

近20年河湟谷地粮食作物种植结构 对气候变化的响应

陈有禄,周强,陈琼,毛旭峰,刘峰贵

(青海师范大学生命与地理科学学院,青海 西宁 810008)

摘要:近百年来北半球的显著增温,已经对农业生产的产量、熟制和种植结构等产生深刻影响。本研究通过河湟谷地农户对气候变化的感知和主要粮食作物种植结构面积的调查,并运用快速聚类方法进行分析表明:近20年河湟谷地主要粮食作物播种面积比例结构变化显著,薯类种植面积大范围增加,小麦种植面积快速下降,其种植范围在地域空间上向东退缩,玉米播种面积增加显著,并向西部和高海拔地区扩展。河湟谷地主要粮食作物种植结构由小麦-薯类作物,逐渐向玉米-薯类-小麦等多样化、喜温作物方向发展。

关键词:河湟谷地;气候变化;粮食作物;种植结构

中图分类号:S162.3 **文献标志码:**A

The response of grain crops in Hehuang Valley to the climate change nearly 20 years

CHEN You-lu, ZHOU Qiang, CHEN Qiong, MAO Xu-feng, LIU Feng-gui

(School of Life and Geographic Science, Qinghai Normal University, Xining, Qinghai 810008, China)

Abstract: In the past 100 years, the significant temperature rising in the Northern Hemisphere had profoundly influenced the yield, maturity and planting structure of agricultural products. Referring to the climate changes perceived by farmers in Yellow River-Huangshui River Valley and carrying out survey about the planting area of major crops in the local area, corresponding analysis by adopting the Fast Clustering Method was made. The results showed that: in the past 20 years, the proportional structure of the planting area of major crops in Yellow River-Huangshui River Valley changed significantly. The planting area of tubers increased and the planting area of wheat decreased rapidly. Moreover, it was shrinking to the East geographically. The planting area of corn increased significantly and it was expanding to the West and high-altitude regions. To conclude, the planting structure of major crops in Yellow River-Huangshui River Valley was transformed from wheat-tubers to diversified, thermophilic crops as corn-tubers-wheat and so on.

Keywords: Hehuang Valley; climatic change; grain crops; planting structure

近百年来由于温室效应的影响,全球平均气温升高了 0.5°C ^[1,2],特别是北半球高纬度地区气候变暖比较明显^[3]。因而影响到区域农业生产结构和全球粮食安全,已成为全球变化研究的热点^[4]。研究表明,气候变暖对中国农业的产量、熟制种植结构都产生一定影响^[5-6]。未来气候继续变暖将使我国农作物的种植结构发生巨大改变,据初步估算,2030年我国种植业产量将因全球变暖而减少5%~

10%,其中小麦、水稻和玉米三大农作物都可能会减产^[7],西北地区的研究也表明温度升高对该地区农业种植结构和产量产生了重大影响^[8-12]。热量资源增加使喜温农作物的范围向高海拔地区扩展,在水资源条件适当的情况下对喜温农作物的种植非常有益。河湟谷地地处青藏高原和黄土高原的过渡地带,属于干旱、半干旱气候,全球气候变化背景下该地区气候如何变化?该地区粮食作物的种植结

构对气候变化如何响应? 本文试图通过对河湟谷地气候变化的实际和粮食作物种植结构的变化来探讨粮食作物种植结构对气候变化的响应关系,以期为地方农业生产和规划提供参考。

1 研究区概况

河湟谷地位于青藏高原东北部,区域范围包括湟水河流域及黄河流域龙羊峡至寺沟峡一段,行政单元包括青海省的西宁市(含城西、城北、城中、城东、大通、湟中、湟源等 4 区 3 县)、海东市(含平安、乐都、民和、互助、化隆、循化等 2 区 4 县)以及海南藏族自治州的贵德县和黄南藏族自治州的同仁县、尖扎县,共 6 区 10 县,总面积约 $3.3\times 10^4\text{ km}^2$ 。

河湟谷地系湟水河、黄河及其支流冲积形成的河谷地区^[13],地势相对于青海其它地区海拔较低,气候温和,是青海省重要的农业生产基地,但是由于温度条件的限制,河湟谷地农业生产熟制为一年一熟,单位产量较低,耕地面积有限,随着近 20 年来气候变化和生产技术进步,部分地区由原来的一年一熟逐渐演变为二年三熟^[14,15],且这种种植区域有扩大的趋势,尤其是气候变化使河湟谷地农业种植结构发生显著变化。

