

基于 VB.NET 的森林经营碳汇量估算软件开发

潘学飏¹, 秦 玫¹, 陈攀攀², 林 健^{3*}, 赵奥博¹

(1. 临海市林市场, 浙江 临海 317000; 2. 台州学院, 浙江 临海 317000; 3. 临海市苗圃, 浙江 临海 317000)

摘要: 基于 VB.NET 开发的森林经营碳汇量估算软件系统, 旨在利用材积表及方法学中材积法公式对采集的碳汇数据进行自动运算, 实现森林经营碳汇项目碳汇量的准确计算, 满足森林经营碳汇项目中计量监测数据计算的需求。系统主要包括数据模块、计算模块、分析模块 3 部分: 数据模块实现了森林经营碳汇项目相关数据的导入和存储, 计算模块根据公式自动计算不同林分和树种的碳汇量及总体不确定度, 分析模块汇总和分析计算结果并修正相关数据, 最后导出相关数据。

关键词: 森林经营; 碳汇; 估算; 监测; 系统开发; VB.NET

中图分类号: S718.55; S718.55⁺4.2; S718.56

文献标志码: B

doi: 10.3969/j.issn.1001-7380.2023.04.009

随着工业化进程加速和人口增长, 全球范围内能源消耗量和温室气体排放水平不断增加, 气候变化已成为影响全球环境和经济社会可持续发展的重大问题之一。通过林业碳汇应对气候变化, 不仅可有效降低 GHG 浓度, 还能带来经济效益和社会效益, 特别是对农村扶贫解困、改善生态环境、保护生物多样性等具有不可替代的作用^[1]。根据《联合国气候变化框架公约》和《京都议定书》等国际公约, 中国作为发展中国家, 也需承担与发达国家共同但有区别的责任, 积极采取行动应对气候变化。中国作为负责任的大国, 承诺将在 2030 年前达到碳排放峰值, 并努力争取在 2060 年前实现碳中和。为落实这一目标, 国内各界对开发碳汇项目的热情更加高涨。据统计, 我国人工林面积达 6 933 万 hm^2 , 其中, 中幼林面积占 70% 以上, 是世界上人工林面积最大的国家, 森林经营增汇将是未来林业碳汇增汇的主要途径^[2]。通过“森林增汇”的途径应对气候变化不仅潜力巨大, 而且成本优势明显^[3]; 开发碳汇项目离不开对碳汇量的估算, 目前国内外对碳汇量的估算主要基于具体的方法学进行计算, 方法学中往往公式繁多, 计算复杂。目前主要是通过人工结合一些半自动计算软件的方式进行计算, 计算量大,

自动化程度低且费时费力。而专业的碳汇计量监测服务收费较高, 中小型碳汇项目往往难以承受, 造成一些碳汇项目难以开展, 而且也造成了资源的极大浪费^[4]。

近年来, 人工智能技术获得了长足发展, 并在多个领域得到广泛应用。如果森林经营碳汇项目还停留在过往的计算方式, 必将出现碳汇开发效率低下, 成本高企的局面, 导致碳汇开发困难, 不利于“双碳”目标的实现。为了提高森林经营碳汇项目的自动化、智能化水平, 方便森林经营碳汇项目开发, 准确高效地估算项目涉及的森林蓄积量和碳汇量, 亟需开发专业的碳汇量估算软件系统。

森林经营碳汇估算软件正是为了满足当前碳汇项目需求而开发, 具有界面友好, 操作简单, 计算高效的特点。在实际的森林经营碳汇项目开发过程中分别用传统方式和本软件系统对蓄积量、碳汇量等数据进行估算并对比, 发现结果一致。

1 森林经营碳汇量计算的理论依据

1.1 森林经营碳汇项目方法学

《森林经营碳汇项目方法学》(AR-CM-003-V01) 是经国家发展和改革委员会批准的林业碳汇

收稿日期: 2023-05-11; 修回日期: 2023-06-21

基金项目: 浙江省台州市农业技术推广基金会资助项目“森林经营碳汇项目计量监测技术研究”(2023-31)

作者简介: 潘学飏(1983-), 男, 浙江兰溪人, 工程师, 硕士。主要从事森林培育、森林经营碳汇工作。E-mail: 178513619@qq.com

* 通信作者: 林 健(1968-), 男, 浙江临海人, 工程师, 大学本科毕业。主要从事森林培育工作。E-mail: linjian168081@163.com。

