显著性分析表明综合指标准确可靠,且能有效代表加工制品的综合品质,可全面评价品种差异对加工效果的影响。

2) 采用逐步回归分析法建立了油炸薯片、油炸薯条及雪花全粉品质与原料特性间的数学模型,3 个模型决定系数较高,随机误差估计值较小,表明油炸薯片品质主要由原料的还原糖、灰分、蛋白质、芽眼数量及可溶性固形物 5 个指标决定;水分、蛋白质、还原糖和单茎重 4 个指标主要影响油炸薯条的品质;淀粉、芽眼数量和总糖 3 个指标主要决定雪花全粉的品质。

3) 按照 3 种加工用途对 44 个马铃薯品种进行聚类分析,筛选出最适宜加工油炸薯片的 15 个品种、最适宜加工油炸薯条的 10 个品种及最适宜加工雪花全粉的 10 个品种,聚类结果与实际应用情况相符,可为马铃薯种质资源集约化、合理化利用提供参考和借鉴。

[参 考 文 献]

- [1] 刘俊霞, 贾金荣. 中国马铃薯国际贸易趋势分析[J]. 西北农林科技大学学报(社会科学版), 2012, 12(4): 57—62.
Liu Junxia, Jia Jinrong. Analysis on trend of China international trade for potato[J]. Journal of Northwest A&F University(Social Science Edition), 2012, 12(4): 57—62. (in Chinese with English abstract)
- [2] FAO. Production & crops. faostat division of the FAO[EB/OL]. 2014-08-04[2014-08-04]. <http://faostat.fao.org/site/567/default.aspx#ancor>.
- [3] 杨红旗, 王春萌. 中国马铃薯产业制约因素及发展对策[J]. 种子, 2011, 30(5): 100—103.
Yang Hongqi, Wang Chunmeng. Main restrictive factors and countermeasures of potato industry development in China[J]. SEED, 2011, 30(5): 100—103. (in Chinese with English abstract)
- [4] 谷悦. 马铃薯主粮化为国家粮食安全战略重要一步--农业部公开解答关于马铃薯主粮化的问题[J]. 中国食品, 2015, (3): 36—39.
- [5] 全国政协委员建议: 制定促进马铃薯产业发展扶持政策[J]. 吉林农业, 2015, (7): 42—42.
- [6] 王希卓, 朱旭, 孙洁, 等. 我国马铃薯主粮化发展形势分析[J]. 农产品加工·综合刊, 2015, (2): 52—55.
Wang Xizhuo, Zhu Xu, Sun Jie, et al. The potato staple foods development situation analysis in China[J]. Farm Products Processing, 2015, (2): 52—55. (in Chinese with English abstract)
- [7] 彭鉴君, 吴刚, 杨延辰, 等. 马铃薯颗粒全粉与雪花全粉的生产应用[J]. 粮油食品科技, 2007, 15(4): 12—13.
- [8] Love S L, Pavak J J, Thompson Johns A, et al. Breeding progress for potato chip quality in North American cultivars[J]. American Journal of Potato Research, 1998, 75(1): 27—36.
- [9] Lefort J F, Durance T D, Upadhyaya M K. Effects of tuber storage and cultivar on the quality of vacuum microwave—dried potato chips[J]. Journal of food science, 2003, 68(2): 690—696.
- [10] Coffin R H, Yada R Y, Parkin K L, et al. Effect of low temperature storage on sugar concentrations and chip color of certain processing potato cultivars and selections[J]. Journal of Food Science, 2006, 52(3): 639—645.
- [11] McCann L C, Bethke P C, Simon P W. Extensive variation in fried chip color and tuber composition in cold—stored tubers of wild potato (*Solanum*) germplasm[J]. Journal of agricultural and food chemistry, 2010, 58(4): 2368—2376.
- [12] Decker E A, Ferruzzi M G. Innovations in food chemistry and processing to enhance the nutrient profile of the white potato in all forms[J]. Advances in Nutrition: An International Review Journal, 2013, 4(3): 345—350.
- [13] 肖万军. 薯片加工型马铃薯品种筛选初报[J]. 杂粮作物, 2007, 27(2): 150—151.
Xiao Wanjun. Preliminary report on the screening of potato variety with processing type[J]. Rain Fed Crops, 2007, 27(2): 150—151. (in Chinese with English abstract)
- [14] 罗维禄, 林琼. 薯片加工型马铃薯品种“张薯7号”引种试验初报[J]. 福建农业科技, 2009, (3): 42—43.
- [15] 张小燕, 赵凤敏, 兴丽, 等. 不同马铃薯品种用于加工油炸薯片的适宜性[J]. 农业工程学报, 2013, 29(8): 276—283.
Zhang Xiaoyan, Zhao Fengmin, Xing Li, et al. Suitability evaluation of potato varieties used for chips processing[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2013, 29(8): 276—283. (in Chinese with English abstract)
- [16] 王瑜, 王澎, 李国龙, 等. 土豆变主粮 品种须先行 国家马铃薯产业技术体系首席专家金黎平为您解答——不是所有马铃薯都能加工全粉[J]. 农村经济与科技: 农业产业化, 2015, (1): 43—44.
- [17] 张小燕. 马铃薯多组分近红外预测及加工油炸薯片适宜性研究[M]. 北京: 中国农业机械化科学研究院, 2013.
- [18] NY/T 1066-2006, 马铃薯等级规格[S].
- [19] GB 5009.7-2008, 食品中还原糖的测定[S].
- [20] GB/T 6194-1986, 水果、蔬菜可溶性糖测定法[S].
- [21] GB 5009.9-2008, 食品安全国家标准 食品中淀粉的测定[S].
- [22] GB 5009.3-2010, 食品中水分的测定[S].
- [23] GB 5009.4-2010, 食品中灰分的测定[S].
- [24] GB 12295-1990, 水果、蔬菜制品 可溶性固形物含量的测定——折射仪法[S].
- [25] GB/T 6195-1986, 水果、蔬菜维生素 C 含量测定法(2,6-二氯酚酚滴定法)[S].
- [26] GB 5009.5-2010, 食品中蛋白质的测定[S].
- [27] GB/T 5009.6-2003, 食品中脂肪的测定[S].
- [28] GB/T 5009.10-2003, 植物类食品中粗纤维的测定[S].
- [29] GB/T 5009.124-2003, 食品中氨基酸的测定[S].
- [30] 沈晓萍, 卢晓黎, 闫志农, 等. 工艺方法对马铃薯全粉品质的影响[J]. 食品科学, 2004, 25(10): 108—112.
Shen Xiaoping, Lu Xiaoli, Yan Zhinong, et al. Effect of different process technology on the quality of potato granules and potato flakes[J]. Food Science, 2004, 25(10): 108—112. (in Chinese with English abstract)
- [31] 韩黎明, 杨俊丰, 景履贞, 等. 马铃薯产业: 原理与技术[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2010, 9: 226.
- [32] 方开泰. 实用多元统计分析[M]. 上海: 华东师范大学出版社, 1989: 58—62.
- [33] 王守强, 朱大铭, 史士英. 基于最小聚类划分的 K—means 聚类(1+ ϵ)近似算法[J]. 计算机研究与发展, 2008, 45(Supp1): 26—30.
Wang Shouqiang, Zhu Daming, Shi Shiyong, et al. The (1+ ϵ) approximate algorithm for K-means based on the minimum size of sub—Cluster[J]. Journal of computer research and development, 2008, 45(Supp1): 26—30. (in Chinese with English abstract)

