

大米品质对标体系中多维度关键指标驱动的食味分级模型研究综述

黄金^{1,2}, 张莉婉³, 陈蔚³, 亓盛敏^{1,2}, 任海斌^{1,2*}

¹中粮营养健康研究院有限公司, 北京

²营养健康与食品安全北京市重点实验室, 北京

³中粮国际(北京)有限公司, 北京

收稿日期: 2026年7月15日; 录用日期: 2026年8月18日; 发布日期: 2026年8月26日

摘要

米饭食味分级是稻米育种、加工及流通全产业链品质管控的关键环节, 传统人工感官品评重复性欠佳、主观误差显著, 检测效率难以适配规模化标准化管控需求。为建立客观可量化的大米食味评价体系, 本文综述大米品质预测方法五类主流机器学习模型, 包括多元线性回归、逐步回归、偏最小二乘、人工神经网络与分类决策树, 对比分析各算法在大米理化指标和食味关联建模中的适用范围、固有弊端与应用价值。文章重点阐述逐步回归联合决策树融合建模方案: 借助逐步回归筛选影响米饭食味的关键理化特征, 再以筛选得到的核心变量构建可解释决策树分级模型, 同步输出大米食味预测分值与标准化大米品质定等分级。该建模路径形成完整的大米分级技术体系, 可为稻米数字化品质评价平台搭建、大米规范化优质栽培提供理论依据与实操技术方法支撑。

关键词

食味分级, 理化指标, 逐步回归, 决策树, 融合模型, 品质评价

A Review on Palatability Grading Modeling of Rice Driven by Multidimensional Key Quality Indicators within Standardized Quality Benchmarking System

Jin Huang^{1,2}, Liwan Zhang³, Wei Chen³, Shengmin Qi^{1,2}, Haibin Ren^{1,2*}

¹COFCO Nutrition & Health Research Institute Co., Ltd., Beijing

²Beijing Key Laboratory of Nutrition & Health and Food Safety, Beijing

*通讯作者。

文章引用: 黄金, 张莉婉, 陈蔚, 亓盛敏, 任海斌. 大米品质对标体系中多维度关键指标驱动的食味分级模型研究综述[J]. 农业科学, 2026, 16(8): 1341-1347. DOI: 10.12677/hjas.2026.168162

Abstract

Palatability grading of cooked rice is an essential component of full-industry-chain quality control for rice breeding, processing and circulation. Traditional manual sensory evaluation exhibits poor repeatability, obvious subjective deviations and insufficient detection efficiency, making it incapable of satisfying the demands of large-scale and standardized rice quality management. To develop an objective and quantifiable evaluation system for rice eating quality, this study reviews five prevalent statistical and machine learning models commonly used for grain quality prediction, including multiple linear regression, stepwise regression, partial least squares regression, artificial neural network, and classification decision tree. The applicability, inherent limitations and practical application potential of each algorithm are systematically compared in constructing the correlation model between rice physicochemical indices and palatability traits. This study mainly proposes an integrated modeling framework that couples stepwise regression and decision tree algorithms. Firstly, stepwise regression is performed to screen pivotal physicochemical attributes affecting cooked rice palatability. The optimized core variables are subsequently utilized to build an interpretable decision tree grading model, which is capable of outputting continuous palatability prediction values as well as standardized commercial quality grades simultaneously. The established modeling system forms a comprehensive technical paradigm for intelligent rice grading, and offers reliable theoretical foundations and practical technical references for the development of digital rice quality evaluation platforms and standardized high-quality cultivation of fragrant rice.

