

《高铁小麦》农业行业标准编制说明

一、工作概况

1、任务来源

本标准由中华人民共和国农业农村部提出，由农业农村部农产品营养标准专家委员会并归口，经农业农村部农产品质量安全监管司批准下达立项计划，文件编号为：农质标函[2020]128号，项目名称为“制定《铁强化小麦》标准（HYB-20145）”。

本标准起草单位：

本标准主要起草人：

2、标准制定的背景、目的和意义

本标准的制定，是顺应农产品营养品质提升发展的需求。为有效衔接“农业生产—食物消费—营养健康”各环节，推动“营养指导消费、消费引导生产”理念的实现，推动农产品品牌战略的落地实施，推动优质农产品的营养品质分等分级与优质优价，引导农业产业结构转型升级，加快农业供给侧结构性改革，优化膳食结构、支撑健康中国，农业农村部食物与营养发展研究所开展了农产品营养标准体系的研究，将营养强化农产品标准作为营养品质体系框架的重要内容。本标准是营养强化农产品体系的重要标准组成，是加强营养强化农产品监管的辅助手段，对推动小麦产业高质量发展具有重要的意义。

同时，该标准的研制也是国家政策中关于完善营养法规政策标准体系的落脚点。目前，我国大力倡导营养标准体系建设，《国民营养计划（2017-2030）》（国办发〔2017〕60号）指出完善营养法规政策标准体系，“科学、及时制定以食品安全为基础的营养健康标准”。本标准对于我国铁强化食物的生产、监管具有重要意义。

3、主要工作过程

（1）启动《高铁小麦》标准研究

2017年1月，在中国农业科学院协同创新工程项目“作物营养素代谢机理与营养强化关键技术”子课题——“我国人群营养及作物营养强化标准制定”研究背景下，农业农村部食物与营养发展研究所积极开展了铁营养强化小麦标准研

研究工作，经过铁营养强化小麦种植示范、样品铁含量分析、适宜铁含量制定研究等，初步形成标准制定的思路与方案。

(2) 形成《高铁小麦》行业标准草案

2019年7月，《高铁小麦》研究工作组在前期调查、研究的基础上，确立了标准内容框架，并草拟形成了《高铁小麦》行业标准草案。同时，起草组通过向中华人民共和国农业农村部提交行业标准立项计划申请。于2020年7月31日，《高铁小麦》行业标准立项计划正式下达，文件编号为：农质标函[2020]128号。

(3) 组织开展《高铁小麦》行业标准草案研讨

2020年8月-2022年8月，起草组邀请中国农业科学院作物科学研究所、中国疾控中心营养与健康所、中国农业大学等专家，对《高铁小麦》行业标准草案进行了研讨，对标准文本进行了完善。

(4) 形成《高铁小麦》行业标准征求意见稿

2022年8月，起草组进一步完善《高铁小麦》行业标准草案，多次修改后形成《高铁小麦》行业标准征求意见稿，编写编制说明。

二、编制原则和主要内容

1、编制原则

标准制定过程中充分考虑了利益相关方的目标和诉求，按照 GB/T 1.1—2009《标准化工作导则 第 1 部分：标准的结构和编写》、GB/T 20000.1—2002《标准化工作指南 第 1 部分：标准化和相关活动的通用词汇》；GB/T 20000.2—2002《标准化工作指南第 2 部分：采用国际标准的规则》和 GB/T 20001—2001《标准编写规则》等进行，使标准更严谨、更规范。

2、主要内容

本标准主要内容如下：

(1) 范围

本标准规定了高铁小麦的术语和定义、技术要求、检验方法、检验规则、标志、包装、贮存、运输。本标准适用于本文件。

(2) 规范性引用文件

本标准共引用了 6 项国家标准文件，3 项为强制性国家标准，3 项为推荐性国家标准。

（3）术语和定义

本标准共涉及 5 个术语，容重、不完善粒、杂质、色泽、气味、高铁小麦。参照依据相关标准、书籍和文献。

（4）技术要求

本标准技术要求包括三部分，感官要求、品质要求和卫生指标，参照《GB 1351—2008 小麦》、《中国居民膳食营养参考摄入量 2013 版》、《中国居民膳食指南 2016 版》和《GB2715—2016 食品安全国家标准 粮食》，并结合各专家和生产企业的意见和建议进行编写。

（5）检验方法

本标准检验方法包括两部分，即铁含量检测、质量检测。其中，铁含量 ≥ 47 mg/100 g。

（6）检验规则

本标准检验规则包括检验批次及检验内容，检验内容为外观品质、铁含量。

（7）标识、包装、储存、运输

标准特别规定应在包装物上或随行文件中注明产品的名称（高铁小麦）、执行标准（本标准）号、产地、生产年月份。

三、采用国际标准和国外先进标准的程度，以及与国际同类标准水平的对比情况，或与测试的国外样品、样机的有关数据对比情况

1、国外食品营养强化标准

1.1 美国营养强化标准

美国没有专门针对营养强化食品设立特殊的管理部門，管理强化食品的部門和普通食品一样，都是由食品药品监督管理局（Food and Drug Administration, FDA）具体执行。目前，美国联邦政府管理食品强化的法规标准主要是联邦法规中的“强化政策”以及联邦法规中的系列产品标准。

强化政策：强化政策基本目标是建立一套统一的原则，作为食物合理添加营养素的规范。FDA 认为食物的随机强化可能导致消费者饮食过度或不足，并导致食物供应中的营养不平衡，也可能导致某些食物的欺骗性或误导性声明。FDA 不鼓励不加区别地进行食品营养强化，特别是不鼓励对新鲜农产品（肉类，禽类或鱼类产品）、糖或零食（如糖果和碳酸饮料）进行营养强化。为了保持饮食中的

营养平衡，生产商要选择适当的营养物质添加到强化食物。在强化政策中，FDA对强化食品中添加的营养素种类以及食物中每 100 卡路里含有的营养成分做出了规定，例如蛋白质、维生素 A、钙、叶酸等营养素。同时强化政策还提出了营养素可以被添加入强化食品的条件：1. 当有证据表明存在营养问题及受影响的人群，食品适合作为强化载体且不属于其他法规禁止强化的食品，那么所缺乏营养素可适当地添加到食物中，以纠正存在和已知的营养缺乏症；2. 当食物中的营养素在规范生产、存储、处理或加工中所造成的损失不小于每日参考摄入量或每日参考值的 2% 时，可以添加营养素以恢复到食品的原有水平；3. 当每份食物含有至少 40 千卡（即每日摄入量 2000 千卡的 2%）的能量时，营养素可以与食物的总能量成比例地添加到食物中，以平衡食物中维生素、矿物质和蛋白质的含量。此外，强化政策还对营养素的适用条件做出了规定：正常储存、配送和使用条件下，强化食品需表现稳定；考虑到饮食中其他来源的营养素累积量，需要保证消费营养强化食物不会导致营养过量摄入。

食品营养强化标准：从 20 世纪 40 年代起，FDA 陆续颁布了不同食物的营养强化食品标准，并随着时间推移不断调整更新。美国与强化有关的系列食品标准分两类，一类是强化食品标准，其中规定了具体的强化内容。另一类是一般食品标准，因为有一部分一般食品也规定了可以强化某些营养素。对于有特定标准的强化食品，生产商必须按照 FDA 制定的一系列食品强化标准进行生产，并且强化标准中有规定强制性强化或自愿性强化。例如联邦法规 21CFR131.130《淡奶》中规定，每 1 夸脱淡奶中维生素 D 需要强化至 25 IU，维生素 A 可自愿强化至 125 IU。联邦法规 CFR137.350《强化大米》中规定大米中需要强制性强化硫胺素、核黄素、烟酸或烟酰胺、叶酸和铁，可以自愿性强化维生素 D 和钙。

1.2 加拿大营养强化标准

目前，加拿大联邦政府管理食品强化的法规标准主要包括《食品和药品法规》中的 D 部分“维生素、矿物质和氨基酸”标准和 B 部分系列食品强化标准，以及《用于食品强化已过期临时营销许可的临时政策》。

“维生素、矿物质和氨基酸”标准：加拿大对营养强化的管理主要依据《食品和药品法规》中的“维生素、矿物质和氨基酸”部分来进行。从 1964 年开始，每增加一种新的强化营养素或强化食品，均要对法规进行修订。该部分标准对食

