

网络出版时间:2017-05-10 13:37

DOI:10.13207/j.cnki.jnwfufu.2017.06.014

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20170510.1337.028.html>

砾石覆盖对冬小麦农田土壤水分及 生长发育和产量的影响

刘晓青^{a,b}, 冯浩^{a,b,c}, 王冬林^{a,b}, 余坤^{a,b}, 左亿球^{a,b}

(西北农林科技大学 a 水利与建筑工程学院, b 中国旱区节水农业研究院, c 中国科学院 水利部 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100)

【摘要】【目的】探讨不同砾石覆盖量对农田土壤水分动态变化以及冬小麦生长和产量的影响。【方法】设置不同的砾石覆盖量(0, 2, 4, 6 和 8 kg/m²)处理, 通过连续 2 年大田试验, 探讨不同覆盖量对土壤水分动态变化和冬小麦生长发育及产量的影响。【结果】随覆盖量的增加农田 0~100 cm 土层土壤贮水量增大, 砾石覆盖对土壤水分的影响呈先增加后减小趋势; 冬小麦苗期 8 kg/m² (S8) 砾石覆盖量 0~100 cm 土层土壤贮水量较对照增加 10.09% 和 11.92% ($P<0.05$), 灌浆期差异不显著, 成熟期增加 8.87% 和 9.08% ($P<0.05$)。冬小麦生长过程中, 地上部干物质质量和叶面积均呈现先增加后减小趋势, 分别在灌浆和拔节时期达峰值, 灌浆期砾石覆盖量 8 kg/m² 处理的地上部干物质质量较对照分别增加 35.03% 和 18.17%, 拔节期砾石覆盖量 8 kg/m² 处理叶面积指数较对照分别增加 10.79% 和 10.00%。随覆盖量的增加, 冬小麦生育期呈现缩短趋势, 其中砾石覆盖量 8 kg/m² 处理比其他处理缩短了 1~5 d。2013—2014 年和 2014—2015 年冬小麦籽粒产量分别较 CK 高 1.98%~12.13% 和 2.06%~15.34%, 且随覆盖量增大冬小麦产量呈增加趋势。【结论】本试验条件下, 8 kg/m² 砾石覆盖量效果最佳。

【关键词】 砾石覆盖; 冬小麦; 土壤贮水量; 生长发育

【中图分类号】 S512.1¹

【文献标志码】 A

【文章编号】 1671-9387(2017)06-0096-09

Effect of gravel mulching on soil moisture, growth and yield of winter wheat

LIU Xiaoqing^{a,b}, FENG Hao^{a,b,c}, WANG Donglin^{a,b}, YU Kun^{a,b}, ZUO Yiqiu^{a,b}

(a College of Water Resources and Architectural Engineering, b Chinese National Academy of Water-Saving Agriculture in Arid Region, c Institute of Water and Soil Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: 【Objective】Effects of different gravel mulching treatments (0, 2, 4, 6, and 8 kg/m²) on soil moisture dynamics as well as growth and yield of winter wheat were investigated. 【Method】Based on 2 years (2013—2015) field experiment, the effects of gravel mulching treatments on soil moisture dynamics and winter wheat growth and yield were investigated. 【Result】With the increase of gravel covering amount, the water storage capacity in soil layer of 0—100 cm was increased and the effects of on soil water content increased first before decreasing. When the amount of gravel mulching was 8 kg/m² (S8), water storage capacity in soil layer of 0—100 cm was significantly increased by 10.09% and 11.92% at seedling stage ($P<0.05$), changed slightly at grouting period, and increased greatly by 8.87% and 9.08% at mature period ($P<0.05$). Dry matter weight and leaf area of winter wheat increased firstly before decreasing,

【收稿日期】 2016-04-22

【基金项目】 国家高技术研究发展‘863’计划项目(SS2013AA100904); 西北农林科技大学基本科研业务费专项(QN2009087)

【作者简介】 刘晓青(1989—), 女, 河北石家庄人, 硕士, 主要从事农业水土资源高效利用研究。E-mail: 601654829@qq.com

【通信作者】 冯浩(1970—), 男, 陕西延安人, 研究员, 博士, 主要从事农业水土资源高效利用研究。

E-mail: nercwsi@vip.sina.com

and they reached peak values at filling period and growth period, respectively. Dry matter weight of S8 increased by 35.03% and 18.17% at filling stage, and leaf area were increased by 10.79% and 10.00% at jointing period. With the increase of gravel covering amount, the growth period of winter wheat was gradually shortened and S8 treatment was 1–5 d shorter than other treatments. The yield of winter wheat was increased by 1.98%–12.13% and 2.06%–5.34% in 2013–2014 and 2014–2015, respectively. 【Conclusion】 The treatment of 8 kg/m² was suggested based on this study.

Key words: gravel mulching; winter wheat; soil water storage; growth

旱地农业生产中,土壤水分是作物产量的主要限制因子之一,对作物的发育及产量的形成具有重要影响^[1]。白莉萍等^[2]认为,作物生育前期干旱胁迫使生育进程明显延缓,并引起成熟期推迟。宋凤斌^[3]等认为,水分缺失迫使灌浆持续时间缩短是作物籽粒产量降低的原因之一。天然降水是中国北方旱农地区可利用的主要水资源,但降水时空分布不均,降水时期与作物需水时期不同步,能被作物利用的降水仅为总降水量的30%~40%,降水利用效率仅为3~6 kg/(hm²·mm)^[4];同时冬春季干旱多风,田间蒸发量大,作物水分利用效率低^[5]。因此,干旱缺水是制约旱地雨养农业生产的关键因素之一^[6]。通过集雨保墒等技术措施提高降水利用率,增加土壤的有效贮水量,提高作物生产力,进而提高作物水分利用效率,已成为旱作农业研究的重要内容^[2]。由于气候条件的影响,旱作作物生长往往受到抑制,这就要求提高作物对有限降水的吸收、利用,进而提高生产效率,转化为生物产量和经济产量。因此,探索和推广适宜的覆盖保墒措施,提高无效降水的有效利用,增加土壤贮水量,提高旱作地区农业生产力是非常现实的^[7]。

覆盖栽培是减少土壤水分蒸散损失的主要农技措施^[8]。虽然覆盖具有保水抑蒸效应,但对土壤水分的影响因覆盖材料、覆盖方式、覆盖量而异,也与试验地概况、作物种类有关。因此需要针对不同地区、不同覆盖、不同作物进行试验研究。农田砾石覆盖是我国一种传统的抗旱栽培方式,至今已有300多年的历史^[9],并已在我国宁夏、甘肃旱区进行应用推广^[10]。国内外学者对砂砾石覆盖的增温效应^[11-12]、水分入渗与蒸散、补灌增产效果^[13-14]等进行了大量研究,结果表明砾石覆盖可以保持土壤水分,减少土壤水分蒸发,增加土壤温度,提高作物产量和水分利用效率^[15]。然而砾石覆盖方式和覆盖量受气候、作物、土壤等的影响,必须根据田间试验才能确定适宜的覆盖模式。鉴于此,本研究拟通过田间试验,设置不同砾石覆盖量,探讨不同覆盖量对土壤

