

种植业结构调整和草牧业发展潜力分析及政策建议

李向林¹, 沈禹颖², 万里强¹

(1. 中国农业科学院北京畜牧兽医研究所, 北京 100193; 2. 兰州大学草地农业科技学院, 草地农业生态系统国家重点实验室, 兰州 730020)

摘要: 发展农区草牧业可促进牧草与粮食作物或经济作物在时间、空间上的耦合, 提高农业资源的利用效率。目前我国农区草业的资源优势尚未得到有效发挥, 其发展仍然受传统农业生产模式思想的束缚, 政策上对其发展的扶持力度也较小。本文分析了农区草业发展的现状与潜力, 并提出了相关的政策建议。

关键词: 种植业结构调整; 农区草业; 潜力; 政策建议

中图分类号: Q994.4 **文献标识码:** A

Potential Analysis and Policy Recommendations for Restructuring the Crop Farming and Developing Forage Industry in China

Li Xianglin¹, Shen Yuying², Wan Liqiang¹

(1. Institute of Animal Science, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China; 2. State Key Laboratory of Grassland Agro-ecosystems, College of Pastoral Agriculture Science and Technology, Lanzhou University, Lanzhou 730020, China)

Abstract: Developing forage/livestock farming in cropping areas can help to enhance the integration, in both spatial and temporal dimensions, of forages into food and/or cash crop systems and thus to improve the use efficiency of agricultural resources. Currently the advantages of forages in cropping areas have not been well exploited mainly because of the traditional thinking of agricultural production and the government policies that favour food crops. In this article, the current status and future potential of forage industry development on croplands are analyzed and relevant policy recommendations are proposed.

Key words: restructuring of farming systems; cropland forage; potential; policy recommendations

一、前言

所谓农区草业, 是指在传统农作物种植区利用一定面积的土地种植牧草, 通过牧草与粮食作物或经济作物在时间、空间上的耦合, 形成资源高效利用、生态环境友好的种植制度, 其生产的饲草及作

物副产品可用于饲养家畜^[1]。农区草业在欧美发达国家十分普遍, 是可持续农业的象征。发展农区草业就是要将牧草或饲料作物的生产、利用引入农业生产系统, 通过作物-饲草-家畜的有机结合, 建立起“土地-植物-动物”产业链, 最大限度地生产植物产品和动物产品。这种农业系统就是草地农业^[2]。

收稿日期: 2015-12-30; 修回日期: 2016-01-06

作者简介: 李向林, 中国农业科学院北京畜牧兽医研究所, 研究员, 主要从事农区草业研究; E-mail: lxl@caas.cn

基金项目: 中国工程院重大咨询项目“中国草地生态保障与食品安全战略研究”(2013-ZD-19)

本刊网址: www.enginisci.cn

草地农业强调牧草与粮食作物的轮作、间作、套种、复种等多元种植结构,在保证粮食生产的前提下,生产更多的优质牧草,保持水土、提高肥力,增加粮食产量,同时发展畜牧业,满足日益增长的畜产品消费需求。

二、农区草业发展现状与问题

(一) 食物消费变化促使种植业结构向粮草兼顾型转变

改革开放以来,随着经济的快速发展和城乡居民家庭收入的不断提高,我国食物消费结构也在发生巨大的变化,其最显著的特征是人均动物性食品消费一路攀升,而直接粮食消费(口粮)逐年减少^[3-5]。从1986年人均口粮207.1 kg到2010年的148.0 kg,降幅为28.5%。而城镇人口的口粮消费约为80 kg,只有农村人均口粮消费的一半。每减少一个农村人口,可省出两个城镇人口的口粮。可见,我国人均粮食与畜产品的消耗量,自20世纪80年代以来发生了历史性转折。改革开放近40年来,我国居民人均牛肉和羊肉消费分别增加了20倍和15倍之多,牛羊肉在肉类消费的比重从1978年的6%左右增加到了2014年的14%左右,而猪肉消费所占比重类则从89%左右下降到了63%左右。我国居民人均奶类消费从20世纪80年代初开始迅速增长。2008年以来,我国乳制品进口量增长了7倍多,目前,每年进口乳制品折合牛奶约 1.2×10^7 t,占全国奶类消费量的三分之一;2013年中国牛肉进口总量达到 2.97×10^5 t,是2012年的3.79倍,预计在未来5年内,每年的牛肉进口量将增长15%~20%。源自食草动物的食物消费量远远超出一般的估计。

但是,我国的农业结构调整仍然滞后于食物消费结构的变化。长期以来,我国农业系统以“粮-猪”结构为基本特征,这一点仍然没有明显的改变。所谓“粮-猪”型农业结构,就是种植业以粮食作物为主,养殖业以养猪为主。目前,我国年均生猪存栏量接近 5×10^8 头,占全球的50%,我国每年人均食用猪肉39 kg,是1979年时的5倍。虽然我国粮食产量实现了“十连增”,但仍然不能满足需求,我国生猪的饲料消耗量很快便会突破全球饲料总产量的一半。在美国等大多数发达国家,尽管粮食自

给有余,还有出口,但养猪数量有限^[6];我国只有全世界7%的耕地,水资源等严重匮乏,不仅要养活占全世界22%的人口,还饲养了占全世界总数50%的猪^[7,8]。“粮-猪”型的农业生产结构消耗了大量的粮食,使我国谷物生产不堪重负。与国外相比,我国水土资源十分匮乏,像这样一个“粮-猪”型农业系统,从长远来看是不可持续的。

2008年奶粉污染事件以后,我国才开始认识到,正是由于饲料蛋白质含量不足,不法企业才添加三聚氰胺,造成了灾难性后果。2011年11月,农业部、财政部联合向国务院上报《关于实施“振兴奶业苜蓿发展行动”的请示》,2012年中央“一号文件”决定启动“振兴奶业苜蓿发展行动”,中央财政决定在2012年至2015年每年安排5.25亿元用于支持建设 5×10^5 亩(1亩 ≈ 666.67 m²)高产优质苜蓿示范片区。

2015年中央“一号文件”明确提出:加快发展草牧业,支持青贮玉米和苜蓿等饲草料的种植,开展粮改饲和种养结合模式试点,促进粮食、经济作物、饲草料三元种植结构的协调发展。中央的方针和政策是在充分考虑我国食物消费结构变化的基础上制定的,为农业结构调整及农区草业的发展提供了难得的机遇和巨大的推动力。

(二) 饲草产品市场需求呈现快速增长势头

综观世界畜牧业生产系统,主要有三大类:一是完全依赖天然草地放牧的草原畜牧业;二是作物-家畜系统(即农牧结合生产系统);三是完全依赖外购饲料的工业化畜牧业系统。其中,作物-家畜生产系统实际上就是我们通常所说的农区畜牧业^[9]。在世界范围内,农区畜牧业贡献了绝大多数畜产品,在中国,农区畜牧业同样占据全国畜牧业总产出的最大份额。过去几十年里,我国草原牧区家畜饲养量急剧增加,导致草原超载过牧,草原生态环境严重退化。21世纪初,我国在草原牧区先后实行退牧还草工程和草原生态保护奖补政策,牧区家畜饲养量逐步减少,牛羊肉和奶类生产的重心逐渐向农区转移^[10]。从2000年到2013年,全国牛肉产量由 5.131×10^6 t增加到 6.732×10^6 t,增长了31.2%;羊肉产量由 2.641×10^6 t增加到 4.081×10^6 t,增长了54.5%。但同期消费增长更快,以全国城乡居民家庭购买牛羊肉为例,2012年与2000年相比

