

甘肃糜子(*Panicum miliaceum* L.)生态气候适宜性研究

蒲金涌¹, 姚小英², 辛昌业¹, 袁雅萍¹

(1. 甘肃省天水农业气象试验站, 甘肃 天水 741020; 2. 天水市气象局, 甘肃 天水 741000)

摘 要: 为探讨糜子种植的生态气候适宜性, 运用积分回归方法, 对庆阳西峰区、天水麦积区、定西安定区及武威凉州区 1985~2008 年糜子产量受气候因子的影响进行了分析。结果表明: 水热因子在不同的生育阶段对不同地点糜子的产量影响各不相同; 在抽穗~开花期间, 旬平均气温对安定、凉州、西峰、麦积糜子产量影响较大, 分别为 $10.5 \text{ kg}/(\text{hm}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ 、 $9.0 \text{ kg}/(\text{hm}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ 、 $8.0 \text{ kg}/(\text{hm}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ 及 $5.6 \text{ kg}/(\text{hm}^2 \cdot ^\circ\text{C})$, 在拔节期旬降水量对产量影响较大, 分别为 $8.0 \text{ kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{mm})$ 、 $3.0 \text{ kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{mm})$ 、 $5.2 \text{ kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{mm})$ 及 $5.2 \text{ kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{mm})$; 甘肃各地光照基本上都能满足糜子的生长发育需要; 最适宜种植区为陇东的郿区、渭河谷地及河西海拔在 1 600 m 以下灌溉区及敦煌盆地; 最具有潜力的种植区为陇中地区及陇东的北部。

关键词: 糜子; 生态气候; 适宜性; 产量

中图分类号: S162.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2010)01-0223-04

糜子生育期短, 抗旱耐瘠, 适应性强, 耐贮藏。自古以来为北方半干旱地区主要栽培作物^[1,2]。其秸秆是优质的青、干饲草, 能为当地畜牧业的发展提供较好的饲料供应。糜子营养价值高, 含有小麦(*Triticum aestivum*)、水稻(*Oryza sativa*)等粮食作物不具有的多种营养成分, 资源优势和生产优势明显。可正茬春天播种, 也可复种夏播, 在充分利用生态气候资源上有其不可替代的优势^[3~7]。

糜子在甘肃省各地栽培历史悠久, 播种面积占粮食作物播种面积的 0.5% 左右^[8,9]。但由于全省地域辽阔, 东西南北纵横跨度达 4 个经(纬)度, 区域性气候差异较大。受地理环境和气象等生态因子的制约, 糜子单产极不稳定, 最高可达 $2\,250 \text{ kg}/\text{hm}^2$, 最低只有 $600 \text{ kg}/\text{hm}^2$ 。在全球气候变化的背景下, 其生产中的不确定因素增大^[10~12]。分析气候因子对糜子生长发育的影响, 为当地糜子的生产提供科学依据。

1 资料收集与分析

根据甘肃全省地域分布特点, 以庆阳西峰区、天水麦积区、定西安定区及武威凉州区分别代表陇东地区、陇东南地区、陇中地区及河西地区的糜子生产状况。单产资料取自上述 4 地 1985~2008 年的历年经济年鉴^[13~16], 各地生育期出现日期系当地农业科学研究所观测及调查所得。相应时段的气温、降水、日照资料取自 4 地气象站的常规观测。

气候产量(Y_w)采用正交多项式法与社会产量分离^[17], 在分析各气象因子对气候产量的影响时, 用积分回归法^[18]:

$$Y_w = C + \sum_{i=1}^m A(i) \times X_{ii} \quad (1)$$

式中, Y_w 为气候产量计算值(kg/hm^2), C 为常数项, i 为生育时段, 在本研究中以旬为单位, 正茬春播糜子的生长周期从 4 月上旬开始到 9 月下旬结束, $m = 18$; A 为偏回归系数, 即影响系数。 $A(i)$ 为某一生育时段气候因子每增加一个单位, 气候产量增加或减少的数值(kg/hm^2); i 为样本数, 本研究样本数为 24; X 为气象因子。

