

# 玉米生长发育及生理特征对水分胁迫的感应关系

远红伟, 陆引罡, 崔保伟, 张振中

(贵州大学 农学院 贵州 贵阳 550025)

**摘要:**以贵州优质高产玉米黔玉 22 为研究材料, 在土壤肥力和环境条件一致的前提下, 研究和分析了玉米生育特性及生理特征对不同水分胁迫程度的感应关系。结果表明: 水分胁迫对玉米的生长发育影响很大, 在中度干旱条件下, 叶片脯氨酸含量增多, 细胞膜透性增加, 导致叶片光合作用、硝酸还原酶活性和叶绿素含量降低, 单株最大叶面积、叶片数和干物质积累量相对减少, 玉米生长缓慢, 生育进程推迟; 随着水分胁迫程度的加剧和持续, 玉米生长发育严重受阻, 无法进行生殖发育, 叶片脯氨酸含量持续增多, 细胞膜透性进一步增加, 叶片光合作用及硝酸还原酶活性进一步减弱, 差异达到 1% 极显著水平。

**关键词:** 玉米; 水分胁迫; 生长发育; 生理特征

中图分类号: S513.01 文献标识码: A 文章编号: 1000-7091(2008)增刊-0109-05

## The Reaction Relation Between the Growth and Physiological Characteristics of Corn and Water Stress

YUAN Hong-wei, LU Yin-gang, CUI Bao-wei, ZHANG Zhen-zhong

(College of Agronomy, Guizhou University, Guiyang 550025, China)

**Abstract:** Taking the Qianyu 22 as study material, based on the premise that soil fertility and environmental condition were identical, studied and researched the reaction relation between the growth and physiological characteristics of corn and water stress. The results showed that the effect of water stress on the growth of corn was great. Under the condition of intermediate water stress, the content of PRO increased, permeability of the membrane enhanced, which leded the photosynthesis, the NR activity and the chlorophyll content to decrease. The largest leaf area, the number of leaves and dry matter accumulation decreased relatively, and the corn grew slower, the grow progress was delayed. Along with the level of water stress's increasing and sustaining, the growth of corn was disrupted, and can't carry out the production progress. Continuously, the content of PRO increased, permeability of the membrane enhanced, the photosynthesis, the NR activity and the chlorophyll content decreased further, the difference reached 1% of the extremely significant levels.

**Key words:** Corn; Water stress; Growth; Physiological characteristics

贵州喀斯特山区属于中国西部高原山地, 平均海拔 1 300 m 以上, 岩溶地貌发育非常典型<sup>[1]</sup>, 降雨量少且时间分布集中, 土壤贫瘠且保水保肥性差, 水肥资源紧缺<sup>[2, 3]</sup>。玉米在生长的各个时期都受到不同程度的干旱胁迫, 降水难以满足玉米生长发育的要求, 干旱是造成该区玉米产量不高不稳的重要原因。当前, 国内有关玉米适应干旱反应的原初过程及机理研究取得了一定的进展<sup>[4-8]</sup>, 而关于干旱胁迫对喀斯特山区玉米生育特性及生理特征影响的研究较少。为此, 本研究以贵州优质高产玉米黔玉 22

为材料, 设计不同的水分处理, 研究了其对玉米生育特性及生理特征的影响, 分析了水分与生育特性及生理特征的变化关系; 对提高喀斯特山区玉米水分利用效率, 生产上合理灌溉调控玉米生长发育及筛选高产节水型玉米品种提供理论依据, 为探讨玉米对水分胁迫的响应及适应机制提供理论参考。

## 1 材料和方法

### 1.1 供试材料

本试验于 2007 年 5-9 月在贵州大学盆栽厂进

收稿日期: 2007-11-18

基金项目: 贵州省研究生创新基金(2006008)资助; 贵州大学人才基金(X060034)资助

作者简介: 远红伟(1982-), 男, 河南西华人, 硕士, 主要从事肥料与作物营养生理研究。

通讯作者: 陆引罡(1962-), 男, 江苏人, 教授, 主要从事土壤与植物营养研究与教学工作。

行,供试土壤为黄泥土,肥力中上等,土壤有机质 3.66 g/kg,全氮 1.05 g/kg,碱解氮 94.89 mg/kg,速效磷 13.2 mg/kg,速效钾 106.7 mg/kg,供试品种为贵州优质高产玉米黔玉 22。