品中可以强化的维生素和矿物质种类进行了规定。其中规定了某些维生素的强化量，将人群分为两岁以上和两岁以下人群，要求强化量不得使这两种人群的摄入量低于或高于规定值。该标准并没有以单位重量或体积为单位规定食物中营养素的含量，而是根据不同人群每日推荐摄入量制定，下限为每日推荐量的 50%，上限为每日推荐量的 100%—200%。该部分还规定了可以进行强化的食物载体的种类，其中包括早餐谷物、果蔬饮料和人造黄油等 27 种食物，以及每一种载体中可以强化的营养素。例如早餐谷物可以强化硫胺、烟酸、维生素 B₆、叶酸、泛酸、镁、铁和锌。这部分仅规定了允许添加的营养素品种，没有规定强化的限量。对于强化限量，如果有相应的产品标准，则按照相应的产品标准执行，否则必须符合该部分标准规定的要求。

食品营养强化标准：加拿大的强化标准虽然也像美国一样包括一般食品标准和强化食品标准，同样也分为强制性强化和自愿性强化两种，但是对强化的规定却是截然不同的。在加拿大，不管是一般食品标准还是强化食品标准，只要标准中要求强化一定量的某种营养素并且没有说明是自愿性的，都是强制性强化。《食品和药品法规》中 B 部分中共有 40 多种食品标准涉及到食品营养强化。食品强化标准要求食品的强化营养素和强化量需要符合规定。其中一部分要求食品必须用某些维生素、矿物质及氨基酸进行强化。

1.3 澳大利亚、新西兰营养强化标准

在澳大利亚及新西兰关于食品强化的标准主要是通过《食品中强化维生素和矿物质的政策指南》以及《澳新食品标准法典》中的系列食品营养强化标准实施。澳新的所有食品营养强化标准都在《澳新食品标准法典》中，与强化有关的标准分为两类：一类是的“维生素和矿物质”标准，一类是食品营养强化标准。

《食品中强化维生素和矿物质的政策指南》：该指南把食品强化分为强制性强化和自愿性强化两类。强制性强化要求：1. 确保添加到食物中的维生素和矿物质的含量在总体摄入量的范围内，不会导致维生素和矿物质的有害过量或不平衡；2. 确保强制性强化添加的维生素和矿物质到达有效量，对目标群体具有特定的影响，以达到治疗的目的。自愿性强化要求：1. 使加工后的食品营养状况尽可能地保持在预处理水平，或者使特定替代食品的营养特征与初级食品保持一致；2. 强化许可不应促进盐、糖或脂肪高的食品，以及营养价值很小或没有其他健康益处

的食品的消费量增加；3. 酒精饮料中不允许进行强化；4. 强化许可应确保添加的维生素和矿物质在食物中的水平不会在总体摄入量的情况下导致维生素和矿物质的有害过量或不平衡。

“维生素和矿物质”标准：该标准为《澳新食品标准法典》中的 1.3.2 章节，该章节规定了可以进行强化的载体、各载体中可以强化的营养元素、每种营养素的强化剂种类以及各类维生素和矿物质。同时该标准要求自愿强化的产品中天然存在的和添加的维生素或矿物质的总量不超过该标准中允许使用维生素和矿物质的量（这个量只是针对某些食品中的某些营养素，并不是对所有的营养素都有规定）。“维生素和矿物质”标准允许将 21 种维生素和矿物质以不同的组合方式添加到谷物与谷物制品；乳制品；食用油与食用涂抹油；肉类、蔬菜或酵母提取物；果汁、蔬菜汁、果汁饮料和果汁、果露；豆科植物类似物等 9 大类 28 小类食品种类中。例如乳制品一类中包含干乳、改性乳和脱脂牛奶、奶酪及奶酪制品、酸奶、乳制甜品、冰淇淋、奶油和黄油 8 种产品。

食品营养强化标准：食品营养强化标准中包括两种类型的食品强化，即强制性强化和自愿性强化。强制性强化由政府和食品立法者确定强化营养素、食物载体以及强化水平，要求食品生产商必须按照食品法规的规定在特定食品中进行强化。食品营养强化标准是澳大利亚和新西兰的强制性强化的主要管理方式，主要包括向食盐中加碘、向面包粉中添加硫胺素、向涂抹油脂和人造黄油中添加维生素 D、向配方咖啡因饮料中添加某些维生素以及特殊功能食品等标准。自愿性强化是指经政府批准的，由食品生产商自行决定的食品强化行为，即生产商可以不生产强化食品，如果生产则必须按照法规规定进行强化，如 4 个月以下婴幼儿谷物食品要求可以选择性添加铁和维生素 A。

1.4 南非营养强化标准

《特定食物强化法规》：该法规是专门用来管理南非强制性强化的食品，同时也包含有强化食品的强化标准。法规对面粉和玉米粉中加入的强化剂混合物做出了要求，规定了不同食品载体的强化剂混合物中各营养素的含量。该法规还规定了面粉、玉米粉和面包中包括叶酸在内的各营养素总含量允许波动范围，营养素总含量可在强化剂量与天然含量之和的基础上上下浮动 5% 或 10%。

2、国内食品营养强化标准

我国食品营养强化工作起步较晚。20 世纪 50 年代生产的“5410”婴儿代乳粉强化了维生素 A、D、动物骨粉及核黄素小米等，是我国食品营养强化历程的开始。此后，陆续生产了钙奶饼干、核黄素面包等强化食品。随着我国政府对营养强化重视程度越来越高，逐渐认识到营养强化食品的作用的，我国市场上相继出现了许多营养强化项目。1986 年卫生部门开始对食品营养强化进行标准化法制管理，颁布了《食品营养强化剂使用卫生标准（试行）》以及《食品营养强化剂卫生管理办法》。1990 年食品营养强化剂作为食品添加剂的一个类别纳入《食品添加剂使用卫生标准》（GB2760）。1994 年，我国立法强制实行食盐加碘，国务院颁布《食盐加碘消除碘缺乏危害管理条例》，这是我国第一个由政府强制实施的全民强化项目，并取得了很大的成功。同年，颁布实施了国家标准《食品营养强化剂使用卫生标准》（GB14880-1994）。自 2000 年起国家推广营养强化面粉，并出台了营养强化面粉的国家标准《营养强化小麦粉》。目前我国强化的产品载体涉及谷物类及制品、调味品、乳制品、食用油品、饮料等类别，其中除调味品中的碘盐为国家强制性食物强化外，其他食物强化目前都为非强制性的强化。

我国食品营养强化工作虽然起步较晚，但经过近四十年的不断努力，目前食品营养强化标准体已逐步健全，并划分细致。根据食品类型，可将其分为一般食品营养强化标准、特殊用途配方食品营养标准及保健食品营养素标准三类。

2.1 一般食品营养强化标准

目前，我国针对一般食品的营养强化标准主要包括《食品中必需营养素添加通则》、《食品营养强化剂使用标准》和《食用盐碘含量》3 部国家标准。

《食品中必需营养素添加通则》（GB/T23526-2009）：该标准等同 CAC/GL 09-1987《食品中添加必需营养素的通用原则》。标准规定了食物中添加营养素的基本原则：1. 考虑到其他膳食来源摄入的营养素总量，添加必需营养素的摄入量不会产生过量或无效；2. 食品中添加必需营养素不应对任何其他营养素的代谢产生副作用；3. 需营养素应该在常规的包装、贮存、销售和使用的条件下保持充分稳定；食品中的必需营养素应是生物可利用的；4. 必需营养素不应对食品的特征产生不良影响（如：颜色、味道、香味、质地、烹饪特色），不应过分缩短货架期。该标准还规定了 4 种添加营养素的情况：1. 如果食品在加工、贮藏、运输之前，其可食部分含有的某必需营养素的量大于或等于该营养素推荐摄入量的 10%（若

没有推荐摄入量，按每天平均摄入量计算)，为保护公众健康，应补充该食品在加工、贮存或运输过程中损失的营养素；2. 当每 100kcal (418. 4kJ) 能量的替代食品中某必需营养素的量大于或等于该营养素推荐摄入量的 5%，为了保护公众健康的需要，应推荐采用必需营养素营养等同原则；3. 当科研资料已表明某个人群或多个人群需要增加某必需营养素的摄入，应选择目标人群的大众化食品作为载体进行营养素强化，所选载体食品的摄入量应稳定不变，并知其食用量范围，所添加营养素应足量，使目标人群以常规食用该强化食品，即可纠正或预防营养素缺乏，且不能因消费者大量食用该强化食品而导致该强化营养素摄入过量；4. 为确保合适、足量的营养素摄入，特殊用途食品或特殊膳食食品中可添加营养素，应使添加量达到适宜的营养素密度。

