

降雨量与旱地糜子产量的关系

王君杰 王宇楠 王海岗 陈凌 曹晓宁 刘思辰 田翔 秦慧彬 乔治军*

(山西农业科学院 农作物品种资源研究所/农业部黄土高原作物基因资源与种质创制重点实验室/
杂粮种质资源发掘与遗传改良山西省重点实验室,太原 030031)

摘要 为研究干旱早作农业区降雨量对糜子产量的影响,2012—2017年在忻州市河曲县测定6年期间的降雨数据和糜子产量数据。结果表明:7月份是糜子生育期需水量最关键的月份,当月降雨量约占生育期总降雨量的38.03%~39.92%,降雨量与糜子产量呈极显著正相关,直接决定糜子能否高产;6月份决定糜子出苗率,当月降雨量约占生育期总降雨量的22.49%~22.65%,降雨量与糜子产量呈不显著正相关;8和9月份的降雨量与糜子产量显著负相关。结果表明,在6和7月份降雨量满足的情况下,当地糜子获得较好产量的生育期适宜降雨量为409.3~472.2 mm。

关键词 降雨量; 糜子; 旱地; 产量

中图分类号 S516.01 **文章编号** 1007-4333(2019)04-0011-05 **文献标志码** A

Relationship between rainfall and the yield of broomcorn millet in arid region

WANG Junjie, WANG Yunan, WANG Haigang, CHEN Ling, CAO Xiaoning,
LIU Sichen, TIAN Xiang, QIN Huibin, QIAO Zhijun*

(Institute of Crop Germplasm Resources/Key Laboratory of Crop Gene Resources and Germplasm Enhancement on Loess Plateau of Ministry of Agriculture/Shanxi Key Laboratory of Genetic Resources and Genetic Improvement of Minor Crops, Shanxi Academy of Agricultural Sciences, Taiyuan 030031, China)

Abstract The objective was to study the impact of variation of rainfall on broomcorn millet yield in arid region, measured the date of rainfall and broomcorn millet yield of Hequ County from 2012 to 2017. The results showed that: July was the most critical month of water demand during the growth period of broomcorn millet, and extremely significant positive correlation with the yield of broomcorn millet, directly determined the broomcorn millet whether could achieve high yield, and the rainfall proportion accounted for about 38.03% - 39.92% of the total rainfall during the growth period; The rainfall of June was no significant positive correlation to the yield of broomcorn millet, which determined the seedling emergence rate of broomcorn millet, and the rainfall proportion accounted for about 22.49% - 22.65% of the total rainfall during the growth period. The rainfall of August and September was significantly negatively correlated with the yield of broomcorn millet. Therefore, under satisfying rainfall condition of June and July, the suitable rainfall during the growth period of broomcorn millet was 409.3 - 472.2 mm.

Keywords rainfall; broomcorn millet; dry land; yield

糜子又名黍、稷和糜。糜子起源于中国,具有耐旱、耐瘠、喜温和早熟等特性,在我国古代农业中具有极其重要的地位^[1],现阶段在我国干旱、半干旱地

区的产业发展和农业结构调整中也有不可替代的作用^[2]。河曲县地势东高西低,海拔836~1637 m,境内丘陵起伏,旱地耕地面积占总耕地面积的

收稿日期: 2018-05-22

基金项目: 山西省农业科学院攻关项目(YGG1625);农业部国家谷子高粱产业技术体系项目(CARS-07-13.5)

第一作者: 王君杰,助理研究员,主要从事谷子糜子生理研究,E-mail: xiaoleiwangjie@163.com

通讯作者: 乔治军,研究员,主要从事谷子糜子生理研究,E-mail: nkypzs@126.com

93.74%，由于糜子根系吸水能力强，水分利用率高，植株抗旱能力强，是河曲县的主要小杂粮作物。

在干旱、半干旱的雨养地区，由于水资源严重缺乏，且降雨量不均衡，导致养分吸收利用比较低，水分成为制约作物产量的主要限制因子^[3-4]。糜子虽然耐旱能力比较强，但前期雨水较少时会严重影响糜子出苗率和养分利用效率。前人对糜子水分的研究主要集中在大田和盆栽控水措施等方面^[5-10]，而对自然降雨与糜子产量的关系研究甚少。本试验2012—2017年在河曲县社梁乡井裕沟村进行连续6年的田间试验，分析影响糜子产量的适宜降雨量及关键需水时期，旨在为当地的糜子栽培耕作措施和施肥技术提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于2012年6月—2017年10月连续6年在山西忻州河曲县社梁乡井裕沟村进行，该区位于(39°08' N, 111°14' E)，海拔1 086 m，年均气温8.8℃，无霜期150 d左右。温、光、热资源适宜糜子的生长发育。

