

中图分类号: S532 文献标识码: A 文章编号: 1672-3635(2015)06-0355-07

土壤肥料

黄土高原旱地马铃薯田土壤水分动态变化及供需研究

任稳江, 任 亮, 刘生学*

(甘肃省会宁县农业技术推广中心, 甘肃 会宁 730799)

摘要: 为掌握甘肃黄土旱塬地区马铃薯田土壤水分变化动态、需水特征及需水关键期, 通过测定不同栽培方式下马铃薯田主要生育期不同土层含水量, 从而分析不同处理土壤水分动态变化及耗水量。结果表明, 半干旱地区黄土高原旱地马铃薯田季节水平变化与垂直层次变化是土壤水分变化的主要运行规律。随时间变化, 传统露地对照呈“降—升”、覆膜种植呈“升—降—升”变化趋势; 随深度垂直变化, 总体上露地对照呈“降—升”、覆膜种植呈“升—降—升”变化趋势。0~20 cm 土层变化剧烈, 是马铃薯田的速变层; 40~80 cm 土层变化活跃, 是马铃薯田的活跃层; 20~40 cm 与 80~100 cm 土层变化较缓, 是马铃薯田的渐变层与缓变层。马铃薯田耗水量与年型密切相关, 随着降雨的增多而增大。传统露地种植一生耗水 258.6 mm、地膜覆盖种植一生耗水 264.1 mm, 以块茎形成期耗水强度最大, 日均耗水分别为 2.2 mm 与 2.8 mm, 是半干旱地区马铃薯的需水关键期, 此时期降雨 69.8 mm, 土壤可用水基本耗尽, 缺水 7.0~29.6 mm, 集雨补灌将是应对关键期旱灾, 获得稳产的必要应变措施。

关键词: 马铃薯; 土壤水分; 动态变化; 耗水量

Moisture Dynamics and 'Supply and Demand' on Potato Fields in Arid Areas of Southern Loess Plateau

REN Wenjiang, REN Liang, LIU Shengxue*

(Huining Agricultural Technology Extension Center, Huining, Gansu 730799, China)

Abstract: The effects of moisture dynamics and water consumption were analyzed by measuring the soil water content for different treatments at different growth stages in order to understand the moisture dynamics, water demand characteristics and water demand critical stage in potato fields in the southern loess Plateau. The results indicated that seasonal level and vertical level changes of potato fields were the major function at soil moisture changes in arid areas of the southern loess Plateau. Changing with time, the trend of traditional field culture was "drop - up", and mulching planting was "up - drop - up". Changing with depth, the trend of traditional field culture was "drop - up", and mulching planting was "up - drop - up" in general. Soil moisture content in the 0-20 cm layer changed intensively, being the most variable layer of potato field. Soil moisture in the 40-80 cm layer changed actively, being the vigorous layer of potato field. Soil moisture in 20-40 cm and 80-100 cm layer changed slowly, being the gradient layer and sluggish layer of potato field. Water consumption was related closely to the model year in potato field, increasing with the increase of rainfall. The water consumption was 258.6 mm for traditional field culture, and 264.1 mm for mulching in the whole potato lifetime. The maximum water consumption was at the tuber formation stage, with a consumption of 2.2 mm and 2.8 mm each day, respectively, for the two culture modes, being the key water requirement stage of potato in the semi-arid areas. The rainfall was 69.8 mm during this time, and soil available water was depleted substantially. Shortage water reached 7.0 - 29.6 mm. Therefore, collecting water for supplemental irrigation would be a contingency measure to deal with the dry conditions in critical stage and obtain stable yield.

Key Words: potato; soil moisture; dynamic change; water consumption

收稿日期: 2014-11-04

作者简介: 任稳江(1965-), 男, 高级农艺师, 从事农业技术推广工作。

*通信作者(Corresponding author): 刘生学, 高级农艺师, 从事农业技术推广工作, E-mail: renliang604@sina.com。

