

基于生命周期评价的高校纸张利用与环境影响研究 ——以南京信息工程大学为例

梁少民¹, 朱攀凡², 王业宁¹, 肖彬彬², 陈奕林², 史一阳²

(1. 河南省科学院 地理研究所, 郑州 450052; 2. 南京信息工程大学 地理科学学院, 南京 210044)

摘要: 以南京信息工程大学校园的纸张利用为研究对象, 测算2021年学生纸张利用产生的生态负荷。将有效回收环节补充到造纸行业生命周期链, 围绕纸制品生命周期各阶段, 进行清单分析并将其数据转化为特征化环境影响潜值, 采用蒙特卡洛法进行不确定性分析, 测算纸张利用的潜在人均环境负荷与生态效率。结果表明: (1) 纸制品消费而引致的环境负荷较高, 人均资源耗竭、全球变暖、富营养化结果分别为8.21 kg Fe-eq, 30.42 kg CO₂-eq, 1.44 kg NO₃-eq; (2) 书籍资料部分有效回收, 使高校纸制品消费在碳排放与生态损耗上实现一定减量, 书籍回收可使3类环境影响分别减少61.63%, 61.57%, 63.89%。

关键词: 生命周期评价法; 纸张利用; 环境影响; 南京信息工程大学

中图分类号: X22

文献标志码: A

文章编号: 1003-2363(2023)06-0126-05

doi: 10.3969/j.issn.1003-2363.2023.06.020

0 引言

我国高校大学生人数庞大, 大学生纸张资源消费量突出。据不完全统计, 高校毕业生每年丢弃的有价值的旧书总量可达3.5万t, 日常学习生活中所消耗的印刷纸、书写纸更是数量庞大。高校学生作为纸制品的重要消费群体, 探寻相对准确测算纸张资源消耗引致的生态负荷以及纸张回收利用带来的生态效率的方法, 讨论改变消费方式、降低减排成本的路径, 可为资源高效集约利用提供重要支撑。目前, 关于大、中尺度下区域资源利用强度、碳排放等研究成果已较为丰富^[1-3], 小尺度空间下(尤其是高校校园)物资消费利用带来的环境耗竭、碳排放研究相对少见。而针对纸张资源浪费、回收分别带来的生态环境负荷、环境增益与减排效应的量化研究更是鲜见, 仅有少量关于二次回收与再利用策略方面的研究, 也有学者利用生态足迹模型或生命周期评价法等对校园纸资源利用带来的环境影响进行测算^[4-6]。

生命周期评价法作为一种相对有效的环境影响评价与管理工具, 在区域生态环境评估及管理路径构建等方面的应用受到诸多关注。其核心是对产品从其生命周期中的各个阶段涉及的环境影响因子及其影响潜值的研究^[7-9]。本研究提出将书籍资料有效回收环节纳入到传统的产品生命周期中, 形成针对造纸行业改进的产品生命周期评价法, 可相对准确地测算纸张利用产生的

人均环境负荷(资源消耗、全球变暖、富营养化)及书籍资料有效回收实现的生态效率, 是对目前纸制品利用环境影响定量分析研究的有效补充。

1 研究内容、数据来源与研究方法

1.1 研究内容

(1) 通过问卷调查, 获取实证高校学生对各类纸制品购买、消费及处理环节的主要情势数据, 涉及学生群体使用纸制品的主要类别、数量、书本纸张面积、书本资料处理方式等。为后续计算实证高校学生群体纸制品利用的环境影响获取基础数据。

(2) 通过改进的生命周期评价法对环境影响加以测算。主要涉及纸制品生命周期范围确定、生命周期清单分析、产品在生命周期内的环境影响评价等环节。其中, 环境影响评价环节又涉及测算纸张消费造成的潜在环境负荷(资源耗竭、全球变暖、富营养化)、纸张回收所实现的生态效率(生态负荷减量)。

