

基于复杂网络理论的肥胖症影响因素研究

许小可¹, 张海峰², 方锦清³

(1. 大连民族学院信息与通信工程学院, 辽宁 大连 116600; 2. 安徽大学数学与科学学院, 合肥 230039;
3. 中国原子能科学研究院, 北京 102413)



摘要:常规研究方法一般是在线性模型的基础探讨遗传、膳食和身体活动等多种因素对肥胖症的影响,很难对肥胖症影响因素做出全面的、系统性的描述和分析,无法有效预防和控制肥胖。本文以英国权威科学家提出的影响肥胖的八大类别109个变量为基础,在复杂网络研究框架下定性和定量分析了所有变量之间的相互影响及其拓扑结构特征,探讨了影响成人超重肥胖的重要因素,并研究了多尺度下肥胖症各因素之间的关联性。

关键词:复杂网络;肥胖症;复杂系统;节点重要性

中图分类号:N94

文献标识码:A

Studies of Obesity Influence Factors Based on Complex Network Theory

XU Xiao-ke¹, ZHANG Hai-feng², FANG Jin-qing³

(1. College of Information and Communication Engineering, Dalian Nationalities University, Dalian 116600, China;
2. School of Mathematical Science, Anhui University, Hefei 230039, China;
3. China Institute of Atomic Energy, Beijing 102413, China)

Abstract: The conventional research method of obesity is generally on the basis of linear models, and only some important factors like genetic, dietary and physical activity have been discussed. Actually, the above linear method is difficult not only for making a comprehensive systematic description and analysis for obesity influence factors, but also for effectively preventing and controlling the adult obesity. In this study, we used the 109 variables in eight categories proposed by the British authority scientists to study obesity, and we qualitatively and quantitatively analyzed the interaction between all the variables and their network topological structure based on complex network theory. Furthermore, we explored important factors of influencing adult overweight and obesity, and we studied the multi-scale correlation among various factors.

Key words: complex networks; obesity; complex system; node importance

0 引言

肥胖症又名肥胖病,是一种社会性慢性疾病,是一种身体脂肪含量过多为重要特征、多病因、能并发多种

疾病的慢性病^[1]。在世界范围内肥胖发病率逐年增加,世界卫生组织已将其定位为一种重要的疾病,成为世界范围内重要的公共卫生问题。在美国,64.5%的人群处于超重、肥胖状态。国内调查显示,2002年中国成年人超重和肥胖发生率分别为22.8%和7.1%,超重和肥胖已经影响到2亿7000万人口。特别值得注意的是,目前全球有1.55亿学龄儿童青少年超重,3000万~4000万儿童青少年肥胖。儿童肥胖的流行病学报道越来越多,其全球流行趋势已引起高度关注。2000年中国发达城市学龄儿童青少年超重、肥胖呈全面流行趋势。同时,中国的青少年肥胖发展速度比欧美发达国家发展速度还要快。儿童青少年期超重和肥胖最严重的后果是到成年期的延续,发生于6~11岁和12~17岁的肥胖,分别有约55%和75%将持续到成年,而延续到成年的肥胖又与心血管疾病、非传染性疾病相互影响,从而加剧其发生与发展。由此可见,肥胖已经成为全球性非常常见的严重的社会疾病和社会现象^[2]。

肥胖严重威胁健康,有人把肥胖、高血压、高血脂和高血糖称为“死亡四重奏”。世界卫生组织把肥胖症列为影响人类健康的十大主要威胁,是人类长寿的主要障碍之一。研究结果表明肥胖症具有致死性,肥胖程度与病死率的增高几乎呈线性相关,当体重指数(BMI=体重/身高²,单位为kg/m²)>35时,病死率增高约为30%~40%。另外肥胖可引起高血压(肥胖者发病率为25~55%)、糖尿病(肥胖者发病率为14~20%)、冠心病(肥胖者发病率为10~15%)、高脂血症(肥胖者发病率为35~53%)、睡眠呼吸暂停(肥胖者发病率为10~20%)、抑郁症(肥胖者中发病率为70~90%)等,因此超重和肥胖是心血管疾病、糖尿病、恶性肿瘤等慢性非传染性疾病共同的危险因素^[3]。

