

水分胁迫对玉米苗期生理和形态特性的影响

郑盛华, 严昌荣*

(中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所, 北京 100081)

摘要:水分胁迫下 3 个玉米品种苗期形态和生理特征变化的研究表明, 在中度水分胁迫下, 鲁单 981、赤单 202 和郑单 958 三个品种在株高、茎粗、叶片数和叶面积等形态指标方面变化不大, 与正常供水下生长的玉米几个参数基本一致, 而重度水分胁迫下, 鲁单 981 的株高、茎粗和总叶面积均小于赤单 202 和郑单 958。测定结果还表明鲁单 981 的光合速率和蒸腾速率受水分胁迫的影响最大, 而郑单 958 和赤单 202 受到的影响相对较小; 水分胁迫在一定程度上能够提高玉米的水分利用效率, 增幅与品种关系较大, 抗旱型品种增幅明显, 耗水型品种增幅相对较少。

关键词:玉米; 水分胁迫; 生理和形态特性

文章编号:1000-0933(2006)04-1138-06 **中图分类号:**S152.75 **文献标识码:**A

The ecophysiological and morphological characteristics of maize in seedling stage under water stress

ZHENG Sheng-Hua, YAN Chang-Rong* (Institute of Environment and Sustainable Development in Agriculture, CAAS, Beijing, 100081, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(4): 1138 ~ 1143.

Abstract: Using a movable rain shelter to keep off precipitation, field experiments on the morphological and physiological characteristics of the seedling stage of three maize cultivars were conducted under different soil moisture treatments by controlled irrigation. The studies provide scientific bases for economical irrigation, and ensure the stable and high yield of maize.

The experiment was carried out at the agrometeorological experimental station of the Chinese Academy of Agricultural Sciences (Beijing) from May to July, 2004. The maize cultivars selected were Chidan 202, Zhengdan 958, and Ludan 981, based on their different water-consuming characteristics. The relative soil moistures for the different treatments were controlled at 40% ~ 50% (heavy water stress), 55% ~ 65% (mild water stress), and above 75% (control). The treatments ran from the three-leaves stage till the end of seedling stage.

According to the morphological data, the three maize cultivars under mild water stress had similar values to that of the control, while under heavy water stress Ludan981 was lower than Chidan202 and Zhengdan 958. From the analysis of morphological characteristics, Chidan 202 was the most drought-tolerant, while Zhengdan 958 and Ludan 981 were drought-sensitive. The results showed the photosynthetic rate and transpiration rate of Ludan 981 were influenced more heavily by water stress than the two other cultivars. To a certain extent the water stress increased the water use efficiency of maize. The water use efficiency of drought-tolerant cultivar increased more than that of the drought-sensitive cultivar. Water stress had a larger influence on the drought-sensitive cultivar. In the seedling stage, adequate irrigation for drought-sensitive cultivar was more important than for drought-tolerant cultivar.

基金项目:国家 863 资助项目(2002AA2Z4311, 2004AA2Z4050, 2002AA2Z4021); 国家科技攻关资助项目(2001BA508B09)

收稿日期:2005-03-20; **修订日期:**2005-08-10

作者简介:郑盛华(1980~), 男, 湖北十堰市人, 硕士生, 主要从事作物生理生态研究. E-mail: zhengsh@cjac.org.cn

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: yaner@cjac.org.cn

Foundation item: The project was supported by National 863 project of China (No. 2002AA2Z4311, 2004AA2Z4050, 2002AA2Z4021); Key National Project (No. 2001BA508B09)

Received date: 2005-03-20; **Accepted date:** 2005-08-10

Biography: ZHENG Sheng-Hua, Master candidate, mainly engaged in crop ecophysiology research. E-mail: zhengsh@cjac.org.cn

Key words: maize; water stress; physiological and morphological characteristics

水是植物光合作用的主要成分之一,但植物光合作用所消耗的水只是植物从土壤中吸收的水量的很少一部分,绝大部分都是通过蒸腾作用进入大气。当水分不足时,气孔部分或全部关闭,这一方面使气孔蒸腾散失的水分减少,另一方面也使进入叶片的 CO_2 减少,导致光合速率降低。有研究结果显示,在水分缺乏时,植物将在形态和生理方面产生抗旱应对策略,如生长率、干物质量以及根冠比的调整等^[1];还有研究结果显示,在一定程度水分胁迫发生时,作物蒸腾速率降低幅度较其光合速率大,气孔的部分关闭往往可以提高水分利用效率^[2]。

