

中国粮油学会团体标准

**粮油检验 稻谷新鲜度试剂盒快速判  
别法**

(征求意见稿)

编制说明

标准起草组

2026年4月

# 《金属波纹板屋盖平房仓膜法气密改造操作规范》

## 编制说明

1. 工作简况（包括任务来源、协作单位、主要工作过程、标准主要起草人及其所做的工作等）

1.1 任务来源（包括标准下达计划、标准计划项目调整、标准制修订的背景、必要性和重要意义等）

1.1.1 标准下达计划（包括标准下达计划文件、标准名称、第一起草单位等）

根据我国粮食质量安全监管体系建设的需要，以及粮食收储一线对快速检测技术的迫切需求，河南工业大学向中国粮油学会提出了《粮油检验 稻谷新鲜度试剂盒快速判别法》团体标准的立项申请。经中国粮油学会审议，同意将该标准列入团体标准制定计划，由河南工业大学作为主要起草单位负责开展编制工作。

1.1.2 标准计划项目调整（如有，请写明申请调整的具体内容、理由和依据等）

无。

1.1.3 标准制修订的背景、必要性和重要意义

稻谷是我国最重要的口粮之一，其品质安全直接关系到国家粮食安全和国民健康。国家“十三五”、“十四五”规划纲要及2035远景目标均明确指出要强化粮食质量安全监管，推广粮食收购现场快速检测技术。当前，为了保证国家储备粮的品质和储粮安全，要求收购入库的稻谷必须是新鲜的，因此，建立一套科学、快速、准确的稻谷新鲜度判别方法具有重要的现实背景。

目前，我国现行的稻谷品质检验方法存在明显短板。行业标准LS/T 6118—2017《稻谷新鲜度测定与判别》采用分光光度法，操作繁琐、耗时长、样品需求量大，不适用于粮食收购的现场快速检测。而感官检验方法主观性强，依赖检验员经验；近红外光谱等仪器法则因设备昂贵、需提前建模等因素，难以在基层粮库普及。随着粮食流通市场化改革的深入，新陈稻谷的价格差异日益明显，利用陈稻谷冒充新稻谷的商业行为时有发生，这不仅损害了消费者和加工企业的利益，也给国家粮食储备安全带来了隐患。因此，制定一种能够克服上述缺点、适用于现场的快速检测标准，填补现有技术空白，显得尤为必要和迫切。

本标准的制定旨在将成熟的酸碱指示剂显色原理与标准化的试剂盒相结合，形成一套操作简便、结果直观、成本低廉的稻谷新鲜度快速判别规范。其重要意义在于为粮食收购、仓储、流通等环节提供有力的技术工具，实现对稻谷新鲜度的快速筛查和质量把控，从而提升监管效率；同时确保入库稻谷的质量，从源头减少因陈化粮入库带来的储藏风险，延长粮食安全储存周期，切实保障储粮安全；此外，该标准为判定稻谷新鲜度提供了科学、统一的依据，能有效遏制以陈顶新的不法行为，维护公平的贸易环境，进而规范市场秩序；最终推动快速检测技术的转化与应用，为国家粮食储备库进行科学轮换提供决策支持，助力优质粮油工程的实施，促进产业健康发展。

## **1.2 协作单位**（除第一起草单位外的其他起草单位）

本标准由河南工业大学独立起草。

## **1.3 主要工作过程**（应包括标准起草阶段、征求意见阶段、审查阶段、报批阶段等）

2021年9月-2024年5月，成立标准起草小组，广泛查阅国内外相关文献资料，对现有稻谷新鲜度检测方法进行系统性分析。基于课题组前期已开发出的“稻谷新鲜度现场快速判别试剂盒”及其大量的实验数据，开展了方法的优化、验证和适用性研究，确定了标准的技术原理、操作步骤、结果判定规则等核心内容，并依据 GB/T 1.1 的要求完成了标准草案的编写；

2024年5月—2026年3月，通过咨询行业内专家等方式，完善标准草案，形成征求意见稿；

2026年4月，提交标准征求意见稿和相应的编制说明至中国粮油学会，通过中国粮油学会平台及定向函询等方式，将标准征求意见稿分发至国内相关的粮食收储企业、科研院所、检验检测机构及行业专家，广泛征求意见和建议。

## **1.4 标准主要起草人及其所做的工作等**

张玉荣作为本标准的主编和项目负责人，长期从事粮油品质检测与储藏控制领域的教学与科研工作。在本标准的制定过程中，负责整体技术方案的设计、关键原理的论证以及编制工作的统筹协调，并主笔完成了范围、规范性引用文件、术语和定义等基础章节的编写与最终统稿。

吴琼和张咚咚作为标准的核心起草人，主要负责标准核心技术内容的攻关与验证。吴琼重点研究并撰写了原理和试剂与材料章节；张咚咚则主导了标准色带

的研制、重复性和再现性的实验设计与数据分析，并执笔完成了结果表示和稻谷新鲜度判定规则章节。

周显青、韩佳静、杜耕安等人作为标准的主要起草人，负责将技术方案转化为标准化的操作规程。结合自身丰富的实验操作经验，重点完成了仪器、扦样和操作步骤等关键技术环节的编写与验证，确保了标准方法的高度可操作性和可靠性。

**2. 标准编制原则和确定标准主要内容（如技术指标、参数、公式、性能要求、试验方法、检验规则等）的论据（包括试验、统计数据）。**修订标准时，应列出与原标准的主要差异和水平对比

### 2.1 编制原则

标准在编制过程中，严格遵循以下原则：

（1）科学性与先进性原则。标准基于稻谷储藏过程中脂肪酸值变化导致酸性物质累积的公认科学原理，采用酸碱指示剂显色法，技术路线上成熟可靠。同时，将该原理转化为标准化的快速检测试剂盒，方法上具有先进性和创新性，填补了现有检测体系的空白。

（2）实用性与可操作性原则。标准的制定以解决粮食收购一线实际问题为导向，力求方法简便、快速、低成本。操作步骤明确，对仪器设备要求低，结果通过标准色带比对，直观易判，无需专业化学分析技能，具有极强的现场适用性和可操作性。

（3）统一性与规范性原则。标准的编写格式严格遵守 GB/T 1.1—2009 的规定。在技术内容上，与 GB/T 5491（扦样、分样法）等基础标准保持协调统一，确保本标准能顺利融入现有的粮油检验标准体系。

### 2.2 编制要求

本标准旨在建立一套规范、可靠的稻谷新鲜度试剂盒快速判别方法，编制过程中坚持问题导向以满足实际需求，明确针对现行标准方法操作复杂、耗时长和仪器法成本高昂的痛点，为粮食收购及流通过程中的快速质量控制提供有效技术支撑；同时确保结果可靠且判定清晰，通过保证方法具有良好的灵敏度和准确性，并制定标准化的三级新鲜度色带，最大限度地减少人为判读误差，从而保证检测结果的重复性和再现性；此外做到指标明确以易于推广，标准中规定的各项操作

步骤和技术参数均经过大量实验验证，力求科学合理、简明扼要，便于基层单位的学习、掌握和广泛应用。

### 2.3 编制依据

本标准的主要编制依据如下：

(1) 《中华人民共和国标准化法》、《中华人民共和国食品安全法》，以及国家发展改革委、国家粮食局等部门发布的关于加强粮食质量安全监管、推广快速检测技术的相关政策文件。

(2) GB 1350 《稻谷》、GB/T 20569 《稻谷储存品质判定规则》、GB/T 5491 《粮食、油料检验 扦样、分样法》、LS/T 6118 《粮油检验 稻谷新鲜度测定与判别》以及 GB/T 1.1-2009 《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写规则》等相关的国家及行业标准。

(3) 本标准的核心技术内容基于河南工业大学标准起草组长期的科研积累和专项研究成果，特别是已成功开发的“稻谷新鲜度快速判别试剂盒”及相关的实验验证数据。

### 2.4 各章节编制依据说明

#### 2.4.1 范围

本条款明确了标准的适用对象和用途。鉴于本标准是为解决稻谷在收购、流通环节中的快速鉴定问题而制定，且方法核心是基于试剂盒的判别法，故将范围限定为“适用于稻谷新鲜度的快速判别”。这一定位既突出了本标准的“快速”特性，也明确了其应用场景，避免与实验室精确定量方法相混淆。

#### 2.4.2 规范性引用文件

本条款列出了制定和实施本标准所必须引用的其他标准。

引用 GB 1350 《稻谷》和 GB/T 20569 《稻谷储存品质判定规则》，是为了确保本标准对稻谷的基本质量要求和储存品质概念与国家标准保持一致。

引用 GB/T 5491 《粮食、油料检验 扦样、分样法》，是为了规范样品采集的源头环节，保证待检样品的代表性和有效性，这是所有检验标准的基础。

引用 GB/T 601 《化学试剂标准滴定溶液的制备》和 GB/T 6682 《分析实验室用水规格和试验方法》，主要是为试剂盒生产厂商提供试剂配制和用水质量的依据，保证试剂盒产品的质量稳定。

引用 LS/T 6118 《粮油检验 稻谷新鲜度测定与判别》，是因为本标准是在其

方法基础上进行创新和简化的，引用该标准有助于理解本方法的背景和对比关系。

### 2.4.3 术语和定义

为确保标准使用者对核心概念理解一致，本条款对“新鲜度”和“新鲜稻谷”进行了定义。

新鲜度强调了是通过本标准“规定的实验条件”测得的结果，突出了其操作性定义的特点，避免了与其他生理生化指标定义的混淆。

新鲜稻谷结合了常规认知（当年正常收获）和本标准的判定结果，使定义更加严谨和具有可操作性。

### 2.4.4 原理

本条款阐述了检测方法的核心科学依据。稻谷在储藏过程中，由于自身呼吸作用和微生物活动，脂肪会逐步水解产生脂肪酸，导致粮食的酸度随储藏时间的延长而升高，这是衡量粮食陈化度的经典指标。本标准利用酸碱指示剂（甲基红与溴百里香酚蓝混合液）对酸性物质的颜色反应，将复杂的化学滴定过程转化为直观的颜色变化，从而实现快速判别。该原理科学可靠，已在大量研究中得到证实。

