

马铃薯淀粉糊化和凝胶特性与马铃薯粉品质的关系

潘治利^{1,2}, 张 垚¹, 艾志录^{1,3,*}, 李 真^{1,2}, 范会平^{1,3}, 索 标^{1,2}

(1.河南农业大学食品科学技术学院, 河南 郑州 450002; 2.河南省冷链食品工程技术研究中心, 农业部大宗粮食加工重点实验室, 河南 郑州 450002; 3.速冻面食及调制食品河南省工程实验室, 河南省高校重点实验室培育基地, 速冻面食及调制食品河南 郑州 450002)

摘 要: 为了研究马铃薯粉生产过程中原料淀粉的糊化和凝胶特性对马铃薯粉品质的影响, 通过快速黏度分析仪和质构仪对6种不同的马铃薯淀粉的糊化和凝胶特性进行了测定, 并对这些特性之间的关系, 以及这些特性与马铃薯粉品质之间的关系进行了探讨。结果表明: 马铃薯淀粉的糊化特性和凝胶特性之间存在密切关系, 且糊化和凝胶特性与鲜湿马铃薯粉品质密切相关。淀粉的糊化特性与马铃薯粉的感官品质和断条率存在显著相关性, 按显著程度(r 值大小)排序依次是: 回生值>谷值黏度>峰值黏度>最终黏度>崩解值>糊化温度。淀粉的凝胶特性对马铃薯粉的感官品质和断条率存在显著相关性, 按显著程度(r 值大小)排序依次是: 咀嚼性>凝胶强度、黏性>硬度>回复性>弹性。在鲜湿马铃薯粉的生产过程中, 可以采用马铃薯淀粉的回生值、凝胶的咀嚼性、黏性和凝胶强度作为原料的衡量标准。本研究为马铃薯粉生产的原料选取和品质改善提供了理论参考。

关键词: 马铃薯淀粉; 糊化; 凝胶; 马铃薯粉品质; 相关性

Relationship between Gelatinization and Gelling Properties of Potato Starch and Potato Noodles

PAN Zhili^{1,2}, ZHANG Yao¹, AI Zhilu^{1,3,*}, LI Zhen^{1,2}, FAN Huiping^{1,3}, SUO Biao^{1,2}

(1. College of Food Science and Technology, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China; 2. Henan Engineering Research Center of Cold-Chain Food, Key Laboratory of Staple Grain Processing, Ministry of Agriculture, Zhengzhou 450002, China; 3. Henan Engineering Laboratory Quick-Frozen Flour-Rice Food and Prepared Food, Henan Key Laboratory Cultivation Base of Quick-Frozen Flour-Rice Food and Prepared Food, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: In order to study the influence of gelatinization and gelling properties of potato starch on the quality of fresh wet potato noodles, the gelatinization and gelling properties of six different commercial potato starches were evaluated by using a rapid visco analyzer (RVA) and a texture analyzer, and the relationship between the quality of fresh wet potato noodles and these starch properties was discussed. The results showed that there was a close relationship between gelatinization and gelling properties of potato starch, and the quality of fresh wet potato starch was closely related to gelatinization and gelling properties of potato starch. Gelatinization properties of potato starch were significantly correlated with the sensory quality and breaking rate of potato noodles, and they could be ranked according to their significance (correlation coefficient, r) as follows: setback > trough viscosity > peak viscosity > final viscosity > breakdown > gelatinization temperature. Similarly, gelling properties of potato starch were significantly correlated with the sensory quality and breaking rate of potato noodles, and they could be ranked according to their significance (correlation coefficient, r) as follows: chewiness > gelling strength = viscosity > hardness > resilience > springiness. In the process of fresh wet potato noodles production, we could take the setback, chewiness, gumminess and gelling strength of potato starch as indicators to evaluate the quality of raw materials. This study would provide the theoretical basis for raw material selection for and quality improvement of fresh wet potato noodles.

