

# 不同海拔来源云南地方稻种资源各生育时期耐冷性鉴定评价

王翠利<sup>1</sup>, 崔迪<sup>1</sup>, 汤翠凤<sup>2</sup>, 马小定<sup>1</sup>, 韩冰<sup>1</sup>, 曹桂兰<sup>1</sup>, 韩龙植<sup>1</sup>

(<sup>1</sup> 中国农业科学院作物科学研究所, 北京 100081; <sup>2</sup> 云南省农业科学院生物技术与种质资源研究所, 昆明 650223)

**摘要:** 本研究以不同海拔生态区来源的 307 份云南地方稻种资源为试验材料, 进行了水稻发芽期、芽期、苗期、孕穗开花期等 4 个生育时期耐冷性的鉴定评价。鉴定结果表明, 云南地方稻种的各生育时期耐冷性分级与其分布的生态区海拔高度均呈显著或极显著的负相关, 即云南地方稻种的耐冷性与其来源生态区的海拔高度密切相关, 分布在高海拔生态区的地方稻种各生育时期的耐冷性明显强于分布在低海拔生态区的地方稻种。各生育时期耐冷性间均表现显著或极显著的正相关, 说明各生育时期耐冷性相互可作为耐冷性评价的间接指标。通过 4 个生育时期耐冷性的鉴定评价, 筛选出发芽期和苗期耐冷性均达 1 级的冷水谷、茨中黄谷、接骨糯、陇川糯等极强耐冷地方稻种 20 份; 筛选出发芽期和孕穗开花期耐冷性均达 1 级的小黑谷、齐头谷、云南谷等极强耐冷地方稻种 9 份; 筛选出苗期和孕穗开花期耐冷性均达 1 级的八月糯、烂地谷、傲冷农等极强耐冷地方稻种 18 份; 筛选出发芽期、苗期、孕穗开花期 3 个时期耐冷性均达 1 级的极强耐冷资源矮脚细。这些耐冷性极强的优异种质在针对多个生育时期耐冷性的育种改良和新基因发掘中具有重要利用价值, 应在今后育种和新基因发掘研究中加以利用。

**关键词:** 云南地方稻种; 不同生育时期; 耐冷性; 海拔; 相关性; 耐冷种质

## Evaluation of Rice Landraces from Different Altitudes in Yunnan for Cold Tolerance at Different Growing Stages

WANG Cui-li<sup>1</sup>, CUI Di<sup>1</sup>, TANG Cui-feng<sup>2</sup>, MA Xiao-ding<sup>1</sup>, HAN Bing<sup>1</sup>, CAO Gui-lan<sup>1</sup>, HAN Long-zhi<sup>1</sup>

(<sup>1</sup> Institute of Crop Sciences, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081;

<sup>2</sup> Biotechnology and Germplasm Resources Institute, Yunnan Academy of Agricultural Sciences, Kunming 650223)

**Abstract:** In this study, 307 accessions of rice (*Oryza sativa* L.) landraces from different altitude ecological regions in Yunnan Province were used as experimental materials to evaluate the cold tolerance in four growth stages, including the germination stage, the budburst stage, the seedling stage, the booting and flowering stage. The results showed that the cold tolerance grade in different growth stages for Yunnan rice landraces was significantly or extremely significantly negatively correlated with the altitude of the ecological region where they were distributed. In other words, the cold tolerance of Yunnan rice landraces was closely related to the altitude of the ecological region from where they were derived. The cold tolerance in different growth stages for rice landraces distributed in high-altitude ecological regions was significantly stronger than that of rice landraces distributed in low-altitude ecological regions. There was a significant or extremely significant positive correlation

收稿日期: 2021-05-06 修回日期: 2021-07-12 网络出版日期: 2021-07-19

URL: <http://doi.org/10.13430/j.cnki.jpgr.20210506002>

第一作者研究方向为水稻种质资源耐冷性鉴定评价与新基因发掘, E-mail: 1073347039@qq.com

通信作者: 韩龙植, 研究方向为水稻种质资源精准鉴定与新基因发掘, E-mail: hanlongzhi@caas.cn

**基金项目:** 国家重点研发计划课题 (2016YFD0100101); 中国农业科学院科技创新工程项目; 国家农作物种质资源保护项目 (2019NWB036-01, 2019NWB036-12-2); 国家作物种质资源库 (NCGRC-2020); 三亚崖州湾科技城科研项目 (SKJC-2020-02-001)

**Foundation projects:** National Key Research and Development Plan of China (2016YFD0100101), Agricultural Science and Technology Innovation Program of CAAS, National Crop Germplasm Conservation Project (2019NWB036-01, 2019NWB036-12-2), National Crop Germplasm Resources Center (NCGRC-2020), The Project of Sanya Yazhou Bay Science and Technology City (SKJC-2020-02-001)

among the degrees of cold tolerance in different growth stages, indicating that cold tolerance in each growth stage can be used as indirect indicators for cold tolerance evaluation. Through the identification and evaluation of cold tolerance in four growth stages were screened out 20 landraces (including Lengshuigu, Cizhonghuanggu, Jiegunuo, Longchuannuo, etc.) with grade 1 cold tolerance in germination stage and seedling stage, 9 landraces (including Xiaoheigu, Qitougu, Yunnangu etc.) with grade 1 cold tolerance in germination stage and booting and flowering stage, 18 landraces (including Bayueno, Landigu, Aolenggu etc.) with grade 1 cold tolerance in seedling stage and booting and flowering stage, and the landrace Aijiaoxi with grade 1 cold tolerance in germination stage, seedling stage, and booting and flowering stage. These excellent germplasms with very strong cold tolerance are of great value and could be used for breeding improvement and new gene discovery for cold tolerance in multiple growth periods.

