

低温对花生种子萌发与品质影响的研究进展

殷登科¹, 刘飞宇^{1,2}, 王艳平³, 唐 华³, 肖春红⁴, 孙 杰^{2*}

(1. 青岛西海岸省级农业高新技术产业开发区管委会, 山东 青岛 266400; 2. 青岛大学生命科学学院, 山东 青岛 266000; 3. 青岛西海岸新区农业农村局, 山东 青岛 266400; 4. 青岛市枞森农业机械研究所, 山东 青岛 266400)

摘 要:花生是我国重要的油料作物之一。二十世纪末,东北花生种植面积迅速增加,辽宁省如今已成为我国的第三大花生生产省份。但东北地区花生种植地形复杂,气候多变,尤其季节性低温和突发的极端天气和收获期低温等极易导致花生出苗率降低、出苗时间延长,甚至烂种、死苗,直接导致不同程度花生减产及营养品质变化。本研究综合详述了种植、收获、贮藏等各个时期花生遭遇低温处理后其生理生化功能、营养成分的变化及相应的防护措施,为探索不同时期低温对花生的影响提供理论依据,也为低温环境中花生的种植技术发展及花生产品低温贮藏保鲜提供参考。

关键词:低温;花生营养成分;脂质自氧化;种子萌发;贮藏

中图分类号: S565.2

文献标识码: A

文章编号: 2096-5877(2024)01-0065-05

Research Progress on the Effect of Low Temperature on Peanut Seed Germination and Quality

YIN Dengke¹, LIU Feiyu^{1,2}, WANG Yanping³, TANG Hua³, XIAO Chunhong⁴, SUN Jie^{2*}

(1. Administrative Committee of Qingdao West Coast Provincial Agricultural High tech Industrial Development Zone, Qingdao 266400; 2. School of Life Sciences, Qingdao University, Qingdao 266000; 3. Agriculture and Rural Bureau of Qingdao West Coast New Area, Qingdao 266400; 4. Qingdao Zongsen Agricultural Machinery Institute, Qingdao 266400, China)

Abstract: Peanut is one of the important oil crops in China. At the end of the 20th century, peanut planting area in northeast China increased rapidly, and Liaoning province has now become the third largest peanut producing province in China. However, the terrain of peanut cultivation in northeast China is complicated and the climate is changeable, especially seasonal low temperature, sudden extreme weather and low temperature in harvest period. Low temperature easily leads to the reduction of peanut emergence rate, extension of emergence time, and even rot and death of peanut seedlings, directly leading to different degrees of peanut yield reduction and nutritional quality change. This study details the planting, harvesting, storage and other various periods of peanuts in its physiological and biochemical function after cryogenic treatment, the change of nutrient composition and the corresponding protective measures, to explore the different periods of low temperature on the different influence to provide theoretical basis, also for peanut planting condition and the low temperature fresh-keeping reference value.

Key words: Low temperature; Nutrients of peanuts; Lipid autooxidation; Seed germination; Storage

花生(*Arachis hypogaea* L.)为豆科植物,生长在亚洲、非洲和美洲的热带、亚热带和温带农业气候区,是世界四大油料作物之一,也是制备

优质蛋白质、膳食纤维和食用油的理想原料。由于含油量丰富,花生是东亚地区(特别是中国)的主要油料作物之一。据美国农业部的调查数据显示,中国的花生产量居世界首位,约占世界总产量的44%,其次是印度(20%),美国是世界上第三大花生生产国。截至2020年底,全球花生产量达到5 053万t,其中36.02%由中国提供。与此同时,中国也是花生油的主要消费国,2020~2021年消耗了约354万t花生油,占世界总消费量的54.81%^[1]。

收稿日期: 2022-05-19

基金项目: 青岛市自然科学基金项目(2321180zydjch); 科技惠民示范引导专项(2328xdny6nsh、2338xdny1nsh); 烟台市“双百人才”计划项目(YT2021032)

