

· 问题研究 ·

作物种植结构变化及影响粮食产量的因素分析*

——以甘肃省天水市为例

高 强, 郭 恒, 赵国良, 王 娟, 温宏昌, 赵春燕

(甘肃天水市农业科学研究所, 天水 741001)

摘 要 分析天水市近30年来作物种植结构的变化特征及粮食产量的变化, 利用灰色关联度分析方法探讨了粮食生产的影响因素, 定量分析了粮食产量与影响因素的关联程度。结果表明: 天水市作物种植结构发生了明显的变化; 粮食产量变化的总体特征为波动中呈上升趋势; 粮食单产、总人口、水平梯田、耕地面积、粮食面积和保灌面积等是粮食生产的主要驱动因子。

关键词 种植结构 粮食生产 灰色关联分析 天水市

甘肃省自然条件较差, 农业生产基础薄弱, 经济落后, 近22年来, 年均粮食生产递增率低于2.00%或负增长的市(州)占全省总市(州)数的50%, 天水市年均递增率超过2.00%^[1], 作为甘肃省第一人口大城市, 对甘肃粮食安全生产作出了贡献, 但天水市是典型的雨养农业区, 粮食生产没有完全摆脱靠天吃饭的局面。30年来, 天水市作物的布局、结构都产生较大变化, 对粮食生产的影响加大, 如果按照温饱型人均粮食消费标准400kg计算, 天水市目前粮食缺口达3.9415万kg, 随着全市人口数量的持续增长及人民生活水平和生活质量的提高, 对粮食的需求将会逐年增加, 粮食安全的压力增大。在未来一段时期, 国家粮食需求总量也将持续增加, 国家粮食安全压力加重^[2]。该文选取天水市1978~2009年的相关数据, 在研究近30年来天水市作物种植结构变化及粮食产量变化的基础上, 运用灰色关联度分析方法对影响天水市粮食生产的诸因素进行了分析, 为当地制定粮食发展计划、调整粮食生产布局、增强粮食安全和促进粮食生产可持续发展提供参考依据。

1 资料来源及研究方法

1.1 研究区概况

天水市位于甘肃省东南部, 地处东经104°35′~106°44′, 北纬34°05′~35°10′之间, 海拔高度为760~3120m, 地跨长江、黄河两流域, 地理位置独特, 全市总面积为14325km², 人口359.69万人, 其中农业人口260.86万人, 是一典型的农业大城市。地势西北高, 东南低, 年平均降水量574mm, 年均日照2100小时, 气候温和, 四季分明, 日照充足, 境内土层深厚, 山塬开阔, 是甘肃省粮、油、菜、果主要生产区之一。

1.2 资料来源

作物面积、粮食产量来自年《天水经济年鉴》, 2010总第(23)期^[3]。

1.3 研究方法

1.3.1 采用Microsoft Excel 2003软件就各作物30年来播种面积、粮食产量的变化进行数理统计分析, 说明其变化趋势及特征, 回归方程标有*或**的分别通过 $P>0.05$ 和 $P>0.01$ 的统计检验。

收稿日期: 2011-08-04 高强为副研究员 郭恒(执笔人)为农艺师 赵国良为助理研究员 王娟为农艺师 温宏昌、赵春燕均为研究实习员

*项目名称: 甘肃省自然科学基金项目, 天水市科技研究计划项目。

1.3.2 对粮食产量的影响因素，应用灰色关联度方法分析。灰色关联分析方法对样本量的多少和数据分布没有特殊要求，它通过灰色关联度来直接表征两组事物的几何贴近程度，直接可靠，计算方便。具体方法和计算步骤如下^[4]：

首先，选取系统参考数列 $X_0 = \{X_0(t), t=1, 2, \cdots, n\}$ 和比较数列 $X_i = \{X_i(t), t=1, 2, \cdots, n\}$ ($i=1, 2, \cdots, n$)，并对参考数列和比较数列进行初始化处理，使之无量纲化、归一化，该文通过初值法即用数列中的各数除去本数列的第一个数，进行初始化。