《食品安全国家标准 食品营养强化剂使用标准》(GB14880-2012)：该标准规定了食品营养强化的主要目的、使用营养强化剂的要求、可强化食品类别的选择要求以及营养强化剂的使用规定。标准于 1994 年发布，2012 年修订。该标准要求：1. 营养强化剂的使用不应导致人群食用后营养素及其他营养成分摄入过量或不均衡，不应导致任何营养素及其他营养成分的代谢异常；2. 添加到食品中的营养强化剂应能在特定的储存、运输和食用条件下保持质量的稳定；3. 添加到食品中的营养强化剂不应导致食品一般特性如色泽、滋味、气味、烹调特性等发生明显不良改变。该标准规定了维生素、矿物质、脂肪酸、氨基酸（肽、蛋白质）等 43 种营养素强化剂在不同食品类别中的使用量。以铁、锌作为营养强化剂为例，该标准规定了铁、锌可用于大米、小麦面粉等 4 类食品中的不同使用量。该标准还规定了允许使用的营养强化剂化合物来源，以维生素 A 为例，化合物来源包括：醋酸视黄酯（醋酸维生素 A）、棕榈酸视黄酯（棕榈酸维生素 A）、全反式视黄醇和 β -胡萝卜素。

2.2 特殊人群适用食品营养强化标准

中国还提出了主要用于特殊人群适用食品的营养素含量规范，包含有《孕妇及母乳营养补充食品》(GB31601-2015)、《婴儿配方食品》(GB10765-2010)、《较大婴儿和幼儿配方食品》(GB10767-2010)、《运动营养食品通则》(GB24154-2015)、《特殊医学用途配方食品通则》(GB29922-2013) 以及《特殊医学用途婴儿配方食品通则》(GB25596-2010) 的等标准。特殊人群食品营养标准规定补充食品及

配方食品是添加优质蛋白质和多种微量营养素制成的适宜目标人群补充营养素的特殊膳食食品。该类标准中规定了添加的蛋白质和微量营养素可分为必需成分和可选成分两种，也规定了各种添加营养素的使用量范围。

3、国内外作物营养强化标准

作物营养强化，是区别于传统加工过程中实施营养素强化的一种新型营养素强化技术和手段。目前，国际对作物营养强化定义尚未统一。虽有国家已开展营养强化作物种植，但尚缺乏引进、生产和销售营养强化作物的具体规定。

3.1 国际标准

目前国际上已有部分相关作物营养强化标准法规。美国、加拿大、菲律宾等国已有对小麦中铁强化含量的相关规定，其中美国规定铁强化小麦中强化铁总量需达到 44 mg/kg，加拿大规定值和美国相同，菲律宾规定其强化总量在 70-105 mg/kg 之间，并且进一步说明对于人群中缺乏的必需营养素，强化量至少要达到目标人群膳食推荐量的 1/3。

3.2 国内标准

针对作物营养强化而言，我国尚未有完整的标准法规，仅针对其中个别营养强化农产品而言，如硒强化农产品已有成熟标准。国家标准 GB/T 22499-2008《富硒稻谷》规定了富硒稻谷的相关术语和定义、质量要求、检验方法、检验规则、标签标识以及包装、储存和运输要求。标准规定富硒稻谷为：通过生长过程自然富集而非收获后添加硒、加工成符合 GB 1354 规定的三级大米中硒含量在 0.04 mg/kg-0.30 mg/kg 之间的稻谷。标准明确规定了富硒稻谷中富硒手段为自然富集而非收获后添加或加工等，与加工食品营养强化进行了清晰的区分。同时标准中明确规定了富硒稻谷判定标准：以富硒稻谷加工成的大米中硒含量应该在 0.04 mg/kg-0.30 mg/kg 之间，不做等级区分；硒含量低于 0.04 mg/kg 的，判定为非富硒稻谷；大于 0.3 mg/kg 的，判定为硒含量超标稻谷，不应食用。农业标准 NY/T 600-2002《富硒茶》中规定了富硒茶的相关术语和定义、质量要求、检验方法、检验规则、标签标识以及包装、储存和运输要求。规定富硒茶定义：在富硒区土壤上生长的茶树新梢的芽、叶、嫩茎，经过加工制成的，可供直接饮用的，硒含量在 0.25 mg/kg-4.00 mg/kg 之间的茶叶，不做等级区分。

四、主要技术内容的依据与确定过程

1、适宜强化水平确定

根据《中国居民营养与健康状况监测（2010-2013年综合报告）》显示，中国居民的人均每日铁摄入量为 21.4 mg，其中城市居民为 21.8 mg，农村居民为 21.1 mg，都已远超过中国 18 岁以上男性的人均每日推荐摄入量 12 mg。然而，目前中国仍有 28% 的居民铁摄入量没有达到每日推荐摄入量，同时，中国缺铁性贫血问题十分严重，尤其是妇女和儿童的贫血患病率居高不下。因此，目前中国铁摄入不足的问题依旧严峻，仍然需要加大对居民铁摄入不足问题的重视。

中国居民一直以来的食物消费结构都以植物性食物消费为主，其中植物性食物中又以谷物消费为主，营养素铁的食物来源也以谷物来源为主。因此，对小麦中的铁元素进行作物营养强化，提高其铁含量，是提高中国居民的铁摄入量，减缓由于铁摄入不足而造成的贫血等疾病的患病率的最有效的手段之一。

适宜强化水平是指营养强化作物中的强化营养素含量在此水平上，即不会引起部分人群暴露于营养素摄入过量的潜在风险中，同时又能满足营养不良人群的改善需求。

营养强化作物的开发目的是为了提高其目标人群的营养素摄入量，改善营养状况，以减缓由于该营养素摄入不足而造成各种不利影响。因此，为了达到增加营养素摄入量的目的，避免摄入过量或摄入不足，以及便于监管控制都需要制定营养强化作物的营养素适宜强化水平。

1.1 基于铁摄入不足量制定适宜强化水平

铁营养强化小麦的开发目的是为了改善目标人群的营养状况，提高缺铁人群的铁摄入量，因此，从目标人群的铁摄入不足量的角度制定适宜强化水平是最直接有效的方式，能直接的反应出铁营养强化小麦的营养改善目的。

制定基于铁摄入不足量的适宜强化水平需要综合考虑中国居民营养素铁推荐摄入量、人均每日铁摄入量、面类食物人均每日消费量，以及小麦加工过程中铁损失率等因素。首先，根据中国人群的食物消费结构特点调整缺铁人群的铁推荐摄入量；其次，根据目前居民人均每日铁摄入量和调整后的铁推荐摄入量，得到缺铁人群人均每日铁摄入不足量；再次，根据居民人均每日面类食物消费量和食物消费结构推算出依靠面类食物摄入可以弥补的铁摄入不足量，从而得到小麦粉的适宜强化水平；最后，考虑小麦在加工过程中的铁损耗，得到铁营养强化小麦的适宜强化水平。

1.1.1 中国居民的铁摄入情况

根据《中国居民膳食营养元素参考摄入量（2013版）》可知中国居民不同人群的膳食铁参考摄入量如下表1所示：

表1 中国居民膳食铁参考摄入量

人群	铁 (mg/d)				UL
	EAR		RNI		
	男	女	男	女	
0岁-	-	-	0.3(AI)		-
0.5岁-	7	-	10		-
1岁-	6	-	9		25
4岁-	7	-	10		30
7岁-	10	-	13		35
11岁-	11	14	15	18	40
14岁-	12	14	16	18	40
18岁-	9	15	12	20	42
50岁-	9	9	12	12	42
65岁-	9	9	12	12	42
80岁-	9	9	12	12	42
孕妇(早)	-	+0	-	+0	42
孕妇(中)	-	+4	-	+4	42
孕妇(晚)	-	+7	-	+9	42
乳母	-	+3	-	+4	42

