

江苏省如皋市长寿人口分布区土壤及其微量元素特征*

杨荣清^{1,3} 黄标^{1,3†} 孙维侠¹ 邹忠² 丁峰² 苏健平²

(1 中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008)

(2 江苏省如皋市农业局, 江苏如皋 226500)

(3 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘要 人类的健康长寿主要依赖于遗传、生活习惯以及环境等因素, 其中环境是影响长寿现象的重要因素之一。对江苏省如皋市长寿人口的空间分布研究表明, 如皋市 90 岁以上长寿人口比率的空间分布具有地域聚集特征, 比率较高的区域分布在北部—东部—东南部发育较强的壤质锥形土和人为土上, 在中西部的砂质锥形土和南部弱发育的年轻壤质-粘质锥形土上, 比例较低。这种分布特征与土壤中的有效硒、锌和硼等微量元素空间分布特征相似。相关分析和主成分分析结果表明, 如皋市土壤中有效态硒、锌和硼与 90 岁以上人口比例均达到极显著相关, 并归属于同一主成分, 表明这些元素或组合可能是该地区对健康长寿有益的主要微量元素。

关键词 江苏如皋; 长寿现象; 土壤; 微量元素
中图分类号 S159 **文献标识码** A

人类的健康长寿主要依赖于遗传、生活习惯以及环境等因素, 其中环境是影响长寿现象的重要因素之一^[1-3]。人和自然界是一个统一体, 人类的生存、健康和发展依赖并受制于环境^[4]。早在 3000 多年前, 人们就注意到并在一系列文献中记载和论述了自然环境与人类健康和长寿之间的关系^[5]。Hamilton 等^[6]发现了地壳岩石中元素平均丰度与人体血液中元素的平衡丰度值的分布规律颇为类似, 首次揭示了人体中元素与地球环境密切相关的现象。土壤作为环境的要素之一, 处于环境的中心地位, 它影响着水质和作物品质^[7], 从多种途径影响人体健康^[8]。随着近代科学技术的发展, 人们逐渐了解了环境中生命元素的生理生化功能, 为从本质上认识健康与环境的关系提供了可能。自 20 世纪 90 年代以来人们开始关注长寿与环境的关系, 运用地球化学的方法研究了长寿与环境的关系^[9-13], 认为长寿地区环境中的生命元素含量不同于非长寿地区^[11-13], 其成果有一定的说服力, 但是研究较为零散, 缺乏系统性。

本文以闻名中外的长寿之乡——江苏省如皋市为研究对象, 分析该地区 90 岁以上长寿人口的空间分布与土壤类型和一些营养元素全量及有效态之间的关系, 确定与长寿有关的元素及其组合, 为探讨土壤环境对人类健康长寿的作用机理、创造人类生存的最佳地球化学环境提供科学依据。

1 数据来源与研究方法

1.1 研究区域概况

江苏省如皋市地处北纬 32°00' ~ 32°30', 东经 120°20' ~ 120°50', 属北亚热带湿润季风气候区, 年均气温 14.6℃, 年均降水量 1 059.7mm。全市总面积 1 593 km², 其中陆地面积 1 536 km²。如皋市位于长江三角洲冲积平原上, 全市地势较为平坦, 气候条件无明显差异, 但地质背景、土壤性质等方面地域差异较为明显。据如皋市公安局 2002 年的统计资料, 全市 145 万人口中有 195 位百岁以上的寿星, 远远超过了联合国规定的每百万人口中有 75 位百岁老人

