

基于植物营养学思想的微观地理信息系统框架研究

赵 帅

(西藏农牧学院资源与环境学院, 西藏 林芝 860000)

✉zs29055@163.com



摘 要: 地理信息系统是研究空间位置及空间关系的学科, 基础理论发展成熟, 在各行各业应用广泛。不过现有的地理信息系统主要应用于大中尺度, 小尺度研究很少, 还没有对植物、动物及人体内部空间等微观尺度的相关描述。本文以植物营养学思想为基础, 以植物内部空间的养管理为目的, 从空间认知、数学分析和数据管理三个方面构建了微观地理信息系统的框架, 期望能为微观地理信息系统的研究提供思路与方法。

关键词: 微观地理信息系统; 植物营养学; 空间数据转化模型

中图分类号: TP392 **文献标识码:** A

Research on the Framework of Micro-geographic Information System based on Plant Nutrition

ZHAO Shuai

(Resources & Environment College, Tibet Agriculture & Animal Husbandry University, Linzhi 860000, China)

✉zs29055@163.com

Abstract: Geographical Information System (GIS) is a discipline that studies spatial locations and spatial relationships. Its basic theories are mature and widely used in all walks of life. However, the existing geographic information systems are mainly used in large and medium scales, with little research on small scales. There is no relevant description of microscopic scales such as plants, animals, and the internal space of the human body. Based on the idea of plant nutrition and the purpose of nutrient management in the internal space of plants, this paper proposes to build a framework of the micro-geographic information system from three aspects: spatial cognition, mathematical analysis and data management. It is expected to provide ideas and methods for the research of micro-geographic information system.

Keywords: micro-geographic information system; plant nutrition; spatial data transformation model

1 引言(Introduction)

地理信息系统(Geographic Information System, GIS)经过多年的发展, 建立了成熟的理论和标准, 在空间信息相关的应用领域取得了巨大的成功^[1]。传统GIS的应用主要集中于大中尺度空间对象的抽象、表达和分析^[2]。随着技术的发展, 逐渐开始向小尺度扩展, 如文献[3]提出了全空间信息系统的概念, 将地理信息系统的空间尺度扩展到了微观空间和宏观空间。文献[4]对全空间信息系统的核心问题和关键技术做了分析, 其中也有涉及微观的描述。另外, 还有地质GIS、人体GIS^[5]、室内GIS等小尺度的研究。然而, 虽然开始涉及, 但是相关的微观理论研究仍然很少。

微观空间与宏观空间差别很大, 研究微观GIS需要从空间认知到数据组织管理及显示建立一整套的理论体系, 当下还没有这方面的研究。本文以植物营养学思想为基础, 从微观世界的空间认知、数学分析、组织管理三个方面来构建微观GIS的框架内容, 为微观地理信息系统的研究提供

思路与方法。

2 微观世界的空间认知(Spatial cognition of the micro-world)

2.1 空间认知

空间认知作为人类智能的重要组成部分, 是人类大脑的核心能力之一^[6]。在漫长的人类进化过程中, 人的空间认知能力不断得到提升和加强^[6]。地理空间认知是人类获得地理空间知识的方法和过程, 是解决地理问题, 进行空间决策的基础^[2]。

2.1.1 植物营养学思想

植物营养学主要研究植物对养分的吸收、运输、转化及与外界环境的交换等内容, 以此来提高作物产量和质量^[7]。植物营养学的研究对象为营养元素, 环境中的这些元素作为养分被植物吸收, 促进植物生长^[7]。养分在植物体内的过程非常复杂, 为了研究方便, 对其做一定抽象, 将这一过程简化为五个步骤: 养分存在、养分吸收、养分运输、养

分转化、养分分离。

(1)养分存在。养分存在是第一步，只有养分先存在，才能有后面的过程。植物生长需要的养分主要来自大气、水和土壤等环境中，我们通过测定环境中的养分状况来间接判断植物的生长状况。最经常做的工作就是测土配方^[8-9]，把植物当成一个点，测土就是测定点(植物)所在位置(采集土壤时通过GPS可以得到)是否存在养分(或者养分含量的高低)，以此来判断植物的生长状况，再给出应该在哪里施肥的决策建议。然后根据配方对该位置进行养分补充(施肥)，以此来满足植物的“吃饭”问题，促使植物长得更好。

(2)养分吸收。养分吸收是第二步，主要研究养分由植物外部的环境空间进入植物体内部。其间养分的空间位置已然发生变化，因为吸收是动态性过程，自然时间也是变化的，植物体外的养分与体内的养分成分有别，自然属性形态等也是发生变化的。因此，这个过程本身符合地理信息系统时空数据模型描述。