叶片光合作用是植物生产过程中物质积累与生理代谢的基本单元,也是分析环境影响植物生长和代谢的重要环节^[3,4]。水分胁迫下玉米生理生态特性一直为人们所重视,目前主要集中在光合速率、水分利用效率(WUE)等方面。贾金生等^[5]利用光合测定系统对玉米灌浆前期叶片水汽交换参数进行了测定,认为玉米水分利用效率与光合速率、蒸腾速率的关系有很大的相似性。同时,研究结果还显示水分利用效率对叶片温度变化有很强的敏感性,当叶片温度达到 $40 \sim 42^\circ\text{C}$ 之间时,气孔导度增大,达到 $140 \sim 200 \text{ mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 之间时,水分利用效率迅速增加。如果温度继续上升,气孔导度继续增大时,玉米水分利用效率趋于稳定或略有下降。杨涛^[6]对不同玉米品种之间水分利用效率差异的研究结果显示,3个玉米品种的气孔导度(G_s)与净光合速率(P_n)、蒸腾速率(T_r)均呈线性相关,但 G_s 对 T_r 的相关系数大于 G_s 与 P_n 的相关系数,水分胁迫对蒸腾作用的影响要大于光合作用。王宗明^[7]采用 Jenson 模式研究了黄土区玉米的水分模型,认为不同的水分条件下,较高的氮肥水平能够增大玉米的净光合速率,中度干旱条件下磷肥对 P_n 的影响大于充分供水时的影响;施用氮、磷肥均能增加玉米的蒸腾速率,但磷肥对玉米蒸腾速率的影响则随土壤水分条件的改善而降低;施用氮、磷肥可以提高玉米的单叶 WUE,磷肥对玉米 WUE 的促进作用要大于氮肥的促进作用。刘庚山^[8,9]对留残茬和秸秆覆盖措施下玉米光合作用和瞬时水分利用效率进行了研究,认为留残茬和覆盖能明显提高玉米瞬时水分利用效率,尤其在下午表现明显;研究结果还表明玉米苗期水分胁迫后,在拔节期复水能够增加玉米叶片气孔导度和光合速率,提高叶片水平上的水分利用效率,特别在下午复水处理表现出高于对照的“反冲”现象。

本试验拟研究在不同强度的水分胁迫处理下几个玉米品种苗期形态和生理特性的变化规律,探索玉米应对干旱缺水的策略。

1 实验材料和方法

1.1 试验处理

(1)试验设置 于中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所实验站($\text{N}:39^\circ57.822'$, $\text{E}:116^\circ19.602'$)。供试土壤为普通褐土,中壤, pH 值为 7.43,有机质含量为 28.1 mg/kg ,速效氮为 126.8 mg/kg ,速效磷为 38.4 mg/kg ,速效钾为 118 mg/kg 。供试土壤先过 8 mm 筛,每盆中加入 22.5 kg ,混合均匀后用于盆栽,装盆后测定土壤容重为 1.18 g/cm^3 ,土壤最大持水量为 28.2% 。栽培用盆为陶盆,高 45 cm ,内径 35 cm ,为了防止盆内外水分交流,在盆外套一个黑色塑料袋。在每盆中施入 8 g 复合肥磷酸二铵作为底肥。

(2)水分处理 利用活动式防雨棚遮挡自然降水,采取实测计算补水量进行人工灌溉。土壤水分处理 3 个。 W_1 为正常供水(对照),使土壤含水量保持在田间最大持水量的 75% 以上, W_2 为中度水分胁迫,使土壤含水量保持在田间最大持水量的 $50\% \sim 60\%$, W_3 为重度胁迫,使土壤含水量保持在田间最大持水量的 $35\% \sim 45\%$ 。每个处理重复 4 盆,随机区组排列。2004 年 5 月 28 日开始播种,播种后保持正常供水,6 月 6 日到达 3 叶期,开始分梯度控水,同时在陶盆上盖一块泡沫板,中间挖一个直径为 10 cm 的孔出苗,最大限度地减少水分蒸发。经过近 1 个月的生长玉米达到 5 叶期(6 月 22 日),控水一直持续到整个苗期结束(7 月 3 日)。

