应用生态学报 2016年3月 第27卷 第3期 http://www.cjae.net
Chinese Journal of Applied Ecology, Mar. 2016, 27(3): 883-890 DOI: 10.13287/j.1001-9332.201603.027

施肥对旱地全膜覆盖垄沟种植马铃薯耗水特征及产量的影响

于显枫[1] 张绪成[1,2*] 王红丽[1] 马一凡[1] 侯慧芝[1] 方彦杰[1]
([1]甘肃省农业科学院旱地农业研究所, 兰州 730070; [2]甘肃省旱作区水资源高效利用重点实验室, 兰州 730070)

摘 要 用化肥减量和分期施肥、增施有机肥来替代化肥是提高半干旱区全膜覆盖垄沟种植马铃薯水、肥利用效率的有效途径.在4年大田定位试验基础上,设置传统施肥(F)、化肥减量25%花期追施(DF)、化肥减量50%花期追施并增施有机肥(OF)3种养分管理模式,通过测定马铃薯不同生育期的土壤含水量和产量,计算阶段耗水量和水分利用效率,研究施肥方式对半干旱区马铃薯耗水过程的调控及其对产量和水分利用效率的影响.结果表明:马铃薯花期的土壤贮水量DF最高,但处理间差异不显著;花后DF和OF的耗水深度较F有明显增加趋势.与F相比,2011—2014年DF花前耗水量显著下降,花后耗水量分别增加了36.2%、23.0%、24.8%和19.0%;OF未显著降低马铃薯花前耗水,但2011、2012年花后耗水量增加了20.7%和16.3%.DF的马铃薯块茎产量在2012—2014年较F平均增加2595.1 kg·hm^{-2},水分利用效率(WUE)在2013、2014年分别显著增加14.4%和6.3%,达到显著差异;OF在2011—2014年平均马铃薯块茎产量较F增加了2945 kg·hm^{-2},且WUE在2012—2014年显著高于F.DF和OF均能显著调节马铃薯花前花后耗水量,使马铃薯块茎产量、水分利用效率增加,但OF的增加幅度更大.

关键词 全膜覆盖;施肥;马铃薯;阶段耗水量;产量;水分利用效率

Effects of fertilizer application on water consumption characteristics and yield of potato cultured under ridge-furrow and whole filed plastic mulching in rain-fed area.

YU Xian-feng[1], ZHANG Xu-cheng[1,2*], WANG Hong-li[1], MA Yi-fan[1], HOU Hui-zhi[1], FANG Yan-jie[1] (*Institute of Dryland Farming, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou* 730070, *China*; [2]*Key Laboratory of High Water Utilization on Dryland of Gansu Province, Lanzhou* 730070, *China*).

Abstract: Chemical fertilizer reduction and organic manure substitution are the useful methods to increase potato water-and nutrient use efficiency, which is cultured under ridge-furrow and whole soil surface mulched by plastic film in semiarid rain-fed area. A 4-year field experiment was carried out from 2011 to 2014 with three treatments: 1) traditional chemical fertilizer application (F), 2) chemical nitrogen fertilizer reduced by 25% and dressing at flowering stage (DF), and 3) chemical nitrogen fertilizer reduced by 50% and organic manure substitution (OF). The soil moisture and potato yield were investigated, and seasonal water consumption, water use efficiency (WUE) were calculated to study the regulations of different nutrient management methods on potato water use process, as well as its effects on potato tuber yield and WUE. The results showed that soil water storage in potato flowering stage was the highest under DF treatment, but there were no significant difference among these three treatments. The depth of soil water depletion in DF and OF showed an increasing trend at post-flowering stage. Potato water consumption decreased significantly at pre-flowering stage, but increased by 36.2%, 23.2%, 24.8% and 19.0% respectively at post-flowering stage in 2011-2014 under DF treatment, as compared with those under F treatment. OF treatment

本文由农业部公益性行业(农业)科研专项(201203031)和国家科技支撑计划项目(2015BAD22B04)资助 This work was supported by Special Fund for Agro-scientific Research in the Public Interest of the Ministry of Agriculture (201203031) and the State Key Technology Support Program (2015BAD22B04).
2015-07-27 Received, 2016-01-04 Accepted.
* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: gszhangxuch@163.com

increased potato water consumption by 20.7% and 16.3% than that under F treatment at post-flowering stage from 2011 to 2012, respectively, but exerted no significant effect at pre-flowering stage. Compared with F, DF increased potato tuber yield averagely by 2595.1 kg · hm^{-2} from 2012 to 2014 and significantly increased the WUE by 14.4% and 6.3% in 2013 and 2014, respectively; OF significantly increased potato tuber yield averagely by 2945 kg · hm^{-2} tuber yield in 4 experimental years and WUE was significantly higher than that under F from 2012 to 2014. It was indicated that both DF and OF could regulate water consumption between pre-flowering and post-flowering stages, and increase potato tuber yield and WUE. OF showed more significant effects than DF on the increment of tuber yield and WUE.

Key words: whole field plastic mulching; fertilizer application; potato; seasonal water consumption; yield; water use efficiency.

