

蛋白质影响水稻米饭食味品质的机理

谢黎虹[#] 罗炬[#] 唐绍清 陈能 焦桂爱 邵高能 魏祥进 胡培松^{*}
(中国水稻研究所 国家水稻改良中心/水稻生物学国家重点实验室, 浙江 杭州, 310006; [#] 共同第一作者; ^{*} 通讯联系人, E-mail: qualityh@163.com)

Proteins Affect Rice Eating Quality Properties and Its Mechanism

XIE Li-hong[#], LUO Ju[#], TANG Shao-qing, CHEN Neng, JIAO Gui-ai, SHAO Gao-neng, WEI Xiang-jin, HU Pei-song^{*}
(*Chinese National Center for Rice Improvement/State Key Laboratory of Rice Biology, China National Rice Research Institute, Hangzhou 310006, China*; [#] *These authors contribute equally to this paper*; ^{*} *Corresponding author, E-mail: qualityh@163.com*)

XIE Lihong, LUO Ju, TANG Shaoqing, et al. Proteins affect rice eating quality properties and its mechanism. *Chin J Rice Sci*, 2013, 27(1): 91-96.

Abstract: With Fengliangyou 1 sowed or harvested at different dates, the effects of sowing and harvest dates on rice amylose content, swelling power (SP), protein content, RVA viscosities and eating quality were analyzed, respectively, as well as changes of RVA viscosity and swelling power after protein removal or disulphide bond disruption, and the factors related to rice eating quality. Pre-incubation of all flours with dithiothreitol (DTT) or a protease increased SP. The amylose content, protein content, SP and RVA viscosity values were similar between sowing Ⅲ (13th June) and sowing Ⅳ (23th June), but the eating quality of rice for sowing Ⅲ was better. When treated with trypsin, the slope of the linear region of each curve for both samples was similar, but the lift-off from hot viscosity to the cool viscosity part varied and the hot viscosity and cool viscosity of sowing Ⅲ were significantly lower than those of sowing Ⅳ. The latter part of the RVA paste rigidity was affected by the proportion of the quantity starch to water. Paste rigidity decreased greatly and resulted low values, suggesting that the difference of water holding capacity of protein after protein hydration may play a major role in determining the eating quality of cooked rice.

Key words: RVA viscosity; eating quality; protein; rice; mechanism

谢黎虹, 罗炬, 唐绍清, 等. 蛋白质影响水稻米饭食味品质的机理研究. 中国水稻科学, 2013, 27(1): 91-96.

摘 要: 以杂交中粳丰两优1号组合为材料, 设置不同的播期和收获期, 分析稻米主要品质指标(直链淀粉、总蛋白含量、RVA特征值等)和米饭食味品质, 并用二硫苏糖醇(DTT)或蛋白酶(Trypsin)分别打破样品蛋白质二硫键或酶解蛋白质后, 观察RVA特征谱和膨胀势的变化, 旨在明确蛋白质对不同食味品质样品RVA的影响, 进而探索蛋白质影响米饭食味品质的机理。结果表明, 第3播期(6月13日)稻米品质主要指标(直链淀粉、总蛋白、膨胀势、RVA特征值)与第4播期(6月23日)样品差异不显著, 但食味品质明显好于后者; 分别经蛋白酶处理后, 第3和第4播期样品RVA上升段斜率差异不显著, 但前者后段冷却后回升斜率明显小于第4播期。由于影响RVA特征谱后段凝胶刚性的主要因素是淀粉与水之比, 刚性随淀粉凝胶中含水量减少而提高, 食味品质较好的第3播期米粉经蛋白酶处理后, 凝胶刚性小且减弱程度大, 这可能是蛋白质酶解后形成蛋白质碎片的持水能力弱, 即淀粉与水之比低, 由此推测蛋白质影响米饭食味品质可能在米饭蒸煮后阶段, 即可能与蛋白质水合后持水能力差异有关。

关键词: RVA; 食味品质; 蛋白质; 水稻; 机理

中图分类号: S511.033 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-7216(2013)01-0091-06

