

灌浆期干旱对小麦籽粒品质影响研究进展

宋维富, 杨雪峰, 赵丽娟, 刘东军, 宋庆杰, 张春利, 辛文利, 肖志敏

(黑龙江省农业科学院作物资源研究所, 黑龙江哈尔滨 150086)

摘要 小麦品质决定小麦的最终用途,也是小麦品种品质分类的主要依据。为了探讨灌浆期干旱对小麦品质影响的内在原因,综述了灌浆期干旱胁迫对小麦籽粒品质影响的研究进展,并进一步探讨了抗旱育种策略,以期为培育品质稳定型小麦品种提供有用信息。

关键词 小麦;品质;灌浆期;干旱;抗旱育种

中图分类号 S512 **文献标识码** A

文章编号 0517-6611(2020)04-0018-02

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2020.04.005



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Review on Effects of Drought at Grain Filling Stage on Grain Quality of Wheat

SONG Wei-fu, YANG Xue-feng, ZHAO Li-juan et al (Crop Resources Institute of Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin, Heilongjiang 150086)

Abstract Wheat grain quality determines the end-use of wheat and is also the main basis for quality classification of wheat varieties. In order to investigate the major cause for effects of post-anthesis drought at grain filling stage on wheat quality, the impact of drought at grain-filling stage on wheat quality was reviewed in this paper. Furthermore, drought-resistant breeding strategies for drought at grain filling stage were discussed. The aims of this review were to provide useful information for wheat quality improvement in breeding programs.

Key words Wheat; Quality; Grain filling stage; Drought; Drought-resistant breeding

在优质强筋小麦育种中,小麦品质性状可划分为营养品质性状和加工品质性状。小麦籽粒的营养品质由土壤条件决定,而加工品质主要受气候条件影响^[1]。小麦花后灌浆期的环境条件胁迫对加工品质的影响最大^[2-5]。灌浆期干旱能够显著影响小麦的新陈代谢进程,使灌浆期缩短,细胞死亡进程加速,导致籽粒中蛋白质组分和淀粉颗粒大小改变,是影响小麦产量和品质的2个主要气候因素^[6-8]。在小麦生产中干旱可单独发生,亦可与各种环境胁迫同步发生,不仅高温和强光照可引起干旱,而且贫瘠的土壤条件限制植物根的渗透性也可引起干旱,所以干旱通常与各种环境因素互作影响小麦品质^[9-11]。高温条件下干旱对小麦各种生理代谢参数指标的影响程度要高于低温条件下,干旱与高温同时发生影响显著^[12-14]。

小麦加工品质与其最终用途密切相关,是划分小麦品种品质类型的重要依据。小麦育种和生产实践表明,小麦品质受遗传因素、环境条件及遗传与环境互作的影响^[4,9]。其中灌浆期高温和干旱胁迫是影响小麦品质的主要因素^[5,14-15]。为了探讨灌浆期干旱对小麦品质影响的内在原因,拟综述灌浆期干旱胁迫对小麦籽粒品质影响的研究进展,并进一步探讨抗旱育种策略,以期为培育品质稳定型小麦品种提供有用信息。

1 灌浆期干旱胁迫对小麦籽粒品质影响研究

在世界范围内,小麦灌浆期遇到高温和干旱同步发生条件非常普遍^[16-19]。Irmak等^[20]和Don等^[4]大量研究发现,当灌浆期遇到大于30℃条件形成高温胁迫时,醇溶蛋白和不

溶性谷蛋白聚合体相对含量均增加,但增加幅度不同,导致2种蛋白比例变化,使面团强度大幅度下降。在高温胁迫条件下高分子麦谷蛋白亚基5+10较2+12亚基耐热性好,品质较为稳定^[2,20]。研究表明,高温胁迫使小麦灌浆期缩短,籽粒干瘪,降低了籽粒中淀粉和蛋白质的总体产量,但对淀粉降低幅度大于蛋白质,致使蛋白质相对含量提高^[21-23]。高温胁迫对小麦品质的影响不仅取决于品种间的抗(耐)热能力差异,很大程度上还取决于灌浆期不同阶段所遇到的温度条件^[5,24-26]。