(3) 综合校园纸张消费、处理环节行为分析调查与造纸行业生命周期评价结果, 对高校纸制品消费利用提出管理建议。

1.2 数据来源

调查面向大学生与研究生, 针对其在2021年校园用纸的多元问题形成问卷, 2022年3月采用方便抽样的方式, 通过线上网络问卷和线下纸质问卷两种形式发放, 共发放823份, 有效问卷765份。由于调查采用抽样方式的缺陷, 可能会导致问卷数据无法较为完整地体现南京地区整体高校学生纸张消费习惯, 需要对问卷数据进行蒙特卡洛不确定性分析, 以保障问卷数据的可靠性。

各类清单相关数据来源于有关清洁生产标准、污染物排放标准、中国综合交通中心研究报告、IPCC国家温室气体排放清单指南等相关资料和官方文件。

收稿日期: 2023-03-27; **修回日期:** 2023-11-15

基金项目: 南京信息工程大学大学生实践创新训练计划项目(XJDC202210300034); 河南省自然科学基金项目(232300420455); 河南省科技攻关项目(192102310041)

作者简介: 梁少民(1973-), 男, 河南许昌市人, 副研究员, 博士, 主要从事区域生态方面的研究, (E-mail) liangsm2005@163.com。

1.3 生命周期评价法

生命周期评价法用于分析产品生命周期过程(从产品生产制造到废物回收处置整个过程)对环境产生的影响,是广泛应用于环境政策制度和战略规划的一种科学工具^[1]。本研究参照 ISO14040 规定的生命周期评价法流程对高校纸张利用带来的环境影响进行评价。

1.3.1 生命周期评价范围确定

将制浆、造纸生产、运输、回收与焚烧等作为造纸行业生命周期主要阶段,以吨(t)纸作为基本功能单位来构建生命周期评价模型。但纸制品生命周期阶段中的资源开采(备料)阶段,目前尚未找到相关数据,在评价范围内暂未被纳入。

1.3.2 生命周期评价清单分析

清单分析是指基于某种产品整个生命周期中和系统边界内所有物质的输入与输出数据,进而确定各阶段清单数据,为后续环境影响评价提供基础^[10]。纸张生命周期涉及环节复杂,且存在地区之间原料资源分布及生产商技术水平不均、地区之间消费水平差异等问题,这会对生命周期评价结果的可信性造成不利影响。本研究将参照中国造纸协会年报,选取国内典型造纸工艺和全国平均纸张消费水平,针对纸制品生产消费中的几个重要阶段分别进行清单分析,并甄选蒙特卡洛法对参数进行分析,以核验并提高清单数据质量。

制浆环节清单基于我国原环境保护部颁发的针对各类工艺的造纸工业清洁生产标准来构建纸浆生产模型,同时结合国外相关研究对清单数据加以补充^[8]。制浆工段所依清洁生产相关标准是由环保部门根据国内相关行业的技术、管理水平而制定的。其中,脱墨制浆,即为废纸回收制浆方法。造纸环节相关清单数据来源于造纸行业清洁生产相关标准中的统计值,并结合已有文献对清单加以补充^[11]。交通运输环节清单中,不同交通运输方式下的能耗与排放因子来源于中国综合交通中心研究报告。纸制品运输方式只考虑高速公路和铁路两种方式,能耗因子分别为 0.061 6 kg 标煤/km 和 0.004 7 kg 标煤/km^[12]。