稻米食味品质改良是水稻育种重点研究内容之一。稻米胚乳中主要成分是淀粉和蛋白质。早期认为直链淀粉含量是影响稻米食味品质的主要因素, 其含量低, 米饭软而黏; 反之, 则硬而不黏; 但随育成品种遗传组成的多样化, 直链淀粉含量相似(尤其是中高直链淀粉含量)而米饭食味品质相去甚远的现象日益普遍。蛋白质在稻米胚乳中的含量仅次于淀粉, 其中谷蛋白为主要成分, 约占80%, 由分子内、外二硫键连接而成。一般认为蛋白质含量超过9%的品种食味往往较差^[1]。蛋白质含量对稻米的蛋白

度、透明度及直链淀粉含量等品质指标有负面影响,高蛋白品种的优质率显著低于中等及低蛋白的品种^[2]。Hamker 等^[3]和 Derycke 等^[4]用还原试剂打破蛋白质二硫键而提高米饭黏度。Martin 等^[5]、谢黎虹等^[6]用蛋白酶酶解蛋白质后,RVA(Rapid Visco Analyser)上升段的斜率发生变化,说明蛋白质通过水合改变淀粉的吸水量而影响米饭质地。陈能等^[7]报道由二硫键结合而形成的蛋白质网络可能是影响米饭硬度和黏性的主要因素之一。Martin 等^[5]在试验中采用的是直链淀粉含量存在差异的水稻品种,本研究则是通过调整杂交中粳丰两优 1 号播期或收获期以得到直链淀粉或蛋白质含量不同或相近而米饭食味品质存在明显差异的具有相同遗传背景的背景的样品,在此基础上用还原试剂二硫苏糖醇(DTT)或蛋白酶处理分别打破稻米蛋白质二硫键或水解蛋白质后,观察其 RVA 特征谱变化的差异,以期在前人的基础上进一步探索蛋白质影响米饭食味品质的机理。

1 材料与方法

1.1 试验设计

供试材料为杂交中粳丰两优 1 号。播期和收获期试验于 2010 年在浙江省苍南县宜山镇进行,各设 4 个处理和 2 个重复。其中,播期试验中播期分别为 5 月 23 日(第 1 期)、6 月 3 日(第 2 期)、6 月 13 日(第 3 期)和 6 月 23 日(第 4 期);收获期试验于 6 月 15 日播种,分别于 10 月 21 日(第 1 期)、10 月 26 日(第 2 期)、11 月 1 日(第 3 期)和 11 月 6 日(第 4 期)收获。各小区面积均为 33 m²(5.5 m×6.0 m),小区之间筑小田埂并覆盖地膜,四周设保护行。两个试验的秧龄均为 25 d,移栽行株距为 26.7 cm×26.7 cm,单本栽插。病虫害防治等管理措施同常规大田。稻谷成熟时分小区单收,晾干至标准含水量后经佐竹测试磨谷机(日本佐竹机械有限公司)脱壳,再用国产的 JMJ-100 型精米机碾精成去糠率为 10%左右(相当于国标特等米精度)的精米,然后经配有 0.42 mm 筛片的旋风磨(Cyclo Tec 1093 样品粉碎磨,瑞典)磨成米粉后备用。

1.2 稻米品质的测定

1.2.1 蛋白质各组分含量测定

蛋白质各组分含量测定按文献[8]进行。

1.2.2 紧密填充空间浓度和膨胀势测定

紧密填充空间浓度(close packing concentra-

tion, C*)和膨胀势(swelling power, SP)测定按文献[9]进行,稍作改动。1.0%米粉或其中含有 5.0 mmol/L 的二硫苏糖醇(dithiothreitol, DTT)(上海伯奥生物科技有限公司进口分装, K0340)或 50 mg 胰蛋白酶(Trypsin)(上海生工生物有限公司, 1983B39)(胰蛋白酶处理的米粉先于 37℃水浴 30 min),于 95℃水浴摇床加热 30 min,然后离心(1500×g, 15 min),取沉淀称量,取上清液于 120℃下烘 4 h 后称量。