Key words: potato starch; gelatinization; gelling; potato noodle quality; correlations

DOI:10.7506/spkx1002-6630-201705032

中图分类号: TS236.5

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630(2017)05-0197-05

收稿日期: 2016-04-22

基金项目: 河南省重大科技专项项目(161100110100); 河南省科技厅重点科技攻关项目(162102110062); 河南省产学研合作项目(142107000092)

作者简介: 潘治利(1979—)男, 副教授, 博士, 研究方向为速冻米面食品。E-mail: ZL_pan@126.com

*通信作者: 艾志录(1965—)男, 教授, 博士, 研究方向为农产品精深加工。E-mail: Zhila@126.com

引文格式:

潘治利, 张垚, 艾志录, 等. 马铃薯淀粉糊化和凝胶特性与马铃薯粉品质的关系[J]. 食品科学, 2017, 38(5): 197-201.
DOI:10.7506/spkx1002-6630-201705032. http://www.spkx.net.cn

PAN Zhili, ZHANG Yao, AI Zhilu, et al. Relationship between gelatinization and gelling properties of potato starch and potato noodles[J]. Food Science, 2017, 38(5): 197-201. (in Chinese with English abstract) DOI:10.7506/spkx1002-6630-201705032. http://www.spkx.net.cn

马铃薯粉是我国的传统食品, 具有爽滑筋道的特点, 深受大众喜爱。马铃薯粉制作过程中, 实质上是淀粉糊化和回生的过程, 淀粉糊化后, 能形成具有一定特性的凝胶体, 所以其产品的质量主要依赖于淀粉糊化和回生特性^[1-3]。邓珍珍^[4]认为, 粉丝的品质与淀粉中的直链淀粉含量和不可溶性淀粉含量有关。谭洪卓等^[5]认为粉丝的质量与淀粉的老化值有一定的关系。许多研究认为, 粉丝的膨润度越小, 则表示粉丝的持水力越弱, 粉丝品质越差^[6-8]。谭洪卓等^[9]认为蚕豆淀粉的快速黏度分析仪 (rapid viscosity analyzer, RVA) 参数能反映粉丝品质。但目前关于马铃薯淀粉特性与鲜湿马铃薯粉品质关系的研究鲜有报道。因此, 探寻马铃薯淀粉原料的特性与马铃薯粉品质之间的关系就显得十分必要。本研究测定了不同马铃薯淀粉的糊化和凝胶特性以及其马铃薯粉品质, 并分析了马铃薯淀粉糊化和凝胶的特征值与马铃薯粉品质的关系, 通过选取淀粉的某些特征指标作为评价马铃薯粉品质优劣的标准, 以期马铃薯粉的生产提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

马铃薯淀粉的基本成分和生产厂家如表1所示。

表1 马铃薯淀粉种类

Table 1 Potato starches used in this study

样品 编号	水分 含量/%	蛋白质 含量/%	灰分 含量/%	直链淀粉 含量/%	生产厂家
1	17.40	0.11	0.23	23.16	宁夏西吉县夏恒源粉有限责任公司
2	18.30	0.22	0.21	22.12	隆德县恒泰淀粉厂
3	16.15	0.19	0.13	24.47	宁夏固原成盛淀粉有限责任公司
4	17.16	0.15	0.29	20.74	宁夏西吉县夏泰淀粉有限责任公司
5	15.57	0.21	0.35	21.17	宁夏固原市金晶淀粉有限责任公司
6	12.00	0.72	0.43	18.19	甘肃薯界淀粉有限公司

1.2 仪器与设备

THZ-82恒温振荡水浴锅 金坛市杰瑞尔电器有限公司; JA21001分析天平 上海精天电子仪器厂; TA-XA PLUS物性测试仪 英国Stable micro-systems公司; RVA4500快速黏度分析仪 瑞典波通仪器公司; YCD-EL259控温冰箱 中科美菱低温科技有限责任公司。

1.3 方法

1.3.1 马铃薯粉的制备

取15 g马铃薯淀粉, 加入10 mL 50 ℃的蒸馏水充分

混匀成稀浆, 再倒入45 mL的沸水, 搅拌成芡糊, 接着加入85 g的马铃薯淀粉调制成含水量为35%的粉团, 静置5 min后放入漏粉机中, 挤压成条状, 漏入95 ℃的水中熟化。马铃薯粉在水中停留3~5 s后立即捞出, 置于冷水中浸泡60 min, 在阴凉通风处晾干表面水分。

1.3.2 淀粉糊化特性的测试

参考付一帆等^[10]的方法。准确称取 (2.00 ± 0.01) g样品和 (25.0 ± 0.1) mL蒸馏水于铝盒内, 按14%的湿基校正。然后在RAV上按以下程序测试: 初始搅拌速率960 r/min, 10 s后, 待形成均匀悬浊液, 在50 ℃条件下恒温1 min, 再以12 ℃/min由50 ℃上升至95 ℃并恒温3 min, 之后, 以同样的速率由95 ℃下降至50 ℃, 并恒温3 min, 测试结束。

