

覆膜方式对旱地糜子光合特性及产量的影响

张盼盼¹, 陈 凌², 王君杰², 王海岗², 郑殿峰¹, 乔治军², 冯佰利³

(1. 国家杂粮工程技术研究中心/黑龙江八一农垦大学, 黑龙江 大庆 163319;
2. 山西省农业科学院品种资源研究所, 山西 太原 030031;
3. 旱区作物逆境生物学国家重点实验室/西北农林科技大学, 陕西 杨凌 712100)

摘 要: 以晋黍 7 号为材料, 研究了旱地不同覆膜方式对糜子各生育期植株绿叶面积、叶绿素相对含量 (SPAD)、光合特性及产量的影响。试验结果表明, 与平膜穴播和露地条播相比, 分蘖期至成熟期, 膜侧穴播处理的糜子平均旗叶 SPAD 分别提高 3.8%、10.2%; 单株绿叶面积分别提高 17.9%、59.1%; 拔节期至成熟期, 膜侧穴播处理的糜子平均旗叶净光合速率较平膜穴播和露地条播分别增加 3.8%、28.7%, 旗叶蒸腾速率分别增加 7.5%、23.4%, 叶片瞬时水分利用效率 (LWUE) 下降幅度较平膜穴播和露地条播分别低 16%、25%。在不同的覆膜方式中, 膜侧穴播处理的糜子产量最高, 较平膜穴播和露地条播分别增加 7.6%、51.2%。因此, 膜侧穴播有利于糜子光合和产量的提高。

关键词: 覆膜方式; 糜子; 光合特性; 叶片瞬时水分利用效率; 产量
中图分类号: S316; S516 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-7601(2014)06-0149-05

Effect of film mulching modes on photosynthesis characteristic and yield of broomcorn millet in arid land

ZHANG Pan-pan¹, CHEN Ling², WANG Jun-jie², WANG Hai-gang², ZHENG Dian-feng¹,
QIAO Zhi-jun², FENG Bai-li³

(1. National side crops and miscellaneous cereals engineering technology research center, Heilongjiang August First Land Reclamation University, Daqing, Heilongjiang 163319, China;
2. Institute of Crop Germplasm Resources, Shanxi Agricultural Science Academy, Taiyuan, Shanxi 030031, China;
3. State Key Laboratory of Crop Stress Biology on Drought Regions, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: The variety of Jinshu 7 was used as material to study the effect of film mulching modes on leaf area per plant, relative chlorophyll content (SPAD), photosynthesis characteristic and yield of broomcorn millet in arid land. The results showed that compared with flat film dibble and traditional planting, average flag SPAD of film side dibble increased by 3.8% and 10.2%, and leaf area per plant increased by 17.9% and 59.1% from tillering to maturing stages, respectively. The flag leaf photosynthetic rate and transpiration rate under film side dibble were higher than flat film dibble (3.8% and 28.7%) and traditional planting (7.5% and 23.4%) from jointing to maturing stages. But the decline of leaf water use efficiency (LWUE) under film side dibble were 16% and 25% less than flat film dibble and traditional planting, respectively. By contrast, flat film dibble and traditional planting, grain yield under film side dibble increased by 7.6% and 51.2%, respectively. Therefore, the pattern of film side dibble is favorable for improving photosynthesis characteristic and yield of broomcorn millet in arid land.

