

普通小麦种子活力综合评价方法研究

朱玉磊¹, 吴雪静¹, 汪学涵¹, 赖晨骏¹, 杨雨晴¹, 卢茂昂¹, 李敏¹, 何贤芳²

(1. 安徽农业大学农学院, 合肥 230036; 2. 安徽省农业科学院作物研究所, 合肥 230001)

摘要: 分析不同小麦品种种子活力的相关指标, 建立可靠的小麦种子活力综合评价模型, 有助于选育高活力小麦品种。将 104 份小麦材料自然老化 6 个月, 进行标准发芽试验 8 d, 测定发芽势 (X_1)、发芽率 (X_2)、发芽指数 (X_3)、苗高 (X_4)、苗鲜重 (X_5)、根鲜重 (X_6)、根表面积 (X_7)、根平均直径 (X_8)、总根长 (X_9) 和根系总体积 (X_{10}); 采用多样性统计、相关性分析、聚类分析、主成分分析和隶属函数法对小麦种子活力进行综合评价。结果表明种子活力多数指标间呈显著相关性, 存在信息重叠。利用隶属函数法计算种子活力的综合评价值 (D 值), 将 104 份材料分为高活力、较高活力、中活力和低活力 4 个等级, 其中高活力材料 4 份。通过逐步回归方程建立了小麦种子活力综合评价方法的数学评价模型: $VP = -0.171 - 0.025 X_1 - 0.074 X_2 + 0.012 X_4 + 1.923 X_5 + 1.650 X_6 + 0.004 X_7 + 0.236 X_8 + 0.048 X_{10}$ ($R^2=0.999$)。利用建立的最优回归方程预测供试材料的活力, 预测值 (VP) 与 D 值达到 0.001 水平的极显著正相关。结果表明在筛选高活力品种时可以忽视发芽指数和总根长, 重视发芽势、发芽率、苗高、苗鲜重、根鲜重、根表面积、根平均直径和根系总体积, 并且这种综合评价方式更加精准有效。

关键词: 普通小麦; 种子活力; 主成分分析; 多元统计分析; 综合评价

中图分类号: S512.1

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X (2023)05-0751-07

Study on comprehensive evaluation method of seed vigor in common wheat

ZHU Yulei¹, WU Xuejing¹, WANG Xuehan¹, LAI Chenjun¹, YANG Yuqing¹, LU Maoang¹, LI Min¹, HE Xianfang²

(1. School of Agronomy, Anhui Agricultural University, Hefei 230036;

2. Crop Research Institute, Anhui Academy of Agricultural Sciences, Hefei 230001)

Abstract: It is helpful to establish a reliable comprehensive evaluation model of wheat seed vigor and to the breeding of wheat varieties with high vigor by analyzing the seed vigor related indexes of different wheat varieties. After natural aging for 6 months, 104 wheat materials were subjected to standard germination tests for 8 days. Germination potential (X_1), germination rate (X_2), germination index (X_3), seedling height (X_4), seedling fresh weight (X_5), root fresh weight (X_6), root surface area (X_7), root average diameter (X_8), total root length (X_9), and root total volume (X_{10}) were measured. Diverse statistical methods including diversity statistics, correlation analysis, cluster analysis, principal component analysis, and membership function method were employed for a comprehensive evaluation of wheat seed vigor. The results showed significant correlations among most indicators of seed vigor, indicating information overlap. Using the membership function value method to calculate the comprehensive evaluation value (D value) of seed vigor, the 104 wheat materials were classified into four levels: high vigor, relatively high vigor, medium vigor and low vigor, with 4 materials classified as high vigor. Through stepwise regression, a mathematical evaluation model for the comprehensive assessment of wheat seed vigor was established: $VP = -0.171 - 0.025X_1 - 0.074 X_2 + 0.012X_4 + 1.923X_5 + 1.650X_6 + 0.004X_7 + 0.236X_8 + 0.048X_{10}$ ($R^2 = 0.999$). Using the established optimal regression equation to predict the vigor of the tested materials, the predicted value (VP) showed a highly significant positive correlation with the D value at the 0.001 level. The results indicated that when selecting high-vigor varieties, germination index and total root length can be overlooked, while emphasis should be placed on germination potential, germination rate, seedling height, seedling fresh weight, root fresh weight, root surface area, root average diameter, and root system total volume. This comprehensive evaluation method is more precise and effective.

