

中国农业部科技发展中心负责翻译了题为：“ Consensus document on compositional considerations for new varieties of bread wheat (*Triticum aestivum*): key food and feed nutrients, antinutrients and toxicants ” 的英语文件， Copyright OECD, 2003。经济合作和发展组织不会对于相对原文内容的中文翻译质量及其一致性予以负责。

Translated under the responsibility of the Development Center for Science and Technology, Ministry of Agriculture of People’s Republic of China, from the original English edition published under the title “Consensus document on compositional considerations for new varieties of bread wheat (*Triticum aestivum*): key food and feed nutrients, antinutrients and toxicants ” Copyright OECD, 2003. The OECD is not responsible for the quality of the Chinese translation and its coherence with the original text.

# 第二章

## 普通小麦 (*Triticum aestivum*) 新品种成分的 共识文件：食品和饲料的关键营养素、 抗营养成分和毒素\*

### 第一节 背景

#### 1. 小麦的生产

小麦作为商业作物已在全球 120 多个国家种植 (FAO, 2002)，现为世界上种植最广泛的作物。小麦在全球的生产和出口数字见表 1。中国、欧盟、印度和美国是小麦的主要生产国，几乎占世界小麦生产总量的 60%。主要小麦出口国为美国、加拿大、澳大利亚、欧盟和阿根廷，占总出口的 86%。

表 1 小麦的生产和出口数字

国家/地区	生产 (百万吨)		出口 (百万吨)	
	2000	2001 年估测值	2000/2001 年估测值	2001/2002 年预测值
阿根廷	16.0	15.5	11.0	11.0
澳大利亚	23.8	23.3	16.5	18.0
加拿大	26.8	21.3	16.8	16.0
中国	99.6	94.2	0.4	0.3
欧洲共同体	105.2	92.0	14.5	11.0
印度	75.6	68.5	2.3	2.5
哈萨克斯坦	9.1	13.5	3.7	4.2
巴基斯坦	21.1	19.0	0.3	1.0
俄罗斯联盟	34.4	46.9	0.7	2.5
土耳其	18.0	16.0	1.6	0.4
乌克兰	10.2	21.3	0.1	4.5
美国	60.8	53.3	27.9	27.5
全球总计	598.3	591.1	100.4	106.0

资料来源：FAO, 2002。

\* Originally published by OECD in English under the title: "Consensus Document on Compositional Considerations for New Varieties of Bread Wheat (*Triticum aestivum*): Key Food and Feed Nutrients, Anti-nutrients and Toxicants" © 2003 OECD.

## 2. 小麦的分类

商业种植的小麦只限于小麦属 *Triticum* 的 4 个种，即一粒小麦 *T. monococcum*，圆锥小麦 *T. turgidum*，提莫菲维小麦 *T. timopheevi* 和普通小麦 *T. aestivum*。其中，普通小麦 *T. aestivum* 和圆锥小麦 *T. turgidum* 种植最为广泛。普通小麦 *T. aestivum* 包括普通面包小麦，圆锥小麦 *T. turgidum* 包括硬粒小麦。本文件只考虑了与普通面包小麦相关的成分。

小麦的广泛栽培、育种以及选择产生了成千上万个普通小麦商业品种。使得小麦产量不断提高并培育出了能满足磨粉和面粉加工品质要求的小麦。出于商业的需要，普通小麦在世界贸易中被分成很多类型。区分不同类型小麦的主要因素是麦粒的硬度或软度，春季或冬季生长习性、红色或白色种皮以及蛋白质含量 (Orth 和 Shellenberger, 1988)。

## 3. 小麦的用途

世界生产的小麦中，约有 74% 是用作人类食物，16% 用作动物饲料，5.5% 用作种子，剩下的 4.5% 用于工业生产 (International Grain Council, 1996)。这些数字表明，绝大多数小麦都是被用作人类食物，尽管小麦用作动物饲料也很普遍，尤其是粮食过剩的年份，此时小麦的价格与其他饲用谷物相比具有竞争力。小麦植株普遍用作动物饲料，用于生产草料以及干草和青贮饲料。

## 4. 小麦的加工

小麦的加工可分成两类：①干磨；②用水作溶剂进行湿磨。这两种加工过程产生截然不同的产品。除磨粉之外，小麦也用于发酵生产工业酒精以及饮料如啤酒。

### (1) 干磨

小麦干磨得到的主要产品是面粉、麦麸和小麦胚芽。这些产品是将小麦子粒分成 3 个不同的成分而得到的：粉状或含淀粉的胚乳（由胚乳组成，但不含糊粉层），进一步加工成精细的颗粒（面粉）；麦麸（由果皮、种皮和糊粉层组成）；胚芽（由胚轴和盾片组成）。小麦胚芽进一步加工成小麦胚芽粉和胚芽油。以干重计算，目前小麦商业品种的子粒通常含 2% ~ 3% 的胚芽，13% ~ 17% 的麦麸，80% ~ 85% 的粉状胚乳。

小麦加工而获得的这 3 个主要产品中，面粉的价值最高、用途最广。可用面粉生产各种各样的产品，包括软质面包、平面包、面条/意大利面、蛋糕、面粉糕点和饼干。

小麦干磨的典型步骤见图 1。研磨的目的是将麦粒的麦麸和胚芽与胚乳分离开。研磨的第一步是麦粒的清洁和过筛。这可通过筛分机来处理，筛分机为一系列孔径的筛子，可除去石头、茎梗以及其他杂质。经过筛分机后，麦粒进入空气分离机，通过气流吹走较轻的杂质如灰尘和麦壳。下一步采用圆盘分离机，圆盘的表面有凹进的窝眼，从而将小麦保留下来，将较大和较小的非小麦谷粒除去。通过圆盘分离机之后，进行刷麦处理以去除麦粒上的茸毛，再经过磁场分离机处理后进入除石水洗机（这一装置利用高速旋转器使小麦和水形成漩涡来除去石头）。研磨前，清洁的小麦中加水润麦。这一过程可湿润外层的麸皮，这样麸皮变得富有弹性，不会在研磨过程中因碎裂而导致面粉麸星污染；该过程还可使胚乳软化，这样在研磨过程中易于脱离麦麸，只需较少的能耗就可以打碎面粉大颗粒。润麦后小麦进入打麦机，用它打碎和除去不完好的小麦。然后将完好的小麦通过一系列研磨装置、筛理装置和清粉装置，分离各部分麦粒。重复操作这一过程，直至分离到最大量的面粉。

