

水 稻

与 人 类 营 养

中国农业科技出版社

北 京

IRRI

国际水稻
研究所



联合国
粮食及农业组织

水稻 与人类营养

Bienvenido O. Juliano

国际水稻研究所植物育种
遗传和生物化学处生物化学室 合著

联合国粮食及农业组织

谷 承等 译

孟宪学 校

中国农业科技出版社

北 京

(京)新登字061号

图书在版编目(CIP)数据

水稻与人类营养/ (菲律宾) 朱丽亚诺 (Juliano, B.O)
著; 谷承等译. -北京: 中国农业科技出版社, 1995.9

ISBN 7-80026-921-3

I.水… II.①朱… ②谷… III.水稻-关系-食品营养-
研究 IV.S 511

中国版本图书馆CIP数据核字 (95) 第09693号

责任编辑

陈焕生

出版发行

中国农业科技出版社
(北京海淀区白石桥路30号)

经 销

新华书店北京发行所发行

印 刷

中国农业科学院情报所印刷厂

开 本

850×1168毫米 1/32 印张:5.5

印 数

1—3000册 字数: 122千字

版 次

1995年9月第一版 1995年9月第一次印刷

定 价

8.00元

前 言

稻米历来是亿万人的主食和生计，将来也仍然是人类赖以生存的支柱。很多国家在水稻生产方面投入大量人力物力，以满足国内粮食需求。在亚洲发展中国家，稻米还是一种重要的国际贸易产品。

联合国粮农组织（FAO）的营养系列研究项目始于《水稻与稻米食品：营养调查》。自该书于1948年出版后，我们对水稻与稻米食品特性的了解日益深入。此外，稻米产量也极大增长，加工技术日趋复杂。为了充分提供这些变化方面的知识和技术信息，决定出版本书。

本书范围广，内容多，包括稻作方法和稻米消费模式；稻米食品的营养价值细节及与稻米食品有关的某些营养性疾病；影响食用和销售的米质特性以及稻米食品的加工制作技术；水稻生产发展及与人口增长和环境的关系。书后附有大量参考书目。

《水稻与人类营养》一书可供政府官员、院校师生和有关行业的读者了解水稻生产、加工、贸易和消费方面的信息。我们希望该书以及FAO出版的水稻贸易补充资料，能够解答众多读者关心的问题，对各国的发展和培训工作起到促进作用。

粮食政策与营养司司长

John R. Lupien

目 录

前 言

第一章	绪论·····	(1)
第二章	稻米消费国的稻米消费和营养问题·····	(15)
第三章	稻谷结构、成分和消费品质标准·····	(31)
第四章	稻米和稻米食品的营养价值·····	(54)
第五章	水稻产后加工、蒸谷和家庭备餐·····	(78)
第六章	稻米加工的主要食品·····	(93)
第七章	前景与挑战·····	(114)
参考书目	·····	(123)

第一章 绪 论

水稻 (*Oryza sativa*, 亚洲栽培稻) 是发展中国家最重要的谷物作物, 世界一半以上人口以稻米为主食。一般认为水稻是一种半水生性一年生草本植物。稻属约有20个种, 但农业生产上栽培的几乎全部是亚洲栽培稻, 非洲种植少量非洲栽培稻 (*O. glaberrima*, 多年生种)。所谓的“野生稻” (*Zizania aquatica*, 产于美国八大湖区), 它与燕麦的亲缘关系比与水稻的亲缘关系更近。

由于长期在不同环境中栽培和选择, 亚洲栽培稻已具备广泛适应性和耐性, 可以在深水淹没土地直至干旱丘陵坡地等一系列土/水条件下种植 (Lu和Chang, 1980)。亚洲已育成苗期或成熟期抗铝毒和耐洪涝品种 (IRRI, 1975, 图1), 以及耐盐碱和耐低温的品种 (Chang, 1983)。非洲已育成耐铁毒和耐高温的品种, 并已在生产中应用。目前除南极洲外, 各大洲共有100多个国家种植水稻, 稻作区域从北纬50°到南纬40°, 海拔高度从海平面到海拔3000米。

