

小麦种子活力相关性状研究进展

郭程 曾占奎 韩志鹏 任鹏勋 王征宏 王黎明 王春平

(河南科技大学农学院/牡丹学院, 洛阳 471003)

摘要:种子是农业的“芯片”,种子活力是种子品质的重要指标,反映了种子发芽、出苗、幼苗生长潜势、植株抗逆能力和生产潜力等。高活力种子具有显著的生长优势和生产潜力,种植高活力种子是实现粮食作物高产稳产的一种方法途径。近年来,随着现代生物技术的快速发展,种子分子生物学研究进一步加快,但高活力种子的相关分子研究进展还比较薄弱。从影响种子活力的多方面进行深入发掘,阐述了影响种子活力的遗传因素、理化因素、生理因素和基因发掘等方面的研究进展,旨在探寻提高小麦种子活力的有效方法,提供高活力种子,为现代种业质量控制提供现实参考。

关键词:小麦;种子活力;理化特性;基因发掘

种子是农业生产的基础,高活力种子具有发芽时间短、生命力强、成苗率高、抗逆性强、分蘖多、耐贮藏等特点,能够实现播量少、用工少、成本低、效益高的新目标,减少种子浪费,提高种子利用效率,实现高效增收目标。

自1976年在国际种子检验协会上通过了“种子活力”这一概念后,我国种子学家郑光华先生在前人基础上提出了“种子活力就是种子的健壮度,高活力种子较于低活力的种子在发芽和出苗方面都更具优势,对不良环境条件的抵抗能力更强”的说法。随着对种子活力研究的不断深入,发现种子活力的高低与种子质量的好坏息息相关^[1],在种子生产实践中,高活力的小麦种子具有更为明显的优势,对小麦增产和农民增收具有重要的意义。

前人对种子活力的研究主要集中在环境因素与遗传因素这两大方面,环境因素对种子活力的影响主要分为内因与外因作用。内因包括小麦内部的一些生理指标,例如酶活性、含水量、种子遗传作用等的不同而造成活力上的差异,可采用人工干预等方法提高内部酶活性,或采用分子育种等方法来提高种子活力;而外因指从种植小麦开始,它的外部环境如旱涝灾害、成熟情况、机械损伤、贮藏条件等,甚至还包括物理、化学等因素处理等对种子活力带来

的改变。综合利用前人的研究进展,从以下3个方面做简要概述。

1 影响小麦种子活力因素的研究进展

种子活力的高低对作物的品质和产量具有较大的影响。因此,从影响种子活力的因素出发,找寻提高种子活力的方法不失为改善作物产量和品质的一条有效途径。

1.1 环境因素 在种子生长发育过程中,受到气候条件、土壤含水率和肥力、种子成熟度以及种子成熟后收获、加工、贮藏所需的条件等影响,直接或间接反映种子活力的变化以及不同条件下所造成的活力上的差异。

1.1.1 干旱对种子活力的影响 种子萌发是种子植物生命周期的开始,水是种子萌发阶段不可或缺的条件之一。吕亚慈等^[2]认为干旱胁迫对藜麦的生长和发育具有一定的抑制作用,不仅会造成植株的减产,甚至还可能会造成植株的死亡。但干旱对植物来说不仅仅只有坏的影响,适度的干旱可能在一定程度上能够对小麦生长起到促进作用。张自阳等^[3]在对不同品种的小麦种子进行干旱胁迫后,发现轻度干旱能够促进小麦根部的生长,但超过一定限度后则会起到完全相反的作用,甚至会对小麦的发芽率和发芽势产生不良的影响。

1.1.2 成熟度对种子活力的影响 种子的成熟度与种子活力状况密切相关,种子的成熟度越高,成熟期越长,籽粒越饱满,则种子的活力就会越高。而小麦籽粒的成熟度与小麦花期具有明显相关性,小

韩志鹏为共同第一作者

基金项目:“十三五”国家重点研发计划(2018YFD0100904);河南省自然科学基金(162300410077);河南省国际合作项目(172102410052)