马铃薯是甘肃省第三大粮食作物,也是优势特色作物之一,具有粮、菜、饲、工业原料兼用的特点,在甘肃省粮食生产和农村经济发展中具有举足轻重的地位^[1]。甘肃省马铃薯主要种植于中东部干旱、半干旱和高寒阴冷贫困地区,全省马铃薯种植面积在53.33万hm²左右,总产量在 $8\times 10^7\sim 9\times 10^7$ t,种植面积和产量都占全国总量的11%以上,居全国前列,列西北5省区第1位^[2]。由于甘肃马铃薯种植区降水少、水分蒸发强度大,水分利用效率低,一直影响着马铃薯产业的发展^[3,4]。马铃薯是一种抗旱作物,具有抵抗早春干旱的特点,但蒸腾系数较大,为400~600 mm,生长过程的土壤水分变化动态规律因地区而异,全生育期耗水量随产量的高低而定^[5,6]。李鼎新等^[7]对宁南干旱山区早熟丰产马铃薯农田土壤水分的研究结果表明,马铃薯农田土壤水分动态变化可以分为3个活动时期,与区域的降雨和分配有极强的相似性。土壤水分垂直变化规律可以分为速变层(0~20 cm),缓变层(20~120 cm)和相对稳定层(120~200 cm)。王春珍和李荫藩^[8]研究表明,旱地马铃薯产量与年降水量呈显著正相关,块茎形成期和块茎增长期降水多少对产量有同等程度的影响,为马铃薯的需水临界期。刘战东等^[9]研究表明,马铃薯日耗水强度在整个生育期表现为先增后减的趋势,块茎形成期日平均耗水强度达到最高,为5.80 mm/d。武朝宝等^[10]在山西省临县湫水河灌溉试验站研究表明,马铃薯的耗水规律为发芽期1.54~2.79 mm/d,幼苗期1.67~3.14 mm/d,块茎形成期2.84~5.59 mm/d,块茎增长期达到最大值4.77~5.91 mm/d,淀粉积累期降为3.49~4.89 mm/d。因此,掌握甘肃黄土旱塬地区马铃薯田土壤水分变化动态、需水特征及需水关键期,对提高降水利用效率及早灾应对策略建立具有重要意义。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验区位于甘肃省会宁县“七川”的小豹子川,距县城5 km,海拔1 770 m,年平均气温7.9℃,≥10℃的积温2 760℃,多年平均降雨量约为400 mm,降雨年度分配不均、季节分配不均,降雨主要集中于7、8、9月,占总量的51.0%~58.0%,季降雨以夏季最多(43.6%)、秋季次之

(42.2%)、春季较少(10.7%)、冬季最少(3.4%),年际变化大,月际变化更大,统计表明,年际变异系数为23.9%,月际变异系数最小的7月也高达96.3%,春旱严重,常影响作物正常出苗,有时甚至不能播种。试验地原属库井灌区,因水源枯竭,失灌多年,现已成旱川地,土壤为黄绵土,中壤,冲洪积黄土母质,土层深厚,有机质14.04 g/kg,全氮0.88 g/kg,有效磷14.01 mg/kg,速效钾217.5 mg/kg。2011年年降雨量321.9 mm(马铃薯生育期降雨264.8 mm),较常年偏少近2成,属欠水年份;2012年年降雨量406.6 mm(马铃薯生育期降雨305.3 mm),较常年略多,属平水年份。

1.2 试验设计

试验按地膜覆盖与种植方式进行设计,覆盖方式分全地面覆盖和半地面覆盖,种植方式分平作和垄作。共设6个处理,2011年为全膜双垄(T₁)、半膜垄作(T₂)、全膜垄作(T₃)、全膜平作(T₆)、半膜平作(T₇)和露地平作(T₈),2012年将垄作进行改进,成为垄上微沟垄作,处理变为全膜双垄(T₁)、半膜垄上微沟(T₄)、全膜垄上微沟(T₅)、全膜平作(T₆)、半膜平作(T₇)和露地平作(T₈)(不同处理种植方式特征见表1)。马铃薯品种为‘青薯9号’。小区面积为30.8 m²(7.0 m×4.4 m),区组间距100 cm,小区间距70 cm,周边留有150 cm的保护区,3次重复,随机区组排列,播种46 500株/hm²。整地、施肥和田间管理等同大田。

1.3 试验测定

采用恒温箱烘干称重法,在播前、主要生育期、收获后测定100 cm内的水分状况,每20 cm为一层,即0~20、20~40、40~60、60~80、80~100 cm 5个层次,每个处理测定2个重复,测点保持在同一直线上,在种植行的2株马铃薯中间取样。

水分变化程度用变异系数衡量,变异系数越高变化越大,变异系数 $CV = (\text{标准偏差 } SD / \text{平均值 Mean}) \times 100\%$ 。

2 结果与分析

2.1 马铃薯田季节水平变化

由表2数据可知,季节、种植方式、年型影响着土壤水分变化程度,其季节影响大于种植方式、平水年高于欠水年,而地膜覆盖的影响依年型而变,欠水年可降低水平变化程度、平水年加大水平

