

蒸煮方式对怀山药与普通山药食用品质、 预测血糖指数和体外消化性的影响

邹建¹, 许美娟¹, 李斌^{2*}

¹河南牧业经济学院食品与生物工程学院 郑州 450000

²华中农业大学食品科学技术学院 武汉 430000

摘要 以怀山药(产地:河南焦作)和普通山药(产地:河南周口)为研究对象,采用不同蒸煮方式研究山药不同部位、不同老化时间条件下食用品质、体外消化性和预测血糖指数的影响。结果表明:不同蒸煮方式对山药硬度、黏性、弹性、咀嚼性、 L^* 、 a^* 、 b^* 值的影响不同。在同样熟化方式下,不同老化时间对怀山药不同部位的品质影响不大,而对普通山药不同部位的品质影响较大。综合感官分析表明,怀山药在同一熟化方式下感官评分均高于普通山药,热水蒸熟方式是两种山药感官评分最佳的熟化方式,在此方式下山药老化 1 h 时的感官评分最高。怀山药生粉的预测血糖指数(preGI)显著低于普通山药生粉,在最佳熟化方式下怀山药 preGI 值低于普通山药。最佳熟化方式下怀山药抗性淀粉(RS)和抗性淀粉+慢消化淀粉(RS+SDS)含量高于普通山药。研究结果反映山药主要烹饪方式与食用品质的联系,可指导消费者根据个人偏好选择烹饪方式。

关键词 怀山药; 食用品质; 血糖生成指数; 抗性淀粉

文章编号 1009-7848(2022)03-0200-12

DOI: 10.16429/j.1009-7848.2022.03.023

山药,是薯蓣科植物薯蓣的根茎。根据土质对山药性质的影响,将其分为垆土地山药和沙土地山药,且垆土地山药比沙土地山药的营养与药用价值高^[1]。蒸煮为传统鲜食山药的烹饪加工方式,不同蒸煮方式对山药品质的研究国内外文献报道较少^[2],国内有关山药蒸煮品质的研究尚处于空白,仅少量文献探究新型加热方式对食材品质的影响:研究者对比射频处理和其它传统熟化方式(如炙烤、微波、蒸煮和红外)对马铃薯品质的影响,结果射频熟化马铃薯更具优势,射频熟化能够保留马铃薯维生素 C 和类胡萝卜素的含量,加热更均匀且能最大程度保留其风味物质(酯类和烷烃类),最大限度地维持马铃薯微观结构^[3]。以马铃薯为研究对象,对比蒸、煮、炒和微波对其品质性质的影响,结果发现马铃薯经这些加工处理后酚酸含量降低,微波加工方式酚酸的损失最小,油炸方式酚酸的损失最大,这几种加工方式对马铃薯血糖指数的影响不同,在煮的烹饪方式下马铃薯

血糖指数值升高最大,其次为蒸、炒、炸,微波加工方式下马铃薯血糖指数值较低,烤后挥发性物质种类最多且含量较高,微波加工方式下挥发性物质比较单一^[4]。

众所周知,食材的传统烹饪方式是按照生活习惯日积月累养成的,新型的加热方式短时间难以广泛推广和被接纳。传统烹饪方式如何影响怀山药的食用品质,弄清烹饪方式与食用品质的联系,可指导消费者根据个人偏好选择烹饪方式。本研究一方面系统分析不同山药部位、不同烹饪方式及不同老化时间对怀山药和普通山药食用品质的影响,采用热/冷水蒸熟和热/冷水煮熟烹饪方式,探究不同部位山药经熟化后不同老化时间的弹性、黏性、咀嚼性、硬度、 L^* 、 a^* 、 b^* 值等变化规律;另一方面通过综合感官分析选择评分较高的烹饪方式对山药进行熟化,分析怀山药和普通山药不同老化时间的预测血糖指数(preGI)值,研究山药品种、老化时间与 preGI 值之间的关系,以及相应的抗性淀粉(RS)、抗性淀粉+慢消化淀粉(RS+SDS)变化规律,弄清主要烹饪方式与食用品质的联系,并与普通山药作对比,揭示不同烹饪方式如何影响其血糖指数的机制。

收稿日期: 2021-03-05

基金项目: 河南省科技攻关计划项目(202102110284, 212102110342)

作者简介: 邹建(1981—),男,博士,教授

通信作者: 李斌 E-mail: libinfood@mail.hzau.edu.cn

1 材料与方法

1.1 材料与设备

1.1.1 试验材料 怀山药源自河南焦作伟伟怀山药种植基地,该怀山药种植于垆土地(非沙土地)。普通山药源自河南省周口市郸城县巴集乡国亮种植专业合作社。注意:选择时要采用随机性原则,要求山药块茎的大小和颜色一致,且块茎表面无伤口和腐烂。样品采用 3 位编号:第一位编号代表山药品种,如 1:怀山药,2:普通山药;第 2 位编号代表蒸煮方式,如 1:冷水蒸熟,2:热水蒸熟,3:冷水煮熟,4:热水煮熟。例:编号“2-1”代表冷水蒸熟的普通山药。

1.1.2 试验试剂 唾液 α -淀粉酶(货号:A-3176-500KU,type VI-B, 250 μ /mg)、胃蛋白酶(货号:P-6887)、胰酶(货号:P-1750,31.2 U/mL)、淀粉葡萄糖苷酶(货号:A-7420),Sigma 试剂公司;糖化酶(2 500 U/mL)和猪胰腺 α -淀粉酶,阿拉丁试剂公司。其它试剂购自郑州三鑫化学试剂有限公司(河南郑州),纯度大于 99%。

1.1.3 仪器与设备 质构仪(CT3),美国 Brookfield 公司;色差仪(Chroma meter CR-400),日本 KONICA MINOLTA 公司;电磁商用台式平面炉(XDL-TP)、不锈钢夹层蒸锅(TT-520),启达实业科技有限公司;澳大利亚 NI 全自动酶消化系统 GI20,北京天翔飞域国际有限公司;葡萄糖分析仪(GM9),北京天翔飞域国际有限公司。

1.2 试验方法

1.2.1 样品的制备

1.2.1.1 山药生粉的制备 将新鲜怀山药/普通山药清洗干净去皮,切至 2 cm 左右薄片,平铺于铝盘中于 45 $^{\circ}$ C 烘箱中烘 36 h,将烘干的山药粉碎备用,即为山药生粉。

1.2.1.2 熟化后不同老化时间下山药块茎的制备

将新鲜怀山药/普通山药清洗干净去皮,均分成 3 个部分,每一部分中间位置取 6~7 cm,分别对应山药头部、中部、尾部。将 3 个部位的山药块茎切成 3 cm 小段,分别按照热水蒸熟、冷水蒸熟、热水煮熟、冷水煮熟 4 种烹饪加工方式,使用 5 kW 平面炉,每次蒸煮锅中加入相同水量熟化,通过预试验蒸煮时间确定为 18 min,保证 4 种方式完全熟化山药。将熟化后的怀山药块茎和普通山药块茎

放置于室温 30 min、1 h、2 h 和冰箱(4 $^{\circ}$ C)冷藏 1 d。

1.2.1.3 熟化后不同老化时间山药粉末的制备

将 1.2.1.2 节中制备的不同老化时间怀山药/普通山药块茎粉碎,置于托盘中烘至 24 h,再次粉碎过 100 目筛,制得不同老化时间的山药粉末。

1.2.1.4 山药生淀粉及熟化后不同老化时间山药淀粉的制备

将 1.2.1.1 节制备的怀山药/普通山药生粉和 1.2.1.3 节制备的不同老化时间怀山药/普通山药粉末溶解在无水乙醇-氢氧化钠溶液中,调节 pH 8.0~9.0,料液比 1:6,搅拌后静置 12 h(不断倒去上清液,直至上层液无色),过滤,滤浆用蒸馏水反复悬浮、沉降,直至上层液澄清为止。下层淀粉乳加蒸馏水离心(4 000 r/min,10 min),刮去上层蛋白质、纤维素,直至看到白色山药淀粉层,结束离心。将得到的淀粉用蒸馏水洗涤,抽滤,置于 45 $^{\circ}$ C 烘箱中 6~8 h,用粉碎机粉碎,制得怀山药/普通山药生淀粉及熟化后不同老化时间山药淀粉。

