

小麦抗旱鉴定和评价方法研究进展

王应党¹ 林 坤¹ 郭凌云¹ 任自超¹ 王 冲² 葛振勇² 田顺顺¹ 李思同¹ 郭凤芝¹

(¹ 菏泽市农业科学院, 山东菏泽 274000; ² 菏泽市农业科学院试验开发服务中心, 山东菏泽 274000)

摘要: 小麦抗旱的鉴定和评价方法, 对于小麦抗旱品种选育及生产具有重要意义。从小麦抗旱鉴定方法、鉴定指标(发芽指标、根系形态指标、产量相关指标、生理生化指标)和评价方法(直接评价法、综合评价法)3个方面, 对国内外小麦抗旱研究进展进行综述, 旨在为小麦抗旱研究提供全面、系统的信息参考。

关键词: 小麦; 抗旱; 鉴定方法; 鉴定指标; 评价方法

Research Progress on Identification and Evaluation

Methods of Drought Resistance of wheat

WANG Yingdang¹, LIN Kun¹, GUO Lingyun¹, REN Zichao¹, WANG Chong²,

GE Zhenyong², TIAN Shunshun¹, LI Sitong¹, GUO Fengzhi¹

(¹ Heze Academy of Agricultural Sciences, Heze 274000, Shandong;

² Experimental Demonstration Development Service Center, Heze Academy of Agricultural Sciences, Heze 274000, Shandong)

小麦(*Triticum aestivum* L.)是世界三大粮食作物之一, 全球小麦总产量约为7.2亿t^[1], 养活着世界近1/5的人口^[2]。预计2050年世界人口将增加到近100亿, 按照当前的粮食生产水平, 将有5500万至1.25亿人的口粮得不到保障^[3], 因此应继续提高全球小麦单产水平。然而, 干旱严重影响小麦产量的提高, 小麦全生育期长、需水量大, 正常的生长发育和高产均需要充足的水分供给。随着全球气候变暖加剧, 干旱频发已成为小麦生产面临的主要非生物逆境挑战^[4-5], 干旱频发导致全球约50%的小麦产区出现不同程度的减产, 减产幅度为10%~70%^[6-7]。

干旱也是限制我国小麦生产的主要非生物逆境因子, 特别是在我国北方小麦产区, 平均每年因干旱影响直接导致的小麦减产量高达100亿kg以上^[8]; 而且, 我国已探明的淡水资源很难长时间维系目前农业所需的用水量^[9]。因此, 选育和推广抗旱节水小

麦品种, 对保障我国粮食安全、提高农业水资源利用率具有重要意义, 是一种经济、有效的方法^[10-11]。

小麦抗旱性是复杂的数量性状, 由多个基因控制并通过一系列农艺性状和生理生化指标表现出来。小麦抗旱性评价内容涉及小麦抗旱鉴定方法、鉴定指标和评价方法3个方面。因此, 本研究从以上3个方面对小麦抗旱研究进展进行了综述, 旨在为小麦抗旱研究提供全面、系统的信息参考。

1 小麦抗旱鉴定方法

国内外学者对小麦抗旱鉴定方法进行了大量研究, 概括起来主要有3个, 分别为小麦抗旱实验室鉴定法、小麦抗旱人工模拟鉴定法和小麦抗旱田间直接鉴定法。

1.1 小麦抗旱实验室鉴定法 小麦抗旱实验室鉴定法通常采用高渗溶液模拟水分胁迫^[12], 高渗溶液种类主要有PEG-6000、高浓度(>1mmol/L)甘露醇和蔗糖等。PEG-6000分子量大, 用其作为高渗溶液时不会进入小麦细胞造成伤害, 试验结果可靠, 可以反映小麦抗旱表型性状和生理特性, 因此, 多数研

究支持用 PEG-6000 作为模拟水分胁迫剂^[13-15]。应用甘露醇模拟水分胁迫测定种子萌发^[16-17],在实验室抗旱性鉴定中具有一定的价值,但是甘露醇分子小,进入作物细胞后会影 响水分代谢,导致试验结果误差增大。蔗糖溶液作为水分胁迫剂模拟干旱^[18]在抗旱性试验中通常用作一般比较,原因是蔗糖溶液容易诱发霉菌,导致小麦种子胚芽不能正常生长,试验结果不佳。综上所述,在实验室进行小麦抗旱鉴定时,不建议使用甘露醇和蔗糖溶液作为水分胁迫剂。

1.2 小麦抗旱人工模拟鉴定法 小麦抗旱人工模拟鉴定法主要是通过旱棚^[19]、盆栽^[2,20]等条件,人工设置水分胁迫和对照组,其水分胁迫组采用反复干旱法^[2]。该方法简单易行、经济有效,不受自然降雨的影响,条件与大田环境接近,重复性好,试验结果比较可靠,适用于小麦任一生育期的抗旱鉴定;但受旱棚面积、盆栽设备等因素的制约,鉴定品种数量有限,不能开展大规模的抗旱试验。

1.3 小麦抗旱田间直接鉴定法 小麦抗旱田间直接鉴定法一般设置旱地和水地 2 种处理,其中旱地处理为雨养条件(小麦播种后全生育期依靠自然降水,不再额外浇水),水地处理为小麦指定生育期进行定量浇水^[21],通过比较分析不同处理条件下小麦表型性状和生理特性的变化,对品种的抗旱性进行鉴定。研究表明,在干旱胁迫下,产量相关性状均受到了不同程度的抑制,单株产量对干旱胁迫的敏感程度最大^[22]。该方法较为客观地鉴定各小麦品种(系)的抗旱能力,不受区域限制,可开展大规模的田间抗旱试验,但受自然降水等环境条件影响较大,年际间的试验结果重复性较差,要求研究者注重试验地点的选择和试验设计的合理性。