**Key words:** Yunnan rice landrace; different growth stage; cold tolerance; altitude; correlation; cold tolerant germplasm

水稻对低温较敏感,低温冷害是水稻生产中受灾较严重的自然灾害之一<sup>[1-2]</sup>。全世界水稻播种面积约 1.4 亿  $\text{hm}^2$ ,其中约 1/9 的稻作面积受到低温的影响。中国是全球最大的水稻生产和消费国,种植地域跨度广<sup>[3]</sup>。我国东北稻作区和西南稻作区以及南方稻作区早春的水稻秧田和直播田,在发芽至幼苗生长阶段不同程度地发生低温冷害,影响水稻生长早期光合群体的形成和生长势<sup>[3]</sup>;高纬度东北稻作区每 3~4 年在水稻孕穗期遭遇较大低温冷害<sup>[4]</sup>,高海拔西南稻作区在孕穗开花期低温冷害频繁发生<sup>[5]</sup>;在我国双季稻作区早造播种后遇低温,容易造成烂芽和烂秧现象;晚稻若遇“寒露风”则严重影响水稻受精、灌浆和结实<sup>[6-7]</sup>。在全国范围内因低温冷害每年使水稻减产 30~50 亿  $\text{kg}$ <sup>[8]</sup>,低温冷害严重制约着我国水稻生产的稳步发展。据统计,云南省近一半的稻田每年都受到低温冷害的威胁,即使正常年份,一般水稻品种的空壳率亦达 20% 以上,冷害年份水稻空壳率则更高,造成严重减产<sup>[9-10]</sup>。为水稻育种提供重要利用价值的耐冷种质,至今许多学者通过水稻种质资源的耐冷性鉴定评价,筛选出不少耐冷种质资源,但多数鉴定局限于特定某一生育时期的耐冷性鉴定,未能全面系统地各生育时期耐冷性的综合鉴定。本研究以不同海拔来源的云南地方稻种资源为试验材料,进行水稻发芽期、芽期、苗期和孕穗开花期等 4 个生育时期的耐冷性鉴定评价,探讨各生育时期耐冷性与海拔高度的相关性,并鉴定发掘各生育时期综合耐冷性表现优异的强耐冷种质,旨在为我国水稻耐冷育种和耐冷性新基因发掘提供优异种质资源支撑。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

本研究采用的 307 份试验材料是从 2008-2010 年通过实地调查收集的 531 份云南地方稻种资源<sup>[11]</sup>中挑选出的代表性材料。这些材料采集于云南不同海拔生态区,其分布的地理纬度相近、分布的海拔高度范围为 425~2667 m。根据采集地的海拔高度,将材料来源划分为 8 个海拔生态区(表 1),包括海拔生态区 I ( $\leq 799$  m)、II (800~999 m)、III (1000~1199 m)、IV (1200~1399 m)、V (1400~1599 m)、VI (1600~1799 m)、VII (1800~1999 m)、VIII ( $\geq 2000$  m)。

表 1 采集地的地理分布范围及详细信息

Table 1 Geographic distribution and detailed information of the collection place

海拔生态区 Altitude ecological regions	地理坐标范围 Range of geographical co-ordinates	材料数量 Number of materials
I	21.46°~24.07°N, 99.25°~104.70°E	19
II	21.46°~24.07°N, 97.79°~104.70°E	50
III	22.53°~26.91°N, 98.49°~104.70°E	43
IV	21.46°~25.73°N, 97.86°~104.31°E	40
V	21.46°~27.74°N, 97.79°~104.70°E	51
VI	22.56°~26.56°N, 97.79°~102.48°E	47
VII	22.56°~26.56°N, 97.79°~102.00°E	38
VIII	24.01°~28.49°N, 98.49°~101.99°E	19

### 1.2 耐冷性鉴定评价方法

参照《水稻种质资源描述规范和数据标准》<sup>[12]</sup>及韩龙植等<sup>[13]</sup>对水稻发芽期、芽期、苗期、孕穗开花

期等 4 个时期的耐冷性进行鉴定评价,统计各耐冷等级的材料数量,并筛选 3 次试验耐冷性等级均为 1 级的材料。

**1.2.1 发芽期耐冷性鉴定** 挑选饱满水稻种子 50 粒,均匀放置于垫滤纸的培养皿中,设 3 次重复。先在室温(25℃左右)浸种 24 h,经清洗种子中选出 30 粒饱满的种子放入新培养皿,然后放入 14℃低温恒温箱处理 20 d。调查种子低温发芽率(GA, germination percentage)。以低温发芽率作为发芽期耐冷性的评价指标,分 1~9 级进行评价。1 级:耐冷性极强,GA>80%;3 级:耐冷性强,60%<GA≤80%;5 级:耐冷性中等,40%<GA≤60%;7 级:耐冷性弱,20%<GA≤40%;9 级:耐冷性极弱,GA≤20%。另外,设对照组 2 次重复,经浸种后,选出 30 粒饱满种子放入 28℃的常温培养箱中处理 5 d,调查种子常温下发芽率。

**1.2.2 芽期耐冷性鉴定** 挑选饱满粒 50 粒,置于垫滤纸的培养皿中。先在室温(约 25℃)下浸种 1 d,然后在 30~32℃恒温箱内催芽 2~3 d。从恒温箱中取出后,从发芽的种子中精心挑选芽长约 5 mm 的种子 30 粒,并置于垫滤纸的培养皿中,在 5℃低温恒温箱进行低温处理 10 d。设 3 次重复。处理结束后,将材料移至温度为 20~30℃并有阳光的地方,使其恢复生长。7 d 后,调查死苗数,并计算死苗率。以死苗率作为芽期耐冷性的评价指标,分 1~9 级评价。1 级:耐冷性极强,所有的苗均成活,叶色青绿;3 级:耐冷性强,死苗率≤30%;5 级:耐冷性中等,30%<死苗率≤50%;7 级:耐冷性弱,死苗率>50%;9 级:耐冷性极弱,苗全部死亡。

