

内蒙古阴山北麓区典型作物水分亏缺 特征及其关键驱动因子响应

汤鹏程^{1,2}, 徐冰^{1,2*}, 张晓敏³, 田德龙^{1,2},
王国帅^{1,2}, 张琛^{1,2}, 任杰^{1,2}, 李泽坤^{1,2}

(1.水利部牧区水利科学研究所, 呼和浩特 010018; 2.中国水利水电科学研究院
内蒙古阴山北麓草原生态水文国家野外科学观测研究站, 北京 100038;
3.内蒙古农业大学 水利与土木建筑工程学院, 呼和浩特 010018)

摘要: 以内蒙古阴山北麓地区武川县1990—2019年的逐日气象资料为基础, 研究不同水文年雨养马铃薯、春小麦各生育阶段的需水量、水分亏缺特征及其相互关系。马铃薯、春小麦全生育期的需水量平均为338.4、403.6 mm; 马铃薯在开花—收获期需水量最大, 占全生育期需水量的52.8%; 春小麦在分蘖—开花期、开花—成熟期需水量较大, 分别占全生育期需水量的52.6%和31.8%。平水年、枯水年雨养马铃薯全生育期的水分亏缺量分别为26~157 mm和148~173 mm, 丰水年雨养马铃薯生长阶段不缺水; 丰水年、平水年和枯水年雨养春小麦全生育期的水分亏缺量分别为54~90、122~267 mm和240~285 mm。马铃薯在花序形成—开花期和开花—收获期的水分亏缺程度较大, 在其他生育期基本可以满足马铃薯需水的要求; 春小麦在分蘖—开花期水分亏缺程度最严重, 水分亏缺量平均为134 mm左右, 其他生育阶段的降水基本可以满足春小麦正常生长的需水要求。为了减少产量损失, 需要在春小麦和马铃薯生长阶段中后期根据水分亏缺程度实施雨水就地富集利用和补充灌溉。

关键词: 阴山北麓; 需水量; 降水量; 缺水量; 作物产量

中图分类号: S274.3

文献标志码: A

doi: 10.13522/j.cnki.ggps.2022666

汤鹏程, 徐冰, 张晓敏, 等. 内蒙古阴山北麓区典型作物水分亏缺特征及其关键驱动因子响应[J]. 灌溉排水学报, 2022, 41(Supp.2): 38-44.

TANG Pengcheng, XU Bing, ZHANG Xiaomin, et al. Water Deficit Characteristics of Typical Crops and Responses to Key Driving Factors in Northern of Yinshan Mountain, Inner Mongolia[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2022, 41(Supp.2): 38-44.

0 引言

我国水资源稀缺, 旱灾是常见的自然灾害, 具有发生次数多、持续时间长、波及范围广的特征, 是制约农业发展的重要因素^[1-3], 每年由于旱灾造成我国粮食减产高达约 300 亿 kg, 约占所有自然灾害损失的 60%^[4]。旱灾不仅造成农业的大幅度减产, 同时影响粮食安全, 与此同时对生存环境和经济发展造成了严重威胁^[5-7]。内蒙古阴山北麓地区位于内蒙古自治区中部, 属典型干旱、半干旱地区, 粮食生产以雨养

旱作农业为主。本文将针对该地区不同水文年开展作物的水分亏缺研究, 提出作物生育期水分亏缺值、亏缺程度及主要亏缺时段, 为实施旱作农业雨水就地富集利用、集雨补充灌溉和提高旱作农业生产水平提供理论依据和技术支撑。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

武川县位于内蒙古自治区中部, 阴山北麓, 地跨北纬 40°47'—41°23', 东经 110°31'—111°53'之间, 境内地势由南至北逐渐低缓, 东、南、西三面环山, 日照充足, 昼夜温差较大, 冬长夏短, 属于中温带大陆性季风气候区。年平均气温 3.0 ℃, 无霜期 124 d。历年平均降水量为 354.1 mm 左右, 由南向北、由东向西递减。降水稀少, 水资源短缺, 造就了武川县以

收稿日期: 2022-11-24

基金项目: 水资源供需平衡机制与利用方式研究(2020ZD0005-0102); 内蒙古农业大学 2022 年大学生创新创业训练项目(202210129055)

作者简介: 汤鹏程(1988-), 男, 河北石家庄人。工程师, 博士生, 主要从事节水灌溉与农田尺度水转化研究。E-mail: tangpc1988@163.com

