

doi: 10.3969/j.issn.1673-2340.2019.02.008

引文格式: 黄翌, 宋彦欣, 王欣怡, 等. 长江口乡镇人口长寿的遗传、行为和环境因素统计研究[J]. 南通大学学报(自然科学版), 2019, 18(2): 57-62.

长江口乡镇人口长寿的遗传、行为和环境因素 统计研究

黄 翌, 宋彦欣, 王欣怡, 邱尉云

(南通大学 地理科学学院, 江苏 南通 226007)

摘要: 为探讨中国典型长寿区南通市乡镇人口长寿水平与遗传、行为、环境等多因素的关系, 赴南通市11个乡镇调研了162名长寿人口的信息, 内容包括性别、习惯、日常饮食、兄弟姐妹寿命、性格、职业等; 在长寿人口居住地附近采集了当地种植的稻米, 测试了其中9种微量元素含量; 从南通市公安局获取了2011—2016年各乡镇老龄人口数和90岁、百岁人口数, 据此计算乡镇人口长寿水平; 利用皮尔森相关性检验计算各类因素与乡镇尺度人口长寿水平间的相关性。结果表明: 1) 研究区东部乡镇人口的长寿水平显著高于西部乡镇, 具有明显的地理分异特征; 2) 长寿人口普遍得到良好的照料, 生活习惯和心态较好; 3) 长寿人口的血缘兄弟姐妹寿命显著高于当地预期寿命; 4) 稻米中Sr含量、饮酒比例、服药比例、血缘兄弟姐妹寿命与各乡镇人口长寿水平存在统计学的相关性。

关键词: 长寿; 南通; 饮食; 遗传; 微量元素; 行为; 环境

中图分类号: K901.3

文献标志码: A

文章编号: 1673-2340(2019)02-0057-06

Statistical Study on Heredity, Behavior and Environmental Factors of Longevity in the Towns Along the Changjiang River Estuary

HUANG Yi, SONG Yanxin, WANG Xinyi, QIU Weiyun

(School of Geographic Sciences, Nantong University, Nantong 226007, China)

Abstract: In order to identify the relationship between rural longevity level and genetic, behavioral and environmental factors in Nantong, a typical longevity area in China, 162 longevity population were investigated in 11 towns of Nantong prefecture, including gender, habits, diet, life of blood-brothers and sisters, personality and occupation. Locally-produced rice was collected and 9 kinds of trace elements were tested. Population data including the number of elderly people and the number of people above 90 and 100 in the towns from 2011 to 2016 were obtained from the Public Security Department to calculate longevity level of each town. The correlation between each factor and the level of longevity at the town level was calculated by Pearson Correlation Coefficient. The results show that: 1) the longevity level of the eastern part in the study area is significantly higher than that of the western parts, with obvious geographical differentiation; 2) the longevity population is generally better cared and have better living habits and mentality; 3) life of blood-brothers and sisters in the towns with large longevous population is significantly longer than the other part; 4) there is a statistical correlation between

收稿日期: 2019-02-27

基金项目: 江苏省自然科学基金项目(BK20150405); 南通市自然科学基金项目(JC2018078); 江苏省大学生创新训练计划项目(201810304113X); 南通市重点实验室基金项目(CP12016005)

第一作者简介: 黄翌(1985—), 男, 副教授, 博士, 主要研究方向为老龄健康地理。E-mail: huangyi@ntu.edu.cn

life of blood-relatives, Sr content in rice, Yellow Wine intake, medicine intake and the longevity level of each town.

