

基于深度学习的《园林植物学》知识图谱构建与教学研究

Deep Learning-Based Knowledge Graph Construction for *Landscape Plants* and Its Educational Applications

冯璐 蒋易蒙 金婉婷 陆天琪 刘益含 张雅玮*
FENG Lu JIANG Yimeng JIN Wanting LU Tianqi LIU Yihan ZHANG Yawei*

(华东理工大学艺术设计与传媒学院, 上海 200237)
(School of Art Design and Media, East China University of Science and Technology, Shanghai, China, 200237)

文章编号: 1000-0283(2025)10-0048-07
DOI: 10. 12193/j. laing. 2025. 10. 0048. 007
中图分类号: TU986
文献标志码: A
收稿日期: 2025-05-29
修回日期: 2025-08-21

摘要

聚焦数智化时代对课程知识体系的重构需求, 基于风景园林专业植物学课程现状与痛点, 解析数智技术带来的变革契机, 提出面向教学场景的园林植物知识图谱构建方法。以《园林植物学》教材为研究载体, 通过“数据采集—实体抽取—图谱可视化”等知识图谱框架, 建立涵盖“形态特征—生态习性—景观功能”多维属性的知识网络。整合教材中分散的756个植物实体与属性关系, 形成可视化知识图谱。最后分析植物图谱构建结果及教学应用, 并从智能导学系统、智能问答机器人、现有平台增强等方面展望知识图谱技术在课程改革中的延伸应用, 为风景园林专业数智化教学转型提供参考。

关键词

风景园林; 园林植物学; 深度学习; 知识图谱; 教学改革

Abstract

The development in the digital intelligence era necessitates the restructuring of course knowledge systems. Based on the current status and challenges within botany courses for landscape architecture majors, this paper analyzes opportunities for transformation facilitated by digital-intelligent technologies. It proposes a pedagogically oriented approach for constructing a knowledge graph of landscape plants. We utilize the textbook *Landscape Plants Science* as a case study. By constructing datasets, extracting entities, and visualizing knowledge, we create a multidimensional knowledge network encompassing “morphological traits - ecological habits - landscape functions.” The approach successfully integrates 756 scattered plant entities and their attributes into a visual knowledge graph. Finally, we analyze the construction outcomes of the landscape plants knowledge graph and its pedagogical implementations, and explore applications such as smart tutoring systems, AI Q&A assistants, and platform enhancements for curriculum reform, providing practical references for digital-intelligent teaching transformation in landscape architecture education.

Keywords

landscape architecture; landscape plants; deep learning; knowledge graph; teaching reform

冯璐

1987年生/女/浙江海宁人/博士/副教授/
研究方向为风景园林规划设计

蒋易蒙

2000年生/女/吉林吉林人/硕士/研究方
向为风景园林规划设计

张雅玮

1981年生/女/河北邯郸人/硕士/讲师/研
究方向为风景园林规划设计

随着人工智能的快速发展, 各行各业
将面临新一轮的认知颠覆和产业变革。人工
智能将对行业的生存和发展产生决定性的影
响, 因而备受关注。如2024年“人工智能+”
被首次写入全国两会《政府工作报告》^[1]。风

景园林应当顺应时代浪潮, 做好应对产业革
命冲击的准备, 加快推进智能化转型。同时,
教育领域也正经历深刻的时代变革, 教育部
《教育信息化2.0行动计划》明确提出要“探
索人工智能技术支持下的新型教学模式”^[2]。

基金项目:

教育部国家级一流本科课程“种植设计”(编号: 2023250077); 上海市教委上海市重点课程“园林植物学”(编号: 沪教委高[2024]38号);
上海市哲学社会科学规划课题“韧性城市下基于社会—生态视角的长三角绿色基础设施优化研究”(编号: 2021ECK002)

*通信作者 (Author for correspondence)
E-mail: ziliao_2005@163.com

因此如何推进风景园林教育的数智化转型,为行业培养适应人工智能时代发展的人才是需要研究的重要议题。而园林植物在风景园林中占据重要地位,英国造园学家克劳斯顿(B. Clauston)、中国现代风景园林之父孙筱祥都指出过园林的核心就是植物配置。园林植物学知识体系庞杂,植物种类繁多,植物属性涵盖形态特征、生态习性、文化语义等多个维度,导致学生容易陷入碎片化学习的困境。数智化转型正在推动教学模式从“经验传承”向“认知构建”的转型,而结构化的知识体系是这场转型的关键基础,因此研究适用于园林植物学的结构化认知构建方法,将离散的植物学知识进行语义关联,形成可视化的知识网络,是对国家教育数字化战略的积极响应,也是对培养风景园林行业复合型人才积极探索。

