

刘娟, 刘洋, 符躲躲, 等. 适宜直播粳稻品种的芽期耐淹性鉴定与评价[J]. 江苏农业科学, 2025, 53(22): 81-87.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2025.22.010

## 适宜直播粳稻品种的芽期耐淹性鉴定与评价

刘娟<sup>1,2,3</sup>, 刘洋<sup>1,2,3</sup>, 符躲躲<sup>1</sup>, 李猛<sup>1,2,3</sup>, 宋晓华<sup>1,2,3</sup>, 季新<sup>1,2,3</sup>, 刘秋员<sup>1,2,3</sup>, 王付娟<sup>1,2,3</sup>

(1. 信阳农林学院, 河南信阳 464000; 2. 信阳市优质稻米工程技术研究中心, 河南信阳 464000;

3. 信阳市水稻遗传改良与生理生态重点实验室, 河南信阳 464000)

**摘要:**近年来,我国直播稻推广迅速,然而淹水会导致直播稻出苗率低、出苗不整齐、秧苗素质差,尤其在水稻直播后易遭受渍水、淹水的地区,鉴定筛选芽期耐淹性强的水稻种质资源对直播稻新品种培育及直播稻推广生产具有重要意义。以 18 份粳稻品种为材料,采用人工模拟淹水直播试验(水深为 10 cm),调查芽期胚芽鞘长、胚根长与成苗期株高、最长根长、地上部干鲜重、根系干鲜重、成苗率,通过主成分分析、隶属函数法和聚类分析鉴定评价不同粳稻品种的耐淹性。结果表明,利用主成分分析方法可将 9 项测定指标转化为 5 个主成分,累计贡献率为 87.27%,其中成苗率、胚芽鞘长、胚根长的贡献率最大。通过隶属函数分析进一步将 5 个主成分简化成耐淹性鉴定综合评价 *D* 值,根据 *D* 值进行系统聚类分析,根据耐淹性将供试粳稻品种分为 5 个类群:高耐、耐淹、中耐、敏感和高敏,其中耐淹能力最强的粳稻品种有 5 个,为金武软 2、泰香粳 1402、丰粳 1606、宁香粳 9 号和宁香粳 11 号。综上所述,成苗率、胚芽鞘长、胚根长可作为粳稻芽期耐淹性鉴定的重要指标,筛选获得 5 个高耐型的粳稻品种,为适宜淹水直播粳稻品种培育及直播稻安全生产提供材料基础。

**关键词:**直播稻;芽期;耐淹性;耐淹系数;累计贡献率;综合评价;主成分;隶属函数值

**中图分类号:**S511.2<sup>+</sup>20.1;S511.2<sup>+</sup>20.37 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2025)22-0081-06

水稻(*Oryza sativa* L.)作为我国重要的粮食作物之一,其高产、稳产是确保国家粮食安全的重要保障。水稻种植方式主要有直播和育秧移栽 2 种。常规育秧移栽种植生产环节多,劳动强度大,生产成本高。随着社会经济的快速发展和城镇化的推进,水稻种植面临农村劳动力短缺、人工成本高、经济效益低等问题。2022 年,农业农村部印发的《“十四五”全国种植业发展规划》指出,要加快机械化、智能化、现代化生产模式和轻简化栽培新技术推广。水稻直播具有省力、省工、低劳动强度和低生产成本等特点,是水稻轻简化生产发展的重要方向之一<sup>[1-2]</sup>。然而,出苗难、不整齐,苗期杂草多、易倒

伏等问题严重制约直播稻大范围推广。研究表明,淹水能够有效抑制直播稻田杂草的生长,进而降低农药用量和人工成本<sup>[3-4]</sup>。但水稻种子长期处于淹水状态,尤其在水稻播种后易遭受渍害、淹水的地区或田面不平整的大田,直播稻出苗率低、出苗不整齐、幼苗素质差<sup>[5-6]</sup>。因此,筛选出适合直播的耐淹水稻品种能够解决直播稻难以播全苗等问题,为直播稻品种选育提供技术及材料支撑,对于推动直播稻的广泛应用具有极为关键的实践意义。

国内外学者围绕水稻耐淹性这一课题已开展了大量的研究工作,淹水胁迫下水稻种子萌发力及幼苗建成均受到明显影响,但是不同水稻品种耐淹性存在较大差异<sup>[7]</sup>。孙志广等以淹水 11 d 的胚芽鞘长作为评价指标,鉴定水稻萌发期耐淹性,筛选出 6 份强萌发耐淹性水稻种质,且在淹水临界深度上粳间耐淹性存在差异<sup>[8]</sup>。Jiang 等研究以淹水萌发 5 d 的胚芽鞘长为鉴定指标,分析发现不同水稻种质的低氧发芽力存在明显的粳粳和地域差异<sup>[9]</sup>。然而,有研究以淹水 7 d 的胚芽鞘为指标,表明粳粳间萌发耐淹性不存在显著差异<sup>[10]</sup>,且不同种质间萌发耐淹能力不存在明显的地域性差异<sup>[11]</sup>。此外,主成分分析结合隶属函数值法是一种比较全面的综合评价方法,更能准确体现种质资源的抗逆