根据《中国居民营养与健康状况监测（2010-2013年综合报告）》，中国不同地区居民的铁摄入量如下表2所示。

表2 中国不同地区居民营养素铁摄入量（每标准人日）

	合计	城市小计	农村小计	大城市	中小城市	普通农村	贫困农村
铁 (mg)	21.4	21.8	21.1	23.9	21.5	21.3	20.6

比较中国居民铁摄入量与铁推荐摄入量可知，中国居民，无论是城市居民还是农村居民，人均每日铁摄入量都已高于铁的推荐摄入量。但是中国居民的铁缺乏问题依旧严峻。根据《中国居民营养与慢性病状况报告（2015）》的数据显示：2012年中国6岁及以上居民贫血患病率为9.7%，城市、农村均为9.7%，男性为7.0%，女性为12.6%。其中6-11岁组儿童贫血患病率为5.0%；12-17岁组儿童贫血患病率为8.0%；18-44岁组成人贫血患病率为10.2%；60岁及以上老年人的贫血患病率为12.6%，其中城市12.5%，农村12.6%，男性12.7%，女性12.4%。2013年中国6岁以下儿童贫血患病率为11.6%，城市为10.6%，农村为12.4%，其中贫困农村为16.6%；男童为12.0%，女童为11.1%。其中0-、6-、12-、24-、

36-、48-、60-71.9 月龄组的贫血患病率分别为 23.4%、28.5%、15.7%、8.0%、6.3%、4.4%和 10.4%。2013 年乳母贫血患病率为 9.3%，其中城市为 7.9%，农村为 10.2%，贫困农村为 14.4%。2012 年孕妇贫血患病率为 17.2%，其中城市为 17.0%，农村为 17.5%（国家卫生计生委疾病预防控制局，2015）。以上的数据表明，中国居民仍然存在铁摄入不足的问题，因此，需要进一步分析得到缺铁人群的铁摄入不足量。

1.1.2 调整缺铁人群的铁推荐摄入量

由于缺铁人群普遍具有食用过多植物性食物特点，因而其铁生物利用率可能低于正常人群，因此其铁摄入量即使达到或超过正常人的铁膳食推荐量，也不能满足其身体需求，应对缺铁人群的铁推荐量进行相应的调整（张金磊等，2014）。

本文根据目前中国居民的膳食摄入状况，重新调整了缺铁人群的铁生物利用率(Bioavailability)，进一步调整总铁吸收率，结合铁参考摄入量的计算方法，可以得到调整后的缺铁人群的铁推荐摄入量。

（1）调整铁生物利用率

目前，对于铁生物利用率的评估有如下四个方法：

世界卫生组织的方法 联合国粮农组织和世界卫生组织在 1988 年(FAO/WHO)提出了铁生物利用率的评估方法：如果人体体内铁储存为零，但可以正常运输时，则铁生物利用率可以分为 3 个等级：生物利用度低，为 5%，生物利用度中等，为 10%，生物利用度高，为 15%。如果饮食中完全是谷物，则铁的生物利用度会低至 1%至 2%；如果饮食中含有大量的猪肉和鱼肉，铁的生物利用度会升至 20%至 25%（陈玉等，2003）。

FAO/WHO 没有详解如何调整膳食因素来评估血红素铁（Heme Iron, HI）和非血红素铁（Nonheme Iron, NI）的生物利用率。只是假设血红素铁的可用性约为 25%，根据下表 3 可以确定非血红素铁的生物利用率。非血红素铁的生物利用率主要依靠抗坏血酸摄入量和动物性食物摄入量决定。抗坏血酸的摄入量分为三个水平：<25 mg，25-75 mg 和 >75 mg；动物食物来源的摄入量也分为三个等级：<30 g，30-90 g 和 >90 g。基于动物源和抗坏血酸的食物摄入量，可得到非血红素铁的生物利用率。据世界卫生组织的估计，绝大多数人的总铁生物利用度约为 10%，这个数字已被广泛用于确定许多国家的人体每日摄取推荐量

(Recommended Daily Allowances, RDA), 包括中国在内 (FAO/WHO, 1988)。

表 3 FAO/WHO 提出的非血红素铁的生物利用率

一餐中抗坏血酸摄入量 (mg)	一餐中动物性食物摄入量 (g)		
	<30	30-90	>90
<25	5	10	15
25~75	10	20	15
>75	15	15	15

Monsen 的方法 Monsen 等 (1978; 1982) 提出血红素铁生物利用率为 23%, 非血红素铁的生物利用率大约为 3-8%。非血红素铁的生物利用率需要考虑到提高铁的生物利用率的促进因子 (Enhancing Factors, EF), EF 由维生素 C 的摄入量和动物性食物的摄入量计算得到, 若 EF 为 0, 非血红素铁的生物利用率为 3%, 若 EF 大于或等于 75, 非血红素铁的生物利用率达到最高, 为 8%。当 $0 < EF < 75$ 其计算公式表示如下:

$$\text{当 } EF < 75 \text{ 时, NI 的生物利用率 (\%)} = 3 + 8.93 * \ln[(EF + 100) / 100];$$

$$\text{当 } EF \geq 75 \text{ 时, NI 的生物利用率 (\%)} = 8\%。$$

Tseng 的方法 Tseng 等 (1997) 在 Monsen 的基础上考虑了植酸盐的影响, 建议通过三个步骤估算非血红素铁的生物利用率: 首先, 用 Monsen 方法计算; 其次, 根据同一餐中植酸盐的摄入量调整非血红素铁的生物利用度, 调整公式如下; 最后, 根据茶叶的消费量调整非血红素铁的生物利用度, 当同一餐中消费的茶叶量超过 225g 时, 非血红素铁的生物利用度需要降低 40%。

$$\text{Log}_{10}(\%, \text{NI 的生物利用率}) = -0.2869 * \log_{10}(\text{mg, 一餐中的植酸盐含量}) + 0.1295$$

Du 的方法 Du (2000) 设定血红素铁的生物利用率为 23%, 假定来自动物食物来源的铁中 40% 是血红素铁, 非血红素铁的生物利用率计算公式如下:

$$\% (\text{NI 的生物利用率}) = 1.7653 + 1.1252 * \ln (EFS / IFS)$$

$$EFS = \text{维生素 C (mg)} + \text{动物性食物 (g)} + \text{蔬菜和水果 (g)} + 1$$

$$IFS = \text{谷物 (g)} + \text{豆及豆制品 (g)} + \text{茶 (g, 干重)} + 1$$

参考 4 种非血红素铁的生物利用率估算方法, 本文选用 Du 的方法。计算非血红素铁生物利用率 (如下表 4 所示), 为 2.3%。

表 4 非血红素铁 (NI) 的生物利用率

维生素 C (mg)	动物性食物 (g)	蔬菜和水果 (g)	谷物 (g)	豆及豆制品 (g)	茶 (g, 干重)	EFS	IFS	NI 生物利用率 (%)

80.1	162.5	309.0	335.4	14.1	2.6	552.6	353.1	2.3
------	-------	-------	-------	------	-----	-------	-------	-----

数据来源：中国经济与社会发展统计数据库

(2) 调整总铁吸收率

根据《中国居民膳食营养元素参考摄入量（2013版）》中的总铁吸收率计算公式，可计算出调整后的总铁吸收率。

$$\text{总铁吸收率} = \text{HI 来源比重} \times \text{HI 的利用率} + \text{NI 来源比重} \times \text{NI 的利用率}$$

非血红素铁和血红素铁来源比重采用《中国居民膳食营养元素参考摄入量（2013版）》中的设定，血红素铁来源比重为10%，非血红素铁来源比重为90%；血红素铁的生物利用率采用Du的设定，为23%，非血红素铁的生物利用率为2.3%。则总铁吸收率为 $10\% \times 23\% + 90\% \times 2.3\% = 4.4\%$ 。

(3) 调整铁推荐摄入量

根据《中国居民膳食营养元素参考摄入量（2013版）》中的计算方法，可得到铁的平均需要量（EAR）和铁的推荐摄入量（Recommended Nutrient Intake, RNI）。

铁的平均需要量（EAR）为总铁需要量除以总铁吸收率。对于成年男性而言，因为没有生长发育的需要，对铁的需要量等于铁的丢失量。成年女性铁需要量为基本铁丢失量，加上月经铁丢失量。儿童包括3个年龄段，分别为1-3岁、4-6岁和7-10岁，该年龄组儿童的铁需要量包括4部分，即基本铁丢失+血红蛋白（hemoglobin, Hb）中的铁蓄积量+非存储性组织铁的增加量+存储铁的增加。11-17岁的青少年铁需要量包括：基本铁丢失+血红蛋白中的铁蓄积量+非存储性组织铁的增加量+月经铁丢失量。因此各年龄组的总铁需要量如下表5所示：

