

2020 年第五届“数维杯”大学生 数学建模竞赛论文

题 目 新型绿色农畜产品经营模式开发

摘 要

国民生活水平的不断提高直接带动了绿色农畜产品的需求增长，传统规模养殖存在的劣势性促进了对于新的养殖方式探索。问题 1 要求进行数据筛选及有针对性的对不同农产品的预期人力成本及收入进行分析；问题 2 是一个土地资源充足情况下的收入和土地利用的最优化线性规划问题；问题 3 与问题 2 类似；问题 4 要对农牧渔之间的关系进行一个综合的判断；问题 5 要求在降低人力成本达到利益最大化的前提下探索家庭合作养殖的方式。针对问题 1，用非平稳时间序列 ARIMA 模型进行解决；针对问题 2，用主次目标法来求解多目标线性规划问题；针对问题 3，用逆序解法来解决动态规划问题；针对问题 4，用目标分析法解决问题；针对问题 5，用线性规划模型来解决问题。

对于问题 1，我们首先进行了典型抽样，得到了某些地区重要农产品的数据；其次利用 R 建立 ARIMA 模型，以内蒙古地区小麦为例，得出了其在未来五年的时间人力成本会有一个缓慢下降的结果。

对于问题 2，以内蒙古为例，利用 MATLAB 解大规模农产品生产网络优化模型得到最优种植方案为，在二月种植 3281.77 亩西红柿，6718.23 亩黄瓜，5 月结束黄瓜成熟后闲置至 7 月，种植 6437.63 亩圆白菜，剩余土地闲置，7 月结束西红柿成熟，闲置至 9 月，种植 3562.37 亩大白菜。

对于问题 3，通过解小规模农产品生产动态优化模型得到最优化规划如文中表 5-9 所示。

对于问题 4，建立农牧渔复合生态模型，肯定了三个子系统共同作用的可持续发展能力。

对于问题 5，建立家庭合作养殖线性规划模型，以四川省为例，求解出已知有 k 个家庭的情况下，利益最大化的养殖方式为种植 $6.7574k$ 亩西红柿，养殖 $1.9598k$ 头牛。

关键词 ARIMA 模型；网络优化；动态优化；多目标线性规划；逆序解法

目 录

一、问题重述	(1)
1.1 问题背景	(1)
1.2 问题提出	(1)
二、问题分析	(2)
三、模型假设	(4)
四、定义与符号说明	(6)
五、模型的建立与求解	(6)
5.1 问题 1 的模型建立与求解	(7)
5.1.1 ARIMA 模型的建立	(9)
5.1.2 ARIMA 模型求解	(10)
5.1.3 模型拟合结果	(13)
5.1.4 模型预测	(15)
5.2 问题 2 的模型建立与求解	(16)
5.2.1 大规模农产品生产网络优化模型的建立	(16)
5.2.2 大规模农产品生产网络优化模型求解	(21)
5.2.3 结果	(22)
5.3 问题 3 的模型建立与求解	(22)
5.3.1 小规模农产品生产动态优化模型的建立	(22)
5.3.2 小规模农产品生产动态优化模型求解	(24)
5.3.3 结果	(25)
5.4 问题 4 的模型建立与求解	(27)
5.4.1 农牧渔复合生态模型的建立	(27)
5.4.2 农牧渔复合生态模型求解	(28)
5.4.3 结果	(29)
5.5 问题 5 的模型建立与求解	(29)
5.5.1 家庭合作养殖线性规划模型的建立	(29)
5.5.2 家庭合作养殖线性规划模型求解	(30)
5.4.3 结果	(31)

六、模型的评价及优化	(31)
6.1 误差分析	(31)
6.2 模型的优点	(32)
6.3 模型的缺点	(33)
6.4 模型推广	(33)
参考文献	(34)
附录一	(35)
附录二	(51)

一、问题重述

1.1 问题背景

随着城镇化、工业化进程不断发展，国民生活水平与收入大幅增加，据国家统计局数据显示，1978-2018 年，我国城镇常住人口数由 1.7 亿人上升到 8.3 亿人，城镇化率由 17.92% 增涨到 59.58%。并且在新冠疫情的影响下，农民无法对农产品进行正常地耕种、收割，导致大部分农作物烂在田里，以及养殖管理牲畜受到限制。与此同时，人们对绿色农畜产品的需求量仍在不断扩大，传统大规模种植或养殖模式已不再完全适用于我国农畜业现状，而以家庭成员为主要劳动力，以家庭为基本经营单元的家庭农场经营模式逐渐凸显其优势，以家庭为单位的小规模多品种绿色农畜产品经营模式顺应了农业发展的自然规律，有利于发挥农业的属性特征，并实现家庭与农业的高度契合。

而我国已经出现了不少家庭农场经营这一新型农业经营模式，通过调查研究表明，家庭农场激发了我国农业发展的兴奋点，从而有望促进国家经济出现新的增长点，但仍存在发展不平衡、不充分等缺陷，需要新型的有文化、会经营、懂技术的职业农民，需要适当地约束进行小规模化管理，也需要政府的大力支持，从而促进家庭农场经营更好、更快地发展。

1.2 问题提出

本文通过《全国农产品收益年鉴》上搜集到的不同地区种植的农产品(包括粮食、蔬菜及水果等)的相关数据，建立相应模型进行研究以下问题：

(1) 对适合不同地区种植的农产品的产量及价格的时间序列数据进行分析，对不同农产品的人力成本、收入进行预测从而得到预期的人力成本及收入，展开相关分析讨论；

(2) 在考虑保障农民们的稳定收入的同时最大限度地保证土地资源的循环利用，在这一目标前提下，为具有充足土地资源的农民们制订出合理的大规模农产品种植计划；

(3) 在兼顾农民基本收入的同时减少水资源的过度使用这一前提下，为缺乏土地资源的农民们提供合理的小规模种植计划；

(4) 在农业基础之上同时考虑牧业与渔业相关经营，从而给出更加合理化的种植与养殖计划；

(5) 利润最大化是家庭农场的生产目标，但一个家庭经营多种农畜产品往往消耗过多的人力成本，而多个家庭共同合作将产生“ $1+1>2$ ”的效果，因此提供几个家庭合作后的最优养殖计划。

二、问题分析

2.1 问题 1 的分析

问题 1 属于数据筛选以及对应相关分析的问题，问题 1 要求通过利用网络平台来搜集不同地区适合生产的农产品的产量以及价格等具有代表性意义的时间序列的数据；并且对不同农产品所要投入的人力成本以及收入进行相关的分析。综合考虑地区的气候、环境等农业种植条件的基础之上，我们分别在粮食、蔬菜以及水果种植方面选取了优势性地区的相关时间序列数据。数据的搜集工作建立在通过对某些地区的条件的判断，以及相应的各种农产品的年产量的初步评估之下确定对应地区的合适农作物列表，在粮食种类下我们选择了部分地区的小麦以及早籼稻；蔬菜种类下选择部分地区的西红柿以及马铃薯；在水果种类下选择了部分地区的苹果及桔，后期通过《全国农产品成本收益年鉴》（2003-2019）进行摘录（见附录）。

在本文的分析中，为了能够更加针对性地给出农作物产量、出售价格以及人力成本和收入之间的相关性联系，我们将择优选择对应农产品中相对产量较高的地区进行分析。为提高分析的合理性，有条件的选取个别农产品建立相对应的 ARIMA 模型考察在时间上的变化，并结合大环境的影响以及当地农栽技术的特点进行相应的分析，并利用 ARIMA 模型对未来的发展趋势进行预测。

2.2 问题 2 的分析

对于具有充足土地资源的大规模农产品种植，其具有充足的条件允许在既定土地 D 上同时生产多种农产品，且多品种种植可以规避自然条件、市场环境变化带来的风险。然而适宜土地 D 上种植的农产品 C_j 具有不同或相同的适合种植和收获时间，各种农产品的生产时段存在互补、相同、互斥的情况。因此，如何选择适宜的农产品 C_j 和确定其生产面积 x_j 以使在同一生产周期内没有冲突并得到最大收益的问题成了本问题的主要

研究方向。与此同时，由于最大化土地资源循环利用的需要，在安排农产品和生产面积的同时，我们需要尽量减少土地闲置面积。

注意到在土地农产品种植的更替中，土地总面积始终保持不变，且每次种植新的农产品，都必须有相匹配的未种植土地面积以种植新的农产品。由此，我们构建农产品生产网络模型，用网络中的输出流和输入流分别表示农产品的种植和收获，以网络中的流量平衡作为约束。

另外，在大规模农产品种植中，若单一种植同一种农产品，则容易冲击市场，导致丰产不丰收的情况，风险得不到有效分散，与实际情况不符。为了避免这种情况发生，即模型得到单一最优解，我们需要根据不同农产品的市场需要，对农产品的种植面积进行约束，以保证农产品的种植多样性。

根据上述讨论，我们可以得到一个多目标线性规划模型，为了求解该模型，采取主次目标法，根据两个目标的重要性，将收益最大化作为主目标，土地闲置面积最小化作为次目标，通过查阅资料和数据，将土地闲置面积化为约束加入模型中，从而得到单目标线性规划模型并对实际数据进行求解。

2.3 问题 3 的分析

对于缺乏土地资源的小规模农产品生产，由于存在土地面积较小小，资金技术有限等不利因素，多种作物混合种植难以实现，使用单品种生产可以实现规模化生产、集约化经营。所以在本问题中，我们假设小规模农产品生产同时只生产一种农产品。从而问题就转化为合理安排不同农产品的种植时间，对生产收货时间存在相斥的农作物进行取舍，以使利润最大化。

同时，我们还要求尽量减少水资源的过度使用，由于各个地区水资源的紧缺程度不尽相同，我们利用综合评价模型，综合考虑各个地区的各项指标，确定相对缺水程度，利用此参数将双目标规划模型转化为单目标 0-1 整数规划模型。

为了求解该模型，引入动态规划的思想，用生产计划网络表示农产品的生产顺序，并且对生产计划网络进行分解得到多个标准动态规划问题，利用动态规划的逆序解法，求得生产计划的最优解。

2.4 问题 4 的分析

农业、牧业、渔业三大产业是密不可分、息息相关的。农业作为我国第一产业，是提供支撑国民经济建设与发展的基础产业。而农业生产相应的粮食、蔬菜、水果等农作物供人们购买食用之外，还将产生一些废弃的菜叶、沼气与次农产品等等，通过二次循环可变废为宝，应用到牧业、渔业等产业中。而牧业除了生产牛羊猪等牲畜之外，动物的粪便也将是一种自然有机肥料作用在农业生产生活中。而渔业除了生产水产之外，还可运用鱼塘的水灌溉农田、冲洗猪舍等等。因此，在农业的基础上同时考虑牧业与渔业的种植与养殖计划，形成农牧渔复合生态系统，将有利于农牧业健康持续地发展。

2.5 问题 5 的分析

因为不同农产品的播种期、养护期以及收成期不同，同时因为畜牧业与农产品耕种所采取的模式不同，故当一个家庭想要扩大或者丰富自己的农畜产品经营时，往往会因为劳动力的不当分配而造成利益低下的情况。让几个家庭以合作的方式共同经营农畜，能够很好地节约人力成本。在家庭投入、人均土地，家庭人工数的约束下，达到利益的最大化。

三、模型假设

1. 农产品生产具有存异性，即土地 D 在同一时期内允许多种农产品生产，但不同农产品不能共占同一土地面积。
2. 农产品使用露地生产方式，不依赖于温室大棚等改变农产品的自然种植时段进行种植。
3. 农产品 C_j 是在该地区的一般品种，其产量只与该地区的土地质量、天气情况等自然条件有关，这可以由历史数据预测可得，反映在农产品的单位面积净利润中。
4. 不同农产品共同种植时，存在相互促进或相互抑制的情况，但由于现代农业科技发达，可以使用化肥等手段保证农作物的最大化生长，所以对此不做考虑。

5. 农产品 C_j 的单位面积净利润为 P_j ，单位为元/亩，是总产值扣除生产成本、人力成本、资金成本等成本的剩余，根据历史数据统计和预测求得。
6. 每种农产品 C_j 有唯一的适合种植的开始时间 TS_j 和 TE_j ，而非种植时段和收获时段。农产品生产时间为 T_j ，当 $TE_j > TS_j$ 时， $T_j = TE_j - TS_j$ ；当 $TE_j < TS_j$ 时， $T_j = TS_j - TE_j + T$ ， T 为生产周期，一般取值 12。
7. 农产品 C_j 的生产具有周期性，即农产品 C_j 在外界条件稳定的情况下，每年在同一时间进行种植和收获，因此农产品种植计划是年度计划。
8. 大规模种植条件下，认为劳动力资源充裕，劳动力只影响人力成本，反映在农产品的单位面积净利润中。
9. 由于土地改造成本过大，本文考虑的土地为普通土地，适合种植所有该地区适合种植的一般作物，对农产品无特殊影响。
10. 市场总体趋于稳定，小规模农产品的生产不会引起市场价格的变化，从而缺乏土地资源的农民可以将土地资源投入到同种作物的种植中以降低成本和精力。
11. 由于进行的是小规模农产品的种植，由于土地条件和成本条件的约束，土地不足以同时种植多种不同的农作物，也即农产品生产具有排他性，土地 D 在同一时期内最多只允许一种农产品进行生产。
12. 不同的农作物 C_j 有其各自的用水量 W_j ，且用水量为定值，不会因天气等不可控因素而改变。
13. 假设共有 K 个家庭参与合作生产， K 个家庭之间不存在根本差异，可近似看作相同的家庭。
14. 由于作物种类繁多，所需的劳动力也各不相同，在合作生产时，合作生产默认选择收益最高的种植方案。
15. 家禽家畜养殖与土地种植之间存在互补互斥关系，但由于可人为控制且关系过于复杂，在本模型中不做考虑。
16. 每个家庭每年可投入生产的资金恒定，可投入生产的劳动力恒定，投入种植的土地面积恒定。

17. 家庭合作生产的生产为小规模生产，不会对市场造成影响。

每个人每年投入生产的劳动天数恒定。

18. 畜牧业养殖不占据耕地。

四、定义与符号说明

符号定义	符号说明
d	土地面积
C_j	不同农作物
P_j	农作物 C_j 的单位面积净利润
TS_j	农作物 C_j 的适合种植时间
TE_j	农作物 C_j 的适合收获时间
T_j	农作物 C_j 的生产时间
x_j	农作物 C_j 的生产面积
y_i	i 时段的闲置土地面积
q_j	农作物 C_j 的最大生产面积
W_j	农作物 C_j 的用水量

五、模型的建立与求解

关于数据预处理：本文采用典型抽样法，在《全国农产品成本收益年鉴》上搜集选取样本，例如选取小麦产量最高的内蒙古、山东、江苏等具有代表性的地区在 2002-2018 年小麦主产品产量、出售价格、人工成本、收入等。首先对数据进行审核、订正、编码、分类、汇总等，再运用 R、Matlab 等软件进行数据分析，对这一时间序列数据初步绘制时序图进行特征分析。根据各个不同问题的需要来筛选数据，对数据进行模型拟合、检验及优化，并制订大、小规模农产品种植计划，农牧渔复合生态种植与养殖计划以及家庭合作最优养殖计划。

5.1 问题 1 的模型建立与求解

在生产小麦的各个区域中，本文中选取了山西、内蒙古、江苏三个地方来评估小麦产量的总体走势。由图 5-1（a）不难发现从 2002 年至 2018 年中，小麦的总产量呈现一个上升趋势，但根据当年的气温变化、降雨变化以及风量等因素都会对小麦的收成产量形成一个波动影响。值得我们关注的是，内蒙古的小麦产量每年的变化相对的平稳。内蒙古小麦的种植优势体现在得天独厚的资源条件，其中以光能和资源优势为佳；同时生产区位和生态优势也具有较为突出的表现。由此，本文倾向于选择内蒙古小麦进行综合的人力成本与收入情况的分析。我国是马铃薯的高产国，所以在蔬菜种类中选取了马铃薯进行大致的观察。从图 5-1（b）中给出的信息我们不难发现，在这三个地区中，以山东地区的马铃薯产量较其他两个地区的趋势走向更高产且相对平稳，其中大家最为知晓的是山东地区是典型的春秋二季作地区，且具有高投入高产出的优势性。我国多丘陵与山区，山地地区土壤肥沃，通气能力较强，故我国赫然是苹果高产国。在对苹果产量进行相应分析时，我们选择了和河北、山西以及山东三个地区进行比较，总的来说，苹果的产量情况较其他两种作物的发展有着较大的波动，其中以山地区的产量较为稳定且高产。

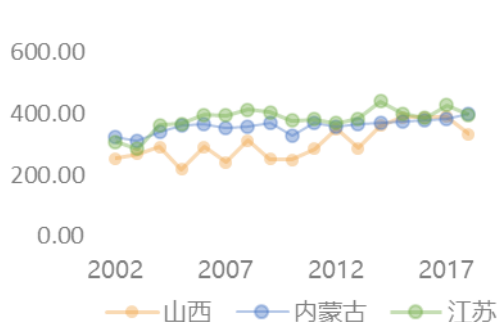


图 5-1 (a) 三个地区的小麦产量

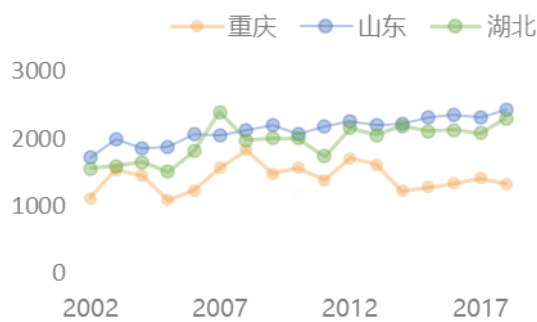


图 5-1 (b) 三个地区的马铃薯产量

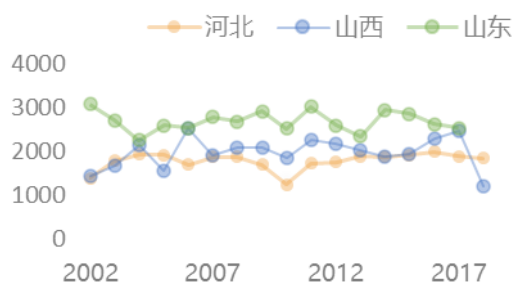


图 5-1 (c) 三个地区的苹果产量

农产品是人们日常生活的常用品，农产品价格的波动时刻备受人们的关注，且从供需角度来说，农产品的价格与产量是息息相关的。由图 5-2 中容易发现，小麦的出售价格相对其他两种农作物的出售价格的变化增长的较为稳定，这必然离不开小麦稳定产量的作用。同时也可以观察到重庆的马铃薯与山东的苹果在某些年间的出售价格有着较大的动荡，此时与图 5-1 的产量图作比较，可以推断出价格对于产量变化有着较为敏感的反馈。