Keywords

Palatability Grading, Physicochemical Indicators, Stepwise Regression, Decision Tree, Integrated Model, Quality Evaluation

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

作为我国民众膳食结构中占据主导地位的主食，大米的食味品质是影响消费体验、市场认可度及选购行为的关键要素，也是区分大米商品档次、核定市场定价的重要依据，直接关系到大米产品的市场流通效率与品牌竞争力。建立科学、规范化的大米食味等级评定体系，既能有效规整大米行业市场交易乱象，践行优质优价的市场化发展准则，还能为稻米规模化选种育种、产后精深加工与品质标准化管控提供可量化数据指导。在传统检测体系中，大米食味等级判定主要依靠专业感官人员感官品鉴，该方式极易受到品鉴人员主观认知、身心状态、检测环境等外部条件的干扰，存在主观性强、检测结果稳定性较弱、检测速率较慢、难以满足大批量样本检测需求，无法适配现代大米产业智能化、规模化的品质检测发展需求。鉴于当前行业研究与产业应用中的现存问题，本研究以大米食味智能分级为核心研究主题，重点阐述不同机器模型算法在大米食味等级判定任务中的应用性能，从模型稳定性、样本适应性及泛化能力等多个维度开展综合对比分析，筛选出适配性最优的分级模型，搭建一套高适用性、可落地的大米

食味智能分级体系[1]。与此同时,系统阐述大米各项理化品质指标与蒸煮后米饭口感、综合食味品质的内在关联,梳理不同理化因子对大米食味优劣的影响机理与作用规律。实现大米食味品质的客观、定等分级,同时能够为优质水稻种质选育、田间栽培技术改良、稻米加工工艺优化以及标准化蒸煮方案制定提供可靠的理论依据与数据支撑,对持续优化大米食用品质、推动稻米产业提质增效、助力粮油食品行业高质量发展具备重要的实践价值与应用前景[2]。

2. 米饭食味多维度调控因子体系解析

米饭综合食用品质由嗅觉维度的香气、咀嚼维度的质构特性两大核心感官模块共同构成,其风味与口感表现并非由单一因素决定,而是种质遗传、田间环境、产后加工储藏、内在理化组分四类层级因子协同调控的结果。本节从宏观外部条件、特征香气物质、蒸煮质构理化基础三个层面逐层拆解各类调控要素,系统阐明各因子对米饭食味的作用机制[3][4]。

2.1. 宏观外部调控条件

宏观层面决定稻米基础食味潜力的前置条件分为三大维度:品种遗传背景、田间生育环境、产后加工储藏。其中田间抽穗至灌浆阶段的有效积温、昼夜温差等气候条件,直接调控籽粒淀粉与风味前体物质积累;产后环节除碾磨、仓储外,稻米预熟处理工艺也会进一步重塑淀粉结构与风味体系。种质固有遗传性状、灌浆期温光环境、产后加工储藏及预熟工序相互耦合,共同奠定稻米风味与质构的先天遗传基础及后天加工基础[5]。

2.1.1. 稻米品种遗传特性

水稻品种是决定米饭食味品质最关键的先天遗传因素,不同水稻种质存在可稳定遗传的性状差异,能够调控籽粒淀粉组分构成与风味前体物质的合成代谢,最终造成米饭香气、硬度、黏性等感官特性的显著分化。长粒籼稻籽粒直链淀粉含量更高,经蒸煮后米粒咀嚼性强、黏性较低;短粒粳稻支链淀粉占比更高,蒸煮米饭质地软糯黏弹;籽粒中直链淀粉与支链淀粉的相对比例,是种质层面决定米饭质构特性的核心遗传指标。

2.1.2. 田间生长气候条件

水稻生育期的温度、降水、日照时长等气候要素,持续干预植株生理代谢与物质积累过程,间接改变成熟稻米的食味基础。适宜积温与充足日照可促进风味前体、淀粉与优质蛋白有序积累,提升米饭整体香气与适口性;低温寡照、持续性降雨易诱发垩白形成,干扰淀粉合成平衡,最终劣化米饭口感[6]。

2.1.3. 碾磨与储藏处理

稻米特征风味物质主要富集于籽粒糊粉层,产后加工与仓储环节会直接损耗或改变风味、质地相关组分。适度轻碾加工可最大程度保留糊粉层中的挥发性香气物质,赋予米饭清甜蒸煮香气;过度精磨会剥离糊粉层,造成风味大量流失。而长期常温储藏过程中,稻米内源脂肪酸氧化、可溶性碳水化合物降解,会逐步弱化米饭香气,同时加剧淀粉老化,使成品质地变硬、适口性下降。