表5 中国各年龄段人群总铁需要量（mg/d）

性别	年龄/岁	基本铁丢失	Hb 铁蓄积量	非存储性组织铁的增加量	月经铁丢失量	存储铁的增加量	总铁需要量
	1-	0.28	0.19	0.004	—	0.05	0.5
	4-	0.37	0.27	0.005	—	0.04	0.69
	7-	0.5	0.42	0.007	—	0.06	0.98
男	11-	0.69	0.42	0.001	—	—	1.12
	14-	0.85	0.36	0.001	—	—	1.21
	18-	0.93	0	0	—	—	0.93
女	11-	0.67	0.29	0.001	0.45	—	1.41
	14-	0.76	0.12	0	0.51	—	1.39
	18-	0.82	0	0	0.65	—	1.47

考虑到 1-10 岁儿童的变异系数为 20%，其他年龄组的变异系数为 15%，则可以得到调整后的铁推荐摄入量（RNI），1-10 岁儿童的推荐摄入量（RNI）为 EAR×1.5；其他年龄组的推荐摄入量（RNI）为 EAR×1.3。则经一系列调整，缺铁人群的铁膳食参考摄入量（Dietary Reference Intakes, DRIs）如下表 6 所示，其中可耐受最高摄入量（UL）未作调整。

表 6 调整后的铁推荐摄入量

性别	年龄/岁	EAR	RNI	UL
男	1-	11.4	17.0	25
	4-	15.7	23.5	30
	7-	22.3	33.4	35
	11-	25.5	33.1	40
	14-	27.5	35.8	40
	18-	21.1	27.5	42
	11-	32.0	41.7	40
女	14-	31.6	41.1	40
	18-	33.4	43.4	42

1.1.3 铁营养强化小麦的适宜强化水平（1）

（1）制定作物营养强化小麦粉的铁适宜强化水平

由调整后的缺铁人群的铁推荐摄入量（RNI）可知，当前中国缺铁人群的铁摄入量与推荐摄入量（RNI）还存在差距。以 18 岁以上成年男性为标准人，则缺铁人群的人均每日铁摄入不足量为 27.5-21.4=6.1 mg。

根据《中国居民营养与健康状况监测（2010-2013 年综合报告）》，中国不同地区居民的面类食物摄入量，如下表 7 所示。普通小麦粉的铁含量参考曹强(1993)的研究，为 15 mg/kg。根据数据和公式，可计算出作物营养强化小麦粉的适宜强化水平为 19 mg/kg。

表 7 2010-2012 年中国不同地区居民面类食物摄入量（克/标准人日）

	合计	城市小计	农村小计	大城市	中小城市	普通农村	贫困农村
面类	142.2	134.2	149.7	135.6	134	143.4	163.9

根据中国居民每日面类食物摄入量、食物总消费量、食物消费结构以及普通小麦粉中的铁含量，可以得到作物营养强化小麦粉的适宜强化水平，见公式如下。

小麦粉适宜强化水平

$$= \frac{\text{人均每日铁元素摄入不足量} \times \text{面类食物铁来源占总铁来源比重} + \text{每日从普通面类食物中铁摄入量}}{\text{人均每日面类食物摄入量}}$$

$$= 19 \text{ mg/kg}$$

(2) 确定小麦加工过程中的铁损失率

中国针对小麦粉设立的标准为《小麦粉国家标准》(GB1355)。其中小麦粉按加工精度分等，等级指标及其他质量指标见表。根据小麦粉的营养组成，可以得到小麦粉出粉率和其营养组成之间的关系，如表 8 和表 9 所示。

表 8 小麦粉等级指标及其他质量指标

等级项目	特质一等	特质二等	标准粉	普通粉
灰分(干基), % ≤	0.70	0.85	1.10	1.40
面筋量(14%水分), %	≥ 26.0	≥ 25.0	≥ 24.0	≥ 22.0
粗细度	CB36 全通过, CB42 留存≤10%	CB30 全通过, CB36 留存≤ 10%	CB20 全通过, CB30 留存≤20%	CB30 全通过, CB36 留存≤10%
含砂量, %	≤ 0.02	≤ 0.02	≤ 0.02	≤ 0.02
磁性金属物, g/kg	≤ 0.003	≤ 0.003	≤ 0.003	≤ 0.003
水分, %	≤ 14.0	≤ 14.0	≤ 13.5	≤ 13.5
脂肪酸值, mgKOH/100 g (以干物计)	≤ 80	≤ 80	≤ 80	≤ 80

表 9 小麦粉出粉率与小麦粉中各物质含量之间关系

项目	出粉率 (%)						
	100%	95%	91%	87%	80%	75%	66%
灰分 (%)	1.8	1.5	1.3	1.0	0.7	0.6	0.5
蛋白 (%)	14.2	13.9	13.8	13.8	13.4	13.5	12.7
脂肪 (%)	2.7	2.4	2.3	2.0	1.6	1.4	1.1
淀粉+糖 (%)	69.9	73.2	75.3	77.2	80.8	82.9	84.0
粗纤维 (%)	2.4	2.1	1.5	1.1	0.2	0.3	0.2
食用纤维 (%)	12.1	9.4	7.9	5.5	3.0	2.8	2.8
能量 (%)	18.5	18.5	18.5	18.5	18.4	18.3	18.4

根据以上两表的数据对比，本文选用出粉率为 80%的小麦粉进行数据分析。曹强(1993)的研究表明，小麦出粉率越高，其营养损失越低，并针对不同出粉率小麦粉所含的各种矿物质做了详细研究，见下表 10，当小麦粉出粉率为 100%时，铁含量为 35 mg/kg；当小麦粉出粉率为 80%时，铁含量为 15 mg/kg。则小麦粉在加工过程中铁的损失率为 57%。

表 10 出粉率与小麦粉中矿物质之间的关系

项目	出粉率 (%)						
	100%	95%	91%	87%	80%	75%	66%
钙 (mg/g)	0.44	0.43	0.38	0.38	0.27	0.25	0.23
磷 (mg/g)	3.8	3.3	2.8	2.1	1.5	1.3	1.2
植酸磷 (mg/g)	2.9	2.2	1.7	1.0	0.4	0.1	<0.1
锌(mg/kg)	29	25	21	18	12	8	8
铜(mg/kg)	4.0	3.7	3.4	2.8	2.4	1.6	1.3
铁(mg/kg)	35	33	28	23	15	13	10
植酸: 锌 2+	35	30	27	19	10	4	2

(3) 制定铁营养强化小麦的适宜强化水平

由于作物营养强化小麦粉的适宜强化水平为 19 mg/kg，本文设定小麦粉的出粉率为 80%，加工过程中铁的损失率为 57%，则根据如下公式，可推算基于铁摄入不足量制定的铁营养强化小麦的适宜强化水平为 45 mg/kg。

铁生物强化小麦的适宜强化水平

$$= \frac{\text{人均每日铁元素摄入不足量} \times \text{面类食物铁来源占总铁来源比重} + \text{每日从普通面类食物中铁摄入量}}{\text{人均每日面类食物摄入量} \times (1 - \text{铁在加工过程中的损耗率})}$$

= 45 mg/kg

1.2 基于食品营养强化标准制定适宜强化水平

由于食品营养强化与作物营养强化具有一定的相似性。首先，食品营养强化与作物营养强化具有相同的目的，均是为了改善目标人群的目标营养素摄入量；其次，食品营养强化与作物营养强化对食物载体的选择相似，大都是大众消费频繁的主要常见食品，最后，两种强化方式在操作执行过程中都需要目标人群营养状况、膳食结构、预期营养改善程度、营养素安全性等因素。因此，目前已经相对较为成熟的食品营养强化法规标准能为作物营养强化适宜强化水平的制定提供经验和参考。

本文借鉴食品营养强化小麦粉的法规标准，以及考虑小麦加工过程中的铁损耗等因素，制定基于食品营养强化标准角度的铁适宜强化水平。

1.2.1 各国食品营养强化小麦粉的法规标准

通过上文对食品强化法规标准的总结梳理可以发现，各国根据各自的国情确立了不同的食品营养强化法规标准。部分国家除了实施食品营养强化法规、营养

强化标准，还颁布了食品强化政策指南。因此，根据上文国内外食品强化法规标准的总结可以整理出各国对小麦粉中添加的铁营养素的要求，如表 11 所示。

表 11 各国对强化小麦粉中铁含量的规定

国家	强化量规定	具体要求
美国	总量 44 mg/kg	——
加拿大	总量 44 mg/kg	合理摄入铁强化食物时，每日摄入不少于 4 mg，即加权 RNI 的 40%。
菲律宾	总量 70-105 mg/kg	对于人群中缺乏的必需营养素，强化量至少要达到目标人群推荐膳食容许量 RDA 的 1/3
澳大利亚、新西兰	最大总量 85 mg/kg	合理摄入铁强化时，每日摄入量为 RNI 的 25%
南非	添加量 35 mg/kg; 总量 48.5 mg/kg	合理摄入铁强化白小麦粉时（200g），要达到目标人群推荐膳食容许量 RDA（14 mg/d）的 1/2
中国大陆	添加量 14-26 mg/kg	——

