

盐渍土区耕地质量指标及其在持续土地利用管理评价中的应用

张凤荣 齐伟

(中国农业大学资源与环境学院)

薛永森

(国土资源部土地整理中心)

黄勤

(中国地质大学)

摘要 选择华北平原盐渍土区作为研究对象,通过调查分析建立了该区耕地质量指标,它们是土壤水溶盐含量、有机质含量、土壤重金属容量空间、地下水资源的量与质;应用这些评价指标对典型样区的土地利用管理进行了可持续性评价。结果是:近20年来,耕地质量和生产力明显提高;排水与灌溉系统的建设使农田的抗旱防涝能力大大增强,农业生产的稳定性得到提高;土壤重金属虽有增加,但还未超过限制性标准;地下水位不断降低,水资源逐渐耗竭。虽然在短期内还不是制约因素,但从长远看,地下水资源将是可持续发展的最大隐患。总体上看,土地利用在一定时段内是可持续的。

关键词 盐渍土区;耕地质量指标;持续土地利用管理评价

中图分类号 P964

Farm land Quality Indicators and Its Application in Evaluating Sustainable Land Management in Saline Soil Area

Zhang Fengrong Qi Wei

(College of Natural Resources and Environmental Sciences, CAU)

Xue Yongsen

(Center of Land Planning and Designing, DLMR, PRC)

Huang Qin

(China Geological University, Beijing)

Abstract Salt content, organic matter content, heavy metals and ground water resource were selected as farm land quality indicators for evaluating sustainable land management in saline soil area of the North China Plain. The results suggested that in the area of saline soil, the salt content of soils were decreased after 19 year's reclamation, the productivity has been raised, agricultural production has been kept stable due to the construction of irrigating and draining system. Generally speaking, the land management is sustainable. But the shortage of fresh water resource will be the most challenging factor for sustainable development.

Key words saline area; farm land quality indicators; sustainable land management evaluation

1 有关持续土地利用管理评价和土地质量指标研究现状

持续土地利用管理评价(evaluation of sustainable land management)是可持续发展思想

收稿日期: 2001-03-09

国家重点基础研究发展规划项目(G1999011810)和国家自然科学基金项目(49871005)以及国土资源部重点科技项目(2000209)资助

张凤荣,北京圆明园西路2号中国农业大学(西校区),100094

在土地评价领域中的具体化。1991 年 9 月在泰国 Chiang Rai 举行了“发展中国家持续土地利用管理评价国际研讨会”; 1993 年 6 月又在加拿大 Lethbridge 大学举行“21 世纪持续土地利用管理国际研讨会”; 许多学者从自然、环境、经济和社会等各个方面探讨了持续土地利用管理及其评价的指标和方法^[1,2]。在这些国际会议的基础上, FAO 于 1993 年正式发表了《持续土地利用管理评价纲要》, 确定了持续土地利用管理的基本原则、程序和 5 个方面的评价标准, 即: 土地生产性(productivity)、生产稳定性(security)、水土资源保护性(protection)、经济可行性(viability) 和社会接受性(acceptability), 并初步建议了持续土地利用管理评价在这些方面的一些评价指标(indicators)^[3]。目前, 持续土地利用管理评价的对象主要还是农业用地。

《持续土地利用管理评价纲要》发表以来, 不同国家、地区、个人都以此为指导, 依据自身的资源环境条件和发展背景从 5 个方面探讨持续土地利用管理评价的指标体系和方法。Dumanski 调查了加拿大影响农业土地利用管理的因素, 从土壤侵蚀、盐渍化、土壤有机质等土地质量方面的变化, 评价了 Saskatchewan 农业土地利用的持续性^[4]; 1997 年 8 月在荷兰恩斯赫德又召开了“国际持续土地利用管理和信息系统学术会议”, 会议除了讨论了 GIS 在持续土地利用管理评价中的应用外, 焦点问题依然是持续土地利用管理评价的指标体系(indicators)^[5]。

