

花生品种抗旱性鉴定评价和叶片抗旱机制研究

刘丹丹, 万勇善, 刘凤珍, 张 昆

(作物生物学国家重点实验室, 山东农业大学 农学院, 山东 泰安 271018)

摘要: 以 12 个抗旱性差异的花生品种为试验材料, 于苗期进行正常供水和重度干旱胁迫处理, 研究不同抗旱性花生品种对苗期干旱胁迫的生理响应, 并分析品种抗旱性与各叶部性状的关系, 探讨抗旱机制。结果表明: 干旱胁迫下各参试品种的单株生物量明显降低。根据各品种单株生物量的抗旱系数得出, 山花 11 号、如皋西洋生和 A596 抗旱性强, 山花 9 号、农大 818、海花 1 号、花育 20、79266 和花 17 抗旱性中等, 蓬莱一窝猴、白沙 1016 和 ICG6848 抗旱性弱。花生品种叶部性状与抗旱机制密切相关, 根据干旱条件下各叶部性状的变化规律可探讨品种的抗旱机制, 山花 11 号具有较高的光合生产能力和御旱、耐旱性; 如皋西洋生具有较好的御旱和避旱性; A596 和花 17 则表现出节水型的抗旱机制; 山花 9 号属于耗水型抗旱机制; 海花 1 号具有较好的耐旱性; 花育 20 和 79266 表现出避旱性的特征; 蓬莱一窝猴和白沙 1016 具有耗水型御旱的特点; 而 ICG6848 在以上性状的表现上不具有优势。

关键词: 花生; 干旱; 抗旱性; 抗旱机制

中图分类号: S565.01 文献标识码: A 文章编号: 1000-7091(2013)增刊-0206-08

Identification and Evaluation of Drought Resistance and Research of Leaf Drought Resistant Mechanisms in Peanut Varieties

LIU Dan-dan, WAN Yong-shan, LIU Feng-zhen, ZHANG Kun

(State Key Laboratory of Crop Biology, Agronomy College of Shandong Agricultural University, Taian 271018, China)

Abstract: The objective of my experiment was to study the physiological response of different drought tolerant peanut varieties to water stress at the seedling stage, to analyses the relationship of drought resistance with all related traits and to discuss the drought tolerant mechanisms. Twelve peanut varieties were tested and two kinds of water stress of contrast and severe drought stress was settled. The results showed that the single plant biomass of the tested peanut genotypes reduced significantly under drought stress. According to drought coefficient of biomass of single plant, we concluded that the high drought resistant varieties consisted of Shanhua 11, Rugao Xiyangsheng and A596. Shanhua 9, Nongda 818, Haihua 1, Huayu 20, 79266 and Hua 17 had moderate drought resistance. Weak drought tolerant genotypes of peanut included Penglai Yiwohou, Baisha 1016 and ICG6848. There existed significant relationships between the drought resistant mechanisms with the drought relevant traits. We researched the drought resistant mechanisms of the varieties through changes of all the traits: Shanhua 11 had higher ability of photosynthetic production and drought resistance and drought tolerance; Rugao Xiyangsheng had better drought resistance and drought avoidance; A596 and Hua 17 showed higher water-saving mechanism; Shanhua 9 belonged to water consumption variety; Haihua 1 had better drought tolerance; Huayu 20 and 79266 put up drought avoidance; Penglai Yiwohou and Baisha 1016 showed up water consumption mechanism; ICG6848 didn't have obvious advantages on the performance of the performance of the above traits.

Key words: Peanut; Drought; Drought resistance; Drought resistant mechanisms

花生 (*Arachis hypogaea* L.) 是我国重要的油料作物和经济作物, 主要种植在丘陵旱地或平原沙土地上。近年来, 由于干旱灾害的频繁发生, 造成花生产量降低, 品质下降。而种植抗旱品种是抵御干旱

收稿日期: 2013-07-28

基金项目: 国家现代农业产业技术体系建设专项资金 (CARS-14); 国家自然科学基金项目 (31201167); 山东省花生良种产业化工程项目

作者简介: 刘丹丹 (1986-), 女, 山东郓城人, 在读硕士, 主要从事花生抗旱机制及抗旱性鉴定研究。

通讯作者: 万勇善 (1960-), 男, 山东临沐人, 教授, 博士生导师, 主要从事花生栽培生理与遗传育种研究。

的有效途径,发掘抗旱种质则是目前选育优良品种和农业节水栽培的前提和基础^[1]。植物品种间抗旱性的不同,往往是几种抗旱机制同时起作用的结果。关于植物的抗旱机制,Levitt 将其分为 3 类,即避旱性、耐旱性和御旱性^[2]。前人已对花生的干旱适应机制进行了初步研究,如形态结构^[3-5]、生长发育^[5-7]和生理生态^[8-11]等方面,同时对品种抗旱性^[12-13]和抗旱鉴定指标^[14-16]等的研究也取得了较大进展,但对某一具体花生品种的抗旱性与相关生理性状的关系研究较少。而作物的形态和生理性状能较准确反映其抗旱的生理机制,例如渗透调节物质、蒸腾速率、比叶面积、较低的叶水势、失水速率等反映品种的耐旱和御旱机制,生长习性、较高的叶水势和保水能力,如比叶重和束缚水含量等反映品种的避旱机制,光合速率则直接反映品种在干旱下的物质生产能力^[17-20]。本研究采用盆栽试验方法,对 12 个花生品种在严重干旱与正常供水条件下的叶片光合速率、蒸腾速率、水分利用效率、水势、失水速率、相对含水量、比叶重、比叶面积和束缚水含量等 9 个生理生态性状进行研究,分析干旱胁迫下花生品种各叶部性状的变化规律;同时,对品种抗旱性和叶部性状进行鉴定评价,深入研究品种抗旱性与以上叶部性状的关系,并探讨抗旱机理,以期对花生大田节水栽培和选育优良抗旱种质提供可靠的理论依据。

