

郭晓雷,申双和,张磊,等.宁夏枸杞种植区春霜冻发生的时空分布特征分析[J].江苏农业科学,2019,47(6):238-242.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.06.051

宁夏枸杞种植区春霜冻发生的时空分布特征分析

郭晓雷^{1,2,3},申双和¹,张磊²,段晓凤²,杨苑媛³,胡悦³

(1.南京信息工程大学,江苏南京 210044;2.中国气象局旱区特色农业气象监测预警与风险管理重点实验室/
宁夏气象防灾减灾重点实验室,宁夏银川 750002 3.银川市气象局,宁夏银川 750002)

摘要:利用宁夏枸杞种植区 15 个气象站 1961—2017 年最低气温观测资料,结合宁夏枸杞春霜冻致灾指标,采用线性倾向估计、Moflet 小波分析、正交经验函数(EOF)分析等方法,研究宁夏枸杞种植区春霜冻发生的时空分布特征。结果表明,(1)宁夏枸杞种植区春霜冻发生次数呈现南北多、中间少的分布特征,晚霜冻日也呈现南部偏晚、中北部偏早的空间分布特征,霜冻发生次数最多和春霜冻日结束最晚都集中在南部地区,尤以兴仁最为严重;(2)1961—2017 年宁夏枸杞终霜冻日以 2.1 d/10 年的速率提前,且阶段性变化特征明显,20 世纪 70 年代春霜冻都在 5 月上旬后结束,而到 20 世纪 90 年代末之后,大部分年份春霜冻都在 5 月上旬前结束;57 年尺度上枸杞春霜冻发生次数以 2.1 次/10 年的速率减少,在 1992 年之前发生次数偏多,之后发生明显突变,且 1992 年前存在明显的 7 年、准 4 年的周期变化,之后周期性变化不明显。(3)宁夏枸杞春霜冻发生次数在大部分年份都呈现偏多或偏少的一致性特征,也存在明显的南北差异分布,但总体一致性是宁夏枸杞春霜冻发生次数变化的主要特征。

关键词:S571.9 枸杞;春霜冻;分布特征;经验正交函数(EOF)

中图分类号:S425 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2019)06-0238-05

宁夏枸杞驰名中外,是唯一被载入《中华人民共和国药典》(2010 年版)的品种,因其较高的营养价值和药用保健功效受到广大消费者青睐。近年来,随着政府的大力扶持,宁夏已形成了以中宁为核心、清水河流域和贺兰山东麓为两翼的枸杞产业带,枸杞产业已经成为宁夏农业特色优势产业的重要

组成部分。霜冻是威胁宁夏枸杞产业发展的主要气象灾害之一,且宁夏是霜冻多发区,正常年份春霜冻重于秋霜冻^[1-2],由于春季正值枸杞嫩梢期至花果期,春季霜冻灾害的发生直接影响枸杞头茬果和夏果的产量及品质^[3],而枸杞头茬果和夏果的营养成分均高于秋果^[4-5],经济价值更高,春季霜冻造成的损失尤为严重。因此,摸清宁夏枸杞种植区春季霜冻发生规律,可为宁夏枸杞春季霜冻预报提供基础理论依据,从而提高防御枸杞春霜冻灾害能力,保障宁夏枸杞产业健康发展。

多位研究者以气象学上的霜冻致灾指标(地面最低温度 $\leq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$,最低气温 $\leq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 或最低气温 $\leq 2\text{ }^{\circ}\text{C}$)来分析区域霜冻变化特征^[6-13],但对具体特色作物而言,因作物的种类、品种不同,其对霜冻灾害的耐受性也不同,普适性的霜冻

收稿日期:2018-08-15

基金项目:国家自然科学基金(编号:41565007)。

作者简介:郭晓雷(1979—),男,宁夏盐池人,副高级工程师,主要从事农业气候资源和特色农业气象服务研究。E-mail:25052248@qq.com。

通信作者:申双和,博士,教授,博士生导师,主要从事农业气象、生态环境方面的研究。E-mail:zhangyuanyuanson@yahoo.com.cn。

[20]傅伯杰,陈利项,马克明,等.景观生态学原理及应用[M].北京:科学出版社,2001:3-18.

[21]胡冬雪,唐立娜,邱全毅,等.海峡西岸经济区景观格局 10 年变化及驱动力[J].生态学报,2015,35(18):6138-6147.

