

半干旱黄土高原退化生态系统的修复与生态农业发展

李凤民, 徐进章*, 孙国钧

(兰州大学干旱农业生态实验室, 兰州 730000)

摘要:首先分析了半干旱黄土高原区域生态系统的特点,指出:这里地带性植被极度退化,土壤质量严重恶化,治理难度大,可持续发展受到严重威胁。然后,进行生态系统退化关键驱动力的分析,认为,在不同时期,农民的利益驱动始终是土地利用格局和生态系统演化/退化的关键驱动力。在寻求分析退化生态系统修复的突破口时,认为提高作物产量和经济效益,解决农民的需求是具有可操作性的途径。而实现这一途径必须提高单产,以减轻更广大土地面积上的生产力需求压力。通过集水、覆盖等措施改善农田水分条件,再配合地膜、化肥,在对农田进行合理管理的情况下,粮食单产可获得持续大幅度的提高。在此基础上,提出了实现区域可持续发展的途径——集水型生态农业及其景观配置模式。在这一模式中,经济作物、粮食作物、人工草地和天然草地在一个完整的景观单元内合理配置,形成完整的景观复合生态系统。对这一模式的深入研究和正确实施将推动半干旱黄土高原退化生态系统的修复,并为西部开发中经济建设和生态建设并举提供理论与实践指导。

关键词:半干旱黄土高原;农业生产;生态环境;降水利用;生态系统;可持续发展;集水型生态农业

Restoration of degraded ecosystems and development of water-harvesting ecological agriculture in the semi-arid Loess Plateau of China

LI Feng-Min, XU Jin-Zhang*, SUN Guo-Jun (The Key Laboratory of Arid Agroecology, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China), *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(9): 1901~1909.

Abstract: The natural regional vegetation and soil quality in the semi-arid Loess Plateau of China have been degraded extremely due to over-grazing and frequent reclamation of natural grassland. Functions of the ecosystems and regional sustainable development were seriously threatened. The analysis of the current ecological environmental situation suggests that transformation of natural vegetation to farmlands in the process of frequent reclamation of natural grassland results in water loss, soil erosion and land degradation. Repeated reclamation of wasteland due to the great pressure of food demand resulted from population growth is the key driving force to the degradation of these ecosystems. To restore natural

基金项目:国家重点基础研究发展规划资助项目(2000018603);国家重大基础问题前期研究专项资助项目

收稿日期:2003-01-29; **修订日期:**2003-06-28

作者简介:李凤民(1962~),男,河北新乐人,博士,教授,主要从事植物生态学、农业生态学、生态系统教学与研究。E-mail: fml@lzu.edu.cn

* 通信作者 Author for correspondence

Foundation item: NKBRF Project (No. G2000018603) and National Key Basic Research Pre-arrangement Special Project

Received date: 2003-01-29; **Accepted date:** 2002-06-28

Biography: LI Feng-Min, Ph. D., Professor, main research field: agroecology and ecosystem ecology, E-mail: fml@lzu.edu.cn

vegetation and soil quality, we have to find a way to meet the requirement of food for the local farmers in a small portion of the land to reduce the pressure of food production for the rest of the land of a region. In semi-arid areas, many studies have shown that the key step for increasing grain yield per unit area is to improve field environmental conditions, including soil moisture supply, topsoil temperature and soil nutrient level. This can be accomplished through the combination of water-harvesting technology with plastic film mulching and fertilizer application, which can generally increase the unit grain yield twice or more. Based on these technologies, we propose an approach of water-harvesting ecological agriculture (WHEA) and associated landscape configuration in the paper. Unit yield of cash and grain crops can be increased greatly through limited irrigation, and the irrigated cropland can be interspersed with improved pastures and restored natural vegetation in a continuous landscape (a typical hill) in WHEA. Further research and dissemination of WHEA can help supply local farmers with sufficient food and higher income. Various types of grasslands will replace cropland and cover a large proportion of the landscape; animal feeding will be mainly dependent upon pen feeding in order to decrease grazing pressure. These strategies closely follow the ecological patterns of natural vegetation and landscape, as well as the planning pattern of regional industrial arrangement. The coexistence of multiple ecological and economic systems in a landscape helps to improve both biodiversity and industrial diversity, and enhance the flexibility and stability of these systems. Therefore, WHEA, an innovative approach for regional development, can lead to significantly improvement in both the restoration of degraded ecosystems and regional sustainable development simultaneously in the semi-arid Loess Plateau.

