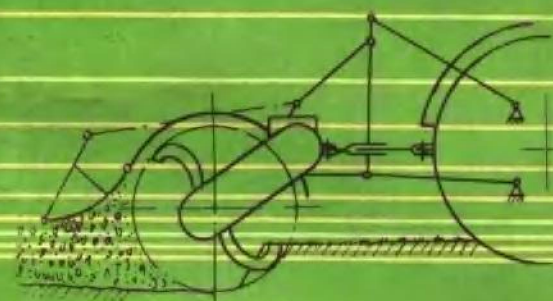
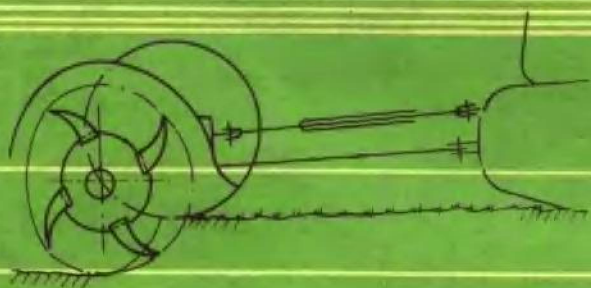
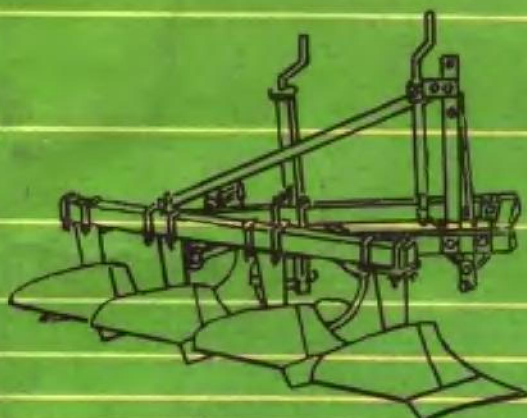


农业机械运用学原理

张松明 吴相淦
编著

编著

中国农业机械出版社



农业机械运用学

农业机械运用学原理

吴相淦 张松明 编著

中国农业机械出版社

内 容 简 介

《农业机械运用学原理》一书是在吸收国内外农机运用科学技术最新成就，并总结我国农业机械运用实践经验的基础上编写的。书中对农机运用学的基本原理作了比较全面的论述。全书共分六篇二十二章，分别对农业能源，农业机组运用原理和运用指标，农业机器技术维护和技术诊断，农、林、牧、渔各业的机械化工艺，农业机械选型和配备的原理和方法等方面进行了比较详细的分析和介绍。这些内容对于研究和指导农业机械的合理运用和科学管理都有重要的意义。

本书既可作为高等农、林院校农（林）业机械化、农业经济、企业管理等专业的教学参考书，也可供农场、农机服务站及农业和农机管理部门的干部和科技人员阅读。

农业机械运用学原理

吴相淦 张松明 编著

责任编辑：王蕴昆 尹荣英

封面设计：刘 代

中国农业机械出版社出版（北京阜成门外百万庄南里一号）

（北京市书刊出版业营业许可证出字第117号）

河北省涞水县印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

开本 787×1092¹/₁₆·印张26¹/₄·字数 643 千字

1990年5月北京第一版·1990年5月河北第一次印刷

印数 001—6851·定价：20.00元

ISBN 7-80032-035-9/S·13

前 言

农业机械运用学是在我国农业机械化过程中发展起来的一门新兴科学；曾为指导发展国营农场、农机站和队的工作起了一定作用。

党的十一届三中全会以来，农业生产迅速发展。随着农民多种经营的开展和收入的增加，自购农业机械的数量日益增多。只要对农业机械化有正确的认识，体制和经营形式有新的适应性改革，科学地使生物措施与工程技术相结合，讲究经济效益，节约能源，我国农业机械化工作必将稳步前进。农机运用学也将在新的基础上进一步发展！

在本书第一篇绪论中对农业机械化的历史作了概略的回顾；对已经成为全国生产关键的能源问题列章提出。第二篇机组运用原理，着重研究拖拉机机组的基础理论、技术性能和运用指标。第三篇则加强对机器的技术维护原理的阐述与讨论。第四篇中以农作物生产为重点，按主要作物和工艺过程加以论述。在第五篇中根据我国目前生产发展实际情况，对林、牧、渔各业的机械化加以介绍与讨论。提高管理水平，讲求经济效益是当前经济建设中的关键，在第六篇中对农机的选型、配备进行了分析和研究。

本书第四、五、六、七、十二、二十二各章由张松明编写，其余由吴相淦编写。

本书既可作为高等农林院校有关农（林）业机械化、农业经济及企业管理等专业的教学参考用书；也可供农机户、农场、农机服务站、队及各级农业和农机管理部门的干部和技术人员阅读。

由于我国农业机械化事业正处于改革时期，许多问题还在探索。同时，限于水平，内容取舍、论证、安排各方面错误难免，请读者多加指正。

编者

目 录

前言

第一篇 绪 论

第一章 农业机械化发展概况	1
第一节 农业机械化的历史与现状	1
第二节 农业生产过程与农机运用	3
第二章 农业生产与能源	5
第一节 农业生产与能源的相互关系	5
第二节 人力	8
第三节 畜力	11
第四节 生物质能	17
第五节 水能	23
第六节 风能	26
第七节 太阳能	31

