

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 Maize (*Zea mays*): Key Food and Feed Nutrients, Anti-nutrients and Secondary Plant Metabolites”, Copyright OECD, 2002 的英语文件。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 Maize (*Zea mays*): Key Food and Feed Nutrients, Anti-nutrients and Secondary Plant Metabolites”, Copyright OECD, 2002. The OECD is not responsible for the quality of the Chinese translation and its coherence with the original text.

第三章

玉米 (*Zea mays* L.) 新品种成分的共识 文件：食品和饲料的关键营养素、 抗营养成分以及植物次生代谢物*

第一节 背 景

1. 玉米作为食品和饲料的生产

玉米是世界上仅次于小麦和水稻的第三大粮食作物。作为商业作物，玉米已在全球 25 个以上的国家种植。非甜质玉米在墨西哥和中美洲已经种植了 8000 年，在欧洲已种植了 500 年。玉米是天然的异花授粉植物，直至 1925 年左右自然授粉的玉米品种才得以种植。现在种植的玉米主要是杂交玉米。为了生产杂交种子，需在花粉散落前从植株中去除雄穗，这样花丝就只能接受一种类型的花粉。该种子长出的杂交植株生活力更强、产量更高。自美国 1930 年开始种植杂交甜玉米以来，欧洲 1979 年也开始种植，这种玉米通过杂交引入了一个糖基因。爆裂玉米是一种小作物，主要在美国栽培应用 (Jugenheimer, 1976)。

全球每年生产玉米大约为 60 000 万吨 (Corn Refiners Association, USA, 2001; Pingali, 2001)。在欧盟，玉米的年总产量为 3 890 万吨。美国和中国为两个主要的玉米生产国，年产量分别占世界玉米年产量的 43.2% 和 17.9%。欧盟种植的玉米占世界玉米总产量的 6.6%。美国种植的甜玉米占世界甜玉米总产量的 81%，而欧盟种植的甜玉米只占 7%。*

表 1 2000/2001 年世界玉米产量

	产量 (Mt)	占总产量的百分比
美国	253.2	43.2
中国	105.0	17.9
欧盟	38.9	6.6
巴西	38.5	6.6
墨西哥	18.5	3.2
阿根廷	15.0	2.6
印度	12.0	2.0
南非	8.0	1.4

* Originally published by OECD in English under the title: "Consensus Document on Compositional Considerations for New Varieties of Maiza (*Zea Mays*): Key Food and Feed Nutrients, Anti-nutrients and Secondary Plant Metabolites" © 2002 OECD.

(续)

	产量 (Mt)	占总产量的百分比
加拿大	6.8	1.2
印度尼西亚	6.2	1.1
埃及	5.8	1.0
南斯拉夫	5.5	0.9
匈牙利	4.5	0.8
泰国	4.4	0.8
菲律宾	4.3	0.7
罗马尼亚	4.0	0.7

资料来源: Corn Refiners Association, USA 2001^①。①

在欧盟, 290 万吨的玉米被用作食品, 2 100 万吨用作饲料 (Eurostatistics, 1994)。1995—1997 年, 全球 66% 的玉米被用于生产动物饲料, 17% 用于人类消费。在发展中国家, 30% 的玉米用于人类消费, 57% 用作动物饲料; 而在同一时期的欧洲、北美及其他高收入国家, 只有 4% 的玉米用于人类消费, 76% 用作动物饲料 (Pingali, 2001)。1995 年, 欧洲甜玉米消费量中 79 000 吨为冷冻玉米, 298 000 吨为罐装玉米, 45 000 吨为鲜食玉米 (APGM, 1996)。

大田玉米及其产品主要用于如下食品 (油、粗玉米粉、饼粕、面粉、酒精、糖浆、淀粉) 和饲料 (玉米壳、玉米麸、玉米粥)。甜玉米及其产品用于如下食品 (玉米子粒, 饼粕) 和饲料 (玉米壳, 占体积的 60%~65%)。爆裂玉米子粒用于制作爆米花, 是糕点的基础用料。

2. 玉米的加工

湿磨

玉米子粒由坚硬的外层 (果皮)、胚芽和胚乳组成 (NCGA, 1999)。果皮为坚硬的纤维外壳, 由纤维素和半纤维素组成, 为了利于消化和加工, 需去除这层外壳 (Eckhoff 和 Paulsen, 1996)。玉米子粒中果皮顶部 (尤其在浸泡过程中的软化, 有利于子粒加工。胚芽是玉米子粒中唯一的活性部位, 其干重中 50% 为胚芽油, 而胚乳则含 70% 的淀粉 (White 和 Pollak, 1995)。已经设计了很多加工步骤来分离玉米子粒的组分, 并将其加工成多种食品 (67%) 和饲料 (33%) (Newcomb, 1995)。湿磨是最重要的加工方法, 这种方法应用的现代技术见图 1。

普通的黄玉米通常采用湿磨法加工。不过, 据估计, 糯玉米可能占加工玉米的 1/3, 少量的高直链淀粉也用于加工 (White 和 Pollak, 1995)。利用湿磨法加工玉米应尽可能清洗彻底, 然后在热水 (49~54℃) 和二氧化硫 (0.1%~0.2%) 中浸泡, 以软化果皮。

① 来源于: 美国农业部海外农业局 (U. S. Department of Agriculture, Foreign Agricultural Service)。根据当地的销售年数据, 以千吨表示。2001 年 5 月 17 日, 位于华盛顿的玉米加工协会 (Corn Refiners Association) 在网页: www.corn.org 上进行了更新。

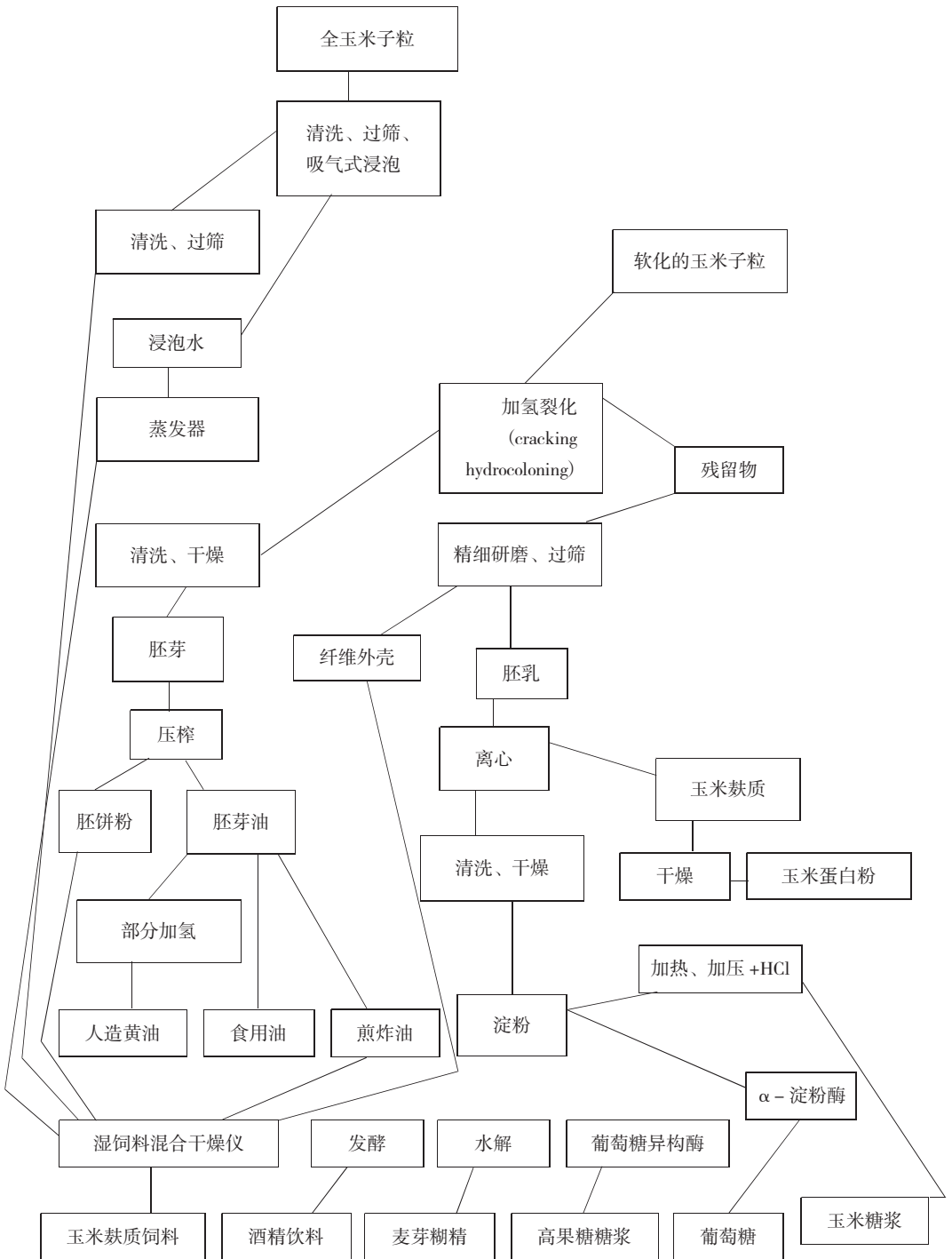


图 1 玉米的湿法加工

附在玉米表面的水溶性营养素将溶入排出及蒸发的水中，剩下的可溶物与洗出物和筛余物

混在一起用于生产玉米麸质饲料。通过机械或水力旋流（一种将玉米胚芽与胚乳分类的浮选过程）而将软化的玉米子粒粉碎。玉米胚芽经过压榨分离提炼出人们所用的黄油、烹饪油和煎炸油。压榨的胚芽干燥后可加入到玉米麸质饲料中。将胚乳磨碎，并通过筛子除去纤维外壳后可一并加入到玉米麸质饲料中。将过筛的胚乳离心，可从麸质中分离出淀粉。麸质进行干燥后可用作玉米蛋白粉的生产。通过清洗和干燥后就获得湿磨的主要产物——玉米淀粉。大约 40% 的淀粉作为食品直接消费或用于其他工业领域，60% 的淀粉用于生产各种甜味剂（White 和 Pollak, 1995）。玉米甜味剂（玉米糖浆）匀称，果糖、葡萄糖和麦芽糊精含量高。玉米甜味剂主要用于生产糖浆，其果糖含量为 55% 左右，果糖比蔗糖甜很多。麦芽糊精虽然不甜，但是他可使食品具有黏性、口感好。淀粉是酒精饮料发酵中糖的主要来源，淀粉酶解产生的葡萄糖在食品中用途广泛。

