

陈 雷, 张枫叶, 贺群岭, 等. 基于隶属函数法和主成分分析评价花生品种花针期抗旱性[J]. 江苏农业科学, 2024, 52(14): 87–94.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2024.14.012

基于隶属函数法和主成分分析 评价花生品种花针期抗旱性

陈 雷, 张枫叶, 贺群岭, 连少英, 张梦圆, 杨明达, 李 可, 吴继华

(商丘市农林科学院, 河南商丘 476000)

摘要:通过研究供试品种在花针期的抗旱性, 为品种推广和抗旱性育种提供理论依据。采用防雨旱棚池栽方式对本地自育和主栽的 8 个花生品种进行干旱处理, 对干旱处理后植株的主茎高、侧枝长、地上部干重、根系干重, 叶片的过氧化氢酶(CAT)活性、超氧化物歧化酶(SOD)活性、过氧化物酶(POD)活性、丙二醛(MDA)含量和收获期百果重、百仁重、出仁率、单株结果数、单株生产力进行测定, 利用隶属函数法和主成分分析法进行综合评价, 得出供试品种抗旱能力。结果表明, 花针期干旱抑制了花生植株生长发育, 提高了叶片抗氧化酶活性、增加了丙二醛含量, 降低了果重、果数和单株生产力。各性状指标间存在一定相关性, 但相关性显著程度不同, 其中单株生产力与其他测定性状均呈显著或极显著相关。商花 21 号、豫花 9327、商花 33 号、豫花 9326 的综合隶属函数 D 值分别为 0.888、0.827、0.774、0.720, 均大于 0.7, 聚类分析将品种分为 3 个类群(抗旱性强、抗旱性中等、抗旱性弱), 其中商花 21 号与豫花 9327 为一类, 并且主成分分析的 Y 值较高, 分别为 2.592、2.093, 综合分析得出, 商花 21 号与豫花 9327 属于抗旱性强品种。

关键词:花针期; 花生抗旱性; 性状; 隶属函数法; 主成分分析法

中图分类号:S565.203.7 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2024)14-0087-07

花生虽具有耐逆、抗旱等优点, 但花生主产区以沙地和贫瘠地块为主, 抗旱条件较差, 目前全球气候生态平衡被打破, 极端干旱天气频繁发生, 危害日趋严重。干旱阻碍花生植株正常生长发育^[1-2], 同时降低了植株抗性, 易受虫害和病害侵袭^[3-4], 导致花生产量和品质降低^[5], 并加剧黄曲霉污染的风险, 是制约花生产业可持续发展的主要因素^[6]。我国花生在世界上具有重要的地位, 种植面积居世界第 2 位, 总产第 1 位^[7], 是河南省第一大油料作物, 常年种植面积稳定在 2 000 万亩(1 hm² = 15 亩)左右, 河南省花生产业的稳定发展, 必须面对干旱胁迫这个重大问题, 筛选、评价和选育抗旱花生品种及种质资源是解决干旱危害的关键手段^[8-9]。隶属函数法、聚类分析和主成分分析等评

价方法被广泛应用到小麦^[10-11]、玉米^[12-13]、水稻^[14-15]、大豆^[16-17]等作物的抗旱性评价上, 并取得良好的评价效果。花生研究方面, 刘博宽等利用抗旱系数和主成分分析对 13 个当地主栽花生品种的生理和农艺性状进行评价, 筛选出叶片的相对含水量、可溶性糖含量、过氧化物酶(POD)活性, 作为花生品种抗旱性评价的有效指标^[18]; 宁东贤等利用隶属函数对干旱下 12 份黑花生品种(系)的农艺、生理和品质指标进行综合评价, 明确与抗旱系数相关的性状类别, 筛选出 4 个抗旱性强的黑花生品种(系)^[19]。刘海东等通过隶属函数法对花针期干旱胁迫下花生品种的植株形态、生理特性和产量性状进行综合评价, 为品种适应性推广提出理论依据^[20]。张智猛等利用抗旱系数与隶属函数法对花生苗期和花针期的植株形态和生理指标进行评价, 得出花针期是评价品种(系)抗旱性的有效时期^[21]。花生抗旱表现是多基因共同作用的结果, 遗传基础较为复杂^[22], 并且普遍认为在开花下针期受干旱影响较大^[23], 对河南省豫东地区育成及主栽花生品种(系)的抗旱性评价未见报道, 因此以本区域育成品种(系)和主栽品种为试验材料, 采用防雨旱棚池栽的方式, 研究花针期干旱对花生农艺、生理及

收稿日期: 2023-09-22

基金项目: 河南省重大科技专项(编号: 221100110300); 河南省良种联合攻关项目(编号: 20220100001); 河南省科技攻关计划(编号: 212102110271)。

作者简介: 陈 雷(1984—), 男, 河南商丘人, 硕士, 副研究员, 从事花生育种及高产栽培技术研究。E-mail: chenlei19841@126.com。

通信作者: 吴继华, 研究员, 从事花生育种及高产栽培技术研究。
E-mail: wjihua122@163.com。

经济性状的影响,并利用隶属函数和主成分分析法,对供试材料抗旱性进行综合评价,以期为河南省豫东地区抗旱花生品种的推广和选育提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料和性状数据