Key words: semi-arid loess Plateau; rainwater use; ecosystem; sustainable development; water-harvesting ecological agriculture

文章编号:1000-0933(2003)09-1901-09 中图分类号:S181,S274 文献标识码:A

1 半干旱黄土高原生态系统受损的主要特点

1.1 区域背景

我国半干旱地区一般年均降水量为 250~550 mm,区域范围大致从东北的通辽,经河北的张北,山西的雁北,陕西的北部,宁夏南部的西、海、固,甘肃的定西,青海的玉树、果洛,一直到西藏的拉萨,是一个以年均降水量 400mm 为中轴线的狭长地带^[1],约占国土面积的 20%^[2]。此地带往东为半湿润与湿润地区,降水量较为丰沛,一般还有较为丰富的地下水,地带性植被以不同类型的乔灌群落为主^[3];此地带往西为干旱区,降水稀少,地带性植被以荒漠戈壁为主,植被覆盖度极低,植物生产已无力支撑规模性的农业耕作,但由于我国干旱区高山与滩地相间,高山上由于气温低、降水量高,可形成丰富的高山雪原-冰川融水,在其下游支撑一定面积的绿洲,形成独特的高山-荒漠-绿洲生态系统^[4]。半干旱地区则为这两种类型的过渡地带,降水量少,年际和年内波动大。但这样的降水量仍能支撑一定量的植物生产和一定水平的农牧业,是典型旱地农业的主要分布区^[2]。

在半干旱地区的中段,也就是以山西的雁北、陕西的北部、宁夏南部的西-海-固、甘肃的定西为中心的 区域正是半干旱黄土高原地区^[5],约占黄土高原总面积的 60%。低山丘陵连绵不断,很少有大片土地相连,由于长期严重的水土流失,致使沟壑纵横、景观破碎^[6, 7],规模化的现代农业耕作技术难以发挥效果,引水灌溉成本巨大^[1, 8]。人口密度较高,一般每平方公里达 100~200 人,局部地方超过 300 人;由于人口压力大,农业发展以旱作粮食生产为主。但长期以来粮食生产低而不稳,自然的和人工的生态系统相互交错,严重退化,一直制约着社会经济发展^[9~11]。

1.2 半干旱黄土高原区域生态系统的特点

1.2.1 地带性植被退化 地带性植被为草原和灌丛化草原,主要植被类型有丛生禾草草原、禾草-杂类草草原,及温带-暖温带落叶灌丛等^[3]。在局部,特别是石质山地上有少量隐域性呈岛状分布的温带-暖温

带落叶阔叶林或温带亚高山常绿针叶林。但地带性植被已极度退化,与半干旱区的其它地带相比,半干旱黄土高原地区植被退化最为严重^[12],即使在夏季,很多地方仍然黄土裸露^[9],形成以黄色为主色调的丘陵沟壑景观。

1.2.2 土壤质量严重恶化 由于原生地带性植被相对简单,土壤松软,容易翻耕,翻耕之后可以获得较好的收成^[9]。因此,这里有着悠久的农耕历史,加之长期严重的水土流失,致使土壤质量已严重退化,与原生植被相伴黑垆土几乎丧失殆尽,现存的是大面积新发育的黄绵土^[13],有机质含量在 1% 左右,极少达到 1.5%。特别是近 20 余年以来,随着农民对土地投入的增加,农民更多地重视化肥的投入,忽视有机肥的投入^[14],使土壤质量面临更为严峻的挑战。在非农用地上,由于高强度的放牧和轮荒,自然生态系统受到严重创伤,形成恶性循环,恢复难度很大。

1.2.3 治理难度大,可持续性受到严重威胁 从生物多样性来看,低山丘陵的地形有利于形成丰富的生物多样性。在一定开垦指数下,丰富的生物多样性对生态系统的稳定与可持续发展是有利的^[15]。但是,由于单产水平低,半干旱黄土高原自古以来自然形成了广种薄收和轮荒制度,农谚曰“不耕百晌,不打百担”。农民为了生产足够的粮食,放火烧山,刀耕火种,扩大耕地面积。土地开垦几年以后表土大量流失,水肥条件恶化,产量下降,便开始撂荒,另择较好的草地开垦。这种轮荒耕作制,使土地植被覆盖不断遭到毁灭性破坏。所以,历史时期小农经济制度下形成的广种薄收与轮荒制度,是黄土高原生态环境遭到彻底破坏的最主要祸根^[9]。建国 50 多年来,国家在半干旱黄土高原地区实施了一系列水土保持工程与农业发展项目,对项目区的农业生产、水土流失、土地退化、植被建设与恢复产生了积极影响。但是,由于区域性的人口急剧增加和当地依然恶劣的生产条件,粮食生产长期不能得到根本解决,地表植被和土壤质量依然极度退化,难以从根本上扭转局面,本应有的丰富的生物多样性资源及其对农业生态系统的保护与缓冲作用得不到体现。而现阶段人口依然快速增加,再加上脱贫致富奔小康的强烈愿望,势必将增加对生态系统的扰动强度,不仅会增加治理难度,还可能使生态系统可持续发展受到更为严重的威胁。所以,在总体评价黄土高原生态环境状况时,还只能说“治理速度赶不上破坏速度,局部有所改善,全局仍在恶化”^[11]。

2 生态系统受损的关键驱动力与系统修复突破口的选择

2.1 生态系统退化的关键驱动力分析

从半干旱黄土高原区域生态系统受损退化的特点可以发现,在人口压力不断增大和缺乏可持续发展思想指导的情况下,土地资源的不合理利用是造成生态环境退化的直接原因^[16]。

