

甘蔗种质资源自然条件下耐寒性评价

周 会,雷敬超,桂意云,贤 武,梁 强,杨荣仲,李杨瑞

(中国农业科学院甘蔗研究中心/农业部广西甘蔗生物技术与遗传改良重点实验室/广西农业科学院甘蔗研究所/
广西甘蔗遗传改良重点实验室/亚热带农业生物资源保护与利用国家重点实验室,南宁 530007)

摘要: 为了解广西农业科学院甘蔗研究所种质资源圃(南宁)保存的 400 份甘蔗种质材料的耐寒性表现,在 2008 年初低温灾害的自然条件下,以蔗茎节间受害指数和节间生长点受害指数为基础,通过系统聚类方法将参试材料分为不同耐寒性表现类群。结果表明,2008 年初的低温灾害属于阴雨霜冻类型,400 份甘蔗种质材料可分为 5 个耐寒性表现类群,耐寒性强的材料有 226 份(56.50%),耐寒性较强的材料有 103 份(26.75%),耐寒性一般的材料有 53 份(13.25%),耐寒性较差的材料有 7 份(1.75%),耐寒性差的材料有 7 份(1.75%)。可构建甘蔗耐寒性指数(Cold Tolerance Index,CTI): $CTI = 0.3 \times \text{节间受害指数} + 0.7 \times \text{节间生长点受害指数}$ 。节间生长点对低温伤害的敏感性高于蔗茎节间组织,建议作为耐寒性评价的重要指标之一;甘蔗耐寒性指数可以用于评价阴雨霜冻灾害下甘蔗种质材料的耐寒性。

关键词: 甘蔗;耐寒性;低温灾害;阴雨霜冻;受害指数

Evaluation on Cold Tolerance of Sugarcane Varieties under Field Conditions

ZHOU Hui, LEI Jing-chao, GUI Yi-yun, XIAN Wu, LIANG Qiang, YANG Rong-zhong, LI Yang-rui

(Sugarcane Research Center, Chinese Academy of Agricultural Sciences/ Key Laboratory of Sugarcane Biotechnology and Genetic Improvement (Guangxi), Ministry of Agriculture, P. R. China/ Sugarcane Research Institute, Guangxi Academy of Agricultural Sciences/ Guangxi Key Laboratory of Sugarcane Genetic Improvement/ State Key Laboratory for Subtropical Agri-Bioresources Conservation and Utilization, Nanning 530007)

Abstract: An investigation was conducted in order to understand the cold tolerance of 400 accessions of sugarcane germplasm maintained in Sugarcane Research Institute, Guangxi Academy of Agricultural Sciences at Nanning, China. Different cold tolerant groups were clustered based on internode and internode growing point injury index by system clustering method during the extreme low temperature disaster in early 2008. The low temperature in early 2008 was a rainy frost type. The cold tolerance of 400 accessions of sugarcane germplasm could be divided into 5 groups, that is, strongest cold tolerance group, strong cold tolerance group, average cold tolerance group, poor cold tolerance group and poorest cold tolerance group, which include 226 (56.50%), 103 (26.75%), 53 (13.25%), 7 (1.75%) and 7 (1.75%) accessions of sugarcane germplasm, respectively. The Cold Tolerance Index (CTI) of sugarcane could be calculated as: $CTI = 0.3 \times \text{internode injury index} + 0.7 \times \text{internode growing point injury index}$. The internode growing point was more sensitive than internode tissue for low temperature injury, and CTI could be used to evaluate the cold tolerance of sugarcane germplasm under rainy frost.

