

# 甘肃敦煌绿洲区干旱胁迫下玉米抗旱性与灌浆期光合特性

周玉乾, 寇思荣, 连晓荣

(甘肃省农业科学院作物研究所, 甘肃 兰州 730070)

**摘要:** 在年降雨量不足 40 mm 的甘肃省敦煌市绿洲农业区, 采用大田干旱胁迫法对玉米品种陇单 9 号、先玉 335、陇单 10 号、沈单 16 进行了抗旱性及灌浆期光合特性的研究。结果显示: (1) 干旱胁迫和充分供水条件下, 4 个参试品种间除单株穗数差异不显著外, 其余形态性状及光合特征参数间差异较大, 干旱胁迫后, 4 个参试材料平均株高降低了 40.25 cm, 生物量、穗重、穗粒重、穗粒数分别减少了 132.87 g·株<sup>-1</sup>、90.48 g、79.15 g、167.59 粒, 差异达到了极显著水平, 百粒重、穗数、出籽率分别减少了 3.75 g、0.08 个、7.75%, 差异不显著; 光合速率 ( $P_n$ )、蒸腾速率 ( $T_r$ )、气孔导度 ( $G_s$ ) 及叶绿素含量随品种抗旱性减弱呈降低的趋势, 而胞间  $CO_2$  浓度 ( $C_i$ ) 在 4 个品种间变化较小。 (2) 抗旱性综合评价值的计算结果表明, 4 个参试品种的抗旱性依次为先玉 335(抗旱) > 陇单 9 号(中度抗旱) > 沈单 16(弱抗旱) > 陇单 10 号(弱抗旱)。 (3) 相关及逐步回归分析显示, 灌浆期光合速率与不同抗旱类型玉米品种的抗旱性显著相关, 而胞间  $CO_2$  浓度与抗旱品种陇单 9 号、先玉 335 的抗旱性相关性较大, 叶绿素含量与弱抗旱品种陇单 10 号、沈单 16 的抗旱性极显著相关。

**关键词:** 干旱胁迫; 玉米; 抗旱性; 光合特性

**中图分类号:** S513.1 **文献标志码:** A

## Drought resistance and photosynthetic characteristics of maize at grain-filling stage at Dunhuang Oasis, Gansu Province

ZHOU Yu-qian, KOU Si-rong, LIAN Xiao-rong

(Crop research institute, Gansu Province Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou, Gansu 730070, China)

**Abstract:** Field experiment was conducted at Oasis Agricultural Area of Dunhuang City, Gansu Province where annual rainfall is less than 40mm. Maize cultivars, Longdan No.9, Xianyu No.335, Longdan No.10, and Shendan No.16 were used to evaluate drought resistance and photosynthetic characteristics during grain-filling stage. The results showed that: (1) Apart from spike number, morphological traits and photosynthetic parameters were significantly different among 4 cultivars under drought stress and adequate water supply. After drought stress, the average plant height of cultivars was decreased by 40.25 cm, biomass, weight of spike, weight of grain, number of grain by 132.87 g, 90.48 g, 79.15 g, 167.59, 100 grain weight, panicle number, seed yield reduced by 3.75 g, 0.08, 7.75%. As drought resistance decreased, photosynthetic rate ( $P_n$ ), transpiration rate ( $T_r$ ), stomatal conductance ( $G_s$ ) and chlorophyll content decreased. (2)  $D$  value of comprehensive evaluation of drought resistance showed that drought resistance order of was Xianyu No.335, Longdan No.9, Shendan No.16, Longdan No.10. (3) Correlation and stepwise regression analysis showed that drought resistance and transpiration rate in grain-filling stage were significantly correlated for the four cultivars.