在持续土地利用管理 5 个方面的评价标准中, 关系到土地生产性和土地生产稳定性是否提高, 也关系到水土资源保护方面的土地质量指标(land quality indicators, LQI)的研究最多。Salinas-Garcia 通过 16 年的不同耕作条件和不同氮肥施用水平的实验, 筛选了评价持续土地利用管理的土壤化学和土壤物理方面的指示因素^[6]。Harmink 也通过 5 年的定位实验研究了土壤化学和土壤物理性质方面的持续土地利用管理指示因素, 包括有机质、容重等^[7]。Murage 等通过不同生产水平耕地的土壤肥力水平研究, 探讨了代表土地质量的土壤质量指标, 包括土壤养分和土壤有机质^[8]。2000 年出版的《农业、生态系统和环境》杂志第 81 卷集中发表了 8 篇有关 LQI 的研究文章: Bindaban 等讨论了水分和养分胁迫下的作物产量模型, 指出 LQI 的交互作用决定土地质量, LQI 是动态的, 而且有不同的尺度^[9]; Huffman 等利用 GIS 技术和农业统计数据, 探讨了有关土壤覆盖、风蚀和土壤盐渍化等 LQI 对农业生产的影响^[10]; Kirkby 等利用水平衡模型和输沙模型探讨了影响土壤侵蚀的有关 LQI^[11]。Dumanski 和 Preri 则在 1996 年为世界银行起草的土地质量指标体系的基础上, 进一步讨论了 LQI 的研究目标和方法, 提出了短期和长期的 LQI: 短期的 LQI 包括土壤养分平衡、潜在产量与实际产量差、土地利用强度和利用的多样性、土地覆盖; 长期的 LQI 包括土壤质量(主要是有机质)、土地退化(水土流失、盐渍化)、农业生物多样性以及土地污染指标等^[12]。

我国耕地可持续利用及其评价指标的研究主要体现在农业可持续发展研究中, 郝晋珉等讨论了农业和农村发展过程中的土地可持续利用的评价指标以及管理措施与政策^[13]。傅伯杰等对土地可持续利用评价指标体系与方法进行了研究^[14]。冷疏影、李秀彬介绍了国际上土地质量指标体系研究方面的进展^[15]。谢俊奇根据《持续土地利用管理评价纲要》, 建立了“生产力指标、基础功能指标、安全性指标、保护性指标、经济活力指标、社会可接受指标”6 个方面的指标, 并据此对一个县进行了土地利用可持续性评价^[16]。

由于各国、各地区的自然条件和社会经济条件不同, 所面临的问题不一样, 在具体的土地质量评价指标上肯定不同。

黄淮海平原总面积 39.7 万 km², 人口密度 530 人/km², 粮食产量占全国的 22.4%。80 年

代以来,随着农业投入的增加,这个地区的耕地产出迅速增长,国家更是寄希望于这个地区能提供更多的农产品。在粮食等农产品增加的同时,也带来比较严重的地下水耗竭、土壤与地下水污染等一系列生态环境问题。这个地区的土地利用方式是否持续的,能否可持续发展,怎样保持可持续发展,成为政府、科学家,乃至农民十分关切的问题。本文将持续土地利用管理评价的基本理论和方法应用到黄淮海平原,建立适合这个地区的土地质量指标体系,对于发展持续土地利用管理评价的理论与方法,指导黄淮海平原可持续的土地利用管理,期望有所帮助。

2 华北平原持续土地利用管理评价中的耕地质量指标体系的建立

选择位于华北平原黑龙港流域的曲周县北部四疃乡约 25 km^2 的样区作为调查研究对象。这里是中国农业大学曲周试验站的科技推广覆盖区,20多年来进行了较大规模的农田基本建设和盐渍土改良、土壤培肥工作,土地质量发生了很大的变化。选择这个样区,所建立的耕地质量指标,在华北平原盐渍化土壤区具有代表性;根据所建立的耕地质量指标进行持续土地利用管理评价,对于指导黄淮海平原的耕地可持续利用管理具有普遍意义。

