

基于关键气象因子的油茶种仁含油率预测模型构建

袁小康¹ 邬定荣² 范嘉智³ 范雨娴⁴

(1. 湖南省气象科学研究所 气象防灾减灾湖南省重点实验室 长沙 410118; 2. 中国气象科学研究院 北京 100081;
3. 中国气象局气象干部培训学院湖南分院 长沙 410125; 4. 益阳市气象局 益阳 413000)

摘要: 含油率是油茶重要的经济性状,构建油茶含油率预测模型对于茶油产量预报有重要的意义。本研究以普通油茶为研究对象,通过分析油茶种仁含油率与不同气象因子的关系,确定影响油茶种仁含油率的关键气象因子,然后用回归分析法构建基于关键气象因子的油茶含油率预测模型,并用独立资料检验预测模型效果。结果表明:8月平均气温、8月最高气温、9月最高气温、油脂转化积累高峰期最高气温与含油率呈显著的负相关关系。通过逐步回归分析法拟合得到了3个油茶含油率预测模型,用独立资料检验后,发现基于9月降水量(x_1)、9月最高气温(x_2)和油脂转化积累高峰期最长连续无降水天数(x_3)的油茶种仁含油率(y)预测模型($y = 79.46 - 0.03x_1 - 0.86x_2 - 0.30x_3$)效果好,平均相对误差为4.6%,可应用于普通油茶种仁含油率预测。

关键词: 油茶;种仁含油率;气象因子;逐步回归;预测模型

中图分类号:S794.4

文献标识码:A

文章编号:1004-3020(2024)02-0018-05

Prediction Model of Seed Oil Content of *Camellia oleifolia* Based on Key Meteorological Factors

Yuan Xiaokang¹ Wu Dingrong² Fan Jiazhi³ Fan Yuxian⁴

(1. Hunan Research Institute of Meteorological Sciences Hunan Key Laboratory
of Meteorological Disaster Prevention and Reduction Changsha 410118;

2. Chinese Academy of Meteorological Sciences Beijing 100081;

3. China Meteorological Administration Training Centre Hunan Branch Changsha 410125;

4. Meteorological Bureau of Yiang City Yiyang 413000)

Abstract: Oil content is an important economic character of *Camellia oleifera*. It is of great significance to construct a prediction model of oil content in seed kernel for *C. oleifera*. In this study, common *C. oleifera* was selected as the research object. By analyzing the relationship between oil content of *C. oleifolia* and different meteorological factors, the key meteorological factors affecting oil content of *C. oleifolia* were determined. Then the prediction model of oil content of *C. oleifera* based on key meteorological factors was constructed by regression analysis method and the effect of prediction model was tested by independent data. The results showed that the average temperature in August, the maximum temperature in August, the maximum temperature in September and the maximum temperature in the peak period of oil conversion and accumulation were significantly negatively correlated. Three oil content prediction models of *C. oleifera* were fitted by stepwise regression analysis. After testing with independent data, it was found that the oil content prediction model based on precipitation in September, maximum temperature in September and longest consecutive days without precipitation during the peak period of oil conversion and accumulation had the best effect, and could be applied to the oil content prediction of *C. oleifera*.

Key words: *Camellia oleifera*; kernel oil content; meteorological factors; stepwise regression; prediction model

* 收稿日期:2023-07-16;修回日期:2023-10-25

基金项目:国家重点研发计划“主要经济作物优质高产与产业提质增效科技创新”(2019YFD1002203)。

作者简介:袁小康(1987—),男,高级工程师,研究方向为应用气象学。

油茶(*Camellia oleifera*)是山茶科山茶属油用植物,与油橄榄(*Canarium oleosum*)、椰子(*Cocos nucifera*)、油棕(*Elaeis guineensis*)并称世界“四大木本油料植物”^[1-2]。油茶的主要产品是茶油,它是一种高级食用油,不饱和脂肪酸高达95%,具有降血压、降血脂、预防心血管疾病的作用^[3]。油茶主要分布于中国长江以南的湖南、江西、广西、广东、安徽、福建等省(区、市)。截至2022年,中国油茶种植面积为472.3万hm²,茶油年产量为100万t^[4]。

