

DOI: 10.12161/j.issn.1005-6521.2025.04.002

粳稻脂质含量与食味品质的相关性

毛梦菲, 管晨露, 黄嘉宝, 李莉*

(浙江大学 生物系统工程与食品科学学院, 浙江 杭州 310000)

摘要: 脂质作为稻米中第三大物质成分, 对稻米品质有重要影响。为探究粳稻粗脂肪含量和脂肪酸值与其理化性质和食味品质的关系, 选择5个不同品种的粳稻, 对其外观品质、质构特性、蒸煮特性、食味品质和糊化特性多个方面进行系统表征。结果表明, 粳稻粗脂肪含量与直链淀粉含量、米汤碘蓝值、米饭咀嚼度、米饭光泽及最终黏度、消减值和回复值等快速黏度分析仪(rapid visco-analyzer, RVA)特征值呈正相关, 与垩白率和垩白度呈负相关。脂质含量高的粳稻样品具有更好的蒸煮特性、外观品质、质构特性和食味品质。

关键词: 粳稻; 脂质; 理化特性; 食味品质; 相关性分析

Correlations Between Lipid Content and Eating Quality of Japonica Rice

MAO Mengfei, GUAN Chenlu, HUANG Jiabao, LI Li*

(College of Biosystems Engineering and Food Science, Zhejiang University, Hangzhou 310000, Zhejiang, China)

Abstract: Lipid, as the third major component of rice, has a significant impact on rice quality. To investigate the relationship between crude fat content and fatty acid value in japonica rice and its physicochemical properties and eating quality, five japonica rice varieties were selected for systematic characterization of their appearance quality, texture characteristics, cooking properties, eating quality, and gelatinization characteristics. The results showed that the crude fat content of japonica rice was positively correlated with amylose content, iodine blue value of rice soup, rice chewability, rice glossiness, final viscosity, setback value, and recovery value, which were obtained from rapid visco-analyzer (RVA) measurements. Conversely, it was negatively correlated with chalkiness rate and chalkiness degree. Japonica rice samples with higher lipid content exhibited superior cooking properties, appearance quality, texture characteristics, and eating quality.

Key words: japonica rice; lipid; physicochemical properties; eating quality; correlations

引文格式:

毛梦菲, 管晨露, 黄嘉宝, 等. 粳稻脂质含量与食味品质的相关性[J]. 食品研究与开发, 2025, 46(4): 11-18.

MAO Mengfei, GUAN Chenlu, HUANG Jiabao, et al. Correlations Between Lipid Content and Eating Quality of Japonica Rice[J]. Food Research and Development, 2025, 46(4): 11-18.

水稻是全球主要的粮食作物之一。据国家统计局数据显示, 我国 2023 年稻谷播种达到了 1.19 亿 hm^2 , 是全球重要的水稻生产和消费国。同时, 随着居民消费水平的提高和对水稻品质研究的深入, 人们对稻米品质提出了更高的要求。稻米的品质评价主要分为 4 个部分: 外观品质、加工品质、营养品质和食味品质。从外观、气味和适口性等方面对稻米的食味品质进行综合评价, 对于评估其商品价值和影响消费者选择尤

为重要^[1], 改善蒸煮食味品质也是提升稻米品质的最终目标。

稻米的营养成分包括淀粉、蛋白质、脂质及其他微量组分。吴焱等^[2]对多个粳稻品种水稻进行比较, 发现粳稻脂肪含量与米饭的口感、软硬度、外观品质、黏度和平衡度之间的相关性达显著水平, 粳稻脂肪含量在中等水平范围内时, 脂肪含量的增加有助于提升其食味品质。顾丹丹等^[3]的研究结果表明精米中粗脂肪

基金项目: 浙江省重点研发项目(2022C02020)

作者简介: 毛梦菲(2001—), 女(汉), 本科, 研究方向: 农产品加工与储藏。

*通信作者: 李莉, 女, 教授, 博士, 研究方向: 农产品加工与储藏。

含量与崩解值显著负相关,精米中淀粉脂含量与直链淀粉含量、消减值、回复值显著负相关,提高精米中淀粉脂含量能改善其食味品质。然而,徐正进等^[4]使用近红外线食味分析仪对多个水稻品种的品质指标进行测试,发现稻米的口感品质与脂肪含量呈负相关,但这种相关性并没有达到显著水平。汪跃君^[1]使用食味仪测定稻米的品质,结果发现,精米中的粗脂肪含量与其食味品质负相关,与米饭硬度正相关。因此,稻米脂肪含量和游离脂肪酸含量与食味品质的相关性仍无明确结论,需要进一步研究。

本研究选择5个不同品种的粳稻作为研究对象,对其外观品质、质构特性、蒸煮特性、食味品质和糊化特性多个方面进行系统表征,探究粳稻脂质含量对其理化特性和食味品质的影响,以期优化稻米品质和选育优良品种提供参考。

1 材料与amp;方法

1.1 材料与试剂

根据我国稻作区分布,选取以粳稻为主的若干稻作区对应的5个粳稻品种:华中单季晚稻作区-南粳9108、良渚软米(软香2号),华北单季稻作区-天津小站稻(津育粳22)、鱼台大米(鱼台301),东北早熟单季稻作区-五常大米(稻花香2号)进行试验。稻米于2023年10月收获,稻谷风干并脱壳后于常温常压环境贮藏。将部分粳稻样品粉碎后过80目筛得米粉试样,用于后续检测提取。

正己烷、无水乙醇、氢氧化钾、甲醇、氢氧化钠、乙酸、碘化钾、盐酸(均为分析纯):国药集团化学试剂有限公司;酚酞、十二烷基苯磺酸钠、碘、马铃薯直链淀粉(均为分析纯):上海麦克林生化科技有限公司;亚硫酸钠(分析纯):赛默飞世尔科技公司。