西北黄土高原半干旱区为典型的雨养农业区.该区多年平均降雨量为 400 mm 左右.马铃薯是该区的三大作物之一.近年来,全膜覆盖垄沟种植技术的广泛应用,使马铃薯产量大幅度提高[1].其中块茎产量增加 57.4%,水分利用效率提高 70.3%[2].然而,受降水分布不均的显著影响,季节性干旱为该区常驻性自然灾害,对全膜覆盖垄沟种植马铃薯增产潜力的发挥有直接的限制作用[3-4].因此,如何调节马铃薯对土壤水分的耗散过程,以保持土壤水分在马铃薯全生育期的合理利用,是减缓季节性干旱危害、提高马铃薯产量与水分利用效率的关键途径之一.养分管理模式对作物耗水过程有显著的调节作用[5-7],张福锁等[8]研究表明,在养分总量控制的条件下,通过分期施用能够显著提高作物产量.这与提高了养分利用效率有关,也受作物耗水过程调节的影响.旱作农田全膜覆盖后,一般采用全部基施的施肥方式,而且在土壤热动力的驱动下,土壤耕层水热条件在作物生育期显著优化[9],促进了作物营养生长,加速了对土壤水分的大量耗散.这对后期生殖生长阶段的水分利用造成一定胁迫,不利于作物经济产量和水分利用效率(WUE)的提高.因此,在旱作农田全膜覆盖种植模式下,通过改进施肥方式来调节作物对水分的耗散过程,合理优化作物营养生长和生殖生长阶段的耗水分配,是进一步提高作物产量和 WUE 的有效途径,但目前这方面研究尚少有报道.针对上述问题,本试验以不同施肥方式为处理手段,通过测定马铃薯不同生育时期的土壤贮水量和产量,计算阶段耗水量和水分利用效率,明确全膜覆盖垄沟种植模式下不同施肥方式对马铃薯水分耗散过程、产量与水分利用效率的影响,以期为揭示旱作农田全膜覆盖垄沟种植马铃薯水肥耦合机制提供理论依据,并为进一步提高马铃薯水肥利用效率探索技术途径.

1 研究地区与研究方法

1.1 试验地概况

试验于 2011—2014 年在甘肃省农业科学院旱地农业研究所定西试验站(35°35′ N,104°36′ E)进行.该区海拔 1970 m,年平均气温 6.2 ℃,年辐射总量 5898 MJ · m^{-2},年日照时数 2500 h,≥10 ℃积温 2075.1 ℃,无霜期 140 d,属中温带半干旱气候.作物一年一熟,无灌溉,为典型旱地雨养农业.年平均降水量为 415 mm,6—9 月降水占年降水量的 68%,降水相对变率为 24%,400 mm 降水保证率为 48%.试验区土壤为黄绵土,0~30 cm 土层平均容重 1.25 g · cm^{-3},田间持水量为 21.8%,永久凋萎系数为 7.2%.

1.2 试验设计

于 2011 年在甘肃省农业科学院旱地农业研究所定西试验站进行大田试验.试验采用全膜覆盖垄作种植,种植带宽 100 cm,宽窄行种植,宽行 60 cm、窄行 40 cm(图 1).试验处理设置见表 1,采用随机区组设计,试验小区面积 6 m×7.5 m,4 次重复.马铃薯种植在垄侧,株距 35 cm,播种深度 10 cm.

1.3 测定指标及方法

1.3.1 土壤含水量测定 在马铃薯全生育期用烘干法测定 0~200 cm 土层土壤含水量,每 20 cm 为一个层次,在马铃薯播前、苗期、花期、块茎膨大期、收获后进行测定,每小区在垄上马铃薯株间测定一个

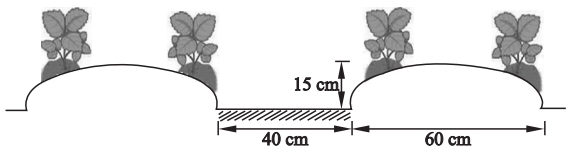


图 1 全膜覆盖垄沟种植马铃薯示意图

Fig.1 Schematic diagram of potato planting in ridges and furrows with plastic mulching.

表 1　试验处理
Table 1　Treatments of experiment

代码 Code	处理 Treatment	肥料种类及用量 Fertilizer type and quantity	肥料总用量 Total fertilizer quantity (kg·hm^{-2})
F	传统施肥	有机肥 15000 (kg·hm^{-2},纯 N 180 kg·hm^{-2},P_2O_5 105 kg·hm^{-2},全部基施	纯 N 255 kg·hm^{-2},P_2O_5 157.5 kg·hm^{-2},K_2O 60 kg·hm^{-2}
DF	化肥减量 25%花期追施	有机肥 15000 kg·hm^{-2},纯 N 135 kg·hm^{-2},P_2O_5 73.5 kg·hm^{-2}, K_2O 30 kg·hm^{-2}.基：追=6：4,花期追肥.	纯 N 210 kg·hm^{-2},P_2O_5 126 kg·hm^{-2},K_2O 90 kg·hm^{-2}
OF	化肥减量 50%花期追施并增施有机肥	有机肥 30000 kg·hm^{-2},纯 N 90 kg·hm^{-2},P_2O_5 52.5 kg·hm^{-2}, K_2O 22.5 kg·hm^{-2}.基：追=6：4,花期追肥	纯 N 240 kg·hm^{-2},P_2O_5 157.5 kg·hm^{-2},K_2O 142.5 kg·hm^{-2}

位点.土壤贮水量(SWS,mm)计算公式为：

$$SWS = WS \times \gamma \times d/100$$

式中：WS 为土壤质量含水量(g·kg^{-1})；γ 为土壤容重(g·cm^{-3})；d 为土壤深度(cm).

