

1961—2015 年甘肃省伏旱时空分布特征及影响分析

林婧婧¹,赵冠男²

(1.西北区域气候中心,甘肃 兰州 730020; 2.江西省气象局,江西 南昌 330096)

摘 要: 利用甘肃省 80 个气象观测站 1961—2015 年伏期(7—8 月)历年降水资料对伏旱发生的频率、范围和年代际变化的统计分析表明:河西走廊伏旱频率为 30%~55%,是甘肃省频率最高的区域,其次为陇中北部、陇东和陇南,陇中南部和甘南伏旱发生频率最小,为 20%~30%。近 55 a 甘肃全省和河东伏旱频率的增加趋势为 3.7%~5.7%;伏旱发生范围在 1961—1985 年期间呈 $9.6\% \cdot 10a^{-1}$ 的缩小趋势,而在 1986—2015 年期间呈 $0.2\% \cdot 10a^{-1}$ 的扩大趋势;自 20 世纪 80 年代以来伏旱强度大于中伏旱的年份共有 7 a。伏旱导致了 1985—2015 年甘肃省农作物受灾面积呈 $1.1\% \cdot 10a^{-1}$ 的增加趋势。

关键词: 伏旱;发生频率;时间动态;空间分布;甘肃省

中图分类号: S423 **文献标志码:** A

Analysis on space-time distribution characteristic and influence of summer drought in Gansu Province during 1961—2015

LIN Jing-jing¹, ZHAO Guan-nan²

(1. Northwest Regional Climate Center, Lanzhou Gansu, 730020, China;

2. Jiangxi Climate Center, Nanchang Jiangxi 330096, China)

Abstract: The frequency and the range of yearly summer drought were calculated based on the data of precipitation in spring season (July to August) of 1961—2015 from the 80 meteorological observations in Gansu. A statistical analysis of drought frequency, scope and decadal variability, the following results have been obtained: The frequency of summer drought in Hexi corridor was highest area from 30% to 55%. In the north of Longzhong, Longdong and Longnan regions, the frequency were higher. In the south of Longzhong and Gannan, the frequencies were minimal from 20% to 30%. In Gansu Province, Hexi corridor and Hedong, the frequency of summer drought showed little increasing trend from 3.7% to 5.7%. The range of summer drought showed 0.2% per ten years gradually narrowing from 1961 to 1995, and then expanded trend from 1996 to 2015. There were seven years which drought intensity is greater than moderate drought. Summer drought caused the crops and 1.1% per ten years enlarged the drought-affected area in Gansu Province in 1985 to 2015.

Keywords: summer drought; the frequency; time dynamic; the spatial distribution Gansu Province

甘肃省地处内陆,降水少、气候干燥、水资源贫乏是影响甘肃省农业和社会经济发展的主要原因。甘肃省每年因干旱灾害造成的经济损失占自然灾害的 56%,尤其是近年来河东雨养农业区的降水呈减少趋势,干旱灾害对农业的影响尤其显著^[1-9]。

近年来,关于甘肃省春旱和春末夏初旱的发生

频率、范围、年代际变化及其对农业的影响已有大量研究:甘肃省 20 世纪 60 年代至 2008 年春旱频率呈增加趋势^[10],春末夏初旱出现的频率和干旱范围在 20 世纪 90 年代至 2008 年均呈增加趋势^[11]。一些研究还分析了甘肃省伏旱指数的变化特征^[12-13]以及干旱对甘肃省玉米和冬小麦的影响^[14-15]。

甘肃省大部分地区为干旱和半干旱气候,特别是河东雨养农业区,是气候变化敏感区域,又是生态环境脆弱区,农作物生长所需的水分主要依靠自然降水,农业生产受降水量变化的影响非常明显。伏期(7—8 月)是甘肃省秋季作物生长的需水关键期,降水量直接影响秋季作物的产量和品质。因此本研究拟利用甘肃省 80 个气象观测站 1961—2015 年夏季(7—8 月)历年降水量资料,分析伏期干旱发生的频率、空间分布和年代际的变化特征,以为伏旱辨识、监测预测和影响评估提供科学依据。

