

带损失率约束的甘蔗企业生产计划模型与算例研究

冯德鸿

三峡大学理学院, 湖北 宜昌
Email: ctguf@sina.com

收稿日期: 2021年8月17日; 录用日期: 2021年9月9日; 发布日期: 2021年9月22日

摘要

在现代“智慧农业”种植与生产的时代背景下, 针对我国甘蔗企业生产加工中普遍存在的蔗糖损失高消耗问题, 研究如何有效地降低损失率: 在不考虑环境温度和湿度等因素影响下, 建立了带损失率约束的生产计划0-1二次规划模型; 在对模型的特点进行了分析的基础时, 应用内点算法计算得到最优的生产计划执行方案。计算结果表明, 编制甘蔗企业生产计划存在着一个优先原则: 损失率越高且剩余时间越短的货车, 就越优先安排生产; 损失率越低且剩余时间越长的货车, 就越往后安排生产。

关键词

甘蔗企业生产, 编制生产计划, 0-1二次规划, 算例研究

Production Planning Model and Case Study for Sugarcane Enterprises with Loss Rate Constraint

Dehong Feng

College of Science, China Three Gorges University, Yichang Hubei
Email: ctguf@sina.com

Received: Aug. 17th, 2021; accepted: Sep. 9th, 2021; published: Sep. 22nd, 2021

Abstract

Under the background of modern “intelligent agriculture” planting and production, in view of the problem of high consumption of sugar in the production and processing of sugarcane enterprises

in China, to study how to effectively reduce the loss rate: without considering factors such as ambient temperature and humidity, the 0-1 quadratic programming model of production planning with loss rate constraint is established; on the basis of an analysis of the characteristics of the model, the optimal production plan execution is obtained by using interior point algorithm. The results show that there is a principle of priority in the preparation of production plans for sugar cane enterprises: the higher the loss rate and the shorter the remaining time, the higher the priority of production; the lower the loss rate and the longer the remaining time of the truck, the more later the arrangement of production.

Keywords

Sugar Cane Production, Make Production Plan, 0-1 Quadratic Programming, Case Study

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

如何降低我国的甘蔗种植生产成本问题的研究, 主要存在如下两个方面: 第一是在宏观层面进行的定性研究, 从整合土地资源培育蔗种开始, 直到蔗糖成品进入市场, 种植与生产的全方位和全过程链的成本: 土地租金成本、劳动力成本、相关生产资料成本(蔗种、农药、施肥、机械设备耕作和收割、装车与企业生产加工)进行综合定性或初步定量分析, 如广州甘蔗糖业研究所、广东省甘蔗改良与生物炼制重点实验室的江永等人的研究[1] [2] [3]; 广西民族大学商学院的廖东声等人对广西甘蔗产业现状、生产特点及生产成本项目等方面进行财务会计分析、生产成本核算及成本控制等方面的研究[4]; 第二是在微观层面以“智慧农业”为理念, 综合应用北斗遥感卫星影像(RS)、地理信息系统(GIS)与人工智能(AI)优化算法、5G通信与无人机械化种植管理等技术手段, 而进行精益种植与精准生产方面的研究, 如华南理工大学轻工研究所的陈山等人应用系统工程的原理与方法, 对制糖企业生产管理进行最小二乘法的决策建模[5], 来降低企业生产成本; 广西农业科学院甘蔗研究所罗亚伟等人的研究, 对甘蔗生产全程机械化应用成本及效益进行投入-产出模型分析[6]。

本文则应用运筹学二次规划建模的原理与最优化方法, 对制糖企业生产如何降低蔗糖损失的研究则属于第二方面。

2. 问题描述与建模

广西省某家甘蔗种植与生产基地专业生产蔗糖。甘蔗在收砍后将通过同型号(具有相同载重)的货车运送到甘蔗制糖企业。每辆货车的运输量、能够生产出来的蔗糖取决于甘蔗收砍的地理位置、以及甘蔗成熟度。在收砍之后, 甘蔗中的含糖量将因发酵而急剧下降, 因而所含糖分损失随时间而增加。如下表 1 是依据往年历史经验数据, 对车辆的损失率以及剩余时间进行统计, 得到的每辆货车甘蔗的属性表。

Table 1. The nature of each truck's sugar cane

表 1. 每辆货车甘蔗的属性表

货车编号 $n(i)$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
损失率 p_i (kg/h)	30	28	19	48	62	54	25	27	37	26	43	45	60	25	38
剩余时间 b_i (h)	8	6	4	2	6	4	8	8	6	4	8	6	2	4	6