研磨得到的麦粒各部分不可能是完全纯化的，每部分还含有少量的其他部分。磨粉结

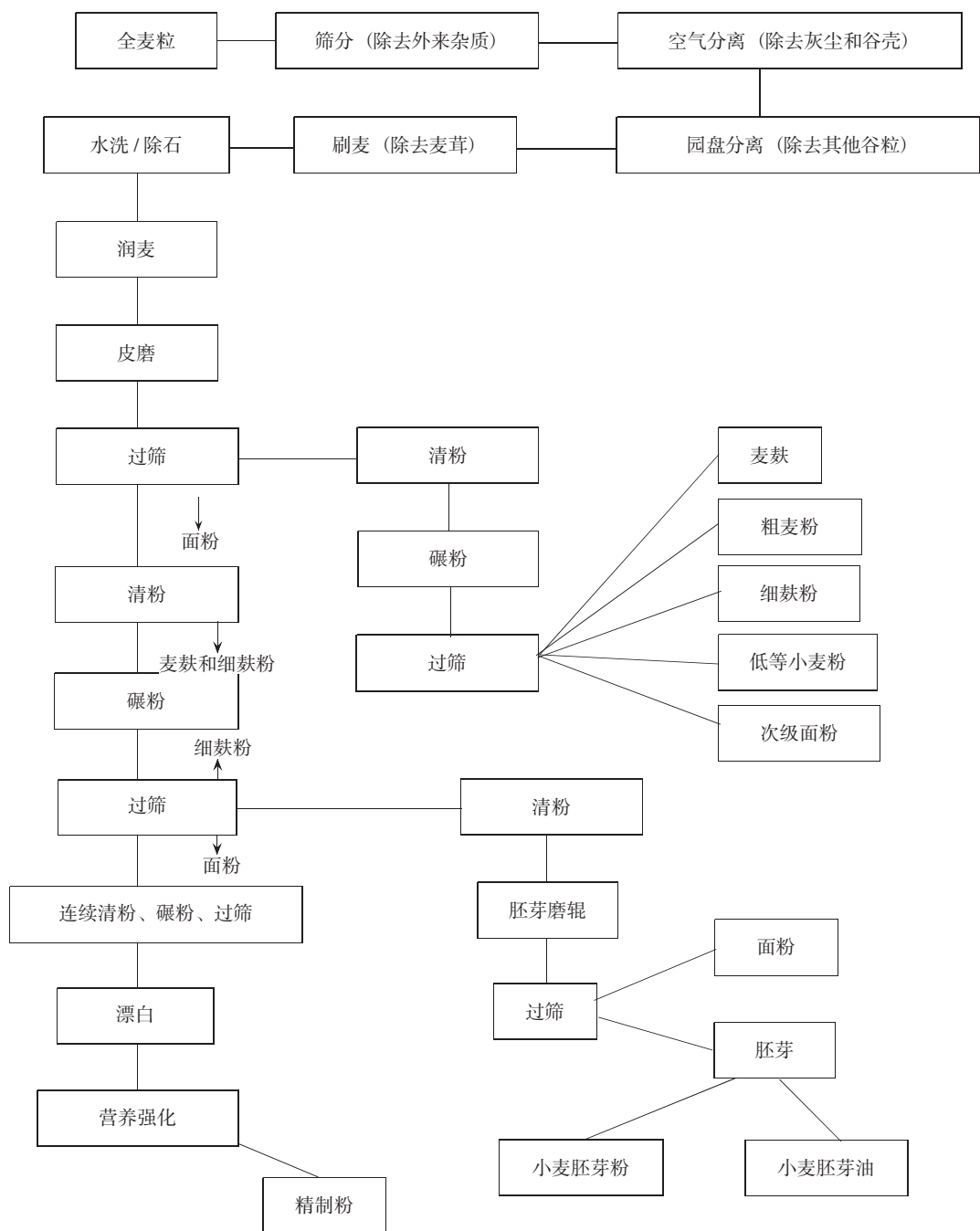


图 1 小麦的干磨

资料来源：摘自 Matz, 1991。

束后各产品的纯度是研磨效率的测定指标之一。通常来说，现在面粉厂分离出麦粒的 80% 为面粉，其余的 20% 用于生产动物饲料和膳食纤维 (Orth 和 Shellenberger, 1988)。

剩余 20% 的加工产物统一称为“麦麸”。这些加工产物的不同组合被冠以各种不同的

名字,如粗麦粉、细麸粉和低等小麦粉等,每一名字指的是相当不明确的物质,其成分可因磨辊设置、清粉条件和加工产物组合方式的改变而不同(Matz, 1991)。有时将所有非面粉产物放到一起,称为“小麦下脚料”。小麦的粗麦粉主要含有子粒麦麸的下层部分、麦麸颗粒、一些面粉和一些非小麦物质。大约45%的麦麸是粗麦粉,准确的含量因加工效率、小麦类型以及加工方式不同而异。小麦细麸粉通常比粗麦粉含有更多的面粉,低等小麦粉比其他麦麸含有更多的面粉。

## (2) 湿磨

湿磨是将淀粉与面筋分离的过程,这两种物质均包含于小麦胚乳中。小麦淀粉的物理化学性质与玉米淀粉相似,但是黏度和胶凝强度通常较低。烘烤食品时,可用小麦淀粉代替部分小麦面粉,来增加蛋糕的体积和柔软度,降低油炸圈饼对油脂的吸附;也可应用于糖果和罐头制造业(Becker和Hanners, 1991)。面筋主要用作添加剂来提高面包制作时面粉的品质(Matz, 1991)。面筋也用于汉堡包和热狗卷中,以获得满意的松软度和质感。少量的面筋也被加工成液体食物添加剂以及用于调味的面筋水解物。

已经有大量的湿磨技术可以使用,该技术可用整粒或面粉作为原材料(Rao, 1979)。与面粉相比,以整粒作为原材料有几个优点:整粒原料易于获得,不受干磨面粉产品供应的限制;淀粉受破坏程度较低,由于不存在干磨中的高剪切效应,能生产更多的优质淀粉;由于能得到全部的胚乳蛋白(即包括了通常在高级精制粉中丢失的面筋蛋白),面筋质量较高,(Fellers, 1973; Rao, 1979)。

用面粉作为原材料分离淀粉和面筋最有名的方法是马丁法(Martin Process)(Fellers, 1973)。将相当于面粉重量40%~60%的水与面粉不断搅拌混合。然后,将面团在揉面机中加水不断清洗,洗去淀粉,留下面筋黏块。收集淀粉乳浆,通过具有特定孔径筛子的离心提取装置,除去纤维和戊聚糖类物质。然后将淀粉乳进行浓缩、精制、清洗和干燥。

使用整粒时,麦粒先用水浸润,然后制成麦片,再加水获得湿面团。在高压下进行水洗分离面团,除去淀粉、麦麸、胚芽和其他非面筋成分后,留下富有弹性的湿面筋。纯化和干燥之后获得约含75%~80%蛋白的面筋。

## (3) 发酵处理

虽然大麦和玉米粒分别是酿造和工业酒精生产中最常用的材料,但也有少量的小麦用于酿造和工业酒精的生产(Wu, 1989)。

小麦芽在酿造工业中只有有限的用途,主要原因是小麦芽的价格高,而且啤酒酿造厂通常喜欢用大麦芽(Matz, 1991)。尽管如此,在欧洲仍有大量的小麦啤酒,在北美和澳大利亚则有少量的小麦啤酒。啤酒糟通常是发酵过的麦粒和啤酒花的混合物,为啤酒酿造过程的主要副产品之一,常用作牛饲料。啤酒糟可以是干或湿的形式,是极好的高品质过瘤胃蛋白和可消化纤维的来源。

谷粒发酵用于生产工业酒精时,酒精蒸馏之后会产生富含蛋白质的物质(酒糟)。发酵过程消耗的主要是谷粒中的淀粉,而其他营养成分,特别是蛋白质,则被浓缩了(Wu, 1989)。酒糟的最佳回收和利用对于商业发酵处理十分重要,通常要将酒糟离心,产生固体部分(酒糟)和可溶性部分(酒糟可溶物)。生产商通常将酒糟进行干燥,获得脱水酒糟(DDG),作为动物饲料进行出售。可溶性部分浓缩后与DDG混合,同时干燥,生产

脱水酒糟及可溶物 (DDGS)。不过, 如果 DDG 或 DDGS 是作为食品成分而非饲料成分出售时, 则通常只用小麦作为发酵原料。酒糟, 包括小麦酒糟, 已经作为烘烤食品及其他食品成分使用, 以增加蛋白质和膳食纤维的含量。

## 5. 确定小麦品质的典型标准

### (1) 子粒硬度

普通小麦品种的硬度变化很大, 通常分成两类——硬质小麦和软质小麦。本文件中使用的“硬质小麦”和“软质小麦”与欧盟法律中使用的意思不同。在欧盟法律中, “硬质小麦”是指硬粒小麦, 而“软质小麦”是指普通小麦, 不考虑其子粒硬度。本文件中“硬质”和“软质”指的是麦粒的硬度。

麦粒的硬度与磨粉和烘烤工业具有特定的相关性。硬质麦粒比软质麦粒具有更好的抗磨性, 因此在研磨过程中比软质小麦产生更多的受损淀粉 (Belderok, 2000)。在面包烘烤中, 一定程度的淀粉受损是理想的, 这种破损可使面包质地柔软, 具有良好的口感, 并可延迟面包的变质。软质小麦面粉研磨时淀粉受损程度低, 更适于生产饼干、糕点、脆饼、薄饼等。

### (2) 含水量

由于含水量是储存和磨粉品质的基本要素, 因此它是判断小麦品质需考虑的最重要因素之一。商品小麦的含水量在 8.0% ~ 18.0% 之间变动, 具体数值因收获时的天气而异 (Belerok, 2000)。研磨之前, 通过加入或除去水分可将麦粒的含水量调至最佳。这可以保证最大的研磨效率和终产品的最佳性能。