增长了 60.3 %。

农区畜牧业的发展促进了农区草业的发展。过去以粮食作物占绝对优势的种植业结构正在向粮食作物、经济作物和饲料作物协调发展的“三元结构”方向发展。同时,农区家畜饲养方式也发生了较大的变化。过去,农区畜牧业(尤其是奶牛饲养)长期遵循“秸秆+精料”或“秸秆+青贮+精料”的饲养模式,而优质饲草在日粮中增长比重很低。近年来,饲草对提高家畜生产效率和经济效益的作用日益得到认识,农区畜牧业正在向“优质饲草+全株玉米+少量精料”的模式转变。

在北方地区,以苜蓿为代表的商品草市场持续发展。在国家政策鼓励和市场需求的驱动下,国内苜蓿种植面积和产量有显著的增加,质量意识开始增强,表现出快速发展的势头。奶业的持续发展导致商品草的市场需求不断增长,也刺激了进口牧草产品贸易的快速增加。尽管受到美国转基因苜蓿事件的影响,2014年中国进口干草仍然达到创纪录的 1.005×10^6 t,同比增长 25.9%;进口苜蓿草总计 8.84×10^5 t,同比增长 17%。同时,进入市场流通的国产苜蓿干草估计在 1×10^6 t以上,而由家畜直接采食消费的牧草产量更是不可估量。

其次,南方草地开发利用迎来新的发展机遇。自 20 世纪 80 年代以来,我国开始对南方草地进行开发利用,经过几十年的发展,初步探索出了冬闲田种草、草山草坡改良及草食家畜饲养的模式^[11,12]。2014年,农业部、财政部联合启动了南方现代草地畜牧业推进计划项目,年投入 3 亿元人民币,在南方 10 个省区扶持和推动草地畜牧业的发展。过去,由于土地分散,畜产品价格相对较低,致使种草养畜的比较效益不高,制约了南方草地畜牧业的发展。近几年,随着城镇化的发展,基础设施的改善,土地流转速度的加快及合作社、养殖企业的介入,加上牛羊肉价格的大幅上涨,南方种草养畜的有利因素在不断增加,现代草地畜牧业发展的条件日益成熟。随着国家持续的政策扶持,南方传统农区的草牧业有望得到较快的发展。

(三) 农区草业的资源优势尚未得到有效发挥

我国气候多样,南北跨越热带、亚热带、温带、寒温带等多个农业气候区。传统农业以收获籽粒为

目的,农作物必须完成整个生育期,从而在气候上受到地域、季节差异的较大制约。而牧草生产则是以收获茎叶等营养体为目的,不需要籽粒成熟,不需要完整生育期,在整个生长期内任何时候都可以收获而获得经济效益。因此,与大田农作物相比,牧草在生长期内对于水、热、光、气等气候资源和土地资源的时间性匹配要求不高,可在全年内比较充分地利用气候和土地资源,生产较多的有机物质产品。例如,从饲料利用的角度来看,如果以单位面积代谢能产量核算,同样的气候条件下,全株青贮玉米的营养物质收获量相当于单纯玉米籽实的 1.5~2 倍。

长期以来,我们一直忽视不适于生产粮食或者没有利用好的中低产田、冬(夏、秋)闲田、轮歇地、四边地、滩海涂地、林(果、茶)间地等土地资源。随着科学技术的发展,这些土地的用途和价值开始显现出来,可以开发后用来种植优质牧草,很好地为畜牧业服务。

中低产田由于受各种因素的制约,农作物产量低且不稳,生产潜力不大,这部分土地应尽可能转为牧草种植,以草养地。据统计,当前我国耕地总面积为 1.28742×10^8 hm^2 ,其中高、中、低产田面积分别占全国耕地总面积的 34.92%、41.95%、23.14%,中低产田土壤有机质含量均仅为 1.8%,作物产量只有高产田的 40%~60%。中、低产田种植优质高产牧草,每公顷获得牧草干物质 18 000 kg 左右。如果将我国的中、低产田利用率提高 5% (4.1893×10^6 hm^2),种植高产优质牧草,可增收牧草干物质 7.5408×10^7 t 左右。

农闲田特别是南方地区的冬闲田,是牧草生产的宝贵土地资源。冬闲田地势平坦、土壤肥沃,牧草生产潜力巨大。据全国畜牧总站统计,2011年全国各省市冬(夏、秋)闲田面积达到 9.9733×10^6 hm^2 ,其中冬闲田面积 8.8641×10^6 hm^2 ;农闲田中已用于种植牧草面积 8.697×10^5 hm^2 ,仅占 8.72%。广东、四川等省的实践表明,水稻收割后,种植一年生黑麦草每公顷干物质产量达 15 t,相当于 1 t 饲料粮。如果将我国的冬(夏、秋)闲田利用率提高 5% (其面积有 4.987×10^5 hm^2)种植高产优质牧草,可增收牧草干物质 7.4805×10^6 t 左右。

很多盐碱地由于无法从事作物生产而成为撂

荒地。但是,只要选择适宜的牧草种和品种,这类土地可以用于牧草生产。一般,盐碱地种草,可以获得亩产干物质 500 kg 左右的牧草,又能改良土地资源,一举多得。据统计,我国盐碱地面积为 $9.913 \times 10^7 \text{ hm}^2$,如果将我国盐碱地总面积的 5% ($4.9565 \times 10^6 \text{ hm}^2$) 用于种植高产优质牧草,可增收牧草干物质 $3.71738 \times 10^7 \text{ t}$ 。

此外,我国农区尚有一些零星土地,俗称四边地,可开发利用来种草。2011年全国有可利用四边地 $1.6167 \times 10^6 \text{ hm}^2$,已用于种植牧草面积仅 18.2 hm^2 ,占 11.26%。目前在四边地种植树木、牧草、蔬菜等,其利用率在 20% 左右。如果将可利用的四边地利用率提高 5% ($8.08 \times 10^4 \text{ hm}^2$) 发展饲草生产,按每公顷牧草干物质 12 000 kg 计算,可增收牧草干物质 $9.696 \times 10^5 \text{ t}$ 左右。

滩海涂地是近岸海域一种重要的后备土地资源,冬春枯水期间,在滩地种草,既可绿化滩地,又可收获一季牧草。据有关部门调查结果,中国现有滩涂土地资源约 $2.17 \times 10^6 \text{ hm}^2$,已利用的面积尚不足滩涂资源总面积的 1/5,有很大的开发利用潜力。如果将滩海涂地利用率提高 5% ($1.085 \times 10^5 \text{ hm}^2$) 种植高产优质牧草,按每公顷牧草干物质 12 000 kg 计算,可增收牧草干物质约 $1.3 \times 10^6 \text{ t}$ 。