通信作者:王春平

麦开花时间越长,小麦籽粒的成熟度就会越高。但不同品种、不同穗位与粒位间种子活力是存在差异性的,着生在不同穗位与粒位间的种子因营养状况和成熟度的不同,一般表现为穗位中部的种子活力优于同一穗小麦的上部和下部^[4]。Wang等^[5]经研究发现单次授粉可以降低但不能消除不同穗位间种子活力的差异。然而小麦的成熟度不仅与成熟期有关,更大部分原因来自其较长的后熟期。渡过后熟期的小麦在生理上会达到完全成熟的阶段,种子活力状况也会得到明显提升,但因品种与播期不同会存在一定的差异;而对新收获的小麦进行低温贮藏则可以有效地延缓小麦后熟作用进程。

1.1.3 贮藏条件对种子活力的影响 种子贮藏所需的条件十分严苛,若贮藏条件不能满足要求,则会导致种子出现发霉或腐烂等情况,从而大大降低种子的活力。研究表明,小麦种子的发芽率和发芽势与贮藏时间呈反比^[6]。因此,种子贮藏时选择适宜的贮藏温度和合适的贮藏方法是缓解种子活力下降的重要因素。杨梦娇^[7]认为小麦种子在贮藏时应优先采用超干贮藏,减少对小麦种子活力的影响,以达到便于贮藏等优点。张凤^[8]研究发现在 -20°C 条件下进行低温贮藏与低含水量处理(蛋白质类种子含水量为4%,淀粉类种子含水量为8%)时,种子老化进程会变慢。

1.2 遗传因素 通过对影响种子活力遗传因素的研究,从最深层次方面来找寻改善种子活力的方法。薛小雁等^[9]认为遗传因素在控制小麦种子众多的活力因素中以加性效应为主,主要包括发芽势、发芽指数和活力指数等指标,而这些指标是进行早代选择的依据。朱建峰等^[10]根据发芽势、发芽率、苗重和根重这4个指标之间所具有的差异,得出大粒种子活力优于小粒种子的结论。陈蕾太等^[11]认为不同基因型的小麦品种间的种子活力是不相同的,而在不同的环境条件下其抗逆性也是不同的。高活力的种子较低活力的种子往往具有更好的抗逆性和生长优势。张自阳等^[12]认为种子老化后可能会导致一些存活能力差的基因消失。

2 种子活力相关理化性状的研究进展

物理和化学行业的发展与农业的结合越来越紧密,导致更多的物理和化学方法在田间生产中得

以应用,从而为农业的增产增收开辟新的途径。

2.1 物理因素对种子活力性状影响 声、光、电等的合理应用对农业生产也会带来一定的益处。Chen等^[13]研究发现,干旱胁迫、人工老化以及冷浸处理等工艺均能对种子活力产生一定程度的影响。经过人工老化和冷浸处理后的种子抗逆性与田间的出苗率呈显著的正相关关系。Li等^[14]通过大气介质阻挡放电等离子体(DBD)对小麦种子进行预处理后发现适当时间、尺度的DBD处理,可以促进小麦种子萌发和幼苗生长,有效提高小麦种子的吸水率、相对电导率、可溶性蛋白和 α -淀粉酶的活性,并且小麦的茎长、根长、干重和鲜重也发生明显变化。Jiao等^[15]发现高强度热空气辅助射频处理(70°C , 10min)会降低小麦和玉米种子的活力,但相对较低强度处理(65°C , 10min)对种子活力则没有太大影响,甚至还能够增强内部酶的活性。

2.2 化学因素对种子活力性状影响 近年来,化学药品以使用方便、见效快、成本低、效率高等特点在农业生产中得到广泛的使用,但对于化学药物在提高种子活力方面的研究尚处于探索阶段。Karadağ等^[16]研究发现肉植酸(CA)处理对种子活力并不能产生较大影响,但能够在一定程度上提高小麦对盐胁迫的耐受性。Azeem等^[17]研究发现硅(Si)也能够减轻盐胁迫对种子发芽率、根长和芽长、干重和鲜重所产生的不利影响,从而提高种子的抗逆性。Hameed等^[18]发现硅酸钠(SS)引发能够提高小麦种子的发芽率、发芽势和发芽指数,并且还能提高超氧化物歧化酶和蛋白酶的活性。柳凯等^[19]通过研究发现,小麦种子经不同浓度曲酸溶液处理后发芽势得以显著提高。张珂等^[20]研究发现,镉胁迫低时小麦种子萌发较好,而镉胁迫高时就会抑制种子的萌发。