2 小麦抗旱鉴定指标

小麦抗旱鉴定指标分为形态指标和生理生化指标 2 种,其中,形态指标多为发芽指标、根系形态指标和产量相关指标,生理生化指标多为小麦光合系统、酶类、渗透调节物质和丙二醛等指标。

2.1 小麦抗旱形态鉴定指标

2.1.1 发芽指标 小麦抗旱发芽鉴定指标主要包括发芽率、发芽势和萌发抗旱指数等。干旱胁迫下,这些指标与小麦的抗旱能力呈正相关,表现为指标值越大,小麦抗旱能力越强。Pavia 等^[23]利用

小麦发芽率、萌发抗旱指数等指标评价了不同小麦材料的抗旱能力。曹勇等^[24]通过比较不同 PEG-6000 浓度处理下各小麦品系材料的表现,发现发芽率、萌发抗旱指数等指标可以作为小麦抗旱鉴定指标。

2.1.2 根系形态指标 根系在小麦生长发育和产量形成过程中起着非常重要的作用。小麦根系越发达,植株获得的水分越多,可获得较高产量^[25]。小麦抗旱根系形态鉴定指标主要包括根长、根干重和根冠比等。胡雯媚等^[26]对小麦苗期和收获期共 16 个单项指标的抗旱系数进行逐步回归分析,发现有 10 个指标对小麦抗旱性影响显著,其中与根系形态相关的指标有根长、根干重和根冠比,表明根长、根干重和根冠比可以作为小麦抗旱根系形态鉴定指标。霍治军^[27]对不同抗旱类型冬小麦的根系特征及其与产量的关系进行研究,发现不同抗旱品种的根系总量差异显著,抗旱性强的品种,其根干重往往处于中等偏上水平,但是根干重大或过小,小麦品种的抗旱性均较差。因此认为,根系发达且下扎较深的小麦品种,抗旱性较强。

2.1.3 产量相关指标 小麦抗旱产量相关鉴定指标主要包括产量抗旱系数、产量抗旱指数、有效穗数、穗粒数、千粒重和单株产量等,这些指标在抗旱品种选育工作中被育种家广泛应用^[28]。崔桂宾等^[29]对黄淮流域部分小麦品种 8 个性状指标进行抗旱筛选,发现有效穗数、穗粒数和单株产量可以作为小麦抗旱品种选育的鉴定指标。赵岩等^[30]选用产量抗旱系数、产量抗旱指数、综合抗旱系数和综合抗旱指数 4 个指标,对 119 份小麦品种(系)进行抗旱性综合评价,筛选出抗旱品种(系) 15 份。可以看出,产量抗旱系数和抗旱指数可以作为小麦抗旱品种选育的产量相关鉴定指标。

2.2 小麦抗旱生理生化鉴定指标

2.2.1 光合系统指标 小麦抗旱光合系统鉴定指标主要包括叶绿素含量、净光合速率、气孔导度、胞间 CO₂ 浓度、蒸腾速率和水分利用率等。研究表明,干旱胁迫会导致叶片光合结构破坏,影响小麦叶片的净光合速率、气孔导度、胞间 CO₂ 浓度、蒸腾速率和水分利用率等^[31]。这些指标受干旱胁迫影响较小,说明该品种的抗旱性强;反之,则弱。秦娜等^[32]研究显示,干旱胁迫下处理品种与对照品种相比保持

了较高的光合速率、蒸腾速率和气孔导度,说明处理品种具有较强的抗旱能力。时丽冉等^[33]研究显示,干旱胁迫下处理品种的叶绿素含量以及净光合速率、气孔导度、胞间CO₂浓度和蒸腾速率下降幅度小于对照品种,表明处理品种的抗旱能力较强。

2.2.2 酶类指标 小麦抗旱酶类鉴定指标主要包括超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)和过氧化物酶(POD)等^[34]。在干旱胁迫条件下,抗旱小麦品种的抗氧化酶活性增幅较大,不抗旱小麦品种的抗氧化酶活性增幅较小^[35-36]。Sheoran等^[37]研究发现,在抗旱基因型中,SOD和POD活性随着干旱胁迫程度的增大而提高,SOD和POD活性在小麦抗旱性中起着重要作用。谢燕等^[38]研究表明,在干旱胁迫条件下,抗旱型品种济麦262叶片POD、SOD和CAT活性以及根系POD和SOD活性的增强幅度显著高于中间型品种临麦2号和敏感型品种烟农19。可以看出,在一定干旱胁迫条件下,适宜时期的小麦SOD、CAT和POD等活性可以作为小麦抗旱鉴定的重要酶类指标。