Tel: 13058897081

方法学之一,以《联合国气候变化框架公约》(UNFCCC)下“清洁发展机制(CDM)”的方法学模板为基础,在参考和借鉴 CDM 项目有关方法学工具、方式和程序,政府间气候变化专门委员会(IPCC)《2006 年国家温室气体清单编制指南》和《土地利用、土地利用变化与林业优良做法指南》、国际自愿减排市场林业项目相关方法学和要求,结合我国森林经营实际,经有关领域专家学者及利益相关方反复研讨后编制而成,具有科学性、合理性和可操作性^[5]。因此本软件以《森林经营碳汇项目方法学》作为碳汇的计算依据。

1.2 主要计算式

通过国家或地方的立木材积表或材积公式,根据平均胸径、或平均树高与平均胸径转化为平均单株材积,并计算出单位面积蓄积量($V_{TREE_BSL,i,j,t}$),再采用蓄积—生物量相关方程法估算基线林木生物量。

(1)蓄积量计算式:

$$V_{TREE_BSL,i,j,t} = f_{V,j}(DBH_{TREE_BSL,i,j,t}, H_{TREE_BSL,i,j,t}) \times N_{TREE_BSL,i,j,t} \quad [6]$$

式中, $V_{TREE_BSL,i,j,t}$ ……为第 t 年时,项目边界内基线第 i 碳层树种 j 的林分平均蓄积量(m^3/hm^2); $f_{V,j}(DBH,H)$ 为树种 j 的林木单株材积与胸径、树高的相关方程,或可通过树高、胸径查材积表获得($m^3/株$); $H_{TREE_BSL,i,j,t}$ ……为第 t 年时,项目边界内基线第 i 碳层树种 j 的平均树高(m); $DBH_{TREE_BSL,i,j,t}$ 为第 t 年时,项目边界内基线第 i 碳层树种 j 的平均胸径(cm); $N_{TREE_BSL,i,j,t}$ 为第 t 年时,项目边界内基线第 i 碳层树种 j 的平均每公顷株数($株/hm^2$); i 为 1, 2, 3……基线第 i 碳层; j 为 1, 2, 3……基线第 i 碳层的树种; t 为项目开始以后的年数;

(2)碳储量计算式:

林木生物质碳储量是利用林木生物量含碳率将林木生物量转化为碳含量,再利用 CO_2 与 C 的分子量比($\frac{44}{12}$)将碳含量($t\ C$)转换为二氧化碳当量($t\ CO_2-e$)

$$\Delta C_{TREE_BSL,j,t} = \frac{44}{12} \times \sum_{j=1} (B_{TREE_j,j,t} \times CF_j) \quad [6]$$

式中, $C_{TREE_BSL,i,t}$ 为第 t 年时,项目边界内基线第 i 碳层林木生物量的碳储量($t\ CO_2-e$); $B_{TREE_BSL,i,j,t}$ 为第 t 年时,项目边界内基线第 i 碳层树种 j 的林木生物量($t\ d.m.$); CF_j 为树种 j 的生物量含碳率[$t\ C/$

($t\ d.m.$)]; i 为 1, 2, 3……基线第 i 碳层; j 为 1, 2, 3……基线第 i 碳层的树种; $\frac{44}{12}$ 为 CO_2 与 C 的分子量比,无量纲; t 为项目开始以后的年数。

2 软件系统的设计与实现

本系统以森林经营碳汇方法学为基础,运用 VB.NET 软件进行系统开发,同时调用 excel 相关函数,实现森林资源和碳汇项目数据的高效管理与碳汇量的自动计算。系统的开发目标是使碳汇项目管理更加规范与信息化,简化碳汇量计算过程,减少工作强度,提高工作效率,同时也规避了人工计算带来的错误,同时为森林碳汇理论的发展提供技术支撑。除森林碳汇项目外,也可以扩展至其他自然生态系统的碳汇研究,为生态建设与生态保护工作提供服务。

2.1 软件功能设计

本系统主要有以下功能:①数据模块。主要是对用户采集到的胸径、树高、碳层、地理位置等样地信息进行管理,满足系统处理要求。②计算模块。根据树种、含碳率等数据及方法学计算式计算碳汇量。③分析模块。对于碳汇量进行分析,计算不确定度,进行精度控制及校正。计算流程图如图 1 所示。