选取本区域选育及主栽的 8 份花生品种(系)为试验材料,由商丘市农林科学院种质资源库提供,供试品种主要性状在对照与花针期干旱处理下的数据见表 1。

1.2 试验池概况

试验于 2022 年在商丘市农林科学院试验园区抗旱棚内进行,抗旱池长 1.5 m、宽 2.0 m、深 1.5 m,抗旱池四周为水泥墙,池底未封闭。土壤类型为两合土,耕层土壤含有机质 11.4 g/kg,全氮 75.2 mg/kg,速效氮 41.4 mg/kg,速效磷 17.7 mg/kg,速效钾 40.3 mg/kg,交换性钙 8.1 g/kg,pH 值为 7.2。5 月 15 日播种,播种前施硫酸钾复合肥(N 含量 14%,P₂O₅ 含量 16%,K₂SO₄ 含量 14%)300 kg/hm² 作为基肥,全生育期末追肥,9 月 15 日收获。

1.3 试验设计

采取随机区组设计,设 2 个处理:对照(CK)和花针期干旱胁迫;每个处理设 3 次重复,行距 40 cm,穴距 15 cm,每穴 2 粒;每池种 5 行,每行 10 穴,出苗后留单株;抗旱池在播种前均灌足底墒水,对照(CK)处理 0~20 cm 土层的相对含水量维持在(70±5)%,花针期干旱处理 0~20 cm 土层相对含水量维持在(45±5)%,持续控水 20 d,不喷施化控剂,其余田间管理按本地习惯。TRIME-EZ/IT 土壤水分测定仪测定土壤含水量,用测墒补灌法计算补水量。

1.4 测定项目及方法

1.4.1 农艺和经济性状 干旱胁迫末期,选取中间长势一致的 10 穴(10 株),分别测定主茎高、侧枝长,植株地上部和根系(0~20 cm)分别装入网兜,在干燥箱内进行 105 ℃杀青,于 80 ℃烘干直至恒重后称重。成熟期测定百果重、百仁重、出仁率、单株结果数和单株生产力。

1.4.2 生理指标 干旱胁迫末期,取主茎上的倒 3 叶,用液氮速冻后放 -80 ℃冰箱备用。采用氯化硝基四氮唑蓝(NBT)光化还原法测定超氧化物歧化酶(SOD)活性,采用愈创木酚法测定过氧化物酶(POD)活性,采用紫外吸收法测定过氧化氢酶(CAT)

表 1 供试材料和性状值

处理	品种名称	主茎高 (cm)	侧枝长 (cm)	地上部 干重 (g/株)	根系 干重 (g/株)	SOD 活性 (U/mg)	CAT 活性 (U/mg)	POD 活性 (U/mg)	MDA 含量 (μmol/g)	百果重 (g)	百仁重 (g)	出仁率 (%)	单株结果数 (个)	单株生产力 (g)
对照(CK)	商花 11 号	35.5	38.7	37.8	1.98	387.02	22.25	19.50	35.35	251.2	100.2	69.8	16.5	17.8
	商花 18 号	35.6	40.5	32.5	2.05	333.52	18.67	18.25	33.87	231.5	90.5	66.8	16.6	15.1
	商花 21 号	40.2	42.3	39.1	2.20	412.56	25.56	22.50	30.25	275.6	102.5	68.5	15.3	19.5
	商花 25 号	37.8	42.8	30.5	2.10	345.50	20.56	16.20	39.56	235.4	91.2	67.1	16.3	15.7
	商花 33 号	36.7	41.8	33.1	1.89	378.60	22.53	19.60	31.25	212.3	85.6	69.8	18.7	17.1
	花育 33 号	33.6	38.5	31.2	1.98	356.40	21.60	17.25	33.24	244.3	97.5	68.9	14.4	15.4
	豫花 9326	34.6	39.7	33.8	1.86	377.80	26.30	18.25	39.21	218.5	86.5	69.1	18.5	16.8
	豫花 9327	32.2	37.5	36.8	1.67	338.70	23.70	16.80	41.25	199.2	82.5	69.4	19.1	17.1
干旱胁迫	商花 11 号	24.1	29.5	28.8	2.00	525.48	31.30	29.30	50.79	218.5	89.5	65.6	13.7	15.5
	商花 18 号	21.1	26.5	23.7	1.78	400.22	25.80	26.45	53.67	183.5	77.8	59.1	13.0	11.5
	商花 21 号	28.3	32.5	30.2	2.50	572.34	39.97	35.40	42.56	245.7	93.5	65.2	12.8	17.5
	商花 25 号	21.3	29.1	21.5	1.85	452.10	24.52	23.30	65.30	198.1	79.8	61.4	11.8	12.8
	商花 33 号	24.2	31.4	25.2	1.98	539.51	34.80	29.30	44.68	180.6	79.6	65.2	16.2	15.1
	花育 33 号	20.3	26.5	22.2	1.65	458.57	28.24	23.56	50.68	200.4	82.6	62.4	11.5	12.3
	豫花 9326	22.5	29.1	26.1	1.72	523.63	37.65	27.60	55.00	198.5	79.2	66.6	15.2	14.5
	豫花 9327	21.5	27.9	29.6	1.85	475.10	35.20	24.68	55.26	174.7	74.6	67.1	16.5	14.8

活性,采用硫代巴比妥酸法测定丙二醛(MDA)含量。

1.5 数据统计与分析

抗旱系数(X):各性状花针期干旱胁迫数值与对照数值的比值。

隶属函数法:公式为 $U(x_j) = \frac{X - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}}$ 。用反

