

刘宝海,高世伟,聂守军,等. 2009—2018年黑龙江省审定的常规粳稻品种综合评价[J].华中农业大学学报,2021,40(2):112-122.

DOI:10.13300/j.cnki.hnlkxb.2021.02.012

2009—2018年黑龙江省审定的常规粳稻品种综合评价

刘宝海¹,高世伟¹,聂守军¹,吕艳东²,
刘晴¹,刘宇强¹,张佳柠²,聂鑫³,薛英会¹,白瑞¹

1.黑龙江省农业科学院绥化分院,绥化 152052; 2.黑龙江省八一农垦大学农学院,大庆 1633193;
3.华中农业大学生命科学技术学院,武汉 430070

摘要 以黑龙江省2009—2018年审定的187份常规粳稻品种为供试材料,利用SPSS和MATLAB软件,对不同积温带不同年度品种以及生育期、活动积温、糙米率、整精米率、胶稠度、直链淀粉、千粒重、产量、日产量、积温产量、穗颈瘟、空壳率等12个主要农艺性状表型值进行统计分析、熵权-功效评价和聚类分析,结果表明:黑龙江省水稻品种具有明显积温带生态环境归属特性,品种选育应该以适应积温带生态环境要求为前提,在重点提高抗穗颈瘟和结实率基础上,稳步开展品质、产量等主要农艺性状选择。利用综合指数值能够对各积温带水稻品种进行评价排序和优良种质资源筛选发掘,并按其值可划分5个类群,但遗传距离存在差异,其类群差异离散程度大小依次为:第3积温带>第1积温带>第2积温带>第4积温带;筛选和发掘出综合性状前10位的优良种质资源,第1积温带品种有龙稻18、龙稻23、龙稻16、龙稻19、东富102、龙香稻2号、龙洋1号、东农430、松梗香1号和龙稻24,第2积温带品种有绥梗14、东农428、金禾2号、北稻4号、牡响1号、绥稻2号、绥梗18、绥稻3号、金禾1号和绥稻1号,第3积温带品种有龙梗25号、龙梗26号、龙洋11、龙梗27号、龙梗53、龙梗32号、龙盾107、龙梗28号、龙花04-050和稼禾1号,第4积温带品种有富合3号、绥梗12、莲惠1号、龙梗65、莲育625、龙梗66、垦稻19号、龙梗48、绥梗25和龙庆稻22号,这些优良种质可作为杂交亲本使用。

关键词 粳稻; 品种; 综合评价; 寒地稻作区; 粮良安全; 遗传多样性; 种质资源

中图分类号 S 511.2⁺2 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2021)02-0112-11

黑龙江省是中国最北部的寒地稻作区(北纬43°以北),也是优质粳米生态区,具有明显的生态特殊性,新品种的选育和应用为黑龙江省水稻单产提高、总产持续增加、综合生产能力稳定提升做出了突出贡献^[1],是粮食安全生产的战略保障^[2],也是关系国计民生的重大战略性课题^[3]。寒地稻作区是适于光温钝感性早熟品种生育的特殊生态区,属于大陆性季风气候区,年平均气温由北向南在-5~4℃,全省≥10℃积温多介于2 000~2 800℃,全省平均无霜冻期介于100~150 d。寒地稻作区水稻种植南北跨越7个纬度、5个积温带^[4],水稻生产主要分布在第1至第4积温带,即≥10℃积温为2 100~2 800℃^[5],在1 900~2 100℃的第5积温带也有小面积水稻种植。水稻品种农艺性状表现是基因型与环境互作的结果,因水稻生长环境不同,各性状表型

值有着明显差异^[6-7],黑龙江省独特的热量资源变化造成了寒地水稻品种的遗传多样性^[8-9],表现出不同生态区、不同年代水稻品种农艺性状存在一定差异和变化^[10-11]。针对品种间的差异,对水稻品种多性状综合评价是现代育种的一个重要环节^[12]。国内外综合评价方法大致可分为定性评价、定量评价和组合评价三大类,各种评价方法组合使用能够取长补短,增强评价结果的稳健性^[13-14]。目前应用最广泛的综合评价方法有隶属函数法、主成分分析法和聚类分析法;此外,模糊综合评价法、DTOPSIS和灰色关联分析等方法在作物品种选育中也有所应用。总体来看,现有的研究仍存在一定不足,仍局限于对作物品种单属性评价(如抗旱性、耐盐性评价),从产量、品质、抗性等多维度、全面性的评价较少^[12]。目前,利用综合权重-功效方法对黑龙江省

收稿日期:2020-06-30

基金项目:黑龙江省“百千万”工程生物育种重大科技专项“优质抗逆水稻新品种选育”(2020ZX16B01);黑龙江省应用技术与开发计划重大项目(GA18B01);黑龙江省农业科学院科研计划项目(2019CGJL003)

刘宝海,E-mail: shslbh@163.com

近10年审定的常规水稻品种主要农艺性状进行综合评价及利用综合指数法对品种进行聚类分析的相关研究报道甚少。因此,本研究以2009—2018年黑龙江省审定的187个常规粳稻品种为供试材料,通过品种主要农艺性状相关性及不同积温带品种综合功效排序评价与聚类分析,筛选和发掘综合性状优良的优异亲本资源,进而明确寒地水稻育种方向,以期为今后寒地水稻育种提供实践参考和技术依据。

1 材料与方 法

1.1 供试材料

黑龙江省2009—2018年审定的187份常规粳稻品种。其中,第1积温带品种60个,第2积温带品种56个,第3积带品种43个,第4积带品种28个。

1.2 数据来源

研究数据主要来源于国家水稻数据中心(http://www.ricedata.cn/variety/identified/hlj_htm)和文献[15]。所选取数据主要包括:积温带、生育期、活动积温、糙米率、整精米率、胶稠度、直链淀粉、千粒重、产量、穗颈瘟、空壳率11个性状。计算得到的数据有日产量、积温产量2个性状,其中日产量=产量/生育期,积温产量=(产量/活动积温)×100。

1.3 统计分析

1)原始数据的差异分析。使用SPSS Statistics 25.0 统计分析软件对供试材料进行方差、相关、多重比较分析及回归线性建模。根据功效综合指数值,以欧氏距离为品种间距离,采用最短距离法,进行K-均值系统聚类分析。运用Origin2018 数据分析软件绘图。

2)粳稻品种的综合评价。采用熵权法^[16-17]、功效评分法^[18]对评价指标进行客观准确计算,假设给定了 m 个评价对象, n 个评价指标,评价各指标原始数据矩阵可表示为式(1),标准化数据计算见式(2),确定标准化数据 P :

$$X = \{x_{ij}\}_{m \times n} (i=1,2,3,\dots,m; j=1,2,3,\dots,n) \quad (1)$$

式中 x_{ij} 表示第 i 个评价对象第 j 个指标值。

$$P_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^n x_{xj}} \quad (2)$$

式中 P_{ij} 表示第 i 个评价对象第 j 个指标的综

合标准化值, m 为评价单元数量。

$$P = \{p_{ij}\}_{m \times n} (i=1,2,3,\dots,m; j=1,2,3,\dots,n)$$

式(2)中 p_{ij} 表示第 i 个评价对象第 j 个标准化后指标值。

计算评价指标的信息熵,可表示为式(3):

$$e_j = -\frac{\sum_{i=1}^m p_{ij} \cdot \ln p_{ij}}{\ln m} \quad (3)$$

式(3)中 e_j 表示第 j 个指标的信息熵。

计算各指标的权重,即熵权。可表示为式(4):

$$\omega_j = \frac{1-e_j}{n-\sum_{j=1}^n e_j} \quad (4)$$

式(4)中 ω_j 表示第 j 个指标的权重(熵权)。

计算各指标隶属函数系数值 b_{ij} ,如式(5)(指标均为正效益)、(6)(指标均为负效益)所示,从而确定功效矩阵 B 。

$$b_{ij} = \frac{x_{ij} - \min\{x_{ij}\}}{\max\{x_{ij}\} - \min\{x_{ij}\}} \quad (5)$$

$$b_{ij} = \frac{\max\{x_{ij}\} - x_{ij}}{\max\{x_{ij}\} - \min\{x_{ij}\}} \quad (6)$$

$$B = \{b_{ij}\}_{m \times n} (i=1,2,3,\dots,m; j=1,2,3,\dots,n)$$

式(5)~(6)中 b_{ij} 表示第 i 个评价对象第 j 个指标功效价值系数值。

计算功效综合指数如式(7)所示:

$$CI = \sum_{j=1}^n \omega_j \times b_{ij} \quad (7)$$

式中(7)CI表示第 i 个评价对象第 j 个指标的综合指数值。

利用MATLAB(R2017a)软件编辑源代码,对原始数据根据(1)至(7)公式计算。

2 结果与分析

2.1 主要农艺性状的相关性分析

对187个粳稻品种12个主要农艺性状进行相关分析,结果(表1)显示:积温带、生育期、活动积温与直链淀粉相关系数分别为0.107、-0.072和0.080,无显著相关关系($P>0.05$),但其与糙米率、整精米率、千粒重等8个农艺性状均极显著相关($P<0.01$),积温带与生育期、活动积温相关系数为-0.955、-0.956达极显著负相关,生育期与活动积温相关系数为0.995,达极显著正相关,这3个相关系数明显高于其他性状间的相关系数,说明积温