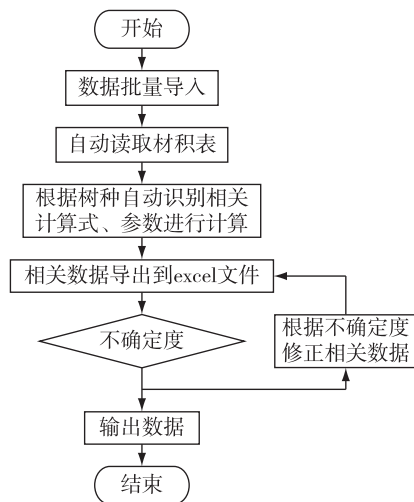


图 1 计算流程图

2.2 数据模块

通过监测获得的样地地理信息、样地面积、树种、林木胸径等数据输入 excel 表格,然后批量导入系统。操作人员可以根据实际情况选择国家或者各省一元/

二元材积表作为依据进行材积计算。碳汇项目往往涉及树种较多,目前尚无所有具体树种的材积计算表。本系统计算过程中主要树种可以根据对应树种材积公式计算材积,部分未建立材积公式树种归类为松、杉、阔 3 类树种计算材积。

2.3 计算模块

系统能够自动识别数据模块中提供的各项参数信息,结合方法学中提供的无须监测即可获得的相关数据和参数,通过碳相关公式完成从下至上的计算流程:(1)计算单株树木的株数、平均胸径、平

均树高,完成单株林木材积的计算;(2)计算样地单位面积的材积、碳汇量,直至完成碳层材积和碳汇量计算。(3)根据碳层面积、碳层蓄积量推算项目总碳汇量。在整个计算过程中,不需要操作人员进行任何手工计算或转换。较大限度地减少了人工计算时可能产生的误差和遗漏,确保了计算结果的准确性、连贯性和科学性。该计算模块的开发不但实现了技术细节的自动化处理,简化了操作步骤,更推动了碳汇行业的规范发展。软件输出主界面如图 2 所示。

样地信息

样地编号

林区

林班

小班

样地类型

主要树种

立木株数

平均胸径

平均树高

测定年度

松蓄积量

松碳汇量

杉蓄积量

杉碳汇量

阔蓄积量

阔碳汇量

总蓄积量

总碳汇量

计算碳汇量

图 2 软件主界面

2.4 分析模块

方法学要求监测精度在 90%可靠性水平下,达到 90%的精度。如果测定的不确定性大于 10%,项目参与方可通过增加样地数量,从而使测定结果达到精度要求。项目参与方也可以根据如下方法进行打折从而进行精度校正,调减因子表如表 1 所示。因此分析模块通过方法学要求对计算结果进行统计分析,确定样地监测数据是否符合要求,最后根据不确定度等数据对碳汇量进行校正。分析完毕自动导出包括树种、平均胸径、蓄积量、碳汇量、不确定度等数据的 excel 文件到指定存储位置。

碳储量的总变化量=碳储量的变化量×(1-调减因子)。

不确定性/%	调减因子	
	碳储量增长	碳储量减少
≤10	0	0
>10,<20	6	-6
>20,<30	11	-11
≥30	增加监测样地数量	增加监测样地数量

表 1 碳汇量调减因子

3 试验验证

当进行软件系统的验证时,需进行一系列的试验分析以证明该系统的准确性和可靠性。在此项研究中,选择了临海市林场林业碳汇基地内的样地数据进行验证,因其代表了该领域的典型情况,并且数据采集自实际场景中,具有真实性和可靠性。

3.1 基地概况

基地位于浙江省临海市林场,处于亚热带季风性气候区,温暖湿润,四季分明,日照充足,雨量充沛,丰枯水期明显,冬夏季风交替明显。海拔高度 700—1 200 m,平均气温 10.1℃,极端最高气温 37.5℃,极端低温-18.1℃,且风大雾频,历年平均降雪天 7.4 d,冰冻日 36 d。土壤为黄壤,红壤。基地总面积 100 hm²,树种选用 1987 年从庐山引进的日本花柏、日本扁柏、香柏等耐寒速生树种以及紫杉、枫香树、木荷、杉木等树种。