### 2.4.5 试剂与材料

为保证方法的可操作性和结果的一致性，本标准推荐使用标准化的“稻谷新鲜度快速判别试剂盒”。这既是本标准的核心，也是其区别于传统化学分析方法、实现“快速便捷”的关键。

稻谷新鲜度快速判别试剂盒组成内容如下：a) 预装酸碱指示剂甲基红与溴百里香酚蓝混合液(5 mL)若干瓶；b) 手动垄谷器 1 个；c) 镊子 1 个；d) 标准比色卡一张。

具体试剂盒组成如图 1 所示。

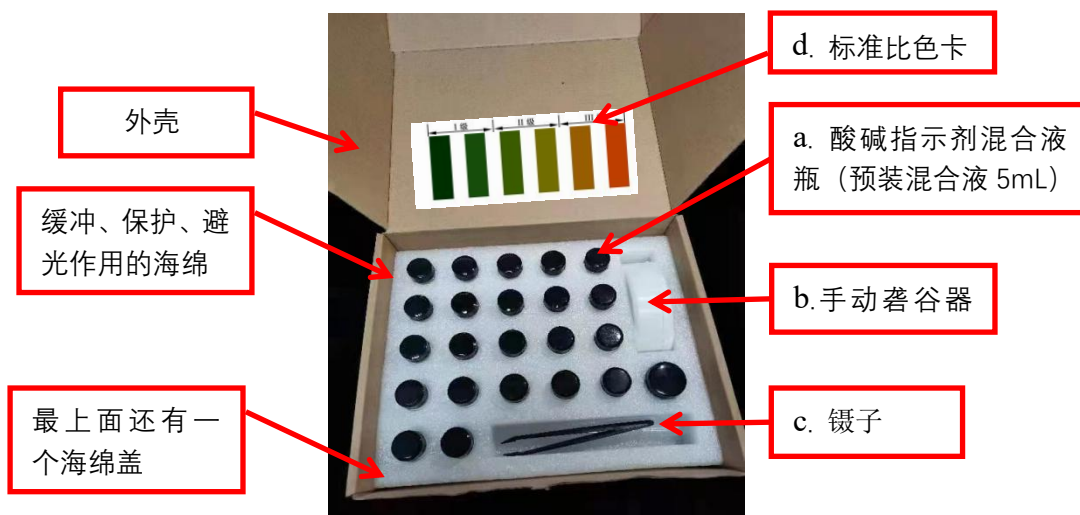


图 1 稻谷新鲜度快速检测试剂盒组成示意图

#### 2.4.6 仪器

本条款规定的仪器均为实验室最基础、最常见的设备，极大地降低了方法的推广门槛，充分体现了本标准“低成本、易普及”的编制原则，满足了基层粮库和收购点的实际条件。

#### 2.4.7 扦样

直接引用 GB/T 5491 的规定，确保了样品采集的规范性和代表性，这是保证后续检测结果准确可靠的前提。

#### 2.4.8 操作步骤

这是标准的核心技术内容，每一个参数的设定都基于大量的实验优化和验证。

##### (1) 测试条件

所有操作应在室温条件下进行，是为了控制实验变量，保持实验的一致性。

##### (2) 试样的制备

规定 5g，是考虑到 5g 样品具有足够的代表性，且脱壳为糙米可以使籽粒内部的酸性物质更充分地、与试剂接触，提高反应灵敏度。

##### (3) 测定步骤

取样量和反应时间是起草组经过多组实验比对后确定的最佳条件。

#### 2.4.9 结果表示 & 2.4.10 标准色带

将结果表示简化为“与标准色带比对”，是本标准实现快速、直观判定的关键设计。标准色带的制定是本标准研制工作的核心成果之一。

标准色带是起草组基于系统性的科学研究成果而制定的，是本标准的核心技

术成果之一。其研制过程主要依据如下：

起草组首先通过高温高湿加速陈化试验，获得了覆盖从新鲜到重度陈化不同梯度的系列稻谷样品。对这些样品，一方面系统测定了脂肪酸值、发芽率、电导率等数十项国标方法或公认的理化品质指标；另一方面，将其制成米饭进行食用品质综合评价。

通过主成分分析、聚类分析和逐步回归等统计学方法，建立了食用品质综合评分与核心敏感指标“脂肪酸值”之间的定量关系模型。在此基础上，将不同脂肪酸值水平的稻谷样品用本标准规定的“酸碱指示剂法”进行显色反应，并用色差计精确测量其颜色值。最终，将与上述脂肪酸值关键阈值相对应的颜色，通过专业图像软件进行还原和标准化，制作成标准色带。

因此，该色带的 I 级、II 级、III 级三个梯度，不仅直观反映了稻谷的陈化程度，更深层次地锚定了其作为主食（米饭）的食用品质等级，其界限划分具有充分的实验数据和统计学意义支撑，能够科学、可靠地反映稻谷的品质劣变程度。