1 材料和方法

1.1 试验材料

供试材料为 12 个抗旱性不同的花生品种。普通型品种农大 818、花 17、蓬莱一窝猴,龙生型品种 A596、如皋西洋生,珍珠豆型品种白沙 1016、花育 20,多粒型品种 ICG6848,中间型品种山花 11 号、山花 9 号、海花 1 号和 79266。

1.2 试验设计

试验设在山东农业大学农学实验站。采用盆栽种植方式,塑料盆高 45 cm,内径 40 cm,每盆装风干土 18 kg,依据土壤水分特性计算每盆的土壤灌水量。盆内土壤取自试验田耕作层,土壤经破碎后,过孔径 5 mm 筛混匀。试验前,一次性浇足水,使其自然干燥至土壤含水量的 70%~75%。花生于 2012 年 4 月 28 日播种,每盆播 3 穴,每穴 2 粒,播深 5 cm。

于出苗后 10 d 进行干旱处理,设置正常供水和重度干旱 2 个水分处理水平,其土壤相对含水量分别为 70%、45%,8 次重复,共 172 盆。灌水量采用称重法得知,每天称重 1 次至干旱处理结束。干旱

处理 15 d 后取样进行植株形态特征和相关叶片生理指标测定。

1.3 测定方法

光合参数采用 CIRAS-II 型便携式光合仪进行测定,于晴天 9:00-11:00 每处理中选择受光方向和生长状况一致的主茎倒三叶功能叶片,测定各光合指标 P_n 、 E 、 G_s 和 G_i ; 叶片相对含水量采用水饱和法测定;叶水势采用 PS ψ PROTM 露点水势仪测定;离体叶片失水速率采用重量法^[21-22],称鲜叶质量,置空气中 2 h 后称风干质量,烘干后再称取干质量,计算单位质量叶片在单位时间内的失水量;束缚水含量采用蔗糖溶液称重法^[21-23]测定;LI-3100 离体叶面积仪测定叶面积。

1.4 数据分析与处理

1.4.1 品种抗旱性鉴定评价 采用抗旱系数法对 12 个花生品种的抗旱性进行直接评价。实际生产中,长势和形成产量的能力是植株抗旱性能的最终体现。因此,本研究以单株生物量的抗旱系数作为苗期品种抗旱性的评定依据。根据花生品种的抗旱系数大小将抗旱性划分为强、中等、弱和不抗旱 4 个等级:若抗旱系数等于 0.7 或以上,则抗旱性强;若抗旱系数小于 0.7 大于 0.6,则抗旱性中等;若抗旱系数大于 0.5 小于 0.6,则抗旱性弱;若抗旱系数等于 0.5 或以下,则品种不抗旱^[24-26]。

抗旱系数 = 干旱条件下单株生物量 / 正常供水条件下单株生物量

性状相对值 = 干旱条件下某一性状测定值 / 正常供水条件下某一性状测定值

1.4.2 品种叶部性状鉴定评价 采用隶属函数值法对各参试品种的叶部性状进行鉴定评价。将各品种叶部性状的隶属函数值扩展到 [0, 1] 闭区间,并对其划分等级。隶属函数值公式为:

$$u(x_j) = (x_j - x_{\min}) / (x_{\max} - x_{\min}) \quad (j = 1, 2, 3, \dots, n)$$

式中 $u(x_j)$ 为各品种第 j 个性状相对值的隶属函数值, x_j 为各品种某一性状的性状相对值, x_{\max} 和 x_{\min} 分别为所有参试品种中第 j 个性状相对值的最大值和最小值; r_j 为各品种各抗旱性状相对值的隶属函数值与抗旱系数的相关系数; $r_j / \sum_{n=1}^n r_j$ 为指标权重,表示第 j 个指标在所有指标中的重要程度。根据花生品种各叶部性状相对值的隶属函数值,将各性状的抗旱能力划分为抗旱性强 ($u \geq 0.7$)、中等 ($0.6 \leq u < 0.7$)、弱 ($0.5 \leq u < 0.6$) 和不抗旱 ($u < 0.5$) 4 个等级^[14-24],并以此为标准对花生叶部性状进行抗旱鉴定与评价。

2 结果与分析

2.1 花生品种抗旱性鉴定评价

目前,作物品种抗旱性评价仍无统一的标准。本研究以花生单株生物量的抗旱系数作为品种抗旱性的评定依据。从表1可以看出,各品种的抗旱系数

变化范围为0.502~0.794,说明各品种对干旱胁迫的适应能力不同,品种间的抗旱性存在较大差异。在所有参试品种中,抗旱性强的品种有山花11号、如皋西洋生和A596,抗旱性中等的品种有山花9号、农大818、海花1号、花育20、79266和花17,抗旱性弱的品种有蓬莱一窝猴、白沙1016和ICG6848。