2.1 耕地质量指标中的土壤指标的建立

土壤质量是耕地质量的重要组成部分,土壤质量的变化对农业的可持续发展影响最为直接、深刻和长远^[17]。科学选取土壤质量指标,是建立耕地质量评价指标的重要方面。

影响耕地生产力的土壤因素是耕地质量的重要指标。虽然多元回归分析是选取影响耕地生产力的土壤因素的定量化方法,但限于数据的有限性,生产性土壤质量指标的选取,主要还是根据有关土壤学、作物栽培学等有关研究成果和生产实践经验。大量土壤学、作物栽培学研究成果和生产实践证明,土壤质地、土壤结构、土壤剖面构型、结持性、容重、孔隙状况、障碍层次、有机质含量、氮、磷、钾等养分、pH、盐分、CEC、矿物类型等等都影响着耕地的生产力。

虽然有上述诸多影响耕地生产力的土壤因素,但是没有必要选取所有这些土壤性质作为评价指标。在这些影响耕地生产力的土壤性质中,有些性质起主导作用,即这些性质的变化影响其他性质的变化,换句话说,其他性质随这些性质的变化而变化。可以根据有关土壤学的知识和经验,确定一些主导性土壤性质。

大量土壤数据的相关分析证明:土壤全氮含量与土壤有机质含量呈明显正相关,土壤的阳离子代换量与土壤质地呈显著正相关,土壤pH值和碳酸钙含量显著相关。土壤质地影响土壤结构、土壤结持性、土壤耕性、土壤阳离子交换量、土壤容重、土壤空隙状况等,而土壤结构和阳离子交换量则受土壤质地、土壤有机质含量等影响。因此,土壤全氮含量、土壤的阳离子代换量、土壤pH值、土壤结构、土壤结持性、土壤耕性、土壤容重、土壤空隙状况等不必要作为指标;而土壤有机质含量、土壤质地、土壤剖面构型、氮、磷、钾等养分含量可作为反映耕地生产力的评价指标。

可持续是时间序列的延伸。对于持续性评价指标的选取,既不能选取太稳定的土壤性质作为持续性评价指标,也不能选择太容易改变的土壤性质作为评价指标。

土壤是在不断变化的,我们所鉴定的土壤是在土壤发生历史长河中的一个片段。不同的土壤性质变化的时间尺度不同,土壤性质随时间的可变性可用土壤特性响应时间(characteristic response time)来表示,记为CRT,定义为外界环境条件一定时,某一土壤性质或状况达到准平衡态所需要的时间。CRT值>100年的土壤原生矿物组成、吸湿水含量、土粒密度、质地以

及不同质地的土层厚度和由不同质地的土层组合而成的土体构型等,是很稳定的,没有必要选择它们作为可持续性评价指标(当然,在土壤侵蚀严重地区,土壤质地和土层厚度应作为评价指标)。反之,容重、总孔隙度、水分含量、入渗速率、土壤空气组成、土壤氮、磷、钾等速效养分含量等的 CRT 都小于 1 年,变化太快,也没有必要选择它们作为指标。而土体盐分含量和交换性离子组成等的 CRT 在 1~10 年之间, CRT 在 10~100 年范围的有机质含量具有一定的稳定性,可以选择作为评价指标^[18]。无疑,土壤性质的 CRT 值为我们衡量土壤性质的稳定性提供了一种定量尺度。据此,选择土壤有机质含量、盐分含量作为黄淮海盐渍土区的耕地质量评价指标。

2.2 耕地质量指标中的土壤污染指标建立

自 80 年代中以来,所使用的农药基本上都是易分解低残留有机磷农药,不致在土壤中残留产生污染。目前,土壤污染主要是重金属,它们导致人类食物链污染,已成为土地利用的可持续性的限制因素。通常以土壤重金属容量空间来衡量土壤环境的可持续性。土壤重金属容量空间指土壤重金属容量与土壤重金属污染量的差,土壤重金属容量指土壤重金属临界含量与土壤背景含量的差,土壤污染量指土壤重金属含量超过土壤背景重金属含量的部分。重金属容量空间如果为负值即重金属含量超过临界值即可限制土地利用的持续性。