(3)养分运输。养分运输是第三步，进入植物体内的养分主要经过两个过程的运输，即短距离运输与长距离运输。这个步骤也体现了空间变化，因为运输过程本身是动态性的，自然也体现了时间变化，而元素运输过程的量随时在变，自然也体现了属性变化。因此，这个过程本身符合地理信息系统时空数据模型描述。

(4)养分转化。养分转化是第四步，在前面养分运输的过程中时刻发生着生化反应，发生反应的位置在植物体内各不相同，这本身就是空间位置变化；生化反应本身体现了时间变化；发生反应前后植物各部分的数量和形态时刻发生着变化，这也体现了属性变化。因此，这个过程本身符合地理信息系统时空数据模型描述。

(5)养分分离。养分分离是第五步，在前面养分运输、转化的过程中产生的各种废物最终都排出植物体外。养分分离过程和养分吸收过程类似，由植物内部到植物外部，同样体现了空间变化、时间变化和属性变化。因此，这个过程本身符合地理信息系统时空数据模型描述。

综上所述，植物营养学的过程都体现了空间位置、属性信息和时间信息的变化，符合地理信息系统研究和应用。不过当前的农业GIS主要应用在第一步，即把植物当成一个点来研究某个区域的养分资源状况，也就是常说的养分资源宏观管理，这个研究方向发展得也比较成熟^[10-11]。但是植物毕竟是“体”不是“点”，它有自己的内部空间，因此要实现养分资源的微观管理就需要把植物当成一个植物空间，研究养分在这个植物空间的流动和转化，也就是养分吸收、养分运输、养分转化等步骤。

2.1.2 动物营养学思想

动物营养学和植物营养学类似，只是动物营养学的养分分离过程明显，也就是把养分和废物分开。养分进入体内，最终转化为动物的一部分；废物进入体内，最终排出体外。人类营养学和动物营养学是一样的过程。植物的养分分离相比较来说可以忽略。另外，虽然动物本身是运动的，但是在动物体内部，养分、细胞、器官等都是相对固定的。

2.2 空间分析

2.2.1 物理空间

人类生活在地球表面，地理学主要研究这个地表的空

间^[12]。GIS则是把这个空间做了一些抽象，让其更方便用数学来表示，进而实现信息管理。本文所说的宏观和常规地理空间一样，宏观描述道路的分布、植物的分布、建筑的分布；而微观主要是指物体内部，微观描述单个道路的内部、单个植物的内部和单个建筑的内部^[13]。

将地物抽象为点线面，则所有点线面代表的物体的空间分布称为宏观，单个点、单个线和单个面代表的物体内部称为微观。因此，以单个物体作为界限，在地球表面空间的个体与个体之间关系的研究属于宏观描述，单个个体内部空间研究属于微观描述。当下，GIS主要描述地理空间里面物体的宏观描述，把植物、动物、道路、建筑等抽象成点线面并做进一步分析，但是物体内部的微观空间还鲜有描述^[14-15]。

2.2.2 几何空间

空间是我们生活的这个现实空间，几何空间是对周围现实空间抽象后的某些近似描述，按研究空间的性质划分有欧氏几何、罗氏几何与黎曼几何，对应的空间是欧氏空间、罗氏空间和黎曼空间^[16]。

欧氏空间：由欧几里得提出，他从少数几条公理出发，利用逻辑推理的方法证明几何学的全部命题，这一套理论体系简称为欧氏几何，对应的空间称为欧氏空间。欧氏几何三角形三个内角之和等于180°，欧氏空间里的基矢量空间变化率是零。

罗氏空间：由罗巴切夫斯基提出，他假定过已知直线外一点至少能够做两条直线与已知直线共面而不相交，从而建立了他的一套公理化体系，后人称之为罗氏几何，对应的空间称为罗氏空间。罗氏几何三角形三个内角之和小于180°，罗氏空间的基矢量空间变化率小于零。

黎曼空间：由黎曼提出，他假定空间是弯曲的，且过已知直线外一点不能做出任何直线与已知直线共面而不相交。他又建立了一套公理化体系，后人称为黎曼几何，对应的空间称为黎曼空间。黎曼几何三角形的三个内角之和大于180°，黎曼空间的基矢量空间变化率大于零。

2.2.3 空间分析

基于爱因斯坦对宇宙的假设，宇宙是从某个点发生大爆炸扩张而来，如图1(a)所示，类似于一个扩张的圆柱，而圆柱的底部中心就是这个来源点^[17]。植物是从某个种子发展而来，构成柱状体，如图1(b)所示。动物和人是从小受精卵而来，最后构成柱状体，如图1(c)所示^[18]。

