

孙 艺,郭爱请. 石家庄市耕地人口承载力评价[J]. 江苏农业科学,2020,48(23):261-269.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2020.23.052

石家庄市耕地人口承载力评价

孙 艺, 郭爱请

(河北地质大学土地资源与城乡规划学院,河北石家庄 050011)

摘要:近年来,我国城市化进程加快,城市规模快速扩张,人口规模增长较快,威胁我国的粮食安全,研究耕地人口承载力问题具有十分重要的战略意义。通过构建图表分析石家庄市 2004—2017 年的耕地面积、人口规模的变化情况。在此基础上建立人口承载力数学模型,利用灰色预测模型、一元线性回归方程等方法,分析和预测 2020—2030 年能满足不同营养级(温饱型、基本小康型、全面小康型、富裕型)的耕地人口承载力情况。结果表明,石家庄市耕地人口承载力完全能够在全面小康型以下营养级不超载,在步入全面小康营养级及更高营养级后,石家庄市耕地人口承载力出现了超载的情况。通过研究阐述了粮食生产能力和耕地人口承载力的合理的关系,把经济发展和耕地资源保护结合起来,对石家庄市未来的发展提出合理的建议。

关键词:人口承载力;灰色预测模型;评价;耕地面积;粮食产量

中图分类号: F301.21 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2020)23-0261-09

随着全国城市化进程的加快,建设用地侵占耕地资源,我国耕地资源逐年减少,再加上人口数量的大幅度增加,我国的耕地资源面临着更严峻的挑战,合理有效地利用和保护耕地资源,控制人口增长,成为我国现阶段必须面对和解决的问题,石家庄市作为河北省的省会城市,其粮食安全对河北省的粮食安全战略有着至关重要的影响。

为了保证石家庄市的粮食安全,探讨当下石家庄市人口-耕地-粮食关系的问题,提出合理有效的建议,对石家庄市未来的发展有着举足轻重的作用,所以,对石家庄市耕地人口承载力的研究是十分有必要的,理顺石家庄市当下的人口-耕地-粮食关系,为以后的土地政策提供依据。

1 研究区概况

石家庄市地处河北省南部地区,属于平原地区,地势平坦,地块较为集中,有利于农业耕作,所以石家庄市农业化水平较高,东西南北分别与衡水市、山西省、邢台市、保定市交界,是我国重要的交通枢纽^[1]。石家庄市临近我国渤海海域,属于温带

季风气候,春秋季节时间较短,夏冬季时间较长,夏季高温多雨,冬季寒冷干燥^[2]。

截至 2019 年,石家庄市的常住人口为 1 103.12 万人,人口年增长率为 0.726%,耕地面积为 52 万 hm^2 ,粮食总产量为 450 万 t ^[3]。

2 石家庄市耕地资源及人口数量变化情况

2.1 石家庄市耕地及粮食实际播种面积情况

由图 1 可知,2004—2017 年石家庄市耕地面积整体呈下降趋势,2007—2012 年呈先减后增的变化趋势,2012 年达到最近几年耕地面积的峰值,为 58.71 万 hm^2 ,由于 2005 年石家庄市严格执行占补平衡政策,使得耕地面积能够保持在 58 万 hm^2 左右,没有较大的波动。

由图 1 可知,粮食实际播种面积在 2005—2008 年增长速度很快,3 年内大约增长了 4 万 hm^2 ,可是从 2010 年开始,粮食播种面积开始逐年下降,2015—2016 年末这一年内下降最多。

2.2 石家庄市常住人口数量情况

表 1 可以反映出,从 2004 年到 2017 年,人口一直在增长,石家庄市人口已经从 2004 年的 919.43 万人增长为 2017 年的 1087.99 万人。2004—2009 年人口的年增长率一直在波动式上升,并在 2010 年,年增长率达到最大值,为 3.05%,随后的 2011—2017 年,相较于 2004—2009 年,增长速度变缓,但

