

玉米双垄全膜模式土壤水分与降水的灰色关联分析及水分利用率研究

赵 凡

(甘肃省榆中县农业技术推广中心, 甘肃 榆中 730100)

摘 要: 对玉米双垄全膜覆盖沟播栽培技术条件下的降水利用、土壤蓄水、保水和供水特征进行了研究, 结果表明: 在 15 d 测定时段, 双垄全膜覆盖栽培模式的 0~60 cm 土层平均储水量分别比全膜平铺覆盖、半膜覆盖和露地多 14.7 mm、17.9 mm、29.6 mm; 4 种模式土壤储水量与降水量的灰色关联序为露地(0.727)>双垄全膜覆盖(0.645)>全膜平铺覆盖(0.641)>半膜覆盖(0.635), 说明玉米双垄全膜覆盖集雨沟播栽培模式接纳降水的能力仅次于露地; 在双垄面全膜覆盖栽培模式下, 玉米的耗水系数分别比露地、半膜覆盖和全膜平铺覆盖减少 35.9%、10.5%和 17.1%, 水分利用效率分别提高 10.41%、3.34 和 4.95 kg/(mm·hm²)。由此得出, 玉米双垄面全膜沟播栽培技术可使旱作雨养农业区有限的水资源得到高效利用。

关键词: 双垄全膜覆盖; 土壤蓄水量; 灰色关联分析; 玉米; 水分利用率

中图分类号: S152.7 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2009)01-0089-06

水分胁迫是我国北方旱作农业的主要限制因素, 而降水是甘肃黄土高原雨养农业区作物生长水分供应的唯一来源。玉米作为雨养农业区的主栽高产作物, 对自然降水能否充分利用是高产稳产的关键。“玉米双垄全膜覆盖集雨沟播栽培技术”^[1]就是针对如何最大限度地接纳一切形式的天然降水, 将地面无效蒸发降到最低, 大幅度提高作物水分利用效率这一问题而提出的。近几年的试验、示范和推广表明, 该技术具有充分接纳和利用天然降水、最大限度保蓄土壤水分、显著提高降水利用率的特点, 表现出了极其明显的抗旱、保墒、节水、增产效果, 经济效益显著^[2], 本研究应用灰色关联度原理与方法, 对双垄全膜模式耕作层、根系分布层、土壤蓄水层^[3]土壤水分情况及玉米水分利用效率进行了初步的探讨, 为该技术的进一步推广提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验于 2003~2004 年在甘肃省榆中县清水驿乡杨河村进行, 试验点海拔 1 960 m, 年平均气温 6.7℃, 年降雨量 395 mm, 蒸发量为 1 326 mm, 供试玉米品种为沈单 10 号。试验设 4 个处理, 分别是 (A) 玉米双垄面全膜覆盖集雨沟播栽培^[1]; (B) 玉米全地面覆膜平铺栽培 (用 1.4 m 宽地膜平铺全覆盖

地面); (C) 玉米垄作半膜覆盖栽培 (常规覆膜模式); (D) 露地栽培, CK。试验小区面积 90 m², 随机区组排列, 3 次重复, 随机取样。种植密度 47 625 株/hm²。

1.2 观测项目与方法

1.2.1 土壤水分含量 采用烘干称重法和土壤水分速测仪测定法。土壤水分测定深度为 60 cm, 共分 3 层 (0~20 cm 耕作层, 20~40 cm 根系分布层, 40~60 cm 土壤蓄水层)。2003 年 4 月 4 日测定覆膜前土壤水分一次, 2003 年 4 月~2003 年 9 月试验期间每隔 15 d 取样测定一次, 共测定土壤水分 11 次。

1.2.2 土壤储水量

$$v = \rho \times h \times \omega \times 10$$

其中, v 为土壤水分总贮存量 (mm); ρ 为地段实测土壤容重 (g/cm³); h 为土层厚度 (cm); ω 为土壤水分 (%)。

1.3 作物耗水量和水分利用效率的确定

作物耗水量用农田水分平衡法计算。简化的农田水分平衡方程式为:

$$ETa = EP - \Delta W \tag{1}$$

式中, ETa 为作物耗水量; EP 为降水量; ΔW 为时段末与时段初土壤储水量之差。式中各分量均以 mm 为单位^[4]。

收稿日期: 2007-03-10
基金项目: 农业部“旱作节水农业财政专项”[农财发(2003)11 号]项目
作者简介: 赵 凡 (1963—), 男, 甘肃榆中县人, 农艺师, 从事旱作农业研究及推广工作。E-mail: bmszhaofan@163.com。