**Keywords:** maize; drought stress; drought resistance; photosynthetic characteristics

甘肃敦煌位于河西走廊西端, 绿洲农业是当地农业生产的主要方式。近 50 余年, 敦煌绿洲区年降雨量在波动中微有增加, 但仍不足 40 mm, 且蒸发量达 2 486 mm, 属典型的大陆干旱性气候<sup>[1-2]</sup>, 是研究

作物抗旱性的天然有利的生态区, 而有限的水资源既是绿洲农业存在的必要因素, 又是地方经济发展的限制因素<sup>[3]</sup>, 因此, 研究并改善作物的抗旱性, 促进绿洲区节水农业的发展, 是实现当地农业可持续

发展的需要。玉米是全球第二大栽培作物<sup>[4]</sup>,是禾谷类作物中需水量较大、抗旱性较弱的旱地作物<sup>[5-6]</sup>,且光合作用与抗旱性密切相关<sup>[7]</sup>,由此,研究玉米的抗旱性及光合特性的变化,了解其对干旱逆境的响应,对玉米水分调控及抗旱品种培育具有重要的意义。玉米在水分胁迫下其抗旱性及光合特性的变化,研究者多采用盆栽<sup>[8-9]</sup>、遮雨棚<sup>[10-11]</sup>等室内模拟干旱条件进行萌芽期、苗期、拔节期等某一生育阶段的研究,少数玉米全生育期抗旱性研究所采用的田间直接鉴定法其年降雨量达 95 mm 至 160 mm<sup>[12-13]</sup>,亦无法避免自然降雨的影响,对此,本文在年降雨量不足 40 mm 的甘肃敦煌绿洲灌溉农业区,以生产中大面积推广的 4 个玉米品种为试验材料,进行了田间直接抗旱性及灌浆期光合特性的研究,为探明干旱条件下玉米抗旱性与灌浆期光合特性间关系提供一定的科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

以陇单 9 号、先玉 335、陇单 10 号、沈单 16 为试验材料,由甘肃省农业科学院作物所提供。

### 1.2 试验设计

试验于 2014 年 4—10 月在甘肃省敦煌绿洲灌溉区进行,采用配对试验设计,设干旱胁迫与对照组,分别设 3 次重复,小区面积 18 m<sup>2</sup>,密度 6.75 万株·hm<sup>-2</sup>,行距 60 cm、株距 25 cm。干旱胁迫组在播前(3 月 28 日)及苗期(5 月 29 日)灌水 80 m<sup>3</sup>·667m<sup>-2</sup>;对照组,分别在播前(3 月 28 日)、苗期(5 月 29 日)、抽穗期(6 月 27 日)、灌浆期(8 月 1 日)灌水 80 m<sup>3</sup>/667m<sup>-2</sup>。

### 1.3 测定指标

1.3.1 土壤水分 分别在播前(4 月 10 日)、拔节期(6 月 10 日)、抽穗期(7 月 11 日)、灌浆期(8 月 10 日)、成熟期(9 月 21 日)五点法采样并用烘干法测定 0~20、20~40、40~60、60~80、80~100 cm 各层土壤水分含量。

1.3.2 光合特征参数 灌浆期叶片光合速率( $P_n$ )、蒸腾速率( $T_r$ )、气孔导度( $G_s$ )、胞间 CO<sub>2</sub> 浓度( $C_i$ ),于 9:30—12:00,用 LI-6400 便携式光合作用测定仪测定玉米棒三叶光合特征参数值,连续测定 4 d,每天各小区随机测定 5 株;叶绿素含量采用叶绿素计 SPAD-502Plus 于 10:00—11:00 分别测定玉米棒三叶叶绿素含量,各小区选中间行随机测定 10 株,最终结果取其平均值。

1.3.3 形态指标 成熟后两处理每小区中间行取

样 10 株,分别对株高、生物量、单株穗数、穗重、穗粒数、穗粒重、百粒重、出籽率 8 个性状进行室内考种,以 3 次重复平均值作为各处理考察性状指标的代表值。

### 1.4 数据处理与分析

1.4.1 抗旱性评价 抗旱性评价参照祁旭升等<sup>[14]</sup>的方法对 4 个参试品种的抗旱性进行评价,相关公式如下:

性状相对值

$$TR = \frac{X_d}{X_w} \quad (1)$$

综合抗旱系数

$$RI = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n TR \quad (2)$$

隶属函数值

$$\mu(x) = \frac{TR - TR_{i\min}}{TR_{i\max} - TR_{i\min}} \quad (3)$$

权重隶属函数值

$$D = \sum_{i=1}^n [\mu(x) \times (|r_i| \div \sum_{i=1}^n |r_i|)] \quad (4)$$

式中, $X_d$ 、 $X_w$  分别为干旱胁迫与对照条件下的性状测定值; $TR_{i\max}$ 、 $TR_{i\min}$  为各相对性状的最大值、最小值, $r_i$  为各相对性状与综合抗旱系数的相关系数, $|r_i| \div \sum_{i=1}^n |r_i|$  为指数权数,表示第  $i$  个指标在所有指标中的重要程度。

