

# 不同品种紫薯的质构特征比较

牛丽影<sup>1</sup>, 万玉炜<sup>1,2</sup>, 李大婧<sup>1</sup>, 刘春泉<sup>1</sup>, 宋江峰<sup>1</sup>, 谢一芝<sup>3</sup>

(1. 江苏省农业科学院农产品加工研究所, 江苏南京 210014) (2. 乌鲁木齐市职业中等专科学校, 新疆乌鲁木齐 830000) (3. 江苏省农业科学院粮食作物研究所, 江苏南京 210014)

**摘要:** 为更好地说明不同紫薯品种在质构特性上的差异, 本研究选取了 16 个紫薯品种, 测定了薯块水分、淀粉组成以及原淀粉的热力学特性, 并对质构特性进行了质构剖面 (TPA) 和感官分析。箱线图分析显示样品水分、淀粉含量和热力学参数均存在离群值。不同样品的 TPA 质构存在显著性差异 ( $p < 0.05$ ), 其中水分含量最低 (59.16%) 的育种材料 QZ5070 硬度 (4880 g)、弹性 (3.57 mm)、胶黏性 (1265 mJ)、咀嚼性 (43.34 mJ) 和可恢复形变 (1.71 mm) 均为最高值。多元相关分析结果显示水分含量与 TPA 咀嚼性、感官硬度、感官干面性显著负相关 ( $p < 0.05$ ), 而与感官粘聚性与感官易嚼性显著正相关 ( $p < 0.05$ )。淀粉含量则未与质地指标表现出显著相关性, 淀粉热力学参数中只有糊化焓和感官易嚼性显著正相关 ( $p < 0.05$ )。双向聚类分析结果显示样品聚为 4 类, 指标聚为 5 类, 综合指标聚类结果和标准化数据的热图分析, 渝紫 7 号、越南紫薯、日本新紫和 3 种育种材料 QZ5070、W36-1、W50-2 表现出与其他样品不同的质地特性。研究结果为以甘薯鲜食、加工适性评价和育种方向提供有效信息。

**关键词:** 甘薯; 质构; 相关性分析; 聚类分析; 品种差异

文章编号: 1673-9078(2020)07-96-104

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2020.7.1129

## Texture Comparison of Different Purple Sweetpotato Cultivars

NIU Li-ying<sup>1</sup>, WAN Yu-wei<sup>1,2</sup>, LI Da-jing<sup>1</sup>, LIU Chun-quan<sup>1</sup>, SONG Jiang-feng<sup>1</sup>, XIE Yi-zhi<sup>3</sup>

(1. Institute of Farm Product Processing, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China)

(2. Urumqi city occupation technical secondary school, Urumqi 830000, China)

(3. Institute of Food Crops, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China)

**Abstract:** In order to investigate the texture difference of 16 purple sweetpotato cultivars, texture profile analysis (TPA) using texture analyzer and sensory texture profile evaluation were conducted. The moisture content, starch constitution, thermodynamic properties were also determined. Results showed that some samples displayed as outliers in boxplots and there were significant differences ( $p < 0.05$ ) on the texture parameters among the samples. QZ5070 showed the lowest value of moisture content (59.16%) as well as the highest values of hardness (4880 g), springiness (3.57 mm), adhesiveness (1265 mJ), chewiness (43.34 mJ), and recoverable deformation (1.71 mm). Multiple correlation analysis showed the moisture content negatively correlated with TPA chewiness, sensory hardness, and sensory floury, while it positively correlated with sensory cohesiveness and sensory chewiness ( $p < 0.05$ ). No significant correlations among the starch contents and texture properties. In addition,  $\Delta H$ , a thermodynamic parameter, was positively correlated with sensory chewiness ( $p < 0.05$ ). Moreover, 4 sample groups and 5 parameter class were clustered using two-way cluster analysis (CA). From the heatmap of the normalized data and the cluster results, Yuzi-7, Yuenan-zishu, Riben-xinzi and 3 breeding materials (QZ5070, W36-1 and W50-2) were distinguished themselves from the other cultivars. In conclusion, the results will offer valuable texture information for sweetpotato eating, processing and breeding quality improvements.

**Key words:** sweetpotato; texture; correlation analysis; cluster analysis; cultivar difference

引文格式:

牛丽影, 万玉炜, 李大婧, 等. 不同品种紫薯的质构特征比较[J]. 现代食品科技, 2020, 36(7): 96-104

NIU Li-ying, WAN Yu-wei, LI Da-jing, et al. Texture comparison of different purple sweetpotato cultivars [J]. Modern Food Science and Technology, 2020, 36(7): 96-104

收稿日期: 2019-11-20

基金项目: 江苏省重点研发项目 (BE2018382)

作者简介: 牛丽影 (1977-), 女, 博士, 副研究员, 研究方向: 果蔬加工与综合利用

通讯作者: 李大婧 (1976-), 女, 博士, 研究员, 研究方向: 果蔬加工与综合利用

我国甘薯具有丰富的种质资源,是世界最大的生产国,从20世纪90年代始,紫心甘薯便因其色泽功能特点成为品种选育的主要目标之一,目前紫薯品种已达63个。随品种数量的增多,品种同质化、缺少特色上升为主要问题<sup>[1,2]</sup>,如何更好地对品质差异进行评价成为新的研究热点。在甘薯的品质评价研究中,质地为甘薯食味品质两大关键因子之一<sup>[3]</sup>,质地特性是评估甘薯质量优劣的重要指标<sup>[4]</sup>。据报道,不同品种甘薯质地上存在显著的差异,并往往与水分和淀粉有关:Nakamura等<sup>[5]</sup>将甘薯品种划分为粉质型和软质型,并认为这种质地差异与蒸煮后淀粉的凝胶化有关;黄华宏等<sup>[6]</sup>发现浙江省种植的3个甘薯品种薯块淀粉含量由高变低时,蒸煮后食用口感会由于干面向偏稀软方面转变;Laurie等<sup>[7]</sup>发现干物质率和多水感的感官属性显著负相关,另外在对干燥甘薯淀粉糊化特性研究中还发现水分添加量对淀粉糊化影响很大,较高的水分比例如70%以上才可使甘薯淀粉充分糊化<sup>[8]</sup>。在食品质地研究中,感官评价是能最直接体现质地品质的方法,感官评价往往通过描述词及强度标度实现样品间差异的比较<sup>[9]</sup>。另外,为实现质构的客观性描述,质构仪结合质地剖面分析(TPA)在食品领域得到了广泛应用。TPA可以很好地模拟食品在人体口腔中被二次咀嚼和吞咽过程,仪器通过信息集可以得到硬度、弹性、黏附性、内聚性、脆裂性、胶黏性、咀嚼度等质地特性参数,在食品质构特性的客观描述上具有重要的作用<sup>[10]</sup>。在甘薯质地研究中,质构仪测定的硬度和感官评价往往具有良好的一致性<sup>[11,12]</sup>,但仪器测定对样品的不均匀性更为敏感<sup>[13]</sup>,仍不能完全取代感官评价的结果<sup>[11]</sup>。

