

论草牧业的理论体系及其实践

方精云^{1,2,3*}, 景海春^{2,4,5}, 张文浩^{1,2,5}, 高树琴^{1,2}, 段子渊⁶, 王竑晟⁷, 钟瑾⁸, 潘庆民^{1,2}, 赵凯⁹, 白文明^{1,2}, 李凌浩¹, 白永飞¹, 蒋高明¹, 黄建辉^{1,2}, 黄振英^{1,2}

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. 中国科学院内蒙古草业研究中心, 北京 100093;
3. 北京大学城市与环境学院, 北京 100871;
4. 中国科学院植物研究所, 中国科学院北方资源植物重点实验室, 北京 100093;
5. 中国科学院大学生命科学学院, 北京 100049;
6. 中国科学院广州生物医药与健康研究院, 广州 510530;
7. 中国科学院科技促进发展局农业科技办公室, 北京 100864;
8. 中国科学院微生物研究所, 北京 100101;
9. 中国科学院西北高原生物研究所, 西宁 810008

* 联系人, E-mail: jyfang@urban.pku.edu.cn; fangjingyun@ibcas.ac.cn

2018-01-10 收稿, 2018-03-28 修回, 2018-03-29 接受, 2018-06-05 网络版发表

中国科学院科技服务网络计划重点项目(KFJ-STG-ZDTP-004)、国家重大科学研究计划(2014CB954303)和中国科学院学部咨询评议项目资助

摘要 “草牧业”是在传统畜牧业和草业基础上提升的新型生态草畜产业, 包含饲草料生产、加工以及畜禽养殖(含加工)三个生产过程, 其精髓在于“草-畜结合”“草-畜协调”“草-畜互为依存、不可分割”。草牧业试图解决长期困扰我国饲草料生产和畜牧业发展中的草畜矛盾、草畜“两张皮”的问题, 强调饲草料(广义的牧草、饲草, 包括饲用作物和饲用木本植物)在畜牧业发展中的基础和决定作用; 与传统畜牧业相比, 它具有明显的科学性、生态性和先进性。本文在简述草牧业内涵及其意义的基础上, 论述了我国草牧业发展中存在的关键科技问题及其解决的途径; 提出了发展草牧业应遵循的8个基本原理, 即草畜良种选育原理、人工草地建植原理、天然草地保护恢复与适度利用原理、草地的生产功能和生态功能合理配置原理、饲草高效收获与加工原理、畜禽高效饲喂原理、水分有效利用原理以及区域系统发展原理, 它们构成了草牧业发展的科学基础。为了践行“草牧业”理念, 在内蒙古呼伦贝尔农垦集团开展了草牧业试验示范工作, 取得了显著的生态和经济效益。

关键词 生态效益, 生产效益, 草牧业试验示范, 草业, 草产品, 草牧业, 畜牧业

近30年来, 随着社会经济的快速发展, 我国居民的膳食结构发生了巨大变化, 其显著特征是口粮消耗减少、肉奶蛋等动物性食品消耗增加。例如, 2012年我国居民的食用粮仅占粮食总产量的27%^[1], 而饲料用粮则达到40%^[2]。因此, 我国的粮食安全实质上已演变成饲料粮的安全^[3,4]。然而, 我国农业结构和生产方式并未适应这一变化, 依然强化口粮生产, 忽

视动物饲草料的供应问题。为了确保饲料安全供给, 必须加快我国饲草业的发展, 构建“粮-经-饲”三元结构的种植业。另一方面, 我国养殖业内部结构以生猪和家禽为主, 消耗大量的谷物, 而草食性反刍牲畜占比较低, 虽然反刍动物的谷物饲喂转化效率较生猪和家禽低, 但可以利用人类不能利用的饲草, 因而可减少粮食耕作带来的浪费和资源压力, 其饲喂效率

引用格式: 方精云, 景海春, 张文浩, 等. 论草牧业的理论体系及其实践. 科学通报, 2018, 63: 1619-1631

Fang J Y, Jing H C, Zhang W H, et al. The concept of “Grass-based Livestock Husbandry” and its practice in Hulun Buir, Inner Mongolia (in Chinese). Chin Sci Bull, 2018, 63: 1619-1631, doi: 10.1360/N972018-00042

与生猪和家禽相当。同时,草食畜牧业的发展不重视饲草生产与供应、饲草单一粗放、加工工艺落后;农区简单利用作物秸秆是造成三聚氰胺事件的重要原因之一;草原地区不注重生态保护与生产功能的协调,过牧、过度打草等造成草原生产力低下;南方草山草坡、气候和生产力资源丰富,可利用的面积广阔,但生产方式落后、生产力低下,一些地区地力退化严重。

发展饲草业是我国资源可持续利用和生态文明建设的客观需要。粮食生产中籽粒仅占作物生物产量的一部分(一般不超过作物生物量的1/2),大量的粮食用作饲料造成了作物生物量的巨大浪费,不仅浪费了我国本来就十分匮乏的水土资源,也由于化肥、农药和除草剂的大量使用,对我国的江河湖泊和土壤造成了严重污染,威胁着国家的生态安全^[5]。

解决饲草料不足的关键在于发展人工草地。在我国草原地区、农牧交错带以及广大农区和南方低山、丘陵、草山、草坡地区,选择适宜土地,发展人工草地,不仅可以解决饲草料不足的问题,也将有效缓解天然草地的放牧压力,使其发挥应有的生态功能^[6]。

在这一背景下,方精云研究组^[5]在2011年由中国科学院植物研究所举办的生态草业研讨会上,正式提出建立“生态草业特区”的构想(后改称“生态草牧业试验区”),并提出在草原牧区发展“草牧业”的理念,引起草学界的关注和讨论。此后,研究团队组织召开了一系列跨学科、跨部门、跨区域的研讨会,对“草牧业”的科学内涵进行进一步的讨论和科学论证(尽管早在1994年,贾志宽等人^[7]曾针对宁夏南部山区发展草牧业的问题进行过讨论,并提出建议)。2014年9月向国务院提交的《建立生态草业特区,探索草原牧区发展新模式》的咨询报告中,正式提出了“草牧业”的发展理念^[8]。时任副总理汪洋在2014年10月召开的草原工作专题研讨会上,肯定并倡导“草牧业”的提法,并指示要进行试验示范。随后“草牧业”一词被写入2015年中央一号文件,中央要求加快“发展草牧业,……开展粮改饲和种养结合模式试点”。随后,农业部出台了一系列有关发展草牧业的文件(如“农业部关于进一步调整优化农业结构的指导意见”“农业部办公厅关于印发促进草牧业发展指导意见的通知”),提出农业要“转方式、调结构”,鼓励耕地种草、开展“粮改饲”试点,促进牛羊等草食畜牧业

发展。我国农业生产正式开启了草牧业的实践。

1 草牧业的概念、内涵及意义

1.1 草牧业概念

“草牧业”字面上是草业和畜牧业结合而简化的复合词,实际上在其内涵上有显著的拓展和深化。为了更好地理解“草牧业”一词,方精云等人^[5]梳理了与其有关的畜牧业、草业、草地农业等术语,现介绍如下。