1.3.2 耗水深度计算　耗水深度的计算公式为：

$$(SWS_i - SWC_b)/SWC_b$$

式中：SWS_i 为某一土层土壤含水量(%)；SWS_b 为播前对应土层土壤含水量(%).当 $(SWS_i - SWC_b)/SWC_b$<5%时,认为该土层土壤水分没有被耗散.

1.3.3 阶段耗水量计算　采用测定土壤含水量计算阶段耗水量,公式为：

$$ET_i = SWS_i - SWS_{i+1} + P$$

式中：SWS_i 为某个生育时期初始时的土壤贮水量；SWS_{i+1} 为该生育时期结束时的土壤贮水量；P 为生育期降雨量.

1.3.4 水分利用效率计算　水分利用效率的计算公式为：

$$WUE = Y_d/ET$$

式中：Y_d 为马铃薯单位面积产量(kg·hm^{-2})；$ET = SWS_{BF} - SWS_{HA+P}$,其中,$SWS_{BF}$ 为播前贮水量；SWS_{HA} 为收获后贮水量；P 为生育期降雨量.

1.3.5 测产　在马铃薯收获后,每小区按实际块茎鲜质量计算产量.

1.4　数据处理

采用 DPS 软件对数据进行 ANOVA 方差分析,并用 LSD 法进行多重比较.

2　结果与分析

2.1　2011—2014 年定西试验站气象资料统计

根据甘肃省农业科学院旱地农业研究所定西试验站气象资料统计结果(图 2),2011 年试验区全年降雨量为 346.4 mm,马铃薯生育期降雨量为 301.2 mm,8 月块茎膨大期的降雨量为 54.6 mm,属于欠水年.2012 年试验区全年降雨量为 484.4 mm,马铃薯生育期降水量为 450.5 mm,8 月块茎膨大期降雨量为 108.6 mm,属于平水年.2013 年试验区全年降雨量为 551.9 mm,马铃薯生育期降雨量为 502.8 mm,8 月块茎膨大期的降雨量为 116.4 mm,属于丰水年.2014 年试验区全年降雨量为 482.2 mm,马铃薯生育期降雨量为 413.7 mm,8 月块茎膨大期的降雨量为 73 mm,属于平水年,季节性分配不均.

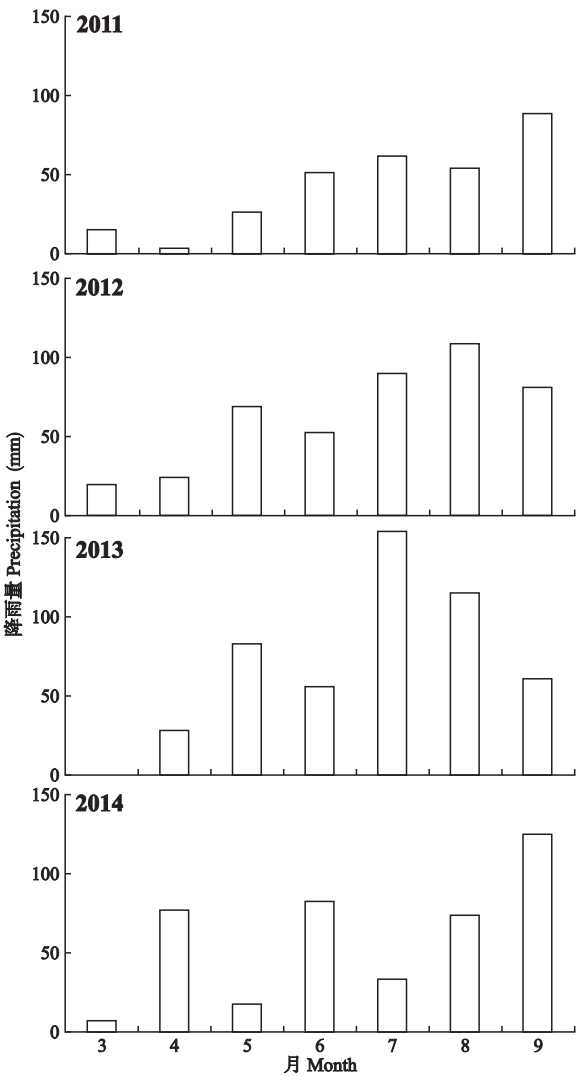


图 2　2011—2014 年马铃薯生育期降水分布
Fig.2　Precipitation distribution during potato growth stage from 2011 to 2014.

2.2 施肥对马铃薯生育期土壤贮水量变化的影响

施肥对马铃薯不同生育期土壤水分有明显影响,并与当年水分分布密切相关(图 3).2011—2014 年,DF 的花期贮水量均高于 F;而在块茎膨大期,2011 和 2012 年 DF 高于 F,2013 和 2014 年低于 F.因此,化肥减量追施对马铃薯土壤贮水量有较为明显的调节作用,但同样受降水年型的显著影响.由于马铃薯生育前期降水少,主要依赖土壤水分,马铃薯花期前土壤贮水量都有不同程度的减少,但各处理间差异不显著.到花期,土壤贮水量显著低于播前,尤其 2013 年各处理之间差异达显著性水平.DF 较 F 增加了 28.90 mm;OF 较 F 降低了 48.54 mm.随着马铃薯生育期的推进,对水分利用也逐渐增大,块茎膨大期是土壤贮水量最少的时期.2014 年 DF 和 OF 处理的土壤贮水量较 F 分别降低 17.79、23.13 mm.收获后马铃薯土壤贮水量有所提高,都高于块茎膨大期.DF 和 OF 处理的马铃薯贮水量都较 F 降低,尤其是 2014 年降低了 18.70 和 12.68 mm.

