

世界农业
丛刊

农业与能源译丛

(1)



农业出版社



农业与能源译丛

(1)

陈道王编



《世界农业》丛刊

农业与能源译丛(1)

陈道 主编

农业出版社出版(北京朝内大街130号)

新华书店北京发行所发行 天津新华印刷三厂印刷

787×1092 毫米 16 开本 5.75 印张 130 千字

1982 年 8 月第 1 版 1982 年 8 月天津第 1 次印刷

印数 1—2,120 册

统一书号 16144·2500 定价 0.64 元

目 录

食物生产和能源危机	[美] D. Pimentel L. E. Hurd 等 (1)
世界农业生产中的能源问题	[日] 宇田川 武俊 (10)
从技术角度看能源高消费型农业	[日] 吉田 武彦 (21)
有关农业与能源的一些经济问题	[美] E. C. Pasour J. B. Bullock (28)
发展中国家的农业能源问题	(34)
对美国食物体系中高产高效农业的认识	
.....	[美] L. F. Nelson W. C. Burrows 等 (43)
1975—2000年食物生产与能源的平衡	[美] W. J. Chancellor J. R. Goss (54)
对各种作物和几个国家农业体系燃料使用情况的分析	[澳] R. M. Gifford (60)
美国中西部有机农场的大田作物生产	[美] W. Lockeretz G. Shearer 等 (66)
正在形成中的低能量农业的经济基础	[美] J. Goldstein (73)
农业与能源 (一)	(80)

食物生产和能源危机

〔美〕D.Pimentel L.E.Hurd A.C.Bellotti

M.J.Forster I.N.Oka O.D.Sholes R.J.Whitman

1975年世界人口达40亿。当人口继续增加时，人们对防止大规模的饥饿就日益关切。与此同时，一个能源危机（由短缺和高价造成的）将会到来，因为化石燃料的有限储量正在迅速枯竭。能源危机将对美国的食物生产技术和“绿色革命”产生巨大影响，因为这两种作物生产体系都必须投入很多能量。

美国农业生产型和“绿色革命”型农业，通过改进技术提高作物产量都取得了显著的成就。在美国，非农业人员和一个农业生产者的比率从1930年的10人增加到1971年的48人。大批失业的、未经训练的农业劳力迁往城市，导致了巨大的社会变化。另外，由于造成土壤衰竭、污染、对天然植物群和动物群的破坏以及天然资源的减少，自然环境付出的代价是巨大的。一个在迅速枯竭不可再生的资源是化石燃料。它是导致美国农业产量高、质量好的最重要因素。能量在机械化农业生产中用于机械、运输、灌溉、肥料、农药和其他一些管理机器上。事实上，化石燃料已成为现代化农业不可分割的组成部分，以致能源危机将对已经或正在采用西方方式的世界各地的食物生产产生重大影响。

作为农学家，我们认为有必要对美国式和绿色革命式的作物生产技术的能量投入进行认真的分析。我们的方法是选择一种单一作物玉米，作为一般作物能量投入的典型，对玉米生产的能量投入进行详细的分析。我们把玉米生产中的能量投入和收益数据作为模型，对于消耗能量的现代化集约农业进行了一次全世界食物供应所需能量的考察。我们以玉米为例，探讨了作物生产的新技术，以求降低食物生产的能量投入。当能源危机震撼世界时，我们除了认识到美国高成本的能量集约农业外，对美国和其他国家拟议中的经济、社会或政治方面的“取代办法”都没有进行研究。

能 源

当化石燃料资源减少时，从国内和国外获得燃料的费用将迅速提高。如果当前使用能量的格局不改变的话，燃料费用在十年内将增加一倍或两倍，到本世纪末约将增加四倍。在能源昂贵时，农业将发生重大变化。

高能源消费量和国民生产总值是密切相关的。1970年，美国总共消耗了 1.6×10^{10} 千卡能量，占全世界能量消耗量的三分之一以上，并消耗了世界石油的35%，而它的人口却仅占世界人口的十七分之一。这个国家的能源消耗量在过去20年里翻了一番。同一

期间在某些类型的农业生产中，能源消耗量增加了两倍多。

哈蒙德曾报告说，美国的能量约有96%来自化石燃料：石油占43%，主要是用于运输；天然气占33%；煤占20%；水力发电占3%左右；核能占1%左右。到本世纪末，石油消耗量将达到高峰。哈蒙德估计，如美国只依靠石油来提供它所需要的全部能量，按目前的消耗量计算，美国已知的、能开采的蕴藏量将于五年之后告竭。

如上所述，仅在作物生产上就需投入大量能量。此外，当农产品运往中心点进行加工、冷冻、制罐头、脱水、磨粉和烘制等，还要消耗大量的能量。农场主很少加工他们自己吃的食物，而是依靠食品加工工业、批发业和零售业。他们还依靠许多其他行业供应农业机械、肥料、农药、良种和其他物资。据估计，一个农业工人就得有两个人支援（译者注：美国商会在1974年出版的《美国农业生产结构的变化及其对国民经济的贡献》一书中估计，每个农业工作者就大约有三人支持）。这样，美国的劳动力和产业大约有20%是从事于食物供应的。支援农业的和食品加工的产业所消耗的能量可能比农业本身用的还多。这进一步表明了我们的食物供应系统对能量的依赖性之大。一个时常被人们引用的，一个农业工人养活48个人的统计数字是不确切的，因为农业工人需要得到许多行业的支援。