由上表可知，大部分国家及地区除了对小麦粉的强化量做出具体规定外，还对目标人群摄入强化食品时所要达到的强化目标做出了规定。因此，制定中国铁营养强化小麦的适宜强化水平时，也可以考虑上述国家的方法，设定强化目标制定适宜强化水平。此外，还需要注意的是，包括中国在内的部分国家的食品营养强化标准规定的是强化营养素的添加量，而非食物中强化营养素的总量，考虑到作物营养强化与食品营养强化不同，其适宜强化水平需要用强化营养素在作物中的总含量表述，而非添加量。

1.2.2 铁营养强化小麦的适宜强化水平（2）

首先，中国对营养强化小麦粉的要求是铁的添加量为 14-26 mg/kg。考虑到小麦粉中的本底铁含量，营养强化小麦粉铁的总含量大约在 24-46 mg/kg 之间。

其次，小麦粉加工过程会影响其中的铁含量。因此，需要推算不同的出粉率或加工精度下的小麦籽粒中的铁含量。

由此，根据下列公式，可推出铁营养强化小麦的适宜强化水平，如下表 12 所示。作物营养强化小麦粉的铁适宜强化水平为 24-161 mg/kg，目前中国居民主要消费的小麦粉出粉率大约在 80%，因此，可将出粉率为 80%的小麦粉设定为基准，其加工过程中的铁损耗率为 57%，则基于食品强化标准制定的铁营养强化小麦的适宜强化水平为 56~107 mg/kg。

$$\text{适宜强化水平} = \frac{\text{食品强化标准要求的铁添加量} + \text{小麦粉中本底铁含量}}{1 - \text{加工过程中铁铁损耗率}} = 56 \sim 107 \text{ mg/kg}$$

表 12 铁营养强化小麦的适宜强化水平

出粉率	100%	95%	91%	87%	80%	75%	66%
铁损失率	0%	10%	27%	43%	66%	72%	81%
营养强化小麦粉 铁含量最低值 24 (mg/kg)	24	25	30	37	56	65	84
营养强化小麦粉 铁含量最高值 46 (mg/kg)	46	49	58	70	107	124	161

1.3 基于作物营养强化项目强化目标制定适宜强化水平

任何营养改善计划的推出都需要制定营养改善目标，以达到营养改善的目的，作物营养强化项目也不例外。根据食品营养强化标准的制定经验，大部分国家及地区除了对食品的强化量做出具体规定外，还对目标人群摄入强化食品时所达到的强化目标做出了规定，而强化食品中的具体强化量规定正是依据强化目标制定的。

因此，本标准借鉴食品营养强化标准的方法，考虑到作物营养强化项目中铁营养强化小麦的强化目标，以及目标人群小麦摄入量等因素，制定了基于作物营养强化项目强化目标的铁营养强化小麦的适宜强化水平。

1.3.1 作物营养强化项目强化目标

HarvestPlus 专注于三种微量营养素：铁，锌和维生素 A，通过研究摄入营养素的生物转化和生物利用度等变量、储存和加工过程中的微量营养素损失、微量营养素对健康的要求和目标人群的潜在消费水平确定了强化作物中微量营养素的强化目标水平。HP 项目的强化目标为，对于 4-6 岁的学龄前儿童和非孕妇、非哺乳期的育龄妇女：铁强化作物（豆、珍珠粟）中的铁总量将达到平均需要量（EAR）的约 60%；锌强化作物（小麦和大米）中的锌含量将达到平均需要量的 60-80%；维生素 A 强化作物（木薯、玉米）中的维生素 A 将提供平均需要量的 50%，橙色甘薯要提供 100% 的维生素 A 平均需要量 (Hoddinott et al, 2013)。

因此，以食品营养强化标准的制定经验以及作物营养强化项目的强化目标为基础，可制定基于作物营养强化项目强化目标的铁营养强化小麦的适宜强化水平。确定铁营养强化小麦的强化目标，根据上文作物营养强化项目的强化目标水平可

知，铁营养强化小麦的强化目标为，铁营养强化小麦中的铁总量需要达到 4-6 岁的学龄前儿童和非孕妇、非哺乳期的育龄妇女的铁平均需要量（EAR）的 60%

1.3.2 目标人群小麦摄入量

在确定强化目标之后，还需要确定目标人群和目标人群的小麦摄入量。目标人群，即 4-6 岁的学龄前儿童和非孕妇、非哺乳期的育龄妇女。由于缺少 4-6 岁的学龄前儿童的食物消费的数据，因此，本文选用缺铁性贫血的育龄期妇女作为此次适宜强化水平制定的目标人群。

缺铁性贫血的育龄期妇女食物摄入水平数据来自于文献（戴月等，2007）以及《中国居民营养与健康状况监测（2010-2013 年综合报告）》，如表 13 和表 14 所示。同时，考虑到小麦粉的出粉率为 80%，则目标人群的小麦摄入量为 197.41 g。

表 13 育龄妇女非贫血与贫血人群每日人均食物摄入量

食物种类	贫血 (g)	非贫血 (g)
油脂类	42.5	41
奶类及奶制品	68.4	59.5
大豆及其制品	66.6	66.8
肉禽	68.4	65.2
鱼类	62	60
蛋类	31.4	31.7
蔬菜	264.5	283.3
水果类	103.2	111.4
粮谷类	372.5	381.7

表 14 2010-2012 年中国不同地区居民面类食物摄入量（克/标准人口）

食物种类	合计	城市小计	农村小计	大城市	中小城市	普通农村	贫困农村
面类	142.2	134.2	149.7	135.6	134	143.4	163.9
米类	176.6	129.9	221.5	111.5	132.9	213.0	240.5
其他谷类	16.6	15.7	17.4	18.6	15.3	15.2	22.4

1.3.3 铁营养强化小麦的适宜强化水平（3）

首先，确定铁营养强化小麦的强化目标，即铁营养强化小麦中的铁总量需要达到目标人群，即非孕妇、非哺乳期的育龄妇女的铁平均需要量（EAR）的 60%。根据《中国居民膳食营养元素参考摄入量（2013 版）》可知中国 4-6 岁的学龄前儿童和非孕妇、非哺乳期的育龄妇女的膳食铁参考摄入量，如下表 15 所示。

表 15 目标人群膳食铁参考摄入量（mg/d）

人群	EAR	RNI	UL
----	-----	-----	----

4 岁-	7	10	30
18 岁- (女性)	15	20	42

其次，根据上文的分析，目标人群，即非孕妇、非哺乳期的育龄贫血妇女的小麦摄入量为 197.41 g/d。

最后，根据以下公式，可得基于作物营养强化项目强化目标制定的铁营养强化小麦的适宜强化水平为 45.59 mg/kg。

$$\text{适宜强化水平} = \frac{\text{目标人群铁需要量} * 60\%}{\text{小麦消费量}} = 45.59 \text{ mg/kg}$$

1.4 铁营养强化小麦的安全限值

安全因素是设定适宜强化水平是必须要考虑的限制条件，世界卫生组织对安全限值的定义为强化食品的强化量不得高于安全限值，否则就有可能使目标人群的营养素摄入量超过可耐受最高摄入量，有营养素摄入过度的风险。安全限值可以通过目标人群的 UL 值与食物载体消费量等数据计算得到。

制定铁营养强化小麦的安全限值时，为评估过量摄入的风险，需要考虑目标人群的铁 UL 值，小麦的消费量及目标人群的铁摄入量。安全限值的计算方式见以下公式，根据公式和表 16 的数据，可以得到作物营养强化小麦的铁强化安全限值为 159.9 mg/kg，再考虑到小麦加工的铁损失率为 57%，则铁营养强化小麦的安全限值为 372 mg/kg。

表 16 中国居民人均每日面类食物摄入量及铁摄入量

类型	面类 (g)	营养素铁 (mg)
摄入量	142.2	21.4

$$\begin{aligned} \text{安全限值(最大值)} &= \frac{\text{铁最高可耐受摄入量} - \text{除面类食物外的每日铁总摄入量}}{\text{人均每日面类食物摄入量} \times (1 - \text{铁在加工过程中的损耗率})} \\ &= 372 \text{ mg/kg} \end{aligned}$$