作物水分利用效率为作物消耗单位水量生产出的经济产量或生物产量,其表达式为^[5]:

$$WUE=Ya(\text{或 } D_w)/ETa \tag{2}$$

式中, Ya 为单位面积的经济产量; D_w 为地上部干物质重量(kg/hm^2); WUE 为作物水分利用效率 [$\text{kg}/(\text{mm} \cdot \text{hm}^2)$].

1.4 灰色关联度原理与方法^[6,7]

对于两个系统之间的因素,其随时间或不同对象而变化的关联性大小的量度,称为关联度。在系统发展过程中,根据所研究的因子间动态变化中其变化的相似程度来判断因子间的密切程度,若两个因素变化的趋势具有一致性,即同步变化程度较高,即可谓二者关联程度较高;反之,则较低。因此,灰色关联分析方法,是根据因素之间发展趋势的相似或相异程度,亦即“灰色关联度”,作为衡量因素间关联程度的一种方法。因此,灰色关联度分析对于一个系统发展变化态势提供了量化的度量,非常适合动态历程分析。本文以 4 种不同栽培模式 0~60 cm 土壤储水量与玉米生长期即 4 月中旬~9 月下旬的 11 个测定时段内自然降水量作为一个系统来进行灰色关联度分析。

1.4.1 数据变换 设有 m 个时间子序列和一个时间母序列,分别表述为: $\{X_1^{(0)}(t)\}$ 、 $\{X_2^{(0)}(t)\}$ 、 $\dots$ 、 $\{X_m^{(0)}(t)\}$ 和 $\{X_0^{(0)}(t)\}$, 其中 $t=1,2,\dots,N$ 为序列的长度即数据个数, X 的上标⁽⁰⁾表示子序列和母序列均为未经任何处理的原始数据。由于子序列和母序列通常为不同种类的数据,因此必须消除量纲后才能计算分析。本文原始数据变换采用标准化变换法,将原始数据减去序列的平均值后再除以序列的标准差,所得到的新数据即为标准化序列。

1.4.2 计算关联系数 经数据变换的母序列记为 $\{X_0^{(0)}(t)\}$, 子序列记为 $\{X_i^{(0)}(t)\}$ 。在时刻 $t=k$ 时母序列 $\{X_0^{(0)}(t)\}$ 与子序列 $\{X_i^{(0)}(t)\}$ 的关联系数可由下式计算:

$$L_{0i}(k) = (\Delta_{\min} + \rho\Delta_{\max})/(\Delta_{0i}(k) + \rho\Delta_{\max})$$

式中, $\Delta_{0i}(k)$ 表示 k 时刻母序列与子序列的绝对差,即 $\Delta_{0i}(k) = |x_0(k) - x_i(k)|$ ($1 \leq i \leq m$); $\Delta_{\max}$ 和 $\Delta_{\min}$ 分别表示所有子序列与母序列比较中的各个时刻绝对差中的最大值与最小值; ρ 为分辨系数,其意义是削弱因最大绝对差数值太大引起的失真,提高关联系数之间的差异显著性, $\rho \in (0,1)$, 一般情况下可取 $0.1 \sim 0.5$ 。在本文计算中取 0.5 。

1.4.3 两序列的关联度 关联度就是两个比较序列各个时刻的关联系数的平均值,即:

$$r_{0i} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N L_{0i}(k)$$

2 结果与分析

2.1 不同栽培模式不同深度土壤水分动态变化

2.1.1 4 种模式不同深度土壤水分平均值比较

对观测期内不同栽培模式耕作层、根系分布层、土壤蓄水层土壤水分随深度及季节的变化进行了探讨。双垄面集雨、全膜平铺、半膜、露地 4 种模式不同土层间土壤含水量变异系数分别为: 7.58%, 4.68%, 5.92%, 23.69%, 3 种地膜覆盖模式变异系数相差不大,而露地模式不同土层间变异系数最大,与 3 种地膜模式相比有明显差别。说明露地栽培模式不同深度土层土壤水分变化较大,而地膜覆盖模式层间土壤水分分布比较均匀。0~60 cm 深度土壤水分含量大小排序为双垄面集雨>全膜平铺>半膜>露地。同时从图 1 看出,虽然 4 种模式的 0~60 cm 深度土壤水分随深度变化趋势大体一致。也即随着深度增加土壤水分含量有降低的趋势,但双垄面集雨模式各层土壤水分平均含量均高于其他模式。