1.2 仪器与设备

TA.new plus 质构仪:上海瑞玢智能科技有限公司;FOX4000 电子鼻:安玛西亚(中国)有限公司;DFB-C30L3 自动电饭锅:广东小熊电器有限公司;RVA-Tec-Master 快速黏度分析仪:瑞典波通仪器公司;PHS-25 pH计:杭州飞世尔生物科技有限公司;IP65 防水数显千分尺:上海阿拉丁生化科技股份有限公司。

1.3 方法

1.3.1 粗脂肪含量测定

参照许光利^[5]的超声波提取法对粳稻中的粗脂肪进行测定,并稍作修改。称取2.0 g米粉样品,加入20 mL正己烷,振荡使其混合均匀;超声辅助提取37 min,设置超声波清洗机功率为123 W,温度42℃。提取结束后,再在7 000 r/min下离心10 min使米粉沉淀。用移液管将上清液转移至洁净并烘干至恒重锥形瓶(m_1)中,在90℃水浴锅中加热至正己烷完全挥发,再在

50℃烘箱中烘干至恒重(m_2),按照下列公式计算粳稻中粗脂肪含量(m ,g)。

$$m = m_2 - m_1$$

1.3.2 脂肪酸值测定

根据GB/T 20569—2006《稻谷储存品质判定规则》测定粳稻的脂肪酸值。

1.3.3 直链淀粉含量测定

根据GB/T 15683—2008《大米直链淀粉含量的测定》测定粳稻的直链淀粉含量。

1.3.4 外观品质测定

垩白率:随机选取100粒精米,挑选出有白色非透明胚乳的米粒。按照下列公式计算垩白率。

$$X = X_1/X_2 \times 100$$

式中: X 为垩白率,%; X_1 为垩白米粒数; X_2 为总粒数。

垩白度:随机选取50粒垩白米粒,测定每个垩白粒中垩白部分的面积百分比,计算平均值作为垩白面积。按照下列公式计算垩白度。

$$Y = Y_1/Y_2 \times 100$$

式中: Y 为垩白度,%; Y_1 为垩白率,%; Y_2 为垩白面积,%。

粒长、粒宽:随机选取50粒完整的精米,用千分尺测定米粒的长度和宽度,并计算长宽比。

1.3.5 质构特性测定

参照张裕聪等^[6]的方法测定米饭的质构特性,并稍作修改。根据GB/T 15682—2008《粮油检验 稻谷、大米蒸煮食用品质感官评价方法》制备米饭,加蒸馏水量为粳米样品量的1.3倍。测试时,随机在样品中间层选取3粒米饭置于质构仪测试台,测试参数:使用P36/R探头,选择全质构分析(texture profile analysis, TPA)模式;测试前速度、测试速度和测试后速度均设定为1.0 mm/s,触发力为5 g,压缩形变75%,时间间隔5 s。

1.3.6 感官评价

根据GB/T 15682—2008完成感官品质评价。

1.3.7 气味测定

利用电子鼻测定米饭气味。将2.0 g样品置于10 mL样品瓶,加盖密封后置于40℃金属加热器中,加热30 min后抽取2 mL顶空气体进样。测试参数:采集时间120 s,采集周期1 s,延滞时间300 s,注射体积500 μL,注射速度500 μL/min。电子鼻金属氧化物传感器型号及敏感物质如表1所示。

1.3.8 米汤碘蓝值测定

参照张子涵等^[7]描述的方法测定米汤碘蓝值,并稍作修改。取5.0 g米饭装入50 mL离心管中,加25 mL去离子水,在40℃下振动浸提1 h。浸提完成后定容至50 mL,在3 000 r/min、0℃下离心15 min。取5 mL

表1 电子鼻金属氧化物传感器型号及敏感物质

Table 1 Electronic nose metal oxide sensor models and sensitive substances

传感器名称	传感器敏感物质	检测参考物质
T30/1	有机化合物	有机化合物
P10/1	可燃气体	碳氢化合物
P10/2	易燃气体	甲烷
P40/1	氧化能力较强的气体	氟
T70/2	芳香族化合物	甲苯、二甲苯
PA/2	有机化合物	乙醇、氨水、胺类化合物、丙酮
P30/1	有机化合物	碳氢化合物、燃烧产物
P40/2	氧化能力较强的气体	氯、硫化氢、氨
P30/2	有机化合物	乙醇、燃烧产物
T40/2	氧化能力较强的气体	氯
T40/1	氧化能力较强的气体	氟
TA/2	有机化合物	乙醇

上清液,滴加 0.5 mL KI-I₂ 溶液和 0.5 mL 0.1 mol/L 稀盐酸并定容至 50 mL,静置 15 min 后,于 620 nm 下测定吸光值,即为米汤碘蓝值。

1.3.9 米汤干物质、米汤 pH 值测定

参照 Zhou 等^[8]的方法测定米汤干物质和米汤 pH 值,并略作修改。将 1.0 g 干燥粳米与 10 mL 蒸馏水混合置于带塞锥形瓶中,沸水浴 15 min 后冰浴 5 min,用吸管吸出剩余蒸煮米汤,用于米汤干物质和 pH 值测定。

米汤干物质:每次取 0.5 mL 蒸煮米汤于已称质量的试管中,在 110 °C 干燥至恒重。通过称量干燥后试管质量,作差即为米汤干物质含量(mg/mL)。

米汤 pH 值:使用 pH 计测定蒸煮后米汤在 20 °C 下的 pH 值。

1.3.10 脱脂米粉制备

每 10 g 粳米粉中加入 70 mL 正己烷,振荡使其混匀,在设定功率 123 W 与温度 42 °C 条件下超声辅助提取 37 min。冷却至室温后,7 000 r/min 离心 10 min 并去除上清液。沉淀中正己烷完全挥发后,干燥米粉即为脱脂米粉。