收稿日期: 2022-10-03

基金项目: 国家自然科学基金青年基金项目 (31901540) 和安徽省大学生创新训练项目 (S202110364213) 资助。

作者简介: 朱玉磊, 讲师。E-mail: zhuyulei2011@126.com

通信作者: 朱玉磊, 讲师。E-mail: zhuyulei2011@126.com

Key words: *Triticum aestivum* L.; seed vigor; principal component analysis; multivariate statistical analysis; comprehensive evaluation

小麦(*Triticum aestivum* L.)作为我国主粮作物,在粮食储备上占据重要地位^[1]。种子活力高低直接影响幼苗出苗质量,比如影响幼苗根长、发芽率^[2]、苗高以及抗逆性^[3]。低活力的种子在田间的抗病性差、成苗率低,最终导致产量低^[4-7]。为了减少田间试验风险,确保作物田间质量和产量,研究种子活力及其指标,并对种子活力指标进行综合评价,筛选出与种子活力相关性最大的指标,通过相关指标快速并精确预测种子活力,这对于小麦生产有着重要意义。

种子活力是受基因和环境共同协调的数量性状。水稻中多个与种子活力有关的基因及其功能已见报道,如 *miR164c* 的表达水平与水稻种子活力呈负相关,它可以调节种子的抗衰老功能^[8],*OsSAUR33* 的破坏会通过影响糖途导致种子活力降低,从而使水稻种子早期发芽率降低^[9],*OsHIPL1* 与水通道蛋白相互作用,然后影响水分吸收以促进水稻种子发芽^[10],以此来增强种子活力。种子活力会随着老化进程逐渐丧失,在不利的条件下,如高含水率和高温,种子在储存过程中活力丧失更快^[11]。低温无氧的储存环境会降低种子活力,从而会显著降低种子出苗率、出苗速度指数和幼苗干重^[12]。

近年来,针对不同作物种子活力的综合分析和指标筛选已有不少研究。目前作物上种子活力评价方法主要是发芽指数法和活力指数法^[13]。活力指数法常被用于小麦种子活力评价,是通过单个指标或几个指标结合的方式来评价参试材料种子活力,分析基础主要是发芽指数和苗鲜重或苗干重^[14]。鉴于小麦种子活力影响因素多,直接利用各单项指标难以准确、直观地评价小麦种子活力。多元统计分析是一种在多个对象和多个指标互相关联的情况下统计其规律的综合分析方法,适应于复杂性状的研究,有利于复杂农艺性状的多个指标综合评价方法的建立,进行综合考察。李敏等^[15]以小麦穗部冠层温度、旗叶叶绿素相对含量(SPAD)、丙二醛(MDA)含量以及超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)和过氧化氢酶(CAT)活性、单穗粒重、千粒重和产量为耐热指标,并采用主成分分析、隶属函数法、聚类分析和逐步回归分析方法对小麦耐热性进行综合评价,筛选出了耐热型小麦品种;胡标林等^[16]采用主成分分析法和逐步回归分析法综合评判了淀粉含量、抽穗期、株高、倒伏性、糙米色和颖壳色 6

个性状可作为种质资源综合评价指标。

因此,本研究以 104 份小麦种质资源为材料,测定其主要的种子活力相关指标,对其进行聚类分析,计算遗传多样性指数和隶属函数值,了解小麦遗传多样性,建立小麦种子活力综合评价方法,确定可用于小麦种子活力评价的具体指标及综合评价指标,筛选出高活力小麦材料,以期为科研工作者和小麦育种家提供小麦种子活力评价方法和亲本材料。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试材料共 104 份,包括育成品种 72 份,高代品系 32 份,均为安徽省农业科学院作物研究所提供。供试材料主要来自于安徽及江苏,分别为 44 份和 31 份,其余材料来自四川 8 份、山东 10 份、河南 6 份、北京、福建、陕西、浙江及以色列均为 1 份。随机区组设计,3 次重复,每份材料种植 5 行,行长 2 m,行距 20 cm。常规田间管理。

