

# 中国草原的困境及其转型

张新时<sup>①②\*</sup>, 唐海萍<sup>②</sup>, 董孝斌<sup>②</sup>, 李波<sup>②</sup>, 黄永梅<sup>②</sup>, 龚吉蕊<sup>②</sup>

① 中国科学院植物研究所, 植被与环境变化国家重点实验室, 北京 100093;

② 北京师范大学资源学院, 北京 100875

\* 联系人, E-mail: xinshiz@yahoo.com

2015-07-13 收稿, 2015-10-15 修回, 2015-10-16 接受, 2015-12-04 网络版发表

中国科学院重点部署项目(KSZD-EW-Z-012)和中国科学院学部咨询评议项目(2011-4-13-1)资助

**摘要** 天然草地是我国最大的陆地生态系统, 占国土面积的41.67%, 但其畜牧业生产力很低, 产值仅为农业产值的5%, 约为全国畜牧业产值的1/6. 本文根据温性草原的起源和草地畜牧业的5个发展阶段构建了营养级金字塔, 通过草原生态系统的不可持续性、草原环境的不可持续性和草原经济系统的不可持续性3个方面论证了当前中国草原面临的困境. 因此, 中国草原的生产方式亟需转型, 由基本上源于一万年前新石器时期的传统、粗放、落后、低生产力和生态不友好的天然草地放牧的畜牧业生产方式, 向以优质高产人工草地和草地农业为基础的现代化畜牧业生产方式转型. 建议: (i) 在今后30~40年内建设约占天然草原1/10面积的优质高产的集约型人工草地 $4 \times 10^7 \text{ hm}^2$ , 以人工草地接替天然草地的生产功能并恢复天然草地的生态功能; (ii) 在草原带南缘的农牧交错带与农区普遍发展草地农业, 即草田轮作制; (iii) 把草和畜牧业的元素融入农业系统中, 以先进的草基农业系统改造我国传统的粮-经二元农业和原始的天然草地放牧业. 在此基础上构建未来的草地金字塔结构, 预示在上述生产方式的革命性调整之后, 我国的草地畜牧业将进入一个由现代化的草基农业和“返璞归真”的天然草地相结合的可持续发展的新阶段.

**关键词** 草地退化, 草基农业, 营养级

中纬度的天然草地或温带草原曾是地球上最重要的放牧场. 世界上最大的草原区——欧亚草原区(Eurasian steppe region)是旧世界的放牧场, 在我国包括蒙古高原、黄土高原北部和辽西平原以及隆升到5000 m以上的青藏高原的高寒草原. 草原具有丰富的生物多样性, 以与其协同进化的大型食草性有蹄类脊椎动物群(如多种羚羊(Antilopinae)、野牛(*Bos gaurus*)、野马(*Equus caballus*)和野山羊(*Nubian ibex*)等)为特征, 食肉动物主要是狼和猛禽类, 还有小型的啮齿类, 如鼠类、兔、蛇类, 时有蝗灾. 草原的草类植被及其下发育的腐殖土(黑钙土、栗钙土和草甸黑土)具有较高的生产力和强大的水源涵养、水土保

持和防风固沙功能. 草原也是全球重要的碳汇, 我国草原的碳储量约为29.1 Pg, 其中地上部分2.6 Pg, 地下部分26.5 Pg(占总碳储量的96.6%)<sup>[1]</sup>, 如遭破坏退化则可转变为巨大的碳源. 草原地区还具有极充足的太阳辐射和风能, 可开发为能源基地. 草原蕴育的草原民族文化传统是国家和民族的文化财富, 草原的美丽景色陶冶人的思想和精神, 可供开发生态旅游和生态狩猎.

我国天然草地面积仅次于澳大利亚和俄罗斯, 约 $4 \times 10^8 \text{ hm}^2$ , 占国土面积的41.67%, 是耕地的3.3倍, 森林的3倍. 我国天然草地每年的生态功能价值按世界平均的2000元  $\text{hm}^{-2} \text{ a}^{-1}$ 计算, 每年可达800亿

**引用格式:** 张新时, 唐海萍, 董孝斌, 等. 中国草原的困境及其转型. 科学通报, 2016, 61: 165-177

Zhang X S, Tang H P, Dong X B, et al. The dilemma of steppe and its transformation in China (in Chinese). Chin Sci Bull, 2016, 61: 165-177. doi: 10.1360/N972015-00738

元<sup>[2]</sup>。但我国的草地畜牧业十分落后，每年牲畜价值约3000亿元，占农业产值的30%，其中草地畜牧业仅占5%，大致相当于150亿元(草地畜牧业先进国家一般占60%~70%以上)，少于其生态价值，远不能满足国家经济发展、人民生活 and 生态良好的需求。人们开始认识到，放牧不再是草原的唯一利用方式，恢复天然草原的水土保持、防止形成沙尘暴源，以及促使草原野生有蹄类食草动物群回归的重要性已毋庸置疑。尽管在内蒙古，甚至在整个中国，目前已经到了天然草原功能转型——根本转变畜牧业生产方式与以发挥草原生态服务功能为主的新模式的转折点，人们仍然对草原游牧恋恋不舍，难以割弃。

我国关于草地和草地畜牧业存在以下几个严重的误区：(1) 天然草地只能用来放牧，不放牧就会退化；(2) 天然草地的生态功能只是次要的功能；(3) 天然草地游牧是畜牧民族的优秀传统，是天人合一和最和谐的生产方式，必须继承保留；(4) 生产方式的现代化是对畜牧民族传统的违背和破坏；(5) 现代化农业不包含畜牧业，畜产品不是粮食，草地不进农田，农业(种植业)“以粮为纲”，不与草地畜牧业结合。

### 1 温性草原的起源和草地发展阶段

相对于古老的森林、荒漠和稀树草原生物群区而言，温性草原是地球陆地上相对进化和年轻的生物群区或植被类型。最近对植物进化的研究表明，大气CO<sub>2</sub>浓度增加以及气候变化促进了北美大草地的起源<sup>[3]</sup>。草地在第三纪的大扩展在新旧两大陆都表现为具C<sub>4</sub>光合途径的暖季禾草的进化<sup>[4]</sup>。尤其在40×10<sup>6</sup>年前的青藏高原隆起与更新世冰川盛期时的寒旱化过程中，耐寒旱的温性草原在南北半球温带大陆性地区得到极大的扩展，从而形成了横贯欧亚与北美大陆的温性草原植被地带，从此温性草原成为地球陆地上最广布的植被类型之一，并具有地球植被地带生态地理核心的显著地位<sup>[5]</sup>。

草原作为一个生态系统，其生存和运转的机制在于它的营养级结构之间的生物质能转换。自然草原始终维持着由狼群或其他食肉动物统治和调节下的食物链，由此形成三层的营养级金字塔结构(图1)，即草原草类植物群落形成的第一性生产力→草食性动物(包括牲畜)的第二性生产力→肉食性动物(包括人类)的第三生产力的递变关系。这三级生物群之间大致(有波动起伏的)按照“十分之一”生态法则制约着

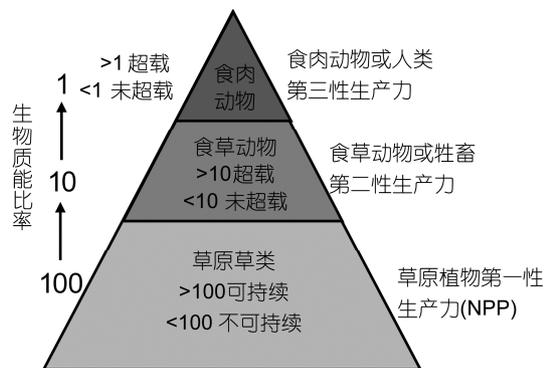


图1 草原生态系统的营养级金字塔结构示意图  
Figure 1 Schema of the trophic pyramid for steppe ecosystem

的100:10:1比值的递减率维持着草原生态系统的能量和物质传递。如果作为营养级金字塔基层的草原草类的生产力因气候变化或灾难而降低和不足，亦即在第一性的生物质能量比率低于100的情况下，就不足以支持其上的二三层结构，造成草食动物或牲畜的生产力下降和金字塔顶端生物群和人类的饥饿，并导致草原因过牧而退化的恶性循环，可能使草原生态系统，或草原社会沦落至不可持续发展的境况，甚至引发饥荒、流民和战争。