1.3.11 糊化特性测定

根据 GB/T 24852—2010《大米及米粉糊化特性测定 快速粘度仪法》测定未脱脂及脱脂粳米粉末的糊化特性,根据快速黏度分析仪(rapid visco-analyzer, RVA)谱确定不同样品的峰值黏度、热浆黏度、最终黏度和糊化温度并计算消减值和回复值等糊化特征值。

1.4 数据统计与分析

试验至少进行 3 个技术性重复,结果以平均值±标准差的形式表示。使用 IBM SPSS Statistics 27 软件对所得数据进行单因素方差分析和皮尔逊相关性分析。

2 结果与分析

2.1 不同品种粳稻的粗脂肪含量、脂肪酸值及直链淀粉含量

不同品种粳稻的粗脂肪含量、脂肪酸值、直链淀粉含量如表 2 所示。粳稻脂质含量与蒸煮特性的相关性分析见图 1。

表2 不同品种粳稻的粗脂肪含量、脂肪酸值及直链淀粉含量
Table 2 Crude fat content, fatty acid value, and amylose content of different japonica rice varieties

品种	粗脂肪含量/%	脂肪酸值/(mg/100 g)	直链淀粉含量/%
五常大米	0.60±0.01 ^e	5.31±0.33 ^d	16.97±0.68 ^b
天津小站稻	1.27±0.03 ^a	7.39±0.54 ^e	20.59±0.84 ^a
鱼台大米	0.79±0.03 ^b	13.74±0.79 ^b	19.93±0.62 ^a
南粳 9108	0.46±0.02 ^d	16.13±0.66 ^a	17.54±0.54 ^b
良渚软米	0.37±0.02 ^e	16.48±0.59 ^a	13.76±0.88 ^c

注:同列不同字母表示差异显著($p < 0.05$)。



图1 粳稻脂质含量与蒸煮特性的相关性分析
Fig.1 Correlation analysis of lipid content and cooking characteristics of japonica rice

由表 2 可知,5 个品种粳稻粗脂肪含量为 0.37%~1.27%,各品种之间粗脂肪含量具有显著性差异。其中,天津小站稻的粗脂肪含量最高;鱼台大米、五常大米的粗脂肪含量居中;南粳 9108、良渚软米的粗脂肪含量较低。贮藏过程中,粳稻的脂肪在氧气、酶等因素的影响下会发生酸败,被氧化分解为游离脂肪酸,含量可用脂肪酸值衡量^[9]。结果表明,良渚软米、南粳 9108 的脂肪酸值较高,说明该样品中游离脂肪酸较多;鱼台大米的脂肪酸值居中;五常大米、天津小站稻的脂肪酸值较低。直链淀粉是由 D-葡萄糖以 α -1,4-糖苷键连接而成的没有分支的线性葡萄糖链,该分子结构使其在烹饪过程中更容易形成晶体结构,对稻米的食味品质有重要影响^[10]。研究结果表明,不同品种粳稻的直链淀粉含量也有明显差异。鱼台大米、天津小站稻的直链淀粉含量较高;良渚软米的直链淀粉含量最低,显著低于其余 4 个样品;粳稻的粗脂肪含量与直链淀粉含量极显著正相关(图 1)。

2.2 不同品种粳稻的蒸煮特性

稻米的蒸煮特性反映其食味品质,可通过米汤碘蓝值、米汤干物质含量和米汤 pH 值等指标来衡量^[11]。

不同品种粳稻的蒸煮特性如表3所示。

表3 不同品种粳稻的蒸煮特性

Table 3 Cooking characteristics of different japonica rice varieties

品种	米汤碘蓝值	米汤干物质/[mg/(mL·g)]	米汤 pH 值
五常大米	0.379±0.029 ^a	3.59±1.24 ^{ab}	6.73±0.18 ^{cd}
天津小站稻	0.383±0.058 ^a	6.90±2.94 ^a	6.85±0.00 ^{bc}
鱼台大米	0.431±0.042 ^a	0.65±0.44 ^b	6.90±0.05 ^{ab}
南粳 9108	0.094±0.003 ^c	1.26±0.98 ^b	6.68±0.03 ^d
良渚软米	0.182±0.007 ^b	5.10±2.19 ^a	7.05±0.05 ^a

注:同列不同字母表示差异显著($p<0.05$)。

由表3可知,不同品种粳稻的蒸煮特性有明显差异。其中,天津小站稻和鱼台大米的米汤碘蓝值较高,与这两个样品直链淀粉含量较高的结果相一致。南粳9108的米汤pH值最低,与其脂肪酸值较高的结果相一致。由图1可知,粳稻的粗脂肪含量和脂肪酸值均与米汤碘蓝值呈极显著相关。米汤碘蓝值和米汤干物质含量越高,表明米饭在蒸煮过程中可溶性直链淀粉含量越多,米粒内淀粉糊化更加完全,米饭的黏弹性更好^[12],脂质含量较高的粳稻可能具有更好的蒸煮特性。

2.3 不同品种粳稻的外观品质

稻米外观品质是评价稻米商品价值的重要指标,包括稻米的粒型、透明度和垩白度等指标。垩白的稻米透明度低、硬度小,会降低稻米的整精米率和食味品质^[13]。不同品种粳稻的外观品质见表4。粳稻脂质含量与外观品质的相关性分析见图2。

表4 不同品种粳稻的外观品质

Table 4 Appearance quality of different japonica rice varieties

品种	垩白率/%	垩白度/%	粒长/mm	粒宽/mm	长宽比
五常大米	44.60±1.67 ^a	15.14±2.33 ^a	6.50±0.12 ^a	2.45±0.05 ^c	2.66±0.06 ^a
天津小站稻	25.80±1.92 ^b	4.38±0.75 ^b	5.01±0.11 ^b	2.86±0.15 ^b	1.76±0.11 ^b
鱼台大米	8.80±1.48 ^c	1.71±0.63 ^c	5.05±0.17 ^b	2.85±0.11 ^a	1.77±0.09 ^b
南粳 9108	22.00±2.92 ^c	4.46±2.13 ^b	4.61±0.12 ^c	2.75±0.10 ^b	1.68±0.07 ^c
良渚软米	16.40±3.13 ^d	3.15±1.78 ^b	4.67±0.09 ^c	2.80±0.06 ^a	1.67±0.02 ^c