3.2 数据采集

为了提高森林碳汇统计精度,基地根据林分特征、主要树种和树龄结构等情况,将基地范围划分为 4 个碳储层。然后,根据森林资源调查方法学中

“随机选择起点,系统分布样地”的原则,在各碳储层内共设置 31 个标准样地,其中 6 个为对照样地,具体样地分布情况见表 2。在样地设置完成后,项目组对各样地进行了详细调查,获取了树种、树高、胸径、林木蓄积等数据。数据以 Excel 表格形式进行存储与管理。

表 2 森林经营碳汇基地样地情况

序号	样地编号	碳层	监测年度	林区	林班	小班	龄组	样地类型	主要树种	立木株树
1	1006	1	2022	跑马坪	1	40	幼龄林	监测	柏木	130
2	1016	1	2022	跑马坪	1	25	幼龄林	监测	柏木	116
3	1026	1	2022	跑马坪	1	18	幼龄林	监测	柏木	200
4	1036	1	2022	跑马坪	1	17	幼龄林	监测	柏木	120
5	1046	1	2022	跑马坪	1	16	幼龄林	监测	柏木	119
6	1057	1	2022	跑马坪	1	12	幼龄林	对照	杉木	101
7	1066	1	2022	跑马坪	1	12	幼龄林	监测	柏木	157
8	2005	2	2022	跑马坪	2	39	中龄林	监测	柏木	149
9	2006	2	2022	跑马坪	1	44	中龄林	对照	柏木	126
10	2015	2	2022	跑马坪	1	39	中龄林	监测	柏木	66
11	2025	2	2022	跑马坪	1	39	中龄林	监测	柏木	70
12	2035	2	2022	跑马坪	1	39	中龄林	监测	柏木	65
13	2036	2	2022	跑马坪	1	39	中龄林	对照	柏木	96
14	2045	2	2022	跑马坪	1	39	中龄林	监测	柏木	45
15	2055	2	2022	跑马坪	1	24	中龄林	监测	阔叶	117
16	2065	2	2022	跑马坪	1	24	中龄林	监测	柏木	40
17	3004	3	2022	道士田	5	46	幼龄林	监测	枫香	104
18	3014	3	2022	道士田	5	38	幼龄林	监测	湿地松	102
19	3024	3	2022	道士田	5	36	幼龄林	监测	红豆杉	130
20	3034	3	2022	道士田	5	20	幼龄林	监测	厚朴	120
21	3035	3	2022	道士田	5	20	幼龄林	对照	厚朴	84
22	3044	3	2022	道士田	4	47	幼龄林	监测	柳杉	188
23	3054	3	2022	道士田	4	45	幼龄林	监测	杉木	48
24	3064	3	2022	大坑岸	1	12	幼龄林	监测	红豆杉	187
25	3069	3	2022	大坑岸	1	12	幼龄林	对照	红豆杉	152
26	3074	3	2022	大坑岸	1	12	幼龄林	监测	杉木	123
27	3084	3	2022	道士田	4	22	幼龄林	监测	杉木	125
28	3094	3	2022	道士田	4	22	幼龄林	监测	木荷	90
29	4009	4	2022	大坑岸	1	14	中龄林	监测	杉木	128
30	4010	4	2022	大坑岸	1	17	中龄林	对照	杉木	168
31	4019	4	2022	道士田	4	28	中龄林	监测	杉木	188

3.3 结果分析

本软件系统的开发,是为了解决传统方式下森林经营碳汇项目成本高、易出现误差等问题,并实现对碳汇管理的准确计算。为了验证软件系统的功能及计算准确性,进行了软件功能及计算准确性的测试,测试结果自动导出到 excel 表格,具体结果如表 3,4 所示。

测试过程中,软件系统能够对所采集到的相关数据进行快速处理,并快速输出计算结果。从表 3 可见,软件可以识别样地调查表中主要树种,统计样地立木株数,平均胸径、平均树高等基本信息,同时根据方法学要求计算样地碳储量及项目总碳储量。

