植物遗传资源学报
Journal of Plant Genetic Resources DOI：10.13430/j.cnki.jpgr.20231116001

番茄种质资源萌发期抗旱性综合评价及筛选

马越[1, 2, 3]，李玉姗[1, 3]，王帆[1,3]，许红军[2]，宋羽[1,3]，蒋程瑶[4]

（[1]新疆农业科学院农作物品种资源研究所，乌鲁木齐 830091；[2]新疆农业大学园艺学院，乌鲁木齐 830052；[3]国家中亚特色作物种质资源中期库，乌鲁木齐 830091；[4]四川农业大学园艺学院，成都 611130）

摘要：番茄作为重要蔬菜作物之一，鉴定番茄种质资源的抗旱性及筛选抗旱番茄种质资源对番茄育种具有重要意义。本研究利用 12.5 % PEG-6000 溶液对 92 份番茄种质资源进行干旱胁迫处理，测定发芽势、发芽率、发芽指数、活力指数、根长、芽长等 6 个抗旱性相关指标，运用相关性分析、主成分分析、隶属函数法和聚类分析进行番茄萌发期抗旱性评价及筛选。结果表明，干旱胁迫下 6 个指标均显著降低，其中活力指数和发芽势降低最大。通过主成分分析将 6 个指标转化为 2 个新指标，累计贡献率达 86.657 %。基于相关性和主成分分析，筛选出发芽势、发芽率、发芽指数、活力指数为萌发期抗旱性鉴定的主要指标，利用隶属函数法结合聚类分析将番茄种质资源分为抗旱型 19 份、较抗旱型 41 份、较敏感型 18 份和敏感型 14 份；通过不同浓度进一步筛选出抗旱性强的‘密植红番茄’和‘锦农矮秧’两个品种，敏感性强的‘北京早红’和‘大红袍’两个品种。该结果可为番茄种质资源的抗旱性研究提供理论基础。

关键词：番茄；萌发期；抗旱性；综合评价；筛选

Comprehensive Evaluation and Screening of Drought Resistance of Tomato Germplasm Resources during Germination Period

MA Yue[1,2,3] , LI Yushan[1,3] ,WANG Fan[1,3], XU Hongjun[2],SONG Yu[1,3],JIANG Chengyao[4]

([1]Institute of Crop Variety Resources, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences,Urumqi 830091;[2]College of Horticulture, Xinjiang Agricultural University,Urumqi 830052;[3] National Central Asian Characteristic Crop Germplasm Resources Medium-term Gene Bank ,Urumqi 830091; [4]College of Horticulture, Sichuan Agricultural University, Chengdu 611130)

Abstract: Tomato, being one of the important vegetable crops, holds great significance in evaluating the drought resistance of tomato germplasm resources and selecting drought-resistant varieties for tomato breeding. In this study, we subjected 92 tomato germplasm resources to drought stress treatment using a 12.5% PEG-6000 solution. Six drought-related indexes, including germination potential, germination rate, germination index, vigor index, root length and shoot length, were measured, and the drought resistance of tomato at germination stage was evaluated and screened by correlation analysis, principal component analysis, membership function method and cluster analysis.The results showed a significant reduction in all six indicators under drought stress, with the vigor index and germination potential being the most affected. Through principal component analysis, we transformed the six indicators into two new indicators, which contributed to a cumulative contribution rate of 86.657 %. Based on correlation and principal component analysis, we identified germination potential, germination rate, germination index, and vigor index as the main indicators for evaluating drought resistance during the germination period. By using the subordination function method combined with cluster analysis, we classified the

收稿日期：2023-11-16 网络出版日期：
URL：
第一作者研究方向为番茄种质资抗逆生理研究，E-mail : 1620213974@qq.com
通信作者：宋羽，研究方向为茄果类蔬菜种质资源栽培生理及设施栽培技术，E-mail：songyu150@163.com
蒋程瑶，研究方向为蔬菜作物光环境生物学，E-mail：catherinejiang@126.com
基金项目：新疆维吾尔自治区重大科技专项（2022A02005-2）；新疆蔬菜产业技术体系（XJARS-07）；四川省自然科学基金项目（2022NSFSC1759）
Foundation projects: Xinjiang Uygur Autonomous Region Major Science and Technology Project (2022A02005-2); Xinjiang Vegetable Industry Technology System (XJARS-07);Sichuan Provincial Natural Science Foundation Project（2022NSFSC1759）

tomato germplasm resources into 19 drought-resistant types, 41 relatively drought-resistant types, 18 relatively sensitive types, and 14 sensitive types. Further screening at different concentrations allowed us to identify two varieties with strong drought resistance, namely 'Mizhihong Tomato' and 'Jinnongaiyang', as well as two varieties with strong sensitivity, namely 'Beijing zaohong' and 'Dahongpao'. These findings provide a theoretical basis for the study of drought resistance in tomato germplasm resources.

Key words: Tomatoes; Germination period; Drought resistance; Comprehensive evaluation; screen

番茄（*Solanum lycopersicum* L.）是全球茄果类蔬菜作物中栽培最广泛的种类之一[1]，其富含营养、风味独特且食用方式多样，深受广大群众的喜爱和青睐。番茄是一种喜温，喜湿，对光照要求高，也是一种需水量较大的植物。随着全球气候变暖，干旱气候灾害发生频繁，对农业生产造成严重经济损失[2]，干旱导致作物的产量是其它所有非生物胁迫导致的作物产量下降的总和[3]。种子萌发期是作物生命周期中一个至关重要的阶段，也是评估作物抗旱能力的重要节点。在种子萌发过程中，水分缺失可能导致萌发过程延缓，甚至导致种子无法正常萌发。在这一阶段，作物的生长发育情况直接决定了其出苗率以及最终的产量品质。因此，对番茄种质资源进行抗旱性鉴定，筛选番茄优异抗旱种质资源，对于选育抗旱番茄品种和提高番茄种植效益具有重要意义。

PEG-6000 作为一种广泛使用的渗透剂，已被证明在抗旱资源的筛选与评价中发挥了关键作用。水稻[4]、大豆[5]、小麦[6]、棉花[7]、番茄[8]、辣椒[9]等作物萌发期抗旱性鉴定及筛选在实践中得到广泛应用。岳瑶琴等[10]在 342 份油菜种质资源萌发期抗旱性评价中筛选出 20 % PEG-6000 为最适胁迫浓度，确定发芽指数为抗旱性评价指标。常利芳等[11]结合主成分分析、隶属函数分析和相关分析对 180 份小偃麦衍生系种子萌发期抗旱性综合评价筛选出 11 份抗旱性强的品种。张海平等[12]采用 16 % PEG-6000 溶液对 568 份大豆资源进行大豆种子萌发期耐旱鉴定，运用平均隶属函数评价法筛选出 4 份大豆耐旱种质。在番茄萌发期抗旱方面，彭玉梅等[13]对 6 个不同 PEG-6000 浓度胁迫下对 3 份加工番茄的抗旱性进行鉴定，根据隶属函数平均值来综合评价抗旱性，鉴定出 KT-16 的抗旱性最强；梁玉芹等[14]对 8 个番茄品种进行干旱胁迫处理，认为 -0.2~-0.3MPa 的 PEG-6000 溶液可用于番茄萌发期耐旱性鉴定；宋红霞等[15]采用 5 个不同 PEG-6000 浓度对 3 份番茄品种进行抗旱性评价，发现精品硬粉风暴的抗旱性最强。前人研究中选择一个最适浓度对大量的材料进行抗旱性评价，这是一种快速筛选的方式，以及用少量材料在不同 PEG-6000 浓度下的抗旱性鉴定，本研究将两种方法结合进行筛选，通过进一步缩小筛选范围最终得到优异种质资源，可为番茄抗旱品种选育及改良提供重要参考依据。