1.2 指标测定

2021 年 5 月 30 日收获小麦材料,每份材料各收获 20 穗,手工脱粒。每个品种随机选取 80 粒种子,放入提前杀菌消毒的铺有发芽纸的培养皿中(Φ 90 mm),底部放入 2 张发芽纸,置于光照 10 h/25 °C,黑暗 14 h/20 °C 恒温培养箱里培养,每个品种重复 3 次。每次喷洒足够多的水,以保证发芽纸处于完全湿润状态,并于培养后 3~8 d,每天记录正常发芽种子数。取第 4 天发芽种子总数计算出发芽势(germination potential, GP),取第 8 天发芽种子总数计算发芽率(germination rate, GR),根据公式计算出发芽指数(germination index, GI)^[17]。在第 8 天时,每个重复随机选取 3 株正常小麦幼苗测量其苗鲜重(seedling fresh weight, SFW)、苗高(seedling height, SH)、根鲜重(root fresh weight, RFW),并且每个重复随机选取 20 株小麦幼苗的根,利用根系扫描仪获取图片,通过根系 RHIZO 2016 系统获取根系的根表面积(surface area, SA)、平均直径(average diam, AD)、总根长(total root length, TRL)和根系总体积(root volume, RV)。

指标测定:发芽势=发芽试验初期规定天数内发芽高峰期发芽种子粒数/供试种子粒数

发芽率=(总发芽数/参与发芽的种子总数)×100

发芽指数 = $\sum Gt/Dt$

Gt 为发芽试验 8 d 内每日发芽数, Dt 为发芽时间 (d)。

1.3 数据处理

采用 Excel 2020 (<https://www.microsoft.com>) 对原始数据进行整理和分析, 计算各个指标最大值、最小值、平均值、标准差、变异系数和遗传多样性指数。参照龙芳等^[18]的方法进行多样性指数 (H') 评价; 参照胡标林等^[16]的方法计算各小麦材料的综合得分, 运用 SPSS 24.0 (<https://www.ibm.com/cn-zh/analytics>) 软件进行相关性分析、主成分分析、聚类分析和隶属函数分析, 使用 Origin 2021 (<https://www.originlab.com>) 作图, 相关指标计算如下。

(1) 主成分分析: 根据特征值大于 1 的准则提取主成分;

(2) 聚类分析: 采用组间连接法, 以欧氏距离为遗传距离对材料进行聚类分析;

(3) 隶属函数分析: 隶属函数值 $u(X_j) = (X_j - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min})$, ($j = 1, 2, \dots, n$); 其中 X_j 表示第 j 个综合指标, X_{\min} 和 X_{\max} 分别表示每个主成分上各性状指标得分值的最小值和最大值;

(4) 权重: $W_j = P_j / \sum_{j=1}^n P_j$, ($j = 1, 2, \dots, n$), ($j = 1, 2, \dots, n$);

(5) 综合评价: $D = \sum_{j=1}^n u(X_j) \times W_j$, ($j = 1, 2, \dots, n$)。

式中, X_j 表示第 j 个指标, X_{\min} 、 X_{\max} 分别表示每个主成分上各个指标的最小、最大的分值; W_j 表示第 j 个主成分的权重; P_j 表示经主成分分析所得到的特征值。 D 值越大, 表明材料 10 个数量指标评价的综合得分越高, 种子活力越高。

2 结果与分析

2.1 种子活力相关指标表型统计和相关性分析

104 份小麦材料的发芽势、发芽率、发芽指数、苗高、苗鲜重、根鲜重、根表面积、平均直径、总根长和根系总体积 10 个指标均存在丰富变异(表 1), 变异系数范围是 8.39%~25.81%, 且变异系数大小呈现出 $RFW > TRL > RV > SA > GI > SFW > GP > SH > GR > AD$ 的趋势。根鲜重 (RFW) 的变异系数最大, 变化范围在 0.02~0.11 g, 平均直径 (AD) 的变化范围为 0.41~0.66 mm, 其变异系数最小。各项指标中, 发芽势和发芽率的遗传多样性指数 (H') 较低, 分别为 1.88 和 1.59, 其他各项指标的遗传多样性指数均较高, 其中最高的是苗高, 为 2.08。遗传多样性指数由高到低顺序依次为 $SH > SFW > TRL > SA = AD = GI > RV > RFW > GP > GR$ 。

表 1 104 份小麦材料种子活力相关指标描述性统计

Table 1 Statistical description of seed vigor-related indicators of 104 wheat materials

指标	最大值	最小值	平均值	标准差	变异系数/%	遗传多样性指数 H'
发芽势 GP/%	99.58	44.58	87.74	10	11.36	1.88
发芽率 GR/%	100.00	53.75	92.08	8	8.91	1.59
发芽指数 GI/%	38.00	14.60	28.90	4.43	15.35	2.05
苗高 SH/cm	14.13	7.32	10.48	1.17	11.14	2.08
苗鲜重 SFW/g	0.1	0.05	0.08	0.01	14.83	2.07
根鲜重 RFW/g	0.11	0.02	0.06	0.02	25.81	2.03
根表面积 SA/cm ²	111.22	30.58	77.95	17.38	22.30	2.05
根平均直径 AD/mm	0.66	0.41	0.53	0.04	8.39	2.05
总根长 TRL/cm	686.92	178.78	474.26	116.69	24.61	2.06
根系总体积 RV/cm ³	1.49	0.41	1.03	0.23	22.52	2.04