表1 马铃薯不同种植方式特征

Table 1 Characteristics of different planting patterns of potato

处理 Treatment	特征 Characteristic
全膜双垄(T ₁) Full mulching with double ridges	双垄作全地面覆盖。大垄宽 70 cm,高 15 cm,小垄宽 40 cm,高 10 cm,用 120 cm 宽的地膜全地面覆盖,地膜在小垄脊中合缝,用土封严,播种时在大垄垄侧用打孔播种器破膜播种,每幅播 2 行。
半膜垄作(T ₂) Half mulching with single ridge	单垄作半地面覆盖。垄宽 70 cm,高 15 cm,垄沟宽 40 cm,用 90 cm 宽的地膜覆盖垄面,垄沟不覆盖,播种时在垄侧用打孔器破膜点播,每垄播种 2 行。
全膜垄作(T ₃) Full mulching with single ridge	单垄作全地面覆盖。垄宽 70 cm,高 15 cm,垄沟宽 40 cm。用 120 cm 宽的地膜全地面覆盖,沟中间合缝,用土封严。播种时在垄侧用打孔器破膜点播,每垄播种 2 行。
半膜垄上微沟(T ₄) Micro groove on half mulching	单垄作半地面覆盖。垄宽 70 cm,高 15 cm,垄脊中间开 10 cm 的浅沟集雨,垄沟宽 40 cm。用 90 cm 宽的地膜覆盖垄面,垄沟不覆盖,播种时在垄侧用打孔器破膜点播,每垄播种 2 行。
全膜垄上微沟(T ₅) Micro groove on full mulching	单垄作全地面覆盖。垄宽 70 cm,高 15 cm,垄脊中间开 10 cm 的浅沟集雨,垄沟宽 40 cm。用 120 cm 宽的地膜全地面覆盖,沟中间合缝,用土封严。播种时在垄侧用打孔器破膜点播,每垄播 2 行。
全膜平作(T ₆) Full mulching with convention planting	平作不起垄全地面覆盖。用 120 cm 宽的地膜全地面覆盖,膜间重叠 10 cm,用土封严。播种时用打孔播种器,按等行距破膜播种,行距 55 cm。
半膜平作(T ₇) Half mulching with convention planting	平作半地面覆盖。垄宽 70 cm,用 90 cm 宽的地膜覆盖,膜间距 40 cm,播种时在膜上用打孔播种器破膜播种,每幅播种 2 行。
露地平作(T ₈) Drilling on bared ground	平作不覆膜。常规对照种植,播种时 55 cm 等行距种植。

变化程度。随生育进程变化,露地对照总体上呈“降—升”变化趋势,覆膜种植呈“升—降—升”变化趋势。0~100 cm 土壤含水量,露地对照欠水的 2011 年从播种期的 8.64% 开始下降,到现蕾期降到最低值 7.59%,后随着降雨的增多逐步回升,收获期达到最高值 11.78%;平水的 2012 年从播种期的 11.61% 开始下降,到现蕾期降到最低值 9.63%,后随着降雨的增多逐步回升,收获期达到最高值 13.29%;覆膜处理欠水的 2011 年平均从播种期的 8.76%,到出苗期上升到 9.51% 后,随着生长加快逐渐降低,至现蕾期降低到最低值 8.50% 后回升,到收获期达到 10.09%;平水的 2012 年从播种期的 12.27%,到出苗期上升到最高值 15.64% 后,随着生长加快逐渐降低,至膨大期降低到最低值 10.59%,随着降雨的增多逐步回升,到收获期升到 14.43%。

由表 3 可得,季节水平间土壤含水量的变异系数,因年型不同排序略有差异,总体上随着土层深度的加深逐渐降低,欠水的 2011 年变幅 5.52%~27.63%,层次平均 12.18%,其中:覆盖种植方式平均为 10.89%,低于露地对照 18.67%;平水的 2012 年变幅 15.63%~21.61%,层次平均 18.81%,其中:覆盖种植方式平均为 19.38%,高于露地对照 15.99%。

由表 4 可得,种植方式间土壤含水量的变异系

数,总体上从大到小依次为 0~20、60~80、40~60、20~40、80~100 cm,欠水的 2011 年以 0~20 cm 土层最大,80~100 cm 土层最小,生育期平均变幅 6.02%~16.95%,平均 9.33%;平水的 2012 年以 60~80 cm 土层最大,80~100 cm 土层最小,生育期平均变幅 9.07%~11.79%,平均 10.46%。