收稿日期:2024-10-12

基金项目:国家自然科学基金(编号:32201701,32101678);河南省高等学校重点科研项目(编号:22B210010,24B210013);河南省科技攻关项目(编号:232102110191,242102111105);河南省高等学校青年骨干教师培养计划项目(编号:2021GGJS177);河南省 2023 年度留学人员科研择优资助项目;河南省重点研发专项(编号:231111110500);信阳市重点研发与推广专项(编号:20230023);信阳农林学院青年教师科研基金项目(编号:QN2022003)。

作者简介:刘娟(1987—),女,河南固始人,博士,副教授,从事水稻逆境生理生态及分子生物学研究。E-mail:liujuan@xyafu.edu.cn。  
通信作者:王付娟,硕士,副教授,从事作物遗传育种研究。E-mail:wfj703@126.com。

性,已广泛应用于鉴定评价作物种质耐盐性、抗旱性、耐淹性等<sup>[12-14]</sup>。目前,大部分研究主要以胚芽鞘长来分析鉴定直播稻芽期耐淹性,而结合多项指标对直播稻苗期耐淹性的综合性评价还较少。

因此,本试验以 18 份常规优质粳稻为材料,人工模拟淹水条件,调查淹水下种子萌发及幼苗建成情况,采用多指标综合分析、主成分分析、隶属函数统计方法鉴定评价不同水稻种质资源耐淹性,以期为水稻芽期和苗期耐淹性优质粳稻种质资源挖掘和育种利用提供一定的材料基础,为直播稻的发展推广提供一定的技术指导。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验材料

本试验共选取 18 个优质粳稻品种为材料,具体如表 1 所示。

表 1 试验材料名称

编号	品种名称	编号	品种名称
1	武科粳 7375	10	宁粳 15 号
2	金武软 2	11	宁粳 14 号
3	常香粳 1813	12	苏香粳
4	武香粳	13	南粳 9108
5	宁香粳 11 号	14	金香玉 1 号
6	宁香粳 9 号	15	泰香粳 1402
7	南粳 46	16	扬农香 28
8	南粳晶谷	17	南粳 5718
9	南粳 3908	18	丰粳 1606

### 1.2 试验设计

1.2.1 水稻萌发期耐淹试验 选取饱满完好的种子,用 10% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 溶液浸泡消毒 10 min,自来水冲洗 5~6 次(1 min/次),再用无菌水清洗 5~6 次。设淹水处理:种子均匀置于铺有滤纸的塑料杯(10 cm×15 cm)底部,设置 10 cm 淹水深度,每天 12:00 适当补充水分以确保淹水深度。同时设置对照组(不淹水),培养皿中保持浅水层,以刚没过种子为标准。淹水处理和对照组均设置 3 个生物学重复,每个重复 50 粒种子,培养条件一致,置于相对湿度为 75%、温度为 28 ℃ 的暗培养箱中培养,在培养第 4 天测定胚芽鞘长,在培养第 7 天测定胚根长。

1.2.2 水稻耐淹成苗试验 将消毒后的种子置于恒温 28 ℃ 下催芽 48 h 至露白,选取发芽一致的种子均匀点播于周转箱(长 38 cm×宽 28 cm×高 13 cm)的沙土表面,1 cm 沙土平铺于种子上。设置

淹水组:每个周转箱设 10 cm 淹水深度,每天 12:00 适当补充水分以确保淹水深度;同时设对照组,不淹水,保持湿润。设置 3 个生物学重复,每个重复 20 粒种子,培养条件一致,置于相对湿度 75%、光—暗周期 14 h—10 h、温度 28 ℃/25 ℃、恒温光照培养箱中培养 8 d,测定成苗率、株高、最长根长、地上部干鲜重、根系干鲜重。成苗率 = 出苗数 ÷ 供试种子数 × 100%。

### 1.3 数据分析

采用 Microsoft Excel、SPSS 23.0 分析软件对各测定项目指标进行描述性统计、相关性分析、主成分分析、隶属函数分析、系统聚类等多元统计分析,具体的分析方法如下<sup>[15-16]</sup>:

(1)耐淹系数。

FTI(flooding tolerance index) = 处理组所得值/对照组所得值。

(2)权重。

$$w_j = p_j / \sum_{j=1}^n P_j, j=1, 2, \dots, n. \quad (1)$$

其中:权重  $w_j$  表示用以衡量第  $j$  主成分相较于所有主成分的重要程度;而  $p_j$  表示第  $j$  主成分经主成分分析后所呈现的贡献率。

(3)隶属函数值。

$$R(X_{j,i}) = (X_{j,i} - X_{j,\min}) \div (X_{j,\max} - X_{j,\min}), j=1, 2, \dots, n. \quad (2)$$

其中: $R$  表示隶属函数值; $X_{j,i}$  表征第  $i$  个种质第  $j$  主成分分值; $X_{j,\max}$  表征第  $j$  主成分的最大值; $X_{j,\min}$  则代表第  $j$  主成分的最小值。