第二篇 机组运用原理

第三章 机组动力学	37
第一节 驱动力矩与切线力	38
第二节 土壤附着力及驱动力等的相互关系	39
第三节 拖拉机机组运动方程式	45
第四节 手扶拖拉机机组的总体动力学	51
第五节 轮式拖拉机机组的总体动力学	55
第六节 履带式拖拉机机组的总体动力学	57
第七节 机耕船的总体动力学	60
第四章 机组运动速度	67
第一节 机组在田间作业时的速度范围	67
第二节 机组的理论速度和实际速度	69
第三节 影响高速机组提高生产率的因素	72
第四节 地面不平对提高机组运动速度的影响	74
第五章 拖拉机在田间运用时的牵	

引性能	76
第一节 拖拉机的功率平衡	76
第二节 拖拉机的牵引特性	83
第三节 拖拉机的功率、重量和速度对牵引性能的影响	87
第四节 拖拉机附着性能对牵引性能的影响	88
第五节 拖拉机机组在坡地上工作的特点	93
第六节 海拔高度对拖拉机牵引性能的影响	96
第六章 农机具阻力	98
第一节 农机具牵引阻力的构成	98
第二节 农机具的单位阻力	100
第三节 农机具牵引阻力的波动	102
第四节 影响农机具牵引阻力的因素	108
第五节 驱动农机具工作机构所需的功率	113
第七章 机组编制	115
第一节 正确编制机组的目的和要求	115
第二节 拖拉机发动机合理负荷的原理	115
第三节 农机具和拖拉机的联结	121
第四节 编组计算	124
第五节 拖拉机负荷程度的评价指标及实地检查	127
第六节 改善机组功率利用的措施	130
第七节 采用高档小油门节省燃料消耗	132
第八章 机组运动学	134
第一节 机组运动学的基本概念和分析方法	134
第二节 机组的回转种类及其长度	140
第三节 机组行走方法的分析	145
第九章 机组运用指标及技术定额	151
第一节 机组生产率	151

第二节	机组的时间利用及其分析	154
第三节	机组工作时劳动量的消耗	158
第四节	作业中燃料及润滑油料的消耗	158
第五节	作业中机械能的消耗	161
第六节	单位工作量成本	162
第七节	制定技术定额的方法	163

第三篇 农业机械的技术维护

第十章	农业机械技术状态恶化的规律	167
第一节	农业机械技术状态的恶化	167
第二节	农业机械技术状态恶化的一般规律	174
第三节	农业机械零件的磨损极限值	182
第十一章	农业机械的技术维护制度	185
第一节	基本原理	185
第二节	农业机械的交接、运运转与保管	188
第三节	农业机械的技术保养	195
第四节	拖拉机技术保养中几项操作的分析	200
第五节	技术维修与机器设备更换的分析	202
第十二章	机器的技术诊断	208
第一节	技术诊断和工程诊断学	208
第二节	机器技术状态与参数	209
第三节	发动机的技术诊断	210
第四节	拖拉机液压系统的技术诊断	221
第十三章	油料业务	229
第一节	燃油损失原因分析及防止方法	229
第二节	油料使用性能与选用	230
第三节	使用柴油的特点——净化	234

第四篇 农业生产过程机械化

第十四章	农业生产过程中机械化工作的技术组织	241
第一节	农业系统的特点	241
第二节	农业生产工作的机械化	244
第三节	机组生产工作的技术组织	245

第四节	农业工作质量的要求和它的工艺性指标	248
第十五章	主要作物生产的机械化	251
第一节	水稻生产的机械化	251
第二节	小麦、大豆等机械化生产情况	264

第十六章	田间作业的工艺与组织	270
第一节	耕耙作业的工艺与组织	270
第二节	播种的工艺与组织	280
第三节	中耕的工艺与组织	289
第四节	植物保护的工艺与组织	294
第五节	农业排灌机械作业	298
第十七章	谷物的收获与脱粒	302
第一节	谷类作物的联合收获	302
第二节	作物的分段收获	311
第三节	脱粒场和晒谷场的工作	313
第十八章	农业运输和产品干燥	316
第一节	农业运输的特点	316
第二节	农业运输车辆的主要技术性能	318
第三节	衡量运输工作的主要指标	322
第四节	联合收获时运输工具需要量的计算	325
第五节	农业运输的计算与计划	326
第六节	装卸工作的机械化	329
第七节	农产品的干燥	330

第五篇 林、牧、渔业机械化

第十九章	林业机械化	339
第一节	林业机械化的现状	339
第二节	林业拖拉机	341
第三节	林业工作机具的运用	346
第四节	山地开发与林业机械化	351
第二十章	畜牧业机械化	353
第一节	畜牧业机械化的现状	353
第二节	草原建设	355
第三节	饲料栽培与收获加工	357
第四节	畜禽饲养管理的机械化	367
第二十一章	渔业机械化	373
第一节	渔业资源及生产概况	373

第二节	渔轮捕捞及定位捕鱼.....	374
第三节	池塘养鱼机械.....	379
第四节	高密度养鱼.....	383

第六篇 农业机械的总体运用原理

第二十二章	农业机械的选型 与配备	389
第一节	农业机械化工艺方案的选择.....	389
第二节	农业机械的选型.....	390

第三节	农业技术性能的评价.....	395
第四节	农业机械投资的经济效益 分析.....	396
第五节	对机械操作人员劳动条件的 评价.....	399
第六节	农业机械配备的原理与 方法.....	401
第七节	评价农业机械配备方案的技术 经济指标.....	409

