

doi:10.3969/j.issn.2095-6002.2020.04.001

文章编号:2095-6002(2020)04-0001-09

引用格式:石彦国,贺殷媛,陈凤莲,等.大米蛋白与蒸煮品质相关性研究进展[J].食品科学技术学报,2020,38(4):1-9.



SHI Yanguo, HE Yinyuan, CHEN Fenglian, et al. Research progress on relationship between rice protein and cooking quality [J]. Journal of Food Science and Technology, 2020, 38(4): 1-9.

# 大米蛋白与蒸煮品质相关性研究进展

石彦国, 贺殷媛, 陈凤莲\*, 管哲贤, 孙贵尧, 郑梦彤, 张红玉

(哈尔滨商业大学食品工程学院/黑龙江省普通高等学校食品科学与工程重点实验室/

黑龙江省谷物食品与资源综合加工重点实验室, 黑龙江 哈尔滨 150076)

**摘要:**大米是中国人的最重要主食之一,其主要食用方式是蒸煮鲜食,因此研究其组分与蒸煮品质的相关性具有重要理论意义和实用价值。蛋白质是水稻种子胚乳中仅次于淀粉的第二大组分,是与大米食用品质相关的指标之一。大米蛋白的主成分是谷蛋白,大约占总蛋白的65%~80%,其余部分由清蛋白、醇溶蛋白、球蛋白构成。大米蛋白是优质的植物蛋白之一,和大豆蛋白及小麦蛋白相比较,大米蛋白的结构与性质的研究还不够深入系统,大米蛋白质与其食用品质的相关性研究更显不足。对大米蛋白组成、结构及其与蒸煮食味品质的相关性研究进展及成果进行了归纳分析,以期发现研究的不足和学术趋向。

**关键词:**大米蛋白;谷蛋白;醇溶蛋白;蒸煮品质;结构测定方法

**中图分类号:**TS210.1

**文献标志码:**A

我国稻谷资源丰富,其以高产、稳产、适应性强、经济价值高等优势,在国民粮食安全保障中占据重要的地位。以稻谷磨制的大米在人类能量与蛋白质供给中发挥着不可替代的作用。近年来关于大米中淀粉含量及支链淀粉直链淀粉构成与大米蒸煮品质的相关性方面已有一些研究及成果报道,如 Reddy 等<sup>[1]</sup>研究发现大米中支链淀粉中的长 B 链和其外链的比例随着不溶性直链淀粉含量的增加而升高,支链中中长 B 链可能与其他支链互相缠结互相作用,形成更为致密的结晶区,进而限制蒸煮时水分迁移和膨胀,米饭的质构发生变化,变硬。近期,我国学者 Li 等<sup>[2]</sup>研究表明,大米中直链淀粉分子量较小、直链淀粉长链比例较高的水稻品种,经蒸煮后质地越硬,与直链淀粉含量无关。研究表明,大米蛋白氨

基酸配比合理,具有高营养价值和低过敏性,是谷物蛋白中营养价值较高的一种,同时不同的大米蛋白含量,蛋白组成也会对其蒸煮品质产生不同的影响,包括大米的黏度分析曲线(rapid viscosity analyzer, RVA)特性及米饭的光滑性、黏性、硬度等。本文就大米蛋白组成、结构及其与蒸煮食味品质的相关性研究进展及成果进行了归纳分析,对测定蛋白质结构的方法进行比对分析,希望对大米蛋白的研究提供参考。

## 1 大米蛋白的组成

大米蛋白是公认优质的植物蛋白之一,其氨基酸组成平衡合理,生物价(biological value, BV)、蛋白价(protein value, PV)与其他谷物蛋白质相比较

收稿日期:2020-03-04

基金项目:黑龙江省科技重大专项资助项目(SC2019ZX08B02);国家自然科学基金面上项目(31871747);黑龙江省普通高等学校青年创新人才培养计划项目(UNPYSCT-2017199);哈尔滨市科技创新人才研究专项基金项目(青年后备人才创业类)(2017RAQXJ030);哈尔滨商业大学校级科研项目(18XN081)。

第一作者:石彦国,男,教授,主要从事谷物与大豆化学及加工原理方面的研究。

\*通信作者:陈凤莲,女,副教授,博士,主要从事谷物深加工及品质控制方面的研究。

高。Osborne 将大米蛋白依据溶解性分类为:清蛋白(水溶)、球蛋白(盐溶)、谷蛋白(酸、碱溶)和醇溶蛋白(醇溶)<sup>[3]</sup>。

大米中蛋白质含量受品种、产地、生长条件等因素影响而不同。稻米中蛋白质分布不均匀,一般从米粒的外层到米芯蛋白质含量呈逐渐降低的趋势,因此加工精度不同,大米的蛋白质含量也会不同。Cagampang 等<sup>[4]</sup>通过3个品种稻谷磨制的精米、米粉、米糠进行了研究,证实了蛋白质含量从大米胚乳内部逐渐向糊粉层升高。许多研究也通过不同品种稻米原料和磨制方法验证了 Cagampang 的结论,并证实大米中4种蛋白质组分也均是向胚乳内部逐渐减少,但不同品种的稻米向内逐步减少的趋势有一定的差别<sup>[5-8]</sup>。Ohdaira 等<sup>[8]</sup>发现,大米腹部的蛋白质含量比背部的高。朴钟泽等<sup>[9]</sup>发现,在糙米各部位中胚内蛋白质含量最高。Han 等<sup>[10]</sup>研究表明,米糠蛋白的营养质量高于水稻胚乳蛋白。

