

# 东北农牧交错带农业生态系统结构优化生产模式

陈玉香<sup>1</sup>, 周道玮<sup>2</sup>, 张玉芬<sup>3</sup>

(1. 吉林大学生物与农业工程学院, 长春 130025; 2. 东北师范大学草地  
科学研究所, 130024; 3. 北京师范大学生命科学学院, 北京 100875)

**摘要:** 以位于东北农牧交错带的吉林省长岭县种马场为例, 调查了其农业生产状况, 运用线性规划模型对该地区的农业生态系统结构进行优化, 提出了适合该地区的优化生产模式。经过优化设计后, 农业生态系统的结构趋于合理, 优化后的农业生态系统可以使  $1 \text{ hm}^2$  农田的纯收益达到 8254.6 元, 是优化前(4019.96 元)的 2.05 倍, 单位面积土地承载牛的数量也明显增加。优化结果使农业生态系统的结构趋于合理, 整体效益明显优于优化之前, 本优化方案对该地区农业生态系统结构调整具有一定的指导作用。

**关键词:** 东北农牧交错带; 农业生态系统; 优化模式

**中图分类号:** S181

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1002-6819(2004)02-0250-05

## 0 引言

东北农牧交错带位于中国北方农牧交错带的东部, 三北交界农牧交错区<sup>[1]</sup>。农牧交错带生态环境组成结构相对不稳定, 对于干扰因素反应敏感且易发生不利于人类利用的变化, 所以又被称为“生态环境脆弱带”<sup>[2]</sup>。农牧交错地区土地利用具有农牧交错、时农时牧的特点, 生态环境极为脆弱, 农业生产条件严酷, 是我国农业生产最不稳定的地区, 第一性生产力水平低下, 第二性、第三性生产力萎缩<sup>[3]</sup>。在农牧交错地区, 调整土地利用结构, 探讨土地利用中的最佳作物结构比例及各种家畜的饲养比例, 对于提高该地区的土地生产潜力、确保生态安全具有重要意义<sup>[1]</sup>。吉林西部位于东北农牧交错带东段, 玉米是其主要的农作物, 探讨以玉米为主的种植业及养殖业优化生产模式, 对维持本地区农业生态系统持续发展具有举足轻重的作用。

## 1 研究地区自然概况

研究地区为吉林省长岭县种马场, 位于中国北方农牧交错带的东段, 地理位置  $44^{\circ}30' \sim 44^{\circ}45' \text{N}$ ,  $123^{\circ}31' \sim 124^{\circ}10' \text{E}$ 。该区为半湿润半干旱温带季风气候。年降水量  $300 \sim 500 \text{ mm}$ , 集中在 6~9 月, 占降水量的 70%, 春季干旱少雨, 蒸发量较大, 约为  $1600 \sim 2000 \text{ mm}$ , 年蒸发量约是降水量的 3.5 倍, 湿润系数小于 0.6。平均气温  $4.9^{\circ}\text{C}$ , 最冷月(1 月)平均气温  $-20 \sim -27^{\circ}\text{C}$ , 最热月(7 月)平均气温  $22 \sim 24^{\circ}\text{C}$ , 年极端最高气温平均为  $35^{\circ}\text{C}$ , 年极端最低气温为  $-30 \sim -35^{\circ}\text{C}$  左右, 10 年积温  $2920^{\circ}\text{C}$ 。无霜期  $140 \sim 160 \text{ d}$ 。年日照时数大于  $2800 \text{ h}$ , 多晴好天气, 日照百分率在 65% 以上。土壤为草甸草原黑钙土、淡黑钙土, 土壤盐碱化严重。组成草甸的植物建群种中以禾本科植物占优势, 如羊草 (*Aeluropus laticarpus*)

*chinense*)、拂子茅 (*Calamagrostis epigeios*)、野古草 (*Arundinella hirta*)、小叶章 (*Deyeuxia angustifolia*)、光稃茅香 (*Hierochloa grabra*) 等<sup>[4]</sup>。