研究认为,灌浆期干旱是影响小麦产量和品质的主要气候因素^[27-29]。干旱不仅可由高温和强光照引起,而且贫瘠的土壤条件限制植物根的渗透性也可引起干旱^[30]。小麦生产中干旱可单独发生,亦可与各种环境胁迫同步发生,所以干旱通常与各种环境因素互作影响小麦品质。王月福等^[31]研究表明,适宜的土壤水分是小麦高产和优质的保证,干旱和渍水都会影响小麦产量提高和品质改善。灌浆期不同阶段的干旱胁迫对籽粒蛋白含量、沉降值、湿面筋含量的提高幅度不同,灌浆早期影响较大^[31-32]。Guttieri等^[33-35]和王立秋等^[36]研究认为,在严格控水条件下灌浆期干旱可显著影响小麦品质。干旱条件下小麦产量下降,籽粒蛋白质相对含量提高,但蛋白质总量下降。Gooding等^[37]研究认为灌浆期干旱可使籽粒蛋白含量增加,特别是低分子量蛋白增加显著。范雪梅等^[38]利用2个不同品质类型小麦品种研究了花后干旱对其品质形成的影响,结果发现干旱处理对小麦籽粒麦谷蛋白积累的影响大于醇溶蛋白,导致麦谷蛋白/醇溶蛋白的比值明显下降,但是灌浆期干旱提高了籽粒干、湿面筋含量、沉降值和降落值。Guttieri等^[35]研究表明灌浆期干旱增加了面团揉混峰高和出峰时间,但是降低了耐揉性,并使籽粒的出粉率降低。Ozturk等^[32]研究发现干旱分别使籽粒蛋白含量、SDS沉降值、湿面筋含量提高了8.3%、8.7%和10.8%。许

基金项目 科技部国家重点研发计划资助项目(2016YFD0100102);农业部国家现代农业产业技术体系建设专项(CARS-3-1-8);科技部国家重点研发计划资助项目(2017YFD0101000)。

作者简介 宋维富(1982—),男,黑龙江甘南人,助理研究员,博士,从事小麦品质遗传育种研究。

收稿日期 2019-07-12

振柱等^[39]研究指出,严重水分亏缺降低籽粒容重、面筋含量、沉降值、面团形成时间、稳定时间和评价值,但一定程度土壤水分亏缺反而促其升高。Frank 等^[40]研究认为,灌浆期干旱对小麦品质的影响程度不仅取决于品种的抗旱性,在很大程度上还取决于灌浆期不同阶段所遇到的干旱胁迫程度以及干旱持续的时间。

2 抗旱性育种

培育抗旱性品种是减少干旱胁迫对小麦品质影响最经济有效的方法。提高品种抗旱能力对于充分发挥小麦品种,特别是强筋类小麦品种品质遗传潜力和保证其品质稳定性非常关键。目前研究认为,植物防御干旱胁迫的机制主要有3种,即避旱、御旱和耐旱。其中,御旱性和耐旱性又被统称为抗旱性^[41]。Myers 等^[42]、Mambani 等^[43]认为小麦根是提高抗旱性的重要部位,增加种子根的长度有利于小麦吸收土壤深层的水分并提高利用率,保持体内水分平衡,抵御干旱。Morgan^[44]研究表明具有高的渗透调节能力的小麦品种对干旱的适应性更强。东北春麦区小麦育种者针对“十年九春旱”特定生态条件,以小麦苗期和灌浆期抗旱性存在着高度正相关为依据,通过选择苗期发育较慢、抗旱性较强的光敏型小麦品种,增加根冠比,将躲旱和抗旱机制有机结合,在一定程度上实现了小麦品种苗期和灌浆期抗旱能力的同步选择。根据多年育种实践发现,利用肥水耦合和以肥调水原理,实施氮素后移等措施在一定程度上可提高小麦品种灌浆期的抗旱能力。近年来,很多学者开发出的多个与抗旱性状相关的数量性状基因座(QTL),现逐步被用到提高小麦灌浆期抗旱能力育种之中。

