

花生种子萌发吸胀阶段冷害抗性的 鉴定及耐冷种质的筛选

陈昊, 徐日荣, 陈湘瑜, 张玉梅, 胡润芳, 蓝新隆, 唐兆秀, 林国强
(福建省农业科学院作物研究所 / 农业部作物基因资源与种质创新福建科学观测实验站 / 福建省
特色旱作物品种选育工程技术研究中心 / 福建省作物分子育种工程实验室, 福州 350013)

摘要: 为更好地评价花生吸胀冷害抗性, 本研究首先分析了常温条件下(25℃)和冷胁迫条件下(2℃)花生种子萌发过程中的吸水状况, 结果表明不同基因型的花生吸胀阶段的持续时间基本一致, 维持在浸种后 0~12 h; 冷胁迫能够使吸胀阶段初期的吸水速度显著下降, 但对吸胀阶段的持续时间没有显著影响。对种子萌发 3 个生理阶段(吸胀、萌动、萌发阶段)分别进行冷害胁迫处理, 结果表明吸胀阶段遭受的冷害胁迫对花生种子萌发影响较其他阶段严重。进一步的试验表明, 吸胀阶段种子 2℃冷胁迫 12 h, 能够更好地区分不同花生种质之间吸胀冷害抗性的差异, 从而建立了花生种子吸胀冷害抗性的鉴定体系。利用该鉴定体系对 64 份花生种质的吸胀冷害抗性进行鉴定, 以相对发芽率 85% 为阈值, 筛选出了 7 份耐冷种质。本研究为花生耐冷育种及吸胀冷害抗性机制解析提供了技术鉴定体系和材料基础。

关键词: 花生; 耐冷; 吸水速度; 吸胀冷害抗性

Identification of Imbibitional Chilling Injury Resistance for Peanut and Screening of Imbibitional Chilling-tolerance Germplasm

CHEN Hao, XU Ri-rong, CHEN Xiang-yu, ZHANG Yu-mei, HU Run-fang,
LAN Xin-long, TANG Zhao-xiu, LIN Guo-qiang

(Institute of Crop Sciences, Fujian Academy of Agricultural Sciences/Fujian Research Station of Crop Gene Resource & Germplasm Enhancement, Ministry of Agriculture and Rural Affairs/Fujian Engineering Research Center for Characteristic Upland Crops Breeding/Fujian Engineering Laboratory of Crop Molecular Breeding, Fuzhou 350013)

Abstract: In order to better evaluate the imbibitional chilling injury resistance of peanut, we analyzed the water-uptake conditions during peanut germination under the normal temperature (25℃) and chilling treatment (2℃), respectively. The result revealed that the duration time for the imbibitional stage of peanut germination among different peanut genotype was consistent, lasting from 0-12 h after seed soaking. The chilling stress was found to slow down the speed of water-uptake at the early phase of imbibition stage; however, on visible difference on duration time was observed. The imbibitional chilling injury was found to be much more serious than

收稿日期: 2019-10-31 修回日期: 2019-11-15 网络出版日期: 2019-12-26

URL: <http://doi.org/10.13430/j.cnki.jpgr.20191031001>

第一作者研究方向为花生种质资源与遗传育种学, E-mail: bullnet_1985@163.com

通信作者: 唐兆秀, 研究方向为花生遗传育种与栽培, E-mail: tzxfz@163.com

林国强, 研究方向为豆科作物遗传育种, E-mail: lgq308@163.com

基金项目: 福建省科技计划项目——省属公益类科研院所基本科研专项(2019R1031-12, 2017R1026-7); 福建省财政专项——福建省农科院科技创新团队建设(STIT2017-2-6); 福建省农业科学院博士基金(DC2018-3); 福建农业科学院作物研究所博士基金(QN2018-2); 福建省农业科学院对外合作项目(DEC201916); 福建省农业科学院一般性引导项目(AC2017-20)

Foundation project: Basic Scientific Research Special Project for Fujian Provincial Public Research Institutes(2019R1031-12, 2017R1026-7), Fujian Provincial Financial Special Project: Science and Technology Innovative Team in Fujian Academy of Agricultural Sciences(STIT2017-2-6), Doctoral Foundation of Fujian Academy of Agricultural Sciences(DC2018-3), Doctoral Foundation of Institute of Crop Science(QN2018-2), Foreign Cooperation Projects for Fujian Academy of Agricultural Sciences(DEC201916), General Guidance Project for Fujian Academy of Agricultural Sciences(AC2017-20)

chilling injury occurred at other stages during peanut germination. By further evaluating the effect of temperature and duration of imbibitional chilling injury on the germination rate, the results showed that 2 °C/12 h was the most optimal condition to identify the imbibitional chilling injury resistance. By taking use of this method, sixty-four peanut accessions were evaluated for their imbibitional chilling injury resistance. Seven accessions showed the relative germination rate over 85% under the imbibitional chilling stress, and they were considered as chilling-tolerance accessions. Taken together, this study provided useful information for breeding new peanut varieties with chilling-tolerance and also for unlocking the mechanism for chilling response of peanut during imbibition.

