

# 近期气候变化对黄土高原苹果产区分布格局的影响

刘锦月<sup>1,2</sup>, 巩铁雄<sup>3</sup>, 乔江波<sup>3</sup>, 韩晓阳<sup>1</sup>, 朱元骏<sup>1,2,3</sup>

(1.中国科学院 教育部水土保持与生态环境研究中心, 陕西 杨凌 712100; 2.中国科学院大学, 北京 100049; 3.西北农林科技大学 黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 陕西 杨凌 712100)

**摘要:**为了研究气候因素对区域苹果分布格局的影响,利用 ArcGIS 空间分析研究了黄土高原 29 个苹果主产市 2005 年、2010 年和 2015 年苹果种植面积与年平均降水量、年平均气温和年平均日照时数的关系。结果表明:黄土高原苹果种植面积分布格局在近 10 年内主要向甘肃东部(天水、平凉和庆阳)、陕西中北部(延安和榆林)、山西西部(临汾和运城)和河南西部(三门峡)移动。年平均降水量和年平均气温的变化对苹果种植有积极影响;年平均日照时数的变化对黄土高原南部苹果种植有消极影响,对黄土高原中部和北部有积极影响。从区域尺度上研究最近 10 年黄土高原苹果主产区的变化格局,可为区域苹果产业政策提供科学依据。

**关键词:**黄土高原; 苹果; 种植面积; 生产布局; 气候因素

**中图分类号:** S161

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1005-3409(2020)03-0153-06

## Effects of Recent Climate Change on Distribution Pattern of Apple Production Areas in the Loess Plateau

LIU Jinyue<sup>1,2</sup>, GONG Tiexiong<sup>3</sup>, QIAO Jiangbo<sup>3</sup>, HAN Xiaoyang<sup>1</sup>, ZHU Yuanjun<sup>1,2,3</sup>

(1. *Research Center of Soil and Water Conservation and Ecological Environment, Chinese Academy of Sciences and ministry of Education, Yangling, Shaanxi 712100, China*; 2. *University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China*; 3. *State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on the Loess Plateau, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China*)

**Abstract:** In order to address the relationship between planting area and climatic factors (the average annual precipitation, temperature, and sunshine hours), ArcGIS spatial analysis was used to address for 29 major apple production cities in the Loess Plateau in 2005, 2010, and 2015, so as to quantify the impact of climate factors on regional apple distribution pattern. The results showed that the apple planting areas in the Loess Plateau had mainly shifted to eastern Gansu (Tianshui, Pingliang and Qingyang), central and northern Shaanxi (Yan'an and Yulin), western Shanxi (Linfen and Yuncheng), and westward Henan (Sanmenxia) in the past 10 years; the average annual precipitation and temperature had positive effects on apple planting; average annual sunshine hours had negative effects on apple planting in the southern part of the Loess Plateau, and had positive effects in the central and northern parts of the Loess Plateau. We figured out the change patterns of apple production areas in the Loess Plateau in the past 10 years on a regional scale, which could provide the scientific basis for policy-making on regional apple industry.

**Keywords:** Loess Plateau; planting area; production layout; climatic factors

近年来全球气候变暖的趋势越来越明显<sup>[1]</sup>。气候变暖使中国的热量资源增多,作物生长季延长,农业种植带不断北移,进而对农业生产布局和种植结构产生重要影响<sup>[2]</sup>。自 20 世纪 80 年代以来,中国苹果种植业发展迅速,形成了 5 个主要的苹果产区:黄土高原、西南凉爽高地、黄河故道、渤海湾和新疆<sup>[3]</sup>。气候变化和经济

效益驱动苹果产区逐渐向西北地区转移,使得黄土高原成为中国两大苹果主产区之一<sup>[4]</sup>。黄土高原苹果产业的发展一方面增加了农民收入,另一方面还改善了局地生态环境。量化苹果种植业分布、变化规律及影响因素对区域苹果产业发展和推广具有重要意义。

长期以来,诸多学者对苹果主产区的迁移、气候适

收稿日期:2019-07-02

修回日期:2019-07-26

资助项目:国家重点研究发展计划项目“高原沟壑区固沟保源生态防护与苹果产业提质增效技术及示范”(2016YFC0501706)

第一作者:刘锦月(1993—),女,山东济南人,硕士研究生,主要从事土壤水环境演变研究。E-mail:1696698558@qq.com

通信作者:朱元骏(1978—),男,湖北竹山人,博士,副研究员,主要研究方向:土壤水循环及坡面水土过程。E-mail:zhuyuanjun@foxmail.com