近年来中国新生儿的出生体重也在不断攀升。国外研究表明:出生体重与后天肥胖及代谢性疾病呈U形分布,高出体重可能是后天肥胖及代谢性疾病的危险因素^[4]。令人担忧的是,中国儿童青少年超重和肥胖的人数正在激增。越来越多的研究证实,儿童青少年肥胖约有50%到成年后也肥胖,儿童青少年肥胖对成人期各种慢性非传染病的发病和死亡都有一定的影响。60%的5~10岁的肥胖儿童,在成年后出现代谢紊乱、糖尿病、高血脂、高血压等疾病,其带来的危害不可低估^[5-6]。面对中国目前居高不下且逐年递增的儿童青少年超体重、肥胖的检出率,全社会都要予以高度重视,因此深入研究其危险因素,积极采取预防措施,保证下一代和全民的健康、提高国民身体素质是一个迫切的重要课题。

鉴于肥胖症可以诱发多种其他慢性疾病,因此肥胖症给社会造成巨大的经济负担,2002年中国肥胖症及其相关疾病治疗的总费用高达100亿。2003年,超重和肥胖造成的高血压、糖尿病、冠心病、脑卒中的直接经济负担占中国卫生总费用和医疗总费用的3.2%和3.7%^[7]。在美国每年有30万人死于由肥胖引起的疾病,防治肥胖症及其相关并发症的费用迅速增加,2003年花费达750亿美元,2006年花费则增至907亿美元,2009年报道每年花费高达1470亿美元,占全国医疗保健费用总额的12%^[8]。因此有效地控制超重、肥胖,使心血管等慢性病控制关口前移,成为降低慢病疾病负担,提高居民生活质量的关键。

根据肥胖症的形成原因,可以将其分为3种类型:单纯性肥胖、继发性肥胖和药物性肥胖^[9]。3种类型中单纯性肥胖是各种肥胖最常见的一种,约占肥胖人群的95%左右。影响单纯性肥胖的因素很多,任何因素只要能够使人能量摄入多于能量消耗,都有可能引起单纯性肥胖,这些因素包括年龄、进食过多、体力活动过少、社会心理因素、遗传因素、脂肪组织特征等。鉴于单纯性肥胖的成因复杂,这些变量相互之间的作用构成一个非线性的、自组织的、动态变化的复杂系统,传统方法很难分析出变量之间的内在联系和相互作用,因此本文提出使用复杂网络的方法来研究肥胖症影响因素之间的关系网络。

过去十年中,复杂网络理论逐渐从纯理论研究发展到应用于社会学、金融、交通、网络、生物学等领域,近年来融合复杂网络理论的系统生物学成为国内外的研究热点,发展日新月异。复杂网络是由数量巨大的节点和节点之间错综复杂的关系共同构成的网络结构,用数学的语言来说,就是一个有着足够复杂的拓扑结构特征的图。复杂网络的研究是现今科学研究中的一个热点,可用来研究现实中的各类复杂性系统,如互联网网络、神经网络和社会网络等。复杂网络研究正渗透到数理学科、生命学科和工程学科等众多不同的领域,对复杂网络的定性定量特征的科学研究已成为网络科学研究中一个极其重要的挑战性课题^[10]。

本研究中影响肥胖的诸多因素相互作用,构成一个复杂系统。如果将每个因素当成一个节点,各个因素

之间的相互作用关系当作连边,这个复杂系统恰好可以使用一个有向的复杂网络来表示。本文基于复杂网络分析方法,定性和定量研究了疾病各因素在不同层面上的相互影响,同时基于节点重要性(中心性)理论找出了导致肥胖的重要因素,从而可以让人们有意识地对肥胖进行有效干预和控制,就个人而言可以因此远离肥胖,拥抱健康;就国家而言,可以减少治疗肥胖症和各种并发症的财政支出。

1 肥胖症影响因素的复杂网络结构

1.1 肥胖症各类别中变量的比例

尽管引起单纯性肥胖的原因好像很简单,普通人也都能归纳出一些影响因素来,如大多数认为吃得多运动少就会导致肥胖,但实际上影响肥胖的因素非常多。常规的肥胖症研究方法一般仅探讨遗传、膳食和身体活动等不同因素对于肥胖症的线性影响,可是这些因素的影响往往并非线性的,如尽管体育锻炼对于预防肥胖有帮助,但是这并不意味着体育锻炼越多预防肥胖的效果就越好。鉴于肥胖症研究的复杂性和困难性,英国权威肥胖科学家经过多年的研究和讨论,将影响肥胖的因素分成八大类别,合计有 109 个变量,这 8 个类别和每个类别的变量数量见表 1 所示^[11]。其中标号 1 到 8 分别表示核心能量、食物摄入、食品生产、个人活动、个人心理、生活环境、生理状态、社会心理 8 个类别。各类别中的变量数目和所占比例如表 1 所示,其中食品生产、生理状态、社会心理、食物摄入等在影响肥胖的因素中占据较高比例,这一结果和传统上人们所认识的影响肥胖因素具有一致性,但是涉及到的范围和变量数大大增加了。如生理状态类别中归纳了 19 个影响变量,说明归属于生理状态类别下对肥胖的影响变量居多,这些变量包括胎儿的生长情况、孩子的生长情况、产妇的身体状况、肠胃的消化吸收能力等。