通信作者: 徐冰(1977-), 男。正高级工程师, 博士, 主要从事节水灌溉研究。E-mail: nmxbing@163.com

旱作农业为主的农业类型。武川县适宜种植一年一熟生育期较短的农作物，在政府积极推进马铃薯生产的商业化与产业化进程下，马铃薯的种植面积每年增加，每年种植面积稳定在 4.7 万 hm² 左右，占耕地总面积的 35%左右。且在相当长一段时期内，小麦的种植的主要地位屹立不倒，其种植面积仅次于马铃薯。春小麦、马铃薯成了当地的主要优势作物。

1.2 作物生育期确定

根据文献《气候变化背景下武川主要作物生产水

足迹变化分析》的试验研究结果发现，武川县马铃薯在 5 月中上旬播种，9 月中旬收获，主要包括出苗期、花序形成期、开花期、收获期等 4 个生育阶段，全生育期共 131 d 左右^[1]。武川县春小麦于 4 月中旬播种，8 月中下旬收获，主要分为出苗期、分蘖期、开花期、成熟期等 4 个生育阶段，全生育期约 128 d。武川县马铃薯和春小麦生育期划分结果及其生育阶段生长特征表现见表 1。

表1 武川县马铃薯和春小麦生育期划分及生长特征

Table 1 Growth period division and growth characteristics of potato and spring wheat in Wuchuan County

作物	生育期	起止日期	生长特征
马铃薯	播种—出苗期	0508—0619	幼苗出土高约 2 cm
	出苗—花序形成期	0620—0707	主茎出现 7~13 张叶片、匍匐茎顶端停止极性生长，开始膨大
	花序形成—开花期	0708—0723	主茎及主茎叶全部建成，并有分支伸长、匍匐茎表皮下的木栓形成层花初
	开花—收获期	0724—0918	茎叶停止生长，块茎体积不在增大，干物质量持续增加
春小麦	播种—出苗期	0415—0505	幼苗第一片针叶出土高 2~3 cm
	出苗—分蘖期	0506—0526	麦苗第一分叶露出叶鞘约 2 cm
	分蘖—开花期	0527—0711	麦穗中上部小花的内外颖张开、开始花药散粉
	开花—成熟期	0712—0821	胚乳呈炼乳状到蜡状，籽粒开始变硬

1.3 作物生育期需水量分析

作物需水量指在土壤水分条件适宜、土壤肥力适宜、耕作技术措施使用恰当、在给定生产环境中作物能够充分发挥生产潜力的理想条件下能够满足植株蒸发蒸腾所需水量。即作物最大可能消耗水量。

作物需水量包括植物腾发量和植物进行光合作用所需水量，由于植物光合作用需水量占比极小，可忽略，因此作物需水量可用植物腾发量代替。

作物需水量计算式：

$$ET_c = K_c \times ET_0, \quad (1)$$

式中： ET_c 为作物需水量（mm）； ET_0 为参照作物腾发量（mm）； K_c 为作物系数。

1.4 作物系数 K_c 的确定

武川县马铃薯和春小麦的作物系数根据文献《气候变化背景下武川主要作物生产水足迹变化分析》中的研究结果，用多年同一时段作物系数平均值表示该阶段作物系数。其中，该区马铃薯初始生长阶段的作物系数(K_{cini})为 0.24、生长中期的作物系数(K_{cmid})为 1.15、生长末期的作物系数 (K_{cend}) 为 0.76，春小麦生长初期、中期、末期的作物系数 (K_{cini} 、 K_{cmid} 、 K_{cend}) 分别为 0.25、1.18、0.39。该地区马铃薯和春小麦作物系数见表 2^[8]。

从表 2 中，2 种作物的作物系数 (K_c) 都呈平稳-上升-平稳-下降的趋势，其中武川县马铃薯生长中期作物系数平稳期较短。

表2 不同生态典型区作物的作物系数(K_c)

Table 2 Crop coefficient of crops in different ecological typical areas (K_c)

作物	4 月		5 月			6 月			7 月			8 月			9 月	
	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬
马铃薯	-	-	0.24	0.24	0.24	0.24	0.25	0.58	1.02	1.15	1.12	1.04	0.98	0.90	0.83	0.76
春小麦	0.25	0.25	0.31	0.69	1.10	1.18	1.18	1.18	1.18	1.11	0.90	0.70	0.39	-	-	-

1.5 参照作物腾发量 ET_0 计算

参照作物腾发量计算较烦琐，与风速、气压、温度、太阳辐射等多种气象因素有关，为计算更准确方便，本文通过Microsoft Excel软件进行数据录入，分析了1990—2019年土壤水分及和武川试验站的试验数据。利用式（2）计算逐日参考作物腾发量^[9]，分