另一方面，当金字塔的第二层，即草原营养级的食草动物或放牧的牲畜的比率过多，超过了草原草产量的负载能力，就会导致草的再生力变弱、产量降低、覆盖率减少、地表水土流失加强、表土砂砾化、腐殖质层被剥蚀、土壤肥力衰退以及碳汇缩减等一系列退化过程，同样阻碍草原生态系统的可持续发展。

金字塔的第三层，即草原营养级的控制层，在自然草原中以狼群为代表。它通过对食草动物的控制和调剂使食草动物的种群数量限制在一个合理的限度，不致繁育过多造成对草原植被的破坏和退化，并通过对食草动物的适度捕食选择性淘汰其老弱病残的个体，使遗传特性优良的食草动物的健壮个体不断进化而优化其种群。在这一过程中，狼群本身也得到协同进化。人类在草原系统中也是第三层的肉食消费者，已基本排挤和消灭了其同一层内的竞争者——狼群，并由于草原区近半个多世纪人口剧增和整个社会对畜产品的需求极大而使得第三层的生物质能的总量和比率大大超过系统的限量。最为重要的是，人类还担负着草原管理者的角色，一个低能的管理者只知道以贪婪过度放牧的方式对天然草原进行无度地掠夺和榨取，而理智的管理者则会采用对

生态更友好的草地农业策略和方式发展优质高产的草地畜牧业。

草原及其上的草地畜牧业大致可分为5个时期和发展阶段,即:

(i) 史前时期的原始自然草原阶段(图2(a)). 草地畜牧业的史前时期是以基本上无人类活动干扰的草原自然生态系统的原始状态为特征的. 这一原始阶段包括更新世中期至全新世的前期,自然因素对草原具有绝对的统治地位,草原生态系统的3个营养级完全按照自然的节律有起伏地运转着.

(ii) 新石器时期开始的自然草原群牧阶段(图2(b)). 人类大约在10000~12000年以前产生了新石器时代的农业革命<sup>[6]</sup>. 早期驯养动物是成群放牧的,当有更多的定居时,土地连续被用于豢养家畜,导致过牧增强. 但早期的畜牧活动规模较小,多是局部性的,尚不足以导致整个草原地带的土地和生态系统的全面退化. 草原自然的生态系统营养结构和环境的能量转换和生物地球化学循环仍是主导的过程.

(iii) 早中世纪时期的自然草原游牧阶段(图2(c)). 进入人类社会的历史时期大致从公元前3~4千年前开始,主要是由于早期种植农业和畜牧业的发展,草原游牧民族已形成一定规模,人类很快地在

草原生态系统中与狼群分享与占据着草原营养级顶端的统治地位,此时尚能大体上维持着草原各营养级之间的“十分之一”生态法则的比例关系. 在这一时期,游牧制度逐渐形成并臻于成熟,属于干旱和半干旱气候区的草原地带仍具有不稳定的气候和以干旱为特征,每到旱灾、雪灾或其他灾害发生时,由于草原草类的第一性生产力不足以供养其上一营养级的食草动物或牲畜的需求时,游牧民族的畜群和人群就面临饥荒和灾难. 这时,游牧民族就必然地要向邻近地区,尤其是生活较为富庶和稳定的农业区域发动侵袭,以取得物质与能量的补偿,才得以延续其民族的生存和繁衍. 这体现了草原区域的一种自然法则——“狼的法则”<sup>[7]</sup>,也是在中世纪时期草原游牧民族不断向东亚南部农区、中亚肥沃的灌溉区,以及东欧农业社会发起侵袭战争的自然历史渊源,这一时期也可称为“草原的战争攫取时期”.

(iv) 近代时期自然草原过牧退化——补贴阶段(图2(d)). 在动荡的中世纪以后,近百年来,草原游牧民族转而采用发展牲畜数量的办法以期获得较多的收入和补偿. 草原过度放牧虽在初期可使畜产品增加,但违背了“十分之一”的生态法则. 其代价是草原生态系统结构破坏、生产力减退和土壤荒漠化,终

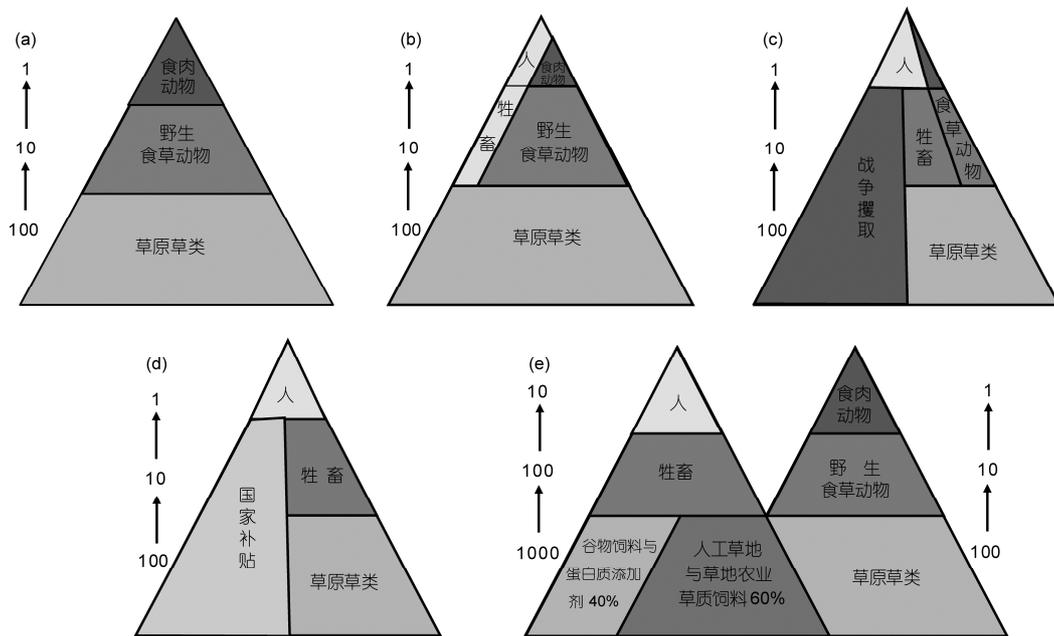


图2 草地畜牧业的5个发展阶段及其生态系统的营养级金字塔结构图示。(a) 史前时期原始自然草原; (b) 新石器时期初始群牧的自然草原; (c) 早中世纪时期游牧的自然草原; (d) 近代时期过牧退化的自然草原; (e) 现代化工厂化饲养的人工草地和自然草原

Figure 2 The five developmental periods of grassland husbandry and structural schema for their trophic pyramid. (a) Prehistoric period of primitive grassland; (b) neolithic period of initial grazing grassland; (c) early Middle age of nomadism in natural grassland; (d) modern age of overgrazed and degraded grassland; (e) contemporary age of combined system of natural grassland with industrial livestock husbandry

将导致草原生态系统崩溃(沙化、砾石化和盐渍化等). 在草原还有一定生产潜力的初期数百年期间, 这种办法尚有一定成效. 但到了19世纪后期, 由于放牧牲畜数量剧增, 就在牧区造成大面积草地因超载而退化的普遍态势. 加以受到全球变暖作用, 草原固有的干旱轮回与其他自然灾害对退化草原与超载畜群的加剧胁迫, 终究导致草原生态系统的极度衰退与崩溃. 这种依赖过度放牧来极度榨取草原生产力的生产方式无异于杀鸡取卵, 实际上是不断造成日益增大生态赤字的“生态高利贷”, 是以牺牲生态为代价的恶性循环进行负债补偿来换取草原牧民的生存与“发展”. 在20世纪的后半个世纪中国草原的过牧退化已达到顶峰, 只有依靠国家的扶贫救灾和荒漠化治理工程投入等补贴的资助, 这是一个草原和草地畜牧业得不偿失、不可持续发展的阶段.