在稻米胚乳中蛋白质聚集成两种颗粒状的蛋白体形态存在,即 I 型(protein bodies- I, PB- I)蛋白体和 II 型(protein bodies- II, PB- II)蛋白体,如图 1。PB- I 呈球形,具有片层状结构,蛋白体的直径约为 0.5~2 μm,主要组分为醇溶蛋白;PB- II 呈不规则形状,具有晶体结构,直径约 4 μm,主要组分为谷蛋白和球蛋白<sup>[11]</sup>。

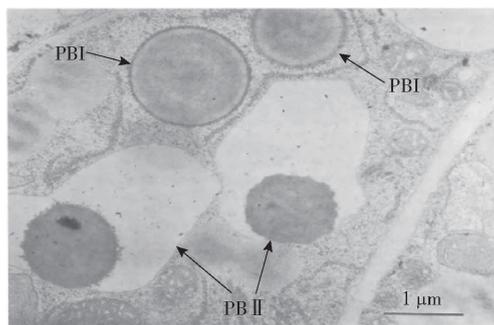


图1 PB- I 和 PB- II 微观结构

Fig. 1 Microstructure of PB- I and PB- II

### 1.1 谷蛋白

谷蛋白不溶于水,但易溶于稀碱或稀酸中,其分子量比较高,且不均一。谷蛋白是由多肽链彼此通过二硫键链接而成的大分子蛋白质,其分子量在 19~90 kDa,更高可达上百万。谷蛋白的3个亚基的分子量分别为 38、25、16 kDa,构成比例为1:1:1。也有研究认为2个较大的多肽链组成了谷蛋白,而分子量较小的多肽(16 kDa)则是醇溶蛋白的构成

肽。谷蛋白中,广泛存在于分子间和分子内的二硫键及分子内的巯基,对大米蛋白的工艺特性具有极重要的影响。据报道,谷蛋白首先作为多肽合成,分子量在 51~57 kDa;谷蛋白前体被酶解以产生蛋白质的 α 和 β 亚基。随后谷蛋白亚基通过二硫键聚合,形成大分子复合物,所以天然米谷蛋白缺乏功能特性的原因可能是形成了高分子量不易溶于水的结构<sup>[12]</sup>,这也限制了谷蛋白的应用。

### 1.2 球蛋白

球蛋白,易溶于盐溶液,分子量 16~130 kDa,是由单肽链构成的蛋白质。球蛋白中碱性氨基酸含量最高,达到 15% 以上,谷氨酸和精氨酸是其主要的氨基酸,含硫氨基酸含量也较高,并且因为其带电荷球蛋白易被盐溶液溶解<sup>[12]</sup>。

### 1.3 清蛋白

清蛋白,分子量很小,只有 10~200 kDa,清蛋白分子内存在大量的可电离基团且缺少二硫键交联作用,因此易溶于水。当清蛋白被水提取时,球蛋白容易被污染<sup>[13]</sup>。Hamada<sup>[14]</sup>通过高效液相凝胶色谱法(size exclusion-high performance liquid chromatography, SE-HPLC)测定米糠清蛋白多肽的分子量为 10~100 kDa。

### 1.4 醇溶蛋白

醇溶蛋白,相对分子量比较小,它的亚基分子量大多为 10、13、15、16 kDa。醇溶蛋白含有大量的疏水性氨基酸残基,并形成集聚区域,因此即使其 N 末端和 C 末端有亲水性基团,仍会表现出非常强的疏水性,而不溶于水,但会溶解到体积百分比为 70% 的乙醇中<sup>[11]</sup>。

大米蛋白质中的4种蛋白有一定相关性,但其含量、聚集形态等均有一定的差异性,见表 1。

## 2 大米蛋白含量与蒸煮品质的关系

大米蛋白不仅是大米的重要营养成分,而且影响着大米的蒸煮和食味品质。大米的适口性(硬度、黏性等)是衡量大米食用品质的主要指标之一,客观反映了大米的质地和组织结构<sup>[16]</sup>。诸多研究表明,不同品种大米的蛋白质及其组分含量有一定的差异,这种差异性对稻米的食味和营养品质起着重要的作用<sup>[17-18]</sup>。国内外的部分学者通过添加二硫苏糖醇(dithiothreitol, DDT)以此打开蛋白质肽链之间的二硫键,来研究大米中蛋白质对蒸煮食味品

表1 大米蛋白各组分的性质

Tab. 1 Properties of rice protein components

组分	溶解性	聚集形态	第一个限制氨基酸 (赖氨酸含量)	蛋白分子量/ kDa	占总蛋白的质量 分数/% <sup>[15]</sup>	与总蛋白含量 相关性 <sup>[15]</sup>
谷蛋白	碱/酸溶性	主要为Ⅱ型(PB-Ⅱ)	较高	19~90	80.00	极显著正相关
球蛋白	盐溶性	主要为Ⅱ型(PB-Ⅱ)	较低	16~130	2.76	显著正相关
清蛋白	水溶性		最高	10~200	8.17	极显著正相关
醇溶蛋白	醇溶性	主要为Ⅰ型(PB-Ⅰ)	最低	10~16	10.58	极显著正相关

质的影响,发现米粉的RVA曲线中峰值黏度降低<sup>[19]</sup>,其蒸煮后的米饭大都变软变黏<sup>[20]</sup>,从而推断由二硫键连接形成的蛋白质网络结构或蛋白质水合作用是影响米饭质构的因素之一,且蛋白质之间除了二硫键还有非共价键的作用<sup>[21]</sup>。因此可以得出蛋白质对大米的蒸煮品质有一定的影响作用,但目前其影响机制认识尚不一致,还需进一步研究。

