

河南夏邑县长寿现象与土壤环境的关系

邹晓燕^{1,2},李永华^{1*},杨林生¹,吕金妹^{1,2},李海蓉¹,虞江萍¹,王五一¹

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要:基于野外采样和室内分析,探讨了夏邑县土壤化学元素和长寿人口分布特征以及夏邑县不同乡镇间土壤元素的差异及其与长寿人口分布的相关性. 结果表明,夏邑县长寿人口呈东北-西南方向带状分布,东北部 95 岁以上长寿人口平均为 187 位/百万人,西北部仅为 83 位/百万人;夏邑县土壤中 Cd、Cr、Cu、Ni、Pb、Zn 等重金属含量分别为(0.177±0.057)、(63.9±7.48)、(23.6±5.63)、(29.5±3.80)、(21.8±3.37)和(64.80±8.81) mg·kg⁻¹,全部达到国家土壤环境质量二类标准. 长寿乡土壤中 Cr、Zn、K、Mg 含量丰富. 夏邑县土壤中 K、Mg 元素分别是河南省土壤环境背景值的 1.30 倍和 1.79 倍;是全国土壤环境背景值的 1.21 倍和 2.62 倍. 李集、火店、中锋等百岁人口比例较低的乡镇,土壤低 Se、低 Zn、贫 Cu、富 Na. 研究表明,富 Cr、Zn、K、Mg 且无重金属污染的土壤是区域长寿的一个重要原因,而土壤中 Se、Zn、Cu、Na 分布不均限制夏邑县长寿人口分布的关键因素.

关键词:长寿水平;土壤;夏邑县;元素含量;重金属;百岁老人

中图分类号:X14 文献标识码:A 文章编号:0250-3301(2011)05-1415-07

Relationship Between Longevity and Soil Environment in Xiayi County, Henan Province, China

ZOU Xiao-yan^{1,2}, LI Yong-hua¹, YANG Lin-sheng¹, LÜ Jin-mei^{1,2}, LI Hai-rong¹, YU Jiang-ping¹, WANG Wu-yi¹

(1. Institute of Geographical Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China; 2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract:Based on field investigation and laboratory analysis, exploration was done of distribution of macro and micro elements in the soils and distribution of longevity population in Xiayi County, Henan Province, China, and relationship between the spatial variation of the distribution of soil elements and the distribution of the longevity population. It was found that longevity population was distributed in a belt running across Xiayi county from northeast to southwest. In the northeast part, the longevity rate (over 95 years old) reached 187 per million and while in the northwest part, it was only 83. The concentrations of heavy metals such as Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn in Xiayi soils were (0.177±0.057), (63.9±7.48), (23.6±5.63), (29.5±3.80), (21.8±3.37) and (64.80±8.81) mg·kg⁻¹, respectively, all up to the criteria for grade II soils in the National Standard for Soil Environment Quality of China; Moreover, the soils in longevous areas were rich in Cr, Zn, K and Mg. K and Mg in Xiayi soils were 1.30 and 1.79 as times as high as the background value of Henan Province and 1.21 and 2.62 times that of the country, respectively. In Liji, Huodian and Zhongfeng where the centenarian rate was relatively low, the soils were low in Cu, Se and Zn, but high in Na. The findings clearly indicate that the soil rich in Cr, Zn, K and Mg and free of any heavy metal pollution is a major contributor to the longevity in the area, while uneven distribution of Se, Zn, Cu and Na in the soil is the key factor affecting the distribution of longevity population in Xiayi County.

Key words:longevity; soil; Xiayi County; elemental concentrations; heavy metals; centenarians

健康长寿是人们长久以来的梦想. 目前认为影响健康长寿的因素主要有:基因、社会、环境^[1]. 目前,有关长寿的基因组学和社会学研究较多,如 Kim 等研究发现 MLH1 酶的多态性能够维持基因组的稳定性,进而影响寿命^[2],Sebastiani 等^[3]基于1 055 名百岁老人和1 267名对照例的基因组学研究,检测到影响长寿的多个基因标志,Savige^[4]在问卷调查的基础上,探讨了长寿与饮食、生活习惯和性格特征的关系. 相对而言,环境对健康长寿影响的研究较少.

