

团 体 标 准

T/CGFA015—2026

植物乳（奶）食用与营养品质评价方法

Evaluation methods for edible and nutritional quality of plant-based milk

2026-02-01 发布

2026-03-01 实施

中国绿色食品协会 发布

前 言

本文件按照 GB/T 1.1-2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国农业科学院油料作物研究所提出。

本文件由中国绿色食品协会绿色农业与食物营养专业委员会归口。

本文件起草单位：中国农业科学院油料作物研究所、农业农村部食物与营养发展研究所、黑龙江飞鹤乳业有限公司、维维食品饮料股份有限公司、佳禾食品工业股份有限公司、SGS通标标准技术服务有限公司、武汉市标准化研究院、武汉商学院食品科技学院、郑州轻工业大学、东北农业大学、湖北意亚食品科技有限公司、加米食品(湖北)有限公司、欧力(上海)饮料有限公司、洽洽食品股份有限公司、武汉嘉谷肽业生物科技有限公司、达利食品集团有限公司、黑龙江豆爱食品有限公司、绿元气(浙江)健康食品有限公司

本文件主要起草人：邓乾春、陈亚淑、刘锐、周琦、彭登峰、李如一、王雪、曹秋阁、王莹、郭胜、徐粉林、姚玉芳、张建文、王力、黄翠玲、段胜男、刘爽、胡君、裴亚琼、禹晓、邓紫巧、李杨、张静、李志涛、石慧、金龙、胡超群、孙圣峰、关继志、李鸿基、吕岩

植物乳（奶）食用与营养品质评价方法

1 范围

本文件规定了植物乳（奶）食用与营养品质评价方法的术语和定义、评价方法及评价结果的分析与表述。

本文件适用于以含有蛋白质和油脂的植物种籽、果实/仁为原料加工制备的植物乳（奶）。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB 2763 食品安全国家标准 食品中农药最大残留限量
- GB 4789.2 食品安全国家标准 食品微生物学检验 菌落总数测定
- GB 4789.3 食品安全国家标准 食品微生物学检验 大肠菌群计数
- GB 4789.15 食品安全国家标准 食品微生物学检验 霉菌和酵母计数
- GB 5009.5 食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定
- GB 5009.6 食品安全国家标准 食品中脂肪的测定
- GB 5009.12 食品安全国家标准 食品中铅的测定
- GB 5009.13 食品安全国家标准 食品中铜的测定
- GB 5009.15 食品安全国家标准 食品中镉的测定
- GB 5009.36 食品安全国家标准 食品中氰化物的测定
- GB 5009.88 食品安全国家标准 食品中膳食纤维的测定
- GB 5009.90 食品安全国家标准 食品中铁的测定
- GB 5009.124 食品安全国家标准 食品中氨基酸的测定
- GB 5009.168 食品安全国家标准 食品中脂肪酸的测定
- GB 5009.181 食品安全国家标准 食品中丙二醛的测定
- GB 5009.183 植物蛋白饮料中脲酶的定性测定
- GB 5009.227 食品安全国家标准 食品中过氧化值的测定
- GB 5009.229 食品安全国家标准 食品中酸价的测定
- GB 5009.237 食品安全国家标准 食品 pH 值的测定
- GB/T 10220 感官分析 方法学 总论
- GB/T 12143 饮料通用分析方法
- GB/T 13868 感官分析 建立感官分析实验室的一般导则
- GB/T 30885 植物蛋白饮料 豆奶和豆奶饮料

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

豆乳（奶） Soy milk

以大豆或大豆制品为主要原料，可添加食品辅料、食品添加剂、营养强化剂等，经加工、调配后制得的植物乳（奶），如原浆豆乳（奶）、浓浆豆乳（奶）、调制豆乳（奶）等。

3.2

椰子乳（汁、奶） Coconut milk

以椰子、椰子果肉制品（如椰子果浆、椰子果粉等）为原料，可添加食品辅料、食品添加剂、营养强化剂等，经加工、调配后制得的植物乳（奶）。

3.3

杏仁乳（露、奶） Almond milk

以杏仁或杏仁制品为主要原料，可添加食品辅料、食品添加剂、营养强化剂等，经加工、调配后制得的植物乳（奶）。

3.4

核桃乳（露、奶） Walnut milk

以核桃仁或核桃制品为主要原料，可添加食品辅料、食品添加剂、营养强化剂等，经加工、调配后制得的植物乳（奶）。

3.5

花生乳（露、奶） Peanut milk

以花生仁或花生制品为主要原料，可添加食品辅料、食品添加剂、营养强化剂等，经加工、调配后制得的植物乳（奶）。

3.6

燕麦乳（奶） Oat milk

以燕麦或燕麦制品为主要原料，可添加食品辅料、食品添加剂、营养强化剂等，经加工、调配后制得的植物乳（奶）。

3.7

亚麻籽乳（奶） Flaxseed milk

以亚麻籽或亚麻籽制品为主要原料，可添加食品辅料、食品添加剂、营养强化剂等，经加工、调配后制得的植物乳（奶）。

3.8

坚果乳（奶） Nut milk

以坚果（如杏仁、榛子、核桃、腰果、开心果、松籽、夏威夷果仁等）或坚果制品为主要原料，可添加食品辅料、食品添加剂、营养强化剂等，经加工、调配后制得的植物乳（奶）。

3.9

其他植物乳（奶） Other plant-based milk

以大米、玉米、南瓜籽、葵花籽或其制品等为主要原料，可添加食品辅料、食品添加剂、营养强化剂等，经加工、调配后制得的植物乳（奶）。

3.10

复合植物乳（奶） Mixed plant-based milk

以两种或多种含有一定蛋白质的植物种籽、果实/仁或其制品为主要原料，可添加食品辅料、食品添加剂、营养强化剂等，经加工、调配后制得的植物乳（奶）。

4 评价方法

4.1 植物乳（奶）的感官评价

4.1.1 植物乳（奶）的色泽、组织状态

色泽评价推荐采用国际照明委员会（Commission Internationale de L'Eclairage, CIE） $L^* a^* b^*$ 颜色空间， L^* 称为明度系数， $L^* = 0$ 表示黑色， $L^* = 100$ 表示白色。 a^* 为红度值，值为正时表示红色，负时表示绿色。 b^* 为黄度值，值为正时表示黄色，负时表示蓝色。参考附录 A.1，评分标准见表 A.1。