* 江苏省自然科学基金(BK2002151)和中国地质调查局地质调查实施项目(200320130004)资助

† 通讯作者, E-mail: bhuan@issas.ac.cn

作者简介: 杨荣清(1976~), 男, 硕士, 主要从事土壤地球化学、环境地球化学研究

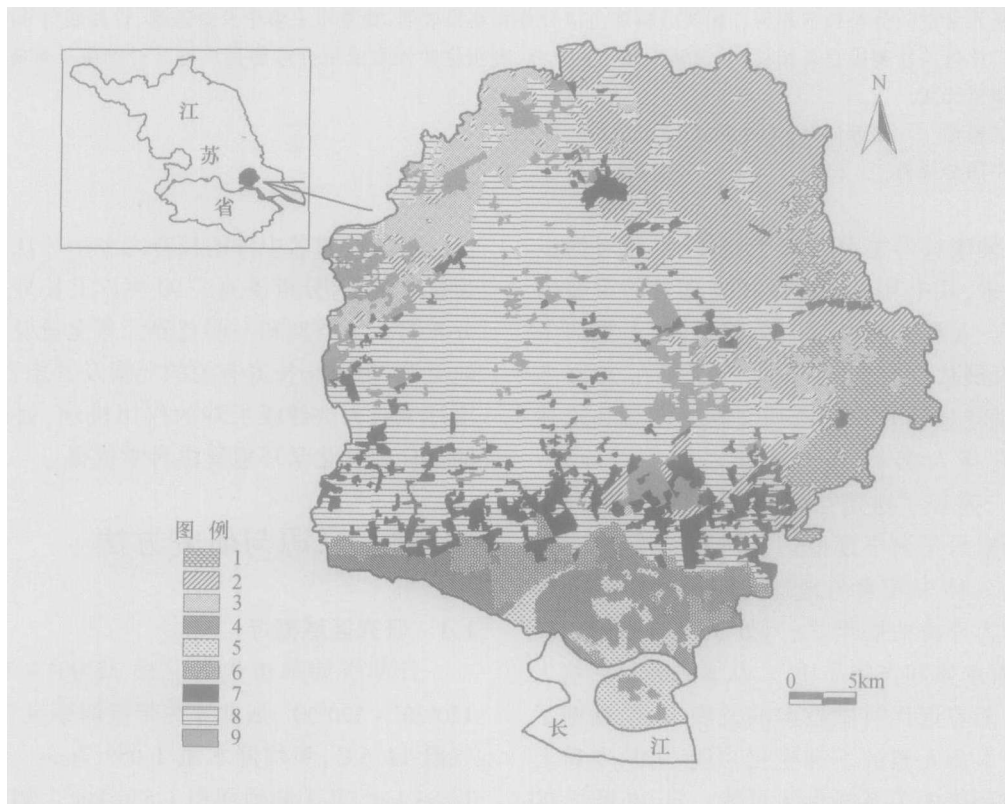
收稿日期: 2004-09-08; 收到修改稿日期: 2005-01-28

的长寿之乡的标准,90 岁以上的长寿老人也达 4000 多位,成为中外闻名的长寿之乡,而且还是目前世界上唯一地处经济发达的沿海平原地区的长寿之乡。

1.2 土壤类型及其分布

如皋市土壤类型受成土母质影响较为明显。东北部、中部和西部为长江和淮河冲积物形成的冲积平原,其中东北部冲积物粒度较细,中西部较粗⁽¹⁾,土壤类型^[14,15]为发育于其上的壤质混合型热性水耕暗色潮湿雏形土(东陈系)、砂质云母混合型热性普通筒育干润雏形土(郭园系)、砂质云母混合型热性石灰淡色潮湿雏形土(磨头系、桃园系)。而在西北部和东部有一定面积的浅湖相冲积物发育的壤质混合型热性水耕暗色潮湿雏形土(搬经系)、壤质云

母型热性普通筒育水耕人为土(白蒲系)。南部为长江近代冲积物,分布于沿江圩田和沙洲,其土壤分别为壤质云母混合型热性石灰淡色潮湿雏形土(营防系、张黄港系)和粘质水云母型热性石灰淡色潮湿雏形土(长青沙系)(图 1)⁽¹⁾。总的来说,土壤都呈碱性($\text{pH}7.98 \sim 8.40$),含碳酸钙($8.4 \sim 66.2 \text{ g kg}^{-1}$),有机质含量在 $14.0 \sim 20.0 \text{ g kg}^{-1}$ 之间。发育于古长江、淮河冲积物和浅湖相冲积物上的土壤(东陈系、郭园系、磨头系、桃园系、搬经系、白蒲系等)有一定的碳酸钙淋溶作用, pH 和碳酸钙在表层有所降低,而发育在南部长江近代冲积物上的土壤,由于发育时间较短,淋溶作用不明显,土壤 pH 和碳酸钙含量较高⁽¹⁾。



1. 白蒲系 Baipu soil; 2. 东陈系 Dongchen soil; 3. 搬经系 Banjing soil; 4. 营防系 Yingfang soil; 5. 长青沙系 Changqingsha soil; 6. 张黄港系 Zhanghuanggang soil; 7. 郭园系 Guoyuan soil; 8. 磨头系 Motou soil; 9. 桃园系 Taoyuan soil

图 1 如皋市地理位置及其土壤类型分布图

Fig. 1 The soil map and geographical site of Rugao County

1.3 土壤样品的采集和分析

在 2002 年至 2003 年间根据土壤类型的分布状况共采集了 203 个区域性土壤耕层样品,每个样品

为 100m^2 范围内的 5 个土样的混合样,样点采用 GPS 定位。采样点的分布见图 2。野外采集的土壤样品在室内风干,再按分析要求研磨成不同粒度,供

(1) 如皋县土壤普查办公室,江苏省土壤普查办公室. 江苏省如皋县土壤志. 1987

分析之用。硼、氟和硒等元素的有效态含量是用热水按 1:5 的土液比提取^[16,17],用姜黄素比色法测定提取液中硼的含量,用电极法测定氟的含量,用原子荧光光谱法测定硒的含量^[18]。土壤有效态铜、铁、锰、锌、镍、钴是用 DTPA 溶液按 1:2 的土液比提取^[19],然后用原子吸收光谱法测定提取液中元素的含量。土壤全量铜、铁、锰、锌、镍、钴、铬等用 X-荧光光度计测定。

