

不同品种籼米直链淀粉含量 对米线加工特性和品质的影响

史韬琦, 张 晨, 丁文平*, 王月慧, 陈 曦, 庄 坤

(武汉轻工大学食品科学与工程学院, 教育部大宗粮油精深加工重点实验室, 湖北武汉 430023)

摘 要:为了研究籼米中直链淀粉对米线加工特性和品质的影响,以直链淀粉含量介于 10.26%~24.91% 的籼米品种为研究对象,对其加工成米线的理化指标、蒸煮品质、晶体结构、质构特性、消化特性以及感官评价进行测定分析。结果表明:随着直链淀粉含量升高,籼米的结晶度逐渐降低;籼米中 T_0 、 T_p 、 T_c 、 ΔH 等热力学特性均呈现升高趋势;米线成品蒸煮品质中复水时间升高,蒸煮损失率、断条率降低;米线的咀嚼性和硬度明显升高,米线制作过程中导致籼米淀粉结晶度的增加。当籼米直链淀粉含量为 22.52% 时,米线感官评价最佳,达到 75.9 分。体外消化实验结果表明,煮熟的米线最终水解率最高,籼米的最终水解率最低;并且直链淀粉含量与体外消化率呈显著负相关 ($P < 0.05$)。选用直链淀粉含量在 22.52% 左右的籼米加工的米线具有较好的加工品质和较低的消化特性,此研究为具有低消化特性且品质高的米线研制提供了一定的理论依据。

关键词:籼米品种,直链淀粉,加工特性,品质

Effect of Amylose Content of Different Varieties of Long Rices on Processing Characteristics and Quality of Rice Noodle

SHI Tao-qi, ZHANG Chen, DING Wen-ping*, WANG Yue-hui, CHEN Xi, ZHUANG Kun

(Ministry of Education Key Grain and Oil Deep Processing Key Laboratory, College of Food Science and Engineering, Wuhan Polytechnic University, Wuhan 430023, China)

Abstract: In order to study the effects of amylose in different long rice on the processing characteristics and quality of rice noodles, long rice varieties with amylose content between 10.26% and 24.91% from different areas were as raw materials, the physical and chemical indicators, cooking quality, crystal structure, texture characteristics, digestion characteristics and sensory evaluation were measured and analyzed. The result showed that, with the increase of amylose content, the crystallinity of long rice decreased, the thermodynamic characteristics of T_0 , T_p , T_c , ΔH in long rice increased, the reheating time of the rice noodle product increased, the cooking loss rate and the broken bar rate decreased, the chewiness and hardness of rice noodles significantly increased, and the crystallinity of rice noodles was larger than long rice. And when the amylose content was 22.52%, the sensory evaluation of the rice noodle was the best (75.9 score). *In vitro* digestion experiments showed that the cooked rice noodle had the highest hydrolysis rate and the final hydrolysis rate of the original powder was the lowest. And the amylose content was significantly negatively correlated with the *in vitro* digestibility ($P < 0.05$). Rice noodles processed using long rice with an amylose content of about 22.52% had better processing quality and lower digestive characteristics. This study provides a theoretical basis for the development of rice noodles with low digestion characteristics and high quality.

Key words: long rice variety; amylose; processing characteristics; quality

中图分类号: TS255.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2020)19-0033-07

doi:10.13386/j.issn1002-0306.2020.19.006

引文格式: 史韬琦, 张晨, 丁文平, 等. 不同品种籼米直链淀粉含量对米线加工特性和品质的影响[J]. 食品工业科技, 2020, 41(19): 33-38, 44.