1.2 试验设计

根据玉米需水的一般规律,设计 4 个水分处理: T1 水分过多处理,移栽后适时浇水保持土壤湿度维持在田间持水量的 70%~80%;T2 适宜供水处理,移栽后适时浇水保持土壤湿度维持在田间持水量的 60%~70%;T3 半干旱供水处理,移栽后适时浇水保持土壤湿度维持在田间持水量的 45%~55%;T4 干旱供水处理,移栽后适时浇水保持土壤湿度维持在田间持水量的 35%~45%;各处理用 T1,T2,T3,T4 表示。

试验装置采用类似于 Gallardo M 等的设计,PVC 管长 70 cm,内径 16 cm,管底部用薄膜和绳子箍紧以防漏水。2007 年 5 月 15 日移栽,移栽前统一施肥,苗期移栽后水浇至田间持水量,移栽后 10 d 开始水分胁迫试验。每个处理 5 个重复,随机区组排列,每公斤土施 N:P:K=15:15:15 的复合肥 5 g;除试验因素外,采用统一的栽培管理措施。

1.3 测定项目及方法

植株干物质测定采用烘干称重法,植株叶片硝酸还原酶活性测定采用磺酸比色法、叶绿素含量测定采用酒精比色法,根系活力测定采用 TTC 浸提比色法,叶片脯氨酸含量测定采用茚三酮比色法,叶片电导率采用 DDS-11C 型电导率仪测定,叶片光合效

率采用美国 CID 公司出品的 CO<sub>2</sub> 分析仪测定。

2 结果与分析

2.1 玉米生长发育对水分胁迫的感应关系

由表 1 可以看出,在玉米的各生育期内,水分胁迫对玉米株高有明显的抑制作用,且抑制程度随水分胁迫的强弱及玉米的不同生育期而变化,当土壤水分含量位于田间持水量 60%~80% 时,玉米生长发育正常,株高在生育中前期变化明显,当土壤水分含量位于田间持水量 45%~55% 时,玉米生长发育受到部分影响,株高在生育中前期变化不明显,当土壤水分含量低于田间持水量 45%,玉米生长发育基本停止,株高在各个生育期基本没什么变化,且 T1 与 T4 差异达到极显著水平( $r=0.0064$ )T2 与 T4 差异达到显著水平( $r=0.0186$ )。从表 2 可以看出,随土壤水分胁迫的加剧,植株各营养器官的生长受到严重阻碍,植株最大叶面积明显减小,单株叶片数和营养体干物重大幅下降,营养体明显减少。显著性分析表明:各处理之间最大叶面积差异都达到 1% 的极显著水平;干旱条件下植株叶片数比正常情况下少 3~4 片叶,且 T1 与 T4、T1 与 T4 差异达到极显著水平( $r=0.0039$ , $r=0.0039$ );各处理之间单株干物质积累量差异不是很显著,T1 与 T4、T1 与 T4 差异达到 5% 的显著水平( $r=0.0174$ , $r=0.0387$ )。结果表明,水分胁迫导致玉米生长发育受阻,株高下降,最大叶面积减小,单株叶片数和干物质积累量减少,最大叶面积和单株干物质对土壤水分胁迫反

表 1 玉米生长发育对水分胁迫的感应

Tab.1 The reaction of corn growth to water stress

处理 Traits	株高/ cm Height				生育进程/(月-日) Reproductive process			
	拔节期 Jointing stage	孕穗期 Booting	灌浆期 Filling stage	蜡黄期 Sallow period	拔节期 Jointing stage	孕穗期 Booting	灌浆期 Filling stage	蜡黄期 Sallow period
T1	113	204	237	237	06- 10	07- 05	07- 25	08- 21
T2	108	178	215	215	06- 12	07- 08	07- 28	08- 28
T3	68	96	131	152	06- 20	07- 25	08- 15	09- 10
T4	51	74	78	79	07- 05	-	-	-