(v) 现代化时期的人工草地和工厂化饲养阶段(图2(e)). 温性草原过牧退化噩梦的终结取决于草地畜牧业生产方式的根本转变和对草原功能的合理定位. 从目前国际上先进农业国家的发展趋势来看, 现代化的草原畜牧业必然要采取发展人工草地、保育自然草原和构成草地畜牧业产业链的优化生态-生产模式. 自20世纪30年代以来, 世界上的先进国家已先后完成了从传统的天然草地放牧到人工草地与草地农业支持的现代化先进畜牧业的转变, 极大地提高了草地畜牧业的生产力, 形成完备的产业链与发达的畜牧业经济, 同时使过牧退化的天然草地得到充分的休养恢复和发挥良好的碳汇、保水、持土、防止流沙和扬尘的生态功能. 草原原生的大型食草动物如北美野牛(*Bison bison*)、野马和赛加羚羊(*Saiga tatarica*)等得以回归, 具有重要的经济价值和文化效益.

现代化的草地畜牧业不同于工厂化饲养. 后者较多依靠不可更新的化石燃料提供高碳能源. 1930年前后的工业化农业, 即大致在人类开始进入“一个农业”的新时代, Schusky<sup>[6]</sup>称这个新时期为新卡路里时代, 它几乎完全基于化石燃料的“卡路里”, 工业化农业统治了近代. 这个新的食物链的特征是以化石燃料的能量取代了人类和动物劳力产生的能量, 但这是所有食物系统中能量效率最低的. 工业化农业往往消耗了比它所产生的更多的能量, 而且化石燃料终有尽时, 化石能源的极限迟早将会到来.

现代化的草地畜牧业是现代化农业循环经济的驱动性产业和商品化的源泉, 它形成现代农业产业的核心, 作为现代国民经济的基础, 发达国家的畜牧业一般占农业总产值的60%以上<sup>[8]</sup>. 历史和国际现代化的实践证明, 仅依靠天然草原不稳定和有限的生产力是不足以实现和保证草地畜牧业的这种地位和作用的, 草原自然界的生产力不论在数量和时间上都和人类的需求有一、两个数量级上的差别, 要大幅度地提高草原土地的生产力(数倍超过其气候潜在生产力)和产品品质, 才可能满足人口对畜产品和草原优良环境不断增长的需求. 因此必须有相当规模的资金、能源、物资、技术、设施、管理和劳力的投入.

我国的草地畜牧业尚未进入人工草地和工厂化饲养的现代化时期, 仍滞留在数千年前以天然草原游牧为主的生产方式和过牧阶段.

## 2 中国草原的退化和不可持续性

草原因过度放牧而退化曾是全球性的现象. 研究中东游牧方式的Beaumont<sup>[9]</sup>断言: “过度放牧是游牧民族固有的知识和生产方式!”至今在中东沙漠地区各国和非洲萨赫勒地带和稀树草原地带因过牧而造成的荒漠化仍十分严重. 即使是欧洲水土丰腴、林草茂盛的阿尔卑斯山也难免此难<sup>[10]</sup>. 北美大陆则是在18~19世纪的200年内开拓牧场, 把在北美大草原上生存的6000万头北美野牛斩尽杀绝. 我国北方的温性草原地带由于历经数千年的游牧畜牧业活动而普遍退化, 随之在近半个多世纪中相继遭遇到4个巨大冲击——20世纪70年代的草原垦荒种粮浪潮、20世纪80年代以来草原因牲畜数量激增而加剧过牧的浪潮、20世纪90年代以来的全球增暖和草原旱化浪潮以及21世纪将不可遏止地揭开整个草原肥沃表层的露天煤矿开采狂潮.

现以我国5个草原省区的草地生产力和草地畜牧业的基本数字来剖析我国的草原退化和草地畜牧业的不可持续性(表1). 我国北方草地由于气候增暖、干旱、灾害频发和严重的超载过牧, 草地的生产力低下, 承载力微弱, 平均每只羊单位每年约需1.3~1.7 hm<sup>2</sup>草地, 在高寒的西藏每只羊单位平均需要近2.7 hm<sup>2</sup>草地.

我国的5个草原省区, 除了草地面积最小的宁夏之外, 蒙、藏、新、青4省区的绝大部分草地都是严

表1 我国草地省区的放牧草地状况<sup>a)</sup>Table 1 Status of rangeland in Chinese grassland provinces<sup>a)</sup>

省区	可利用草地 ( $\times 10^6 \text{ hm}^2$ )	平均产草量 ( $\text{kg hm}^{-2}$ )	单位载畜量 ( $\text{hm}^2 \text{ 羊}^{-1}$ )	理论载畜量 ( $\times 10^6 \text{ 羊只}$ )	实际载畜量 ( $\times 10^6 \text{ 羊只}$ )	超载率(%)	实际需求草地 ( $\times 10^6 \text{ hm}^2$ )	尚欠缺草地 ( $\times 10^6 \text{ hm}^2$ )
内蒙	63.6	1069	1.42	44.66	96.79	116.7	137.44	73.84
西藏	70.8	373	2.61	27.10	48.26	78.1	125.96	55.16
新疆	48.0	568	1.49	32.20	57.21	77.7	85.24	37.24
青海	31.5	780	1.07	29.00	36.33	25.3	39.60	8.1
宁夏	26.3	622	1.62	16.20	10.25	-	16.60	-9.7

a) 数据来源文献[11~13]

重超载和强度退化的(表1). 以内蒙古为例, 综览内蒙古草原近半个世纪气候、草原植被结构和生产力、土壤以及畜牧业发展状况, 使研究者们意识到内蒙古草原正趋向于成为一个不能自我维持和不可持续发展的系统. 其不可持续性表现在草原环境的不可持续性、草原生态系统的不可持续性和草原经济系统的不可持续性3个方面:

### 2.1 草原环境的不可持续性

内蒙古草原环境的不可持续性主要表现在气候的干热趋势加强与灾害的频繁发生及其程度的不断加重. 根据内蒙古典型草原带锡林浩特气候站1951~2010年逐月平均温度和降水量的观测数据(图3), 内蒙古草原的年均气温60年内增加了 $2.5^\circ\text{C}$ , 年降水量在60年内虽无显著增减, 但降水年际变率增大, 意味着气候的干旱性在增强.

从20世纪50年代到80年代, 白灾(雪灾)每10年发生次数减少, 但90年代后又呈上升趋势; 风灾发生次数增加; 旱灾在80和90年代的20年间都是每10年有6次, 其发生频度大大超过了过去的“十年轮回”(图4). 灾害会造成畜牧业的重大损失. 例如, 锡林郭勒盟1962, 1968和1977年因白灾各死亡牲畜 $1.048 \times 10^6$ ,  $1.040 \times 10^6$ 和 $2.458 \times 10^6$ 头(只); 1966年和1988年因黑灾分别死亡牲畜 $1.63 \times 10^6$ 和 $4.08 \times 10^6$ 头(只); 1980年和1981年因暴风雪死亡牲畜 $60 \times 10^3$ 和 $80 \times 10^3$ 头(只). 2000~2003年上半年连续3年半冬季持续降雪, 部分地区形成特大白灾, 各年牲畜死亡分别达到 $530.1 \times 10^3$ ,  $384.0 \times 10^3$ ,  $80.5 \times 10^3$ 和 $121.5 \times 10^3$ 头(只)<sup>1)</sup>. 可见, 内蒙古草原近年气候状况十分不利于自然草原游牧畜牧业的稳定与可持续发展<sup>[14]</sup>.

