

绿豆淀粉和糯米粉复配体系的理化性质与粉皮质构性质的关系研究

邢燕, 熊柳, 孙庆杰*, 孙玲玲

(青岛农业大学食品科学与工程学院, 山东 青岛 266109)

摘要: 将糯米粉按一定比例添加到绿豆淀粉中, 测定复配粉的膨润性质、糊化特性、质构性质和拉伸性质, 研究复配粉性质与粉皮质构性质之间的关系。结果表明: 复配粉的总直链淀粉含量、可溶性直链淀粉含量、不溶性直链淀粉含量均比绿豆淀粉显著降低; 复配粉的峰值黏度、低谷黏度和最终黏度均降低, 当绿豆淀粉、糯米粉质量比为1:3时, 复配粉的衰减值和回生值分别比绿豆淀粉降低了35.35%、69.13%。绿豆淀粉、糯米粉质量比1:1的硬度比绿豆淀粉降低了96.85%; 用复配粉制作的粉皮拉伸性变化显著, 粉皮的拉伸强度从68.35kPa降低到15.03kPa。与单一体系相比, 复配粉制成的粉皮硬度适中、持水能力好、口感好。在所有混合体系中, 当绿豆淀粉、糯米粉质量比为1:1时, 制得的粉皮的质构性质最好。

关键词: 绿豆淀粉; 糯米粉; 理化性质; 糊化性质; 质构特性

Physico-chemical Properties of Mung Bean Starch and Glutinous Rice Flour and Textural Properties of Sheet Jelly

XING Yan, XIONG Liu, SUN Qing-jie*, SUN Ling-ling

(College of Food Science and Engineering, Qingdao Agricultural University, Qingdao 266109, China)

Abstract: In this study, glutinous rice flour was added to mung bean starch in a certain proportion. Swelling, pasting, gel textural and tensile properties of glutinous rice flour and mung bean starch as well as the textural properties of sheet jelly were studied. The results showed that total amylose content, soluble amylose content and insoluble amylose content of starch blends were significantly decreased in comparison with mung bean starch. The pasting properties such as peak viscosity, trough viscosity and final viscosity were all decreased. When mung bean starch and glutinous rice flour were mixed together in a ratio of 1:3, setback and break down were decreased by 35.35% and 69.13% compared with mung bean starch alone, respectively. The hardness of mung bean starch/glutinous rice flour blends at ratios of 3:1 and 1:1 revealed a decrease by 68.91% and 96.85%, respectively, when compared with mung bean starch. The tensile property (15.03 kPa) of sheet jelly from starch blends was significantly lower than that of sheet jelly from mung bean starch alone (68.35 kPa). Moreover, modest hardness, strong water-holding capacity and good mouth feel of sheet jelly were obtained by addition of glutinous rice flour, and a mixing ratio of 1:1 for glutinous rice flour and mung bean starch provided the best textural properties.

Key words: mung bean starch; glutinous rice flour; physico-chemical property; pasting property; textural property

中图分类号: TS236.5

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630(2013)13-0122-05

doi:10.7506/spkx1002-6630-201313027

我国绿豆种植面积和产量均居世界前列, 绿豆因其具有的营养价值和药用价值受到人们的重视, 是一种极具应用开发前景的资源。绿豆中直链淀粉占粗淀粉近60%, 可溶性直链淀粉占粗淀粉的36%~37%, 由于直链淀粉含量高, 淀粉结晶区多, 淀粉粒难于糊化, 糊化后又易于老化, 冷却后能形成较坚韧的胶, 绿豆淀粉在食品工业中常作为制作各种粉丝、粉皮、绿豆饅的主要原料^[1]。但是绿豆淀粉制备的粉皮成本较高, 且因硬度过高而影响食用品质。目前已出现部分关于绿豆淀粉理化性质的研究, 如洪火明^[2]研究了重合磷酸盐类与硼酸钠对绿豆淀粉凝胶特性的影响, 不同乳化剂与浓度对绿豆淀粉凝胶特性的影响, 蔗糖、柠檬酸、柳橙汁对绿豆淀粉胶体胶强度的影响。王德培等^[3]研究了干热处理对绿豆淀粉和豌豆淀粉化学组成的影响及其与粉丝品质的关系。赵