带、生育期、活动积温 3 个性状间具有最大同向性,并对除直链淀粉外其他农艺性状有显著影响,因此,品种生育期、活动积温性状可以作为其积温生态适应区评判的最重要标准,即可以利用积温带对品种类别进行有效划分。生育期、活动积温与胶稠度相关系数均为 0.234,呈极显著正相关,但与糙米率、整精米率、千粒重、产量、日产量、积温产量、穗颈瘟、空壳率等性状均呈极显著负相关,说明随着生育期、活动积温增加,除胶稠度显著增加外其他性状均显著减少。产量与日产量、积温产量以及日产量与积温产量的相关系数分别为 0.790、0.712、0.991,均呈极显著正相关但相关系数各异,说明日产量、积温产量受生育期、活动积温影响不同。胶稠度与直链淀粉含量、千粒重、产量、日产量、积温产量相关系数分别为 -0.220、-0.155、-0.026、-0.164、-0.185,均呈显著负相关($0.01 < P < 0.05$),胶稠度与直链淀粉均呈负向效应且是影响品质的重要指标,说明胶稠度受产量影响较大且是负向效应,处理好胶稠度与直链淀粉含量关系是提高品质的关键因素之一。空壳

率与积温带、生育期、活动积温、产量、日产量、积温产量、穗颈瘟相关系数分别为 0.240、-0.258、-0.262、0.224、0.304、0.306、0.307,达极显著相关,与千粒重(0.163)呈显著相关,与糙米率、整精米率、胶稠度、直链淀粉等品质性状相关系数分别为 0.013、0.086、-0.094、0.022,无显著相关关系,说明空壳率主要受生态环境、产量和病害的影响较大,对品质性状无显著影响。穗颈瘟除了与胶稠度(-0.134)、直链淀粉(0.015)、千粒重(0.134)无显著相关外,与其他性状均呈显著相关性,说明穗颈瘟是影响品种综合性状关键因素之一。糙米率与整精米率相关系数为 0.623,呈极显著正相关,与直链淀粉(-0.272)呈显著负相关,说明可通过提高品种糙米率来提高整精米率和降低直链淀粉含量。结果表明,187 个常规粳稻品种绝大部分农艺性状存在显著或极显著相关性,品种主要农艺性状受积温带影响,呈现显著生态特征,利用主要农艺性状间显著相关性特点进行某一性状重点选择,可以提高综合农艺性状优良品种选育效率。

表 1 粳稻品种间主要农艺性状间的相关系数

Table 1 Correlation coefficient of main agronomic traits among japonica rice varieties

| 性状 Traits | 生育期 GP | 活动积温 AAT | 糙米率 BRR | 整精米率 HRR | 胶稠度 GC | 直链淀粉 含量 AC | 千粒重 TGW | 产量 Y | 日产量 DY | 积温产量 TY | 穗颈瘟 NB | 空壳率 GER |
|--------------|-----------|-------------|------------|-------------|-----------|---------------|------------|----------|-----------|------------|-----------|------------|
| 积温带 TZ | -0.955** | -0.956** | 0.238** | 0.356** | -0.225** | 0.107 | 0.293** | 0.337** | 0.808** | 0.869** | 0.429** | 0.240** |
| 生育期 GP | | 0.995** | -0.231** | -0.370** | 0.234** | -0.072 | -0.284** | -0.276** | -0.805** | -0.863** | -0.476** | -0.258** |
| 活动积温 AAT | | | -0.241** | -0.376** | 0.234** | -0.080 | -0.273** | -0.298** | -0.817** | -0.879** | -0.486** | -0.262** |
| 糙米率 BRR | | | | 0.623** | 0.122 | -0.272** | 0.147* | 0.215** | 0.289** | 0.292** | 0.194** | 0.013 |
| 整精米率 HRR | | | | | 0.007 | -0.200** | 0.075 | 0.376** | 0.473** | 0.467** | 0.278** | 0.086 |
| 胶稠度 GC | | | | | | -0.220** | -0.155* | -0.026* | -0.164* | -0.185* | -0.134 | -0.094 |
| 直链淀粉 AC | | | | | | | -0.056 | -0.021 | 0.036 | 0.055 | 0.015 | 0.022 |
| 千粒重 TGW | | | | | | | | 0.149* | 0.271** | 0.269** | 0.134 | 0.163* |
| 产量 Y | | | | | | | | | 0.790** | 0.712** | 0.220** | 0.224** |
| 日产量 DY | | | | | | | | | | 0.991** | 0.447** | 0.304** |
| 积温产量 TY | | | | | | | | | | | 0.478** | 0.306** |
| 穗颈瘟 NB | | | | | | | | | | | | 0.307** |

注 Note: TZ: Temperature zone; GP: Growth period; AAT: Active accumulated temperature; BRR: Brown rice rate; HRR: Head rice rate; GC: Gel consistency; AC: Amylose content; TGW: Thousand grain weight; Y: Yield; DY: Daily yield; TY: Temperature yield; NB: Neck blast; GER: Grain empty rate. * 表示差异显著 ($P < 0.05$), ** 代表差异极显著 ($P < 0.01$)。下同。* means highly significant difference ($P < 0.05$), ** means highly significant difference ($P < 0.01$). The same as below.

2.2 品种的能效综合评价

以供试品种糙米率、整精米率、胶稠度、千粒重、

产量、日产量、积温产量为正向指标,以直链淀粉、穗颈瘟、空壳率为负向指标,利用公式(1)~(4)对各积

温带供试品种 10 个农艺性状熵权进行分析, 结果(表 2)显示: 穗颈瘟、空壳率在各积温带农艺性状权重值大小依次位列第 1、第 2 位, 第 1 积温带穗颈瘟权重值(0.714 4)最大, 且约为空壳率权重值(0.264 3)的 2.7 倍, 第 2、3、4 积温带穗颈瘟权重值(0.532 0、0.464 9、0.490 0)相差不大, 且与空壳率权重值(0.444 7、0.437 2、0.470 0)比较接近, 说明穗颈瘟、空壳率大小将最直接影响品种优劣, 但其对品种影响程度在积温带间存在差异。第 1 积温带其他 8 个农艺性状权重值依次为: 积温产量(0.004 1) > 日产量(0.003 7) > 产量(0.003 5) > 胶稠度(0.003 0) > 直链淀粉(0.002 8) > 千粒重(0.002 1) > 整精米率(0.001 8) > 糙米率(0.000 3), 说明第 1 积温带产量性状较品质性状对品种影响较大。第 2 积温带 8 个农艺性状权重值依次为: 千粒重(0.0050) > 直链淀粉(0.004 0) > 积温产量(0.003 9) > 日产量(0.003 1) > 产量(0.002 5) > 胶稠度(0.002 3) > 整精米率

