

一个高寒牧区经济生态系统未来人口 发展过程的动态模拟*

蒋志刚 皮南林 崔远萍
(中国科学院西北高原生物研究所)

为了对门源马场地区未来人口发展过程的各个侧面,如人口的自然增长率变化;人口的数量动态;劳动力资源发展趋势;人口的未来年龄结构;世代间隔等有基本的了解,以结合生态系统的负载能力探讨人口的战略发展目标,在前文搜集的参数基础上,利用 Lewis-Leslie 方法对系统的人口动态进行了多方案的动态模拟研究,并结合生态系统的负载能力对模拟结果进行了分析研究。

一、研究方法

1. 模拟模型

采用 Lewis-Leslie 矩阵模型模拟研究地区未来 100 年间的人口发展过程。Lewis-Leslie 方法在生态学研究中有广泛的应用 (Pollard, 1973; Pielou, 1977)。Lewis (1975) 曾利用 1960 年澳大利亚的女性人口资料,讨论了该模型的性质,曾宗永等 (1982) 利用此方法分析预测了一个公社的女性人口。Pielou (1977) 对 Lewis-Leslie 矩阵的性质作了详尽的分析。

在本模拟过程中, Lewis-Leslie 矩阵的基本元素是动态的,以模拟未来人口基本参数的变化。运算中, Lewis-Leslie 矩阵的基本元素见表 1。

2. 基本参数的外推

未来的人口发展过程是一个动态过程。影响人口自然增长的出生、死亡因素都将随着时间的推移而变化,只有对人口基本参数作出合理的假定和较准确的外推,才能得到较可靠的结果。本模拟中没有考虑人口迁移的影响,因为人口的机械增长是随机的。对死亡率和生育模式函数外推如下:

(1) 死亡率 死亡率在幼儿期高,在老年期高,在青壮年期低。随着未来生活条件和

本文 1986 年 1 月 14 日收到。

中国科学院科学基金资助的课题。

* 本文在夏武平教授指导下完成,承王祖望先生审阅文稿,魏善武和刘阳同志在计算时提供方便和帮助,特此致谢。

医疗保健的改善,幼儿期的死亡率将逐渐降低,老年期的死亡率也将逐年有所降低。参照了发达国家和国内发达地区的死亡率后,假定未来青壮年的死亡率基本不变,而将幼儿期和老年期的死亡率分别乘以衰减因子 ε_1 和 ε_2

$$\mu(r, t+1) = \begin{cases} (1 - \varepsilon_1)\mu(r, t) & 0 \leq r \leq N_c \\ (1 - \varepsilon_2)\mu(r, t) & r_y \leq r \leq r_m \end{cases}$$

式中: $N_c = 5$; $r_y = 50$; $r_m =$ 最高寿命, 模拟过程中取 $\varepsilon_1 = 4 \times 10^{-4}$; $\varepsilon_2 = 4 \times 10^{-4}$ 。

(2) 生育模式 除模拟方案 I 中,设生育模式不变外,其余方案中,均设生育模式中的婚育初龄推迟 5 年,但生育高峰不变。

(3) 模拟方案

人口发展过程是人口现状的继续,从人口的现状出发,可能的结果有多个。选择的 6 种方案如下:

方案 I 育龄妇女的平均生育数 4.96 个,婚育初龄不变。

方案 II 育龄妇女的平均生育数 3.57 个,婚育初龄为 20 岁。

方案 III 育龄妇女的平均生育数 2.00 个,婚育初龄为 20 岁。

方案 IV 育龄妇女的平均生育数 1.00 个,婚育初龄为 20 岁。

方案 V 育龄妇女的平均生育数在未来 100 年中的前 30 年(2014 年以前)为 4.00 个;后 70 年(2014 年以后)为 2.00 个。

方案 VI 育龄妇女的平均生育数在未来 100 年中的前 50 年(2034 年以前)为 1.00 个;后 50 年(2034 年以后)为 2.00 。

以上 6 种方案编制程序后,在 IBM-PC-XT 计算机上实现。

二、模拟结果分析

1. 未来人口发展过程的总趋势

方案 I 育龄妇女平均生育数为 4.96 时,该地区人口在未来 100 年中将持续增长。60 年后达 10000 人,85 年后接近 20000 人,100 年后人口总数为 28025 人(表 2-1)。

方案 II 育龄妇女平均生育数为 3.57 时,未来 100 年中人口也将持续增长。45 年后,该地区人口超过 5000 人,90 年后,超过 10000 人,100 年后人口总数为 12107 人(表 3-1)。

方案 III 育龄妇女平均生育数为 2.00 个时。该地区人口在未来 100 年的前 60 年中将持续增长,2044 年该地区总人口为 3569 人,尔后,人口开始下降,100 年后,总人口为 3200 人左右(表 4-1)。

方案 IV 育龄妇女平均生育数为 1.00 个时,研究地区人口在未来 100 年中的前 30 年仍持续增长,但增长的幅度有限。2014 年以后,人口数量开始下降,100 年以后总人口为 864 人(表 5-1)。

方案 V 此方案对未来 100 年中的前 30 年严格实行一胎化,以让过 1960—1980 年间第 2 次生育高峰期间出生的人口的生育期,而在后 70 年实行两胎化,以求人口的稳定发展。模拟结果表明:该地区人口在未来 35 年中持续增长,尔后,开始下降,100 年后,

表 2-1 模拟方案 I 中的人口预测数据
Table 2-1 The demographic data in simulating program 1.