1.2.2 样品基本组分的测定 灰分测定采用 GB 5009.4-2016,蛋白质测定采用 GB 5009.5-2016,脂肪测定采用 GB 5009.6-2016,纤维素测定采用 GB/T 5515-2008、淀粉含量测定采用 GB 5009.9-2016。

直链淀粉含量的测定依据 Zou 等^[9]的方法。

1.2.3 熟化后不同老化时间山药块茎的质构检测

对不同老化时间山药块茎(头部、中部和尾部)进行质构测定,力量感应元 10 kg,在此试验中,根据不同部位山药形状切块,将熟化后山药茎块分割成长、宽、高均为 1 mm 正方体,选用 TA7 探头,测试速度 2 mm/s,目标值为 150。试验中通过质构仪检测的项目指标为硬度、弹性、黏性和咀嚼性。对每个样品重复检测 8 次。

1.2.4 熟化后不同老化时间山药块茎色差检测

对不同老化时间怀山药/普通山药块茎(头部、中部和尾部)进行 L^* 、 a^* 和 b^* 的测定。

1.2.5 熟化后不同老化时间山药块茎感官评价标准

本试验感官评定小组由 9 位食品专业教师组成。感官评定由每个参评人员独自进行,每个样品评定之后记录数据并用凉开水漱口。感官评价采用 5 分制,评分标准参考表 1,最后取平均值。

表1 熟化后不同老化时间的山药块茎感官评价标准

Table 1 The sensory evaluation standard of cooking yam rhizome under different retrogradation time

感官指标	0~1.9分	2~3.9分	4~5分
质地	柔软、软烂	适中	干面
黏性	山药呈分散状物	山药较黏着	山药呈胶黏的团块
甜度	无甜味	较甜	很甜
纤维感	纤维量明显	纤维量适中	光滑无纤维
香味	淡	中	浓郁
总评	综合品质差	综合品质一般	综合口感好

1.2.6 熟化后不同老化时间山药粉末 preGI 值的测定 NutraScan GI20 测定仪是用来模拟当食物依次通过口腔、食道、胃部和小肠时消化能力的一款分析设备。详细测试方法参照 Zou 等^[5]的方法。

1.2.7 熟化后不同老化时间山药淀粉体外消化性的测定 山药淀粉的体外消化性参考 Xu 等^[6]的方法。

1.3 数据处理

使用 Excel 对数据进行统计分析,利用 Minitab version 16.2.3 软件进行显著性分析,利用 Origin 85 进行制图。

2 结果与讨论

2.1 怀山药和普通山药生粉的基本组分分析

从表 2 中可以看出怀山药蛋白质、脂肪和灰分含量均高于普通山药,怀山药淀粉含量是普通山药的 1.755 倍。淀粉积累不仅对块茎的发育与

膨大有重要影响,且能够调控块茎一系列性状和提高直接经济效益^[7]。怀山药和普通山药的直链淀粉含量分别为 32.62% 和 39.23%,不同品种的山药直链淀粉含量在 33.3%~36.7%^[8]。直链淀粉和支链淀粉的含量和占比不仅能够直接影响山药的贮藏品质、加工性能,也会影响山药的食用品质^[9-10]。支链淀粉含量越高,由于支链淀粉能够起到延缓直链淀粉分子老化的作用,食品越不易老化^[11]。怀山药淀粉含量高,支/直比高,在食用品质、加工性能上会呈现与普通山药不同的品质和性能。

怀山药脂肪含量高于普通山药,脂肪对山药食用品质的影响主要表现在香滑口感上,不难推测怀山药食用口感更香滑。江苏丰县山药的脂肪含量 1.77%、淀粉支/直比 1.88^[12],与怀山药相比差异明显,这也是民间认为怀山药食用品质较优的原因之一。

表2 山药块茎基本组成成分

Table 2 Basic components of yam rhizome

样品	蛋白质/%	脂肪/%	淀粉/%	灰分/%	粗纤维/%	直链淀粉/%
怀山药	9.12 ± 0.19	3.22 ± 0.31	74.89 ± 1.69	1.77 ± 0.13	1.16 ± 0.21	32.62 ± 0.71
普通山药	4.17 ± 0.16	1.02 ± 0.23	42.67 ± 0.37	1.05 ± 0.06	2.49 ± 0.29	39.23 ± 0.87

2.2 熟化后不同老化时间怀山药和普通山药块茎质构特性的分析

2.2.1 熟化后不同老化时间怀山药和普通山药块茎硬度的分析 淀粉老化是导致食品硬度变化的主原,对淀粉质食品的风味、感官和储存品质均会产生不良影响^[13]。从表 3 中可以看出,对同一品种山药,在相同老化时间下,山药头部、中部和尾部的硬度变化趋势不明显,主要是由于直链淀粉在山药不同部位分布均匀一致,在老化过程中直链

淀粉分子重排程度相近。在同样老化时间下,普通山药和怀山药同一部位在不同烹饪方式下硬度差异显著,是由于不同熟化方式造成两种山药直链淀粉或支链淀粉糊化程度不同,在老化过程中淀粉分子进一步重排的程度不同,硬度差异显著。

对于山药同一部位,同样的老化时间下,怀山药和普通山药在热水煮熟方式下硬度最小,冷水蒸熟方式下硬度最大(表 3),说明烹饪加工中山药直接接触水分和快速接触热流有助于促进颗粒

完全糊化,造成较多的直链淀粉溶出,在老化过程中直链淀粉的重排受到抑制。对于山药同一部位,在相同老化时间下,怀山药和普通山药均呈现冷水蒸熟比冷水煮熟硬度大,热水蒸熟比热水煮熟

硬度大,说明蒸/煮时山药直接接触水分有助于硬度的降低,主要原因是直接接触水分能充分糊化山药的内部结构,造成较多的直链淀粉溶出,降低老化过程中直链淀粉的重排。

表 3 熟化后不同老化时间下怀山药和普通山药不同部位的硬度比较(N/g)

Table 3 The comparison on the hardness of different parts of cooking yams under different retrogradation time (N/g)