Key words: longevity; Nantong; diet; heredity; trace element; habits; environment

以百岁人口为代表的长寿群体具有重要研究价值,其数量和分布是衡量地区长寿水平的重要指标。许多研究集中探讨了长寿地区形成的原因,结果表明,长寿地区的形成可归因于3个方面:长寿基因、地方环境和群体行为。研究发现了线粒体DNA单倍群、线粒体DNA多态性、结合珠蛋白遗传多态性与长寿的关系^[1-3]。针对著名长寿地区意大利撒丁岛百岁人口的研究发现,拥有某些长寿基因的家族群居,导致长寿村的产生^[4]。以人口统计学解释1982、1990、2000年中国各省百岁人口比例和90岁人口比例排名相互对立、而2010年两者表现一致的问题,明确了东部和南部温和气候总体上比青藏地区极端气候更利于长寿^[5]。以地方水体和土壤中的微量元素为代表的自然环境对长寿地区形成的作用是当前研究的热点,对中国海南岛的调查显示,当地环境中适当的铜、硒和锌供给与县级尺度长寿水平相关度高,但应该避免过量摄入铅^[6]。对中国湖北省长寿地区钟祥市的环境研究表明,水土环境中镉、钙、铝、钼和硒的含量与长寿呈正相关^[7]。中国的省级尺度研究发现,土壤中硒的本底值与长寿指数呈正相关,钡和镍的本底值与长寿指数呈负相关^[8]。采集百岁人群的头发,测试发现百岁人群头发中的钙、镁、锰、硒和镉浓度更高,但铬和磷含量较低^[9]。此外,空气质量和森林覆盖状况也与长寿地区的形成相关^[10-13]。饮食结构和习惯等因素对长寿也至关重要,研究表明,职业等生活方式与撒丁岛男性长寿现象密切相关^[14-16]。

虽然以上3类因素对长寿地区的形成都起到重要作用,但以往研究只集中在环境、遗传或生活方式中的一个因素,导致不同领域对长寿地区形成的原因持有不同的观点,例如,在中国著名的长寿地区南通市,针对乡村土壤中的微量元素测试,

发现土壤中的硒含量丰富导致长寿^[17],而对其中部分百岁人口的研究发现,其携带某些利于长寿的基因^[18]。

本文将综合研究以上3个要素,从南通市公安局获取各乡镇(派出所)多年的人口数据,调研江苏南通11个镇162位长寿人口的生活习惯和血缘兄弟姐妹寿命,测试其居住地周边种植的稻米,并运用统计学等方法进行筛选,以期对长寿地区的成因研究提供参考。

1 数据采集

采集行为、遗传和环境因素的表征量:

1) 行为因素。调查了162位长寿人口的主要生活习惯,以研究行为对长寿的影响,并将其细分为10个指标。

2) 遗传因素。遗传因素对长寿的作用机制较复杂,但在近亲间存在相关性,本文采用较大规模的长寿人口血缘兄弟姐妹的寿命数据作为表征量。

3) 地方环境因素。文献论证了土壤和水中的微量元素谱系与区域长寿水平密切相关,且土壤中的微量元素与农作物间存在正比例传递关系。水稻是当地居民的主食,对居民健康有长期影响,本研究选择水稻中的微量元素含量作为当地环境指标。

1.1 长寿水平数据

江苏南通地处长江三角洲,是我国著名的长寿地区,百岁人口比例远高于世界平均水平,其中如东、启东、如皋等多个县市被中国老年学和老年医学学会评为“中国长寿之乡”。为了解该地区老年人长寿的原因,2016年4月至11月,调查了分布在如皋和通州的11个镇(长江、郭园、白蒲、林梓、平东、九华、丁堰、石庄、搬经、江安、兴仁)的162名长寿人口,年龄在96岁至107岁之间。

研究区域和调查对象分布如图1所示(底图依据2017版南通市政区图(审图号为苏F(2017)7号)编制)。

为了比较11个镇的人口长寿水平,通过研究区公安局人口数据库获取了各乡镇(派出所)2011—2016年百岁人口数、90岁以上人口数和65岁以上人口数(其中90岁以上人口数和65岁以上人口数以每年年底为统计时间,而100岁以上人口数是一年中4个季度第一天统计数据的平均值,以消除气温对百岁人口数的影响)。选取当前表征

地区长寿水平最常用的指标:90岁人口比例法和百岁人口比例法,计算各乡镇90岁以上人口占65岁以上人口比例和100岁以上人口占65岁以上人口的比例(计算长寿人口占老龄人口比例是为了消除年轻人口迁移对总人口的影响),结果如表1所示。