表 2 玉米叶片和植株干物质积累对水分胁迫的感应

Tab.2 The reaction of corn leaf and the accumulation of the adult plant material to water stress

处理 Traits	最大叶面积/ The largest leaf area cm <sup>2</sup>	叶片数 Leaves few	干物质积累量/(株/g) Dry matter accumulation			
			拔节期 Jointing stage	孕穗期 Booting	灌浆期 Filling stage	成熟期 Sallow period
T1	748	17	28.06	168.3	264	384
T2	547	17	24.13	138.4	225	355
T3	462	15	9.36	62.3	86	104
T4	325	13	5.11	19.6	40	53

应敏感,可以作为水分胁迫程度的鉴定指标之一,中度胁迫下株高、最大叶面积、单株叶片数茎粗及植株体干物重下降较少,与水分适宜处理无显著差异,而重度胁迫与水分适宜条件下差异达极显著水平,当土壤水分含量低于田间持水量 55% 时,玉米生长发育和营养生殖严重受阻,导致玉米严重减产,在极度干旱条件下,几乎颗粒无收。

## 2.2 玉米生理特征对水分胁迫的感应关系

2.2.1 玉米叶片硝酸还原酶和叶绿素含量对水分胁迫的感应 硝酸还原酶是作物氮素代谢的关键酶,和作物生长有密切的相关性。由图 1 可以看出,水分胁迫能显著降低玉米生育前中期植株叶片的 NRA,且随着土壤干旱程度的加剧,植株叶片的 NRA 显著下降,但对蜡黄期以后叶片的 NRA 影响不大,显著性分析表明,玉米前中期各处理叶绿素含量差异显著,T1 与 T4、T2 与 T4 达到 1% 极显著水平( $r=0.0027$ ,  $r=0.0064$ ),T1 与 T3 达到 5% 极显著水平( $r=0.0190$ ),由于拔节期以前和蜡黄期以后各处理之间叶绿素差异不大,整个生育期来说,各个处理之间差异不是很明显。叶绿素是衡量植株叶片光合作用强弱的重要指标。由图 2 可以看出,水分胁迫对玉米生育前中期叶片叶绿素含量影响较大,对蜡黄期以后叶片叶绿素含量影响很小,同时随着水分胁迫的加剧,各处理叶绿素含量明显下降,显著性检验表明,玉米前中期各处理叶绿素含量差异显著,T1 与 T2 达到 5% 极显著水平( $r=0.0257$ ),其他处理之间都达到 1% 极显著水平,由于蜡黄期各处理之间叶绿素差异不大,整个生育期来说,各个处理之间差异不明显,仅 T2 与 T4 达到 5% 的显著水平。