[22]刘吉平,赵丹丹,田学智,等.1954—2010 年三江平原土地利用景观格局动态变化及驱动力[J].生态学报,2014,34(12):3234-3244.

[23]史培军,陈晋,潘耀忠.深圳市土地利用变化机制分析[J].地理学报,2000,55(2):152-160.

[24]刘江,崔胜辉,邱全毅,等.滨海半城市化地区景观格局演变——以厦门市集美区为例[J].应用生态学报,2010,21(4):856-862.

[25]田锡元,王新军,K G 卡迪罗夫,等.近 40a 凯拉库姆库区土地利用/覆盖变化及景观格局分析[J].农业工程学报,2014,30(6):232-241.

[26]郭晓妮.康保县景观格局变化及其生态效益分析[D].北京:首都师范大学,2009:2-13.

[27]谢圣.湖北省土地利用景观格局及其影响因素分析[D].武

汉:华中师范大学,2013:3-15.

[28]宁雅楠.青龙满族自治县土地利用景观生态安全时空变化与影响因素分析[D].保定:河北农业大学,2015:3-17.

[29]阳文锐.北京城市景观格局时空变化及驱动力[J].生态学报,2015,35(13):4357-4366.

[30]Chang N B,Ham M,Yao W,et al. Change detection of land use and land cover in an urban region with SPOT-5 images and partial Lanczos extreme learning machine[J]. Journal of Applied Remote Sensing,2010,4(1):420-429.

[31]葛全胜,赵名茶,郑景云.20 世纪中国土地利用变化研究[J].地理学报,2000,55(6):698-706.

[32]朱连奇,许叔明,陈沛云.山区土地利用/覆被变化对土壤侵蚀的影响[J].地理研究,2003,22(4):432-439.

[33]Pontius R G,Schneider L C. Land-cover change model validation by an ROC method for the Ipswich watershed, Massachusetts, USA [J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2001, 85 (1/2/3): 239-248.

致灾指标还不能准确反映其受冻情况,鉴于此,部分学者利用茶树^[14-16]、苹果花期^[17]的冻害指标分析得出了区域内特色作物的霜冻变化规律。目前针对枸杞霜冻气候特征方面的研究还鲜有报道,本试验在前人研究的基础上,拟利用枸杞霜冻的致灾指标,统计分析宁夏枸杞种植区霜冻灾害发生的时空分布特征,以期为优化宁夏枸杞种植产业布局、提升枸杞种植区霜冻灾害的预测服务能力提供参考依据。

1 材料与方法

本研究所用惠农、平罗、陶乐、贺兰、银川、永宁、灵武、吴忠、青铜峡、同心、中卫、中宁、海原、兴仁、固原 15 个站点的 1961 年到 2017 年逐日最低气温观测资料来源于宁夏气象信息中心,所选站点均为宁夏枸杞种植区内具有长序列气象资料的站点,站点分布见图 1;笔者所在项目组通过调查多年春季受灾情况,结合人工霜箱模拟和野外霜冻模拟试验,拟定日最低气温 $T_{\min} \leq -1^{\circ}\text{C}$ 作为宁夏枸杞春季霜冻的致灾指标,本研究也将采用这一指标开展统计分析;由于宁夏枸杞正常年份在 4 月下旬老根枝开始显著,所以春霜冻统计时段选定为 4 月 21 日至 5 月 31 日;将枸杞春季最后 1 次发生霜冻的日期定义为晚霜冻日。