在数智化转型中,知识图谱被证明能够帮助更好地理解、组织和管理海量信息^[3-5],是知识体系结构化的重要工具。知识图谱最早在2012年被Google用于提升搜索引擎效率^[6],它可以被看成一种语义网络,网络中的节点代表实体,连接节点的边代表实体之间的关系。知识图谱将非结构化的信息转换为结构化的数据,使计算机能高效识别和处理,同时便于人们对知识进行提取、问答和共享。与传统的数据库相比,知识图谱具有更加强大的知识关联和拓展能力,以及智能推理能力。知识图谱目前已经被成熟地应用在生物医学^[7-8]、地理学^[9-10]、交通^[11-12]等领域。它也被应用于特定植物领域如濒危植物^[13]、中医药植物^[14-15]等,并进行相关植物文本识别等研究^[16-17]。此外,陈晓玲等^[18]探索了基于Albert模型的园林知识实体与关系抽取模型,证明知识图谱在园林植物上的可行性。在知识图谱与教学结合方面,目前智慧树等在线

教学平台推出知识图谱课程类型。但是其图谱开发多基于平台,教师参与度和自主性较低,也较难整合深层次知识网络。另外其图谱构建多通过静态人工标注形式进行,动态智能推理能力亦有待提高。同时,课程建设成本高昂。因此,探索一种适用于园林植物学特点,并易于操控的知识图谱构建方法,对园林植物学的课程建设具有重要价值。

传统的实体关系抽取依靠人工进行标注,耗时耗力。利用深度学习技术可以快速有效地从海量信息中提取实体和实体关系。目前主流的预训练模型包括:双向长短期记忆网络(Bi-directional Long Short-Term Memory, Bi-LSTM)、条件随机场(Conditional Random Field, CRF)模型,以及深度预训练语言模型(Bidirectional Encoder Representation from Transformers, BERT)和相应衍生模型。在植物语料处理方面BERT模型被证实具有更高的准确率、召回率以及加权平均数,较为适合植物相关文本的分析和提取^[19]。有多位学者和机构基于BERT研发各类预训练模型^[20-21]等,其中RoBERTa(A Robustly Optimized BERT Pretraining Approach)^[22]为改进版的BERT模型,以动态掩码取代静态掩码,使模型效果进一步提升。而RoBERTa-wwm-ext预训练模型^[23]则结合了中文Whole Word Masking技术和RoBERTa模型的优势,在中文领域知识抽取方面开始崭露头角^[24-26]。最新的知识图谱研究多采用Neo4j图数据库储存实体和实体关系,并最终进行可视化呈现^[27-28]。

当前各大高校所采用的园林植物学教材多采用“总一分”方式进行知识组织,即先总体介绍植物学总论,包括形态识别、生态习性、景观应用等,然后按照乔灌木和科属分类具体介绍若干植物品种各论。这种知识组织的形式存在以下问题:(1)知识呈线性分布,

总论与各论间缺乏联系,学生需要跨章节反复对照才能建立完整的知识体系,认知效率较为低下。(2)各论植物数量庞大,每种植物又需要记忆形态、生态、应用等多重特征,海量植物知识容易造成认知负荷过载,并导致知识的混淆。(3)知识以文字描述和二维图片为呈现方式,缺乏知识间的可视化关系表达,也缺乏知识调用的动态化机制。

综合上述植物学教材特点,园林植物学的数智化教学首先需要解决海量数据的管理和可计算化问题,而基于深度学习的知识图谱技术提供了较好的解决路径。深度学习可以从海量的植物数据中抽取实体和实体关系。知识图谱可以构建实体与实体关系网络,并基于规则推理自动生成知识的多向关联,实现知识的动态调用。另外通过图数据库可以实现知识网络的可视化表现。而其中针对植物领域的实体抽取,RoBERTa预训练模型被证实具有较好的效果,Neo4j被证明是实现可视化的较好平台。构建基于深度学习的园林植物知识图谱对于风景园林教学具有较好的突破创新优势。

1 园林植物学知识图谱构建

1.1 数据采集与处理

以《园林植物学》(第二版)的园林植物为数据来源,遴选出国内常用园林植物756种。根据植物景观应用中所涉及的“分类”“形态特征”“生态习性”等植物知识,以及相关设计经验,确定所需提取的实体类别和关系。对数据源中的文本进行归纳和整理,提取的实体关系概念体系结构如图1所示。将对齐后的数据输入百度智能云在线标注平台进行人工标注(图2)。标注好的数据编写python代码转化程“BIO”标注格式。为后续深度学习模型搭建训练集。