本研究以 92 份番茄种质资源为材料，以 12.5 % PEG-6000 浓度进行模拟干旱胁迫处理，通过测定发芽势、发芽率、发芽指数、活力指数、根长和芽长等指标，利用综合评价方法对番茄种质资源萌发期抗旱性进行评价，筛选番茄萌发期抗旱相关指标，通过不同浓度的筛选最后选出抗旱性强和敏感性强的番茄品种。旨在为抗旱种质资源筛选与抗旱番茄新品种选育提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试的 92 份番茄种质资源均由新疆农业科学院农作物品种资源研究所收集提供。番茄种质资源来源于国外俄罗斯的 1 份和乌兹别克 3 份以及国内 18 个省（市、自治区）88 份，其中新疆的番茄种质资源有 34 份，FQ118 番茄和 FQ119 红番茄来源于第三次全国农作物种质资源普查收集，番茄种质资源都是经过一年以上更新繁殖后的种子，并保存于农作物品种资源研究所国家中亚特色种质资源中期库，92 份番茄资源按照生长类型分为无限生长类型 57 份、有限生长类型 35 份；按照叶型分为复细叶型 33 份、复宽叶型 48 份、普通叶型 48 份、薯叶型 2 份；按照果型大小又可分为大果型 53 份、中果型 34 份、小果型 4 份；92 份番茄种质资源均未做过抗旱性鉴定，番茄种质资源明细如表 1 所示。

表 1　92 份番茄种质资源信息及来源

Table 1　Information and sources of 92 tomato germplasm resources

序号 Number	生长类型 Growth type	叶型 Leaf type	果型 Fruit type	品种名称 Variety name	来源 Origin
1	无限生长	复细叶型	大果型	疏研 11 号	中国北京
2	有限生长	复宽叶型	大果型	BDCTOK	乌兹别克
3	无限生长	复细叶型	中果型	新番 2 号	中国新疆乌鲁木齐
4	无限生长	普通叶型	小果型	甜美 2 号	中国北京
5	无限生长	复宽叶型	小果型	梦特娇 1 号	中国北京
6	无限生长	复宽叶型	中果型	大黄一号	中国新疆石河子
7	无限生长	复宽叶型	大果型	北光	中国辽宁大连
8	无限生长	复细叶型	中果型	比专	中国河南开封
9	无限生长	复细叶型	大果型	济南大粉	中国山东淮坊
10	无限生长	复细叶型	大果型	哈密黄柿子	中国新疆哈密
11	无限生长	复细叶型	大果型	桔黄佳辰	中国新疆乌鲁木齐
12	有限生长	复细叶型	大果型	罗马 2 号	中国新疆乌鲁木齐
13	无限生长	复宽叶型	大果型	丰收黄柿子	中国新疆乌鲁木齐
14	无限生长	复细叶型	大果型	池大仙	中国河南开封
15	无限生长	复细叶型	中果型	加比例	中国新疆昌吉
16	有限生长	普通叶型	中果型	真善美	中国新疆石河子
17	无限生长	普通叶型	大果型	查登早熟	中国河南开封
18	无限生长	复宽叶型	中果型	红圆头	中国山西太原
19	无限生长	复宽叶型	大果型	丹麦	中国新疆伊犁
20	有限生长	复宽叶型	大果型	矮性花红	中国山西太原
21	有限生长	普通叶型	大果型	早雀钻	中国浙江杭州
22	无限生长	复宽叶型	大果型	金黄番茄	中国山东烟台
23	有限生长	复宽叶型	大果型	美大红	中国河北石家庄
24	无限生长	复细叶型	大果型	秃尖粉	中国北京
25	无限生长	普通叶型	大果型	高比斯海尔舍木	中国山西太原
26	无限生长	复宽叶型	大果型	阿沙克列	中国陕西咸阳
27	有限生长	复宽叶型	大果型	友谊	中国新疆石河子

28	无限生长	复宽叶型	大果型	华南 180	中国广东广州
29	无限生长	复细叶型	大果型	绿顶	中国天津
30	有限生长	复细叶型	大果型	矮红金	中国江苏南京
31	无限生长	复细叶型	中果型	柳代早生	中国河南开封
32	无限生长	复宽叶型	中果型	洋红番茄	中国上海
33	有限生长	薯叶型	中果型	Rorkaiyefeb pufamhi	中国北京
34	有限生长	复细叶型	大果型	新丰 4 号	中国新疆乌鲁木齐
35	无限生长	复宽叶型	大果型	小秧 3 号	中国湖北黄冈
36	无限生长	复细叶型	大果型	苹果青	中国北京
37	无限生长	复细叶型	大果型	华南 462	中国湖北武汉
38	有限生长	复宽叶型	大果型	牛奶	中国江西南昌
39	有限生长	复宽叶型	中果型	摩雷 33 号	中国辽宁大连
40	无限生长	复宽叶型	大果型	黔园	中国湖北黄冈
41	有限生长	复细叶型	大果型	华南东粉	中国广东广州
42	无限生长	复宽叶型	中果型	一片红	中国上海
43	有限生长	复宽叶型	大果型	粉红	中国湖南长沙
44	无限生长	复细叶型	大果型	小平顶(红)	中国新疆石河子
45	无限生长	复细叶型	大果型	卡滨	中国新疆乌鲁木齐
46	无限生长	复宽叶型	大果型	北碚	中国重庆
47	无限生长	复细叶型	中果型	华南 3 号	中国江西南昌
48	无限生长	复宽叶型	大果型	老宅矮红	中国天津
49	无限生长	复细叶型	大果型	大红袍	中国甘肃兰州
50	有限生长	薯叶型	大果型	健康红	中国江西南昌
51	无限生长	复宽叶型	大果型	天津大粉	中国天津
52	有限生长	复细叶型	大果型	甘早黄柿子	中国新疆乌鲁木齐
53	有限生长	普通叶型	大果型	矮秧番茄	中国辽宁大连
54	有限生长	复宽叶型	中果型	红塔番茄	中国江西南昌
55	有限生长	复宽叶型	中果型	锦农矮秧	中国天津
56	有限生长	复宽叶型	大果型	玛斯达 2 号	中国新疆喀什
57	无限生长	复宽叶型	中果型	格里克斯	中国天津
58	有限生长	复细叶型	中果型	粉红自封顶	中国上海浦东
59	有限生长	复细叶型	中果型	北京早红	中国新疆喀什
60	无限生长	复宽叶型	中果型	青口	中国北京
61	无限生长	复宽叶型	中果型	粉红甜肉	中国北京
62	有限生长	复宽叶型	中果型	荷兰 5 号	中国新疆石河子
63	有限生长	复宽叶型	中果型	北京 10 号	中国新疆伊犁
64	无限生长	复宽叶型	中果型	苏联番茄	中国新疆乌鲁木齐
65	有限生长	复宽叶型	大果型	北京中粉番茄	中国北京
66	无限生长	普通叶型	中果型	6613 番茄	中国山东青岛
67	无限生长	复宽叶型	中果型	大同红番茄	中国山西大同
68	有限生长	复宽叶型	大果型	保加利亚	中国新疆喀什
69	有限生长	复宽叶型	大果型	Nex3032	中国新疆乌鲁木齐
70	有限生长	复宽叶型	中果型	加工柿子	中国新疆库尔勒
71	无限生长	复宽叶型	中果型	密植红番茄	中国新疆石河子
72	无限生长	复细叶型	大果型	BMAE	乌兹别克

73	有限生长	复宽叶型	大果型	TMK_22	乌兹别克
74	有限生长	复宽叶型	大果型	Tyymmakam A Nnenmbeb	中国北京
75	无限生长	复宽叶型	大果型	红瓦伦特	中国北京
76	无限生长	复细叶型	大果型	伊犁大洋柿子	中国新疆伊犁
77	无限生长	复细叶型	中果型	佳丰柿子	中国新疆乌鲁木齐
78	无限生长	复细叶型	中果型	强丰柿子	中国新疆乌鲁木齐
79	无限生长	复宽叶型	大果型	二块子	中国新疆乌鲁木齐
80	有限生长	复宽叶型	大果型	54-4 柿子	中国新疆乌鲁木齐
81	有限生长	复宽叶型	大果型	1076 番茄	中国新疆石河子
82	无限生长	复细叶型	大果型	玛格罗博	俄罗斯
83	无限生长	复细叶型	中果型	早柿子	中国天津
84	有限生长	复宽叶型	中果型	比松	中国江西南昌
85	有限生长	复细叶型	大果型	早粉 2 号	中国新疆石河子
86	有限生长	复宽叶型	中果型	FQ118 番茄	中国新疆托克逊
87	无限生长	复细叶型	中果型	FQ119 红番茄	中国新疆托克逊
88	无限生长	复宽叶型	中果型	番茄 1 号	中国山东济南
89	无限生长	普通叶型	小果型	香妃 7 号	中国北京
90	无限生长	复细叶型	小果型	香妃 3 号	中国北京
91	无限生长	复宽叶型	大果型	保加利亚 4 号	中国新疆喀什
92	无限生长	普通叶型	中果型	money maker	中国新疆乌鲁木齐

