

# 陕北几种农业生态经济系统生产力分析

林关石 高振虎 胡银岗 杨进荣

(陕西省黄土高原治理研究所·陕西米脂)

菅随念 赵明文 刘保柱 李建清

(陕西省延安地区林业科学研究所·陕西延安)

## 提 要

本文将陕北黄土高原分为6个农业生态经济系统,笔者从土地利用结构、生物群落、产值结构、能量在食物链中流动和转化效率、粮田氮素循环、作物水分利用率、水土保持效益等方面来分析各系统的生产力,通过典型事例来论证观点,并指出今后发展的方向。从现状分析结果来看,以延安市庙沟为代表的梁状丘陵果林农牧系统,由于大力发展苹果生产,经济效益最高,1990年人均纯收入达1 166.7元,比周围村高1.9倍,目前百亩果园供养44.6人,比百亩草地供养人数高8.3倍,至1995年可供养217人。以米脂县泉家沟为代表的崩状丘陵果粮副牧系统,由于大搞农田基本建设和退耕还林种草,年土壤侵蚀模数由60年代的16 000 t/km<sup>2</sup>降低到3 000 t/km<sup>2</sup>,1990年人均纯收入656.4元,比周围村增加1倍,目前百亩果园供养95人,比种粮食多供养9.1人,至1995年可供养190人。

关键词: 农业生态经济系统 土地利用结构 生物群落 产值结构  
氮素循环

## An Analysis of the Productivity in Several Agro-ecological and Economic Systems in North Shaanxi

*Lin Guanshi Gao Zhenhu Hu Yingang Yang Jinrong*  
(*Shaanxi Institute for the Loess Plateau Control, Mizhi, Shaanxi*)

*Ying Shuinion Zhao Mingwen Liu Baozhu Li Jianqing*  
(*Yanan Institute of Forestry Science, Yanan, Shaanxi*)

### Abstract

The Loess Plateau is divided into 6 agro-ecological and economic systems in this paper. The authors analysed the productivity in each system from many aspects including land use structures, bio-community, productive value structure, energy flow and conversion efficiency in food chains, N-cycle in farmlands, crop water use efficiency as well as water and soil conservation benefits. Also, they proved their viewpoints with the typical examples, and pointed out the directions for the future development. It can be seen from the analysis of the existing conditions that the system of fruit, forests, agriculture and animal husbandry developed in Liang and hill area represented by Miaogou village in Yanan Municipality has the high economic

returns owing to a large scale development of apple production. In 1990, per capita net income reached 166.7 Yuan, being 1.9 times higher than that in the surrounding villages. At present, one hectare orchard can support 6.7 persons, being 8.3 times higher than one hectare grassland supports. Up till to 1995, one hectare orchard can support 32.6 persons. In the system of fruit food crops, sideline production and animal husbandry formed in mound and hill area represented by Qianjiagou village in Mizhi county, the modulus of soil erosion has been reduced from 16,000 t/(km<sup>2</sup>·a) in the 1960s to 3,000 t/(km<sup>2</sup>·a). at present owing to a large scale basic farmland construction and conversion of sloping lands into planting trees and grasses. In 1990, per capita net income was 656.4 yuan, being more than double that in the surrounding villages. At present one hectare orchard can support 14.3 persons, being 1.4 persons higher than that supported by one hectare cultivated with food crops. Up till to 1995, one hectare orchard can support 28.5 persons.

**key words:** agro-ecological and economic system land use structure bio-community productive value structure N-cycle

陕北黄土高原有25个县, 455个乡镇, 总土地面积79 990.8km<sup>2</sup>, 11 998.6万亩, 人口密度55人/km<sup>2</sup>。据榆林、延安两地区的区划资料, 分为六个农业生态经济区: (一) 长城北部防风固沙牧林农区, 面积18 107.33km<sup>2</sup>; (二) 榆林南部崩状丘陵果牧农副区, 面积22 059.33km<sup>2</sup>; (三) 黄河沿岸土石山枣粮经作区, 面积4 958.73km<sup>2</sup>; (四) 延安北部梁状丘陵果林农牧区, 面积15 741.2km<sup>2</sup>; (五) 子午岭梁山林特区, 面积15 650.67km<sup>2</sup>; (六) 延安南部高原沟壑烟果粮油区, 面积3 473.54km<sup>2</sup>。我们从1988年开始在陕北建委资金的扶持下, 在各区内选择典型村推广农业生态经济系统技术, 并形成各具特色的生态系统, 现将其特点和生产力分析如下:

## 一、几种农业生态经济系统的特点

(一) **段家湾防风固沙牧林农系统** 该村位于榆林市北部麻黄梁乡, 68户, 244人。总土地面积18 326亩, 沙漠占80%, 黄土丘陵占20%。人口密度20人/km<sup>2</sup>。年平均气温7.9℃, 无霜期150天, 年降雨量363mm, 土壤侵蚀模数由70年代的5 000t/(km<sup>2</sup>·a)降到3 800t/(km<sup>2</sup>·a)。从1983年开始治理沙漠, 逐步走上以畜牧为主, 牧林农系统开发的道路, 1990年人均纯收入498.6元, 比周围村增加1倍多, 比1987年增加2.9倍。段家湾防风固沙牧林农系统的特点是: (1) 以养羊为主的畜牧业生产已成为主导产业, 其比重占总产值的43.8%; (2) 以柠条为主的林地面积占总土地的49.7%; (3) 粮食自给有余, 1990年人均占有粮520.5kg。

(二) **泉家沟崩状丘陵果粮副牧系统** 该村位于米脂县桥河岔乡, 181户, 687人, 总土地面积6 310亩, 人口密度163.6/km<sup>2</sup>。年平均气温8.4℃, 无霜期165天, 年降雨量451mm。土壤侵蚀模数由60年代的16 000t/(km<sup>2</sup>·a)降低到现在的3 000t/(km<sup>2</sup>·a)。泉家沟从1980年开始列为陕西省黄土高原治理研究所科学实验区, 1986年列为国家重点项目《黄土高原综合治理研究》实验区。1990年人均纯收入656.4元, 比周围村增加1倍, 比1980年增加2倍多。泉家沟果粮副牧系统的特点是: (1) 苹果收入占总产值26.1%; (2) 农副产品加工劳务输出收入占总产值33.9%; (3) 粮食自给有余, 1990年人均占有粮476.3kg。1986年9月榆林地委, 行署决定在全区推广泉家沟经验。

**(三) 玉家畔土石山枣粮经作系统** 该村位于佳县城关镇, 113户, 437人, 总土地面积4 555亩, 人口密度145.7人/km<sup>2</sup>。年平均气温9.9℃, 无霜期170天, 年降雨量395mm, 土壤侵蚀模数由60年代的18 000t/(km<sup>2</sup>·a)降为6 000t/(km<sup>2</sup>·a)。1990年人均纯收入367.8元, 比周围村增加41%, 比1987年增加2倍多。玉家畔枣粮经作系统的特点是: (1) 红枣面积占总面积8.8%, 产值占总产值的28.3%; (2) 粮食基本自给; (3) 副业加工收入占总产值的17%。

**(四) 庙沟梁状丘陵果林农牧系统** 该村位于延安市枣园乡, 100户, 546人, 总土地面积10 814亩, 人口密度75.8/km<sup>2</sup>。年平均气温9.4℃, 无霜期182天, 年降雨量556.9mm, 年蒸发量1 658.9mm。侵蚀模数由六十年代的15 000t/(km<sup>2</sup>·a)降为5 000t/(km<sup>2</sup>·a)。1984年以来, 在陕北建委的扶持下, 走出了一条退耕还林(果), 良性循环的新路子, 1989年9月10日江泽民总书记视察了庙沟村。1990年人均纯收入1 166.7元, 比周围村增加1.9倍, 比1983年增加4.2倍。庙沟果林农牧系统的特点是: (1) 果园人均4.2亩, 苹果收入人均915.8元, 占总收入54.9%; (2) 森林覆盖率达52.7%; (3) 粮食自给有余, 1990年人均占有粮595.2kg。

**(五) 冯家坪石质低山丘陵林特农牧系统** 该村位于宜川县集义镇, 162户, 587人, 总土地面积18 750亩, 人口密度47人/km<sup>2</sup>, 年平均气温10.5℃, 无霜期190天, 年降雨量577mm, 侵蚀模数由六十年代1 000t/(km<sup>2</sup>·a), 降为520t/(km<sup>2</sup>·a)。冯家坪林特农牧系统的特点是: (1) 花椒、苹果、柿子、核桃等经济林1 748亩, 人均3亩, 产值占总产值26.9%; (2) 以次生林为主的森林覆盖率达55.7%; (3) 粮食自给有余, 1990年人均占有粮467.2kg, 人均纯收入375.6元, 比周围村增加25%。