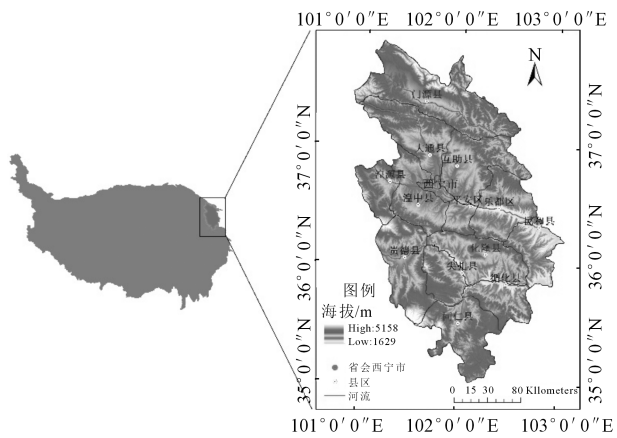


图 1 研究区位置
Fig.1 Location of the study area

2 数据来源与分析方法

2.1 数据来源

2.1.1 气象数据 本文选取 1991~2010 年河湟谷地 12 个气候站点气象数据主要来自中国气象数据共享服务网(<http://data.cma.cn>)。

2.1.2 粮食作物数据 1990~2012 年各县、区的粮食作物数据来自《青海省农业统计年鉴》^[16]和《青海省经济统计年鉴》^[17]。

2.1.3 问卷数据 样点主要均匀的分布在民和、互

助、平安、大通、湟中、湟源、海晏一区六县的 25 个村,总共发放 825 份问卷,收回 800 份问卷,有效率达 97%。

2.2 分析方法

2.2.1 数据分析 实测经验和理论推算均认为降水量在 350~500 mm 的地区发展旱作农业比较可靠,“有收无收在于水”是旱作农业的普遍共识,河湟谷地地区降水量在 400 mm 左右,是适合旱作农业的地区,同时春、夏季节降水量接近 300 mm,占全年降水量的 3/4 左右,雨热同季,有利于农作物生长。但与其它旱作农业区相比较,该地区属于青藏高原与黄土高原的过渡区域,海拔在 1 650 m 到 3 500 m 之间,农作物生长不仅受到水分因素的影响,同时也受因海拔导致的温度变化而产生的影响,其影响因素具有双重性,部分地区温度因素的限制可能大于水分因素。

气温和海拔高度影响下的积温是农作物生长的重要物理基础,本文选择 1991~2010 年积温变化作为本地区重要的限制性因子。河湟谷地近年气温上升比较显著,秋季和冬季的增温变化比较显著,20 世纪 90 年代比 60 年代和 80 年代的平均气温增高了 0.3~0.5℃^[18]。河湟谷地川水地区收获后,≥0℃的余热资源为 1 068~1 613℃·d,占全年的 39%~47%;浅山地区作物收获后,≥0℃的余热资源为 496~622℃·d,占全年的 35%~40%^[14]。收获后余热资源的总量较大,适合于农作物的生长,如冬小麦,蔬菜等,为河湟谷地余热资源的有效利用和种植结构的调整起到了铺垫作用。

河湟谷地粮食作物的种植结构主要有小麦、薯类、青稞、油菜和蚕豆等经济作物,熟制为一年一熟。近 20 年来河湟谷地农作物总播种面积呈现增加态势,其中经济作物的播种面积增加趋势明显,粮食作物的种植面积明显下降,冬小麦和喜温作物玉米的种植是一个新的发现^[19],并且近 20 年来种植面积不断扩大。因此,选择小麦、薯类、玉米 3 种主要粮食作物的播种面积变化来反映农作物种植结构变化。一般作物种植结构的变化可用作物各自所占总播种面积的百分比(A)或者作物各自占主要粮食作物的播种面积(粮食作物总播种面积之和)的百分比(B)进行判断,前者百分比变化往往受经济作物种植面积变化的影响较大,无法准确判断粮食作物种植结构的变化是经济作物增加导致的还是气候变化导致的,影响分析判断的结果;后者则是在粮食作物播种总面积的内部进行种植结构比较,总面积的变化不会影响其内部种植结构的比

较结果,能够真实反映粮食作物种植结构的变化判断。因此,本文采用后者(B)对河湟谷地粮食作物的种植结构进行判断。

2.2.2 快速聚类分析及数据处理 河湟谷地粮食作物的种植结构虽然只有三大类,但近 20 年的不同地区的组合类型相对复杂,属于大样本资料,因此需要将数据对象进行深度挖掘,按照其相似性归成若干类别。聚类分析是数据深度挖掘常用的技术和方法,其目的是可以将数据对象分成若干类,使同一个类中的对象高度相似,而不同类中的对象差异最大^[20]。