2.2.3 渗透调节物质指标 小麦抗旱渗透调节物质鉴定指标主要包括可溶性糖、可溶性蛋白和脯氨酸等。一般认为,小麦的渗透调节物质含量与其抗旱性呈正相关,即小麦渗透调节物质含量越高,抗旱性越强。王川等^[39]对小麦品种可溶性糖含量与抗旱性的关系进行研究,根据回归方程发现,可溶性糖含量与抗旱指数呈极显著正相关,表明小麦可溶性糖含量越高,抗旱指数越高,小麦抗旱性越强。进一步说明,可溶性糖含量可以作为小麦抗旱鉴定的渗透调节物质指标。姜淑欣等^[40]研究显示,在干旱胁迫条件下,抗旱性强的小麦品种,其脯氨酸含量较对照提高了75.0%,而不抗旱品种的脯氨酸含量较对照增加了37.7%,表明抗旱性强的小麦品种,其脯氨酸含量增加幅度较大;彭晓邦等^[41]研究表明,在干旱胁迫条件下,抗旱性较强的品种,其脯氨酸含量增加幅度最大。因此,小麦脯氨酸含量的高低与其抗旱性强弱有直接关系。

2.2.4 丙二醛(MDA)指标 MDA是细胞质膜过氧化的产物。在干旱胁迫条件下,小麦细胞内产生大量的自由基,导致细胞质膜过氧化生成MDA,因此,MDA含量可以反映小麦的抗旱能力,即MDA含量越少,小麦细胞质膜损伤程度越小,抗旱能力越

强。杨贝贝等^[42]研究显示,在干旱胁迫条件下,小麦MDA含量增加,其增幅与抗旱系数和抗旱指数呈极显著负相关,表明MDA含量越少,小麦的抗旱性越强。张永杰等^[43]研究显示,在干旱胁迫条件下,新春35号的MDA积累量较高,新春6号的MDA积累量较小,说明不同小麦品种细胞膜受损程度不同,进一步表明不同小麦品种的抗旱能力不同。高宝云等^[44]研究表明,干旱胁迫下9个小麦品种的MDA含量不同,并以MDA含量作为鉴定指标之一对9个小麦品种的抗旱性进行评价,筛选出小麦强抗旱品种2份、中等抗旱品种5份。综上分析认为,MDA含量可以作为可靠的小麦抗旱鉴定指标。

3 小麦抗旱评价方法

小麦抗旱性为数量性状,其评价方法一般分为直接评价和综合性评价2种。

3.1 直接评价法 直接评价法通常是以反复干旱存活率(DS,Drought survival rate)^[45]和单项指标抗旱系数^[2](DC,Drought resistance coefficient)为依据进行评价。

3.1.1 反复干旱存活率 计算公式为: $DS = (DS_1 + DS_2 + \dots + DS_n) / n$ 。式中, DS_1 为幼苗第1次干旱存活率的实测值; DS_2 为幼苗第2次干旱存活率的实测值; DS_n 为幼苗第n次干旱存活率的实测值。

利用反复干旱存活率对小麦品种进行抗旱评价,操作简单易行,适用于大批种质资源的抗旱评价,但适用的小麦时期有限,仅适用于萌发期的小麦抗旱评价,难以全面评价整个生育期的抗旱性。杨子光等^[45]运用反复干旱法对其苗期进行抗旱性鉴定,结果表明,苗期反复干旱法鉴定结果客观、科学、测定方法简便,幼苗存活率与品种的抗旱性趋势一致,抗旱性强的品种存活率高,其可作为苗期抗旱性鉴定指标。

3.1.2 单项指标抗旱系数法 计算公式为: $DC_i = \bar{y}_{i(WS)} / \bar{y}_{i(WW)} \times 100\%$ 。式中, $\bar{y}_{i(WS)}$ 、 $\bar{y}_{i(WW)}$ 分别为干旱胁迫(WS,Water-stressed)和正常供水(WW,Well-watered)条件下基因型*i*($i=1,2,\dots,i$)在单项指标(发芽率、产量等性状)上观测值的平均数。

单项指标抗旱系数可在一定程度上评价小麦品种的抗旱性,但是小麦抗旱性是复杂的数量性状,由多个基因控制并通过一系列农艺性状和生理生化

指标表现出来,因此,需要结合多个指标进行小麦抗旱的综合评价。李龙等^[2]基于单株产量抗旱系数对小麦种质资源抗旱性进行鉴定评价,得到25份成株期强抗旱种质。

3.2 综合评价法 综合评价法是指综合几个不同的指标进行评价,可以弥补单项指标评价的局限性。常见的综合评价法包括综合抗旱系数法^[22]、聚类分析^[46]、综合抗旱性评价D值法^[47-48]和灰色关联分析法^[49-50]。

3.2.1 综合抗旱系数法 主要步骤包括:(1)计算各个基因型在每个性状上的抗旱系数(DC)。计算公式为: $DC_{iq}(\%) = \bar{y}_{iq}(\text{ws}) / \bar{y}_{iq}(\text{ww}) \times 100$ 。式中, $\bar{y}_{iq}(\text{ws})$ 和 $\bar{y}_{iq}(\text{ww})$ 分别是干旱胁迫(WS)和正常供水(WW)条件下基因型*i*($i=1,2,\dots,i$)在*q*($q=1,2,\dots,q$)性状上观测值的平均数。

(2)对不同性状的抗旱系数进行综合抗旱系数分析。计算公式为:综合抗旱系数 $= \frac{1}{q} \sum_{q=1}^q (DC_{iq})$ 。式中,*i*表示第*i*个基因型;*q*表示第*q*个性状指标。

(3)根据综合抗旱系数的大小进行排序。综合抗旱系数大的作物,抗旱性强;反之,则抗旱性弱。

综合抗旱系数法结合了多项指标进行抗旱评价,其评价结果弥补了单项指标评价的局限性,但是,由于各项指标之间存在不同程度的相关性造成信息交叉与重叠,因此综合抗旱系数评价结果也不够全面、准确。陈卫国等^[22]采用综合抗旱系数法共鉴定出8份强抗旱种质。

