

不同马铃薯品种用于加工面条的适宜性

张忆洁, 祁岩龙, 宋鱼, 沈洪飞, 冯怀章

(新疆农业科学院综合试验场, 新疆乌鲁木齐 830052)

摘要: 由于马铃薯品种繁多, 不同原料品质会影响马铃薯面条的品质, 为研究不同马铃薯品种加工面条的适宜性, 指导马铃薯产业选择加工种植品种。试验采用最大-最小归一化处理将马铃薯面团和马铃薯面条的各个品质指标转化为一维的综合评价指标, 分别与 40 个马铃薯原料品种的品质指标(淀粉、维 C、可溶性蛋白、还原糖、粗纤维、钾、灰分、干物质、游离氨基酸、硬度、弹性、内聚性、咀嚼性、胶黏性、回复性)进行拟合并建立回归模型, 采用聚类方法, 将 40 个马铃薯品种按照加工适宜性分为三类。结果表明, 建立的马铃薯面团综合品质评价模型决定系数 $R^2=0.911$, 调整后决定系数 $R^2=0.904$, 随机误差估计值=123.113; 马铃薯面条综合评价模型决定系数 $R^2=0.973$, 调整后决定系数 $R^2=0.971$, 随机误差估计值=432.226; 利用 K-means 聚类算法将 40 个马铃薯品种按加工适宜性划分为最适宜、基本适宜和不适宜 3 类, 其中最适宜加工的品种为 05-44-1、克 9、79 (2)、C11、D17、C3、T3、庄 3、会 2、T4、L7、黑共 12 个品种, 基本适宜品种为 L0524-2、冀 8、T2、F5、红、郑 7、S3-28、中 901、S4-32、中 13、T5、冀 12、甘农 5、晋 18、F6、T18、78 共 17 个。该研究得到的综合品质评价模型拟合度较高, 误差较小, 模型效果可靠, 可用于实际马铃薯面条的品质评价; K-means 聚类结果与实际应用情况相符, 可为新疆地区筛选加工专用品种提供参考和借鉴。

关键词: 马铃薯面条; 相关性分析; 主成分分析; 逐步回归; 适宜性评价

文章编号: 1673-9078(2020)02-85-93

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2020.2.013

Suitability of Different Potato Varieties for Processing Noodles

ZHANG Yi-jie, QI Yan-long, SONG Yu, SHEN Hong-fei, FENG Huai-zhang

(Comprehensive Testing Ground of Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Urumqi 830052, China)

Abstract: Due to the existence of many potato varieties, the quality of different raw materials will affect the quality of potato noodles. The purpose was to study the suitability of different potato varieties for processing noodles and guide the potato industry to select processing and planting varieties. The maximum-minimum normalization method was used to transform each quality index of potato dough and potato noodles into a one-dimensional comprehensive evaluation index, which was compared with 40 varieties of potato raw materials (starch, vitamin C, soluble protein, reducing sugar, crude fiber, potassium, ash, dry matter, free amino acid). Fitting and regression models were established for hardness, elasticity, cohesion, chewiness, stickiness and resilience. Forty potato varieties were classified into three categories according to processing suitability by clustering method. The results showed that the determinant coefficient R^2 was 0.911, the adjusted determinant coefficient R^2 was 0.904, the random error estimate was 123.113, the determinant coefficient R^2 was 0.973, the adjusted determinant coefficient R^2 was 0.971, and the random error estimate was 432.226; K-means clustering algorithm was used. According to processing suitability, 40 potato varieties were divided into three categories: the most suitable, the basically suitable and the unsuitable. Among them, 12 varieties were suitable for processing, including 05-44-1, Ke 9, 79(2), C11, D17, C3, T3, Zhuang 3, Hui 2, T4, L7 and Hei. The basically suitable varieties were L0524-2, Ji 8, T2, F5, Hong, Zheng 7, S3-28, Zhong901, S4-32, Zhong13, T5, Ji 12, Gannong 5, Jin 18, F6, T18 and 78. The comprehensive quality evaluation model obtained in this study had high fitting degree, small error and reliable effect. It can be used to evaluate the quality of potato noodles. The K-means clustering results are consistent with the actual application, which can provide reference for the selection of processing varieties in Xinjiang.

Key words: potato of noodles; correlation analysis; principal component analysis; stepwise regression; suitability evaluation

收稿日期: 2019-08-21

基金项目: 乌鲁木齐市科学技术计划项目 (G161210004); 国家重点研发计划项目 (2016YFD0401304-04)

作者简介: 张忆洁 (1983-), 女, 农艺师, 研究方向: 农副产品加工

通讯作者: 冯怀章 (1962-), 男, 高级农艺师, 研究方向: 马铃薯繁育技术及产业经济研究与示范推广工作

马铃薯又名土豆, 因为它营养成分齐全, 而且为人体消化吸收, 在欧美享有“地下苹果”和“第二面包”的称号^[1]。中国是世界马铃薯生产和消费大国, 随着马铃薯主粮化的推进, 马铃薯食品得到不断的综合开发利用, 使马铃薯物尽其用, 创造出更高的经济价值, 马铃薯作为我国三大主粮的补充, 逐渐成为第四大主

粮作物。

近年来,受健康饮食文化的影响,马铃薯替代部分面粉混合制作成为适合中国人消费习惯的馒头、面条、饼等马铃薯面制品的消费量和需求量日益增加,同时对适宜加工的马铃薯原料需求量也不断增加,研究马铃薯原料性状与制品品质之间的关系,对促进马铃薯产业发展和升级具有积极的指导意义。目前,国内针对马铃薯品种种植、脱毒、增产、抗病、贮藏等研究较多^[2-4];在加工工艺方面,对马铃薯制品的加工配方、工艺优化及生产线研究的较多^[5-7],但对马铃薯原料的加工适宜性研究报道较少^[8-11],并且多以感官定性分析为主。