其次，按下述公式计算在时刻 $t=j$ 时，参考数列与比较数列的灰色关联系数：

$$\xi_i(j) = \frac{\min_i \min_j |X_0(j) - X_i(j)| + \alpha_{\max_i \max_j} |X_0(j) - X_i(j)|}{|X_0(j) - X_i(j)| + \alpha_{\max_i \max_j} |X_0(j) - X_i(j)|}$$

式中 α 是分辨系数，一般在 0 与 1 之间，通常取 0.5。关联度 $r_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \xi_i(j)$ 即为所求的比较序列与参考序列的关联度。该文根据灰色系统分析方法的思路和要求，统计天水市粮食生产资料的情况，采用 1978~2009 年时间序列资料作为基础，对天水市粮食生产影响因素进行定性判断，从中选取 9 个影响粮食总产量的主要因子： X_1 —耕地面积 (667hm^2)， X_2 —粮食面积 (667hm^2)， X_3 —粮食单产 ($\text{kg}/667\text{m}^2$)， X_4 —总人口 (万人)， X_5 —水平梯田 (667hm^2)， X_6 —保灌面积 (万 667m^2)， X_7 —农业用电量 (万 $\text{kW} \cdot \text{h}$)， X_8 —化肥施用量 (t)， X_9 —农药施用量 (t)， X_0 —粮食总产量 (万 t)。将所选的 9 个影响因子作为比较数列 $X_i = \{X_i(t), t=1, 2, \cdots, 29\}$ ($i=1, 2, \cdots, 9$)，选取粮食总产量作为系统参考数列 $X_0 = \{X_0(t), t=1, 2, \cdots, 29\}$ ，按照以上介绍的方法，计算得出 X_1 、 X_2 、 $\cdots$ X_9 与 X_0 的关联度，即各影响因素与粮食总产量的关联度^[5] (表 1)。

2 结果与分析

2.1 天水市作物面积变化特征

2.1.1 粮食作物面积变化

近 30 年来，天水市耕地面积一直呈线性减少趋势，平均以 $729.2\text{hm}^2/\text{年}$ 的速度减少；粮食面积总体也呈减少趋势，但有波动，减少幅度为 $879.73\text{hm}^2/\text{年}$ ，大体可分 3 个阶段 (1) 1978~1985 年间持续减少，由 34.9 万 hm^2 减少到 32.8 万 hm^2 ；(2) 在 1986~1999 年间粮食面积呈恢复性增加，年均增加 2 416.7 hm^2 ；(3) 1999~2009 年间减少明显，年均减少 5 431.3 hm^2 ，耕地面积保护压力较大 (图 1a，表 1)。

小麦面积总体在减少，平均减少幅度为 $70.6\text{hm}^2/\text{年}$ ，在 1980~1985 年间呈现较快增长势头，由 13.94 万 hm^2 增加到 16.63 万 hm^2 ，1986~1999 年间变化不稳定，呈锯齿形，其中 1994 年达到最大面积 17.55 万 hm^2 ，2000 年以后基本在减少，2009 年减少到 13.48 万 hm^2 ，接近 30 年来的最低水平 13.16 万 hm^2 (1980 年)。玉米和马铃薯面积总体呈增加趋势，增加幅度分别为 $804.2\text{hm}^2/\text{年}$ 和 $723.8\text{hm}^2/\text{年}$ ，但在具体年份，当玉米面积增加时，马铃薯的面积相应减少，特别在 1978~1984 年间和 1996~2009 年间，表现最为明显。在粮食作物播种面积减少的情况下，小麦减少较快，而喜温作物 (玉米、马铃薯) 面积增加 (图 1a、表 1)。

2.1.2 经济作物面积变化

在水果市主要经济作物中，胡麻籽总体呈减少趋势，减少幅度为 $160.27\text{hm}^2/\text{年}$ ，而油菜、葵花籽、药材、大麻、甜菜、果园和蔬菜面积相应增加，增加幅度分别为 1 072.4 $\text{hm}^2/\text{年}$ 、127 $\text{hm}^2/\text{年}$ 、251.13 hm^2