玉米生产和能量投入

在研究能量投入和谷物生产的关系时，我们之所以选玉米为典型，有以下几点理由：

(1) 玉米在美国作物生产中，在能量投入方面一般地说是有代表性的，它介于水果生产那样高能量需求和人工种植的饲草及小谷物（指小粒和小棵谷物，如小麦、燕麦、黑麦和水稻等——译者）生产那样低能量需求之间。

(2) 玉米是美国和全世界最重要的粮食作物之一。

(3) 关于玉米的资料比任何其他作物的资料都多。

关于玉米的资料，我们主要依靠农业部的和其它一些调研资料所提供的估计数字。虽然这些资料和数字是现有最好的，但其中有一些还是有其内在的局限性。尽管有这些缺点，本文所作的分析仍能对美国农业中投入的大量能量提供有价值的剖析。

玉米是美国最重要的谷类作物。它在全世界的粮食作物生产中名列第三。就全世界的谷物来说，玉米仅次于小麦居第二位。1971年，世界在2.79亿英亩（每英亩等于0.405公顷或6.07亩）土地上生产了3.08亿吨玉米。

美国每英亩玉米产量在1909—1971年间有了很大的增长（见图1）。1909年，每英亩平均产玉米26蒲式耳（每蒲式耳玉米重56磅或25.4公斤——译者），1971年则为87蒲式耳。单产大约是从1950年开始急剧上升的，那时在玉米种植方面发生了很多的变化，其中包括种植杂交玉米。由于种植杂交玉米获得的在四十年代以来的增产数字中，大概有20—40%，而60—80%来自能量

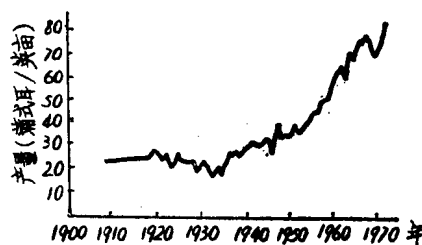


图1 1909—1971年美国的玉米产量
(蒲式耳/英亩)

投入。杂交玉米和能量投入对增产所起的作用是互相重叠的，因为玉米植株常常是具有在特定环境条件下（例如投入大量肥料）生长良好的优点。没有适当遗传上的背景，玉米对肥料的投入不会作出反应，当然，如无肥料，玉米也无法作出反应。

当玉米在1945—1970年期间单产增至240%时，每英亩投入的劳动量减少了60%以上（见表1）。高度机械化减少了劳动量的投入，并对玉米的增产可能起了部分作用。

表1 玉米生产各年平均每英亩投入的能量

投入项目	1945	1950	1954	1959	1964	1970	投入项目	1945	1950	1954	1959	1964	1970
人工①	23	18	17	14	11	9	灌溉(千卡×10 ³)⑥	19	23	27	31	34	34
机械(千卡×10 ³)②	180	250	300	350	420	420	农药(磅)⑦	0	0.10	0.30	0.70	1.00	1.00
汽油(加仑)③	15	17	19	20	21	22	除草剂(磅)⑧	0	0.05	0.10	0.25	0.38	1.00
氮肥(磅)④	7	15	27	41	58	112	烘干(千卡×10 ³)⑨	10	30	60	100	120	120
磷肥(磅)⑤	7	10	12	16	18	31	电力(千卡×10 ³)⑩	32	54	100	140	230	310
钾肥(磅)④	5	10	18	30	29	60	运输(千卡×10 ³)⑪	20	30	45	60	70	70
种子(蒲式耳)⑫	0.17	0.20	0.25	0.30	0.33	0.33	玉米产量(蒲式耳)⑫	34	38	41	54	68	81

注：①美国平均每英亩作物平均投入工时数。

②关于制造和修理拖拉机、卡车及其他农业机械能量投入的估计，是从贝里和费尔斯的资料中得来的。他们计算，制造一辆重3,400磅的中型汽车需用31,968,000千卡能量。在计算中，我们假定种62英亩玉米需用的全部机械能（拖拉机、卡车等）为244,555,000千卡（等于13吨机械）。假设这些机械能用10年，修理以占全部机械生产用能量的6%（15,000,000千卡左右）计算，那么，对1970年每英亩玉米消耗及生产和修理农业机械的能量的保守估计是420,000千卡。1964年，农场使用的拖拉机和其他农业机械的数量达到了高峰，此后陆续下降。1945年拖拉机和其他农业机械的数量大约是现在的一半。

③德格拉夫和沃什邦曾报告，用拖拉机种一英亩玉米要用15加仑燃油，这是介于水果和小粒谷物生产之间的数量。由于玉米是居于中间的，每英亩收粒的玉米所使用的农业机械的平均燃料消耗（加仑）是以美国农业部和普查局的数字为根据的（每加仑=4.546升——译者）。

④种植玉米施用的肥料（氮、磷、钾）数量以美国农业部的估计数字为根据。

⑤1970年，密植的玉米每英亩约需三分之一蒲式耳种子（25,000粒合34,000千卡）。1945年，低度密植的玉米估计约用六分之一蒲式耳种子。由于杂交玉米种子的生产需特别管理，1970年估计投入68,000千卡。

⑥美国收（子）粒玉米的土地在1964年仅有3.8%左右是水浇地，这个数字在最近的将来不会有多大变化。这个百分比很小，但灌溉按需求能量来说，代价很高。根据史默登的资料，在一个农季用一英尺深的水灌一英亩玉米地，估计需用能量1,992,375千卡。《关于世界粮食问题的报告》中论述了灌溉用水的高能消耗。由于仅有3.8%的玉米种植面积是水浇地（1964—1970年），估计灌溉每英亩玉米地仅需76,000千卡。1945年的水浇地百分比是根据农业水浇地面积的趋势推算的。