自然环境是人类赖以生存和发展的物质基础,

区域长寿现象则是人与自然和谐发展的最高体现. 对北欧高龄双胞胎的研究表明,遗传对人类个体平均寿命的贡献约占 20%~30%,而环境贡献的比重高达 70%以上^[5]. 事实上,早在3 000年前,人们就已认识到人类的寿命与气候、水土条件有密切关系^[6];而人体组织中元素的丰度和地壳中元素的丰

收稿日期:2010-05-26;修订日期:2010-08-23
基金项目:国家科技支撑计划项目(2007BAC03A11-07);科技部国际科技合作项目(2007DFC20180)
作者简介:邹晓燕(1984~),女,硕士研究生,主要研究方向为环境地理与人类健康,E-mail: yayalisa8410@163.com
* 通讯联系人, E-mail: yhli@igsnnr.ac.cn

度二者间也具有良好的相关性^[7]. 预期寿命在地区上的差异反映了社会经济发展水平和生活营养状况的影响, 百岁老人的分布则反映了自然环境条件地域差异的影响^[8]. 目前国内对环境与健康长寿相关性的研究主要集中在川渝地区^[6]、广西巴马^[9]、江苏如皋^[10,11]和新疆和田等地区, 很少涉及其它区域, 研究视角大多为宏观层面且以统计资料为主, 如龚胜生^[6]分析了川渝地区百岁老人的地区分布特点, 原野等^[12]对四川彭山区域长寿的环境因素做了初步的探索, 刘旭辉等^[13]探讨了巴马区域长寿的影响因素. 本研究以长寿之乡——河南夏邑县为调查对象, 基于野外采样和室内分析, 探讨夏邑县土壤化学元素和长寿人口分布特征以及夏邑县不同乡镇间土壤元素的差异及其与长寿人口分布的相关性, 以期为进一步揭示区域长寿现象提供基础资料和科学支持.

1 材料与方法

1.1 研究区概况

通过河南省 2000 年人口普查数据(图 1), 可知河南省百岁人口分布具有明显的空间集聚性, 百岁人口主要集中在河南东部. 夏邑县正是位于豫东平原, 34°01′~34°25′N, 115°56′~116°28′E 之间, 气候属于温带气候, 年平均气温 14.1℃, 年平均降水量 762 mm, 无霜期 217 d. 夏邑县地势较为平坦, 气候条件无明显差异. 截止 2007 年底全县 114 万人口中有 120 位 100 岁以上的寿星, 远远超过了联合国规定的每百万人中有 75 位 100 岁以上老人的长寿之乡的标准. 95 岁以上的长寿老人也达到 1 500 位, 是我国地处黄河平原地区的长寿乡之一. 夏邑县众多的长寿人口与百岁老人来自不同的家庭, 他们有着相似的饮食结构与风俗习惯. 他们大多是土生土长的本地人, 一生很少迁徙, 因此可以认为当地的水土养育了夏邑县长寿老人.

1.2 样品采集与分析

采样时间是 2008 年 12 月. 土壤采集 0~20 cm 的表层土壤, 共采集 67 个表层土壤样品, 其中 6 个自然土, 61 个表层耕作土. 工作区及采样点的位置如图 1 所示.

剔除土壤样品中的砾石和碎根后, 自然风干, 4 分法混匀后取约 10.0 g 于玛瑙磨机上磨碎, 过 100 目尼龙筛, 储于干燥处备用. 全部样品中 Ba、Cr、Mn、Sr、Zn、Al、Ca、K、Mg、Na 的测定采用 ICP-AES^[14]; Cd、Co、Cu、Mo、Ni、Pb 的测定采用 ICP-

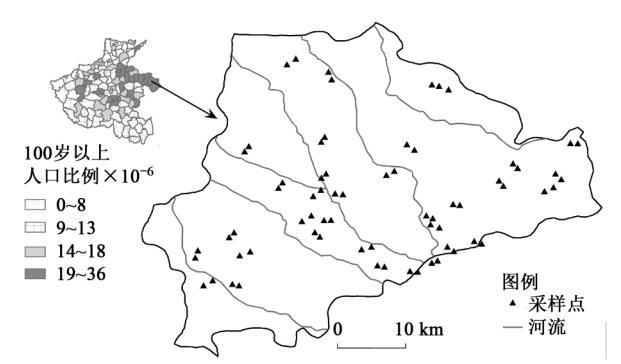


图 1 2000 年河南省百岁人口比例分布图及土壤采样点示意
Fig. 1 Distribution of the centenarian rates (per 1 000 000 inhabitants) in Henan Province and locations of soil sampling sites

MS 法^[15]; Se 的测定采用 AFS 法^[16].