宜性以及苹果品质方面进行了研究。屈振江等<sup>[4]</sup>分析了 1981—2010 年气象资料和“富士”苹果种植区分布数据,发现黄土高原的陕西、山西和甘肃是“富士”的气候适宜区。魏钦平等<sup>[5]</sup>认为“富士”、“乔纳金”和“新红星”等苹果品种的最优栽培气候区在黄土高原和甘肃陇东,“富士”、“乔纳金”的优质栽培气候区是渤海湾地区,西南高地局部小气候是“新红星”的最适生态区。余优森等<sup>[6]</sup>研究发现,黄土高原、西秦岭山地、川西北和川西南山地以及甘肃、新疆等苹果产区的品质最优。白秀广等<sup>[7]</sup>指出,降水量的增加会对苹果主产区生产布局变迁产生负面影响;气温的适度升高和日照时数的增加对黄土高原区苹果生产布局变迁有利。朱琳等<sup>[8]</sup>研究发现,陕西苹果种植适宜区北缘已由原来延安以南北移至安塞和延川一带,并且逐渐向北延伸到府谷、神木经榆林南端至横山一带。张颖聪等<sup>[9]</sup>运用 GIS 技术与重心理论分析了 2005—2015 年苹果生产数据,指出气候变化和国家政策等因素导致中国苹果产业西移。张山清等<sup>[10]</sup>研究发现,新疆地区温度升高对不同地形苹果种植产生不同影响,苹果次适宜种植区明显扩大,适宜种植区减小。

上述研究指出了苹果种植业在黄土高原的扩张路线及影响因素,但大部分是从全国或者苹果主产区等大尺度上得出的结论,对黄土高原区域内苹果种植业的变化规律还缺少系统分析。本文以黄土高原 4 个苹果主产省为研究对象,以 29 个市为基本地域单元,运用地统计空间分析方法,量化黄土高原苹果种植面积和气象因子的时空变化,探讨区域苹果生产布局的变化趋势和规律,为黄土高原苹果产业布局优化、结构调整提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验区概况

黄土高原(33°—41°N,100°—114°E)位于太行山以西、日月山以东、秦岭以北、阴山以南,总面积 64 万 km<sup>2</sup>,横跨青、甘、宁、蒙、陕、晋、豫 7 省,海拔 800~3 000 m。黄土高原属于典型的温带大陆性季风气候,年平均温度为 3.6~14.3℃,年降水量为 150~750 mm,且多集中在 6—9 月(占全年降水量的 55%~78%)。区域土壤类型主要是黄绵土以及黄绵土上发育而成的地带性土壤,如塬土和黑垆土。

### 1.2 数据获取

本文以黄土高原 29 个苹果主产市为研究对象(图 1),从统计年鉴上获取 29 个苹果主产市 2005 年、2010 年和 2015 年的苹果种植面积数据;从国家气象中心下载 2005 年、2010 年和 2015 年 29 个主产市气象站年平均气温、年平均降水量和年平均日照时数数据。

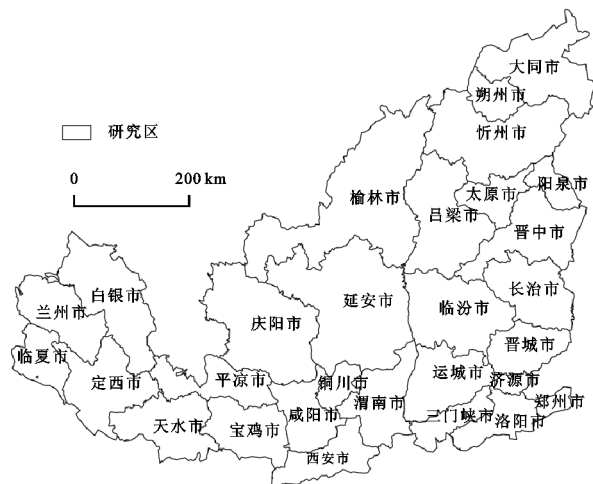


图 1 研究区概况

### 1.3 分析方法

在 ArcGIS 中用柱状图表示出 2005 年、2010 年和 2015 年 29 个市苹果种植面积,用 Excel 计算三年苹果种植面积差值(2015 年减去 2010 年和 2010 年减去 2005 年),用克里金插值法对 29 个市苹果种植密度、年平均气温、年平均降水量和年平均日照时数进行空间插值,然后对 2005 年、2010 年和 2015 年 29 个市苹果种植密度、年平均气温、年平均降水量和年平均日照时数创建渔网和多值提取至点(图 2),提取 29 个市共 164 个点苹果种植密度、年平均气温、年平均降水量和年平均日照时数,利用 SPSS 进行苹果种植密度与年平均气温、年平均降水量和年平均日照时数的相关分析。