发芽势、发芽率、发芽指数、苗高、苗鲜重、根鲜重、根表面积、根平均直径、总根长和根系总体积这 10 个活力相关指标间除发芽率与根平均直径无相关性外, 其余指标之间均存在相关性 ($P < 0.01$) (图 1)。在前 6 个指标中除苗高与发芽率无极显著相关外, 其余指标均呈现极显著正相关, 发芽势与其他指标相关性系数范围为 0.289~0.937, 发芽率与其他指标的相关性系数范围为 0.236~0.937, 发芽指数与其他指标相关性系数范围为

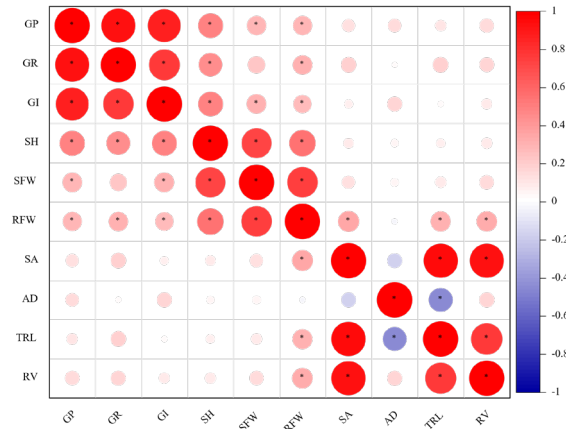
0.265~0.862。由此类推, 苗鲜重、苗高和根鲜重与其他指标相关性系数范围依次为 0.236~0.743、0.441~0.729 和 0.265~0.743, 其中发芽势和发芽率相关性系数最大, 为 0.937, 发芽率和苗鲜重相关性系数最小, 为 0.236; 苗高与苗鲜重呈极显著正相关, 且相关性系数最大, 为 0.729; 根鲜重除与根平均直径呈负相关外, 与其他指标均呈现极显著正相关, 其中与苗鲜重相关性系数最大, 为 0.743; 根表面积只与根鲜重、总根长和根系总体积呈极显著正

相关, 相关性系数分别为 0.345、0.948 和 0.936; 总根长和根系总体积均与根表面积相关系数最大, 为 0.948 和 0.936。

2.2 种子活力指标的主成分分析

对 104 份小麦材料种子活力相关性状的 10 个指标进行主成分分析, 取累计贡献率达到 80% 的前 4 个主成分, 其累积贡献率达到了 91.77% (表 2), 可以反映 104 份小麦材料 10 个种子活力相关指标的大部分遗传信息。第 1 主成分特征值是 3.949, 贡献率是 39.488%, 这一主成分中发芽势、发芽率和发芽指数最大, 说明这一主成分反映的是种子萌发力; 第 2 主成分特征值是 2.604, 贡献率是 26.040%, 这一主成分中根表面积和根系总体积最大, 说明这一主成分反映的是根的大小; 第 3 主成分特征值是 1.482, 贡献率是 14.824%, 这一主成分中苗鲜重最大, 说明这一主成分反映的是苗的重量; 第 4 主成分特征值是 1.142, 贡献率是 11.419%, 这一主成分中根平均直径最大, 说明这一主成分反映的是根的

形态。前 4 个主成分累积贡献率为 91.771%, 基本包含了小麦种子活力相关指标的全部信息。



不同颜色表示相关性的强度, 越接近红色 (正) 或蓝色 (负) 说明相关性越高, 圆形直径越大说明相关系数越大。

图 1 104 份小麦材料种子活力指标相关性分析
Figure 1 Correlation analysis of grain seed vigor of 104 wheat materials

表 2 104 份小麦材料 10 个种子活力指标主成分的特征向量及贡献率

Table 2 Characteristic vectors and contribution rates of principal components of ten seed vigor indexes of 104 wheat materials