1.2 试验设计

本试验于 2022 年 4-9 月在新疆农业科学院农作物品种资源研究所的实验室进行。以 12.5 % PEG-6000 溶液模拟干旱胁迫。选择大小一致，颗粒饱满的番茄种子，用蒸馏水清洗 2 遍，再用 55 ℃温汤浸种 15 min，室温蒸馏水浸种 6 h 后，均匀摆放在含有 2 层滤纸的一次性无菌培养皿中，加入 6 mL PEG-6000 溶液，以蒸馏水处理作为对照（CK）。3 次重复，每个重复 30 粒种子。将培养皿放置在 25±1℃的种子发芽箱内避光培养，每 2 d 向培养皿内加入 2 mL PEG-6000 溶液，对照则加入等量的蒸馏水，第 4 d 开始统计萌发情况，以种子露出胚芽作为萌发开始的标志，第 8 d 结束发芽试验。

前期试验通过 8 个 PEG-6000 浓度（2.5 %、5 %、7.5 %、10 %、12.5 %、15 %、17.5 %、20 %）模拟干旱胁迫处理，从 12.5 %、15 %、17.5 % PEG-6000 浓度抑制作用显著，20 %浓度严重抑制无番茄种子萌发。12.5 % PEG-6000 浓度所有抗旱相关指标与对照相比呈显著差异，能够明显区分种子萌发期不同番茄种质抗旱性差异。因此，选择 12.5 % PEG-6000 浓度模拟干旱胁迫。

1.3 测定指标

番茄萌发期相关指标计算方法如下：

发芽势%=第 4 d 发芽种子数/30×100%

发芽率%=第 8 d 发芽的种子数/30×100%

发芽指数= ∑（Gt/Dt） 式中，Gt 表示发芽开始后第 t 天的发芽数，Dt 表示相应的发芽天数

活力指数=S×GI　式中，S 表示胚根的长度，GI 表示发芽指数

根长（cm）和芽长（cm）的测定：采用根系扫描仪（WinRHIZO）用 LA-S 根系分析系统测定幼苗根长和芽长。

1.4 数据处理与分析

用各指标数据分别计算对照和处理各指标的平均值，用下面公式将原始数据进行转换，计算得出各指标的抗旱系数 X_j，再进行相关的分析。

抗旱系数 X_j =各指标干旱处理测量值/对照测量值　(j 表示发芽势、发芽率、发芽指数、活力指数、根长、芽长等指标)

萌发期采用隶属函数法[16]进行抗旱性综合评价，相关参数计算公式如下：

隶属函数值 $\mu(X_i) = (X_i-X_{min})/(X_{max}-X_{min})$　(i = 1，2，…，n)

式中，X_i 表示第 i 个抗旱系数值，X_{min} 表示第 i 个指标抗旱系数的最小值，X_{max} 表示第 i 个指标抗旱系数的最大值。

权重 $W_i = P_i/\sum_{i=1}^{n} P_i$　(i =1，2，…，n)

式中，W_i 表示第 i 个指标在所有指标中的权重，P_i 为第 i 个指标的贡献率。

综合评价 D 值 $D = \sum_{i=1}^{n} [\mu(X_i) \times W_i]$　(i=1，2，…，n)

式中，D 为番茄抗旱性综合评价值，n 为指标个数。

利用 Excel 2019 统计、整理原始数据并制作相关图表，运用 SPSS 26.0 软件进行数据分析，利用 Origin 2022 软件进行聚类分析并绘图。

2 结果与分析

2.1 干旱胁迫对番茄种子萌发的影响

采用 12.5 % PEG-6000 溶液对 92 份番茄种质进行干旱胁迫处理，对番茄萌发期各指标进行差异分析，如表 2 所示，萌发期的 6 个指标的均值变化都有不同程度的下降，特别是活力指数和发芽势，分别较对照组下降 71.38 %和 67.34 %，表明干旱胁迫抑制了番茄种子的萌发和生长，且对各指标的影响各异。PEG-6000 处理组各测定指标的变异系数均大于对照组，变异系数在发芽势的变化幅度最大，为 34.43 %。对各测定指标进行 t 检验差异显著性分析，均表现为极显著差异（P＜0.01），说明 6 个指标对干旱胁迫响应不同。

表 2　萌发期抗旱性各指标差异分析

Table 2　Analysis of differences in drought resistance indicators during germination period

处理 Treatments	指标 Index	发芽势(%) GP	发芽率(%) GR	发芽指数 GI	活力指数 VI	根长(cm) SL	芽长(cm) RL
对照	最大值	98.38	98.88	11.50	80.24	8.67	7.27

Control	最小值	50.11	62.66	2.66	6.05	2.67	2.72
	平均值	67.61	81.01	7.15	44.10	5.97	5.77
	标准差	12.18	9.20	2.40	16.38	1.08	0.94
	变异系数(%)	18.74	11.49	33.62	37.14	18.11	16.35
PEG-6000 处理	最大值	77.33	86.66	8.75	80.26	7.56	5.07
PEG-6000 stress	最小值	2.20	6.80	0.50	0.13	0.38	0.50
	平均值	32.05	52.51	4.37	22.96	5.10	3.28
	标准差	17.37	20.07	1.97	12.93	0.99	0.87
	变异系数(%)	53.17	39.46	45.24	56.34	19.51	26.53
较对照变化	平均值降幅(%)	-67.34	-46.93	-62.00	-71.38	-41.17	-54.88
Comparison with the control	变异系数变化(%)	34.43	27.97	11.62	19.20	1.40	10.18
	t 检验	25.42	16.45	18.59	17.70	7.61	35.58
	P 值	0.000**	0.000**	0.000**	0.000**	0.000**	0.000**

P 值：处理与对照 t 测验的 *P* 值；* , ** , 分别表示 t 测验达显著($P<0.05$)和极显著水平($P<0.01$). 下同

P-value: the *P*-value of the treatment and control t-test; *, * *, The t-test showed significant ($P<0.05$) and extremely significant ($P<0.01$) levels, respectively. The same as below

2.2 萌发期各指标抗旱系数的相关性分析

对番茄萌发期 6 个指标的抗旱系数和综合评价 D 值进行相关性分析，如图 1 所示，发芽势与发芽率、发芽指数、活力指数之间呈极显著正相关，其中发芽指数相关性最大，相关系数为 0.960；发芽率与发芽指数、活力指数之间均呈现极显著正相关，相关系数为 0.906、0.701，发芽指数与活力指数呈极显著正相关，相关系数为 0.812，活力指数与根长、芽长之间均呈极显著正相关，相关系数为 0.434、0.494，根长与芽长呈极显著正相关，相关系数为 0.563。综合评价 D 值与 6 个指标均呈极显著正相关。

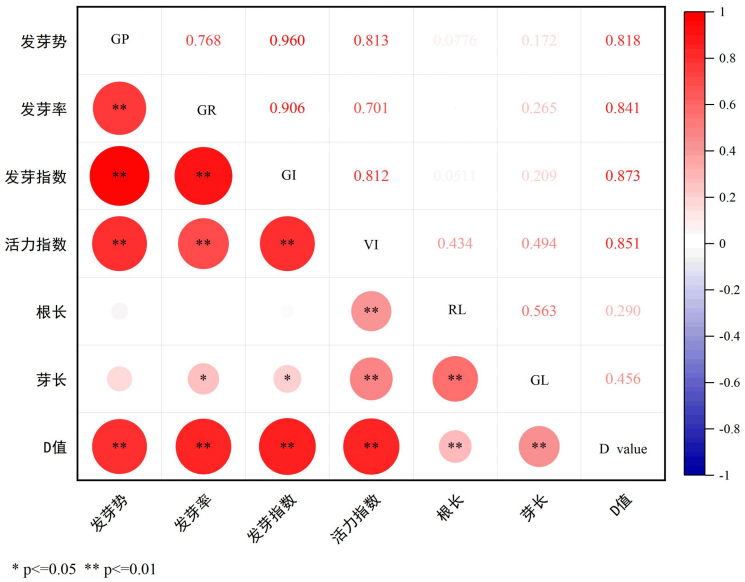


图 1 番茄种质资源萌发期抗旱指标抗旱系数与 D 值的相关性分析

Fig.1 Correlation analysis between drought resistance coefficient and D value of drought resistance index at germination stage of tomato germplasm resources