#### **2.4.11 重复性 & 2.4.12 再现性**

这两个条款是评价一个检测方法稳定性和可靠性的重要指标。本标准对重复性和再现性的要求设定为“两次测定结果在同一个新鲜度”，这符合定性/半定量判别方法的特性。

#### **2.4.13 稻谷新鲜度判定规则**

本条款将检测结果与新鲜度等级直接挂钩，为使用者提供了清晰的判定依据，使整个标准形成了一个从操作到判定的完整闭环，增强了标准的实用价值。

### **3. 主要试验（或验证）情况的分析、综述报告，技术经济论证，预期的经济效果**

#### **3.1 主要试验（或验证）情况分析**

为确保本标准的技术先进性、科学合理性和实际可操作性，标准起草组开展了系统性的试验研究与验证工作，主要包括以下三个方面：

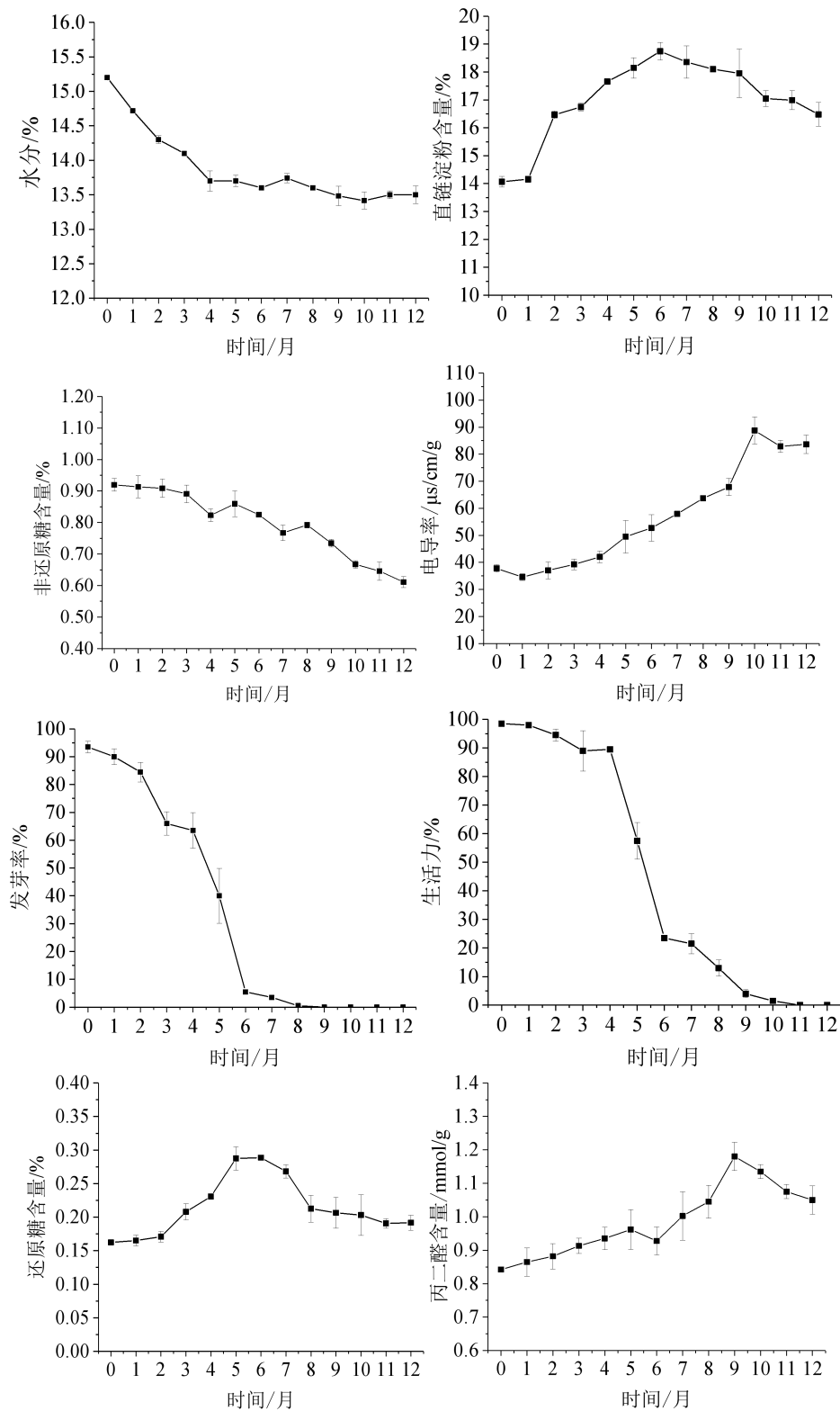
##### **3.1.1 稻谷储藏过程中原料品质与食用品质的变化**

采用新收获的优质稻谷为原料，在恒温恒湿培养箱中进行高温高湿加速陈化试验，每月取样，获得了覆盖从新鲜到重度陈化不同阶段的一系列梯度样品。

对每个阶段的样品，系统测定了包括储藏品质（图 2）、生理活性（多种酶

活性) (图 3)、加工品质 (图 4)、糊化特性 (表 5) 和食用品质 (以米饭的质构特性和感官评分为主) 在内的多项指标。

### (1) 储藏品质



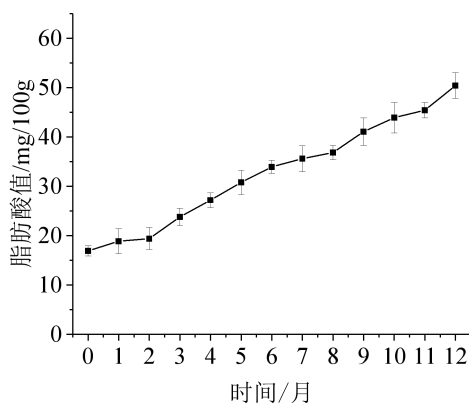


图 2 稻谷在储藏过程中储藏品质的变化

为了解储藏时间对稻谷储藏品质指标的影响,对稻谷的储藏品质指标进行差异性和变异程度的分析,结果如表 1 和表 2。

表 1 稻谷储藏品质的变化及差异性分析

时间/月	水分/%	直链淀粉/%	还原糖/%	非还原糖%
0	14.5±0.02a	14.07±0.19e	0.16±0.004e	0.92±0.02a
1	12.7±0.00b	14.16±0.11e	0.17±0.008e	0.91±0.04ab
2	12.8±0.06b	16.47±0.14d	0.17±0.008de	0.91±0.03ab
3	12.7±0.02b	16.75±0.14d	0.21±0.012bc	0.89±0.03ab
4	11.9±0.15c	17.66±0.04bc	0.23±0.004b	0.82±0.02cd
5	11.9±0.08c	18.15±8.37ab	0.29±0.017a	0.86±0.04bc
6	11.8±0.03c	18.75±0.32a	0.29±0.001a	0.82±0.00cd
7	11.7±0.07c	18.36±0.58ab	0.27±0.010a	0.77±0.02efg
8	11.5±0.02d	18.10±0.07ab	0.21±0.020bc	0.79±0.01def
9	11.5±0.14d	17.96±0.87ab	0.21±0.023bc	0.73±0.01g
10	11.4±0.12d	17.05±0.28cd	0.20±0.030bcd	0.66±0.01h
11	11.1±0.06d	16.99±0.34cd	0.19±0.007cde	0.65±0.03hi
12	11.1±0.13d	16.48±0.42d	0.19±0.011cde	0.61±0.02i
平均值	13.9	16.99	0.21	0.79
标准差	0.55	1.47	0.04	0.11
变异系数	3.92	8.67	20.45	13.18

注:表中数据为  $M \pm SD$ ,同一列中不同字母表示样品在不同时间下存在显著性差异( $P = 0.05$ )

表 2 稻谷储藏品质的变化及差异性分析

时间/月	发芽率/%	生活力/%	脂肪酸值/ mg/100g	丙二醛/ μmol/g	电导率/ μs/cm/g
0	93.5±2.1a	98.5±0.7a	16.93±1.04i	0.84±0.00g	37.78±1.41f
1	90.0±2.8ab	98.0±0.0a	18.88±2.52i	0.86±0.04fg	34.55±1.21f
2	84.5±3.5b	94.5±2.1ab	21.41±2.24hi	0.88±0.04fg	37.04±3.14f
3	66.0±4.2c	89.0±7.1b	23.80±1.77gh	0.91±0.02efg	39.26±2.00f
4	63.5±6.4c	89.5±0.7b	27.21±1.49fg	0.94±0.03efg	42.03±2.21f
5	40.0±9.9d	57.5±6.4c	30.79±2.45ef	0.96±0.06def	49.50±6.02e
6	5.5±0.7e	23.5±0.7d	32.96±1.32de	0.93±0.04efg	52.75±4.94de
7	3.5±0.7e	21.5±3.5d	35.60±2.62de	1.00±0.07cde	57.94±0.43cd
8	0.5±0.7e	13.0±2.8e	36.86±1.41cd	1.05±0.05bcd	63.68±0.96bc
9	0.0±0.0e	4.0±1.4f	41.07±2.80bc	1.18±0.04a	67.89±3.23b
10	-	1.5±0.7f	43.93±3.07b	1.14±0.02ab	88.75±5.00a
11	-	0.0±0.0f	45.44±1.58b	1.08±0.02bc	82.90±2.28a
12	-	0.0±0.0f	50.41±2.62a	1.05±0.04bcd	83.67±3.37a
平均值	34.38	45.42	32.71	0.99	56.75
标准差	39.42	42.67	10.72	0.11	19.23
变异系数	114.63	93.95	32.76	10.90	33.88

注:表中数据为 M±SD, 同一列中不同字母表示样品在不同时间下存在显著性差异( $P = 0.05$ )

由表 1、2 的差异性分析可知:水分在储藏 1、4 个月时出现显著性下降, 8—12 月无显著性变化, 即水分在储藏后期已趋于稳定;直链淀粉在储藏 2 个月显著升高,且在 5、6、7、8、9 月无显著性差异,较为稳定,在第 10 个月时显著下降;还原糖在 5—7 月最高,其他月份均有显著性变化;非还原糖在储藏期间一直呈现显著下降的趋势;发芽率和生活力均是在储藏前期变化显著,在中后期已丧失活性,无显著性变化。脂肪酸值、丙二醛和电导率在储藏过程中都处于升高的趋势,且变化均显著。变异系数可表示品质指标在储藏期内的稳定性,由表 1、2 的变异系数可知,在 12 个月内的储藏期内,发芽率和生活力的变异系数最大,两者的波动最大。水分的变异系数最小,说明水分在储藏期间最稳定。综合储藏品质的差异性分析和变异系数可知,储藏期间,直链淀粉、还原糖、非

还原糖、发芽率、生活力、脂肪酸值、丙二醛和电导率对储藏时间较敏感。

(2) 生理活性

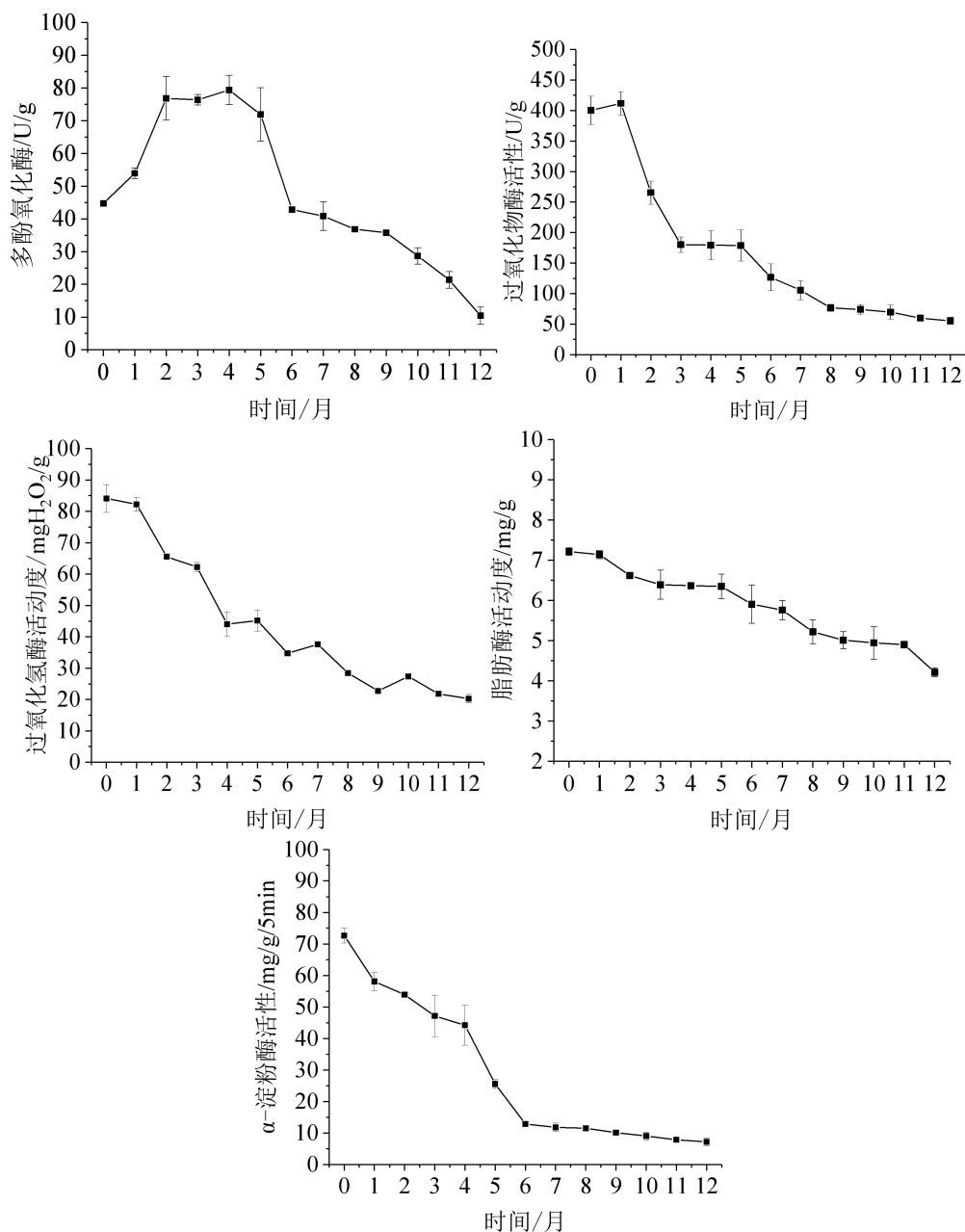


图3 稻谷在储藏过程中生理活性的变化

表3 稻谷生理活性的变化及差异性分析

时间/月	$\alpha$ -淀粉酶/ mg/ g•5min	过氧化物酶/ U/g	过氧化氢酶/mg• H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> /g	多酚氧化酶/ U/g	脂肪酶/ mg/g
0	72.65±2.38a	400.22±23.45a	84.13±4.42a	44.78±0.51c	7.21±0.09a
1	58.09±3.00b	411.76±19.09a	82.27±2.16a	53.92±1.61b	7.14±0.10ab
2	53.91±0.63b	265.62±18.97b	65.54±0.56b	76.87±6.68a	6.62±0.07bc