1.4.2 数据分析 数据整理与分析采用 Excel2007、SPSS13.0、DPS17.0 软件处理。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同处理生育期内土壤水分的变化

由图 1 可以看出,干旱处理与对照在播前、拔节期、成熟期土壤水分差异较小,而在抽穗期、灌浆期差异较大。干旱处理只在播前及拔节期灌水两次,与对照播前、拔节期、抽穗—吐丝期、灌浆期 4 次灌水相比较,抽穗期土壤含水量在 0~20、20~40、40~60 cm 变化较大,分别降低了 6.85%、5.41%、5.65%,灌浆期土壤含水量在 0~20、20~40、40~60、60~80、80~100 cm 各个土层变化均较大,分别降低了 7.46%、8.46%、7.79%、7.19%、4.29%,成熟期对照处理由于灌浆至成熟期气温较高、蒸发量较大及玉米需水量大,土壤水分与灌浆期相比变化较大,0~20、20~40、40~60、60~80、80~100 cm 各土层分别降低了 6.22%、6.73%、6.11%、4.91%、2.82%,而与干旱处理成熟期土壤水分相比较土壤水分变化较小,综合来看,干旱处理使得玉米抽穗至

成熟期不同程度地受到了干旱胁迫,特别是灌浆期各土层含水量均小于 10%,该试验土壤类型为灌淤土,田间最大持水量为 25%,根据 0~20 cm 土壤相

对含水量小于 30%,即土壤含水量小于 7.5%达到了特重旱程度<sup>[15-16]</sup>,说明玉米灌浆至成熟期受到了特重度干旱胁迫。

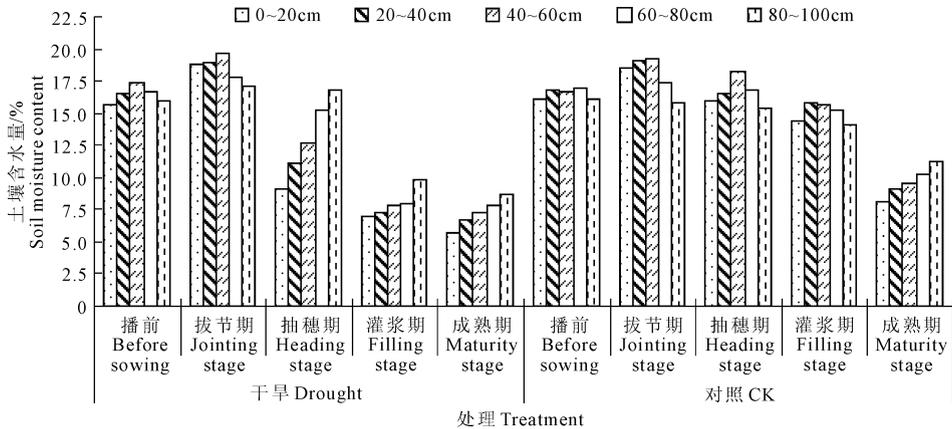


图 1 不同处理下各生育期不同土层的土壤含水量

Fig.1 Soil moisture content between treatments at growth stages

## 2.2 不同处理下玉米品种形态指标的差异

表 1 显示,正常供水(对照)条件下,4 个参试材料除株高和穗数差异不显著外,其余考察性状差异较大,干旱胁迫处理下,除穗数变化较小外,其它性状在 4 个参试品种间达到了显著或极显著水平,说明 4 个参试材料综合性状差异较大,且对干旱的抵御能力存在一定的差异。经配对分析显示,4 个参试材料的株高、生物量、穗重、穗粒数、穗粒重在干旱处理后均不同程度降低,且差异达到了极显著水平,而单株穗数、百粒重及出籽率变化较小,可以看出干旱胁迫对单株穗数、百粒重及出籽率影响较小,这是因为 4 个材料在正常供水条件下穗数均为 1 个,干旱胁迫后对其影响较小,且由于穗长缩短,粒数减少,干物质积累在粒重间差异较小,穗粒重与穗重的比例在两处理间变化较小,因此表现出干旱胁迫后穗数、百粒重及出籽率与正常供水相比较变化较小。