近年来,随着人民生活水平的提高,甘薯尤其是紫薯作为鲜食和休闲食品加工的比例大幅度提高,但相关研究多集中在功能色泽上,对品种间的质构差异研究不足。另外,多元统计方法在样品差异识别和特征指标提取上显示出良好的优势,如多元相关性分析可用于挖掘理化指标与感官指标间的内在联系,从而建立感官的描述与物理测试强度或特定化学成分上的对应关系,使食品品质的评价更加完善<sup>[8,11]</sup>,聚类分析通过相似度划分则能更清晰的显示样品之间的差异与亲缘关系<sup>[14]</sup>。因此,本试验选取了16个紫薯品种,测定了水分和淀粉组成,对质构特性则采用了质构仪TPA分析法和感官定量描述法进行评定,最后进行了相关性分析和聚类分析,为甘薯的食用品质评价和育种方向提供依据。

## 1 材料与amp;方法

### 1.1 原料

供试的16个紫薯样品来自江苏省农业科学院粮食作物研究所试验基地以及市购,其中W50-2, W36-1和QZ5070为育种材料,具体样品信息见表1。

表1 紫薯样品及产地

Table 1 Name and origin place of purple sweetpotatoes

编号	品种	名称缩写	产地
1	日本新紫	RXZ	山东临沂
2	紫罗兰	ZLL	广东高州
3	海南花心	HNH	海南儋州
4	越南紫薯	YNZ	广西柳州
5	宁紫1号	NZ1	江苏南京六合
6	宁紫2号	NZ2	江苏南京六合
7	徐紫5号	NZ5	江苏南京六合
8	浙紫2号	ZZ2	江苏南京六合
9	W50-2	W50-2	江苏南京六合
10	W36-1	W36-1	江苏南京六合
11	宁6-8	N6-8	江苏南京六合
12	济黑1号	JH1	江苏南京六合
13	QZ5070	QZ5070	江苏南京六合
14	宁2-2	N2-2	江苏南京六合
15	宁紫3号	NZ3	江苏南京六合
16	渝紫7号	YZ7	江苏南京六合

### 1.2 主要仪器设备

TG16-WS台式高速离心机,上沙湘仪离心机仪器有限公司;TU-1810紫外可见分光光度计,北京普析通用仪器有限公司;BS-224-S万分之一天平,赛多利斯科学仪器(北京)有限公司;QTS型质构仪,英国CNS Faemell公司;DSC差示扫描量热仪,美国Perkin-Elmer公司PerkinElmer DSC8000。

### 1.3 试验方法

#### 1.3.1 水分含量的测定

参考GB 5009.3-2016<sup>[15]</sup>方法,采用直接干燥法,计算甘薯中的含量。

#### 1.3.2 淀粉含量的测定

取新鲜去皮原料50g,加入100mL蒸馏水进入料理机匀浆,将匀浆液在4000r/min离心10min,倾出上层液体,沉淀加入100mL蒸馏水搅拌后再次离心,分离出纯化的沉淀物,置于50℃干燥箱中烘干,得到甘薯原淀粉。支链淀粉和直链淀粉含量采用双波长法测定<sup>[16]</sup>,并计算为鲜薯中质量分数。

### 1.3.3 热力学特性的测定

参照文献<sup>[8]</sup>方法,称取 1.3.2 得到的甘薯原淀粉 2 mg,放入 DSC 铝盒中,加入 7  $\mu$ L 蒸馏水后密封在常温下静置平衡 24 h。DSC 的条件设定为:从 20  $^{\circ}$ C 扫描至 100  $^{\circ}$ C,升温速率为 10  $^{\circ}$ C/min,测定并计算加热糊化过程中峰起始温度  $T_o$ 、峰值温度  $T_p$ 、结束温度  $T_c$ 、热焓值  $\Delta H$ 。

### 1.3.4 质构仪的质构剖面分析

参考文献对甘薯块根质构测定建议<sup>[13]</sup>,将甘薯薯块清洗、去皮,沿中心轴方向切制成 1.5 cm $\times$ 1.5 cm $\times$ 1.5 cm 的正方形小块。置于蒸锅水沸腾时计时蒸制 5 min,取出保温,表面温度 40  $^{\circ}$ C 左右时进行 TPA 质构分析。

TPA 测定采用 TA3/100 的探头,TA/TPB 的夹具,测定过程设置为:以 0.5 mm/s 的速度下压 5.0 mm。

触发点负载 10 g,循环 2 次。每种甘薯样品进行 15~16 次重复试验测定,剔除测定中薯块碎裂的数据,计算平均值和标准偏差。计算 TPA 参数:硬度 (g)、粘性 (mJ)、内聚力 (N)、可恢复形变 (mm)、弹性 (mm)、胶粘性 (g)、咀嚼性 (mJ)。

### 1.3.5 质构的感官分析

参照 GB/T 16860-1997 感官分析法,质地剖面法<sup>[17]</sup>中硬性、粘聚性、易嚼性、粘附性的定义和评价方法以及文献中对干面性/多水性的定义<sup>[3,7]</sup>,根据甘薯的特点,确定了如表 2 的感官属性及评价方法。

薯块加工与测试温度同 1.3.3,10 名评价人员均经历机械质地特性参照样品标度标准样品培训,样品评价均采用 5 点强度标度法。

表 2 质构特性感官分析的描述词及定义

Table 2 Sensory attributes and definition of texture analysis

质地属性*	评价方法
S-硬性	将样品放在白齿间,评价压迫食品所需的力量
S-粘聚性	将样品放在白齿间,咀嚼并与唾液混合,评价样品团块分散与聚合所需的力
S-易嚼性	将样品放在口腔中每秒钟咀嚼一次,所用力量与用 0.5 s 内咬穿一块口香糖所需力量相同,评价当可将样品吞咽时所咀嚼次数或能量
S-粘附性	将样品放在舌头上,贴上腭,移动舌头,评价用舌头移动样品所需力量
S-干面性	评价咀嚼过程及吞咽时对唾液的需求量

注: \*加标 S-便于与质构仪测定指标区分。

## 1.4 数理统计

采用 origin pro 2016 进行箱线图和频数分析,采用 JMP 10 进行差异显著性分析、多元相关性分析和双向聚类分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同紫薯的水分含量