作者简介: 殷登科(1970-),男,高级农艺师,主要从事农作物高产栽培技术研究。

通讯作者: 孙 杰,女,教授, E-mail: sjj605@163.com

花生制品具有独特的坚果风味和宜人的香气,深受世界各地消费者的喜爱。因此,它们在油料作物中占有独特的地位。花生含有44%~56%的脂肪,22%~30%的蛋白质,16%~25%的碳水化合物及矿物质和维生素。在日常生活中,花生油是必需脂肪酸的丰富来源。油酸和亚油酸是花生油中主要的不饱和脂肪酸,占总脂肪酸的80%左右^[2]。普通花生油脂中含有36%~67%油酸和15%~46%亚油酸,油亚比(O/L)在1.19~4.46^[3]。研究表明,O/L与较低的心血管疾病风险相关,亚油酸对冠心病有积极影响^[4]。此外,花生油还含有多种生物活性成分,如生育酚、植物甾醇。 α -生育酚和 γ -生育酚是花生油中维生素E的主要形式,具有良好的脂质抗氧化能力^[5];植物甾醇可以延缓动脉粥样硬化的恶化,降低II型糖尿病的风险,降低结肠直肠癌的风险,对人体健康有益^[6]。因在降低胆固醇、延缓人类衰老和预防癌症方面的巨大潜力,花生变得越来越重要^[7]。

我国东北地区的花生种植期普遍在5月上旬,收获期9月开始。研究表明,东北地区的低温冻害会使早播花生遭受低温危害,易造成花生烂种缺苗^[8]。种子发芽率大幅降低或丧失,花生留种困难是收获期低温对花生生产最大的影响,亦为东北地区花生产业发展受限制的关键因素之一。此外,收获期低温很大程度上影响了花生油酸、亚油酸的含量,许多在山东莱西地区种植属于高油酸花生品系种植于东北地区后变成了普通花生^[9],这将严重影响到高油酸花生品种在东北地区的培育和推广,导致花生经济的损失。贮藏过程中,花生中高水平的不饱和脂肪酸使其容易发生脂质氧化,并产生有毒代谢物,导致极大的品质损失,甚至出现难以预料的食物安全问题^[10]。

因此,研究各时期花生在低温条件下的营养成分与理化性质变化,不仅能悉知我国东北地区低温条件对花生品质的影响,更能为花生的种植、收获与储存方式提供理论参考,以期更好地发展我国花生产业,提高农业经济水平。

1 种子萌发期低温

1.1 低温对花生种子萌发的影响

在植物的生命周期中,种子萌发是至关重要的一个时期,也是决定植物生长状况的前提。种子萌发期受外界因素的影响颇多,其中,温度是重要的影响因素之一,决定着种子能否发芽、发芽的速度和出苗时间^[11]。温度越高,花生种子出

苗越快。当处理温度低于最佳发芽温度,种子活力随处理温度的升高而升高;当超过最佳发芽温度,种子活力随处理温度的升高逐渐下降,直至丧失活力^[12]。采取冷浸法模拟花生在萌发期突然遭遇短时间低温胁迫,通过测定露白率、发芽率和生理指标,明确低温对种子萌发的影响。种子萌发时胚根伸长突破种皮称为露白,胚根长度达到种长一半即可称为发芽。耐低温型花生品种的露白率和发芽率低于常温处理组,露白时间显著增长,即低温会降低种子露白率和发芽率^[13]。

萌发期低温导致花生的丙二醛(MDA)含量升高,可溶性糖(Ss)含量升高、可溶性蛋白(SP)含量升高,其中,花生种子的丙二醛含量与种子受伤害程度相关,低温处理下,不同花生品系(敏感型、中间型、耐低温型)的MDA增加幅度越大,细胞膜受伤害程度越高。可溶性糖与可溶性蛋白含量与花生种仁的抗冷性密切相关,低温处理下的敏感型、中间型和耐低温型的Ss、SP积累量均呈现不同幅度的增加,种子抗冷能力有所增强。