水分的动态变化和冬小麦生长发育的影响,以制订相应的覆盖量措施,达到促进作物生长发育并增产的效果,为发挥砾石覆盖蓄水保墒和增产效应,及提升农田综合效应提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验于2013–2015年在陕西杨凌西北农林科技大学教育部农业水土工程重点实验室的灌溉试验站进行。该试验站(E 108°24', N 34°20', 海拔521 m)属大陆暖温带湿润季风气候。站内地形平整,土层深厚,土壤质地为中壤土。1 m土层的平均田间持水量为23%~25%,凋萎含水量为8.5%(以上均为质量含水率),平均土壤体积质量为1.44 g/cm³。多年月平均气温为12.9℃,日照时数2 163.8 h,多年平均降水量为635.1 mm(多集中在7–10月),年际降水量差异较大,多年平均蒸发量为993.2 mm。该站属渭河三道台塬地区,全年无霜期221 d,地下水埋藏较深,其向上补给量可以忽略不计。站内设有国家一般气象观测站,按照国家气象局的地面气象观测规范可获得每日的气象资料(气温、相对湿度、降水量、日照时数、水面蒸发量、风速、气压和地温),2013–2015年冬小麦全生育期降水量及温度变化见图1。

1.2 试验设计

试验地种植模式为冬小麦-夏玉米轮作,本研究主要针对冬小麦进行研究。试验设计中砾石覆盖量设5个梯度处理:0 kg/m²(CK)、2 kg/m²(S2)、4 kg/m²(S4)、6 kg/m²(S6)、8 kg/m²(S8),区组内各处理随机排列,每个处理设置3个重复,小区面积为3 m×5 m。在各小区四周1 m深土层内竖立铺设一层塑料薄膜,避免各个小区土壤水分的侧向入渗。按照试验设计的覆盖量均匀地将砾石铺开,其砾石粒径为1~3 cm。每个处理除地表覆盖量不同外,其他管理方式均一致,如需灌溉则采用地表漫灌方式。基肥施用量:N(尿素)、P₂O₅(磷酸二铵)分别为

150,100 kg/hm²。播种前将基肥一次性翻入 0~10 cm 耕层土壤中,生育期内不追肥。

供试冬小麦品种为小偃 22 号,播种量为 187.5 kg/hm²,行距为 25 cm。划沟撒播,播种深度为 5 cm。分别于 2013-10-25 和 2014-10-19 播种,于 2014-06-06 和 2015-06-04 收获,全生育期平均为

230 d。连续 2 季冬小麦全生育期内,降水量分别为 291.2 和 232.7 mm,气候干旱,为了保证试验顺利进行,因此 2013—2014 年度冬小麦在 2014-01-05 补灌 50 mm 越冬水,2014—2015 年度冬小麦在 2014-12-29 和 2015-03-13 分别补灌 50 mm 越冬水和返青水。

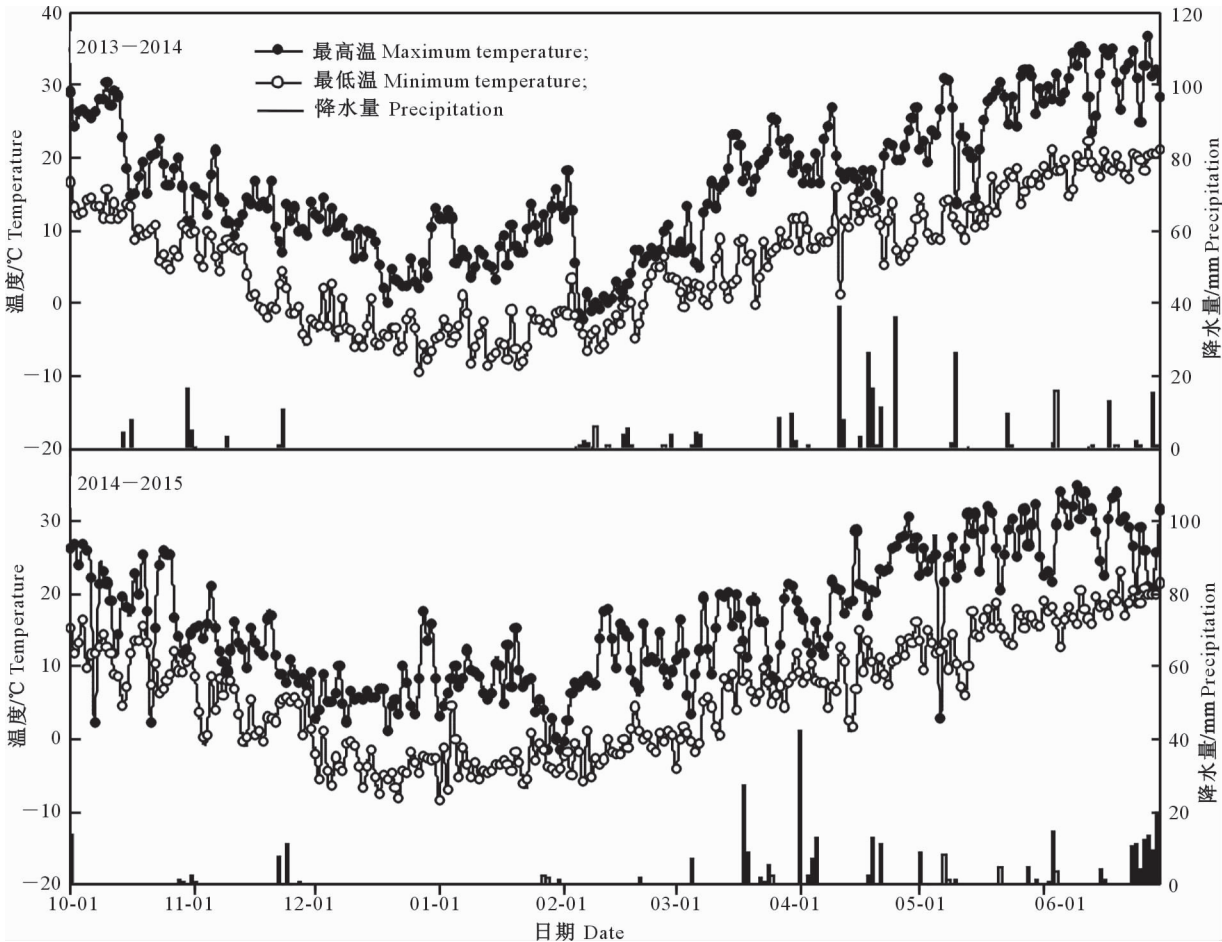


图 1 冬小麦生育期逐日的降水量和温度变化

Fig. 1 Daily precipitation and temperature during growing period of winter wheat in 2013—2014 and 2014—2015