2.3 耕地质量指标中的水资源指标建立

水资源包括地表水和地下水两大部分。地表水又包括降雨、自产地表径流、入境水。降雨量在现在的技术水平下属于不可控制的因子,自产径流与入境水随着近年来的气候干旱,呈减少趋势,是一个不稳定的因子,而且地表径流有一部分还将转入地下水的循环中。因此,虽然地表水资源对华北平原耕地的持续利用仍然是一个重要的影响因素,但不必把地表水资源单独列为评价指标,而仅将地下水资源作为评价指标。地下水水资源指标主要考虑地下水的数量与质量。

华北平原地下水资源质量指标主要是矿化度,以及近年来由于大量使用化肥引起的浅层地下水中硝酸盐的积累^[19]。

地下水资源包括浅层地下水和深层地下水。地下水资源量的可持续利用的关键是开采量与补给量的平衡与协调。选择地下水资源总量和赤字量作为可持续土地利用的评价指标。

2.4 耕地质量指标中的田间工程指标的建立

华北平原过去是旱涝经常发生地区。水利设施,包括灌溉保证率与排水体系的有无和完善程度既影响土地的生产力,又反映土地抵御旱涝灾害的能力,应该作为耕地质量指标。

3 应用耕地质量指标评价样区土地利用管理的持续性

根据上述步骤建立的持续土地利用管理评价的耕地质量指标体系有:有机质含量、土壤可溶盐含量、土壤重金属容量空间、地下水资源量和质量、灌溉保证率和排水系统的完善程度。

3.1 土壤盐分含量与盐渍土面积变化评价

改良土壤障碍因素是提高土地生产力的重要措施。研究区土壤障碍因素主要是土壤盐渍化。随着灌排工程的修建,研究区浅层地下水位由 1980 年的平均 2 m^[20]降至现在的 5 m 以下,淋溶作用增强,盐渍土得到有效改良。根据我们对研究区内 23 个土壤剖面的含盐量分析,表土的含盐量大多数低于 0.2%,表土含盐量超过 0.5% 的只有 4 个,表土含盐量大于 1% 只

有3个,表土含盐量最高值为1.75%;所有这23个剖面1.5m深度内的所有土层的含盐量大多数低于0.4%。按《中国土壤系统分类》,研究区不存在盐土。经调查,第二代试验区中、重盐化土壤面积只占6.6%,盐渍土面积1999年比1984年减少460 hm²。这说明以水利工程为主的人工控制系统能够促使土体不断脱盐,将盐分控制在不产生危害的程度。

3.2 土壤肥力变化评价

比较了1980年^[20]和1999年的土壤有机质含量的变化,盐渍土耕地的有机质含量明显增加,有机质含量平均由7.6 g·kg⁻¹增至10.7 g·kg⁻¹,增加40.8%。这是因为19年来,随着各种改良措施的实施、经济的发展,耕作制度发生了变化(80%以上的耕地由80年代前的小麦-玉米-大豆两年三熟改为小麦夏玉米两茬平播),肥料投入大幅度增加,夏粮单产由1982年的4 905 kg·hm⁻²提高到1999年的5 850 kg·hm⁻²,秋粮单产由1982年的4 432 kg·hm⁻²提高到1999年的7 185 kg·hm⁻²;相应地,作物根茬还田量和秸秆还田量也增加了,可弥补土壤有机质的矿化消耗而有余,所以土壤有机质含量都有所增加,反映的是自然基础肥力与人为施肥的综合结果。

3.3 灌溉排水体系的变化

曲周试验区盐渍土改良与基本农田建设中,水利设施的建设与完善起了关键作用。灌溉设施采用深浅井结合的组合方式,深井间距为800 m,浅井间距为300 m×350 m,1个深井与6个浅井组合成1个井组,1个井组的灌溉面积为50 hm²,基本上保障了灌溉。排水系统按干、支、斗、农、毛沟5级设计,间距分别为2 000 m,1 000 m,600 m,250 m,50 m,完善的灌排设施可以使灌溉保证率达到70%和一次降雨250 mm不至于形成沥涝灾害,大大提高了抵御旱涝灾害的能力。但90年代中以来,原有的排水系统中的末级排水沟(农沟)被填埋,支、斗级排水沟被阻断,是沥涝和次生盐渍化的隐患。