Keywords: film mulching modes; broomcorn millet; photosynthesis characteristic; LWUE; grain yield

糜子作为干旱半干旱地区主要的粮食作物和饲料作物,在该区种植业结构调整和畜牧业发展中具有不可替代的作用^[1-3]。但由于该区降水时空分布不均,且大部分降水以地表径流和无效蒸发方式散

收稿日期:2014-04-27
基金项目:国家谷子糜子产业技术体系项目(CARS-07-12.5-A12)
作者简介:张盼盼(1985—),女,陕西渭南人,博士,讲师,主要从事糜子抗逆生理研究。E-mail: zpp35@163.com。
通信作者:乔治军(1964—),男,研究员,主要从事糜子栽培和种质资源研究工作。E-mail: nkypzs@yahoo.com.cn。

失^[4],使得干旱胁迫成为糜子单产提高的主要限制因素。因此,如何应用有效的抗旱保墒和集雨技术,挖掘现有的降水生产潜力,是发展旱作农业生产的重要途径之一。近年来,地膜覆盖已被公认为是提高旱地作物产量的最有效措​​施之一,其具有保温保墒效果^[5-6],可以增加太阳光的反射率和空气阻力,减少热量和水汽的传输,改变地表层小气候,从而引起作物叶面积和叶绿素含量增加,叶片衰老减缓、光合势增强,提高作物的光合性能。关于不同覆膜方式对作物光合特性和产量的影响多集中在小麦^[7]、玉米^[8]、大豆^[9]、马铃薯^[10]、谷子^[11]等作物上,而在糜子等小宗作物上的相关研究报道较少。鉴于此,本研究以传统的种植方式露地条播为对照,研究了平膜穴播和膜侧穴播对旱地糜子光合生理特性及产量的影响,以期为进一步提高旱地糜子产量,筛选适宜的种植模式提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验方法

试验于 2012 年在山西省农科院品种资源研究所岢岚试验站进行。该区属中温带大陆性季风气候半干旱区,年平均气温 6℃,年平均无霜期 120 d;年平均降水量 456 mm,且多集中于 7、8、9 月内。地势平坦,无灌溉条件。供试土壤为砂质土壤,土壤肥力中等,有机质含量 22.01 g·kg⁻¹,碱解氮 43.83 mg·kg⁻¹,速效磷 16.61 mg·kg⁻¹,速效钾 153.45 mg·kg⁻¹。5 月 14 日整地施肥,肥料作为基肥一次性施入,尿素 195 kg·hm⁻²,过磷酸钙 750 kg·hm⁻²,供试糜子品种为晋黍 7 号。5 月 16 日播种,9 月 15 日收获,其它管理方式同一般大田。

试验设 3 种覆膜方式,分别为:(1)平膜穴播(PX),带宽 80 cm,膜面 50 cm,两边各压 15 cm,膜面两侧各种 1 行糜子,每小区 10 行,株距 3.3 cm;(2)膜侧穴播(MX),采用垄作,以 80 cm 为一带,垄底宽 50 cm,垄高 10 cm,垄顶呈圆形,垄间距 15 cm 左右。每垄两侧各种 1 行糜子,每小区 10 行,株距 3.3 cm;(3)露地条播(CK):条播,行距 33 cm,株距 3.3 cm。小区面积 24 m²(4 m×6 m),3 次重复,采用随机区组设计,密度 90 万株·hm⁻²。

1.2 测定项目

1.2.1 叶绿素相对含量(SPAD 值) 每小区选取具有代表性的植株 3 株,于分蘖期、拔节期、抽穗期、开花期、灌浆中期、成熟期,采用日本生产的 SPAD-502 叶绿素测定仪测定旗叶叶绿素相对值,测定时

避开叶脉位置,测定叶片的上、中、下部位,求其平均值,即代表该叶片的 SPAD 值。

1.2.2 单株绿叶面积 采用比叶重法进行测定。于分蘖期、拔节期、抽穗期、开花期、灌浆中期、成熟期,在各处理小区中选择生长一致的植株 3 株,迅速装于自封袋内,带回实验室,采用 CI-203 激光叶面积仪测定糜子主茎倒二叶叶面积,称取主茎倒二叶、单株叶片鲜重。

1.2.3 旗叶光合特性 每处理小区随机选取 3 株糜子进行标记,于拔节期、抽穗期、开花期、灌浆中期、成熟期,采用 CI-340 光合作用仪测定主茎上旗叶的净光合速率(P_n)、蒸腾速率(Tr)。观测时间为晴天上午 8:30~11:00,按照田间种植顺序进行往返测定。