主成分	1	2	3	4	
特征值	3.949	2.604	1.482	1.142	
贡献率/%	39.488	26.040	14.824	11.419	
累计贡献率/%	39.488	65.528	80.352	91.771	
特征向量	GP	0.390	-0.270	-0.340	-0.060
	GR	0.380	-0.210	-0.360	-0.160
	GI	0.350	-0.300	-0.280	-0.030
	SFW	0.320	-0.120	0.560	0.030
	SH	0.350	-0.210	0.340	-0.060
	RFW	0.350	0.030	0.460	0.002
	SA	0.290	0.500	-0.100	0.100
	AD	0.010	-0.220	-0.060	0.870
	TRL	0.260	0.500	-0.100	-0.190
	RV	0.280	0.420	-0.110	0.410

2.3 种子活力的聚类分析

根据各综合指标在不同的材料中隶属函数值和指标权重计算出 104 份小麦材料种子活力的综合指标 D 值, D 值越大说明种子活力越高。以 D 值对 104 份小麦材料进行聚类分析, 可将 104 份小麦材料聚类为 4 个类群 (图 2)。类群 I 仅包括编号 25 和 38 这 2 份材料; 类群 II 包括 17、31、90 和 93 的 4 份材料; 类群 III 包括 1、7、9 等 46 份材料; 类群 IV 包括 2、3、4 等 52 份材料。

各指标在 4 个类群间均值存在差异 (表 3)。发芽指数在 4 个类群之间无显著相关性, 4 个类群除发芽指数外其余各指标均值的最大值与最小值均出现在类群 II, 其发芽势和发芽率为 4 个类群中最小,

分别是 0.82 和 0.88。其他 7 个指标均为最大, 分别为 11.92 cm、0.099 g、0.086 g、102.15 cm²、0.55 mm、593.15 cm 和 1.40 cm³; 类群 III 中发芽势和发芽率的均值最大, 分别为 0.91 和 0.95, 其发芽势、发芽率与其他类群均呈现显著差异; 苗高表现出类群 II 与类群 III 无显著差异而均与类群 I 和类群 IV 呈显著差异; 苗鲜重在 10 个指标中均值波动最小, 范围为 0.065 ~ 0.099 g; 4 个类群在根鲜重和根系总体积上均表现出显著差异, 均值范围分别为 0.037 ~ 0.086 g 和 0.45 ~ 1.40 cm³; 根表面积、根平均直径和总根长均表现出类群 II 和类群 III 无显著差异, 其他类群彼此之间均呈现显著差异。

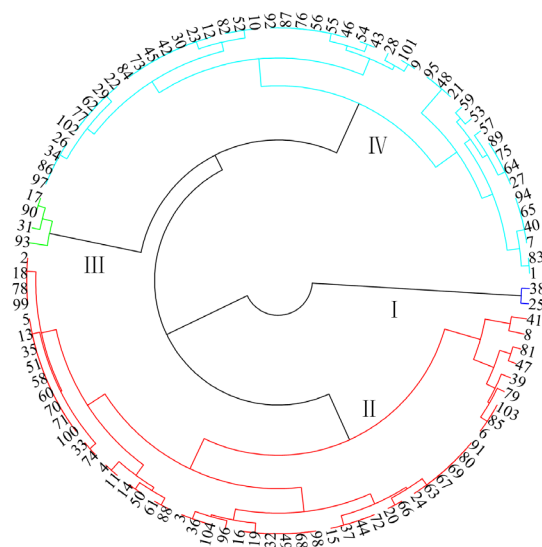


图 2 104 份小麦材料的种子活力聚类分析图

Figure 2 Cluster analysis of gain seed vigor of 104 wheat materials

表 3 104 份小麦材料 4 个类群小麦材料种子活力指标表现特征

Table 3 Performance characteristics of grain seed vigor of four groups of 104 wheat materials

组别	GP	GR	GI	SH	SFW	RFW	SA	AD	TRL	RV
Group I	0.83 ^b	0.90 ^b	29.81 ^a	9.53 ^c	0.065 ^c	0.037 ^d	35.77 ^c	0.50 ^c	229.37 ^c	0.45 ^d
Group II	0.82 ^b	0.88 ^b	28.91 ^a	11.92 ^a	0.099 ^a	0.086 ^a	102.15 ^a	0.55 ^a	593.15 ^a	1.40 ^a
Group III	0.91 ^a	0.95 ^a	27.67 ^a	10.91 ^{ab}	0.083 ^b	0.069 ^b	89.31 ^a	0.53 ^b	544.27 ^a	1.18 ^b
Group IV	0.86 ^b	0.90 ^b	30.14 ^a	10.02 ^{bc}	0.074 ^{bc}	0.053 ^c	67.74 ^b	0.53 ^b	411.65 ^b	0.90 ^c