1.5 铁营养强化小麦的适宜强化水平建立

在最终确定铁营养强化小麦的适宜强化水平时，除了需要考虑目标人群的营养改善效果和铁摄入过量的潜在风险之外，还应该考虑到铁营养强化小麦的技术问题、成本问题。首先，适宜强化水平应与现有的示范应用的铁营养强化小麦的实际铁含量相适应，能够与现有的或者未来开发的铁营养强化小麦中的铁含量相匹配。其次，作物营养强化产品的价格将影响该项目的可行性和可持续性，适宜强化水平需要保证铁营养强化小麦的强化成本合理且尽可能低，使得铁营养强化

小麦的价格处于目标人群的可接受价格范围内。

1.5.1 现有小麦籽粒中的铁含量

Peterson 等(1986)分析了来自 30 个国家的 27 个小麦品种中的微量元素,发现不同品种之间的铁含量差异很大,范围是 26-69 mg/kg。Morgounov 等(2007)分析了中亚地区 66 个品种的春小麦中的铁含量,表明小麦基因型差异较大,平均含量为 38 mg/kg。Shen 等(2002)对中国河北省的 26 个小麦品种的铁含量进行了分析,小麦中铁含量存在显著的基因型差异,其范围是 29-58 mg/kg。张勇等(2007)分析了中国北方冬麦区的 240 个小麦品种和高代品系,小麦的铁含量的变幅为 32.5-65.6 mg/kg,平均含量为 41.9 mg/kg; Zhang 等(2009)调查了 265 个不同基因型的小麦栽培种,铁含量范围在 28.0-65.4 mg/kg 之间,平均为 39.2 mg/kg。赵琰等(2010)分析了中国 83 个小麦栽培品种(系)的铁含量,结果表明小麦籽粒铁含量从 5.64-59.5 mg/kg,平均值为 30.13 mg/kg,变异幅度比较大。鲁璐等(2010)对中国不同地区的 62 个小麦品种(系)的微量元素含量进行分析,含铁量范围在 18.55-48.23 mg/kg 之间,变异系数为 0.221。赵俊霞等(2010)测定了 35 个基因型的小麦籽粒铁含量,在不施铁肥条件下,小麦籽粒铁含量为 22.6-40.9 mg/kg,施铁条件下,铁含量为 30.5-43.4 mg/kg,差异均达到显著水平。傅兆麟等(2008)为了解中国黄淮麦区小麦籽粒的铁元素含量情况,分析了黄海麦区的 260 份小麦品种,铁含量的平均值为 22.22 $\mu\text{g/g}$,基因型间铁含量变幅为 4.30-115.37 $\mu\text{g/g}$,不同基因型之间的差异极其显著。

通过上述研究,可以了解到不同小麦品种间的籽粒铁含量存在比较大的变异,某些品种的籽粒铁含量甚至超过了 60 mg/kg,这说明,仅通过常规的杂交育种方式就可以提高小麦籽粒中的铁含量。

1.5.2 现有铁营养强化小麦的实际铁含量

到目前为止,所有用于种植、销售和消费的作物营养强化产品都是使用传统育种手段开发的。这是因为植物通常在营养成分含量方面表现出广泛的遗传变异,选择具有最高营养素浓度的品种进行培育,可以提高这些作物的营养价值(Hirschi, 2009)。

张勇等(2007)对 240 份中国小麦的铁含量进行了分析,成功筛选出铁含量最高的 10 个品种,分别为中优 9507、烟 2980、中作 8131-1、中品 92050 和京

冬 6 号等 10 个高铁小麦品种（如表所示）。其中优选 14 铁含量最高，达 65.6 mg/kg；其次为中优 16，达 59.1 mg/kg。从下表 19 可以看出，高铁小麦中的铁含量可以在 50 mg/kg 左右，个别品种已超过 60 mg/kg。

表 19 铁含量最高的 10 个小麦品种及其铁含量

品种	来源	铁 Fe (mg/kg)
中优 9507	北京	49.6
烟 2980	山东	49.9
中作 8131-1	北京	50.8
中品 92050	北京	51
京冬 6 号	北京	51.3
中品 920809	北京	52.7
1061-93 矮	山东	52.9
中优 14	北京	57.3
中优 16	北京	59.1
优选 14	北京	65.6

自 2004 年中国作物营养强化项目开展以来，作物营养强化小麦的育种研究也同步开展，目前已育成富含铁等微量营养素的作物营养强化小麦“京冬 8 号”、“中优 9507”和“中麦 9 号”等，其籽粒中铁含量如下表 20 所示（雷激等，2009）。

表 20 作物营养强化小麦中籽粒和小麦粉中的铁含量

小麦品种	含铁量 (mg/kg)	
	籽粒	小麦粉（出粉率 78%）
京冬 8 号	52.0	20.8
中麦 9 号	47.7	22.7
中优 9507	48.3	29.2

为了更好的了解铁营养强化小麦的实际营养素含量，本研究于 2017 至 2018 年间，在河北高碑店、河南三门峡、甘肃灵台和山东青岛四地分别种植了铁营养强化小麦品种——中麦 175，经检测，其铁和锌含量如下表 21 所示，中麦 175 的铁含量在 40.1-75.9 mg/kg 之间。

表 21 不同产地的中麦 175 中铁和锌含量

品种	产地来源	铁含量 (mg/kg)	锌含量 (mg/kg)
中麦 175	河北高碑店	44.9	25.6
	河南三门峡	75.9	29.5
	甘肃灵台县	48.1	22.5

1.5.3 层次分析法确定铁营养强化小麦的适宜强化水平

综合考虑上文中得到的三个基于不同角度制定的适宜强化水平和一个安全限值,以及目前铁营养强化小麦的现有强化水平,本文采用分层分析法(Analytic Hierarchy Process, AHP)确定最终的铁营养强化小麦的适宜强化水平。

表 22 适宜强化水平的各层因素权重

因素	权重
准则层(中间层)	
安全因素	0.6353
成本因素	0.1018
技术因素	0.2193
营养改善效果因素	0.0437
方案层(底层)	
基于铁摄入不足量的适宜强化水平 45 mg/kg	0.5517
基于在食品营养强化标准的适宜强化水平 46 mg/kg	0.3407
基于作物营养强化强化目标的适宜强化水平 56 mg/kg	0.1077

根据上表对方案层各因素的权重,可以得到铁营养强化小麦的适宜强化水平,为 47 mg/kg。

$$\begin{aligned} \text{适宜强化水平} &= 0.5517 \times 45 \text{ mg/kg} + 0.3407 \times 46 \text{ mg/kg} + 0.1077 \times 56 \text{ mg/kg} \\ &= 46.53 \text{ mg/kg} \approx 47 \text{ mg/kg} \end{aligned}$$

考虑到,适宜强化水平是指当营养强化作物中的强化营养素含量处于一定区间内,既能满足处于营养不良状态下的目标人群的营养需求,同时又能保证目标人群不会处于营养素摄入过量的风险中。因此,铁营养强化小麦的适宜强化水平应是铁含量的区间范围,47 mg/kg 应为此范围的下限。同时,本标准选取 107 mg/kg 作为适宜强化水平的上限,即为确保铁摄入过量的高危人群不会处于营养素摄入过量的风险中。

最终,铁营养强化小麦的适宜强化水平为 47~107 mg/kg。

表 23 铁营养强化小麦的适宜强化水平

名称	铁含量
基于铁摄入不足量的适宜强化水平	45 mg/kg
基于食品强化标准制定的适宜强化水平 (80%小麦粉基准)	56-107 mg/kg
基于作物营养强化项目强化目标的适宜强化水平	46 mg/kg
安全限值	372 mg/kg

铁营养强化小麦的铁含量	40-76 mg/kg
铁营养强化小麦的适宜强化水平	47-107 mg/kg

从上表可以看出目前已开发的高铁小麦中的铁含量大约在 40-76 mg/kg 之间，有一部分已经处于上述三种适宜强化水平之上。根据张勇筛选出的 10 个铁含量最高的小麦品种中的铁含量可知，这 10 个品种的铁含量都高于该适宜强化水平。同时，中国作物营养强化项目开展以来开发的作物营养强化小麦“京冬 8 号”、“中优 9507”、“中麦 9 号”和“中麦 175 号”的铁含量也都处于该适宜强化水平之上。这说明将铁营养强化小麦的适宜强化水平制定在 47-107 mg/kg 以上是现实可行的。