1.2 试验设计

试验基地安装 Watchdog 气象站，能准确测定当地的降雨量，糜子6月中上旬播种，9月中下旬收获。试验用地0.067 hm²，并且每年固定糜子种植户10户，给予提供种子和肥料，肥料施用量和茬口保持一致，收获时对其进行测产，然后对10户所得产量求平均值。品种为晋黍9号，肥料为磷酸二铵+尿素(山西天脊煤化工集团有限公司)，播前施磷酸二铵450 kg/hm²，尿素150 kg/hm²，全部用于底肥，当地的种植方式为传统骡拉条播种植，砂型土壤，每年糜子和土豆进行轮作。

1.3 指标测定

成熟期进行测产，在10户糜子种植户地块设置3个小区，严禁羊群践踏，每个小区5 m×10 m，成熟时在每一小区除边行外随机收获6 m²，重复3次，共18 m²；3个小区共54 m²，然后折算成单位产量，自然风干脱粒后进行测产。

每公顷雨水贡献率，kg/mm=产量/生育期总降雨量

1.4 数据处理

试验数据都采用 Excel 和 DPS 软件进行数据统计和图表分析。

2 结果与分析

2.1 近6年降雨量与糜子产量的变化

图1代表在忻州市河曲县2012—2017年连续6年的产量变化与生育期降雨量(6—9月份，下同)变化。从图1中可以看出，二者基本呈现相同的变化趋势，呈正相关关系，降雨量越大，其产量越高。2013年河曲地区降雨量最大，为472.2 mm，其产量也最高，为5 627.40 kg/hm²。2015年该地区遇到了百年一遇的大旱，生育期降雨量仅为231.6 mm，产量仅为1 789.95 kg/hm²。2016和2017年河曲县降雨量有所增加，同时糜子产量也明显回升。从以上分析可以看出，忻州市河曲县糜子的产量与降雨量变化基本保持一致的趋势。

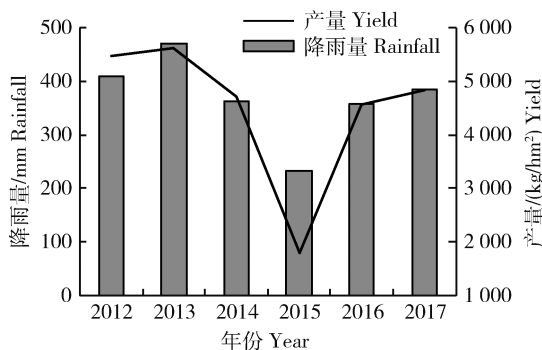


图1 2012—2017年忻州市河曲县糜子产量与降雨量的关系

Fig. 1 Relationship between the rainfall and the broomcorn millet yield in Hequ

2.2 降雨量与糜子产量的关系

如图2，2012—2017年忻州市河曲县年降雨量

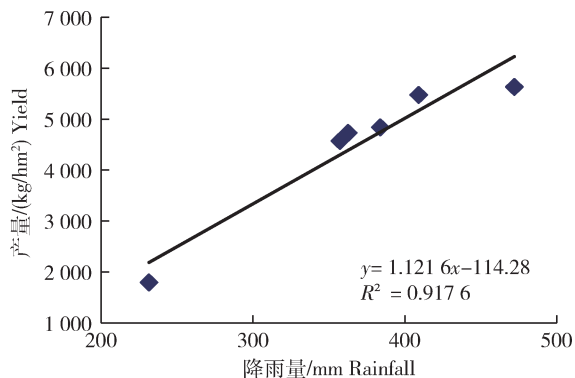


图2 2012—2017年来忻州市河曲县降雨量对糜子产量的影响

Fig. 2 Effect of rainfall on the yield of broomcorn millet in Hequ from 2012—2017

与糜子产量的数据关系可以看出：这 6 年糜子的产量与降雨量呈一定关系，既产量随降雨量的增加而增加。根据试验结果，建立线性方程显示： R^2 为 0.917 6，说明方程的拟合度比较好，可以代表糜子产量的变化趋势。

2.3 糜子生育期降雨量对产量的影响

根据河曲县近 6 年的降雨量数据以及当年试验的产量数据，采用逐步多元线性回归方程，测算生育期各月降雨量对糜子产量的关系。以产量为依变量， y ；各月份降雨量为自变量， x ；通过 DPS 数据处理软件得出回归方程为 $y=170.071 2+0.055 0x_1+1.855 4x_2-0.654 1x_3-0.787 9x_4$ 。