隶属函数计算与抗旱性负相关的指标的隶属函数值,公式为 $U(x_j) = 1 - \frac{X - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}}$ 。

X 为供试品种某性状的抗旱系数; $U(x_j)$ 为供试品种 j 指标的隶属函数值; X_{\max} 和 X_{\min} 为供试品种某指标抗旱系数的最大值和最小值。

权重系数(W_j):各性状的变异系数(CV) 占有性状变异系数之和的比例。

权重公式如下:

$$W_j = \frac{P_j}{\sum_{j=1}^n P_j} \quad j=1,2,\dots,n。$$

式中: W_j 表示第 j 个指标在全部指标中的重要程度,即权重; P_j 为各品种花生第 j 个指标的变异系数。

品种抗旱性用综合隶属函数 D 值评价,公式如下:

$$D = \sum_{j=1}^n [U(X_j) \times W_j] \quad j=1,2,\dots,n。$$

D 值越大品种抗旱性越强,抗旱性强: D 值在 0.7 以上;抗旱性中: D 值为 0.4 ~ 0.7;抗旱性弱: D 值在 0.4 以下。

采用 Excel 2003 进行数据处理,DPS 16.05 软件进行差异显著性检验及数据相关统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同花生品种各性状的抗旱系数分析

由表 2 可知,主茎高、侧枝长、地上部干重、百果重、百仁重、出仁率、单株结果数和单株生产力的抗旱系数均小于 1,说明干旱胁迫对花生的农艺与经济性状均可产生一定的抑制作用。超氧化物歧化酶、过氧化氢酶、过氧化物酶活性和丙二醛含量的抗旱系数大于 1,部分品种根系干重抗旱系数大于 1,说明干旱会导致花生保护酶活性提高、根系干重增加和膜脂过氧化加剧。

主茎高方面,抗旱系数的范围为 0.56 ~ 0.70,商花 21 号最高,与商花 11 号、豫花 9327 无显著差异,其次为商花 33 号和豫花 9326,商花 18 号和花育 33 号,商花 25 号最低且显著小于其他品种。侧枝长方面,抗旱系数的范围为 0.65 ~ 0.77,商花 21

号最高与商花 11 号、商花 33 号无显著差异,其次为豫花 9327 和豫花 9326,花育 33 号和商花 25 号,商花 18 号最低。地上部干重方面,抗旱系数的范围为 0.70 ~ 0.80,豫花 9327 最高并显著高于其他品种,其次为商花 21 号、豫花 9326、商花 11 号和商花 33 号且之间无显著差异,商花 25 号最低与花育 33 号无显著差异。根系干重方面,抗旱系数的范围为 0.83 ~ 1.14,商花 21 号最高与豫花 9327 无显著差异,其次是商花 33 号和商花 11 号且无显著差异,抗旱系数均大于 1,花育 33 号最低且显著小于豫花 9326,但与商花 18 号、商花 25 号无显著差异,抗旱系数均小于 1。

超氧化物歧化酶活性方面,抗旱系数的范围为 1.20 ~ 1.43,商花 33 号最高与豫花 9327、豫花 9326、商花 21 号无显著差异,其次为商花 11 号且显著高于商花 25 号、花育 33 号,商花 18 号最低且显著小于其他品种。过氧化氢酶活性方面,抗旱系数的范围为 1.19 ~ 1.56,商花 21 号最高且与豫花 9327、豫花 9326、商花 33 号、商花 11 号无显著差异,其次为商花 18 号、花育 33 号,商花 25 号最低且显著小于其他处理。过氧化物酶活性方面,抗旱系数的范围为 1.37 ~ 1.57,商花 21 号最高与商花 11 号、豫花 9326 无显著差异,其次为商花 33 号、豫花 9327、商花 18 号和商花 25 号且之间无显著差异,花育 33 号最低。丙二醛含量方面,抗旱系数范围为 1.34 ~ 1.65,豫花 9327 最低与商花 21 号、商花 33 号、豫花 9326 无显著差异,其次为商花 11 号和花育 33 号且之间无显著差异,商花 25 号最高与商花 18 号无显著差异。

百果重方面,抗旱系数范围为 0.79 ~ 0.91,豫花 9326 最高与商花 21 号、豫花 9327、商花 11 号无显著差异,其次为商花 33 号、商花 25 号和花育 33 号且无显著差异,商花 18 号最低。百仁重方面,抗旱系数范围为 0.85 ~ 0.93,商花 33 号最高与豫花 9326、商花 21 号、豫花 9327、商花 11 号无显著差异,其次为商花 25 号、商花 18 号和花育 33 号且无显著差异。出仁率方面,抗旱系数范围为 0.88 ~ 0.97,豫花 9327 最高与豫花 9326、商花 21 号无显著差异,其次为商花 11 号、商花 33 号、商花 25 号和花育 33 号且无显著差异,商花 18 号最低。单株结果数方面,抗旱系数范围为 0.72 ~ 0.87,商花 33 号最高与豫花 9327、商花 21 号、商花 11 号、豫花 9326 差异不显著,商花 25 号最低与商花 18 号差异不显著。单

株生产力方面,抗旱系数范围为 0.76 ~ 0.90,商花 9326 差异不显著,商花 18 号最低与商花 25 号、花 21 号最高与商花 33 号、商花 11 号、豫花 9327、豫花 育 33 号差异不显著。