**(六) 胡村高原沟壑烟果粮油系统** 该村位于洛川县后子头乡, 171户, 824人, 总土地面积5 400亩, 人口密度228.9人/km<sup>2</sup>, 年平均气温9.2℃, 无霜期190天。年降雨量637.3mm, 土壤侵蚀模数由六十年代7 000t/(km<sup>2</sup>·a)降为4 900t/(km<sup>2</sup>·a)。1990年人均纯收入941.9元, 比周围村增加31%, 比1985年增加1.5倍。胡村烟果粮油系统的特点是: (1) 烤烟面积400亩, 产值26.65万元, 占总收入24.0%, 人均323.4元; (2) 苹果生产发展较快, 人均果园1.1亩, 收入占总收入19.8%; (3) 粮食自给有余, 1990年人均占有粮661.4kg; (4) 运输加工实现了专业化机械化。

## 二、农业生态经济系统的生产力分析

**(一) 土地利用结构与生产力** 凡植物种群结构复杂, 营养层次多, 食物链长并联结成网的农业生态系统, 其稳定性强, 生产效益高。衡量农林牧用地结构是否合理的标准是: (1) 充分发挥资源优势, 使其尽可能转化为较高的生产力, 并能保持资源的永续利用; (2) 具有比较稳定的有互补作用的系统抗逆力; (3) 使生物与环境、生物与生物之间协调发展, 互相促进, 共同提高。从表1看出, 洛川县胡村烟果粮油系统, 人多地少, 自然条件较好, 农林牧用地基本合理, 农林牧生产地平均亩产值达231元, 居6种生态系统经济效益之首。泉家沟果粮副牧系统, 植物种群结构复杂, 各种生产地平均亩产值达151.4元, 比1980年增加5倍。段家湾牧林农系统, 由于沙漠比重大, 土地质量差, 农林牧生产用地平均亩产值仅12.2元, 但是与1983年未进行造林种草前比, 亩产值增加3倍多。

**(二) 生物群落与土地生产力** 生物群落是一个结构单位, 也是一个功能单位。它的结构特点和变化规律直接影响土地的生产力。从作物分布看, 段家湾以糜子为主, 搭配薯谷豆, 泉家沟、玉家畔以谷子为主, 搭配薯豆, 庙沟以谷子、大豆为主, 搭配玉米、糜子、荞麦; 胡村以小麦、烤烟为主, 搭配玉米、油菜。从果林种群结构看, 段家湾以柠条为主, 搭配苹果、杏、柳、杨; 泉家

表1 1990年土地利用结构与生产力

项 目		榆 林 段家湾	米 脂 泉家沟	佳 县 玉家畔	延 安 庙 沟	宜 川 冯家坪	洛 川 胡 村
总面积 (亩)		18236	6310	4555	10814	18750	5400
人均占有地 (亩)		74.7	9.2	10.4	19.2	31.9	6.6
作 物	面积 (亩)	880	1758	1100	2000	3104	2244
	构成 (%)	4.8	27.9	24.2	18.5	16.6	41.6
经 济 林	面积 (亩)	250	316	480	2300	1748	910
	构成 (%)	1.4	5.0	10.5	21.3	9.3	16.8
乔 灌 林	面积 (亩)	8800	1380	682	3400	8708	1000
	构成 (%)	48.3	21.9	15.0	31.4	46.4	18.5
牧 地	面积 (亩)	5400	1275	454	1567	1440	646
	构成 (%)	2.96	20.2	10.0	14.5	7.7	12.0
非生产地	面积 (亩)	2906	1581	1839	1547	3750	600
	构成 (%)	15.9	25.0	40.3	14.3	20.0	11.1
总生产地亩产值 (元)		12.2	151.4	91.1	98.2	21.0	231.0

