

秩次分析法在低镉水稻品种筛选中的应用

滕振宁^{1,2} 张玉烛^{1*} 方宝华¹ 刘洋^{1,2} 孙姣辉² 杨坚^{1,2} 何小娥^{1,2}

(¹ 湖南省水稻研究所, 长沙 410125; ² 湖南农业大学农学院, 长沙 410128; 第一作者: sailingtn@163.com;

* 通讯作者: yuzhuzhang@hotmail.com)

摘要:以参加湖南省低镉水稻品种筛选试验的 31 个早稻品种为材料, 将这些品种种在 15 个盆栽试验环境点, 获得稻米镉含量数据, 使用非参数统计方法—秩次分析法, 对参试品种的稻米镉含量及其稳定性进行综合分析, 以筛选具有稳定低镉性状的早稻品种。结果表明, 品种 v20(两优早 17) 和 v23(株两优 706) 属于稻米低镉性能和镉含量稳定性均较好的品种, 适合一般污染区大面积种植; 秩次分析法适用于低镉水稻筛选试验中品种低镉性能和镉含量稳定性评价, 是一种实用、可行的数据处理方法。

关键词:秩次分析法; 非参数度量; 镉; 水稻; 筛选

中图分类号:S511 **文献标识码:**A **文章编号:**1006-8082(2017)02-0021-06

近年来, 镉污染已成为社会广泛关注的问题, “镉大米”事件更造成消费者的恐惧。目前, 我国耕地镉污染严重, 轻、中度污染土壤面积比例大, 能否在这类耕地上生产出符合国家标准的水稻是目前急需解决的问题。研究表明, 作物对镉的吸收和积累存在基因型间差异^[1-8], 筛选低镉吸收品种为在轻度镉污染土壤上持续生产质量安全产品提供了有效可行的途径^[9-11]。

有研究表明, 稻米镉含量不仅受到基因型影响, 也受环境及两者的交互作用影响^[8, 12-14]。目前, 低镉水稻品种主要以稻米镉含量为评价指标, 忽略了稻米镉含量受环境影响而变化较大的问题。因此, 低镉水稻品种筛选、评价工作, 在考虑稻米低镉含量的同时, 要对各参试品种环境稳定性进行有效评估。秩次分析法主要用于评价参试品种在区域试验中的丰产性、稳产性和适应性, 并在玉米^[15-16]、小麦^[17]、水稻^[18]、苦荞^[19]等作物区试中得到很好的应用。本研究采用秩次分析法对 2015 年湖南省低镉水稻筛选试验中的 31 个早稻品种的稻米镉含量及其稳定性进行综合分析, 以期筛选具有低镉积累和环境稳定性的水稻品种, 探寻低镉水稻品种筛选、评价的新方法。

1 材料与方法

1.1 试验材料与方法

以参加 2015 年湖南省低镉水稻筛选试验的 31 个早稻品种为材料, 对其在 15 个盆栽试验点的数据进行分析。15 个试验点分别代表 15 个镉浓度梯度, 土壤来自各地区稻田自然土壤, 从轻微污染区的 0.35 mg/kg (镉含量) 至重度污染区的 4.61 mg/kg。全生育期淹水

1~4 cm, 施肥及病虫草害按常规方法。水稻收获时每个品种 4 次重复单独收割, 同时取土样 1 kg。土壤全镉及糙米镉含量委托湖南省水稻研究所稻米及制品检测中心按国家标准进行检测。

1.2 秩次分析的统计方法^[20-22]

对不同试验环境下各品种镉含量进行方差分析及多重比较, 删除品种间镉含量无显著差异的试验点, 对剩余数据继续分析, 计算评价品种表现的平均数分级值 H_{1M} 和秩次值 H_{2M} 及环境区分指数 Y_M 。

第 M 试验点环境下, 将平均数显著高于 i 品种平均数的品种数定义为 i 品种平均数的分级值, 记为 H_{1M} , 越大, 则 i 品种在第 M 试验点环境下的低镉优势越大。将各品种的 H_{1M} 从大到小进行排序, 排序位次记作秩次值 H_{2M} , 秩次值越小则该品种优势越强, 且 $\sum H_{2M} = v(v+1)/2$ (v 为参试品种数)。