2.3 萌发期各指标抗旱系数的主成分分析

对番茄萌发期 6 个指标的抗旱系数进行主成分分析，如表 3 所示，共提取到 2 个主成分。2 个主成分累积贡献率达 86.657 %，表明这 2 个主成分可代表番茄萌发期干旱胁迫所测指标的大部分信息。可作为 2 个相互独立的新指标来反应番茄萌发期的抗旱性，其中主成分 1 的特征值为 3.672，贡献率为 61.192 %，以发芽指数、活力指数、发芽势和发芽率为主，特征值分别为 0.950、0.930、0.915、0.877；主成分 2 的特征值为 1.528，贡献率为 25.464 %，以根长和芽长为主，特征值分别为 0.852、0.738。结合相关性分析，选取发芽势、发芽率、发芽指数、活力指数为番茄萌发期抗旱性鉴定的主要指标。

表 3　主成分特征向量及贡献率

Table 3　Principal Component Eigenvectors and Contribution Rates

指标 Index	主成分 1 Principal component 1	主成分 2 Principal component 2
发芽指数 GI	0.950	-0.293
活力指数 VI	0.930	0.176
发芽势 GP	0.915	-0.273
发芽率 GR	0.877	-0.258
根长 RL	0.299	0.852
芽长 GL	0.455	0.738
特征值 Eigenvalue	3.672	1.528
贡献率 Contribution rate(%)	61.192	25.464
累积贡献率 Cumulative contribution rate(%)	61.192	86.657

2.4 番茄萌发期的抗旱性综合评价

结合隶属函数法进一步对番茄抗旱性进行综合分析，如表 4 所示，综合评价 D 值的变化范围在 0.241~0.856。根据 92 份番茄种质资源的综合评价 D 值采用系统分类法进行聚类分析，如图 2 所示，将 92 份番茄种质资源分为 4 类，第I类抗旱型共 19 份番茄种质，D 值在 0.856~0.688，第II类较抗旱型共 41 份番茄种质，D 值在 0.673~0.499，第III类较敏感型共 18 份番茄种质，D 值在 0.486~0.387，第IV类敏感型共 14 份番茄种质，D 值在 0.371~0.241。

表 4　92 份番茄资源的 D 值及抗旱分类

Table 4 D-values and drought resistance classification of 92 tomato resources

序号 Number	品种 Variety	D 值 D value	分类 classification	序号 Number	品种 Variety	D 值 D value	分类 classification
1	Nex3032	0.856	I	47	池大仙	0.546	II
2	密植红番茄	0.805	I	48	查登早熟	0.542	II
3	梦特娇 1 号	0.797	I	49	小平顶(红)	0.539	II
4	保加利亚	0.794	I	50	卡滨	0.537	II
5	阿沙克列	0.785	I	51	香妃 7 号	0.530	II
6	桔黄佳辰	0.780	I	52	牛奶	0.529	II
7	早粉 2 号	0.772	I	53	老宅矮红	0.524	II
8	红塔番茄	0.763	I	54	粉红甜肉	0.522	II

9	强丰柿子	0.762	I	55	矮秧番茄	0.517	II
10	丰收黄柿子	0.751	I	56	北碚	0.513	II
11	锦农矮秧	0.745	I	57	大黄一号	0.511	II
12	BMAE	0.738	I	58	money maker	0.508	II
13	Tyymmakam A Nnenmbeb	0.729	I	59	新番 2 号	0.502	II
14	1076 番茄	0.723	I	60	香妃 3 号	0.499	II
15	比专	0.711	I	61	罗马 2 号	0.486	III
16	加工柿子	0.700	I	62	BDCTOK	0.481	III
17	红瓦伦特	0.698	I	63	高比斯海尔舍木	0.478	III
18	哈密黄柿子	0.692	I	64	伊犁大洋柿子	0.470	III
19	粉红	0.688	I	65	FQ119 红番茄	0.465	III
20	青口	0.673	II	66	红圆头	0.458	III
21	加比例	0.661	II	67	北光	0.455	III
22	苏联番茄	0.660	II	68	健康红	0.441	III
23	TMK_22	0.658	II	69	早柿子	0.434	III
24	一片红	0.657	II	70	二块子	0.429	III
25	甘早黄柿子	0.644	II	71	小秧 3 号	0.425	III
26	矮性花红	0.634	II	72	绿顶	0.410	III
27	早雀钻	0.631	II	73	美大红	0.401	III
28	54-4 柿子	0.625	II	74	甜美 2 号	0.397	III
29	秃尖粉	0.620	II	75	天津大粉	0.394	III
30	保加利亚 4 号	0.619	II	76	苹果青	0.390	III
31	矮红金	0.612	II	77	新丰 4 号	0.389	III
32	玛斯达 2 号	0.610	II	78	摩雷 33 号	0.387	III
33	华南 180	0.604	II	79	真善美	0.371	IV
34	华南 3 号	0.593	II	80	黔园	0.366	IV
35	华南东粉	0.590	II	81	华南 462	0.360	IV
36	友谊	0.585	II	82	北京中粉番茄	0.356	IV
37	荷兰 5 号	0.584	II	83	丹麦	0.349	IV
38	金黄番茄	0.581	II	84	Rorkaiyefeb pufamhi	0.346	IV
39	FQ118 番茄	0.573	II	85	比松	0.339	IV
40	玛格罗博	0.571	II	86	格里克斯	0.331	IV
41	佳丰柿子	0.569	II	87	北京早红	0.315	IV
42	济南大粉	0.565	II	88	柳代早生	0.311	IV
43	北京 10 号	0.561	II	89	大同红番茄	0.297	IV
44	疏研 11 号	0.559	II	90	6613 番茄	0.274	IV
45	番茄 1 号	0.557	II	91	粉红自封顶	0.266	IV
46	洋红番茄	0.552	II	92	大红袍	0.241	IV