析其变化特征。

Penman-Monteith 计算式：

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)}, \quad (2)$$

式中： ET_0 为参考蒸散量（mm/d）； R_n 为作物表面的净辐射（MJ/（m² d））； G 为土壤热通量密度（MJ/

($\text{m}^2 \text{d}$)； T 为 2 m 高处的平均日气温 ($^{\circ}\text{C}$)； u_2 为 2 m 高度风速 (m/s)； e_s 为饱和蒸汽压力 (kPa)； e_a 为实际蒸汽压力 (kPa)； $e_s - e_a$ 为饱和蒸汽压力不足 (kPa)； Δ 为蒸汽压力曲线斜率 ($\text{kPa}/^{\circ}\text{C}$)； γ 为湿度常数 ($\text{kPa}/^{\circ}\text{C}$)。

1.6 水文年型的划分及作物水分亏缺量计算

通过对研究区年降水量的统计,使用保证率划分不同的水文年,选择保证率 $P < 25\%$ 、 $25\% \leq P \leq 50\%$ 、 $P > 75\%$ 的设计年降水量划分为丰水年、平水年和枯水年^[10-11]。

$$\text{其保证率计算式: } P = \frac{m}{1+n} \times 100\%, \quad (3)$$

式中: P 为保证率; m 为统计的降水年数; n 为降水量降序排列的序号。

作物水分亏缺量是反映作物水分亏缺程度的指标,与降水量和需水量的关系密切,作物在不同生育期水分亏缺程度相差明显,为充分体现作物水分的亏

缺阶段及程度,故计算作物各生育期水分亏缺量,其计算式为:

$$\text{亏缺量} = \text{有效降水量} - \text{需水量}。 \quad (4)$$

2 结果与分析

2.1 作物生育期的降水特征

不同水文年马铃薯和春小麦各生育期降水量如图 1 所示。分析图 1(a) 可知,整体来看,1991—2020 年马铃薯各生育期内降水分配不均,不同水文年中降水量主要集中于开花—收获期,占全生育期降水量 49.0%。丰水年、平水年、枯水年马铃薯开花-收获期的降水量范围分别为 82.6~245.3、63.9~191.5、63.3~115.6 mm,均值为 154.9、125.0、87.8 mm。出苗-花序形成期降水量普遍较少,占全生育期降水量的 15.3%,该生育期丰水年、平水年、枯水年降水量范围分别为 25.5~76.6、1.5~75.7、0.2~59.8 mm,降水量平均值为 53.2、38.0、27.5 mm。