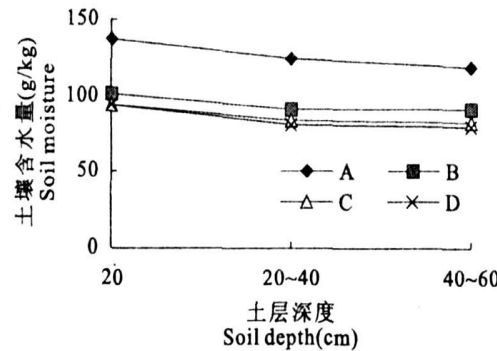


图 1 4 种栽培模式不同土层的含水量

Fig.1 The water content of different soil horizon under 4 cultured patterns

2.1.2 土壤水分动态变化 对 4 种模式不同深度土壤水分随时间的波动曲线进行分析(图 2), 土壤水分随时间的波动趋势大体相同, 同一模式不同层次间土壤水分动态变化趋势曲线十分接近, 总体上呈下降态势。即 6 月 11 日以后呈下降趋势, 8 月 11 日前后达到谷底。其中半膜模式在 4 月 29 日到 5 月 12 日两次测定时, 降雨未能下渗到膜下土壤中, 故而土壤水分含量低。

2.2 土壤储水量与降水的灰色关联度分析

对 4 种不同栽培模式在玉米生长期的 11 个测定时段内 0~60 cm 土壤储水量与自然降水量之间进行了灰色关联度分析(表 1)。

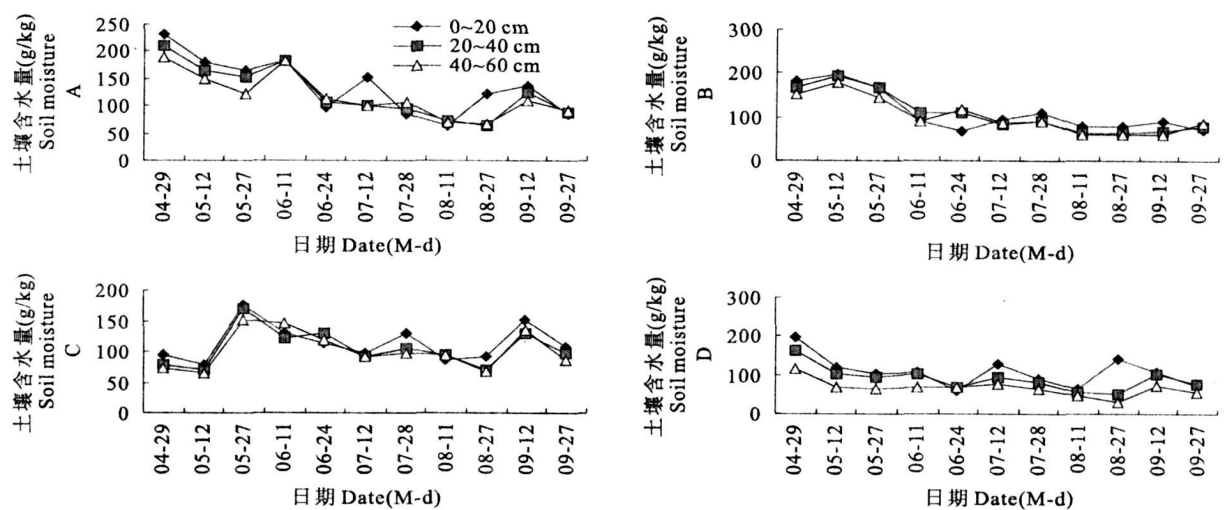


图 2 4 种模式不同层次土壤含水率的变化

Fig.2 The changes of water content in different layers under 4 cultured patterns

表 1 0~60cm 土壤储土量与降水量间
灰色关联分析结果

Table 1 The results of gray association analysis
between water storage and rainfall in the early
15 days in the soil layer of 0 ~ 60 cm