1.3.3 淀粉凝胶特性测试

凝胶质构的测试: 参考廖卢艳^[2]、陈贻芳^[11]的方法, 略作修改。分别调制6 g/100 mL的马铃薯淀粉悬浮液, 沸水浴糊化20 min后装入50 mL的烧杯中, 在4 ℃的冰箱中放置24 h, 形成的凝胶在质构仪上进行凝胶质构的测试, 相关指标为硬度、弹性、内聚性、黏性、咀嚼性和回复性, 测试条件如下: 探头P/50; 感应力5 g; 测试形变40%; 测前速率2 mm/s; 测试速率1 mm/s; 测后速率5 mm/s。

凝胶强度的测试: 参照谭洪卓^[1]的方法, 略作修改。凝胶制备同上, 测试条件为: 探头P/0.5; 感应力5 g; 测试形变40%; 测前速率2 mm/s; 测试速率1 mm/s; 测后速率5 mm/s。

1.3.4 感官评定和断条率测定

感官评定: 参照谭洪卓^[1]的方法, 略作修改。根据10人评定小组, 对不同的马铃薯淀粉制得的马铃薯粉的颜色、透明度、口感、爽滑性、弹韧性、风味分别进行打分, 并合计总分。评价标准见表2。所有感官评定均在烹煮后的20 min内完成, 样品采用随机编码。

表2 感官评定标准

Table 2 Criteria for sensory evaluation of potato noodles

评分	颜色	透明度	口感	爽滑性	弹韧性	风味
2	洁白	晶莹透亮	口感饱满	很爽滑	很有嚼劲	很好
1	较白	较透亮	稍好	较爽滑	较有嚼劲	稍好
0	一般	一般	一般	一般	一般	一般
-1	较灰暗	较暗淡	较软烂	黏牙	不耐咀嚼	差
-2	很灰暗	很暗淡	软烂	很黏牙	无任何咀嚼性	很差

断条率测定：参考Mesters等^[12]的方法并加以改进。取15 cm长的无裂纹、无弯曲的马铃薯粉20根，在500 mL的蒸馏水中煮沸3 min，记录断条数。断条率计算公式为：

$$\text{断条率}/\% = \frac{T}{W} \times 100$$

式中：T为马铃薯粉断条数量；W为马铃薯粉总数。

1.4 数据处理

实验数据均采用Excel和SPSS 16.0软件进行处理，若无特殊说明，所有数据均是3次测试的平均值。

2 结果与分析

2.1 不同马铃薯淀粉糊化特性

表3 不同马铃薯淀粉的糊化特性
Table 3 Gelatinization properties of potato starches

指标	样品编号					
	1	2	3	4	5	6
峰值黏度/(mPa·s)	4318.67±157.61 ^a	4812.33±31.56 ^a	4730.67±50.30 ^a	3106.33±42.52 ^a	4895.00±31.24 ^a	5288.30±27.61 ^a
谷值黏度/(mPa·s)	1648.67±34.53 ^a	1879.67±33.50 ^a	1790.00±5.20 ^a	1804.00±11.00 ^a	2023.00±12.53 ^a	1701.33±19.09 ^a
崩解值/(mPa·s)	2670.00±123.09 ^a	2932.67±3.06 ^a	2940.67±45.45 ^a	1302.33±31.53 ^a	2872.00±21.38 ^a	3587.00±22.07 ^a
最终黏度/(mPa·s)	2017.33±36.46 ^a	2181.67±17.95 ^a	2159.00±7.94 ^a	2082.33±36.16 ^a	2288.67±24.66 ^a	1932.67±21.96 ^a
回生值/(mPa·s)	368.67±9.50 ^a	302.00±23.39 ^a	369.00±6.00 ^a	278.33±15.28 ^a	265.67±14.84 ^a	231.33±36.91 ^a
糊化时间/min	3.51±0.03 ^a	3.62±0.04 ^a	3.60±0.07 ^a	4.53±0.00 ^a	3.78±0.04 ^a	3.13±0.00 ^a
糊化温度/℃	69.68±0.53 ^a	69.90±0.52 ^a	68.63±0.06 ^a	70.50±0.56 ^a	67.57±0.45 ^a	67.88±0.06 ^a