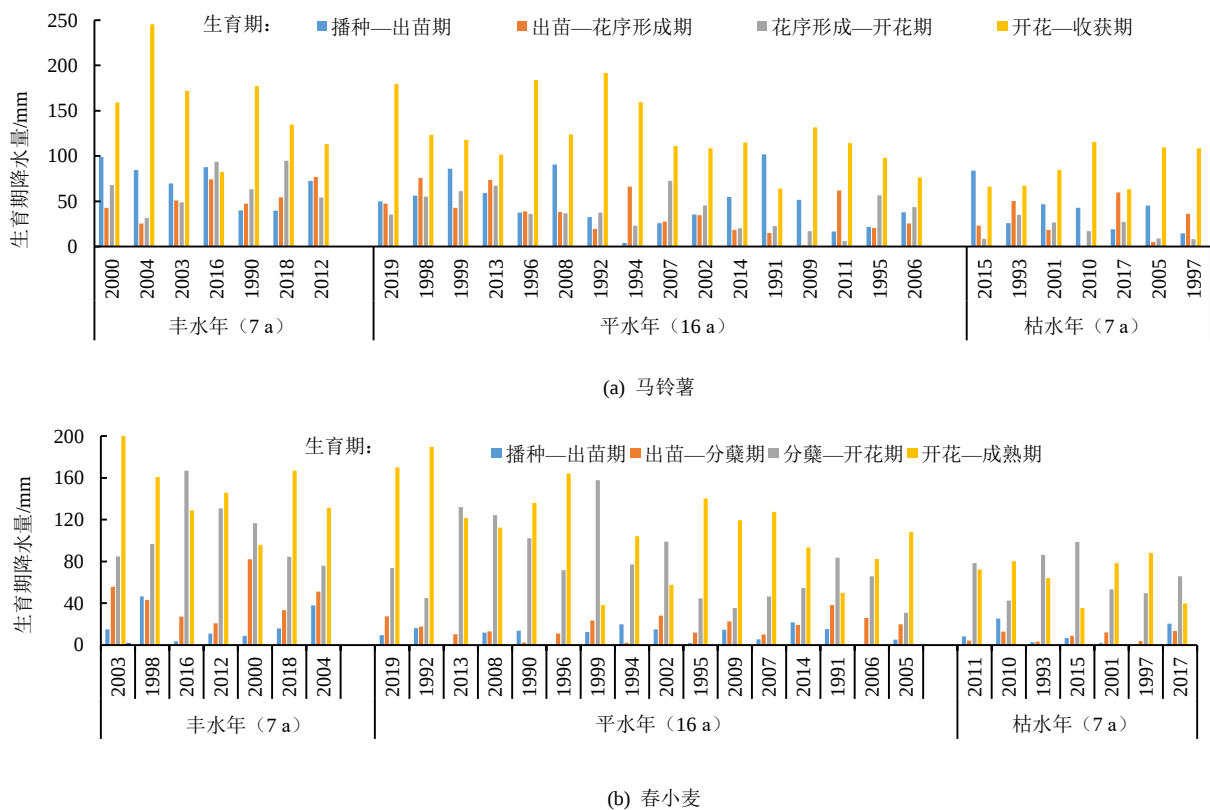


图1 武川县不同水文年马铃薯和春小麦各生育阶段的降水量

Fig.1 Precipitation of potato and spring wheat at different growth stages in Wuchuan County in different hydrological years

分析图 1(b) 可知,30 a 中春小麦各生育期降水变化趋势大致相同,不同水文年春小麦生育期天然降水量主要集中在开花—成熟期,占全生育期降水量 48.4%,该生育阶段的降水量范围在丰水年、平水年、枯水年分别为 82.6~245.3 mm (均值 150.1 mm)、63.9~191.5 mm (均值 113.4 mm)、63.3~115.6 mm (均值 65.4 mm);播种—出苗期降水量普遍较少,仅占

全生育期降水量的 5.4%,与开花—成熟期的降水量差异达 43.0%,该生育期的降水量范围在丰水年、平水年、枯水年分别为 3.7~46.4、0.2~21.6、0.2~25.3 mm,降水量平均值为 19.8、10.2、9.3 mm。

2.2 作物需水量规律

参考相关文献及其研究结果,确定了相关参数,采用式(3)计算出各参照作物腾发量,后运用式(2)

计算出各作物各生育期及全生育期需水量，计算得到武川县不同水文年天然降水条件下马铃薯、春小麦作物需水量结果，见图 2、图 3。

分析马铃薯不同生育阶段的需水量(图 3)发现，马铃薯生长发育全期需水量呈上升状态，耗水强度呈现弱-强-强-弱的变化趋势。其中播种一出苗期需水量较低(34.3 mm)，开花期过后作物需水量平稳增加直至开花期的到来，在开花—收获期增幅逐渐明显。马铃薯生育期总需水量 338.44 mm，耗水强度 2.58 mm/d，马铃薯的耗水高峰期主要出现在花序形成—开花期和开花—收获期，耗水强度分别达 4.89 mm/d

和 3.13 mm/d。

分析春小麦不同生育阶段的需水量(图 3)发现，春小麦生育期需水量和耗水强度变化趋势相同，整体呈现“正态分布”。作物需水量在播种一出苗期相对较小(13.4 mm)，到出苗—分蘖期作物需水量逐渐增加，直到分蘖—开花期达到峰值(212.1 mm)，而到开花期过后春小麦作物需水量又开始逐渐减少。春小麦整个生育期的需水量为 403.6 mm，耗水强度 3.15 mm/d，分蘖—开花期是决定小麦单位面积穗数的关键时期，因此该时期的耗水强度达到顶峰，峰值为 4.61 mm/d。

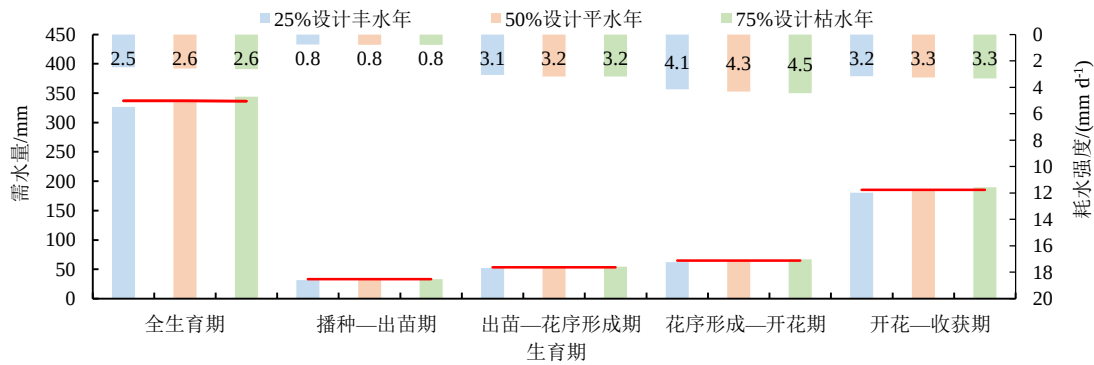


图2 武川县不同水文年雨养马铃薯不同生育阶段的需水量

Fig.2 Water requirement of rain-fed potato at different growth stages in different hydrological years in Wuchuan County