1.2 应答机制

为了应对低温造成的损伤,花生种仁细胞内会主动积累更多的可溶性物质,降低细胞的渗透势,增加细胞的吸水能力,维持膨压,从而避免低温胁迫下原生质的脱水损伤。在萌发阶段暴露于低温胁迫下的花生种子,种子中的抗氧化系统会迅速启动,通过超氧化物歧化酶、过氧化物酶、过氧化氢酶等抗氧化酶的协同作用,清除受低温胁迫产生的活性氧,抵御逆境的损害。这就是花生种仁应对低温环境的抗氧化机制,对花生种子萌发具有一定的保护作用^[13]。

1.3 防护措施

在东北地区,为缓解低温对早播春花生萌发和生长发育的有害影响,生产上常采取在播种前进行浸种预处理、带壳播种、播后覆盖等方式。

花生耐低温特性鉴定过程中发现,温浸种子在吸水肿胀的萌发初期能较好地抵御低温损伤。温浸试剂可选择喷施宝溶液^[14]、长效油菜素内酯TS303和二氢茉莉酸丙酯(PDJ)等^[15]。除此之外,经1% H_2O_2 浸种的花生种子可通过调节脯氨酸代谢循环中的关键酶—增强脯氨酸合成酶的活性和抑制分解限速酶ProDH的活性,达到积累脯氨酸的结果,从而降低低温胁迫下花生种子 H_2O_2 的过量积累,减轻花生在低温下的氧化损伤,有效促进花生种子在低温环境下的萌发^[16]。

花生壳可保护花生种仁不容易受温度、湿度、

氧气等外界环境条件的影响,同时提高种仁活力。因此低温种植区为缓解早春低温对花生发芽带来的不利影响,常采用带壳播种的方法^[17]。为降低播后低温带来的不利影响,还可采取覆膜覆草等方式,以起到提升土壤温度的作用^[18]。

此外,筛选耐低温型花生品种可从根源上解决问题。陈娜等^[9]筛选出花育9116、花育33号和花育910三个耐低温型花生品种。王晶珊等^[19]筛选发现一些耐低温花生种质,如昌花1号、白油7-3等。

2 收获期低温

2.1 低温对营养成分的影响

在我国东北地区,除播种期常遭受低温导致烂种之外,收获期的花生也因遭遇季节性低温的影响,花生籽仁的营养成分发生改变,花生品质降低,经济效益受到影响。目前已报道花生籽中油酸、亚油酸、蔗糖和水分等营养成分在收获期遭遇低温后明显改变。对收获期遭遇低温的40个花生品种进行测定发现,低温收获后亚油酸含量比正常温度收获时高0.28%~7.29%;油酸含量比正常温度收获低0.47%~6.6%;蛋白质含量比正常温度收获高0.01%~2.13%;蔗糖含量升高0.01%~1.39%;脂肪含量比正常收获低0.07%~3.85%^[9]。在北卡罗莱纳-维吉尼亚种植地区,花生在受到低温和冰冻损害后,果实水分含量为35%~55%^[20]。

收获期土壤温度显著影响主要脂肪酸的组成。由于花生种子在土壤表面以下3~10 cm处成熟,与大气温度相比,土壤温度对花生种子脂质合成的调控作用更大^[21]。土壤温度对成熟花生种子化学成分的影响分析表明,各品种成熟种子含油量发生变化。在20/14~26/20 °C(日/夜土壤温度)时显著增加5.1%~7.0%,在26/20~32/26 °C时增加1.0%~7.6%;当温度升高到38/32 °C时,Comet品种则略增加1.6%,其他品种未受影响^[22]。

改变土壤温度后对成熟花生种子脂肪酸组成的分析表明,随着土壤温度在20/14~32/26 °C的升高,所有品种(Comet、TMV 2、AH 6179、mean)的油酸(18:1)平均增加1.2%(脂肪酸总量的百分比),亚油酸(18:2)减少0.8%。在14~38 °C的温度范围内,土壤温度对花生脂肪酸组成有显著的影响,温度下降会使棕榈酸含量降低,从而影响脂肪酸的组成^[22]。