第一篇 绪 论

第一章 农业机械化发展概况

农业机械化是根据我国农、林、牧、副、渔五业生产发展的经济规律，与现代生物科学的技术措施紧密结合，因地制宜地采用半机械化与机械化农机具设备和相应的组织管理，逐步把落后的小农经济改造成为适合中国社会经济特点，并具有先进水平的大农业的一个较长时期的发展过程。它的目的是充分合理利用农业自然资源和劳动资源，提高土地生产率、劳动生产率和农产品商品率，对国家多作贡献，增加集体和个人的收入，满足全国人民生产和生活的需要，以巩固工农联盟和人民民主专政，加速四个现代化的早日实现！

第一节 农业机械化的历史与现状

一、农业机具与动力发展概述

在人力为主的古代，就选分叉的树枝为“丰”，或者在曲木杆前夹一石板为“吕”。虽然我国居住在不同地区的商、周民族所用的工具各有不同；但这些原始农具的使用都是为了易于破土耕种。经过铜铁器时代，和“人耦耕制”的发展，“丰耜”演变成为一种前面象桃子形尖的金属板，手柄仍用木制。大约在战国时代，原来用作战争的牛马畜力用到农业生产中，促使“丰耜”的形体随能源的增大而演变成所谓“犁铧”或“犁冠”，也就是我国土犁的雏形。

唐代陆龟蒙撰的“丰耜经”中即绘图描述我国土犁随畜力代替人力后，各部件与总体的演变。为了适应耕作不同情况的需要，对犁铧、犁壁部分强调有水陆之分。种植农具也由人力的“耨”种或“点葫芦”演变成牛、马、驴拖的耩子作谷物条播之用。农业运输也由人推独轮车或手拉车改进为较大的双轱辘车或利用风力的帆船，同时利用水能的筒车和水磨、水碓等都开始出现。可见农业生产随人力、畜力、风能、水能而逐步发展。

在欧洲各国18世纪以前也以人力、畜力为主要农业能源，生产的农具也并不比我国先进。但是，到了19世纪煤炭逐步被开发，代替木材为燃料以驱动农业中的蒸汽机，并发展为可移动的蒸汽拖拉机，既可用来抽水、加工和带动复式脱粒机，也可用绳索牵引多铧犁耕作。这种蒸汽拖拉机即为20世纪初的汽油、煤油拖拉机奠定了基础。

美国建国不过200多年的历史，一切工农业技术先都由欧洲传入。当时，能源主要靠森林资源、人、畜力、水力与风力。直到18世纪末还在以烧柴为主。人力不足时，只有向非洲引入黑人，迫使他们为奴隶，担负笨重的农活。农奴的解放促进美国非从人、畜力走向动力机械化不可。

约19世纪中叶谷物收割机、乘式犁、中耕机、播种机、脱粒机等在美国发明后,也不过增加役畜组中的头数,并且田间牵引和固定回转驱动并重。由于地块长大成片,当小麦联合收割机发明推广时,不过使用4匹马或6排共24匹马共同牵引。直到蒸汽机引进后,复式脱粒机及一些加工机械才以烧柴炭的蒸汽机为动力。为了转移便利,加上4个车轮,即成蒸汽拖拉机;但效率很低,行动笨重。所以,一旦内燃机发明,即很快取而代之,而畜力逐渐减少,直到本世纪50年代前后才退出农村动力的舞台。

1920~1940年主要是以汽油和液化天然气等为拖拉机燃料,到后来才逐渐被柴油机取代。1940年以后农机主要改为三点液压悬挂机构体制,并作相应的改进。棉花采收及牧草青饲的机械化程度更加提高。灌溉则多采用深井灌溉机械和大型水利枢纽工程,完全以电能代替。假如,半机械化与机械化的主要区别在于能源的改变,则可认为美国1920年以前是从以人畜为主的机具,转变成多畜和少量蒸汽机为能源的半机械化时代。1930年以后,是以内燃机为动力的机械化时代。1950年以来则为全盘和大型机械化时代,并进入了电子自动控制监视的新时代。

二、我国农业机械化发展概况

我国的农业机械化的发展是随新中国的诞生而发展起来的。1947年秋东北还未全部解放,党就考虑到发展农业机械化的问题。1948年春在东北先后建立了16个机械化国营农场,使用拖拉机和大型农业机械发展农业生产。同时,提出“积累经验、培养干部和示范农民”的指导方针。

全国解放后进行土地改革,得到土地的农民迫切需要农具,当时中央人民政府农业部即组织生产大批旧式人畜农具,以应急需。到1953年为止,共增补旧式农具5900万件。同时在北京、东北、西北等地成立了华北农机总厂及各地农具厂及研究所,研制新式农具,其中有七寸步犁、三齿耘耧、解放式水车等。这一系列措施不但受农民欢迎,且对当时农业生产与国民经济恢复,起了积极作用。

1952年秋冬开始筹办农业机械拖拉机站(简称拖拉机站),先在各省试点,然后推广。1958年人民公社成立后,大部分拖拉机站下放给附近公社,有些则仍采用国有国营、国有社营或国社合营等经营方式。以后,又发展到生产大队和生产队集体经营管理所属拖拉机或农业机械。随着当时手扶拖拉机及中型拖拉机的推广普及,多数公社成立农业机械管理站(简称农机站),加强了对农业机械的管理。