由表 1 可以看出，7 月的降雨量与糜子产量呈极

显著正相关，6 月的降雨量与糜子产量呈不显著正相关，8 和 9 月的降雨量与糜子产量显著负相关。7 月是糜子拔节和抽穗的关键时期，也是需水量最多的时期，以 2013 年为例 7 月降雨量约占生育期总降雨量的 38.03%，2015 年 7 月降雨量仅为 35 mm，仅占生育期总降雨量的 15.11%，最终导致严重减产。6 月的降雨量主要影响糜子的出苗率、整齐度和壮苗率，一般糜子种植在丘陵旱薄地区，所以降雨量减少，会严重影响糜子的种植，从而影响出苗率，最终导致产量降低。8 和 9 月份糜子需水量稍微少一些，因为糜子在禾本科作物中耐旱能力较强，所以后期需水量明显减少，如果后期降雨量增多，很容易引起倒伏，在排灌不畅的地块还容易产生涝害，从而影响糜子产量的增加。

表 1 糜子亩产与降雨量的回归分析

Table 1 The regression analysis of broomcorn millet yield and rainfall

月份 Month	回归系数 Coefficient of regression	偏相关系数 Coefficient of partial correlation	t 值 t-test	p 值 p-value
6	0.734 0	0.417 4	0.459 3	0.691 1
7	0.991 9	0.999 1	23.886 0	0.001 7**
8	0.560 2	-0.983 5	5.433 8	0.032 2*
9	-0.497 0	-0.991 1	7.462 8	0.017 5*

注：** 和 * 分别表示 1% 和 5% 水平上极显著差异和显著差异。

Note: * and ** indicate significant correlations at 0.05 and 0.01 levels, respectively.

2.4 糜子生育期降雨量对产量的贡献率

由图 3 可以得出：2012 年的雨水贡献率和 7 月

份降雨比例最大，分别为 13.375 0 和 39.92%。虽然 2013 年的产量和降雨量最大，但是雨水贡献率明

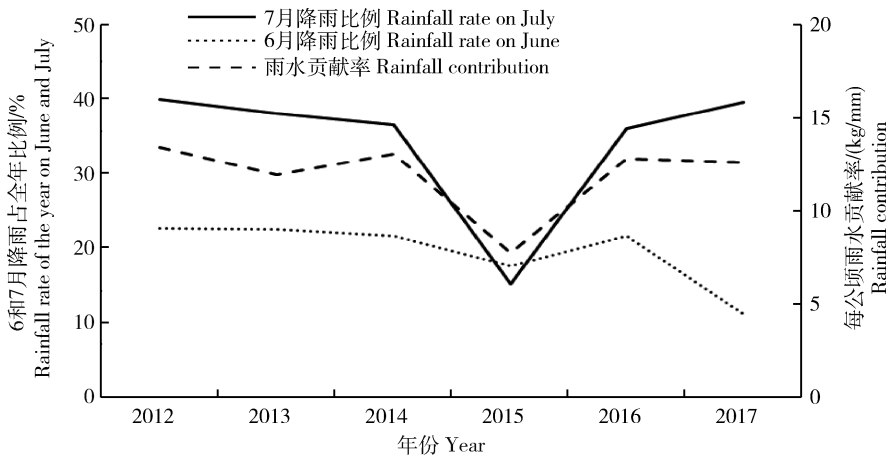


图 3 2012—2017 年忻州市河曲县降雨量对糜子产量的贡献率

Fig. 3 The contribution of rainfall on yield of broomcorn millet in Hequ

显低于其他年份(2015年除外),可见达到一定降雨量后产量不随着降雨量的增多而增高。当地糜子生育期适宜的降雨量为409.3~472.2 mm,7月适宜的降雨比例为38.03%~39.92%,6月适宜的降雨比例为22.49%~22.65%。