快速聚类法是采用欧氏距离法进行计算,其原则是每个样本点距离本组的矩心(本组数据平均值所构成的点)的最近距离来进行分类。聚类过程中必须使得组内的因子和预测量的方差变小,而使组间的距离增大。一般先给出一定的判别值,作为变动范围的限制值,其公式可写为^[21]:

$$EUCLID = \sqrt{\sum_{i=1}^k (x_i - y_i)^2} \tag{1}$$

其中, k 表示每个样本中有 k 个变量; x_i 表示第一个样本在第 i 个变量上的取值; y_i 表示第二个样本在第 i 个变量上的取值。

- (1) 初定组别。
- (2) 组的分割。计算 4 组内每一个因子的标准差及在该组中预报量的凝聚直径记为因子的标准差。
- $C_K = \max y_i - \min y_i \quad (i \in n_k; k = 1, 2, \cdots, G)$
- 将 4 组内每一个因子的标准差和每一组的极值与事先给定的阈值 δ 及 θ 进行比较,

$$S_{ki} = \sqrt{\frac{1}{n_k} \sum_{i=1}^n (x_{ij} - x_i)^2} \quad (i = 1, 2, \cdots, p; k = 1, 2, \cdots, G)$$

若在 3 个因子中,每一个因子的标准差最大者大于 δ 或 $C_k > \theta$,则将该组以 α 值分裂为两组。确定 α 值的办法:若每一组的极值 $\leq \theta$,则取第 k 组预报量 y 的中值,否则取标准差最大的那个因子的平均值作为分组界限。

- (3) 计算组间的距离,重复(2)-(3)步,直到组无法分割或合并为止^[22]。

在实际操作中,我们将 1990、1995、2003、2006、2010 年各县的小麦、薯类、玉米种植面积占 3 种作物总播种面积的百分比用快速聚类方法结合河湟谷地的实际情况我们把河湟谷地过去 20 年的种植

结构分为 4 类,即以小麦为主、以小麦和薯类为主、以薯类为主、以薯类、小麦和玉米多元发展趋势为主(表 1),在此过程中共有 840 个数据参加了分组,从而获得了每种种植结构类型的空间分布及其多年来的变化。

表 1 河湟谷地粮食作物种植结构类型及其聚类中心

Table 1 Patterns of crops structure and their cluster analysis center in YHV

聚类中心 Cluster centers	小麦/% Wheat	薯类/% Tubers	玉米/% Corn
以小麦为主的种植结构 The planting structure with wheat as the main	80.0	20.0	0.0
以小麦和薯类为主的种植结构 The planting structure with wheat and tubers as the main	52.8	47.2	0.0
以薯类为主的种植结构 The planting structure with tubers as the main	42.6	56.9	0.5
以薯类、小麦和玉米多元发展趋势的种植结构 The planting structure with wheat, tubers and corn as the main	37.3	56.6	6.1

3 结果分析

通过实测气象数据分析(图 2)和 800 份问卷的访谈调查证明(图 3),河湟地区近 20 年来降水稳定,水分条件基本能够保证大部分区域农作物生长的需求,热量条件的变化可能是造成河湟谷地粮食作物种植结构差异的主要原因。器测气温变化和农户对气温变化的感知基本一致。气象数据显示近 20 年降水变化不大,一直处在 350~400 mm 左右,适宜于农作物的生长,但在调查中 67.75% 的农户认为气候比较干燥,只有 24.88% 的人认为气候比较湿润,与实际降水相差较大,存在差异的主要原因可能是河湟谷地降水趋于集中,降水变率增大,频度减小,春夏季节降水集中,秋冬季降水减少。

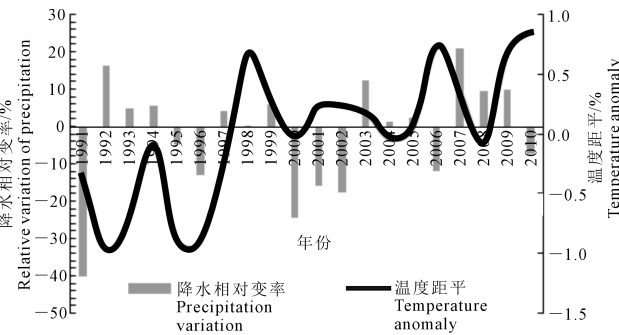


图 2 近 20 年河湟谷地年均温度和降水变化

Fig.2 Nearly 20 years in Yellow River-Huangshui River Valley (YHV) annual average temperature and precipitation changes