稻作的起源和传播

目前尚不十分清楚稻作起源的地理位置。一般认为水稻是在中国、印度和印度尼西亚分别独立驯化的, 从而形成了三个地理生态种: 粳型 (*Sinica*或*japonica*)、籼型 (*indica*) 和爪哇型 (*javanica*, 在印度尼西亚也称为 *bulu*型)。有证据表明, 印度在公元前1500年至2000年之间、印度尼西亚在公元前1648年前后已有水稻的人工栽培。考古学研究发现, 中国浙江省河姆渡至少在7000年前就已开始栽培热带稻或籼稻 (Chang, 1983)。最近, 在中

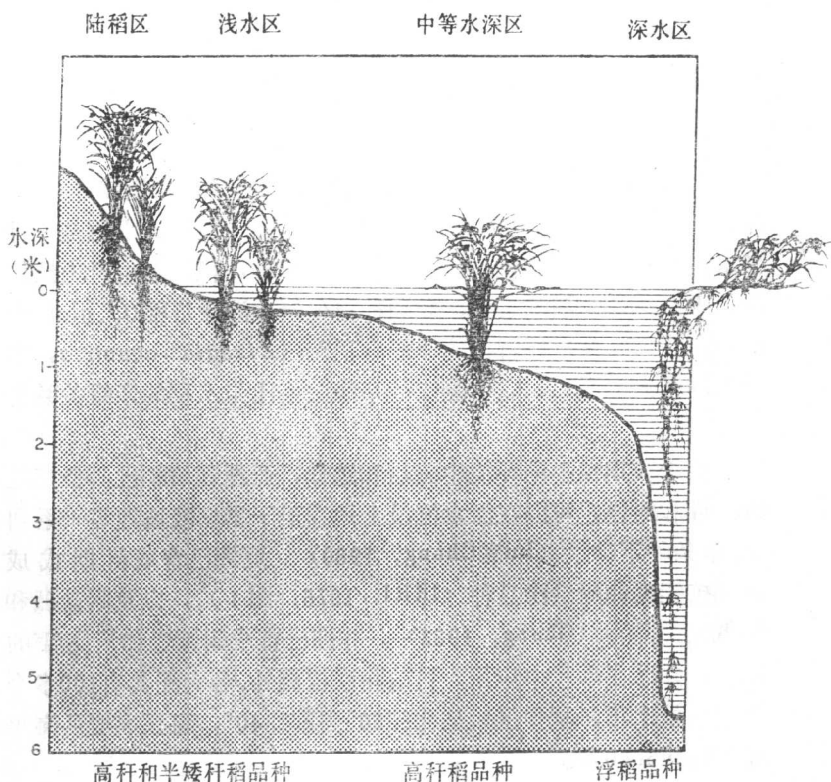


图1 按水资源和主栽品种类型划分的世界稻作区

资料来源：国际水稻研究所，1975

国浙江省罗家角又发现了同年代的温带稻或粳稻 (Chang, 1985) 遗迹。稻的栽培范围迅速扩大，从热带 (南亚和东南亚) 和亚热带 (中国西南和南方) 起源地向亚洲高海拔和高纬度地区传播，距今2300年前传入日本 (Chang, 1983)，传入西非、北美和澳大利亚的时间不超过600年。美国南卡罗来纳州约在1690年形成完整的稻作体系 (Adair, 1972)。在欧洲，葡萄牙和西班牙从

8 世纪开始种稻，意大利南部从 9 至 10 世纪开始种稻 (Lu 和 Chang, 1980)。

世界稻谷与其他谷物产量比较

表 1 列出了 1989 年世界谷物产量数据。世界稻谷总量的约 95% 产于发展中国家, 92% 产于亚洲。与此相对照, 发展中国家生产的小麦只占世界总产量的 42%。表 2 列出了主要产稻国的稻谷产量、进出口数量及估计的灌溉稻面积。1988 年, 中国的稻谷总产量最高 (占 35%), 其次为印度 (22%), 印度尼西亚 (8.5%)、孟加拉国 (4.7%), 泰国 (4.3%) 和越南 (3.4%)。在稻谷主产国中, 只有巴基斯坦、美国和埃及全部是灌溉稻 (IRRI, 1991a)。很多国家以栽培陆稻为主, 如泰国和巴西。

