

doi: 10.7621/cjarrp.1005-9121.20171032

· 区域农业 ·

基于种养业融合的大兴安岭农垦种养结构优化研究^{*}

余婧婧¹, 王瑞波², 常海涛³, 高明杰¹, 王占海⁴, 莫际仙¹, 高春雨¹[※]

(1. 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所, 北京 100081; 2. 农业部农业生态与资源保护总站, 北京 100125;
3. 大兴安岭农场管理局农业处, 内蒙古呼伦贝尔 021000; 4. 内蒙古呼伦贝尔市农业广播电视学校, 内蒙古海拉尔 021008)

摘 要 [目的] 种养业协调发展是促进我国农业供给侧结构性改革的重要方面。文章以大兴安岭农垦的种养业结构优化为研究对象, 针对大兴安岭农垦种养业结构发展失衡等问题, 构建了基于种养业协调发展的多目标线性规划模型。[方法] 根据 Matlab 编程求解, 模拟提出了该地区的种养业优化方案, 并阐明了促进种养业协调发展的对策措施。[结果] (1) 通过优化调整, 大兴安岭农垦种养结构得到优化, 与 2013~2015 年平均相比, 粮食作物种植面积减少 2.26 万 hm^2 , 经济作物种植面积增加了 1.97 万 hm^2 , 其中大豆种植面积减少 1.16 万 hm^2 , 玉米种植面积减少 1.96 万 hm^2 , 养殖业饲养规模大幅度增加, 其中猪的养殖数量增加 5.89 倍, 牛增加 16.62 倍, 羊增加 1.57 倍, 家禽增加了 10.2 倍。(2) 通过优化调整, 与 2013~2015 年平均水平相比, 种养业综合效益显著提升, 提高了 48.81%, 其中经济收益增加了 93.92%, 社会效益减少了 6.06%, 生态效益提高了 6.13%, 其中总化肥施用量减少 13.15%, 总作物需水量减少 5.74%、相对生态价值降低 0.77%。[结论] 为进一步推进大兴安岭农垦种养业结构调整, 迫切需要加强宣传, 探索种养业结合发展新模式, 加快废弃物处理新技术推广, 制定扶持政策, 促进种植业和养殖业形成良性循环。

关键词 多目标线性规划 种养平衡 环境承载力 结构调整 优化方案

中图分类号: F303; F302.2 **文献标识码**: A **文章编号**: 1005-9121[2017]10228-09

0 引言

2017 年中央一号文件指出, 要以推进农业供给侧改革为主线, 加快结构调整, 着重优化产品结构, 着力推进农业提质增效, 要推进绿色生产方式, 增强农业可持续发展能力。2015 年发布的《国务院办公厅关于推进农村一、二、三产业融合发展的指导意见》提出要加快农业机构调整, 以农牧结合、农林结合、循环发展为导向, 调整优化种养种植养殖结构, 加快发展绿色农业, 加快发展种养循环农业。《农业部关于进一步调整优化农业机构调整的指导意见 (农发 [2015] 2 号)》提出要以“粮草兼顾、农牧结合、循环发展”为导向, 调整优化种养结构。因此, 优化种植结构、推广种养结合模式、推进种养业协调高效发展已成为我国现代农业发展的重要方向。

国内外有不少学者对种养结构优化进行了研究。牛凯等^[1] 对全国农作物种植结构、农业水资源、土地资源进行优化研究; 胡霄楠等^[2-7] 以地州、县、乡镇为研究单元, 对农业产业结构进行分析并提出优化配置方案。陈玉香等^[8] 对吉林省长岭县种马场、陈海霞等^[9] 对江苏循环农业示范基地农业发展分别进行了优化设计。国外对农业种养业结构的研究着重于产业优化政策和优化效率研究, 主要政策研究包括法律制定、种养规划、环境风险评估等方面。Chichilnisky^[10] 利用投入产出方法对美国行业活动中的能源投入和污染物排放进行了定量分析。筱原三代平^[11] 提出了“需求收入弹性基准”和“生产率上升基准”概

收稿日期: 2017-08-17

作者简介: 余婧婧 (1991—), 女, 布依族, 贵州安龙人, 硕士研究生。研究方向: 产业组织与供应链管理

※通讯作者: 高春雨 (1978—), 男, 黑龙江哈尔滨人, 副研究员。研究方向: 生态农业与农业可持续发展。Email: gaochunyu@caas.cn

***资助项目**: 国家自然科学基金“麦玉轮作系统测土配方施肥碳贸易研究” (31200337); 国家自然科学基金“北方地区秸秆沼气集中供气工程冬季增温保温能源边际报酬分析” (41301626)

念,使得产业结构优化升级理论基本成形,之后,今村奈良臣^[12]提出了“六次产业化”概念。印度学者 Shin 等^[13]运用线性规划模型,对奥里萨邦沿海地区的农作物种植与水资源分配进行了优化研究。

种养业结构优化现有研究中,主要以种养殖经济效益评价为主,同时考虑种养业经济效益、社会效益、生态效益的研究较少,且大多数研究以市、县、乡镇为研究单元,指导性和可操作性较差。而大兴安岭农垦属于国企,计划性强,相关计算结果可有效指导生产实践。该研究通过建立大兴安岭农垦多目标线性规划种养平衡结构优化模型,应用 Matlab 编程对模型进行求解,提出了优化方案和对策措施,对于推进大兴安岭农垦农业供给侧结构性改革,加快农业产业结构调整,转变农业发展方式,提升农业效益,推动农业可持续发展具有重要的借鉴意义。