本试验收集国内广泛种植的40个马铃薯品种,统一种植在新疆昌吉州吉木萨尔县新地乡,测定马铃薯

原料、中间产物马铃薯面团及最终马铃薯面条的各项品质指标,通过相关性分析、主成分分析法对马铃薯原料、马铃薯面团及马铃薯面条的主要品质指标进行分析,建立马铃薯面团品质与原料品质指标之间、马铃薯面条品质与原料品质指标之间的回归模型,降低人为因素影响,并对回归模型进行验证,进而确定40个马铃薯品种的半制品面团及面条加工适宜性。通过研究不同品种的加工指标并进行聚类分析,筛选出适宜新疆地区加工马铃薯面条的品种,旨在促进种植与加工的衔接,为薯农和厂家提供指导意见。

1 材料与方法

1.1 材料

表1 40个马铃薯品种名称

Table 1 Names of 40 potato varieties

编号	名称	编号	名称	编号	名称	编号	名称
1	中13	11	79(2)	21	T2	31	D1
2	冀12	12	T5	22	L7	32	78
3	T11	13	T18	23	会2	33	甘农5
4	中3	14	C11	24	F6	34	庄3
5	C3	15	S3-28	25	青2	35	青9
6	D17	16	中901	26	冀8	36	晋18
7	D30	17	克19	27	中10	37	中17
8	T9	18	红	28	F5	38	L0524-2
9	黑	19	T4	29	L8	39	郑7
10	S4-32	20	陇9	30	05-44-1	40	T3

以40个国内广泛种植的马铃薯品种为试验材料(品种列表见表1),为保证原料指标可比性与统一性,40个品种均种植在新疆昌吉州吉木萨尔县新地乡新疆农业科学院综合试验场冷凉作物基地,统一海拔1610m的地块,由同样的施肥条件培育而成,选择成熟度一致,无病虫害,无机械性损伤果实,放入网袋中,当天运回新疆农业科学院综合试验场。

马铃薯原料到达实验室后统一编号,贮藏温度 4 ± 1 ℃,环境湿度60~80%RH,避光待检。在最短时间内完成原料、面团和面条的品质指标测量。小麦粉,新疆天山面粉(集团)有限责任公司。

1.2 主要仪器设备

TU-1810紫外可见分光光度计,北京普析通用仪器有限公司;TD电子天平,余姚市金诺天平仪器有限公司;DT5-4B离心机,北京时代北利离心机有限公司;SHHW.21-600水浴锅,北京市永光明医疗仪器有限公司;FP-25马弗炉,北京永光明医疗仪器

有限公司;DL-1电炉,北京永光明医疗仪器有限公司;TMS-PRO食物物性分析仪,美国FTC公司;破壁机,九阳股份有限公司;DZM-160压面机,海鸥电器有限公司;电磁炉,广东美的生活电器制造有限公司;3nh色差仪,深圳市三恩时科技有限公司;DSH-50-1卤素水分测定仪,上海越平科学仪器有限公司;小熊和面机,小熊电器股份有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 样品预处理

取不同品种的马铃薯样品,清洗擦拭干净,选取一半样品分析测定原料的理化、营养及物性指标。其他马铃薯样品按照如下工艺进行马铃薯面条加工:

马铃薯原料→清洗、去皮→切块→打浆同时护色→添加小麦粉占比62%(马铃薯干基占比9.5%)→和面10min(面团品质测定)→压面→切条成型→熟化(品质测定)

1.3.2 马铃薯原料品质指标测定方法

主要测定马铃薯原料品质指标有15个:淀粉、抗

坏血酸 (Vc)、可溶性蛋白、还原糖、粗纤维、钾、灰分、干物质、游离氨基酸、硬度、弹性、内聚性、咀嚼性、胶黏性、回复性。

淀粉、维生素 C、可溶性蛋白、还原糖、粗纤维、干物质、游离氨基酸指标采用曹健康方法测定^[12]；钾^[13]、灰分^[14]采用国标方法进行测定；硬度、弹性、内聚性、咀嚼性、回复性采用美国 FTC 公司 TMS-PRO 物性质构仪进行测定，用内径为 15 mm 的打孔器在果实中部打孔取样，再用宽度为 30 mm 的双刀取中间部分的圆柱体作为试样，用于测定果实的硬度、弹性、内聚性、咀嚼性、回复性，参数设置为：测试速度为 60 mm/min，形变量为 80%，起始力 0.7 N，上升高度 50 mm。

1.3.3 马铃薯面团品质指标测定方法

主要测定马铃薯面团品质指标 8 个：含水量、色差值、硬度、粘附性、胶黏性、弹性、回复性、内聚性。

含水量采用卤素水分测定仪测定面团的含水量。

色差：由 3nh 色差仪通过反射法测定不同样品面团的 L^* 、 a^* 、 b^* 及 ΔE^* 。 L 表示色明度， a 、 b 表示彩度值。 $L=0$ 为黑色， $L=100$ 为白色； $+a$ 表示红色， $-a$ 表示绿色； $+b$ 表示黄色， $-b$ 表示蓝色，计算综合色差 ΔE^* 。

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2}$$

式中： $\Delta L=L_1-L_0$ ， $\Delta a=a_1-a_0$ ， $\Delta b=b_1-b_0$ ，0-不同品种新鲜马铃薯标号，1-对应新鲜马铃薯品种制得的面团标号。

硬度、粘附性、胶黏性、弹性、回复性、内聚性采用 TMS-PRO 物性质构仪进行测定，提前将面团统一制备成直径 40 mm 高 25 mm 的圆柱体，参数设置为：测试速度为 60 mm/min，形变量为 50%，起始力 0.3 N，上升高度 50 mm。