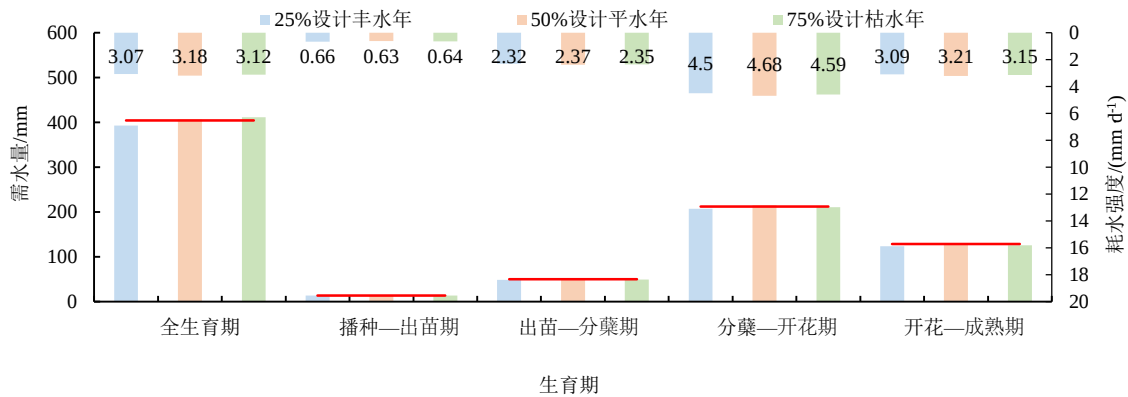


图3 武川县不同水文年雨养春小麦不同生育阶段的需水量

Fig.3 Water requirement of rain-fed spring wheat at different growth stages in different hydrological years in Wuchuan County

2.3 作物的水分亏缺量差异

2.3.1 不同水文年马铃薯水分亏缺量

根据实测数据分析了武川实验站 1991—2020 年马铃薯生育期的水分亏缺程度，在播种一出苗期，水分亏缺逐渐增减少，但相对较少；在出苗—花序期，水分亏缺量逐渐上升；在花序形成—开花期，水分亏缺量持续上升，且相对而言较少，在开花—收获期，水分亏缺量达到最大，这 3 个时期的水分亏缺量占全生育期的比例较大。总的来说，在作物主要生育期，有效降水量不足，作物均出现了相当大的水分亏缺（表 3）。马铃薯生育期内需水量总体趋势平稳，大

约在 337.3 mm，缺水量在 26~173 mm，不同水文年型条件下马铃薯生育期内均需要灌溉。但由于不同水文年水分亏缺量差别较大，为提高水分利用率，应根据当年旱涝情况进行灌溉调节，雨少则多灌，雨多则少灌。在丰水年，除少部分年份（2004、2000、2003、2016、1990 年）需要补充灌溉少量水外，大部分年份降水量有所盈余；平水年作物水分亏缺量在 26~157 mm，降水量越低其需水量越大；枯水年由于有效降水量的不足，缺水量进一步递增，平均值高达 165 mm，如图 4 所示。

表3 武川县不同水文年雨养马铃薯各生育期的水分亏缺量差异

Table 3 The difference of water deficit of rain-fed potato during each growth period in different hydrology years in Wuchuan County

生育期	马铃薯需水量	mm					
		丰水年		平水年		枯水年	
		(降水量 316~387 mm)		(降水量 183~312 mm)		(降水量 167~181 mm)	
		降水量	缺水* [*]	降水量	缺水* [*]	降水量	缺水* [*]
播种—出苗期 (0508—0619)	34.3	70.4	36.2	48.2	13.9	39.8	5.5
出苗—花序形成期 (0620—0707)	52.2	53.2	1.1	38.0	-14.2	27.5	-24.7
花序形成—开花期 (0708—0723)	73.4	64.9	-8.5	39.8	-33.6	18.8	-54.6
开花—收获期 (0724—0918)	178.7	154.9	-23.8	125.0	-53.7	87.8	-90.8
合计	338.4	343.4	5.0	251.0	-87.5	173.9	-164.5