组织状态评价参考附录 A.2，评分标准见表 A.2。

4.1.2 植物乳（奶）的气味与滋味

组织人员对植物乳（奶）进行气味与滋味评价，期间所有评定都在特定的感官评定室进行，感官分析实验室应符合 GB/T 13868 的要求，感官评价小组人员与组成应符合 GB/T 10220 的要求。

气味与滋味评价参考附录 A.3，评分标准见表 A.3。

4.2 植物乳（奶）的营养素含量测定

4.2.1 蛋白质含量

测定方法参照 GB 5009.5 第一法 凯氏定氮法 执行。

4.2.2 脂肪含量

测定方法参照 GB 5009.6 第二法 酸水解法 执行。

4.2.3 脂肪酸

测定方法参照 GB 5009.168 执行。

4.2.4 总固形物含量

测定方法参照 GB/T 30885 执行。

4.2.5 可溶性固形物含量

测定方法参照 GB/T 12143 中饮料中可溶性固形物的测定方法（折光计法）执行。

4.2.6 总膳食纤维含量

测定方法参照 GB 5009.88 执行。

4.3 植物乳（奶）的理化指标评价

4.3.1 pH

评价方法参考 GB 5009.237 执行。

4.3.2 脲酶

评价方法参照 GB 5009.183 执行。

4.3.3 氰化物

评价方法参照 GB 5009.36 第四法 离子色谱法 执行。

4.4 植物乳（奶）的物理稳定性评价

4.4.1 离心沉淀率、离心稳定性系数、离心悬浮比

评价方法参考附录 B.1。

4.4.2 粒径

评价方法参考附录 B.2。

4.4.3 ζ -电位

评价方法参考附录 B.3。

4.4.4 稳定性指数（TSI）

评价方法参考附录 B.4。

4.4.5 流变特性（粘度）

评价方法参考附录 B.5。

4.5 植物乳（奶）的化学稳定性评价

4.5.1 酸价

参照 GB 5009.6 第二法 酸水解法 提取植物乳（奶）中的油脂，参照 GB 5009.229 第一法 冷溶剂指示剂滴定法 测量酸价。

具体评价方法参考附录 C.1。

4.5.2 过氧化值

参照 GB 5009.6 第二法 酸水解法 提取植物乳（奶）中的油脂，参照 GB 5009.227 第一法 指示剂滴定法 测量过氧化值。

具体评价方法参考附录 C.2。

4.5.3 丙二醛

评价方法参照 GB 5009.181 第二法 分光光度法 执行。
具体评价方法参考附录 C.3。

4.6 植物乳（奶）的安全性评价

4.6.1 微生物

菌落总数测定方法参照 GB 4789.2 执行，大肠菌群测定方法参照 GB 4789.3 执行，霉菌、酵母菌测定方法参照 GB 4789.15 执行。

4.6.2 农药残留量

测定方法参照 GB 2763 执行。

4.6.3 重金属

铜、铁、铅、镉总和测量方法参照 GB 5009.13、GB 5009.90、GB 5009.12、GB 5009.15 执行。

4.6.4 真菌毒素

黄曲霉毒素 B₁ 测定方法参照 GB 5009.22 执行，黄曲霉毒素 M₁ 测定方法参照 GB 5009.24 执行，赭曲霉毒素测定方法参照 GB 5009.96 执行，脱氧雪腐镰刀菌烯醇测定方法参照 GB 5009.111 执行，玉米赤霉烯酮测定方法参照 GB 5009.209 执行。

4.7 植物乳（奶）的消化吸收与蛋白质营养价值评价

4.7.1 脂肪消化率

评价方法参考附录 D.1。

4.7.2 蛋白质消化率

评价方法参考附录 D.2。

4.7.3 蛋白质营养价值

评价方法参考附录 D.3。

5 结果的分析与表述

5.1 评价数据中异常值的处理

对感官评价员的评分结果可参考狄克逊（Dixon）检验法、Q检验法或格鲁布（Grubbs）法等进行异常值的分析剔除。

5.2 单项得分的计算

对 5.1 剔除异常值处理后的植物乳（奶）各感官特性的评价结果，按式（1）计算感官特性单项平均得分，精确至小数点后两位。

$$\bar{X}_i = \frac{\sum_{i=1}^n \bar{X}_i}{n} \quad (1)$$

式中：

- \bar{X}_i ——某单项平均得分；
 $\sum_{i=1}^n \bar{X}_i$ ——某单项得分加和；
n——处理后的参加评价人数。

5.3 综合评价结果的计算

根据 5.2 得出的各单项评分平均结果，按式（2）依照单项结果的加权平均得出综合评价结果（在此，各评价项目权重均为1）。

$$Y = \sum_{i=1}^n \bar{X}_i \quad (2)$$

5.4 评价结果的表述

评价结果按附录 A 进行某一样品不同评价员评价结果的汇总。按附录 B、C、D 进行所有样品评价结果的汇总。结果的表达根据实际需要以表格或者图式表示。

6 评价报告

评价报告应包括以下内容：

- a) 评价目的；
- b) 有关样品的情况说明；
- c) 评价员人数及其资格水平；
- d) 评价结果及其统计解释；
- e) 注明根据本标准进行评价；
- f) 如果有与本标准不同的做法应予以说明；
- g) 评价负责人的姓名；
- h) 评价的日期与时间。

附录 A

(规范性附录)

植物乳(奶)的感官评价

A.1 色泽

推荐采用国际照明委员会(Commission Internationale de L'Eclairage, CIE) $L^* a^* b^*$ 颜色空间, L^* 称为明度系数, $L^* = 0$ 表示黑色, $L^* = 100$ 表示白色。 a^* 为红度值, 值为正时表示红色, 负时表示绿色。 b^* 为黄度值, 值为正时表示黄色, 负时表示蓝色。使用黑白 Minolta 校准板校正仪器。将适量植物乳(豆乳、椰子乳、杏仁乳、核桃乳、花生乳、燕麦乳、亚麻籽乳、坚果乳等)样品置于测量皿中, 白色背景下使用 D65-人造日光(10标准角)照射, 得到样品 L^* 、 a^* 及 b^* 值。实验重复三次测量并以平均值±标准偏差表示。