3.2.2 聚类分析 聚类分析是一种常用的多元数据分析方法,其分析方法很多,一般分为系统聚类和动态聚类,在农业领域常用的是系统聚类分析法。其原理是先建立测度个体归组和聚类关系的指标,然后用相似系数或者距离(通常选用欧氏距离)测度个体间的相互关系,最后选择聚合法(本文应用最短距离法)进行聚类。

主要步骤包括:(1)为消除各指标性状间的相关性和重叠性,对各个指标性状先进行主成分分析,根据累积贡献率>80%的准则提取前*P*个主成分。前*P*个主成分相互独立,用以替代原有各个指标性状。主成分分析可利用SAS 9.2软件中的PRINCOMP^[51]来完成。

(2)基于主成分分析得到的前*P*个主成分数

据,建立测度个体归组和聚类关系的指标。假设有*n*个小麦品种,每一品种的*P*个主成分数据可用向量表示,2个小麦品种向量可表示为: $X_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ki}, \dots, x_{pi})$ 和 $X_j = (x_{j1}, x_{j2}, \dots, x_{kj}, \dots, x_{pj})$ 。式中, $k=1,2,\dots,P, P \geq 1$,代表*k*个指标(变数);*i*和*j*=1,2, \dots,n ,分别代表第*i*个和第*j*个小麦品种。

(3)采用欧氏距离测度小麦品种之间的相互关系,计算公式如下。

$$d_{ij} = \sqrt{\sum_{k=1}^P (x_{ki} - x_{kj})^2}$$

式中, d_{ij} 为 x_i 与 x_j 间的距离。

(4)通过最短距离法完成聚类。若 G_p 和 G_q 代表组(类),定义 G_p 与 G_q 的组间距离(2组内个体之间最短距离代表组间距离)为 D_{pq} ,计算公式如下。

$$D_{pq} = \min_{i \in G_p, j \in G_q} d_{ij}$$

式中, d_{ij} 为组间距离。聚类分析可利用SAS 9.2软件中的CLUSTER^[51]来完成。张雪婷等^[46]对甘肃省近年来育成冬小麦品种8个主要农艺性状进行聚类分析,结果显示70个冬小麦品种在欧式遗传距离D=17处划分为3大类群,第Ⅰ类群可作为增产材料供育种选择,第Ⅱ类群可作为抗倒材料供育种选择。

3.2.3 综合抗旱性评价D值法 通过各指标的抗旱系数获得隶属函数值,再由其权重,利用加权函数法求出综合评价D值,从而确定小麦品种(系)的抗旱性。综合抗旱性评价D值被广泛应用于玉米^[52]、绿豆^[53]、大豆^[54]和小麦^[47-48]的抗旱性评价研究,且效果较好,可较为准确地评价品种(系)间的抗旱性差异。

主要步骤包括:(1)计算各个基因型在每个性状上的抗旱系数(DC),计算公式如下。

$$DC_{iq}(\%) = \bar{y}_{iq}(\text{ws}) / \bar{y}_{iq}(\text{ww}) \times 100$$

式中, $\bar{y}_{iq}(\text{ws})$ 和 $\bar{y}_{iq}(\text{ww})$ 分别为干旱胁迫(WS)和正常供水(WW)条件下基因型*i*($i=1,2,\dots,i$)在*q*($q=1,2,\dots,q$)性状上观测值的平均数。

(2)对不同性状的抗旱系数进行主成分分析,以消除因不同抗旱性状间可能存在的相关性而造成的信息交叉和重叠,同时还能对变量进行降维。根据累积贡献率>80%的准则提取前*P*个主成分,用

以替代原有的抗旱系数用于抗旱性评价。计算各基因型在这些主成分上的得分 x_{ip} ($p=1, 2, \dots, p$)。

(3) 利用隶属函数将各基因型在所提取的各个主成分上的得分值进行标准化(标度到区间 $[0, 1]$), 计算公式如下。

$$u(x_{ip}) = [x_{ip} - \min(x_p)] / [\max(x_p) - \min(x_p)]$$

式中, x_{ip} 为第 i 个基因型在第 P 个主成分的得分值; $\max(x_p)$ 和 $\min(x_p)$ 分别为所有基因型在第 P 个主成分上得分的最大值和最小值。

(4) 计算综合指标权重, 计算公式如下。

$$w_p = \hat{\lambda}_p / \sum_{p=1}^P (\hat{\lambda}_p)$$

式中, w_p 为第 P 个主成分上的权重, $\hat{\lambda}_p$ 为主成分分析中第 P 个主成分的特征值。

(5) 计算各基因型的抗旱性综合评价 D 值, 即该基因型在所提取的各个主成分的标准化得分的加权平均数, 计算公式如下。

$$D_i = \sum_{p=1}^P (w_p \times u(x_{ip}))$$

式中, D_i 为第 i 个基因型的综合抗旱性评价 D 值; w_p 为第 P 个主成分上的权重; x_{ip} 为第 i 个基因型在第 P 个主成分的得分值。

(6) 以各基因型的抗旱性综合评价 D 值为指标进行系统聚类分析。 D 值的大小, 代表抗旱性的强弱。

张芳等^[47]采用综合抗旱评价 D 值对新疆冬小麦萌发期抗旱性综合评级, 筛选出抗旱性最强且具有 TaNRX-a 变异类型的品种(系)有昌冬 5 号、早洋麦、卡衣木红、纳瓦提提和高加索。赵吉平等^[48]采用综合抗旱评价 D 值对 50 份小麦新种质抗旱性综合评价, 筛选出 1 个抗旱品种、47 个中等抗旱品种和 2 个较敏感品种。