“畜牧业”主要是利用畜禽等已经被人类驯化的动物,通过人工饲养、繁殖,使其将牧草和饲料等植物能转变为动物能,以取得肉、蛋、奶等畜产品的产业。利用草地直接放牧牲畜,或将草地作为饲草刈割地以饲养牲畜的畜牧业即为“草地畜牧业”。“草业”一词最早由郎业广先生^[9]于1982年提出。后来,《中国草业可持续发展战略研究》一书对草业的内涵进行了较深入的阐述^[10]。按照此书的定义,狭义的草业是指以草原为基础的草原畜牧业和草原保护建设;广义的草业涵盖草原畜牧业,草原保护建设,草资源管理,草及草产品生产、加工和经营,草业科技教育等领域^[10]。随后,草业的概念被进一步拓展和深化。按照韩建国^[11]的定义,以保护、利用天然草原,培植利用人工草地等措施,通过保护、建设、生产、加工、利用、交换等手段,达到合理利用草资源、草产品及其加工品等创造财富或改善环境,提供旅游服务,创建生态屏障等方面发挥其功能,产生综合效益的产业都属草业的范畴^[11]。

“草地农业”最早于1984年由任继周先生^[12,13]提出,就是把牧草(含饲用作物)和草食家畜引入农业系统,把耕地和非耕地的农业用地统一规划,把牧草作为基质,除了天然草地以外,在耕地上实施草粮结合、草林结合、草菜结合、草棉结合、草菸结合等,以草田轮作、间作、套种等技术系统,充分发挥各类农用地生产潜力的生产潜势。它是一个多层次的现代化综合农业系统,突破了“以粮为纲”的思维定式,使草业与林业、农田等其他农业系统耦合,成为大农业系统(此段改自于方精云等人^[5])。

“草牧业”从字面上可以理解为是“草业”和“畜牧业”的合成词,但它不是两者的简单叠加,而是在传统畜牧业和草业基础上提升的新型生态草畜产业。它强调饲草料(广义的牧草、饲草)在我国畜牧业发展

中的基础作用,无论是在草原牧区还是在农区发展畜牧业,发展饲草业都十分重要。

本文对草牧业的定义如下.草牧业(grass-based livestock husbandry, GLiH)是通过天然草地管理和人工种草,经合适的技术加工,获取优质高效的饲草料,进行畜牧养殖和加工的生产体系,包括种草、制草和养畜(含畜产品加工)三个生产过程.其特点是,在草原地区,科学配置草地的生态和生产功能,强调人工种草与天然草地保护及适度利用相结合;在农区,强调人工种草的基础作用,实现饲草生物量的全部利用;在南方低山丘陵,在重视发挥植被的水源涵养和水土保持功能的前提下,适度利用草山草坡的生产功能,发展高效特色草牧业.草牧业也可简单定义为:融合草业和畜牧业生产技术,重视草产品加工过程,发展优质高效畜禽养殖和加工的生产体系.“草牧业”概念的精髓在于:草-畜结合、草-畜协调、草-畜互为依存.它强调生产功能和生态功能的统一和双赢;与传统畜牧业相比,草牧业具有明显的科学性、生态性和先进性.从生产功能上讲,“草”是“牧”的物质基础,“牧”是“草”的出口,两者互为依存、不可分割,单做一方面都不可持续.这解决了长期困扰我国草业和畜牧业发展的草畜矛盾、草畜“两张皮”的问题.从生态功能上讲,“草牧业”在强调草地生产和生态的同时,更关注草地的生产和生态功能的合理配置与协调发展,即利用小面积水热条件良好的土地建成集约化人工草地,发挥其生产功能,保障畜牧业发展所需的饲草;对大面积天然草地进行保护、恢复和合理利用,提升其生态功能。

1.2 草牧业的内涵及意义

如前所述,草牧业是在传统畜牧业和草业基础上提升的一种生态草畜产业,它由种草(草业)、养畜(畜牧业)以及连接草-畜两者之间的制草(草产品加工)三个生产体系组成,它们构成有机的统一整体(图1)。

种草(forage cultivation). 种草,为广义的饲草料生产过程,主要指以人工草地为主、天然草地为辅的饲草料供给系统,它是草牧业发展的基础.饲草料的种类按来源可以分为天然饲草和人工饲草,其中,天然饲草主要来源于广阔的自然草地,而人工饲草的来源主要包括人工草地、引草入田和草田轮作等生产系统产出的饲草料.生产饲草料的植物也包括饲用作物(如饲用油菜(*Brassica napus* L.)、燕麦(*Avena*

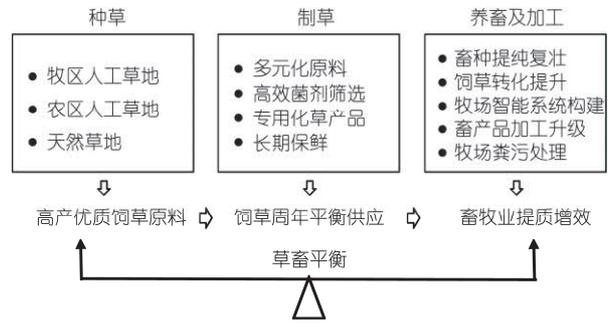


图1 草牧业内涵框架图.草牧业由种草、制草以及养畜等三个产业体系组成,只有三者构成统一的整体,才能实现草畜平衡

Figure 1 Conceptual diagram of Grass-based Livestock Husbandry (GLiH). GLiH is consisted with three production systems, including forage cultivation, forage processing, and livestock management and production. The “forage-livestock balance” can be achieved only at the condition of integrating the three production systems

sativa L.))和木本饲料(如构树*Broussonetia papyrifera* L.、桑树*Morus alba* L.).我国草原牧区大多处于干旱半干旱地区,不仅年际降水量变动大,而且降水的季节分配经常与牧草的需水规律不一致,加之我国的天然草地大面积退化,天然草生产面临着产量低、品质差、年际波动大等问题,生产上很难真正做到“以草定畜、草畜平衡”.因此,通过人工草地、引草入田、草田轮作等途径,建设一批高产、优质、高效的饲草生产基地,建设“草库”(类比于居民口粮的“粮库”),实施“储备草”工程,实现周年稳定的饲草供给,这对于草原牧区畜牧业的可持续发展至关重要.在人工种草中,随着我国农业结构的不断完善与有序调整,农区和南方草山草坡地区种草将日显重要。

制草(forage processing). 草产品是以各种商品化的优质饲草为原料,进一步加工调制而成的饲草产品.根据生产目标和调制加工方式的不同,草产品大致分为:干草(草捆、草粉)、成型草(草颗粒、草块、草砖)和发酵草产品(青贮、微贮、黄贮)等三类.将饲草开发成一系列饲草产品,如青贮饲料等,不仅有助于牧草价值的提高和农业结构的调整,也有利于整个草产业的升级.只有通过草产品的系统升级,才能有效地解决饲草供应的季节性和地域性平衡以及饲草产品在饲喂日粮配比中营养平衡的问题.在畜牧业发展中充分利用并推广草产品,不仅可以解决我国夏秋季节牧草供应过剩、冬春季节青饲料供应不足的问题,而且可以显著提高畜产品的产量与质量。

我国牧草种植和收割技术比较落后、粗放,草产品加工技术还没有规模化应用,这直接导致我国草产

品质低、市场竞争力弱。其次,我国牧草收割加工机械设备严重依赖进口,而其高昂的价格限制了草产品的机械化生产和企业的投资能力。此外,我国牧草种植区域广、不同地域气候差异大,这限制了草产品生产的合理布局。为此,应开展如下3个方面的工作。

(1) 高效青贮复合菌剂的研制及应用。主要包括:根据种植饲草的种类不同和贮藏环境的特殊性,探索饲草原料最佳的贮存及青贮加工方式;选育适于不同种类草料青贮加工的活力强、产酸高、稳定性好、耐低温、降解纤维素或具益生功能的微生物菌种,并研究其最佳的发酵生产工艺;研制及生产高效青贮微生物复合菌剂,并应用于高品质青贮饲料产品的加工。