色泽也可使用感官评价进行评分, 感官分析实验室应符合《GB/T 13868 感官分析 建立感官分析实验室的一般导则》的要求, 感官评价小组人员与组成应符合《GB/T 10220 感官分析 方法学 总论》的要求, 按 GB/T 30885-2014 的具体方法组织人员对植物乳(奶)进行色泽分析, 期间所有评定都在特定的感官评定室进行。每次量取 50 mL 植物乳(豆乳、椰子乳、杏仁乳、核桃乳、花生乳、燕麦乳、亚麻籽乳、坚果乳等)置于 100 mL 透明玻璃器皿中, 作为1份样品, 3次重复, 温度为室温。评分规则见表 A.1。

表 A.1 植物乳(奶)色泽评分标准

色泽	评价标度		
	低	中	高
	1~3	4~6	7~9
	发灰、发黑、油黄, 亮度差	色泽不均匀、亮度一般	色泽均匀一致、光亮、具有与主要原料或添加成分相符的色泽

A.2 组织状态

组织状态可使用感官标度, 感官分析实验室应符合《GB/T 13868 感官分析 建立感官分析实验室的一般导则》的要求, 感官评价小组人员与组成应符合《GB/T 10220 感官分析 方法学 总论》的要求, 组织人员对植物乳(奶)进行组织状态评价, 期间所有评定都在特定的感官评定室进行。每次量取 50 mL 植物乳(豆乳、椰子乳、杏仁乳、核桃乳、花生乳、燕麦乳、亚麻籽乳、坚果乳等)置于 100 mL 透明玻璃器皿中, 作为 1 份样品, 3 次重复, 温度为室温, 放置时间为 3 小时。评分规则见表 A.2。

表 A.2 植物乳(奶)组织状态评分标准

组织状态要求	评价标度		
	低	中	高
	1~3	4~6	7~9
起泡	组织不均匀, 有起泡	组织均匀, 少许泡沫	组织均匀, 无泡沫
絮凝	组织不均匀, 有絮凝	组织均匀, 少许絮凝	组织均匀, 无絮凝
沉淀	组织不均匀, 有沉淀	组织均匀, 少许沉淀, 不分层	组织均匀, 无沉淀, 不分层
脂肪上浮	表面较多脂肪上浮	表面少许脂肪上浮	组织均匀, 无脂肪上浮

A.3 气味与滋味

A.3.1 感官评价原则

感官分析实验室应符合《GB/T 13868 感官分析 建立感官分析实验室的一般导则》的要求，感官评价小组人员与组成应符合《GB/T 10220 感官分析 方法学 总论》的要求，组织人员对植物乳（奶）进行气味与滋味评价，期间所有评定都在特定的感官评定室进行。每次量取 50 mL 植物乳（豆乳、椰子乳、杏仁乳、核桃乳、花生乳、燕麦乳、亚麻籽乳、坚果乳等）置于 100 mL 不透明器皿中，作为1份样品，3 次重复，温度为恒温 25℃。

A.3.2 感官评价属性

感官评价气味属性包括：正面属性（烤坚果味、焦香味/果香味、甜香味，青草味，针对不同植物乳（奶）其原料自身特有的香味，如椰子味，豆香味，亚麻香味等）；负面属性（腥味、哈喇味、霉味、臭鸡蛋味）。

感官评价滋味属性包括：正面属性（香甜、细腻、顺滑、爽口）；负面属性（涩味、沙砾、白垩）。

A.3.3 植物乳（奶）气味感官评定步骤及感官评价总分数计算

每一位感官评定员对植物乳（奶）气味特征和强度进行了解，通过重复讨论最终确定描述植物乳（奶）气味的特征术语，为避免顺序效应，对不同批次样品采用三位随机数进行编码，每个样品重复评价，气味强度采用以下标准，见表 A.3。

每位感官评价员对每种气味属性进行评分，计算平均分数。

计算不同气味属性的 10 位感官评价员的平均分数。按以下公式计算。

原料前处理需要烘烤时，总分数 = 烤坚果香味 × 0.2 + 焦香味 × 0.2 + 甜香味 × 0.2 + 青草味 × 0.05 + 原料特有香味 × 0.3 - 腥味 × 0.1 - 哈喇味 × 0.1 - 霉味 × 0.1 - 臭鸡蛋味 × 0.1

原料前处理不需要烘烤时，总分数 = 果香味 × 0.4 + 甜香味 × 0.2 + 青草味 × 0.05 + 原料特有香味 × 0.3 - 腥味 × 0.1 - 哈喇味 × 0.1 - 霉味 × 0.1 - 臭鸡蛋味 × 0.1

A.3.4 植物乳（奶）滋味感官评定步骤及感官评价总分数计算

每一位感官评定员对植物乳（奶）滋味特征和强度进行了解，通过重复讨论最终确定描述植物乳（奶）滋味的特征术语，为避免顺序效应，对不同批次样品采用三位随机数进行编码，每个样品重复评价，滋味强度采用以下标准，见表 A.3。

每位感官评价员对每种滋味属性进行评分，计算平均分数。

计算不同滋味属性的 10 位感官评价员的平均分数。按以下公式计算。

总分数 = 香甜 × 0.3 + 细腻 × 0.3 + 顺滑 × 0.15 + 爽口 × 0.15 - 涩味 × 0.1 - 沙砾 × 0.1 - 白垩 × 0.1

表 A.3 植物乳（奶）气味与滋味总体评分标准

感官要求	评价标度		
	低	中	高
	1~3	4~6	7~9
气味	原料香味与乳香味均较弱，不良异味明显（如原料腥味、哈喇味、霉味等）	原料香味与乳香味较淡，但无异味	原料清香（如椰子味、豆香味，亚麻香味）、乳香味、无不良气味
滋味	口感稀薄或过稠，过甜或过酸，苦、涩味等不良异味明显	略有粘稠感，略酸或略甜，略有不良涩味、苦味	稠厚适中，酸甜可口，无不良涩味、苦味