3.2.4 灰色关联分析法 灰色关联分析法(Grey relational analysis)是把系统之间的所有目标指标视为一个灰色系统, 并对该系统中目标指标进行量化评估和综合评价。利用灰色关联分析^[49-50]可以有效地评价小麦的抗旱性。

主要步骤包括:(1) 计算各个基因型在每个性状上的抗旱系数(DC), 计算公式如下。

$$DC_{ik}(\%) = \bar{y}_{ik}(\text{ws}) / \bar{y}_{ik}(\text{ww}) \times 100$$

式中, $\bar{y}_{ik}(\text{ws})$ 和 $\bar{y}_{ik}(\text{ww})$ 分别为干旱胁迫(WS)和正常供水(WW)条件下基因型 i ($i=1, 2, \dots, i$) 在 k

($k=1, 2, \dots, k$) 性状上观测值的平均数。

(2) 按照灰色关联理论要求, 将所有基因型的各个性状指标的抗旱系数视为一个灰色系统, 每个基因型的抗旱系数看作该系统的一个因素。取每个性状指标抗旱系数的最大值组成参考品种数列(X_0); 所有参试基因型的各个性状指标的抗旱系数组成比较数列 $X_i(k)$, i 为品种因素, k 为性状因素。

(3) 计算关联系数, 计算公式如下。

$$\xi_i(k) = \frac{\min_i \min_k |x_0(k) - x_i(k)| + \rho \max_i \max_k |x_0(k) - x_i(k)|}{|x_0(k) - x_i(k)| + \rho \max_i \max_k |x_0(k) - x_i(k)|}$$

式中, $\xi_i(k)$ 为所有参试基因型的抗旱系数与每个性状指标的抗旱系数最大值在 k 点(性状)的关联系数。 $\min_i \min_k |x_0(k) - x_i(k)|$ 为二级最小差; $\max_i \max_k |x_0(k) - x_i(k)|$ 为二级最大差; ρ 为分辨系数, 取值 0~1, 一般取 0.5。

(4) 根据关联系数计算等权关联度, 计算公式如下。

$$\gamma_i = \frac{1}{k} \sum_{k=1}^k (\xi_i(k))$$

式中, γ_i 为第 i 个基因型在所有性状指标的等权关联度。

(5) 根据参试品种与参考品种的关联度, 判断参试品种的抗旱性。关联度大的品种, 抗旱性强; 反之, 则抗旱性弱。

蔡斌等^[49]应用灰色关联度分析法, 对 6 个不同小麦品种的 7 个性状进行综合描述和量化评估, 筛选出综合抗旱性较好的品种有济麦 22、烟农 19 和鲁原 502。

4 总结与展望

小麦抗旱性为复杂的数量性状, 利用单项指标不能全面衡量小麦品种的抗旱性。因此, 当鉴定的小麦种质批量较小时, 应从小麦发芽相关指标、小麦根系形态指标、生理生化指标和产量相关指标等方面, 选取多个指标进行抗旱综合评价; 当鉴定的小麦种质批量较大时, 应将小麦的生育期与鉴定指标相结合, 如小麦萌发期可将发芽相关指标作为主要的鉴定指标, 小麦苗期可选取根系形态指标和生理生化指标作为小麦抗旱的主要鉴定指标, 小麦成熟期

可将产量相关指标作为重点。

一般来说,小麦抗旱直接评价法操作简单,可以快速地评价品种的抗旱性,但是不能综合反映一个品种的抗旱性。因此,为了全面、准确地评价小麦品种的抗旱性,多采用综合抗旱性评价方法。通过对多种综合抗旱评价方法的评价结果进行比较,发现采用聚类分析法、综合抗旱性评价 *D* 值法和灰色关联分析评价法,不仅结合了多个指标性状用于抗旱评价,而且消除了由于各个指标性状之间相关性造成的信息交叉和重叠,使得最终抗旱评价结果全面、准确、可靠。因此,在小麦抗旱评价中,建议采用聚类分析法、综合抗旱性评价 *D* 值法和灰色关联分析评价法。

为了不受环境条件干扰,快速、准确地筛选出抗旱性较强的小麦种质,除了应用形态指标和生理生化指标外,还应多结合分子育种技术,即分子标记辅助育种^[55-56]和遗传修饰育种技术^[57-58]。分子育种技术的成功依赖于表型性状和生理数据的质量,因此,未来需要通过高通量表型平台^[59]准确获取小麦生长阶段全面的表型性状和生理数据,从而提高小麦的抗旱育种效率。