3 展望

综上所述,可以认为小麦灌浆期高温和干旱均可显著影响小麦品质。其中,小麦灌浆期遇到干旱可使籽粒贮藏蛋白含量相对增加,蛋白质组分比例发生改变,面团耐揉性降低,导致各品质参数不均衡,进而影响面粉的最终用途。同时干旱往往与高温条件胁迫互作,进一步增加了小麦品种品质遗传潜力表达的影响程度。选育抗旱性较好,特别是灌浆期抗旱性较强的品种,对于充分发挥优质强筋小麦新品种品质潜力非常重要。

上述研究结果对于小麦品质育种,特别是对于优质强筋小麦育种具有重要参考价值。至于土壤肥力和气候条件变化对小麦营养品质和加工品质的影响程度,以及小麦灌浆期高温和干旱何者为影响优质强筋小麦品种品质潜力表达程度的主导因子等问题,还有待深入研究。

参考文献

- [1] DUPONT F M, ALTENBACH S B. Molecular and biochemical impacts of environmental factors on wheat grain development and protein synthesis [J]. Journal of cereal science, 2003, 38(2): 133–146.
- [2] 韩利明, 张勇, 彭惠茹, 等. 从产量和品质性状的变化分析北方冬麦区小麦品种抗热性[J]. 作物学报, 2010, 36(9): 1538–1546.
- [3] 刘萍, 郭文善, 浦汉春, 等. 花后短暂高温对小麦籽粒蛋白质含量的影响及其生理机制[J]. 作物学报, 2007, 33(9): 1516–1522.
- [4] DON C, LOOKHART G, NAEEM H, et al. Heat stress and genotype affect the gluten in particles of the gluten in macropolymer-gel fraction[J]. Journal of cereal science, 2005, 42(1): 69–80.