项目 Items	处理 Treatments			
	A	B	C	D(CK)
关联度 Association	0.645	0.641	0.635	0.727

由图 2 可知,4 种模式耕作层(0~20 cm)、根系分布层(20~40 cm)、土壤蓄水层(40~60 cm)土壤水分变化曲线基本一致,所以,用三个层次土壤储水量总和值进行灰色关联分析。根据 4 种模式(0~60 cm)土壤储水量总和值与降水量动态变化中其变化的相似程度来判断其与降水量的密切程度,若两者变化的趋势具有一致性,即同步变化程度较高,即可谓二者关联程度较高;反之,则较低。关联度高则说明测定时段的土壤储水量与降水的响应程度高,两者有很好的对应关系,土壤能很好地蓄纳该时段的降水。由表 2 可以看出,4 种模式土壤储水量与降水量的关联序为露地>双垄>全膜>半膜,说明双垄全膜覆盖集雨沟播栽培模式^[1]接纳降水的能力仅次于露地。而保水能力与露地相比则由于全地面覆盖形成的隔离层阻断了土壤水分的垂直蒸发和乱流,最大限度地减少了土面蒸发损失,使土壤真正变成了“高效水库”。从而使该模式土壤储水量平均值比全膜平铺覆盖模式、半膜模式和露地分别多 14.7 mm、17.9 mm、29.6 mm,增加了 16.2%、20.5%、39.2%,相当于一个测定时段多了 1~3 次透雨的降水量。从 4 月 1 日到 9 月 27 日共降水 59 次,降水量 310.7 mm,其中达到有效降水 15 mm^[5]以上的

仅有 6 次,共 112.1 mm,占总降水量的 36.1%。其余 53 次降水均为 15 mm 以下的无效或微效降水,这些很小的降水对于露地、半膜及全膜平铺模式来说仅仅能使地面、膜面湿润,很快就蒸发损失,基本属无效降水。而双垄全膜技术模式田间大小相间的垄面和垄沟形成的微型集水面和受水面,可接纳一切形式的大气降水。几乎能将这类次数多而降水量小的降水全部拦蓄汇集后就地及时存入土壤中。将无效水变成了有效水,使小雨变中雨,中雨变大雨。这就是双垄面全膜模式土壤储水量与降水量关联程度较高的原因。

表 2 玉米不同栽培模式 0~60 cm 土层土壤储水量平均值
Table 2 Average value of water storage in
0~60 cm layers under 4 maize cultivation patterns

栽培模式 Cultivation patterns	土壤储水量 Soil water storage(mm)	与 A 处理的差异 Difference compared with treatment A	
		(mm)	(%)
A	105.2		
B	90.5	-14.7	-16.2
C	87.3	-17.9	-20.5
D(CK)	75.6	-29.6	-39.2

2.3 双垄全膜模式对作物水分利用效率的影响

2.3.1 玉米生育期不同栽培模式对其耗水特性的影响 作物耗水量(农田蒸散量)包括作物叶片蒸腾作用量与农田植株间水分蒸发量(棵间蒸发)之和。

测定结果表明,4 种模式全生育期作物总耗水量依次为:全膜平铺>双垄面>露地>半膜(表 3)。全膜平铺覆盖的耗水量虽高于其他模式,但产量并不是最高,这可能由于全膜平铺覆盖使小量降水只能通过低凹处播种孔下渗于土壤,下渗量少,降雨利