参考文献

- [1] Asfere Y, Zenabu D, Kassahu E, Adam A, Kebede A, Gasha A, Dida A, Atlaw A, Tefera B, Wolore T. *In-vitro* screening of selected accessions of wheat (*Triticum Aestivum* L.) variety for drought tolerance in Ethiopia. *Journal of Plant Sciences*, 2020, 8 (5): 123-133
- [2] 李龙,毛新国,王景一,吕小平,柳玉平,景蕊莲. 小麦种质资源抗旱性鉴定评价. *作物学报*, 2018, 44 (7): 988-999
- [3] 王优信,延荣,蔺明月,符宇,孟畅,安浩军,李晓静,段会军,王睿辉. 冀中北小麦品种抗旱性筛选研究. *植物遗传资源学报*, 2021, 22 (1): 74-82
- [4] Feng X, Porporato A, Rodriguez-Iturbe I. Changes in rainfall seasonality in the tropics. *Nature Climate Change*, 2013, 3 (9): 811-815
- [5] 赵燕昊,曹跃芬,孙威怡,戎均康. 小麦抗旱研究进展. *植物生理学报*, 2016, 52 (12): 1795-1803
- [6] Piao S L, Ciais P, Huang Y, Shen Z H, Peng S S, Li J S, Zhou L P, Liu H Y, Ma Y C, Ding Y H, Friedlingstein P, Liu C Z, Tan K, Yu Y Q, Zhang T Y, Fang J Y. The impacts of climate change on water resources and agriculture in China. *Nature*, 2010, 467 (7311): 43-51
- [7] Curtis T, Halford N G. Food security : The challenge of increasing wheat yield and the importance of not compromising food safety. *The Annals of Applied Biology*, 2014, 164 (3): 354-372
- [8] 张正斌. 作物抗旱节水的生理遗传育种基础. 北京:北京科学出版社, 2003

- [9] 董维娜. 生态文明建设背景下水资源可持续发展研究——评《中国水资源与可持续发展》. *人民黄河*, 2019, 41 (11): 173
- [10] 李素,姜鸿明,宫德衬,孙妮娜,孙晓辉,李林志. 48 份冬小麦主要田间农艺性状的主成分分析及抗旱性综合评价. *山东农业科学*, 2014, 46 (7): 25-30
- [11] 张军,吴秀宁,王新军. 小麦抗旱节水生理和遗传育种研究进展. *商洛学院学报*, 2022, 36 (2): 7-13
- [12] Sharma A D, Kaur P. Drought-stress induced changes in the expression of acid phosphatases in drought tolerant and susceptible cultivars of wheat. *World Journal of Agricultural Sciences*, 2008 (4): 4
- [13] Ayalew H, Ma X, Yan G. Screening wheat (*Triticum* spp.) genotypes for root length under contrasting water regimes : Potential sources of variability for drought resistance breeding. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 2015, 201 (3): 189-194
- [14] Faisal S, Asma S M M, Mahboob W. Polyethylene Glycol mediated osmotic stress impacts on growth and biochemical aspects of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Crop Science and Biotechnology*, 2019, 22 (3): 213-223
- [15] Li H Y, Guo Q, Jing Y X, Liu Z, Zheng Z H, Sun Y F, Xue Q H, Lai H X. Application of *streptomyces pactum* Act12 enhances drought resistance in wheat. *Journal of Plant Growth Regulation*, 2020, 39 (1): 122-132
- [16] Butt A, Ahmed N, Muhammad M, Khaliq I, Lighfoot D A. Effect of PEG and mannitol induced water stress on regeneration in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*, 2015, 52 (4): 1025-1033
- [17] Seldimirova O A, Bezrukova M V, Galin I R, Lubyanova A R, Shakirova F M, Kruglova N N. 24-epibrassinolide effects on in vitro callus tissue formation, growth, and regeneration in wheat varieties with contrasting drought resistance. *Russian Journal of Plant Physiology*, 2017, 64 (6): 919-929
- [18] 张硕,黄豫谦,张飞雄. 蔗糖对小麦根生长和形态学的影响. *安徽农业科学*, 2012, 40 (35): 16987-16988
- [19] 李雪,田新会,杜文华. 小黑麦品系成株期抗旱性研究. *核农学报*, 2018, 32 (2): 377-388
- [20] Ali A, Zubair A, Talha J, Sadam H, Ali R, Rubab S, Freddy M, Tasbiha S, Faisal Z, Moaaz A M, Muhammad N, Muhammad R, Osman H S, Mohammed A, Ahmed Mohamed A A, Muhammad T. Screening of wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes for drought tolerance through agronomic and physiological response. *Agronomy*, 2022, 12 (2): 287
- [21] Huseynova I M, Rustamova S M, Suleymanov S Y, Aliyeva D R, Mammadov A C, Aliyev J A. Drought-induced changes in photosynthetic apparatus and antioxidant components of wheat (*Triticum durum* Desf.) varieties. *Photosynthesis Research*, 2016, 130 (1): 215-223
- [22] 陈卫国,张政,史雨刚,曹亚萍,王曙光,李宏,孙黛珍. 211 份小麦种质资源抗旱性的评价. *作物杂志*, 2020 (4): 53-63