表 1 天水市 1978~2009 年作物面积变化特征

面积	回归方程	倾向率 ($\times 666.67\text{hm}^2/\text{年}$)	R^2
耕地	$y = -1.093\ 8x + 604.96$	-1.093 8	0.928 8 **
粮食	$y = -1.319\ 6x + 527.52$	-1.319 6	0.278 5 **
小麦	$y = -0.105\ 9x + 225.59$	-0.105 9	0.004 5
玉米	$y = 1.206\ 3x + 80.18$	1.206 3	0.449 8 **
马铃薯	$y = 1.085\ 7x + 59.558$	1.085 7	0.504 **
油菜	$y = 1.608\ 6x - 9.938\ 1$	1.608 6	0.914 5 **
胡麻籽	$y = -0.240\ 4x + 26.818$	-0.240 2	0.146 9 *
葵花籽	$y = 0.109\ 5x + 5.111\ 2$	0.109 5	0.247 **
药材	$y = 0.376\ 3x - 1.359$	0.376 3	0.579 4 **
大麻	$y = 0.034\ 1x + 0.956\ 4$	0.034 1	0.451 3 **
甜菜	$y = 0.006\ 3x + 0.369\ 3$	0.006 3	0.116 7
果树	$y = 3.756\ 3x - 4.271\ 5$	3.756 3	0.938 5 **
蔬菜	$y = 1.642\ 6x - 2.185\ 8$	1.642 6	0.817 5 **

/年、22.73hm²/年、4.2hm²/年、2 504.2hm²/年和1 095.07hm²/年（表1）。具体变化如下：（1）1999 年以前胡麻籽是天水市最主要的油料作物，面积最大，在1988 年以前面积增加较快，达到2.18 万 hm² 的最大面积，1988 年以后面积则持续减少，2009 年只有1.02 万 hm²，胡麻籽面积减少的主要原因是品种退化快，病害严重，导致效益低下；（2）油菜在1978 ~1987 年间呈缓慢增加趋势。在1988 年后，油菜在天水市得到很大的发展，面积成倍增加，由1988 年的0.19 万 hm² 增加到2009 年的3.28 万 hm²，逐渐替代了胡麻、苏子，成为天水市第一大油料作物，也是天水市面积最大的经济作物，并以天水为中心，辐射到甘肃省中部的定西、临夏、平凉、庆阳及陇南等地区，总面积近10 万 hm²^[6]；（3）葵花籽、药材、大麻、甜菜面积相应增加。葵花籽在1985 年前增加较快，1986 ~2002 年间在减少，2002 年以后又逐渐增加；药材面积波动较大，在1981 年、1984 年、1994 年、2000 年及2008 年出现了几个峰值，受市场影响较大，近几年面积才趋平稳；大麻和甜菜面积增加较小、较稳定（图2a）。（4）天水市果园和蔬菜面积增加趋势明显。果园面积在1978 ~1984 年，1988 ~1990 年及1997 ~2005 年间面积在增加到一定数量后相对稳定，而在1985 ~1987 年、1991 ~1996 年和2006 ~2007 年间增加较快，2009 年达到7.45 万 hm²；蔬菜面积总体增加，在1978 ~1988 年间面积较稳定，平均每年为0.65 万 hm²，变化不大，1991 ~2004 年间，呈现平稳的增长态势，年均增加0.05 万 hm²，2004 年以后，增加很快，仅2004 ~2005 年，增加了1.43 万 hm²，2009 年到达4.64 万 hm²（图2b）。

天水市作物种植结构在气候变暖、先进栽培技术及优良品种的推广应用、农业扶持政策及经济效益等多种因素的影响下，发生了显著的变化，促进了农业种植结构的调整。天水市经济作物播种面积在农作物播种面积中的比重不断增加。可能受全球气候变暖和经济效益的影响，使喜温作物玉米、马铃薯的种植面积扩大，同时冬油菜面积扩大，单产增加，作物复种指数提高，多熟制区域扩大^[7]。