在各种谷物中, 稻作用地面积最大。1989 年, 全世界稻田面积共有 1.475 亿公顷, 其中发展中国家占 1.414 亿公顷 (96%), 亚洲占 90%, 共有稻田 1.321 亿公顷 (FAO, 1990a)。

1989 年世界各地谷类作物的平均单产, 发展中国家低于发达国家 (FAO, 1990a) (表 3)。大洋洲 (主要是澳大利亚) 的稻谷单产最高, 其次是欧洲、北美和中美洲, 非洲和南美洲最低。

根据出米 (面) 率的转换系数把各种谷物的单产换算成成品粮, 结果发现水稻的成品粮产量最高 (表 4)。成品粮热量值与成品粮产量成正比, 其原因是各种谷物粮食的热能含量相似。但从成品粮蛋白质总量来看, 小麦面粉要比精米高, 原因是小麦面粉的蛋白质含量比精米高。

表1 1989年各区域谷类作物、块根、块茎和豆类作物总产量(百万吨)

区域	小麦	稻谷	玉米	高粱	粟类	大麦	黑麦	燕麦	谷物 总计	块根块茎 总计	大豆、花生 和豆类
非洲	12.7	10.7	37.0	13.7	9.3	5.6	0.01	0.2	90.5	102.6	11.7
北美和中美洲	84.2	9.5	212.0	22.0	0.2	20.9	1.2	9.1	360.6	23.8	59.9
南美洲	19.0	17.1	36.6	3.1	0.05	1.2	0.1	1.1	78.4	43.7	36.3
亚洲	192.0	469.9	113.7	19.1	15.2	15.3	1.2	0.9	830.0	242.0	55.4
欧洲	127.5	2.2	55.5	0.6	0.03	71.6	13.5	11.7	290.9	103.0	10.1
大洋洲	14.3	0.8	0.3	1.2	0.02	4.4	0.02	1.7	23.0	2.9	1.8
前苏联	92.3	2.6	15.3	0.2	4.1	48.5	20.1	16.8	201.3	72.0	12.5
世界	542.0	512.7	470.5	59.9	28.9	167.6	36.1	41.6	1874.7	590.2	185.6
发达国家	317.2	25.5	280.8	18.1	4.3	145.7	34.8	39.3	877.1	203.6	80.4
发展中国家	224.7	487.2	189.7	41.8	24.6	21.9	1.3	2.3	997.6	386.6	105.2

资料来源：粮农组织1990b

表2 稻谷总产量和稻米进出口数量 (1988)
及估计的灌溉稻田面积 (1987)

国家或地区	稻谷总产量 (百万吨)	稻米进口量 ^a (百万吨)	稻米出口量 ^a (百万吨)	灌溉面积 (占稻田面积%)
世界	492137	11408	12185	53
亚洲	449252	5309	8099	
孟加拉国	23097	674	—	19
中国	173515	314	802	93
香港	—	364	12	—
印度	106385	684	350	44
印度尼西亚	41676	33	—	81
伊拉克	141	603	—	—
日本	12419	16	—	99
朝鲜	5400	—	200	67
韩国	8260	1	1	99
马来西亚	1783	284	5	54
缅甸	13164	—	64	18
巴基斯坦	4800	—	1210	100
菲律宾	8971	119	—	58
沙特阿拉伯	—	363	—	—
新加坡	—	213	3	—
斯里兰卡	2477	194	—	77
泰国	21263	—	5267	27
越南	17000	176	97	46
北美和中美洲	9509	699	2261	
美国	7253	0	2260	100
非洲	9785	2589	87	
埃及	2132	—	71	100
马达加斯加	2149	37	0	31
尼日利亚	1400	200	0	16
南美洲	17741	255	467	
巴西	11806	108	26	18
欧洲	2211	1827	950	
意大利	1093	95	510	
澳大利亚	740	0	297	
前苏联	2866	498	22	

a: 按精米率为70%计算

资料来源: 粮农组织1990a; 国际水稻研究所1990a

表3 1989年各地区谷类作物平均产量 (吨/公顷)