普通克里金(Ordinary Kriging)是区域化变量的线性估计,它假设数据变化成正态分布,认为区域化变量  $Z$  的期望值是未知的。插值过程类似于加权滑动平均,权重值的确定来自于空间数据分析,是从变量相关性和变异性出发,在有限区域内对区域化变量的取值进行无偏、最优估计的一种方法。

克里金方法公式统一表示为:

$$Z(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i) \quad (1)$$

式中: $Z(x_0)$  为未知样点的值; $Z(x_i)$  为未知样点周围的已知样本点的值; $\lambda_i$  为第  $i$  个已知样本点对未知样点的权重; $n$  为已知样本点的个数。

## 2 结果与分析

### 2.1 苹果种植面积变化

2005—2015 年黄土高原苹果主产区种植面积在区域尺度上变化明显(图 3)。苹果种植面积在空间上呈现以咸阳和运城变为以咸阳和延安为极值的发展趋势,具体表现为:甘肃省东部、陕西省中北部和山西省西部地区的种植面积变化趋势明显;2005 年苹果种植主要集中

在咸阳和运城,2010 年苹果种植面积在咸阳和延安形成极值区域,2015 年与 2010 年相比平凉、榆林、延安、咸阳和铜川苹果种植面积继续增加。从图 3 中可知,近 10 a 甘肃省东部苹果种植面积变化幅度较大,天水、平凉和庆阳苹果种植面积增加,白银苹果种植面积呈现减少的趋势,说明陇东苹果产业发展迅速。陕西省苹果种植面积除了西安以外,其他县市苹果种植面积都显著增加,空间分布格局呈现以咸阳为中心逐渐变为以咸阳和延安双中心为主,说明陕西省苹果种植逐渐向北部发展。2005 年山西省运城是苹果种植的极值地区,2010 年以后,苹果种植面积整体减少,其中以临汾和运城苹果种植面积变化明显,且运城苹果种植面积锐减。河南省 2005—2015 年苹果种植面积空间分布有向西移动的趋势,洛阳苹果种植面积明显减少,三门峡苹果种植面积增加。

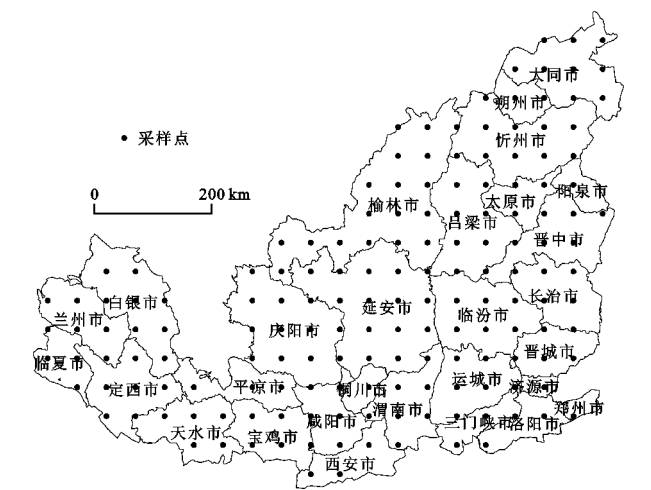


图 2 采样点分布图

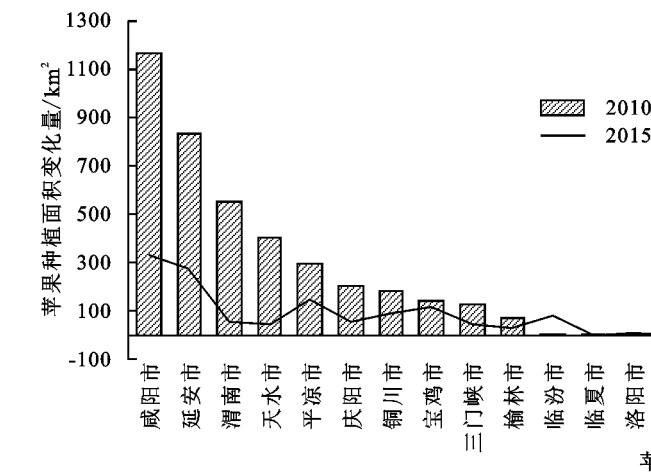


图 4 2005—2010 年和 2010—2015 年黄土高原年平均苹果种植面积变化

### 2.2 苹果种植区气象差异因素分析

用克里金插值法对 2005 年、2010 年和 2015 年 29 个市苹果种植密度、年平均气温、年平均降水量和年平均日照时数进行空间插值,对苹果种植密度、年平均气温、年平均降水量和年平均日照时数创建渔网