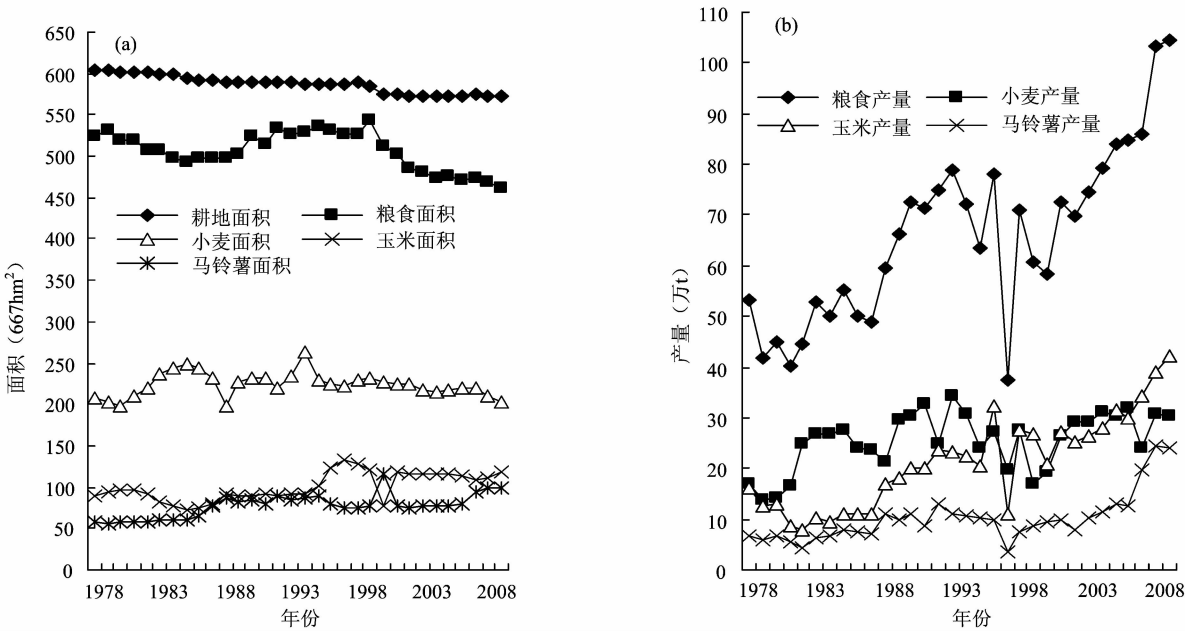


图1 天水市1978 ~2009 年粮食面积 (a) 及产量 (b) 变化

2.2 天水市粮食产量变化特征及影响粮食生产的因素分析

2.2.1 天水市粮食产量变化特征

天水市粮食作物主要包括小麦、玉米、马铃薯。马铃薯属粮、菜兼用型作物，本地马铃薯主要以中、晚熟品种为主，计算时通常以淀粉产量计算（淀粉产量 = 鲜薯产量 × 20%）。

粮食产量变化的总体特征为波动中呈上升趋势，粮食总产量及小麦、玉米、马铃薯的产量均在增加，增加幅度分别为1.474 9 万 t/年、0.306 4 万 t/年、0.864 3 万 t/年、0.357 5 万 t/年（表2）。全市粮食总

产量由 1978 年的 53.05 万 t 增加到 2009 年的 104.46 万 t，共增加 51.41 万 t，年均递增率 1.66%；人均粮食产量由 1978 年的 219.9 kg 上升到 2009 年的 290.4kg，增加了 70.5 kg。粮食产量在 1987~1993 年及 2002~2009 年间呈现较快平稳的增长趋势，其余时间均出现波动，特别是 1997 年，达到 30 年来粮食产量的最低点，仅为 37.4 万 t（图 1b）。