图 1 是对由于土地资源不合理利用造成生态系统退化原因分析的示意图。在本地区,降水是支撑农业生产和植被覆盖的主要水源,但降水总量少、波动大,导致粮食产量低下,开垦面积增大,植被破坏越来越重。严重的植被破坏导致水土流失和风蚀加剧,土壤质量下降,生态系统退化,粮食生产下降,进一步导致农民贫困,农业发展受到限制。在这个背景下,农民又不得不借助于扩大耕地和轮荒,来稳定粮食生产水平。这种不断的开垦、轮荒,使植被反复破坏,形成了愈演愈烈的恶性循环^[17],导致全局继续恶化的后果。显然,全局继续恶化是与农民追求生存利益紧密联系在一起的。可以说,农民的利益驱动始终是土地利用格局和生态系统演化/退化的关键驱动力。

农民的生存利益最主要的是衣食问题。在半干旱黄土高原地区,只是最近几年才基本解决温饱,但仍很不稳定。在过去不同历史时期,以及新中国成立以来的近半个世纪,再穷再苦,吃饭问题一直都是头等大事。温饱是人生存的最基本需求,也是最强烈的需求,在这种需

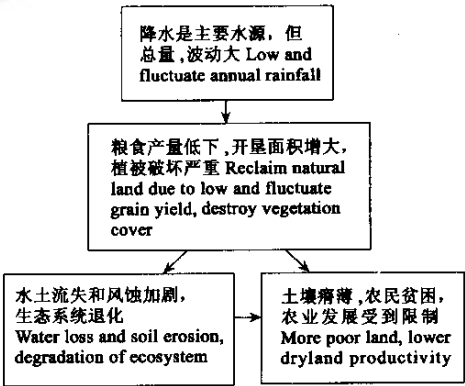


图 1 半干旱黄土高原生态系退化的驱动力分析框图
Fig. 1 Analysis of driving force to degradation of ecosystem

求驱动下,不断地开荒、撂荒、轮荒、破坏地表植被覆盖只能认为是一种历史的必然。

2.2 退化生态系统修复的突破口

在上述恶性循环中,降水总量少、波动大是问题的第一关键。但区域性大气降水过程是人力无法大规模干预的。在由“降水总量少、波动大”直接导致产生的“粮食产量低下,开垦面积增大,植被破坏严重”是导致产生恶性循环的第二个关键。”解决这个关键是破解恶性循环具有可操作性的步骤。也就是说,只要提高作物产量和经济效益,就有可能减少农民对土地频繁和高强度的扰动,增加和稳定植被覆盖,减少水土流失,改善生态环境。因此,如何解决这个问题就成了化解恶性循环、实现可持续发展的基础。

如果说新中国成立以来,特别是 20 世纪 80 年代以来,黄土高原的小流域治理在早期特别强调环境效益的话,那么在其不断发展过程中也注意到一些经济效益问题,首先是发展粮食生产,然后是种植经济作物和利用人工草地发展畜牧业,走农牧混合型发展道路。这些都是很好的提高经济效益的发展思路,并出现了不少成功的范例^[18, 19]。它说明,如果没有经济效益的提高,就没有农民的积极参与和主动投入,那么,任何治理措施和发展生产的理论和技术都将缺乏实施的基础^[20]。有了这个思路,就可顺理成章地找到修复退化生态系统的有效途径(图 2)。

提高作物产量和经济效益,解决农民生存与发展的需求,决不可能走大范围开荒的老路,这一点已经得到历史的反复证明。因此,只能走相对集约化的生产道路。通过大幅度提高优良土地上的单产,稳定提高粮食总产,解决农民的衣食问题,才能使更广大面积的土地得以休养生息,增加地表植被覆盖。唯有如此,才有可能退耕还草,发展畜牧业,调整产业结构,实现多产业并举,在改善生态环境的同时,增加农民收入,解决农民、农业、农村的发展问题。

2.3 提高单产的途径

提高作物产量和经济效益,解决农民的需求,首先要寻求提高单产的途径。提高单产的途径有两条:培育适生高产的新品种和改善生产条件。新品种的培育一直受到科技界和政府的高度重视,但在旱地条件下,培育理想高产的新品种是一个世界性的难题。因此,关注农业生产条件的改善是直接提高作物产量和经济效益的有效手段^[21~23],同时,它还可以为培育适生高产的新品种创造条件。

农业生产条件不外乎光、温、水、肥、气五大要素。在半干旱黄土高原地区,光照充足,温度适中,CO₂ 和 O₂ 丰富,水肥是重点考虑的问题。从生态学角度看,这里土地肥力衰退的根本原因仍然是水分不足和对土地的掠夺性开发所致。因此,在水肥关系上更需突出水的重要性。经过多年的探索,以赵松龄教授为代表的一批专家系统地提出了集水农业的理论和技术体系^[1],为半干旱黄土高原地区大幅度提高粮食单产创造了条件(表 1)。

所谓集水农业就是利用人工集水面或天然集水面收集降水通过沟、渠、管径流,或者将各类小水源形成的径流收集起来,将径流储存在一定的储水设施中以供必要时的有限灌溉,或者将径流引向一定的作物种植区,使降水在一定面积内富集叠加,大幅度改善作