1.3 测定项目及方法

1.3.1 土壤含水率 2013—2014 年冬小麦土壤含水率采用取土烘干法测定。整个生育期每隔 15 d 取样 1 次,各个物候期加测,测定土层深度 100 cm;表层 0~40 cm,每隔 10 cm 测定 1 次,40~100 cm 以下每隔 20 cm 测定 1 次。2014—2015 年冬小麦土壤含水率采用管式土壤水分测定系统 Trime-IPH (TDR)分层测定 0~100 cm 土壤含水率,距地面 0~40 cm 深度,每隔 10 cm 测定 1 次,40 cm 以下每隔 20 cm 测定 1 次;全生育期内测定时间间隔为 10 d,灌溉后或雨后加测 1 次。土壤贮水量(W,mm)为:

$$W=\frac{h \cdot d \cdot \theta}{10} \tag{1}$$

式中: h 为土层厚度,cm; d 为土壤体积质量,g/cm³; θ 为土壤质量含水量,%。当土壤含水率高于田间持水率的 60%时,土壤水分适宜,作物生长将不受水分胁迫^[16]。

1.3.2 干物质量与叶面积指数 整个生育期,每隔 10 d 选取 5 株具有代表性的植株,烘干(烘箱 105 ℃ 杀青 30 min,75 ℃ 烘干至恒定质量)后称量其地上部分干物质量。叶面积指数采用冠层分析仪,于每个生育期进行测定。

1.3.3 测产与考种 收获时冬小麦按 1 m² 进行考种,脱粒烘干至恒质量,然后计算每公顷产量。作物经济系数按下式计算:

$$E_C=G_Y/B_Y \tag{2}$$

式中: E_C 为作物经济系数,%; G_Y 为单位面积的经济产量, kg/hm^2 ; B_Y 为单位面积的生物产量, kg/hm^2 。

1.4 统计分析

1.4.1 作物系数 作物系数(K_C)是作物实际蒸发蒸腾量与参考作物蒸发蒸腾量的比值^[17]。 K_C 反映了作物种类、作物本身的生物学特性、产量水平、田间管理水平及土壤水肥状况对 ET_0 的影响^[18],同时反映了冬小麦对水分的敏感程度及生长状况。

$$K_C = \frac{ET_C}{ET_0}.$$

(3)

式中: ET_0 为参考作物蒸发蒸腾量(mm),采用 FAO 推荐的修订后的 Penman-Monteith 公式计算; ET_C 为作物实际蒸发蒸腾量(mm),采用农田水量平衡法计算。

$$ET_C = P + I - R - D - \Delta W.$$

(4)

式中: P 为计算时段内降水量, mm ; I 为计算时段内灌溉量, mm ; R 为地表径流量, mm ; D 为深层渗漏量, mm ; ΔW 为相邻两次取土测定土壤水分时间

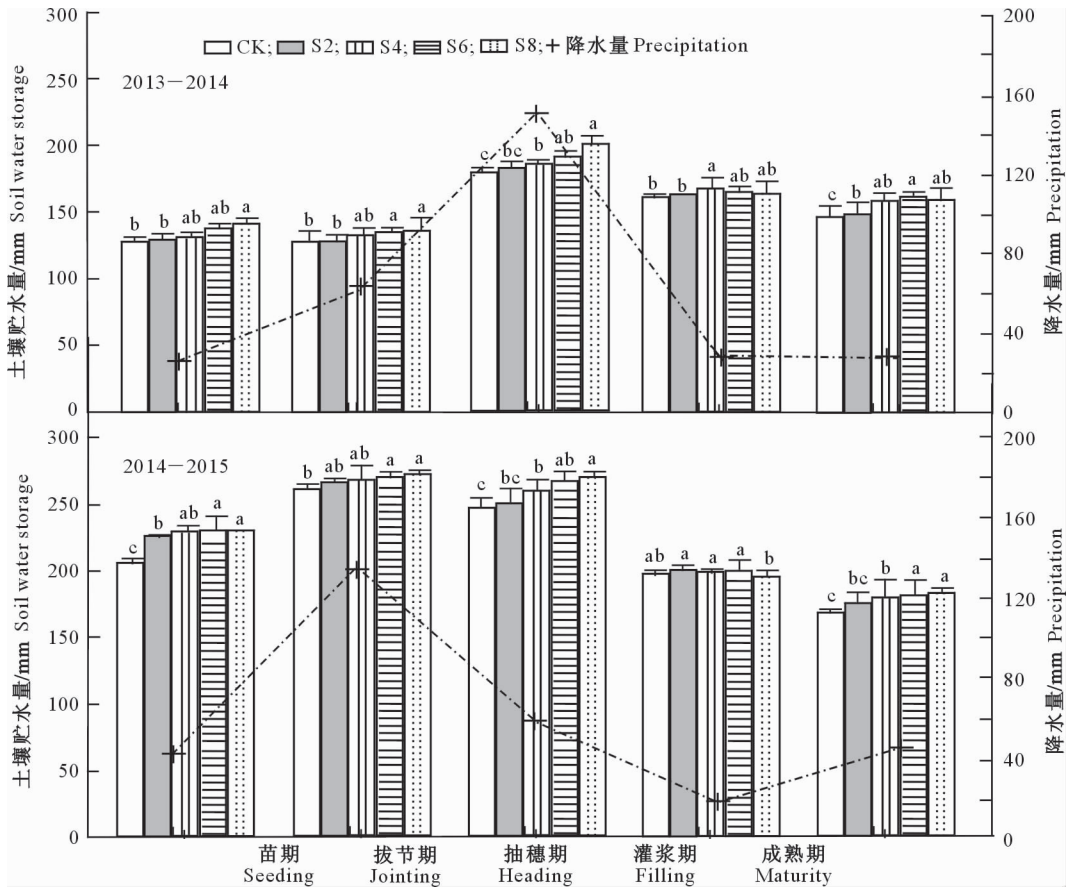
隔内根层土壤贮水量的变化。

1.4.2 数据处理方法 试验数据采用 Sigma-plot10.0 和 Excel 处理和作图,用 SPSS15.0 对数据进行单因素方差分析,采用 Duncan 新复极差法进行显著性检验($P < 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 土壤贮水量对不同砾石覆盖量的响应

2.1.1 不同处理土壤贮水量的变化 作物对土壤水分的利用状况取决于不同土层中的根系分布、根系吸水速率及土壤有效水含量^[19]。有研究发现,冬小麦生长后期根系土壤水分含量较高的情况下,主要消耗表层 0~80 cm 土层的水分,对深层土壤水分利用较少^[20]。故本研究主要探讨不同覆盖量处理对 0~100 cm 土层土壤贮水量及水分分布的影响。2013—2015 年各处理冬小麦不同生育期 0~100 cm 土层土壤贮水量变化动态见图 2。