米线的研究最早起源于中国,距今已有几千年的历史^[1]。米线是以大米为原材料,通过清理、浸泡、磨浆、熟化与挤压成型工序制作而成的非油炸食品,

其柔韧、滑爽,具有嚼劲^[2],一直都是我国南方地区人们的主要传统食品。

对于米粉加工而言,检测并且分析原料特性指

收稿日期: 2019-10-10

作者简介: 史韬琦(1995-),男,硕士研究生,研究方向: 谷物及食品资源开发, E-mail: whshitaqi@163.com。

* 通讯作者: 丁文平(1971-),男,博士,教授,研究方向: 谷物科学与工程以及食品资源开发, E-mail: whdingwp@163.com。

基金项目: 国家“十三五”重点研发计划(2017YFD0401104-01)。

标,探究大米品种、组分和理化特性对米线加工品质的影响,可从源头上确保其产品品质的稳定性。李莎莎等^[3]研究发现原料品种不同,淀粉性质不同,会导致其糊化性质以及粉质特性存在差异,直接或间接影响糙米制品品质。张喻等^[4]研究了几种来自湖南省农科院稻米品种,探讨了大米淀粉特性与米线品质的关系,结果表明直链淀粉含量对米线品质影响最大。孙庆杰^[1]将早籼和晚籼米按比例复配制作米线,并通过相关性分析探究了直链淀粉含量与米线品质的关系,发现直链淀粉含量>23%时,制出的米线质量较好。但是,目前该领域的研究依然不够全面。淀粉是日常膳食不可或缺的部分,其消化性与人体健康相关。Chung等^[5]探究不同直链淀粉含量的大米淀粉的结构、理化性质与体外消化率的关系,发现大米淀粉的分子和晶体结构对体外淀粉的消化率具有重要影响。Jeong等^[6]对不同直链淀粉含量的水稻品种及其理化性质通过流变学测定方法对体外淀粉消化率进行了研究,高直链淀粉大米粉具有较高的混合稳定性和弹性。高直链面条呈现出更坚实的质地,有助于减少烹饪损失,直链淀粉含量高的淀粉消化率较低。

到目前为止,关于大米原料加工品质虽已有报道,但往往所选籼米品种范围不够广,代表性不够强,针对直链淀粉对米线消化特性研究相对较少等问题。本实验对6种不同直链淀粉含量籼米加工特性和品质的影响进行研究分析,以期对具有低消化特性且品质高的米线研制提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

润珠 537 湖北省农业科学院;二优培九 江苏省农业科学院;荣优 585 江西天涯种业;株两优 湖南农业大学;合香源 广东省农业科学院;1007t 安徽合肥丰乐种业股份有限公司;支链淀粉标准品(纯度>99.9%)、直链淀粉标准品(纯度>99.9%) Sigma 试剂有限公司;瓜尔豆胶(30550)、胃蛋白酶(p7000-25 g, ≥250 U/mg prot)、转化酶(I4504-250 mg, ≥450 U/mg prot)、α-淀粉酶(A3176, ≥5 U/mg prot) 美国 Sigma 公司;葡萄糖试剂盒(GOPOD)、E-AMGDF 爱尔兰 Megazyme 公司;碘、碘化钾、盐酸、氢氧化钠 分析纯,国药集团化学试剂有限公司。

AL204 型电子天平 梅特勒-托利多仪器有限公司(上海);TA-XT2i 物性测试仪(质构仪) 英国 Stable Micro System 公司;全自动米线机 旭众食品机械;Q2000 差示扫描量热仪 美国 TA 有限责任公司;Empyrean x-射线衍射仪 荷兰瑞影公司;ZHSY-50 振荡培养箱 上海知楚仪器;JXFM110 型锤式旋风磨 上海嘉定粮油仪器有限公司;LGJ-18 型冷冻干燥器 北京松源华兴科技发展有限公司;Enspire 多功能酶标仪 美国铂金埃尔默;TGL-16M 高速离心机 湖南湘仪实验室仪器开发有限公司;QL-866 涡旋混合仪 江苏其林贝尔仪器制造有限公司;超纯水机 上海和泰仪器有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 米线的制备 原料籼米→润洗→浸泡→滤水→粉碎→挤丝成形→老化成品。

参照文献[7]稍作调整,准确称取 1500 g 籼米样品,放入钢盆中,加入适量的蒸馏水搅动,使籼米与水充分的混匀,放置室温下浸泡 8 h,之后晾干 2 h,然后利用万能粉碎机磨粉,过 80 目筛备用,取 3 g 测定其水分含量并记录。将湿粉的含水量调至 40%,搅匀、搓成粒后,置于温控 80 ℃ 左右挤丝机内挤丝加工成米线,制作完成的米线置于室温 24 h,放入 4 ℃ 冰箱备用。

1.2.2 籼米的基本理化指标测定 水分测定:参照 GB 5009.3-2016《食品中水分的测定》;直链淀粉测定:参照 GB/T 15683-2008《大米直链淀粉含量的测定》;蛋白质测定:参照 GB 5009.5-2010《食品中蛋白质的测定》;粗脂肪测定:参照 GB/T 5009.6-2003《食品中脂肪的测定》;灰分测定:参照 GB/T 5505-2008《食品中灰分的测定》。