- [5] 宋维富, 肖志敏, 辛文利, 等. 灌浆期高温对小麦籽粒蛋白质积累和品质影响的研究进展[J]. 黑龙江农业科学, 2015(2): 138–141.
- [6] PITTOCK B. Climate change: An Australian guide to the science and potential of impacts [M]. Canberra, AC: Department for the Environment and Heritage, Australian Greenhouse Office, 2007.
- [7] TAHIR I S A, NAKATA N. Remobilization of nitrogen and carbohydrate from stems of bread wheat in response to heat stress during grain filling [J]. Journal agronomy crop science, 2005, 191: 106–115.
- [8] HALFORD N G. New insights on the effects of heat stress on crops [J]. Journal of experimental botany, 2009, 60: 4215–4216.
- [9] SPIERTZ J H J, HAMER R J, XU H, et al. Heat stress in wheat (*Triticum aestivum* L.): Effects on grain growth and quality traits [J]. European journal agronomy, 2006, 25(2): 89–95.
- [10] 刘祖贵, 孙景生, 张寄阳, 等. 不同时期干旱对强筋小麦产量与品质特性的影响[J]. 麦类作物学报, 2008, 28(5): 877–882.
- [11] NOORKA I R, TEIXEIRA DA SILVA J A. Mechanistic insight of water stress induced aggregation in wheat (*Triticum aestivum* L.) quality: The protein paradigm shift [J]. Notulae scientiae biologicae, 2012, 4(4): 32–38.
- [12] 苗建利, 王晨阳, 郭天财, 等. 高温与干旱互作对两种筋力小麦品种籽粒淀粉及其组分含量的影响[J]. 麦类作物学报, 2008, 28(2): 254–259.
- [13] BALLA K, RAKSZEGI M, LI Z, et al. Quality of winter wheat in relation to heat and drought shock after anthesis [J]. Czech journal of food sciences, 2011, 29(2): 117–128.
- [14] CORBELLINI M, CANEVARA M G, MAZZA L, et al. Effect of the duration and intensity of heat shock during grain filling on dry matter and protein accumulation, technological quality and protein composition in bread and durum wheat [J]. Functional plant biology, 1997, 24: 245–260.
- [15] STONE P J, NICOLAS M E. Comparison of sudden heat stress with gradual exposure to high temperature during grain filling in two wheat varieties differing in heat tolerance. II. Fractional protein accumulation [J]. Australian journal plant physiology, 1998, 25: 1–11.
- [16] WARDLAW I F, DAWSON I A, MUNIBI P, et al. The tolerance of wheat to high temperatures during reproductive growth. I. Survey procedures and general response patterns [J]. Australian journal of agricultural research, 1989, 40(1): 1–13.
- [17] NIX H A. The Australian climate and its effect on grain yield and quality [M]// LAZENBY A, MATHESON E M. Australian field crops. I. Wheat and other temperate cereals. Sydney: Angus and Robertson, 1975: 183–226.
- [18] HENNESSY K, FAWCETT R, KIRONO D, et al. An assessment of the impact of climate change on the nature and frequency of exceptional climatic events [R]. Melbourne: CSIRO and the Australian Bureau of Meteorology, 2008: 31.
- [19] ALEXANDER L V, ZHANG X, PETERSON T C, et al. Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation [J]. Journal geophysical research atmosphere, 2006, 111: 1–22.
- [20] IRMAK S, NAEEM H A, LOOKHART G L, et al. Effect of heat stress on wheat proteins during kernel development in wheat near-isogenic lines differing at *Glu-D1* [J]. Journal of cereal science, 2008, 48(2): 513–516.
- [21] WARDLAW I F, BLUMENTHAL C, LARROQUE O, et al. Contrasting effects of chronic heat stress and heat shock on kernel weight and flour quality in wheat [J]. Functional plant biology, 2002, 29(1): 25–34.
- [22] GOODING M J, ELLIS R H, SHEWRY P R, et al. Effects of restricted water availability and increased temperature on the grain filling, drying and quality of winter wheat [J]. Journal of cereal science, 2003, 37: 295–309.
- [23] CASTRO M, PETERSON C J, RIZZA M D, et al. Influence of heat stress on wheat grain characteristics and protein molecular weight distribution [M]// BUCK H T, NISI J E, SALOMON N. Developments in plant breeding. Dordrecht: Springer, 2007: 365–371.
- [24] RANDALL P J, MOSS H J. Some effects of temperature regime during grain filling on wheat quality [J]. Australian journal of agricultural research, 1990, 41: 603–617.
- [25] BLUMENTHAL C S, BATEY I L, BEKES F, et al. Seasonal changes in wheat-grain quality associated with high temperatures during grain filling [J]. Australian journal agricultural research, 1991, 42: 21–30.
- [26] STONE P J, NICOLAS M E. Wheat cultivars vary widely in their responses of grain yield and quality to short periods of post-anthesis heat stress [J]. Australian journal plant physiology, 1994, 21: 887–900.
- [27] PASSIOURA J B. Grain yield, harvest index and water use of wheat [J]. Journal of the Australian institute of agricultural science, 1977, 43: 117–120.