干磨

干磨是加工食用和饲用玉米子粒最古老的方法，是 3 种加工方法中的一种（见图 2）。第一种加工方法是在过筛和清洗后用石磨研磨。磨石研磨在非洲、拉丁美洲和亚洲广泛应用，在美国和加拿大用的是小石磨（White 和 Pollak, 1995）。由于玉米粉的含油量高，但全玉米粉的贮存期短、香味稳定性差，因此工业上用可除油的加工方法生产精炼的玉米产品。

第二种加工方法为干磨酒精工艺，用于生产商用酒精（Eckhoff 和 Paulsen, 1996）。它是将玉米子粒进行清洁、研磨、煮熟、糖化后，放入发酵罐中将淀粉发酵为酒精。其副产物可溶性干酒糟是重要的牲畜饲料。

第三种加工方法是回火除胚芽系统，是食品工业应用最为广泛的方法。该方法是将玉米子粒在水中浸泡以加强果皮和胚芽的硬度，保护其免受随后的机械分离过程而破碎，同时还可将玉米进行清洁和回火。然后去胚芽、干燥，进行机械分离。去胚芽的首选设备是 Beall 型破碎去芽机，也可以使用其他类型的机器，如谷物消毒机、制粒机、盘式磨粉机、滚筒式磨粉机、去皮机（Eckhoff 和 Paulsen, 1996）。胚芽是否分离干净是下游分离过程中能否获得高质量产品的首要因素，因此回火和去胚芽为该加工方法的关键步骤。回火除胚芽系统通常产生的产物包括：片状玉米渣（12%），粗玉米粉（15%）、精玉米粉（23%）、玉米粕（6%）、面粉（4%）、油（1%）以及玉米粉渣（35%）。玉米麸皮的纤维含量高、热量低、易于吸水，是预加工食品中十分重要的添加剂，轧胚粉基本上只用于生产玉米片。精玉米粉可用于快餐、早餐和酿造工业。煮熟的粗玉米粉可作为早餐食用。玉米面粉可用于加工松饼、面包、面糊、烙饼、炸面圈、早餐食品以及加工肉时的黏合剂。干磨玉米产品可作为酿制啤酒的基质。玉米粉和全玉米子粒还可生产多种蒸馏烈性酒，在蒸馏威士忌的发酵过程中至少使用了 51% 的玉米（White 和 Pollak, 1995）。

玉米粉糊的生产

将玉米用碱（石灰）炒熟（85~95℃）并研磨，会产生一种称为湿润粉糊的物质。湿润粉糊是美国西南部、墨西哥、中美洲和南美等地普遍消费的玉米粉圆饼、玉米面豆卷、玉米粉圆饼片、炸玉米片的原材料。白玉米和黄玉米都可用于生产湿润粉糊，但马齿形玉米由于具有粉糊的优良的蒸煮特性并可提交成品的处理和机械品质，因而硬胚乳的马齿形玉米成为生产湿润首选。不过，通过改变烹饪时间也可以用软胚乳玉米生产品质优良的湿

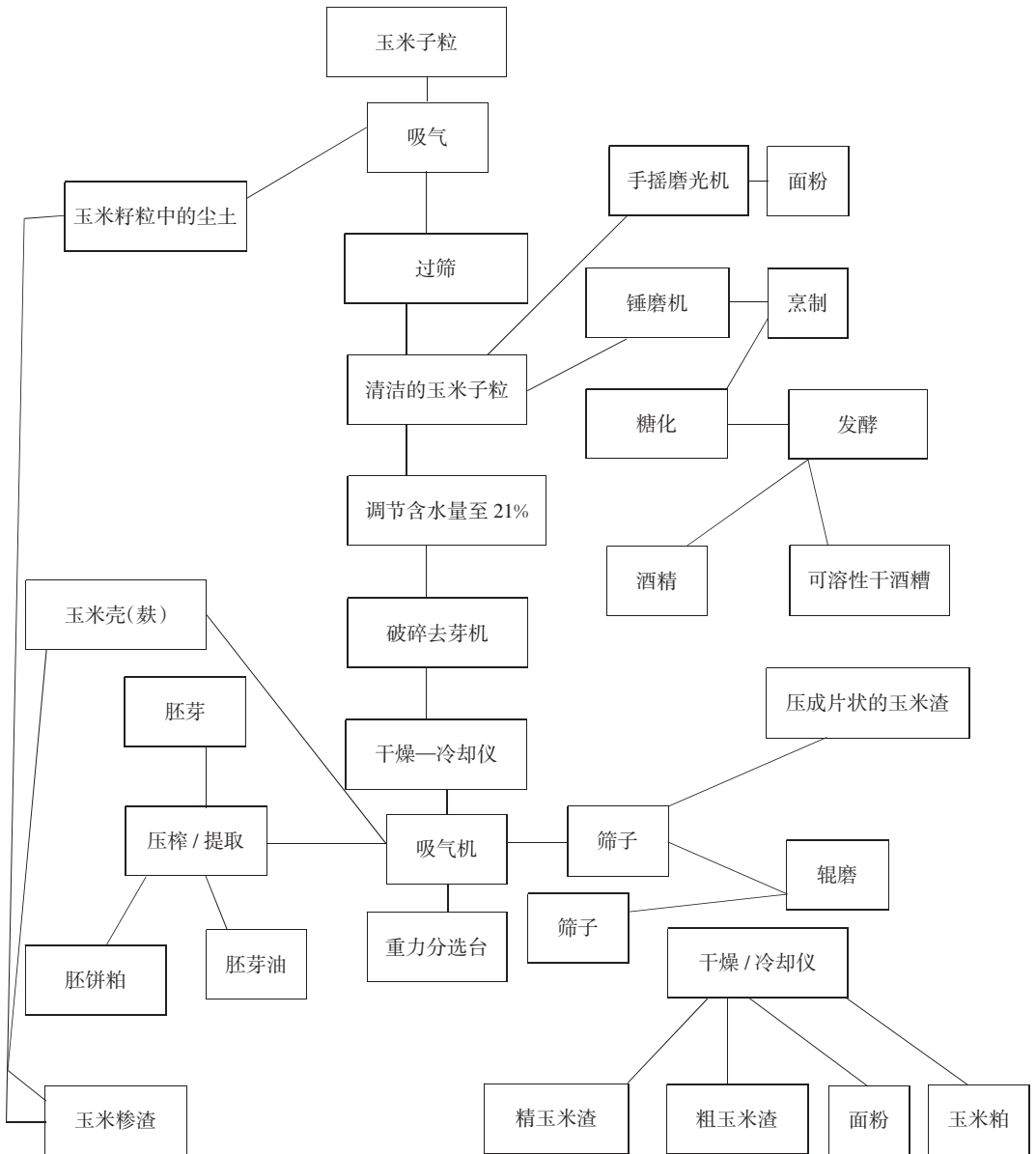


图2 玉米的干磨法

润粉糊。

饲料加工

如前所述，动物饲料是研磨过程中产生的副产品。全玉米植株也可用于生产动物饲料（主要为反刍动物饲料）。人们可在植物生长的各个阶段收获植株（通常在玉米穗形成后），但是通常在穗完全成熟前（即植株含水量为 35%~40% 时）进行机械收获。这种材料可直接饲喂动物或作为青贮饲料保存于气密青贮塔或深沟或坑中以防止氧化（得到的青贮饲料在无氧条件下老化）。这种青贮饲料仍可保留 90% 的营养成分（Ensminger *et al.*，

1990)。如果让穗继续成熟，待含水量降到 15% 左右便可用机械进行收获和脱粒。玉米秆可在田间被反刍动物取食，也可收获后用作粗粮或动物垫料。干玉米穗可在机械研磨后饲养反刍动物，或用于脱粒。如果收获玉米子粒的含水量超过 13% 左右，即要进行干燥或将其贮存在气密青贮塔中，以作为反刍动物或猪的高含水量饲料。玉米穗轴可用于动物饲料或商业生产。玉米子粒主要用来生产饲料，可以全玉米子粒或碾压（碾碎）、磨碎及蒸汽压成片状玉米饲养反刍动物，在粗饲料含量低于 20% 时，不同加工方法所生产产品的消化性和净能量差异很小（NRC，1996）。用玉米子粒饲养猪和家禽时，通常将其研磨或碾碎，但是在家禽饲养中更常用的是将其制成颗粒（Newcomb，1995）。饲养宠物时，通常将玉米研磨、炒熟、制成颗粒或压榨。常用的饲料加工方法见图 3。