表 1 影响肥胖因素的 8 个类别和变量个数

Tab. 1 Eight categories of obesity factors and the number of variables

标号	类别	变量个数	所占比例/%
1	核心能量	6	5.50
2	食物摄入	14	12.84
3	食品生产	19	17.43
4	个人活动	11	10.09
5	个人心理	10	9.17
6	生活环境	13	11.93
7	生理状态	19	17.43
8	社会心理	17	15.60

影响和导致肥胖的因素除了数量很多以外,这些因素之间相互作用的机制也是非常复杂的,常规方法较难有效进行分析和研究。图 1 a 是英国权威肥胖研究科学家历时多年画出的肥胖症影响因素相互作用系统框图^[12]。系统框图是一个系统各因素之间关系的图示,它能够清晰地表达比较复杂的系统各部分之间的关系,但是系统框图的缺点是无法表达复杂的结构,尤其是对复杂系统中各个组成单元之间关系的定性和定量描述。在传统社会学研究中,对于这么复杂的一个多因变量研究问题的解决是极其困难的。在图 1 b 中我们将系统框图转化成肥胖症影响因素构成的复杂网络,不同颜色的节点代表不同类别的变量,节点的大小代表节点的度中心性指标,连边的大小代表不同因素之间的相互作用强度。复杂网络是由一定数量的节点和节点之间错综复杂的关系共同构成的网络结构。用数学的语言来说,复杂网络就是一个有着足够复杂的拓扑结构特征的图,使用复杂网络理论分析肥胖症系统的最大好处是可以定性和定量对该系统进行刻画和描述。

需注意的是,在目前的肥胖症影响因素网络中科学家仅仅关注了各种因素是否有作用,而没有区分这种作用是正面的还是负面的。比如说社会心理类别中拥有一个变量——肥胖是病的认知感。在中国唐朝时期,崇尚的女性体态美是额宽、脸圆、体胖,那时候的人们对肥胖是病的认知感极低,或者说根本就没把它当成一种病而是作为一种美的标准存在于社会,这样的社会心理促进了肥胖症的社会传播,在一定程度上造就了当时胖人居多的时代。而在现代社会,整个社会的审美情趣发生了巨大变化,在这个以瘦为美时代人们对肥胖的认知感极高,这样的社会心理就会导致“肥胖是病的认知感”这一社会心理因素对于肥胖症的影响由正面作用变成了负面作用。

