饲草料优化配比是实现草-畜高效转化的关键

白文明^{1,2}, 侯龙鱼¹, 宋世环^{1,2}, 毛小涛¹, 张强强¹, 潘庆民^{1,2}, 周青平^{2,3}, 张文浩^{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. 西南民族大学青藏高原研究院, 成都 610041

* 联系人, E-mail: whzhang@ibcas.ac.cn

2017-11-11 收稿, 2018-01-08 修回, 2018-01-09 接受, 2018-03-28 网络版发表

中国科学院科技服务网络计划重点项目(KFJ-STZ-ZDTP-004)资助

摘要 我国的畜牧业主要可以分为牧区畜牧业和农区畜牧业。无论是牧区还是农区畜牧业, 饲草料供给缺乏是制约其发展的最主要因素。本文针对上述问题, 结合草牧业理论, 系统论述了牧区与农区、草与畜的高效配置的途径, 探讨了解决牧区与农区饲草短缺的技术瓶颈, 并着重指出了通过大力发展人工草地为家畜提供充足的优质牧草是大面积天然草地的恢复与保护的有效保障, 提出了高效饲草料配比是草牧业科学养畜的关键、绿色畜产品是生态草牧业发展驱动力的理念。这些理念、技术和建议对推进草牧业理论的实践具有重要的指导意义。

关键词 草牧业, 草食家畜, 饲草料配比, 天然草原保护, 高产高质人工草地

草牧业是指通过天然草地管理、人工草地种植和饲草的加工, 获取优质高效的饲草料, 进行畜牧养殖的生产体系, 包括种草、制草和养畜3个生产过程^[1]。其精髓在于“草-畜结合”“草-畜协调”“草-畜互为依存”, 重视草产品加工过程, 发展优质高效畜禽养殖的生产体系^[1]。草牧业强调“草”是“牧”的物质基础, “牧”是“草”的出口。因此, 本文针对草牧业3个生产过程中的养畜(主要指草食家畜)环节, 着重探讨如何遵循“畜禽高效饲喂效率原理”发展草牧业。

1 我国目前养畜存在的主要问题

我国畜牧业基本上可以划分为牧区畜牧业和农区畜牧业。牧区畜牧业以天然草场放牧为主, 长期以来超载过牧导致草原退化、沙化、生态环境恶化, 草畜矛盾尖锐, 畜牧养殖仍为“夏肥、秋壮、冬瘦、春亡”现象所困扰, 造成这些问题的原因归根到底就是饲草不足。农区畜牧业建立在粮食发展基础之上, 在

农区“有粮才有牧、无粮则无牧”, 人畜争粮是最突出的矛盾, 究其根由也主要是因为饲草料短缺。另外, 牧区和农区养畜都存在基础设施薄弱、生产技术落后、经营管理粗放等问题, 这严重地影响着畜牧业的稳定发展。由此可见, 发展饲草料、高效利用饲草料是发展我国畜牧业的关键。在我国一直忽视半农半牧区(农牧交错区)对畜牧业发展的重要作用。

2 草牧业的提出为实现牧区与农区、草与畜的高效配置找到有效途径

在过去有“百里不运草、千里不运粮”的说法, 但是目前我国道路、汽车等交通运输业的发展和高密度草捆制作技术的出现, 不但使百里运草有了保障, 而且使千里运草成为可能。因此, 这就为实现牧区与农区的草-畜科学配置提供了有力保障, 使得“以小保大”原理, 即以小面积的人工草地建设换取大面积的天然草地保护与修复成为现实^[2], 这也是草牧业理念

引用格式: 白文明, 侯龙鱼, 宋世环, 等. 饲草料优化配比是实现草-畜高效转化的关键. 科学通报, 2018, 63: 1686–1692

Bai W M, Hou L Y, Song S H, et al. Optimal formula feed is a key for efficient transformation of forage to animal products in grass-based livestock husbandry (in Chinese). Chin Sci Bull, 2018, 63: 1686–1692, doi: 10.1360/N972017-01187

