

DOI: 10.5846/stxb201505070945

罗怀良, 闫宁. 区域种植业气候适宜度及其对种植活动的响应——以四川省盐亭县为例. 生态学报, 2016, 36(24): - .

Luo H L, Yan N. Study on climatic suitability for planting and effect of crop planting activities on climatic suitability: a case study of Yanting County, Sichuan Province, China. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(24): - .

区域种植业气候适宜度及其对种植活动的响应 ——以四川省盐亭县为例

罗怀良*, 闫 宁

四川师范大学地理与资源科学学院, 西南土地资源评价与监测教育部重点实验室, 成都 610101

摘要: 在分析盐亭县近 63 年来 (1950—2012) 种植业生产发展的基础上, 选取该县农村社会经济条件相对稳定的近 32 年 (1981—2012) 为研究时段。运用农业生态气候适宜度方法, 依据水稻、红薯、玉米、小麦和油菜等 5 种主要作物生育期的光、热、水等气候条件, 分别估算各种作物的资源适宜指数、效能适宜指数和利用指数, 构建小尺度区域种植业气候适宜度模型和种植活动对区域种植业气候适宜度的影响度模型, 进行小尺度区域种植业气候适宜度以及种植活动对种植业气候适宜度的影响度估算, 并对种植业生产对气候变化的适应进行探讨。研究结果表明, (1) 近 32 年来盐亭县大春作物的平均资源适宜指数、效能适宜指数和利用指数 (分别为 0.578、0.281 和 48.37%) 均大于小春作物 (分别为 0.304、0.128 和 42.24%), 大春作物的气候适宜度高于小春作物, 且作物间的气候适宜度差异较大。(2) 受季风气候波动的影响, 该县作物气候适宜度有明显的年际波动; 该县近 32 年来气候变化对大春作物气候适宜度有轻微不利影响, 而对小春作物气候适宜度趋于有利。(3) 盐亭县近 32 年来种植业平均的资源适宜指数为 0.466、效能适宜指数为 0.212、利用指数为 45.49%; 受 5 种作物资源适宜指数、效能适宜指数, 以及作物播种面积与产量年际波动的综合影响, 该县种植业气候适宜度亦有明显的年际波动; 气候变化对该县种植业气候适宜度总体上有不利影响。(4) 近 32 年来该县种植活动对种植业气候适宜度的影响度平均值为 0.00092, 其年际波动较大。通过作物种植组合结构的调整, 在 20 世纪 90 年代中期前对种植业气候适宜度的提高有微弱的正向影响, 对气候变化有一定程度的适应; 而后期则有负向作用。

关键词: 作物; 种植业; 气候适宜度; 种植活动; 气候变化

Study on climatic suitability for planting and effect of crop planting activities on climatic suitability: a case study of Yanting County, Sichuan Province, China

LUO Huailiang*, YAN Ning

College of Geography and Resources Science, Sichuan Normal University, Key Laboratory of Land Resources Evaluation and Monitoring in Southwest (Sichuan Normal University), Ministry of Education, Chengdu 610101, China

Abstract: The analysis of crop planting development in Yanting County, Sichuan Province, China from 1950 to 2012 identified a period of relatively stable rural social and economic conditions in the last 32 years (1981—2012), which interval was selected as a research period. Five types of crops including rice, sweet potato, corn, wheat, and rape were chosen as research crops. Light, heat, precipitation, and other climate parameters were recorded during the growth period of these five crops to estimate resource suitability indices, effective suitability indices, and utilization indices for these crops using a method of agro-climatic suitability. To establish a climatic suitability model for crop planting and an estimation model of the degree to which planting activities affect the planting climatic suitability in a small-scale region, the climatic

基金项目: 国家自然科学基金 (41371125); 四川省教育厅 2013 年度自然科学基金项目 (13ZA0147)

收稿日期: 2015-05-07; **网络出版日期:** 2015-00-00

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: huaill@163.com

suitability for planting and the impact of planting activities on climatic suitability for crop planting were estimated for Yanting County, and selected as a model for a small-scale region, in the last 32 years. The adaptations of regional crop planting activities on climate change were primarily discussed. The following results were obtained. (1) The average resource suitability index, effective suitability index, and utilization index for spring crops (0.578, 0.281, and 48.37%, respectively) were higher than those for autumn crops (0.304, 0.128, and 42.24%, respectively). Significant differences were observed among climatic suitability indices for the five main crops, and climatic suitability degree for spring crops was higher than that for fall crops. (2) Significant inter-annual fluctuations in the degree of crop climatic suitability in Yanting County were caused by the monsoon climate. There was an insignificant negative effect of climate change on the degree of climatic suitability for spring crops, and a limited positive effect on that for fall crops during the last 32 years. (3) The average resource suitability index, effective suitability index, and utilization index for crop planting in Yanting County over the last 32 years were 0.466, 0.212, and 45.49%, respectively. As a result of inter-annual fluctuation of the resource suitability index, effective suitability index, sowing area, and yield of the five crops, the degree of climatic suitability for crop planting fluctuated significantly in the county during the study period. Climate change had a negative effect on the degree of climatic suitability for planting. (4) The average degree to which crop planting activities affected the extent of climatic suitability for planting was 0.00092 in the study period and it was variable. Crop planting activities can alter the degree of climatic suitability for planting by adjusting the combination of planted crops. A slight positive impact of crop planting activities on the degree of climatic suitability for planting in the county was identified before the middle of the 1990s, indicating that there was a slight adaptation to climate change during this period. A negative influence of crop planting activities on the degree of climatic suitability for planting in the county was observed after the middle of the 1990s.

Key Words: crops; planting; climate suitability; crop planting activity; climatic change

农业是气候变化最敏感的部门之一,农业生态气候具有很强的季节性和地域性,受自然和人文的双重影响,使农业生产成为一个具有复杂生化机制的生态系统^[1]。20 世纪 80 年代,国内学者运用系统论思想和模糊数学方法建立了农业生态气候适宜度的研究方法^[2-3],促进了农业气候资源分析、评价客观化和模糊量化^[4]。随后,国内学者在气候要素对作物适宜度的隶属函数建立、作物气候适宜度估算、不同尺度农业生态气候资源的分区与分类评价等方面进行了大量研究^[5-8]。此前的研究主要集中在气候要素对具体作物的适宜上,缺乏区域种植业气候适宜度的综合研究,也少有考虑种植生产活动的影响;且多为静态研究,对气候变化背景下的动态研究尚未见报道。