用率低,相应地耗水量增大。也造成土壤水分分布不均匀,玉米出苗、开花不太一致,植株整齐度低于

双垄全膜覆盖模式(全膜平铺株高变异系数为:7.29%),从而影响了产量。

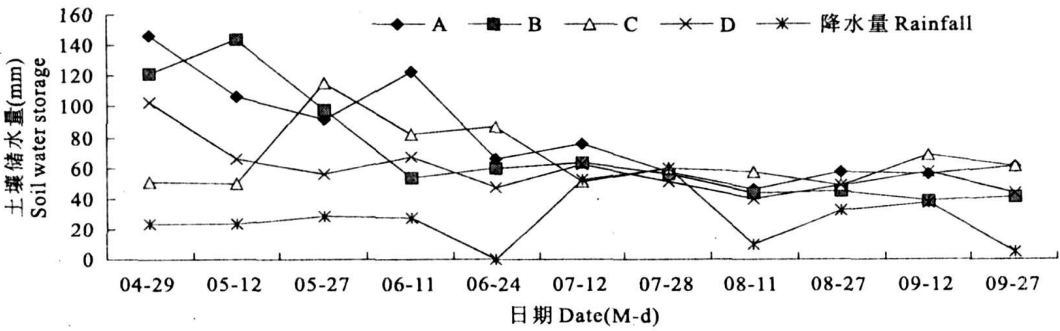


图 3 降水量对玉米 4 种栽培模式 0~60 cm 土层土壤储水量的影响

Fig.3 The effects of rain fall on water storage in 0~60 cm layers under 4 maize cultivation patterns

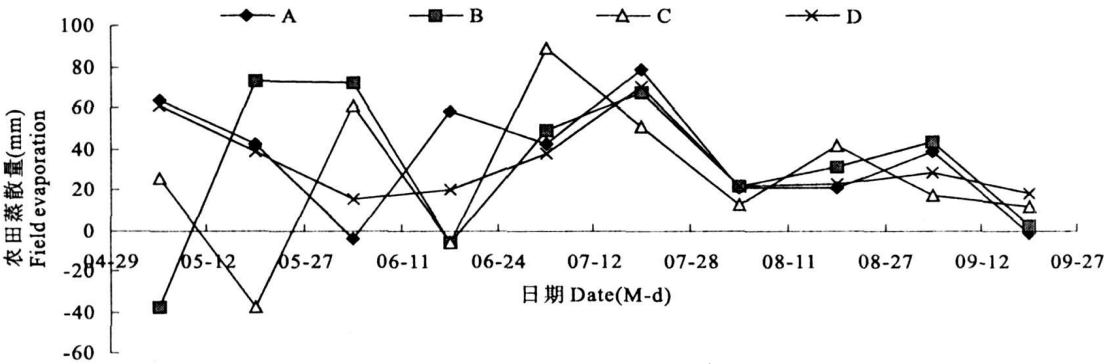


图 4 玉米不同栽培模式对农田蒸散量季节变化的影响

Fig.4 The effects of different maize cultivation patterns on season changes of field evaporation

露地玉米生育期内耗水以土壤自然蒸发为主,占农田蒸散的 50%以上,超过玉米蒸腾量^[8]。在全地面覆膜情况下,玉米出苗至成熟期累积棵间蒸发量为 36.6 mm,半膜覆盖为 61.5 mm,露地为 163.5 mm。全地面覆膜较半膜覆盖、露地分别减少 24.9 mm 和 126.9 mm,降低 15.0%和 77.6%^[9]。由此可知,全膜覆盖后玉米蒸散量(作物耗水量)主要以蒸腾为主。露地种植时,蒸散量中棵间蒸发占有很大比例。双垄全膜模式由于采用全地面覆膜形式,其降低棵间蒸发的作用是肯定无疑的,这也是其蓄水保墒、高产稳产的主要原因。但双垄全膜模式玉米全生育期作物总耗水量在土壤蒸发和作物蒸腾之间的分配还有待进一步研究。

作物耗水量随时间波动的趋势为前期低,中期高,后期低。前期波动幅度大,7 月 20 日以后波动幅度明显变小(图 3)。日平均耗水量以露地最高,双垄面模式最低,双垄面模式生长期日平均耗水量较露地降低 0.75 mm。双垄全膜模式与其他模式的差异幅度在玉米大喇叭口期以后变小(图 5)。这是由于在前期露地及半膜模式农田蒸散以土壤蒸发

