

布劳格小麦育种模式反思与节水专用型品种选育探讨

张俊儒¹, 张磊², 刘忠元¹, 樊军会³, 陈学君⁴, 闵清水⁵, 张家旺⁶

(1. 甘肃省农业科学院小麦研究所, 甘肃 兰州 730070; 2. 甘肃省农业科学院作物研究所, 甘肃 兰州 730070; 3. 甘肃省古浪县种子服务站, 甘肃 武威 733100; 4. 张掖市博丰农业科技有限责任公司, 甘肃 张掖 734000; 5. 金昌新垦种养殖农民专业合作社, 甘肃 金昌 737100; 6. 甘肃省榆中县定远乡政府, 甘肃 榆中 730102)

摘要: 针对甘肃内陆河灌区农业水资源日益减少、环境干旱、干热风频发及目前主栽小麦品种在限额灌溉条件下减产的问题, 探讨了调整春小麦新品种选育思路和实现小麦生产协调持续发展的可能性。分析发现, 仿布劳格小麦育种模式选育的一些主栽春小麦品种在甘肃内陆河灌区栽培面积最大, 在高水肥投入条件下可获得高产, 但在减额灌溉后, 籽粒产量大幅下降。通过适度“升秆(提升生物量)”选育的“陇春34号”等高秆、中高秆类型新品种(系), 在减额灌溉条件下可以不减产或显著增产。在此基础上, 提出了适应甘肃内陆河灌区主动减额灌溉, 节水专用型春小麦新品种选育目标设计与立论思维, 并对节水专用型小麦的育种实践和应用前景进行了展望。

关键词: 小麦育种; 布劳格模式; 节水专用型品种

中图分类号: S512.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-1463(2017)10-0063-05

doi: 10.3969/j.issn.1001-1463.2017.10.021

Reconsidering of Blaug's Wheat Breeding Pattern and Discussion on Cultivar Breed of Water-saving Special

ZHANG Junru¹, ZHANG Lei², LIU Zhongyuan¹, FAN Junhui³, CHEN Xuejun⁴, MIN Qingshui⁵, ZHANG Jiawang⁶

(1. Institute of Wheat, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou Gansu, 730070, China; 2. Institute of Crop, Gansu Academy of Agricultural Science, Lanzhou Gansu, 730070, China; 3. Gulang County Seed Service Station, Wuwei Gansu 733100, China; 4. Zhangye Bofeng Agricultural Science and Technology Limited Liability Company, Zhangye Gansu 734000, China; 5. Jinchang Xinken Planting and Breeding Professional Cooperatives, Jinchang Gansu 737100, China; 6. Dingyuan Township Government of Yuzhong County in Gansu Province, Yuzhong Gansu 730102, China)

Abstract: The grain yield of main wheat cultivars is reduced under limited irrigation condition in continental river irrigation areas in Gansu Province, which was accompanied with reducing agriculture water resources, frequent event of soil drought stress and dry hot wind. The new wheat breeding pattern and sustainability of wheat production are discussed in this study. The main wheat cultivars, which selected as Borlaug's wheat breeding pattern, is popular in continental river irrigation areas. The grain yield is high under sufficient irrigation condition, but reduced at limited irrigation condition. However, the grain yield a series of newly-selected wheat cultivars with high plant height, such as cultivar Longchun 34, is unaffected or increased at limited irrigation condition. Therefore, we conclude the methods of saving water special-purpose cultivars selective breeding adopted the limited irrigation condition. The breeding practice and planting application of saving water special-purpose wheat cultivars are discussed in the future.

Key words: Wheat breeding; Borlaug's wheat breeding pattern; Saving water special-purpose cultivars

随着以宁春系列、陇春系列为主的春小麦新品种的育成和推广应用, 以及农业生产基本条件的改善, 甘肃河西灌溉农业区春小麦的生产水平近半个世纪以来得到了长足的发展。但与此同时,

该区域的自然生产生态条件也因全球气候变暖和水资源的过度开发等因素的影响, 出现了水资源日益短缺, 生态环境急剧恶化的局面。为应对这一事关甘肃灌溉农业区春小麦生产可持续发展面

收稿日期: 2017-02-21; 修订日期: 2017-06-27

基金项目: 国家自然科学基金(31670401); 甘肃省农业生物技术项目(GNSW-2016-16)。

作者简介: 张俊儒(1957—), 男, 甘肃武威人, 高级农艺师, 主要从事节水专用型春小麦品种选育与应用研究工作。
联系电话: (0)13919038698。E-mail: zhjr581010@126.com。