### (3) 蛋白质含量

小麦的蛋白质含量通常在 10.0% ~ 16.0% (风干质量), 因品种和生长期间的环境条件而异 (见表 3、表 6)。硬质小麦通常比软质小麦的蛋白质含量高。子粒发育过程中充足的降雨通常会导致蛋白质含量低。土壤中的有效氮也对蛋白质含量产生重要影响。麦粒的蛋白质含量通常决定了所生产面粉的最终用途。

### (4) 蛋白质品质

总蛋白质含量相同的小麦品种可产生出烘烤性能截然不同的面粉。许多情况下, 这些差别是由面筋蛋白质性质的差异引起的。尽管成熟期间的高温和低相对湿度对面筋品质具有明显的不良影响, 但面筋品质主要还是一个品种性状。

### (5) $\alpha$ -淀粉酶活性

小麦在成熟后至收获前的时间, 如遇潮湿天气, 可使一些麦粒发芽。这些麦粒具有很高的  $\alpha$ -淀粉酶活性。即使看不到麦粒发芽, 但潮湿的收获季节可以使  $\alpha$ -淀粉酶水平大大提高。尽管一定的  $\alpha$ -淀粉酶活性对于维持发酵以及面包制备过程糖的产生是合适的, 但过高的  $\alpha$ -淀粉酶可破坏面团和最终烘烤产品的品质, 原因是过高的  $\alpha$ -淀粉酶, 可使淀粉分子快速降解并引起面团黏度降低 (Rasper 和 Walker, 2000)。

### (6) 脂肪的酸度

脂肪的酸度指的是脂酶对脂肪的降解以及子粒中游离脂肪酸的释放。在大多数贮存条件下, 小麦贮存几年之后其脂肪的酸度大大高于新鲜收获的、完好无损的小麦, 即使小麦外表并未表现劣变的迹象。这样的小麦虽然还可以用于磨粉, 但是面粉的保存和烘烤品质

可能受到影响。贮存期间的低温和低含水量可明显降低脂肪酸度增加的速度。

### (7) 粗纤维和灰分

小麦中粗纤维和灰分的含量与小麦中麸皮的含量有关，他与面粉产量具有大致的反相关关系。与大而饱满的麦粒相比，小粒或皱缩麦粒的麸皮百分比高，因此纤维和灰分含量较高，产出的面粉较少。在 14% 的含水量情况下，小麦通常含 2.0%~2.7% 的粗纤维和 1.4%~2.0% 的灰分。

### (8) 比较分析

本报告建议小麦培育人员在进行小麦新品种比较分析时应当测定一些参数。应当将新品种中获得的数据与常规对应品种中获得的数据进行比较，也要与本报告中列出的文献报道数值进行比较。据了解，不同地区的小麦成分明显不同，同一地区不同年份的小麦成分也明显不同 (Matz, 1991)，因此为了进行有效的比较，重要的是在同一地点 (最好是在相邻地块中) 同一时间种植新品种及其比较对象 (即对照)。而且，已知不同类型小麦之间一些成分存在差异 (如硬质小麦和软质小麦间蛋白含量存在差异)，在将特定成分数据与文献数值进行比较时，重要的是与来自于同一类型小麦的数据进行比较。

## 第二节 小麦和小麦产品的营养素

全麦是人类以及牲畜营养的主要来源。尽管小麦主要被视为高度可消化的碳水化合物来源，但全麦也被视为蛋白质、B 族维生素、大量矿物质 (尤其是铁、磷、锌、钾和镁) 的重要来源 (Orth 和 Shellenberger, 1988)。总的说来，小麦提供了世界总热量和蛋白质的近 20% (Betschart, 1988)，因而成为世界人口的重要主食。

表 2 小麦的主要营养素及其在谷粒中的位置

各部分	占麦粒的百分比 (以重量计)	主要营养素
麸皮	8	膳食纤维、蛋白质、钾、磷、镁、铁和锌
糊粉层	7	蛋白质，烟酸、硫胺、叶酸、矿物质——特别是磷 (主要是植酸盐)、钾、镁、铁和锌
胚乳	82	淀粉、蛋白质、矿物质
胚芽		
胚	1	脂肪和脂类、蛋白质和糖
盾片	2	B 族维生素 (特别是硫胺)、磷

资料来源: Orth 和 Shellenberger, 1988。

### 1. 全麦粒和麦粒各部分

小麦主要成分的典型值见表 3，在麦粒各部分中主要成分的相对分布见表 4。大多数胚乳——用于生产面粉的部分——含有很多以碳水化合物形式 (主要为淀粉) 存在的储藏食物，而麸皮比胚乳的纤维含量高，矿物质和脂肪含量相对较高。胚芽中也含有相对较高的脂肪和矿物质，大量的纤维，并且蛋白质含量极为丰富。

表 3 全麦各组分含量的通常值

成 分	风干物质质量百分比 (%)
水分	8.0 ~ 18.0
蛋白质	10.0 ~ 16.0
灰分	1.2 ~ 3.0
碳水化合物	65.4 ~ 78.0
脂肪	1.5 ~ 2.0
能量	1377 ~ 1431 kJ/100 g
粗纤维	2.0 ~ 2.7
酸性洗涤纤维	3.6 ~ 4.0
中性洗涤纤维	12.0 ~ 13.5

资料来源：USDA，1999；Matz，1991；Belderok，2000；Ensminger et al，1990。

表 4 全麦以及各部分的化学组成（占干物质百分比）

	麦粒	面粉	麸皮	胚芽
蛋白质	16	13	16	22
脂肪	2	1.5	5	7
碳水化合物	68	82	16	40
膳食纤维	11	1.5	53	25
灰分	1.8	0.5	7.2	4.5
其他	1.2	1.5	2.8	1.5
总计	100	100	100	100

资料来源：Belderok，2000。

### (1) 碳水化合物

碳水化合物占麦粒干物质总量的大部分，根据不同的单体和聚合物形式，通常可分为 3 类：糖，含单糖（葡萄糖、果糖、半乳糖）和二糖（蔗糖、麦芽糖）；寡糖（如棉子糖、水苏糖）；多糖，含淀粉（直链淀粉、支链淀粉）和非淀粉类多糖（纤维素、戊聚糖、 $\beta$ -葡聚糖）（FAO，1998）。

非淀粉类多糖占膳食纤维的大部分，这种膳食纤维包括木质素（非碳水化合物成分）、抗性寡糖和抗性淀粉（FAO，1998）。碳水化合物特别是全麦的膳食纤维成分能为人类健康带来明显的益处（Kritchevsky 和 Bonfield，1995）。

小麦的大部分碳水化合物（其中大多数存在于胚乳中）几乎完全由淀粉组成，作为萌发时胚芽的能量来源。小麦淀粉不但是小麦和小麦面粉中最丰富的碳水化合物，同时也是人类以及动物营养素的重要来源（Shelton 和 Lee，2000）。小麦淀粉主要由两部分组成，即直链淀粉和支链淀粉，分别占总淀粉含量的 25% 和 75%。除了是重要的能量来源之外，淀粉也在面包烘烤中起着各种作用，如提供面筋可以黏附的框架、调节水分在面包中的分布、填满烘烤过程中因面包形状改变而产生的空间（Belderok，2000）。



其他碳水化合物，如糖（葡萄糖、果糖、半乳糖、蔗糖、麦芽糖）和非淀粉类多糖（纤维素、戊聚糖、 $\beta$ -葡聚糖）的含量较少，主要位于麸皮和胚芽中。磨粉过程中由于麸皮的污染会产生胚芽的纤维和碳水化合物组分。

小麦及其各部分不同碳水化合物成分的通常范围见表 5。小麦的碳水化合物含量因品种、环境条件以及加工/磨粉条件而异（Becker 和 Hanners, 1991）。

表 5 小麦中的碳水化合物组成<sup>①</sup>

成分	麦粒 (%)	面粉 (%)	麸皮 (%)	胚芽 (%)
总膳食纤维	11 ~ 14.6	2.3 ~ 5.6	43 ~ 53	13.2 ~ 15
戊聚糖	1.4 ~ 6.7	1.1 ~ 1.4	21 ~ 43	6.6
纤维素	2.0 ~ 2.7	0.3 ~ 0.6	7.2 ~ 8.0	2.7
游离糖	2.1 ~ 2.6	1.2 ~ 2.1	7.6	16.0
淀粉	59 ~ 72	65 ~ 74	14.1	28.7