根据当地统计资料, 该地区总人口 3246 人, 农业人口 2518 人, 农田面积  $2000 \text{ hm}^2$ , 林地面积  $1467 \text{ hm}^2$ , 草地面积  $5000 \text{ hm}^2$ 。当地农业人口人均耕地  $0.79 \text{ hm}^2$ , 即每公顷土地面积拥有人口 1.26 人。该地区农业生态系统结构为: 农作物有玉米、高粱、向日葵、绿豆、豇豆、大豆、蓖麻及其他, 种植比例分别为: 68.04%、12.43%、8.70%、1.28%、1.55%、3.07%、1.01% 和 3.92%。饲养畜禽主要有牛、羊、猪、鸡, 每公顷土地面积年均畜禽饲养数量为牛 0.07 头、羊 0.51 只、猪 0.13 头、鸡 1.55 只, 是吉林省重要的畜牧业基地。

## 2 研究方法

1) 各项产品及生产资料价格采用 2001 年秋季在研究地区调查的数据。

2) 人均最低需求及种植业、养殖业系统的输入输出采用实地调查的方法, 对研究地区 100 户农户进行调查访问。调查项目有人口、消耗、劳力、耕地、肥料、能源、畜禽、投入及收获等。

3) 畜禽饲料的可消化能和蛋白质见文献[5]。

4) 农作物各器官生物量调查

向日葵生物量调查随机取样 50 株, 测定籽实及花盘生物量, 求出单株生物量。三次重复<sup>[6]</sup>。

落叶生物量调查采用直接收集法。秋季落叶之前, 在林地设置样方 12 个, 大小  $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ 。将地面残存落叶及杂草清理干净, 从树叶凋落开始定期收集落叶, 累计每个样方内的落叶, 烘干, 称重。

玉米、高粱及其他作物生物量调查见文献[7]。

## 3 结果与分析

### 3.1 农业生态系统各项产品的成本核算

1) 农业生态系统投入与产出。根据作者 2001 年调查结果, 该研究地区农业生态系统各项投入产出价格见表 1。

收稿日期: 2003-09-19

基金项目: 国家重点基础研究发展规划项目(G2000018606)

作者简介: 陈玉香(1970-), 女, 内蒙古通辽人, 教师, 博士, 长春市吉林大学生物与农业工程学院, 130025。Email: chen-yuxiang2002@hotmail.com

表1 农业生态系统各项投入产出价格

Table 1 Price for each item of inputs and outputs in the agricultural ecosystem

投入项			产出项		
项目	单位	价格/元	项目	单位	价格/元
玉米	kg	6.00	玉米	kg	1.00
高粱	kg	18.00	高粱	kg	0.74
向日葵	kg	5.00	向日葵	kg	1.60
绿豆	kg	6.00	绿豆	kg	2.60
豇豆	kg	3.00	豇豆	kg	1.40
大豆	kg	10.00	大豆	kg	2.00
蓖麻	kg	4.00	蓖麻	kg	2.80
尿素	kg	1.40	活羊	kg	5.60
磷酸二铵	kg	2.36	活牛	kg	8.00
电	kW·h	0.76	活猪	kg	5.60
燃油	kg	4.00	活鸡	kg	8.00
劳力	d	10.00/3.00	鸡蛋	kg	8.00

2) 单位面积作物成本和效益核算。各种作物生产的投入项包括劳力、种子、化肥、农药、农具、燃油和电。单位面积各种作物各项投入量见表2。各种作物单位面积投入成本见表3。