3	47.15±6.59c	180.25±12.50c	62.24±1.44b	76.41±1.63a	6.39±0.36cd
4	44.20±6.34c	179.48±23.79c	44.04±3.93c	79.40±4.46a	6.37±0.02cd
5	25.56±1.39d	178.90±25.60c	45.20±3.39c	71.92±8.16a	6.35±0.31cd
6	12.84±0.31e	126.67±22.03d	34.72±0.22d	42.85±0.61cd	5.90±0.48de
7	11.81±1.32e	105.50±15.77de	37.60±0.87d	40.86±4.37cd	5.76±0.24ef
8	11.52±0.74e	76.72±5.59ef	28.43±0.05e	36.85±0.65cde	5.22±0.30fg
9	10.11±0.41e	74.06±7.78ef	22.71±0.58f	35.79±0.65de	5.01±0.21g
10	9.06±1.24e	69.70±11.95ef	27.36±0.73e	28.71±2.49ef	4.95±0.40g
11	7.83±0.33e	59.89±2.33f	21.80±0.78f	21.36±2.54f	4.90±0.08g
12	7.19±1.24e	55.39±5.87f	20.25±1.41f	10.41±2.62g	4.22±0.11h
平均值	28.61	168.01	44.33	47.70	5.85
标准差	23.24	122.50	22.41	22.53	0.93
变异系数	81.24	72.91	50.56	47.22	15.92

注:表中数据为  $M \pm SD$ , 同一列中不同字母表示样品在不同时间下存在显著性差异( $P = 0.05$ )

由表 3 知, 稻谷的生理活性随储藏时间的延长出现不同的变化。 $\alpha$ -淀粉酶活性在储藏前期 0—6 月期间呈现显著性下降趋势, 在储藏后期未发生显著性变化, 一直处于稳定状态; 过氧化物酶、过氧化氢酶和脂肪酶活性均是在储藏 2 个月时出现显著性降低, 在 8—12 月时出现较为稳定的状态; 多酚氧化酶活性在前两个月显著升高, 2—5 月保持稳定, 第 6 个月开始出现显著性下降;  $\alpha$ -淀粉酶、过氧化物酶、过氧化氢酶、多酚氧化酶和脂肪酶的活性均是在第 12 月达到最低。由变异系数可知, 在储藏期间, 由储藏时间引起的 5 种酶活性波动大小顺序为脂肪酶 < 多酚氧化酶 < 过氧化氢酶 < 过氧化物酶 <  $\alpha$ -淀粉酶, 即脂肪酶活性在储藏期间的波动最小, 而  $\alpha$ -淀粉酶活性的变异幅度最大, 综合生理活性的差异性分析和变异系数可知, 储藏期间生理活性均可作为与储藏时间敏感的指标。

### (3) 加工品质

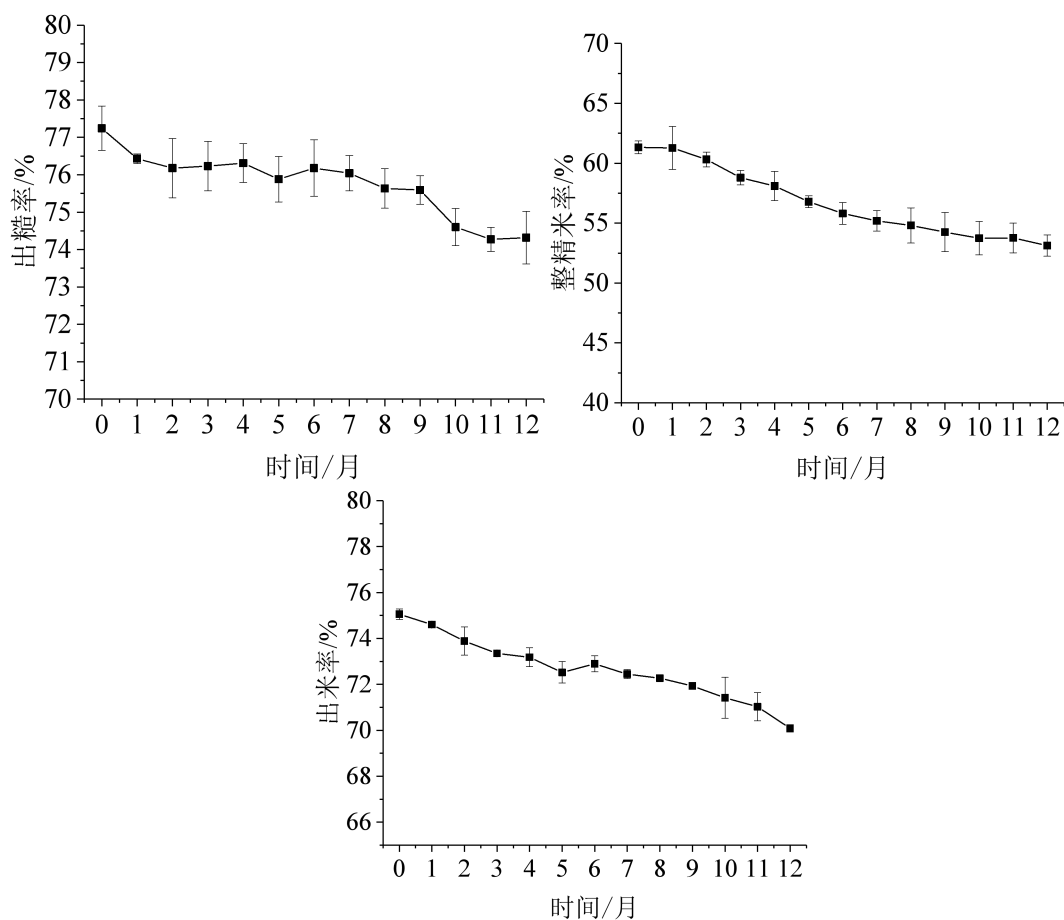


图 4 稻谷在储藏过程中加工品质的变化

表 4 稻谷加工品质的变化及差异性分析

时间/月	出糙率/%	整精米率/%	出米率/%
0	77.24±0.60a	61.32±0.53a	75.05±0.23a
1	76.43±0.13ab	61.28±1.79a	74.60±0.11ab
2	76.17±0.79ab	60.32±0.62ab	73.88±0.61bc
3	76.23±0.66ab	58.79±0.60abc	73.35±0.14c
4	76.31±0.52ab	58.09±1.21bcd	73.18±0.41cd
5	75.87±0.61abc	56.79±0.49cde	72.52±0.46de
6	76.17±0.75b	55.81±0.91def	72.90±0.35de
7	76.04±0.47ab	55.18±0.87ef	72.44±0.20de
8	75.64±0.53bc	54.80±1.47ef	72.27±0.13def
9	75.59±0.38bcd	54.24±1.62ef	71.93±0.07efg
10	74.60±0.49cde	53.74±1.39f	71.41±0.89fg

11	74.27±0.32e	53.76±1.24f	71.02±0.61g
12	74.32±0.70de	53.13±0.89f	70.08±0.17h
平均值	75.76	56.71	72.67
标准差	0.88	2.95	1.39
变异系数	1.16	5.21	1.92

注:表中数据为 M±SD, 同一列中不同字母表示样品在不同时间下存在显著性差异(P = 0.05)

由表 4 知, 稻谷的加工品质在储藏 12 个月内的显著性变化。出糙率在储藏第 8 个月与原始样品出现显著性差异; 整精米率在储藏第 4 个月与原始样品出现显著性差异, 且储藏 6—12 月期间无显著性变化; 出米率在 5—9 月期间无显著性变化; 加工品质指标在储藏期间变化较小, 基本无显著的差异性。从变异系数的结果可知, 加工品质的变异系数均较小, 说明储藏时间引起的加工品质变异幅度不大。因此, 加工品质不适于作为稻谷储藏过程中的敏感指标。

