

基于主成分分析法的高校大学生碳足迹识别与分析

邓礼欢¹ 柳静^{1*} 付杨³ 王翔¹ 党正泽¹ 苏锦华¹ 王娟¹ 杨红¹ 张无敌^{1,2*}

1. 云南师范大学能源与环境科学学院, 中国·云南 昆明 650500

2. 云南省农村能源工程重点实验室, 中国·云南 昆明 650500

3. 南京师范大学教育科学学院, 中国·江苏 南京 210000

摘要: 为创建绿色低碳校园提供依据, 基于大学生生活用能方式视角, 以云南某高校为例分析。用“碳周记”小程序收集学生碳排放数据, 核算并追溯大学生在校碳足迹 (Carbon Footprint, GFP), 设计衣、食、住、行碳排放统计问卷。采用主成分分析法构建在校大学生行为方式与 GFP 排放方法学模型, 提出低碳校园建设建议。结果显示: (1) 个人行为影响 GFP, 交通出行 M_1 、电子产品耗电 M_2 、饮食 M_3 是主要成分; (2) 男生 GFP 占比 51%, 高于占比 49% 的女生; (3) 西区 GFP 占比 52%, 高于占比 48% 的东区, 西区比东区总排放量高约 21.50t, 一次性筷子使用中 GFP 西区比东区高约 0.28T。基于主成分分析与碳核算提出减排策略, 为低碳校园建设提供理论参考。

关键词: 主成分分析; GFP; 碳减排; 低碳校园

Identification and Analysis of College Students' Carbon Footprint Based on PCA

Deng Lihuan¹, Liu Jing^{1*}, Fu Yang³, Wang Xiang¹, Dang Zhengze¹, Su Jinhua¹, Wang Juan¹, Yang Hong¹, Zhang Wudi^{1,2*}

1. School of Energy and Environmental Sciences, Yunnan Normal University, China Yunnan Kunming 650500

2. Yunnan Provincial Key Laboratory of Rural Energy Engineering, China Yunnan Kunming 650500

3. College of Nanjing Normal University Education Sciences, China Jiangsu Nanjing 210000

Abstract: To provide a basis for creating a green and low-carbon campus, a Yunnan university was selected for case analysis from college students' life energy use perspective. The "Carbon Weekly" app was used to collect students' carbon emission data, calculate and trace carbon footprints, and a carbon-emission questionnaire on daily life was designed. A methodological model of students' behavioral patterns and carbon footprint emissions was established by PCA, and suggestions for low-carbon campus construction were put forward. Results show: (1) Personal behavioral styles significantly affect carbon footprint emissions, mainly including personal transportation mode M_1 , electronic products power consumption M_2 , and diet M_3 . (2) Male students' overall carbon emissions are higher than female students', accounting for 51% and 49% of total emissions respectively. (3) The Eastern and Western Districts account for 48% and 52% of total emissions respectively. The Western Zone's total carbon emission is about 21.50t higher than the Eastern's, and its use of disposable chopsticks is about 0.28t higher. This has certain reference significance for low-carbon campus construction.

Keywords: Principal component analysis; Carbon footprint; Carbon emission reduction; Low carbon campus

0 引言

当前我国面临发展不平衡与能源消费刚性增长双重挑战, 实现“双碳”目标紧迫^[1,2]。截至 2023 年 6 月, 全国 3072 所高校, 2022 年在校生超 4655 万人, 约占全国人口 3%^[3,4]。高校作为资源消耗大的特殊单元, 需制定长期减排策略^[5]。GFP 是衡量温室气体排放关键指标, 现有研究多以因子法或理论计算法分析校园碳排放^[6-10], 也有用主成分法处理低碳消费等数据, 但未用于高校 GFP 调研分析^[11-13]。本研究采用主成分分析法对数据降维, 精简信息量并保留主要特征, 探究个人用能行为对 GFP 的影

响以及不同性别和区域学生 GFP 差异, 为低碳校园建设提供参考。

1 材料与方法

1.1 问卷调查

本研究以云南某高校学生为对象, 参考邓钰鲸、张敏^[14-15]的研究, 设计含“衣、食、住、行”17 个问题及基本信息的问卷。采用分层抽样法, 覆盖各年级、性别、区域及专业, 共回收有效问卷 109 份。样本数据 Cronbach's α 系数为 0.78, 信度良好。基于调查结果, 构建 GFP 排放指标体系 (表 1)。