注: 不同小写字母表示处理间差异达 0.05 显著水平。下同。

表 4 104 份小麦材料种子活力分组及占比

Table 4 Grouping and proportion of grain seed vigor of 104 wheat materials

等级	D 值区间	材料数量	Group I	Group II	Group III	Group IV
低活力 LSV	[0.00 ~ 0.25)	2	2(100%)			
中活力 MSV	[0.25 ~ 0.50)	27				27(51.92%)
较高活力 HSV	[0.50 ~ 0.75)	71			46(100%)	25(48.18%)
高活力 UHSV	[0.75 ~ 1.00]	4		4(100%)		

表 5 不同水平种子活力小麦材料各指标表现特征

Table 5 Performance characteristics of various indexes of wheat materials with different levels of grain seed vigor

等级	GP	GR	GI	SH	SFW	RFW	SA	AD	TRL	RV
低活力 LSV	0.83 ^b	0.90 ^{ab}	27.25 ^b	9.53 ^b	0.065 ^c	0.037 ^c	35.77 ^d	0.50 ^c	229.37 ^c	0.45 ^d
中活力 MSV	0.86 ^{ab}	0.89 ^b	30.46 ^a	9.84 ^b	0.071 ^{bc}	0.046 ^c	63.48 ^c	0.54 ^a	379.35 ^b	0.86 ^c
较高活力 HSV	0.89 ^a	0.93 ^a	28.42 ^b	10.67 ^b	0.081 ^b	0.066 ^b	83.33 ^b	0.52 ^b	509.85 ^a	1.09 ^b
高活力 UHSV	0.82 ^b	0.88 ^b	26.78 ^b	11.92 ^a	0.099 ^a	0.086 ^a	102.15 ^a	0.55 ^a	593.15 ^a	1.40 ^a

2.4 种子活力的综合评价方法建立

以 D 值进行区间划分^[23], 可将 104 份材料分为低活力 (low seed vigor, LSV)、中活力 (medium seed vigor, MSV)、较高活力 (higher seed vigor, HSV) 和超高活力 (ultra high seed vigor, UHSV) 4 类, 对应 D 值区间分别为 [0.00 ~ 0.25)、[0.25 ~ 0.50)、[0.50 ~ 0.75) 和 [0.75 ~ 1.00] (表 4)。其中高活力材料和低活力小麦材料最少, 分别为 4 份和 2 份, 中活力

材料较多为 27 份, 其余 71 份均为较高活力材料。类群 I、II 和 III 均表现出单一的种子活力, 分别为低活力、较高活力和超高活力; 类群 IV 含有中活力和较高活力小麦材料, 占比类似, 分别为 51.92% 和 48.18%。

通过分析种子活力不同等级间表型值差异 (表 5), 发现高活力等级材料其发芽势、发芽率和发芽指数均为 4 个活力等级中最小值, 分别为 0.82、0.88

和 26.78, 其余 7 个指标均为最大值, 分别是 11.92 cm、0.099 g、0.086 g、102.15 cm²、0.55 mm、593.15 cm 和 1.40 cm³; 较高活力材料的发芽势和发芽率为 4 个活力等级中最大值, 与高活力呈相反状态, 分别为 0.89 和 0.93; 低活力种子除发芽势、发芽率和发芽指数外, 其余 7 个指标均在 4 个类群中均呈现最小值, 分别为 9.53 cm、0.065 g、0.037 g、35.77 cm²、0.50 mm、229.37 cm 和 0.45 cm³。

2.5 种子活力综合评价模型构建

为明确各指标与小麦材料种子活力之间的关系, 筛选出可靠的小麦种子活力鉴定指标, 建立可用于小麦的种子活力评价模型, 本研究把综合评价值 (D) 值作为因变量, 将各小麦材料发芽势 (X_1)、发芽率 (X_2)、发芽指数 (X_3)、苗高 (X_4)、苗鲜重 (X_5)、根鲜重 (X_6)、根表面积 (X_7)、根平均直径 (X_8)、总根长 (X_9) 和根系总体积 (X_{10}) 作为自变量, 采用逐步回归的方法建立了最优方程: $VP = -0.171 - 0.025 X_1 - 0.074 X_2 + 0.012 X_4 + 1.923 X_5 + 1.65 X_6 + 0.004 X_7 + 0.236 X_8 + 0.048 X_{10}$ ($R^2=0.999$), 除总根长和发芽指数外, 其他 8 个指标对种子活力均有显著影响。用该回归方程对小麦种子活力进行预测, 其预测值 VP 与综合评价值 D 两者高度相关, 达到极显著水平 ($r=0.999$)。说明用该回归方程可以对小麦种子活力进行评估, 预期效果好, 准确度高。