注：样品编号同表1；同行不同肩标字母表示差异性显著（ $P < 0.05$ ）。表4、5同。

6种马铃薯淀粉的糊化特性如表3所示。峰值黏度反映的是淀粉在糊化过程中淀粉颗粒的膨胀程度^[13-14]，它跟支链淀粉的含量、淀粉颗粒大小有关^[15-17]，膨胀程度越大，对应的峰值黏度越高，6号马铃薯淀粉具有最高的峰值黏度，表明其淀粉颗粒在糊化过程中具有较大的膨胀程度。高温条件下淀粉分子之间的距离变大，淀粉糊由凝胶态变为溶胶态，淀粉颗粒膨胀破裂后不再相互摩擦，导致黏度急剧下降，其黏度达到的最小值即为谷值黏度。谷值黏度反映了淀粉在高温条件下耐剪切的能力。1号马铃薯淀粉的谷值黏度最低，表明其耐剪切的能力较差。崩解值为峰值黏度和谷值黏度的差值，它反映了淀粉糊在高温条件下的抗剪切能力以及淀粉糊热糊的稳定性^[18-19]，崩解值越大，淀粉糊的抗剪切能力越差，热糊稳定性越差，6号马铃薯淀粉热糊稳定性最差，4号的热稳定性最好。当温度重新保持在50℃时，淀粉分子会重新聚合，由于温度降低后，被直链和支链淀粉所包围的水分运动变弱，使得淀粉糊黏度再次上升，此时的黏度为最终黏度，它是淀粉由热糊变为凝胶状态后最终维持的黏度，其值的大小表征的是淀粉糊室温条件下的硬度大小^[20]。5号马铃薯淀粉的最终黏度最高，说明其淀粉糊在室温条件下拥有较大的硬度。回生值反映淀粉老化的趋势，它与直链、支链淀粉的含量有关，直链淀粉含量越高，冷却过程中淀粉分子越容易通过氢键发生再聚

集，回生值越高^[21]，淀粉一定程度的回生对淀粉凝胶的强度和韧性具有积极的作用。3号和1号马铃薯淀粉具有较高的回生值，说明它们形成凝胶具有较高的强度，这与本研究凝胶特性的测定结果一致。淀粉在高温条件下溶胀形成均匀糊状物质，黏度迅速上升，此时的温度为糊化温度。糊化温度因直链淀粉含量、结晶度和支链淀粉的结构等的不同而存在差异。直链淀粉含量高、结晶度高，支链外链较长的淀粉，其晶体结构紧密，晶体溶解所需热量大，其糊化温度较高^[22]。糊化完成的时间为糊化时间，是影响淀粉糊化的主要因素之一^[23]。有研究表明这可能与淀粉颗粒的粒径大小有关，淀粉颗粒之间堆积的越紧密，糊化就越困难，糊化温度也就随之变高^[24]。3号、5号和6号马铃薯淀粉糊化温度较低，6号所需糊化时间最少。

2.2 不同马铃薯淀粉凝胶特性

淀粉在糊化后，直链淀粉分子从溶胀的淀粉颗粒中逸出，在冷却过程中，以双螺旋的形式互相缠绕形成多维网状结构的凝胶网络，从而形成凝胶。淀粉凝胶的性质与其食品品质密切相关。通过观察凝胶的质构参数，能直观地得出凝胶性质的优劣。

表4 不同马铃薯淀粉的凝胶特性
Table 4 Gelling properties of potato starches

指标	样品编号					
	1	2	3	4	5	6
硬度/g	274.09±4.98 ^a	249.26±15.19 ^a	331.18±6.58 ^a	248.32±11.63 ^a	205.07±17.55 ^a	195.31±11.76 ^a
弹性	0.94±0.02 ^a	0.90±0.03 ^{ab}	0.93±0.04 ^a	0.90±0.00 ^{ab}	0.85±0.02 ^a	0.88±0.01 ^{bc}
内聚性	0.92±0.02 ^a	0.90±0.02 ^a	0.91±0.02 ^a	0.85±0.01 ^b	0.93±0.01 ^a	0.92±0.01 ^a
黏性/g	250.85±11.36 ^a	225.20±12.06 ^a	300.94±4.79 ^a	211.83±9.28 ^a	191.97±14.79 ^a	179.32±13.60 ^a
咀嚼性/g	237.25±15.61 ^a	213.10±10.23 ^a	271.39±10.63 ^a	195.16±8.38 ^a	179.68±16.31 ^a	171.18±14.46 ^a
回复性	0.81±0.02 ^a	0.75±0.03 ^{bc}	0.81±0.03 ^a	0.78±0.01 ^{ab}	0.75±0.03 ^{bc}	0.71±0.01 ^c
凝胶强度/g	56.27±2.91 ^b	50.01±2.35 ^c	77.37±1.65 ^a	42.00±2.91 ^d	37.69±2.35 ^c	33.60±2.46 ^c