在气候变化影响扩大,而减缓行动推进缓慢的形势下,制定有效的气候变化适应对策已成为当前应对气候变化的共识和明智选择^[9-13]。气候变化对以自然资源为生产基础的农业特别是种植业的影响尤为明显,我国种植业以家庭小规模生产经营为主,其对气候变化的适应多表现为自发适应。国内外学者就农户对气候变化的感知和适应进行了大量研究^[14-17],并形成基于家庭尺度的“感知—适应”研究框架^[18]。进行气候变化背景下区域种植业气候适宜度的动态估算及其种植活动对区域种植业气候适宜度的影响,可以定量评估区域种植业的气候资源,也可以为进一步探究区域种植活动对气候变化的适应奠定基础。

本研究以位于川中丘陵地区、地形与气候等自然条件相对一致的县级小尺度区域——盐亭县为研究对象,选取政策因素、生产条件和生产技术相对稳定的时期为研究时段,将该时段气候变化与种植活动综合起来,构建小尺度区域种植业气候适宜度模型和种植活动对区域种植业气候适宜度的影响度模型,探讨小尺度区域种植业气候适宜度、种植活动对区域种植业气候适宜度的影响度,以期对小尺度区域种植业活动对气候变化的适应进行初步探讨。

1 研究区概况与数据来源

1.1 盐亭县概况

本研究以四川省盐亭县为研究对象。该县位于川中丘陵地区中北部,介于 $105^{\circ}12'17''\text{E}$ — $105^{\circ}43'20''\text{E}$ 和 $30^{\circ}58'31''\text{N}$ — $31^{\circ}29'40''\text{N}$ 之间,面积 1645.45km^2 。2012 年末总人口 59.9 万人,人口密度为 $364\text{人}/\text{km}^2$,城市人口 10.8 万,城市化水平较低(18.0%)。该县是一个典型的山丘县,地貌以丘陵和低山为主(分别占 33.6% 和 40.2%)^[19]。该县属中亚热带季风气候,四季分明,降雨集中。盐亭县从 20 世纪 60 年代初开始有计划地植树造林,特别是通过 70 年代的大规模造林,在川中丘陵地区形成了典型的农林复合生态系统模式^[19-20]。受人类活动的强烈影响,地带性植被(亚热带常绿阔叶林)几乎完全被人工桉(木)柏(木)混交林、次生柏树小乔、茅草灌丛、湿生水生群落和农作物等替代。该县是川中丘陵地区紫色土的主要分布区之一,土壤以紫色土和水稻土为主,分别占耕地面积的 72.8% 和 23.26%。

2012 年盐亭县三次产业结构的比例为:36.4:37.5:26.1。从总体上讲,该县经济结构仍处于较低发展层次,是一个经济相对落后的农业大县。该县种植业一年两熟,以粮食生产为主,兼有部分经济作物。大春主要种植水稻、玉米、甘薯、花生、芝麻、高粱、大豆等。而小春主要种植小麦、油菜、马铃薯等。本研究选取该县种植面积和产量均较大的水稻、玉米、红薯、小麦和油菜等 5 种主要作物为代表,进行区域种植业气候适宜度及种植活动的影响研究。

1.2 数据来源

本研究中所涉及到的盐亭县作物种植制度、历年耕地面积、5 种主要作物(水稻、红薯、玉米、小麦和油菜)的生育期、历年播种面积和产量(单产和总产量)等种植业生产数据均来源于《盐亭县志》^[19]、《盐亭县土壤》(盐亭县农业局、土壤普查办公室,1984 年 10 月)、《盐亭统计年鉴 1998(盐亭县建国五十年历史资料)》(盐亭县统计局,1999 年 9 月)和《盐亭县统计年鉴 1999—2013》(盐亭县统计局,1999—2013 年),以及野外田间调查资料等。结合前人研究和盐亭县相关资料^[20],盐亭县 5 种作物的生育期为:水稻从 4 到 9 月,玉米从 4 到 8 月,甘薯从 6 到 10 月,小麦从第一年的 10 月至次年 4 月,油菜从第一年的 11 月至次年 4 月。近 32 年来(1981—2012)盐亭县的逐月气温、日照百分率、降水量和蒸发量等气象数据均来自于该县气象局观测资料。

2 盐亭县种植业生产分析及研究时段选取

2.1 盐亭县种植业生产发展特征

盐亭县近 63 年来(1950—2012)农业统计资料显示,水稻、红薯、玉米、小麦和油菜等 5 种作物的播种面积占全县农作物总播种面积的 77% 以上,是该县 10 多种作物中的主要作物。一般而言,作物单产水平是种植业生产水平的重要标志之一。对该县近 63 年来 5 种主要作物的单产进行统计,其变化情况见图 1。

从图 1 中可以看出,盐亭县近 63 年来(1950—2012)种植业生产发展有以下特征:(1)该县 5 种作物的单产均呈上升趋势。(2)该县种植业发展有一个十分明显的分界点:20 世纪 80 年代初。此前,作物单产持续增长;而后期单产相对稳定。这表明,该县种植业生产水平在 20 世纪 80 年代以后进入一个产量较高、并相对稳定的阶段。

2.2 研究时段的选取及研究时段的气候变化

上世纪 80 年代初我国农村宏观经济政策(特别是土地利用政策)发生重大改革^[21]。从 1980 年开始实施联产承包责任制后,农村及农业宏观政策进入一个相对稳定的时期。在这种相对稳定的宏观社会经济条件下,盐亭县农业生产条件和种植技术变化不大、种植业生产水平相对稳定。其种植业生产对气候变化的适应主要表现为农户自发的作物种植组合调整(包括主动和被动调整),适应机制相对一致。故本研究选取农村实行联产承包责任制以来社会经济条件相对稳定的近 32 年(1981—2012)为研究时段,进行区域种植业气候适宜度及种植活动的影响研究。