2 结果与分析

2.1 糜子物候特征

甘肃糜子在播种时间上可分为正茬春播和夏播复种。春播糜子播种期为 4 月中旬至 5 月下旬(表 1)。陇东西峰及陇东南麦积出苗~拔节生长阶段时间较短, 河西凉州及中部安定时间较长。各地拔节期以后各生育阶段时间差别较小。9 月中下旬达到成熟。全生育期为 123~153 d, 陇东(西峰)生长天数较短, 河西(凉州)较长。夏播糜子一般在小麦收获后的 6 月下旬至 7 月上旬播种, 7 月上中旬出苗, 7 月中下旬拔节, 8 月上中旬抽穗开花, 9 月中下旬成熟, 全生育期为 80~90 d。

收稿日期: 2009-02-22

基金项目: 科技部公益行业(气象)科研专项(GYHY200806021); 中国气象局兰州干旱气象研究所干旱气象基金(IAM200803)

作者简介: 蒲金涌(1960—), 甘肃天水人, 高级工程师, 主要从事应用气象试验研究及气象业务。E-mail: pujinyong6@163.com。

表 1 各地春、夏播糜子生育期(M-d)
Table 1 The growth periods of broomcorn millet sowed in spring and summer in Gansu(M-d)

播期 Time of sowing	地点 Site	播种 Sowing	出苗 Emergency	拔节 Jointing	抽穗 Heading	开花 Flowering	成熟 Mature	总天数(d) Days
春播 Spring sowing	西峰 Xifeng	05-25	06-05	07-05	07-15	07-25	09-25	123
	麦积 Maiji	04-25	05-15	06-15	07-05	07-15	09-15	143
	安定 Anding	05-05	05-15	07-05	07-15	07-25	09-25	143
	凉州 Liangzhou	04-15	05-05	06-15	07-05	07-15	09-25	153
夏播 Summer sowing	西峰 Xifeng	07-05	07-15	07-25	08-03	08-18	09-25	92
	麦积 Maiji	06-25	07-05	07-15	08-05	08-15	09-15	82
	敦煌 Dunhuang	07-15	07-25	08-05	08-03	08-18	09-25	82

2.2 热量对糜子产量的影响
2.2.1 春播糜子热量条件 糜子是喜温作物,气温对其生长发育影响较大。甘肃各地春播糜子全生育期 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温 $2\,261^{\circ}\text{C} \sim 2\,282^{\circ}\text{C}$ (表 2)。河西热量(凉州)条件较好,陇中(安定)热量条件较差。在开花~成熟阶段两地积温相差达 300°C 。

表 2 糜子各生育阶段 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温($^{\circ}\text{C}$)
Table 2 Accumulated temperature $\geq 10^{\circ}\text{C}$ in growth period of millet

地点 Site	播种~出苗 Sowing~Emergency	出苗~拔节 Emergency~Jointing	拔节~抽穗 Jointing~Heading	抽穗~开花 Heading~Flowering	开花~成熟 Flowering~Mature	全生育期 Whole growth period
西峰 Xifeng	272	599	210	216	1018	2315
麦积 Maiji	196	586	442	231	1262	2717
安定 Anding	128	815	188	194	936	2261
凉州 Liangzhou	273	702	407	218	1282	2882

用积分回归(式 1)分析了各地糜子生长发育阶段旬平均气温对其气候产量的贡献(图 1)。结果表明,自糜子播种后,随着生育进程的推进,气温对产量的正影响愈来愈明显。 $A(t)$ 值抽穗~开花期间达到最大。安定(7月上旬)达 $10.5\text{ kg}/(\text{hm}^2\cdot^{\circ}\text{C})$;凉州(6月下旬)为 $9.0\text{ kg}/(\text{hm}^2\cdot^{\circ}\text{C})$;西峰(7月中旬)为 $8.0\text{ kg}/(\text{hm}^2\cdot^{\circ}\text{C})$;麦积(7月上旬)为 $5.6\text{ kg}/(\text{hm}^2\cdot^{\circ}\text{C})$ 。8月上旬左右气温对麦积气候产量影响为负效应, $A(t)$ 为 $-3.0\text{ kg}/(\text{hm}^2\cdot^{\circ}\text{C})$ 。