料^[1]。但是绿豆淀粉制备的粉皮成本较高, 且因硬度过高而影响食用品质。目前已出现部分关于绿豆淀粉理化性质的研究, 如洪火明^[2]研究了重合磷酸盐类与硼酸钠对绿豆淀粉凝胶特性的影响, 不同乳化剂与浓度对绿豆淀粉凝胶特性的影响, 蔗糖、柠檬酸、柳橙汁对绿豆淀粉胶体胶强度的影响。王德培等^[3]研究了干热处理对绿豆淀粉和豌豆淀粉化学组成的影响及其与粉丝品质的关系。赵

收稿日期: 2012-05-10

作者简介: 邢燕(1989—), 女, 硕士研究生, 研究方向为食品工程。E-mail: xingyan728113@163.com

*通信作者: 孙庆杰(1970—), 男, 教授, 博士, 研究方向为粮食、油脂与蛋白质工程。E-mail: phdsun@163.com

凯等^[4]研究了不同热处理方式对绿豆淀粉颗粒特性影响。张金玲^[5]研究了绿豆淀粉羧甲基改性及应用性质。

糯米又称江米,是稻米的一个品种,是家常食用的粮食之一。糯米约含蛋白质9%、脂肪1%、碳水化合物75%。糯米淀粉多为支链淀粉,其软黏且低温条件下不易老化^[6]。现代科学研究表明,糯米含有蛋白质、脂肪、糖类、钙、磷、铁、VB₁、VB₂、烟酸及淀粉等,营养丰富,为温补强壮食品,具有补中益气、健脾养胃、止虚汗之功效,对食欲不佳、腹胀腹泻有一定缓解作用。随着生活水平的提高,人们要求休闲食品不仅应美味可口、安全卫生,而且应有一定的营养与保健功能^[7]。目前糯米的研究大部分都是关于糯米食品的制作方法,缺乏对其性质探索。如曹勇等^[7]研究了复配胶糯米牛奶果冻的制作。邓源喜等^[8]研究制作了桂花糯米酒。

高直链淀粉含量的粉皮硬度大、持水能力差、食之干涩,低直链淀粉含量的粉皮吸水能力强、易糊汤、不耐煮,因而合适的直链淀粉含量与支链淀粉含量的比值对于高品质的粉皮是非常有必要的。目前国内尚没有系统的关于绿豆淀粉和大米混合米粉性质的研究。本实验通过研究不同配比的绿豆淀粉和糯米粉复配粉的膨润性质、糊化特性、质构特性和拉伸性质,为绿豆淀粉与糯米粉复配制作粉皮提供一定的理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

绿豆淀粉 山东招远玲珑龙口粉丝一分厂;标准直链淀粉、标准支链淀粉 美国Sigma公司;山东糯米;所用试剂均为分析纯。

1.2 仪器与设备

TA.XT Plus物性仪 英国Stable Micro Systems公司;Newport-4D快速黏度分析仪(RVA) 澳大利亚新港公司;紫外-可见分光光度计 北京普析通用仪器有限公司;101-1型恒温干燥箱 上海精宏实验设备有限公司;LXJ-II B离心机 上海安亭仪器公司;红外水分测定仪 北京赛多利斯有限公司。

1.3 方法

1.3.1 绿豆淀粉和糯米粉复配

将糯米用温水浸泡2~3h后,取出沥干水分,用粉碎机粉碎,在45℃鼓风干燥箱中干燥5~6h。将干燥后的米粉过100目筛,得到糯米粉。按质量比3:1、1:1、1:3的比例将绿豆淀粉与糯米粉进行复配,得到复配粉,待用。

1.3.2 直链淀粉含量的测定^[9]

采用碘显色比色法测定。

1.3.3 可溶性直链淀粉含量的测定^[10]