表1表明:研究区域东部兴仁、平东、白蒲、林梓、九华、丁堰的人口长寿水平比较高,而研究区域西部乡镇的人口长寿水平比较低。东部6个镇的90+/65+排在前6名,且各镇人口长寿水平排名较稳定,长寿水平的区域分异十分显著。

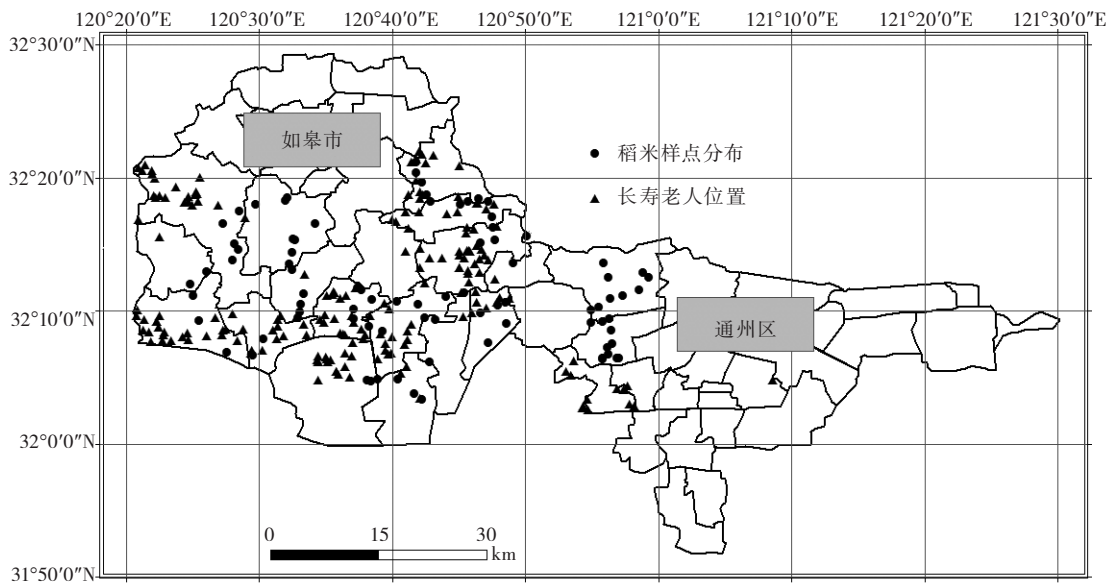


图1 研究区域位置、长寿人口居住地分布、稻米采样点分布

Fig.1 Location of study region, residential distribution of longevity population and rice sampling sites

表1 各乡镇90岁以上和100岁以上人口占65岁以上人口比例

Tab.1 The proportion of people aged 90–99 in comparison with those over 65, the proportion of centenarian in comparison with those over 65

乡镇	90岁以上人口占65岁以上人口比例/ 10^{-2}							100岁以上人口占65岁以上人口比例/ 10^{-4}						
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	平均	2011	2012	2013	2014	2015	平均	
兴仁	3.26	3.37	3.44	3.34	3.59	3.41	3.40	3.9	5.0	5.7	7.1	7.8	5.9	
平东	3.06	3.23	3.40	3.61	3.90	3.95	3.53	5.2	5.9	6.1	6.4	9.6	6.6	
白蒲	2.97	3.04	3.17	3.16	3.37	3.43	3.19	6.5	6.9	6.7	5.8	5.6	6.3	
林梓	2.87	2.88	2.84	3.07	3.54	3.43	3.11	5.4	6.3	5.9	6.0	5.3	5.8	
丁堰	3.08	3.11	3.17	3.34	3.15	3.20	3.18	6.4	5.9	5.1	5.3	6.5	5.8	
九华	3.12	3.26	3.24	3.64	3.66	3.59	3.42	4.4	5.0	2.2	4.3	3.8	3.9	
长江	2.45	2.53	2.72	2.90	3.15	2.98	2.78	2.6	5.3	5.3	3.5	5.6	4.5	
郭园	2.55	2.75	2.92	3.16	3.21	3.07	2.94	3.3	1.5	3.4	5.0	5.0	3.6	
石庄	2.49	2.70	2.83	2.84	2.74	2.90	2.75	6.2	6.1	3.8	3.8	4.7	4.9	
搬经	2.37	2.48	2.57	2.68	2.78	2.84	2.62	3.9	3.6	3.3	2.4	3.4	3.3	
江安	2.72	2.69	2.79	2.91	3.06	3.07	2.87	3.0	4.8	2.9	4.0	3.9	3.7	