表1 花生各品种正常和干旱处理的单株生物量及抗旱系数

Tab.1 The single plant biomass and drought resistance coefficient under normal water supply and water stress conditions in peanut varieties

品种 Varieties	单株生物量/g The single plant biomass		抗旱系数 Drought coefficient
	重度干旱处理 Severe drought	正常供水处理 Normal water supply	
山花11号 Shanhua 11	3.20	4.38	0.794
如皋西洋生 Rugaoxiyangsheng	1.98	2.73	0.760
A596	2.59	4.26	0.739
山花9号 Shanhua 9	2.62	4.24	0.696
农大818 Nongda 818	2.89	4.12	0.681
海花1号 Haihua 1	2.85	4.10	0.669
花育20号 Huayu 20	2.66	4.95	0.659
79266	2.25	3.58	0.627
花17 Hua 17	3.47	5.15	0.624
蓬莱一窝猴 Penglaiyiwohou	1.85	3.60	0.553
白沙1016 Baisha 1016	2.47	3.50	0.534
ICG6848	2.27	4.13	0.502

2.2 花生品种各抗旱性状评价

目前在花生的抗旱性研究中,提出了一系列与抗旱性有关的形态结构、生长发育和生理生化指标。而究竟这些性状和指标在抗旱性研究中的应用价值如何,尚未提出一个统一的、合适的评价方法。本试验选择光合速率、蒸腾速率、叶片水分利用效率、水

势、失水速率、相对含水量、比叶重、比叶面积和束缚水含量等9个叶部性状,并分析正常供水和严重干旱胁迫下各指标性状的变化,以便对各品种的不同叶部性状进行鉴定评价。

花生各参试品种在正常供水条件下,各个叶部性状的测定值如表2所示。其中,光合速率和蒸腾

表2 正常供水条件下花生品种各叶部性状的测定值

Tab.2 The measured value of every drought resistant trait under normal water supply condition in peanut varieties

品种 Varieties	光合速率 /($\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$) Photosynthetic rate	蒸腾速率 /($\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$) Transpiration rate	叶片水分 利用效率 /(g/kg) Pn/E	水势/MP Water potential	失水速率 /($\text{g}/(\text{g}\cdot\text{h})$) Rate of leaf water loss	相对含水量 /(g/g) Relative water content	比叶重 /(g/cm^2) Specific leaf weight	比叶面积 /(cm^2/g) Specific leaf area	束缚水含 量/(g/g) Content of bond water
79266	21.5a	6.2a	3.81bc	-0.56abcd	7.43a	0.957a	6.91bcd	34.41ef	0.191e
白沙1016 Baisha 1016	22.1a	6.6a	3.37de	-0.45a	8.21ab	0.917ab	5.03e	42.93a	0.246b
如皋西洋生 Rugaoxiyangsheng	22.6a	6.3a	3.56cde	-0.60bcd	8.18bc	0.934a	7.61ab	33.69f	0.243b
海花1号 Haihua 1	23.2a	6.6a	3.26e	-0.47ab	6.48bc	0.903ab	8.48a	37.82cd	0.196e
花育20号 Huayu 20	23.4a	6.4a	3.49cde	-0.65de	6.37bcd	0.932ab	6.11cde	39.84bc	0.186e
A596	21.8a	6.0a	3.65bcd	-0.77ef	9.07cde	0.884ab	5.66e	40.90ab	0.235bc
山花9号 Shanhua 9	24.4a	6.3a	4.32a	-0.65de	7.77de	0.925ab	6.17cde	31.00g	0.204de
ICG6848	24.2a	6.6a	3.72bc	-0.63cd	9.35ef	0.855b	5.32e	39.99bc	0.202de
花17 Hua 17	23.1a	6.5a	3.74bc	-0.50abc	6.67fg	0.906ab	6.06de	36.60de	0.249b
山花11号 Shanhua 11	21.8a	6.2a	3.30e	-0.55abcd	8.32g	0.945a	8.67a	30.48g	0.278a
农大818 Nongda 818	22.0a	6.1a	3.78bc	-0.47ab	7.22g	0.920ab	7.24bc	34.55ef	0.187e
蓬莱一窝猴 Penglaiyiwohou	24.0a	6.6a	3.91b	-0.78f	6.35g	0.883ab	5.99de	39.34bc	0.219cd

注:同列不同小写字母表示品种(系)间差异显著($P < 0.05$)。表3同。

Note: Different small letters in the same column indicated significant difference among different varieties (lines) at 0.05 levels. The same as Tab.3.