3 讨论

高俊山等^[11]研究表明糜子蒸腾系数为255.12,低于谷子(257.00)、高粱(276.39)和玉米(337.62)等作物,是禾本科作物中水分利用效率最高的作物,即耐旱能力比较强。糜子的耐旱能力较谷子和高粱强,但是耐旱能力再强也得保证前期有足够的降雨量促使其出苗。刘猛等^[12]研究表明谷子单产受7月和8月的降雨量影响显著,当2个月降雨量占总降雨量的63.1%时,产量最高。与谷子相比,7和8月是谷子的拔节期、抽穗期和灌浆期,该时期是谷子快速营养生长和生殖生长的关键时期,需要大量的水分,以水促肥,最终达到高产。7月份是糜子的拔节期和抽穗期,该时期所需水分较大,直接影响糜子最终产量,8月份糜子需水较少,而谷子需水较多,这可能就是糜子较谷子耐旱的原因之一。赵京考等^[13]和李渝等^[14]研究表明玉米生育期降雨量对产量的影响最大,降雨量越大,产量越高。任小龙等^[15]研究表明夏玉米在全生育期230~440 mm雨量下,沟垄集雨种植技术可提高玉米产量,但降雨量超过440 mm时,其产量增加趋势减小甚至消失。这与本试验的研究结论基本一致,可能是由于干旱条件下水分是限制产量增加的主要因素,但水分供应充足时水分可能影响根系的生长发育,最终影响产量的提高。玉米是一种高水肥作物,全生育期需水和需肥量都比较大,肖俊夫等^[16]研究表明春玉米和夏玉米需水高峰期为7和8月,该时期是拔节—抽穗阶段。可见一般禾本科作物的需水关键时期为拔节期和抽穗期,该时期需水量较大,因为水分缺乏时,作物叶片光合速率降低,而作物产量的90%~95%是直接或间接来自光合作用,因此,拔节期和抽穗期缺水严重时,容易造成产量大幅度减低。针对河曲十年九旱的缺水情况,结合本研究结果采取适当的栽培措施,张小红等^[6]和苏旺等^[7-8]研究了不同覆膜方式下对糜子产量的影响,以沟垄覆膜集水模式适合忻州干旱半干旱地区糜子生产。沟垄覆膜集水技术能有效收集雨水,改善糜子冠层小气候环境,增加地表温度,促进糜子生长发育,最终提高糜子产

量和水分利用效率。农民要及时收听气象预报,播后遇到干旱时,要及时采取避旱等一系列栽培措施,如利用秸秆、杂草或遮阳网进行覆盖遮阴;进行松土以切断土壤毛细管,降低水分蒸发。本试验主要研究了6年来河曲县糜子全生育期降雨量和亩产的关系,而降雨量如何改变光合特性等生理生态指标及如何影响糜子产量,需要往后继续进一步研究。

4 结论

通过对忻州河曲县糜子全生育期降雨量和产量的相关研究发现,7月份是糜子生育期需水量最关键的月份,直接决定着糜子能否达到高产;6月份是决定糜子出苗率的关键月份。所以在6月份(22.49%~22.65%)和7月份(38.03%~39.92%)降雨量满足的情况下,当地糜子获得高产的生育期适宜降雨量为409.3~472.2 mm。这一结果可以用于指导当地糜子生产。

参考文献 References

- [1] 杨武德,石建国,魏亦文. 现代杂粮生产[M]. 北京:中国农业科技出版,2001
Yang W D, Shi J G, Wei Y W. *Modern Grain Production* [M]. Beijing: China Agriculture Science and Technology, 2001 (in Chinese)
- [2] 林汝法,柴岩,廖琴,孙世贤. 中国小杂粮[M]. 北京:中国农业科学技术出版社,2002
Lin R F, Chai Y, Liao Q, Song S X. *Small grains of China* [M]. Beijing: Chinese Agricultural Science Press, 2002 (in Chinese)
- [3] Zhang P P, Feng B L, Wang P K, Dai H P, Song H, Gao X L, Gao J F, Chen J, Chai Y. Leaf senescence and activities of antioxidant enzymes in different broomcorn millet (*Panicum miliaceum* L) cultivars under simulated drought condition[J]. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 2012, 10(2): 438-444
- [4] Qu Y, Su W, Zhang P P, Li C, Gao J F, Gao X L, Wang P K, Jiang S H, Feng B L. Effects of different water harvesting on soil water, growth and yield of the proso millet (*Panicum miliaceum* L) in a semiarid region of northwest China[J]. *Journal of Agricultural Science*, 2012, 4(9): 106-113
- [5] 张盼盼,冯佰利,王鹏科,高小丽,高金锋,宋慧,张小东,柴岩. PEG胁迫下糜子苗期抗旱指标鉴定研究[J]. 中国农业大学学报, 2012, 17(1): 53-59
Zhang P P, Feng B L, Wang P K, Gao X L, Gao J F, Song H, Zhang X D, Chai Y. Study on identification of drought-resistance indexes at seedling stage in broomcorn millet under