附录 B

(规范性附录)

植物乳(奶)的物理稳定性评价

B.1 离心稳定性

B.1.1 原理

植物乳(奶)离心稳定性的原理是通过施加离心力加速分散相(如脂肪滴或蛋白颗粒)的沉降或上浮,模拟长期储存中的分层倾向。离心后,通过测定离心沉淀率、稳定性系数、离心悬浮比等指标,评估体系的稳定性——稳定性越好,相分离程度越低。

B.1.2 离心沉淀率

植物乳(豆乳、椰子乳、杏仁乳、核桃乳、花生乳、燕麦乳、亚麻籽乳、坚果乳等)放置相应时间后,将植物乳(奶)摇匀后称取一定质量(10 g)样品,以 3000 r/min 离心 15 min 后,记离心管底部的沉淀物重量计算离心沉淀率。试验结果取 3 次平行测定的平均值。

$$X_1 = \frac{m_1}{m_2} \times 100\% \quad (1)$$

式中:

m_1 ——沉淀物重量,单位为克(g);

m_2 ——离心样品重量,单位为克(g)。

一般情况下,离心沉淀率越低说明稳定性越好,但也应考虑该乳自身总固形物含量。

B.1.3 离心稳定性系数

植物乳(豆乳、椰子乳、杏仁乳、核桃乳、花生乳、燕麦乳、亚麻籽乳、坚果乳等)放置相应时间后,将植物乳(奶)摇匀后称取一定质量(10 g)样品,以 3000 r/min 离心 15 min 后,吸取中间的乳清相,用蒸馏水稀释 100 倍,在 500 nm 下测定吸光值 A。直接摇匀植物乳(奶)吸取同上述稀释,测定吸光值 A_0 ,以 A/A_0 来表示植物乳(奶)的稳定性系数,值越大说明体系越稳定。

若 $A/A_0 > 95\%$,则表明稳定性良好,比值越接近 1,证明植物乳(奶)稳定性越好,同时说明配方中物料匹配合理,工艺可行。测定结果取 3 次平行测定的平均值。

B.1.4 离心悬浮比

植物乳(豆乳、椰子乳、杏仁乳、核桃乳、花生乳、燕麦乳、亚麻籽乳、坚果乳等)放置相应时间后,分别称取一定质量(10 g)上层和底层样品,以 3000 r/min 离心 15 min 后,称取其离心管底部的沉淀物重量。测定结果取 3 次平行测定的平均值。

$$X_2 = \frac{m_3}{m_4} \times 100\% \quad (2)$$

式中:

m_3 ——上层沉淀物重量,单位为克(g);

m_4 ——底层沉淀物重量,单位为克(g)。

一般情况下,离心悬浮比越高则自然分层率越低,产品越稳定。离心悬浮比能快速反映整体颗粒悬浮分化均匀性,为悬浮稳定性指标。

B.2 粒度分布

B.2.1 原理

基于静态光散射技术,通过测量激光束照射乳液颗粒后,散射光强度随空间角度的分布变化的原理,利用米氏散射理论通过光强角度分布来计算乳液中颗粒的粒径大小及其分布。

B.2.2 粒径大小及分布的测定

利用激光粒度分析仪通过激光衍射技术确定不同配比植物乳(豆乳、椰子乳、杏仁乳、核桃乳、花生乳、燕麦乳、亚麻籽乳、坚果乳等)的粒径分布情况。测定参数:使用湿分散法分析,样品折射率为 1.480,水的折光率为 1.330,搅拌速率为 2000 rpm,测试温度为 25℃。测定植物乳(奶)的粒径 $D_{[3,2]}$ 、 $D_{[4,3]}$,及其粒度分布。

B.3 ζ -电位

B.3.1 原理

基于电泳光散射(ELS)技术,通过外加电场使分散体系中的带电颗粒(如蛋白质、脂肪滴)发生定向移动,并用激光多普勒效应检测其电泳迁移速度。迁移速度与颗粒表面电荷成正比,再结合亨利公式计算得出 ζ -电位,其数值反映颗粒间的静电排斥力强弱,可用于评估植物乳体系的胶体稳定性。一般情况下,电位的绝对值 <20 mV,代表植物乳稳定性不好;绝对值在 20 mV \sim 30 mV 之间,代表稳定性适中,绝对值 >30 mV代表稳定性较好。

B.3.2 ζ -电位的测定

将植物乳(豆乳、椰子乳、杏仁乳、核桃乳、花生乳、燕麦乳、亚麻籽乳、坚果乳等)与 5 mM PBS (pH=7)的缓冲液以 1:250 的植物乳(奶)进行稀释,使用纳米粒径分析仪(Zetasizer Nano ZS)测量植物乳(奶)的 ζ -电位值。

B.4 离心稳定性指数(TSI)

B.4.1 原理

基于动态监测样品在垂直方向上背散射光(BS)和透射光(T)的强度变化:当植物乳发生分层、沉降或聚集时,分散相分布不均会导致局部折射率改变,从而引起散射光信号变化。仪器通过扫描全样品高度并实时检测光强波动,结合数学算法量化不稳定动力学过程,最终计算得到 TSI 值——该值越大,表明体系相分离或粒径变化越显著,稳定性越差。

B.4.2 离心稳定性指数(TSI)的测定

将植物乳(豆乳、椰子乳、杏仁乳、核桃乳、花生乳、燕麦乳、亚麻籽乳、坚果乳等)样品装入特定的玻璃瓶中,使瓶身外部保持干净透光性良好,通过多重光散射稳定性分析仪(Turbiscan MA2000)测定植物乳(奶)对相分离的稳定性。该仪器配备一个近红外光源(880 nm)的检测头,通过扫描样品的高度,每 $40 \mu\text{m}$ 采集一次透射和反向散射数据,光源从上到下以 30 s 的间隔扫描一次样品(总时长 2000 s),在 25℃下测量反射光与透射光的百分比。最后使用 Turbisoft 2.1 软件计算出 TSI (Turbiscan 稳定性指数)参数评估植物乳(奶)的稳定性。