注：①在干物质的基础上计算的。

资料来源：参考各文献编写而成，FAO, 1998; Matz, 1991; Becker 和 Hanners, 1991; USDA, 1999; Shelton 和 Lee, 2000; Belderok, 2000。

## (2) 蛋白质

除了能量含量较高之外，小麦也是蛋白质的很好来源，小麦的蛋白含量比其他谷物高很多。小麦中的蛋白质很复杂，根据其生物学功能可分成两大类：具有生物学活性的酶（清蛋白和球蛋白）以及无生物学活性的贮藏蛋白（麦醇溶蛋白和麦谷蛋白）（Lookhart 和 Bean, 2000）。麦醇溶蛋白和麦谷蛋白统称为面筋蛋白，主要位于麦粒的胚乳中，而清蛋白和球蛋白主要集中于麸皮（糊粉层）和胚芽中。在面包制作过程中，面筋蛋白对于面团的形成起着关键作用。

小麦的蛋白质含量既受植株遗传组成的影响，也受植株生长以及种子发育过程中环境条件的影响，因此小麦蛋白质含量变化极为明显，通常的范围为 10.0%~16.0%。在通常情况下，由于气候异常、肥料施用过量、发生病害以及特定品种性状差异等方面的原因，可能导致很多数值不在这一范围的例子。因此在比较分析中使用合适的比较对象是十分重要的。小麦的蛋白质含量按不同类型列于表 6。

表 6 不同类型小麦的蛋白质含量

小麦类型 <sup>①</sup>	占干物质的百分比 (%)
硬红春 HRS	13.6 ~ 15.8
硬红冬 HRW	12.6 ~ 14.1
软红冬 SRW	10.4 ~ 13.0
软白冬 SWW	10.0 ~ 12.4
软白春 SWS	13.5 ~ 14.2
硬白冬 HWW	11.5 ~ 12.1
硬白春 HWS	12.3 ~ 13.4

注：①采用美国的分类法。

资料来源：Davis *et al.*, 1981; Ensminger *et al.*, 1990; USDA, 1999; NRC, 1998。

尽管小麦是重要的蛋白质来源，但由于其两种必需氨基酸即赖氨酸和苏氨酸的含量低，因此其蛋白质作为人类和其他单胃动物（如猪和家禽）的营养品质受到了限制（Matz, 1991; Shewry *et al.*, 1994），其中赖氨酸的限制性更强。因此，有必要将小麦与富含赖氨酸的蛋白进行混合，从而提供均衡的膳食，或在动物饲料中将赖氨酸以添加剂的形式加入。小麦子粒中赖氨酸水平低是因为面筋蛋白中的赖氨酸比例低。面筋蛋白主要位于胚乳中，而富含赖氨酸的清蛋白和球蛋白主要位于麸皮和胚芽中（Lookhart 和 Bean, 2000）。小麦胚芽是小麦中赖氨酸含量最高的部分（Matz, 1991）。小麦及各部分的氨基酸含量见表7。

表7 小麦中氨基酸含量（占总蛋白的百分比）

氨基酸	麦粒	面粉	麸皮	胚芽
色氨酸	1.0 ~ 2.1	0.7 ~ 1.0	1.6 ~ 1.8	1.0 ~ 1.3
苏氨酸	2.4 ~ 3.2	2.2 ~ 3.0	2.6 ~ 3.5	3.4 ~ 4.2
异亮氨酸	3.0 ~ 4.3	3.4 ~ 4.1	3.1 ~ 3.8	3.5 ~ 3.9
亮氨酸	5.0 ~ 7.3	6.5 ~ 7.2	5.5 ~ 6.8	5.7 ~ 6.8
赖氨酸	2.2 ~ 3.0	1.8 ~ 2.4	3.5 ~ 4.5	5.3 ~ 6.3
甲硫氨酸	1.3 ~ 1.7	0.9 ~ 1.5	1.1 ~ 1.6	1.7 ~ 2.0
半胱氨酸	1.7 ~ 2.7	1.6 ~ 2.6	1.5 ~ 2.4	1.0 ~ 2.0
苯丙氨酸	3.5 ~ 5.4	4.5 ~ 4.9	3.2 ~ 4.0	3.4 ~ 4.0
酪氨酸	1.8 ~ 3.7	1.8 ~ 3.2	2.1 ~ 2.8	2.8 ~ 3.0
缬氨酸	4.4 ~ 4.8	3.7 ~ 4.5	4.0 ~ 5.1	4.7 ~ 5.2
精氨酸	4.0 ~ 5.7	3.1 ~ 3.8	5.5 ~ 7.0	6.9 ~ 8.1
组氨酸	2.0 ~ 2.8	1.9 ~ 2.6	2.1 ~ 2.8	2.3 ~ 2.8
丙氨酸	3.4 ~ 3.7	2.8 ~ 3.0	4.6 ~ 4.9	5.2 ~ 6.4
天冬氨酸	4.8 ~ 5.6	3.7 ~ 4.2	6.6 ~ 7.3	7.5 ~ 8.9
谷氨酸	29.9 ~ 34.8	34.5 ~ 36.9	16.2 ~ 20.8	14.0 ~ 17.3
甘氨酸	3.8 ~ 6.1	3.2 ~ 3.5	5.0 ~ 7.1	5.2 ~ 6.2
脯氨酸	9.8 ~ 11.6	11.4 ~ 11.7	5.7 ~ 6.9	5.0 ~ 5.3
丝氨酸	4.3 ~ 5.7	3.7 ~ 4.8	4.4 ~ 4.6	4.5 ~ 4.8

资料来源：Pomeranz, 1988; Ensminger *et al.*, 1990; USDA, 1999; Lookhart 和 Bean, 2000; Posner, 2000。

### (3) 维生素

小麦粒中的维生素含量因不同部位而异（见表2），胚芽和麸皮中维生素浓度高。研磨过程中除去胚芽和麸皮可导致某些维生素明显丧失。小麦中维生素含量变化很大（Pomeranz, 1988）。由于品种、种植年份、种植地点、施肥措施、土壤类型、小麦类型以及所用的分析技术不同，小麦维生素含量会存在显著差异。

小麦脂类的含量较低，因此只含有少量的脂溶性维生素——维生素原 A，维生素 D、E 和 K。但胚芽部分是个例外，它的脂类含量较高，因此植物组织中负责维生素 E 活性的生育酚在这部分的含量最丰富。小麦胚芽油被认为是维生素 E 特别丰富的来源。小麦只含有 4 个主要的母育酚衍生物，即  $\alpha$ -生育酚（ $\alpha$ -T）、 $\alpha$ -生育三烯酚（ $\alpha$ -T-3）， $\beta$ -生育

酚 ( $\beta$ -T)、 $\beta$ -生育三烯酚 ( $\beta$ -T-3), 其中  $\alpha$ -T 是主要的形式 (Morrison, 1981)。 $\gamma$ -生育酚和  $\delta$ -生育酚不存在或微量存在。在各种谷粒中, 小麦生育酚被认为具有特别好的维生素 E 活性和抗氧化性质 (Morrison, 1981)。

表 8 全麦及各部分的母育酚衍生物含量

单位: mg/100 g

麦粒各部分	$\alpha$ -T	$\alpha$ -T-3	$\beta$ -T	$\beta$ -T-3	总计
全麦粒	0.9 ~ 1.8	0.2 ~ 0.7	0.4 ~ 0.9	1.9 ~ 3.6	4.9 ~ 5.8
胚芽	22.1 ~ 25.6	<0.2 ~ 0.3	8.6 ~ 11.4	<0.2 ~ 1.0	N/A
麸皮	1.6 ~ 3.3	1.1 ~ 1.5	0.8 ~ 1.3	2.9 ~ 5.6	N/A
胚乳	0.007	0.045	0.01	1.4	1.4

注: N/A 表示未获得数据。

资料来源: Chung 和 Ohm, 2000。

与玉米相比, 类胡萝卜素被认为是小麦中的极微量成分。含量极低意味着小麦不是维生素 A 前体的重要来源, 因此小麦类胡萝卜素不具有任何营养方面的意义 (Bock, 2000)。不过, 由于类胡萝卜素具有颜色, 因而他是食品生产中使用谷物的重要影响因素, 尤其是对于生产意大利面的硬粒小麦。普通小麦中的主要类胡萝卜素包括胡萝卜素、叶黄素、叶黄素酯。类胡萝卜素在麦粒中分布不均。麸皮中含有 0.9 ~ 0.95 mg/kg, 胚芽中含有 7.2 ~ 11.0 mg/kg, 胚乳中含有 1.6 ~ 2.2 mg/kg (Chung 和 Ohm, 2000)。不同类型小麦的类胡萝卜素组成不同, 同一类型小麦的不同部分组分也不同。