(3)供试品种 玉米品种为耗水特性差异较大的赤单 202,鲁单 981 和郑单 958,由中国农业科学院作物科学研究所提供。其中赤单 202(抗旱种):生育期 $118 \sim 119 \text{ d}$,具有耐瘠,耐旱,抗大斑病,抗青枯病等特点。鲁单 981(耗水种):生育期 100 d ,具有高产、抗病、抗倒伏、活秆成熟等特点。郑单 958(中度耗水种):生育期 95

~98d,具有高产、抗病、耐密植、适应性广等特点。

1.2 测试方法

(1)土壤水分测定 土壤水分测定采用烘干法。

(2)水分控制 玉米苗期水分控制采用称重法,用沈阳龙腾公司生产的电子天平 ES50kg-15 测定,规格为 50kg/0.5g,精度为 0.5g。每处理选 4 盆进行称重,计算平均值。每 2~4d 称重 1 次。

(3)形态指标的测定 用卷尺测量植株的株高、叶长、叶宽;用游标卡尺测定植株的地茎茎粗,重复 4 次。叶面积采用公式“叶长×叶宽×0.75”计算,然后计算总叶面积。同时记录植株的可见叶和全展叶数。其中全展叶为植株已全部展开的叶片,可见叶为植株所有生长的叶片。

(4)生理生态指标的测定 利用美国 LICOR-6400 光合测定系统测定玉米的净光合速率(P_n)、蒸腾速率(T_r)、叶温和光合有效辐射等。测定时间选择晴天,从 6:00~18:00,选择植株顶部的第 1 片全展叶,每隔 2h 测定 1 次,重复 4 次。水分利用效率根据 $WUE = P_n / T_r (\mu\text{mol CO}_2 / (\text{mmol H}_2\text{O}))$ 计算得到。

2 结果与分析

2.1 水分胁迫对玉米苗期形态特征的影响

经过测定,在正常供水和中度胁迫下,3 个品种的株高、茎粗、叶片数和总叶面积等形态指标基本一致,各指标基本上是鲁单 981 均大于赤单 202 和郑单 958,但相互之间不存在显著性差异。而在重度胁迫后,这 3 个玉米品种的形态指标表现出差异,鲁单 981 的株高、茎粗和总叶面积均小于赤单 202 和郑单 958。方差分析表明不同水分处理下鲁单 981 和郑单 202 的株高和叶面积的差异明显大于赤单 202(表 1,2)。由此可见,水分胁迫对鲁单 981 的形态指标影响最大,其次是郑单 958,赤单 202 受到的影响最小。这也表明赤单 202 的抗旱性最强,郑单 958 其次,鲁单 981 对水分胁迫的抗性最弱。

表 1 3 个玉米品种在苗期(6 月 22 日)的形态指标

Table 1 Morphological characteristics of 3 cultivars in seedling stage

品种 Cultivar	处理 Treatment	株高 Height(cm)	地茎(cm) Stem width	叶数 Number of leaves (片 Piece)		总叶面积(cm ²) Total leaf area
				全展叶 Unfolded leaves	可见叶 All leaves	
赤单 202 Chidan 202	对照 Ck	77.3 ± 8.7A	2.3 ± 0.1	5	9	1157.6 ± 246.7A
	中度胁迫 Middle water stress	66.5 ± 5.4AB	1.8 ± 0.1	5	9	852.8 ± 231.6A
	重度胁迫 Heavy water stress	56.2 ± 4.3B	1.8 ± 0.3	4	8	592.7 ± 100.7A
郑单 958 Zhengdan 958	对照 Ck	75.3 ± 6.3A	2.5 ± 0.2	5	10	1203 ± 180.9A
	中度胁迫 Middle water stress	61.2 ± 2.9B	1.8 ± 0.2	5	9	746.9 ± 61.3B
	重度胁迫 Heavy water stress	55.4 ± 5.9B	1.6 ± 0.2	4	8	558.1 ± 101.5B
鲁单 981 Ludan 981	对照 Ck	82.6 ± 6.5A	2.4 ± 0.1	6	10	1430 ± 234.4A
	中度胁迫 Middle water stress	66.2 ± 2.0B	1.8 ± 0.2	5	9	951.7 ± 99.7AB
	重度胁迫 Heavy water stress	52.2 ± 2.2C	1.4 ± 0.2	4	8	570.5 ± 118.4B