表 2 不同花生品种各性状的抗旱系数

品种名称	抗旱系数												
	主茎高	侧枝长	地上部干重	根系干重	SOD 活性	CAT 活性	POD 活性	MDA 含量	百果重	百仁重	出仁率	单株结果数	单株生产力
商花 11 号	0.68ab	0.76ab	0.76bc	1.01c	1.36b	1.41ab	1.50ab	1.44cd	0.87ab	0.89abc	0.94bcd	0.83abc	0.87abc
商花 18 号	0.59c	0.65d	0.73cd	0.87de	1.20d	1.38b	1.45bc	1.58ab	0.79d	0.86c	0.88e	0.78cd	0.76d
商花 21 号	0.70a	0.77a	0.77b	1.14a	1.39ab	1.56a	1.57a	1.41de	0.89ab	0.91ab	0.95abc	0.84abc	0.90a
商花 25 号	0.56d	0.68cd	0.70e	0.88de	1.31c	1.19d	1.44bc	1.65a	0.84bc	0.88bc	0.92cd	0.72d	0.82bcd
商花 33 号	0.66b	0.75ab	0.76b	1.05bc	1.43a	1.54ab	1.49b	1.43cde	0.85bc	0.93a	0.93bcd	0.87a	0.88ab
花育 33 号	0.60c	0.69c	0.71de	0.83e	1.29c	1.31c	1.37c	1.52bc	0.82cd	0.85c	0.91de	0.80bc	0.80cd
豫花 9326	0.65b	0.73b	0.77b	0.92d	1.39ab	1.43ab	1.51ab	1.40de	0.91a	0.92ab	0.96ab	0.82abc	0.86abc
豫花 9327	0.67ab	0.74b	0.80a	1.11ab	1.40ab	1.49ab	1.47b	1.34e	0.88ab	0.90abc	0.97a	0.86ab	0.87abc

注:同列数据后不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著。

2.2 不同花生品种各性状抗旱系数间的相关性分析

将干旱胁迫下花生品种的 13 个性状指标的抗旱系数进行相关性分析。由表 3 可知,丙二醛含量与其他性状呈负相关,除与百仁重、过氧化氢酶活性外,均达显著或极显著水平,其中与地上部干重相关系数最大为 -0.94;除丙二醛含量外,其他性状间均呈正相关,其中主茎高与侧枝长相关系数最大为 0.93,侧枝长与单株生产力相关系数最大为

0.97,地上部干重、根系干重与主茎高相关系数最大均为 0.86,超氧化物歧化酶活性与单株生产力相关系数最大为 0.95,过氧化氢酶活性与单株结果数相关系数最大为 0.92,百果重与出仁率相关系数最大为 0.95,百仁重与超氧化物歧化酶活性相关系数最大为 0.88,呈极显著正相关;过氧化物酶活性与主茎高、百仁重的相关系数最大均为 0.76,呈显著正相关;单株生产力与丙二醛呈显著负相关,与其他性状均呈显著或极显著正相关。

表 3 不同花生品种各性状抗旱系数的相关性

指标	相关系数												
	主茎高	侧枝长	地上部干重	根系干重	SOD 活性	CAT 活性	POD 活性	MDA 含量	百果重	百仁重	出仁率	单株结果数	单株生产力
主茎高	1.00												
侧枝长	0.93**	1.00											
地上部干重	0.86**	0.74*	1.00										
根系干重	0.86**	0.84**	0.82**	1.00									
SOD 活性	0.74*	0.89**	0.70*	0.74*	1.00								
CAT 活性	0.88**	0.73*	0.84**	0.82**	0.63	1.00							
POD 活性	0.76*	0.72*	0.66	0.75*	0.58	0.70*	1.00						
MDA 含量	-0.90**	-0.81**	-0.94**	-0.75*	-0.77*	-0.83**	-0.55	1.00					
百果重	0.72*	0.80**	0.71*	0.61	0.82**	0.49	0.70*	-0.74*	1.00				
百仁重	0.67*	0.75*	0.69*	0.69*	0.88**	0.69*	0.76*	-0.65	0.76*	1.00			
出仁率	0.72*	0.80**	0.78*	0.69*	0.86**	0.50	0.56	-0.81**	0.95**	0.70*	1.00		
单株结果数	0.87**	0.77*	0.84**	0.74*	0.70*	0.92**	0.47	-0.91**	0.48	0.62	0.57	1.00	
单株生产力	0.85**	0.97**	0.72*	0.85**	0.95**	0.68*	0.75*	-0.76*	0.85**	0.84**	0.85**	0.68*	1.00