收稿日期:2020-03-16

基金项目:河北省社会科学基金(编号 HB19YJ045)。

作者简介:孙 艺(1997—),男,河北石家庄人,硕士研究生,主要从事土地经济与管理研究。E-mail:1315952902@qq.com。

通信作者:郭爱请,教授,硕士生导师,主要从事可持续发展、土地评估等方面的教学与科研工作。E-mail:334034859@qq.com。

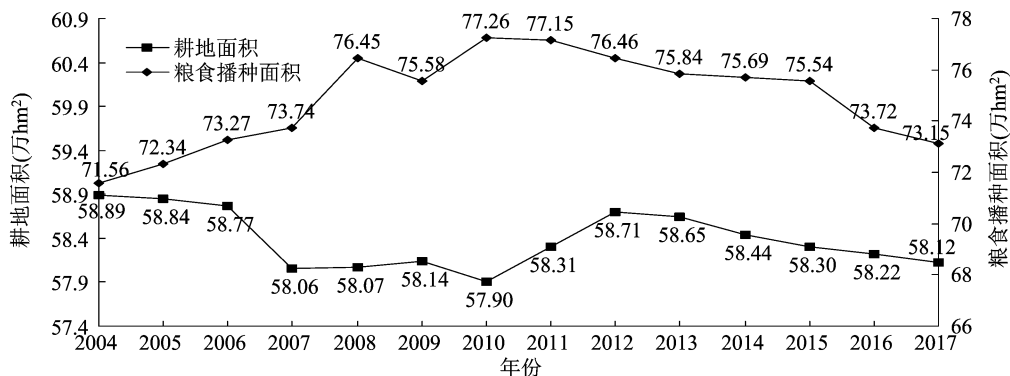


图1 石家庄市 2004—2017 年耕地面积、粮食实际播种面积变化

表 1 石家庄市 2004—2017 年人口规模情况

| 年份 | 人口规模 (万人) | 年增长率 (%) |
|------|--------------|-------------|
| 2004 | 919.43 | 0.98 |
| 2005 | 927.30 | 0.86 |
| 2006 | 939.50 | 1.32 |
| 2007 | 955.05 | 1.66 |
| 2008 | 966.48 | 1.20 |
| 2009 | 987.41 | 2.17 |
| 2010 | 1 017.52 | 3.05 |
| 2011 | 1 028.47 | 1.08 |
| 2012 | 1 038.60 | 0.98 |
| 2013 | 1 049.98 | 1.10 |
| 2014 | 1 061.62 | 1.11 |
| 2015 | 1 070.16 | 0.80 |
| 2016 | 1 078.46 | 0.78 |
| 2017 | 1 087.99 | 0.88 |

每年还是以 9 万人左右在增长,2015—2017 年,增长率下降到 1% 以下,与前几年相比,增长率有较为明显的降低。

3 石家庄市耕地人口承载力

3.1 石家庄市耕地人口承载力计算方法

通过搜集各年的石家庄市粮食作物单位面积产量、人均粮食消费标准、复种指数等,按照耕地人口承载力的计算公式,可以计算出石家庄市耕地人口承载力,可以将耕地人口承载力以如下公式表达出来,其表达式为

耕地人口承载力 = 粮食总产量/人均粮食消费^[4]。

即
$$P_n = \frac{I_n G_n K_n}{W_n} \quad (1)$$

式中: P_n 为 n 年的耕地人口承载力; I_n 为 n 年的粮食单位面积产量; G_n 为 n 年的粮食播种面积; K_n 为 n 年的复种指数; W_n 为 n 年的人均粮食消费标准。

由于石家庄市年鉴上的粮食播种面积已经将复种指数算入(例如某个地区种植面积为 10 hm²,复种指数为 2.0,则实际播种面积为 20 hm²)因而可以将上述公式转化为

$$P_n = \frac{I_n U_n}{W_n} \quad (2)$$

式中: U_n 为 n 年的粮食实际播种面积。

3.2 石家庄市耕地人口承载力计算过程

3.2.1 人均粮食消费水平的确定 小康型(基本小康型、全面小康型)为 400 ~ 600 kg/人,温饱型为 250 ~ 400 kg/人^[5],在充分研究石家庄市的济发展水平和考虑石家庄市的具体情况下,查阅相关研究成果,将 2004—2012 年定为温饱型,人均粮食占有量为 400 kg/人,将 2013—2017 年定为初步小康型,人均粮食占有量为 410 kg/人,不同的人均粮食消费水平,代表着不同的生活水准,所以,不同的社会发展阶段其人均消费水平也不相同。

3.2.2 耕地人口承载力计算结果 按照确定的人均粮食消费水平和搜集到的粮食总产量,可以求出耕地人口承载力,由于是对 2004—2017 年的现状进行分析,计算 2015—2017 年的耕地人口承载力。

近 3 年的耕地人口承载力见表 2,在一定的营养水平下,石家庄市耕地可承载的人口数量要高于实际人口数量,而且随着时间的推移,相差的数量变大,说明耕地可承载人口的可移动空间较大,比较稳定,也从另一方面说明了石家庄市的耕地利用存在较大潜力,从表 2 数据可以看出,石家庄市在短时间内不会出现粮食危机,该市的粮食产量可以满足在一定生活水平下人民的基本生活需求^[6]。

表 2 石家庄市 2015—2017 年耕地人口承载力

| 年份 | 总人口 (万人) | 粮食总产量 (万 t) | 耕地人口承载力 (万人) |
|------|-------------|----------------|-----------------|
| 2015 | 1 070.16 | 504.83 | 1 262.00 |
| 2016 | 1 078.46 | 495.94 | 1 239.75 |
| 2017 | 1 087.99 | 500.91 | 1 252.25 |

注:数据来源于《石家庄年鉴》。

4 石家庄市耕地人口承载力预测

通过对搜集到的石家庄市耕地总面积、人口规模等历史数据的分析,将其代入所建立的数学模型,反映其变化趋势,在充分考虑石家庄市当地情况的前提下,预测 2020—2030 年耕地人口承载力情况,为石家庄市未来的发展提供建议^[7]。

从计算耕地人口承载力的公式可以看出,其大小主要在于粮食产量和当地粮食消费水平 2 个方面^[8]。耕地面积和耕地生产力等因素制约着粮食作物的产量,粮食消费水平主要受当地社会经济发展水平的影响,社会经济发展水平越高,则当地人对高质量生活的需求就越高,反之亦然,人口规模的变化主要受人口基数和自然增长率影响。

耕地面积和粮食单产决定着粮食生产力的高低,本研究针对 2020—2030 年粮食单产的预测方法,建立 2 个数学模型,将 2 个数学模型得到的 2 个不同的预测结果,按照比重,最终得到预测出的耕地面积^[9]。