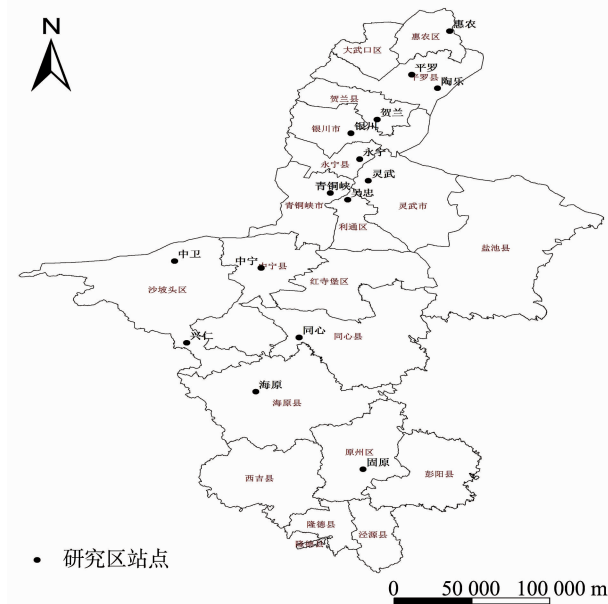


图1 宁夏枸杞种植区气象观测站点分布

本试验采用反距离权重法进行空间插值分析宁夏枸杞种植区春霜冻发生次数的空间分布特征^[18],运用 ArcGIS 9.3 制作了春霜冻发生次数的空间分布图;运用线性倾向估计分析枸杞春霜冻发生的年际变化特征^[19];运用 Morlet 小波变换分析逐年春霜冻发生总次数周期性变化^[20-22];对 1961—2017 年宁夏逐年春霜冻发生总次数资料进行标准化处理,采用经验正交函数(EOF)综合分析宁夏枸杞种植区春霜冻发生的时空变化特征^[23-24]。

2 结果与分析

2.1 宁夏枸杞春霜冻发生的空间分布特征

2.1.1 枸杞春霜冻发生次数的空间分析

枸杞种植区 1961—2017 年春霜冻发生次数的空间分布情况。可以看出,宁夏枸杞种植区春霜冻具有南部地区发生次数多、中间区域发生次数少的空间分布特征,具体情况如下:中卫、同心以南的区域春霜冻发生次数总体偏多,包括兴仁、海原、固原 3 地发生春霜冻的次数占总数的 46%,其中发生次数的最多的区域为兴仁,57 年来共发生了 113 次,其次是固原,发生了 60 次;而北部的陶乐地区也是春霜冻发生相对较多的区域,57 年来也发生了 47 次,其他地区均未超过 40 次;春霜冻发生较少的区域主要位于永宁、青铜峡、中宁等地,分析期内共发生了 36 次,其中永宁、中宁发生次数最少为 11 次。

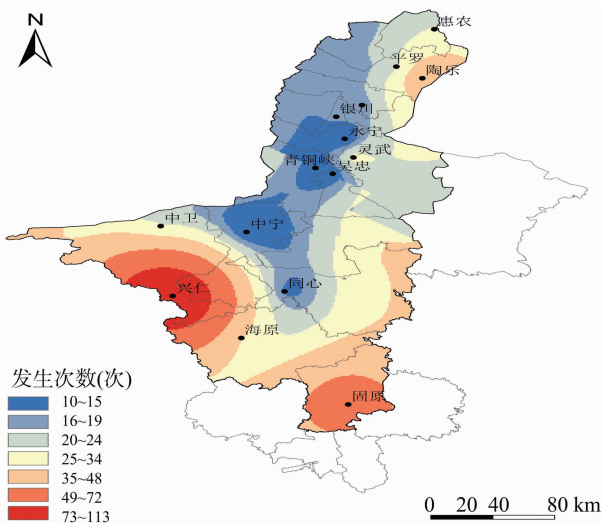


图2 宁夏枸杞种植区 1961—2017 年春霜冻发生次数空间分布

2.1.2 枸杞晚霜冻日的空间分析 表 1 给出了 1961—2017 年宁夏枸杞种植区各站平均和最晚晚霜冻日的具体时间,可以看出,各站平均晚霜冻日结束时间除固原外均在 4 月下旬的中期到末期,平均晚霜冻日最晚的是固原,为 5 月 2 日,最早的是平罗和青铜峡,为 4 月 24 日;但从各站晚霜冻结束日期来看,最晚的区域集中在南部地区的兴仁、海原、固原等地,都在 5 月中旬以后,结束最晚的是兴仁,为 5 月 28 日;而北部地区的平罗、陶乐等地的最晚晚霜冻日也相对较晚,集中在 5 月中旬左右,其他地区除灵武外,最晚晚霜冻日都在 5 月上旬,最早的为永宁、中宁、同心,结束日期为 5 月 4 日。

2.2 宁夏枸杞春霜冻发生的时间变化

2.2.1 枸杞春霜冻发生的年际变化 由图3可见,1961—2017年宁夏枸杞种植区逐年春霜冻发生次数呈减少趋势,气候倾向率为2.1次/10年,并且年际变化差异大,发生次数最多的年份为1976年,高达48次,而57年中有17年未发生春霜冻灾害;特别是从20世纪90年代初开始,春霜冻的发生次数明显减少,除2008年超过了10次外,其他年份均未超过10次,21世纪10年代开始更是连续3年未发生枸杞春霜冻。