1.3.4 马铃薯面条品质指标测定方法

主要测定马铃薯面条品质指标 4 个：含水量、 ΔE 、溶出率、感官得分。

含水量采用卤素水分测定仪测定面条的含水量。

色差测量方法同 1.3.3 中色差法。

溶出率及感官评价参照国家推荐标准^[15]方法进行测定。

1.4 数据统计分析

1.4.1 主成分分析法

主成分分析是一种处理高维数据的方法，用维数极少的互补相关的新变量来反映原变量所提供的绝大部分信息，旨在将彼此相关的指标变量转化为彼此不相关的指标变量，将个数较多的指标变量转化为意义

个数较少的指标变量，将意义单一的指标变量转化为意义综合的指标变量，从而降低冗余、消除信息重叠^[16]，利用 SPSS 软件将马铃薯 15 个指标进行重新组合，选取特征值大于 1 的前 n 个主成分；主成分中每个变量所对应的系数计算公式为：

$$\alpha_{ij} = \beta_{ij} \times \sqrt{\lambda_i} \quad (1)$$

其中： α_{ij} 为第 i 个主成分第 j 个变量的系数， $1 \leq i \leq 5$ ， $1 \leq j \leq 8$ ； β_{ij} 为第 i 个主成分第 j 个变量的载荷， $1 \leq i \leq 5$ ， $1 \leq j \leq 8$ ； λ_i 为第 i 个主成分的特征值， $1 \leq i \leq 5$ 。

1.4.2 指标归一化法

为得到统一且有代表性的综合评价指标，采用最大-最小归一化方法公式 (2)，然后计算欧氏距离公式 (3)^[17] 可将马铃薯样品的评价指标转变为一维数据，定义所得到的一维数据作为马铃薯样品的加工品质的综合评价指标^[18]。

$$z = \frac{x - \min}{\max - \min} \quad (2)$$

其中： z 为归一化后的指标； x 为未归一化的初始指标； \min 为初始指标中最小值； \max 为初始指标中最大值。

$$y_i = \sqrt{\sum_{k=1}^4 z_{ik}^2} \quad (3)$$

其中： y_i 为第 i 个综合指标， $1 \leq i \leq 40$ ； z_{ik} 为第 i 个马铃薯样品归一化后的各初始指标， $1 \leq i \leq 40$ ；记 Y 为归一化后的样品综合加工指标。

1.4.3 逐步回归分析

为筛选出所有对因变量影响显著的自变量，并剔除对因变量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^[19]。

1.4.4 K-means 聚类分析

K -means 聚类算法是以欧氏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，使得最终满足：同一聚类中的对象相似度较高，而不同聚类中心的对

象相似度较低^[19]。

1.4.5 数据处理

采用 SPSS 24.0 软件进行相关性分析、主成分分析、逐步回归分析和聚类分析, 采用 Excel 软件进行指标归一化等数据统计, 各项指标重复测定 3 次。

2 结果与分析

2.1 马铃薯原料基础数据分析

2.1.1 品种的描述性分析

表 2 马铃薯主要指标统计分析

Table 2 Statistical analysis of main indicators of potato

指标	min	max	Mean (均值)	Var (方差)	CV (变异系数) %
淀粉 ^a /%	6.56	17.30	11.25	5.10	20.07
Vc ^a /(mg/100 g)	1.90	3.65	2.80	0.22	16.55
可溶性蛋白 ^a /%	1.34	2.79	2.09	0.09	14.61
还原糖 ^a /%	0.34	1.80	1.00	0.09	30.54
粗纤维 ^a /%	0.87	2.60	1.40	0.17	29.44
钾 ^a /(mg/100 g)	236.45	355.45	291.37	970.49	10.69
灰分 ^a /%	0.61	0.97	0.79	0.01	11.33
干物质/%	17.20	23.90	20.11	2.21	7.40
游离氨基酸 ^a /%	1.15	2.49	1.75	0.08	15.88
硬度/N	7.16	18.55	10.93	7.14	24.45
弹性/mm	10.36	23.65	14.11	11.01	23.52
内聚性	0.17	0.31	0.23	0.00	15.72
咀嚼性/mJ	15.91	83.04	36.25	251.00	43.70
胶黏性/N	1.36	4.41	2.50	0.55	29.65
回复性	0.01	0.04	0.02	0.00	0.00