(0.002 1) > 糙米率(0.000 3), 说明第 2 积温带千粒重、直链淀粉含量对品种影响也较大。第 3 积温带 8 个农艺性状权重值依次为: 积温产量(0.021 7) > 产量(0.021 5) > 日产量(0.019 8) > 胶稠度(0.014 4) > 直链淀粉(0.009 5) > 整精米率(0.007 0) > 千粒重(0.005 8) > 糙米率(0.001 2), 说明产量性状较品质性状对品种影响大。第 4 积温带 8 个农艺性状权重值依次为: 积温产量(0.007 8) > 产量(0.007 3) > 日产量(0.006 2) > 胶稠度(0.005 9) > 千粒重(0.005 3) > 直链淀粉(0.004 8) > 整精米率(0.002 2) > 糙米率(0.000 5), 说明产量性状较品质性状对品种影响大。结果表明, 品种综合评价受穗颈瘟、空壳率 2 个农艺性状影响最大, 品种选育中要重点对这 2 个性状进行鉴定选择, 同时其他 8 个农艺性状在各积温带间对品种综合评价影响不一, 第 1、3、4 积温带要注重品种产量性状的选择, 第 2 积温带要注重品种千粒重、直链淀粉含量选择。

表 2 各积温带品种农艺性状指标的权重

Table 2 Weight of each variety trait indicator

| 积温带 TZ | 糙米率 BRR | 整精米率 HRR | 胶稠度 GC | 直链淀粉 含量 AC | 千粒重 TGW | 产量 Y | 日产量 DY | 积温产量 TY | 穗颈瘟 NB | 空壳率 GER |
|-----------|------------|-------------|-----------|---------------|------------|---------|-----------|------------|-----------|------------|
| 1 | 0.000 3 | 0.001 8 | 0.003 0 | 0.002 8 | 0.002 1 | 0.003 5 | 0.003 7 | 0.004 1 | 0.714 4 | 0.264 3 |
| 2 | 0.000 3 | 0.002 1 | 0.002 3 | 0.004 0 | 0.005 0 | 0.002 5 | 0.003 1 | 0.003 9 | 0.532 0 | 0.444 7 |
| 3 | 0.001 2 | 0.007 0 | 0.011 4 | 0.009 5 | 0.005 8 | 0.021 5 | 0.019 8 | 0.021 7 | 0.464 9 | 0.437 2 |
| 4 | 0.000 5 | 0.002 2 | 0.005 9 | 0.004 8 | 0.005 3 | 0.007 3 | 0.006 2 | 0.007 8 | 0.490 0 | 0.470 0 |

利用公式(5)~(7), 对各积温带品种功效综合指数进行排序, 结果(表 3)显示: 第 1 积温带 60 个水稻品种中, 按综合指数值排名位列前 10 的品种依次是龙稻 18(0.984 0)、龙稻 23(0.970 5)、龙稻 16(0.896 7)、龙稻 19(0.896 2)、东富 102(0.862 3)、龙香稻 2 号(0.859 7)、龙洋 1 号(0.849 2)、东农 430(0.840 3)、松梗香 1 号(0.833 6)、龙稻 24(0.755 7), 其中龙稻 18 是黑龙江省第 1 个品质达国标 I 级标准品种且是黑龙江省 2019 年主推品种, 东农 430 也是黑龙江省 2019 年主推品种, 这些品种中 2014 年审定的品种有 3 个, 2010、2009 年审定的品种分别有 2 个, 2015、2013、2016 年审定的品种各有 1 个, 近 2 年没有品种进入前 10 位, 说明该积温带品种综合性状提升较慢。第 2 积温带 56 个水稻品种中, 综合指数值排名, 位列前 10 位的品种依次是绥粳 14(0.878 5)、东农 428(0.823 7)、金禾 2 号(0.795 2)、北稻 4 号(0.795 0)、牡响 1 号(0.773 0)、绥粳 2 号(0.772 4)、绥粳 18(0.760 2)、绥稻 3 号(0.747 0)、金

禾 1 号(0.725 9)、绥稻 1 号(0.700 6), 其中绥粳 18 号在 2018 年种植推广面积超 67 万 hm^2 , 是目前黑龙江省推广面积最大的品种, 为 2019 年主推品种且获 2018 年度黑龙江省政府一等奖; 东农 428 也是黑龙江省 2019 年主推品种, 这些品种中 2013 年审定的有 4 个, 2009 年审定的品种有 2 个, 2014 年审定的品种有 3 个, 2012 年审定的品种有 1 个, 2015 年以来审定品种都没有进入前 10 位, 说明该积温带品种综合性状提升较慢。第 3 积温带 43 个水稻品种中, 根据综合指数值排名, 位列前 10 位的品种依次是: 龙粳 25 号(0.934 9)、龙粳 26 号(0.787 5)、龙洋 11(0.778 2)、龙粳 27 号(0.769 3)、龙粳 53(0.725 2)、龙粳 32 号(0.670 9)、龙盾 107(0.662 2)、龙粳 28 号(0.631 6)、龙花 04-050(0.630 6)、稼禾 1 号(0.626 6), 这些品种中 2009 年审定的有 4 个, 2010 年审定的品种有 3 个, 2018、2016、2011 年审定的品种各有 1 个, 依然以早期即 2009 年审定的品种为主, 该积温带位列第 22 位、于 2011 年审定的龙粳 31 号,