年 代 (<i>t</i>)	总人口 $N(t)$	男性人口 $N_m(t)$	女性人口 $N_f(t)$	劳动力 人数 $L(t)$	老人数 $O(t)$	少年儿童 人数 $Y(t)$	育龄妇女 人数 $N_f(t)$	新生婴儿 人数 $N_b(t)$
1989	2827	1523	1304	1892	115	820	761	404
1994	3185	1705	1480	2040	214	931	787	404
1999	3696	1962	1734	1990	335	1371	797	576
2004	4350	2290	2060	2188	460	1702	935	738
2009	4999	2616	2384	2473	475	2051	1048	759
2014	5529	2881	2648	2912	477	2139	1200	667
2019	6058	3148	2910	3484	485	2089	1369	687
2024	6666	3461	3205	3968	572	2126	1537	794
2029	7468	3877	3590	4204	807	2457	1715	1000
2034	8535	4419	4116	4466	1022	3048	1962	1283
2039	9790	5053	4737	4943	1094	3753	2139	1507
2044	11094	5720	5374	5754	998	4341	2409	1597
2049	12371	6385	5986	6593	1100	4678	2737	1625
2054	13681	7068	6613	7646	1159	4876	3100	1707
2059	15190	7841	7349	8630	1349	5211	3495	1933
2064	17116	8828	8288	9489	1714	5913	3940	2333
2069	19464	10028	9436	10401	2052	7012	4408	2816
2074	22138	11398	10739	11602	2232	8304	4927	3240
2079	25020	12884	12136	13166	2360	9494	5538	3538
2084	28025	14446	13579	15088	2504	10433	6249	3767

表 2-2 模拟方案 I 中的人口指数
Table 2-2 The demographic indexes in simulating program 1.

年 代 <i>t</i>	自然增长率 $\lambda(t)$	出生率‰ $N_b(t)/N(t)$	死亡率‰ $D(t)/N(t)$	抚养指数 $N(t)-L(t)/L(t)$	老少比 $O(t)/Y(t)$	女性比例 $N_f(t)/N(t)$	人口密度 DENSITY No./km ²
1989	27.98	30.66	2.68	0.49	0.14	0.46	8.56
1994	23.81	26.90	3.09	0.56	0.23	0.46	9.64
1999	29.71	33.46	3.75	0.86	0.24	0.47	11.18
2004	32.50	36.71	4.21	0.99	0.27	0.47	13.16
2009	27.79	32.47	4.68	1.02	0.23	0.48	15.13
2014	20.12	25.33	5.21	0.90	0.22	0.48	16.73
2019	18.25	23.72	5.48	0.74	0.23	0.48	18.33
2024	19.11	24.97	5.86	0.68	0.27	0.48	20.17
2029	22.71	28.31	5.60	0.78	0.33	0.48	22.60
2034	26.68	32.06	5.38	0.91	0.34	0.48	25.83
2039	27.38	32.90	5.52	0.98	0.29	0.48	29.62
2044	24.97	30.59	5.62	0.93	0.23	0.48	33.57
2049	21.78	27.70	5.92	0.88	0.24	0.48	37.44
2054	20.12	26.21	6.09	0.79	0.24	0.48	41.40
2059	20.90	26.79	5.89	0.76	0.26	0.48	45.97
2064	23.85	28.88	5.03	0.80	0.29	0.48	51.79
2069	25.68	30.79	5.11	0.87	0.29	0.48	58.90
2074	25.71	31.15	5.45	0.91	0.27	0.49	66.99
2079	24.45	30.01	5.56	0.90	0.25	0.49	75.71
2084	22.66	28.41	5.75	0.86	0.24	0.48	84.80

表 3-1 模拟方案 II 中的人口预测数据

Table 3-1 The demographic data in simulating program 2.

年 代 (t)	总人口 $N(t)$	男性人口 $N_m(t)$	女性人口 $N_f(t)$	劳动力 人数 $L(t)$	老人数 $O(t)$	少年儿童 人数 $Y(t)$	育龄妇女 人数 $N_f'(t)$	新生婴儿 人数 $N_b(t)$
1989	2702	1458	1244	1892	115	695	761	279
1994	2937	1576	1361	2040	214	683	787	279
1999	3286	1749	1538	1990	335	961	797	412
2004	3747	1977	1770	2065	460	1222	876	542
2009	4198	2200	1999	2227	475	1496	930	557
2014	4525	2360	2165	2507	477	1540	1006	459
2019	4800	2496	2305	2888	485	1427	1082	428
2024	5048	2622	2427	3177	572	1299	1156	427
2029	5374	2790	2585	3215	807	1352	1240	511
2034	5840	3018	2822	3231	1022	1587	1369	665
2039	6404	3292	3112	3360	1094	1950	1434	794
2044	6963	3571	3392	3707	998	2258	1535	823
2049	7446	3823	3623	4070	991	2385	1650	795
2054	7855	4041	3814	4557	950	2348	1771	757
2059	8276	4257	4019	4953	1024	2299	1900	773
2064	8847	4547	4300	5203	1255	2390	2058	885
2069	9580	4915	4665	5401	1489	2690	2209	1059
2074	10418	5335	5083	5696	1598	3124	2364	1212
2079	11288	5777	5511	6127	1635	3526	2531	1293
2084	12107	6205	5902	6720	1620	3767	2712	1304

表 3-2 模拟方案 II 中的人口指数

Table 3-2 The demographic indexes in simulating program 2.