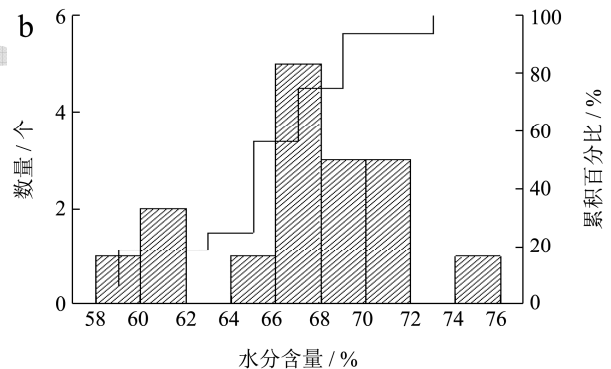
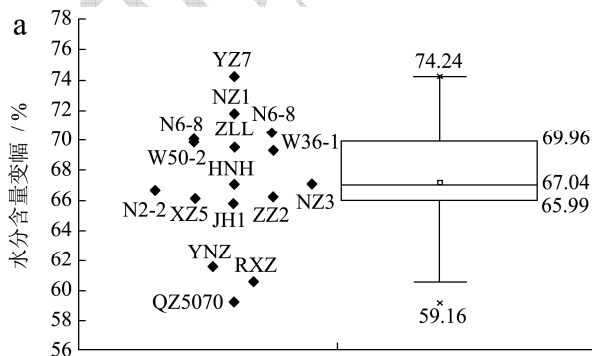


图 1 16 个甘薯样品的水分含量分布图

Fig.1 Moisture content (%) distribution profile of 16 purple sweetpotato samples

注: a: 箱线图; b: 频数分布图。

图 1 为 16 种甘薯的水分含量分布统计图。由图 1a 的箱线图可知,这 16 个品种的水分含量主要分布于 65.99%~69.96%之间。含水量最低的样品为 QZ5070 (59.16%),最高的为 YZ7 (74.24%)。由频数分布图 1b 则可以看出,以 2%为区间,水分含量数值分布

出现两个断层,将样品划分为三个聚集区:58%~62%有三个样品,分别为QZ5070、RXZ、YNZ;64%~72%有12个样品,分别为ZLL、NZ1、NZ2、W50-2、W36-1、N6-8、N2-2、XZ5、JH1、HNH、NZ3、ZZ2;高于72%的只有1个YZ7,与以往研究测定范围(水分含量60.17%~77.79%)一致<sup>[18]</sup>。甘薯中干物质的积累主要与甘薯基因型不同有关,也会受到栽培条件及气候影响<sup>[19]</sup>。若按照干物质/水分含量的高低对甘薯类型的划分<sup>[20]</sup>,16个紫薯样品中低干型(水分含量>72%)的只有YZ7,中干型(68%~72%)的有5个品种,其他10个品种均属于高干型(水分含量≤68%)。

## 2.2 不同紫薯的淀粉品质分析

### 2.2.1 紫薯中直链和支链淀粉的含量与比例分析

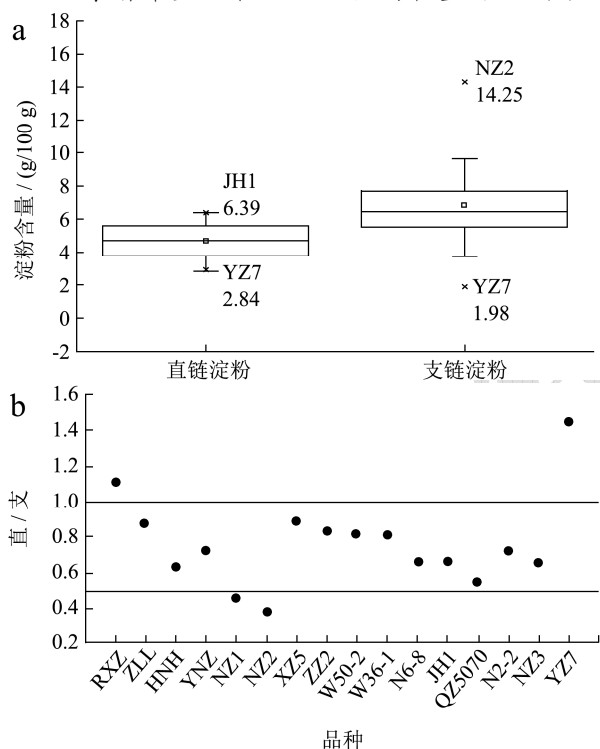


图2 16个紫薯品种的淀粉含量统计图

Fig.2 Starch content of 16 purple sweetpotato cultivars

注: a: 箱线图; b: 直链淀粉与支链淀粉比值。

甘薯中的淀粉往往占到湿重的15%~30%,淀粉中直链淀粉的量往往低于支链淀粉,靳艳玲等对25个甘薯淀粉的测定结果显示直链淀粉约为支链淀粉的1/8~1/5<sup>[21]</sup>。由图2a可知,测定的紫薯样品中直链淀粉含量数值分布较为集中,最低值为YZ7(2.34 g/100 g),最高值为JH1(6.39 g/100 g),而支链淀粉含量出现了两个离群值,即最高值NZ2(14.25 g/100 g)和最低值YZ7(1.98 g/100 g)。从两种淀粉的比值分析(图2b),16个品种中有2个样品,RXZ和ZY7的

直链淀粉含量高于支链淀粉,即比值高于1,其他样品中有12个品种分布于0.5~1.0之间,低于0.5的则只有NZ1和N2-2。依此比例分析,测定的紫薯样品多属于高直链淀粉类型,而直链淀粉含量的多少以及直链淀粉与支链淀粉的比例(直/支)会影响到硬度等质构特性<sup>[22]</sup>。

