

考虑降雨量不确定的稻麦收割机多类型配置优化

何朋飞 李静*

(南京农业大学 工学院,南京 210031)

摘要 针对降雨量不确定性导致农机合作社配置收割机的数量和类型较为困难的问题,以蚌埠市的一个农机合作社覆盖的稻麦轮作区域为研究对象,拟合降雨量和潮湿耕地(只能由履带式收割机进行收割的耕地)比例的函数关系,采用1987—2016年每年10月份研究地区的降雨量数据仿真新的降雨量,并利用蒙特卡洛仿真方法优化收割机的配置方案,分析降雨不确定情形下农机合作社的收割机类型与数量的最优配置。结果表明:该区域的降雨量与潮湿耕地比例呈现Logistic分布,收割机的最优配置为,履带收割机和轮式收割机的数量均为14辆,最小收割总成本为725.57万元;随着履带收割机价格的降低,农机合作社对降雨量不确定的能力显著增加。据此认为不同稻麦轮作区域有必要对降雨量和潮湿耕地比例的函数关系进行估算,同时针对该地区水稻收割期降雨量的特点制定合理的农机补助策略,从而帮助农机合作社应对潜在风险。

关键词 收割机; 收割机多类型配置; Logistic; 降雨量; 蒙特卡洛

中图分类号 S11+5

文章编号 1007-4333(2018)03-0122-09

文献标志码 A

Effects of uncertain rainfalls on optimal configuration for multi-type rice and wheat harvesters

HE Pengfei, LI Jing*

(College of Engineering, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210031, China)

Abstract Because of the uncertainty of rainfall, it was difficult to configure optimal harvester for agricultural machinery cooperative. A rice-wheat planting field located in Bengbu City was taken as study object. The functional relationship between rainfall and moist farm (harvested by crawler-harvester) proportion was fitted based on investigation data. In the simulation process, rainfall was generated by history data over past thirty years. The Monte Carlo method was used to optimize harvesters' configuration. The uncertain rainfall cases were analyzed based on optimal harvesters' configuration. The simulation results indicated that: Functional relationship between rainfall and moist farm proportion was presented logistic distribution. The optimal harvester configuration was 14 crawler-harvesters and 14 wheeled-harvesters. The minimal harvesting cost was 7 255.7 thousand yuan. The ability of agricultural machinery cooperatives to response the risk was increased significantly with reduction in the cost of crawler-harvester. It was necessary to estimate the functional relationship between rainfall and moist farm proportion in rice and wheat area. The subsidy strategy of harvesters should be formulated reasonably based on characteristics of the rainfall in rice harvesting period. It was useful to support agricultural machinery cooperatives to response the potential risk.

Keywords combine-harvester; multi-type combine-harvester configuration; logistic distribution; rainfall; Monte Carlo method

农业联合收割机机型与数量的合理配置是农机合作社抵御风险的重要手段。水稻收割期前的不确定降雨量经常导致水稻的最佳收割时间产生变化,

进而影响水稻产量^[1-2]。如2016年10月蚌埠地区的降雨量明显高于往年10月份,因此土壤含水量较高,大量稻田无法利用Foton Lovol GE20D等轮式

收稿日期: 2017-04-17

基金项目: 国家自然科学基金项目(71301077)

第一作者: 何朋飞, 硕士研究生, E-mail: 2016112039@njau.edu.cn

通讯作者: 李静, 教授, 主要从事农业系统工程研究, E-mail: phdljing@njau.edu.cn

收割机收割,而配置较多数量的 Kubota 4LZ-4 (PRO988Q)等履带式收割机的农机合作社则可以较快的完成水稻收割。此情形下,科学的选择收割机数量与类型是解决这一问题的关键,而收割机数量和类型的配置又存在成本最小化约束^[3],因此,在降雨量不确定情形下,收割机机型与数量的最优决策可以在整体上削弱降雨量对农机合作社收割水稻的影响。

长期以来,降雨量不确定性对农业生产的影响备受关注^[4-5],已有研究主要针对干旱地区的降雨量与水土保持问题,如降雨量对干旱地区小麦种植的影响等。近年来降雨量的随机性也受到较多关注。韦庆等^[6]采用蒙特卡洛方法预报吉林省白城地区的年降雨量。黄仲东等^[7]采用蒙特卡洛仿真技术对夏玉米的灌溉需水量进行计算。由于降雨量不确定性的特点,大量与降雨有关的研究采用仿真方法对这一过程进行描述^[8-9]。如棉花收割过程中,降雨量的不确定性导致收割时间和期限不确定^[10],而在对棉花收割机的配置研究中,天气的变化则会导致收割机机型和数量的决策上存在困难^[11]。