由此表明,半干旱地区马铃薯田季节水平变化是土壤水分变化的主要运行规律,随时间变化,露地对照呈“降—升”变化趋势(播种期~现蕾期为降低阶段、现蕾期~成熟期为升高阶段),覆膜种植呈“升—降—升”变化趋势(播种期~出苗期为第 1 次升高阶段、出苗期~现蕾期或膨大期为降低阶段、膨大期~成熟期为第 2 次升高阶段),低谷值出现于现蕾期至膨大期,出苗阶段地膜覆盖种植的含水量较露地对照多提高 1.35%~3.39%,再次证明,地膜覆盖具有很好的集雨保墒作用,有利于马铃薯出苗。由于土壤含水量的动态变化是降雨及分布、入渗量、蒸发量和耗水量等因素共同作用的结果。不同的覆盖种植方式其集雨效率、入渗率、生长量和蒸散量不同,影响着土壤水分的变化程度,平水年效应大于欠水年,但不能改变水平运行趋势。0~20 cm 土层受季节、处理影响大,变化活跃,是马铃薯田的速变层,20~40 cm 与 80~100 cm 土层受季节、处理

表2 马铃薯田生育期土壤含水量(%)

Table 2 Soil moisture of potato field at different growth stages

2011							2012						
处理 Treatment	层次 Layer	播种期 Sowing	出苗期 Emergence	现蕾期 Bud flower	膨大期 Swelling	成熟期 Maturity	处理 Treatment	层次 Layer	播种期 Sowing	出苗期 Emergence	现蕾期 Bud flower	膨大期 Swelling	成熟期 Maturity
T ₁	0~20	9.75	10.38	6.12	11.47	15.73	T ₁	0~20	13.88	17.17	8.87	14.23	15.55
	20~40	8.35	8.98	9.46	8.04	11.99		20~40	14.51	17.60	10.86	12.45	14.97
	40~60	8.11	8.09	8.35	8.45	9.69		40~60	12.03	15.79	11.45	8.89	13.95
	60~80	8.39	9.86	7.66	8.09	9.52		60~80	11.47	14.94	11.57	7.10	12.65
	80~100	8.45	9.87	8.64	8.67	8.70		80~100	9.71	12.89	12.59	8.33	12.12
T ₂	0~20	9.20	9.16	5.65	7.66	11.06	T ₄	0~20	15.77	18.76	8.98	14.94	15.84
	20~40	9.30	9.58	8.04	7.87	9.34		20~40	15.67	20.31	11.50	12.16	15.60
	40~60	8.10	8.39	8.22	8.30	8.40		40~60	13.51	16.13	11.58	10.96	15.50
	60~80	8.37	8.81	9.45	11.03	9.21		60~80	11.76	14.67	11.58	9.98	12.96
	80~100	9.09	10.42	9.16	10.53	9.66		80~100	9.40	12.30	11.39	9.07	13.81
T ₃	0~20	8.94	9.12	6.24	10.27	12.33	T ₅	0~20	12.00	17.50	10.68	15.69	15.76
	20~40	8.64	10.05	9.87	8.57	11.09		20~40	14.04	16.84	13.34	13.30	15.68
	40~60	8.24	8.81	9.83	9.03	11.19		40~60	12.39	15.67	12.98	10.71	14.88
	60~80	8.64	8.11	9.72	9.55	10.24		60~80	10.48	14.56	13.03	10.37	14.74
	80~100	9.07	10.50	9.28	9.39	8.61		80~100	9.64	14.13	12.51	11.25	14.36
T ₆	0~20	8.98	10.91	7.60	10.82	10.38	T ₆	0~20	12.24	16.60	10.13	13.07	15.75
	20~40	8.45	11.02	9.21	9.51	10.69		20~40	14.07	15.95	12.37	10.86	15.85
	40~60	8.54	9.50	9.29	8.37	9.10		40~60	13.86	15.31	13.30	7.75	14.44
	60~80	8.47	8.83	9.59	8.13	8.72		60~80	12.29	14.03	12.53	8.85	13.00
	80~100	9.50	10.33	9.25	9.36	9.07		80~100	10.04	12.56	11.17	10.55	12.89
T ₇	0~20	8.45	9.79	6.72	7.92	10.79	T ₇	0~20	13.24	16.15	9.24	12.07	15.59
	20~40	9.19	8.99	7.89	7.61	9.82		20~40	12.91	19.27	9.71	9.28	15.44
	40~60	8.58	9.46	8.46	7.73	8.53		40~60	11.65	15.42	10.37	6.90	14.40
	60~80	8.81	9.18	8.90	8.93	8.72		60~80	9.91	13.27	10.43	6.86	12.61
	80~100	9.48	9.71	9.90	9.90	9.63		80~100	10.19	13.14	11.21	9.10	12.45
T ₈	0~20	6.77	5.90	4.46	10.93	18.14	T ₈	0~20	14.02	14.34	7.67	14.51	13.12
	20~40	8.24	8.25	8.07	8.02	11.75		20~40	12.91	14.12	10.05	12.91	13.14
	40~60	8.70	7.80	7.68	7.76	9.92		40~60	12.46	11.05	10.15	11.90	12.48
	60~80	8.90	8.77	8.32	7.83	8.60		60~80	9.65	9.55	10.37	9.98	14.72
	80~100	10.58	9.55	9.41	9.93	10.48		80~100	9.00	8.87	9.89	9.89	12.99