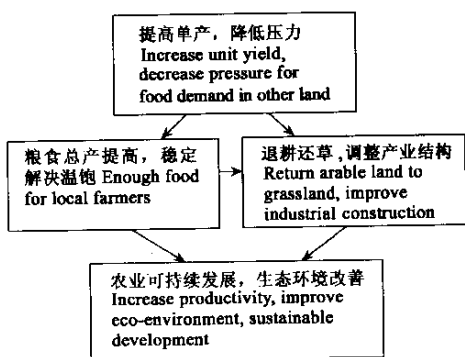


图 2 修复退化生态系统的有效途径

Fig. 2 Effective approach to rehabilitation of degraded ecosystem

表 1 有限补充供水的增产效应

Table 1 Yield effects of limited complementary irrigation

年份 Year	地点 Site	作物 Crop	灌溉水量 Irrigation (m ³ /hm ²)	增产 (kg/hm ²)	增产 (%)	灌溉水效率 (kg/m ³)
1991	定西 ^①	玉米 ^②	750	4245	88.4	5.66
1992	会宁 ^③	春小麦 ^④	450	2700	140	6.00
1993	定西 ^⑤	春小麦 ^⑥	345	1035	28	3.00
1994	定西 ^⑦	玉米 ^⑧	405	1995	41	4.93
1995	定西 ^⑨	春小麦	405	645	148	1.59
1997	定西	春小麦	300	1605	174	5.35

① Dingxi, ② Corn, ③ Huining, ④ Spring wheat, ⑤ Dingxi, ⑥ Spring wheat, ⑦ Dingxi, ⑧ Corn, ⑨ Dingxi, Spring wheat, Dingxi, Spring wheat

物种植区的水分状况,通过减少土壤表面蒸发降低作物的耗水系数,充分发挥环境资源和水肥生态因子的协同增效作用,提高农业生产力水平。由此可见,农业土地利用基本上可分为两部分,即集水面区和作物种植区。集水面的目的就是产生最大径流和最小入渗。在特殊处理过的集水面上土壤侵蚀极小,即使不对土壤表面进行任何处理,因为径流要充分利用,所以,它所携带的土壤仍然不会流失,其中的营养成分也会得到重新利用。作物种植区为水肥富集区,集约程度高,管理完善,无效径流会更少,可以更为有效地控制水土流失,提高水分利用率^[1, 17, 20, 21, 24]。

在过去兴修梯田的基础上,与近年来实施的集水农业、地膜覆盖、投入化肥相结合,使半干旱黄土高原地区农民的生活状况得到了较大改观,特别是甘肃省内,在中央政府的支持和社会各界的帮助下,由省政府直接推动,通过实施集水工程,稳定解决了大部分地区农村的人畜饮水问题,并在部分旱地农田实行了有限灌溉或沟垄覆膜集雨种植,为解决农民的温饱做出了重大贡献。

3 半干旱黄土高原农业生态系统可持续发展

3.1 水肥热改善后遇到的新问题

通过农业生产条件的改善,特别是农田水、肥、热条件的改善,大大推动了粮食单产的提高。但是,面对的是已经经历了数千年农耕与轮荒的半干旱的黄土地,维系土壤可持续发展的土壤有机质水平已经很低,农田水肥热条件的改善对维持与改善土壤质量将构成一种新的挑战。

地膜农田生态系统是水、肥、热条件改善的典型代表。对地膜农田的一系列研究表明,地膜覆盖有利于春小麦根系向深层土壤生长,适时揭膜能够维持根系后期活性,并促进茎叶中光合产物和氮素由茎叶向穗部的转移。但后期覆膜能够增加土壤硝态氮的累积,并增加氧化亚氮的释放^①。

从总体上看,同适时揭膜相比,全程覆膜并没有使春小麦和冬小麦的产量、吸氮量和氮效率显著提高。因此,应提倡短期覆膜和适时揭膜,春小麦以播种后覆膜 30~60d 为宜^[25~29]。

对地膜农田土壤有机质与土壤营养之间的转化关系也作了一系列研究,结果令人深思^[26]。土壤有机碳同土壤总氮、速效磷、以及磷素活化率(速效磷与总磷含量之比)都呈极显著正相关($P \leq 0.0002$),表明土壤有机质对保持土壤肥力的重要性。但土壤微生物体碳同土壤有机碳、总氮、素效磷却呈极显著负相关($P \leq 0.0003$)。湿润年份,土壤微生物数量主要受地表温度制约,而在干旱年份微生物数量主要受土壤湿度的影响,除氨化细菌(下降 1.5%,基本保持稳定)外几乎所有测定的微生物数量均下降,解磷细菌下降幅度最大,达 86.6%,硝化细菌、亚硝化细菌、反硝化细菌、纤维素分解菌和放线菌分别下降 36.6%, 47.2%, 72.2%, 49.7%, 26.1%。土壤有机碳含量同氨化菌、硝化菌、亚硝化菌、反硝化菌和纤维素分解菌均呈显著或极显著负相关。所有处理两个生长季 C/N 比均很低,为 7.732~9.042,处于快速促进有机质分解和有机营养矿化的敏感范围。C/P 比却较高,范围是 300.8~719.6,磷素主要呈固持状态,植物很难吸收利用。