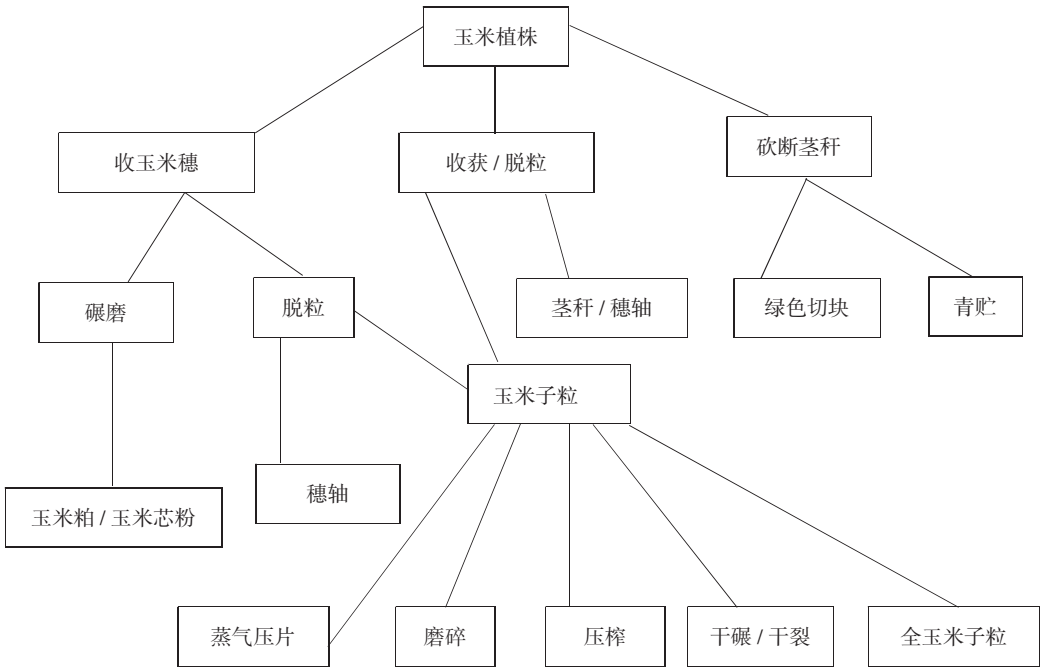


图 3 玉米的饲料加工

3. 新品种实质等同性测试的非转基因对照品种

本报告建议了玉米研发人员应当测定的参数。研发人员应当将新品种中获得的数据与在同一条件下近等基因系的非转基因品种中获得的数据进行比较，也可与本报告中列出的常规对应品种的文献报道值进行比较。本文所讨论食品源的重要成分包括关键营养素和毒素。关键营养素是指对整个食物可能产生重要影响的某一特定产品成分，这些成分包括主要营养素（脂肪、蛋白质和碳水化合物）和微量营养素（维生素和矿物质）。关键毒素是在物种中天然存在的具有重要毒理学意义的物质，即毒性强度和含量会影响人类和动物健康的化合物。类似地，也应当考虑已知抗营养因子和致敏原的含量。作为比较分析的一部分内容，应当选择次生代谢物（它在某物种中的特征已知）进行分析，以进一步说明遗传改良是否会对代谢产生非预期影响。

4. 玉米开发中参照的常规特征

新品种是否适合于商业销售，最主要的依据是发产品的表型特征。选择玉米新品种时，育种人员首先要查阅亲本数据，然后在产品开发的各个阶段评价各个参数。在玉米生长早期，育种人员要记录苗数并计算出苗的生活力。随着植株的不断成熟应评价病害发生状况，如灰霉叶斑病、炭疽病、镰刀菌和玉米丝黑穗病的侵染。在接近成熟或达到成熟时，应对倒伏情况、折断情况、吐丝期和散粉期进行监测，并测定成熟植株的株高、穗位高叶耳的苞叶，收获后应测定玉米的产量、含水量和子粒容重。有些情况下，遗传改良会使某些成分特异性增加，育种人员需要对这些成分进行分析（UPOV, 1994）。

第二节 玉米和玉米产品的营养素

1. 玉米子粒

如果要在成熟时收获马齿形玉米，“乳熟程度”、“蜡熟程度”和“凹陷程度”可指示玉米子粒是否进入成熟期。玉米子粒由胚乳（含淀粉）和胚芽（含油）组成。胚乳和胚芽包裹于果皮（纤维素）外层。玉米成熟时（通常在授粉后 50~60 d），含水量一般为 30%（White 和 Pollack, 1995）。甜玉米在子粒进入乳熟期时收获，此时含水量为 75%左右。爆裂玉米子粒的含水量为 10%左右。应当指出，由于遗传条件、环境条件和农艺条件的不同，一些成分（如矿物质）的数值会发生显著变化（FAO, 1992）。除了常见的玉米品种外，人们已经开发出了一些玉米品种，其赖氨酸和色氨酸（玉米蛋白中两个限制性氨基酸）的含量提高。其他专用型玉米的含油量、直链淀粉以及支链淀粉的含量分别有所提高（糯玉米）（Jugenheimer, 1976）。如果某一特定成分的特征值在某一专用型玉米中发生了改变，且其数值在科学文献报道的范围之外，则需要将其与亲本进行比较。

表 2 玉米子粒的组分分析

参考项		Wat82	Wat87	USDA01 ^①	Sou00 ^①	NRC ^{①②}	商业品种的范围 ^③	范围
含水量	占鲜重百分比		7~23	10.37	12.0~13.0	10~11.9	9.4~14.4	7~23
蛋白质	占干重百分比	8.1~11.5	6~12	10.5 ^④	9.37~12.1 ^⑤	9.3~9.8	9.57~12.7	6~12.7
总脂肪	占干重百分比	3.9~5.8	3.1~5.7	5.29 ^④	3.66~4.91 ^⑤	4.1~4.4	3.6~5.3	3.1~5.8
灰分	占干重百分比	1.27~1.52	1.1~3.9	1.34 ^④	1.28~1.73 ^⑤	1.5	1.28~1.5	1.1~3.9
中性洗涤纤维（总纤维）	占干重百分比	8.3~11.9	8.3~11.9			9.5~10.8	10.1~11.7	8.3~11.9
酸性洗涤纤维（纤维素）	占干重百分比	3.0~4.3	3.3~4.3			3.1~3.3	3.7	3.0~4.3

(续)

参考项		Wat82	Wat87	USDA01 ^①	Sou00 ^①	NRC ^{①②}	商业品种的范围 ^③	范围
总食用纤维	占干重百分比				11.1 ^⑤			
碳水化合物	占干重百分比			82.85 ^④			82.2~82.9	82.2~82.9

注：①可能包括转基因品种。

②这一数值摘自 NRC (1994), NRC (2000), NRC (1998) 和 NRC (2001)。根据报道的 11% 的含水量将其数值按干重折算。

③非转基因对照的商业产品的数值范围，由 AgrEvo (1998)、Dow AgriSciences (2000)、Monsanto (1997、2000) 和 Pioneer Hi-Bred (1998) 的数据汇编成。

④占总重量的百分比，根据报道的 10.37% 的含水量计算得出。

⑤占总重量的百分比，根据报道的 12.50% 的平均含水量（报道的范围为 12.0%~13.0%）计算得出。

⑥玉米的组分分析通常包括酸性洗涤纤维和中性洗涤纤维。酸性洗涤纤维和中性洗涤纤维这一术语常用于饲料工业中，是比较方便获得的数据。不过，就食品而言，尽管应用不同的定义和分析方法（见 USA Panel on the Definition of Dietary Fibre, 2001），但仍主要采用膳食纤维这一概念。将美国官方化学分析家协会（Association of Official Analytical Chemists, AOAC）推荐的分析方法加以改进，获得了总膳食纤维的数值。据此测定的总膳食纤维包括木质素和非淀粉类多糖（包括纤维素、半纤维素和果胶）

表 3 甜玉米和爆裂玉米子粒的组分分析

参考项		甜玉米				爆裂玉米	
		NEVO01 ^{①②}	USDA01 ^①	Sou00 ^①	范围	NEVO01ac ^{①③}	USDA01 ^{①④}
含水量	占鲜重百分比	84	75.95	74.70	74.70~84	10	4.10
蛋白质	占干重百分比	15.6 ^⑤	13.4 ^⑤	11.3~14.6 ^⑥	11.3~15.6	12.2 ^⑤	12.5 ^⑤
总脂肪	占干重百分比	8.75 ^⑤	4.91 ^⑤	4.86 ^⑥	4.86~8.75	4.4 ^⑤	4.38 ^⑤
灰分	占干重百分比		2.58 ^⑤	2.77~3.86 ^⑥	2.58~3.86		1.88 ^⑤
总膳食纤维	占干重百分比	15.6 ^⑤	11.2 ^⑤		11.2~15.6	5.56 ^⑤	15.7 ^⑤
碳水化合物	占干重百分比	72.5 ^⑤	79.18 ^⑤		72.5~79.18	79 ^⑤	81.2 ^⑤

注：①可能包括转基因品种。

②煮熟的玉米子粒数。

③干玉米子粒。

④气热式爆裂子粒。

⑤占总重量的百分比，根据指定的含水量数值计算得出。

⑥占总重量的百分比，根据 74.70% 的平均含水量（报道的范围为 73.90%~75.60%）计算得出。

表 4 玉米子粒中矿物质和维生素的含量

参考项		Wat82	Wat87	USDA01 ^{①②}	Sou00 ^{①③}	NRC ^{①④}	商业品种的范围 ^⑤	范围
钠	mg/100g	0~150	0~150	39	1.1~11	10~22		0~150
钾	mg/100g	320~720	320~720	320	340	340~440	360~370	320~720
钙	mg/100g	10~100	10~100	7.8	4.4~22	22~40	3~5	3~100
磷	mg/100g	260~750	260~750	234	190~290	300~320	290~320	234~750
镁	mg/100g	90~1 000	90~1 000	142	82~140	120~130	120~130	82~1 000
铁	mg/100g	0.1~10	0.1~10	3.02	1.7	3.3~5.5	2.3~2.5	0.1~10
铜	mg/100g	0.09~1.0	0.09~1.0	0.35	0.27	0.25~0.34	0.19~0.21	0.09~1.0
硒	mg/100g	0.004 5	0.001~0.1	0.017	0.005~0.018	0.003 4~0.014		0.001~0.1
锌	mg/100g	1.2~3.0	1.2~3.0	2.47	1.9	2.0~2.7	2.0~3.0	1.2~3.0