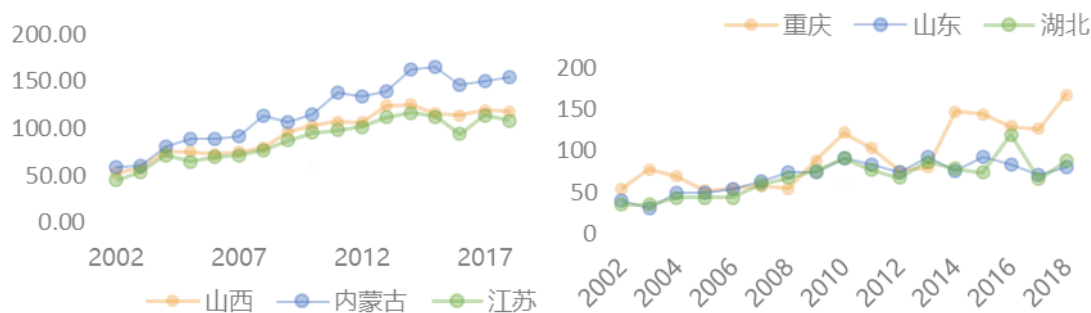


图 5-2 (a) 三个地区的小麦出售价格

图 5-2 (b) 三个地区的马铃薯出售价格



图 5-2 (c) 三个地区的苹果出售价格

事实上，影响农产品产量走势的因素是多方面，多强度的，不仅包括自然因素，也包括了种植技术，供需情况、保护技术乃至储藏与生产加工技术。而根据题目的要求，本文在解题的过程中，主要偏向于以人力的因素进行相应的分析。

根据上述分析以及综合评估三种农产品的适应环境，分别选取内蒙古小麦、山东马铃薯以及山东苹果进行建模分析。在进行建模之前，为了能更好地对结果进行分析，首先对相应的指标的相关性做出一个适当的判断。图 5-3 的 3 幅图分别是内蒙古小麦、山东马铃薯和山东苹果中各项指标的关系，我们易于发现内蒙古小麦以及山东马铃薯的各项指标之间均呈现较强的正相关关系，其中以产量、平均价格以及人工成本之间的相关性最强。需要注意的是，小麦的现金收益与其他指标之间的相关性均较弱，小麦作为占

据我国四分之一谷物收成的农作物，其所带来的现金流动并不使然。三种作物的各项指标中，人工成本的投入所带来的经济效益与产量均较为客观，但在智能耕作、合理化耕作逐渐流行的农产品种植市场，一味提高人工成本来渴望经济效益的提升是否还可行，这些问题就成为了我们亟待思考的问题。为了解决这一问题，将通过非平稳时间序列的模型来进行解答。

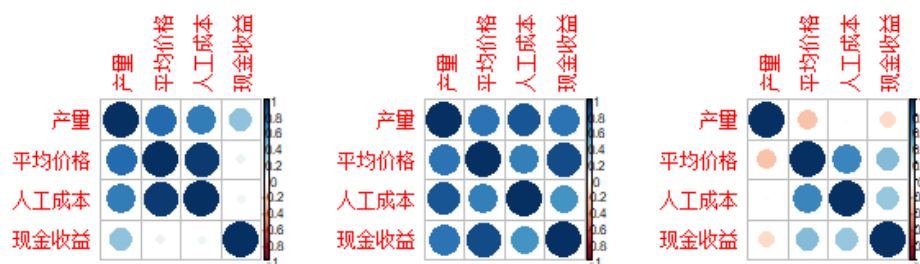


图 5-3 相关性马赛克图

为了解决问题一中所提出的问题：探索人力成本和收入历年来呈现出的趋势性变化，建立了 ARIMA 模型来说明在大环境推动下所展现的时间变化。

5.1.1 ARIMA 模型的建立

ARIMA(p,d,q)模型也称作差分自回归移动平均模型，被广泛地运用到各个经济社会领域中进行预测与分析等等，模型结构为：

$$\begin{cases} \Phi(B)\nabla^d x_t = \Theta(B)\varepsilon_t \\ E(\varepsilon_t) = 0, \text{Var}(\varepsilon_t) = \sigma_\varepsilon^2, E(\varepsilon_t \varepsilon_s) = 0, s \neq t \\ E(x_s \varepsilon_t) = 0, \forall s < t \end{cases}$$

式中： $\nabla^d = (1 - B)^d$ ；B 为滞后算子

$\Phi(B) = 1 - \phi_1 B - \dots - \phi_p B^p$ ；为平稳可逆 ARMA(p,q)模型的自回归系数多项式

$\Theta(B) = 1 - \theta_1 B - \dots - \theta_q B^q$ ；为平稳可逆 ARMA(p,q)模型的移动平滑系数多项式

特别地，当 d=0 时，ARIMA(p,d,q)模型实际上就是 ARMA(p,q)模型；

当 p=0 时，ARIMA(0,d,q)模型可以简记为 IMA(d,q)模型；

当 q=0 时，ARIMA(p,d,0)模型可以简记为 ARI(p,d)模型。

以 2002-2018 年内蒙古小麦为例，对其每亩人工成本绘制时序图，如下图所示：

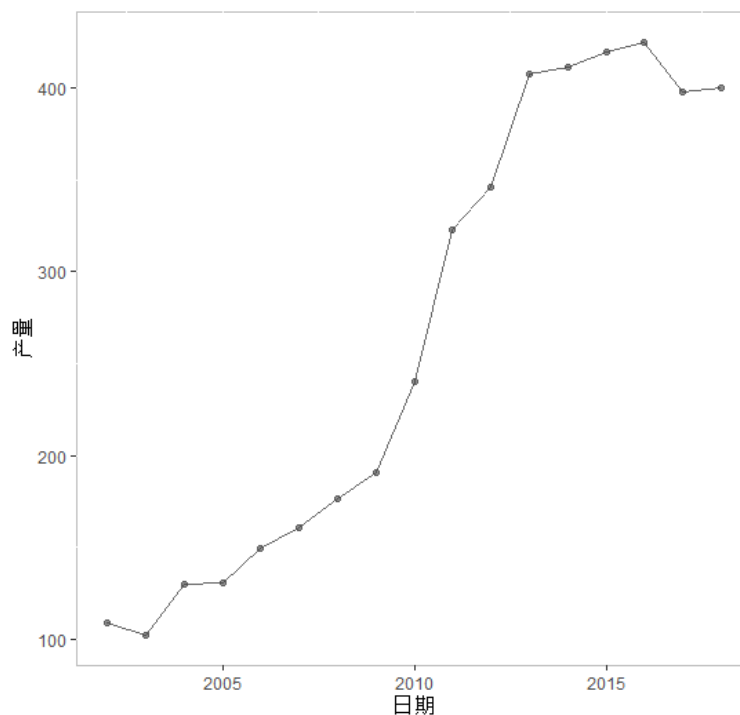


图 5-4 2002~2018 年内蒙古小麦每亩人工成本时序图

由上图可知，内蒙古小麦的每亩人工成本总体呈逐年上升趋势，特别是在 2010 年出现了新一轮的大幅增涨，而在 2016 年开始下降并趋于平稳。初步推测该时间序列具有非平稳性。

5.1.2 ARIMA 模型的求解

为了验证该序列的平稳性，运用 R 软件进行计算该时间序列的自相关函数(ACF)和偏自相关函数(PACF)以及 p 值，得到下表可知，内蒙古小麦的每亩人工成本生成的时间序列 p 值均小于 0.05，因此，该时间序列非平稳，为非白噪声，因此需要对原始时间序列进行进一步地差分：

表 5-1 原始时间序列的自相关函数和偏自相关及 p 值

滞后系数	ACF 值	PACF 值	P 值
1	0.888	0.888	0.001
2	0.739	-0.229	0.000
3	0.558	-0.228	0.000
4	0.354	-0.194	0.000
5	0.156	-0.097	0.000
6	-0.047	-0.193	0.000
7	-0.212	-0.008	0.000
8	-0.366	0.182	0.000
9	-0.448	0.136	0.000
10	-0.460	0.117	0.000

运用 ADF 单位根检验来确定差分阶数，对 2002-2018 年内蒙古小麦每亩人工成本时间序列数据进行单位根检验，得到的检验结果如下表 5-2:

表 5-2 单位根检验结果

临界值 \ 置信水平	1%	5%	10%
tau3	-4.38	-3.60	-3.24
phi2	8.21	5.68	4.67
phi3	10.61	7.24	5.91

而检验统计量 tau3 的值为 0.8961，因此即使在置信水平为 90%的情况下，检验统计量 $0.8961 > \text{临界值} -3.24$ ，无法拒绝原假设即存在单位根，该时间序列为非平稳的时间序列。

对该非平稳的时间序列数据进行一阶差分，一阶差分后得到的时序图、样本自相关图以及偏自相关图如下图 5-5 所示:

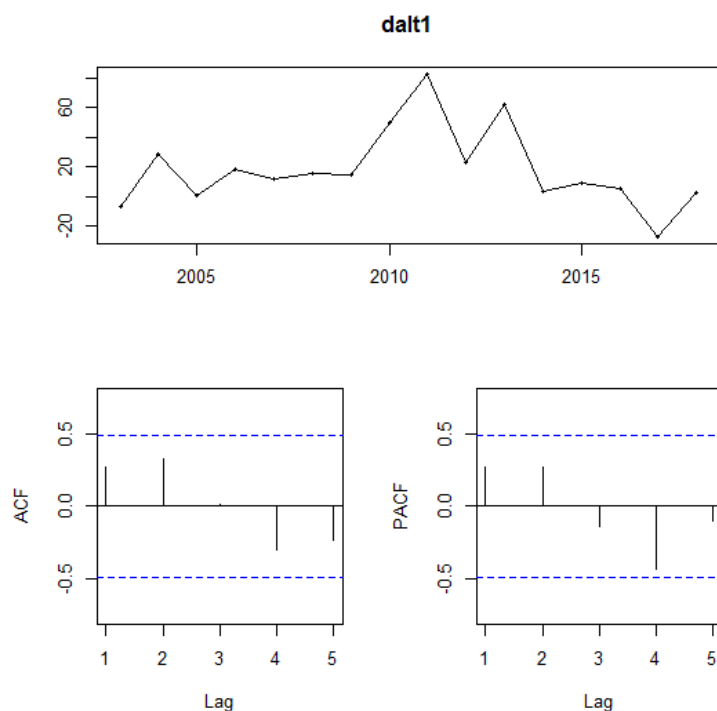


图 5-5 一阶差分结果

由上图一阶差分后的时序图可知该序列总体不存在上升或下降的趋势，一阶差分后的样本自相关图、偏自相关图可知该序列的自相关系数、偏自相关系数都随着延迟期数的增加迅速衰减为零，因此根据图形初步判断一阶差分后的序列为平稳的时间序列。

对一阶差分后的时间序列运用 Ljung-Box 检验统计量进行白噪声检验，得到结果如下图 5-6 所示：

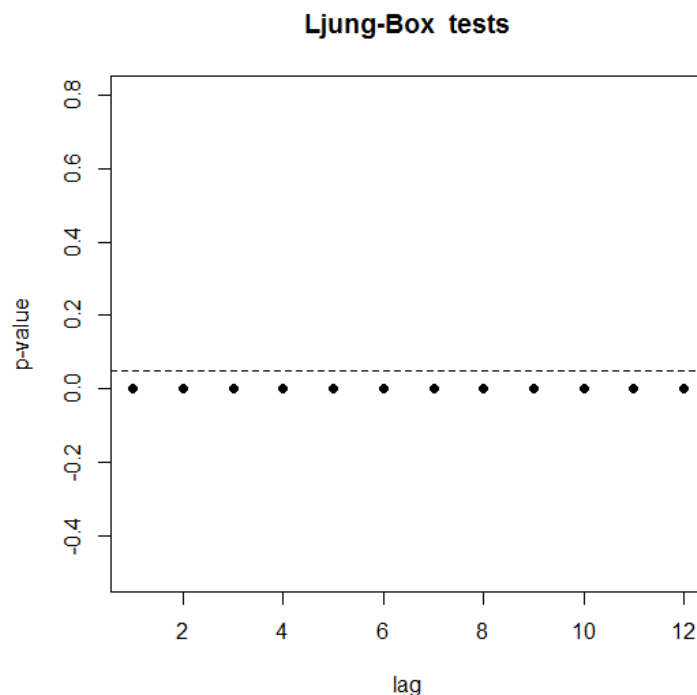


图 5-6 一阶差分后的 LB 检验统计量 p 值图

由上图 5-6 可知，在各阶延迟下 LB 检验统计量的 P 值都十分小(<0.001)，因此在置信水平为 99.9%的前提下，可以拒绝原假设，即 2002-2018 年内蒙古小麦每亩人工成本时间序列数据一阶差分后的序列是平稳非白噪声序列。

5.1.3 模型拟合结果

由一阶差分后序列的平稳性检验结果以及其自相关、偏自相关图可知，ARIMA 模型的差分项为 1，自相关系数 1 阶是显著的，即 1 阶后截尾，因此先设定 ARIMA(p,d,q) 模型中的 q 值为 0、1。而偏自相关系数也是 1 阶后截尾，设定 ARIMA(p,d,q) 模型中的 p 值为 0、1。排列组合后得到 4 种可能的 ARIMA 模型，通过 Log likelihood、AIC、ME 以及 RMSE 这四个指标对模型进行检验得到的拟合结果如下：

表 5-3 ARIMA 模型拟合结果

模型	Log likelihood	AIC	ME	RMSE
ARIMA(0,1,0)	-78.1	156.19	167.21	323.87
ARIMA(1,1,0)	-75.59	153.17	164.57	320.53
ARIMA(0,1,1)	-76.76	155.51	166.35	323.15
ARIMA(1,1,1)	-104.33	214.67	128.90	287.95

由上表可知，ARIMA(1,1,1)的 Log likelihood、ME 以及 RMSE 这三个指标均小于其余候选模型并且 AIC 指标均大于其余候选模型，故 ARIMA(1,1,1)的模型拟合较好，体现出最好的预测性能。因此，拟合 2002-2018 年内蒙古小麦每亩人工成本时间序列数据的最优预测模型为 ARIMA(1,1,1)。

绘制 2002-2018 年内蒙古小麦每亩人工成本时间序列的 ARIMA(1,1,1)模型的残差 QQ 图如下图 5-7:

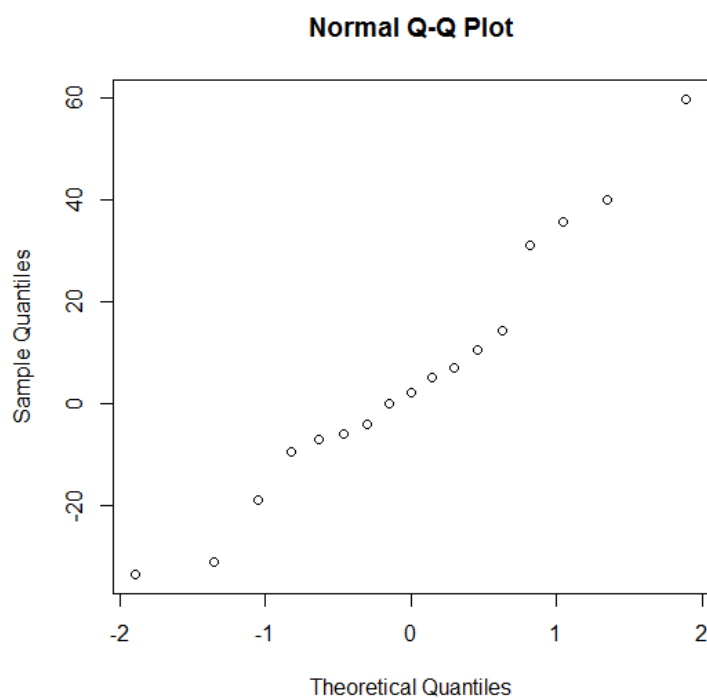


图 5-7 ARIMA (1, 1, 1) 模型的残差 QQ 图

由上图可知 ARIMA(1,1,1)模型的残差大都分布在一條直线上，仅有一小部分微微偏离直线，近似服从正态分布，因此该模型拟合效果较好。

进一步对残差序列进行白噪声检验得到如表 5-4 所示的结果：

表 5-4 白噪声检验

延迟阶数	LB 统计量的值	P 值
6	4.331	0.632
12	5.571	0.936

由上表可知各阶延迟下 LB 统计量的 P 值都远远大于显著性水平 0.05，故应该拒绝原假设，即说明残差序列中没有残留相关信息，可认为这个拟合模型的残差序列属于白噪声序列，即该拟合模型显著有效。