注: ^a指按干基计。

表 3 马铃薯主要指标的相关性分析

Table 3 Statistical analysis of main indicators of potato

指标	淀粉	维 C	可溶性蛋白	还原糖	粗纤维	钾	灰分	干物质	游离氨基酸	硬度	内聚性	弹性	胶粘性	咀嚼性	回复性
淀粉	1	-0.102	-0.438**	-0.044	0.358*	0.119	-0.420**	0.319*	-0.160	-0.165	0.288	0.001	-0.044	-0.028	0.099
维 C	-0.102	1	0.210	0.062	-0.268	-0.043	-0.086	-0.153	0.447**	0.105	0.200	-0.033	0.160	0.056	-0.127
可溶性蛋白	-0.438**	0.210	1	-0.279	-0.400*	0.110	0.350*	0.173	0.421**	0.062	-0.032	-0.009	0.030	-0.022	-0.044
还原糖	-0.044	0.062	-0.279	1	-0.232	-0.518**	-0.241	0.567**	-0.385*	0.220	-0.041	-0.138	0.178	0.062	-0.018
粗纤维	0.358*	-0.268	-0.400*	-0.232	1	0.204	-0.208	0.122	-0.132	-0.130	0.372*	0.234	0.073	0.186	0.124
钾	0.119	-0.043	0.110	-0.518**	0.204	1	0.195	0.436**	0.154	-0.150	-0.010	0.055	-0.143	-0.082	-0.094
灰分	-0.420**	-0.086	0.350*	-0.241	-0.208	0.195	1	0.274	0.022	0.197	-0.009	0.221	0.169	0.240	0.044
干物质	0.319*	-0.153	0.173	-0.567**	0.122	0.436**	0.274	1	-0.013	-0.097	0.204	-0.015	-0.020	-0.026	0.038
游离氨基酸	-0.160	0.447**	0.421**	-0.385*	-0.132	0.154	0.022	-0.013	1	-0.038	0.001	0.067	-0.032	-0.029	-0.097
硬度	-0.165	0.105	0.062	0.220	-0.130	-0.150	0.197	0.097	-0.038	1	0.073	0.100	0.879**	0.624**	0.453**
内聚性	0.288	0.200	-0.032	-0.041	0.372*	-0.010	-0.009	.204	0.001	0.073	1	0.450**	0.524**	0.590**	0.154
弹性	0.001	-0.033	-0.009	-0.138	0.234	0.055	.221	-0.015	0.067	0.100	0.450**	1	0.317*	0.785**	0.175
胶粘性	-0.044	0.160	0.030	0.178	0.073	-0.143	.169	-0.020	-0.032	0.879**	0.524**	0.317*	1	0.825**	0.440**
咀嚼性	-0.028	0.056	-0.022	0.062	0.186	-0.082	.240	-0.026	-0.029	0.624**	0.590**	0.785**	0.825**	1	0.394*
回复性	0.099	-0.127	-0.044	-0.018	0.124	-0.094	.044	.038	-0.097	0.453**	0.154	0.175	0.440**	0.394*	1

注: *, **分别代表显著性水平为 0.05 和 0.01。

实验对 40 个马铃薯品种的淀粉、Vc、可溶性蛋白、还原糖、粗纤维、钾、灰分、干物质、游离氨基酸、硬度、弹性、内聚性、咀嚼性、胶黏性、回复性这 15 项指标进行测定,其中淀粉、Vc、可溶性蛋白、还原糖、粗纤维、钾、灰分和游离氨基酸结果以干基计。利用 SPSS 软件进行描述性分析,结果见表 2。由表 2 可知,品种间极值差距较大,为消除由于度量单位或平均数不同造成的方差分析效果不明确,实验计算了各指标的变异系数,除干物质、回复性指标外,变异系数均超过 10%,各项指标离散程度较大,表明不同品种马铃薯样品指标间存在明显差异。

2.1.2 马铃薯原料品质指标的相关性分析

相关性分析结果如表 3。结果表明,淀粉与可溶性蛋白、灰分存在极显著负相关,与粗纤维、干物质存在显著正相关;维 C 与游离氨基酸存在极显著正相关;可溶性蛋白与游离氨基酸存在极显著正相关,与粗纤维存在显著负相关,与灰分存在显著正相关;还原糖与钾、干物质存在极显著负相关,与游离氨基酸存在显著负相关;粗纤维与内聚性存在显著正相关;钾与干物质存在极显著正相关;硬度与胶黏性、咀嚼性、回复性存在极显著正相关;内聚性与弹性、胶黏性、咀嚼性存在极显著正相关;弹性与咀嚼性存在极显著正相关,与胶黏性存在显著正相关;胶黏性与咀嚼性、回复性存在极显著正相关;咀嚼性与回复性存在显著正相关。由于各指标相关性的存在,容易造成整体信息发生重叠,因此有必要通过主成分分析选取具有代表性的评价指标,消除变量之间的相关性,降低评价负担。

2.1.3 马铃薯原料主要指标的主成分分析

对 15 个指标进行主成分分析,得出评价因子特征值和累计贡献率如表 4 所示。由于前 5 个主成分对应特征值均大于 1,对应的累计方差贡献率为 74.467%,故可选取前 5 个主成分,即 5 个相互独立的综合性指标,能较全面的反映出马铃薯原料品质的主要信息。

从表 5 的初始因子载荷矩阵可知,当提取 5 个主成分时,硬度、内聚性、胶黏性、弹性、咀嚼性、回复性在第 1 主成分上有较高载荷,说明第 1 主成分基本反映了这些指标的信息;还原糖、钾、干物质在第 2 主成分上有较高载荷,说明第 2 主成分基本反映了这些指标的信息;淀粉、可溶性蛋白质、粗纤维、灰分、游离氨基酸在第 3 主成分上有较高载荷,说明第 3 主成分基本反映了这些指标的信息;维 C、灰分、游离氨基酸在第 4 主成分上有较高载荷,说明第 4 主成分基本反映了这些指标的信息;弹性在第 5 主成分上有较高载荷,说明第 5 主成分基本反映了这些指标

的信息。

表 4 评价因子的特征值和累计贡献率

Table 4 Eigenvalues and cumulative contribution rates of evaluation factors

主成分因子的提取	初始特征值		
	特征值	方差贡献率/%	累积方差贡献率/%
1	3.502	23.350	23.350
2	2.510	16.734	40.084
3	2.470	16.466	56.551
4	1.527	10.179	66.729
5	1.161	7.737	74.467
6	0.884	5.892	80.358
7	0.723	4.818	85.176
8	0.573	3.817	88.993
9	0.468	3.118	92.111
10	0.446	2.971	95.082
11	0.309	2.058	97.140
12	0.228	1.519	98.659
13	0.187	1.247	99.906
14	0.010	0.065	99.971
15	0.004	0.029	100.000