1.2.3 米线的蒸煮特性测定

1.2.3.1 蒸煮损失 称取米线 10 g(长度 10 cm 以上),精确到 0.01 g,倒入 10 倍沸水,置于沸水浴中微沸 10 min,用不锈钢滤勺捞出全部米粉用作感官评价^[8],剩余液体倒入已恒重的容器中,放置于水浴锅上蒸干后放入(105 ± 2) ℃ 的烘箱中烘至恒重,称取干物质质量,精确至 0.01 g。

$$\text{蒸煮损失}(\%) = \frac{m_1 - m_2}{m(1 - X)} \times 100$$

式中,m 为样品质量,g;m₁ 为样品与称量皿一起干燥后的质量,g;m₂ 为干燥后称量皿的质量,g;X 为样品中的水分含量,%。

1.2.3.2 断条率 选择长度 15 cm 的米线,用天平称 m 根样品置于相应容积的器皿中,按 1:20 的比例(试样:水)加入沸水,置于 90 ℃ 保温,加盖浸泡 10 min,用筷子将试样搅散,滤去汤汁,过冷水,滤干,当即分开不足 10 cm 和 10 cm 以上的米线,分别称重^[8],按下式计算断条率:

$$\text{断条率}(\%) = \frac{m_1}{m} \times 100$$

式中,m₁ 为不足 10 cm 米线质量,g;m 为浸泡后试样质量,g。

1.2.3.3 复水时间 称取 10 g 米线,置于其重量 10 倍沸水的烧杯中微沸,用滤纸盖住烧杯口静置,并用秒表计时,9 min 后取出 1 根放于两玻璃片中挤压,观察有无白色的硬心,每隔 10~15 s 测一次直到无白色硬心为止,此时热水浸泡的时间即为复水时间^[7]。

1.2.4 热力学特性测定 将籼米磨粉过 100 目筛,称量 4 mg 左右,与水按照 1:2 g/mL 的比例混合,取少量加入标准铝坩埚,称重压盖后,于 4 ℃ 密封平衡 1 d。测量同时,用空坩埚做空白参照。测量温度范围:20~120 ℃,升温速率为 10 ℃/min。用 Thermal analysis 软件计算得出起始温度 T_o、峰值温度 T_p、终止温度 T_c 和糊化焓 ΔH 的变化情况。

1.2.5 晶体特性 将籼米及米线磨粉过 300 目筛,采用 X 射线衍射仪测定其晶体特性。衍射条件:特征

射线 CuKα,加速电压 40 kV,管电流 30 mA,测量角度 2θ 为 5~60°,扫描速度 4°/min。结果采用 Origin 作图,利用 Jade 软件分别算出结晶区 Ac 和非结晶区 Aa,结晶区面积占整个区域面积的比值即为相对结晶度,

$$Rc(\%) = \frac{Ac}{Ac + Aa} \times 100$$

式中,Ac 是结晶区部分面积;Aa 是非结晶区部分面积。

1.2.6 米线的质构特性测定 将米线于沸水中煮 7 min 后捞出,用冷水冲淋,用滤纸将米线表面的水分沾干,并截取 2.5 cm 米线平放于检测台。在 TPA 模式中选择 P36 探头,压缩比为 50%,测前速度为 1 mm/s,测中速度为 1 mm/s,测后速度为 1 mm/s,触发力为 5 g,参数获取速率为 500 pps,进行两次压缩,又称为两次咀嚼实验。

1.2.7 感官评价 感官评价采用样品盲评,具体参考标准见表 1^[9],并做适当改动。根据国家标准 GB/T 15549.1995 对感官评价员进行筛选并培训 12 人,然后对六种米线外观、气味、口感进行评价打分,总分 100 分,最后将所有分数平均作为样品最后得分。

表 1 米线感官评价标准(分)
Table 1 Sensory evaluation of rice noodles(score)

项目	评分标准	得分
外观 (0~30)	颜色均匀,无杂色,光亮,无明显断条	20~30
	颜色均匀,有少量杂色,断条较少	10~19
	颜色不均匀,杂色较多,断条较多	0~9
气味 (0~30)	气味正常,有谷物的香味,无明显异味	20~30
	气味正常,谷物香味较淡,有少量异味	10~19
	气味不纯正,其他异味较重	0~9
	软硬适中,表面顺滑,弹性好	30~40
口感 (0~40)	软硬稍软或稍硬,顺滑度	16~29
	较好,较有弹性	
	很软或很硬,比较黏牙,弹性较差	0~15

1.2.8 体外模拟消化 将未蒸煮和煮熟米线(称取 10 g 米线置于 100 g 水中蒸煮,蒸煮时间为该品种的复水时间)分别放在培养皿里面,在-40℃下冷冻 2 h 后冷冻干燥 24 h,再磨粉以备用,将原粉、上述步骤备用粉过 60 目筛后分别装入试样 100 mg 于 50 mL 离心管中,3 组平行。参考文献[10]方法利用多种酶进行模拟消化,根据葡萄糖标准曲线求取每个样