5.1.4 模型预测

运用 ARIMA(1,1,1)模型对接下来的 5 年内蒙古小麦的每亩人工成本进行预测，得到结果如下表 5-5，可知未来五年内蒙古小麦的每亩人工成本将持续下降，但下降速度缓慢：

表 5-5 2019-2023 年内蒙古小麦的每亩人工成本预测结果

年份	预测值
2019	397.603
2020	395.652
2021	394.097
2022	392.857
2023	391.869

同理，相应地对山东马铃薯每亩人工成本、收入时间序列数据进行 ARIMA 模型拟合，得到的模型拟合结果分别为 ARIMA(2,2,1)、ARIMA(2,3,2)，对山东苹果每亩人工成本、收入时间序列数据进行 ARIMA 模型拟合，得到的模型拟合结果分别为 ARIMA(2,1,1)、ARIMA(0,1,2)，并且模型的拟合效果显著。

运用 ARIMA(2,2,1)、ARIMA(2,3,2)模型对接下来的 5 年山东马铃薯的每亩人工成本、收入进行预测，得到结果如下表 5-6，可知未来五年山东马铃薯的每亩人工成本总体呈下降趋势，但下降平缓。而未来五年山东马铃薯的收入总体呈增长趋势：

表 5-6 2019-2023 年山东马铃薯的每亩人工成本、收入预测结果

年份	每亩人工成本预测值	收入预测值
2019	1279.363	77.530
2020	1274.225	89.372
2021	1231.728	98.721
2022	1234.275	125.679
2023	1253.664	138.547

运用 ARIMA(2,1,1) 、ARIMA(0,1,2)模型对接下来的 5 年山东苹果的每亩人工成本、收入进行预测，得到结果如下表 5-7，可知未来五年山东苹果的每亩人工成本以及收入总体呈缓慢上升趋势并渐趋平稳：

表 5-7 2019-2023 年山东苹果的每亩人工成本预测结果

年份	每亩人工成本预测值	收入预测值
2019	4667.638	127.551
2020	4689.837	154.558
2021	4676.629	153.758
2022	4688.894	154.559
2023	4681.351	155.634

5.2 问题 2 的模型建立与求解

5.2.1 大规模农产品生产网络优化模型的建立

1. 目标函数

农产品的生产周期与季节周期相一致，所以令其为 12 个月，故以 A 、 B 、 C K 为中间节点，以 S 为一年的起点， T 为一年的终点， A 表示一月的结束，以此类推。农产品 C_j 生产开始和结束时间点之间用实线弧连接，每条弧通过的流量表示农产品 C_j 的生产面积 x_j ，单位流量的费用为农产品 C_j 的单位面积净利润 P_j 。相邻节点之间没有安排生产农产品则出现土地闲置，用虚线表示，通过的流量为土地闲置的面积

$y_i (i = 0, 2, \dots, 11)$, 忽略土地闲置导致的管理、维护、租赁费用, 单位 流量费用设定为 0.

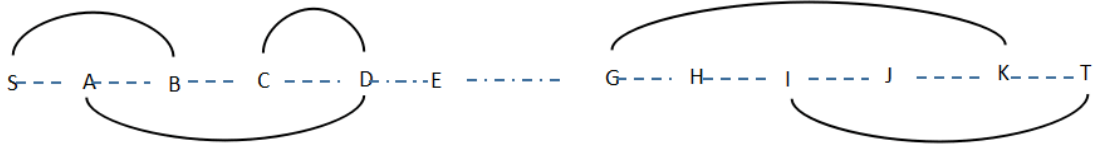


图 5-8 大规模农产品生产网络图

(1) 大规模农产品种植计划是在固定的土地资源上进行农产品生产面积、时间序列的安排, 以使总净利润最大, 其目标函数为

$$Z_1 = \max \sum_j^n x_j P_j$$

(2) 我们希望最大限度保证土地资源的循环利用, 所以需要最小化土地闲置时间, 目标函数为

$$Z_2 = \min \sum_{i=0}^{11} y_i$$

2. 约束条件

(1) 流量平衡约束

假定 S_{ij} 为农产品 C_j 在时间点 i 是否开始生产的判断函数; E_{ij} 为农产品 C_j 在时间点 i 是否结束生产的判断函数。由于农产品存在跨年生产的现象, 所以将分为两种情况:

① 当 $TE_j > TS_j$ 时, 即农产品在同一年内种植和收获。

$$S_{ij} = \begin{cases} 1, i = TS_j \\ 0, i \neq TS_j \end{cases}$$

$$E_{ij} = \begin{cases} 1, i = TE_j \\ 0, i \neq TE_j \end{cases}$$

其中 $S_{ij}=1$ 表示在网络模型中时间点 i 存在输出流表示农产品 C_j 在时间 i 开始生产, 并占有土地; 否则, 在网络模型中时间点 i 不存在输出流表示农产品 C_j 开始生产。 $E_{ij}=1$ 则表示在网络模型中时间点 i 存在输入流表示农产品 C_j 在时间 i 结束生产, 停止占有土地, 否则, 在网络模型中时间点 i 不存在输入流表示农产品 C_j 停止生产。

②当 $TE_j < TS_j$ 时, 即农产品跨年生产, 此时, 流将被截成两段。

$$S_{ij} = \begin{cases} 1, i = TS_j \\ 1, i = 0 \\ 0, i \neq TS_j \end{cases}$$

$$E_{ij} = \begin{cases} 1, i = TE_j \\ 1, i = 12 \\ 0, i \neq TE_j \end{cases}$$

其中, 被截断的流可视为从时间点 TS_j 到时间点 12 和从时间点 0 到时间点 TE_j 的两个流, 也即农产品 C_j 生产跨越年度时, 在时间点 12 和时间点 0 存在相等的输入流和输出流, 表示农产品继续生产, 继续占有土地。

网络模型中的每个节点应保持输入流等于输出流, 用等式来描述每个节点的网络流约束条件。

①S 点的流量平衡: 记 $i=0$, 即一月开始生产的农产品的分配土地量和一月闲置土地量的总和为土地总面积 d , 等式为

$$S_{01}x_1 + S_{02}x_2 + \dots + S_{0n}x_n + y_0 = d$$

②A 点的流量平衡: 记 $i=1$, 即二月开始生产的农产品的分配土地量和二月闲置土地量的总和为二月结束生产的农产品释放的土地量与一月闲置土地量的总和。等式为

$$S_{11}x_1 + S_{12}x_2 + \dots + S_{1n}x_n + y_1 = E_{11}x_1 + E_{12}x_2 + \dots + E_{1n}x_n + y_0$$

与上式相加得：

$$[(S_{01} - E_{11}) + S_{11}]x_1 + [(S_{02} - E_{12}) + S_{12}]x_2 + \dots + [(S_{0n} - E_{1n}) + S_{1n}]x_n + y_1 = d$$

整理可得

$$\sum_{j=1}^n [(S_{0j} - E_{1j}) + S_{1j}]x_j + y_1 = d$$

③B 点的流量平衡，记 $i=2$ ，即三月开始生产的农产品的分配土地量和三月闲置土地量的总和为三月结束生产的农产品释放的土地量与二月闲置土地量的总和。

$$S_{21}x_1 + S_{22}x_2 + \dots + S_{2n}x_n + y_2 = E_{21}x_1 + E_{22}x_2 + \dots + E_{2n}x_n + y_1$$

与上式相加得

$$[(S_{01} - E_{11}) + (S_{11} - E_{21}) + S_{21}]x_1 + [(S_{02} - E_{12}) + (S_{12} - E_{22}) + S_{22}]x_2 + \dots + [(S_{0n} - E_{1n}) + (S_{1n} - E_{2n}) + S_{2n}]x_n + y_2 = d$$

整理得

$$\sum_{j=1}^n \left[\sum_{i=1}^2 (S_{i-1j} - E_{ij}) + S_{2j} \right] x_j + y_2 = d$$

④C、D、E、F、G、H、I、J、K 点的流量平衡，记 $i=3、4、5 \dots 11$ 。即 i 月开始生产的农产品的分配土地量和 i 月闲置土地量的总和为 i 月结束生产的农产品释放的土地量与 $i-1$ 月闲置土地量的总和。整理得：

$$\sum_{j=1}^n \left[\sum_{i=1}^i (S_{i-1j} - E_{ij}) + S_{ij} \right] x_j + y_i = d$$

⑤T 点的流量平衡：记 $i=12$ ，即十二月结束，农产品释放的土地量和闲置土地两的总和等于土地总面积，等式为

$$d = E_{121}x_1 + E_{122}x_2 + \dots + E_{12n}x_n + y_{11}$$

在④中，令 $i=11$ ，可得

$$\sum_{j=1}^n \left[\sum_{i=1}^{11} (S_{i-1j} - E_{ij}) + S_{11j} \right] x_j + y_{11} = d$$

不失一般性地抽取 x_j 的系数展开，我们有

$$\sum_{i=1}^{11} (S_{i-1j} - E_{ij}) + S_{ij} = (S_{0j} + S_{1j} + \dots + S_{11j}) - (E_{1j} + E_{2j} + \dots + E_{11j})$$

(2) 大规模农产品生产网络流量约束

如果同时期只生产一种农产品，在大规模种植的情况下，容易产生剩余的农产品，从而影响市场供需关系，出现丰产不丰收的情况，并且单一生产一种农产品，无法合理地分散风险，形成合理的种植组合，因此每种农产品的生产面积受市场影响，存在最大生产面积 q_j ，即

$$x_j \leq q_j$$

3. 大规模农产品生产网络模型的多目标线性优化

由于模型中存在隔年生产，要求年度前后分配的土地量一致，难以用网络分析方法进行求解，且其目标函数和约束条件具有线性规划的特征，所以我们将网络模型化为线性规划进行优化和求解。

由上述讨论，我们获得了一个多目标的线性规划模型，如下：

$$Z_1 = \max PX$$

$$Z_2 = \min Y^T \mathbf{1}$$

$$s.t. \begin{cases} AX + Y = d \\ X \leq Q \\ X, Y \geq 0 \end{cases}$$

其中：

$$X = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T$$

$$Y = (y_0, y_1, \dots, y_{11})^T$$

$$Q = (q_1, q_2, \dots, q_n)^T$$

$$P = (p_1 + p_2 + \dots + p_n)$$

$$A = \begin{pmatrix} S_{01} & \cdots & S_{0n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \sum_{i=1}^{11} (S_{i-11} - E_{i1}) + S_{111} & \cdots & \sum_{i=1}^{11} (S_{i-1n} - E_{in}) + S_{11n} \end{pmatrix}$$

为了求解这个多目标线性规划，我们使用主要目标法对模型进行优化，虽然我们要最大限度保证土地资源的循环利用，但首先我们需要保证农民的稳定收入，所以我们将最大化利润设为主目标，而将最小化土地闲置时间作为次目标，通过对数据的分析和实际情况的了解，将次要目标化为约束处理，为土地闲置时间设定一个最大值 η 。从而得到如下单目标规划模型：

$$Z_1 = \max PX$$

$$s.t. \begin{cases} AX + Y = d \\ X \leq Q \\ Y^T 1 \leq \eta \\ X, Y \geq 0 \end{cases}$$

其中：

$$X = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T$$

$$Y = (y_0, y_1, \dots, y_{11})^T$$

$$Q = (q_1, q_2, \dots, q_n)^T$$

$$P = (p_1 + p_2 + \dots + p_n)$$

$$A = \begin{pmatrix} S_{01} & \cdots & S_{0n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \sum_{i=1}^{11} (S_{i-11} - E_{i1}) + S_{111} & \cdots & \sum_{i=1}^{11} (S_{i-1n} - E_{in}) + S_{11n} \end{pmatrix}$$

5.2.2 大规模农产品生产网络优化模型的求解

我们取内蒙古作为具体示例进行模型的求解，根据问题一建立的 Arima 模型，预测得到 2020 年农产品数据如下：

表 5-8 内蒙古种植农产品数据

作物品种	生产收获季节	单位面积利润	标记
小麦	11-5 月	45.27	C_1
玉米	3-7 月	143.11	C_2
梗稻	4-9 月	10.89	C_3
大豆	4-8 月	-50.37	C_4
油菜籽	10-5 月	-110.22	C_5
西红柿	2-7 月	3557.19	C_6
黄瓜	2-5 月	6426.85	C_7
茄子	1-7 月	2478.58	C_8
菜椒	2-6 月	2036.40	C_9
圆白菜	7-1 月	1255.95	C_{10}
马铃薯	12-3 月	730.28	C_{11}
大白菜	9-12 月	1854.50	C_{12}

烤烟	4-10 月	1731.78	C_{13}
甜菜	2-8 月	25.64	C_{14}

设定土地总面积为 10000 亩，最大生产面积经数据估算得

$$Q = [7922.34 \ 3652.36 \ 4797.63 \ 2940.18 \ 1099.82 \ 4632.11 \ 6718.23 \ 2406.97 \ 1092.65 \ 7011.92 \ 4268.33 \ 3562.37 \ 2850.14 \ 3852.91]$$

闲置土地面积和应小于总种植面积时间的 1/6，也即 $\eta \leq 20000$ 。

将数据代入模型，经 matlab 计算可得最优解为

$$x_6 = 3281.77, x_7 = 6718.23, x_{10} = 6437.63, x_{12} = 3562.37$$

其余为 0。

可得最大收益为 69540761.18。

5.2.3 结果

最优种植方案为，在二月种植 3281.77 亩西红柿，6718.23 亩黄瓜，5 月结束黄瓜成熟后闲置至 7 月，种植 6437.63 亩圆白菜，剩余土地闲置，7 月结束西红柿成熟，闲置至 9 月，种植 3562.37 亩大白菜。

5.3 问题 3 的模型建立与求解

5.3.1 小规模农产品生产动态优化模型的建立

由于假设 2 中认为土地同一时间内只能种植一种作物，从而农产品生产计划问题转化为在生产时间内农产品 C_j 是否进行生产，由此引入 0-1 变量 I_{ij} 来表示农产品 C_j 在时期 i 是否进行生产。

$$I_{ij} = \begin{cases} 1, & i \text{ 时期农产品 } C_j \text{ 生产} \\ 0, & i \text{ 时期农产品 } C_j \text{ 不生产} \end{cases}$$

如果 $I_{ij} = 1$

$$I_{ij} \equiv 1, \quad TS_j \leq i \leq TE_j$$

如果 $I_{ij} = 0$

$$I_{ij} \equiv 0, \quad TS_j \leq i \leq TE_j$$

表示农产品只要在适宜种植的时间开始生产，就拥有在其生产时段内持续占有土地进行生产的权利，若没有在适宜种植的时间开始生产，就失去占有土地进行生产的权利。

1. 目标函数

(1) 农产品生产计划的主要目标是保障农民的基本收入，即通过农产品合理的生产安排实现周期 T 内的利润最大化，从而有如下目标函数：

$$\max Z_3 = \sum_{j=1}^n I_{ij} p_j$$

(2) 在保障农民的基本收入的同时，我们还要求尽量减少水资源的过度使用，从而有如下目标函数：

$$\min Z_4 = \sum_{j=1}^n I_{ij} W_j$$

2. 约束条件

在同一块土地 D 上，同时只能种植一种农作物，从而我们有

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^n I_{ij} &\leq 1, i = 0, 1, \dots, T \\ \prod_{i=TS_j}^{TE_j} I_{ij} &= 1, j = 1, 2, \dots, n. \end{aligned}$$

由上述讨论，我们获得了一个双目标规划模型：

$$\begin{aligned} \max Z_3 &= \sum_{j=1}^n I_{ij} p_j \\ \min Z_4 &= \sum_j I_{ij} W_j \\ s.t. \left\{ \begin{aligned} \sum_{j=1}^n I_{ij} &\leq 1, i = 0, 1, \dots, T \\ \prod_{i=TS_j}^{TE_j} I_{ij} &= 1, j = 1, 2, \dots, n. \\ I_{ij} &= 1 \text{ 或 } 0, i = 0, 1, \dots, T, j = 1, 2, \dots, n \end{aligned} \right. \end{aligned}$$

3. 多目标规划模型的简化

对于此多目标规划模型，为了求解该模型，我们需要将其简化为单目标规划模型，由于各个地区的实际情况不同，其用水的程度也不尽相同，我们取 λ 为其相对缺水程度， λ 的取值可通过查阅相关资料，建立综合评价模型，综合考虑人均水资源量，年均降水量，人均可供水量等数据得出。并利用该参数，将目标函数简化为

$$\max Z_5 = \sum_{j=1}^n I_{ij} p_j - \lambda \sum_j I_{ij} W_j$$

从而我们得到单目标规划模型

$$\begin{aligned} \max Z_5 &= \sum_{j=1}^n I_{ij} p_j - \lambda \sum_j^n I_{ij} W_j \\ s.t. &\left\{ \begin{array}{l} \sum_{j=1}^n I_{ij} \leq, i = 0, 1, \dots, T \\ \prod_{i=TS_j}^{TE_j} I_{ij} = 1, j = 1, 2, \dots, n. \\ I_{ij} = 1 \text{ 或 } 0, i = 0, 1, \dots, T, j = 1, 2, \dots, n \end{array} \right. \end{aligned}$$

5.3.2 小规模农产品生产动态优化模型的求解

此模型是典型的 0-1 整数规划，常使用穷举法进行求解，但由于若有 n 种农产品，解此数学模型需要 n^2 次运算，求解难度较大，考虑到上述模型与时间相关，故按时间划分阶段，引入动态规划思想对模型进行求解。

引入虚拟农产品代表土地处于闲置时间，虚拟农产品的生产时段内不能生产其他任何农产品，虚拟农产品可以在任何时段种植，用虚线连接代表虚拟农作物，用实线连接代表正常农产品在特定时段上的生产，生成生产计划网络。