农业生产中,农业机械的选择显著影响生产效率^[12]和配置结构^[13]。由于降雨量和降雨时间的不确定性导致农业机械的作业能力与作业效率产生变化,这种变化也导致农机合作社在决策过程中面临更大的风险^[10,14]。在农作物的收割过程中,天气对收割时间和进程的影响尤为显著^[15]。在分析降雨量等不确定因素时,数学规划、仿真和智能算法等能够对农业机械的配置产生较好的决策,同时能够明显的降低收割机的配置成本^[16-17]。然而已有研究在应用时都只针对于一种作物的收割进行研究,且并没有考虑降雨量对收割机类型产生的影响。在本研究中,由于研究区域为稻麦轮作,收割机适用于2种作物。作物的收割不仅可以采用农机合作社自有收割机收割也可以外包给其他收割机进行收割。在这一过程中,有必要对农机合作社的收割机数量和类型的配置进行研究。

不同类型的收割机适合不同土壤湿度的耕地作业,不服从典型概率分布的降雨量会导致耕地的土壤含水量与往年同期水平产生较大差距,进而导致不同年份的潮湿耕地比例不同,这种不确定性使得农机合作社在进行收割机机型和数量的选择时较为困难。因此有必要建立合理的收割机配置决策模型来辅助农机合作社进行科学的决策。本研究拟采用

蒙特卡洛仿真方法描述降雨量的不确定性,利用仿真模型计算不同情境下的收割机类型和数量的配置,以期为农机合作社在配置收割机的类型和数量时提供决策依据。

1 研究方法

1.1 收割机配置影响因素分析

农作物收割过程中收割机的选择受到多方面因素的影响,如收割机的固定成本、类型、运营成本、收割速度等。胡建雄对衡阳地区影响水稻收割机配置选择的因素进行分析,认为固定成本、运营成本等是影响收割机配置的主要因素^[3]。由于不同地区的作物品种和降雨量差异较大,影响水稻收割机选择的因素也存在差异。本研究通过对蚌埠地区的实际调研发现,该地区为稻麦轮作区域,收割机主要为2种类型,履带式和轮式。2类收割机均可收割小麦和水稻,但部分潮湿稻田只能由履带收割机收割;影响收割配置的因素分别为:收割机固定成本、运营成本、收割速度、收割机类型(履带式和轮式)、外包收割成本。在本研究的仿真模型中,将考虑这5个因素对收割机配置的影响。

1.2 仿真模型构建

在本研究中,小麦在成熟后可以被轮式收割机和履带式收割机收割,由于降雨所导致的土壤较为潮湿的稻田不能被轮式收割机收割,其余的稻田则可以被2种收割机共同收割。只能够被履带式收割机收割的稻田面积与该地区每年10月份的降雨量存在直接关系,这是由于蚌埠地区水稻于每年10月底—11月初收割。10月份降雨量越多,水稻田的土壤湿度则越大,只能够被履带收割机收割的稻田面积越大。当农机合作社配置的收割机在收割周期内无法完成收割时,可以选择将未收割的耕地外包收割。小麦收割过程中不需要考虑天气的影响,即履带式收割机和轮式收割机都可以进行收割。由于本研究的模型无法完全准确的反应实际情况,因此采用部分假设:

1)收割机收割作物的速度恒定,相同类型的收割机在收割一种作物时其收割速度恒定。

2)收割机的使用寿命为10年,即每辆收割机的使用年限为10年。

3)收割机的折旧和资金时间价值忽略不计,即每台收割机的折旧成本忽略不计且不考虑收割机使用周期内的资金时间价值。

4)履带收割机和轮式收割机收割相同作物时的成本相同,即农机合作社自有的不同类型的收割机收割不同作物的运营成本相同,在外包情况下,同种作物的外包收割成本相同。

5)自有收割机不进行外包收割服务,即农机合作社自有的收割机在作物收割周期内完成收割时,不对外进行收割服务。

6)小麦的收割不受降雨影响;这是由于研究区域内的小麦收割季节的降雨量较少,且不存在轮式收割机无法收割的麦田。

本研究中收割机的成本分为固定成本和变动成本,其中收割机的采购价格为固定成本,收割机收割作物的油耗和人工成本为变动成本。变动成本和固定成本构成农机合作社采购收割机产生的成本。当收割机在收割期限内无法完成收割时,则需要将部分耕地外包收割,外包收割产生的成本为耕地外包收割成本。模型中总成本为收割机成本和外包耕地收割成本,仿真具体模型如下:

$$T = C + \sum_{i=1}^{10} V_i \quad (1)$$

$$C = n_1 p_1 + n_2 p_2 \quad (2)$$

$$V_i = \max(0, a_2 - (n_1 v_{12} + n_2 v_{22}) T_2) p_w + \max(a_{11} - n_{11} T_1 v_{11}, 0) T_1 p_r + \max(a_{12} - ((n_1 - n_{11}) v_{11} + n_2 v_{21}) T_1, 0) p_r + (n_1 v_{12} + n_2 v_{22}) T_2 c_w + n_{11} T_1 v_{11} T_1 c_r + ((n_1 - n_{11}) v_{11} + n_2 v_{21}) T_1 c_r \quad (3)$$

