

# 密度对垄沟覆膜集雨冬小麦产量的影响

王晓凌, 董普辉

(河南科技大学 农学院, 河南 洛阳 471003)

**摘要:**通过大田试验研究了垄沟覆膜集雨种植模式中,冬小麦种植密度对产量的影响。试验设有一种类型的垄沟覆膜集雨,其沟宽和垄宽均为 60 cm,有高、中、低 3 种植植密度,高密度每沟种植 4 行,中密度每沟种植 3 行。结果表明:垄沟覆膜集雨具有促进冬小麦生长和增加产量的作用。垄沟覆膜集雨在低密度条件下的单株分蘖数、地上生物产量和产量都最高。垄沟覆膜集雨中密度和高密度条件下,种内竞争激烈,易导致中行小麦分蘖死亡较多,使中行的成穗率降低,这也是垄沟覆膜集雨中密度和高密度冬小麦产量较低的主要原因。

**关键词:**冬小麦;地膜覆盖;垄沟集雨;边行生长优势

中图分类号:S512.1;S504.8

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2011)02-0222-05

## The Influence of Population Density of Winter Wheat of Plastic Film Mulching on Ridge for Rainwater-harvesting on Yield

WANG Xiao-ling, DONG Pu-hui

(College of Agronomy, He'nan University of Science and Technology, Luoyang, He'nan 471003, China)

**Abstract:**Field experiments were carried out to study the influence of density on yield of winter wheat in different ridges mulched with plastic film for rainwater-harvesting. There was one type of plastic film mulching on ridge for rainwater-harvesting, which had the furrow width and ridge width of 60 cm. Three planting densities of high, middle and low level were used in the plastic film mulching on ridge for rainwater-harvestings. There were four, three and two lines wheat planted in the furrow in the high, middle and low planting density, respectively. The results showed that the rainwater-harvesting played the role in promoting the rapid growth of wheat and making the production of wheat to increase. In the low population density, the number of tillering, the aboveground biomass and the seed yield were the highest in the plastic film mulching on ridge for rainwater-harvesting. In the middle and high population density, there had an intensive competition, which resulted in the death of more tillers in middle lines, and the low percentage of tillers, and which was also the main reason for the lower yield in these practices.

**Key words:** winter wheat; plastic mulch; rainwater harvesting of ridge and furrow; edge line growth advantage

垄沟覆膜集雨通过垄面产流、沟内集雨,可以有效聚集雨水供作物利用,另外其还有保墒、提高土壤温度的作用,无论对作物产量的提高,还是对作物水分利用效率的改善都具有明显的作用,是水分较为缺乏的干旱和半干旱地区的一项重要的抗旱、提高水分利用的一项重要措施<sup>[1-2]</sup>。该技术不仅仅是我国半干旱地区用来提高产量的一项旱地农业技术,在我国的半湿润华北地区,为解决水资源供需矛盾,也有一定程度的应用。

旱地条件下,小麦密度是影响其产量和水分利用

的一个重要因素。例如, Pan<sup>[3]</sup>的研究表明,降雨量为 250 mm 的地区种植的春小麦,与低密度相比在高密度条件下,由于春小麦对水分的激烈竞争,而导致其收获指数的大幅下降,这是高密度小麦产量较低的一个重要原因。Du<sup>[4]</sup>利用灌水量的不同来研究旱地春小麦高效利用水分的方式,发现高密度条件下当水分供应不足时,与低密度相比小麦的收获指数也同样大幅下降,相应其产量也较低。另外,潘晓云<sup>[5]</sup>通过对旱地地膜覆盖春小麦的研究,发现当春小麦的密度较高时,由于地膜覆盖而造成了春小麦对土壤水分