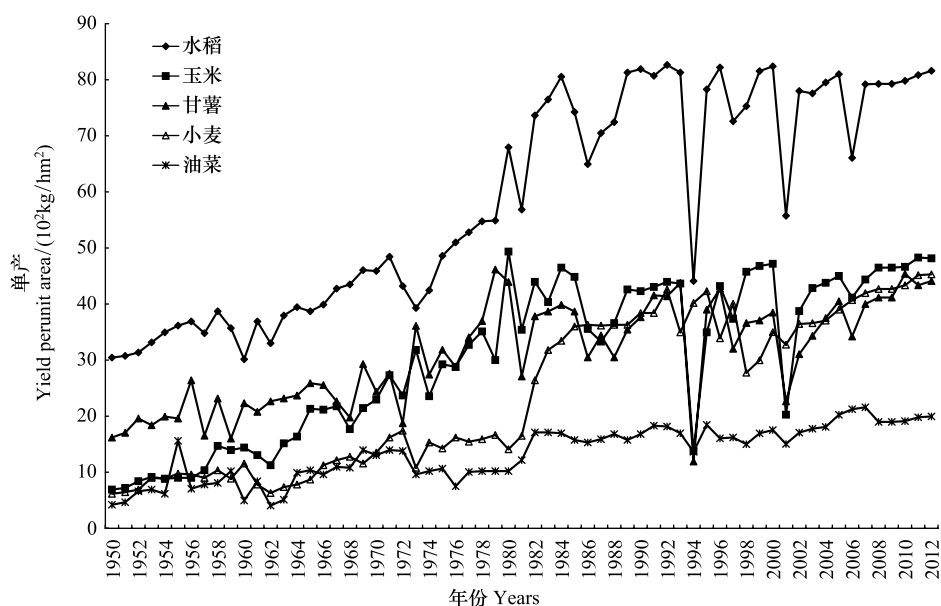


图1 盐亭县近 63 年来主要农作物单产变化图

Fig.1 Change of main crops' per units yield in Yanting County during the last 63 years

与我国其他大部分地区近 100 年来显著增温的趋势不一致,该县近半个世纪(1960—2005)存在较为明显的先降温后升温、趋干和日照相对稳定的特征^[22]。本文对盐亭县近 32 年来(1981—2012)年平均气温和年降水量进行统计(见图 2)。可以看出,从 20 世纪 80 年代起,该县年平均气温有逐步上升的趋势(20 世纪 80 年代的年平均温为 16.39℃,90 年代为 16.62℃,21 世纪第一个十年为 16.97℃),而年降水量存在下降趋势(20 世纪 80 年代的年平均降水量为 946.5mm,90 年代为 937.0 mm,21 世纪第一个十年为 788.3 mm)。该时段的气候变化与全球气候变化的大趋势存在相似性。

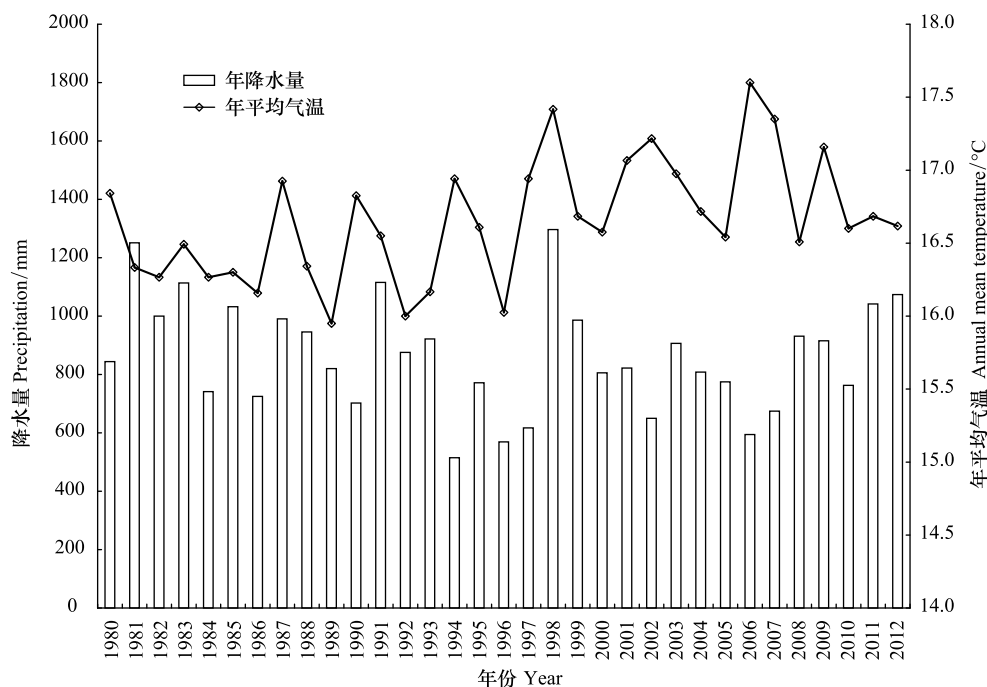


图2 盐亭县近 32 年来年平均气温曲线与年降水量柱状图

Fig.2 The annual average temperature curve and precipitation histogram of Yanting County during the last 32 years

3 区域种植业气候适宜度及种植活动对区域种植业气候适宜度的影响度估算

农业(种植业)对气候变化的反映敏感而脆弱,由于其投资见效周期短,相对于其它行业又更容易适应^[9]。农业(种植业)可以通过调整种植制度和布局、选育良种、加强气候灾害防控、完善农业基础设施等措施^[23]来适应气候变化。本文拟运用农业生态气候适宜度方法,在估算作物气候适宜度的基础上,构建小尺度区域种植业气候适宜度模型和种植活动对区域种植业气候适宜度的影响度模型,进而估算区域种植业气候适宜度及种植活动对种植业气候适宜度的影响度。

3.1 作物气候适宜度的估算

本文采用农业气候适宜度的方法^[7],进行盐亭县作物气候适宜度及动态估算:首先根据作物生长的三基点温度、日照百分率临界点以及降水中可供蒸散量与农田最大蒸散量等指标,用模糊子集的升半岭形和降半岭形分布以及降半正态分布和升半正态分布等^[24]对应取交,分别建立气温、日照时数与降水量对作物生长的适宜隶属函数。再对作物气候要素适宜隶属函数进行综合,求取资源适宜指数、效能适宜指数与利用指数来表征作物的气候适宜度。

光、热、水等气候要素对作物生长的适宜隶属函数分别见公式(1)~(3)^[7]:

$$S_T(t_i) = \begin{cases} 0, & t_i < t_L \text{ 或 } t_i > t_H \\ \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \sin\left[\frac{\pi}{t_L - t_{S_1}}\left(t_i - \frac{t_{S_1} + t_L}{2}\right)\right], & t_L \leq t_i \leq t_{S_1} \\ \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \sin\left[\frac{\pi}{t_H - t_{S_2}}\left(t_i - \frac{t_{S_2} + t_H}{2}\right)\right], & t_{S_2} \leq t_i \leq t_H \\ 1, & t_{S_1} < t_i < t_{S_2} \end{cases} \quad (1)$$