全麦被认为是 B 族维生素 [尤其是硫铵、核黄素、烟酸和吡哆醇 (维生素 B<sub>6</sub>)] 的最佳来源, 也是叶酸的较好来源。这些维生素主要集中于麸皮 (糊粉层) 和胚芽中。维生素含量的通常范围值见表 9 和表 10。

表 9 全麦中的维生素含量 (mg/kg, 以干重计)

维生素	范 围
硫铵	0.13 ~ 0.99
核黄素	0.06 ~ 0.31
烟酸	2.20 ~ 11.10
维生素 B <sub>6</sub>	0.09 ~ 0.79
叶酸	0.02 ~ 0.09

资料来源: Davis et al, 1984。

表 10 不同类型<sup>①</sup>全麦中的维生素含量 (mg/kg, 以干重计)

维生素	HRW	HRS	SRW	HWW	SWS	SWW
硫铵	0.334 ~ 0.57	0.416 ~ 0.50	0.411 ~ 0.51	N/A	0.46 ~ 0.50	0.411 ~ 0.46
核黄素	0.11 ~ 0.14		N/A	0.10 ~ 0.15		
烟酸	4.95 ~ 7.4	4.97 ~ 6.25	4.84 ~ 6.70	4.33 ~ 4.90	4.68 ~ 6.00	5.19 ~ 5.59
吡哆醇	0.092 ~ 0.53	0.202 ~ 0.53	0.169 ~ 0.38	N/A	N/A	N/A

注: ①根据美国的分类法进行分类。HRW: 硬红冬; HRS: 硬红春; SRW: 软红冬; HWW: 硬白冬; SWS: 软白春; SWW: 软白冬; N/A: 无数据 (Davis et al., 1984a)。

#### (4) 矿物质

小麦子粒中矿物质的平均含量在全球不同地方存在显著差异。这是由多种因素造成的，包括小麦品种、种植条件、土壤条件和肥料施用 (Davis *et al.*, 1984b; Bock, 2000)。小麦矿物质的组成更多地与环境条件而非品种的特性有关。小麦中的矿物质主要有镁、磷和钾，也含有大量的铜、铁、锰和锌 (Davis *et al.*, 1984b)。与维生素一样，矿物质特别集中于麸皮（糊粉层）中，因此研磨也会引起矿物质的损失，特别是铜、铁、锰和锌的损失。

小麦中的磷主要存在于麸皮中，多数以植酸钙/钾/镁盐的形式存在 (Hazell, 1985)。全麦、小麦胚芽和小麦麸皮被认为是磷的很好来源 (Bock, 2000)，只是单胃动物包括人类对大多数的磷无法进行生物学利用。全谷粒特别是全麦粒是人类镁的主要来源。镁主要位于麸皮中，能够与植酸结合。全麦被认为是镁相对较好的来源，尤其是小麦麸皮和小麦胚芽中镁含量很高。小麦胚芽和小麦麸皮被认为是食用铁的较好来源 (Bock, 2000)。小麦胚芽和小麦麸皮还是食用锌的最佳来源，也是唯一可作为铜良好来源的谷物产品。

#### (5) 脂类

脂类是麦粒中相对次要的成分，不过脂类具有重要的营养学意义，他对小麦的贮存和加工十分重要。脂类含量和组成的测定主要取决于提取和纯化方法，部分取决于样品的不同，因此与文献中报道的脂类含量或组成数据进行比较时，需十分谨慎。小麦中脂类含量通常在 1.5% ~ 2.0% 之间，但是脂类并非均一分布于整个麦粒中，34% ~ 42% 的脂类分布于胚芽中 (Zeringue 和 Feuge, 1980)。

小麦中大部分脂类是酰基脂，含有高等植物中常见的脂肪酸，即棕榈酸 (16:0)，硬脂酸 (18:0)，油酸 (18:1, n-9)，亚油酸 (18:2, n-6)、亚麻酸 (18:3, n-3)。全麦通常的脂肪酸组成见表 11。

表 11 小麦通常的脂肪酸组成 (占总脂肪酸的%)

脂肪酸	麦粒	胚芽
棕榈酸	11 ~ 32	18 ~ 19
硬脂酸	0 ~ 4.6	N/A
油酸	11 ~ 29	8 ~ 17
亚油酸	44 ~ 74	57 ~ 62
亚麻酸	0.7 ~ 4.4	7 ~ 11

注：N/A 表示无数据

资料来源：Davis *et al.*, 1980; Barnes, 1982, cited in Pomeranz, 1988。

小麦中脂类的主要非皂化成分是母育酚衍生物、类胡萝卜素以及固醇。在固醇中， $\beta$ -谷甾醇是谷粒的主要固醇，占小麦总固醇的 41% ~ 53%。菜油甾醇是小麦中含量第二的固醇。据估计，总固醇含量占胚芽的 0.5% (Pomeranz, 1988)。

#### (6) 其他成分

小麦含有大量的其他成分，其中一些在大量摄入时可保护人类不患疾病 (Thompson, 1994, Slavin *et al.*, 1997)。这些成分包括酚酸、木质素和类黄酮。

含量最高的酚酸是阿魏酸，其次是香草酸、p-香豆素、原儿茶酸、丁香酸、水杨酸、咖啡酸以及龙胆酸。阿魏酸以酯键与特定的多糖（阿拉伯糖基木聚糖）相联，该多糖占糊粉层细胞壁的65%。人结肠中的细菌酶能够催化糊粉层细胞壁部分缓慢降解，促使阿魏酸低聚糖释放，阿魏酸低聚糖进一步降解后，释放阿魏酸。阿魏酸是一种很好的抗氧化剂（Rice - Evans et al, 1997）。

类黄酮是一类酚类化合物，广泛存在于植物中。很多类黄酮具有抗氧化特性（Ferguson 和 Harris, 1999）。全麦中类黄酮浓度最高的部位是胚芽，其次是麸皮。类黄酮具有15个C原子核的结构，通常被分成几类（如黄酮）。已从小麦麸皮中鉴定出麦黄酮和芹菜素的两个糖苷。小麦麸皮中含有少量的黄酮醇儿茶素和原花青素（也就是浓缩的单宁酸），它们是黄酮单体的低聚物或多聚体。

木质素是苯酚的二聚体，主要存在于麸皮中（Nilsson et al, 1997）。小麦中的木质素可在大肠中它们通过发酵作用转变为哺乳动物的木质素。

## 2. 全植株

除用于粮食生产（含大量的碳水化合物）外，全麦植株也可用作草料——牧草、干草或青贮饲料——用于饲养动物。此外，麦粒的副产物，如麦壳、干草、麦秆等可用作反刍动物的低品质草料。小麦草料中测定的典型成分见表12。

表 12 小麦草料中测定的典型成分

分析	草料类型			
	干草，太阳晒干	麦壳	麦秆	不成熟的，新鲜草料
主要组分分析				
干物质	89	93	90	22
灰分	7.0	15.6	6.9	3.0
中性洗涤纤维	60.5	N/A	70.3	10.2
酸性洗涤纤维	36.5	N/A	47.7	6.3
粗脂肪	2.0	1.9	1.8	1.0
不含 N 的提取物	46.4	39.5	40.4	8.3
粗蛋白	7.7	5.4	3.2	6.1
矿物质				
钙	0.13	0.19	0.16	0.09
磷	0.18	0.08	0.05	0.09

注：N/A 表示无数据。

资料来源：Ensminger et al, 1990。

## 脱水酒糟

小麦 DDGS 以及 DDGS 分馏制备的产物中蛋白质（29%~59%）和食用纤维（40%~55%）的含量极高。小麦 DDGS 可比全植株提供更多的钙、铁、锌。不过，DDGS 中硫铵的含量（0.09~0.19 mg/100 g 干重）显著低于小麦面粉（0.162~0.168 mg/100 g 干重）或全麦粒（见表 9 和表 10），但是其核黄素的含量相当（0.17~0.50 mg/100 g 干

