

# 可持续农业及其指示因子研究进展

孔正红, 张新时, 周广胜

(中国科学院植物研究所植被数量生态开放室 北京 100093)

**摘要:**回顾了可持续农业的演变和发展历史, 概括介绍了可持续农业的定义、内涵、理论基础以及研究方法和内容。重点评述了国外关于可持续农业量化研究进展情况, 对几个公认的量化生态可持续性的指示因子: 土壤、水分、生物多样性等进行了仔细分析, 以期对国内农业的可持续发展研究有所借鉴和启发。文章最后还结合我国目前农业发展中存在的问题以及未来农业面临的挑战, 指出: 提高农产品的数量和质量, 防止水土流失和荒漠化, 提高水分利用率以及生物多样性保护是我国农业可持续发展的关键指示因子, 并提出了 21 世纪我国可持续农业发展的几个模式。

**关键词:**可持续农业; 环境退化; 指示因子; 土壤质量; 生物多样性; 水分质量

## Review on Sustainable Agriculture and Some Key Indicators

KONG Zheng-Hong, ZHANG Xin-Shi, ZHOU Guang-Sheng (The Laboratory of Quantitative Vegetation Ecology, The Institute of Botany, CAS 100093, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(4): 577~585.

**Abstract:** Evolution and development of sustainable agriculture as well as relevant concepts, methods have been reviewed in the paper. Sustainable agriculture involves the successful management of resources for agriculture to satisfy changing human needs while maintaining or enhancing the quality of environment and conserving natural resources base. The term "sustainable agriculture" was coined to substitute the high input and output featured industrial agriculture when it has achieved what it was expected and began to produce more problems than it can solve. Although the concept of "sustainable agriculture" has been widely acknowledged, accepted and quoted, it means different thing with different people, just as myriads of answers to its definition. However, three common themes: ecological soundness, economic viability and social justice are exceptionally included in each definition. The goal of agricultural sustainability expects to be obtained through tradeoffs among the three common themes. Ecology is the theoretical base for sustainable agriculture as agricultural productive systems are special ecosystems themselves and sustainability is closely related to various ecological processes and functions, such as hydrological cycling, energy flow and biodiversity and so on. Study on agricultural sustainability requires a way of system and cooperation of multi-discipline as sustainability will be achieved through the balance among various objectives and needs efforts from biologists, chemists, physician and socialists and so on. Quantification of sustainability remains to be the goal of the study of sustainable agriculture. Attempts tried to attain it have throw lights on working out key indicators for agricultural sustainability. Soil quality, water and biodiversity are generally noded indicators for measurement of ecological sustainability. Soil microbes are sensitive and precautions to whatever changes happened to soil and biological index are held to have greater potentiality to reflect the integrity of soil. Water availability, utilization efficiency and pollution and contamination degree are essential components when water quality is considered. Diverse species in a system helps to maintain it stable and efficient. Biodiversity in an agricultural system includes tillage measures, such as intercropping, rotation and multi-tillage and so on; index for agricultural landscape diversity and fragmentation; and quality

**基金项目:**国家“973”资助项目(GB2000018600-07); 国家重点发展规划资助项目(G1999043407-07)

**收稿日期:**2000-09-14 **修回日期:**2001-11-10

**作者简介:**孔正红(1972~), 女, 河南人, 博士生。主要从事生态区评估及可持续发展方面的研究。

of wildlife’s habitat. Attention has also been focused on sustainable agriculture development in China. Traditional agriculture can’t meet the demand for food with the growing population and current agricultural production has been creating environmental problems and risks development of future agricultural production. 21<sup>st</sup> century finds four challenges for agriculture development in China. They are: pressure from big population; negative effects of global change, such as frequent occurrence of hot currents and shortage of water for irrigation; soil desertification and degradation; lose and maladjustment of biodiversity. Four aspects are believed to be indicators for the sustainability of future agriculture: improved quantity and quality of agricultural products; prevention of soil desertification and degradation; high efficiency use of water and conservation and restoration of biodiversity. Outlines of sustainable agriculture development for 21<sup>st</sup> century have also been discussed in the paper at different scales.

**Key words:**sustainable agriculture; environmental degradation; indicator; soil quality; water quality; biodiversity

文章编号:1000-0933(2002)05-0577-09 中图分类号:S181 文献标识码:A

可持续农业从提出到今天已经过去了 20 多年。在这 20 多年里,它的普及和研究活动的深度和广度是空前的,这一点从大量出现的有关可持续农业的传媒的数量就可窥见一斑<sup>[1~11]</sup>。对可持续农业,尽管不同的人会有不同的定义,可持续农业要兼顾生态、经济和社会的可持续性却是不辩的真理<sup>[5,7,12,13]</sup>。农业的可持续性需要在生态、经济和社会可持续性三者平衡中求得,而其量化工作始终是农业可持续发展研究的难点和热点<sup>[8,9,11,13~17]</sup>。本文试图对国外有关研究作一些介绍,以期对国内农业的可持续发展研究有所借鉴和启发。