的核心内涵^[3]。因此,发展草牧业必须对牧区与农区草-畜进行科学配置。

在牧区,对天然草场进行科学规划,将合理利用与草原保护有效结合,将草场划分为打草场、放牧草场、休闲草场,有计划、有目的地实行划区轮牧,进行合理利用。对退化草场实施围封、松耙、补播、施肥、灭鼠等培育改良措施,提高草场生产力,实现可持续利用的目的^[4]。例如,2016和2017年在呼伦贝尔农垦集团谢尔塔拉农场的退化草地,采取“一休、二轮、三调、四补”综合集成方案改良退化草地。“一休”是指季节性休牧,主要包括春季休牧和秋季休牧。“二轮”是指放牧场的“牧刈轮替”和打草场的“分区轮刈”。“三调”是根据多年生牧草生长发育的特点,通过精准的植物生长调控、土壤养分调控和生态位调控,快速提高草地生产力和优质牧草比例。“四补”是针对退化较严重的草地采取的恢复措施,主要包括“补充养分”“补播豆科牧草”“补播优质禾本科牧草”和“补播草原特色植物”^[5]。通过两年的实践,使退化天然草地生产力提高了1倍,优良牧草羊草比例从20%提高到60%以上,草地生产力显著提高,牧草品质明显改善,草原景观快速恢复。

在农区、特别是半农半牧区和有条件的牧区大力发展人工草地。人工草地种植规模和生产水平是衡量一个国家和地区畜牧业发达程度的标志^[6]。建立高产人工草地,水分是制约因素,因地制宜地利用地表水,贮集天然降水,合理开发地下水,推广防渗渠、地下管道、喷灌、滴灌等节水技术建植人工草地。在人工草地种植结构上,不能单纯以推广紫花苜蓿(*Medicago sativa* L.)为主,特别是在高寒地区。虽然苜蓿是在世界上栽培历史最悠久、种植面积最大、营养价值高、兼有固氮和提高土壤肥力的多年生优良豆科牧草^[7,8]。但是苜蓿主要用于满足饲喂奶牛的需求,而其对于肉牛和肉羊的饲养而言,由于货源不足、价格贵、非营养素过剩等原因而使用得比较少。另外,在我国北方大部分地区种植苜蓿,存在着“倒春寒”现象,极易造成苜蓿大面积死亡,并且苜蓿的收获加工都需要机械化程度非常高的专一设备。但是在这些地区更适合种植一年生或多年生禾本科牧草,如燕麦草(*Avena sativa* L.)、无芒雀麦(*Bromus inermis* L.)、羊草(*Leymus chinensis* (Trin.) Tzvel.)等。例如,2016和2017年,在呼伦贝尔农垦集团谢尔塔拉农场种植的燕麦草,在极端干旱的气候条件下,旱作燕麦

草一茬亩产干草平均可以达到300 kg,水浇地燕麦草二茬亩产干草平均可以高达600 kg。这样就可以通过在适宜发展人工草地的区域种植高产优质牧草,既可以解决本区域缺草的问题,也为周边区域发展草牧业提供了饲草保障。例如,在谢尔塔拉农场种植的优质牧草,可以运输到其周边的牧业旗(新巴儿虎左旗和右旗)解决其饲草短缺的问题,运输费用平均为150元/km,一天内就可将牧草送达。这样发展人工草地不仅解决了农区缺草问题,也解决了牧区饲草短缺的问题。因此,大力发展高产人工草地,生产充足的优质牧草为大面积天然草地的恢复与保护提供了有效保障。

3 合理的饲草配置是实现草-畜高效转化的关键

解决了饲草短缺问题,如何将饲草高效转化为畜产品就成为关键。草牧业理论提出“畜禽高效饲喂效率原理”,具体是指根据畜禽不同品种、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进行营养价值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^[5]。在饲草加工上,推广青贮、草捆、草块、草粉、草颗粒等加工技术^[9,10]。对饲草进行科学合理的加工、调制和贮藏,可以显著地减少饲草在收贮利用各个环节中的损失和浪费,把青绿饲草料的营养物质最大限度地保留下来,从而有效地提高饲草料的利用率和利用价值,改善饲草料的适口性和消化性,为家畜提供充足且常年均衡供应的优质青绿饲草。在饲养管理上,应大力推广生产混(配)合和全价饲草料,因地制宜地推行放牧育肥、舍饲育肥等模式化育肥技术,提高出栏率,加快畜群周转。目前,我国虽然在饲草料加工上开展了很多工作^[9,10],但是从事饲草料加工的技术人员一般不擅长动物营养学。因此,目前只在猪(*Sus*)和鸡(*Gallus gallus domesticus*)的饲养中基本实现了全价饲料饲喂,但是对于草食家畜牛(*Bovine*)和羊(*Caprinae*)来说还没有实现精准的饲草料配比的全混合日粮(total mixed rations, TMR)饲喂。要实现精准的饲草料配比饲喂,首先要掌握饲喂牧草的基本营养成分。例如,高产优质牧草紫花苜蓿和燕麦草与现有的天然草和玉米(*Zea mays*)秸秆、青贮玉米的营养成分不同^[11-20](表1)。紫花苜蓿粗蛋白含量最高为17.11%,而玉米秸秆的粗蛋白含量最低为