注:同列不同字母表示差异显著($p<0.05$)。

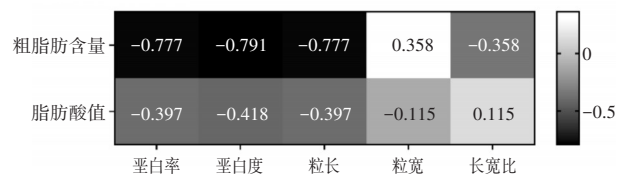


图2 粳稻脂质含量与外观品质的相关性分析

Fig.2 Correlation analysis between lipid content and appearance quality of japonica rice

如表4所示,5个品种粳稻中,五常大米的垩白率和垩白度显著高于其他样品,外观品质较差;天津小站稻、南粳9108和良渚软米的垩白度较低,外观品质较好;而鱼台大米在外观上呈现明显优势,垩白率和垩白度均最低。稻米粒型也直接影响其商品流通,外观完整、形态圆润的稻米更容易吸引消费者眼球^[6]。研究结果表明,五常大米呈细长状,粒长、粒宽和长宽比均与其他样品有显著差异;南粳9108和良渚软米的粒型较为相似,形态更为圆润。从图2可以发现,粳稻粗脂肪含量和脂肪酸值均与垩白率和垩白度呈负相关,这与孙楠等^[14]的研究结果相似。说明随着粗脂肪含量和脂肪酸值的增加,粳稻的垩白率和垩白度会降低,含有较高脂肪含量的粳稻品种可能拥有更好的外观品质。供试的5个品种粳稻脂质含量与稻米的粒长、粒宽和长宽比无明显相关性。

2.4 不同品种粳稻的质构特性

对不同品种粳稻蒸煮制备的米饭进行质构特性测定,可以反映米饭的硬度、黏性、弹性和咀嚼度等,是评价其食味品质的重要指标。软硬适中、富有弹性、不易粘牙的米饭能给人带来更好的食用感受^[6]。不同品种粳稻的质构特性见表5,粳稻脂质含量与米饭质构特性的相关性分析见表6。

表5 不同品种粳稻制备米饭的质构特性

Table 5 Texture characteristics of different japonica rice varieties

品种	硬度/N	黏着性/(N·s)	弹性	咀嚼度/N	黏聚性	回复性
五常大米	17.45±0.28 ^{bc}	-2.60±1.16 ^b	0.79±0.08 ^a	8.30±1.12 ^b	0.61±0.02 ^b	0.43±0.03 ^b
天津小站稻	22.40±2.10 ^a	-1.44±0.52 ^{ab}	0.78±0.04 ^a	11.56±1.18 ^a	0.66±0.02 ^a	0.51±0.05 ^a
鱼台大米	23.14±2.31 ^a	-1.30±0.30 ^a	0.79±0.04 ^a	11.76±1.64 ^a	0.65±0.01 ^a	0.51±0.02 ^a
南粳 9108	19.14±1.14 ^b	-1.17±0.67 ^a	0.64±0.10 ^b	6.83±1.38 ^b	0.56±0.02 ^c	0.39±0.02 ^b
良渚软米	15.65±0.39 ^c	-2.60±0.96 ^b	0.78±0.06 ^a	7.19±0.70 ^b	0.59±0.02 ^b	0.42±0.03 ^b

注:同列不同字母表示差异显著($p<0.05$)。

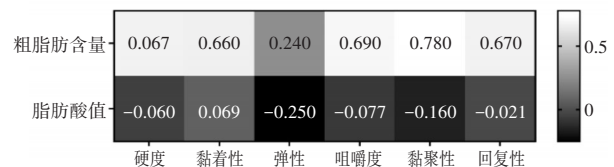


图3 粳稻脂质含量与米饭质构特性的相关性分析

Fig.3 Correlation analysis between lipid content and texture characteristics of japonica rice

由表5可知,不同品种米饭的质构特性存在显著性差异,天津小站稻和鱼台大米的硬度显著高于其他样品,良渚软米的硬度最低;五常大米和良渚软米的黏

着性较低,表面黏性较大;南粳 9108 的弹性显著低于其他样品;天津小站稻和鱼台大米咀嚼度、黏聚性和回复性均较高。因此,推测天津小站稻和鱼台大米具有更适合咀嚼的口感、米饭更加富有弹性、不容易粘牙;五常大米和良渚软米的口感更加软烂,可能容易粘牙。图 3 表明,粳稻的脂质含量对米饭的质构特性有一定影响,其粗脂肪含量与米饭的咀嚼度、黏聚性呈正相关;脂肪酸值与米饭的质构特性无显著相关性。Cameron 等^[15]的研究结果表明,稻米的粗脂肪含量与米饭

黏度为正相关关系,较高的稻米脂质含量对其米饭的质构特性有积极作用。

2.5 不同品种粳稻的食味品质

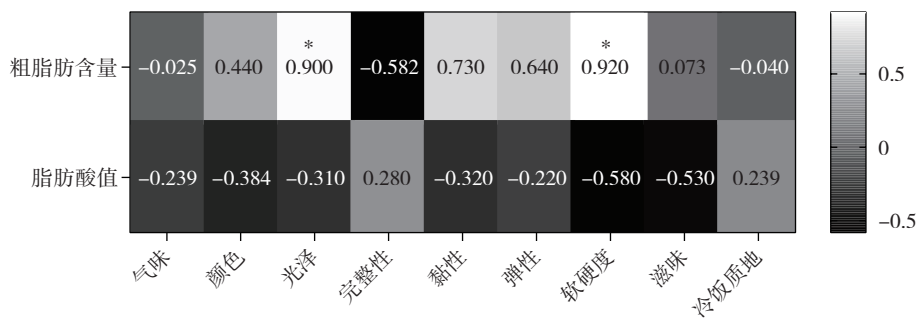
稻米的感官评价是体现米饭蒸煮食味品质最直观的方法,直接影响消费者的购买意愿。本研究从米饭的气味、外观、适口性、滋味和冷饭质地 5 个方面设置感官评价标准,不同品种粳稻的感官评分如表 6 所示。粳稻脂质含量与感官评价的相关性分析见图 4。