年 代 t	自然增长率 ‰ $\lambda(t)$	出生率‰ $N_b(t)/N(t)$	死亡率‰ $D(t)/N(t)$	抚养指数 $N(t)-L(t)/L(t)$	老 少 比 $O(t)/Y(t)$	女性比例 $N_f(t)/N(t)$	人口密度 No./km ²
1989	18.89	21.64	2.74	0.43	0.17	0.46	8.18
1994	16.65	19.80	3.15	0.44	0.31	0.46	8.89
1999	22.46	26.47	4.01	0.65	0.35	0.47	9.94
2004	26.19	30.85	4.66	0.81	0.38	0.47	11.34
2009	22.74	28.05	5.31	0.88	0.32	0.48	12.70
2014	14.99	21.03	6.05	0.80	0.31	0.48	13.69
2019	11.80	18.36	6.57	0.66	0.34	0.48	14.53
2024	10.08	17.34	7.26	0.59	0.44	0.48	15.28
2029	12.51	19.61	7.11	0.67	0.60	0.48	16.26
2034	16.63	23.70	7.08	0.81	0.64	0.48	17.67
2039	18.42	25.94	7.51	0.91	0.56	0.49	19.38
2044	16.72	24.63	7.90	0.88	0.44	0.49	21.07
2049	13.41	22.07	8.66	0.83	0.42	0.49	22.53
2054	10.69	19.78	9.09	0.72	0.40	0.49	23.77
2059	10.43	19.17	8.74	0.67	0.45	0.49	25.04
2064	13.35	20.68	7.33	0.70	0.53	0.49	26.77
2069	15.91	22.99	7.09	0.77	0.55	0.49	28.99
2074	16.76	24.23	7.48	0.83	0.51	0.49	31.53
2079	16.03	23.82	7.79	0.84	0.46	0.49	34.16
2084	14.00	22.30	8.30	0.80	0.43	0.49	36.64

表 4-1 模拟方案 III 中的人口预测数据

Table 4-1 The demographic data in simulating program 3.

年代 (t)	总人口 $N(t)$	男性人口 $N_m(t)$	女性人口 $N_f(t)$	劳动力 人数 $L(t)$	老人数 $O(t)$	少年儿童 人数 $Y(t)$	育龄妇女 人数 $N'_f(t)$	新生儿 人数 $N_b(t)$
1989	2579	1394	1185	1892	115	572	761	156
1994	2693	1449	1244	2040	214	439	787	156
1999	2863	1529	1335	1990	335	538	797	231
2004	3088	1635	1454	1944	460	685	818	304
2009	3299	1733	1567	1986	475	838	814	312
2014	3430	1791	1639	2090	477	863	805	257
2019	3485	1814	1672	2238	485	763	769	203
2024	3480	1809	1671	2288	572	620	729	167
2029	3479	1806	1672	2134	807	537	722	173
2034	3507	1807	1701	1939	1022	546	750	212
2039	3548	1807	1741	1826	1094	628	752	250
2044	3569	1805	1764	1859	998	712	756	258
2049	3528	1784	1744	1905	884	738	744	239
2054	3428	1741	1687	1987	746	694	721	206
2059	3317	1691	1627	2012	687	618	699	181
2064	3262	1664	1598	1955	748	559	693	179
2069	3257	1656	1601	1860	846	551	695	197
2074	3274	1656	1618	1791	897	586	700	217
2079	3283	1655	1628	1767	884	632	700	225
2084	3259	1644	1615	1791	816	652	692	217

表 4-2 模拟方案 III 中的人口指数

Table 4-2 The demographic indexes in simulating program 3.

年代 t	自然增长率 $\lambda(t)$	出生率‰ $N_b(t)/N(t)$	死亡率‰ $D(t)/N(t)$	抚养指数 $N(t)-L(t)/L(t)$	老少比 $O(t)/Y(t)$	女性比例 $N_f(t)/N(t)$	人口密度 No./km ²
1989	9.61	12.42	2.81	0.36	0.20	0.46	7.80
1994	8.64	11.87	3.23	0.32	0.49	0.46	8.15
1999	12.29	16.61	4.32	0.44	0.62	0.47	8.67
2004	15.11	20.42	5.32	0.59	0.67	0.47	9.35
2009	13.22	19.55	6.33	0.66	0.57	0.47	9.98
2014	7.79	15.28	7.49	0.64	0.55	0.48	10.38
2019	3.18	11.76	8.58	0.56	0.63	0.48	10.55
2024	-0.29	9.61	9.90	0.52	0.92	0.48	10.53
2029	-0.08	9.93	10.01	0.63	1.50	0.48	10.53
2034	1.62	12.12	10.50	0.81	1.87	0.48	10.61
2039	2.33	14.15	11.82	0.94	1.74	0.49	10.74
2044	1.17	14.52	13.34	0.92	1.40	0.49	10.80
2049	-2.33	13.46	15.78	0.85	1.20	0.49	10.68
2054	-5.76	11.83	17.59	0.72	1.07	0.49	10.37
2059	-6.55	10.73	17.28	0.65	1.11	0.49	10.04
2064	-3.36	10.89	14.25	0.67	1.34	0.49	9.87
2069	-0.29	12.06	12.35	0.75	1.54	0.49	9.86
2074	1.04	13.27	12.24	0.83	1.53	0.49	9.91
2079	0.55	13.73	13.19	0.86	1.40	0.50	9.94
2084	-1.50	13.27	14.77	0.82	1.25	0.50	9.86

表 5-1 模拟方案 IV 中的人口预测数据
Table 5-1 The demographic data in simulating program 4.