#### (4) 糊化特性

表 5 稻谷在储藏过程中糊化特性的变化

时间/月	峰值粘度/cP	最低粘度/cP	衰减值/cP	最终粘度/cP	回生值/cP	峰值时间/min	糊化温度/°C
0	3059.5±34.6def	1807.0±15.6g	1252.5±50.2c	3092.0±1.4g	1285.0±17.0h	6.23±0.05a	83.15±0.07f
1	3535.0±45.3bc	1930.5±33.2f	1604.5±12.0a	3506.0±41.0f	1575.5±7.8g	5.97±0.05b	83.08±0.04f
2	3777.5±160.5a	2133.0±42.4e	1644.5±118.1a	3726.0±73.5e	1593.0±31.1g	5.80±0.00e	83.53±0.53ef
3	3656.0±100.4ab	2187.0±58.0cde	1469.0±42.4b	3836.5±64.3d	1649.5±6.4f	5.80±0.00e	84.28±0.46e
4	3432.0±12.7c	2230.5±21.9abc	1201.5±9.2c	3964.5±23.3c	1734.0±1.4e	5.90±0.05bcd	85.83±0.60d
5	3191.5±6.4d	2171.0±4.2de	1020.5±2.1d	3952.5±23.3c	1781.5±19.1de	5.83±0.05de	86.70±0.49cd
6	3146.0±29.7de	2156.5±14.8de	989.5±44.5d	3954.5±3.5c	1798.0±18.4cd	5.80±0.09e	86.68±0.53cd
7	2959.5±46.0fg	2152.5±26.2de	807.0±19.8e	3999.0±15.6c	1846.5±10.6abc	5.93±0.00bc	88.15±0.57a
8	3033±7.07ef	2257.5±0.7ab	775.5±6.4ef	4092.5±43.1b	1835.0±42.4bc	5.93±0.00bc	87.77±0.04ab
9	3019±52.33ef	2257.5±9.2ab	761.5±43.1efg	4113.0±38.2ab	1855.5±29.0ab	5.86±0.00cde	87.05±0.07bc
10	2977±29.70fg	2206.5±12.02bcd	713.0±15.56efg	4103.0±11.31ab	1896.5±23.33a	5.93±0.00bc	87.40±0.49abc
11	2971.5±9.19fg	2271.0±9.90a	699.5±20.51fg	4139.5±23.33ab	1868.5±33.23ab	5.86±0.00cde	87.28±0.74abc
12	2848.5±10.61g	2288.5±2.12a	663.0±16.97g	4178.5±14.85a	1890.0±12.73a	5.80±0.00e	87.08±0.04bc
平均数	3200.4	2157.6	1046.3	3896.73	1739.1	5.90	86.00

标准差	299.2	139.6	354.6	305.6	174.7	0.12	1.83
变异系数	9.35	6.47	33.89	7.84	10.04	1.98	2.13

稻谷的糊化特性是反映稻谷品质的重要指标,与稻谷的烹调和食用品质密切相关。由表 5 可知,峰值粘度随储藏时间的延长,在第 2 个月达到峰值并开始下降,在第 12 个月达最小值 2848.5cp,峰值粘度在储藏初期上升的原因与稻谷中  $\alpha$ -淀粉酶活性逐渐下降相关。储藏过程中,稻谷的最低粘度总体呈现上升的趋势,在前 4 个月显著性上升,5—12 个月期间为波动上升。衰减值是峰值粘度与最低粘度之差,呈先上升后下降的变化趋势,这与淀粉结构逐渐加强相关,而且淀粉颗粒表面的电荷特性阻碍了糊化作用。最终粘度和回生值随储藏时间的延长呈不断上升的趋势。糊化温度在第 7 个月达到峰值后开始缓慢下降。由糊化特性的变异系数可知,糊化特性在储藏期间的波动幅度大小为峰值时间 < 糊化温度 < 最低粘度 < 最终粘度 < 峰值粘度 < 回生值 < 衰减值,峰值时间和糊化温度的变化幅度较小,不适于作为稻谷储藏期间的敏感指标。

#### (5) 食用品质

在测定完成原料品质之后,对米饭的食用品质进行了测定。质构仪通过模拟口腔咀嚼食物的运动测得质构特性,米饭的质构特性能够反映消费者对稻谷的最终接受程度。稻谷在储藏过程中的质构特性变化如表 6:

表 6 米饭的质构品质在储藏过程中的变化

时间 /月	硬度/g	粘性/g·s <sup>-1</sup>	弹性	内聚性	咀嚼性	回复性
0	1817.06±117.25f	252.89±46.69a	0.77±0.04a	0.43±0.04ab	919.42±183.96abc	0.19±0.03a
1	2250.65±161.17e	227.21±21.30a	0.74±0.10ab	0.42±0.02ab	797.69±132.27c	0.18±0.0a
2	2181.91±124.19e	220.24±23.66a	0.71±0.02abc	0.41±0.04ab	775.69±190.13c	0.16±0.02a
3	2345.75±162.42de	214.07±29.24ab	0.73±0.07ab	0.43±0.04ab	886.69±157.61abc	0.17±0.01a
4	2419.18±157.48de	173.46±47.70bc	0.75±0.04ab	0.44±0.02a	953.93±77.73abc	0.19±0.01a
5	2404.61±114.77de	131.43±13.26cde	0.71±0.03abc	0.42±0.02ab	818.18±118.12bc	0.19±0.01a
6	2543.42±177.29cd	144.27±48.60cd	0.74±0.02ab	0.44±0.03a	873.60±191.60abc	0.17±0.01a
7	2571.81±180.87cd	107.16±44.71def	0.72±0.02abc	0.43±0.03ab	916.82±67.34abc	0.18±0.02a
8	2546.08±168.87cd	97.11±22.78defg	0.71±0.05abc	0.42±0.04ab	902.75±84.72abc	0.17±0.03a

9	2666.71±195.02bc	76.93±8.99fg	0.69±0.02bc	0.40±0.01ab	982.02±135.26abc	0.18±0.02a
10	2727.66±108.74abc	92.37±15.76efg	0.70±0.02abc	0.39±0.01b	1057.03±136.23a	0.19±0.01a
11	2870.41±153.30ab	55.00±14.99g	0.65±0.03c	0.40±0.03ab	961.19±105.70abc	0.19±0.01a
12	2911.99±143.74a	59.82±9.42fg	0.68±0.02bc	0.41±0.03ab	1030.44±132.46ab	0.19±0.02a

由表 6 可知,米饭的硬度随储藏时间的延长逐渐增大,储藏 1 个月后出现显著增大,储藏 2-5 月时增大的幅度减缓,无显著差异性,米饭硬度在储藏 12 个月达到最大。根据先前的研究,新鲜大米在室温下储藏 12 个月,米饭的硬度明显增大,原因是陈米在蒸煮过程中淀粉颗粒的吸水能力变弱,颗粒的膨胀受到限制,结晶结构被破坏的程度变小,进一步形成聚合物,从而形成硬度较大的淀粉凝胶。此外,米饭硬度增大的原因可能是淀粉与蛋白质的结合作用加强。同时也有研究表明,随储藏时间延长,游离脂肪酸含量增加,导致其包藏在淀粉的螺旋结构中形成了淀粉-脂质复合物,使糊化温度增高,淀粉粒强度增强,米饭的硬度增大。总之,米饭硬度增大的原因有很多,不止与淀粉有关,还和脂质、蛋白质等有关。粘性是指模拟咀嚼过程中由于牙齿与米饭之间的摩擦形成局部固态连接的现象。从表 6 可知,粘性随储藏时间的延长而不断下降,储藏 4 个月时出现显著下降,8-12 月无显著变化,粘性基本稳定。米饭的粘性越低说明米饭越松散。粘性降低同样与蛋白质以及脂类和淀粉的相互作用有关。弹性是指米饭经过质构仪探头压缩后能够恢复的程度,弹性越大,米饭越有嚼劲。由表 6 知,弹性呈现波动变化,但总体呈现下降的趋势,表明米饭的嚼劲下降。咀嚼性是指将固体样品咀嚼成可吞咽时状态所需要的能量大小。咀嚼性随储藏时间的延长呈现无显著性差异的波动变化,直至第 10 个月时显著增大。内聚性能反映米饭在口中的易破碎程度,内聚性越大说明米饭在口中越难以破碎。内聚性整体变化不大,无明显规律,分别在储藏 6、10 月时达到最大和最小,两者之间相差 0.05,内聚性大小与淀粉颗粒的抗破坏性以及不溶物含量相关。回复性随着储藏时间的延长未达到显著差异,因此米饭的回复性受储藏时间的影响不大。

米饭的质构特性不能完全评价米饭的适口性,应结合感官评分对米饭做出综合评价。

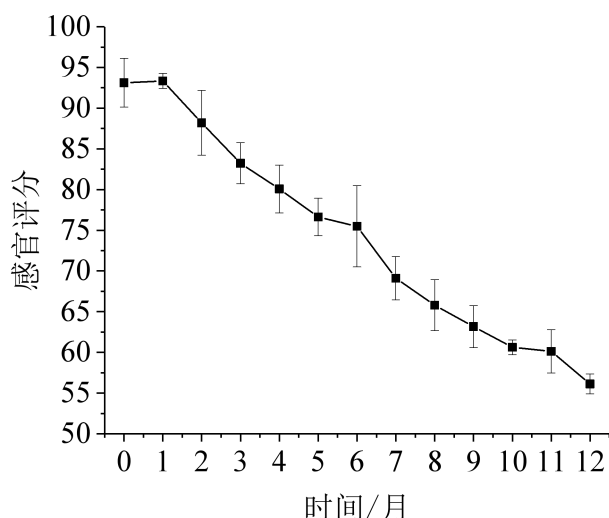


图 5 稻谷在储藏过程中感官品质的变化

从图 5 可知，在 12 个月的储藏期内，稻谷的感官评分呈现不断下降的趋势。新收获的稻谷米饭感官评分为 93.12，在储藏前期米饭的感官评分均较高，说明稻谷越新鲜，其米饭的适口性越强。储藏 7 个月后感官评分为 69.12 分，达到稻谷储存判定规则中的轻度不宜存标准，在第 12 个月时为 56.13 分，达到重度不宜存标准。稻谷的口感变劣与稻谷的粘度下降、酸度增加等有关。

### 3.1.2 稻谷陈化度阈值区间的确定

在了解稻谷储藏过程中储藏品质、生理活性、加工品质、糊化特性和最终食用品质的变化规律后，探讨稻谷的食用品质与原料特性之间的关系，结合稻谷的不同食用品质对其原料品质的适用性要求，确定稻谷食用品质的分级标度和阈值区间。