样品	部位	30 min	1 h	2 h	冷藏 1 d
1-1	头部	1.32 ± 0.00 ^c	1.49 ± 0.01 ^{cd}	1.53 ± 0.00 ^b	1.72 ± 0.03 ^e
2-1		1.50 ± 0.01 ^a	1.73 ± 0.05 ^a	1.88 ± 0.02 ^a	1.98 ± 0.02 ^{bc}
1-2		1.29 ± 0.01 ^d	1.38 ± 0.02 ^{de}	1.50 ± 0.04 ^b	1.71 ± 0.03 ^e
2-2		1.48 ± 0.00 ^a	1.67 ± 0.01 ^{ab}	1.86 ± 0.04 ^a	1.94 ± 0.01 ^c
1-3		1.27 ± 0.01 ^d	1.30 ± 0.03 ^{ef}	1.57 ± 0.00 ^b	1.83 ± 0.01 ^d
2-3		1.43 ± 0.00 ^b	1.49 ± 0.01 ^c	1.92 ± 0.01 ^a	2.06 ± 0.02 ^b
1-4		1.21 ± 0.01 ^e	1.22 ± 0.02 ^f	1.58 ± 0.01 ^b	1.90 ± 0.00 ^{cd}
2-4		1.29 ± 0.03 ^d	1.57 ± 0.02 ^{bc}	1.94 ± 0.00 ^a	2.17 ± 0.01 ^c
1-1	中部	1.32 ± 0.02 ^c	1.48 ± 0.01 ^{cd}	1.53 ± 0.02 ^c	1.72 ± 0.03 ^e
2-1		1.57 ± 0.01 ^a	1.77 ± 0.01 ^a	1.90 ± 0.02 ^{ab}	2.04 ± 0.08 ^{7bc}
1-2		1.28 ± 0.02 ^c	1.38 ± 0.01 ^{de}	1.52 ± 0.00 ^c	1.70 ± 0.02 ^e
2-2		1.51 ± 0.02 ^{ab}	1.70 ± 0.03 ^b	1.88 ± 0.02 ^b	1.97 ± 0.01 ^{cd}
1-3		1.28 ± 0.01 ^c	1.30 ± 0.03 ^{ef}	1.57 ± 0.01 ^c	1.82 ± 0.03 ^{bc}
2-3		1.46 ± 0.01 ^b	1.50 ± 0.04 ^{bc}	1.91 ± 0.00 ^{ab}	2.13 ± 0.01 ^{ab}
1-4		1.20 ± 0.00 ^d	1.23 ± 0.01 ^f	1.59 ± 0.03 ^c	1.90 ± 0.03 ^{cd}
2-4		1.34 ± 0.01 ^c	1.60 ± 0.03 ^a	1.96 ± 0.01 ^a	2.23 ± 0.02 ^a
1-1	尾部	1.32 ± 0.01 ^{cd}	1.47 ± 0.02 ^c	1.54 ± 0.02 ^b	1.72 ± 0.02 ^e
2-1		1.59 ± 0.02 ^a	1.80 ± 0.03 ^a	1.94 ± 0.02 ^a	2.21 ± 0.01 ^{ab}
1-2		1.28 ± 0.01 ^d	1.40 ± 0.01 ^d	1.52 ± 0.01 ^b	1.71 ± 0.02 ^e
2-2		1.54 ± 0.02 ^a	1.73 ± 0.02 ^a	1.90 ± 0.03 ^a	2.00 ± 0.01 ^c
1-3		1.27 ± 0.02 ^d	1.31 ± 0.01 ^e	1.57 ± 0.02 ^b	1.83 ± 0.01 ^d
2-3		1.47 ± 0.02 ^b	1.53 ± 0.01 ^c	1.93 ± 0.03 ^a	2.14 ± 0.02 ^b
1-4		1.20 ± 0.01 ^e	1.23 ± 0.00 ^f	1.59 ± 0.01 ^b	1.92 ± 0.04 ^{cd}
2-4		1.37 ± 0.00 ^c	1.63 ± 0.01 ^b	1.98 ± 0.01 ^a	2.24 ± 0.02 ^a

注:试验数据以平均值±标准差表示,重复 3 次,同一列中不同的字母表示差异达显著水平($P < 0.05$)。

2.2.2 熟化后不同老化时间怀山药和普通山药块茎黏性的比较 黏性是指样品经加压变形后,样品表面产生负向力量,呈现黏牙性口感。从表 4 可以看出,在相同熟化方式、相同老化时间下怀山药的黏性均大于普通山药的黏性,这与两种山药淀粉含量占比和淀粉中支/直比有关系。淀粉中淀粉支/直比 1.66,说明山药淀粉含量越高,淀粉支/直比越高,烹饪加工后山药的黏性越大。

相同部位和老化时间下,同一烹饪方式怀山药和普通山药黏性差异显著。这与怀山药和普通

山药的淀粉含量和淀粉支/直比有密切关联。同一部位的山药,在相同老化时间下,怀山药和普通山药均呈现冷水蒸熟比冷水煮熟黏性小,热水蒸熟比热水煮熟黏性小。怀山药头部、中部和尾部黏性从老化 30 min 到冷藏 1 d,黏性变化差异小,普通山药黏性变化较大。采用相同烹饪方式加工,在相同老化时间下,怀山药不同部位黏性差别较小,普通山药黏性差别较大,说明怀山药不同部位组分较均一,普通山药不同部位组分差别较大。

综上,两种山药在老化 30 min 时黏性最小,

热水蒸熟/冷水蒸熟对怀山药的黏性影响小于对普通山药黏性影响,冷水蒸熟方式对山药黏性的影响最小。

表4 熟化后不同老化时间下怀山药和普通山药不同部位的黏性比较(mJ)

Table 4 The comparison on the stickiness of different parts of cooking yams under different retrogradation time (mJ)

样品	部位	30 min	1 h	2 h	冷藏 1 d
1-1	头部	0.21 ± 0.01 ^b	0.27 ± 0.01 ^b	0.30 ± 0.03 ^{cd}	0.38 ± 0.03 ^{cde}
2-1		0.11 ± 0.01 ^c	0.15 ± 0.01 ^c	0.22 ± 0.01 ^c	0.31 ± 0.01 ^c
1-2		0.26 ± 0.02 ^b	0.31 ± 0.00 ^b	0.34 ± 0.02 ^c	0.41 ± 0.03 ^{bcd}
2-2		0.11 ± 0.01 ^c	0.17 ± 0.02 ^c	0.25 ± 0.02 ^{de}	0.33 ± 0.03 ^{de}
1-3		0.31 ± 0.01 ^a	0.38 ± 0.01 ^a	0.42 ± 0.01 ^{ab}	0.49 ± 0.03 ^{ab}
2-3		0.11 ± 0.00 ^c	0.18 ± 0.01 ^c	0.35 ± 0.01 ^{bc}	0.39 ± 0.01 ^{cde}
1-4		0.33 ± 0.01 ^a	0.41 ± 0.01 ^a	0.46 ± 0.01 ^a	0.51 ± 0.00 ^a
2-4		0.12 ± 0.01 ^c	0.20 ± 0.02 ^c	0.36 ± 0.02 ^{bc}	0.42 ± 0.02 ^{abc}
1-1	中部	0.20 ± 0.01 ^b	0.25 ± 0.01 ^c	0.30 ± 0.01 ^{bc}	0.36 ± 0.02 ^{bc}
2-1		0.09 ± 0.01 ^c	0.14 ± 0.01 ^e	0.19 ± 0.01 ^e	0.27 ± 0.01 ^d
1-2		0.26 ± 0.03 ^{ab}	0.32 ± 0.01 ^b	0.34 ± 0.02 ^{bc}	0.41 ± 0.03 ^b
2-2		0.11 ± 0.01 ^c	0.15 ± 0.02 ^{de}	0.24 ± 0.01 ^{de}	0.31 ± 0.01 ^{cd}
1-3		0.30 ± 0.03 ^a	0.39 ± 0.02 ^a	0.41 ± 0.00 ^a	0.50 ± 0.02 ^a
2-3		0.11 ± 0.02 ^c	0.17 ± 0.00 ^{de}	0.29 ± 0.00 ^{cd}	0.38 ± 0.01 ^{bc}
1-4		0.34 ± 0.02 ^{bc}	0.40 ± 0.00 ^a	0.47 ± 0.01 ^a	0.52 ± 0.02 ^a
2-4		0.11 ± 0.03 ^c	0.20 ± 0.01 ^{cd}	0.35 ± 0.01 ^b	0.40 ± 0.01 ^b
1-1	尾部	0.19 ± 0.03 ^c	0.27 ± 0.01 ^c	0.31 ± 0.01 ^b	0.37 ± 0.01 ^c
2-1		0.07 ± 0.00 ^d	0.13 ± 0.00 ^d	0.16 ± 0.02 ^d	0.23 ± 0.02 ^e
1-2		0.27 ± 0.01 ^b	0.32 ± 0.00 ^c	0.33 ± 0.03 ^b	0.42 ± 0.01 ^{bc}
2-2		0.10 ± 0.01 ^d	0.14 ± 0.01 ^d	0.22 ± 0.01 ^{cd}	0.28 ± 0.01 ^{de}
1-3		0.30 ± 0.01 ^{ab}	0.37 ± 0.00 ^b	0.41 ± 0.01 ^a	0.47 ± 0.02 ^{ab}
2-3		0.10 ± 0.01 ^d	0.15 ± 0.01 ^d	0.26 ± 0.00 ^{bc}	0.35 ± 0.03 ^{cd}
1-4		0.34 ± 0.00 ^a	0.42 ± 0.02 ^a	0.46 ± 0.01 ^a	0.55 ± 0.03 ^a
2-4		0.10 ± 0.02 ^d	0.17 ± 0.00 ^d	0.32 ± 0.01 ^b	0.38 ± 0.01 ^c