表3 各品种功效综合指数排序

Table 3 Integrated index ranking of varieties

| 品种 Variety | 综合指数 CI | 排序 Order | 积温带 TZ | 审定年 CT | 品种 Variety | 综合指数 CI | 排序 Order | 积温带 TZ | 审定年 CT |
|-------------------------------|------------|-------------|-----------|-----------|-------------------------------------|------------|-------------|-----------|-----------|
| 龙稻 18 Longdao 18 | 0.984 0 | 1 | 1 | 2014 | 北稻 6 号 Beidao No.6 | 0.473 0 | 35 | 2 | 2014 |
| 龙稻 23 Longdao 23 | 0.970 5 | 2 | 1 | 2015 | 中龙香粳 1 号 Zhonglongxiangjing No.2 | 0.467 0 | 36 | 2 | 2012 |
| 龙稻 16 Longdao 16 | 0.896 7 | 3 | 1 | 2013 | 绥粳 21 Suijing 21 | 0.463 3 | 37 | 2 | 2017 |
| 龙稻 19 Longdao 19 | 0.896 2 | 4 | 1 | 2014 | 绥粳 23 Suijing 23 | 0.459 0 | 38 | 2 | 2018 |
| 东富 102 Dongfu 102 | 0.862 3 | 5 | 1 | 2014 | 绥粳 29 Suijing 29 | 0.455 9 | 39 | 2 | 2018 |
| 龙香稻 2 号 Longxiangdao No.2 | 0.859 7 | 6 | 1 | 2010 | 鸿源 15 号 Hongyuan No.15 | 0.454 7 | 40 | 2 | 2017 |
| 龙洋 1 号 Longyang No.1 | 0.849 2 | 7 | 1 | 2010 | 龙庆稻 23 号 Longqingdao No.23 | 0.442 2 | 41 | 2 | 2018 |
| 东农 430 Dongnong 430 | 0.840 3 | 8 | 1 | 2009 | 育农粳 1 号 Yunongjing No.1 | 0.421 9 | 42 | 2 | 2018 |
| 松粳香 1 号 Songjingxiang No.1 | 0.833 6 | 9 | 1 | 2009 | 龙绥 1 号 Longsui No.1 | 0.381 7 | 43 | 2 | 2017 |
| 龙稻 24 Longdao 24 | 0.755 7 | 10 | 1 | 2016 | 中龙粳 3 号 Zhonglongjing No.3 | 0.375 9 | 44 | 2 | 2013 |
| 中龙粳 2 号 Zhonglongjing No.2 | 0.753 7 | 11 | 1 | 2013 | 北稻 7 号 Beidao No.7 | 0.369 9 | 45 | 2 | 2015 |
| 东农 429 Dongnong 429 | 0.753 3 | 12 | 1 | 2009 | 盛誉 1 号 Shengyu No.1 | 0.348 0 | 46 | 2 | 2017 |
| 龙稻 20 Longdao 20 | 0.748 9 | 13 | 1 | 2015 | 龙桦 2 号 Longhua No.2 | 0.347 3 | 47 | 2 | 2015 |
| 苗系 918-4 Miaoxi 918-4 | 0.737 0 | 14 | 1 | 2010 | 绥稻 9 号 Suidao No.9 | 0.344 5 | 48 | 2 | 2018 |
| 桦优 1 号 Huayou No.1 | 0.735 1 | 15 | 1 | 2018 | 龙庆稻 6 号 Longqingdao No.6 | 0.317 0 | 49 | 2 | 2016 |
| 龙稻 31 Longdao 31 | 0.734 5 | 16 | 1 | 2018 | 绥粳 22 Suijing 22 | 0.300 4 | 50 | 2 | 2017 |
| 牡丹江 30 Mudanjiang 30 | 0.715 6 | 17 | 1 | 2009 | 牡丹江 35 Mudanjiang 35 | 0.271 9 | 51 | 2 | 2016 |
| 松粳 19 Songjing 19 | 0.706 1 | 18 | 1 | 2013 | 北稻 1 号 Beidao No.1 | 0.251 6 | 52 | 2 | 2016 |
| 龙稻 29 Longdao 29 | 0.685 7 | 19 | 1 | 2018 | 莲汇 2 号 Lianhui No.2 | 0.186 2 | 53 | 2 | 2017 |
| 龙稻 25 Longdao 25 | 0.684 7 | 20 | 1 | 2016 | 中龙粳 1 号 Zhonglongjing No.1 | 0.165 2 | 54 | 2 | 2013 |
| 龙稻 11 号 Longdao 11 | 0.666 5 | 21 | 1 | 2010 | 龙庆稻 21 号 Longqingdao No.21 | 0.060 4 | 55 | 2 | 2017 |
| 松粳 20 Songjing 20 | 0.665 8 | 22 | 1 | 2014 | 三江 16 Sanjiang 16 | 0.029 9 | 56 | 2 | 2016 |
| 育龙 7 号 Yulong No.7 | 0.651 7 | 23 | 1 | 2017 | 龙粳 25 号 Longjing No.25 | 0.934 9 | 1 | 3 | 2009 |
| 松粳 18 Songjing 18 | 0.643 9 | 24 | 1 | 2013 | 龙粳 26 号 Longjing No.26 | 0.787 5 | 2 | 3 | 2009 |
| 龙稻 17 Longdao 17 | 0.642 4 | 25 | 1 | 2014 | 龙洋 11 Longyang 11 | 0.778 2 | 3 | 3 | 2018 |
| 松粳 15 号 Songjing No.15 | 0.639 9 | 26 | 1 | 2011 | 龙粳 27 号 Longjing No.27 | 0.769 3 | 4 | 3 | 2009 |
| 松粳 17 Songjing 17 | 0.635 5 | 27 | 1 | 2013 | 龙粳 53 Longjing 53 | 0.725 2 | 5 | 3 | 2016 |
| 东富 108 Dongfu 108 | 0.635 0 | 28 | 1 | 2017 | 龙粳 32 号 Longjing No.32 | 0.670 9 | 6 | 3 | 2011 |
| 龙稻 22 Longdao 22 | 0.625 7 | 29 | 1 | 2015 | 龙盾 107 Longdun 107 | 0.662 2 | 7 | 3 | 2010 |
| 松粳 16 号 Songjing No.16 | 0.616 4 | 30 | 1 | 2012 | 龙粳 28 号 Longjing No.28 | 0.631 6 | 8 | 3 | 2009 |
| 龙稻 26 Longdao 26 | 0.615 0 | 31 | 1 | 2016 | 龙花 04-050 Longhua 04-050 | 0.630 6 | 9 | 3 | 2010 |
| 哈粳稻 1 号 Hajingdao No.1 | 0.591 4 | 32 | 1 | 2014 | 稼禾 1 号 Jiahe No.1 | 0.626 6 | 10 | 3 | 2010 |
| 龙稻 13 号 Longdao 13 | 0.588 0 | 33 | 1 | 2012 | 龙庆稻 3 号 Longqingdao No.3 | 0.602 7 | 11 | 3 | 2013 |
| 龙稻 28 Longdao 28 | 0.584 7 | 34 | 1 | 2017 | 龙粳 31 Longjing 31 | 0.593 0 | 12 | 3 | 2018 |
| 通梅 892 Tongmei 892 | 0.564 3 | 35 | 1 | 2017 | 龙粳 63 Longjing 63 | 0.578 7 | 13 | 3 | 2018 |
| 富尔稻 1 号 Fuerdao No.1 | 0.563 1 | 36 | 1 | 2018 | 龙粳 58 Longjing 58 | 0.574 8 | 14 | 3 | 2017 |
| 龙稻 21 Longdao 21 | 0.562 5 | 37 | 1 | 2015 | 龙粳 46 Longjing 46 | 0.551 0 | 15 | 3 | 2015 |
| 吉宏 6 Jihong 6 | 0.551 5 | 38 | 1 | 2017 | 莲育 3252 Lianyu 3252 | 0.526 9 | 16 | 3 | 2017 |
| 松粳香 2 号 Songjingxiang No.2 | 0.543 3 | 39 | 1 | 2011 | 龙庆稻 4 号 Longqingdao No.4 | 0.523 4 | 17 | 3 | 2014 |
| 松粳 21 Songjing 21 | 0.535 4 | 40 | 1 | 2015 | 龙粳 39 Longjing 39 | 0.522 7 | 18 | 3 | 2013 |