1 资料与方法

基于甘肃省气象干旱规律和旱灾发生情况,考虑到降水量明显偏少是导致干旱发生的最主要原因,在此使用降水距平百分率作为衡量气象干旱程度的主要依据。降水距平百分率是表征某时段降水量较常年值偏多或偏少的指标之一,能直观反映降水异常引起的气象干旱,在气象日常业务中多用于评估月、季、年发生的气象干旱事件。参照中华人民共和国国家标准—气象干旱等级(GB/T2048122006)中降水距平百分率气象干旱指标定义,结合《中国气象灾害大典·甘肃卷》历史干旱记录,制定甘肃省降水距平百分率气象干旱等级划分指标(表 1)。

表 1 甘肃省降水距平百分率气象干旱等级划分指标

Table 1 The grade division standard of precipitation anomaly percentage meteorological drought index

干旱等级 Drought index	干旱类型 Drought type	距平百分率 Precipitation anomaly percentage
1	轻旱 Slight drought	$-50\% < Pa \leq -20\%$
2	大旱 Great drought	$-80\% < Pa \leq -50\%$
3	重旱 Severe drought	$Pa \leq -80\%$

利用甘肃省 80 个气象观测站 1961—2015 年夏季(7—8 月)历年降水量资料,计算伏期(7—8 月)降水距平百分率。伏期常年均值根据世界气象组织规定,采用 1981—2010 年期间的资料计算。根据定义,某时段降水量距平百分率(Pa)可计算如下:

$$Pa = \frac{P - \bar{P}}{\bar{P}} \times 100\%$$
 (1)

式中, P 为某时段降水量(mm); $\bar{P}$ 为 1981—2010 年同期气候平均降水量(mm)。

考虑到甘肃省河西地区绝大多数是灌溉农业区,降水对农业生产的影响并不十分突出,而河东地区为雨养农业区,受降水影响十分显著。因此,在研究伏旱特征时,分别研究甘肃全省(80 个站)、河西

地区(19 个站)和河东地区(61 个站)的伏旱特征,并将研究时段内的干旱站数占总站数的百分比在 25% 以上的年份确定为区域性干旱年。

伏旱强度指数计算如下^[16]:

$$R_0 = \Delta R + \Delta R_z$$
 (2)

式中, ΔR 为区域平均日降水量距平百分率; ΔR_z 为正距平站数占总站数的百分率;区域降水强度指数 R_0 即为区域平均日降水量距平百分率与正距平站数占总站数百分率之和。于是伏旱强度指数可表示为:

$$M = \frac{R_0}{2R_0} + \frac{L}{L}$$
 (3)

式中, M 为伏旱强度指数, R_0 、 L 分别为伏旱期累计降水强度指数和与伏旱天数, $\bar{R}$ 、 $\bar{L}$ 分别为多年伏旱期降水强度指数和的平均值与伏旱天数的平均值。基于伏旱强度指数可将伏旱划分为四个等级:无伏旱($M = 0$)、轻伏旱($0 < M < 1.0$)、中伏旱($1.0 \leq M < 1.5$)和强伏旱($M \geq 1.5$)。

干旱灾情数据采用甘肃省 1985—2014 年灾情普查数据,仅获取伏旱时段(7—8 月)的灾情数据。

2 结果分析

2.1 伏旱空间分布格局

甘肃省降水量的空间分布不均,年降水量 300 mm 以下的地区占全省总面积的 58%。而且全省降水量的季节分布不均,年际变化大,导致干旱成为甘肃省最严重的气象灾害。依照干旱出现时间,可分为春旱(3—4 月)、春末夏初旱(5—6 月)、伏旱(7—8 月)和秋旱(9—10 月),其中伏旱出现频率最低。