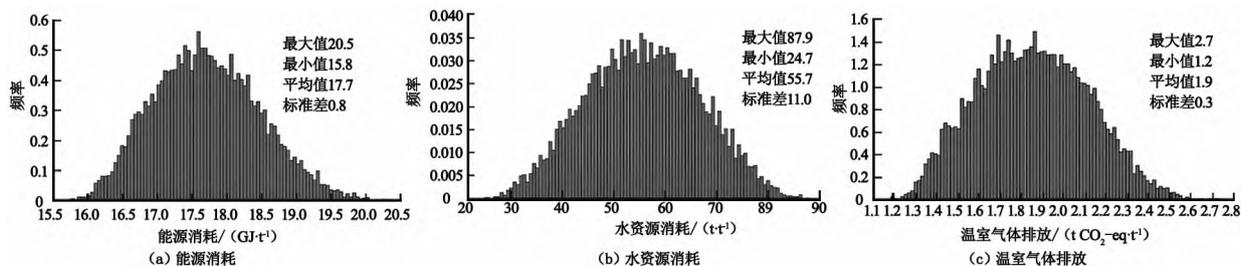


图1 纸制品制浆环节清单数据不确定性分析

Fig. 1 Uncertainty analysis for inventory data of pulping section in life cycle of paper products

1.3.4 基于纸制品生命周期评价的环境影响测算

采用 SPSS, Amos, Matlab 等软件,测算实证高校学生群体纸张消费造成的潜在环境负荷(资源耗竭、全球变暖以及富营养化),计算高校书籍资料回收所实现的生

态效率。鉴于清单数据获取的难度,燃煤、部分化学品的相关数据清单直接采用国内相关研究成果^[13-14]。废纸焚烧对能源的回收情况,因纸产品低位燃烧热值和焚烧发电厂能源回收效率的差异而不同,其清单数据^[15]也经由蒙特卡洛方法进行不确定性分析。

能源消耗过程中排放温室气体相关数据来源于 IPCC 国家温室气体排放清单指南。鉴于我国一次能源消费中煤炭占绝对优势(约 70%),因此,除交通运输以柴油为主外,造纸所涉能源消耗均以煤炭作为一次能源进行温室气体排放测算。

1.3.3 生命周期评价不确定性分析

在进行纸制品生命周期清单分析之后,将清单数据换算为统一单位的特征化(标准化)环境影响潜值,基于蒙特卡洛方法对其进行不确定性分析。

产品生命周期评价过程中存在着诸多不确定性,主要来自产品系统边界、输入输出物质清单数据、环境影响评价模型以及涉及到的各种假设等方面。这使得部分清单参数取值范围呈现不确定性,可将其作为随机变量,以统计分布形式表达清单分析结果。可通过模拟随机变量函数的方式将清单分析结果转换为环境影响潜值,环境影响潜值与清单分析结果之间的转换关系,涉及归类 and 特征化等过程。

运用蒙特卡洛方法随机抽取各清单数据,进而加以模拟计算,获得具有统计学意义的产品生命周期中产生的环境影响。基于 Excel 中的 Oracle Crystal Ball 插件工具,采用仿真功能协助分析风险与不确定模型。首先,在设定的清单原始参数概率分布模型中随机抽样 5 000 次进行模拟分析;其次,通过上述概率分布模拟,得到各个单元参数变量对环境影响潜值的不确定性^[6]。另外,纸制品生命周期主要涉及制浆、造纸、运输、消费回收等环节,其中制浆环节是区分木浆和废纸浆造纸之间对环境影响水平差异的核心环节。因此,本研究对纸制品生命周期清单的制浆环节不确定性进行重点分析(图 1)。同时,也通过蒙特卡洛方法对实证高校学生纸张利用统计数据换算后的纸张重量数据进行不确定性分析。

态效率。

结合书本重量数据计算出的物质流代谢量,由造纸工业生命周期各阶段清单数据核算的环境影响潜值,对高校纸制品消费利用造成的潜在环境负荷进行测算。

资源耗竭和富营养化的人均生态环境负荷计算公式为:

$$L_h = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^4 W_i Y_{h,j}, \quad h = 1, 2。$$

全球变暖的人均生态环境负荷计算公式为:

$$L_h = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 W_i Y_{h,j} + r \sum_{i=1}^3 W_i Y_{h,j(j=4)}, \quad h = 3。$$