维生素 A	mg/kg RE ^⑥	2.5 IU ^⑥ /g	2.5 mg/kg	0.52	0.49~2.18			0.49~2.18
维生素 B ₁ (硫胺)	mg/kg	3.0~8.6	3.0~8.6	4.3	2.3~6.9	3.9	3.5	2.3~8.6
维生素 B ₂ (核黄素)	mg/kg	0.25~5.6	0.25~5.6	2.2	1.1~2.7	1.1~1.3	5.6	0.25~5.6
维生素 B ₆ (盐酸吡哆辛)	mg/kg	9.6	5.3	6.9	4.6	5.6~7.9		4.6~9.6
维生素 C (抗坏血酸)	mg/kg			0	0			
维生素 E	mg/kg	3.0~12.1	17~47 IU/kg	8.4 mg/kg ATE ^⑥	4.1~31.1 mg 维生素 E 的作用 ^⑥	9.3~25 ATE		
叶酸, 总的叶酸	mg/kg			0.21 (叶酸=0)	0.23~0.46 mg/kg 叶酸	0.17~0.45		
烟酸 (尼可酸)	mg/kg	9.3~70	9.3~70	40.5	11~23 mg/kg 烟酰胺	27		9.3~70

注：所有数值均以干重表示。

①可能包括转基因品种。

②占总重量百分比，根据报道的 10.37% 的含水量计算得出。

③占总重量的百分比，根据 12.50% 的平均含水量（报道的范围为 12.0%~13.0%）计算得出。

④这一数值摘自 NRC (1994)，NRC (2000)，NRC (1998) 和 NRC (2001)。根据报道的 11% 的含水量将其数值按干重折算。

⑤非转基因对照的商业品种的范围，由 AgrEvo (1998)、Dow AgriSciences (2000)、Monsanto (1997、2000) 和 Pioneer Hi-Bred (1998) 数据汇编成。

⑥RE=视黄醇，IU=国际单位，ATE= α 生育酚=维生素 E。

资料来源：Watson, 1982、1987；USDA, 2001；Souci *et al.*, 2000；NRC, 1994、1998、2000、2001。

表 5 甜玉米和爆裂玉米子粒中矿物质和维生素的含量

参 考 项		甜玉米				爆裂玉米	
		NEVO01 ^{①②}	USDA01 ^①	Sou00 ^③	范围	NEVO01 ^{①④}	USDA01 ^{①⑤}
钠	mg/100g	6.3	62	0.59~1.98	0.59~62	5.6	4.2
钾	mg/100 g	1 560	1 120	900~1 150	900~1 560	278	314
钙	mg/100 g	69	83	8.6~13.7	8.3~69	22	10
磷	mg/100 g	625	370	320~328	320~625	278	313
镁	mg/100 g	281	154	106~120	106~281		137
铁	mg/100 g	3.1	22	1.6~2.3	1.6~3.1	3.3	2.77
铜	mg/100 g	0.25	0.22	0.08~0.18	0.08~0.25		0.44
硒	mg/100 g	微量	0.025	0.002 5~0.011	0.002 5~0.025		0.10
锌	mg/100 g	6.25	1.9	2.21~3.95	1.9~6.25		3.59
维生素 A	mg /kg RE ^⑥	0.44	1.16	0.40	0.40~1.16	0.89	0.21
维生素 B ₁ (硫胺)	mg /kg	7.5	8.3	5.9	5.9~8.3	3.3	2.1
维生素 B ₂ (核黄素)	mg /kg	4.4	2.5	4.7	2.5~4.7	0.89	3.0
维生素 B ₆ (盐酸吡哆辛)	mg /kg	6.3	2.3	8.7	2.3~8.7	2.4	4.7
维生素 C (抗坏血酸)	mg /kg	0	283	470	283~470	0	0
维生素 E	mg /kg	56	3.7 mg/kg ATE ^⑦	3.75 mg/kg 维生素 E _g ^⑦			1.25 mg/ kg ATE
叶酸, 总的	mg /kg	2.1	19.2	1.7		0.12	2.4
烟酸 (尼可 酸)	mg /kg	106	70.8	67.2		11	20.3

注：所有数值均以干重表示。

①可能包括转基因品种。

②占总重量的百分比，根据表 3 指示的含水量计算得出。

③占总重量的百分比，根据 74.70% 的平均含水量（报道的范围为 73.90%~75.60%）计算得出。

④煮熟的玉米子粒。

⑤干玉米子粒。

⑥气热式爆裂子粒。

⑦ATE=α生育酚=维生素 E 的作用。

资料来源：USDA, 2001；NEVO, 2001；Souci *et al.*, 2000。

表 6 玉米子粒中氨基酸的组成

参考项	大田玉米							甜玉米	爆裂玉米
	Wat82 ^①	Whi95 ^②	USDA01 ^{③④}	Sou00 ^{③⑤}	NRC ^{③⑥}	商业品种的范围 ^⑦	范围	NEVO-01 ^{③④⑤}	USDA-01 ^{③④⑧}
必需氨基酸									
甲硫氨酸	0.10~0.21	0.16~0.25	0.22	0.10~0.46	0.19~0.20	0.17~0.28	0.10~0.46	0.28	0.26
半胱氨酸	0.12~0.16	0.20~0.27	0.19	0.08~0.32	0.20~0.21	0.17~0.26	0.08~0.32	0.11	0.23
赖氨酸	0.20~0.38	0.26~0.34	0.30	0.05~0.55	0.27~0.30	0.21~0.38	0.05~0.55	0.57	0.35
色氨酸	0.05~0.12	0.04~0.06	0.07	0.05~0.13	0.07~0.07	0.05~0.08	0.04~0.13	0.10	0.09
苏氨酸	0.29~0.39	0.28~0.39	0.39	0.37~0.58	0.33~0.33	0.27~0.49	0.27~0.58	0.54	0.47
异亮氨酸	0.26~0.40	0.27~0.38	0.38	0.40~0.71	0.31~0.33	0.22~0.50	0.22~0.71	0.54	0.45
组氨酸	0.20~0.28	0.24~0.32	0.32	0.15~0.38	0.26~0.29	0.21~0.38	0.15~0.38	0.37	0.38
缬氨酸	0.21~0.53	0.39~0.52	0.53	0.49~0.85	0.38~0.45	0.30~0.61	0.21~0.85	0.77	0.63
亮氨酸	0.79~1.54	0.98~1.38	1.29	1.04~2.41	1.05~1.14	0.84~1.84	0.79~2.41	1.45	1.54
精氨酸	0.29~0.60	0.36~0.51	0.52	0.22~0.64	0.42~0.43	0.27~0.57	0.22~0.64	0.54	0.62
苯丙氨酸	0.29~0.58	0.39~0.54	0.52	0.37~0.58	0.43~0.44	0.32~0.64	0.29~0.64	0.62	0.62
甘氨酸	0.26~0.47	0.32~0.41	0.43	0.49	0.38	0.29~0.45	0.26~0.49	0.53	0.51
非必需氨基酸									
丙氨酸	0.65~1.00	0.59~0.79	0.79	0.88~0.95		0.56~1.04	0.56~1.04	1.23	0.94
天冬氨酸	0.59~0.73	0.52~0.71	0.73	0.67~0.72		0.48~0.85	0.48~0.85	1.01	0.87
谷氨酸	1.25~1.98	1.46~2.01	1.97	1.99~2.15		1.26~2.58	1.25~2.58	2.65	2.35
脯氨酸	0.67~1.04	0.71~0.99	0.92	1.06~1.36		0.63~1.16	0.63~1.36	1.21	1.09
丝氨酸	0.42~0.56	0.35~0.49	0.50	0.57~0.61	0.42	0.37~0.91	0.35~0.91	0.64	0.60
酪氨酸	0.29~0.47	0.22~0.34	0.43	0.22~0.79	0.28~0.34	0.12~0.48	0.12~0.79	0.51	0.51

注：①占总氨基酸的百分比（10.1%的总蛋白）。

②占总氨基酸的百分比（8.74%的总蛋白）。

③可能包括转基因品种。

④在干重基础上计算得出的数值。

⑤占总重量的百分比，根据 12.50% 的平均含水量计算得出。

⑥数值摘自 NRC (1996)，NRC (1998) 和 NRC (2001)。占总重量的百分比，分别根据 12.00% 和 11.00% 的平均含水量计算得出。NRC (2001) 的数值是根据粗蛋白含量为干重的 9.4% 这一数值而计算出的粗蛋白百分比。

⑦非转基因对照的商业品种的范围，根据 AgrEvo (1995、1998)、Dow AgriSciences (2000)、Monsanto (1995、1997、2000) 和 Pioneer Hi-Bred (1998) 数据编写。

⑧气热式爆裂子粒。

资料来源：Watson, 1982；White 和 Pollack, 1995；USDA, 2001；Souci *et al.*, 2000；NRC, 1994、1998、2001。

表 7 玉米子粒中脂肪酸的组成

参考项	大田玉米					甜玉米	爆裂玉米
	USDA01 ^{①②}	Sou00 ^{①③}	NRC ^{①④}	商业品种的范围 ^⑤	范围	NEVO01 ^{①②}	USDA01 ^{①②⑥}
16:0 棕榈酸	0.63	0.29~0.79	0.70	0.30~0.37	0.29~0.79	0.71	0.52
18:0 硬脂酸	0.084	0.04~0.17	0.11	0.05~0.08	0.04~0.17	0.046	0.073
18:1 油酸	1.39	1.26	1.31	0.70~1.03	0.70~1.39	1.44	1.15
18:2 亚油酸	2.34	0.67~2.81	2.04	1.80~2.21	0.67~2.81	2.25	1.92
18:3 亚麻酸	0.073	0.03~0.08	0.10	0.03~0.04	0.03~0.08	0.067	0.063