式中: T 为总成本, C 为固定成本, V_i 为第*i*年的变动成本, n_1 为履带收割机数量, p_1 为履带收割机价格, n_2 为轮式收割机数量, p_2 为轮式收割机价格, a_2 为小麦种植面积, v_{12} 为履带收割机收割小麦的速度, v_{22} 为轮式收割机收割小麦的速度, T_2 为小麦收割周期, p_w 为小麦外包收割成本, a_{11} 为只能被履带收割机收割的水稻种植面积, n_{11} 为用于收割 a_{11} 的履带收割机数量, T_1 为水稻收割周期, p_r 为水稻外包收割成本, a_{12} 为能够被所有类型收割机收割的水稻种植面积, v_{21} 为轮式收割机收割水稻的速度, c_w 为自有收割机收割小麦的运营成本, c_r 为自有收割机收割水稻的运营成本, v_{11} 为履带收割机收割水稻的速度。

式(1)为总成本的核算方式,其中第一部分为固定成本,第二部分为10年的变动成本,由于联合收割机可以使用10年,因此将10年的变动成本计算

到总成本中。式(2)为固定成本的核算,等式右端的第一部分为履带式收割机的固定费用,第二部分为轮式收割机的固定费用。式(3)的等式右端的第一部分为外包收割小麦的费用,第二部分为外包收割水稻的潮湿耕地的面积,第三部分为外包收割水稻的非潮湿耕地的面积,第四部分为采用自有收割机收割小麦的费用,第五部分和第六部分为自有收割机收割水稻的费用。

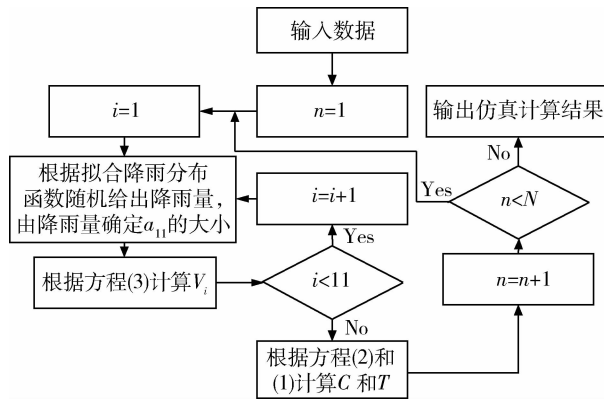
1.3 仿真流程设计

由于研究区域为稻麦轮作区域,因此2种作物的种植面积相等,即 $a_{12} + a_{11} = a_2$ 。而降雨量则影响水稻田的土壤湿度,因此 a_{11} 的大小受到天气因素的影响。由于降雨量具有不确定性,降雨量与潮湿耕地面积的比例关系无法准确的用函数关系进行描述,这是一种不确定性关系。目前对降雨的不确定性进行描述的方法主要为蒙特卡洛仿真^[18-20]。这一方法主要根据不同的观测数据作为数据输入,得出一个频率分布,并以此频率分布作为对仿真结果不确定影响的评估函数。为了反映出天气不确定性对农机合作社收割总成本的影响,本研究采用蒙特卡洛方法对降雨量进行仿真,得出不同降雨量下的潮湿耕地面积。由于降雨量并不服从某种特有的分布函数,因此本研究采用1987—2016年每年10月份蚌埠地区的降雨量数据来对潮湿耕地面积的大小进行计算。通过模拟出的潮湿耕地面积以及收割总成本的计算模型,最终计算出农机合作社的收割机配置方案。