#### (1) 综合评分

首先，利用主成分分析法建立不同食用品质下的品质评价模型，并计算出综合评分。

为了消除感官评价主观性带来的影响，采用 SPSS 数据处理系统的因子分析法对米饭的质构和感官品质进行综合评定。令  $X_1$  为气味， $X_2$  为滋味， $X_3$  为色泽， $X_4$  为外观结构， $X_5$  为品尝评分， $X_6$  为硬度， $X_7$  为粘性， $X_8$  为弹性， $X_9$  为内聚性， $X_{10}$  为咀嚼性， $X_{11}$  为回复性，通过因子分析得到方差贡献率和累计贡献率，以特征值大于 1 的原则提取了 2 个主成分，如表 7。

表 7 米饭品质的特征值及方差贡献率

序号	特征值	贡献率/%	累计贡献率
----	-----	-------	-------

1	8.356	75.961	75.961
2	1.086	9.876	85.837

由表 7 可知，第一个主成分的方差贡献率是 75.961%，第二个主成分的方差贡献率是 9.876%，两个主成分的方差贡献率占有所有主成分方差的 85.837%。由此可见，选择前两个主成分已足够替代原来的变量。各主成分的特征向量如表 8。

**表 8 米饭品质的主成分特征向量**

变量	主成分 1	主成分 2	变量	主成分 1	主成分 2
气味/ $X_1$	0.339	-0.001	粘性/ $X_7$	0.337	0.017
滋味/ $X_2$	0.327	-0.039	弹性/ $X_8$	0.290	0.418
色泽/ $X_3$	0.327	-0.021	内聚性/ $X_9$	0.231	0.391
外观结构/ $X_4$	0.319	0.082	咀嚼性/ $X_{10}$	-0.255	0.492
品尝评分/ $X_5$	0.342	-0.012	回复性/ $X_{11}$	-0.172	0.647
硬度/ $X_6$	-0.327	-0.053	-	-	-

关系式如下：

$$F_1=0.339X_1+0.327X_2+0.327X_3+0.319X_4+0.342X_5-0.327X_6+0.337X_7+0.290X_8+0.231X_9-0.255X_{10}-0.172X_{11}$$

$$F_2=-0.001X_1-0.039X_2-0.021X_3+0.082X_4-0.012X_5-0.053X_6+0.017X_7+0.418X_8+0.391X_9+0.492X_{10}+0.647X_{11}$$

上述两个关系式中的各个变量并非原始变量，而是标准化变量。

$F_1$  和  $F_2$  两个主成分可根据方差贡献率获得米饭品质的综合评价，得到米饭品质综合评分计算公式：

$$Z=0.885F_1+0.115F_2$$

由上述公式，计算以不同储藏时间下稻谷为原料的米饭主成分得分和综合得分，结果如表 9。从表 9 可知，综合评分随着储藏时间的延长而下降，说明米饭的综合品质也是由时间的延长而逐渐降低。

**表 9 米饭的主成分得分和综合得分**

储藏时间/月	$F_1$	$F_2$	Z	储藏时间/月	$F_1$	$F_2$	Z
0	4.500	1.453	4.150	7	-0.848	0.178	-0.730
1	3.593	-0.354	3.139	8	-1.067	-0.828	-1.039

2	2.964	-2.283	2.361	9	-2.782	-0.475	-2.516
3	2.094	-0.336	1.814	10	-3.098	0.559	-2.678
4	1.312	1.931	1.383	11	-3.772	-0.432	-3.388
5	0.406	0.069	0.367	12	-4.219	0.547	-3.671
6	0.916	-0.031	0.807	-	-	-	-

## (2) 聚类分析

其次，用综合评分评价米饭品质的优劣，对综合评分  $Z$  进行层次聚类，聚类分析结果如图：

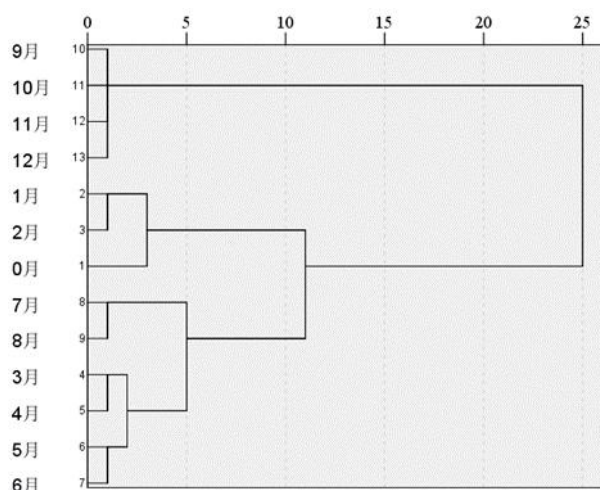


图 6 米饭综合评分聚类分析树状图

由图 6 知，在欧式平方距离 10 处，可以将米饭品质分为 3 类。第一类综合评分范围在 2.361—4.150，包括储藏时间为 0、1 和 2 个月的稻谷做成的米饭，此类稻谷做出的米饭综合分值最高；第二类综合得分在 -1.039 和 1.814 之间，包括储藏时间为 3、4、5、6、7 和 8 个月加工的米饭，此类稻谷加工的米饭综合评分一般；第三类综合评分在 -3.671 和 -2.516 之间，包括储藏时间为 9、10、11 和 12 个月的稻谷加工制作的米饭，此类稻谷加工的米饭综合评分较低。

基于系统分类的结果，将在高温高湿环境下陈化 12 个月的稻谷加工的米饭品质划分为优、中和差 3 个等级，如表 10：

表 10 米饭的品质优劣划分

综合分值范围	品质等级
$\geq 2.361$	优
$\geq -1.039$	中

(3) 米饭品质与原料特性的数学关系模型

原料的品质特性会影响米饭的品质，但原料的品质众多，可选择对米饭综合评分影响显著的指标进行测定，从而判断米饭的品质。因此，以米饭的综合评分为因变量 Y，以稻谷的原料指标为自变量，通过多重线性逐步回归建立数学模型，结果如表 11。稻谷的原料指标包括直链淀粉 X<sub>1</sub>、还原糖 X<sub>2</sub>、非还原糖 X<sub>3</sub>、发芽率 X<sub>4</sub>、生活力 X<sub>5</sub>、脂肪酸值 X<sub>6</sub>、丙二醛 X<sub>7</sub>、电导率 X<sub>8</sub>、α-淀粉酶 X<sub>9</sub>、过氧化物酶 X<sub>10</sub>、过氧化氢酶 X<sub>11</sub>、多酚氧化酶 X<sub>12</sub>、脂肪酶 X<sub>13</sub>、峰值粘度 X<sub>14</sub>、最低粘度 X<sub>15</sub>、衰减值 X<sub>16</sub>、最终粘度 X<sub>17</sub>、回生值 X<sub>18</sub>。

表 11 米饭综合品质对原料品质的逐步回归分析预测模型

模型	自变量	回归方程	F	R	调整 R
1	X <sub>6</sub>	Y=7.729-0.236X <sub>6</sub>	497.79**	0.989	0.988
2	X <sub>6</sub> 、X <sub>7</sub>	Y=11.357-0.191X <sub>6</sub> -5.165X <sub>7</sub>	435.27**	0.994	0.993
3	X <sub>6</sub> 、X <sub>7</sub> 、X <sub>14</sub>	Y=14.463-0.209X <sub>6</sub> -5.119X <sub>7</sub> -0.001X <sub>14</sub>	401.72**	0.996	0.995

注：\*表示显著水平(P < 0.05)；\*\*表示极显著水平(P < 0.01)

由表 11 得，在逐步回归的过程中，系统建立了与 X<sub>6</sub>、X<sub>7</sub> 和 X<sub>14</sub> 的模型，三个模型均具有极显著性。与 Y 线性关系最强的是 X<sub>6</sub>，Y 与 X<sub>6</sub> 的一元线性模型的相关系数达 0.989，说明米饭的综合评分与 X<sub>6</sub> 为强相关的线性关系。模型引入 X<sub>7</sub> 后，建立了 Y 与 X<sub>6</sub>、X<sub>7</sub> 的二元线性回归模型，相关系数为 0.994，进一步引入 X<sub>14</sub> 后，相关系数提升至 0.996，因此线性回归方程引入的自变量越多，模型越理想化，但考虑到变量的增加会使每个自变量的区间误差积累从而将影响总体误差，降低方程的稳定性，因此选用模型 1 为最优回归模型，其方程为式：  
Y=7.729-0.236X<sub>6</sub>

(4) 米饭品质优劣所对应原料脂肪酸值阈值区间的确定

已知米饭的综合评分与稻谷的脂肪酸值具有强线性关系，由表 10 对米饭的综合品质优劣划分，结合式 Y=7.729-0.236X<sub>6</sub>，可得脂肪酸值所对应米饭品质的阈值区间：

表 11 脂肪酸值区间对应的米饭品质

脂肪酸值范围	米饭品质等级
--------	--------

$\leq 23$	优
$\leq 37$	中
$> 37$	差

### 3.1.3 快速检测方法的建立与优化

在明确了脂肪酸值与米饭品质等级对应的关系后，课题组对基于酸碱指示剂的快速显色法进行了系统性的建立与优化。

#### (1) 方法的筛选

利用 2013-2017 年自然陈化的稻谷，对比了多种化学显色法后，最终确定酸碱指示剂法因其灵敏度高、稳定性好、安全性高而作为技术路线。结果如下：

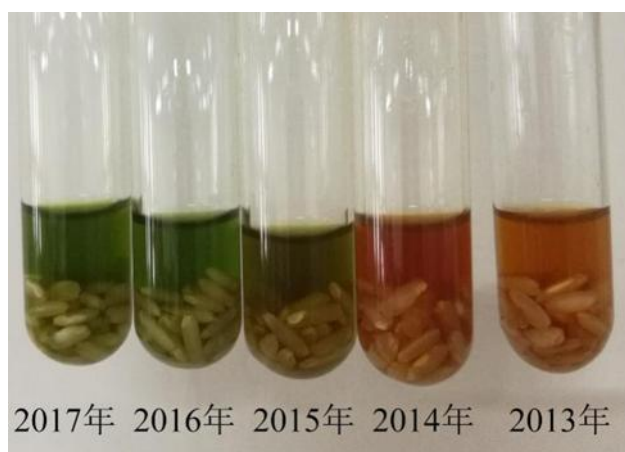


图 7 酸碱指示剂法的显色效果

将 2013—2017 年份的各 10 份样品的溶液颜色按照绿色、浅绿色、黄绿色、黄色和桔黄色 5 种颜色进行统计分析，如表 12。

表 12 酸碱指示剂法的显色结果

年份 \ 颜色	绿色	浅绿色	黄绿色	黄色	桔黄色
2017	8	2	0	0	0
2016	1	7	2	0	0
2015	0	3	5	2	
2014	0	0	0	5	5
2013	0	0	0	3	7