从逐年晚霜冻日年际变化来看(图4),在57年尺度上,晚霜冻日呈提前趋势,气候倾向率为 $2.1\text{ d}/10\text{ 年}$,晚霜冻日最晚日期在5月28日,分别发生在1961年和1975年,最早日期为4月23日,发生在1988年,晚霜冻日较晚的时期主要集中在20世纪70年代到80年代初期,都在5月上旬后结束,而从20世纪90年代末开始,晚霜冻日明显提前,基本都

表 1 1961—2017 年宁夏枸杞种植区各站晚霜冻结束日期(由北到南)

| 站名 | 平均晚霜冻结束日期 | 最晚晚霜冻结束日期 |
|-----|-----------|-----------|
| 平罗 | 4 月 24 日 | 5 月 16 日 |
| 惠农 | 4 月 25 日 | 5 月 5 日 |
| 陶乐 | 4 月 25 日 | 5 月 15 日 |
| 贺兰 | 4 月 26 日 | 5 月 8 日 |
| 银川 | 4 月 26 日 | 5 月 8 日 |
| 永宁 | 4 月 26 日 | 5 月 4 日 |
| 灵武 | 4 月 25 日 | 5 月 16 日 |
| 吴忠 | 4 月 25 日 | 5 月 5 日 |
| 青铜峡 | 4 月 24 日 | 5 月 5 日 |
| 中宁 | 4 月 28 日 | 5 月 4 日 |
| 中卫 | 4 月 30 日 | 5 月 8 日 |
| 同心 | 4 月 26 日 | 5 月 4 日 |
| 海原 | 4 月 26 日 | 5 月 15 日 |
| 兴仁 | 4 月 28 日 | 5 月 28 日 |
| 固原 | 5 月 2 日 | 5 月 18 日 |

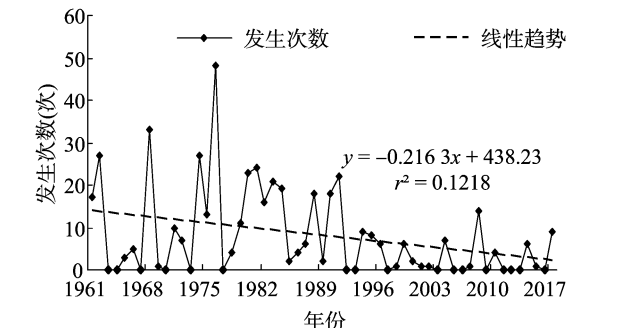


图3 宁夏枸杞种植区 1961—2017 年春霜冻发生次数的年际变化

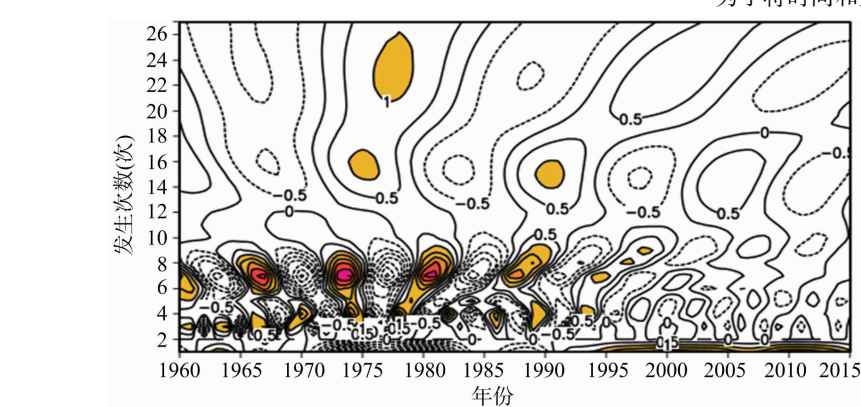


图5 宁夏枸杞种植区 1961—2017 年春霜冻发生次数的小波分析

冻发生次数的变化特征进行综合分析,对 1961—2017 年宁夏枸杞种植区各站逐年春霜冻发生次数资料进行标准化处理后,再进行 EOF 分解,所得方差贡献率见表 2。可以看出,前 3 个模态方差贡献率分别为 63.90%、8.60%、6.49%,累积方差贡献率达到了 78.99%,且 3 个模态均通过了 North 检验,所以本研究取前 3 个模态来反映宁夏枸杞春霜冻发生次数的时空分布型。