环境区分指数 (Y_M) 用于判断试验点环境条件对品种差异的区分能力。但当 Y_M 值小于 80%, 则该试验点环境对区分品种差异的实用信息量极小, 不易用于数据分析, 则提出该试验点数据。 Y_M 计算方法如下: $Y_M (\%) = (\sum H_{2M}^2 - C') / P \times 100$ ($i=1, 2, \dots, v$)。式中, $C = \sum v^2$; $C' = v(v+1)^2$; $P = C - C'$ 。

用参试品种在有效试验点稻米镉含量秩次平均值 (H_2) 作为判断品种稻米低镉性能的统计计量, H_2 值越小, 则说明第 i 品种的稻米低镉性越好; 用参试品种的

收稿日期: 2016-11-11

基金项目:湖南省科技重大专项(2011FJ1002); 湖南省重金属污染耕地修复及农作物种植结构调整试点项目

表 1 31 个早稻品种在 13 个试验环境下稻米镉含量 (mg/kg)

试验环境 (M)	品种(i)										
	v01	v02	v03	v04	v05	v06	v07	v08	v09	v10	v11
H01	0.030	0.043	0.041	0.037	0.074	0.078	0.096	0.084	0.089	0.093	0.052
H02	0.190	1.304	0.086	0.393	0.348	0.392	0.852	0.466	0.36	0.369	0.788
H03	0.328	0.392	0.194	0.359	0.290	0.307	0.189	0.222	0.216	0.149	0.249
H04	0.087	0.172	0.306	0.072	0.150	0.286	0.154	0.145	0.107	0.268	0.061
H05	0.115	0.137	0.146	0.092	0.112	0.085	0.084	0.095	0.149	0.124	0.111
H06	0.253	0.477	0.348	0.328	0.496	0.238	0.501	0.645	0.608	0.333	0.334
H07	0.110	0.084	0.059	0.051	0.100	0.072	0.092	0.082	0.102	0.083	0.055
H08	0.136	0.119	0.157	0.083	0.113	0.108	0.114	0.202	0.112	0.132	0.109
H09	0.149	0.098	0.046	0.149	0.126	0.087	0.073	0.105	0.067	0.124	0.102
H11	0.018	0.021	0.016	0.018	0.019	0.016	0.017	0.023	0.018	0.021	0.022
H12	0.040	0.061	0.105	0.041	0.051	0.048	0.031	0.067	0.143	0.031	0.068
H13	0.020	0.021	0.016	0.022	0.022	0.018	0.021	0.019	0.016	0.024	0.022
H15	0.097	0.159	0.061	0.111	0.150	0.132	0.092	0.117	0.148	0.197	0.080

续表 1。

试验环境 (M)	品种(i)										
	v12	v13	v14	v15	v16	v17	v18	v19	v20	v21	v22
H01	0.068	0.068	0.034	0.056	0.025	0.030	0.038	0.073	0.033	0.031	0.056
H02	0.838	0.471	0.401	0.772	0.663	0.399	0.812	0.839	0.542	0.832	0.279
H03	0.357	0.423	0.326	0.580	0.479	0.410	0.385	0.271	0.317	0.371	0.339
H04	0.385	0.137	0.093	0.137	0.127	0.204	0.144	0.146	0.083	0.132	0.111
H05	0.100	0.165	0.093	0.128	0.152	0.102	0.121	0.127	0.117	0.133	0.103
H06	0.457	0.375	0.267	0.271	0.635	0.312	0.780	0.482	0.272	0.316	0.399
H07	0.084	0.142	0.091	0.067	0.136	0.137	0.065	0.086	0.051	0.141	0.089
H08	0.124	0.120	0.101	0.127	0.225	0.117	0.098	0.140	0.082	0.096	0.119
H09	0.029	0.058	0.072	0.064	0.179	0.092	0.090	0.036	0.066	0.078	0.061
H11	0.018	0.021	0.022	0.019	0.026	0.019	0.018	0.017	0.020	0.017	0.017
H12	0.071	0.041	0.060	0.069	0.094	0.052	0.060	0.080	0.061	0.137	0.048
H13	0.017	0.017	0.025	0.024	0.022	0.02	0.020	0.019	0.018	0.018	0.019
H15	0.090	0.139	0.112	0.086	0.255	0.098	0.114	0.123	0.075	0.114	0.093