(2) 打造优质草产品,促进畜牧业全面提质增效。依据不同种类饲草或农产品废弃物特点,确定最适加工工艺,实现饲草资源的高效饲用化利用,打造优质草产品;依据饲喂畜禽的种类、年龄、性别、生理阶段和生长速度等因素,与精饲料进行合理配比,建立饲草最优的组配方式,最大程度地提高饲料利用效率,通过科学饲喂,确保采食营养均衡,促进畜禽提质增效。

(3) 建立我国自己的“草库”。在“以粮为纲”的年代,我国大大小小的粮库为保障粮食安全做出了重大贡献。随着我国种植结构的调整,畜牧业的比重不断增加,如何保障饲草供应不受季节、地域或自然灾害等影响,实现饲草全面稳定供应迫在眉睫。选择一些适宜地区建立草产品基地,利用一些产草区的饲草资源,通过科学的草产品加工,建立贮存优质草产品的草库,并逐渐形成全国的草库网络。

养畜及畜产品加工(livestock management and production)。国内畜牧产业存在4方面的问题:(1) 品种特而不优,影响了整个产业链的水平;(2) 养殖水平相对落后,草-畜转化效率较低,增加了饲养成本,降低了收益;(3) 先进、可靠、成熟的畜牧产业提质增效技术的优化配置和应用不足;(4) 畜产品安全已成为制约畜牧业发展的重要因素。

为解决以上问题,畜牧业应向如下3个方面发展。(1) 以人工草地种植促进畜牧业养殖的转型发展。人工草地的建设为畜牧业养殖方式的转型发展提供了有力的保障,草食家畜的饲养方式从放牧散养的粗放管理向集约和规模化舍饲、半舍饲方向转变。玉米(*Zea mays*)和甜高粱(*Sorghum dochna*)的混种混收、燕

麦草和禾本科作物的混种混收等技术的研发使得饲料营养搭配更加均衡和科学,而添加菌剂的贮藏加工技术改善了饲料品质和延长了贮存期,不仅为草食家畜提供了充足且常年均衡供应的优质青绿饲料,也为改变我国草食家畜养殖生产过程中长期存在的“夏肥、秋壮、春瘦、冬死亡”现象、实现优质畜产品的常年均衡化生产和供应提供了关键的条件。(2) 通过先进技术的优化配置以及规模化和更科学的生产方式,实现草-畜高效转化和畜牧业提质增效,达到效益最大化,促进现代草畜牧业的高效发展。(3) 适合区域畜牧业发展的饲喂/放养模式。根据区域特色和区域发展的需求,通过全产业链设计和先进技术的优化配置,逐渐形成以现代大型集约化养殖为基础的农区生态畜牧业发展模式和以草原放牧加补饲为基础的牧区生态畜牧业发展模式,以及以放牧加舍饲、基地加农户、小型集约生产带动农户散养的生态养殖产业发展模式。

发展草畜牧业具有十分重要的现实和深远意义。首先,草畜牧业是农业供给侧结构性改革的重要内容。供给侧结构性改革是中央工作的重点之一,农业供给侧结构性改革的要义就是围绕居民需求进行食物生产。随着居民膳食结构的改变,人们对肉蛋奶等动物性食品需求大幅增长,但生产供给无论是质量还是数量均与消费需求存在较大差距。加快发展草畜牧业,推动草畜配套和产业化,满足人们对绿色、优质、安全畜产品的需求,是推动我国农业供给侧结构性改革的重要内容。

其次,草畜牧业是推进生态文明建设的重要举措。生态环境保护和生态文明建设是我国可持续发展的基础。我国草原面积广阔(具体数字有不同说法,见沈海花等人^[14]和方精云等人^[15]),是我国最大的陆地生态系统,是荒漠化防治的第一道防线,在建设生态文明、确保我国生态安全中具有不可替代的重要作用。但是,草原也是我国生态敏感和脆弱区,大力发展草畜牧业,利用小面积水肥条件好的人工草地生产优质高产的牧草,保障畜牧业发展所需要的牧草,而将大部分的天然草地保护起来并加以恢复,发挥其生态功能。简言之,利用草畜牧业理念来进行草原地区生产实践,可以做到生态和生产功能的“双赢”,是草原生态恢复必经的过程。

再次,草畜牧业是农牧民增收致富的重要途径。由于农产品受成本抬升和价格封顶的双重挤压,原来

以粮食作物为主的农业生产活动导致农牧民收入减少。草牧业理念解决了草畜矛盾、草畜“两张皮”的问题，减少了生产过程中的风险和制约因素，拓宽了生产发展的空间，促进了农牧民增收。通过种草带动制草和养畜，通过养畜进一步带动产品深加工、仓储、物流以及旅游等产业融合，多环节为农牧民提供就业增收的机会。因此，草牧业理念带来的多元化牧区产业、多渠道收入，有效解决了牧区和牧民的“生产、生活、生态”问题。

2 草牧业的关键科技问题及科技创新

补齐草牧业短板，关键在科技。我国草牧业发展中存在的主要问题有以下5个方面。

(1) 缺乏优质草畜品种。我国牧草种质资源有待挖掘，现代育种技术几乎没有应用到草业领域；同时，也缺乏集约化、规模化的草畜良种繁育基地。以牧草为例，美国有220个苜蓿(*Medicago*)品种提供给用户，而国内大面积推广的苜蓿品种(含引进国外培育的品种)不足20种；紫花苜蓿是我国种植面积最大的人工牧草，其用种量的80%以上来自进口^[16]。在畜牧育种方面同国外的差距更大，进口品种主导着我国的种畜禽产业。近年来，广泛养殖的生猪良种杜洛克、长白、大约克等三元杂交猪主要来自欧洲和美国，肉牛良种西门塔尔来自德国，原产于南非波尔山羊从德国等国引进，肉鸡AA、罗斯来自美国，蛋鸡罗曼来自欧洲，“樱桃谷”鸭来自英国，愈来愈多的“洋品种”正在取代中国传统品种。随着规模化经营的发展，这种状况将进一步加剧，资源保护与现代育种将更加脱节。从国家的长远利益、科学的角度考虑，重复、大批量的引进品种不仅带来资金的大量流失，而且可能丧失我国选育水平和发展动力，导致畜牧发展基础的动摇和退化。

(2) 我国人工草地规模小、产量低、品质差，并缺乏现代草业的技术集成。2012年我国实施“振兴奶业苜蓿发展行动”以来，全国苜蓿种植面积迅速扩大，但受苜蓿收获贮藏技术的限制，我国80%以上的苜蓿产品质量为一级以下，而美国70%以上为一级苜蓿^[16]。

(3) 我国天然草地退化面积大，在60亿亩(1亩=0.067 ha)草地中，约90%以上发生了不同程度的退化，由此导致草地生产力低、生态效益差。我国天然草地缺乏有效的管理模式和快速恢复的技术体系。