### 2.2.2 淀粉的热力学特性分析

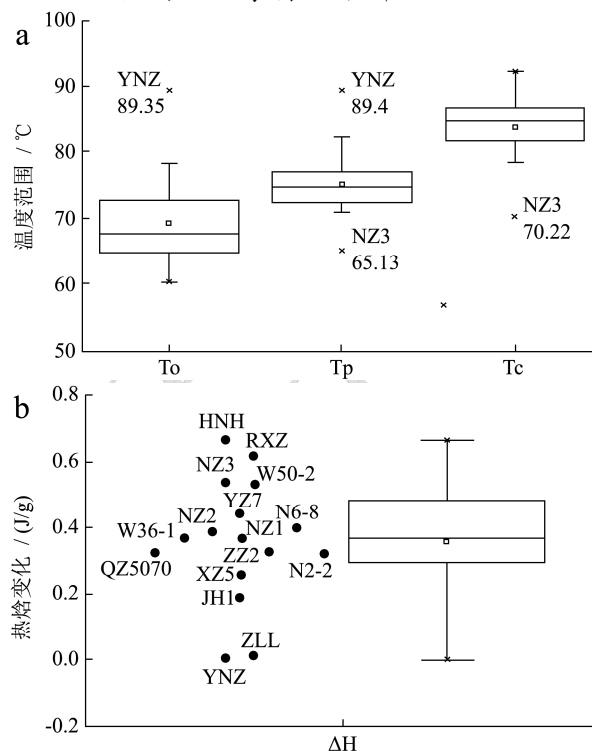


图3 16个紫薯品种原淀粉的DSC曲线参数

Fig.3 DSC thermal parameters of starch from 16 purple sweetpotato samples

注: a: To, Tp, Tc的箱线图; b: ΔH的箱线图。

淀粉作为甘薯的主要成分,甘薯中淀粉的糊化和回生会直接影响甘薯的质构特性。差示扫描量热仪(DSC)可以测定与糊化和回生相关的温度变化和热量变化。DSC测定的糊化温度反映了淀粉中微晶质量的优劣程度(有效的双螺旋长度),而热焓变化反映了淀粉的整体结晶度。图3为DSC检测到的16种紫薯淀粉糊化时的淀粉糊化温度和热焓变化的箱线图。由图3a数据可知16个紫薯样品淀粉的晶体融化起始温度(To)、峰值温度(Tp)、终止温度(Tc)分布范围分别为60.33 °C~89.35 °C,65.13 °C~89.40 °C,70.22 °C~92.29 °C,与报道基本一致<sup>[8,21]</sup>。由箱线图可以看出Tc与Tp更为集中,To较为分散。三个温度参数均出现了离群值,即YNZ的To与Tp值最高;NZ3的Tc与Tp值最低。一般而言,较低的糊化温度有利于降低加工能耗和时间,而较高的糊化温度表明淀粉晶体结构稳定,不易被破坏。淀粉体系峰值黏度大,

表明其具有较好的增稠性。

热焓变化 $\Delta H$  (图 3b) 则没有出现离群值, 但是 YNZ 为最低值, 其次为 ZLL。以往报道中甘薯淀粉的  $\Delta H$  范围在 7.8~15.5 J/g 之间<sup>[23]</sup>, 此次测定值均 $<1.0$  J/g, 测定值偏低, 可能与测定紫薯样品中直链淀粉比例偏高即支链淀粉比例偏低有关<sup>[23]</sup>。

### 2.3 不同甘薯的 TPA 质构特性

TPA 测试是通过模拟人体口腔二次咀嚼活动进行质构测定的, 质构是评价食品品质的重要指标之一, 可以将食品质构特性精确地数字化, 得到客观性结果<sup>[10]</sup>。甘薯薯块在质构仪分析中, 受蒸煮方式、取样位置、仪器运行参数的影响, 不同测定方法获得的数值差别很大<sup>[13,24]</sup>, 因此为比较这 16 种紫薯间的差异, 依轴心切取同样大小薯块, 统一蒸煮进行 TPA 测定, 得到的数据见表 3。蒸煮后的甘薯品种各质构指标间存在显著差异。硬度在一定范围内可表示出甘薯的柔软度, 蒸煮后甘薯 16 个品种中有 11 个样品的硬度值介于 1000 g~2000 g, QZ5070 的硬度最高为 4880 g, 是硬度最低的 N2-2 的 5.3 倍 (918.33 g)。弹性值同样以 QZ5070 最高 (3.57 mm), 但最低值为 W36-1 (2.02 mm)。根据差异显著性分析结果, 可以按样品的弹性高低分为 5 组, 第 1 组 QZ5070, 第 2 组为 ZLL、HNH、YNZ、NZ1、XZ5、W50-2、JH1、YZ78 个样品, 第

3 组为 RXZ、NZ2、N6-8、NZ3 四个样品, ZZ2 和 W36-1 两个品种则分别为第 4 组和第 5 组。粘度值从数值分析, 高于 2 mJ 的只有 YNZ, 其余样品种低于 1.0 的有 ZLL、HNH、NZ1、ZZ2、W36-1、NZ3 六个样品, 而其他样品的粘度值则介于 1.07 mJ~1.72 mJ 之间。对于胶黏性, 不同的样品差异很大, QZ5070 为最高值 (1265 mJ), 是最低值 (163.00 mJ) JH1 的 7.76 倍。在咀嚼性中, 最高值也为 QZ5070, 最低值为 W36-1, 这个分布特点与弹性一致, 但咀嚼性二者数值差异更大, QZ5070 为 W36-1 的 17.79 倍, 而弹性值仅为 1.76 倍。内聚力又称粘聚力, 是表示同物质分子内部相互吸引的能力, 测定样品的内聚力介于 0.12 N~0.37 N 之间, 最高值为 YNZ, 与 QZ5070、JH1、NZ3 三个样品差异不显著。可恢复形变又称回复性, 数值范围在 0.6mm~1.71mm, 最高值也为 QZ5070。

综合 16 个品种的质构参数进行比较, 可以发现 QZ5070 的硬度、弹性、胶黏性、咀嚼性和可恢复形变都是最高值, 而 W36-1 和 N2-2 较其他样品而言, 硬度、弹性、胶着性、咀嚼性和可恢复形变值都是较小的, 这说明较高的硬度和胶弹性可能为 QZ5070 质地的特点; 而 W36-1 和 N2-2 质地较为柔软。YNZ 的粘度和内聚力最高, 同时具有较高的可恢复形变值。在测定的紫薯样品中, 质构上存在着显著差异。