表3 不同层次土壤水分水平变化变异系数(%)

Table 3 Coefficient of variation of soil moisture horizontal variations at different soil levels

2011						2012					
处理 Treatment	0~20	20~40	40~60	60~80	80~100	处理 Treatment	0~20	20~40	40~60	60~80	80~100
T ₁	32.36	16.72	7.77	10.83	6.41	T ₁	22.35	18.25	21.01	24.69	18.01
T ₂	23.61	9.14	1.54	10.81	6.94	T ₄	24.17	23.33	16.95	14.32	17.77
T ₃	23.59	10.99	12.12	9.32	7.49	T ₅	19.96	10.67	14.89	16.82	16.05
T ₆	14.60	10.88	5.43	6.23	5.14	T ₆	19.44	16.01	23.13	16.12	10.86
T ₇	18.23	11.07	7.18	1.96	1.86	T ₇	21.12	31.27	28.84	23.86	14.62
T ₈	53.39	18.20	11.43	5.02	5.30	T ₈	22.62	12.07	8.62	20.13	16.49

表4 不同生育期处理间土壤含水量变异系数(%)

Table 4 Coefficient of variation of soil moisture for different treatments at different growth stages

2011						2012					
层次	播种期	出苗期	现蕾期	膨大期	成熟期	层次	播种期	出苗期	现蕾期	膨大期	成熟期
Layer	Sowing	Emergence	Bud flower	Swelling	Maturity	Layer	Sowing	Emergence	Bud flower	Swelling	Maturity
0~20	11.77	19.14	17.19	16.65	20.02	0~20	10.17	8.84	11.36	9.31	6.93
20~40	5.12	9.88	9.82	8.23	9.72	20~40	7.43	12.93	12.28	12.69	6.70
40~60	3.09	8.17	9.04	5.84	10.94	40~60	6.79	12.79	11.15	20.77	7.17
60~80	2.62	6.43	9.10	13.58	6.92	60~80	9.78	15.00	9.29	17.41	7.49
80~100	7.56	4.01	4.40	6.58	7.56	80~100	4.47	14.63	8.72	11.10	6.41
0~100	1.25	7.27	6.67	3.66	8.35	0~100	5.34	11.53	9.59	11.81	4.50

表5 不同生育期土壤水分垂直变化变异系数(%)

Table 5 Coefficient of variation of soil moisture vertical variation at different stages

2011						2012					
处 理	播种期	出苗期	现蕾期	膨大期	成熟期	处理	播种期	出苗期	现蕾期	膨大期	成熟期
Treatment	Sowing	Emergence	Bud flower	Swelling	Maturity	Treatment	Sowing	Emergence	Bud flower	Swelling	Maturity
T ₁	7.54	9.58	15.62	16.03	25.60	T ₁	15.64	12.04	12.44	29.46	10.58
T ₂	5.99	8.35	18.50	17.42	10.17	T ₄	20.47	19.42	10.31	19.94	8.69
T ₃	3.70	10.33	17.28	6.76	12.92	T ₅	14.65	9.15	8.51	18.16	4.05
T ₆	5.17	9.25	8.77	11.60	9.19	T ₆	12.95	10.83	10.50	19.95	9.93
T ₇	4.84	2.60	14.14	11.62	9.61	T ₇	13.13	16.24	7.38	24.24	10.67
T ₈	15.85	16.98	24.55	16.28	25.25	T ₈	18.71	21.93	11.50	16.65	6.34