年代 (t)	总人口 $N(t)$	男性人口 $N_m(t)$	女性人口 $N_f(t)$	劳动力 人数 $L(t)$	老人数 $O(t)$	少年儿童 人数 $Y(t)$	育龄妇女 人数 $N_f(t)$	新生婴儿 人数 $N_b(t)$
1989	2501	1353	1147	1892	115	494	761	78
1994	2538	1368	1169	2040	214	284	787	78
1999	2594	1389	1205	1990	335	269	797	115
2004	2669	1417	1252	1867	460	342	781	152
2009	2727	1435	1292	1833	475	419	740	156
2014	2733	1430	1304	1824	477	431	677	128
2019	2678	1395	1283	1824	485	370	570	90
2024	2571	1337	1234	1724	572	276	456	61
2029	2453	1274	1180	1448	807	199	392	50
2034	2333	1196	1137	1147	1022	164	369	55
2039	2197	1104	1093	937	1094	166	360	63
2044	2039	1008	1031	860	998	180	345	65
2049	1833	900	933	834	816	183	315	58
2054	1597	788	809	814	616	167	274	46
2059	1375	685	690	764	473	138	233	35
2064	1211	608	603	677	425	110	202	29
2069	1104	554	551	577	437	91	183	27
2074	1026	510	516	492	451	84	171	28
2079	950	467	483	435	432	83	161	28
2084	864	423	441	403	379	82	148	26

表 5-2 模拟方案 IV 中的人口预测指数
Table 5-2 The demographic indexes in simulating program 4.

年代 t	自然增长率 % $\lambda(t)$	出生率% $N_b(t)/N(t)$	死亡率% $D(t)/N(t)$	抚养指数 $N(t)-L(t)/L(t)$	老少比 $O(t)/Y(t)$	女性比例 $N_f(t)/N(t)$	人口密度 No./km ²
1989	3.45	6.31	2.86	0.32	0.23	0.46	7.57
1994	2.93	6.21	3.28	0.24	0.75	0.46	7.68
1999	4.42	8.99	4.58	0.30	1.24	0.46	7.85
2004	5.68	11.55	5.86	0.43	1.34	0.47	8.08
2009	4.29	11.57	7.28	0.49	1.13	0.47	8.25
2014	0.46	9.41	8.95	0.50	1.11	0.48	8.27
2019	-4.05	6.66	10.71	0.47	1.31	0.48	8.11
2024	-8.19	4.63	12.82	0.49	2.07	0.48	7.78
2029	-9.36	4.00	13.36	0.69	4.06	0.48	7.42
2034	-10.10	4.57	14.67	1.03	6.24	0.49	7.06
2039	-11.93	5.53	17.46	1.34	6.60	0.50	6.65
2044	-15.00	6.10	21.10	1.37	5.55	0.51	6.17
2049	-21.22	5.99	27.21	1.20	4.46	0.51	5.55
2054	-27.57	5.40	32.97	0.96	3.69	0.51	4.83
2059	-29.85	4.77	34.62	0.80	3.42	0.50	4.16
2064	-25.31	4.50	29.81	0.79	3.88	0.50	3.67
2069	-18.47	4.75	23.21	0.91	4.80	0.50	3.34
2074	-14.70	5.28	19.99	1.09	5.38	0.50	3.11
2079	-15.35	5.71	21.05	1.18	5.21	0.51	2.88
2084	-19.10	5.78	24.88	1.14	4.64	0.51	2.61

表 6-1 模拟方案 V 中的人口预测数据

Table 6-1 The demographic data in simulating program 5.

年 代 (t)	总 人 口 $N(t)$	男性人口 $N_m(t)$	女性人口 $N_f(t)$	劳 动 力 人 数 $L(t)$	老 人 数 $O(t)$	少年儿童 人 数 $Y(t)$	育龄妇女 人 数 $N_f(t)$	新生婴儿 人 数 $N_b(t)$
1989	2501	1353	1147	1892	115	494	761	78
1994	2538	1368	1169	2040	214	284	787	78
1999	2594	1389	1205	1990	335	269	797	115
2004	2669	1417	1252	1867	460	342	781	152
2009	2727	1435	1292	1833	475	419	740	156
2014	2733	1430	1304	1824	477	431	677	128
2019	2769	1442	1327	1824	485	460	570	180
2024	2721	1415	1305	1724	572	425	456	122
2029	2652	1377	1275	1448	807	397	392	100
2034	2585	1327	1258	1235	1022	328	412	109
2039	2511	1267	1244	1085	1094	331	431	125
2044	2415	1203	1212	1057	998	360	439	129
2049	2292	1138	1154	1083	816	393	435	143
2054	2143	1072	1072	1123	616	404	423	137
2059	2002	1012	991	1134	473	396	410	121
2064	1915	975	940	1126	425	364	417	111
2069	1883	959	924	1109	437	337	399	109
2074	1881	955	926	1102	451	329	399	113
2079	1889	956	932	1040	510	339	403	121
2084	1886	954	933	1028	504	355	402	126

表 6-2 模拟方案 V 中的人口指数

Table 6-2 The demographic indexes in simulating program 5.