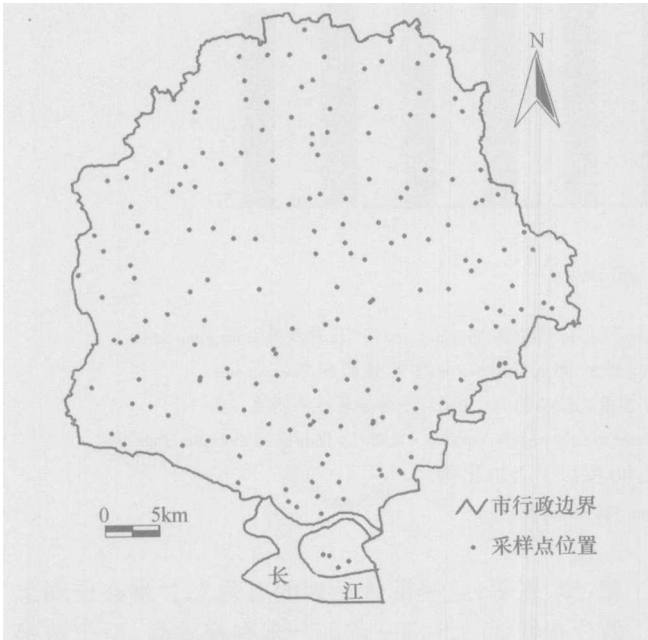


图 2 如皋市土壤采样点分布图

Fig.2 Soil sampling sites in Rugao County

1.4 数据统计及空间分析方法

在 GIS 软件的支持下,利用如皋市地形图、行政区划图和 90 岁以上人口数据建立了村级 90 岁以上长寿人口比率空间分布的空间和属性数据库,生成村级长寿人口空间比率分布图;利用土壤图和第二次土壤普查资料建立土壤空间和属性数据库;将村级长寿人口比率和土壤空间数据库进行叠加分析,统计出不同类型土壤上长寿人口的比率。有效态及全量微量元素含量空间分布图的生成采用 Kriging 插值方法,将村级长寿人口比率分布图和土壤微量元素含量的空间分布图进行叠加分析,生成含有每个村长寿人口比率和土壤全量及有效态元素含量的数据,在该数据的基础上进行统计分析。

应用 SPSS 软件中 Factor-Analysis 和 Correlate-Bivariate 模块分析长寿人口比例与土壤有效态及全量微量元素含量之间的相关关系,应用 GLM 模块进行方差分析检验各土系间长寿人口比例和有效态及全量微量元素含量的差异情况。

2 结果与讨论

2.1 长寿人口的空间分布特征

据如皋市 2002 年人口资料统计,全市 145 万人口中,90 岁以上的长寿人口比率平均为每 10 万人有 277 人,其中东部地区 90 岁以上人口比例最高,为每 10 万人有 351 人,高出如皋市平均值的 27%;而广大中部和西部地区 90 岁以上人口比例为每 10 万人有 249 人,低于如皋市平均值的 10%,地区之间的差异性显著。从如皋市长寿人口比例的空间分布图(图 3)可以看出,长寿人口在该地区的分布呈北部—东部—东南部较高,自东向西、自北向南逐渐递减呈弯弓形的分布特征,在北部、东部和东南部的局部地区形成长寿人口密集区。