(4)综合评价价值。

$$D = \sum_{j=1}^n [R(X_{j,i} \times w_j)], j=1, 2, \dots, n. \quad (3)$$

其中: $D$  值表示第  $i$  个种质在淹水胁迫下的耐淹性综合评价价值。

(5)聚类分析。

根据计算得出的  $D$  值,利用 SPSS 23.0 软件,采用欧氏距离和组间平均连接法,按照耐淹性程度对不同粳稻种质聚类分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同粳稻种质资源耐淹指标描述统计

由表 2 可知,正常培养下的不同粳稻品种胚芽鞘长范围在 0.820~1.571 cm 之间,均值为 1.205 cm,而淹水处理下不同粳稻品种胚芽鞘长明显升高,范围在 1.406~3.282 cm 之间,均值为 2.197 cm。在

正常和淹水培养下,不同测定指标表现出不同程度的变异,其中淹水下胚芽鞘长、胚根长、株高、最长根长、根系干重、成苗率的变异系数均大于正常条件下各指标的变异系数,因此可采用这些测定指标

评价分析水稻耐淹性。而这些测定指标的变异系数变化范围较大,在 18.741% ~ 54.659% 之间,表明这些测定指标受淹水处理的影响程度存在差异,因此不能采用单一指标评价分析水稻的耐淹性。

表 2 在正常和淹水培养条件下各测定指标的描述统计

性状	正常条件					淹水条件				
	最大值	最小值	平均值	标准差	变异系数(%)	最大值	最小值	平均值	标准差	变异系数(%)
胚芽鞘长(cm)	1.571	0.820	1.205	0.158	13.126	3.282	1.406	2.197	0.412	18.741
胚根长(cm)	6.300	2.100	4.194	0.911	21.720	1.700	0.300	0.656	0.286	43.618
株高(cm)	10.230	3.500	7.647	1.331	17.406	16.244	3.850	9.872	2.464	24.961
最长根长(cm)	12.510	4.600	7.723	1.701	22.021	11.400	1.600	6.187	2.087	33.722
地上部鲜重(g)	0.041	0.015	0.026	0.006	21.566	0.050	0.012	0.026	0.008	31.823
地上部干重(g)	0.020	0.004	0.006	0.003	50.541	0.013	0.002	0.004	0.002	40.865
根系鲜重(g)	0.059	0.005	0.016	0.010	61.903	0.016	0.002	0.006	0.003	52.725
根系干重(g)	0.020	0.003	0.005	0.003	51.889	0.009	0.001	0.003	0.002	54.659
成苗率(%)	100.000	50.000	90.560	11.229	12.401	100.000	20.000	83.060	16.863	20.303

## 2.2 淹水胁迫后各指标的耐淹系数分析

由表 3 可知,不同粳稻品种在萌发期淹水处理后,不同测定指标的耐淹系数呈现较大的差异。其中,胚芽鞘长所对应的耐淹系数均在 1 以上,除了武香粳外,其他粳稻苗期株高的耐淹系数也均大于 1。

而不同粳稻品种胚根长的耐淹系数均小于 1,在 0.08 ~ 0.32 之间,成苗率的耐淹系数在 0.47 ~ 1.06 之间,说明各评价指标在不同粳稻品种间的变化幅度存在较大差异,故而不能凭借某一指标对水稻耐淹性进行评价与鉴定。

表 3 淹水胁迫后各指标的耐淹系数分析

品种名称	耐淹系数								
	胚芽鞘长	胚根长	株高	最长根长	地上部鲜重	地上部干重	根系鲜重	根系干重	成苗率
武科粳 7375	1.56	0.16	1.05	0.60	0.76	0.64	0.16	0.29	0.88
金武软 2	1.76	0.15	1.09	0.59	0.89	0.70	0.34	1.23	0.94
常香粳 1813	2.16	0.26	1.27	0.81	0.95	0.73	0.40	0.54	0.88
武香粳	1.99	0.15	0.95	0.76	0.73	0.59	0.20	0.28	0.80
宁香粳 11 号	1.48	0.09	1.16	0.64	1.05	0.72	0.64	0.49	1.06
宁香粳 9 号	1.83	0.17	1.50	0.82	1.17	0.34	0.19	1.20	0.95
南粳 46	1.65	0.16	1.55	0.88	1.28	0.96	0.40	0.62	1.05
南粳晶谷	1.82	0.20	1.26	0.68	0.90	1.66	0.28	0.45	0.89
南粳 3908	1.99	0.21	1.24	0.75	0.92	0.79	0.25	0.55	0.90
宁粳 15 号	1.90	0.11	1.50	0.93	1.96	1.05	1.32	0.97	0.89
宁粳 14 号	1.70	0.08	1.32	0.82	1.08	0.76	0.63	0.18	0.85
苏香粳	2.18	0.15	1.33	0.91	0.98	0.86	0.82	0.54	0.80
南粳 9108	2.08	0.32	1.66	1.10	1.44	0.94	0.76	0.75	0.95
金香玉 1 号	1.77	0.15	1.50	0.89	1.14	0.86	0.78	0.38	1.00
泰香粳 1402	1.64	0.13	1.17	0.75	0.83	0.72	0.29	0.50	1.06
扬农香 28	1.89	0.11	1.21	0.79	0.71	0.76	0.39	0.57	1.00
南粳 5718	1.66	0.17	1.23	0.68	0.62	0.24	0.28	0.46	0.47
丰粳 1606	1.79	0.10	1.22	0.89	0.78	0.78	0.26	0.64	1.05