注:**、* 分别表示在 0.01、0.05 水平上显著相关。

2.3 不同花生品种各性状隶属函数值抗旱性评价

依据性状抗旱系数得出隶属函数值,并根据权

重系数,计算出供试品种的综合隶属函数 *D* 值。由表 4 可知,商花 21 号、豫花 9327、商花 33 号、豫花 9326

表 4 不同花生品种各性状隶属函数值和抗旱性评价

品种名称	各性状的隶属函数值										抗旱类型
	主茎高	侧枝长	地上部干重	根系干重	SOD 活性	CAT 活性	POD 活性	MDA 含量	百果重	百仁重	
商花 11 号	0.849	0.936	0.619	0.581	0.686	0.586	0.663	0.688	0.665	0.540	中
商花 18 号	0.234	0.000	0.292	0.124	0.000	0.519	0.397	0.211	0.000	0.121	
商花 21 号	1.000	1.000	0.724	1.000	0.814	1.000	1.000	0.784	0.845	0.777	强
商花 25 号	0.000	0.249	0.000	0.164	0.472	0.000	0.341	0.000	0.430	0.312	弱
商花 33 号	0.710	0.843	0.613	0.702	1.000	0.958	0.624	0.710	0.506	0.999	强
花育 33 号	0.315	0.319	0.115	0.000	0.377	0.317	0.000	0.404	0.251	0.000	弱
豫花 9326	0.645	0.692	0.722	0.306	0.809	0.653	0.712	0.798	1.000	0.820	强
豫花 9327	0.769	0.783	1.000	0.896	0.881	0.798	0.495	1.000	0.725	0.678	强
平均值	0.57	0.60	0.51	0.47	0.63	0.60	0.53	0.57	0.55	0.53	0.60
标准差	0.32	0.34	0.32	0.35	0.31	0.31	0.28	0.32	0.30	0.33	0.32
变异系数(%)	56.99	56.73	62.55	74.60	48.77	51.61	52.45	54.96	55.10	62.56	53.11
权重系数	0.078	0.078	0.086	0.102	0.067	0.071	0.072	0.075	0.075	0.086	0.073

的 D 值分别为 0.888、0.827、0.774、0.720,均大于等于 0.7,属于抗旱性强的品种。商花 11 号的 D 值为 0.688,小于 0.7,属于抗旱性中等品种。花育 33 号、商花 25 号、商花 18 号的 D 值分别为 0.231、0.209、0.174,均小于 0.4,属于抗旱性弱的品种。

2.4 不同花生品种花针期抗旱性主成分分析

将供试品种性状的抗旱系数值进行标准化处理后,进行主成分分析,由表 5、表 6 可以看出,前 2 个主成分累计贡献率达 86.437%,能够代表测定 13 个性状的大部分信息。第 1 主成分的贡献率为 77.580%,主茎高、侧枝长、单株生产力、丙二醛、地上部干重和超氧化物歧化酶活性具有较高载荷,分别为 0.297、0.297、0.296、-0.287、0.283 和 0.283。第 2 主成分的贡献率为 8.857%,其中过氧化氢酶活性、单株结果数、百果重具有较高载荷,分别为 -0.443、-0.435、0.428。将 13 个性状分别设为 $X_1 \sim X_{13}$,根据表 6 的结果得出主成分表达式: $Y_1 = 0.297X_1 + 0.297X_2 + 0.283X_3 + 0.280X_4 + 0.283X_5 + 0.267X_6 + 0.246X_7 - 0.287X_8 + 0.265X_9 + 0.266X_{10} + 0.270X_{11} + 0.264X_{12} + 0.296X_{13}$ 。

$$Y_2 = -0.195X_1 + 0.079X_2 - 0.208X_3 - 0.138X_4 + 0.257X_5 - 0.443X_6 + 0.082X_7 + 0.198X_8 + 0.428X_9 + 0.212X_{10} + 0.343X_{11} - 0.435X_{12} + 0.225X_{13}。$$

根据第 1、2 主成分贡献率,得出公式 $Y = 0.7758Y_1 + 0.08857Y_2$,通过 Y_1 和 Y_2 值,得出品种 Y 值。由表 7 可以看出, Y 值与抗旱程度呈正相关, Y 值越大,抗旱能力越大,抗旱性大小依次为商花 21 号、豫花 9327、商花 33 号、豫花 9326、商花 11 号、花育 33 号、商花 25 号、商花 18 号。

表 5 各主成分的贡献率与特征值

主成分	特征值	贡献率 (%)	累计贡献率 (%)
1	10.085	77.580	77.580
2	1.151	8.857	86.437
3	0.709	5.457	91.893
4	0.438	3.366	95.260
5	0.360	2.769	98.029
6	0.217	1.669	99.697
7	0.039	0.303	100.000

利用 WPGWA 法对不同供试品种 Y 值进行聚类分析。由图 1 可知,在阈值为 0.97 时,将 8 个花生品种分为 3 个类群,第 1 类为抗旱性强品种,分别为商花 21 号和豫花 9327;第 2 类为抗旱性中等品

种,分别为商花 33、豫花 9326 和商花 11 号;第 3 类 育 33 号。
为抗旱性弱品种,分别为商花 18 号、商花 25 号和花

表 6 主成分特征向量矩阵

主成分	载荷												
	主茎高 (X_1)	侧枝长 (X_2)	地上部 干重 (X_3)	根系 干重 (X_4)	SOD 活性 (X_5)	CAT 活性 (X_6)	POD 活性 (X_7)	MDA 含量 (X_8)	百果重 (X_9)	百仁重 (X_{10})	出仁率 (X_{11})	单株 结果数 (X_{12})	单株 生产力 (X_{13})
1	0.297	0.297	0.283	0.280	0.283	0.267	0.246	-0.287	0.265	0.266	0.270	0.264	0.296
2	-0.195	0.079	-0.208	-0.138	0.257	-0.443	0.082	0.198	0.428	0.212	0.343	-0.435	0.225