续表 1。

试验环境 (M)	品种(i)									LSD _{0.05}
	v23	v24	v25	v26	v27	v28	v29	v30	v31	
H01	0.030	0.050	0.030	0.037	0.022	0.024	0.041	0.167	0.043	0.015
H02	0.663	1.227	0.893	0.722	0.547	0.519	0.544	0.96	0.483	0.112
H03	0.124	0.428	0.182	0.447	0.510	0.366	0.184	0.446	0.274	0.063
H04	0.106	0.132	0.110	0.234	0.076	0.113	0.077	0.132	0.190	0.037
H05	0.129	0.128	0.097	0.148	0.086	0.111	0.168	0.081	0.133	0.015
H06	0.334	0.730	0.278	0.514	0.405	0.306	0.285	0.378	0.300	0.065
H07	0.058	0.149	0.054	0.098	0.108	0.058	0.076	0.080	0.086	0.016
H08	0.098	0.117	0.144	0.127	0.101	0.128	0.114	0.098	0.073	0.019
H09	0.108	0.115	0.062	0.149	0.121	0.108	0.063	0.118	0.106	0.023
H11	0.017	0.019	0.035	0.022	0.019	0.018	0.018	0.016	0.015	0.002
H12	0.055	0.088	0.057	0.122	0.064	0.062	0.082	0.079	0.065	0.012
H13	0.016	0.023	0.018	0.019	0.019	0.013	0.019	0.015	0.016	0.002
H15	0.080	0.141	0.078	0.136	0.104	0.102	0.151	0.246	0.097	0.018

秩次均方(S_i^2)作为判断品种稻米镉含量稳定性的统计量, S_i^2 越小,第 i 品种的稻米镉含量稳定性越好。相关计算公式如下:

$$H_2=\sum H_{2M}/m \text{ (M=1,2, \cdots,m;m 为有效试验点个数)}$$

数)
$$S_i^2=\left[\sum H_{2ij}^2-\frac{(\sum H_{2ij})^2}{m}\right]/(m-1) \text{ (i=1,2, \cdots,v;j=1,2, \cdots,m)}$$

表 2 13 个试点环境下 31 个早稻品种的分级值 H_{1Mi}

品种(i)	试验环境(M)												
	H01	H02	H03	H04	H05	H06	H07	H08	H09	H11	H12	H13	H15
v01	14	28	9	19	9	20	5	3	1	9	23	8	13
v02	10	0	3	5	2	5	8	5	7	3	9	4	3
v03	10	29	22	1	2	11	21	2	21	15	3	23	28
v04	12	18	7	22	20	13	23	22	1	10	22	3	11
v05	4	21	14	7	13	5	5	6	4	8	15	2	3
v06	2	18	11	1	23	23	13	10	9	21	20	12	5
v07	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
v08	1	14	20	7	20	2	9	1	4	2	9	10	10
v09	1	20	20	12	2	2	5	7	17	10	0	23	3
v10	1	19	25	2	6	13	9	3	4	3	26	0	2
v11	10	3	18	24	13	12	22	8	5	2	7	3	19
v12	5	3	7	0	16	5	8	4	28	10	6	19	17
v13	5	14	2	7	0	11	0	5	18	3	22	14	4
v14	14	18	9	18	20	19	7	12	15	2	9	0	11
v15	8	4	0	7	6	16	18	3	17	8	7	0	17
v16	18	10	1	8	1	2	0	0	0	1	3	1	0
v17	14	18	3	4	15	14	0	5	8	8	15	6	13
v18	12	3	3	7	7	0	19	14	9	9	9	4	11
v19	4	3	15	7	6	5	7	2	27	11	5	10	8
v20	14	14	10	19	9	16	22	22	17	5	9	13	23
v21	14	3	5	8	4	13	0	16	14	11	0	13	11
v22	8	25	8	10	15	10	7	5	18	10	20	10	16
v23	14	10	27	13	6	13	21	14	4	14	13	20	20
v24	10	0	2	8	6	0	0	6	4	8	4	0	3
v25	14	2	23	10	17	16	22	2	18	0	11	11	22
v26	13	7	2	3	2	5	5	3	1	2	2	10	4
v27	20	14	1	20	22	10	5	12	4	6	9	8	12
v28	18	14	5	9	13	15	21	3	4	10	9	29	12
v29	10	14	23	19	0	15	11	6	18	10	4	10	3
v30	0	2	2	8	24	11	10	14	4	17	5	25	0
v31	10	14	15	5	4	15	7	28	4	23	9	23	13