Key words: Sugarcane; Cold tolerance; Low temperature disaster; Rainy frost; Injury index

2008 年 1 月 12 日至 2 月 20 日广西出现了近 50 年同期罕见的持续低温雨雪冰冻灾害天气,因低温持续时间长,低温期间有冰冻和间隔的霜冻发生,各蔗区的甘蔗普遍出现了较为明显的低温受害症状,

收稿日期:2011-12-13 修回日期:2012-02-18

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2008BADB8B00);科技部国际合作项目(2008DFA30600,2009DFA30820);农业部 948 项目(2009-Z8);现代农业产业技术体系(CARS-20-3);广西科技攻关项目(桂科能 0815011);广西自然科学基金(0991183,2011GXNSFF018002);广西农业科学院基本业务费项目(G2009004,桂农科 2011YT01)

作者简介: 周会,博士,副研究员。研究方向:甘蔗遗传育种。E-mail: zhouhui@gxaas.net

通信作者:李杨瑞,博士,教授,博士生导师。E-mail: liyr@gxaas.net

给广西的甘蔗生产带来了明显的不利影响^[1]。据广西农情统计,到2月19日止,全区糖料蔗严重受灾面积70万hm²,成灾面积42.7万hm²,因灾减收糖料蔗400万t,损失蔗种90万t,蔗糖工农业直接经济损失45亿元以上^[2]。为了应对低温灾害,在2007-2008、2008-2009和2010-2011年度,通过对广西甘蔗霜冻发生情况的调查,初步掌握了不同地区霜冻发生发展的一些规律并提出相应防御对策^[2-7],同时也开展了在低温灾害严重地区进行自然鉴定筛选耐寒性强甘蔗品种的研究,初步鉴定出一批抗寒性强的甘蔗品种材料^[2, 8-12]。耐寒性强的甘蔗品种的筛选和选育将有效地增强甘蔗生产应对低温灾害的能力。目前已有的研究主要集中在低温灾害发生发展规律及防御对策,主栽品种或者优良新品系的耐寒机理或耐寒性鉴定筛选等方面。到目前为止,大规模调查研究甘蔗种质资源材料的耐寒性表现还未见报道,而了解甘蔗种质资源材料的耐寒性对于甘蔗亲本选配和耐寒品种的选育具有重要意义。为了解不同甘蔗种质资源在2008年初低温灾害中的耐寒性表现,本研究对保存在广西农业科学院甘蔗研究所种质资源圃

(南宁)的400份甘蔗种质资源的受害情况进行调查,并评价其耐寒性表现,为耐寒甘蔗品种筛选和亲本选配提供参考信息,同时尝试构建可用于评价甘蔗耐寒性表现的耐寒性指数。

1 材料与方法

1.1 调查材料

调查材料为广西农业科学院甘蔗研究所种质资源圃(南宁,纬度:22°50'N;经度:108°14'E;海拔:70m)保存的400份甘蔗种质资源材料(新植)。

1.2 调查时间、内容、方法

从南宁市气象局提供的气象资料来看(图1),此次低温灾害在南宁持续的时间为2008年1月12日至2月20日。田间调查时间为2008年2月25、26日;每个材料随机调查4条没有受到病虫害影响的蔗茎,用刀从蔗茎中间纵向均匀剖开,剖开面经过芽的位置,计数每条蔗茎的节间全部受伤节间数(蔗茎剖面完全呈水渍状)、节间部分受伤节间数(蔗茎剖面部分呈水渍状)、节间生长点(对应生长带)受害节数和蔗茎总节数。