从实验结果图 7 与表 12 可知，酸碱指示剂法反应迅速，反应液的颜色出现绿色、浅绿、黄色、桔黄等多种颜色，且颜色稳定，不随放置时间而变化。不同陈化度的稻谷出现的颜色差异较大，比其他检测方法单一地根据是否染色或者颜

色深浅更直观、简单。由试验结果可知，稻谷由新到陈其溶液颜色的变化为由绿变黄，具有一定的规律性。由此可见，酸碱指示剂法可通过溶液显色用于判断稻谷的具体陈化度。

## (2) 方法的优化

对酸碱指示剂法的反应条件进行优化，使反应液的颜色范围达到最大，以便能够细化其陈化度。选择 BTB 浓度、CR 浓度、乙醇浓度和反应时间为试验因素，进行单因素试验和正交试验，优化酸碱指示剂的检测条件。

采用国际照明委员会 (CIE) 推荐使用的 CIEL\*a\*b\*颜色标准模型来检测被测样品的颜色，CIEL\*a\*b\*颜色标准模型较好地模拟了人眼对颜色的感觉，其中 L\*表示明度，+L\*表示白色，-L\*表示黑色；+a\*表示红色，-a\*表示绿色；+b\*表示黄色，-b\*表示蓝色，用 L\*、a\*和 b\*可以表示任何颜色<sup>[107]</sup>。

色差是指用数值的方法表示两种颜色给人眼感觉上的差别，可按照下列公式计算：

$$\text{明度差: } \Delta L^* = L_1^* - L_2^*$$

$$\text{色度差: } \Delta a^* = a_1^* - a_2^*$$

$$\Delta b^* = b_1^* - b_2^*$$

$$\text{总色差: } \Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$$

Lab 色系中的色差 $\Delta E$ 以 NBS 为色差单位，色差越大，人眼越易区分。NBS 单位与人眼感觉色差的程度如表 13。

表 13 NBS 单位与颜色感觉程度对照表

NBS	色差感觉程度	NBS	色差感觉程度
0~0.50	痕迹	3.01~6.00	可识别
0.51~1.50	轻微	6.01~12.00	大
1.51~3.00	可觉察	>12.00	非常大

单因素结果如图 8 所示：

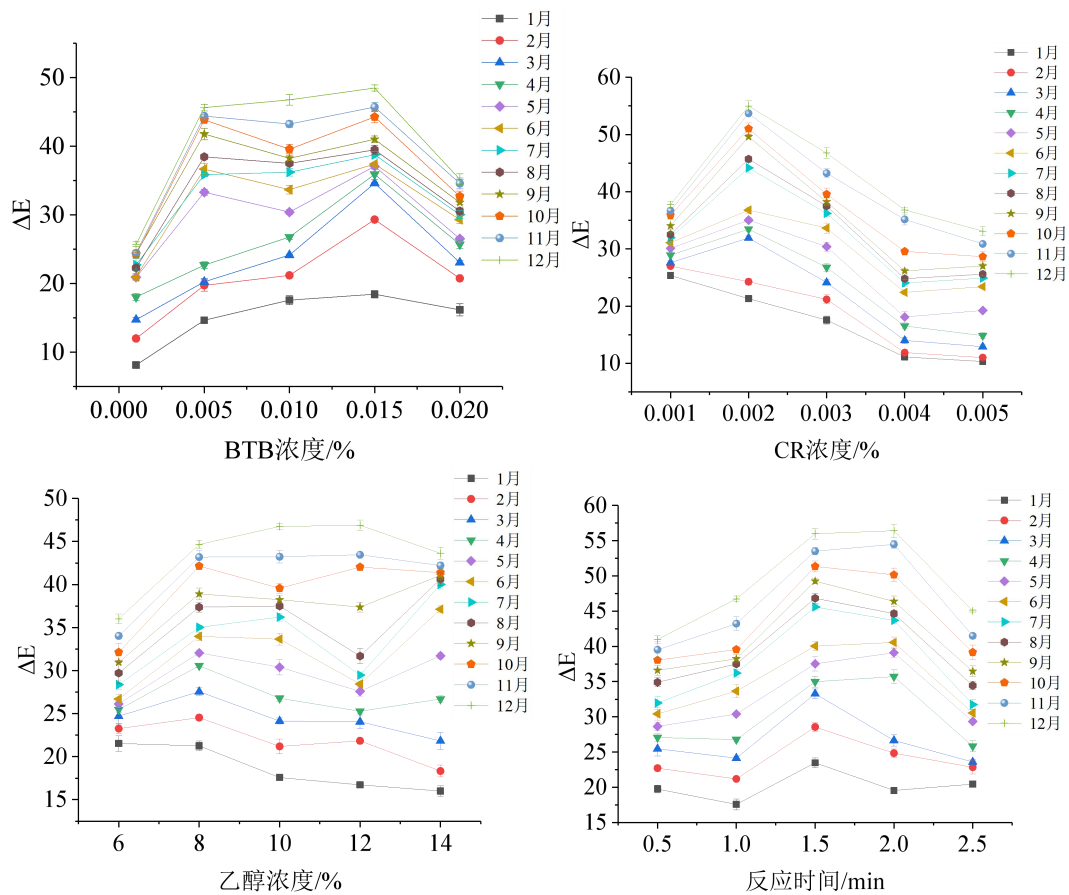


图 8 不同条件对色差的影响

在单因素试验的基础上，采用  $L_9(3^4)$  正交表设计试验，取新鲜及人工陈化 1—12 月的稻谷为试验样品，以 BTB 浓度、CR 浓度、乙醇浓度和反应时间 4 个试验因素为研究对象，分别取 3 水平，见表 14。酸碱指示剂法的目的是使陈化 1-12 月的样品出现不同的颜色，即 1—12 月份整体的色差最大化，因此单独分析每个月份与新鲜稻谷的色差将没有意义，从 12 个月里选出时间最长、最短和中间的月份为研究对象，以保证能够分析整体色差变化。因此，正交试验中以 1、6、12 月稻谷与新鲜稻谷的反应液色差为指标，每个试验设置三个重复，找出最佳反应条件，试验方案及结果分析见表 14 和表 15。

表 14 正交试验因素水平表

水平	因素	A	B	C	D
		BTB 浓度/%	CR 浓度/%	乙醇浓度/%	反应时间/min
1		(A <sub>1</sub> )0.005	(B <sub>1</sub> )0.002	(C <sub>1</sub> )10	(D <sub>1</sub> )1.0
2		(A <sub>2</sub> )0.010	(B <sub>2</sub> )0.003	(C <sub>2</sub> )12	(D <sub>2</sub> )1.5
3		(A <sub>3</sub> )0.015	(B <sub>3</sub> )0.004	(C <sub>3</sub> )14	(D <sub>3</sub> )2.0

表 15 正交试验方案及试验结果

试验号	因素				$\Delta E_1$	$\Delta E_6$	$\Delta E_{12}$
	A	B	C	D			
1	1(0.005%)	1(0.002%)	1(10%)	1(1.0min)	10.42	24.29	30.31
2	1	2(0.003%)	2(12%)	2(1.5min)	14.69	24.77	34.94
3	1	3(0.004%)	3(14%)	3(2.0min)	14.81	24.02	32.88
4	2(0.010%)	1	2	3	18.18	35.18	42.40
5	2	2	3	1	14.62	27.70	39.81
6	2	3	1	2	16.17	28.49	42.15
7	3(0.015%)	1	3	2	19.19	34.67	46.79
8	3	2	1	3	16.88	35.49	46.44
9	3	3	2	1	16.63	30.26	38.44
$\Delta E_1$	$k_1$	13.31	15.93	14.49	13.89	主次顺序: A>D>C>B 优组合: A <sub>3</sub> B <sub>1</sub> C <sub>2</sub> D <sub>2</sub>	
	$k_2$	16.32	15.40	16.50	16.68		
	$k_3$	17.57	15.87	16.21	16.63		
	R	4.26	0.53	2.01	2.79		
$\Delta E_6$	$k_1$	24.36	31.38	29.42	27.42	主次顺序: A>D>B>C 优组合: A <sub>3</sub> B <sub>1</sub> C <sub>2</sub> D <sub>3</sub>	
	$k_2$	30.46	29.32	30.07	29.31		
	$k_3$	33.47	27.59	28.80	31.56		
	R	9.11	3.79	1.27	4.15		
$\Delta E_{12}$	$k_1$	32.71	39.83	39.63	36.19	主次顺序: A>D>B>C 优组合: A <sub>3</sub> B <sub>2</sub> C <sub>3</sub> D <sub>2</sub>	
	$k_2$	41.45	40.40	38.59	41.29		
	$k_3$	43.89	37.82	39.83	40.57		
	R	11.18	2.57	1.23	5.10		