图柱上标不同小写字母表示处理间差异显著($P < 0.05$)

Different letters indicate significant difference among treatments at 0.05 level

图 2 2013—2015 年各砾石覆盖处理冬小麦不同生育期 0~100 cm 土层土壤贮水量变化动态

Fig. 2 Changes in soil water storage at the depth of 0~100 cm at different growth stages of winter wheat under different treatments in 2013-2015

连续 2 年砾石覆盖试验中,冬小麦生育期内的降水量和土壤贮水量变化趋势一致,大体均呈倒“V”型变化,表现为 2013—2014 年生长季在抽穗期最大,苗期最小,2014—2015 年生长季在拔节期最大,成熟期最小(图 2)。这与冬小麦的生长发育特点及研究区域的降水条件有关。

2013—2014 年冬小麦生育期内,苗期 0~100 cm 土层土壤贮水量较低, S4、S6、S8 土壤贮水量分别较 CK 增加 2.13%, 7.52% 和 10.09% ($P<0.05$)。抽穗期 0~100 cm 土层 S4、S6、S8 土壤贮水量分别较 CK 增加 3.10%, 6.61% 和 11.27% ($P<0.05$)。灌浆期 S2、S6、S8 处理 0~100 cm 土层土壤贮水量与 CK 差异不显著。成熟期土壤贮水量降低,且各处理较 CK 具有明显差异,0~100 cm 土层 S2、S4、S6、S8 土壤贮水量分别较 CK 增加 1.95%, 7.84%, 9.81% 和 8.87% ($P<0.05$),这可能是由于抽穗后冬小麦生殖生长速率加快,干物质的积累及光合产物向籽粒转化消耗的水分较多所致。

2014—2015 年冬小麦生育期间,各处理在不同生育期 0~100 cm 土层土壤贮水量变化特征与 2013—2014 年生长季基本一致。苗期 S2、S4、S6、

S8 土壤贮水量较 CK 分别增加 9.13%, 11.17%, 11.77% 和 11.92% ($P<0.05$);抽穗期 S4、S6、S8 土壤贮水量较 CK 分别增加 5.37%, 8.08% 和 9.28% ($P<0.05$);成熟期 S4、S6、S8 土壤贮水量分别较 CK 增加 6.52%, 8.05% 和 9.08% ($P<0.05$);灌浆期各处理 0~100 cm 土壤贮水量差异不显著。

上述试验结果表明,苗期气候干旱,砾石覆盖可以有效减少土壤表层蒸发,0~100 cm 土层土壤贮水量较低, S8 处理较 CK 差异显著。灌浆期各处理由于降水和冠层增加,覆盖措施效应减弱,各处理差异不明显,成熟期由于作物耗水量不同使得土壤贮水量差异显著,且贮水量较其他生育期降低。

2.1.2 不同处理土壤含水率的变化 返青后,冬小麦迅速生长,较多的降水使得拔节期土壤贮水量增加。抽穗期后,冬小麦生殖生长速率加快,干物质的积累及光合产物向籽粒转化消耗的水分较多,使得成熟期土壤贮水量降低(图 2),到成熟期,冬小麦 2 个生长季各处理农田土壤含水率变化趋势基本一致,0~100 cm 土层土壤含水率随土层深度的增加呈现先降后升的趋势(图 3)。

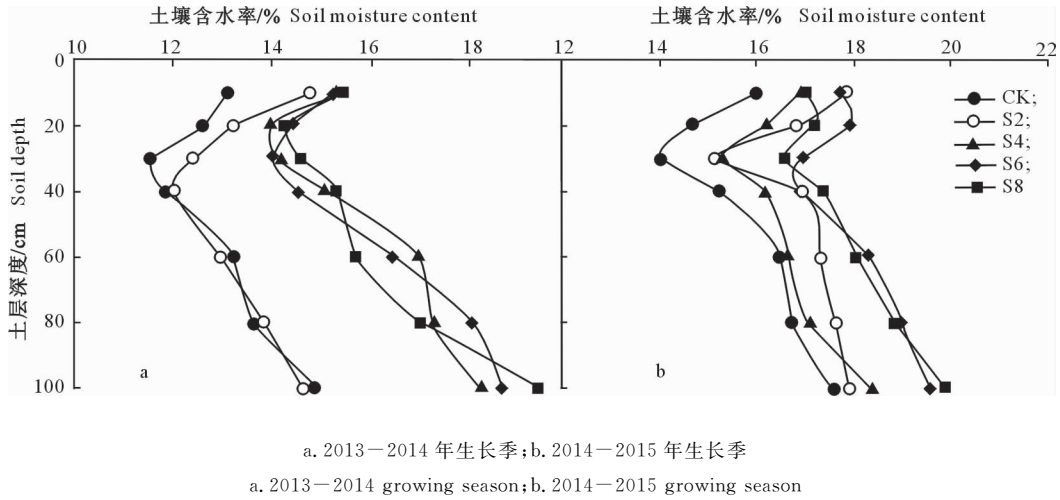


图 3 2013—2015 年各砾石覆盖处理冬小麦成熟期 0~100 cm 土层土壤含水率变化动态
Fig. 3 Soil moisture distribution in 0—100 cm soil profile under different treatments at winter wheat maturity stage in 2013—2015

由图 3a 可以看出,2013—2014 年,冬小麦成熟期 0~20 cm 土层平均土壤含水率随覆盖量的增加呈增大趋势,其中 S8 处理 0~20 cm 土层平均土壤含水率较 CK 提高 15.52% ($P<0.05$)。30~40 cm 土层土壤含水率随土层逐渐增加,CK、S2、S6 呈先增加后下降的趋势, S4、S8 呈下降趋势,但随覆盖量的增加土壤含水率变化均与 0~20 cm 土层一致,其

中 S8 处理 30~40 cm 土层土壤含水率较 CK 提高 27.93% ($P<0.05$)。60~100 cm 土层土壤含水率逐渐增大,平均土壤含水率高于表层土壤含水率,这是由于作物生殖生长消耗表层土壤水分较多,成熟期降水少,使得表层土壤含水率较深层土壤含水率低,但不同覆盖量处理 60~100 cm 土层土壤含水率变化趋势与表层一致, S8 处理 60~100 cm 土壤含

水率较 CK 提高 24.99%($P<0.05$)。由于 2013—2014 年冬小麦生长季降水量较多,砾石覆盖可以更好地保持土壤水分,所以 S4、S6、S8 深层土壤含水率较表层变化明显,与 CK 差异显著。