式中, $S_T(t_i)$ 为温度适宜隶属函数; t_i 为 i 时段(月)的平均温度; t_L 、 t_H 、 t_{S_1} 和 t_{S_2} 分别为作物生长三基点温度的最低温度、最高温度,以及最适温度的上、下限。5 种作物的三基点温度值依据文献[25]、[26]和[27]确定。

$$S_R(f_i) = \begin{cases} 1, & f_i \geq f_0 \\ e^{-\left(\frac{f_i - f_0}{b_r}\right)^2}, & f_i < f_0 \end{cases} \quad (2)$$

式中, $S_R(f_i)$ 为日照时数隶属函数; f_i 为 i 时段(月)的日照百分率; f_0 为日照百分率的临界点,本文取各月日照百分率的 70%^[5]; b_r 为常数,通过拟合求得。

$$S_W(p_i) = \begin{cases} 1, & p_i \geq \frac{K_c \times \alpha \times E_{p_i}}{1 - C} \\ e^{-\left[\frac{(1-C)p_i - K_c \times \alpha \times E_{p_i}}{b_w}\right]^2}, & p_i < \frac{K_c \times \alpha \times E_{p_i}}{1 - C} \end{cases} \quad (3)$$

式中, $S_W(p_i)$ 为水分隶属函数; p_i 为 i 时段(月)的降水量; c 为地表和渗入地下的流出量占降水量的比例系数,一般取作 0.2^[28]; K_c 为作物系数,水稻、玉米、甘薯、小麦和油菜等 5 种作物的 K_c 值分别取作^[26]: 1.30、1.20、1.10、0.95 和 0.90; α 为系数,介于 0.80—1.20^[26],本文结合实际情况将 α 取作 1.20; E_{p_i} 为 i 时段(月)小型蒸发皿($d=200\text{mm}$, $h=100\text{mm}$)的实测蒸发量; b_w 为常数,通过拟合求得。

各种作物的资源适宜指数 I_{sr} 、效能适宜指数 I_{se} 的计算见公式(4)和(5)^[4,7]:

$$I_{sr} = \frac{1}{3n} \sum_{i=1}^n [S_T(t_i) + S_R(f_i) + S_W(p_i)] \quad (4)$$

$$I_{se} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [S_T(t_i) \wedge S_R(f_i) \wedge S_W(p_i)] \quad (5)$$

在(4)和(5)两式中, $S_T(t_i)$ 、 $S_R(f_i)$ 和 $S_W(p_i)$ 分别为 i 时段的温度、日照和水分对作物生长的适宜隶属函数值。 n 为作物生育期的持续月数。 I_{sr} 为资源适宜指数,表示作物在生育期内气候要素资源的适宜状况。 I_{se} 为效能适宜指数,表示作物在生育期内光、热、水配合的适宜程度。将资源适宜指数 I_{sr} 与效能适宜指数 I_{se} 进行对比,可以得出作物的利用指数 K ,即 $K = I_{se} / I_{sr}$ 。 K 值愈大,气候资源的利用率愈高;反之利用率愈低。

3.2 小尺度区域种植业气候适宜度的估算

3.2.1 小尺度区域种植业气候适宜度模型的构建

受气候等自然环境的制约以及社会经济条件的影响,每个区域都有自己的种植制度(如熟制、适宜种植的作物以及作物结构等)以及种植条件(包括作物品种选育、种植经营管理、灾害防控及农业基础设施等)。在地形起伏不大的县级小尺度区域,其内部的气候、社会经济背景条件均相对一致。在讨论这类小尺度区域种植业气候适宜度时,可以忽略其内部差异,将区域视为一个相对一致的整体。

区域种植业气候适宜度(即各种作物气候适宜度的综合)既受气候条件的制约,也有种植活动的影响。其中,气候变化通过影响作物的气候适宜度而影响区域种植业气候适宜度。而种植活动则主要是通过调节作物种植组合的比例结构,以及通过改进种植方式和改善种植条件等方式影响区域种植业气候适宜度。在本文选取的研究时段内盐亭县种植业生产相对稳定,其作物品种选育、种植经营管理(种植技术、田间管理等)、灾害防控(气象灾害与作物病虫害防控等)及农业基础设施(水利工程建设、坡改梯等)等在该县级区域尺度上均未发生显著性改变。种植活动对区域种植业气候适宜度的影响主要体现为作物种植组合结构调整(包括大春与小春种植季的组合调整,以及大春、小春种植季内的作物组合或搭配结构等调整)。

因此,对小尺度区域的“区域种植业气候适宜度”(即区域种植制度下或种植组合结构下,区域各种作物气候适宜度的综合)的测度主要应考虑该区域一年中各个种植季节间的组合,以及各个种植季节内的作物组合或搭配情况来综合主要作物的气候适宜度。有鉴于此,本文在前述作物资源适宜指数、效能适宜指数的基础上,通过“种植季权重系数”和“种植季内作物权重系数”分别将区域内主要作物的资源适宜指数和效能适宜指数进行综合,构建区域种植业气候适宜度模型。其计算公式为:

$$P_{sr} = \sum_{k=1}^m \left(\sum_{j=1}^l I_{sr_{kj}} D_{kj} \right) D_k \quad (6)$$

$$P_{se} = \sum_{k=1}^m \left(\sum_{j=1}^l I_{se_{kj}} D_{kj} \right) D_k \quad (7)$$

在(6)、(7)式中, P_{sr} 为区域种植业资源适宜指数。 k 为区域的熟制数(作物年种植季节数), $k = 1, 2, \dots, m$; 盐亭县为一年二熟区域, $m = 2$ 。 j 为某一种种植季节的第 j 种作物, $j = 1, 2, \dots, l$; 在本文中,大春种植季的作物数为 3 种($l = 3$):水稻、红薯、玉米;小春种植季的作物数为 2 种($l = 2$):小麦和油菜。 D_{kj} 表示第 k 种植季内的第 j 种作物的作物权重系数。 $I_{sr_{kj}}$ 为第 k 种植季的第 j 种作物的资源适宜指数。 P_{se} 为区域种植业效能适宜指数。 $I_{se_{kj}}$ 为第 k 种植季的第 j 种作物的效能适宜指数值。 D_k 为第 k 种植季的种植季权重系数。