## 2.3 玉米品种抗旱性比较

依据抗旱性综合评价 D 对 4 个参试材料进行了抗旱性评价(表 2),结果显示,4 个参试材料抗旱性依次为先玉 335 > 陇单 9 号 > 沈单 16 > 陇单 10 号,其中先玉 335、陇单 9 号属抗旱品种,沈单 16、陇单 10 号属旱敏感品种。由表 2 可以看出,穗粒重、百粒重、穗粒数、穗重 4 个性状在所有指标中的权重值较大,且与综合抗旱系数的相关系数较大,说明干旱胁迫对产量构成因子的影响较大,而抗旱品种先玉 335 在干旱处理后,穗粒重、穗粒数、穗重分别降低了 57.72 g、92.41 粒、64.71 g(表 1),较其它 3 个品种降低程度最小,说明干旱胁迫对抗旱品种的产

量构成因子影响较小,因此可以根据穗粒重、穗粒数、穗重的变化鉴定玉米品种的抗旱性强弱。

## 2.4 不同处理下灌浆期光合特征参数的差异

表 3 显示,正常供水条件下抗旱品种先玉 335、陇单 9 号,旱敏感品种沈单 16、陇单 10 号在蒸腾速率、气孔导度、胞间 CO<sub>2</sub> 浓度、叶绿素 4 个光合特征参数间差异不显著,干旱胁迫后除叶绿素含量外,光合速率、蒸腾速率、气孔导度、胞间 CO<sub>2</sub> 浓度在 4 个参试品种间变化较大,经配对分析,抗旱品种先玉 335、陇单 9 号仅有胞间 CO<sub>2</sub> 浓度差异达到了显著水平,而旱敏感品种沈单 16、陇单 10 号除气孔导度外,其余光合特征参数均达到了极显著水平,可以看出抗旱品种对干旱的反应不敏感,而旱敏感品种对干旱的反应较大,表现出多数光合特征参数变化较大。

## 2.5 抗旱性与灌浆期玉米光合特性的关系

由表 4 可以看出,不同抗旱类型的玉米品种在干旱胁迫下,光合速率、蒸腾速率、气孔导度与其抗旱性的相关性达到了显著水平,经逐步回归分析,光合速率和气孔导度与抗旱性偏相关系数较大。抗旱品种陇单 9 号、先玉 335 号与胞间 CO<sub>2</sub> 浓度相关性较大,而旱敏感品种沈单 16、陇单 10 与叶绿素含量相关性达到了极显著水平,且在逐步回归均为主导因子,说明抗旱品种具有较高的胞间 CO<sub>2</sub> 浓度,而旱敏感品种叶绿素含量较高,原因在于旱敏感品种受干旱胁迫叶片加厚程度较抗旱品种大,致单位面积内叶绿素含量较高,但因其本身的遗传特性,胞间 CO<sub>2</sub> 浓度较低。

表 1 不同处理下 4 个玉米品种各形态性状的差异  
Table 1 Morphological characters of the four cultivars for the two treatments