品水解后的葡萄糖质量,然后按照公式计算样品的水解率(hydrolyzing rate,HR)。

$$HR(\%) = m_g \times \frac{7}{0.1} \times \frac{1.1}{0.1} \times \frac{1}{1000} \times \frac{100}{m_d} \times \frac{162}{180} \times 100$$

式中:m_g为葡萄糖质量,μg;7/0.1 为在不同水解时间体积校正值;1.1/0.1 为 GOPOD 步骤体积校正值;1/1000 为葡萄糖质量转换值;m_d为样品干质量,mg;162/180 为从淀粉获得的游离 D-葡萄糖转换到淀粉中存在的脱水 D-葡萄糖因子。

1.3 数据处理

每组进行 3 次平行和重复实验,数据处理采用 SPSS 22 和 Origin 8.5 绘图软件其中,显著性分析采用 Duncan 检验。

2 结果与讨论

2.1 不同品种籼米的主要基本成分

表 2 为 6 种籼米的基本主要成分测定结果,由表 2 可知,水分含量在 12.41%~13.87% 之间,粗脂肪含量在 0.37%~1.32% 之间,蛋白质含量在 7.51%~9.23% 之间,灰分含量在 0.53%~0.74% 之间。直链淀粉含量在 10.26%~24.91% 之间,是含量差异最大的基本成分,广东合香源品种直链淀粉含量最高,为 24.91%,二优培九品种直链淀粉含量最低,为 10.26%,选用不同地区样品分析籼米直链淀粉含量对米粉品质 and 消化性的影响具有较好的代表性。

2.2 不同品种籼米米线的蒸煮品质

复水时间是衡量米线煮透、水分和硬度是否达到食用要求的指标。由表 3 可知,合香源复水时间长达 780 s,复水时间最短的是二优培九品种为 585 s。这可能与直链淀粉含量有关,学者 Cham 等^[11]有报道称,米粉的蒸煮时间为 5 min,直链淀粉含量越高,外界水分越难从米线表面侵入内部,导致复水时间升高。而本研究测得米线的复水时间相对较长(大于 10 min),可能与试验方法、品种不同的原因有关。

蒸煮损失表现出在合适的蒸煮时间内,米线表面煮脱部分,在一定程度上能够反映米线品质。合香源品种米线蒸煮损失率最低,为 9.94%,其次是荣优 585,为 10.01%,二优培九最高,达到 24.26%,随着直链淀粉含量降低,蒸煮损失率、断条率有升高趋势。Hermansson 等^[12]报道,直链淀粉具备着抑制淀粉凝胶膨胀的作用特性,当直链淀粉含量较高时会

表 2 籼米的主要基本成分(%)
Table 2 Basic ingredients of long rice(%)

籼米	产地	水分	粗脂肪	蛋白质	直链淀粉	灰分
合香源	广东	12.41 ± 0.09 ^d	0.86 ± 0.04 ^b	8.03 ± 0.02 ^c	24.91 ± 0.37 ^a	0.74 ± 0.07 ^a
荣优 585	江西	12.62 ± 0.08 ^c	1.32 ± 0.05 ^a	9.23 ± 0.04 ^a	22.52 ± 0.21 ^b	0.64 ± 0.05 ^{ab}
株两优	湖南	12.72 ± 0.12 ^c	0.81 ± 0.03 ^{bc}	7.51 ± 0.06 ^f	19.21 ± 0.26 ^c	0.56 ± 0.02 ^b
润珠 537	湖北	13.87 ± 0.13 ^a	0.58 ± 0.04 ^d	8.24 ± 0.09 ^b	15.65 ± 0.20 ^d	0.62 ± 0.11 ^{ab}
1007T	安徽	12.61 ± 0.05 ^c	0.78 ± 0.03 ^c	7.88 ± 0.09 ^d	13.41 ± 0.19 ^e	0.63 ± 0.09 ^{ab}
二优培九	江苏	13.20 ± 0.07 ^b	0.37 ± 0.02 ^e	7.76 ± 0.05 ^e	10.26 ± 0.36 ^f	0.53 ± 0.05 ^b