表 5 初始因子载荷矩阵

Table 5 Initial factor load matrix

变量	因子				
	1	2	3	4	5
淀粉	0.000	0.202	-0.731	0.227	0.368
维 C	0.090	-0.090	0.421	0.724	0.210
可溶性蛋白	-0.019	0.279	0.767	0.015	0.054
还原糖	0.109	-0.857	-0.120	0.013	-0.060
粗纤维	0.193	0.340	-0.673	0.092	-0.151
钾	-0.134	0.716	0.000	-0.081	0.097
灰分	0.230	0.336	0.510	-0.505	-0.238
干物质	-0.011	0.750	-0.089	-0.228	0.349
硬度	0.734	-0.272	0.260	-0.223	0.388
游离氨基酸	-0.058	0.313	0.522	0.566	0.079
内聚性	0.619	0.275	-0.263	0.413	-0.078
弹性	0.623	0.283	-0.060	0.121	-0.599
胶黏性	0.921	-0.118	0.104	-0.004	0.243
咀嚼性	0.959	0.063	0.004	0.034	-0.206
回复性	0.543	-0.024	-0.107	-0.268	0.376

以马铃薯淀粉 (X_1)、维 C (X_2)、可溶性蛋白质 (X_3)、还原糖 (X_4)、粗纤维 (X_5)、钾 (X_6)、灰分 (X_7)、干物质 (X_8)、硬度 (X_9)、游离氨基酸 (X_{10})、内聚性 (X_{11})、弹性 (X_{12})、胶黏性 (X_{13})、咀嚼性 (X_{14})、回复性 (X_{15}) 为初始自变量,经过主成分分析,最终

得出 5 个主成分因子的方程表达式如下 $F_1 \sim F_5$ 所示, 这 5 个主成分因子将原来 15 个初始指标作线性变换, 重新组合成一组新的相互无关的综合指标, 消除了马铃薯原料 15 个指标间的相关性, 涵盖了马铃薯原料指标的大部分信息, 可代替 15 个初始指标进行后面评价模型的建立。

$$F_1 = 0.000X_1 + 0.048X_2 - 0.010X_3 + 0.058X_4 + 0.103X_5 - 0.072X_6 + 0.123X_7 - 0.006X_8 + 0.392X_9 - 0.031X_{10} + 0.331X_{11} + 0.333X_{12} + 0.492X_{13} + 0.512X_{14} + 0.290X_{15};$$

$$F_2 = 0.128X_1 - 0.57X_2 + 0.176X_3 - 0.541X_4 + 0.215X_5 + 0.452X_6 + 0.212X_7 + 0.473X_8 - 0.172X_9 + 0.198X_{10} + 0.174X_{11} + 0.179X_{12} - 0.074X_{13} + 0.040X_{14} - 0.015X_{15};$$

$$F_3 = -0.465X_1 + 0.268X_2 + 0.488X_3 - 0.076X_4 - 0.428X_5 + 0.000X_6 + 0.325X_7 - 0.057X_8 + 0.165X_9 + 0.332X_{10} - 0.167X_{11} - 0.38X_{12} + 0.066X_{13} + 0.003X_{14} - 0.068X_{15};$$

$$F_4 = 0.184X_1 + 0.586X_2 + 0.012X_3 + 0.011X_4 + 0.074X_5 - 0.066X_6 - 0.409X_7 - 0.185X_8 - 0.180X_9 + 0.458X_{10} + 0.334X_{11} + 0.0$$

$$98X_{12} - 0.003X_{13} + 0.028X_{14} - 0.217X_{15};$$

$$F_5 = 0.342X_1 + 0.195X_2 + 0.050X_3 - 0.056X_4 - 0.140X_5 + 0.090X_6 - 0.221X_7 + 0.324X_8 + 0.360X_9 + 0.073X_{10} - 0.072X_{11} - 0.56X_{12} + 0.226X_{13} - 0.191X_{14} + 0.349X_{15};$$

其中: $X_1 \sim X_{15}$ 分别代表: 淀粉、维 C、可溶性蛋白、还原糖、粗纤维、钾、灰分、干物质、游离氨基酸、硬度、弹性、内聚性、咀嚼性、胶黏性和回复性。

2.2 马铃薯面团品质指标数据分析

将不同马铃薯品种按照面团制备方法制作成马铃薯面团。测定并分析面团的含水量、色差值、硬度、粘附性、胶黏性、弹性、回复性、内聚性等指标, 结果如表 6 所示。不同马铃薯品种面团间极值差距较大, 除含水量指标外, 变异系数均超过了 10%, 各项指标离散程度较大, 表明马铃薯原料性状差异导致面团品质存在较大差异。由于原料指标对面团各项指标影响方向不一致, 有必要将面团品质指标进行归一化处理。

表 6 40 个马铃薯面团品质指标统计

Table 6 Statistics of 40 quality indicators of potato dough

项目	含水量/%	ΔE	硬度/N	弹性/mm	内聚性	胶黏性/mJ	粘附性	回复性
min	33.32	10.78	1.79	1.21	0.30	6.62	1.07	0.04
max	43.84	48.57	20.77	5.71	0.66	10.44	7.12	0.10
Mean (均值)	40.49	25.93	7.33	3.59	0.50	8.45	3.31	0.07
Var (方差)	4.09	68.99	26.00	0.88	0.01	0.88	3.31	0.00
CV (变异系数)	5.00%	32.03%	69.55%	26.18%	18.82%	11.10%	54.99%	25.61%

2.3 马铃薯面条品质指标数据分析

使用 40 个马铃薯品种按照统一的制作方法制成一种马铃薯面条, 测定面条的含水量、色差值 ΔE 、溶出率、感官得分, 结果如表 7 所示。马铃薯面条间极值差距较大, 除含水量指标外, 变异系数均超过了 10%, 各项指标离散程度较大, 表明马铃薯原料性状差异导致马铃薯面条品质存在较大差异, 由于原料指标对面条各项指标影响方向不一致, 有必要将面条品质指标进行归一化处理。

表 7 马铃薯面条品质指标数据统计

Table 7 Statistics of quality indicators of potato noodle products

项目	含水量/%	ΔE	溶出率/%	感官得分
min	36.05	3.63	2.35	50.00
max	42.30	41.93	12.89	86.00
Mean (均值)	39.38	17.67	6.02	72.73
Var (方差)	2.64	60.20	7.07	88.66
CV (变异系数)	4.12%	43.91%	44.17%	12.95%