图 6-a、图 6-b 给出了第 1 模态的空间分布及时间序列,可以看出 57 年来春霜冻发生呈现出一致性变化,即整个枸杞种植区春霜冻发生一致偏多或者一致偏少,其中吴忠、青铜峡及以北大部分地区的载荷向量值普遍较大,说明该区域春霜冻发生次数的年际变化幅度大。从对应的时间序列可以

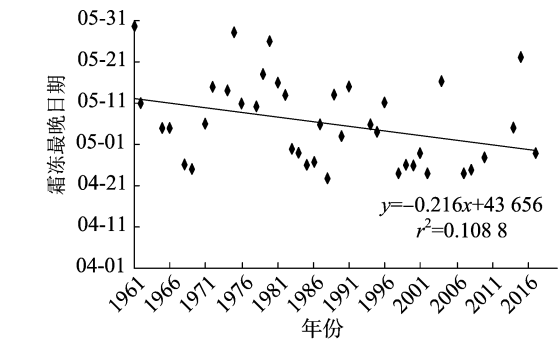


图4 宁夏枸杞种植区 1961—2017 年终霜日的年际变化

在 5 月上旬前结束,只有 3 年是在 5 月上旬后结束,最晚结束的发生在 2015 年,为 5 月 22 日。

2.2.2 枸杞春霜冻发生次数的周期变化及突变分析 对宁夏枸杞种植区 1961—2017 年春霜冻逐年发生次数的小波分析图结合小波方差图进行分析(图 5),结果显示,在 90 年代之前,枸杞春霜冻发生次数主要存在 7 年的周期性变化,其次有 4 年的周期性变化,还存在较弱的 15、23 年的周期变化,而 90 年代之后的周期性变化规律不明显。

计算 57 年来宁夏春霜冻发生次数的累计距平可知,枸杞春霜冻发生次数有 2 个突变点,即 1972、1992 年。从 1972 年开始春霜冻发生次数逐年增加,而 1992 年之后又逐年减少。利用滑动 t 检验方法进行突变分析,为减少人为主观性,本研究选择 2~20 年,共 18 个时间长度,得到霜冻发生次数的突变点为 1992 年,该突变点通过了 0.001 的置信度检验。

2.3 宁夏枸杞种植区春霜冻发生次数 EOF 分析

为了将时间和空间结合起来对宁夏枸杞种植区逐年春霜

表 2 宁夏枸杞种植区春霜冻发生次数前 4 个模态的方差贡献率

| 模态 | 方差贡献率 (%) | 累计方差贡献率 (%) |
|----|-----------|-------------|
| 1 | 63.90 | 63.90 |
| 2 | 8.60 | 72.50 |
| 3 | 6.49 | 78.99 |
| 4 | 4.10 | 83.09 |