1.2 长寿人口的兄弟姐妹寿命数据(遗传因素)

调查了以上11个镇的162名长寿人口,其中51名百岁人口和111名96~99岁人口。长寿人口的出生年份如表2所示。同时调查了162位长寿人口的332位已故血缘兄弟姐妹的寿命,结果如表3所示。

表3显示,长寿人口的血缘兄弟姐妹的平均寿命为79.14岁。调查发现:他们中有的有长寿人口的兄/姐,也有的是弟/妹,根据他们的出生年

份和寿命推算,大多数人在20~10 a前,即1995—2005年间死亡,而研究区人口在2000年的预期寿命为74.88岁,这表明血缘兄弟姐妹比普通人寿命长,遗传是长寿的重要因素之一。

1.3 生活方式数据(行为因素)

调查了162位长寿人口的10类信息,包括身高和体重、日常饮食、爱好、性格、职业等,结果如表4所示。

表2 调查对象的年龄结构与性别结构
Tab.2 Age and gender of the longevity population

性别	出生人数											总计	百分比%
	1909	1911	1912	1913	1914	1915	1916	1917	1918	1919	1920		
男	0	0	0	2	3	3	2	5	6	3	1	25	15.43
女	2	2	3	4	11	3	16	28	50	9	9	137	84.57
总计	2	2	3	6	14	6	18	33	56	12	10	162	100.00

表3 长寿人口已故血缘兄弟姐妹的寿命
Tab.3 Life of dead blood brothers and sisters of longevity population

项目	兴仁	平东	白蒲	林梓	丁堰	九华	长江	郭园	石庄	搬经	江安	平均
人数	22	14	58	35	18	37	25	27	22	38	36	30.18
平均寿命/岁	81.10	84.50	81.69	83.50	74.39	81.95	77.86	81.29	74.45	73.74	76.06	79.14

注:死亡人数的平均寿命不包括因战争、饥饿、天灾和传染病而过早死亡的人。

表4 各乡镇长寿人口的饮食、体型和性格
Tab.4 Diet, shape, and character of longevity population of each town

分类	兴仁	平东	白蒲	林梓	丁堰	九华	长江	郭园	石庄	搬经	江安
1	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
2	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.933	0.636	0.462	1.000	1.000	1.000
3	0.154	0.091	0.045	0.056	0	0.067	0.182	0.077	0	0	0.056
4	0.308	0.364	0.364	0.333	0.231	0.133	0.182	0.231	0	0.063	0.111
5	0.462	0.545	0.409	0.556	0.385	0.200	0.273	0.154	0.250	0.188	0.118
6-1	0.166	0.182	0.045	0.056	0	0	0.273	0.231	0.167	0	0.056
6-2	0.166	0.182	0.227	0.333	0.308	0.267	0.545	0.231	0.333	0.250	0.389
6-3	0.667	0.636	0.727	0.556	0.692	0.667	0.182	0.538	0.500	0.750	0.556
7	0.838	0.827	0.841	0.817	0.815	0.816	0.800	0.792	0.825	0.827	0.833
8	0.923	0.909	0.905	0.833	1.000	0.800	0.818	0.923	0.833	0.813	0.944
9	0.769	0.818	0.133	0.900	0.846	0.667	0.727	0.769	0.583	0.688	0.778
10	0.385	0.636	0.880	0.800	0.667	0.667	0.818	0.769	0.727	1.000	0.611