临的重大问题,我们通过对传统高水肥投入获取高产的育种模式(即布劳格育种模式)进行反思与探索实践,形成了适应自然生产生态环境,灌溉节水率达到30%(1 800 m³/hm²)以上,水分生产效率(WUE)提高0.3 kg/m³以上,能够主动节水的春小麦新品种选育理念,并在河西灌区得到了成功的应用,取得了“节水与高产”双赢的效果,展现出良好的应用前景。

1 布劳格小麦育种模式的特征及反思

1.1 布劳格小麦育种模式的特征

诺曼·艾·布劳格(Norman Ernest Borlaug, 1914.3—2009.9)是国际杰出小麦育种家。以他为代表的墨西哥国际玉米小麦改良中心(CIMMYT),利用日本“农林10号”小麦矮化基因与传统品种杂交,首次育成了矮秆、半矮秆的小麦品种类型,为解决全球粮食安全作出了杰出的贡献,被誉为“绿色革命”之父^[1-2]。半个多世纪以来,矮秆株型育种成为了国内外小麦育种界普遍共识,称之为布劳格小麦育种模式(以下简称布氏模式)。

布氏模式的品种类型,显著地改变了小麦株型,表现矮秆或半矮秆、抗倒伏、耐密、喜水肥、高产、广适性突出的特点,对世界小麦产量的提升发挥了巨大的推动作用^[3-7]。纵观半个多世纪以来,遵循布氏模式育成并广泛应用的“肥水型”小麦品种类型,同“第一次绿色革命是工业化理论与进步的产物”一样^[8],是必须建立在高肥水条件基础上,依赖对生产环境的改造和工程与农艺措施配套,以及高的物化投入才能获得高产。这类品种与甘肃内陆河灌区日益短缺的水资源环境和高温干旱以及节水农业的需求愈来愈不适宜,在生态和生产层面上表现出不可持续性:其一,支撑生态系统功能的自然水量急剧减少,引发生态环境的退化恶化,如民勤县的沙化;其二,水资源和化肥等的大量消耗,增加了生产成本,并造成养分的淋溶和地下水体污染;其三,在限(减)额灌溉条件下,突出地表现出地上生物量和籽粒产量的显著降低,形成节水即减产的局面。因此,围绕资源禀赋,寻求适应未来生产生态变化的春小麦新品种选育方法显得至关重要。

1.2 对布氏模式的反思

我们探索在限额灌溉条件下春小麦实现稳产或增产的选育模式认为,通过保证个体生物量优势,在收获指数不变或适度降低的情况下,亦可获得较高的籽粒产量。选育适当提高株高,即适度“升秆”,在传统的充分保障灌溉条件下,株高

提升至90~110 cm的专用春小麦新品种类型,这种适度“升秆”是对布氏模式的反思。

2 节水专用型春小麦品种选育目标的形成

多年来,甘肃内陆河流域特别石羊河流域生态环境发生了急剧恶化,出现了水资源急剧减少、湖沼消亡、水土环境恶化的趋势。小麦生产面临自然水资源严重不足的问题^[9-10]。本世纪以来,因社会经济发展和生态环境治理需要,甘肃对内陆河流域内春小麦等作物制定和实施了强制性的限水措施,不可避免地造成了作物产量的大幅度下降,凸显出已有品种过于依赖灌溉水,不适宜限额灌溉条件的问题,改良现有春小麦品种灌溉耗水量突出、水效益低成为春小麦生产可持续发展需要解决的核心问题。

在长期的高产优质春小麦新品种选育研究过程中,我们发现,一些具备显著抗(耐)旱特性和丰产性兼备的类型,在充分灌溉条件下,其株型表现出植株略高或偏高,群体生物量优异明显,生长繁茂且略晚熟,部分微倾(将倒未倒)或个别轻度倒伏的特点。这类相对高秆、中高秆的品种类型,在生育期极端高温、极端干旱和多雨丰水的年份,生育期内减少2~3次灌溉(传统灌溉3~6次),在总灌水量限额降至1 920~2 040 m³/hm²,或不灌溉的条件下,表现株高明显下降,次生根增多,叶片持绿期长、熟期提早、落黄性好、穗粒数略降、千粒重显著增加、籽粒饱满靓晶、个别微倾的特征特性,最终籽粒产量水平略高于或显著高于传统保障灌溉条件下的品种。值得一提的是,部分品系材料表现活秆成熟特征,对频发的干热风表现出较好的耐受能力和适应性。这类品种与仿布氏模式选出的矮秆品种相比,最明显的特点是株高适度增加,抗(耐)旱、耐高温干热风能力增强。