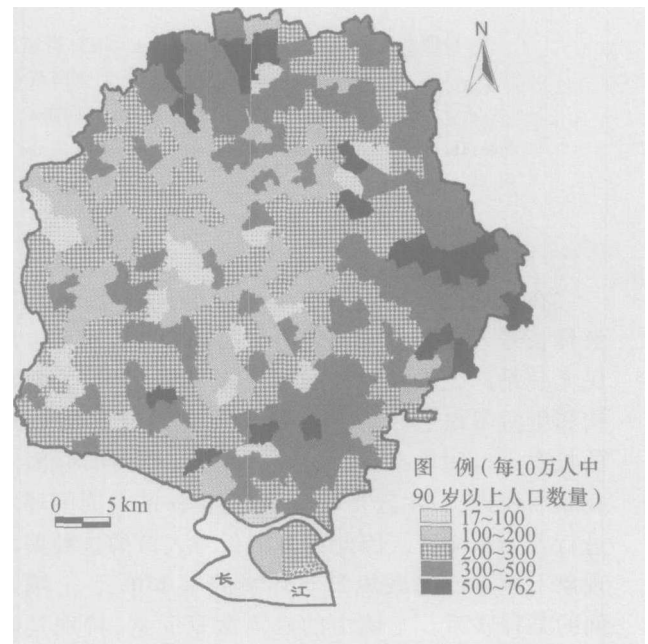


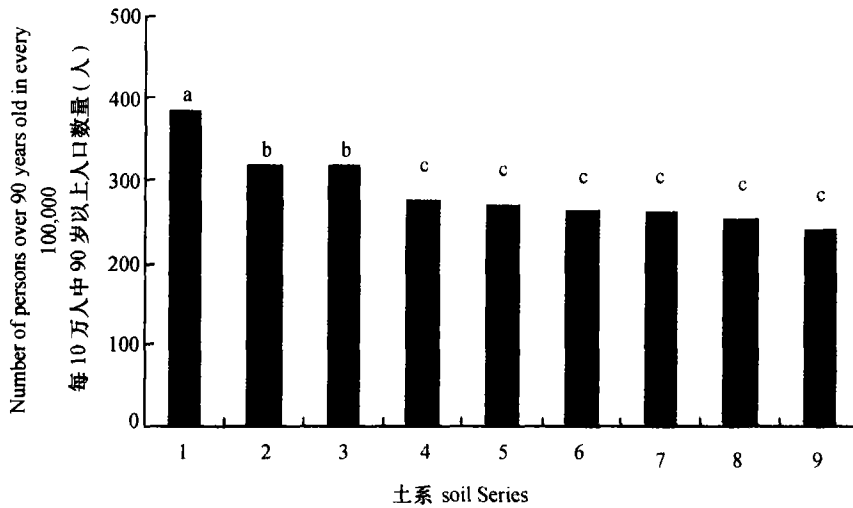
图 3 如皋市村级长寿人口比例空间分布图

Fig.3 Spatial distribution of the density of longevous people at the village level in Rugao County

从长寿人口与土壤类型之间关系看,在东部地区分布着成土年龄较老、土壤质地较细的水耕人为土白蒲系,90 岁以上老人的比例最高(每 10 万人有 383.6 人),其次是分布于西北和北部地区的壤质锥形土东陈系(每 10 万人有 318.9 人)和搬经系(每 10 万人有 318.6 人),长寿人口比例稍低,但均明显高于广大中西部地区质地较粗的砂质锥形土如磨头系(每 10 万人有 252.2 人)、郭园系(每 10 万人有 259.1 人)和桃园系(每 10 万人有 237.0 人)等或南

部地区发育的成土时间较短的壤质-粘质锥形土张黄港系(每 10 万人有 263.1 人)、营防系(每 10 万人

有 273.4 人)和长青沙系(每 10 万人有 269.4 人)等(图 4, $p < 0.05$)。



1. 白蒲系 Baipu soil; 2. 东陈系 Dongchen soil; 3. 搬经系 Banjing soil; 4. 营防系 Yingfang soil; 5. 长青沙系 Changqing soil;
6. 张黄港系 Zhanghuanggang soil; 7. 郭园系 Guoyuan soil; 8. 磨头系 Motou soil; 9. 桃园系 Taoyuan soil

注:不同土系柱形上方的字母相同表示 Duncan 多重比较检验 ($p < 0.05$) 差异显著性不明显

Note: The differences between bars of soil series topped by the same letter are not significant at $p = 0.05$ by Duncan's multiple range test

图 4 不同类型土壤上 90 岁以上人口比例

Fig. 4 Over-90 rate on different soil series

在影响健康长寿的三个因素中,遗传因素难以解释长寿人口这种区域性聚集现象^[1-3]。而全市居民尤其是广大农村地区的居民在风俗习惯、饮食结构和生活习惯上并无明显的差异,且统计表明 86% 的长寿人口居住在农村,这些长寿人群大部分固定在原居住地,一生迁徙较少,较为单一的与周围环境进行着物质交换。因此如皋市长寿人口的这种聚集现象不能不使人联想到与环境的基本单元-土壤之间的某种联系。土壤中的必需微量元素,特别是微量金属元素在人体中的含量虽少,但对人体的生物化学过程却起着关键作用,它们为酶、激素、维生素、核酸的成分,维持生命的代谢过程,对人类健康和长寿的影响最大^[20]。因此本文对如皋市土壤中微量元素的空间分布特征进行了研究,以探讨土壤微量元素与健康长寿之间的关系。

2.2 土壤微量元素的空间分布特征

经研究分析发现,土壤中微量元素的全量含量与长寿人口比例相关性不显著($p > 0.05$),所以现将土壤中有效态微量元素与长寿人口比例间的关系作一讨论。按土壤有效态微量元素含量的空间分布特征与长寿人口比例的空间分布特征的相似程度,将土壤中的微量元素分为三类:一类是有效态硒、锌、

硼、镍、氟等,这些微量元素的有效态含量在空间上的分布特征为北部—东部—东南部较高,而中西部较低,自东向西、自北向南呈弯弓形逐渐递减,与 90 岁以上长寿人口比例的空间分布特征极为相似;另一类是有效态锰和钴,其有效态含量在空间上的分布特点为西南部最高,南部较高,自西向东、自南向北逐渐递减,与 90 岁以上长寿人口比例的空间分布完全相反;第三类是介于以上两者之间的有效态铜和铁,其空间分布特征与 90 岁以上长寿人口比例的空间分布特征基本无相似之处,有效态铜的空间分布特征为南部沿江最高,东南偏高,自南向北,自东向西递减,整个中—西—北部偏低;有效态铁的空间分布特征为东北部和西部较高,中部和南部偏低,东部最低。

通过统计各土系土壤耕作层的有效态微量元素含量(表 1)也可以看出,长寿人口比例较高的白蒲系、东陈系和搬经系等土系(图 4)的有效态硒、有效态硼、有效态镍和有效态锌的含量较高,长寿人口比例较低的桃园系、磨头系和郭园系等土壤(图 4)这些元素的有效态含量较低。其余元素规律性不甚明显。微量元素的有效态含量与土壤性质的关系较为密切。如土壤 pH、碳酸盐含量、有机质、质地、氧化