(4) 草产品种类单一，加工设备及技术落后，收获贮藏损失大，饲喂效率低。我国草产品品种主要是紫花苜蓿和羊草(*Leymus chinensis*)，其中紫花苜蓿占90%以上。产品结构中，草捆占77%、草块2%、草颗粒8%、草粉7%、其他草产品约占6%^[16]。由于牧草收获机械化水平低，不能及时有效地收获并贮存足够的牧草供应牲畜越冬。据统计，每年机械化收获的牧草占可收贮牧草的比例不足10%，大量的牧草不能收回，致使草原畜牧业抵御自然灾害的能力脆弱^[17]。草机械生产制造企业的产品质量低、使用故障多、可靠性差。例如，往复式割草机工作半天即需刃磨，使用可靠性不到80%。国外搂草机弹齿工作400 ha，断齿率仅为4%左右，而我国的产品在同样作业量的情况下，断齿率为25%左右^[18]。在饲草加工储存方法方面，我国大部分地区还是沿用传统的草垛晾晒技术，该技术虽然成本低，但干燥时间长、营养耗损大，使饲草浪费35%~55%^[19]。在青贮饲料方面，我国各地青贮基本以自然发酵为主，乳酸菌添加剂没有得到广泛普及，由此导致青贮干物质损失率在5%~20%，蛋白质损失5%~10%^[20]。另外，我国牧草主产区和畜产区存在地域不平衡，草地-畜产没有形成产业一体化，在优质粗饲料缺乏时不能及时补充。

(5) 畜牧业设施设备滞后，基础设施薄弱，抵抗天灾(冻灾和旱灾)的能力差，缺乏水资源的有效利用技术。

为了从根本上解决我国草牧业的科技短板问题，国家需要部署一批重大任务，为现代草牧业的发展奠定坚实的科技基础。

(1) 加强草牧业基础生物学研究。研究优质牧草和优良畜牧品种的生理学、生态学、遗传学、发育学、组学及作物学特性和规律，开展重要的优质牧草和畜牧品种的全基因组测序，研究牧草高效基因组编辑技术，为牧草和畜牧品种选育和改良，提高生产力及优质性状提供坚实的生物学基础。

(2) 加快草畜良种的选育及种质资源圃及繁育基地建设。在对我国草地资源清查的基础上，构建国家牧草种质资源库和野外基地；应用现代分子生物学技术，结合传统育种选种技术和方法，强化草畜良种的选育工作；加强良种繁育基地建设。

(3) 建立人工草地种植及天然草地保护修复技术体系。牧草具有多年生和收获营养器官等特点，因此，需要根据不同地区的气候特点以及不同类型的

人工草地,建立“适地适草”人工草地生产和管理技术体系.研究天然草地的退化成因及恢复机理和技术,建立生产和生态功能双赢的天然草地保护与改良技术体系.

(4) 促进草产品加工技术研发.目前我国在牧草收获加工、贮存等环节,技术和设备落后,养分损失严重,要根据不同的牧草特点,建立一套规范的草产品加工与贮藏技术体系.

(5) 不同地区规模化草牧业试验示范.分别在北方干旱半干旱区、青藏高寒区、东北华北湿润半湿润区、南方区,研究草田轮作、引草入田模式及技术体系,开展不同地区草牧业发展差异性的研究,集成不同地区的研发成果,探索适应不同地区草牧业试验示范模式及发展技术路线,促进草畜配套、良性循环,提高草原生态产品的生产能力,实现生产与生态协调发展.

3 发展草牧业应遵循的基本原理

方精云等人^[5]提出发展现代草业应遵循的7个基本原理.这些原理也同样适用于发展现代草牧业,但需要作适当调整,现提出8个基本原理,它们构成支撑我国草牧业发展的科学基础.

3.1 草畜良种选育原理

基于现代基因组学与杂交选育原理,开展草畜良种繁育的基础生物学研究,广泛收集种质资源,充分利用主要牧草资源近缘种和本土畜种的遗传多样性,挖掘高产稳产、优质高效的基因资源和种质资源;采用现代分子标记、基因组育种、基因组编辑和杂交育种技术,结合不同区域特点,培育出适合的高产、优质、高抗性的品种.推进现代技术与传统技术的融合,将外来的技术本土化,将本土技术现代化,加速品种遗传改良和升级换代.

优良牧草的特性包括高产、优质和强抗逆性(抗寒、抗旱、抗病、抗虫、耐盐碱、耐牧等)^[21].优良牧草的品种选育应结合不同区域气候特点和土壤条件,筛选出适合当地气候和土壤条件的高产、优质、高抗性的品种,如我国种植苜蓿的6大区域,分别需要不同抗性的苜蓿品种^[22].我国应加强现代生物技术在优良牧草品种资源选育与改良中的应用,挖掘抗逆性强、养分和水分高效利用的优异牧草基因,并建立牧草品种测试的标准指标.在畜牧良种选育方面,要组建优良基础群,开展本土品种选育,保持家畜优良性状并加以提高;运用分子育种技术开展良种选育,培育不同生产方向的专用型新品种或品系,提高家畜自身的生产性能,使优质的饲草料通过优质的畜种产生最大化的效益.

3.2 人工草地建植原理

草牧业的一个重要内容是发展小面积的人工草地,来满足畜牧业发展所需要的优质牧草,同时缓解大面积天然草地的放牧压力,使其得以保护和修复.为什么要发展人工草地?有三个重要原因:(1)人工草地产量高、质量好.一般来说,人工草地的产草量是天然草地的10~15倍;如按蛋白质产量计算,则是天然草地的20~40倍(表1和2).(2)我国草原牧区降水量和产草量年际波动大,发展优质高产人工草地,可以保证饲草的稳定供给,解决季节性和区域性不平衡的问题.(3)发展人工草地为天然草地生产和生态功能的提升奠定基础.目前,我国天然草地的生产力水平远低于其生产潜力,减轻放牧压力后,其生产和生态功能都会得到恢复和提升.

3.3 天然草地保护恢复与适度利用原理

我国广袤的天然草地不仅具有牧草生产功能,而且具有涵养水源、固持土壤、防止沙尘暴、调节气

表1 天然草地与人工草地牧草产量、粗蛋白含量和蛋白质产量的比较^[23]

Table 1 Comparison of dry-matter yield, crude protein and protein content between natural and cultivated grasslands^[23]

草地类型	牧草产量(干重t ha ⁻²)	粗蛋白含量(%)	蛋白质产量(kg ha ⁻²)	文献来源
天然草地	0.75	6~8	53	[16] [24]
苜蓿人工草地	5~15	18~22	2000	[25]
燕麦人工草地	9~15	8~11	1140	[26]
羊草人工草地	6~9	10~18	1050	[27]
青贮玉米	16~28	7~8	1540	[28]

表2 内蒙古呼伦贝尔试验区人工草地与天然草地牧草产量和品质的比较^[23]Table 2 Comparison of dry-matter yield and herbage quality between cultivated and natural grasslands in Hulun Buir, Inner Mongolia^[23]

草地类型	牧草产量(干重kg 亩 ⁻¹)	比天然草地增加(倍)	粗蛋白含量(%)	比天然草地提高(%)
天然草地	58	-	6.2	-
苜蓿人工草地	422	6.3	22	255
燕麦人工草地	610	9.5	9.5	53
青贮玉米	2218	37.2	7.1	15

候、传承文化等多种生态功能。其丰富的生物多样性资源更是我国宝贵的植物基因库。因此,对天然草地的管理需要遵从生产与生态功能相兼顾、生态优先的原则,也就是对我国大面积退化的天然草地进行保护、恢复和适度利用。

天然草地的保护与恢复主要是保护和恢复天然草地的植被盖度、生物多样性、生产力和优质牧草的比例。适度利用是在恢复的基础上有计划地进行放牧或刈割,防止生物多样性降低、避免天然草地再次退化,使天然草地的利用进入可持续的良性循环之轨道。