人口规模预测与粮食单产预测的方法相似,也是建立 2 个数学模型,将 2 种预测模型预测的结果按照不同的比重,最终得到 2020—2030 年的人口规模预测结果。

耕地人口承载力预测是在假设石家庄市 2017—2030 年保持稳定状态,社会经济发展不发生较大动荡的前提下,按照所搜集的数据,代入一元线性回归方程、灰色预测模型中,将得到的 2 个不同的数据,按照不同的比重,算出 2020—2030 年的耕地面积预测值,将各项预测的数值代入公式中,得出最终结果。

4.1 石家庄市粮食生产力预测

4.1.1 石家庄市耕地面积的预测 由表 3 可知,石家庄市耕地总量整体表现为下降趋势,虽然在 2012 年末耕地面积总量短暂上升,但在接下来的几年耕地面积又逐年下降。虽然耕地面积在波动式变化,

但是数值保持在 58 万 hm^2 左右,没有出现特别大的变动。

表 3 石家庄市 2004—2017 年耕地面积

| 年份 | 耕地面积 (万 hm^2) |
|------|----------------------------|
| 2004 | 58.89 |
| 2005 | 58.84 |
| 2006 | 58.77 |
| 2007 | 58.06 |
| 2008 | 58.07 |
| 2009 | 58.14 |
| 2010 | 57.90 |
| 2011 | 58.31 |
| 2012 | 58.71 |
| 2013 | 58.65 |
| 2014 | 58.44 |
| 2015 | 58.30 |
| 2016 | 58.22 |
| 2017 | 58.12 |

下文预测的是 2020—2030 年的耕地面积,以 2004—2017 年的耕地面积和人口规模数据为依据,通过建立 2 个数学模型,用数学表达式来体现耕地面积的变化趋势,最后将 2 个预测值加权平均后,得出预测值^[10]。

4.1.1.1 运用一元线性回归模型预测耕地面积 建立一元线性回归方程数据模型^[11]:

$$W(N) = B_0 + b \times (X_N - X_0) \quad (3)$$

式中: $W(N)$ 为预测 N 年的耕地面积; B_0 为基准年的耕地面积; b 为估算的平均每年减少耕地面积数量; X_N 、 X_0 分别为预测年度、基准年^[12]。

根据 2004—2017 年石家庄市每年耕地面积的减少速度,计算出 b 值为 -0.05 万 hm^2 。一元线性回归方程中,将 2020 年设为 X_N ,将 2017 年设为 X_0 ,已知 2017 年石家庄市有耕地面积 58.118 万 hm^2 。

即 $W_{(2020)} = 58.12 - 0.05 \times (2020 - 2017) = 57.97$ 万 hm^2 。

把 2020 年作为基础年,用一元线性方程模型测算 2021—2030 年末石家庄耕地面积的预测值,结果见表 4。在未来的 10 年中,耕地面积会持续减少,2020 年的耕地面积为 57.97 万 hm^2 ,在 2030 年下降至 57.47 万 hm^2 。

4.1.1.2 利用 GM(1,1) 灰色预测模型法预测耕地面积 GM(1,1) 灰色预测模型是一种长期预测模型,在没有大的市场波动及政策性变化的前提下,

表 4 一元线性回归模型预测结果

| 年份 | 耕地面积 (万 hm ²) |
|------|------------------------------|
| 2020 | 57.97 |
| 2021 | 57.92 |
| 2022 | 57.87 |
| 2023 | 57.82 |
| 2024 | 57.77 |
| 2025 | 57.72 |
| 2026 | 57.67 |
| 2027 | 57.62 |
| 2028 | 57.57 |
| 2029 | 57.52 |
| 2030 | 57.47 |

该预测值是可信的,它具有理论性强、准确性好、适用性强的特点,可以更加直观地看出预测值的数值变化,也可对非周期性变化的系统行为进行预测^[13]。

GM(1,1) 灰色预测模型方法首先要建立 **GM(1,1)** 模型;

设 $X^{(0)} = [X^{(0)}(1), X^{(0)}(2), \dots, X^{(0)}(n)]$ 为非负序列, $X^{(1)}$ 为 $X^{(0)}$ 的一次累加序列,以表 3 为数据列建立 **GM(1,1)** 模型^[14]。为:

建立 $X^{(1)}$ 白化形式微分方程:

$$\frac{dx^{(1)}}{dt} + Ax^{(1)} = u。 \tag{4}$$

白化形式微分方程求解:

$$X^{(1)}(k+1) = [X^{(0)}(1) - \frac{u}{A}] \times e^{-Ak} + \frac{u}{A} \quad (k = 1, 2, 3, \dots) \tag{5}$$

式中: A 和 u 为待定参数, $X^{(0)}$ 为非负序列, $X^{(1)}$ 为 $X^{(0)}$ 的一次累加序列。

将 2004—2017 年耕地面积的值输入 Excel 中,最终得到石家庄市 2020—2030 年耕地面积(表 5)。

灰色预测模型 **GM(1,1)** 累加值 $X_1(k+1)$ ^[15] 的算术表达式:

系数 $A = 0.001\ 340$; 系数 $u = 59.267\ 988$ 。

$$X^{(1)}(k+1) = -44\ 155.722e^{-0.001\ 340k} + 44\ 216.243\ 0472\ 677。$$

4.1.1.3 2020—2030 年耕地面积预测结果 由于在使用 **GM(1,1)** 灰色预测方法进行预测时,是在不考虑政府政策和市场的情况下进行的,为了使数据更加贴近现实,对预测得到的数据进行加权平