1.2 肥胖症复杂网络的拓扑结构分析

为了更好地研究影响肥胖症各因素之间的交互关系,可将每个因素当成一个节点,各个因素之间是否存

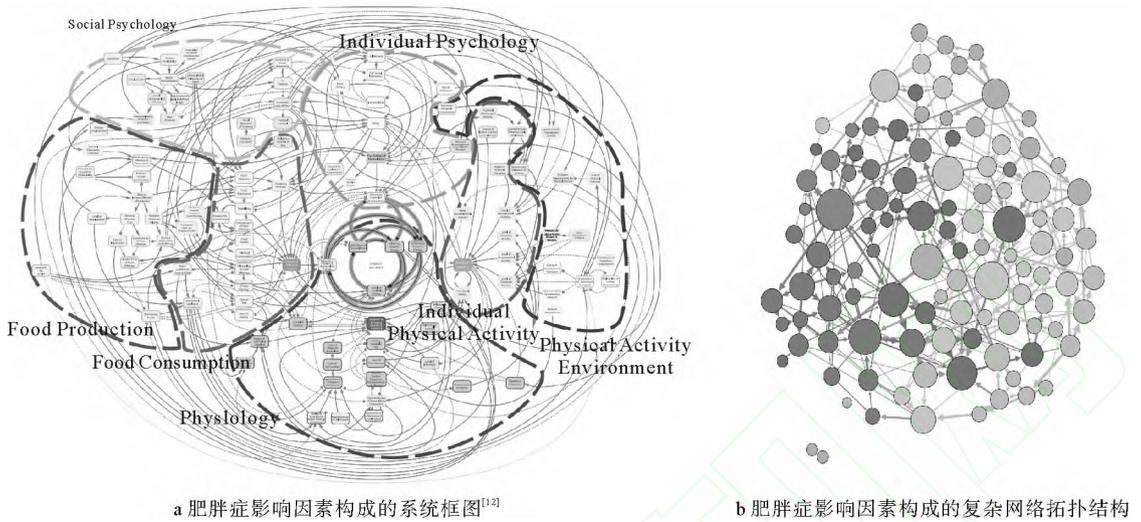


图1 影响肥胖所有变量构成的系统框图和转化成的复杂网络拓扑结构

Fig. 1 The system block diagram of all the obesity variables and the corresponding complex network topology

在相互作用看成是网络是否存在连边,这样肥胖复杂系统恰好可以使用一个有向的复杂网络来表示。在图1b中显示了由109个影响肥胖症的变量组成的复杂网络拓扑结构,整个网络一共有292条连边。对该网络的定量分析结果为:网络的平均度约为5.35,平均聚类系数约为0.11,平均最小路径长度为3.05,网络直径为6。通过这些指标和同规模的随机网络比较后发现,肥胖症网络具有明显的小世界特征:较小的平均最短路径长度和较高的聚类系数。

一般而言,小世界网络中较高的聚类系数说明肥胖症网络中不可避免地会出现节点聚集形成的社团结构。将同一类别的变量使用相同颜色的节点来表示,通过网络的可视化技术可以看到在图1b中相同颜色的节点之间距离比较近,他们相互之间的连接也比较多,形成了很明显的社团结构。为了衡量网络的社团结构特性,计算了网络的模块化系数,模块化系数的计算公式为^[10-13]:

$$Q = \frac{1}{2m} \sum_{i,j} (A_{ij} - \frac{k_i k_j}{2m}) \delta(C_i, C_j) \tag{1}$$

其中, m 为整个网络的边数量; A_{ij} 为网络中节点*i*和节点*j*之间的连边数量; k_i 和 k_j 分别为节点*i*和节点*j*的度; C_i 为顶点*i*所属的社团, $\delta(C_i, C_j)$ 为 δ 函数,即 $C_i = C_j$ 时值等于1,否则等于0; p_{ij} 为随机零模型中节点*i*和节点*j*之间的连边数的期望值。当 Q 函数的值接近1时,表明相应的网络具有非常好的社团结构。实际应用中, Q 的最大值一般在0.3~0.7的范围内,更大的值很少出现。在本文中,肥胖症复杂网络的模块化系数 $Q = 0.54$,说明该网络有很强的社团结构,这个结果说明肥胖科学家对于各种影响因素的分类是比较合适的,确实有些肥胖因素相互之间作用比较强,形成一个强连接的社团结构。

2 基于网络节点中心性理论的肥胖症重要影响因素研究

2.1 复杂网络的节点中心性理论及应用

很多复杂网络呈现出异质的拓扑结构,这说明这些网络中每个节点的重要程度是不同的。在复杂网络的各种基础研究中,识别出网络中的一些最重要节点具有非常明显的实用价值。对于各种各样的实证网络,识别出重要节点可以针对性地分析其性质,制定正确的策略和措施。如在恐怖组织关系网络中,如果能定位出组织中的头目和骨干分子,那么就能迅速侦察到恐怖集团的破坏行动^[14];在大规模计算机网络中,可以根据服务器节点的重要程度进行有针对性的备份,这样既能保证网络的鲁棒性,也能有效地节省资源^[15];在传染病传播的社交网络中,如果能尽快找出超级传染者,就可以有针对性地进行治疗和隔离重点病人,有效防止

病毒的传播和扩散^[16]。为满足应用的需求就需要设计和计算各种有针对性的中心化指标,不同类型的复杂网络通常也需要使用不同的中心化指标来进行度量和刻画。目前最常用的衡量节点重要性的中心化指标为度中心性指标、紧密度中心性指标和介数中心性指标^[17-18]。