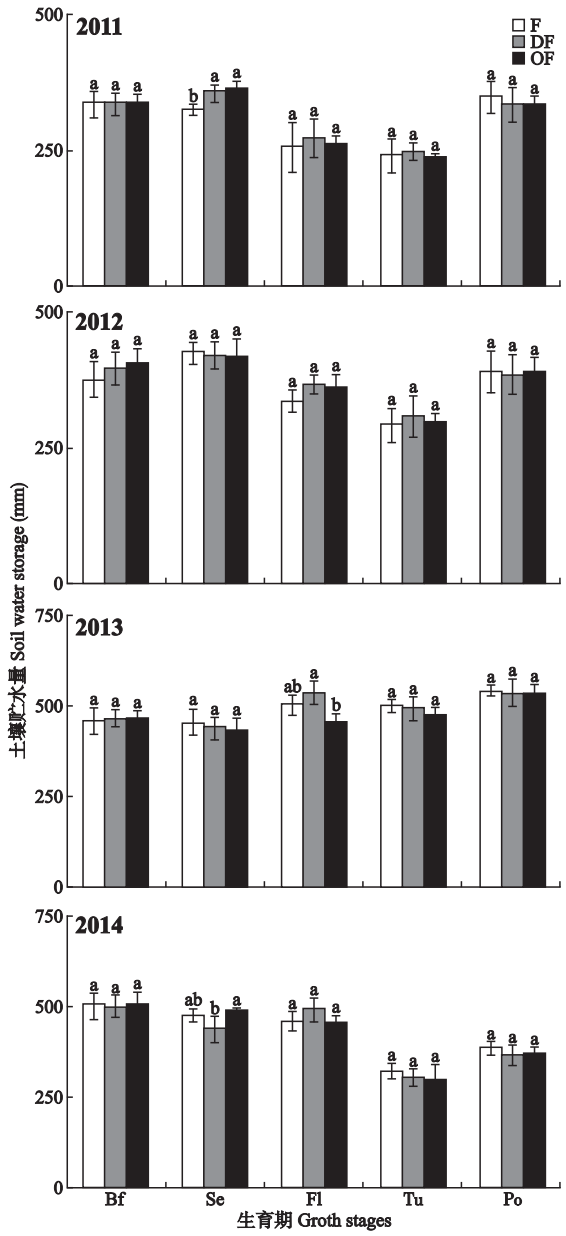


图 3 施肥对马铃薯不同生育期土壤贮水量的影响

Fig.3 Effects of fertilization on soil water storage in different growth stages of potato.

Bf: 播种前 Before sowing; Se: 苗期 Seedling stage; Fl: 花期 Flowering stage; Tu: 块茎膨大期 Tuber expending stage; Po: 收获后 Post-harvest stage. 下同 The same below.

2.3 施肥对马铃薯关键生育期土壤水分分布和耗水深度的影响

施肥对马铃薯花期、块茎膨大期和收获后土壤 0~200 cm 贮水量和耗水深度有显著影响,其中 DF 花期 0~80 cm 土层的土壤贮水量高于 F 和 OF,而在块茎膨大期和收获期这一差异减小(图 4).欠水年(2011 年),各处理花期和块茎膨大期 0~40 cm 土壤贮水量都低于播前,尤其是块茎膨大期,OF 较播前减少了 19.41 mm,DF 减少 3.83 mm,F 减少 12.95 mm;平水年(2012 年),OF 和 DF 处理的花期和块茎膨大期 0~40 cm 土壤贮水量分别较 F 增加 3.12、1.59 和 13.59、7.06 mm.2013 年为丰水年,马铃薯各生育期降水均较为充沛,因而各处理 0~40 cm 土壤贮水量均高于播前,2014 年为季节性干旱平水年,马铃薯花期正值干旱,因而各处理 0~40 cm 土壤贮水量均低于播前.收获后,2013 年 DF、OF 处理的土壤贮水量较 F 低 4.41 和 7.36 mm;2014 年则差异不显著.

欠水年 40~120 cm 土层,各处理花期和块茎膨大期土壤贮水量都低于播前,收后 F、DF、OF 分别较播前增加了 36.79、31.85、26.45 mm,但各处理间差异不显著.2013 和 2014 年,DF、OF 处理块茎膨大期 40~120 cm 土层土壤贮水量较 F 分别低 11.95、13.05 和 11.95、13.05 mm.可见,增施有机肥能促进作物耗水.