1 研究区概况

大兴安岭农垦位于内蒙古呼伦贝尔市东部,2016 年,总人口 6.4 万人,耕地面积 8.36 万 hm^2 ,农林牧渔总产值 6.17 亿元。种植业以玉米、大豆、小麦、马铃薯等粮食作物为主,是国家重要商品粮生产战略基地,农作物播种总面积 8.87 万 hm^2 ,养殖业以猪、牛、羊、家禽为主,猪年末存栏 3 664 头、牛存栏 3 618 头、羊存栏 17.8 万只、家禽存栏 5.98 万羽,肉类总产量 3 805t。当前,农业生产存在种养业脱节,产业结构不合理,农业废弃物利用不合理,农业综合效益偏低等问题。主要表现在粮食作物面积大,经济作物面积小,养殖规模小,一般、低效益种养殖品种多、高效益种养殖品种少,秸秆焚烧等生态环境问题较为严重,总体上,缺乏对种养业的统筹安排,对大兴安岭垦区的种养结构优化与调整势在必行。

2 数据与方法

2.1 数据来源

文章以大兴安岭农垦 2013 ~ 2015 年种养业的实际投入产出情况作为基础研究对象,对大兴安岭农垦 3 年的平均数据进行研究。其中,玉米、小麦等 11 种农作物种植面积、产量、收益来自大兴安岭农垦管理局农业处,畜禽养殖品种、数量、肉类产量等数据来自大兴安岭农垦管理局畜牧处,种养业的种苗、化肥、农药、种畜、饲料、人工成本等 8 项数据以调查问卷的形式从农户、农场职工调研获取,作物需水量及相对生态价值以文献分析法的方式获取。同时,还借鉴了大兴安岭农垦管理局农业处 2016 年统计年报、《全国农产品成本收益资料汇编 2015》、《NY/T 816 - 2004 肉羊饲养标准》、《中国饲料成分及营养价值表(2013 年第 24 版)》及大兴安岭垦区其他相关部门的统计资料等。

2.2 研究方法

目前,关于种养结构优化研究的模型主要包括多目标线性规划模型、投入产出分析模型、系统动力学模型、大道模型、数学规划和可计算一般均衡模型等。该文选择的研究方法为多目标线性规划模型和层次分析法。

2.2.1 多目标线性规划模型

1947 年,丹捷格^[14]以运筹学为基础,创建了线性规划模型,由单目标线性规划逐渐发展为多目标线性规划模型,该模型主要由决策变量、目标函数、约束条件 3 部分组成,即是求线性函数在线性不等式或等式约束条件下达到最大值或最小值的问题,它广泛用于工业、农业、决策管理与规划、交通运输、科学实验等多个领域。与其它方法相比,多目标线性规划方法较为成熟,具有较强的灵活性,能在多组约束条件下有效求解多个目标函数,适用于求解该研究包含的多个目标函数,使得经济、社会、生态效益 3 个方面取得共同效益,实现农业资源的优化配置。

2.2.2 层次分析法

层次分析法是将决策问题的有关元素分解为目标、准则、方案等层次,并结合了定性与定量分析的一种决策方法^[15]。层次分析法把人的思维过程层次化、数量化,并用数学为分析、决策、预报或控制提供定量依据,有利于求解多目标、多准则或无结构特性的复杂决策问题。该方法层次清晰、结构简单、计算便捷,能有效对该研究中经济、社会、生态效益 3 个方面进行结构划分,并对各目标函数的重要性进行科

学判断,有利于多目标线性规划模型求解。

3 模型构建

3.1 决策变量选择

根据大兴安岭农垦 2013 ~ 2015 年的统计资料,分析该地区的种养业实际情况,该文确定了 11 种大兴安岭农垦种植规模及发展潜力较大的农作物与 4 种养殖规模较大且具有比较优势的畜禽种类作为该研究的决策变量。数学形式如下:

$$X = \{x_i\} \quad i = 1, 2, \cdots, 15 \tag{1}$$

式(1)中, x_i 代表第 i 个决策变量,是种植业与养殖业中的农作物种植单位面积或畜禽数量; i 为决策变量的序数(表 1)。

3.2 目标函数设定

该文综合考虑经济、社会、生态 3 方面效益,立足于种养业协调发展,设定了总收益、粮食产量、总化肥施用量、总作物需水量及相对生态价值 5 个目标函数。经济目标函数为种植业与养殖业收益之和;社会效益主要指农垦能为社会提供的粮食产量;生态目标函数包括总化肥施用量、总作物需水量及相对生态价值 3 个指标。具体目标函数如下:

表 1 决策变量

作物种类	播种面积	作物/畜禽种类	播种面积/养殖数量
小麦	x_1	苜蓿	x_9
高粱	x_2	水飞蓟	x_{10}
玉米	x_3	蔬菜	x_{11}
大豆	x_4	猪	x_{12}
马铃薯	x_5	牛	x_{13}
芸豆	x_6	羊	x_{14}
白瓜	x_7	家禽	x_{15}
紫苏	x_8	/	/

$$\begin{cases} Maxf_1(x_i) = 2\,357.44x_1 + 3\,960.58x_2 + 4\,403.15x_3 + 4\,153.44x_4 + 10\,597.93x_5 + \\ \quad 3\,488.69x_6 + 11\,736.24x_7 + 14\,670x_8 + 7\,932x_9 + 4\,609.81x_{10} + \\ \quad 7\,468.35x_{11} + 523.18x_{12} + 1\,704.67x_{13} + 165.91x_{14} + 1\,290x_{15} \\ Maxf_2(x_i) = 3\,105x_1 + 4\,658.65x_2 + 7\,293.5x_3 + 1\,863.65x_4 + 20\,629.82x_5 \\ Minf_3(x_i) = 337.5x_1 + 262.5x_2 + 375x_3 + 198.75x_4 + 412.5x_5 + 187.5x_6 + \\ \quad 168.75x_7 + 150x_8 + 150x_9 + 150x_{10} + 187.5x_{11} \\ Minf_4(x_i) = 3\,800.02x_1 + 3\,220.02x_2 + 4\,880.02x_3 + 3\,600.02x_4 + 4\,147.02x_5 + \\ \quad 3\,748.02x_6 + 4\,311.72x_7 + 3\,373.32x_8 + 5\,493.03x_9 + 4\,000.02x_{10} + 4\,000.02x_{11} \\ Maxf_5(x_i) = 2.7(x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7 + x_8 + x_9 + x_{11}) + 5.97x_{10} \end{cases} \tag{2}$$

式(2)中, f_1 为总收益,其系数为单位面积农作物或畜禽净收益; f_2 为粮食产量,其系数为单位面积粮食作物平均产量; f_3 为总化肥施用量,其系数为农作物单位种植面积使用的平均化肥量; f_4 为总作物需水量,其系数为各作物全生育期需水量^[16-18]; f_5 为相对生态价值,其系数为作物单位种植面积对应的相对生态价值之和^[19-21]。

为消除不同量纲影响,构建总目标函数,该文应用极值处理的方法统一量纲,应用层次分析法确定权重,建立新无量纲目标函数,再线性加权化为单目标函数。首先,单独考虑各目标函数 $f_i(i = 1, 2, \dots, 5)$, 设 x_i 可行域为 D , 在可行域内求出其最优值 $f_i^* = \text{Max}[\text{min}](f_i | x_i \in D)$, 确定各目标函数极值为:

$$\begin{cases} f_1^* = 6.056\,3 \times 10^8 \text{ 元} \\ f_2^* = 2.2\,379 \times 10^8 \text{ kg} \\ f_3^* = 1.413\,3 \times 10^7 \text{ kg} \\ f_4^* = 2.464\,7 \times 10^8 \text{ m}^3 \\ f_5^* = 1.728\,8 \times 10^5 \end{cases} \tag{3}$$

其次,通过层次分析法计算得到各目标函数权重,经一致性检验后,最终各权重分别为:

$$\begin{cases} w_1 = 0.388 \\ w_2 = 0.268 \\ w_3 = 0.142 \\ w_4 = 0.111 \\ w_5 = 0.091 \end{cases} \tag{4}$$

再次,根据各目标函数极值与权重构造新的单目标线性规划模型:

$$MaxF(x_i) = w_1 \cdot \frac{f_1}{f_1^*} + w_2 \cdot \frac{f_2}{f_2^*} + w_3 \cdot \frac{f_3}{f_3^*} + w_4 \cdot \frac{f_4}{f_4^*} + w_5 \cdot \frac{f_5}{f_5^*} \tag{5}$$

式(4)~(5)中, $w_i(i=1,2,3\dots5)$ 为权重。

最终得到总目标函数为:

$$MaxF(x_i) = 1.03 \times 10^{-7}x_1 + 3.63 \times 10^{-7}x_2 + 4.67 \times 10^{-7}x_3 + 1.80 \times 10^{-7}x_4 + 1.79 \times 10^{-7}x_5 + 5.63 \times 10^{-7}x_6 + 3.54 \times 10^{-7}x_7 + 5.2 \times 10^{-7}x_8 + 1.68 \times 10^{-7}x_9 + 1.80 \times 10^{-7}x_{10} + 1.68 \times 10^{-7}x_{11} + 3.35 \times 10^{-7}x_{12} + 1.09 \times 10^{-7}x_{13} + 1.06 \times 10^{-7}x_{14} + 8.26 \times 10^{-7}x_{15} \tag{6}$$

3.3 确定约束条件

该文基于种养平衡、耕地承载力、劳动力供给等方面,将秸秆载畜量、农田纳畜量、作物播种面积、畜禽养殖数量、劳动力作为约束条件。

3.3.1 秸秆载畜量

该研究参考草地载畜量标准^[22],将畜禽统一为标准羊单位,以农作物秸秆包含的营养成分为折算依据,以消化能为指标来评价作物的秸秆载畜量。计算公式为:

$$Z = (w \times g)/(p_1 \times G_s) \tag{7}$$

式(7)中, Z 为秸秆载畜量,羊单位/ $(\text{hm}^2 \cdot \text{年})$; W 为单位种植面积收获秸秆数量,单位 kg/hm^2 ,通过草谷比^[23]计算得到; g 为作物秸秆的消化能含量^[24],单位 MJ/kg ; p_1 为畜禽年所需营养由秸秆提供比例,取 33%,为实地调研数据; G_s 为标准羊的年消化能需求量,单位 $\text{MJ}/(\text{头} \cdot \text{年})$,根据农业部肉羊饲养标准^[25]计算得出。