2.2 应答机制

陈娜等^[9]对阜新地区第一次收获和第三次收

获的花生品质测定发现,收获期低温对花生籽仁品质的影响主要是提高蔗糖、蛋白质及亚油酸含量,降低脂肪和油酸含量,显著降低油亚比。收获越晚花生品质变化越大。推测原因为植物为了适应外部环境产生的适应性反应,将脂肪转化为可溶性糖和蛋白质以更好地适应低温环境。

但收获期低温对花生中其他营养成分如磷脂、植物甾醇、维生素等含量的影响尚未阐明,这些物质对人体而言有益功能不逊色于蛋白质与其余脂质,因此,进一步对花生遭受低温后的营养成分是否发生变化的研究亟待展开。

2.3 防护措施

对适宜东北地区种植的耐低温花生品种如花育9116、花育910等^[9],在低温霜降之前收获,籽仁可以保持较高的营养,且萌发率更高。

研究表明,花生收获期可依据各品种常规收获期适当提前10 d左右收获,避开大幅度低温伤害,基本上不影响产量和品质,又可提前上市,提高经济效益^[23]。

3 贮藏低温

3.1 贮藏低温对营养成分的影响

花生在加工前通常要储存一段时间。在此期间,新陈代谢活动正常进行。研究花生成熟度、冻害和水提取物中钾浓度之间的关系发现,在成熟度相近的种子中,水提取物中钾浓度随冻害程度的增加而降低。在植物材料开始冻结时,呼吸过程从好氧转变为厌氧,从而在冻伤样品中产生更高浓度的乙醛和乙醇。冷藏损坏的花生在贮藏初期有一种发酵的气味和味道,贮藏结束时,有一种腐臭的气味^[24]。

花生的贮藏过程会发生脂质氧化,氧化反应首先生成过氧化氢,过氧化氢进一步生成二次氧化产物,如酮和醛,导致不良的风味和颜色,常散出发酵的味道。因此贮藏时发生的脂质氧化使花生色泽较暗沉,口感苦涩。为了在贮藏过程中保持花生品质,减少经济损失,许多研究者对不同贮藏条件下的花生脂质氧化和氧化稳定性进行了研究。两种类型花生的初始过氧化值(PV)均维持在较低水平。花生贮存320 d的过程中,除35 °C花生的PV最终呈下降趋势外,其余温度的PV均逐渐升高。在15 °C的贮藏条件下,花生的PV均在可接受范围内(10 meq/kg),保证了食物新鲜度。然而,当在35 °C保存240 d时,PV超出了可接受的限制^[25],说明低温贮藏能够降低花生的

过氧化值。

随着贮藏温度从室温 23 °C 开始下降,花生的过氧化值(PV)、氧化水平和纸板味均呈下降趋势^[26]。鲜色土豆在 2 °C 和 5 °C 下贮藏 3 个月和 6 个月,总蛋白质含量(特别是氨基酸含量)呈下降趋势^[27]。可用氧气的增加加速了脂质氧化^[28]。对 4 个杏仁品种 8 °C 低温贮藏期间的脂肪含量进行评价的结果表明,除 Marcona 品种外,其余品种的脂肪含量均较初始值显著下降^[29]。

在冷冻受损的种子中,乙烯和二氧化碳的含量增加,某些酶的活性改变^[30]。香蕉水果冷藏后乙醛和乙醇的含量增加^[31]。这些化合物是厌氧呼吸的产物,会导致食品的异味。研究固化温度对花生的影响,发现厌氧呼吸与花生风味恶化有关^[32]。因此,花生在冻害期间的厌氧呼吸可能是其产生异味的原因。

3.2 防护措施

收获所得的花生可进行 PE/PET 袋包装,贮藏于 15 °C 条件下,避免低温保存产生的冻损,提高花生种仁营养价值。

4 结论与展望

我国花生种植过程常因遭遇低温造成不同程度的经济损失,本研究除概括花生的国际地位和有益功效外,详细论述了萌发期低温对花生种子的影响,以及收获期和贮藏期低温对花生营养成分造成的改变,尤其是贮藏低温导致的脂质氧化对花生产生异味的作用。