注：①可能包括转基因品种。

②在干重基础上计算的数值。

③占总重量的百分比，根据 12.50% 的平均含水量计算得出。

④占总重量的百分比，NRC (1994) 的数值是根据 11% 的平均含水量计算得出。

⑤非转基因对照的商业品种范围，由 Aventis (1999)、Monsanto (1996b)、Monsanto (2000) 数据整理而成。

⑥气热式爆裂子粒的数值。

资料来源：USDA, 2001; Souci et al., 2000; NRC, 1994。

2. 油

通过湿磨法可生产玉米油。胚芽中的玉米油主要由甘油三酸酯 (TG) (75%~92%) 组成。未加工的玉米油含 95.6% 的甘油三酸酯和 1.7% 的游离脂肪酸 (FFA)。精炼的玉米油含 98.8% 的甘油三酸酯和 0.03% 的游离脂肪酸油酸 (Anderson 和 Watson, 1982)。表 6 中不包括含量低于 1% 的脂肪酸。玉米油主要用于色拉油和烹饪油、蛋黄酱和黄油、煎炸油以及酱油和汤的制作中。据报道，在精炼油生产过程中，蛋白质含量已低至 100 mg/ml 以下，甚至于检测水平 (Federal Register, 2000; EPA, 2001)。

表 8 玉米子粒中脂肪酸的组成

	USDA01 ^{①②}	Codex99 ^①	And82	Ort87
16:0 棕榈酸	11.4	8.6~16.5	11.5	11.0±0.5
18:0 硬脂酸	1.9	0~3.3	2.0	1.8±0.3
18:1 油酸	25.3	20.0~42.2	24.1	25.3±0.6
18:2 亚油酸	60.7	34.0~65.5	61.9	60.1±1.0
18:3 亚麻酸	0.73	0~2.0	0.7	1.1±0.3

注：①可能包括转基因品种。

②占油含量的百分比。

资料来源：USDA, 2001; Codex Alimentarius, 1999; Anderson 和 Watson, 1982; Orthoefer 和 Sinram, 1987。

3. 粗玉米粉、玉米粕、面粉、麸皮

粗玉米粉、玉米粕和面粉是玉米去芽干磨加工得到的产品。麸皮为其加工副产品。粗玉米粉不仅可用于制作谷类食品和小吃，也可用来生产酒精饮料，玉米粕用于制作面包和松饼，面粉用于制作薄烤饼和小吃。麸皮是食物的纤维来源。干磨玉米产物的通常组成为 7%~8% 的蛋白质，灰分或纤维，77%~79% 的淀粉 (以干重计算为 88%~90%) (Al-

exander, 1987)。

表 9 粗玉米粉、面粉和玉米粕的组分分析 (以占干重的百分比表示)

参考项	粗玉米粉			面粉			玉米粕		
	Ale87	And82	USDA01 ^①	Ale87	And82	USDA01 ^①	Sou00 ^①	And82	USDA01 ^①
含水量 ^①	11.5	12	10	13	12	9.81	12.00	12	11.59
蛋白质	8.47	9.9	9.78	6.0	8.9	6.13	7.65~11.38	9.0	9.59
碳水化合物	90.2	88.8	88.4	90.7	87.3	90.7		89.1	87.9
脂肪	0.79	0.91	1.33	2.3	3.0	1.52	1.77~4.43	1.36	1.87
粗纤维	0.23	0.45		0.57	0.80				
总的食用纤维 ^②			1.78			2.08	10.7	0.68	8.4
灰分	0.34	0.45	0.44	0.46	0.91	0.50	1.30~1.36	0.57	0.68

注：①可能包括转基因品种。

②占玉米油百分比。

资料来源：USDA, 2001；Codex Alimentarius, 1999；Anderson 和 Watson, 1982；Orthofer 和 Sinram, 1987。

表 10 粗玉米粉、面粉和玉米粕中的矿物质含量

参 考 项		粗玉米粉	面 粉		玉米粕
		USDA01	USDA01	Sou00	USDA01
钠	mg/100g	1.1	1.1	0.80	3.4
钾	mg/100 g	152	99	136	183
钙	mg/100 g	2.2	2.2	11~30	5.7
磷	mg/100 g	81	66		95
镁	mg/100 g	30	20	53	45
铁	mg/100 g	1.1	1.0	2.7	1.2
铜	mg/100 g	0.083	0.16		0.088
硒	mg/100 g	0.19	0.088		0.088
锌	mg/100 g	0.46	0.41		0.81
维生素 A	mg /kg RE ^①	4.9	0.55	0.57	4.6
维生素 B1 (硫胺)	mg /kg	1.44	0.81	4.3~5.6	1.58
维生素 B2 (核黄素)	mg /kg	0.44	0.64	1.3~1.9	0.57
维生素 B6 (盐酸吡哆辛)	mg /kg	1.63	1.06	0.68	2.91
维生素 C (抗坏血酸)	mg /kg	0	0	0	0
维生素 E	mg /kg ATE ^①	2.9	3.6		3.7
叶酸, 总的	mg /kg	0.56	5.3	0.11 mg/kg 叶酸	5.4
烟酸 (尼可酸)	mg /kg	13.3	29.1	19~23.5 mg/kg 烟酰胺	11.3

注：占干重百分比，总的干重以 100 g 计，可能包括转基因品种的数据。

①RE=视黄醇，ATE= α -生育酚。

资料来源：USDA, 2001；Souci *et al.*, 2000。

4. 淀粉

淀粉是玉米湿磨加工得到的成分。大约 60% 的淀粉会被加工成（通过酸解或酶解）甜味剂（糖浆）和酒精。剩下的 40% 用作食品或用于工业生产。淀粉中的脂类主要是游离脂肪酸（Anderson 和 Watson, 1982）。淀粉被用于各种产品中，包括烤制产品、婴儿食品、酱油、敷料剂和汤。玉米通常含 0.4%（SCF, 1999）或 0.6%（Federal Register, 2000）的残余蛋白，而淀粉水解产物含 100~200 ppm 的蛋白质（SCF, 1999）。

5. 饲料

玉米蛋白粉和麸质饲料是玉米湿磨加工的副产品。玉米粉渣和具有可溶物的玉米干酒糟是玉米干磨加工的产物。玉米蛋白粉中蛋白质（65%~69%）和类胡萝卜素的含量高，麸质饲料中蛋白质含量（24%~25%）中等，纤维素含量高。玉米粉渣中蛋白质含量与麸质饲料中纤维的含量基本相等，而具有可溶物的玉米干酒糟中蛋白质含量中等（29%），高于纤维产物。所有玉米产品中赖氨酸和钙的含量较低，但将玉米及其产品用于加有豆粕的饲料中时，饲料的氨基酸组成便可满足大多数家畜的营养需求。

表 11 玉米淀粉的组分分析（以占干重的百分比表示）

参考项	And82	USDA01 ^①	Sou00 ^①
含水量	11	8.32	11~12.6
蛋白质	0.39	0.28	0.30~0.78
脂类	0.61	0.055	0~0.23
碳水化合物	98.9	99.55	
纤维	0.11 ^②	0.98 ^③	
灰分	0.11	0.098	0.07~0.34

注：①可能包括转基因品种。

②测定的是粗纤维。

③测定的是总膳食纤维（AOAC 法）。

资料来源：Anderson 和 Watson, 1982；USDA, 2001；Souci *et al.*, 2000。

表 12 玉米动物饲料产品的组分

参 数		玉米蛋白粉	麸质饲料	玉米粉渣	酒糟 w/可溶物	玉米青贮饲料	玉米子粒 ^②
含水量	占鲜重百分比	86~90	90	90	90.2~93.0	62~78	7~23
蛋白质	占干重百分比	65.0~68.9	23.98~24.4	11.4~11.56	29.7~29.5	4.7~9.2	6~12.7
中性洗涤剂纤维	占干重百分比	9.17~14.00	33.5~37.0	23.0~38.8	45.0	40~48.2	8.3~10.8
酸性洗涤剂纤维	占干重百分比	5.00~5.11	11.89~12.1	6.2~9.0	17.53~19.7	25.6~34	3.0~4.3
脂肪	占干重百分比	2.5~3.22	2.77~3.33	5.7~8.89	9.03~10.00	1.5~3.2	3.1~5.8
灰分	占干重百分比	1.9	6.8~6.9	2.2~2.7	5.2~7.7	2.9~5.7	1.1~3.9

注：① Monsanto (1995), Monsanto (1996a), Monsanto (1996b), Monsanto (1997) Aventis (1999), Monsanto (1999) Dow Agrisciences (2000) 和 Monsanto (2000)。