从表4可以看出，3号马铃薯淀粉的凝胶硬度、黏性、咀嚼性和凝胶强度最大，与其他马铃薯淀粉存在显著差异（ $P < 0.05$ ），这可能与直链淀粉含量和分子间交联缠绕程度有关^[25]。淀粉凝胶的弹性与淀粉分子形成的网状结构的交联点有关，交联点越多，弹性越大。1号和3号马铃薯淀粉凝胶具有较高的弹性，5号马铃薯淀粉的弹性最低。内聚性反映了凝胶内部的黏结程度和抵抗外界破坏能力的大小^[26]，4号马铃薯淀粉的内聚性最小，且与其他样品存在显著差异（ $P < 0.05$ ）。1号和3号样品的回复性较强，表明其凝胶受外力后回复原来的形状的能力较强。

2.3 不同马铃薯淀粉所制马铃薯粉品质的比较

断条率是最直观地评价马铃薯粉品质的标准，由表5可以看出，不同马铃薯淀粉所制得的马铃薯粉品质存在显著差异（ $P < 0.05$ ）。断条率以3号马铃薯淀粉制得的马铃薯粉最低，6号最高。在感官评定中，6号样品制得的马铃薯粉颜色最白，5号透明性最好，2号风味评价最高，3号在口感、爽滑性、弹韧性和总分均优于其他样品。

表5 马铃薯粉的感官评分和断条率

指标	样品编号					
	1	2	3	4	5	6
颜色	-0.4	1.1	0.4	-0.9	1.7	1.9
透明度	-1.4	1.5	0.6	0.9	1.8	-0.4
口感	1.1	0.3	1.6	-0.1	-1.4	-1.2
爽滑性	1.7	0.8	1.9	0	-0.3	-1.8
弹韧性	1	0	1.3	-0.5	-1.2	-1.7
风味	0.8	1.3	-0.5	0.2	-0.8	-0.2
总分	2.8	5	5.3	-0.4	-0.2	-3.4
断条率/%	31.67±2.89 ^d	41.67±2.89 ^e	28.33±2.89 ^d	45.00±0.00 ^{bc}	48.33±2.89 ^{ab}	51.67±2.89 ^a

2.4 马铃薯淀粉糊化和凝胶特性相关性分析

表6 马铃薯淀粉糊化特性与凝胶特性之间的相关系数

指标	硬度	弹性	内聚性	黏性	咀嚼性	回复性	凝胶强度
峰值黏度	-0.237	-0.286	0.868*	-0.109	-0.083	-0.490	-0.023
谷值黏度	-0.279	-0.711	0.060	-0.266	-0.300	-0.248	-0.222
崩解值	-0.188	-0.163	0.860*	-0.063	-0.030	-0.448	0.016
最终黏度	0.109	-0.366	0.100	0.132	0.108	0.145	0.167
回生值	0.907*	0.856*	0.083	0.929**	0.952**	0.915*	0.903*
糊化时间	0.119	-0.042	-0.827*	0.000	-0.047	0.340	-0.060
糊化温度	0.373	0.568	-0.772	0.266	0.282	0.456	0.194

注：*、在 0.05 水平上显著相关；**、在 0.01 水平上极显著相关。下同。

从表6可以看出，马铃薯淀粉凝胶的内聚性和峰值黏度、崩解值显著正相关（ $P<0.05$ ），和糊化时间显著负相关（ $P<0.05$ ），淀粉回生值越高，其凝胶的硬度、弹性、黏性、咀嚼性、回复性和凝胶强度也越高，高回生值的淀粉制得的凝胶拥有较好的凝胶特性，这可能与支链淀粉的分子结构和直链淀粉的聚合度有关。

2.5 淀粉糊化特性与马铃薯粉品质相关性分析

Tam等^[27]在研究不同直连淀粉含量的玉米淀粉与粉丝的关系时，证实了淀粉的糊化黏度曲线可以被用来预测粉丝品质的优劣。贾良^[28]、隋炯明^[29]等证实了RVA图谱的特征参数与稻米淀粉直链淀粉含量以及理化性质的相关性，认为RVA特征值可以作为优质稻米的辅助选择指标。本实验则研究了马铃薯淀粉的RVA特征值与鲜湿马铃薯粉感官品质和断条率的相关性，研究认为马铃薯淀粉的RVA特征值与马铃薯粉感官品质和断条率存在高度相关性，RVA特征值能较好地反映马铃薯粉的品质。