蒙特卡洛仿真次数的确定是根据式(4)计算得出。其中 $\mu_{1-\frac{\alpha}{2}}$ 为标准正态分布的分位数, N 为重复仿真次数, A 为置信区间的半径, S 为样本标准差。通过预先仿真的方法,先进行次数较小的仿真,通过这一仿真结果计算出样本方差,再通过置信区间的判定,得出最终需要进行的仿真次数。

$$N = \left(\mu_{1-\frac{\alpha}{2}} \frac{S}{A} \right)^2 \quad (4)$$

仿真过程采用MATLAB2012b软件进行模拟计算。仿真具体流程见图1:在每次仿真过程中,都会生成第*i*年只能被履带收割机收割的水稻种植面积 a_{11} ,并依据式(3)计算收割机每年的变动成本 V_i ;利用式(2)和式(1)计算第*n*次仿真的收割机配置的固定成本 C 和总成本 T ,当仿真次数大于重复仿真次数 N 时,终止仿真。



n 为仿真次数, $n=n+1$ 为更新仿真次数; a_{11} 为只能够被履带收割机收割的水稻种植面积; i 为年份, $i=i+1$ 为更新收割机的使用年份; V_i 为第 i 年的变动成本; C 为固定成本; T 为总成本; N 为重复仿真次数。

n is number of simulation; The $n+1$ is updating number of simulation; a_{11} is rice planting area harvested by crawler-harvester; i is year; The $i=i+1$ is updating of using harvester year; V_i is variable cost of year i ; The V_i is variable cost of year i ; C is constant cost; T is total cost; N is number of repeating simulation.

图 1 收割机配置仿真流程

Fig. 1 Flow simulation of combine-harvester configuration

2 结果与分析

2.1 潮湿耕地面积的概率密度函数模拟验证

本研究以安徽省怀远县唐集镇华光村的一个农机合作社为研究对象,该合作社覆盖的耕地面积为 655.7 hm^2 , 位于东经 $116.982 \sim 116.965^\circ$, 北纬 $32.810 \sim 32.819^\circ$ 。在本研究的仿真中潮湿耕地面积比例的大小与该地区 10 月份的降雨量相关,降雨量的大小决定了潮湿耕地面积的比例。因此降雨量与潮湿耕地面积比例的关系的精确性直接影响仿真结果的准确性。为了获得降雨量和潮湿耕地面积比

例的关系,本研究在农机合作社覆盖的 34 户农户进行问卷统计,调查内容为 2010—2016 年潮湿耕地面积比例,其中有效统计结果为 31 份。通过对不同农户的调查结果估计出不同年份潮湿耕地面积比例,对照不同年份降雨量的大小,得出降雨量与潮湿耕地面积比例的观测值。利用研究区域 2010—2016 年每年 10 月份的降雨数据拟合出降雨量与潮湿耕地面积比例的函数关系(拟合工具为 SPSS 20.0),拟合优度指标 $R^2 = 0.986$,表明拟合效果较好(图 2)。根据《安徽统计年鉴》^[23] 及蚌埠气象网获得蚌埠市 2012—2016 年每年 10 月份降雨量分别为

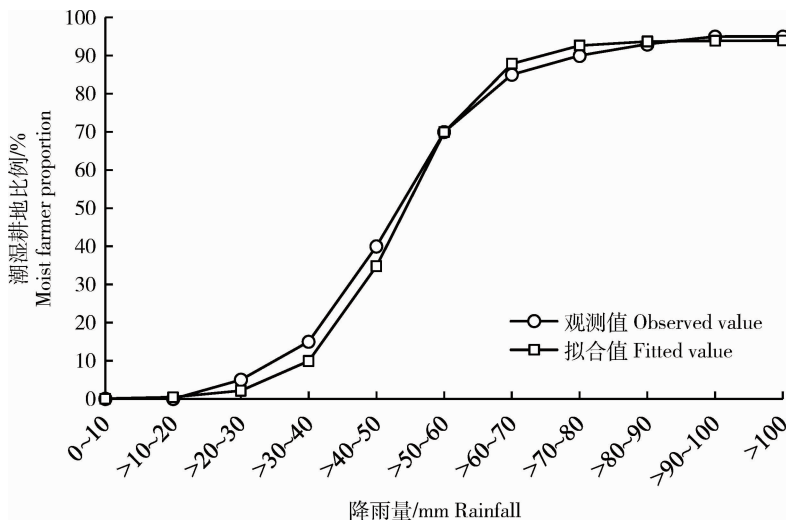


图 2 不同降雨量下潮湿耕地比例的实际值和拟合值

Fig. 2 Observed and fitted values of moist farms area with different rainfalls

22.7、8.7、39.4、24.0和231.2 mm,根据拟合的降雨量与潮湿耕地面积比例的函数关系,得出潮湿耕地比例的值为3%、1%、33%、4%和94%。

由于该研究地区内的耕地地势高低不同,因此当降雨量不同时潮湿耕地的比例也不相同;根据对不同农户的调查,由农户给出的调研数据估测出2012—2016年潮湿耕地比例分别约为5%、1%、32%、5%和96%。已有的研究表明,当MAPE的值小于15%时表明拟合结果非常好^[21-22],本研究拟合数据与真实数据的MAPE的值为11.1%,表明拟合曲线的拟合效果特别好。