由表 6 可知,五常大米的气味、颜色、完整性和滋

表 6 不同品种粳稻的感官评价
Table 6 Sensory evaluation of different japonica rice varieties

品种	气味(20)	外观			适口性			滋味(25)	冷饭质地(5)
		颜色(7)	光泽(8)	完整性(5)	黏性(10)	弹性(10)	软硬度(10)		
五常大米	17.3±1.3 ^a	6.3±0.9 ^a	6.6±0.7 ^{ab}	4.5±0.5 ^a	7.4±0.7 ^{ab}	7.0±0.9 ^{bc}	7.3±1.0 ^{ab}	22.3±2.2 ^a	3.5±0.5 ^a
天津小站稻	16.1±1.0 ^{ab}	6.0±0.8 ^a	7.1±0.8 ^a	3.5±0.9 ^b	8.4±1.1 ^a	7.5±0.9 ^{ab}	8.1±0.8 ^a	20.5±1.3 ^{ab}	3.6±0.7 ^a
鱼台大米	16.4±1.5 ^{ab}	6.1±0.6 ^a	7.0±0.8 ^{ab}	4.1±0.6 ^{ab}	8.1±1.1 ^a	8.1±0.8 ^a	7.5±0.9 ^{ab}	20.0±2.3 ^{ab}	3.9±0.8 ^a
南粳 9108	16.8±1.5 ^{ab}	6.0±0.8 ^a	6.3±0.7 ^b	4.3±0.5 ^a	8.0±1.1 ^a	7.0±1.1 ^{bc}	7.3±0.7 ^{ab}	21.8±2.1 ^a	3.8±0.7 ^a
良渚软米	15.6±1.3 ^b	4.9±0.8 ^b	6.4±0.7 ^{ab}	4.4±0.5 ^a	6.4±0.9 ^b	6.4±1.1 ^c	6.6±0.9 ^b	18.4±2.4 ^b	3.8±0.7 ^a

注:同列不同字母表示差异显著($p<0.05$)。



*表示相关性显著($p<0.05$)。

图 4 粳稻脂质含量与感官评价的相关性分析

Fig.4 Correlation analysis between lipid content and sensory evaluation of japonica rice

味评分最高,具有浓郁米饭香味,外观完整、颜色均匀、滋味纯正。天津小站稻在黏性、弹性和软硬度方面的感官评分较高,米饭富有弹性,软硬适中,具有良好的适口性,这与天津小站稻较好的质构特性和蒸煮特性的结果相一致。而良渚软米的感官评分较低,气味较寡淡,口感软烂缺乏黏弹性,可能是因为良渚软米的直链淀粉含量较低,米饭在蒸煮过程中不易形成稳定晶体结构而硬度小。5 种粳稻的冷饭质地无显著差异。由图 4 可知,粳稻粗脂肪含量与米饭光泽和软硬度呈显著正相关。许光利^[5]研究发现高脂类含量的稻米色泽好,食味品质好。此外,研究结果表明,粳稻的脂肪酸值与多个感官评价指标呈负相关,这可能是由于较多的脂肪酸更易与大米淀粉结合形成淀粉-脂质复合物,降低了米饭的黏弹性,食味品质随之下降^[16]。

稻米的独特香味由多种挥发性和非挥发性化合物相互作用形成,是影响稻米食味品质的重要因素^[17]。

米饭中的风味物质化学组成复杂,主要以醛类、醇类、酮类及呋喃类物质为主^[18]。本研究选用电子鼻分析不同品种粳稻制得米饭的香气,结果如图 5 所示。粳稻脂质含量与电子鼻气味分析的相关性分析见图 6。

由图 5 可知,不同品种的米饭在各传感器的感应值有明显差异。其中,五常大米在各传感器的感应值均较高,气味较为丰富;良渚软米在各传感器的感应值均较低,气味较为寡淡,这与五常大米和良渚软米在感官评价中气味的得分结果相一致。电子鼻的分析结果为更好判断不同品种粳稻食味品质提供了依据。组成米饭香气的挥发性风味物质多来源于米饭蒸煮过程中不饱和脂肪酸的氧化和分解产生的醇、醛、酮和有机酸等,因此脂肪酸被认为是影响米饭气味的重要因素^[19-20]。由图 6 可知,粳稻粗脂肪含量与米饭气味成分无显著相关性,粳稻脂肪酸值与米饭气味成分呈负相关。这可能是因为随着脂肪酸的增加,其裂解产生的中间产物