在疏林地、茶园地、果园地种植牧草,能显著促进林木的生长,提高郁闭度,缩短郁闭时间,增加乔木的总根量和根系总长度,提高林地的生产力。2011年我国可利用果园隙地 $1.4093 \times 10^6 \text{ hm}^2$,已用于种植牧草 $2.393 \times 10^5 \text{ hm}^2$,仅占 16.98%;2012年全国有茶园面积 $2.112 \times 10^6 \text{ hm}^2$ 。根据中国土地利用现状调查,截至 1996年 10月 31日,全国疏林地总面积为 $1.25765 \times 10^7 \text{ hm}^2$ 。如果将疏林地、茶园地、果园地利用率提高 5% (其面积有 $8.049 \times 10^5 \text{ hm}^2$) 种植高产优质牧草,按每公顷牧草干物质 4 500 kg 计算,可增收牧草干物质 $3.62 \times 10^6 \text{ t}$ 左右。

按照上文设定的单产水平,若将中低产田、农闲田、轮歇地、四边地、滩海涂地、林(茶、果)间地等农区土地利用面积提高 5%,用于种植高产优质牧草,则相当于增加 $1.14822 \times 10^7 \text{ hm}^2$ 的草地面积,可增收牧草干物质 $1.42 \times 10^8 \text{ t}$ 。按照 10 kg 牧草干物质转化 1 kg 牛羊肉计算,理论上可增加生产 $1.42 \times 10^7 \text{ t}$ 牛羊肉。

(四) 农区草业发展仍然受传统观念的束缚

由于历史上曾长期遭受饥荒之苦,我国长期以来就有“手中有粮心中不慌”之说,“以粮为纲”的观念主导着我国农业的发展。数千年来,垦草种粮始终是我国农业发展的基本思路。而发展农区草业,用以前种植粮食作物的部分土地种植牧草,这对很多人来说是难以理解和接受的,包括很多农业领域的学者。之所以如此,主要是受传统农耕文化的影响,有关农业发展的思维仍然停留在以往以解决温饱问题为主要目的的阶段,而未充分认识到中国社会大众食物消费结构的巨大变化,以及生态文明和可持续发展对未来农业发展的重要性^[13]。

农区发展草业必然会占用一定的农业土地面积,如果处理不当可能会影响粮食安全。相比之下,草业的发展与否,农业生态环境是否改善,显得并不那么紧迫和重要。虽然国内外的科学研究和实践已经证明,粮草轮作、农牧结合等发展方式不仅不会影响粮食生产,而且通过用地与养地相结合,对农业可持续发展有重要促进作用,但是很多人还是不愿冒“破坏”粮食安全的风险发展草业。

从普通群众的角度,对“草”的认识仍然停留在田间杂草、荒草等概念,大多数人没有将饲草作为一类重要的作物看待,因而很少像对待农作物一样投入精力和物质。同时,草业作为新兴产业,以往的经验积累和技术储备并不多,技术培训和示范也比较欠缺。为此,需要进一步加强草业科学普及工作,同时加快有关农区草业的试验和示范,提高从决策层到社会大众对草业发展的广泛认识。

(五) 农区草业在政策上未得到应有的公平对待

我国农业长期以“粮-猪结构”为特征,即种植业“以粮为纲”,养殖业“以猪为纲”。因此,种粮、养猪能够享受许多政策补贴和优惠。根据国家统计局的统计数据,1980年全国人均猪肉消费占总肉类消费的比重为 88% 左右,2014年猪肉消费量占肉类产品比例约 65%,下降了约 23 个百分点。按现有比例计算,人均猪肉消费仅在 19 kg 左右,而 2014年猪肉产量为 $5.671 \times 10^7 \text{ t}$,人均占有量高达 41.5 kg。虽然我国人均猪肉消费的比重在逐渐下降,但猪肉始终是肉类消费的主体,所以当猪肉供应趋紧、价格上涨时,就会引起恐慌,政府就会特别重视并采取许多积极的应对措施。相反,人们对牛羊

肉供应情况及价格变化的关注和重视程度就远没有这样高。

国家高度重视粮食生产,对种粮农民给予了許多补贴政策,粮价还不断上涨,种粮效益持续提高。在生猪生产方面,国家近两年也出台了一系列补贴和扶持政策,以稳定猪肉市场供应。

我国长期追求粮食高产,过量灌溉、施用化肥、农药,不但加重水土资源短缺,造成水土资源严重污染,而且威胁食品安全、影响全民健康。2013年我国的化肥使用量为 5.912×10^7 t,是1978年的6.69倍;2010年农药使用量也达 1.712×10^6 t,比1978年增长了229%。大量使用化肥和农药严重污染了农区的土壤和水资源,污染需长时期、高成本才能恢复,从而又加重了耕地和水资源的短缺压力。长期用养失衡导致地力下降,土壤有机质平均含量不足1%。受污水灌溉、农药、重金属、农膜污染威胁的农田面积约占耕地总面积的1/6。农业生产过程中杀虫剂、杀菌剂和除草剂等农药施用量的不断增长,更威胁着食品的安全。

在农区推广草田轮作、粮草间作和休耕种草等模式,国内外已有许多成功的案例和经验。例如,推广以水稻-黑麦草、水稻-紫云英、玉米-紫花苜蓿等粮草相结合的种植模式,特别是种植豆科牧草,具有改土肥田、提升地力的作用,对提高土壤肥力具有重要意义^[14-17]。但是,与种粮、养猪相比,种草和发展草食畜牧业基本得不到政府的补贴政策和支 持,且牧草和草食畜产品市场价格长期保持低位,一些地方甚至出现退草还耕、垦草种粮的现象,栽培草地面积不增反降。近年来实行的“振兴奶业苜蓿行动计划”等涉草工程项目支持力度很大,但仅涉及个别能争取到项目的企业和合作社,而不是惠及全民的普适政策,更没有提高到调整农业结构的高度。因此,如果要使草牧业得到持续、健康的发展,就需要获得与粮食、生猪生产等同的普遍性扶持政策。

三、农区草业发展潜力及综合效益

(一) 发展农区草业可大幅度增加我国的饲草供应

与收获籽实的大田农作物相比,牧草生产以收获茎叶营养体为目的,因此对气候资源和土地资源的利用效率更高。大量的不适于粮食生产或者不能

很好利用的中低产田、冬(夏、秋)闲田、轮歇地、四边地、滩海涂地、林(果、茶)间地等,都是农区草业发展的重要土地资源。但是,从近期规模化发展的必要性和可行性来看,农田种草的生产潜力将主要来源于两大种植系统,即草田轮作系统和农闲田种草系统。其中,草田轮作种植系统涉及的土地类型主要为低产田和中产田;农闲田种植系统涉及的土地类型主要包括冬闲田和夏秋闲田。由于疏林地、茶园地、果园地、滩涂地等土地资源的可利用面积和生产水平尚难以准确估计,以下对农区草业生产潜力的估算中尚未考虑这些土地资源。

假设未来农田种草生产潜力分为以下低、中、高3种方案。

(1) 低方案:假设中低产田有50%用来发展草田轮作,且草田轮作制为7年制(种植6年作物轮作1年牧草),外加农闲田(包括冬闲田和夏秋闲田)土地总面积的5%用于种草。