现有 n 辆货车到达生产企业, 在生产企业内有 m 条固定生产线, 每辆货车甘蔗的加工时间平均为 t 小时, 生产制糖企业经营主管希望编制一个生产计划, 使得总甘蔗损失降到最低。因为收砍后的甘蔗蔗糖分的损失不仅仅与运送时间有关, 还受所处的环境温度、湿度等因素影响, 所以生产计划建模过程暂且不考虑环境温度、湿度等因素影响。在每辆货车甘蔗的属性表 1 中, 鉴于甘蔗的最大剩余时间为 8 小时, 设定最早加工时间为 0, 这样可将整个加工时段分割成 4 个时段 1~2、3~4、5~6、7~8, 即每 2 个小时为一个时段, 分别称为时段 1、时段 2、时段 3、时段 4。

设 0-1 变量 x_{ij} 表示第 i 辆货车是否在第 j 个时段上加工, 即 $x_{ij} = 1$ 表示第 i 辆货车开始在第 j 个时段加工, $x_{ij} = 0$ 表示其他情况; 第 i 辆货车的剩余时间为 b_i , 损失率为 p_i ($i = 1, 2, \dots, n$), 则目标函数是使总的甘蔗损失降到最低, 总的甘蔗损失可表示 $\min Z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^4 t j p_i x_{ij}$, 约束条件如下:

$$(1) \text{ 每辆货车必须编制在 4 个时段至少 1 次且仅 1 次的限制: } \sum_{j=1}^4 x_{ij} = 1。$$

$$(2) m \text{ 条固定生产线, 每个时段最多只能同时允许 } m \text{ 辆货车加工, 可表述为 } \sum_{i=1}^n x_{ij} \leq m。$$

$$(3) \text{ 每车甘蔗平均加工时间为 } t \text{ 小时, 甘蔗必须在质量寿命结束之前完成加工的限制, 即 } t \sum_{j=1}^4 j x_{ij} \leq b_i。$$

所以生产计划模型描述如下:

$$\min Z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^4 t j p_i x_{ij}$$

$$\sum_{j=1}^4 x_{ij} = 1 \quad \forall i = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} \leq m \quad \forall j = 1, 2, 3, 4 \quad (2)$$

$$t \sum_{j=1}^4 j x_{ij} \leq b_i \quad \forall i = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

$$x_{ij} = 0 \text{ 或 } 1 \quad \forall i = 1, 2, \dots, n \quad \forall j = 1, 2, 3, 4 \quad (4)$$

3. 模型分析与算例

模型分析: 除了约束条件① ②是线性约束(分别为等式约束与不等式约束)外, 另两个约束条件③ ④则为非线性约束(分别是不等式约束与等式约束), 因为按照求解非线性 0-1 二次规划问题的 NCP 函数法思想[7], 可将 0-1 变量等价转化为非线性不等式与等式约束, 即

$$x_{ij} \in \{0, 1\} \Leftrightarrow x_{ij} \geq 0, \quad 1 - x_{ij} \geq 0, \quad x_{ij}(1 - x_{ij}) = 0 \quad \forall i = 1, 2, \dots, n \quad \forall j = 1, 2, 3, 4$$

目标函数为非线性二次函数, 这是 0-1 二次规划模型[8], 于是应用非线性凸二次规划的内点算法[9] [10]来求解, 可在运筹学软件包如 Matlab [11]中编程、或 Excel 加载宏规划求解中实现[12]。选择 Excel 加载宏规划求解的计算平台, 设置目标函数与约束条件的相应参数后, 得到的计算结果见表 2 所示。

最优方案生产计划表 2 不仅表明: 编号为 4、5、6、13 的货车在时间片段 1 加工; 编号为 3、10、12、14 的货车在时间片段 2 加工; 编号为 2、9、11、15 的货车在时间片段 3 加工; 编号为 1、7、8 的货车在时间片段 4 加工, 甘蔗最小损失量是 2440 kg, 而且还发现编制生产计划的一条优先原则: 损失率越高、剩余时间越短的货车, 就越优先安排生产; 损失率越低、剩余时间越长的货车, 就越往后安排生产。

Table 2. The optimal plan of production planning for sugarcane enterprises
表 2. 甘蔗企业生产计划的最优方案