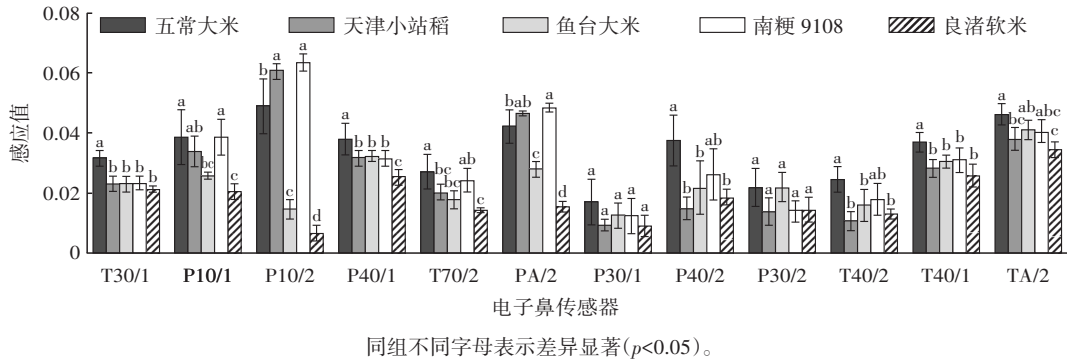


图5 不同品种粳稻米饭的电子鼻气味分析

Fig.5 Electronic nose odor analysis of different japonica rice varieties

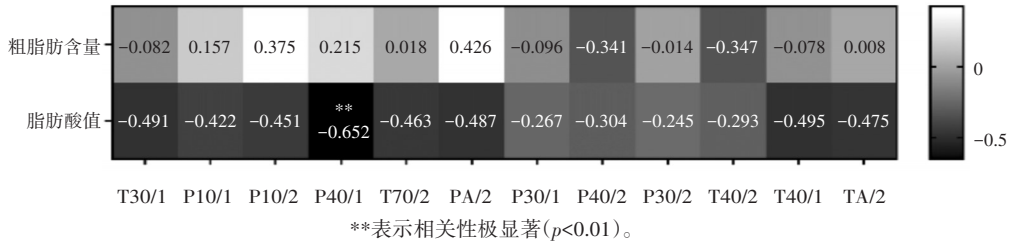


图6 粳稻脂质含量与电子鼻气味分析的相关性分析

Fig.6 Correlation analysis between lipid content of japonica rice and electronic nose odor analysis

参与了其他氧化反应,导致米饭的饱和醛类、醇类及酮类等物质含量过高,产生不良异味和酸味^[21]。

2.6 脱脂对不同品种粳稻糊化特性的影响

RVA 谱通过模拟米饭蒸煮过程测定各特征值来反映稻米的食味品质^[22]。峰值黏度记录了淀粉颗粒溶胀破裂时的黏度,可反映其吸水膨胀能力;崩解值可以

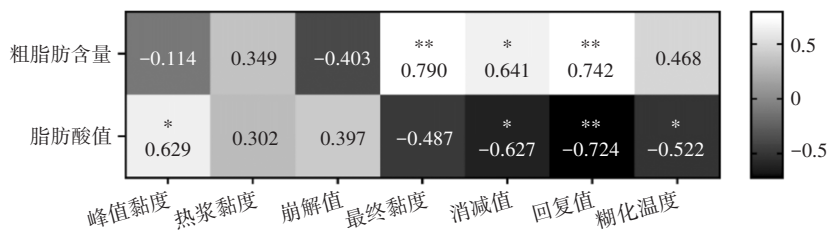
衡量淀粉颗粒在蒸煮时的稳定性,数值越小则表明体系的热稳定性和抗剪切能力越好;消减值可以衡量米粉凝胶的质构特性,通常崩解值大、消减值小的稻米硬度较小^[23]。本研究对不同品种粳稻未脱脂和脱脂样品的糊化特性测定结果如表7所示。粳稻脂质含量与糊化特性的相关性分析见图7。

表7 不同品种粳稻的糊化特性

Table 7 Gelatinization characteristics of different japonica rice varieties

组别	品种	峰值黏度	热浆黏度	最终黏度	崩解值	消减值	回复值	糊化温度/°C
未脱脂	五常大米	1 455.67±16.74 ^b	889.67±17.56 ^c	1 729.33±24.83 ^d	566.00±7.55 ^e	273.67±9.71 ^b	839.67±8.14 ^c	89.67±0.49 ^a
	天津小站稻	1 673.33±25.50 ^f	1 073.00±25.24 ^{cd}	1 944.67±13.65 ^e	600.33±44.56 ^{ef}	271.33±32.01 ^b	871.67±12.74 ^d	87.76±0.46 ^c
	鱼台大米	1 536.00±18.24 ^e	1 067.67±30.66 ^{cd}	1 968.00±26.63 ^e	468.33±12.42 ^b	432.00±11.27 ^a	900.33±11.02 ^c	89.07±0.75 ^b
	南粳 9108	1 705.00±14.80 ^g	921.67±11.02 ^d	1 455.67±14.57 ^f	783.33±13.20 ^c	-249.33±15.14 ^{ef}	534.00±3.61 ^{ef}	88.33±0.06 ^c
	良渚软米	1 736.33±2.52 ^d	1 088.33±28.02 ^{bcd}	1 614.67±29.26 ^e	648.00±28.48 ^f	-121.67±29.30 ^f	526.33±4.93 ^{ef}	70.73±0.07 ^c
脱脂	五常大米	1 975.00±3.61 ^c	1 117.33±10.26 ^b	2 099.67±13.05 ^b	857.67±13.87 ^d	124.67±16.62 ^c	982.33±3.21 ^a	86.76±0.06 ^d
	天津小站稻	2 105.67±1.53 ^b	1 176.67±5.03 ^a	2 109.67±7.23 ^b	929.00±4.58 ^c	4.00±6.08 ^e	933.00±3.61 ^b	70.67±0.01 ^c
	鱼台大米	2 078.67±33.01 ^b	1 179.33±16.01 ^a	2 155.00±23.00 ^a	899.33±17.04 ^c	76.33±10.02 ^d	975.67±7.02 ^a	86.70±0.00 ^d
	南粳 9108	2 224.33±12.06 ^a	1 059.00±9.17 ^c	1 609.00±6.56 ^e	1 165.33±3.06 ^a	-615.33±5.51 ^b	550.00±2.65 ^f	69.13±0.06 ^f
	良渚软米	2 221.67±24.01 ^a	1 097.67±9.07 ^{bc}	1 635.67±11.68 ^e	1 124.00±32.60 ^b	-586.00±35.59 ^b	538.00±6.00 ^{ef}	69.60±0.36 ^f