Suitability evaluation of different potato cultivars for processing products

Yang Bingnan, Zhang Xiaoyan, Zhao Fengmin, Yang Yanchen, Liu Wei, Li Shujun*

(Chinese Academy of Agricultural Mechanization Sciences, Beijing 100083, China)

Abstract: China is one of the world's largest countries in potato production and consumption, and the quality of processing products was significantly affected by characteristics of raw materials. In order to research the relationship of raw materials and their processed products (potato chips, French fries and potato flakes), 44 common potato cultivars grown in domestic were collected and tested in China National Food Machinery Quality Supervision & Inspection Center and Chinese Academy of Agricultural Sciences from Sep. 2012 to Dec. 2014. Fourteen indicators including eye numbers, shape index, mean weight, reducing sugar, total sugar, starch, moisture, dry matter, ash, total soluble solids, vitamin C, protein, fat and crude fiber of raw potatoes were analyzed according to China national or industrial standards. Analysis of variance revealed significant differences and great variation among most of indicators. Three kinds of products including potato chips, French fries and potato flakes were processed using 44 cultivars collected respectively. The quality indicators of processed products were also tested in the laboratory. For potato chips, four indicators including sensory evaluation, protein, crispness and Hunter whiteness were tested. For French fries, four indicators including sensory evaluation, protein, hardness and Hunter whiteness were tested. For potato flakes, four indicators including sensory evaluation, protein, viscosity and free starch ratio were tested. Analysis of variance also revealed great variation among indicators of three kinds of processed products. Using the maximum - minimum normalized method, multiple quality indicators of potato chips, French fries and potato flakes were calculated into a one-dimensional evaluation indicator in order to establish a representative model. Each comprehensive indicator had a significant correlation with four original indicators of processed products. With stepwise regression method, significant indicators of raw materials were selected to establish the model of processed products, while insignificant indicators were eliminated to reduce the redundancy of models. Based on three calculated comprehensive indicators and 14 indicators of raw materials, comprehensive quality evaluation models of potato chips, French fries and potato flakes were established respectively. The results showed that, the comprehensive quality of potato chips were remarkably influenced by the reducing sugar, ash, protein, eye number and total soluble solids of raw potatoes; the effect of potato chips' comprehensive quality evaluation model were: the coefficient of determination $R^2=0.802$, adjusted $R^2=0.776$, std. error of the estimate $\hat{\sigma}=0.101$. The comprehensive quality of French fries was remarkably influenced by the moisture, protein, reducing sugar and mean weight of raw potatoes; the effect of French fries' comprehensive quality evaluation model was: the coefficient of determination $R^2=0.731$, adjusted $R^2=0.704$, std. error of the estimate $\hat{\sigma}=0.141$. The comprehensive quality of potato flakes was remarkably influenced by the starch, eye number and total sugar of raw potatoes; the effect of potato flakes' comprehensive quality evaluation model was: the coefficient of determination $R^2=0.705$, adjusted $R^2=0.682$, std. error of the estimate $\hat{\sigma}=0.170$. Three comprehensive quality evaluation models with high fitting degree and small error were reliable in practical application and could be used to evaluate the comprehensive quality of potato processing products. Calculated by K-means clustering algorithm, 44 potato cultivars were divided into three categories as the most suitable, suitable and unsuitable categories; the results showed that 15 cultivars (e.g., Atlantic, Hertha) were the most suitable for processing potato chips, 10 cultivars (e.g., GLKS-58-1642.4, Zhuanxinwu) were most suitable for processing French fries and 10 cultivars (e.g., Red Gold, Liangshu 17th) were most suitable for potato flakes. The K-means clustering result which was consistent with practical application was instructive and meaningful in screening special potato cultivars for processing. Systematic research of the relationship between raw materials of different potato cultivars and their processed products (potato chips, French fries and potato flakes) is of certain referential value to promote the development and upgrading of Chinese potato processing industry.

Key words: chips; evaluation; quality; potato; french fries; potato flakes