### 2.1 负相关性关系

研究学者通过控制碾米度和施氮量从而调节蛋白质含量来研究其与蒸煮品质的关系。Park等<sup>[22]</sup>通过分析同一品种的粳米表明,随着碾米程度的加强,米饭的内聚性和黏着性升高,硬度和咀嚼性降低;可能由于碾磨使蛋白质含量减少,削弱了蛋白质与直链淀粉的相互作用,促进了淀粉分子内部氢键和凝胶网络的形成<sup>[23]</sup>。Wakamatsu等<sup>[24]</sup>、Champagne等<sup>[25]</sup>和Singh等<sup>[26]</sup>通过增加施氮量来提高稻米蛋白质含量,研究结果表明随着蛋白质含量的增加,蒸煮米饭的硬度逐渐增加,而黏性则减小;蛋白质含量过低或过高会降低食味值,蛋白质含量在6.0%~7.0%之间被认为是最理想的。并且蛋白质含量增加及直链淀粉含量降低可能是由于施氮所造成的,因此导致了大米理化性质和质构等特性的改变<sup>[26]</sup>。Chávez等<sup>[27]</sup>和王鹏跃等<sup>[28]</sup>通过研究不同品种的稻米性质,结果发现蛋白质含量影响米饭物理特性,与硬度呈正相关,蛋白质含量的改变可能导致大米的物理化学特征以及组织特征的变化。并且在丁得亮等<sup>[29]</sup>研究结论中发现,稻米中蛋白质的含量和食味值呈负相关的关系。综上所述,大米蛋白的含量高,相对来说淀粉含量就偏低,吸水速度慢且吸水量小,不能充分糊化,从而导致大米的黏度低、硬度大,影响大米的蒸煮品质。

### 2.2 非相关性关系

有一些研究者发现,稻米蛋白的含量和蒸煮品质之间的关系不可以用单一正负相关进行表述。也

有学者认为,蒸煮品质的差异不仅因水稻品种的不同而异,也与测定稻米品质的方法和仪器有一定关系<sup>[30]</sup>。国内外的研究表明<sup>[31-32]</sup>稻米中蛋白质含量与食味值、淀粉糊化特性无必然联系,但是品种间略有差别,这主要是由遗传因素决定的。钱春荣等<sup>[33]</sup>的研究发现,在一定蛋白质含量的范围内,降低含量是可以提高稻米的蒸煮品质,但蛋白质含量出现过低或过高的情况,都会降低其食味品质,从而表明蛋白质含量和蒸煮品质之间不仅仅是简单的线性关系,只有蛋白质与直链淀粉的相互平衡,才会形成优良品质。Sun等<sup>[34]</sup>认为,大米中蛋白质含量高不一定会降低其蒸煮品质,高蛋白大米在蒸煮过程中需要更多的水来充分膨胀米粒,而蛋白质含量高的大米在温度变化时,其硬度和黏稠度比蛋白质含量低的大米更稳定。因此,稻米蛋白质含量和蒸煮食味品质之间存在的关系并没有明确的结论,也需要进一步研究。

## 3 大米蛋白组分对蒸煮品质的影响

大米蛋白的含量差异并不能全面解释大米在蒸煮过程中产生的差异,大米蛋白组分有不同溶解度特性及结构,这也可能是出现蒸煮品质差异的原因。到目前为止,对大米蛋白质含量与蒸煮品质关系的研究较多<sup>[35-36]</sup>,但蛋白组成、结构对其影响的深入研究较少。Singh等<sup>[26]</sup>认为粳米糊化特性不同的原因之一是蛋白质组分和含量的差异。Baxter等<sup>[37-38]</sup>通过把分离提取的各蛋白组分加入大米淀粉中和从米粉中去除各蛋白组分的研究比较,发现不同组分对米粉和淀粉RVA黏滞性及质构特性的影响不尽一致,并认为通过改变蛋白组分比例也许能控制大米淀粉和米粉的糊化及质构特性,以期获得理想的感官品质。

### 3.1 谷蛋白的影响

谷蛋白是大米蛋白的主要组成,对大米的蒸煮

品质有重要影响。徐国庆等<sup>[15]</sup>通过研究45种水稻蛋白组分表明,谷蛋白的含量与碾米、外观和蒸煮品质密切相关,而清蛋白和球蛋白的含量对稻米品质影响不大。吴洪恺等<sup>[39]</sup>分析前人的研究结果认为:稻米食味品质受到谷蛋白含量的影响比醇溶蛋白和总蛋白质含量更大,并且总蛋白质含量对蒸煮食味品质的影响因蛋白组成含量的改变而改变,这可能就是以前的学者仅分析总蛋白质含量和食味品质关系所得结论不一致的原因之一。卢薇等<sup>[40]</sup>人研究表明,大米谷蛋白的添加(0~20%)会逐渐降低大米淀粉的持水能力,延迟其水化过程,淀粉的RVA曲线、糊化焓值、峰值黏度、崩解值和回生值随谷蛋白添加量的增加而逐渐降低,从而影响蒸煮食味品质。Baxter等<sup>[37]</sup>通过添加谷蛋白到大米淀粉中表明,谷蛋白的添加使RVA的糊化温度升高,但黏度参数降低,谷蛋白的添加量与淀粉凝胶的硬度与黏附性也呈正相关;淀粉中添加谷蛋白会减慢吸水速率,谷蛋白的存在似乎限制水分子在糊化过程中进入淀粉颗粒的作用,这是由于谷蛋白和水可以多种方式形成氢键。