全省伏旱发生频率在 10% ~ 55% 之间(图 1),河西走廊伏旱发生频率为 30% ~ 55%,平均 2 ~ 5 a 一遇,是全省伏旱发生频率最高的区域。在陇中北部、陇东和陇南大部,伏旱发生频率为 30% ~ 40%,平均 3 a 一遇,是伏旱发生频率次高区。陇中南部和甘南高原伏旱发生频率为 20% ~ 30%,平均 3 ~ 5 a 一遇,是伏旱发生频率最低的区域。

2.2 伏旱的年代际变化

甘肃全省、河西和河东近 55 a 伏旱发生频率的年代际变化较为稳定,均呈弱的增加趋势。其中,全省近 55 a 伏旱发生的频率为 51%,河西旱作农业区伏旱的发生频率为 63%,河东雨养农业区伏旱的发生频率为 43%(表 2)。

甘肃省区域性伏旱频率分析发现,全省重大伏旱的发生频率为 5%,20 世纪 60 年代至 80 年代没有发生重大伏旱,20 世纪 90 年代和 21 世纪初发生

重大伏旱的频率均为 10%，自 20 世纪 90 年代起发生重大伏旱的频率开始增加，2011 年以后发生重大伏旱的频率达到最大。河西重大伏旱发生频率在 21 世纪初减小；而河东重大伏旱的发生频率与甘肃全省基本相同，均自 20 世纪 90 年代起开始增加。

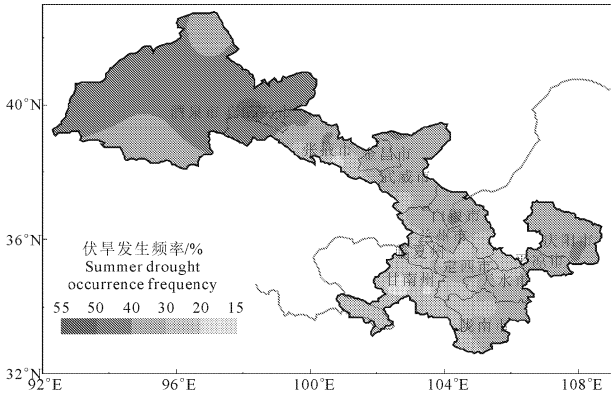


图 1 1961—2015 年甘肃省伏旱发生频率空间分布

Fig.1 Spatial distribution of summer drought occurrence frequency in Gansu Province during 1961—2015

2.3 伏旱演变趋势

甘肃全省近 55 a 发生伏旱站数占总站数比在 1961—1985 年间呈下降趋势，倾向率为 $-9.6\% \cdot 10a^{-1}$ ，1986—2015 年间呈弱的增加趋势。

甘肃全省和河东发生伏旱站数占总站数比的年代际变化趋势基本相同，在 20 世纪 60 年代和 80 年代，发生伏旱站数占总站数比均呈先增加后减少趋势，70 年代呈减少趋势；90 年代以后呈先减小后增加趋势。河西发生伏旱站数占总站数比在 20 世纪 60 年代呈减小趋势，70 年代呈先增加后减小趋势，80 年代以后与甘肃全省、河东的年代际变化趋势相同。

全省伏旱发生大旱以上的区域，在 20 世纪 60

年代初主要出现在酒泉、武威和庆阳三市，之后缩小；进入 70 年代初，则较为均匀地出现在河东大部分地区，在 70 年代中后期，主要集中出现在酒泉市和武威市；80 年代初期转移到陇中的白银、兰州和临夏三市(州)，中后期则主要集中在酒泉市和张掖市；1991 年开始河西西部、陇中大部 and 南部地区出现大范围伏旱，随后发展为河东大部地区；90 年代末期至 2013 年，伏旱向河西地区延伸，范围先扩大后缩小，近两年又出现扩大趋势。