## 2.3 淹水胁迫后各指标耐淹系数的相关性分析

由表 4 可知,在淹水胁迫下,各测定指标的耐淹系数之间呈现出不同程度的相关性。胚芽鞘长与胚根长、最长根长呈显著正相关。株高与最长根长、地上部鲜重、根系鲜重存在极显著或显著的正

相关关系。最长根长与地上部鲜重之间呈现极显著的正相关关系,与根系鲜重呈显著正相关。地上部鲜重与根系鲜重呈极显著正相关,其相关系数为 0.798,说明在淹水条件下各测定指标之间并非孤立存在的,而是彼此影响、相互叠加。而成苗率、胚根

长与其他指标之间的相关性总体达不到显著水平,说明不能用某单个指标鉴定评价水稻品种的耐淹

能力,因此在筛选鉴定水稻品种耐淹性时,应采用多重指标综合评价的方法。

表 4 淹水胁迫后各指标耐淹系数的相关性分析

耐淹系数	相关系数								
	胚芽鞘长	胚根长	株高	最长根长	地上部鲜重	地上部干重	根系鲜重	根系干重	成苗率
胚芽鞘长	1.000								
胚根长	0.542*	1.000							
株高	0.226	0.334	1.000						
最长根长	0.539*	0.288	0.782**	1.000					
地上部鲜重	0.163	0.086	0.746**	0.602**	1.000				
地上部干重	0.165	0.145	0.240	0.188	0.334	1.000			
根系鲜重	0.231	-0.113	0.551*	0.555*	0.798**	0.314	1.000		
根系干重	0.145	0.117	0.324	0.119	0.417	-0.097	0.132	1.000	
成苗率	-0.174	-0.170	0.174	0.179	0.245	0.332	0.057	0.209	1.000

#### 2.4 淹水条件下各指标耐淹系数的主成分分析

由表 5 可知,依据胚芽鞘长、胚根长、株高、最长根长、地上部鲜重、地上部干重、根系鲜重、根系干重、成苗率等这 9 项测定指标的耐淹系数,开展主成分分析。按照特征值大于 1,亦或是累计贡献率大于 85% 的准则,则可提取 5 个主成分。第 1 主成分(PC1)、第 2 主成分(PC2)、第 3 主成分(PC3)、第 4 主成分(PC4)、第 5 主成分(PC5)这 5 个主成分的贡献率分别为 25.62%、21.58%、17.45%、13.02%、9.60%,累计贡献率 87.27%,即这 5 个主成分反映了 9 项测定指标中绝大部分变异信息,可以很好地代表绝大多数的指标数据。因此,通过主成分分析将不同粳稻的 9 项测定指标的耐淹系数转化为 5 个独立的综合指标,用于综合评价分析不同粳稻耐淹性。

由方差旋转载荷值分析(表 5)可知,第 1 主成分的构成主要取决于成苗率、胚根长、胚芽鞘长等 3 项测定指标的耐淹系数,其囊括的信息量在总体信息量的占比达到了 25.62%;第 2 主成分则主要由最长根长、株高、成苗率等 3 项测定指标的耐淹系数所主导,其包含的信息量占总体信息量的比例为 21.58%;第 3 主成分主要由胚芽鞘长、胚根长 2 项测定指标的耐淹系数决定,它在总体信息量中所占的比例是 17.45%;第 4 主成分主要由最长根长、根系鲜重 2 项测定指标的耐淹系数决定,此成分涵盖的信息量在总体信息量占据 13.02%;第 5 主成分则主要由根系干重的耐淹系数决定,该成分所包含的信息量占总体信息量的 9.60%。

#### 2.5 粳稻种质资源耐淹性综合评价

由公式(1)计算出前 5 个主成分对应的权重分别为 29.36%、24.73%、20.00%、14.92%、11.00%

表 5 前 5 个主成分特征值和特征向量描述

性状	载荷值				
	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5
胚芽鞘长	-3.81	3.76	-6.41	0.95	-0.50
胚根长	-6.49	2.17	5.11	-0.71	-1.44
株高	0.21	-4.34	0.34	1.56	0.32
最长根长	-0.73	-4.49	-0.42	4.35	-0.28
地上部鲜重	1.06	-2.27	0.38	-2.80	1.23
地上部干重	1.12	0.12	0.42	-0.91	-2.74
根系鲜重	1.30	-2.02	-2.04	-4.66	-0.21
根系干重	0.33	2.80	1.22	0.54	5.23
成苗率	7.02	4.27	1.39	1.67	-1.60
特征值	13.84	11.66	9.42	7.03	5.19
贡献率(%)	25.62	21.58	17.45	13.02	9.60
累计贡献率(%)	25.62	47.20	64.65	77.67	87.27
权重(%)	29.36	24.73	20.00	14.92	11.00