表2 各种作物每公顷种植面积主要投入项及其数量

Table 2 Item and amount of per hectare cropland for different crops

作物	劳力/d	种子/kg	化肥/kg	农药/瓶	燃油/kg	农具/元	电/元
玉米	39.52	50.15	694.20	12	100.17	60.75	86.38
高粱	35.79	15.10	446.45	5	56.83	61.15	80.92
向日葵	30.80	52.93	300.06	5	74.74	60.05	76.92
绿豆	35.71	43.40	313.08	9	74.07	30.50	55.56
豇豆	30.25	56.82	334.00	10	67.57	24.69	57.77
大豆	25.55	59.85	300.58	8	69.87	31.23	58.78
蓖麻	29.00	50.00	50.00	0	10.75	35.56	50.75

表3 各种作物每公顷种植面积投入成本

Table 3 Cost of per hectare cropland for different crops

作物	劳力	种子	化肥	农药	燃油	农具	电	合计
玉米	395.2	300.90	1152.37	120	400.68	60.75	86.38	2516.28
高粱	357.9	271.80	741.11	50	227.32	61.15	80.92	1790.20
向日葵	308.0	264.65	498.10	50	298.96	60.05	76.92	1556.68
绿豆	357.1	260.40	519.71	90	296.28	30.50	55.56	1609.55
豇豆	302.5	170.46	554.44	100	270.28	24.69	57.77	1480.14
大豆	255.5	598.50	498.96	80	279.48	31.23	58.78	1802.45
蓖麻	290.0	200.00	83.00	0	43.00	35.56	50.75	702.31

根据以上所调查的农产品价格及产量, 计算出各种作物的毛收益, 扣除各种作物的生产成本(表3), 即可得到各种作物单位面积的纯收益(见表4)。

表4 各种作物每公顷种植面积成本效益

Table 4 Benefit of per hectare cropland for different crops

作物	产量/kg·hm <sup>-2</sup>	成本/元·hm <sup>-2</sup>	毛收益/元·hm <sup>-2</sup>	纯收益/元·hm <sup>-2</sup>
玉米	7255.85	2516.28	7255.85	4739.57
高粱	4830.52	1790.20	3574.58	1784.38
向日葵	1564.35	1556.68	2502.96	946.28
绿豆	1289.67	1609.55	3353.14	1743.59
豇豆	1462.81	1480.14	2047.93	567.79
大豆	2015.54	1802.45	4031.08	2228.63
蓖麻	1000.00	702.31	2800.00	2097.69

3) 畜禽成本核算。根据各种畜禽的劳力及精饲料投入量, 可计算出各种畜禽的投入成本。在计算畜禽投

入成本时, 忽略了粗饲料成本。根据畜禽的投入成本和市场产品价格, 可计算出各种畜禽的毛收益与纯收益, 如表5。

表5 单位畜禽成本效益核算

Table 5 Costs and benefits from each domestic animal or fowl

种类	投入项					毛收益/元	纯收益/元
	劳力/d	饲料/kg	劳力成本/元	饲料成本/元	合计成本/元		
鸡	4	84.63	20	84.63	104.63	110	5.37
牛	90	950.85	450	950.85	1400.85	4000	2599.15
羊	25	96.88	125	96.88	221.88	300	78.12
猪	50	315.00	250	315.00	565.00	840	275.00

### 3.2 农业生态系统的资源限量

#### 3.2.1 各种农产品的社会最低需求量

根据从农户调查的数据, 得到该地区的各项农产品人均最低年需求量。调查地区每公顷农田承载1.26人, 把承载人口的每年农产品消耗量作为社会最低需求量, 调查结果如表6。

表6 各种农畜产品社会最低需求量

Table 6 Minimum requirement of farm product

种类	人均年需求量/kg	社会最低需求量/kg·(hm <sup>2</sup> ·a) <sup>-1</sup>
粮食*	349.30	565.87
猪肉	7.03	11.39
蛋类	33.04	53.52
电	52.63元	85.26元
薪柴	2206.32	3574.24