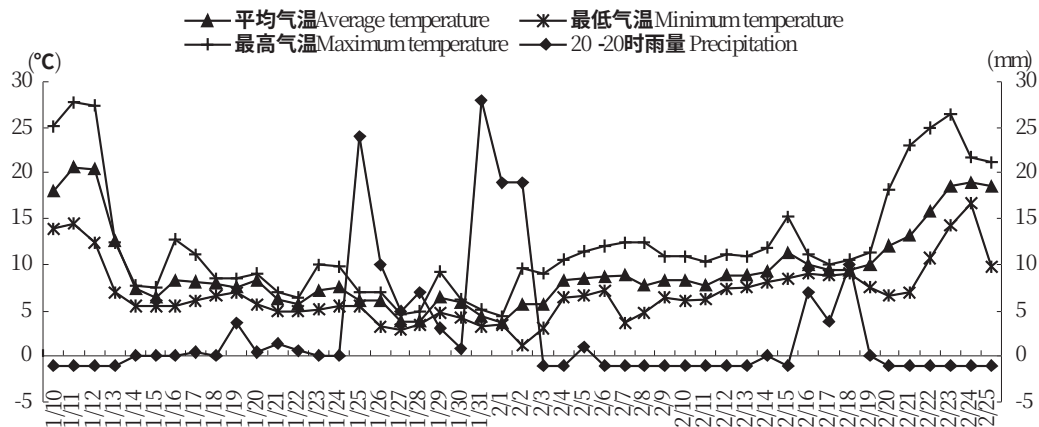


图1 2008年1月10日至2月25日南宁市气温及降雨量日变化趋势图

Fig. 1 Daily change of temperature and precipitation in Nanning from 10 January to 25 February, 2008

在降雨量指标中:“-1”表示无雨,而“0”表示有雨无量

In index of precipitation, “-1” means no rain and “0” means rain but can not be measured

1.3 数据处理

邓展云等^[2]使用茎节伤害率(%) = 水煮状节数/总节数 × 100 作为甘蔗抗寒表现的一个重要指标。在本研究中将节间受伤分为全部受伤和部分受伤,采用的计算公式如下。

节间受害指数 = 节间全部受伤节间数/总节数 + 0.5 × 节间部分受伤节间数/总节数;

节间生长点受害指数 = 节间生长点受害节数/总节数。

数据分析使用 DPS 软件^[13]。

2 结果与分析

2.1 参试材料耐寒性表现分类

在400份甘蔗品种资源中,蔗茎和节间生长点没有出现受害症状的种质材料有226份,出现受害症状的有174份。出现受害症状的种质材料可以分为3种类型(表1),分别为节间和节间生长点同时受害(74份,18.50%),只有节间受害(4份,

100%), 只有节间生长点受害(96 份,24.00%)。从耐寒性表现分类结果来看,节间生长点受害的比例

远高于节间受害,因此可以认为甘蔗在遭受低温灾害时节间生长点比蔗茎更容易受到伤害。

表 1 参试材料低温受害类型

Table 1 Low temperature injury types of sugarcane germplasm

受害类型 Injury type	材料数 No.	比例(%) Proportion
节间和节间生长点没有受害 Internode and internode growing point no injury	226	56.50
节间和节间生长点同时受害 Internode and internode growing point injury	74	18.50
只有节间受害 Internode injury only	4	1.00
只有节间生长点受害 Internode growing point injury only	96	24.00
合计 Total	400	100.00

2.2 参试材料耐寒性表现聚类分析

对 174 份出现节间或者节间生长点伤害的参试材料采用欧氏距离、非加权类平均法(UPGMA)进行系统聚类分析(图 2),当遗传距离在 0.71~0.79 之间时可以把这 174 份参试材料分成 2 大类群,如果将 226 份未出现受害症状的参试材料的耐寒性表现定义为“耐寒性强”,那么这 2 大类群可以定义为“耐寒性中等”和“耐寒性差”,其中耐寒性差的参试材料只有 7 份,而耐寒性中等的材料有 167 份。进一步细分耐寒性中等的参试材料,则当遗传距离在 0.37~0.42 之间时可以将其继续划分为 3 个亚类:耐寒性较强、耐寒性一般和耐寒性较差。

不同耐寒性表现类群的平均节间受害指数和平均节间生长点受害指数见表 2。从表 2 可以看出耐寒性较强和耐寒性一般这 2 个类群的平均节间受害指数差异不显著,而平均节间生长点受害指数差异达显著水平;耐寒性较差和耐寒性差这 2 个类群的平均节间受害指数的差异未达显著水平,而节间生长点差异达到显著水平。耐寒性较强类群的平均节间受害节数较低仅为 0.60 节(以 400 份参试材料的总平均节数 21 节为标准),平均节间生长点受害节数为 3.62 节;耐寒性一般类群的平均节间受害节数也较低仅为 0.67 节,平均节间生长点受害节数为 13.11 节;耐寒性较差类群的平均节间受害节数较高为 7.96 节,平均节间生长点受害节数为 10.38 节;耐寒性差类群的平均节间受害节数也较高为 11.99 节,平均节间生长点受害节数为 17.11 节。