1 可持续农业

1.1 可持续农业的演变和发展

“可持续农业”一词是在 20 世纪 70 年代末出现并开始使用的<sup>[16]</sup>,和它同时出现的还有“替代农业”、“低投入农业”、“有机农业”、“生态农业”等,是人们面对前所未有的资源和环境危机时,在对传统农业进行反思的基础上,对未来农业的发展方式提出的各种不同的概念、看法和见解,但都是强调农业生产过程中对自然资源的保护和对可更新资源的利用。

最早关注农业可持续发展的是美国人。以高投入,高产出为主要特征的美国常规现代化农业或工业化农业,使得美国以 2% 的农业人口养活这个国家的人<sup>[7]</sup>。高产出的农业也使得这个国家建立一个强大的经济基础成为可能。美国的农业发展模式曾被认为是效率最高的农业生产方式,一度成为各国农业现代化的目标。但是,随着时间的推移,这种以专门化、机械化、简单化、流程化为特征的农业模式所能解决的问题,远远不能抵消它所带来的环境和社会方面的负面影响<sup>[7,13,18]</sup>。早在 1911 年,Franklin King 就曾将他认为的低投入、可持续的东方农业和他认为的草率的、浪费的美国农业生产方式相比较<sup>[19]</sup>。他注意到,在亚洲,包括中国、印度,即使是经过 4000a 劳作的田地,土壤肥力也没有被消耗殆尽。Lord Northbourne 于 1940 年首先使用“有机农业 (Organic Farming)”一词,他认为农场应该是一个持续的,生态稳定,自我维护的独立单元,是一个生物学上完整并相互平衡的——一个动态的,活的有机整体<sup>[20]</sup>。Dick & Sharon Thompson 开始在 20 世纪 60 年代研究“有机农业”,70 年代又出现了一些专门的研究中心<sup>[6]</sup>。“低投入农业”(Low Input Agriculture)则是在 80 年代分别由 C. Edwards 和 D. Oldenstadt 首先提出和使用的<sup>[21]</sup>。

可持续农业被广泛认可、接受、拥护和使用是自 1989 年以后,当时以 Bruntland 夫人为首的 WECD 正式提出了可持续发展的概念,可持续农业因之很自然地成为其中的一部分。“可持续农业”作为一个最为大家认同的术语,综合了以往一系列异于传统农业生产模式的概念和见解,它犹如一把大伞,将这些不同的观点和看法聚集在自己的麾下<sup>[1]</sup>。

1.2 可持续农业的定义及内涵

可持续农业的定义有许多种,每个作者或项目管理者对“什么是可持续农业”都有自己的答案。例如,

1991年,联合国粮农组织在其“登博斯宣言”中定义,农业的可持续发展是指:管理和保护自然资源措施,调整技术和机制变化的方向,以便确保获得并持续满足目前和今后世代人们的需要。它的基本内涵可概括为:通过重视可更新资源的利用,更多地依靠生物措施来增进土壤肥力,减少石油产品的投入,在发展的同时,保护资源、改善环境并提高食物质量,实现农业的持续发展。美国农学协会(ASA)认为,可持续农业是指在其长期的发展演变过程中,能保证并提高环境质量,巩固农业赖以存在的资源基础,为人类提供基本的食物和纤维,在经济上是可行的,并将提高农民以及整个社会的质量<sup>[12]</sup>。Lowrance 和 Odum 则依据不同的可持续目标,将可持续农业分为农学、微观经济、生态以及宏观经济可持续性 4 个水平由低到高,范围由小到大的层次,并作了详尽的阐述<sup>[5]</sup>。在所有定义中,有 3 个内容是被反复强调的,即环境质量和生态稳固性;动植物生产力以及社会经济的可行性,三者缺一不可,在相互消长中获得平衡<sup>[7,22]</sup>。一个不具有生态可持续性的系统,是不可能长期存在的,不论短期产出利润有多高;同样,一个系统在长期的发展中必须保持一定的生产力和利润,否则,它在经济上是无法持续的,不管它生态上有多么稳定<sup>[23]</sup>。农业可持续性的实现是在三者的平衡中取得的,而平衡内容则依赖于具体地点并随时间而变<sup>[7,15]</sup>。

1.3 可持续农业的理论基础

可持续农业的理论基础是生态学。农业系统是一类比较特殊的生态系统,它的集约化程度最高,而且由于农业经营中存在定期和长期的干扰,农业生态系统也是任何生态系统中变化最快的景观,是“为了生产粮食和纤维,一组相互作用的生物和非生物成分组成的一个统一整体”<sup>[24]</sup>。种群生态学和群落生态学研究有机物之间,种群之间及其与环境之间的相互关系,包括竞争、捕食关系、演替和食物网理论等。杂草—作物生态学以及综合病虫害防治便是其中的例子<sup>[2,22,25]</sup>。生态系统生态学则主要注重生态系统的生物地球化学和热力学,各种生态过程,如各生态组分之间物质循环和能量流动过程中的初级生产和分解等。生态系统生态学在农业研究中应用较多是在养分预算和养分循环过程研究方面<sup>[26,27]</sup>。此外,可持续农业的 3 个组分:即环境质量和生态稳固性;动植物生产力以及社会经济的可行性,至少和 4 种重要的生态过程密切相关,即:养分循环,水文,种群动态和能量流动。生命的持续需要养分在有机物和无机环境之间不断循环;在农业生态系统中,还需要不断补充养分以满足农业生产在一个可行的经济水平上持续进行。水分的可利用性在关键时期和地点对农业生态系统的可持续性至关重要。水分首先是生物生理功能不可缺少的一部分,水分流动通过渗漏和侵蚀还影响到养分的输入和流失。有机物种群动态对维持种群规模、各自的食物源以及空间平衡上影响很大;作物种群动态可以通过水文、土壤、气候、肥料、作物多样性或其他有机物进行调节;昆虫、菌类和杂草种群的调节则通过捕食作用、竞争、互利作用以及人类活动进行调节。能量流动是生态系统的根本属性,而生产力是能量流动的度量之一。