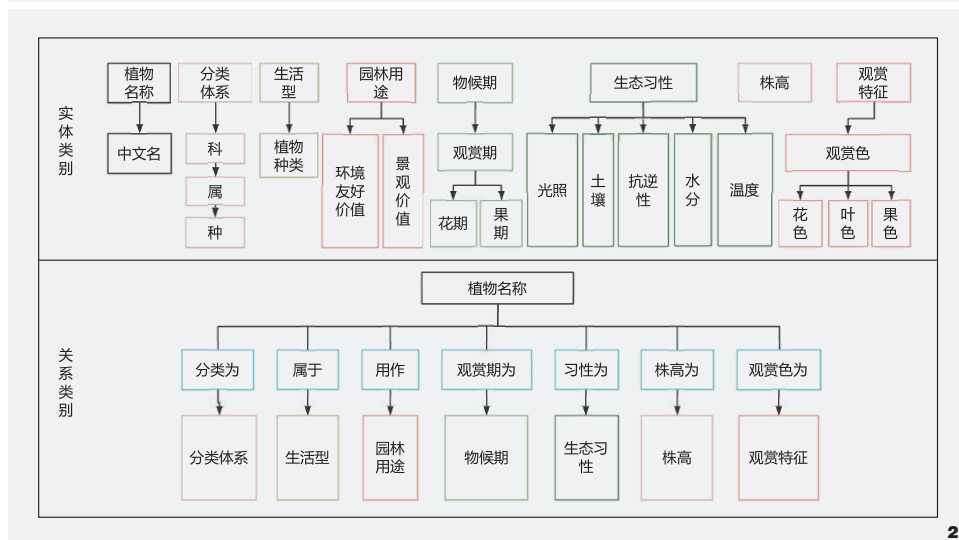
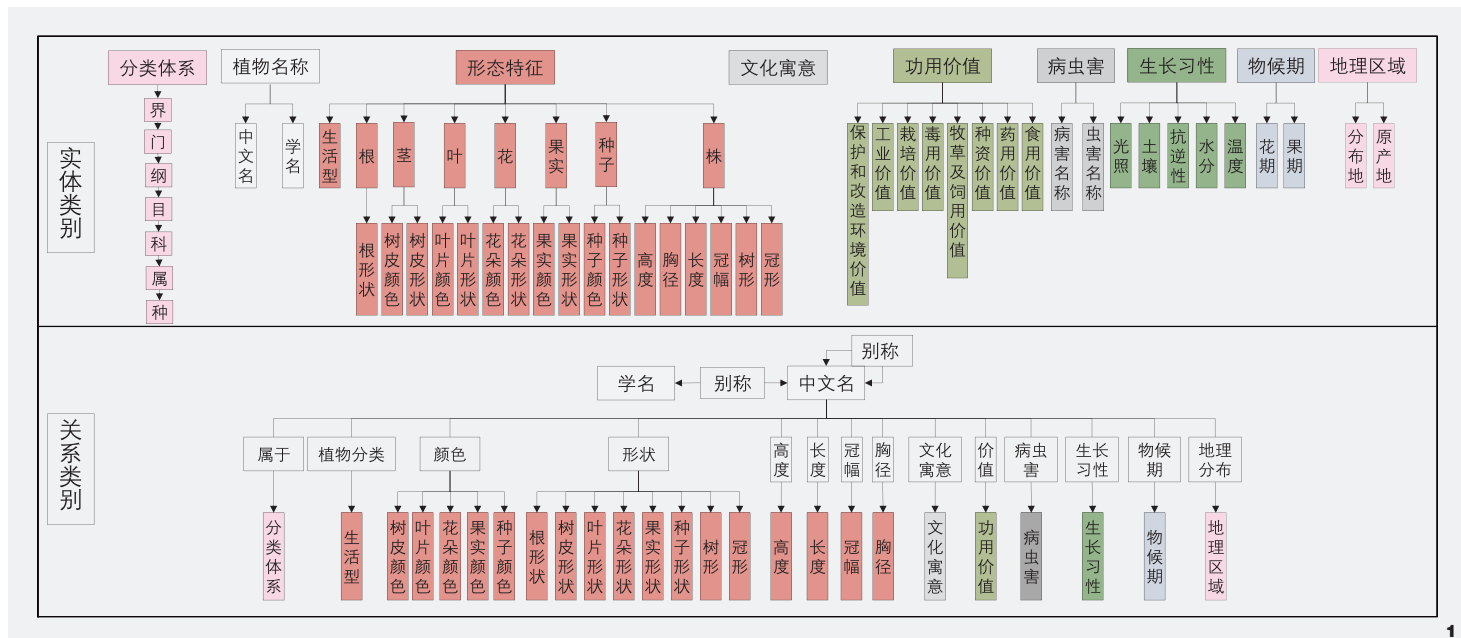


图1 园林植物实体关系概念体系结构

Fig. 1 Conceptual architecture of landscape plant entity and relationship

图2 植物标注内容

Fig. 2 Plants' signs

1.2 模型比选

根据相关文献综述^[22-26]与预实验比对,初步选择BERT的改进模型,即RoBERTa预训练模型。同时,针对传统深度学习模型中存在的局限性以及园林植物的中文文本特点,进一步提出RoBERTa-wwm-ext-BIGRU-CRF为实体

抽取模型, RoBERTa-www-ext-BiGRU-Attention为实体关系抽取模型。

1.3 实体识别

整体主要有三大网络层，分别是RoBERTa-wwm-ext层、BiGRU层和CRF层，结构如图3所

示。利用 RoBERTa-wwm-ext 预训练模型获取园林植物描述文本的特征, 将每个字符转化为向量形式, 通过 BiGRU 层对输入的字符级向量进行深层次的特征提取, 充分学习上下文之间的关系, 然后根据 CRF 模型计算标注序列的概率分布结果, 从而确定描述文本中所包含的实体。