根据前面的分析，植物所处的空间是常规地理空间，而植物内部空间和动物内部空间、茎秆内部空间(如图1(d)所示)和血管内部空间(如图1(e)所示)，这些都可以认为是黎曼空间。养分就是在这个黎曼空间里流动、运输和转化的，并且随着植物、动物的生长，这个空间也在扩张。因此用几何空间中的黎曼空间来描述微观，通过外部欧氏空间(简称外部)和内部黎曼空间(简称内部)互相转化来实现宏观和微观的管理^[19]。



(a)宇宙大爆炸图 (b)植物图 (c)人体图 (d)玉米茎切面图 (e)血管图

图1 不同的空间图

Fig.1 Pictures of different spaces

3 微观空间的数学分析(Mathematical analysis of the micro-space)

3.1 微观空间维度分析

3.1.1 零维、一维和二维

欧氏空间用 (x, y, z) 来表示,黎曼空间用(速度,方向,时间)来表示。欧氏空间零维是点,用坐标 (x, y) 来记录点实体的位置。黎曼空间零维是静止,速度是0,曲率也是0。其中有一个与欧氏空间相重合的点是基准点。黎曼空间的其他零维点是以这个基准点为基础转化得来的。欧氏空间一维是线,由多个点连接构成。黎曼空间一维是点在点空间扩张运动形成有方向的线空间,这个运动用转化表示,即一个点向前后转化成另一个点,如此循环,一直转化到这个线空间的端点。

欧氏空间二维用面(一串首尾相连的坐标对)表示,该面上的点的高程相同。黎曼空间二维是点空间扩张运动形成线空间,再扩张运动构成面空间。点不仅向前后扩张,也向左右扩张。这个扩张运动用转化表示。循环转化到面空间边界,该面空间里的点是引力相同的点。一维和二维最重要的是不克服重力,不突破引力面,类似于欧氏空间里面的高程相等的平面线或者平面面。

3.1.2 三维和四维分析

欧氏空间三维是三个坐标轴 x 、 y 、 z 无限延伸形成的立方体空间。体(三维)由多个面表示,传统GIS考虑物体外部,并没有很好地描述体,仅仅将 h 作为属性来表示高度,且还处于初步研究阶段,换言之就是第三维并没有很好的表示方法。因此从根本上说是一层,并不是真正存在上下多层的情况。黎曼空间三维是点前后左右上下扩张。微观领域的植物、动物和多层建筑等,必须先到达基准点,然后一层一层运动到达上部,上层往下也是如此,不能穿越,必须一层一层往下。从内部空间角度来看,上下每个点的重力不同,即点所处的引力面不同。其实是一个端点向上运动转化为另一个点,转化的过程中克服重力,突破引力面,从第一个引力面向上到达第二个引力面,然后往复,最终形成我们常说的高程,而外部欧氏空间的 h 是无法描述这种情况的。

欧氏空间四维是时间,用来描述三维空间物体运动。当下是基于事件和时刻来描述,每个时刻对应该时刻发生的瞬时事件,自然时刻越精确,事件描述越清晰,数据量就越大,但是目前也没有很成熟的方法。黎曼空间的基准点用运动描述,本身附带时间,自然时间描述就可以表示物体运动的属性。由于在外部欧氏空间已经知道起点和终点,内部黎曼空间黎曼也有基准点,自然可以描述时间,并以此来描述植物、动物内部的变化,反映到外部欧氏空间则是植物生长、动物生长。

3.2 微观空间拓扑分析

外部空间二维平面的拓扑关系是包含、关联、邻接等空间关系^[14]。内部空间的点位于同一引力面时,拓扑关系类似外部二维。外部三维拓扑关系复杂,需要考虑立面 $(\{x, z\}$ 或 $\{y, z\})$ 和立体。把内部空间基准点沿着生长点转化形成的轴叫作中轴线,内部三维需要分析中轴线和不同的引力面。

3.2.1 二维拓扑关系

中轴线是点实体在垂直方向上做上下运动,静态时其

拓扑是相邻和相离,相离的两个点中间无空缺。在植物内部,细胞克服重力一层一层向上向下分裂,下部细胞对上部细胞起到支撑作用。二维面是立面,植物内部有横切面和竖切面,横切面类似年轮;竖切面是中轴线扩展形成的面(立面),这个面是曲面,面上细胞之间的拓扑关系由于相互之间支撑和联系会变得极其复杂。