发生伏旱站数占总站数百分比的演变趋势主要可分为五个时期(图 2)：(1) 1961—1970 年，伏旱站数占总站数的百分比在 29.5%，呈减小趋势，平均每 10 a 减小 17.9%；(2) 1971—1979 年，伏旱站数占总站数的百分比在 31.2% 左右，呈显著减小趋势，平均每 10 a 减小 61.4%；(3) 1981—1991 年，伏旱站数占总站数的百分比在 36% 左右，呈增加趋势，平均每 10 a 增加 19.1%；(4) 1992—2002 年，伏旱站数占总站数的百分比在 33.6% 左右，呈显著增加趋势，平均每 10 a 增加 52.2%；(5) 2003—2015 年，伏旱站数占总站数的百分比在 32% 左右，呈增加趋势，平均每 10 a 增大 25.4%。

在五个伏旱演变明显时段，发生伏旱站数占总站数比的平均值呈先增加后减小变化趋势，尤其是在 1981—1991 年，共有 4 a 伏旱站数占总站数比大于 50%，其中 70% 以上的有 2 a。

2.4 伏旱强度变化

利用区域降水强度指数分析伏旱时段特征。在气候分析中规定，盛夏连续 10 d 以上区域降水指数小于 0，且时段内累计区域降水强度指数的和 $\leq -800\%$ ，则称之为伏旱时段，伏旱开始/结束日为区域降水强度指数稳定通过小于/大于 0 的伏旱时

表 2 1961—2015 年甘肃省各年代伏旱发生频率/%

Table 2 The occurrence frequency of Summer drought in Gansu Province during 1961—2015

年代 Age	干旱频率 Drought frequency			重大旱频率 Severe drought frequency		
	全省 Total	河东 Hedong	河西 Hexi	全省 Total	河东 Hedong	河西 Hexi
1960s	40	30	60	0	0	30
1970s	50	30	60	0	0	0
1980s	50	40	70	0	0	20
1990s	50	50	50	10	10	0
2000s	60	60	80	10	10	40
2011—2015	60	50	50	20	20	20
1981—2010	53	50	67	7	7	20
1961—2015	51	43	63	5	5	18

注：表中干旱频率是轻旱、大旱和重旱的总频率。
Note: The drought frequency in the table is the total frequency of light drought, heavy drought and severe drought.

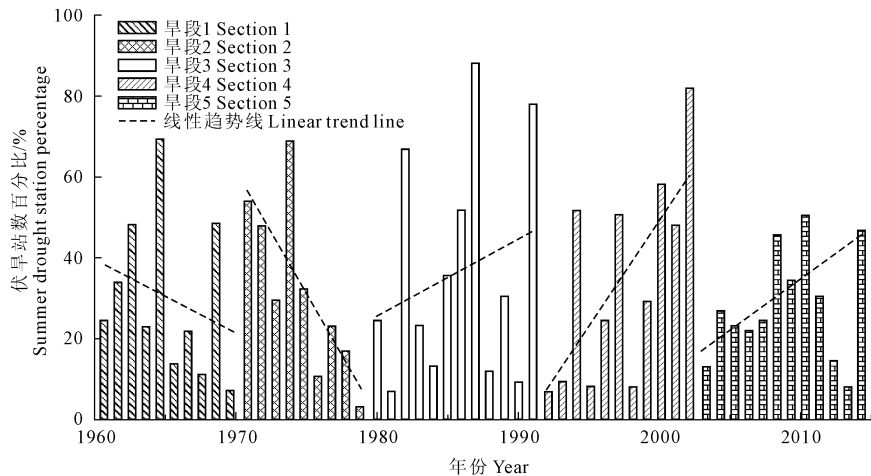


图 2 1961—2015 年甘肃省发生伏旱站数占总站数的百分比历年变化

Fig.2 The yearly variations of summer drought station percentage in Gansu Province during 1961—2015

段开始/结束日期。伏旱开始日与结束日之间的天数为伏旱日数。因此,近 55 a 甘肃省伏旱最早在 7 月初已形成干旱(表 3),最晚出现在 8 月 22 日,平均开始日期为 8 月 1 日。伏旱最长持续时间为 15 d (1965 年),其次为 1991 年(13 d),平均持续时间为 11.4 d。