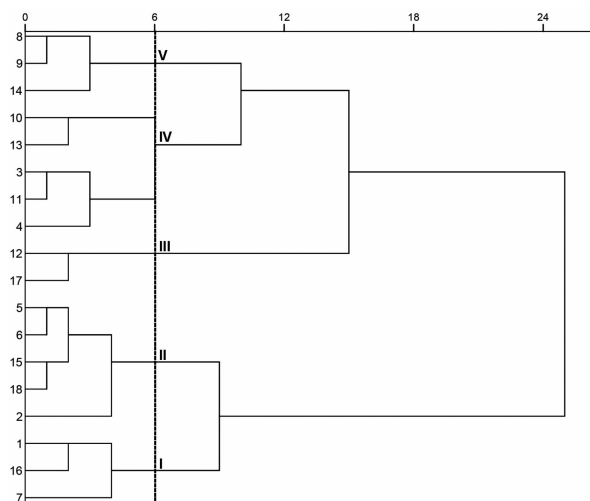
(表 5)。根据不同粳稻品种这 5 个主成分的综合指标值,利用公式(2)计算出 5 个综合指标的隶属函数值,进而根据公式(3)计算不同粳稻品种的耐淹性综合评价  $D$  值,并依据  $D$  值对不同粳稻品种的耐淹能力进行评价,各粳稻品种的  $D$  值介于 0.45 ~ 0.71 之间(表 6),其中综合评价  $D$  值越大,代表该品种的耐淹性越强;反之, $D$  值越小则越弱。

根据  $D$  值,利用 SPSS 23.0 软件对不同粳稻品种耐淹能力进行聚类分析。由图 1 可知,以欧氏距离 6 为界限,可以将 18 份粳稻品种的耐淹性分为 5 个类群:高耐、耐淹、中耐、敏感和高敏。其中,第 I 类群为耐淹型, $D$  值介于 0.63 ~ 0.66 之间,包括南粳 46、扬农香 28 和武科粳 7375;第 II 类群为高耐型( $D$  值为 0.68 ~ 0.71),包括金武软 2、泰香粳 1402、丰粳 1606、宁香粳 9 号和宁香粳 11 号;第 III 类群为高敏材料( $D$  值为 0.45 ~ 0.46),包括苏香粳和南粳

5718;第Ⅳ类群为敏感材料( $D$ 值 0.49~0.54),包括武香粳、常香粳 1813、宁粳 14 号、南粳 9108 和宁粳 15 号;第Ⅴ类群为中耐型( $D$ 值为 0.57~0.58),包括南粳 3908、南粳晶谷和金香玉 1 号。

表 6 不同粳稻耐淹能力综合评价

编号	品种名称	综合指标值					隶属函数					$D$ 值	综合评价
		$CI_1$	$CI_2$	$CI_3$	$CI_4$	$CI_5$	$R_1$	$R_2$	$R_3$	$R_4$	$R_5$		
2	金武软 2	2.83	14.18	4.11	-1.58	9.49	0.68	0.84	0.68	0.62	0.67	0.71	高耐
15	泰香粳 1402	10.10	4.99	3.76	3.28	-1.89	0.81	0.68	0.67	0.76	0.37	0.69	高耐
18	丰粳 1606	10.14	3.52	-1.29	8.14	-0.33	0.81	0.65	0.55	0.90	0.41	0.69	高耐
6	宁香粳 9 号	-0.41	2.14	4.41	6.87	12.72	0.62	0.63	0.68	0.86	0.75	0.68	高耐
5	宁香粳 11 号	18.21	0.70	2.53	-5.55	-0.32	0.97	0.60	0.64	0.50	0.41	0.68	高耐
7	南粳 46	9.61	-6.15	6.23	2.85	-0.91	0.80	0.48	0.73	0.75	0.40	0.66	耐淹
16	扬农香 28	5.75	5.41	-4.10	4.37	-1.32	0.73	0.68	0.48	0.79	0.39	0.64	耐淹
1	武科粳 7375	0.17	5.11	6.01	-0.85	-3.07	0.63	0.68	0.72	0.64	0.34	0.63	耐淹
9	南粳 3908	-8.19	6.61	0.61	2.35	-1.99	0.47	0.70	0.59	0.73	0.37	0.58	中耐
8	南粳晶谷	-2.88	4.56	4.76	-2.28	-9.61	0.57	0.67	0.69	0.60	0.17	0.58	中耐
14	金香玉 1 号	6.53	-8.67	-0.59	-1.78	-3.94	0.75	0.44	0.56	0.61	0.32	0.57	中耐
4	武香粳	-9.08	6.49	-5.57	2.38	-3.17	0.45	0.70	0.44	0.73	0.34	0.54	敏感
3	常香粳 1813	-15.35	6.93	-0.55	1.32	-2.75	0.33	0.71	0.56	0.70	0.35	0.53	敏感
11	宁粳 14 号	5.85	-11.14	-5.38	-2.88	-3.22	0.73	0.40	0.45	0.58	0.34	0.53	敏感
13	南粳 9108	-13.71	-7.00	5.00	0.91	-1.54	0.36	0.47	0.70	0.69	0.38	0.51	敏感
10	宁粳 15 号	9.49	-15.69	-8.05	-14.32	7.29	0.80	0.32	0.38	0.25	0.61	0.49	敏感
12	苏香粳	-7.37	-4.07	-12.43	-2.09	-1.00	0.48	0.52	0.28	0.60	0.40	0.46	高敏
17	南粳 5718	-21.68	-7.95	0.55	-1.16	5.57	0.21	0.45	0.59	0.63	0.57	0.45	高敏