为主,中后期,随着植株的迅速生长封行,群体密闭,自然蒸发减少,农田蒸散转变为以作物蒸腾为主,处理间作物耗水量差异逐渐减少。

2.3.2 双垄全膜模式对作物水分利用效率的影响

双垄全膜模式由于抑制了前期土壤无效蒸发,吸纳了一切形式的大气降水,并把旱地有限的土壤水分保持到作物需水关键期利用,加之垄面、垄沟对降水的集流再分配,使得每个植株根部的水分相对一致,农田供水与作物需水动态相协调,为作物生长发育提供了有利的水分条件。玉米出苗、开花、吐丝较为集中,苗情差异小,迟苗弱苗率低,株间环境条件比较一致。植株长势均匀(株高变异系数为:4.78%),充分发挥了单株与群体的增产潜力,所以玉米产量明显增加,耗水系数降低,水分利用效率提高(表 3)。表 3 结果表明,玉米在双垄面栽培模式下每公顷生产 1 kg 经济产量需耗水 0.034 mm,比露地节水 35.9%,比半膜模式节水 10.5%,比全膜模式节水 17.1%。水分利用效率双垄面模式比露地提高 10.41 kg/(mm·hm²),比半膜提高 3.34 kg/(mm·hm²),比全膜模式提高 4.95 kg/(mm·hm²)。

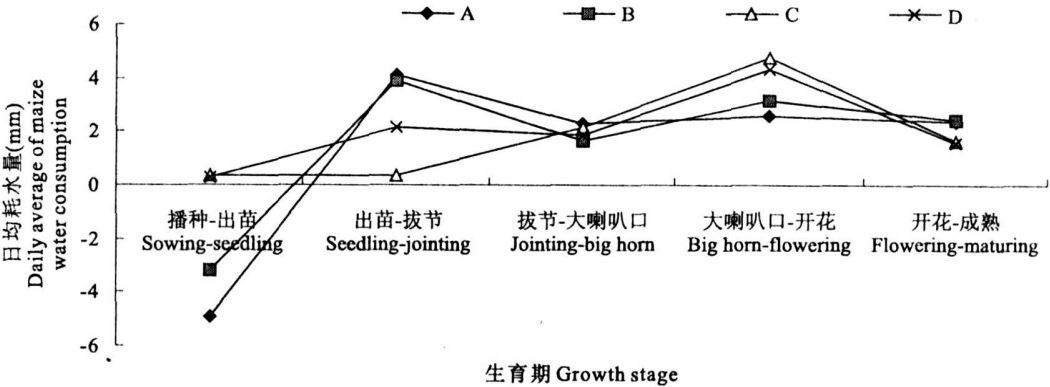


图 5 玉米不同生育期栽培模式对其耗水特性的影响(日均耗水量 mm)

Fig. 5 The effects of 4 cultivation patterns on the characteristic of water consumption during different maize growing periods

表 3 不同栽培模式对作物水分利用效率的影响

Table 3 The effect of 4 cultivation patterns on crop water use efficiency

处理 Treatments	产量 Yield (kg/hm ²)	耗水量 Water consumption (mm)	耗水系数 Coefficient of water consumption[mm/(kg·hm ²)]	水分利用效率 WUE [kg/(mm·hm ²)]
A	9087	309.2	0.034	29.39
B	8132.2	332.8	0.041	24.44
C	6877.5	264.0	0.038	26.05
D(CK)	5829	307.2	0.053	18.98

3 讨 论

1) 我国半干旱地区的黄土高原的土壤大多数土层深厚,具有良好的农业水文性质,其保蓄和调节作物供水的功能,非常类似于水库的作用,而这个“水库”一不占地,二不垮坝,三不怕淤。但半干旱地区地表水和地下水却极其匮乏,唯一的潜在水资源就是天然降水,最大限度地 把天然降水蓄存于土壤中,是一切旱农耕作技术的目的,我们通过几年的试验研究把膜面集雨、覆盖抑蒸、垄沟种植技术结合起来,强调雨水的就地及时拦蓄入渗利用,即人工创造一种微集水面,使雨水径流叠加到作物种植区,造成局部水分优势,并利用全地面覆盖来保蓄水分,调节气温,改善土壤理化性能,提出了一个以提高自然降水利用率和利用效率为主,以雨水治旱对付干旱的技术模式,该技术模式使土壤变成了加盖的“水库”,“集水、保水、高效用水”相互结合,从提高农田储水效率、作物蒸腾效率和作物供水效率三个方面大大地提高了有限降水资源的利用效率,实现了绿色资源产出率的大幅度提高;且具有效益高,效果稳,投资少,见效快,易操作,适应广的特点^[2]。