式中: L_h 代表第 h 种生态环境影响类型的人均生态环境负荷, $h=1$ 代表资源耗竭(生态足迹), $h=2$ 代表富营养化, $h=3$ 代表全球变暖; W_i 代表学年内人均纸品物质流代谢量, $i=1,2,3$ 分别代表教科书、教辅资料和其他纸张 3 种纸品消费; $Y_{h,j}$ 代表单位纸品生产至回收等各环节对第 h 种环境影响类型的影响潜值, $j=1,2,3$ 分别代表纸品生产消费全过程中涉及的制浆(环节 1)、造纸与化学品生产(环节 2)、交通运输(环节 3), $j=4$ 代表回收(环节 4),计算时主要考虑回收后用于焚烧的部分,环节 1~3 主要考虑新书籍等资料(购买时系新纸品)的数量,环节 4 将新旧书籍等资料均纳入考虑,影响潜值的计算主要根据各环节的清单数据; r 为被回收焚烧纸张的比例系数,由调查数据获取。

依据高校学生纸张消费催生的人均总环境负荷与书籍资料回收形成的人均生态负荷减量结果,对书籍资料回收利用(限于数据获取难度,对流入收购商后的具体有效利用比例无法估计,本研究主要考虑可进行回收利用的总书籍资料对应的纸张重量,可能会大于实际回收利用量)所带来的生态效率加以测算。计算公式为:

$$E_h = \Delta L_h / L_h。$$

式中: E_h 代表书籍资料回收利用对应的第 h 种人均环境影响潜值的减少数量所带来的生态效率; ΔL_h 代表由于书籍资料回收利用所带来的第 h 种人均环境影响潜值的减少数量。

2 结果与分析

2.1 高校群体纸张消费行为

对 765 份有效问卷的统计分析发现,南京信息工程大学在校学生每学年人均教辅资料、二手书、新书实际购买量分别为 4.79, 5.03, 5.44 本。人均教辅资料与教材回收量分别为 4.71, 5.18 本。在校学生每年实际购买草稿纸折算面积为 0.59 m^2 , 人均实际购买打印纸折算面积为 0.48 m^2 。另外,还对南京市部分其他高校进行了调查访谈,新旧书籍购买、废纸处理等方面的情况与实证高校相差不大。通过问卷及访谈数据,对高校学生纸张消费使用习惯进行分析。

(1) 就教材购买途径的选择而言,购买新书是南京高校学生的第一选择,少数学生会选择购买电子书或到图书馆借阅教材。

(2) 南京高校学生对旧教材处理方式的倾向主要包括在二手书市场上出售、赠送给低年级学生和个人留存 3 种方式,3 种方式选择人数占比相近。这表明南京地

区高校学生具有一定的纸制品回收利用意识,大部分教科书都会被循环利用一次。

(3) 高校学生购买教辅用书的意愿较弱,此类人数占比超过 80%。对于教辅用书的处置方式,有近 50% 的学生会选择保留教辅用书。

(4) 对于废纸(如使用后的草稿纸、打印纸等)的处置方式,高校学生尚未建立良好的回收利用意识,也有部分学生会在使用后直接丢弃而不是选择集中丢弃或选择集中废品回收。

综合以上对南京地区高校学生纸张消费和使用习惯的初步分析,发现学生群体对教材以及教辅资料具有较好的回收利用意识,大部分书本都会被至少回收利用一次。但对废纸的回收利用意识仍处于较低水平,纸张使用量较大,但回收率明显偏低。

2.2 高校学生群体纸制品消费所致环境影响

2.2.1 纸制品质量换算及物质流代谢量

为与造纸行业生命周期计算单位一致,需将纸品消费量由面积单位转换成质量单位。根据已有研究对书本用途的定义,本研究从多个专业的同学收集了 50 本不重复的各类教科书和 30 本教辅资料,利用书本的开本和印张数计算两类书本的纸张面积(m^2),在进行不确定性分析后换算为各类书本的用纸重量(t)。