注:试验数据以平均值±标准差表示,重复3次,同一列中不同的字母表示差异达显著水平($P < 0.05$)。

2.2.3 熟化后不同老化时间下怀山药和普通山药块茎弹性的比较 弹性是指在咬食物第1口结束与第2口开始之间可恢复的高度,弹性越高的食物,在牙齿触碰时的收缩感更强,消费偏好更高,食用时消费者更偏好于弹性较高的山药。从表5可看出,怀山药和普通山药同一部位、同样烹饪方式,弹性随老化时间的延长呈现的规律不同。怀山药常温放置2 h内,随老化时间的延长头部、中部和尾部的弹性逐渐降低,冷藏1 d后,弹性升高。普通山药在老化过程中弹性逐渐增加,是由于在短期老化(2 h内),怀山药直链淀粉含量高于普通

山药,直链淀粉分子重排导致凝胶结构紧密性降低,在长期老化(冷藏1 d),怀山药支链淀粉含量高于普通山药支链淀粉,支链淀粉含量越高,淀粉分子构成空间网状结构的交联点数量越多,分子重结晶时凝胶结构越致密,淀粉凝胶弹性越强^[14]。

同一部位,相同烹饪方式,同样老化时间下,两种山药的弹性差异明显,且在老化1 h内怀山药弹性整体大于普通山药弹性,在老化2 h和冷藏1 d后,怀山药的弹性小于普通山药的弹性(表5),主要原因是两种山药基本组分差异较大,尤其

是直链淀粉和支链淀粉含量的差异,短期老化和长期老化时,直链淀粉分子的重排和支链淀粉的重结晶之间的互和博弈造成。

表5 熟化后不同老化时间下怀山药和普通山药不同部位的弹性比较(mm)

Table 5 The comparison on the elasticity of different parts of cooking yams under different retrogradation time (mm)

样品	部位	30 min	1 h	2 h	冷藏 1 d
1-1	头部	1.31 ± 0.02 ^{ab}	1.19 ± 0.02 ^b	1.10 ± 0.04 ^{cde}	1.43 ± 0.03 ^c
2-1		0.56 ± 0.02 ^d	0.63 ± 0.03 ^c	0.99 ± 0.03 ^c	1.87 ± 0.01 ^{ab}
1-2		1.40 ± 0.01 ^a	1.33 ± 0.035 ^a	1.27 ± 0.03 ^b	1.50 ± 0.03 ^c
2-2		0.75 ± 0.03 ^c	0.91 ± 0.01 ^c	1.47 ± 0.03 ^a	2.08 ± 0.17 ^a
1-3		1.23 ± 0.03 ^b	1.16 ± 0.01 ^b	1.05 ± 0.01 ^{de}	1.52 ± 0.03 ^c
2-3		0.66 ± 0.03 ^{cd}	0.79 ± 0.04 ^d	1.16 ± 0.02 ^{bcd}	1.81 ± 0.02 ^{ab}
1-4		1.33 ± 0.05 ^{ab}	1.20 ± 0.02 ^b	1.15 ± 0.02 ^{cd}	1.63 ± 0.04 ^{bc}
2-4		0.67 ± 0.00 ^{cd}	0.95 ± 0.03 ^c	1.19 ± 0.04 ^{bc}	1.85 ± 0.05 ^{ab}
1-1	中部	1.30 ± 0.01 ^b	1.30 ± 0.01 ^b	1.09 ± 0.04 ^{cd}	1.49 ± 0.01 ^e
2-1		0.55 ± 0.02 ^d	0.55 ± 0.02 ^d	1.15 ± 0.03 ^{bcd}	1.74 ± 0.03 ^c
1-2		1.45 ± 0.03 ^a	1.45 ± 0.03 ^a	1.23 ± 0.01 ^b	1.49 ± 0.01 ^e
2-2		0.79 ± 0.05 ^c	0.79 ± 0.05 ^c	1.54 ± 0.04 ^a	1.94 ± 0.02 ^a
1-3		1.23 ± 0.01 ^b	1.23 ± 0.01 ^b	1.05 ± 0.03 ^d	1.53 ± 0.01 ^{de}
2-3		0.62 ± 0.04 ^d	0.62 ± 0.04 ^d	1.23 ± 0.01 ^b	1.85 ± 0.03 ^b
1-4		1.31 ± 0.03 ^b	1.31 ± 0.03 ^b	1.17 ± 0.01 ^{bc}	1.59 ± 0.02 ^d
2-4		0.65 ± 0.02 ^d	0.65 ± 0.02 ^d	1.23 ± 0.03 ^b	1.90 ± 0.01 ^{ab}
1-1	尾部	1.29 ± 0.03 ^b	1.18 ± 0.06 ^{abc}	1.15 ± 0.03 ^{cd}	1.43 ± 0.03 ^c
2-1		0.51 ± 0.04 ^d	0.61 ± 0.04 ^c	0.96 ± 0.01 ^e	1.99 ± 0.05 ^a
1-2		1.48 ± 0.08 ^a	1.31 ± 0.03 ^a	1.24 ± 0.03 ^{bc}	1.53 ± 0.04 ^{bc}
2-2		0.70 ± 0.03 ^c	0.88 ± 0.06 ^d	1.38 ± 0.07 ^a	2.08 ± 0.06 ^a
1-3		1.21 ± 0.03 ^b	1.18 ± 0.07 ^{abc}	1.08 ± 0.01 ^{de}	1.57 ± 0.01 ^{bc}
2-3		0.76 ± 0.01 ^c	1.04 ± 0.01 ^{cd}	1.25 ± 0.01 ^{bc}	1.94 ± 0.03 ^a
1-4		1.31 ± 0.05 ^{ab}	1.23 ± 0.01 ^{ab}	1.14 ± 0.01 ^{cd}	1.62 ± 0.03 ^b
2-4		0.77 ± 0.01 ^c	1.07 ± 0.02 ^{bc}	1.30 ± 0.01 ^{ab}	2.06 ± 0.04 ^a

注:试验数据以平均值±标准差表示,重复3次,同一列中不同的字母表示差异达显著水平($P<0.05$)。

2.2.4 熟化后不同老化时间怀山药和普通山药块茎咀嚼性的比较 同一部位,同样的烹饪方式,老化相同时间,怀山药的咀嚼性比普通山药高。同一部位,同样烹饪方式,普通山药的咀嚼性比怀山药高(表6)。采用热水蒸熟的烹饪方式,冷藏1d时怀山药的咀嚼性高于普通山药,猜测山药的咀嚼性主要与淀粉和蛋白质含量有关,老化时间超过1h后,山药的咀嚼性主要与纤维素含量有关。对于怀山药和普通山药,共同呈现相似的规律:同一部位,同样老化时间,热水烹饪方式的咀嚼性均高于冷水烹饪方式。