\* 将当地人均粮食最低需求量按价格折算成对玉米的需求量。

#### 3.2.2 畜禽饲料参数

对于畜禽的营养需要, 本研究主要考虑能量和蛋白质两项。能量不足, 畜禽正常生长发育受阻。蛋白质缺乏, 使畜禽生长停滞, 或者发生生理病症, 严重时可能导致死亡。不同畜禽对饲料的数量和性质需要不同, 如反刍动物牛、羊可消化粗纤维含量高的粗饲料, 如各种作物的秸秆, 但必需补充一定量的蛋白质含量高的精饲料。猪和鸡则属耗粮型畜禽, 需求较多的精饲料。

1) 畜禽的营养需要量。各种畜禽的营养需要量见表7<sup>[7]</sup>。

表7 畜禽营养需要

Table 7 Nutrition requirements of domestic animal or fowl

种类	消耗能量/GJ	消耗蛋白质/kg
蛋鸡(年)	0.51	6.79
猪(90 kg 出栏)	6.14	62.10
牛(500 kg 出栏)	60.38	500.00
羊(50 kg 出栏)	5.18	48.00

2) 单位面积农作物及草地、林地可提供的牛、羊饲料的数量与营养。牛、羊是反刍动物, 饲料范围较广, 能够以作物秸秆、林地落叶等作为饲料, 因此牛、羊可使农副产品有效转化。但是作物秸秆主要成分为纤维素、半纤维素和木质素, 蛋白质含量很低, 因此必须添加蛋白质含量高的精饲料, 这样才能达到快速育肥、出栏的目的。通过分析认为, 在该研究地区, 牛、羊合适的饲料种类应为玉米秸秆、葵花盘、大豆秸秆、大豆、玉米及当地

丰富的羊草、林地的落叶。综合考虑该地区的主要农作物及草地的生产状况,单位面积农作物及草地、林地可提供的牛、羊饲料数量及营养见表 8 及表 9。

表 8 单位面积作物、草地、林地可提供牛饲料的数量与营养

Table 8 Forage amount and nutrition offered by per unit area cropland, grassland and woodland for cattle

种类	质量 /kg·hm <sup>-2</sup>	可消化能 /GJ·hm <sup>-2</sup>	可消化蛋白质 /kg·hm <sup>-2</sup>
玉米秸秆	7818.70	80.72	187.65
大豆秸秆	2465.85	26.16	184.94
向日葵盘	6724.63	73.37	195.69
玉米籽实	7255.85	119.19	548.54
大豆籽实	2015.54	32.85	804.60
羊草	1200.00	11.19	59.04

表 9 单位面积作物、草地、林地提供羊饲料数量与营养

Table 9 Forage amount and nutrition offered by per unit area cropland, grassland and woodland for sheep

种类	质量 /kg·hm <sup>-2</sup>	可消化能 /GJ·hm <sup>-2</sup>	可消化蛋白质 /kg·hm <sup>-2</sup>
玉米秸秆	7818.70	63.08	189.99
大豆秸秆*	2465.85	26.16	184.94
羊草	1200.00	17.10	251.04
杨树叶	1200.00	19.46	216.00
向日葵盘*	6724.63	73.37	195.69
玉米籽实	7255.85	109.19	380.21
大豆籽实	2015.54	30.83	548.43

\* 参考牛饲料营养成分。

3) 单位面积各种作物可提供猪饲料的数量与营养。猪不能以粗纤维含量高的作物秸秆作为饲料,在调查地区适合的猪饲料有玉米、大豆秸秆和高粱糠。单位面积各种作物可提供猪饲料的数量和营养见表 10。

表 10 单位面积作物提供猪饲料的数量与营养

Table 10 Forage amount and nutrition offered by per unit area cropland for pigs

种类	质量 /kg·hm <sup>-2</sup>	可消化能 /GJ·hm <sup>-2</sup>	可消化蛋白质 /kg·hm <sup>-2</sup>
玉米籽实	7255.85	102.51	261.21
大豆秸秆	2465.85	1.75	61.65
高粱糠	966.10	11.67	59.90