**1.2.3 苗期耐冷性鉴定** 按常规方法经种子消毒、浸种和催芽后,将催芽的种子播种于装有床土的育苗盘中。每个材料播 10 粒。在 20~30℃的温室或室外育苗。在 3~4 叶龄期,把材料放入 10℃人工气候箱中处理 7 d。低温处理结束后,将材料移至温度为 20~30℃并有阳光的温室或室外进行恢复性生长。7 d 后,调查幼苗叶赤枯度。设 3 次重复。根据叶赤枯度分 1~9 级进行评价。1 级:耐冷性极强,所有叶青绿或接近青绿;3 级:耐冷性强,叶子有一点脱色或黄色;5 级:耐冷性中等,叶子大部分黄化;7 级:耐冷性弱,叶子干枯,有的苗死亡;9 级:耐冷性极弱,大部分或全部苗死亡。

**1.2.4 孕穗开花期耐冷性鉴定** 将材料种植在高海拔(1920 m)云南嵩明低温鉴定基地,使种植材料在孕穗开花期遇到自然低温。每份材料种植 2 行,每

行 15 穴,单本,设 2 次重复。成熟后,每份材料取 5 个主穗在室内考种穗粒数、瘪粒数,计算空壳率。以空壳率作为孕穗开花期耐冷性的评价指标,分 1~9 级评价。1 级:耐冷性极强,空壳率≤20%;3 级:耐冷性强,20%<空壳率≤40%;5 级:耐冷性中等,40%<空壳率≤60%;7 级:耐冷性弱,60%<空壳率≤90%;9 级:耐冷性极弱,空壳率>90%。

### 1.3 统计分析

以在低温环境胁迫下调查的各时期为基础数据,利用 SPSS3.0 软件进行数据统计分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 云南地方稻种发芽期耐冷性表型变异

针对 307 份云南地方稻种资源,在对照正常条件下发芽率鉴定表明,发芽率变幅为 93.33%~100%、均值为 98.65%,标准差为 2.33,变异系数为 2.36%。说明在正常条件下整体材料的发芽率很高,且标准差和变异系数很小,认为低温条件下发芽率可直接作为芽期耐冷性的评价指标。以低温下发芽率作为发芽期耐冷性评价指标,在发芽期进行低温处理鉴定表明,供试材料间的发芽期耐冷性差异较大。发芽率变幅为 0~100%,均值为 38.12%,标准差为 0.346,变异系数为 90.77%。评价为 1 级、3 级、5 级、7 级和 9 级的材料数量分别占供试材料的 17.92%、15.96%、11.40%、11.07% 和 43.65%(图 1A)。在表现极强耐冷性的 1 级耐冷材料中,分布于Ⅶ海拔生态区的材料份数为 14 份,其次是Ⅵ和Ⅴ海拔生态区,分别为 12 份和 10 份,而在其余海拔生态区分布的 1 级材料均较少,都不足 10 份(表 2)。3 级、5 级和 7 级耐冷材料在各海拔生态区的分布数量比例比较均匀,9 级材料在低海拔生态区分布的较多,高海拔生态区分布的较少。Ⅶ海拔生态区分布的材料平均耐冷级别最低,为 4.42 级,而Ⅰ海拔生态区分布的材料平均耐冷级别最高,为 7.32 级。说明云南地方稻种的发芽期耐冷性与其分布的生态区海拔高度密切相关,分布在高海拔生态区的地方稻种耐冷性强于分布在低海拔生态区的地方稻种。

### 2.2 云南地方稻种芽期耐冷性表型变异

以死苗率作为芽期耐冷性评价指标,在芽期进行低温处理鉴定表明,供试材料芽期耐冷性差异也较大。死苗率变幅为 1.67%~100%,均值为 69.78%,标准差为 0.293,变异系数为 41.96%。评价为 1 级、3 级、5 级、7 级和 9 级的材料份数分别占供试材料的 0、14.33%、11.73%、61.24% 和 12.70%

(图 1B)。在 3 级(耐冷性强)材料中,除了 I 海拔生态区分布为 0 外,在其他海拔生态区分布比较均匀;5 级(耐冷性中等)材料中, I 海拔生态区分布最少,仅为 1 份, V 海拔生态区最多,为 9 份;7 级(耐冷性弱)和 9 级(耐冷性极弱)材料在Ⅷ海拔生态区分布均最少,分别为 9 份和 1 份(表 3)。Ⅷ海

拔生态区平均耐冷级别最低,为 0.74 级, I 海拔生态区平均耐冷性级别最高,为 8.23 级,总体上由低海拔向高海拔过渡耐冷级别是一个递减的过程,说明云南地方稻种的芽期耐冷性与其分布的海拔高度密切相关,分布在高海拔生态区的地方稻种耐冷性强于分布在低海拔生态区地方稻种。

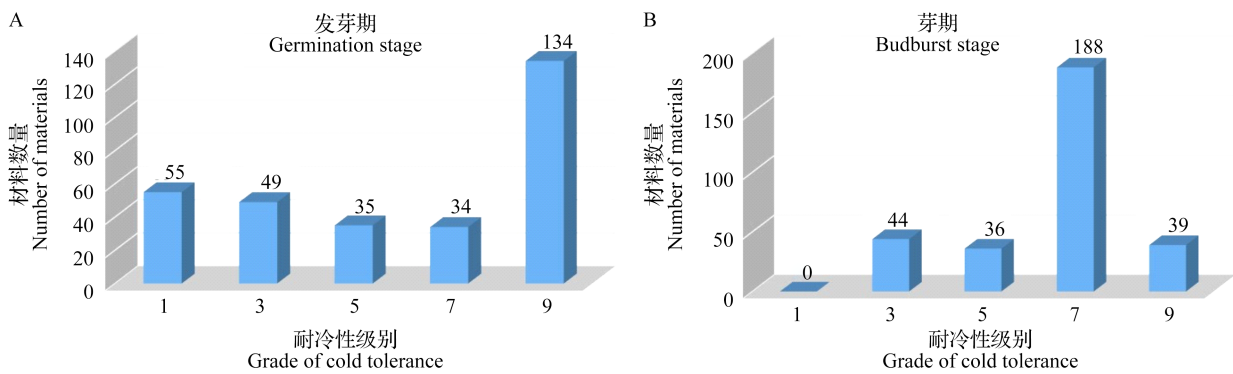


图 1 发芽期和芽期耐冷性级别分布  
Fig. 1 Distribution of grade for cold tolerance at the germination stage and the budburst stage