2.4 品质指标归一化

为得到统一且具有代表性的马铃薯面团和面条的综合评价指标, 采用最大-最小归一化处理并计算各指标间的欧氏距离, 可分别将马铃薯面团的 8 个评价指标和马铃薯面条的 4 个评价指标转化为 1 组一维数据, 将得到的一维数据分别作为马铃薯面团、马铃薯面条的综合评价指标 Y_1 和 Y_2 。

经相关性分析, 马铃薯面团综合评价指标 Y_1 与面团含水量、色差值、硬度、粘附性、胶黏性、弹性、回复性、内聚性的相关系数为 0.221、0.286、0.101、0.645、0.19、0.719、0.446、0.557。除马铃薯面团综合评价指标 Y_1 与含水量、色差值、硬度、胶黏性不显著外, 其他均在 0.01 水平上显著正相关。表明得到的归一化综合评价指标准确可靠, 能代表马铃薯面团的综合品质。

马铃薯面条综合评价指标 Y_2 与面条含水量、色差值 ΔE 、溶出率、感官得分的相关系数为 0.870、0.464、0.420、0.664。综合评价指标 Y_2 与各项马铃薯面条评价指标均在 0.01 水平上显著正相关。表明得到的归一化综合评价指标准确可靠, 能代表马铃薯面条的综合品质。

表 8 马铃薯面团综合品质评价模型系数

Table 8 Coefficient of comprehensive quality evaluation model for potato dough

模型	变量名称	未标准化系数		标准化系数	<i>t</i>	<i>sig.</i>
		回归系数 B	标准误差	试用 Beta		
马铃薯面团	(常量)	-1.465	0.170		-8.598	0.000
	F_1	0.020	0.003	0.707	6.825	0.000
	F_2	0.017	0.001	0.844	12.861	0.000
	F_5	0.015	0.007	0.263	2.218	0.033
	(常量)	-2.222	0.100		-22.306	0.000
马铃薯面条	F_1	0.020	0.002	0.664	11.625	0.000
	F_2	0.019	0.001	0.900	24.877	0.000
	F_5	0.013	0.004	0.227	3.470	0.001

注： F_1 、 F_2 、 F_5 为进入模型的变量； t 为 t -检验的值；*sig.*表示显著水平

2.5 马铃薯面团及面条品质评价模型建立

2.5.1 逐步回归模型建立

为了考察马铃薯原料品质对面团、面条特性的影响，以马铃薯原料的 5 个主成分因子 F_1 、 F_2 、 F_3 、 F_4 、 F_5 为自变量，马铃薯面团和面条的综合评价指标 Y_1 和 Y_2 为因变量，采用逐步回归分析方法，设置进入的 F 值 0.05，移出值为 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都不能剔除而又无新变量可以引入时为止。筛选出对面团和面条品质影响显著的成分，剔除影响不显著的成分，建立多元回归方程。最后，对马铃薯面团综合评价指标 Y_1 作用显著的变量有 F_1 、 F_2 和 F_5 3 个变量；对马铃薯面条综合评价指标 Y_2 作用显著的变量有 F_1 、 F_2 和 F_5 3 个变量。其他变量对马铃薯面团和面条的品质贡献率较小、显著性 $sig.>0.1$ 被剔除，引入模型的各项系数如表 8 所示。

由模型系数表（表 8）可看出，显著性水平 $sig.<0.05$ ，说明引入各个回归模型的自变量对马铃薯面团和面条影响效果显著，存在显著的线性关系，分别得到逐步回归方程为：

$$\text{马铃薯面团: } Y_1 = -1.465 + 0.020F_1 + 0.017F_2 + 0.015F_5$$

$$\text{马铃薯面条: } Y_2 = -2.222 + 0.020F_1 + 0.019F_2 + 0.013F_5$$

马铃薯面团和面条的综合品质评价模型的有效性是通过决定系数 R^2 和 F 检验进行判断的。对模型进行效果汇总：马铃薯面团综合品质评价模型决定系数 $R^2=0.911$ ，调整后 $R^2=0.904$ ，随机误差估计值 $\hat{\sigma}=0.091$ ；马铃薯面条综合品质评价模型决定系数 $R^2=0.973$ ，调整后 $R^2=0.971$ ，随机误差估计值 $\hat{\sigma}=0.053$ 。说明各评价模型拟合度较高，随机误差较

小，能满足实际评价需要。

通过这两个模型偏差分解及 F 检验结果显示，马铃薯面团、马铃薯面条的逐步回归方程的 F 统计量分别为 $F_1=123.113$ 、 $F_2=432.226$ ，系统自动检验的显著性水平小于 0.001，经计算 $F(0.001, 3, 36)=6.744$ ， $F(0.001, 3, 36)=6.744$ ，即 2 个评价模型 F 检验的临界值小于回归模型 F 统计值，因此可认为所建立的 2 个回归方程线性关系非常显著，使用该模型评价马铃薯面团、面条的综合品质是有效的。

将 F_1 、 F_2 、 F_5 替换为初始自变量 X_1 - X_{15} ，整理得到马铃薯面团和面条的综合评价指标与原料品质的回归模型：

$$Y_1 = -1.465 + 0.007X_1 - 0.006X_2 + 0.004X_3 - 0.009X_4 + 0.004X_5 + 0.008X_6 + 0.003X_7 + 0.013X_8 + 0.010X_9 + 0.004X_{10} + 0.008X_{11} + 0.001X_{12} + 0.012X_{13} + 0.008X_{14} + 0.011X_{15}$$

$$Y_2 = -2.222 + 0.007X_1 - 0.007X_2 + 0.004X_3 - 0.010X_4 + 0.004X_5 + 0.008X_6 + 0.004X_7 + 0.013X_8 + 0.009X_9 + 0.004X_{10} + 0.009X_{11} + 0.003X_{12} + 0.011X_{13} + 0.009X_{14} + 0.010X_{15}$$