续表 3 Continued Table 3

| 品种 Variety | 综合指数 CI | 排序 Order | 积温带 TZ | 审定年 CT | 品种 Variety | 综合指数 CI | 排序 Order | 积温带 TZ | 审定年 CT |
|---------------------------|------------|-------------|-----------|-----------|-------------------------------|------------|-------------|-----------|-----------|
| 牡丹江 31 Mudanjiang 31 | 0.531 8 | 41 | 1 | 2010 | 龙粳 35 号 Longjing No.35 | 0.512 1 | 19 | 3 | 2012 |
| 松 836 Song 836 | 0.531 2 | 42 | 1 | 2018 | 龙粳 40 Longjing 40 | 0.479 7 | 20 | 3 | 2013 |
| 哈粳稻 3 号 Hajingdao No.3 | 0.527 9 | 43 | 1 | 2015 | 莲育 124 Lianyu 124 | 0.472 9 | 21 | 3 | 2018 |
| 龙稻 27 Longdao 27 | 0.516 2 | 44 | 1 | 2017 | 龙粳 64 号 Longjing No.64 | 0.471 6 | 22 | 3 | 2011 |
| 绿珠 3 号 Luzhu No.3 | 0.507 5 | 45 | 1 | 2014 | 莲汇 631 Lianhui 631 | 0.471 5 | 23 | 3 | 2018 |
| 利元 5 号 Liyuan No.5 | 0.506 8 | 46 | 1 | 2012 | 龙粳 52 Longjing 52 | 0.465 3 | 24 | 3 | 2016 |
| 龙稻 14 号 Longdao No.14 | 0.500 2 | 47 | 1 | 2012 | 绥粳 15 Suijing 15 | 0.441 8 | 25 | 3 | 2014 |
| 龙稻 10 号 Longdao No.10 | 0.457 3 | 48 | 1 | 2010 | 富合 2 号 Fuhe No.2 | 0.432 0 | 26 | 3 | 2015 |
| 垦粳 8 号 Kengdao No.8 | 0.446 9 | 49 | 1 | 2018 | 莲稻 1 号 Liandao No.1 | 0.422 3 | 27 | 3 | 2011 |
| 龙稻 30 Longdao 30 | 0.426 7 | 50 | 1 | 2018 | 龙桦 1 号 Longhua No.1 | 0.399 4 | 28 | 3 | 2014 |
| 哈粳稻 4 号 Hajingdao No.4 | 0.416 8 | 51 | 1 | 2018 | 龙粳 60 Longjing 60 | 0.398 1 | 29 | 3 | 2017 |
| 松粳 22 Songjing 22 | 0.409 0 | 52 | 1 | 2016 | 龙粳 36 号 Longjing No.36 | 0.396 5 | 30 | 3 | 2012 |
| 松 05-274 Song 05-274 | 0.399 0 | 53 | 1 | 2011 | 龙粳 56 Longjing 56 | 0.384 1 | 31 | 3 | 2017 |
| 东农 431 Dongnong 431 | 0.381 5 | 54 | 1 | 2012 | 龙富 1 号 Longfu No.1 | 0.373 7 | 32 | 3 | 2016 |
| 龙洋 16 Longyang16 | 0.364 5 | 55 | 1 | 2010 | 莲育 1013 Lianyu 1013 | 0.371 4 | 33 | 3 | 2018 |
| 绿珠 1 号 Lüzhu No.1 | 0.359 5 | 56 | 1 | 2012 | 龙粳 50 Longjing 50 | 0.355 4 | 34 | 3 | 2016 |
| 绿珠 2 号 Lüzhu No.2 | 0.300 2 | 57 | 1 | 2013 | 绥稻 6 号 Suidao No.6 | 0.318 4 | 35 | 3 | 2017 |
| 哈粳稻 2 号 Hajingdao No.2 | 0.298 5 | 58 | 1 | 2014 | 龙粳 29 号 Longjing No.29 | 0.315 7 | 36 | 3 | 2010 |
| 五优稻 4 号 Wuyoudao No.4 | 0.197 4 | 59 | 1 | 2009 | 龙粳 43 Longjing 43 | 0.312 2 | 37 | 3 | 2014 |
| 东农 456 Dongnong 456 | 0.007 8 | 60 | 1 | 2018 | 龙粳 59 Longjing 59 | 0.292 2 | 38 | 3 | 2017 |
| 绥粳 14 Suijing 14 | 0.878 5 | 1 | 2 | 2013 | 田裕 9861 Tianyu 9861 | 0.261 2 | 39 | 3 | 2017 |
| 东农 428 Dongnong 428 | 0.823 7 | 2 | 2 | 2009 | 中科 902 Zhongke 902 | 0.205 8 | 40 | 3 | 2017 |
| 金禾 2 号 Qinghe No.2 | 0.795 2 | 3 | 2 | 2014 | 龙粳 45 Longjing 45 | 0.141 4 | 41 | 3 | 2015 |
| 北稻 4 号 Beidao No.4 | 0.795 0 | 4 | 2 | 2009 | 龙粳 51 Longjing 51 | 0.121 7 | 42 | 3 | 2016 |
| 牡响 1 号 Muxiang No.1 | 0.773 0 | 5 | 2 | 2013 | 绥粳 27 Suijing 27 | 0.107 6 | 43 | 3 | 2018 |
| 绥稻 2 号 Suidao No.2 | 0.772 4 | 6 | 2 | 2013 | 富合 3 号 Fuhe No.3 | 0.883 6 | 1 | 4 | 2018 |
| 绥粳 18 Suijing 18 | 0.760 2 | 7 | 2 | 2014 | 绥粳 12 Suijing 12 | 0.789 5 | 2 | 4 | 2009 |
| 绥稻 3 号 Suidao No.3 | 0.747 0 | 8 | 2 | 2014 | 莲惠 1 号 Lianhui No.1 | 0.787 5 | 3 | 4 | 2010 |
| 金禾 1 号 Qinhe No.1 | 0.725 9 | 9 | 2 | 2013 | 龙粳 65 Longjing 65 | 0.764 2 | 4 | 4 | 2018 |
| 绥稻 1 号 Suidao No.1 | 0.700 6 | 10 | 2 | 2012 | 莲育 625 Lianyu 625 | 0.749 6 | 5 | 4 | 2018 |
| 绥粳 16 Suijing 16 | 0.697 6 | 11 | 2 | 2014 | 龙粳 66 Longjing 66 | 0.738 3 | 6 | 4 | 2018 |
| 东富 103 Dongfu 103 | 0.692 1 | 12 | 2 | 2014 | 垦稻 19 号 Kengdao No.19 | 0.729 7 | 7 | 4 | 2009 |
| 牡丹江 32 Mudanjiang 32 | 0.688 9 | 13 | 2 | 2013 | 龙粳 48 Longjing 48 | 0.721 1 | 8 | 4 | 2015 |
| 莲稻 2 号 Liangdao No.2 | 0.679 8 | 14 | 2 | 2017 | 绥粳 25 Suijing 25 | 0.692 7 | 9 | 4 | 2018 |
| 龙粳 34 号 Longjing No.34 | 0.666 9 | 15 | 2 | 2012 | 龙庆稻 22 号 Longqingdao No.22 | 0.679 5 | 10 | 4 | 2018 |
| 苗稻 2 号 Miaodao No.2 | 0.654 2 | 16 | 2 | 2014 | 育龙 1 号 Yulong No.1 | 0.658 4 | 11 | 4 | 2016 |
| 绥粳 26 Suijing 26 | 0.645 8 | 17 | 2 | 2018 | 龙粳 54 Longjing 54 | 0.588 9 | 12 | 4 | 2016 |
| 绥粳 28 Suijing 28 | 0.640 8 | 18 | 2 | 2018 | 龙粳 69 Longjing 69 | 0.571 9 | 13 | 4 | 2018 |
| 龙粳 33 号 Longjing No.33 | 0.630 6 | 19 | 2 | 2012 | 龙粳 67 Longjing 67 | 0.567 3 | 14 | 4 | 2018 |
| 松粳 13 号 Songjing No.13 | 0.628 3 | 20 | 2 | 2010 | 龙粳 37 号 Longjing No.37 | 0.545 4 | 15 | 4 | 2012 |
| 龙粳 30 号 Longjing No.30 | 0.619 9 | 21 | 2 | 2011 | 育龙 9 号 Yulong No.9 | 0.532 4 | 16 | 4 | 2018 |
| 北 04-20 Bei 04-20 | 0.618 3 | 22 | 2 | 2010 | 龙粳 47 Longjing 47 | 0.510 5 | 17 | 4 | 2015 |
| 龙庆稻 1 号 Longqingdao No.1 | 0.612 6 | 23 | 2 | 2010 | 黑粳 9 号 Heijing No.9 | 0.490 6 | 18 | 4 | 2018 |
| 广稻 1 号 Guangdao No.1 | 0.600 1 | 24 | 2 | 2015 | 中农粳 179 Zhonglongjing 179 | 0.477 2 | 19 | 4 | 2017 |
| 龙联 1 号 Longliang No.1 | 0.592 7 | 25 | 2 | 2010 | 莲汇 3 号 Lianhui No.3 | 0.446 9 | 20 | 4 | 2017 |
| 莲育 3213 Lianyu 3213 | 0.577 3 | 26 | 2 | 2017 | 黑粳 10 号 Heijing No.10 | 0.394 3 | 21 | 4 | 2016 |
| 龙粳 42 Longjing 42 | 0.572 6 | 27 | 2 | 2014 | 明科 1 号 Mingke No.1 | 0.394 2 | 22 | 4 | 2014 |
| 绥粳 17 Suijing 17 | 0.556 4 | 28 | 2 | 2014 | 龙粳 61 Longjing 61 | 0.373 6 | 23 | 4 | 2017 |
| 育龙 2 号 Yulong No.2 | 0.556 1 | 29 | 2 | 2013 | 龙庆稻 20 号 Longqingdao No.20 | 0.360 0 | 24 | 4 | 2017 |
| 绥粳 13 Suijing 13 | 0.545 9 | 30 | 2 | 2010 | 龙庆稻 2 号 Longqingdao No.2 | 0.313 3 | 25 | 4 | 2011 |
| 兴盛 1 号 Xingsheng No.1 | 0.533 8 | 31 | 2 | 2014 | 绥稻 4 号 Suidao No.4 | 0.220 3 | 26 | 4 | 2014 |
| 田裕 9516 Tianyu 9516 | 0.530 3 | 32 | 2 | 2017 | 龙庆稻 5 号 Longqingdao No.5 | 0.200 2 | 27 | 4 | 2016 |
| 莲汇 4 号 Lianhui No.4 | 0.495 7 | 33 | 2 | 2018 | 莲育 1496 Lianyu 1496 | 0.125 2 | 28 | 4 | 2017 |
| 绥粳 19 Suijing 19 | 0.473 6 | 34 | 2 | 2015 | | | | | |

注 Note:CI:功效综合指数;CT:审定时间。Notes:CI: Composite index;CT: Certification time.