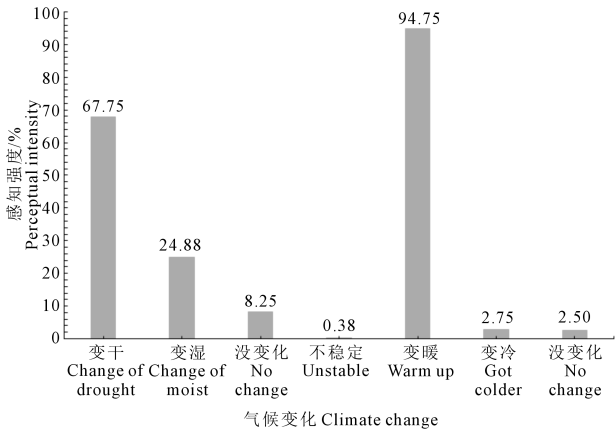


图3 河湟谷地农户对气候变化感知

Fig.3 Farmers perceive the intensity of climate change in YHV

本文将 1990、1995、2003、2006、2010 年作为典型年份,其中 1990 年代表气候变暖开始的第一个转折点^[23],1995 年代表气候显著变暖的年份,2003、2006、2010 年分别代表河湟谷地玉米、新经济作物等新种农作物的种植及扩大年份。然后根据河湟谷地各县、市、区小麦、薯类、玉米 3 种粮食作物的播种面积占其总播种面积的百分比划分不同的种植类型,再根据其变化情况划分为不同的结构类型。快速聚类过程中运用 5 年的数据得出河湟谷地过去 20 年的 4 类种植结构类型,1990 和 1995 年河湟谷地种植结构以小麦为主,2003 年河湟谷地种植结构演变为小麦和薯类为主,2006 年河湟谷地种植结构演变为薯类为主,到 2010 年后河湟谷地种植结构演变成以薯类、小麦和玉米等多元化农作物的种植结构。

1990 年以来,河湟谷地薯类的种植面积随着温度的升高不断地扩大^[24]。种植结构的更大变化主要发生在 2003 年左右,积温的变化可能是导致种植结构变化的主要原因,2000 年以后贵德县、乐都区、民和回族土族自治县、尖扎县、循化撒拉族自治县 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的积温均已达到 $\geq 2\,700^{\circ}\text{C}$,部分地区当时就出现了喜温农作物玉米的种植(表 2、图 5、图 6),因为玉米全生育期所需要的 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的积温为 $\geq 2\,700^{\circ}\text{C}$ ^[25,26]。由表 2 和当地实际情况可知河湟谷地 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温 $\geq 2\,700^{\circ}\text{C}$ 的地区都有玉米的种植,进一步说明积温的升高才使得玉米种植范围不断地扩大。

表 2 青藏高原 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 有效积温区划与相关作物系统^[26]

Table 2 10°C or higher effective accumulated temperature zone and related crop system of the Tibet plateau

有效积温带 Effective cumulative temperate/ $(^{\circ}\text{C}\cdot\text{d})$	种植区 Growing region	种植制度 Cropping system	作物类型 Crop type
3400~4500	冬小麦区 Winter wheat area	1 年 1 熟/2 年 3 熟 In one harvest a year/Three crops two years	冬小麦、玉米 winter wheat, corn
	春小麦区 Spring wheat area	1 年 1 熟 In one harvest a year	春小麦、玉米、大豆 spring wheat, corn, soybean
1600~3400	马铃薯区 Potato seed area	1 年 1 熟 In one harvest a year	春小麦、马铃薯 spring wheat, potato seed