茶油由油茶果中的种仁压榨而成,油茶含油率的高低在一定程度上决定油茶产量。研究^[5]表明,气象条件影响油茶生长发育和含油率。农谚说“七月干球,八月甘油(指农历)”,是指在油脂转化积累高峰期如遇到干旱,含油率则大幅降低。谢佰承等^[6]研究指出,油茶果实膨大高峰期 $\geq 30^{\circ}\text{C}$ 油茶热积温达到 36.7°C 或 $\geq 30^{\circ}\text{C}$ 高温日数达到26d,以及油脂转化期 $\geq 30^{\circ}\text{C}$ 油茶热积温达到 13.6°C 或 $\geq 30^{\circ}\text{C}$ 高温日数达到10d,是油茶高温干旱的阈值指标。郭水连等^[7]指出,随着低温强度和持续时间的不断增加,油茶叶片MDA和Pro含量也随之增加,POD酶活性减少,SOD酶活性呈现先增后降的趋势。赣无2号和赣石84-8号在气候变异较大的情况下,均有稳定的优良性状表现,抵御水涝、干旱胁迫能力均较为突出^[8]。目前,统计年鉴中关于油茶产量仅列出油茶籽产量,而无茶油产量。茶油产量理论上是油茶鲜籽与含油率(出油率)的乘积。受每年气象条件的影响,油茶含油率大小年际的差异较大,建立可靠的油茶含油率预测模型,可对当年茶油产量丰歉进行准确地评估。目前,关于油茶含油率预测模型的研究报道很少,已有报道中有的年代久远、应用中局限性大,有的仅用一个省的资料构建模型,因而难以大范围推广使用。因此,亟需构建具有普适性的可大范围应用的油茶含油率预测模型。基于关键气象因子的预报方法,普遍应用在玉米(*Zea mays*)^[9]、水稻(*Oryza sativa*)^[10]、马铃薯(*Solanum tuberosum*)^[11]等农作物的产量预报中,效果很好。鉴于此,本研究分析中国南方12个省(区、市)多个市(县)油茶含油率与当地气象观测资料的关系,确定影响油茶含油率的关键气象因子,并建立适用于涵盖中国油茶种植区的油茶含油率预测模型,为茶油产量预测提供技术支撑。

1 材料与方法

1.1 资料来源

油茶含油率资料来源于已公开发表的论文^[12-27],均测定的是种仁含油率。由于油茶按果实成熟期可分为“寒露籽”(成熟采摘时间为10月8日左右)、“霜降籽”(成熟采摘时间为10月23日左右)等类型,而大多数文献对此没有介绍,本研究统一将10月23日的含油率作为油茶成熟采摘期的含油率。气象资料是当地地面气象观测资料,来源于国家气象信息中心。

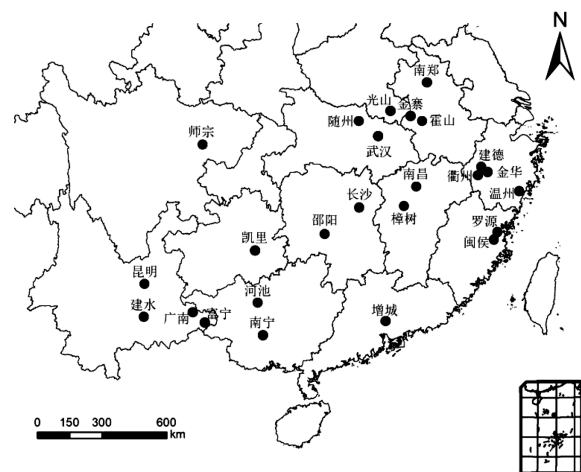


图1 油茶种仁含油率资料来源地^[12-27]

1.2 研究方法

将详细报道了观测时间、地点的16篇论文^[12-27]中油茶种仁含油率,与油茶油脂积累相关的当地7—9月的月平均气温、月最高气温、月降水量、月日照时数,以及油脂转化积累高峰期(8月7日—10月23日,参考蒋元华^[28]的定义)的最高气温、累积降水量、 $\geq 20^{\circ}\text{C}$ 有效积温、最长连续无日照天数、最长连续无降水天数等17个相关气象因子作相关分析,找出与含油率显著相关或者相关系数较大的气象因子。然后将这些气象因子与含油率作逐步回归分析,最终建立了油茶含油率与气象因子的关系模型,再用独立资料对该模型的预测效果进行检验。