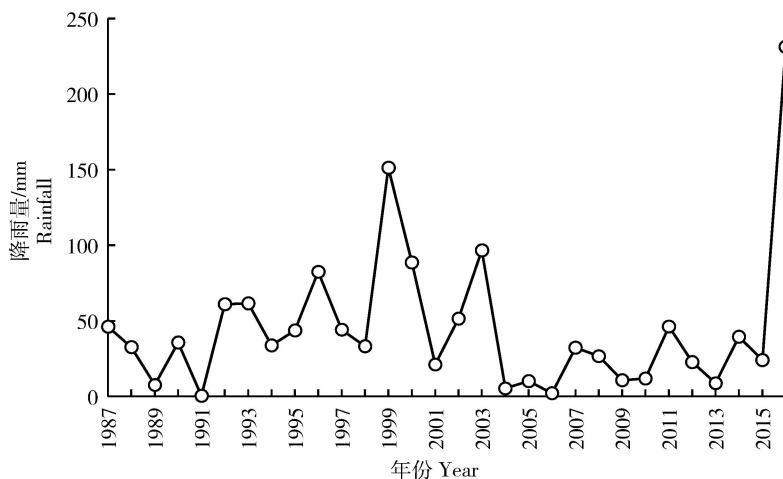


图3 1987—2016年每年10月份蚌埠市降雨量观测值

Fig. 3 Observed rainfalls in Bengbu on October during 1987—2016

表1 1987—2016年每年10月份蚌埠市降雨量及相对频率

Table 1 Rainfall and relative frequency in Bengbu on October during 1987—2016

序号 Order	降雨量分组/mm Rainfall groping	频数 Frequency
1	0~10	5
2	>10~20	3
3	>20~30	4
4	>30~40	6
5	>40~50	4
6	>50~60	1
7	>60~70	2
8	>70~80	0
9	>80~90	2
10	>90~100	1
11	>100	2

2.2 降雨分布模拟

降雨量的随机波动使得常见的概率分布无法对其进行准确描述。在研究降雨量的随机过程中已有研究采用频率代替概率的方法对其进行模拟^[4,6]。本研究利用1987—2016年每年10月份蚌埠地区的降雨量^[23]频数分布构造降雨量分布函数,结果表明降雨量基本在100 mm以内。为更加准确的反应降雨的频率分布,以10 mm为组距,将降雨量分为11个组。仿真过程中,产生的降雨量落在每组的概率由该组的频数大小决定,而落在组内的降雨量则在组内随机产生。

2.3 收割机配置计算

仿真模型参数设置如下:0.067 hm²小麦外包收割成本为50元,每0.067 hm²水稻外包收割成本100元。自有收割机收割小麦运营成本为225元/hm²,自有收割机收割水稻运营成本375元/hm²;履带式收割机价格为25万元/台,轮式收割机价格10万元/台;履带式收割机收割水稻的速度为2 hm²/d,履带收割机收割小麦速度3.3 hm²/d,轮式收割机收割水稻速度3.3 hm²/d,轮式收割机收割小麦速度6 hm²/d;水稻收割周期13 d,小麦收割周期5 d;水稻小麦种植面积均为655.7 hm²。

为了确定仿真重复次数,通过对仿真模型进行试验性仿真,次数为200次,均值为726.65万元,标准差50.89万元。在本研究中,要求有99%以上的把握将误差控制在1 000元以内,依据式(4),仿真重复次数为1 451次,即 $N=1 451$ 。

根据2.1和2.2节, $a_{11}=f(R)a_2$,其中, R 为降

雨量, $f(R)$ 表示降雨和潮湿耕地的函数关系, SPSS 拟合公式为 $f(R) = 0.94 / (1 + \exp(6.93 - 0.16R))$ 。为了得到最优结果, 本研究对 2 种类型的收割机数量进行组合, 履带式收割机和轮式收割机的数量分别取 0~50。对 2 601(51×51) 种组合分别按图 1 所示的仿真流程进行仿真, 每种组合重复仿真 1 451 次, 共计 377. 405 1 万次。得到 2 种收割机每种组合仿真 1 451 次的平均成本(图 4)。可见, 当履带式收割机和轮式收割机均为 14 辆时, 成本最小, 为 725. 57 万元, 为最小成本的收割机配置。