Key words: peanut; cold-tolerance; water-uptake rate; imbibitional chilling injury

花生是重要的油料作物和经济作物,为人类提供了优质的食用油脂和蛋白来源^[1]。我国是花生生产大国,花生年产量常年保持在 1600 万 t 的水平,占世界花生总产量的 40% 以上^[2]。近年来随着种植结构的调整,我国的花生种植区域呈现出向东北地区、西北地区和各省内陆低温、高海拔地区延伸的趋势。以东北三省为例,花生播种面积由 1999 年的 12.97 万 hm^2 提高到 2017 年的 62.30 万 hm^2 , 由占全国花生播种总面积的 3.04% 提高到 13.52%; 以新疆为代表的西北地区,花生播种面积 2017 年是 2000 年的 138%^[3-4]。此外,由于市场需求、土地利用效率以及规避生长和收获阶段不良气候影响等因素的共同影响,近年来我国各春花生生产区的播种时间也逐渐提前。上述花生种植区域的变化和春花生播种时间的提前导致我国各产区的花生在播种后遇到低温天气的概率日益增大。

和大多数原产于热带地区的作物一样,花生对于外界的冷害胁迫较为敏感。发生于种子萌发期间的冷害胁迫轻则延缓花生萌发和出苗速度,影响植株正常发育及产量形成;重则造成种子的死亡,导致大规模缺苗断垄,最终给花生生产造成重大经济损失^[5]。建立花生种子萌发期间冷害抗性的鉴定体系,评价和筛选耐冷种质,并在生产与育种实践中应用将是解决这一问题较为环境友好、经济可行的措施。

前人已经对花生种子萌发期间的耐低温特性进行了有价值的研究,如种质资源的筛选与评价^[6-11]、生理生化指标测定^[12]、遗传模式分析^[6,10]、相关耐冷基因的鉴定与挖掘等^[13-14]。但是仍需更多证据以揭示花生种子萌发期间冷害抗性的遗传和生理生化机制。此外,典型的植物种子萌发过程可以分为 3 个生理阶段:吸胀阶段、萌动阶段和发芽阶段^[15]。其中,由于在吸胀阶段遭遇低温胁迫而导致的种子损伤,细胞内容物渗漏,进而影响种子的正常萌发和生长,被专门称之为吸胀冷害^[16-17]。吸胀冷害对包

括花生、大豆、瓜尔豆、玉米、黄瓜在内的作物的生产带来了严重的损失^[17-21]。由于前人的研究表明吸胀冷害胁迫对种子萌发的影响显著大于萌动和发芽阶段遭受的外界冷害胁迫^[7,16],因此有必要将花生种子吸胀冷害抗性作为一个重点考察目标进行研究。

本研究主要关注花生吸胀冷害抗性评价体系的构建以及耐低温种质的筛选。首先界定花生种子萌发各阶段(特别是吸胀阶段)的具体持续时间;接着明确种子萌发各阶段受到外源冷害胁迫对种子萌发的影响;进而筛选有效的花生种子吸胀冷害鉴定条件,评价不同花生种质的吸胀冷害抗性;最终从中筛选吸胀冷害抗性强的种质以供未来生产和理论研究使用。

1 材料与方法

1.1 供试材料

选择 64 份涵盖了所有栽培花生植物学类型(普通型、珍珠豆型、多粒型和龙生型)的花生种质作为研究材料。用于试验的花生荚果在 2018 年夏季收获于福建省农业科学院作物研究所福州青口试验基地,将其置于 40 °C 烘箱中烘干至恒重。选取大小一致、籽粒饱满、种皮完整无破损的花生种子使用。

1.2 种子萌发试验

萌发试验采用纸间发芽的方式进行。以 20 粒花生种子为一组随机分组,设置 3 次重复,称量并记录每组花生种子的重量,而后将种子置于 (25 ± 2) °C 恒温培养箱中暗培养。自吸水开始后每隔 3 h 将种子取出,用吸水纸吸干后称量各组种子的重量以确定种子吸水增重的情况。

1.3 种子萌发过程中各生理阶段持续时间的界定

种子在吸胀阶段依赖细胞内的原生质胶体成分吸水;到萌动阶段种皮和细胞膨压的共同作用使种子吸水速度逐渐停滞;至发芽阶段由于胚根突破种

皮,新生组织快速生长和代谢加快使种子再次快速吸水^[15]。由于种子萌发的每个生理阶段都伴随着有特征种子吸水事件,因此可以用吸水量和吸水速度来体现种子在萌发过程中所处的进程^[23]。即以第一次快速吸水代表吸胀阶段,以吸水停滞代表萌动阶段,以再次快速吸水代表发芽阶段开始。

相对吸水量 (%) = $(M_n - M_0) / M_0 \times 100\%$,

吸水速度采用张冠初等^[22]的计算方法:

吸水速度 (g/h) = $(M_n - M_{n-1}) / H$,

在萌发过程中每隔 3 h 称取种子的重量。其中, M_0 为初始干种子的重量, M_n 为某个检测时间点称取的种子重量, M_{n-1} 为 M_n 的上一个 3 h 检测时间点称取的种子重量, H 为间隔时间。

选取 4 种不同基因型的花生种质(花育 951、福花 8 号、四粒红、云南黑花生)对其萌发过程的相对吸水量和吸水速度进行考察,以界定花生种子萌发过程中各阶段的具体持续时间。

1.4 种子发芽率与相对发芽率统计

以芽长(下胚轴+胚根) ≥ 20 mm 作为种子发芽标准。发芽率 = (发芽种子数 / 种子总数) $\times 100\%$ 。相对发芽率 = (处理组种子的发芽率 / 对照组种子的发芽率) $\times 100\%$ 。本研究的对照组为在 25 °C 的环境下正常萌发的种子。

1.5 冷害胁迫处理

为研究冷害胁迫对种子萌发全过程的影响,选取花育 951、福花 8 号、四粒红、云南黑花生 4 种不同基因型的花生种质为研究对象。用冷水浸种模拟种子萌发过程中所受到的冷害胁迫。事先将试验所需用具和灭菌双蒸馏水处理至相应处理温度(2 °C)后备用。将花生种子分组并称量后,用预冷处理好的灭菌双蒸水浸泡种子,并把种子置于处理温度的层析柜中暗培养。通过比较冷害处理组和相应对照组种子的相对发芽率来评价冷害胁迫对花生种子萌发过程的影响。

为研究冷害胁迫对种子萌发不同生理阶段的影响,选取花育 951、福花 8 号、四粒红、云南黑花生 4 种不同基因型的花生种质为研究对象。将受试花生种子在需要施加冷害胁迫的生理阶段置于 2 °C 的环境下萌发,在其余生理阶段将花生种子转移至 25 °C 的环境下萌发。通过比较冷害处理组和相应对照组种子的相对发芽率来评价冷害胁迫对花生种子萌发各生理阶段的影响。