1.3 数据分析

一般数据统计采用 Excel 2007 软件,模型数据分析利用 DPS 数据处理系统,采用 Origin 8.0 软件作图。

2 结果与分析

2.1 各试点环境下参试品种的分级值、秩次值及环境区分指数

2.1.1 品种方差分析

对 15 个试验环境下品种间稻米镉含量结果进行方差分析,经 F 测验,H10 和 H14 这 2 个试验环境下品种的稻米镉含量差异未达到显著水平,因此将其剔除。对其余 13 个试验环境下镉含量数据进一步分析,计算出各试点环境下的最小显著差数($LSD_{0.05}$)(表 1)。

2.1.2 各试点环境下参试品种的分级值 H_{1Mi} 、秩次值 H_{2Mi} 及环境区分指数 Y_M

根据表 1 计算出 31 个早稻品种在 13 个试点环境

下的分级值 H_{1Mi} 列于表 2,再根据分级值 H_{1Mi} 计算出秩次值 H_{2Mi} 及环境区分指数 Y_M 列于表 3。由表 3 可以看出,各试点环境的 Y_M 值均大于 80%,说明这 13 个试点环境对品种表现区分能力较强,可以根据这 13 个有效环境试点的信息进一步分析。

2.2 计算各参试品种稻米镉含量秩次的平均值和秩次均方

根据表 3 计算各参试品种稻米镉含量秩次的平均值 H_2 和秩次均方 S_i^2 ,分别列于表 4。分析可知,稻米低镉性最好的品种是 v20、v23 和 v04;镉含量稳定性较好的品种有 v07、v02、v26、v20、v22 等;综合各品种的镉含量,可以认为 v20 和 v23 属于稻米镉积累量较低且不同环境条件下稳定性较好的品种。

2.3 稻米低镉性及镉含量稳定性综合评价

根据参试品种数计算出秩次均值(H_2)和秩次理想标准差(S_{H2})^[20-22]:

表 3 各参试品种秩次值 H_{2Mi} 及环境区分指数 Y_M

品种(i)	试验环境(M)												
	H01	H02	H03	H04	H05	H06	H07	H08	H09	H11	H12	H13	H15
v01	7.0	2.0	14.5	5.0	14.5	2.0	23.0	23.0	28.0	14.5	2.0	18.5	10.0
v02	16.5	30.0	22.0	23.5	25.5	23.0	15.5	17.5	16.0	23.0	14.5	21.5	25.0
v03	16.5	1.0	5.0	28.5	25.5	17.0	6.0	27.0	3.0	4.0	26.5	4.0	1.0
v04	12.5	8.5	17.5	2.0	5.0	12.5	1.0	2.5	28.0	10.5	3.5	23.5	15.5
v05	25.0	4.0	11.0	19.5	12.0	23.0	23.0	14.0	22.0	17.5	7.5	25.0	25.0
v06	27.0	8.5	12.0	28.5	2.0	1.0	10.0	10.0	13.5	2.0	5.5	11.0	20.0
v07	25.0	30.0	30.5	30.5	30.0	30.0	28.5	30.5	30.5	30.5	30.0	29.0	30.0
v08	29.0	14.0	6.5	19.5	5.0	27.0	13.5	29.0	22.0	26.5	14.5	15.0	18.0
v09	29.0	5.0	6.5	9.0	25.5	27.0	23.0	12.0	9.0	10.5	30.0	4.0	25.0
v10	29.0	6.0	2.0	27.0	19.0	12.5	13.5	23.0	22.0	23.0	1.0	29.0	28.0
v11	16.5	24.0	8.0	1.0	12.0	15.0	3.0	11.0	17.0	26.5	19.5	23.5	5.0
v12	22.5	24.0	17.5	30.5	8.0	23.0	15.5	20.0	1.0	10.5	21.0	7.0	6.5
v13	22.5	14.0	25.5	19.5	30.0	17.0	28.5	17.5	5.5	23.0	3.5	8.0	21.5
v14	7.0	8.5	14.5	7.0	5.0	3.0	18.5	8.5	11.0	26.5	14.5	29.0	15.5
v15	20.5	21.0	30.5	19.5	19.0	5.0	9.0	23.0	9.0	17.5	19.5	29.0	6.5
v16	2.5	18.5	28.5	14.5	28.0	27.0	28.5	30.5	30.5	29.0	26.5	26.0	30.0
v17	7.0	8.5	22.0	25.0	9.5	10.0	28.5	17.5	15.0	17.5	7.5	20.0	10.0
v18	12.5	24.0	22.0	19.5	16.0	30.0	8.0	6.0	13.5	14.5	14.5	21.5	15.5
v19	25.0	24.0	9.5	19.5	19.0	23.0	18.5	27.0	2.0	6.5	22.5	15.0	19.0
v20	7.0	14.0	13.0	5.0	14.5	5.0	3.0	2.5	9.0	21.0	14.5	9.5	2.0
v21	7.0	24.0	19.5	14.5	22.5	12.5	28.5	4.0	12.0	6.5	30.0	9.5	15.5
v22	20.5	3.0	16.0	10.5	9.5	19.5	18.5	17.5	5.5	10.5	5.5	15.0	8.0
v23	7.0	18.5	1.0	8.0	19.0	12.5	6.0	6.0	22.0	5.0	9.0	6.0	4.0
v24	16.5	30.0	25.5	14.5	19.0	30.0	28.5	14.0	22.0	17.5	24.5	29.0	25.0
v25	7.0	27.5	3.5	10.5	7.0	5.0	3.0	27.0	5.5	30.5	10.0	12.0	3.0
v26	11.0	20.0	25.5	26.0	25.5	23.0	23.0	23.0	28.0	26.5	28.0	15.0	21.5
v27	1.0	14.0	28.5	3.0	3.0	19.5	23.0	8.5	22.0	20.0	14.5	18.5	12.5
v28	2.5	14.0	19.5	12.0	12.0	8.0	6.0	23.0	22.0	10.5	14.5	1.0	12.5
v29	16.5	14.0	3.5	5.0	30.0	8.0	11.0	14.0	5.5	10.5	24.5	15.0	25.0
v30	31.0	27.5	25.5	14.5	1.0	17.0	12.0	6.0	22.0	3.0	22.5	2.0	30.0
v31	16.5	14.0	9.5	23.5	22.5	8.0	18.5	1.0	22.0	1.0	14.5	4.0	10.0
YM(%)	97.9	98.2	99.6	98.9	99.1	99.0	98.5	99.1	97.2	98.8	98.1	99.0	99.2

$H_2=(v+1)/2=16$
 $S_{H2}=[(v^2-1)/12]^{1/2}=9.23$
根据参试品种的秩次均方 (S_i^2) 计算出均方均值 (S^2)和均方标准差 (S_s^2)^[20-22]:
 $S^2=\sum S_i^2/v=63.33$
 $S_s^2=[\sum (S_i^2-S^2)^2/(v-1)]^{1/2}=27.40$
本试验中表现稻米低镉性能的品种其秩次值上限为 $H_2-0.67 S_{H2}=9.81$, 表现稻米高镉性能的品种其秩次值下限为 $H_2+0.67 S_{H2}=22.19$,秩次值介于 9.81~22.19 之间的可划分为稻米镉含量一般性品种; 高于平均稳定性的秩次均方值 S_i^2 上限 $S^2-0.67 S_s^2=44.98$, 低于平均稳定性的秩次均方值 S_i^2 下限为 $S^2+0.67 S_s^2=81.69$, 稻米镉含量具有平均稳定性的品种秩次均方在 44.98~81.69 之间。