为了进一步分析苹果种植面积变化趋势,我们计算 2005 年、2010 年和 2015 年苹果种植面积差值(2015 年减去 2010 年和 2010 年减去 2005 年)(图 4)。从图 4 可知,黄土高原苹果主产区种植面积出现不同层次的变化趋势,2010—2005 年种植面积变化幅度大于 2015—2010 年苹果种植面积变化。甘肃省东部(天水、平凉和庆阳)增加趋势明显;陕西省咸阳、延安和渭南是苹果种植面积增加最大的区域,只有西安苹果种植面积呈现负值;山西省 2005—2015 年苹果种植面积变化幅度不大,整体出现减小的趋势,运城苹果种植面积变化出现先减小后增加的趋势,变化趋势明显;河南省三门峡市近 10 a 苹果种植面积显著增加。苹果种植面积变化的原因在于:(1) 苹果种植带来高收益促使更多的农户种植苹果;(2) 黄土高原气候暖干导致适宜苹果种植的区域向西北扩张。

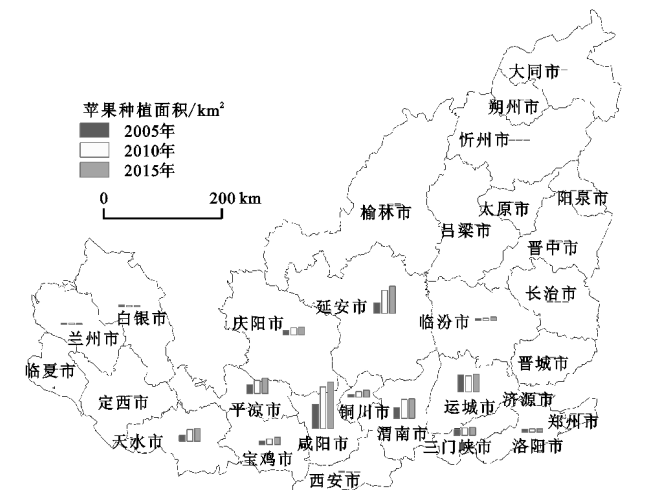


图 3 2005 年、2010 年和 2015 年黄土高原苹果主产市种植面积

和多值提取至点(图 2),提取 29 个市共 164 个点苹果种植密度、年平均气温、年平均降水量和年平均日照时数数据,分析得出苹果种植密度与年平均气温、年平均降水量和年日平均照时数的相关性(表 1)。

气候变化可以影响苹果的各个生育期<sup>[11-13]</sup>。研



究表明,苹果种植有其最佳的气候条件(表 2)<sup>[14-19]</sup>。黄土高原地下水埋藏普遍较深,因此苹果产区的灌溉比例很低,苹果形状指数、硬度、可溶性糖和果皮花青素依赖于降水;在年平均温度相对较高的地区,糖酸比通常较高,但果实硬度较低,这些水果不能长期保存。相反,在年平均温度低的区域,可滴定酸含量太高,这可能影响苹果口感。植物在进行光合作用时日照是一个必不可少的因素,日照的变化在苹果种植方面有很大的影响,在苹果形状指数、果皮花青素和糖

表 2 主要气象因素对苹果品质的影响和最适范围

气候因素	主要影响指标	最适范围
年平均气温	果实形态指数、可滴定酸含量、维生素 C (VC)、果皮花青素	8~13℃
年平均降水量	果实形态指数、硬度、含糖量、果皮花青素	500~800 mm
年平均日照时数	含糖量、色泽、坐果率	2200~2600 h

2.2.1 年平均降水量 从图 5 可知,3 a 年平均降水量有明显的变化。具体表现为甘肃省东部临夏、定西和天水降水量明显减少;陕西省宝鸡、渭南、延安和榆林降水量明显增加;山西省东部降水量明显减少,尤其是晋城和长治。2010 年与 2015 年相比,研究区域中部年平均降水量减少。由表 2 可知,适宜于苹果种植的最佳降水量范围在 500~800 mm,结合图 3 苹果种植面积的出现极值的区域(咸阳、延安、渭南和运城)年平均降水量都在 400 mm 以上,尤其是咸阳、渭南和运城的年平均降水量在 500 mm 以上。根据表 1 可知,年平均降水量对苹果种植面积有显著影响( $p<0.01$ ,皮尔逊系数 0.429),且苹果种植面积与平均降水量呈正相关。