年 代 t	自然增长率 $\lambda(t)$	出生率‰ $N_b(t)/N(t)$	死亡率‰ $D(t)/N(t)$	抚养指数 $N(t)-L(t)/L(t)$	老少比 $O(t)/Y(t)$	女性比例 $N_f(t)/N(t)$	人口密度 No./km ²
1989	3.45	6.31	2.86	0.32	0.23	0.46	7.57
1994	2.93	6.21	3.28	0.24	0.75	0.46	7.68
1999	4.42	8.99	4.58	0.30	1.24	0.46	7.85
2004	5.68	11.55	5.86	0.43	1.34	0.47	8.08
2009	4.29	11.57	7.28	0.49	1.13	0.47	8.25
2014	0.46	9.41	8.95	0.50	1.11	0.48	8.27
2019	2.57	13.10	10.53	0.52	1.05	0.48	8.38
2024	-3.50	8.86	12.37	0.58	1.34	0.48	8.23
2029	-5.10	7.47	12.57	0.83	2.03	0.48	8.03
2034	-5.13	8.34	13.47	1.09	3.12	0.49	7.82
2039	-5.79	9.83	15.62	1.31	3.30	0.50	7.60
2044	-7.83	10.49	18.32	1.29	2.77	0.50	7.31
2049	-10.43	12.13	22.55	1.12	2.08	0.50	6.94
2054	-13.41	12.33	25.74	0.91	1.52	0.50	6.49
2059	-13.59	11.70	25.29	0.77	1.19	0.49	6.06
2064	-8.92	11.30	20.22	0.70	1.17	0.49	5.79
2069	-3.35	11.49	14.84	0.70	1.29	0.49	5.70
2074	-0.19	11.96	12.15	0.71	1.37	0.49	5.69
2079	0.80	12.81	12.00	0.82	1.51	0.49	5.72
2084	-0.27	13.30	13.57	0.84	1.42	0.49	5.71

表 7-1 模拟方案 IV 中的人口预测数据

Table 7-1 The demographic data in simulating program 6.

年代 (t)	总人口 $N(t)$	男性人口 $N_m(t)$	女性人口 $N_f(t)$	劳动力 人数 $L(t)$	老人数 $O(t)$	少年儿童 人数 $Y(t)$	育龄妇女 人数 $N_f(t)$	新生儿 人数 $N_b(t)$
1989	2501	1353	1147	1892	115	494	761	78
1994	2538	1368	1169	2040	214	284	787	78
1999	2594	1389	1205	1990	335	269	797	115
2004	2669	1417	1252	1867	460	342	781	152
2009	2727	1435	1292	1833	475	419	740	156
2014	2733	1430	1304	1824	477	431	677	128
2019	2678	1395	1283	1824	485	370	570	90
2024	2571	1337	1234	1724	572	276	456	61
2029	2453	1274	1180	1448	807	199	392	50
2034	2333	1196	1137	1147	1022	164	369	55
2039	2260	1137	1123	937	1094	228	360	125
2044	2165	1073	1091	860	998	306	345	129
2049	2016	995	1021	834	816	366	315	116
2054	1825	907	918	876	616	334	303	93
2059	1638	822	816	889	473	276	293	71
2064	1502	759	743	858	425	219	289	58
2069	1439	727	712	802	437	200	292	74
2074	1425	716	708	751	451	223	296	94
2079	1422	713	709	720	432	269	298	105
2084	1407	706	701	730	379	297	304	102

表 7-2 模拟方案 VI 中的人口指数

Table 7-2 The demographic indexes in simulating program 6.

年代 t	自然增长率 ‰ $\lambda(t)$	出生率‰ $N_b(t)/N(t)$	死亡率‰ $D(t)/N(t)$	抚养指数 $N(t)-L(t)/L(t)$	老少比 $O(t)/Y(t)$	女性比例 $N_f(t)/N(t)$	人口密度 No./km ²
1989	3.45	6.31	2.86	0.32	0.23	0.46	7.57
1994	2.93	6.21	3.28	0.24	0.75	0.46	7.68
1999	4.42	8.99	4.58	0.30	1.24	0.46	7.85
2004	5.68	11.55	5.86	0.43	1.34	0.47	8.08
2009	4.29	11.57	7.28	0.49	1.13	0.47	8.25
2014	0.46	9.41	8.95	0.50	1.11	0.48	8.27
2019	-4.05	6.66	10.71	0.47	1.31	0.48	8.11
2024	-8.19	4.63	12.82	0.49	2.07	0.48	7.78
2029	-9.36	4.00	13.36	0.69	4.06	0.48	7.42
2034	-10.10	4.57	14.67	1.03	6.24	0.49	7.06
2039	-6.32	10.91	17.22	1.41	4.79	0.50	6.84
2044	-8.62	11.68	20.29	1.52	3.26	0.50	6.55
2049	-14.21	11.09	25.30	1.42	2.23	0.51	6.10
2054	-19.90	9.65	29.55	1.08	1.85	0.50	5.52
2059	-21.65	8.19	29.83	0.84	1.71	0.50	4.96
2064	-17.33	7.41	24.74	0.75	1.94	0.49	4.54
2069	-8.47	10.01	18.47	0.79	2.18	0.49	4.36
2074	-2.07	13.06	15.13	0.90	2.02	0.50	4.31
2079	-0.42	14.71	15.13	0.97	1.61	0.50	4.30
2084	-2.11	14.49	16.60	0.93	1.27	0.50	4.26

总人口为 1900 人左右(表 6-1)。

方案 VI 与方案 V 不同,方案 VI 是在 50 年以后,研究地区人口数量接近目前水平时开始实行两胎化。模拟结果表明:实行两胎化以后,人口数量下降较平缓,100 年以后人口数量为 1400 人左右(表 7-1)。