1) 内蒙古农牧厅畜牧处办公室. 内蒙古畜牧业统计资料(1949~2000年)

### 2.2 草原生态系统的不可持续性

在高频率灾害气候和人为干扰下, 草原生态系

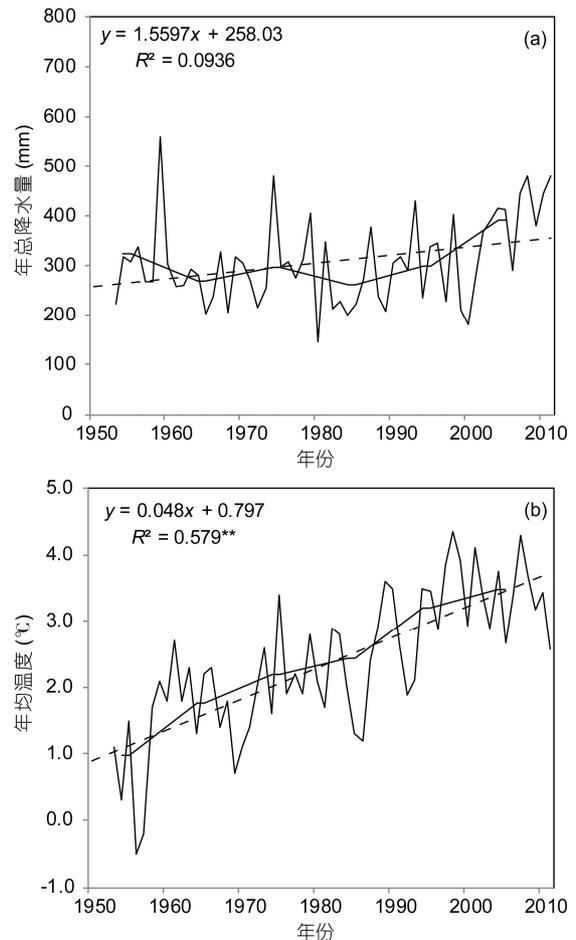


图3 中国内蒙古草原(以典型草原区的锡林浩特为例)60年气候变化。(a) 年总降水量和(b) 年均温

Figure 3 Variation of (a) annual precipitation, (b) annual mean temperature in Inner Mongolia grassland in the past 60 years (Take Xilinhot as an example which locates in typical grassland)

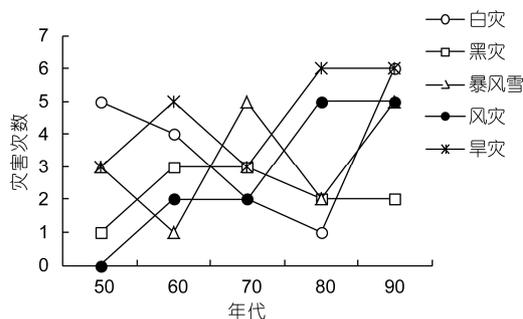


图4 1949年以来内蒙古草原5种灾害发生频次统计. 20世纪90年代后白灾和暴风雪合为雪灾. 90年代旱灾数据来自内蒙古农牧厅畜牧处办公室

Figure 4 Occurrence frequency of 5 natural disasters in Inner Mongolia grassland from 1949. White disaster and snowstorm are combined as snow disaster after 1990s. Drought data in 1990s is provided by courtesy of Animal Husbandry Office of Agriculture and Animal Husbandry Department, Inner Mongolia

统处于不可持续的发展模式中, 生态环境日益恶化. 内蒙古草原在20世纪50年代前基本上不存在明显的草地退化, 内蒙古自治区1947年每只绵羊单位占有草场4.1 hm<sup>2</sup>, 到2011年仅占有1.3 hm<sup>2</sup>[15]. 近60年来, 草原退化日益严重, 60年代中期草地退化面积为18%, 80年代达到39%, 90年代高达73%<sup>[16]</sup>, 21世纪初已近90%<sup>[17,18]</sup>. 随着草原的不断退化, 草原群落结构发生变化, 草地生物多样性丧失, 珍稀濒危植物灭绝, 野生大型动物消失, 有害的鼠类增多. 草原生物多样性的恢复需要漫长的时间<sup>[19]</sup>.

草原作为全球主要的碳汇之一, 在碳循环中有巨大作用. 但是, 随着开垦和过度放牧, 草原土壤中的有机质含量明显下降, 草地生态系统的植被碳储量也受到了明显影响<sup>[20-24]</sup>. 研究表明, 我国被开垦的草原和严重退化草原的土壤向大气中排放的温室气体显著增加, 可能已经从碳汇变成了碳源. CO<sub>2</sub>的排放增加将进一步加剧气候变化对我国草原的影响. 政府间气候变化专门委员会(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)报告指出, 在温度升高2℃~4℃和降水减少的情况下, 内蒙古草地生产力将会降低40%~90%<sup>[25]</sup>. 与天然草地相比, 不同开垦年限(5~50 a)表层土壤有机碳含量会下降36%~68%<sup>[26]</sup>; 内蒙古锡林郭勒盟草原地区由于开垦种植小麦36年后, 0~100 cm土壤有机碳下降了

12.3%~28.2%, 其中表层土壤存在显著的下降趋势<sup>[27]</sup>. 多年放牧会导致草地植被盖度和高度下降, 净第一性生产力降低, 土壤水分和结构发生变化, 土壤侵蚀增强, 土壤有机碳降低<sup>[28,29]</sup>. 过度放牧导致的中国草地土壤有机碳损失量最大(0.23 kgC m<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup>), 其次是重牧(0.15 kgC m<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup>)和轻牧(0.05 kgC m<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup>)<sup>[30]</sup>. 有研究表明, 过度放牧使内蒙古草原表层土壤碳的净损失率高达12.4%<sup>[16]</sup>, 而通过减少畜牧承载量等方法恢复退化草地, 我国草地土壤的有机碳库可以增加4561.62 Tg C<sup>[31]</sup>.

### 2.3 草原经济系统的不可持续性

内蒙古草原是我国的重要畜牧业基地之一, 为内蒙古经济的重要组成部分. 然而近几十年来草地的大面积退化, 加剧了草原生态系统内部矛盾和外部的社会经济矛盾, 导致长期以来过牧的草原畜牧业生产方式在经济上的不可持续性, 表现为:

(i) 人口压力增大, 牲畜头数增加, 人地草畜矛盾突出. 北方草原平均超载36.1%, 草原生产力不断下降, 平均产草量为60年代初的1/3~2/3. 内蒙古草地载畜量由20世纪50年代至世纪末下降了47%<sup>[13,32]</sup>. 由于人口的剧增, 粮食需求大幅增加, 使耕地面积急剧上升(包括草原的大面积开垦), 由1947年的3.97×10<sup>6</sup> hm<sup>2</sup>增加到2013年的9.12×10<sup>6</sup> hm<sup>2</sup>, 增长了84%. 耕地面积的扩大, 极大地增加了草原的压力.

(ii) 由于畜牧业产值的增长过分依赖牲畜数量的增长而忽视了牲畜的质量和草场的建设, 草原严重透支, 大大超过了草原的承载力. 内蒙古天然草地面积6.36×10<sup>6</sup> hm<sup>2</sup>, 理论载畜量为4.45×10<sup>7</sup>羊单位, 现有牲畜数量超载16<sup>[2]</sup>; 如按现在草地生产力因退化下降47%计算, 现实承载力仅为2.36×10<sup>7</sup>羊单位, 则超载119%. 牲畜由于缺草少料引发生掉膘超30%, 再加上其他各种灾害原因等使得牲畜年均死亡率达到6%的水平<sup>[32]</sup>, 草地普遍退化, 草原畜牧业经济难以继.

(iii) 草原管理不合理. 草原一年四季放牧, 没有休养生息, 草原季节性逐渐消失. 人工草地面积很

2) 根据《内蒙古草地资源统计资料》(内蒙古草原勘测设计院, 1988): 内蒙古草地可利用面积 6.36×10<sup>7</sup> hm<sup>2</sup>, 单位面积可食草量: 生长旺季 643 kg hm<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup>, 枯草期 424 kg hm<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup>, 加权平均 513 kg hm<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup>. 单位面积载畜量: 513 kg/730 kg=0.70 羊单位 hm<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup>. 每个羊单位需草地面积 730 kg/513=1.42 hm<sup>2</sup>/羊单位. 理论载畜量: 6.36×10<sup>7</sup> hm<sup>2</sup>×0.70=4451 万羊单位

少, 2013年全区人工草场保有面积仅为 $4.60 \times 10^6 \text{ hm}^2$ , 只有天然草原的5.5%<sup>[33]</sup>. 草原长期的集体所有制和不完善的投资及管理机制, 造成以不断扩大牲畜数量来提高收入, 过分利用草原而缺乏投入, 重数量而不重质量, 以损耗和破坏土地生产和环境为代价来取得经济增长, 必然是不可持续的。