通过伏旱强度指数划分伏旱等级(表 4),在过去 55 a 中,无伏旱 43 a(占 78.2%),未出现轻伏旱,中伏旱 7 a(占 12.7%),强伏旱 3 a(5.5%)。无伏旱主要出现在 20 世纪 80 年代以前,中伏旱主要出现在 20 世纪 70、80 年代初、90 年代后期至 21 世纪初,重伏旱主要出现在 1965、1991 和 2000 年。自 20 世纪 80 年代以来,共有 7 a 伏旱强度大于中伏旱。

表 3 1961—2015 年甘肃省伏旱起始日、
伏旱天数及累计区域降水强度指数

Table 3 Initial date, total days and intensity index of
cumulative regional precipitation during summer
drought in Gansu Province from 1961—2015

年份 Year	起始日期 Initial data (m - d)	伏旱天数 Days of summer drought/d	累计区域降水强度指数 Intensity index of cumulative regional precipitation
1965	08 - 15	15	- 1221
1972	07 - 23	11	- 891
1975	08 - 12	11	- 916
1982	07 - 11	11	- 853
1991	07 - 06	13	- 1044
1997	08 - 22	10	- 833
1999	07 - 25	11	- 885
2000	07 - 15	12	- 1053
2002	08 - 22	10	- 849
2015	08 - 22	10	- 805

2.5 作物受旱特征分析

河西走廊是甘肃全省伏旱发生频率最高的区域,由于是灌溉农业区,只要上年冬前灌溉比较好,对春播作物的影响并不十分严重。甘肃河东地区是旱作农业区,农作物所需的水分主要依靠自然降水,虽然河东地区伏旱出现频率相对偏小,但往往影响秋粮作物的生长,是伏旱对农业生产影响最严重的区域,加之夏季的持续高温天气,对花期玉米开花授粉、马铃薯块茎膨大和中药材生长有一定影响,给农业生产造成一定损失。

在 20 世纪 90 年代和 2005 年左右,农作物受灾面积波动较大,历年受灾面积变化和重旱站数百分比的变化趋势相似,采用降水距平百分率的伏旱重旱范围呈减小趋势,为 $-0.6\% \cdot 10a^{-1}$,农作物受灾面积呈 $1.1 \text{ 万 } \text{hm}^2 \cdot 10a^{-1}$ 的增加趋势(图 3)。

表 4 1961—2015 年甘肃省伏旱强度等级

Table 4 The grade of summer drought intensity index
in Gansu Province during 1961—2015

伏旱等级 Intensity grade	伏旱强度指数 Intensity index	年份 Year
无伏旱 No drought	$M = 0$	1961—1966、1967—1971、 1973、1974、1976—1981、 1983—1990、1992—1996、 1998、2001、2003—2014
轻伏旱 Slight drought	$0 < M < 1.0$	—
中伏旱 Moderate drought	$1.0 \leq M < 1.5$	1972、1975、1982、1997、1999、 2002、2015
强伏旱 Severe drought	$M \geq 1.5$	1965、1991、2000

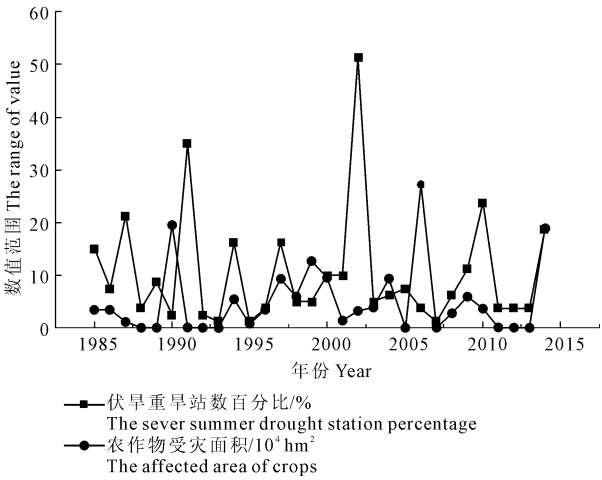


图 3 1985—2014 年甘肃省重旱站数占总站数百分比和作物受灾面积的历年变化

Fig.3 The yearly variations of severe summer drought station percentage and the affected area of crops in Gansu Province during 1985—2015