表1 不同种类饲草营养成分含量(%)比较^{a)}Table 1 Comparison of nutritional contents (%) among different forages^{a)}

	粗蛋白	粗脂肪	中性洗涤纤维	酸性洗涤纤维	灰分
紫花苜蓿	17.11±0.30 ^a	4.02±0.13 ^a	56.54±0.82 ^b	34.93±0.55 ^b	8.76±0.11 ^a
燕麦草	12.24±0.93 ^b	2.13±0.08 ^b	53.44±0.98 ^b	37.27±0.42 ^b	9.81±0.63 ^a
青贮玉米	8.31±0.14 ^c	3.87±0.19 ^a	68.18±0.74 ^a	43.52±0.43 ^a	5.44±0.11 ^b
玉米秸秆	5.73±0.48 ^d	4.22±0.03 ^a	74.03±0.40 ^a	44.05±0.38 ^a	6.14±0.42 ^b
天然草	11.90±0.60 ^b	4.02±0.13 ^a	56.39±0.15 ^b	35.50±0.69 ^b	7.99±0.23 ^a

a) 在同一列上不同小写字母表示显著差异 $P<0.05$

5.73%; 粗脂肪含量只有燕麦草的最低, 其他饲草没有显著差异; 青贮玉米和玉米秸秆的中性洗涤纤维和酸性洗涤纤维比较高, 而灰分却比较低(表1)。

根据这些饲草料的营养成分和家畜营养的需求, 通过科学配比^[21], 增加不同饲草料间正组合效应, 可有效提高反刍动物对饲草料尤其是低质粗饲草料(农作物秸秆、低质牧草)的采食量和利用率^[22]。如何合理利用这些饲草料资源, 一直是国内外营养学家探讨的重要问题。本文提出在考虑不同来源饲草的营养成分、价格, 以及不同品种、不同性别、不同生长阶段和生产方向的家畜对营养需求等多种因素的基础上, 应用线性规划理论, 从饲草养分和资源利用效率相互作用的本质关系出发, 运用数学规划模型的方法, 借鉴经济效益最大化和资源利用最小化两种条件下的最优饲草配比模式。再用这种最优配比饲草料饲喂家畜, 以获得营养搭配更加均衡、饲草料利用率和转化率等高效、经济效益更理想的科学饲养草食家畜的模式。例如, 在肉牛肥育的生产实践中, 应根据需要选择适宜的精饲料水平, 既要考虑增重速度、饲料转化效率, 还要考虑精饲料水平对肉质的影响, 从而制定出肉牛肥育的优化饲养模式。肉牛日粮以粗饲料为主, 在粗饲料中加入少量精饲料, 提高其粗纤维的消化率, 但在高水平精料日粮中增大精料用量时, 粗饲料的消化率反而逐渐降低, 导致常见的负组合效应。当在低水平精料日粮中粗饲料比例较大时, 日粮内非结构性碳水化合物的比例减少, 结构性碳水化合物的比例增加, 使日粮在瘤胃内的降解速度减慢, 因而降解率也下降^[23,24]。但是, 在绵羊日粮中保持一定水平的易发酵碳水化合物, 不仅有助于纤维物质在瘤胃内的降解发酵, 而且有利于在后肠道的发酵消化, 从而提高纤维物质在整个消化道的消化率^[24]。由此可见, 日粮的整体功效不等于日粮内各个单一饲料原料内各种组成成分功效的相