还原电位等都将影响土壤微量元素的有效态含量^[21]。上述第一类微量元素中,硒和硼元素可能主要受土壤氧化还原电位和有机质较高等因素影响,使得他们在人为土和壤质水耕潮湿锥形土上有效性

较高。而锌元素则可能受土壤低 pH 和较粘的土壤质地影响,也在这些土壤中显示出较高的有效性。至于其他元素的有效性的影响因素,将另文加以详细讨论。这里不再赘述。

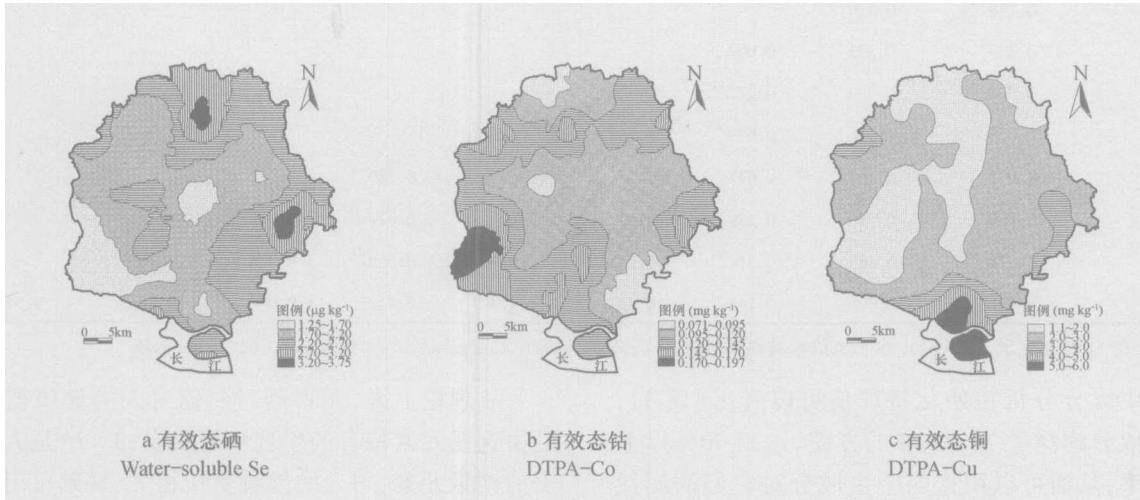


图 5 几种有效态微量元素含量的空间分布图

Fig.5 Spatial distribution of selected available trace elements

表 1 如皋市不同土壤类型表层有效态微量元素含量

Table 1 Concentrations of some available trace elements in different soil series

土系 Soil series	Se ($\mu\text{g kg}^{-1}$)	B	F	Cu	Fe	Mn	Zn	Ni	Co
		(mg kg^{-1})							
白蒲系 Baipu soil	2.56a	1.04a	4.75a	2.70d	28.9bc	13.9ab	0.97a	0.16a	0.13a
东陈系 Dongchen soil	2.48ab	1.03a	4.66a	2.39e	33.1a	13.3bcd	0.94a	0.13c	0.12a
搬经系 Banjing soil	2.36bc	0.99b	4.67a	2.65d	34.3a	13.6bc	0.98a	0.14b	0.13a
营防系 Yingfang soil	2.16d	0.89e	4.85a	4.03b	29.4bc	14.4a	0.81bc	0.11e	0.13a
长青沙系 Changqingsha soil	2.10d	0.82f	4.72a	4.75a	28.1c	14.4a	0.82b	0.11e	0.13a
张黄港系 Zhanghuanggang soil	2.04d	0.92cd	4.86a	3.36c	32.0bc	13.7b	0.80c	0.11e	0.12a
郭园系 Guoyuan soil	2.09d	0.89de	4.42a	2.20e	31.9ab	13.0cd	0.81c	0.12d	0.13a
磨头系 Motou soil	2.22cd	0.93c	4.44b	2.35e	34.3a	12.7d	0.87b	0.12d	0.12a
桃园系 Taoyuan soil	2.13d	0.92cd	4.38b	2.20e	33.1a	12.6d	0.87b	0.12de	0.12a

注:平均值后的字母相同表示未达到 $p = 0.05$ 水平上的显著性差异 Note: Means followed by the same letter within the same column for each experiment are not significantly different at $p = 0.05$ by Duncan's multiple range test

2.3 土壤微量元素及其组合与长寿人口比例的相关性分析

村级长寿人口比例与其土壤中各有效态微量元素间的相关性分析(表 2)表明,90 岁以上长寿人口比例(over-90 rate)与有效态硼、氟、硒、锌和镍之间均达到极显著的相关关系($p < 0.01$),其相关系数分别达到 0.244、0.198、0.337、0.199 和 0.224。然而,如果仔细观察各元素对之间的相关系数会发现,大部分元素对之间也达到显著或极显著相关,如氟和

硼、镍和锌之间达到极显著的相关性($p < 0.01$)(表 2)。显然,某些元素与 over-90 rate 的相关性并非它们之间本质的相关性,而是由于元素对之间的相关性导致了他们与 over-90 rate 之间的相关性达到显著水平。所以,有必要对这些相关性进行进一步的分析,找出与 over-90 rate 之间真正的相关元素。主成分分析方法可以通过元素之间的相关性确定由一组元素构成的主因子,找出与 over-90 rate 有关的主因子,通过该因子上元素载荷的大小确定相关的元素。