B.5 粘度

B.5.1 原理

基于斯托克斯定律和内摩擦力作用，通过电机驱动转子在样品中匀速旋转时受到流体剪切阻力，并测量维持该转速所需的扭矩。植物乳的粘度越高，产生的剪切应力越大，扭矩随之增加，仪器通过校准的扭矩-黏度关系即可换算出样品的表观粘度（单位为 $\text{mPa}\cdot\text{s}$ ）。该数据可反映植物乳的流变特性，其粘度变化与分散相浓度、乳化状态及增稠剂网络结构密切相关。

B.5.2 粘度的测定

采用旋转粘度计测定，根据粘度大小选择合适的转子和转速，测定时间 1 min。

附 录 C

(规范性附录)

植物乳(奶)的化学稳定性评价

C.1 酸价

C.1.1 原理

用有机溶剂将植物乳(奶)中的油脂溶解成样品溶液,再用氢氧化钾或氢氧化钠标准滴定溶液中和滴定样品溶液中的游离脂肪酸,以指示剂相应的颜色变化来判定滴定终点,最后通过滴定终点消耗的标准滴定溶液的体积计算油脂试样的酸价。

C.1.2 分析步骤

称取植物乳(豆乳、椰子乳、杏仁乳、核桃乳、花生乳、燕麦乳、亚麻籽乳、坚果乳等)样品(含油量应符合表C.1的要求),加入试样体积 5 倍 ~ 10 倍的石油醚,然后搅拌直至样品完全溶解于石油醚中(若油脂样品凝固点过高,可置于 40℃ ~ 55℃ 水浴内搅拌至完全溶解),然后充分静置并分层后,取上层有机相提取液,置于水浴温度不高于45℃的旋转蒸发仪内,0.08 MPa ~ 0.1 MPa 负压条件下,将其中的石油醚彻底旋转蒸干,取残留的液体油脂作为试样。若残留的油脂浑浊、乳化、分层或有沉淀,则应进行除杂和脱水干燥的处理。

取一个干净的 250 mL的锥形瓶,按照表 D.1 的要求用天平称取制备的油脂试样,其质量m单位为克。加入乙醚异丙醇混合液 50 mL ~ 100 ml 和 3 滴 ~ 4 滴的酚酞指示剂,充分振摇溶解试样。再用装有标准滴定溶液的刻度滴定管对试样溶液进行手工滴定。当试样溶液初现微红色,且 15 s内无明显褪色时,为滴定的终点。立刻停止滴定,记录下此滴定所消耗的标准滴定溶液的毫升数,此数值为 V。

对于深色泽的油脂样品,可用百里香酚酞指示剂或碱性蓝 6B 指示剂取代酚酞指示剂,滴定时,当颜色变为蓝色时为百里香酚酞的滴定终点,碱性蓝 6B 指示剂的滴定终点为由蓝色变红色。

空白试验:另取一个干净的 250 mL的锥形瓶,准确加入与试样测定时相同体积、相同种类的有机溶剂混合液,振摇混匀。然后再用装有标准滴定溶液的刻度滴定管进行手工滴定,当溶液初现微红色,且 15 s内无明显褪色时为滴定的终点。立刻停止滴定,记录下此滴定所消耗的标准滴定溶液的毫升数,此数值为 V₀。

C.1.3 分析结果的表述

酸价(又称酸值)按照式(3)的要求进行计算:

$$X_3 = \frac{(V-V_0) \times c \times 56.1}{m} \quad (3)$$

式中:

X₃——酸价,单位为毫克每克(mg/g);

V——试样测定所消耗的标准滴定溶液的体积,单位为毫升(mL);

V₀——相应的空白测定所消耗的标准滴定溶液的体积,单位为毫升(mL);

c——标准滴定溶液的摩尔浓度,单位为摩尔每升(mol/L);

56.1——氢氧化钾的摩尔质量,单位为克每摩尔(g/mol);

m——油脂样品的称样量,单位为克(g)。

酸价 ≤ 1 mg/g, 计算结果保留 2 位小数; 1 mg/g < 酸价 ≤ 100 mg/g, 计算结果保留 1 位小数; 酸价 > 100 mg/g, 计算结果保留至整数位。

表 C.1 试样称量表

估计的酸价 mg/g	试样的最小称样量 g	使用滴定液的浓度 mol/L	试样称重的精确度 g
0-1	20	0.1	0.05
1-4	10	0.1	0.02
4-15	2.5	0.1	0.01
15-75	0.5-3.0	0.1或0.5	0.001
>75	0.2-1.0	0.5	0.001

试样称样量和滴定液浓度应使滴定液用量在 0.2 mL~10 mL 之间（扣除空白后）。若检测后，发现样品的实际称样量与该样品酸价所对应的应有称样量不符，应按照表 C.1 要求，调整称样量后重新检测。

C.2 过氧化值

C.2.1 原理

试样用三氯甲烷-甲醇混合溶剂溶解，试样中的过氧化物将二价铁离子氧化成三价铁离子，三价铁离子与硫氰酸盐反应生成橙红色硫氰酸铁配合物，在波长 500 nm 处测定吸光度，与标准系列比较定量。

经制备的油脂试样在三氯甲烷-冰乙酸溶液中溶解，其中的过氧化物与碘化钾反应生成碘，用硫代硫酸钠标准溶液滴定析出的碘。用过氧化物相当于碘的质量分数或 1 kg 样品中活性氧的毫摩尔数表示过氧化值的量。

C.2.2 分析步骤

C2.2.1 试样的制备

三氯甲烷-冰乙酸溶液（2+3）：将三氯甲烷和冰乙酸按 2:3 的体积比混合均匀。

淀粉指示剂（10 g/L）：称取 1 g 可溶性淀粉，加入约 5 mL 水使其呈糊状，在搅拌下将 95 mL 沸水加到糊状物中，再煮沸 1 min~2 min，冷却。临用现配。