表 5 **GM(1,1)** 灰色预测模型预测结果

| 年份 | 实际面积 (万 hm ²) | 预测面积 (万 hm ²) |
|------|------------------------------|------------------------------|
| 2004 | 58.89 | |
| 2005 | 58.84 | |
| 2006 | 58.77 | |
| 2007 | 58.06 | |
| 2008 | 58.07 | |
| 2009 | 58.14 | |
| 2010 | 57.90 | |
| 2011 | 58.31 | |
| 2012 | 58.71 | |
| 2013 | 58.65 | |
| 2014 | 58.44 | |
| 2015 | 58.30 | |
| 2016 | 58.22 | |
| 2017 | 58.12 | |
| 2018 | | 57.90 |
| 2019 | | 57.82 |
| 2022 | | 57.58 |
| 2023 | | 57.51 |
| 2024 | | 57.43 |
| 2025 | | 57.35 |
| 2026 | | 57.28 |
| 2027 | | 57.20 |
| 2028 | | 57.12 |
| 2029 | | 57.05 |
| 2030 | | 56.97 |

均,基于石家庄的实际情况,将一元线性回归预测结果比重定为 0.6,将 **GM(1,1)** 灰色预测方法预测结果比重定为 0.4^[16]。经过计算,2025、2030 年耕地面积预测结果见表 6。

将 2004—2017 年耕地面积的值输入 Excel 中,最终得到石家庄市 2020—2030 年的耕地面积。

对 2 种预测方法得到的 2020—2030 年耕地面积采用加权平均法确定最终的结果。结合历史数据,每年耕地面积的变化波动较小。经过向专家调查询问,决定将回归预测结果权重定为 0.6,而灰色预测模型预测结果权重定为 0.4,从得出的预测结果看,2020—2030 年的耕地面积在减少。

4.1.2 石家庄市粮食单产的预测 根据 2004—2017 年的粮食实际播种面积、粮食总产量的数据,求出每年的粮食单产^[17],算出的单产结果可为 2020—2030 年的粮食单产预测提供数据依据。

表 6 石家庄市 2020—2030 年耕地面积预测结果

| 年份 | 一元线性 回归预测 | 灰色预测 模型预测 | 加权平均 |
|------|--------------|--------------|-------|
| 2020 | 57.96 | 57.74 | 57.87 |
| 2021 | 57.90 | 57.66 | 57.81 |
| 2022 | 57.85 | 57.58 | 57.75 |
| 2023 | 57.80 | 57.51 | 57.68 |
| 2024 | 57.75 | 57.43 | 57.62 |
| 2025 | 57.70 | 57.35 | 57.56 |
| 2026 | 57.65 | 57.28 | 57.5 |
| 2027 | 57.60 | 57.2 | 57.44 |
| 2028 | 57.55 | 57.12 | 57.38 |
| 2029 | 57.50 | 57.05 | 57.32 |
| 2030 | 57.45 | 56.97 | 57.26 |

根据粮食单产 = 粮食总平量/粮食实际播种面积^[18],虽然每年粮食单产数值一直在上下浮动,但是粮食单产总体上还是在增长的(表 7),说明石家庄市的生产能力在逐步提升。

表 7 2004—2017 年粮食单产情况

| 年份 | 粮食实际播种 面积(万 hm ²) | 粮食总产量 (万 t) | 粮食单产 (t/hm ²) |
|------|----------------------------------|----------------|------------------------------|
| 2004 | 71.56 | 469.77 | 6.56 |
| 2005 | 72.34 | 482.43 | 6.67 |
| 2006 | 73.27 | 485.20 | 6.62 |
| 2007 | 73.74 | 494.52 | 6.71 |
| 2008 | 76.45 | 506.74 | 6.63 |
| 2009 | 75.58 | 497.91 | 6.59 |
| 2010 | 77.27 | 507.92 | 6.57 |
| 2011 | 77.15 | 532.35 | 6.90 |
| 2012 | 76.46 | 532.14 | 6.96 |
| 2013 | 75.84 | 525.62 | 6.93 |
| 2014 | 75.69 | 503.02 | 6.65 |
| 2015 | 75.54 | 504.81 | 6.68 |
| 2016 | 73.72 | 495.93 | 6.73 |
| 2017 | 73.15 | 500.91 | 6.85 |

4.1.2.1 利用一元线性回归模型预测粮食单产

建立一元线性回归方程数据模型:

$$Y(t) = A_0 + a \times (X_t - X_0)。(6)$$

式中: $Y(t)$ 表示预测 t 年的粮食单产; A_0 表示基准年的粮食单产; a 表示估算的平均每年增加的耕地面积; X_t 、 X_0 分别为预测年度、基准年。

按照表 7 中 2004—2017 年石家庄市粮食单产的最大值和最小值,计算出 $a = 0.028$ 。一元线性回

归方程中,将 2020 年设为 X_t 年,将 2017 年设为 X_0 年,已知 2017 年单产为 6.85 t/hm^2 。

$$Y(2020) = 6.85 + 0.028 \times (2020 - 2017) = 6.93 \text{ t/hm}^2。$$

即 2020 年粮食单产预测结果为 6.93 t/hm^2 。

可以将一元线性回归模型的表达式写为

$$Y = 6.85 + 0.028 \times (X_t - 2020)。$$

同理可得,2021—2030 年粮食单产预测结果,具体数值如表 8 所示。

表 8 2020—2030 年一元线性回归模型预测结果

| 年份 | 粮食单产 (t/hm ²) |
|------|------------------------------|
| 2020 | 6.93 |
| 2021 | 6.96 |
| 2022 | 6.99 |
| 2023 | 7.02 |
| 2024 | 7.05 |
| 2025 | 7.07 |
| 2026 | 7.10 |
| 2027 | 7.13 |
| 2028 | 7.16 |
| 2029 | 7.19 |
| 2030 | 7.21 |