1) 度中心性。节点度就是所有和它直接相连的节点数量,是研究网络拓扑结构的最基本参数。节点的度值体现了该节点和周围节点之间建立直接联系的能力,因此节点的度值中心性大小体现了节点的活跃特性,中心性较高的节点具有较多的连接关系。设网络中有 n 个节点,则节点 x 的度指标计算公式为^[15]

$$C_d(x) = d(x) \tag{2}$$

其中, $d(x)$ 为节点 x 直接相连的节点数,也就是该节点的度值。

2) 紧密度中心性。节点中心性的第 2 种观点建立在紧密度概念的基础上,度量方法强调在所有节点的集合中,某一个节点与所有其他节点之间的接近程度。从接近程度的角度看,占据中心的节点在与其他节点之间交流信息时比较有效率。紧密度中心性刻画网络中节点到达网络中其它节点的难易程度,其值定义为该节点到达所有其它节点的最短距离之和的倒数。设网络中有 n 个节点,则节点 x 的紧密度中心性计算公式为^[15]

$$C_c(x) = \frac{1}{\sum_{y=1}^n d_{xy}} \tag{3}$$

其中, d_{xy} 为节点 x 和 y 之间的最短路径。度中心性指标反映了一个节点对于网络中其他节点的直接影响力,而紧密度中心性指标则反映的是节点通过网络对其他节点施加影响的能力,因而紧密度指标相对于度指标更能反映网络全局的结构。

3) 介数中心性。介数中心性是建立在以下假设的基础上,即一个节点如果能够控制传播通道的话,则它在网络中应该获得更大的权利、具有较高的的重要性。两个不相邻节点之间的相互作用依赖于网络中的其他节点,特别是那些在这两个节点之间提供连接路径的节点,因此可认为重要节点在某种程度上控制着很多不相邻节点之间的相互作用,这就是介数中心性的物理意义。介数指标刻画了网络中节点对于信息流动的影响力,在网络中使用最短路径路由算法,介数中心性指标刻画了信息流经给定节点的可能性,节点的介数中心性均会随着经过该节点的信息流的增大而增大,因此利用介数指标可以确定信息负载繁重的网络节点。网络中节点 x 的介数中心性计算公式为^[15]

$$C_b(x) = \sum_{j < k} \frac{g_{jk}(x)}{g_{jk}} \tag{4}$$

其中, $g_{jk}(x)$ 为节点 j 和 k 之间经过节点 x 的最短路径数, g_{jk} 为节点 j 和 k 之间的最短路径数。介数中心性除了能衡量节点的重要性外,它的另一个重要作用是能够分辨出跨界者,即那些在两个或多个社团结构中扮演着不可或缺桥梁作用的个体^[19]。

2.2 不同中心性指标下肥胖症重要影响因素分析

利用 2.1 节介绍的复杂网络中心性指标可以找出对肥胖症影响最大的几个重要因素,按照不同指标的排序结果如表 2 所示。经过分析比较后发现,度中心性指标和紧密度中心性指

表 2 影响肥胖的重要因素按照不同节点中心性指标排序结果

Tab. 2 The sorting results of all the obesity factors based on different node importance indexes

节点按重要性排序	度中心性 Degree Centrality	紧密度中心性 Closeness Centrality	介数中心性 Betweenness Centrality
1	体育锻炼	体育锻炼	体育锻炼
2	膳食习惯	控制能量积累的意识	努力获取能量
3	控制能量积累的意识	时间紧张	控制能量积累的意识
4	控制食欲的能力	膳食习惯	能量积累的锁定作用
5	时间紧张	控制食欲的能力	食物生产效率的增加

标排名在前五名的影响因素都是相同的,而且他们的结果与我们直觉是一致的。如膳食习惯、控制食欲的能

力、时间紧张这几个因素会影响人的肥胖程度都是被广泛接受的,因为不合理的膳食习惯、无节制的大吃大喝、工作忙只能吃高热量的快餐食品确实很容易让人肥胖起来,这一结果也和经典的肥胖症研究结论是吻合的^[20]。

介数中心性指标的结果和前两个指标的结果有些区别,但是在3个中心性指标中都具有重要因素是体育锻炼和控制能量积累的意识。体育锻炼的重要作用是人所共知的,在这些指标中它都占有最重要的位置,它起到的主要作用是消耗能量,不让能量积累起来形成脂肪^[21]。控制能量积累的意识在所有指标中都排在前三位中,充分说明主观意识和能量不平衡在控制肥胖症中起着重要作用,因为肥胖起源于能量摄取和能量消耗之间的不平衡,肥胖或是摄取过多,或是能量消耗减少,或是两者兼有。一般摄取能量超过消耗能量,剩余能量则以中性脂肪的形式主要蓄积在脂肪组织内。中国的营养调查表明,居民膳食脂肪供能比在大城市已达38.4%,谷类和蔬菜消费逐渐减少,谷类供能比降至41.4%,大大低于平衡膳食60%~65%的合理比例^[22]。因此,体育运动量减少以及膳食习惯的结构变化对于成年人和儿童青少年的超体重、肥胖关联都比较大。