增加生物多样性有利于生态系统生产力的提高^[29]和稳定性的维持^[30]。因此,天然草地恢复的目标之一就是恢复草地的生物多样性。根据中度干扰理论^[31],自然群落的生物多样性在中等干扰强度下达到最高,也就是说,适度利用是维持草原生态系统生物多样性的重要措施。放牧优化理论^[32]也认为,在中等放牧强度下草原群落的生产力达到最高。上述生态学理论为天然草地的适度利用提供了重要的依据。

事实上,天然草地的保护恢复和适度利用不是单一技术能够实现的,需要多种技术进行集成。呼伦贝尔草牧业试验区的实践证明,“一休”(季节性休牧)、“二轮”(牧刈轮替、分区轮刈)、“三调”(养分调控、植物生长调控、土壤微生物调控)、“四补”(补豆科牧草、补优质禾本科牧草、补特色植物、补土壤养分)的技术体系可显著提升天然草地的生产力和优质牧草的比例(表3)。

值得注意的是,尽管这一天然草地恢复的技术体系在典型草原区和草甸草原区具有很好的应用前景,但在其他地区的应用还需要进一步的检验和实践。

3.4 草地的生产功能和生态功能合理配置原理

如前所述,一般来说,人工草地的产草量是天然

表3 内蒙古呼伦贝尔试验区天然草地恢复示范效果^[23]Table 3 Effects of restoration on natural grasslands in Hulun Buir, Inner Mongolia^[23]

处理	牧草产量/范围 (干重kg 亩 ⁻¹)	优质牧草占比/ 范围(%)	覆盖度 (%)
对照	58(43~67)	17(12~21)	35
羊草促进处理	173(150~191)	81(56~92)	74
草地改良处理	155(132~169)	67(55~78)	66

草地的10~15倍(表1和2)。因此,采取人工草地与天然草地1:9进行配置,即利用不多于10%水热条件良好的土地建立集约化人工草地,使优质饲草产量提高10倍以上;将剩下的90%以上的天然草地进行保护、恢复和适度利用,提升其生态屏障和景观旅游功能,实现生产和生态功能的双赢,称其为“以小保大”原理,又称1:9配置原理^[23]。实际上,人工草地和天然草地的面积比到底需要多大,要根据不同区域的气候和土地状况、畜牧业生产规模、草地生长现状(如退化程度)等而定,并非一成不变。

3.5 饲草高效收获与加工原理

收获时机和方法是牧草高效收获的两个重要因素。饲草的最佳收割时间与牧草种类、牧草的生长发育规律、外界环境条件和饲养家畜的种类等因素有关。牧草在营养生长期质量最高,但此时生物产量较低,从营养期到现蕾期、花期,牧草的产量逐步提高,但质量却在现蕾期后开始下降。尤其是豆科牧草,其茎叶中蛋白质含量较高,因此在现蕾期至开花率20%以内的时期收获,牧草的产量和质量二者综合价值达到最佳^[33,34]。不同时期收获的牧草品质不同,饲喂奶牛后会影响到其产奶量^[35]。总之,能够获得较高的生物产量和质量,最终取得最大的经济效益,即为牧草的最佳收割期。同时,收获时要通过压扁茎秆等方法提高干燥速率,降低呼吸作用的损失;采用适合的收获机械,减少叶片损失。

草产品加工是连接草与畜的关键环节,在草牧业体系中具有独特的作用,这在以往没有引起足够的重视.如前所述,依据生产目标和调制加工方式的不同,草产品大致可分为干草、成型草和发酵草等三类产品.只有通过草产品系统升级化,才能有效解决牧草供应的季节性和地域性不平衡以及草产品在饲喂日粮配比中的营养平衡问题.发展草产品产业,不仅可以解决我国夏秋季节牧草供应过剩和冬春季节青饲料供应不足的困难,还可以显著提高畜产品的产量和质量,提高饲料转化率和肉羊的日增重.如表4显示,饲喂加菌的玉米青贮饲料与其他试验组相比,显著提高了饲料转化率和肉羊的日增重.

3.6 畜禽高效饲喂原理

优质饲草料的科学种植和加工,如玉米和甜高粱的混种混收技术可以使饲料的营养搭配更加均衡,同时有利于抗倒伏和土地的有效利用,而添加菌剂的贮藏加工技术可显著改善饲料品质,并延长贮存时间,实现优质青绿饲料的常年均衡供应.

根据畜禽不同品种、不同性别、不同生长阶段和生产方向对营养需求的不同,通过多元饲草料搭配后营养价值的分析及饲喂效果评价,建立家畜优化的饲料配比和最佳的饲喂模式,可提高饲料利用率15%以上^[36].基于家畜舍饲、半舍饲人工种植青绿饲料的全年均衡化供应,运用同期发情、早期断奶、集中育肥等技术,可以提高家畜繁殖效率和肉用家畜年出栏率20%~30%,在肉羊生产中还可实现两年三胎,实现育肥牛、羊肉的全年均衡化生产和供应(呼伦贝尔畜牧团队试验结果,未发表数据).

家畜自身生产性能的提升是提高草畜转化效率的重要途径之一.通过品种选育和专用型新品种的

培育,提高家畜自身生产性能,使优质的饲草料通过饲喂优质的畜种实现效益的最大化.

3.7 水分有效利用原理

水分的有效、合理利用可以通过多个途径去实现.例如,根据草牧业系统各产业的水资源需求,精细规划水源及配置;构建高效灌溉设施工程;培育和引进水分利用率高的品种;改变耕作方式,发展集水蓄水、节水灌溉和保墒技术;发展草牧业全产业链水循环利用技术等.

水分是影响人工草地生产力的瓶颈因素.例如,苜蓿的耗水量与气候条件和灌溉模式有关,全生长季的耗水量为300~2250 mm^[37~40].不同气候区域、灌溉模式及刈割茬次,苜蓿的水分利用效率不同,种植当年苜蓿的水分利用效率为0.8~1.2 kg m⁻³,种植2年以上为1.2~2.5 kg m⁻³^[40~42].

我国北方干旱半干旱地区降雨较少,发展人工草地,灌溉是其获得水分的主要途径.因此,采取节水灌溉措施,提高水分利用效率是关键.采取地下滴灌技术不仅比漫灌节水50%~70%,且干草产量也比漫灌提高20%~40%;同时,肥料随水直接进入植物根际的土壤中,肥料的利用率也比地面撒施提高15%~20%^[43].