加和。2013年, 内蒙古农牧科学院卢德勋研究员^[25]正式提出一个日粮学理论和技术体系基本框架。所谓日粮学的定义, 可以概括为利用系统科学的理论和方法, 特别是组学技术研究饲料原料的营养组成和营养特性以及其科学利用, 在此基础上研究日粮设计、配合和评价技术体系以及其在饲养实践中的运用。这个理论体系框架是在继承和吸收传统日粮配合技术的合理成分和总结国际上动物营养研究最新进展成果的基础上提出的一种新型的日粮配合技术模式, 即优化日粮设计技术。它代表了现代日粮配合技术发展的方向。所谓优化日粮设计技术是指围绕一定的生产目标和营养调控目标, 根据当地可利用的饲料资源和其他各种影响因素(动物、饲料和环境的因素)在对动物的营养需要量进行优化决策基础上对日粮进行优化配方设计; 通过日粮优化设计, 在优化加工工艺的基础上给家畜提供一个能在满足其营养需要的前提下具有特殊营养调控功能, 饲养安全, 工艺质量合格, 经济合算的日粮^[26]。这也正是本文提出的在草牧业实践中的科学养畜中要实现不同来源饲草的科学配比, 以达到饲草的最大利用率和转化率。因此, 要实现针对不同品种、不同性别、不同生长阶段和生产方向的家畜饲草料科学配比, 建立完善的优化日粮配合技术模式还有许多科学问题有待深入研究。

4 集约化高效牛羊育肥模式

草牧业提倡的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可以实现由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(图1)。

通过舍饲、半舍饲可以实现牛羊模式化快速育肥, 加快畜群周转, 提高农牧民收入。模式化育肥就是充分利用犊牛和羔羊阶段发育最快和饲料报酬高

图1 家畜由传统自由放牧(a)转向规模化舍饲育肥(b)

Figure 1 Changing livestock management from traditional free grazing (a) into large-scale stall-feeding model (b)

的优势,选择优良的育肥牛羊品种,用科学的饲草料配方,采取最佳的饲养管理方法,用最低的成本,生产出最多的优质牛羊肉。标准化圈舍是模式化快速育肥必需的物质条件,建立有效的防疫程序,是维护家畜饲养健康发展的重要途径,做好重大疫病疫苗免疫接种。在落实生物安全防范体系(场内外布控防疫设施)、强化畜舍保洁及消毒灭源措施的前提下,确保畜舍的干净卫生、清洁、干燥、通风良好,将环境中病原体含量降至最低,从而减少畜群感染、发病率。此外,在畜种畜群结构调整上,提高母畜和育肥犊牛或羔羊的比例,母羊比例要求占畜群的60%,犊牛或羔羊育肥出栏要占育肥羊的70%以上。通过应用饲草料调配优化技术模式和科学饲喂管理方式方法,提高家畜出栏率和商品率,达到成本低、效益高的目的。另外,运用同期发情、一胎多羔等技术,可以提高家畜繁殖效率和出栏率。通过模式牛羊生产,逐渐形成以标准化规模养殖为基础的农区生态畜牧业发展模式和以草原放牧加舍饲为基础的牧区生态畜牧业发展模式,从而推动我国草牧业的发展。发展草牧业对于加快农业转方式调结构,构建粮经饲兼顾、农牧业结合、生态循环发展的种养业体系,推进农业供给侧结构性改革,具有重要的战略意义和现实意义^[27]。

5 绿色畜产品是现代草牧业发展的驱动力

近年来随着人民生活水平的提高,人们的膳食结构发生了改变,正由吃猪肉、鸡肉向吃牛羊肉方向转变。人们的消费心理、消费需求也发生了显著变化,对畜产品的卫生、安全、营养和健康越来越重视。因此,对绿色有机畜禽产品的需求日益增长。按照草牧业的理念,通过发展人工草地,生产出紫花苜蓿、燕麦草、青贮玉米等优质牧草,这些牧草具有丰富的营

养成分,纯天然且适口性好,无有害物质,易于推广种植,是草食家畜优质、绿色、安全、高效的好饲料。因此,这3种牧草可以定为草食家畜的“三大主粮”。将这些优质的牧草通过加工、依据家畜营养需求,通过饲草料优化配比,就可以按照科学的饲养方法、模式化地生产出绿色、无污染的天然有机畜产品。这是一条完整的产业链,虽然在我国起步晚,但发展潜力大,前景较好。因为目前我国人民已从填饱肚子过渡到了重视营养和健康,绿色畜产品备受青睐,它以优质营养、卫生安全、无污染、无疫病、无残留、无公害而日益显示出强大的生命力。另外,发展有机畜产品对我国畜牧业结构调整,对区域与畜牧业的可持续发展,对生态环境保护以及人民生活水平提高,都具有重要意义^[28]。