2、开展铁强化小麦标准相关研究

自 2017 年以来，项目组通过开展一系列作物营养强化标准相关研究项目，从作物营养标准体系建立到高铁小麦标准制定等均开展大量基础性研究，为本标准制定提供所需的必要基础数据。如 2017 年开展中国农业科学院协同创新工程项目子课题“我国人群营养及作物营养强化标准制定”，2017—2019 年开展“我国传统农产品营养品质监测及营养标准制定研究”，以及 2019 年《铁强化小麦》行业标准等研究。

3、铁强化小麦种植试验

农业部食物与营养发展研究所为了更好地开展生物强化农产品营养标准研究工作，分析铁强化小麦中蛋白质、碳水化合物、铁等营养素含量，于 2017 年 10 月份与青岛东鲁生态农业有限公司（农业部优质农产品品质功效评估试验示范基地）开展铁强化小麦（中麦 175）种植研究的合作，种植面积 30 亩。

3.1 小麦种植管理情况

3.1.1 种植品种

品种名称：中麦 175、济麦 22（对照）。

3.1.2 种植时间

2017 年 10 月 15 日—2018 年 6 月 12 日。

3.1.3 种植面积

中麦 175（富铁小麦）：共 28 亩（农田试验区 4 亩，普通大田种植区 24 亩）；

济麦 22（对照）：共 2 亩（农田试验区 1 亩，普通大田种植区 1 亩）。

3.1.4 种植措施

播量：15 斤/亩；行距：25 cm；播种方式：常规机械播种；施肥情况：有机肥（160 斤/亩），播前撒施；浇水情况：播种前期降水充足，土壤墒情好，未浇水。10 月 6 日—7 日降水量 10.1 mm，10 月 10 日—11 日降水量 9.9 mm（北墅气象站监测数据）。越冬前、返青期、灌浆期视土壤墒情浇水，约 10–20 m³/亩；生长状况：出苗率 85%；基本苗：约 18 万/亩；除草：返青期后到拔节期中耕除草一次；收获：机械收割。

3.2 小麦产量情况

平均产量：275 kg/亩，总产量 8250 kg（富铁小麦 7700 kg，对照小麦 550 kg）。

3.3 小麦样品铁含量

表 全国小麦品种铁含量分布

铁含量 (mg/kg)	百分位数 (%)	累计频数
60.2	0.0	1
49.4	5.0	13
47.0	5.7	15
45.2	10.0	26
45.0	10.3	27
39.1（均值）	50.0	-
28.0	100.0	263

对 263 份样品小麦铁含量区间分布分析发现 P5 和 P10 百分位数分别为 49.4 mg/kg 和 45.2 mg/kg。

基于食品营养强化标准、作物营养强化项目强化目标和铁营养强化小麦的安全限值确定铁营养强化小麦的适宜强化水平的多维方法所得适宜强化水平值，本标准制定更倾向于引导农业营养转型、鼓励高营养素含量值，故以高标准为主要导向，因此，铁营养强化小麦的适宜强化水平应是铁含量的区间范围，47 mg/kg 应为此范围的下限。同时，本标准选取 107 mg/kg 作为适宜强化水平的上限，即为确保铁摄入过量的高危人群不会处于营养素摄入过量的风险中。

最终，铁营养强化小麦铁含量标准为 47 mg/kg。

五、与有关的现行法律、法规和推荐性行业标准的建议

本标准符合国家现行法律、法规、规章和推荐性行业标准的要求，本标准有助于国内相关法律、法规、规章和推荐性行业标准的实施。

本标准的实施不涉及对现行标准的废止情况。

六、重大分歧意见的处理经过和依据

本标准在制定过程中未出现过重大分歧。

七、行业标准作为强制性行业标准或推荐性行业标准的建议

本标准为我国首次制定，建议作为推荐性标准发布实施。

八、贯彻行业标准的要求和措施建议（包括组织措施、技术措施、过渡办法等内容）

本标准为我国首次制定，为推荐性标准，在贯彻实施上，建议率先在实施追溯试点示范的企业中应用实施，并逐渐带到行业内其他企业。并将实施过程中出现的问题和改进建议反馈起草组以便进一步对本标准进行修订完善。

九、废止现行有关标准的建议

本标准不涉及对现行标准的废止。

《高铁小麦》行业标准起草组

2022年8月

参考文献：

1. 曹强, 小麦面粉营养成分与出粉率之间的关系. 郑州粮食学院学报, 1993(03): 69-72.
2. 傅兆麟, 宋爱芳, 郭孙黎, 宋创业, 张铮. 黄淮麦区主要小麦种质资源铁含量的测定. 安徽农业科学, 2008, 36(32): 14018-14020.
3. 雷激, 黄承钰, 张勇, 等. 体外消化/Caco-2细胞方法评价富铁小麦生物利用率. 卫生研究, 2009, 38(02): 166-169.
4. 林黎, 曾果, 兰真, 等. 生物强化及其营养改善研究进展. 现代预防医学, 2011, 38(12): 2240-2242.
5. 国家卫生计生委疾病预防控制局. 中国居民营养与慢性病状况报告(2015). 人民卫生出版社, 2015.
6. 鲁璐, 季英苗, 李莉蓉, 等. 不同地区、不同品种(系)小麦锌、铁和硒含量分析. 应用与环境生物学报, 2010, 16(05): 646-649.
7. 张金磊, 李路平. 中国生物强化富铁小麦营养干预居民缺铁性贫血疾病负担分析. 中国农业科技导报, 2014, 16(06): 132-142

8. 张勇, 王德森, 张艳, 等. 北方冬麦区小麦品种籽粒主要矿物质元素含量分布及其相关性分析. 中国农业学, 2007, 40(9): 1871-1876.
9. 赵俊霞, 乔鲜花, 张萍萍, 等. 不同基因型小麦籽粒铁含量的差异及其与农艺性状的关系. 干旱地区农业研究, 2010, 28(03): 114-118+128.
10. 赵琰, 秦丽燕, 杨伟, 等. 普通小麦品种(系)籽粒的铁含量分布. 中国农学通报 2010, 26(23): 126-129.
11. Bouis H.E., Hotz C., McClafferty B., et al. Biofortification: a New Tool to Reduce Micronutrient Malnutrition. Food & Nutrition Bulletin, 2011, 32(1 Suppl): S31.
12. Codex Alimentarius. General Principles for the Addition of Essential Nutrients to Foods(CAC/GL09-1987). (2015)[2019-01-17]. <http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/code-texts/guidelines/en/>
13. Du S., Zhai F., Wang Y., et al. Current Methods for Estimating Dietary Iron Bioavailability Do Not Work in China. J. Nutr., 2000, 130: 193-198.
14. FAO/WHO. Requirement of vitamin A, iron, folate and vitamin B₁₂. Rome: FAO. 1988
15. Hirschi KD. Nutrient Biofortification of Food Crops. Annual Reviews of Nutrition, 2009(29): 401-421.
16. Hoddinott J., Rosegrant M., Torero M. Investments to Reduce Hunger and Undernutrition. International Food Policy Research Institute, 2013.
17. Momsen E.R., Balintfy J.L. Calculating Dietary Iron Bioavailability: Refinement and Computerization. J Am Diet Assoc, 1982, 80: 307-311.
18. Monsen E.R., Larysse H., Hegsted D.M. Estimation of Available Dietary Iron. Am J Clin Nutr, 1978, 31: 134-141.
19. Morgounov A., Go'mez-Becerra H.F., Abugalieva A., et al. Iron and Zinc Grain Density in Common Wheat Grown in Central Asia. Euphytica. 2007, 155(1-2): 193-203.
20. Peterson C.J., Johnson V.A., Mattern P.J. Influence of Cultivar and Environment on Mineral. Cereal Chemistry, 1986, 63(3): 183-186.
21. Shen J.B., Zhang F.S., Chen Q., et al. Genotypic Difference in Seed Iron Content and Early Response to Iron Deficiency in Wheat. Journal of Plant Nutrition, 2002, 22(8): 1631-1643.
22. Tseng M., Chakraborty H., Robinson D. T., et al. Adjustment of Iron Intake or Dietary Enhancers and Inhibitors in Population Studies: Bioavailable Iron in Rural and Urban Residing Russian Women and Children. J Nutr, 1997, 127: 1456-1468.