准确称取100mg淀粉放入100mL锥形瓶中,吸取1mL

无水乙醇润湿,然后加入50mL蒸馏水。盖上瓶塞,于沸水浴中加热20min,不停地摇匀,冷却至室温,用煮沸并冷却的蒸馏水定容至100mL。3000r/min离心10min,去掉不溶性淀粉。吸取上清液中20mL放入50mL具塞分液漏斗中,并加入7mL石油醚(沸程60~80℃),不断地摇动10min,并静置10~15min,去掉石油醚层,重复使用石油醚提取。吸取5mL抽取液加入100mL容量瓶中,加入50mL蒸馏水和2mL碘液,并用煮沸过的蒸馏水定容至刻度,20min后,630nm波长处测定吸光度。空白对照组为准备2mL碘液到100mL容量瓶中并定容,静置20min后在630nm波长处测定吸光度。按照式(1)计算可溶性直链淀粉含量。

$$\text{可溶性直链淀粉含量}/\% = \frac{A_1 m_1}{A_2 m_2} \times \frac{1}{5} \times 100 \quad (1)$$

式中: A_1 为可溶性淀粉吸光度; A_2 为基准直链淀粉吸光度; m_1 为标准直链淀粉质量; m_2 为样品准确质量。

1.3.4 膨润性质的测定^[11-12]

称取0.4g样品加入40mL蒸馏水中,配成1%的淀粉悬浮液,分别在55、65、75、85、95℃条件下加热搅拌30min,以3000r/min离心20min,将上清液105℃蒸干,烘干称质量,得水溶淀粉质量,计算其溶解度;由离心管中膨胀淀粉质量计算其膨润力。按下列公式(2)、(3)分别计算溶解度和膨润力。

$$\text{溶解度}(S)/\% = \frac{m_1}{m_2} \times 100 \quad (2)$$

$$\text{膨润力}/(\text{g/g}) = \frac{m_3}{m_2 \times (100 - S)} \times 100 \quad (3)$$

式中: m_1 为水溶淀粉质量(干基计); m_2 为淀粉样品质量(干基计); m_3 为膨胀淀粉质量。

1.3.5 糊化特性的测定^[13]

用快速黏度测定仪(RVA)测定,先称量样品3g(干基计)至RVA专用铝盒内,再向铝盒内添加蒸馏水至28g,搅拌均匀,将铝盒放入RVA测定仪中,根据提示进行测量。采用升温/降温循环:从室温升高到50℃(0~1min);从50℃升高到95℃(1~4.45min);保持95℃(4.45~7.15min);从95℃冷却到50℃(7.15~11min);保持50℃(11~13min)。测得糊化黏度曲线,黏滞值用RVU(RVA黏度单位)表示。

1.3.6 凝胶质构的测定^[14]

在RVA分析之后,糊液倒入铝盒中,冷却至室温,并在室温条件下放置24h。使用TA.XT Plus物性测试仪(TPA)测定凝胶结构,在5N力作用下以1.0mm/s速率进入凝胶3mm,再回复至初位。TPA测试是通过2次穿冲完成对样品的测试,每次穿冲过程均包含下压和收回两个阶段。

1.3.7 厚度的测定

采用千分尺。在粉皮表面随机选取5个位置，测定其厚度并计算平均值，精确到0.01mm。

1.3.8 粉皮拉伸性的测定^[15]

称取20g(干基计)淀粉加入30mL蒸馏水，倒入直径20cm的圆形容器内，将生淀粉糊轻轻搅拌均匀，封口，再蒸汽蒸10min后室温冷却40min，切成长条(150mm×4mm)，测定拉伸性。

用螺旋测微器在粉皮上均匀取5点，准确测量厚度，取其平均值。

拉伸性测定使用TA.XT Plus物性测试仪测定，其中探头型号A/SPR，探头高度7cm，测前速率1.0mm/s，测试速率3.0mm/s，测后速率10.0mm/s，拉伸距离100mm。

2 结果与分析

2.1 复配粉的理化性质

表1 绿豆淀粉、糯米粉及复配粉的物理化学特性
Table 1 Physico-chemical properties of mung bean starch and glutinous rice flour and their blends