6 结语

发展草牧业的要点是在草原地区,科学配置草地的生态和生产功能,强调人工草地种植与天然草地保护及适度利用相结合;在农区和农牧交错区,充分发挥人工草地的基础作用,实现饲草生物量的全部利用。从生产功能上讲,发展草牧业解决了长期困扰我国草业和畜牧业发展的草畜矛盾、草畜两张皮问题。从生态功能上讲,草牧业更关注草地的生产功能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;而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]。因此,发展草牧业、科学养畜既符合世界农业发展规律又符合我国国情,是我国调整农业结构、实现高效农业的有效举措,是发展草食畜禽的重要手段,是防止水土流失、改良土壤、改善生态环境的重要途径。

参考文献

- 1 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 [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]
- 2 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]
- 3 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). *Pratacul 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]
- 4 Shan W, Yang X D, Liu L, et al. Popularizing of a complete set technique for planting grass and raising livestock in the pastoral areas in northern China (in Chinese). *Grassland China*, 2000, 2: 75–78 [山薇, 杨晓东, 刘琳, 等. 北方牧区种草养畜综合配套技术及其推广效益. 中国草地, 2000, 2: 75–78]
- 5 Pan Q M, Xue J G, Tao J, et al. Current status of grassland degradation and measures for grassland restoration in northern China (in Chinese). *Chin Sci Bull*, 2018, 63: 1642–1650 [潘庆民, 薛建国, 陶金, 等. 中国北方草原退化现状与恢复技术. 科学通报, 2018, 63: 1642–1650]
- 6 Li L H, Lu P, Gu X Y, et al. Principles and paradigms for developing artificial pastures (in Chinese). *Chin Sci Bull*, 2016, 61: 193–200 [李凌浩, 路鹏, 顾雪莹, 等. 我国人工草地建设原理与范式. 科学通报, 2016, 61: 193–200]
- 7 Hou L Y, Song S H, Mao X T, et al. Establishment and management of alfalfa pasture in cold regions of China (in Chinese). *Chin Sci Bull*, 2018, 63: 1693–1702 [侯龙鱼, 宋世环, 毛小涛, 等. 高寒地区苜蓿人工草地建植技术. 科学通报, 2018, 63: 1693–1702]
- 8 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]
- 9 Huang J H, Xue J G, Zheng Y H, et al. Principles of modern forage products processing and the technology development (in Chinese). *Chin Sci Bull*, 2016, 61: 213–223 [黄建辉, 薛建国, 郑延海, 等. 现代草产品加工原理与技术发展. 科学通报, 2016, 61: 213–223]
- 10 Zhong J, Ni K K, Yang J X, et al. The current status and prospect of grass product processing (in Chinese). *Chin Sci Bull*, 2018, 63: 1677–1685 [钟瑾, 倪奎奎, 杨军香, 等. 饲用草产品加工技术的现状及展望. 科学通报, 2018, 63: 1677–1685]
- 11 Lei Y P, Meng H, Zhang L, et al. Analysis and detection of nutritional ingredients from different kinds of alfalfa (in Chinese). *China Cattle Sci*, 2015, 41: 8–11 [雷永鹏, 蒙昊, 张磊, 等. 不同来源干苜蓿营养成分测定与分析. 中国牛业科学, 2015, 41: 8–11]
- 12 Cai H X, Yang H Z, Wang Y Q, et al. Analysis on production performance and nutrient content of 17 alfalfa varieties (in Chinese). *China Herbiv Sci*, 2016, 36: 30–33 [蔡海霞, 杨浩哲, 王跃卿, 等. 17个紫花苜蓿品种生产性能和营养成分分析. 中国草食动物科学, 2016, 36: 30–33]
- 13 Wulumushan, Burenbayier, Aotegen, et al. The effects of different grazing intensities and periods on forage nutritive contents in Inner Mongolia *Stipa krylovii* Grassland (in Chinese). *Pratacul Sci*, 2013, 34: 5–9 [乌鲁木齐山, 布仁巴依尔, 敖特根, 等. 不同放牧强度和时期对内蒙古克氏针茅草原牧草营养成分含量的影响. 草业科学, 2013, 34: 5–9]
- 14 Meng R, Yang J, Bao S N, et al. Dynamic study of nutrient and digestibility of the herbage on *Stipa grandis* steppe user the different grazing system (in Chinese). *J South China Agric Univ*, 2004, 25: 45–48 [蒙荣, 杨劫, 包赛娜, 等. 不同放牧制度对大针茅草原营养成分及其消化率的影响. 华南农业大学学报, 2004, 25: 45–48]
- 15 Yu R H, Mo F, Zhao L H, et al. Effect of maturity of corn stalk on the chemical characteristics and nutritive value of silage (in Chinese). *Chin Agric Sci Bull*, 2006, 22: 10–13 [余汝华, 莫放, 赵丽华, 等. 刈割时间对青贮玉米秸秆饲料营养成分的影响. 中国农学通报, 2006, 22: 10–13]
- 16 Si Y H, Mi Y Y, Xu W H, et al. The nutritional composition analysis and comparison of whole plant corn silage indifferent dairy farms (in Chinese). *China Cattle Sci*, 2015, 41: 23–25 [思耀辉, 米耀云, 徐文华, 等. 不同奶牛场全株青贮玉米营养成分比较. 中国牛业科学, 2015, 41: 23–25]
- 17 Liu H Y, Qi H W, Qiu Y L, et al. Analysis on nutrition constituent of cornstalk for different origin in Jilin (in Chinese). *China Dairy Cattle*, 2014, 32: 6–8 [刘海燕, 祁宏伟, 邱玉朗, 等. 吉林省不同地区玉米秸秆营养成分分析. 中国奶牛, 2014, 32: 6–8]
- 18 Yang Y G, Tian R H. Nutritional component analysis of corn stalk in different regions of Inner Mongolia (in Chinese). *J Anhui Agric Sci*, 2017, 45: 115–116 [杨耀刚, 田瑞华. 内蒙古不同地区玉米秸秆营养成分分析. 安徽农业科学, 2017, 45: 115–116]
- 19 Sang D, Sun H Z, Fu X F, et al. Analysis of nutrition components of green and dried grass from oat and parameter determination of ruminal