由图 3b 可以看出,2014—2015 年冬小麦成熟期 0~100 cm 各层土壤含水率均随覆盖量的增加而增大,各处理较 CK 差异显著。在 0~20 cm 土层, S8 处理平均土壤含水率最高,较 CK 提高 11.58%($P<0.05$);在 30~40 cm 土层,各处理土壤含水率逐渐下降,其中 S8 处理土壤含水率最高,较 CK 提高 15.91%($P<0.05$);60~100 cm 土层,各处理土壤含水率逐渐增大,其中 S8 处理土壤含水率较 CK 提高 11.71%($P<0.05$)。2014—2015 年生长季各处理土壤含水率较 2013—2014 年生长季变化较为平缓,这可能是由于 2014—2015 年生长季降水较 2013—2014 年少,使得各处理土壤含水率不会因为覆盖量的增加差异增大。

2.2 砾石覆盖对冬小麦生长动态的影响

2.2.1 不同处理对冬小麦作物系数的影响 由表

表 1 2013—2015 年不同砾石覆盖处理冬小麦各生育阶段的作物系数
Table 1 Crop coefficients at different growing periods in 2013—2015

年份 Year	处理 Treatment	播种—拔节期 Sowing—Jointing	拔节—抽穗期 Jointing—Heading	抽穗—灌浆期 Heading—Filling	灌浆—成熟期 Filling—Maturity	全生育期 Entire period
2013—2014	CK	0.63	0.96	1.07	0.75	0.73
	S2	0.63	0.97	1.08	0.76	0.74
	S4	0.62	0.98	1.09	0.78	0.75
	S6	0.60	1.00	1.11	0.79	0.76
	S8	0.60	1.00	1.13	0.80	0.77
2014—2015	CK	0.59	0.97	1.09	0.76	0.74
	S2	0.59	0.98	1.09	0.77	0.74
	S4	0.58	0.99	1.10	0.78	0.75
	S6	0.57	1.01	1.12	0.80	0.77
	S8	0.56	1.02	1.14	0.82	0.78

2.2.2 不同处理对冬小麦地上部干物质积累与叶面积指数的影响 由图 4 可以看出,砾石覆盖能够增加冬小麦地上部干物质量,且随覆盖量的增加,冬小麦地上部干物质量较 CK 增加越明显,两季冬小麦在灌浆期 S8 处理的地上部干物质量较 CK 分别增加 35.03%和18.17%。整个生育期内,冬小麦生长前期,各处理地上部干物质量没有明显差异;返青期后,各处理作物长势差异越来越明显,地上部干物质量较 CK 增幅比作物生长前期显著。

由图 4 可以看出,冬小麦叶面积指数在越冬前增加不明显,越冬期冬小麦基本停止生长,返青期弱苗升级,作物开始重新生长,叶面积较越冬期有所增加。返青后,冬小麦叶面积迅速增加,各处理基本在拔节期达到最大值,在此生育阶段所有叶片均已长

1 可以看出,各处理生育期内 K_c 均先增大后减小,在抽穗—灌浆期达到最大值,可见此时期是冬小麦的水分敏感期,冬小麦在这个阶段生长旺盛。连续 2 年冬小麦不同生育阶段对水分的敏感程度大小依次是抽穗—灌浆期>拔节—抽穗期>灌浆—成熟期>播种—拔节期。这可能是由于冬小麦初期生长缓慢,需水量较小,所以 K_c 最小;拔节以后冬小麦迅速生长,冠层覆盖增加,蒸腾占日耗水量比例上升, K_c 逐渐增大,在抽穗—灌浆期最大,之后随着底部叶片衰老,呼吸作用减弱,需水量减小, K_c 下降。拔节—成熟期 K_c 随覆盖量增加呈增大趋势,对整个生育期来说, S8 处理 K_c 最大,CK 处理最小。这可能是由于 K_c 反映了冬小麦生长状况,砾石覆盖可以有效蓄水保墒,土壤墒情较好,且冠层增加使得砾石覆盖抑制土壤表层蒸发效应减弱,因此覆盖处理条件下冬小麦生长较对照旺盛,耗水量也会随之增加,作物蒸发蒸腾量增加,使得 K_c 随覆盖量增加而增大,小麦生长状况优于对照。

出,随着时间的推移,小麦植株底部的叶片逐渐枯黄,叶面积呈下降趋势。对比各处理可以看出,冬小麦生长前期,叶面积没有明显差异;拔节期砾石覆盖处理叶面积较 CK 差异显著,且随覆盖量的增加差异增大, S8 较 CK 分别增加 10.79%和 10.00%。此后,由于冬小麦冠层增加,砾石覆盖对作物生长的促进作用减弱。

2.2.3 不同处理对冬小麦生育期的影响 对比各处理冬小麦的生育期变化,砾石覆盖处理的出苗期、拔节期较对照处理有所延迟,呈现 $CK<S2<S4<S6<S8$ (表 2)。原因是播种后由于气候干旱水分亏缺,使得出苗期较以往有所推迟,加之表面覆盖砾石影响出苗,出苗期随覆盖量的增加较 CK 推迟, S8 最晚,较 CK 推迟 2 d,因此拔节期也随之推迟。可

见,苗期气候干旱,水分严重亏缺对冬小麦拔节产生较大影响。返青期后,砾石覆盖处理冬小麦生长发育较 CK 迅速,且随覆盖量的增加生育期较 CK 提前,呈现 $S8<S6<S4<S2<CK$,这是由于越冬期砾石覆盖可以更好地保持土壤水分,后期较多的降水量也会使土壤贮水量相应增加,抽穗期、灌浆期、成熟期水分相对较充足。

2013—2015 年试验期,冬小麦整个生育期内气候干旱,与往年气候无较大差异。全生育期呈现 $S8<S6<S4<S2<CK$,即砾石覆盖能够促进冬小麦生长,进而使生育期提前,2 个生长季 S8、S6、S4、S2 较 CK 分别提前 5 d、3 d、2 d、1 d 和 4 d、3 d、2 d、1 d。