处理 Treatments	品种 Cultivar	株高 Height of plant /cm	生物量 Biomass /g	单株穗数 Number of spike	穗重 Weight of spike /g	穗粒数 Amount of spike	穗粒重 Grain weight per spike /g	百粒重 100-weight /g	出籽率 The rate of seed /%
胁迫 Stress	陇单 9 号 Longdan No.9	209.33 ± 10.15a	330.83 ± 19.36ab	9.00 ± 1.73a	197.89 ± 11.88ab	512.22 ± 17.10a	154.52 ± 16.24a	30.41 ± 2.31b	77.95 ± 2.70a
	先玉 335 Xianyu 335	191.33 ± 13.87b	436.17 ± 13.79a	10.00 ± 0.00a	223.60 ± 10.76a	355.88 ± 17.54b	135.13 ± 19.99b	39.45 ± 4.76a	58.54 ± 4.44b
	陇单 10 号 Longdan No.10	195.00 ± 16.70ab	246.37 ± 15.77b	9.67 ± 0.58a	147.01 ± 6.88ab	347.50 ± 25.91b	103.78 ± 17.03c	30.73 ± 3.90b	70.18 ± 5.89ab
	沈单 16 Shendan 16	188.67 ± 11.06b	319.93 ± 15.74ab	9.67 ± 0.58a	144.39 ± 14.80ab	278.20 ± 17.38c	97.9 ± 17.29c	35.31 ± 2.41ab	67.41 ± 3.44ab
对照 CK	陇单 9 号 Longdan No.9	239.50 ± 3.97a	556.43 ± 18.06a	9.33 ± 1.15a	313.69 ± 11.80a	632.24 ± 9.88a	242.82 ± 9.94a	32.38 ± 2.60ab	77.69 ± 4.24ab
	先玉 335 Xianyu 335	233.97 ± 5.31a	555.47 ± 17.07a	10.00 ± 0.00a	288.31 ± 12.79ab	448.29 ± 21.56b	192.86 ± 7.80b	43.23 ± 4.67a	68.15 ± 9.61b
	陇单 10 号 Longdan No.10	237.17 ± 9.66a	381.23 ± 12.85b	9.67 ± 0.58a	238.67 ± 9.25b	613.97 ± 26.13a	197.32 ± 4.47b	32.05 ± 4.71b	83.18 ± 3.90a
	沈单 16 Shendan 16	234.70 ± 4.39a	371.63 ± 19.94b	9.67 ± 0.58a	234.11 ± 10.34b	469.57 ± 20.25b	174.96 ± 12.98b	37.23 ± 1.20ab	75.21 ± 6.05ab
胁迫—对照 Stress—CK	陇单 9 号 Longdan No.9	-30.17 ± 2.84**	-225.59 ± 16.88**	-0.33 ± 2.52	-115.81 ± 11.82**	-120.12 ± 26.08**	-88.30 ± 10.08**	-1.97 ± 0.28	-0.00 ± 0.27
	先玉 335 Xianyu 335	-42.63 ± 5.53**	-119.30 ± 13.27**	0.00 ± 0.00	-64.71 ± 7.35**	-92.41 ± 20.21**	-57.72 ± 4.28**	-3.79 ± 7.77	-0.10 ± 0.21
	陇单 10 号 Longdan No.10	-42.17 ± 4.43**	-134.87 ± 9.87**	0.00 ± 0.00	-91.66 ± 10.09**	-266.47 ± 38.99**	-93.54 ± 7.21**	-1.31 ± 7.34	-0.13 ± 0.19
	沈单 16 Shendan 16	-46.03 ± 6.76**	-51.70 ± 3.85**	0.00 ± 1.00	-89.72 ± 12.45**	-191.37 ± 17.11**	-77.05 ± 4.32**	-1.91 ± 1.29	-0.08 ± 0.08

注:不同字母表示在 0.05 水平下差异显著; \* 表示显著水平 ( $P < 0.05$ ), \*\* 表示极显著水平 ( $P < 0.01$ ), 下同。

Note: Different letters indicated significantly different at  $P < 0.05$ ; \*,  $P < 0.05$ ; \*\*  $P < 0.01$ , the same as below.

表 2 4 个参试品种的抗旱性评价  
Table 2 Drought evaluation of the four maize cultivars

品种 Cultivar	抗旱评价 参数值 DEP	株高 Plant height /cm	生物量 Biomass /g·plant <sup>-1</sup>	单株 穗数 Number of spike	穗重 Weight of spike /g	穗粒数 Amount of spike	穗粒重 Grain weight per spike /g	百粒重 100- weight /g	出籽率 The rate of seed /%	综合 抗旱 系数 CDC	D 值 D Valve	抗旱 类型 DRT
陇单 9 号 Longdan No.9	性状相对值 TR	0.87	0.59	0.96	0.63	0.81	0.64	0.94	1.00	0.81	0.58	中度抗旱 Moderate drought resistance
	$u(x)$	1.00	0.00	0.00	0.09	1.00	0.63	0.59	1.00			
先玉 335 Xianyu 335	性状相对值 TR	0.82	0.79	1.00	0.78	0.79	0.70	0.91	0.86	0.83	0.66	抗旱 Drought resistance
	$u(x)$	0.20	0.72	1.00	1.00	0.93	1.00	0.00	0.10			
陇单 10 号 Longdan No.10	性状相对值 TR	0.82	0.65	1.00	0.62	0.57	0.53	0.96	0.84	0.75	0.28	弱抗旱 Weak drought resistance
	$u(x)$	0.26	0.19	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00			
沈单 16 Shendan 16	性状相对值 TR	0.80	0.86	1.00	0.62	0.59	0.56	0.95	0.90	0.79	0.35	弱抗旱 Weak drought resistance
	$u(x)$	0.00	1.00	1.00	0.01	0.11	0.19	0.78	0.33			
相关系数	Correlative coefficient	0.25	0.24	-0.24	0.77	0.85	0.96	-0.94	0.31			
指标权重	Weighted trait	0.05	0.05	0.05	0.17	0.19	0.21	0.21	0.07			