- [23] Pavia I, Rocha L, Moutinho-Pereira J, Lima-Brito J, Correia C. Screening for drought resistance during germination of modern and old Iberian wheat cultivars. *Acta Botanica Croatica*, 2019, 78 (2): 169-174
- [24] 曹勇, 姬虎太, 裴雪霞, 郑军, 王敏, 马小飞, 李晓丽. PEG 模拟干旱胁迫下 6 份冬小麦种子抗旱性评价. *山西农业科学*, 2016, 44 (6): 723-725
- [25] Djanaguiraman M, Prasad P V V, Kumari J, Rengel Z. Root length and root lipid composition contribute to drought tolerance of winter and spring wheat. *Plant and Soil*, 2019, 439 (1-2): 57-73
- [26] 胡雯媚, 王思宇, 樊高琼, 刘运军, 郑文, 王强生, 马宏亮. 西南麦区小麦品种苗期抗旱性鉴定及其指标筛选. *麦类作物学报*, 2016, 36 (2): 182-189
- [27] 霍治军. 不同抗旱类型冬小麦根系特征及其与产量的关系研究. *江西农业学报*, 2015, 27 (7): 22-24
- [28] Liu C, Yang Z, Hu Y G. Drought resistance of wheat alien chromosome addition lines evaluated by membership function value based on multiple traits and drought resistance index of grain yield. *Field Crops Research*, 2015, 179: 103-112
- [29] 崔桂宾, 雷楠, 王勇锋, 李毛, 谢坤良, 孙凤丽, 张超, 刘曙东, 奚亚军. 黄淮流域部分小麦种质材料抗旱和品质特性的评价及筛选. *麦类作物学报*, 2017, 37 (11): 1409-1418
- [30] 赵岩, 马艳明, 蒋方山, 徐加利, 李斯深. 黄淮麦区小麦品种(系)成株期抗旱性综合评价. *分子植物育种*, 2021, 19 (12): 4100-4107
- [31] Thapa S, Reddy S K, Fuentealba M P, Xue Q, Rudd J C, Jessup K E, Devkota R N, Liu S. Physiological responses to water stress and yield of winter wheat cultivars differing in drought tolerance. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 2018, 204 (4): 347-358
- [32] 秦娜, 许为钢, 齐学礼, 赵明忠, 张磊. 干旱胁迫下郑麦 7698 的抗旱性能及光合特性分析. *河南农业科学*, 2018, 47 (2): 7-11
- [33] 时丽冉, 王梅菊, 付庆云, 郭凤英, 马长胜, 孟津, 赵凤梧, 孙利. 干旱胁迫对小麦新品种盈亿 165 生长及光合特性的影响. *农业科技通讯*, 2021 (12): 69-72
- [34] Song Q, Liu C, Bachir D G, Chen L, Hu Y G. Drought resistance of new synthetic hexaploid wheat accessions evaluated by multiple traits and antioxidant enzyme activity. *Field Crops Research*, 2017, 210: 91-103
- [35] Chen J. Effects of drought stress on activity of POD and CAT in wheat during generation period. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2013, 14 (11): 1529-1531
- [36] 王树彬, 郭香. 6 个抗旱小麦品种苗期抗旱生理特性分析. *甘肃农业科技*, 2016 (2): 49-53
- [37] Sheoran S, Thakur V, Narwal S, Turan R, Mamrutha H M, Singh V, Tiwari V, Sharma I. Differential activity and expression profile of antioxidant enzymes and physiological changes in wheat (*Triticum aestivum* L.) under drought. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 2015, 177 (6): 1282-1298
- [38] 谢燕, 张庆龙, 胡玲, 王法宏, 李豪圣, 孔令安. PEG 胁迫对不同小麦品种幼苗抗旱生理指标的影响. *麦类作物学报*, 2017, 37 (7): 947-954
- [39] 王川, 谢惠民, 王娜, 王宏礼. 小麦品种可溶性糖和保护性酶与抗旱性关系研究. *干旱地区农业研究*, 2011, 29 (5): 94-99
- [40] 姜淑欣, 刘党校, 庞红喜, 吕金印. PEG 胁迫及复水对不同抗旱性小麦幼苗脯氨酸代谢关键酶活性的影响. *西北植物学报*, 2014, 34 (8): 1581-1587
- [41] 彭晓邦, 秦绍龙. 干旱胁迫对小麦萌发及苗期生理活性的影响. *陕西农业科学*, 2020, 66 (9): 1-5
- [42] 杨贝贝, 赵丹丹, 任永哲, 辛泽毓, 王志强, 林同保. 不同小麦品种对干旱胁迫的形态生理响应及抗旱性分析. *河南农业大学学报*, 2017, 51 (2): 131-139
- [43] 张永杰, 徐文修, 任毅, 茹生古丽·牙生, 耿洪伟. 干旱胁迫对春小麦不同品种(系)苗期生理生化指标的影响. *中国农学通报*, 2018, 34 (12): 7-12
- [44] 高宝云, 张军. 9 个冬小麦品种对苗期干旱的生理响应及抗旱性评价. *山西农业科学*, 2017, 45 (3): 340-345, 442
- [45] 杨子光, 张灿军, 冀天会, 郭军伟, 孟雨梅, 张珂. 小麦抗旱性鉴定方法及评价指标研究 V 苗期抗旱指标的比较研究. *中国农学通报*, 2008 (1): 156-159
- [46] 张雪婷, 杨文雄, 王世红, 袁俊秀, 柳娜, 曹东. 甘肃省近年来育成冬小麦品种主要农艺性状的遗传多样性分析. *作物杂志*, 2015 (4): 27-32
- [47] 张芳, 颜安, 任毅, 杨卫君, 耿洪伟. 新疆冬小麦萌发期抗旱性综合评价. *植物遗传资源学报*, 2019, 20 (1): 100-112
- [48] 赵吉平, 周伟, 任杰成, 郭鹏燕, 许瑛. 50 份小麦新种质抗旱性综合评价. *山西农业科学*, 2019, 47 (11): 1895-1899
- [49] 蔡斌, 司纪升, 屈磊, 薛春之, 李升东, 王法宏, 李华伟. 不同小麦品种苗期抗旱性的灰色关联度分析及评价. *山东农业科学*, 2017, 49 (4): 10-14
- [50] Mu Q, Dong M Q, Xu J T, Cao Y X, Ding Y B, Sun S K, Cai H J. Photosynthesis of winter wheat effectively reflected multiple physiological responses under short-term drought—rewatering conditions. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2021, 102 (6): 2472-2483
- [51] Publishing S. SAS/STAT 9. 2 User's Guide : Survival Analysis. SAS Publishing, 2009
- [52] 张慧, 高英波, 张发军, 李宗新, 温立玉, 薛艳芳, 钱欣, 代红翠, 李源方, 刘开昌. 鲜食玉米品种筛选与综合评价. *山东农业科学*, 2019, 51 (6): 38-42
- [53] 王兰芬, 武晶, 景蕊莲, 程须珍, 王述民. 绿豆种质资源苗期抗旱性鉴定. *作物学报*, 2015, 41 (1): 145-153
- [54] 张海平, 张俊峰, 陈妍, 张海生, 闫凯, 穆志新. 大豆种质资源萌发期耐旱性评价. *植物遗传资源学报*, 2021, 22 (1): 130-138
- [55] 孙晓燕, 魏旭, 赵春芝, 杨燕. 春小麦育种材料抗旱性和穗发芽抗性分子标记鉴定. *麦类作物学报*, 2016, 36 (1): 36-43
- [56] 吴晓军, 胡喜贵, 陈向东, 姜小苓, 张雪宁, 王玉泉, 董娜, 胡铁柱, 李笑慧, 茹振钢. 基于小麦外引种质资源的抗旱性分子标记检测及实用性评价. *华北农学报*, 2021, 36 (3): 74-82
- [57] Yuri S, Manahil B, Sergiy L, Peter L. The *TaDREB3* transgene