表1 校园GFP排放指标体系

类别	指标	类别	指标
衣	年购买衣物(C ₁)	住	年周中电脑用电(L ₁)
	年购买洗衣粉(C ₂)		年周末电脑用电(L ₂)
食	年食堂就餐(F ₁)		年手机充电(L ₃)
	年外出就餐(F ₂)		年夏季淋浴(L ₄)
	年外卖就餐(F ₃)		年冬季淋浴(L ₅)
	年使用一次性筷子(F ₄)		年使用塑料袋(L ₆)
行	年地铁出行(T ₁)		年印刷(L ₇)
	年打车出行(T ₂)		
	年电动车充电(T ₃)		
	年乘坐校内公车(T ₄)		

1.2 GFP 计算

GFP 计算公式^[16]如下：

$$GFP_i = S_i U_i, i = 1 \dots 17$$

式中，S_i 为 GFP 排放系数，U_i 为学生活动强度，U_i 来源于问卷数据统计。

1.2.1 碳排放因子的确定

各变量的 GFP 排放因子如表 2 所示。

表2 各变量的碳排放系数

计算项	单位	排放系数	引用来源	单位
衣物购买	件/年	6.34	中国科技部	kgCO ₂ /件
洗衣粉使用	kg/年	1.79	中国科技部	kgCO ₂ /kg
食堂用餐	餐/年	0.73	中国科技部	kgCO ₂ /餐
校外餐厅用餐	餐/年	1.21	中国科技部	kgCO ₂ /餐
一次性筷子	双/年	0.02	中国科技部	kgCO ₂ /双
周中日电脑耗电	kWh/年	0.87	国家发展改革委	kgCO ₂ /kWh
周末电脑耗电	kWh/年	0.87	国家发展改革委	kgCO ₂ /kWh
手机充电耗电	kWh/年	0.87	国家发展改革委	kgCO ₂ /kWh
夏季淋浴耗电	kWh/年	0.87	国家发展改革委	kgCO ₂ /kWh
冬季淋浴耗电	kWh/年	0.87	国家发展改革委	kgCO ₂ /kWh
塑料袋数量	个/年	0.02	中国科技部	kgCO ₂ /个
印刷使用量	页/年	0.0043	中国科技部	kgCO ₂ /页
打车出行	km/年	0.33	中国科技部	kgCO ₂ /km
地铁出行	kWh/年	0.204	GFP计算器	kgCO ₂ /km
电动车充电	kWh/年	0.87	GFP计算器	kgCO ₂ /kWh
公车出行	km/年	0.02	中国科技部	kgCO ₂ /km

1.3 SPSS 主成分分析

本研究使用 SPSS 23.0 软件对原始数据进行规范化 (Z-score 方法) 处理，生成新数据。效度检测中 KMO 值

为 0.667，Bartlett 值显著性小于 0.001，表明问卷具有良好结果效度。

1.3.1 数据处理

从性别分析，相关矩阵出发求解主成分，结果如表 3 所示。

表3 主成分结果的总方差解释

成分	初始特征值		
	总计	方差百分比	累积%
1	3.657	21.513	21.513
2	1.921	11.299	32.812
3	1.611	9.475	42.287
4	1.482	8.718	51.005
5	1.232	7.249	58.254
6	1.081	6.361	64.615
7	1.035	6.091	70.705

从表 3 可知，前七个主元可解释总方差的 70.705%，即 7 个主成分能代表 17 项指标原始信息量的 70.705%，因此在分析学生 GFP 上有一定把握。

2 结果与分析

2.1 问卷调查数据结果

经有效问卷回收和数据统计，学生个人年平均 GFP 为 4.37t。其中，学生年外卖就餐 GFP 达 213.47t，占比 45%；其次，学生年总外出就餐 GFP 达 61.03t，占比 13%。

性别与居住区域对部分用能行为有显著影响 (表 5)。性别上，每年购买衣物、外卖就餐和打车出行的 GFP 差异显著 (P < 0.05)，与高晨阳^[17] 结论相似；区域上，食堂就餐与使用一次性筷子的 GFP 差异显著 (P < 0.05)。