2.3 生理因素对种子活力性状影响 随着科技的进步,各种检测仪器以及研究手法朝着更为多样化方向发展,人们对种子内部生理结构的研究更加深入,从生理方面对种子进行研究的方法也越来越多样。陈蕾太等^[21]认为种子在萌发时,其内部的 α -淀粉酶活性与可溶性总糖含量呈显著相关性,但半胱氨酸蛋白酶活性与可溶性蛋白含量则呈不显著的相关性。Nourhen等^[22]对小麦植株接种侵袭性镰刀菌后发现,硬粒小麦种子的发芽率和幼苗活力均

有明显提升,抗性也明显的增强。Saddam 等^[23]发现在不同的处理中,以 125mg/kg 和 250mg/kg 的阿司匹林为底物时,种子会表现出较好的发芽率和较高的淀粉代谢。而阿司匹林也可以有效地减轻盐胁迫对植株的负面影响,促使幼苗旺盛生长。冯燕茹等^[24]研究发现植物内源激素 GA₃ 和 ABA 的相对含量对种子活力高低的影响起到了关键作用。Chen 等^[25]发现随着小麦种子的发育,其发芽率呈总体上升趋势。种子的发芽率和发芽指数在开花后 5~8d 迅速上升,然后保持相对稳定,活力指数持续上升,在成熟期前 4~6d 达到高峰。Gao 等^[26]发现纳米激活剂对小麦种子活力指数、根系活力、叶绿素含量和光合参数等均具有促进作用。

3 小麦种子活力相关基因挖掘研究进展

随着分子生物学技术的快速发展,近年来种子活力数量性状的相关位点的定位取得了较大的研究进展。目前,已发现小麦上与种子活力相关的抗穗发芽和种子休眠的 QTL 位点,主要集中在 1B、3D 和 4B 等染色体上。Zuo 等^[27]通过 QTL 定位和全基因组关联分析(GWAS)以及复合区间作图共检测到 8 个可能是控制小麦种子休眠的新 QTL 位点,即 *Qfcgr.cas-5AL*、*Qfcgr.cas-6DS*、*Qfcgr.cas-7AS*、*Qgr.cas-3DS.1*、*Qgr.cas-3DS.2*、*Qbigr.cas-3DL*、*Qgr.cas-3DL*、*Qgr.cas-4B* 和 *Qgr.cas-5A*。

姜朋^[28]采用高温高湿条件进行加速老化处理,检测到 4 个表型变异率在 1.69%~8.88% 之间与加速老化相关 QTL,分别位于 1A、1B、4A、7D 染色体上。Arif 等^[29]发现了 3 个在加速老化处理后与种子发芽相关的主效 QTL,主要位于 5A 和 7B 染色体上。杨剑^[30]对 SHW-L1 和川麦 32 构建的重组自交系群体在 10 个独立环境下进行抗穗发芽 QTL 定位,共定位到 9 个至少在两个环境中稳定出现的 QTLs,其中 *qPHS.sicau-1B* 和 *qPHS.sicau-3D.2* 可在 8 个环境中重复检测到。关望辉^[31]在对小麦 DH 群体进行种子活力相关性状定位时,共检测到 50 个加性 QTL,分别分布在 1B、2D、3A、3B、3D、4A、4D、5A、5B、5D、6D、7A 共 12 条染色体上。Shi 等^[32]通过对小麦种子老化处理后共定位到 49 个与种子活力相关性状 QTL,共分布在 12 条染色体上,即 1B、2D、3A、3B、3D、4A、4D、5A、5B、5D、6D 和 7A,表型变异率为 6.01%~17.18%。

4 研究展望

小麦是当今世界的主粮之一,小麦的产量关乎国计民生。近年来,由于各种各样情况的影响,我国现有的耕地面积不断减少,而人口数量却处于持续增长的状态,这对小麦的产量和质量就有了更高的要求。随着现代农业的快速发展,机械化、信息化技术的快速普及,提高小麦活力的方法也在不断更新,分子育种技术的日趋成熟,为实现育种精准化、更新快、质量高指明了方向。