实质性派生品种的概念澄清与制度设计

熊一霖¹ 黄金池²

(¹ 华东政法大学知识产权学院,上海 201620; ² 华东交通大学人文社会科学学院,南昌 330013)

摘要:新《种子法》引入了“实质性派生品种”这一概念,但法律条文对其内涵的表达仍需进一步澄清,加之植物新品种领域立法理论探索的不足,立法者并未对实质性派生品种制度做出具体的规则设计。纵览国际公约和英国、澳大利亚等国的立法,可在构成要件上澄清实质性派生品种的内涵。而就实质性派生品种制度的构建而言,在认定机制上,需明确原始品种、明显区别、基本特性等关键概念的内涵;在利益分享机制上,应给予上游育种者合理的经济补偿并以诚实信用原则为依据制约原始品种权人的滥诉;在纠纷解决机制上,要注重不同类型纠纷的分流处理并发挥基层组织的调解功能。

关键词:实质性派生品种制度;品种权;植物新品种;罗尔斯正义论

Clarification of the Concept and Institutional Design of Essentially Derived Variety

XIONG Yilin¹, HUANG Jinchi²

(¹ Intellectual Property School, East China University of Political Science and Law, Shanghai 201620 ;

² School of Humanities and Social Sciences, East China Jiaotong University, Nanchang 330013)

1978年《国际植物新品种保护公约》(UPOV公约1978年文本)第5(3)条明确了对植物新品种权的保护应当实施“育种者豁免制度”,并奉行不同于传统知识产权保护的“独立保护原则”^[1],即可以在未经育种者同意的情况下,利用品种作为变异来源而产生的其他品种,在以杂交选择为主要育种手段的当时,这一制度给予了育种者接触并不断改良优质品种的机会,促进了农业生产力水平不断提高,为社会发展提供了重要物质保障。而随着现代生物技术的发展,基因工程等技术被当下各国的育种者普遍采用,使得原本10~15年的育种周期缩短至半年左右^[2]。改良品种的快速涌现大幅缩短了初始品种在市场上的生命周期,而任何一个改良品种都可

能在下一次改良中成为被改良的初始品种,故此时的育种者豁免制度已然阻碍了种业创新,与其立法本意背道而驰。

面对这一问题,国际社会和我国分别在UPOV公约(1991年文本)和2021年新修订的《种子法》中通过构建实质性派生品种(EDV, Essentially derived variety)制度进行回应。在UPOV公约(1991年文本)及配套的国际法规范中,关于EDV的认定和纠纷解决等问题已有详尽的规定,且已被美国、澳大利亚等国家转化为国内法;目前我国只是在《种子法》中加入了对EDV的定义并确立了对EDV进行商业化的行为不适用育种者豁免制度的基本原则,同时通过行政法规规定EDV制度的具体实施方案与办法,除

transferred by conventional crossings to different genetic backgrounds of bread wheat improves drought tolerance. Plant Biotechnology Journal, 2016, 14 (1): 313-322

[58] Mega R, Abe F, Kim J S, Tsuboi Y, Tanaka K, Kobayashi H, Sakata Y, Hanada K, Tsujimoto H, Kikuchi J, Cutler S R, Okamoto M. Tuning water-use efficiency and drought tolerance in wheat using

abscisic acid receptors. Nature Plants, 2019, 5 (2): 153-159

[59] Khadka K, Earl H J, Raizada M N, Navabi A. A physio-morphological trait-based approach for breeding drought tolerant wheat. Frontiers in Plant Science, 2020, 11: 715

(收稿日期: 2023-11-14)