2.2. 稻米内在理化基础与食味关联研究思路

种植、环境、加工等外部条件最终通过改变稻米内在理化指标实现对食味的调控,淀粉组分、贮藏蛋白、脂肪、游离氨基酸等理化参数是米饭香气、质地的直接决定因子。为量化梳理米饭口感与理化指标的内在关联,行业普遍采用多变量统计分析开展系统研究:通过采集不同品种、不同栽培环境、不同加工储藏条件的稻米样本,统一测定全套理化指标,同步配套标准化人工感官品评数据,建立理化参数

与感官得分的关联模型。该研究体系一方面可为水稻育种筛选口感优良的种质资源提供量化依据, 另一方面能够基于理化指标规律, 为家庭、工业标准化蒸煮工艺提供科学指导。

2.3. 米饭香气形成及关键影响因子

香气是消费者评判大米品质的第一感官指标, 直接决定消费者接受意愿与稻米商品价值, 也是区分普通大米与高端大米的核心标识。现有研究已从稻米中分离鉴定出近 500 种挥发性风味化合物, 各类物质的浓度与气味感知阈值共同决定米饭整体香型与香气强度[7]。

2.3.1. 品种对香气物质组成的调控

水稻品种直接决定挥发性风味物质的合成种类与积累总量, 不同品种香气浓郁度、香型存在显著差异, 本质由籽粒内风味前体物质合成通路差异导致。依托尼尔森全国分区域热销大米 TOP20 产品数据开展统计分析可发现, 我国南、北、东、西各主销产区大米香气特征存在明显分化, 根源在于产区主推品种的遗传差异。

2.3.2. 核心挥发性香气物质与检测建模手段

2-乙酰基-1-吡咯啉(2-AP)是香型米专属标志性风味物质, 在稻米近 500 种挥发性组分中, 是形成蒸煮香气的核心贡献物。目前米饭香气评价主要分为人工感官评定与仪器定量检测两类体系: 国标感官方法依据 NY/T 596、GB/T 15682 开展品评, 但易受评价人员主观差异干扰, 检测结果重复性和稳定性相对不足; 而 GC-MS、电子鼻等仪器设备可直接对稻米内各类挥发性风味组分完成精准定性和定量分析。基于仪器检测得到的风味物质含量数据, 实现香米香气客观、无偏的量化判定。除 2-AP 外, 戊醛、庚醛、1-戊醇、甲基庚烯酮、反-2-辛烯醛、1-辛烯-3-醇均为米饭关键香气组分, 对应质谱图谱可清晰呈现各物质特征离子峰与色谱保留指数。研究中常结合气味活度值(OAV)计算、香气重组与缺失试验, 量化区分各类挥发性物质对米饭整体风味的贡献程度[8]。

2.3.3. 加工与储藏对米饭香气的损耗机制

稻米香气物质主要富集于糊粉层, 加工碾磨精度直接决定香气保留量; 适度碾磨可留存大部分风味组分, 赋予米饭清甜香气。储藏阶段脂肪酸氧化、可溶性糖降解会持续消耗风味前体物质, 造成米饭香气衰减, 是大米长期存放后食味下降的重要诱因[9] [10]。

2.4. 米饭蒸煮质构特性及理化调控机理

消费者咀嚼感知的软硬度、弹性、黏性是米饭分级的核心判定依据, 三类质构指标均由稻米直链淀粉、贮藏蛋白、粗脂肪、游离氨基酸等内在理化组分协同调控, 同时受蒸煮工艺影响[11] [12]。