“一粒种子可以改变世界”,种子的生产、贮藏关系到我国种子产业及粮食安全的健康有序发展。种子活力相关性状如发芽、出苗、相关激素、酶活性、脂类、蛋白质等在小麦成熟收获之后都会发生一系列变化,这对我国种业的生产、贮藏以及人们对高营养品质产品的高需求量都会产生巨大的影响。而种子老化所造成的萌发能力下降、营养物质流失、活力和品质状况变差是现今种子行业普遍存在的现象。广泛地收集种质资源,研究不同品种间高活力种子相关性状,找到影响高活力种子的内在遗传因素,解析影响种子活力相关性状的分子遗传机制,对种子生产和贮藏提出一定的指导意见,促使种业健康发展。

目前众多学者对种子活力相关性状的研究多集中在物理因素、化学因素、生理因素等方面的研究上。仅有部分学者初步定位了种子活力相关性状的 QTLs 位点,但更深入研究高活力种子的不同遗传机制与不同成熟期、不同贮藏条件、不同气候条件等的影响机制,解析影响种子活力相关性状的分子机制的研究还未见报道。因此,广泛地收集种质资源,检测高活力种子分布,分析高活力种子的相关性状,构建相应的群体,通过高通量测序技术、分子生物学手段及一系列组学分析,解析影响高活力种子的分子遗传机制和基因结构,克隆相关基因等将成为新的研究方向。因此,通过多种途径寻找提高小麦种子活力的办法,可为提高小麦种子出苗和抗逆能力提供依据,为实现小麦增产增收提供现实参考。

