

电导法对 32 个辣椒品种组合抗寒性的测定及配合力分析

杨少瑕,吕庆芳,梁春林

(广东海洋大学 农学院,广东 湛江 524088)

摘要:为了比较辣椒品种的抗寒性,以 32 个线椒杂交组合为试材,在人工气候箱下进行低温处理,应用电导法测定叶片相对电导率(REC)。通过 Logistic 曲线方程拟合求出拐点温度(即半致死温度)(LT_{50}),作为各试材抗寒性评价的参考指标,并将 32 个线椒组合的半致死温度(LT_{50})进行比较。结果表明:随处理温度的降低,相对电导率不断升高,变化过程呈“S”型曲线。32 个线椒组合抗寒性顺序依次为: $H2>H13\approx H28>H31\approx H1\approx H23>H24>H26>H30>H8>H27\approx H19>H5\approx H12>H21>H3>H18>H15\approx H14>H22>H17>H7\approx H29>H4>H11>H10\approx H16>H20>H6>H9>H25>H32$ 。配合力分析表明,相对电导率的 GCA 效应值以亲本 P1 和 P2 最低,SCA 效应值以 $P1\times P2$ 最低。

关键词:线椒;电导法;半致死温度;抗寒性;配合力

中图分类号:S641.3

文献标识码:A

文章编号:1002-2767(2014)02-0006-10

辣椒(*Capsicum annuum*),又叫番椒、海椒、辣角等,是茄科辣椒属植物^[1]。辣椒为一年或多年生草本植物,原产于墨西哥,明朝末年传入中国。线椒是辣椒的一个变种,其颜色鲜艳,色红发亮,油质大,果肉厚,大小均匀,富含蛋白质、脂肪和矿物质等。线椒的果实因果皮含有辣椒素而有辣味,能增进食欲。线椒中维生素 C 的含量极高,具有很好的食疗和医疗作用。伴随线椒各种加工技术的成熟,市场对线椒的需求日益增加,对其质量要求也越来越高。

因线椒作为冬春设施栽培的主要作物,近年来我国的栽培面积不断扩大。线椒生长最适宜温度为 $24\sim 28^{\circ}\text{C}$,低于 10°C 时生长发育缓慢,故低温是线椒栽培中的主要限制因素^[2]。我国南方早春时常有倒春寒发生,线椒受冷害后,植株的生长受到严重损害,甚至引起整株死亡,给生产带来严重的损失。因此,研究低温冷害对线椒生长发

育的影响以及提高线椒抗寒性具有重要的意义。

植物在低温下受到伤害时最先被冲击的是膜系统^[3]。膜因低温引起的不均匀收缩、膜脂相变、膜脂过氧化、冰冻造成的机械胁迫等因素而受到伤害,半透性丧失,细胞内电解质外渗从而导致植物细胞代谢的变化和功能紊乱。膜损伤愈严重,离子渗出率愈高。因此,可以通过测定电解质的渗漏情况来确定植物的受害程度。从 Dexter 等使用电导法测定植物抗性以来^[4],电导法不断完善和发展。Sukumatan 等提出了电解质透出率达 50% 时为半致死温度的观点^[5],但半致死温度并不总是表现为电解质透出率达 50% 时的温度。Rajashekar C 等利用 Logistic 曲线描述低温对植物细胞膜的伤害过程,提出曲线拐点为半致死温度(LT_{50})的观点^[6],目前这种观点在我国得到了广泛的认同和采用^[7-11]。牛立新和孙秉钧等也认为该方法具有灵敏度高、操作方便等优点,适用于大量材料的快速鉴定^[12-13]。该研究采用电导法对 32 个线椒组合进行试验,经低温处理,测定其叶片电导率,并通过拟合的 Logistic 方程求其拐点值,确定这 32 个线椒组合的半致死温度,通过半致死温度的高低来说明其抗寒性的大小。同时探讨线椒不同组合抗寒性的配合力,为不同地区的线椒引种和组合选择提供理论依据^[14]。

收稿日期:2013-10-09

基金项目:科技部农转基金资助项目(2011GB2E000007);广东省农业科技攻关资助项目(2012A020602051);广东省高等学校特色专业建设资助项目(2010-96)