借鉴金文林^[21]的品种产量性能及稳定性评价模

型,以 H_2 为横轴, S_i^2 为纵轴做散点图,并将稻米镉含量性能的上下限和稳定性的上下限用虚线表示,如图 1 所示。其中 5 个为典型区域:(Ⅰ)低镉稳定型;(Ⅱ)低镉不稳定型;(Ⅲ)一般平均稳定型;(Ⅳ)高镉不稳定型;(Ⅴ)高镉稳定型;其余 4 个区域为过渡区域。

由图 1 可以看出,Ⅱ、Ⅳ区域没有品种分布;Ⅰ区有 2 个品种(v20 和 v23),这 2 个品种属于低镉稳定型品种;Ⅴ区有 3 个品种(v07、v24 和 v26),这 3 个品种稻米低镉性差,且稳定性高;Ⅲ区分布有 17 个品种,属于稻米镉含量一般,具有平均稳定性的品种;其余 9 个品种分布在过渡区。

3 讨论

本研究采用秩次分析法分析早稻稻米低镉性能和稻米镉含量的稳定性,在秩次分析的过程中,先去掉品

表 4 各参试品种平均秩次值(H_{2i})和秩次均方(S_i^2)

品种(i)	ΣH_{2i}	H_{2i}	S_i^2	Cd 含量(mg/kg)
v01	164.0	12.62	77.67	0.121
v02	273.5	21.04	21.89	0.238
v03	165.0	12.69	122.06	0.122
v04	142.5	10.96	72.02	0.135
v05	228.5	17.58	51.70	0.158
v06	151.0	11.62	78.84	0.144
v07	385.0	29.62	2.30	0.178
v08	239.5	18.42	64.16	0.175
v09	215.5	16.58	100.12	0.164
v10	235.0	18.08	102.45	0.150
v11	182.0	14.00	67.75	0.158
v12	207.0	15.92	74.95	0.203
v13	236.0	18.15	71.14	0.167
v14	168.5	12.96	63.31	0.130
v15	229.0	17.62	65.38	0.184
v16	320.0	24.62	66.59	0.232
v17	198.0	15.23	50.90	0.153
v18	217.5	16.73	43.23	0.211
v19	230.5	17.73	57.03	0.187
v20	120.0	9.23	34.03	0.134
v21	206.0	15.85	71.56	0.186
v22	159.5	12.27	34.78	0.133
v23	124.0	9.54	42.06	0.140
v24	296.0	22.77	34.90	0.257
v25	151.5	11.65	98.97	0.157
v26	296.0	22.77	25.19	0.213
v27	188.0	14.46	73.56	0.168
v28	157.5	12.12	46.09	0.148
v29	182.5	14.04	67.94	0.140
v30	214.0	16.46	119.02	0.217
v31	165.0	12.69	61.77	0.145

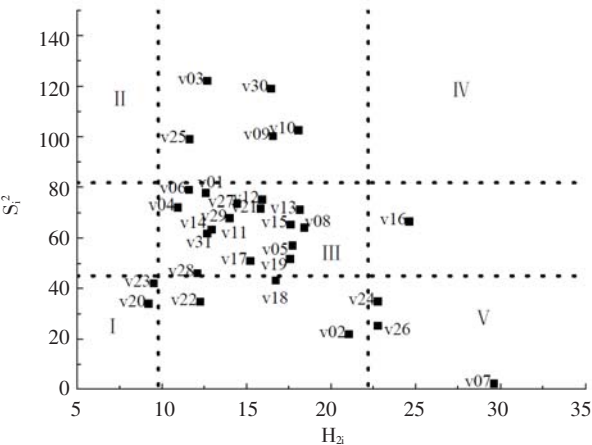


图 1 早稻品种综合评价

种间差异未达到显著水平的试验环境,再剔除掉对品种稻米镉含量高低区分较弱的试验环境,最后结果表明,品种 v20(两优早 17)和 v23(株两优 706)属于稻米低镉性能和镉含量稳定性均较好的品种,适合一般污