的大量消耗,从而使春小麦收获指数大幅下降,最终导致产量的降低。但在旱地的垄沟覆膜集雨条件下,不同的小麦密度对产量产生什么样的影响,至今未见报道。

豫西地区是黄土高原向东部的延伸,属于半湿润易旱地区,利用天然降雨进行作物种植的旱作方式是该地区粮食生产的主要形式。冬小麦是该地区最主要的粮食作物,提高冬小麦雨水利用对该地区农业发展至关重要。为此,本文在相同垄宽和沟宽的垄沟覆膜集雨条件下,研究了不同密度的冬小麦种内竞争对小麦生物量、产量,以及收获指数的影响,来阐明种内竞争、产量之间的相互关系。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验设计

试验在河南科技大学农学院试验田进行,试验地为具有代表性的丘陵旱地,无灌溉条件。该区年均辐射量  $491.5 \text{ kJ/cm}^2$ , 年均气温  $14^\circ\text{C}$ , 日平均温度  $\geq 10^\circ\text{C}$  的天数约 210 d, 积温达  $4\ 500^\circ\text{C}$ , 年蒸发量  $2\ 113.7 \text{ mm}$ , 多年平均降雨量  $600 \text{ mm}$ 。供试土壤为褐土, 质地中壤, 土壤耕层含有机质  $11.9 \text{ g/kg}$ 。

试验采用垄沟覆膜集雨和裸地平作两种栽培方法, 裸地平作作为垄沟覆膜集雨的对照。在垄沟覆膜集雨中, 沟的宽度为  $60 \text{ cm}$ , 垄的宽度也为  $60 \text{ cm}$ , 垄和沟的长均为  $6 \text{ m}$ , 垄上覆膜, 垄高  $20 \text{ cm}$ , 种植密度分为高、中、低 3 个水平, 田间种植方式如图 1 所示。试验共有 4 个处理: ① 低密度垄沟覆膜集雨 (PL), 垄沟覆膜集雨, 每条沟的两边种植 2 行小麦; ② 中密度垄沟覆膜集雨 (PM), 垄沟覆膜集雨, 在每条沟的沟边种两行小麦, 在沟的中间种植一行小麦, 每沟共 3 行小麦; ③ 高密度垄沟覆膜集雨 (PH), 垄沟覆膜集雨, 在每条沟的沟边种两行小麦, 在沟中均匀种植两行小麦, 每沟共 4 行小麦; ④ 裸地平作, 行距  $30 \text{ cm}$  (CK)。PL 处理、PM 处理、PH 处理以及 CK 处理的单位面积的种植密度分别约  $105 \text{ 株/hm}^2$  基本苗、 $157.5 \text{ 株/hm}^2$  基本苗、 $210 \text{ 株/hm}^2$  基本苗和  $210 \text{ 株/hm}^2$  基本苗。每个垄沟覆膜集雨处理共设有 6 条沟、七条垄, 其中 3 条沟中的小麦用于生育期间的采样用, 另外 3 条沟中的小麦用于收获时测产用。

供试品种为洛旱 5678, 于 2007 年 10 月 11 日播种, 采用播种机进行条播, 2008 年 6 月 1 日收获。播种前起垄, 垄上覆膜。所用薄膜厚  $0.012 \text{ mm}$ 。播种前  $0-200 \text{ cm}$  土层贮水量为  $409.54 \text{ mm}$ 。化肥施用量为纯 N  $225 \text{ kg/hm}^2$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$   $150 \text{ kg/hm}^2$ ,  $\text{K}_2\text{O}$   $150 \text{ kg/hm}^2$ , 作为基肥一次施入, 整个生育期不进行灌溉。