1.2.3 淀粉黏滞性测定

样品含水量为 14.0%时,取样 3.00 g,并添加 25.0 g 蒸馏水或 5.0 mmol/L 的 DTT 或含 50 mg 胰蛋白酶的蒸馏水至 28.0 g。DTT 或胰蛋白酶处理的米粉与相应的对照均 37℃水浴 30 min,不添加缓冲液^[6]。

供试米粉样品采用澳大利亚 Newport Scientific 仪器公司的 Super3 型 RVA (Rapid Visco Analyzer)快速测定淀粉黏滞特性,用 TCW (Thermal Cycle for Windows)配套软件进行分析;按照美国谷物化学协会规程(1999-61-02)的标准方法^[10]进行测定(水分基础改为 14%)。RVA 谱特征值主要以峰值黏度(peak viscosity, PV)、热浆黏度(hot viscosity, HV)、崩解值(breakdown viscosity, BV,即峰值黏度与热浆黏度之差)、冷胶黏度(cool viscosity, CV)、消减值(setback viscosity, SV,即冷胶黏度与峰值黏度之差)和回复值(consistency viscosity, CSV,即冷胶黏度与热浆黏度之差)表示。所有 RVA 谱特征值取两次重复平均值,以 RVU 为单位。

1.2.4 米饭食味感官评定

米饭蒸煮方法参考文献[11],食味感官评定程序参考文献[12]。设气味、外观、硬度、弹性、滋味 5 个指标。以泰国香米为对照,5 个指标均为 5 分。各指标 1 分 1 个级别,逐级递减或递增。最后把各指标得分相加得综合评分。

1.3 统计分析

采用 DPS 软件对数据进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同播期和收获期稻米主要品质指标的变化

表 1、表 2 结果显示:第 1 播期与第 2 播期稻米直链淀粉、总蛋白含量及其组分含量(清蛋白、球蛋白和醇溶蛋白)均较接近,但前者谷蛋白含量极显著

高于后者,RVA 特征值和米饭食味品质则均明显低于后者。第 3 播期与第 4 播期的直链淀粉、总蛋白含量和 RVA 特征值均接近,但前者食味品质显著优于后者。第 4 播期和第 3 收获期稻米的品质指标(直链淀粉、总蛋白、谷蛋白含量和 RVA 特征值)和食味品质差异均不显著。第 3 播期稻米的品质指标(直链淀粉、总蛋白含量)分别和第 1、第 4 收获期的接近,但食味品质明显好于后两者,且其中第 3 播期和第 1 收获期稻米生育期接近(播期分别为 6 月 13 日和 6 月 15 日,收获期均为 10 月 21 日)。4 个播期和收获期中,总蛋白和谷蛋白含量最高的均为第 1 播期稻米,最低的均为第 3 播期稻米;感官品尝综合评分最高的为第 3 播期,其次为第 4 收获期。

2.2 不同播期和收获期稻米粉紧密填充空间浓度以及 DTT、蛋白酶对其米粉膨胀势的影响

表 3 显示供试样品的紧密填充空间浓度(C*)为 6.4%~7.8%。样品米粉分别经 DTT 或蛋白酶处理后,膨胀势均显著或极显著提高;经 DTT 处理后米粉膨胀势平均增加 17.2%,小于蛋白酶处理后的平均增幅(46.1%)。

2.3 蛋白质对不同播期和收获期米粉 RVA 的影响

经 DTT 处理后,供试样品的峰值黏度均不同程度降低,其中 4 个样品峰值黏度显著下降(第 1、第 2 播期和第 2、第 3 收获期);冷胶黏度不同程度下降,其中第 4 收获期降幅最高(23.3%),其次为第