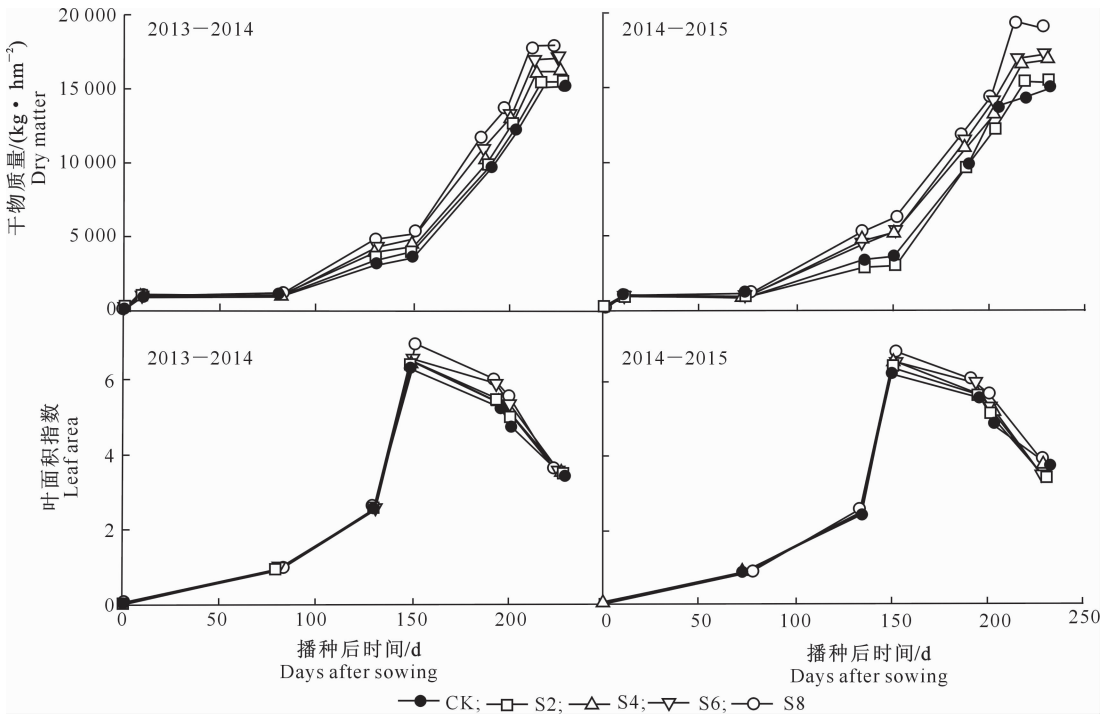


图 4 2013—2015 年各砾石覆盖处理冬小麦地上部干物质量与叶面积指数的变化

Fig. 4 Changes of dry matter and leaf area index of winter wheat between different treatments in 2013—2015

表 2 2013—2015 年各砾石覆盖处理冬小麦物候期的变化

Table 2 Phenological periods of winter wheat under different gravel mulching treatments in 2013—2015

年份 Year	处理 Treatment	播种到各生育期所需时间/d Days after sowing to each growing period				
		出苗期 Emerging	拔节期 Jointing	抽穗期 Heading	灌浆期 Filling	成熟期 Maturity
2013—2014	CK	9	150	190	203	229
	S2	9	150	189	202	228
	S4	10	151	189	202	227
	S6	11	151	187	201	226
	S8	11	152	186	200	224
2014—2015	CK	9	151	189	204	232
	S2	9	151	188	203	231
	S4	9	151	188	203	230
	S6	11	152	188	202	229
	S8	11	152	186	201	228

2.3 砾石覆盖对冬小麦产量及其构成因素的影响

有研究表明,砾石覆盖具有较好的蓄水保墒作用,可以减少土壤表层水分的无效蒸发,为作物生长关键时期提供充足的水分,有效地促进冬小麦的生长发育,而且覆盖还具有协调养分供应,提高作物经

济产量和地上部生物量的作用^[9,13]。

由表 3 可以看出,随覆盖量增加,各处理冬小麦穗粒数较 CK 均呈增加趋势,S6、S8 与 CK 处理差异显著。砾石覆盖能够显著增加有效穗数,其中 S2、S4、S6、S8 处理有效穗数在 2013—2014 年生长

季分别较 CK 增加 8.89%,12.45%,22.29%和 32.25%,在 2014—2015 年生长季分别较 CK 增加 4.02%,10.55%,11.22%和 29.82%,说明砾石覆盖量的增加可以蓄水保墒,显著增加冬小麦的有效穗数。2013—2014 年 S2、S4、S6、S8 处理冬小麦经济产量分别较 CK 增加 1.98%,2.68%,8.46%和 12.13%;2014—2015 生长季,S2、S4、S6、S8 处理冬小麦经济产量分别较 CK 增加 2.06%,4.15%,7.32%和 15.34%,且 S6、S8 与 CK 处理差异显著 ($P<0.05$)。此外,砾石覆盖措施还能显著增加地

上部生物量;CK 与 S2 处理收获指数最高,与其他处理差异显著。对两季冬小麦产量特征值进行相关性分析表明,2013—2014 年生长季,有效穗数、穗粒数、千粒质量和地上部生物量与经济产量的相关系数分别为 0.98,0.78,−0.85 和 0.96;2014—2015 年生长季,株高、有效穗数、穗粒数、千粒质量和地上部生物量与经济产量的相关系数分别为 0.63,0.95,0.96,−0.81 和 0.94。说明经济产量和有效穗数的相关性最大。

表 3 2013—2015 年不同砾石覆盖处理冬小麦产量及其构成因素

Table 3 Effect of gravel mulching treatments on yield and its components of winter wheat in 2013—2015

年份 Year	处理 Treatment	有效穗数 Ear diameter	穗粒数 Number of kernels per ear	千粒质量/g Weight of 1 000-kernel	经济产量/ (kg·hm ⁻²) Maize yield	地上部生物量/ (kg·hm ⁻²) Above-ground biomass	作物经济 系数 Ec
2013—2014	CK	569 c	43.6 c	34.37 a	5 557 c	15 114 c	0.368 a
	S2	620 bc	45.3 bc	34.38 a	5 667 bc	15 408 c	0.368 a
	S4	640 bc	47.7 bc	33.27 ab	5 706 bc	16 161 bc	0.353 b
	S6	696 b	47.5 b	33.21 ab	6 027 ab	17 143 ab	0.352 b
	S8	753 a	49.1 a	32.77 b	6 231 a	17 847 a	0.349 c
2014—2015	CK	597 c	44.8 c	34.13 a	5 712 c	15 060 c	0.379 a
	S2	621 bc	45.7 b	33.57 ab	5 830 bc	15 410 c	0.378 a
	S4	660 b	46.0 bc	33.26 ab	5 949 bc	16 990 b	0.350 bc
	S6	664 b	47.4 b	33.12 ab	6 130 ab	17 217 bc	0.356 b
	S8	775 a	51.1 a	32.93 b	6 588 a	19 050 a	0.346 c

注:同列数据后标不同小写字母表示处理间差异显著 ($P<0.05$)。
Note:Different letters indicate significant difference among treatments at 0.05 level.