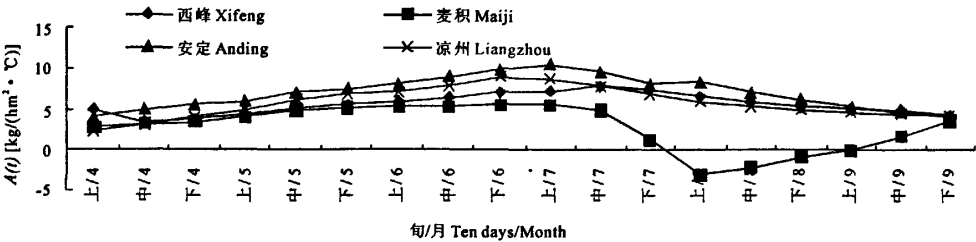


图 1 旬平均气温与糜子单产积分回归曲线
Fig.1 Integral regression curve of per unit area yield of broomcorn millet and average temperature of ten days

2.2.2 复种糜子热量条件 复种糜子的主要限定条件是热量。据邓振镛研究^[19],敦煌 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温与复种糜子的单产相关性($R=0.62, P<0.02$)、临泽 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温与复种糜子的单产相关性($R=0.69, P<0.02$)及凉州 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温与复种糜子的单产相关性($R=0.84, P<0.01$)都比较显著。 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温达 $1\,100^{\circ}\text{C}$ 复种糜子即可成熟;当 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温为 $1\,400^{\circ}\text{C} \sim 1\,600^{\circ}\text{C}$ 时,产量达 $1\,000 \sim 1\,500\text{ kg}/\text{hm}^2$,积温增加产量提高。各地冬、春小麦收获后到 9 月底积温多少决定复种糜子可利用的热量条件优劣,表 3 表明,陇东南(麦积)复种糜子热量条件最优;陇东(西峰)及河西(凉州、敦煌)海拔较低的地区热量条件较好;陇中(安定)复种热量严重不足。

表 3 复种糜子热量条件
Table 3 The heat condition of multiple cropping millet

地点 Site	播种(M-d) Sowing	成熟(M-d) Mature	全生育期≥ 10℃ 积温(℃) Accumulated temperature(≥10℃)
敦煌 Dunhuang	07-16	09-28	1777
凉州 Liangzhou	07-27	09-26	1376
安定 Anding	07-23	09-28	750
麦积 Maiji	06-22	09-26	1848
西峰 Xifeng	07-05	09-25	1641

2.3 降水量对糜子产量的影响

糜子单株叶面积小,蒸腾系数为小麦的 1/3^[20],需水远小于其他作物^[21,22]。陇东南(麦积)和陇东(西峰)全生育期降水量基本上可以满足生长需要(表 4);陇中(安定)略有欠缺,雨水较少的年份,水分条件不能满足糜子生长需要;河西(凉州)要依靠

灌溉补充水分。分析表明,西峰 6 月份降水量与糜子单产相关性($R = 0.4256, P < 0.1$)及安定 6 月份降水量与糜子单产相关性($R = 0.6324, P < 0.05$)显著,而凉州 7 月份降水量与糜子单产的相关性($R = 0.3124, P > 0.1$)及麦积 6 月降水量与糜子单产的相关性($R = 0.3243, P > 0.1$)却不能通过假设检验。