甘肃省灾情普查数据表明,20 世纪 80 年代以来,全省伏旱受灾地区主要为武威、张掖、白银、定西、甘南、金昌、兰州、临夏、陇南、平凉、庆阳和天水等 12 个市(州),主要受灾农作物有玉米、小麦、糜子、洋芋、豌豆、油菜、大豆、胡麻、蚕豆、高粱等。2000 年伏旱是全省大范围的严重干旱,重旱区主要分布在武威以东地区,是我国北方夏旱区的一部分。近 50 a 中,大范围前伏干旱共出现 4 次(1973、1982、1991、2000 年),其中 2000 年是第 4 次出现,干旱强度为近 50 a 所罕见。严重的前伏干旱使 6 月下旬雨后播种的小秋作物不能出苗或出苗后枯萎、死亡,对大秋作物的正常生长造成很大的不良影响,秋粮减产。2015 年定西市和庆阳市受伏旱影响较大。全省有 39 站出现 35℃ 以上高温,白银市、庆阳市、平凉市东部、天水市渭北地区等地旱情发展程度的加重,影响了马铃薯的块茎膨大、玉米的开花授粉及苹果的果实生长。

3 讨论

甘肃省地处干旱半干旱气候区,农作物生长所需的水分主要依靠自然降水。而伏期(7—8 月)是甘肃省秋季作物生长的需水关键期,伏旱的发生发展对秋季作物的产量和品质影响重大。尽管已有一些研究者分析了甘肃省伏旱指数的变化特征^[12-13]以及干旱对甘肃省玉米和冬小麦的影响^[14-15],但关于甘肃省伏旱发生的频率、范围和年代际变化的统计分析仍较少。本研究指出,1961—2015 年甘肃

全省、河西和河东的伏旱发生频率呈缓慢增加趋势,但伏旱强度的变幅自 20 世纪 80 年代以来显著增大;伏旱发生频率的空间分布为河西走廊最高,陇中北部、陇东和陇南次之,陇中南部和甘南高原最小,但伏旱发生范围在 1961—1995 年期间呈明显缩小趋势,而在 1996—2015 年期间呈扩大趋势。同时,对比甘肃全省伏期大气降水数据和严重伏旱的文献记录资料发现,甘肃省伏旱致灾与大气降水有密切联系,基于降水距平百分率给出的伏旱频率空间分布能很好地描述伏旱发生的区域范围,且与杨晓华^[13]的伏旱指数分区结果相似,表明了降水距平百分率指标研究伏旱的可行性。本研究利用伏旱强度指数较为详细地描述了甘肃省伏旱发生的时间和强度,与已有研究结果相似^[6,12],有助于较全面分析伏旱的时空特征。但是,这些指标仍不能很好地阐明甘肃全省自 20 世纪 80 年代以来的伏旱异常变化成因,未来需要进一步分析研究。

4 结论

本研究利用甘肃省 80 个气象观测站 1961—2015 年伏期(7—8 月)历年降水量资料对伏旱发生的频率、范围和年代际变化进行了统计分析,主要得到如下结论:

(1) 甘肃省伏旱发生频率在 10% ~ 55% 之间,河西走廊为 30% ~ 55%,是频率最高区;陇中北部、陇东和陇南大部 30% ~ 40%,是伏旱发生频率次高区;陇中南部和甘南高原 20% ~ 30%,是伏旱发生频率最小区。甘肃全省和河东的伏旱发生频率自 20 世纪 90 年代开始增加,2011 年以后达到最大;全省和河东重大伏旱频率在 20 世纪 90 年代以后增大,河西自 2000 年起减小。