- ferment *in vitro* (in Chinese). Anim Husban Feed Sci, 2010, 31: 45–46 [桑丹, 孙海洲, 付晓峰, 等. 燕麦青干草营养成分分析及活体外瘤胃发酵参数测定. 畜牧与饲料科学, 2010, 31: 45–46]
- 20 Ge J, Yang C J, Yang Z M, et al. Quality of mixed naked oats (*Avena nuda*) and alfalfa (*Medicago sativa*) silage (in Chinese). Acta Pratacul Sin, 2015, 24: 104–113 [葛剑, 杨翠军, 杨志敏, 等. 紫花苜蓿和裸燕麦混贮发酵品质和营养成分分析. 草业学报, 2015, 24: 104–113]
 - 21 Lu D X. Theory and technology of systematic nutrition regulation (in Chinese). Anim Husban Feed Sci, 1997, 18: 10–19 [卢德勋. 系统整体营养调控理论和技术. 内蒙古畜牧科学, 1997, 18: 10–19]
 - 22 Jiang H L, Tang S X, Zhou C S, et al. Effects of the mixing way of different pastures and crop straws on the nutritive characteristics and utilization efficiency of forage (in Chinese). Chin J Eco-Agric, 2006, 14: 190–194 [姜海林, 汤少勋, 周传社, 等. 不同禾本科牧草与组合秸秆混合饲料的营养特性及利用效率研究. 中国生态农业学报, 2006, 14: 190–194]
 - 23 Wang Y R, Zhang H T, Wang R P. Effects of different concentrate levels on feed utilization efficiency of crossbred beef (in Chinese). Heilongjiang Anim Sci Veter Med, 2005, 11: 25–26 [王艳荣, 张海棠, 王瑞平. 不同精料水平对肉牛饲料利用效率的影响. 黑龙江畜牧兽医, 2005, 11: 25–26]
 - 24 Tan Z L, Lu D X, Hu M, et al. Effects of different proportions of dietary structural and nonstructural carbohydrates on flow and digestibility of fiber in different digestive sites for sheep fed a wheat straw diet (in Chinese). Acta Zoonutri Sin, 1999, 11: 29–38 [谭支良, 卢德斯, 胡明, 等. 绵羊日粮不同碳水化合物比例对纤维物质在消化道不同部位流通量和消化率的影响. 动物营养学, 1999, 11: 29–38]
 - 25 Lu D X. Recent advances in systems-nutrition of animals and prospects (in Chinese). China Feed Ind, 2013, 34: 2–8 [卢德勋. 系统动物营养学的进展和展望. 饲料工业, 2013, 34: 2–8]
 - 26 Lu D X. To devote major efforts to innovations and development of dieties theoretic and technical system (in Chinese). China Feed Industry, 2014, 35: 1–8 [卢德勋. 大力推进日粮学理论和技术体系的创新和发展. 饲料工业, 2014, 35: 1–8]
 - 27 The Ministry of Agriculture of the People's Republic of China. Development planning of herbivore husbandry in China (in Chinese) (2016–2020) [中华人民共和国农业部. 全国草食畜牧业发展规划(2016–2020)]
 - 28 Chen Z Z, Wang S P. Developing organic livestock product, establishing organic livestock production system (in Chinese). Pratacul Sci, 2008, 25: 85–88 [陈佐忠, 汪诗平. 发展有机畜产品建立有机畜牧业生产体系. 草业科学, 2008, 25: 85–88]