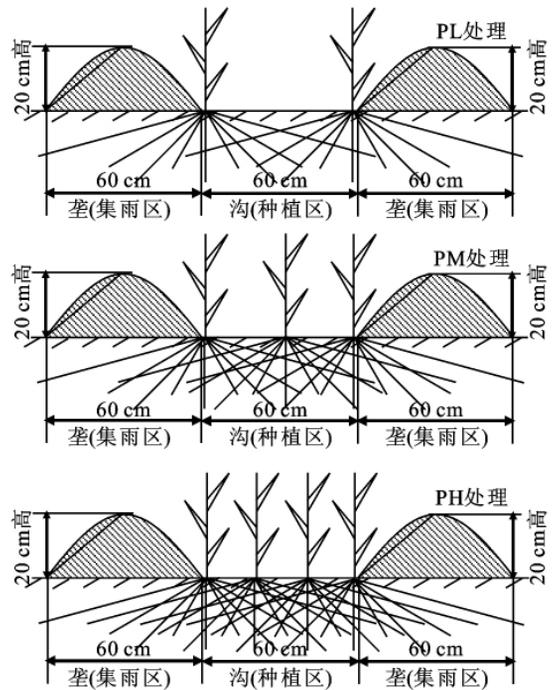


图 1 垄沟集雨种植小麦示意图

### 1.2 测量指标及方法

播种前和收获时, 以及 11 月 1 日、3 月 1 日、5 月 1 日、6 月 1 日采用烘干法测定各处理土壤含水量, 每  $20 \text{ cm}$  一层, 深度  $200 \text{ cm}$ 。播种前用环刀法测定了土壤容重,  $0-40 \text{ cm}$  土壤容重为  $1.2 \text{ g/cm}^3$ ,  $40-200 \text{ cm}$  土层土壤容重为  $1.4 \text{ g/cm}^3$ 。土壤贮水量由公式 (1) 计算:

$$S_w = C \times \rho \times H \quad (1)$$

式中:  $S_w$ —— $0-200 \text{ cm}$  土层的土壤贮水量 (mm);  $\rho$ ——土壤容重 ( $\text{g/cm}^3$ );  $C$ ——土壤质量含水量 (%);  $H$ ——土层深度 (mm)。

各处理玉米生育期总耗水量用公式 (2) 计算:

$$WU = P + SW_p - SW_h \quad (2)$$

式中:  $WU$ ——耗水量 (mm);  $P$ ——降雨量 (mm);  $SW_p, SW_h$ ——播种时和收获时  $0-200 \text{ cm}$  土层的土壤贮水量 (mm); 若是垄沟处理则表示沟中  $0-200 \text{ cm}$  土层的土壤贮水量 (mm)。

分别在苗期 (10 月 26 日)、分蘖期 (11 月 15 日)、越冬期 (12 月 30 日)、拔节期 (4 月 15 日)、开花期 (5 月 8 日)、成熟期 (5 月 20 日) 各小区随机统计小麦的单株分蘖数, 并采样, 然后在  $75^\circ\text{C}$  下烘  $48 \text{ h}$  计算地上部分单株生物量和单位面积的生物量。收获后测定小麦地上部分生物量和籽粒产量, 以干物质计算。然后用籽粒产量与地上部分生物量的比来计算收获指数。图表中的数据均为平均值, 试验数据采用 SAS6.12 统计软件进行分析。