注 (Note): DEP—drought evaluation parameter valve, CDC—comprehensive drought resistance coefficient, DRT—drought resistance type, TR—traits relative value.

表 3 灌浆期不同玉米品种光合特征参数的比较

Table 3 Photosynthetic parameters of maize cultivars during grain-filling period

处理 Treatments	品种 Cultivar	光合速率	蒸腾速率	气孔导度	胞间 CO <sub>2</sub> 浓度	叶绿素
		Photosynthetic rate /( $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )	Transpiration rate /( $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )	Stomatal conductance /( $\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}$ )	Intercellular CO <sub>2</sub> concentration /( $\text{mmol}\cdot\text{mol}^{-1}$ )	Chlorophyll II (spad)
胁迫 Stress	陇单 9 号 Longdan No.9	11.02 ± 2.62a	2.13 ± 0.55a	0.08 ± 0.04a	113.63 ± 15.16ab	29.80 ± 3.21b
	先玉 335 Xianyu 335	8.75 ± 3.18ab	1.69 ± 0.73ab	0.06 ± 0.04ab	106.97 ± 30.07ab	23.90 ± 2.66b
	陇单 10 号 Longdan No.10	4.63 ± 1.34bc	1.09 ± 0.15bc	0.03 ± 0.01bc	81.90 ± 40.36a	39.93 ± 3.72a
	沈单 16 Shendan 16	4.12 ± 0.70c	0.83 ± 0.12c	0.02 ± 0.01c	79.83 ± 15.00b	39.90 ± 4.78a
对照 CK	陇单 9 号 Longdan No.9	12.60 ± 1.49bc	3.13 ± 0.58ab	0.09 ± 0.02ab	91.10 ± 6.02a	26.77 ± 2.22b
	先玉 335 Xianyu 335	9.77 ± 1.80b	2.46 ± 0.31b	0.07 ± 0.02b	86.93 ± 3.64a	25.50 ± 3.66b
	陇单 10 号 Longdan No.10	16.67 ± 4.68a	3.72 ± 0.73a	0.15 ± 0.06a	65.67 ± 4.16b	48.10 ± 2.10a
	沈单 16 Shendan 16	15.03 ± 2.40ab	3.51 ± 0.92a	0.14 ± 0.07a	58.07 ± 2.64b	47.17 ± 1.15a
胁迫—对照 Stress—CK	陇单 9 号 Longdan No.9	-1.58 ± 1.17	-1.00 ± 0.48	-0.01 ± 0.02	22.53 ± 4.69**	3.03 ± 2.70
	先玉 335 Xianyu 335	-1.02 ± 1.64	-0.77 ± 0.47	-0.01 ± 0.02	20.03 ± 5.80**	-1.60 ± 2.62
	陇单 10 号 Longdan No.10	-12.04 ± 4.36*	-2.63 ± 0.59*	-0.12 ± 0.05	16.33 ± 4.05**	-8.17 ± 2.84*
	沈单 16 Shendan 16	-10.91 ± 1.72**	-2.67 ± 0.81*	-0.12 ± 0.07	21.76 ± 3.87**	-7.2 ± 1.92**

表 4 抗旱性与灌浆期光合特性关系的分析

Table 4 Relationship between drought and photosynthetic characteristics during grain-filling period