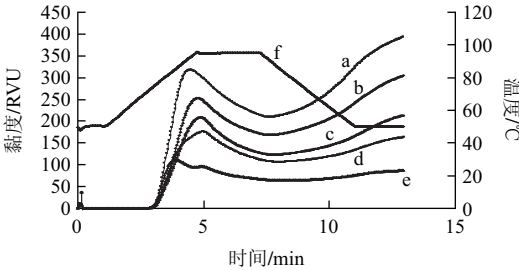
样品	总直链淀粉含量/%	可溶性直链淀粉含量/%	不溶性直链淀粉含量/%	膨润力/(g/g)	溶解度/%
绿豆淀粉	46.52±1.32 ^a	21.30±1.29 ^a	25.22±0.90 ^a	15.21±0.51 ^a	16.63±0.61 ^a
m(绿豆淀粉):m(糯米粉)=3:1	35.79±0.95 ^b	17.96±0.31 ^b	17.82±0.33 ^b	13.72±0.96 ^b	18.17±0.28 ^b
m(绿豆淀粉):m(糯米粉)=1:1	25.48±1.12 ^c	12.26±0.10 ^c	11.26±0.35 ^c	13.65±0.06 ^b	20.74±0.25 ^c
m(绿豆淀粉):m(糯米粉)=1:3	14.66±0.48 ^d	7.03±0.44 ^d	7.67±0.26 ^d	14.17±0.49 ^b	28.76±0.25 ^d
糯米粉	3.62±0.56 ^e	1.24±0.19 ^e	2.65±0.51 ^e	18.07±0.37 ^b	32.74±0.68 ^d

注：膨润力、溶解度均在85℃加热条件下测定；不同小写字母表示显著差异(P<0.05)。表2~4同。

由表1可知，添加糯米粉后，复配粉的总直链淀粉含量、可溶性直链淀粉含量、不溶性直链淀粉含量均比绿豆淀粉显著降低，且随着糯米粉添加量的增加呈现递减趋势。如绿豆淀粉与糯米粉添加量质量比为1:1时，复配粉的总直链淀粉含量、可溶性直链淀粉含量、不溶性直链淀粉含量分别比绿豆淀粉降低了21.04%、9.04%、13.96%；绿豆淀粉与糯米粉添加量质量比为1:3时的复配粉总直链淀粉含量比添加量质量比3:1时降低了21.13%。Lii等^[16]研究发现总直链淀粉含量对淀粉凝胶类产品质构影响显著。直链淀粉含量高的淀粉易于老化，能产生较强的凝胶，使粉皮有较大的抗拉度，烹煮时不易断条；不溶性直链淀粉含量高，可使粉皮煮沸损失小、耐煮性好、不糊汤^[17]。除了纯糯米粉外，随着糯米粉添加量的增加，复配粉在85℃加热条件下膨润力比绿豆淀粉降低，这与文献[18-21]中直链淀粉抑制淀粉颗粒膨胀的结果相反；复配粉的溶解度高于绿豆淀粉，这与Sung等^[22]报道的斑豆淀粉溶解度高于绿豆淀粉是由于其可溶直链淀粉含量高于绿豆淀粉不一致，这

说明还有其他因素影响淀粉颗粒膨胀和溶解，可能是绿豆淀粉独特的支链淀粉结构和脂质含量较低的共同作用影响。

2.2 复配粉的糊化特性



a.绿豆淀粉; b. m(绿豆淀粉):m(糯米粉) = 3:1; c. m(绿豆淀粉):m(糯米粉) = 1:1; d. m(绿豆淀粉):m(糯米粉) = 1:3; e.糯米粉; f.温度。

图1 绿豆淀粉、糯米粉及复配粉的糊化特性

Fig.1 Pasting properties of mung bean starch and glutinous rice flour and their blends

表2 绿豆淀粉、糯米粉及复配粉的RVA特征值
Table 2 RVA value of mung bean starch and glutinous rice flour and their blends