2) 作物水分利用效率和作物蒸腾效率有密切关系。作物蒸腾效率的表达式为

$$Te = Ya(\text{或 } D_w)/T \tag{3}$$

式中, Te 为蒸腾效率; T 为蒸腾量。其他符号同前。由(2) 式可以导出 WUE 与 Te 的关系:

$$WUE = Ya(\text{或 } D_w)/ETa = Ya(\text{或 } D_w)/(E + T) = Te/(1 + E/T) \tag{4}$$

式中, E 为棵间土壤蒸发量,其他符号同前。

由(4)式可以看出,作物水分利用效率与蒸发/蒸腾比值成反比,蒸发/蒸腾比值越小作物水分利用效率越高。如上所述,全地面覆盖有抑制土壤无效蒸发,促进有效蒸腾的作用,从而导致蒸发/蒸腾比值减小,作物水分利用效率提高。这个结论与田间试验结果(表 3)完全一致。

3) 双垄全膜覆盖有调控农田土壤供水的能力,使农田土壤供水与作物耗水规律相适应,保证了作物需水关键期的供水,缓解了旱地作物水分供需矛盾,提高了作物产量。研究结果表明,双垄全膜覆盖的经济效益、生态效益和社会效益都比较高,是旱作雨养农业区玉米稳产高产的有效途径之一。

4) 双垄全膜覆盖模式由于采用全地面覆膜形式,其抑制玉米棵间蒸发,降低无效耗水的作用是肯定无疑的,但双垄全膜模式玉米全生育期作物总耗水量在土壤蒸发和作物蒸腾之间的分配比例还有待进一步研究。

参 考 文 献:

[1] 赵 凡. 旱地玉米双垄面集雨全膜覆盖技术[J]. 甘肃农业科技, 2004, (11): 23—24.

[2] 赵 凡. 玉米双垄面集雨全膜覆盖技术优势及应用前景[J]. 耕作与栽培, 2005, (6): 62—63.

[3] 全国农业技术推广服务中心. 中国节水农业技术标准与投资估算指标手册[M]. 北京: 中国农业出版社, 2003: 17.

[4] 赵松岭. 集水农业引论[M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 1996: 166—167.

[5] 西北农业大学. 旱农学[M]. 北京: 农业出版社, 1991: 82—84.

[6] 唐启义, 冯明光. 实用统计分析及其 DPS 数据处理系统[M]. 北京: 科学出版社, 2002.

[7] 陈士宾. 农业系统工程[M]. 兰州: 甘肃民族出版社, 1990: 324—349.

[8] 东先旺, 刘光亮, 张海燕. 灌水量与夏玉米光合特性及产量的关系[J]. 玉米科学, 2000, 8(4): 53—56.

[9] 马忠明. 玉米全地面地膜覆盖节水增产栽培技术研究[J]. 甘肃农业科技, 1999, (2): 27—29.

Analysis of gray association between soil water with rainfall under the full coverage double-ridge with plastic and water utilization rate for maize

ZHAO Fan

(Yuzhong County Agricultural Technique Generalization Center, Yuzhong, Gansu 730100, China)

Abstract: The rain water utilization, soil water storage, water conservation and water supply ability were studied under double ridges with full film coverage. The results showed that the average water storage during 15 d measure time periods under double ridges with full film mulching was 14.7 mm, 17.9 mm and 29.6 mm more than that under full tiling with plastic, half coverage and no coverage respectively. The gray association order of 4 cultivation patterns was open ground(0.727)>double ridges with full film mulching(0.645)> full tiling with plastic(0.641)> half coverage(0.635). It means that accepting rain ability of double ridges with full mulching was second only open ground. Under double ridges with full mulching, water coefficient of maize (*Zea may*) was 35.9%、10.5% and 17.1% lower than open ground, hat under full tiling with plastic, half coverage and full tiling with plastic coverage respectively, and water utilization rate was 10.41, 3.34 and 4.95 kg/(mm·hm²) higher respectively. The promotion of planting maize under double ridges with full mulching would increase water use efficiency in the rain-fed agriculture regions.

Key words: double ridges with full film coverage; soil water storage; gray association analysis; maize; water utilization rate