看出,1962、1968、1976 年宁夏枸杞春霜冻发生次数偏多明显,而到 1992 年之后呈现一致偏少的状态,这与前文中突变检验结果一致。

图 6-c、6-d 为第 2 模态空间分布及对应的时间序列,可以看出在个别年份宁夏春霜冻呈现出南北差异分布。其

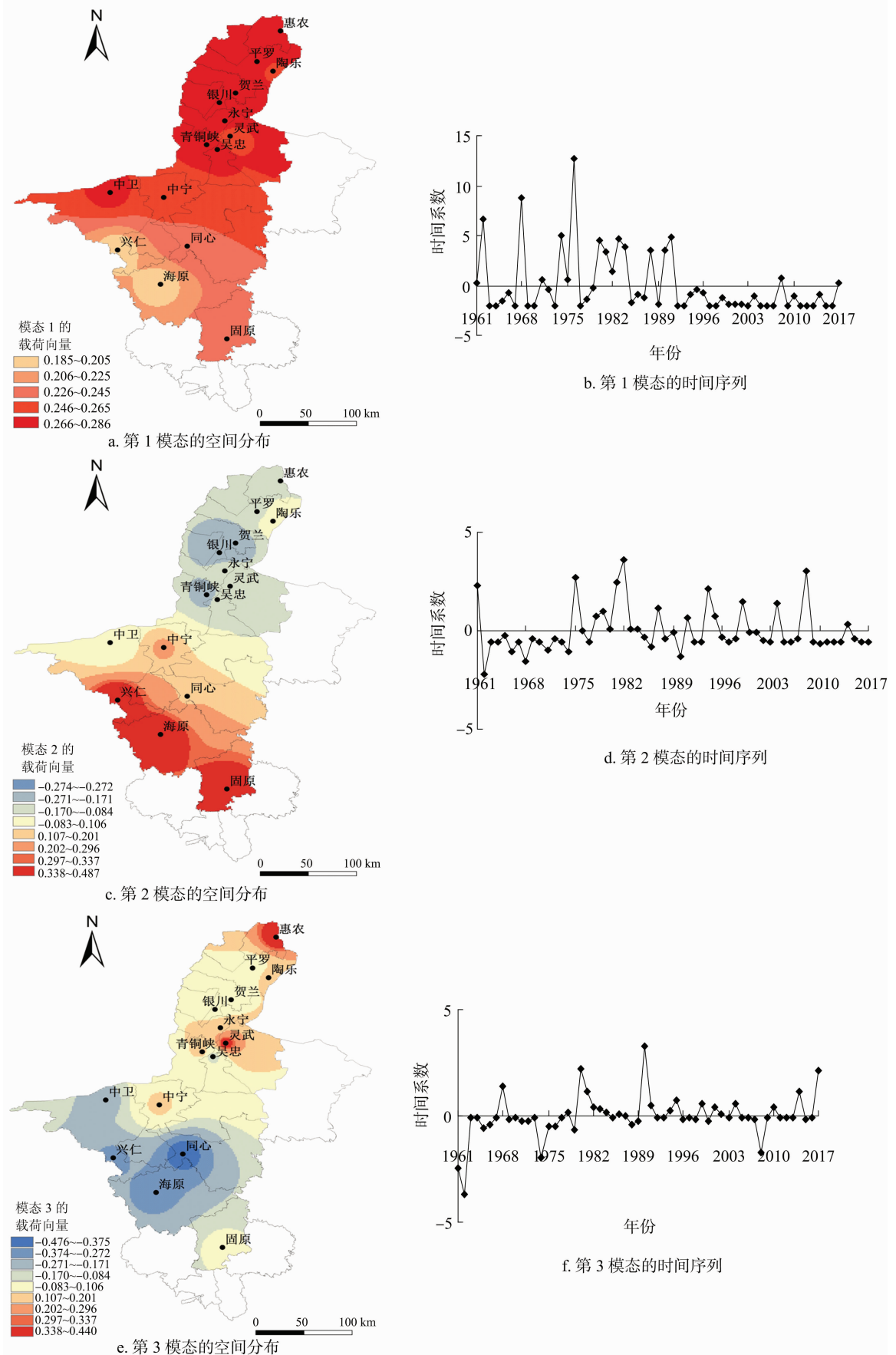


图6 宁夏枸杞种植区 1961—2017 年春霜冻发生次数 EOF 分析

中,1961、1975、1982年宁夏中宁、中卫以北地区发生次数偏少明显,以南地区偏多明显,而1962、1968年正好相反,中宁、中卫以北地区偏多明显,而以南地区相对偏少。

图6-e、6-f为第3模态空间分布及对应的时间序列,可以看出宁夏春霜冻的发生在极个别年份呈现出3中心差异分布。其中,1981、1990年惠农、吴忠发生次数偏多较为明显,海原发生次数相对偏少;而1962、1974、2009年则相反。

3 结论与讨论

宁夏枸杞春霜冻发生的区域特征明显,春霜冻发生次数呈现南北多、中间少的空间分布特征,发生次数较多的区域为南部的兴仁和固原以及北部的陶乐地区,而发生较少的区域为永宁、中宁等地;而从晚霜冻日的空间分布特征来看,平均和最晚晚霜冻日结束最晚的区域还是集中在南部的固原和兴仁,其他地区平均晚霜冻日结束日期主要集中在4月下旬中期到末期,而最晚晚霜冻日结束最早的主要区域仍然是用永宁、中宁、同心等地。总体来看,宁夏枸杞春霜冻防御的重点区域应该集中在南部地区,而被誉为“中国枸杞之乡”的中宁等地,春霜冻影响较轻,对于发展枸杞产业比较有利。

从时间变化来看,57年来枸杞晚霜冻日以2.1 d/10年的速率提前,且阶段性变化特征明显,20世纪70年代到80年代初期晚霜冻结束日期在5月上旬以后,而进入21世纪以来,终霜冻日明显提前,大都在5月上旬前结束;57年来枸杞春霜冻发生次数呈减少趋势,气候倾向率为-2.1次/10年,20世纪90年代前枸杞霜冻发生较多,之后明显减少,1992年发生了明显的突变;57年来宁夏枸杞春霜冻发生次数在20世纪90年代之前存在明显的7年、准4年的周期变化,而从90年代初期以后这种周期性变化不明显。