株高与地上生物量呈正相关^[11]。理论上,植株较高的品种有利于形成更多的光合产物,向籽粒分配的光合产物也多,但实际上植株较高容易引起倒伏而造成籽粒产量大幅下降。布劳格团队就是针对小麦高秆倒伏减产的弊端,开始选育植株矮小、主茎强壮的矮秆小麦^[1]。但我们认为,在完全依赖水肥充分供给的甘肃内陆河灌区,春小麦品种要保证产量的稳定和提高,核心是适度提高生物量,即在逆境条件下,要保障最高的经济产量,必须保证足够的或较高的生物量,核心在于适度提升株高,同时,同时也要处理好株高与抗倒伏及其他性状的关系^[6-7,12-13]。

我们对不同类型春小麦新品种,通过连续多年设置不灌溉、限额灌溉和传统保障灌溉等处理,运用抗旱指数(Drought resistant index, DRI)、抗旱系数(Drought coefficient, Dc)、胁迫耐受指数(Stress tolerance index, STI)、胁迫敏感指数(Stress sensitive index, SSI)等进行了分析,形成了综合鉴定指数(Comprehensive index, CI)分析法。结果显示,不同株高类型品种,对灌溉水胁迫环境的适应能力存在显著的差异:高秆晚熟类型(株高100~105 cm,晚熟3~5 d)的耐灌溉水胁迫,即抗(耐)旱性(CI=0.79~0.99)和水分利用效率(Water use efficiency, WUE=1.62 kg/m³)最高;中秆中熟类型(株高85~95 cm,晚熟1~3 d)次之(CI=0.60~0.79, WUE=1.44 kg/m³);矮秆早熟类型(株高65~75 cm,早熟1~3 d)较差(CI=0.40~0.60, WUE≤1.40 kg/m³)。高秆、中高秆类型品种的单产表现趋势为限额灌溉≥传统保障灌溉≥不灌溉。矮秆早熟品种宁春4号,在灌溉水胁迫条件下,抗(耐)旱性与水分利用效率最差(CI≤0.40, WUE≤1.13 kg/m³),单产表现趋势为传统保障灌溉≥限额灌溉≥不灌溉。高秆和中高秆株型及其相对应的中晚熟类型品种,对灌溉水胁迫与生育期土壤干旱和大气干燥环境的适应和耐受能力相对最强,且丰产稳产性能兼备,是抗(耐)灌溉水胁迫及干旱逆境的优异类型。

水分是抑制春小麦株高的主要因素之一^[14],节水型(高WUE型)春小麦品种的选育,应当在保持适当单位面积穗数前提下,朝高秆抗倒、大粒方向发展^[15],未来小麦新品种研究的关键是协调生物量,提高水分生产效率等^[16-17]。

基于上述认识,我们针对甘肃内陆河灌区未来水资源形势,确立了适当灌溉为主,兼顾其他性状的高产优质专用新品种的选育目标。如我们用从墨西哥国际玉米小麦改良中心(CIMMYT)引进“合成小麦(节节麦与硬粒小麦合成)”为骨干亲本,与地方品种杂交,在生育期内限额灌溉和无灌溉及不同水生态区域多点轮回鉴定、穿梭鉴定,育成了“陇春34号”等一大批节水专用、适度“升秆”的节水专用型春小麦新品种^[6,12]。这类新品种具有突出的抗(耐)高温干旱性,提升了小麦自身对灌溉水胁迫和高温干旱等逆境的自动调节耐受能力,显著地提高了水分利用效率,降低了水肥生产成本,且灌溉需水的适期阈宽。实现了由制度性限制的被动节水,转变为依据品种特征特性的主动节水,为生物节水提供了品种保障。