2.3 熟化后不同老化时间怀山药和普通山药块茎色差的分析

2.3.1 熟化后不同老化时间怀山药和普通山药块茎 L^* 值的比较 色泽也是山药食用品质的重要方面,其中 L^* 值反映食品的亮度。从图1中可以看出,随老化时间的延长,怀山药和普通山药亮度均呈现降低的趋势,其中冷水蒸熟烹饪方式下,对于山药头部,从老化30min到冷藏1d,怀山药的亮度降低3.34%;普通山药的亮度降低4.92%;热水蒸熟烹饪方式下,对于山药中部,怀山药的亮度降低3.72%;普通山药的亮度降低6.20%。主要原

表6 熟化后不同老化时间下怀山药和普通山药不同部位咀嚼性的比较(mJ)

Table 6 The comparison on the chewiness of different parts of cooking yams under different retrogradation time (mJ)

样品	部位	30 min	1 h	2 h	冷藏 1 d
1-1	头部	0.65 ± 0.03 ^a	0.78 ± 0.01 ^b	1.41 ± 0.03 ^{bc}	1.73 ± 0.03 ^e
2-1		0.48 ± 0.04 ^{bc}	0.67 ± 0.03 ^c	1.51 ± 0.01 ^{ab}	1.95 ± 0.01 ^{de}
1-2		0.70 ± 0.04 ^a	0.90 ± 0.03 ^a	1.50 ± 0.05 ^{ab}	1.81 ± 0.01 ^f
2-2		0.50 ± 0.03 ^{bc}	0.71 ± 0.04 ^{bc}	1.56 ± 0.03 ^a	2.04 ± 0.03 ^c
1-3		0.51 ± 0.00 ^{bc}	0.69 ± 0.01 ^{bc}	1.22 ± 0.03 ^d	2.00 ± 0.03 ^{cd}
2-3		0.41 ± 0.01 ^c	0.63 ± 0.01 ^c	1.40 ± 0.04 ^{bc}	2.27 ± 0.01 ^a
1-4		0.59 ± 0.05 ^{ab}	0.73 ± 0.03 ^{bc}	1.28 ± 0.01 ^{cd}	1.92 ± 0.01 ^e
2-4		0.41 ± 0.01 ^c	0.66 ± 0.03 ^c	1.48 ± 0.04 ^{ab}	2.14 ± 0.01 ^b
1-1	中部	0.64 ± 0.01 ^{ab}	0.77 ± 0.03 ^b	1.41 ± 0.03 ^{bc}	1.71 ± 0.01 ^e
2-1		0.46 ± 0.02 ^{cd}	0.64 ± 0.01 ^{cde}	1.38 ± 0.03 ^{cd}	1.77 ± 0.00 ^{de}
1-2		0.72 ± 0.03 ^a	0.90 ± 0.03 ^a	1.53 ± 0.03 ^{ab}	1.79 ± 0.03 ^{cde}
2-2		0.50 ± 0.03 ^c	0.66 ± 0.03 ^{cde}	1.43 ± 0.04 ^{abc}	1.87 ± 0.01 ^{bcd}
1-3		0.49 ± 0.01 ^c	0.68 ± 0.01 ^{bcd}	1.21 ± 0.04 ^c	1.96 ± 0.04 ^b
2-3		0.33 ± 0.00 ^e	0.57 ± 0.03 ^c	1.55 ± 0.00 ^a	2.11 ± 0.05 ^a
1-4		0.61 ± 0.03 ^b	0.71 ± 0.04 ^{bc}	1.26 ± 0.03 ^{de}	1.90 ± 0.03 ^b
2-4		0.38 ± 0.04 ^{de}	0.59 ± 0.02 ^{de}	1.51 ± 0.04 ^{ab}	2.10 ± 0.04 ^a
1-1	尾部	0.63 ± 0.03 ^b	0.76 ± 0.04 ^b	1.42 ± 0.03 ^{abc}	1.70 ± 0.01 ^d
2-1		0.44 ± 0.03 ^{de}	0.59 ± 0.04 ^{cd}	1.34 ± 0.03 ^{cd}	1.71 ± 0.03 ^d
1-2		0.71 ± 0.01 ^a	0.88 ± 0.02 ^a	1.50 ± 0.06 ^{ab}	1.79 ± 0.04 ^{cd}
2-2		0.47 ± 0.01 ^{cd}	0.63 ± 0.03 ^{cd}	1.41 ± 0.00 ^{bc}	1.81 ± 0.03 ^{cd}
1-3		0.52 ± 0.01 ^c	0.66 ± 0.04 ^{bcd}	1.21 ± 0.04 ^d	1.97 ± 0.00 ^{ab}
2-3		0.32 ± 0.01 ^f	0.58 ± 0.01 ^d	1.56 ± 0.01 ^a	2.08 ± 0.01 ^a
1-4		0.60 ± 0.00 ^b	0.71 ± 0.01 ^{bc}	1.26 ± 0.03 ^d	1.90 ± 0.04 ^{bc}
2-4		0.37 ± 0.01 ^{ef}	0.58 ± 0.03 ^d	1.50 ± 0.04 ^{ab}	2.02 ± 0.02 ^a

注:试验数据以平均值±标准差表示,重复3次,同一列中不同的字母表示差异达显著水平($P < 0.05$)。

因是在老化过程中,淀粉分子的重排将淀粉糊化时的水分子挤压排除导致浊度增大引起的。

4种烹饪方式下,两种山药同一部位,老化相同时间,怀山药亮度要比普通山药高,主要是由于淀粉含量越高糊化时吸收水分越高,支链淀粉含量越高老化时失水率越低,导致怀山药的亮度较高^[7]。两种山药同一部位相同老化时间下,热水蒸熟比冷水蒸熟亮度高,热水煮熟比冷水煮熟亮度高(图1)。主要原因是热水蒸煮烹饪方式利于提高淀粉的糊化,使得淀粉糊透明度升高,亮度增大。煮的烹饪方式(热水煮熟或冷水煮熟)两种山药的亮度均高于蒸的烹饪方式(热水蒸熟或冷水蒸熟),原因是山药块茎完全浸没于水中,与水的接触几率更大,利于山药中淀粉吸水膨大,更易发

生糊化,透明度升高,亮度增大。

2.3.2 熟化后不同老化时间怀山药和普通山药块茎 a^* 值的比较 a^* 值表示红绿,“+”表示偏红,“-”表示偏绿。如图1所示,对于怀山药不同部位,不同烹饪方式,在老化2h之前, a^* 值均为负值,冷藏1d后均为正值,说明怀山药在短期老化时颜色偏绿,长期老化时颜色偏红;普通山药从老化30min到冷藏1d, a^* 值均为负值,说明普通山药无论是短期老化还是长期老化,颜色始终偏绿。怀山药在冷藏1d时颜色出现了由绿转红,说明烹饪加工后怀山药冷藏时更易被氧化,冷藏贮藏加工后的怀山药会发生颜色的劣化,加工后的怀山药不适宜冷藏贮藏。同一部位同样烹饪方式下冷藏1d,怀山药与普通山药 a^* 值的差别显著,间接

证实了怀山药的金属卤素元素远高于普通山药,从该角度讲营养价值更高。

同一老化时间,两种山药的同一部位,相同烹饪方式 a^* 值差异显著,普通山药的 a^* 值均低于怀山药,说明烹饪加工后普通山药的色泽比怀山药

更绿。怀山药在烹饪加工后冷藏 1 d,基本呈现尾部 a^* 值>中部 a^* 值>头部 a^* 值的规律(图 1),这与怀山药向下生长习性和垆土地卤素含量丰富有密切关系,引起金属卤素在怀山药不同部位分布不同,导致 a^* 值的差异。