对换算结果进行不确定性拟合,得出两类书本纸张消耗概率分布。一本教科书的用纸量为 11.23 m^2 (最小值 9.09 m^2 , 最大值 13.78 m^2), 服从 Logistic 分布;一本教辅资料耗纸 8.23 m^2 (最小值 6.98 m^2 , 最大值 11.25 m^2), 服从 Logistic 分布。根据国家标准《新闻纸》(GB/T 1910—2015) 等对纸张定量的规定,可将面积换算为质量单位。其他零散纸张质量换算亦可通过此方式实现。通过此方法,可计算出一本新书籍或一张纸张的平均重量,再结合调查所得人均纸品消费数量、学生总数,可求出校园纸品总利用量,即物质流代谢总量(t)。为保障计算物质流代谢量时能够提供相对可靠的人均用纸重量,对 2021 年实证高校大学生人均用纸量加以蒙特卡洛不确定性分析(图 2),结果显示服从 Logistic 分布,相关数据具有较强可靠性。

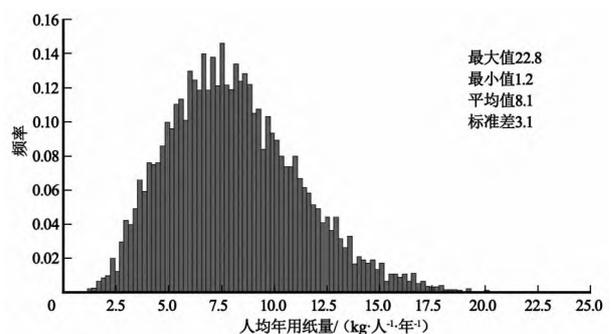


图 2 2021 年实证高校大学生用纸量不确定性分析
Fig. 2 Uncertainty analysis for paper consumption of students of the university as an empirical area in 2021

由推算可得,2021年南京信息工程大学本科生及研究生纸张物质流代谢量约为287.54 t。其中,新教材、二手教材、草稿纸及打印纸、教辅资料的物质流代谢量占总量的比例分别为36.11%、33.33%、10.50%、20.06%。

2.2.2 校园纸品消费引致的环境负荷

依据人均生态环境负荷计算公式测算,2021年实证高校人均纸制品消费所带来的生态负荷包括8.21 kg Fe-eq的资源消耗、30.42 kg CO₂-eq的全球变暖潜值以及1.44 kg NO₃-eq的富营养化排放。通过估算,实证高校学生由于纸制品消费而催生的总环境负荷高达230.04 t Fe-eq的资源消耗、853.05 t CO₂-eq的温室气体排放以及40.26 t NO₃-eq的富营养化污染。同时,综合人均书籍资料回收节约量及基于清单分析计算的单位纸品的环境影响潜值也可估算出2021年实证高校人均书籍资料回收利用所带来的环境影响,包括5.06 kg Fe-eq的资源节约、18.73 kg CO₂-eq的全球变暖潜值减少以及0.92 kg NO₃-eq的富营养化减排。

2.2.3 纸制品回收带来的生态效率

计算纸制品回收利用所带来的生态效率,书籍资料回收利用在资源消耗、全球变暖潜值、富营养化排放3个方面实现的生态效率分别为61.63%、61.57%、63.89%。书籍资料回收利用可以局部实现节能减排目标,对资源消耗、全球变暖、富营养化3种环境影响类型均带来一定的减量效应(生态效率),这主要得益于部分书籍资料的回收利用使得纸制品的生命周期被“延长”,原本将进入回收处理(焚烧、填埋等)环节的书本能再次进入消费利用环节,且因为多为同校或同专业内转让消费,避免了二次运输的环境影响,可节约对应的资源消耗,并减少温室气体排放。但由于规范回收途径尚未建立,书籍资料回收及其所带来的生态效率仍存在较大的提升空间。

单就高校纸张造成的全球变暖来看,从实证高校2021年纸张利用环境负荷态势,可概略推算出南京高校学生纸张消耗造成的生态负荷,以碳排放为例,南京高校学生用纸导致的人均CO₂等温室气体排放量大致相当于完全燃烧约30 kg的燃料,与交通、电力、热力等行业相比,该结果并不突出。但由于部分大城市高校学生密集,如南京高校学生人数众多,2021年南京市普通高等学校(含成人高校)在校学生数就达113万人,全市高校学生纸张消费产生的温室气体排放及其他环境影响总量十分庞大。