参考文献

- [1] 华国栋,李冠喜,浦汉春,王多明,相华. 小麦种子活力的控制及贮藏技术. 中国种业,2009(11): 75-76

- [2] 吕亚慈,郭晓丽,时丽冉,韩雪林,张新军. 不同藜麦品种萌发期抗旱性研究. 种子,2018,37(6): 86-89
- [3] 张自阳,王智煜,刘明久,黄玲. 干旱胁迫对不同年代小麦品种种子萌发特征的影响. 河南农业科学,2018,47(3): 23-28,33
- [4] 李剑. 成熟度和粒位对大麦种子活力和耐藏力影响的研究. 石河子:石河子大学,2020
- [5] Wang M M, Qu H B, Zhang H D, Liu S, Li Y, Zhang C Q. Hormone and RNA-seq analyses reveal the mechanisms underlying differences in seed vigour at different maize ear positions. Plant Molecular Biology, 2019,99(4-5): 461-476
- [6] 陈小龙,李前荣,陶媛,张振锁,赫莲香,宗泽. 常规库存条件下春小麦种子发芽能力随贮藏年限的变化研究. 中国农学通报,2020,36(1): 14-18
- [7] 杨梦娇. 超干贮藏与常规贮藏对小麦种子活力影响的差异性分析. 农业与技术,2016,36(12): 35
- [8] 张凤. 低温贮藏对不同含水量种子活力的影响. 泰安:山东农业大学,2014
- [9] 薛小雁,郑雅璐,仇永康,郑锦娟,张莉莉,王军卫,牛娜,张改生,马守才. 小麦种子活力性状的配合力分析. 麦类作物学报,2016,36(9): 1167-1173
- [10] 朱建峰,陈春环,吉万全. 基因型和种子大小对小麦种子活力的影响. 种子,2016,35(5): 108-109
- [11] 陈蕾太,孙爱清,杨敏,陈路路,马雪丽,李美玲,尹燕桦. 基于小麦种子发芽逆境抗逆指数的种子活力评价. 应用生态学报,2016,27(9): 2968-2974
- [12] 张自阳,马景周,王智煜,朱启迪,茹振钢,刘明久. 人工老化对小麦种子活力及醇溶蛋白组成的影响. 种子,2017,36(8): 42-47
- [13] Chen L T, Sun A Q, Yang M, Chen L L, Yin Y P. Seed vigor evaluation based on adversity resistance index of wheat seed germination under stress conditions. The Journal of Applied Ecology, 2016,27(9): 2968-2974
- [14] Li Y J, Wang T C, Meng Y R, Qu G Z, Sun Q H, Liang D L, Hu S B. Air atmospheric dielectric barrier discharge plasma induced germination and growth enhancement of wheat seed. Plasma Chemistry and Plasma Processing, 2017,37(6): 1621-1634
- [15] Jiao S S, Zhong Y, Deng Y. Hot air-assisted radio frequency heating effects on wheat and corn seeds: quality change and fungi inhibition. Journal of Stored Products Research, 2016,69: 265-271
- [16] Karadağ B, Yücel N C. Cinnamic acid and fish flour affect wheat phenolic acids and flavonoid compounds, lipid peroxidation, proline levels under salt stress. Acta Biologica Hungarica, 2017,68(4): 388-397
- [17] Azeem M, Iqbal N, Kausar S, Javed M T, Akram M S, Sajid M A. Efficacy of silicon priming and fertigation to modulate seedling's vigor and ion homeostasis of wheat (*Triticum aestivum* L.) under saline environment. Environmental Science and Pollution Research, 2015,22(18): 14367-14371
- [18] Hameed A, Sheikh M A, Ibrahim M, Sheikh M A. Evaluation of sodium silicate as antioxidant activator and growth enhancer in wheat. Agrochimica, 2018,62(2): 113-125
- [19] 柳凯, 栾昌明, 郭佳, 刘照斌, 吕建洲. 曲酸对小麦种子萌发及幼苗生长的影响. 作物研究, 2019,33(3): 207-210
- [20] 张珂, 厉萌萌, 刘德权, 陈飞虎, 马闯. 镉胁迫对小麦、玉米种子萌发及幼苗生长的影响. 种子, 2019,38(5): 90-94
- [21] 陈蕾太, 孙爱清, 杨敏, 陈路路, 马雪丽, 李美玲, 尹燕桦. 逆境条件下小麦种子活力与种子萌发相关酶活性及其基因表达的关系. 应用生态学报, 2017,28(2): 609-619
- [22] Nourhen M, Cynda C, Samia G, Ridha M, Kamel H. Efficacy of some rhizospheric and endophytic bacteria in vitro and as seed coating for the control of *Fusarium culmorum* infecting durum wheat in Tunisia. European Journal of Plant Pathology, 2017,147(3): 501-515
- [23] Saddam H, Abdul K, Mohsin T, Amar M, Hafiz A H. Aspirin priming circumvents the salinity-induced effects on wheat emergence and seedling growth by regulating starch metabolism and antioxidant enzyme activities. Acta Physiologiae Plantarum, 2018,40(4): 3-12
- [24] 冯燕茹, 周琪, 李嵩, 刘子辉, 马守才, 柴守诚, 郑炜君. 不同小麦品种(系)的存放种子活力比较研究. 种子, 2019,38(1): 5-12
- [25] Chen L L, Sun A Q, Li M L, Ma X L, Tian E Y, Chen L T, Yang M, Yin Y P. Changes of wheat seed vigor at different development stages and their response to environmental temperature. The Journal of Applied Ecology, 2017,28(11): 3610-3618
- [26] Gao H, Qin Y C, Guo R, Wu Y, Qiu D W, Fu Y M. Enhanced plant growth promoting role of mPEG - PLGA - based nanoparticles as an activator protein PeaT1 carrier in wheat (*Triticum aestivum* L.). Journal of Chemical Technology & Biotechnology, 2018,93(11): 3143-3151
- [27] Zuo J H, Lin C T, Cao H, Chen F Y, Liu Y X, Liu J D. Genome-wide association study and quantitative trait loci mapping of seed dormancy in common wheat (*Triticum aestivum* L.). Planta, 2019,250(1): 187-198
- [28] 姜朋. 小麦种子萌发相关性状的 QTL 定位. 泰安:山东农业大学, 2012
- [29] Arif M A R, Börner A. Mapping of QTL associated with seed longevity in durum wheat (*Triticum durum* Desf.). Journal of Applied Genetics, 2019,60(1): 33-36
- [30] 杨剑. 合成小麦抗穗发芽 QTL 定位及六个籽粒萌发相关基因分子鉴定. 成都:四川农业大学, 2016
- [31] 关望辉. 人工老化条件下小麦 DH 群体种子活力相关性状的 QTL 定位研究. 晋中:山西农业大学, 2019
- [32] Shi H W, Guan W H, Shi Y G, Wang S G, Fan H, Yang J W, Chen W G, Zhang W J, Sun D Z, Jing R L. QTL mapping and candidate gene analysis of seed vigor-related traits during artificial aging in wheat (*Triticum aestivum*). Scientific Reports, DOI: 10.1038/s41598-020-75778-z

(收稿日期: 2021-05-11)