欠水年 120~200cm 土层,各生育期土壤贮水量均低于播前,处理间差异不显著.平水年(2012 年)花期,OF、DF 在 120~200 cm 土层土壤贮水量较 F 分别增加 26.29、5.97 mm;而块茎膨大期 OF 较 F 减少了 7.68 mm、DF 较 F 增加了 16.51 mm.丰水年(2013 年)120~200 cm 土层土壤贮水量各生育期均高于播前.但不同生育期处理间有显著差异,块茎膨大期 DF、OF 较 F 低 12.80 和 27.41 mm.2014 年花期马铃薯 120~200 cm 土层土壤贮水量高于播前,块茎膨大期和收获后均低于播前.收获后DF、OF土壤

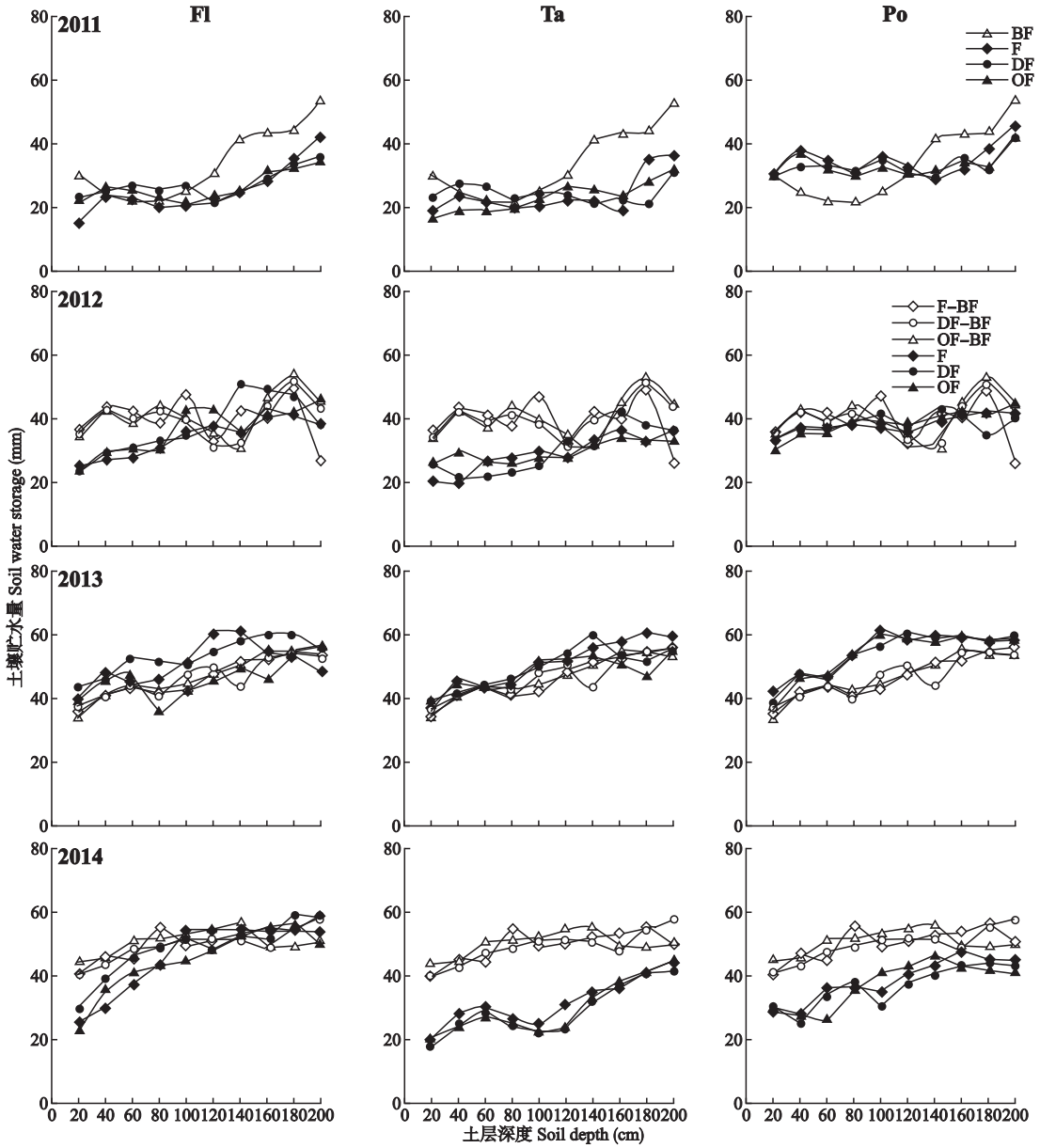


图 4　施肥对马铃薯不同生育期土壤贮水量的影响

Fig.4　Effects of fertilization on soil water storage in different growth stages of potato.

表 2　施肥对马铃薯不同生育期土层耗水深度的影响

Table 2　Effects of fertilization on soil water consumption depth in different growth stages of potato（cm）

年份 Year	花期 Flowering stage			块茎膨大期 Tuber expending stage			收获后 Post-harvest stage		
	F	DF	OF	F	DF	OF	F	DF	OF
2011	–	100	80	–	–	–	–	120	120
2012	160	180	200	–	160	140	140	180	180
2013	140	180	160	80	160	160	180	180	200
2014	140	140	140	–	–	–	–	–	–

贮水量分别较 F 低 11.20、8.34 mm.其他生育期处理间差异不显著.

DF、OF 能增加马铃薯耗水深度，2012 年和 2013 年花期马铃薯耗水深度分别较 F 增加 12.5% 和 25.0%、28.6% 和 14.3%.在块茎膨大期，2013 年 DF、OF 马铃薯耗水深度较 F 增加了一倍（表 2）.丰水年主要是因为马铃薯前期发育好，冠层增大，所以耗水量和耗水深度增加.但产量形成和降水分布有

密切关系,干旱或者多雨均不利于块茎产量形成.收获后,2012 和 2013 年 OF 处理的马铃薯耗水深度分别较 F 增加 28.6%和 11.1%.