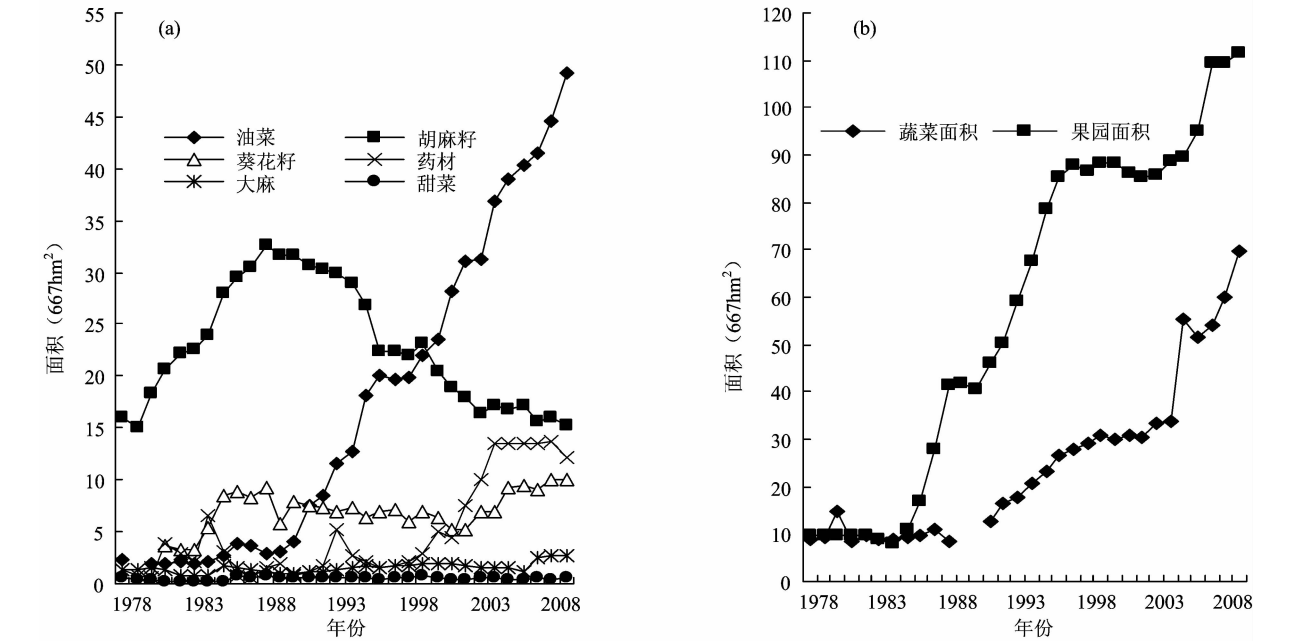


图 2 天水市 1978~2009 年经济作物 (a) 及蔬菜、果园面积 (b) 变化

2. 2. 2 天水市影响粮食生产的因素分析

从天水市粮食总产量和影响因素的灰色关联分析结果（表 3）可以看出，影响粮食产量的因素与粮食总产量的关联度即它们对粮食生产的影响程度按大小排序为：粮食单产>总人口>水平

表 2 天水市粮食作物产量变化特征

产量	回归方程	倾向率 (万 t/年)	R ²
粮食	y = 1.4749x + 41.424	1.474 9	0.648 1 **
小麦	y = 0.306 4x + 20.511	0.306 4	0.257 9 **
玉米	y = 0.864 3x + 6.962 2	0.864 3	0.766 9 **
马铃薯	y = 0.357 5x + 4.176 7	0.357 5	0.481 4 **

梯田面积>耕地面积>粮食面积>保灌面积>化肥施用量>农业用电量>农药用量。

粮食单产与粮食总产量的灰色关联度高达 0.998 22，关联序为第一位，对粮食生产的影响最大，由此可见，粮食单产是影响粮食生产的首要因素，在粮食播种面积出现减少的情况下，粮食总产量的增加有赖于单产的提高。天水市粮食单产有了较大提高，由 1978 年的 1 520.55 kg/hm² 增加到 2009 年的 3 339kg/hm²，增加了 2.24 倍；粮食总产量由 1978 年的 53.05 万 t 增加到 2009 年的 104.46 万 t，共增加 51.41 万 t。随着耕地面积的减少和人口的不断增加，今后应进一步加大科技投入，重视良种和栽培技术的推广应用，特别是抗锈小麦品种和地膜的应用。天水市小麦常年播种面积为 13.48 万 hm²，占粮食作物面积的 43.9%，当地是小麦条锈菌的发源地，条锈菌周年侵染，外引品种很难直接应用，只能依靠当地选育的适宜品种。国家小麦改良中心天水分中心（设于天水市农科所）在坚持小麦品种抗锈性突出的同时，要在产量和品质上多下工夫。“十一五”期间，天水市共引进各类农作物新品种 3 740 个，发放良种补贴 3 588.52 万元，落地地膜粮食 9.01 万 hm²，推广马铃薯脱毒种薯 3.62 万 hm²，小麦、玉米良种实现了全覆盖，提高了单位面积的产量，保证了粮食生产的稳定、持续发展。