很有意思的是,介数指标中其他3个重要因素和度及紧密度指标不完全不同,说明介数中心性在刻画重要节点方面能够发挥独特的作用。介数指标中的重要因素是反直觉的,和主流的肥胖症研究结论相差很大,如传统上并不认为食物生产效率的增加是个体肥胖的重要因素,而介数中心性却告诉我们这一变量可能是很多人肥胖的重要原因。可见复杂网络的分析方法对于揭示超重肥胖发生的动态过程和做出比较全面的客观描述,进一步深入探索是有很意义的。

3 多尺度上各因素之间的相互影响

由表1和图1可知,影响肥胖症的各变量之间关系可以分为两个层次:一是微观层次,即各个变量之间的相互作用;另一个是宏观上的,即八大类别之间的相互作用和互动关系。单纯使用系统框图无法进行这种多尺度分析,而使用复杂网络分析方法不但可以定性也可以定量在不同层次上研究影响肥胖各因素之间的关系。

3.1 微观层次探索:基于个体中心网上各个因素之间的相互作用

在微观层次上,可以使用复杂网络理论精细研究每个类别中各个因素之间的关系,可以找到整体的各个局部中所包含的变量中较为重要的因素。同时使用复杂网络的方法还可以聚焦某一特定因素,专门研究这一因素和其他因素之间的关系。在对1355名美国成年男女进行了长达9年的跟踪调查后,科学家们发现那些时常感到精神压力大的人更容易身体发胖或患肥胖症^[23]。尽管该实证研究让我们知道了精神压力的重要影响,但是在整个肥胖症影响因素系统中,如何了解导致压力的原因都有哪些,压力过大会会有哪些不良影响,就需要建立个体网(自我中心网)进行研究。自我中心网是一个以特定节点为核心的个体网络,比如图2显示了精神压力这个节点为中心节点的一阶网络。通过观察该节点的人连接和出连接,能够充分了解该节点和其他变量之间的相互作用关系和作用强度。比如,“精神压力”往往会导致各种非常不健康的后果,如“药品的使用”,而对精神压力影响比较大的因素为“时间紧张”。

3.2 宏观层次探索:基于整体网研究上的类别关系及重要因素

近年来网络科学研究的突破主要是在整体网的研究中,宏观层次上可以运用复杂网络分析方法研究肥胖症网络中类别和类别之间的关系,并可以找到各大类别中较为重要的类别。在前面只分析了节点和节点之间的关系,为了在宏观上分析类别和类别之间的关系,将每一类别中的所有节点凝聚为一个节点^[24],将该类别内部之间的连接忽略不计,使用复杂网络粗类化方法画出了各个类别之间的相互关系,如图3所示。在该图中,连边的宽度表示一个类别中所有因素对一个类别所有因素影响作用之和,可以看出8个类别之间相互强烈影响着,每个类别都受到数量不同的其它类别变量的影响,影响因素往往不是单一的,这正说明了肥胖症的复杂性。比如生理状态类别分别受到生活环境、食品生产、食物摄入、社会心理的影响,其中主要是受到食物摄入的影响。从图3中可以分析出每个类别对其他类别的影响力,如食物摄入和生理状态对核心能量的影响最大,这说明这两个类别在影响肥胖的所有类别中起着最重要的作用;又如从网络图中可以看出食品生产会强烈影响食物摄入,生活环境会强烈影响个人活动,社会心理会严重影响个人活动,这些从网络分析获得的有用信息给人们带来了认识和研究肥胖症的新视角。