(2) 中方案:假设中低产田有50%用来发展草田轮作,且草田轮作制为6年制(种植5年作物轮作1年牧草),外加农闲田包括冬闲田和夏秋闲田土地总面积的10%用于种草。

(3) 高方案:假设中低产田有50%用来发展草田轮作,且草田轮作制为5年制(种植4年作物轮作1年牧草),外加农闲田包括冬闲田和夏秋闲田土地总面积的15%用于种草。

我国耕地现有中、低产田面积分别为 5.4×10^7 hm^2 和 2.98×10^7 hm^2 。我国华北灌溉地区小麦平均产量约为 $4.5 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$,而如果在同一块土地上种植苜蓿,产量可达 $15 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$,如种植青贮玉米则产量会更高,仅以种植苜蓿作为计算依据,则牧草与作物的干物质之比约为3:1。据此,依据文献[18~21]的数据综合得出,中、低产田的粮食单产分别为 $4.13 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和 $3 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$,则其所对应的牧草干物质单产应分别为 $11.25 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和 $9 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。假设按照1 t饲草干物质抵扣1 t粮食计算,种植粮食的中、低产田改种苜蓿后可以使饲草干物质产量分别增加 $7.12 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和 $6 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。

根据农业部全国畜牧总站统计,全国冬闲田和夏秋闲田面积分别为 8.345×10^6 hm^2 和 1.35×10^6 hm^2 。此外,根据对我国多地区田间试验数据的综合分析,并设定冬闲田和夏秋闲田的牧草干物质单产分别为 $9 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和 $15 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。根据上述假设计算,并假

设由于收获、贮运和饲喂过程中的损失约为 20%，按照低、中、高方案进行预测，未来农田种草生产潜力分别为 3.603×10^7 t、 4.52×10^7 t 和 5.658×10^7 t（见表 1）。

（二）农区草业发展将提高我国食物安全保障水平

根据中国工程院重大咨询项目第六课题“中国草地生态保障与粮食安全战略研究综合研究”利用“中国农业可持续发展决策支持系统”的分析，根据表 1 的农区草业发展的高、中、低三个方案，对不同发展方案下的畜牧业生产进行了模拟分析。该模拟分析包含以下假设。

（1）由于农区草业发展而导致的饲草增加量，可根据各省中、低产田数量和农闲田的数量分摊到各省。

（2）假设饲草干物质对羊肉的转化率为 10:1，对牛肉的转化率为 15:1，饲草干物质对鲜奶的转化率为 0.5:1。

模拟分析表明，按照表 1 的农区草业发展方案，可以使我国牛羊肉和奶类实现完全自给。农区草业发展可以大幅提高我国饲草的产量，这将对保障我国未来牛羊肉等畜产品的需求发挥重要作用。模型模拟结果显示，在农区草业发展的中方案下，我国牛羊肉和奶类产量将分别达到 1.842×10^7 t 和 9.612×10^7 t（见表 2），分别比基准方案下的产量增加牛羊肉产量 4.24×10^6 t、增加奶类产量 2.723×10^7 t。农区草业发展高方案下，我国牛羊肉和奶类产量分别增加 5.57×10^6 t 和 3.417×10^7 t，在低方案下则分别增加 3.38×10^6 t 和 1.88×10^7 t。

在上述高、中、低方案下，我国牛羊肉产量都可以实现完全自给，并且在农区草业高方案下，我国牛羊肉还能够出口 1×10^6 t 左右。在农区草业高方案和中方案下，我国奶类也可以实现完全自给；在低方案下，我国奶类进口量可减少 1.625×10^7 t，奶类的自给率可由基准方案下的 76% 上升到 92%（见表 2）。

表 1 农区草业发展潜力估测

种植系统	土地类型	总面积/ $\times 10^4$ hm ²	种草面积/ $\times 10^4$ hm ²	牧草单产/(t·hm ⁻²)	牧草总产/ $\times 10^4$ t	
低方案	草田轮作	低产田	2 979	213	6.0	1 278
		中产田	5 400	386	7.12	2 748
		合计	8 379	599	6.7	4 026
	农闲田	冬闲田	834	42	9.0	375
		夏秋闲田	137	7	15.0	103
		合计	971	49	9.8	478
	总计	—	9 351	647	—	4 504 (3 603)
中方案	草田轮作	低产田	2 979	248	6.0	1 488
		中产田	5 400	450	7.12	3 204
		合计	8 379	698	6.7	4 692
	农闲田	冬闲田	834	83	9.0	747
		夏秋闲田	137	14	15.0	210
		合计	971	97	9.8	957
	总计	—	9 351	795	—	5 650 (4 520)
高方案	草田轮作	低产田	2 979	298	6.0	1 788
		中产田	5 400	540	7.12	3 845
		合计	8 379	838	6.7	5 633
	农闲田	冬闲田	834	125	9.0	1 125
		夏秋闲田	137	21	15.0	315
		合计	971	146	9.8	1 440
	总计	—	9 351	984	—	7 073 (5 658)

注：1. 中、低产田面积数据来源于文献 [22]；2. 牧草单产系根据多方试验与文献资料数据综合，牧草单产和总产均以干物质计算；3. 总计牧草总产括号内数据为除去损失的净产量。牧草净产量按照牧草可利用率为 80% 计算（去除牧草收获、贮运和饲喂过程中的损失约 20%）。

农区种草必然会占用一定面积的耕地，这是否会影响我国的粮食供给？根据中国工程院重大咨询项目“中国草地生态保障与粮食安全战略研究”第六课题的模型分析，虽然农区草业发展会占用部分耕地，但不会导致我国口粮（大米和小麦）进口数量的增加，并且由于国内玉米饲料需求下降，我国玉米进口数量将明显下降。例如，在农区草业中方案下，2030年我国玉米产量下降3.4%，同时进口量比基准方案下降34.5%，即由基准方案下的净进口量的 4.2×10^7 t下降到 2.75×10^7 t。虽然农区草业发展占用了部分用于粮食生产的中低产田，但由于玉米生产面积下降，所以对水稻和小麦等口粮作物的生产影响较小。在农区草业中方案下，我国大米产量下降0.2%（下降 2.2×10^5 t），进口量基本保持不变。小麦产量下降1.9%（下降 1.95×10^6 t），小麦进口量增加 4×10^5 t，即从基准方案下进口 2.46×10^6 t增长到 2.86×10^6 t（见表3）。

（三）农区草业发展有利于保护和改善农业生态环境

饲草具有很强的固土、涵养水分和培肥地力的作用，发展农区草业对维护生态系统健康、提升生态系统服务功能具有重要作用。当前，我国的农业生态环境面临着严峻的挑战。农业土壤污染、水土

流失、农药化肥过量使用等问题十分严重，特别是南方山地丘陵区 and 黄土高原区的水土流失，北方农业灌溉区的土壤盐渍化，以及长期耕种、使用化肥带来的土壤有机质下降、土壤污染，水资源短缺等问题十分突出，对我国农业生态安全构成威胁，不利于农业的可持续发展。