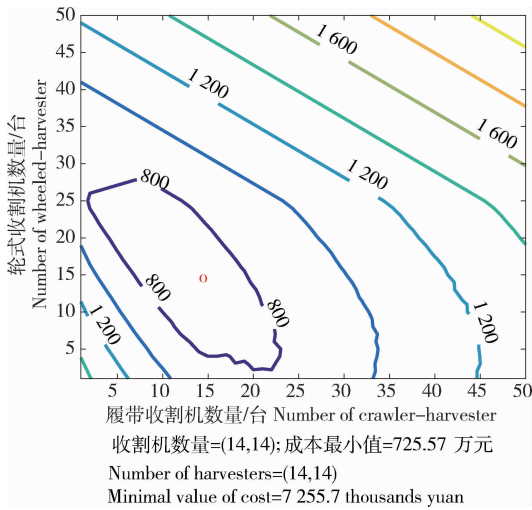
2.4 成本变化对收割机配置的影响分析

在农业生产中, 收割机的采购成本受到政府补助, 同时外包收割成本也与政府政策相关, 由于这 2 种成本影响收割机的配置, 因此本研究针对这 2 种影响农机配置的因素进行分析, 得出当收割机价格和外包收割成本变化时的总成本变化趋势。

本研究对收割机的价格以及外包收割成本在 ±10% 和 ±20% 的区间内进行变动分析, 并对每种变动情形重复仿真 1 451 次。随着外包收割成本的提高, 总成本呈现上升趋势, 但增幅较小(表 2), 表明外包收割成本的变化不对总成本产生显著影响; 随着外包收割成本的增加, 总成本的标准差显著降低, 说明外包收割成本越大, 天气对于对总收割成本的影响越小; 当外包收割价格变动较大时, 履带式收割机的数量呈现明显的上升或下降趋势; 当履带收割机数量显著增加时, 降雨对总成本的影响程度变弱, 说明增加履带收割机可以有效的降低降雨量不确定性带来的影响。

随着轮式收割机价格的增加, 总成本呈现上升趋势(表 3), 当轮式收割机的价格增加 20% 时, 总收割成本增加约 5%; 另一方面, 当轮式收割机的单价增加时, 总成本的标准差呈现减小趋势, 但并不十分显著, 表明轮式收割机的价格增加和降低都无法有效的应对降雨不确定性。对于轮式收割机来说, 随着单价的增加, 最优配置的方案中其数量呈现明显的下降趋势。

随着履带收割机单价的降低, 总成本的标准差显著降低(表 4); 而当履带收割机的价格降低 20%



等高线单位: 万元

The unit of contour map is 10 thousands yuan

图 4 履带收割机和轮式收割机最优配置的成本等高线图

Fig. 4 Contour map of optimal solution based on crawler-harvester and wheeler-harvester

表 2 外包收割成本变化对收割机配置的影响

Table 2 Influencing of changing price of outsourcing harvesting

外包收割成本 变化/%	总成本/万元		数量变化率/%		总成本变化率/%
	均值	标准差	履带收割机	轮式收割机	
Cost of outsourcing harvesting	Mean value	Std. Dev	Crawler-harvester	Wheel-harvester	Changing of total cost
-20	688.06	75.32	-57	7	-5
-10	721.63	51.68	-7	7	-1
0	725.57	51.78	0	0	0
10	736.86	44.47	7	-7	2
20	744.74	17.10	43	-29	3

时,此时天气对总收割成本的影响最小,表明降低履带收割机价格能够有效的应对降雨带来的风险,产生这一现象的原因是由于履带收割机的数量显著增加。履带收割机单价的变化对轮式收割机的配置数量产生较大影响,当履带收割机单价变化 $\pm 20\%$ 时,轮式收割机配置数量的变化率约为 $\pm 40\%$,表明履带收割机的变化对农机合作社的收割机配置存在较大影响。随着履带收割机数量的增加,不确定的降雨量对总成本的影响在

降低。

依据上述分析,本研究认为履带收割机数量的增加可以有效的增加农机合作社应对降雨量不确定性的能力;同时外包收割成本增加时,也会增加农机合作社应对降雨量不确定的能力,但却会导致总成本增加;降低履带收割机的价格可以有效的降低总成本以及增加农机合作社应对降雨量不确定的能力,相反降低轮式收割机价格则会降低农机合作社应对降雨量不确定的能力。

表3 轮式收割机价格变化对收割机配置的影响

Table 3 Influencing of changing price of wheeler-harvester

价格变化/% Price changing	总成本/万元 Total cost		数量变化率/% Quantity change rate		总成本变化率/% Changing of total cost
	均值 Mean value	标准差 Std. Dev	履带收割机 Crawler-harvester	轮式收割机 Wheel-harvester	
	-20	678.96	64.41	-14	
-10	699.96	64.41	-14	7	-4
0	725.57	51.78	0	0	0
10	750.76	43.16	14	-7	4
20	766.44	35.81	21	-14	6