1.6 吸胀冷害胁迫条件的筛选

选择 4 份在前期田间生产试验中表现出耐冷性

差异的花生种质材料,即山花 8 号(耐冷型)、粤油 5 号(耐冷型)、白玉花生(冷敏感型)和清苑一窝猴(冷敏感型)作为试验材料以研究不同冷害强度和冷害持续时长对其种子萌发的影响,以筛选合适的吸胀冷害抗性鉴定条件。

在开始浸种发芽后对种子分别施加不同强度(2 °C, 6 °C 和 10 °C)以及不同持续时长(6 h, 12 h 和 24 h)的外界冷害胁迫,之后将种子转移至正常温度(25 °C)环境下萌发。通过比较不同材料和不同组合的相对发芽率差异筛选合适的吸胀冷害抗性鉴定条件。

1.7 吸胀冷害抗性种质的评价

采用刘海龙等^[6]的方法,冷胁迫处理后种子相对发芽率 $\geq 85\%$ 为耐冷型种质, $50\% \leq$ 相对发芽率 $< 85\%$ 为中间型种质,相对发芽率 $< 50\%$ 为冷敏感型种质。

2 结果与分析

2.1 不同花生种质种子萌发过程中的吸水状况

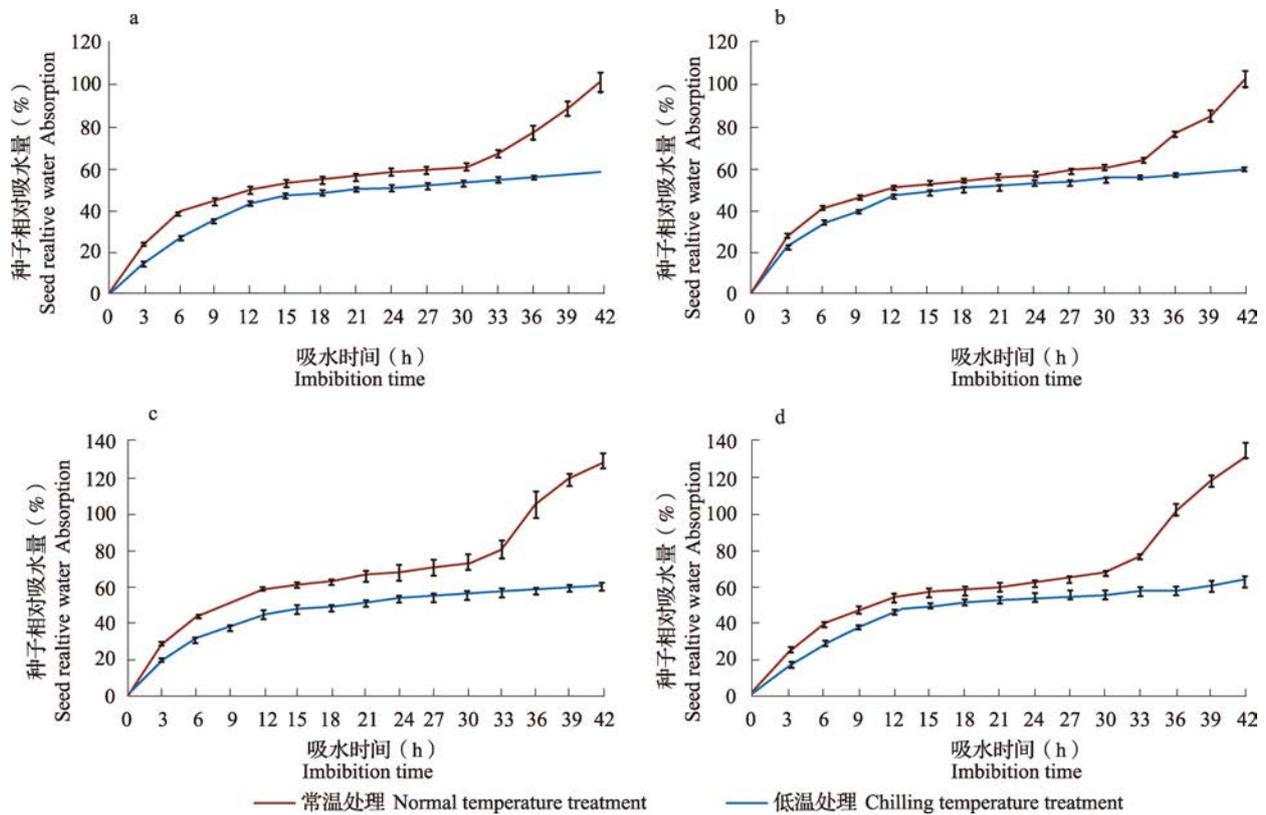
对不同基因型花生种子萌发过程中相对吸水量的研究表明,所有基因型的花生种子在萌发过程中都表现出相似的吸水特征。种子首先在浸种后的 0~3 h 快速吸水,而后吸水速度逐渐降低直至接近停滞,在经历了一段时间的停滞后期种子开始第 2 次快速吸水(图 1)。第 1 次种子快速吸水的时间集中在开始浸种后的 0~12 h,吸水停滞期在开始浸种后的 12~33 h,第 2 次快速吸水期在开始浸种的 33 h 之后。上述花生种子的吸水特征正好分别对应了种子萌发的吸胀阶段、萌动阶段和发芽阶段。因此花生种子萌发的吸胀阶段、萌动阶段和发芽阶段的持续时间可以被认为分别为浸种后的 0~12 h、12~33 h 和 33 h 之后。

2.2 冷害胁迫对种子萌发全过程的吸水状况的影响

为研究冷害胁迫对种子萌发过程中吸水状况的影响,受试材料的种子被置于低温条件下(2 °C)萌发以观察其吸水状况。结果表明低温能够极显著降低($P < 0.01$)所有受试花生种子在吸胀阶段初期(浸种后的 0~3 h)的吸水量与吸水速度(图 1,图 2)。冷胁迫条件下萌发的种子在吸胀阶段持续的时间相较于常温对照组并没有产生显著的改变,但其进入萌动期后吸水长期停滞,不能进行第 2 次快速吸水。