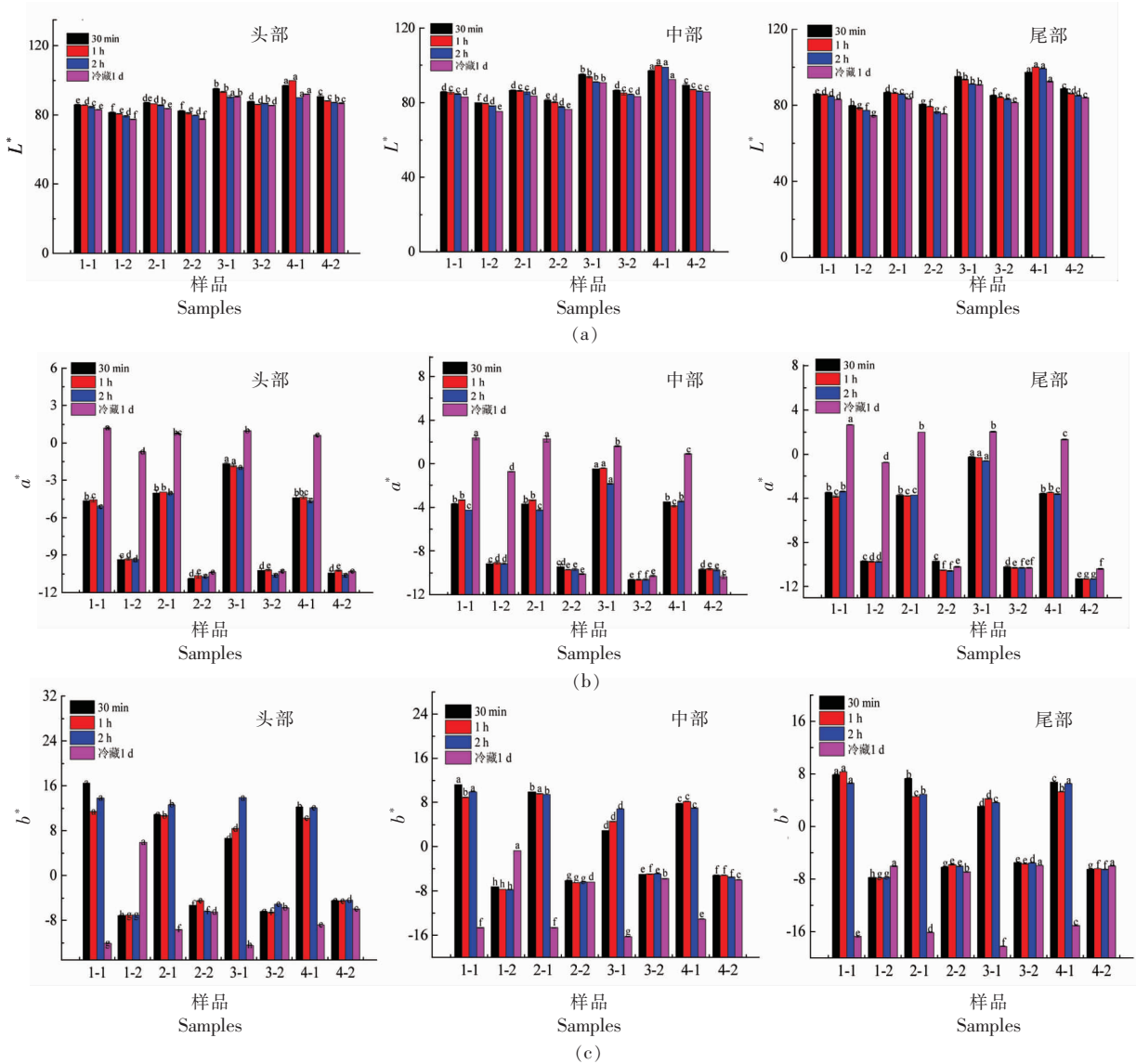


图 1 熟化后不同老化时间下普通山药和怀山药 L^* 、 a^* 和 b^* 的比较

Fig.1 The comparison on L^* , a^* and b^* of cooking yams under different retrogradation time

2.3.3 熟化后不同老化时间下怀山药和普通山药块茎 b^* 值的比较 b^* 值表示黄蓝,“+”表示偏黄,“-”表示偏蓝。如图 1 所示,怀山药与普通山药在 b^* 值上存在较大差异,怀山药在 4 种烹饪方式下老化 30 min、1 h 和 2 h 时 b^* 值均为正值,冷藏 1 d 时 b^* 值是负值。普通山药 b^* 值均为负值。说明

怀山药在 4 种烹饪方式下短期老化颜色偏黄,长期老化颜色偏蓝,普通山药整体上的颜色偏蓝。这与两种山药薯肉色素含量和组成不同有密切关系,在烹饪加工时,色素的不同组分受热分解,造成光线在山药上的折射和反射变化,引起 b^* 值的差异。在同样的老化时间下,怀山药 b^* 值整体呈

现头部>中部>尾部,说明怀山药的不同部位色素含量和组成差异较大,这与怀山药的生长习性和炉土地土质自身的色素有密切关联。

2.4 不同老化时间怀山药和普通山药感官综合评价分析

由图2可知,怀山药在冷水蒸熟、热水蒸熟、冷水煮熟、热水煮熟4种烹饪方式下的感官评分均高于普通山药的感官评分。两种山药均呈现热水蒸熟烹饪方式感官评分较高,冷水煮熟下感官评分低,其中评分最高的是热水蒸熟的怀山药。这与热水蒸熟烹饪方式下怀山药硬度适中,黏性较低,弹性较大,咀嚼度较高有密切关系,同时也与该种烹饪方式下怀山药的色度指标(L^* 、 a^* 、 b^* 值)密切关联,该评价结果与消费者感官偏好基本一致。

2.5 不同老化时间怀山药和普通山药预测血糖指数的比较

血糖生成指数(Glycemic index,GI)是衡量人体摄入食物后血糖浓度变化的一项有效指标。高GI($GI>70$)食物在体内消化吸收快,维持人体饱足感时间较短,低GI($GI\leq 55$)食物在体内消化吸收慢,维持人体饱腹感时间较长。低血糖生成指数饮食可以有效预防2型糖尿病^[15],低血糖生成指数的食物摄入可以将36%糖尿病前期患者逆转为健康人群^[16-17],从表7中可看出怀山药生粉的preGI明显低于普通山药生粉的预测GI值,说明山药品种对山药血糖生成指数的影响很大。在热水蒸熟这种最佳感官评定状态下,怀山药的preGI值比在相同老化时间下普通山药的preGI值低,猜测可能与怀山药低的RS以及RS+SDS含量有关(后

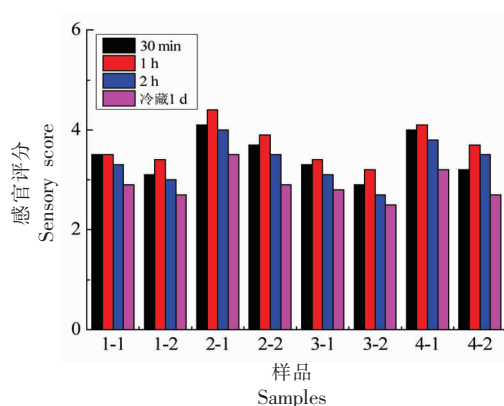


图2 山药感官评分综合评价

Fig.2 The sensory score from comprehensive evaluation of yams

续2.6节会进一步印证)。随着山药老化时间的延长,普通山药在老化时间为1h时preGI值最低,对于怀山药,在冷藏1d时preGI值最低。这与怀山药和普通山药直链淀粉含量不同有关,在老化过程中直链淀粉分子发生重排与交联,造成RS含量升高,preGI值降低。对于怀山药,烹饪加工后老化不同的时间,preGI值变化相对稳定,均低于55,属于低GI食物,说明怀山药烹饪加工后具有稳定的血糖指数,长期老化(冷藏贮藏)可能有助于RS含量的升高,preGI值更低。对于普通山药,烹饪加工后老化不同的时间,preGI值较高,均远高于70,属于高GI食物,烹饪加工后普通山药仅在老化1h时preGI值较低,但也远高于70。影响GI值的因素很多,包括:蛋白质、淀粉、脂肪、无机矿物质、小分子糖等、加工方式、食物种类、食物生熟等^[18-21]。从测定数据新发现,老化时间和贮藏条件对preGI值也有一定影响。