3.1 粮食作物播种面积变化

近 20 年来河湟谷地主要粮食作物的总播种面积呈现减少趋势(图 4),粮食作物内部种植结构的面积比重也呈现出不同的变化趋势(图 5)。

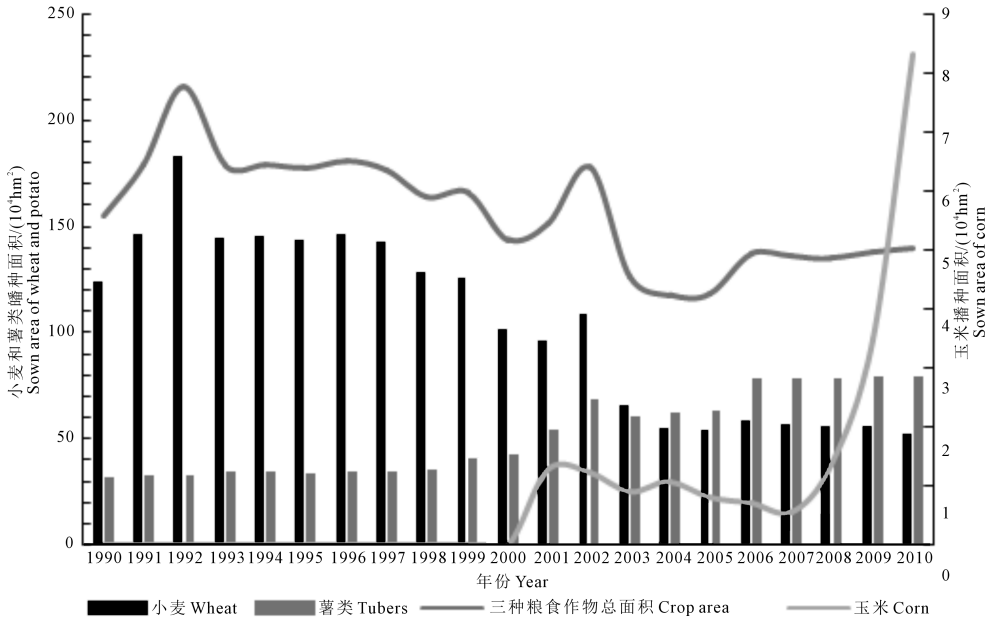
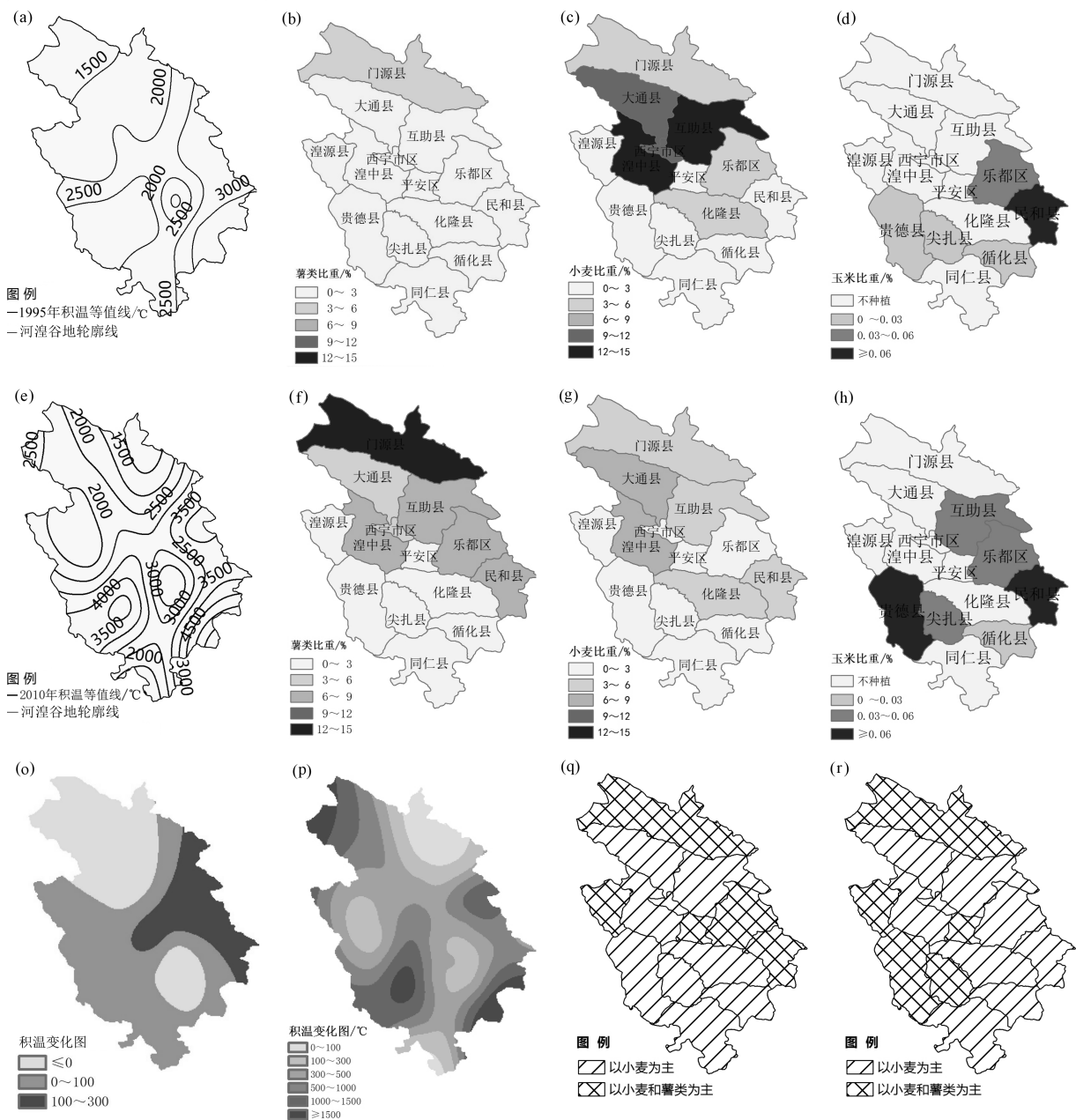