3.8 区域系统发展原理

草牧业发展涉及自然、经济、社会、生活和文化等多个方面,并非某一政策、单一技术、某项措施、小规模示范等就能解决,必须进行统筹规划、顶层设计和科学管理,建立草业、畜牧业和草产品加工业以及相关的产业(如高值农业、特色生物产业、生态旅游)构成具有完整产业链的草牧业系统(图2),实现生态保护和经济发展的协调,同步推进社会经济发展和自然生态改善.从全国范围看,草牧业可以分为北方草原牧区草牧业、农区草牧业和南方草山草坡草牧业三大类型.在北方草原牧区,草地是牧民赖以生存的最重要的生产资料和生活资料,牧民、牲畜、草地都是生态系统的重要组成部分,牧区经济发展与生态保护二者并不矛盾^[44],应遵循“生态优先,以草定畜”的原则,通过发展小面积高产高效人工草地,生产足量的优质牧草,实现大面积(90%以上)天然草地的恢复、保护与合理利用,恢复“风吹草低见牛羊”的自然景观.在农区,遵循“粮草协调、以畜定草”的

表4 肉羊饲喂对比试验^{a)}

Table 4 Comparative feeding experiment of mutton sheep^{a)}

设置组	体增重(kg 只 ⁻¹)	饲料转化率 (饲料/增重)
黄贮对照组	20.0 ^c	5.1 ^a
青贮菌剂组	23.0 ^a	4.4 ^c
青贮对照组	20.6 ^c	4.9 ^a
酵母益生菌组	21.8 ^b	4.6 ^b
枯草益生菌组	21.7 ^b	4.6 ^b

a) 同列肩标有相同字母表示差异不显著($P>0.05$),不同表示差异显著($P<0.05$)

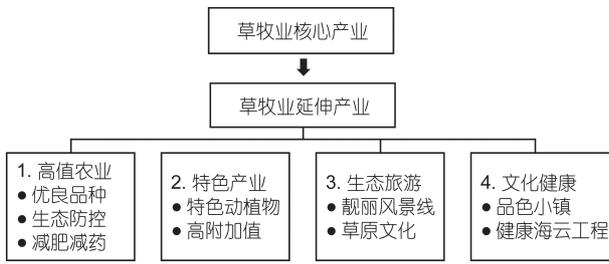


图2 草牧业系统概念图. 作为草牧业的延伸产业, 高值农业、特色产业、生态旅游和文化健康产业对发展草牧业也至关重要, 它们共同构成草牧业系统

Figure 2 Conceptual diagram of Grass-based Livestock Husbandry system. As extended production systems, value-added agriculture, special industry, ecological tourism and cultural health care are also very important. They constitute the GLiH system together

原则, 通过引草入田、草田轮作, 减少化肥农药施用, 加速土壤修复; 通过畜禽粪污资源化利用, 改善农村生态环境, 服务于美丽乡村建设. 针对南方草山草坡, 遵循“因地制宜, 适度利用”的原则, 在保护植被生态的前提下, 发挥边际土地的作用, 发展高产高效特色草牧业.

4 草牧业示范区及其实践

为了践行草牧业理念, 提出“生态草牧业示范区”构想(由早期的“生态草业特区”演变而来), 也就是以一个完整的社会经济单元为基本单位, 进行自然-经济-社会复合系统诸要素的整体设计和调控.

“生态草牧业示范区”(简称示范区)的精髓在于, 在一个较大的区域内, 采用可持续生态学原理、基于现代农业的发展思路, 集成现代科技成果, 科学规划、合理布局、精细管理, 发展以人工草地和现代化畜牧业为主、多种特色生物产业和文化产业为补充, 并大幅提升草地生态功能的科技先导型示范实体. 它是探索具有中国特色草牧业发展模式的大型示范区, 是我国牧区生态文明建设的“试验田”.

示范区是以草原土地为保护和生产利用对象, 其土地空间异质性大、自然依赖性强, 生产活动需要有较大的回旋空间. 因此, 示范区建设要求有足够大的面积. 只有这样, 才能形成规模效应, 其积累的经验和技术才能推广和向周边辐射, 同时也才能有效发挥其生态功能, 实现牧区“三生”(生态、生产、生活)和谐发展.

为探索“示范区”的实现途径, 2015年开始, 本研究组与内蒙古呼伦贝尔农垦集团合作, 共同推进“呼

伦贝尔生态草牧业示范区”建设. 呼伦贝尔农垦集团是大型国有农垦企业, 拥有600万亩耕地、1000万亩草场、40万亩林地、13万亩水面; 集团田间农业综合机械水平达95%; 拥有各类技术人员4000多人, 是实施生态草牧业示范区的理想场所.

虽然示范区的试验示范工作才2年时间, 但取得了明显的经济和生态效益, 主要有:

(1) 成功引进了饲草品种19个、粮油作物10个、经济作物8个, 为当地农业结构调整提供了重要的种质资源;

(2) 构建了人工草地新型栽培模式; 燕麦、苜蓿人工草地干草亩产超过500 kg, 青贮玉米/甜高粱亩产鲜重5~7 t(图3).

(3) 集成天然草地恢复技术, 退化草地生产力增长约2倍, 达到150~170 kg 亩⁻¹(对照区平均约60 kg 亩⁻¹); 优质牧草比例(如羊草)由对照区的20%增加到了60%~80%(图4).

(4) 获得了多种适宜本地区的饲草料高效加工菌剂, 提高牧草营养价值约30%, 延长牧草保鲜期2年; 牛羊产肉性能提高10%以上.

(5) 油菜种植引进生态防控技术, 马铃薯(*Solanum tuberosum* L.)生产引进肥料缓释增效等新技术, 减施农药和化肥分别约为50%和20%~30%.

(6) 研制新型耐磨材料, 替代进口农机配件, 降低成本约65%; 建立了试验区全覆盖的草牧业物联网指挥和监控系统, 形成了农畜产品从田间到餐桌的溯源体系.

按照这些试验结果, 发展50万亩的人工草地(约占天然草地的5%), 就可以满足农垦目前170万个羊单位的牧草需求. 此外, 通过天然草地恢复改良技



图3 内蒙古呼伦贝尔苜蓿人工草地长势

Figure 3 Cultivated alfalfa grassland in Hulun Buir, Inner Mongolia



图4 内蒙古呼伦贝尔天然草地恢复效果

Figure 4 Effect of natural grassland restoration in Hulun Buir, Inner Mongolia

术, 1000万亩天然草地可增加生产干草50万 t, 这样可以再扩大养殖规模近90万个羊单位, 相当于整个

农垦新增53%的畜产品。

目前, 本研究组正在呼伦贝尔农垦, 配套实施一系列的保障措施, 更加有效地实践草牧业的发展理念, 如综合设计建制制的、具有推广价值的“草牧业”示范样板, 打造从饲草种植-草产品加工-畜牧高效养殖-乳肉产品深加工-粪污资源化利用为一体的草畜产业协调发展的循环产业链; 引入市场运行机制, 创新品牌, 促进三大产业有机融合; 系统开展科技教育与培训, 为草牧业可持续发展提供人才保障, 实现生态改善、企业增效、牧民增收。通过这些措施的实施, 希望探索出一条全新的草牧业发展模式, 破解我国草牧业发展中的诸多瓶颈问题, 为我国草原牧区的可持续发展和生态文明建设提供借鉴和示范。