2.3 冷害胁迫对花生种子萌发各生理阶段的影响

对受试材料在种子萌发各生理阶段分别施加冷害胁迫,结果表明在种子萌发的不同生理阶段对花



a: 花育 951; b: 福花 8 号; c: 四粒红; d: 云南黑花生
a: Huayu951, b: Fuhua8, c: Silihong, d: Yunnanheihuasheng

图 1 不同基因型花生种子萌发时期的相对吸水量

Fig.1 The relative water absorption for different genotype peanut during seed germination

生种子施加冷害胁迫都会对种子的正常萌发产生影响。其中,四粒红种子在吸胀阶段、萌动阶段和发芽阶段受到冷害胁迫后的相对发芽率分别为 50%、66.67%、76.67%。福花 8 号在吸胀阶段、萌动阶段和发芽阶段受到冷害胁迫后的相对发芽率分别为 56.67%、76.67% 和 81.67%。花育 951 在吸胀阶段、萌动阶段和发芽阶段受到冷害胁迫后的相对发芽率分别为 81.67%、88.33% 和 91.67%。云南黑花生在吸胀阶段、萌动阶段和发芽阶段受到冷害胁迫后的相对发芽率分别为 88.33%、90% 和 95% (图 3)。虽然受试材料之间的耐冷性存在差异,但所有受试材料的测试结果表明,外界冷害胁迫对花生种子的损伤程度从严重到轻微依次是:吸胀阶段、萌动阶段、发芽阶段(图 3)。因此可以认为,吸胀阶段受到的冷害胁迫对花生种子的正常萌发影响最大。

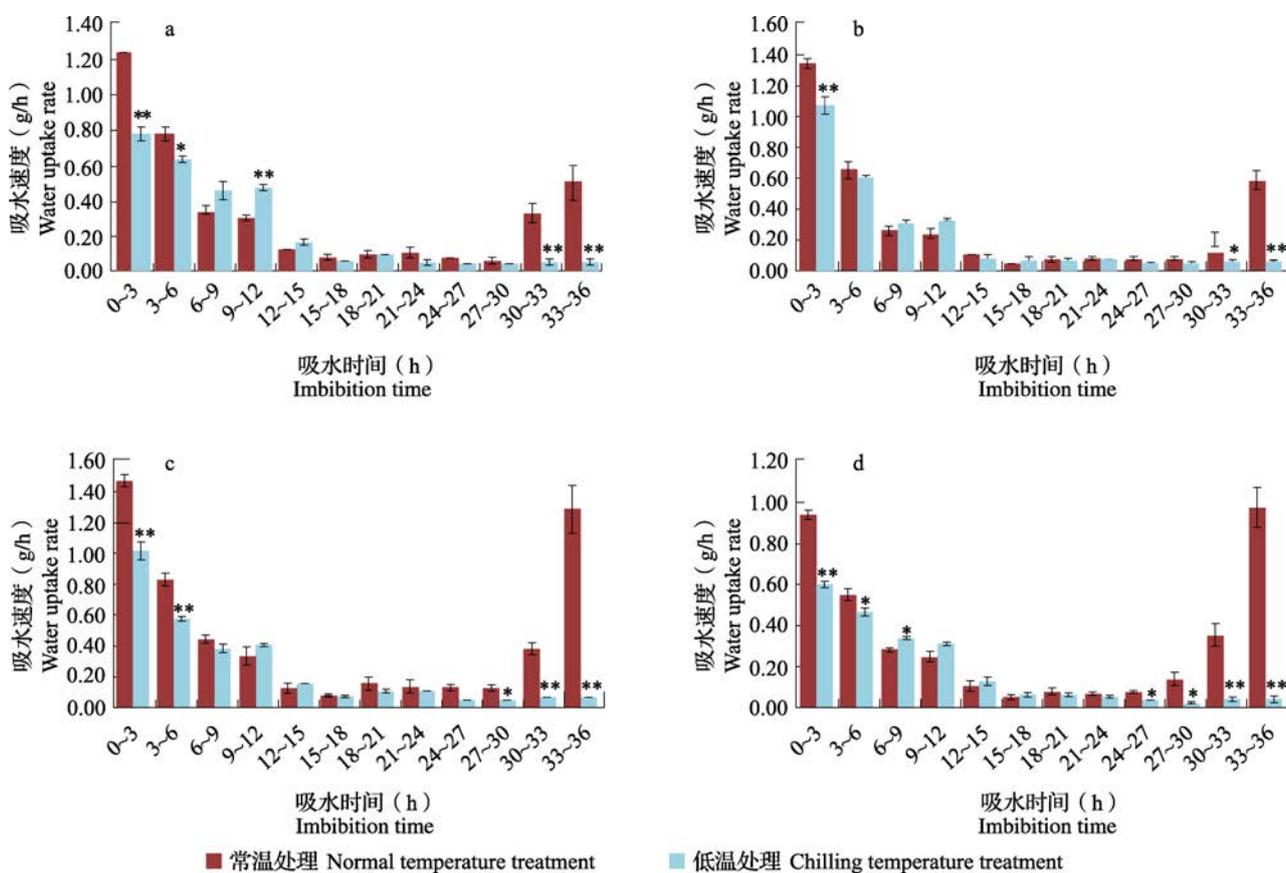
2.4 花生吸胀冷害抗性鉴定条件的确定

以不同的处理温度和处理时长对花生吸胀冷害抗性鉴定条件进行筛选,结果表明 2 °C 条件对花生的相对发芽率影响最大,6 °C 次之,10 °C 最小(图 4)。在 2 °C /6 h 条件下各测试材料间的相对发