这些研究结果表明,由典型黄绵土支持的这类地膜农田生态系统中存在着一个正反馈机制:覆膜/施化肥→C/N 比下降→有机质分解加快→进一步降低 C/N 比。由这个正反馈机制可知,在本地区,如果只重视水肥热条件的改善,而忽视土壤有机质的投入和管理,将促使 C/N、C/P 比远离平衡状态,土壤氮素将很容易损失,使土壤进一步退化,对农田生态系统的可持续利用极为不利。

在半干旱黄土丘陵区,传统旱地农业系统中,土壤肥力、土壤水分以及温度条件都处在一个较低的水平,在生产力不高的情况下,生态系统处于一种相对平衡状态。一旦引入改善土壤水肥热状况的新技术(例如地膜覆盖、集水灌溉等),大幅度提高单产水平,农田水热资源就会重新配置,土壤微生物群落结构就会发生重大变化,土壤有机质分解和有机态养分释放加快。水热条件较好的年份,一个周年内(两年播种期之间的时间,即生长季加休闲期),不覆膜、覆膜 30d、60d 和全程覆膜土壤有机质平均变化分别为 -2.3%, 1.5%, -2.0%, -2.7%。30d 覆膜有机质有明显上升趋势,但随覆膜时间延长,有机质下降加多,全程覆膜比不覆膜土壤有机质下降快 17%^[26]。因此在深入研究的基础上,合理规范地管理农田生态系统有可能抑

——— 万方数据 ———
① 李世清,黄土高原平作穴播小麦地膜覆盖的效应及其模式. 兰州大学博士后出站报告,2001,兰州

制由水热条件改善带来的土壤退化问题,并有望改善土壤质量、维护良好的农田生态系统运行状态,在保证土壤质量不断改善的前提下,发挥农业新技术的增产潜力。

3.2 可持续发展的集水型生态农业

生态系统科学是当代生态学发展中最重要的前沿领域之一,特别是生态系统科学与景观生态学的结合是研究区域复合生态系统结构、过程、功能及其空间配置的有效手段^[30],从中可以为一个区域的可持续发展找到答案。

集水农业背景下人们对水肥热条件的控制能力增强,可以根据需要创造出多种不同的水肥热组合,这就为引入各种价值较高的经济植物创造了条件。在黄土高原,特别是半干旱地区,由于昼夜温差大,光照条件好,有利于光合产物的积累,具有较大幅度提高农作物质量和产量的有利条件。因此,发展高价值经济植物,提高整个农业生产过程的经济效益便由传统旱地农业的无能为力变为集水农业中的大有可为,可以为整个农业和农村发展注入新的活力。

半干旱黄土高原畜牧业一直占有较强的优势,大量研究都已经指出应当发挥这种优势。然而,随着时间的推移和人口的增加,粮食生产和畜牧业生产争地的矛盾却日益突出。在集水农业中,由于粮食单产大幅度提高,种植面积即可相应减少,又由于高价经济植物的引种栽培,较好地提高经济效益,这就为退耕还草养畜、调整和优化产业结构创造了较为宽松的前提条件,在市场经济推动下,农民可以自发地优化产业结构。

优化产业结构的方向除了发展特种农业,包括特种种植业和养殖业之外,更重要的方向就是发展对生态环境友好的圈养草食畜牧业。苜蓿在这里具有良好的发展优势,其水热资源利用率、水分利用效率、生产力与农作物(特别是春小麦)相比占有显著优势。苜蓿粗蛋白含量一般在18%以上,任何其它旱地作物均无法相比,对提高土壤肥力,实现土地的可持续利用意义重大。以紫花苜蓿单产5250 kg/hm²计,固氮能力每年约180kg/hm²,大概相当于每公顷增施450余千克尿素。同时,人工草地的环境效益明显,可大幅度减少水土流失,提高降水利用率。据陕北靖边试验,农田的水土流失2308~8741 t/(hm²·a),人工林水土流失283~481 t/(hm²·a),而人工苜蓿草地水土流失0~446 t/(hm²·a)。从生产力形成来看,人工草地还具有明显的生长优势:草地可以跟随降水情况随时进行自我调节,何时有水何时长,遇到干旱不死亡,充分利用降水资源,适应本地区多变的半干旱环境特点。作物就不同,它要求一定时间内形成籽粒基础(繁殖器官),然后逐渐加强籽粒的形成过程,即生殖生长过程,其中的任何一个环节出问题,全年的产量就要受到严重影响,甚至会出现年内降水总量不低,却出现作物绝收的局面。

人工草地利用几年之后,深层储水大量消耗,注定要衰退。衰退之后,在雨季到来之前翻耕休闲一年进行蓄水保墒,然后倒茬种植粮食作物,产量还很高,这就为草粮轮作创造了条件。