1.2.4 叶片瞬时水分利用效率 在测定光合特性的基础上,采用下列公式计算叶片瞬时水分利用效率($LWUE$)^[12]:

$$LWUE = P_n / Tr$$

式中, P_n 为净光合速率($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$); Tr 为蒸腾速率($\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)。

1.2.5 产量及其构成因素 于成熟期取 5 株测定单穗粒数、千粒重,计算其平均值。另外,在每个处理的 3 个小区中收取 5 m² 的有效穗数,并折算成公顷产量。

1.3 数据处理

采用 Microsoft Excel 2003、DPS 7.05 和 Origin 8.0 统计软件进行相关数据的处理与分析。多重比较采用 Duncan's 新复极差法测验。

2 结果与分析

2.1 不同覆膜方式对糜子旗叶 SPAD 值的影响

由图 1 可以看出,随着生育进程的推进,各处理下糜子旗叶 SPAD 值呈先上升后下降的变化趋势,峰值出现在开花期。不同覆膜方式间进行比较,膜侧穴播处理下的糜子旗叶 SPAD 值在分蘖期显著低于平膜穴播和露地条播($P < 0.05$);之后各时期,膜侧穴播的旗叶 SPAD 值高于平膜穴播和露地条播,且膜侧穴播的旗叶 SPAD 值与露地条播之间均达到显著水平($P < 0.05$)。在糜子整个生育期,糜子旗叶 SPAD 值与覆膜方式关系密切,膜侧穴播的旗叶 SPAD 值较平膜穴播和露地条播分别高 3.8%、10.2%。

2.2 不同覆膜方式对糜子单株绿叶面积的影响

图 2 表明,糜子分蘖期至成熟期,各处理单株绿叶面积均表现为先升后降的变化趋势,自分蘖期单

株绿叶面积快速增加,开花期达到最大值,之后灌浆中期以前缓慢下降,灌浆中期以后迅速下降。不同处理间表现为:各生育时期膜侧穴播的单株绿叶面积最高,其次为平膜穴播,露地条播最低。方差分析表明,膜侧穴播的单株绿叶面积在分蘖期至成熟期均显著高于露地条播($P < 0.05$),仅在分蘖期、拔节期、开花期、成熟期显著高于平膜穴播($P < 0.05$)。整个生育期,膜侧穴播单株绿叶面积较平膜穴播、露地条播分别高 17.9%、59.1%。

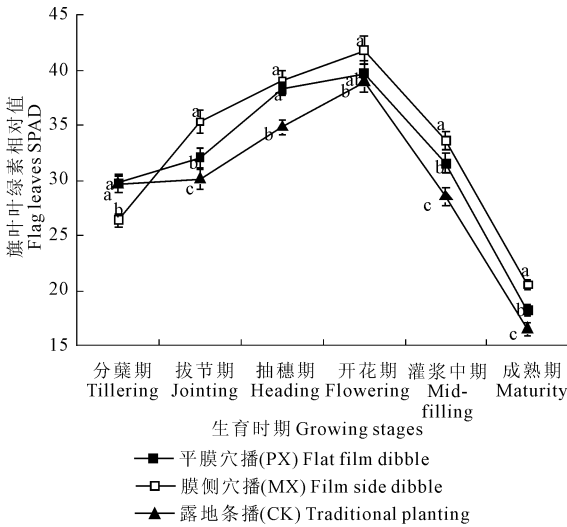


图 1 不同覆膜方式糜子旗叶叶绿素 SPAD 值

Fig.1 SPAD of flag leaf under different film mulching modes

注:同一时期各点标不同小写字母表示差异达 0.05 显著水平。下同。

Note: Different letters at the same stage indicate significant differences ($P < 0.05$). The same as below.