3.2.2 四维拓扑关系

四维是研究时间上的关系,用时域、频域来分析。浓度高运算多频率高,浓度低运算少频率低。植物变化是细胞变化的组合,细胞转化运算用频域表示,加上时间后,频域可以随着时域发生变化,多个频域的组合构成植物瞬时状态。在时域领域,无法截取部分时间内容,但在频域领域,可以较容易地截取部分细胞,或者重新组合成新的瞬时状态。

4 微观空间的数据管理(Data management of the micro-space)

4.1 数据组织管理的认知

常用的数据库是关系数据库,关系数据库与图数据库类似,本质是行数据库^[20],可以将这些当作一维的线状数据库,用来组织管理零维点。实体与实体之间的组织管理是一行一行的组织管理。面向对象数据库是行数据库的一种扩展,把一维数据库扩展成面,变成二维数据库进行组织管理^[21]。虽然对象与对象之间的关系不是二维表横竖划分,但这些仍然是平面数据组织管理,即二维的面数据库,用来组织管理一维线。

在外部欧氏空间,物体与物体之间主要是物理作用。而在植物内部空间,中间发生的都是化学反应。从平面角度来说,二维主要是面,也可以把 $\{xz\}$ 和 $\{yz\}$ 都当作二维,也就是研究垂直线与立面,研究点对象的上下运动。由于植物内部空间分子很多,可以说是无限的,无法用宏观记录位置的方法来描述。对于植物营养来说,每种养分的吸收路径、运输路径、转化过程和对象都是有差别的,这里通过测定浓度来表示并描述路径,即描述上下过程中的转化,因此需要建立三维数据库来管理二维面。

转化过程是一种运算,包括物理运算和化学运算。同类实体有同样的转化,就有同样的运算,用群论来描述:群{实体,转化}。在这个群中,虽然细胞的起始位置和终点位置不固定,但它们发生的转化运算过程是一样的。植物有根、茎、叶、芽四个群,各群有各自的运算,这些运算是单向的,不能逆运算,比如细胞转化为叶片,但是叶片不能转化为细胞。当然,同类型的转化是一种群,比如水与冰的转化;不同类型的转化是其他群。从大类上说,植物群与动物群是无法转化的,无生命建筑群也无法转化为植物群或者动物群,但是群内部是可以的,比如克隆、移植、嫁接等。

4.2 空间数据转化模型

综上,本文提出空间数据转化模型(Spatial Data Transformation Model, SDTM),建立转化数据库(层叠图+层叠交叉环),以此来解决内部空间的养分运输转化问题。模型类似圆柱体,由一层一层的环构成,每个环由多个图构成。层叠环之间由上下通路连接,整个立体环内由回路连接,圆柱外可以再延伸圆柱,圆柱内部是一样的,类似于海陆水循环。

转化数据库本质上是三维数据库，通过把前面的二维数据库向上下扩展，变成了立体和多层。每一层有多个对象，各层与各层之间是转化关系，转化有方向性。植物内部空间包括横切面和上下垂直面。横切面类似外部欧氏空间的平面；垂直面z轴的方向主要取决于茎秆的方向。植物生长点的细胞向上分裂并长高，这个过程就是细胞克服重力转化到顶部，逐渐形成宏观欧氏空间的第三维——高程。该高程在外部欧氏空间通过测量而得到，由于基元是一个内外连接的坐标点，可以结合高度得到末尾端点。横切面发生的转化过程用层叠图储存，垂直面的转化过程用交叉环储存，最终构成了空间数据转化模型。

4.3 多维空间数据模型展望

关系数据库是行数据库，每行代表一个实体。现实中实体暗含属性，迁移到数据库领域，扩展成每个小格代表一个实体，构成面向对象数据库。平面表格加上层叠图的交叉环，即向上扩展到立体表格，构成转化数据库。把转化数据库的基准中心由最底层向上迁移到整个表格的中心，构成中心环状数据库。当表格之间的转化连接部分变成轨迹圆状，就构成球状数据库。每个球状数据库代表一个球体，每个球体都有自己的引力轨迹，所有球体在一个空间引力面上，构成空间引力数据库。最后再扩展到立体，立体上是不同的时间面，构成时空引力数据库。结合上面数据库对应实体之间的关系来说明拓扑关系变化。关系数据库对应的是平面拓扑关系；面向对象数据库对应的是实体组合拓扑关系，包含平面拓扑关系；转化数据库对应的是立体重力拓扑关系，包含实体组合拓扑关系；中心环状数据库对应的是中心重力拓扑关系，包含立体重力拓扑关系；球状数据库对应的是球状拓扑关系，包含中心重力拓扑关系；空间引力数据库对应的是引力拓扑关系，包含球状拓扑关系；时空引力数据库对应的是时空引力拓扑关系，包含引力拓扑关系。数据库的拓扑关系和模型图如表1所示。