3.3.2 农田纳畜量

农田纳畜量指农作物在单位种植面积下,一周年消纳的畜禽粪污量,其对应的通常营养水平及饲养条件下能承载的最大畜禽数量。将畜禽粪污中所含氮磷养分作为评价指标,以木桶效应为判断标准,选取匹配农田种植面积的畜禽养殖数量^[26-27]。计算公式为:

$$N = (A \times p_2 \times f)/(S \times r) \tag{8}$$

式(8)中, N 为农田纳畜量,羊单位/ $(\text{hm}^2 \cdot \text{年})$; A 为预期单位面积产量下作物吸收的营养元素,单位 kg/hm^2 ; p_2 为由施肥创造的产量占总产量的百分比例,设定为 50%^[28]; S 为标准羊的粪便养分年产量,单位 $\text{kg}/(\text{头} \cdot \text{年})$; r 为畜禽粪污养分当季利用率,取 28%^[28]; f 为当地农业生产施于农田畜禽粪污养分含量占施肥总量的百分比,因养分木桶效应,取 100%。

其中,参数 A 、 S 的计算公式为:

$$A = y \times a \times 10^{-2} \tag{9}$$

$$S = 365 \times Q \times P \times L \tag{10}$$

式(9)~(10)中, y 为作物预期单位面积产量, a 为作物形成 100kg 产量吸收的营养元素数量^[28,30],通过计算得到; Q 为畜禽每日的粪便排泄量^[31],单位 kg/d ; P 为粪便养分占比,并以各畜禽粪污中的养分含量统一折算畜禽系数^[32-33]; L 为养分保持率(%),采取最低损失率,取 95%^[29]。

3.3.3 劳动力约束

当地农业从业人数 2.654 8 万人,每人劳作日为 240d/年(根据当地种植习惯,农户每年劳作时间约

8 个月, 计每月 30d), 则劳动力约束上限为 637. 152 万 d。各作物及畜禽的用工数参考^[34] 《全国农产品成本收益资料汇编 2015》。

该文总体约束条件如下, 其中, 第 1、2 项为秸秆载畜量与农田纳畜量的约束条件, 第 3~15 项为该地区的耕地面积、作物种植面积及畜禽养殖数量的约束范围, 最后一项则为该地区的为种养业所能提供的劳动力。

s. t.

{

$$22.06x_1 + 124.22x_2 + 59.73x_3 + 32.33x_4 + 86.36x_9 \leq 1.5x_{12} + 6.93x_{13} + x_{14}$$
$$16.9x_1 + 32.99x_2 + 34.14x_3 + 18.29x_4 + 10.13x_9 \geq 2.38x_{12} + 10.46x_{13} + x_{14} + 23x_{15}$$
$$\sum_{i=1}^{11} x_i \leq 83\,593.47$$
$$2\,666.67 \leq x_1 \leq 4\,000$$
$$200 \leq x_2 \leq 2\,000$$
$$6\,666.67 \leq x_3 \leq 166\,666.67$$
$$33\,333.33 \leq x_4 \leq 53\,333.33$$
$$133.33 \leq x_5 \leq 4\,666.67$$
$$200 \leq x_6 \leq 5\,333.33$$
$$3\,333.33 \leq x_9 \leq 6\,666.67$$
$$333.33 \leq x_7 + x_8 + x_{10} + x_{11} \leq 1\,333.33$$
$$533.33 \leq x_{12} \leq 1\,333.33$$
$$200 \leq x_{13} \leq 4\,000$$
$$1\,333.33 \leq x_{14} \leq 26\,666.67$$
$$66.67 \leq x_{15} \leq 1\,333.33$$
$$48.75x_1 + 35.85x_2 + 46.35x_3 + 32.7x_4 + 60.6x_5 + 30.45x_6 + 28.95x_7 + 30.75x_8 +$$
$$43.2x_9 + 31.8x_{10} + 319.65x_{11} + 2.36x_{12} + 10.39x_{13} + 1.36x_{14} + 1.2x_{15} \leq 6\,371\,520$$

(11)

4 结果与分析

根据建立的多目标线性规划模型, 利用 Matlab 软件编程求解, 最终得到大兴安岭农垦种养结构优化方案。并与地区的实际方案, 即大兴安岭农垦 3 年(2013~2015 年) 种养业平均投入产出情况进行对比, 分析得到优化方案中种养业的实际变化情况, 具体结果见表 2。

4.1 种养业结构分析

4.1.1 高效经济作物、粮食作物“一增一减”

优化方案显示, 在种植业内部变化较大, 粮食作物种植规模减小, 经济作物种植规模增加。玉米、大豆两种粮食作物面积共计减少 3. 13 万 hm², 其中玉米播种面积减少 1. 96 万 hm², 占粮食作物减少总面积的 62. 75%; 大豆播种面积减少 1. 16 万 hm², 占粮食作物减少总面积的 37. 25%。而马铃薯、小麦、高粱 3 种作物有一定幅度的增加, 其中马铃薯播种面积增幅最大, 增加了 0. 68 万 hm²。从优化方案可看出, 经济