表中数据是 4 次测定的平均值及其标准差,运用 SAS 软件 One-way ANOVA 分析,字母表示 $p > 0.01$ The data in the table obtained by the average values ± SD; Using SAS One-way ANOVA, the alphabet is $p > 0.01$

表 2 玉米形态指标方差分析表

Table 2 The ANOVA outcome of morphological characteristics

指标 Index	品种 Cultivar	F	$F_{0.05}$	$F_{0.01}$	P
叶面积 Leaf area	赤单 202 Chidan202	5.772	5.143	10.925	0.0400
	郑单 958 Zhengdan958	21.134	5.143	10.925	0.0019
	鲁单 981 Ludan981	21.156	5.143	10.925	0.0019
株高 Height	赤单 202 Chidan202	10.834	4.256	8.022	0.0040
	郑单 958 Zhengdan958	15.104	4.256	8.022	0.0013
	鲁单 981 Ludan981	54.204	4.256	8.022	0.0001

* $F_{0.05}$ 、 $F_{0.01}$ 分别为 $\alpha = 0.05$ 和 $\alpha = 0.01$ 时 F 的临界值, p 为 F 测验的概率值 $F_{0.05}$, $F_{0.01}$ mean $\alpha = 0.05$, $\alpha = 0.01$'s F value respectively, p means probability value

2.2 水分胁迫对玉米苗期光合作用的影响

2.2.1 不同水分处理对玉米光合速率的影响 选择典型晴天 6 月 26 日测定了玉米苗期的光合日变化。当天光合有效辐射从早晨 $233.5\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 开始呈线性增加,在 12:00 时达到峰值,为 $1251.8\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$,随后逐渐降低,18:00 时降至 $165.5\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 。

由图 1 可见,苗期在不同的水分处理下,3 个玉米品种的光合速率日变化趋势均比较相似。3 个品种在正常供水和中度胁迫下光合速率日变化均为单峰曲线,在 12:00 左右达到最高值,这跟光合有效辐射日变化趋势相一致;而在重度胁迫下,玉米的光合速率呈双峰曲线,峰值分别出现在 8:00 和 12:00,其中以 12:00 的峰值为高。这种变化与水分胁迫有十分密切的关系,重度胁迫导致供水严重不足,无法满足玉米光合作用的需要,使得 10:00 左右光合速率无法达到正常状态。

3 个品种之间又各有差异。在正常供水下,12:00 之前 3 个品种的光合速率非常接近,但到 14:00 以后,鲁单 981 的净光合速率明显高于赤单 202 和郑单 958,而后两个品种光合值非常接近。中度胁迫下,在 12:00 之前,赤单 202 最低,其他两个品种比较接近,12:00 之后 3 个品种均比较接近。在重度胁迫下,赤单 202 的净光合速率相对高于其他两个品种,郑单 958 其次,鲁单 981 最低。由此可见,水分胁迫对耗水品种鲁单 981 的影响最大,其在 3 种水分处理中光合速率降低幅度最大,其次是中度耗水种郑单 958,最小的是抗旱种赤单 202。