3 播期(20.2%);崩解值均明显提高,增幅为 8.8%~25.0%(表 2)。

经蛋白酶处理后,供试米粉 RVA 特征值均明显降低。四个播期米粉的 RVA 特征谱线的上升段斜率接近,但冷凝胶阶段的回升段斜率不一致;其中第 3 播期 RVA 回升斜率明显小于第 4 播期,且其冷胶黏度降幅(31.9%)高于后者(27.8%)(图 2-A,表 2)。第 2、第 3 和第 4 收获期 RVA 特征谱线的上升段和回升段斜率接近,但第 4 收获期 RVA 回升段曲线与第 2、3 收获期出现偏离(图 2-B)。第 4 播期与第 3 收获期米粉 RVA 的特征值差异不明显,分别经 DTT 和蛋白酶处理后,两者 RVA 特征值差异也均不明显(表 2,图 1-C 和 2-C)。第 3 播期和第 4 收获期米粉分别经 DTT 处理后,RVA 特征值变幅接近;分别经蛋白酶处理后,RVA 特征谱线上升段斜率一致,但前者热浆黏度和冷胶黏度降幅均明显大于后者(表 2,图 1-D 和 2-D)。第 3 播期和第 1 收获期米粉分别经 DTT 处理后,RVA 特征值变幅接近,仅前者糊化温度 83.85℃ 低于后者的 84.70℃ (图 1-E);分别经蛋白酶处理后,前者峰值黏度、热浆黏度、崩解值和冷胶黏度降幅分别为 39.1%、28.8%、50.4%和 31.9%,分别高于后者的 29.5%、21.2%、41.0%和 21.4%,且前者 RVA 特征谱线上升段的斜率稍低于后者(表 2 和图 2-E)。

表 1 不同播期和收获期米粉直链淀粉、总蛋白及其谷蛋白组分的含量和米饭食味感官评分

Table 1. Amylose, protein, glutelin contents and sensory synthetic evaluation scores of rice with different sowing and harvest dates.

试验 Experiment	处理 Treatment	直链淀粉含量 Amylose content/%	总蛋白含量 Protein content/%	谷蛋白含量 Glutelin content/%	食味感官品质评分 Sensory synthetic evaluation score
播期 Sowing date	S1	12.71±0.02 C	10.79±0.08 A	4.98±0.18 A	14.5 BC
	S2	12.89±0.03 C	10.01±0.14 A	4.05±0.23 B	15.9 B
	S3	16.56±0.14 AB	7.67±0.05 C	3.11±0.13 D	18.9 A
	S4	17.33±0.07 A	8.08±0.20 BC	3.69±0.14 C	15.9 B
收获期 Harvest date	H1	17.56±0.25 A	7.33±0.06 CD	3.28±0.10 D	15.7 B
	H2	17.54±0.15 A	7.51±0.08 C	3.32±0.06 D	16.1 B
	H3	16.34±0.16 AB	7.65±0.09 C	3.56±0.21 C	15.8 B
	H4	16.52±0.05 AB	7.79±0.06 C	3.79±0.23 C	17.0 A

数据后跟不同大写字母者表示在 1%水平上差异显著。S1—第 1 播期(5 月 23 日);S2—第 2 播期(6 月 3 日);S3—第 3 播期(6 月 13 日);S4—第 4 播期(6 月 23 日)。H1—第 1 收获期(10 月 21 日);H2—第 2 收获期(10 月 26 日);H3—第 3 收获期(11 月 1 日);H4—第 4 收获期(11 月 6 日)。下同。

Data followed by different capital letters show significant difference at 1% level. S1, The 1st sowing date(23th May); S2, The 2nd sowing date (3rd June); S3, The 3rd sowing date (13th June); S4, The 4th sowing date (23th June). H1, The 1st harvest date(21th October); H2, The 2nd harvest date (26th October); H3, The 3rd harvest date (1st November); H4, The 4th harvest date (6th November). The same as below.