图 4 近 20 年河湟谷地主要粮食作物播种面积的变化

Fig.4 Changes of main grain crops planting areas in nearly 20 years in YHV



注:(a) 1995 年积温等值线;(b) 1995 年薯类比重;(c) 1995 年小麦比重;(d) 2003 年玉米比重;(e) 2010 年积温等值线;(f) 2010 年薯类比重;(g) 2010 年小麦比;(h) 2010 年玉米比重;(o) 1995~2003 年积温变化;(p) 1995~2010 年积温变化;(q) 1990 年;(r) 1995 年

Note: (a) accumulated temperature contour line in 1995; (b) potato proportion in 1995; (c) wheat proportion in 1995; (d) corn proportion in 1995; (e) accumulated temperature contour line in 2010; (f) potato proportion in 2010; (g) wheat proportion in 2010; (h) corn proportion in 2010; (o) variation of accumulated temperature between 1995 to 2003; (p) variation of accumulated temperature between 1995 to 2010; (q) 1990 year; (r) 1995 year

图 5 1995 和 2010 年代河湟谷地 10℃ 积温均值变化与主要粮食作物播种面积百分比变化

Fig.5 Changes of the mean accumulative temperature and the planting percentage in the 1995s and 2010s in YHV

20 世纪 90 年代前半叶,河湟谷地粮食作物种植结构主要以小麦为主,播种面积约为 $123.5\times10^4\text{ hm}^2$,1992 年开始下降,至 2010 年减少至 $52.1\times10^4\text{ hm}^2$,播种面积在 3 种农作物中的比例从 80% 下降到 37.4%;薯类种植面积在 2000 年之前一直徘徊在 $33\times10^4\text{ hm}^2$ 左右,约占当时 3 种粮食作物总播种面

积的 19% 左右,2000 年以后播种面积呈现上升趋势,至 2010 年播种面积增加到 $78.9\times10^4\text{ hm}^2$,约占 3 种粮食作物播种面积的 56.7%;2001 年新的变化是本地区开始出现喜温作物玉米的种植^[27],播种面积一直呈现增加趋势,粮食作物种植结构由原来的以小麦为主逐渐演变为以薯类、小麦和玉米多元发展

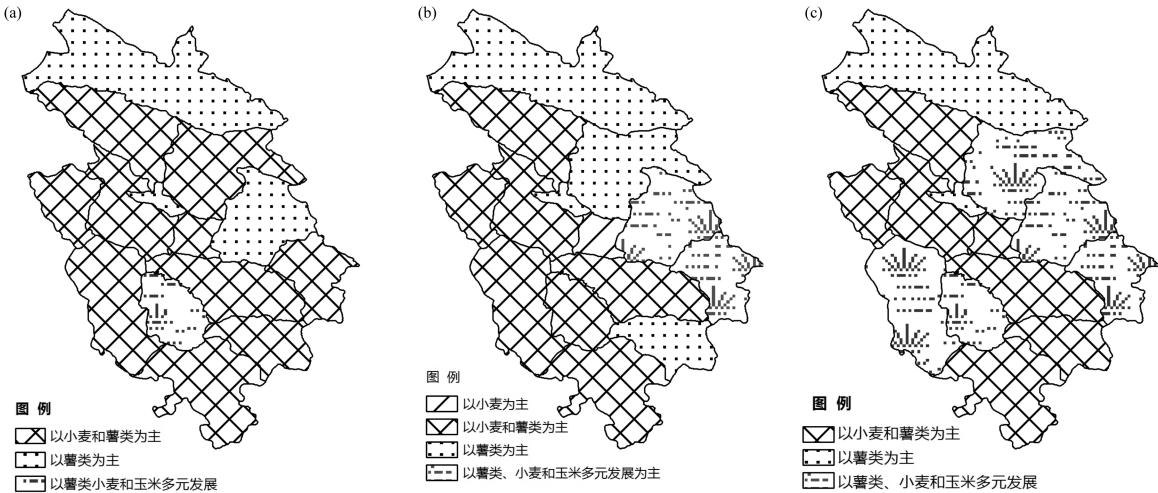
趋势的种植结构。

3.2 粮食作物种植格局的变化

20 世纪 90 年代,河湟谷地小麦种植区域主要分布在湟水中游的西宁、大通、湟中与民和等市、县(图 5),种植结构比重分别为 11.81% (西宁)、10.32%(大通)、14.60% (湟中)、5.36% (民和),至 2010 年,该地区小麦种植结构比重降低到 0.54% (西宁)、6.05% (大通)、6.06% (湟中)、3.04% (民和),远小于上世纪 90 年代。