注 *正值为作物水分盈余量, 负值为作物水分亏缺量。

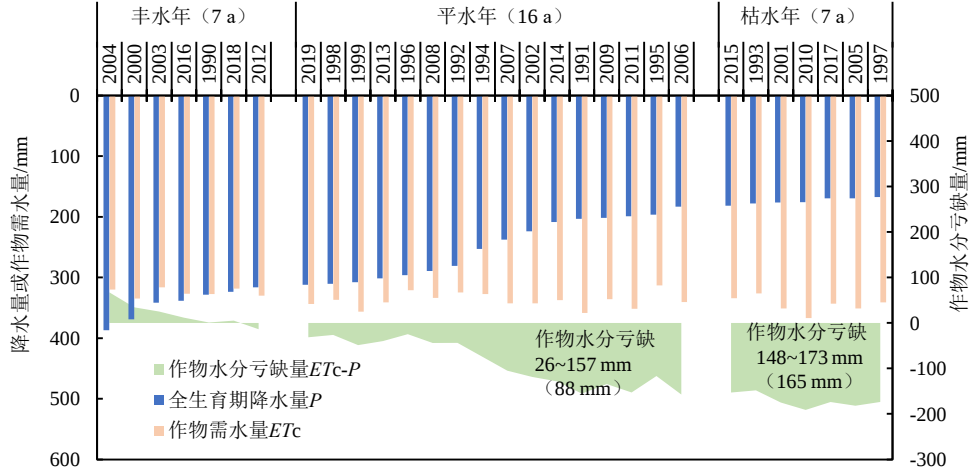


图4 武川县不同水文年雨养马铃薯全生育期的水分亏缺量

Fig.4 Water deficit of rain-fed potato during its whole growth period in different hydrological years in Wuchuan County

2.3.2 不同水文年春小麦水分亏缺量

根据历年降水量及需水量数据分析其不同水文年各生育期亏缺量差异程度(表4), 分析发现春小麦各生育阶段均出现水分亏缺现象。在播种—开花期水分亏缺逐渐增加, 但相对较少(13.4 mm); 在分蘖—开花期, 水分亏缺量达到最大(212.1 mm); 在开花—成熟期, 水分亏缺量出现下降(128.3 mm), 但相对而言较多, 这2个时期的水分亏缺量占全生育期的比例较大。这是由于春小麦自3月开始, 随着小麦的生长, 气温不断上升, 但需水量和有效降水量有

所减少, 水分亏缺量则逐渐增大。此后总体观察可得小麦生长迅速, 需水量、水分亏缺量和有效降水量相应不断增大, 并分别达到1个峰值(需水量达212.1 mm, 丰水年、平水年和枯水年水分亏缺量分别达104.1、134.3、144.3 mm, 丰水年、平水年、枯水年有效降水量分别达108.0、77.8、67.8 mm)。成熟期后, 随着植株的逐渐衰老, 水分亏缺量也逐渐减少。总之, 为获得春小麦高产, 必须及时进行灌溉。

表4 不同水文年雨养春小麦各生育期的水分亏缺量差异

Table 4 The difference of water deficit in different growth stages of rain-fed spring wheat in different hydrological years

生育期	春小麦需水量	mm					
		丰水年 (降水量 296~376 mm)		平水年 (降水量 163~280 mm)		枯水年 (降水量 139~163 mm)	
		降水量	缺水* [*]	降水量	缺水* [*]	降水量	缺水* [*]
播种—出苗期	13.4	19.8	6.4	10.2	-3.2	9.3	-4.1
出苗—分蘖期	49.8	44.7	-5.1	17.7	-32.1	8.4	-41.4
分蘖—开花期	212.1	108.0	-104.1	77.8	-134.3	67.8	-144.3
开花—成熟期	128.3	150.0	21.7	113.4	-14.9	65.4	-62.9
合计	403.6	322.5	-81.1	219.1	-184.5	150.9	-252.7

注 *正值为作物水分盈余量, 负值为作物水分亏缺量。

不同水文年雨养春小麦全生育期的水分亏缺量结果如图5所示。春小麦自3月中旬左右播种, 到7月中、下旬收获, 一般需130 d左右, 全生育期有效降水量为163~376 mm, 水分亏缺量达54~285 mm。

1991—2020年春小麦需水量总体平稳但较高于马铃薯需水量, 除2003年有效降水量满足春小麦需水外, 其他年份均出现不同程度的水分亏缺: 从丰水年到枯水年, 水分亏缺程度逐渐增大。