4.1.2.2 利用趋势线预测粮食单产

利用 Excel 软件,将 2004—2017 年的粮食单产数据输入 Excel 软件中,制作散点图(图 2),通过对耕地面积数值进行分析,决定选取指数函数作为预测趋势线。以 2020 年为基期,根据趋势线公式计算得出石家庄市 2020—2030 年的耕地面积。

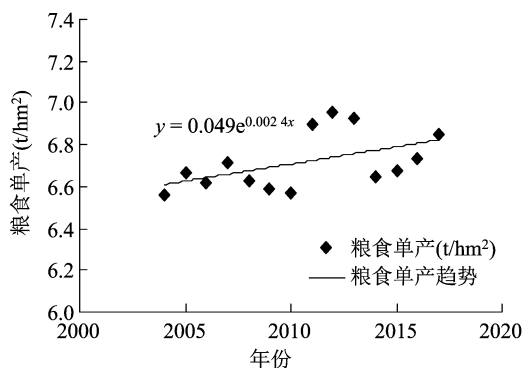


图2 粮食单产趋势

由图 2 可知,2004—2017 年的粮食单产趋势线为

$$Y = 0.049e^{0.0024x}。(7)$$

将各年带入到趋势线中,可计算出 2020—2030

年各年的粮食单产预测值。对数据进行修正之后, 2020—2030 年粮食单产预测结果见表 9。

表 9 2020—2030 年趋势线模型预测粮食单产结果

| 年份 | 粮食单产 (t/hm ²) |
|------|------------------------------|
| 2020 | 6.25 |
| 2021 | 6.26 |
| 2022 | 6.28 |
| 2023 | 6.29 |
| 2024 | 6.31 |
| 2025 | 6.32 |
| 2026 | 6.34 |
| 2027 | 6.35 |
| 2028 | 6.37 |
| 2029 | 6.38 |
| 2030 | 6.40 |

4.1.2.3 粮食单产预测结果 和预测耕地面积的方法一样,将 2 个方法取得的预测值按照不同比重来确定最终的预测结果。根据图 2 可知,粮食单产实际值在趋势线的上下浮动,表明趋势线这个预测值不完全与实际值相同,所以将比重定为 0.4,将一元线性回归方程定为 0.6。同样地,对于 2 种预测方法得到的 2020—2030 年粮食单产数值也采用加权平均的方法确定最终的结果,结果见表 10。

表 10 2020—2030 年粮食单产预测值

| 年份 | 趋势线预测值 | 一元线性回归 方程预测值 | 加权平均 |
|------|--------|-----------------|------|
| 2020 | 6.25 | 6.93 | 6.52 |
| 2021 | 6.26 | 6.96 | 6.54 |
| 2022 | 6.28 | 6.99 | 6.56 |
| 2023 | 6.29 | 7.02 | 6.58 |
| 2024 | 6.31 | 7.05 | 6.61 |
| 2025 | 6.32 | 7.07 | 6.62 |
| 2026 | 6.34 | 7.10 | 6.64 |
| 2027 | 6.35 | 7.13 | 6.66 |
| 2028 | 6.37 | 7.16 | 6.69 |
| 2029 | 6.38 | 7.19 | 6.70 |
| 2030 | 6.40 | 7.21 | 6.72 |

4.1.3 石家庄市 2020—2030 年粮食总产量预测结果 根据历年石家庄市最高粮食作物实际播种面积与耕地面积之比,将最高值 1.35 作为 2020—2030 年二者的比值^[19],以带入粮食总产量公式进行计算。

综合考虑石家庄市农业科技生产现代化的发展速度及耕地面积的变化,根据 2020—2030 年粮食单产的预测值,将 2020 年粮食单产定为 6.52 t/hm²,2021 年粮食单产定为 6.54 t/hm²,按照预测表按年份以此类推。

利用粮食的总产量公式:

粮食总产量(万 kg) = 耕地面积(万 hm²) × 粮食单产(t/hm²) × 1.35。

已知“4.1.1.3”部分预测 2020 年耕地面积是 57.87 万 hm²,粮食单产为 6.52 t/hm²,将数据代入公式得出:

$$Y_{(2020)} = 57.87 \times 1.35 \times 6.52 = 509.37 \text{ 万 t}。$$

同上计算过程,可计算出 2021—2030 年间的粮食总产量,结果见表 11。

表 11 石家庄市 2020—2030 年粮食总产量预测

| 年份 | 预测单产 (t/hm ²) | 预测耕地 面积 (万 hm ²) | 预测粮食 实际播种 面积(万 hm ²) | 预测粮食 总产量 (万 t) |
|------|------------------------------|------------------------------------|--|----------------------|
| 2020 | 6.52 | 57.87 | 78.12 | 509.37 |
| 2021 | 6.54 | 57.81 | 78.04 | 510.40 |
| 2022 | 6.56 | 57.75 | 77.96 | 511.43 |
| 2023 | 6.58 | 57.68 | 77.87 | 512.37 |
| 2024 | 6.61 | 57.62 | 77.79 | 514.17 |
| 2025 | 6.62 | 57.56 | 77.71 | 514.41 |
| 2026 | 6.64 | 57.50 | 77.63 | 515.43 |
| 2027 | 6.66 | 57.44 | 77.55 | 516.44 |
| 2028 | 6.69 | 57.38 | 77.46 | 518.23 |
| 2029 | 6.70 | 57.32 | 77.38 | 518.45 |
| 2030 | 6.72 | 57.26 | 77.30 | 519.46 |