- [4] 吴疆,张广东,杨兴有,等.四川万源晒烟调制方式对烟叶品质的影响[J].烟草科技,2014(11):80-83.
- [5] 贺彩平,刘峰,石孝均,等.重庆市巫山县烟草施肥现状调查分析[J].中国农学通报,2013,29(7):179-184.
- [6] 王树会,耿素祥.过量施肥对烤烟生长发育和产质的影响[J].中国农业科技导报,2010,12(5):116-122.
- [7] 《全球肥料供应和贸易 2013~2014》第 39 届 IFA 委员会扩大会议[Z].法国巴黎,2013.
- [8] 赵玉芬,尹应武.我国肥料使用中存在的问题及对策[J].科学通报,2015,60(36):3527-3534.
- [9] 中国农业科学院烟草研究所.中国烟草栽培学[M].上海:上海科学技术出版社,1987.
- [10] 李春俭,张福锁,李文卿,等.我国烤烟生产中的氮素管理及其与烟叶品质的关系[J].植物营养与肥科学报,2007,13(2):331-337.
- [11] 胡国松,郑伟,王震东,等.烤烟营养原理[M].北京:科学出版社,2000.
- [12] 孙敬权,唐经祥,薛明德,等.皖北烟区烤烟施肥技术改进研究[J].安徽农业技术师范学院学报,1998,12(2):13-15,6.
- [13] 刘添毅,曾文龙,谢凤标,等.烤烟“101”施肥技术效应[J].福建农业大学学报,1998,27(2):216-219.
- [14] 赵文平.烟草种植常用施肥方式初探[J].甘肃农业,2008(12):88-89.
- [15] COLLINS W K,NAWKS S N.烤烟生产原理[M].陈江华,杨国安,译.北京:科学技术出版社,1995.
- [16] 陈丹梅,段玉琪,杨宇虹,等.长期施肥对植烟土壤养分及微生物群落结构的影响[J].中国农业科学,2014,47(17):3424-3433.
- [17] 吕强,熊瑛,许灵杰,等.不同施肥模式对烟草耕层土壤碳氮组分的影响[J].农业科学与技术,英文版,2014,15(7):1156-1159,1182.
- [18] 袁家富,徐祥玉,赵书军,等.不同施肥方式对植烟土壤有效氮、烟株氮累积量和速率的影响[J].中国烟草科学,2011,32(S1):76-81.
- [19] 高彧,杨威,钱晓刚.不同施肥处理对烟草土壤养分流失的影响[J].贵州农业科学,2012,40(9):121-124.
- [20] 李良勇,余卓越,邹喜明,等.单株定量施肥方式下烟田土壤 NO_3^- -N 淋溶特征研究[J].作物研究,2006,20(2):134-137.
- [21] 李良勇,余卓越,邹喜明,等.不同施肥土壤中无机氮的垂直分布及烤烟对氮素的利用[J].湖北农业科学,2006,45(5):584-587.
- [22] 李良勇,刘峰,李帆,等.不同肥料配比对南方烟田土壤养分淋溶的影响[J].中国烟草科学,2009,30(2):47-52.
- [23] 郭汉华,易建华,贾志红,等.施肥对烟草生长和根际土壤微生物数量的影响[J].烟草科技,2004(6):40-42.
- [24] 郭萍,文庭池,董玲玲,等.施肥对土壤养分含量、微生物数量和酶活性的影响[J].农业现代化研究,2011,32(3):362-366.
- [25] 陈丹梅,袁玲,黄建国,等.长期施肥对南方典型水稻土养分含量及真菌群落的影响[J].作物学报,2017,43(2):286-295.
- [26] 戴衍晨,王瑞,申国明,等.不同施肥条件下烤烟生长期土壤呼吸变化及其影响因素[J].烟草科技,2016(1):8-13,30.
- [27] 王灿,王德建,孙瑞娟,等.长期不同施肥方式下土壤酶活性与肥力因素的相关性[J].生态环境,2008,17(2):688-692.
- [28] 汪林,周冀衡,何伟,等.不同施肥措施对植烟土壤酶活性和供肥能力的影响[J].土壤,2012,44(2):302-307.
- [29] 谷世昌,李向阳,邓建华,等.土壤质地、施氮量和施肥方式对烤烟生长的影响[J].西南农业学报,2011,24(6):2274-2278.
- [30] 辉树光,彭志强,江皓,等.不同施肥方式对早植烟生长发育的影响[J].热带农业科学,2014,34(12):14-17.
- [31] 李良勇,余卓越,邹喜明,等.不同施肥方式对烤烟生长发育及烟叶产质量的影响[J].湖南农业科学,2006(4):53-55.
- [32] 韩晓飞,王子芳,习向银,等.施肥方法对烤烟生长及养分吸收、分配的影响[J].华北农学报,2011,26(S1):209-213.
- [33] 李海龙,赵正雄,于良君,等.不同施肥方式对烤烟生长发育·产质量的影响[J].安徽农业科学,2013,41(17):7508-7510,7514.
- [34] 薛刚,杨志晓,张小全,等.不同氮肥用量和施用方式对烤烟生长发育及品质的影响[J].西北农业学报,2012,21(6):98-102.
- [35] 赵军,窦玉青,宋付朋,等.有机和无机烟草专用肥配合施用对烟草生产效益和肥料氮素利用率的影响[J].植物营养与肥科学报,2014,20(3):613-619.
- [36] 赵晓会.不同培肥及改良措施对烟田土壤性质及烟草品质影响的研究[D].杨凌:西北农林科技大学,2011.
- [37] 蔡联合,韦建玉,白森,等.农家肥不同施用方式对烟草生长及烤烟品质的影响[J].南方农业学报,2012,43(3):336-340.
- [38] 黄松青.施肥方式对烤烟生长发育及产、质量的影响[D].长沙:湖南农业大学,2006.
- [39] 柳太卫,杨承,李正,等.钾肥施用方式对土壤钾供应能力及烤烟品质的影响[J].湖北农业科学,2013,52(8):1771-1773,1776.
- [40] 彭艳,喻曦,周冀衡,等.有机无机肥配施对烤烟有机酸含量的影响[J].湖南农业大学学报(自然科学版),2014,40(4):365-368.