⑦关于每英亩玉米地使用的农药是根据下述事实估计的，即在1945年时使用极少或不使用农药，1964年时达到了一个高峰。

⑧关于每英亩玉米地使用的除草剂是以下列事实为根据的，即在1945年时使用极少或不使用除草剂，而近些年来使用增加。

⑨为了贮存、烘干，把玉米的湿度从26.5%左右减到13%时，烘干81蒲式耳需要408,204千卡。1970年，大约有30%的玉米是经过烘干的，估计在1945年时仅有10%。

⑩1970年农业约消耗了全年生产电力的2.5%，生产这么多电力需要具有424.2万亿（trillion）英国热单位的化石燃料，分摊在农田上，1970年每英亩消耗的热量合310,000千卡。早期生产电能使用的燃料是根据《1965年美国统计摘要》中的数字估计的。

⑪关于把机械和物质运往玉米地和把玉米运往使用地点消耗燃料的卡数，是根据美国商业部、普查局、国际商业委员会和运输部的数字估计的。1964年和1970年，这个数字约为每英亩70,000千卡，在1945年时则为20,000千卡左右。

⑫玉米产量是三年的平均数，包括前一年和后一年。

农业机械在过去20年间有了很大的增长，平均每一农业工人使用的马力数从1950年的10马力提高到1971年的47马力。拖拉机台数从1945年的240万台，增加到1972年的450

万台,增加了88%。同时,这些拖拉机的马力从18.0增至46.6,增加了1.6倍。1963年,平均每台拖拉机耕62英亩。本文假定拖拉机和其它农业机械耕作62英亩土地,使用期为十年(见表1)。

全部农业机械消耗的燃料,从1940年略多于33亿加仑(每加仑等于3.785升)提高到1969年的76亿加仑。在美国全部玉米生产中,各种农业机械每英亩土地的燃料消耗量从1945年的15加仑提高到1970年的22加仑左右(见表1)。的确,农业比任何一种其他产业用的石油都多。

玉米生产使用的化学肥料自从1945年以来在逐步增加中(见图2)。1945年的估计是每英亩土地施氮7磅(每磅等于0.373公斤)、磷7磅、钾5磅。1970年每英亩土地的施肥量提高到氮112磅、磷31磅、钾60磅。仅氮就增加了15倍。

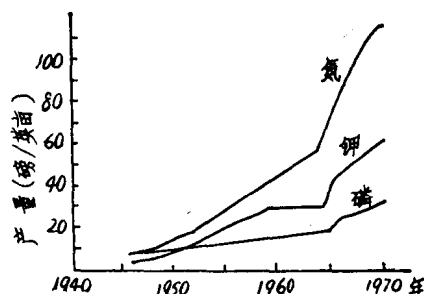


图2 在玉米生产中每英亩土地施用的化肥

在玉米生产中,其它投入项目还有种子、灌溉和农药(见表1)。种植玉米使用的农药在过去20年中迅速增长,和美国农药总用量的增加是一致的(见表1)。美国农用除草剂的41%左右和其他农药的17%左右用在玉米上。

由于新品种杂交玉米的生长期要延迟到秋季干燥条件欠佳的时候,因而目前这种玉米在收获时含水量较高。水分超过13%(适合长期贮存的最高限度),玉米就会发霉,因而就需烘干来降低它的含水量(见表1)。

农业消耗了美国电力总量的2.5%左右(见表1)。运输上投入的能量是现代化集约农业的一个重要特点(见表1)。机械、农药、种子、汽油和其他物资必须运到农场去。然后,收获的玉米又需运往使用玉米的地方去做牲畜饲料或进行食品加工。

为了对玉米生产的能量投入在一段时期里发生的变化有个概念,我们选择了1945、1950、1954、1959、1964和1970年的统计资料进行详细的分析(见表1和表2)。没有选择以五年为一期的间隔,是因为以上几年的资料比其他年份的资料完整。

1970年,农场主种一英亩玉米需投入约290万千卡(相当于80加仑汽油)(见表2)。1945—1970年,玉米平均产量从每英亩34蒲式耳提高到81蒲式耳,增加了1.4倍。但是,能量投入却由90万千卡提高到290万千卡,增加了2.1倍(见表2)。这样,玉米热值的收益从1945年每千卡的燃料投入能生产3.7千卡降至1970年的2.8千卡,即降低了24%。

如果把投入的290万千卡的化石燃料和投入的太阳能相比,它仅占能量投入的一小部分。在生长季节,照射在一英亩玉米地上的太阳能约有20.43亿千卡,其中约有1.26%转化成为玉米,约有0.4%是在玉米粒本身里(按每英亩产100蒲式耳计算)。那1.26%约相当于2,660万千卡。因此,如把太阳能的投入计算在内,人们把290万千卡化石燃料投入相当于投入玉米生产总能量的11%左右。重要之点在于太阳能的供给在时间上是没有限制的,而化石燃料的供给则是有穷尽之日的。

能量投入和玉米产量的发展趋势证实了农业方面的某些估计,这可以归结为:美国农业的高产是通过投入大量化石能源取得的。

表2 玉米生产的能量投入(千卡)