影响相对较小,是马铃薯田的渐变层与缓变层,40~80 cm 土层受季节、处理影响较大,是马铃薯根系的主要分布层,属马铃薯田的活跃层。在生育期内,现蕾期至块茎增长期各层土壤含水量处于低谷,受种植方式影响明显,是马铃薯田的需水关键期。

2.2 马铃薯田层次垂直变化

由表5可得,层次、种植方式、年型影响着土壤水分垂直变化程度,其影响层次大于种植方式、平水年高于欠水年,而地膜覆盖可减缓垂直变化程度。垂直层次间与种植方式间土壤含水量的变异系数,总体以膨大期最大,播种期最小,因年型不同排序略有差异。垂直层次间欠水的2011年以现蕾期最大,播种期最小,平均变幅7.18%~16.48%,生育期平均12.38%,其中:覆盖种植方式平均为10.90%,明显低于露地对照19.78%;平水的2012年以膨大期最大,成熟期最小,平均变幅8.38%~21.40%,生育期平均14.15%,其中:覆盖种植方式平均为13.97%,低于露地对照15.03%。

由表4可得,种植方式间欠水的2011年以成熟期最大,播种期最小,层次的变幅6.03%~11.03%,生育

期平均9.33%;平水的2012年以膨大期最大,成熟期最小,层次的变幅6.94%~14.26%,生育期平均10.46%。

由表2可得,随土层深度变化,生育期平均土壤含水量,露地对照欠水的2011年从9.24%开始下降,到40~60 cm降至谷值8.37%后回升,80~100 cm达到最高值9.99%;平水的2012年从12.73%逐步降到10.03%,总体上呈“降—升”变化趋势;覆膜种植欠水的2011年从9.41%开始下降,到40~60 cm下降到谷值8.75%后回升,80~100 cm达到最高值9.45%;平水的2012年从13.99%开始先升高,20~40 cm升到14.18%后,逐步降至11.47%,总体呈“升—降—升”变化趋势。

由此表明,半干旱地区马铃薯田深度垂直变化是土壤水分变化的又一主要运行规律,随深度垂直变化,依生育期降雨不同略有差异,总体上露地对照呈“降—升”变化趋势、覆膜种植呈“升—降—升”变化趋势。不同的覆盖种植方式其集雨效率、入渗率、生长量和蒸散量不同,影响着土壤水分的变化程度,但不能改变垂直运行趋势。现蕾期至块茎增长期各层土壤含水量处于低谷,受层次和种植方式

影响明显，是马铃薯田的需水关键期。

2.3 一生耗水量

从表6看出，马铃薯田0~100 cm土层水分消耗与积累是一个动态变化过程，贮水量收获时较播种时提高，由于不同年生育期降雨量的不同，增量的程度不同，从而表现出耗水量依年型而变。欠水的2011年露地对照一生耗水232.1 mm、覆盖种植一生耗水234.6~257.7 mm，平均248.9 mm，较对照多耗16.8 mm；平

水的2012年露地对照一生耗水285.1 mm、覆盖种植一生耗水264.8~287.0 mm，平均279.3 mm，较对照少耗5.8 mm。由此说明，半干旱地区马铃薯田耗水量与年型密切相关，随着降雨的增多而增大，露地对照一生耗水由欠水年的232.1 mm增到平水年285.1 mm，平均258.6 mm；地膜覆盖种植一生耗水由欠水年的248.9 mm增到平水年279.3 mm，平均264.1 mm，欠水年加大、平水年减少。

表6 不同种植方式生育期耗水(mm)

Table 6 Water consumption of growth periods for different treatments

2011					2012				
处理 Treatment	0~100 cm贮水量 SWS		生育期降雨量 PGS	耗水量 WC	处理 Treatment	0~100 cm贮水量 SWS		生育期降雨量 PGS	耗水量 WC
	播种期 Sowing	收获期 Maturity				播种期 Sowing	收获期 Maturity		
T ₁	103.3	133.5	264.8	234.6	T ₁	147.8	166.2	305.3	286.9
T ₂	105.5	114.4	264.8	255.9	T ₄	158.6	176.9	305.3	287.0
T ₃	104.5	128.3	264.8	241.0	T ₅	140.5	181.0	305.3	264.8
T ₆	105.5	115.1	264.8	255.2	T ₆	150.0	172.7	305.3	282.6
T ₇	106.8	114.0	264.8	257.7	T ₇	139.0	169.2	305.3	275.1
T ₈	103.7	136.4	264.8	232.1	T ₈	139.3	159.5	305.3	285.1

注：SWS为贮水量，PGS为生育期降雨量，WC为耗水量。

Note: SWS denotes soil water storage; PGS precipitation during growth stage; and WC water consumption.