2.3 参试材料的耐寒性等级

表 3 列出了各耐寒性等级的划分,表 4 列出了参试材料名称。从表 4 可知,在 400 份甘蔗品种资源中,耐寒性强的材料有 226 份,占总数的 56.50%;耐寒性较强的材料有 107 份,占总数的 26.75%;耐寒性一般的材料有 53 份,占总数的 13.25%;耐寒性较差的材料有 7 份,占总数的 1.75%;耐寒性差的材料有 7 份,占总数的 1.75%。

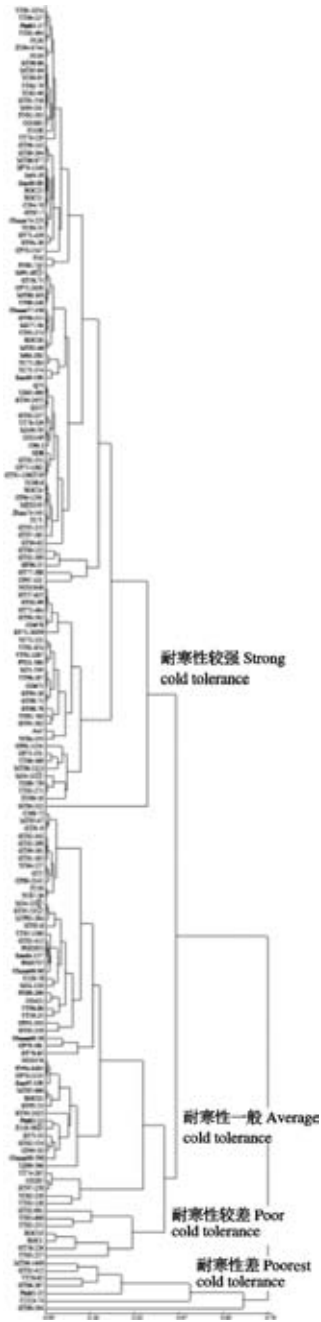


图 2 174 份受害材料聚类分析

Fig.2 Clustering analysis of 174 accessions of sugarcane germplasm

表 2 各耐寒性表现类群的 2 个性状受害指数平均值

Table 2 Mean of injury index of 2 traits for each cold tolerance group

耐寒性分类 Cold tolerance group	平均节间 受害指数 Mean of internode injury index	平均节间生长点 受害指数 Mean of internode growing point injury index	平均节间受害节数 Average No. of internode injury	平均节间生长点受害节数 Average No. of internode growing point injury
强 Strongest	0	0	0	0
较强 Strong	0.0287 ± 0.0570aA	0.1725 ± 0.1180aA	0.60	3.62
一般 Average	0.0320 ± 0.0487aA	0.6242 ± 0.1396bB	0.67	13.11
较差 Poor	0.3780 ± 0.0879bB	0.4944 ± 0.1635cB	7.96	10.38
差 Poorest	0.5711 ± 0.2319bB	0.8150 ± 0.2491bB	11.99	17.11

表中数据为各类群均值 ± 标准差,不同小写、大写字母分别表示各类群间达 0.05 和 0.01 差异水平,差异水平检验采用 *t* 检验。平均受害节数是以 400 份参试材料的平均节间数 21 节为标准

Data are means ± SD for each. Means followed by different small and capital letters within a column are significantly different at P = 0.05 and 0.01 level using *t* test, respectively. Average No. of injury is based on average node number (21) of 400 accessions of sugarcane germplasm

表 3 耐寒性等级划分

Table 3 Cold tolerance level

耐寒性分类 Cold tolerance type	甘蔗耐寒性指数 Cold tolerance index
耐寒性强 Strongest cold tolerance	CTI = 0
耐寒性较强 Strong cold tolerance	0 < CTI ≤ 0.3
耐寒性一般 Average cold tolerance	0.3 < CTI ≤ 0.5
耐寒性较差 Poor cold tolerance	0.5 < CTI ≤ 0.7
耐寒性差 Poorest cold tolerance	CTI > 0.7