$k$  值表示同一个水平下评价指标的平均值, 因为色差越大越好, 所以  $k$  值越大越好, 由  $k$  值判断最优水平。R 值表示  $k$  值的极差, 用于判断各因素对色差影响的主次顺序。由表 15 正交试验及试验结果可知: 以  $\Delta E_1$ 、 $\Delta E_6$  和  $\Delta E_{12}$  分别为评价指标得到的优化条件不同, 因此根据各因素的影响主次综合考虑, 确定最佳条件。对于 A 因素, 对  $\Delta E_1$ 、 $\Delta E_6$  和  $\Delta E_{12}$  的影响大小均排第一位, 为主要因素, 且

均取 A<sub>3</sub>；对于 D 因素，对 $\Delta E_1$ 、 $\Delta E_6$ 和 $\Delta E_{12}$ 的影响均排第二位，为次要因素，对 $\Delta E_1$ 和 $\Delta E_{12}$ 评价选取 D<sub>2</sub>，对 $\Delta E_6$ 评价选取 D<sub>3</sub>，取 D<sub>2</sub>时， $\Delta E_6$ 会减小 7.1%，取 D<sub>3</sub>时， $\Delta E_1$ 和 $\Delta E_{12}$ 分别减小 0.2%和 1.7%，因此 D 因素应选 D<sub>3</sub>；对于 B、C 因素，对指标的影响排在第 3 或 4 位，因此 B 和 C 因素为不重要因素，本着经济节约的原则选取 B<sub>1</sub>和 C<sub>2</sub>。综上，通过正交试验结果的分析得到最佳条件 A<sub>3</sub>B<sub>1</sub>C<sub>2</sub>D<sub>3</sub>。

因此，确定最终酸碱指示剂法的具体方法为：以 12%乙醇为溶剂，配制 0.015%和 0.002%的 BTB、CR 溶液，反应 2 min 后，测定反应液的 L\*、a\*、b\*。

### (3) 色度-指标关联模型建立

使用优化后的方法对上述不同陈化梯度的稻谷样品进行检测，并测定反应溶液的 Lab 色度值。建立脂肪酸值与酸碱指示剂法中溶液的颜色特征值 L\*、a\*和 b\*之间的关系。根据 L\*、a\*和 b\*和脂肪酸值的大小建立回归方程，如表 16：

表 16 L\*、a\*和 b\*与脂肪酸值(X)之间的回归方程

因变量	回归方程	R <sup>2</sup>	F
L*	$L^* = 47.063 - 416.001/X$	0.865	70.49**
a*	$a^* = -49.715 + 1.274X$	0.984	694.80**
b*	$b^* = 78.577 - 974.496/X$	0.943	181.41**

注：\*表示显著水平( $P < 0.05$ )；\*\*表示极显著水平( $P < 0.01$ )

利用回归方程和计算机还原脂肪酸值阈值区间的对应的颜色，进而判断稻谷的食用品质。综合米饭品质对应的脂肪酸值阈值区间，得 L\*、a\*、b\*，如表 17。

表 17 稻谷食用品质的颜色划分

脂肪酸值	米饭品质	L*	a*	b*
≤23	优	-	-	-
23		29	-20	36
31	≤37 中	34	-10	47
37		36	-3	52
45		38	8	57
>45	>37 差	-	-	-

按照表 17 中 L\*、a\*、b\*还原为颜色，并对应上稻谷的食用品质，得到图 9。

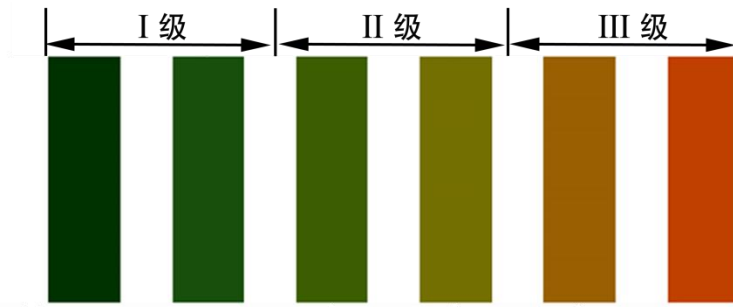


图 9 稻谷食用品质颜色对照图

由表 17 和图 9 知，当稻谷作为米饭食用时，脂肪酸值  $\leq 23$ ，检测溶液为绿色时，米饭的品质为优；随着稻谷的陈化，脂肪酸值  $\leq 37$  中检测溶液的绿色变浅，则米饭的品质下降为中；脂肪酸值  $>37$ ，检测溶液的颜色变为黄色时，米饭的品质已变差。

综上所述，本标准所规定的方法经过了完整的科学流程，其原理可靠、数据充分、结果准确，具备作为团体标准发布实施的坚实技术基础。

本标准方法相较于现行行业标准 LS/T 6118 分光光度法，操作步骤极大简化，检测时间从数小时缩短至几分钟，且无需离心、比色等专业设备；相较于感官检验，本方法结果客观、可量化，有效避免了主观误差；而相较于近红外、电子鼻等仪器法，本方法无需建模，成本极低，更适于大范围普及。在经济性方面，本方法的核心耗材为一次性检测试剂，单次检测成本预计在几十元以内，远低于购置一台需数万至数十万元不等的近红外分析仪或大米测鲜仪的成本，对于广大基层粮库、粮食贸易商和加工企业而言，采用本标准方法进行日常质量控制具有极高的经济效益，能够以极低的投入实现高效的质量风险管控。

本标准的实施将产生显著的经济与社会效果。在经济层面，粮食收储企业可在收购现场快速筛除陈化粮，从源头保证入库原粮质量，有效避免因错收陈粮导致的后期巨大储藏成本和经济损失；同时为粮食贸易提供了一个快速、低成本的“验真”工具，有效打击以陈充新、扰乱市场的行为，保护了诚信经营者和加工企业的利益；此外还能帮助大米加工企业精准评估原料新鲜度，实现分级使用和优质优价，从而提升高端产品的质量稳定性和品牌价值。在社会层面，通过在国家储备粮轮换和收购环节的应用，本标准为保障储备粮的品质和安全提供了有力的技术支撑，是夯实国家粮食安全根基的重要一环；促进了流通领域稻米产品质量的透明化，使消费者能够更放心地购买到新鲜、优质的大米，满足人民群众对

美好生活的追求；其发布与实施还将引领和推动国内粮油快速检测技术的创新与发展，为构建更加高效、科学的粮食质量安全监管体系贡献力量。

**4. 与国际、国外、国行标对比情况**（采用国际标准和国外先进标准的程度，以及与国际、国外同类标准水平以及国行标水平的对比情况，或与测试的国外样品、样机的有关数据的对比情况等）

经文献查阅，国外发达国家由于稻谷生产集约化程度高，储藏周期相对较短，对入库稻谷的新鲜度检测需求不如我国迫切，因此尚未形成专门针对稻谷新鲜度快速判别的国际标准或国外先进标准。日本虽有商品化的大米测鲜仪，但其基于仪器法，成本高昂，不适于现场普及。

在国内，现行行业标准 LS/T 6118《稻谷新鲜度测定与判别》采用分光光度法，操作繁琐、耗时长，难以满足现场快速检测的需求。本标准在充分借鉴现有研究成果的基础上，创新性地将成熟的酸碱指示剂显色原理与标准化的试剂盒产品相结合，建立了“取样-反应-比色”三步判别法，实现了对稻谷新鲜度的“分钟级”快速判定。

综上，本标准填补了国内外在稻谷新鲜度现场快速、低成本检测方法领域的标准空白，技术方法具有显著的创新性、实用性和经济性，总体水平处于国内领先。

**5. 与有关的现行法律、法规和强制性国家标准的关系**（简要说明标准与法律、法规、标准的协调性）

本标准在编制过程中，严格遵守了《中华人民共和国食品安全法》、《中华人民共和国标准化法》等相关法律法规。标准内容与现行的粮油检验基础标准（如 GB/T 5491）、产品标准（如 GB 1350）以及质量判定规则（如 GB/T 20569）等国家和行业标准相互协调，共同构成了我国稻谷质量安全标准体系的一部分。本标准不与任何现行法律、法规或强制性标准相抵触。

**6. 重大分歧意见的处理经过和依据**（主要适用于矛盾、分歧较大的意见，处理结果与处理依据的说明；如没有，写“无”）

无。

## 7. 标准作为推荐性标准的建议

本标准为中国粮油学会团体标准，旨在为稻谷新鲜度的快速判别提供一套科学、规范的技术方法，属于检验方法类标准。本标准不涉及国家安全、保护人体健康和人身财产安全等强制性要求。因此，建议本标准作为推荐性团体标准发布实施。

## 8. 贯彻标准的要求和措施建议（包括组织措施、技术措施、过渡办法等）

建议本标准发布后尽快在行业内推广实施。为确保标准能够有效贯彻，建议采取以下措施：

1. 宣贯培训：建议由中国粮油学会或标准主编单位牵头，面向全国各级粮食储备库、粮油质检中心、粮食贸易与加工企业的检验人员，组织线上或线下的标准宣贯会和技术培训班，详细解读标准原理、操作要点和结果判定规则。

2. 示范推广：选择若干具有代表性的粮食主产区或大型粮库作为应用示范点，开展集中应用和效果跟踪，收集使用反馈，并通过案例分析、效果对比等形式，宣传本标准在保障储粮安全、维护市场秩序等方面的实际效益，以点带面，推动标准的广泛采纳。

3. 技术支持：设立技术咨询渠道，为标准使用者在应用过程中遇到的疑难问题提供及时的解答和技术指导。

9. 废止现行有关标准的建议（修订时，应说明新旧标准的替代关系；如制定，写“无”）

无。

10. 其他应予说明的事项（陈述是否涉及专利及有关说明、本标准编制阶段与原计划有差异情况说明及原因等）

无。

11. 附录（如没有，写“无”）

无。

《粮油检验 稻谷新鲜度试剂盒快速判别法》团体标准起草组

2025 年 4 月 4 日