表7 马铃薯淀粉糊化特性与感官品质之间的相关系数

指标	颜色	透明度	口感	爽滑性	弹韧性	风味	总分	断条率
峰值黏度	0.888*	-0.016	-0.241	-0.231	-0.214	-0.206	-0.012	0.133
谷值黏度	0.401	0.930**	-0.443	-0.13	-0.326	-0.332	0.061	0.354
崩解值	0.821*	-0.179	-0.164	-0.209	-0.158	-0.148	-0.023	0.071
最终黏度	0.176	0.829*	-0.048	0.294	0.096	-0.234	0.430	-0.068
回生值	-0.553	-0.333	0.940**	0.970**	0.987**	0.258	0.823*	-0.990**
糊化时间	-0.657	0.437	0.035	0.136	0.048	0.008	0.022	0.038
糊化温度	-0.813*	-0.096	0.509	0.436	0.442	0.752	0.380	-0.320

从表7可以看出，在RVA参数中，淀粉的峰值黏度、崩解值与马铃薯粉的颜色显著正相关（ $P<0.05$ ），糊化温度与颜色显著负相关（ $P<0.05$ ），说明淀粉的峰值黏度和崩解值越高，糊化温度越低，马铃薯粉的颜色越白；谷值黏度与马铃薯粉的透明度极显著正相关（ $P<0.01$ ），最终黏度与透明度显著正相关（ $P<0.05$ ），说明淀粉的谷值黏度和最终黏度越高，马铃薯粉的透明性越好；回生值对马铃薯粉的影响最明显，回生值与马铃薯粉的口感、爽滑性、弹韧性极显著正相关（ $P<0.05$ ），与总分显著正相关（ $P<0.05$ ），与断条率极显著负相关（ $P<0.05$ ）。由此可推断，回生值越高的淀粉，其制成的马铃薯粉在口感、爽滑性和弹韧性越好，断条率越低，越容易被生产者和消费者接受。按显著程度（ r 值大小）排序为：回生值>谷值黏度>峰值黏度>最终黏度>崩解值>糊化温度。

2.6 淀粉凝胶特性与马铃薯粉品质相关性分析

林伟静等^[30]在研究不同绿豆淀粉的品质时认为，绿豆淀粉的凝胶硬度越大，弹性越好，咀嚼度越高，其凝胶品质越好，也越适宜粉丝的制作。本研究认为，马铃薯淀粉凝胶特性与马铃薯粉品质存在显著相关性，淀粉凝胶的特征值能较好地反映出马铃薯粉的品质特性。

表8 马铃薯淀粉凝胶特性与感官品质之间的相关系数

指标	颜色	透明度	口感	爽滑性	弹韧性	风味	总分	断条率
硬度	-0.567	-0.162	0.958**	0.893*	0.947**	0.121	0.808	-0.948**
弹性	-0.683	-0.65	0.940**	0.771	0.886*	0.478	0.595	-0.873*
内聚性	0.679	-0.207	-0.141	-0.018	-0.038	-0.269	0.019	-0.062
黏性	-0.47	-0.186	0.948**	0.903*	0.953**	0.087	0.827*	-0.968**
咀嚼性	-0.465	-0.232	0.962**	0.922**	0.970**	0.153	0.846*	-0.982**
回复性	-0.777	-0.254	0.853*	0.906*	0.906*	0.111	0.659	-0.900*
凝胶强度	-0.381	-0.141	0.922**	0.879*	0.928**	0.051	0.836*	-0.948**