2.4 甘蔗耐寒性指数构建

通过系统聚类可以把出现低温受害症状的参试材料分为 4 个类群,加上未出现受害症状的 1 个类群,所有参试材料可划分为 5 个类群,但是在实际应用中需要一个简单易用的方法来判断一些甘蔗材料在低温灾害下的耐寒性表现。因此,本研究尝试构建一个以节间受害指数和节间生长点受害指数为基础的甘蔗耐寒性指数。

甘蔗耐寒性指数(Cold Tolerance Index, CTI) = 权重 × 节间受害指数 + 权重 × 节间生长点受害指数

为确定合适的权重指数,设定 9 种权重指数比例并分析其与系统聚类类群的符合程度(图 3),结果表明,当节间受害权重:6 节间生长点受害权重 = 4:6 时,通过甘蔗耐寒性指数分类与系统聚类类群的符合程度最高,达 92.53%,但是通过对不同权重比例的符合程度的回归分析表明,节间受害权重:6 节间生长点受害权重 = 3:7 时两者符合程度最高。因此,本研究中选择节间受害权重:6 节间生长点受害权重 = 3:7 作为甘蔗耐寒性指数的权重,即:甘蔗耐寒性指数 = 0.3 × 节间受害指数 + 0.7 × 节间生长点受害指数。各耐寒性类群的耐寒性指数范围见表 4。

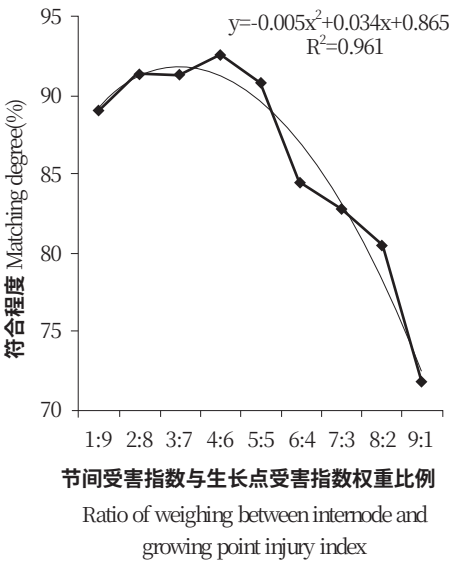


图 3 不同权重比例与耐寒性类群的符合程度

Fig. 3 Matching degree between different ratios of weighing and cold tolerance groups

3 讨论

3.1 不同低温灾害下的甘蔗受害症状

根据受害成因、受害症状和对甘蔗的影响可将甘蔗低温灾害分为干旱霜冻、阴雨霜冻或冰冻和阴雨冷害 3 种类型^[1]。不同类型的低温灾害,甘蔗受害症状明显不同。从外观上看,受干旱霜冻危害的甘蔗从上部开始受害,随着受害程度加重逐渐向下发展;受阴雨霜冻或冰冻危害的甘蔗上部首先受害,随着受害加重,叶片受害程度加重,蔗茎由基部逐渐向上发展;阴雨冷害则是从蔗茎基部向上发展^[1]。广西从 2008 年 1 月 12 日开始下雨,1 月 25 日个别蔗区开始出现冻害危害,2 月 2、3 日桂中蔗

表 4 各等级材料名称

Table 4 Lists of sugarcane germplasm accessions in different cold tolerance grades