表2 不同生物种群结构与土地生产力

项 目		段家湾 群 落	泉家沟 群 落	玉家畔 群 落	庙 沟 群 落	冯家坪 群 落	胡村群落
种 植 业	亩 产 (kg)	144.3	214.9	129.4	162.5	89.5	308.6
	生产能量 (千卡/(m <sup>2</sup> ·a))	865	1 288	776	975	537	1 851
	百亩地供养人数 (人)	57.7	85.9	51.8	65.0	35.8	123
经 济 林	亩 产 (kg)	16	389	140	178.3	63.8	93.4
	产值 (元/亩·年)	16	380	146	178.3	48.4	240*
	百亩地供养人数 (人)	4	95	36.5	44.6	12.1	60
牧	草地载畜量 (羊单位/百亩)	35.2	102	150	92.9	168.5	131.8
	次级生产力 (元/亩·年)	15.2	90.4	85.5	19.2	14.2	77.4
	百亩草地供养人数 (人)	3.8	22.6	21.4	4.8	3.6	19.4

注： (1) 每人一年按以100万千卡 (2740千卡/天) 的食物量计算  
 (2) 每人一年的年生活费按产值400元 (纯收入260元) 计算  
 (3) 包括套种经济作物产值

表3 1990年各系统的产值结构与生活水平

项 目		段 家 湾	泉 家 沟	玉 家 畔	庙 沟	冯 家 坪	胡 村
总产值 (元)		187 157	715 750	217 300	910 000	315 000	1 108 700
种 植 业	产值 (元)	81 200	170 880	96 500	250 000	165 000	688 700
	构成 (%)	43.4	23.9	39.0	27.5	52.3	62.1
林 果 业	产值 (元)	4 000	187 000	70 000	500 000	84 600	220 000
	构成 (%)	2.1	26.1	28.3	54.9	26.9	19.8
牧 业	产值 (元)	81 957	115 298	38 800	30 000	204 00	50 000
	构成 (%)	43.8	16.1	15.7	3.3	6.5	4.5
副 业	产值 (元)	20 000	242 572	42 000	120 000	45 000	150 000
	构成 (%)	10.7	33.9	17.0	14.3	14.3	13.6
人均纯收入 (元)		498.6	656.4	367.8	1166.7	375.6	941.9
人均占有粮 (kg)		520.5	476.3	365.1	595.2	467.2	661.4

沟以苹果、柠条为主，搭配梨、槐、柳、杨；玉家畔以枣树为主，搭配柠条、槐、杨；庙沟以苹果、刺槐为主，搭配桃、山楂、杨柳；冯家坪以花椒、杨树为主，搭配栎、胡枝子；胡村以苹果、杨树为主，搭配刺槐。在畜牧结构方面，段家湾以沙打旺、养羊为主，搭配苜蓿和驴、马、猪；泉家沟、玉家畔以苜蓿、养羊为主，搭配牛、驴、猪；庙沟以蒿茅、养羊为主，搭配苜蓿和驴、猪、羊；冯家坪以针茅和养牛为主，搭配茅和羊、猪；胡村以灌木草丛和养牛为主，搭配驴、马、猪。

从表 2 看出，泉家沟百亩果园能供养95人，比种粮食供养人数高出10.6%，比畜牧业高出3.2倍。胡村作物单产较高，百亩农地供养123人，比种苹果始果期供养人数高1倍多，比养殖业高5.3倍。

**(三) 产值结构与农民生活水平** 各个农业生态系统的自然条件不一样，其产值的比例也有差异，农民的生活水平，既受自然条件的限制，也与系统内结构合理与否有关。庙沟村人均纯收入达1 166.7元，比其它系统都高，主要是苹果面积大，其收入占总收入的54.9%。同时兼顾了生态和社会效益，他们的经验具有普遍指导意义。见表 3。

**(四) 能量在食物链中的流动和转化效率** 农业生态系统中能量的流动，主要看能量输入，贮存以及做功相互之间的关系。尽量减少能量的消耗，提高能的转化利用效率。人们通过种植作物，苹果、牧草等绿色植物把太阳能转化为生物能，贮存在粮、油、烟、果、草等初级产品中。一部分为人类直接利用。另一部分，如秸秆和牧草，只有通过饲养家禽转化为肉、蛋、奶等次级产品，才能被人类利用。再通过人力、畜力及工业能投入，保证物质良性循环。从表 4 看出，泉家沟亩投入辅助能24.3万千卡，其中工业能占47%，产出食物能86.3万千卡/亩，产投比为