表 2 DTT、蛋白酶对供试样品稻米 RVA 特征值的影响

Table 2. Effect of DTT and trypsin on RVA paste properties of rice flours with different sowing and harvest dates.									Rvu
RVA 特征值 RVA value	处理 Treatment	播期 Sowing date				收获期 Harvest date			
		S1	S2	S3	S4	H1	H2	H3	H4
峰值黏度 PV	CK	220	252	238	239	241	237	242	235
	DTT	211	244	235	235	236	230	231	230
	Trypsin	139	162	145	144	170	164	161	158
热浆黏度 HV	CK	117	132	125	129	137	131	129	131
	DTT	90	100	103	107	114	106	108	100
	Trypsin	78	94	89	92	108	99	99	97
崩解值 BV	CK	103	120	113	110	105	106	113	104
	DTT	121	144	132	128	122	124	123	130
	Trypsin	61	68	56	52	62	65	62	61
冷胶黏度 CV	CK	213	236	232	241	243	241	241	240
	DTT	168	196	185	192	200	197	196	184
	Trypsin	137	163	158	174	191	183	180	178
消减值 SV	CK	−7	−16	−6	2	2	4	−1	10
	DTT	−43	−48	−50	−43	−36	−33	−35	−50
	Trypsin	−2	1	13	30	21	19	19	20
回复值 CSV	CK	96	104	107	112	106	110	112	109
	DTT	78	96	82	85	86	91	88	84
	Trypsin	59	69	69	82	83	84	81	81

PV, Peak viscosity; HV, Hot viscosity; BV, Breakdown viscosity; CV, Cool viscosity; SV, Setback viscosity; CSV, Consistency viscosity.

表 3 不同播期和收获期米粉紧密填充空间浓度以及 DTT 和蛋白酶对膨胀势的影响

Table 3. Close packing concentration (C*) and effect of protein on swelling power of rice with different sowing and harvest dates.					
试验 Experiment	处理 Treatment	膨胀势 Swelling power/%			紧密填充空间浓度 C* /%
		对照	DTT 处理	蛋白酶处理	
		Control	DTT treatment	Trypsin treatment	
播期 Sowing date	S1	16.8±0.4	19.0±0.2*	23.5±0.1**	7.0±0.0
	S2	17.5±0.0	19.8±0.4*	22.9±0.3**	6.4±0.0
	S3	15.7±0.1	18.2±0.1*	20.4±0.6**	7.5±0.0
	S4	15.0±0.7	19.3±0.1*	21.5±0.1**	7.8±0.3
收获期 Harvest date	H1	16.9±0.6	17.9±0.4*	26.4±0.8**	6.9±0.1
	H2	16.6±0.1	19.6±0.5*	25.2±1.6**	7.0±0.0
	H3	15.5±0.1	19.3±0.4**	25.0±0.2**	7.6±0.1
	H4	15.6±0.2	18.5±0.2**	24.2±0.2**	7.6±0.1

*,** 与对照相比,差异达显著(0.05)和极显著(0.01)水平。
*,** indicate significant difference at 0.05 and 0.01 levels, respectively.

3 讨论

3.1 蛋白质对供试样品米粉 RVA 特征谱的影响

经 DTT 处理打破蛋白质二硫键和蛋白酶酶解后,供试样品的膨胀势均显著提高(表 3),这是因为由二硫键结合而形成的蛋白质网络屏障遭到破坏,对淀粉颗粒膨胀的限制。经 DTT 处理后,供试米粉 RVA 的峰值黏度不同程度地下降(1.3%~4.5%)。本研究中稻米粉紧密填充空间浓度(C*)为 6.4%~7.8%(表 3)。C* 是指蒸煮时淀粉颗粒吸水充分膨胀后所形成的糊化浓度。本研究中 RVA 溶液浓度约为 10.7%,远高于 C*;淀粉颗粒

由于吸水量有限,并不能膨胀至最大状态,推测糊化体系黏度主要与淀粉糊化体系的刚性相关,而并非淀粉颗粒膨胀大小^[4],可以解释供试样品经 DTT 处理后,虽膨胀势均显著提高,但 RVA 峰值黏度却不升反降,即与 RVA 峰值黏度显示的是淀粉糊化体系的刚性有关,同时也说明由二硫键结合而形成的蛋白质网络可提高淀粉糊化体系的刚性。

蛋白质经蛋白酶酶解后,样品米粉膨胀势显著提高且增幅大于 DTT 处理;样品 RVA 特征值沿 RVA 谱各点均下降,且下降幅度显著高于 DTT 处理,这可能是加热糊化过程中由于蛋白质水合而提高了糊化体系的浓度,同时二硫键结合而形成蛋白