将区域种植业资源适宜指数(P_{sr})和区域种植业效能适宜指数(P_{se})进行比较,可以得到为区域种植业

利用指数(P_K): $P_K = \frac{P_{se}}{P_{sr}} \times 100\%$ 。

3.2.2 小尺度区域种植业气候适宜度模型中相关权重系数(D_{kj} 和 D_k)的确定

在小尺度区域种植业气候适宜度模型中,同一种种植季内的各种作物气候适宜度是通过种植季内作物权重系数(D_{kj})综合为种植季的种植气候适宜度。对于起伏不大的县级小尺度区域而言,同一种种植季节内种植的各种作物,其气候生态条件相似,生育期差异亦较小。作物产量既是选择作物考虑的重要指标,也是重要的作物生产可比指标。参考农用地分等中标准粮产量折算的方法^[29-31],将种植季内的各种作物产量折算成标准产量,用种植季内的各种作物标准产量占同季所有作物标准产量总和的比例作为种植季内作物权重系数(D_{kj})。其计算公式为:

$$D_{kj} = \frac{Y'_{kj}}{Y'_k} = \frac{Y_{kj} \times \beta_{kj}}{\sum_{j=1}^l Y_{kj} \times \beta_{kj}} \quad (8)$$

式中, D_{kj} 为第 k 种植季内第 j 种作物的作物权重系数; Y'_{kj} 为第 k 种植季内第 j 种作物的标准粮产量; Y_{kj} 为第 k 种植季内第 j 种作物的实际产量; β_{kj} 为第 k 种植季内第 j 种作物的产量折算系数, 参考相关文献^[29,32], 盐亭县水稻、玉米、红薯、小麦和油菜等 5 种作物的产量折算系数分别取作: 1.00、1.05、0.23、0.99、1.68; Y'_k 为第 k 种植季内种植作物的标准粮总产量。

各个种植季的种植气候适宜度是通过种植季权重系数(D_k)综合为区域种植业气候适宜度的。对于不同种植季节来说, 既应扩大作物气候适宜度高的种植季节的作物播种面积, 同时也应保证全年有足够的作物播种总面积, 才能做到气候资源和土地资源的有效利用。故在熟制为 k 的小区域中, 拟采用一年中第 k 种植季作物的总面积与该区域全年作物种植总面积的比值作为该种植季的种植季权重系数(D_k)。其计算公式为:

$$D_k = \frac{S_k}{\sum_{k=1}^m S_k} = \frac{\sum_{j=1}^l S_{kj}}{\sum_{k=1}^m \sum_{j=1}^l S_{kj}} \quad (9)$$

式中, D_k 为第 k 种植季的种植季权重系数; S_k 为第 k 种植季内所有作物的总播种面积; S_{kj} 为第 k 种植季内第 j 种作物的播种面积; 其余符号含义同前。

3.3 种植活动对区域种植业气候适宜度的影响度模型

一个区域的作物或种植业资源适宜指数可以看作区域气候对作物或种植业适宜程度的自然上限。而种植生产活动一方面可以通过改善生产条件和种植技术来克服气候要素中的一些限制因子, 优化气候要素的配合, 进而提高作物或种植业的效能适宜指数; 另一方面也可以选择种植气候适宜度高的作物, 通过优化作物组合结构来提高区域种植业的效能适宜指数。由于近 32 年来盐亭县种植业生产条件和种植技术未发生显著性改变, 本文仅讨论作物种植组合结构调整对种植业气候适宜度的影响。

利用区域研究时段各种作物标准粮食产量所占种植季的平均比重即“种植季内作物权重系数平均值”($\bar{D}_{kj}$)和区域研究时段各种种植季节作物播种面积占全年作物播种面积的平均比值即“种植季权重系数平均值”($\bar{D}_k$), 结合研究时段内主要作物历年的资源适宜指数和效能适宜指数, 通过公式(6)和(7)分别求取该区域研究时段历年的“种植业资源适宜指数基准”($\bar{P}_{sry}$)和“种植业效能适宜指数基准”($\bar{P}_{sey}$)作为评价基准。再用该区域历年实际的种植季内作物权重系数、种植季权重系数、主要作物资源适宜指数和效能适宜指数, 求得历年实际的种植业资源适宜指数和种植业效能适宜指数。最后将区域历年实际的种植业资源适宜指数和种植业效能适宜指数同该区域历年的“种植业资源适宜指数基准”和“种植业效能适宜指数基准”进行比较, 可以计算出该区域历年种植活动对区域种植业气候适宜度的影响度。其计算公式如下:

$$A_{dy} = \frac{P_{sey} - \bar{P}_{sey}}{\max(P_{sry}, \bar{P}_{sry}) - \bar{P}_{sey}} \quad (10)$$

式中, A_{dy} 为第 y 年种植活动对区域种植业气候适宜度的影响度; P_{sey} 为第 y 年实际的种植业效能适宜指数; P_{sry} 为第 y 年实际的种植业资源适宜指数; $\bar{P}_{sey}$ 为第 y 年的种植业效能适宜指数基准; $\bar{P}_{sry}$ 为第 y 年的种植业资源适宜指数基准。当 A_{dy} 为正时, 种植活动对区域种植业适宜度有提高作用或种植活动能适应当年的气候特点; 反之, 亦然。

4 结果与讨论

4.1 盐亭县近 32 年来 5 种主要作物与种植业的气候适宜度

用盐亭县近 32 年来(1981—2012)历年逐月的太阳辐射、温度、降水量和蒸发量等气候数据与农作物的

生育期、三基点温度等结合起来,用公式(1)一(7)分别计算出该县历年 5 种主要作物的资源适宜指数、效能适宜指数和利用指数。再结合 5 种主要作物历年的播种面积、产量等种植业生产数据,用公式(8)和(9)计算出该县种植业历年的资源适宜指数、效能适宜指数和利用指数。其计算结果分别见表 1、图 3、图 4 和图 5。

表 1 盐亭县近 32 年来主要作物和种植业的气候适宜度平均值

Table 1 Average climatic suitability degree of main crops and planting in Yanting County during the last 32 years

适宜指标平均值 Average suitability	水稻 Rice	玉米 Corn	甘薯 Sweet potato	小麦 Wheat	油菜 Rape	种植业 Planting
资源适宜指数 resource suitability index	0.611	0.542	0.581	0.320	0.287	0.466
效能适宜指数 effective suitability index	0.267	0.279	0.297	0.137	0.119	0.212
利用指数 utilization index/%	43.49	51.17	50.75	42.85	41.63	45.49