表1 数据库的拓扑关系和模型图

Tab.1 Topology relationship and model diagram of database

编号	数据库	拓扑关系	模型图
1	关系数据库	平面拓扑关系	
2	面向对象数据库	实体组合拓扑关系	
3	转化数据库	立体重力拓扑关系	
4	中心环状数据库	中心重力拓扑关系	
5	球状数据库	球状拓扑关系	
6	空间引力数据库	引力拓扑关系	
7	时空引力数据库	时空引力拓扑关系	

5 结论(Conclusion)

地理信息系统与各行各业的交叉融合越来越多，相互促进发展。本文以多学科交叉融合为思路，以植物营养学思想为基础，以微观空间的养分资源管理为目的，从空间认知、数学分析和组织管理三方面构建了微观地理信息系统的框架，不仅拓展了GIS的空间应用范围，也为下一步的物理存储和系统开发提供了基础。

本文只是对微观地理信息系统框架的初步探讨，还需

要实践验证。相信随着未来科学技术的发展，一方面微观GIS结合人工智能技术和纳米机器人技术，将会进入生命内部空间，广泛应用于人体、动物、植物的疾病诊断治疗等方面，为生命健康做出贡献^[3]；另一方面，随着GIS在各种空间的发展，对宇宙空间的探索也将具有重要的意义。

参考文献(References)

- [1] 华一新,周成虎.面向全空间信息系统的多粒度时空对象数据模型描述框架[J].地球信息科学学报,2017,19(9):1142-1149.
- [2] 江南,方成,陈敏.全空间信息系统认知与表达初探[J].地球信息科学学报,2017,19(9):1150-1157.
- [3] 周成虎.全空间地理信息系统展望[J].地理科学进展,2015,34(2):129-131.
- [4] 华一新.全空间信息系统的核心问题和关键技术[J].测绘科学技术学报,2016,33(4):331-335.
- [5] 张绍祥,王平安,刘正津,等.首套中国男、女数字化可视人体结构数据的可视化研究[J].第三军医大学学报,2003(7):563-565.
- [6] 高俊,曹雪峰.空间认知推动地图学学科发展的新方向[J].测绘学报,2021,50(6):711-725.
- [7] 石孝均.水旱轮作体系中的养分循环特征[D].北京:中国农业大学,2003.
- [8] 陈光荣,王立明,杨如萍,等.平衡施肥对马铃薯-大豆套作系统中作物产量的影响[J].作物学报,2017,43(04):596-607.
- [9] 石孝均,周则芳.紫色土锌锰氮与氮磷钾配施对大麦的营养效应[J].西南农业大学学报,1990(6):584-586.
- [10] 张福锁,马文奇,陈新平,等.养分资源综合管理理论与技术概论[M].北京:中国农业大学出版社,2006:15-20.
- [11] 张福锁,王激清,张卫峰,等.中国主要粮食作物肥料利用率现状与提高途径[J].土壤学报,2008(5):915-924.
- [12] FREUNDSCHUH S M, EGENHOFER M J. Human conceptions of spaces: Implications for geographic information systems[J]. Transactions in GIS, 1997, 2(4):361-375.
- [13] COUCLERIS H, GALE N. Space and spaces[J]. Geografiska Annaler: Series B, Human Geography, 1986, 68(1):1-12.
- [14] 陈军,赵仁亮.GIS空间关系的基本问题与研究进展[J].测绘学报,1999(02):4-11.
- [15] ZHOU X H, YANG M S. Higher geometry[M]. Beijing: Science Press and Alpha Science Alt, 2014:5-25.
- [16] 杜家安.几何学与几何空间探讨[J].安阳师范学院学报,2003(5):13-15.
- [17] 许弟余,焦善庆,龚自正,等.宇宙大爆炸及宇宙演化[J].云南大学学报(自然科学版),2008,138(6):579-582,595.
- [18] 谭翠燕,梁汝强,阮康成.量子点在生命科学中的应用[J].生物化学与生物物理学报,2002(1):1-5.
- [19] MISHRA H, MISHRA A. Thinking outside the euclidean box: Riemannian geometry and inter-temporal decision-making[J]. Plos One, 2016,11(3):1-22.
- [20] CODD E F. A relational model of data for large shared data banks[J]. Communications of the Acm, 1970, 13(6):377-387.
- [21] 王怀民,陈火旺.人工智能软件中的面向对象程序设计[J].软件学报,1993,4(1):43-49.

作者简介:

赵 帅(1986-),男,硕士,讲师.研究领域:地理信息系统,植物营养学.