由表 11 可知,虽然粮食实际播种面积在减少,但随着粮食单产的提高,粮食总产量也在随着粮食单产的提高而提高,粮食实际播种面积的减少速度要低于粮食单产的增加速度。

4.2 石家庄市人口规模的预测

4.2.1 利用趋势线预测人口规模 与粮食单产预测的方法类似,以 2004—2017 年的粮食单产数据作散点图,通过对人口规模数值的分析,决定选取对数函数作为预测趋势线。以 2020 年为基期,根据趋势线公式计算得出石家庄市 2020—2030 年的人口预测规模。由图 3 可知,该预测线的公式为

$$Y = 28\ 096 \ln X - 212\ 693。 \tag{8}$$

将 X 等于 2020、2021、…、2030 年分别代入趋势线公式,得出的预测值见表 12。

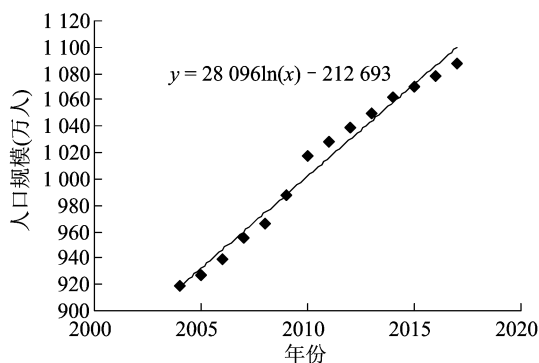


图3 人口规模趋势线

表 12 2020—2030 年利用趋势线人口规模预测值

| 年份 | 人口规模预测值 (万人) |
|------|-----------------|
| 2020 | 1 141.52 |
| 2021 | 1 155.43 |
| 2022 | 1 169.32 |
| 2023 | 1 183.22 |
| 2024 | 1 197.10 |
| 2025 | 1 210.98 |
| 2026 | 1 224.85 |
| 2027 | 1 238.71 |
| 2028 | 1 252.57 |
| 2029 | 1 266.42 |
| 2030 | 1 280.27 |

由表 12 可知,2020 年的石家庄市人口规模为 1 141.52 万人,每年人口都在增长,2030 年的预测人口规模达到了 1 280.27 万人。

4.2.2 利用 **GM**(1,1) 灰色预测模型法预测人口规模 建立 **GM**(1,1) 模型,建立 $X^{(1)}$ 白化形式微分方程:

$$\frac{dx^{(1)}}{dt} + A_1 x^{(1)} = u_1 \quad (8)$$

白化形式微分方程求解:

$$X^{(1)}(k+1) = \left[X^{(0)} - \frac{u_1}{A_1} \right] \times e^{-ak} + \frac{u_1}{A_1} (k=1,2,3,\dots) \quad (9)$$

式中: A_1 和 u_1 为待定参数, $X^{(0)}$ 为非负序列, $X^{(1)}$ 为 $X^{(0)}$ 的一次累加序列。

运用 Excel 编程软件,将 2004—2017 年的人口规模输入程序中,最终预测出 2020—2030 年的人口规模,见表 13。

运用上文预测耕地面积的灰色预测模型可得出灰色预测模型 **GM**(1,1) 累加值 $X_1(k+1)$ 的算术

表达式:

系数 $A_1 = -0.014\ 912$; 系数 $u_1 = 873.122\ 033$ 。

算术表达式:

$$X^{(1)}(k+1) = 59\ 447.47e^{0.014\ 912k} - 58\ 551.534\ 233\ 776\ 9。$$

表 13 人口规模预测值

| 年份 | 实际人口规模 (万人) | 预测人口规模 (万人) |
|------|----------------|----------------|
| 2004 | 917.50 | |
| 2005 | 927.30 | |
| 2006 | 939.50 | |
| 2007 | 955.05 | |
| 2008 | 966.48 | |
| 2009 | 977.41 | |
| 2010 | 1 017.52 | |
| 2012 | 1 038.6 | |
| 2013 | 1 049.98 | |
| 2014 | 1 061.62 | |
| 2015 | 1 070.16 | |
| 2016 | 1 078.46 | |
| 2017 | 1 087.99 | |
| 2018 | | 1 105.01 |
| 2019 | | 1 110.79 |
| 2020 | | 1 115.82 |
| 2021 | | 1 121.11 |
| 2022 | | 1 125.66 |
| 2023 | | 1 129.47 |
| 2024 | | 1 132.55 |
| 2025 | | 1 136.91 |
| 2026 | | 1 140.53 |
| 2027 | | 1 144.44 |
| 2028 | | 1 148.63 |
| 2029 | | 1 152.11 |
| 2030 | | 1 156.89 |

运用 **GM**(1,1) 灰色预测方法预测得出的结论为 2020 年的人口规模为 1 115.82 万人,人口规模还是呈增长态势,到 2030 年,人口规模达到了 1 156.89 万人。