以上这种以集水为基础,以农牧混合为主、多产业并举,并对生态环境友好的农业发展模式我们称之为集水型生态农业。

3.3 集水型生态农业的景观配置模式

基于上述分析,并结合半干旱黄土高原地区低山丘陵的地貌特点,可以给出集水型生态农业的景观配置示意图(图3)。示意图显示的是一个模式化的黄土丘陵从山脚下到山顶上的生态条件变化梯度,或可单纯看作生态条件变化的梯度带谱,还可以看作是半干旱黄土丘陵沟壑区生态条件由好变差或由差变好的过程。

在这个模式图中,生态条件最好的地段(一般为山脚下的川地,在黄土塬区则位于塬面上),以往在粮食问题基本解决的情况下,也只能种一些旱地经济作物。但现在通过集水技术获得一定量的可调配水资源后,可以发展一定规模的高效农业,近几年发展很快的反季节温室生产(蔬菜、花卉、水果等)可以看作是高效农业的一个雏形,这一部分所占比例很小,一般不到土地面积的5%。第二圈为剩余的川地和良好梯田,这一部分适于发展粮食生产,土壤耕性好,生产条件优良,可利用有利地形发展有限灌溉农业或沟垄覆膜种植业,确保粮食供给自足,以解决温饱,稳定民心。第三圈为部分梯田和大部分的坡地,是土地利用的主体,正如过去民谣所说“种一坡,拉一车,打一簸箕,煮一锅”,过去这里以种“间田”为主,产量水平低,

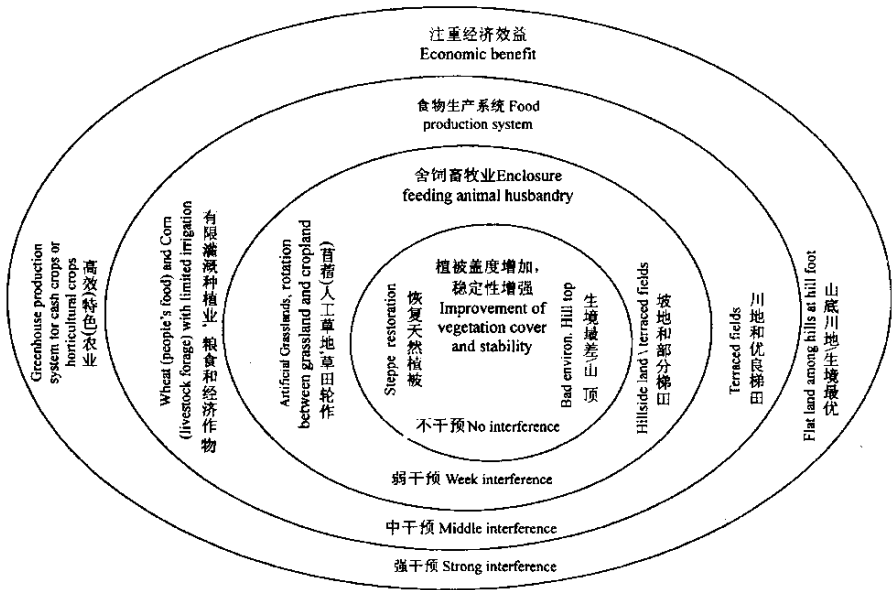


图 3 集水型生态农业景观配置示意图

Fig. 3 Landscape scheme of water-harvesting ecological agriculture

是不断开荒、撂荒、轮荒的主要地段。在前两圈稳定解决温饱的前提下,农民可以主动放弃在这类土地上的低效劳动,而转向种草,发展人工草地,在人工草地达到一定生产水平的情况下,发展圈养畜牧业便有了可靠的饲草料保证,就为产业结构调整奠定了基础,就有希望形成产业链,推动农户增收和区域发展。第四圈为生态条件最差的地段,一般在山顶,降水容易流失,而得不到来自其它部位的径流补充,水肥热条件相对较差,难以支持较高的植物生产,不宜作为农牧业用地。为维持较高的植被覆盖,减少水土流失,可采取封育,使其恢复天然植被,增加植被覆盖度。

在上述景观复合生态系统中,第二圈和第三圈之间实际上是一个弹性系统,两者之间通过草田轮作相互联系,在一定范围内调节粮食生产和畜牧业生产的比例,维持土壤质量消耗与改善之间的动态平衡,并可藉此控制水土流失,实现植被覆盖-土壤质量-经济生产之间的协调发展。

以上只是提出了集水型生态农业景观配置模式的基本框架。毫无疑问,这个模式还需要进行大量深入细致的应用基础研究和在研究结果指导下的正确实施。可以预见,在集水型生态农业理论指导下,半干旱黄土高原地区的农业综合生产力将大幅度提高;以草地覆盖和草食圈养畜牧业作为植被景观和经济发展的主体,符合植被分布和农牧业产业布局的生态地带性规律;在一定景观范围内多种生态系统并举和多产业并举,生物多样性和产业多样性同步增加,在农牧业生产系统和经济系统中都将具有良好的弹性,保证了系统整体的稳定性。因此,集水型生态农业作为区域发展的一种新思路,将有力地推动半干旱黄土高原退化生态系统的修复,使经济效益、社会效益和生态效益得到协调发展,为西部开发中经济建设和生态建设并举提供理论与实践依据。

References:

[1] Zhao S L, Ed. *Introduction to catchment agriculture*. Xi'an: Shaanxi Science and Technology Press, 1996. 9~236.