注:同列不同字母表示品种间差异性达到显著水平(P<0.05,n=3);表 3~表 7 同。

表3 米线蒸煮品质
Table 3 Cooking quality of rice noodles

米线	直链淀粉(%)	复水时间(s)	蒸煮损失(%)	断条率(%)
合香源	24.91 ± 0.37 ^a	780 ± 14 ^a	9.94 ± 0.69 ^c	12.26 ± 1.59 ^b
荣优 585	22.52 ± 0.21 ^b	710 ± 19 ^b	10.01 ± 0.61 ^c	12.37 ± 2.15 ^b
株两优	19.21 ± 0.26 ^c	685 ± 10 ^c	12.09 ± 0.44 ^c	14.74 ± 2.34 ^b
润珠 537	15.65 ± 0.20 ^d	660 ± 16 ^c	20.03 ± 1.60 ^b	19.14 ± 2.11 ^a
1007T	13.41 ± 0.19 ^e	620 ± 10 ^d	22.09 ± 0.52 ^b	19.94 ± 2.19 ^a
二优培九	10.26 ± 0.36 ^f	585 ± 13 ^c	24.26 ± 1.67 ^a	22.25 ± 1.62 ^a

表4 籼米的热力学特性
Table 4 Thermodynamic properties of long rice

籼米	起始温度 To(℃)	峰值温度 Tp(℃)	终止温度 Tc(℃)	糊化焓变 ΔH(J/g)
合香源	71.82 ± 0.02 ^a	77.42 ± 0.09 ^a	79.90 ± 0.07 ^a	8.120 ± 0.09 ^b
荣优 585	70.95 ± 0.05 ^b	77.56 ± 0.08 ^a	78.89 ± 0.08 ^b	8.136 ± 0.07 ^a
株两优	70.02 ± 0.10 ^c	76.78 ± 0.14 ^b	78.56 ± 0.12 ^c	7.990 ± 0.12 ^c
润珠 537	64.68 ± 0.06 ^d	71.60 ± 0.01 ^c	76.07 ± 0.09 ^d	6.870 ± 0.07 ^d
1007T	64.69 ± 0.11 ^d	71.51 ± 0.03 ^c	76.17 ± 0.05 ^d	6.915 ± 0.10 ^d
二优培九	63.51 ± 0.07 ^e	70.17 ± 0.12 ^d	75.06 ± 0.08 ^e	6.330 ± 0.11 ^d

造成米粉膨胀率的降低、弹性的增加,蒸煮损失以及断条率的降低,本研究结果与之基本一致。

2.3 不同品种籼米的热力学特性

如表4所示,与其他品种相比较,二优培九品种起始糊化温度最低,为63.51℃左右,其直链淀粉含量最低,需要的玻璃化温度低,易于软化和膨胀,更容易糊化,品质较差。ΔH主要代表淀粉糊化过程中双螺旋结构的解聚和淀粉颗粒溶胀崩解所需的能量,Tester等^[13]研究表明,假设直链淀粉大分子绝大多数都是在淀粉颗粒的无定形区域,那么直链淀粉含量越高,则凝胶温度越高。荣优585样品的糊化焓变值最高,为8.136 J/g,说明荣优585品种糊化最难,所需能量最大。

2.4 不同品种籼米及米线粉的晶体结构

由图1中可以看出,六种大米粉分别在2θ为单峰15.3、23.5°和双峰17.1、18.2°处有明显的衍射峰,为典型的A型晶型,具有很强热稳定性,原粉不易被淀粉酶和糖化酶分解利用。由Jade软件分析,合香源、荣优585、株两优、润珠537、1007T、二优培九几个品种原粉结晶度依次为29.4%、32.7%、34.2%、36.2%、38.6%、39.2%,随着直链淀粉含量降低,样品的结晶度逐渐升高,与张艳霞^[14]结论相似,有学者认为淀粉糊中直链分子越多,越容易形成晶体,晶体结构也更加牢固和稳定^[15]。图2中米线粉在13.1和20.1°出现V型衍射峰,这是由于挤压加工破坏了淀粉原有的晶体结构,形成了新的晶区,结晶度相比原粉升高,消化率提高。

2.5 不同品种籼米米线的质构特性

米线的质构特性测定结果如表5所示,不同大米原料加工的米线,在硬度、粘性、咀嚼性各个指标上有较大差异。合香源品种硬度、咀嚼性最大,分别为461.61、363.59 gf,其次是荣优585,分别为438.92、313.21 gf,二优培九品种最低,分别为210.11、171.70 gf,回复性没有明显差异。由于大米淀粉在经过糊化