1.3 预测检验方法

用相对误差(RE)对预测模型的效果进行检验。相对误差越小,表明模型预测效果越好。相对误差的计算公式为:相对误差=|预测值-实测

值 $|$ /实测值 $\times 100\%$ 。

2 结果与分析

2.1 各地油茶种仁含油率大小

中国南方 12 个省(区、市)不同地点油茶成熟

表 1 中国南方各地油茶种仁含油率大小

序号	时间	地点	种仁含油率(%)	序号	时间	地点	种仁含油率(%)
1	2011	江西南昌 ^[12]	55.0	15	2013	广东增城 ^[22]	38.0
2	2014	福建闽侯 ^[13]	34.0	16	2014	浙江建德 ^[23]	32.9
3	2011	湖南长沙 ^[14]	34.7	17	2014	浙江金华 ^[23]	35.0
4	2016	云南建水 ^[15]	42.7	18	2014	江西樟树 ^[23]	33.0
5	2016	云南师宗 ^[15]	50.5	19	2015	广西南宁 ^[24]	42.3
6	2016	云南富宁 ^[15]	53.6	20	2018	广西河池 ^[25]	49.6
7	2016	云南广南 ^[15]	51.7	21	2018	贵州凯里 ^[25]	41.4
8	2018	陕西南郑 ^[16]	39.4	22	2018	湖北随州 ^[25]	43.1
9	2019	陕西南郑 ^[16]	36.9	23	2018	云南昆明 ^[25]	54.7
10	2012	湖北武汉 ^[17]	45.0	24	2018	湖南邵阳 ^[25]	46.7
11	2018	安徽霍山 ^[18]	46.1	25	2018	安徽金寨 ^[25]	43.0
12	2011	福建罗源 ^[19]	47.0	26	2018	浙江衢州 ^[25]	42.3
13	2020	河南光山 ^[20]	45.3	27	2011	湖北武汉 ^[26]	45.6
14	2015	浙江温州 ^[21]	42.7	28	2014	广东增城 ^[27]	45.0

注:部分地点含油率数据为两个以上油茶品种含油率的平均值。

2.2 影响油茶种仁含油率的关键气象因子分析

将油茶含油率与相关气象因子作相关分析(表 2),从而确定与含油率关系显著的关键气象因子。由表 2 可知,油茶含油率与 8 月最高气温、9 月最

采摘期种仁含油率差别较大(表 1),各市(县)油茶种仁含油率的平均值是 43.5%,含油率最小值出现在 2014 年的浙江建德(32.9%),最大值出现在 2011 年的江西南昌(55.0%),含油率最大值是最小值的 1.7 倍。

高气温、8 月平均气温和油脂转化积累高峰期最高气温均呈显著负相关关系($P<0.05$)。此外,油茶含油率与 7 月平均气温、9 月平均气温、9 月降水量、油脂转化积累高峰期 $\geq 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 有效积温、油脂转化积累高峰期最长连续无降水天数的相关系数虽然未通过显著性检验,但相关系数也较大。

表 2 油茶含油率与相关气象因子相关系数($n=28$)

相关系数		相关系数	
7 月平均气温	-0.37	9 月平均气温	-0.35
7 月降水量	-0.12	9 月降水量	-0.27
7 月日照时数	-0.16	9 月日照时数	-0.19
7 月最高气温	0.16	9 月最高气温	-0.45*
8 月平均气温	-0.38*	油脂转化积累高峰期最高气温	-0.40*
8 月降水量	0.10	油脂转化积累高峰期降水量	-0.02
8 月日照时数	0.01	油脂转化积累高峰期 $\geq 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 有效积温	-0.36
8 月最高气温	-0.42*	油脂转化积累高峰期最长连续无日照天数	0.15
油脂转化积累高峰期最长连续无降水天数	-0.32		

注: * 表示 $P<0.05$ 水平下显著相关。

2.3 基于关键气象因子的油茶种仁含油率预测模型构建

通过逐步回归法将 23 个地点油茶含油率资

料^[12-25]与当地相关气象因子进行回归分析,构建基于关键气象因子的普通含油率预测模型(表 3)。3 个模型均通过 0.05 水平下的显著性检验,因此 3 个模型拟合效果较好。

表 3 基于关键气象因子的普通含油率预测模型

序号	模型方程	决定系数	F 值	显著性
1	$y=82.78-0.025x_1-1.095x_2$	0.29	4.16	0.030
2	$y=88.72-0.029x_1-1.193x_3$	0.30	4.26	0.029
3	$y=79.46-0.03x_1-0.86x_2-0.30x_4$	0.34	3.20	0.047

注:y 为油茶含油率, x_1 为 9 月降水量, x_2 为 9 月最高气温, x_3 为油脂转化积累高峰期最高气温, x_4 为油脂转化积累高峰期最长连续无降水天数。

2.4 油茶种仁含油率预测模型的检验

将 2018 年湖南邵阳^[25]、2018 年安徽金寨^[25]、2018 年浙江衢州^[25]、2014 年广东增城^[26]和 2011 年湖北武汉^[27]共 5 个地点油茶含油率和当年的气象资料作为独立数据,对上述 3 个预测模型的预测效果进行检验(表 4)。