3.55, 转化效益最高。

表4 1990年能量的输入与产出及转化效益

千卡/亩·年

项 目		段 家 湾	泉 家 沟	玉 家 畔	庙 沟	冯 家 坪	胡 村
输入辅助能	人 力	8 243	50 060	44 961	15 168	14 713	43 154
	畜 力	1 943	3 676	3 786	2 590	4 967	16 750
	有 机 肥	26 952	75 052	85 300	67 444	41 667	234 375
	工 业 能	7 735	114 422	80 428	84 239	60 079	154 149
	合 计	44 873	243 210	214 475	169 441	121 426	448 428
输出食物能	粮 油 秸 秆	145 865	831 293	510 448	492 159	331 135	1 294 452
	水 果	375	22 461	37 856	42 768	17 721	13 909
	畜 产 品	11 975	9 698	25 177	17 288	20 661	18 928
	合 计	158 215	863 452	573 481	552 215	369 517	1 327 289
食物能/输入辅助能		3.52	3.55	2.67	3.26	3.04	2.96

(五) 粮田的氮素循环与生产力 农业生态系统氮素的输入与输出比例, 可以衡量生态系统养分平衡状态和予测生态系统的稳定性。比值小于1, 氮素入不敷出, 消耗地力, 影响生态系统的稳定, 当比值超过2以上, 比值越大, 效率越低。从表5看出, 庙沟村1990年由于风调雨顺, 粮食大丰收, 氮素稍有入不敷出, 略有消耗地力现象。玉家畔由于遭旱灾, 氮素回收率较低。其余四个生态系统氮素循环处于基本平衡状态。有利于生态系统的稳定。

表5 1990年粮田氮素的转化及效率

项 目	粮食亩产 (kg)	亩氮投入 (kg)			每 1 kg氮 产粮(kg)	亩氮产出 (kg)	氮素回收率 (%)	投入/产出 (kg)
		有机肥	无机肥	合计				
段 家 沟	144.3	4.0	2.0	6.0	24.1	4.33	72.2	1.39
泉 家 沟	214.9	2.5	4.0	6.5	33.1	6.45	99.2	1.01
玉 家 畔	129.4	2.5	3.0	5.5	23.5	3.87	70.4	1.42
庙 沟	216.7	2.9	3.2	6.1	35.5	6.50	106.6	0.94
冯 家 坪	89.5	2.5	0.3	2.8	32.0	2.69	96.1	1.04
胡 村	308.6	5.0	8.6	13.6	22.5	9.26	68.1	1.47

(六) 粮食作物的水分利用率 植物每合成1g干物质一般需要200~800g水, 谷子、高粱蒸腾系数较小, 小麦、大豆、洋芋蒸腾系数较高。但是蒸腾系数的大小不是不变。植物本身通过关闭气

孔卷曲叶片来减少蒸腾。植物根吸水最高气压是15个大气压，这时的土壤含水量使植物发生萎蔫。植物根的吸水压也是可变的，土壤含水量高时，吸水压变低，反之，吸水压则增高。所以，在现实生产中，提高作物水分利用率的潜力还是很大的。从表6看出，胡村、泉家沟作物水分利用率较高，每2mm能生产粮食0.43~0.49kg，冯家坪水分利用率较低，每mm水仅生产粮食0.16kg，增产潜力很大。

表6 1990年粮食作物的水分利用率

项 目	段家湾	泉家沟	玉家畔	庙 沟	冯家坪	胡 村
粮食亩产 (kg)	144.3	214.0	129.4	216.7	89.5	308.6
年降雨量 (mm)	363.0	501.0	395.0	570.0	577.0	633.0
耗水系数 (mm/kg)	2.52	2.33	3.05	2.63	6.45	2.05
水分利用率 (kg/mm)	0.40	0.43	0.33	0.38	0.16	0.49
水的能效益(千卡/mm·亩)	1 590	1 716	1 310	1 521	620.5	1 950
水肥效益 (kg/mm·亩)	11.93	12.87	9.83	11.41	4.65	14.63