3 讨 论

在半干旱地区,作物增产主要依赖于生育期间的有效降水和播种前的土壤蓄水^[21-22],砾石覆盖作为一种因地制宜的覆盖措施,可较好地适应干旱半干旱地区的气候、地理、土壤等条件,有效保持土壤水分,起到改善土壤环境、提高土壤水分利用效率及增加作物产量的作用,在农业生产方面得到了广泛应用^[23]。宋日权等^[24]研究发现,覆砂可以显著减少土壤蒸发量,且随着覆盖厚度的增大土壤蒸发量减少的越多。张瑞喜等^[25]研究发现,模拟条件下,随着覆砂厚度的增大,其抑制潜水蒸发的作用越大,3.6 cm 和 5.7 cm 覆砂处理的抑制率分别达到 95%和 97%。Modaihsh 等^[26]研究指出,砂石覆盖能有效抑制土壤水分蒸发,且厚度越大其抑制作用越大。砾石覆盖措施对土壤水分的影响较大,并与作物生育期降水量分配关系密切,其密切程度与砾石覆盖量又紧紧相关^[15]。本试验结果表明,砾石覆盖能够有效提高 0~100 cm 土层的土壤贮水量,随砾石覆盖量的增加,土壤贮水量较对照差异越显著,尤

其是在作物生长初期,砾石覆盖可以有效减少土壤表层的无效蒸发,成熟期土壤贮水量较其他生育期降低,这可能是因为冬小麦整个生育期消耗了大量土壤水分,使得成熟期的土壤贮水量较其他生育期明显降低。从整个生育期来看,覆盖量的增加可以更好地保持土壤水分,促进冬小麦各生育阶段的生长发育,但作物生育前期干旱缺水将使生育进程明显延缓,并引起成熟期推迟,这与 Li 等^[15]的研究结果一致。

4 结 论

(1)砾石覆盖有利于提高土壤对降水的保蓄能力,显著增加 0~100 cm 土壤贮水量,随砾石覆盖量的增加,各处理土壤贮水量较对照增幅越大,尤其是在作物生长初期,到作物生长后期由于冠层和降雨增加蓄水效应减弱,2 个生长季 S8 处理冬小麦成熟期 0~100 cm 土层土壤贮水量较 CK 分别增加 8.87%和 9.08%,各土层土壤含水率呈先降后升的趋势。

(2)砾石覆盖可以促进冬小麦各生育阶段的生

长发育,地上部干物质质量和叶面积指数均呈现先增加后减小的趋势,分别在灌浆期和拔节期达到最大值。两季冬小麦在灌浆期 S8 处理的地上部干物质质量较 CK 分别增加 35.03%和 18.17%,叶面积在拔节期 S8 较 CK 分别增加 10.79%和 10.00%。随覆盖量增加整个生育期缩短越明显,两季冬小麦 S8 处理全生育期分别较 CK 提前 5 d 和 4 d。

(3)砾石覆盖措施连续 2 年能够显著提高冬小麦的有效穗数和经济产量,且随着覆盖量的增加,效果越明显,S8 的有效穗数较 CK 分别增加 32.25%和 29.82%,进而使得冬小麦最终产量分别较 CK 提高 12.13%和 15.34%。

[参考文献]

[1] 吕雯,汪有科.不同秸秆还田模式冬麦田土壤水分特征比较[J].干旱地区农业研究,2006,24(3):68-71.
Lü W, Wang Y K. Study on soil moisture of different tillage measures under straw mulch [J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2006, 24(3): 68-71.

[2] 白莉萍,隋方功,孙朝晖,等.土壤水分胁迫对玉米形态发育及产量的影响[J].生态学报,2004,24(7):1556-1560.
Bai L P, Sui F G, Sun C H, et al. Effects of soil water stress on morphological development and yield of maize [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2004, 24(7): 1556-1560.

[3] 宋凤斌,戴俊英.干旱胁迫对玉米雌穗生长发育和产量的影响[J].吉林农业大学学报,2000,22(1):18-22.
Song F B, Dai J Y. Effects of drought stress on growth and development of female inflorescence and yield of maize [J]. Journal of Jilin Agricultural University, 2000, 22(1): 18-22.

[4] 王彩绒,田霄鸿,李生秀.沟垄覆膜集雨栽培对冬小麦水分利用效率及产量的影响[J].中国农业科学,2004,37(2):208-214.
Wang C R, Tian X H, Li S X. Effects of plastic sheet-mulching on ridge for rainwater-harvesting cultivation on WUE and yield of winter wheat [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2004, 37(2): 208-214.

[5] 任小龙,贾志宽,丁瑞霞,等.我国旱区作物根域微集水种植技术研究进展及展望[J].干旱地区农业研究,2010,28(3):83-89.
Ren X L, Jia Z K, Ding R X, et al. Progress and prospect of research on root-zone water micro-collecting farming for crop in arid region of China [J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2010, 28(3): 83-89.

[6] 王罕博,龚道枝,梅旭荣,等.覆膜和露地旱作春玉米生长与蒸散动态比较[J].农业工程学报,2012,28(22):88-94.
Wang H B, Gong D Z, Mei X R, et al. Dynamics comparison of rain-fed spring maize growth and evapotranspiration in plastic mulching and un-mulching fields [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2012, 28(22): 88-94.

[7] 段喜明,吴普特,白秀梅,等.旱地玉米垄膜沟种微集水种植技术研究[J].水土保持学报,2006,20(1):143-146.

Duan X M, Wu P T, Bai X M, et al. Micro-rainwater catchment and planting technique of ridge film mulching and furrow seeding of maize in dryland [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2006, 20(1): 143-146.

[8] 赵永敢,王婧,李玉义,等.秸秆隔层与地膜覆盖有效抑制潜水蒸发和土壤返盐[J].农业工程学报,2013,29(23):109-117.
Zhao Y G, Wang J, Li Y Y, et al. Reducing evaporation from phreatic water and soil resalinization by using straw interlayer and plastic mulch [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2013, 29(23): 109-117.

[9] Burns R G. Enzyme activity in soil:impation and a possible role in microbial ecology [J]. Soil Biology and Biochemistry, 1982, 12: 423-427.

[10] 邱阳,王亚军,谢忠奎,等.砾石覆盖对农田土壤有机质、微生物和土壤酶活性的影响[J].水土保持通报,2011,20(10):176-180.
Qiu Y, Wang Y J, Xie Z K, et al. Temporal effects of gravel-sand mulching on soil microbial population and soil enzyme activity in croplands with continuous cultivation [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2011, 20(10): 176-180.

[11] 胡恒觉.我国砂田免耕法 [C]//耕作制度论文集.北京:农业出版社,1981:206-217.
Hu H J. Sunada tillage in China [C]//Farming systems proceedings. Beijing: Agriculture Publishing House, 1981: 206-217.

[12] 贾登云,曾希琳,张永洋,等.籽用西瓜旱砂田覆膜栽培技术试验[J].中国西瓜甜瓜,1998(1):20-21.
Jia D Y, Ceng X L, Zhang Y Y, et al. Watermelon seeds with dry sand covered field cultivation techniques [J]. China Watermelon and Muskmelon, 1998(1): 20-21.

[13] Li X Y, Zhang R L, Gong J D, et al. Soil and water accumulation by gravel and sand mulches in western loess plateau of northwest China [C]. Beijing: 12th ISCO Conference Proceedings, 2002: 192-197.