2 结果与讨论

2.1 长寿人口分布情况

夏邑县高龄人口分布具有明显的空间集聚性, 在局部地区形成长寿人口密集区, 除 100 岁以上超长寿人口外, 其它年龄段(80 岁和 95 岁以上)人口的空间分布特征相似(图 2). 夏邑高龄人口呈东北-西南带状分布. 全县 95 岁及以上人口为 120 人/百万, 东北部为 187 人/百万, 而西北地区仅为 83 人/百万, 高龄人口分布地区差异显著. 长寿人口这种空间聚集现象从遗传学上很难解释, 而全县居民, 尤其是在经济比较落后的农村地区的居民在风俗习惯、饮食结构上并无明显差异, 长寿人群大部分固定在原居住地, 一生迁徙较少, 因此地理环境是形成区域长寿现象的主要因素之一.

长寿水平是指 80 岁以上人口占 60 岁及以上人口的比重. 各年龄段人口比例与长寿水平之间的相关性见表 1.

表 1 长寿水平与不同年龄段人口比例相关分析的相关系数¹⁾
Table 1 Correlation coefficients between longevity level and ratio of different age groups

不同年龄段人口	80 岁以上人口比例	95 岁以上人口比例	100 岁以上人口比例
长寿水平	0.85 **	0.72 **	-0.14

1) ** 表示 $p < 0.01$

从表 1 可知长寿水平与 80 岁以上及 95 岁以上人口比例呈极显著正相关, 长寿水平能综合反映该地区长寿的总体水平. 但长寿水平与百岁人口比例的相关性较弱, 长寿水平不能反映夏邑百岁老人的分布情况. 不同乡镇长寿水平和百岁人口比例见图 3.