### 3.2 其他蛋白组分的影响

易翠平<sup>[41]</sup>认为籼米的糊化特性,除蛋白质含量外,醇溶蛋白、淀粉结合粒蛋白等组分以及蛋白质间的二硫键可能是影响其糊化特性的重要因素。王继馨等<sup>[42]</sup>研究表明,PB-I蛋白体的醇溶蛋白亚基含量越低,PB-II蛋白质体谷蛋白亚基含量越高,食味品质越好。Furukawa等<sup>[43]</sup>的研究表明,分别加入外源的醇溶蛋白和谷蛋白都会导致米饭硬度增加,黏性下降,整体食味下降,而同时添加以上两种蛋白则会使米饭的硬度接近对照,黏性增加。Baxter等<sup>[44]</sup>的研究结果表明,在淀粉中添加外源醇溶蛋白使RVA崩解值增加,降低了淀粉胶的硬度、黏度和胶黏性;这表明醇溶蛋白的添加减弱了样品的三维网络。Baxter等<sup>[38]</sup>又研究了清蛋白、球蛋白对米粉的糊化和质构特性,去除清蛋白的米粉会使RVA曲线的所有参数都下降,同时清蛋白与凝胶硬度呈负相关,与黏度呈正相关;表明水溶性清蛋白通过氢键与溶解的直链淀粉和展开的支链淀粉侧链在凝胶中作用,虽然含量相对较低,但是可能会显著影响米粉的糊化和质构性质。而球蛋白的存在使所有糊化质构参数降低,并且与蛋白质添加量相关;初始吸水速率的增加,表明加入该蛋白促进了淀粉颗粒吸水。张春红等<sup>[45]</sup>研究发现清蛋白的含量对粳稻品种的口感

影响较大。石吕等<sup>[46]</sup>通过试验分析了不同蛋白组分与稻米食用品质的关系。籼稻和粳稻中球蛋白、醇溶蛋白和谷蛋白呈极显著负相关,与清蛋白组分呈显著负相关。Wang等<sup>[47]</sup>研究表明清蛋白对米饭物性特征有负作用,而球蛋白则相反,醇溶蛋白与米饭物性特征负相关性比谷蛋白高,进而影响感官品质,但谷蛋白含量最高的优势决定了其在蛋白组分中起到主要作用。

### 3.3 淀粉与蛋白质相互作用的影响

大米蛋白作为一种有机体,不能单独存在,而与其他成分相互作用。淀粉和蛋白质是大米的两个主要组成部分,两者之间的相互作用可能是影响米饭品质的重要原因。Saleh等<sup>[48]</sup>研究发现,在蛋白质与淀粉互作的模式之中,蛋白质结构及特性的变化是造成蒸煮米饭的结构特征变化的最重要因素。国内学者同样通过实验得出推论,蛋白质对食味品质的影响不仅仅是由于蛋白质含量的影响,也可能归因于对大米吸水性的改变,蛋白质网络本身或者蛋白质和淀粉之间的相互作用等<sup>[49]</sup>。吴伟等<sup>[50]</sup>试验结果表明,陈化导致大米蛋白形成二硫键以及疏水相互作用,通过抑制大米淀粉颗粒的糊化性质从而降低稻米的蒸煮食用品质。因此,蒸煮大米的过程中,存在于淀粉颗粒旁的蛋白质会进行水分的吸收,从而降低提供给淀粉水化的水量,形成蛋白网络后,对淀粉颗粒的吸收造成一定的影响。当其中的二硫键被破坏,造成蛋白质结构毁坏,将会影响蛋白质之间、蛋白质与淀粉、淀粉粒之间的相互作用,使之减弱,这可能会造成大米的硬度降低、黏度反而增加。

## 4 大米蛋白结构的测定方法

大米蛋白的功能是建立在其自身结构和与其他成分相互作用的基础上的。因此,对大米蛋白结构及其各组成相互作用一直是大米研究的重要方向。目前主要集中在对谷蛋白的结构研究,其中在碱溶液下以及陈化过程中大米谷蛋白结构的变化是研究的主要部分。近年来,傅里叶红外光谱法(Fourier transform infrared spectrometer, FTIR)、圆二色谱法(circular dichroism, CD)、拉曼光谱法(laser raman spectroscopy, LR)、核磁共振(nuclear magnetic resonance spectroscopy, NMR)等技术得以应用,其快速、无损、简便的检测方法,常用于蛋白质结构研究。表2列出已应用于大米蛋白结构测定方法。

表2 大米蛋白结构测定方法

Tab.2 Determination method of rice protein structure

测定方法	测定原理
傅立叶红外光谱法(FITR)	特定波长的红外光照到样品上被反射或吸收,并进行测量。大米蛋白的不同结构区域会产生不同的特征吸收带,这些信息可以被解析来确定蛋白质的二级结构 <sup>[51-55]</sup>
圆二色光谱法(CD)	根据所测得蛋白质或多肽的远紫外CD谱,能反映出蛋白质或多肽链二级结构的信息,从而揭示大米蛋白二级结构 <sup>[56-57]</sup>
拉曼光谱法(LR)	通过所获得的拉曼光谱与数据库中的拉曼光谱进行比对,分析蛋白质拉曼谱图的峰强信息以及特征峰位置,可以得到大米蛋白分子的结构 <sup>[58-63]</sup>
核磁共振法(NMR)	通过利用原子核在磁场中的能量变化来获得关于原子核的信息,原子核的核磁共振信号的化学位移,即共振信号的频率位置与原子核所处的微观结构环境有关,可以提供大米蛋白的结构信息 <sup>[64-65]</sup>

除表2中所列方法外,还有其他蛋白质测定方法,如X射线晶体衍射技术、生物质谱法等。通过以上各种测定蛋白质结构的方法对比,可以看出,圆二色光谱法,拉曼光谱法和核磁共振技术与其他方法相比更加实用,生物质谱技术比较先进,但是仍然需要进一步改善蛋白质成分水平的数据分析,X射线晶体衍射过程太复杂,还需要结合其他方法。因此,在今后确定蛋白质结构的过程中,应根据蛋白质的情况选择测定方法,并优化组合各种方法,使之互补。