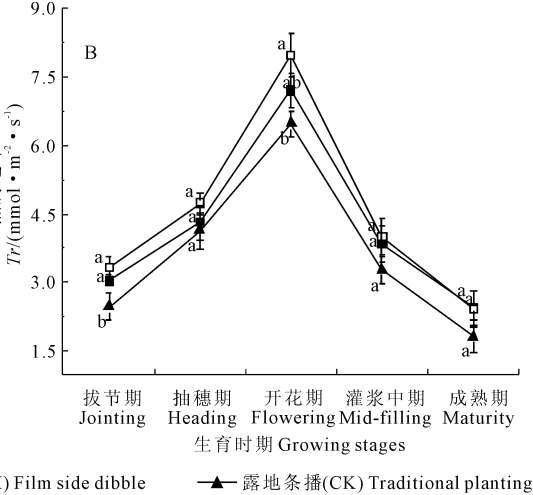
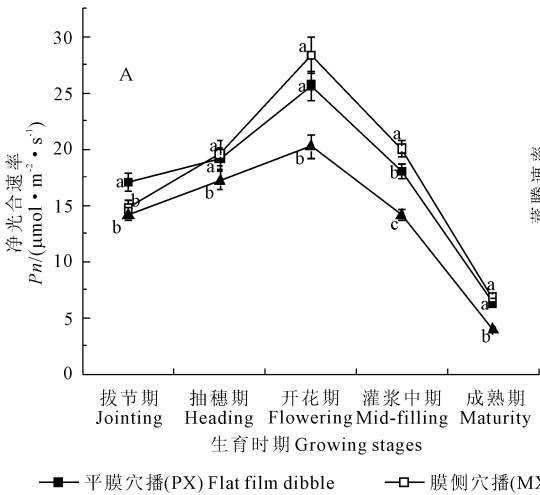


图 3 不同覆膜方式糜子旗叶净光合速率(A)和蒸腾速率(B)

Fig.3 P_n (A) and T_r (B) of flag leaf under different film mulching modes in broomcorn millet

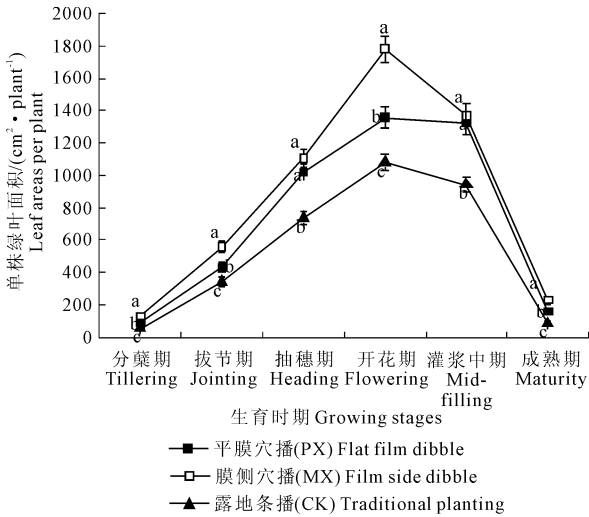


图 2 不同覆膜方式糜子单株绿叶面积

Fig.2 Leaf areas per plant of broomcorn millet under different film mulching modes

2.3 不同覆膜方式对糜子旗叶 P_n 、 T_r 的影响

图 3 可知,各处理下糜子旗叶净光合速率(图 3A)和蒸腾速率(图 3B)呈单峰曲线,峰值出现在开花期。

平膜穴播的糜子旗叶 P_n 在拔节期显著高于膜侧穴播、露地条播;之后,膜侧穴播的旗叶 P_n 高于平膜穴播、露地条播,且在抽穗期至成熟期与露地条播均达到显著水平($P < 0.05$)。在开花期、灌浆中期、成熟期,膜侧穴播处理下旗叶 P_n 较平膜穴播分别高 2.7、2.0、0.4 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$;较露地条播分别高 8.2、5.9、2.8 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。