碘化钾饱和溶液：称取约 16 g 碘化钾，加入 10 mL 适量新煮沸冷却的水，摇匀后贮于棕色瓶中，盖塞，于避光处保存备用，应确保溶液中有饱和碘化钾结晶存在。

称取植物乳（豆乳、椰子乳、杏仁乳、核桃乳、花生乳、燕麦乳、亚麻籽乳、坚果乳等）样品，加入试样体积 5 倍~10 倍的石油醚，然后搅拌直至样品完全溶解于石油醚中（若油脂样品凝固点过高，可置于 40℃~55℃ 水浴内搅拌至完全溶解），然后充分静置并分层后，取上层有机相提取液，置于水浴温度不高于 45℃ 的旋转蒸发仪内，0.08 MPa~0.1 MPa 负压条件下，将其中的石油醚彻底旋转蒸干，取残留的液体油脂作为试样。

C2.2.2 试样的测定

应避免在阳光直射下进行试样测定。称取制备的试样 2 g~3 g（精确至 0.001 g），置于 250 mL 碘量瓶中，加入 30 mL 三氯甲烷-冰乙酸溶液，轻轻振摇试样至完全溶解。准确加入 1.00 mL 碘化钾饱和溶液，塞紧瓶盖，并轻轻振摇 0.5 min，在暗处放置 3 min。取出加 100 mL 水，摇匀后立即用硫代硫酸钠标准滴定溶液（过氧化值估计值在 0.15 g/100 g 及以下时，用 0.002 mol/L 标准滴定溶液；过氧化值估计值大于 0.15 g/100 g 时，用 0.01 mol/L 标准滴定溶液）滴定析出的碘，滴定至淡黄色时，加 1 mL 淀粉指示剂，继续滴定并强烈振摇至溶液蓝色消失为终点。同时进行空白试验。空白试验所消耗硫代硫酸钠标准滴定溶液体积 V 不得超过 0.1 mL。

C.2.3 分析结果的表述

C.2.3.1 用过氧化物相当于碘的质量分数表示过氧化值时，按式（4）计算：

$$X_4 = \frac{(V-V_0) \times c \times 0.1269}{m} \times 100 \quad (4)$$

式中：

X_4 ——试样中过氧化值的含量，单位为克每百克（g/100 g）；

V ——试样消耗的硫代硫酸钠标准滴定溶液体积，单位为毫升（mL）；

V_0 ——空白试验消耗的硫代硫酸钠标准滴定溶液体积，单位为毫升（mL）；

c ——硫代硫酸钠标准滴定溶液的浓度，单位为摩尔每升（mol/L）；

m ——试样质量，单位为克（g）；

0.1269——与 1.00 mL 硫代硫酸钠标准滴定溶液 [$c(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3)=1.000 \text{ mol/L}$] 相当的碘的质量，单位为克每毫摩尔（g/mmol）；

100——折算为 100 g 试样的换算系数。

C.2.3.2 用 1 kg 样品中活性氧的毫摩尔数表示过氧化值时，按式（5）计算。

$$X_5 = \frac{(V-V_0) \times c \times 1000}{2 \times m} \quad (5)$$

式中：

X_5 ——过氧化值，单位为毫摩尔每千克（mmol/kg）；

V ——试样消耗的硫代硫酸钠标准滴定溶液体积，单位为毫升（mL）；

V_0 ——空白试验消耗的硫代硫酸钠标准滴定溶液体积，单位为毫升（mL）；

c ——硫代硫酸钠标准滴定溶液的浓度，单位为摩尔每升（mol/L）；

m ——试样质量，单位为克（g）；

1000——物质的量由摩尔折算为毫摩尔的换算系数；

2——硫代硫酸钠和活性氧之间的转换系数。

计算结果以重复性条件下获得的 2 次独立测定结果的算术平均值表示，结果保留 2 位有效数字。

C.3 丙二醛

C.3.1 原理

植物乳（奶）中的氧化产物丙二醛经三氯乙酸溶液提取后，与硫代巴比妥酸（TBA）作用生成粉红色化合物，测定其在 532 nm 波长处的吸光度值，与标准系列比较定量。

C.3.2 分析步骤

C.3.2.1 丙二醛标准溶液配制

（1）丙二醛标准储备液（100 $\mu\text{g/mL}$ ）

准确移取 0.315 g（精确至 0.001 g）1,1,3,3-四乙氧基丙烷至 1000 mL 容量瓶中，用水溶解后稀释至 1000 mL，置于冰箱 4°C 储存。有效期 3 个月。

（2）丙二醛标准使用溶液（1.00 $\mu\text{g/mL}$ ）

准确移取丙二醛标准储备液 1.0 mL，用三氯乙酸混合液稀释至 100 mL，置于冰箱 4°C 储存。有效期 2 周。

（3）丙二醛标准系列溶液

准确移取丙二醛标准使用液 0.10 mL、0.50 mL、1.0 mL、1.5 mL、2.5 mL 于 10 mL 容量瓶中加入三氯乙酸混合液定容至刻度，该标准溶液系列浓度为 0.01 $\mu\text{g/mL}$ 、0.05 $\mu\text{g/mL}$ 、0.10 $\mu\text{g/mL}$ 、0.15 $\mu\text{g/mL}$ 、

0.25 μg/mL，现配现用。

C.3.2.2 试样制备

称取样品（豆乳、椰子乳、杏仁乳、核桃乳、花生乳、燕麦乳、亚麻籽乳、坚果乳等）5 g（精确到 0.01 g）置入100 mL具塞锥形瓶中，准确加入 50 mL 三氯乙酸混合液，摇匀，加塞密封，置于恒温振荡器上 50°C 振摇 30 min，取出，冷却至室温，用双层定量慢速滤纸过滤，弃去初滤液，续滤液备用。准确移取上述滤液和标准系列溶液各 5 mL 分别置于 25 mL 具塞比色管内，另取 5 mL 三氯乙酸混合液作为样品空白，分别加入 5 mL 硫代巴比妥酸（TBA）水溶液，加塞，混匀，置于 90°C 水浴内反应 30 min，取出，冷却至室温。