3 结论、建议与讨论

3.1 结论

运用改进的产品生命周期评价法,测算南京信息工程大学2021年纸制品消费利用对应的潜在生态负荷及生态效率大小,进而对南京市高校纸品消费的整体碳排放态势进行分析。

实证高校学生由于纸制品消费而催生的潜在环境负荷较高,2021年学生纸制品消费造成的资源消耗高达230.04 t Fe-eq、温室气体排放达853.05 t CO₂-eq、富营养化污染约为40.26 t NO₃-eq。

得益于书籍资料部分有效回收利用,实证高校学生研究期内纸制品消费在碳排放与生态损耗上实现了一定减量。在资源消耗、全球变暖潜值、富营养化排放3个方面实现的生态效率分别为61.63%、61.57%、63.89%。生态节约效果具有一定的显著性,但仍存在较大的提升空间。

南京市高校学生纸张消耗造成的人均CO₂等温室气体排放量大致相当于完全燃烧约30 kg的燃料,与交通、电力、热力等行业相比,该结果并不突出,但大城市高校学生数量庞大,其纸张消耗对全球变暖造成的影响不可小觑。

3.2 建议

目前,南京市高校纸张回收利用工作仍处于滞后阶段。如南京高校二手书市场尚未形成完整的“收购-整理-出售/借阅”服务体系,又如学生群体对零散纸张回收利用意识差、学校缺少专门回收点和相应回收制度。鉴于此,可通过建立高校可流动式图书馆来打破既往掣肘。可从横向上打通校际多节点合作共建模式、发挥企业中介作用实现高校-企业联动减排,纵向上推行“线上+线下”图书一号通、推行高校驻点“馆长制”管理机制等方法,构建一套规范的具有前瞻性与可行性的策略路径,减少高校纸张利用对环境的影响。

3.3 讨论

目前,环境科学与资源利用、建筑科学与工程、工业经济领域基于生命周期评价进行环境影响的研究主要聚焦于工业产品^[16-17]、特定产业^[18]、废弃物处理方式^[19]、特定区域环境系统^[20]等方面,涉及全国、城市、园区等多空间尺度。本研究针对书籍与纸张等纸制品,在已有传统生命周期评价模型基础上,提出纳入回收环节(而不仅是焚烧处理)、构建纸制品有效回收与循环利用所带来的生态效率的计算方法,紧扣校园情景加以分析,相较中观与宏观尺度研究,虽显微小但更具可操作性和相对准确性。但仍存在一些不足。如调查问卷设计问题的严密性仍有待提升;对进入回收商的书籍纸张处理情况缺少调查,导致用于计算有效回收利用的书籍资料重量可能偏大;在造纸行业全生命周期中纸张回收阶段只考虑了焚烧带来的碳排放问题,而未精细兼顾考虑可能带来的其他环境负荷问题;限于数据获取难度,纸制品生命周期阶段中的资源开采(备料)阶段,在清单分析及模型中并未纳入,未来需对这些方面进行补充或进一步兼顾。

参考文献:

- [1] 赵荣钦,黄贤金,高珊,等.江苏省碳排放清单测算及减排潜力分析[J].地域研究与开发,2013,32(2):109-

- 115.
- [2] 朱妮,张艳芳,位贺杰. 县域尺度下能源产区能源消费碳排放强度空间分异:以陕西省榆林市为例[J]. 地域研究与开发,2014,33(6):164-169.
- [3] 赵荣钦,范桦,张振佳,等. 城市地铁对沿线居民通勤交通碳排放的影响:以郑州市为例[J]. 地域研究与开发,2021,40(2):151-155.
- [4] 金方智,梁敏,刘唐. 高校二手图书市场现状分析[J]. 经济研究导刊,2021(3):50-52.
- [5] 马桂英,李会民. 浅析高校教材的循环利用[J]. 北华航天工业学院学报,2020,30(2):60-62.
- [6] 林文,侯云先. 教材循环利用的市场及进入博弈分析[J]. 生态经济,2010(9):128-130.
- [7] Society of Environmental Toxicology and Chemistry. Guidelines for Life-cycle Assessment: A Code of Practice[S]. Brussel:SETAC,1993.
- [8] DAS T K, HOUTMAN C. Evaluating Chemical, Mechanical, and Bio-pulping Processes and Their Sustainability Characterization Using Life-cycle Assessment[J]. Environmental Progress,2004,23(4):347-357.
- [9] 陈亮,刘玫,黄进. GB/T 24040—2008《环境管理生命周期评价原则与框架》国家标准解读[J]. 标准科学,2009(2):76-80.
- [10] 孙东. 基于消费分析的校园用纸生命周期管理[D]. 大连:大连理工大学,2014.
- [11] 任丽娟. 生命周期评价方法及典型纸产品生命周期评价研究[D]. 北京:北京工业大学,2011.
- [12] 孙启鹏,王庆云,毛保华. 不同交通方式能耗因子及其可比性研究框架设计[J]. 交通运输系统工程与信息,2009,9(4):10-14.
- [13] 武民军. 燃煤发电的生命周期评价[D]. 太原:太原理工大学,2011.
- [14] MERILD H, DAMGAARD A, CHRISTENSEN T H. Life Cycle Assessment of Waste Paper Management: The Importance of Technology Data and System Boundaries in Assessing Recycling and Incineration[J]. Resources, Conservation and Recycling, 2008, 52(12):1391-1398.
- [15] 王腊芳,张莉沙. 钢铁生产过程环境影响的全生命周期评价[J]. 中国人口·资源与环境,2012,22(增刊2):239-244.
- [16] 杨倩苗. 建筑产品的全生命周期环境影响定量评价[D]. 天津:天津大学,2009.
- [17] 马丽丽. 纸面石膏板的生命周期评价[D]. 北京:北京工业大学,2012.
- [18] 关军. 建筑业环境影响测算与评价方法研究[D]. 北京:清华大学,2014.
- [19] 高晓龙,李瑞卿. 城市固体废弃物处理方式的生命周期评价:以北京市为例[J]. 环境卫生工程,2013,21(6):23-26.
- [20] 高延雄. 循环工业经济园区水环境系统生命周期评价研究[D]. 西安:西安建筑科技大学,2010.

Research on Paper Utilization and Impact on Environment in Universities Based on Life Cycle Assessment: Taking Nanjing University of Information Science and Technology as Example

LIANG Shaomin¹, ZHU Zhifan²,
WANG Yening¹, XIAO Binbin², CHEN Yilin², SHI Yiyang²

(1. Institute of Geographical Sciences, Henan Academy of Sciences, Zhengzhou 450052, China;
2. School of Geographical Sciences, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044, China)

Abstract: Taking the paper utilization on the campus of Nanjing University of Information Science and Technology as the research object, calculate the ecological load generated by student paper utilization in 2021. Supplement the effective recycling process to the lifecycle chain of the paper industry, conduct inventory analysis around each stage of the paper product lifecycle, and convert its data into characteristic environmental impact potentials. Use Monte Carlo method for uncertainty analysis to calculate the potential per capita environmental load and ecological efficiency of paper utilization. The results show that: (1) The environmental load caused by the consumption of paper products is relatively high, with per capita resource depletion, global warming, and eutrophication results of 8.21 kg Fe-eq, 30.42 kg CO₂-eq and 1.44 kg NO₃-eq respectively; (2) The effective recycling of book materials can reduce carbon emissions and ecological losses in the consumption of paper products in universities. Book recycling can reduce the three types of environmental impacts by approximately 61.63%, 61.57%, and 63.89% respectively.

Key words: life cycle assessment method; paper utilization; impact on environment; Nanjing University of Information Science and Technology