不同处理间,膜侧穴播处理的旗叶 Tr 在各生育期均最高,其次为平膜穴播,最后为露地条播。方差分析表明,膜侧穴播各生育期的旗叶 Tr 与露地条播之间均达到显著水平 ($P < 0.05$);但平膜穴播处理旗叶 Tr 仅在拔节期与露地条播存在显著差异 ($P < 0.05$)。各生育时期膜侧穴播平均 Tr 较平膜穴播、露地条播分别高 7.5%、23.4%。

2.4 不同覆膜方式对糜子旗叶 $LWUE$ 的影响

由图 4 可以看出,不同覆膜方式下糜子叶片瞬时水分利用效率 ($LWUE$) 在不同生育时期存在差异。开花期以前,膜侧穴播处理下糜子旗叶 $LWUE$ 低于平膜穴播,且在拔节期达到显著水平 ($P < 0.05$);但开花期以后,膜侧穴播处理下糜子旗叶 $LWUE$ 高于平膜穴播和露地条播,并且在灌浆中期和成熟期与露地条播处理下的旗叶 $LWUE$ 达显著水平 ($P < 0.05$)。总的来看,自拔节期至成熟期,膜侧穴播的旗叶 $LWUE$ 下降幅度为 37%,较平膜穴播和露地条播分别低 16%、25%。

2.5 不同覆膜方式对糜子产量及其构成因素的影响

表 1 列出了不同覆膜方式对糜子产量及其构成因素的影响。平膜穴播和膜侧穴播通过提高单株粒数、单株粒重、千粒重达到增产的效果。与露地条播

相比,平膜穴播、膜侧穴播处理的单株粒数分别提高 32.5% 和 43.6% ($P < 0.05$);平膜穴播和膜侧穴播处理的单株粒重较露地条播处理分别增加 40.5% 和 51.2% ($P < 0.05$);平膜穴播和膜侧穴播处理的千粒重较露地条播分别提高 6.3%、5.5% ($P < 0.05$);糜子籽粒产量膜侧穴播处理的最高,较平膜穴播和露地条播分别增加 7.6%、51.2% ($P < 0.05$)。

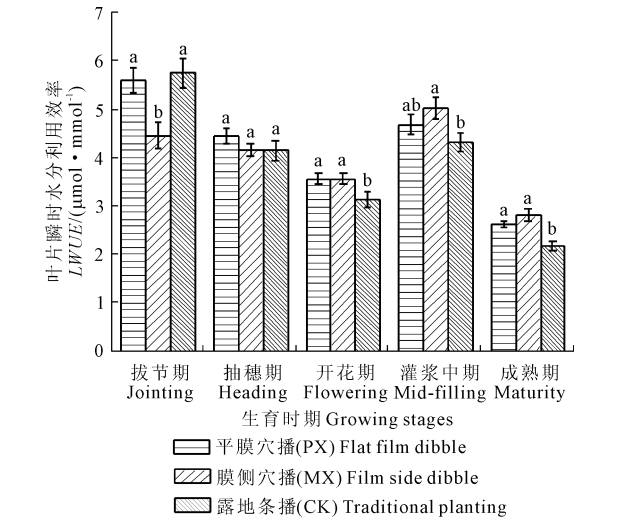


图 4 不同覆膜方式糜子叶片瞬时水分利用效率
Fig.4 $LWUE$ of broomcorn millet under different film mulching modes