(iv) 社会因素的制约. 草原畜牧业的产业化程度极低, 缺乏企业带动和产品增值, 维持低水平、高消耗和低效率的资源利用. 人口文化素质低, 环保和生态建设意识差, 再加上交通不发达, 能流物流不畅通, 信息交流受限制, 成本增加, 间接阻碍了经济的持续发展。

(v) 草原畜牧业投入产出的不平衡. 草原畜牧业建设投入大幅度增加, 从建国初到20世纪末增加了几百倍, 但难以改变的客观事实是局部建设、整体退化. 从草原畜牧业救灾投入来说, 从20世纪60年代的年均70多万元增加到90年代的2000多万元<sup>[32]</sup>. 由于连年自然灾害和草原生态环境的不断恶化, 现在牧区一只羊的生产成本已经高于它的产值, 出现倒挂现象。

(vi) 草原生态系统服务功能衰退. 自然界的生态服务功能支持了人类社会经济的发展. 然而内蒙古草原每年草场沙化退化面积高达百万公顷, 按我国草原年生态系统服务单位(每公顷)价值232美元计<sup>[2]</sup>, 每年因草原沙化退化引起的生态服务价值损失高达32亿元<sup>[34]</sup>, 50年来损失可达1608亿元, 相当于其50年来总产值的2.37倍, 因此, 相当程度上说, 内蒙古草原畜牧业的发展历史在近代来说就是生态系统服务功能的退化历史。

畜牧业是一个带动性很强的产业, 长期以来我国畜牧业仅占农业总产值的不到30%, 其中草地畜牧业占比更低, 仅有5%, 而目前发达国家的畜牧业占农业比重较高, 有的达到70%~80%. 中国近几十年以来, 草原放牧牲畜数量极大增长, 草原严重超载退化, 已经成为我国最严重的生态问题之一, 也是我国和全球变化的主要因素之一<sup>[35]</sup>.

天然草原生态系统除了用作放牧场的生产或经济功能之外, 还具有重大的生态调节功能、生物多样性承载功能与社会文明的服务功能<sup>[36]</sup>. 生态系统的功能转型(function shifts)就是根据需求和可能采用生态系统管理与农林牧业结构战略调整的策略与手段, 及时地调剂与转移生态系统的功能. 具体来说, 就是将因过度放牧而严重退化的自然草原通过退牧还草

休养生息, 恢复其固有的生物多样性和群落结构及其重要的生态环境效益; 亦即, 放弃自然草原从数千年来作为放牧场的沉重的生产功能, 转而全面地恢复和主要执行生态服务功能, 包括防风固沙、保持水土、富集碳库、承载保育野生有蹄类食草动物与维护旱生植物基因库等, 发挥更为重要的生态调节意义与生物多样性保育价值, 从而使我国的生态与环境状况得到极大的改善与优化<sup>[37,38]</sup>.

### 3 中国草地生产方式的转变

我国目前的草地畜牧业仍以传统的天然草地畜牧业为主, 是粗放的、生产力低下、生态不友好的生产方式, 急需革命性的结构调整, 以优质高产的人工草地和草地农业为基础, 实现向现代化畜牧业生产方式的转型. 草地农业, 即草田轮作制; 人工草地是草地农业的一种类型; 而草基农业是把草和畜牧业的元素融入农业系统中, 是一种先进的草地农业类型。

#### 3.1 人工草地

种草养畜是农业现代化的主要方向之一, 建设高产优质的人工草地, 代替天然草地, 应当是我国经济发展与农业结构大调整的一项重要任务. 新西兰、英国和加拿大的人工草地面积分别占到其草地总面积的75%、59%和27%, 美国的人工草地面积也占其草地总面积的10%以上, 但我国人工半人工草地面积仅占草地总面积的3%左右<sup>[39]</sup>. 集约管理的人工草地生产力可达到天然草地的10~20倍. 中国有天然草地 $4 \times 10^8 \text{ hm}^2$ , 用其10%发展优质高产的人工草地, 结合草地农业的实施和农副产品的饲料化开发, 使我国现代化草地畜牧业发展拥有坚实的第一性生产力基础。

人工草地还可以发挥重要的生态服务功能. 高生产力和高覆盖度的多年生牧草组成的人工草地具有重要的涵养水源、保持水土和防风固沙的作用. 人工草地的科学管理可实现草地畜牧业的可持续发展, 肥沃的腐殖土上生长的多年生草地可为畜牧业提供高产优质的饲草, 畜牧业又可以为人工草地提供充足的有机肥, 实现人工草地持续的高生产力和生态服务价值; 建设人工草地和保育天然草地还可以提高草地的固碳量, 提高我国的固碳能力, 发展“碳贸易”, 可成为我国生态建设和减缓全球变化的关键对

策和重大举措.

### 3.2 草地农业

草原带南缘的农牧交错带与农区可普遍实施“草地农业”(grassland agriculture). 草地农业是指在农业生产中强调禾草和豆科牧草的重要性, 基于精细化管理的人工草地进行畜产品生产<sup>[40]</sup>. 我国应调整农区的种植结构, 达到粮4:经3:草3, 大力发展农区畜牧业. 如果农区饲草能达到30%, 则有近 $1.3 \times 10^7$  hm<sup>2</sup>的农田草地, 同时利用农区秸秆及其他农副产品, 可支撑畜牧业发展之需. 在20世纪50年代初期, 前苏联的著名农业土壤学家威廉姆斯曾十分提倡但在我国却从未实施过的“草田轮作制”, 即在大致1/3的农地上种植牧草或饲料作物, 与粮食或经济作物轮作, 以产出大量优质饲草料, 加以农作物秸秆转化的加工饲料, 可形成人工饲草支撑的草原牲畜育肥带和农区的奶、肉牛饲养基地. 在先进农业国家, 牧草是种植业的第一大作物, 荷兰、法国、英国、德国、澳大利亚、新西兰等国耕地的50%以上种草. 种谷物最多的美国、加拿大的人工牧草面积也高达40%. 饲料谷物则是现代种植业的第二大作物, 占谷物总面积的大半<sup>[8]</sup>. 在我国广大的农区, 通过大力推行粮、经、草(饲)三元种植结构, 轮、间作优质牧草品种, 特别提高豆科牧草的比重, 不仅将形成巨大的牧草生产力, 还可以改善土壤结构, 提高土壤肥力. 如实行草田轮作, 牧草比例达到耕地面积的1/3上下, 则内蒙古的 $7.317 \times 10^6$  hm<sup>2</sup>农田每年将约有 $1.5 \times 10^6$  hm<sup>2</sup>农田可提供优质的牧草和饲料. 此外, 内蒙古农业生产可利用农作物秸秆与农副产品每年约 $18 \times 10^6$  t(秸秆产量为4200 kg/hm<sup>2</sup>, 秸秆利用率60%), 相当于 $1 \times 10^6$  hm<sup>2</sup>人工草地的牧草生产能力. 上述合计约 $2.5 \times 10^6$  hm<sup>2</sup>的草田轮作、农作物秸秆及副产品的牧草饲料生产力大约相当于上述 $6.8 \times 10^6$  hm<sup>2</sup>人工草地的37%, 二者合计相当于 $9.3 \times 10^6$  hm<sup>2</sup>优质高产人工草地, 将足可超过整个内蒙古天然草地的生产力.

20世纪40年代以来, 发达国家已陆续完成了从天然草地放牧到草地农业支撑的现代化畜牧业的转变. 草地畜牧业的生产力得到了极大地提高, 同时天然草地的生态服务功能得到恢复和发展. 在先进农业国家农业的主导产业是现代化的畜牧业. 草地畜牧业的经济效益可达到种植谷物的10倍, 实施粮、经、草三元结构的草田轮作, 高产优质草地约占耕地

面积的1/3, 实现农业的可持续发展. 我国农业目前仍然“以粮为纲”, 近80%的农田用来种植3大粮食作物, 但粮食供应依然紧张. 我国人均粮食消费量是发达国家的3~4倍, 猪饲料的需求比人的口粮量还高. 如果发展草地畜牧业, 增加牛羊肉和奶制品的供应, 可缓解粮食压力<sup>[8]</sup>. 目前我国的草地畜牧业仅占农业产值的5%, 生产力极低, 落后于发达国家近70年. 我国的畜牧业仍然以天然草地放牧为主, 造成我国草地的严重退化和环境恶化, 影响了我国整体的现代化的发展. 因此, 我国的草地畜牧业急需生产方式的转变, 进而实现天然草地生态功能的转变.