1.4 实体关系抽取

关系抽取模型主要由 RoBERTa-wwm-ext 层、BiGRU 层、注意力层、全连接层等组成，其结构如图 4 所示。首先将文本数据中需要确定关系的实体 A（如植物名称）和实体 B（如生活型）以及包含这两个实体的文本数据连接起来作为输入数据。然后通过 RoBERTa-wwm-ext 层将每个字符转化为向量形式。再通过 BiGRU 层对输入的字符级向量进行上下文特征提取并进行拼接处理。另外，创新性地引入注意力层可以通过注意力机制学习每个实体片段对于关系抽取任务的贡献度，从而使模

型动态调整对不同实体片段的关注程度。全连接层则用于对获得的包含语义的特征向量进行归一化。最后利用softmax函数对全连接层输出的句子向量进行计算，通过概率分布比较实现关系抽取。

其中，引入注意力机制是对传统实体关系抽取方法的创新，注意力层将Bi-GRU模型的输出作为该层的输入，计算每个词向量应分配的概率权重，见公式(1)。

$$u_i = \tanh(w_w h_i + b_w) \quad (1)$$

式中， i 表示第 i 个时间步， u_i 为第 i 个时间步Bi-GRU输出的隐藏表示； w_w 为模型权重系数，下标 w 表示和权重相关的变量； h_i 为第 i 个时间步Bi-GRU层输出的字符向量； b_w 为偏置系数。

然后通过softmax函数计算归一化权重 a_i ，将隐藏表示 u_i 和词级上下文 u_w 的相似性作为权衡字符重要性的指标，具体计算见公式(2)。

$$a_i = \frac{\exp(u_i^T u_w)}{\sum_n \exp(u_i^T u_w)} \quad (2)$$

式中，上标 T 表示转置操作，用来进行向量点积，即 u_i^T 把向量从列变为行，用于与 u_w 做点积； n 表示序列中所有词或字符的位置索引。

利用全链接层计算句子向量，由注意力层分配的不同概率权重与各个隐层状态的乘积累加和得到，如公式(3)所示：

$$S_t = \sum_{i=1}^n a_i h_i \quad (3)$$

最后根据确定关系类别，利用softmax函数对全连接层输出的句子向量进行计算，如公式(4)所示：

$$y = \text{softmax}(w_1 S_t + b_1) \quad (4)$$

式中， S_t 是全连接层的输出， w_1 和 b_1 分

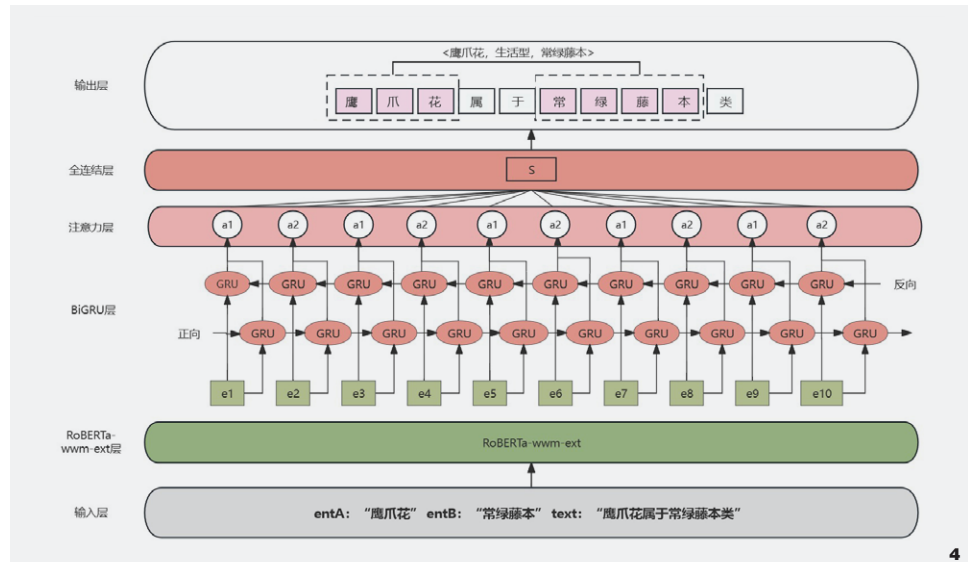
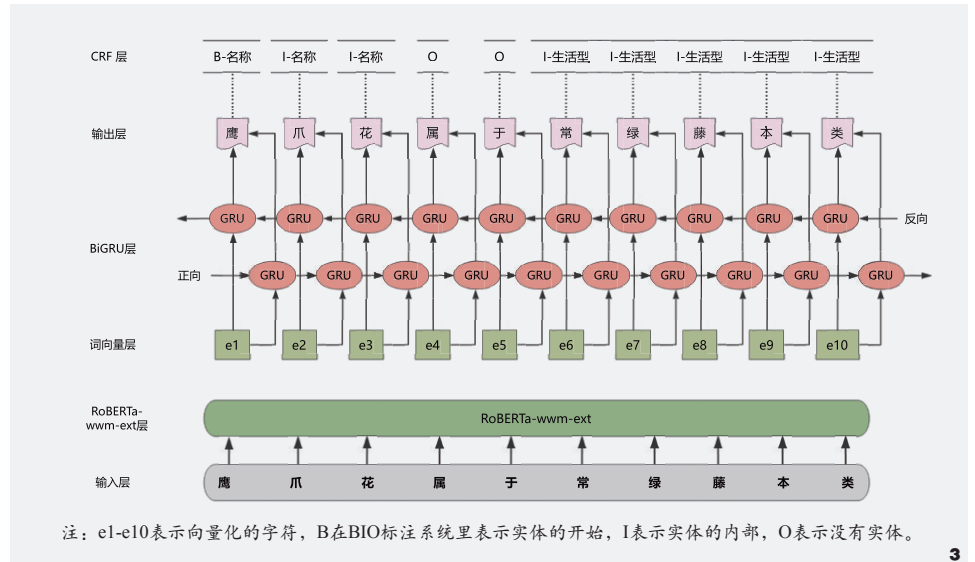