重)。

### 第三节 小麦和小麦产品的抗营养成分、 过敏原和其他成分

与豆类相比,谷物包括小麦中常见的抗营养成分的含量相当低(Klopfenstein,2000)。

#### 1. 抗营养成分

##### 蛋白酶抑制剂和淀粉酶抑制剂

蛋白酶抑制剂(尤其是胰蛋白酶抑制剂)如果大量存在于食物中,可降低摄取蛋白质的可消化性和生物学价值并抑制生长;淀粉酶抑制剂可影响淀粉的可消化性。已在小麦中鉴定出蛋白酶抑制剂和淀粉酶抑制剂,但是它们在人类食物中不具有抗营养活性(Klopfenstein,2000),其原因可能是这两种抑制剂都对热不稳定。

小麦中发现的淀粉酶抑制剂为常见类型,尽管浓度相当高,但受热后相对不稳定(Wiseman *et al.*,1998)。这种抑制剂主要与胚乳中的淀粉粒结合,在麸皮中含量极低。淀粉酶抑制剂可抑制鸡胰腺淀粉酶,但实际上它不可能对鸡营养具有明显作用,原因是淀粉酶抑制剂在鸡胃中因胃蛋白酶消解而大部分失活(Macri *et al.*,1977)。

##### 植物凝集素

植物凝集素,又称植物血球凝集素,是结合到细胞表面(如肠上皮细胞)某些糖基上的糖蛋白,可引起细胞坏死与严重紊乱,并使微绒毛发育异常(Liener,1989)。植物凝集素对肠黏膜产生破坏的主要后果之一是严重降低肠壁营养素的吸收。

尽管豆类中更常见植物凝集素,但谷物包括小麦中也含有植物凝集素,由于没有合适的研究,因此目前还不了解谷类中凝集素的生理学意义(Liener,1989)。热处理通常可使植物凝集素失活,所以只有生食或食用烹饪不完全的食品或饲料时才需要真正关心它们。因此,就小麦而言,植物凝集素可能是动物饲料中更需要考虑的问题。虽然在小麦、小麦胚芽中已经检测出植物凝集素,但是没有证据表明这些凝集素具有重要的抗营养效果(Klopfenstein,2000)。

##### 植酸

植酸(肌醇六磷酸)可螯合铁、锌、磷、钙、钾、镁等矿物质。在单胃动物中,由于植酸的存在,微量元素如锌和铁的生物利用率会被降低,不过,在人体中,植酸似乎对钾、磷或镁的同化不产生主要影响。另一方面,反刍动物瘤胃中含有丰富的微生物产生的植酸酶,可降解植酸盐,因此反刍动物更容易利用植酸结合的矿物质如磷。小麦各部分中植酸的通常含量见表13。

表 13 小麦中的肌醇六磷酸含量

食 物	mg 肌醇六磷酸/100 g 可食用部分
小麦面粉,各种功能	282
小麦面粉,全麦	845

(续)

食 物	mg 肌醇六磷酸/100 g 可食用部分
小麦麸皮, 粗麦	3011
小麦胚芽	4 071

资料来源: 摘自 Harland, 1993。

## 2. 小麦的致敏原

小麦是世界上最常见的与 IgE 介导的反应有关的食物致敏原, (FAO, 1995), 但是很少有报道小麦会引起过敏反应 (Bousquet et al, 1998; Takizawa et al, 2001)。小麦通常与 (IgE 介导) 面包师哮喘的关系密切, 该情况是由摄入小麦面粉导致的异位性皮炎引起的。在少数情况下, 小麦面粉的摄入可能会使小孩过敏。

虽然没有鉴定出特定的致敏原, 但是似乎有多种致敏原参与了上述过敏情况, 其中一些参与了不同的过敏症状。据报道, 在面包师哮喘中, 水/盐溶性部分 (球蛋白和清蛋白) 以及水/盐不溶性部分 (麦醇溶蛋白和麦谷蛋白) 均是过敏原 (Sutton et al, 1984; Franken et al, 1994; Sandiford et al, 1997)。据报道, 麦醇溶蛋白主要参与了由运动诱导的食品依赖型过敏反应 (Palosuo et al, 1999)。小孩摄入小麦面粉后, 引起了非运动诱导的过敏反应, 已经发现两个或多个小麦蛋白组分似乎与这一反应有关, 其中一些蛋白与引起异位性皮炎反应的蛋白相同 (Takizawa et al, 2001)。

小麦与其他含面筋的谷物如黑麦和大麦均与面筋敏感性肠病 (又称腹病) 相关, 这种病可影响具有遗传易感性的人 (FAO, 2001)。麦醇溶蛋白可引发这一反应 (Howdle et al, 1984)。

## 3. 其他化合物

### DIBOA 和 DIMBOA

异羟肟酸和苯并噁嗪酮是小麦根和叶而非种子中常见的一组代谢物。在小麦的幼苗中, DIBOA [2, 4-二羟基-2H-1, 4-苯并噁-3(4H) 酮] 和 DIMBOA [2, 4-二羟基-7-甲氧基-2H-1, 4-苯并噁-3(4H) 酮] 是这类代谢物的主要代表, 两者都有糖基化和非糖基化两种形式 (Nagakawa et al, 1995)。DIBOA 和 DIMBOA 在组织中的含量与通过常规育种获得的小麦对害虫的抗性 (如对蚜虫的抗性) 相关。

在植物发育的最初阶段, DIBOA 和 DIMBOA 的含量达到最大值, 然后降低, 在生长后期旗叶和麦穗中含量相对较低 (Copaja et al, 1999, Nicol 和 Wratten, 1997)。此外, 不同品种间 DIBOA 和 DIMBOA 的含量不同。例如, 筛选的小麦品种幼苗中含 0 ~ 1.1 mmol/kg fw DIBOA 和 1.4 ~ 10.9 mmol/kg fw DIMBOA (Copaja et al, 1991)。

DIBOA 和 DIMBOA 对害虫的毒性机制尚不清楚。不仅如此, DIBOA、DIMBOA 以及有关化合物对人和家畜的可能毒性和生理学效应的数据还很少。一份报告介绍了 DIBOA 和 DIMBOA 在 (检查致癌物质的) Ames 试验中的体外致突变作用 (Hashimoto et al, 1979)。此外, 大量报告描述了 MBOA (DIMBOA 的代谢物) 对野生啮齿动物的激素效应 (Korn, 1988)。但是有关 MBOA 对家畜具有激素效应的数据很少。

## 第四节 食品用途

### 1. 人类消费的主要小麦产品

全球每年消费近 6 亿吨小麦 (FAO, 2002), 其中大多数用于人类消费。在世界很多地区, 小麦和小麦食品是人们主要的营养来源。总体说来, 谷物分别提供了世界食物热量和蛋白的 50% 和 45%, 小麦提供的热量和蛋白接近总热量和蛋白的 20% (Betschart, 1988)。小麦作为人类食品具有十分重要的意义, 主要是由于小麦粒可研磨成面粉, 而面粉是面包和其他产品 (如早餐谷物、饼干、蛋糕、面饼和面条) 的基本成分。干磨过程的其他产物——麸皮和胚芽——作为食品也具有很高的价值: 两者都是维生素和矿物质的很好来源, 麸皮还是膳食纤维的很好来源, 且胚芽富含维生素 E ( $\alpha$ -生育酚)。

### 2. 食品用途的主要成分及推荐的分析方法

推荐进行分析的人类食品的主要成分见表 14。由于所有的食品都来源于全麦, 因此在大多数情况下, 只分析麦粒的主要成分便已足够, 不必对各部分即面粉、麸皮或胚芽中主要成分分别分析。不过, 根据特定加工性质和目的的不同, 对各部分进行进一步成分分析可能也很有用。

表 14 小麦中推荐进行分析的人类食品的成分

成 分	麦 粒	面 粉	麸 皮	胚 芽
常规组分	√	√	√	√
氨基酸	√			
脂肪酸				√
$\alpha$ -生育酚	√			√
B 族维生素	√	√	√	
植酸盐	√		√	

## 第五节 饲料用途

小麦通常是一种好的动物饲料, 全球大约有 16% 的小麦进入动物饲料。据报道, 作为饲料, 小麦比玉米具有更高的价值, 且超过大麦 (Matz, 1991)。尽管玉米的能量值较高, 但小麦中粗蛋白的含量最高 (Ensminger *et al.*, 1990)。