表 2 不同海拔生态区云南地方稻种发芽期耐冷性比较

Table 2 Comparison of cold tolerance in germination stage of rice landraces of Yunnan from different altitude ecological regions

耐冷级别 Grade of cold tolerance	地方品种数 No. of landraces	海拔生态区 Altitude ecological regions							
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
1	55	2	4	2	7	10	12	14	4
3	49	1	5	8	8	9	9	7	2
5	35	1	8	3	4	10	3	4	2
7	34	3	8	3	6	6	4	2	2
9	134	12	25	27	15	16	19	11	9
合计 Total	307	19	50	43	40	51	47	38	19
平均级别 Mean grade	5.93	7.32	6.80	7.09	5.70	5.35	5.38	4.42	6.05

表 3 不同海拔生态区云南地方稻种芽期耐冷性比较

Table 3 Comparison of cold tolerance at the budburst period of rice landraces of Yunnan from different altitude ecological regions

耐冷级别 Grade of cold tolerance	地方品种数 No. of landraces	海拔生态区 Altitude ecological regions							
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	44	0	7	7	6	4	8	6	6
5	36	1	6	4	4	9	5	4	3
7	188	12	31	29	25	35	28	19	9
9	39	6	6	3	5	3	6	9	1
合计 Total	307	19	50	43	40	51	47	38	19
平均级别 Mean grade	6.45	8.23	1.35	3.22	2.60	3.09	3.50	2.13	0.74



2.3 云南地方稻种苗期耐冷性表型变异

以叶赤枯度作为苗期耐冷性评价指标,在苗期进行低温处理鉴定表明,供试材料苗期耐冷性差异较大。叶赤枯度级别变幅为 1~9,均值为 4.73,标准差为 3.181,变异系数为 67.25%。叶赤枯度分布比较均匀,评价为 1 级、3 级、5 级、7 级和 9 级的材料数量分别占供试材料的 31.59%、14.01%、15.96%、13.36% 和 25.08%(图 2A)。在耐冷级别为 1 级和 3 级的耐冷材料中,明显发现分布在海拔 1400 m 以上的 V、VI、VII、VIII 4 个海拔生态区的材料份数较多,

而在耐冷级别为 7 级和 9 级的材料中,分布在海拔 1400 m 以下的 I、II、III、IV 4 个海拔生态区的材料份数较多(表 4)。分布在 VIII 海拔生态区的材料平均耐冷级别最低,为 3 级,其耐冷性最强;分布在 I 海拔生态区的材料平均耐冷级别最高,为 7 级,其耐冷性弱。总体上看,由低海拔向高海拔过渡耐冷级别是一个递减的过程,说明云南地方稻种的苗期耐冷性与其分布的海拔高度密切相关,分布在高海拔生态区的地方稻种耐冷性强于分布在低海拔生态区的地方稻种。

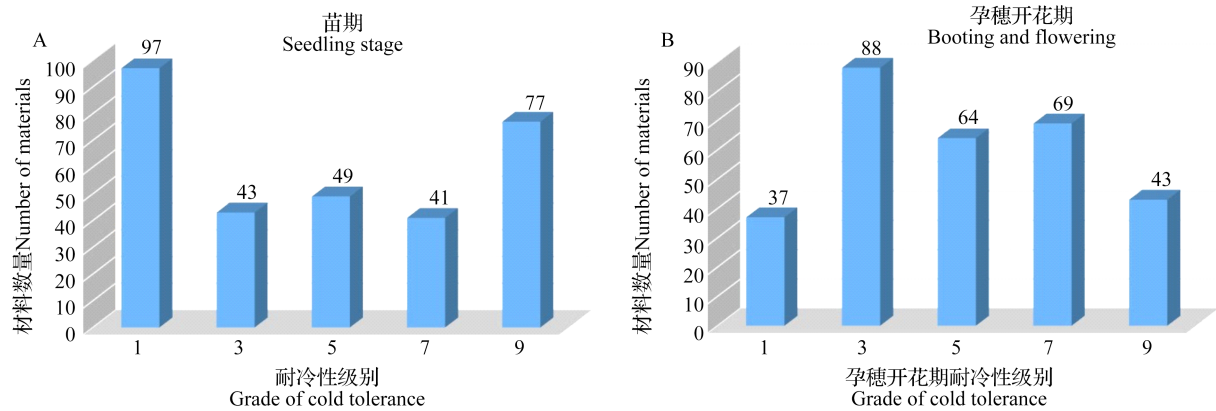


图 2 苗期和孕穗开花期耐冷性级别分布  
Fig. 2 Distribution of grades for cold tolerance at the seedling stage and the booting and flowering stage

表 4 不同海拔生态区云南地方稻种苗期耐冷性比较  
Table 4 Comparison of cold tolerance in seedling stage of rice landraces of Yunnan from different altitude ecological regions

耐冷级别 Grade of cold tolerance	地方品种数 No. of landraces	海拔生态区 Altitude ecological regions							
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
1	97	1	11	11	14	18	16	16	10
3	43	2	4	4	2	10	9	8	4
5	49	1	4	6	9	9	10	8	2
7	41	7	5	4	7	5	7	5	1
9	77	8	26	18	8	9	5	1	2
合计 Total	307	19	50	43	40	51	47	38	19
平均级别 Mean grade	4.73	7.00	6.24	5.65	4.65	4.10	3.98	3.26	3.00