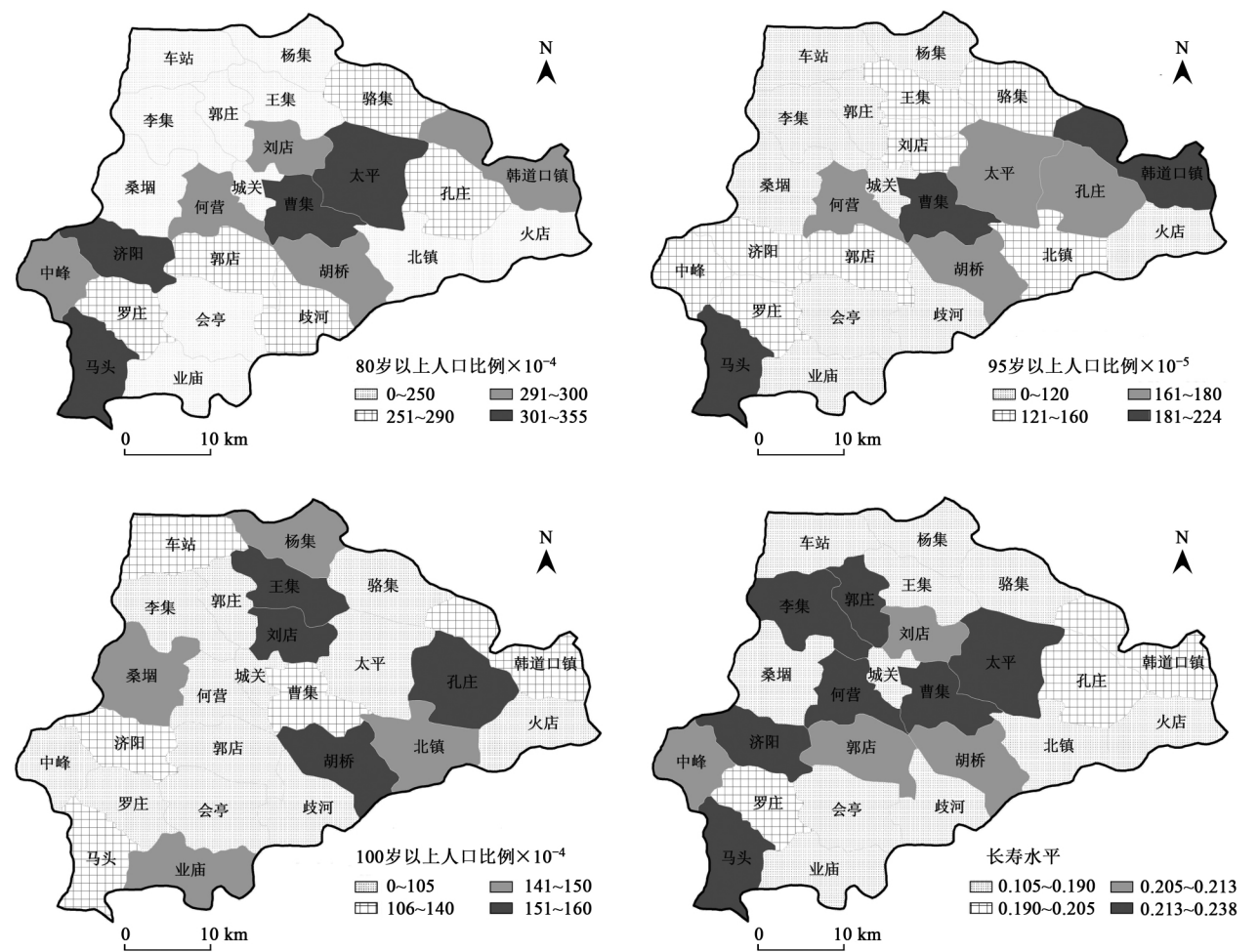


图2 夏邑县各乡镇不同年龄段人口比例空间分布

Fig.2 Spatial distribution of the percentages of population of different age groups in the townships in Xiaoyi County

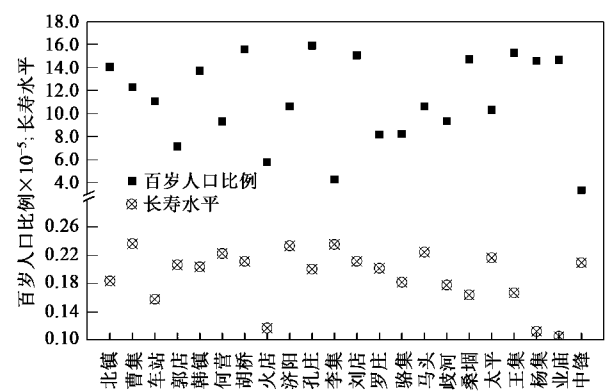


图3 夏邑县各个乡镇百岁人口比例及长寿水平

Fig.3 Centenarian rates (per 100 000 inhabitants) and longevity levels of towns and townships in Xiaoyi County

2.2 夏邑土壤环境质量

夏邑土壤 Cd、Cr、Cu、Ni、Zn 含量见表 2。与国家土壤环境质量二级标准^[17] (Cd:0.3 mg·kg⁻¹、

Cr:150 mg·kg⁻¹、Cu:50 mg·kg⁻¹、Ni:40 mg·kg⁻¹、Pb:250 mg·kg⁻¹、Zn:200 mg·kg⁻¹) 相比,长寿乡土壤中 Cd、Cr、Cu、Ni、Zn 含量全部达到土壤环境质量二类标准,一类标准^[11] 达标率分别为 76.1%、98.5%、95.5%、97.0%、98.5% 和 100%。夏邑县土壤基本维持在自然背景的土壤环境质量的限制值。

表 2 夏邑县土壤中 Cd、Cr、Cu、Ni 和 Zn 含量/mg·kg⁻¹

Table 2 Concentrations of Cd, Cr, Cu, Ni and Zn in the soil of Xiaoyi County/mg·kg⁻¹

项目	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
平均值	0.177	63.9	23.6	29.5	21.8	64.8
标准偏差	0.057	7.48	5.63	3.80	3.37	8.81

新疆和田、江苏如皋同为我国著名的长寿之乡。河南夏邑与新疆和田^[18]、江苏如皋^[19]土壤元素含量进行比较,比较发现,这 3 个长寿之乡土壤质量存在显著性差异,但也有共性特征(图 4)。和田、如