样品	糊化温度/℃	峰值黏度/RVU	低谷黏度/RVU	最终黏度/RVU	衰减值/RVU	回生值/RVU
绿豆淀粉	73.43±0.21 ^a	317.56±4.95 ^a	210.52±6.36 ^a	394.53±3.54 ^a	107.26±1.41 ^a	184.48±9.90 ^a
m(绿豆淀粉):m(糯米粉)=3:1	73.55±0.49 ^a	252.55±2.12 ^b	168.52±3.54 ^b	280.35±4.24 ^b	84.52±1.41 ^b	136.53±2.35 ^b
m(绿豆淀粉):m(糯米粉)=1:1	73.25±0.35 ^a	207.97±2.83 ^c	122.47±4.24 ^c	213.80±1.41 ^c	85.56±1.41 ^b	90.61±5.66 ^c
m(绿豆淀粉):m(糯米粉)=1:3	73.00±0.28 ^a	175.83±3.53 ^d	106.55±3.54 ^d	163.43±2.83 ^d	69.34±7.07 ^c	56.95±6.34 ^d
糯米粉	72.05±0.21 ^b	111.24±2.83 ^e	64.36±3.54 ^e	87.28±3.54 ^d	46.85±6.36 ^d	22.80±7.07 ^e

由图1和表2可以看出，随着糯米粉添加量的增加，复配粉的糊化温度变化不大，峰值黏度、低谷黏度、最终黏度、衰减值、回生值均降低，如当绿豆淀粉与糯米粉添加量质量比为1:3时，复配粉的衰减值和回生值分别比绿豆淀粉降低了35.35%、69.13%。淀粉的早期老化主要是直链淀粉的重结晶，高分子的直链淀粉之间形成交联网络(随后结晶)，回生值反映了淀粉冷糊的稳定性和老化趋势^[23]。综合图1、表1、表2可知，绿豆淀粉直链淀粉含量较高，容易回生形成凝胶，添加糯米粉的复配粉，直链淀粉含量降低，回生值降低，冷糊稳定性提高，形成的凝胶较柔软。冷糊稳定性好的淀粉制成的粉皮不易断条^[17]。糯米粉的糊化曲线与图中其他几条糊化曲线明显不同，衰减值和回生值最低，因为糯米粉主要是支链淀粉。衰减值反映了淀粉的热糊稳定性，随着复配粉中糯米粉含量的提高，复配粉衰减值降低，表明其溶胀后的淀粉颗粒强度大，不易破裂，导致其热糊稳定性好。热糊稳定性好的淀粉制成的粉皮煮沸损失小、口感好^[17]。丁文平等^[24]研究了大米淀粉物化特性与糊化曲线的相关性，本实验结果与其结论一致。

2.3 复配粉的质构特性

表3 绿豆淀粉、糯米粉及复配粉的质构特性
Table 3 Textural properties of mung bean starch and glutinous rice flour and their blends

样品	硬度/g	弹性	内聚性	胶着性	咀嚼性	回复性
绿豆淀粉	546.19±5.37 ^a	0.97±0.00 ^a	0.54±0.01 ^a	395.53±1.46 ^a	287.64±1.43 ^a	0.53±0.01 ^a
m(绿豆淀粉):m(糯米粉)=3:1	169.81±3.28 ^b	0.91±0.00 ^a	0.56±0.01 ^a	88.72±1.65 ^b	80.61±4.03 ^b	0.38±0.00 ^b
m(绿豆淀粉):m(糯米粉)=1:1	17.21±3.76 ^c	0.80±0.00 ^a	0.50±0.00 ^b	8.38±2.03 ^c	6.74±1.40 ^c	0.24±0.01 ^c
m(绿豆淀粉):m(糯米粉)=1:3	—	—	—	—	—	—
糯米粉	—	—	—	—	—	—

注：—，数据未测出。表4同。

由表3可知，随着糯米粉添加量的增加，绿豆淀粉、糯米粉质量比3:1和绿豆淀粉、糯米粉质量比1:1两个样品的硬度、胶着性、咀嚼性均比绿豆淀粉显著降低，如绿豆淀粉、糯米粉质量比1:1的样品硬度比绿豆淀粉降低了96.85%；糯米粉和绿豆淀粉、糯米粉质量比1:3两个样品无法形成具有韧性的凝胶，凝胶物性指标均测不出，可能是直链淀粉含量过低的原因。绿豆淀粉含有较高的直链淀粉，绿豆淀粉糊化过程中，直链淀粉之间通过氢键相互交联缠绕的机会比复配粉和糯米粉多，因此绿豆淀粉形成的凝胶强度(即硬度)大于复配粉和糯米粉^[25]。直链淀粉含量高的淀粉在低温条件下更容易回生，形成强硬的凝胶，使粉皮有较大的抗拉度，烹煮时不易断条^[17]。