积分回归分析(式 1)显示,各地播种~出苗期间的降水量对糜子产量起负作用(图 2)。其中陇东南(麦积)的 $A(t)$ 负值持续到 5 月中旬~5 月下旬,陇中(安定)负值持续到 5 月上旬~5 月中旬,陇东(西峰)负值持续至 4 月中旬。5 月下旬以后,各地降水量对糜子的产量形成都起正作用,其中陇中(安定)6 月中旬 $A(t)$ 值达 $8\text{ kg}/(\text{hm}^2\cdot\text{mm})$,陇东(西峰)6 月下旬 $A(t)$ 值为 $5.2\text{ kg}/(\text{hm}^2\cdot\text{mm})$,陇东南(麦积)7 月下旬 $A(t)$ 值为 $5.2\text{ kg}/(\text{hm}^2\cdot\text{mm})$,河西(凉州)6 月中旬 $A(t)$ 值为 $3.0\text{ kg}/(\text{hm}^2\cdot\text{mm})$ 。

表 4 甘肃糜子各生育阶段降水量(mm)
Table 4 The precipitation in all growth period of broomcorn millet

地点 Site	播种~出苗 Sowing~Emergency	出苗~拔节 Emergency~Jointing	拔节~抽穗 Jointing~Heading	抽穗~开花 Heading~Flowering	开花~成熟 Flowering~Mature	全生育期 Whole growth period
西峰 Xifeng	14.8	82.7	36.2	40.8	194.6	393.9
麦积 Maiji	34.3	60.4	65.8	26.1	172.6	370.5
安定 Anding	16.7	100.2	20.7	26.8	131.9	296.3
凉州 Liangzhou	6.4	30.2	20.4	8.3	69.3	134.4

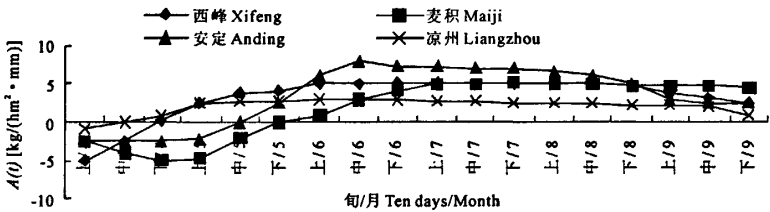


图 2 旬降水量与糜子单产积分回归曲线

Fig.2 Integral regression curve of per unit area yield of broomcorn millet and precipitation of ten days

2.4 光照对糜子产量的影响

糜子属短日照作物,在穗分化后期及灌浆阶段对光照反映比较敏感。有试验表明,如果灌浆生长发育阶段株行间光照减少 15%,产量减少

14.6%^[23]。糜子生长发育期间河东光照条件逊于河西,陇东南麦积最少,只及河西凉州的 69%。分析表明,陇东南麦积 8 月份的日照时数与当地糜子单产相关性极显著($R = 0.826, P < 0.01$)。

表 5 甘肃各地糜子各生育阶段日照时数(h)
Table 5 The sunshine duration in all growth period of broomcorn millet

地点 Site	播种~出苗 Sowing~Emergency	出苗~拔节 Emergency~Jointing	拔节~抽穗 Jointing~Heading	抽穗~开花 Heading~Flowering	开花~成熟 Flowering~Mature	全生育期 Whole growth period
西峰 Xifeng	87.7	255.4	80.0	80.1	392.1	895.3
麦积 Maiji	137.3	215.7	129.7	77.4	383.7	827.4
安定 Anding	77.3	400.2	77.5	82.1	382.9	1020.0
凉州 Liangzhou	167.1	371.6	172.6	89.5	580.9	1381.7

3 结论与讨论

糜子是喜温作物,热量是糜子产量的主要影响因素。抽穗~开花阶段气温对糜子的产量形成作用尤为明显。陇中(安定)7月上旬气温对产量的影响可达 $10.5 \text{ kg}/(\text{hm}^2 \cdot ^\circ\text{C})$,河西(凉州)6月下旬气温对产量的影响为 $9.0 \text{ kg}/(\text{hm}^2 \cdot ^\circ\text{C})$,陇东(西峰)及陇东南(麦积)糜子生长期间热量比较充足,产量受气温变化影响较少。降水量是影响甘肃糜子生产的另一主要因子,在拔节生育期内陇中(安定)6月中旬的降水量对产量影响达 $8 \text{ kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{mm})$,河西(凉州)糜子的生长需水大部分由灌溉提供,降水量对其产量影响最小。在糜子生长期中,除陇东南(麦积)外,各地光照对糜子产量影响不大。