速率品种间无显著差异,光合速率最高的是山花 9 号,最低的是 79266,蒸腾速率最高的为白沙 1016、海花 1 号、蓬莱一窝猴和 ICG6848,最低的为 A596。叶片水分利用效率、比叶重和比叶面积最高的分别是山花 9 号、山花 11 号和白沙 1016,而海花 1 号、白沙 1016 和山花 11 号分别表现最低值。各水分生理性状如水势、失水速率、相对含水量和束缚水含量,最高值分别出现在白沙 1016、ICG6848、79266 和山花 11 号,最低值的分别是蓬莱一窝猴、ICG6848 和花育 20。

从表 3 可以看出,重度干旱条件下,光合生理性状如光合速率、蒸腾速率、水分利用效率、比叶重和

比叶面积最高值分别出现在山花 11 号、山花 11 号、A596、农大 818 和 A596,最低的分别是花 17、农大 818、花 17、ICG6848 和农大 818,光合速率、蒸腾速率和比叶面积在遭受重度干旱后,呈降低趋势,而叶片水分利用效率和比叶重呈升高趋势。水分生理性状如水势、失水速率、相对含水量和束缚水含量的测定值最高的是农大 818、ICG6848、海花 1 号和花育 20,最低的分别是山花 11 号、农大 818、白沙 1016 和白沙 1016。其中,在重度干旱条件下,水势和相对含水量降低,而失水速率和束缚水含量在有些品种中降低,有些品种中则升高。

表 3 重度干旱条件下花生品种各叶部性状的测定值

Tab. 3 The measured value of every drought resistant trait under severe water stress condition in peanut varieties

品种 Varieties	光合速率 $/(\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s}))$ Photosynthetic rate	蒸腾速率 $/(\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s}))$ Transpiration rate	叶片水分利 用效率 $/(\text{g}/\text{kg})$ Pn/E	水势 /MP Water potential	失水速率 $/(\text{g}/(\text{g}\cdot\text{h}))$ Rate of leaf water loss	相对含水量 $/(\text{g}/\text{g})$ Relative water content	比叶重 $/(\text{g}/\text{cm}^2)$ Specific leaf weight	比叶面积 $/(\text{cm}^2/\text{g})$ Specific leaf area	束缚水含 量 $/(\text{g}/\text{g})$ Content of bond water
79266	9.9def	2.6bcd	4.27bc	-0.91abcd	10.32a	0.831bc	7.42b	36.95bcd	0.233d
白沙 1016 Baisha 1016	10.9de	3.4abcd	3.53e	-0.77a	9.20b	0.700e	6.39fg	36.55bcd	0.204e
如皋西洋生 Rugaoxiyangsheng	17.6a	3.7ab	5.17a	-0.99bcd	6.38c	0.825bc	7.01bcd	35.19def	0.236d
海花 1 号 Haihua 1	12.3cd	3.1bcd	4.28bc	-1.09d	6.29cd	0.901a	6.91cde	37.47bcd	0.263bc
花育 20 号 Huayu 20	10.5de	2.6cd	4.16cd	-0.85abc	8.55cd	0.795bcd	6.56def	38.37abc	0.298a
A596	16.4ab	3.5abcd	5.20a	-1.03bcd	8.56d	0.742de	6.06gh	41.17a	0.277ab
山花 9 号 Shanhua 9	14.1bc	3.3bcd	4.67b	-0.94abcd	5.99e	0.836ab	7.25bc	34.44ef	0.260bc
ICG6848	7.5fg	2.9bcd	2.38f	-1.06cd	12.67f	0.782bcd	5.75h	39.00ab	0.245cd
花 17 Hua 17	7.0g	3.6abc	1.88g	-0.82ab	9.17fg	0.767cd	7.05bc	36.92bcde	0.243cd
山花 11 号 Shanhua 11	18.9a	4.5a	4.19cd	-1.10d	6.28fg	0.826bc	8.11a	35.86cdef	0.294a
农大 818 Nongda 818	9.1efg	2.4d	3.73de	-0.74a	5.87fg	0.844ab	8.14a	33.76f	0.241cd
蓬莱一窝猴 Penglailiwohou	11.4de	2.8bcd	3.54e	-0.93abcd	7.58g	0.842ab	6.56ef	38.80ab	0.242cd

从花生各品种不同叶部性状相对值的隶属函数值(表 4)可以看出,不同品种同一性状的隶属函数值存在差异,同一品种不同性状的隶属函数值也不相同。抗旱性强的品种如山花 11 号,在严重干旱胁迫条件下,光合系统对干旱的抗性较强,光合速率、蒸腾速率和水分利用效率的隶属函数值较大,比叶重和比叶面积的隶属函数值也较大,叶片较厚,单位叶面积小,因此可减少蒸腾失水,提高水分利用效率。抗旱性中等的品种如海花 1 号,在受到严重干旱时能维持体内较高的叶水势,相对含水量和束缚水含量的隶属函数值也较高,失水速率在所有品种中隶属函数值最大,这些性状对干旱的抗性较强,因而在选育品种时优先选择上述性状,对于品种抗旱性的累加是有利的。抗旱性弱的品种如蓬莱一窝猴和 ICG6848,虽具有较高的相对含水量,但其他性状在遭遇干旱时抗性较差,抗旱能力弱,可利用的优势

性状少。白沙 1016 干旱时失水速率的隶属函数值较大,其他性状在干旱后则不具有优势。

本研究得出,各品种对干旱胁迫的生理响应机制不同,表现为干旱条件下各叶部性状的变化规律不同。用隶属函数法可对花生品种的各叶部性状进行定量描述并划分抗旱等级,借以探讨不同抗旱品种的抗旱机制,以期对花生种质资源抗旱性状的鉴定与筛选提供理论依据。