2.4 施肥对马铃薯生育期耗水量的影响

氮肥减量分期施用和增施钾肥显著调节了马铃薯的耗水过程,DF 的花前耗水量显著低于 F 和 OF,但 F 和 OF 之间的花前耗水量无显著差异(图 5).花后耗水量以 DF 最高,在 4 年间显著高于 F,2011—2014 年分别增加了 36.2%、23.2%、24.8%和 19.0%;在 2013 和 2014 年显著高于 OF,分别增加了 16.0%和 14.5%.2011—2012 年 OF 的花后耗水量较 F 显著增加,分别增加了 20.7%和 16.3%,但在 2013 和 2014 年无显著差异.表明减氮追施和增钾可使马铃薯花后耗水量增加,而有机肥替代虽然没有降低马铃薯花前耗水,但提高了干旱年份(2011 年)的花后耗水量.同一年份处理间总耗水量无显著差异,但年际间变化幅度较大,2011 年最低,2014 年最高.

2.5 施肥对马铃薯产量、水分利用效率的影响

2014 年马铃薯产量高于其他年份;并且每年均表现为 OF 处理的产量最高,除 2011 年外,其他年份肥料处理间差异显著(图 6).2011 年(欠水年)马铃薯产量各处理间差异不显著.2012 和 2013 年,DF、OF 处理马铃薯产量较 F 分别提高 9.1%和 13.0%、17.3%和 18.5%.2014 年,OF、DF 处理马铃薯产量分别较 F 提高 17.4%和 9.7%.2013 年为丰水年,马铃薯产量却低于其他年份,主要原因是 7—8 月降雨量偏大,对马铃薯生长造成不利影响;而 2014 年此期降雨量为 124.6 mm,所以马铃薯产量高于其他年份.

除 2011年外,其他年份DF、OF马铃薯水分利用效率分别较 F 提高了 7.4%和 9.5%、14.4%和 14.0%、6.3%和 13.1%.欠水年(2011 年),DF、OF 水分利用效率分别较 F 降低了 5.3%和 1.4%.可见,增施肥料在增加产量的同时,提高了对土壤水分的利用效率.这主要是由于在欠水年马铃薯生长发育受阻,养分的调控作用减弱,所以不能显著提高产量和水分利用效率;2012—2014 年的平水年和丰水年份,两个处理的产量均高于 F,由于两个处理的化肥用量下降,但总养分 DF 小于 F,OF 等同于 F,而且在不同降水量年份有同一结果,所以产量差异主要是由于"以肥调水"的作用.

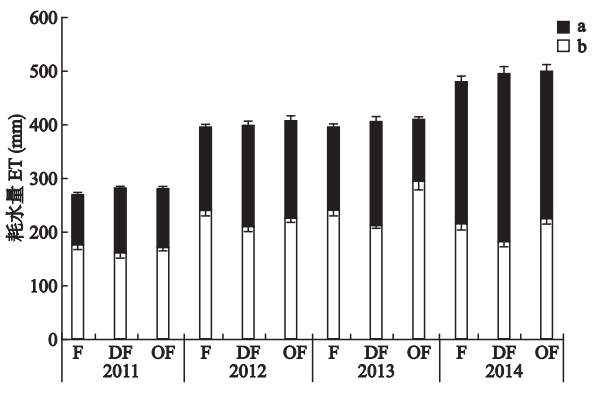


图 5 施肥对马铃薯花前(a)、花后(b)耗水量的影响

Fig.5 Effects of fertilization on potato water consumption in the pre- (a) and post-flowering (b).

不同字母表示处理间差异显著($P<0.05$) Different letters meant significant difference among treatments at 0.05 level.

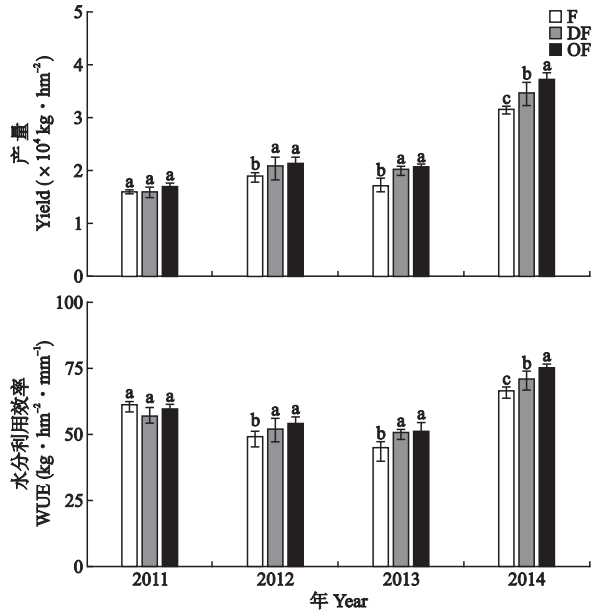


图 6 施肥对马铃薯产量和水分利用效率的影响

Fig.6 Effects of fertilization on potato yield and WUE.