注:1.与子女同住者比例;2.70岁以后务农率;3.吸烟率;4.服药率;5.饮酒率;6-1.饮食习惯以肉食为主者比例;6-2.饮食习惯以蔬菜为主者比例;6-3.饮食习惯以平衡饮食为主者比例;7.每餐饱腹指数;8.性格乐观者比例;9.脾气耐心者比例;10.身材偏瘦者比例。

从表4中发现:1)长寿者都和他们的子女或孙子女住在一起,这表明他们中的大多数人受到

良好的照顾,不会感到孤独;2)多数人在70岁以后仍从事农业劳动,他们的晚年身体状况较好;3)

很少有人吸烟, 1/3左右的人喜欢喝当地酿制的黄酒; 4) 长寿者主要以蔬菜或平衡饮食为主, 肉类摄入较少; 5) 多数人性格乐观开朗; 6) 多半人一生中多数时间体型偏瘦; 7) 大部分人每餐只吃七八成饱。

1.4 稻米中的微量元素数据(环境因素)

环境因素是影响区域长寿水平的重要指标, 包括空气质量、水土中的微量元素谱系等。由于研究区面积小, 因此空气质量、气候等因素基本相同, 但土壤类型差别明显, 土壤中的多种微量元素含量也存在明显的空间变异^[19]。生命有关元素的地域分异与长寿地区形成的关系是当前的研究热点,

稻米是研究区居民主食, 且研究表明土壤中的微量元素与农作物和人体间存在正向传递过程^[20], 因此, 选择每个镇稻米中的微量元素含量作为环境指标。2017年10—11月的水稻收割季, 从11个乡镇采集稻米样品, 依据国家标准《食品中多元素的测定》(GB 5009.268—2016)测定其中9种微量元素: 将采集的稻米磨成粉末状, 过60目筛; 经超纯水洗净后, 利用微波消解仪消解, 再通过电感耦合等离子体质谱法(inductively coupled plasma mass spectrometry, ICP-MS)检测稻米中各元素含量, 取平均值, 结果如表5所示。

表5 11个乡镇种植的稻米中9种微量元素含量

Tab.5 Content of 9 trace elements in rice of 11 towns

元素	兴仁	平东	白蒲	林梓	丁堰	九华	长江	郭园	石庄	搬经	江安
Mn	12.390	12.556	10.654	8.466	8.434	10.758	11.576	10.352	8.497	12.881	8.982
Co	0.006	0.009	0.006	0.005	0.014	0.006	0.007	0.004	0.005	0.011	0.010
Zn	21.199	23.070	20.316	14.381	21.760	18.025	24.972	20.067	25.628	23.071	26.752
As	0.134	0.103	0.116	0.113	0.089	0.122	0.078	0.049	0.050	0.119	0.111
Se	0.096	0.146	0.102	0.158	0.150	0.154	0.089	0.123	0.174	0.190	0.187
Sr	0.267	0.283	0.253	0.225	0.222	0.281	0.732	0.357	0.450	0.359	0.620
Mo	0.618	0.728	0.661	0.576	0.618	0.602	0.551	0.578	0.596	0.631	0.633
Cd	0.023	0.023	0.026	0.006	0.006	0.009	0.024	0.013	0.025	0.030	0.011
Pb	0.253	0.174	0.520	0.191	0.263	0.269	0.651	0.190	0.386	0.422	0.558

2 相关性分析

使用皮尔森相关检验, 计算11个镇90+/65+比值、100+/65+比值两个长寿指标与血缘兄弟姐妹寿命、10类行为因素和地方稻米中的9种微量元素的关系。结果显示: 多数因素与两个长寿指标没有相关性($P>0.05$), 只有大米中Sr含量(负相关)、服药者比例、饮酒者比例和血缘兄弟姐妹寿命4个因素与两个长寿指标具有相关性, 如表6所示。

表6 皮尔森相关性分析的结果

Fig.6 Result of pearson correlation analysis

长寿指标	Sr含量	服药比例	饮酒比例	血缘兄弟姐妹的寿命
90+/65+	-0.619*	0.690*	0.617*	0.728*
100+/65+	-0.497	0.751*	0.921**	0.457