## 5 结论与展望

稻米是我国重要的粮食作物,人民对米饭的要求在兼顾营养的同时更注重米质和口感。对大米蛋白结构以及其蒸煮品质的研究可以为稻米育种、品质的改良、深加工以及品质评定提供有力的理论基础。通过国内外学者的研究报道,大米蛋白和蒸煮食味品质之间存在的关系并没有明确的结论,还需要进一步研究,可能与直链淀粉之间的相互作用有一定关系;大米蛋白组分对蒸煮食味品质有着不同的影响,尚需进一步研究分析;同时,研究表明大米蛋白与淀粉的相互作用也是影响蒸煮品质的重要原因,二者之间形成的网状结构会造成食味品质降低。

整体看来,大米蛋白质的研究现在仍然存在以下问题:大米蛋白含量及组分与蒸煮食味品质间的关系研究不够系统;淀粉与蛋白以及蛋白质之间的互相影响和结构检测及其对稻米蒸煮品质的影响有待进一步深入研究,今后的研究可能趋向以下4个方面。

1)原料处理。大米蛋白各组分性质不同,提取分离时应选取合适方法,为避免污染及破坏结构,针对各种蛋白组分找出其最佳提取方法将成为关注的热点之一。

2)深入研究大米蛋白组分互作机理。大米蛋白质由四种蛋白组成,其中不仅存在蛋白间的互相作用,同时也存在着蛋白组分和淀粉间的相互作用,这些作用对米饭的蒸煮品质都有一定的影响,可以考虑分离提取各蛋白组分,通过各组分和淀粉重组模拟大米的组成或从米粉中去除一种或几种蛋白成分,来研究其蛋白组分变化对米饭质构的影响以及在蒸煮过程中蛋白与淀粉的互作机理。

3)深入研究大米蛋白二级结构,三级结构变化对蒸煮品质的影响。蛋白质的结构变化一直都是学者研究的重点,而结构的变化与蒸煮食味品质之间的关系研究尚不多见,是未来进行深入研究应该关注的热点之一。

4)优化各种检测方法的组合。蛋白质结构及其变化的复杂性,单一检测手段很难满足深入研究的需要,根据蛋白质的性质探讨差异化的检测方法,及两种以上方法的组合、联用,或将是研究发展的一个趋向。

### 参考文献:

- [1] REDDY K R, ALI S Z, BHATTACHARYA K R. The fine structure of rice starch amylopectin and its relation to cooked rice texture[J]. Carbohydrate Polymers, 1993, 22(4):26275.
- [2] LI H Y, PRAKASH S, NICHOLSON T M, et al. The importance of amylose and amylopectin fine structure for textural properties of cooked rice grains[J]. Food Chemistry, 2016, 196:702-711.
- [3] OSBORNE T. The vegetable protein[M]. New York: Longmans Green & Co, 1924:154-156.
- [4] CAGAMPANG G B, CRUZ L J, ESPIRITU S G, et al. Studies on the extraction and composition of rice proteins[J]. Cereal Chemistry, 1966, 43(2):145-155.