表 4 基于关键气象因子的油茶种仁含油率预测模型的检验

时间	地点	含油率		含油率 预测值	相对 误差
		实测值	模型		
		(%)		(%)	(%)
2018	湖南邵阳	46.7	1	42.44	9.1
			2	44.67	4.3
			3	43.62	6.6
2018	安徽金寨	43.0	1	42.73	0.6
			2	41.20	4.2
			3	43.29	0.7
2018	浙江衢州	42.3	1	40.80	3.5
			2	40.85	3.4
			3	41.39	2.2
2014	广东增城	45.0	1	40.7	9.5
			2	41.5	7.7
			3	39.5	12.1
2011	湖北武汉	45.6	1	43.0	5.7
			2	42.5	6.8
			3	44.87	1.6

比较上述 5 个地点对 3 个含油率预测模型的检验结果,可以发现模型 1、模型 2 和模型 3 平均相对误差分别为 5.7%、5.3%和 4.6%,模型 3 平均相对误差最小,因此模型 3 预测效果最佳,可用于油茶种仁含油率预测。

3 结论与讨论

本研究结果表明:8 月平均气温、8 月最高气温、9 月最高气温和油脂转化积累高峰期最高气温

与油茶种仁含油率呈显著负相关关系,是影响油茶种仁含油率的关键气象因子。回归分析法构建基于关键气象因子的油茶含油率预测模型。经独立资料检验预测模型效果,发现基于 9 月降水量(x_1)、9 月最高气温(x_2)和油脂转化积累高峰期最长连续无降水天数(x_3)的油茶含油率(y)预测模型($y=79.46-0.03x_1-0.86x_2-0.30x_3$)效果最好,平均相对误差小,可应用在油茶种仁含油率预测中。

油茶含油率是油茶最重要的经济性状之一,同时又是变异很大的经济性状。它除了受遗传因素影响外,还受果实成熟度、立地条件、气候条件及经营管理水平的影响^[29];果实越接近成熟,种子含油率越高。油茶树种植后,立地条件如地形、土壤质地等一般变化很小,而气象条件年际变化大,是影响油茶含油率最重要因子之一。气象条件对油茶含油率的影响主要有两个方面:一是成林油茶关键生长发育期(如果实膨大期、油脂转化和积累期、果实成熟期)的气象条件通过影响果实的经济性状(结果数量、果径大小、鲜出籽率等),进而影响油茶种仁含油率;二是油脂转化积累期的气象因子(光、温、水等)直接影响到油茶含油率的大小。

本研究表明,油茶种仁含油率与油脂积累转化期间的月平均气温关系不紧密(仅与 8 月平均气温关系显著),与油脂积累转化期间的月降水量、月日照时数关系也不显著,这与黎章矩等^[30]的研究结果一致,与余优森等^[31]的研究结果不同。黎章矩等指出,油茶种子含油率与降水量、蒸发量、日照时数等气象因子之间关系不密切。而余优森等研究指出,油茶含油率与油脂积累转化关键期(7—9 月)尤其是 9 月的平均气温和降水量有密切关系。本研究结果与余优森等的不一致的原因可能是油茶品种不同,也可能是气候变化。本研究用的气象资

料是2011—2020年,而余优森等的研究是在2000年前开展的。本研究发现,油茶种仁含油率与8月最高气温、9月最高气温和油脂转化积累高峰期最高气温均呈显著的负相关关系,高温是影响油茶含油率的关键气象因子,抑制茶果油脂的转化积累,这与蒋元华等^[28]的研究结果一致。蒋元华等指出,影响油茶鲜果含油率的关键气候因子是极端最高气温和日平均气温 $\geq 20^{\circ}\text{C}$ 的积温和最长连续无日照天数等,也与油料作物在油脂积累期一般要求较低气温^[32]一致。在油茶油脂转化积累期,经常遭遇高温干旱天气,高温与干旱常同时出现。目前高温干旱影响油茶含油率的机制罕见报道,影响油茶油脂转化积累的主导因子是温度因子(高温)还是降水量因子(干旱)尚不清楚,有待下一步研究。