花生植株在生长过程中不可避免地会遭遇环境的变化,顺利发芽并不代表着最终荚果的顺利形成,苗期、花期、收获期的处理都影响着花生的品质。在花生种子萌发期与苗期筛选鉴定出了多个耐低温花生种质资源,如花育 9116、花育 33 号、花育 910、昌花 1 号和白油 7-3^[9,19]等已在东北地区进行广泛种植,为发展花生产业提供了良好的种质保障。

尽管近年来国内外对花生萌芽与收获期低温的研究取得了一些进展^[33-35],但关于东北地区收获期低温影响花生具体营养成分的研究较少,因此,建立低温环境下花生营养成分的快速分析鉴定技术,开展收获期低温对花生品质的影响研究是未来的重要研究方向。另外,根据营养成分选育栽培更优良的耐低温花生品系仍

需要进一步探索。

参考文献:

- [1] Huang Y, Liu C, Huang F, et al. Quality evaluation of oil by cold-pressed peanut from different growing regions in China[J]. Food Science & Nutrition, 2022, 10(6): 1975-1987.
- [2] Deng B X, Li B, Li X D, et al. Using Short-Wave Infrared Radiation to Improve Aqueous Enzymatic Extraction of Peanut Oil: Evaluation of Peanut Cotyledon Microstructure and Oil Quality [J]. European Journal of Lipid Science and Technology, 2018, 120: 1700285.
- [3] Rosalva, Mora-Escobedo, Patricia, et al. Physicochemical properties and fatty acid profile of eight peanut varieties grown in Mexico[J]. CyTA-Journal of Food, 2014, 13(2): 300-304.
- [4] Qian D, Yao L, Deng Z, et al. Effects of hot and cold-pressed processes on volatile compounds of peanut oil and corresponding analysis of characteristic flavor components[J]. Journal of South China University of Technology, 2019, 112: 107648-107648.
- [5] Me C, Carelli A A. Peanut oil: Compositional data[J]. European Journal of Lipid Science & Technology, 2010, 112(7): 697-707.
- [6] Suchoszek L, Jaromin A, Korycińska M, et al. Chapter 103: Health Benefits of Peanut (*Arachis hypogaea* L.) Seeds and Peanut Oil Consumption[J]. Nuts & Seeds in Health & Disease Prevention, 2011, 103: 873-880.
- [7] Shad M A, Pervez H, Zafar Z I, et al. Physicochemical properties, fatty acid profile and antioxidant activity of Peanut Oil[J]. Pakistan Journal of Botany, 2012, 44(1): 435-440.
- [8] 王传堂,唐月异,焦 坤,等.春花生耐播种出苗期低温评价[J].山东农业科学,2021,53(2):20-23.
- [9] 陈 娜,程 果,潘丽娟,等.东北地区收获期低温对花生品质影响及耐低温品种筛选[J].植物生理学报,2020,56(11):2417-2427.
- [10] 张连喜,杨翔宇,李玉发,等.吉林省花生产业概况与发展建议[J].东北农业科学,2021,46(6):83-86.
- [11] Mei Y Q. Response to temperature stress of reactive oxygen species scavenging enzymes in the cross-tolerance of barley seed germination[J]. Journal of Zhejiang University Science B, 2010, 11(12): 965-972.
- [12] 付晓记,闵 华,唐爱清.低温对花生萌芽的影响及其调控技术研究现状[J].河南农业科学,2013,42(1):1-4.
- [13] 吕登宇,郝 西,苗利娟,等.花生萌发期对低温胁迫的生理生化响应机制[J].中国油料作物学报,2022,44(2):385-391.
- [14] 聂呈荣,黎华寿,黄 庆.不同温度下喷施宝对花生萌芽及幼苗生长的效应[J].华南农业大学学报,2002(1):5-8.
- [15] 董登峰,李杨瑞,江立庚.长效油菜素内酯 TS303 和二氢茉莉酸丙酯增强花生抗寒能力[J].广西植物,2008(5):675-680.
- [16] 余 燕,张雅婷,赵 雪,等.H₂O₂ 浸种对低温胁迫下花生种子萌发的调控作用[J].中国油料作物学报,2020,42(5):