C.3.2.3 测定

以样品空白调节零点，于 532 nm 处 1 cm 光径测定样品溶液和丙二醛标准系列溶液的吸光度值，以标准系列溶液的质量浓度为横坐标，吸光度值为纵坐标，绘制标准曲线。

试样中丙二醛含量，按式（6）计算：

C.3.3 分析结果的表述

$$X_6 = \frac{c \times V \times 1000}{m \times 1000} \quad (6)$$

式中：

X_6 ——试样中丙二醛含量，单位为毫克每千克（mg/kg）；

c ——从标准系列曲线中得到的试样溶液中丙二醛的浓度，单位为微克每毫升（μg/mL）；

V ——试样溶液定容体积，单位为毫升（mL）；

m ——最终试样溶液所代表的试样质量，单位为克（g）；

1000——换算系数。

计算结果以重复性条件下获得的两次独立测定结果的算术平均值表示，结果保留两位有效数字。

附录 D

(规范性附录)

植物乳(奶)消化吸收与蛋白质营养价值评价

D.1 脂肪消化率

D.1.1 原理

脂肪体外模拟消化是通过人工模拟人体消化环境(口腔、胃、小肠)来研究脂肪分解过程的方法。其原理是在 37℃ 恒温条件下,分阶段模拟消化:口腔、胃阶段初步分解脂肪,小肠阶段在胆盐乳化作用下,由胰酶将甘油三酯水解为游离脂肪酸。通过控制温度、pH、消化时间和机械搅拌等参数,并采用 pH-stat 滴定法来测定脂肪水解率。

D.1.2 分析步骤

D.1.2.1 消化液的配置

模拟唾液(SSF)、胃液(SGF)、小肠液(SIF)的配置按照表D.1进行。

表 D.1 消化液中电解质的配置(脂肪酸)

成分		SSF (pH 7)		SGF (pH 3)		SIF (pH 7)		
盐溶液	浓度		盐溶液添加体积 0.4 L (1.25x)	最终浓度	盐溶液添加体积 0.4 L (1.25x)	最终浓度	盐溶液添加体积 0.4 L (1.25x)	最终浓度
	g/L	M	mL	mM	mL	mM	mL	mM
KCl	37.3	0.5	15.1	15.1	6.9	6.9	6.8	6.8
KH ₂ PO ₄	68	0.5	3.7	3.7	0.9	0.9	0.8	0.8
NaHCO ₃ *	84	1	0(6.8)	0(13.6)	0(12.5)	0(25)	0 (42.5)	0 (85)
NaCl	117	2	2.72	13.6	18.05(11.8)	72.2(47.2)	30.85 (9.6)	123.4(38.4)
MgCl ₂ (H ₂ O) ₆	30.5	0.15	0.5	0.15	0.4	0.12	1.1	0.33
(NH ₄) ₂ CO ₃	48	0.5	0.06	0.06	0.5	0.5	-	-
HCl		6	0.09	1.1	1.3	15.6	0.7	8.4

*如果使用密闭反应容器,添加量按照括号内;如果使用不完全密闭的反应容器,添加量按照括号外。

酶溶液的配制(根据酶活配制,且须现配现用):

粘蛋白: 1.5 g + 400 mL SSF, 冰浴过夜搅拌;

α -淀粉酶: 291.83 mg/mL, 水溶, 4℃保存;

胃蛋白酶: 19.33 mg/mL, 水溶, 冰浴搅拌30 min, -20℃保存;

胰酶: 57.54 mg/mL, SIF溶, 冰浴搅拌30 min, -20℃保存;

胆汁盐: 171.38 mg/mL, SIF溶, 4℃保存;

CaCl₂溶液: 0.3 mol/L。

使用前,所有模拟消化液(唾液、胃液和肠液)需预热至 37℃。所有植物乳(奶)调节至含油量为 2%。在每个模拟消化阶段,将样品与消化液按体积比 1:1 混合,置于 37℃ 孵育装置中一段时间。

D.1.2.2 模拟口腔阶段

将 5 mL 植物乳(豆乳、椰子乳、杏仁乳、核桃乳、花生乳、燕麦乳、亚麻籽乳、坚果乳等)与 4

mL 模拟唾液 (SSF) 混合, 加入 25 μ L CaCl₂、0.5 mL α -淀粉酶, 加入超纯水至 10 mL。得到混合样品以 100 rpm 的速度在 37°C 恒温机械振动装置中孵育 2 min。

D.1.2.3 模拟胃阶段

将 8 mL 模拟胃液 (SGF) 与 10 mL 口腔样本混合, 用 1 M HCl 调节 pH 至 3 后, 加入 0.5 mL 胃蛋白酶、5 μ L CaCl₂, 加入超纯水至 20 mL。得到混合样品以 100 rpm 的速度在 37°C 恒温机械振动装置中孵育 2 h。

D.1.2.4 模拟小肠阶段

8 mL 模拟肠液 (SIF) 与 20 mL 胃相样本混合, 加入 3 mL 胆汁盐、40 μ L CaCl₂ 后, 用 1 M NaOH 调节 pH 至 7, 加入 5 mL 现配胰酶、超纯水至 40 mL。在恒温水浴中连续搅拌 2 小时, 此过程中, 通过自动滴定装置 (Metrohm, USA, Inc.) 加入 0.25 M NaOH 溶液, 使混合物保持在 pH 7.0。

D.1.3 分析结果的表述

通过记录达到中和所需的氢氧化钠体积计算释放的游离脂肪酸 (FFAs)。

$$\text{FFA}(\%) = 100 \times \frac{V_{\text{NaOH}} \times C_{\text{NaOH}} \times m_{\text{lipid}}}{w_{\text{lipid}} \times 2} \quad (7)$$

式中:

FFA——脂肪酸消化率 (%) ;

V_{NaOH} ——消化时间内 NaOH 的消耗量, 单位为升 (L) ;

C_{NaOH} ——NaOH 溶液的摩尔浓度, 单位为摩尔每升 (mol/L) ;