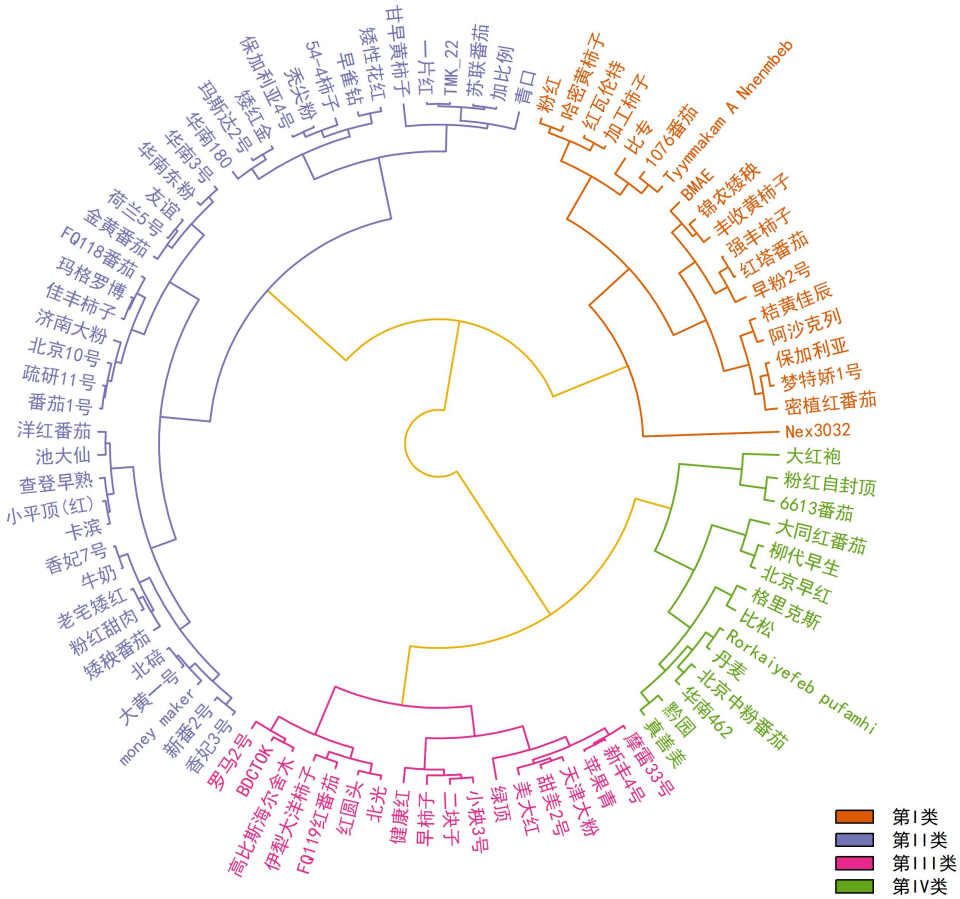


图 2　92 份番茄种质资源聚类分析图

Fig. 2　Cluster Analysis of 92 Tomato Germplasm Resources

2.5 番茄萌发期抗旱品种筛选

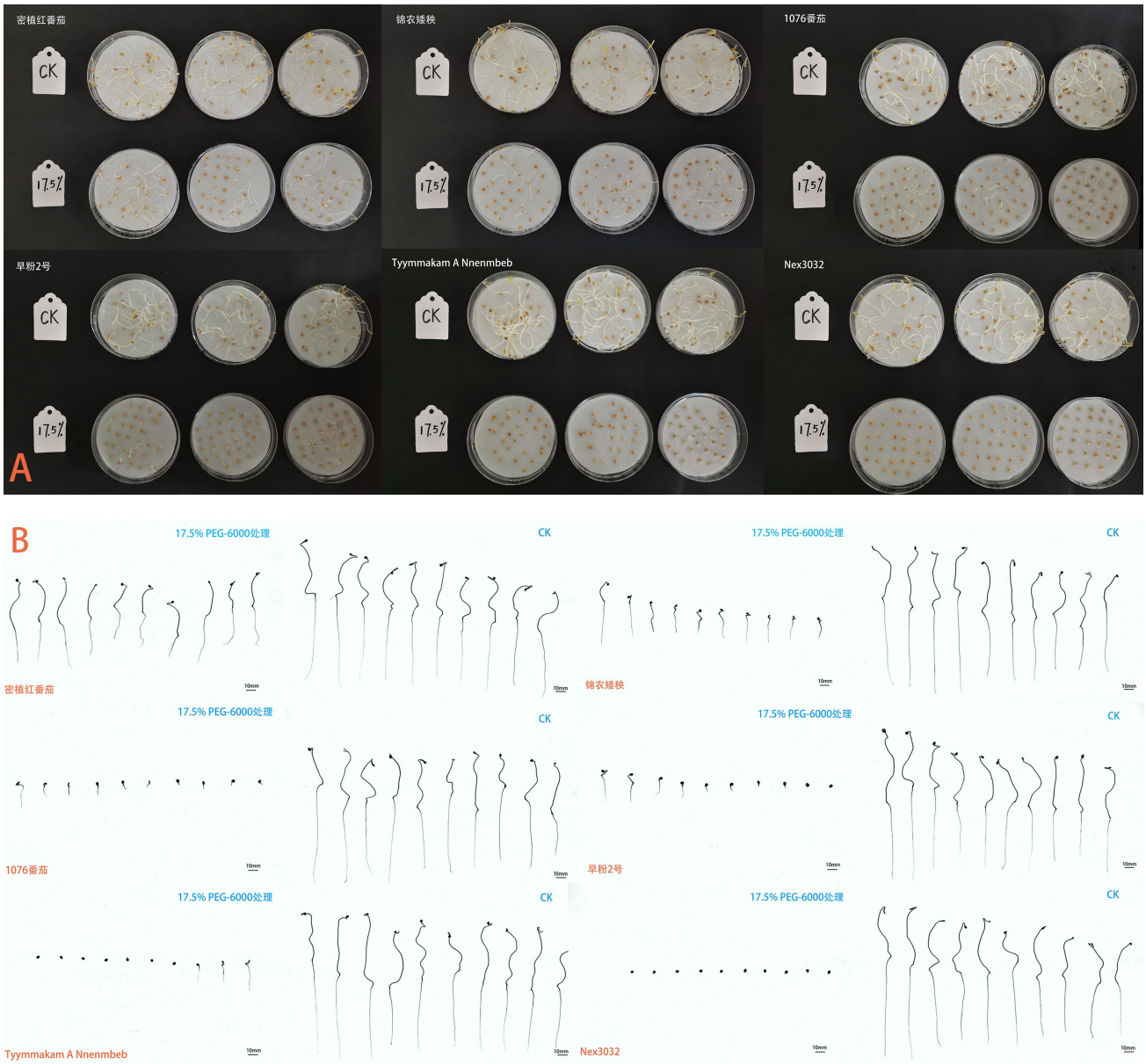
2.5.1 抗旱型品种筛选 通过前期浓度筛选试验，选择 12.5 % PEG-6000 浓度对 92 份番茄种质资源进行抗旱性鉴定，在 12.5 % PEG-6000 浓度下筛选出抗旱型 19 份番茄种质资源，为了筛选到抗旱性更强的番茄资源，采用 15 %和 17.5 % PEG-6000 浓度进一步筛选，运用隶属函数法进行综合评价分析，如表 5 所示，综合评价 D 值变化范围在 0.827~0.005，根据 D 值对番茄种质资源进行聚类分析，将 19 份番茄种质资源分为 3 类，第 1 类强抗旱型共 6 个品种，D 值的变化范围为 0.827~0.467；第 2 类中度抗旱型共 8 个品种，D 值变化范围在 0.404~0.235；第 3 类弱抗旱型共 5 个品种，D 值变化范围在 0.193~0.005。

筛选出第 1 类强抗旱型 6 份番茄种质资源，番茄品种分别为‘密植红番茄’、‘锦农矮秧’‘1076 番茄’、‘早粉 2 号’、‘Tyymmakam A Nnenmbeb’、‘Nex3032’，将 6 份番茄种质资源用 17.5 % PEG-6000 浓度处理筛选，如图 3 所示，6 份番茄资源的生长情况发现‘密植红番茄’和‘锦农矮秧’两个品种表现较好。如图 4 所示，‘密植红番茄’和‘锦农矮秧’的综合评价 D 值分别为 0.919 和 0.711，然而‘Nex3032’番茄在 17.5 % PEG-6000 浓度处理下无发芽种子，D 值为 0。

表 5　15 % PEG-6000 浓度处理的 19 份番茄种质资源抗旱鉴定结果

Table 5　Drought resistance identification results of 19 tomato germplasm resources treated with 15 % PEG-6000 concentration

抗旱分类 Drought resistance classification	D 值范围 D value range	个数 Number	平均 D 值 Average D value	抗旱类型 Drought resistance type	品种名称 Variety name
第 1 类	0.827~0.467	6	0.591	强	锦农矮秧、密植红番茄、1076 番茄、早粉 2 号、Tyymmakam A Nnenmbeb、Nex3032
第 2 类	0.404~0.235	8	0.309	中	丰收黄柿子、加工柿子、桔黄佳辰、梦特娇 1 号、阿沙克列、红塔番茄、强丰柿子、BMAE
第 3 类	0.193~0.005	5	0.117	弱	红瓦伦特、保加利亚、粉红、哈密黄柿子、比专



A:6 份番茄的 17.5 % PEG-6000 溶液处理与对照整体发芽情况；B:6 份番茄的 17.5 % PEG-6000 溶液处理与对照的生长变化比较

A: The overall germination of 6 tomato samples treated with 17.5% PEG-6000 solution compared to the control; B: Comparison of growth changes between 6 tomato samples treated with 17.5% PEG-6000 solution and the control

图 3　17.5 % PEG-6000 处理的 6 份番茄生长对比

Fig.3　Growth comparison of 6 tomato varieties treated with 17.5% PEG-6000

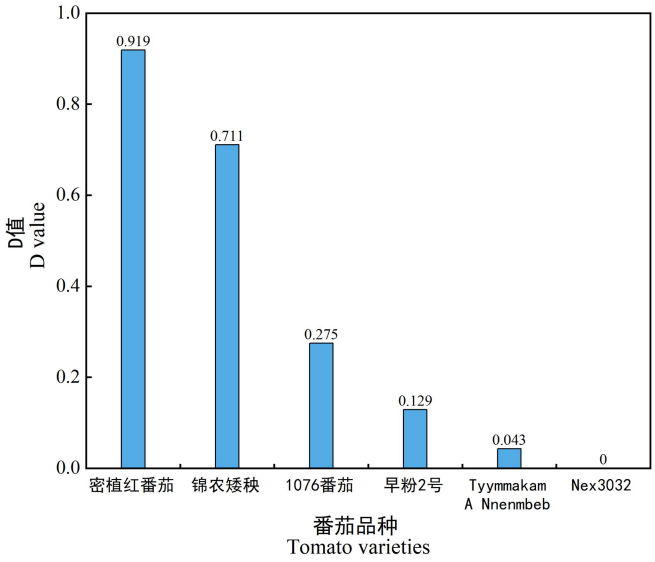


图 4　17.5 % PEG-6000 浓度处理下 6 份番茄品种的 D 值变化

Fig. 4　Changes in D values of 6 tomato varieties under 17.5% PEG-6000 concentration treatment