1.4 可持续农业的研究方法

农业的可持续发展是各种社会、经济和生态因素共同和谐作用的结果,它的研究是系统的、跨学科的。系统的研究方法对理解和研究可持续性十分重要。可持续农业要同时实现环境保护、农业生产、农业利润以及社团福利多个目标,因此,所进行的研究一方面要试图在多个而且有时甚至相互矛盾的目标中寻求平衡,另一方面还需要不断监测和调整生产过程,保证一个目标的实现不致损害另一目标<sup>[10]</sup>。此外,可持续农业的研究需要来自生物学、化学、物理学和社会学方面专家的共同合作。具有不同背景的专家将从自己的学科出发,研究农业可持续发展的限制因素,提出基于本学科的解决方法,在综合商讨以后,找出环境、经济和社会最适值平衡点<sup>[13,15,26]</sup>。

2 可持续农业的量化研究

2.1 可持续农业量化研究复杂性

定量化的表示农业的可持续性一直是农业生态学研究的目标之一<sup>[14]</sup>。较传统农业单一、概括的生产力指标,可持续农业具有抽象性和长期性,其可持续性无法用一个具体的指标去表示。Dumanski 在仔细分析了可持续农业的各种概念后发现,这些概念都无一例外的过于泛泛而疏于应用,很难对可持续性进行衡量和度测。可持续农业量化的复杂性还在于,没有一套适合于任何条件下的,精确而固定的模式。相反,可持续农业唯一地适用于每一具体地点,它不仅仅是由一系列的方法组成,或者仅仅是限制在粮食生产中对农

业化学药品的使用;它要求集约经营,是一个资源保护过程,并同时兼顾长期和短期的经济效益<sup>[13~15]</sup>。此外,一个农业生态系统是否可持续是需要经过长时间检验的,因为一些要素如土壤和生态系统的其他属性在某些干扰下的变化可长达几个世纪<sup>[28]</sup>。尽管如此,Neher 总结出了可持续农业十个特点,以作为定量研究的依据,即:1)优良的作物和牲畜品种,适应农场土壤和气候条件并能抵抗病虫害;2)圈养和放养的牲畜密度适宜;3)农场自产的资源通常可以更新,因此比需要购买的资源更受欢迎;当地可以获得的投入比从远方运来的更受青睐,因为前者需要较少的能源用于运输;4)作物种类多样化以保持稳定,并通过轮作、间作和复种来实现;5)在轮作过程中,由于深根系作物的加入,增强了对深层土壤存贮养分的利用,同时抑制杂草和害虫滋生;6)种植覆盖作物或人为加入覆盖物,减少土壤侵蚀,保护土壤表层,保持土壤湿度;7)通过土壤管理措施,提高土壤保持养分的能力,并在作物需要时释放养分;8)可溶无机肥料的施用量要保持在作物可以有效利用的水平上,而且只在施用畜粪和豆科植物不能弥补养分亏缺时使用;9)合成杀虫剂用来控制杂草和病虫害,但只在作物受到明显威胁时使用;10)针对某一特定有机物的生物制剂,一旦使用,要确保它对哺乳动物的毒性符合规定标准,且残留期有限,在环境中的移动性差。

2.2 可持续农业的指示因子研究

定量研究可持续性,确定可持续性的指示因子始终是可持续农业研究的亮点,许多人在这方面做过一些尝试<sup>[8,9,11,16,17]</sup>,尤其是在生态可持续性方面。Senanyake 基于生态系统的几个属性,包括外界的输入和能量的转换率,找出了一个衡量生态可持续性的指数。Taylor 等在研究了马来西亚农民的生产方式后,建立了一个衡量可持续性的量化指数。Sands and Podmore 提议生态可持续指标,可成为下一级指标,如土壤生产力,生态系统稳定性和环境潜在退化等的集合。Stockler 等基于系统的 9 种属性,即:生产力,收益性,土壤、水分和空气质量,能量利用效率,鱼类及野生动物栖息地,生活质量及社会接受程度,建立起一个评估可持续性的框架。Dalsgaard 等则通过同时评估一系列指示因子的表现,筛选出不同的指示生态可持续性的因子。美国环保局(EPA)环境监测与评估项目(EMAP)一直着手建立能表达生态系统状态的指示因子,目前已被认定的几个十分有用的指示生态可持续性的因子包括:流域养分预算;土壤侵蚀与沉积速率;土地利用(非作物植被所占比例);累积作物产量;动物种群的相对丰富度、分布状况及其数量统计<sup>[29]</sup>。