表 2 90 岁以上长寿人口比例与有效态微量元素含量的相关性 ($n = 339$)Table 2 Correlation coefficient between the over-90 rate and the concentrations of some available trace elements ($n = 339$)

	over-90 rate	B	F	Se	Fe	Mn	Cu	Zn	Ni
B	0.244**								
F	0.198**	0.520**							
Se	0.337**	0.333**	0.002						
Fe	-0.020	0.300**	0.277**	0.128*					
Mn	0.065	0.156**	0.679**	-0.157**	0.029				
Cu	0.091	-0.181**	0.077	0.016	-0.263**	0.239**			
Zn	0.199**	0.539**	0.159**	0.527**	0.087	0.027	0.013		
Ni	0.224**	0.386**	0.314**	0.232**	0.145*	0.355**	0.006	0.455**	
Co	-0.121*	-0.006	0.145*	-0.267**	0.174**	0.412**	-0.001	-0.073	0.513**

注: * 和 ** 分别表示 0.05、0.01 水平上的相关性 Note: * and ** denote significance at $p = 0.05$ and 0.01 , respectively

从主成分分析初始化特征值可以看出(表 3), 四个主成分解释了 73.246% 的方差, 达到 70% 以上的贡献率, 从而可以用这四个主成分对它们的属性进行概括性分析, 基本得出影响事物性质的主要因素^[22]。第一主成分中 over-90 rate 相对于其他变量有较高的载荷(0.551), 因此可以判断此主成分是 90 岁以上长寿人口比例的主成分。而在第一主成分的各元素的载荷中, 有效态硼、有效态硒和有效态锌含量的载荷均为较大的正值(0.603 ~ 0.841)。说明有效态硼、硒和锌对 90 岁以上长寿人口有正向的影响。

表 3 90 岁以上长寿人口比例、有效态微量元素含量的主成分分析结果 ($n = 339$)Table 3 Results of principal component analysis of the over-90 rate and available trace elements ($n = 339$)

变量	主成分 1	主成分 2	主成分 3	主成分 4
Variable	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4
over-90 rate	0.551	0.249	-0.148	-0.214
B	0.603	0.429	0.041	0.430
F	0.140	0.929	0.057	0.151
Se	0.820	-0.140	-0.101	0.035
Fe	0.060	0.227	0.085	0.742
Mn	-0.102	0.802	0.373	-0.194
Cu	0.048	0.226	0.017	-0.784
Zn	0.814	0.001	0.208	0.076
Ni	0.461	0.192	0.777	0.038
Co	-0.249	0.141	0.884	0.067
特征值				
Eigenvalue	2.866	1.984	1.397	1.078
因子贡献率 %				
Cumulative %	28.658	19.837	13.973	10.778

从理论上讲, 元素硒、锌、硼对人类健康的影响是由这些元素特有的生理功能决定的。硒是人体必需的微量元素, 与人的健康密切相关, 缺硒可引起克山病、大骨节病等地方性疾病和心血管疾病^[8]。硒也是谷胱甘肽过氧化物酶的重要成份, 因此硒在人体中起到抗衰老防癌变的作用。锌是人体必需的微量元素, 是构成人体多种蛋白质所必需的元素。锌能维持细胞膜的稳定性, 并参与许多酶的代谢, 能提高免疫功能, 是维护机体正常免疫功能和防御机能所必需的物质^[20]。锌还可抑制脂质过氧化反应, 稳定细胞的结构与功能, 使细胞对离子或自由基具有较强的抵抗力^[23]。硼影响人体钙、维生素 D、氨基酸或蛋白质等营养成分的代谢, 影响人体的免疫功能, 对维持人体的正常生理功能有着重要的作用^[24]。

必需微量元素对人类健康的影响取决于它们含量的多少和环境中元素间的平衡, 且各元素间存在协调和拮抗^[20], 其中任何微量元素的平衡失调, 都会影响人体的健康和长寿^[13]。当环境中的某种或几种化学元素含量出现异常, 可以引起人类的地方性疾病^[25, 26]; 只有当环境中的某种或几种化学元素含量在人体正常需要临界范围内它才能使人体组织的结构与功能得到正常维持, 使人体健康长寿^[27]。因此我们可以认为长寿地区环境中的重要微量营养元素硒、硼、锌等的含量在人体正常需要临界范围内, 长寿区的人们长期通过食物链从环境中获取所需要的这些微量元素。而且这些元素间可能存在相互协调作用, 这进一步增强了这些元素的抗衰老作用。当然, 具体的作用机理还需要医学和生理学家的深入研究。