等级 Cold tolerance grade	材料名称 Germplasm accession	数量 No.	比例(%) Proportion
强 Strongest	Ao1, Ao2, Ao3, Ao4, Ao6, B5, B6, B8, B80, BL4, C1051-73, C2-2003, C290-73, C323-68, C540-41, C676-17, C69-341, CO1013, CO1056, CO1146, CO231, CO281, CO290, CO301, CO330, CO617, CO649, CO740, CP28-11, CP33-485, CP34-120, CP51-21, CP64-144, CP65-357, CP70-1572, CP72-2114, CP72-356, CP72-370, CP73-375, CP74-2005, CP75-1632, CP78-1628, CP78-21140, CP80-1827, CP81-1384, CP81-2149, CP82-1592, CP84-1198, CP88-1762, CZ16, CZ3197-1, CZ58-181, CZ78-111, CZ79-25, CZ81-548, CZ89-103, F108, F110②, F134, F146, F160, F164, F172, F175, F176, FN76-22, FN83-36, FN91-21, FN95-1702, FN96-0616, FN96-0907, FN98-1103, FR93-435, GC78-1, GF80-29, GF97-18, GT00-245, GT02-899, GT04-2429, GT04-2453, GT60-149, GT60-289, GT64-73, GT65-469, GT65-63, GT69-156, GT69-213, GT72-268, GT72-287, GT72-653, GT73-1, GT73-167, GT74-268, GT74-445, GT74-553, GT75-208, GT75-209, GT75-57, GT76-149, GT76-154*, GT76-32, GT76-82, GT77-204, GT77-220, GT77-328, GT83-492, GT85-418, GT86-74, GT87-189, GT89-5, GT90-420, GT90-95, GT91-114, GT91-61, GT91-90, GT92-263, GT92-27, GT93-101, GT93-103, GT94-116, GT94-119, GT94-77, GT96-118, GT96-154, GT96-164, GT96-167, GT96-236, GT96-287, GT96-37, GT96-44, GT97-217, GT97-27, GT97-27②, GT97-40, GT97-69, GT98-43, GT98-55, GT99-107, GT99-178, GT99-192, GY7, GZ72-12, GZ79-216, HOC91-555, HOC92-648, M62-374, M63-94, MT78-8, MT92-619, MT92-649, MT93-730, NCo293, NCo310, NYT25, Phil60-29, POJ2725, POJ2878, PR1000, PT41-666, PT43-52, PT44-604, Q124*, Q155*, Q170, Q27, Q90, ROC16, ROC2, ROC20, ROC21, ROC9, SD25, TY1, WY55-14, YC55-7, YC58-21, YC58-47, YC64-389, YC65-621, YC71-370, YC76-185, YC77-119, YC82-96, YC84-125, YC89-7, YC90-31, YC90-33, YC90-55, YC96-69, YF90-95, YF95-159, YN75-191, YN85-1722, YT54-23, YT57-32, YT57-423, YT58-135, YT64-395, YT66-1454, YT69-11, YT71-210, YT76-268, YT82-882, YT84-298, YT89-210, YT90-4, YT91-1002, YT91-1102, YT92-336, YT93-159, YT94-128, YT96-794, YT96-833, YT96-835, YT97-976, YZ65-55, YZ68-154, YZ71-388, YZ71-548, YZ72-701, YZ81-173, YZ89-159, YZ89-351*, YZ89-7, YZ94-375, YZ95-128	226	56.50
较强 Strong	Ao5, C294-70, C96-1, CO1001, CO1149, CO671, CO678, CP67-421, CP70-1547, CP72-2028, CP73-351, CP75-1082, CP81-1254, CP84-1591, CZ57-416, CZ74-233, F1108, F126, F130, F171, F18, FN81-745, FN92-505, FN94-0744, FN98-10, GZ66-186, GZ66-86, GF96-25, GT00-122, GT02-237, GT02-351, GT02-399, GT02-99, GT04-2455, GT57-625, GT58-75, GT68-78, GT71-419, GT71-5, GT72-484, GT77-388, GT81-516, GT84-332, GT87-7, GT88-73, GT89-204, GT90-502, GT91-116, GT93-102, GT94-10, GT94-38, GT94-63, GT95-315, GT96-143, GT96-211, GT97-161, GT98-86, Ja64-19, M277-56, M34-32①, M348-59, M40-241, M51-539, M64-202, M93-48①, MEX105, MT85-68, MT85-84, MT86-2121, MT86-877, MT88-103, NCo1048, Phil63-17, PT41-560, Q135*, Q75, ROC11, ROC23, ROC24, ROC26, SDB, SP70-1149, YC62-40, YC71-374, YC73-521, YC75-284, YC84-153, YC90-35, YC90-95, YC98-8, YN81-762, YN89-759, YT62-79, YT70-129, YT76-329, YT81-3254, YT81-854, YT83-271, YT83-494, YT86-368, YT89-240, YT92-1287, YT93-373, YT96-107, YT96-237, YZ65-490, ZZ74-141	107	26.75
一般 Average	C120-78, C568-75, CO285, CO421, CP33-310, CP49-50, CP70-1133, CP79-381, CP89-2143, CZ66-96, CZ69-58, CZ88-598, F118-56②, F156, FN89-209, FN94-0403, GZ64-137, GZ95-108, GT01-163, GT02-208, GT02-210, GT02-342, GT04-2423, GT62-154, GT76-62, GT85-415, GT85-8, GT91-9, GT95-53, GT95-53①, GT97-228, GT99-181, GY5, LCP85-384, M34-120, M34-32②, MT85-07, MT85-660, NCo376, Phil62-21, POJ2727, POJ2931, ROC22, YC62-210, YC64-137, YC87-36, YT59-25, YT74-205, YT85-1589, YT92-128, YT96-86, YZ99-596, ZJ75-53	53	13.25
较差 Poor	GT02-901, GT58-226, ROC1, ROC10, YN91-600, YT63-237*, YT83-251	7	1.75
差 Poorest	C1324-74, GT02-413, GT60-104, GT86-267, MT96-1409, Phil61-35, YT59-65	7	1.75
合计 Total		400	100.00