2.3 可持续农业的指示因子

农业发展的经济可持续性往往用一些可以量化的经济指标来表达,如生产力,利润,投入/产出比等;但指示社会状况的因子似乎不容易找到,如人们的生存状况如何定量表示,社会环境该如何指示等,由于影响因子复杂,不易量化,且变化快,目前进展不明显。由于农业生产过程中的环境问题越来越多的受到人们的关注,而且影响因子具体而明确,生态可持续性一直是可持续农业研究的焦点。但是影响环境的因子众多,所起的作用随具体的时间、地点的改变也会不同,因此,找出指示生态可持续性的关键因子始终是研究的主题。目前公认的几个指示环境可持续性的关键因子包括土壤、水分和生物多样性。

2.3.1 土壤

土壤质量被公认是农业可持续发展的一个重要组成部分。不可持续的耕作经营方式所引起的土壤肥力的耗损,甚至被认为是导致许多古文明,如古罗马文明,美索不达米亚文明以及古地中海文明衰落的因素之一<sup>[30,31]</sup>。健康的土壤可以生产出健壮的植株,使它具有一定活力,不易受害虫袭击。此外,由于许多作物都存在几种要害害虫,即使是最健壮的植株也会受到影响;适当的土壤、水分和养分调节,可以防止由于作物间的压力或养分不平衡带来的虫害。而且,危害土壤质量的作物经营管理系统常常需要更多的水分、养分、杀虫剂或更多的耕作能源投入以维持产量。土壤质量是指土壤的物理、化学和生物完整性,如合理的土壤结构,具有较强的保水和保肥能力,不易遭受侵蚀,酸化、碱化以及污染程度低或逐渐改善,有机质含量丰富,合理 C/N 比等等<sup>[13,15,29,32]</sup>。土壤的完整性可在一些消耗过程,如土壤侵蚀、养分流失和有机物消耗等,与一些有益的经营措施相互作用中获得,如作物轮作,保护性耕作,畜肥和作物残落物循环等。一个有效的土壤质量参数应是物理、化学和生物参数的结合,能对消耗和有益过程之间的关系进行量化<sup>[29]</sup>。目前研究较多的**土方数据**的生物指标,土壤微生物参数被认为是最能表示土壤生态系统变化的预警及敏感指标<sup>[33-37]</sup>。在分析其它科学家提出的不同生物指标的基础上,Pankhurst 认为,微生物生物量(microbial



biomass, 简称 MB)、土壤呼吸(soil respiration)及其衍生指数(derived indices)、一些土壤微生物功能组、微生物群体结构及功能多样性、土壤酶、微动物区系的功能多样性和植物生长等均可看作目前具有潜力的生物指标<sup>[37]</sup>。

2.3.2 水分

水分质量是农业可持续发展的另一个重要因子。水分的可利用性、受污染程度(包括有毒物质污染和富营养化)以及作物的利用水平等内容是水分质量的主要内容<sup>[8,10,13,15,17]</sup>。水分质量是多个因子的综合体现,它不仅影响到而且受到可持续农业 3 个组成部分的影响,如水分的可利用性直接关系到作物生长和产量,水分污染不仅是环境问题,也威胁到人们的健康和生存,而作物对水分的利用水平则涉及到水分利用率等。水分质量不仅受自然条件的制约,如降水、地质条件,还受到人为活动的巨大影响;而后者可以降低也能够提高水分质量,如不合理施肥造成的水体富营养化,过分使用杀虫剂造成的地下水污染,乱垦滥牧引起的水分流失等;同时,覆盖作物的种植可以通过减少侵蚀,增加水分入渗率等提高水分可利用率。此外,合理轮作不仅可以充分利用生长季降雨,而且能在尽量少的影响土壤水分恢复的情况下,最大限度地利用土壤有效水分,从而取得较高的水分利用率<sup>[38]</sup>。