在农区推广粮草相结合的农业发展模式可以有效地提高土壤肥力。在农区推广草田轮作、粮草间作和休耕种草等模式，目前已有许多成功的案例和经验。例如，推广以水稻-黑麦草、水稻-紫云英、玉米-紫花苜蓿等粮草相结合的种植模式，特别是种植豆科牧草，具有改土肥田、提升地力的作用，对提高土壤肥力具有重要的意义^[23,24]。

宁夏的研究表明，当降水量为340 mm时裸地水土流失量为 $6\ 750\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ，耕地为 $3\ 570\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ，林地 $600\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ，而草地仅为 $93\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ^[25]。在黄土高原，通过草粮轮作可显著增加苜蓿地120~200 cm的土层土壤水分^[26]。很多草地植物对盐碱土壤具有明显的改良作用。如星星草可在pH为10.0以上的碱斑地上正常生长发育，在碱斑地种植星星草3年后，土壤中粘粒含量比种植星星草之前下降约14%^[27]。坡耕地人工降雨实验表明，野古草草篱可减少7%~37%的地表径流和49%~63%的土壤侵蚀，狼尾草草篱可减少30%~72%的地表径

表2 农区草业发展对2030年我国畜牧业生产和贸易的影响 (×10⁴ t)

生产分类	畜产品种类	基准方案	农区草业发展方案		
			高方案	中方案	低方案
生产	牛羊肉	1 418	1 975	1 842	1 756
	奶类	6 889	10 306	9 612	8 769
净进口	牛羊肉	132	102	0	0
	奶类	2 171	0	0	546

数据来源：“中国草地生态保障与粮食安全战略研究”第六课题“综合研究课题研究报告”。

表3 农区草业发展对2030年我国主要粮食作物生产和贸易的影响 (×10⁴ t)

生产分类	农产品种类	基准方案	农区草业发展方案		
			高方案	中方案	低方案
生产	大米	10 931	10 687	10 909	10 914
	小麦	10 273	10 012	10 037	10 119
	玉米	24 329	22 405	23 502	23 672
净进口	大米	47	60	43	41
	小麦	246	308	286	263
	玉米	4 200	2 713	2 750	3 808

流和 69%~89% 的土壤侵蚀^[28]。果草优化配置模式在三峡库区紫色土坡地水土流失治理过程中具有明显效果。在典型降雨条件下,果-草模式(早熟梨+紫花苜蓿、柑橘+鸭茅)降雨前后的土壤有机质损失量为 13.5~13.7 g·kg⁻¹,比退耕自然生草地下降 45.0%~45.9%^[29]。对福建山地茶园的研究显示,茶园套种牧草(平托花生+百喜草)的第1年、第2年、第3年,茶园土壤流失厚度分别较对照(清耕)减少 25.7%、36.8%、63.2%^[30]。在重庆市永川,新植茶园土壤流失量达 1 648.4~2 267.8 t·km⁻²·a⁻¹,通过茶园内种草可减少土壤侵蚀量 990.9~1 262.5 t·km⁻²·a⁻¹,平均减少 1 126.7 t·km⁻²·a⁻¹^[31]。

冰草、酢酱草、披碱草、白三叶草 4 种草皮缓冲带对农田径流中总氮的平均去除率在 30% 以上,对悬浮固体颗粒物的平均去除率达 73.6%^[32];冰草、高羊茅、披碱草、紫花苜蓿 4 种草皮缓冲带对总氮的平均去除率在 60% 以上,对总磷的平均去除率达 79.3%^[33]。果园生草栽培不仅可提高果园土壤的有机碳含量,而且可增加土壤碳储量。果园生草可显著提高土壤有机碳的聚集速度,10 年内土壤有机碳累积量比常规开发模式提高 21.4%,其土壤固碳速率达 714.5 kg·hm⁻²·a⁻¹^[34]。当各生草栽培处理的土壤有机碳达到平衡状态时,果园土壤将会增加碳储量 24.7 t·hm⁻²,分别是顺坡清耕和梯台清耕处理的 4.2 倍和 1.5 倍^[35]。

速生且生物量大、繁殖力强的草地植物也可用于农业有机废弃物吸纳和环境污染的治理。如香根草对养殖废水中总氮、硝态氮、总磷的净化效果均在 70% 以上^[36]。红萍也是净化水质的良好材料,能有效改善水产养殖的水环境,其对氨氮(NH₃-N)去除率在 9.9%~38.9%,对总磷(TP)的去除率在 5.8%~38.4%^[37]。芦苇和茭白每年秋季芦苇收割时,芦苇可带走氮和磷分别为 818 kg·hm⁻² 和 103.6 kg·hm⁻²,茭白可带走氮和磷 131 kg·hm⁻² 和 28.9 kg·hm⁻²^[38]。还有研究发现,通过紫花苜蓿和牛毛草挥发作用可去除土壤中 32%~45% 的萘^[39];有冰草生长的土壤中五氯苯酚(PCP)矿化速度是无草区的 3.5 倍^[40]。

因此,在农区发展草田轮作、粮草间作和休耕种草,实施坡耕地种草、果(茶)-草套种等,推广以草类为核心的养殖污染和面源污染治理,对维护生态系统健康、提升生态系统服务功能和增加土壤碳汇以应对全球变化方面,具有重要作用和积极意义。

四、农区草业政策与重大工程建议

(一) 农区草业发展政策建议

1. 尽快将优质饲草种植纳入政策补贴

国家实行种粮补贴、生猪饲养补贴等政策对于稳定粮食和生猪生产发挥了较大作用。但是,对于优质牧草产生还没有类似的补贴政策。事实上国家补贴支持的粮食产能有相当一部分是作为饲料生产的。例如,玉米总产量中用作饲料的比例高达 70%~80%。苜蓿等优质饲草的种植不仅能增加优质饲料供应,而且能改善土壤肥力,防风固沙,降低化肥农药带来的环境污染,具有许多粮食作物所没有的生态功能,却不能享受同样的政策补贴。虽然我国粮食产量连年增加,产量实现了“十一连增”,但饲料粮短缺仍然是制约畜牧业可持续发展的重要因素,也是我国粮食安全的重要隐患。同时,牛羊肉价格一再上涨,已经出现部分牧区的牧民吃不起羊肉的现象。因此,建议政府部门尽快制定优质饲草种植补贴政策,推动节粮型草食家畜生产的发展。

2. 将草业生产和经营情况纳入国家统计数据

应按照相关统计标准,加强牧草产业的监测、统计,完善数据统计体系,并建立牧草产业价值评价体系,准确衡量牧草的经济价值。目前,我国的官方统计数据中缺少牧草的内容,不利于对部门、个人对这个行业动态的全面了解。虽然主管部门(如全国畜牧总站、草原监理中心)也有一些统计数据,但并没有纳入国家统计数据。因此,需要建立、健全牧草产业数据统计体系,使公众能及时了解准确的草业统计数据。另外,生产的牧草大多数是被家畜直接利用的,并没有进入流通领域,因此对牧草在畜牧业乃至大农业中的经济价值始终没有一个全面、准确的评价。单独以进入市场流通的草产品来衡量草业的经济价值或发展现状是不准确的。为此,建议尽快研究、制订一个可靠的牧草产业经济价值评价技术体系,从而能够全面、准确地衡量牧草在畜牧业、农业中的经济地位。