2.4 复配粉的拉伸性

表4 绿豆淀粉、糯米粉及复配粉的拉伸性
Table 4 Tensile properties of mung bean starch and glutinous rice flour and their blends

样品	拉伸强度/kPa	断裂伸长率/%	表观弹性模量/kPa	断裂功(N·cm)
绿豆淀粉	68.35±3.73 ^a	47.67±2.03 ^a	143.38±5.17 ^a	2.04±0.23 ^a
m(绿豆淀粉):m(糯米粉)=3:1	33.12±3.52 ^b	23.80±1.67 ^b	140.23±3.63 ^b	0.47±0.06 ^b
m(绿豆淀粉):m(糯米粉)=1:1	15.03±1.15 ^c	13.73±1.99 ^c	110.62±3.21 ^c	0.12±0.04 ^c
m(绿豆淀粉):m(糯米粉)=1:3	—	—	—	—
糯米粉	—	—	—	—

拉伸强度、断裂伸长率、表观弹性模量和断裂功是描述淀粉凝胶韧性和化学结构关系的指标。由表4可知，用添加糯米粉的复配粉制作的粉皮拉伸性变化显著，粉皮的拉伸强度从绿豆淀粉的68.35kPa降低到15.03kPa，其中糯米粉和绿豆淀粉、糯米粉质量比1:3两个样品的拉伸性无法测出。由于在粉皮回生的初期，直链淀粉在氢键的作用下，可形成具有一定韧性的淀粉凝胶网络结构^[26]，此网络结构提供了粉皮的强度，且随着直链淀粉含量越高，形成的氢键越多，其网络结构的强度越高^[27]，则导致了粉皮不易拉断。粉皮的断裂功从绿豆淀粉的2.04N·cm降低到0.12N·cm；复配粉粉皮的表观弹性模量和断裂伸长率也降低，说明复配粉制作的粉皮在一定拉伸应力条件下抵抗拉伸形变的能力降低。

3 结论

添加糯米粉后，复配粉的总直链淀粉含量、可溶性直链淀粉含量、不溶性直链淀粉含量均比绿豆淀粉显著降低，且随着糯米粉添加量的增加各含量呈现递减趋势。添加一定比例的糯米粉后，复配粉的峰值黏度、低谷黏度、最终黏度、衰减值、回生值均降低。复配粉胶着性、咀嚼性均比绿豆淀粉显著降低，回生值降低，因为复配粉中直链淀粉含量降低，直链淀粉之间通过氢键相互交联缠绕的机会减小。添加糯米粉的复配粉制作的粉皮拉伸强度显著降低，表观弹性模量和断裂伸长率也降低，说明复配粉制作的粉皮在一定拉伸应力条件下抵抗拉伸形变的能力降低。高直链淀粉含量的粉皮硬度大、持水能力差、食之干涩，低直链淀粉含量的粉皮吸水能力强、易糊汤、不耐煮，因而合适的直链淀粉含量与支链淀粉含量的比值对于高品质的粉皮是非常有必要的。综合实验结果，在所有混合体系中，当绿豆淀粉、糯米粉质量比为1:1时，其制得的粉皮的质构性质最好。这一结果可以为绿豆淀粉与糯米粉复配制作粉皮提供理论依据，扩大绿豆淀粉和糯米粉的应用范围。