2.4.1. 米饭软硬度

米饭入口硬度是最直观的质构感官指标, 核心调控因子为蛋白质与直链淀粉: 稻米蛋白可形成致密网状结构包裹淀粉颗粒, 抑制淀粉吸水糊化与膨胀, 蛋白含量越高, 蒸煮米饭硬度越大; 直链淀粉含量提升可弱化淀粉凝胶刚性, 降低饭粒硬度、提升黏性。蒸煮工艺同样显著改变米饭硬度: 高压蒸煮可提升米粒吸水率、淀粉膨胀率与溶出固形物含量, 成品硬度更低、弹性与黏性更佳, 综合感官评分最优; 米饭膨胀率与滋味、颗粒形态感官得分显著正相关, 硬度与整体适口性呈极显著负相关。针对软糯米质地的专项研究表明, 蒸煮过程中大量溶出的小分子固形物可在饭粒表层形成光滑保水薄膜, 同时软米内部多孔结构可支撑饭粒形态, 共同造就软糯低硬的口感。即食米饭相关试验进一步证实, 蛋白干基含量与米饭硬度显著负相关, 脂肪干基含量与饭粒回复弹性显著正相关; 直链淀粉含量与米饭适口性、冷饭质地均呈显著负相关[13] [14]。

2.4.2. 米饭弹性

咀嚼回弹弹性由稻米蛋白网络结构的致密程度与稳定性主导，蛋白过量积累会破坏饭粒回弹特性，降低咀嚼弹性。多因子相关性研究显示，淀粉含量与多项质构参数显著正相关；水分含量直接正向调控米饭弹性；游离氨基酸与饭粒粘连性、弹性呈显著负相关；脂肪含量与米饭硬度、其余质构指标均存在负相关关系[15][16]。

2.4.3. 米饭黏性

米饭黏性的分子基础为直链淀粉占比、糊精链长分布与平均分子量，直链淀粉含量与黏性呈显著负相关，高直链淀粉稻米蒸煮后黏性更低。稻米蛋白会阻隔水分渗透、抑制淀粉充分糊化，间接降低饭粒黏性；蛋白含量提升会同步升高米饭硬度、降低黏性与弹性。蛋白与直链淀粉的相互作用减弱时，淀粉分子内部氢键与凝胶网络更易形成，可优化米饭黏弹平衡口感[17][18]。

2.5. 优质大米综合食味判定标准

综合香气、质构两大维度的多因子调控规律，优质食用大米需同时满足两类感官标准：一是具备自然的蒸煮香气，以高 2-AP 积累量为核心物质基础；二是咀嚼质地软硬适中、回弹弹性充足、饭粒完整互不粘连。稻米品种遗传背景、田间灌浆期水分与温度、蒸煮加水量与加热工艺，共同决定米饭最终综合食味表现；依托全套理化指标构建量化评价模型，可摆脱人工品评的主观局限，实现大米食味标准化、客观化分级判定[19]。

3. 大米食味预测主流建模算法对比研究

3.1. 多元线性回归

多元线性回归模型简单易实现，适合初步分析变量间线性关系，能够直观地展示各指标与大米食味等级之间的线性关联程度。然而，该模型存在多重共线性影响稳定性的问题，且模型解释力较弱，难以捕捉复杂的非线性关系和交互效应，在处理具有高度相关性的食味指标时，可能导致回归系数不稳定，影响分级准确性。

3.2. 逐步线性回归

逐步线性回归通过变量筛选提升了模型简洁性，使得 R^2 显著提高，能够在一定程度上改善多元线性回归的不足，保留对食味等级有显著影响的关键变量，去除冗余变量，提高模型的预测性能。但逐步线性回归仍受多重共线性限制，未完全解决过拟合风险，当自变量之间存在较强相关性时，筛选出的变量可能并不稳定，且模型对新样本的适应性仍需进一步增强。

3.3. 偏最小二乘回归

偏最小二乘回归适用于自变量高度共线性的小样本场景，稳定性较好，能够在自变量存在多重共线性的情况下有效地提取潜在信息，建立食味指标与等级之间的映射关系。不过，其解释性较弱，模型复杂度较高，对于实际生产中需要直观理解各指标对食味等级影响的场景，难以提供清晰明确的解释，不利于实际应用中的决策支持。

3.4. 神经网络

神经网络能捕捉复杂非线性关系，支持复杂模型构建，对于大米食味这种受多种因素交互影响的复杂品质特性，具有强大的建模能力，可自动学习到数据中的潜在规律。但神经网络属于黑箱模型，解释