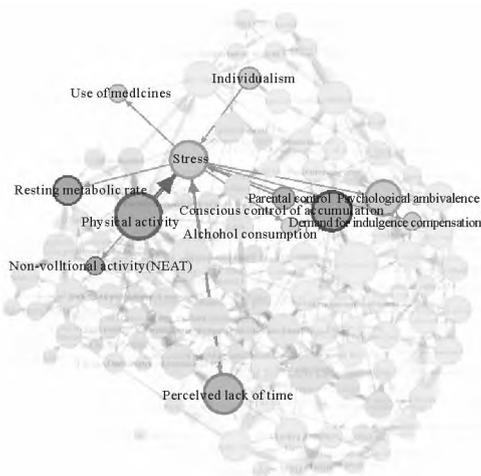


图 2 以精神压力为中心节点的个体网(自我中心网)结构图

Fig. 2 The network structure of the stress ego-network

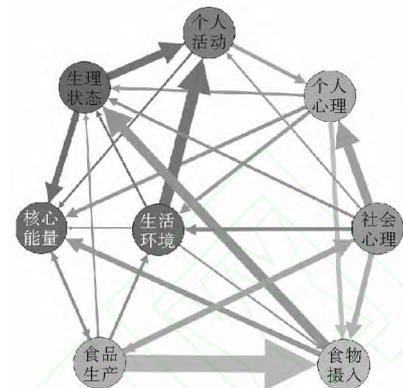


图 3 类别和类别之间的相互作用网络

Fig. 3 The interaction network between categories of obesity variables

4 结语

本文以英国权威科学家所提供的影响肥胖的八大类别 109 个变量的大数据为基础,在复杂网络理论的研究框架下首次定性和定量分析了所有变量之间的相互作用和相互影响,探讨了影响成人超重肥胖的多个重要因素,并研究了多尺度下肥胖症各因素之间的关联性。复杂网络理论从系统科学的视角来研究超重肥胖的病因及其病因之间相互作用机制,有利于对超重肥胖发生的动态过程做出客观的描述和预测,建立综合性的预测指标体系。复杂系统和复杂网络理论已应用于人体代谢网络结构研究、微观的细胞代谢网络、艾滋病等传染病传播与控制研究中,但在慢性病研究领域尚处于萌芽阶段。常规的肥胖症研究方法一般是使用线形模型理论,如仅探讨遗传、膳食和身体活动等不同因素对于肥胖症的影响,本文基于复杂网络理论分别在宏观和微观层次上分析了各个因素之间的相互作用和内在联系,揭示了肥胖症成因的非线性和复杂性。本研究的意义不但在于把复杂网络理论应用于超重和肥胖症的研究中,更为重要的是将复杂网络、复杂系统的相关理论和方法引入多因的慢性病学研究中,为该领域研究做出了新的有益尝试。

由于篇幅所限,本文仅着重分析了肥胖复杂系统的静态拓扑结构。我们也注意到,复杂网络上的动力学模型分析是研究系统复杂性的另一项重要工具^[25],超重肥胖的发生是遗传、环境因素和生活方式等多因作用的综合结果,而在这个多因构成的系统中各种因素之间也是相互关联、相互影响的,不同社区之间相互嵌套,存在所谓“网络的网络”,复杂系统中一个或少数几个因子的变动都会改变超重肥胖发生的整体动力学过程。在今后研究中将进一步应用网络科学的思想方法,着力于建立成人和青少年群体的超重肥胖的复杂系统动态模型,融合肥胖症复杂网络的结构和动力学过程相互作用,寻找针对特定人群特点的超重肥胖预防和干预措施,从而为社区慢性病诊断以及不同人群的肥胖预防干预政策制定提供量化依据。

参考文献:

[1] 吴丽明. 肥胖症的病因与危害[J]. 中国医药科学, 2011, 1(2): 25 - 26.
Wu Mingli. Pathogeny and dangers of obesity [J]. China Medicine and Pharmacy, 2011,1(2): 25 - 26.

[2] 武阳丰, 马冠生, 胡永华, 等. 中国居民的超重和肥胖流行现状[J]. 中华预防医学杂志, 2005, 39(5): 316 - 320.
Wu Yangfeng, Ma Guansheng, Hu Yonghua, et al. The current prevalence status of body overweight and obesity in China : data from the China National Nutrition and Health Survey [J]. Chinese Journal of Preventive Medicine, 2005, 39(5): 316 - 320.

[3] Chen C M. Overview of obesity in mainland China [J]. Obesity Reviews, 2008, 9(s1): 14 - 21.