2.3.3 生物多样性

生物复杂性和多样性是可持续农业的另一个重要组成成分<sup>[13,15,29]</sup>。一个系统内种类多样性的增加,将通过提供替代作物和增加害虫的天敌,从而可以减少生产上的失败<sup>[34]</sup>。具有多样性的系统通常更具有经济上和生态上的弹性。虽然单一种植效率高,经营方便,但是一旦作物生产遭到失败,将严重威胁到依赖这一系统的团体的稳定性。通过种植各种作物,经济风险被分散,农民也不易受到由于供需变化所带来的巨大的价格变化的影响。此外,多样性对一个系统还具有生物缓冲作用。例如,在一年生耕作系统中,作物轮作可以抑制杂草生长,病菌以及害虫的出现。覆盖作物可以固定土壤,从而保持土壤养分、水分,提高水分入渗率和土壤保水能力,对整个农业生态系统起到稳定作用。果园和葡萄园内的覆盖作物,还可以增加有益节肢动物种群的数量<sup>[35]</sup>,从而减少系统感染病虫害的机会,同时减少化学物质的使用。最适宜的多样化可以通过将作物栽植和牲畜饲养综合在同一系统中。作物和牲畜混合在一起有以下几个优点。首先,作物可以栽种在比较平坦的地区,而草场和草料可以种植在相对较陡的坡地上,从而减少土壤侵蚀。其二,草场和草料作物轮作,可以提高土壤质量,减少侵蚀;而畜粪则可以增加土壤肥力。其三,在少雨期,牲畜可以通过以残余作物地上部分为食物,减少负面影响;而在单一种植作物的系统中,只有作物欠收。最后,对于动物生产系统,饲养和销售都要灵活的多,这将有助于减轻农民受贸易和价格浮动的影响,而且和耕作措施联系在一起,也可以更有效地利用劳动力。Neher 认为,可持续农业的生物多样性包括以下内容:(1)采用条作、轮作、块作、间作以及复种等耕作措施;(2)农业景观多样性及破碎化指数;(3)野生动物栖息地质量<sup>[18]</sup>。

3 可持续农业与中国

3.1 中国的农业发展与存在的问题

中国具有 5000 多年的农耕历史,一直以低投入、保护性耕作为主,强调有机肥料的使用,重视生物养护,如豆科植物轮作,大面积种植绿肥,施用人畜粪、生产并使用堆肥或休闲等。目前,在很多地区,人力、畜力仍然是农田能源的主要输入方式,而很少使用机械或化石能源。这也是我国农业得以延续的原因之一。低投入的农作方式,在新的科学技术出现、被接受和应用之前,其结果也只能是低产出。为了解决粮食问题,大面积林地、草地被辟为农田,在山地丘陵区还出现了陡坡开荒的局面,导致了严重的水土流失和大面积的沙漠化。1996 年完成的全国荒漠化土地普查表明,中国荒漠与荒漠化土地总面积为 262.2 万 km<sup>2</sup>,占国土总面积的 27.3%。特别是近几十年来,荒漠化扩大的速度愈来愈快。从 20 世纪 50 年代到 70 年代,以年均 1560km<sup>2</sup> 速度扩大;进入 80 年代,每年扩大面积增加到 2100km<sup>2</sup>;近年来,平均每年沦为沙漠化的土地,已扩大到 2400km<sup>2</sup> 以上<sup>[39]</sup>。全国水土流失面积约 150 万 km<sup>2</sup>,40 年来初步治理了约 50 万 km<sup>2</sup>,但同时由于乱砍森林、草原过牧、盲目开垦等又造成新的水土流失。据遥感资料,目前流失面积约为 179 万 km<sup>2</sup>。更令人担忧的是,在农业比较发达地区,为了生产更多的粮食,盲目增加农业投入,造成大量的资源浪费和严重的环境污染。如我国开始施用化肥的时间较迟,但发展速度很快,80 年代中期施用总量开始超过美

国,1995 化肥施用总量已达 35.9 百万 t(折纯量)。我国的化肥不仅施用量大,而且利用率低。美国化学氮肥的当季利用率为 50%~70%,而我国氮肥的利用率平均不足 40%。未被作物利用的氮素除少部分残留于土地外,绝大部分进入水圈和大气圈,不仅造成极大的浪费,而且对环境造成很大的冲击。农业生产中大量氮肥的施用是我国水体氮素含量不断增加的主要原因。磷肥的当季利用率平均仅为 15%,土粒固定的磷元素通过水土流失和径流,与土地颗粒一起或以水溶性有机态进入水圈,造成水体富营养化<sup>[40]</sup>。此外,据农业年鉴资料,1995 年全国农垦农场农药施用量平均每公顷达 9.78kg。在相当长一段时间内农药使用量还将继续增加,土壤中农药的残留量也将相应提高,但残留于土体及从土体迁移进入水体的农药对人类和环境质量的长期积累性影响在我国的研究还非常薄弱,也未引起足够的重视<sup>[41]</sup>。

### 3.2 21 世纪中国农业面临的挑战

在踏入 21 世纪门槛之际,我国农业将面临 4 个严峻挑战:“新马尔萨斯人口论”现象:16 亿人口及其消耗量的增长要求更多的粮食供应;全球变化的负面效应,气候热浪的频繁侵袭与灌溉水源的严重匮乏;荒漠化与土地退化,水土流失、风沙化、盐渍化和土壤肥力丧失导致土壤表层的剥蚀和土地生产力的衰退;生物多样性丧失与失调,动植物种的加速灭绝,森林、草原、湿地的退缩,以及病虫、杂草灾害的猖獗发生。尽管以基因工程为主的生物新技术、自动控制的新型电子化农业机械与化学合成制剂(化肥、生长刺激素、杀虫剂等)可以在一定程度上和短期内提高农业的产量,但在长期和大面积国土上的农林牧业生产的持续性发展和环境的保持与改善却更有赖于整体性的可持续农业系统工程的形成。可持续农业的最基本法则是:农业经济的规模必须保持在地球的承载力范围内,只能取走自然界的利息,而不能用掉她的资本。对那些因过度不当利用和掠夺而遭到损害的生态系统则应进行保育(conservation)和重建(restoration)。在可持续农业中,资源利用与产品的经济生产是与生态保育和整个社会持续发展的目标紧密相结合的,它永恒追求的是一种动态的和发展中的系统的稳定、平衡与循环。