性不足，难以明确各食味指标对模型预测的具体贡献，且在小样本下易过拟合，训练过程需要大量的数据和计算资源进行调优，对数据的质量和数量要求较高。

3.5. 决策树

决策树模型直观易解释，分类效果明确，适合分类问题可视化分析，以大米食味等级为分类标签，能清晰地展示各关键指标在分级过程中的决策规则和路径，便于实际操作人员理解 and 应用。但决策树仅适用于分类场景，其回归任务表现未验证，且在小样本下树结构可能不稳定，容易受到数据微小波动的影响，导致模型结构和预测结果发生较大变化。

4. 基于逐步回归 - 决策树融合的大米食味预测分级建模流程

Table 1. Comparison of mainstream modeling algorithms

表 1. 主流建模算法对比表

模型	优点	局限	适用场景
多元线性回归	简单易实现，适合初步分析变量间线性关系	多重共线性影响稳定性；模型解释力较弱	初步探索线性关系
逐步线性回归	可自动筛选显著影响变量，剔除冗余噪声指标，有效精简模型结构，大幅提升模型拟合优度 R^2 与整体解释力。	仍受多重共线性限制，未完全解决过拟合风险	精简变量提升解释力
偏最小二乘回归	适用于自变量高度共线性的小样本场景，样本少且指标相关强。稳定性较好	解释性较弱，模型复杂度较高	高相关性指标+小样本数据
神经网络	能捕捉复杂非线性关系，数据充足且精度优先，支持复杂模型构建	属于黑箱模型，指标贡献度无法量化解释，小样本下易过拟合	数据充足且精度优先场景
决策树	模型逻辑直观透明，直观易解释，分类效果明确，适合分类问题可视化分析	仅适用于分类场景，小样本下树结构可能不稳定	大米现场快速品质等级判定

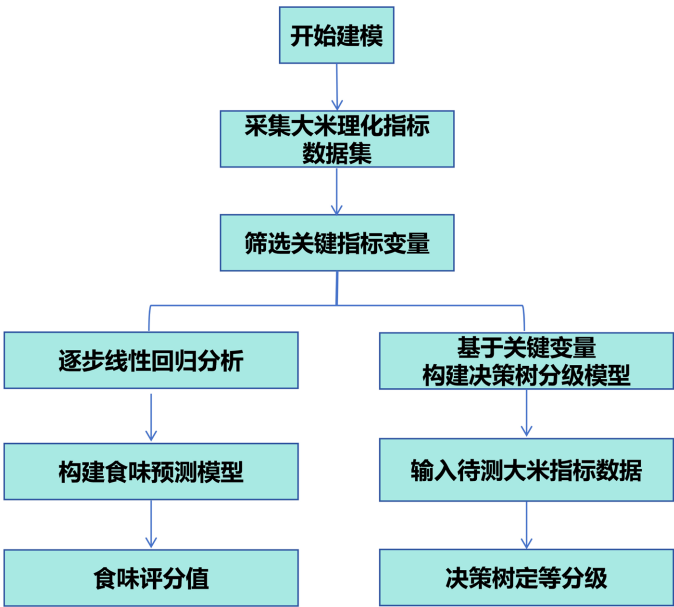


Figure 1. Flowchart for rice taste prediction and grade evaluation using physicochemical indicators

图 1. 基于理化指标的大米食味预测与等级判定技术流程图

步骤 1: 数据集理化指标标准化预处理;

步骤 2: 逐步回归筛选对食味评分存在显著影响的核心理化变量, 剔除冗余噪声指标, 得到精简特征集;

步骤 3: 基于筛选后核心变量构建分类决策树模型, 同时搭建线性回归子模型用于连续食味分值预测;

步骤 4: 模型输入待测大米理化数据, 同步输出两项结果: 回归子模型预测食味连续分值、决策树输出标准化商品等级;