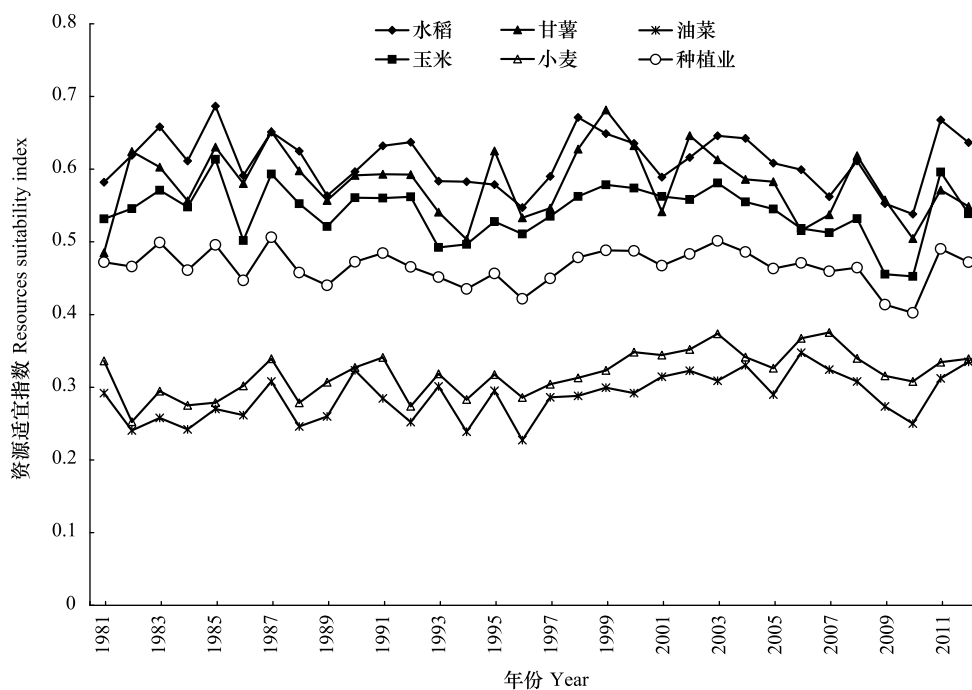


图 3 盐亭县近 32 年来 5 种主要作物及种植业的资源适宜指数

Fig.3 Resources suitability index of main crops and planting in Yanting County during the last 32 years

从表 1 和图 3、4 和 5 中可以看出,盐亭县近 32 年来主要农作物和种植业的气候适宜度有以下特点:

(1) 大春作物近 32 年平均的资源适宜指数(0.578)、效能适宜指数(0.281)和利用指数(48.37%)均大于小春作物(分别为 0.304、0.128 和 42.24%)。作物资源适宜指数平均值由高到低的排序为:水稻、甘薯、玉米、小麦和油菜;效能适宜指数平均值的排序为:甘薯、玉米、水稻、小麦和油菜;利用指数平均值的排序为:玉米、甘薯、水稻、小麦和油菜。这表明该县属亚热带湿润季风气候,光热水集中于夏季,大春作物的气候适宜度高于小春作物。

(2) 主要作物的资源适宜指数、效能指数和利用指数均存在较大的年际波动。大春作物的资源适宜指数、效能适宜指数和利用指数均呈不具有显著意义的下降趋势,而小春作物的资源适宜指数、效能适宜指数和利用指数均呈上升趋势。主要作物资源适宜指数的波动区间为:水稻(0.538—0.686)、玉米(0.453—0.614)、甘薯(0.485—0.682)、小麦(0.252—0.375)、油菜(0.227—0.348)。效能适宜指数的波动区间为:水稻(0.133—0.405)、玉米(0.125—0.420)、甘薯(0.169—0.431)、小麦(0.095—0.202)、油菜(0.078—0.181)。利用指数的波动区间为:水稻(22.23%—62.71%)、玉米(24.22%—72.24%)、甘薯(33.59%—68.51%)、小麦(31.98%—55.79%)、油菜(27.51%—54.96%)。这表明受季风气候波动的影响,作物气候适宜度有明显的年际波动;该

县近 32 年来气温上升、降水减少的气候变化对大春作物气候适宜度有轻微的不利影响,而对小春作物气候适宜度趋于有利。

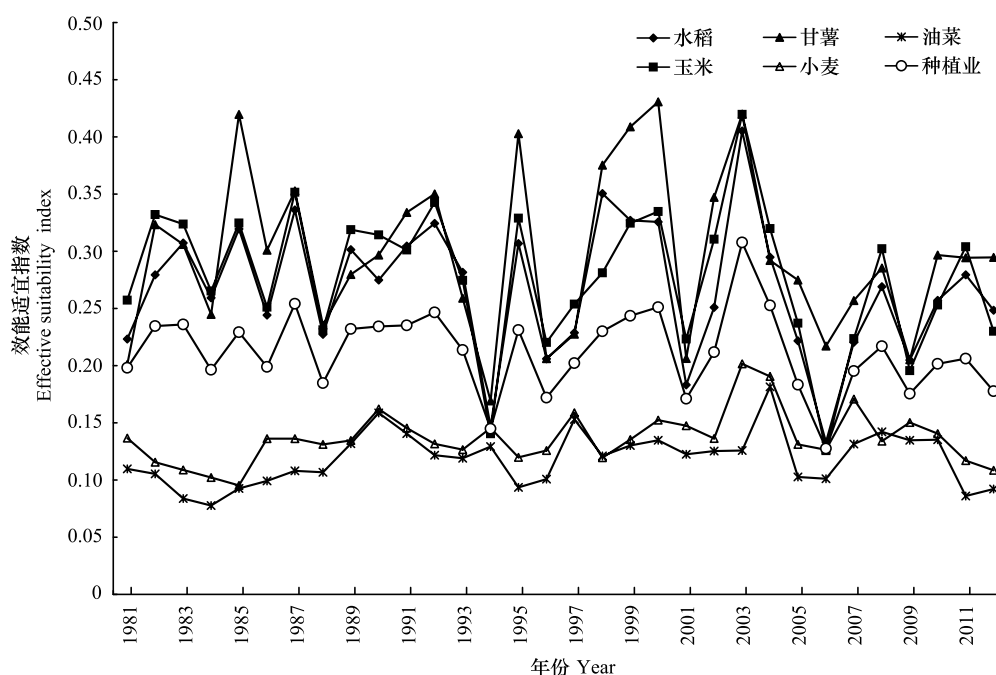


图 4 盐亭县近 32 年来 5 种主要作物及种植业的效能适宜指数

Fig.4 Efficient suitability index of main crops and planting in Yanting County during the last 32 years