3 节水专用型春小麦新品种的应用

节水专用型品种是指在灌溉农业区,生育期必须主动减免灌溉次数,降低每次灌溉量的品种类型。与传统的保障灌溉条件下主推品种比较,突出的特征是株高适度增高。这类品种突出的特点是,在生育期灌溉水胁迫条件下,平均单产水平能够与传统灌溉达到持平或增加;在传统灌溉条件下,则表现持平、略低或减产。通过主动的限额灌溉措施,即可实现节水与增产双赢的技术经济目标。这类品种可平均节约灌溉水1 800 m³/hm²以上,节水率达30%~50%,水分利用效率(WUE)提高0.3 kg/m³以上。在生产应用中,重点强调生育期主动节水,限额灌溉,以及化肥等物质投入的适度降低。

2010年以来,以春小麦品种陇春34号为主的节水专用型系列新品种(系),在甘肃三大内陆河流域的沿山河水灌区、平川井河混灌区及沙漠边缘井灌区,生育期减少1~3次灌溉,每次灌溉量降至900~1 350 m³/hm²情况下,开展了大面积示范应用。期间,经历了60 a未遇的极端高温干旱热风(2010年,生育后期34~41℃连续高温31 d,其中≥40℃天气4 d)、极端干旱缺水(2013年,生育期降水降低73.7 mm,减少57.35%,库区来水量不足常年30%)、丰水雨涝(2014年,生育期降水较常年增加64.5 mm,增加50.19%)等异常气候年份的考验。在愈干旱的年份,其节水增产的效果愈显著。例如2013年,陇春34号在生育期灌溉1次(2 205 m³/hm²),单产高达6 954.9 kg/hm²,较相邻地块传统灌溉的“宁春51号”[(生育期灌溉2次,≥7 200 m³/hm²)单产6 000.3 kg/hm²]增产954.6 kg/hm²,增产率为15.83%。在多雨丰水的2014年,平均较相邻地块传统灌溉的宁春51号增产7.0%左右,在正常年份与相邻地块传统灌溉的宁春51号平产或略增产(≤4.0%)。

2015年示范种植以陇春34号为主的节水专用型小麦品种144.67 hm²,与传统保障灌溉品种比较,平均节水2 100 m³/hm²以上(节水率≥30%),增产296.0 kg/hm²,增产率4.30%,新增粮食及节约水肥劳动力等1 509.0元/hm²。在祁连山旱作区永昌县红山窑农牧场(当地海拔2 360 m,年降水量310 mm)示范种植12.40 hm²,平均单产5 175.0 kg/hm²,平均较传统保障灌溉品种增产379.5 kg/hm²,增产率8.33%。平均降低化肥(尿素)追施量达75 kg/hm²以上。在青海、新疆、内蒙古等省(区)的示范栽培,也展示出显著的节水增产效

果^[7,13]。2016年,以陇春34号为主的节水专用型小麦新品种(系)的应用面积扩至272.67 hm²,又一次经历了后期极端高温干热风的考验,在生育期减免灌溉1~2次、单位面积节约灌溉水2 000 m³/hm²情况下,获得平均单产6 195.0 kg/hm²,与传统灌溉种植的品种基本持平,减产率仅为1.3%。在内蒙古阿拉善左旗农场(甘肃景电二期灌区,沙漠腹地灌区)种植陇春34号28.00 hm²,生育期灌溉2次(苗期、抽穗期)条件下,平均单产6 300.0 kg/hm²;种植品种节水939 614.00 hm²,平均单产6 675.0 kg/hm²,均显著高于当地主栽品种宁春4号(5 850.0 kg/hm²)。节水9396在武威市凉州区黄羊镇(冷凉灌区)生育期不灌溉条件下,平均单产6 015.0 kg/hm²,比采用传统灌溉种植的品种永良15号增产150.0 kg/hm²。展现出了节水专用型小麦品种(系)显著的节水抗旱功能和特性。

4 节水专用新品种类型研发需要继续关注的问题

节水专用型春小麦新品种类型,是一个新命题,新事物。它在适应变化了的自然生产生态条件和春小麦面临严重水限制条件下,形成的开创性的适应性育种与应用目标的探索实践,实现了节水增产并举的技术经济潜力和优势。但从技术和应用层面分析,还存在一些需要进一步研究和关注的问题。