- PEG stress[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2012, 17(1):53-59 (in Chinese)
- [6] 张小红, 张绪成. 半干旱区旱地不同覆盖方式对糜子耗水和产量的影响[J]. *水土保持研究*, 2012, 19(5):29-33
Zhang X H, Zhang X C. Effects of different mulching methods on water consumption and yield of millet in rain-fed semiarid area[J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2012, 19(5):29-33 (in Chinese)
- [7] 苏旺, 张艳平, 屈洋, 李翠, 妙佳源, 高小丽, 刘建华, 冯佰利. 不同覆膜方式对黄土高原旱地土壤水分及糜子生长、光合特性和产量的影响[J]. *应用生态学报*, 2014, 25(11):3215-3222
Su W, Zhang Y P, Qu Y, Li C, Miao J Y, Gao X L, Liu J H, Feng B L. Effects of Mulching patterns on soil water, broomcorn millet growth, photosynthetic characteristics and yield in the dryland of Loess Plateau in China[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2014, 25(11):3215-3222 (in Chinese)
- [8] 苏旺, 屈洋, 冯佰利, 柴岩. 垄沟覆膜集水模式提高糜子光合作用和产量[J]. *农业工程学报*, 2014, 30(13):137-145
Su W, Qu Y, Feng B L, Chai Y. Photosynthesis characteristics and yield of broomcorn millet under film mulching on ridge-furrow for harvesting rainwater model in semi-arid region of Northern Shaanxi[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2014, 30(13):137-145 (in Chinese)
- [9] 冯晓敏, 张永清. 水分胁迫对糜子植株苗期生长和光合特性的影响[J]. *作物学报*, 2012, 38(8):1513-1521
Feng X M, Zhang Y Q. Effects of water stress on seedling growth and photosynthesis characteristics in broomcorn millet [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2012, 38(8):1513-1521 (in Chinese)
- [10] 李翠, 赵伟洁, 刘瑞, 晁桂梅, 周瑜, 苏旺, 屈洋, 冯佰利. 水分胁迫对糜子物质运转和籽粒灌浆特性的影响[J]. *干旱地区农业研究*, 2015, 33(1):20-27
Li C, Zhao W J, Liu R, Chao G M, Zhou Y, Su W, Qu Y, Feng B L. Effects of water stress on dry matter translocation and grain filling characteristics in broomcorn millet [J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2015, 33(1):20-27 (in Chinese)
- [11] 高俊山, 魏仰浩. 我国糜子的抗旱适应性及其在干旱地区农业生产中的地位[J]. *粟类作物*, 1990(2):13-16
Gao J S, Wei Y H. Drought-resistance adaptability of broomcorn millet in China and its position in agricultural production in arid areas[J]. *Millet*, 1990(2):13-16
- [12] 刘猛, 刘斐, 夏雪岩, 宋世佳, 王慧军, 李顺国, 张德荣. 自然降雨与旱地谷子单产水平关系研究[J]. *中国农业资源与区划*, 2016, 37(9):48-52
Liu M, Liu F, Xia X Y, Song S J, Wang H J, Li S G, Zhang D R. Relationship between natural rainfall and yield of dry foxtail millet [J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2016, 37(9):48-52 (in Chinese)
- [13] 赵京考, 卢静, 谷思玉, 龚振平, 温延臣. 降雨量和氮素对黑土区春玉米产量的影响[J]. *农业工程学报*, 2011, 27(12):74-78
Zhao J K, Lu J, Gu S Y, Gong Z P, Wen Y C. Effects of precipitation and nitrogen on spring corn yield in black soil regions [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2011, 27(12):74-78 (in Chinese)
- [14] 李渝, 张雅蓉, 张文安, 蒋天明. 贵州黄壤地区不同施肥处理及降雨量对玉米产量的影响[J]. *水资源与水工程学报*, 2015, 26(1):230-236
Liu Y, Zhang Y R, Zhang W A, Jiang T M. Effects of different fertilizer controls and precipitation on corn yield in yellow soil region of Guizhou[J]. *Journal of Water Resources & Water Engineering*, 2015, 26(1):230-236 (in Chinese)
- [15] 任小龙, 贾志宽, 陈小莉, 韩娟, 韩清芳, 丁瑞霞. 半干旱区沟垄集雨对玉米光合特性及产量的影响[J]. *作物学报*, 2008, 34(5):838-845
Ren X L, Jia Z K, Chen X L, Han J, Han Q F, Ding R X. Effects of Ridge and furrow planting for rainfall harvesting on photosynthetic characteristics and yield in corn in semi-arid regions[J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2008, 34(5):838-845 (in Chinese)
- [16] 肖俊夫, 刘战东, 陈玉民. 中国玉米需水量和需水规律研究[J]. *玉米科学*, 2008, 16(4):21-25
Xiao J F, Liu Z D, Chen Y M. Study on the water requirement and water requirement regulation of maize in China[J]. *Journal of Maize Sciences*, 2008, 16(4):21-25 (in Chinese)

责任编辑: 吕晓梅