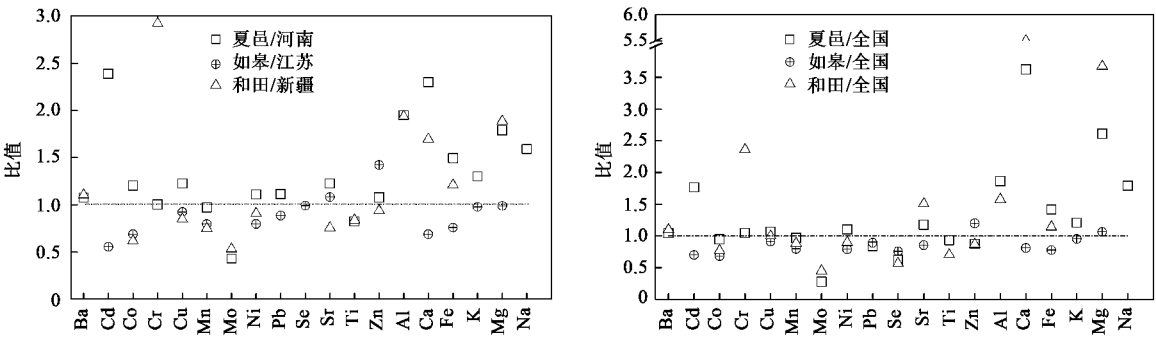


图 4 长寿之乡土壤元素含量与当地及全国土壤环境背景值的比值

Fig. 4 Ratios of the soil element concentrations in longevity county versus the respective background values of provinces and of the country

皋和夏邑这 3 个长寿之乡土壤 Cr、Zn、K、Mg 等元素均高于或等于当地土壤环境背景^[20],而 Mn、Mo 等元素低于当地土壤环境背景值. Cr、K、Mg 等元素高于全国土壤环境背景值,Co、Mn、Mo、Pb 等元素低于全国土壤环境背景值,不同长寿乡 Ca、Mg 元素差异最显著. 与全国和河南省、江苏省以及新疆土壤环境背景值相比,长寿乡土壤富含 Cr、Zn、K、Mg,少 Co、Mn、Mo、Pb. 长寿专家研究表明,百岁老人聚居区耕地土壤富含 Mn、Cr、Zn^[21]. 本文对 Cr、Zn 的研究结论与长寿专家一致,Mn 的研究结论相反.

2.3 土壤环境与长寿人口相关性分析

利用 SPSS 软件进行人口与土壤元素含量 Spearman 相关分析,结果见表 3. 除 Cu 与百岁人口比例呈显著正相关,其他元素均无显著相关性. 研究结果与 Huang 等^[22]研究成果一致. 影响人类健康长寿的环境因素很多,而且元素本身之间也存在相互联系,因此区域长寿现象难以用单一元素加以解释. 比较长寿水平与百岁人口的相关系数,发现总体上百岁人口比例与土壤元素的相关系数高于长寿水平的相关系数. 这说明土壤环境对百岁人口的空间分布影响更明显.

表 3 土壤元素与长寿水平及 100 岁以上人口比例的相关系数¹⁾ (n = 22)

Table 3 Correlation coefficients of soil elements with longevity level and centenarian rate (n = 22)

项目	Ba	Co	Cr	Cu	Mn	Mo	Ni	Se
长寿水平	-0.26	-0.22	-0.15	-0.19	-0.33	0.13	-0.14	-0.35
100 岁以上人口比例	0.15	0.17	0.10	0.43 *	0.33	-0.03	0.21	0.14
项目	Sr	Zn	Al	Ca	Fe	K	Mg	Na
长寿水平	-0.01	-0.36	-0.14	0.04	-0.26	-0.11	-0.19	0.26
100 岁以上人口比例	0.22	0.42	0.29	0.22	0.26	0.42	0.28	-0.40

1) * 表示 $p < 0.05$

2.4 不同乡镇土壤环境特征及其与长寿人口的关系

从图 3 可知,曹集、济阳、李集长寿水平相同,约为 0.236,但百岁人口比例存在显著差异,曹集、济阳、李集每十万人中百岁老人的数量分别为 12.3、10.6 和 4.25,李集百岁老人的数量低于国家规定的每十万人中有 7.00 位百岁老人的长寿乡标准^[23]. 火店与业庙、杨集的长寿水平相近,约为 0.111,但火店百岁老人的数量分别仅为业庙和杨集的 0.39 倍和 0.40 倍. 中锋、胡桥、刘店这 3 个乡镇的长寿水平也基本相同,约为 0.211,但胡桥和刘店百岁老人的数量分别为中锋的 1.29 倍和 1.74 倍.

表 4~6 分别以李集、火店、中锋为基准,进行土壤化学元素含量的比较. 比较发现,李集土壤元素含量水平总体较低,除了 Na、Mo 外,Cr、Cu、K、Mg、Mn、Se、Sr、Zn 等元素含量均低于济阳和曹集,其中以 Se 含量差异最大. 与杨集相比,火店土壤中 Cu、Se、Zn 含量分别低 49%、27% 和 18%. 中锋土壤中除 Na 外,Ca、Cu、Mn 和 Zn 含量比胡桥镇分别低了 37.4%、47.0%、35% 和 28%;Se 含量比刘店低了 31%. 土壤低 Se、低 Zn、贫 Cu、富 Na 可能是李集、火店、中锋这 3 个乡镇百岁老人数量较少的原因之一. 根据上述比较结果可知,土壤 Se、Zn、Cu 和 Na 是影响夏邑县百岁老人分布的关键元素.