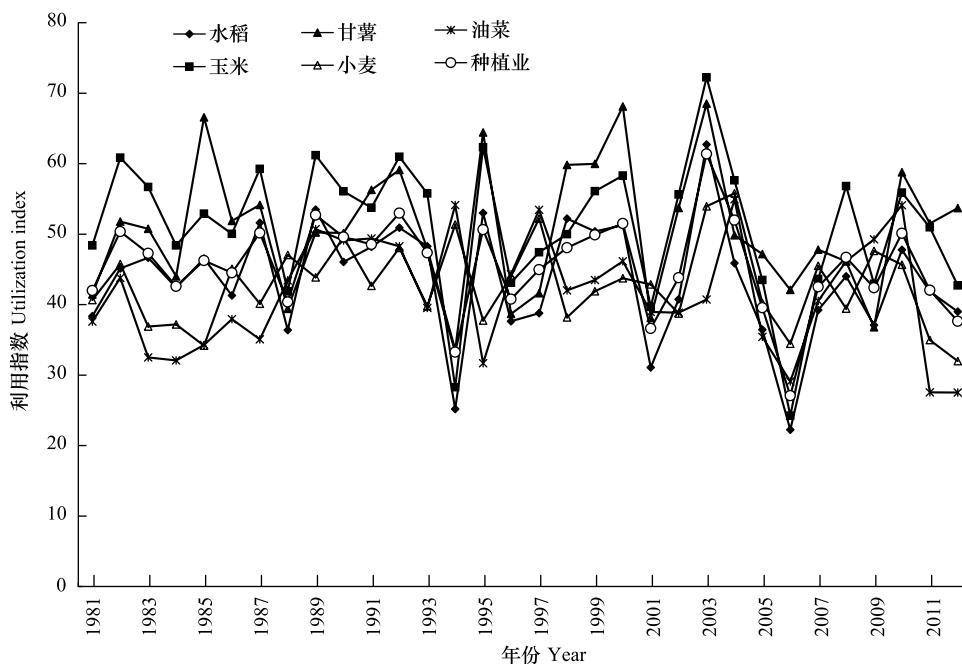


图 5 盐亭县近 32 年来 5 种主要作物及种植业的利用指数图

Fig.5 Utilization index of main crops and planting in Yanting County during the last 32 years

(3) 近 32 年来种植业平均的资源适宜指数为 0.466, 效能适宜指数为 0.212, 利用指数为 45.49%。该县种植业的资源适宜指数比较稳定, 波动较小 (波动区间为 0.402—0.506); 而效能适宜指数和利用指数波动较大 (波动区间分别为 0.128—0.308 和 27.08%—61.37%), 且呈下降趋势。这表明受 5 种主要作物资源适宜指

数、效能适宜指数,以及作物播种面积、产量年际波动的综合影响,近 32 年来该县种植业气候适宜度亦有明显的年际波动特征;近 32 年来气候变化对该县大春作物气候适宜度有轻微的不利影响,而对小春作物气候适宜度趋于有利,但该县种植业以大春作物(播种面积所占比重为 56.48%,标准量产量所占比重为 60.98%)为主,故气候变化对该县种植业气候适宜度总体上仍有不利影响。

4.2 近 32 年来盐亭县种植活动对区域种植业气候适宜度的影响度

用盐亭县 5 种主要作物近 32 年的播种面积和产量,可计算出该县大春和小春种植季内的作物权重系数平均值 $\bar{D}_{kj}$ 、种植季权重系数平均值 $\bar{D}_k$,进而计算出该县近 32 年来历年种植业的资源适宜指数基准 $\bar{P}_{sry}$ 和效能适宜指数基准 $\bar{P}_{sey}$ 。再结合种植业历年的资源适宜指数 P_{sry} 和效能适宜指数 P_{sey} ,用公式(10)可计算出该县近 32 年来种植活动对种植业气候适宜度的影响度,其计算结果见图 6。

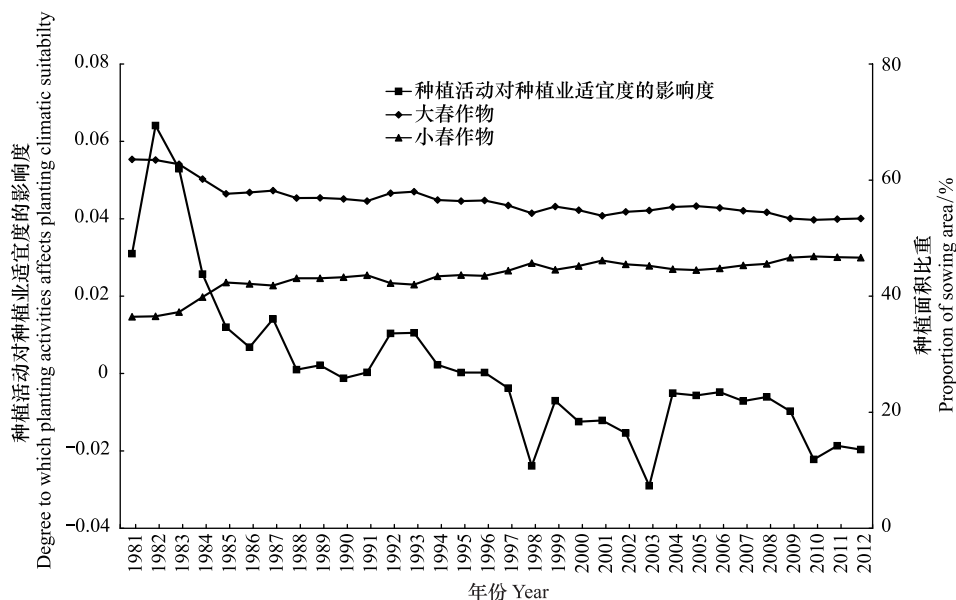


图 6 盐亭县近 32 年来种植活动对种植业气候适宜度的影响度以及大、小春作物种植面积比重变化图

Fig.6 The influence degree of crop planting activities for climatic suitability of planting and changes of sowing area proportion of spring crops and fall crops in Yanting County during the last 32 years

从图 6 中可以看出,近 32 年来该县种植活动对种植业气候适宜度的影响度平均值为 0.00092,其年际波动较大(波动范围为-0.0291—0.06409),且有比较明显的下降趋势。在 32 年中有 15 年的影响度为正值,其余年 17 年份为负值。表明该县种植活动通过作物种植组合结构的调整,在 20 世纪 90 年代中期前对种植业气候适宜度的提高有微弱的正向影响,对气候变化有一定程度的适应;而后期则有负向作用。

结合盐亭县近 32 年种植业生产等相关资料分析(图 6),出现上述现象的原因是,该县在 80 年代初期实行联产承包责任制时,农户生产积极性高涨,对光热水集中的大春生产重视,大春作物播种面积的比例高。而从 90 年代起,随着农业比较利益下降、出现外出务工潮,农村劳动力大量外流,土地撂荒现象时有发生,耗时、耗劳力的大春生产劳动力短缺,大春、小春作物结构组合发生变化、大春作物播种面积所占比重出现连续下降(20 世纪 80 年代为 59.98%、90 年代为 56.36%、21 世纪前十年为 54.64%、2010 年以后为 53.27%,见图 6)。这种大、小春作物播种面积结构的变化,以及大、小春种植季内作物种植结构的变化,在近 32 年气候变化背景下,综合表现为种植活动对种植业气候适宜度的影响度出现持续下降,在 20 世纪 90 年代中期前出现正值,而之后则出现负值。