我国农业结构调整的宏观趋势是草饲业和畜牧业的大发展. 农业内部种植结构由以粮食作物为主或粮食作物与经济作物(棉花(*Gossypium* spp.)、油料等)并重的结构, 转向粮、经、草(饲)的三元结构, 是这一过渡时期的农业战略性转变. 为了满足农田生态良性循环与发展畜牧业的要求, 应全面实行草田轮作制. 多年生豆科与禾本科牧草与饲料作物(玉米(*Zea mays*)、甜高粱(*Sorghum bicolor*)等)的种植面积应保持在30%左右. 退一步说, 如果全国18亿农田实行各种形式的草田轮作(含冬闲田), 有1/5的农田种植牧草和饲料作物, 再加上农作物秸秆与副产品的转化, 可折算为 $2 \times 10^7 \sim 2.7 \times 10^7$  hm<sup>2</sup>的高产人工草地, 在此基础上可大力发展畜牧业, 优化现代化农业的内部结构, 拉长畜牧业生产的产业链, 使畜牧业占到我国农业产值的50%~60%, 实现我国农业生产和生态保护双赢的局面.

### 3.3 草基农业

草基农业(grass-based farming system)是美国在20世纪40年代提出的禾草在农业中的重要性及如何提高其效率的实践, 强调草地在美国农业中是最重要和永恒的组分<sup>[41]</sup>. 草地是一种良好的耕作和生活方式, 是改良土壤的最好方式. 由于全球变化和化石能源枯竭、淡水耗尽等危机日益彰显, 草地的重要性比半个世纪以前更为显著, 牧草在农业中将显示出特有的功能和重要性.

近几年来, 在世界范围内的一种新的趋势是仅在牧草上完成家畜生产, 在美国已有10%~30%的乳品生产者转向以草地牧草为主的草基畜牧业, 不用或少用浓缩添加料, 不仅降低了成本, 且研究证明, 草地饲养对动物和人类都更为健康. 草基农业使农

业系统从一个仅单一生产粮食或纤维的植物系统,转变为包含绿色植物第一性生产力亚系统、草食家畜(含野生大型哺乳类有蹄脊椎动物)第二性生产力亚系统和畜圈与畜粪中有机物分解微生物第三性生产力亚系统的多功能复合生产系统.尤其是多年生具根瘤菌豆科草类如苜蓿的加入与禾草混生,更使农田富含氮素(减少氮肥的使用)和具有良好的土壤团粒结构,形成松软肥厚、通气持水良好的表土海绵层,具有防止土表干燥板结、水土流失和土壤侵蚀的良好生态功能,为草地农业系统的巨大优越性,也是在农田中种草或实施草田轮作,粮食不减反增的原因<sup>[40]</sup>.

我国传统的农牧业粗放、落后、低生产力和对生态不友好的结构和生产方式,已成为我国农业、生态和社会可持续发展的极大障碍和桎梏,必须在今后20~30年里进行农业和畜牧业结构的大调整,把草和畜牧业的元素融入农业系统中,以先进的草基农业系统改造我国传统的粮-经二元农业和天然草地放牧业.这将不啻是一场社会生产领域的大革命.其目标是,构建一个在保证国家粮食安全和可持续发展前提下,使我国的草地畜牧业进入一个未来的人工草地草基畜牧业与“返璞归真”(恢复生态功能)天然草地相结合的新阶段(图5).

## 4 结论与讨论

### 4.1 草原的游牧方式必须转变

我国自1万年以前的新石器时期以来的草地畜牧业,即天然草地的游牧生产方式,虽然在相当长的历史时期内对于发展畜牧业生产和形成游牧民族的文明和传统产生了积极的作用,但是由于20世纪以来人口剧增,草原放牧的牲畜也随之强度超载过牧,加以草原地带固有的周期性干旱、雪灾和其他灾害,以及全球增温的影响,草原退化已成为严重的生态问题,我国的天然草地已有80%以上因过牧退化,草地生产力大幅度下降,生态功能严重减退,草原游牧已难以为继,意味着我国近代的北方草原以天然草地放牧为主的粗放、落后的传统草原游牧畜牧业,以其低下的生产力和以牺牲生态为代价的生产方式已使我国草原成为一个不能自我维持的、生态严重退化、经济巨额亏损的,因而也是不可可持续发展的生态系统.

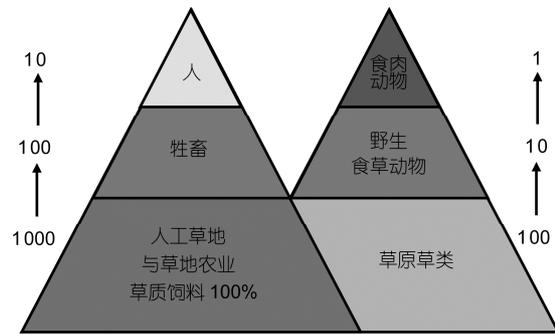


图5 未来草地生态系统的营养级金字塔结构图示(人工草地草基畜牧业和天然草原返璞归真)

Figure 5 Schema of the trophic pyramid for future steppe ecosystem (Developing grass-based animal husbandry and restoring the natural grassland of ecological service)

### 4.2 我国草地畜牧业的出路是大力发展集约型的人工草地和草地农业

目前世界上先进的草地畜牧业国家主要是发展集约经营的优质高产的人工草地和草地农业.集约型人工草地是以农业技术种植与经营草地,包括育种、耕作、灌溉、施肥、病虫害防治、收获、加工、储藏等,虽然成本高于天然草场放牧,但通过所收获牧草的产量和质量提高足可得到抵偿.尤其是人工草地抵御各种自然灾害的能力大为提高.草地农业则是在农田中轮作或间作牧草,苜蓿等多年生豆科草和青储饲料,可显著改善农田的土壤结构,增强保持水土能力和提高农田生产力.北方人工草地主要受水的限制,通常在晚春初夏时需要一定量的灌溉,仲夏时已是雨季来临,一般不需灌溉.在为人工草地选地时注意在农牧交错带和草原边缘地带将低产田改造为人工草地,以及在天然草地中选择隐域生境<sup>[42]</sup>,如河谷、低洼集水区、潜水补给区和土壤肥沃处,可大力开发太阳能和风力能源,以保证人工草地的灌溉能源需求.草原上的风场丰富,且稳定性高、连续性好、无破坏性风速等,目前进行风力发电和风力提水的技术已臻成熟,使草原牧区供水系统的能源问题得以解决,保证人工草地的发展.在内蒙古和全国草原的土地上,可开发的风能储量约占全国风能储量的70%以上.因而无论从风力资源和风力利用技术的角度,都可以满足人工草地灌溉系统的能源需求.我国南方亚热带和热带的 $8 \times 10^7$  hm<sup>2</sup>亚热带性灌草丛草质粗硬、营养价值低、枯草期长、放牧价值不高,但热量充足、降雨丰沛,可改造为非灌溉的高生产力优质人工草地.一般来说,人工草地和草

地农业的产草量大致是天然草地的10~20倍;因此,开发占当地天然草地1/10~1/20面积的人工草地,再加上占全国农田面积1/5的草地农业就可以供养全国 $4\times 10^8$  hm<sup>2</sup>天然草地上的全部放牧牲畜而有余,从而使90%~95%的天然草地得以退牧还草、休养生息、焕发生态功能.可称为人工草地的“十分之一替换率”,具有重大的生态和经济意义.