### 1. 动物消费的主要小麦产品

动物饲料中所用的主要小麦产品分为 3 类: ①全麦粒和简单加工的麦粒; ②加工的副产品; ③来源于全植株的草料。

#### 全麦粒和简单加工的麦粒



用全麦粒和简单加工的麦粒饲喂动物的主要原因是它们的能量高，而且是蛋白质、维生素和矿物质的珍贵来源。麦粒纤维含量较低，因此是非反刍动物和反刍动物很好消化的饲料。由于麦粒的成本高，因此并不十分广泛地用于动物饲料中。不过，在小麦收成受到雨水不利影响的年份，麦粒因发芽而不适于进行磨粉，此时大量的麦粒被用作饲料。小麦在动物饲养上的应用因不同国家而异。例如，在美国大多数小麦用作人类食品，而在欧洲，小麦经常出现过剩，大量的小麦用于饲养牲畜 (Ensminger et al, 1990)。因此，欧洲用作饲料的小麦多数为硬质或中等硬质小麦，而在美国，用作动物饲料的小麦多数为软质小麦，这种软质小麦用在磨粉上没什么价值 (Matz, 1991)。

由于小麦的粗纤维含量低且易于消化，因此是各种动物珍贵的淀粉来源。一般不必限制小麦在饲料中的加入量，不过会引起某些幼小动物的消化紊乱。由于这个原因，通常建议在浓缩混料中麦粒的加入比例不超过小猪食物的 50%，不超过小鸡和肉鸡食物的 20%。麦粒通常被破碎、压榨或粗研磨而提高其适口性和可消化性。与简单加工的小麦相比，热加工（热压榨、蒸汽压片和膨化）并不能提高饲料用小麦的适口性或饲料性能 (Matz, 1991)。

### 加工的副产品

动物饲料中所用磨粉副产品的数量几乎完全取决于面粉的需求量 (Matz, 1991)。美国人种植小麦主要用作人类消费的食品。因此饲喂动物的小麦多数为磨粉副产品形式。

小麦干磨的副产品已长期用作动物饲料。磨粉厂通常利用麦粒的大约 80% 生产面粉，而其余的 20% 进入牲畜饲料的生产，这部分常称为粗麦粉，小麦麸皮、小麦细麸粉、低等小麦粉、小麦筛渣、小麦胚芽粉、小麦胚芽油。除小麦胚芽粉和小麦胚芽油之外，在磨粉工业中这些副产品大都不加区分。许多面粉厂将所有副产品混合在一起作为单一产品（通常叫做麦麸）卖给饲料厂，通常买不到单一副产品 (Dale, 1996)。

麦麸适合于各种类型的牲畜配料。饲喂牛时，麦麸通常与其他谷物的子粒以及各种辅料混合，也经常用于猪饲料中，尽管麦麸是怀孕羊饲料中很好的辅料，但很少用于羊饲料中。大多数马饲料中平均含 10% 的麦麸 (Matz, 1991)。

发酵和酿造工业产生的副产品（如 DDGS 和啤酒粕）也是动物饲料的重要组分。这些副产品可作为价格低廉的能量来源，特别是其蛋白质、维生素和矿物质含量较高，因此具有很高的营养价值。

### 全植株

除了子粒的生产之外，小麦植株可用作草料—牧草，干草或青贮饲料，这些都是动物饲喂中重要的草料类型 (Matz, 1991)。冬小麦是秋季和早春牧草的极好来源，尤其是对于牛来说。收获的子粒副产品，如麦壳、麦草或麦秆，也可用作反刍动物品质较低的草料 (Ensminger et al, 1990)。通常这些副产品的纤维含量高、蛋白质含量低，既可用作填料，也可给牛提供某些营养。

## 2. 饲料用主要组分以及推荐的分析方法

动物饲料中建议进行分析的营养参数和成分参数见表 15。由于动物饲料产品都是来源于全麦粒或全植株，因此不必要对加工副产品进行分析。

表 15 饲料用小麦中推荐进行的组分分析

参数	麦粒	全植株
常规组分分析	✓	✓
氨基酸	✓	
脂肪酸	✓	
植酸盐	✓	

动物饲料进行的分析为主要组分分析。通常对饲料的 6 个成分进行评价：含水量（干物质）、灰分（矿物质）、粗蛋白（氮含量 N 乘以 6.25）、醚提取物（脂肪、有机酸、色素、乙醇、脂溶性维生素）、粗纤维（纤维素、半纤维素和木质素）、碳水化合物（淀粉、糖、一些纤维素、半纤维素和木质素）。在动物饲料的主要组分分析中，应当用酸性洗涤纤维和中性洗涤纤维来代替粗纤维分析，因为这可以表示出饲料的可消化性，对于草料分析具有十分重要的意义。

#### ◆ 参考文献

- AAFCO (American Feed Control Officials) 2003. Official Publication. AAFCO, P. O. Box 478, Oxford, IN, U. S. A. , page 261.
- Arana, M. , E. DePeters, J. Fadel, J. Pareas, H. Perez - Monti, N. Ohanesian, M. Etchebarne, C. Hamilton, R. Hinders, M. Maloney, C. Old, and T. Riordan. 2000. Comparing Cotton by Products for Dairy Feed Rations. Dairy Business Communications; <http://www.dairybusiness.com/western/Oct00/byproducts3.htm> Bailey, C. A. , R. D. Stipanovic, M. S.
- Bailey, C. A. , R. D. Stipanovic, M. Ziehr, A. U. Haq, M. Sattar, L. F. Kubena, H. L. Kim, and R. D. Vieira. 2000. Cottonseed with a High (+) to (-) Gossypol Enantiomer Ratio Favorable to Broiler Production. USDA, Ag. Res. Ser. , TEKTRAN. <http://www.nal.usda.gov/ttic/tektran/data/0000116667.html>
- Bayer CropScience. 2002. Premarket Biotechnology Notice for the Safety, Compositional and Nutritional Aspects of Glufosinate - Tolerant Cotton Transformation Event LLCotton25. U. S. FDA/CFSAN. BNF 86.
- Berberich, S. A. , J. E. Ream, T. L. Jackson, R. Wood, R. Stipanovic, P. Harvey, S. Patzer and R. Fuchs. 1996. The Composition of Insect - Protected Cottonseed Is Equivalent to that of Conventional Cottonseed. J. Agric. Food Chem. 44 (1); 365 - 371.
- Bourland, F. M. 2002. University of Arkansas Cotton Breeding Program - 2001 Progress Report. Sumaries of Arkansas Cotton Research 2001, Arkansas Ag. Exp. Station Report, Research Series 497, page 19.
- Cherry, J. P. and H. R. Leffler. 1984. Seed. Cotton (Koher, R. J. and C. F. Lewis, editors) Agronomy 24; 512.
- Dove, C. R. 1997 Cottonseed Meal for Nursery Pigs. 1997 Annual Report (pp. 224 - 231) UGA. (1 Apr 1998) . [http://www.ads.uga.edu/annrpt/1997/97\\_224.htm](http://www.ads.uga.edu/annrpt/1997/97_224.htm)
- Ensminger, A. K. H. , M. E. Ensminger, J. E. Konlande and J. R. K. Robson. 1994. Foods Nutrition Encyclopaedia, 2nd Edition. Ann Arbor, MI USA.
- Ensminger, M. E. , J. E. Oldfield, and W. W. Heinemann. 1990. Feeds and Nutrition (Second Edition). The Ensminger Publishing Co. , Clovis, CA, USA.
- FAO (Food and Agriculture Organisation of the United Nations) 1996. Report of a Joint FAO/WHO Expert Consultation on Biotechnology and Food Safety. Rome, Italy, 20 September to 4 October, 1996. FAO,

Rome.