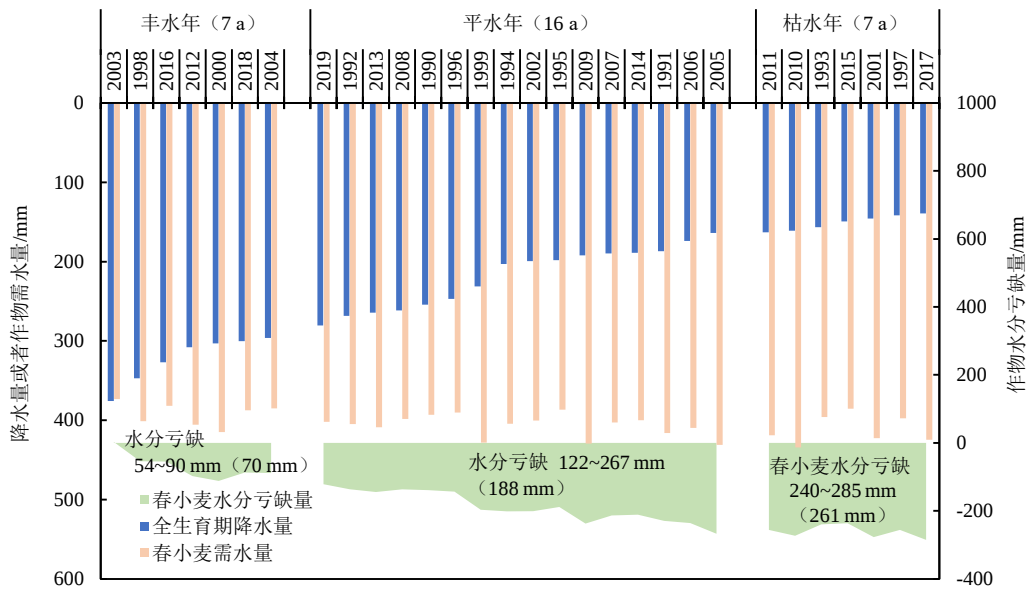


图5 不同水文年雨养春小麦全生育期的水分亏缺量

Fig.5 Water deficit during the whole growth period of rain-fed spring wheat in different hydrological years

3 讨论

3.1 不同水文年型对作物的需水量的影响

根据不同水文年的划分标准对研究区近几十年的天然降水资料进行统计和划分，武川县 1991—2020 年丰水年 ($P \leq 25\%$) 共 7 a、平水年 ($25\% < P < 75\%$) 共 16 a、平水年 ($P \geq 75\%$) 共 7 a，枯水年时马铃薯和春小麦的需水量明显高于其平水年和丰水年，因此，不同水文年型对作物需水量存在一定影响，需水量随丰水年、平水年、枯水年即降水频率升高而逐渐增加^[12]。

经过比较发现，成熟期马铃薯的水分亏缺最大，开花期次之，本阶段马铃薯的需水量大，降水无法满足作物正常生长的需水要求。马铃薯全生育期从丰水年到枯水年水分亏缺量逐渐递增。7 月下旬—8 月下旬是全生长季降水最充沛的季节，短期内土壤蓄水量值可达到相对较高的水平，但其需水量也大。马铃薯在平水年和枯水年均处于水分亏缺状态，原因在于马铃薯生育期有效降水均较少。

3.2 不同生育期作物水分的亏缺程度差异

作物的亏缺量受降水量和需水量的影响，而通过对 2 种作物各生育期的亏缺量分析与计算得到。由表 3 可知，马铃薯作物在播种—出苗期、出苗—花序形成期、花序形成—开花期、开花—收获期 4 个生育期内都存在不同程度的水分亏缺，最为严重的生育期是开花—收获期，在 3 种水文年型中皆有水分亏缺存在；春小麦作物水分亏缺程度相较于马铃薯作物更为严重，在丰水年、平水年、枯水年中其播种—出苗期、出苗—分蘖期、分蘖—开花期、开花—成熟期 4 个生育期内几乎都存在不同程度的水分亏缺，在分蘖—开

花期亏缺量达到 104.1~144.3 mm，亏缺量占比最大。对于 2 种作物而言，在其全生育期阶段均需要根据亏缺程度进行人工灌溉，针对不同的水文年型及生育期进行经济合理的灌溉，改善作物生长的水分条件，减少产量损失，增加经济效益^[13-15]。

4 结论

在平水年和枯水年，雨养马铃薯全生育期的水分亏缺量分别为 26~157 mm 和 148~173 mm，丰水年雨养马铃薯生长阶段不缺水。在丰水年、平水年和枯水年，雨养春小麦全生育期的水分亏缺量分别为 54~90、122~267 mm 和 240~285 mm。马铃薯的花序形成—开花期和开花—收获期仍存在水分亏缺且亏缺程度较大，在其他生育期可以基本满足马铃薯需水的要求；春小麦在分蘖—开花期水分亏缺程度最严重，高达 134 mm 左右，其他生育期降水勉强满足春小麦需水要求。为了减少作物产量损失，需要针对相应缺水严重的生育期实施旱地农业雨水就地富集利用和补充灌溉。

参考文献：

- [1] 赵慧, 潘志华, 韩国琳, 等. 气候变化背景下武川主要作物生产水足迹变化分析[J]. 中国农业气象, 2015, 36(4): 406-416.
- [2] 门福义. 马铃薯的生育时期与产量形成[J]. 宁夏农林科技, 1985(6): 41-45.
- [3] 胡久平, 徐永旺, 田晓东, 等. 基于 GIS 的阿拉善左旗玉米种植气候区划[J]. 现代农业, 2014(2): 14-16.
- [4] 张慧, 张淑琴, 金燕, 等. 平罗县玉米生育期气象灾害危害特征及防御对策[J]. 宁夏农林科技, 2016, 57(3): 37-39.