糜子在甘肃的最适生态气候种植区分布在陇东的塬区及陇东南的渭河河谷地带。该地域热量充足,拔节~抽穗期间的降水较多,能够为糜子的生长提供最优的水热组合。河西地区海拔低于 $1\,600 \text{ m}$ 的灌溉区及敦煌盆地也能为糜子的生长发育提供最优的热量条件,是春播糜子的最佳种植地之一。陇东 36°N 以北的地区及陇中地区关键生育期光照充足,热量条件能够满足糜子生长发育的要求,所产糜子的品质比较高。但该地域干旱灾害发生频率较大,对糜子的生长有一定威胁。如果抗旱措施得当,将是糜子种植最有潜力的地区之一。陇东南南部海拔低于 $1\,100 \text{ m}$ 的河谷地带,虽有比较好的热量及降水条件,但由于糜子关键生育期的光照较少,对糜子的品质有一定影响。

糜子最大的特点是喜热、短日照,生育周期短,是倒茬、换种、调整夏、秋作物种植比例的理想作物。在年降水量 400 mm 左右的河东旱作农业区有种植优势,应建立糜子的繁殖、育种基地,保持现有种植面积,适当规模发展,增加夏、秋作物种植布局比例的合理性。复种夏播糜子在热量条件比较好的陇东及陇东南地区应大力推广;在热量条件较好的河西低海拔地区应尽量扩大复种面积,充分利用生态气候资源,提高复种指数,增加单位土地的粮食总产。

参考文献:

- [1] 张 雄.黄土高原主要小杂粮作物的干旱适应性研究[J].干旱区资源与环境,2007,23(8):23—28.
- [2] 张 雄,山 仑,李增嘉,等.黄土高原小杂粮作物生产态势与地域分异[J].中国生态农业学报,2007,15(3):80—85.
- [3] 农业气象编辑委员会.中国农业百科全书(农业气象卷)[M].北京:农业出版社,1986:75—76.
- [4] 高小丽,高金锋,冯佰利,等.西部有机特色小杂粮产业发展战略研究[J].干旱地区农业研究,2006,24(6):233—236.
- [5] 丁 明,黄玉库,王效瑜,等.宁夏固原地区小杂粮生产现状与发展对策[J].作物杂志,2002,(5):32—37.
- [6] 廖巧存,刘彩琴,杨忠勋.环县小杂粮生产现状与发展措施[J].甘肃农业科技,2004,(3):26—28.
- [7] 张 雄,王立祥,尚爱军,等.入世后小杂粮产业发展的应对[J].作物杂志,2002,(6):16—20.
- [8] 吴国忠.甘肃省小杂粮生产现状及发展措施[J].甘肃农业科技,2003,(3):30—34.
- [9] 姚小英,邓振镛,蒲金涌,等.甘肃省糜子生态气候研究及适生种植区划[J].干旱气象,2004,22(2):52—55.
- [10] 邓振镛,张 强,徐金芳,等.全球气候变暖对甘肃农作物生长影响的研究进展[J].地球科学进展,2008,23(10):1070—1078.
- [11] 邓振镛,张强,刘德祥,等.气候变暖对甘肃种植业结构和农作物生长的影响[J].中国沙漠,2007,27(4):627—632.
- [12] 邓振镛,仇化民,李怀德.陇东气候与农业开发[M].北京:气象出版社,2000:83—85.
- [13] 庆阳市统计局.庆阳经济年鉴(1985~2008)[M].北京:中国统计出版社,1985~2008.
- [14] 天水市统计局.天水经济年鉴(1985~2008)[M].北京:中国统计出版社,1985~2008.
- [15] 定西市统计局.定西经济年鉴(1985~2008)[M].北京:中国统计出版社,1985~2008.
- [16] 武威市统计局.武威经济年鉴(1985~2008)[M].北京:中国统计出版社,1985~2008.
- [17] 杨永岐.农业气象中的统计方法[M].北京:气象出版社,1983:113—116.
- [18] 魏焯秋.农业气象统计[M].福州:福建科学技术出版社,1984:130—157.
- [19] 邓振镛.河西走廊复种作物与热量资源利用的研究[J].自然资源,1982,5(4):40—48.
- [20] 龚绍先.作物气象[M].北京:北京农业大学出版社,1988:195—232.
- [21] 贾根良,代惠萍,冯佰利,等.模拟干旱胁迫对糜子幼苗生理特性的影响[J].西北植物学报,2008,(10):28(10):23—27.
- [22] 张 雄,董 伟,王立祥.陕北丘陵沟壑区主要小杂粮降水生产潜力研究[J].水土保持通报,2007,27(8):15—18.