2.4 阶段耗水量

以2年测定数据的平均值为依据，分覆盖种植与露地对照进行分析，各生育期贮水量见图1。

2.4.1 发芽期

从播种期到出苗期，时间为4月下5月初至6月上旬，历时30 d左右，期间降雨33.3 mm。露地对照土壤含水量从10.12%降到9.82%，折合贮水量减少3.6 mm，加上期间降雨总计损耗水分36.9 mm，是一生的14.3%，平均每天损耗1.2 mm；覆盖种植土壤含水量从10.51%上升到12.58%，折合贮水量增多24.8 mm，损耗水分8.4 mm，是一生的3.2%，平均每天损耗0.3 mm，是露地对照的1/4。

2.4.2 幼苗期

从出苗期到现蕾期，时间为6月中旬至6月底，历时20 d左右，期间降雨33.7 mm。露地对照土壤含水量从9.82%降到8.61%，折合贮水量减少14.6 mm，加上期间降雨总计损耗水分48.2 mm，是一生的18.6%，平均每天损耗1.9 mm；覆盖种植土壤含水量从12.58%下降到9.92%，折合贮水量减少32.0 mm，加上降雨总损耗水分65.7 mm，是一生的24.9%，平

均每天损耗2.6 mm，是露地对照的1.37倍。

2.4.3 块茎形成期

从现蕾期到膨大期，时间为7月初至8月上旬，历时30 d左右，期间降雨98.0 mm。露地对照土壤含水量从8.61%上升到10.37%，折合贮水量增多11.1 mm，损耗水分76.8 mm，是一生的29.7%，平均每天损耗2.2 mm；覆盖种植土壤含水量从9.92%下降到9.8%，折合贮水量减少1.4 mm，加上

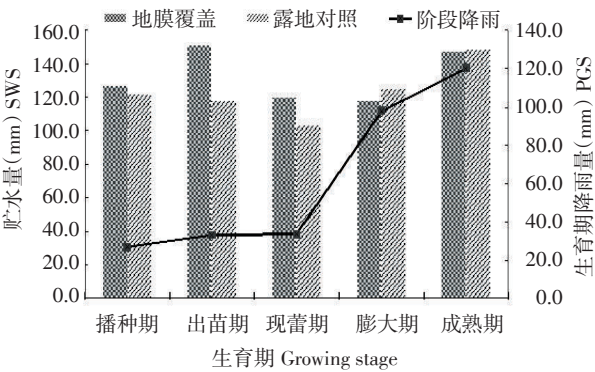


图1 0~100 cm土层不同生育期贮水量与阶段降雨

Figure 1 Soil water storage and stage rainfall of 0~100 cm soil layer at different stages

降雨总损耗水分 99.4 mm, 是一生的 37.6%, 平均每天损耗 2.8 mm, 是露地对照的 1.27 倍。

2.4.4 块茎增长期

从膨大期到成熟期, 时间为 8 月中旬至 9 月下旬, 历时 50 d 左右, 期间降雨 120.2 mm。露地对照土壤含水量从 10.37% 上升到 12.33%, 折合贮水量增加 23.5 mm, 损耗水分 96.7 mm, 是一生的 37.4%, 平均每天损耗 1.9 mm; 覆盖种植土壤含水量从 9.8% 上升到 12.26%, 折合贮水量增多 29.5 mm, 损耗水分 90.7 mm, 是一生的 34.3%, 平均每天损耗 1.8 mm, 低于露地对照。

3 讨 论

本文仅通过 0~100 cm 土层研究, 与李鼎新^[7]等对宁南干旱山区早熟丰产马铃薯农田土壤水分的研究结果相似。结果表明, 半干旱地区马铃薯田季节水平变化与垂直层次变化是土壤水分变化的主要运行规律, 不同的覆盖种植方式其集雨效率、入渗率、生长量和蒸散量不同, 影响着土壤水分的变化程度, 但不能改变水平及垂直运行趋势。随时间变化, 露地对照呈“降—升”变化趋势, 覆膜种植呈“升—降—升”变化趋势; 随深度垂直变化, 生育期降雨不同略有差异, 总体上露地对照也呈“降—升”变化趋势、覆膜种植也呈“升—降—升”变化趋势。生育期上, 现蕾期至块茎膨大期土壤含水量处于低谷, 受种植方式影响明显, 是马铃薯田的需水关键期; 层次上, 0~20 cm 土层受季节、处理影响大, 变化剧烈, 是马铃薯田的速变层, 40~80 cm 土层受季节、处理影响较大, 是马铃薯根系主要分布层, 是马铃薯田的活跃层, 20~40 cm 与 80~100 cm 土层受季节、处理影响相对较小, 是马铃薯田的渐变层与缓变层。