2.5.2 模型验证

将 40 个马铃薯品种的初始指标数据代入回归方程，得到马铃薯面团、马铃薯面条的综合指标预测值，将预测值与真值进行对比验证，得出马铃薯面团预测值与真值相关系数为 0.955，显著性为 0.000 小于 0.01，即在 0.01 水平上显著相关，马铃薯面条预测值与真值相关系数为 0.954，显著性为 0.000 小于 0.01，即在 0.01 水平上显著相关，说明得到的 2 个回归方程均能有效地预测马铃薯面团和面条的综合品质。

图 1 为预测值与真值散点图，样品点较集中地分布在 45°线周围，表明预测值接近真值，即通过测定马铃薯原料的淀粉、Vc、可溶性蛋白、还原糖、粗纤维、钾、灰分、干物质、游离氨基酸、硬度、弹性、内聚性、咀嚼性、胶黏性、回复性 15 个指标，就可以

较准确地预测不同马铃薯原料用于加工马铃薯面团和马铃薯面条的综合品质。

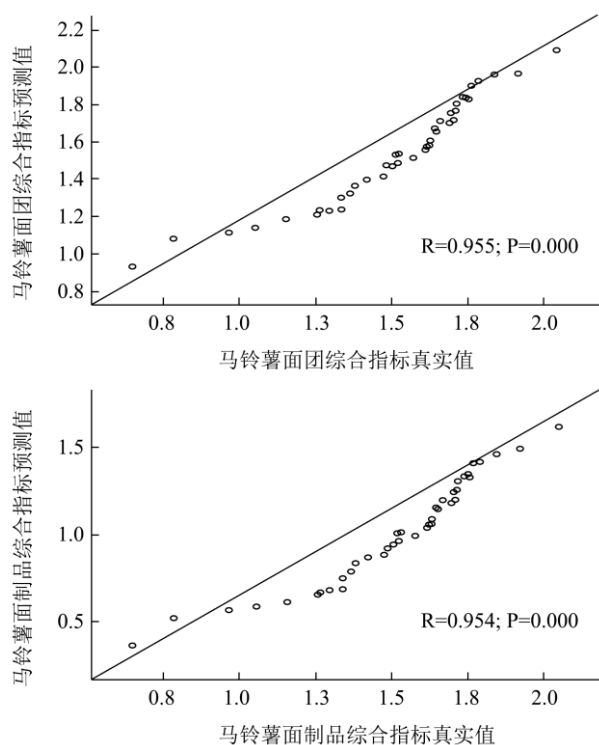


图1 马铃薯面团和面条的综合评价指标真值和预测值散点图

Fig.1 Scattered plot of true value and predicted value of comprehensive evaluation index for potato dough and noodles

2.6 马铃薯面条加工适宜性评价

采用 K-means 算法对 40 个马铃薯品种的面条综合评价指数进行聚类分析, 设置 $k=3$, 当聚类中心没有改动达到收敛时迭代停止, 最终迭代次数为 5, 初始中心间的最小距离为 0.628, 将 40 个常见品种按照加工适宜性初步划分为最适宜、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面条的品种有 12 个, 其中排在前 6 位的品种是 05-44-1、克 9、79 (2)、C11、D17、C3、T3、庄 3、会 2、T4、L7、黑这些品种涵盖了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新疆地

区马铃薯专用品种选育、薯农种植选种具有一定的参考价值。

3 结论

3.1 适宜的马铃薯原料是生产优质马铃薯主食的物质基础, 不同品种所制得的面条, 无论是物理性状上还是营养成分上都有很大的差异性, 用原料的品质指标来评价马铃薯面团或面条加工适宜性, 可以起到方便快捷的作用。本试验收集国内广泛种植的 40 个马铃薯品种, 统一种植在新疆昌吉州吉木萨尔县新地乡, 通过相关性分析、主成分分析、指标归一化和逐步回归分析建立了马铃薯面团与原料品质的回归模型:

$$Y_1 = -1.465 + 0.007X_1 - 0.006X_2 + 0.004X_3 - 0.009X_4 + 0.004X_5 + 0.008X_6 + 0.003X_7 + 0.013X_8 + 0.010X_9 + 0.004X_{10} + 0.008X_{11} + 0.001X_{12} + 0.012X_{13} + 0.008X_{14} + 0.011X_{15}$$

马铃薯面条与原料品质的回归模型:

$$Y_2 = -2.222 + 0.007X_1 - 0.007X_2 + 0.004X_3 - 0.010X_4 + 0.004X_5 + 0.008X_6 + 0.004X_7 + 0.013X_8 + 0.009X_9 + 0.004X_{10} + 0.009X_{11} + 0.003X_{12} + 0.011X_{13} + 0.009X_{14} + 0.010X_{15}$$

3.2 这两个模型拟合度较高, 线性相关关系显著, 表明这两个模型均可较准确的预测未知样品马铃薯面团或马铃薯面条的加工品质, 也可根据此评价模型选择使用不同的马铃薯品种。采用 K-means 聚类分析, 将马铃薯品种划分为最适宜、基本适宜和不适宜三类, 05-44-1、克 9、79 (2)、C11、D17、C3、T3、庄 3、会 2、T4、L7、黑为最适宜加工面条类, L0524-2、冀 8、T2、F5、红、郑 7、S3-28、中 901、S4-32、中 13、T5、冀 12、甘农 5、晋 18、F6、T18、78 为基本适宜加工面条类, 而陇 9、D1、D30、中 10、青 9、青 2、T11、T9、L8、中 3、中 17 为不适宜加工面条类, 结果与实际应用相符。试验结果为新疆地区薯农和加工企业选择适宜的马铃薯品种提供科学依据, 促进新疆马铃薯种植与加工之间的衔接。