薯类和玉米的种植结构比重则呈现大幅增加的 trend (薯类播种面积所占的比重由 1995 年的 18.96% 增加到现在的 56.60%;玉米播种面积由 2003 年的 0.68% 增加到了现在的 6.03%),其空间

分布格局也呈现出显著变化的趋势,20 世纪 90 年代,薯类作物主要分布在大通河流域的门源县,至 2010 年,薯类种植范围扩大到河湟谷地的互助、民和、乐都和大通等区县,2003 年玉米种植出现在河湟河下游气候较好地区,其种植面积和种植结构比重不断增加(湟水河下游民和回族土族自治县玉米的种植面积由 2003 年的 0.64% 增加到 2010 年的 5.8%,湟水河中游互助县 2010 年开始种植玉米,黄河上游的贵德县玉米种植面积由 2003 年的 0.002% 增加到了 2010 年的 0.09%)。乐都区、尖扎县、循化撒拉族自治县等从 2001 年出现了玉米的种植(图 5、图 6)。



注:(a)2003 年;(b)2006 年;(c)2010 年。

图 6 10℃ 积温差值和不同时期河湟谷地主要粮食作物种植格局

Fig.6 10℃ accumulated temperature difference with main grain crops structure in different periods in YHV

3.3 粮食作物种植格局同温度变化间的关系

河湟谷地主要粮食作物的种植结构伴随着该地区积温的变化而变化,该区域的北部、西南和东南地区积温变化明显和实际农作物种植结构变化相吻合。由(图 6)可知积温变化明显的地区种植结构变化较大,特别是西北地区、西南地区、东南地区变化比较明显。1990 年到 1995 年积温基本没有发生变化,同期小麦和薯类的种植面积基本没有发生变化。到了 2003 年,河湟谷地的东部积温较高基本都≥2 500℃,同期河湟谷地的东部地区较 1990 年粮食作物种植结构的变化非常明显,由原来的以小麦为主的种植结构变成了 21 世纪初的以小麦和薯类为主的种植结构和以薯类为主的种植结构,说明积温的升高促进了该地区的种植结构比重的变化。已有相关研究证明,小麦和薯类属于喜凉作物,但

是薯类生长所需要的温度比小麦的高^[28],因此随着积温的增加薯类的种植结构比重也会呈现增加的趋势^[24]。

从整个河湟谷地来看,其粮食作物的种植结构的变化和积温的变化存在一定程度的关系,积温的差值图变化明显的地区粮食作物的种植结构也有所变化,特别是河湟谷地北部、西南和东南地区积温变化较明显。其中,贵德县、尖扎县、民和县、乐都区和门源县的种植结构由原来的以小麦为主的种植结构变成了现在以薯类和玉米为主的种植结构。

4 讨论和结论

4.1 讨 论

本文在论述河湟谷地粮食作物种植结构变化和气候变化之间的关系时,借鉴了云雅如,方修琦(2005)假定其它气候因子不变的方法。假定近 20

年来河湟谷地土壤肥力、地形、海拔因素不变,考虑气

表 3 河湟谷地过去 20 年主要粮食作物种植结构的变化结果

Table 3 Over the past 20 years the change of planting structure, the main food crop, have the result in YHV