[2] Ma S J, Ed. *Dryland agronomy*. Beijing: China Agricultural Press, 1991. 180~203.

[3] Chinese Academy of Sciences Ed. *China vegetation atlas*. Beijing: Science Press, 2001. 1.

[4] Zhang X S. Ecological restoration and sustainable agricultural paradigm of mountain-oasis-ecotone-desert

- system in the North of the Tianshan mountains. *Acta Botanica Sinica*, 2001, **43**(12): 1294~1299.
- [5] Li C H. The population pressure upon the natural resources and ecoic environment on the Loess Plateau and the ways of its elimination. *Journal of Natural Resources*, 1989, **43**(12): 1294~1299.
 - [6] Tang K L. Analysis about the key point of eco-environment construction on Loess Plateau. *Quaternary Science*, 2000, **20**(6): 504~513.
 - [7] Jiao F, Yang Q K, Lei H Z. Study about problem of agriculture, eco-environment construction and land resource in the Loess Plateau. *Research of Soil and Water Conservation*, 2000, **7**(2): 55~57.
 - [8] Zhao S L, Li F M. Discussion on development of water-harvested agriculture in semi-arid region Northwest China. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 1995, **15**(8): 9~12.
 - [9] Zhang W B. Why the ecological environment of the Loess Plateau is destroyed thoroughly? *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 1989, **9**(1): 21~27.
 - [10] Tang K L. Discussion on key problem of eco-environment conservation on Loess Plateau. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 1998, **18**(1): 1~7.
 - [11] Yang Q Y, Jing K, Shen Y C. Eco-environment construction and disaster reduction in Loess Plateau. *Disaster Reduction in China*, 2001, **11**(1): 19~22.
 - [12] Wang W, Liu Z L, Hao D Y, *et al.* Research on the restoration succession of the degenerated grassland in Inner Mongolia I. Basic characteristics and driving force for restoration of the degenerated grassland. *Acta Phytocologica Sinica*, 1996, **20**(5): 449~459.
 - [13] Li F M, Wang TC, Cao J. Effect of organic matter on total amount and availability of nitrogen and phosphorus in loess soil of Northwest China. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 1998, **29**: 947~953.
 - [14] Liu X L, Li S Q, Li F M. Agronomic roles of organic fertilizers and legumes on modern dryland agronomy. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2000, **14**(6): 161~165.
 - [15] Yue T X. Studies and questions of biological diversity. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, **21**(3): 462~467.
 - [16] Xu J X. Some Problems and Research Requirements Concerning Eco-environmental Construction on Loess Plateau. *Research of Soil and Water Conservation*, 2000, **7**(2): 10~13.
 - [17] Li F M. On agricultural productivity and ecosystem's sustainability in semiarid areas of China. *Resources Science*, 1999, **21**(5): 25~30.
 - [18] Shan L, Cheng G L Ed. *Theory and practice of dryland agriculture in Loess Plateau*. Beijing: Science Press, 1993.
 - [19] Yang W Z. A discussion on the issue of eco-environment construction in Loess Plateau. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 1992, **12**(1): 1~8.
 - [20] Li F M, Xu J Z. Eco-farming mixed planting with animal husbandry based on rainwater-harvesting technology in semiarid Loess Plateau. *Chinese Journal of Eco-agriculture*, 2001, **8**(1): 36~37.
 - [21] Li F M, Wang J, Zhao S L. The rainwater harvesting technology approach for dryland agriculture in semi-arid Loess plateau of China. *Acta Ecologica Sinica*, 1999, **19**(2): 259~264.
 - [22] Zhu X M. Saving soil water reservoir is a key issue for integrated control of ecological environment and sustainable development on Loess Plateau — The fourth discussion on 28 words strategy for land and environment hardness on Loess Plateau. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2000, **14**(1): 1~6.
 - [23] Zhu X M. Environment in Loess Plateau and Pedogenic Reservoir. *Quaternary Science*, 2000, **20**(6): 514~520.
 - [24] Wang J, Ding Q T, Wu G H. Natural foundation of rainfall-harvest agriculture and devision of region types most suitable for rainfall-harvest in the semiarid region on Loess Plateau. *Journal of Desert Research*, 1999, **19**(4): 384~389.
 - [25] Wang J, Li F M, Li S Q, *et al.* Effects of plastic film mulching on soil temperature and moisture and on yield formation of spring wheat. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, **14**(2): 205~210.
 - [26] Song 万方数据 Li S Q, *et al.* Effect of various mulching duration with plastic film on soil microbial quantity and plant nutrients of spring wheat in semi-arid Loess Plateau of China. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, **22**(12):

2125~2132.