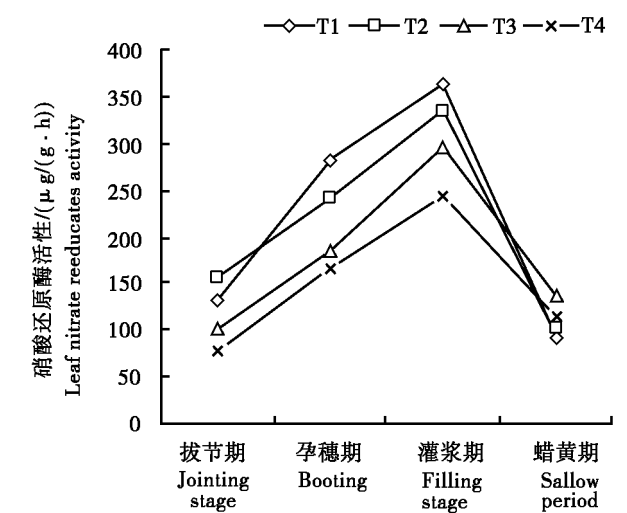


图 1 玉米叶片硝酸还原酶对水分胁迫的感应  
Fig. 1 The reaction of NR in corn leaf to water stress

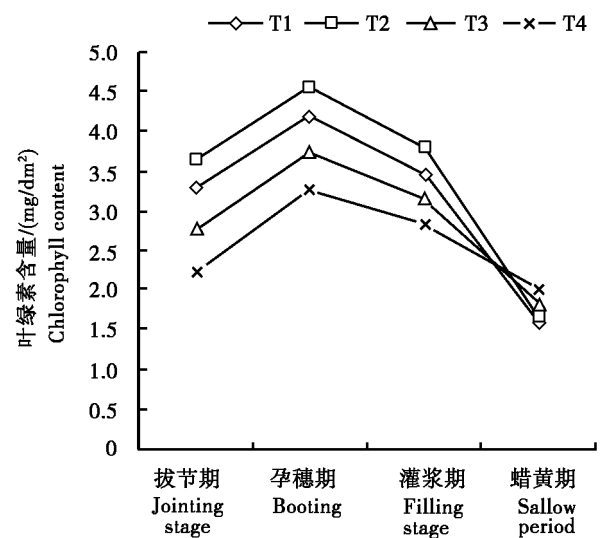


图 2 玉米叶片叶绿素含量对水分胁迫的感应

Fig. 2 The reaction of chlorophyll content of corn leaf to water stress

2.2.2 玉米根系活力和叶片光合效率对水分胁迫的感应关系 根系活力是指根系新陈代谢活动的强弱,是反映根系吸收功能的一项综合指标。从图 3 可知,水分胁迫对玉米生育前中期根系活力影响比较大,对生育后期的根系活力影响很小,随着水分胁迫加剧,玉米根系活力明显降低,随着水分胁迫的延长,玉米前中期根系活力虽然增强但绝对值持续降低,显著性检验表明,玉米前中期各水分处理根系活力差异显著,T1 与 T4、T2 与 T4、T3 与 T4 达到 1% 极显著水平( $r=0.0001$ ,  $r=0.0001$ ,  $r=0.0014$ ),T1 与 T3、T2 与 T3 也达到 1% 极显著水平( $r=0.0003$ ,  $r=0.0032$ ),但整个生育期来说,各个处理之间差异不明显,仅 T1 与 T4 达到 5% 的显著水平。光合作用是作物固碳的主要途径。从图 4 可以看出,水分胁迫

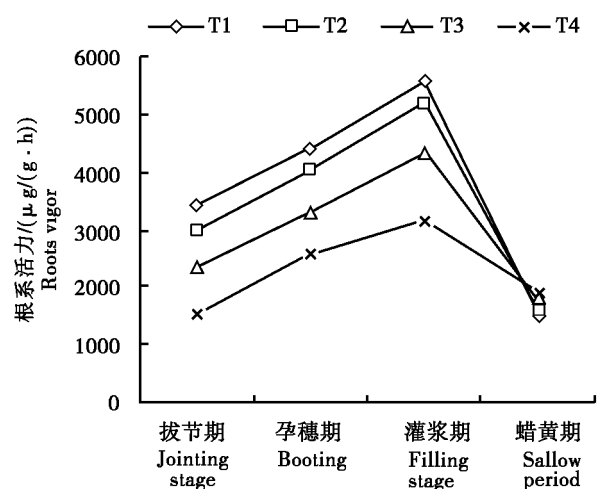


图 3 玉米根系活力对水分胁迫的感应

Fig. 3 The reaction of corn root system vigor to water stress

迫下玉米生育中前期光合速率随胁迫的增强而明显下降,蜡黄期以后各处理的光合作用变化不大,随着水分胁迫的延长,玉米光合速率在吐丝期达到最大且各处理间差异最明显,吐丝期以后玉米光合速率持续降低;显著性检验表明,玉米前中期各水分处理光和速率差异显著,除T1与T2差异不显著外,各个处理之间都达到1%极显著水平,但整个生育期来说,各个处理之间无显著差异,仅T2与T4达到5%的显著水平。说明水分胁迫限制了根系的生长,同时也对根系的活力和叶片的光合速率产生了影响,在新陈代谢最旺盛的吐丝期下降幅度最大,差异最明显。