地区	小麦	稻谷	玉米	高粱	粟类	大麦	黑麦	燕麦	谷物总计
非洲	1.47	1.95	1.77	0.81	0.65	1.12	0.13	0.21	1.22
北美和中美洲	2.10	5.09	5.92	3.37	1.20	2.52	1.79	1.83	3.65
南美州	1.90	2.50	2.10	2.23	1.11	1.71	1.02	1.45	2.09
亚洲	2.32	3.56	2.90	1.04	0.77	1.41	1.44	1.51	2.71
欧洲	4.60	5.35	4.96	3.74	1.22	4.04	3.03	2.89	4.26
大洋洲	1.59	7.40	4.93	1.86	0.89	1.80	0.54	1.48	1.69
前苏联	1.94	3.90	3.72	1.22	1.48	1.76	1.87	1.56	1.90
世界	2.40	3.48	3.66	1.35	0.78	2.31	2.14	1.79	2.66
发达国家	2.53	5.86	6.05	3.17	1.46	2.60	2.18	1.83	3.10
发展中国家	2.24	3.40	2.31	1.08	0.72	1.32	1.40	1.36	2.37

资料来源：粮农组织1990a

表4 谷类作物原粮及加工产品的热量和蛋白质含量比较

谷类 作物	平均 产量 (吨/ 公顷)	转换 系数	转换 后 产品	校正后 产 量 (吨/公 顷)	热量 含量 (千卡 /克)	产品热 量 值 (10 ⁻³ 千 卡/克)	蛋白质 含量 ^a (%)	校正后蛋 白质含量 (%N× 6.25)	产品蛋 白质量 (吨/ 公顷)
小麦	2.40	0.73	面粉	1.8	3.85	6.9	11.2	12.3	0.22
稻谷	3.48	0.70	精米	2.4	3.75	9.0	7.5	7.9	0.19
玉米	3.66	0.56	粗粉	2.0	3.97	7.9	7.5	7.5	0.15
高粱	1.35	0.80	面粉	1.1	3.85	4.2	8.3	8.3	0.09
粟类	0.78	1.0	全粒	0.78	3.94	3.1	5.6	5.6	0.04
大麦	2.31	0.55	面粉	1.3	3.90	5.1	8.2	8.2	0.11
黑麦	2.14	0.83	面粉	1.8	3.75	6.8	7.3	8.0	0.14
燕麦	1.79	0.58	白燕麦	1.0	3.92	3.9	14.2	14.2	0.14

a: 小麦和黑麦的氮系数是5.70, 稻谷是5.95, 其他是6.25

资料来源: FAO, 1990a; Lu & Chang, 1980; Eggum, 1969, 1977, 1979

稻作方法

灌溉法

稻作方法多种多样，从极原始的方法到高度机械化方法不等(De Datta, 1981; Luh, 1980; Yoshida, 1981)。拖拉机和两轮动力机具是水稻生产中使用最多的农用机械(Barker, Herdt和Rose, 1985)。1980年每千公顷稻田使用的动力机具数，在亚洲热带地区为0.1—26台，中国大陆为56台，中国台湾省为73台，韩国为198台，日本为1158台。在亚洲，目前仍用役畜(水牛)耕耘稻田。根据供水情况，可以干土整地，也可在灌水后整地。对于灌溉稻，亚洲地区采用湿整地方式或搅浆，但在美洲、欧洲和非洲一般不进行搅浆。在表土下没有硬磐土的地区，役畜和拖拉机会陷进泥浆中，因此通常采用人工整地。不管是旱整地还是湿整地，整好地后都要筑田埂在田中保水。

灌溉稻多数是移栽稻，不过直播稻也越来越多。种子催芽后，播在湿润的苗床中，播种后9—14、20—25或40—50天进行人工移栽或用插秧机移栽，每穴栽苗1—8株。直播的种子也要经过催芽，亚洲是用人工撒播，美国和澳大利亚是用飞机播种。也可以用播种机把种子播在经过搅浆的稻田中或旱播。深水稻一般采用旱播，偶尔也有移栽或两段移栽的。

在生长季节内，最好是在稻田中保持一定水深，以抑制杂草生长。人工除草或机械除草是常用的除草方法，用除草剂除草也很经济有效。为了提高产量，通常都要进行追肥，特别是施肥效应好、抗倒伏的现代半矮秆高产品种，施肥更为重要。施用的肥料有无机肥和有机肥两大类，有机肥包括绿肥，如田菁属绿肥和满江红属、鱼腥藻属水生植物。在雨季，每施1千克化肥，现代水稻品种增产6千克稻谷，在旱季则增产9千克稻谷。施肥总量在亚洲热带地区为10—100千克/公顷，日本、中国台湾省和韩国为200—350千克/公顷(Barker, Herdt和Rose, 1985)。