表 4 济阳、曹集与李集土壤中各元素的比值																
Table 4 Ratio between Jiyang and Liji and between Caoji and Liji in soil element concentration																
项目	Ba	Co	Cr	Cu	Mn	Mo	Ni	Se	Sr	Zn	Al	Ca	Fe	K	Mg	Na
济阳/李集	1.04	1.10	1.21	1.24	1.08	1.12	1.11	1.04	1.13	1.07	1.04	1.04	1.04	1.02	1.04	0.96
曹集/李集	1.03	1.05	1.11	1.12	1.09	0.95	1.05	1.30	1.09	1.16	1.06	1.08	1.06	1.06	1.08	0.98

表 5 业庙、杨集与火店土壤中各元素的比值																
Table 5 Ratio between Yangji and Huodian and between Yemiao and Huodian in soil element concentration																
项目	Ba	Co	Cr	Cu	Mn	Mo	Ni	Se	Sr	Zn	Al	Ca	Fe	K	Mg	Na
杨集/火店	1.03	0.99	0.95	1.49	0.99	0.95	1.02	1.27	1.02	1.18	1.01	0.96	0.99	1.02	1.01	1.06
业庙/火店	1.03	0.94	0.96	1.10	1.02	0.82	0.95	1.11	1.03	1.09	1.04	0.93	1.04	1.01	1.00	1.01

表 6 刘店、胡桥与中锋土壤中各元素的比值																
Table 6 Ratio between Liudian and Zhongfen and between Huqiao and Zhongfeng in soil element concentration																
项目	Ba	Co	Cr	Cu	Mn	Mo	Ni	Se	Sr	Zn	Al	Ca	Fe	K	Mg	Na
刘店/中锋	0.96	0.96	0.92	1.11	0.99	1.09	0.95	1.32	1.02	1.04	0.98	1.06	0.96	1.04	0.99	0.95
胡桥/中锋	1.07	1.34	1.29	1.47	1.40	1.20	1.33	1.13	1.01	1.30	1.17	1.38	1.28	1.15	1.26	0.74

2.5 土壤中元素的空间分布

根据土壤元素与长寿人口的相关性,可将土壤元素分为 3 类:第一类与百岁人口呈正相关,如 Se、Mn、Cu 等;第二类呈负相关,如 Cd;第三类二者之间没有明显的相关性,如图 5. 图 5 为夏邑土壤中 Se

和 Cd 含量空间分布示意,可看出百岁人口比例较高的乡镇,如车站、杨集,土壤 Se 含量明显高于其它地区. 土壤 Cd 的空间分布图发现,土壤 Cd 含量较高的地区,如车站、杨集、北镇等乡镇,其长寿水平也相对较低.