从上述 6 种模拟方案分析,不论采取何种方案,研究地区人口至少在未来 100 年中的前 30 年是持续增长的。不同方案中增长的持续期长短不一样,其原因是:研究地区人口年龄构成中 0—30 岁的人口比重大,这部分人口将在未来 30 年中进入生育期,影响人口发展过程,其影响程度,与平均生育数有关。

2. 人口自然增长率的变化趋势

人口自然增长率是人口的出生率与死亡率之差,综合反映了现有人口在一定时间间隔内的出生率与死亡率两个参量。

6 种模拟方案中人口自然增长率呈不同的变化(图 1)。方案 I 中,自然增长率始终为正,且呈周期长度约为 30 年的周期波动,随着时间的推移,波动的振幅逐渐变小。该方案中,自然增长率的平均数为 24.31‰,标准差为 3.72‰,极差为 14.25‰。方案 II 中自然增长率变化趋势与方案 I 大致相同,相当于方案 I 的图形的平移。该方案中,自然增长率的平均值为 15.93‰,标准差为 4.29‰,极差为 13.51‰。方案 III 中,自然增长率在 0 的上下波动,随着时间的推移,在 0 以下的振幅愈来愈大。该方案中,自然增长率的平均值为 2.82‰,标准差为 6.24‰,极差为 21.66‰。方案 IV 中,未来 100 年中的前 30 年自然增长率为正,后 70 年为负,总的趋势是下降,但在 2059—2074 年间有回升,但波动的方向已经偏离横轴。该方案中,自然增长率的平均值为 -10.45‰,标准差为 11.35‰,极差为 35.53‰。在上述 4 种方案中,自然增长率的波动无疑是由于人口年龄结构的影响。方案 V 和方案 VI 是在方案 IV 中的某一时刻增加生育胎数。从图 1 中看到,增加生育数后,自然增长率都有一个短暂的回升期,尔后的变化趋势较平缓。方案 V 中,自然增长率平均

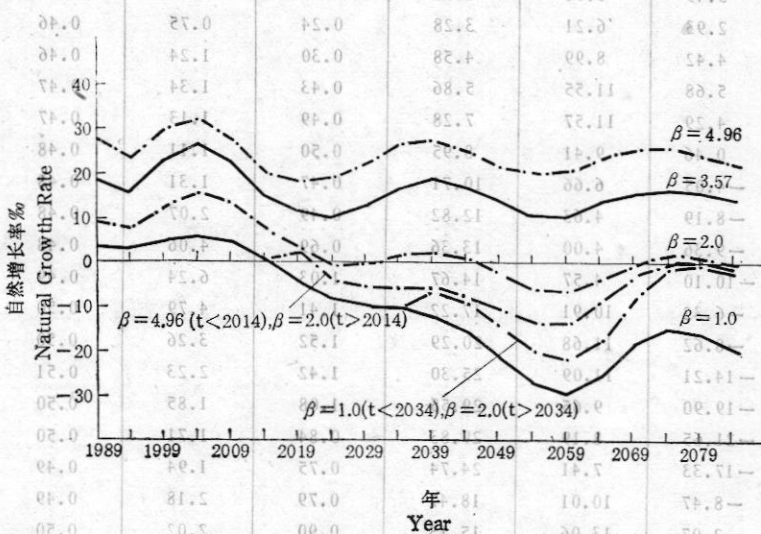


图 1 6 种模拟方案中的自然增长率曲线

Fig. 1 Natural growth rate curves in 6 simulating programs.

值为-2.65‰, 标准差为5.99‰, 极差为19.27‰(表6-2); 方案VI中, 自然增长率平均值为-5.58‰, 标准差为8.28‰, 极差为27.33‰(表9-2)。

3. 未来的劳动力资源及老龄化问题

谈到人口发展过程, 人们常常注意到劳动力资源的变化趋势和人口年龄结构的老龄化问题。我国理论界曾给予广泛的注意和热烈的讨论(宋健等, 1982)。

方案I中(表2-2), 劳动力资源是充足的。抚养指数的变化范围是[0.49, 1.02], 老少比例在[0.14, 0.34]之间, 不存在老龄化问题。但这一方案模拟的人口发展过程其发展速度过高。相对来说, 方案II中的劳动力资源也是充足的, 抚养指数的变化范围是[0.43, 0.91](表3-2), 这一方案中, 老龄化指数要高一些, 老少比例在[0.17, 0.64]之间。方案III和IV模拟的是节制生育, 控制增长的过程。其结果, 劳动力的绝对数量下降, 而且一胎化的方案IV较二胎化方案III下降得更多, 故抚养指数方案III低于方案IV(表4-2和5-2)。在方案III中, 2034年时60岁以上的老人占总人口的29.14%, 2039年时占30.83%, 老龄化问题显得十分突出。在方案IV中, 2034年60岁以上的老人占总人口的43.81%, 2039年占49.16%, 这是6种模拟方案中老龄化最严重的情形。说明育龄妇女的平均生育数愈少, 人口结构老龄化愈严重, 而且老龄化到来的时刻愈早。抚养指数在方案IV中最高达1.37, 在方案III中最高为0.94。在方案V和VI中, 由于调整平均生育胎数, 抚养指数在调整后有所提高, 但人口老龄化问题有所缓和(表6-2和7-2)。可见, 为了减轻人口年龄结构的老龄化程度, 在未来的适当时刻, 调整育龄妇女的平均生育数将是一个有效的手段。

4. 女性世代间隔和人口纯生产率

注意到育龄妇女的平均生育数给人口更新即人口纯生产率带来的影响。平均生育数愈少, 人口纯生产率愈低。据计算, 在研究地区, 人口发展过程若要保持定常过程, 即 $R_0 = 1$, 则育龄妇女的平均生育数为2.16282。而据宋健等(1982)测算我国人口发展过程若为定常过程, 则平均生育数为2.16, 两者一致。说明研究地区的人口发展过程与全国相似。6种模拟方案中人口发展过程的女性世代间隔 T 和人口纯生产率 R_0 见表8。

当生育模式中的婚育初龄推迟5年以后, 女性世代间隔增大1.1年左右。婚育初龄

表8 不同模拟方案中的人口纯生产率和女性世代间隔

Table 8 Human reproduction rate R_0 and female generation interval T in different simulating programs.