②数据摘自表 2。

资料来源：BNF；NRC, 1994、1998、2001；Ensminger *et al.*, 1990。

表 13 玉米动物饲料产品中的常见矿物质、氨基酸和脂肪酸的含量

参 考 项		玉米蛋白粉	麸质饲料	玉米粉渣	干酒糟 w/可溶物	玉米青贮饲料	玉米子粒 ^①
钙	占干重的百分比	0.06~0.08	0.04~0.27	0.05~0.06	0.22~0.32	0.15~0.31	0.003~0.15
磷	占干重的百分比	0.49~0.56	0.55~1.00	0.48~0.57	0.83~1.40	0.20~0.27	0.23~0.75
精氨酸	占干重的百分比	2.02~2.14	0.91~1.16	0.52~0.62	1.21~1.22	0.17~0.34	0.22~0.64
组氨酸	占干重的百分比	1.33~1.42	0.68~0.79	0.22~0.31	0.74~0.74	0.16~0.17	0.26~0.37
异亮氨酸	占干重的百分比	2.67~2.76	0.74~0.98	0.40~0.44	1.10~1.11	0.29~0.34	0.22~0.71
亮氨酸	占干重的百分比	10.9~11.3	2.10~2.44	0.93~1.09	2.76~2.85	0.75~0.76	0.79~2.41
赖氨酸	占干重的百分比	1.10~1.14	0.65~0.71	0.42~0.44	0.67~0.67	0.22~0.33	0.05~0.55
甲硫氨酸	占干重的百分比	1.54~1.66	0.38~0.50	0.14~0.20	0.54~0.54	0.135~0.15	0.10~0.46
苏氨酸	占干重的百分比				1.44~1.45	0.34~0.40	0.29~0.64
苯丙氨酸	占干重的百分比	2.20~2.31	0.82~0.99	0.44~0.44	1.01~1.02	0.28~0.37	0.27~0.58
色氨酸	占干重的百分比	0.34~0.40	0.08~0.13	0.11~0.12	0.26~0.27	0.04~0.09	0.04~0.13
缬氨酸	占干重的百分比	3.02~3.10	1.06~1.16	0.54~0.58	1.40~1.40	0.39~0.47	0.48~0.59
半胱氨酸	占干重的百分比	1.21~1.22	0.51~0.57		0.55~0.56	0.118~0.12	0.08~0.32
甘氨酸	占干重的百分比						0.26~0.49
棕榈酸 16: 0	占干重的百分比						0.29~0.79
硬脂酸 18: 0	占干重的百分比	0.07					0.04~0.17
油酸 18: 1	占干重的百分比	0.68					0.70~1.39
亚油酸 18: 2	占干重的百分比	1.29~1.30					0.67~2.81
亚麻酸 18: 3							0.03~0.10

注：①钙和P的数据摘自表4，氨基酸数据摘自表6，脂肪酸数据摘自表7。

资料来源：Monsanto, 1995、1996；NRC, 1994、1998、2001；Ensminger *et al.*, 1990。

第三节 玉米中的抗营养成分和致敏原

1. 肌醇六磷酸

玉米中含有肌醇六磷酸，玉米中60%~75%左右的磷以肌醇六磷酸盐的形式存在(NRC, 1998)。由于肌醇六磷酸的存在，单胃动物中磷的生物利用率低于15%。反刍动物中的微生物产生的肌醇六磷酸酶，可降解肌醇六磷酸，释放出磷，因此反刍动物可利用更多的磷(Ensminger *et al.*, 1990)。现在饲料配方人员普遍将肌醇六磷酸加入到猪和家禽的饲料中，以提高磷的利用率。玉米子粒中的肌醇六磷酸占干重的0.45%~1.0%。

2. DIMBOA

2, 4-二羟基-7-甲氧基-2H-1, 4-苯并噻-3(4H)酮(2, 4-dihydroxy-7-methoxy-2H-1, 4-benzoxazin, DIMBOA)为异羟肟酸和苯并噻酮代谢物的一种，常见

于粮食作物中。DIMBOA 苷 (DIMBOA - glc) 是植物生长初期地上绿色组织和根组织中最主要的化合物 (Cambier *et al.*, 2000)。

玉米幼苗的绿色组织和根组织中的 DIMBOA - glc 含量变化很大, 不同品种会相差几个数量级 (大约 0~1 000 ppm 鲜重) (Xie *et al.*, 1992)。此外, 绿色组织形成过程中其含量也会发生变化, 发芽后几天内达到最大值, 随后在几周内降至十几至几分之一。

在受损伤的植物组织中, DIMBOA - glc 在酶的作用下去糖基, 变成 DIMBOA, DIMBOA 对昆虫有毒。但其毒性机制尚不清楚。DIMBOA 及其化合物对人和家畜的毒性与生理学效应很小。一份报告介绍了 DIMBOA 在 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 DIMBOA 的代谢物 MBOA 对野生啮齿动物的激素效应 (Korn, 1988)。不过, 关于 MBOA 对家畜具有激素效应的证据还不充分。

由于 DIMBOA 在不同玉米品种中含量变化很大, 且关于其毒理学的知识还不成体系, 因此表 15 中没有建议对玉米青贮饲料中的 DIMBOA 进行分析。

3. 棉子糖

棉子糖是一种不能被消化的寡糖, 即他在胃肠道中不能被降解。由于食用棉子糖后会产生气体并引起胃肠气胀, 因此它被称为抗营养成分 (Maynard *et al.*, 1979)。人们认为每日食用 15 g 不能消化的寡糖是安全的 (Voragen, 1998)。棉子糖并不是毒素, 但可引起身体不适。通过浸泡、烹饪、酶处理或溶剂处理以及辐射可除去食品和饲料中的棉子糖。

玉米中棉子糖的含量为 0.21%~0.31%, 甜玉米为 0.1% (Naczka *et al.*, 1997; Aung *et al.*, 1993; NOTIS Plus, 1999)。

4. 其他抗营养成分

玉米含有少量的胰蛋白酶抑制剂和胰凝乳蛋白酶抑制剂, 但人们普遍认为两者的营养学意义不大 (White 和 Pollak, 1995)。

5. 致敏原的鉴定

尽管在一些报道表明玉米会引起过敏反应, 但玉米并不是常见的致敏食品 (Hefle, 1996)。据报道, 玉米产生的过敏反应有皮肤病、胃肠道病以及呼吸方面的疾病。

第四节 植物次生代谢物

次生代谢物既不是营养素也不是抗营养成分, 但它对于成分分析和实质等同性分析十分重要 (OECD, 1997)。在实质等同性分析中, 可对选用的植物次生代谢物 (其特征值在物种中已知) 进行分析, 以进一步说明遗传改良是否对代谢产生了非预期效应。玉米中典型的植物次生代谢物包括糠醛和酚醛酸 (阿魏酸和香豆酸)。尽管糠醛的生物学功能未知, 但它可产生毒性, 酚醛酸会影响消化。但有的报道表明它们具有有益作用。

1. 糠醛

糠醛是一种杂环醛, 存在于多种蔬菜、水果和谷物中, 既可用于农药生产, 也可用于调味品生产。糠醛作为调味品成分, 通常当其含量比常规食品中的天然含量低 100 倍时,

FEMA 认为它是安全的。玉米中糠醛的含量低于 0.01 ppm (mg/kg) (Adams *et al.*, 1997)。

糠醛的急性毒性中等, 大鼠、小鼠和狗口服时 LD₅₀ 分别为 50~149mg/kg, 250~500mg/kg 和 650~950 mg/kg (Adams *et al.*, 1997)。在对鼠的急性和亚慢性研究中, 主要发现肝脏受到影响, 经口饲喂后产生遗传毒性和致癌活性的证据不足。糠醛被认为是一种口服致癌性不强的物质。应当避免食品中糠醛含量的增加 (Feron *et al.*, 1991)。通过加热可部分去除玉米产品中的糠醛。

2. 阿魏酸和香豆酸

阿魏酸和香豆酸这两种糠醛酸都是植物细胞结构和功能的组分 (Kroon 和 Williamson, 1999)。它们是防治害虫和真菌的天然农药。阿魏酸和香豆酸可见于蔬菜、水果和谷物中。它们也可作为添加剂、食品调味品, 以及传统中药的组分。

据估计, 人类每日摄入的香豆酸为 0.2~5.2 mg/天 (Clifford, 1999; Radtke *et al.*, 1998)。有证据表明, 蔬菜和水果中的香豆酸可能对健康有利。香豆酸的抗氧化作用可能有利于预防慢性疾病。阿魏酸和香豆酸是活性较弱的抗氧化剂。对于阿魏酸是增强还是抑制诱变物质, 离体测试尚未得出明确的结论。

玉米子粒中报道的阿魏酸浓度为 0.02%~0.03 % (Notis Plus)、0.02%~0.1 % (Classen *et al.*, 1990; Rosazza, 1995) 或 0.3 % (Dowd 和 Vega, 1996), 香豆酸的浓度为 0.003~0.03 % (Classen *et al.*, 1990; Notis Plus)。

第五节 作为食品用途

1. 人类消费的主要玉米产品的鉴定

在欧盟, 290 万吨的玉米用作食品, 2 100 万吨的玉米用作饲料 (Eurostatistics, 1994)。玉米产品 (淀粉、玉米油、玉米粕和面粉) 用在很多食品中, 淀粉主要用于发酵生产甜味剂 (糖浆) 和酒精, 也可用于食品加工, 如焙烤食品、婴儿食品、调味剂、敷料剂和汤等。在调味汁和汤中玉米油以色拉油、烹饪油、黄油、蛋黄酱以及煎炸油脂的形式应用。粗玉米粉用于制作谷类食物和点心, 也用来生产酒精饮料。玉米粕用于制作面包和松饼。玉米麸皮是食用纤维的来源。玉米也是生产纸张、燃料、胶、纺织品、药品和肥皂的原材料。

1995 年间, 欧盟消费甜玉米 (大多数全玉米子粒用作蔬菜) 的数据为: 冷冻玉米 76 000 吨, 罐装玉米 298 000 吨, 鲜食玉米 45 000 吨 (AGPM, 1996)。

爆裂玉米用于制作爆米花, 并可作为糕点的基础原料 (Juggenheimer, 1976)。

2. 新品种中主要产物的鉴定及推荐进行的分析

由于所有玉米来源的食品都由玉米子粒加工而成, 因此玉米子粒的成分分析是食品应用分析中最重要的步骤。如果遗传改良只影响了农艺性状, 则不必对玉米生产的食品进行单独分析。其他情况下, 对玉米生产的产品进行额外的分析则是有意义的, 这取决于改良的性质和目的 (如有意改变油的组成)。这种情况适用于以下产品: 玉米油、淀粉、粗玉米粉、玉米粕和面粉。本文第二、第三、第四节中详细讨论了该分析的参数。