对于跨越年的农产品的生产，我们假设农产品的生产计划具有周期性，例如某产品的生产时段是八月至次年二月，在本年度内首先应先安排一至二月的生产，为了保证在下年度能继续生产，应当在本年度的八月至十二月安排该农产品的前期生产。通过区分不同的跨年度生产的农产品，将生产计划网络分解，称为分解的生产计划网络。

对于分解的生产计划网络，增加虚节点，将各个分解计划网络转化为标准的动态规划问题，将分解计划网络的 $N+1$ 个节点划分为 N 个阶段，阶段变量为 n ，每个阶段的状态变量为 S_n ，表示 k 阶段的农产品选择；状态转移函数为 $S_{n+1} = u_n(S_n)$ ，表示 n 阶段决策依赖于 $n+1$ 阶段的农产品的选择。指标函数为 $f_n(S_n)$ ，表示第 n 阶段 S_n 到终点的最大目标函数，用 $g_n(S_n, u_n)$ 第 n 阶段选择某农产品得到的目标函数，用动态规划逆序解法求解。其基本方程为：

$$\begin{cases} f_n(s_n) = \max[g(s_n, u_n) + f_{n+1}(s_{n+1})], k = 1, 2, \dots, N \\ f_{n+1}(s_{n+1}) = 0 \end{cases}$$

应用基本方程求解各个分解的农产品生产网络，分别得到最优值，然后进行比较，目标函数最大者即为最优生产计划。

5.3.3 结果

以四川省为例，通过问题二模型的计算，我们可以得到如下数据：

表 5-9 四川省种植农产品数据

作物种类	生产收获季节	单位面积净利润（元/亩）	用水量	标记
小麦	11-5 月	-465.35	310	C_1
玉米	3-7 月	-337.67	305	C_2
大豆	4-8 月	-452.81	285	C_3
花生	5-9 月	105.71	260	C_4
油菜籽	10-5 月	-234.03	310	C_5
棉花	3-10 月	-11.10	370	C_6
西红柿	2-7 月	6415.65	350	C_7
黄瓜	2-5 月	3137.67	290	C_8
茄子	1-7 月	4680.07	330	C_9
菜椒	2-6 月	1126.16	320	C_{10}
圆白菜	7-1 月	1530.19	330	C_{11}
大白菜	9-12 月	2000.44	330	C_{12}
马铃薯	12-3 月	116.21	310	C_{13}
菜花	7-12 月	618.23	340	C_{14}

根据以上数据，我们可以画出生产计划网络图如下：

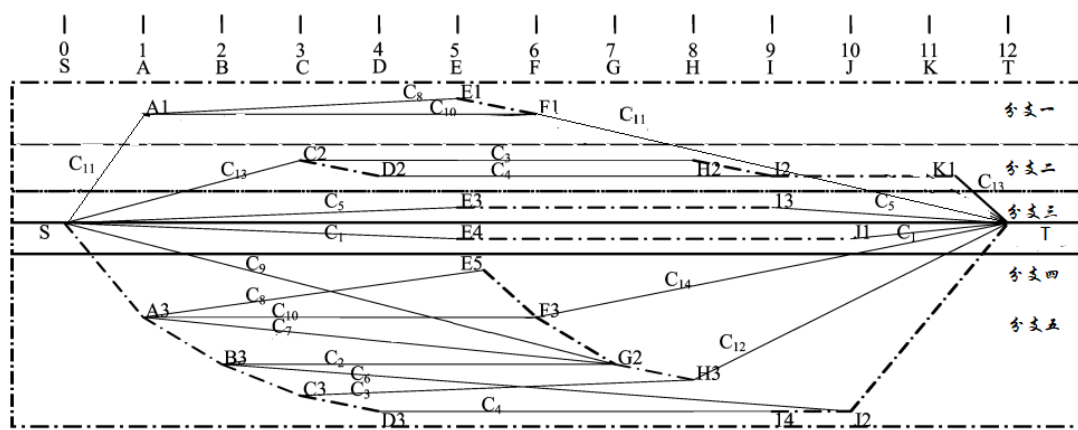


图 5-9 小规模生产计划网络图

其中分支一、分支二、分支三、分支四、分支五的农产品生产是独立的，在使用动态规划求解时没有相互影响，故认为是独立的方案，应用动态规划分别对其进行求解。同时，根据综合评价模型我们认为，四川处于严重缺水的状态，得到 $\lambda = 6.15$ 。

①对于分支一，将其化为下图所示的生产计划网络进行求解，其包含 4 个节点，故将其划分为 3 阶段的动态规划进行求解

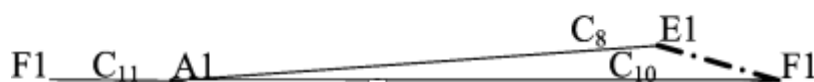


图 5-10 分支一动态规划图

求解得 $Z_5^1 = 854.86$

②对于分支二，将其化为下图所示的生产计划网络，其包含 6 个节点，故划分为 5 各阶段的动态规划进行求解。

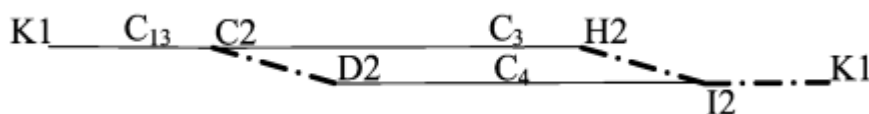


图 5-11 分支二动态规划图

求解得 $Z_5^2 = -3283.58$

③对于分支三和分支四，其中各只包含一种作物，所以直接求解得

$$Z_5^3 = -2140.53$$

$$Z_5^4 = -2371.85$$

④对于分支五，将其化为下图所示的生产计划网络，其包含 11 个节点，故划分为 10 各阶段的动态规划进行求解。

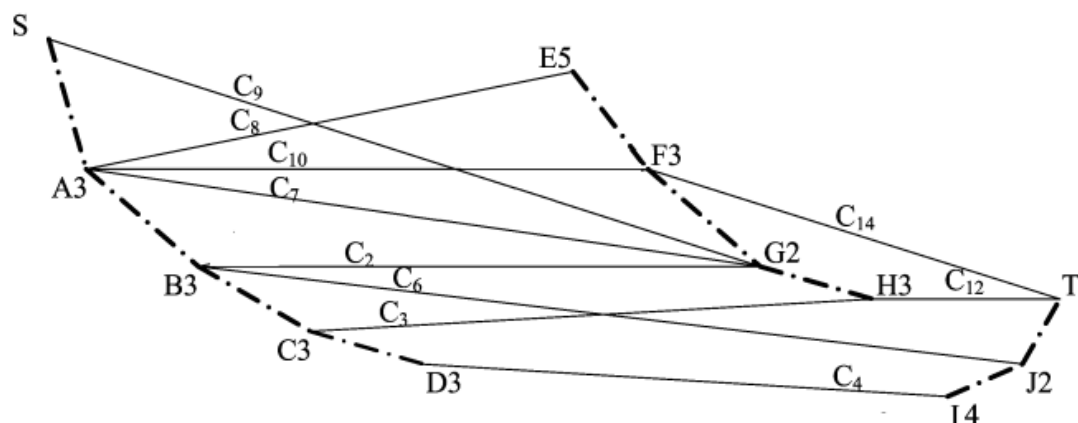


图 5-12 分支三动态规划图

求解得 $Z_s^5 = 4234.09$

通过对 5 个不同的结果进行比较，我们可以得出，先种植西红柿，后种植大白菜是既保证农民收入，又节约用水的最优选择。

5.4 问题 4 的模型建立与求解

5.4.1 农牧渔复合生态模型的建立

根据农业生态系统能值投入来源划分可分为环境资源能值与购买能值，其中环境资源能值可分为可更新环境资源能值，例如太阳能、雨水、风能等等，和不可更新环境资源能值，例如土壤表面损失等。而购买能值可分为可更新有机能能值，例如种子、饲料、人力等，与不可更新工业辅助能值，例如化肥、农药、农业基础设施等。生态系统的能流是由量多而能质低的向量少而能质高的能量进行转换，系统能值计算公式为 $E = \sum_{i=1}^n D_i \cdot T_i$ ，其中 E 为系统能值， D_i 为第 i 类能量的原始能值， T_i 为第 i 类能量的能值转化率。

在种植农作物的基础上，发展牧业并建设鱼塘养殖鱼类这一“农牧渔”相结合的新型农业生产方式，将有利于提高能值的利用率。

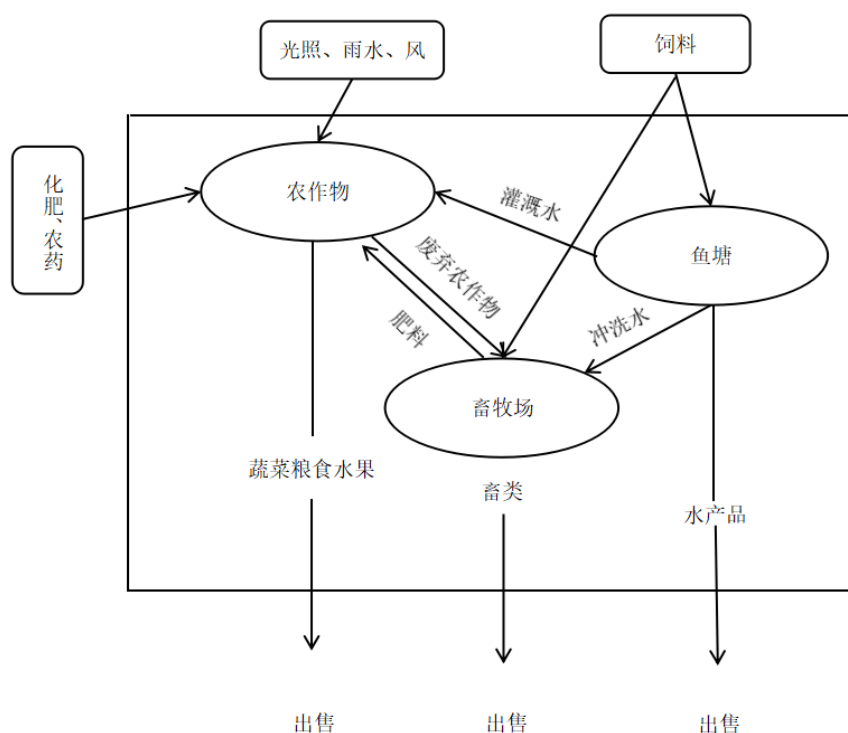


图 5-13 农牧渔复合生态模型

5.4.2 农牧渔复合生态模型的求解

(1) 农产品种植子系统

在一定面积的农田内进行耕种，对于可更新有机能，需要农作物种子或菜苗，并运用人工进行播种；对于不可更新有机能，包括运用机耕包括农机耕种与播种，运用主要包括钾肥等微量元素的化肥来补充农作物的营养，也可运用牛粪等作肥料，运用除草剂、农药等除去与农作物争夺养分的杂草与虫等，对于特殊的西红柿、黄瓜、茄子等蔬菜幼苗期需要大棚种植来保暖防草。并且需要电力用于照明、农机运转、基地灌溉等生产生活，运用鱼塘的水进行灌溉。从而生产玉米、小麦等农作物以及一些废弃的菜叶、次农产品、沼气等等

(2) 牧业养殖子系统

在一定面积的养殖基地可养殖鸡、猪、牛、羊等牲畜。除了所需购买的动物饲料、疫苗、消毒药等不可更新有机能之外，可运用农产品子系统中产生的一些废弃的玉米、豆粕以及麸皮等用作动物饲料。还需要电力用于养殖基地的降温、通风、照明、冲洗等等，运用鱼塘换下的水冲洗养殖基地。从而生产出鸡蛋、猪肉、羊肉、牛肉等食物以及一些动物排泄物。

(3) 鱼塘养殖子系统

在一定面积的养殖水面进行养殖鱼类，外购鱼苗以及相应的鱼类专用饲料、鱼药等。电力运用于增氧机、抽排水设施等机械的运作。并且可推出“鱼菜共生”的养殖模式，运用鱼便作为植物生长的一部分养分，而植物可将养殖水进行净化作为鱼类天然的营养液。从而生产出青鱼、鲫鱼、草鱼等水产以及用于农作物、牧业等养殖的灌溉水、冲洗水等等。

5.4.3 结果

农产品种植子系统、牧业养殖子系统、鱼塘养殖子系统这三个子系统相互联系、互相作用、相辅相成，农产品种植子系统为牧业养殖子系统提供饲料等，为鱼塘养殖子系统净化水资源，提供自然营养液，牧业养殖子系统为农产品子系统提供肥料等，鱼塘养殖子系统为农产品种植子系统提供灌溉水，为牧业养殖子系统提供冲洗水等等。从而这三个子系统共同形成一个良好的农业生态系统。

而基于系统能值分析，三个子系统均通过对废弃物的循环再利用，从而减少对外界资源的依赖程度，提高农牧渔这一复合生态养殖系统的可持续发展能力，从而实现良好的经济效益。

5.5 问题 5 的模型建立与求解

5.5.1 家庭合作养殖线性规划模型的建立

假设每个家庭提供的资金为 M ，则 K 个家庭可投入的成本为 KM ；每个家庭可投入的人工为 U ，则 K 个家庭可投入的人工为 KU ；每个家庭持有的土地为 H ，则 K 个家庭可投入生产的土地为 KH 。记种植的不同农产品记为 C_j ， $j=1,2,\dots,n$ ，饲养的不同牲畜记为 L_k ， $k=1,2,\dots,m$ ，种植和饲养的净利润分别为 p_j 和 p_{n+k} ；所需的成本分别为 c_j 和 c_{n+k} ；所需劳动力分别为 l_j 和 l_{n+k} 。种植和饲养的亩数和头数分别为 x_j 和 x_{n+k} 。家庭合作生产时，投入不能超过可投入成本和 KM ；人工不能超过可投入人工 KU ，种植的土地不能超过总持有土地 KH 。且需要最大化总利润。

从而，我们得到线性规划模型如下：

$$\begin{aligned} \max Z_6 &= \sum_{j=1}^n p_j x_j + \sum_{k=1}^m p_{n+k} x_{n+k} \\ s.t. &\left\{ \begin{aligned} \sum_{j=1}^n x_j c_j + \sum_{k=1}^m x_{n+k} c_{n+k} &\leq KM \\ \sum_{j=1}^n x_j l_j + \sum_{k=1}^m x_{n+k} l_{n+k} &\leq KU \\ \sum_{j=1}^n x_j &\leq KH \\ x_j, x_{n+k} &\geq 0 \end{aligned} \right. \end{aligned}$$

5.5.2 家庭合作养殖线性规划模型的求解

根据查阅资料，中国农村人均可支配收入为 16020.67 元，家庭户均人口数为 2.99 人，农村家庭人均经营耕地数 2.26 亩，人均年工作日 250 天。通过问题一模型的计算，以四川省为例，我们可以得到农牧业生产预期所需劳动力和利润如下表：

表 5-10 农牧业生产预期所需劳动力和利润

作物种类	用工数量(人/亩(头))	成本	单位面积净利润(元/亩(头))	标记
小麦	8.85	936.77	-465.35	C_1
玉米	10.08	1085.49	-337.67	C_2
大豆	10.27	889.40	-452.81	C_3
花生	10.94	1276.55	105.71	C_4
油菜籽	9.97	1033.99	-234.03	C_5
棉花	17.05	2008.15	-11.10	C_6
西红柿	43.34	4609.40	6415.65	C_7
黄瓜	35.09	4076.14	3137.67	C_8
茄子	27.50	3484.96	4680.07	C_9
菜椒	29.34	2995.53	1126.16	C_{10}
圆白菜	27.19	2932.34	1530.19	C_{11}
大白菜	26.15	2869.80	2000.44	C_{12}
马铃薯	19.68	2301.95	116.21	C_{13}
菜花	20.82	2268.83	618.23	C_{14}

生猪	7.47	1743.37	28.11	L_1
肉牛	12.71	8549.08	2112.61	L_2
肉羊	5.4	1002.11	197.84	L_3
肉鸡(百)	4.5	2698.00	183.51	L_4
蛋鸡	20.51	14638.10	973.17	L_5

5.5.3 结果

将数据带入并使用 MATLAB 计算得

$$x_7 = 6.7574K, x_{16} = 1.9598K$$

也即种植 6.7574K 亩西红柿，养殖 1.9598K 头牛。

六、模型的评价及优化

6.1 误差分析

例如 2002-2018 年山东苹果的收入时间序列的 ARIMA(0,1,2)模型的残差 QQ 图如下

图 x:

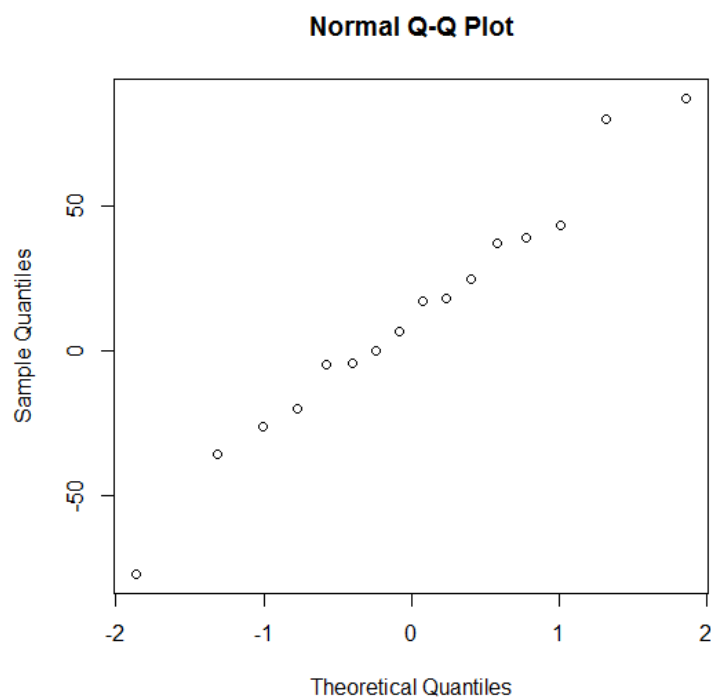


图 6-1 ARIMA (0, 1, 2) 模型的残差 QQ 图

由上图可知 ARIMA(0,1,2)模型的残差大都分布在一条直线上，近似服从正态分布，因此该模型拟合效果较好，但尾部仍有一两点偏离轨道。

进一步对残差序列进行白噪声检验得到如表 6-1 所示的结果：

表 6-1 白噪声检验

延迟阶数	LB 统计量的值	P 值
6	4.188	0.651
12	4.3185	0.977

由上表可知各阶延迟下 LB 统计量的 P 值都远远大于显著性水平 0.05，故应该拒绝原假设，即说明残差序列中没有残留相关信息，对于误差可忽略不计，可认为这个拟合模型的残差序列属于白噪声序列，即该拟合模型显著有效。