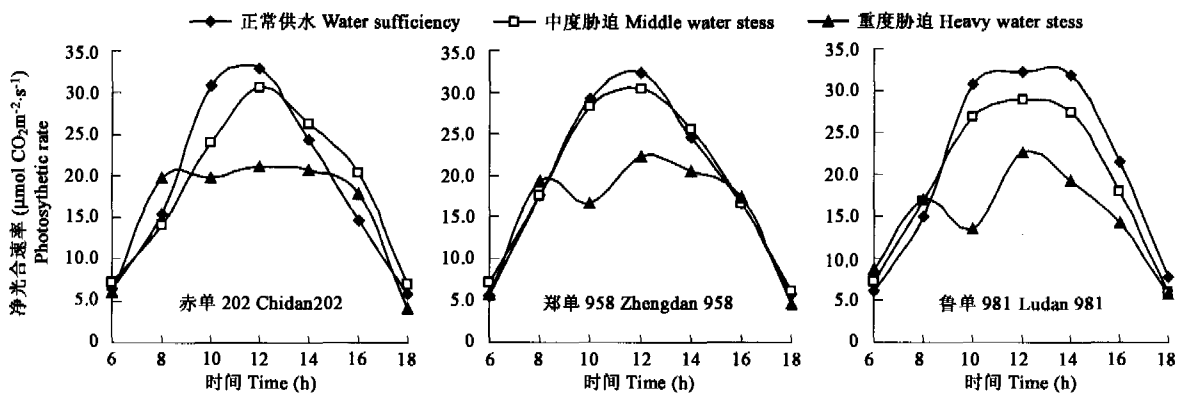


图 1 不同水分条件下赤单 202、郑单 958、鲁单 981 光合速率日变化

Fig.1 The daily changes of photosynthetic rate of Chidan202, Zhengdan 958, Ludan981 under different water treatment

2.2.2 不同水分处理对玉米苗期蒸腾速率的影响 蒸腾作用强弱可以反映作物吸收水分的能力和土壤水分条件。在不同的水分处理下,3 个玉米品种苗期的蒸腾速率日变化趋势基本一致,6:00 到 8:00 略有升高,一般是 8:00 点以后蒸腾速率迅速上升,12:00 到 14:00 之间达到最高值,然后开始直线下降(图 2),这与光合有效辐射的日变化基本一致,但略有滞后。

同时,测定结果还显示不同玉米品种间蒸腾速率存在差异,在充分供水情况下,12:00 之前鲁单 981 的蒸腾速率略低于赤单 202 和郑单 958,12:00 之后,鲁单 981 的蒸腾速率迅速上升并超过其他两个品种,14:00 时达到峰值,为 $6.6\text{mmol}/(\text{H}_2\text{O}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s})$ 。在中度水分胁迫下,3 个玉米品种的蒸腾速率基本一致,在 $0.1 \sim 5.4\text{mmol}/(\text{H}_2\text{O}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s})$ 之间波动。而在重度水分胁迫下,鲁单 981 的蒸腾速率较赤单 202 和郑单 958 的低。因而,水分胁迫下鲁单 981 蒸腾速率降低的幅度最大,其次是赤单 202 和郑单 958。

2.3 水分胁迫对玉米品种苗期水分利用效率的影响

植物的水分利用效率大小取决于 CO_2 净同化效率与蒸腾效率,它不仅受植物根、茎、叶组织生物结构特征的影响,同时也与土壤水分、光强、大气温湿度等环境因子密切相关^[10]。在不同的水分处理下,3 种玉米的水分利用效率的日变化曲线基本呈倒“S”型(图 3)。其中 8:00 左右有明显的一个高峰,10:00 以后迅速回落,以后趋于平缓,与贾金生^[5]实验的水分利用效率图趋势相一致。在 8:00 赤单 202 的水分利用效率在正常供