2.4 云南地方稻种孕穗开花期耐冷性表型变异

以空壳率作为孕穗开花期耐冷性评价指标,在高海拔自然低温条件下进行耐冷性鉴定表明,供试材料孕穗开花期耐冷性差异较大。空壳率变幅为 0~100%,均值为 51.48%,标准差为 0.281,变异系数为 54.56%。评价为 1 级、3 级、5 级、7 级和 9 级的材料数量分别占供试材料的 12.05%、28.66%、20.85%、22.48% 和 14.01%(图 2B)。从表 5 可见,

随着海拔高度的增加,低温下空壳率趋于减少,穗颈长趋于增加,说明云南地方稻种的孕穗开花期耐冷性与其分布的海拔高度密切相关,分布在高海拔区的地方稻种孕穗开花期耐冷性强于分布在低海拔区的地方稻种。另外,从其他主要农艺性状的表型变异来看,随着海拔高度的增加,株高和穗长趋于增加,全生育期趋于减少,穗数和穗粒数变异不大。

表 5 不同海拔生态区云南地方稻种孕穗开花期各性状的比较  
Table 5 Comparison of traits in booting and flowering stage of rice landraces of Yunnan from different altitude ecological regions

海拔生态区 Altitude ecological regions	材料数 Number of materials	空壳率(%) ESR	株高(cm) PH	穗长(cm) PL	穗颈长(cm) ENL	穗数 PN	穗粒数 SP	全生育期(d) GD
I	19	69.2	108.4	23.7	-0.92	7.2	198.3	160.2
II	50	67.9	113.2	24.1	0.18	6.7	191.7	163.0
III	43	64.6	120.8	23.7	0.71	6.2	192.5	159.4
IV	40	55.1	125.2	24.8	2.69	6.7	195.0	156.4
V	51	46.8	144.8	24.9	6.05	7.2	196.7	158.4
VI	47	39.4	137.9	24.4	6.16	7.0	196.2	153.6
VII	38	35.5	145.1	24.5	7.58	7.3	194.6	151.9
VIII	19	31.4	146.7	24.7	10.64	8.0	205.5	136.6

ESR: Empty seed rate, PH: Plant height, PL: Panicle length, ENL: Ear neck length, PN: Panicle number, SP: Spikelets per panicle, GD: Growing days

2.5 云南地方稻种各生育时期耐冷性与海拔高度的相关关系

各生育时期耐冷性级别间及其与海拔高度之间的相关关系见表 6。相关分析表明,发芽期、芽期、苗期和孕穗期开花期的耐冷性级别与海拔高度均呈显著或极显著的负相关关系,说明各时期耐冷性与海拔高度密切相关,即分布在高海拔生态区的地方稻种各时期的耐冷性强于分布在低海拔生态区的地

方稻种。云南地方稻种发芽期耐冷性级别与芽期耐冷性级别呈显著正相关;苗期耐冷性级别与发芽期和芽期耐冷性级别均呈极显著正相关;孕穗开花期耐冷性级别与发芽期、芽期和苗期耐冷性级别都呈显著或极显著的正相关。说明各生育时期耐冷性间密切相关,各生育时期耐冷性相互可作为评价耐冷性的间接指标。

表 6 各生育时期耐冷性与海拔高度间的相关关系  
Table 6 Correlation between cold tolerance in different growth stages and altitudes

性状 Trait	发芽期耐冷性等级 GCG	芽期耐冷性等级 GCSp	苗期耐冷性等级 GCS	孕穗开花期耐冷性等级 GCBF
芽期耐冷性等级 GCSp	0.125*			
苗期耐冷性等级 GCS	0.297**	0.506**		
孕穗开花期耐冷性等级 GCBF	0.133*	0.158**	0.346**	
海拔高度 Altitude	-0.239**	-0.116*	-0.377**	-0.447**

\*\*和\*分别表示在 0.01 和 0.05 水平上的差异显著性  
\*\*and\* indicate significant difference at 0.01 and 0.05 level, respectively.GCG: Grade of cold tolerance in germination stage, GCSp: Grade of cold tolerance in bud burst stage, GCS: Grade of cold tolerance in seedling stage, GCBF: Grade of cold tolerance in booting and flowering stage

2.6 耐冷水稻种质筛选

各生育时期耐冷性鉴定表明,发芽期耐冷性达 1 级的材料有 55 份,芽期耐冷性无达 1 级的材料,苗期耐冷性达 1 级的材料有 97 份,孕穗开花期耐冷性达 1 级的材料有 37 份。综合分析 4 个生育时期的耐冷性,发现发芽期和苗期耐冷性均达 1 级的材料有 20 份(表 7)。这些材料分布在海拔 911~2274 m 范围内,Ⅱ海拔生态区有 1 份,Ⅳ海拔生态区有 4 份,

V 海拔生态区有 3 份,Ⅵ和Ⅶ海拔生态区各有 5 份,Ⅷ海拔生态区有 2 份,其中糯谷的芽期和孕穗开花期耐冷性达到 3 级,表现强耐冷性。发芽期和孕穗开花期耐冷性均达到 1 级的材料有 9 份(表 8)。这些材料分布在海拔 500~2355 m 范围内,Ⅰ和Ⅴ海拔生态区各有 1 份,Ⅶ海拔生态区有 5 份,Ⅷ海拔生态区有 2 份。苗期和孕穗开花耐冷性均达 1 级的材料有 18 份(表 9)。这些材料分布在海拔