总人口与粮食总产量显著相关，两者的关联度为 0.993，关联序为第二位，1978 年天水市总人口为 241.24 万人，到 2009 年增长到 359.69 万人，年均增长 3.95 万人。人口持续增长会造出耕地面积和粮食播种面积的减少，进而影响粮食生产。因此，在大力发展粮食生产的同时，要适当控制人口数量。同时由于天水地处内陆，经济欠发达，青壮年劳动力外出打工增多，劳动力投入数量减少，为了确保粮食生产的

发展,就要保证一定的劳动力。因此为稳定农业生产,建议政府政府积极推广农业机械化生产,缓解劳动力严重不足的现状。“十一五”期间,天水市农机作业面稳步扩大,机耕、机播、机收三大农机作业面积分别达到 9.38 万 hm^2 、2.01 万 hm^2 和 2.01 万 hm^2 ,实施深松耕 3.77 万 hm^2 ,机械铺膜 2.13 万 hm^2 ,机械深施化肥 9.9 万 hm^2 ,促进了粮食生产。

表 3 天水市粮食总产量和影响因素的灰色关联分析

影响因素	灰色关联度	关联序	影响因素	灰色关联度	关联序
粮食单产 X_3	0.998	1	保灌面积 X_6	0.983	6
总人口 X_4	0.993	2	化肥施用量 X_8	0.958	7
水平梯田 X_5	0.992	3	业用电量 X_7	0.952	8
耕地面积 X_1	0.987	4	农药用量 X_9	0.791	9
粮食面积 X_2	0.987	5			

资料来源:《天水经济年鉴》,2010 总第(23)期。

水平梯田、耕地面积和粮食播种面积与粮食总产量的关联度分别为 0.992、0.987 和 0.987,关联序分别为第三位、第四位和第五位,是影响粮食生产重要因素。水平梯田由 1978 年的 10.33 万 hm^2 增加到 2009 年的 27.78 万 hm^2 ,年均增加 0.58 万 hm^2 ;耕地面积由 1978 年的 40.28 万 hm^2 下降到 2009 年的 38.15 万 hm^2 ,年均减少 0.07 万 hm^2 ;粮食面积由 1978 年的 34.89 万 hm^2 下降到 2009 年的 30.74 万 hm^2 ,年均减少 0.14 万 hm^2 ;耕地面积和粮食面积的减少使粮食安全的压力越来越大,直接影响了粮食生产。天水市山多川少,政府要在控制人口过快增长的同时,要加大基本农田的保护力度,加大农业基础设施建设投资力度,增加水平梯田面积,加快改造中低产田,严格执行耕地占补平衡制度和基本农田保护制度,遏制粮食面积持续减少的趋势。

保灌面积与粮食总产量显著相关,两者关联度为 0.984,关联序为第六位。天水市保灌面积由 1978 年的 3.24 万 hm^2 减少到 2.42 万 hm^2 ,年平均减少 0.027 万 hm^2 。基础设施(高速公路、铁路)建设、城镇化程度的加快及水利设施建设的滞后都是灌溉面积减少的主要因素,在气候暖干背景下天水旱灾频繁,据姚小英^[8]研究,天水市秦州区在 1981~2005 年的 25 年间,春旱就有 16 次,其中重旱 7 次,水利设施建设显得日益重要。要加大以农田水利设施为主的生产条件建设,加大土地平整的力度,建设高标准农田,配备相应的农田生产设备,提高抵御自然灾害的能力。

化肥施用量、农业用电量和农药用量与粮食总产量的关联度分别为 0.958、0.952 和 0.791,与粮食总产量显著相关,关联序为分别为第七位、第八位、第九位,也是影响粮食生产稳定发展主要因素。近年来,天水市在国家、省市有关项目的支持下,加强了农业现代化水平、沃土工程、植保工程的建设力度。“十一五”期间,全市推广测土配方施肥 28.67 万 hm^2 。实施药剂拌种 14.4 万 hm^2 ,推广无公害农药 6.28 万 hm^2 ,防治各类农作物病虫害鼠草害 112.51 万 hm^2 次,小麦条锈病等主要作物病虫害得到有效控制,有力地保障了粮食生产。