表 3 质构特性的 GPA 参数

Table 3 Texture character analysis using GPA parameters

	硬度/g	弹性/mm	粘性/mJ	胶黏性/mJ	咀嚼性/mJ	内聚力/N	可恢复形变/mm
RXZ	2,473.67±133.29 <sup>c</sup>	2.43±0.35 <sup>bc</sup>	1.72±1.33 <sup>ab</sup>	501.33±156.95 <sup>b</sup>	13.12±4.81 <sup>bcd</sup>	0.22±0.07 <sup>bcd</sup>	0.96±0.05 <sup>cd</sup>
ZLL	1,704.00±408.70 <sup>fg</sup>	3.13±0.74 <sup>ab</sup>	0.96±0.40 <sup>b</sup>	423.60±147.25 <sup>bc</sup>	15.95±8.83 <sup>bc</sup>	0.24±0.04 <sup>bc</sup>	1.15±0.17 <sup>b</sup>
HNH	1,031.33±131.21 <sup>hi</sup>	3.40±1.37 <sup>abc</sup>	0.95±0.49 <sup>b</sup>	206.17±50.85 <sup>ed</sup>	7.25±4.35 <sup>efd</sup>	0.20±0.07 <sup>bcd</sup>	0.69±0.12 <sup>ef</sup>
YNZ	1,230.67±555.93 <sup>ghi</sup>	2.73±0.51 <sup>abc</sup>	2.08±0.61 <sup>a</sup>	382.50±188.29 <sup>bcd</sup>	10.98±6.95 <sup>efd</sup>	0.31±0.06 <sup>a</sup>	0.94±0.21 <sup>cd</sup>
NZ1	1,372.00±311.66 <sup>ghi</sup>	3.11±0.47 <sup>ab</sup>	0.93±0.40 <sup>b</sup>	289.50±114.94 <sup>cde</sup>	9.13±4.54 <sup>bcd</sup>	0.21±0.05 <sup>bcd</sup>	0.84±0.14 <sup>cde</sup>
NZ2	1,811.67±205.24 <sup>ef</sup>	2.58±0.57 <sup>bc</sup>	1.27±0.82 <sup>ab</sup>	354.67±102.62 <sup>bcd</sup>	9.35±4.13 <sup>cdef</sup>	0.19±0.04 <sup>cde</sup>	0.84±0.15 <sup>cde</sup>
XZ5	2,035.33±593.29 <sup>de</sup>	2.71±0.51 <sup>abc</sup>	1.07±1.12 <sup>ab</sup>	357.00±134.49 <sup>bcd</sup>	9.62±5.81 <sup>cdef</sup>	0.17±0.02 <sup>cdef</sup>	0.85±0.08 <sup>cde</sup>
ZZ2	1,212.00±191.55 <sup>ghi</sup>	2.20±0.32 <sup>c</sup>	0.88±0.90 <sup>b</sup>	202.33±34.35 <sup>ed</sup>	4.23±0.55 <sup>ef</sup>	0.17±0.04 <sup>cdef</sup>	0.74±0.17 <sup>def</sup>
W50-2	1,349.00±154.45 <sup>ghi</sup>	2.70±0.38 <sup>abc</sup>	1.33±0.58 <sup>ab</sup>	268.83±103.46 <sup>cde</sup>	7.30±3.50 <sup>efd</sup>	0.20±0.06 <sup>cde</sup>	0.75±0.15 <sup>def</sup>
W36-1	1,443.33±123.14 <sup>gh</sup>	2.02±0.99 <sup>d</sup>	0.90±0.87 <sup>b</sup>	173.67±46.03 <sup>de</sup>	2.93±1.45 <sup>f</sup>	0.12±0.02 <sup>fg</sup>	0.65±0.09 <sup>ef</sup>
N6-8	1,504.00±191.46 <sup>fg</sup>	2.37±0.33 <sup>bc</sup>	1.15±0.55 <sup>ab</sup>	337.33±141.77 <sup>bcd</sup>	7.18±2.55 <sup>efd</sup>	0.23±0.09 <sup>bc</sup>	0.95±0.16 <sup>cdef</sup>
JH1	1,265.33±373.49 <sup>ghi</sup>	2.76±1.25 <sup>abc</sup>	1.35±0.70 <sup>ab</sup>	163.00±72.46 <sup>e</sup>	4.37±2.81 <sup>ef</sup>	0.13±0.05 <sup>efg</sup>	0.60±0.20 <sup>f</sup>
QZ5070	4,880.00±223.26 <sup>a</sup>	3.57±0.36 <sup>a</sup>	1.28±1.23 <sup>ab</sup>	1,265.00±397.40 <sup>a</sup>	43.34±10.02 <sup>a</sup>	0.26±0.08 <sup>ab</sup>	1.71±0.26 <sup>a</sup>
N2-2	918.33±269.79 <sup>i</sup>	2.72±0.77 <sup>abc</sup>	1.07±0.53 <sup>ab</sup>	178.00±64.60 <sup>de</sup>	5.12±3.20 <sup>ef</sup>	0.19±0.03 <sup>cde</sup>	0.83±0.09 <sup>cdef</sup>
NZ3	1,552.33±459.72 <sup>fg</sup>	2.35±0.26 <sup>bc</sup>	0.77±0.62 <sup>b</sup>	455.17±264.39 <sup>b</sup>	13.20±6.69 <sup>bcd</sup>	0.27±0.09 <sup>ab</sup>	1.02±0.35 <sup>bc</sup>
YZ7	3,080.83±467.13 <sup>b</sup>	2.76±0.75 <sup>abc</sup>	1.28±0.56 <sup>ab</sup>	472.33±153.19 <sup>b</sup>	9.67±2.10 <sup>cdef</sup>	0.15±0.04 <sup>defg</sup>	0.94±0.11 <sup>cd</sup>

注: 同列中不同字母表示差异显著,  $p<0.05$ 。

### 2.4 不同紫薯品种质构特性的感官分析

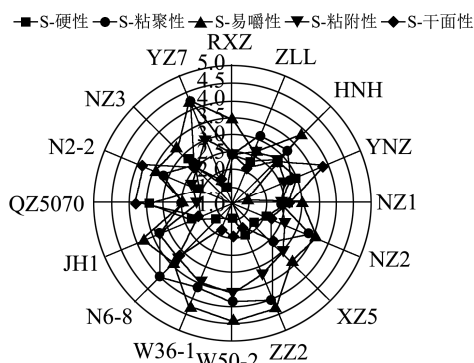


图4 16个紫薯品种质构特点的感官图谱

Fig.4 Sensory texture profile of 16 purple sweetpotato cultivars

为进一步验证紫薯样品质构特性上的差异，图4为紫薯样品质构的感官分析结果。由图中可以看到，这5个感官属性中，以S-硬度分值最低，只有QZ5070和YNZ的评分值达到了3.0，而易嚼性有12个样品评分高于3，根据属性定义（表2），说明测试的样品质地主要表现为在咀嚼中需要的力较小。另外，不同品种的紫薯在5个感官属性上得分不同，W36-1、W50-2、ZZ2三个样品在S-粘聚性、S-易嚼性和S-粘附性上的得分均表现为S-易嚼性>S-粘聚性>S-粘附性，并且≥3.0，S-硬度和S-干面性则≤2.0。YNZ和QZ5070则表现出了与前三者几乎相反的特点，即二者的S-硬度最高，S-易嚼性偏低。Truong等<sup>[1]</sup>认为甘薯的质构特点可以归为三类，一为多水性或硬度，一为颗粒感，一为纤维感。本研究样品多为商业化鲜食品种，纤维感和颗粒感并不突出，样品差异更多体现在硬性和粘性上。

### 2.5 不同评价指标的相关性分析

TPA法测定的食品硬度、弹性、咀嚼性之间往往存在显著的正相关关系<sup>[5]</sup>，但是仪器参数和感官属性之间的相关性则因参数而异，一般而言TPA硬度和感官硬性的相关性显著<sup>[7]</sup>，但其他参数与感官特性的联系则不一定符合线性相关规律<sup>[11]</sup>。图5为水分、淀粉含量、淀粉热力学参数和薯块TPA参数及感官分析数据的相关性系数r的聚类色图。由图中可以看出，硬度、胶黏性、咀嚼性和可恢复形变这四个TPA参数间存在着极显著的正相关关系（0.8210<0.9786， $p<0.001$ ），与以往文献报道一致<sup>[5]</sup>。TPA硬度和S-硬度之间虽表现为正相关，但未达显著水平（ $r=0.299$ ， $p>0.05$ ）。S-硬度与TPA法测定的弹性、咀嚼性、胶黏性相关性达到显著水平（ $p<0.05$ ）。感官指标中的S-易嚼性，S-粘聚性、S-粘附性三者呈显著正相关关系