1959年洛阳第一拖拉机厂开始投产,生产出东方红-54型履带式拖拉机,随后天津拖拉机厂生产铁牛-40型轮式拖拉机。从70年代起,全国各地已能生产10多种型号的拖拉机。与此同时,各地先后建立了许多农业机械厂,生产联合收获机及各种农业机械。初步建立起我国独立的农业机械制造体系,为发展农业机械化奠定了物质基础。石油工业的发展,对促进农业机械化的发展也起了很大的作用。

三、农业机械化现状

党的十一届三中全会以来,随着农村联产承包责任制的推行,农业机械化在新的基础上得到了更快的发展。1985年与1978年相比,全国农机总动力增加了1.185亿千瓦。而且这样多的农业机械是农民自己拿钱购买的。1985年末,全国农机电总动力为2.12亿千瓦,农户拥有的拖拉机占全国农村(国营农、牧场除外)拖拉机拥有量的77.9%。其中大中型拖拉机占12.9%,小型拖拉机占87.1%。1985年末,全国农户自有的农用汽车,占全国农村汽车总辆

有量42.7万辆的57.1%。

目前,我国农村经济正在向专业化、商品化、现代化转变,进入了商品生产的新阶段。农业的技术改造是一个重要问题,这种形势对农业机械化提出了更高的要求,为农业机械化的发展显示出更加广阔的前景。

第二节 农业生产过程与农机运用

一、概述

广义的农业是指利用生物进行生产活动的一个大部门,它包括直接或间接利用土地进行人类预期的生物产品的生产,随着分工的日益专精,逐渐形成农、林、牧、副、渔五业与相应的科学。但从自然生态平衡、土地合理利用、生物系统循环和经济效益等角度研究,都证明把农、林、牧、副、渔相互有机结合,各按适当比例组成的整体大农业,是完全符合自然规律和经济规律的。

因此,农业生产过程是指从土地、禽畜厩舍、渔场水塘等生产环境的准备和培育幼苗、种畜、鱼苗等开始,直到收获、捕捞、加工、贮运产品为止。这些产品都具有生物特性,因而全生产过程都包括由人一机直接参与而发生物理、化学和生物变化的过程,如耕作、饲养、保护、管理……等,和依靠自然规律完成的生物生长、发育、成熟过程。农业生产的任务是要通过揭示和研究这两种不同过程的内在相互联系,采取适当措施,以控制人一机活动过程,促使生物生长、发育、成熟等自然发展过程,向着最利于人们预想的目标推进。

据统计资料表明,在农业结构中,1985年农作物种植业产值在农业总产值中所占的比重由1978年的76.7%下降到50.1%;林、牧、副、渔业产值合计在农业总产值中所占的比重,由1978年的23.3%提高到49.9%。由上述数字可知,尽管通过农业内部产业结构的调整,林、牧、副、渔各业的产值比重有了较大的提高,但农作物的生产仍居主要地位。整个农业生产过程一般包括下列8种工艺过程:

- (1) 土地、水域和场舍的区划、清理和平整。
- (2) 农、林、草场土壤耕作及禽畜舍、渔场、池塘准备工作。
- (3) 种子、苗木、种蛋等的萌发、孵化与培育。
- (4) 农作、林木、牧草等的种植与家禽、牲畜、鱼苗等的繁育。
- (5) 田地、水域、禽畜舍、蚕房等处生物的环境管理与保护,促使生长条件的改善。
- (6) 生产产品的收获、捕捞和采摘。
- (7) 各种产品的粗加工处理,如脱粒、剥壳、剪毛等及产品干燥、调制与贮藏。
- (8) 农、林、牧、副、渔各业产品的运输。

上列8种工艺过程之中,前7种对各种农业加工对象,如土壤、水域、作物、林木、禽畜等的物质状态进行不同程度的改变;最后运输过程则并不改变对象本身,而只移动它们的位置。但农业运输的工作量可占全部工作量的40~60%(依生产种类与企业规模而定)。

各项工艺过程进行之前,对所需机具设备、房舍、池塘等都必须作好准备,如机具的技术维护、机组编制、物资供应、劳动组织调配等。任何农业生产都包括作业辅助过程、纯工艺操作和运输三个组成部分。至于完成每一过程的途径与方法,应根据当时、当地社会经济及科学技术水平,实事求是地采取人力、半机械化、机械化,甚至于电子自动控制,

每项工艺过程由若干不同作业组成,每一作业有它的特定农业技术要求,又可包括许多不同操作。但任何作业或操作的划分,都取决于当时所用的生产工具。例如,人用锄头进行“播种作业”,则将分为用锄头开沟、人手下种和用脚覆土压实三项“操作”。假如,改用播种机播种,不管用哪种动力,都可将上述开沟、下种、覆土三项操作(也可看作三项工序)合为一项“作业”完成。现在为了节约能源,提高播种质量,常使耕作与播种两项作业合并,甚至将施肥、施除莠剂等合成一联合作业机组,即将上列各项作业一次完成,既节省了能源、减少对耕地压实的次数,更有防止水土流失、促进增产的效果。总之,选择合适的工艺过程和采取相应的机具设备,既是农艺改革与农机改革相互适应、相互促进的具体体现,也是农机合理运用的基础。