表 1 不同覆膜方式对糜子产量及其构成要素的影响					
Table 1 Effect of film mulching mode on yield and its components of broomcorn millet					
处理 Treatments	株数 /(10 ⁴ plant·hm ⁻²)	单株粒数 Seeds per plant	单株粒重/g Seed weight per plant	千粒重/g 1000-grain weight	实收产量/(kg·hm ⁻²) Yield
平膜穴播(PX) Flat film dibble	90	741.29 ± 76.01a	6.83 ± 0.68a	9.22 ± 0.30a	6146.58 ± 607.8a
膜侧穴播(MX) Film side dibble	90	803.43 ± 74.09a	7.35 ± 0.69a	9.15 ± 0.03a	6613.03 ± 618.2a
露地条播(CK) Traditional planting	90	559.65 ± 67.50b	4.86 ± 0.66b	8.67 ± 0.144b	4374.02 ± 596.2b

注: 同一列不同字母表示 0.05 水平差异显著。
Note: Different letters in the same row indicate significant differences ($P < 0.05$).

3 讨 论

3.1 覆膜方式对叶绿素相对含量和绿叶面积的影响

叶片是植物进行光合作用的功能器官,绿叶面积的大小决定作物光合单位的多少,SPAD 值与叶片叶绿素含量呈密切正相关关系^[13],叶绿素含量的多少直接反映作物光合能力的大小及同化产物积累的多少^[14]。丁瑞霞和桑丹丹等^[15-16]研究发现,垄覆膜和平覆膜种植下谷子和春玉米的叶绿素相对含量均显著大于平作。牛一川等^[17]研究指出,垄覆膜沟

播可增加小麦叶绿素含量,延缓其衰老进程。任小龙等^[18]通过模拟降雨试验发现,在偏早年份,垄覆膜种植较传统平作可以显著增大叶片的叶绿素相对含量。本研究认为,与露地条播相比,膜侧穴播和平膜穴播处理下全生育期的糜子单株绿叶面积分别提高 59.1%、35.0%,SPAD 值分别提高 10.2%、6.5%,地膜覆盖有利于提高糜子的单株绿叶面积和叶绿素相对含量,且膜侧穴播的作用较平膜穴播明显。

3.2 覆膜方式对光合特性的影响

地膜覆盖栽培模式能够提高土壤含水量,从而

有利于作物光合性能和产量的提高^[19]。光合性能可以通过光合速率、蒸腾速率来衡量^[20]。孙继颖等^[9]研究表明,地膜覆盖栽培种植的大豆叶片光合速率和蒸腾速率明显高于不覆膜处理。本研究认为,在糜子整个生育期内,随着生育进程的推进,不同覆膜方式下糜子旗叶净光合速率和蒸腾速率呈先上升后下降的趋势,且覆膜处理下的光合指标较露地条播明显高。同时研究表明,膜侧穴播处理对糜子光合能力的提高效果优于平膜穴播,膜侧穴播净光合速率和蒸腾速率较平膜穴播分别高 3.8%、7.5%,这主要是因为膜侧穴播种植方式聚集了较多的降雨,减少了径流,增加了土壤含水量,为作物生长发育和光合作用的进行提供了良好的土壤环境,进而较明显地提高作物的光合性能,这与张鹏等^[7]在冬小麦上的研究结果相似。

3.3 覆膜方式对叶片瞬时水分利用效率和产量的影响

叶片瞬时水分利用效率(LWUE)反映物质生产与水分消耗的关系,在生产中具有重要的意义^[12]。本研究发现,覆膜处理下糜子生育后期的 LWUE 明显高于露地条播。开花期至成熟期,膜侧穴播和平膜穴播处理的糜子 LWUE 较露地条播分别高 19.8%、14.3%。有学者研究发现,覆膜能够显著地提高糜子单株粒数和千粒重^[21-22]。本研究也得出相似的结果:与露地条播相比较,覆膜处理糜子产量提高了 40.5%~51.2%,其中膜侧穴播对糜子产量的提高效果较平膜穴播有明显的作

参 考 文 献:

[1] 柴 岩,万富世.中国小杂粮产业发展报告[M].北京:中国农业科学技术出版社,2007.