投入项目	1945	1950	1954	1959	1964	1970
人工①	12,500	9,800	9,300	7,600	6,000	4,900
机械②	180,000	250,000	300,000	350,000	420,000	420,000
汽油③	543,400	615,800	688,300	724,500	760,700	797,000
氮④	56,000	120,000	216,000	328,000	464,000	896,000
磷⑤	10,150	14,500	17,400	23,220	26,100	44,950
钾⑥	5,000	10,000	18,000	36,000	41,000	60,000
种子⑦	30,464	35,840	44,800	53,760	59,136	59,136
灌溉②	42,000	52,000	60,000	69,000	76,000	76,000
农药⑧	0	1,100	3,300	7,700	11,000	11,000
除草剂⑨	0	600	1,100	2,800	4,200	11,000
烘干②	4,000	14,000	30,000	66,000	100,000	120,000
电力②	32,000	54,000	100,000	140,000	203,000	310,000
运输②	20,000	30,000	45,000	60,000	70,000	70,000
投入总计	935,514	1,207,640	1,533,200	1,868,560	2,241,136	2,879,986
玉米产量(产出)⑩	3,046,400	3,404,800	3,673,600	4,838,400	6,092,800	7,257,600
千卡收益/千卡投入	3.26	2.82	2.40	2.59	2.72	2.52

注: ①假设一个农业工人每周消耗21,770千卡, 每周劳动40小时, 那么1970年的人工投入是: $\frac{9}{40}$ 小时 $\times$ 21,700

千卡 = 4,900千卡。

②见表1中注②。

③汽油: 1加仑 = 36,255千卡。

④氮: 1磅 = 8,000千卡, 包括生产和加工。

⑤磷: 1磅 = 1,450千卡, 包括采矿和加工。

⑥钾: 1磅 = 1,000千卡, 包括采矿和加工。

⑦玉米种子: 1磅 = 1,600千卡。这项能量投入由于生产杂交玉米种子而增加了一倍。

⑧农药: 1磅 = 11,000千卡, 包括生产和加工(与除草剂相仿, 见注⑨)。

⑨除草剂: 1磅 = 11,000千卡, 包括生产和加工。

⑩假设每磅玉米含1,600千卡。每蒲式耳玉米重56磅。

替换的办法

在粮食生产中, 当传统的能源短缺或费用太高时, 可能需要采取其它办法以减少能量投入。现将应用在玉米或其它作物生产上某些可行的替换办法评述如下。

在玉米生产中, 从能量上来看, 投入的人工在全部投入项目中是最少的, 仅是4,900千卡(见表2)。增加人工投入能够大大减少能量投入。如果用拖拉机和喷雾器给玉米地施除草剂一次, 每英亩需要耗费18,000千卡的能量。但如用人工喷雾器则用不到300千卡。虽然人工仅用1/60的能量, 但当前人工费用比用拖拉机约贵三倍。当燃料费用昂贵或只需在小块土地上施用除草剂时, 用人力操作在经济上可能是合算的。

机械和汽油在玉米生产中构成很大的能量投入。一个减少汽油用量的可行的替换办法就是, 使用恰好适合具体作业的农业机械并以有效的速度开动。某些功率特大的拖拉机和其它机械在单位时间里可以作较多工作, 但这些机械在作业时消耗燃料较多, 这样它们的效率就被抵销了。另外, 增加每台拖拉机和其他机械耕作的土地面积(目前是每台

拖拉机62英亩)可能有助于减少这项投入。骡、马不是机械的良好替换者,因为在饲料上它们消耗大量的能量。

在玉米生产中的最大单项投入是化肥,生产氮肥需能量最多(见表1和表2)。一个可能的肥料来源是现在作物生产中还没有使用的、数量不大的牲畜厩肥。

我们在上面提过,玉米每英亩施用化肥是氮112磅、磷31磅、钾60磅(见表1)。一头奶牛、两头育肥中的小肉牛、九口猪或84只鸡一年内积的厩肥可以提供和这数量大致相同的氮。厩肥除了给土壤增加养分外,它还可以增加有机质,使土壤中有益细菌和真菌的数量增加,使耕作方便,可改善土壤保持水分和渗漏速度,减少土壤侵蚀并改善土壤中的碳氮比。

为作物生产施用厩肥的主要代价是运送和撒布。在半径为半英里至一英里(1英里=1.6公里=3.2里)以内时,运、撒一吨厩肥需用汽油1.1加仑(根据林顿的数据计算)。因此,按厩肥平均施用量每英亩10吨计算(即一头牛一年的积肥量),估计施用所需能量平均为398,475千卡(11加仑汽油)。这也就是使用厩肥作玉米的肥料所需的全部能量。一英亩施用的化肥(112磅氮、31磅磷、60磅钾)需要1,000,950千卡(见表2),加上施肥拖拉机用的一加仑汽油,总共需用1,037,175千卡。因此,如果用厩肥代替化肥,每英亩土地可以节约能量60万千卡之多。

当前美国的牲畜厩肥产量估计每年为17亿吨,其中有一半以上产于饲养场。如果把其中的20%(1.7亿吨)用于玉米生产,按每英亩土地平均施用10吨计算,可供1,700万英亩玉米地使用。这个数字相当于1970年玉米收获面积的30%。这样,除了可以节约宝贵的燃料能量外,在农田上施用厩肥还可以有效地将其投入再循环。

如果想要利用一些牲畜饲养圈舍的厩肥,就势必得把圈舍迁往使用厩肥的农田附近去。圈舍重新定点也需要对有关费用进行仔细核算。

还可以通过玉米和豆科或其它作物轮作来减少氮肥的使用。例如,秋季种上草木栖,一年以后翻入土中,可给每英亩土壤增加约150磅氮。用一种豆科植物和玉米轮作还能有效地控制玉米根虫、减少病害和杂草。

如不能进行轮作,可于8月下旬在玉米行间种上豆科植物,来年早春把这些绿肥翻在地里。根据斯普拉格报告8月下旬在玉米地里种上冬野豌豆,来年4月下旬翻在地里,每英亩土地可以得到133磅氮。在田里种上覆盖作物还可以防止土壤在冬季受风蚀水蚀,并和厩肥一样能增加土壤里的有机物。