图 1 基于综合评价  $D$  值的不同粳稻品种聚类分析

### 3 讨论

直播是一种重要的水稻栽培方式,具有轻简、高效、省工、节本等优点。淹水直播能够有效防控稻田杂草,然而,在淹水环境下,低氧胁迫导致的出苗率低是制约水稻直播发展的关键因素<sup>[17]</sup>。有研究采用种子丸粒化、种子引发等调控措施在一定程度上能够提高水稻直播出苗率<sup>[18-19]</sup>,而挖掘活力高、耐淹水的水稻品种是解决直播稻萌发成苗问题

的关键。不同基因型水稻品种耐淹萌发力存在较大的差异<sup>[4,20]</sup>,在淹水胁迫下,水稻种子的萌发过程涉及一系列复杂的生理反应,受到多基因的协同调控,仅仅依靠某单一指标难以全方位、准确地反映出水稻品种的耐淹能力<sup>[20]</sup>。

有关水稻耐淹能力的鉴定方法及指标各不相同。目前,大量研究主要以胚芽鞘长、成苗率等作为芽期耐淹评价指标。刘利成等将水稻种子在 5 cm 深度淹水 7 d 的胚芽鞘长作为衡量水稻耐淹水萌发能力的指标<sup>[21]</sup>。孙志广等则选取 10 cm 深度淹水 7 d 的胚芽鞘长,鉴定直播稻低氧发芽能力<sup>[8,11,22]</sup>。谢月兰以 10 cm 水深淹水 4 d 的胚芽鞘长、平均直径、表面积,作为水稻耐淹性的鉴定指标<sup>[23]</sup>。李晓丹采用 5、10 cm 水深淹水 10 d 的相对成苗率、相对苗高以及相对根长等指标鉴定分析水稻种子萌发期耐淹性<sup>[24]</sup>。还有学者以 10 cm 淹水 7 d 与有氧对照条件下的胚芽鞘长的差值作为鉴定指标,评价分析水稻耐淹性<sup>[25]</sup>。本研究以芽期 10 cm 淹水 7 d 的胚芽鞘长、胚根长和沙培 10 cm 淹水 8 d 的幼苗株高、最长根长、地上部干鲜重、根系干鲜重及成苗率作为鉴定指标,结果表明,不同测定指标受淹水处理影响的程度存在差异,相关性分

析结果表明,胚芽鞘长与胚根长、最长根长呈现显著正相关,而成苗率、胚根长与其他指标之间的相关性总体达不到显著水平。因此,在开展水稻直播耐淹性评价上不宜单一采用胚芽鞘长或成苗率作为筛选水稻耐淹性的鉴定指标,而需要采用多项指标综合评价分析的方法。

在多元统计分析中,主成分分析是一种极为常用的削减变量维度的方法,能将多个单项指标转化为几个彼此独立且能反映样品变异的新的综合指标,适用于综合评价分析作物耐淹能力<sup>[15,26]</sup>。杨小艳等以胚芽鞘、成苗率、株高、根长等多项指标鉴定 22 份杂交水稻芽期耐淹性,主成分分析表明,株高、根长、成苗率能够作为鉴定直播稻萌发期耐淹能力的关键指标,供试水稻品种的耐淹能力分为强、中、弱等 3 个等级<sup>[26]</sup>。刘停等采用因子法综合评价分析 311 份籼稻种质耐淹性,结果表明,不同籼稻品系在芽期和苗期的淹水适应性存在一定的差异<sup>[27]</sup>。钟艳平等采用主成分分析法和聚类分析评价直播早稻耐淹性,结果表明,根冠比和根系生物量对于直播早稻耐淹贡献率发挥了关键作用,在各指标总的贡献率占据首位,将不同早籼稻品种划分为强耐淹、中度耐淹和不耐淹 3 种类型<sup>[15]</sup>。本研究采用主成分分析法,将胚芽鞘长、胚根长、株高、最长根长、地上部鲜重、地上部干重、根系鲜重、根系干重、成苗率等 9 个单项测定指标降维,进而转化为 5 个彼此独立的综合性指标,结果表明,成苗率、胚根长、胚芽鞘长等 3 项测定指标的耐淹系数所占贡献率最大,可作为评价分析粳稻品种耐淹能力的重要参考指标,这与杨小艳等研究结果<sup>[26]</sup>类似。本研究采用隶属函数分析法和权重得出综合评价  $D$  值,通过系统聚类分析将 18 份粳稻品种的耐淹性分为 5 个类群:高耐、耐淹、中耐、敏感和高敏。耐淹能力最强的粳稻品种有 5 个, $D$  值介于 0.68 ~ 0.71,包括金武软 2、泰香粳 1402、丰粳 1606、宁香粳 9 号和宁香粳 11 号,耐淹能力较弱的粳稻品种有 2 个, $D$  值介于 0.45 ~ 0.46,包括苏香粳和南粳 5718。