3. 加大对农区草业的政府投资与支持

农区草业发展历史较短,农民经验缺乏,从事农区草业的企业也不多,实力相对薄弱,产业链不同环节的利益不均,特别是位于草业最前端的牧草生产者利润最低,连接各生产层次的机制有待研究和完善。因此,农区草业的初期发展需要强有力的

政策扶持做保障。各级政府一方面要不断加大投入力度，尤其是在栽培草地、草业龙头企业、草业支撑技术体系等重点项目上加大投入，实施项目带动。在财政、信贷、税收等方面出台优惠政策，为农区草业发展提供宽松的政策环境。另一方面，加快培育和发展草业专业化合作经济组织，建立草业合作社、草业协会等新型合作经济组织，提高农民的组织化程度，提高草业发展的服务功能，拓宽草业服务领域。同时，要注重研究各生产层次之间的利益调节机制，尤其是使效益较低的牧草种植户分享家畜饲养、畜产品加工、畜产品流通环节的利润，充分调动各方的积极性，逐步建立起“风险共担、利益分享”的经济统一体。

4. 落实 2015 年中央“一号文件”精神，在农区推行草田轮作制度，发展草牧业

我国农区由于片面追求粮食高产，大量使用化肥、农药，土地频繁耕作，土壤污染、退化严重，有机质显著减少，水土流失、土地盐碱化、石漠化等生态环境问题日益突出。鉴于我国居民食物消费结构已经发生显著变化，我国粮食消费的大头已经是饲料粮消费而非口粮消费，饲料安全已经成为粮食安全的关键，因此需要及时调整农业结构，发展粮草兼顾型农业（即草地农业）。2015 年中央“一号文件”明确提出：加快发展草牧业，支持青贮玉米和苜蓿等饲草料种植，开展粮改饲和种养结合模式试点，促进粮食、经济作物、饲草料三元种植结构的协调发展。为了落实中央文件精神，建议通过政策引导，率先在农区中、低产田和农闲田推行草田轮作制度，在保证粮食安全的前提下，发展农区草牧业，适应现代社会消费市场需求的变化，同时将用地和养地相结合，保护和改善农业生态环境，促进农业可持续发展。

5. 加强对农区草业科技研发的支持力度，提高农区草业发展的质量

我国草业发展历史较短，科技力量薄弱，与农业中的其他行业相比科技投入远远不足，致使我国农区草业（或栽培草地）科技发展水平滞后，科技储备严重不足，不利于现代化草牧业的发展。目前，我国农区种草使用的牧草品种大多为国外品种，种子、机械装备等多数依赖进口，国产品种和技术的研发、应用严重不足，这是我国农区草业发展滞后的原因之一。长期以来，我国农区迫于粮食生产的

压力，较少从事饲草生产，相应的粮草兼顾型种植制度、模式尚不成熟，需要进一步研究、完善。因此，建议国家增加对农区草业科技研发的支持力度，从基础研究、应用研究和技术开发的不同层次予以支持，重点加强在优良牧草品种的培育、种子技术、轮作制度、专用机械装备、饲草加工贮存以及土壤与肥料、环境监测与评估等方面的研发投入。

（二）农区草业发展重大工程建议

1. 草业良种工程

饲草优良品种培育和优质种子供应是现代草业发展的基础。草业良种工程就是以饲草新品种选育和源头创新为重点，突出具有自主知识产权品种选育和育种技术研究，强化种质资源收集、整理、引进、保护、创新和利用，带动优良品种的产业化开发，形成饲草优良品种的培育、良种繁育、种子清选加工、良种销售的一整套体系。草业良种的内容主要包括：饲草种质资源保护、评价与创新利用，高产优质抗逆饲草新品种选育，饲草良种繁育体系的建立和良种繁育技术研发，种子质量认证制度的建立，以及相关质量标准、技术规程的制订等。通过草业良种工程的实施，促进我国自有知识产权饲草新品种的培育和推广应用，规范饲草种子市场，促进农区草业的健康发展。

2. 农区现代草牧业示范工程

2015 年中央“一号文件”提出要发展现代草牧业，促进农业结构调整。鉴于草牧业在我国农区发展历史较短，虽然有一些成功案例，积累了一定经验，但针对不同区域的可借鉴模式还比较有限，各地区发展不够平衡。有些地区对发展草牧业可能产生的效益、有利和不利影响、可行的技术方案、发展模式等，还有一定顾虑。为此，建议在我国不同的农业生态区域，选择有代表性的农区，实施现代草牧业发展示范工程，以带动不同地区草牧业的发展，并为以后的发展积累经验，取得技术数据，创建成功模式。草牧业示范工程将按照政府支持、技术先行、产业带动、市场主导的原则，通过种植业的结构调整，建立粮草兼顾型种植制度，通过土壤—植物—动物一体化协调发展，建立环境友好、循环利用、高效生产的技术密集型现代农业体系。

3. 农牧区饲草储备配送体系建设工程

草原牧区家畜数量多，放牧压力大，家畜生产

受到草畜供求季节不平衡的极大影响。由于补充饲料的不足,加上雪灾等突发自然灾害的影响,草原畜牧业常出现“夏壮、秋肥、冬瘦、春死”的现象,不仅严重影响牧户经济效益,而且如此循环往复的低效率饲养对草原生态环境有较大影响,不利于草原保护与草原畜牧业可持续发展。如何为牧区家畜提供补充饲料,抗灾保畜,保障缺草时期家畜的营养需要,对于提高牧区畜牧业生产效率和经济效益是非常重要的。农区种草的生产潜力很高,除了满足农区自身的需要之外,农区栽培草地生产的饲草产品可部分调运到牧区,实现农区和牧区的系统耦合。为此,建议实施农牧区饲草储备配送体系建设工程,通过国家投资,建立农区到牧区的饲草调运体系、牧区饲草储备体系及配送体系,通过农区对牧区的饲草支援,缓解牧区特殊时期的饲草缺乏,同时避免雪灾等造成的家畜大批死亡。要实现这一目标,必需建立国家饲草储运体系,以及牧区饲草配送体系,以保障农区饲草的高效利用,使其发挥关键作用。

五、结语

我国食物消费变化使饲草产品市场需求呈现快速增长势头。发展农区草业可大幅度增加我国的饲草供应,提高我国食物安全保障水平,亦有利于保护和改善农业生态环境。按照本文提出的低、中、高方案进行预测,未来农田种草的净生产潜力分别为 3.603×10^7 t 万吨、 4.52×10^7 t 万吨和 5.658×10^7 t; 如果将来实现这些生产潜能,我国牛羊肉及奶类产量都可以完全实现自给。农区种草虽然会占用一定面积的耕地,但不会影响我国的粮食供给。目前我国农区草业的资源优势尚未得到有效发挥,农区草业发展仍然受传统观念的束缚,政策上对农区草业发展的扶持力度也较小。建议尽快将优质饲草种植纳入政策补贴,将草业生产和经营情况纳入国家统计数据,在农区推行草田轮作制度,发展草牧业,同时加强对农区草业科技研发的支持力度,提高农区草业发展的质量。