6.2 模型的优点（建模方法创新、求解特色等）

ARIMA 模型较好地拟合时间序列数据并能对未来进行预测，得到未来五年各地区不同农作物的人工成本以及收入的预测值，从而为下一步制定农场经营计划提供依据，也为政府决策提供了良好的方向。并且得到的 ARIMA 模型拟合效果显著，因此预测误差较小。

大规模农产品生产网络优化模型根据农产品生产的时空特性，从而运用网络流进行规划农产品生产的网络模型。将复杂抽象的大规模农产品生产问题进行简化为多目标的线性规划，使问题更加简洁清晰，从而制定最优大规模农产品种植计划。

小规模农产品生产动态优化模型考虑了时间要素在农产品生产过程中的作用，同时考虑尽量减少水资源的过度使用，而利用相对缺水程度这一参数将双目标规划模型转化为单目标 0-1 整数规划模型，对生产计划网络进行分解得到多个标准动态规划问题，利用动态规划的逆序解法，求得生产计划的最优解。

农牧渔复合生态模型有效地将农产品种植子系统、牧业养殖子系统、鱼塘养殖子系统这三大子系统结合，形成一个良好的农业生态系统，从而减少对外界资源的依赖程度，提高农牧渔这一复合生态养殖系统的可持续发展能力，从而实现良好的经济效益。

6.3 模型的缺点

ARIMA 模型要求时间序列是稳定的, 或者通过差分后是稳定的, 并且其本质上只能捕捉线性关系, 而不能捕捉非线性关系, 因此具有一定的局限性。而当约束条件发生改变时, 本文动态规划求得的模型将不再适用而需重新建立对应模型, 因此模型灵活性不足。并且模型没有考虑到市场供需关系, 导致模型中即使加了约束条件但产生的结果与实际不是十分吻合。

6.4 模型的推广

本文得到关于人工成本以及收入的 ARIMA 模型为农场主下一步制定农场经营计划提供导向, 也为政府决策提供依据。大规模农产品生产网络优化模型为不同地区具有充足土地资源的农民们提供相应的具有各地特色的农产品种植计划, 在保证农民稳定收入的同时能够最大限度地保证土地资源的循环利用。小规模农产品生产动态优化模型对缺乏土地资源的农民们提供合理的小规模种植计划在兼顾农民基本收入的同时尽量减少水资源的过度使用。农牧渔复合生态模型有效减少对外界资源的依赖程度, 提高农牧渔这一复合生态养殖系统的可持续发展能力, 从而实现良好的经济效益。

参考文献

- [1]韩俊, & 何宇鹏. (2011). 近年来我国农业人工成本变动特点分析及建议. 农村金融研究(03), 6-7.
- [2]郑远利. (2015). 农业人工成本变动特点分析及建议. 中国乡镇企业会计, 000(005), 140-141.
- [3]李晖, 黄南京, & 叶一军. (2015). 基于时空约束的大规模农产品时间柔性生产计划网络优化研究. 中国管理科学(04), 159-168.
- [4]李晖, 叶一军, & 彭祖成. (2015). 中小规模农产品时间柔性生产计划模型. 浙江农业学报, 27(3), 504-511.
- [5]李晖, 叶一军, & 彭祖成. (2014). 基于时空约束的中小规模农产品生产计划动态优化. 江苏农业科学, 42(07), 449-453.
- [6]张奕韬. (2009). 基于 arima 模型的外汇汇率时间序列预测研究. 华东交通大学学报(05), 85-89.
- [7]张疆, 马元魁, & 张建生. (2019). 时间序列分析在我国农业总产值预测中的应用. 数学建模及其应用(3).
- [8]解文利. (2009). 基于免疫算法多目标约束 P2P 任务调度策略研究. (Doctoral dissertation).
- [9]王德海, & 张克云. (2001). 我国农业人力资源开发的现状及战略选择. 农业经济问题(9), 15-19.
- [10]尤莉, 顾润源, & 陈廷芝. (2010). 内蒙古农作物产量气候影响因子分析与评估. 干旱区资源与环境, 024(011), P.79-82.
- [11]彭叶辉, 施保昌, & 姚升保. (2003). 线性约束多目标规划的非单调信赖域算法. 华中科技大学学报(自然科学版)(7).

附录一

产品类型	产品名称	地区	年份	主产品产量	每 50 公斤主产品 平均出售价格	人工成本	每 50 公斤 主产品现金收益
粮食	小麦	天津	2002	320.90	52.18	41.80	18.44
粮食	小麦	天津	2003	356.20	52.95	43.68	168.83
粮食	小麦	天津	2004	380.00	76.68	50.53	42.48
粮食	小麦	天津	2005	361.60	72.75	55.69	243.74
粮食	小麦	天津	2006	357.30	70.20	57.63	221.68
粮食	小麦	天津	2007	387.00	74.35	59.47	34.97
粮食	小麦	上海	2002	240.50	45.38	30.80	19.60
粮食	小麦	上海	2003	219.70	48.47	34.72	23.01
粮食	小麦	上海	2004	281.30	67.82	38.63	41.68
粮食	小麦	上海	2005	276.50	64.72	61.51	170.67
粮食	小麦	上海	2006	293.40	61.51	55.60	29.19
粮食	小麦	上海	2007	289.80	64.81	61.71	29.87
粮食	小麦	山西	2002	254.00	53.00	93.50	22.59
粮食	小麦	山西	2003	268.00	57.97	84.00	168.42
粮食	小麦	山西	2004	291.70	75.43	92.48	44.14
粮食	小麦	山西	2005	216.50	75.11	88.28	120.99
粮食	小麦	山西	2006	291.60	73.18	100.56	197.22
粮食	小麦	山西	2007	239.60	75.13	109.02	23.10
粮食	小麦	山西	2008	311.90	80.02	132.19	36.43
粮食	小麦	山西	2009	252.04	95.95	116.58	34.04
粮食	小麦	山西	2010	249.49	102.73	154.31	37.64
粮食	小麦	山西	2011	283.97	107.30	205.73	41.20
粮食	小麦	山西	2012	350.70	106.58	280.90	44.78
粮食	小麦	山西	2013	286.30	124.25	339.05	41.35
粮食	小麦	山西	2014	360.67	125.73	356.82	57.40
粮食	小麦	山西	2015	387.17	115.98	376.82	53.16
粮食	小麦	山西	2016	388.16	113.64	410.99	51.09
粮食	小麦	山西	2017	390.12	119.27	347.37	55.31
粮食	小麦	山西	2018	333.09	118.00	348.64	293.04
粮食	小麦	山东	2002	314.30	52.70	102.30	20.86
粮食	小麦	山东	2003	338.90	61.98	92.96	33.10
粮食	小麦	山东	2004	393.20	77.09	113.38	46.77
粮食	小麦	山东	2005	388.80	69.13	119.88	287.98
粮食	小麦	山东	2006	399.80	72.66	123.57	38.60
粮食	小麦	山东	2007	383.60	80.31	137.44	43.15
粮食	小麦	山东	2008	431.90	83.88	145.12	46.78
粮食	小麦	山东	2009	430.71	95.55	156.13	53.68
粮食	小麦	山东	2010	410.55	102.32	183.00	59.06
粮食	小麦	山东	2011	435.19	106.10	221.84	59.35
粮食	小麦	山东	2012	436.45	117.05	281.39	66.29
粮食	小麦	山东	2013	429.08	123.58	359.07	70.35
粮食	小麦	山东	2014	462.74	123.74	362.03	73.18
粮食	小麦	山东	2015	461.68	117.06	366.68	67.33
粮食	小麦	山东	2016	446.11	121.36	377.68	69.55

粮食	小麦	山东	2017	457.06	121.97	375.45	71.76
粮食	小麦	山东	2018	421.51	119.29	363.15	55.42
粮食	小麦	内蒙古	2002	322.50	59.01	108.90	22.45
粮食	小麦	内蒙古	2003	311.50	60.52	101.92	185.92
粮食	小麦	内蒙古	2004	340.00	81.24	130.06	39.18
粮食	小麦	内蒙古	2005	361.10	89.04	130.76	326.93
粮食	小麦	内蒙古	2006	367.60	88.82	149.44	293.89
粮食	小麦	内蒙古	2007	352.30	91.44	160.86	40.37
粮食	小麦	内蒙古	2008	358.40	113.66	176.18	53.43
粮食	小麦	内蒙古	2009	370.07	107.32	190.55	53.67
粮食	小麦	内蒙古	2010	329.24	115.45	239.98	49.98
粮食	小麦	内蒙古	2011	371.26	137.43	322.82	70.01
粮食	小麦	内蒙古	2012	356.76	134.07	345.71	56.53
粮食	小麦	内蒙古	2013	363.90	138.79	407.41	56.92
粮食	小麦	内蒙古	2014	369.48	162.31	411.02	85.41
粮食	小麦	内蒙古	2015	375.49	164.70	419.56	89.53
粮食	小麦	内蒙古	2016	377.63	145.80	425.08	73.98
粮食	小麦	内蒙古	2017	382.62	149.82	397.78	78.43
粮食	小麦	内蒙古	2018	398.58	153.73	400.05	645.01
粮食	小麦	江苏	2002	307.60	44.95	63.80	19.60
粮食	小麦	江苏	2003	285.40	54.18	60.48	26.92
粮食	小麦	江苏	2004	363.30	71.58	70.45	43.27
粮食	小麦	江苏	2005	365.90	65.11	73.88	258.58
粮食	小麦	江苏	2006	395.70	69.29	81.59	38.25
粮食	小麦	江苏	2007	394.20	71.93	86.77	40.00
粮食	小麦	江苏	2008	412.70	77.26	100.89	42.89
粮食	小麦	江苏	2009	403.46	87.06	106.63	46.97
粮食	小麦	江苏	2010	376.65	95.72	129.60	50.70
粮食	小麦	江苏	2011	381.19	98.19	162.25	47.67
粮食	小麦	江苏	2012	368.29	101.48	226.68	45.48
粮食	小麦	江苏	2013	383.73	111.52	243.91	53.75
粮食	小麦	江苏	2014	440.27	116.43	267.63	62.25
粮食	小麦	江苏	2015	399.73	112.66	260.53	51.55
粮食	小麦	江苏	2016	386.56	94.35	252.21	28.69
粮食	小麦	江苏	2017	428.03	113.93	232.86	50.75
粮食	小麦	江苏	2018	396.54	108.72	214.62	306.72
粮食	小麦	黑龙江	2002	226.70	46.80	19.80	22.60
粮食	小麦	黑龙江	2003	186.30	53.89	17.92	25.57
粮食	小麦	黑龙江	2004	190.60	71.42	27.93	29.76
粮食	小麦	黑龙江	2005	202.40	68.33	29.70	93.50
粮食	小麦	黑龙江	2006	241.10	60.46	46.42	18.51
粮食	小麦	黑龙江	2007	291.70	73.33	53.94	23.59
粮食	小麦	黑龙江	2008	268.60	81.81	37.33	14.05
粮食	小麦	黑龙江	2009	296.48	82.32	40.33	14.34
粮食	小麦	黑龙江	2010	285.27	91.46	42.77	14.02
粮食	小麦	黑龙江	2011	323.32	102.39	51.44	24.44
粮食	小麦	黑龙江	2012	294.01	108.32	48.15	20.20
粮食	小麦	黑龙江	2013	240.54	124.36	30.23	13.38

粮食	小麦	黑龙江	2014	290.67	129.70	33.22	24.89
粮食	小麦	黑龙江	2015	290.04	97.61	35.00	-8.43
粮食	小麦	黑龙江	2016	300.46	100.33	42.55	-2.76
粮食	小麦	黑龙江	2017	314.63	98.74	44.95	1.39
粮食	小麦	河南	2002	294.20	49.06	88.00	156.63
粮食	小麦	河南	2003	290.50	64.43	87.36	40.22
粮食	小麦	河南	2004	394.30	73.37	88.64	52.57
粮食	小麦	河南	2005	353.30	66.61	104.96	287.24
粮食	小麦	河南	2006	394.20	72.14	93.61	45.13
粮食	小麦	河南	2007	406.00	74.80	94.03	47.38
粮食	小麦	河南	2008	426.70	81.67	111.48	51.75
粮食	小麦	河南	2009	405.23	93.28	124.42	55.65
粮食	小麦	河南	2010	414.64	96.74	157.92	59.31
粮食	小麦	河南	2011	446.64	101.07	213.23	64.73
粮食	小麦	河南	2012	397.90	99.23	274.15	49.78
粮食	小麦	河南	2013	392.08	110.44	324.10	53.95
粮食	小麦	河南	2014	494.28	115.82	342.38	69.68
粮食	小麦	河南	2015	493.91	114.82	335.25	67.10
粮食	小麦	河南	2016	448.65	105.72	338.41	48.49
粮食	小麦	河南	2017	476.15	110.01	339.56	55.85
粮食	小麦	河南	2018	374.20	103.96	333.15	68.07
粮食	小麦	北京	2002	299.70	53.59	46.20	15.72
粮食	小麦	北京	2003	300.60	56.93	49.28	126.67
粮食	小麦	北京	2004	348.70	74.15	90.29	34.70
粮食	小麦	北京	2005	335.70	76.05	96.56	184.84
粮食	小麦	北京	2006	332.00	76.53	96.10	174.52
粮食	小麦	北京	2007	349.90	80.13	100.60	27.02
粮食	小麦	安徽	2002	273.30	47.53	88.00	24.66
粮食	小麦	安徽	2003	223.60	53.57	70.56	26.07
粮食	小麦	安徽	2004	343.50	70.91	84.60	43.01
粮食	小麦	安徽	2005	319.60	63.06	83.69	215.51
粮食	小麦	安徽	2006	368.40	70.40	86.72	41.19
粮食	小麦	安徽	2007	396.20	71.27	102.49	43.10
粮食	小麦	安徽	2008	426.90	76.36	96.70	46.50
粮食	小麦	安徽	2009	409.48	86.57	118.42	48.53
粮食	小麦	安徽	2010	409.32	93.71	125.98	57.11
粮食	小麦	安徽	2011	375.38	97.86	165.68	52.39
粮食	小麦	安徽	2012	395.19	104.43	181.71	58.09
粮食	小麦	安徽	2013	387.44	112.93	207.02	61.26
粮食	小麦	安徽	2014	466.83	114.84	234.28	69.87
粮食	小麦	安徽	2015	426.24	110.18	229.87	59.79
粮食	小麦	安徽	2016	407.80	103.62	235.35	47.91
粮食	小麦	安徽	2017	447.60	112.24	224.04	62.01
粮食	小麦	安徽	2018	338.24	103.28	206.83	69.20
粮食	小麦	河北	2002	343.20	51.76	83.60	19.68
粮食	小麦	河北	2003	342.90	58.07	76.16	191.70
粮食	小麦	河北	2004	387.50	78.12	100.28	45.05
粮食	小麦	河北	2005	383.40	73.10	100.15	293.76

粮食	小麦	河北	2006	378.80	74.33	110.02	271.13
粮食	小麦	河北	2007	401.00	78.88	113.51	39.80
粮食	小麦	河北	2008	418.90	83.47	125.06	44.25
粮食	小麦	河北	2009	412.91	99.04	134.94	54.90
粮食	小麦	河北	2010	374.19	103.28	178.10	53.38
粮食	小麦	河北	2011	429.37	105.12	226.83	55.43
粮食	小麦	河北	2012	426.24	113.79	302.34	57.94
粮食	小麦	河北	2013	425.89	124.71	359.56	68.01
粮食	小麦	河北	2014	459.05	124.35	379.51	73.34
粮食	小麦	河北	2016	461.25	120.26	389.74	68.53
粮食	小麦	河北	2017	473.51	121.97	396.72	71.28
粮食	小麦	河北	2018	383.95	118.98	408.41	445.82
粮食	早籼稻	浙江	2002	379.6	50.95	88	29.09
粮食	早籼稻	浙江	2003	391.4	55.63	87.36	31.35
粮食	早籼稻	浙江	2004	389.4	82.63	106.09	52.47
粮食	早籼稻	浙江	2005	381	79.35	104.86	45.4
粮食	早籼稻	浙江	2006	381.8	80.75	112.35	42.97
粮食	早籼稻	浙江	2007	398.5	83.57	115.59	43.67
粮食	早籼稻	浙江	2008	390.5	104.23	131.21	53.13
粮食	早籼稻	浙江	2009	424.29	98.46	133.58	49.55
粮食	早籼稻	浙江	2010	365.24	101.96	151.91	44.83
粮食	早籼稻	浙江	2011	406.29	113.92	195.95	51.03
粮食	早籼稻	浙江	2012	406.11	128.67	246.55	55.63
粮食	早籼稻	浙江	2013	426.68	132.3	288.98	56.1
粮食	早籼稻	浙江	2014	425.15	135.01	301.92	55.75
粮食	早籼稻	浙江	2015	394	134.73	306.86	41.07
粮食	早籼稻	浙江	2016	441.14	134.76	312	52.54
粮食	早籼稻	浙江	2017	431.63	134.5	328.82	44.62
粮食	早籼稻	浙江	2018	449.6	123.12	310.53	32.16
粮食	早籼稻	江西	2002	346.7	44.79	151.8	26.27
粮食	早籼稻	江西	2003	354	49.55	147.84	33.64
粮食	早籼稻	江西	2004	383.6	74.07	168.15	48
粮食	早籼稻	江西	2005	374	69.18	171.1	41.03
粮食	早籼稻	江西	2006	381.3	71.13	171.69	40.99
粮食	早籼稻	江西	2007	396	78.98	172.82	45.19
粮食	早籼稻	江西	2008	401.8	92.75	194.55	53.49
粮食	早籼稻	江西	2009	418.64	92.08	194.27	52.62
粮食	早籼稻	江西	2010	374.72	98.99	213.04	50.87
粮食	早籼稻	江西	2011	413.32	114.49	255.06	64.51
粮食	早籼稻	江西	2012	391.5	126.57	322.26	69.26
粮食	早籼稻	江西	2013	436.62	128.23	368.74	74.06
粮食	早籼稻	江西	2014	434.48	128.3	392.77	75.33
粮食	早籼稻	江西	2015	436.61	127.09	380.8	72.57
粮食	早籼稻	江西	2016	436.72	120.84	382.77	64.95
粮食	早籼稻	江西	2017	441.12	122.68	374.14	66.64
粮食	早籼稻	江西	2018	438.38	111.68	390.95	52.18
粮食	早籼稻	湖南	2002	317.8	45.77	148.5	21.23
粮食	早籼稻	湖南	2003	347.5	47.96	153.44	26.08