表 3 软件输出碳储量估算结果									
序号	样地编号	监测年度	主要树种	立木株数	平均胸径/cm	平均树高/m	样地蓄积量/m ³	样地碳储量/t CO ₂ -e	项目总碳储量/t CO ₂ -e
1	1006	2022	松树	130	11.3	5.6	9.8	22.8	40 150.9
2	1016	2022	柏木	116	14.0	6.6	11.8	27.6	
3	1026	2022	柏木	200	10.6	4.5	10.4	24.7	
4	1036	2022	柏木	120	12.8	5.7	10.7	23.7	
5	1046	2022	柏木	119	12.1	4.6	9.2	21.4	
6	1066	2022	柏木	157	12.8	4.9	11.6	28.1	
7	2005	2022	柏木	149	8.5	4.0	3.3	10.4	
8	2015	2022	柏木	66	18.0	6.8	12.3	26.2	
9	2025	2022	柏木	70	20.9	8.5	19.3	36.2	
10	2035	2022	柏木	65	19.9	7.6	15.7	31.8	
11	2045	2022	柏木	45	20.2	7.7	12.5	27.4	
12	2055	2022	阔叶	117	10.6	4.9	6.1	18.3	
13	2065	2022	柏木	40	12.7	5.1	3.0	10.1	
14	3004	2022	枫香	104	9.8	6.1	3.4	12.0	
15	3014	2022	湿地松	102	8.9	4.4	4.9	15.8	
16	3024	2022	红豆杉	130	11.9	5.9	7.5	11.7	
17	3034	2022	厚朴	120	8.8	6.3	3.1	9.7	
18	3044	2022	柳杉	188	10.3	8.3	5.2	9.8	
19	3054	2022	杉木	48	8.5	4.4	1.0	4.9	
20	3064	2022	红豆杉	187	7.2	3.7	2.4	7.2	
21	3074	2022	杉木	123	8.2	4.0	3.0	9.2	
22	3084	2022	杉木	125	9.4	6.3	2.9	8.7	
23	3094	2022	木荷	90	11.7	7.6	3.7	11.4	
24	4009	2022	杉木	128	13.2	7.8	7.8	13.6	
25	4019	2022	杉木	188	10.3	7.0	6.2	15.0	

表 4 为软件输出的不确定性计算结果。计算过程中,软件根据表 3 信息及各碳层面积等数据自动计算各碳层单位面积碳储量及其标准差、项目单位面积生物质碳储量及其标准差和 t 值,最后计算出项目碳储量监测结果的不确定性。如表 4 所示本项目的监测结果的不确定性为 29%,根据方法学对精度控制和校正的要求,本项目需要增加样地后重新计算碳储量,或者进行打折估算碳汇量。

表 4 软件输出不确定性计算结果					
各碳层碳储量 标准差/t CO ₂ -e	各碳层单位面积 碳储量/(t CO ₂ -e/hm ²)	项目单位面积生物质 碳储量/(t CO ₂ -e/hm ²)	项目单位面积生物质 碳储量标准差/(t CO ₂ -e/hm ²)	t 值	不确定度/%
102.1	536.0	401.5	68.5	1.703	29.0
193.6	448.5				
67.0	273.2				
17.2	414.0				

通过与人工计算结果进行对比发现,软件系统计算结果与人工计算结果完全一致。此外,本软件系统严格按照相关方法学进行设计和计算,确保了计算结果的正确性和准确性,对于保证森林经营碳汇管理的准确和可靠具有重要意义,也说明该软件系统在实际的数据处理过程中有较好的应用前景。

4 结论与讨论

本文基于 VB. NET 开发了一套森林经营碳汇量估算软件系统。该系统实现了森林资源和碳汇项目数据的高效导入、碳汇量的准确计算和分析报告的自动生成,满足了森林碳汇项目的信息化需

求,具有重要的应用价值。主要结论如下:

(1)该软件界面友好,数据导入和操作简便,易学易用,具有很高的可用性。

(2)软件基于材积法等理论和计算公式,实现了碳汇量的准确运算,提高了计算效率和准确率,满足碳汇项目监测的精度要求。

(3)该软件实现了碳汇核算过程的自动化,节省了大量人工和资源,具有较高的推广价值。

(4)该软件为森林经营碳汇项目提供了重要的技术支撑,推动了碳汇项目和林业信息化进程。本软件系统目前主要针对森林经营碳汇项目进行开发,对于造林碳汇项目等其他类型碳汇项目尚未进行研究开发,应用范围受到一定限制,下一步根据碳汇项目的发展及实际需求,本系统将丰富功能模块,拓宽应用范围,更好地满足碳汇开发的需求。综上,本研究为我国森林经营碳汇项目的信息化建设提供了一些探索,具有借鉴意义。随着大数据、云计算、人工智能等新技术的发展和普及,本软件