4) 单位面积各种作物可提供鸡饲料的数量与营养。鸡对能量的需要较高,在调查地区,鸡的饲料主要是玉米。另外,草地各种牧草及各种昆虫等也可作为鸡的饲料来源,但是供给量无法准确计算。单位面积玉米提供的鸡饲料数量与营养见表 11。

表 11 单位面积玉米可提供的鸡饲料数量及营养

Table 11 Forage amount and nutrition offered by per unit area maize for roosters

种类	质量 /kg·hm <sup>-2</sup>	可消化能 /GJ·hm <sup>-2</sup>	可消化蛋白质 /kg·hm <sup>-2</sup>
玉米籽实	7255.85	94.32	261.21

### 3.3 农业生态系统结构优化生产模式

#### 3.3.1 目标函数的确立

农牧交错带农业生态系统生产力水平低下,表现在第一性生产力低下,第二性、第三性生产力萎缩<sup>[3]</sup>,要提高整体生产力水平,应该对其结构进行调整,使第一性生产与第二性生产达到最佳配合,从而取得总体最大效益。从这个角度考虑,采用线性规划模型对该地区农业生态系统结构优化<sup>[8]</sup>。令  $X_j$  为  $j$  种作物的规划面积或畜禽数量(头,只),  $C_j$  为  $j$  作物每公顷纯利润或畜禽单位养殖数量的纯利润(元/头,只),则种植业和养殖业纯效益最大的目标函数为

$$P = \sum_{j=1}^n C_j X_j \quad \text{Max}$$

( $j$  为作物或畜禽种类,  $j = 1, 2, \dots, n$ )

各种决策变量  $X_j$  见表 12。

表 12 各种决策变量  $X_j$

Table 12 Decision making variables

作物或畜禽种类	玉米	高粱	向日葵	绿豆	豇豆	大豆	蓖麻	草地	林地	牛	羊	猪	鸡
优化面积或养殖数量	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$X_6$	$X_7$	$X_8$	$X_9$	$X_{10}$	$X_{11}$	$X_{12}$	$X_{13}$

根据各种作物单位面积或畜禽单位养殖数量的纯利润,可以建立如下目标函数,即

$$P = 4739.57X_1 + 1784.38X_2 + 946.28X_3 + 1743.59X_4 + 567.79X_5 + 2228.63X_6 + 2097.69X_7 + 480X_8 + 0X_9 + 2599.15X_{10} + 78.12X_{11} + 275X_{12} + 5.37X_{13}$$

#### 3.3.2 约束条件

##### 1) 面积约束:

$$X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6 + X_7 = 1$$

$$(X_2 \geq 0.05; X_3 \geq 0.15; X_6 \geq 0.2; X_8 = 1; X_9 = 1)$$

面积约束表示各种作物种植面积不能超过该地区

总耕地面积。从气候条件考虑,玉米、大豆、向日葵是该地区旱作农业的优势作物,另外通过考察当地过去的统计数据,认为应该增加向日葵和大豆的耕作面积。本研究对草地与林地的面积没有规划。

##### 2) 劳动力约束:

$$39.52X_1 + 35.79X_2 + 30.80X_3 + 35.71X_4 + 30.25X_5 + 25.55X_6 + 29X_7 + 1.5X_8 + 0X_9 + 90X_{10} + 25X_{11} + 50X_{12} + 4X_{13} \leq 326.22$$

劳动力约束表示在各种作物、畜禽生产周期内所需要的劳动力不能超过该地区所提供的劳动力总数。

##### 3) 社会最低需求约束



粮食:  $7255.85X_1 - 565.87$ ; 肉类:  $19.50X_{12} + 251.04X_8 + 216X_9 - 48X_{11} - 0$   
 11.39; 蛋类:  $310X_{13} - 53.52$   
 社会最低需求是根据人均最低需求量计算得到, 单位面积土地所提供的产品必须满足当地人均最低需求量。