3 结 论

长寿人口比率的空间分布与土壤类型有着显著的相关性,在壤质、发育良好、低 pH、低 CaCO₃、高有机质土壤上的 over-90 rate 要高于在砂质或粘壤质、发育弱、高 pH、高 CaCO₃、低有机质土壤上的 over-90 rate。这些土壤的理化性状决定了前者土壤中一些有效态微量元素,如有效态硼、硒、氟、镍和锌等元素的含量比后者土壤中的要高。尽管 over-90 rate 与某些单个元素之间有显著的相关关系,但还不能认为 over-90 rate 与这些元素之间有本质的相关性,这是由于元素对之间的相关性导致了他们与 over-90 rate 之间的相关性达到显著水平。通过主成分分析方法,可以发现有效态硼、硒和锌这一元素组合与 over-90 rate 有着真正的相关关系。可以推测环境中这些元素的特定组合与如皋市人口的长寿现象有着密切的联系。作者将进一步通过分析测定当地长寿老人的饮水和食物中的元素来证实。

从本研究中还可以得到一个初步的结论:尽管土壤中全量元素对人们的健康有影响,但他们主要与地球化学环境背景值有关,如成土母质和元素来源。而与土壤本身的特性关系不大。今后在进行类似的研究工作时,除了研究土壤中的全量元素外,还应加强土壤中的有效态元素与人们健康间关系的研究。

参 考 文 献

- [1] Benedictis G D, Tan Q H. Recent advances in human gene-longevity association studies. *Mechanisms of Ageing and Development*, 2001, 122: 909 ~ 920
- [2] Poulain M, Pes G M, Grasland C, *et al.* Identification of a geographic area characterized by extreme longevity in the Sardinia Island: The AKEA study. *Experimental Gerontology*, 2004, 39: 1 423 ~ 1 429
- [3] Cicconetti P, Tafaro L, Tedeschi G, *et al.* Lifestyle and cardiovascular aging in centenarians. *Archives of Gerontology and Geriatrics*, 2002, 8: 93 ~ 98
- [4] 谭见安. 健康、环境、发展——当代医学地理的主题. *地理学报*, 1994, 49 (增刊): 710 ~ 718. Tan J A. Health, environment and development—The theme of contemporary medical geography (In Chinese). *Acta Geographical Sinica*, 1994, 49 (Suppl.): 710 ~ 718
- [5] 龚胜生. 中国古代长寿点区的地理分布及其环境背景的初步研究. *中国历史地理论丛*, 1997, 3: 227 ~ 251. Gong S S. Preliminary study of geographical distribution and its environmental background of longevous areas in ancient China (In Chinese). *Contributions to Historical Geography in China*, 1997, 3: 227 ~ 251
- [6] Hamilton E I, Minski M J, Cleary J J. The concentration and distribution of some stable elements in healthy human tissues from the United Kingdom—An environmental study. *The Science of the Total Environment*, 1973, 1: 341 ~ 374
- [7] 陈怀满. 土壤中化学物质的行为与环境质量. 北京: 科学出版社, 2002, 1 ~ 22. Chen H M. Behaviors of Chemical Substance and Environmental Quality (In Chinese). Beijing: Science Press, 2002, 1 ~ 22
- [8] Oliver M A. Soil and human health: A review. *European Journal of Soil Science*, 1997, 48: 573 ~ 592
- [9] 梁耀生, 陶国枢, 鲍善芬, 等. 长寿老人血清和头发微量及常量元素的测定分析. *中华老年医学杂志*, 1994, 13(5): 293 ~ 295. Liang Y S, Tao G S, Bao S F, *et al.* A study on trace and major elements in serum and hair of long-lived people (In Chinese). *Chinese Geratology*, 1994, 13(5): 293 ~ 295
- [10] 罗祖坤. 107 例高龄老人头发锰铜锌铬微量元素含量的探讨. *广东微量元素科学*, 1995, 2(3): 22 ~ 25. Luo Z K. Study on content of trace elements (Mn, Cu, Zn, and Cr) in hair of 107 senile populations (In Chinese). *The Science of Trace Elements in Guangdong*, 1995, 2(3): 22 ~ 25
- [11] 陈艳兰, 董光平, 王光灿, 等. 白族长寿地区岩石土壤和泉水的元素分析. *微量元素与健康研究*, 1999, 16(2): 61 ~ 63. Chen Y L, Dong G P, Wang G C, *et al.* Elemental analysis of rocks, soils, and spring water in longevous area of Bai nationality in China (In Chinese). *The Research on Trace Elements and Health*, 1999, 16(2): 61 ~ 63
- [12] 李日邦, 谭见安, 王五一, 等. 山东省长清县长寿村的生态环境特征. *地理科学进展*, 1999, 18(4): 360 ~ 367. Li R B, Tan J A, Wang W Y, *et al.* The ecological environment characteristics of longevity village in Changqing County, Shandong Province, China (In Chinese). *Progress in Geography*, 1999, 18(4): 360 ~ 367
- [13] 邱洪晟, 冷兴文, 谭雪英, 等. 和田地区百岁老人生活区土壤元素检测分析. *微量元素与健康研究*, 2000, 17(3): 52 ~ 53. Qiu H C, Leng X W, Tan X Y, *et al.* Analysis of 23 elements in soil in living districts of Hetian centenarians, Xinjiang, China (In Chinese). *The Research on Trace Elements and Health*, 2000, 17(3): 52 ~ 53
- [14] 邹忠, 杨荣清, 丁峰, 等. 江苏省如皋市长寿现象与土壤环境关系研究初探. *土壤*, 2005, 37(2): 89 ~ 94. Zou Z, Yang R Q, Ding F, *et al.* A preliminary study on the relationship between longevous phenomenon and environmental in Rugao County of Jiangsu Province (In Chinese). *Soils*, 2005, 37(2): 89 ~ 94
- [15] 中国科学院南京土壤研究所土壤系统分类课题组, 中国土壤系统分类课题研究协作组. *中国土壤系统分类检索*. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2001. Cooperative Research Group on Chinese Soil Taxonomy (CRGCST). *Chinese Soil Taxonomy* (In Chinese). Hefei: University of Science and Technology of China Publishing House, 2001
- [16] 程伯容, 鞠山见, 岳淑婧, 等. 我国东北地区土壤中的硒. *土壤学报*, 1980, 17(1): 55 ~ 60. Cheng B R, Ju S J, Yue S R, *et al.* Studies on the selenium in soils of northeastern China (In Chinese).