为了以最少的投资去完成农业生产过程,取得最佳产量和收益,必须根据需求和可能合理地选择经济上最佳方案,配备一定数量而且互有关联的农业动力、农机具和附属设备。这整套的生产机具设备即为这一生产单位或部门的农机总体或机群,也是这一单位生产力的重要组成部分。这种农机机群的合理选择与配备,将为农机运用原理中全面研究重点之一。

至于在农业生产单位实际执行和完成工艺的基本工具为各种“机组”。它由生产者利用不同动力和工作机具设备组成,如畜力机组、拖拉机机组、电动机机组、饲养机组和采伐机组等。这些机组可以进行单独作业,也可以形成复合机组进行复式作业。

机组还可分为牵引机组、固定机组、绳索牵引机组。牵引机组的特点是,由不同动力拖作业机具对广阔的耕地、林区、水域中的加工对象进行作业加工。相反,固定机组则由人力或机械使加工对象向不动的机组移动,然后接受加工作业。介乎二者之间,还有绳索牵引机组,工作时动力不移动,而工作机具被绳索牵引进行作业,如耕地、拉动物料、捕捞等。在农田作业中以牵引机组较多。不过原来作业机具与动力机相销联的形式,已逐渐改成有液压提升设备,并用两点或三点挂接的悬挂机组或半悬挂机组。随着机组的改进和发展,也提高了工艺过程和操作的效果。农机运用时应结合我国农业生产的特点和实际情况构成合理的机组,以便有效地进行作业。

二、农业机械运用学的目的和任务

农业机械运用学这门学科是与农业机械化同时产生和发展起来的。它的研究对象是农业机组、机群和运用农业机械进行农业生产的企业。它的目的是通过对农业机组和机群的合理运用和科学管理,实现优质服务、安全生产、提高作业效率、节省燃料和其它材料的消耗、降低作业费用,以获得良好的经济效益和社会效益。农机运用学所要解决的任务在不同的阶段有不同的重点。在农业机械化发展的初期,研究的重点是拖拉机和农机的合理组合及其工作规律的问题,它涉及的内容有机组编制、机组的行走方法、提高机组生产率、降低燃料消耗、降低作业费用等问题。随着农业机械化的发展,农业机械的型号和数量大量增加,不仅涉及个别机器和机组利用规律的问题,而且也涉及一个企业,一个乡或一个县的机群的运用和管理的问题。

随着生产实践经验的积累,测试手段的不断改善以及现代管理科学技术的不断发展,农机运用科学也在不断发展。由于我国各地的自然条件、经济发展水平、经营规模、技术水平等差异很大,农机运用也有不同的特点,因此,我们在应用农机运用科学时,必须结合各地的具体情况,总结出符合于当地实际的经验,找出规律性的东西,促进我国农机运用科学的发展,更好地为我国的农业机械化生产服务。

第二章 农业生产与能源

第一节 农业生产与能源的相互关系

从能量的观点来看,农业生产的过程实质是能量转换的过程。因此,农业生产与能源的关系非常密切。

由于优良品种、化肥、农药、农机装备和栽培培育、技术管理的不断改进,近代农业生产率提高得很快。例如,美国由本世纪初一个农民能养活10多人,增加到能养活60~70人;然而,投入每亩农田的能量也逐步增加。单靠人工、刀斧、锄铲种的玉米每亩产量为129.6千克(见表2-1),折合热能值28649770千焦,而投入能量总和为2829146千焦,则输出与输入之比为10.13:1,即投入一千焦的能量可获得10.13千焦的能量。我国有些后进地方可能就是这样。但是,到了1970年左右,劳动力的确节约了不少(每15亩玉米只耗人力22个工时),产量也增加到每亩667千克,利润也有所增加;而能量输出和输入之比下降到2.52:1。当然,这种比值随作物、牲畜的种类和生产方式而各有不同。有些家畜与蔬菜投入的能量反比输出的能量要多几倍。近年的所谓“高能农业”使美国各种作物能量输出与输入之比的总平均达到1:1.4;若加上产品加工、运销、制备等消耗的能量,获得1千焦食品,已需投入7千焦左右的能量。

表2-1 用人力和原始农具生产玉米能量输入与输出①(墨西哥)

能量输入(A)和输出(B)	每万米 ² 的输入和输出值	每万米 ² 热值(千焦)
劳力	1144工时	2606794
锄与镰用铁	69082千焦	69082
种子	104千克	153270
总能量输入(A)		2829146
总能量输出(B): 玉米产量	1944千克/万米 ² (129.6千克/亩)	28649770
能量转换率 $\frac{(B)}{(A)}$		10.13

① 资料来源:美国杂志(Science), 1973, 皮特门特尔等。

这种高能农业由于化肥、农药、良种、机具都是间接消耗一定能量得来的,也就是常指的“物化劳动”消耗。至于田间作业、灌溉、加工、运输等,都属于农业中直接的耗能。劳动工时虽然减少,不过是意味着物化劳动的增加。例如对生产动物性食品如猪牛肉、家禽、牛奶、鸡蛋等来说,耗费在种植、收获、制作、贮藏饲料已有不少能量,但还要加上饲养的劳力、机具设备和厩舍建筑等。同时,当家畜等吃了饲料转化成肉或奶的过程中并不能完全吸收其中的养分,一般只吸收66~85%的能量,自然消耗的能量很多,这是易为人理解的。