注: **表示 $P<0.01$; *表示 $P<0.05$; 其他为 $P>0.05$ 。

1) 文献研究发现土壤中和农作物中的微量元

素含量与乡村长寿水平存在相关性, 特别是硒和锌的含量与长寿水平的正相关性, 以及镉、铅、汞、砷等重金属、类重金属元素含量与长寿水平的负相关性报道较多。就本文结果而言, 仅发现金属元素锶与90+/65+长寿水平呈负相关, 未发现其他元素存在明显相关性, 这可能与研究的尺度和范围有关, 因为研究区各乡镇人口长寿水平虽然有差异, 但都显著高于全国和江苏省平均值, 总体上均处于高值, 并且研究区乡镇间的长寿水平差异小于研究区整体与江苏省平均、全国平均间的差异。未来将扩大研究范围, 采集周边长寿水平显著低于研究区的地区土壤和稻米进行比较。

2) 服药者比例与乡镇人口长寿水平指标90+/65+、100+/65+存在明显正相关, 表明医疗延长了存活年限, 降低了死亡风险。同时, 还有研究表明: 表面上历次人口普查乡村人口长寿率高于城市, 但实际通过对死亡率的研究发现, 城市人口

比乡村更长寿^[21], 即医疗条件更好的地区有助于提高长寿水平, 与此次调查结果一致。

3) 饮酒与长寿的关系在学界存在较大争议。本文统计结果显示, 90+/65+、100+/65+ 数值与长寿人口饮酒者比例呈正相关, 调查的长寿人口喜爱饮用当地生产的黄酒, 是否与长寿有关, 是否当地其他非长寿人群也喜爱饮酒, 还有待于深入调查和论证。

4) 长寿人口血缘兄弟姐妹的寿命与 90+/65+ 间存在正相关性, 即血缘亲属寿命长的乡镇, 人口长寿水平也高。

3 结论

调查了江苏南通 11 个镇 162 名长寿人口, 其中大多数是女性, 其已故兄弟姐妹的平均寿命为 79.14 岁, 显著高于南通同期的人口预期寿命, 表明遗传因素与长寿具有相关性。长寿人口中大多数以素食为主或饮食平衡、吃肉较少, 性格乐观开朗、体型较瘦、每餐吃八成饱者居多。11 个镇多年的人口长寿水平排名稳定, 通州区和如皋市东部乡镇人口长寿水平普遍高于如皋市西部乡镇。长寿水平与行为、环境、遗传三类要素间的相关分析显示: 大米中 Sr 含量(负相关)、服药者比例、饮酒者比例和血缘兄弟姐妹寿命 4 个因素与长寿水平具有相关性。

参考文献:

- [1] NAPOLIONI V, GIANNI P, CARPI F M, et al. Haptoglobin (HP) polymorphisms and human longevity: a cross-sectional association study in a Central Italy population[J]. *Clinica Chimica Acta*, 2011, 412 (7/8): 574-577.
- [2] YANG X R, WANG X P, YAO H L, et al. Mitochondrial DNA polymorphisms are associated with the longevity in the Guangxi Bama population of China[J]. *Molecular Biology Reports*, 2012, 39 (9): 9123-9131.
- [3] NIEMI A K, HERVONEN A, HURME M, et al. Mitochondrial DNA polymorphisms associated with longevity in a Finnish population[J]. *Human Genetics*, 2003, 112 (1): 29-33.
- [4] CASELLI G, POZZI L, VAUPEL J W, et al. Family clustering in Sardinian longevity: a genealogical approach[J]. *Experimental Gerontology*, 2006, 41 (8): 727-736.
- [5] HUANG Y, ROSENBERG M, WANG Y L. Is extreme climate or moderate climate more conducive to longevity in China?[J]. *International Journal of Biometeorology*, 2018, 62 (6): 971-977.
- [6] HAO Z, LIU Y, LI Y, et al. Association between longevity and element levels in food and drinking water of typical Chinese longevity area[J]. *The Journal of Nutrition, Health & Aging*, 2016, 20 (9): 897-903.
- [7] LV J, WANG W Y, KRAFFT T, et al. Effects of several environmental factors on longevity and health of the human population of zhongxiang, hubei, China[J]. *Biological Trace Element Research*, 2011, 143 (2): 702-716.
- [8] LIU Y, LI Y H, JIANG Y, et al. Effects of soil trace elements on longevity population in China[J]. *Biological Trace Element Research*, 2013, 153 (1/2/3): 119-126.
- [9] HAO Z, LI Y H, LIU Y, et al. Hair elements and healthy aging: a cross-sectional study in Hainan Island, China[J]. *Environmental Geochemistry and Health*, 2016, 38 (3): 723-735.
- [10] SONG W J, LI Y H, HAO Z, et al. Public health in China: an environmental and socio-economic perspective[J]. *Atmospheric Environment*, 2016, 129: 9-17.
- [11] WANG L, WEI B G, LI Y H, et al. A study of air pollutants influencing life expectancy and longevity from spatial perspective in China[J]. *Science of the Total Environment*, 2014, 487: 57-64.
- [12] WANG L, LI Y H, LI H R, et al. Regional aging and longevity characteristics in China[J]. *Archives of Gerontology and Geriatrics*, 2016, 67: 153-159.
- [13] ROBINE J M, HERRMANN F R, ARAI Y, et al. Exploring the impact of climate on human longevity[J]. *Experimental Gerontology*, 2012, 47 (9): 660-671.
- [14] KOENIG R. Sardinia's mysterious male methuselahs[J]. *Science*, 2001, 291 (5511): 2074-2076.
- [15] 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[J]. *Experimental Gerontology*, 2004, 39 (9): 1423-1429.
- [16] PES G M, TOLU F, POULAIN M, et al. Lifestyle and nutrition related to male longevity in Sardinia: an ecological study[J]. *Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases*, 2013, 23 (3): 212-219.

(下转第 74 页)

- 合材料的弯曲特性分析[J]. 科学技术与工程, 2013, 13(5): 1261-1265.
- [9] 顾卫平, 骆卫东, 童文, 等. 复合材料蜂窝夹层板低速冲击损伤模拟及实验研究[J]. 机械科学与技术, 2013, 32(7): 1017-1021.
- [10] 张磊, 邱志平. 碳纤维增强点阵夹芯结构的屈曲强度[J]. 航空动力学报, 2013, 28(3): 525-530.
- [11] 邹如荣, 柳和生, 赖家美, 等. 缝合泡沫夹层复合材料低速冲击数值模拟及实验[J]. 高分子材料科学与工程, 2016, 32(9): 96-102.
- [12] 李进亚, 许希武, 毛春见. 复合材料蜂窝夹芯板低速冲击损伤研究[J]. 科学技术与工程, 2012, 12(10): 2379-2386.
- [13] 曹海建, 陈红霞. 结构参数对三维中空夹芯复合材料平压性能的影响[J]. 纺织导报, 2016(8): 75-76.
- (责任编辑: 张燕)

(上接第 62 页)

- [17] SUN W X, HUANG B, ZHAO Y C, et al. Spatial variability of soil selenium as affected by geologic and pedogenic processes and its effect on ecosystem and human health[J]. *Geochemical Journal*, 2009, 43(4): 217-225.
- [18] CAI X Y, WANG X F, LI S L, et al. Association of mitochondrial DNA haplogroups with exceptional longevity in a Chinese population[J]. *PLOS One*, 2009, 4(7): e6423. DOI: 10.1371/journal.pone.0006423.
- [19] 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 County, Jiangsu, China[J]. *Environmental Geochemistry and Health*, 2009, 31(3): 379-390.
- [20] XING R Y, LI Y H, ZHANG B, et al. Indicative and complementary effects of human biological indicators for heavy metal exposure assessment[J]. *Environmental Geochemistry and Health*, 2017, 39(5): 1031-1043.
- [21] 黄翌. 乡村人口长寿还是城市人口长寿?[J]. *老龄科学研究*, 2019, 7(1): 72-79.
- (责任编辑: 张燕)