平均生育率 Average birth rate	人口纯生产率 R_0	女性世代间隔 T
4.96	2.29680	28.07064
3.57 ¹⁾	1.65063	29.16333
2.00 ¹⁾	0.92472	29.16333
1.00 ¹⁾	0.46236	29.16333
2.16282 ¹⁾	1.00000	29.16333

1) 注: 婚育初龄 20 岁。

Note: Time of marriage 20 years old.

愈早,世代间隔愈小,婚育初龄愈晚,世代间隔愈大。这种关系早已引起人们的重视(Clapham, 1981)。显而易见,在前文中:

$$T = 2\beta k_0 / R_0 \sum_{i=r_1}^{r_2} (r_i + r_{i+1}) h_i e^{-\sum_{\alpha=0}^i \mu \alpha f}$$

由前文式 11 有:

$$T = 2 \sum_{i=r_1}^{r_2} (r_i + r_{i+1}) h_i e^{-\sum_{\alpha=0}^i \mu \alpha f} / \sum_{i=r_1}^{r_2} h_i e^{-\sum_{\alpha=0}^i \mu \alpha f}$$

上式中女性死亡率的变化对分子、分母的效应相同, r_i, r_{i+1} 为常量,唯一能引起 T 值变化的只有 h_i 的变化,即生育模式的改变。

三、小结与讨论

人们已经注意到自然资源的有限性和人类增长的极限(Clapham, 1981;)。在我国,有识之士早就指出我国人口增长率必须降下来(马寅初, 1979), 零自然增长率是人类社会不可避免的目标(宋健等, 1982)。

当结合经济发展目标探讨人口发展目标时, 必须注意两点: 1. 要求保证以后经济建设中的劳动力资源。2. 人口的增长必须保持在生态系统的负载能力之内。

在前述 6 种模拟方案中, 平均生育数 4.96 是不可取的, 因为若采取这种方案, 100 年后研究地区的人口总数将是现在的 10 倍。生态系统的初级生产届时即使提高 3—5 倍, 即初级生产由现在的 8400.00 ± 294.62 公斤/公顷(夏季封育草库伦)、 4828.65 ± 436.34 公斤/公顷(放牧草地) 提高到现在的人工栽培燕麦、青稞草地的产量 29533 ± 7710.00 公斤/公顷, 也只能按现有的生活水平养活较现在多 2—4 倍的人口, 但要提高初级生产 3—5 倍, 涉及到人力、物力投入的可行性问题, 何况生产发展带来的经济利益, 不可能全部消耗在人口增长上, 而应该给人民生活带来稳步提高。这样看, 育龄妇女平均生育 4.96 胎是不可取的。同理, 平均生育 3.57 胎也是不可取的。

在讨论人口的发展时, 有一个不容忽视的问题, 那就是, 随着生产的发展, 可用于生产的土地面积将随着建筑物、道路和水利等设施的增加而减少, 现有土地中 82.91% 是草地, 0.68% 是农田, 其余的 16.41% 是道路、河流、湖泊、石山和建筑, 这为估计经济生态系统的可能负荷量打了一个不小的折扣。

在未来 100 年中, 始终实行一胎化的方案, 也是不可取的。50 年以后, 由于人口的长期负增长, 将带来劳动力缺乏、社会抚养指数高以及老龄化等问题。同理, 方案 V 也是不可取的。在方案 VI 中存在的问题, 在这一方案中同样存在, 只是程度稍轻而已。

为了达到本世纪末国民生产总值翻两番的战略目标, 我国人口总数要求控制在 12 亿以内, 即未来的 15 年中, 人口只能增长 0.2 倍左右。与我国经济发展和人口发展的战略目标比较, 育龄妇女平均生育 2 胎或 1 胎, 是较为适宜的方案。2001—2050 年期间, 由于已经有了一个严格控制生育的时期, 人口问题将有所缓和。这个时期中, 特别是 2030 年以后, 经济建设中的劳动力资源将会引起严重的注意。

相对而言,平均生育数 2.00 和方案 IV100 年中前 30 年平均生育数为 1.00,后 70 年为 2.00 是 2 种可取的方案,而究竟那一种方案更适当一些,将在全面研究该经济生态系统的负载能力,并对生态系统的初级生产和次级生产的未来增长作出合理的预测后,再行讨论。

节制人口增长,必然导致生态系统人口年龄结构的老龄化。必须正确看待这个问题。为了理顺人口年龄结构,老龄化问题在一两代人中是必然发生的。这是为了解决我国乃至世界上许多发展中国家人口问题的痛苦而有益的抉择。后人在老龄化到来的时候,将通过调节平均生育率来调节人口年龄结构。在 2000 年前后,不论采取何种人口发展方案,劳动力资源都是充裕的,人口年龄结构也不会老龄化。

参 考 文 献

- 马寅初, 1979, 新人口论, 北京出版社。
宋健, 田雪原, 于景元, 李广元, 1982, 人口预测和人口控制, 人民出版社。
宋健, 李广元, 1985, 人口控制论, 科学出版社。
曾宗永, 梁中宇, 1982: 用 Leslie 矩阵法预测人口——四川省彭县清平公社 1978 年人口资料分析。生态学报 2 (3): 303—310。
Clapham, Jr., W. B. 1981, Human Ecosystems. Macmillan Publishing Co., Inc., New York.
Leslie, A. J. 1975, The use of matrices in certain population mathematics. Biometrics. 33: 183—212.
Pollard, J. H. 1973, Mathematical Models for the Growth of Human Population. Cambridge.
Pielou, E. 1977, Mathematical Ecology. John-Wiley.
Sargentill, F. 1974, Human Ecology. North-Holland.