染区大面积种植。

品种评价是筛选试验的目的,试验评价是品种评价的基础,能否对品种镉含量及其环境稳定性做出客观评价是筛选稳定、低镉水稻品种的关键。稻米镉含量不仅受到基因型影响,也受环境影响,因此正确评价品种镉含量及其环境稳定性显得尤为重要。秩次分析法以方差分析为基础,通过计算环境区分指数 Y_m ,并赋予其一定的阈值来剔除试验误差过大,或对品种稻米镉含量高低难以区分的试验环境,从而能对各参试品种在多试点环境下低镉性和环境稳定性做出客观评价,为筛选鉴定稳定低镉水稻品种提供依据。

致谢:本文引用了 2015 年湖南省早稻低镉品种筛选试验部分数据,对参加品种筛选试验的工作人员的辛勤劳动,致以谢意!

参考文献

[1] 欧阳喜辉,赵玉杰,刘凤枝,等. 不同种类蔬菜对土壤镉吸收能力的研究[J]. 农业环境科学学报,2008, 27(1):67-70.

[2] 李坤权,刘建国,陆小龙,等. 水稻不同品种对镉吸收及分配的差异[J]. 农业环境科学学报,2003,22(5):529-532.

[3] 贾中民,魏虹,孙晓灿,等. 秋华柳和枫杨幼苗对镉的积累和耐受性[J]. 生态学报,2011,31(1):107-114.

[4] 曾翔,张玉烛,王凯荣,等. 不同品种水稻糙米含镉量差异[J]. 生态与农村环境学报,2006,22(1):67-69,83.

[5] 徐照丽,吴启堂,依艳丽. 不同品种菜心对镉抗性的研究[J]. 生态学报,2002,22(4):571-576.

[6] 江巧君,周琴,韩亮亮,等. 有机肥对镉胁迫下不同基因型水稻镉吸收和分配的影响[J]. 农业环境科学学报,2013,32(1):9-14.

[7] 刘双营,李彦娥,赵秀兰. 不同品种烟草镉吸收的动力学研究[J]. 中国农学通报,2010,26(5):257-261.

[8] 曾翔. 水稻镉积累和耐性机理及其品种间差异研究[D]. 长沙:湖南农业大学,2006.

[9] 刘维涛,周启星. 重金属污染预防品种的筛选与培育[J]. 生态环境学报,2010,19(6):1 452-1 458.

[10] 姚会敏,杜婷婷,苏德纯. 不同品种芸苔属蔬菜吸收累积镉的差异[J]. 中国农学通报,2006,22(1):291-294.

[11] 代成成. 镉低积累小白菜品种的筛选[D]. 武汉:华中农业大学,2010.

[12] 程旺大,张国平,姚海根,等. 晚粳稻籽粒中 As,Cd,Cr,Ni,Pb 等重金属含量的基因型与环境效应及其稳定性 [J]. 作物学报,2006,32(4):573-579.

[13] 伍钧,吴传星,孟晓霞,等. 重金属低积累玉米品种的稳定性和环境适应性分析 [J]. 农业环境科学学报,2011,30 (11):2 160-2 167.

[14] 滕振宁,张玉烛,方宝华,等. 用 AMMI 双标图分析早稻稻米镉含量的基因型与环境互作效应 [J]. 生态环境学报,2016,25(4): 692-697.

[15] 何川,毛金雄,李钟,等. 玉米品种区试资料的非参数度量[J]. 玉米科学,2001,9(1):34-36.

[16] 何川,郑祖平. 秩次分析法评价非平衡玉米区试产量的应用研究[J]. 玉米科学,2005,13(4):53-55.

[17] 董玉武,高桂芹,刘自华,等. 多年滚动区试中冬小麦新品种产量的秩次分析法[J]. 中国农学通报,2004,20(2):214-217.

[18] 余本勋,张时龙,何友勋,等. 秩次分析法在水稻非平衡区试资料品种评价中的应用[J]. 现代农业科技,2010,(15):58-59.

[19] 陈佳,张盼盼,徐冰沁,等. 基于秩次分析法评价苦荞品种产量稳定性[J]. 干旱地区农业研究,2012,30(3):41-45.