- [5] 马鹏里, 杨兴国, 陈端生, 等. 农作物需水量随气候变化的响应研究[J]. 西北植物学报, 2006, 26(2): 348-353.
- [6] 李少昆, 王崇桃. 玉米高产潜力途径[M]. 北京: 北京科学出版社, 2010: 104-464.
- [7] 郭奇旺, 金彦兆. 基于干旱生境的安定区玉米作物水分亏缺分析[J]. 节水灌溉, 2020(1): 45-48.
- [8] 戴佳信, 史海滨, 田德龙, 等. 内蒙古河套灌区主要粮油作物系数的确定[J]. 灌溉排水学报, 2011, 30(3): 23-27.
- [9] ALLEN RG, PEREIRA LS, RAES D, et al. Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements[M]. Rome: FAO Irrigation and Drainage Publications No.56, 1998.
- [10] 郭晓丽. 内蒙古中部地区春玉米水分亏缺时空特征[J]. 干旱气象, 2018, 36(2): 295-300, 309.
- [11] 张彦洪, 董玉云, 康燕霞. 水文分析与计算[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2017: 42-53.
- [12] 曹春梅, 张建平, 徐丽敏, 等. 内蒙古马铃薯的现状、问题与对策[J]. 内蒙古农业科技, 2006(S1): 9-11.
- [13] 孙东宝. 北方旱作区作物产量和水肥利用特征与提升途径[D]. 北京: 中国农业大学, 2017.
- [14] 卜令铎. 旱地春玉米高产高效栽培体系构建 评价及区域模拟[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2013.
- [15] FU W, FAN J, HAO M, et al. Evaluating the effects of plastic film mulching patterns on cultivation of winter wheat in a dryland cropping system on the Loess Plateau, China[J]. Agricultural Water Management, 2021, 244: 106 550.

Water Deficit Characteristics of Typical Crops and Responses to Key Driving Factors in Northern of Yinshan Mountain, Inner Mongolia

TANG Pengcheng^{1,2}, XU Bing^{1,2*}, ZHANG Xiaomin³, TIAN Delong^{1,2},
WANG Guoshuai^{1,2}, ZHANG Chen^{1,2}, REN Jie^{1,2}, LI Zekun^{1,2}

(1. Institute of Water Resources for Pastoral Area Ministry of Water Resources, Hohhot 010020, China;

2. Yinshanbeilu Grassland Eco-hydrology National Observation and Research Station,
China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038, China;

3. College of Water Conservancy and Civil Engineering, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010018, China)

Abstract: Based on the daily meteorological data of Wuchuan County in northern of Yinshan Mountain in Inner Mongolia from 1990 to 2019, the water demand, water deficit characteristics and their relationships of rain fed potato and spring wheat in different hydrological years were studied. The results showed that the average water demand of potato and spring wheat in the whole growth period was 338.4 mm and 403.6 mm; The water demand of potato was the largest in the flowering harvest period, accounting for 52.8% of the total water demand in the whole growth period. The water demand of spring wheat in tillering flowering stage and flowering maturity stage is relatively large, accounting for 52.6% and 31.8% of the water demand in the whole growth period respectively. The water deficit during the whole growth period of rain fed potato in normal year and dry year is 26~157 mm and 148~173 mm respectively, and there is no water shortage during the growth period of rain fed potato in wet water year. The water deficit in the whole growth period of rain fed spring wheat in wet year, normal year and dry year is 54~90 mm, 122~267 mm and 240~285 mm respectively. The water deficit of potato in inflorescence formation flowering stage and flowering harvest stage is relatively large, and it can basically meet the water demand of potato in other growth stages. The water deficit of spring wheat is the most serious in the tillering flowering stage, and the average water deficit is about 134 mm. The precipitation in other growth stages can basically meet the water demand for normal growth of spring wheat. In order to reduce the yield loss, it is necessary to implement rain enrichment and supplementary irrigation according to water deficit in the middle and late growth stages of spring wheat and potato.

Key words: Northern of Yinshan Mountain; water demand; precipitation; water shortage; crop yield

责任编辑: 赵宇龙