参考文献

- [1] 任继周,林慧龙. 农区种草是改进农业系统,保证粮食安全的重要步骤[J]. 草业学报, 2009, 18(5): 1.
Ren J Z, Lin H L. Promoting prataculture development in arable

- region to ameliorate the farming system and insure food security in China [J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2009, 18(5): 1.
- [2] 任继周,南志标,林慧龙. 以食物系统保证食物(含粮食)安全—实行草地农业,全面发展食物系统生产潜力[J]. 草业学报, 2005, 14(3): 1–10.
Ren J Z, Nan Z B, Lin H L. Taking the grassland agro-system to insure food security [J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2005, 14(3): 1–10.
- [3] 李毓堂. 确保我国粮食安全的战略途径——发展牧草绿色蛋白质饲料,减少饲料用粮[J]. 草业科学, 2009, 26(2): 1–4.
Li Y T. Strategic approach to ensure food security in China—Developing forage green protein feed and reducing grain for fodder [J]. *Practaculture Science*, 2009, 26(2): 1–4.
- [4] 高帆. 中国居民粮食消费模式的国际比较[J]. 今日中国论坛, 2009(2): 88–92.
Gao F. International comparison of food consumption patterns of Chinese residents [J]. *China Today Forum*, 2009(2): 88–92.
- [5] 吴乐,邹文涛. 我国粮食消费的现状和趋势及对策[J]. 农业现代化研究, 2011, 32(2): 129–133.
Wu L, Zou W T. Current situation, trends and countermeasures about China's grain consumption [J]. *Research of Agricultural Modernization*, 2011, 32(3): 129–133.
- [6] 陈宁玲,李爱科,李周权. 我国饲料粮需求预测分析[J]. 中国牧业通讯, 2010, 2: 20–22.
Chen N L, Li A K, Li Z Q. Forecast and analysis to requirement of feed grain in China [J]. *China Animal Husbandry Bulletin*, 2010, 2: 20–22.
- [7] 赵亮,冯中朝,陶红军. 我国饲用粮的需求分析与预测[J]. 饲料工业, 2006, 27(11): 58–63.
Zhao L, Feng Z C, Tao H J. Requirement analysis and forecast of feed grain in China [J]. *Feed Industry*, 2006, 27(11): 58–63.
- [8] 辛贤,蒋乃华,周章跃. 畜产品消费增长对我国饲料粮市场的影响[J]. 农业经济问题, 2003, 1: 60–64.
Xin X, Jiang N H, Zhou Z Y. The impact of increasing consumption of livestock to grain market of fodder in China [J]. *Issues in Agricultural Economy*, 2003, 1: 60–64.
- [9] 邓国取. 我国农区畜牧业产业布局战略研究[J]. 地域研究与开发, 2008, 27(2): 109–112.
Deng G Q. Study on chinese agriculture area's stock breeding lay out strategy [J]. *Areal Research and Development*, 2008, 27(2): 109–112.
- [10] 周道玮,孙海霞. 中国草食牲畜发展战略[J]. 中国生态农业学报, 2010, 18(2): 393–397.
Zhou D W, Sun H X. Development strategy of grassland animal husbandry in China [J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2010, 18(2): 393–397.
- [11] 李向林,万里强,何峰. 南方草地农业潜力及其食物安全意义[J]. 科技导报, 2007, 25(9): 9–15.
Li X L, Wan L Q, He F. Potential of grassland agriculture in southern China and its significance to food security [J]. *Science & Technology Review*, 2007, 25(9): 9–15.
- [12] 刘芳,李向林,白静仁,等. 川西南农区高效饲草生产系统研究[J]. 草地学报, 2006, 14(2): 147–151.
Liu F, Li X L, Bai J R, et al. A study on the efficient forage production system in the Cropping Areas of Southwestern Sichuan Province [J]. *Acta Agrestia Sinica*, 2006, 14(2): 147–151.