- Acta Pedologica Sinica, 1980, 17(1):55 ~ 60
- [17] Dhillon K S, Dhillon S K. Accumulation of selenium in sugarcane (*Sachharum officinarum* Linn.) in seleniferous of Punjab, India. *Environmental Geochemistry and Health*, 1991, 13:165 ~ 170
- [18] 鲁如坤编. 土壤农业化学分析方法. 北京: 中国农业科技出版社, 2000. Lu R K. ed. *Soil Analytical Methods of Agronomic Chemistry* (In Chinese). Beijing: China Agricultural Science and Technology Press. 2000
- [19] Lindsay W L, Norvell W A. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1978, 42:421 ~ 428
- [20] 苗健, 高琦, 许思来. 微量元素与相关疾病. 郑州: 河南医科大学出版社, 1997. Miao J, Gao Q, Xu S L. *The Disease related trace elements* (In Chinese). Zhengzhou: Henan University of Medical Science Press, 1997
- [21] 刘铮. 中国土壤微量元素. 南京: 江苏科学技术出版社, 1996. Liu Z. *Microelements in Soils of China* (In Chinese). Nanjing: Jiangsu Science and Technology Publishing House, 1996
- [22] 徐克学. 生物数学. 北京: 科学出版社, 1999. 12 ~ 102. Xu K X. *Biomathematics* (In Chinese). Beijing: Science Press, 1999. 12 ~ 102
- [23] 燕瑞, 易艳萍, 熊知行, 等. 微量元素与抗衰老. 微量元素与健康研究, 1999, 16(4): 71 ~ 73. Yan R, Yi Y P, Xiong Z X, *et al.* *Trace elements and anti-aging* (In Chinese). *The Research on Trace Elements and Health*, 1999, 16(4): 71 ~ 73
- [24] Nielsen F H. The emergence of boron as nutritionally important throughout the life cycle. *Nutrition*, 2000, 16(7/8): 512 ~ 514
- [25] 龚子同, 黄标. 土壤中硒、氟、碘的空间分异与人类健康. 土壤学进展, 1994, 22(5): 1 ~ 12. Gong Z T, Huang B. *Spatial differentiation of Se, F, and I in soils and human health* (In Chinese). *Progress in Soil Science*, 1994, 22(5): 1 ~ 12
- [26] Gong Z T, Luo G B. Pedogeochemical environments and people's health in China. *Pedosphere*, 1992, 2(1): 71 ~ 77
- [27] 陈有旭, 汤化琴. 试论环境、微量元素与人类健康的关系. 天津师范大学学报, 1994, 14(1): 63 ~ 67. Chen Y X, Tang H Q. *The relationship between environment, microelement and health* (In Chinese). *Journal of Tianjin Normal University*, 1994, 14(1): 63 ~ 67

SOILS AND TRACE ELEMENTS IN THE DISTRIBUTION AREA OF LONGEVOUS PEOPLE IN RUGAO COUNTY OF JIANGSU PROVINCE

Yang Rongqing^{1,3} Huang Biao^{1,3†} Sun Weixia¹ Zou Zhong² Ding Feng² Su Jianping²

(1 *Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China*)

(2 *Bureau of Agriculture of Rugao County, Rugao, Jiangsu 226500, China*)

(3 *Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China*)

Abstract Health and life-span of a person mainly depend on factors such as inheritance, living habit and environment. Among the three factors, environmental is an important one affecting the phenomenon of longevity. The study on spatial distribution of the density of longevous people of Rugao County, Jiangsu Province, shows that the over-90 rate (number of people over 90 years old per 100 000 in population) is high in some areas. It is higher in areas of well-developed loamy Cambosols and Anthrosols in the northern, eastern and southeastern part of the county than in areas of sandy Cambosols in the western part and areas of clayey and weakly-developed Cambosols in the southern part. According to the correlation and principal component analysis, available Se, Zn and B in soils were significantly correlated with the over-90 rate, and belonged to the same principal component, indicating that available Se, Zn and B or their combination in the soil of Rugao are probably the most important trace elements beneficial to the health and the life-span of the people in Rugao County.

Key words Rugao County of Jiangsu Province; Phenomenon of longevity; Soil; Trace elements