3.4 土壤环境质量变化评价

1994年,田光明对曲周县20个采样点的风干土样的甲基1605和杀螟松进行了残留分析,结果全部未检出,这一结果验证了有机磷农药容易分解,残留少^[21]。1999年,笔者测定了土壤重金属,结果是每千克土壤中平均铜含量为21.65 mg,锌109.56 mg,镉3.39 mg,镍54.08 mg,其中镉的含量超过临界值(0.6 mg),容量空间为负值;其他重金属均大于背景值,但小于临界值,容量空间为正值。虽然目前土壤重金属的污染还没有造成严重的农产品品质问题,但是土壤重金属污染也是农业可持续发展中应认真对待和防范的重要问题。

3.5 水资源评价

1985年以前,当时的产量水平还比较低,在利用微咸水的情况下,地下水可以基本维持平衡。1986年以后,随着土地利用集约度的增加,地下水则全面处于超采状态,全县每年超采都在200万t以上^[22]。对全县机井静水位的多点观测,浅井水位平均每年下降2 m,深井平均每年下降2~2.5 m。据我们的野外实际调查,旱季(4—6月),潜水水位由80年的1~2 m下降到现在的5~6 m;农民过去用的“大锅锥”浅井,已改换成瓦管深井。曲周试区农大实验站的机井(深井)近几年每年都要将水泵下伸2~3 m,出水量也从过去的60 m³下降到现在的50 m³。

田光明对12个深井和23个浅井的地下水的硝酸盐调查结果表明,个别深井点的硝酸盐含量已超过大多数国家的饮用水标准(10 mg·L⁻¹)^[21]。虽然浅层水一般主要用于灌溉,但其NO₃⁻浓度的增加所引起人类生态环境的不良反应,应值得注意防范。

3.6 耕地生产力及稳定性评价

虽然粮食、棉花等农作物的产量和产量变化与施肥、灌溉和管理条件有关,但它们依然可以间接地反映耕地质量。从图 1 可以看出,曲周第 1 代试验区主要作物的产量呈持续增长态势。秋粮的单产波动较大,主要原因是当地重视夏粮生产,秋粮一般不灌溉,施肥也少。(1992 年全年降水只有 233.6 mm,是建国以来最早的一年,秋粮单产最低;1980 年和 1987 年夏粮产量下降可能与当年 6 月份降水偏多(分别为 146.5 mm 和 100.4 mm)、产生倒伏和影响收割有关。产量的变化表明除气候异常的这几年外,耕地的生产力和稳定性都大大增强了,这是耕地质量提高的直接反映。

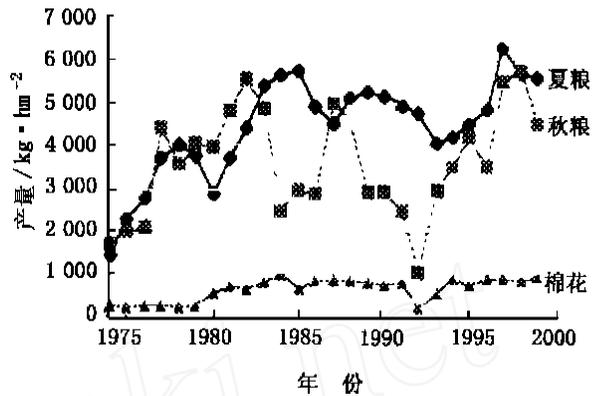


图 1 曲周第 1 代试验区主要作物产量变化趋势

4 结论

根据华北平原盐渍土区的自然环境特点,持续土地利用管理评价指标体系中的耕地质量指标应选择土壤有机质含量、可溶盐含量、灌溉保证率、排水体系完善程度、地下水的数量与质量等。依据这些评价指标对曲周试验区的研究结果表明:长期的盐渍土的改良与治理,使盐渍土面积大量减少,土壤含盐量显著降低,盐碱危害基本消除;由于灌溉和排水体系的建设,基本消除了旱涝灾害,农业生产的稳定性大大增强;大量使用化肥,带来了“无机换有机”的结果,土壤有机质含量明显提高;过度开采地下水,成为远期不可持续的因素,但在短期内,水资源不会枯竭,而且地下水下降也是保障土壤淋洗脱盐的条件;土壤的环境质量也还没有出现限制性。总之,土地资源质量总体上在提高。粮食的单产和总产的大幅度增加也间接说明影响耕地生产力的土地质量在提高。就耕地质量变化而言,研究区的土地利用管理总体上是可持续的。