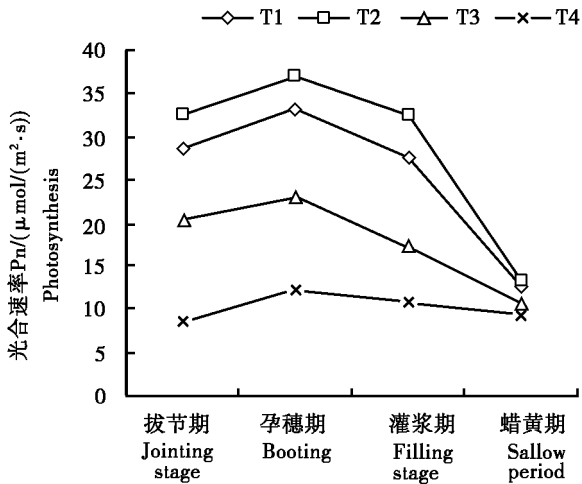


图4 玉米叶片光合速率对水分胁迫的感应

Fig. 4 The reaction of the photosynthesis speed of corn leaf to water stress

2.2.3 玉米叶片脯氨酸含量和叶片细胞膜伤害程度对水分胁迫的感应关系 在环境胁迫条件下,作物体内脯氨酸含量增多,作物体内脯氨酸的积累与作物的抗旱稳产之间有着密切的关系。从图5可看出,随着水分胁迫的加剧,玉米体内脯氨酸含量显著增多,随着水分胁迫的延长,玉米体内脯氨酸含量持续增长;显著性分析表明,T2与T4、T1与T4、T2与T3达到1%极显著水平( $r=0.0001$ ,  $r=0.0009$ ,  $r=0.0017$ ),T1与T3达到5%显著水平( $r=0.0262$ )。水分胁迫会导致作物叶片细胞膜受到伤害,其受害程度与胁迫的程度和作物的抗旱性呈相关关系。从图6可以看出,随着水分胁迫的加剧,玉米细胞膜受害程度明显加重,随着水分胁迫的延长,玉米细胞膜受害程度也持续加重,干旱比水分过多对玉米细胞膜的伤害程度更重;但各个处理之间差异不显著。以上结果表明:水分胁迫下,玉米体内产生大量的有害物质,导致膜脂过氧化作用,破坏了细胞的基本结构,使叶片的叶绿体膜系统受损,从而导致光合