表 2 优化方案与实际方案对比情况

作物/畜禽种类	优化方案 (hm ² 、头、只)	实际方案 (hm ² 、头、只)	变化率 (%)
小麦	5 605. 33	3 806. 20	47
高粱	255. 33	208. 00	23
玉米	9 379. 33	28 997. 20	-68
大豆	36 174. 00	47 820. 87	-24
马铃薯	6 904. 67	126. 27	5 368
芸豆	6 438. 67	1 316. 33	389
白瓜	2 146. 67	412. 33	421
紫苏	2 168. 67	62. 00	3 398
苜蓿	4 396. 67	67. 00	6 462
水飞蓟	2 182. 00	169. 67	1 186
蔬菜	4 418. 00	26. 47	16 593
猪	62 080	9 016	589
牛	122 570	6 958	1 662
羊	399 880	155 335	157
家禽 (百只)	14 410	1 287. 05	1 020

作物播种面积增幅较大, 共计增加 1.97 万 hm^2 , 蔬菜、苜蓿、紫苏、水飞蓟、芸豆、白瓜等均有一定幅度增加, 其中芸豆、蔬菜、苜蓿等增长较快, 分别增加 0.51 万 hm^2 、0.44 万 hm^2 、0.43 万 hm^2 , 合计占经济作物增加播种面积的 70.28%。出现以上变化的原因是, 粮食作物价格连年下降, 相比较而言, 经济作物的种植收益较高。以紫苏为例, 净收益为 1.467 万元/ hm^2 , 是小麦、玉米等五种粮食作物平均净收益的 2.88 倍。此外, 该地区的大棚蔬菜、苜蓿、紫苏等经济作物已通过试验种植期, 取得了较好的成效, 适宜较大规模推广。

4.1.2 畜禽养殖规模大幅度增加

在优化方案中, 猪、牛、羊、家禽的养殖规模明显增大, 其中牛的饲养数量涨幅最大, 达到 12.26 万头, 是 2013 ~ 2015 年平均养殖数量的 17.72 倍; 家禽养殖数量超过 140 万只, 是 2013 ~ 2015 年平均养殖数量的 11.2 倍; 羊饲养数量达 40 万只, 是 2013 ~ 2015 年平均养殖数量的 2.57 倍; 猪饲养数量达 6.21 万头, 是 2013 ~ 2015 年平均养殖数量的 6.89 倍。大兴安岭农垦处于东北农牧交错地区, 既拥有连片的林间草地和大片的可种植苜蓿等牧草的农田, 又可向周边地区购进牧草, 饲草资源相对丰富, 这有利于发展舍饲规模化养殖。通过引进新品种发展优质养殖业, 打造大兴安岭农垦“优质优价”畜牧品牌, 延长产业链, 提高市场竞争力, 有利于推动畜牧业跨越式发展。

4.1.3 种养业均衡发展

优化模型将秸秆载畜量和农田纳畜量作为约束条件, 充分考虑农田消纳能力, 有利于实现种养业协调发展。优化方案显示, 小麦、高粱、玉米、大豆、苜蓿五种作物共 5.58 万 hm^2 耕地所产生的约 20.76 万 t 秸秆及 3.87 万 t 苜蓿干草, 能满足 12.26 万头牛、39.99 万只羊的粗饲料需求。对畜禽粪污中氮的含量进行折纯, 约为 1.45 万 t, 平均可施氮肥 12.04 kg/hm^2 , 可完全被农田消纳, 改善土壤质量, 提高农田生产, 实现了种植业与养殖业之间的良性循环发展。

4.2 种养业效益

4.2.1 综合效益显著提升

优化结果显示, 种养业综合效益指数为 4.14, 提高了 48.81%, 其中经济效益、生态效益明显高于优化前, 社会效益略有下降。具体看, 总收益增长了 93.92%, 粮食产量仅下降了 6.06%, 总化肥施用量大幅度下降 13.15%, 总作物需水量减少了 5.74%, 相对生态价值下降 0.77%。该地区的种养业在经济总收益大幅度提升的前提下, 小幅度减少了地区的粮食产量, 同时也降低了该地区种植业所需的总化肥施用量和总作物需水量, 还充分利用农作物秸秆与畜禽粪污等农业废弃物资源, 最大限度地实现了经济效益、社会效益、生态效益“三赢”。

4.2.2 经济效益显著提高

对该地区的种养业进行结构优化后, 其种养业总收益达 7.63 亿元, 与地区的实际平均收益 (2013 ~ 2015 年) 相比增长了 93.92%。其中种植业收益达 4.36 亿元, 比与地区的实际平均收益 (2013 ~ 2015 年) 相比增长了 24.93%, 粮食作物与经济作物的收益在种植业总收益中的占比由 97:3 调整到 64:36。养殖业收益达 3.26 亿元, 是优化前的 7.42 倍。对种养业的结构进行优化后, 不仅平衡了种养业的内部结构, 还提高了其经济收益。

4.2.3 社会效益略有降低

优化后粮食产量达 29.68 万 t, 与 2013 ~ 2015 年平均粮食产量相比减少了 1.91 万 t, 仅下降了 6.06%, 这主要是由经济作物播种面积增加、粮食播种面积下降所引起的。根据对该地区的实地调研, 农垦年人均粮食需求量约 164.25 kg 、年均粮食需求总量约 1.05 万 t。优化后粮食产量远远超过了农垦所需的粮食量, 可为社会提供的粮食达 28 万 t, 在保障该地区的粮食安全后可进行农产品贸易。因此, 优化方案较好地兼顾了该地区与社会效益, 有利于促进社会的和谐发展。