粮食	早籼稻	湖南	2004	393.7	70.93	167.24	42.62
粮食	早籼稻	湖南	2005	372.7	68.54	181.09	35.43
粮食	早籼稻	湖南	2006	393.6	70.95	181.88	37.08
粮食	早籼稻	湖南	2007	407	75.96	178	40.27
粮食	早籼稻	湖南	2008	409.9	89.73	193.48	44.95
粮食	早籼稻	湖南	2009	400.36	89.52	201.11	44.23
粮食	早籼稻	湖南	2010	355.68	97.73	213.55	46.07
粮食	早籼稻	湖南	2011	400.63	117.88	275.16	65.49
粮食	早籼稻	湖南	2012	401.88	129.32	335.36	72.39
粮食	早籼稻	湖南	2013	418.44	125.63	390.1	67.84
粮食	早籼稻	湖南	2014	390.27	131.54	386.9	69.78
粮食	早籼稻	湖南	2015	411.29	129.41	404.44	70.18
粮食	早籼稻	湖南	2016	380.38	126.03	391.63	62.38
粮食	早籼稻	湖南	2017	403.02	125.13	380.94	64.1
粮食	早籼稻	湖南	2018	410.22	111.03	357.42	48.87
粮食	早籼稻	湖北	2002	398.9	42.04	119.9	25.48
粮食	早籼稻	湖北	2003	377	46.37	141.12	30.75
粮食	早籼稻	湖北	2004	389.4	70.32	155.91	45.06
粮食	早籼稻	湖北	2005	393.1	66.29	156.87	41.15
粮食	早籼稻	湖北	2006	419.7	69.77	166.18	45.27
粮食	早籼稻	湖北	2007	428	74.8	174.92	48.28
粮食	早籼稻	湖北	2008	434.8	87.74	197.58	54.5
粮食	早籼稻	湖北	2009	435.8	89.04	219.93	54.34
粮食	早籼稻	湖北	2010	400.68	97.73	276.33	57.68
粮食	早籼稻	湖北	2011	409.01	115.34	324.93	69.39
粮食	早籼稻	湖北	2012	429.31	127.48	433.81	77.57
粮食	早籼稻	湖北	2013	425.83	121.1	516.07	71.08
粮食	早籼稻	湖北	2014	429.15	128.77	507.72	77.26
粮食	早籼稻	湖北	2015	433.48	124.02	481.44	71.4
粮食	早籼稻	湖北	2016	401.56	122.02	432.84	64.88
粮食	早籼稻	湖北	2017	432.11	123.9	462	66.47
粮食	早籼稻	湖北	2018	432.66	113.43	441.17	52.18
粮食	早籼稻	海南	2002	323.7	49.35	129.8	29.96
粮食	早籼稻	海南	2003	333.8	50.88	124.32	32.78
粮食	早籼稻	海南	2004	361.9	83	141.25	62.91
粮食	早籼稻	海南	2005	326.5	82.32	160.34	54.8
粮食	早籼稻	海南	2006	367.8	75	158.4	48.43
粮食	早籼稻	海南	2007	370.1	83.4	156.91	53.66
粮食	早籼稻	海南	2008	388.1	101.43	173.09	65.06
粮食	早籼稻	海南	2009	375.51	95.97	182.48	55.05
粮食	早籼稻	海南	2010	365.09	106.29	219.78	61.05
粮食	早籼稻	海南	2011	398.96	126.57	255.27	77.83
粮食	早籼稻	海南	2012	408.17	128.6	340.38	75.15
粮食	早籼稻	海南	2013	396.87	134.84	430.93	75.92
粮食	早籼稻	海南	2014	400.7	133.64	467.84	75.38
粮食	早籼稻	海南	2015	397.78	131.42	480.4	72.27
粮食	早籼稻	海南	2016	417.06	129.01	485.8	71.07
粮食	早籼稻	海南	2017	423.32	129.48	454.11	66.26

粮食	早籼稻	海南	2018	413.82	120.05	438.38	57.55
粮食	早籼稻	广西	2002	389.6	50.32	144.1	27.14
粮食	早籼稻	广西	2003	387.9	53.75	148.96	29.29
粮食	早籼稻	广西	2004	386.1	77.04	189.77	44.31
粮食	早籼稻	广西	2005	378.2	73.05	217.49	36.28
粮食	早籼稻	广西	2006	399	80.69	214.36	41.84
粮食	早籼稻	广西	2007	405.7	84.33	219.78	44.34
粮食	早籼稻	广西	2008	408.2	105.78	229.44	58.08
粮食	早籼稻	广西	2009	414.5	105.28	244.76	56.17
粮食	早籼稻	广西	2010	407.76	110.5	291.51	58.42
粮食	早籼稻	广西	2011	412.08	141.59	368.96	83.73
粮食	早籼稻	广西	2012	418.7	139.98	479.74	79.08
粮食	早籼稻	广西	2013	419.04	137.1	552.42	74.81
粮食	早籼稻	广西	2014	418.41	141.85	588.36	77.83
粮食	早籼稻	广西	2015	415.92	145.03	620.54	81.23
粮食	早籼稻	广西	2016	433.13	138.73	600.89	75.59
粮食	早籼稻	广西	2017	421.19	143.56	548.47	72.82
粮食	早籼稻	广西	2018	437.18	142.25	525.63	72.76
粮食	早籼稻	广东	2002	375.8	52.24	122.1	29.87
粮食	早籼稻	广东	2003	383.6	54.9	119.84	32.98
粮食	早籼稻	广东	2004	416.8	82.01	156.89	52.56
粮食	早籼稻	广东	2005	373.4	81.66	161.1	46.81
粮食	早籼稻	广东	2006	369	81.57	169.27	47.32
粮食	早籼稻	广东	2007	394.6	89.2	179.7	53.21
粮食	早籼稻	广东	2008	380.4	104.5	199.19	57.2
粮食	早籼稻	广东	2009	416.67	103.42	212.58	62.06
粮食	早籼稻	广东	2010	404.24	106.4	249.01	60.83
粮食	早籼稻	广东	2011	424.14	133.7	325.12	82.68
粮食	早籼稻	广东	2012	424.4	132.22	441.98	72.48
粮食	早籼稻	广东	2013	401.8	134.17	508.31	71.44
粮食	早籼稻	广东	2014	420.67	139.89	537.68	75.78
粮食	早籼稻	广东	2015	415	145.73	529.84	78.9
粮食	早籼稻	广东	2016	427.25	143.6	546.44	77.26
粮食	早籼稻	广东	2017	416.44	145.32	573.7	75.42
粮食	早籼稻	广东	2018	418.89	141.95	539.98	69.59
粮食	早籼稻	福建	2002	397.7	50.6	154	31.09
粮食	早籼稻	福建	2003	399.6	52.18	153.44	32.37
粮食	早籼稻	福建	2004	422.2	81.03	205.55	57.68
粮食	早籼稻	福建	2005	409	74.21	222.15	44.03
粮食	早籼稻	福建	2006	390.6	76.79	235.8	45.2
粮食	早籼稻	福建	2007	402.4	86.67	269.32	52.02
粮食	早籼稻	福建	2008	419.4	103.32	291.72	63.4
粮食	早籼稻	福建	2009	438.36	99.89	296.97	63.69
粮食	早籼稻	福建	2010	427.13	105.67	340.48	63.87
粮食	早籼稻	福建	2011	443.43	131.04	486.06	80.55
粮食	早籼稻	福建	2012	437.78	138.63	614.79	81.88
粮食	早籼稻	福建	2013	433.96	139.05	700.55	81.61
粮食	早籼稻	福建	2014	443.05	144.4	732.61	80.19

粮食	早籼稻	福建	2015	453.2	147.38	745.2	82.47
粮食	早籼稻	福建	2016	452.74	143.46	760.66	78.81
粮食	早籼稻	福建	2017	455.94	141.48	788.41	75.15
粮食	早籼稻	福建	2018	469.85	133.53	733.93	66.91
粮食	早籼稻	安徽	2002	350.2	41.75	117.7	21.32
粮食	早籼稻	安徽	2003	360	51.98	119.84	35.26
粮食	早籼稻	安徽	2004	362.1	70.63	145.53	41.72
粮食	早籼稻	安徽	2005	358.6	68.1	153.63	40.61
粮食	早籼稻	安徽	2006	368.9	69.33	140.01	38.04
粮食	早籼稻	安徽	2007	374.4	69.51	176.99	34.81
粮食	早籼稻	安徽	2008	356.7	86.89	171.01	38.42
粮食	早籼稻	安徽	2009	428.15	91.38	172.93	49.16
粮食	早籼稻	安徽	2010	384.13	96.55	202.7	50.52
粮食	早籼稻	安徽	2011	395.08	111.33	234.3	58.81
粮食	早籼稻	安徽	2012	437.65	126.79	348.9	75.9
粮食	早籼稻	安徽	2013	432	127.39	402.05	72.09
粮食	早籼稻	安徽	2014	452.59	129.21	406.11	73.42
粮食	早籼稻	安徽	2015	429.62	130.3	403.73	71.12
粮食	早籼稻	安徽	2016	405.57	122.92	340.62	52.27
粮食	早籼稻	安徽	2017	448.07	127.53	344.42	63.26
粮食	早籼稻	安徽	2018	463.71	114.81	295.01	53.91
蔬菜	设施西红柿	北京	2002	4050.1	49.81	479.6	25.86
蔬菜	设施西红柿	北京	2003	3893.3	50.34	555.52	23.27
蔬菜	设施西红柿	北京	2004	4130.4	48.34	1007.5	32.77
蔬菜	设施西红柿	北京	2008	4048.5	75.25	1021.19	48.71
蔬菜	设施西红柿	北京	2009	5714.63	98.29	2086.52	57.03
蔬菜	设施西红柿	北京	2010	5177.69	113.72	1544.24	82.13
蔬菜	设施西红柿	北京	2011	5531.04	123.51	2467.61	76.69
蔬菜	设施西红柿	北京	2012	5251.32	137.97	3802.75	80.9
蔬菜	设施西红柿	北京	2013	5352.41	155.44	3955.04	103.32
蔬菜	设施西红柿	北京	2014	5382.97	111.49	3742.64	67.7
蔬菜	设施西红柿	北京	2015	5601.22	113.2	3367.97	69.88
蔬菜	设施西红柿	北京	2016	5518.54	137.47	3797.19	72.5
蔬菜	设施西红柿	北京	2017	5471.09	125.17	3975.18	64.96
蔬菜	设施西红柿	北京	2018	5625.99	165.21	4398.32	102.73
蔬菜	设施西红柿	天津	2002	3785	50.53	823.9	28.24
蔬菜	设施西红柿	天津	2003	4271.9	32.92	738.08	13
蔬菜	设施西红柿	天津	2004	4556.4	58.05	1300.57	47.31
蔬菜	设施西红柿	天津	2006	4098.9	62.87	842.35	48.02
蔬菜	设施西红柿	天津	2007	3548.9	69.24	760.6	53.74
蔬菜	设施西红柿	天津	2008	2976.4	86.94	711.49	69.08
蔬菜	设施西红柿	天津	2009	3179.87	81.31	1073	62.5
蔬菜	设施西红柿	天津	2010	4323.36	99.88	1391.88	82.27
蔬菜	设施西红柿	天津	2011	4578.76	124.62	2545.15	106.8
蔬菜	设施西红柿	天津	2012	4647.95	136.28	3056.12	118.32
蔬菜	设施西红柿	天津	2013	4425.65	143.64	3704.26	124.62
蔬菜	设施西红柿	天津	2014	4526.55	157.87	4045.08	139.07
蔬菜	设施西红柿	天津	2015	4690.15	142.5	4158.02	122.77

蔬菜	设施西红柿	天津	2016	4865.1	140.62	4421.94	122.22
蔬菜	设施西红柿	天津	2017	5072.97	142.1	4581.52	123.71
蔬菜	设施西红柿	天津	2018	5026.88	131.44	4640.41	111.56
蔬菜	设施西红柿	河北	2002	6032.5	55	1122	28.12
蔬菜	设施西红柿	河北	2003	4503	53.47	1077.44	27.71
蔬菜	设施西红柿	河北	2004	5795.5	70.16	1502.45	39.05
蔬菜	设施西红柿	河北	2006	5590.5	69.83	1810.5	34.73
蔬菜	设施西红柿	河北	2007	4961.6	85.82	1967.72	52.35
蔬菜	设施西红柿	河北	2008	6566.3	81.01	1859.33	51.8
蔬菜	设施西红柿	河北	2009	5675.98	98.65	2287.64	74.51
蔬菜	设施西红柿	河北	2010	5775.33	100.94	2755.8	78.38
蔬菜	设施西红柿	河北	2011	5097.93	131.19	2878.44	97.86
蔬菜	设施西红柿	河北	2012	5145.61	141.7	3911.38	106.34
蔬菜	设施西红柿	河北	2013	5662.68	141.81	4694.43	109
蔬菜	设施西红柿	河北	2014	5385.96	142.06	5109.8	108.16
蔬菜	设施西红柿	河北	2015	5358.97	152.46	5121.47	118.22
蔬菜	设施西红柿	河北	2016	5385.83	141.45	4972.59	109.15
蔬菜	设施西红柿	河北	2017	5501.5	125.47	4925.61	89.82
蔬菜	设施西红柿	河北	2018	5675.02	167.2	5826.91	134.01
蔬菜	设施西红柿	山西	2002	4870	80	1485	27.78
蔬菜	设施西红柿	山西	2003	4920	83	1142.4	46.94
蔬菜	设施西红柿	山西	2004	5822.2	83.99	2093.08	63.44
蔬菜	设施西红柿	山西	2005	5661.1	110.21	1199.46	53.12
蔬菜	设施西红柿	山西	2006	5858	90.52	1666.2	49.38
蔬菜	设施西红柿	山西	2007	6523.3	107.03	2428.66	70.34
蔬菜	设施西红柿	山西	2008	6203.3	107.49	2264.28	71.25
蔬菜	设施西红柿	山西	2009	6150	111.02	1769.01	81.13
蔬菜	设施西红柿	山西	2010	6200	128.98	3448.3	92.85
蔬菜	设施西红柿	山西	2011	5135.2	108.83	4075.79	62.73
蔬菜	设施西红柿	山西	2012	5273.81	135.88	4946.47	89.01
蔬菜	设施西红柿	山西	2013	5351.12	136.18	5743.35	88.5
蔬菜	设施西红柿	山西	2014	5674.13	130.34	6304.92	88.18
蔬菜	设施西红柿	山西	2015	5669.23	115.37	6474.24	71.96
蔬菜	设施西红柿	山西	2016	5494.79	112.46	6718.47	71.41
蔬菜	设施西红柿	山西	2017	6226.16	132.54	7223.22	82.11
蔬菜	设施西红柿	山西	2018	7299.13	117.23	7193.76	67.05
蔬菜	设施西红柿	内蒙古	2002	6190	36.48	341	18.23
蔬菜	设施西红柿	内蒙古	2003	6433.1	34.95	320.32	16.26
蔬菜	设施西红柿	内蒙古	2004	6490.6	65.84	743.54	48.91
蔬菜	设施西红柿	内蒙古	2005	5775.1	49.64	1475.28	33.52
蔬菜	设施西红柿	内蒙古	2006	5883.8	48.85	1466.92	34.26
蔬菜	设施西红柿	内蒙古	2007	6101	64.44	1599.6	49.83
蔬菜	设施西红柿	内蒙古	2008	6169.5	61.88	1650.46	47.23
蔬菜	设施西红柿	内蒙古	2009	6088.52	70.24	1964.98	54.21
蔬菜	设施西红柿	内蒙古	2010	6466.8	73.45	2099.1	53.19
蔬菜	设施西红柿	内蒙古	2011	6189.02	108.27	3298.47	86.02
蔬菜	设施西红柿	内蒙古	2012	5796.02	119.7	4706.9	94.62
蔬菜	设施西红柿	内蒙古	2013	5689.65	137.36	5222.48	108.07