### 3.3 中国可持续农业指示因子

中国农业的发展是否是可持续的可以通过 4 个方面来度量,即:农产品的数量和质量,土地荒漠化和退化状况,水分利用率以及生物多样性。

中国的可持续农业首先要增加农产品的数量,并提高其质量。增加数量是为了满足人们的温饱需求。根据国家农业部统计数据,截止 2000 年底,尚未解决温饱的农村贫困人口为 3000 万,贫困人口占总人口的比例为 2%。而且,随着人口的增长,对农产品的需求势必会增加。据国务院新闻办公室在《中国的粮食问题》一文中预测,到 21 世纪 20 年代中期,在较高水平投入或丰产年的情况下,中国能生产粮食 6.96~7.00 亿 t,按人均 450kg 计,能养活 15.48 亿人口;在中等投入或平产年,粮食产量能够达到 6.66~6.75 亿 t,能供养 14.8 亿人口;在低投入或欠收年,粮食产量在 6.39~6.48 亿 t,只能供养 14.2 亿人口,粮食缺口可能达到 0.5 亿 t。提高农产品质量是为了提高农产品的经济效益。农业生产从 20 世纪中期的绿色革命开始,长期以来,人们把土地产出的谷物直接食用看作是供养人口最好的生产方式,历来一味追求籽粒最大产出量为主要目标,从而培育出高产水稻、小麦、玉米、豆类等农作物,但蛋白质及矿物质和维生素等营养物质却大幅度降低,品质下降。目前我国的普通小麦积压在库,据报载,南方有的农民竟拿小麦作肥料,但优质专用小麦的年产量仅占消费量的 8.5%,供不应求,靠进口弥补。如做点心、面包的小麦每年约需进口 50 亿 kg 等等。究其原因这是由于农产品品质方面的缺陷和生产上一直沿袭“增产型”,而忽视了“优质高效益型”的结果所致。可持续农业要防治水土流失和土地荒漠化,在保护生态环境的同时,保证现有耕地的质量和数量。根据国家信息中心 1999 年资料显示,我国现有耕地 1.3 亿  $\text{hm}^2$ (用占世界 7%的耕地养活着占世界 22%的人口),人均  $1.59 \times 667\text{m}^2$ ,不及世界平均水平( $3.75 \times 667\text{m}^2$ )的 43%。人均少于  $1 \times 667\text{m}^2$  的省级行政单位有 7 个。在 2800 多个县级行政单位中,人均耕地低于联合国粮农组织所确定的  $0.8 \times 667\text{m}^2$  警戒线的有 666 个,占总数的 23.7%,低于  $0.5 \times 667\text{m}^2$  的有 463 个,占 16.5%。现有耕地中,一等地占 40%,中等地占 34%,三等劣地占 22.5%,不宜农耕的占 3.5%。耕地中有 30%不同程度受水土流失危害,有 40%严重障碍因素限制的占 60.1%,坡度在  $15^\circ$  以上的占 13.6%,坡度在  $25^\circ$  以上的有 607 万  $\text{hm}^2$ ,需逐步退耕还林、还牧。可持续农业要提高水分利用率,保证有限水分条件下正常的粮食生产。我国

大部分地区属于旱作农业,全国 62%的耕地分布在淮河流域及其以北地区,但该地区水资源只占全国的 20%;长江流域及其以南地区水资源占全国的 80%以上,但耕地只占全国的 30%。在旱作农业区,水分往往成为农业生产的限制因子,如广大的黄土高原地区,由于 90%的耕地缺乏有效的灌溉条件,粮食产量往往低而不稳<sup>[38]</sup>。据预测,由于全球气候变化的影响,我国西北大部分旱作区降水将要减少,对半干旱地区的雨养农业产生重大影响;未来高山雪线将因气候变暖而上升,冰川融水量减少,对干旱地区的灌溉农业十分不利<sup>[42]</sup>。只有提高水分利用率,充分利用有限水资源,才能保证农业的稳步发展。可持续农业还要保护生物多样性,维护生态系统在结构和功能上的完整性。