- 860-868.
- [17] 付雪娇. 北方花生带壳覆膜早播技术[J]. 杂粮作物, 2009, 29(1): 38-39.
- [18] 王月福, 王铭伦, 郑建强. 不同覆盖措施对丘陵地土壤水分和温度及花生生长发育的影响[J]. 农学学报, 2012, 2(7): 16-21.
- [19] 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的筛选[J]. 中国油料, 1985(3): 30-34.
- [20] Bourlieu C, Guillard V, Vallès-Pamiès B, et al. Edible moisture barriers: how to assess of their potential and limits in food products shelf-life extension? [J]. Critical Reviews in Food Science & Nutrition, 2009, 49(5): 474-499.
- [21] Brown D F, Cater C M, Mattll K F, et al. Effect of variety, growing location and their interaction on the fatty acid composition of peanuts[J]. Journal of Food Science, 1975, 40: 1055-1060.
- [22] Golombek S D, Sridhar R, Singh U. Effect of Soil Temperature on the Seed Composition of Three Spanish Cultivars of Groundnut (*Arachis hypogaea* L.) [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1995, 43(8): 2067-2070.
- [23] 李正超, 邱庆树, 苗华荣. 收获期对出口花生品种的产量和品质影响的研究[J]. 花生科技, 1997(3): 9-12.
- [24] Singleton J A, Pattee H E. Maturity and Storage Affect Freeze Damage in Peanuts[J]. Journal of Food Science, 1922, 57(6): 1382-1384.
- [25] Liu K, Liu Y, Chen F. Effect of storage temperature on lipid oxidation and changes in nutrient contents in peanuts[J]. Food Science & Nutrition, 2019, 7: 2280-2290.
- [26] Nepote V, Mestrallet M G, Grosso N R. Oxidative stability in fried-salted peanuts elaborated with high-oleic and regular peanuts from Argentina[J]. International Journal of Food Science & Technology, 2010, 41(8): 900-909.
- [27] Anna P, Joanna M, Agnieszka N. Amino acid composition of flesh-coloured potatoes as affected by storage conditions[J]. Food Chemistry, 2018, 266(15): 335-342.
- [28] Jensen P N, Danielsen B, Bertelsen G, et al. Storage stabilities of pork scratchings, peanuts, oatmeal and muesli: Comparison of ESR spectroscopy, headspace-GC and sensory evaluation for detection of oxidation in dry foods[J]. Food Chemistry, 2005, 91(1): 25-38.
- [29] Garc A-Pascual P, Mateos M, Carbonell V, et al. Influence of Storage Conditions on the Quality of Shelled and Roasted Almonds[J]. Biosystems Engineering, 2003, 84(2): 201-209.
- [30] Ketring D L. Physiology of oil seeds. VIII. Germination of peanut seeds exposed to subfreezing temperatures while drying in the windrow[J]. Peanut Science, 1979, 6(2): 80-83.
- [31] Murata T. Physiological and Biochemical Studies of Chilling Injury in Bananas[J]. Physiologia Plantarum, 2010, 22(2): 401-411.
- [32] Wettlaufer S H, Leopold A C. Relevance of amadori and mailard products to seed deterioration1[J]. Plant Physiology, 1991, 97(1): 165-169.
- [33] 刘海龙, 吕永超, 宁 洽, 等. 高油酸花生耐低温高产栽培技术[J]. 东北农业科学, 2020, 45(2): 13-15.
- [34] 陈小姝, 刘海龙, 王绍伦, 等. 花生发芽至苗期耐低温性的鉴定及评价[J]. 东北农业科学, 2019, 44(1): 12-17.
- [35] 牛海龙, 李玉发, 何中国, 等. 吉林省花生产业发展需求报告[J]. 东北农业科学, 2019, 44(3): 11-13.

(责任编辑:范杰英)