芽率的差异相较于在 2 °C /12 h 和 2 °C /24 h 条件下的小。2 °C /24 h 条件下各测试材料的种子相对发芽率都发生了下降,但各测试材料间的表型差异并不是最为明显;而 2 °C /12 h 条件下不同材料之间相对发芽率差异最大,且处理的时间更准确地覆盖了花生种子的吸胀期,因此更能反映测试材料间的吸胀冷害抗性的差异。所以,本研究认为 2 °C /12 h 可能是更适合作为花生吸胀冷害抗性鉴定的条件。

2.5 不同花生种质吸胀冷害抗性的评价

本研究用之前确定的鉴定条件评价了 64 份花生种质的吸胀冷害抗性。结果表明不同花生种质之间的吸胀冷害抗性变异幅度很大,在冷胁迫下的相对发芽率为 15.00%~89.65%(表 1)。以相对发芽率为指标评价这 64 份种质的吸胀冷害抗性。通过吸胀冷害抗性评价,共鉴定出耐冷型种质 7 份,占有被测试种质材料的 10.94%,其中普通型 1 份、珍珠豆型 4 份、多粒型 1 份、龙生型 1 份;中间型种质 34 份,占有被测试种质材料的 53.13%;冷敏感型种质 23 份,占所测试种质材料的 35.94%。



a: 花育 951; b: 福花 8 号; c: 四粒红; d: 云南黑花生. ** 代表冷胁迫组与其常温对照组的种子吸水速度在 $P < 0.01$ 水平上有极显著差异; * 代表冷胁迫组与其常温对照组的种子吸水速度在 $P < 0.05$ 水平上有显著差异
 a: Huayu951, b: Fuhua8, c: Silihong, d: Yunnanheihuasheng. ** represents the significant difference between chilling treatment and its control for water-uptake rate at the level of $P < 0.01$, while * represents the significant difference between chilling treatment and its control for water-uptake rate at the level of $P < 0.05$

图 2 不同基因型花生种子萌发时期的吸水速度

Fig.2 The water-uptake rate for different genotype peanut during seed germination

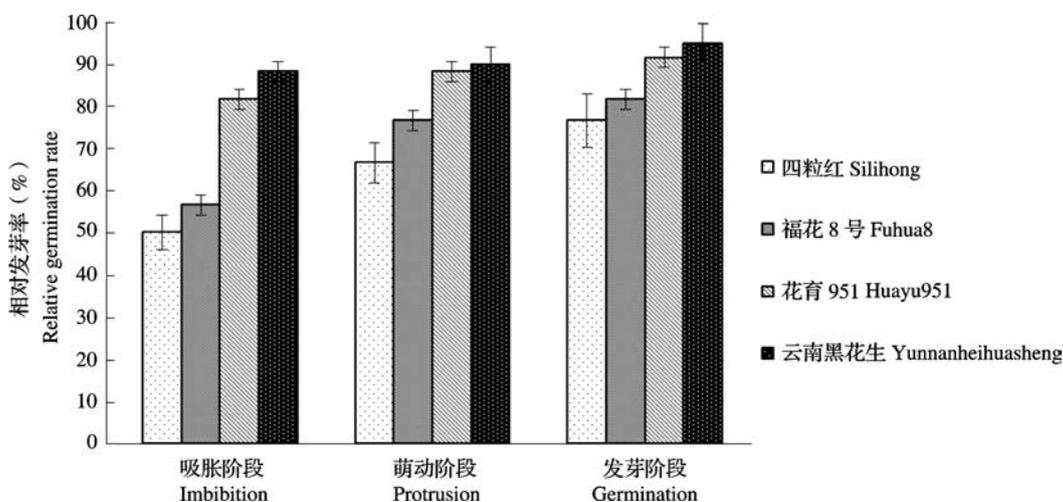


图 3 萌发不同阶段施加冷胁迫对花生种子萌发的影响

Fig.3 The effect of chilling stress at different stages of peanut germination on seed germination

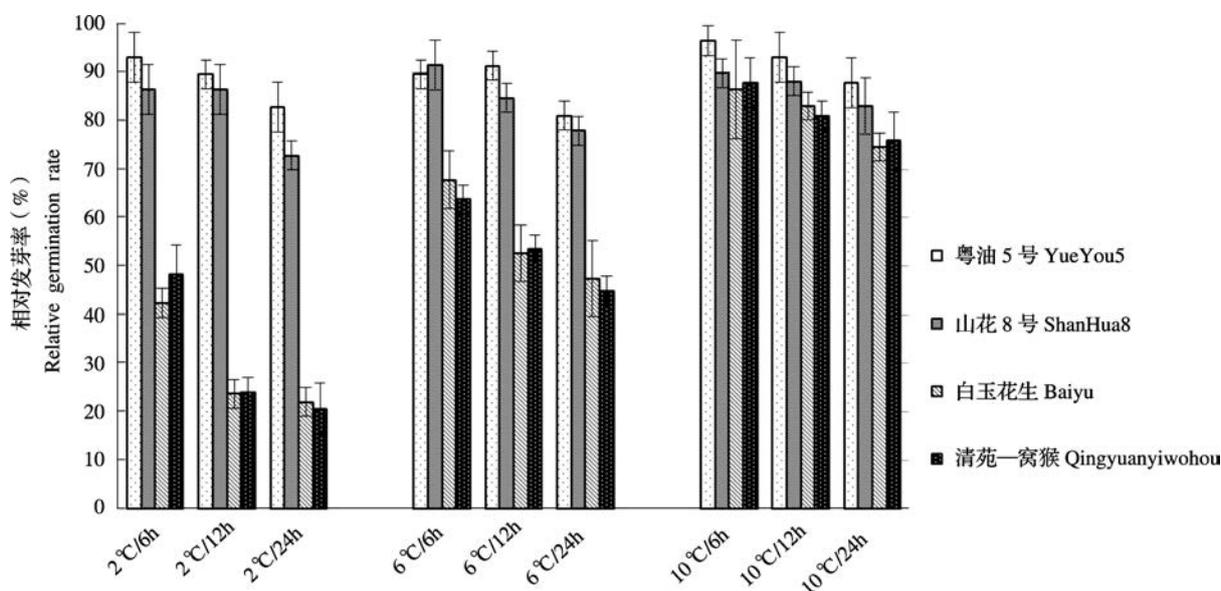


图 4 冷害胁迫的温度及持续时间对花生种子萌发的影响

Fig.4 The effect of temperature and duration time of chilling injury on peanut germination