我们估计,播种豆科植物的能量代价每英亩约为90,000千卡(燃料和种子)。而生产133磅商品氮则需要投入106万千卡能量,因此,种植豆科植物作为绿肥可以节约很多能量,每英亩可省970,000千卡。如此说来,绿肥节约的能量比厩肥还要多。

应该对化肥及其代用品的施用进行一次测量,以便弄清与其它所有的投入项目相配合,究竟每次施用多少才能够获得最大效益。据芒森和多尔报告,他们在衣阿华州作了一项肥料投入调查研究:每英亩土地施34磅磷和200磅氮,在其他投入不变的情况下,他们计算出来的平均每英亩玉米产量约为101蒲式耳(见图3)。把表1和表2中1970年的能量投入的统计资料和芒森与多尔所投入的氮、磷和玉米产量的数字合在一起,我们把每千卡热量投入能够得到的千卡收益计算了一下。最大收益是在每英亩土地上施120磅氮时每千卡投入能得到3.0千卡的收益。1970年每英亩用112磅氮和31磅磷,估计收益是

2.5:1 (见表2)。只用氮投入与1970年的其他投入项目合在一起,看来每英亩施112磅氮时每千卡投入可以得到接近于最大限度的收益。

杂草可以用机械中耕或用除草剂或二者并用的方法进行有效的、经济的控制。按能量支出来说,用除草剂比用机械中耕消耗的能量要多。例如,每英亩土地在杂草出现前后各喷2磅除草剂,总共约用80,225千卡能量(每磅除草剂为11,000千卡,加上喷洒两次使用的一加仑汽油)。三次中耕(包括用旋转耕耘机中耕二次)要用两加仑汽油或每英亩72,450千卡。虽然节约不多,但这说明在控制杂草方面确实还有减少能量投入的替换办法。

在某些情况下,当杂草出现后,可以只在有杂草的地方喷除草剂,这样就能减少除草剂使用量。要有效地使用这种方法就得投入更多的人工。一般地说,在现在人工费用高和能量费用低的情况下,这么做是不合算的。但当能量费用提高时,局部处理杂草的方法在经济上将可行。

玉米与其他作物(如豆科植物和小粒谷物)轮作可有效地解决杂草问题,从而减少控制杂草的能量投入。

少耕法也能在耕地和耙地上提供减少能量投入的可能性。但这会使虫害加重,因此需对二者加以权衡。要进行更全面的分析,以确定这两种办法的明细费用和好处。

玉米的蛋白含量从1910年以来没有什么变化,平均约为9%。然而,通过选育可以把蛋白含量增加到12—15%。玉米的蛋白含量即使增加1%,就能使美国的配合饲料中的大豆粉减少200万吨,它的价值是十分明显的。种植蛋白含量高的玉米可能需要增加一些能量投入(如氮肥),但它的收益将远远超过它的费用。

培育抗虫害、病害和鸟害的玉米,它本身就能减少农药的能量投入,同时还能减少农药污染。另外,如新玉米品种能快熟、水分低、用水效率高和对肥料反应能力强,玉米生产就可以少要能量。

虽然种植玉米的农田仅有一小部分(3.8%)是水浇地,但是引水却是一项很费能量的作业。唯一的替换办法是在很少需要灌溉的地区种植玉米,以减少灌溉费用。今后,由于能量费用高昂,玉米种植面积中水浇地的百分比会自动减少。

农场设备和物资的运入和运出需投入的能量是相当多的,减少这项投入的切实可行办法是多用火车少用卡车运送物资和货物,因为火车的运输效率比卡车要高。

上述各种替换的办法,在当前可能大部分不易实现。但当能量费用上涨时,其中某些办法或所有的替换办法可能就成为可行和必要的了。此外,必须强调的是,在某些情况下,部分地使用一项或几项替换办法可能是最划算的。如把几种替换办法结合起来使用,我们估计有可能把能量投入减少约一半,而且还能保持目前的产量。当然,这在经济上是否可行,要由许多因素来决定,其中包括将来的能量费用水平。

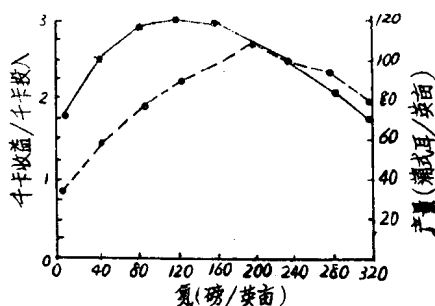


图8 在各种不同施氮量(磷肥均为每英亩34磅)条件下的玉米产量(每英亩蒲式耳数,虚线)。每千卡投入的千卡收益(实线)是根据芒森和多尔的统计数字和表1与表2里的投入数字计算出来的。

世界食物供给

在某些国家出现的粮食短缺情况，促使美国发展各种国际农业计划以支援“绿色革命”。“绿色革命”用的农业技术特别是在肥料、农药和杂交种子方面，要求有高能量投入。显然，当发生能源短缺，能量费用上涨时，绿色革命的成就将受到影响。因此有必要在这里扼要地探讨一下全世界范围的粮食生产和能量需求问题。

在估计养活40亿人需用的燃料时，假设使用的是类似美国和“绿色革命”农业的现代化的农作物生产技术。我们用了美国种植玉米的能量资料，因为它接近现代化农作物生产的平均投入和产出的数字。分析表明，1970年种植一英亩玉米使用了约290万千卡的能量，相当于80加仑（1.9桶）汽油（见表2）。