2.3 花生各品种叶片抗旱机制的分析

作物的抗旱性往往是几种抗旱机制共同作用的结果。品种间的抗旱机制不同,其抗旱性在不同性状上的表现也不相同。由于品种的抗旱性与以上各叶部性状的隶属函数值显著相关,因此,本试验根据每个叶部性状对品种抗旱性的贡献来分析品种的抗旱特征,据此了解品种的抗旱机制和抗旱改良方向。

表 4 花生各品种各叶部性状相对值的隶属函数值、相关系数和权数

Tab.4 The subordinate function values ,correlation index and index weights of every relative drought-resistant trait in peanut varieties

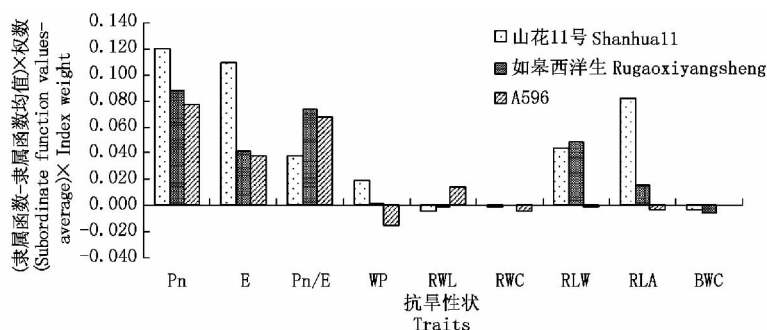
品种 Varieties	光合速率 Photosynthetic rate	蒸腾速率 Transpiration rate	叶片水分利用 效率 Pn/E	水势 Water potential	失水速率 Rate of leaf water loss	相对含水量 Relative water content	比叶重 Specific leaf weight	比叶面积 Specific leaf area	束缚水含量 Content of bond water
79266	0.279	0.063	0.648	0.395	0.000	0.445	0.435	0.684	0.505
白沙 1016 Baisha 1016	0.338	0.385	0.575	0.457	0.423	0.000	0.000	0.000	0.000
如皋西洋生 Rugaoxiyangsheng	0.845	0.578	1.000	0.412	0.959	0.510	0.769	0.594	0.184
海花 1 号 Haihua 1	0.403	0.197	0.853	1.000	0.659	1.000	0.890	0.429	0.663
花育 20 号 Huayu 20	0.261	0.013	0.728	0.107	0.072	0.384	0.434	0.344	1.000
A596	0.795	0.555	0.969	0.137	0.702	0.327	0.442	0.477	0.455
山花 9 号 Shanhua 9	0.491	0.380	0.608	0.229	0.974	0.596	0.212	0.797	0.580
ICG6848	0.015	0.103	0.144	0.446	0.052	0.648	1.000	0.381	0.038
花 17 Hua 17	0.000	0.465	0.000	0.410	0.020	0.357	0.236	0.484	0.190
山花 11 号 Shanhua 11	1.000	1.000	0.807	0.708	1.000	0.472	0.737	1.000	0.497
农大 818 Nongda 818	0.197	0.000	0.509	0.336	0.907	0.657	0.323	0.387	0.591
蓬莱一窝猴 Penglaiyiwohou	0.308	0.085	0.423	0.000	0.305	0.811	0.386	0.415	0.357
相关系数 Correlation index	0.763 9**	0.656 5*	0.677 7*	0.245 0	0.662 6*	0.061 4	0.197 7	0.653 4*	0.426 5
权数 Index weight	0.175 8	0.151 1	0.156 0	0.056 4	0.152 5	0.014 1	0.045 5	0.150 4	0.098 2

注: * 和 ** 分别表示相关性达到显著 ($P < 0.05$) 和极显著 ($P < 0.01$)。

Note: * and ** indicate significant correlation at $P < 0.05$ and $P < 0.01$ respectively.

本研究选择光合速率、蒸腾速率、叶片水分利用效率、水势、失水速率、相对含水量、比叶重、比叶面积和束缚水含量等 9 个生理性状,这些性状与品种抗旱性有一定相关性但彼此作用机理又不相同。研究认为山花 11 号、如皋西洋生和 A596 虽均是抗旱性强的品种,但三者的抗旱机制存在差异(图 1):山花 11 号在干旱条件下具有较高的光合生产能力,蒸腾低,叶片较厚,比叶面积小,具有良好的御旱性和耐旱性,如果能通过育种手段增强其耐旱性,则品种

抗旱性会进一步增强;如皋西洋生干旱下光合速率较高,蒸腾速率较低,水分利用效率高,叶片较厚,具有较强的御旱性和避旱性,如果能通过品种改良提高其耐旱性,则会进一步增强品种抗旱性;A596 干旱时光合速率较高,蒸腾速率低,叶片的水分利用效率高,属节水型的抗旱机制,如果能通过遗传手段增强其耐旱和避旱性,进一步提高光合生产能力,则品种会具有更良好的抗旱性能。



Pn. 光合速率; E. 蒸腾速率; Pn/E. 叶片水分利用效率; WP. 叶水势; RWL. 失水速率;
RWC. 相对含水量; RLW. 比叶重; RLA. 比叶面积; BWC. 束缚水含量。图 2 ~ 4 同。

Pn. Photosynthetic rate; E. Transpiration rate; Pn/E. Leaf water use efficiency; WP. Water potential; RWL. Rate of water loss;
RWC. Relative water content; RLW. Ratio of leaf weight; RLA. Ratio of leaf area; BWC. Bond water content. The same as Fig. 2 ~ 4.