表 7 不同花生品种 Y 值及抗旱性排序

品种名称	Y_1	Y_2	Y	排名
商花 11 号	1.292	0.047	1.007	5
商花 18 号	-4.200	-1.569	-3.398	8
商花 21 号	3.351	-0.087	2.592	1
商花 25 号	-3.691	1.949	-2.692	7
商花 33 号	2.161	-0.550	1.628	3
花育 33 号	-3.364	-0.417	-2.648	6
豫花 9326	1.705	1.061	1.417	4
豫花 9327	2.746	-0.433	2.093	2

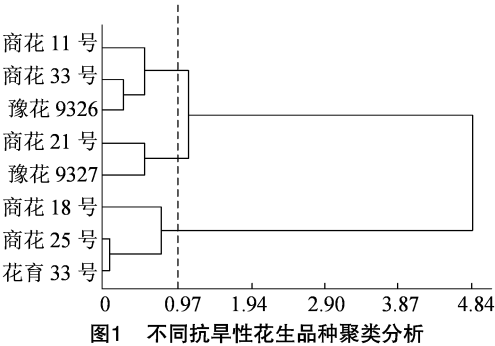


图1 不同抗旱性花生品种聚类分析

3 讨论与结论

作物的抗旱能力是多种性状共同作用的结果,单一性状不能全面评价作物的抗旱能力,需对多个性状进行综合评价^[24],在前人研究的基础上,选择花生植株形态、生理和经济性状中的 13 个主要指标进行综合评价,由于品种之间的遗传性差异,为避免差异对结果的影响,各性状指标均转化为抗旱系数值,其中单株生产力是品种形态和生理性状对于旱胁迫综合反应的最终结果,是品种抗旱性评价的最有效性状^[25],本研究相关分析表明,各性状间多数存在不同程度的显著相关,其中主茎高、侧枝长、根系干重、超氧化物歧化酶活性、百果重、百仁重、出仁率与单株生产力呈极显著正相关,地上部干重、过氧化氢酶活性、超氧化物酶活性、单株结果数

与单株生产力呈显著正相关,丙二醛含量与单株生产力呈显著负相关,说明选择的性状指标与品种抗旱性具有较高的相关性。

干旱胁迫会导致花生植株形态生长受阻,开花量、下针数减少,降低结果数与果重,最终导致花生减产。张俊等研究发现,干旱胁迫导致花生株高、分枝数、结果数、百果重和产量均受到不同程度的抑制,其中抗旱性较强的品种抗旱系数较大^[26];厉广辉等研究发现,在一定程度的干旱下根系生物量和吸收面积增加,抗旱性较强的花生品种根系形态抗旱系数较大^[27],Rucker 等的研究表明,根系干重与花生品种的抗旱性存在密切相关^[28-29]。本研究表明,干旱胁迫下品种的主茎高、侧枝长、地上部干重、百果重、百仁重、出仁率、单株结果数和生产力均有所降低,商花 21 号主茎高、侧枝长和单株生产力的抗旱系数最大,豫花 9327 的地上部干重和出仁率的抗旱系数最大,豫花 9326 的百果重的抗旱系数最大,商花 33 号的百仁重和单株结果数的抗旱系数最大,另外商花 21 号、豫花 9327、商花 11 号、商花 33 号的根系干重有所增加。

干旱胁迫会加剧植株的细胞膜脂过氧化,造成细胞膜选择透性变差,加速细胞的衰老和死亡,导致叶片提前脱落。厉广辉等研究表明,抗旱性较强的花生品种在结荚期干旱胁迫下,叶片的 SOD、POD、CAT 活性表现为增加幅度较大,MDA 含量增加较小^[30];严美玲等研究发现,苗期干旱胁迫能不同程度地提高花生叶片中 SOD、POD、CAT 活性,其中抗旱性较强的品种提高幅度相对较大^[31]。本研究表明,花针期干旱胁迫后,供试品种叶片的 SOD、POD、CAT 活性比对照均有不同程度的增加,其中商花 33 号的 SOD 活性的抗旱系数最大,与商花 21 号、豫花 9326、豫花 9327 差异不显著;商花 21 号 POD、CAT 活性的抗旱系数均最大,其中 CAT 活性的抗旱系数与商花 11 号、豫花 9327、豫花 9326 差异不显著;豫花 9327 MDA 含量的抗旱系数最小,与豫

花 9326、商花 33 号、商花 21 号差异不显著。

作物的抗旱性评价,不仅要测定一定数量的性状指标,还要利用多种评价方法来综合判断,如抗旱系数、隶属函数法、主成分分析、相关分析和聚类分析均被广泛运用到品种抗旱性的综合评价上^[32-35],但由于评价方法基于的原理各有不同,可能会出现不同的结果,本研究采用隶属函数法和主成分分析法分别对 13 个性状指标进行数据分析,评价不同花生品种的抗旱性,结果表明,商花 21 号、豫花 9327、商花 33 号、豫花 9326、商花 11 号的综合隶属函数 D 值分别为 0.888、0.827、0.774、0.720、0.688,主成分分析 Y 值分别为 2.592、2.093、1.628、1.417、1.007,并且聚类分析表明商花 21 号和豫花 9327 为一类,商花 33 号、豫花 9326 和商花 11 号为一类,综合分析得出,商花 21 号和豫花 9327 是抗旱性强的品种,商花 33 号、豫花 9326、商花 11 号是抗旱性中等品种。