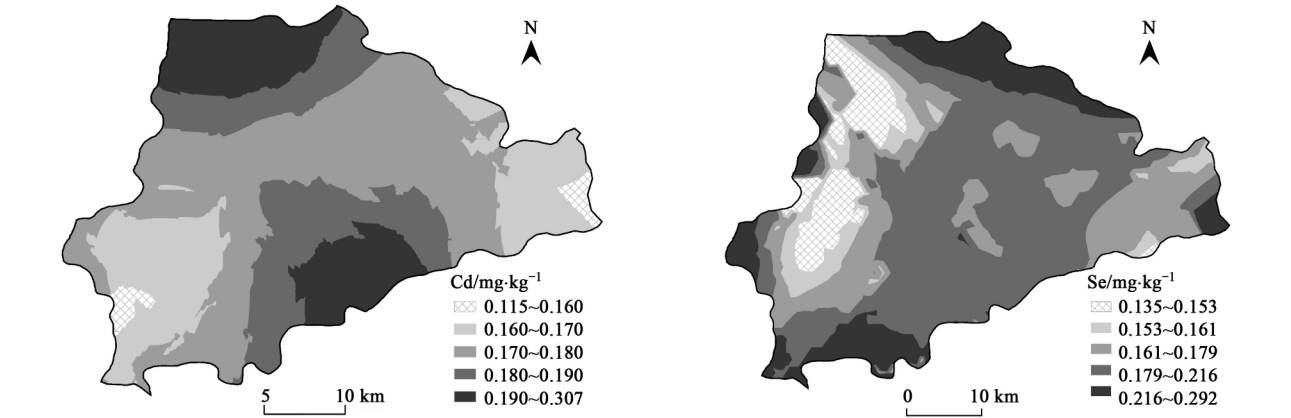


图 5 夏邑土壤中 Se 和 Cd 含量空间分布示意

Fig. 5 Spatial distribution of Se and Cd in the soil of Xiayi County

3 讨论

土壤中的微量元素和常量元素,是生物体内某些酶、激素、核酸的组成部分,参与生命的代谢过程,对生物生长、发育、健康、衰老产生着重要影响^[18]. 土壤中的化学物质通过植物的吸收、转化和水的溶解、积淀影响人类的健康.

Se 是人体必需的微量元素之一,同时也是谷胱甘肽酶的主要组成部分. 这种酶通过减少体内血浆过氧化脂质和过氧化氢的含量,从而保护机体细胞

免于氧化损伤^[24]. 已有研究表明,90 岁以上长寿人口密集区土壤中有有效态 Se 的含量明显高于 90 岁以上人口比例小的地区^[22]. 我国不同土壤中 Se 的平均值范围在 0.085 ~ 0.501 mg·kg⁻¹^[19],夏邑县土壤 Se 为 0.179 mg·kg⁻¹,处于我国土壤的中值水平.

从表 7 可以发现夏邑县土壤 Se 含量最高的乡镇,骆集长寿水平和百岁老人的数量不是最高. 饮食是人体摄入 Se 的主要途径,而粮食中 Se 含量较低主要有 2 个原因:①土壤中全量 Se 含量低;②Se 被固定,成为非有效态,降低作物对 Se 的吸收^[25]. 因

表 7 夏邑部分乡镇长寿水平、百岁人口比例及土壤中 Se 的含量
Table 7 Se concentrations in the soil, longevity levels
and centenarian rates of towns in Xiayi County

乡镇	长寿水平	百岁人口比 例 $\times 10^{-5}$	Se / $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$
李集	0.236	4.25	0.135
罗庄	0.202	8.18	0.137
济阳	0.234	10.6	0.140
何营	0.223	9.32	0.247
骆集	0.182	8.22	0.249

此土壤中全量 Se 并不能准确反映某地区长寿水平。Cd 在一定程度上与嗅觉丧失、心脏衰竭、癌症、脑血管梗塞、骨质疏松、尿蛋白等疾病有关^[20]。土壤中 Cd 能在植物,尤其是在谷类作物上富集。谷类作物占日膳食中 Cd 摄入量的 50%。Cd 最大的健康危害是它能在肾上皮上不断积累,从而导致肾小管功能障碍,对老年人影响尤为明显^[25]。夏邑车站镇土壤 Cd 较高可能是该地区长寿水平偏低的原因之一。本研究发现有些乡镇土壤 Cd 含量较高,但其长寿水平处于全县均值 0.191 以上,这是因为土壤中 Al 和 Fe 能够降低植物对 Cd 的吸收^[25]。从表 8 可以看出,车站和杨集长寿水平较低,而土壤中 Cd 含量最高,Al、Fe 最低。

表 8 夏邑部分乡镇土壤中 Cd、Al 和 Fe 的含量
Table 8 Concentrations of Cd, Al and Fe in soils in Xiayi County

乡镇	长寿水平	Cd	Al	Fe
		/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$
车站	0.158	307	11.7	3.91
杨集	0.112	231	12.3	4.08
郭店	0.207	213	12.7	4.54
胡桥	0.212	207	14.1	5.12
何营	0.223	206	12.7	4.35

4 结论

(1)夏邑县 80 岁以上及 95 岁以上长寿人口呈东北-西南带状分布。夏邑县长寿人口具有明显的空间聚集性。

(2)夏邑县土壤环境质量达到国家土壤环境质量二类标准,满足人们健康的土壤限制值。与全国和河南省、江苏省、新疆土壤环境背景值相比,长寿乡夏邑县、如皋市、和田土壤富含 Cr、Zn、K、Mg。夏邑县 K、Mg 元素分别是河南省土壤环境背景值的 1.30 倍和 1.79 倍;是全国土壤环境背景值的 1.21 倍和 2.62 倍。

(3)夏邑县长寿水平相同的不同乡镇百岁人口比例存在显著性差异。百岁人口比例较低的乡镇土

壤低 Se、低 Zn、贫 Cu、富 Na。土壤 Se、Zn、Cu、Na 可能是限制夏邑县百岁人口分布的关键元素。

(4)长寿乡夏邑县土壤环境中存在优越的“元素谱”;长寿人口的空间集聚现象不能仅由一种元素的含量的高低决定的,而必需考虑多种元素之间的交互迭加效应。

参考文献:

[1] Gonos E S. Genetics of aging: Lessons from centenarians [J]. Experimental Gerontology, 1991, **35**(1): 12-21.