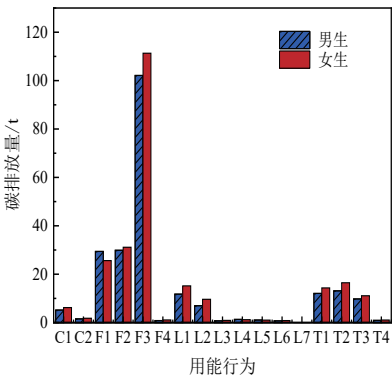


图1 各用能行为与性别GFP差异

表5 性别与居住区域关于各变量的显著性分析

变量	显著性																
	C ₁	C ₂	F ₁	F ₂	F ₃	F ₄	L ₁	L ₂	L ₃	L ₄	L ₅	L ₆	L ₇	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄
性别	0.002	0.479	0.306	0.161	0.023	0.518	0.207	0.468	0.824	0.503	0.509	0.494	0.103	0.270	0.004	0.349	0.501
居住区域	0.424	0.479	0.002	0.782	0.904	0.019	0.243	0.072	0.146	0.219	0.551	0.394	0.886	0.27	0.124	0.605	0.713

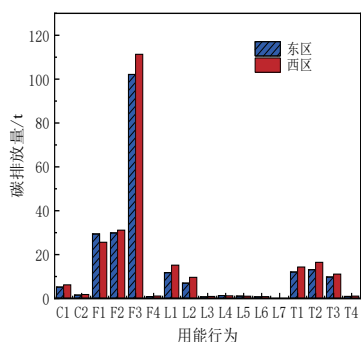


图2 各用能行为与居住区域GFP差异

由图 1 和 2 可知, 男生总体 GFP 高于女生, 分别占总排放 51% 和 49%。女生在交通出行和衣物购买方面碳排放比男生高 10%, 而男生在饮食方面比女生高 6%。东区 and 西区 GFP 分别占总排放 48% 和 52%。西区总 GFP 比东区高约 21.50t, 但在 F1 中东区 GFP 高于西区约 3.80t, 在 F4 中西区高于东区约 0.28t。

2.2 箱式图分析结果

利用收集的 109 个数据, 对各学生 GFP 用 SPSS 标准化处理, 按性别 (男、女) 和居住区域 (东区、西区) 划分, 绘制箱式图, 如图 3 所示。

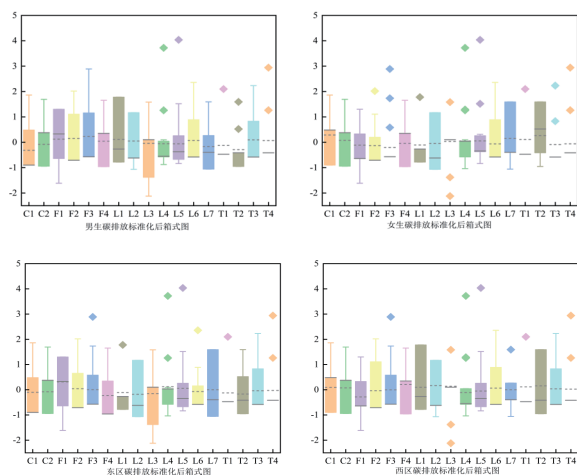


图3 各变量标准化后箱式图

结合丁银钟等^[18]箱式图分析, 变量 T_1 和 T_4 数据分布高度集中。男生与东区、女生与西区 GFP 分布相似, 与西区多文科女生、东区多理工科男生的生源结构相符。

2.3 各主成分综合得分

依据曹晓俊、李晓钟等人研究^[19,20], 计算本研究中提取 7 个主成分 M_1 、 M_2 ... M_7 的主成分得分:

$$M_i = (w_{i1}C_1 + w_{i2}C_2) + (w_{i3}F_1 + \dots + w_{i6}F_4) + (w_{i7}L_1 + \dots + w_{i13}L_7) + (w_{i14}T_1 + \dots + w_{i17}T_4)$$

$$w_j = \frac{\theta_j}{\sqrt{\lambda_j}}$$

$\sqrt{\lambda_i}$ 其中 w_{ij} 主成分中各个变量的权重, Q_i 为成分矩阵中每个变量对应的系数, 而第 i 个主成分对应的特征值的开根值计算的各个主成分关系式如下:

$$M_1 = 0.27C_1 + 0.23C_2 - 0.11F_1 + 0.18F_2 + 0.28F_3 + 0.14F_4 + 0.20L_1 + 0.13L_2 + 0.08L_3 + 0.29L_4 + 0.27L_5 + 0.35L_6 + 0.14L_7 + 0.27T_1 + 0.18T_2 + 0.34T_3 + 0.39T_4$$

$$M_2 = 0.17C_1 - 0.02C_2 - 0.09F_1 - 0.24F_2 - 0.11F_3 + 0.19F_4 + 0.42L_1 + 0.52L_2 + 0.33L_3 - 0.19L_4 - 0.21L_5 - 0.23L_6 + 0.14L_7 + 0.16T_1 + 0.28T_2 - 0.09T_3 - 0.18T_4$$

$$M_3 = -0.29C_1 - 0.18C_2 + 0.13F_1 + 0.42F_2 + 0.19F_3 + 0.40F_4 + 0.11L_1 + 0.17L_2 - 0.12L_3 - 0.40L_4 - 0.38L_5 + 0.17L_6 - 0.05L_7 - 0.20T_2 + 0.03T_3 + 0.26T_4$$

$$M_4 = -0.21C_1 - 0.07C_2 + 0.66F_1 + 0.13F_2 - 0.38F_3 + 0.21F_4 + 0.14L_1 + 0.13L_2 + 0.21L_3 + 0.28L_4 + 0.34L_5 + 0.03L_6 + 0.11L_7 - 0.16T_1 - 0.06T_2 + 0.01T_3 - 0.05T_4$$

$$M_5 = 0.27C_1 + 0.13C_2 - 0.09F_1 - 0.13F_2 + 0.21F_3 + 0.34F_4 - 0.34L_1 - 0.02L_2 + 0.53L_3 + 0.01L_4 - 0.07L_5 + 0.09L_6 + 0.13L_7 - 0.45T_1 - 0.32T_2 - 0.03T_3 - 0.01T_4$$

$$M_6 = 0.19C_1 + 0.48C_2 + 0.23F_1 + 0.35F_2 - 0.12F_3 - 0.27F_4 - 0.01L_1 - 0.11L_2 + 0.02L_3 - 0.15L_4 - 0.29L_5 - 0.28L_6 + 0.48L_7 + 0.08T_1 - 0.12T_2 + 0.14T_3 + 0.01T_4$$

$$M_7 = 0.12C_1 + 0.50C_2 + 0.18F_1 + 0.22F_2 + 0.20F_3 + 0.01F_4 + 0.03L_1 + 0.16L_2 + 0.01L_3 + 0.08L_4 + 0.03L_5 - 0.18L_6 - 0.62L_7 - 0.06T_1 + 0.09T_2 - 0.38T_3 + 0.01T_4$$

主成分 M_1 (交通出行)、 M_2 (电子产品)、 M_3 (外卖) 由高载荷量变量表征。个人综合得分排名与 M_1 相近, 与 M_4 (食堂就餐) 差异大, 原因是关键变量 F 在 M_1 和 M_4 关系式中系数分别为最大正值和负值, 影响了排序一致性。

主成分分析结果显示, F_3 是影响大学生 GFP 的主要因素, 在代表交通出行的主成分 M_1 中作用显著。因此, 关注交通 GFP (如校区远多用电动车、公交行为) 时, 要重视外卖点餐影响。数据表明, F_3 相关 GFP 有显著性别差异, 男生比女生高约 17.03 吨。建议高校制定“碳减排”措施时, 结合性别与区域差异, 重点管控 F_3 及 T_1 与 T_4 因素。

3 结语

基于主成分分析法, 分析了云南某高校学生行为方式

与 GFP 排放的关系, 结果表明: (1) 个人行为方式对 GFP 排放有显著影响, 其中交通出行方式 M_1 、电子产品耗电 M_2 、饮食 M_3 是 GFP 产生的主要成分; (2) 男生总体 GFP 高于女生, 男生、女生分别占总排放的 51% 和 49%; (3) 东区、西区 GFP 分别占总排放的 48% 和 52%, 西区高于东区总的 GFP 约 21.50 t, F_4 中西区高于东区的 GFP 约 0.28 t。根据主成分降维分析, 各主成分受外卖就餐影响, 以主成分 M_1 最明显。

参考文献:

- [1] 王轶辰. 稳妥推进能源绿色低碳转型[EB/OL]. (2024-08-28)[2024-06-19]. http://www.gov.cn/zhengce/2024-08/28/content_5973241.htm.
- [2] 何家振. 中国为什么必须实现碳达峰碳中和的战略目标[J]. 世界环境, 2022(04):17-19.
- [3] 中华人民共和国教育部. 全国高等学校名单[EB/OL]. (2023-06-15)[2024-06-19]. http://www.moe.gov.cn/jyb_xxgk/5743/s5743/202306/t20230619_1065724.html.
- [4] 丁雅诵. 教育部: 我国各级各类学历教育在校生 2.93 亿人[EB/OL]. (2023-07-06)[2024-06-19]. <https://wap.peopleapp.com/article/7110712/6954417>.
- [5] 王宗永, 陈睿山, 王尧. 高等院校碳排放核算与碳中和路径探析[J]. 科技促进发展, 2023,19(12):754-763.
- [6] 王艳梅, 蔡玥. 校园绿建中高校学生碳足迹计量及节碳建议——以江苏某高校一校区为例[J]. 建筑节能, 2023,51(05):48-52.
- [7] 王胜, 汪彬, 高玉芝. 校园碳足迹调查与分析: 基于浙江师范大学[J]. 环境工程, 2023,41(S1):557-561.
- [8] 吴欣, 刘熠娜, 任宜欣. 高校碳足迹指标体系核算及减排策略研究: 以西北大学为例[J]. 环境科学与技术, 2019,42(S1):187-193.
- [9] 曹睿, 封莉, 张立秋. 高校碳排放核算与分析: 以北京 A 高校为例[J]. 环境科学, 2024,45(4):1907-1916.
- [10] 肖扬蕙, 吕辉, 吕大娥. 基于 STIRPAT 模型的校园建筑运行碳排放特征与减碳潜力分析[J]. 环境工程, 2023,41(10):117-123.
- [11] 徐晓飞. 大学生低碳消费状况的调查研究[J]. 现代管理科学, 2018(06):33-35.
- [12] 汪辉. 基于主成分分析的华中物流产业发展水平综合评价[J]. 中国储运, 2024(02):98-99.
- [13] 陆柯江, 谢肖彬, 马家伟. 基于主成分分析的 A 股上市物流企业竞争力研究[J]. 中国储运, 2024(01):152-154.
- [14] 邓钰鲸. 基于学生用能行为分析的低碳校园规划策略研究[D]. 西南科技大学, 2021.
- [15] 张敏, 杨明星, 杨梧. 基于碳足迹分析的高校校园碳排放研究[J]. 绿色科技, 2023,25(06):167-171.
- [16] British Standards Institution, the Carbon Trust Guide to PAS2050:How to Assess the Carbon Footprint of Goods and Services[M].London:BSI,2008.
- [17] 高晨阳, 闫帅腾, 付海广. 大学生个人碳足迹评估[J]. 合作经济与科技, 2023(16):65-67.
- [18] 丁银忠, 梁振晶, 王光尧. 辽阳江官屯窑址白瓷胎釉成分特征研究[J]. 北方文物, 2023(06):76-83.
- [19] 曹晓俊. 对我国上市银行经营业绩的分析——基于主成分分析、因子分析和聚类分析的方法[J]. 宿州学院学报, 2016,31(07):25-29.
- [20] 李晓钟, 王欢. 互联网对我国经济发展影响的区域差异比较研究[J]. 中国软科学, 2020(12):22-32.
- 基金项目: 云南省万人计划产业技术领军人才项目“有机废弃物能源回收与资源化利用关键技术研发及示范”(20191096); 云南省国际科技合作专项“中国昆明老挝万象可再生能源推广与示范科技创新中心(202003AF140001); 专创融合课程设项目-生物环境测试技术(ZCRH202418); 基于知识图谱的个性化教学模式构建与实践研究——以《设施农业工程》为例(BKJG202523)。
- 作者简介: 邓礼欢(2002-), 女, 仡佬, 硕士, 云南文山, 研究方向: 生物质资源综合利用研究。
- 通信作者: 柳静(1985.01-), 女, 汉族, 云南曲靖, 博士研究生, 副教授, 研究方向: 生物质能。
- 通信作者: 张无敌(1965.02-), 男, 汉族, 云南石屏, 博导, 教授, 研究方向: 沼气及农业技术研发。