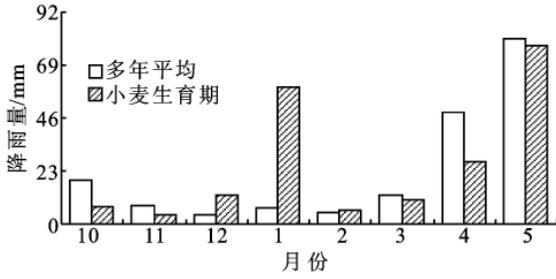
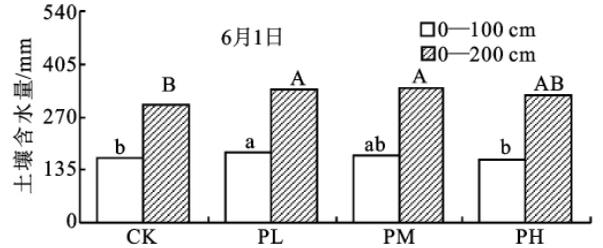
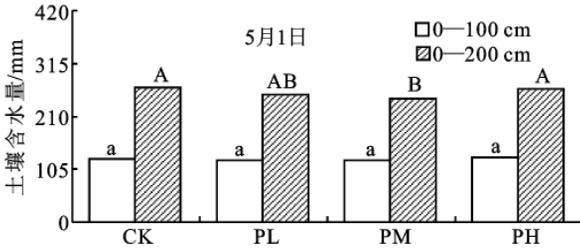
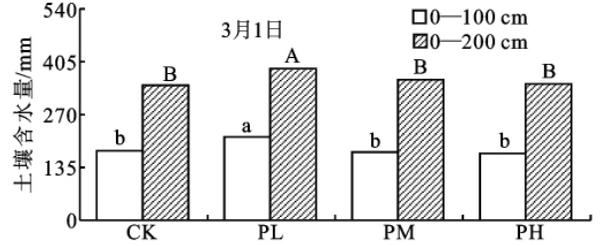
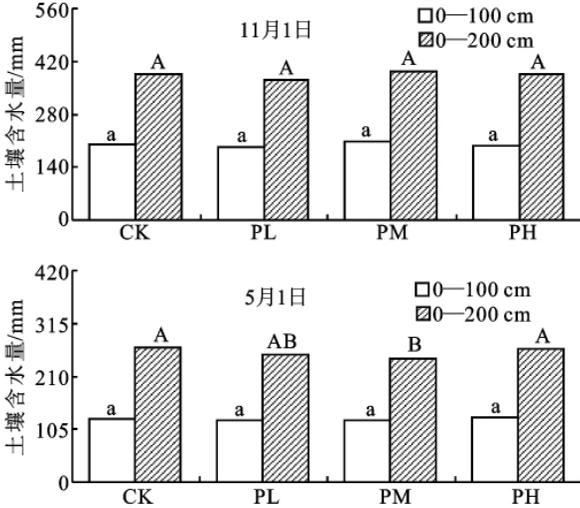


图 2 试验当年小麦生育期月降雨量和多年平均降雨量



大写字母的不同和小写字母的不同分别不同表示 0—200 cm 土层和 0—100 cm 土层水分含量差异显著 ( $P=0.05$ )。

图 3 不同时期各处理土壤 0—100 cm 和 0—200 cm 土层土壤含水量

由图 3 可知,11 月 1 日的土壤含水量各处理之间没有显著的差别,然而 3 月 1 日 PL 处理的 0—100 cm 土层以及 0—200 cm 土层的土壤含水量显著高于其它处理,这一方面可能与冬季降雪量大,垄沟覆膜集雨具有聚水和良好的保墒作用有关,另一方面可能与 PL 处理的种植密度较小,小麦对水分的消耗较少有关。

尽管 5 月 1 日 CK 处理的 0—100 cm 以及 0—200 cm 土层的含水量并没有显著低于垄沟覆膜集雨处理,但是 6 月 1 日 CK 处理的 0—100 cm 以及 0—200 cm 土层的含水量却显著低于垄沟覆膜集雨处理。这与 5 月降雨量较大,垄沟覆膜集雨能汇集较多的雨水和保墒效果好,以及小麦成熟时对水分的消耗减少有很大关系。

表 1 不同生长阶段不同处理小麦的单株分蘖数

项目	个/株					
	苗期 (10月26日)	分蘖期 (11月15日)	越冬期 (12月30日)	拔节期 (4月15日)	开花期 (5月8日)	成熟期 (5月20日)
PL	2.67a	5.77a	9.25a	12.35a	11.28a	10.06a
PM-1	2.12ab	4.36b	5.83b	9.10b	7.24b	7.15b
PM-2	1.67c	4.04b	5.83b	7.31c	5.00c	3.72d
PH-1	1.97bc	4.42b	5.58b	9.10b	6.92b	6.75b
PH-2	1.72c	3.53c	4.72c	7.65c	5.26c	3.48d
CK	1.76c	3.51c	4.71c	6.25d	4.55d	5.02c