图2 用水牛耕翻稻田

其他稻作生态系统

靠天收水稻栽种在搅浆的稻田中，周围筑有堤埂，可积 0—25 厘米(浅)和 25—50 厘米(中等)深的雨水，但很少超过上述深度(Huke 和 Huke, 1990)。这类稻田的灌溉用水不是引自河流、水库或深水井，而只是靠降雨或附近集水区的径流。上述浅水稻区惯常的气候和土壤条件差异很大。而在深水(50—100 厘米)雨育稻区则又无法种植现代半矮秆品种。因肥料用量少，成苗困难，难以防治病虫害，故而产量低。但从收获面积和总产量方面看，这类水稻的重要性仅次于灌溉稻(表 5)。

陆稻稻区的稻田周围不筑堤埂，整地后旱播，靠降雨提供水分(Huke 和 Huke, 1990)。在巴西，稻作生产以陆稻为主。在印度和整个东南亚地区，普遍在雨季末河水消退后在河流沿岸种植陆稻，这类地区土壤通常比较粘重，残留水即可保证稻株生长的需要。陆稻栽培方式不一，从有林丘陵或山地的轮垦(经过清理和烧茬)到大规模机械化作业不等。在这两者之间还存在各种中间类型，大量贫困稻农在水土流失严重且经常遭受旱灾的丘

陵坡地种植陆稻。此类地段环境的破坏非常严重。在南亚和东南亚，陆稻面积占稻田总面积的13%，在非洲和拉丁美洲，陆稻面积占稻田总面积的50%以上。陆稻产量最低(表5)。

表5 1985年发展中国家的37个水稻主产国不同稻作生态系统的面积单产和总产

生态系统	面 积		单产 (吨/公顷)	总 产	
	(百万公顷)	(%)		(百万吨)	(%)
灌溉稻区	67	49	4.7	313	72
雨育稻区	40	29	2.1	84	19
陆稻稻区	18	13	1.1	21	5
深水稻区/潮汐稻区	13	9	1.5	19	4
总 计	138	100	3.2 ^a	437	100

a: 加权平均数

资料来源: IRRI, 1989

在深水稻区，整个生长季内大部分时间水深至少达到1米。在孟加拉国的很多地区，以及湄公河和昭披耶河三角洲的某些地区，水深可以超过5米，其他地区水深通常为1—3米(Huke和Huke, 1990)。在季风雨季来临后水位迅速上涨的地区，通常是把稻种撒播在未搅浆的稻田中，稻田周围一般不筑田埂。采用高秆、多叶、分蘖少的品种。这类品种对光周期敏感、可随水位升高而伸长并浮在水面上。雨季后成熟。过去20年间，孟加拉国、印度、泰国和越南南方，通过防洪治水重点工程，已将很多深水稻区改造成雨育稻区或灌溉稻区。

收获

热带水稻(籼稻)一般在50%开花后30天收割，此时稻谷的含水量为20%以上，稻米和整精米产量最高。由于收获前受日光照射，旱季收获期稻谷的含水量比雨季收获期的低。实际干物质积

蓄期为14—18天，此后谷粒逐渐干化。

收获时先割倒稻株，进行晾晒，然后脱谷，脱谷可采用人工打谷（在竹编网眼板上摔打），也可采用人畜踩踏或用脱谷机。大面积收割，如在马来西亚Muda种植园、美国、澳大利亚、欧洲和拉丁美洲，则采用联合收割机。

水稻收获后通常要晾晒，使含水量降至14%，但在雨季，这种方法靠不住。已经设计出多种烘干机，但稻农和加工商并未普遍使用。稻谷晒干后用人工扬谷器或人力操作的木制扬谷器扬谷，除去杂物。

劳动力的使用

在亚洲，种植现代水稻品种的稻农要比种植传统品种的稻农使用更多的劳动力（Barker, Herdt和Rose, 1985）。家庭劳动力和雇佣劳动力所起的作用各地间差别很大。