(2) 近 55 a 中,甘肃省伏旱最早在 7 月初已形成干旱,最晚出现在 8 月 22 日,平均开始日期为 8 月 1 日,平均持续时间为 11.4 d。伏旱范围在 1961—1995 年期间呈明显的缩小趋势,在 1986—2015 年期间呈扩大趋势,且在 20 世纪 80 年代以后,全省、河东和河西区域的年代际变化趋势相同,均是在 70 年代呈减少趋势,80 年代先增加后减少,90 年代以后先减小后增加。

(3) 全省发生伏旱站数占总站数百分比的演变趋势主要有五个明显时段,发生伏旱站数占总站数比的平均值呈先增加后减小变化趋势,尤其是在 1981—1991 年,共有 4 a 伏旱站数占总站数比大于 50%,其中 70% 以上的有 2 a。

表 5 残膜捡拾机构的主要性能指标

Table 5 Main performance index of the plactic film residue collector

指标 Index	参数值 Parameter values
配套动力 Matched power	≥25.7 kW
作业幅宽 Work width	1.5 m
连杆偏心距 Eccentricity of link rod	75 mm
杆齿轴转速 Rod-tooth shaft rotational speed	60 r·min ⁻¹
平均捡拾率 The average rate of picking up	90.66%
平均清杂率 The average rate of impurity removal	82.14%

参 考 文 献:

[1] 张东兴. 农用残膜的回收问题[J]. 中国农业大学学报, 1998, 3 (6):103-106.

[2] 何文清, 严昌荣, 赵彩霞, 等. 我国地膜应用污染现状及其防治途径研究[J]. 农业环境科学学报, 2009, 28(3):533-538.

[3] 王 频. 残膜污染治理的对策和措施[J]. 农业工程学报, 1998, 14(3):185-188.

[4] 李亚丽, 石林榕, 孙 伟, 等. 一种新型残膜捡拾机的设计与试验[J]. 干旱地区农业研究, 2015, 33(5):253-257.

[5] 陈 发, 史建新, 王学农, 等. 弧型齿残膜捡拾滚筒捡膜的机理

[J]. 农业机械学报, 2006, 37(6):36-41.

[6] 谢建华, 侯书林, 付 宇, 等. 残膜回收机弹齿式拾膜机构运动分析与试验[J]. 农业机械学报, 2013, 44(S1):94-99.

[7] 于振华, 王浩宇, 许光明, 等. 大垄双行膜下滴灌种植模式下的残膜回收[J]. 农业与技术, 2012, (12):70-71.

[8] 那明君, 董 欣, 侯书林, 等. 残膜回收机主要工作部件的研究[J]. 农业工程学报, 1999, 15(2):112-115.

[9] 卢博友, 杨 青, 薛少平, 等. 圆弧形弹齿滚筒式残膜捡拾机构设计及捡膜性能分析[J]. 农业工程学报, 2000, 16(6):68-71.

[10] 侯书林, 张淑敏, 孔建铭, 等. 弹齿式收膜机主要结构设计[J]. 中国农业大学学报, 2004, 9(2):18-22.

[11] 张东兴. 残膜回收机的设计[J]. 中国农业大学学报, 1999, 4 (6):41-43.

[12] 卢博友, 薛少平, 薛惠岚, 等. 弹齿滚筒式残膜捡拾机构捡膜特性分析[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2000, 28 (5):100-104.

[13] 徐新惠, 王维新, 吴 杰, 等. 滚筒式残膜回收机的理论设计和试验研究[J]. 农机化研究, 2006, (3):123-124.

[14] 徐良庆, 肉孜·阿木提, 李 莉, 等. 杆齿栅筒式捡拾装置[J]. 新疆农业大学学报, 1998, 21(2):163-167.

[15] 安军芳, 王 赟, 张 涛, 等. 残膜回收机伸缩杆式捡拾滚筒的改进设计[J]. 农业装备与车辆工程, 2014, 52(3):7-9.