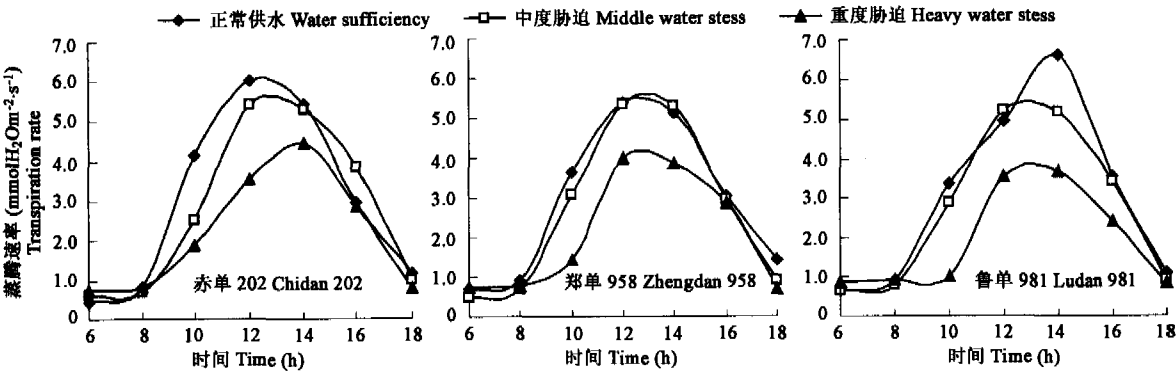


图 2 不同水分条件下赤单 202、郑单 958、鲁单 981 蒸腾速率日变化
Fig. 2 The daily changes of transpiration rate of Chidan202、Zhengdan 958、Ludan981 under different water treatment

水和中度胁迫下比较接近,明显低于重度胁迫;而郑单 958 在重度和中度胁迫下比较接近,大于正常供水;对于耗水型品种鲁单 981,其水分利用效率变为中度胁迫 > 重度胁迫 > 正常供水。10:00 左右,3 个品种的水分利用效率迅速下降,3 个水分梯度下的水分利用效率差值开始减小,10:00 以后 3 个品种非常接近,在 $4.1 \sim 7.3 \mu\text{molCO}_2/(\text{mmol H}_2\text{O})$ 之间波动。由图 3 可以看出,在水分胁迫下 3 个品种的水分利用效率相对与正常供水均有一定程度的提高,但抗旱种赤单 202 提高的幅度最为明显,而对于中度耗水种郑单 958 和耗水种鲁单 981 则提高不明显。

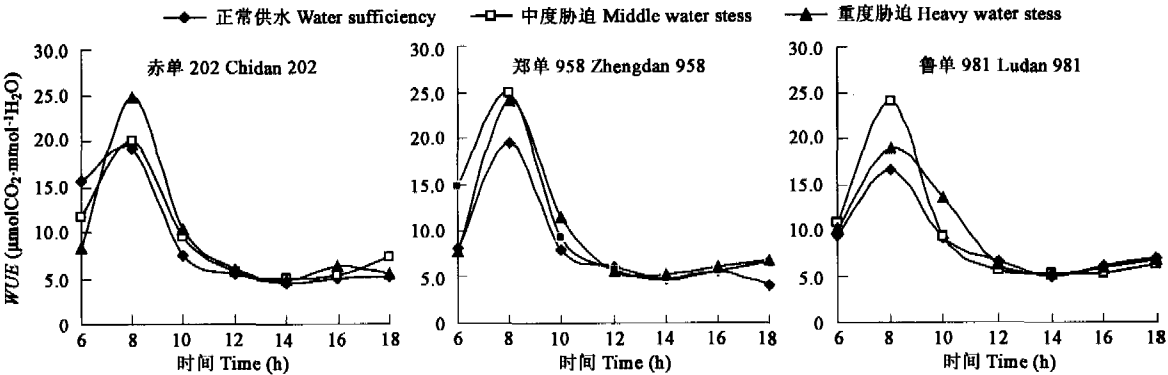


图 3 不同水分条件下赤单 202、郑单 958、鲁单 981 WUE 日变化
Fig. 3 The daily changes of WUE of Chidan202、Zhengdan 958、Ludan981 under different water treatment

3 小结

在玉米苗期,水分供应对玉米的光合特性产生了重要的影响。从苗期玉米各个品种的形态指标分析来看,水分胁迫对耗水种鲁单 981 的影响最大,其次是中度耗水种郑单 958,最小的是抗旱种赤单 202。测定结果表明水分胁迫使鲁单 981 的光合速率下降最大,其次是郑单 958,最小的是赤单 202;而蒸腾速率变化是鲁单 981 降低的幅度最大,其次是赤单 202 和郑单 958。

水分能直接影响植物的水分利用效率^[11]。本试验中水分胁迫在一定程度上能够提高玉米的水分利用效率,增幅与品种关系较大,抗旱型品种增幅最为明显,耗水型品种增幅相对较小。

水分胁迫对耗水型玉米品种影响最大,如鲁单 981 的形态特征和生理特征都发生变化,苗期给玉米耗水品种提供充分的灌溉供水,相对于抗旱型品种来说更为重要,使之表现出正常的生理生态特性,为今后的高产奠定基础。

References:

[1] Liu F and Stützel H. Biomass partitioning, specific leaf area, and water use efficiency of vegetable amaranth (*Amaranthus* spp.) in response to drought

stress. *Scientia Horticulturae*, 2004, 102(1): 15 ~ 27.