（0.6335≤ $r$ ≤0.7296， $p<0.01$ ），而S-干面性与上述三者呈负相关关系（-0.709≤ $r$ ≤-0.449）。结合S-干面性与水分含量与显著负相关（ $r=-0.538$ ， $p<0.05$ ）分析，说明水分含量可显著影响甘薯的感官质地，这与Laurie等<sup>[5]</sup>发现的干物质率和多水感显著负相关一致。S-干面性与S-易嚼性，S-粘聚性、S-粘附性三者的负相关性则表明评价人员对紫薯不同质地的感知主要体现在与水分相关的软硬及分散成团性上。S-易嚼性、S-粘聚性、S-粘附性与TPA咀嚼性、胶黏性、弹性、可恢复形变、内聚力呈负相关性，S-硬度与弹性、咀嚼性、黏附性显著正相关。感官属性与TPA参数存在正负相关性，说明感官属性可在软-硬以及散-粘的这两组质地特性上呈双向表达，而所有TPA参数间均为正相关，说明感官评价和仪器评价仍存在差距。

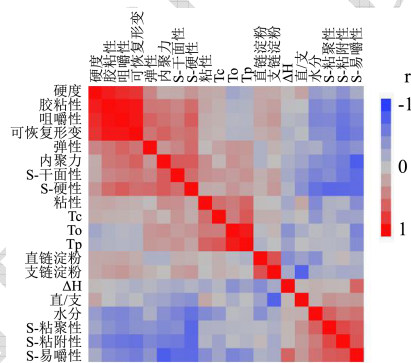


图5 指标聚类相关性色图

Fig.5 Color map of correlations among parameters

注：S-表示感官属性。

淀粉的To、Tp、Tc三个热力学参数之间以及与粘性表现为正相关关系，其中To与Tp极显著正相关（ $r=0.9332$ ， $p<0.001$ ），Tc与Tp显著正相关（ $r=0.650$ ， $p<0.01$ ）。粘性与To、Tp、Tc之间的相关系数则分别为0.4613、0.5919、0.5329，其中与Tp、Tc相关性显著（ $p<0.05$ ）。直链淀粉与支链淀粉之间显著正相关（ $r=0.6772$ ， $p<0.01$ ），直/支与ΔH之间显著负相关（ $r=-0.768$ ， $p<0.01$ ），ΔH与S-易嚼性则表现为正相关关系（ $r=0.5822$ ， $p<0.05$ ）。直链淀粉和支链淀粉含量未与除直/支外的其他指标表现出显著的相关性。在靳艳玲等<sup>[21]</sup>对25个甘薯品种的研究中，也未发现淀粉含量和糊化性质之间存在显著性相关关系，黄华宏等<sup>[6]</sup>也发现淀粉含量与质构的感官属性间没有显著的相关性关系。但在其他食品中，淀粉含量与质构参数可表现为显著的相关性，如小米粥的粘度与直链淀粉含量显著正相关，与支链淀粉含量显著负相关，糊化时间与糊化温度则与淀粉含量呈负相关<sup>[25]</sup>；米饭硬度则与DP 1000~2000的直链淀粉呈现正相关，而直链淀粉的分子大小与米饭硬度显示负相关<sup>[26]</sup>。另据报

道,甘薯粉质与软质这种质地差异与蒸煮后细胞中淀粉的形态有关<sup>[5]</sup>,蒸煮甘薯中的水分主要来自薯块,薯块质地参数还可能受到薯块组织结构影响而使得薯块水分、淀粉、质构之间难以检测到显著的相关性。因此,直链或支链这种结构划分和含量比例难以建立起甘薯淀粉结构与糊化及质构特性之间的关系,而从淀粉分子在甘薯细胞中微观结构变化角度有可能获得更清晰的淀粉糊化及薯块质构间的对应关系。

另外,以往研究<sup>[6]</sup>显示同一甘薯品种直链淀粉含量和  $T_0$ 、 $T_p$ 、 $T_c$ 、 $\Delta H$  间都存在显著相关性,但这种相关性因品种而异,可能为正相关,也可能为负相关。本研究针对多品种则发现了淀粉的糊化温度  $T_0$ 、 $T_p$ 、 $T_c$  三者显著相关,并且三者与粘性之间存在着显著的正相关性, $\Delta H$  则与 S-易嚼性之间显著正相关。鉴于水分含量对淀粉  $\Delta H$  的影响很大<sup>[8]</sup>,因此推测  $\Delta H$  与 S-易嚼性的这种显著正相关关系可能来自于水分的影响。

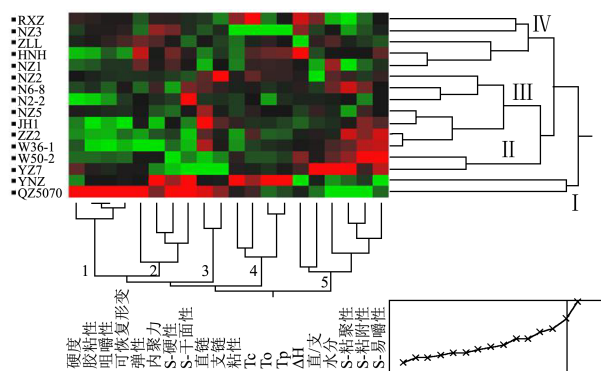


图6 指标与样品的双向聚类图

Fig.6 Two-way clustered profile of samples and parameters

注: S-表示感官属性,各指标标准化后的数据由最低-中值-最高显示为绿-黑-红。

对测定的指标和样品双向聚类的结果如图 6。根据相关性,所有指标可以分为五组:1) 硬度、胶黏性、咀嚼性、可恢复形变;2) 弹性、内聚力、S-硬性、S-干面性;3) 直链淀粉与支链淀粉;4) 粘性与  $T_0$ 、 $T_p$ 、 $T_c$ ;5)  $\Delta H$ 、直/支、水分、S-粘聚性、S-粘附性、S-易嚼性。指标的聚类体现了同类指标间具有较强的相关性,除 TPA 参数之间的相关性外,还体现了 TPA 弹性、内聚力与 S-弹性和 S-干面性之间的一致性关系,粘性与淀粉糊化温度之间的关系,以及淀粉组成和  $\Delta H$ 、水分、感官属性之间存在着相关性。16 个样品可以分为四类: I 为 YNZ 与 QZ5070,这两个样品的共同特点主要体现在较高的内聚力、S-硬性、S-干面性和较低的水分、S-粘聚性、S-粘附性、S-易嚼性; II 为 W50-2 和 YZ7,两个样品的共同特点主要体现在较高的水分、S-粘聚性、S-粘附性与较低的 S-硬性、