注:同列不同字母表示差异显著($p < 0.05$)。



*表示相关性显著($p < 0.05$);**表示相关性极显著($p < 0.01$)。

图7 粳稻脂质含量与糊化特性的相关性分析

Fig.7 Correlation analysis of lipid content and gelatinization characteristics of japonica rice

由表7可知,未脱脂样品的各RVA特征值存在显著差异。未脱脂样品中,良渚软米的峰值黏度和热浆黏度最大,这与良渚软米黏性较大的质构特性结果相一致;南粳9108的崩解值大、消减值小,说明南粳9108的米饭不黏、口感较软。

稻米的淀粉脂会通过直链淀粉与脂肪酸的疏水相互作用形成,直链淀粉与脂类的复合体结合形态会改变其分子晶体结构,进而影响稻米的糊化特性^[24]。进一步对脱脂粳稻样品的糊化特性分析发现(表7),脱脂稻米的RVA特征值发生显著变化,其峰值黏度、热浆黏度、最终黏度、崩解值和回复值上升,消减值和糊化温度下降。Melvin等^[25]也发现与未脱脂稻米相比,脱脂稻米显著提高了热浆黏度和冷胶黏度。刘奕等^[26]对比脱脂和未脱脂稻米的RVA谱发现,脱脂米粉的崩解值显著提高,消减值降低,与本研究结果相一致。结果表明,粳稻粗脂肪含量与最终黏度、消减值和回复值呈显著正相关,粳稻脂肪酸值与消减值、回复值和糊化温度呈显著负相关。这可能与样品中淀粉的组成和脂质的存在形态有关,不同的脂质种类和含量对糊化特性有不同影响^[27]。

3 结论

本研究对5个不同品种粳稻的脂质含量、理化性质和食味品质进行了测定,结果表明脂质含量对粳稻的直链淀粉含量、蒸煮特性、外观品质、质构特性、食味品质和糊化特性有不同的影响。经相关性分析可知,粳稻粗脂肪含量与直链淀粉含量、米汤碘蓝值、米饭咀嚼度、米饭光泽及最终黏度、消减值和回复值等RNA特征值呈正相关,与垩白率和垩白度呈负相关。表明脂质含量高的粳稻样品可能具有更好的蒸煮特性、外观品质、质构特性和食味品质。随着对稻米中脂类的深入研究,稻米脂类的营养价值及其对米饭食味品质的影响有了更清晰的认识,本研究结果可为改良粳稻品质、优化稻米种植条件等提供参考。

参考文献:

- [1] 汪跃君. 不同基因型粳稻米理化基础与食味品质的相关性研究[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2018.
WANG Yuejun. Correlation between physicochemical basis and eating quality of japonica rice with different genotypes[D]. Hefei: Anhui Agricultural University, 2018.
- [2] 吴焱, 袁嘉琦, 张超, 等. 粳稻脂肪含量对淀粉热力学特性及米饭食味品质的影响[J]. 中国粮油学报, 2021, 36(4): 1-7, 29.
WU Yan, YUAN Jiaqi, ZHANG Chao, et al. Effect of lipid content in japonica rice on starch thermodynamic properties and taste quality[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2021, 36(4): 1-7, 29.
- [3] 顾丹丹, 刘正辉, 刘杨, 等. 粳稻精米脂肪含量和组分对蒸煮品质的影响及其对氮素的响应[J]. 作物学报, 2011, 37(11): 2001-2010.
GU Dandan, LIU Zhenghui, LIU Yang, et al. Effect of lipid content and components on cooking quality and their response to nitrogen in milled japonica rice[J]. Acta Agronomica Sinica, 2011, 37(11): 2001-2010.
- [4] 徐正进, 陈温福, 马殿荣, 等. 辽宁水稻食味值及其与品质性状的关系[J]. 作物学报, 2005, 31(8): 1092-1094.
XU Zhengjin, CHEN Wenfu, MA Dianrong, et al. Relationship between eating quality and other quality characters of rice in Liaoning[J]. Acta Agronomica Sinica, 2005, 31(8): 1092-1094.
- [5] 许光利. 稻米脂类对品质的影响及脂类代谢对高温弱光的响应[D]. 雅安: 四川农业大学, 2017.
XU Guangli. Effect of rice lipids on quality and response of lipid metabolism to high temperature and weak light[D]. Ya'an: Sichuan Agricultural University, 2017.
- [6] 张裕聪, 杨月月, 周童童, 等. 不同亲水胶体对挤压重组米理化性质、食用品质和消化性的影响[J]. 食品科学, 2024, 45(15): 40-48.
ZHANG Yucong, YANG Yueyue, ZHOU Tongtong, et al. Effects of different hydrophilic colloids on physicochemical properties, eating quality and digestibility of extruded reconstituted rice[J]. Food Science, 2024, 45(15): 40-48.
- [7] 张子涵, 王邓琳, 王月慧, 等. 常温储藏对富硒稻谷与普通稻谷食味品质影响[J]. 食品科技, 2024, 49(6): 158-165.
ZHANG Zihan, WANG Denglin, WANG Yuehui, et al. Effect of normal temperature storage on the edible quality of selenium-enriched rice and ordinary rice[J]. Food Science and Technology, 2024, 49(6): 158-165.
- [8] ZHOU Z K, ROBARDS K, HELLIWELL S, et al. Effect of storage temperature on cooking behaviour of rice[J]. Food Chemistry, 2007, 105(2): 491-497.
- [9] 刘春爱. 三种干燥条件下稻谷在陈化过程中品质变化规律研究[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2022.
LIU Chun'ai. Study on quality change law of rice during aging under three drying conditions[D]. Changsha: Central South University of Forestry & Technology, 2022.
- [10] 翁雪莲, 姜丽秋, 唐树鹏, 等. 稻米淀粉、蛋白质和脂质与蒸煮食味品质关系研究进展[J]. 华中农业大学学报, 2024, 43(3): 121-131.
WENG Xuelian, JIANG Liqiu, TANG Shupeng, et al. Progress on relationship between starch, protein, lipids and taste quality of steaming and cooking in rice[J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2024, 43(3): 121-131.
- [11] 杨颖颀, 周显青, 韩佳静. 微波对粳糯米理化性质、蒸煮特性及食用品质的影响[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2024, 45(1): 48-56.
YANG Yingdi, ZHOU Xianqing, HAN Jiajing. Effect of microwave on the physico-chemical properties, cooking characteristics, and eating quality of japonica glutinous rice[J]. Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition), 2024, 45(1): 48-56.
- [12] 李思莹, 任欣, 张敏, 等. 鲜湿方便米饭原料适宜性研究——以东北地区粳米为例[J]. 食品科学技术学报, 2023, 41(6): 150-160.
LI Sixuan, REN Xin, ZHANG Min, et al. Study on adaptability of raw material for fresh instant rice—Japonica rice in Northeast China as an example[J]. Journal of Food Science and Technology, 2023, 41(6): 150-160.
- [13] 周露, 于玉凤, 徐定辉, 等. 播期和种植方式对水稻稻米品质的影响[J/OL]. 江苏农业科学, 2024: 1-8(2024-08-26)[2024-09-10]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/32.1214.S.20240823.1626.010.html>.
ZHOU Lu, YU Yufeng, XU Dinghui, et al. Effects of sowing date and planting mode on rice quality[J/OL]. Jiangsu Agricultural Sci-