4) 畜禽饲料约束

牛饲料约束:

$$\begin{aligned} \text{能量约束: } & 199.91X_1 + 73.37X_3 + 59.01X_6 + \\ & 11.19X_8 - 60.38X_{10} - 0 \\ \text{蛋白质约束: } & 780.50X_1 + 195.69X_3 + \\ & 989.54X_6 + 59.04X_8 - \\ & 500X_{10} - 0 \end{aligned}$$

羊饲料约束:

$$\begin{aligned} \text{能量约束: } & 172.27X_1 + 73.37X_3 + 56.99X_6 + \\ & 17.10X_8 + 19.46X_9 - 5.18X_{11} - 0 \\ \text{蛋白质约束: } & 570.2X_1 + 195.69X_3 + 733.37X_6 \end{aligned}$$

猪饲料约束:

$$\begin{aligned} \text{能量约束: } & 102.51X_1 + 11.67X_2 + 1.75X_6 - \\ & 6.14X_{12} - 0 \\ \text{蛋白质约束: } & 261.21X_1 + 95.56X_2 + 61.65X_6 - \\ & 62.10X_{12} - 0 \end{aligned}$$

鸡饲料约束:

$$\begin{aligned} \text{能量约束: } & 94.32X_1 - 0.51X_{13} - 0 \\ \text{蛋白质约束: } & 261.21X_1 - 6.79X_{13} - 0 \end{aligned}$$

5) 非负约束:  $X_j \geq 0$

$X_j$  为  $j$  种作物的规划面积或畜禽数量(头, 只), 因此不能为负值。

3.3.3 优化结果

根据以上各项参数和约束条件, 按照综合经济效益最高的目标进行规划, 运用 Matlab 计算, 运行结果见表 13。目标函数值为 8254.6 元/hm<sup>2</sup>。

表 13 农业生态系统结构优化结果

Table 13 Results of the optimized agricultural ecosystem

作物或畜禽种类	玉米	高粱	向日葵	绿豆	豇豆	大豆	蓖麻	牛	羊	猪	鸡
每公顷的优化面积或养殖数量	0.60	0.05	0.15	0.00	0.00	0.20	0.00	1.50	0.52	2.79	0.17

从以上结果分析得出, 优化后的农业生态系统可以使 1 hm<sup>2</sup> 农田的纯收益达到 8254.6 元, 是优化前(4019.96 元)的 2.05 倍。优化结果使农业生态系统的结构趋于合理, 整体效益明显优于优化之前。

4 结论与讨论

本研究以吉林省长岭县种马场为例, 对该地区的农业生态系统结构进行了优化, 使该地区的农业生态系统内部的种植业、养殖业协调发展, 生态系统的结构趋于合理, 整体效益明显提高, 取得了较高的经济效益、良好生态效益及社会效益。

该地区种植业结构经过优化后, 玉米为主的地位并未改变, 但是应该适当增加大豆的种植面积。该地区气候特点适合玉米、大豆生长。另外玉米、大豆不但可以提供牲畜部分精饲料来源, 其副产品是农牧交错地区草食家畜冷季饲草的重要来源。因此提倡以玉米为主, 适当增加大豆种植面积的种植业结构。养殖业应该减少耗粮型家禽鸡的养殖数量, 增加草食性家畜牛、羊的养殖数量。本试验研究地区, 农业生态系统结构优化之前, 牛的数量为 0.07 头/hm<sup>2</sup>, 充分考虑农作物秸秆、农田残茬及林地落叶所提供的能量与蛋白质的数量, 理论上该地区牛的最大存在数量为 1.50 头/hm<sup>2</sup>。