5 结语

区域种植业气候适宜度受气候变化和种植活动的双重影响,而气候变化及其适应又是一个异常复杂的科

学问题,且两者均具有显著的地域性。本文仅对若干限制条件下小尺度区域种植业气候适宜度以及种植活动对其影响度的定量测度进行了尝试,即将讨论局限在生产条件和生产技术未发生显著变化的特定时段内,只考虑作物种植组合结构调整的影响,而未涉及生产条件改善和生产技术改进等方式的作用,也没有综合考虑种植业的经济效益。而实际的种植活动对区域种植业气候适宜度的影响以及对气候变化的适应受多种因素的综合作用,其测度或评估是相当复杂的,尚需进行更深入、更系统的综合探讨。

参考文献(References):

- [1] 白永平. 甘肃农业生态气候资源系统分析. 应用生态学报, 2000, 11(6): 827-832.
- [2] 顾恒岳, 艾南山, 陈国祯. 中国农业气候的动态分析. 兰州大学学报: 自然科学版, 1983, 19(4): 144-151.
- [3] 顾恒岳, 艾南山. 农业气候系统及其动态模型. 大自然探索, 1984, (1): 43-56.
- [4] 罗怀良, 陈国阶, 朱波. 农业生态气候适宜度研究进展. 中国农业资源与区划, 2004, 25(1): 28-32.
- [5] 黄璜. 中国红黄壤地区作物生产的气候生态适应性研究. 自然资源学报, 1996, 11(4): 340-346.
- [6] 晏路明. 农业气候系统功能的模糊综合评判. 系统工程理论与实践. 2001, 21(2): 133-137.
- [7] 罗怀良, 陈国阶. 四川洪雅县农业气候适宜度评价. 农业现代化研究, 2001, 22(5): 279-282.
- [8] 王丽霞, 任志远. 山西省大同市农业生态气候适宜度评价. 地理研究, 2007, 26(1): 53-59.
- [9] 葛全胜, 陈洋勤, 方修琦, 林海, 叶谦. 全球变化的区域适应研究: 挑战与研究对策. 地球科学进展, 2004, 19(4): 516-524.
- [10] OECD. Progress on adaptation to climate change in developed countries: An analysis of broad trends. [2014-09-20]. <http://www.oecd.org/env/cc/progressonadaptationtoclimatechangeindevelopedcountriesananalysisofbroadtrends.htm>.
- [11] UNFCCC. Climate change: impacts, vulnerabilities and adaptation in developing countries. [2014-09-20]. <http://unfccc.int/resource/docs/publications/impacts.pdf>.
- [12] 潘志华, 郑大玮. 适应气候变化的内涵、机制与理论研究框架初探. 中国农业资源与区划, 2013, 34(6): 12-17.
- [13] Keshavarz M, Karami E, Zibaei M. Adaptation of Iranian farmers to climate variability and change. Regional Environmental Change, 2014, 14(3): 1163-1174.
- [14] 常跟应, 李曼, 黄夫朋. 陇中和鲁西南乡村居民对当地气候变化感知研究. 地理科学, 2011, 31(6): 708-714.
- [15] 云雅如, 方修琦, 田青. 中国东北农业生产适应气候变化的行为经济学解释. 地理学报, 2009, 64(6): 687-692.
- [16] 侯向阳, 韩颖. 内蒙古典型地区牧户气候变化感知与适应的实证研究. 地理研究, 2011, 30(10): 1753-1764.
- [17] 赵雪雁. 农户对气候变化的感知与适应研究综述. 应用生态学报, 2014, 25(8): 2440-2448.
- [18] 李西良, 侯向阳, 丁勇, 尹燕亭, 刘志英, 运向军, 王海. 天山北坡家庭牧场尺度气候变化感知与响应策略. 干旱区研究, 2014, 31(2): 285-293.
- [19] 四川省盐亭县志编纂委员会. 盐亭县志. 成都: 四川文艺出版社. 1991: 63-66, 160-170.
- [20] 李文华, 赖世登. 中国农林复合经营. 北京: 科学出版社. 1994: 167-175.
- [21] 齐恩平. 我国农村土地政策的历史演进与比较分析. 天津师范大学学报: 社会科学版, 2014, (1): 57-61.
- [22] 罗怀良. 川中丘陵地区近 46 年来气候变化及早涝动态特征. 四川师范大学学报: 自然科学版, 2011, 34(2): 273-278.
- [23] 钱凤魁, 王文涛, 刘燕华. 农业领域应对气候变化的适应措施与对策. 中国人口·资源与环境, 2014, 24(5): 19-24.
- [24] 汪培庄, 韩立岩. 应用模糊数学. 北京: 北京经济学院出版社. 1989: 362-363.
- [25] 侯光良, 李继由, 张谊光. 中国农业气候资源. 北京: 中国人民大学出版社. 1993: 95-95.
- [26] 中国农业百科全书总编辑委员会农业气象卷编辑委员会, 中国农业百科全书编辑部. 中国农业百科全书-农业气象卷. 北京: 农业出版社. 1986: 20-21, 246-247, 370-370, 482-483.
- [27] 中国农业百科全书总编辑委员会农作物卷编辑委员会, 中国农业百科全书编辑部. 中国农业百科全书-农作物卷(上、下册). 北京: 农业出版社. 1991: 57-58, 168-168, 504-505, 614-614, 724-724, 730-731, 759-760.
- [28] 包浩生, 彭补拙. 自然资源学导论. 南京: 江苏教育出版社. 1993: 37-38.
- [29] 袁天凤, 张孝成, 邱道持, 魏朝富, 谢德体. 农用地分等中最大自然质量等指数可比性探讨. 资源科学, 2007, 29(1): 48-55.
- [30] 牛海鹏, 张安录, 张合兵, 司朝霞, 李瑞华. 整治后耕地质量标准建立及其应用——以河南省为例. 资源科学, 2009, 31(1): 136-141.
- [31] 孔祥斌, 张青璞, 郎文聚, 王洪波, 谭敏, 赵晶. 基于平衡转换的国家级农用地分等成果汇总方法. 农业工程学报, 2013, 29(16): 238-246.
- [32] 骆世民. 农业生态学. 长沙: 湖南科学技术出版社, 1987: 451-451.