S-干面性和淀粉含量; III 包括 NZ2、N6-8、N2-2、XZ5、JH1、ZZ2 和 W36-1,这 7 个样品除 NZ1 外,直链淀粉标准化值高于支链淀粉,并且具有较低的硬度、胶黏性、咀嚼性、可恢复形变聚、弹性、内聚力、S-硬性; IV 为 RXZ、NZ3、ZLL、HNH 以及 NZ1,共同特点主要体现在较高的弹性、内聚力、S-硬性、S-干面性。

在指标的聚类中,7 个 TPA 参数均分布于 I 类,而 5 个感官属性则分别位于 I 与 IV 类,进一步说明感官评定和仪器测定对质地特性的表达上同时存在一致性和差异性。而样品聚类的结果则显示 YNZ 和 QZ5070 聚为一类,结合数据的标准化色图,可以看到两个样品的相似性主要在于水分含量低且质地偏硬; YZ7 与 W50-2 聚为一类,可以认为其特点主要为水分含量高或质地粘软。

### 3 结论

3.1 研究发现 16 个紫薯品种在水分含量、淀粉组成及质构特性上均存在显著的差异。水分含量最高的为 YZ7,最低的为 QZ5070,次低的为 YNZ 与 RXZ。淀粉组成分析中,16 个品种中只有 RXZ 和 ZY7 直/支  $>1$ ,以及只有 NZ1 和 N2-2 直/支  $<0.5$ 。淀粉在热力学特性上,YNZ 的  $T_0$  与  $T_p$  值最高,  $\Delta H$  最低; NZ3 的  $T_c$  与  $T_p$  值最低,  $\Delta H$  较高; YNZ 的热焓变化  $\Delta H$  为最低,其次为 ZLL,但是没有出现离群值。在 TPA 参数比较中, QZ5070 和 W36-1、N2-2 比较在硬度等指标上呈高低两极分布, YNZ 则粘度和内聚力最高,同时具有较高的可恢复形变值。感官测定的结果也显示 W36-1、W50-2、ZZ2 三个样品和 YNZ 和 QZ5070 两个样品在硬性和易嚼性上存在高低之别。

3.2 研究还发现淀粉的糊化温度  $T_0$ 、 $T_p$ 、 $T_c$  三者显著相关,并且三者与粘性之间存在着显著的正相关性,  $\Delta H$  则与 S-易嚼性之间显著正相关。TPA 质构特性中硬度、胶黏性、咀嚼性和可恢复形变这 4 个参数间存在着极显著的正相关关系 ( $p < 0.01$ ),但 S-硬性与 TPA 硬度的相关性未达显著水平,却与咀嚼性、黏附性、弹性、可恢复形变、内聚力 5 个 TPA 参数的正相关性达到显著水平 ( $p < 0.05$ )。感官指标中的 S-干面性和 S-硬性显著相关 ( $p < 0.05$ ), S-易嚼性, S-粘聚性、S-粘附性三者之间呈显著正相关 ( $p < 0.01$ ),而 S-干面感与 S-易嚼性、S-粘聚性、S-粘附性三者之间呈显著的负相关性。在指标的聚类分析中则表现为 7 个 TPA 参数均分布于 I 类,而 5 个感官属性则分别位于 I 与 IV 类,说明感官评定和仪器测定对质地特性的表达上同时存在一致性和差异性。样品的聚类结果则显示 YNZ

和 QZ5070 聚为一类, YZ7 与 W50-2 聚为一类。总体分析各指标离群值及聚类分析结果, 可以看到 YZ7 即渝紫 7 号、YNZ 即越南紫薯、RXZ 即日本新紫和育种材料 QZ5070、W36-1、W50-2 等样品在质地相关指标上表现出特殊性, 可以为紫薯育种方向提供参考。

### 参考文献

- [1] 谢一芝, 郭小丁, 贾赵东, 等. 中国食用甘薯育种现状及展望[J]. 江苏农业学报, 2018, 34(6): 1419-1424  
XIE Yi-zhi, GUO Xiao-ding, JIA Zhao-dong, et al. Progresses and prospects on edible sweet potato breeding in China [J]. Jiangsu Journal of Agricultural Science, 2018, 34(6): 1419-1424
- [2] 易中懿, 汪翔, 徐雪高, 等. 品种创新与甘薯产业发展[J]. 江苏农业学报, 2018, 34(6): 1401-1409  
YI Zhong-yi, WANG Xiang, XU Xue-gao, et al. Breeding innovation and development of sweet potato industry [J]. Jiangsu Journal of Agricultural Science, 2018, 34(6): 1401-1409
- [3] Oirschot Q E A V, Rees D, Aked J. Sensory characteristics of five sweet potato cultivars and their changes during storage under tropical conditions [J]. Food Quality & Preference, 2003, 14(8): 673-680
- [4] 薛冠炜, 李臣, 黄静艳, 等. 甘薯及其加工产品的质地研究进展[J]. 浙江农业科学, 2018, 59(4): 609-612, 616  
XUE Guan-wei, LI Chen, HUANG Jing-yan, et al. Texture research progress of sweet potatoes and their processing products [J]. Journal of Zhejiang Agricultural Sciences, 2018, 59(4): 609-612, 616
- [5] Nakamura Y, Kuranouchi T, Akiko O T, et al. Cell structure, water status and starch properties in tuberous root tissue in relation to the texture of steamed sweetpotato (*Ipomoea batatas* L.) [J]. Japanese Journal of Crop Science, 2010, 79(3): 284-295
- [6] 黄华宏, 陆国权, 郑遗凡. 不同生育期甘薯块根淀粉糊化特性的差异[J]. 中国农业科学, 2005, 38(3): 462-467  
HUANG Hua-hong, LU Guo-quan, ZHENG Yi-fan. Variation in root starch gelatinization characteristics during the growth and development of sweet potato [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2005, 38(3): 462-467
- [7] Laurie S M, Faber M, Calitz F J, et al. The use of sensory attributes, sugar content, instrumental data and consumer acceptability in selection of sweet potato varieties [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2013, 93(7): 1610-1619
- [8] 谭洪卓, 谭斌, 高虹, 等. 甘薯淀粉热力学特性及其回生机理探讨[J]. 食品与生物技术学报, 2008, 3: 21-27  
TAN Hong-zhuo, TAN Bin, GAO Hong, et al. Study on the thermal properties and retrogradation mechanism of sweet potato starch [J]. Journal of Food Science and Biotechnology, 2008, 3: 21-27
- [9] Leighton C S, Schonfeldt H C, Kruger R. Quantitative descriptive sensory analysis of five different cultivars of sweet potato to determine sensory and textural profiles [J]. Journal of Sensory Studies, 2010, 25(1): 2-18
- [10] 罗斌, 赵有斌, 尹学清, 等. 质构仪在果蔬品质评定中应用的研究进展[J]. 食品研究与开发, 2019, 40(5): 209-213  
LUO Bin, ZHAO You-bin, YIN Xue-qing, et al. Application progress of texture analyzer in the research of fruit and vegetable quality evaluation [J]. Food Research and Development, 2019, 40(5): 209-213
- [11] Truong V D, Hamann D D, JR W M W. Relationship between instrumental and sensory parameters of cooked sweet potato texture [J]. Journal of Texture Studies, 1997, 28(2): 163-185
- [12] 王庆南, 戎新祥, 周一波, 等. 食用甘薯品种的部分理化特性与口感品质的关系[J]. 江苏农业学报, 2007, 23(5): 405-409  
WANG Qing-nan, RONG Xin-xiang, ZHOU Yi-bo, et al. Relationship between taste quality and physiological and chemical properties of sweet potato varieties [J]. Jiangsu Journal of Agricultural Science, 2007, 23(5): 405-409
- [13] 杨焯, 俞涵琛, 陆国权. 熟化方法对迷你甘薯品质和质构特性的影响[J]. 食品科技, 2016, 41(8): 45-50  
YANG Ye, YU han-chen, LU Guo-quan. Effect of aging method on texture characteristics on quality of mini sweet potato [J]. Food Science and technology, 2016, 41(8): 45-50
- [14] 罗凯, 卢会翔, 吴正丹, 等. 中国西南地区甘薯主要育种亲本的遗传多样性及群体结构分析[J]. 中国农业科学, 2016, 49(3): 593-608  
LUO Kai, LU Hui-xiang, WU Zheng-dan, et al. Optimization of detection method of the texture properties of sweet potato root tuber [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2016, 49(3): 593-608
- [15] GB/T 5009.3-2016 食品安全国家标准 食品中水分的测定[S]  
GB/T 5009.3-2016 National Food Safety Standards Determination of Moisture Content [S]
- [16] 林美娟, 宋江峰, 李大婧, 等. 用双波长分光光度法测定鲜