本研究采用防雨旱棚池栽的方式进行干旱胁迫处理,避免了试验大田水分等不可控因素的影响,同时测定了花生在农艺、生理和经济方面的性状,大大提高了试验结果的准确性,但也仅测定了 13 个性状指标,对品种抗旱性的评价还不够全面,另外分子方面与抗旱性的研究逐渐深入^[36],后续应测定更全面、更多具有代表性的抗旱指标,以获得更加科学可靠的品种抗旱性评价。

参考文献:

- [1] 苗昊琴,李 强,侯献飞,等. 不同生育期干旱对花生生长发育及产量的影响[J]. 新疆农业科学,2021,58(3):441-449.
- [2] Yang X Y, Luo L L, Yu W C, et al. Recent advances in the acclimation mechanisms and genetic improvement of peanut for drought tolerance[J]. Agricultural Sciences,2019,10(9):1178-1193.
- [3] 张艳正. 不同耐性花生品种响应干旱胁迫的机理研究[D]. 沈阳:沈阳农业大学,2018.
- [4] Shinozaki K, Yamaguchi - Shinozaki K. Gene networks involved in drought stress response and tolerance[J]. Journal of Experimental Botany,2007,58(2):221-227.
- [5] 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.
- [6] Reddy T, Reddy V, Anbumozhi V. Physiological responses of groundnut (*Arachis hypogea* L.) to drought stress and its amelioration;a critical review[J]. Plant Growth Regulation,2003,41(1):75-88.
- [7] Aninbon C, Jogloy S, Vorasoot N, et al. Effect of end of season water deficit on phenolic compounds in peanut genotypes with different levels of resistance to drought[J]. Food Chemistry,2016,196:123-129.
- [8] 陈容钦,舒 文,葛 奎,等. 干旱胁迫训练对花生生长及胁迫相关基因表达的影响[J]. 植物生理学报,2017,53(10):1921-1927.
- [9] 周桂元,李 艳,梁炫强,等. 节水耐旱花生品种的特征[J]. 花生学报,2008,37(2):32-34.
- [10] 孙宪印,米 勇,牟秋焕,等. 黄淮海旱肥地小麦新品种(系)苗期抗旱性初步鉴定与分类[J]. 农学学报,2023,13(4):9-17.
- [11] 丁晓雯,常 乐,穆 平. 山东省部分小麦材料的抗旱特性分析[J]. 干旱地区农业研究,2017,35(5):202-207.
- [12] 宋芳兰. 甘肃地区玉米品种抗旱性评价及指标筛选[J]. 山东农业大学学报(自然科学版),2023,54(1):19-24,36.
- [13] 李懿璞,苏治军,高聚林,等. 16 份玉米自交系全生育期抗旱性鉴定与评价[J]. 干旱地区农业研究,2023,41(3):88-95.
- [14] 李其勇,宋从桦,李星月,等. 水稻芽期抗旱性综合评价及鉴定指标筛选[J]. 西北农业学报,2023,32(1):18-32.
- [15] 李红宇,夏玉莹,刘梦红,等. 寒地粳稻抗旱性鉴定指标筛选及综合评价[J]. 西南农业学报,2021,34(6):1138-1145.
- [16] 王燕平,任海洋,孙晓环,等. 不同基因型大豆花荚期抗旱性综合评价[J]. 植物遗传资源学报,2015,16(1):37-44.
- [17] 王 敏,杨万明,侯燕平,等. 不同类型大豆花荚期抗旱性形态指标及其综合评价[J]. 核农学报,2010,24(1):154-159.
- [18] 刘博宽,赵楠楠,崔顺立,等. 不同花生品种抗旱性鉴定及抗旱指标评价[J]. 中国农学通报,2021,37(19):27-35.
- [19] 宁东贤,周红琴,赵玉坤,等. 不同黑花生品种抗旱性状分析与综合评价[J]. 山西农业大学学报(自然科学版),2021,41(5):43-51.
- [20] 刘海东,陈庆政,林秀芳,等. 干旱胁迫对不同花生品种生理特征的影响及其抗旱性综合评价[J]. 陕西农业科学,2022,68(4):1-5.
- [21] 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.
- [22] 赵小波,张廷婷,闫彩霞,等. 花生中三个 *LEA* 基因的克隆与表达分析[J]. 花生学报,2016,45(4):14-19.
- [23] Hamidou F, Halilou O, Vadez V. Assessment of groundnut under combined heat and drought stress[J]. Journal of Agronomy and Crop Science,2013,199(1):1-11.
- [24] 刘永惠,詹成芳,沈 一,等. 不同花生品种(系)萌发期抗旱性鉴定评价[J]. 植物遗传资源学报,2016,17(2):233-238.
- [25] Pimratch S, Jogloy S, Vorasoot N, et al. Relationship between biomass production and nitrogen fixation under drought - stress conditions in peanut genotypes with different levels of drought resistance[J]. Journal of Agronomy and Crop Science,2008,194(1):15-25.
- [26] 张 俊,刘 娟,臧秀旺,等. 不同生育时期水分胁迫对花生生长发育和产量的影响[J]. 中国农学通报,2015,31(24):93-98.
- [27] 厉广辉,万勇善,刘凤珍,等. 不同抗旱性花生品种根系形态及生理特性[J]. 作物学报,2014,40(3):531-541.