[14] 王天送,苏贺昌,杨世维.兰州地区砂田土壤的水分特征[J].干旱地区农业研究,1991(1):66-69.
Wang T S, Su H C, Yang S W. Water features of sand soil in Lanzhou area [J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 1991(1): 66-69.

[15] Li X Y. Gravel-sand mulch for soil and water conservation in the semiarid loess region of northwest China [J]. Catena, 2003, 52(2): 105-127.

[16] 居辉,兰霞,李建民,等.不同灌溉制度下冬小麦产量效应与耗水特征研究[J].中国农业大学学报,2000,5(5):23-29.
Ju H, Lan X, Li J M, et al. Effects of different irrigation systems on winter-wheat yield and water consumption [J]. Journal of China Agricultural University, 2000, 5(5): 23-29.

[17] Allen R G, Pereira L S, Raes D, et al. Crop evapotranspiration guidelines or computing crop water requirements [M]. Rome: Irrigation and Drainage Paper No. 56, FAO, 1998.

- try, 2012, 49: 96-105.
- [22] 赵允格, 许明祥, Belnap J. 生物结皮光合作用对光温水的响应及其对生物结皮空间分布格局的解译: 以黄土丘陵区为例 [J]. 生态学报, 2010, 30(17): 4668-4675.
- Zhao Y G, Xu M X, Belnap J. Response of biocrusts' photosynthesis to environmental factors: a possible explanation of the spatial distribution of biocrusts in the Hilly Less Plateau region of China [J]. Acta Ecologica Sinica, 2010, 30(17): 4668-4675.
- [23] Zhang B C, Zhou X B, Zhang Y M. Responses of microbial activities and soil physical-chemical properties to the successional process of biological soil crusts in the Gurbantunggut Desert, Xinjiang [J]. Journal of Arid Land, 2015, 7(1): 101-109.
- [24] 周智彬, 李培军. 塔克拉玛干沙漠腹地人工绿地土壤中微生物的生态分布及其与土壤因子间的关系 [J]. 应用生态学报, 2003, 14(8): 1246-1250.
- Zhou Z B, Li P J. Ecological distribution of soil microorganism in artificial greenbelt in hinterland of Taklimakan Desert and their relations with soil factors [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2003, 14(8): 1246-1250.
- [25] Yu J, Kidron G J, Pen-Mouratov S, et al. Do development stages of biological soil crusts determine activity and functional diversity in a sand-dune ecosystem? [J]. Soil Biology and Biochemistry, 2012, 51: 66-72.
- [26] 高丽倩, 赵允格, 秦宁强, 等. 黄土丘陵区生物结皮对土壤可蚀性的影响 [J]. 应用生态学报, 2013, 24(1): 105-112.
- Gao L Q, Zhao Y G, Qin N Q, et al. Effects of biological soil crust on soil erodibility in Hilly Loess Plateau region of north-west China [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2013, 24(1): 105-112.
- [27] 李林, 赵允格, 王一贺, 等. 不同类型生物结皮对坡面产流特征的影响 [J]. 自然资源学报, 2015, 30(6): 1013-1023.
- Li L, Zhao Y G, Wang Y H, et al. Impact of different types of biological soil crusts on slope runoff generation [J]. Journal of Natural Resources, 2015, 30(6): 1013-1023.
- [28] Albiach R, Canet R, Pomanes F, et al. Microbial biomass content and enzymatic activities after the application of organic amendments to a horticultural soil [J]. Bioresource Technology, 2000, 75: 43-48.
- [29] Griffiths B S, Ritz K, Ebbelwhite N, et al. Soil microbial community structure: effects of substrate loading rates [J]. Soil Biology and Biochemistry, 1999, 31: 145-153.
- [30] 亚历山大. 土壤微生物学导论 [M]. 广西农学院农业微生物学教研组译. 北京: 科学出版社, 1983: 22-31.
- Alexander M. Introduction to soil microbiology [M]. Agricultural microbiology research group of Guangxi Agricultural College translated. Beijing: Science and Technology Press, 1983: 22-31.
- (上接第 104 页)
- [18] 韦斯·沃伦德, 唐·格兰姆斯. 美国国家灌溉工程手册 [M]. 水利部国际合作司, 译. 北京: 中国水利水电出版社, 1998.
- Voidrender W, Grimes D. US national irrigation engineering manual [M]. Department of International Cooperation Compiler, translate. Beijing: Water Resources and Hydropower Publishing House of China, 1998.
- [19] Clothier B, Green S. Rootzone processes and the efficient use of irrigation water [J]. Agricultural Water Management, 1994, 25(1): 1-12.
- [20] 王淑芬, 张喜英, 裴冬. 不同供水条件对冬小麦根系分布、产量及水分利用效率的影响 [J]. 农业工程学报, 2006, 22(2): 27-32.
- Wang S F, Zhang X Y, Pei D. Impact of different water supplied conditions on root distribution, yield and water utilization efficiency of winter wheat [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2006, 22(2): 27-32.
- [21] 解文艳, 樊贵盛, 周怀平, 等. 秸秆还田方式对旱地玉米产量和水分利用效率的影响 [J]. 农业机械学报, 2011, 42(11): 60-67.
- Xie W Y, Fan G S, Zhou H P, et al. Effect of straw incorporation on corn yield and water use efficiency in arid farming areas [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(11): 60-67.
- [22] 严昌荣, 居辉, 彭世琪, 等. 中国北方旱农地区农田水分动态变化特征 [J]. 农业工程学报, 2002, 18(2): 11-14.
- Yan C R, Ju H, Peng S Q, et al. Soil moisture dynamic characteristics of dryland field in northern China [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2002, 18(2): 11-14.
- [23] 逢蕾, 肖洪浪, 谢忠奎, 等. 砂田不同覆盖方式对土壤微生物组成的影响 [J]. 中国沙漠, 2012, 32(2): 351-358.
- Pang L, Xiao H L, Xie Z K, et al. Sunada influence of different cover on soil microbial composition [J]. Journal of Desert Research, 2012, 32(2): 351-358.
- [24] 宋日权, 褚贵新, 张瑞喜, 等. 覆砂对土壤入渗、蒸发和盐分运移的影响 [J]. 土壤学报, 2012, 49(2): 282-288.
- Song R Q, Zhu G X, Zhang R X, et al. Effects of sand mulching on soil infiltration, evaporation and salt distribution [J]. Acta Pedologica Sinica, 2012, 49(2): 282-288.
- [25] 张瑞喜, 褚贵新, 宋日权, 等. 不同覆砂厚度对土壤水盐运移影响的实验研究 [J]. 土壤通报, 2012, 43(4): 849-853.
- Zhang R X, Zhu G X, Song R Q, et al. Experimental study of different thickness overlying sand salt and water movement influence [J]. Chinese Journal of Soil Science, 2012, 43(4): 849-853.
- [26] Modaihsh A S. Soil water evaporation suppression by sand mulches [J]. Soil Science, 1985, 139(4): 357-361.