目前是黑龙江省第二大种植面积的水稻品种,但其功效综合指数值却没有进入前10位,说明该积温带品种综合性状提升中等偏慢,个别品种试验数据分析结果与生产实际情况存在一定差异。第4积温带28个水稻品种中,综合指数排名位列前10位的品种依次是:富合3号(0.8836)、绥粳12(0.7895)、莲惠1号(0.7875)、龙粳65(0.7642)、莲育625(0.7496)、龙粳66(0.7383)、垦稻19号(0.7297)、龙粳48(0.7211)、绥粳25(0.6927)、龙庆稻22号(0.6795),这些品种中2018年审定的有6个,2009年审定的有2个,2010、2015年审定的各有1个,说明该积温带品种综合性状提升较快。

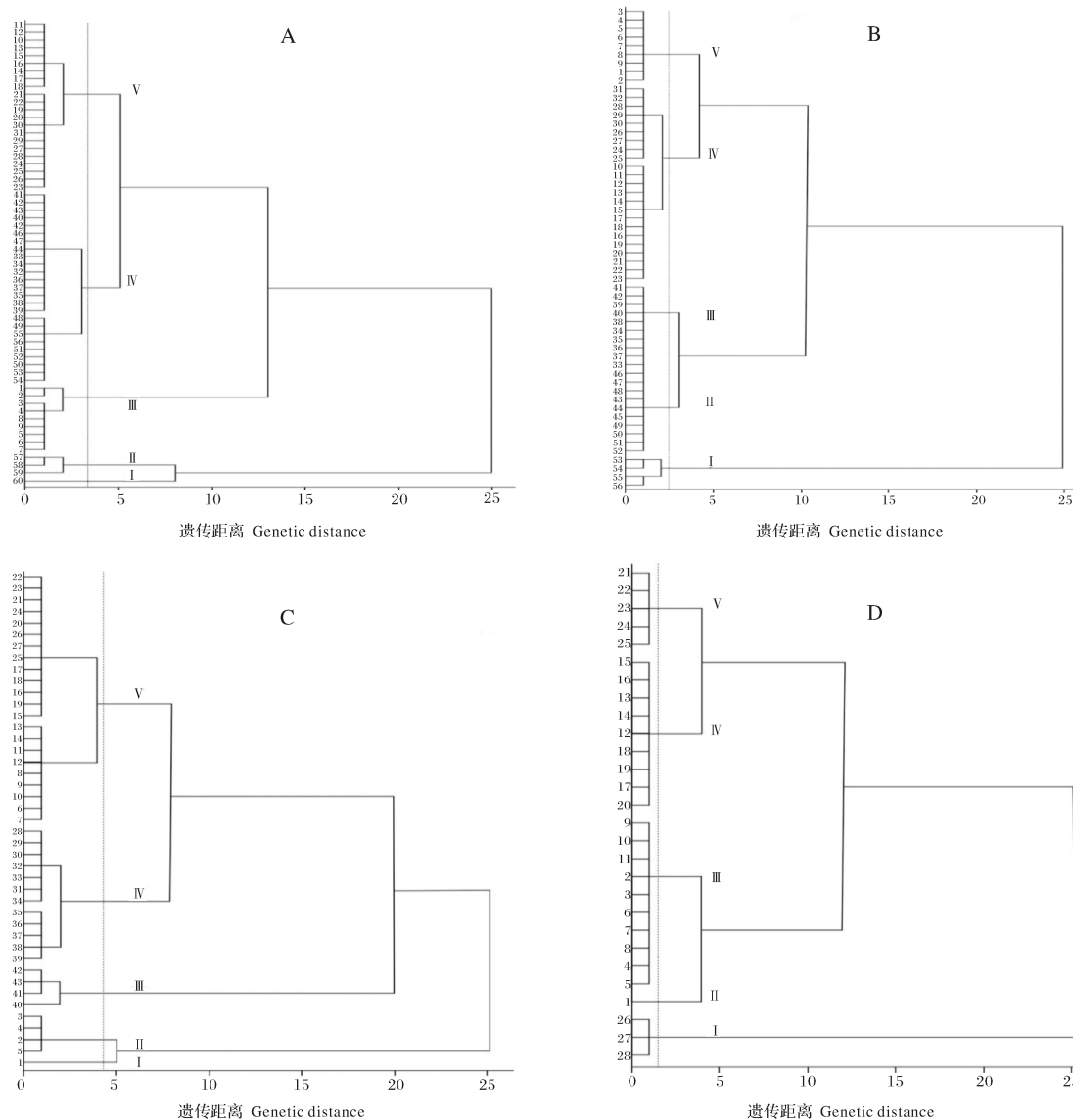
2.3 品种的聚类评价

对品种综合指数值进行系统聚类分析,按照不同遗传截断距离将各积温带品种聚类为5个类群(图1)。从图1A可知,以3.5为截断距离,将第1积温带60个粳稻品种划分5个类群。类群I仅有1个品种,为功效综合指数值最小的品种,综合指数排序号60,这个类群品种综合农艺性状差;类群II包括3个品种,占第1积温带60个品种的5.0%,排序号为57、58、59;类群III包括9个品种,占第1积温带60个品种的15.0%,均为功效综合指数值排序前9名,同时在1.5截断距离处3~9号品种聚为一类,1、2号品种聚为一类,说明这个类群品种的综合农艺性状表现最好;类群IV包括25个品种,占41.7%,是该积温带品种数量最多的类群,综合指数值排序号为32~56,同时48~56在2.5截断距离时聚为一类,其他品种在2.5截断距离时聚为一类;类群V包括22个品种,占36.7%,综合指数值排序号为10~31,同时10~18在1.5截断距离时聚为一类,其他品种在1.5截断距离时聚为一类。说明第1积温带品种主要集中于第IV、V类群,这2个类群品种综合性状表现跨度较大,综合指数排序从第10位至56位,类群III品种功效综合指数表现佳,类群I、II品种功效综合指数表现差。从图1B可知,以2.5为截断距离,将第2积温带56个粳稻品种划分5个类群。类群I包括4个品种,占第2积温带的7.1%,综合指数排序号为53、54、55、56,居最后4位,这个类群品种综合农艺性状表现差;类群II包括10个品种,占17.9%,综合指数排序号为43~52,这个类群品种综合农艺性状表现较差;类群III包括10个品种,占17.9%,综合指数排序号为33~42;类群

IV包括23个品种,占41.1%,是品种数量最多的类群,综合指数排序号为10~32,同时24~32号在1.5截断距离时聚为一类,其他品种在1.5截断距离时聚为一类;类群V包括9个品种,占16.0%,均为功效综合指数值排序前9位的品种,这个类群品种综合农艺性状表现最好。说明第2积温带品种主要集中于第IV类群且综合农艺性状表现较好,类群II、IV、V品种所占比例相似,类群V品种综合农艺性状表现佳,类群I品种所占比例最小且综合农艺性状表现差。从图1C可知,以4.5为截断距离,将第3积温带43个粳稻品种划分5个类群。类群I仅有1个品种,为功效综合指数值最大的品种,综合指数排序号为1,该类群品种表现出最好的综合农艺性状;类群II包括4个品种,占比9.3%,功效综合指数排序号为2、3、4、5,这类群品种表现出较好的综合农艺性状;类群III包括4个品种,占比9.3%,功效综合指数排序号为40、41、42、43;类群IV包括12个品种,占比27.9%,综合指数排序号为28~39,同时35~39号在1.5截断距离时聚为一类,其他品种在1.5截断距离时聚为一类;类群V包括22个品种,占比51.1%,是品种数量最多类群,综合指数排序号为6~27,同时6~14号在1.5截断距离时聚为一类,其他品种在1.5截断距离时聚为一类。说明第3积温带品种主要集中于第V类群且综合农艺性状较好,类群IV品种所占比例居第二位且综合农艺性状较差,类群I所占比例最小但综合农艺性状佳,类群I类群II、III品种所占比例相同,但综合类群III农艺性状差、类群II综合农艺性状佳。从图1D可知,以1.5为截断距离,将第4积温带28个粳稻品种划分5个类群。类群I包括3个品种,占比10.7%,综合指数排序号为26、27、28,这个类群品种综合农艺性状差;类群II仅有1个品种,为功效综合指数值最大品种,排序号为1,该类群品种综合农艺性状佳;类群III包括10个品种,占比35.7%,功效综合指数排序号为2~11,这个类群品种数量最多且表现出较好的综合农艺性状;类群IV包括9个品种,占比32.1%,功效综合指数排序号为12~20;类群V包括5个品种,占比17.9%,功效综合指数排序号为21~25。说明第4积温带品种主要集中于第III、IV类群,第II、III类群品种综合农艺性状佳,类群I、V品种综合农艺性状差。结果表明,不同积温带粳稻5个类群存在遗传距离差异,其品种功效综合指数值差异离散程度大小依次为:第3积温带>第1积温

带>第 2 积温带>第 4 积温带,不同积温带品种类群内集中程度存在差异,第 1、2、3、4 积温带品种主要集中在 IV 与 V、IV、V 和 III 与 IV 类群,不同积温

带粳稻品种的遗传差异性 & 类群间品种相似性,将为今后水稻育种目标确定、亲本资源选择利用提供有益参考。



A:第 1 积温带; B:第 2 积温带; C:第 3 积温带; D:第 4 积温带。品种排序编号见表 3。A:1st temperate zone; B:2nd temperate zone; C:3rd temperate zone; D:4th temperate zone.The variety number is in Table 3.