表7 热水蒸熟方式下不同老化时间的怀山药和普通山药粉末preGI值的比较

Table 7 The values of predicted GI of heat water treated yams under the different retrogradation time

样品	生粉	30 min	1 h	2 h	冷藏1 d
怀山药	31.81 ± 1.24	49.15 ± 1.52	46.14 ± 1.32	48.11 ± 1.6	35.33 ± 1.46
普通山药	70.95 ± 2.11	101.1 ± 2.70	95.12 ± 1.91	97.72 ± 2.16	99.03 ± 2.21

注:试验数据以平均值±标准差表示,试验重复3次。

2.6 不同老化时间怀山药和普通山药淀粉体外消化性比较

通过普通山药和怀山药preGI值的研究发现怀山药是一种低GI食品,对于预防和延缓糖尿病

发病具有潜在有效的的作用,对怀山药淀粉和普通山药淀粉进行体外消化性测定,可进一步揭示山药的耐酶解性。从表8可看出,怀山药生淀粉的RS、RS+SDS含量均高于普通山药生淀粉的RS、

RS+SDS 含量,怀山药生淀粉颗粒具有排列完美的有序化结构或含量较多的直链淀粉-脂质复合物。在热水蒸熟烹饪方式下制得的不同老化时间的怀山药淀粉和普通山药淀粉,随老化时间的延长(30 min~2 h),两种山药淀粉的 RS 含量降低,说明烹饪方式会导致淀粉的晶体结构或直链淀粉-脂质

复合物破坏,使得 RS 的占比降低。普通山药 RS 含量下降 32.84%,怀山药下降 23.57%,说明怀山药淀粉颗粒耐受烹饪加工的能力更强,稳定性更高。冷藏 1 d 后怀山药淀粉和普通山药淀粉的 RS 均升高,这是由于低温有助于促进直链淀粉分子重排,使得淀粉颗粒的致密性提高。

表 8 热水蒸熟方式下不同老化时间的怀山药淀粉和普通山药淀粉的体外消化性
Table 8 The digestibility properties of hot steamed yams under the different retrogradation time

样品	怀山药淀粉			普通山药淀粉		
	RS/%	RDS/%	(RS+SDS)/%	RS/%	RDS/%	(RS+SDS)/%
生淀粉	52.01 ± 2.11 ^a	23.56 ± 0.91 ^e	76.44 ± 2.33 ^a	43.55 ± 1.11 ^a	33.46 ± 1.33 ^e	66.54 ± 2.23 ^a
30 min	42.59 ± 2.70 ^b	52.77 ± 1.21 ^b	47.23 ± 0.56 ^d	30.27 ± 0.43 ^b	55.01 ± 2.78 ^a	44.98 ± 1.67 ^e
1 h	42.03 ± 1.91 ^d	50.61 ± 1.03 ^e	49.39 ± 0.65 ^e	29.57 ± 0.68 ^d	52.54 ± 2.23 ^e	47.46 ± 0.99 ^e
2 h	32.55 ± 2.16 ^e	53.77 ± 1.43 ^a	46.23 ± 0.56 ^e	20.33 ± 1.01 ^e	54.89 ± 2.71 ^b	46.11 ± 0.89 ^d
冷藏 1 d	42.37 ± 2.21 ^e	35.34 ± 0.84 ^d	64.66 ± 2.88 ^b	30.01 ± 0.99 ^e	40.33 ± 1.98 ^d	59.67 ± 2.01 ^b

注:试验数据以平均值±标准差表示,重复 3 次,同一列中不同的字母表示差异达显著水平($P < 0.05$)。

怀山药的 RS、RS+SDS 含量显著高于普通山药的 RS、RS+SDS 含量,一方面是由于怀山药直链淀粉和脂肪含量高于普通山药,会形成较多的直链-脂肪复合物,这种 V-型结构提高怀山药淀粉的抗消化能力;另一方面怀山药淀粉颗粒具有排列完美的有序化结构,这种致密的有序化结构或结晶结构不易被淀粉酶降解,减缓淀粉的消化速率和消化程度,实现淀粉消化性能和营养功能的调控。影响淀粉抗消化性的因素很多,包括颗粒大小、晶体结构、直链淀粉含量、支链淀粉分支链长度、分支链族等精细结构、支链淀粉侧链长度、淀粉分子质量大小(Mw)及分布^[22-25]。

3 小结

从质地上检测,怀山药原料的硬度整体上小于普通山药的硬度,怀山药的弹性和黏性均高于普通山药的弹性和黏性,但怀山药的咀嚼性在常温放置 1 h 内高于普通山药,而放置 2 h 和冷藏 1 d 后则反之。蒸比煮更能促进山药硬度增大,而煮比蒸更能促进山药黏性增大。对比山药头部、中部和尾部 3 个部位,怀山药硬度、黏性、弹性在 3 个部位差异不大,而普通山药有明显差异。色泽也是食用品质的重要方面,怀山药的亮度高于普通怀山药,且热水熟化(蒸/煮)相对冷水熟化(蒸或煮)

更能增加亮度,怀山药的头部、中部、尾部亮度基本一致,而普通山药差别较大,尤其是热水煮熟的普通山药,其尾部亮度变化较大。普通山药熟化后(在常温放置 30 min、1 h、2 h 和冷藏 1 d)颜色处于偏绿,而怀山药在冷藏 1 d 后颜色变红,且怀山药冷藏 1 d 后尾部的 a^* 值>中部的 a^* 值>头部的 a^* 值。怀山药在 4 种热加工方式下老化 30 min、1 h 和 2 h 颜色偏黄,在冷藏 1 d 时颜色偏蓝,而普通山药颜色始终偏蓝。综合感官分析,怀山药在不同熟化方式下感官评分均高于普通山药,其中热水蒸熟老化 1 h 时感官评分最高。怀山药生粉的预测血糖指数值显著低于普通山药生粉,热水蒸熟怀山药的预测血糖指数值低于普通山药,抗性淀粉、抗性淀粉+慢消化淀粉含量也高于普通山药。

参 考 文 献

- [1] 杜真辉,张岩荣,董诚明,等.不同栽培模式下铁棍山药的质量评价[J].中医学报,2017,32(9):1694-1696.
DU Z H, ZHANG Y R, DONG C M, et al. The quality evaluation of *Dioscorea Opposita*. cv. Tiegun in different cultivation patterns[J]. Acta Chinese Medicine, 2017, 32(9): 1694-1696.
- [2] 刘娟,梁延超,隋景航,等.马铃薯块茎蒸煮品质、