### 三、“八五”期间发展的方略和目标

(一) **段家湾防风固沙牧林农系统发展方略** 保证人均3亩基本农田，人均占有粮500kg，大力发展畜牧生产，从提高草地的单产入手，同时增加柠条等灌木林的郁闭度，使百亩草地的载畜量，由现在的35.2羊单位增加到50个羊单位，总数达到2700羊单位。在畜禽结构方面，以发展白绒山羊为主，结合发展养猪，使畜牧业产值占总产值的50%以上。同时适当发展苹果、红枣等经济林，沟道沿岸发展用材林，争取1995年达到木材自给有余，人均0.02m<sup>3</sup>，力争1995年人均纯收入达到1000元。

(二) **泉家沟峁状丘陵果粮副牧系统发展方略** 稳定人均基本农田2亩，保证人均占有粮400~500kg，积极发展苹果生产，果园面积由目前的人均0.46亩，增加到0.8亩，提高果园管理水平，争取苹果总产在12万kg的基础上翻一番，大力发展农副产品加工，使副业收入比重由33.9%增加到40%。在畜牧业方面，主要是改放牧为舍饲与轮牧相结合，充分利用有限的草源，改良畜种，提高经济效益。争取1995年人均纯收入达到1200元。

(三) **玉家畔土石山枣粮经作系统发展方略** 稳定人均基本农田2亩，人均占有粮400kg，集中力量扩大红枣面积和提高单产，争取红枣总产由现在的7万kg增加到17.5万kg，产值由现在的人均160元增加到400元。畜牧业生产以舍饲为主，结合轮流放牧。争取1995年人均纯收入达到800元。

(四) **庙沟梁状丘陵果林农牧系统发展方略** 争取基本农田人均2.5亩，人均粮食500kg。人均果园4.2亩，集中精力提高果园单产，亩产由现在178.3kg，提高到370kg，总产由41万kg提高到200万kg，产值由41万元增加到200万元，力争1995年人均纯收入达到3000元。

(五) **冯家坪石质低山丘陵林特农牧系统发展方略** 要求人均基本农田达到3亩，人均占粮500kg。大力发展花椒、苹果、柿子、核桃等经济特产。要求森林总覆盖率在56%以上，花椒发

展到1500亩。人均经济林面积，由现在的3亩发展到4亩。花椒亩产力争达到30kg，总产4.5万kg，产值54万元，人均900元。力争1995年人均纯收入达到1000元。

**(六) 胡村高原沟壑烟果粮油系统发展方略** 保证人均基本农田2.5亩，人均占有粮500kg，积极发展烤烟和苹果生产。烤烟面积稳定在人均0.5亩左右。苹果面积由现在人均1.1亩增加到1.5亩，即由910亩增加到1300亩。烤烟产值由人均323.4元增加到400元，苹果产值由人均267元增加到534元。争取1995年人均纯收入达到1600元。

#### 参 考 文 献

- [1] 林关石等. 黄土高原沟壑区开发治理在于建立各类农业生态经济体系. 《黄土高原开发治理研究》，西安： 陕西省科学技术出版社，1990年

(上接第39页)

科学保水与用水相结合的措施当然不限于上面的两条。从大的方面讲，土地合理利用的原则和农牧结合的道路应当坚持，中、小型水利工程建设和林草建设需要继续推行，作物和品种的改良也必须加强，这些都与水的保持和利用密切相关，现在的问题在于：我们应当寻求达到这一目标，当前可在广大地区应用的主要技术措施。（有些已经存在，但要加以明确、完善和组装）

黄秉维先生最近发表文章强调：能充分利用降水保持土壤的高产农业是“既能消除水力侵蚀又能充分利用降水的高产旱作农业。”他认为，这是解决两个区域（黄土高原和华北平原）三大问题（黄河决溢的危险，农业生产低而不稳，水资源供应不足）的关键。由于黄秉维先生这一见解的启迪，作者才想到、也才敢于将近几年形成的上面一些想法冒昧提出，请水土保持界的领导和专家批评指正。

设置在西北水土保持研究所内，正在筹建中的国家“黄土高原土壤侵蚀与旱地农业实验室”是研究防止水土流失和提高旱农业生产两方面的基础问题的，中国科学院曾反复强调应明确这两个问题之间的“接口”，并规定了两者的必须紧密结合的研究方向。本文所提出的一些看法和意见也许有助于对该实验室的重要性及其研究任务的理解。

#### 参 考 文 献

- [1] 黄秉维. 华北平原农业和水利问题及农业生产潜力研究. 《农业生态环境研究》，北京： 气象出版社，1989年