2.2.2 年平均气温 从 2005 年、2010 年和 2015 年的年平均气温变化可知,研究区年年平均气温没有明显的变化。甘肃省定西年平均气温明显降低,陕西省榆林南部年平均气温增加,山西省朔州年平均气温增高。结合图 6 和表 2 可知,适宜苹果种植的最佳气温范围在 8~13℃,近 10 a 整个黄土高原 29 个市的年平均

酸比例方面,足够的日照时数对于确保优质苹果非常重要。日照时间不足可能影响果实着色和糖分积累;但是大量的日照时间会降低果实形状指数。

表 1 相关分析结果

参数	年平均 降水量	年平均 气温	年平均 日照时数
皮尔逊相关性	0.429 **	0.487 **	-0.475 **
Sig. (双尾)	0.000	0.000	0.000

注: \*\* 在 0.01 级别(双尾),相关性显著。

气温都在 8℃以上,尤其是咸阳、渭南和运城的年平均气温 10~13℃之间。根据表 1 可知,平均气温对苹果种植面积有显著影响( $p<0.01$ ,皮尔逊系数 0.487),且苹果种植面积与平均气温呈正相关。

2.2.3 年平均日照时数 从三年的年平均日照时数变化(图 7)来看,黄土高原 29 个市的年平均日照时数变化明显,从东南向西北方向明显减少,尤其是山西省日照时数明显下降。由表 3 可知,适宜苹果种植的最佳日照时数范围在 2 200~2 600 h;结合图 3 和图 4 可知,近 10 a 甘肃省东部天水和平凉苹果种植面积增加;陕西省苹果种植面积空间分布格局以咸阳为中心逐渐变为以咸阳和延安的双中心为主,榆林市的苹果种植面积显著增加,说明陕西省苹果种植逐渐向北部发展,与年平均日照时数变化趋势相反;山西省苹果种植面积变化幅度较小,运城苹果种植面积有先减少后增加的趋势。总体来说,年平均日照时数对黄土高原西北部地区苹果种植面积的扩展有消极影响,年均日照时数与苹果种植面积之间存在显著负相关关系( $p<0.05$ ,皮尔逊系数为-0.475)(表 1)。