#### 4.3 现代化的草地农业是先进完善的系统工程和循环经济的产业链

以饲草基地和舍饲牲畜为基础,以服务业、技术推广站与科研机构为支撑,配套发展各种畜产品与饲料加工业,推行以畜牧业牵动的加工企业和市场贸易,促进畜牧业循环经济发展,建立现代化的草地农业畜牧业的生态-经济产业链条.我国现代化农业可以把有强大加工服务业的牧业作为主导农村产业链的支柱产业,这是因为家畜本身的奶、肉、皮、毛、血、粪等各有其用途和价值,可形成一个完整的生物加工厂,另外家畜产品的各具不同的加工技术和程序,可形成相关的产业以及各类的服务和附属行业.因此,贯穿了种植业、养殖业、加工业、服务业和市场销售业等草地畜牧业具有最长和环环增值的产业链或产业网络.现代化草地畜牧业就是现代化农业的一个主要和长足的驱动力,没有草地畜牧业就没有发达的食品和畜产品加工业,没有农业的现代化和繁盛的市场化前景.畜牧业的产业链从初加工、细加工、深加工到多种服务业等,每多一道工序就多一道产业、多一道就业和增加附加值,延长了产业链,这种方式是粮食和经济作物无法比拟的.发达国家养牛为主的畜牧业提供了80%的食品工业原料,毫无疑问,食品加工离不开畜牧业,真正意义上农业的商品化和现代化的集中体现是畜牧业及其产业链.

#### 4.4 天然草地恢复其生态服务功能的返璞归真

通过建立人工草地和发展草地农业,从而使因长期过牧而普遍退化的天然草地得以退牧还草,恢复其草被与腐殖土层重大的育土涵水、防风固沙、汇

碳养生的生态服务功能,目前该做法已在先进的草地畜牧业国家得到实现.在19世纪曾因过牧和伐林而使山地森林和草地遭到退化和破坏、水土流失严重、水旱灾害频发的阿尔卑斯山,经过百余年的山地造林和在20世纪30年代以后将产业化的畜牧业转移到农田和人工草地,不仅使养牛业有了极大的发展,而且使阿尔卑斯山的森林、草地植被和山地生态环境得到很好的恢复.坚持天然草地必须放牧者们最常用的3条理由大概是:“离离原上草,不牧可惜了”;“天然草地放牧是成本最低的畜牧业生产方式”;“天然草地不放牧是要退化的”.其实这3条充分反映了完全无视天然草地重大生态服务功能的狭隘和片面观点,也不了解在目前中国的条件下,只要在天然草地上放牧就是不可控制的过牧和草地退化,其环境安全的损失和生态服务功能衰减的代价极高.至于对天然草地因不放牧而退化的担忧只是纯理论上的,实际上在中国从未发生过,将来也不会发生.

#### 4.5 游牧民族实现现代化,少数民族也要与时俱进

人类社会已历经了一万年前的农业革命和三百多年前的工业革命,先进草地农业国家的畜牧业从天然草地放牧向人工草地和草地农业的转变也在20世纪中叶完成.少数民族的优秀文化传统必须保留、继承和发扬,但是落后的以放牧为主的生产方式必须被取代.生产方式的现代化是游牧民族实现现代化的根本.目前,我国畜牧业生产方式大转变的时机已近成熟,但还需要政府的积极引导、业界的观念转变与理论技术创新以及企业的投入与实践.不可避免地会有各种各样的实际困难,如体制、经济和技术等,更多的可能是观念和民族习俗等方方面面的阻碍.我们可以从长计议,只要坚持改革和转变,经过30~40年,和谐新方式的黎明必将来临,游牧民族走上生态-经济的可持续发展之路并最终建成和谐与富裕的社会.届时,占国土面积42%的天然草地也得以退牧还草,休养生息,聚碳增汇,发挥更大的生态服务功能.

#### 参考文献

- 1 Fang J Y, Yang Y H, Ma W H, et al. Ecosystem carbon stocks and their changes in China's grasslands. *Sci China Life Sci*, 2010, 40: 757-765 [方精云, 杨元合, 马文红, 等. 中国草地生态系统碳库及其变化. *中国科学: 生命科学*, 2010, 40: 566-576]

- 2 Chen Z X, Zhang X S. Value of ecosystem services in China (in Chinese). *Chin Sci Bull*, 2000, 45: 17–23 [陈仲新, 张新时. 中国生态系统效益的价值. *科学通报*, 2000, 45: 17–23]
- 3 Anderson R C. Evolution and origin of the Central Grassland of North America: Climate, fire, and mammalian grazers. *J Torrey Bot Soc*, 2006, 133: 626–647
- 4 Wedin D A. C<sub>4</sub> grasses: Resource use, ecology, and global change. In: Moser L E, Burson B L, Sollenberger L E, eds. *Warm-season (C<sub>4</sub>) grasses*, AgronMonogr 45 ASA and CSSA and SSSA, Madison, WI. 2004. 15–50
- 5 Zhang X S. Relationship between climate and vegetation and optimized eco-productive paradigm (in Chinese). In: Sun H L, Zhang X S, eds. *Ecological Services of Grassland in China—Proceedings of CCAST (World Laboratory) Workshop*, Beijing, 2000. 13–30 [张新时. 草地的气候-植被关系及其优化生态生产范式. 见: 孙鸿烈, 张新时, 主编. “中国草地的经济效益”研讨会. 北京, 2000. 13–30]
- 6 Schusky E L. *Culture and Agriculture: An Ecological Introduction to Traditional and Modern Farming Systems*. New York: Bergin Garvey, 1989
- 7 Grousset R. *The Empire of the Steppes*. Beijing: Beijing International Culture Press, 2003 [勒内·格鲁塞. 黎荔, 冯京瑶, 李丹丹, 译. 草原帝国. 北京: 北京国际文化出版公司, 2003]
- 8 Wu G Y. Cattle industry contributes to half of modern agriculture in China (in Chinese). *China Dairy*, 2011, 119: 2–4 [吴广义. 牛业撑起现代农业的半壁江山. *中国乳业*, 2011, 119: 2–4]
- 9 Beaumont P. *Drylands, Environmental Management and Development*. London and New York: Routledge 1989. 182
- 10 Engles F V. The part played by labour in the transition from ape to man. In: *Dialectics of Nature*. Beijing: People Press, 1876. 149–153 [恩格斯. 劳动在从猿到人转变过程中的作用. 见: 《自然辩证法》, 北京: 人民出版社, 1876. 149–153]
- 11 Ministry of Agriculture of the People's Republic China. *The Grassland Resource of China (in Chinese)*. Beijing: China Science and Technology Press. 1996. 11 [中华人民共和国农业部畜牧兽医司. 中国草地资源. 北京: 中国科学技术出版社, 1996. 11]
- 12 Ministry of Agriculture of the People's Republic China. Calculation of Proper Carrying Capacity of Rangelands (in Chinese). In: P. R. China-Agriculture Vocation Standard NY/T 635-2002. Beijing: China Standard Press, 2003 [中华人民共和国农业部. 天然草地合理载畜量的计算, 见: 中华人民共和国农业行业标准NY/T 635-2002. 北京: 中国标准出版社, 2003]
- 13 National Bureau of Statistics of China. *China Statistical Yearbook (2012) (in Chinese)*. Beijing: China Statistics Press, 2012 [中国国家统计局. 中国统计年鉴(2012). 北京: 中国统计出版社, 2012]
- 14 Jin A L, Alatengtuya. Analysis on characteristics of drought in Xilinhot during the last five decades (in Chinese). *J Inner Mongolia Nor Univ*, 2010, 39: 269–274 [金阿丽, 阿拉腾图雅. 近五十年锡林浩特市干旱特征分析. *内蒙古师范大学学报*, 2010, 39: 269–274]
- 15 Wang G L, Pang Y, Chen J Y, et al. The current situation, degradation causes of grassland in Inner Mongolia and its development proposal (in Chinese). *Inner Mongolia Agri Sci Technol*, 2011, 2: 3 [王改莲, 庞云, 陈景芋, 等. 浅析内蒙古草地现状、退化成因及发展建议. *内蒙古农业科技*, 2011, 2: 3]
- 16 Chen Z Z, Wang S P. Typical Steppe Ecosystems of China (in Chinese). Beijing: Science Press, 2000. 20–25, 223–227 [陈佐忠, 汪诗平. 中国典型草原生态系统. 北京: 科学出版社, 2000. 20–25, 223–227]
- 17 Lu X S, Fan J W, Liu J H. Grassland resource. In: Du Q L, ed. *Chinese Grassland Sustainable Development Strategy*. Beijing: Chinese Agricultural Press, 2006. 5–12
- 18 Wang Y X, Cao J M. A study on grassland degradation and rational use of farmland-pastoral zone in Inner Mongolia (in Chinese). *J Inner Mongolia Agri Univ (Soc Sci Ed)*, 2010, 12: 57–59 [王云霞, 曹建民. 内蒙古半农半牧区草原退化与合理利用研究. *内蒙古农业大学学报(社会科学版)*, 2010, 12: 57–59]
- 19 Liu Z L, Wang W, Hao D Y, et al. Probes on the degeneration and recovery succession mechanisms of Inner Mongolia steppe (in Chinese). *J Arid Land Res Environ*, 2002, 16: 84–91 [刘钟龄, 王伟, 郝敦元, 等. 内蒙古草原退化与恢复演替机理的探讨. *干旱区资源与环境*, 2002, 16: 84–91]
- 20 Post W M, Kwon K C. Soil carbon sequestration and land-use change: Process and potential. *Glob Change Biol*, 2000, 6: 317–327
- 21 Jones M B, Donnelly A. Carbon sequestration in temperate grassland ecosystem and the influence of management, climate and elevated CO<sub>2</sub>. *New Phytol*, 2004, 164: 423–439
- 22 Billings S A. Soil organic matter dynamics and land use change at a grassland/forest ecotone. *Soil Biol Biochem*, 2006, 38: 2934–2943
- 23 Elmore A J, Asner G P. Effects of grazing intensity on soil carbon stocks following deforestation of a Hawaiian dry tropical forest. *Glob Change Biol*, 2006, 12: 1761–1772
- 24 Liao J D, Button T W, Jastrow J D. Storage and dynamics of carbon and nitrogen in soil physical fractions following woody plant invasion of grassland. *Soil Biol Biochem*, 2006, 38: 3184–3196
- 25 Yin Y T, Hou X Y, Yun X J. Advances in the climate change influencing grassland ecosystems in Inner Mongolia (in Chinese). *Pratacul Sci*, 2011, 28: 1132–1139 [尹燕亭, 侯向阳, 运向军. 气候变化对内蒙古草原生态系统影响的研究进展. *草业科学*, 2011, 28: 1132–1139]