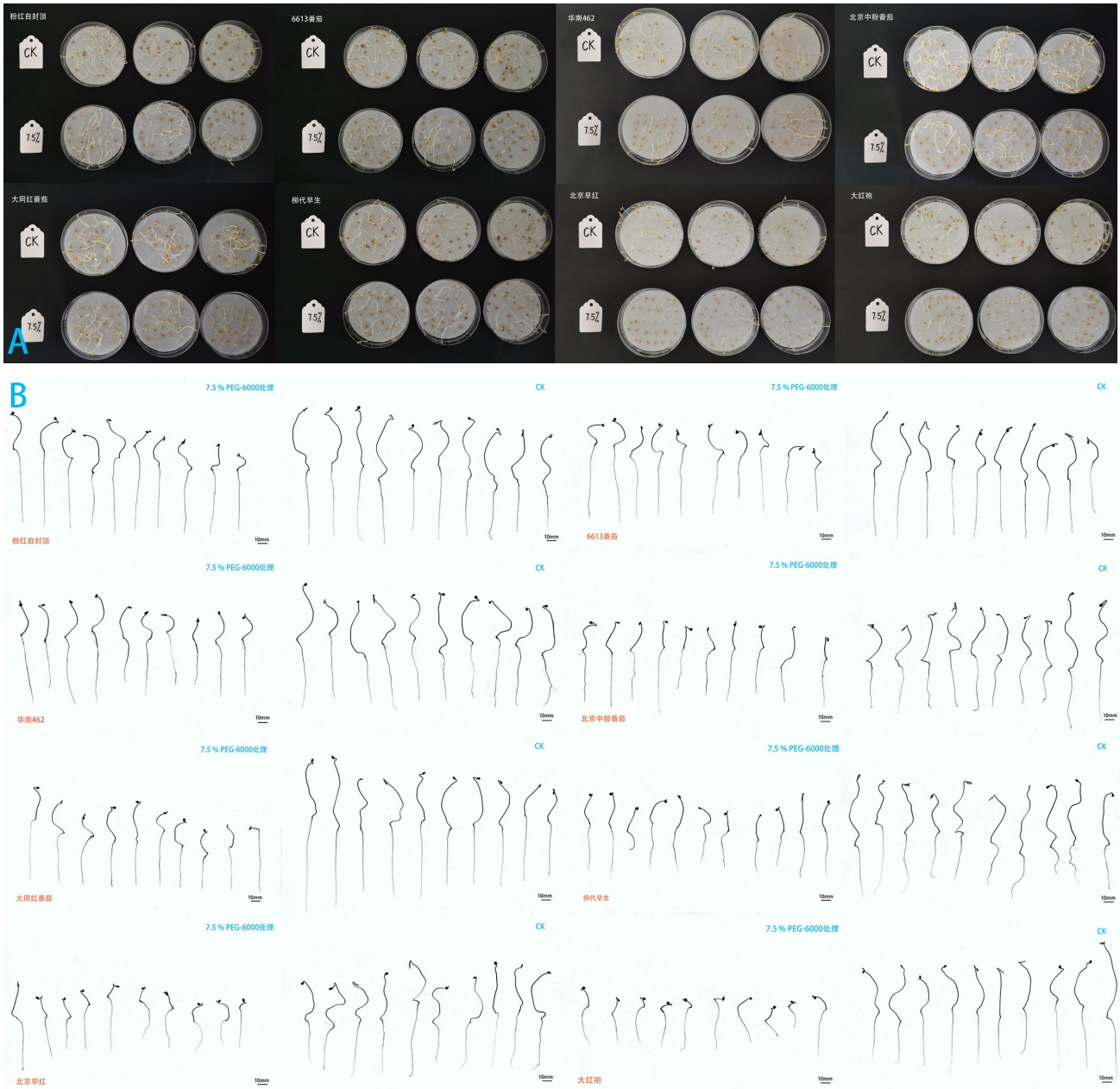
2.5.2 **敏感型品种筛选** 在 12.5 % PEG-6000 浓度下筛选出敏感型 14 份番茄种质资源，为了筛选敏感性更强的番茄种质资源，采用 10 %和 7.5 % PEG-6000 浓度进一步筛选，运用隶属函数法进行综合评价分析，如表 6 所示，通过综合评价 D 值对番茄种质资源进行聚类分析，将 14 份番茄种质资源分为 2 类，第 1 类弱敏感型共 6 个品种，D 值变化范围在 0.884~0.586；第 2 类强敏感型共 8 个品种，D 值的变化范围在 0.443~0.135。

筛选出强敏感型 8 份番茄种质资源，番茄品种分别为‘粉红自封顶’、‘6613 番茄’、‘华南 462’、‘北京中粉番茄’、‘大同红番茄’、‘柳代早生’、‘北京早红’、‘大红袍’，将 8 份番茄种质资源用 7.5 % PEG-6000 浓度处理筛选，如图 5 所示，8 份番茄资源的生长情况发现‘北京早红’和‘大红袍’两个品种生长受到抑制明显。如图 6 所示，‘北京早红’和‘大红袍’两个品种的综合评价 D 值分别为 0.012 和 0.262。

表 6　10 % PEG-6000 浓度处理的 14 份番茄种质资源抗旱鉴定结果

Table 6　Drought resistance identification results of 14 tomato germplasm resources treated with 10 % PEG-6000 concentration

抗旱分类 Drought resistance classification	D 值范围 D value range	个数 Number	平均 D 值 Average D value	抗旱类型 Drought resistance type	品种名称 Variety name
第 1 类	0.884~0.586	6	0.733	弱	黔园、格里克斯、比松、Rorkaiyefeb pufamhi、真善美、丹麦
第 2 类	0.443~0.135	8	0.348	强	北京中粉番茄、柳代早生、粉红自封顶、大同红番茄、北京早红、华南 462、6613 番茄、大红袍



A:8 份番茄的 7.5 % PEG-6000 溶液处理与对照整体发芽情况；B:8 份番茄的 7.5 % PEG-6000 溶液处理与对照的生长变化比较

A: The overall germination of 8 tomato samples treated with 7.5% PEG-6000 solution compared to the control group; B: Comparison of Growth Changes between 7.5% PEG-6000 Solution Treatment and Control of 8 Tomatoes

图 5　7.5 % PEG-6000 处理的 8 份番茄生长对比

Fig. 5　Growth comparison of 8 tomato varieties treated with 7.5% PEG-6000

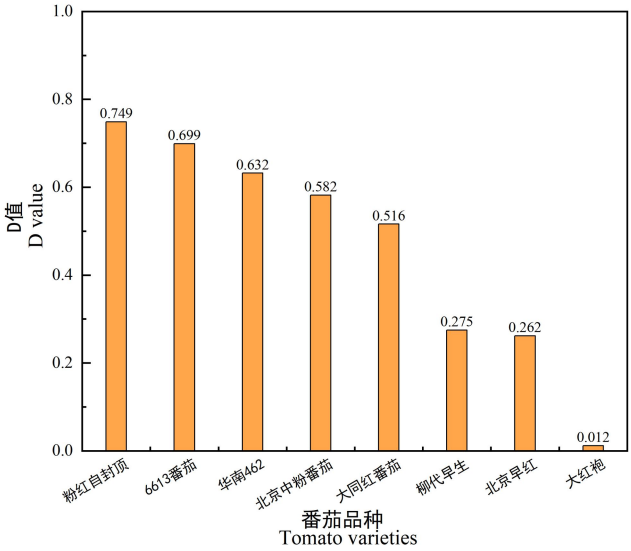


图 6　7.5 % PEG-6000 浓度处理下 8 份番茄品种的 D 值变化

Fig. 6　Changes in D values of 8 tomato varieties under 7.5 % PEG-6000 concentration treatment