3.4 建立我国 21 世纪的可持续农业

可持续农业几乎没有任何现成的模式,它既不是西方发达国家一度成功的石油农业,也绝不是小农经济式的中国传统农业,尽管其中不乏合理的生态意识。可持续农业应当是基于优化的生态系统结构或食物链,合理的生物地球化学循环原理,高效的社会经济体系和发展企业化、高科技与工程化的境界。不少农学家提出了可持续农业的组成部分,如:病虫害综合防治、抗病虫育种、生物农药、新能源技术、无污染施肥、免耕法、绿色食品生产、复合农林业等,以及使用信息科学的先进方法与手段,如计算机模拟、专家系统、系统分析遥感监测等。对这些措施已多有论述,在此不赘。在这里仅指出可持续农业的空间尺度至少可以分为:群落[生态系统或斑块(Patch)]、景观(不同群落规律性的镶嵌体)、区域(如一个流域)3 个层次,在此基础上应注意:可持续农业的生态-经济带区划;可持续农业的景观格局配置;可持续农业的复合群落——复合农林系统(agroforestry)。在一个特定区域内的生态-经济带区划是对区域可持续农业的宏观规划与控制。不同区域有不同的生态-经济带区划。区别的原则除根据主导自然环境因素与生态系统类型与功能外,还必须密切结合当地的经济发展与社会需求。例如在我国东部亚热带的低山丘陵与平坝农区基本上可分为 3~4 个生态-经济带:平坝的粮食-经济作物为主的种植农业带,丘陵低山的经济林木-梯田(种植农业)带,中高山坡地的用材-水源涵养林带,山地夷平面的人工-天然草地牧业带。在四川省西部青藏高原边缘山地则在上部还有一层高山森林-草地带,在云南省除了上述几带外,在云南省南部则有低山谷地的热带作物-农业带。在景观尺度上的可持续农业可以举内蒙古自治区鄂尔多斯高原的毛乌素沙地为例,在沙地中的滩地水土条件良好,形成高产的农业绿洲,可种植粮食、饲料与经济作物与蔬菜、果木等;围绕滩地的沙丘与台地(软梁)可发展集径流水补给的果树、林木与半人工草地;外围的高大沙丘与硬梁山地则为防护性兼适度放牧的灌丛草地带,形成了草、林、农、果土地镶嵌格局,既合理配置下农林牧各业,又形成了巩固的防护系统,奠定了可持续农业的景观结构。

在新疆最为干旱荒芜的塔克拉玛干大沙漠南缘的和田灌溉农业绿洲发展了多种多样的果、桑与农作物间作构成的木本(果树)与草本农作物的复合农林系统,为荒漠绿洲可持续农业提供了值得借鉴与深入研究的生物多样性的模式。

参考文献

[1] Cheng X(程序),Zeng X G(曾晓光),Wang E D(王尔大). *Guidance for sustainable agriculture*(in Chinese). Beijing:China Agricultural Publishing House. 1997.

[2] Gliessman S R. ed. *Agroecology: Researching the ecological basis for sustainable agriculture*. New York:Springer-Verlag. 1990.

[3] Edwards C A, Rattan L, Madden P *et al.* ed. *Sustainable Agriculture Systems*. Ankeny, IA: Soil and Water Society. 1990.

[4] Olson K Richard ed. *Integrating Sustainable Agriculture Ecology, and Environmental Policy*. New York:Food Products Press. 1992.

[5] Lowrance R,Hendrix P F and Odum E P. A hierarchical approach to sustainable agriculture. *Am. J. Altern. Agric.*, 1986, **1**:169~173.

[6] Bidwell P. Where do we stand on sustainable agriculture?. *J. Soil Water Conserv.*, 1986, **41**:317~20.

[7] Ikerd J E. Agriculture's search for sustainability and profitability. *J. Soil Water Conser.*, 1990, **45**:18~23.