4.1 技术层面

从技术层面分析,作物的抗(耐)旱性是复杂的生物学适应现象。现有小麦品种的根系体积普遍小于原始品种^[11,18-21]。根系是抗(耐)旱的关键性状,改良根系,提高深层土壤根系比例,是今后节水型新品种选育的主要目标性状。节水专用型新品种在不同生态与逆境下的水肥密耦合效应、产量、抗旱指标与植株形态及生理指标的关系、减少水肥的综合种植管理技术、植株生物量与抗逆境的关系等,是需要进一步研究的关键所在。

4.2 应用层面

受传统思维影响,现行的高水肥区域试验设置及其评价体系对节水型特异性品种做不到准确评价,从而影响品种审定和推广应用^[22]。种子法相关法规也不利于小麦多元化和特异性育种目标的探索创新。其次,传统的大水大肥大播量的耕种方式与习惯,短期内难以改变,对只有实施节水才能获得节水高产双赢的新品种类型质疑者居多,要迅速推广应用和成为农民的自觉行为,路漫且艰,任重道远。第三,缺乏引领性项目或资金支持。

5 结束语

节水专用型新品种类型,能够有效地缓解和解决节水减产和水效益低下的问题,对西北内陆绿洲灌区春小麦生产节水生态建设和可持续发展而言,是一项开创性的引领措施。近年来,我们在甘肃不同内陆河灌区及蒙、青、新同类地区,通过与种子企业、农民专业合作社、农牧场等小麦种植大户合作,集中示范应用,节水增产、节本增效前景良好。甘肃省金昌市和嘉峪关市已将春小麦生物节水技术确定为主推技术,在“十三五”期间将逐步加大推广应用力度。

我们也必须看到,这一创新思维成果,也面临着难以迅速转化应用的困难。为促其尽快转化为现实生产力,必须与小麦种植大户、种子企业、合作社、农牧场等合作,通过与社会生产要素的紧密结合,促进这一技术成果的完善和应用,达到改善生态环境,节约和高效利用水资源,降低生产成本,高产稳产,可持续发展的目标。

参考文献:

- [1] 李建军,滕菲,黄晓行. “绿色革命之父”诺曼·布劳格[J]. 自然辩证法通讯, 2011(3): 111-125.
- [2] 何中虎,彭居俐. 悼念绿色革命之父布劳格博士[J]. 麦类作物学报, 2009, 29(6): 1134-1136.
- [3] 张立英. 对绿色革命的反思[J]. 粮食科技与经济, 2009, 34(5): 9-12.
- [4] 张俊儒,刘忠元. 甘肃省春小麦第二次绿色革命依托技术——节水专用型新品种[J]. 发展, 2015(7): 34-35.
- [5] 苏毓杰. 甘肃省春小麦育种与推广刍议[J]. 甘肃农业科技, 2011(8): 38-40.
- [6] 张俊儒,王世红,杨芳萍,等. 河西灌区小麦节水专用型新品种选育及应用研究进展[J]. 中国种业, 2013(2): 16-18.
- [7] 张俊儒,张磊,樊军会,等. 试论甘肃河西灌区春小麦生物节水的应用[J]. 甘肃农业科技, 2015(4): 59-63.
- [8] 熊愈辉. 对绿色革命与新绿色革命的若干思考[J]. 石河子大学学报:自然科学版, 2003, 7(3): 195-199.
- [9] 马忠明. 现代绿洲节水农业与农田水肥资源高效利用[M]. 兰州:甘肃科学技术出版社, 2012.
- [10] 2007甘肃省科协年论文集编委会. 石羊河流域综合治理:2007甘肃省科协年论文集[G]. 兰州:甘肃科学技术出版社, 2007.
- [11] 张英华,王志刚,周顺利,等. 当前小麦研究的国际热点[J]. 科学导报, 2014, 32(13): 64-69.
- [12] 张俊儒,张磊,樊军会,等. 节水专用型春小麦新品种陇春34号选育报告[J]. 甘肃农业科技, 2015(12): 8-10.
- [13] 张俊儒,樊军会,刘英梅. 河西灌区推广节水专用

羌活人工栽培技术研究综述

张东佳^{1,2}, 彭云霞^{1,2}, 魏莉霞^{1,2}, 蔺海明¹, 宋学斌³, 孙裕⁴, 张海静⁵

(1. 甘肃省农业科学院中药材研究所, 甘肃 兰州 730070; 2. 甘肃省中药材种质改良与质量控制工程实验室, 甘肃 兰州 730070; 3. 甘肃佛慈药源产业发展有限公司, 甘肃 定西 743000; 4. 兰州佛慈制药股份有限公司, 甘肃 兰州 730046; 5. 甘肃佳禾中药科技有限公司, 甘肃 兰州 730000)