M_{lipid} ——植物乳 (奶) 中油脂的平均相对分子质量;

w_{lipid} ——消化液中油脂的质量, 单位为克 (g) 。

D.2 蛋白质消化率

D.2.1 原理

植物乳 (奶) 中蛋白质消化率是指在消化道内被消化的蛋白质占摄入蛋白质的百分数。其原理是在 37°C 恒温条件下, 分阶段模拟口腔、胃和小肠消化, 将蛋白质水解为游离氨基酸、多肽等。消化完成后, 通过凯氏定氮法测定未消化蛋白质含量与总蛋白质含量, 计算蛋白质消化率。

D.2.2 分析步骤

D.2.2.1 消化液的配置

表 D.2 消化液中电解质的配置 (蛋白质)

成分		SSF (pH 7)		SGF (pH 3)		SIF (pH 7)		
盐溶液	浓度		盐溶液添加 体积 0.4 L (1.25x)	最终浓度	盐溶液添加 体积 0.4 L (1.25x)	最终浓度	盐溶液添加 体积 0.4 L (1.25x)	最终浓度
	g/L	M	mL	mM	mL	mM	mL	mM
KCl	37.3	0.5	15.1	15.1	6.9	6.9	6.8	6.8
KH ₂ PO ₄	68	0.5	3.7	3.7	0.9	0.9	0.8	0.8
NaHCO ₃	84	1	0 (6.8)	0 (13.6)	0 (12.5)	0 (25)	0 (42.5)	0 (85)
NaCl	117	2	3.4	13.6	18.05 (11.8)	72.2 (47.2)	30.85 (9.6)	123.4 (38.4)

表 D.2 (续)

MgCl ₂ (H ₂ O) ₆	30.5	0.15	0.5	0.15	0.4	0.12	1.1	0.33
(NH ₄) ₂ CO ₃ *	48	0.5	0.06	0.06	0.5	0.5	0.5	0.5

注：如果使用密闭反应容器，添加量按照括号内；如果使用不完全密闭的反应容器，添加量按照括号外。

D.2.2.2 模拟口腔阶段

将 10 mL 植物乳（豆乳、椰子乳、杏仁乳、核桃乳、花生乳、燕麦乳、亚麻籽乳、坚果乳等）与 8 mL 模拟唾液（SSF）、50 μL CaCl₂、1.95 mL 超纯水混合均匀，调节 pH 至 7。得到混合样品以 150 rpm 的速度在 37℃ 恒温机械振动装置中孵育 2 min。

D.2.2.3 模拟胃阶段

16 mL 模拟胃液（SGF）与 20 mL 口腔样本混合，用 1 M HCl 调节 pH 至 3 后，加入 1 mL 胃蛋白酶、10 μL CaCl₂，加入超纯水至 40 mL。得到混合样品以 150 rpm 的速度在 37℃ 恒温机械振动装置中孵育 2 h。

D.2.2.4 模拟小肠阶段

8.5 mL 模拟肠液（SIF）与 20 mL 胃部样本混合，加入 5 mL 胰酶、2.5 mL 水、40 μL CaCl₂ 后，用 1 M NaOH 调节 pH 至 7，加入超纯水至 40 mL。得到混合样品以 150 rpm 的速度在 37℃ 恒温机械振动装置中孵育 2 h，终止反应。

D.2.2.5 蛋白质含量测定

植物乳（豆乳、椰子乳、杏仁乳、核桃乳、花生乳、燕麦乳、亚麻籽乳、坚果乳等）中蛋白质含量和未消化蛋白含量的测定采用 GB 5009.5 中的凯氏定氮法（其中小肠阶段消化后的消化液测定的蛋白含量为未消化蛋白含量）。

D.2.3 分析结果的表述

$$D(\%) = \frac{m_1 - m_0}{m} \times 100 \quad (8)$$

式中：

D——蛋白质消化率（%）；

m₁——样品消化后上清液中蛋白质质量（g）；

m₀——空白样品的蛋白质质量（g）：空白对照中蛋白质的含量（g），将样品换成水进行消化，排除 α-淀粉酶、胃蛋白酶和胰酶的影响）；

m——消化前样品中蛋白质的质量（g）。

D.3 蛋白质营养价值

D.3.1 原理

植物乳（奶）中蛋白质营养价值主要取决于所含必需氨基酸的种类是否齐全、必需氨基酸数量的多少以及各种必需氨基酸的组成比例。必需氨基酸模式是指蛋白质中各种必需氨基酸的构成比例。当食物蛋白质的氨基酸组成越接近人体蛋白质的组成，其营养价值越高。

D.3.2 分析步骤

D.3.2.1 氨基酸组成与含量测定

参照 GB 5009.124 执行，采用氨基酸分析仪法（茚三酮柱后衍生离子交换色谱仪）进行氨基酸组成与含量测定。氨基酸分析仪可测定 17 种氨基酸，分别为天门冬氨酸、苏氨酸、丝氨酸、谷氨酸、脯

氨酸、甘氨酸、丙氨酸、胱氨酸、缬氨酸、蛋氨酸、异亮氨酸、亮氨酸、酪氨酸、苯丙氨酸、赖氨酸、组氨酸、精氨酸。

D.3.2.2 氨基酸评分（AAS）测定

以WHO/FAO氨基酸模式为基础，计算植物乳（奶）中蛋白质的氨基酸评分（AAS）。

表 D.3 蛋白质必需氨基酸在 WHO/FAO 模式的含量（mg/g 蛋白）

氨基酸	异亮氨酸 (Ile)	亮氨酸 (Leu)	赖氨酸 (Lys)	蛋氨酸+半胱氨酸 (Met+Cys)	苯丙氨酸+酪氨酸 (Phe+Tyr)	苏氨酸 (Thr)	缬氨酸 (Val)	色氨酸 (Trp)
WHO/FAO	40	70	55	35	60	40	50	10

D.3.3 分析结果的表述

$$AAS = \frac{A_x}{A_s} \times 100 \quad (9)$$

式中：

A_x ——待测蛋白质中某一必需氨基酸含量，单位为毫克每克蛋白（mg/g蛋白）；

A_s ——WHO/FAO 评分模式中相应的必需氨基酸含量，单位为毫克每克蛋白（mg/g蛋白）。