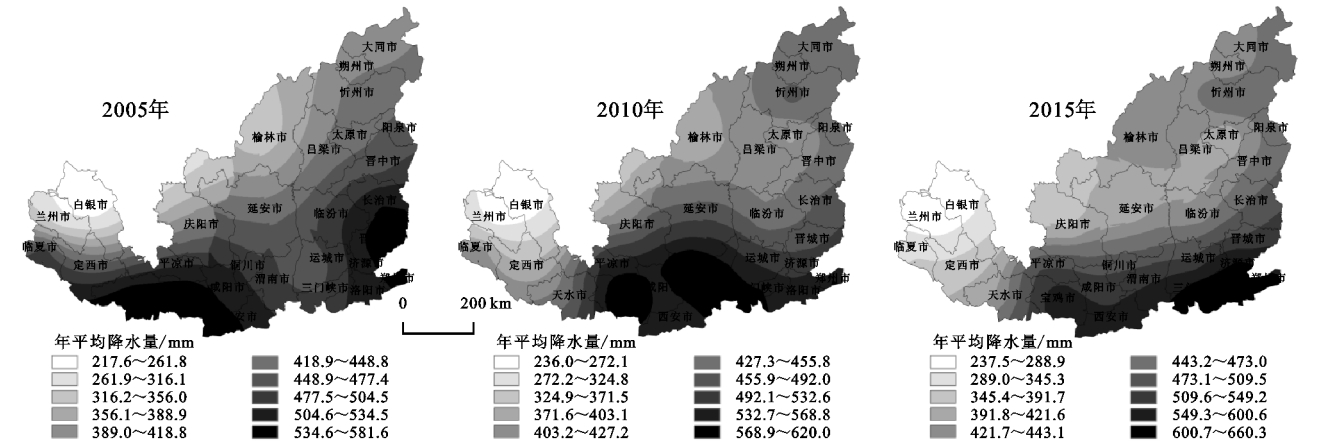


图 5 黄土高原苹果主产区 2005 年、2010 年和 2015 年年平均降水量区域变化差异

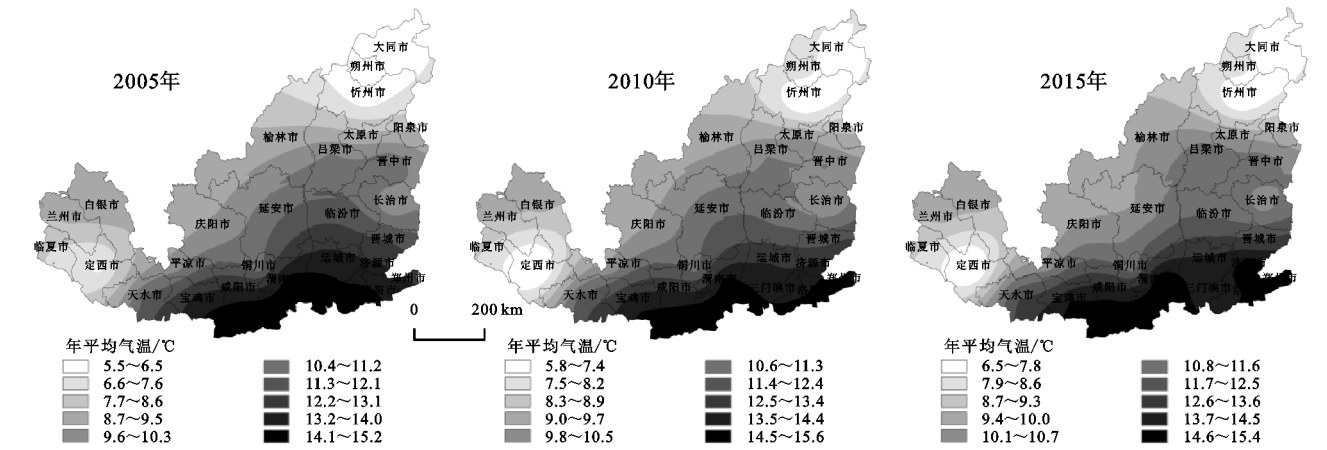


图 6 黄土高原苹果主产区 2005 年、2010 年和 2015 年年平均气温区域变化差异

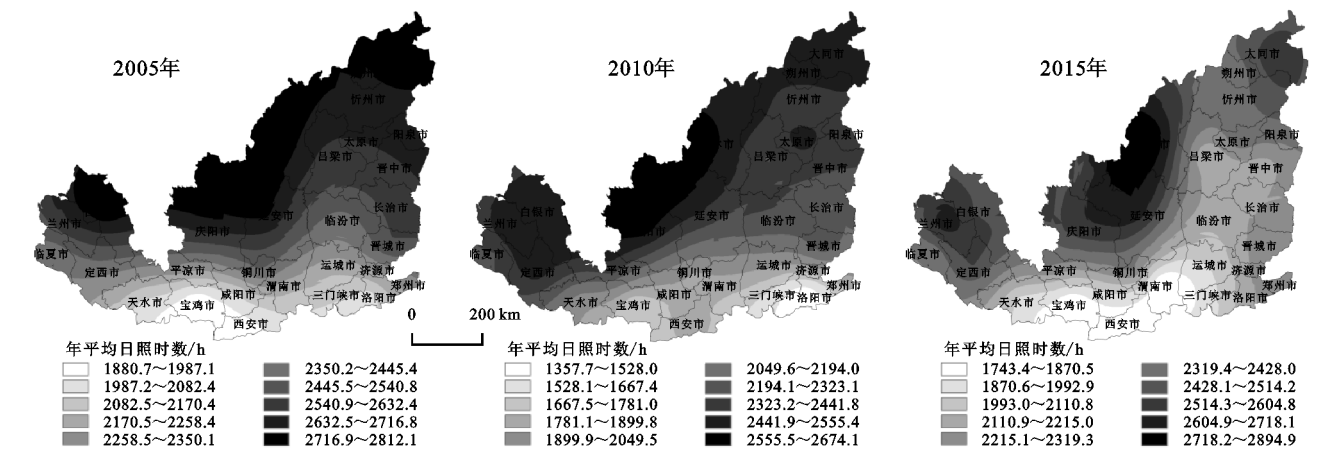


图 7 黄土高原苹果主产区 2005 年、2010 年和 2015 年年平均日照时数区域变化差异

### 3 结论与讨论

#### 3.1 讨论

根据 IPCC 第五次报告的预测<sup>[1]</sup>,未来全球的气温、降水和日照等气象因素都在时间和空间上的差异进一步增加。气候变化影响苹果物候期,这对苹果产业布局产生和结构调整产生影响<sup>[20]</sup>。根据之前的研究可知,中国主要苹果产区重心逐渐向黄土高原转移。本文分析了 2005 年、2010 年、2015 年黄土高原 29 个苹果主产市气象因素与种植面积的关系,发现黄土高原苹果种植生产布局总体向中北部移动,具体表现为甘肃省东部(天水、平凉和庆阳)、陕西省中部(延安)和北部(榆林)、山西西部(临汾和运城)和河南西部(三门峡)。在气候方面年平均气温和年平均降水量的变化会对黄土高原苹果种植产生积极的影响,年平均日照时数减少对黄土高原南部苹果种植产生消极的影响,对中部和北部的苹果种植产生积极的影响。