图3 实体识别过程示意图
Fig. 3 Entity recognition process

图4 关系抽取过程示意图
Fig. 4 Relation extraction process

别是权重和偏置参数， y 是输出的关系标签。

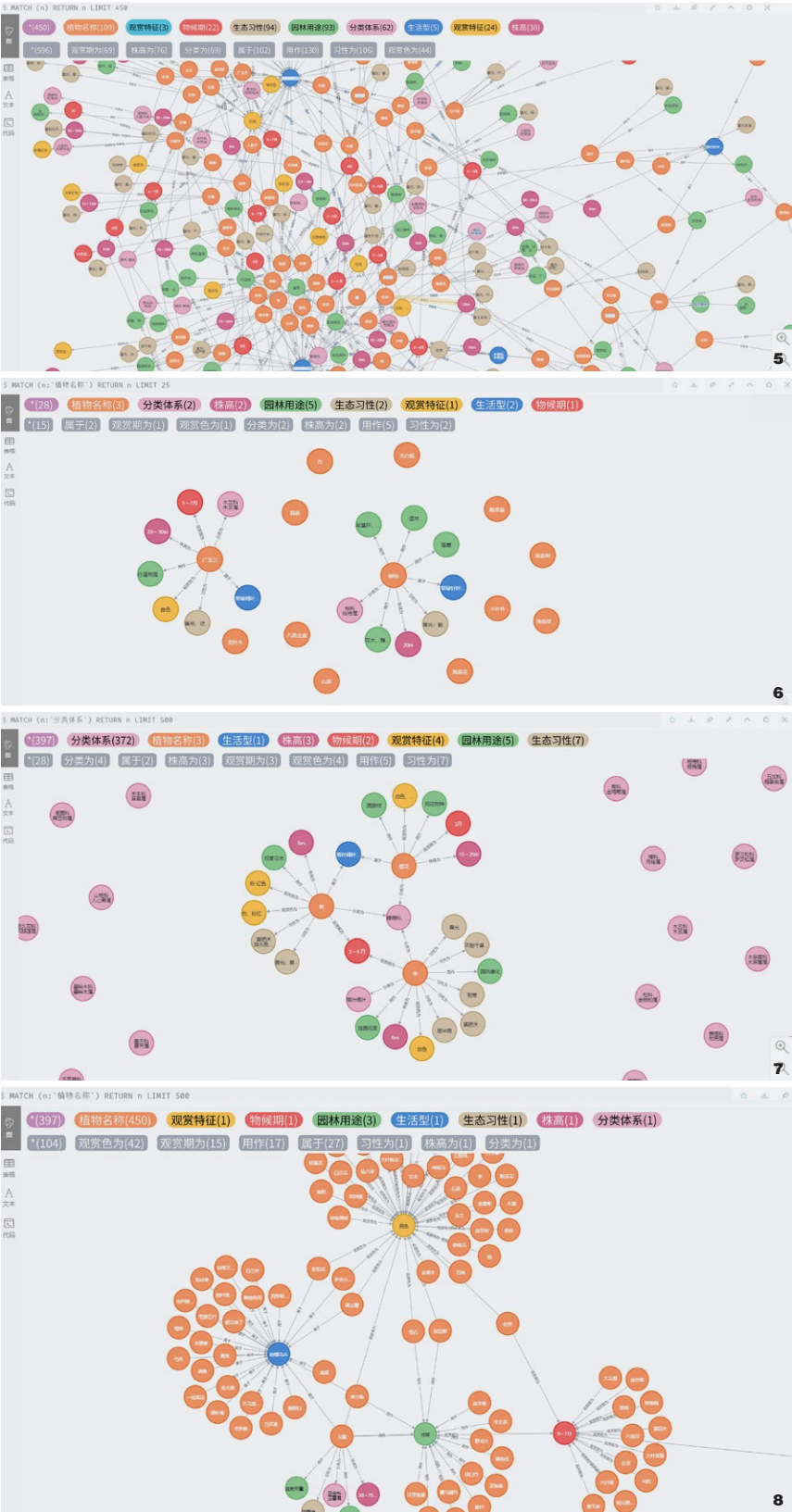
1.5 知识图谱存储与可视化

采用Neo4j图数据库存储实体和实体关系，将Json格式数据集导入，借助Neo4j的python工具包py2neo，按照设计好的概念体系结构规则导入Neo4j，可以得到可视化的园林