[2] Kin D Y, Yi S M, Lee S Y, *et al.* Association between the MLH1 gene and longevity [J]. Human Genetics, 2006, **119**(3): 353-354.

[3] Sebastiani P, Solovieff N, Puca A, *et al.* Genetic signatures of exceptional longevity in humans [J]. Science, 2010, doi: 10.1126/Science.1190532.

[4] Savige G S. Can food variety add years to your life? [J]. Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition,2002, **11**: S637-S641.

[5] Ljungquist B, Berg S, Lanke J, *et al.* The effect of genetic factors for longevity: a comparison of identical and fraternal twins in the Swedish Twin Registry [J]. Journals of Gerontology: Series A, Biological Sciences and Medical Sciences, 1998, **53**(6): M441-M446. .

[6] 龚胜生. 川渝地区百岁老人地理分布及其长寿区的形成原因 [J]. 华中师范大学学报(自然科学版), 1998,**32**(4): 498-503.

[7] 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 [J]. Science of the Total Environment, 1973, **1**: 341-374.

[8] 谭见安,李日邦,朱文郁. 我国医学地理研究的主要进展和展望 [J]. 地理学报,1990,**45**(2):187-201.

[9] 程爱珍,梁玉红,谭斐,等. 广西巴马长寿之乡气候环境特征分析 [J]. 气象研究与应用,2010,**31**(1):50-52.

[10] 杨荣清,黄标,孙维侠,等. 江苏省如皋市长寿人口分布区土壤及其微量元素特征 [J]. 土壤学报,2005,**42**(5):753-761.

[11] 邹忠,杨荣清,丁峰,等. 江苏如皋市长寿现象与土壤环境关系研究初探 [J]. 土壤,2005,**37**(1):89-94.

[12] 原野,张秋霞,王莉莉. 彭山区域长寿的环境因素分析 [J]. 市场与人口分析, 2005, **S1**:133-139.

[13] 刘旭辉,银建军,黄明秋. 巴马区域长寿现象的初步探讨 [J]. 河池学院学报,2007,**27**(2):46-50.

[14] 郭振华,张立英. ICP-AES 法测定岩石、土壤和水系沉积物中 22 种元素 [J]. 化工矿产地质,2005,**27**(4):241-244.

[15] 张晓晖,张玉玲,刘娜,等. 微波消解 ICP-MS 测定土壤样品中的重金属离子 [J]. 光谱实验室,2008,**25**(6): 1183-1187.

[16] 谢海涛. 原子荧光光谱法测定背景土壤中的硒 [J]. 环境科学导刊,2008,**27**(4):95-96.

[17] GB 15618-1995, 土壤环境质量标准 [S].

[18] 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 [J]. 微量元素与健康研究,2000,**17**(3):52-53.

- [19] 陈树榆,王广仪,席宜平,等. 长寿之乡——江苏如皋微量元素环境调查[J]. 广东微量元素科学,2005,**12**(1):13-18.
- [20] 魏复盛,陈静生,吴燕玉,等. 中国土壤元素背景值[M]. 北京:中国环境科学出版社,1990. 87-482.
- [21] 蔡慧,付小竹,葛淼. 百岁老人与自然地理环境的关系[J]. 国外医学地理分册,2006,**27**(2):88-92.
- [22] Huang B, Zhao Y C, Sun W X, *et al.* Relationships between distributions of longevous population and trace elements in the agricultural ecosystem of Rugao Country, Jiangsu, China[J]. *Environmental Geochemistry and Health*, 2009, **31**(3): 379-390.
- [23] 秦俊法. 中国的百岁老人研究Ⅲ百岁老人聚居区——中国长寿之乡的成因和评定[J]. 广东微量元素,2007,**14**(11): 23-39.
- [24] Tan J A, Zhu W Y, Wang W Y, *et al.* Selenium in soil and endemic disease in China[J]. *Science of the Total Environment*, 2002, **284**(1-3): 227-235.
- [25] Oliver M A. Soil and human health: a review[J]. *European Journal of Soil Science*, 1997, **48**(4): 573-592.