注:同一行字母不同表示差异显著 ( $P=0.05$ ),下同。“PM-1”和“PH-1”分别表示 PM 处理和 PH 处理的边行,“PM-2”和“PH-2”分别表示 PM 处理和 PH 处理的中行,下同。

## 2.2 冬小麦分蘖动态

由表 1 可知,冬小麦生育期间各处理的单株分蘖数,苗期到拔节期逐渐增加,而从拔节期成熟期逐渐减小,最后趋于稳定。各处理之间相比较来看,在苗期以及分蘖期 PL 处理的单株分蘖数并未显著高于

PM 处理以及 PH 处理的边行和中行,但从越冬期开始 PL 处理的单株分蘖数却显著高于 PM 处理以及 PH 处理的边行和中行。PM 处理的边行与中行相比,以及 PH 处理的边行与中行相比,越冬前边行的

## 2 结果与分析

### 2.1 降雨量与土壤含水量

小麦生育期间月降雨量及小麦生育期多年月平均降雨量如图 2 所示,可知 12 月和 1 月是比常年湿润的年份,冬小麦生育期间共有降雨 205 mm,冬小麦生育期间多年平均降雨量有 186 mm,总体来说,在本研究中,冬小麦生长期的降雨量略高于多年平均降雨量。

单株分蘖数并没有显著高于中行,但从拔节期开始,边行逐渐高于边行,在成熟期,边行显著高于中行。

从拔节期开始,CK 处理的单株分蘖数显著低于其它处理的单株分蘖数。

表 2 不同生长阶段不同处理小麦的地上部单株地上生物量

g/株

项目	苗期 (10月26日)	分蘖期 (11月15日)	越冬期 (12月30日)	拔节期 (4月15日)	开花期 (5月8日)	成熟期 (5月20日)
PL	0.34a	2.38a	4.29a	16.23a	17.95a	17.36a
PM-1	0.33a	2.15a	3.23b	9.80b	10.90b	11.43b
PM-2	0.22b	1.67b	2.60c	6.62d	6.68d	5.09d
PH-1	0.31a	2.31a	2.77c	8.49c	8.51c	8.81c
PH-2	0.25b	1.48b	1.91d	5.15e	4.48e	3.21e
CK	0.17c	1.09c	1.65d	4.24f	4.83e	4.81d

### 2.3 冬小麦地上部生物量动态

由表 2 可知,苗期 PL 处理的地上部单株生物量并没有显著高于 PM 和 PH 处理的边行,从越冬期开始一直到成熟,PL 处理的地上部单株生物量显著高于 PM 和 PH 处理的边行的地上部单株生物量。从拔节期到成熟期,PM 处理的边行的地上部单株小麦的生物量显著高于 PH 处理的边行的小麦的地上部

单株生物量。整个生育期中 PM 处理以及 PH 处理的边行小麦的地上部单株生物量始终显著高于它们中行小麦的地上部单株生物量。CK 处理的地上部单株生物量,整个生育期中,一直显著低于 PL 处理的地上部单株生物量,以及 PM 处理和 PH 处理的边行的地上部单株生物量。

表 3 不同生长阶段不同处理小麦的地上部单位面积生物量

g/m<sup>2</sup>

项目	苗期 (10月26日)	分蘖期 (11月15日)	越冬期 (12月30日)	拔节期 (4月15日)	开花期 (5月8日)	成熟期 (5月20日)
PL	7.45c	51.53c	92.93a	351.62a	388.92a	376.13a
PM	9.39b	64.62b	98.09a	283.95b	308.52bc	302.82b
PH	12.0a	81.98a	101.42a	295.50b	330.59b	323.79b
CK	8.02c	51.09c	83.27b	235.68c	289.91c	279.66c