表2-2为欧美高能农业所生产的农、牧、园艺产品能量利用和转换情况。可见有些蔬

表2-2 一些农产品能量利用的估计①

产品名称	能量输出 〔兆焦/(万米 ² ·年)〕	能量输入 〔兆焦/(万米 ² ·年)〕	$E = \frac{\text{输出}}{\text{输入}}$ ②	蛋白质输出 〔千克/(万米 ² ·年)〕	生产蛋白质的输入 〔兆焦/千克〕
小麦	61044	19611	3.11	435	45
大麦	60637	18112	3.35	310	58
马铃薯	69346	52033	1.33	460	113
白面包	47131	31719	1.48	368	86
甜菜	82555	25213	3.28	—	—
胡萝卜	32523	25117	1.30	234	107
干洋葱	27717	97691	0.30 (3.33)	276	338
温室西红柿	62040	130084	0.05 (20)	945	1361
牛奶	12008	17011	0.70 (1.43)	145	118
牛肉	2403	10605	0.23 (4.35)	31	348
猪肉	11409	18012	0.63 (1.59)	76	238
羊肉	2495	10107	0.25 (4)	22	465
蛋鸡	8004	22517	0.28 (3.85)	113	200
肉鸡	4296	29421	0.15 (6.67)	145	203

① 资料来源：怀特(White)Energy Use in Agriculture, 1976;

② 括弧内数字表明E值的倒数，如0.3为1:3.33。

菜除含维生素等丰富外，能量转换率并不高。至于肉类并不由于食草或食混合饲料来决定耗能多少，主要由近代大规模饲养方法及机械化程度高低来定所消耗与输出的产品或能量。

表2-3列出各国商品能源的投入量与谷物产量的关系。

表2-4列出各种生产水稻方式所需商品能源的数量。美国以直播水稻为主，机械化程度很高，投入化肥、农药等间接耗能也较多，而产量远高于菲律宾传统和现今采用的移栽水稻方式。

我国江苏省农业科学院选定太湖地区进行了几种种植制度的转换状况的研究。以吴县越溪一大队及邻近地区农科站等为基地，得出了定位观测田不同作物及不同种植制度下的能耗及能量产投比，在表2-5及表2-6中列出。可见只栽培一季作物投入的无机能（化肥、农药、燃油、电力、农机折旧等项）一般在1256~1674.7兆焦/亩，有机能（有机肥、劳力、畜力、种子等项）1674~4186.8兆焦/亩，两者合计2930.8~5443兆焦/亩。其中无机能占全部投能的23~37%。无机投能的结构大致为：化肥占70~80%；机、电、油合占10~30%；农药仅占2~5%。在当地现有条件下，产出能与无机能之比约为7~9；产出能与全部能之比约为2~3。每千克农产品（原粮）耗无机能1549~2386千焦，或耗全部能4.18~9.6兆焦（每千克标准煤含能29307.6千焦）。

表2-3 商品能源的投入量与谷物产量的关系①

地 区	能量投入/万米 ² (兆焦)	能量投入/工人 (兆焦)	产出/万米 ² (千克)	产出/工人 (千克)
发达国家	24.70	108.02	3100	10508
北美	20.22	561.03	3457	67882
西欧	27.93	82.48	3163	5772
大洋洲	10.80	247.02	976	20746
其它发达国家	19.43	19.09	2631	2215
发展中国家	2.22	2.22	1255	877
非洲	0.76	0.79	829	538
拉丁美洲	4.23	8.62	1440	1856
近东	3.81	4.40	1335	1386
远东	1.77	1.38	1328	781
中央计划经济国家	5.90	6.82	1744	1518
亚洲	2.39	1.72	1815	911
东欧和苏联	9.29	28.51	1682	4109
全世界	7.91	9.92	1821	1671

① 资料来源: FAO The state of food and agriculture, 1976, Rome.

表2-4 水稻不同生产方式所需商品能源的数量①

投入项目	美国直播方式		菲律宾过渡方式		菲律宾传统方式(移栽)	
	数量/万米 ²	兆焦/万米 ²	数量/万米 ²	兆焦/万米 ²	数量/万米 ²	兆焦/万米 ²
农机①	4.23兆焦	4.23	0.33千焦	0.33	0.17	0.17
燃料②	224.7升	9.00	40升	1.59	—	—
氮肥③	134.4千克	10.76	31.5千克	2.51	—	—
磷肥④	—	—	—	—	—	—
钾肥⑤	67.2千克	0.58	—	—	—	—
种子⑥	112.0千克	3.35	110千克	1.63	107.5千克	—
灌溉②	683.4升	27.34	—	—	—	—
杀虫剂⑦	5.6千克	0.54	1.5千克	0.15	—	—
除草剂⑦	5.6千克	0.54	1.0千克	0.10	—	—
干燥⑧	4.58兆焦	4.58	—	—	—	—
电力③	3.14兆焦	3.14	—	—	—	—
运输⑧	0.71兆焦	0.71	0.029兆焦	0.029	—	—
总计		64.90		6.36		0.7
产量千克/万米 ²		1.387		0.65		0.29
投入能量兆焦/千克		11.18		2.34		1.38
投入能 输出能		11 : 17		2.34 : 1		1 : 13.8