1378~2274 m 范围内,Ⅳ海拔生态区有 1 份,Ⅴ和Ⅵ海拔生态区各有 3 份,Ⅶ海拔生态区有 7 份,Ⅷ海拔生态区有 4 份,其中八月谷、黄壳齐头谷、糯谷、长毛谷等 4 份材料的发芽期和芽期耐冷性均达 3 级,表

现强耐冷性。其中,矮脚细在发芽期、苗期和孕穗开花期耐冷性均达 1 级,表现出极强耐冷性。以上结果说明高海拔分布区材料中含有更多的耐冷种质资源。

表 7 发芽期和苗期耐冷性均极强的云南地方稻种

Table 7 Yunnan rice landraces with strong cold tolerance at the germination stage and seedling stages

序号 Number	名称 Name	海拔高度 ( m ) Altitude	海拔分布区 Altitude ecological regions	序号 Number	名称 Name	海拔高度 ( m ) Altitude	海拔生态区 Altitude ecological regions
1	勒道吨	911	Ⅱ	11	红糯谷	1774	Ⅵ
2	背籽糯	1267	Ⅳ	12	老鼠牙	1774	Ⅵ
3	小黄糯	1296	Ⅳ	13	黄砂	1774	Ⅵ
4	接骨糯	1300	Ⅳ	14	雪山谷	1813	Ⅶ
5	陇川糯	1371	Ⅳ	15	白录川	1816	Ⅶ
6	高清干略糯谷	1425	Ⅴ	16	麻线谷	1847	Ⅶ
7	黄糯谷	1449	Ⅴ	17	茨中黄谷	1956	Ⅶ
8	黑皮糯	1535	Ⅴ	18	矮脚细	1972	Ⅶ
9	冷水谷	1678	Ⅵ	19	黑谷	2128	Ⅷ
10	糯谷	1772	Ⅵ	20	红米	2274	Ⅷ

表 8 发芽期和孕穗开花期耐冷性均极强的云南地方稻种资源

Table 8 Yunnan rice landraces with very strong cold tolerance at the germination stage and booting and flowering stage

序号 Number	名称 Name	海拔高度 ( m ) Altitude	海拔生态区 Altitude ecological regions	序号 Number	名称 Name	海拔高度 ( m ) Altitude	海拔生态区 Altitude ecological regions
1	意大利糯	500	Ⅰ	6	大红谷	1842	Ⅶ
2	云南谷	1537	Ⅴ	7	矮脚细	1972	Ⅶ
3	红谷	1802	Ⅶ	8	小黑谷	2100	Ⅷ
4	糯米	1809	Ⅶ	9	塔城黑谷	2355	Ⅷ
5	齐头谷	1830	Ⅶ				

表 9 苗期和孕穗开花期耐冷性均极强的云南地方稻种资源

Table 9 Yunnan rice landraces with very strong cold tolerance at the seedling stage and booting and flowering stage

序号 Number	名称 Name	海拔高度 ( m ) Altitude	海拔分布区 Altitude ecological regions	序号 Number	名称 Name	海拔高度 ( m ) Altitude	海拔分布区 Altitude ecological regions
1	老佤谷	1378	Ⅳ	10	黄壳齐头谷	1883	Ⅶ
2	烂地谷	1420	Ⅴ	11	糯谷	1883	Ⅶ
3	八月糯	1460	Ⅴ	12	本地早谷	1899	Ⅶ
4	小黑谷	1572	Ⅴ	13	白大谷	1954	Ⅶ
5	长毛谷	1625	Ⅵ	14	矮脚细	1972	Ⅶ
6	高秆谷	1687	Ⅵ	15	花膀谷	2000	Ⅷ
7	俄过	1715	Ⅵ	16	白鹤小麻谷	2022	Ⅷ
8	傲冷农	1800	Ⅶ	17	大白谷	2090	Ⅷ
9	大白糯	1837	Ⅶ	18	八月谷	2274	Ⅷ

### 3 讨论

#### 3.1 地方稻种耐冷性与海拔高度的相关性

张建华等<sup>[14]</sup>研究表明,云南粳稻品种中,蕴藏着丰富的芽期耐冷基因资源,云南稻种资源中芽期和苗期的耐冷资源在生态地理分布上相对集中。邓光辉等<sup>[15]</sup>研究报道,高海拔水稻品种的耐冷性强于低海拔水稻品种;籼稻地方品种的耐冷性显著强于籼稻选育品种。林登豪<sup>[16]</sup>研究表明,广西栽培稻耐冷品种主要来自桂北及高寒山区。乔永利等<sup>[17]</sup>研究表明,云南粳稻品种的芽期耐冷性强于东北三省的水稻品种。韩龙植等<sup>[18]</sup>研究表明,高海拔贵州地方稻种的芽期耐冷性显著强于其他地区品种;日本、朝鲜、吉林和韩国等亚洲温带粳稻品种的芽期耐冷性强于南美和东欧温带的粳稻品种;亚洲热带粳稻品种的耐冷性最弱。刘昌文等<sup>[19]</sup>研究报道,冷水胁迫下纬度相对较高的保加利亚和匈牙利粳稻品种的日生长速度、株高、穗长和结实率的表型值及其冷水反应指数 CRI 值较大,表现出较强的耐冷性;朝鲜和日本粳稻品种的结实率相对较高,表现出较强的孕穗期耐冷性;云南粳稻品种的结实率表型值及其冷水反应指数 CRI 值表现最大,在供试材料中表现出最强的孕穗期耐冷性。本研究表明,云南地方稻种各生育时期的耐冷性级别与其分布的海拔高度均呈显著或极显著的负相关,即随着云南地方稻种资源所分布海拔高度的升高,其地方稻种各生育时期的耐冷性趋于增强,这与邓光辉等<sup>[15]</sup>、乔永利等<sup>[17]</sup>的研究结果一致。因此,在今后应注重高海拔生态区分布的地方稻种资源的收集及其耐冷鉴定评价,为耐冷育种和新基因发掘提供新基因源。