水稻生产涉及多个环节，包括选种、苗田和本田整地、移栽、除草、施肥、防治病虫害、收割、脱谷、晾晒和销售。据Huke和Huke(1990)估算，对低强度水稻生产而言，种植1公顷雨育稻田，采用改良的IR36品种，施用50千克尿素，产出2.5吨稻谷，大约需要84人-日和14畜-日。要得到这2.5吨稻谷，人工收割和脱谷还要耗用至少22人-日。与此相对照，在水稻生产高度机械化的加利福尼亚州，种植350公顷稻田只需40人-日（Herdt, 1986）。

据Huke和Huke（1990）计算，菲律宾某地低强度水稻生产的能量效率为每消耗1卡产出12卡，在中等投入和高投入下，产出比率为每消耗1卡产出7—8卡。

在亚洲水稻生产中，妇女劳动力占25%—70%，但她们的作用只是到最近才得到承认，技术发展并未考虑到妇女的需求（Feldstein和Poats, 1990）。妇女参与水稻栽培及相关的生产、销售和

加工活动。目前已普遍认识到，妇女常常是农业生产的生力军，她们与男子都是新技术的潜在使用者和受益者。目前已将性别分析纳入了研究项目，重点是开发能够减轻农村妇女劳动强度同时又不削弱其创收能力的技术。这类技术包括病虫害综合防治、种子管理以及水稻产后利用和加工(Unnevehr和Stanford, 1985)。

生产成本

表6列出了1987—1989年3种稻作类型每吨稻谷的生产成本。灌溉稻每公顷生产成本和稻谷产量最高，陆稻最低。

表6 每吨稻谷的生产成本(1987—1989) (美元)

国 家	灌溉稻	陆稻	雨育稻
阿根廷	870	—	—
哥伦比亚	204	—	194
厄瓜多尔	441	196	295
印 度	—	—	303
印度尼西亚	82	141	104
意大利	543	—	—
日 本	3676	—	—
韩 国	939	—	—
尼泊尔	96	—	108
菲律宾	124	—	—
葡萄牙	376	—	—
泰 国	98	—	—
美 国	481	—	—

资料来源：FAO, 1991

现代高产水稻品种

本世纪50年代，亚洲大多数国家稻谷总产量的增长主要是因

为种植面积增加，但在60和70年代则主要是由于单产的增加（Barker, Herdt和Rose, 1985）。应用半矮秆品种和增加化肥投入使单产得到提高。

国际水稻研究所（IRRI）培育的半矮秆水稻品种的株型与传统的高秆、光周期敏感的品种不同。这类品种叶片直立，分蘖力强，光周期钝感，其株型结构有利于吸收养分而不倒伏，阳光可照射到冠层下部。现代水稻品种生育期较短，大约播后100天成熟，每年可种三季。在低投入水平下，现代品种的产量与传统品种相当，但在增施肥料、农药的条件下，现代品种均比传统品种高产。

到1981—1984年，现代水稻品种种植面积占总面积的比例：泰国为13%，韩国为34%，中国为25%，孟加拉国为25%，尼泊尔为36%，马来西亚为54%，巴基斯坦为46%，缅甸为49%，印度为54%，印度尼西亚为82%，菲律宾为85%，斯里兰卡为87%（Dalrymple, 1986）。泰国种植现代品种较少的原因是该国需要种植长粒品种（糙米粒长为7毫米以上）以供出口。目前全世界60%以上的稻田种植改良株型的品种。

最新育成的品种，其产量潜力不高于第一个育成的现代品种IR8，但是病虫害抗性和对逆境的耐受性进一步提高，不过，抗性受单基因控制，几年内就会丧失。文献中已有关于虫害再暴发的记载，施用杀虫剂非但没有降低害虫种群密度，反倒使之有所增加（Chelliah和Heinrichs, 1984）。由于褐飞虱新生物型的出现，品种抗虫性迅速丧失，因此必须培育水平抗性品种。目前在亚洲栽培稻中尚未发现抗东格鲁病毒的抗性基因，但在野生种中已发现一些，目前正通过远缘杂交将其引入亚洲栽培稻。

农场规模

孟加拉国、日本、韩国和斯里兰卡的稻农种植水稻的面积平