图 1 各积温带品种功效指数的聚类图

Fig.1 Cluster diagram of the integrated index in each cumulative temperate variety

3 讨论

高产、优质、多抗是水稻育种永恒的主题,只是由于生态条件和社会环境不同,不同时期和地区的侧重点和主攻方向不同^[19-20]。近 10 年来,国家审定水稻品种中高产品种比率一直保持在 70%以上,但总体优质率不到 50%,对病虫害的抗性水平没有明显提升。本研究表明,黑龙江省水稻品种具有明显

积温带生态环境归属特性,生育期、活动积温、积温产量等 12 个主要农艺性状存在显著相关性,品种综合评价中穗颈瘟、空壳率所占权重最大,对品种综合优良性状表现影响最大,与卞景阳等^[21]和宋福金^[22]得到的低温、稻瘟病是限制寒地稻作区水稻高产、稳产主要因素之一的结果相一致,这是寒地特有生态环境对优良品种选育的特殊要求。因此,今后寒地水稻育种方向应该是以适应积温生态环境因素

为前提,在重点提高品种抗病、耐冷等特性基础上,再稳步开展品质、产量等主要农艺性状选育。第1积温带应依次稳步提高产量、胶稠度、千粒重、整精米率和糙米率,适当降低直链淀粉含量;第2积温带应依次稳步提高千粒重、产量、胶稠度、整精米率和糙米率,降低直链淀粉含量;第3积温带应依次稳步提高产量、胶稠度、整精米率、千粒重、糙米率,适当降低直链淀粉含量;第4积温带应依次稳步提高产量、胶稠度、千粒重、整精米率、糙米率,适当降低直链淀粉含量。

农作物种质资源是作物品种遗传改良的重要物质基础。寒地稻区种质资源相对匮乏,综合性状优良的亲本材料相对较少^[23],是当下寒地水稻育种水平进一步提高的主要限制因素。筛选和发掘具有优良品质性状、农艺性状的种质资源,对促进水稻育种工作具有重要科学和实践意义^[24-25]。本研究结果表明,各积温带供试品种综合指数值存在较大差异,完全可以利用综合功效评价方法,综合分析比较品种优劣并进行排序,这有助于筛选出综合性状优良的稻种资源,可作为今后寒地水稻遗传育种的优异基因资源重点研究,也可为寒地水稻育种提供数据参考,更可以为寒地水稻生产提供品种信息技术支撑。同时按照综合指数值进行品种系统聚类,各积温带品种5个类群存在遗传距离差异,差异离散程度大小依次为:第3积温带>第1积温带>第2积温带>第4积温带,同时各积温带类群内品种集中程度也存在差异,品种类群遗传差异性和类群间相似性,使各积温带品种特征特性能够得到充分表达。通过综合性状优良种质筛选以及类群划分的有机结合与综合考虑,能够筛选出综合性状优良且类群明晰的种质资源,进行亲本杂交组配,这将为今后黑龙江省各积温带水稻育种目标确定、亲本资源发掘利用提供有益参考。

综合评价方法在作物育种中的应用越来越广泛,而实践中应用不同评价方法评价同一对象经常出现评价结论不一致的情况^[26],采用有效的评价方法与生产实践相结合,将促进品种综合优良性状的真实表达。目前,绥粳18是全省水稻种植面积第一大品种,其功效评价位排序第7,龙粳31号是黑龙江省水稻种植面积第二大品种,其功效评价排序仅列第12位。可见,在品种资源筛选和发掘上既要注重功效综合分析,也要参考品种在生产实践中的表现。要根据寒地生态环境特点以及种植者、加工企业、消费者等各经济主体的市场需求,对各性状的数

据深入了解和多元比较,这样才能够科学、客观地评价品种资源优劣表现,进而筛选出优良稻种资源。如何利用本研究中农艺性状综合评价结果,再深入到分子水平研究,通过标记鉴定、优异基因挖掘与实际育种相结合的方法,实现对寒地水稻种质资源的高效遗传改良,需要进一步深入探索。此外,由于数据获取来源于品种审定而非来自大田试验,存在数据源不完全统一而导致结果偏误等问题,虽然分析结果可以说明一种变化趋势,但在今后的研究中仍需要在保证样本数据的统一性方面深入探索。

参考文献 References

- [1] 潘国君.寒地粳稻育种[M].北京:中国农业出版社,2014. PAN G J. Japonica rice in cold region breeding[M]. Beijing: China Agricultural Press, 2014 (in Chinese).
- [2] 林海,李婷婷,童汉华,等.我国水稻主栽品种演替分析[J].中国水稻科学,2018,36(6):565-571. LIN H, LI T T, TONG H H, et al. Analysis on evolution of major rice cultivars in China [J]. Chinese journal of rice science, 2018, 36(6): 565-571 (in Chinese with English abstract).
- [3] 罗斌,潘大宇,高权,等.基于物联网技术的寒地水稻程控催芽系统设计与试验[J].农业工程学报,2018,34(12):180-185. LUO B, PAN D Y, GAO Q, et al. Design and experiment of rice program control germination system in cold region based on internet of things[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2018, 34(12): 180-185 (in Chinese with English abstract).
- [4] 王秋菊,张玉龙,刘峰,等.黑龙江省水稻品种跨积温区种植的产量和品质变化[J].应用生态学报,2013,24(5):1381-1386. WANG Q J, ZHANG Y L, LIU F, et al. Changes of rice yield and quality in different accumulated temperature zones in Heilongjiang Province of Northeast China[J]. Chinese journal of applied ecology, 2013, 24(5): 1381-1386 (in Chinese with English abstract).
- [5] 刘宝海.寒地生态条件下水稻育种方向分析[J].北方水稻,2014,45(2):61-63. LIU B H. Analysis of rice breeding in cold ecological conditions [J]. North rice, 2014, 45(2): 61-63 (in Chinese with English abstract).
- [6] 郭龙彪,罗利军,邢永忠,等.水稻重要农艺性状的两年 QTL 剖析[J].中国水稻科学,2003,17(3):211-218. GUO L B, LUO L J, XING Y Z, et al. Dissection of QTLs in two years for important agronomic traits in rice (*Oryza sativa* L.) [J]. Chinese journal of rice science, 2003, 17(3): 211-218 (in Chinese with English abstract).
- [7] 张光恒,张国平,钱前,等.不同环境条件下稻谷粒形数量性状的 QTL 分析[J].中国水稻科学,2004,18(1):16-22. ZHANG G H, ZHANG G P, QIAN Q, et al. QTL analysis of grain shape traits in different environments [J]. Chinese journal of rice science, 2004, 18(1): 16-22 (in Chinese with English ab-