蔬菜	设施西红柿	内蒙古	2014	5699.95	104.2	5498	68.12
蔬菜	设施西红柿	内蒙古	2015	5703.48	113.89	5558.81	77.45
蔬菜	设施西红柿	内蒙古	2016	5384.68	107.27	5836.68	66.81
蔬菜	设施西红柿	内蒙古	2017	5641.95	106.64	5163.99	65.98
蔬菜	设施西红柿	内蒙古	2018	4732.62	166.6	5342.62	113.9
蔬菜	设施西红柿	安徽	2002	5500	80	999.9	54.96
蔬菜	设施西红柿	安徽	2003	5553.2	82.21	1145.76	56.16
蔬菜	设施西红柿	安徽	2004	5555.2	61.77	1410.1	49.15
蔬菜	设施西红柿	安徽	2005	5670	64.94	1587.24	51.44
蔬菜	设施西红柿	安徽	2006	5144.9	59.1	1240.12	42.53
蔬菜	设施西红柿	安徽	2007	5058	60.97	1279.45	43.33
蔬菜	设施西红柿	安徽	2008	5135.5	64.09	1489.2	45.75
蔬菜	设施西红柿	安徽	2009	4903.5	64.12	1543.8	47.83
蔬菜	设施西红柿	安徽	2010	4873.75	40.05	2112.75	23.36
蔬菜	设施西红柿	安徽	2011	5663.09	127.08	2290.21	102.45
蔬菜	设施西红柿	安徽	2012	5748.74	134.07	4140.64	84.36
蔬菜	设施西红柿	安徽	2013	5043.79	104.58	3722.18	81.52
蔬菜	设施西红柿	安徽	2014	4644.61	117.66	3951.07	89.97
蔬菜	设施西红柿	安徽	2015	4600.39	109.47	3807.27	70.1
蔬菜	设施西红柿	安徽	2016	4538.3	112.34	4162.86	72.31
蔬菜	设施西红柿	安徽	2017	4475.85	138.81	4164.82	85.49
蔬菜	设施西红柿	安徽	2018	4343.68	141.46	3803.22	86.7
蔬菜	设施西红柿	山东	2007	6189.8	79.97	1540.6	62.03
蔬菜	设施西红柿	山东	2008	7763.1	94.7	1849.84	75.98
蔬菜	设施西红柿	山东	2009	7630.46	105.88	2055.6	85.84
蔬菜	设施西红柿	山东	2010	6089.47	118.72	2383.07	96.04
蔬菜	设施西红柿	山东	2011	4704.25	139.78	2804.03	96.1
蔬菜	设施西红柿	山东	2012	5074.28	128.83	4341.35	89.1
蔬菜	设施西红柿	山东	2013	5135.74	134.53	4788.68	97.86
蔬菜	设施西红柿	山东	2014	4539.27	161.01	4634.43	115.12
蔬菜	设施西红柿	山东	2015	4130.95	150.96	5530.38	103.64
蔬菜	设施西红柿	山东	2016	4404.7	147.3	5637.2	96.89
蔬菜	设施西红柿	山东	2017	4712.03	163.83	5575.67	118.65
蔬菜	设施西红柿	山东	2018	4773.26	126	6089.64	79.06
蔬菜	设施西红柿	河南	2007	9829	42.75	1449.85	22.34
蔬菜	设施西红柿	河南	2008	6154.3	59.89	1655.27	23.28
蔬菜	设施西红柿	河南	2009	3846.32	84.99	1379.98	45.51
蔬菜	设施西红柿	河南	2010	5160.32	100.1	2447.21	67.05
蔬菜	设施西红柿	河南	2011	4639.05	102.27	2983.5	69.46
蔬菜	设施西红柿	河南	2012	5665.68	98.81	4184.9	65.87
蔬菜	设施西红柿	河南	2013	5677.94	109.24	5032.12	76.13
蔬菜	设施西红柿	河南	2014	5550.04	105.42	5360.14	74.86
蔬菜	设施西红柿	河南	2015	5285.88	106.29	5397.04	78.78
蔬菜	设施西红柿	河南	2016	5105.42	116.09	5297.96	87.42
蔬菜	设施西红柿	河南	2017	5048.5	112.56	5393.57	83.45
蔬菜	设施西红柿	河南	2018	4888.49	120.72	5232.5	86.19
蔬菜	设施西红柿	湖北	2002	2924.5	52.94	392.7	24.67
蔬菜	设施西红柿	湖北	2003	2910.7	46.01	288.96	20.46

蔬菜	设施西红柿	湖北	2004	3754	45.33	671.93	29.91
蔬菜	设施西红柿	湖北	2005	4711	52.88	598.24	34.97
蔬菜	设施西红柿	湖北	2006	3766.7	60.5	671.06	36.44
蔬菜	设施西红柿	湖北	2007	3852.9	70.78	798.55	46.29
蔬菜	设施西红柿	湖北	2008	4140.6	66.24	876.76	34.42
蔬菜	设施西红柿	湖北	2009	4348.63	87.9	1135.3	64.74
蔬菜	设施西红柿	湖北	2010	4497	92.24	1341.23	67.27
蔬菜	设施西红柿	湖北	2011	5115.27	147.16	1382.54	130.26
蔬菜	设施西红柿	湖北	2012	4682.05	172.92	2061.15	154.81
蔬菜	设施西红柿	湖北	2013	5428.66	209.19	3210.99	189.37
蔬菜	设施西红柿	湖北	2014	5397.44	194.41	3133.31	177.14
蔬菜	设施西红柿	湖北	2015	5040.51	90.75	3303.93	71.9
蔬菜	设施西红柿	湖北	2016	4738.39	107.25	3438.3	89.48
蔬菜	设施西红柿	湖北	2017	5499.09	138.5	3554.3	113.91
蔬菜	设施西红柿	湖北	2018	5170.54	124.76	3519.1	98.03
蔬菜	设施西红柿	四川	2005	4712	44.58	382.5	37.54
蔬菜	设施西红柿	四川	2006	3931	59.93	1191.45	28.45
蔬菜	设施西红柿	四川	2007	5491.1	50.63	392	40.06
蔬菜	设施西红柿	四川	2008	5600.3	66.51	1388.02	49.83
蔬菜	设施西红柿	四川	2009	5069.31	86.29	1046.78	67.43
蔬菜	设施西红柿	四川	2010	5154.5	83.39	1872.2	63.94
蔬菜	设施西红柿	四川	2011	4356.99	95.47	2616.99	67.38
蔬菜	设施西红柿	四川	2012	4287.62	104.1	3514.82	77.1
蔬菜	设施西红柿	四川	2013	5452.5	111.7	4328.06	89.29
蔬菜	设施西红柿	四川	2014	5251.46	107.25	4750.06	84.7
蔬菜	设施西红柿	四川	2015	5369.64	116.99	4772.12	94.69
蔬菜	设施西红柿	四川	2016	5312.99	120.43	4976.96	97.45
蔬菜	设施西红柿	四川	2017	5461.03	115.52	5105.02	93.03
蔬菜	设施西红柿	四川	2018	6355.34	123.53	5258.37	103.62
蔬菜	马铃薯	重庆	2002	1117.6	54.52	339.9	22.93
蔬菜	马铃薯	重庆	2003	1537.3	77.71	341.6	52.66
蔬菜	马铃薯	重庆	2004	1456.6	68.74	348.21	49.14
蔬菜	马铃薯	重庆	2005	1086.6	51.86	318.55	40.23
蔬菜	马铃薯	重庆	2006	1233.7	54.04	272.6	41.86
蔬菜	马铃薯	重庆	2007	1566.9	57.66	336.23	45.36
蔬菜	马铃薯	重庆	2008	1831.2	54.56	429.74	43.32
蔬菜	马铃薯	重庆	2009	1482.02	88.17	567.75	71.85
蔬菜	马铃薯	重庆	2010	1569.71	122.12	628.18	106.15
蔬菜	马铃薯	重庆	2011	1388.08	102.99	796.22	76.36
蔬菜	马铃薯	重庆	2012	2709.61	75.76	716.27	58.96
蔬菜	马铃薯	重庆	2013	2618.79	80.23	788.66	62.27
蔬菜	马铃薯	重庆	2014	1219.7	147.46	705.31	115.11
蔬菜	马铃薯	重庆	2015	1281.5	144.23	764.24	116.13
蔬菜	马铃薯	重庆	2016	1339.3	129.81	824.58	94.71
蔬菜	马铃薯	重庆	2017	1412.41	126.23	882.27	99.43
蔬菜	马铃薯	重庆	2018	1325.28	167.78	857.05	138.96
蔬菜	马铃薯	云南	2010	1116.67	89.25	448.53	59.8
蔬菜	马铃薯	云南	2011	1563.53	59.55	653.28	40.52

蔬菜	马铃薯	云南	2012	1437.6	71.32	907.97	46.54
蔬菜	马铃薯	云南	2013	1668.02	73.85	965.02	51.32
蔬菜	马铃薯	云南	2014	1516.9	82.01	1059.18	57.58
蔬菜	马铃薯	云南	2015	1561.93	80.6	1106.92	59.85
蔬菜	马铃薯	云南	2016	1776.56	79.46	1098.64	57.25
蔬菜	马铃薯	云南	2017	1867.78	82.4	1212.1	62.08
蔬菜	马铃薯	云南	2018	1878.54	75.91	1305.11	53.67
蔬菜	马铃薯	四川	2011	1442.52	80.69	550.44	60.31
蔬菜	马铃薯	四川	2012	1473.24	87.96	896.13	62.63
蔬菜	马铃薯	四川	2013	1598.28	71.94	1328.24	46.34
蔬菜	马铃薯	四川	2014	1586.69	64.05	1484.58	39.62
蔬菜	马铃薯	四川	2015	1698.66	61.34	1535.04	38.65
蔬菜	马铃薯	四川	2016	1609.92	78.22	1618.48	54.27
蔬菜	马铃薯	四川	2017	1658.52	78.85	1595.94	56.23
蔬菜	马铃薯	四川	2018	1653.87	81.27	1648.98	57.01
蔬菜	马铃薯	山东	2002	1720.2	40.73	257.4	16.73
蔬菜	马铃薯	山东	2003	1987.4	30.12	249.76	38.21
蔬菜	马铃薯	山东	2004	1852.3	48.99	232.08	32.61
蔬菜	马铃薯	山东	2005	1883.3	49.61	295.52	33.47
蔬菜	马铃薯	山东	2006	2073.6	53.34	330.4	37.54
蔬菜	马铃薯	山东	2007	2047.3	62.55	324.07	44.33
蔬菜	马铃薯	山东	2008	2126	73.9	992.78	50.55
蔬菜	马铃薯	山东	2009	2197.21	74.03	473.61	50.67
蔬菜	马铃薯	山东	2010	2061.39	91.23	541.39	65.84
蔬菜	马铃薯	山东	2011	2186.01	82.67	548.21	49.43
蔬菜	马铃薯	山东	2012	2262.19	74.65	743.09	49.4
蔬菜	马铃薯	山东	2013	2205.41	93.45	832.66	67.04
蔬菜	马铃薯	山东	2014	2230.05	76.34	1072.59	48.94
蔬菜	马铃薯	山东	2015	2325.54	92.53	1184.25	64.83
蔬菜	马铃薯	山东	2016	2353.3	83.75	1258.08	57.32
蔬菜	马铃薯	山东	2017	2318.04	70.61	1280.58	43.61
蔬菜	马铃薯	山东	2018	2441.61	79.57	1239.79	52.65
蔬菜	马铃薯	湖北	2002	1560	35	121	19.55
蔬菜	马铃薯	湖北	2003	1600	35	117.6	19.3
蔬菜	马铃薯	湖北	2004	1650.7	43.26	143.71	30.92
蔬菜	马铃薯	湖北	2005	1508.3	43.12	221.74	18.79
蔬菜	马铃薯	湖北	2006	1818.3	43.41	194.35	24.52
蔬菜	马铃薯	湖北	2007	2400	60	936.65	29.03
蔬菜	马铃薯	湖北	2008	1982.9	67.3	419.5	41.03
蔬菜	马铃薯	湖北	2009	2010.54	76.22	750.74	48.54
蔬菜	马铃薯	湖北	2010	2006.77	90.98	669.61	57.31
蔬菜	马铃薯	湖北	2011	1743.35	76.6	915.46	42.61
蔬菜	马铃薯	湖北	2012	2160.47	67.6	1001.68	42.85
蔬菜	马铃薯	湖北	2013	2058.32	86.94	1236.05	59.88
蔬菜	马铃薯	湖北	2014	2192.4	78.44	1200.04	50.67
蔬菜	马铃薯	湖北	2015	2111.26	74	1097.36	46.81
蔬菜	马铃薯	湖北	2016	2134.29	119.34	1412.58	87.09
蔬菜	马铃薯	湖北	2017	2085.25	66.23	1303.56	37.52

蔬菜	马铃薯	湖北	2018	2301.42	87.69	1551.87	59.2
蔬菜	马铃薯	贵州	2011	2022.93	47.58	427.6	23.92
蔬菜	马铃薯	贵州	2012	1262.08	71.21	669.14	33.62
蔬菜	马铃薯	贵州	2013	2072.42	78.96	774.32	53.66
蔬菜	马铃薯	贵州	2014	1906.44	77.07	848.98	51.85
蔬菜	马铃薯	贵州	2015	1648.34	91.4	828.2	65.47
蔬菜	马铃薯	贵州	2016	1478.04	88.64	853.62	58.47
蔬菜	马铃薯	贵州	2017	1554.77	87.15	860.77	61.57
蔬菜	马铃薯	贵州	2018	1474	103.99	981.07	74.76
水果	苹果	北京	2004	1504.5	61.68	614.4	32.7
水果	苹果	北京	2006	1860	180	1846.6	113.83
水果	苹果	北京	2007	1055.6	250.6	769.36	106.74
水果	苹果	北京	2008	1633.8	155.65	1118.27	104.29
水果	苹果	北京	2009	1735.16	274.62	2248.12	120.43
水果	苹果	北京	2010	1824.39	351.2	2443.73	191.74
水果	苹果	北京	2011	1787.56	359.53	2680.95	188.79
水果	苹果	北京	2012	2090.81	366.51	3533.21	197.42
水果	苹果	北京	2013	1749.58	411.64	3530.95	203.56
水果	苹果	北京	2014	1726.55	381.24	5249.32	96.17
水果	苹果	北京	2015	2362.49	298.75	6400.1	226.28
水果	苹果	北京	2016	2275.18	262	6706.14	23.38
水果	苹果	北京	2017	2206.9	284.4	3972.4	154.16
水果	苹果	北京	2018	1777.75	346.95	3657.13	183.88
水果	苹果	天津	2002	1111	56.16	381.7	28.38
水果	苹果	天津	2003	1188.6	76.38	359.52	41.46
水果	苹果	天津	2004	1115.1	84.56	410.79	59.37
水果	苹果	天津	2006	937.9	94.21	483.71	64.25
水果	苹果	河北	2002	1380.3	53.81	319	24.68
水果	苹果	河北	2003	1773.2	55.6	412.16	29.1
水果	苹果	河北	2004	1927.8	58.18	519.19	41.61
水果	苹果	河北	2005	1909.4	75.56	582.85	59.68
水果	苹果	河北	2006	1687.9	88.66	595.72	70.82
水果	苹果	河北	2007	1861.2	107.05	671.19	84.18
水果	苹果	河北	2008	1873.1	97.62	823.74	72.24
水果	苹果	河北	2009	1691.49	111.66	919.53	80.91
水果	苹果	河北	2010	1240.17	196.08	1226.85	138.8
水果	苹果	河北	2011	1714.34	188.18	1518.74	143.74
水果	苹果	河北	2012	1748.96	187.54	2099.91	143
水果	苹果	河北	2013	1883.13	168.86	2223.88	125.06
水果	苹果	河北	2014	1870.13	184.61	2300.79	144.97
水果	苹果	河北	2015	1907.4	154.12	2436.49	40.06
水果	苹果	河北	2016	1981.59	137.97	2540.17	100.22
水果	苹果	河北	2017	1889.2	142.09	2515.07	97.72
水果	苹果	河北	2018	1840.01	188.76	2533.73	143.72
水果	苹果	山西	2002	1443.7	44.3	402.6	15.57
水果	苹果	山西	2003	1677.6	46.53	428.96	22.81
水果	苹果	山西	2004	2132.4	36.56	534.35	22.85
水果	苹果	山西	2005	1558	71.1	574	53.42