3 讨 论

旱地农业措施的中心是充分利用自然降水,而有效利用土壤深层水分是其途径之一.增施有机肥能够促进作物对土壤水分的利用,从而达到"以肥调水"的目的[10-12].大量研究结果表明,增施有机肥可扩大作物的吸水空间,提高作物对土壤水分的利用量和利用效率,加剧作物对土壤水分的消耗[13-14].张玉革等[15]研究表明,施用化肥的土壤剖面水分发生了显著变化,土壤有效水比对照降低了 4.6%~17.8%,而施用有机肥的有效水却增加了 3.3%~32.6%.本试验结果表明,增施有机肥和减氮追施能够使马铃薯的耗水量提高 1.5%~5.1%,同时使欠水年和平水年马铃薯花前耗水降低了 17.36 和 4.03 mm、28.72 和 11.61 mm,马铃薯花后耗水增加

了 31.08 和 17.77 mm、34.70 和 24.27 mm、49.18 和 10.30 mm.说明增施有机肥、减氮追施能够增大马铃薯的花后耗水,提高产量和水分利用效率.

水分是旱作区马铃薯产量形成的主要限制因子[16-18],但养分亏缺仍然是制约北方旱区作物增产的重要因素[19],通过施肥来补充土壤中的养分不但能解除水分胁迫的影响,而且能够通过调节植物的生理过程,大幅提高作物产量和水分利用效率,补偿因水分不足而造成的损失[20-21].穆俊祥等[2]研究表明,有机肥与氮磷钾肥合理配施,可促进马铃薯生长发育,提高马铃薯产量.本研究结果表明,2014 年马铃薯产量高于其他年份;并且每年均表现为增施有机肥和减氮追施处理的马铃薯产量最高.这一结果也得到其他试验的验证[22].土壤肥力是限制农田作物生产力和水分利用效率提高的关键性因素[23],而提高作物对土壤水分利用程度和水分利用效率,则必须增强作物摄取水分和对水分的有效消耗[24].戴万宏等[25]试验结果表明,旱地增施有机肥可以促进冬小麦健壮生长,扩大冬小麦吸收利用水分的空间,提高冬小麦产量和旱地水分的利用效率.本研究结果表明,除 2011 年外,其他年份增施有机肥和减氮追施使马铃薯的耗水深度增加了 20 cm,水分利用效率提高了 6.3%~14.4%,使欠水年(2011 年)水分利用效率降低了 1.4%~5.3%和 1.4%~5.3%.说明合理施肥明显增大了作物对土壤深层贮水的利用,从而减缓作物受到的水分胁迫伤害[26],同时可以促进作物形成良好的冠层盖度,减少田间作物无效水蒸发[27],进而提高水分利用效率和产量.

参考文献

[1] Zhang W-L (张维理), Wu S-X (武淑霞), Ji H-J (冀宏杰), *et al*. Estimation of agricultural non-point source pollution in China and the alleviating strategies. I. Estimation of agricultural non-point source pollution in China in early 21 century. *Scientia Agricultura Sinica* (中国农业科学), 2004, **37**(7): 1008-1017 (in Chinese)

[2] Mu J-X (穆俊祥), Cao X-M (曹兴明), Gong J-G (弓建国), *et al*. Effect of organic fertilizer, N, P_2O_5 and K_2O combined application on yields and qualities of potatoes. *Journal of Shihezi University* (Natural Science) (石河子大学学报:自然科学版), 2009, **27**(4): 428-432 (in Chinese)

[3] Chen R-Y (陈瑞英), Meng M-L (蒙美莲), Liang H-Q (梁海强), *et al*. Effects of different treatments of irrigation and fertilization on the yield and nitrogen utilization characteristic of potato. *Chinese Agricultural Science Bulletin* (中国农学通报), 2012, **28**(3): 196-201 (in Chinese)

[4] Yin J (尹　娟), Qui X-Z (邱小琮). A study on water consumption regulation and water effect of potatoes in the middle of dryland of Ningxia. *Ningxia Engineering Technology* (宁夏工程技术), 2011, **10**(4): 334-337 (in Chinese)

[5] Tan X-L (谭雪莲), Lv J-F (吕军锋), Guo T-W (郭天文), *et al*. Effects of plastic film mulching and fertilization on potato dry matter accumulation and soil water content in dryland. *Journal of Irrigation and Drainage* (灌溉排水学报), 2011, **30**(2): 104-106, 126 (in Chinese)

[6] Huang Z-D (黄仲冬), Qi X-B (齐学斌), Fan X-Y (樊向阳), *et al*. Effects of alternate partial root-zone subsurface drip irrigation on potato yield and water use. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2010, **21**(1): 79-83 (in Chinese)

[7] Lin Y-C (林叶春), Hu Y-G (胡跃高), Zeng Z-H (曾昭海). Effect of different water-saving practices on growth and water use of potato. *Agricultural Research in the Arid Areas* (干旱地区农业研究), 2010, **28**(1): 54-60 (in Chinese)

[8] Zhang F-S (张福锁), Cui Z-L (崔振岭), Chen X-P (陈新平), *et al*. Nutrient Management Technology for High Yield and High-efficiency Crop Production. Beijing: China Agricultural University Press, 2012 (in Chinese)

[9] Wang Y-M (王玉明). Effects on potato production and water absorption efficiency of different irrigation methods: Dripping, spray and duet. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica* (华北农学报), 2007, **22**(special issue): 83-84 (in Chinese)

[10] Wang H-L (王红丽), Zhang X-C (张绪成), Song S-Y (宋尚有), *et al*. Effect of whole field surface plastic mulching and planting in furrows on soil temperature, moisture and corn yield in arid area. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2011, **22**(10): 2609-2614 (in Chinese)