参考文献：

- [1] 田海娟. 绿豆淀粉开发及其应用前景[J]. 吉林工商学院学报, 2011, 27(5): 84-86.
- [2] 洪火明. 绿豆淀粉胶体凝胶特性的研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2006.
- [3] 王德培, 潘慧生. 干热处理对绿豆淀粉和豌豆淀粉化学组成的影响及其与粉丝品质的关系[J]. 浙江农业大学学报, 1997, 23(增刊1): 49-53.
- [4] 赵凯, 张守文, 方桂珍, 等. 不同热处理方式对绿豆淀粉颗粒特性影响研究[J]. 中国粮油学报, 2007, 22(6): 71-81.
- [5] 张金玲. 绿豆淀粉羧甲基改性及应用性质研究[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2006.
- [6] 贝惠玲, 余小林, 杜淑霞, 等. 糯米粉酶解工艺优化及在低脂冰淇淋中的应用[J]. 食品工业科技, 2012(2): 214-217.
- [7] 曹勇, 王影, 陈晓平, 等. 复配胶糯米牛奶果冻的研制[J]. 食品研究与开发, 2012, 33(1): 98-102.
- [8] 邓源喜, 马龙, 许晖, 等. 桂花糯米酒的研制[J]. 广东农业科学, 2011(4): 94-95.
- [9] GB/T 1563—2008 大米直链淀粉含量的测定[S]. 2008.
- [10] SHANTHY A P, SOWBHAGYA C M, BHATTACHARYA K R. Simplified determination of water-insoluble amylose content of rice[J]. Starch/Stärke, 1980, 32(12): 409-411.
- [11] CAMERON D K, WANG Y J. A better understanding of factors that affect the hardness and stickiness of long-grain rice[J]. Cereal Chemistry, 2005, 82(2): 113-119.
- [12] SCHOCH T J. Swelling power and solubility of granular starches[J]. Methods in Carbohydrate Chemistry, 1964, 4: 106-108.
- [13] 林作楫, 王光瑞, 赖菁茹, 等. 我国小麦品质概况和优质品种评选[J]. 麦类文摘, 1996, 16(5): 9-10.
- [14] HOOVER R, VASANTHAN T. Effect of heat-moisture treatment on the structure and physicochemical properties of cereal, legume, and

- tuber starches[J]. Carbohydrate Research, 1994, 252(15): 33-53.
- [15] PASCHOALICK T M, GARCIA F T, SOBRAL P J A, et al. Characterization of some functional properties of edible films based on muscle proteins of Nile tilapia[J]. Food Hydrocolloids, 2003, 17(4): 419-427.
- [16] LII C Y I, CHANG S M. Characterization of red bean(*Phaseolus radiatus* var. *aurea*) starch and its noodle quality[J]. Journal of Food Science, 1981, 46(1): 78-81.
- [17] 赵力超, 刘观福, 游曼洁, 等. 淀粉性质与粉皮质量的关系研究[J]. 食品工业科技, 2009(12): 90-92.
- [18] WANG L, SEIB P A. Australian salt-noodle flours and their starches compared to US wheat flours and their starches[J]. Cereal Chemistry, 1996, 73(2): 167-175.
- [19] KAUR M, SANDHU K S, LIM S T. Microstructure, physicochemical properties and *in vitro* digestibility of starches from different Indian Lentil (*Lens culinaris*) cultivars[J]. Carbohydrate Polymers, 2010, 79(2): 349-355.
- [20] TESTER R F, MORRISON W R. Swelling and gelatinization of cereal starches. I. Effects of amylopectin, amylose and lipids[J]. Cereal Chemistry, 1990, 67(6): 551-557.
- [21] MORRISON W R. Starch lipids and how they relate to starch granules structure and functionality[J]. Cereal Foods World, 1995, 40(6): 437-438; 440-441; 443-446.
- [22] SUNG W C, STONE M. Characterization of legume starches and their noodle quality[J]. Journal of Marine Science and Technology, 2004, 12(1): 25-32.
- [23] 孟祥艳. 淀粉老化机理及影响因素的研究[J]. 食品工程, 2007(2): 60-63.
- [24] 丁文平, 王月慧, 丁霄霖. 大米淀粉胶凝和回生机理的研究[J]. 粮食与饲料工业, 2003(3): 11-13.
- [25] 张兆丽, 熊柳, 赵月亮, 等. 直链淀粉与糊化特性对米粉凝胶品质影响的研究[J]. 青岛农业大学学报: 自然科学版, 2011, 28(1): 60-64.
- [26] ELIASSON A C. Starch: physicochemical and functional aspects[J]. Carbohydrate in Food, 1996, 56(4): 100-103.
- [27] 何曼君, 陈维孝, 董西侠. 高分子物理学[M]. 修订版. 上海: 复旦大学出版社, 1998: 312.