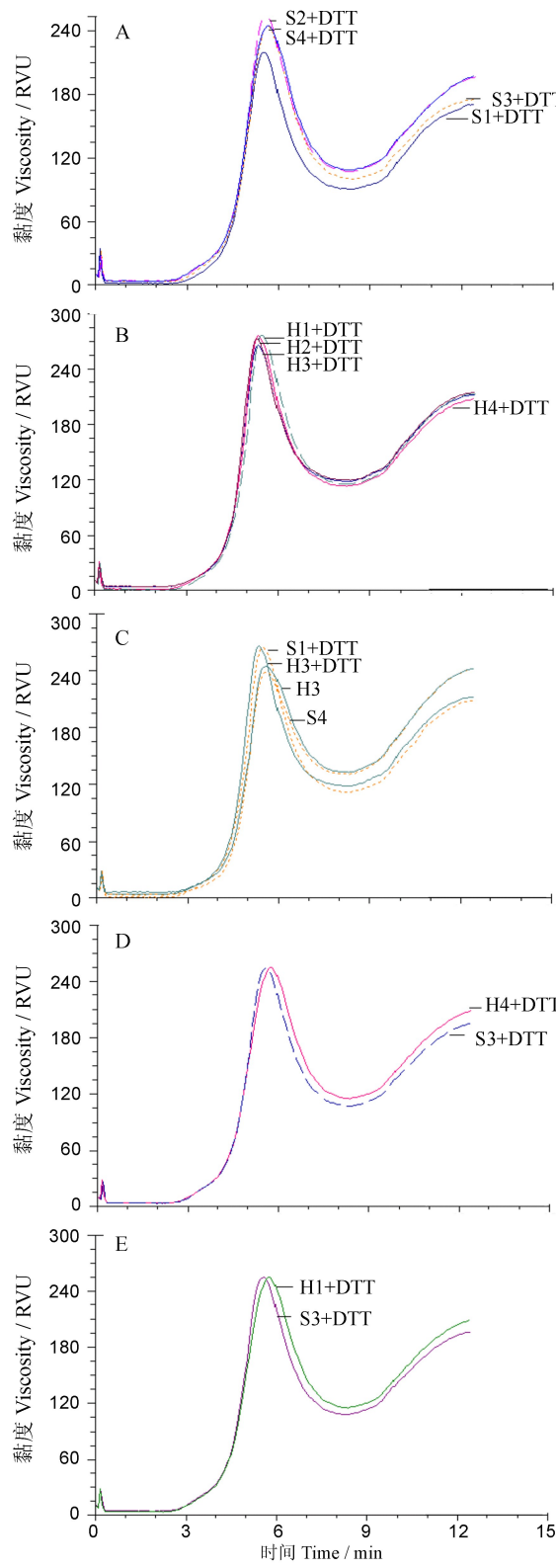


图 1 DTT 对供试样品米粉 RVA 特征谱的影响
Fig. 1. Effect of DTT on RVA curves of Fengliangyou 1 rice flours.