粮食综合生产能力由耕地、劳力,资本、技术等要素的投入能力所决定,通过对生产过程的组织与调控,转变为实际产出能力^[9]。所以地方政府要加大投入和完善政策,稳定耕地和粮食面积,提高耕地质量,加大农业实用技术开发和应用,保护和提高农民种粮的积极性,增强当地粮食的综合生产能力,为粮食安全提供保障。

3 结论

(1) 近 30 年来,天水市耕地面积和粮食面积呈减少趋势,减少幅度分别为 729.2 hm^2 /年和 879.73 hm^2 /年;小麦面积减少幅度为 70.6 hm^2 /年,玉米和马铃薯面积增加幅度分别为 804.2 hm^2 /年和 723.8 hm^2 /年,胡麻籽面积减少幅度为 160.27 hm^2 /年,油菜、葵花籽、药材、大麻、甜菜、果园和蔬菜面积呈增加趋势。

(2) 天水市粮食总产量及小麦、玉米、马铃薯的产量均在增加,增加幅度分别为 1.474 9 万 t/年、

0.306 4 万 t/年、0.864 3 万 t/年、0.357 5 万 t/年。粮食产量在 1987 ~ 1993 年及 2002 ~ 2009 年间呈现较快平稳的增长趋势，其余时间均出现波动。地方政府要加大投入和完善政策，稳定耕地和粮食面积，提高耕地质量，加大农业实用技术开发和应用，不断增强当地粮食的综合生产能力。

(3) 从天水市粮食总产量和影响因素的灰色关联分析结果可以看出，粮食单产与粮食总产量的关联度最大，由此可见，粮食单产是影响粮食生产的首要因素。各因素对粮食生产的影响程度按大小依次为：粮食单产 > 总人口 > 水平梯田面积 > 耕地面积 > 粮食面积 > 保灌面积 > 化肥施用量 > 农业用电量 > 农药用量。

参考文献

[1] 程英, 刘普幸, 白杨, 等. 甘肃省粮食产量时空变化、驱动因子和趋势预测分析. 干旱地区农业研究, 2009, 27 (4): 225 ~ 229

[2] 牛高华, 李瑾, 赵言文. 天津粮食生产变化特征分析. 中国农业资源与区划, 2011, 32 (4): 29 ~ 34

[3] 天水年鉴编委会. 《天水经济年鉴》, 2010 总第 (23) 期

[4] 邓聚龙. 灰色系统理论教程. 武汉: 华中理工大学出版社, 1990

[5] 程英, 刘普幸, 白杨, 等. 甘肃省粮食产量时空变化、驱动因子和趋势预测分析. 干旱地区农业研究, 2009, 27 (4): 225 ~ 229

[6] 高强, 郭利康, 雷建民, 等. 甘肃省天水市白菜型冬油菜生产现状及发展建议. 中国农业资源与区划, 2008, 29 (4): 58 ~ 61

[7] 邓振镛, 张强, 韩永翔, 等. 甘肃省农业种植结构影响因素及调整原则探讨. 干旱地区农业研究, 2006, 24 (3): 126 ~ 129

[8] 姚小英, 朱拥军, 把多辉. 天水市 45 a 气候变化特征对林果生长的影响. 干旱地区农业研究, 2008, 26 (2): 240 ~ 245

[9] 黎莉莉, 胡晓群, 袁昌定, 等. 重庆市粮食综合生产能力及保护机制研究. 中国农业资源与区划, 2010, 31 (1): 27 ~ 32

CHANGE OF CROP PLANTING STRUCTURE AND INFLUENCE

FACTORS OF GRAIN YIELD

Gao qiang, Guo heng, Zhao guoliang, Wang juan, Wen hongchang, Zhao chunyan

(Institute of Agriculture Sciences of Tianshui, Tianshui, Gansu 741000)

Abstract Nearly 30 years of crop planting structure change characteristics and food production change in Tianshui city were discussed in this paper, a gray correlation degree analysis method was used for analyzing the influencing factors of grain production. The results indicated that crop planting structure showed obvious change in Tianshui, the general characteristics of grain production change showed a fluctuate ascendant trend, and the main factors impacting the food production included grain yield per hectare, population, level terrace, arable land, grain area and irrigation area, etc.

Keywords planting structure; food production; grey correlation analysis; Tianshui