宁夏枸杞春霜冻发生次数的第1模态的分布型为主导分布型,即大多数年份内春霜冻发生次数呈现一致性变化特征,一致偏多或一致偏少,且1992年之前呈振荡变化而之后呈明显偏少的特征,吴忠、青铜峡及以北大部地区春霜冻发生次数年际变化幅度较大;从第2、第3模态可以看出,宁夏枸杞春霜冻发生次数还呈现南北差异分布,有些年份中卫、中宁以南地区偏多明显,而以北地区偏少明显,有些年份正好相反。

参考文献:

- [1]董永祥,周仲显.宁夏农业气候与农业,4[M].银川:宁夏人民出版社,1986:59-63.
- [2]桑建人,舒志亮,邱旺.近44a宁夏霜冻特征[J].干旱区资源与环境,2008,22(12):97-102.
- [3]张磊,段晓凤,李红英,等.宁夏枸杞生长的气象条件分析及管

- 理措施[J].北方果树,2014(4):16-19,前插1-前插2.
- [4]叶力勤,赵银宝.枸杞头茬果质量初探[J].中药材,2004,27(1):3-4.
- [5]张自萍,郭荣,史晓文,等.不同采摘期枸杞品质变化研究[J].西北农业学报,2007,16(4):126-130.
- [6]叶殿秀,张勇.1961—2007年我国霜冻变化特征[J].应用气象学报,2008,19(6):661-665.
- [7]许艳,王国复,王盘兴.近50a中国霜期的变化特征分析[J].气象科学,2009,29(4):4427-4433.
- [8]王秀萍,任国玉,赵春雨,等.近46年大连地区初、终霜冻事件和无霜冻期变化[J].应用气象学报,2008,19(6):673-678.
- [9]李芬,张建新,闫永刚,等.山西近50年初霜冻的时空分布及其突变特征[J].中国农业气象,2012,33(3):448-456.
- [10]杜军,石磊,袁雷.近50年西藏主要农区霜冻指标的变化特征[J].中国农业气象,2013,34(3):264-271.
- [11]张旭晖,居为民,蒯志敏,等.江苏春季霜冻气候变化特征及其未来可能变化趋势[J].大气科学学报,2013,36(6):666-673.
- [12]李娜,张建新,李芬.山西省冬小麦种植区霜冻气候指标的时空特征分析[J].中国农业气象,2012,32(3):436-441.
- [13]陈少勇,夏权,王劲松,等.西北地区晚霜冻结束日的气候变化特征及其影响因子[J].中国农业气象,2013,34(1):8-13.
- [14]姜燕敏,金志风,李仁忠,等.浙南春茶早春霜冻的时空分布特征[J].气象科技,2016,44(6):1066-1070.
- [15]许映莲,张旭晖,李旭群.苏南茶区晚霜冻与茶树冻害的研究[J].江苏农业科学,2012,40(8):236-238.
- [16]吴杨,金志风,叶建刚,等.浙江茶树春霜冻发生规律及其与太平洋海温的遥相关分析[J].中国农业气象,2014,35(4):434-439.
- [17]李美荣,朱琳,杜继稳.陕西苹果花期霜冻灾害分析[J].果树学报,2008,25(5):666-670.
- [18]张宏,温永宁,刘爱利.地理信息系统算法基础[M].北京:科学出版社,2006.
- [19]普宗朝,张山清,李景林,等.近48年新疆乌-昌地区气候变化[J].干旱区研究,2010,27(3):422-432.
- [20]万明波,程智,王文.青藏铁路沿线气温和降水的小波分析[J].干旱气象,2006,24(4):35-39.
- [21]刘晓梅,闵锦忠,刘天龙.新疆叶尔羌河流域温度与降水序列的小波分析[J].中国沙漠,2009,29(3):566-570.
- [22]张维敏,王景红.近40年黄土高原丘陵红枣种植区气温变化特征及其影响分析[J].中国农学通报,2016,32(10):139-144.
- [23]李芬,张建新.山西近50年初霜冻的区域特征[J].灾害学,2013,28(4):104-109,181.
- [24]魏凤英.现代气候统计诊断与预测技术[M].北京:气象出版社,1999:106-113.