[4] Ozanne S E, Fernandez-Twinn D, Hales C N. Fetal growth and adult diseases[J]. Seminars in Perinatology, 2004,

- 28(1): 81 - 87.
- [5] Parsons T J, Power C, Logan S, et al. Childhood predictors of adult obesity: a systematic review [J]. *International Journal of Obesity and Related Metabolic Disorders*, 1999, 23: S1 - 107.
- [6] Reilly J J, Methven E, McDowell Z C, et al. Health consequences of obesity [J]. *Archives of Disease in Childhood*, 2003, 88(9): 748 - 752.
- [7] 赵明利, 于健春, 康维明. 脂肪乳剂的研究进展[J]. *中国临床营养杂志*, 2008, 16(3): 184 - 191.
Zhao Mingli, Yu Jiancun, Kang Weiming. Research progresses of lipid emulsion [J]. *Chinese Journal of Clinical Nutrition*, 2008, 16(3): 184 - 191.
- [8] 连雯. 美国“肥胖症”的警示[J]. *决策与信息*, 2008 (10): 73 - 73.
Lian Wen. Warning of American obesity [J]. *Decision and Information*, 2008 (10): 73 - 73.
- [9] 李晓燕, 姜勇, 胡楠, 等. 2010年我国成年人超重及肥胖流行特征[J]. *中华预防医学杂志*, 2012, 46(8): 683 - 686.
Li Xiaoyan, Jiang Yong, Hu Nan, et al. , Prevalence and characteristic of overweight and obesity among adults in China, 2010 [J]. *Chinese Journal of Preventive Medicine*, 2012, 46(8): 683 - 686.
- [10] 汪小帆, 李翔, 陈关荣. 网络科学导论 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2012.
- [11] Finegood D T, Merth T D N, Rutter H. Implications of the foresight obesity system map for solutions to childhood obesity [J]. *Obesity*, 2010, 18(S1): S13 - S16.
- [12] Vandebroek P, Goossens J, Clemens M. Obesity system influence diagram[DB/OL]. [2013 - 09 - 07]. <http://www.shiftn.com/obesity/Full-Map.html>.
- [13] Newman M E J, Girvan M. Finding and evaluating community structure in networks [J]. *Physical Review E*, 2004, 69(2): 026113.
- [14] 许小可, 方锦清. 复杂网络理论在反恐战争中的应用[J], *复杂系统与复杂性科学*, 2010, 7(2):116 - 119.
Xu Xiaoke, Fang Jinqing. Application of complex network theory in war on terrorism[J]. *Complex Systems and Complexity Science*, 2010, 7(2):116 - 119.
- [15] 王林, 张婧婧. 复杂网络的中心化 [J]. *复杂系统与复杂性科学*, 2006, 3(1):13 - 20.
Wang Lin, Zhang Jingjing. Centralization of complex networks[J]. *Complex Systems and Complexity Science*, 2006, 3(1):13 - 20.
- [16] Small M, Tse C K, Walker D M. Super-spreaders and the rate of transmission of the SARS virus [J]. *Physica D: Non-linear Phenomena*, 2006, 215(2):146 - 158.
- [17] Wasserman S, Faust K. *Social Network Analysis: Methods and Applications* [M]. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 1994.
- [18] 赫南, 李德毅, 淦文燕, 等. 复杂网络中重要性节点发掘综述 [J]. *计算机科学*, 2007, 34(12):1 - 5.
He Nan, Li Deyi, Gan Wenyan, et al. Mining vital nodes in complex networks [J]. *Computer Science*, 2007, 34(12):1 - 5.
- [19] Tsvetovat M, Kouznetsov A. *Social Network Analysis for Startups: Finding Connections on the Social Web* [M]. Sebastopol: O'Reilly Media, 2011:50 - 70.
- [20] Flegal K M, Carroll M D, Ogden C L, et al. Prevalence and trends in obesity among US adults, 1999 - 2000 [J]. *JAMA: the journal of the American Medical Association*, 2002, 288(14):1723 - 1727.
- [21] James W P T. The fundamental drivers of the obesity epidemic [J]. *Obesity Reviews*, 2008, 9(s1): 6 - 13.
- [22] Yan H, Dibley M J, Deste K, et al. The national survey on the constitution and health of Chinese students in 1995: nutritional status of school students aged 10-17 years in Shanxi, China [J]. *Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition*, 1999, 8(2): 121 - 128.
- [23] Block J P, He Y, Zaslavsky A M, et al. Psychosocial stress and change in weight among US adults [J]. *American Journal of Epidemiology*, 2009, 170(2): 181 - 192.
- [24] Chen J, Lu J A, Lu X, et al. Spectral coarse graining of complex clustered networks [J]. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, 2013, 18:3036 - 3045.
- [25] Newman M E J. The structure and function of complex networks [J]. *SIAM review*, 2003, 45(2): 167 - 256.