植物知识图谱。而通过知识图谱的云端服务器部署，学生可以通过浏览器实现对知识图谱的访问。

2 园林植物知识图谱表现

本研究人工标注训练集414种植物，完成对深度学习模型的训练，并最终完成756



种植物的实体及实体关系的抽取，构建知识图谱。图5展示了部分的植物图谱，可以看到图谱中不同的实体用不同的色彩进行区分，而实体间的关系通过灰色的箭头进行指向。最终呈现出一张互相联系的网络。

本研究成功构建园林知识图谱并初步在教学中进行应用。通过访谈参与应用的学生，可得知知识图谱清晰地可视化展示植物各类特性间的关系，并进一步助力教学，帮助学生更好地掌握植物知识。

2.1 课前，植物知识可视化概览

课前，学生可以依托可视化平台进行植物知识概览和预习（图6）。通过知识图谱的实体和实体关系的具象化知识展现，将复杂的植物学知识体系转化为直观的空间结构。学生可以按照植物名称、科属分类、生态习性、园林用途、观赏特性等多个维度自由切换浏览视角。如通过展开植物名称节点，学生可以通过可视化的语言快速了解植物的各类属性，了解广玉兰的科属、株高、园林用途等。学生反映，通过课前简短地使用知识图谱可以帮助他们提前进入学习状态，激发对课堂内容的兴趣，并有助于记忆更多的植物知识点。

2.2 课中，实时交互增强教学

课中，针对课程的难点和重点，教师可以使用知识图谱，边讲解边展示相关知识点和其间的联系（图7）。另外，传统植物各论教学较为枯燥，学生不易跟上课堂思路。而通过知识图谱互动也可以更好地使学生们保持课堂粘性。如当课堂讲解到蔷薇科李属的樱、李、桃时，可以借助知识图谱直观展示其节点和关系，帮助学生掌握几种植物的异同。学生反映，知识图谱帮助他们更好地专注在课堂，并从图示化角度现场巩固课堂知识。

图5 《园林植物学》知识图谱
Fig. 5 Landscape plants knowledge graph

图6 课前知识点可视化概览
Fig. 6 Pre-class knowledge points visual overview

图7 课中实时交互增强教学
Fig. 7 During class real-time interactive learning enhancement

图8 课后知识点推理归纳
Fig. 8 Post-class knowledge inference and induction

2.3 课后, 推理归纳与思考

课后, 学生可以结合课上知识自由探索知识图谱, 并根据图谱的实体分类重组植物知识, 利用组团化关系强化学习效果, 使隐性知识显性化, 使线性知识网状化(图8)。如当学生探索玉簪时, 图谱会自动关联同为宿根花卉的其他植物, 以及同样可以作为园林地被、6-7月开花、开白花的其他植物, 帮助学生培养高阶拓展归纳能力。学生反映, 知识图谱展示了他们原来意想不到的联系, 激发他们的思考。

3 教学应用前景

3.1 智能导学系统开发

除了现阶段的初步教学应用, 未来基于Neo4j图数据库, 进行可视化定制, 可生成交互智能导学系统。该系统可提供智能化、可视化的知识辅助平台, 学生在知识图谱的发掘过程中, 实现从“被动接受”到“主动探索”的学习转变。平台通过记录学习路径, 可以分析用户的探索过程, 形成个性化的知识地图。并根据学生的学习轨迹特点推荐个性化学习路径。如有的学生可以总结成特定学习路径: 特征记忆型(强在形态识别)、生态推理性(擅长适生判断)、设计整合型(侧重景观应用)等。系统可以根据学习特点推荐下一个知识点, 从而鼓励自主学习。而教师也可以通过学生的学习进度、知识浏览覆盖面等的分析, 掌握学生的学习情况。

3.2 智能问答机器人对接

基于知识图谱的智能问答机器人通过自然语言理解和图数据库查询的深度结合, 实现从问句到知识图谱精准检索的转化, 这可以有效提高数据查询的速度并进行智能化推荐。如可以查询“株高为30 cm以内的开黄花

的耐水湿耐干旱植物”, 知识图谱可以生成植物列表, 并标注其在教材中的知识分布, 同时链接相应雨水花园种植设计案例。该问答机器人不仅可以提供知识推荐服务, 也能通过交互式问答引导学生进行渐进式思考和批判性思考。如当学生提问“请举例华东地区耐水湿耐干旱的植物”时, 机器人可以进一步提问“耐水湿耐干旱的植物适合应用在哪种景观类型中?”, 从而激发学生的学习积极性。同时, 其查询日志还可以作为学习路径, 反哺知识图谱优化, 形成“教学相长”的智能知识增强闭环。