① 生产一千克农机具, 投能约68.71兆焦;

② 燃料一升投入能计40026千焦;

③ 氮肥一千克投入能以80.05兆焦计每千克稻米14.19~15.03兆焦, 平均为14.78兆焦/千克;

④ 磷肥一千克, 投入能14.01兆焦;

⑤ 钾肥一千克, 投入能9.01兆焦;

⑥ 生产优质种子一千克, 投入能30.02兆焦;

⑦ 农药一千克, 投入能约100.06兆焦;

⑧ 三项都系直接估计;

⑨ 引用周清敏资料: 世界农用能源的现状及前景。

表2-5 太湖地区栽培不同作物的能耗(兆焦/亩)

作物	生产量 (千克/亩)	产出能 (兆焦)	投入能				产投比		每千克原粮耗能	
			无机	有机	全部	无机/ 全部	产/ 投全部能	产/ 投无机能	全部能	无机能
小麦早播(2)	928.5	16521	1783.6	5978.8	7762.3	0.230	2.13	9.26	4160	956
小麦套播(3)	274.5	4886	1457.0	33.8	2796.8	0.521	1.75	3.35	4520	2360
元麦(10)	558	9920.90	1390.0	3190.3	4580.4	0.303	2.17	7.14	3740	1134
油菜(4)	516.5	9194.21	5610	3914.7	4475.7	0.125	2.05	16.40	8220	1020
冬绿肥(3)	186	3311.76	12.6	12.6	25.1	0.492	122	247	—	—
玉米(4)	390.5	6950	8918	2972.6	3864.4	0.253	1.92	7.73	3980	946
大豆(6)	264	4697.5	523.4	1628.7	2261.1	0.281	2.07	7.33	4640	1304
单季稻(4)	851.5	15135.28	1247.7	2436.7	3684.4	0.339	4.11	12.1	2100	708
前季稻(10)	601.5	1070.46	1310.5	4161.2	5367.5	0.244	1.99	8.17	3600	878
后季稻(15)	560	9960.39	1209.9	2043.2	3253.1	0.372	3.06	8.23	2820	1050
折能标准	氮肥 92.1兆焦 /千克	磷肥 54.43兆焦 /千克	钾肥 14.65兆焦 /千克	农药(含 纯)101.3 兆焦 /千克	柴油 38.5兆焦 /千克	电 12.56兆焦 /度	农机折旧 62802~ 115137千焦 /亩	劳力 10886千焦 /8小时	有机肥 16747千焦 /千克	

注：括弧()中数字为观察亩数。

表2-6 不同种植制度的能耗(兆焦/亩)

种植制度	生产量 千克/亩	产出能 (兆焦)	投入能				产投比		每千克成品耗能①	
			无机	有机	全部	无机/ 全部	产/ 投全部能	产/ 投无机能	全部能	无机能
麦-稻-稻(5)	1894.5	33712.1	3918.8	3918.8	13485.4	0.309	2.66	8.60	5020	1650
油-稻-稻(2)	1652.0	29395.5	3482.5	12267.3		0.220	1.87	8.49	6420	1414
肥-稻-稻(3)	1217.5	21662.5	2541.4	5999.7		0.297	2.54	8.52	8020	2386
麦-稻(2)	1723.5	30848.3	31945	8193.6	11688.1	0.281	3.71	9.66	4380	1230
油-稻(2)	1318	23454.5	1645.4	5380.0	7025.5	0.234	3.34	14.25	3100	722
麦-玉米-稻(3)	1175.5	20921.4	3207.1	5392.6	8599.7	0.372	2.45	6.62	4640	1728
麦-大豆-稻(5)	1381.5	25849	3588.1	7289.2	10877.3	0.330	2.26	6.85	6540	1494

注：1. 各季种子均扣除种子秧田后，再按出粮率折算成品成粮，大豆按1:2；油菜籽按1:217；

2. 括弧()中数字为观察亩数。

第二节 人 力

人类既能从事体力劳动也能从事脑力劳动，因此不仅能创造和使用工具进行生产，更可从实践中开发科学技术有效地去管理和发展农业。

我国8亿农业人口中，有3亿劳力，分布在农、林、牧、副、渔各业。一般按每天工作

8小时计算, 每劳动力相当于80瓦, 即全部为 24×10^6 千瓦, 等于75万台29.4千瓦拖拉机的功率, 若按每年出勤300天算, 等于576亿度的电能。

每个劳力所具有的作功能量与他的体力、年龄、劳动持续时间、工作性质等有关。我国近代有人体工程学, 专门研究各种劳动对人体生理和心理的影响, 以便获得更高的劳动生产率和收益。同时, 研究如何保护人体的健康。在农机方面特别注意作业时的紧张程度、操纵频率、出力大小、振动、噪声和空气污染毒害等。这一切都要通过试验及对操作人员的广泛调查得出最佳方案。

日本在研究农业劳动强度方面, 用能量消耗进行比较。食物在人体内经分解、化合而转变成热能, 用以维持生命和劳动。这种能量的积累和消耗, 称为“能量新陈代谢”。各种作业的能量代谢程度的大小, 称为劳动强度。劳动强度乘以时间, 就是人体能量消耗量。为了消除从事劳动的人在身高、年龄、性别等方面的差别, 日本采用能量代谢率 (Relative Metabolic Rate) 简化为R.M.R来表示, 计算式为

$$R.M.R = \frac{M-R}{B} \quad (2-1)$$

式中 R——休息 (睡眠时等) 能量代谢量 (氧气量或千焦);