#### 4 结论

成苗率、胚芽鞘长、胚根长可作为直播粳稻耐淹水能力的关键鉴定指标。本研究鉴定筛选到金武软 2、泰香粳 1402、丰粳 1606、宁香粳 9 号和宁香粳 11 号等 5 个耐淹能力较强的粳稻品种,可为粳稻耐淹水机制探究及适宜直播的粳稻品种培育提供

材料基础及筛选评价体系。

#### 参考文献:

- [1]王 飞,彭少兵. 水稻绿色高产栽培技术研究进展[J]. 生命科学,2018,30(10):1129-1136.
- [2]黄 健,朱 安,汪 浩,等. 水直播和旱直播对水稻产量与品质的影响综述[J]. 江苏农业科学,2020,48(16):67-73.
- [3]Ismail A M, Johnson D E, Ella E S, et al. Adaptation to flooding during emergence and seedling growth in rice and weeds, and implications for crop establishment [J]. AoB Plants, 2012, 2012: pls019.
- [4]王 拓,李秋平,周文玲,等. 田间不同淹水深度对耐低氧水稻和杂草生长的影响[J]. 江苏农业科学,2023,51(3):111-117.
- [5]Ismail A M, Ella E S, Vergara G V, et al. Mechanisms associated with tolerance to flooding during germination and early seedling growth in rice (*Oryza sativa*) [J]. Annals of Botany, 2009, 103(2): 197-209.
- [6]张晓丽,陶 伟,陈 雷,等. 基于隶属函数值法的直播稻芽期和幼苗期耐低温淹水能力综合评价[J]. 南方农业学报,2021,52(1):78-85.
- [7]Zhang M C, Lu Q, Wu W, et al. Association mapping reveals novel genetic loci contributing to flooding tolerance during germination in Indica rice [J]. Frontiers in Plant Science, 2017, 8:678.
- [8]孙志广,刘 艳,李景芳,等. 水稻萌发耐淹性鉴定评价方法研究及种质资源筛选[J]. 中国稻米,2023,29(4):1-6.
- [9]Jiang L, Liu S J, Hou M Y, et al. Analysis of QTLs for seed low temperature germinability and anoxia germinability in rice (*Oryza sativa* L.) [J]. Field Crops Research, 2006, 98(1):68-75.
- [10]陈孙禄,王俊敏,潘佑找,等. 水稻萌发耐淹性的遗传分析[J]. 植物学报,2012,47(1):28-35.
- [11]孙志广,王宝祥,周振玲,等. 水稻萌发耐淹性种质资源筛选及 QTL 定位[J]. 作物学报,2021,47(1):61-70.
- [12]孙现军,姜奇彦,胡 正,等. 小麦种质资源苗期耐盐性鉴定评价[J]. 作物学报,2023,49(4):1132-1139.
- [13]李其勇,朱从桦,李星月,等. 水稻芽期抗旱性综合评价及鉴定指标筛选[J]. 西北农业学报,2023,32(1):18-32.
- [14]李继军,陈雅慧,王艺瑾,等. 甘蓝型油菜种质资源田间耐渍性评价和耐渍种质资源筛选[J]. 作物学报,2023,49(12): 3162-3175.
- [15]钟艳平,李祖军,唐双勤,等. 直播早籼稻品种芽期耐淹性鉴定研究[J]. 江西农业大学学报,2020,42(1):1-9.
- [16]季 新,肖 迪,张佳会,等. 特种稻种质资源耐盐性综合评价及耐盐种质筛选[J]. 种子,2023,42(5):110-117.
- [17]Kashiwagi J, Hamada K, Jitsuyama Y. Rice (*Oryza sativa* L.) germplasm with better seedling emergence under direct sowing in flooded paddy field [J]. Plant Genetic Resources (Characterization and Utilization), 2018, 16(4):352-358.
- [18]Mei J H, Wang W Q, Peng S B, et al. Seed pelleting with calcium peroxide improves crop establishment of direct-seeded rice under waterlogging conditions [J]. Scientific Reports, 2017, 7(1):4878.
- [19]Hu F Q, Jiang S C, Wang Z, et al. Seed priming with selenium:

王晶,王翠玲,陈国峰,等. 不同年际和产地对优良食味粳稻直链淀粉和蛋白质含量的影响[J]. 江苏农业科学,2025,53(22):87-94.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2025.22.011

# 不同年际和产地对优良食味粳稻直链淀粉和蛋白质含量的影响

王晶<sup>1</sup>,王翠玲<sup>1</sup>,陈国峰<sup>1</sup>,苏才<sup>2</sup>,刘宝海<sup>1</sup>,张瑞英<sup>1</sup>,戴常军<sup>1</sup>