(上接第 19 页)

- [28] MOUSTAFA M A,BOERSMA L,KRONSTAD W E.Response of four spring wheat cultivars to drought stress[J].Crop science,1996,36:982-986.
- [29] PLAUT Z,BUTOW B J,BLUMENTHAL C S,et al.Transport of dry matter into developing wheat kernels and its contribution to grain yield under post-anthesis water deficit and elevated temperature[J].Field crops research,2004,86:185-198.
- [30] SZABOLCS I.Soils and Stalinization[M]//PESARAKLI M.Handbook of plant and crop stress.New York:Marcel Dekker Inc.,1994:3-11.
- [31] 王月福,陈建华,曲健磊,等.土壤水分对小麦籽粒品质和产量的影响[J].莱阳农学院学报,2002,19(1):7-9.
- [32] OZTURK A,AYDIN F.Effect of water stress at various growth stages on some quality characteristics of winter wheat[J].Journal of agronomy and crop science,2004,190(2):93-99.
- [33] GUTTIERI M J,AHMAD R,STARK J C,et al.End-use quality of six hard red spring wheat cultivar at different irrigation lever[J].Crop science,2000,40:631-635.
- [34] GUTTIERI M J,MCLEAN R,STARK J C,et al.Managing irrigation and nitrogen fertility of hard spring wheat for optimum bread and noodle quality[J].Crop science,2005,45:2049-2059.
- [35] GUTTIERI M J,STARK J C,O' BRIEN K,et al.Relative sensitive of spring wheat grain yield and quality parameters to moisture deficit[J].Crop science,2001,41:327-335.
- [36] 王立秋,靳占忠,曹敬山,等.水肥因子对小麦籽粒及面包烘烤品质的影响[J].中国农业科学,1997,30(3):67-73.
- [37] GOODING M J,ELLIS R H,SHEWRY P R,et al.Effects of restricted water availability and increase temperature on the grain filling, drying and quality of winter wheat[J].Journal cereal science,2003,37(3):295-309.
- [38] 范雪梅,姜东,戴廷波,等.花后干旱和渍水对不同品质类型小麦籽粒品质形成的影响[J].植物生态学报,2004,28(5):680-685.
- [39] 许振柱,于振文,王东,等.灌溉条件对小麦籽粒蛋白质组分积累及其品质的影响[J].作物学报,2003,29(5):682-687.
- [40] FRANK A B,BAUER A.Cultivar, nitrogen, and soil water effects on apex development in spring wheat[J].Agronomy journal,1984,76(4):656-660.
- [41] 朱云集,马元喜,王晨阳.土壤水分逆境对冬小麦根系某些形态解剖结构及超微结构的影响[J].河南农业大学学报,1994,28(3):224-229.
- [42] MYERS R J K,FOALE M A,DONE A A.Response of grain sorghum to varying irrigation frequency in the Ord irrigation area.II.Evapotranspiration, water use efficiency and root distribution of different cultivars[J].Australian journal of agricultural research,1984,35(1):31-42.
- [43] MAMBANI B,LAL R.Response of upland rice varieties to drought stress. II.Screening rice varieties by means of variable moisture regimes along a toposequence[J].Plant soil,1983,73(1):73-94.
- [44] MORGAN J M.Osmo regulation and water stress in higher plants[J].Annual review of plant physiology,1984,35:299-319.