3.3 现有平台知识增强

除了开发新的导学系统平台, 知识图谱也可以通过xmind格式接入现有在线学习平台, 如学校教务系统、智慧树、超星等。可以作为平台的专业知识增强包, 并和在线慕课视频资源对接, 形成多模态教学资源知识图谱。这种做法充分利用了现有平台的技术和资源, 可以大大降低开发新平台的研发成本。另外也比较适用于已经有慕课资源的在线课程, 通过对现有慕课视频的切片, 对接到相应的知识图谱知识点。这种做法也增加了现有平台的专业性和深度, 自行开发的知识图谱可以更加适配课程特点, 并接入除了教材之外的图片资源、案例资源、虚拟实验室资源、地方物候观测资源等, 形成更加个性化的课程配置。

4 结语

在数智化技术深刻重塑各行各业的当下, 本研究以风景园林专业核心课程“园林植物学”为研究载体, 探索了基于深度学习的知识图谱技术在结构化知识构建中和课程教学中的应用路径, 为风景园林专业教育的

数智化转型提供一个实践探索。

本研究通过“数据采集—实体抽取—图谱可视化”等全流程的知识图谱构建框架, 成功构建“园林植物学”课程知识图谱, 并对其应用效果进行分析。同时, 以知识图谱为基础, 提出智能导学、机器人问答、平台增强等适应未来发展的应用场景。研究结果表明, 基于深度学习的知识图谱构建方法能够有效整合多元异构的数据, 在“园林植物学”案例中实现756种园林植物的植物实体和实体关系的精准抽取, 并能够实现植物间关系的自动建立, 回应了传统园林植物学教学中知识线性离散、海量难掌握, 以及知识静态不直观的问题。而通过图数据库储存实体和实体关系, 可以有效完成知识图谱的可视化, 有助于推进知识图谱在教学中的实践落地。

本研究也有若干待完善之处:(1) 知识图谱基本还原了《园林植物学》教材中的主要知识点, 但也存在个别知识点错乱需要人工修正的情况。且对于数据量较小的教材, 人工标注更具效率和可操作性, 而未来如果要接入植物志更大的数据库, 深度学习则提供了必要的构建思路。(2) 以《园林植物学》教材作为主要知识图谱数据来源, 虽然能够紧扣课程, 但是知识来源比较局限, 未来可以利用深度学习技术进一步抽取其他来源的植物相关知识, 如《中国植物志》、苗木供应市场数据、地方设计院苗木表等, 从而提升知识图谱的广度和深度, 并与实践工作紧密结合。(3) 本研究主要通过图谱数据库构建了知识图谱的可视化系统, 还没有针对教学进一步开发智能导学系统和智能机器人等直接应用于教学场景的模块, 这还需要持续的研发投入, 希望未来能够逐步完善。(4) 本研究主要聚焦于知识图谱前端的构建过程,

对于在教学中的后端应用过程还处于初步阶段, 尚没有形成教学效果的量化分析, 这也是本研究还在进行的工作之一。

站在数智时代新纪元的门口, 风景园林的教育面临教学范式转型的迫切需求。基于深度学习的知识图谱技术对于传统专业课程具有突出的重塑价值。以“园林植物学”课程为例, 不仅重构了知识传播的空间维度, 也提供了知识获取—智能互动—设计实践多条线的智慧纽带, 为培养具备数字素养和创新能力的复合型园林人才提供切实可行的解决方案。这种教育范式的转型, 将在国家数字化战略中显示出其深远的价值。

站在数智文明转型的历史节点, 风景园林教育正经历着从“经验传承”向“认知建构”的范式革命。基于深度学习的知识图谱技术, 不仅重构了传统专业课程的知识论基础, 更通过“认知建模—知识演化—智能增强”的三维架构, 实现了教育范式的根本性跃迁。这种教育转型的本质, 是将知识图谱从技术工具升维为认知基础设施, 其深远影响不仅在于教学效率的提升, 更在于重构了风景园林学科的认知范式——从静态知识传授转向开放认知生态的培育。这种教育转型将在国家数字化战略中显示出其深远的价值。