- [ 8 ] Senanayake R. Sustainable agriculture: definition and parameters for measurement. *J. Sust. Agri.* , 1991, **1**(4):7~28.
- [ 9 ] Stockler C O I, Papendik R, Saxton K E *et al.* A framework for evaluating the sustainability of agriculture production systems. *Am. J. Alter. Agri.* , 1994, **9**(18:2):45~50.
- [10] Cai Y and Smit B. Sustainability in agriculture: A general review. *Agric. Ecosyst. Environ.* , 1994, **49**:299~307.
- [11] Dalsgaard J P T, Lightfoot C and Christensen C. Towards quantification of ecological sustainability in farming systems analysis. *Ecol. Engg.* , 1995, **4**:181~89.
- [12] Schaller N. Mainstreaming low-input agriculture. *J. Soil Water Conserv.* , 1990, **45**:9~12.
- [13] Neher D. Ecological sustainability in agriculture systems: definition and measurement. In: Olson, K. Richard eds. *Integrated Sustainable Agriculture, Ecology and Environmental Policy*. New York :Food Products Press. 1992. 51~61.
- [14] Gliessman S R. Quantifying the agroecological component of sustainable agriculture: A goal. In: Gliessman, S. R. ed. *Agroecology: Researching the ecological basis for sustainable agriculture*. New York: Springer-Verlag. 1990. 366~70.
- [15] Flora C B. Building sustainable agriculture: a new application of farming systems research and extension. In: Olson, K. Richard ed. *Integrating Sustainable Agriculture, Ecology, and Environmental Policy*. New York: Food Products Press. 1992. 37~49.
- [16] Taylor D C, Mohamed Z A, Shamsedin M A *et al.* Creating a farmer sustainability index: a Malaysian case study. *Am. J. Alter. Agri.* , 1993, **8**:175~184.
- [17] Sands G R and Podmore T H. Development of an environmental sustainability index for irrigated agricultural system. In: J. K. Michell ed. *Integrated Resource Management and Landscape Modification for Environmental Protection*. Chicago, Illinois :Proceedings of the International Symposium, December 13~14, 1993. 71~80.
- [18] Pimentel D, Rebecca H, Pimentel M. *et al.* Natural Resources and an Optimum Human Population. *Population and Environment* , 1994, **15**(5): 347~369.
- [19] Rodale R. Sustainability: An opportunity for leadership. In: C. A. Edwards, L. Rattan, P. Madden *et al.* , ed. *Sustainable agricultural systems*. Ankeny, IA: Soil and Water Conservation Society, 1990. 77~86.
- [20] Scofield A M. Editorial: Organic farming—the origin of the name. *Biol. Agric. Hortic.* , 1986, **4**:1~5.
- [21] Madden, J P. What is alternative agriculture? *Am. J. Altern. Agric.* , 1989, **4**:32~34.
- [22] Altieri M A. *Agroecology: The scientific basis of alternative agriculture*. Boulder. CO: Westview Press. 1987. 227.
- [23] Stenholm C W and Waggoner D B. Low-input, sustainable agriculture: Myth or method? *J. Soil Water Conserv.* , 1990, **45**: 13~17.
- [24] Elliott E T and Cole C V. A perspective on agroecosystem science. *Ecology* , 1989, **70**(6):1597~62.
- [25] Vandermeer J. *The ecology of intercropping*. New York: Cambridge University Press. 1989
- [26] Jakson W and J Piper. The necessary marriage between ecology and agriculture. *Ecology*, 1989, **70**(6):1591~93.
- [27] Hendrix P F, Coleman D C, Crossley D A. Using knowledge of soil Nutrient cycling processes to design sustainable agriculture. In: Olson, K. Richard ed. *Integrating Sustainable Agriculture Ecology, and Environmental Policy*. New York: Food Products Press. 1992. 63~82.
- [28] Glendining M J and Powlson D S. The effects of long continued applications of inorganic nitrogen fertilizer on soil organic nitrogen—a review. In: R. Lal and B. A. Stewart ed. *Soil Management: Experimental Basis for Sustainability and Environmental Quality*. Boca Raton, FL: CRC Press. 1995. 385~446.
- [29] Lowrance R. Sustainable agriculture research at the watershed scale. In: Olson, K. Richard eds. *Integrating Sustainable Agriculture Ecology, and Environmental Policy*. New York: Food Products Press. 1992. 105~111.
- [30] Olson 万方数据 *Agroecology: lessons on future soil use*. *J. Soil Water Conser.* , 1981, **36**:261~264.
- [31] Sandor J A. and Eash N S. Significance of ancient agricultural soils for long-term agronomic studies and sustain-



- able agriculture research. *Agron. J.*, 1991, **83**:29~37.
- [32] Olson K Richard. The future context of sustainable agriculture: planning for uncertainty. In: Olson, K. Richard ed. *Integrating Sustainable Agriculture Ecology, and Environmental Policy*. New York: Food Products Press. 1992. 9~19.
- [33] Hauptli H, Katz D, Thomas B R. *et al.* Biotechnology and crop breeding for sustainable agriculture. In: Edwards, C. A., Rattan, L., Madden, P. *et al.*, ed. *Sustainable Agriculture Systems*. Ankeny, IA: Soil and Water Society, 1990. 141~156.
- [34] Hendrix P F, Crossley D A, Blair J M. *et al.* Soil biota as components of sustainable agroecosystems. In: Edwards, C. A., Rattan, L., Madden, P. *et al.*, ed. *Sustainable Agriculture Systems*. Ankeny, IA: Soil and Water Society, 1990. 637~654.
- [35] Larson W E *et al.* Evaluation for sustainable land management in the developing world. *IBSRAM Proc.*, 1991, **12** (2): 1~23.
- [36] Kennedy A C, *et al.* Soil microbial diversity and the sustainability of agricultural soils. *Plant and Soil*, 1995, **170**: 75~86.
- [37] Pankhurst C E *et al.* Defining and assessing soil health and sustainable productivity. In: *Biological Indicators of Soil Health*. CAB International, 1997. 1~324.
- [38] Han S F(韩仕峰), Li Y S(李玉山), Zhang X Z(张孝中), *et al.* Approaches to improve farmland soil water utility in Loess Plateau. *Soil and water conservation bulletin*(in Chinese)(水土保持通报), 1990, **10**(6): 39~45.
- [39] Zhu Z D(朱震达). Concepts, causes and controls of land desertification in China. *Quaternary research*(in Chinese)(第四纪研究), 1998, **2**: 1~6.
- [40] Cai Z C(蔡祖聪), Cao Z H(曹志洪). *Land use and environment quality*. From. www.sdinfo.net.cn.
- [41] Hua X M(华小梅), Jiang X L(江希流). Pesticide production and application in China and its effects on environment. *Environment protection*(in Chinese)(环境保护), 1999, 9.
- [42] Working Group of "impacts of climate change on agriculture and relevant countermeasures"《气候变化对农业影响及其对策课题组》. *Impacts of climate change on agriculture and relevant countermeasures*(in Chinese). Beijing: Peking University Publishing House, 1992, 11.