摘要: 从适宜栽培区域、种子休眠及处理、种苗质量及生产、大田规范化栽培技术方面对近年来羌活栽培相关研究进行了综述。

关键词: 羌活; 宽叶羌活; 栽培技术; 研究综述

中图分类号: S567.9

文献标志码: A

文章编号: 1001-1463(2017)10-0067-09

[doi: 10.3969/j.issn.1001-1463.2017.10.022](https://doi.org/10.3969/j.issn.1001-1463.2017.10.022)

Research Summary of Artificial Cultivation Technology of *Notopterygium*

ZHANG Dongjia^{1,2}, PENG Yunxia^{1,2}, WEI Lixia^{1,2}, LIN Haiming¹, SONG Xuebin³, SUN Yu⁴, ZHANG Haijing⁵
(1. Institute of Chinese Medicinal Materials, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou Gansu 730070, China; 2. Laboratory of Germplasm Improvement and Quality Control Engineering of Chinese Herbal Medicine, Gansu Province, Lanzhou Gansu 730070, China; 3. Gansu Foci Pharmaceutical Industry Development Co., LTD, Dingxi Gansu 743000, China; 4. Lanzhou Foci Pharmaceutical Co., LTD, Lanzhou Gansu 730046, China; 5. Gansu Jiahe Chinese Medicine Science & technology Co., LTD, Lanzhou Gansu 730000, China)

Abstract: In this paper, cultivation techniques of *Notopterygium* research in recent years were reviewed such as *Notopterygium* suitable cultivation area, seed dormancy and seedling quality and production of field standardization, in order to provide the reference to *Notopterygium* planting and related technology research.

Key words: *Notopterygium*; *Notopterygium incisum*; Cultivation technology; Research summary

中药羌活 (*Rhizoma et Radix Notopterygii*) 为伞形科植物羌活或宽叶羌活的干燥根茎及根^[1]。别名有羌青、护羌使者、胡王使者、羌滑、退风使者、黑药等, 为常用中藏药材。性温, 味辛、苦,

收稿日期: 2017-06-16

基金项目: 国家中药标准化项目大黄等六种中药饮片标准化建设(ZYBZH-Y-GS-10-A06)。

作者简介: 张东佳(1976—), 男, 甘肃白银人, 助理研究员, 主要从事中药标准化种植及良种选育工作。联系电话: (0)18909405382, E-mail: zhangdongjia@126.com。

通信作者: 蔺海明(1953—), 男, 甘肃甘谷人, 教授, 主要从事中药材育种及栽培技术研究, 联系电话: (0931)7602337。E-mail: linhm888666@126.com。

型春小麦新品种刍议[J]. 甘肃农业科技, 2013(11): 38-40.

[14] 马莉. 荒漠绿洲区春小麦生长与水分利用效率研究[D]. 北京: 中国科学院大学, 2013.

[15] 成雪峰, 张风云, 柴守玺. 节水灌溉下春小麦主要农艺性状与产量的相关及通径分析[J]. 中国农学通报, 2007, 23(3): 454-457.

[15] 威特沃尔. 展望 21 世纪新农业(上)[J]. 世界农业, 1983(3): 1-12.

[17] 张正斌, 徐萍, 董宝娣, 等. 水分利用效率——未来农业研究的关键问题[J]. 世界科技研究与发展(21世纪青年学者论坛), 2005(2): 52-61.

[18] 张正斌. 作物抗旱节水的生理遗传育种基础[M]. 北

京: 科学技术出版社, 2003.

[19] WAINES J G, EHDAIE B. Domestication and crop physiology; Roots of green-revolution wheat[J]. Annals of Botany, 2007, 100(5): 991-998

[20] GEWIN V. Food: An underground revolution[J]. Nature. 2010, 466: 552-553.

[21] 张岁岐, 山仑. 二倍体小麦种间水分利用效率的差异与根系生长的关系[J]. 作物学报, 2003, 29(4): 569-573.

[22] 张俊儒, 张磊, 樊军会, 等. 从节水专用型品种选育谈品种审定制度的改革[J]. 中国种业, 2013(12): 45-47.

(本文责编: 郑立龙)