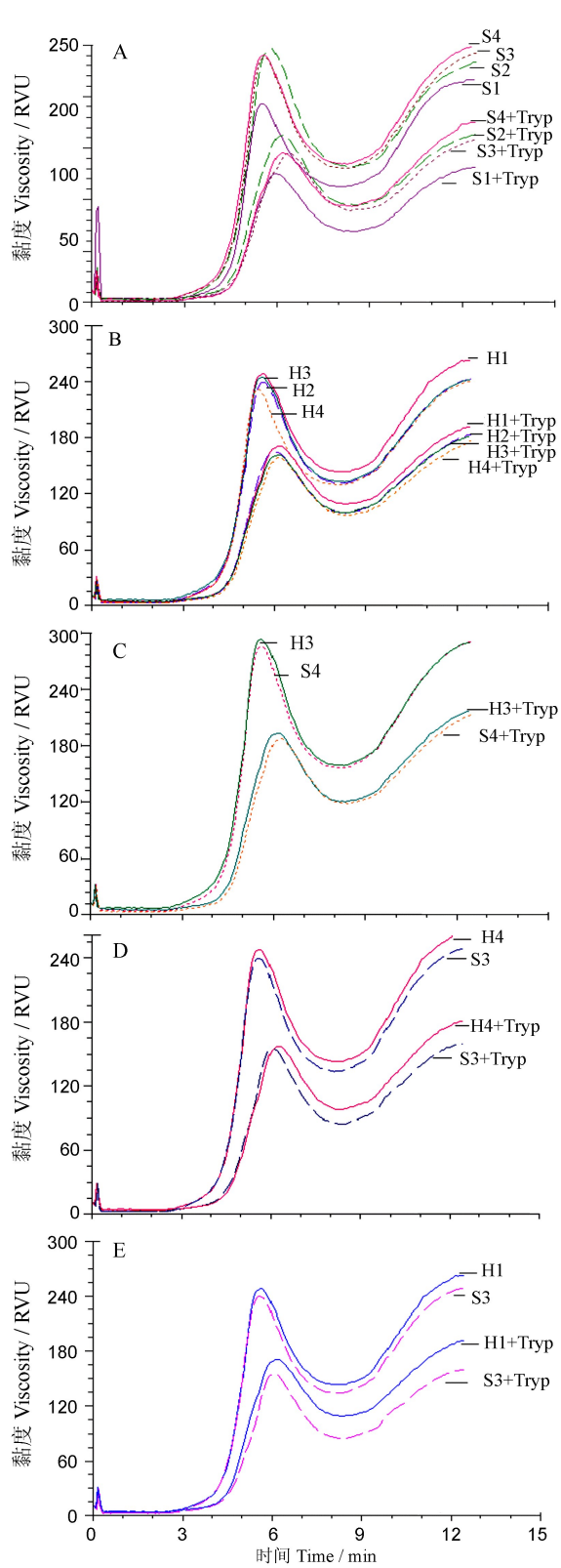


图 2 胰蛋白酶对供试样品 RVA 特征谱的影响
Fig. 2. Effect of trypsin on RVA curves of Fengliangyou 1 rice flours.

质网络共同提高糊化体系的刚性^[3]。

3.2 蛋白质对稻米食味品质形成的影响

第 1 和第 2 播期稻米直链淀粉、胶稠度(分别为 12.7%,12.9%;73 mm,67 mm)、膨胀势、总蛋白含量均接近,但前者米粉 RVA 崩解值显著小于第 2 播期,消减值显著大于后者。舒庆尧等^[13]发现 RVA 崩解值大、消减值小的稻米食味品质较好。因此,可用 RVA 特征值差异解释第 1 播期米饭食味品质差。同理,对第 4 播期和第 3 收获期的上述指标和 RVA 特征值差异不显著,米饭食味品质类似的结果也能解释。

第 3 与第 4 播期的米粉直链淀粉含量、胶稠度(分别为 16.5%,17.3%;63 mm,67 mm),膨胀势、总蛋白含量和 RVA 特征值均接近,但前者食味品质明显更好。第 3 播期稻米的上述指标分别和第 1、第 4 收获期接近,但食味品质显著优于后两者。这些提示本研究中上述测定指标和 RVA 特征值并不能完全区分供试样品米饭食味品质差异。进一步对供试样品的谷蛋白含量与米饭食味感官评分进行相关性分析,结果发现两者呈负相关(-0.695),这与 Matasue 等^[14]提出谷蛋白和醇溶蛋白对稻米食味具有重要作用相吻合。但这仅限于数量相关,本研究进一步用蛋白酶酶解样品蛋白质后 RVA 特征谱变化来探索形成食味差异的可能因素。不同播期和收获期米粉分别经蛋白酶处理后,四个播期和收获期稻米 RVA 特征谱没有完全吻合,但 RVA 谱线上升段斜率一致(播期组中第 2 播期 RVA 斜率稍高),上升斜率一致提示供试样品糊化过程中蛋白质水合速率一致^[5]。第 3 播期和第 4 播期以及第 2、第 3、第 4 收获期稻米的峰值黏度相同(表 2,图 2-A,2-B),说明这些样品中蛋白质水合程度较为一致,也提示这些样品中蛋白质在淀粉糊化前期起相同作用。4 个播期之间、4 个收获期之间、第 3 播期与第 1 收获期之间、第 3 播期与第 4 收获期之间米粉的 RVA 冷后回升段斜率不一致,且第 3 播期稻米的热浆黏度、冷胶黏度分别低于第 4 播期和第 1、第 4 收获期。影响 RVA 特征谱后段凝胶刚性的主要因素是淀粉与水之比^[15],刚性随淀粉凝胶中含水量减少而提高。第 3 播期米粉蛋白酶处理后,凝胶刚性小且减弱程度大,这可能是蛋白质酶解后形成蛋白质碎片的持水能力弱,即淀粉与水之比低,这提示影响供试样品食味品质可能在米饭蒸煮后阶段,