半干旱地区马铃薯田耗水量与年型密切相关, 随着降雨的增多而增大, 耗水强度整个生育期内呈正态分布。露地对照一生耗水 232.1~285.1 mm, 平均耗水 258.6 mm, 其中: 发芽期需水 36.9 mm, 占一生总耗水量的 14.3%, 日均耗水 1.2 mm; 幼苗期需水 48.2 mm, 占一生总耗水量的 18.6%, 日均耗水 1.9 mm; 块茎形成期需水 76.8 mm, 占一生总耗水量的 29.7%, 日均耗水 2.2 mm; 块茎增长期需水 96.7 mm, 占一生总耗水量的 37.4%, 日均耗水 1.9 mm; 地膜覆盖种植一生耗水 248.9~279.3 mm, 平均耗水 264.1 mm, 其中: 发芽期需水 8.4 mm, 占一生总耗水量的 3.2%, 日

均耗水 0.3 mm; 幼苗期需水 65.7 mm, 占一生总耗水量的 24.9%, 日均耗水 2.6 mm; 块茎形成期需水 99.4 mm, 占一生总耗水量的 37.6%, 日均耗水 2.8 mm; 块茎增长期需水 90.7 mm, 占一生总耗水量的 34.3%, 日均耗水 1.8 mm。这个研究结果与刘战东等^[9]的研究相似, 而阶段耗水强度低于武朝宝等^[10]在灌溉条件下的研究结果。会宁生长期降雨 256.6 mm, 基本满足马铃薯生长所需, 造成干旱危害的原因不是降雨总量不足, 而是供需不相吻合。块茎形成期是半干旱地区马铃薯的需水关键期, 该阶段降雨 69.8 mm, 土壤可用水基本耗尽, 缺水 7.0~29.6 mm, 集雨补灌将是应对关键期旱灾, 获得稳定产量的必要应变措施。

地膜覆盖具有很好的集雨保墒作用, 尤其出苗阶段地膜覆盖种植含水量较露地对照提高 1.35%~3.39%, 有利于马铃薯出苗。生长前期与后期, 日均耗水量降低, 发芽阶段尤为显著; 生长中期由于植株生长旺盛, 蒸腾量大, 日均耗水量较露地高 1.27~1.37 倍。

[参 考 文 献]

- [1] 赵永平, 韩建民. 甘肃马铃薯产业竞争力分析 [J]. 甘肃农业大学学报, 2005, 40(2): 250~255.
- [2] 王鹤龄, 王润元, 张强, 等. 甘肃马铃薯种植布局对区域气候变化的响应 [J]. 生态学报, 2012, 31(5): 1111~1116.
- [3] 秦舒浩, 张俊莲, 王蒂, 等. 覆膜与沟垄种植模式对旱作马铃薯产量形成及水分运移的影响 [J]. 应用生态学报, 2011, 22(2): 389~394.
- [4] 张庆霞, 宋乃平, 王磊, 等. 马铃薯连作栽培的土壤水分效应研究 [J]. 中国生态农业学报, 2010, 18(6): 1212~1217.
- [5] 王凤新, 康跃虎, 刘士平. 滴灌条件下马铃薯耗水规律及需水量的研究 [J]. 干旱地区农业研究, 2005, 23(1): 9~15.
- [6] 信迺途, 赵聚宝. 旱地农田水分状况与调控技术 [M]. 北京: 农业出版社, 1992.
- [7] 李鼎新, 陈国良, 徐学选. 早熟马铃薯农田土壤水分动态和地膜水分效应 [J]. 水土保持通报, 1996, 16(6): 36~42.
- [8] 王春珍, 李荫藩. 降水量对旱地马铃薯产量的影响 [J]. 中国马铃薯, 1990, 4(3): 155~157.
- [9] 刘战东, 肖俊夫, 于秀琴. 不同土壤水分处理对马铃薯形态指标耗水量及产量的影响 [J]. 中国农村水利水电, 2010(8): 1~3.
- [10] 武朝宝, 任罡, 李金玉. 马铃薯需水量与灌溉制度试验研究 [J]. 灌溉排水学报, 2009, 28(3): 93~95.