[1. 黑龙江省农业科学院农产品质量安全研究所/农业农村部谷物及制品质量检验检测中心(哈尔滨)/

国家市场监督管理总局谷物及制品质量与安全重点实验室,黑龙江哈尔滨 150086; 2. 黑龙江庄稼人种业有限公司,黑龙江大庆 166500]

**摘要:**以环境适应性较强的优良食味粳稻品种吉源香 1 号为研究对象,以淀粉、蛋白质含量作为主要评价指标,探究不同水稻种植区和年际间变化对水稻优良食味品质的影响。通过理化分析、感官评价、氨基酸含量测定比较吉源香 1 号的品质特征,明确吉源香 1 号的优良食味品质特性。不同种植区氨基酸含量和淀粉糊化特性差异分析结果表明,谷氨酸含量、淀粉的崩解值和消减值受产地影响最大,体现为食味较高的种植区稻米谷氨酸含量较高,淀粉的崩解值高,消减值低。通过分析不同年际和不同种植区稻米食味值、直链淀粉含量和蛋白质含量,明确直链淀粉含量受年际间影响较大,主要体现为崩解值和消减值的差异;蛋白质含量受产地影响较大。通过分析灌浆期前后温度,明确直链淀粉含量受灌浆前期最高和最低温度影响,受灌浆后期最低温度影响;蛋白质含量在灌浆前期受最高温度影响,灌浆后期受最低温度影响。

**关键词:** 稻米;直链淀粉;蛋白质;食味;产地

**中图分类号:** S511.2<sup>+</sup>20.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2025)22-0087-08

随着人们生活水平的提高,食味品质优良的粳米备受青睐。淀粉、蛋白质的含量和结构是决定大

米食味品质的关键。直链淀粉含量和结构受遗传影响较大,淀粉糊化特性受灌浆期温度影响较大;高温胁迫下,淀粉的大颗粒比例增加,平均粒径增大,支链淀粉的长链比例增加,相对结晶度增加,糊化温度升高,热焓值增加,食味品质变劣<sup>[1-4]</sup>。淀粉糊化特性的崩解值和消减值可作为预测米饭食味品质的指标,可以通过快速黏度分析仪(RVA)谱直观反映<sup>[5-7]</sup>。灌浆期前期高温会提高淀粉的消减值,降低崩解值和稻米黏度;而灌浆后期高温则产生相反作用<sup>[8]</sup>。

蛋白质含量在一定阈值范围内与米饭食味值呈显著负相关,影响米饭适口性。蛋白质的组成成分氨基酸,其代谢途径是稻米中的主要富集途径之

收稿日期:2024-12-09

基金项目:黑龙江省自然科学基金优秀青年项目(编号:YQ2022C032);黑龙江省省属科研院所科研业务费青年项目(编号:CZKYF2024-1-C001);国家市场监督管理总局重点实验室(谷物及制品质量与安全)自立课题(编号:GWZL 2025-008);黑龙江省农业科技创新跨越工程农业关键技术科技创新重点攻关项目(编号:CX23GG22)。

作者简介:王晶(1985—),女,黑龙江齐齐哈尔人,博士,助理研究员,主要从事稻米食味品质形成机理和生物育种产品检测技术研究。E-mail:buyijingjing@163.com。

通信作者:张瑞英,硕士,研究员,主要研究方向为稻米品质形成机理,E-mail:zhuiying@163.com;戴常军,硕士,副研究员,主要研究方向为稻米品质检测技术,E-mail:dcj8752@163.com。

effects on germination, seedling growth, biochemical attributes, and grain yield in rice growing under flooding conditions [J]. Plant Direct, 2022, 6(1): e378.

[20] 张静,孙炳蕊,毛兴学,等. 水稻淹水萌发对低氧胁迫的适应及其机制研究进展[J]. 植物遗传资源学报, 2024, 25(1): 13-20.

[21] 刘利成,李小湘,黎用朝,等. 水稻种子耐厌氧萌发全基因组关联分析[J]. 植物遗传资源学报, 2021, 22(6): 1644-1650.

[22] 张所兵,张云辉,陈海元,等. 利用重组自交系定位水稻种子低氧发芽力 QTL[J]. 华北农学报, 2020, 35(6): 31-35.

[23] 谢月兰. NAL11 调控水稻萌发耐淹性的研究[D]. 广州:华南农业大学, 2020.

[24] 李晓丹. 水稻种子萌发期耐淹性资源挖掘及关联分析[D]. 南京:南京农业大学, 2016.

[25] 陈振挺. 水稻种质资源淹水发芽幼苗性状鉴定及全基因组关联定位研究[D]. 上海:上海海洋大学, 2019.

[26] 杨小艳,张巫军,段秀建,等. 重庆地区晚熟中稻直播品种萌芽期耐淹能力鉴定研究[J]. 杂交水稻, 2023, 38(1): 20-27.

[27] 刘停,刘玲,谭炎宁,等. 基于因子分析法筛选适于直播的强耐淹性籼稻品种的研究[J]. 杂交水稻, 2023, 38(4): 36-43.