* 表示该品种材料是从国家甘蔗种质资源圃引进
GT 广西桂糖;GF 广西桂辐;GY 广西桂引;YZ 云南云蔗;YT 广东粤糖;YN 广东粤农;YF 广东粤辐;ZZ 广东湛蔗;ZJ 广东珠江;YC 海南崖城;
MT 福建闽糖;FN 福建福农;CZ 四川川蔗;GC 四川恭城;GZ 江西赣蔗;ROC 台湾新台糖;F 台湾台糖;Ao 澳大利亚引进;NYT 农业厅;SD 水电;
TY 台优
* means the accessions are introduced from National Nursery of Sugarcane Germplasm Resources
GT Guangxi Guitang;GF Guangxi Guifu;GY Guangxi Guiyin;YZ Yunnan Yunzhe;YT Guangdong Yuetang;YN Guangdong Yuenong;YF Guangdong Yue-
fu;ZZ Guangdong Zhanzhe;ZJ Guangdong Zhujiang;YC Hainan Yacheng;MT Fujian Mintang;FN Fujian Funong; CZ Sichuan Chuanzhe;GC Sichuan
Gongcheng;GZ Jiangxi Ganzhe;ROC Taiwan Xintaitang;F Taiwan Taitang;Ao Introduced from Australia;Nongyeting;SD Shuidian;TY Taiyou

区出现霜冻,2月中旬前期从桂中到桂南蔗区的甘蔗开始大面积出现低温受害症状,至2月下旬前期,气温逐渐回升^[1-2]。南宁地区在此次低温灾害中前期以阴雨霜冻天气为主,后期以阴雨冷害为主,所以甘蔗受害情况在前期以甘蔗上部及叶片为主,后期以蔗茎基部向上发展为主。杨荣仲等^[11]认为阴雨霜冻和干旱霜冻对甘蔗的伤害确实不同,因此,进行耐寒性评价时需要针对蔗区出现的霜冻类型分别实施,以准确了解品种的耐寒潜力。本研究中甘蔗材料的耐寒性评价是在阴雨霜冻条件下进行的,因此,只能反应出这些材料在阴雨霜冻条件下的耐寒性,而其在干旱霜冻条件下的表现需要进一步研究。