系统将不断进行升级和优化,开发更加智能化的碳汇管理系统,从而提高森林资源管理和碳汇管理的效率和准确性,为低碳发展提供更加全面系统的技术支持。

参考文献:

- [1] 陆 霁,张 颖,李怒云.林业碳汇交易可借鉴的国际经验[J].中国人口资源与环境,2013, 23(12):22.
- [2] 金 婷.CCER 林业碳汇项目风险测度及价值评估研究[D].杭州:浙江农林大学,2019:35-36.
- [3] 李 佳.安吉县竹林经营碳汇交易项目综合效益分析—基于全国首次 CCER 竹林经营碳汇交易实践[D].杭州:浙江农林大学,2018.
- [4] 周礼祥,刘美玲,孙立研,等.森林碳汇智能计算模型和评估系统开发[J].实验室研究与探索,2019,38(6):22-26.
- [5] 国家林业局造林绿化管理司.森林经营项目碳汇计量监测指南[M].北京:中国林业出版社,2014.
- [6] 李金良,施志国.林业碳汇项目方法学[M].北京:中国林业出版社,2016.

(上接第 29 页)

CARS 算法提取了 30 个特征波段,CARS 算法提取的特征波段较 SPA 算法少;最后,通过比较 SPA-PLSR 和 CARS-PLSR 算法在同一预处理结果上构建的预测模型,CARS-PLSR 预测模型总体上要优于 SPA-PLSR 模型,CARS-PLSR 算法可以有效地提升油茶炭疽病情指数的预测精度,其预测集 R_p^2 和 $RMSEP$ 分别为 0.834 和 0.053。SPA-PLSR 模型的校正集和预测集精度相近,相比 CARS-PLSR 模型,SPA-PLSR 模型预测精度较低,模型性能提升有限。研究表明经 CARS 算法提取特征波长构建的 PLSR 回归模型可实现油茶炭疽病病情指数的无损监测,为油茶病虫害的监测提供新思路和方法。

参考文献:

- [1] 秦绍钊,张柱亭,王 洪.油茶炭疽病防治技术探析[J].南方农机,2020,51(8):10.
- [2] 赵丹阳,秦长生.油茶病虫害诊断与防治原色生态图谱[M].广州:广东科技出版社,2018.
- [3] 侯冰茹,刘鹏辉,张 洋,等.基于马铃薯叶片光纤光谱信息的晚疫病患病程度预测[J].光谱学与光谱分析,2022,42(5):

1426-1432.

- [4] 邓小玲,曾国亮,朱梓豪,等.基于无人机高光谱遥感的柑橘患病植株分类与特征波段提取[J].华南农业大学学报,2020,41(6):100-108.
- [5] 冯子恒,李 晓,段剑钊,等.基于特征波段选择和机器学习的小麦白粉病高光谱遥感监测[J].作物学报,2022,48(9):2300-2314.
- [6] 国家林业局.油茶主要有害生物综合防技术规程[Z].2016-07-27.
- [7] 刘君昂,潘华平,伍 南,等.油茶主要病害空间分布格局规律的研究[J].中国森林病虫,2010,29(5):7-10.
- [8] GALVO R K H, ARAÚJO M C U, FRAGOSO W D, et al. A variable elimination method to improve the parsimony of MLR models using the successive projections algorithm[J].Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems, 2008, 92(1):83-91.
- [9] LI H D, LIANG Y Z, XU Q S, et al. Key wavelengths screening using competitive adaptive reweighted sampling method for multivariate calibration[J]. Analytica Chimica Acta, 2009, 648(1):77-84.
- [10] 黄 清,薛河儒,刘江平,等.基于蚁群-遗传算法的光谱选择方法与应用[J].光谱学与光谱分析,2022,42(7):2262-2268.
- [11] QU F F, REN D, WANG J H, et al. An ensemble successive project algorithm for liquor detection using near infrared sensor[J].Sensors,2016,16(1):89.