[2] Zhang Panpan, Feng Baili, Wang Pengke, et al. Leaf senescence and activities of antioxidant enzyme indifferent broomcorn millet cultivars (*Panicum miliaceum* L.) under simulated drought condition[J]. Journal of Food, Agriculture & Environment, 2012, 10(2): 438-444.

[3] 张盼盼,冯佰利,王鹏科,等.干旱条件下糜子叶片衰老与保护酶活性变化[J].干旱地区农业研究,2010,28(2):99-103,108.

[4] 高世铭. 陇中黄土高原丘陵沟壑区生态环境建设与农业可持续发展研究[M]. 郑州:黄河水利出版社,2003.

[5] 贾志宽,任小龙,丁瑞霞,等.旱作农田根域集水种植技术研究

[M].北京:科学出版社,2010.

[6] Remakrishna A, Tam H M, Wani S P, et al. Effect of mulch on soil temperature, moisture, weed infestation and yield of groundnut in northern Vietnam[J]. Field Crops Research, 2006, 95(3): 115-125.

[7] 张 鹏,张晓芳,卫 婷,等.垄膜沟播与平膜侧播对冬小麦光合特性及产量的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2012, 30(6): 32-38.

[8] 孙东宝,孙高东,王庆锁.晋北半干旱区免耕对玉米光合和蒸腾特性的影响[J]. 中国农业气象, 2010, 31(2): 235-239.

[9] 孙继颖,高聚林,王志刚,等.不同覆膜方式对旱作大豆生理特性及水分利用效率的影响[J]. 大豆科学, 2008, 27(2): 251-254.

[10] 王颖慧,蒙美莲,张 静,等.覆膜方式对旱作马铃薯若干生理指标的影响[J]. 中国马铃薯, 2012, 26(6): 336-340.

[11] 张德奇,廖允成,贾志宽,等.旱地谷子集水保水技术的生理生态效应[J]. 作物学报, 2006, 32(5): 738-742.

[12] 高玉红,牛俊义,徐 锐,等.不同覆膜方式对玉米叶片光合蒸腾及水分利用效率的影响[J]. 草业学报, 2012, (10): 178-184.

[13] 李 兴,史海滨,程满金,等.集雨补灌区谷子种植方式对产量及水分利用效率的影响[J]. 灌溉排水学报, 2008, 27(2): 106-109.

[14] 梁秋霞,曹刚强,苏明杰,等.植物叶片衰老研究进展[J]. 中国农学通报, 2006, 8(22): 282-285.

[15] 丁瑞霞,贾志宽,韩清芳,等.宁南旱区微集水种植条件下谷子边际效应和生理特性的响应[J]. 中国农业科学, 2006, 39(3): 494-501.

[16] 桑丹丹,高聚林,王志刚,等.不同覆膜方式下超高产春玉米花粒期叶片衰老特性研究[J]. 玉米科学, 2009, 17(5): 77-81.

[17] 牛一川,姚天明,安建平,等.地膜覆盖栽培对冬小麦衰老进程的影响[J]. 麦类作物学报, 2004, 24(3): 90-92.

[18] Ren Xiaolong, Chen Xiaoli, Jia Zhikuan. Effect of rainfall collecting with ridge and furrow on soil moisture and root growth of corn in semi-arid northwest China[J]. Journal of Agronomy and Crop Science, 2010, 196(2): 109-122.

[19] 李友军,吴金芝,黄 明,等.不同耕作方式对小麦旗叶光合特性和水分利用效率的影响[J]. 农业工程学报, 2006, 22(12): 44-48.

[20] 赵 祥,董宽虎,张 垚,等.水分胁迫及复水对达乌里胡枝子光合特性的影响[J]. 草地学报, 2011, 19(4): 584-590.

[21] Qu Yang, Su Wang, Zhang Panpan, et al. 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.

[22] 屈 洋,冯佰利.不同节水种植模式对糜子籽粒产量和水分利用效率的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2011, 29(6): 68-73.