- 食玉米中直链淀粉和支链淀粉含量[J].江西农业学报, 2010,22(12):117-119
- LIN Mei-juan, SONG Jiang-feng, LI Da-jing, et al. Determination of amylose and amylopectin content in fresh corn by dual-wavelength spectrophotometry [J]. Acta Agriculturae Jiangxi, 2010, 22(12): 117-119
- [17] GB/T 16860-1997 感官分析法 质地剖面法[S]  
GB/T 16860-1997 Sensory Analysis Methodology Texture profile [S]
- [18] 唐道彬,安建刚,丁祎,等.甘薯块根硬度与干物质含量的相关性[J].作物学报,2017,43(8):1234-1244  
TANG Dao-bin, AN Jian-gang, DING Yi, et al. Correlation between hardness and dry-matter content of storage root in sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) [J]. Acta Agronomica Sinica, 2017, 43(8): 1234-1244
- [19] 陆国权.甘薯重要品质性状的基因型差异及其环境效应研究[D].杭州:浙江大学,2002,72-98  
LU Guo-quan. Genotype variation and environmental effects on some important quality traits of sweetpotatoes (*Ipomoea baatat* L.) [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2002, 72-98
- [20] 程鹏,田欢,王佳佳,等.6个甘薯品种干物质积累与分配特性的研究[J].热带作物学报,2019,40(9):1700-1705  
CHENG Peng, TIAN Huan, WANG Jia-jia, et al. Study on characteristics of dry matter accumulation and partition of Six *Ipomoea batatas* L. varieties [J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2019, 40(9): 1700-1705
- [21] 靳艳玲,何素兰,李育明,等.不同品种甘薯淀粉产量及糊化特性的比较研究[J].江苏师范大学学报(自然科学版), 2018,36(1):17-20,79  
JIN Yan-ling, HE Su-lan, LI Yu-ming, et al. Study on yield and characterises of starch from different varieties of sweet potato [J]. Journal of Jiangsu Normal University (Natural Science Edition), 2018, 36(1): 17-20, 79
- [22] 江宁,刘春泉,李大婧,等.甘薯片真空微波干燥工艺的优化[J].中国食品学报,2011,11(7):81-88  
JIANG Ning, LIU Chun-quan, LI Da-jing, et al. Optimization of vacuum microwave drying technology for sweet potato chips [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2011, 11(7): 81-88
- [23] 邓福明,木泰华,陈井旺,等.甘薯淀粉的结构、成分及其特性研究进展[J].食品工业科技,2012,33(13):373-377  
DENG Fu-ming, MU Tai-hua, CHEN Jing-wang, et al. Research progress in the structure, chemical composition, and characteristics of sweet potato starches [J]. Science and Technology of Food Industry, 2012, 33(13): 373-377
- [24] 潘超,陈春晓,叶夏芳,等.甘薯块根质构特性的检测方法优化[J].保鲜与加工,2018,18(2):94-99  
PAN Chao, CHEN Chun-xiao, YE Xia-fang, et al. Optimization of detection method of the texture properties of sweet potato root tuber [J]. Storage and Process, 2018, 18(2): 94-99
- [25] 穆秋霞,崔素萍,张卓敏,等.黑龙江主栽小米品种品质特性及其相关性分析[J].中国粮油学报,2019,34(7):26-32, 67  
MU Qiu-xia, CUI Su-ping, ZHANG Zhuo-min, et al. Analysis correlation and quality properties on main cultivar millets in Heilongjiang province [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2019, 34(7): 26-32, 67
- [26] Li HY, Prakash S, Nicholson TM, et al. The importance of amylose and amylopectin fine structure for textural properties of cooked rice grains [J]. Food Chemistry, 2016, 196: 702-711

---

(上接第 201 页)

- [28] 赵咏梅,王雷.连翘苷的提取及其稳定性研究[J].陕西农业科学,2016,62(5):21-23  
ZHAO Yong-mei, WANG Lei. Optimization of process for extracting forsythin by methanol [J]. Shaanxi Journal of Agricultural Sciences, 2015, 61(2): 22-24
- [29] 原江锋,邱智军,呼丽君,等.连翘花提取物活性成分及其稳定性[J].食品科学,2015,36(14):130-134  
YUAN Jiang-feng, QIU Zhi-jun, HU Li-jun, et al. Active compounds and stability of *Forsythia suspensa* flower extract [J]. Food Science, 2010, 32(1): 149-151
- [30] 原江锋,王大红,何灵美,等.连翘叶提取物抑菌作用以及稳定性研究[J].食品工业科技,2013,34(5):57-59  
YUAN Jiang-feng, WNAG Da-hong, HE Ling-mei, et al. Study on antimicrobial activity and stability of *Forsythia suspensa* leaves extract [J]. Science and Technology of Food Industry, 2013, 34(5): 57-59