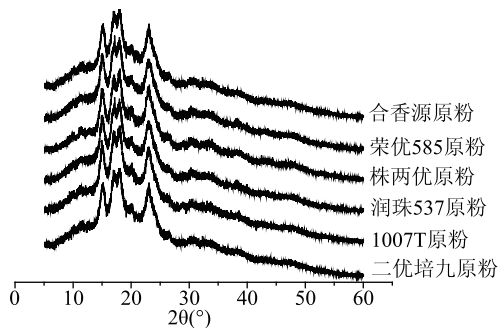


图1 六种籼米的结晶特性

Fig.1 Crystallization characteristics of six kinds of long rices

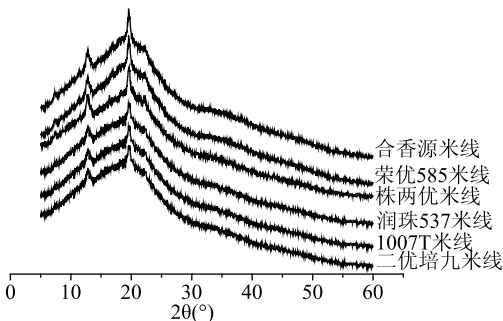


图2 六种米线粉的结晶特性

Fig.2 Crystallization characteristics of six kinds of rice noodle powder

冷却后制成凝胶的过程中,淀粉分子链由于氢键交联作用聚合起来,直链淀粉含量越高,氢键含量越多,氢键的增多促使凝胶的硬度和弹性增大^[16],从而导致米线的硬度、咀嚼性等质构特性发生相应变化。

2.6 不同品种籼米米线的感官评分

如表6所示,六种米线在外观和口感上有比较明显的差异性。润珠537、1007T、二优培九品种加工的米线综合品质较差,荣优585、合香源、株两优品种加工的米线的外观和口感较好。其中荣优585制成的

表5 米线质构测定结果
Table 5 Texture determination results of rice noodles

米线	硬度 (gf)	粘性 (gf·s)	咀嚼性 (gf)	回复性
合香源	461.61 ± 10.26 ^a	- 1.53 ± 0.15 ^a	363.59 ± 7.84 ^a	0.57 ± 0.03 ^a
荣优 585	438.92 ± 12.26 ^b	- 1.94 ± 0.12 ^a	313.21 ± 17.12 ^b	0.53 ± 0.02 ^a
株两优	390.09 ± 26.24 ^c	- 2.92 ± 0.41 ^a	312.55 ± 21.37 ^b	0.55 ± 0.03 ^a
润珠 537	294.16 ± 7.12 ^d	- 7.32 ± 1.92 ^{bc}	276.80 ± 12.23 ^c	0.41 ± 0.02 ^b
1007T	271.71 ± 9.18 ^d	- 6.32 ± 1.78 ^b	210.24 ± 10.31 ^d	0.43 ± 0.01 ^b
二优培九	210.11 ± 18.37 ^e	- 8.73 ± 1.34 ^c	171.70 ± 11.16 ^e	0.45 ± 0.02 ^b

表6 不同品种籼米制成米线的感官评价结果 (分)
Table 6 The results of sensory evaluation of rice noodles (score)

米线	外观	气味	口感	总分
合香源	20.3 ± 1.4 ^{abc}	24.4 ± 2.9 ^a	21.5 ± 2.2 ^b	66.2 ± 3.8 ^b
荣优 585	21.6 ± 2.7 ^{ab}	24.1 ± 1.8 ^a	30.2 ± 2.4 ^a	75.9 ± 4.1 ^a
株两优	23.2 ± 1.6 ^a	23.0 ± 1.9 ^a	22.6 ± 2.0 ^b	68.8 ± 4.7 ^b
润珠 537	17.2 ± 2.9 ^{cd}	23.5 ± 1.1 ^a	12.1 ± 1.6 ^d	52.8 ± 3.2 ^c
1007T	18.6 ± 1.8 ^{bc}	20.9 ± 1.4 ^a	16.2 ± 1.4 ^c	55.7 ± 3.6 ^c
二优培九	14.5 ± 1.1 ^d	24.1 ± 2.1 ^a	17.5 ± 0.5 ^c	56.1 ± 3.0 ^c