M——作业时能量代谢量 (氧气量或千焦);

B——维持生命的基本能量 (氧气量或千焦)。

维持生命的基本能量的算法, 先求出身体表面的面积A, 再从表2-7求得维持生命的基本能量代谢的数值。用A值乘所查的值[千焦/(米²·小时)]即得。

表2-7 维持生命基本能量代谢标准值 (日本人, 1969年根据营养计算)

年龄 (岁)	千焦	男			女		
		千焦/米 ² ·小时	千焦/米 ² ·分	千焦/日	千焦/米 ² ·小时	千焦/米 ² ·分	千焦/日
16		172.7	2.85	6552.13	154.5	2.59	5469.3
17		168.7	2.80	6548.2	150.7	2.5	5296.3
18		165.8	2.76	6422.6	149.1	2.47	5220.9
19		162.4	2.72	6317.9	147.0	2.47	5137.2
20		157.0	2.63	6058.3	143.6	2.42	4911.1
30		152.8	2.55	5840.6	139.0	2.39	4781.3
40		149.1	2.47	5614.5	136.1	2.26	4612.4
50		145.1	2.43	5401.0	134.0	2.22	4521.7
60		141.1	2.34	5103.7	131.9	2.2	4274.7
70		135.2	2.26	4714.3	129.8	2.17	3973.3

休息时的能量代谢, 可进行实际测定, 否则可按维持生命基本能量代谢的0.2倍计算。作业的能量代谢, 则在作业时收集并测定呼气量, 分析呼气中含CO₂及氧气量求得。

表2-8列出在不同作物(水稻、小麦)的各种作业中,男女从事操作时的能量代谢率。

表2-8 水稻、小麦部分作业的能量代谢量

作物	作业项目	性别	作业内容	能量代谢率
水稻	中耕	男	使用旧式犁,行走60步/分	3.7
	人力碎土	男	用3千克锄碎土块,60次/分	7.0
	修理田埂	男	用平锹挖土抹在田埂上,20次/分	3.7
	拔秧	女	洗秧根捆小束,60次/分 水温18℃	1.8
	运秧苗	男	放苗入筐,二人用扁担抬,甩秧入水田	5.3
	插秧	女	34.4穴/分,四穴一行,后退	2.4
	插秧	男	45.4穴/分,四穴一行,后退	3.6
	人工除草	男	弯腰手除,并埋草入土,100~120步/分	3.8
	撒农药	女	背负喷雾(或粉)器撒农药	4.0
	收割	男	收割,但不打捆,一把4~6穴	4.4
	脱粒	男	用自动脱粒机,15~16捆/分	2.5
	人力脱粒	男	脚踏脱谷机,6~7捆/分	5.7
	拖拉机犁耕	男	耕深27厘米,田长80米,地头转弯0.67次/分	1.9
	拖拉机旋耕	男	耕深16厘米,田长80米,地头转弯0.14次/分	0.6
	手扶拖拉机旋耕		地头转弯2.2次/分	4.2
	机器插秧		久保田SP二行插秧机24步/分,步行	4.5
小麦	联合收割机收割	男	10.2米/分,乘坐式	0.5
	联合收割机收割	男	20米/分,收割3行	0.7
	人力锄地	女	向前弯腰翻田埂边上的土	3.4
	播种	男	用播种机,54米/分	2.4
	动力耕耘机耕地	男	用25马力拖拉机,16米/分	2.9
	人力割麦	男	弯腰割麦,5.2分内收割20米	4.1
	捆麦	男	三把一捆,竖立田中,4捆/分	2.5
	运麦捆	男	将40捆麦子用绳捆好背走60步/分	3.5
	运麦捆	男	用小手推车子,包括装卸	5.2
	割捆机收割	男	收2行,田宽20米,长95米,30米/分,130捆	3.1
	割捆机收割	男	收3行,20米正方田,5分45秒内收完	2.3
	动力脱谷机	女	连续不断地往脱谷机内喂入	2.3

我国农民每日消耗0.75千克米或面和一些豆食蔬菜,平均每天总能量输入约9629~1088⁸千焦。若使用手扶拖拉机在水田步行旋耕等工作,则营养必须增加。如按每日8小时工作计,则每小时分配能量1310.5千焦,人工田间操作时每一动作必须有一定间歇,故真正有效功仅约20%,即263.8千焦;而每千瓦·小时等于2683.7千焦,折合为0.098或0.1千瓦小时。显然,这一数值与平日及当天的饮食营养值及人体的代谢功能有关。而人的年龄与性别正如表2-7所示,也与代谢功能有关。青年时食量大、消化快、出力较大。中年较正常,老年后代谢功能减退,肌肉松弛,出力降低。

以上讨论的是较稳定做功情况,但人体肌肉都贮备有一定做功能量,在紧急瞬时人体可拿出贮备能作较大的功;如短短一分钟内可发出300瓦的功能,但不能持久。

人的肌肉作出有效功与所从事的工作性质及用力方式有关,如在进行中做功,象推车、拉犁等因需耗掉本身移动的功,以致不如静态时所能作的功。如划船、手摇车、脚踏机车做功,