4.2.3 人口规模预测结果 人口规模预测的方法与预测耕地面积的方法相似,也是将 2 个方法取得的预测值按照不同比重来确定最终的预测结果。在趋势线上代表的人口预测规模与实际人口规模相比,都有较大的差别,说明趋势线这个预测值比实际值会有出入,在查阅石家庄市的土地承载力研究情况后,将比重定为 0.4,将 **GM**(1,1) 灰色预测

模型的比重定为 0.6,将 2 种模型的预测值经过加权平均后,得出最后预测的人口规模。

经过加权平均后可以得出 2020 年的人口规模预测结果为 1 126.10 万人,人口在继续增长,到 2030 年,人口规模增长到了 1 206.24 万人(表 14)。

表 14 2020—2030 年人口规模预测结果

| 年份 | 趋势线预测人口 规模(万人) | 灰色预测模型 预测人口规模(万人) | 加权平均 (万人) |
|------|-------------------|----------------------|--------------|
| 2020 | 1 141.52 | 1 115.82 | 1 126.10 |
| 2021 | 1 155.43 | 1 121.11 | 1 134.84 |
| 2022 | 1 169.32 | 1 125.66 | 1 143.12 |
| 2023 | 1 183.22 | 1 129.47 | 1 150.97 |
| 2024 | 1 197.10 | 1 132.55 | 1 158.37 |
| 2025 | 1 210.98 | 1 136.91 | 1 166.54 |
| 2026 | 1 224.85 | 1 140.53 | 1 174.26 |
| 2027 | 1 238.71 | 1 144.44 | 1 182.15 |
| 2028 | 1 252.57 | 1 148.63 | 1 190.21 |
| 2029 | 1 266.42 | 1 152.11 | 1 197.83 |
| 2030 | 1 280.27 | 1 156.89 | 1 206.24 |

4.3 石家庄市 2020—2030 年耕地人口承载力计算

利用对 2020—2030 年粮食单产和粮食实际播种面积的预测,可计算粮食总产量,再根据 2020—2030 年人民一定生活水平下的人均粮食消费标准,

利用公式计算 2020—2030 年的耕地人口承载力。

根据表 6、表 10 中的粮食单产、耕地面积的预测值,可以计算得出 2020—2030 年在不同人均粮食消费水平下即温饱型、小康型(基本小康、全面小康)、富裕型的耕地人口承载力,根据研究的不同标准下的人均粮食占有量,将 400 kg/人作为温饱型水平下的人均粮食占有量标准,将 420 kg/人作为基本小康型水平下的人均粮食占有量标准,437 kg/人作为全面小康型水平下的人均粮食占有量标准,500 kg/人作为富裕型水平下的人均粮食占有量标准。

由公式(1)经过化简得出耕地人口承载力的计算公式为

$$P=Y/W。$$
 (10)

式中:Y 为粮食的总产量;W 为人均粮食消费水平。

假设石家庄市 2020 年基本步入小康水平,按照基本步入小康水平下的人均粮食消费水平 420 kg/人,则石家庄市 2020 年耕地人口承载力为

$$P_{(2020)}=509.37\times1\,000/420=1\,212.79\text{ 万人。}$$

同理可算出 2021—2030 年在不同营养级下的耕地人口承载力。经过运算,得出 2020—2030 年不同人均粮食消费水平的人口承载力预测情况(表 15)。

表 15 石家庄市 2020—2030 年不同营养级水平下的耕地人口承载力

| 年份 | 预测人口 (万人) | 粮食总产量 (万 t) | 耕地人口承载力(万人) | | | |
|------|--------------|----------------|-------------|----------|----------|----------|
| | | | 温饱型 | 基本小康型 | 全面小康型 | 富裕型 |
| 2020 | 1 126.10 | 509.37 | 1 273.43 | 1 212.79 | 1 165.61 | 1 018.74 |
| 2021 | 1 134.84 | 510.40 | 1 276.00 | 1 215.24 | 1 167.96 | 1 020.80 |
| 2022 | 1 143.12 | 511.43 | 1 278.58 | 1 217.69 | 1 170.32 | 1 022.86 |
| 2023 | 1 150.97 | 512.37 | 1 280.93 | 1 219.93 | 1 172.47 | 1 024.74 |
| 2024 | 1 158.37 | 514.17 | 1 285.43 | 1 224.21 | 1 176.59 | 1 028.34 |
| 2025 | 1 166.54 | 514.41 | 1 286.03 | 1 224.79 | 1 177.14 | 1 028.82 |
| 2026 | 1 174.26 | 515.43 | 1 288.58 | 1 227.21 | 1 179.47 | 1 030.86 |
| 2027 | 1 182.15 | 516.44 | 1 291.10 | 1 229.62 | 1 181.78 | 1 032.88 |
| 2028 | 1 190.21 | 518.23 | 1 295.58 | 1 233.88 | 1 185.88 | 1 036.46 |
| 2029 | 1 197.83 | 518.45 | 1 296.13 | 1 234.40 | 1 186.38 | 1 036.90 |
| 2030 | 1 206.24 | 519.46 | 1 298.65 | 1 236.81 | 1 188.70 | 1 038.92 |

随着我国社会经济由高速发展向高质量发展的转型,未来石家庄人民的生活水平也越来越高,最终全体人民共同富裕。2004—2020 年处于我国整个社会的过渡期,石家庄市作为省会城市也已经从温饱水平开始向小康生活水平过渡,生活水平得

到了改善。

从表 15 预测的数据上看,石家庄市 2020—2030 年的耕地人口承载力与预测的人口规模相比,全面小康水平以下的人口没有出现超载现象,还有不少的盈余,但是在全面小康水平下,2020—2026