- [27] Li F M, Yan X, Wang J, *et al.* The Mechanism of Yield Decrease of Spring Wheat Resulted from Plastic Film Mulching. *Scientia Agricultura Sinica*, 2001, **34**(3): 330~333.
- [28] Li S Q, Li F M, Song Q H, *et al.* Effects of plastic film mulching periods on the soil nitrogen availability in semiarid areas. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, **21**(9): 1521~1526.
- [29] Li S Q, Li F M, Song Q H, *et al.* Effect of plastic film mulching on crop yield and nitrogen efficiency in semiarid areas. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2001, **12**(2): 205~209.
- [30] Stephen R, Carpenter, Monica G Turner. At last: A journal devoted to ecosystem science. *Ecosystems*, 1998, **1**: 1~5.

参考文献:

- [1] 赵松岭主编. 集水农业引论. 西安: 陕西科学技术出版社, 1996. 9~236.
- [2] 马世均主编. 旱农学. 北京: 农业出版社, 1991. 180~203.
- [3] 中国科学院中国植被图编委会. 中国植被图集. 北京: 科学出版社, 2001. 1.
- [4] 张新时. 天山北部山地-绿洲-过渡带-荒漠系统的生态建设与可持续农业范式. 植物学报, 2001, **43**(12): 1294~1299.
- [5] 李昌华. 黄土高原自然资源和生态环境的人口压力及其缓解途径的探讨. 自然资源学报, 1989, **4**(2): 177~191.
- [6] 唐克丽. 开发西部切入点的研究——以黄土高原生态环境建设切入点为例. 第四纪研究, 2000, **20**(6): 504~513.
- [7] 焦锋, 杨勤科, 雷会珠, 等. 关于黄土高原农业、生态环境建设与土地资源问题的研究. 水土保持研究, 2000, **7**(2): 55~57.
- [8] 赵松岭, 李凤民, 王静. 半干旱地区集水农业的可行性. 西北植物学报, 1995, **15**(8): 9~12.
- [9] 张维邦. 论黄土高原生态环境遭到彻底破坏的祸根. 水土保持通报, 1989, **9**(1): 21~27.
- [10] 唐克丽. 黄土高原生态环境建设关键性问题的研讨. 水土保持通报, 1998, **18**(1): 1~7.
- [11] 杨勤业, 景可, 申元村. 黄土高原生态环境建设与减灾. 中国减灾, 2001, **11**(1): 19~22.
- [12] 王伟, 刘仲岭, 郝敦元, 等. 内蒙古草原退化群落恢复演替的研究 1. 退化草原的基本特征与恢复演替动力. 植物生态学报, 1996, **20**(5): 449~459.
- [14] 刘小兰, 李世清, 李凤民. 论旱地农业中有机肥和豆科作物的农学意义. 水土保持学报, 2000, **14**(6): 161~165.
- [15] 岳天祥. 生物多样性研究及其问题. 生态学报, 2001, **21**(3): 462~467.
- [16] 许炯心. 黄土高原生态环境建设的若干问题与研究需求. 水土保持研究, 2000, **7**(2): 10~13.
- [17] 李凤民. 论我国半干旱地区农业生产力与生态系统可持续发展. 资源科学, 1999, **21**(5): 25~30.
- [18] 山仑, 陈国良主编. 黄土高原旱地农业的理论与实践. 北京: 科学出版社, 1993.
- [19] 杨文治. 关于黄土高原生态环境建设问题的探讨. 水土保持通报, 1992, **12**(1): 1~8.
- [20] 李凤民, 徐进章. 黄土高原半干旱地区集水型生态农业分析. 中国生态农学, 2002, **10**(1): 101~103.
- [21] 李凤民, 王静, 赵松岭. 半干旱黄土高原集水高效农业的发展. 生态学报, 1999, **19**(2): 152~157.
- [22] 朱显谟. 抢救“土壤水库”实为黄土高原生态环境综合治理与可持续发展的关键——四论黄土高原国土整治 28 字方略. 水土保持学报, 2000, **14**(1): 1~6.
- [23] 朱显谟. 试论黄土高原的生态环境与“土壤水库”——重塑黄土地的理论依据. 第四纪研究, 2000, **20**(6): 514~520.
- [24] 王静, 丁其涛, 武光和. 黄土高原半干旱区集水农业的自然基础及最适宜集水类型的划分. 中国沙漠, 1999, **19**(4): 384~389.
- [25] 王俊, 李凤民, 李世清, 等. 不同覆膜时间对穴播春小麦生长、水分利用效率及产量的影响. 应用生态学报, 2003, **14**(2): 205~210.
- [26] 宋秋华, 李凤民, 王俊, 等. 半干旱黄土高原地膜覆盖春小麦农田土壤微生物数量及与 N、P 动态的关系. 生态学报, 2002, **22**(12): 2125~2132.
- [27] 李凤民, 郦 王, 王俊, 等. 地膜覆盖导致春小麦产量下降的机理. 中国农业科学, 2001, **34**(3): 330~333.
- [28] 李世清, 李凤民, 宋秋华, 等. 半干旱地区不同地膜覆盖时期对土壤氮素有效性的影响. 生态学报, 2001, **21**(9): 1521~1526.
- [29] 李世清, 宋秋华, 等. 2001. 半干旱地区不同地膜覆盖时期对作物产量和氮素效率的影响. 应用生态学报, 2001, **12**(2): 205~209.