参考文献

- 1 National Bureau of Statistics of the People's Republic of China. China Statistical Yearbook-2013 (in Chinese). Beijing: China Statistics Press, 2014 [中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴-2013. 北京: 中国统计出版社, 2014]
- 2 State Administration of Grain. China Grain Development Report (in Chinese). Beijing: Economy & Management Publishing House, 2013 [国家粮食局. 中国粮食发展报告. 北京: 经济管理出版社, 2013]
- 3 Ren J Z. The structure of traditional agriculture of China must be changed—Worries after nine consecutive increase in food (in Chinese). Acta Pratacult Sin, 2013, 22: 1-5 [任继周. 我国传统农业结构不改变不行了——粮食九连增后的隐忧. 草业学报, 2013, 22: 1-5]
- 4 Ren J Z, Chang S H. Using grassland agricultural systems to ensure the food security (in Chinese). Chin J Grassland, 2009, 31: 3-6 [任继周, 常生华. 以草地农业系统确保粮食安全. 中国草地学报, 2009, 31: 3-6]
- 5 Fang J Y, Bai Y F, Li L H, et al. Scientific basis and practical ways for sustainable development of China's pasture regions (in Chinese). Chin Sci Bull, 2016, 61: 155-164 [方精云, 白永飞, 李凌浩, 等. 我国草原牧区可持续发展的科学基础与实践. 科学通报, 2016, 61: 155-164]
- 6 Zhang X S, Tang H P, Dong X B, et al. The dilemma of steppe and it's transformation in China (in Chinese). Chin Sci Bull, 2016, 61: 165-177 [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]
- 7 Jia Z K, Wang L X, Han Q F, et al. Difficult conditions and wayout for agricultural development in the mountain area in the south part of Ningxia (in Chinese). Agric Res Arid Areas, 1994, 12: 26-33 [贾志宽, 王立祥, 韩清芳, 等. 宁南山区农业发展的困境与出路. 干旱区农业研究, 1994, 12: 26-33]
- 8 The working group of Eco-husbandry Special Region. Constructing the Eco-husbandry Special Region and exploring new developmental pattern of pasturing area (in Chinese). Advisory Report, Academic Divisions of the Chinese Academy of Sciences, 2014 [生态草业特区项目组. 建立生态草业特区, 探索草原牧区发展新模式. 中国科学院学部咨询报告, 2014]
- 9 Lang Y G. Pratacultural science of China (in Chinese). In: Second Academic Seminar of China Grassland Society. Lintong, 1982 [郎业广. 论中国草业科学. 见: 中国草原学会第二次学术讨论会. 临潼, 1982]
- 10 Du Q L. Sustainable Development Strategy of Chinese Prataculture (in Chinese). Beijing: China Agriculture Press, 2006 [杜青林. 中国草业可持续发展战略. 北京: 中国农业出版社, 2006]
- 11 Han J G. Grassland Science (in Chinese). 3rd ed. Beijing: China Agricultural Press, 2007 [韩建国. 草地学(第三版). 北京: 中国农业出版社, 2007]
- 12 Ren J Z, Xu G, Li X L, et al. Trajectory and prospecto of China's prataculture (in Chinese). Chin Sci Bull, 2016, 61: 178-192 [任继周, 胥刚, 李向林, 等. 中国草业科学的发展轨迹与展望. 科学通报, 2016, 61: 178-192]
- 13 Ren J Z. Establishment of an agro-grassland system for grain storage—A thought on restructure of agricultural framework in Western China (in Chinese). Acta Pratacult Sin, 2002, 1: 1-3 [任继周. 藏粮于草施行草地农业系统——西部农业结构改革的一种设想. 草业学报, 2002, 1: 1-3]

- 14 Shen H H, Zhu Y K, Zhao X, et al. Analysis of current grassland resources in China (in Chinese). *Chin Sci Bull*, 2016, 61: 139–154 [沈海花, 朱言坤, 赵霞, 等. 中国草地资源的现状分析. *科学通报*, 2016, 61: 139–154]
- 15 Fang J Y, Geng X Q, Zhao X, et al. How many areas of grasslands there are in China (in Chinese)? *Chin Sci Bull*, 2018, 63: 1731–1739 [方精云, 耿晓庆, 赵霞, 等. 我国草地面积有多大? *科学通报*, 2018, 63: 1731–1739]
- 16 Zhang Y J, Wang M L, Huang D, et al. Development trend and technical requirement of pasture industry in China (in Chinese). *Mod Anim Sci Vet Med*, 2011, 1: 8–11 [张英俊, 王明利, 黄顶, 等. 我国牧草产业发展趋势与技术需求. *现代畜牧兽医*, 2011, 1: 8–11]
- 17 Fang J, Shang L, Wang Q Y. Current situation and existing problems of machinery for forage harvesting in our country (in Chinese). *Agric Mach Quality Superv*, 2006, 1: 30–31 [房骏, 尚力, 王庆莹. 我国牧草收获机械的发展现状及存在问题. *农机质量与监督*, 2006, 1: 30–31]
- 18 Wang X Y. The design of optimizing grazing machine system of Tiange corporation (in Chinese). Master Dissertation. Harbin: Northeast Agricult Univ, 2004 [王晓燕. 天戈草业公司牧草生产机器系统优化设计. 硕士学位论文. 哈尔滨: 东北农业大学, 2004]
- 19 Jia Y S, Hou M L, Ge G T. The development of processing and technology on grass products in China (in Chinese). *Pratac Anim Husb*, 2016, 1: 1–6 [贾玉山, 侯美玲, 格根图. 中国草产品加工技术展望. *草业与畜牧*, 2016, 1: 1–6]
- 20 Wang X F. Construction of inoculating lactic bacteria and the mechanism during alfalfa silage making process (in Chinese). Doctor Dissertation. Beijing: China Agricultural University, 2006 [王小芬. 苜蓿青贮接种菌合系的构建及其在青贮过程中的作用机理. 博士学位论文. 北京: 中国农业大学, 2006]
- 21 Yang Q C, Sun Y. The history, current situation and development of alfalfa breeding in China (in Chinese). *Chin J Grassland*, 2011, 33: 95–101 [杨青川, 孙彦. 中国苜蓿育种的历史、现状与发展趋势. *中国草地学报*, 2011, 33: 95–101]
- 22 Yang Q C. Guide for alfalfa planting zone and cultivar (in Chinese). Beijing: China Agricultural University Press, 2012 [杨青川. 苜蓿种植区划及品种指南. 北京: 中国农业大学出版社, 2012]
- 23 Fang J Y, Pan Q M, Gao S Q, et al. “Small vs. Large Area” principle: Protecting and restoring a large area of natural grassland by establishing a small area of cultivated pasture (in Chinese). *Pratacult Sci*, 2016, 33: 1913–1916 [方精云, 潘庆民, 高树琴, 等. “以小保大”原理: 用小面积人工草地建设换取大面积天然草地的保护与修复. *草业科学*, 2016, 33: 1913–1916]
- 24 Zhou T R, Ge G T, Jia Y S, et al. The effect of advantage natural grassland on mixed grass group of silage quality (in Chinese). *Grassland Pratacult*, 2015, 27: 19–26 [周天荣, 格根图, 贾玉山, 等. 天然草地优势草种对其混合草群牧草青贮品质的影响. *草原与草业*, 2015, 27: 19–26]
- 25 Yang Q C, Kang J M, Zhang T J, et al. Distribution, breeding and utilization of alfalfa germplasm resources (in Chinese). *Chin Sci Bull*, 2016, 61: 261–270 [杨青川, 康俊梅, 张铁军, 等. 苜蓿种质资源的分布、育种与利用. *科学通报*, 2016, 61: 261–270]
- 26 Zhou Q P. Cultivation and Management of Plateau Oat (in Chinese). Nanjing: Phoenix Science Press, 2014 [周青平. 高原燕麦的栽培与管理. 南京: 江苏凤凰科学技术出版社, 2014]
- 27 Liu G S, Li X X, Qi D M, et al. Evaluation and utilization of *Leymus chinensis* germplasm resources (in Chinese). *Chin Sci Bull*, 2016, 61: 271–281 [刘公社, 李晓霞, 齐冬梅, 等. 羊草种质资源的评价与利用. *科学通报*, 2016, 61: 271–281]
- 28 Zhang X Q, Mu H B, Hou X Y, et al. Review on the planting of forage corn in China and its yield and quality (in Chinese). *Anim Husb Feed Sci*, 2013, 34: 54–57, 59 [张晓庆, 穆怀彬, 侯向阳, 等. 我国青贮玉米种植及其产量与品质研究进展. *畜牧与饲料科学*, 2013, 34: 54–57, 59]
- 29 Cardinale B J, Duffy J E, Gonzalez A, et al. Biodiversity loss and its impact on humanity. *Nature*, 2012, 486: 59–67
- 30 Tilman D, Reich P B, Knops J M. Biodiversity and ecosystem stability in a decade-long grassland experiment. *Nature*, 2006, 441: 629–632
- 31 Connell J H. Diversity in tropical rain forests and coral reefs—high diversity of trees and corals is maintained only in a non-equilibrium state. *Science*, 1978, 199: 1302–1310
- 32 Menaughton S J. Grazing as an optimization process—Grass ungulate relationships in the Serengeti. *Am Nat*, 1979, 113: 691–703
- 33 Undersander D. How and when to harvest high quality hay. In: the Fifth China Alfalfa Development Conference. Ar-Horqin-Banner, 2013
- 34 Wiersma D W, Smith R R, Mlynarek M J, et al. Harvest management effects on red clover forage yield, quality, and persistence. *J Prod Agric*, 1998, 3: 309–313
- 35 Kawas J R, Jorgensen N A, Danelon J L. Fiber requirements of dairy-cows: Optimum fiber level in lucerne-based diets for high producing cows. *Livest Prod Sci*, 1991, 2: 107–119
- 36 Ma Y S. Method and approach of raising livestock and poultry feed utilization rate (in Chinese). *Hunan Feed*, 2008, 6: 45–46 [马玉胜. 提高畜禽饲料利用率的方法与途径. *湖南饲料*, 2008, 6: 45–46]
- 37 Bauder J W, Bauer A, Ramirez J M. Alfalfa water use and production on dryland and irrigated sandy loam. *Agron J*, 1978, 70: 95–99
- 38 Sammis T W. Yield of alfalfa and cotton as influenced by irrigation. *Agron J*, 1981, 73: 323–329