[16] 赵 岩, 郑 炫, 周敦兴. 农田残膜捡拾打包联合作业机的研制[J]. 新疆农机化, 2015, (1):6-7.

(上接第 276 页)

发生大旱以上区域, 主要从 20 世纪 60 年代河西西部和庆阳市, 扩大至河东大部地区, 再向河西缩小, 在 80 年代由陇中地区西移至河西西部, 1991 年起向东部大范围扩大, 20 世纪 90 年代末至 2013 年向河西地区缩小, 近两年又呈扩大趋势。

(4) 甘肃全省未出现轻伏旱。轻伏旱主要出现在 20 世纪 80 年代以前, 20 世纪 80 年代以后伏旱强度指数变化的幅度明显增大, 发生中伏旱的有 7 a、重伏早有 3 a(1965、1991 和 2000 年), 其中 1965 年伏旱持续时间为历史最长(15 d), 其次为 1991 年(13 d)。全省 20 世纪 60 年代初、80 年代中期、1994 年和 2000 年出现严重的伏旱或连旱, 导致了 1985—2015 年甘肃省农作物产量下滑, 且受灾面积呈增加趋势。

参 考 文 献:

[1] 李栋梁, 魏 丽, 蔡 英, 等. 中国西北现代气候变化事实与未来趋势展望[J]. 冰川冻土, 2003, 25(2):135-142.

[2] 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, 25(2):157-164.

[3] 刘德祥, 董安祥, 邓振镭. 中国西北地区气候变暖及其对农业影响的研究[J]. 自然资源学报, 2005, 20(1):1-7.

[4] 刘德祥, 董安祥, 陆登荣. 中国西北地区近 43 年气候变化及其对农业生产的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2005, 23(2):195-200.

[5] 刘德祥, 董安祥, 邓振镭. 中国西北地区近 43 年降水资源变化对农业的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2005, 23(4):179-184.

[6] 吴爱敏. 西北地区伏期干旱特征及影响因子分析[J]. 中国沙漠, 2008, 28(3):572-578.

[7] 刘德祥, 董安祥, 薛万孝. 气候变暖对甘肃农业的影响[J]. 地理科学进展, 2005, 24(2):49-57.

[8] 刘德祥, 赵红岩, 董安祥. 气候变暖对甘肃夏秋季作物种植结构的影响[J]. 冰川冻土, 2005, 27(6):806-811.

[9] 刘德祥, 白虎志, 宁惠芳, 等. 甘肃不同强度降水日数变化对干旱灾害的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2007, 25(2):212-217.

[10] 林婧婧, 申恩青, 刘德祥. 甘肃省近 58 年春旱的气候特征及其对农业的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2010, 28(1):233-236, 242.

[11] 林婧婧, 申恩青, 刘德祥. 甘肃省近 58a 春末夏初旱变化特征及其对夏粮的影响[J]. 干旱气象, 2012, 30(1):77-80, 99.

[12] 吴爱敏, 郭江勇, 王劲松. 中国西北地区伏期干旱指数及干旱分析[J]. 干旱区研究, 2007, 24(2):227-233.

[13] 杨晓华, 白虎志, 周志鹏. 甘肃省伏旱指数特征及多层递阶方法预测[J]. 干旱地区农业研究, 2006, 24(4):180-186.

[14] 姚小英, 吴 丽, 田广旭, 等. 甘肃旱作区玉米近 40 年干旱影响评估[J]. 干旱区资源与环境, 2015, 29(5):192-196.

[15] 姚小英, 张 强, 王劲松, 等. 甘肃冬小麦主产区 40 年干旱变化特征及影响风险评估[J]. 干旱地区农业研究, 2014, 32(2):1-6, 32.

[16] 方建刚, 白爱娟, 肖科丽, 等. 陕西伏旱气候特征及成因分析[J]. 干旱地区农业研究, 2009, 27(2):28-34.