#### 3.2 耐冷地方稻种资源的发掘与利用

耐冷种质资源是耐冷育种和新基因发掘的关键,而正确的耐冷鉴定评价是发掘优异耐冷资源的重要保证。为了发掘耐冷育种等科学研究可利用的耐冷种质资源,至今不少学者开展了水稻种质资源的耐冷性鉴定评价。刘广林等<sup>[20]</sup>通过对 82 份初筛耐冷种质的深度鉴定,筛选出抽穗扬花期耐冷性达 1 级的种质 7 份;夏秀忠等<sup>[7]</sup>通过对 209 份广西地方稻种核心种质的耐冷性鉴定,分别筛选出芽期和苗期耐冷性达 1 级的耐冷种质 17 份和 15 份;金铭路等<sup>[6]</sup>通过对 203 份水稻微核心种质不同生育时期的耐冷性鉴定,筛选出发芽期耐冷性极强的种质 36 份,芽期耐冷性极强的种质 36 份,苗期耐冷性极强的种质 19 份,孕穗开花期耐冷性极强的种质

16 份;韩龙植等<sup>[18]</sup>通过对 879 份水稻种质的芽期耐冷性鉴定,筛选出耐冷性极强的贵州地方稻种 39 份;商水根等<sup>[21]</sup>通过对 1542 份水稻种质的苗期耐冷性鉴定,筛选出幼苗存活率 80% 以上的耐冷资源 73 份;王金明等<sup>[22]</sup>通过对 230 份水稻种质的耐冷性鉴定,筛选出发芽期耐冷资源 29 份、孕穗期耐冷资源 43 份。但至今多数研究者耐冷性鉴定仅局限于某一特定生育时期的耐冷性,缺乏各生育时期耐冷性的综合鉴定评价,发掘出多个生育时期均表现耐冷的优异种质甚少。本研究通过对云南地方稻种资源的发芽期、芽期、苗期、孕穗开花期等 4 个生育时期的耐冷性鉴定,发掘出冷水谷、茨中黄谷、接骨糯、高清干略糯谷、陇川糯等发芽期和苗期耐冷性均极强的耐冷种质 20 份;发掘出发芽期和孕穗开花期耐冷性均极强的小黑谷、齐头谷、云南谷等 9 份;发掘出苗期和孕穗开花期耐冷性均极强的八月糯、烂地谷、傲冷农、小黑谷等耐冷种质 18 份;发掘出苗期和孕穗开花期耐冷性极强,且其发芽期和芽期耐冷性表现强耐冷的八月谷、黄壳齐头谷、糯谷、长毛谷等优异种质 4 份。另外,发掘出发芽期、苗期、孕穗开花期等 3 个时期耐冷性均极强(耐冷级别均达 1 级)的耐冷资源矮脚细,该资源分布的海拔高度为 1972 m。这些耐冷种质将在针对多个生育时期耐冷性的育种改良和新基因发掘研究中具有重要的利用价值,今后在相关研究中应加以利用。

#### 参考文献

- [1] 徐福荣,戴陆园,叶昌荣. 水稻耐冷性研究的概况与展望. 作物杂志, 2000(1): 4-5  
Xu F R, Dai L Y, Ye C R. Overview and prospect of rice cold tolerance research. Crops, 2000(1): 4-5
- [2] 陈山,李维秀,董文胜. 阶段性低温冷害对水稻生长的影响. 垦殖与稻作, 2004(S): 18-19  
Chen S, Li W X, Dong W S. Effects of periodic chilling injury on rice growth. Reclaiming and Rice Cultivation, 2004(S): 18-19
- [3] 应存山. 中国稻种资源的研究进展. 中国水稻科学, 1992, 6(3): 142-144  
Ying C S. Current status on research of rice germplasm resources in China. Chinese Journal of Rice Science, 1992, 6(3): 142-144
- [4] 韩龙植,高熙宗,朴钟泽. 水稻耐冷性遗传及基因定位研究概况与展望. 中国水稻科学, 2002, 16(2): 193-198  
Han L Z, Koh H J, Piao Z Z. Status and prospects of genetic and QTLs analysis for cold tolerance in rice. Chinese Journal of Rice Science, 2002, 16(2): 193-198
- [5] 戴陆园,刘屋国男,叶昌荣,伊势一男,丹野久,余腾琼,徐福荣,麻纯文. 水稻耐冷性研究 II. 云南稻种资源耐冷性鉴定. 西南农业学报, 2002, 15(3): 47-52