图 1 山花 11 号、如皋西洋生和 A596 叶片抗旱机制的分析

Fig.1 Analysis of leaf drought-resistant mechanism of Shanhua 11, Rugaoxiyangsheng and A596

山花 9 号、农大 818、海花 1 号、花育 20、79266 和花 17 均为抗旱性中等的品种,但这六者的抗旱机制不尽相同(图 2 ~ 3):山花 9 号在干旱条件下叶片

的比叶面积较小,高蒸腾、低光合,属耗水型的抗旱机制,但它的综合抗旱能力较强,可能是具有其他优良的性状,存在其他的抗旱机制;海花 1 号干旱下能

维持体内较高的叶水势,保水能力强,这与叶片较厚有关,有较好的耐旱性;花育20在遭受干旱胁迫时具有高的束缚水含量,叶片水分利用效率较高,表现出较好的避旱性;79266干旱时比叶面积小,具有避

旱性的特点,如果能通过遗传改良提高其耐旱和避旱能力,则品种的抗旱性会进一步增强,因而可提高光合速率,进一步提高干旱下的产量水平;花17干旱时蒸腾降低,具有御旱性的特点。

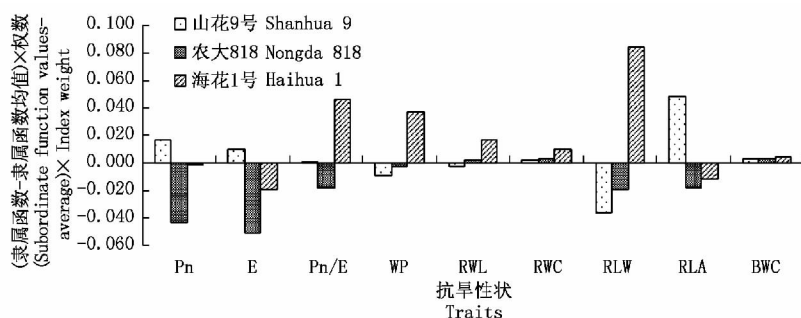


图2 山花9号、农大818和海花1号叶片抗旱机制的分析

Fig. 2 Analysis of leaf drought-resistant mechanism of Shanhua 9, Nongda 818 and Haihua 1

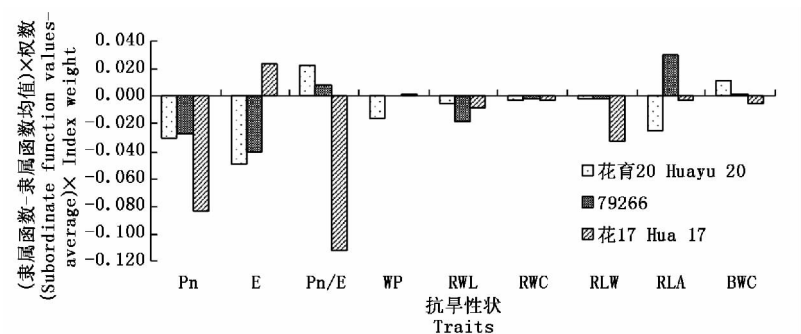


图3 花育20、79266和花17叶片抗旱机制的分析

Fig. 3 Analysis of leaf drought-resistant mechanism of Huayu 20, 79266 and Hua 17

蓬莱一窝猴、白沙1016和ICG6848是抗旱性弱的品种,但三者以上所选择的叶部性状上表现出不同的抗旱特征(图4):蓬莱一窝猴干旱时具有较低的失水速率和较高的相对含水量,具有耗水型抗

旱机制的特征;白沙1016干旱时蒸腾降低,失水速率低,以减少失水的方式维持体内正常的水分需求,具有相对较强的持水能力;而ICG6848在以上性状的表现上不具有相对优势,综合抗旱性也较弱。

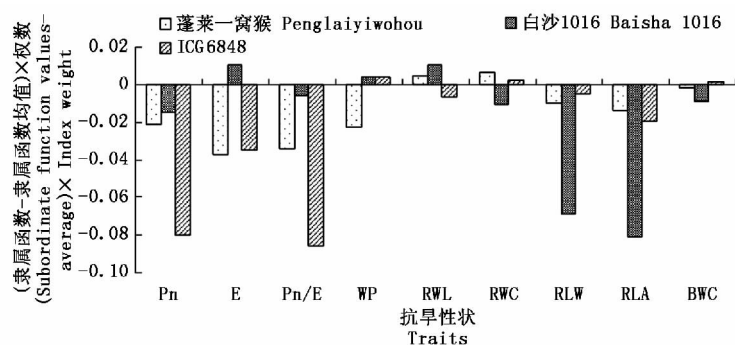


图4 蓬莱一窝猴、白沙1016和ICG6848叶片抗旱机制的分析

Fig. 4 Analysis of leaf drought-resistant mechanism of Penglaiyiwohou, Baisha 1016 and ICG6848