- [5] FURUKAWA S, MIZUMA T, KIYOKAWA Y, et al. Distribution of storage proteins in low-glutelin rice seed determined using a fluorescent antibody[J]. *Journal of Bioscience & Bioengineering*, 2003, 96(5): 467-473.
- [6] LAMBERTS L, BIE E D, VANDEPUTTE G E, et al. Effect of milling on colour and nutritional properties of rice[J]. *Food Chemistry*, 2007, 100(4): 1496-1503.
- [7] 周丽慧, 刘巧泉, 顾铭鸿. 不同粒型稻米碾磨特性及蛋白质分布的比较[J]. *作物学报*, 2009, 35(2): 317-323.
- ZHOU L H, LIU Q Q, GU M H. Milling characteristics and distribution of seed storage proteins in rice with various grain shapes[J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2009, 35(2): 317-323.
- [8] OHDAIRA Y, MASUMURA T, NAKATSUKA N, et al. Analysis of storage protein distribution in rice grain of seed-protein mutant cultivars by immunofluorescence microscopy[J]. *Plant Production Science*, 2011, 14(3): 219-228.
- [9] 朴钟泽, 韩龙植, 高熙宗. 水稻胚大小对蛋白质含量的影响[J]. *上海农业学报*, 2002, 18(s1): 9-13.
- PIAO Z Z, HAN L Z, KOH H. Effect of embryo size on protein content in rice[J]. *Acta Agriculturae Shanghai*, 2002, 18(s1): 9-13.
- [10] HAN S W, CHEE K M, CHO S J. Nutritional quality of rice bran protein in comparison to animal and vegetable protein[J]. *Food Chemistry*, 2015, 172(4): 766-769.
- [11] SHEWRY P R, CASEY R. Seed proteins[M]. Boston: Kluwer Academic Publishers, 1999: 401-420.
- [12] AMAGLIANI L O, REGAN J, KELLY A L, et al. The composition, extraction, functionality and applications of rice proteins: a review[J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2017, 64(6): 1-12.
- [13] VILLAREAL R M, JULIANO B O. Properties of albumins of milled rice[J]. *Phytochemistry*, 1981, 20(8): 1785-1789.
- [14] HAMADA J S. Characterization of protein fractions of rice bran to devise effective methods of protein solubilization[J]. *Cereal Chemistry*, 1997, 74(5): 662-668.
- [15] 徐国庆, 童浩, 胡晋豪, 等. 稻米蛋白组份含量的品种差异及其与米质的关系[J]. *湖南农业大学学报(自然科学版)*, 2015, 41(1): 7-11.
- XU G Q, TONG H, HU J H, et al. Cultivar difference of rice protein components and their relationship with rice quality[J]. *Journal of Hunan Agricultural University (Natural Sciences Edition)*, 2015, 41(1): 7-11.
- [16] 王玉军, 程建军, 韩俊杰, 等. 利用米饭质构特性评价大米食用品质的方法研究[J]. *黑龙江粮食*, 2013(11): 48-52.
- WANG Y J, CHENG J J, HAN J J, et al. Study on the method of rice quality evaluation by texture characteristics[J]. *Heilongjiang Grain*, 2013(11): 48-52.
- [17] LIU C H, ZHENG X Z, DING N Y. Principal component analysis of cooked rice texture qualities[J]. *Journal of Northeast Agricultural University*, 2008, 15(1): 70-74.
- [18] 刘立军, 常二华, 熊溢伟, 等. 水稻根系分泌物有机酸、多胺与稻米蒸煮品质及蛋白质组分的关系[J]. *扬州大学学报(农业与生命科学版)*, 2014, 35(3): 48-53.
- LIU L J, CHANG E H, XIONG Y W, et al. Relationships of organic acid and polyamines exuded from roots with grain cooking quality and protein components in rice[J]. *Journal of Yangzhou University (Agricultural and Life Science Edition)*, 2014, 35(3): 48-53.
- [19] ZHU L J, LIU Q Q, SANG Y J, et al. Underlying reasons for waxy rice flours having different pasting properties[J]. *Food Chemistry*, 2010, 120(1): 94-100.
- [20] 陈能, 谢黎虹, 段彬伍. 稻米中含二硫键蛋白对其米饭质地的影响[J]. *作物学报*, 2007, 33(1): 167-170.
- CHEN N, XIE L H, DUAN B W. Effect of disulfide bond-containing protein on texture of cooked rice[J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2007, 33(1): 167-170.
- [21] LIKITWATTANASADE T, HONGSPRABHAS P. Effect of storage proteins on pasting properties and microstructure of Thai rice[J]. *Food Research International*, 2010, 43(5): 1402-1409.
- [22] PARK J K, KIM S S, KIN K O. Effect of milling ratio on sensory properties of cooked rice and on physicochemical properties of milled and cooked rice[J]. *Cereal Chemistry*, 2001, 78(2): 151-156.
- [23] 王立峰, 张磊, 姚轶俊, 等. 碾磨程度对大米特征组分和米粉品质特性的影响[J]. *食品与机械*, 2019, 35(5): 195-201.
- WANG L F, ZHANG L, YAO Y J, et al. Effect of milling degree on content of characteristic components and qualities of rice flour[J]. *Food & Machinery*, 2019, 35(5): 195-201.
- [24] WAKAMATSU K, SASAKI O, UEZONO I, et al. Effect of the amount of nitrogen application on occurrence of white back kernels during ripening of rice (*Oryza sativa*) under high-temperature conditions[J]. *Japanese Journal of Crop Science*, 2008, 77(4): 424-433.