- FAO. 2000. Report of a Joint FAO/WHO Expert Consultation on Foods Derived from Biotechnology, Geneva, Switzerland, 29 May to 2 June 2000.
- FDA (Food and Drug Administration, U. S. ) . 1998. Import Alert.  
[http://www.fda.gov/ora/fiars/ora\\_import\\_ia0501.html](http://www.fda.gov/ora/fiars/ora_import_ia0501.html)
- FDA. 2002. Listing of Color Additives Exempt from Certification; Foods; Toasted Partially Defatted Cooked Cottonseed Flour. Code of Federal Regulations (U. S. ) Title 21; Chapter 1; Part 73; Sec. 73. 140.
- Franck, A. W. 1989. Food Uses of Cottonseed Protein. Development in Food Proteins - 5. New York: p31 - 80.
- Hanson, L. E. 2000. Reduction of Verticillium Wilt Symptoms in Cotton Following Seed Treatment with *Trichoderma virens*. J. Cotton Science 4: 224 - 231.
- Hendricks, J. D. , R. O. Sinnhuber, P. M. Loveland, N. E. Pawlowski and J. E. Nixon. 1980. Hepatocarcinogenicity of Glandless Cottonseeds and Cottonseed Oil to Rainbow Trout (*Salmo gairdnerii*). Science 208: 309 - 311.
- Kirk, J. H. and G. E. Higginbotham. 1999 U. Cal. , Davis Cooperative Extension Service.  
[http://www.vetmed.ucdavis.edu/vetext/INF-DADA\\_Gossypol.html](http://www.vetmed.ucdavis.edu/vetext/INF-DADA_Gossypol.html)
- Martin. 1990. Drought Strategies for Dairy Producers; Guidelines For Use of Aflatoxin Containing Feeds in Dairy Rations. Feedstuffs August, 1990.
- Monsanto. 1994. Safety, Compositional and Nutritional Aspects of Bollgard Cotton line 531 Conclusion Based on Studies and Information Evaluated According to FDA' s Policy on Foods from New Plant Varieties. U. S. FDA/CFSAN. BNF 13
- Monsanto. 1995. Safety, Compositional and Nutritional Aspects of Bollgard Cotton lines 757 & 1076: Conclusion Based on Studies and Information Evaluated According to FDA' s Policy on Foods from New Plant Varieties. U. S. FDA/CFSAN. BNF 13
- Monsanto. 2000. Safety, Compositional, and Nutritional Aspects of Bolegard II Cotton Event 15985. U. S. FDA/CFSAN. BNF 74
- NCPA (National Cottonseed Products Association) . 1999. Cottonseed and Its Products. CSIP 10<sup>th</sup> e-d. National Cottonseed Products Assoc. Cordova, TN 38187 - 2267 U. S. A. <http://www.cottonseed.com>
- NCPA. 2002. Cottonseed Feed Product Guide. National Cottonseed Products Assoc. , Cordova, TN, U. S. A. <http://www.cottonseed.com/publications/feedproductsguide.asp>
- NIH (National Institutes of Health) . 2002. Prospective Grant of Exclusive License: Gossypol, Gossypol Acetic Acid and Derivatives Thereof and the Use Thereof for Treating Cancer. U. S. Federal Register (67FR9762d - 9763), Washington D. C.
- NRC (National Research Council) . 1982. United States - Canadian Tables of Feed Composition (Third Revision) . National Academy Press, Washington D. C. , USA.
- NRC. 1989. Nutrient Requirements of Dairy Cattle (Sixth Revised Edition, Update 1989). National Academy Press, Washington D. C. , USA.
- NRC. 1994. Nutrient Requirements of Poultry (Ninth Revised Edition) . National Academy Press, Washington D. C. , USA.
- NRC. 1998. Nutrient Requirements of Swine (Tenth Revised Edition) . National Academy Press, Washington D. C. , USA.
- NRC. 2000. Nutrient Requirements of Beef Cattle (Update 2000) . National Academy Press, Washington D. C. , USA.
- NRC. 2001a. Nutrient Requirements of Dairy Cattle (Seventh Revised Edition) . National Academy Press,

- Washington D. C. , USA.
- NRC. 2001b. Dietary Reference Intakes: Proposed Definition of Dietary Fiber. National Academies Press. Washington D. C. , USA.
- OECD (Organisation for Economic Co - Operation and Development) . 1993. Safety Evaluation of Foods Derived by Modern Biotechnology: Concepts and Principles. OECD, Paris, France.
- OECD. 1997. Report of the OECD Workshop on Toxicological and Nutritional Testing of Novel Foods. Aussois, France, 5 - 8 March 1997.
- OECD. 2000. Report of the Task Force for the Safety of Novel Foods and Feeds for the G8 Summit (Okina-wa) C (2000) 86/ADD1. OECD, Paris, France.
- Park, D. L. and W. D. Price. 2001. Reduction of Aflatoxin Hazards using Ammonization. *Rev. Environ. Contam. Toxicol.* 171: 139 - 175.
- Phelps, R. A. , F. S. Shenstone, A. R. Kemmer and R. J. Evans. 1965. A Review of Cyclopropenoid Compounds; Biological Effects of Some Derivatives. *Poultry Science* 44: 358 -394.
- Reidenberg, M. 2003. Clinical Pharmacology and Pharmacology of Gossypol, N. Y. Weith Cornell Med. Center. [http: //www. nycornell. org/dept/medical\\_pharmacology/highlights. html](http://www.nycornell.org/dept/medical_pharmacology/highlights.html).
- Souci, S. W. , H. Fachmann, and H. Kraut. 1989. Food Composition and Nutrition Tables. Stuttgart; Wiss. Verlagsges.
- Stipanovic, R. D. 1994. Gossypol in Cotton. *Biochemistry of Cotton Workshop Proceedings*. Cotton Incorporated, 4505 Creedmoor Rd. , Raleigh, NC 27612 U. S. A.
- Sudweeks, E. M. 2002. Feeding Whole Cottonseed to Dairy Cows and Replacements. Texas A&M University, College Station, TX, U. S. A. Publication 13277101 - cottonsd. wp6. [http: //animalscience - extension. tamu. edu/publications/13277101\\_cottonsd. wp6. htm](http://animalscience-extension.tamu.edu/publications/13277101_cottonsd_wp6.htm)
- TAM (Texas A. and M. University) . 2002. Entomology. Aphid and Stick Cotton Research. Texas A&M Ag. Research and Ext. Center. Vernon, TX. [http: //juniper. tamu. edu/Entomology/sticky. htm](http://juniper.tamu.edu/Entomology/sticky.htm)
- Tanksley, T. D. Jr. 1990. Cottonseed Meal. *Nontraditional Feed Sources for Use in Swine Production* (Thacker, P. A. and R. N. Kirkwood, editors) . Butterworths, Stoneham, MA, USA.
- U. Ga. (University of Georgia) . 2002. Cotton Diseases. College of Ag. and Env. Sciences and Warner School of Forest Resources. [http: //www. bugwood. org](http://www.bugwood.org)
- USDA ARS (U. S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service). 2004. USDA Nutrient Database for Standard Reference, Release 16.1 Nutrient Data Laboratory Home Page. [http: //www. nal. usda. gov/fnic/foodcomp](http://www.nal.usda.gov/fnic/foodcomp)
- USDA ERS (United States Department of Agriculture, Economic Research Service) . 2002. Cotton Background. USDA/ERS Washington D. C. [http: //www. ers. usda. gov/briefing/cotton/background. htm](http://www.ers.usda.gov/briefing/cotton/background.htm)
- White, P. J. 2000 Fatty Acids in Oilseeds (Vegetable Oils) . *Fatty Acids in Foods and their Health Implications* (Second Edition edited by Ching Kuang Chow) . Marcel Dekker, Inc. NY, NY, USA.
- WHO (World Health Organization) . 1991. Strategies for Assessing the Safety of Foods Produced by Biotechnology, Report of a Joint FAO/WHO Consultation. WHO, Geneva.
- Wood, R. , L. Rice and D. Stelly. 1994. Studies Designed to Eliminate Cyclopropenoid Fatty Acids in Cottonseed. The Development of a Method for the Rapid Analysis of Cyclopropenoid Fatty Acids. *Biochemistry of Cotton* Sept. 28 - 30, 1994. Galveston, TX. Cotton Inc. , Raleigh, NC, USA.
- Ziehr, A. U. Haq, M. Sattar, L. F. Kubena, H. L. Kim and R. D. Vieira. 2000. Cottonseed with a High (+) -to - (-) Gossypol Enantimer Ratio Favorable to Broiler Production. USDA/ARS. [http: //www. nal. usda. gov/ttic/tektran/data/000011/66/0000116667. html](http://www.nal.usda.gov/ttic/tektran/data/000011/66/0000116667.html)