步骤 5: 测试集统一计算全部模型量化评价指标。

通过对比分析多种模型(见表 1), 结合逐步回归和决策树模型构建的大米食味定等分级模型具有显著优势。通过逐步回归筛选出的关键变量具有合理性, 能够有效捕捉影响大米食味品质的重要特征。构建的决策树模型在分类准确性和可解释性方面表现出色, 为大米食味定等分级提供了一种科学、高效的方法(见图 1)。未来的研究可以进一步拓展数据来源, 优化模型参数, 提高模型的稳定性和适应性, 使其能够更广泛地应用于实际的大米品质评价和生产管理中, 为提升大米产业的整体质量和效益发挥重要作用[20]。

参考文献

- [1] 张玉荣, 周显青, 杨兰兰. 大米食味品质评价方法的研究现状与展望[J]. 中国粮油学报, 2009, 24(8): 155-160.
- [2] 姜平, 张晖, 王立, 等. 米饭食味品质评价的研究现状[J]. 粮食与饲料工业, 2011(2): 8-11.
- [3] 李贞. 大米理化性质与食味品质的相关性[J]. 粮食与油脂, 2017, 30(1): 89-92.
- [4] 王玉珠, 林伟锋, 陈中. 大米理化指标与米饭品质相关性的研究[J]. 现代食品科技, 2011, 27(11): 1312-1315.
- [5] 孔凌, 包清彬, 苏欣, 等. 大米储藏品质理化指标的比较研究[J]. 食品科技, 2009, 34(6): 146-150.
- [6] 迟明梅. 大米食用品质的研究进展[J]. 粮油加工与食品机械, 2005(1): 63-66.
- [7] 胡亚微, 杨洋, 彭锦峰. 香味特征香味成分 2-乙酰基-1-吡咯啉提取及检测方法研究进展[J]. 色谱, 2020, 38(7): 768-774.
- [8] 刘洪斌, 段晓亮, 李颖, 等. 大米中 2-乙酰基-1-吡咯啉检测技术及形成机制研究进展[J]. 粮油食品科技, 2022, 30(5): 227-233.
- [9] 苗菁, 苏慧敏, 张敏. 米饭中关键风味化合物的分析[J]. 食品科学, 2016, 37(2): 82-86.
- [10] 张敏, 苏慧敏, 王子元. 稻米加工对米饭风味的影响[J]. 中国粮油学报, 2017, 32(9): 8-14.
- [11] 王鹏跃, 路兴花, 庞林江. 影响米饭质构特性和感官的关键理化因素分析[J]. 食品工业科技, 2016, 37(2): 119-124.
- [12] Li, H., Fitzgerald, M.A., Prakash, S., Nicholson, T.M. and Gilbert, R.G. (2017) The Molecular Structural Features Controlling Stickiness in Cooked Rice, a Major Palatability Determinant. *Scientific Reports*, 7, Article No. 43713. <https://doi.org/10.1038/srep43713>
- [13] Wang, Q., Zhang, D., Liu, J., Shang, B., Duan, X. and Sun, H. (2022) Storage Drives Alterations of Proteomic and Protein Structural Properties in Rice (*Oryza sativa* L.). *Foods*, 11, Article 3541. <https://doi.org/10.3390/foods11213541>
- [14] 林赵淼, 郑德益, 张新城, 等. 稻米垩白形成的生理与分子机制研究进展[J]. 中国稻米, 2015(4): 14-19.
- [15] 陈莫军. 东北优质粳稻生产核心区稻米品质形成及淀粉特性研究[D]: [博士学位论文]. 长春: 吉林大学, 2022.
- [16] 陈能, 罗玉坤, 朱智伟, 等. 优质食用稻米品质的理化指标与食味的相关性研究[J]. 中国水稻科学, 1997(2): 70-76.
- [17] 张栋昊, 蔡妍培, 劳菲, 等. 大米蛋白质与米饭食味品质关联性研究进展[J]. 食品科学, 2023, 44(9): 270-277.
- [18] 周显青, 任洪玲, 张玉荣, 等. 大米主要品质指标与米饭质构的相关性分析[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2012, 33(5): 21-24.
- [19] 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.
- [20] 雷锦超. 稻米食味品质的调控效应研究[D]: [硕士学位论文]. 南京: 南京农业大学, 2017.