3 讨论与结论

高活力种子完全成熟后会呈现出颗粒饱满以及耐储存性好等优点^[19]。多个指标多种方法进行种子活力评价及高活力种子的材料筛选已在棉花^[20]、玉米^[21]、三色堇^[22]等植物上有相关报道。但常用方法为活力指数法^[23-24], 该方法中活力指数由发芽指数和苗鲜重共同决定, 虽然该方法简便易行, 但是只用单一指标判断参试材料的种子活力, 忽略影响种子活力的其他因素。后来邓杰等^[25]同时以发芽势、发芽率、发芽指数和活力指数对玉米种子活力进行判断, 该方法弥补了前一种方法的不足, 但这个方法只是用单一的分析方式来判断不同材料的种子活力, 缺乏多元统计分析思想, 能否真正全面衡量出种子活力, 还有待商榷。

在实践过程中发现, 实验室的发芽率和田间出苗率有所差距, 这主要是种子活力的影响, 并且种子活力具有很强的遗传性和亲本效应, 亲本的高活力特性可以遗传给子代^[20], 因此, 应用快速且精准的活力指标去筛选高活力材料, 对于培育高活力种

子具有重要意义。种子活力既受遗传因素影响, 也与环境因素有关^[26], 应用单个指标或者几个指标的单一方法筛选高活力种子具有局限性, 多元统计方法将多个指标转换成几个综合指标、高维问题转化为简单问题加以处理, 使得鉴别试验材料变得简单、方便, 并通过聚类分析将不同品种定性划分为不同类别, 可快速鉴别高活力种子^[27]。本研究对 104 份小麦材料进行种子活力相关指标测定, 发现各指标间存在显著或极显著相关性, 各指标之间存在信息重叠, 说明仅靠单一指标或几个指标不能完全反映出不同材料种子活力的高低。利用主成分分析将 10 个单一指标进行分析, 然后转化成 4 个综合指标, 确定综合指标的权重, 从而简化步骤, 优化结果; 利用隶属函数分析法求出各综合指标评价值 (D), 对 D 值进行聚类分析, 把 104 份小麦品种的种子活力划分为低活力、中活力、较高活力和高活力, 更有说服力。通过 D 值和种子活力指标之间的关系建立最优回归方程, 验证方程预算值与实际计算值 (D) 的高度一致性, 为高活力品种筛选提供了综合评价方法和理论依据。基于此综合评价方法筛选出了高活力材料 4 份, 分别为淮麦 35、瑞华麦 618、18B375 和百农 64。通过分析高活力材料和其他等级材料间差异, 发现高活力材料具有苗高、苗鲜重、根鲜重、根表面积、根平均直径、总根长和根系总体积都大于其他 3 个活力等级的特性。

将 104 份小麦材料划分为低活力、中活力、较高活力和超高活力 4 个等级。发芽势、发芽率、苗高、苗鲜重、根鲜重、根表面积、根平均直径和根系总体积可作为判断小麦种子是否具有高活力的重要指标, 筛选出高活力小麦材料 4 份, 为育种家培育高活力小麦品种提供了亲本材料和理论支撑。

参考文献:

- [1] 薛志伟, 贡超, 杨春玲. 华北地区减量施氮和秸秆还田对小麦生长的影响[J]. 河北农业科学, 2021, 25(5): 64-67, 76.
- [2] DE OLIVEIRA I C, REGO C H Q, CARDOSO F B, et al. Root protrusion in quality evaluation of chia seeds[J]. Rev Caatinga, 2019, 32(1): 282-287.
- [3] TAVARES L C, RUFINO C A, TUNES L M, et al. Initial growth of soybean plants from seeds of high and low vigor subjected to water stress[J]. J Agric Sci, 2012, 4(6): 73-80.
- [4] 刘文童, 赵永锋, 郭晋杰, 等. 玉米种子活力相关性状的全基因组关联分析[J]. 河北农业大学学报, 2020, 43(6): 6-14.
- [5] HE X T, FENG X P, SUN D W, et al. Rapid and nonde-