4.2.4 生态效益总体有所提高

对该地区种养业所产生的整体生态效益进行分析, 可看出地区的生态效益有所上涨, 提高了 6.13%。

其中总化肥施用量为 1.92 万 t，与 2013 ~ 2015 年平均化肥施用量相比减少 13.15%，这主要是由于减少了化肥施用量较高的玉米播种面积，增加了化肥施用量较少的白瓜、紫苏、苜蓿等经济作物播种面积。总作物需水量达到 31.8 万 t，与 2013 ~ 2015 年平均相比减少 5.74%，这主要是由于减少了需水量较高的玉米作物，增加了需水量低于玉米的芸豆、紫苏、水飞蓟等作物的播种面积。相对生态价值仅下降了 1 730 点，与 2013 ~ 2015 年平均仅减少 0.77%，这主要由于优化方案中农作物播种面积有所减少。优化方案有利于推动种养业融合发展，实现秸秆、畜禽粪污的全量化利用，提高耕地生产能力，缓解秸秆焚烧所造成的大气污染，有效治理农田面源污染。

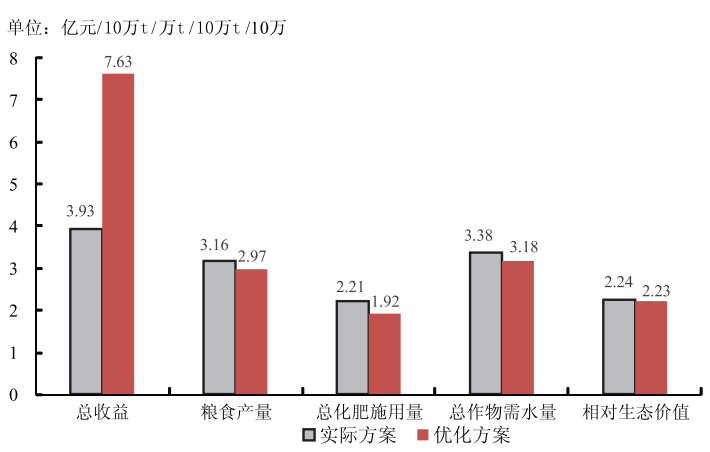


图 1 种养结构优化前后效益对比

5 结论与对策建议

5.1 结论

优化方案实现了种养结构优化，优化方案减少了种植业内的粮食作物的种植面积，增大了经济作物的种植面积，扩大了养殖业的整体饲养规模，使种养业间的发展更加紧密结合，缩小了种植业和养殖业之间的发展差距。优化后，种植业中粮食作物与经济作物在总播种面积中的占比由 98:2 调整到 73:27，粮食作物的播种面积减少了 2.26 万 hm^2 ，经济作物的播种面积增加了 1.97 万 hm^2 ；整体扩大了养殖业各畜禽的养殖数量，猪、牛、羊、家禽饲养数量分别是优化前的 6.89、17.72、2.57、11.2 倍。

优化方案实现了综合效益显著提升。通过优化调整，与 2013 ~ 2015 年平均水平相比较，种植业与养殖业的综合效益有了较大的提升，综合效益指数提高了 48.81%。其中经济收益增加了 93.92%，社会效益减少了 6.06%，生态效益提高了 6.13%，秸秆、畜禽粪便资源得到高效利用。调整后该地区的种植业与养殖业能获得较大的经济效益，同时可保证该地区的粮食产量，促进了种养融合和农业可持续发展。

该文的优化调整具一定的科学性，与国家的供给侧结构性改革及大兴安岭农垦的实际相符合。大兴安岭农垦属于国家“镰刀湾”地区，减少玉米等粮食作物播种面积，扩大经济作物播种面积，增加牛、羊、猪等草食畜的养殖数量，是推进大兴安岭农业结构调整，提高农业供给体系质量和效益的必然要求。优化方案以种养结合为纽带，推动种植业 - 秸秆 - 养殖业 - 粪便 - 还田的循环农业发展，实现了秸秆、畜禽粪污等废弃物资源的全量化利用，使农业废弃物在种养系统内实现自我消纳，形成种养业间的良性循环发展，提升了耕地生产能力，推进了绿色农业发展，增强了农业可持续发展能力。大兴安岭农垦属于北方农牧交错带，土地资源丰富，饲草资源充足，种养殖业基础较好，积极推动种养结合，有利于延长农业产业链条，符合国家在北方农牧交错区打造“生态农牧区”的战略定位。

种养结构优化是一个复杂的系统工程，受地区农作物与畜禽种类、气候、生产技术等多种因素的交叉影响。该研究假定农作物与畜禽种类、生产技术等因素不变，设立了 5 个独立的线性规划目标，秸秆载畜量、农田纳畜量、水资源、劳动力等 5 个约束条件，相比以往研究更加强调种养业结合、平衡发展，在计划性质更强的农垦借鉴意义更为明显。需要说明的是该研究是在理想状态下进行的种养结构优化调整，但现实中同时需要考虑国家政策、劳动力报酬变化、农产品比较优势等多方面的影响。因此，在今后研究中要加强种养结合线性规划与国家农业政策、市场动态等协同研究，使得模拟结果与现实情况更加吻合。