- stract).
- [8] 孙彦坤,李浩然,兰倩,等.黑龙江省热量资源变化特征及对水稻不同发育期生长的影响[J].南方农业学报,2018,49(9):1794-1803. SUN Y K, LI H R, LAN Q, et al. The variation characteristics of thermal resources and its effects on rice at different growth stages in Heilongjiang Province [J]. Journal of southern agriculture, 2018, 49(9): 1794-1803 (in Chinese with English abstract).
- [9] 秋竹,孔宇,陈东升,等.基于主成分及聚类分析的黑龙江省水稻产量与品质的综合评价[J].沈阳农业大学学报,2015,46(2):219-224. QIU Z, KONG Y, CHEN D S, et al. Comprehensive evaluation of yield and quality of rice based on principal component and cluster analysis in Heilongjiang Province [J]. Journal of Shenyang Agricultural University, 2015, 46(2): 219-224 (in Chinese with English abstract).
- [10] 王志海,徐克章,赵颖君,等.吉林省47年来粳稻品种遗传改良过程中某些农艺性状的变化[J].中国水稻科学,2007,21(5):507-512. WU Z H, XU K Z, ZHAO Y J, et al. Changes of some agronomic traits in *japonica* rice varieties during forty-seven years of genetic improvement in Jilin Province [J]. Chinese journal of rice science, 2007, 21(5): 507-512 (in Chinese with English abstract).
- [11] 王海洋.东北三省不同年代水稻产量及性状的比较研究[J].吉林农业科学,2013,38(6):1-5. WANG H Z. Comparative studies on yield and panicle traits of rice released in different years in northeast region of china [J]. Journal of Jilin agricultural sciences, 2013, 38(6): 1-5 (in Chinese with English abstract).
- [12] 郭克婷. DTOPSIS 法的程序设计及其在作物品种评价中的应用[J].中国农学通报,2004,20(3):252-254. GUO K T. Programming for DTOPSIS method and its application in appraising new crop varieties [J]. Chinese agricultural science bulletin, 2004, 20(3): 252-254.
- [13] 陈国宏,李美娟.基于方法集的综合评价方法集化研究[J].中国管理科学,2004,12(1):102-106. CHEN G H, LI M J. The research on the comprehensive evaluation method integration based on method set [J]. Chin J Manage Sci, 2004, 12(1): 102-106 (in Chinese with English abstract).
- [14] 郭亚军,易平涛.一种基于整体差异的客观组合评价法[J].中国管理科学,2006,14(3):60-64. GUO Y J, YI P T. Whole diversity-based reasoning for objective combined evaluation [J]. Chin J Manage Sci, 2006, 14(3): 60-64 (in Chinese with English abstract).
- [15] 万建民,潘国君.中国水稻品种志·黑龙江省卷[M].北京:中国农业出版社,2018. WAN J M, PAN G J. History of Chinese rice varieties · Heilongjiang Province volume [M]. Beijing: China Agricultural Press, 2018 (in Chinese).
- [16] 雷勋平,吴杨,叶松,等.基于熵权可拓决策模型的区域粮食安全预警[J].农业工程学报,2012,28(6):233-239. LEI X P, WU Y, YE S, et al. Regional grain security pre-warning based on entropy weight extension decision model [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2012, 28(6): 233-239 (in Chinese with English abstract).
- [17] 余健,房莉,仓定帮,等.熵权模糊物元模型在土地生态安全评价中的应用[J].农业工程学报,2012,28(5):260-266. YU J, FANG L, CANG D B, et al. Evaluation of land eco-security in Wanjiang district base on entropy weight and matter element model [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2012, 28(5): 260-266 (in Chinese with English abstract).
- [18] 杜栋,庞庆华,吴炎.现代综合评价方法与案例精选[M].2版.北京:清华大学出版社,2008:10-30. DU D, PANG Q H, WU Y. Methods of modern comprehensive evaluation and featured cases [M]. 2nd ed. Beijing: Tsinghua University Press, 2008: 10-30 (in Chinese).
- [19] 肖国樱,肖友伦,李锦江,等.高效是当前水稻育种的主导目标[J].中国水稻科学,2019,33(4):287-292. XIAO G Y, XIAO Y L, LI J J, et al. High efficiency is a dominant target for current rice breeding [J]. Chinese journal of rice science, 2019, 33(4): 287-292 (in Chinese with English abstract).
- [20] 曾波,李爱宏,吕海霞.近年来中国水稻品种审定和推广应用的几个特点[J].湖北农业科学,2017,56(21):4035-4039. ZENG B, LI A H, LYU H X. Several features of approval and promotion of rice varieties in recent years in China [J]. Hubei agricultural sciences, 2017, 56(21): 4035-4039 (in Chinese with English abstract).
- [21] 卞景阳,矫江,许显滨,等.黑龙江省水稻稻瘟病的分析与对策[J].北方水稻,2007(3):140-142. BIAN J Y, JIAO J, XU X B, et al. Analysis on the incidence of rice blast in Heilongjiang and countermeasures [J]. North rice, 2007(3): 140-142 (in Chinese with English abstract).
- [22] 宋福金.黑龙江省水稻稻瘟病大发生的原因分析与对策[J].作物杂志,2006(1):69-70. SONG F J. Analysis and countermeasures of rice blast outbreak in Heilongjiang Province [J]. Crops, 2006(1): 69-70 (in Chinese).
- [23] 张爱民,阳文龙,方红曼,等.作物种质资源研究态势分析[J].植物遗传资源学报,2018,19(3):377-382. ZHANG A M, YANG W L, FANG H M, et al. Current status of research on crop genetic germplasms [J]. Journal of plant genetic resources, 2018, 19(3): 377-382 (in Chinese with English abstract).
- [24] ISHIKAWA R, IWATA M, TANIKO K, et al. Detection of quantitative trait loci controlling grain zinc concentration using Australian wild rice, *Oryza meridionalis*, a potential genetic resource for biofortification of rice [J]. PLoS One, 2017, 12(10): e0187224 [2020-06-30]. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0187224>.
- [25] 李猛,郭晓红,周健,等.寒地早粳稻种质资源品质性状研究[J].上海农业学报,2018,4(4):53-57. LI M, GUO X H, ZHOU J, et al. Germplasm resources quality traits of cold early japonica rice [J]. Acta agriculturae Shanghai, 2018, 4(4): 53-57 (in Chinese with English abstract).
- [26] 纪龙,申红芳,徐春春,等.基于非线性主成分分析的绿色超级稻品种综合评价[J].作物学报,2019,45(7):982-992. JI L,

SHEN H F, XU C C, et al. Comprehensive evaluation of green super rice varieties based on nonlinear principal component a-

nalysis[J]. Acta agronomica sinica, 2019, 45(7): 982-992 (in Chinese with English abstract).

Comprehensive analysis and evaluation of conventional *japonica* rice varieties approved by Heilongjiang Province from 2009 to 2018

LIU Baohai¹, GAO Shiwei¹, NIE Shoujun¹, LÜ Yandong²,
LIU Qing¹, LIU Yuqiang¹, ZHANG Jianing², NIE Xin³, XUE Yinghui¹, BAI Rui¹

1. Suihua Branch of Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Suihua 152052, China;
2. College of Agronomy, Heilongjiang Bayi Agricultural University, Daqing 163319, China;
3. College of Life Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China

Abstract The phenotypic values of 12 main agronomical traits of 187 conventional *japonica* rice varieties approved by Heilongjiang from 2009 to 2018 including active accumulated temperature, brown rice rate, milled rice rate, gel consistency, amylopectin, 1 000-grain weight, yield, daily yield, accumulated temperature yield, panicle neck blast and empty shell rate were statistically analyzed. The entropy weight-efficacy evaluation and cluster analysis were carried out with SPSS and MATLAB software. The results showed that the rice varieties in Heilongjiang had obvious characteristics of accumulated temperature zone and ecological environment, indicating that the breeding of varieties should be based on the premise of adapting to accumulated temperature zone and ecological environment. On the basis of focusing on improving the resistance to panicle neck blast and the rate of seed setting, the major agronomic traits including quality and yield will be steadily selected. The comprehensive index value was used to evaluate/rank the rice varieties in each accumulated temperature zone and screen/discover the elite rice resources. 5 groups with differences in genetic distance were divided according to the comprehensive index value. The degree of dispersion of group differences was in the decreasing order of the third accumulated temperature zone > the first accumulated temperature zone > the second accumulated temperature zone > the fourth temperature zone. The top 10 elite rice resources with comprehensive traits screened and discovered in different accumulated temperature zone were as follows: varieties in the first accumulative temperature zone include Longdao 18, Longdao 23, Longdao 16, Longdao 19, Dongfu 102, Longxiangdao No.2, Longyang No.1, Dongnong 430, Songjingxiang No.1 and Longdao 24; varieties in the second accumulated temperature zone include Suijing 14, Dongnong 428, Jinhe No.2, Beidao No.4, Muxiang No.1, Suidao No.2, Suijing 18, Suidao No.3, Jinhe No.1 and Suidao No. 1; varieties in the third accumulated temperature zone include Longjing No.25, Longjing No.26, Longyang 11, Longjing No.27, Longjing 53, Longjing No.32, Longdun 107, Longjing No.28, Longhua 04-050 and Jiahe No. 1; varieties in the fourth accumulated temperature zone were include Fuhe No.3, Suijing 12, Lianhui No.1, Longjing 65, Lianyu 625, Longjing 66, Kendao 19, Longjing 48, Suijing 25 and Longqingdao No.22. These elite rice resources can be used as hybrid parents in the future.

Keywords *japonica* rice; varieties; comprehensive evaluation; cold rice growing area; food security; genetic diversity; germplasm resources

(责任编辑:张志钰)