(英文摘要下转第 232 页)

The potential response of wheat yield to regional climate change and meteorological factors in the arid plain north of the Weihe River

WANG Bao-liang^{1,2}, PAN Xian-zhang¹, LIANG Yin¹, LIU Tong¹, YANG Xuan¹,
MU Huan^{1,2}, SU Chun-li¹, GUAN Qing-wei²

(1. Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing, Jiangsu 210008, China;

2. Graduate School of Nanjing Forestry University, Nanjing, Jiangsu 210037, China)

Abstract: The path analysis was made between meteorological factors and yield of wheat in Changwu County in the arid plain north of the Weihe River. The results showed that: the major meteorological factors which effected yield of wheat were precipitation and surface temperature. Precipitation had great effect during sowing to seedling emergence stage, while surface temperature had even more remarkable effect during the stages of tillering to overwintering, turning green to jointing, and filling to milk. During past 50 years in this area, air temperature had a rising trend significantly, basically identical with global climate change. With great fluctuation, the annual precipitation had a decreasing tendency in general, especially during sowing to emergence period. The ground temperature had an increasing trend during turning green to jointing period, with a greater range after the year of 2000. So it was good to improve the yield of wheat by climate warming, but with a fluctuation of precipitation, it was hard to make sure the yield under the regional climate change.

Keywords: the arid plain north of the Weihe River; wheat; yield; meteorological factors; path analysis

(上接第 226 页)

A study on eco-climate suitability of broomcorn millet (*Panicum Miliaceum* L.) in Gansu

PU Jin-yong¹, YAO Xiao-ying², XIN Chang-ye¹, YUAN Ya-ping¹

(1. Tianshui Agrometeorological Experiment Station, Tianshui, Gansu 741020, China;

2. Tianshui Meteorological Bureau, Tianshui, Gansu 741000, China)

Abstract: Broomcorn millet is main minor crops in Gansu. To investigate the eco-climate suitability of millet, we analyzed the influence of climate factors on the yield of broomcorn millet with the method of integral regression in Xiefeng, Maiji, Anding and Liangzhou districts from 1985 ~ 2008. The result shows that water and heat have different function on the yield of broomcorn millet in different regions at different periods in which the highest value of ten-day average temperature on the yield of broomcorn millet in Anding, Liangzhou, Xifeng and Maiji are $10.5 \text{ kg}/(\text{hm}^2 \cdot ^\circ\text{C})$, $9.0 \text{ kg}/(\text{hm}^2 \cdot ^\circ\text{C})$, $8.0 \text{ kg}/(\text{hm}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ and $5.6 \text{ kg}/(\text{hm}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ respectively in heading to flowering periods and the highest value of ten-day precipitation on yield of broomcorn millet are $8.0 \text{ kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{mm})$, $3.0 \text{ kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{mm})$, $5.2 \text{ kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{mm})$ and $5.2 \text{ kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{mm})$ respectively in jointing growth period. It also shows that the sunshine can satisfy the growing of broomcorn millet in Gansu. The most eco-climate suitability area is in the plateau of Eastern Gansu, the basin of the Weihe River and the irrigation area below 1 600 m above the sea level and Dunhuang Basin in Hexi corridor and the most potential eco-climate suitability area is Middle Gansu and Northeast Gansu.

Keywords: millet; eco-climate; suitability; yield