3 讨论

番茄种子受到干旱胁迫会严重影响种子的萌发。PEG-6000 溶液模拟干旱易于操作，可重复性好，被广泛运用于作物的抗旱性鉴定与筛选[17]。在作物抗旱性评价中萌发期是不可或缺的关键阶段之一。已有研究显示，不同作物在萌发期对抗旱性的表现特征存在显著差异，这导致了相应的评价指标也各有不同，因此，合理选择相关指标对抗旱性鉴定至关重要，侯文慧等[18]在对不同基因型饲用高粱萌发期的抗旱性筛选鉴定，将发芽指数和发芽率作为抗旱性评价指标；周国彦等[19]发现相对发芽势、相对发芽率、萌发抗旱指数、胁迫指数以及活力抗旱指数可作为评价旱黄瓜抗旱性的指标；王焱等[20]认为根长、发芽率和活力指数是苜蓿种质资源萌发期抗旱指标；李翠等[21]认为活力指数可作为番茄种子萌发期的抗旱鉴定指标。本研究通过相关性分析和主成分分析比较番茄萌发期抗旱性相关的 6 个指标，各指标之间存在不同程度的相关性，其中发芽势、发芽率、发芽指数、活力指数相互之间均呈极显著正相关，均与综合评价 D 值极显著正相关，且相关性强，结合主成分分析中主要以发芽势、发芽率、发芽指数、活力指数为主，贡献率达到 61.192 %，因此认为发芽势、发芽率、发芽指数和活力指数为番茄萌发期抗旱性鉴定的主要指标。这一结论与李翠等[21]的研究结论的部分一致，与前人对其他作物的抗旱性研究结论基本一致，但也存在一定差异，说明不同作物的抗旱性存在一定的种属特异性。

作物抗旱性是一个复杂数量性状，受多种因素影响，且不同作物具有不同的抗旱机制。单一指标评价体系在评估作物抗旱性时存在局限性，无法准确、全面地反映其真实抗旱性。为了提高抗旱性鉴定的准确性和可靠性，我们需要采用综合性评价的方法，Wei 等[22]通过隶属函数法，相关性分析和聚类分析筛选出水稻品种中 2 个抗旱性较强的品种‘长粳 616’和‘绥粳 18’；樊瑀等[23]通过相关性分析和因子分析比较谷子萌发期相关指标、隶属函数和聚类分析结合逐步回归分析对谷子萌发期抗旱性综合评价，最终将 35 份谷

子品种分为 4 级；李丹丹等[24]在向日葵苗期抗旱性评价基于综合评价 D 值筛选出抗旱性最强的 K58，最弱的是 B112；本试验结合相关性分析、主成分分析、隶属函数法和聚类分析等方法来综合评价番茄种质资源萌发期抗旱性，与前人研究方法基本一致，本研究以萌发期抗旱性相关的 6 个指标利用隶属函数法得到综合评价 D 值，与李丹丹等[24]研究的方法一致，最后用综合评价 D 值进行聚类分析将 92 份番茄种质资源分为 4 类。本研究采用多个指标和综合评价方法分析 92 份番茄种质资源萌发期的抗旱性，对番茄抗旱育种研究有重要意义。

作物在不同 PEG-6000 浓度胁迫下的表现有较大差异，彭玉梅等[13]和宋红霞等[15]研究中随着 PEG-6000 浓度的增大，对番茄种子萌发的抑制作用越大，但在不同浓度胁迫下各品种的变化幅度有差异，进而从中筛选出抗旱性强的品种。本研究通过 12.5 % PEG-6000 浓度胁迫下的 92 份番茄种质资源抗旱性鉴定，筛选出 19 份抗旱型种质和 14 份敏感型种质，19 份抗旱型番茄种质资源中按照果型分为大果型番茄 12 份、中果型番茄 6 份、小果型番茄 1 份，其中‘密植红番茄’的单株产量最高；‘丰收黄柿子’的果实硬度最大；‘密植红番茄’、‘1076 番茄’、‘梦特娇 1 号’、‘强丰柿子’4 个品种的商品率都在 90 %以上；结合可溶性固形物含量、总糖和总酸含量、维生素 A、维生素 C、番茄红素等综合品质方面比较‘保加利亚’和‘红瓦伦特’表现优异。14 份敏感型番茄种质资源分为大果型番茄 5 份、中果型番茄 9 份；单株产量最高的是‘北京早红’；‘黔园’的单果重最大；可溶性固形物含量最高的是‘大同红番茄’；‘Rorkaiyefeb pufamhi’、‘粉红自封顶’、‘北京早红’3 个品种的商品率达到 90 %以上；结合可溶性固形物含量、总糖和总酸含量、维生素 A、维生素 C、番茄红素等综合品质方面比较‘格里克斯’和‘丹麦’表现优异。为筛选出抗旱性优异的番茄种质，通过 15 %和 17.5 % PEG-6000 浓度筛选出‘密植红番茄’和‘锦农矮秧’2 份抗旱优异种质，综合评价 D 值分别为 0.919 和 0.711，‘密植红番茄’是中果型梨形番茄、产量高、肉质沙、商品率高、但综合品质表现较差。‘锦农矮秧’是中果型圆形番茄、肉质面、商品率较高、综合品质表现一般。通过 7.5 %和 10 % PEG-6000 浓度筛选出‘北京早红’和‘大红袍’2 份敏感种质，综合评价 D 值分别为 0.012 和 0.262，‘北京早红’是中果型圆形番茄、肉质软、风味酸甜、商品率高、但综合品质表现一般，‘大红袍’是大果型扁圆形番茄、肉质沙、表现出较高的商品率、综合品质表现一般。通过增大筛选浓度的方式进一步筛选出抗旱性强番茄品种，减小筛选浓度筛选出敏感性强的番茄品种，能够对筛选出的番茄品种抗旱性有更准确的鉴定，为深入开展抗旱机制和挖掘新的抗旱基因奠定了基础。通过筛选出的品种相关的果实性状，能够更清楚的了解品种特性，为以后开展番茄抗旱新品种选育提供依据。

4 结论

本研究通过多种综合评价方法对 92 份番茄种质资源萌发期抗旱性进行评价，筛选发芽势、发芽率、发芽指数、活力指数等指标为番茄萌发期抗旱性鉴定的主要指标，根据综合评价 D 值进行聚类分析将 92 份番茄种质资源划分 4 类，其中抗旱型 19 份、较抗旱型 41 份、较敏感型 18 份、敏感型 14 份。此外，本研究

筛选出番茄萌发期抗旱性强的‘密植红番茄’和‘锦农矮秧’，敏感性强的‘北京早红’和‘大红袍’。

参考文献

[1] 孙永珍,贺靖,魏芳, 杨伟健.“十三五”我国番茄产业发展及其国际竞争力评价.中国瓜菜,2023,36(01):112-116

Sun Y Z, He J, Wei F, Yang W J.Evaluation of the Development and International Competitiveness of China's Tomato Industry during the 13th Five Year Plan. China Guacai, 2023,36 (01): 112-116

[2] 姚晔.干旱气候对农业生产的影响及气象服务对策探析.南方农机,2021,52(06):68-69

Yao Y. The impact of arid climate on agricultural production and the countermeasures of meteorological services. South China Agricultural Machinery,2021,52(06):68-69

[3] Soufiane L,Abdelilah M,Raja B L,Abdelkader O, Luigi P.Subsurface Water Retention Technology Promotes Drought Stress Tolerance in Field-Grown Tomato. Energies 2022, 15(18), 6807

[4] 张娟伟, 石亚飞, 路旭平, 杨文伟, 田蕾, 李培富, 张振海, 罗成科. 种子萌发期粳稻种质资源耐旱性综合评价. 核农学报, 2022, 36 (11): 2093-2103

Zhang J W, Shi Y F, Lu X P, Yang W W, Tian L, Li P F, Zhang Z H, Luo C K. Comprehensive evaluation of drought tolerance of japonica rice germplasm resources during seed germination period .Journal of Nuclear Agriculture, 2022, 36 (11): 2093-2103

[5] Zhao X Z, Liu Z X,Li H H,Zhang Y J,Yu L L,Qi X S , Gao H W ,Li Y H,Qiu L J.Identification of Drought-Tolerance Genes in the Germination Stage of Soybean.Biology 2022, 11(12), 1812