由表 3 可知,苗期和分蘖期 PL 处理的地上部单位面积生物量显著低于 PM 处理和 PH 处理的单位面积生物量,从拔节期到成熟期,PL 处理的地上部单位面积生物量始终显著高于 PM 和 PH 处理的地上部单位面积的生物量。CK 处理的地上部单位面积生物量,从越冬期到成熟期,一直显著低于 PL 处理、PM 处理和 PH 处理的地上部单位面积生物量。

PL 处理、PM 处理和 PH 处理的生物产量、籽粒产量、收获指数、千粒重以及水分利用效率。PL 处理的生物产量、籽粒产量、收获指数、千粒重以及水分利用效率都显著高于 PM 处理和 PH 处理的生物产量、籽粒产量、收获指数、千粒重以及水分利用效率。PM 处理和 PH 处理相比,生物产量、籽粒产量、收获指数、千粒重以及水分利用效率都没有显著差别。总之,与裸地平作相比,垄沟覆膜集雨处理易提高冬小麦的产量,并能促进水分利用效率的提高,而在不同密度的垄沟覆膜集雨中,低密度的垄沟覆膜集雨更易提高冬小麦的产量和水分利用效率。

### 2.4 冬小麦产量与水分利用效率

由表 4 可知,CK 处理的地上部生物产量、籽粒产量、收获指数、千粒重以及水分利用效率都显著低于

表 4 不同处理小麦的产量、收获指数和水分利用效率

项目	生物产量/ (kg·hm <sup>-2</sup> )	籽粒产量/ (kg·hm <sup>-2</sup> )	收获指数/ %	千粒重/ g	水分利用效率/ (kg·hm <sup>-2</sup> ·mm <sup>-1</sup> )
PL	3723.87a	1881.05a	50.78a	53.51a	13.61a
PM	2998.05b	1548.19b	51.64a	42.40b	11.12b
PH	3205.68b	1591.31b	49.64a	43.41b	11.11b
CK	2768.88c	1247.51c	45.06b	30.62c	8.79c

## 3 讨论

本研究条件下,高、中、低 3 种密度的垄沟覆膜集雨分别比对照增产 27.6%、24.1%和 50.8%,这说明

垄沟覆膜集雨能促进小麦产量的增加。其中的原因,应与垄沟覆膜集雨汇集雨水、增温、保墒等因素有很大的关系<sup>[1-2,6]</sup>。

然而,在这 3 种不同小麦种植密度的垄沟覆膜集

雨中,低密度的产量却最高,增产的幅度也最大。籽粒产量为收获指数与生物产量的乘积,而这 3 种不同种植密度的冬小麦的收获指数并没有显著的差别,所以低密度垄沟覆膜集雨之所以能够较大幅度的增产的主要原因,在于其生物产量较高。

根据种内竞争过程中的“最后产量恒定法则”,当种群密度较小时,种内竞争不影响个体生长,单位面积生物产量随着密度的增加而增加,随着种群密度的增加种内竞争趋于强烈,从而使个体的重量会随着密度的增大而减小,然而单位面积的产量差不多总是一样<sup>[7]</sup>。在本研究中,3 种不同密度的垄沟覆膜集雨种植方式中,尽管随着种植密度的增加,单株的生物量呈现逐渐减小的趋势,然而,它们的单位面积的生物量在成熟期的时候,并不是趋于一致,而是 PL 处理显著高于 PH 和 PM 处理。

种内竞争过程中还有一个“自疏法则”,自疏法则认为,随着种群内部密度的提高,种内的竞争不仅逐渐影响到个体的生长发育,也影响到植株的存活率,在高密度时中有些植株死亡,于是种群开始出现自疏现象<sup>[7]</sup>。本试验条件下,从苗期到拔节期,各处理的单株分蘖数逐渐增加,到拔节期达到最高值,但随后,一直到成熟,各处理的单株分蘖数逐渐下降。这说明在垄沟覆膜集雨种植方式中的种内竞争,并没有由于使小麦单株的死亡而出现自疏,而是通过减少小麦的分蘖数,来呈现“自疏”现象。