- structive measurement of rice seed vitality of different years using near-infrared hyperspectral imaging[J]. *Molecules*, 2019, 24(12): 2227.
- [6] 张皖秋. 杂交玉米种子活力及其测定方法的研究[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2016.
- [7] 曹栋栋, 阮晓丽, 詹艳, 等. 杂交水稻种子不同活力测定方法与其田间成苗率的相关性[J]. *浙江农业学报*, 2014, 26(5): 1145-1150.
- [8] HUANG K R, ZHOU S Q, SHEN K M, et al. Elucidation of the miR164c-guided gene/protein interaction network controlling seed vigor in rice[J]. *Front Plant Sci*, 2020, 11: 589005.
- [9] ZHAO J, LI W J, SUN S, et al. The rice small auxin-up RNA gene *OsSAUR33* regulates seed vigor via sugar pathway during early seed germination[J]. *Int J Mol Sci*, 2021, 22(4): 1562.
- [10] HE Y, CHEN S S, LIU K X, et al. OsHIPL1, a hedgehog-interacting protein-like 1 protein, increases seed vigour in rice[J]. *Plant Biotechnol J*, 2022, 20(7): 1346-1362.
- [11] 王婷, 秦文韬, 吕鹏辉, 等. 人工加速老化法评价 30 份黄瓜种子的活力[J]. *北京农学院学报*, 2022, 37(2): 13-18.
- [12] MORAIS O M, DE OLIVEIRA R H, DE OLIVEIRA S L, et al. Conservação do vigor de sementes de pinha *Annona squamosa* L.[J]. *Rev Árvore*, 2014, 38(1): 125-132.
- [13] 许海涛, 王文文, 王友华, 等. 玉米种子活力及幼苗生长特性对其成熟度的响应[J]. *江苏农业科学*, 2021, 49(19): 113-117.
- [14] 付丽娜. 小麦发芽期种子内源激素变化与种子活力的关系研究[D]. 新乡: 河南科技学院, 2020.
- [15] 李敏, 苏慧, 李阳阳, 等. 黄淮海麦区小麦耐热性分析及其鉴定指标的筛选[J]. *中国农业科学*, 2021, 54(16): 3381-3393.
- [16] 胡标林, 万勇, 李霞, 等. 水稻核心种质表型性状遗传多样性分析及综合评价[J]. *作物学报*, 2012, 38(5): 829-839.
- [17] 郭宇琦, 王财金, 王洋. 北方春大豆地方品种种子活力相关性状多样性分析[J]. *作物杂志*, 2021(5): 211-218.
- [18] 龙芳, 林茜, 邹瑜, 等. 广西粉蕉种果实品质性状的遗传多样性及相关性分析[J]. *基因组学与应用生物学*, 2017, 36(3): 1066-1071.
- [19] 韩玉竹, 伍莲, 曾兵, 等. 贮藏温度和种子含水量对高羊茅种子活力的影响[J]. *种子*, 2011, 30(6): 41-44.
- [20] 闫强, 曾雅青, 王乐然, 等. 不同棉花品种种子活力对低温和人工老化胁迫的反应差异[J]. *棉花学报*, 2016, 28(2): 144-151.
- [21] 姜艳丽, 黄国峰, 黄修梅, 等. 种子活力测定在玉米育种中的应用[J]. *种子*, 2016, 35(3): 53-54.
- [22] 赵正楠, 王涛, 蔺艳, 等. 三色堇种子活力测定方法研究[J]. *上海农业学报*, 2018, 34(6): 50-54.
- [23] CHENG H Y, ZHENG G H, WANG X F, et al. Possible involvement of K^+/Na^+ in assessing the seed vigor index[J]. *J Integr Plant Biol*, 2005, 47(8): 935-941.
- [24] LI Z, WANG X, LIAO T Q, et al. A self-developed system for visual detection of vegetable seed vigor index[J]. *Int J Agric Biol*, 2015, 18(1): 86-91.
- [25] 邓杰, 孔祥飞, 吴姗姗, 等. 老化处理对不同活力玉米种子萌发期及幼苗期生长的影响[J]. *种子*, 2021, 40(5): 39-44.
- [26] 薛小雁, 郑雅璐, 仇永康, 等. 小麦种子活力性状的配合力分析[J]. *麦类作物学报*, 2016, 36(9): 1167-1173.
- [27] 靳路真, 王洋, 张伟, 等. 大豆品种(系)耐热性鉴定及分级评鉴[J]. *中国油料作物学报*, 2016, 38(1): 77-87.