[6] 张芳, 颜安, 任毅, 杨卫君, 耿洪伟. 新疆冬小麦萌发期抗旱性综合评价. 植物遗传资源学报, 2019, 20 (01): 100-112

Zhang F, Yan A, Ren Y, Yang W J, Geng H W.Comprehensive evaluation of drought resistance during the germination period of winter wheat in Xinjiang. Journal of Plant Genetic Resources, 2019, 20 (01): 100-112

[7] 石有太, 李忠旺, 陈玉梁, 冯克云, 王红梅, 刘新星. 不同陆地棉基因型抗旱性评价与抗旱丰产种质筛选. 植物遗传资源学报, 2020, 21 (03): 625-636

Shi Y T, Li Z W, Chen Y L, Feng K Y, Wang H M, Liu X X.Evaluation of drought resistance and screening of drought resistant and high-yield germplasm for different genotypes of upland cotton.Journal of Plant Genetic Resources, 2020, 21 (03): 625-636

[8] 彭玉梅. 盐旱对加工番茄芽苗生理特性的影响及耐盐旱指标筛选研究. 石河子大学, 2014

Peng Y M. The effect of salt and drought on the physiological characteristics of processed tomato sprouts and the screening of salt and drought tolerance indicators. Shihezi University, 2014

[9] 廖博通, 陈琳, 唐可兰, 文明英, 刘剑眉, 韩蓉. PEG 模拟干旱胁迫下辣椒种子萌发特性及抗旱性评价. 中国瓜菜, 2022, 35 (03): 64-69

Liao B T, Chen L, Tang K L, Wen M Y, Liu J M, Han R. PEG simulation of pepper seed germination characteristics and drought resistance evaluation under drought stress.Chinese Melon and Vegetable, 2022, 35 (03): 64-69

[10] 岳瑶琴, 赵彤, 余青兰, 徐亮, 李开祥, 赵志刚. 342 份油菜种质资源抗旱性评价研究. 青海大学学报, 2023, 41 (02): 29-36+55

Yue Y Q, Zhao T, Yu Q L, Xu L, Li K X, Zhao Z G. Evaluation of drought resistance of 342 rapeseed germplasm resources . Journal of Qinghai University, 2023, 41 (02): 29-36+55

[11] 常利芳, 乔彦玮, 陈芳, 乔麟轶, 郭慧娟, 李欣, 张树伟, 畅志坚, 张晓军. 小偃麦衍生系萌发期和成株期抗旱性综合评价. 植物遗传资源学报, 2023, 24 (05): 1321-1333

Chang L F, Qiao Y W, Chen F, Qiao L Y, Guo H J, Li X, Zhang S W, Chang Z J, Zhang X J. Comprehensive evaluation of drought resistance of Xiaoyan wheat derived lines during germination and adult stages.Journal of Plant Genetic Resources, 2023, 24 (05): 1321-1333

[12] 张海平, 张俊峰, 陈妍, 张海生, 闫凯, 穆志新. 大豆种质资源萌发期耐旱性评价. 植物遗传资源学报, 2021, 22 (01): 130-138

Zhang H P, Zhang J F, Chen Y, Zhang H S, Yan K, Mu Z X. Evaluation of Drought Tolerance of Soybean Germplasm Resources during Germination Period.Journal of Plant Genetic Resources, 2021, 22 (01): 130-138

[13] 彭玉梅, 石国亮, 崔辉梅. PEG-6000 模拟干旱胁迫下不同加工番茄种子萌发期抗旱性评价. 种子, 2013, 32 (07): 44-49

Peng Y M, Shi G L, Cui H M. Evaluation of drought resistance of different processed tomato seeds during germination period under simulated drought stress using PEG-6000 .Seed, 2013, 32 (07): 44-49

[14] 梁玉芹, 曹彩霞, 刘云, 宋炳彦. 番茄种子萌发期耐旱性鉴定指标的研究. 华北农学报, 2010, 25 (S1): 117-120

Liang Y Q, Cao C X, Liu Y, Song B Y. A study on drought tolerance identification indicators during tomato seed germination period.North China Agricultural

Journal, 2010, 25 (S1): 117-120

[15] 宋红霞, 张利虎, 李梅兰, 侯雷平, 张毅, 郑少文, 聂红玫. 通过发芽特性和果实品质鉴定番茄耐旱性的研究. 江西农业学报, 2021, 33 (02): 22-26

Song H X, Zhang L H, Li M L, Hou L P, Zhang Y, Zheng S W, Nie H M. A study on identifying tomato drought resistance through germination characteristics and fruit quality Jiangxi Agricultural Journal, 2021, 33 (02): 22-26

[16] 白云飞, 孙贵先, 李珊珊, 刘昊东, 赵思航, 张树华, 赵勇, 杨学举. 不同小麦品种（系）的抗旱性评价. 河北农业大学学报, 2019, 42 (05): 1-7

Bai Y F, Sun G X, Li S S, Liu H D, Zhao S H, Zhang S H, Zhao Y, Yang X J. Evaluation of Drought Resistance of Different Wheat Varieties (Lines) .Journal of Hebei Agricultural University, 2019, 42 (05): 1-7

[17] 孟雨.干旱胁迫对小麦生长的影响及品种抗旱性鉴定方法研究.河南农业大学,2022

Meng Y.Study on the Effects of Drought Stress on Wheat Growth and Methods for Identifying Drought Resistance of Wheat Varieties.Henan Agricultural University, 2022

[18] 候文慧, 张玉霞, 陈卫东, 孙明雪, 郭园, 丛百明, 杜晓艳. 饲用高粱品种种子萌发期抗旱性筛选. 内蒙古民族大学学报:自然科学版, 2021, 36 (01): 67-72

Hou W H, Zhang Y X, Chen W D, Sun M X, Guo Y, Cong B M, Du X Y. Screening of Drought Resistance during Seed Germination of Forage Sorghum Varieties. Journal of Inner Mongolia University for Nationalities: Natural Science Edition, 2021, 36 (01): 67-72

[19] 周国彦, 谢洋, 邢雨蒙, 银珊珊, 闫立英, 武春成. 33 份旱黄瓜种子萌发期抗旱性鉴定. 中国瓜菜, 2023, 36 (03): 92-97

Zhou G Y, Xie Y, Xing Y M, Yin S S, Yan L Y, Wu C C. Identification of drought resistance during germination of 33 dry cucumber seeds.Chinese Guacai, 2023, 36 (03): 92-97

[20] 王焱, 沙柏平, 李明雨, 李雪, 高雪芹, 伏兵哲. 苜蓿种质资源萌发期抗旱指标筛选及抗旱性综合评价. 植物遗传资源学报, 2019, 20 (03): 598-609+623

Wang Y, Sha B P, Li M Y, Li X, Gao X Q, Fu B Z. Screening of drought resistance indicators and comprehensive evaluation of drought resistance during the germination period of alfalfa germplasm resources. Journal of Plant Genetic Resources, 2019, 20 (03): 598-609+623

[21] 李翠, 梁燕, 张纪涛, 罗雷. 渗透胁迫对番茄种子萌发特性的影响. 干旱地区农业研究, 2011, 29 (02): 173-179

Li Ci, Liang Y, Zhang J T, Luo L. The effect of osmotic stress on the germination characteristics of tomato seeds. Agricultural Research in Arid Areas, 2011, 29 (02): 173-179

[22] Wei X L,Cang B F,Yu K,Li W C,Tian P, Han X,Wang G,Di Y T,Wu Z H,Yang M Y.Physiological Characterization of Drought Responses and Screening of Rice Varieties under Dry Cultivation.Agronomy 2022, 12(11), 2849

[23] 樊瑀, 董淑琦, 原向阳, 杨雪萍, 姚翔, 郭平毅, 杨雪芳. 谷子种质资源萌发期抗旱性综合评价及抗旱指标筛选. 中国农业大学学报, 2022, 27 (06): 42-54

Fan Y, Dong S Q, Yuan X Y, Yang X P, Yao X, Guo P Y, Yang X F. Comprehensive evaluation of drought resistance and screening of drought resistance indicators during the germination period of millet germplasm resources. Journal of China Agricultural University, 2022, 27 (06): 42-54

[24] 李丹丹, 石慧敏, 伊六喜, 王艳霞, 周佳岭, 侯建华. 向日葵苗期抗旱指标筛选及抗旱性评价. 分子植物育种, 2023,1-18

Li D D, Shi H M, Yi L X, Wang Y X, Zhou J L, Hou J H. Screening of drought resistance indicators and evaluation of drought resistance in sunflower seedlings Molecular Plant Breeding, 2023, 1-18