3.2 用于甘蔗耐寒性评价的性状的选择

邓展云等^[2]认为甘蔗遭受低温冰冻雨雪危害表征特点顺序是:蔗茎基部组织(生长带)(对应本研究中的节间生长点)→心叶→生长点→尾部侧芽→蔗叶,最敏感部位是蔗茎基部节间,且绝大多数品种材料的节间生长点受害节数超过节间受害节数。杨荣仲等^[10]认为在干旱霜冻条件下进行甘蔗耐寒性评价时选择绿叶百分率、茎长冻损率较简单易行,在阴雨霜冻条件下选用基部节间冻损率、+1~+4叶绿叶百分率进行耐寒评价较为适宜^[11]。本研究调查指标是以蔗茎受害情况为主,结果表明,节间生长点比节间组织更容易受到低温伤害,这与邓展云等^[2]的调查结果一致。本研究认为节间生长点受害情况或许可以作为甘蔗低温受害的一个重要指标。

3.3 材料耐寒性评价结果说明

在2008年初的低温灾害中,广西农业科学院甘蔗研究所种质资源圃(南宁)所在地区受害相对较轻,这是导致本研究中耐寒性强材料比例达到

56.50%(226/400)的一个重要原因,但本研究中受害较重的耐寒性较差和耐寒性差的材料耐寒性肯定较差,而耐寒性较强和一般的材料则需要进一步研究,以利于其在甘蔗育种中利用。

参考文献

[1] 杨荣仲,李松,何为中,等.甘蔗低温灾害减灾技术措施[J].广西农业科学,2008,39(2):160-163

[2] 邓展云,刘海斌,张革民,等.2007-2008年榨季广西甘蔗霜冻发生危害规律的调查[J].中国糖料,2009(1):47-50

[3] Li Y R, Yang L T. Status of the sugar industry development in China[C]//Li Y R, Nasr M I, Solomon S, Rao G P (Editors-in-Chief). Meeting the Challenges of Sugar Crops & Integrated Industries in Developing Countries. Proceedings of the International Conference IS-2008, Al Arish, Egypt, September 11-14, 2008. Cairo, Egypt: Engineering House Press Co: 759-763

[4] Yang L T, Li Y R. Future research priorities of Chinese sugar industry[C]//Li Y R, Nasr M I, Solomon S, Rao G P (Editors-in-Chief). Meeting the Challenges of Sugar Crops & Integrated Industries in Developing Countries. Proceedings of the International Conference IS-2008, Al Arish, Egypt, September 11-14, 2008. Cairo, Egypt: Engineering House Press Co: 764-770

[5] 许文龙,李赛声,缪世宁,等.广西蔗区霜冻影响规律及预防措施[J].贵州农业科学,2009,37(12):90-91

[6] 谭宏伟,李杨瑞,周柳强,等.霜冻天气对桂中地区主栽甘蔗品种生长及蔗糖分的影响[J].广西农业科学,2010,41(4):326-328

[7] 李杨瑞,方锋学,吴建明,等.2010/2011榨季广西甘蔗生产冻害调查及防御对策[J].南方农业学报,2010,42(1):37-42

[8] 刘海斌,何红,邓展云,等.特高糖抗寒甘蔗新品种桂糖28号的选育[J].中国糖料,2010(1):13-15

[9] 陆国盈,韦晖,蒋明明,等.冰水浸苗对不同甘蔗品种生理生化特性的影响[J].广西农业科学,2010,41(2):113-116

[10] 杨荣仲,李杨瑞,王维赞,等.干旱霜冻条件下的甘蔗耐寒评价分析[J].西南农业学报,2011,24(1):52-57

[11] 杨荣仲,李杨瑞,王维赞,等.阴雨霜冻条件下的甘蔗耐寒评价分析[J].西南农业学报,2011,24(3):1065-1071

[12] 张保青,杨丽涛,李杨瑞.自然条件下甘蔗品种抗寒生理生化特性的比较[J].作物学报,2011,37(3):496-505

[13] 唐启义,冯明光. DPS 数据处理系统(第一版)[M].北京:科学出版社,2006