5.2 对策建议

(1) 科学制定种养业融合发展规划。目前，大兴安岭农垦的农业发展方向不明确，种养业发展失衡

的矛盾日益突出,农业废弃物利用不合理,农业产业链条较短,农牧产品比较效益偏低。迫切需要结合国家政策及地区实际,科学制定种养业协调、高效发展规划方案,统筹考虑大兴安岭农垦各农场的资源禀赋和生态环境差异,明确种养业协调发展的总体思路和目标,提出种养业协调发展重点任务、发展模式,制定推动种养业协调发展的政策措施,引领大兴安岭农垦农业可持续发展。

(2) 积极推广种养结合循环模式。探索“种植-提供饲料-养殖-粪便还田-种植”种养业发展的大循环,对农业废弃物资源的进行多级循环利用,努力实现大兴安岭农垦全域范围秸秆、畜禽粪污全量化利用。推广废弃物资源化利用小循环,发展“粮食-畜禽-果园”“饲草-畜禽-农田”“秸秆-发酵-大棚”“秸秆-畜禽-农田”等种养结合循环模式,充分利用作物秸秆制作饲料、畜禽粪污制作有机肥、发展优质牧草种植,探索种养循环生态农牧业发展新途径。

(3) 加快出台推动种养循环发展政策支持体系。统筹考虑环境承载力及畜禽养殖污染防治要求,制定养分综合管理计划,出台《大兴安岭农垦关于促进养殖业布局优化的管理办法》,严格落实制定监督考核任务。积极争取农业部 and 自治区农业综合开发等项目,扶持种养业规模化经营的合作社、大户、企业等。设立重点支持符合垦区种养循环发展的引导资金,采取税收优惠、贷款贴息、风险补偿、担保补贴、保费补贴等多种形式支持,对有意愿发展种养结合模式的农户实行政策倾斜。

(4) 加强引进种养殖循环利用技术。加强与科研院所、大专院校合作,开展种养业科学技术交流,引进农业废弃物专业处理人才,建立农业废弃物综合利用技术体系,积极引进秸秆青贮、黄贮、微贮等不同原料配方的秸秆饲料综合利用技术,畜禽粪污制作有机肥、沼气发电、沼渣沼液综合利用等畜禽粪污综合利用技术,形成作物秸秆与畜禽粪污的有效储存、收运、处理和综合利用全产业链条,提高农业废弃物处理效率与利用率。

参考文献

[1] 牛凯. 中国农业结构调整的多目标线性规划模型研究. 浙江农业学报, 2011, 23 (4): 840 ~ 846

[2] 胡霄楠, 史忠科, 仇亚男, 等. 农业结构优化建模与决策仿真. 2005 年中国控制与决策学术年论文集. 沈阳: 东北大学出版社, 2005. 745 ~ 751

[3] 胡赛, 蒲春玲, 闫志明, 等. 伊犁河谷地区种植业产业布局调整与优化研究——以伊宁县为例. 中国农业资源与区划, 2015, 36 (5): 154 ~ 159

[4] 丁建国, 刘晓媛, 苏武峰, 等. 基于灰色线性规划法的新疆南疆干旱区农业系统优化研究——以新疆和田县为例. 中国农学通报, 2012, 28 (23): 145 ~ 153

[5] 杨志坚. 种养结合型农业生产结构调整的实证分析. 贵州农业科学, 2008, 36 (1): 147 ~ 148, 153

[6] 屠人凤, 樊剑波, 何国球. 基于线性规划模型的红壤旱地种养结合优化模式的研究. 土壤, 2013, 45 (4): 727 ~ 731

[7] 朱春江, 唐德善. 基于线性规划模型的农业种植业结构优化研究. 安徽农业科学, 2006, 34 (12): 2623 ~ 2624

[8] 陈玉香, 周道玮, 张玉芬. 东北农牧交错带农业生态系统结构优化生产模式. 农业工程学报, 2004, 20 (2): 250 ~ 254

[9] 陈海霞, 吴华山, 亢志华, 等. 农牧结合型循环农业基地生产中几个参数的探讨——以江苏某大型循环农业示范基地为例. 江苏农业科学, 2011, 39 (6): 668 ~ 671

[10] Chichilnisky G. What is sustainable development?. land Economics, 1997, 73 (4): 467 ~ 491

[11] Schuler J, Kachele H. Modelling on-farm costs of soil conservation policies with MODAM. Environmental Science & Policy, 2003, 6 (1): 51 ~ 55

[12] 姜长云. 日本的“六次产业化”与我国推进农村一二三产业融合发展. 农业经济与管理, 2015, (3): 5 ~ 10

[13] Sethi L N, Panda S N, Nayak M K. Optimal crop planning and water resources allocation in a coastal groundwater basin, Orissa, India. Agricultural Water Management, 2006, 83 (3): 209 ~ 220