1970年，估计种植了3.3亿英亩作物（棉花和烟草除外）。美国的两亿多人口平均每人约合1.7英亩（相当于10.3亩——译者），但是由于20%供出口，估计每人合1.4英亩左右（相当于8.5亩——译者）。在现代集约农业情况下，在食物上平均每人用的燃料折合为112加仑汽油（每英亩80加仑 $\times$ 每人1.4英亩=112加仑）。如包括食物加工、分配及调制，估计总额是336加仑汽油。使用美国农业技术，按美国的一般饮食标准，养活世界上的40亿人口，一年需要有14.64亿加仑燃料当量的能量。

如果使用美国农业技术，而饮食标准不同，能量需要将会是什么情况呢？为了使人们对这个问题有个概念，有必要估计一下已知的和潜在的石油储量将在多长时间耗尽。已知的石油储量估计为5,460亿桶，如果我们假定原油的76%能炼制成燃油，则可用的储量是4,150亿桶。如果石油是唯一的能源，而我们又是用全部石油储量来养活世界人口的话，则4,150亿桶石油储量仅够维持12年 $[(4,150\text{亿桶}/14,640\text{亿加仑})/\text{每桶}42\text{加仑}=12\text{年}]$ 。如果全部潜在的石油储量（20,000亿桶）全部用于食物生产则这个估计数字将是57年。但是，假定世界人口只愿意吃玉米而不吃别的食物，则潜在的石油储量可以足够预测的100亿人吃300年。

和一般人想象的相反，美国的食物生产费用是高的。1970年美国平均每人有3,595美元的可支配收入，虽然其中只有16.6%用在吃上，但这百分比之所以不大是因为美国的个人收入较高。美国平均个人收入中花在吃上的16.6%相当于597美元。由于食物零售价格的三分之一是生产成本，生产597美元食物的成本约是199美元，或平均每年每人每天吃3,110千卡（包括66克动物蛋白和18克动物脂肪）。这相当于每年每人每天吃5,280植物千卡（假定需要7千卡植物产品来生产1克动物蛋白和脂肪，1克动物蛋白=4千卡，1克脂肪=9千卡）。因此，1,000千卡植物产品的成本约是38美元。

在印度，平均每人每年的食物支出约是23美元（包括销售费用），占个人收入的77%左右。每人每天摄取的热量平均为2,000千卡，其中包括动物蛋白约7克，动物脂肪假定为2克。这相当于平均每年每人每天摄取2,280植物千卡。因此，1,000千卡植物产品的成本约是10美元。这样，在印度每年每天生产1,000植物千卡的成本比美国少的多。其中部分原因是由于两个国家用作食物的作物种类不同。

结 论

美国现代农业的主要原料是化石燃料，投入的人工较少（每英亩种植面积约为9小时）。由于农业是依靠化石能源，所以当燃料费用增加一倍乃至四倍时，作物生产成本也将随之高涨。如投入每千卡燃料仅获得2.5千卡玉米的收益，那就不划算了。

“绿色革命”农业，特别是就肥料和农药而言，也是使用高能量作物生产技术。虽然人们不怀疑美国是诚心诚意地让别人分享它的农业技术，从而使全世界都达到和它一样的生活及饮食水平，但是人们究竟能挖掘出多少资源来完成这项使命，必须采取现实主义的态度。在美国，现在是用80加仑汽油当量来生产一英亩玉米。在燃料缺少和价格高昂的情况下，我们怀疑究竟有多少发展中国家使用得起美国的农业技术。

“绿色革命”作物已经出现了问题，特别是虫害问题。在发生世界性的能源危机时，将会出现更尖锐的许多问题。对于要求高能量投入的“绿色革命”农业的收益、成本和风险必须进行认真总结，以确保这项工作不致使已经很严重的世界粮食问题更加恶化。

为了减少能量投入，“绿色革命”和美国式农业可以采用轮作和绿肥等替换办法来减少对化肥和农药方面的高能量需求。美国农业还可以使用一部分由于机械化而变为无用的人力来减少能量支出。

现在谁也不准要进行哪些改革，但是，可以肯定，当传统能源短缺并昂贵时，对作为一种产业和谋生的农业的冲击将是巨大的。本文的分析仅是在能源问题变得更为严重之前，对一个需要密切注意和加强研究的重大农业问题所进行的初步探讨。

原载“Science” 182, 1973

陈今淼译 陈道校

世界农业生产中的能源问题

〔日〕宇田川武俊

1973年,日本通产省汇编了“日本能源问题”^{〔9〕}的小册子,当时的通产大臣中曾根在序文中写道:“现在我国面临着战后最大的困难:如果随着这次阿拉伯产油国的石油生产限制,削减对我国石油供给的状况延续下去,那么,对国民生活和整个国民经济所蒙受的影响将是难以预测的。”回想起当时的情况,由于所谓的石油冲击,至今还会使人产生这样不安的感觉:汽车会不会不动了呢?农业上温室暖房所用的燃料短缺的情景也是令人记忆犹新。然而现在那些危机感却到哪里去了呢?