在近 10 a 中气温的变化对黄土高原苹果的种植产生积极的影响,降水量的变化会对黄土高原的苹果种植产生不利影响,这与先前的研究结果差异<sup>[4]</sup>;许多研究表明,日照的变化会使黄土高原苹果种植面积比重上升<sup>[7]</sup>,这与本研究结果不同。其原因可能是以前的研究尺度较大,未考虑小尺度条件

下气象因素的差异。可见气候变化对黄土高原苹果产区的转移产生了重大影响。

本文在苹果种植分布格局与气象因素的研究中没有考虑极端气候,例如开花期冻害等极端气候事件以及膨胀期间的高温和低温都会直接影响苹果品质<sup>[21-22]</sup>;此外,苹果品质除了与气象环境因素密切相关,受土壤、水分和肥料以及种植管理的影响<sup>[23]</sup>。由于缺乏黄土高原所有县市苹果的种植数据,只能分析 2005 年、2010 年和 2015 年苹果主产区 29 个苹果县市的数据,时间尺度偏小;29 个市的气象数据缺少,如果将苹果生产的时空变化尺度增大,能对黄土高原苹果生产布局变化进行更为系统地研究。苹果是中国重要的经济树种之一,在面对气候变化带来的风险,苹果种植区应该采取措施来适应气候变化对黄土高原苹果种植带来的积极和消极影响,合理调整黄土高原苹果的种植生产布局。

#### 3.2 结论

(1) 从黄土高原苹果主产区分布的变化趋势来看,黄土高原苹果种植有向中部和北部扩张的趋势,具体表现为向甘肃的东部(天水、平凉和庆阳)、陕西的中北部(延安和榆林)、山西西部(临汾和运城)和河南西部(三门峡)移动。

(2) 气候变化对苹果生产布局的影响程度有所不同,年平均降水量和年平均气温的变化对苹果种植产生积极的影响,年日照时数的变化对黄土高原南部苹果种植产生消极的影响,对中部和北部的苹果种植产生积极的影响。