年没有出现超载,但在 2027 年以后,人口开始出现超载现象。

5 结论

综合考虑到石家庄市的现有土地利用现状中存在的问题,缓解石家庄市人地关系矛盾,优化石家庄市土地利用中农用地的合理配置,提高耕地人口承载力,保证石家庄市的粮食安全,本研究对石家庄市未来发展提出几条建议:(1)首先应该要保护生态环境。目前,水土流失、土地荒漠化、因滥用农药化肥导致土地贫瘠化等因素制约着农作物的产量,降低了耕地人口承载力。因此,为了提高石家庄市的人口承载力,保证粮食安全,首先应该改善农地的生态环境,这是土地具备高质量生产能力的前提。只有这样,土地才能够可持续利用。(2)应该合理控制石家庄市人口规模,以减少耕地的压力。最近几年石家庄市人口增长速度虽然有所缓解,但是人口数量还是在以每年 9 万人的速度增加,长此以往,必定导致居住用地的增加,使得耕地和居住用地的矛盾更加尖锐,最终导致石家庄市社会经济发展速度放缓,所以,必须要采取措施控制人口增长。一方面,石家庄市应该按照自己的实际情况,制定合理的人口政策,另一方面,对石家庄市来说,最重要的还是要提高人口质量,即使在国家鼓励二胎的背景下,也还是应该提倡优生优育,这样更符合石家庄市的实际情况以及未来发展。(3)应该出台更多的土地保护政策尤其是耕地保护政策。土地保护政策在国家粮食安全战略中有着举足轻重的地位。政府应该极力寻找城市经济发展和高效使用土地之间的平衡点,要做到适度有序,既不能阻碍城市经济的发展,也不能盲目追求国内生产总值(GDP)。过度开发土地,破坏土地固有潜力,只能缩短未来石家庄市的发展空间。(4)政府应该增加农业科技的投入,走生态农业、绿色农业之路。首先,利用生物科技,培育出新品种优质农作物种子,提高单位面积内的农产品生产量,其次,政府应该引进和推广现代化的农业技术和农田管理模式,可以从提高复种指数,在提高粮食单产的情况下,更进一步提高粮食生产能力,从而缓解因人口问题带来的耕地压力。(5)增加农业的经济效益,增加

农民收入。可以增加对耕作农民的补助,只有耕作能给农民带来一定的经济报酬,农民才会一直做下去,不会出现有地没人种的尴尬现象,另一方面,只有能给农民带来经济报酬,农民才能将更多的资金反哺于耕地资源,促进耕地的可持续利用。

参考文献:

- [1] 汪彦博,王嵩峰,周培疆. 石家庄市水环境承载力的系统动力学研究[J]. 环境科学与技术,2006,29(3):26-27.
- [2] 赵文英,刘小强,赵江伟. 石家庄市大气环境承载力研究[J]. 环境可持续发展,2017,42(1):138-139.
- [3] 李爽,张国臣,王丽艳. 基于生态足迹和物质流的可持续分析与评价——以石家庄市为例[J]. 水土保持,2013,20(5):226-228.
- [4] 吴荣涛,夏俊康,朱嘉伟. 鹤壁市粮食耕地人口承载力评价[J]. 中国农学通报,2019,35(10):91-93.
- [5] 陈静彬,岳意定. 基于模型分析的湖南省粮食消费需求预测[J]. 湖南农业科学,2010(17):153-156.
- [6] 郭艳红. 北京市土地资源承载力与可持续利用研究[D]. 北京:中国地质大学,2010.
- [7] 杨栋,张涵玥,翁翎燕. 基于耕地压力指数的江苏沿海地区人口承载力评价及预测[D]. 南京:南京大学金陵学院,2017.
- [8] 孟祥飞. 基于 GIS 与 Vensim 软件的土地综合承载力研究[D]. 石家庄:河北师范大学,2009:26-29.
- [9] 高汉琦,牛海鹏,康敏. 基于耕地资源多情景下的人口承载潜力研究——以焦作市为例[J]. 资源开发与市场,2012,28(3):227-229.
- [10] 宋耀辉,马惠兰. 区域土地人口承载力研究——以塔吉克斯坦为例[J]. 世界农业,2013(10):136-138.
- [11] 王凤兰. 土地人口承载力研究方法模式简述[J]. 农业技术经济,1990(4):13-16.
- [12] 袁树堂,杨绍琼. 基于区域发展规划的嵩明县水资源承载力[J]. 人民黄河,2015(11):156-158.
- [13] 童彦,潘玉君,朱海燕. 云南省粮食产能安全主要影响因素的定量分析[J]. 国土与自然资源研究,2011(4):89-92.
- [14] 刘智星. 涞源县实施新型农村社会养老保险制度的调查与分析[D]. 保定:河北大学,2012:22-25.
- [15] 崔光明. 土地资源可持续利用策略研究[D]. 抚州:东华理工大学,2012.
- [16] 程旭. 甘泉县耕地保护研究[D]. 西安:长安大学,2014.
- [17] 许晓敏. 基于电力需求和投资能力的复杂电网优化投资决策研究[D]. 北京:华北电力大学,2017.
- [18] 向彦任. 农业资源节约型技术创新路径研究[D]. 雅安:四川农业大学,2011.
- [19] 杨志恒. 区域可持续发展系统空间协调分析及动态模拟研究[D]. 济南:山东师范大学,2003.