- 39 Wright J L. Daily and seasonal evapotranspiration and yield of irrigated alfalfa in southern Idaho. *Agron J*, 1988, 80: 662–669
- 40 Sun H R, Liu G R, Zhang Y J, et al. Water requirement, water consumption, water requirement rate, water consumption rate and water use efficiency of alfalfa (in Chinese). *Pratacult Sci*, 2005, 22: 24–30 [孙洪仁, 刘国荣, 张英俊, 等. 紫花苜蓿的需水量、耗水量、需水强度、耗水强度和水分利用效率研究. *草业科学*, 2005, 22: 24–30]
- 41 Li F X. Research on subsurface drip irrigation (SDI) technology of alfalfa (in Chinese). Master Dissertation. Xi'an: Northwest A& F University, 2008 [李富先. 苜蓿地下滴灌技术研究. 硕士学位论文, 西安: 西北农林科技大学, 2008]
- 42 Wang D, Cao X C, Li F X, et al. Experimental result analyses of underground drip irrigation to alfalfa growth (in Chinese). *Xinjiang State Farms Econ*, 2004, 5: 65–66 [王东, 曹新成, 李富先, 等. 地下滴灌苜蓿栽培的试验效果分析. *新疆农垦经济*, 2004, 5: 65–66]
- 43 Zhou Y M. Application of drip irrigation technology in alfalfa production (in Chinese). *Xinjiang Anim Ind*, 2014, 2: 61–62 [周易明. 滴灌技术在苜蓿生产上的应用. *新疆畜牧业*, 2014, 2: 61–62]
- 44 Dong X B, Zhang X S. Developing the artificial grassland for the agriculture as the way for the agricultural structure adjustment in the ecotone between agriculture and pasture in north China (in Chinese). *Green Econ*, 2005, 4: 87–89 [董孝斌, 张新时. 发展草地农业是农牧交错带农业结构调整的出路. *生态经济*, 2005, 4: 87–89]

Summary for “论草牧业的理论体系及其实践”

The concept of “Grass-based Livestock Husbandry” and its practice in Hulun Buir, Inner Mongolia

Jingyun Fang^{1,2,3*}, Haichun Jing^{2,4,5}, Wenhao Zhang^{1,2,5}, Shuqin Gao^{1,2}, Ziyuan Duan⁶, Hongsheng Wang⁷, Jin Zhong⁸, Qingmin Pan^{1,2}, Kai Zhao⁹, Wenming Bai^{1,2}, Linghao Li¹, Yongfei Bai¹, Gaoming Jiang¹, Jianhui Huang^{1,2} & Zhenying Huang^{1,2}

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

² Inner Mongolia Research Center for Prataculture, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093, China;

³ College of Urban and Environment, Peking University, Beijing 100871, China;

⁴ Key Laboratory of Plant Resources, Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093, China;

⁵ College of Life Sciences, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

⁶ Guangzhou Institutes of Biomedicine and Health, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510530, China;

⁷ Bureau of Science & Technology for Development, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100864, China;

⁸ Institute of Microbiology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China;

⁹ Northwest Institute of Plateau Biology, Chinese Academy of Sciences, Xining 810008, China

* Corresponding author, E-mail: jyfang@urban.pku.edu.cn, fangjingyun@ibcas.ac.cn

Grassland is the largest area of territorial ecosystems in China, and accounts for more than 30% of the total national land area. Primarily located in the north part and as the homeland of most ethnic minorities, the grassland region is critical for ecological safety and the national security of the country. Furthermore, grassland provides nearly one-third of the country total red meat and dairy products, respectively, and is important for national healthy food supply. Yet, it is believed that a large proportion of China’s grasslands has been degraded or desertified at various degrees because of overgrazing, increased population, mining, farming activities, and climate change. To achieve grassland sustainable development, new concepts and technological advancement are required to tackle the degradation challenges and to balance the relationships between “ecological civilization, sustainable production and better living standard”. For this purpose, we proposed the concept of “Grass-based Livestock Husbandry” (abbreviated as GLiH concept), which defines ecologically-sound management of grass-fed livestock and includes three production systems: forage cultivation, forage processing, and livestock management and processing. This paper documents contents and significance of the GLiH concept, and discusses key scientific and technical issues in the development of grass-based livestock husbandry and their possible solutions. The key of the concept is the coupling and coherent development of an inter-dependent “grass-livestock relationship”. In the GLiH concept, “grasses” (including various perennial and annual grass and shrub species) are considered as the foundation of “livestock” and provides an explanation for the long-standing frustration in China’s livestock farming industry, in which for years forage production has been totally neglected. GLiH also emphasizes the dual (productional and ecological) function of the grassland and proposes to manage the grassland regions according to the “small vs. big” theory, i.e., to allocate a small area of resources-rich land for cultivation of forage crops with high biomass and high quality to protect the vast but fragile grasslands away from over-grazing and over-exploitation, as such to secure the demand of the animal feed supplies as well as to allow the grassland to make its ecological functioning. We also propose eight principles for the development of grass-based livestock husbandry, including grass breeding, artificial grassland farming, conservation and better use of natural grassland, rational allocation between grass production and ecological functioning, efficient harvesting and processing, efficient feeding of livestock, efficient use of natural resources, and systems development. To verify the GLiH concept, a large scale pilot project of “Development of Experimental Zone for Sustainable Management of Grass-based Livestock Systems” has been implemented, in collaboration with Hulun Buir State Farm Conglomerate, and the project has achieved a big success ecologically and economically.

ecological benefits, economic benefits, experimental zone for sustainable management of grass-based livestock system, forage cultivation, forage production, Grass-based Livestock Husbandry (GLiH), livestock husbandry

doi: 10.1360/N972018-00042