据日本能源统计,一次能源供给的构成比例,在1955年煤为50.2%,水力为21.2%,石油为20.2%,其他(天然气、薪炭等)为8.4%;在1965年,石油是58.4%,煤27.4%,水力11.3%,其他2.9%;到了1973年,石油是77.6%,煤15.5%,水力4.6%,其他2.4%,这样,对石油的依赖已经形成了压倒的局面,而这个比例到了今天也还没有改变。并且,一次能源依靠进口的比例,1955年为24.0%,1965年为66.2%,1973年为89.9%,呈现出惊人的增长趋势。勿须多说,正是日本政府进口石油一边倒的能源政策,才招致了喧嚣一时的石油冲击。

不仅日本受到了石油冲击,欧美各国,其中尤以美国受到的影响更为深刻。正是在那紧张的时刻,美国纽约州立大学的D.Pimentel等在《科学》杂志上发表了“食物生产和能源危机”这一引人注目的论文,它尖锐地指出了美国的农业是如何地依靠石油能源。该文发表以后,另外一些国家也有人提出类似的报告。本文即以介绍这些论文为中心来阐述这个问题。

一、作物生产和辅助能

农业生产特别是作物生产的基础是太阳能。可以说,作物栽培就是把太阳能转变为人类可以利用的生物能的过程。对作为生物体系中的作物,投入的能源是以太阳能为主的。在人类漫长的历史过程中,从事作物栽培还是近代的事情。在从狩猎采集时代向农业生产过渡的初期,投入作物生产的能源,除了太阳能之外,可能只有人类劳动的能。不久,人类发现了利用畜力的能。后来为了灌溉和进行耕地的基本建设,又相继增加了投入的能量。这些都看成是为农作物生产而投入的辅助能。

近年来,作物生产上大量地使用化肥和农药。生产化肥和农药所需要的能,从日本的能源供给情况来看,主要是来自石油能。从而,在作物生产上除了太阳→作物→人类这一能的流动趋向之外,还需要追加石油→化肥、农药→作物这一新的能的流动趋向。这是和人力、畜力有着本质不同的能。凡投入作物生产的各种能源,除太阳能以外,这里

统称为辅助能。在必要时,又把辅助能区分为来自石油的辅助能和非来自石油的辅助能。

二、日本的稻米生产

1955年,日本刚刚摆脱了战败的冲击,进入经济高度发展的前夕,当时水稻全国平均产量是每公顷3.96吨。十年后,即1965年是3.90吨,没有什么变化。到了1975年,一跃达到4.81吨。在这期间,从早期栽培开始,到手扶拖拉机的普及;从单一肥料到混合肥料;低成分化肥到高成分合成化肥,以及除草剂的普及,插秧机、收割机的运用与推广,经过了眼花缭乱的技术变革过程。另外,从1955年到1975年二十年间,农户减少19%,农业人口减少36.2%,水田面积减少24.5%,而兼业农显著增加。

这样的变化如果从辅助能角度来看,如表1所示,二十年来辅助能总计增加到1.7倍。但是,如果从内容来看,来自石油的辅助能增加到3.5倍,而来自非石油的却减少一半。在全部辅助能中,来自石油的比例,从41%激增到82%,其中,增加率最高的是农机具,为8.1倍;依次,农药为6.9倍,器材、光热动力为3.2倍。到了1975年,在来自石油的辅助能中,农机具占47%,购入肥料占14%,器材、光热动力占9%;而产出的能,如仅就水稻而论,是1.3倍,略高于全国农业平均产量增加率的1.2倍。这个计算是以稻米生产费调查为基础的。不仅是水稻单产增加,而水稻单产还比全国农业平均产量高出5—10%。

表1 稻米生产中的辅助能和产出能⁽¹⁾

项 目	年 份	1955	1965	1975	1975/1955
人 力、畜 力		119	74	45	0.38
种 苗		19	15	17	0.89
自 给 肥 料		1,715	1,415	915	0.53
购 入 肥 料		339	479	649	1.91
农 药		36	180	247	6.86
器 材、光 热 动 力		130	334	410	3.15
水 利、土 地 改 良		194	288	566	2.92
租 借 费		101	159	257	2.54
房 屋 和 建 筑 物		218	216	227	1.04
农 机 具		260	870	2,120	8.15
全部辅助能 (A)		3,131	4,030	5,453	1.74
来自石油的辅助能 (B)		1,278	2,526	4,476	3.50
产出能(稻米) (C)		1,406	1,496	1,769	1.26
产出能(稻米+秸秆) (D)		3,095	3,383	3,335	1.08
全部产出/全部辅助 (D/A)		0.99	0.84	0.61	0.62
产出(稻米)/石油能 (C/B)		1.10	0.59	0.40	0.36
每一公斤产品所需来自石油的辅助能(大卡/公斤)		3,067	5,688	8,525	2.78

注: 能量计算单位为1万大卡/公顷。

根据这些材料，全部产出能和投入的全部辅助能之比，从1955年的1.0减少到1975年的0.6。考察来自石油的辅助能，如仅就食用部分的稻米的比例来看，同期则从1.1降低到0.4；即1955年每生产一公斤米所需来自石油的辅助能是3,100大卡，1965年是5,700大卡，1975年则增加到8,500大卡。

以上数字是以全国平均数字为基础的。由于经营规模的差别而使农机具使用方法有所不同，应当考虑到投入辅助能的效率也会有所变化，如表2所示。到了1975年，随着经营规模的扩大，全部辅助能和来自石油的辅助能都在减少。随着规模的扩大，除光热动力一项外，其他几乎都没有变化，或有减少的趋势。在产出能中，秸秆部分的能量由于规模愈大而相对减少。但全部产出能与全部辅助能之比与经营规模之间的关系是不清楚的。但是，只就稻米来说，来自石油的辅助能和规模的比例，则明显地随着经营规模的增大而减少。另外，辅助能中来自石油部分的比率无显著变化。