参 考 文 献

- 1 ACIAR/BSRAM. Proceedings of the International Workshop on Evaluation for Sustainable Land and M anagement in the Developing World. BSRAM Proceedings Technical Papers, Chiang Rai, Thailand, 1991, 2(12)
- 2 University of Lethbridge. Proceedings of the International Workshop on Sustainable Land and M anagement for 21st Century, Plenary Papers, Lethbridge University Press, Lethbridge, Canada, 1993, 2
- 3 Smyth A J, Dumanski J. FESLM: an International Framework for Evaluating Sustainable Land and M anagement. World Soil Resources Report 73, FAO, Rome, 1993
- 4 Dumanski J. Assessing the Sustainable of Saskatchewan Farming System. CLBRR, Ottawa, Canada Technical Bulletin, 1994
- 5 ISSS/ITC. Proceedings of the Conference on Geo-information for Sustainable Land and M anagement. Enschede, ITC, Netherlands, August 1997
- 6 Salinas-Garcia J R. Long-term tillage and nitrogen fertilization effects on soil properties of alfisol under

- dryland corn/cotton production. *Soil and Tillage Research*, 1997, 42(1—2)
- 7 Alfred E. Hartink, soil chemical and physical properties as indicators of sustainable land management under sugar cane in Papua New Guinea. *Geoderma*, 1998, 85: 283~ 306
 - 8 Murage E W, Karanja N K, Smithson P C, Woome P L. Diagnostic indicators of soil quality in productive and non-productive small holders' fields of Kenya's Central Highlands. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2000, 79: 1~ 8
 - 9 Bindraban P S, Stoorvogel J J, Jansen D M, et al. Land quality indicators for sustainable land management: proposed method for yield gap and soil nutrient balance. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2000, 81: 103~ 112
 - 10 Huffman E, Eilers R G, Padbury G, et al. Canadian agri-environmental indicators related to land quality: integrating census and biophysical data to estimate soil cover, wind erosion and soil salinity. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2000, 81: 113~ 123
 - 11 Kirkby M J, Bissonais Y L e, Coulthard T J, et al. The development of land quality indicators for soil degradation by water erosion. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2000, 81: 125~ 135
 - 12 Dumanski J, Preri C. Land quality indicators: research plan. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2000, 81: 93~ 102
 - 13 郝晋珉, 辛德惠, 宇振荣. 农业-农村发展过程中土地可持续管理. 见: 辛德惠主编. 盐渍化改造区农业综合可持续发展. 北京: 中国农业科技出版社, 1995, 149~ 153
 - 14 傅伯杰, 陈利顶, 马诚. 土地可持续利用评价指标体系与方法. *自然资源学报*, 1997, 12(2): 112~ 118
 - 15 冷疏影, 李秀彬. 土地质量指标体系国际研究的新进展. *地理学报*, 1999, 54(2): 177~ 185
 - 16 谢俊奇. 土地可持续性评价的理论与实践. [学位论文]. 北京: 中国农业大学, 1999
 - 17 赵其国, 孙波, 张桃林. 土壤质量与持续环境: I. 土壤质量的定义及评价方法. *土壤*, 1997(3): 113~ 120
 - 18 李保国. 土壤变化及其过程的定量化. *土壤学进展*, 1995, 32(2): 33~ 42
 - 19 张维理, 等. 我国北方农用氮肥造成的地下水硝酸盐污染调查. *植物营养与肥料学报*, 1995, (2): 57~ 68
 - 20 曲周县农业自然资源调查委员会办公室. 曲周县农业局土壤考察组, 曲周县土壤普查报告: 1981
 - 21 田光明. 县域农业资源环境持续性评价的理论与方法探讨. [学位论文]. 北京: 北京农业大学, 1995
 - 22 温金祥. 典型持续农业试点县水资源利用的系统分析及对策研究. [学位论文]. 北京: 北京农业大学, 1994