3 讨论与结论

3.1 花生品种抗旱性评价方法和指标体系的研究

作物抗旱性是多基因控制的数量遗传性状,反映品种对干旱的适应能力。花生虽是抗旱性较强的作物,但在我国分布较广的干旱、半干旱地区,灌溉条件较差,目前的花生品种不能满足生产的需要。而花生品种资源的遗传基础相对狭窄,很难在短时

间内选育出高度抗旱的品种。因此,花生种质及其性状的抗旱性鉴定评价显得尤为重要。一般来说,作物在干旱条件下,长势和形成产量的能力是鉴定抗旱性最可靠的指标,传统的品种抗旱性的评定方法多是采用抗旱系数法^[27],故本试验以单株生物量的抗旱系数作为衡量花生品种抗旱性强弱的指标。品种抗旱性又是一个综合性状,是多种抗旱性状综合作用的结果。然而,在实际的抗旱品种选育过程

中,如果只根据产量或植株生物量的抗旱系数来进行鉴定筛选,则可能会漏掉一些综合抗旱能力不强,但却具有某些优良抗旱性状的中间材料。因此,本研究以抗旱系数作为品种抗旱性的评价指标,同时以隶属函数值作为各叶部性状的评价指标,这样就把各性状的应用价值落实到抗旱系数上,并在此基础上对叶部性状进行鉴定评价,以期在花生生育前期选出具有优良性状的品种,实现抗旱育种中优势性状的重点选择及不利性状的改良,这对花生抗旱能力的累加无疑是有利的。

作物抗旱性评价标准大体可分为直接评价和综合评价两类,以产量性状为主的直接评价法有抗旱系数、抗旱指数、敏感指数、干旱伤害指数等,综合评价法有抗旱总极值法、隶属函数法、灰色关联分析法等。前人研究认为抗旱系数是最典型表达形式,可直接用来评价品种的抗旱性。而隶属函数法所衡量的是各性状在抗旱性表现过程中对品种抗旱性的贡献大小,它提供了一条在多性状指标测定基础上对材料抗旱特性进行分析、评价的综合途径,因而在对性状的评价上比较科学合理,可大大提高性状筛选的可靠性。本研究中对 12 个花生品种的光合速率、蒸腾速率、叶片水分利用效率、水势、失水速率、相对含水量、比叶重、比叶面积和束缚水含量等 9 个生理性状进行抗旱鉴定评价,其品种抗旱性也与它们在实际生产中的表现基本吻合,说明花生在苗期严重干旱胁迫 15 d 后,用单株生物量的抗旱系数来评价品种的抗旱性,结果准确、可靠,用隶属函数法对各叶部性状划分等级,并筛选优势性状,比较科学、合理。

3.2 花生品种叶片抗旱机制的探讨

不同作物适应干旱的方式多种多样,同一种作物不同品种间也往往具有几种不同的抗旱机制。花生的抗旱机制可分为耐旱、避旱和御旱 3 种类型^[17-18,28]。避旱性是植物在整体水平上靠增加吸水 and 加强输水或贮水等措施避免干旱伤害;耐旱性是通过防止地上部水分消耗或增强渗透调节能力,来保持干旱下体内的水分平衡;御旱性则是花生在干旱逆境下维持植株高水势的能力,Levitt^[2]又将它分为节水型抗旱机制和耗水型抗旱机制。节水型植物主要是通过减少蒸腾来避免植株失水,这类植物的气孔对水分亏缺相当敏感,当遭受干旱时,往往在叶片接近萎蔫之前就关闭。以低的水分消耗和低的光合生产率换取高的存活率,是这类御旱机制的基本特征;而耗水型则通过其他减少失水的方式,但它的蒸腾量并不减少,光合速率也较高,这类植物的根

系发达,在遇到持续少雨或无雨时,能使其内部保持较高的含水量和水势,维持较高的生长速度,而发达的根系则是植物长期适应干旱环境的结果。实际上,花生在干旱胁迫条件下,并不是依靠单一机制来抵御干旱,而是多种机制共同作用,只是在不同的品种中,不同机制所占的主导地位不同。本试验中各光合生理性状和水分生理性状在重度干旱胁迫后表现出不同的变化规律,说明各品种正是通过不同的抗旱机制来调节各性状的表现,以适应逆境胁迫。因此,本研究通过揭示干旱条件下各叶部性状的变化得出了各品种的抗旱机制:山花 11 号具有较高的光合生产能力和御旱、耐旱性;如皋西洋生具有较好的御旱和避旱特性;A596 和花 17 则表现出节水型的抗旱机制;山花 9 号属于耗水型抗旱机制;海花 1 号具有较好的耐旱性;花育 20 和 79266 表现出避旱性的特征;蓬莱一窝猴和白沙 1016 具有耗水型御旱的特点;而 ICG6848 在以上性状上,没有表现出明显优势。本研究认为,所选择的 9 个叶部性状能反映不同的抗旱机制,并且各性状对抗旱性的贡献不同,因此,可根据不同叶部性状在综合抗旱性中的贡献大小来探讨叶片抗旱的生理机制,并选出具有优良性状的品种,以期为提高花生抗旱育种进程提供理论依据。