米线感官评分显著高于其他品种 ($P < 0.05$)。可能是因为直链淀粉及粗蛋白含量高于其他品种,粗蛋白对米线产品的组织结构有一定的影响,会使表面

光滑,并且韧性好。
2.7 不同品种籼米及米线的体外消化实验

如图 3 所示,所有品种在 0~30 min 时,还原糖释

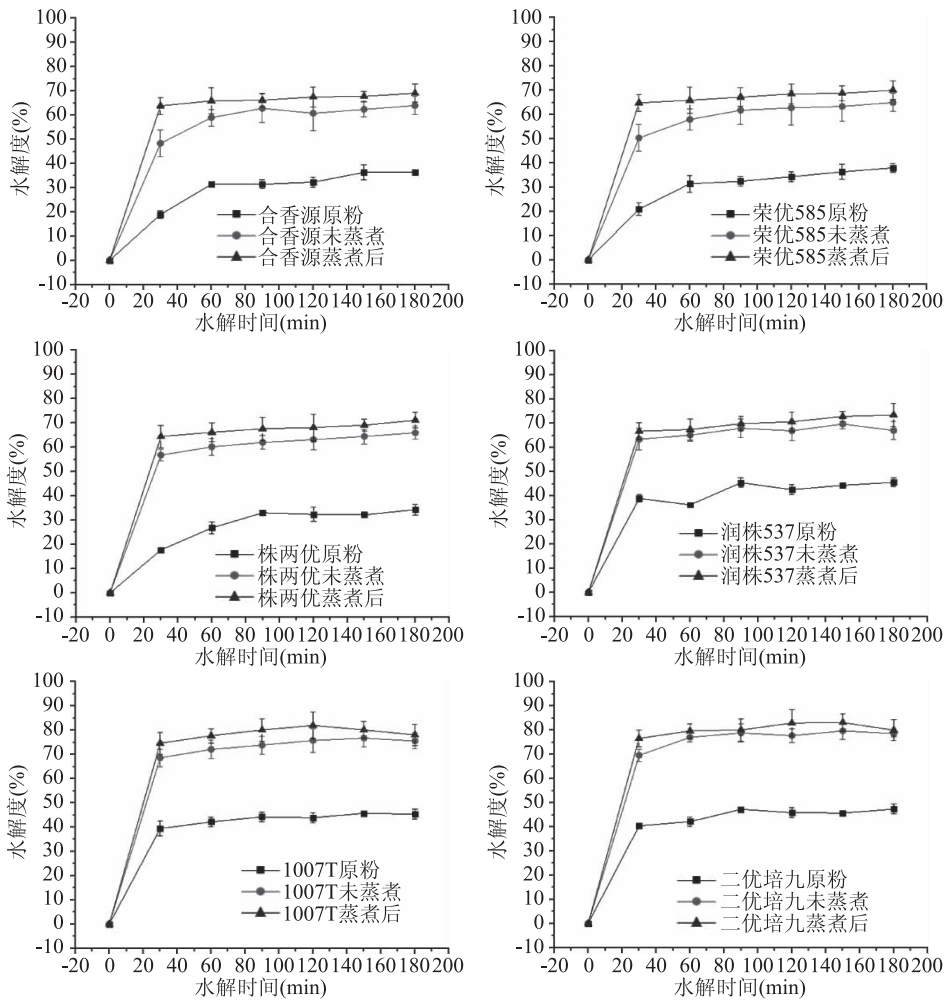


图3 六种原料及其米线的体外消化实验
Fig.3 In vitro digestion experiment of six kinds of raw materials and rice noodles

表7 籼米基本成分与蒸煮品质、感官评价及最终水解率相关性分析

Table 7 Correlation analysis of basic ingredients of long rice with cooking quality, sensory evaluation and final hydrolysis rate

基本成分	复水时间	蒸煮损失	断条率	感官评价	最终水解率
蛋白质	0.418	-0.497	-0.452	0.451	-0.550
粗脂肪	0.705	-0.848	-0.824	0.742	-0.611
直链淀粉	0.952 *	-0.953 *	-0.988 *	0.887	-0.957 *

注: * 表示显著相关, $P < 0.05$ 。

放速率急剧升高,在 30~180 min 之间时,缓慢升高或者趋于平缓。这是由于在水解初期,米粉中淀粉是结构相当复杂的化合物,容易被酶液分解淀粉中 α -1,4 糖苷键^[17],直链淀粉比支链淀粉结构紧密,在淀粉酶中不易水解^[18]。以合香源品种制作米线为例,原粉、未蒸煮米线、蒸煮后米线最终水解率分别为 36.5%、63.9%、69.0%。随着消化的进行,原米粉中淀粉链长变短后,酶与其反应的点位变少,水解速度会逐渐缓慢。未蒸煮米线中,淀粉颗粒大量吸水膨胀,然后支链晶体分解,双螺旋构型展开和分离^[19],淀粉颗粒中渗出的直链淀粉与水结合形成凝胶,使得其对淀粉酶的抗性减弱,水解率提高。对于煮熟的米线而言,在水中受热,大量水分侵入米线内部,疏松多孔,使得酶解液容易浸入内部容易水解更多葡萄糖,使得水解率进一步升高。