王 政,张梦玥,刘 威,等. 基于代谢组学分析光照时间对烤烟生长发育的影响[J]. 江苏农业科学,2024,52(14):94-100.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2024.14.013

基于代谢组学分析光照时间对烤烟生长发育的影响

王 政¹,张梦玥²,刘 威²,史宏志²,韦建玉¹,赵园园²

(1. 广西中烟工业有限责任公司,广西南宁 530001; 2. 河南农业大学烟草学院,河南郑州 450002)

摘要:光照时间对烤烟的产质量具有重要影响。通过盆栽试验对烤烟进行长日照(16 h 光照/8 h 黑暗)和短日照(8 h 光照/16 h 黑暗)培养,对各处理的烟叶进行化学成分和代谢组学分析,从代谢组学水平上探讨不同光照时间对烤烟生长和品质的影响。结果表明,长日照处理的烟叶褪黄较多,生长较快;短日照烟株的氮代谢延迟,成熟缓慢。长日照处理上、中部烟叶还原糖含量较短日照处理分别提升 30.56%、33.82%,总氮含量分别降低 11.50%、20.46%,化学成分协调性变好。代谢组学分析显示,长日照和短日照烟株中共有 92 种差异代谢产物(短日照烟株相对长日照烟株 4 种上调和 88 种下调),包括氨基酸、有机酸、糖类和嘧啶;功能分析表明,这些产物在 14 条 KEGG 途径中显著富集,涉及代谢通路、嘧啶代谢、苯丙氨酸代谢和苯丙素类生物合成。因此,光照时间可能通过调节烤烟的代谢通路、苯丙素类生物合成、嘧啶代谢、氨基酸相关途径和烟酸衍生物碱合成,从而影响烤烟生长发育和品质。

关键词:烤烟;光照时间;质量;LC-MS;代谢组学

中图分类号:S572.04 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2024)14-0094-07

烟草作为一种重要的经济作物,在我国各地广泛种植。自然环境是生产优质烤烟的生态基础,烤烟可以适应多种生长条件,但对环境却非常敏感^[1]。烟草是一种喜光作物,光作为重要的生态因子之一,对烟草的生长发育、生理生化反应和物质代谢均有较大影响,在烟草质量的形成中发挥至关重要的作用^[2-3]。光照条件不仅会影响植物光合速率、蒸腾速率等光合特性,也会影响光合产物的积

累和分配^[4-5]。因此,光照充足且温度适宜会促进烤烟干物质的形成和积累;而光照不足时,烟叶生长缓慢,多出现不熟、假熟现象,从而影响烟叶的质量^[6]。

研究发现,随着光照时间的延长,烟叶中的总氮和烟碱含量降低^[7];而随着光照时间的缩短,烤烟叶片中叶绿素 a、叶绿素 b、类胡萝卜素、钾、烟碱和总氮的含量显著增加,还原糖和总糖含量降低,不利于烟叶的正常落黄、成熟,还会降低烤烟的香气品质^[8],表明光照时间对烤烟的产质量也有重要影响。但是,目前有关光照时间对烤烟质量的潜在影响的系统研究较少。因此,本研究通过比较烤烟在长日照和短日照条件下的生长差异,从代谢组学水平探讨不同光照时间对烤烟品质的影响,揭示不同光照时间下影响烤烟叶片质量的关键代谢产物,

收稿日期:2023-08-06

基金项目:广西中烟工业有限责任公司项目(编号:2021450000340021)。

作者简介:王 政(1979—),男,硕士,高级农艺师,主要从事优质烟叶生产技术研究及管理。E-mail:16627843@qq.com。

通信作者:韦建玉,研究员,主要从事烟草栽培技术和烟叶质量研究, E-mail:jtx_wjy@163.com;赵园园,讲师,主要从事烟草栽培生理研究, E-mail:zhaoyy2019@henau.edu.cn。

[28] Rucker K, Kvien C, Holbrook C, et al. Identification of peanut genotypes with improved drought avoidance traits [J]. *Peanut Science*, 1995, 22(1): 14-18.

[29] 姜慧芳. 几个龙生型花生的耐旱形态性状研究[J]. *中国油料作物学报*, 2001, 23(1): 12-16.

[30] 厉广辉,张 昆,刘凤珍,等. 不同抗旱性花生品种结荚期叶片生理特性[J]. *应用生态学报*, 2014, 25(7): 1988-1996.

[31] 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): 113-119.

[32] 于树涛,于国庆,孙泓希,等. 高油酸花生品种(系)抗旱性综合

评价[J]. *分子植物育种*, 2021, 19(8): 2747-2757.

[33] 张 俊,汤丰收,刘 娟,等. 利用隶属函数法对不同花生品种的抗旱性评价[J]. *湖南农业科学*, 2014(23): 42-45.

[34] 李红宇,夏玉莹,刘梦红,等. 寒地粳稻抗旱性鉴定指标筛选及综合评价[J]. *西南农业学报*, 2021, 34(6): 1138-1145.

[35] 孙宪印,米 勇,牟秋焕,等. 黄淮麦区旱肥地小麦新品种(系)苗期抗旱性初步鉴定与分类[J]. *农学报*, 2023, 13(4): 9-17.

[36] 龙海涛,李丽梅,谢泽虹,等. 综合隶属函数法评价花生品种抗旱性与 *AhNCED1* 基因表达的关系[J]. *植物学报*, 2015, 50(6): 706-712.