[14] 廖敏. 高等数学教材: 运筹学基础应用. 南京: 南京大学出版社, 2009. 10 ~ 30

[15] 杜栋, 庞庆华, 秦寿康, 等. 综合评价原理、方法与案例研究. 北京: 清华大学出版社, 2005. 9 ~ 18

[16] 彭致功, 刘钰, 许迪, 等. 基于遥感 ET 数据的区域水资源状况及典型农作物耗水分析. 灌溉排水学报, 2008, 27 (6): 6 ~ 9

[17] 胡琦, 潘学标, 杨宁. 北方农牧交错带马铃薯沟垄集雨技术适宜性研究. 干旱区地理 (汉文版), 2015, 38 (3): 585 ~ 591

[18] 肖俊夫, 段爱旺, 张寄阳, 等. 我国主要农作物全生育期耗水量与产量关系研究. 全国灌溉试验工作经验交流会. 2005

[19] 王磊, 胡韵菲, 崔淳熙, 等. 北京市农业生态价值评价研究. 中国农业资源与区划, 2015, 36 (7): 58 ~ 62

- [20] 谢高地, 鲁春霞, 冷允法, 等. 青藏高原生态资产的价值评估. 自然资源学报, 2003, 18 (2): 189 ~ 196
- [21] 马树庆, 王琪, 高素华. 半干旱区农业水资源平衡及生态农业规划初探——以吉林省西部为例. 中国生态农业学报, 2005, 13 (1): 182 ~ 185
- [22] NY/T 635—2002 天然草地合理载畜量的计算. 北京: 中华人民共和国农业部, 2002
- [23] 毕于运. 秸秆资源评价与利用研究. 北京: 中国农业科学院, 2010
- [24] 熊本海, 庞之洪, 罗清尧. 中国饲料成分及营养价值表 (2013 年第 24 版). 中国饲料, 2013, (21): 33
- [25] NY/T 816—2004 肉羊饲养标准. 北京: 中华人民共和国农业部, 2004
- [26] 沈根祥, 钱晓雍, 梁丹涛, 等. 基于氮磷养分管理的畜禽场粪便匹配农田面积. 农业工程学报, 2006, 22 (S2): 268 ~ 271
- [27] 赵俊伟, 尹昌斌. 青岛市畜禽粪便排放量与肥料化利用潜力分析. 中国农业资源与区划, 2016, 37 (7): 108 ~ 115
- [28] 中国国家标准化管理委员会. GB/T25246-2010 畜禽粪污还田技术规范. 北京: 中国标准出版社, 2010
- [29] 白云峰, 涂远璐, 严少华, 等. 基于家畜单位环境承载力的农牧结合优化模型研究. 农业网络信息, 2011, (9): 41 ~ 45, 59
- [30] 李荣霞. 不同施肥水平对紫花苜蓿产量、营养吸收及土壤肥力的影响. 新疆: 新疆农业大学, 2007
- [31] 左旭. 农业废弃物新型能源化开发利用研究. 北京: 中国农业科学院, 2015
- [32] 陈微, 刘丹丽, 刘继军, 等. 基于畜禽粪便养分含量的畜禽承载力研究. 中国畜牧杂志, 2009, 45 (1): 46 ~ 50
- [33] 刘玉杰, 李向林, 何峰. 基于饲养标准的家畜单位折算方法. 草地学报, 2009, 17 (4): 500 ~ 504
- [34] 国家发展和改革委员会价格司. 全国农产品成本收益资料汇编 2015. 北京: 中国统计出版社, 2016

OPTIMIZATION OF CROP AND LIVESTOCK INDUSTRY IN DAXINGANLING AGRICULTURAL RECLAMATION BASED ON PLANTING – BREEDING BALANCE*

Yu Jingjing¹, Wang Ruibo², Chang Haitao³, Gao Mingjie¹, Wang Zhanhai⁴, Mo Jixian¹, Gao Chunyu^{1*}

(1. Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China;

2. Rural Energy and Environment Agency, Ministry of Agriculture, Beijing 100125, China;

3. Daxinganling Agricultural Reclamation, Management Bureau of Agriculture, Hulunbeier, Neimenggu 021000, China;

4. Hulun Buir Agricultural Radio and TV School, Hailar 021008)

Abstract The coordinated development of the crop and livestock industry is an important aspect to promote the structural reform of agricultural supply side in China. Taking the structure optimization of crop and livestock industry in Daxinganling agricultural reclamation as an example, aiming at the imbalance development of the crop and livestock structure in Daxinganling agricultural reclamation, this paper constructed the multi – objective linear programming model based on the coordinated development of crop and livestock. According to the Matlab programming solution, the optimization plan of the crop and livestock industry in the region was put forward, and the counter-measures to promote the coordinated development of the crop and livestock industry were clarified. The results showed that: (1) Through the optimization and adjustment, the crop and livestock industry achieved balance in the region. From 2013 to 2015, the area of grain crops reduced by 339.6 thousand acres, the area of economic crops increased by 295.5 thousand acres, but the area soybean and corn acreage decreased by 174.7 thousand acres and 294.3 thousand acres. The livestock industry increased significantly. The number of pig breeding increased by 5.89 times, cattle increased by 16.62 times, sheep increased by 1.57 times, poultry increased by 10.2 times. (2) The comprehensive benefit of the crop and livestock industry increased by 48.81%, of which the economic, social and ecological benefits increased by 93.92%, 6.06% and 6.13% respectively. And the use of chemical fertilizer, the crop water demand and the relative ecological value reduced by 13.15%, 5.74% and 0.77%. In order to promote the structural adjustment of crop and livestock industry in Daxinganling agricultural reclamation, it was urgent to strengthen the publicity, explore the new model of the combination of the crop and livestock industry, accelerate the promotion of new technologies, formulate support policies, and promote the virtuous circle of the crop and livestock industry.

Keywords the multi – objective linear programming; planting – breeding balance; environmental carrying capacity; structural adjustment; optimization plan