从以上分析可以看出, 农牧交错地区严重的草畜矛盾, 主要是由于畜牧业过分依赖草地, 以草地作为主要甚至唯一饲草来源, 过度放牧, 导致草地退化, 使畜牧业发展陷入恶性循环<sup>[9, 10]</sup>。从本试验研究结果可以看出, 农牧交错地区发展畜牧业, 应该合理利用草地资源和丰富的农作物副产品, 主要是作物秸秆, 将秸秆资源优势转化为畜牧业发展优势, 草地——秸秆畜牧业应该是农

牧交错地区畜牧业发展的合理模式<sup>[9]</sup>。这是由于农牧交错地区, 既有一定面积的草地、林地, 又有一定面积的农田与之交错分布, 因此既有来自天然草地的牧草, 又有丰富的农作物秸秆资源。在冷季, 天然草地各种牧草均已停止生长, 草地所提供的饲草数量与营养都难以满足牲畜需要, 这时农作物秸秆可以充分发挥作用, 以秸秆为粗饲料, 再补充以玉米、大豆籽实等精饲料, 牲畜冷季饲草短缺问题基本解决, 从而克服草地畜牧业的季节性波动问题, 使该地区畜牧业稳定发展。

[参 考 文 献]

[1] 王静爱, 徐 霞, 刘培芳. 中国北方农牧交错带土地利用与人口负荷研究[J]. 资源科学, 1999, 21(5): 19- 24  
 [2] 牛文元. 生态环境脆弱带 Ecotone 的基础判定[J]. 生态学报, 1989, 9(2): 1- 4  
 [3] 周广胜. 气候变化对生态脆弱带地区农牧业生产力影响机制与模拟[J]. 资源科学, 1999, 21(5): 46- 52  
 [4] 李建东, 吴榜华, 盛连喜. 吉林植被[M]. 长春: 吉林省科学技术出版社, 2001. 21, 60  
 [5] 张秀芬. 饲草饲料加工与贮藏[M]. 北京: 中国农业出版社, 1992: 237- 245  
 [6] 乔春贵, 李树强, 宫万明. 三种向日葵单株产量估测方法的比较研究[J]. 吉林农业科学, 1995, 2: 9- 12  
 [7] 杨 修, 李文华. 农业生态系统种养结合优化结构模式的研究[J]. 自然资源学报, 1998, 13(4): 344- 351  
 [8] 朱永达. 农业系统工程[M]. 北京: 中国农业出版社, 1999. 65  
 [9] 周道玮, 盛连喜. 西部生态问题与对策分析——兼论生态系统管理[A]. 李建东, 王克平 主编. 吉林省羊草工程中心研究文集: 草地科学, 第一集[C]. 长春: 吉林科学技术出版社, 2001. 10- 15

[10] 周道玮, 卢文喜, 夏丽华, 等. 北方农牧交错带东段草地退

化与水土流失[J]. 资源科学, 1999, 21(5): 57- 61.

## Optimization production model of agricultural ecosystem in the ecotone between agriculture and animal husbandry in Northeast China

Chen Yuxiang<sup>1</sup>, Zhou Daowei<sup>2</sup>, Zhang Yufen<sup>3</sup>

(1. College of Biological and Agricultural Engineering, Jilin University, Changchun, 130025, China;

2. Institute of Grassland Science, Northeast Normal University, Changchun 130024;

3. College of Life Science, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

**Abstract:** The study site is Changling, Jilin Province, located in the ecotone between agriculture and animal husbandry in Northeast China. A agricultural ecosystem of the region was studied systematically. The structure of the agricultural ecosystem was optimized through linear program model. Optimization model was developed according to the results. The total net profit per hectare cropland is approximately doubled after optimization. Therefore, the structure of agricultural ecosystem in the region is reasonable and net profit has been increased significantly after optimization. The model is helpful for restructuring the agricultural ecosystem in the region.

**Key words:** ecotone between agriculture and animal husbandry in Northeast China; agricultural ecosystem; optimization model