表 1 花生种质资源吸胀冷害抗性鉴定结果

Table 1 Result of imbibitional chilling injury resistance for peanut germplasm

名称 Name	类型 Type	相对发芽率 (%) Relative germination rate	标准误 (%) Standard error	名称 Name	类型 Type	相对发芽率 (%) Relative germination rate	标准误 (%) Standard error
泉花 7 号	珍珠豆型	65.00	4.08	F86-237	珍珠豆型	56.67	4.71
粤油 5 号	珍珠豆型	89.65	2.44	山花 8 号	珍珠豆型	86.44	4.15
福花 6 号	珍珠豆型	50.00	2.53	粤油 551	珍珠豆型	21.05	4.30
福花 8 号	珍珠豆型	56.67	2.36	金花 1012	珍珠豆型	23.53	6.77
抗黄 1 号	珍珠豆型	50.79	3.17	白玉花生	珍珠豆型	18.64	2.40
闽花 6 号	珍珠豆型	82.96	5.85	泉花 646	珍珠豆型	77.97	2.40
白沙 1016	珍珠豆型	50.79	3.17	印尼种	珍珠豆型	42.11	4.30
粤油 9 号	珍珠豆型	34.26	5.02	清苑一窝猴	普通型	18.96	2.44
台山附城	珍珠豆型	57.91	3.76	徐州 402	普通型	67.25	2.98
泉花 9 号	珍珠豆型	35.71	0.81	小花生	普通型	27.24	1.90
7116	珍珠豆型	82.45	2.04	佛罗蔓生	普通型	45.69	0.97
贺油 10 号	珍珠豆型	55.42	2.16	铜山二窝	普通型	78.47	1.48
龙田扣早	珍珠豆型	46.35	1.44	以山花生	普通型	41.30	2.66
辐选 3 号	珍珠豆型	43.73	4.46	郭坑大葵	普通型	70.07	6.59
粉红	珍珠豆型	66.27	6.67	龙溪晚	普通型	70.00	4.08
百日子	珍珠豆型	55.42	2.16	泗洪大花生	普通型	49.12	2.48
贺油 13 号	珍珠豆型	67.22	2.08	冀油 4 号	普通型	16.67	4.54
早水发	珍珠豆型	82.78	2.08	花育 951	普通型	81.67	2.36
滇引 3 号	珍珠豆型	86.67	6.24	豫花 1 号	普通型	85.00	4.08
闽花 8 号	珍珠豆型	84.63	3.64	广汉小花生	龙生型	57.91	3.76
锦花 10 号	珍珠豆型	46.48	2.50	万安麻壳	龙生型	44.60	2.16

表 1(续)

名称 Name	类型 Type	相对发芽率(%) Relative germination rate	标准误(%) Standard error	名称 Name	类型 Type	相对发芽率(%) Relative germination rate	标准误(%) Standard error
泉花 327	珍珠豆型	63.24	2.29	临桂麻壳子	龙生型	74.26	3.22
榆次花生	珍珠豆型	74.07	2.62	金堂深窝子	龙生型	59.26	9.44
小接仁	珍珠豆型	26.67	2.36	龙潭小勾腰	龙生型	68.52	2.62
莆花 3 号	珍珠豆型	16.67	4.54	云南黑花生	龙生型	88.33	2.36
珍珠红 1 号	珍珠豆型	88.33	4.71	三莱公	多粒型	89.44	4.78
黄油 11 号	珍珠豆型	73.33	4.71	泰引选 54	多粒型	15.00	4.08
秋花生	珍珠豆型	62.96	2.62	红膜七十日早	多粒型	35.45	4.13
云霄陈岱	珍珠豆型	40.00	4.08	四粒红	多粒型	48.33	2.36
虞花 1 号	珍珠豆型	59.26	2.62	天府 16	中间型	56.67	2.36
莆花 5 号	珍珠豆型	80.00	7.07	78961	中间型	78.33	2.36
F63-178	珍珠豆型	48.33	6.24	花育 51	中间型	71.67	6.24

3 讨论

当原产于热带或亚热带地区的喜温作物在高纬度地区和湿冷地区种植时,容易受到由于早春低温和突变天气所引起的吸胀冷害的危害,对作物生产造成严重损失。因此,吸胀冷害是影响喜温作物在低温湿冷地区种植的主要限制因素之一^[17]。随着播种时间的提前以及种植区域向以高纬度高海拔地区为代表的低温地区扩展,吸胀冷害对我国花生生产的影响日益凸显,因此亟需环境友好、经济可行的方法解决该问题。本研究探寻了低温冷害胁迫对花生种子吸胀吸水模式的影响,筛选了适合评价吸胀冷害抗性鉴定的条件,并鉴定了一批吸胀冷害抗性强的花生种质。

前人普遍认为种子在吸胀阶段的水分吸收是细胞内的原生质胶体物质主导的物理吸水过程,这一过程是与周围环境无关的基质式过程^[24]。但本研究结果表明外源冷害胁迫显著地限制了花生种子在吸胀初期的吸水量与吸水速度。这个结果暗示了花生种子内部能够通过一定的机制响应吸胀冷害胁迫,并通过减少吸水量来反映。吸胀前期遇到冷害胁迫时,延缓冷水的进入很可能使花生种子尽可能抵消吸胀冷害对种子的伤害,重建完整的膜结构以度过外界胁迫时期。