从拔节期到成熟期各处理单株分蘖数下降的比例来看,PL 处理仅为 18.5%,PM 处理的边行和中行分别为 21.5%和 49.2%,PH 处理的边行和中行分别为 25.9%和 54.9%,CK 处理为 32.0%。这说明,随着垄沟覆膜集雨小麦种植密度的增加,由于自疏而出现的小麦分蘖数的死亡数也在增加。小麦分蘖的死亡,是对小麦生长前期所制造的有机物质的一种浪费和损失,是极不利于其单位面积生物产量的积累,这也是 PM 和 PH 处理单位面积生物量较低,而 PL 处理单位面积生物产量较高的一个关键因素。

丁瑞霞等在谷子的垄沟覆膜集雨种植试验中,以及李永平等在苜蓿的垄沟覆膜集雨种植试验中,均发现有边行的生长优势<sup>[8-9]</sup>。本研究中,对于 PM 以及 PH 处理来说,无论是它们的边行小麦单株生物量,还是分蘖数,在整个生育期中都显著高于中行。成熟时,PM 及 PH 处理的边行的单株生物量分别是中行的 1.92 和 1.93 倍,边行的单株分蘖数分别是中行的

2.25 和 2.74 倍。因此,在种内的竞争过程中,PM 以及 PH 处理的中行始终处于竞争的劣势,而这种竞争的劣势导致了 PM 以及 PH 处理中行小麦具有较高的分蘖死亡率。这也是 PM 以及 PH 处理小麦分蘖死亡率较高的主要原因。

## 4 结论

垄沟覆膜集雨能提高冬小麦的地上部分生物量、产量和水分利用效率,而种植密度较低的垄沟覆膜集雨最易提高小麦的产量和水分利用效率。种植密度较高的垄沟覆膜集雨条件下,种内竞争激烈,但边行小麦在竞争中呈现出较高的生长优势,导致中行小麦的分蘖成穗率低,这也是它们地上部分生物量低、籽粒产量较低以及水分利用效率较低的主要原因。

### 参考文献:

- [1] Jia Y, Li F M, Wang X L. Soil water and alfalfa yields as affected by alternating ridges and furrows in rainfall harvest in a semiarid environment[J]. *Field Crop Research*, 2006, 97:167-175.
- [2] 任小龙,贾志宽,陈小莉,等. 模拟不同雨量下沟垄集雨种植对春玉米生产力的影响[J]. *生态学报*, 2008, 28(3): 1106-1015.
- [3] Pan X Y, Wang G X, Yang H M. Effect of water deficits on within-plot variability in growth and grain yield of spring wheat in northwest China[J]. *Field Crop Research*, 2003, 80:195-205.
- [4] Du Y J, Li Z Z, Li W L. Effect of different water supply regimes on growth and size hierarchy in spring wheat populations under mulched with clear plastic film[J]. *Agriculture Water Management*, 2006, 79:265-279.
- [5] 潘晓云,王永芳,王根轩. 覆膜栽培下春小麦种群的生长冗余与个体大小不整齐性的关系[J]. *植物生态学报*, 2002, 26(2):177-184.
- [6] Wang X L, Li F M, Jia Y. Increasing potato yields with additional water and increased soil temperature[J]. *Agriculture Water Management*, 2005, 78:181-194.
- [7] 李博. 生态学[M]. 北京:高等教育出版社,2000.
- [8] 丁瑞霞,贾志宽,韩清芳,等. 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.
- [9] 李永平,贾志宽,刘世新,等. 宁南山区旱地苜蓿沟集水种植生物群体生长特征及其水分利用效率[J]. *水土保持研究*, 2006, 13(5):199-204.