- ences, 2024: 1-8(2024-08-26)[2024-09-10]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/32.1214.S.20240823.1626.010.html>.
- [14] 孙楠, 王术, 黄元财, 等. 氮肥施用量对粳米品质的影响[J]. 作物杂志, 2012(3): 109-113.
SUN Nan, WANG Shu, HUANG Yuancai, et al. Effects of nitrogen fertilizer on *Japonica* rice quality[J]. Crops, 2012(3): 109-113.
- [15] 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.
- [16] CHEN J, CAI H L, YANG S, et al. The formation of starch-lipid complexes in instant rice noodles incorporated with different fatty acids: Effect on the structure, *in vitro* enzymatic digestibility and retrogradation properties during storage[J]. Food Research International, 2022, 162(Pt A): 111933.
- [17] 张来桐, 杨乐, 刘洪, 等. 水稻香味物质的研究进展[J/OL]. 中国水稻科学, 2024: 1-23(2024-09-05)[2024-09-10]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/33.1146.S.20240905.0900.002.html>.
ZHANG Laitong, YANG Le, LIU Hong, et al. Research advances of fragrant substances in rice[J/OL]. Chinese Journal of Rice Science, 2024: 1-23(2024-09-05)[2024-09-10]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/33.1146.S.20240905.0900.002.html>.
- [18] CHAMPAGNE E T, BETT-GARBER K L, THOMSON J L, et al. Impact of presoaking on flavor of cooked rice[J]. Cereal Chemistry, 2008, 85(5): 706-710.
- [19] KAUR K, SINGH N. Amylose-lipid complex formation during cooking of rice flour[J]. Food Chemistry, 2000, 71(4): 511-517.
- [20] YANG D S, SHEWFELT R L, LEE K S, et al. Comparison of odor-active compounds from six distinctly different rice flavor types[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2008, 56(8): 2780-2787.
- [21] CHAMPAGNE E T. Rice aroma and flavor: A literature review[J]. Cereal Chemistry, 2008, 85(4): 445-454.
- [22] 岳红亮, 张梦龙, 程新杰, 等. RVA谱特征值的影响因素及其与稻米食味品质的关系综述[J]. 江苏农业科学, 2023, 51(1): 16-22.
YUE Hongliang, ZHANG Menglong, CHENG Xinjie, et al. Factors influencing characteristic values of RVA spectrum and their relationship with rice taste quality: A review[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2023, 51(1): 16-22.
- [23] 王艳, 王睿, 张艳艳, 等. 基于主成分分析和模糊数学构建亲水胶体影响汤圆品质的综合评价模型[J]. 食品科学, 2022, 43(14): 68-75.
WANG Yan, WANG Rui, ZHANG Yanyan, et al. Modeling for comprehensive evaluation of the effect of hydrocolloids on the quality of sweet dumplings using principal component analysis combined with fuzzy mathematics[J]. Food Science, 2022, 43(14): 68-75.
- [24] 李彩云, 袁洁瑶, 刘艳兰, 等. 稻米中脂质对淀粉性质影响的研究进展[J]. 粮油食品科技, 2023, 31(1): 56-65.
LI Caiyun, YUAN Jieyao, LIU Yanlan, et al. Research progress of lipids influencing starch properties in rice[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2023, 31(1): 56-65.
- [25] MELVIN M A. The effect of extractable lipid on the viscosity characteristics of corn and wheat starches[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 1979, 30(7): 731-738.
- [26] 刘奕, 徐海明, 程方民, 等. 稻米脱脂与未脱脂米粉的DSC热力曲线和RVA特征值比较[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2005, 31(5): 518-523.
LIU Yi, XU Haiming, CHENG Fangmin, et al. Comparison of DSC thermal curves and RVA properties between lipidfree and non-lipidfree in milled rice flours[J]. Journal of Zhejiang University (Agriculture and Life Sciences), 2005, 31(5): 518-523.
- [27] 江佳妮, 向贵元, 邓佳宜, 等. 脂肪酸链长对高直链玉米淀粉-脂质复合物结构及理化性质的影响[J]. 食品与机械, 2022, 38(3): 25-31.
JIANG Jiani, XIANG Guiyuan, DENG Jiayi, et al. Effects of fatty acid chain length on structure and physicochemical properties of high amylose corn starch-lipid complexes[J]. Food & Machinery, 2022, 38(3): 25-31.

责任编辑:冯娜
收稿日期:2024-09-14