Summary for “饲草料优化配比是实现草-畜高效转化的关键”

Optimal formula feed is a key for efficient transformation of forage to animal products in grass-based livestock husbandry

Wenming Bai^{1,2}, Longyu Hou¹, Shihuan Song^{1,2}, Xiaotao Mao¹, Qiangqiang Zhang¹, Qingmin Pan^{1,2}, Qingping Zhou^{2,3} & Wenhao Zhang^{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 Institute of Qinghai-Tibetan Plateau, Southwest University for Nationalities, Chengdu 610041, China

* Corresponding author, E-mail: whzhang@ibcas.ac.cn

The animal husbandry in China can be categorized broadly into pastoral and farming animal husbandry. Grazing has long been a main form of animal husbandry in the pastoral areas. The lack of sufficient supply of high quality forage is a key factor that limits the development of animal husbandry in both the pastoral and farming animal husbandry. Natural grasslands in China have degraded seriously since 1970s due to overgrazing and global climate changes, exhibiting low productivity and poor ecological functions. Import of forages (mainly alfalfa and oat hay) from overseas (mainly USA and Australia) has increased markedly in recent years. The insufficiency for supply of high quality of forage and poor ecological function of natural grasslands are major issues limiting the social and economical development in large pastoral areas in China. How to develop a high-efficiency and environmentally-friendly animal husbandry has been a big challenge in these areas. The development of concept of “Grass-based Livestock Husbandry (GLH)” is novel in solving these problems by integrating the processes associated with grassland management, forage planting, forage processing and livestock feeding. More specifically, the GAH theory emphasizes that grasslands are of ecological importance with less function for forage production, while the production of high quality of forage will rely on the development of artificial pasture to sustain the livestock husbandry. Extensive efforts have been made to manage and restore the degraded grasslands, and develop artificial pasture with great yield, high quality and use efficiency of resources. In contrast, less attention has been paid to harvest, process, and store as well as utilize the forages for livestock husbandry in both pastoral and farming areas. In this paper, we discussed the effective ways to supply forage to livestock in both pastoral and farming areas. We further explored the technical solutions to improve the insufficient supply of forage in the two areas. We specifically highlighted the important roles of artificial pasture in provision of sufficient forage with high quality for livestock, thus protecting the natural grasslands and maximizing their ecological functions. Finally, we proposed that development of formulated forage systems with high efficiency is a crucial step for success in the grass-based livestock husbandry, and that green animal product is a main driver for development of ecological grass-based livestock husbandry in China. These theories and methodologies have great implications in development and practice of the grass-based livestock husbandry in both pastoral and farming areas.

formulated forage, grass-based livestock husbandry, herbivorous livestock, natural grassland production, high yield and quality of pasture

doi: 10.1360/N972017-01187