种子的萌发一般分为吸胀、萌动以及萌发 3 个阶段。之前的研究表明在花生种子萌发期间吸胀阶段受到的外源冷害胁迫对种子最终发芽的影响较其他两个阶段更大^[7]。本研究的结果也证明了这种

趋势。这说明吸胀冷害胁迫是造成花生芽期冷害的主要因素之一。本研究将吸胀冷害分离出来单独研究,可以有效排除其他阶段冷害胁迫对表型的干扰,能够更加准确和有效地评价不同花生材料的吸胀冷害抗性。

本研究一共鉴定出 7 份吸胀冷害抗性强的材料,包含了普通型、珍珠豆型、多粒型和龙生型在内的主要花生植物学类型。这说明花生吸胀冷害抗性与受测材料的植物学类型关联不大。这也和前人结果一致^[9-10]。近年来,高油酸花生新品种的选育已经成为我国花生品质育种的重要方向^[25-27]。但一般认为高油酸的材料中由于油酸含量高、亚油酸含量较低,导致质膜中的脂肪酸的不饱和程度较低,耐冷性较差^[28-29],使高油酸花生品种的耐冷性受到质疑。本次研究检测的 2 份高油酸材料并没有表现出在吸胀冷害期耐冷性较差的表型,其中,花育 51 的相对发芽率为 71.67%,而花育 951 的相对发芽率为 81.67%,都属于中间型材料,其中花育 951 甚至接近了耐冷品种的标准($\geq 85\%$)。这暗示了高油酸材料的高油酸和低亚油酸的特性很可能并不是造成吸胀冷害敏感的决定性因素;或者这些种质内有其他的机制能够抵消吸胀冷害胁迫的作用,提高了种子的耐冷性。综合比较其他芽期冷害与吸胀冷害的结果可以发现,部分耐冷性强的花生种质如山花 8 号、粤油 5 号、豫花 1 号等,在其他研究中也鉴定出芽期耐冷性较强^[6,9-10],这说明吸胀冷害抗性与芽期耐冷性本质上很可能有着很强的共通性。本研究鉴定

出的吸胀冷害抗性强的材料可应用于花生耐冷育种实践。

参考文献

- [1] 严玫, 韩锁义, 董文召, 黄冰艳, 刘华, 张忠信, 徐静, 孙子琪, 杜培. 中国主要花生品种品质性状关联分析. 植物遗传资源学报, 2013, 14(6): 1064-1071
Yan M, Han SY, Dong W Z, Huang B Y, Liu H, Zhang Z X, Xu J, Sun Z Q, Du P. Association analysis between quality traits and SSR markers in major peanut cultivars developed in China. Journal of Plant Genetic Resources, 2013, 14(6): 1064-1071
- [2] 联合国粮食及农业组织. 粮农组织统计数据库. (2019-05-15) [2019-06-01]. <http://www.fao.org/faostat/zh/#home>
Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO. FAOSTAT. (2019-05-15) [2019-06-01]. <http://www.fao.org/faostat/zh/#home>
- [3] 国家统计局. 中国统计年鉴 -2018. 北京: 中国统计出版社, 2018: 401-404
National Bureau of Statistics of the People's Republic of China. China Statistical Yearbook 2018. Beijing: China Statistics Press, 2018: 401-404
- [4] 禹山林. 中国花生品种及其系谱. 上海: 上海科学技术出版社, 2008: 11-13
Yu S L. Chinese peanut varieties and their genealogy. Shanghai: Shanghai Scientific and Technical Publishers, 2008: 11-13
- [5] Bell M, Shorter R, Mayer R. Cultivar and environmental effects on growth and development of peanuts (*Arachis hypogaea* L.). I. Emergence and flowering. Field Crops Research, 1991, 27: 17-33
- [6] 刘海龙, 陈小妹, 杨富军, 白冬梅, 孙晓苹, 吕永超, 任小平, 姜慧芳, 高华援. 花生种质资源耐低温表型鉴定方法研究. 花生学报, 2017, 46(3): 20-25
Liu H L, Chen X S, Yang F J, Bai D M, Sun X P, Lv Y C, Ren X P, Jiang H F, Gao H Y. Research of identification method on low temperature resistance of peanut germplasm resources phenotype. Journal of Peanut Science, 2017, 46(3): 20-25
- [7] 王晶珊, 封海胜, 栾文琪. 低温对花生出苗的影响及耐低温种质筛选. 中国油料, 1985(3): 28-32
Wang J S, Feng H S, Luan W Q. Effect of low temperature on seed emergence and screening low temperature resistance germplasm. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 1985(3): 28-32
- [8] 封海胜. 花生种子吸胀期间耐低温性鉴定. 中国油料, 1991(1): 67-70
Feng H S. Identification of low temperature resistance of peanut in seed imbibition stage. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 1991(1): 69-72
- [9] 唐月异, 王传堂, 高华援, 凤桐, 张树伟, 王秀贞, 张建成, 禹山林. 花生种子吸胀期间耐低温性及其与品质性状的相关研究. 核农学报, 2011, 25(3): 436-442
Tang Y Y, Wang C T, Gao H Y, Feng T, Zhang S W, Wang X Z, Zhang J C, Yu S L. Low temperature tolerance during seed imbibition and its relationship to main quality traits in peanut. Journal of Nuclear Agricultural Science, 2011, 25(3): 436-442
- [10] 白冬梅, 薛云云, 赵姣姣, 黄莉, 田跃霞, 权宝全, 姜慧芳. 山西花生地方品种芽期耐寒性鉴定及 SSR 遗传多样性. 作物学报, 2018, 44(10): 1459-1467
Bai D M, Xue Y Y, Zhao J J, Huang L, Tian Y X, Quan B Q, Jiang H F. Identification of cold-tolerance during germination stage and genetic diversity of SSR markers in peanut landraces of Shanxi Province. Acta Agronomica Sinica, 2018, 44(10): 1459-1467
- [11] Upadhyaya H D, Reddy L J, Dwivedi S L, Gowda C L L, Singh S. Phenotypic diversity in cold-tolerant peanut (*Arachis hypogaea* L.) germplasm. Euphytica, 2009, 2: 279-291
- [12] 常博文, 钟鹏, 刘杰, 唐中华, 高亚冰, 于洪久, 郭炜. 低温胁迫和赤霉素对花生种子萌发和幼苗生理响应的影响. 作物学报, 2019, 45(1): 118-130
Chang B W, Zhong P, Liu J, Tang Z H, Gao Y B, Yu H J, Guo W. Effect of low-temperature stress and gibberellin on seed germination and seed-ling physiological responses in peanut. Acta Agronomica Sinica, 2019, 45(1): 118-130
- [13] Tang Y Y, Wang C T, Yang G P, Feng T, Gao H Y, Wang X Z, Chi X Y, Xu Y L, Wu Q, Chen D X. Identification of chilling-responsive transcripts in peanut (*Arachis hypogaea* L.). Electronic Journal of Biotechnology, 2011, 14(5): 1-13
- [14] 于树涛, 于洪波, 苏君伟, 赵立仁, 史普想, 赵艳, 唐月异, 王秀贞, 吴琪. 低温胁迫下花生差异表达基因的分离与分析. 核农学报, 2014, 28(4): 569-576
Yu S T, Yu H B, Su J W, Zhao L R, Shi P X, Zhao Y, Tang Y Y, Wang X Z, Wu Q. Isolation and analysis of differentially expressed genes from peanut under low-temperature stress. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2014, 28(4): 569-576
- [15] Bewley J D, Bradford K, Hilhorst H. "Germination" in Seeds: physiology of development, germination and dormancy. 3rd edn. New York: Springer Science and Business Media, 2013: 133-181
- [16] Weitbrecht K, Müller K, Leubner-Metzger G. First of the mark: early seed germination. Journal of Experimental Botany, 2011, 62: 3289-3309
- [17] 郑光华, 梁峥, 林坚. 种子吸胀冷害和渗透调控的研究. 中国科学院院刊, 2001, 16(3): 182-187
Zheng G H, Liang Z, Lin J. Studies on the imbibitional chilling injury in seeds and osmoconditioning. Bulletin of The Chinese Academy of Sciences, 2001, 16(3): 182-187
- [18] Hobbs P R, Obendorf R L. Interaction of initial seed moisture and imbibitional temperature on germination and productivity of soybean. Crop Science, 1972, 12: 664-667
- [19] Obendorf R L, Zimmerman A D, Ortiz P A, Taylor A G, Schnebly S R. Imbibitional chilling sensitivity and soluble carbohydrate composition of low raffinose, low stachyose soybean seed. Crop Science, 2008, 48: 2396-2403
- [20] Posmyk M M, Balabusta M, Wiczorek M, Sliwinska E, Janas K M. Melatonin applied to cucumber (*Cucumis sativus* L.) seeds improves germination during chilling stress. Journal of Pineal Research, 2009, 46: 214-223
- [21] Prasad T K. Mechanisms of chilling-induced oxidative stress injury and tolerance in developing maize seedlings: changes in antioxidant system, oxidation of proteins and lipids, and protease activities. Plant Journal, 1996, 10: 1017-1026
- [22] 张冠初, 丁红, 杨吉顺, 戴良香, 慈敦伟, 秦斐斐, 石书兵, 张智猛. 不同花生品种种子形状与吸水速率的研究. 花生学报,