D 值 D value	相关系数 Correlative coefficient					回归方程 Regression equation	偏相关系数 Partial correlative coefficient
	光合速率 <i>P<sub>n</sub></i>	蒸腾速率 <i>T<sub>r</sub></i>	气孔导度 <i>G<sub>s</sub></i>	胞间 CO <sub>2</sub> 浓度 <i>C<sub>i</sub></i>	叶绿素 (Chl)		
平均值 The mean	0.974**	0.955*	0.960**	-0.499	0.716	$Y_D = -0.006 + 2.339X_1 - 1.662X_3$	$r(y, X_1) = 0.975^*$ , $r(y, X_3) = -0.961$
陇单 9 号 Longdan No.9	0.018	-0.276	-0.443	0.614	-0.311	$Y_{D1} = 0.578 + 0.002X_4$	$r(y, X_4) = 0.614$
先玉 335 Xianyu 335	0.840	0.806	-0.799	0.875	0.059	$Y_{D2} = 0.661 + 0.056X_4$	$r(y, X_4) = 0.875$
陇单 10 号 Longdan No.10	-0.880	-0.780	-0.891	0.523	0.998**	$Y_{D3} = 0.283 + 0.153X_5$	$r(y, X_5) = 0.0.997^*$
沈单 16 Shendan 16	-0.098	-0.579	0.538	0.521	0.986**	$Y_{D4} = 0.349 + 0.342X_5$	$r(y, X_5) = 0.0.998^*$

### 3 讨论

光合作用是植物产量形成的重要生理过程,干旱胁迫通过损伤植物的生理代谢,导致植株生长受阻,光合作用下降,影响最终植物产量<sup>[8,17-18]</sup>。在玉米抗旱性鉴定及形态指标筛选方面<sup>[19-21]</sup>,已有大量的研究。在光合作用方面,张仁 and 等<sup>[8]</sup>采用盆栽控水的方式研究了干旱胁迫下抗旱性不同的两个玉米品种光合相关特征参数的变化,分析显示干旱胁迫下叶片光合能力和电子传递速率降低是 2 个玉米品种生物量减少的主要因素,但强抗旱品种郑单 958 变化幅度小于弱抗旱品种陕单 902;韩希英等<sup>[22]</sup>亦采用盆栽方法,研究了水分胁迫下拔节期和抽雄开花期玉米叶片光合特性,结果表明水分胁迫下玉米叶片光合速率、气孔导度、蒸腾速率的平均水平与对照相比显著降低,抽雄—开花期下降幅度大

于拔节期;李英等<sup>[13]</sup>采用大田干旱胁迫环境研究了其玉米生长发育、生理特性及光合特性的影响,结果显示干旱胁迫使气孔导度减小,气孔关闭,光合能力降低,净光合速率显著下降,植株生长受到抑制。本文同样采用田间直接干旱胁迫法,利用配对、相关及回归分析分析了 4 个抗旱性不同的玉米间灌浆期光合特征参数的差异及与抗旱性的关系,结果显示光合速率(*P<sub>n</sub>*)、蒸腾速率(*T<sub>r</sub>*)、气孔导度(*G<sub>s</sub>*)随品种间抗旱性减弱呈降低的趋势,而胞间 CO<sub>2</sub> 浓度(*C<sub>i</sub>*)在 4 个品种间变化较小,其结果与上述在玉米苗期、拔节期、抽穗—开花期及全生育期水分胁迫下光合特征变化研究结果基本一致。灌浆期光合速率与不同抗旱类型玉米品种的抗旱性显著相关,这是由于气孔关闭导致 CO<sub>2</sub> 同化量减少,致光合作用下降<sup>[23]</sup>,而回归分析显示胞间 CO<sub>2</sub> 浓度与抗旱品种陇单 9 号、先玉 335 的相关性较大,说明了抗旱品种有

较强的 CO<sub>2</sub> 同化能力;叶绿素含量高低作为一个重要的抗旱鉴定指标<sup>[24]</sup>,本研究发现,在干旱胁迫后随品种间抗旱性减弱而降低,并且抗旱品种间差异不显著,弱抗旱性品种间存在显著差异,这与李芬等<sup>[25]</sup>在水分胁迫下对玉米杂交种叶绿素含量影响的研究结果一致,而相关及回归分析中与弱抗旱品种陇单 10 号、沈单 16 的抗旱性极显著相关,验证了叶绿素含量可以作为鉴定玉米抗旱性的指标。