表 9 40 个马铃薯面条综合品质指标分类

Table 9 Classification of comprehensive quality indicators of 40 potato noodle products

聚类类别	分类标准	品种个数	品种名称
最适宜	$Y \geq 1.23$	12	05-44-1、克 9、79 (2)、C11、D17、C3、T3、庄 3、会 2、T4、L7、黑
基本适宜	$0.82 \leq Y \leq 1.23$	17	L0524-2、冀 8、T2、F5、红、郑 7、S3-28、中 901、S4-32、中 13、T5、冀 12、甘农 5、晋 18、F6、T18、78
不适宜	$Y \leq 0.82$	11	陇 9、D1、D30、中 10、青 9、青 2、T11、T9、L8、中 3、中 17

注: Y 为马铃薯面条综合评价指数。

参考文献

[1] Mary Ellen Camire, Stan Kubow, Danielle J, et al. Potatoes and human health [J]. Critical Reviews in Food Science and

- Nutrition, 2009, 49(10): 823-840
- [2] Chen Z, Zhao Y, Lei G, et al. Accumulation and localization of cadmium in potato (*Solanum tuberosum*) under different soil Cd levels [J]. Bulletin of Environmental Contamination & Toxicology, 2014, 92(6): 745-751
- [3] 杨如达,杨富,李淑兰.无公害马铃薯高产高效栽培技术[J].内蒙古农业科技,2011,2:113-114
YANG Ru-da, YANG Fu, LI Shu-lan. High yield and high efficiency cultivated technology of pollution-free potato [J]. Inner Mongolia Agricultural Science and Technology, 2011, 2: 113-114
- [4] Rutolo M. Detection of potato storage disease via gas analysis:a pilot study using field asymmetric ion mobility spectrometry [J].Sensors, 2014, 14(9): 15939-15952
- [5] 张小燕,刘威,兴丽,等.马铃薯加工品质指标近红外预测模型研究[J].红外,2012,33(12):33-39
ZHANG Xiao-yan, LIU Wei, XING Li, et al. An near-infrared prediction model for quality indexes of potato processing [J]. Infrared, 2012, 33(12): 33-39
- [6] 刘威,张小燕,杨鸫,等.马铃薯片微波灭酶最佳工艺参数[J].农业机械学报,2013,44(8):213-218
LIU Wei, ZHANG Xiao-yan, YANG Hu, et al. Optimal technological parameters of microwave enzyme inactivation for potato slices [J]. Journal of Agricultural Machinery, 2013, 44(8): 213-218
- [7] 胡兆波.用正交法研究油炸面包糠土豆泥的加工工艺[J].食品研究与开发,2014,9:63-65
HU Zhao-bo. Use orthogonal method to study processing technology of fried breadcrumbs filling mashed potatoes [J]. Food Research and Development, 2014, 9: 63-65
- [8] 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 Wan-jun. Preliminary report on selection of processing potato varieties with potato chips [J]. Rain Fed Crops, 2007, 27(2): 150-151
- [9] 辛翠花,黄三文,郭江波.加工型马铃薯品种 Shepody 农杆菌介导的转化体系研究[J].中国农学通报,2011,27(21):87-92
XIN Cui-hua, HUANG San-wen, GUO Jiang-bo, et al. Research of agrobacterium-mediated transformation system for economically important potato cultivar shepody [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2011, 27(21): 87-92
- [10] 石瑛,张丽莉,魏峭嵘,等.淀粉加工型马铃薯新品种东农 308 的选育[J].中国蔬菜,2014,1(2):54-56
SHI Ying, ZHANG Li-li, WEI Qiao-rong, et al. A new starch processing type potato variety 'Dongnong 308' [J]. China Vegetables, 2014, 1(2): 54-56
- [11] 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
LUO Wei-lu, LIN Qiong. Preliminary report on introduction experiment of processing potato variety 'Zhangshu 7' [J]. Fujian Agricultural Science and Technology, 2009, 3: 42-43
- [12] 曹建康,姜微波,赵玉梅.果蔬采后生理生化实验指导[M].北京:中国轻工业出版社,2007:37-90
CAO Jian-kang, JIANG Wei-bo, ZHAO Yu-mei. Guidance for Postharvest Physiological and Biochemical Experiments of Fruits and Vegetables [M]. Beijing: China Light Industry Press, 2007: 37-90
- [13] GB 5009.91-2017,食品安全国家标准 食品中钾、钠的测定 [S]
GB 5009.91-2017, National Food Safety Standard for the Determination of Potassium and Sodium in Food [S]
- [14] GB 5009.4-2016,食品安全国家标准 食品中灰分的测定 [S]
GB 5009.4-2016, National Food Safety Standard for the Determination of Ash in Food [S]
- [15] LS/T 3212-2014,挂面[S]
LS/T 3212-2014, Noodles [S]
- [16] Songcan Chen, Yulian Zhu. Subpattern-based principle component analysis [J]. Pattern Recognition, 2004, 37(5): 1081-1083
- [17] 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(Suppl): 26-30
WANG Shou-qiang, ZHU Da-ming, SHI Shi-ying. 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(Suppl): 26-30
- [18] 李美娟,陈国宏,陈衍泰.综合评价中指标标准化方法研究 [J].中国管理科学,2004,12(Suppl):45-48
LI Mei-juan, CHEN Guo-hong, CHEN Yan-tai. Study on target standardization method of comprehensive evaluation [J]. Chinese Journal of Management Science, 2004, 12 (Suppl): 45-48
- [19] 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
FANG Kai-tai. Practical Multivariate Statistical Analysis [M]. Shanghai: East China Normal University Press, 1989: 58-62