- [25] CHAMPAGNE E T, BETT-GARBER K L, KAREN L, et al. Unraveling the impact of nitrogen nutrition on cooked rice flavor and texture [J]. *Cereal Chemistry*, 2009, 86(3): 274 - 280.
- [26] SINGH N, PAL N, MAHAJAN G, et al. Rice grain and starch properties: effects of nitrogen fertilizer application [J]. *Carbohydrate Polymers*, 2011, 86(1): 219 - 225.
- [27] CHÁVEZ M C E, WANG Y J, QUINTERO-GUTIERREZ A G, et al. Physicochemical, textural and nutritional characterization of Mexican rice cultivars [J]. *Cereal Chemistry*, 2011, 88(3): 245 - 252.
- [28] 王鹏跃, 沈庆霞, 路兴花, 等. 米蛋白及其组分与米饭物性及感官的关联特征研究 [J]. *食品与机械*, 2016, 32(3): 24 - 27.
- WANG P Y, SHEN Q X, LU X H, et al. Relevance features of rice protein and its components to physical and sensory properties of cooked rice [J]. *Food & Machinery*, 2016, 32(3): 24 - 27.
- [29] 丁得亮, 张欣, 张艳, 等. 市场粳米食味品质及外观品质性状间的相关关系 [J]. *安徽农业科学*, 2010, 38(9): 454 - 456.
- DING D L, ZHANG X, ZHANG Y, et al. Relationship between appearance quality and eating quality of market japonica rice [J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2010, 38(9): 454 - 456.
- [30] BALINDONG J L, WARD R M, LIU L, et al. Rice grain protein composition influences instrumental measures of rice cooking and eating quality [J]. *Journal of Cereal Science*, 2018, 79: 35 - 42.
- [31] KANG M Y, RICO C W, KIM C E, et al. Physicochemical properties and eating qualities of milled rice from different Korean elite rice varieties [J]. *International Journal of Food Properties*, 2011, 14(3): 640 - 653.
- [32] 王嘉宇, 徐正进, 张世春, 等. 水稻穗不同部位籽粒品质性状差异的比较 [J]. *华北农业学报*, 2008, 23(1): 96 - 100.
- WANG J Y, XU Z J, ZHANG S C, et al. Comparison in quality traits at different parts within a rice panicle [J]. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2008, 23(1): 96 - 100.
- [33] 钱春荣, 冯延江, 杨静, 等. 水稻籽粒蛋白质含量选择对杂种早代蒸煮食味品质的影响 [J]. *中国水稻科学*, 2007, 21(3): 323 - 326.
- QIAN C R, FENG Y J, YANG J, et al. Effects of protein content selection on cooking and eating properties of rice in early-generation of crosses [J]. *Chinese Journal of Rice Science*, 2007, 21(3): 323 - 326.
- [34] SUN J P, HOU C Y, ZHANG S Y. Effect of protein on the rheological properties of rice flour [J]. *Journal of Food Process and Preservation*, 2008, 32: 987 - 1001.
- [35] 黄天柱, 吴卫国, 李高阳, 等. 大米理化特性与米饭口感品质的相关性研究 [J]. *中国食物与营养*, 2012, 18(3): 24 - 28.
- HUANG T Z, WU W G, LI G Y, et al. Research on relativity between rice's physical-chemical properties and mouth-feel quality [J]. *Food and Nutrition in China*, 2012, 18(3): 24 - 28.
- [36] 刘桃英, 刘成梅, 付桂明, 等. 大米蛋白对大米粉糊化性质的影响 [J]. *食品工业科技*, 2013, 34(2): 97 - 99, 103.
- LIU T Y, LIU C M, FU G M, et al. Influence of rice protein in rice flour on pasting properties [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2013, 34(2): 97 - 99, 103.
- [37] BAXTER G, BLANCHARD C, ZHAO J. Effects of glutenin and globulin on the physicochemical properties of rice starch and flour [J]. *Journal of Cereal Science*, 2014, 60(2): 414 - 420.
- [38] BAXTER G, ZHAO J, BLANCHARD C. Albumin significantly affects pasting and textural characteristics of rice flour [J]. *Cereal Chemistry*, 2010, 87(3): 37 - 55.
- [39] 吴洪恺, 刘世家, 江玲, 等. 稻米蛋白质组分及总蛋白质含量与淀粉 RVA 谱特征值的关系 [J]. *中国水稻科学*, 2009, 23(4): 421 - 426.
- WU H K, LIU S J, JIANG L, et al. Relationship between protein composition and total protein content and starch RVA profile properties in rice [J]. *Chinese Journal of Rice Science*, 2009, 23(4): 421 - 426.
- [40] 卢薇, 夏宁, 王金梅, 等. 大米谷蛋白对大米淀粉理化特性的影响 [J]. *现代食品科技*, 2012, 28(12): 1632 - 1635.
- LU W, XIA N, WANG J M, et al. Effect of rice glutenin addition on physicochemical properties of rice starch [J]. *Modern Food Science and Technology*, 2012, 28(12): 1632 - 1635.
- [41] 易翠平. 籼米蛋白质影响其糊化特性的研究进展 [J]. *粮食科技与经济*, 2014, 39(5): 57 - 58, 69.
- YI C P. Research progress on the effect of protein on gelatinization of indica rice [J]. *Grain Science and Technology and Economy*, 2014, 39(5): 57 - 58, 69.
- [42] 王继馨, 张云江, 程爱华, 等. 水稻蛋白亚基含量对米饭食味的影响 [J]. *中国农学通报*, 2008, 24(1): 89 - 92.
- WANG J X, ZHANG Y J, CHENG A H, et al. Effects