- Dai L Y, Kariya K, Ye C R, Ise K, Tanno H, Yu T Q, Xu F R, Ma C W. Studies on cold tolerance of rice, *Oryza sativa* L. II. Evaluation on cold tolerance of Yunnan rice genetic resources. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2002, 15 (3): 47-52
- [6] 金铭路, 杨春刚, 余腾琼, 郭桂珍, 汤翠凤, 张俊国, 阿新祥, 曹桂兰, 徐福荣, 刘宪虎, 戴陆园, 张三元, 韩龙植. 中国水稻微核心种质不同生育时期耐冷性鉴定及其相关分析. 植物遗传资源学报, 2009, 10(4): 540-546
- Jin M L, Yang C G, Yu T Q, Guo G Z, Tang C F, Zhang J G, A X X, Cao G L, Xu F R, Liu X H, Dai L Y, Zhang S Y, Han L Z. Evaluation of cold tolerance at different growing period for mini core collection of rice (*Oryza sativa* L.) in China. Journal of Plant Genetic Resources, 2009, 10(4): 540-546
- [7] 夏秀忠, 曾宇, 农保选, 邓国富, 李丹婷. 广西地方稻种资源核心种质的耐冷性鉴定评价. 西南农业学报, 2014, 27(5): 1801-1805
- Xiao X Z, Zeng Y, Nong B X, Deng G F, Li D T. Identification and evaluation of cold tolerance in core collection of landrace rice resources in Guangxi. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2014, 27(5): 1801-1805
- [8] 黄力士, 刘凌峰, 刘之熙. 水稻耐冷性研究进展与前景. 湖南农业科学, 2008(1): 3-6
- Huang L S, Liu L F, Liu Z X. Advances and prospects of cold tolerance in rice. Hunan Agricultural Sciences, 2008(1): 3-6
- [9] 陈南凯. 关于云南稻种耐冷资源的几个问题. 云南农业科技, 1983(6): 6-8
- Chen N K. Some problems on cold tolerance resources of rice seeds in Yunnan. Yunnan Agricultural Science and Technology, 1983(6): 6-8
- [10] 严华生, 邹丽云. 我省水稻冷害及其预防. 云南农业科技, 1992(2): 15-17
- Yan H S, Zou L Y. Rice chilling injury and its prevention in our province. Yunnan Agricultural Science and Technology, 1992(2): 15-17
- [11] 徐福荣, 戴陆园, 韩龙植. 21 世纪初云南稻作地方品种图志. 北京: 科学出版社, 2016: 1-556
- Xu F R, Dai L Y, Han L Z. Pictorial of Yunnan rice landraces in the early 21st century. Beijing: Science Press, 2016: 1-556
- [12] 韩龙植. 水稻种质资源描述规范和数据标准. 北京: 中国农业出版社, 2006
- Han L Z. Descriptors and data standard for rice (*Oryza sativa* L.). Beijing: China Agriculture Press, 2006
- [13] 韩龙植, 张三元. 水稻耐冷性鉴定评价方法. 植物遗传资源学报, 2004, 5(1): 75-80
- Han L Z, Zhang S Y. Methods of characterization and evaluation of cold tolerance in rice. Journal of Plant Genetic Resources, 2004, 5(1): 75-80
- [14] 张建华, 廖新华, 戴陆园, 叶昌荣, 工藤悟. 稻种资源芽期和苗期的耐冷性评价. 中国农学通报, 1996, 12(5): 10-13
- Zhang J H, Liao X H, Dai L Y, Ye C R, Kuto S. Evaluation on rice resources for cold tolerance at both budding stage and seedling stage. Chinese Agricultural Science Bulletin, 1996, 12(5): 10-13
- [15] 邓光辉, 张再兴, 曾令祥, 代继跃, 金桃叶, 杨玉顺. 贵州稻种资源芽期耐冷性研究. 西南农业学报, 1989, 2(2): 84-85
- Deng G H, Zhang Z X, Zeng L X, Dai J Y, Jin T Y, Yang Y S. Psychrotolerance of rice germplasm in Guizhou in germinating stage. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 1989, 2(2): 84-85
- [16] 林登豪. 广西野生稻资源耐冷性鉴定. 广西农业科学, 1992(2): 53-56.
- Lin D H. Identification of cold tolerance of wild rice resources in Guangxi. Journal of Southern Agriculture, 1992(2): 53-56
- [17] 乔永利, 张媛媛, 安永平, 张艳蕊, 曹桂兰, 韩龙植. 粳稻芽期耐冷性鉴定方法研究. 植物遗传资源学报, 2004, 5(3): 290-294
- Qiao Y L, Zhang Y Y, An Y P, Zhang Y R, Cao G L, Han L Z. Screening method of cold tolerance at the budburst period in Japonica rice. Journal of Plant Genetic Resources, 2004, 5(3): 290-294
- [18] 韩龙植, 曹桂兰, 安永平, 张媛媛, 阮仁超, 张艳蕊, 曲英萍. 水稻种质芽期耐冷性的鉴定与评价. 植物遗传资源学报, 2004, 5(4): 346-350
- Han L Z, Cao G L, An Y P, Zhang Y Y, Ruan R C, Zhang Y R, Qu Y P. Characterization and evaluation for cold tolerance at the budburst period of rice germplasm. Journal of Plant Genetic Resources, 2004, 5(4): 346-350
- [19] 刘昌文, 郭桂珍, 杨春刚, 曹桂兰, 张俊国, 张三元, 韩龙植. 冷水胁迫下不同地理来源粳稻品种的耐冷性差异. 植物遗传资源学报, 2008, 9(1): 25-31
- Liu C W, Guo G Z, Yang C G, Cao G L, Zhang J G, Zhang S Y, Han L Z. Difference of cold tolerance for Japonica rice varieties from different places of the world under cold water irrigation. Journal of Plant Genetic Resources, 2008, 9(1): 25-31
- [20] 刘广林, 罗群昌, 陈远孟, 陈传华, 蒋显斌. 水稻种质资源抽穗扬花期耐冷性鉴定评价. 西南农业学报, 2013, 26(2): 395-398
- Liu G L, Luo Q C, Chen Y M, Chen C H, Jiang X B. Analysis and evaluation on cold tolerance for rice germplasm resources at flowering stage. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2013, 26(2): 395-398
- [21] 商水根, 邱先进, 杨隆维, 荆丹英, 徐建龙. 水稻核心种质资源的苗期耐冷性鉴定与评价. 分子植物育种, 2020, 18(9): 3068-3078
- Shang S G, Qiu X J, Yang L W, Xing D Y, Xu J L. Identification and evaluation of cold tolerance of rice core germplasm resources at seedling stage. Molecular Plant Breeding, 2020, 18(9): 3068-3078
- [22] 王金明, 杨春刚, 金国光, 孙强, 林秀云. 水稻种质资源萌发期与孕穗期耐冷性鉴定. 东北农业科学, 2016, 41(2): 1-4
- Wang J M, Yang C G, Jin G G, Sun Q, Lin X Y. Identification of cold tolerance of rice germplasm at the budburst and booting stage. Journal of Northeast Agricultural Sciences, 2016, 41(2): 1-4