注: 文中图片均由作者绘制。

参考文献

- [1] 中华人民共和国国务院. 政府工作报告——2024年3月5日在第十四届全国人民代表大会第二次会议上[R/OL]. (2024-03-05)[2025-06-28]. http://www.gov.cn/premier/2024-03/05/content_6948172.htm
- [2] 中华人民共和国教育部. 教育部关于印发《教育信息化2.0行动计划》的通知(教技〔2018〕6号)[EB/OL]. (2018-04-13)[2025-06-28]. http://www.moe.gov.cn/srcsite/A16/s3342/201804/t20180425_334188.html
- [3] PUJARA J, MIAO H, GETOOR L, et al. Knowledge Graph Identification[M]// Advanced Information Systems Engineering. Berlin: Springer, 2013: 542-557.
- [4] 陆锋, 余丽, 仇培元. 论地理知识图谱[J]. 地球信息科学学报, 2017, 19(06): 723-734.
- [5] 刘俊楠, 刘海砚, 陈晓慧, 等. 面向多源地理空间数据的知识图谱构建[J]. 地球信息科学学报, 2020, 22(07): 1476-1486.
- [6] SINGHAL A. A Introduction the Knowledge Graph: Things, Not Strings[EB/OL]. (2021-11-19)[2025-05-25]. <https://blog.google/products/search/introducing-knowledge-graph-things-not.html>
- [7] SINGH S, SIWACH M. Evaluating Diabetes Dataset for Knowledge Graph Embedding Based Link Prediction[J]. Data & Knowledge Engineering, 2025, 157: 102414.
- [8] 张迪, 何丽云, 王鑫, 等. 基于Neo4j与GDS算法的中医药治疗冠心病知识图谱构建与隐性知识规律发现方法研究[J]. 中华中医药学刊, 2025, 43(07): 10-16.
- [9] 曹燕春, 邢汉发, 崔秉良. 地名演变知识图谱构建方法研究[J]. 测绘科学, 2025, 50(02): 127-142.
- [10] 段雨希, 陈碧宇, 李岩, 等. 地理知识图谱推理研究进展与展望[J]. 地球信息科学学报, 2025, 27(01): 41-59.
- [11] PEDRO A, PHAM-HANG A T, NGUYEN P T, et al. Data-driven Construction Safety Information Sharing System Based on Linked Data, Ontologies, and Knowledge Graph Technologies[J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2022, 19(02): 794.
- [12] 尹章才, 田益, 顾江岩, 等. 不良天气作用驾驶行为的知识图谱表达[J]. 测绘科学, 2025, 50(02): 162-173.
- [13] 田梦晖, 陈明, 席晓桃. 融合Albert模型的珍稀濒危植物知识图谱的构建[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2023, 49(05): 616-623.
- [14] 刘海煜, 瞿小龙, 沈翊康, 等. 中医药知识图谱推理研究[J]. 世界科学技术-中医药现代化, 2025, 27(03): 601-611.
- [15] 佟琳, 张华敏, 佟旭, 等. 基于命名实体识别的《神农本草经》知识图谱构建及可视化分析[J]. 中国中医药信息杂志, 2024, 31(08): 37-43.
- [16] 李冬梅, 檀稳. 植物属性文本的命名实体识别方法研究[J]. 计算机科学与探索, 2019, 13(12): 2085-2093.
- [17] 赵明, 杜亚茹, 社会芳, 等. 植物领域知识图谱构建中本体非分类关系提取方法[J]. 农业机械学报, 2016, 47(09): 278-284.
- [18] 陈晓玲, 唐丽玉, 胡颖, 等. 基于ALBERT模型的园林植物知识实体与关系抽取方法[J]. 地球信息科学学报, 2021, 23(07): 1208-1220.
- [19] KENTON J D M W C, TOUTANOVA L K. BERT: Pre-training of Deep Bidirectional Transformers for Language Understanding[C]// Proceedings of NAACL-HLT, 2019: 4171-4186.
- [20] 吴梦成, 林立涛, 齐月, 等. 数字人文视域下先秦典籍植物知识挖掘与组织研究[J]. 图书情报工作, 2023, 67(12): 103-113.
- [21] TURCHIN A, MASHARSKY S, ZITNIK M. Comparison of BERT Implementations for Natural Language Processing of Narrative Medical Documents[J]. Informatics in Medicine Unlocked, 2023, 36: 101139.
- [22] LIU Y, OTT M, GOYAL N, et al. RoBERTa: A Robustly Optimized BERT Pretraining Approach[J]. Arxiv Preprint Arxiv, 2019: 11692.
- [23] XU Z. RoBERTa-wwm-ext Fine-tuning for Chinese Text Classification[J]. Arxiv Preprint Arxiv, 2021: 00492.
- [24] LÓPEZ-ÚBEDA P, MARTÍN-NOGUEROL T, ESCARTÍN J, et al. Role of Natural Language Processing in Automatic Detection of Unexpected Findings in Radiology Reports: A Comparative Study of RoBERTa, CNN, and ChatGPT[J]. Academic Radiology, 2024, 31(12): 4833-4842.
- [25] QIANG B H, XI G Y, WANG Y F, et al. Siamese Interaction and Fine-tuning Representation of Chinese Semantic Matching Algorithm Based on RoBERTa-wwm-ext[J]. Mobile Information Systems, 2023, 2023(01): 8704278.
- [26] LIU X L, ZHAO W, MA H Q. Research on Domain-specific Knowledge Graph Based on the RoBERTa-wwm-ext Pretraining Model[J]. Computational Intelligence and Neuroscience, 2022, 2022(01): 8656013.
- [27] LIU Y, YIN Y M, CHENG W, et al. Construction and Application of User Check-in Spatiotemporal Knowledge Graph Based on Neo4j[J]. Procedia Computer Science, 2024, 242: 609-616.
- [28] 赵雪芹, 李天娥, 曾刚. 基于Neo4j的万里茶道数字资源知识图谱构建研究[J]. 情报资料工作, 2022, 43(05): 89-97.