- of protein subunits contents on eating quality in rice[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2008, 24(1): 89-92.
- [43] FURUKAWA S, TANAKA K, MASUMURA T, et al. Influence of rice proteins on eating quality of cooked rice and on aroma and flavor of sake[J]. Cereal Chemistry, 2006, 83(4): 439-446.
- [44] BAXTER G, BLANCHARD C, ZHAO J. Effects of prolamins on the textural and pasting properties of rice flour and starch[J]. Journal of Cereal Science, 2004, 40: 205-211.
- [45] 张春红, 李金州, 田孟祥, 等. 不同食味粳稻品种稻米蛋白质相关性状与食味的关系[J]. 江苏农业学报, 2010, 26(6): 1126-1132.
- ZHANG C H, LI J Z, TIAN M X, et al. Relationship between protein-related traits and palatabilities of japonica rice (*Oryza sativa* L.) with distinct taste[J]. Jiangsu Journal of Agricultural Sciences, 2010, 26(6): 1126-1132.
- [46] 石吕, 张新月, 孙惠艳, 等. 不同类型水稻品种稻米蛋白质含量与蒸煮食味品质的关系及后期氮肥的效应[J]. 中国水稻科学, 2019, 33(6): 541-552.
- SHI L, ZHANG X Y, SUN H Y, et al. Relationship of grain protein content with cooking and eating quality as affected by nitrogen fertilizer at late growth stage for different types of rice varieties[J]. Chinese Journal of Rice Science, 2019, 33(6): 541-552.
- [47] WANG P Y, SHEN Q X, LU X H, et al. Relevance features of rice protein and its components to physical and sensory properties of cooked rice[J]. Food and Machinery, 2016, 32(3): 24-27.
- [48] SALEH M I, MEULLENET J F. Effect of protein disruption using proteolytic treatment on cooked rice texture properties[J]. Journal of Texture Studies, 2007, 38(4): 423-437.
- [49] 谢黎虹, 陈能, 段彬武, 等. 稻米中蛋白质对淀粉RVA特征谱的影响[J]. 中国水稻科学, 2006, 20(5): 524-528.
- XIE L H, CHEN N, DUAN B W, et al. Effects of proteins on RVA viscosity properties of rice[J]. Chinese Journal of Rice Science, 2006, 20(5): 524-528.
- [50] 吴伟, 吴晓娟, 李彤, 等. 快速黏度分析表征籼米陈化过程中蛋白质与淀粉相互作用的研究[J]. 粮食与油脂, 2016, 29(8): 25-28.
- WU W, WU X J, LI T, et al. Study on interaction of protein and starch of indica rice during ageing by rapid visco analyzer[J]. Cereals & Oils, 2016, 29(8): 25-28.
- [51] WANG Z C, CUI S W, LUO S Q, et al. Effect of high pressure-enzymolysis on solubility and structural characteristic of rice protein[J]. Chinese Journal of High Pressure Physics, 2014, 28(6): 736-742.
- [52] ZHOU Y, ZHANG X Y, LI D, et al. Optimization of protein extraction technology and structure analysis of fresh rice protein[J]. China Food Additives, 2018, 9: 77-83.
- [53] QIAN L L, SONG X J, ZHANG D J, et al. Rapid identification of Chahayang rice using near infrared spectroscopy[J]. Food Science, 2017, 38(16): 222-227.
- [54] 刘怡菲, 齐艳梅, 冯俊霞, 等. 玉米粉蛋白质二级结构的红外光谱研究[J]. 中国奶牛, 2015, 1: 1-4.
- LIU Y F, QI Y M, FENG J X, et al. Study on secondary structure of maize meal protein by infrared spectroscopy[J]. China Dairy Cattle, 2015, 1: 1-4.
- [55] YANG X S, WANG L L, ZHOU X R, et al. Determination of protein, fat, starch and amino acids in foxtail millet [*Setaria italica* (L.) Beauv.] by fourier transform near-infrared reflectance spectroscopy[J]. Food Science and Biotechnology, 2013, 22(6): 1495-1500.
- [56] 薛蓉, 吴亦洁, 李晓晶. 核磁共振波谱对大米脱水素K片段在模拟膜中的结构研究[J]. 分析化学, 2018, 46(5): 664-669.
- XUE R, WU Y J, LI X J. Structural study on K-segment of rice dehydrin in mimetic membrane[J]. Chinese Journal of Analytical Chemistry, 2018, 46(5): 664-669.
- [57] 王辰, 江连洲, 魏冬旭, 等. 利用光谱技术分析大豆分离蛋白二级结构对表面疏水性的影响[C]//中国食品科学技术学会第八届年会暨第六届东西方食品业高层论坛论文摘要集. 北京: 中国食品科学技术学会, 2011: 112.
- WANG C, JIANG L Z, WEI D X, et al. Key technology and mechanism of soybean oil and protein extracted by enzyme-assisted ethanol[C]//Abstract of the eighth annual meeting of the China Institute of Food Science and Technology and the sixth food and industry forum of the East and West. Beijing: China Institute of Food Science and Technology, 2011: 112.
- [58] GUO Y B, CAI W R, TU K, et al. Infrared and raman spectroscopic characterization of structural changes in albumin, globulin, glutelin, and prolamins during rice aging[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2013, 61(1): 185-192.
- [59] YANG Y, WANG Z J, BI S, et al. Raman spectroscopy

- study structural changes in black bean protein isolate upon ultrasonic-treatment [J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2016, 36(7): 2318 - 2324.
- [60] JIANG L Z, ZHANG X Y, ZHU Y F, et al. Raman analysis of influence of physical treatment on structure and interaction of soybean protein-phosphatidylcholine [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2018, 49(2): 345 - 350.
- [61] 赵迎, 李明, 肖兹兰, 等. 基于拉曼光谱快速鉴别新陈大米的方法研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2016(s1): 303 - 304.
- ZHAO Y, LI M, XIAO Z L, et al. Study on rapid discrimination of fresh and stale rice based of raman spectroscopy [J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2016 (s1): 303 - 304.
- [62] QI B K, ZHAO C B, JIANG L Z, et al. Effect of heat treatment on surface hydrophobicity of 11S glycinin and raman spectroscopy analysis [J]. Food Science, 2018, 39(18): 15 - 20.
- [63] SUN J, ZHANG H, WANG L, et al. Method for rapid discrimination of varieties rice by using Raman spectroscopy [J]. Food & Machinery, 2016, 32(1): 41 - 45.
- [64] SHAO X L, WANG N, SHI X Z. Analysis of moisture state and transverse relaxation characteristics of grains during the growth process of rice [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2017, 50(2): 240 - 249.
- [65] 李欣. 核磁共振技术在食品检测中的应用 [J]. 食品安全导刊, 2017, 10: 76 - 77.
- LI X. Applications of nuclear magnetic resonance in detection of food [J]. China Food Safety Magazine, 2017, 10: 76 - 77.

## Research Progress on Relationship Between Rice Protein and Cooking Quality

SHI Yanguo, HE Yinyuan, CHEN Fenglian\*, GUAN Zhexian, SUN Guiyao,  
ZHENG Mengtong, ZHANG Hongyu

(College of Food Engineering/Key Laboratory of Food Science and Engineering of Heilongjiang Ordinary Higher Colleges/Key Laboratory of Grain Food and Comprehensive Processing of Heilongjiang Province, Harbin University of Commerce, Harbin 150076, China)

**Abstract:** Rice is one of the most important staple foods in China, which is usually cooked as fresh food. And it has great theoretical and practical significance to study the relationship between components and its cooking quality. Protein is the second largest storage substance in the endosperm of rice seed, which is next only to starch, and is one of the important indexes to determine the quality of rice. The main component of rice protein is glutelin, accounting for about 65% to 80%. The other three proteins are albumin, prolamin and globulin. Rice protein is considered as one of the high quality plant proteins. Compared with soybean protein and wheat protein, the structure and properties of rice protein have not been systemically and deeply studied. And the correlation of rice protein and its edible quality is even more insufficient. In this paper, research progress and achievements of rice protein composition, structure, and its influence on the cooking quality were reviewed and summarized, which might help to find the deficiency and academic trend of studies on rice protein.

**Keywords:** rice protein; glutelin; prolamin; cooking quality; structural determination method