蔗糖生产计划模型内点算法算例求解																	
货车编号 n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15		
损失率 p_i (kg/h)	30	28	19	48	62	54	25	27	37	26	43	45	60	25	38		
剩余时间 b_i (h)	8	6	4	2	6	4	8	8	6	4	8	6	2	4	6		
时间片段				剩余时间限制(每车加工均为 2 小时, 所以只需限制货车开始加工时间必须为剩余时间的前 2 个小时)													
决策变量				每辆货车只能在 1 个时间片段加工				决策变量				≤			剩余时间	损失率	实际损失时间
货车编号	1~2	3~4	5~6	7~8													
	1	2	3	4													
1	0	0	0	1	1	=	1	8				8	30	6			
2	0	0	1	0	1	=	1	6				6	28	4			
3	0	1	0	0	1	=	1	4				4	19	2			
4	1	0	0	0	1	=	1	2				2	48	0			
5	1	0	0	0	1	=	1	2				6	62	0			
6	1	0	0	0	1	=	1	2				4	54	0			
7	0	0	0	1	1	=	1	8				8	25	6			
8	0	0	0	1	1	=	1	8				8	27	6			
9	0	0	1	0	1	=	1	6				6	37	4			
10	0	1	0	0	1	=	1	4				4	26	2			
11	0	0	1	0	1	=	1	6				8	43	4			
12	0	1	0	0	1	=	1	4				6	45	2			
13	1	0	0	0	1	=	1	2				2	60	0			
14	0	1	0	0	1	=	1	4				4	25	2			
15	0	0	1	0	1	=	1	6				6	38	4			
		4	4	4	3												
每个时间片段最多允许 4 辆货车加工	≤	≤	≤	≤													
	4	4	4	4													
总目标费用最小	2440																

4. 结束语

本文简要地概括了如何降低我国甘蔗种植生产成本问题存在的两大研究方向, 针对我国南方甘蔗企业生产加工中普遍存在的蔗糖损失消耗问题, 在暂不考虑环境温度和湿度等因素的影响下, 研究了如何有效地降低损失率, 建立了带损失率约束的生产计划非线性 0-1 二次规划模型, 并对模型的特点进行了必要的分析, 应用求解二次规划模型的内点算法, 计算得到最优的生产计划执行方案, 算例结果还表明, 编制甘蔗企业生产计划存在着一个优先原则: 损失率越高且剩余时间越短的货车, 就越优先安排生产; 损失率越低且剩余时间越长的货车, 就越往后安排生产。

基金项目

项目来源湖北省自然科学基金(Z2020202)。

参考文献

- [1] 江永. 降低甘蔗生产成本, 提高我国甘蔗产业竞争力[J]. 甘蔗糖业, 2010, 12(6): 44-50.
- [2] 吴多广, 等. 我国甘蔗生产成本及产业竞争力浅析[J]. 甘蔗糖业, 2017, 10(5): 64-66.
- [3] 谭俊杰. 中国甘蔗生产成本结构分析及国际竞争力比较[J]. 农业与技术, 2018, 38(21): 161-164.
- [4] 廖东声, 覃思静. 广西甘蔗产业生产成本核算及控制问题分析[J]. 学术论坛, 2013, 271(8): 83-87+92.
- [5] 陈山, 郭祀远, 李琳, 谢名洋. 甘蔗糖厂生产成本管理和决策模型[J]. 甘蔗糖业, 2001, 6(3): 54-60.
- [6] 罗亚伟, 等. 甘蔗生产全程机械化应用成本及效益分析[J]. 农业研究与应用, 2015, 161(6): 21-26.
- [7] 李艳艳. 0-1 规划问题的连续化方法研究及应用[D]: [博士学位论文]. 大连: 大连理工大学, 2009, 44-45.
- [8] 张雄, 周济, 余俊. 基于内点二次规划的最优化方法[J]. 华中理工大学学报, 1995, 23(9): 1-5.
- [9] 雍龙泉. 二次规划的算法研究[D]: [硕士学位论文]. 西安: 西安电子科技大学, 2005, 15-20.
- [10] 王瑞, 陈伟. 二次 0-1 规划问题的全局最优条件[J]. 应用数学与计算数学学报, 2018, 32(3): 541-552.
- [11] 唐冲. 基于 Matlab 的非线性规划问题的求解[J]. 计算机与数字工程, 2013, 41(7): 1100-1102+1185.
- [12] 石建国. 基于 Excel 数据建模求解及结果分析[J]. 安庆师范大学学报(自然科学版), 2019, 25(4): 103-108.