表4 履带收割机价格变化对收割机配置的影响

Table 4 Influencing of changing price of crawler-harvester

价格变化/% Price changing	总成本/万元 Total cost		数量变化率/% Quantity change rate		总成本变化率/% Changing of total cost
	均值 Mean value	标准差 Std. Dev	履带收割机 Crawler-harvester	轮式收割机 Wheel-harvester	
	-20	629.40	3.53	50	
-10	685.50	13.89	21	-29	-6
0	725.57	51.78	0	0	0
10	754.58	86.94	-29	29	4
20	774.68	91.74	-43	43	7

3 结论

在农业生产中,降雨量的不确定性易给农业带来实质性影响和潜在威胁。我国地域辽阔,不同区域作物的种植和降雨量存在较大差异,研究某一特定区域的收割机配置更具有针对性。本研究以蚌埠

地区稻麦轮作系统的一个农机合作社为例,经研究发现,该地区潮湿耕地的比例和降雨量呈现 Logistic 分布。由于不同地区的地势和降雨量不同,其收割时期的稻田土壤湿度也不尽相同,因此需要对不同区域的潮湿耕地比例和降雨量的关系进行拟合。

由于不同区域的收割成本和潮湿耕地比例存在

较大差异,且收割机数量和类型的配置和该农机合作社覆盖的耕地面积存在较大关系,因此每个农机合作社应当根据所覆盖的耕地面积、潮湿耕地比例和最小收割成本来配置收割机的数量和类型。在本研究中,研究区域的收割机最优配置为:履带收割机和轮式收割机数量均为14台,总收割成本为725.57万元。根据仿真结果的分析,履带式收割机配置的数量和其价格存在明显关系,当履带收割机价格降低时,履带收割机数量则增多,同时农机合作社应对不确定降雨量的能力也越强;而轮式收割机则相反,这一点符合日常规律(通用型收割机越多则应对风险的能力越强)。在我国其他的稻麦轮作区,若水稻收割期降雨量较少则可以考虑配置较多的轮式收割机以加快收割速度;若水稻收割期的降雨量具有较强的不确定性,则适合配置较多的履带收割机,以应对降雨量带来的风险。政府部门可以针对不同地区水稻收割期内降雨量的特点制定不同类型的收割机补助政策。如降雨较多的地区可以增大履带收割机的补助,同时降低轮式收割机的补助。

收割机的配置研究虽具有一定的代表性,但难免出现遗漏,无法充分的反应收割机配置的真实状况,如资本限制等问题,因此进一步应更加细化收割机配置的仿真模型。

参考文献 References

[1] Su W, Lu J W, Wang W N, Li X K, Ren T, Cong R H. Influence of rice straw mulching on seed yield and nitrogen use efficiency of winter oilseed rape (*Brassica napus* L) in intensive rice-oilseed rape cropping system [J]. *Field Crops Research*, 2014, 37(159): 53-61

[2] 王桂民, 易中懿, 陈聪, 曹光乔. 收获时期对稻麦轮作水稻机收损失构成的影响[J]. 农业工程学报, 2016, 32(2): 36-42
Wang G, Yi Z Y, Chen C, Cao G Q. Effect of harvesting date on loss component characteristics of rice mechanical harvested in rice and wheat rotation area [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2016, 32(2): 36-42 (in Chinese)

[3] 胡建雄. 衡阳地区水稻联合收割机选型与优化配置研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2007
Hu J X. Study on model choice and optimum allocation of rice harvester in Hengyang [D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2007 (in Chinese)

[4] 詹存, 梁川, 赵璐. 川中丘陵区季节性干旱时空分布特征及成因分析[J]. 农业工程学报, 2013, 29(21): 82-90, 301
Zhan C, Liang C, Zhao L. Temporal and spatial distribution

characteristics and causes analysis of seasonal drought in hilly area of central Sichuan [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2013, 29(21): 82-90 (in Chinese)

[5] 孙世坤, 王玉宝, 吴普特, 赵西宁. 小麦生产水足迹区域差异及归因分析[J]. 农业工程学报, 2015, 31(13): 142-148
Sun S K, Wang Y B, Wu P T, Zhao X N. Spatial variability and attribution analysis of water footprint of wheat in China [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2015, 31(13): 142-148 (in Chinese)

[6] 韦庆, 卢文喜, 田竹君. 运用蒙特卡罗方法预报年降水量研究[J]. 干旱区资源与环境, 2004, 18(4): 144-146
Wei Q, Lu W X, Tian Z J. Application of Monte-Carlo to annual precipitation forecast [J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2004, 18(4): 144-146 (in Chinese)

[7] 黄仲冬, 齐学斌, 樊向阳, 乔冬梅, 李中阳, 梁志杰. 降雨和蒸散对夏玉米灌溉需水量模型估算的影响[J]. 农业工程学报, 2015, 31(5): 85-92
Huang Z D, Qi X B, Fan X Y, Qiao D M, Li Z Y, Liang Z J. Impact of rainfall and evapotranspiration on estimation of irrigation requirement of summer maize [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2015, 31(5): 85-92 (in Chinese)