- 2014(4): 26-31
Zhang G C, Ding H, Yang J S, Dai L X, Ci D W, Qin F F, Shi S B, Zhang Z M. Study on water uptake and seed shape of different peanut varieties. *Journal of Peanut Science*, 2014(4): 26-31
- [23] Manz B, Muller K, Kucera B, Volke F, Leubner-Metzger G. Water uptake and distribution in germinating tobacco seeds investigated *in vivo* by nuclear magnetic resonance imaging. *Plant Physiology*, 2005, 138: 1538-1551
- [24] Krishnan P, Joshi D K, Nagarajan S, Moharir A V. Characterization of germinating and non-viable soybean seeds by nuclear magnetic resonance (NMR) spectroscopy. *Seed Science Research*, 2004, 14: 355-362
- [25] 陈静. 高油酸花生遗传育种研究进展. *植物遗传资源学报*, 2011, 12(2): 190-196
Chen J. Advances in genetics and breeding of high oleic acid peanut. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2011, 12(2): 190-196
- [26] 任小平, 廖伯寿, 张晓杰, 雷永, 黄家权, 晏立英, 陈玉宁, 姜慧芳. 中国花生核心种质中高油酸材料的分布和遗传多样性. *植物遗传资源学报*, 2011, 12(4): 513-518
Ren X P, Liao B S, Zhang X J, Lei Y, Huang J Q, Yan L Y, Chen Y N, Jiang H F. Distributing and genetic diversity of high oleic acid germplasm in peanut (*Arachia hypogaea* L.) core collection of China. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2011, 12(4): 513-518
- [27] 闫丛丛, 侯名语, 崔顺立, 刘立峰, Luciano Josephy Harry Kazembe, 杨鑫雷, 孟庆荣, 李文平, 刘富强, 穆国俊. 红白花斑种皮高油酸花生种质材料的创制. *植物遗传资源学报*, 2017, 18(3): 587-594
Yan C C, Hou M Y, Cui S L, Liu L F, Kazembe L J H, Yang X L, Meng Q R, Li W P, Liu F Q, Mu G J. Creation of high oleic acid peanut germplasm materials with red and white variegated seed coat. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2017, 18(3): 587-594
- [28] Dogras C C, Dille D R, Herner R C. Phospholipid biosynthesis and fatty acid content in relation to chilling injury during germination of seeds. *Plant Physiology*, 1977, 60(6): 897-902
- [29] Rui H, Cao S, Shang H, Jin P, Wang K, Zheng Y. Effects of heat treatment on internal browning and membrane fatty acid in loquat fruit in response to chilling stress. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2010, 90(9): 1557-1561