- 26 Jiao Y, Zhao J H, Xu Z. Effects of a conversion from grassland to cropland on soil physical-chemical properties in the agro-pastoral ecotone of Inner Mongolia: Analysis of a 50-year chronosequence (in Chinese). *Ecol Environ Sci*, 2009, 18: 1965–1970 [焦燕, 赵江红, 徐柱. 农牧交错带开垦年限对土壤理化特性的影响. *生态环境学报*, 2009, 18: 1965–1970]
- 27 Qi Y C, Dong Y S, Peng Q, et al. Effects of a conversion from grassland to cropland on the different soil organic carbon fractions in Inner Mongolia, China. *J Geogr Sci*, 2012, 22: 315–328
- 28 Zhao Y, Peth S, Kriummelbein J, et al. Spatial variability of soil properties affected by grazing intensity in Inner Mongolia grassland. *Ecol Model*, 2007, 205: 241–254
- 29 Gan L, Peng X H, Peth S, et al. Effects of grazing intensity on soil water regime and flux in Inner Mongolia Grassland, China. *Pe-dosphere*, 2012, 22: 165–177
- 30 Shi F, Li Y E, Gao Q Z, et al. Effects of managements on soil organic carbon of grassland in China (in Chinese). *Pratacult Sci*, 2009, 26: 9–15 [石锋, 李玉娥, 高清竹, 等. 管理措施对我国草地土壤有机碳的影响. *草业科学*, 2009, 26: 9–15]
- 31 Guo R, Wang X K, Lu F, et al. Soil carbon sequestration and its potential by grassland ecosystems in China (in Chinese). *Acta Ecol Sin*, 2008, 28: 862–867 [郭然, 王效科, 逯非, 等. 中国草地土壤生态系统固碳现状和潜力. *生态学报*, 2008, 28: 862–867]
- 32 Inner Mongolian Bureau of Statistics of China. Inner Mongolia Statistical Yearbook (in Chinese). Beijing: China Statistics Press, 2003 [内蒙古自治区统计局. 内蒙古统计年鉴. 北京: 中国统计出版社, 2003]
- 33 National Bureau of Inner Mongolia Survey Corps. Inner Mongolia Economic and Social Survey Yearbook in 2014 (in Chinese). Beijing: China Statistics Press [国家统计局内蒙古调查总队. 2014内蒙古经济社会调查年鉴. 北京: 中国统计出版社, 2014]
- 34 Lu Q, Wu B. Disaster assessment and economic loss budget of desertification in China (in Chinese). *China Population, Res Environ*, 2002, 12: 29–33 [卢琦, 吴波. 中国荒漠化灾害评估及其经济价值核算. *中国人口·资源与环境*, 2002, 12: 29–33]
- 35 Liu J W. The unignorable and important role of grassland in response to global climate change (in Chinese). *Acta Agrest Sin*, 2010, 18: 1–10 [刘加文. 应对全球气候变化决不能忽视草原的重大作用. *草地学报*, 2010, 18: 1–10]
- 36 Cozanza R R, D'Arge R G, Groot R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 1997, 387: 253–260
- 37 Kardol P D, Wardle A. How understanding aboveground-belowground linkages can assist restoration ecology. *Trends Ecol Evol*, 2010, 25: 670–679
- 38 Kremen C. Managing ecosystem services: What do we need to know about their ecology? *Ecol Lett*, 2005, 8: 468–479
- 39 Cheng R X, Zhang R Q. Water-saved irrigation—an reasonable way to establishing artificial grassland in arid and semi-arid pastoral area. *Pratacult Sci*, 2000, 17: 53–56 [程荣香, 张瑞强. 发展节水灌溉是我国干旱半干旱草原区人工草地建设的必然举措. *草业科学*, 2000, 17: 53–56]
- 40 Barnes R F, Taylor T H. Grassland agriculture and ecosystem concepts. In: Heath M E, Barnes R F, Metcalfe D S, eds. *Forages: The Science of Grassland Agriculture* (4th ed). Ames: Iowa State University Press, 1985. 12–20
- 41 Wedin W F, Fales S L. Grassland—Quiteness and Strength for a New American Agriculture. American Society of Agronomy, Inc, Crop Science Society of American, Inc, Soil Science Society of American, Inc. 2009
- 42 Zhou D W, Sun H X. Development strategy of grassland animal husbandry in China (in Chinese). *Chin J Eco-Agri*, 2010, 318: 393–398 [周道玮, 孙海霞. 中国草食牲畜发展战略. *中国生态农业学报*, 2010, 318: 393–398]

## The dilemma of steppe and its transformation in China

ZHANG XinShi<sup>1,2</sup>, TANG HaiPing<sup>2</sup>, DONG XiaoBin<sup>2</sup>, LI Bo<sup>2</sup>, HUANG YongMei<sup>2</sup> & GONG JiRui<sup>2</sup>

<sup>1</sup> State Key Laboratory of Vegetation and Environmental Change, Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093, China;

<sup>2</sup> College of Resources Science and Technology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China

As the largest terrestrial ecosystem in China, the natural grassland occupies 41.67% of the land area. However, the productivity of grassland for animal husbandry is very low, contributing only 5% of the national GDP of agriculture, or about one-sixth of national GDP of animal husbandry. In this study, the five developing stages of animal husbandry in temperate grassland and their trophic pyramid were summarized. Currently, the grassland in China faces great difficulties due to unsustainable environment, unsustainable ecosystem, and unsustainable economical development. The production mode of grassland should therefore be changed, from the traditional, extensive, backward and environmental unfriendly grazing mode coming from the New Stone Age 10000 years ago, to the modern productive mode based on intensive pastureland and grassland agriculture. It is suggested to establish  $40 \times 10^6$  hm<sup>2</sup> of intensive pastureland (which account to one-tenth an area of natural grassland) of high quality and yield within 30–40 years in the future, which can replace natural grassland for supporting animal husbandry production, and to restore the natural grassland of ecological service. At the same time, grassland agriculture should be developed in the agro-pastoral transitional zone and even agricultural area. In addition, modern grass-based farming system should be introduced to reform the traditional agricultural system. According to the future pyramid structure of grassland, a sustainable developing stage would be achieved.

**grassland degradation, grass-based farming system, trophic level**

doi: 10.1360/N972015-00738