DYNAMICAL SIMULATION OF THE HUMAN POPULATION IN AN ALPINE ECONOMIC ECOLOGICAL SYSTEM

Jiang Zhigang Pi Nanling Cui Yuanping

(Northwest Plateau Institute of Biology, Academia Sinica)

The dynamics of human population in an alpine meadow ecosystem researching station (Lat. 37°29'—37°45'N, Long. 101°12'—101°33'E.) in the period of 1985—2084 were simulated with an improved Lewis-Leslie method on computer by altering the average fertility rate of the fertile women in the studying area from 4.96 (simulating program 1) to 3.57 (simulating program 2), 2.00 (simulating program 3), 1.00 (simulating program 4), before the year 2014 1.00 and 2.00 after then (simulating program 5) and before the year 2034 1.00 and 2.00 after then (simulating program 6) as well as postponing the marriage and fertile time from 15 years old to 20 years old in simulating program 2, 3, 4, 5 and 6.

The results of the simulations show:

Average fertile rate 4.96 per fertile will cause rapidly growth of the population in the future. By the year of 2044, the size of the population will be 10000; by the year of 2084 the size of the population will be 28025. The natural growth rate (NGR) in the simulating period is $24.31\%_{00} \pm 3.72\%_{00}$, such a population size will exceed the carrying capacity of the ecosystem. With the average fertile rate 3.57, the population will still grow constantly in the period 1985—2084. the size of the population will be 12107 in this situation by the year 2084.

The NGR in the period will be $15.93\% \pm 4.29\%$, anyhow it will be an unsuited human population development for the ecosystem. According to our estimation, the average fertility rate 2.16282 will keep the human population dynamics as a constant process in the future, which means, the net reproduction rate (NRR) will equal to 1. However both the average fertility rate 2.0 and 1.0 are less than 2.16282, so the population will negative grow in the future. 100 years later, the size of the population for the former situation will be 3259 (if the simulation is continued after 2084, the population will decrease) and 864 for the latter. The NGR will be $2.82\% \pm 6.24\%$ in the former case while $-10.45\% \pm 11.35\%$ in the latter in the 100 years duration. The NRR will be 0.9247 in the former case while 4624 in the latter. The FGI will be 29.1633 in both cases.

Nevertheless in which case of above simulations, the population will grow constantly in at least a period of 30 years. The effect of age distribution on the population growth is demonstrated to be powerful in the simulations. If we wish to establish and maintain a constant population, the number of children per fertile woman will have to be kept at 1 as the 1960—1970's baby boom passes through its reproductive period. In fact this is what we did in simulating program 5 and 6. The size of the population is predicted to be 1886 in simulation 5 while 1407 in simulation 6 by the year of 2084. The NRR will be $-2.65\% \pm 5.99\%$ in former case and $-5.58\% \pm 8.28\%$ in the latter during the simulating period.

As a result follows birth controlling, the aged people will gradually dominate the population, the problem will be serious after years. So after a period of one family one child, the birth rate should be adjusted as a means to avoid the population get 'older' and the tendency of labor resource scarcity by then. Basing on the primary production of the ecosystem, what simulated in program 3 and 5 are considered to be two reasonable population developing programs. Which of them is a better one needs further study of the possibility of carrying capacity improvement of the ecosystem.

DYNAMICAL SIMULATION OF THE HUMAN POPULATION IN AN ALPINE ECONOMIC ECOLOGICAL SYSTEM

Jiang Zhigang, Pi Naoping, Cui Yanping
(Northeast Plateau Institute of Biology, Academician)

The dynamics of human population in an alpine meadow ecosystem researching station (Lat. $37^{\circ}29' - 37^{\circ}42'N$, Long. $101^{\circ}12' - 101^{\circ}33'E$) in the period of 1985—2084 were simulated with an improved Lewis-Leslie method on computer by altering the average fertility rate of the fertile women in the studying area from 4.96 (simulating program) to 3.27 (simulating program 2), 2.00 (simulating program 3), 1.00 (simulating program 4), before the year 2014 and 2.00 after then (simulating program 5) and before the year 2034 1.00 and 2.00 after then (simulating program 6) as well as postponing the marriage and fertile time from 15 years old to 20 years old in simulating program 2, 3, 4, 5 and 6.

The results of the simulations show:
Average fertility rate 4.96 per fertile will cause rapidly growth of the population in the future. By the year of 2044, the size of the population will be 10000; by the year of 2084 the size of the population will be 28025. The natural growth rate (NGR) in the simulating period is $24.31\% \pm 3.72\%$, such a population size will exceed the carrying capacity of the ecosystem. With the average fertility rate 3.27, the population will still grow constantly in the period 1985—2084, the size of the population will be 12107 in this situation by the year 2084.