- [13] 任继周, 南志标, 林慧龙, 等. 建立新的食物系统观[J]. 中国农业科技导报, 2007, 9(4): 17-21.
Ren J Z, Nan Z B, Lin H L, et al. Outlook on establishing of a new food system [J]. Journal of Agricultural Science and Technology, 2007, 9(4): 17-21.
- [14] 辛国荣, 李雪梅, 杨中艺. “黑麦草-水稻”草田轮作系统根际效应研究IV, 黑麦草根际土壤性状及其对水稻幼苗生长的影响[J]. 中山大学学报: 自然科学版, 2004, 43(1): 62-66.
Xin G R, Li X M, Yang Z Y. Rhizosphere effects in “ryegrass-rice” rotation system IV: Properties of rhizosphere soil of Italian Ryegrass and its effects on growth of rice seedling [J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni, 2004, 43(1): 62-66.
- [15] 王明明, 李峻成, 沈禹颖. 保护性耕作下黄土高原作物轮作系统土壤健康评价[J]. 草业科学, 2011, 28(6): 882.
Wang M M, Li J C, Shen Y Y. The evaluation of soil properties under conservation tillage in a maize-wheat-soybean rotation on the Loess Plateau [J]. Pratacultural Science, 2011, 28(6): 882.
- [16] 杨新泉, 冯锋, 宋长青, 等. 主要农田生态系统氮素行为与氮肥高效利用研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2003, 9(3): 373-376.
Yang X Q, Feng F, Song C Q, et al. Fate and efficient use of nitrogen fertilizer in main agroecosystems [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2003, 9(3): 373-376.
- [17] 杨中艺, 潘哲祥. “黑麦草-水稻”草田轮作系统的研究: III. 意大利黑麦草引进品种在南亚热带地区栽培表现[J]. 草业学报, 1995, 4(4): 52-57.
Yang Z Y, Pan Z X. A study of an Italian Ryegrass (Lolium Multiflorum)-Rice (Oriza Sativa) rotation (IRR) system III: Productivity of introduced varieties of italian ryegrass when seeded into late rice population in the southern subtropics china [J]. Acta Prataculturae Sinica, 1995, 4(4): 52-57.
- [18] 石全红, 王宏, 陈阜, 等. 中国中低产田时空分布特征及增产潜力分析[J]. 中国农学通报, 2010, 26(19): 369-373.
Shi Q H, Wang H, Chen F, et al. The spatial-temporal distribution characteristics and yield potential of medium-low yielded farmland in China [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2010, 26(19): 369-373.
- [19] 张晓玲, 徐保根, 樊兰瑛, 等. 中低产田成因类型划分方法的研究[J]. 资源科学, 1999, 21(4): 35-38.
Zhang X L, Xu B G, Fang L Y, et al. Probing into the methodology for classifying causes types of medium-low yield farmland [J]. Resources Science, 1999, 21(4): 35-38.
- [20] 景国臣, 王亚娟, 王占喜. 中低产田形成的原因与培肥改良对策[J]. 水土保持应用技术, 2009(4): 34-36.
Jing G C, Wang Y J, Wang Z X. Reasons for the formation of medium-low yield fields and strategies for fertilization improvement [J]. Technology of Soil and Water Conservation, 2009(4): 34-36.
- [21] 张琳, 张凤荣, 姜广辉, 等. 我国中低产田改造的粮食增产潜力与食物安全保障[J]. 农业现代化研究, 2005, 26(1): 22-25.
Zhang L, Zhang F R, Jiang G H, et al. Potential improvement of medium-low yielded farmland and guarantee of food safety in China [J]. Research of Agricultural Modernization, 2005, 26(1): 22-25.
- [22] 林鹏生. 我国中低产田分布及增产潜力研究[D]. 北京: 中国农业科学院博士学位论文, 2008.
Lin P S. Study on the distribution and the increasing production potential of medium-low yielded farmland in China (Doctoral dissertation) [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2008.
- [23] 于格, 鲁春霞, 谢高地. 草地生态系统服务功能的研究进展[J]. 资源科学, 2005, 27(6): 172-179.
Yu G, Lu C X, Xie G D. Progress in ecosystem services of grassland [J]. Resources Science, 2005, 27(6): 172-179.
- [24] 焦菊英, 王万中. 黄土高原水平梯田质量及水土保持效果的分析[J]. 农业工程学报, 1999, 15(2): 59-63.
Jiao J Y, Wang W Z. Quality and soil-water conservation effectiveness of level terrace on the loess plateau [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 1999, 15(2): 59-63.
- [25] 王俊鹏, 蒋骏, 韩清芳, 等. 宁南半干旱地区春小麦农田微集水种植技术研究[J]. 干旱地区农业研究, 1999, 17(2): 8-13.
Wang J P, Jiang J, Han Q F, et al. Technique of spring wheat cultivation of farmland water micro-collection in semiarid areas of Southern Ningxia [J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 1999, 17(2): 8-13.
- [26] 刘沛松, 贾志宽, 李军, 等. 不同草粮轮作方式对退化苜蓿草地水分恢复的影响[J]. 农业工程学报, 2010, 26(2): 95-102.
Liu P S, Jia Z K, Li J, et al. Effects of different alfalfa-crop rotation patterns on water recovery of degradation alfalfa grassland [J]. Transactions of the Csa, 2010, 26(2): 95-102.
- [27] 王苹, 李建东, 欧勇玲. 松嫩平原盐碱化草地星星草的适应性及耐盐生理特性研究[J]. 草地学报, 1997, 5(2): 80-84.
Wang P, Li J D, Ou Y L. Studies on the adaptability and tolerance of puccinellia tenuiflora to salinity in the salinized grassland in Songnen Plain [J]. Acta Prataculturae Sinica, 1997, 5(2): 80-84.
- [28] 黄传伟, 牛德奎, 黄顶, 等. 草篱对坡耕地水土流失的影响[J]. 水土保持学报, 2008, 22(6): 40-43.
Huang C W, Niu D K, Huang D, et al. Effects of grass hedgerows on runoff and soil erosion on slope land [J]. Journal of Soil and Water Conserv Ation, 2008, 22(6): 40-43.
- [29] 卢喜平, 史东梅, 吕刚, 等. 紫色土坡地果草种植模式的水土流失特征研究[J]. 水土保持学报, 2005, 19(2): 21-25.
Lu X P, Shi D M, Lv G, et al. Study on soil and water loss characteristics of intercropping orchard-pasture model in purple soil slopeland [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2005, 19(2): 21-25.
- [30] 黄东风, 林新坚, 罗涛. 茶园牧草套种技术应用及其生态效应分析[J]. 中国茶叶, 2002, 24(6): 16-18.
Huang D F, Lin X J, Luo T. Tchonology application and ecological effect analysis of planting grass in tea garden [J]. Tea of China, 2002, 24(6): 16-18.
- [31] 李品武, 彭萍, 侯渝嘉, 等. 不同改植模式更新坡地茶园水土保持效果研究[J]. 西南农业学报, 2006, 19(1): 120-122.
Li P W, Peng P, Hou Y J, et al. Study of different replanting patterns to renovate sloping tea garden on effect of soil and water conservation [J]. South west China Journal of Agricultural Sciences, 2006, 19(1): 120-122.
- [32] 杨慧滨, 李林英. 4种草皮缓冲带对径流污染物去除效果研究[J]. 天津农业科学, 2010, 16(4): 73-76.
Yang H B, Li L Y. Effects of different grass and width of riparian buffer strips on runoff purification [J]. Tianjin Agricultural Sciences, 2010, 16(4): 73-76.
- [33] 苏天杨, 李林英, 姚延持. 不同草本缓冲带对径流污染物滞留效益及其最佳宽度研究[J]. 天津农业科学, 2010, 16(3): 121-123.
Su T Y, Li L Y, Yao Y C. Effects of different grass and width of

- riparian buffer strips on runoff purification [J]. *Tianjin Agricultural Sciences*, 2010, 16(3): 121–123.
- [34] 王义祥, 王峰, 翁伯琦, 等. 果园生草模式土壤固碳潜力——以福建省为例[J]. *亚热带农业研究*, 2010, 6(3): 189–192.
Wang Y X, Wang F, Weng B Q, et al. Study on soil carbon sequestration potential of sod cultivated orchard—Taking Fujian province as a case [J]. *Subtropical Agriculture Research*, 2010, 6(3): 189–192.
- [35] 翁伯琦, 王义祥, 黄毅斌, 等. 生草栽培下果园土壤固碳潜力研究[J]. *生态环境学报*, 2013, 22(6): 931–934.
Weng B Q, Wang Y X, Huang Y B, et al. Carbon sequestration capacity of soil in sod cultivation orchard [J]. *Ecology and Environmental Sciences*, 2013, 22(6): 931–934.
- [36] 夏汉平, 王庆礼, 孔国辉. 垃圾污水的植物毒性和植物净化效果之研究[J]. *植物生态学报*, 1999, 23(4): 289–302.
Xia H P, Wang Q L, Kong G H. Phyto-toxicity of garbage leachates and effectiveness of plant purification for them [J]. *Acta Phytocologica Sinica*, 1999, 23(4): 289–302.
- [37] 邓素芳, 陈敏, 杨有泉. 红萍净化水产养殖水体的研究[J]. *环境工程学报*, 2009, 3(5): 809–812.
Deng S F, Chen M, Yang Y Q. Study on purification of aquaculture water with *Azolla* [J]. *Chinese Journal of Environmental Engineering*, 2009, 3(5): 809–812.
- [38] 姜翠玲, 范晓秋, 章亦兵, 等. 非点源污染物在沟渠湿地中的累积和植物吸收净化[J]. *应用生态学报*, 2005, 16(7): 1351–1354.
Jiang C L, Fan X Q, Zhang Y B, et al. Accumulation of non-point source pollutants in ditch wetland and their uptake and purification by plants [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2005, 16(7): 1351–1354.
- [39] Schwab A P, Al-Assi A A, Banks M K. Adsorption of naphthalene onto plant roots [J]. *Environmental Quality*, 1998, 27: 220–224.
- [40] Ferro A M, Sims R C, Bugbee B. Hycrested wheatgrass accelerates the degradation of pentachlorophenol in soil [J]. *Journal of Environmental Quality*, 1994, 23: 272–279.