表 14 人类食品中所用玉米基质中推荐进行分析的营养参数和成分参数

成分	玉米油	淀粉	粗玉米粉/玉米粕/面粉	玉米子粒（大田玉米、甜玉米、爆裂玉米）
组分分析 ^①		X	X	X
矿物质				X
维生素				X
氨基酸			(X)	X
脂肪酸	X		X	X
肌醇六磷酸				X
棉子糖				X
糠醛				X
阿魏酸				X
香豆酸				X

注：①组分包括蛋白质、脂肪、总的食用纤维、灰分和碳水化合物。

第六节 作为饲料的用途

1. 动物消费的主要玉米产品的鉴定

无论是加工的全玉米子粒，还是工业中的副产品，或是全植株的青贮饲料，玉米均是牲畜的首选饲料（Newcomb, 1995），原因是它的营养价值高，成本相对较低。尽管在经济可行的某些情况下可用其他类型的玉米作为饲料，如，白玉米、糯玉米或爆裂玉米，但马齿型黄玉米和硬粒型玉米是动物饲料的主要来源。玉米子粒是所有谷粒中饲养牲畜的最好能源，但其粗蛋白的含量低（9%~11%）（Ensminger *et al.*, 1990）。尽管如此，由于玉米子粒在动物饲料中占的比例较高，饲料中必需氨基酸的蛋白质主要还是由玉米提供。和前面所提到的一样，玉米研磨工业可生产多种动物饲料产品，如麸质饲料、蛋白粉、玉米干酒糟、可溶性干酒糟、胚芽粉和玉米粥。具有重要意义的产物主要是玉米麸质饲料和玉米蛋白粉，大多数玉米麸质饲料用于饲养反刍动物，一些也用于猪的饲养。玉米蛋白粉主要用于家禽饲料，原因是麸质中含有可在家禽皮肤和蛋中表达的类胡萝卜素色素。

2. 主要产品的鉴定以及推荐进行的新品种分析

用玉米子粒饲喂动物，可为动物提供能量（来自碳水化合物和油）以及必需和非必需的氨基酸，玉米油也能提供必需的脂肪酸。饲养动物的玉米子粒的含水量通常在 10%~15%，对于贮存来说这是安全的。饲养猪和牛的玉米子粒的含水量有时接近 30%~35%，该玉米或者已经经过青贮处理或者已用有机酸进行了处理。玉米子粒中含有 83%左右的碳水化合物，以淀粉、戊聚糖、糊精、糖、纤维素和半纤维素的形式存在。淀粉占碳水化合物的比例最大，且可提供大部分能量。纤维成分包括非反刍动物通常无法利用的纤维素和半纤维素。玉米子粒富含油酸，油酸是猪和家禽的必需氨基酸之一。玉米子粒也含有一定量的必需氨基酸，但赖氨酸和色氨酸是玉米中的限制性氨基酸，特别是对于猪而言。玉米子粒是甲硫氨酸的重要来源，甲硫氨酸是家禽的限制性氨基酸。在牛和羊中，其瘤胃中

的微生物蛋白被认为是动物蛋白的主要来源，尤其在高产量的奶牛中，人们对不进行瘤胃发酵的蛋白质表现出越来越浓的兴趣。因此，营养学家正密切关注牛是否具有某种限制性必需氨基酸的潜力。

对于玉米饲养的泌乳奶牛来说，甲硫氨酸和赖氨酸是两种限制性氨基酸（NRC, 2001）。通常的 10 种必需氨基酸是精氨酸、组氨酸、异亮氨酸、亮氨酸、赖氨酸、甲硫氨酸、苯丙氨酸、苏氨酸、色氨酸和缬氨酸。甘氨酸被认为是家禽的必需氨基酸，半胱氨酸、酪氨酸和丝氨酸也是重要的氨基酸，可分别部分替代甲硫氨酸、苯丙氨酸和赖氨酸。脯氨酸是小鸡的重要氨基酸（NRC, 1994）。

钙和磷是动物的重要矿质营养。玉米子粒中钙的含量极低，因此不能提供饲料中的钙。另一方面，玉米是较好的磷来源，但相当一部分磷与肌醇六磷酸结合而以结合态的形式存在，这种磷对非反刍动物如猪和家禽几乎没什么价值（Ensminger *et al.*, 1990）。不过，现在许多生产商将肌醇六磷酸酶加入到饲料中，可使肌醇六磷酸释放出部分结合态的磷。其他矿物质如硒也很重要，有研究表明其在植物中的含量可以反映土壤中矿物质的含量。为了平衡膳食，营养学家根据需要向饲料中补充了钙、磷、钠、氯、镁、铁、锌、铜、碘和硒。玉米子粒是维生素 A、E，硫胺、核黄素、泛酸和维生素 B6 的来源。尽管玉米中烟酸的浓度也相对较高，但它以泛醌的形式存在，无法被生物利用。另外，营养学家在猪饲料中补充了维生素 A、D、E、K、B₁₂，核黄素、烟酸和泛酸（NRC, 1998），在反刍动物饲料中补充了维生素 A、D、E、K。

玉米青贮饲料是牛和奶牛饲料中的重要成分。在美国，约有 10% 的玉米以青贮饲料的形式收获，这被认为是很好的能量来源（Newcomb, 1995）。全玉米植株的营养素含量是玉米子粒的 1~1.5 倍，青贮加工保存了 90% 以上的营养素（Ensminger *et al.*, 1990）。在饲养泌乳牛时特别是高产量动物时，营养学家越来越关注青贮饲料中氨基酸的含量。青贮饲料中矿物质和维生素的含量同玉米子粒相似。尽管青贮饲料中钙的含量比玉米子粒高，但其仍无法满足动物的需求，因此应当在饲料中添加钙。

如前所述，大多数玉米麸质饲料用于饲养反刍单胃动物，也有一些用于猪的饲养。由于玉米蛋白粉中的蛋白质和类胡萝卜素类的含量高，并可在家禽的皮肤和蛋中表达，因此其主要用途是作为家禽饲料配给。因为它们含有过瘤胃蛋白，营养学家正将玉米蛋白粉和干玉米酒糟加入到牛的饲料中（Newcomb, 1995）。因此，除了总蛋白质含量之外，玉米产品的氨基酸组成也十分重要。

动物饲料通常进行的组分分析包括氮、酯提取物、灰分和粗纤维含量的测定。碳水化合物的含量是通过分析淀粉或不含氮的提取物的含量测定的。从 100 中减去定量值可计算出不含氮的提取物的含量，不含氮的提取物包括淀粉、蔗糖以及一些纤维素、半纤维素和木质素。将氮含量乘以 6.25（根据蛋白质中氮平均含量而计算的转换因子）即可计算出粗蛋白的含量。脂肪被认为是酸性脂的提取物质（Ensminger *et al.*, 1990），对于反刍动物和猪而言，传统的粗纤维分析已经过时，并被中性洗涤纤维和酸性洗涤纤维的分析所代替。就氨基酸而言，10 种必需氨基酸加上赖氨酸、半胱氨酸、酪氨酸、丝氨酸和脯氨酸是主要的营养素。亚麻酸是玉米子粒中非常重要的脂肪酸，而玉米油的脂肪酸谱更为重要。

考虑玉米种的抗营养成分和天然毒素时，只有肌醇六磷酸对动物饲料具有重要意义。用肌醇六磷酸酶可部分降解肌醇六磷酸并释放出结合的磷和钙。因此了解玉米子粒中肌醇六磷酸的含量十分必要。

如果全玉米植株和玉米子粒没有改变，则饲养动物的玉米产品残渣的营养成分也不会发生改变，因此，建议只对全植株（青贮饲料）和玉米子粒进行分析（表 15）。

表 15 动物饲料所用玉米基质中推荐进行分析的营养参数和成分参数

参 数	玉米子粒	青贮饲料
组分分析	X	X
氨基酸	X	
脂肪酸	X	
钙	X	X
磷	X	X
肌醇六磷酸	X	

◆ 参考文献

- Adams TB, Doull J, Goodman JI e. a. The FEMA GRAS assessment of furfural used as a flavour ingredient. *Food Chem Toxicol* 1997, 35: 739 - 51.
- AGPM - Congres 95/96 - Section Mais Doux.
- AgrEvo USA. 1998. Safety and nutritional aspects of Bt Cry9C insect resistant, glufosinate tolerant corn transformation event CBH - 351. U. S. FDA/CFSAN BNF 41.
- Alexander RJ, Corn dry milling: processes, products and applications. In: *Corn: chemistry and technology* 1987, 351 - 376.
- Anderson RA, and Watson. SA. The corn milling industry. Pp 31 - 78. In: Wolff IA (Ed.) *CRC Handbook of processing and utilisation in agriculture, vol. II, part I, plant products*. CRC Press, Inc, Florida 1982.
- Aung LH, Fouse DC, Brandl DG e. a. Effects of imbibition and modified atmospheres on the soluble sugar content of supersweet sweet corn embryo and endosperm. *J Hort Sc* 1993, 68 (1): 37 - 43.
- Aventis Crop Science. 1999. Corn with transformation event MS6. U. S. FDA/CFSAN BNF 66.
- Cambier V, Hance T, De Hoffmann E. Variation of DIMBOA and related compounds content in relation to the age and plant organ in maize. *Phytochemistry* 2000; 53: 223 - 229.
- Classen D, Arnason JT, Serratos JA e. a. Correlation of phenolic acid content of maize to resistance to *Sitophilus zeamais*, the maize weevil, in CIMMYT' s collections. *Journal of Chemical Ecology* 1990; 16 (2): 301 - 315.
- Clifford MN. Chlorogenic acids and other cinnamates - Nature, occurrence and dietary burden. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 1999; 79 (3): 362 - 72.
- Codex Alimentarius. Codex Standard for named vegetable oils. CODEX - STAN 210 - 1999.
- Dow AgroSciences LLC. 2000. Safety, compositional, and nutritional aspects of B. t. Cry 1F insect resistant, glufosinate tolerant maize. U. S. FDA/CFSAN BNF 73.
- Dowd PF, Vega FE. Enzymatic oxidation products of allelochemicals as a basis for resistance against insects: effects on the corn leafhopper *Dalbulus maidis*. *Natural Toxins* 1996; 4: 85 - 91.