参 考 文 献

- [1]庄瑞林.中国油茶[M].北京:中国林业出版社,2008.
- [2]王天,宋佳承,闫士朋,等.钾肥施用量对油橄榄根系发育及根际土壤微环境的影响[J].经济林研究,2020,38(3):153-163.
- [3]Wang X,Zeng Q,Verardo V,*et al.* Fatty acid and sterol composition of tea seed oils: Their comparison by the “Fancy Tiles” approach[J]. Food Chemistry, 2017, 233: 302-310.
- [4]国家林业和草原局,国家发展和改革委员会,财政部.加快油茶产业发展三年行动方案(2023—2025年)[EB/OL]. (2022-12-22)[2023-07-16]. <http://www.forestry.gov.cn/c/www/lczc/29427.jhtml>, 2022.
- [5]张养才.中国亚热带山区农业气候资源研究[M].北京:气象出版社,2001.
- [6]谢佰承,郭凌曜,杜东升,等.油茶产量对关键生长期热积温和高温日数的响应[J].林业科学,2021,57(5):34-42.
- [7]郭水连,陶瑶,朱丹.花期低温对油茶生理生化指标的影响[J].江西农业学报,2021,33(3):56-61.
- [8]迟韵阳,付宇新,曹冰,等.气象因子对油茶果实表型和经济性状及茶油品质的影响[J].经济林研究,2022,40(2):267-275.
- [9]李树岩,刘伟昌.基于气象关键因子的河南省夏玉米产量预报研究[J].干旱地区农业研究,2014,32(5):223-227.
- [10]李琳琳,王婷,李雨鸿,等.基于关键气象因子的辽宁省水稻产量动态预报[J].大麦与谷类科学,2017,34(4):50-54.
- [11]薛思嘉,魏瑞江,王朋朋,等.基于关键气象因子的河北省马铃薯产量预报[J].干旱气象,2021,39(1):138-144.
- [12]刘星星,肖萍,罗火林,等.油茶种子发育过程中脂肪酸的变化研究[J].现代食品科技,2015,31(6):322-328.
- [13]陈俊杰,汤佳,陈辉,等.油茶优良无性系‘闽43’和‘闽60’果实发育过程中油脂积累规律研究[J].热带作物学报,2016,37(11):2133-2137.
- [14]姜志娜,谭晓风,袁军,等.油茶果实和叶片中主要营养物质含量的变化规律[J].中南林业科技大学学报,2012,32(5):42-45.
- [15]徐德兵,陈福,杨华斌,等.云油茶9号油茶优良品种的选育[J].种子,2019,38(6):131-134.
- [16]徐皓,曾海涛,刘珍珍,等.陕西汉中油茶果实发育过程表型性状与含油率的变化[J].中国油脂,2021,46(6):102-107.
- [17]朱功良,周伟国,黎曙光,等.长林系列品种油茶籽含油率和脂肪酸组成分析研究[J].湖北林业科技,2013,42(4):21-23.
- [18]李源,程朴良,张勇,等.霍山县不同品种油茶经济性状比较[J].浙江林业科技,2019,39(3):58-62.
- [19]林油汀.罗源各地油茶优株含油率差异分析[J].青海农林科技,2012(2):16-20.
- [20]龚守富,朱赞彬.6个油茶果实经济性状及茶油品质比较分析[J].森林工程,2022,38(3):40-46.
- [21]梁文杰,应苗苗,戎建涛,等.温州地区引种的6个长林系列油茶种仁含油率及脂肪酸组成研究[J].中国油脂,2019,44(1):53-55.
- [22]段卓,吴雪辉,郑艳艳.油茶果成熟过程中各加工性状的变化研究[J].广东农业科学,2015,42(9):11-15.
- [23]江源,姚小华,曹永庆,等.长林系列油茶在不同分布区域的果实品质差异及综合评价[J].经济林研究,2016,34(3):42-48.
- [24]王东雪,江泽鹏,刘凯,等.岑溪软枝油茶籽成熟过程中营养物质含量变化和萌发能力研究[J].热带农业科学,2017,37(7):51-55.
- [25]叶敏倩,吴峰华,芮鸿飞,等.不同产地油茶籽油主要特征组分分析[J].食品科学,2020,41(20):222-226.
- [26]谭莎.长林4号等3个油茶无性系果期内含物质变化的研究[D].广州:华南农业大学,2016.
- [27]杜洋文,邓先珍,周伟国,等.油茶长林品种引进及综合评价[J].林业科技开发,2014,28(3):96-100.
- [28]蒋元华,廖玉芳,彭嘉栋,等.油茶含油率关键气候影响因子及模型分析[J].中国油料作物学报,2019,41(4):588-595.
- [29]曾燕如,黎章矩.油茶花期气候对花后坐果的影响[J].浙江林学院学报,2010,27(3):323-328.
- [30]黎章矩,华家其,曾燕如.油茶果实含油率影响因子研究,浙江林学院学报,2010,27(6):935-940.
- [31]余优森,任三学,谭凯炎.中国普通油茶含油率品质气候区域划分与层带研究[J].自然资源学报,1999,14(2):123-127.
- [32]傅家瑞.种子生理(2版)[M].北京:科学出版社,1985.

(编校:唐 岚)