县市名 City and county	种植结构的变化 Changes in the planting structure
西宁市区 Xining city	以小麦为主-以薯类和小麦为主 Mainly in wheat-Mainly in wheat and potato
大通县 Datong	以小麦为主-以薯类和小麦为主 Mainly in wheat-Mainly in wheat and potato
湟中县 Huangzhong	以小麦为主-以薯类和小麦为主 Mainly in wheat-Mainly in wheat and potato
湟源县 Huangyuan	以小麦为主-以薯类和小麦为主 Mainly in wheat-Mainly in wheat and potato
平安 Pingan	以小麦为主-以小麦和薯类为主 Mainly in wheat-Mainly in wheat and potato
民和县 Minhe	以小麦和薯类为主-以薯类、小麦和玉米多元发展的趋势 Mainly in wheat and potato-Mainly in wheat, corn and potato
乐都县 Ledu	以小麦和薯类为主-以薯类、小麦和玉米多元发展的趋势 Mainly in wheat and potato-Mainly in wheat, corn and potato
互助县 Huzhu	以小麦为主-以薯类、小麦和玉米多元发展的趋势 Mainly in wheat-Mainly in wheat, corn and potato
化隆县 Hualong	以小麦为主-以薯类和小麦为主 Mainly in wheat-Mainly in wheat and potato
循化县 Xunhua	以小麦为主-以薯类和小麦为主 Mainly in wheat-Mainly in wheat and potato
同仁县 Tongren	以小麦为主-以小麦为主 Mainly in wheat-Mainly in wheat
尖扎县 Jianzha	以小麦为主-以薯类、小麦和玉米多元发展的趋势 Mainly in wheat-Mainly in wheat, corn and potato
贵德县 Guide	以小麦为主-以薯类、小麦和玉米多元发展的趋势 Mainly in wheat-Mainly in wheat, corn and potato
门源县 Menyuan	以小麦和薯类为主-以薯类和小麦为主 Mainly in wheat and potato-Mainly in wheat and potato

温和降水因素的方法,相关数据表明河湟谷地近 20 年来降水一直保持在一个相对稳定的水平,因此重点考虑温度因素的影响,较真实的分析出河湟谷地近 20 年来种植结构和种植格局与温度的关系。由于河湟谷地处于特殊的地理位置,故将实际气候数据和人们的感知数据相结合,有助于更加明确地了解河湟谷地气候的变化。虽然本文和云雅如,方修琦(2005)的思想基本一致,但是在文章中也存在较

大的差异。在处理数据的过程中,本文总结出了青藏高原 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 有效积温区划与相关作物系统之间的关系和河湟谷地过去 20 年主要粮食作物种植结构的变化,为河湟谷地农业发展提供参考依据。除了气温对河湟谷地种植结构的影响外,政府政策因素,农业技术还有人类活动对粮食作物的种植格局都会影响粮食作物的种植结构。在此由于特殊地区的条件限制故没有加入这些影响因素的分析。

4.2 结 论

1)过去 20 年,在河湟谷地粮食作物种植结构比重方面,小麦的种植结构比重呈现下降的趋势,薯类和玉米的种植比重明显增加,该地区的种植结构由原来的以小麦为主的种植结构变成了 21 世纪初的以小麦、薯类和玉米不同组合的种植结构方式。

2)在种植格局方面,薯类的种植格局向北部和东部地区移动,小麦的种植格局在整个河湟谷地都在大范围减少,玉米的种植格局向西南和东南地区移动。

3)河湟谷地主要粮食作物的种植格局和温度之间存在一定程度的关系。过去 20 年里,随着积温的增加,喜温作物的种植面积大幅度增加,温度变化越明显的地区粮食作物的种植结构的变化也越明显。整个河湟谷地的喜温农作物的种植界线随着温度的增加向西南和东南移动并呈现增加的趋势。

参 考 文 献:

[1] 王绍武. 全球气候变暖与未来发展趋势[J]. 第四纪研究, 1991, (03): 269-276.

[2] 王绍武. 全球气候变暖的检测及成因分析[J]. 应用气象学报, 1993, (02): 226-236.

[3] IPCC. Climate change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2014. http://www.ipcc-wg2.gov/ARS/images/uploads/IPCC_WG2AR5_SPM_Approved.pdf

[4] 叶笃正,符淦斌,董文杰. 全球变化科学进展与未来趋势[J]. 地球科学进展, 2002, (04): 467-469.

[5] 秦大河. 气候变化的事实与影响及对策[J]. 中国科学基金, 2003, (01): 3-5.

[6] 林而达,许吟隆. 气候变化国家评估报告(Ⅱ): 气候变化的影响与适应[J]. 气候变化研究进展, 2006, (02): 51-56.

[7] 秦大河. 气候变化的事实、影响及我国的对策[J]. 外交学院学报, 2004, (03): 14-22.

[8] 张存杰,高学杰,赵红岩. 全球气候变暖对西北地区秋季降水的影响[J]. 冰川冻土, 2003, (02): 157-164.

[9] 李栋梁,吕兰芝. 中国农牧交错带的气候特征与演变[J]. 中国沙漠, 2002, (05): 76-81.

[10] 王菱,谢贤群,苏文,等. 中国北方地区 50 年来最高和最低气温变化及其影响[J]. 自然资源学报, 2004, (03): 337-343.