[20] 金文林,白琼岩. 作物区试中品种产量性状评价的秩次分析法[J]. 作物学报,1999,25(5):632-638.

[21] 金文林. 作物区试中品种稳定性评价的秩次分析模型[J]. 作物学报,2000,26(6):925-930.

[22] 段惠敏,刘自华,董玉武,等. 秩次分析法评价农作物品种区域试验[J]. 中国油料作物学报,2003,25(2):12-14.

Rank Analysis Method Utilization on Screening Low Cadmium Rice Varieties

TENG Zhenning^{1,2}, ZHANG Yuzhu^{1*}, FANG Baohua¹, LIU Yang^{1,2}, SUN Jiaohui², YANG Jian^{1,2}, HE Xiaoe^{1,2}
(¹ Hunan Rice Research Institute, Changsha 410125, China; ² Hunan Agriculture University, Changsha 410125, China; 1st author: sailingtn@163.com; *Corresponding author: yuzhuzhang@hotmail.com)

Abstract: In this research, the data of 31 early rice varieties which participated in low cadmium rice varieties screening trials in the 15 selected test environments in Hunan, using non-parametric statistical methods-rank analysis to analyze and evaluate the Cd content and stability of the tested varieties comprehensively. The results showed that Liangyouzao 17 and Zhuliangyou 706, which belong to low and stable Cd content rice varieties, could be widely planted in slight pollution soil. In screening low cadmium rice varieties test, the rank analysis method is a practical and forthright analysis method evaluating the Cd content and stability of the varieties.

Key words: rank analysis method; nonparametric; cadmium; rice; screening test

· 综合信息 ·

湖南省 2016 年审定通过的水稻新品种(中)

审定编号 (湘审稻)	品种名称	类型	选育单位	品种来源	全生育期 (d)	区试产量 (kg/667 m ²)
2016009	隆两优 534	籼型两系杂交稻	袁隆平农业高科技股份有限公司、广东省农业科学院水稻研究所、深圳隆平金谷种业有限公司、湖南亚华种业科学研究院	隆科 638S×R534	128	613.9
2016010	隆两优 1212	籼型两系杂交稻	袁隆平农业高科技股份有限公司、广东省农业科学院水稻研究所、湖南百分农业科技有限公司	隆科 638S×R1212	127	639.3
2016011	两优 1876	籼型两系杂交稻	湖南绿丰种业科技有限公司	绿丰 009S×R1876	125	640.6
2016012	糯 1 优 687	籼型三系杂交糯稻	湖南隆平种业有限公司	糯 1A×R687	127	562.3
2016013	和丰优 6377	籼型三系杂交稻	广东和丰种业科技有限公司、深圳市兆农农业科技有限公司	和丰 A×R6377	113	619.9
2016014	隆香优华占	籼型三系杂交稻	湖南隆平种业有限公司、中国水稻研究所、袁隆平农业高科技股份有限公司	隆香 634A×华占	115	615.3
2016015	家优 111	籼型三系杂交稻	湖南省贺家山原种场	家 60A×R111	117	643.4
2016016	鹏优 6377	籼型三系杂交稻	国家杂交水稻工程技术研究中心清华深圳龙岗研究所、深圳市兆农农业科技有限公司	鹏 A×R6377	119	605.7
2016017	板仓香糯	籼型常规糯稻	湖南省水稻研究所、湖南五彩农业科技发展有限公司	糯 110/ 湘晚籼 13 号	117	519.1
2016018	恒丰优华占	籼型三系杂交稻	广东粤良种业有限公司、中国水稻研究所	恒丰 A×华占	121	634.7
2016019	农香 24	籼型常规稻	湖南省水稻研究所	湘晚籼 10 号 / 三合占	118	530.5
2016020	玖两优黄华占	籼型两系杂交稻	湖南省水稻研究所、广东省农业科学院水稻研究所、湖南隆平种业有限公司	33S×黄华占	118	631.3
2016021	隆晶优 2 号	籼型三系杂交稻	湖南亚华种业科学研究院	隆晶 4302A×华恢 3621	120	516.1