- Eckhoff, S. R. and M. R. Paulsen. 1996. Cereal Grain Quality. Cereal chemistry. Chapter 3. Chapman and Hull Publishers.
- EPA White paper on the possible presence of Cry9C protein in processed human foods made from food fractions produced through the wet milling of corn. U. S. EPA, 2001. <http://www.epa.gov/osepmt/sap/2001/july/wetmilling.pdf>
- Ensminger, M. E., J. E. Oldfield, and W. W. Heinemann. 1990. Feeds and Nutrition (Second Edition). The Ensminger Publishing Co., Clovis, CA, USA.
- Eurostatistics. Crop production. Quarterly statistics n. 3, 1994.
- FAO. 1992. Maize in human nutrition. FAO food and nutrition series, No. 25. FAO, Rome.
- FAO. 1996. Biotechnology and food safety. Report of a joint FAO/WHO consultation. FAO, Rome.
- Federal Register. 2000. Assessment of scientific information concerning StarLink corn Cry9C Bt corn plant - pesticide; Notice. Vol. 65, No. 211.
- Feron VJ, Til HP, de Vrijer F. Aldehydes; occurrence, carcinogenic potential, mechanism of action and risk assessment. *Mut Res* 1991; 259: 363 - 85.
- Frisner H, Rosendal A, Barkholt V. Identification of immunogenic maize proteins in a casein hydrolysate formula. *Pediatr Allergy Immunol.* 2000; 11 (2): 106 - 10.
- Hashimoto, Y, Shudo, K, Okamoto, T, Nagao, M, Takahashi, Y, Sugimura, T, Mutagenicities of 4 - hydroxy - 1, 4 - benzoxazinones naturally occurring in maize plants and of related compounds. *Mutation research* 1979; 66: 191 - 194.
- Hefle SL, *et al.* Allergenic foods. Critical review in *Food Science and Nutrition* 1996; 36S: 69 - 90.
- Jugenheimer RW, 1976, Corn improvement, seed production, and uses. John Wiley & Sons, Inc, New York, USA.
- Korn, H, A feeding experiment with 6 - methoxybenzoxazolinone and a wild population of the deer mouse (*Peromyscus maniculatus*) . *Canadian Journal of Zoology* 1988; 67: 2220 - 2224.
- Kroon, PA, and Williamson, G. Hydroxycinnamates in plants and food: current and future perspectives. *J Sci Food Agric* 1999; 79: 355 - 361.
- Maynard, LA, JK Loosli, HF Hintz and RG Warner. 1979. *Animal Nutrition* (Seventh Edition) . McGraw - Hill Book Co. New York, NY, USA
- Monsanto. 1995. Safety, compositional and Nutritional Aspects of Insect - Protected corn Line MON 801; Conclusion based on Studies and Information Evaluated According to FDA' s Policy on Foods from New Plant Varieties. U. S. FDA/CFSAN BNF 18.
- Monsanto 1996a. Information to support the human food/animal feed safety of roundup read corn lines MON 809 and MON 810. U. S. FDA/CFSAN BNF 34.
- Monsanto 1996b. Information to support the human food/animal feed safety of roundup read corn lines MON 802, MON 805, MON 830, MON 831, and MON 832. U. S. FDA/CFSAN BNF 35.
- Monsanto. 1997. Information to support the human food/animal feed safety of roundup read corn line GA21. U. S. FDA/CFSAN BNF 51.
- Monsanto. 1999. Information to support the human food/animal feed safety of roundup read corn line NK603. U. S. FDA/CFSAN BNF 71.
- Monsanto. 2000. Safety and nutritional assessment of corn rootworm protected corn event MON 863. U. S. FDA/CFSAN BNF 75
- Nacz M, Amarowicz R, Shahidi F. a - Galactosides of sucrose in foods; composition, flatulence - causing effects and removal. In: *Anti - nutrients and phytochemicals in food.* Am Chem Soc Symposium Series 1997; 662: 127 - 151.

- NCGA National Corn Growers Association. 1999. The world of Corn. St. Louis, MO, U. S. <http://books.nap.edu/catalog/6016.html>
- National Research Council (NRC) . 1994. Nutrient Requirements of Poultry (Ninth Revised Edition) . National Academy Press, Washington D. C. , USA.
- National Research Council (NRC) . 1998. Nutrient Requirements of Swine (Tenth Revised Edition) . National Academy Press, Washington D. C. , USA. <http://books.nap.edu/catalog/2114.html>
- National Research Council (NRC) . 2000. Nutrient Requirements of Beef Cattle (Update 2000) . National Academy Press, Washington D. C. , USA.
- National Research Council (NRC) . 2001. Nutrient Requirements of Dairy Cattle (Seventh Revised Edition) . National Academy Press, Washington D. C. , USA. <http://books.nap.edu/catalog/9825.html>
- NEVO Nederlands Voedingsstoffenbestand 2001 (Dutch food composition table 2001) .
- Newcomb, M. D. , 1995. Corn and Animal Nutrition in the United States. BNF , U. S. FDA.
- NOTIS Plus database analysis, 1999
- OECD Report of the OECD workshop on toxicological and nutritional testing of novel foods. Aussois, France, 5 - 8 March 1997.
- Orthoefer FT, Sinram RD. Corn oil; composition, processing and utilization. In: Corn chemistry and Technology 1987; 535 - 551.
- Panel on the Definition of dietary Fibre and the Standing Committee on the Scientific Evaluation of Dietary Reference Intakes, Food and Nutrition Board. Proposed Definition of Dietary Fibre. Washington, DC: National Academy Press, 2001. www.nap.edu/catalog/10161.html (accessed Feb 15, 2002)
- Pasrorello EA , Farioli L, Praverroni V, Ispano M, Scibola E, Trambaioli C, Giuffrida MG, Ansaloni P, Godovac - Zimmermann J , Conti A , Fortunato D, Ortolani C, The maize major allergen , which is responsible for food - induced allergic reactions, is a lipid transfer protein. J Allergy Clin Immunol. 2000; 106 (4): 744 - 751.
- Pingali PL (ed.) . CIMMYT 1999 - 2000 World maize facts and trends. Meeting world maize needs: technological opportunities and priorities for the public sector. Mexico, CIMMYT, 2001.
- Pioneer Hybrid International, Inc. 1998. Safety, compositional, and nutritional aspects of male sterile corn. U. S. FDA/CFSAN BNF 36.
- Radtke J, Lineisen J, Wolfram G. Phenolic intake of adults in a Bavarian subgroup of the national food consumption survey. Zeitschrift fur Ernährungswissenschaft 1998; 37 (2) .
- Rosazza JPN, Huang Z, Dostal L e. a. Review: Biocatalytic transformations of ferulic acid; an abundant aromatic natural product. J Indus Microbiol 1995; 15: 457 - 471.
- Sasaki YF, Imanishi H, Ohta T, Shirasu Y. Modifying effects of components of plant essence on the induction of sister - chromatid exchanges in cultured Chinese hamster ovary cells. Mut Res 1989 ; 226 ; 103 - 110.
- SCF Opinion concerning the scientific basis for determining whether food products, derived from genetically modified soya and from genetically modified maize, could be included in a list of food products which do not require labelling because they do not contain (detectable) traces of DNA or protein. SCF/CS/LABEL/13 Rev. 4, E. U. SCF, 1999.
- Sicker D, Frey M, Schulz M, Gierl A. Role of natural benzoxazinones in the survival strategy of plants. International Review of Cytology 2000; 198; 319 - 346.
- Souci SW, Fachmann W, Kraut H. Food composition and nutrition tables, 6th ed. , 2000. Medpharm Scientific Publishers - CRC press, Stuttgart, Germany, 2000. (online database at: <http://www.sfk-online.net>)

- Stich HF. Teas and tea components as inhibitors of carcinogen formation in model systems and man. *Prev Med* 1992; 21: 377 - 384.
- UPOV Guidelines for the conduct of tests for distinctness, uniformity and stability. 1994.
- USDA01U. S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service. 2001. USDA Nutrient Database for Standard Reference, Release 14. Nutrient Data Laboratory Home Page, <http://www.nal.usda.gov/fnic/foodcomp>.
- Voragen AGJ. Technological aspects of functional food - related carbohydrates. *T Food Sc Tech* 1998; 9: 328 - 335.
- Watson SA, 1982, Corn, amazing maize, general properties. pp 3 - 29. In: Wolff IA (Ed.) *CRC Handbook of processing and utilisation in agriculture, vol II, part I, plant products*. CRC Press, Inc, Florida.
- Watson SA, 1987, Structure and composition. pp 53 - 80 In: Watson SA and Ramstad RE (Eds.), *Corn chemistry and Technology*, Am Soc Cereal Chem Inc. St Paul, Minnesota.
- White PJ, Pollak LM. Corn as a food source in the United States; Part II. Processes, products, composition and nutritive values. *Cereal Foods World* 1995; 40 (10): 756 - 762.
- Xie Y, Arnason JT, Philogene BJR, Olechowski HT, Hamilton RI. Variation to hydroxamic acid content in maize roots in relation to geographic origin of maize germ plasm and resistance to Western corn rootworm (Coleoptera; Chrysomelidae) . *Journal of Economic Entomology* 1992; 85: 2478 - 2485.