即可能在蛋白质水合后的持水能力强弱影响到在这一过程中蛋白质与淀粉的互作,最终影响米饭食味品质,这有别与 Martin 等^[5]提出的蛋白质主要改变米饭蒸煮前期的吸水量而影响米饭食味品质。第 4 播期和第 3 收获期米饭食味品质相同,经 DTT 或蛋白酶处理后,两样品 RVA 特征谱一致(表 2,图 1-C 和 2-C);第 3 播期和第 1 收获期稻米 RVA 特征谱线则各异,尤其是后段谱线差异很大(图 2-E),而第 3 播期米饭食味品质明显好于后者。这些结果提示稻米食味品质可能与蒸煮后阶段蛋白质水合后的持水力有关。

参考文献:

[1] 黄发松,孙宗修,胡培松,等. 食用稻米品质形成研究的现状与展望. 中国水稻科学, 1998, 12(3): 172-176.

[2] 陈能,罗玉坤,谢黎虹,等. 我国水稻品种的蛋白质含量及与米质的相关性研究. 作物学报, 2006, 32(8): 1193-1196.

[3] Hamker B R, Griffin V K. Changing the viscoelastic properties of cooked rice through protein disruption. *J Cereal Chem*, 1990, 67(3): 261-264.

[4] Derycke V, Veraverbeke W S, Vandeputte G E, et al. Impact of proteins on pasting and cooking properties of nonparboiled and parboiled rice. *J Cereal Chem*, 2005, 82(4): 468-474.

[5] Martin M, Fitzgerald M A. Proteins in rice influence cooking properties. *J Cereal Sci*, 2002, 36: 285-294.

[6] 谢黎虹,陈能,段彬伍,等. 稻米中蛋白质对淀粉 RVA 特征谱的影响. 中国水稻科学, 2006, 20(5): 524-528.

[7] 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. 作物学报, 2007, 33(1): 167-170.

[8] 田纪春. 谷物品质测试理论与方法. 北京: 科学出版社, 2006, 96-97.

[9] Vandeputte G E, Derycke V, Geeroms J, et al. Rice starches: II. Structural aspects provide insight into swelling and pasting properties. *J Cereal Sci*, 2003, 38: 53-59.

[10] American Association of Cereal Chemist (AACC). Approved methods of analysis. 11th ed. Methods 61-02. 01. Determination of the pasting properties of rice with the Rapid Visco Analyser. The Association: St. Paul, MN, 1999.

[11] 谢黎虹,杨仕华,陈能,等. 不同生态条件下籼稻米饭质地和淀粉 RVA 谱特性. 作物学报, 2006, 32(10): 1479-1484.

[12] 中华人民共和国国家标准. GB/T 15682-1995 稻米蒸煮试验品质评定. 北京: 中国标准出版社, 1996.

[13] 舒庆尧,吴殿星,夏英武,等. 稻米淀粉 RVA 谱特征与食用品质的关系. 中国农业科学, 1998, 31(3): 25-29.

[14] Matasue Y, Odahara K, Hiramatsum et al. Difference in amylose content amylographic characteristics and storage proteins of grain on primary and secondary rice branches in rice. *Jpn J Crop Sci*, 1995, 64(3): 601-606.

[15] Xie L H, Chen N, Duan B W, et al. Impact of proteins on pasting and cooking properties of waxy and non-waxy rice. *J Cereal Sci*, 2008, 47: 372-379.