如表8所示，在淀粉的凝胶特性中，凝胶的硬度与黏性和马铃薯粉的口感、弹韧性极显著正相关（ $P<0.01$ ），与爽滑性显著相关（ $P<0.05$ ），与断条率极显著负相关（ $P<0.01$ ），黏性还与总分显著正相关（ $P<0.05$ ）；凝胶的弹性与马铃薯粉的弹韧性显著正相关（ $P<0.05$ ），与口感极显著正相关（ $P<0.01$ ），与断条率显著负相关（ $P<0.05$ ）；凝胶的咀嚼性和马铃薯粉的口感、爽滑性、弹韧性极显著正相关（ $P<0.01$ ），与总分显著正相关（ $P<0.05$ ），与断条率极显著负相关（ $P<0.01$ ）；回复性与口感、爽滑性、弹韧性显著正相关（ $P<0.05$ ），与断条率显著负相关（ $P<0.05$ ）；凝胶强度与口感和弹韧性极显著正向关（ $P<0.01$ ），与爽滑性显著正相关（ $P<0.05$ ），与断条率显著负相关（ $P<0.05$ ）。按显著程度（ r 值大小）排序为：咀嚼性>凝胶强度、黏性>硬度>回复性>弹性。

3 结 论

马铃薯淀粉的糊化和凝胶特性对马铃薯粉的品质具有重要意义。淀粉的糊化特性与马铃薯粉的感官品质和断条率存在显著相关性,按显著程度(r 值大小)排序依次是:回生值>谷值黏度>峰值黏度>最终黏度>崩解值>糊化温度。淀粉的凝胶特性对马铃薯粉的感官品质和断条率存在显著相关性,按显著程度(r 值大小)排序依次是:咀嚼性>凝胶强度、黏性>硬度>回复性>弹性。马铃薯淀粉的回生值越高,马铃薯粉的口感、爽滑性、弹性越好,断条率越低;淀粉凝胶的咀嚼性、凝胶强度和黏性越大,马铃薯粉的品质越好。在选择马铃薯淀粉制作马铃薯粉的过程中,可以选择回生值高的、咀嚼性强的、凝胶强度和黏性大的淀粉作为优质的原料。

参考文献:

- [1] 谭洪卓. 甘薯淀粉流变学、热力学特性和分子结构研究及其在粉丝生产中的应用[D]. 无锡: 江南大学, 2007: 4-10. DOI:10.7666/d.y1195891.
- [2] 廖卢艳, 吴卫国. 不同淀粉糊化及凝胶特性与粉条品质的关系[J]. 农业工程学报, 2014, 30(15): 332-338. DOI:10.3969/j.issn.1002-6819.2014.15.042.
- [3] 许永亮, 程科, 邱承光, 等. 不同品种大米淀粉的流变学特性研究[J]. 中国粮油学报, 2006, 21(4): 16-20. DOI:10.3321/j.issn.1003-0174.2006.04.004.
- [4] 邓珍珍. 粉丝品质和耐煮增筋工艺的研究[D]. 成都: 西华大学, 2013: 5-6.
- [5] 谭洪卓, 谭斌, 刘明, 等. 甘薯粉丝生产中多糖胶与甘薯淀粉相互作用机理[J]. 食品科学, 2008, 29(5): 49-55. DOI:10.3321/j.issn.1002-6630.2008.05.002.
- [6] HORMDOK R, NOOMHORM A. Hydrothermal treatments of rice starch for improvement of rice noodle quality[J]. LWT-Food Science and Technology, 2007, 40(10): 1723-1731. DOI:10.1016/j.lwt.2006.12.017.
- [7] CHARUTIGON C, JITPUPAKDREE J, NAMSREE P, et al. Effects of processing conditions and the use of modified starch and monoglyceride on some properties of extruded rice vermicelli[J]. LWT-Food Science and Technology, 2008, 41(4): 642-651. DOI:10.1016/j.lwt.2007.04.009.
- [8] 孟俊祥, 张书光, 方红美, 等. 艾叶粉对马铃薯粉丝品质的影响[J]. 食品科学, 2013, 34(3): 133-136.
- [9] 谭洪卓, 田晓红, 刘明, 等. 20 种蚕豆淀粉物理特性、糊化回生特性与粉丝品质的关系[J]. 食品与生物技术学报, 2010, 29(2): 230-236.
- [10] 付一帆, 甘淑珍, 赵思明. 几种淀粉的糊化特性及力学稳定性[J]. 农业工程学报, 2008, 24(10): 255-257. DOI:10.3321/j.issn.1002-6819.2008.10.052.
- [11] 陈贻芳. 不同盐对马铃薯淀粉特性影响的研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2012: 11.
- [12] MESTRES C, COLONNA P, BULEON A. Characteristics of starch networks within rice flour noodles and mungbean starch vermicelli[J]. Journal of Food Science, 1988, 53(6): 1809-1812. DOI:10.1111/j.1365-2621.1988.tb07848.x.
- [13] 艾志录, 孙茜茜, 潘治利, 等. 不同来源淀粉特性对水晶皮制品品质的影响[J]. 农业工程学报, 2016, 32(1): 318-324. DOI:10.11975/j.issn.1002-6819.2016.01.044.
- [14] 艾芳芳. 葛根淀粉黏糊性和凝胶质构特性研究[D]. 南宁: 广西大学, 2010: 8-9. DOI:10.7666/d.y1737808.
- [15] 马冰洁, 唐洪波, 马玲. 马铃薯淀粉糊的黏度性质[J]. 东北林业大学学报, 2006, 34(4): 73-75. DOI:10.3969/j.issn.1000-5382.2006.04.027.
- [16] SINGH N, KAUR M, SANDHU K S, et al. Physicochemical, thermal, morphological and pasting properties of starches from some Indian black gram (*Phaseolus mungo*, L.) cultivars[J]. Starch-Stärke, 2004, 56(11): 535-544. DOI:10.1002/star.200400290.
- [17] 邵春水, 田纪春, 张永祥. 不同筋力小麦品种的搅拌值及其它淀粉糊化特性指标[J]. 中国粮油学报, 2002, 17(3): 51-54. DOI:10.3321/j.issn.1003-0174.2002.03.013.
- [18] 张红建, 张晶晶, 邹易, 等. 利川山药淀粉糊化特性研究[J]. 武汉轻工大学学报, 2014(4): 20-23. DOI:10.3969/j.issn.2095-7386.2014.04.005.
- [19] 袁美兰, 鲁战会, 程永强, 等. 自然发酵对米粉RVA黏度性质及米粉拉伸性质的影响[J]. 中国粮油学报, 2008, 23(1): 6-9.
- [20] 张晓冬. 莲藕根状茎碳水化合物代谢及淀粉特性的初步研究[D]. 扬州: 扬州大学, 2005: 22-23. DOI:10.7666/d.y747907.
- [21] LOCKWOOD S, KING J M, LABONTE D R. Altering pasting characteristics of sweet potato starches through amino acid additives[J]. Journal of Food Science, 2008, 73(5): C373-C377. DOI:10.1111/j.1750-3841.2008.00755.x.
- [22] 缪铭, 江波, 张涛. 淀粉的消化性能与RVA曲线特征值的相关性研究[J]. 食品科学, 2009, 30(5): 16-19. DOI:10.3321/j.issn.1002-6630.2009.05.002.
- [23] 魏显华, 党斌. 马铃薯淀粉糊化工艺研究[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(12): 6512-6514. DOI:10.3969/j.issn.0517-6611.2010.12.152.
- [24] WATERSCHOOT J, GOMAND S V, WILLEBRORDS J K, et al. Pasting properties of blends of potato, rice and maize starches[J]. Food Hydrocolloids, 2014, 41(41): 298-308. DOI:10.1016/j.foodhyd.2014.04.033.
- [25] 张雅媛, 洪雁, 顾正彪, 等. 玉米淀粉与黄原胶复配体系流变和凝胶特性分析[J]. 农业工程学报, 2011, 27(9): 357-362. DOI:10.3969/j.issn.1002-6819.2011.09.062.
- [26] 李云波, 刘晓翠, 张伟, 等. 米粉凝胶形成过程的质构特性及凝胶品质控制研究[J]. 食品科技, 2006, 31(7): 39-42. DOI:10.3969/j.issn.1005-9989.2006.07.011.
- [27] TAM L M, CORKE H, TAN W T, et al. Production of bihon-type noodles from maize starch differing in amylose content[J]. Cereal Chemistry, 2004, 81(4): 475-480. DOI:10.1094/CCHEM.2004.81.4.475.
- [28] 贾良, 丁雪云, 王平荣, 等. 稻米淀粉RVA谱特征及其与理化品质性状相关性的研究[J]. 作物学报, 2008, 34(5): 790-794. DOI:10.3321/j.issn.0496-3490.2008.05.010.
- [29] 隋炯明, 李欣, 严松, 等. 稻米淀粉RVA谱特征与品质性状相关性研究[J]. 中国农业科学, 2005, 38(4): 657-663. DOI:10.3321/j.issn.0496-3490.2005.04.010.
- [30] 林伟静, 曾志红, 钟葵, 等. 不同品种绿豆的淀粉品质特性研究[J]. 中国粮油学报, 2012, 27(7): 47-51. DOI:10.3969/j.issn.1003-0174.2012.07.010.