表2 稻米生产中不同经营规模所需辅助能的差异⁽¹⁾

经营面积 能 源	不到30公顷	30—50	50—100	100—150	150—200	200—300	300公顷以上
全部辅助能	6,384	5,951	5,627	5,538	5,427	5,509	4,671
来自石油的辅助能	5,142	5,070	4,666	4,561	4,386	4,240	3,897
产出能（稻米）	1,699	1,685	1,702	1,766	1,833	1,897	1,786
产出能（稻米 + 秸秆）	3,625	3,599	3,598	3,380	3,072	3,193	2,899
产出能（稻米 + 秸秆）/辅助能	0.57	0.60	0.64	0.61	0.57	0.58	0.62
产出能（稻米）/石油能	0.33	0.32	0.37	0.39	0.42	0.45	0.46

注：1975年的计算值，能量单位为1万大卡/公顷。

最近20年里，在日本稻米生产的辅助能中，来自石油的部分显著增加，来自非石油的部分却减少一半。这一事实说明石油取代了人力和畜力。化肥代替了堆肥厩肥，但是来自石油的辅助能，在这20年里仅增加到3.5倍，这和同期日本整个能量需求约增7倍相比，给人们以增长不是很多的印象。这一事实是否意味着，对在稻米生产中增加投入来自石油的辅助能，不应持以否定的态度？

农业生产本来是太阳能的转换过程，而仅从这一点就忙于做出辅助能的增加是走上错误的方向的结论，则为时尚早。这一问题暂置不论，且看其他作物上的情况。

三、日本的旱田作物和园艺作物的情况

对麦、薯、豆等旱田作物，蔬菜、果树等园艺作物也进行了和稻米一样的计算。表3是1975年的数值，可以看出需要的辅助能以旱田作物为最少。之后，按叶菜类、根菜类、果菜类依次递增。而果树虽比果菜类少，却比根菜类多。旱田作物约相当于稻米的半数，叶菜类与之相等，根菜类略多，而果菜类与果树则分别为稻米的4.6倍和2.6倍。至于设施栽培则多达稻米的10倍以上。来自石油的辅助能，也呈现大体相似的倾向，如以产出能（只限相当于稻米的主产物）与所需石油能相比，则以薯类的1.2为最多，依次为麦类、豆类、根菜、叶菜、果树、果菜，而设施栽培只不过是0.02而已。至于产出能与全部辅助能相比，其顺序也大体相同。

就食物来说，园艺作物产品里所含的能量本来就不多，人们食用蔬菜、果品的目的原不在于摄取热量，因此把产出能和投入能相比，就课题本身来说是欠妥的。但是依靠来自石油的辅助能程度较高，确是事实，特别是设施栽培需能之高是勿须多说了。

表3 旱田作物、园艺作物生产的辅助能和产出能⁽¹⁰⁾

能 源 \ 作 物	麦 类	薯 类	豆 类	叶 菜 类	根 菜 类	果 菜 类	设施果菜	果 树
全部辅助能	2310 (42)	3,401 (62)	1,977 (36)	5,372 (99)	6,585 (121)	24,829 (455)	86,632 (1589)	13,956 (256)
来自石油的辅助能	1,454 (32)	2,510 (56)	1,678 (37)	4,730 (106)	5,960 (133)	20,246 (452)	80,754 (1,804)	13,335 (298)
产 出 能	1,056 (60)	2,939 (166)	881 (50)	1,048 (59)	1,606 (91)	1,696 (96)	1,864 (105)	1,575 (89)
产出/石油能	0.73	1.17	0.53	0.22	0.27	0.08	0.02	0.12
每一公斤产品所需石油 辅助能(大卡/公斤)	4,640	831	8,216	842	1,334	2,446	8,200	5,262

注：①1975年的计算值，能量单位为1万大卡/公顷。

②表中麦类(小麦、大麦)，薯类(甘薯、马铃薯)，豆类(大豆、花生)，叶菜类(白菜、洋白菜)，根菜类(萝卜、胡萝卜)，果菜类(黄瓜、西红柿、茄子)，果树(柑桔、苹果、葡萄、梨、桃)，系取括号内作物的平均值。

③括号内的数字是以稻米为100时的相对数值。

④产出能只限于主产品。

表4 农产品生产中投入的辅助能量

(吉野等，1977年)⁽¹²⁾

能 源 \ 作 物	稻 米	小 麦	甘 薯	黄 瓜	西 红 柿	白 菜	萝 卜	温室黄瓜	温室 西 红 柿	苹 果
辅 助 能	2,549	1,626	229	731	1,047	389	228	4,444	3,598	450
产出/辅助能	1.32	2.01	5.24	0.12	0.32	0.39	1.09	0.02	0.09	0.41

注：1974年的计算值，能量单位为大卡/公斤，引用时省略部分数字。

四、日本能源的需求与农业生产

综上所述，有关稻米、旱田作物、蔬菜、果树等投入的辅助能是就作者的研究报告提出的。吉野等以1974年“产业关联表”为基准，就各生产部门的各种产品单价计算投入的能量，得出能量原单位(单位产品重量所投入的能量)，用以计算从生产费调查得到的农业生产所需的辅助能。它除了和作者所取的年份不同外，在计算方法上也有些出入(表4)。这是由于能量原单位的求法不同。如在稻米生产中，产出能与辅助能之比，作者计算为0.40，吉野则为1.3；另外，同是依据“产业关联表”，而高仓得到的却是0.6⁽⁸⁾。这在能量计算时准确程度不够，今后有必要从事更加详细的探讨。

关于日本的能源供应情况，如前所说，主要依靠石油进口。至于需要方面的情况如表5所示。在这20年里，总需要量增加了6.6倍，除能源部门需要外，其它各部门需要量的增加都在5.6—7.1倍的范围。各部门在总需要中所占的比例几乎没有改变。农林水产部门在总需要中约占2%左右。

在上面求得的辅助能中，用来自石油的辅助能乘以各作物的栽培面积，求出投入作