[11] Wang H-L (王红丽), Zhang X-C (张绪成), Song S-Y (宋尚有). Effects of mulching methods on soil water dynamics and corn yield of rain-fed cropland in the semiarid area of China. *Chinese Journal of Plant Ecology* (植物生态学报), 2011, **35**(8): 825-833 (in Chinese)

[12] Huang G-B (黄高宝), Fang Y-J (方彦杰), Li L-L (李玲玲), *et al*. High water use efficiency mechanism of maize planting in furrows of completely mulched alternating narrow and wide ridges systems in rainfed area. *Agricultural Research in the Arid Areas* (干旱地区农业研究), 2010, **28**(6): 116-121 (in Chinese)

[13] Li F-M (李凤民), Xu J-Z (徐进章). Rainwater-collecting eco-agriculture in semi-arid region of Loess Plateau. *Chinese Journal of Eco-Agriculture* (中国生态农业学报), 2002, **10**(1): 101-103 (in Chinese)

[14] Wang J (王　俊), Li F-M (李凤民), Song Q-H (宋秋华), *et al*. Effects of plastic film mulching on soil temperature and moisture and on yield formation of spring wheat. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用

生态学报), 2003, **14**(2): 205-210 (in Chinese)
[15] Zhang Y-G (张玉革), Jiang Y (姜 勇), Yi Y-L (依艳丽), *et al*. Effect of long-term fertilization on soil moisture characteristics. *Soils* (土壤), 1999(3): 120-125, 131(in Chinese)
[16] Tian Y (田 媛), Li F-M (李凤民), Liu X-L (刘效兰). Effects of different ridge-furrow planting patterns of potato on soil evaporation in semiarid area. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2007, **18**(4): 795-800 (in Chinese)
[17] Li F-M (李凤民), Yan X (鄢 珣), Wang J (王俊), *et al*. The mechanism of yield decrease of spring wheat resulted from plastic film mulching. *Scientia Agricultura Sinica* (中国农业科学), 2001, **33**(3): 330-333 (in Chinese)
[18] Gao Y-J (高亚军), Li S-X (李生秀), Tian X-H (田霄鸿), *et al*. Effects of water supply levels in different growth stages on maize yield under different fertilizer levels. *Acta Agronomica Sinica* (作物学报), 2006, **39**(3): 415-422 (in Chinese)
[19] Li S-X (李生秀), Luo Z-C (罗志成), Wang Q (王谦), eds. Introduction to Dryland Agriculture in China. Beijing: China Agriculture Press, 2004 (in Chinese)
[20] Li S-Q (李世清), Li D-F (李东方), Li F-M (李凤民), *et al*. Soil ecological effects of plastic film mulching in semiarid agro-ecological system. *Journal of Northwest A&F University* (Natural Science) (西北农林科技大学学报:自然科学版), 2003, **31**(5): 21-28 (in Chinese)
[21] Wang C-R (王彩绒), Tian X-H (田霄鸿), Li S-X (李生秀), *et al*. Effects of plastic sheet-mulching on ridge for rainwater-harvesting cultivation on WUE and yield of winter wheat. *Scientia Agricultura Sinica* (中国农业科学), 2004, **37**(2): 208-214 (in Chinese)
[22] Hou H-Z (侯慧芝), Lv J-F (吕军峰), Guo T-W (郭天文), *et al*. Effects of whole field soil-plastic mulching on soil thermal-moisture status and wheat yield in semiarid region on Northwest Loess Plateau. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2014, **34**(19): 5503-5513 (in Chinese)
[23] Zhao J-B (赵聚宝), Li K-H (李克煌). Dryland and Agriculture. Beijing: China Agriculture Press, 1995 (in Chinese)
[24] Gale WJ, McColl RW, Xie F. Sandy fields traditional farming for water conservation in China. *Journal of Soil & Water Conservation*, 1993, **48**: 474-477
[25] Dai W-H (戴万宏), Lv D-Q (吕殿青), Liu S-L (刘胜利), *et al*. Influence of fertilization on water utilization efficiency and grain yield in rain fed wheat field in Guanzhong Region. *Research of Soil and Water Conservation* (水土保持研究), 1996, **3**(3): 96-99 (in Chinese)
[26] Li XY. Gravel-sand mulch for soil and water conservation in the semiarid loess region of northwest China. *Catena*, 2003, **2**: 105-127
[27] Hou H-Z (侯慧芝), Lv J-F (吕军峰), Guo T-W (郭天文), *et al*. Effects of whole field soil-plastic mulching on spring wheat water consumption, yield, and soil water balance in semiarid region. *Scientia Agricultura Sinica* (中国农业科学), 2014, **47**(22): 4392-4404 (in Chinese)

作者简介 于显枫,女,1981 年生,硕士,助理研究员.主要从事作物生理与栽培学研究. E-mail: jackey_xf@ 126.com

责任编辑 张凤丽

于显枫, 张绪成, 王红丽, 等. 施肥对旱地全膜覆盖垄沟种植马铃薯耗水特征及产量的影响. 应用生态学报, 2016, **27**(3): 883-890
Yu X-F, Zhang X-C, Wang H-L, *et al*. Effects of fertilizer application on water consumption characteristics and yield of potato cultured under ridge-furrow and whole filed plastic mulching in rain-fed area. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2016, **27**(3): 883-890 (in Chinese)