水果	苹果	山西	2006	2519.7	63.57	681.55	46.84
水果	苹果	山西	2007	1909.5	92.92	764.14	72.23
水果	苹果	山西	2008	2077.5	67.75	852.88	45.79
水果	苹果	山西	2009	2080.81	72.98	949.23	49.93
水果	苹果	山西	2010	1832.67	121.58	915.49	94.7
水果	苹果	山西	2011	2255.6	130.26	1216.78	101.32
水果	苹果	山西	2012	2167.83	118.25	1672.64	87.25
水果	苹果	山西	2013	2024.21	111.47	1941.41	79.46
水果	苹果	山西	2014	1880.41	141.74	2103.32	109.97
水果	苹果	山西	2015	1944.22	107.28	2237.03	33.44
水果	苹果	山西	2016	2272.77	95.35	2430.9	67.31
水果	苹果	山西	2017	2460.02	96.3	2703.37	67.54
水果	苹果	山西	2018	1212.89	171.21	2395.57	126.59
水果	苹果	辽宁	2002	1296.8	62.63	414.7	28.64
水果	苹果	辽宁	2003	1054.8	64.81	320.32	23.16
水果	苹果	辽宁	2004	1444.2	94.16	435.18	72.94
水果	苹果	辽宁	2005	1414.5	98.3	397.51	74.87
水果	苹果	辽宁	2006	1253.7	130.04	455.31	100.37
水果	苹果	辽宁	2007	2248.7	126.4	663.51	103.43
水果	苹果	辽宁	2008	1930.2	108.44	695.59	72.64
水果	苹果	辽宁	2009	2188.9	152.82	976.9	115.98
水果	苹果	辽宁	2010	1791.34	226.78	1443.81	171.05
水果	苹果	辽宁	2011	1869.52	186.03	1631.68	136.87
水果	苹果	辽宁	2012	1611.13	177	2096.92	118.88
水果	苹果	辽宁	2013	1645.63	180.55	2470.62	122.23
水果	苹果	辽宁	2014	1346.99	229.42	2655.45	160.75
水果	苹果	辽宁	2015	1608.73	161.72	2151.84	59.55
水果	苹果	辽宁	2016	1416.59	144.23	2463.01	69.59
水果	苹果	辽宁	2017	1747.34	149.51	2706.94	82.99
水果	苹果	辽宁	2018	1253.86	187.41	2644.36	94.54
水果	苹果	山东	2003	3071.5	54.75	695.52	22.26
水果	苹果	山东	2004	2701.9	78.77	1027.24	49.69
水果	苹果	山东	2005	2251.5	95.41	1064.45	59.84
水果	苹果	山东	2006	2585	94.13	1172.74	59.46
水果	苹果	山东	2007	2527.2	143.36	1320.4	102.91
水果	苹果	山东	2008	2778	110.17	1505.89	65.41
水果	苹果	山东	2009	2678.34	151.97	1673.72	106.17
水果	苹果	山东	2010	2905.68	227.82	2043.34	184.97
水果	苹果	山东	2011	2513.21	237.16	2645.94	180.12
水果	苹果	山东	2012	3017.72	192.87	3650.56	137.1
水果	苹果	山东	2013	2591.54	202.83	4210.39	138.23
水果	苹果	山东	2014	2343.65	311.38	4309.02	243.98
水果	苹果	山东	2015	2940.63	185.02	4727.13	120.4
水果	苹果	山东	2016	2849.22	108.28	4682.77	171.48
水果	苹果	山东	2017	2623.64	188.08	4650.42	121.59
水果	苹果	山东	2018	2528.13	261.63	4690.69	2528.13
水果	苹果	河南	2002	1383.2	39.11	303.6	9.55
水果	苹果	河南	2003	1527.7	40.31	487.2	13.37

水果	苹果	河南	2004	2698.1	29.36	732.53	20.93
水果	苹果	河南	2005	1236.6	73.75	619.8	57.38
水果	苹果	河南	2006	2348.4	60.25	973.11	41.53
水果	苹果	河南	2007	1806.9	96.07	959.18	76.54
水果	苹果	河南	2008	2338.3	60.54	1259.59	44.78
水果	苹果	河南	2009	2180.39	79.11	1276.95	58.22
水果	苹果	河南	2010	1979.81	175.39	1679.84	149.66
水果	苹果	河南	2011	2265.68	121.79	1605.88	97.7
水果	苹果	河南	2012	2529.04	118.17	2503.28	94.19
水果	苹果	河南	2013	2206.01	128.23	2481.29	105.49
水果	苹果	河南	2014	2308.99	151.39	2811.38	124.13
水果	苹果	河南	2015	2811.61	112.24	3371.65	84.64
水果	苹果	河南	2016	2620.17	89.48	3533.77	119.87
水果	苹果	河南	2017	2621.48	111.6	3620.68	83.82
水果	苹果	河南	2018	2293.86	140.76	3431.96	192.85
水果	苹果	陕西	2002	1593.3	56.84	321.2	24.08
水果	苹果	陕西	2003	1480.7	55.58	342.72	18.43
水果	苹果	陕西	2004	1732.8	59.25	616.7	33.18
水果	苹果	陕西	2005	1373.2	94.41	601.93	67.63
水果	苹果	陕西	2006	1785	80.14	714.94	51.85
水果	苹果	陕西	2007	1851.9	116.39	797.79	84.16
水果	苹果	陕西	2008	1665.4	95.24	811.69	60.85
水果	苹果	陕西	2009	1957.63	117.36	906.9	88.25
水果	苹果	陕西	2010	1679.54	194.38	1168.07	153.9
水果	苹果	陕西	2011	1883.27	204.25	1472.07	162.9
水果	苹果	陕西	2012	2059.34	227.38	1920	189.18
水果	苹果	陕西	2013	1914.1	247.41	2255.38	203.91
水果	苹果	陕西	2014	1857.74	309.54	2468.85	267.55
水果	苹果	陕西	2015	1779.59	249.68	2598.41	205.26
水果	苹果	陕西	2016	1881.41	174.93	2756.49	218.32
水果	苹果	陕西	2017	1836.06	219.07	2903.83	169.93
水果	苹果	陕西	2018	1595.84	289.26	2957.83	109.24
水果	苹果	甘肃	2002	705.4	46.82	486.2	-16.06
水果	苹果	甘肃	2003	1203.3	30.49	449.12	-2.07
水果	苹果	甘肃	2004	1780.5	46.55	762.26	35.54
水果	苹果	甘肃	2005	1326.1	49.15	1025.46	19.08
水果	苹果	甘肃	2006	1820.3	79.33	1067.3	69.32
水果	苹果	甘肃	2007	1611	140.29	1259.99	127.77
水果	苹果	甘肃	2008	1939.1	89.19	1491.47	77.89
水果	苹果	甘肃	2009	1664.86	112.33	1757.07	98.67
水果	苹果	甘肃	2010	1924.98	219.43	2363.68	193.87
水果	苹果	甘肃	2011	2065.67	229.1	3000.17	204.22
水果	苹果	甘肃	2012	1963.28	197.81	4141.66	170.33
水果	苹果	甘肃	2013	2090.45	198.24	5057.06	158.38
水果	苹果	甘肃	2014	1991.52	266.6	5498.47	222.93
水果	苹果	甘肃	2015	2314.51	232.74	5718.51	185.93
水果	苹果	甘肃	2016	1963.19	129.83	5661.45	182.74
水果	苹果	甘肃	2017	2207.61	194.6	5383.89	146.36

水果	苹果	甘肃	2018	1499.74	284.7	5074.67	235.06
水果	苹果	宁夏	2002	1318.8	43.14	283.8	19.82
水果	苹果	宁夏	2003	1457.9	42.75	338.24	19.93
水果	苹果	宁夏	2004	1397.5	45.39	488.88	31.97
水果	苹果	宁夏	2005	1844.3	48.83	569.79	35.24
水果	苹果	宁夏	2006	1581.4	64.42	635.08	47.24
水果	苹果	宁夏	2007	2143.6	84.53	797.14	60.97
水果	苹果	宁夏	2012	2011.57	102.22	1425.1	75.75
水果	苹果	宁夏	2013	2117.73	103.97	1554.92	77.42
水果	苹果	宁夏	2014	2249.1	99.34	1361.47	78.13
水果	苹果	宁夏	2015	2314.59	84.59	1490.87	60.38
水果	苹果	宁夏	2016	2143.54	44.96	1534.35	72.04
水果	苹果	宁夏	2017	2268.06	76.14	1486.08	51.63
水果	苹果	宁夏	2018	1941.89	130.23	1503.61	220.55
水果	桔	浙江	2002	2002.6	48.94	266.2	26.85
水果	桔	浙江	2003	2612	59.04	359.52	40.99
水果	桔	浙江	2004	3498.5	68.9	482.46	56.27
水果	桔	浙江	2005	1922.8	88.81	433.28	67.53
水果	桔	浙江	2006	2727.6	84.27	553.4	65.63
水果	桔	浙江	2007	2839.6	78.65	612.39	58.54
水果	桔	浙江	2008	3708.2	33.71	581.79	20.39
水果	桔	浙江	2009	2647.06	38.64	626.34	23.12
水果	桔	浙江	2012	1764.8	95.35	1132.7	65.75
水果	桔	浙江	2013	1255.48	109.83	1023.97	77.88
水果	桔	浙江	2014	1801.69	108.42	1051.88	76.67
水果	桔	浙江	2015	2110.99	99.58	1258.9	75.2
水果	桔	浙江	2016	869.44	167.41	987.77	117.05
水果	桔	浙江	2017	1459.28	112.14	1156.74	86.21
水果	桔	浙江	2018	1590.81	122.08	1231.29	84.9
水果	桔	福建	2002	2095.3	83.77	970.2	17.51
水果	桔	福建	2003	2109.4	83.91	904.96	31.55
水果	桔	福建	2004	2895.5	44.84	490.22	21.27
水果	桔	福建	2005	2604.1	71.83	369.76	53.52
水果	桔	福建	2006	1187.5	148.1	1513.43	70.47
水果	桔	福建	2007	1683.4	88.03	449.81	53.97
水果	桔	福建	2008	2125.7	41.51	674.61	-0.62
水果	桔	福建	2009	1652.01	57.61	390.24	35.05
水果	桔	福建	2010	1401.41	193.2	931.38	129.23
水果	桔	福建	2011	1882.51	67.61	881.74	21.95
水果	桔	福建	2012	1252.79	87.71	574.68	49.91
水果	桔	福建	2013	1804.74	130.06	1053.85	77.29
水果	桔	福建	2014	2204.72	158.69	1399.18	106.29
水果	桔	福建	2015	2051.88	117.82	1272.68	64.17
水果	桔	福建	2016	2028.51	166.53	1338.18	109.57
水果	桔	福建	2017	1730.61	181.99	1698.2	99.74
水果	桔	福建	2018	1742.69	137.16	1474.88	62.94
水果	桔	江西	2009	1914.6	111.12	652.4	70.34
水果	桔	江西	2010	663.74	246.4	352.38	152.87

水果	桔	江西	2011	3136.67	96.96	981.35	69.69
水果	桔	江西	2012	1416.61	137.12	915.06	84.52
水果	桔	江西	2013	2610.98	143.46	1893.74	96.45
水果	桔	江西	2014	1465.34	148.13	1367.57	91.3
水果	桔	江西	2015	2693.4	87.65	1977.88	36.68
水果	桔	江西	2016	1387.81	129.62	1030.39	52.86
水果	桔	江西	2017	2062.99	129.64	1122.58	77.99
水果	桔	江西	2018	2040.2	87.01	1096.82	40.74
水果	桔	湖北	2002	1035.8	46.88	124.3	20.79
水果	桔	湖北	2003	1761.5	39.64	227.36	20.57
水果	桔	湖北	2004	1514.5	40.41	306.39	28.5
水果	桔	湖北	2005	1480	46.72	566.65	28.34
水果	桔	湖北	2006	1805.4	51.19	733.45	28.66
水果	桔	湖北	2007	1811	50.64	995.97	22.54
水果	桔	湖北	2008	1747.3	24.95	835.84	0.16
水果	桔	湖北	2009	1614.54	42.15	708.48	20.26
水果	桔	湖北	2010	1290.56	56.64	502.48	36.66
水果	桔	湖北	2011	1675.34	80.78	857.91	59.46
水果	桔	湖北	2012	1724.76	63.09	809.45	42.19
水果	桔	湖北	2013	1853.82	69.63	871.43	45.63
水果	桔	湖北	2014	1635.19	63.98	925.87	41.17
水果	桔	湖北	2015	1046.27	109.28	914.67	33.89
水果	桔	湖北	2016	1171.49	103.01	880.06	42.76
水果	桔	湖北	2017	1063.91	136.82	1127.15	45.97
水果	桔	湖北	2018	881.54	173.98	951.47	79.37
水果	桔	湖南	2002	2027.4	65.14	457.6	40
水果	桔	湖南	2003	2011.6	48.22	474.88	25.76
水果	桔	湖南	2004	3254.7	48.79	509.64	42.72
水果	桔	湖南	2005	1236.7	56.14	319.57	36.67
水果	桔	湖南	2006	4450.3	49.46	588.55	39.78
水果	桔	湖南	2007	4633.7	56.07	765.65	41.69
水果	桔	湖南	2008	3933.6	31.06	624.43	17.92
水果	桔	湖南	2009	3754.97	36.5	484.59	27.51
水果	桔	湖南	2010	3036.16	67.65	574.98	55.91
水果	桔	湖南	2011	3160.25	95.86	745.93	83.77
水果	桔	湖南	2012	3311.69	93.16	1077.4	79.57
水果	桔	湖南	2013	2961.58	82.35	1285.44	65.93
水果	桔	湖南	2014	2527.61	64.52	1297.54	48.09
水果	桔	湖南	2015	1576.75	92.09	1430.02	66.82
水果	桔	湖南	2016	2182.21	77.16	1503.99	59.53
水果	桔	湖南	2017	1828.66	119.02	1481.32	100.14
水果	桔	湖南	2018	2736.49	117.27	1521.14	102.43
水果	桔	广东	2002	443.9	252.36	426.8	127.83
水果	桔	广东	2003	599.9	246.38	430.08	149.58
水果	桔	广东	2004	861.8	205.55	453.63	100.8
水果	桔	广东	2005	1608	160.72	541.18	98.45
水果	桔	广东	2006	2150.8	171.52	790.79	116.22
水果	桔	广东	2007	1620	201.27	1099.44	153.51

水果	桔	广东	2008	1770.4	94.05	487.74	47.11
水果	桔	广东	2009	1506.45	172.82	1075.17	104.38
水果	桔	广东	2010	1024.63	246.17	921.3	149.06
水果	桔	广东	2011	1165.2	176.84	1042.25	79.12
水果	桔	广东	2012	789.55	241.14	1087.35	117.54
水果	桔	广东	2013	1747.78	280.37	3706.07	184.96
水果	桔	广东	2014	1470.17	338.31	4049.77	146.09
水果	桔	广东	2015	1409.1	323.82	4645.31	123.69
水果	桔	广东	2016	1688.8	342.99	5895.04	108.51
水果	桔	广东	2017	1362.9	344.34	4507.89	133.48
水果	桔	广东	2018	1580.04	301.05	3301.85	162.45
水果	桔	重庆	2004	1196.5	40.42	519.68	27.97
水果	桔	重庆	2005	1035.2	40.92	514.1	29.62
水果	桔	重庆	2007	693.6	55	672.05	34.08
水果	桔	重庆	2008	687.7	66.22	722.04	46.33
水果	桔	重庆	2009	557.68	74.4	746.02	50.52
水果	桔	重庆	2010	513.06	192.63	786.88	176.76
水果	桔	重庆	2011	650.2	146.07	973.6	133.32
水果	桔	重庆	2012	498.56	153.4	833.28	138.91
水果	桔	重庆	2013	1624.67	135.79	951.32	114.33
水果	桔	重庆	2014	1771.5	125.7	1579.51	102.15
水果	桔	重庆	2015	1028.77	98.32	1450.8	75.96
水果	桔	重庆	2016	1357.61	98.58	1587.3	79.33
水果	桔	重庆	2017	1540.02	99.54	1811.41	79.16
水果	桔	重庆	2018	1599.64	170.88	1654.29	148.86

附录二

R 源代码

```
library(TSA)
library(urca)
library(trend)
library(tseries)
library(forecast)
```

```
#-----读取数据-----#
xm_nmg<-read.table("clipboard",header=F)
tsxm_nmg<-ts(xm_nmg$V4,start=2002,freq=1)
mls_sd<-read.table("clipboard",header=F)
tsmls_sd<-ts(mls_sd$V4,start=2002,freq=1)
pg_sd<-read.table("clipboard",header=F)
tspg_sd<-ts(pg_sd$V4,start=2002,freq=1)
```

```
#-----时序图-----#
plot(tsxm_nmg,type='l')
a1<-acf(tsxm_nmg)
a1
p1<-pacf(tsxm_nmg)
p1
```

```
plot(tsmls_sd, type='l')
a2<-acf(tsmls_sd)
a2
p2<-pacf(tsmls_sd)
p2
plot(tspg_sd, type='l')
acf(tspg_sd)
a3<-acf(tspg_sd)
a3
p3<-pacf(tspg_sd)
p3

#-----单位根检验-----#
urtest1<-ur.df(tsxm_nmg, type='trend')
summary(urtest1)
urtest2<-ur.df(tsmls_sd, type='trend')
summary(urtest2)
urtest3<-ur.df(tspg_sd, type='trend')
summary(urtest3)

#-----差分平稳化-----#
dalt1<-diff(tsxm_nmg, 1)
tsdisplay(dalt1)
dalt2<-diff(tsmls_sd, 2)
tsdisplay(dalt2)
dalt3<-diff(tspg_sd, 1)
tsdisplay(dalt3)

#-----模型拟合-----#
model1<-arima(tsxm_nmg, order=c(1, 1, 1), method='ML')
model2<-arima(tsmls_sd, order=c(2, 2, 1), method='ML')
model3<-arima(tspg_sd, order=c(2, 1, 1), method='ML')

#-----模型检验-----#
plot(model1$resid)
acf(model1$resid, lag.max=30)
Box.test(model1$resid, lag = 6, type = c("Box-Pierce", "Ljung-Box"))
Box.test(model1$resid, lag = 12, type = c("Box-Pierce", "Ljung-Box"))#白噪声检验
qqnorm(model1$resid)
shapiro.test(model1$resid)
plot(model2$resid)
acf(model2$resid, lag.max=30)
Box.test(model2$resid, lag = 6, type = c("Box-Pierce", "Ljung-Box"))
Box.test(model2$resid, lag = 12, type = c("Box-Pierce", "Ljung-Box"))#白噪声检验
qqnorm(model2$resid)
shapiro.test(model2$resid)
plot(model3$resid)
acf(model3$resid, lag.max=30)
Box.test(model3$resid, lag = 6, type = c("Box-Pierce", "Ljung-Box"))
```

```
Box.test(model3$resid, lag = 12, type = c("Box-Pierce", "Ljung-Box"))#白噪声检验
qqnorm(model3$resid)
shapiro.test(model3$resid)

#-----模型预测-----#
predict(model1, n.ahead=5)
predict(model2, n.ahead=5)
predict(model3, n.ahead=5)
```