气候变化中各个气象因子的变化对黄土高原苹果种植成产布局产生的影响不尽相同,在进行苹果产业布局和规划时应当考虑气候变化的影响,以实现区域苹果产业的可持续发展。

#### 参考文献:

- [1] 沈永平,王国亚. IPCC 第一工作组第五次评估报告对全球气候变化认知的最新科学要点[J]. 冰川冻土, 2013, 35(5): 1068-1076.
- [2] 董子铭,刘天军. 中国苹果生产布局变迁的影响: 结构效应还是竞争效应[J]. 北方园艺, 2016, 40(11): 173-177.
- [3] 刘天军,范英. 中国苹果主产区生产布局变迁及影响因素分析[J]. 农业经济问题, 2012, 33(10): 36-42.
- [4] 屈振江,周广胜. 中国富士苹果种植的气候适宜性研究[J]. 气象学报, 2016, 74(3): 479-490.
- [5] 魏钦平,张继祥,毛志泉,等. 苹果优质生产的最适气象因子和气候区划[J]. 应用生态学报, 2003, 14(5): 713-716.
- [6] 余优森,李光华. 苹果优质气候资源与区域性研究[J]. 应用气象学报, 1995, 6(1): 76-82.
- [7] 白秀广,李小盼. 气候变化对中国苹果主产区生产布局变迁的影响分析[J]. 北方园艺, 2016, 40(1): 204-209.
- [8] 朱琳,李星敏,李艳丽,等. 陕北苹果适宜区基地县北扩的气候论证[J]. 陕西气象, 2009, 22(6): 1-4.
- [9] 张聪颖,畅倩,霍学喜. 中国苹果生产区域变迁分析[J]. 经济地理, 2018, 38(8): 141-151.
- [10] 张山清,普宗朝,李新建,等. 气候变化对新疆苹果种植气候适宜性的影响[J]. 中国农业资源与区划, 2018, 39(8): 255-264.
- [11] 白秀广,李纪生,霍学喜. 气候变化与中国苹果主产区空间变迁[J]. 经济地理, 2015, 35(6): 130-137.
- [12] 郭建平. 气候变化对中国农业生产的影响研究进展[J]. 应用气象学报, 2015, 26(1): 1-11.
- [13] 吉志红. 气候变化对三门峡苹果生长的影响分析[J]. 中国农学通报, 2014, 30(10): 237-242.
- [14] An X. The influence of climate change on suitability of shaanxi apple growth[J]. Journal of Applied Meteorological Science, 2011, 22(2): 241-248.
- [15] Fujisawa M, Kobayashi K. Climate change adaptation practices of apple growers in Nagano, Japan[J]. Mitigation & Adaptation Strategies for Global Change, 2011, 16(8): 865-877.
- [16] Grab S, Craparo A. Advance of apple and pear tree full bloom dates in response to climate change in the south-western Cape, South Africa: 1973/2009[J]. Agricultural & Forest Meteorology, 2017, 151(3): 406-413.
- [17] 魏钦平,程述汉,唐芳,等. 红富士苹果品质与生态气象因子关系的研究[J]. 应用生态学报, 1999, 10(3): 289-292.
- [18] 师静雅,刘跃峰,周晓丽,等. 气象条件对铜川市印台区苹果坐果率的影响分析[J]. 现代农业科技, 2017(10): 205-207.
- [19] Qu Z, Zhou G. Possible impact of climate change on the quality of apples from the major producing areas of China[J]. Atmosphere, 2016, 7(9): 113-130.
- [20] 郑冰婵. 气候变化对中国种植制度影响的研究进展[J]. 中国农学通报, 2012, 28(2): 308-311.
- [21] 徐臣善,徐爱红. 高温对苹果花粉在花柱内萌发和生长的影响[J]. 植物生理学报, 2014, 50(1): 51-55.
- [22] 孙智辉,马远飞,高志斌,等. 洛川苹果花期冻害气候特征及人工防霜可行性探讨[J]. 农学学报, 2015, 5(11): 109-112.
- [23] 范宗珍. 水肥综合调控措施对红富士苹果生长结果的影响[J]. 中国果树, 2015(5): 36-39.

(上接第 152 页)

- [16] 杨永辉,王智平,佐仓保夫,等. 全球变暖对太行山植被生产力及土壤水分的影响[J]. 应用生态学报, 2002, 13(6): 667-671.
- [17] 孟丹,李小娟,宫辉力,等. 京津冀地区 NDVI 变化及气候因子驱动分析[J]. 地球信息科学学报, 2015, 17(8): 1001-1007.
- [18] Tucker C J, Pinzon J E, Brown M E, et al. An Extended AVHRR 8 km NDVI data set compatible with MODIS and SPOT vegetation NDVI data[J]. International Journal of Remote Sensing, 2005, 26(20): 4485-4498.
- [19] 孟梦,牛铮,马超,等. 青藏高原 NDVI 变化趋势及其对气候的响应[J]. 水土保持研究, 2018, 25(3): 360-365, 372.
- [20] 陈锋,董美莹,冀春晓. 综合分析法在复杂地形气温精细格点化中的应用[J]. 高原气象, 2016(5): 1376-1388.
- [21] 马明国,王建,王雪梅. 基于遥感的植被年际变化及其与气候关系研究进展[J]. 遥感学报, 2006, 10(3): 421-431.
- [22] 王亚迪,权全,薛涛涛,等. 气候变化对黄河源区的水文影响分析[J]. 水资源研究, 2018, 7(2): 135-143.
- [23] 张涵丹,卫伟,薛莲. 基于 R/S 分析和 Mann-Kendall 检验的定西市气温降水变化特征[J]. 水土保持研究, 2015, 22(6): 183-189.
- [24] 符淙斌,王强. 气候突变的定义和检测方法[J]. 大气科学, 1992, 16(4): 482-493.
- [25] 范兰,吕昌河,杨彪. 近 15 a 中国气温变化趋势分析[J]. 沙漠与绿洲气象, 2014, 8(5): 34-38.