[8] 张和喜, 迟道才, 王永涛, 王富臣. 基于 NNBR 与蒙特卡洛算法的降雨量预报模型应用研究[J]. 水土保持研究, 2014, 21(2): 106-110
Zhang H X, Chi D C, Wang Y T, Wang F C. Applied research of the rainfall forecast model based on NNBR and Monte-Carlo algorithm [J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2014, 21(2): 106-110 (in Chinese)

[9] 胡能杰, 邵东国, 陈述, 徐保利, 方龙章. 基于随机降雨模拟的灌区塘坝蓄水方案优化[J]. 农业工程学报, 2016, 32(18): 105-110
Hu N J, Shao D G, Chen S, Xu B L, Fang L Z. Optimal water store control of ponds in irrigation district based on stochastic precipitation simulation [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2016, 32(18): 105-110 (in Chinese)

[10] Mygdakos E. Factors affecting picker capacity, area harvested and harvesting cost of cotton [J]. *International Journal of Food, Agricultural Environment*, 2009, 7(3&4): 214-223

[11] Whitson R E, Kay R D, LePori W A, Rister E M. Machinery and crop selection with weather risk [J]. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, 1981, 24(2): 288-291

[12] 李卫, 薛彩霞, 朱瑞祥, 郭康权, 黄玉祥, 刘会霞. 基于前沿面理论的中国农业机械生产配置效率分析[J]. 农业工程学报, 2012, 28(3): 38-43
Li W, Xue C X, Zhu R X, Guo K Q, Huang Y X, Liu H X. Analysis on production allocative efficiency of agricultural machinery based on frontier theory in China [J]. *Transactions*

- of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2012, 28 (3): 38-43 (in Chinese)
- [13] 黄玉祥, 郭康权, 朱瑞祥, 何万丽. 基于证据理论的农业机械选型风险因素评价方法[J]. 农业工程学报, 2008, 24(4): 135-141
Huang Y X, Guo K Q, Zhu R X, He W L. Method for evaluating the risk of selecting types of agricultural machinery based on evidencetheory [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2008, 24 (4): 135-141 (in Chinese)
- [14] Siemens J. *Field Machinery Selection Using Simulation and Optimization* [M]. New York: Marcel Dekker, Inc., 1998: 534-566
- [15] Allen S J, Schuster E W. Controlling the risk for an agricultural harvest[J]. *Manufacturing & Service Operations Management*, 2004, 6(3): 225-236
- [16] Danok A B, McCarl B A, White T K. Machinery selection modeling: Incorporation of weather variability [J]. *American Journal of Agricultural Economics*, 1980, 62(4): 700-708
- [17] Parmar R S, McClendon R W, Potter W D. Farm machinery selection using simulation and genetic algorithms [J]. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, 1996, 39(5): 1905-1910
- [18] Auffhammer M, Ramanathan V, Vincent J R. Climate change, the monsoon, and rice yield in India [J]. *Climatic Change*, 2012, 111(2): 411-424
- [19] Ashofteh P S, Haddad O B, Marino M A. Risk analysis of water demand for agricultural crops under climate change[J]. *Journal of Hydrologic Engineering*, 2014, 20(4): 1-10
- [20] Zhuo L, Mekonnen M M, Hoekstra A Y. Sensitivity and uncertainty in crop water footprint accounting: A case study for the Yellow River basin [J]. *Hydrology and Earth System Sciences*, 2014, 18(6): 2219-2234
- [21] 于婵, 朝伦巴根, 高瑞忠, 朱仲元. 作物需水量模拟计算结果有效性检验[J]. 农业工程学报, 2009, 25(12): 13-21
Yu C, Chao L B G, Gao R Z, Zhu Z Y. Validity examination of simulated results of crop water requirements [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2009, 25 (12): 13-21 (in Chinese)
- [22] 吐尔逊·买买提, 丁为民, 谢建华. 时间序列组合预测模型研究: 以农业机械总动力为例[J]. 南京农业大学学报, 2016, 39 (4): 688-695
Mamat T, Ding W M, Xie J H. Research of combination prediction model for time series: A case study in total power of agricultural machinery [J]. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 2016, 39(4): 688-695 (in Chinese)
- [23] 安徽省统计局. 安徽统计年鉴 [M]. 北京: 中国统计出版社, 1987—2016
Statistics Bureau of Anhui Province. *Anhui Statistical Yearbook* [M]. Beijing: China Statistics Press, 1987—2016

责任编辑: 刘迎春