#### 参 考 文 献:

- [1] Liu Chunzhen. The vulnerability of water resources in Northwest China [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2003, 25(3):309-314.
- [2] 刘普幸,张 锐,吴三雄.敦煌绿洲近 54 年气候变化特征研究[J].干旱区资源与环境,2010,24(7):98-102.
- [3] 黎 涛,杨俊仓,宁立波.敦煌盆地生态脆弱区缓变型地质灾害及保护对策[J].兰州大学学报(自然科学版),2014,50(5):706-709.
- [4] Tianyu Wang, Xinglin Ma, Yu Li, et al. Changes in yield and yield components of single-cross maize hybrids released in China between 1964 and 2001 [J]. *Crop Science*, 2011, 51(2):512-525.
- [5] 山 仑,郭礼坤.春播谷类作物成苗期间的抗旱性及其需水条件[J].作物学报,1984,10(4):257-263.
- [6] 刘 帆,申双和,李永秀,等.不同生育期水分胁迫对玉米光合特性的影响[J].气象科学,2013,33(4):378-383.
- [7] Efeoglu B, Ekmekci Y, Cicek N. Physiological responses of three maize cultivars to drought stress and recovery [J]. *South African J Bot*, 2009, 75:34-42.
- [8] 张仁和,薛吉全,浦 军,等.干旱胁迫对玉米苗期植株生长和光合特性的影响[J].作物学报,2011,37(3):521-528.
- [9] 张 骁,荆家海,张 霖,等.水分胁迫下 2,4-D 和乙烯利对玉米幼苗光合特性的影响[J].干旱地区农业研究,1997,15(4):78-81.
- [10] 张振平,齐 华,杜妍妍,等.水分胁迫对玉米 P 群自交系沈 137 光合特性的影响[J].玉米科学,2009,17(2):95-98.
- [11] 刘 明,齐 华,孙世贤,等.水分胁迫对玉米光合特性的影响[J].玉米科学,2008,16(4):86-90.
- [12] 路贵和,戴景瑞,张书奎,等.不同干旱胁迫条件下我国玉米骨干自交系的抗旱性比较研究[J].作物学报,2005,31(10):1284-1288.
- [13] 李 英,马兴祥,丁文魁,等.干旱胁迫对玉米生长发育及其生理生化特性的影响[J].山东农业科学,2014,46(9):46-48,68.
- [14] 祁旭升,王兴荣,许 军,等.胡麻种质资源成株期抗旱性评价[J].中国农业科学,2010,43(15):3076-3087.
- [15] 高桂霞,许明丽,唐继业.干旱指标及等级划分方法研究[J].安徽农业科学,2011,39(9):5301-5305.
- [16] 袁文平,周广胜.干旱指标的理论分析与研究展望[J].地球科学进展,2004,19(6):982-991.
- [17] 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(农业科学版),2005,23(2):143-147.
- [18] Bai L P, Sui F G, Ge T D, et al. Effect of soil drought stress on leaf water status, membrane permeability and enzymatic antioxidant system of maize [J]. *Pedosphere*, 2006, 16(3):326-332.
- [19] 李运朝,王元东,崔彦宏,等.玉米抗旱性鉴定研究进展[J].玉米科学,2004,12(1):63-68.
- [20] 降云峰,马宏斌,刘永忠,等.玉米抗旱性鉴定指标研究现状与进展[J].山西农业科学,2012,40(7):800-803.
- [21] Zhang Weixing, Zhao Zhi, Bai Guangxiao, et al. Study and evaluation of drought resistance of different genotype maize inbred lines [J]. *Agric. China*, 2008, 2(4):428-434.
- [22] 韩希英,宋凤斌,王 波,等.土壤水分胁迫对玉米光合特性的影响[J].华北农学报,2006,21(5):28-32.
- [23] Pinheiro C, Chaves M M. Photosynthesis and drought: can we make metabolic connections from available data? [J]. *Exp Bot*, 2011, 62:869-882.
- [24] Cathrine Ziyomo, Rex Bernardo. Drought tolerance in maize: indirect selection through secondary traits versus genomewide selection [J]. *Crop Science*, 2013, 53(4):1269-1275.
- [25] 李 芬,康志钰,邢吉敏,等.水分胁迫对玉米杂交种叶绿素含量的影响[J].云南农业大学学报,2014,29(1):32-36.