- 质构特性及加工型品系筛选[J]. 中国农业科学, 2016, 49(21): 4074-4084.
- LIU J, LIANG Y C, SUI J H, et al. Screening for cooking-processing potato lines according to potato tuber qualities and properties[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2016, 49(21): 4074-4084.
- [3] 苟敏. 紫色马铃薯射频频熟化特性的研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2019.
- GOU M. Study on radio frequency cooking characteristics of purple-fleshed potato[D]. Yangling: Northwest A&F University, 2019.
- [4] 陈瑾. 不同加工方式对宁夏地区马铃薯营养和消化特性的影响研究[D]. 银川: 宁夏大学, 2019.
- CHEN J. Effects of different processing methods on the nutritional and digestive characteristics of potatoes in Ningxia region[D]. Yinchuan: Ningxia University, 2019.
- [5] ZOU J, XU M, WEN L, et al. Structure and physicochemical properties of native starch and resistant starch in Chinese yam (*Dioscorea opposita* Thunb.)[J]. Carbohydrate Polymers, 2020, 237: 116188.
- [6] XU M, SALEH A S M, GONG B, et al. The effect of repeated versus continuous annealing on structural, physicochemical, and digestive properties of potato starch [J]. Food Research International, 2018, 111: 324-333.
- [7] 罗海玲, 龚明霞, 周芸伊, 等. 山药块茎发育过程中淀粉积累及差异蛋白分析[J]. 华南农业大学学报, 2018, 39(6): 61-69.
- LUO H L, GONG M X, ZHOU Y Y, et al. Analysis of starch accumulation and differentially expressed protein during the development of Chinese yam tuber[J]. Journal of South China Agricultural University, 2018, 39(6): 61-69.
- [8] ZHOU H, WANG J, FANG X, et al. Physicochemical properties of new starches isolated from *Dioscorea opposita* Thunb. Bulbils[J]. Starch-Stärke, 2012, 64(4): 290-296.
- [9] 姜红波. 山药的药理活性研究及产品开发现状[J]. 化学与生物工程, 2011, 28(4): 9-12.
- JIANG H B. Study on Pharmacological activity and development for *Dioscorea Opposita* Thunb[J]. Chemistry & Bioengineering, 2011, 28(4): 9-12.
- [10] 李静静, 李小安. 不同品种山药直链淀粉、支链淀粉含量测定及分析[J]. 农业工程, 2017, 7(6): 98-99.
- LI J J, LI X A. Determination and analysis of amylose and amylopectin content in different varieties of yam[J]. Agricultural Engineering, 2017, 7(6): 98-99.
- [11] 刘雪梅, 宋焱, 闫新焕, 等. 鲜食山药直链淀粉、支链淀粉含量测定及品种差异比较[J]. 食品科技, 2017, 42(7): 290-293.
- LIU X M, SONG Y, YAN X H, et al. Determination of amylose and amylopectin content in fresh yam and comparison of varieties [J]. Food Science and Technology, 2017, 42(7): 290-293.
- [12] 韩晓勇, 张培通, 郭文琦, 等. 道地与非道地产区铁棍山药品质比较[J]. 浙江农业科学, 2018, 59(9): 1597-1599.
- HAN X Y, ZHANG P T, GUO W Q, et al. Comparison of quality of *Dioscorea Opposita*. cv. Tiegun between Geo-authentic and Non-authentic producing areas[J]. Journal of Zhejiang Agricultural Sciences, 2018, 59(9): 1597-1599.
- [13] 张雨, 张康逸, 张国治. 淀粉老化过程机理及淀粉抗老化剂应用的研究进展[J]. 食品工业科技, 2019, 40(13): 316-321.
- ZHANG Y, ZHANG K Y, ZHANG G Z. Research progress on starch retrogradation process mechanism and application of starch anti-retrogradation agent[J]. Science and Technology of Food Industry, 2019, 40(13): 316-321.
- [14] 赵小梅. 不同品种淮山淀粉结构与性质研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2017.
- ZHAO X M. Study on structure and properties of different varieties yam starches[D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2017.
- [15] YANG W, LIU J, SHAN Z, et al. Acarbose compared with metformin as initial therapy in patients with newly diagnosed type 2 diabetes: an open-label, non-inferiority randomised trial[J]. Lancet Diabetes Endocrinol, 2014, 2(1): 46-55.
- [16] SLUIJS I, BEULENS J W, VAN DER SCHOUW Y T, et al. Dietary glycemic index, glycemic load, and digestible carbohydrate intake are not associated with risk of type 2 diabetes in eight european countries[J]. Journal of Nutrition, 2013, 143(1): 93-99.
- [17] KIZIRIAN N V, GOLETZKE J, BRODIE S, et al. Lower glycemic load meals reduce diurnal glycemic oscillations in women with risk factors for gestational diabetes[J]. BMJ Open Diabetes Research & Care,

- 2017, 5(1): e000351.
- [18] 余焕玲, 阚建全, 陈宗道. 影响抗性淀粉形成因素[J]. 粮食与油脂, 2001(4): 29-31.
YU H L, KAN J Q, CHEN Z D. Factors influenced the formation of resistant starch[J]. Cereals & Oils, 2001(4): 29-31.
- [19] 崔亚楠, 张晖, 王立, 等. 加工方式对谷物和豆类估计血糖生成指数的影响[J]. 食品与机械, 2017, 33(9): 7-10.
CUI Y N, ZHANG H, WANG L, et al. The effects of different processing methods on expected glycemic index of cereals and legumes[J]. Food & Machinery, 2017, 33(9): 7-10.
- [20] WANG S, COPELAND L. Molecular disassembly of starch granules during gelatinization and its effect on starch digestibility: a review[J]. Food & Function, 2013, 4(11): 1564.
- [21] ZABIDI M A, AZIZ N A A. In vitro starch hydrolysis and estimated glycaemic index of bread substituted with different percentage of chempedak (*Artocarpus integer*) seed flour[J]. Food Chemistry, 2009, 117(1): 64-68.
- [22] AL-RABADI G J, GILBERT R G, GIDLEY M J. Effect of particle size on kinetics of starch digestion in milled barley and sorghum grains by porcine alpha-amylase[J]. Journal of Cereal Science, 2009, 50(2): 198-204.
- [23] CAI L, SHI Y C. Self-assembly of short linear chains to A- and B-type starch spherulites and their enzymatic digestibility[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2013, 61(45): 10787-10797.
- [24] 王宏伟. 湿热处理和脂肪酸复合作用调控大米淀粉消化性能及营养功能的研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2017.
WANG H W. Understanding the digestion and nutritional function of rice starch subjected to heat-moisture treatment and fatty acid complex [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2017.
- [25] SRICHUWONG S, SUNARTI T C, MISHIMA T, et al. Starches from different botanical sources I: Contribution of amylopectin fine structure to thermal properties and enzyme digestibility[J]. Carbohydrate Polymers, 2005, 60(4): 529-538.

The Effect of Cooking Methods on the Edible Quality, Predicted Glycemic Index and *in Vitro* Digestibility of Chinese Yams and Normal Yams

Zou Jian¹, Xu Meijuan¹, Li Bin^{2*}

(¹School of Food and Biological Engineering, Henan University of Animal Husbandry and Economy, Zhengzhou 450000)

²College of Food Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430000)

Abstract With Chinese yams (Jiaozuo, Henan) and normal yams (Zhoukou, Henan) as the research object, different cooking methods (steaming or boiling) are performed to investigate the effects on the edible quality, *in vitro* digestibility and predicted glycemic index (preGI) of different parts of yam rhizome and different retrogradation time. The results show that the different cooking methods had obvious impact on the hardness, viscosity, elasticity, chewability, L^* , a^* , b^* of Chinese yams / normal yams. Under the same cooking method, different retrogradation time had little effect on the quality of different parts of Chinese yams, but had a great effect on the quality of different parts of normal yams. From the perspective of sensory analysis, the sensory score of Chinese yams was higher than that of normal yams under same cooking method, and the sensory score was the highest for two yams under hot water steaming and retrogradation for 1 h. The preGI value of unprocessed Chinese yam was significantly lower than that of unprocessed normal yam. Besides, the preGI value of Chinese yams was lower than that of normal yams under hot water steaming. Under the best sensory evaluation condition of steaming in hot water, the content of RS and RS+SDS of Chinese yams was higher than that of normal yams. The study can be expected to establish the relationship between the main cooking method and the food edible quality, which could guide consumers to choose appropriate cooking method with different preferences.

Keywords Chinese yam; edible quality; glycemic index; resistant starch