参考文献:

- [1] 彭远英,颜红海,郭来春,等. 燕麦属不同倍性种质资源抗旱性状评价及筛选[J]. 生态学报, 2011, 31(9): 2478-2491.
- [2] Levitt J. Responses of plants to environmental stress [M]. New York: Academic Press, 1972.
- [3] 张智猛,万书波,戴良香,等. 不同花生品种对干旱胁迫的响应[J]. 中国生态农业学报, 2011, 19(3): 631-638.
- [4] 严美玲,李向东,林英杰,等. 苗期干旱胁迫对不同抗旱花生品种生理特性、产量和品质的影响[J]. 作物学报, 2007, 33(1): 116-119.
- [5] 严美玲,矫岩林,李向东,等. 苗期灌水量对花生生理特性和产量的影响[J]. 应用生态学报, 2007, 18(2): 347-351.
- [6] 姜慧芳,任小平. 干旱胁迫对花生叶片 SOD 活性和蛋白质的影响[J]. 作物学报, 2004, 30(2): 169-174.
- [7] Songsri P, Jogloy S, Kesmala T, et al. Responses of reproductive characters of drought resistant peanut genotypes to drought[J]. Asian Journal of Plant Sciences, 2008, 7(5): 427-439.
- [8] 刘吉利,赵长星,吴娜,等. 苗期干旱及复水对花生光合特性及水分利用效率的影响[J]. 中国农业科学,

- 2011 44(3): 469–476.
- [9] 沈维良, 柳建国. 作物耐旱性与叶片水势简报 [J]. 中国生态农业学报 2001 9(4): 100–101.
- [10] Celikkol, Akcay, Ercan O *et al.* Drought-induced oxidative damage and antioxidant responses in peanut (*Arachis hypogaea* L.) seedlings [J]. Plant Growth Regal, 2010 61: 21–28.
- [11] Painawadee M, Jogloy S, Kesmala T *et al.* Identification of traits related to drought resistance in peanut [J]. Asian Journal of Plant Sciences 2008 8(2): 120–128.
- [12] 谭忠, 朱新亮, 刘文霞, 等. 花生种质资源抗旱性鉴定及综合利用评价 [J]. 中国油料作物学报, 1997, 19(4): 73–75.
- [13] 张智猛, 万书波, 戴良香, 等. 花生萌芽期水分胁迫品种适应性及抗旱性评价 [J]. 干旱地区农业研究, 2007 27(5): 173–182.
- [14] 张智猛, 万书波, 戴良香, 等. 花生抗旱性鉴定指标的筛选与评价 [J]. 植物生态学报 2011 35(1): 100–109.
- [15] 王育红, 姚宇卿, 吕军杰, 等. 花生抗旱指标研究初报 [J]. 干旱地区农业研究 2002 2(3): 89–91.
- [16] 王育红, 姚宇卿, 吕军杰. 花生抗旱性与生理生态指标关系的研究 [J]. 杂粮作物, 2002, 22(3): 147–149.
- [17] 姜慧芳, 段乃雄. 花生抗旱机制的研究进展 [J]. 中国油料作物学报 1997 19(3): 73–75.
- [18] 周桂元, 李艳, 梁炫强. 节水耐旱花生品种的特征 [J]. 花生学报 2008 37(2): 32–34.
- [19] 成明昊, 李晓林, 张云贵. 苹果属植物的耐旱性与耐热性 [J]. 四川果树, 1997 1(2): 1–4.
- [20] 昌西. 植物对干旱逆境的生理适应机制研究进展 [J]. 安徽农业科学 2008 36(18): 7549–7551.
- [21] 张明生, 彭忠华, 谢波, 等. 甘薯离体叶片失水速率及渗透调节物质与品种抗旱性的关系 [J]. 中国农业科学 2004 37(1): 152–156.
- [22] 马瑞昆, 贾秀领, 张全国, 等. 石新 733 小麦的水分生理特点及节水灌溉效应 [J]. 作物学报 2007 33(9): 1446–1451.
- [23] 王传义, 张忠锋, 徐秀红, 等. 烟草叶片中自由水含量测定方法比较分析 [J]. 中国烟草科学 2008 29(3): 29–31.
- [24] 程建峰, 潘晓云, 刘宜柏, 等. 水稻抗旱性鉴定的形态指标 [J]. 生态学报 2005 25(11): 3117–3125.
- [25] 王贺正, 马均, 李旭毅, 等. 水稻开花期一些生理生化特性与品种抗旱性的关系 [J]. 中国农业科学, 2007 40(2): 399–404.
- [26] 杨建昌, 张亚洁, 张建华, 等. 水分胁迫下水稻剑叶中多胺含量的变化及其与抗旱性的关系 [J]. 作物学报 2004 30(11): 1069–1075.
- [27] 王贺正, 马均, 李旭毅, 等. 水稻开花期抗旱性鉴定指标的筛选 [J]. 作物学报 2005 31(11): 1485–1489.
- [28] 张智猛, 戴良香, 丁红, 等. 中国北方主栽花生品种抗旱性鉴定与评价 [J]. 作物学报 2012 38(3): 495–504.