作用下降和生长发育受阻;玉米为了适应水分胁迫的环境,体内积累的大量脯氨酸能促进有害物质的分解,缓解有害物质对细胞膜的伤害,增强玉米对胁迫环境的适应性。

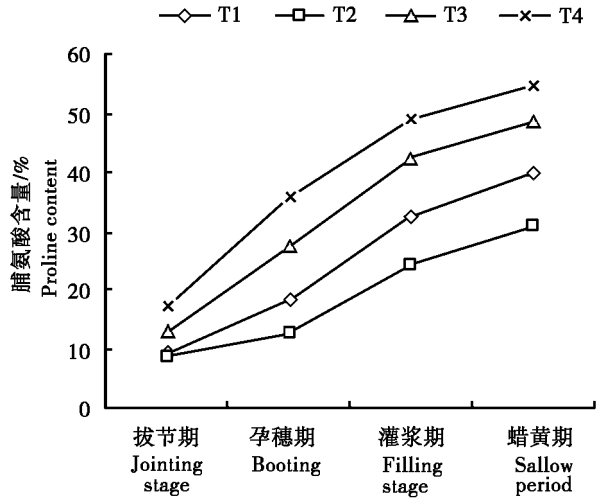


图5 玉米叶片脯氨酸对水分胁迫的感应

Fig. 5 The reaction of PRO in corn leaf to water stress

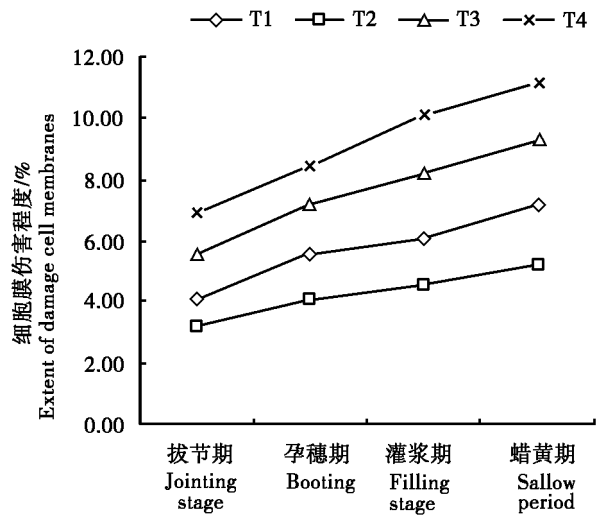


图6 玉米叶片细胞膜伤害程度对水分胁迫的感应

Fig. 6 The reaction of the injury degree of corn leaf cell membrane to water stress

### 3 讨论

贵州喀斯特山区典型的岩溶地貌和降雨的时空分布不均导致玉米经常处于水分胁迫状态。是造成当地玉米减产的主要因素。玉米不同干旱条件下表现为株高降低、叶面积降低、叶片光合作用下降,单株干物质积累量和籽粒产量的下降。本试验结果表明:在保水保肥性差的喀斯特地貌条件下,水分胁迫对玉米的生长发育影响很大,在中度干旱条件下,玉米生长缓慢,单株最大叶面积和叶片数相对减少,单

株干物质积累量显著减少,生育进程推迟,在极度干旱条件下,玉米生长发育严重受阻,无法进行生殖发育,产量颗粒无收。水分胁迫造成玉米体内产生大量的有害物质,导致膜脂过氧化作用,破坏了细胞的基本结构,造成叶片的叶绿素含量和硝酸还原酶活性显著降低,从而导致叶片光合作用下降和生长发育受阻;玉米为了适应水分胁迫的环境,体内积累的大量脯氨酸等物质能促进有害物质的分解,缓解有害物质对细胞膜的伤害,增强玉米对胁迫环境的适应性。在研究水分胁迫对玉米生理过程的影响时,必须重视干旱程度及其与各个生理过程的关系,系统地测定玉米各个生育期的多个生理指标,才能获得较完整的资料,以确定水分条件、生理过程、作物产量之间的定量关系。

参考文献:

[ 1 ] 李广敏, 关军锋. 作物抗旱生理与节水技术研究[ M ].

北京: 气象出版社, 2001: 54- 87.

- [ 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- 1660.
- [ 3 ] 张振华, 蔡焕杰. 水分亏缺对覆膜玉米生长发育及产量的影响[ J ]. 灌溉排水, 2001, 2( 20 ): 13- 16.
- [ 4 ] 刘海龙, 郑桂珍, 关军锋, 等. 干旱胁迫下玉米根系活力和膜透性的变化[ J ]. 华北农学报, 2002, 17( 2 ): 20- 22.
- [ 5 ] 李广敏. 采取综合技术措施提高节水农业水平[ J ]. 华北农学报, 2003, 18( 院庆专辑 ): 14- 16.
- [ 6 ] 鲍巨松, 杨书成, 薛吉全, 等. 不同生育时期水分胁迫对玉米生理特性的影响[ J ]. 作物学报, 1991, 17( 4 ): 261- 266.
- [ 7 ] 付芳婧, 赵致, 张卫星. 水分胁迫下玉米抗旱性与光合生理指标研究[ J ]. 山地农业生物学报, 2004, 23( 6 ): 471- 474.
- [ 8 ] 葛体达, 隋方功, 白莉萍, 等. 不同土壤水分对玉米光合特性和产量的影响[ J ]. 上海交通大学学报, 2005, 23( 2 ): 143- 147.