- [2] Xu D Q, Shen Y G. The restricted factors of photosynthesis. In: Yu S W, Tang Z C. *Plant physiology and molecular biology*. Beijing: Scientific Press, 1998. 262 ~ 276.
- [3] Huang Z B, Shan L. research progression of Water use efficiency and its physio-ecological mechanism. *Eco-agriculture Research*, 1998, 6(4): 19 ~ 23.
- [4] Xu D Q. *Photosynthetic efficiency*. Shanghai: Shanghai Scientific & Technological Press, 2002. 163 ~ 170.
- [5] Ja J S, Liu C M, Wang H X. Experimentation study on water deficit effect of summer maize. *Chinese Journal of Eco-agriculture*, 2002, 10(2): 97 ~ 101.
- [6] Yang T, Liang Z S, Xue J Q, *et al.* Physiological mechanism of diversity of water use efficiency of maize in soil drought. *Agriculture Research in the Arid Areas*, 2002, 20(2): 68 ~ 71.
- [7] Wang Z M, Liang Y L. The effect of nitrogen and phosphorus on the water sensitivity and physiological parameters of summer maize. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(4): 751 ~ 757.
- [8] Liu G S, Guo A H, Ren S X, *et al.* Effects of different mulching methods on diurnal variation of leaf photosynthetic and water use efficiency for summer maize. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2004, 18(2): 152 ~ 156.
- [9] Liu G S, Guo A H, Ren S X, *et al.* Compensatory effects of re-watering on summer maize threatened by water stress at seedling period. *Chinese Journal of Ecology*, 2004, 23(3): 24 ~ 29.
- [10] Xie T L, Shen Y Y, Shao X Q, *et al.* Differences in photosynthetic rate, transpiration rate and water use efficiency between four legume species on the Loess Plateau. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, (24): 1680 ~ 1686.
- [11] Wang K Q, Wang B R, Wang Z H. The water use efficiency of gold apple tree. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(5): 723 ~ 728.

参考文献:

- [2] 许大全, 沈允钢. 光合作用的限制因素. 见: 余叔文主编. *植物生理与分子生物学*. 北京: 科学出版社, 1998. 262 ~ 276.
- [3] 黄占斌, 山 仑. 水分利用效率及其生理生态机理研究进展. *生态农业研究*, 1998, 6(4): 19 ~ 23.
- [4] 许大全. *光合作用效率*. 上海: 上海科学技术出版社, 2002. 163 ~ 170.
- [5] 贾金生, 刘昌明, 王会肖. 夏玉米水分胁迫效应的试验研究. *中国农业生态学报*, 2002, 10(2): 97 ~ 101.
- [6] 杨涛, 梁宗锁, 薛吉全, 等. 土壤干旱不同玉米品种水分利用效率差异的生理学原因. *干旱地区农业研究*, 2002, 20(2): 68 ~ 71.
- [7] 王宗明, 梁银丽. 氮磷营养对夏玉米水分敏感性及其生理参数的影响. *生态学报*, 2003, 23(4): 751 ~ 757.
- [8] 刘庚山, 郭安红, 任三学, 等. 不同覆盖对夏 E 玉米叶片光合和水分利用效率日变化的影响. *水土保持学报*, 2004, 18(2): 152 ~ 156.
- [9] 刘庚山, 郭安红, 任三学, 等. 夏玉米苗期有限水分胁迫拔节期复水的补偿效应. *生态学杂志*, 2004, 23(3): 24 ~ 29.
- [10] 谢田玲, 沈禹颖, 邵新庆, 等. 黄土高原 4 种豆科植物的净光合速率和蒸腾速率日动态及水分利用效率. *生态学报*, 2004, (24): 1680 ~ 1686.
- [11] 王克勤, 王斌瑞, 王震洪. 金矮生苹果水分利用效率的研究. *生态学报*, 2002, 22(5): 723 ~ 728.