不同品种当中,合香源最终水解率最低,原粉、未蒸煮米线、蒸煮后米线分别是 36.5%、63.9%、69.0%;荣优 585 次之,分别为 37.4%、65.1%、70.1%;二优培九最终水解率最高,分别为 47.3%、78.5%、80.0%。高直链淀粉对淀粉颗粒的膨胀具有抑制作用,只有当直链淀粉溶解出来之后,淀粉粒才能展现出膨胀能力,然而支链淀粉具有相对疏松结构,使得酶液快速渗入,迅速膨胀。故而,合香源品种属于低消化率米线,而二优培九品种属于高消化率米线,淀粉的消化性与人体健康相关,消化率提高促使餐后血糖水平提升,从而引诱一些疾病的发生^[20-21],低消化率米线对于糖尿病等慢性疾病的预防和治疗有帮助^[22-23]。

2.8 相关性分析

根据表 7 中的相关性分析可知,其中直链淀粉与蒸煮损失、断条率呈显著负相关($P < 0.05$),与复水时间呈显著正相关($P < 0.05$);蛋白质、粗脂肪与复水时间、断条率、蒸煮损失无显著性影响($P > 0.05$)。直链淀粉含量与最终水解率呈显著负相关($P < 0.05$),表明直链淀粉相比其他原料基本成分有着直接重要的作用,直链淀粉分子结构较为紧密,存在微晶束结构会限制淀粉糊化,在消化的过程当中不易被淀粉酶水解,使得消化速率较慢^[24]。

3 结论

本文研究了不同直链淀粉含量籼米制得的米线的加工品质和消化性,籼米的直链淀粉含量明显影响米线的加工品质和消化性。米线的复水时间与籼米的直链淀粉含量呈显著正相关($P < 0.05$),断条率以及蒸煮损失率都与籼米的直链淀粉含量呈显著负相关($P < 0.05$)。随着籼米直链淀粉含量升高,籼米的热学特性中 T_0 、 T_p 、 T_c 、 ΔH 均呈升高趋势,加工成

米线的硬度、咀嚼性明显上升。当籼米直链淀粉含量为 22.52% 时,米线的感官评分达到最高,此时米线表面光滑、口感好。体外模拟人体肠胃消化实验结果表明,相比籼米而言,米线结晶度升高且最终水解率发生改变,即煮熟的米线最终水解率最高,而原粉最低;且直链淀粉含量与米线最终水解率成负相关($P < 0.05$)。由此表明,采用一步成型法制作米线时,米线的加工品质和消化性与籼米品种直链淀粉含量之间存在紧密的相关性,选用直链淀粉含量在 22.52% 左右的籼米加工的米线具有较好的加工品质和较低的消化特性,因此本文可以为低消化特性及加工品质良好的米线深度开发提供一定的理论支撑。

参考文献

- [1] 孙庆杰. 米粉加工原理与技术[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2006.
- [2] 高晓旭, 佟立涛, 钟葵, 等. 鲜米粉加工专用原料的选择[J]. 中国粮油学报, 2015, 30(2): 1-5.
- [3] 李莎莎, 吴娜娜, 李兴峰, 等. 不同品种糙米粉糊化特性比较研究[J]. 粮油食品科技, 2016, 24(4): 15-18.
- [4] 张喻, 杨沁泉, 吴卫国, 等. 大米淀粉特性与米线品质关系的研究[J]. 食品科学, 2003, 24(6): 35-38.
- [5] Chung H J, Liu Q, Lee L, et al. Relationship between the structure, physicochemical properties and *in vitro* digestibility of rice starches with different amylose contents [J]. Food Hydrocolloids, 2011, 25(5): 968-975.
- [6] Jeong S, Kim Y, Ko S, et al. Physicochemical characterization and *in-vitro* digestibility of extruded rice noodles with different amylose contents based on rheological approaches [J]. Journal of Cereal Science, 2016, 71: 258-263.
- [7] 官斌. 碎米直条米粉关键生产工艺及质量评价研究[D]. 南昌: 南昌大学, 2011.
- [8] 国家进出口商品检验局. SN/T0395-2018 中华人民共和国进出口商品检验行业标准 出口米粉检验规程[S]. 北京: 中国标准出版社, 2018.
- [9] 胡云峰, 王晓彬, 魏增宇, 等. 海藻糖对米线品质改良技术研究[J]. 中国食品添加剂, 2018, 176(10): 100-107.
- [10] 王炯, 周显青, 胡宏海, 等. 辅料添加对挤压复配米外观结构、蒸煮食用品质及体外血糖生成指数的影响[J]. 食品科学, 2018, 39(11): 67-75.
- [11] Cham S, Suwannaporn P. Effect of hydrothermal treatment of rice flour on various rice noodles quality [J]. Journal of Cereal Science, 2010, 51(3): 284-291.
- [12] Hermansson A, Svegmarm K. Developments in the understanding of starch functionality [J]. Trends in Food Science & (下转第 44 页)

- 4 2020年第19期