第一作者简介:杨少瑕(1977-),女,广东省潮安县人,助理研究员,从事园艺作物栽培与育种研究。E-mail:50741769@qq.com。

通讯作者:吕庆芳,女,高级实验师,从事园艺植物良种及安全高效生产技术研究。E-mail:zjlqfrose@126.com。

1 材料与方法

1.1 材料

供试材料为 9 个纯合的线椒自交系,以及以其为亲本按 $(1/2)n(n-1)$ 双列杂交配制的 32 个杂种一代。亲本编号为 P1~P9。杂交组合编号为 H1(P2×P1)、H2(P3×P1)、H3(P3×P2)、H4(P4×P1)、H5(P4×P2)、H6(P4×P3)、H7(P5×P1)、H8(P5×P2)、H9(P5×P3)、H10(P5×P4)、H11(P6×P1)、H12(P6×P2)、H13(P6×P3)、H14(P6×P4)、H15(P6×P5)、H16(P7×P1)、H17(P7×P2)、H18(P7×P3)、H19(P7×P4)、H20(P7×P5)、H21(P7×P6)、H22(P8×P1)、H23(P8×P2)、H24(P8×P3)、H25(P8×P4)、H26(P8×P6)、H27(P8×P7)、H28(P9×P1)、H29(P9×P3)、H30(P9×P4)、H31(P9×P5)、H32(P9×P6)共 32 个品种。材料均采自广东省茂名市辣椒实验基地,试验地土壤为沙壤土,一般管理水平。采集线椒叶片时选取冠层外围及中部枝条上发育成熟的叶片(切记不能选嫩叶),每个组合选 5 株生长健壮的线椒,每株线椒取 10 片长势一致的叶子,采摘后分别放到密封保鲜袋中,带回实验室用于电导率测试。

1.2 方法

1.2.1 电解质外渗法 冷冻处理:供试材料先用自来水冲洗,除去叶片表面的污物,再用纯净水冲洗 3 遍。然后用干净的干毛巾将叶片的水分吸干,分别装入小保鲜袋中,将所有材料分成 3 份,分别装入 3 个大保鲜袋中,置于 23℃ 的人工气候箱中处理 24 h。同样的操作进行 5 次,后 4 次的处理温度分别是 20、15、8 和 5℃。

电解质外渗率测定^[15]:将处理后的叶片用 1 cm²打孔器切成圆片。准确称量 2.00 g 的圆片,放入 100 mL 三角锥瓶中,准确加入纯净水 30 mL,浸没叶片,然后将其置于真空干燥器中抽真空 20 min,以抽出细胞间隙中的空气,使得纯净水进入细胞间隙,然后缓缓放入空气,水即被吸入组织中而使得圆片下沉,电解质渗透出来。取出三角锥瓶,将其摇匀,用电导率仪测定浸泡液的电导率 S1,然后将三角锥瓶放入到 100℃ 的沸水中煮沸 15 min,取出三角锥瓶冷却至室温,再

次测定圆片的电导率 S2。

$$L(\%) = (S1/S2) \times 100$$

其中:L 为处理叶片的相对电导率(%);S1 为处理叶片的初电导值;S2 为处理叶片的终电导值。

1.2.2 Logistic 拟合方程曲线 Logistic 方程是一个典型的“S”曲线方程,在抗寒研究中其拟合方法(找一个反映数据变化规律的函数)为: $y = k/(1 + ae^{-bx})$, $k = [y_{22}(y_1 + y_3) - 2y_1 y_2 y_3]/(y_{22} - y_1 y_3)$,其中 y 为低温处理下的相对电导率, y_1 、 y_2 、 y_3 为测试结果中等距离的 3 点,k、a、e 为参数。在数学上,拐点即 $d^2 y/dx^2 = 0$ 时的 x 值,x 即为半致死温度(LT₅₀)值^[16]。

1.2.3 数据分析方法 采用统计分析软件 SPSS 进行单因素方差分析,计算水平间差异显著性;对差异极显著的数据作平均值的多重差异比较(Dunnett测验);曲线回归分析(logistic 方程)计算半致死温度(LT₅₀)。采用统计分析软件 DPS 进行配合力分析。

2 结果与分析

2.1 不同温度处理对 32 个线椒杂种相对电导率的影响

2.1.1 不同温度处理下 32 个线椒杂种相对电导率变化趋势 供试线椒叶片经过一系列低温处理后,相对电导率产生一系列的变化。从图 1 可以明显地看出,随着温度的下降,线椒叶片细胞内相对电导率呈上升趋势,规律较明显。变化趋势基本符合温度越低对细胞膜造成的损伤越大细胞膜的透性增大将导致细胞内电解质外渗率也增大这一电导法测定抗寒性的基本理论。相对电导率的上升是低温对线椒叶片原生质膜透性破坏的效应。

32 个线椒杂种组合在 23~15℃ 处理中,初期相对电导率上升缓慢,几乎处于一个平缓的趋势,然后随着温度的降低,相对电导率急剧升高;温度降至 8℃ 时,除了 H2 组合外,其它所有组合线椒的相对电导率都超过了 50%。峰值越高,波峰越陡,细胞膜受损越严重。在该温度下都出现了明显的拐点。拐点以前,外渗率不断增加,表明降温对细胞膜伤害率的递增效应不断增大,到拐点时最大;之后,外渗率增加效应逐渐下降,表明降温

对细胞膜伤害率的递增效应减小,即电导率曲线出现最大的坡度后又趋于缓慢。表明膜透性已经被破坏,主动运输功能受阻。H2 线椒杂种组

合在整个温度梯度中相对电导率的变化比较不明显,相对电导率的变化幅度也不大(见图 1)。

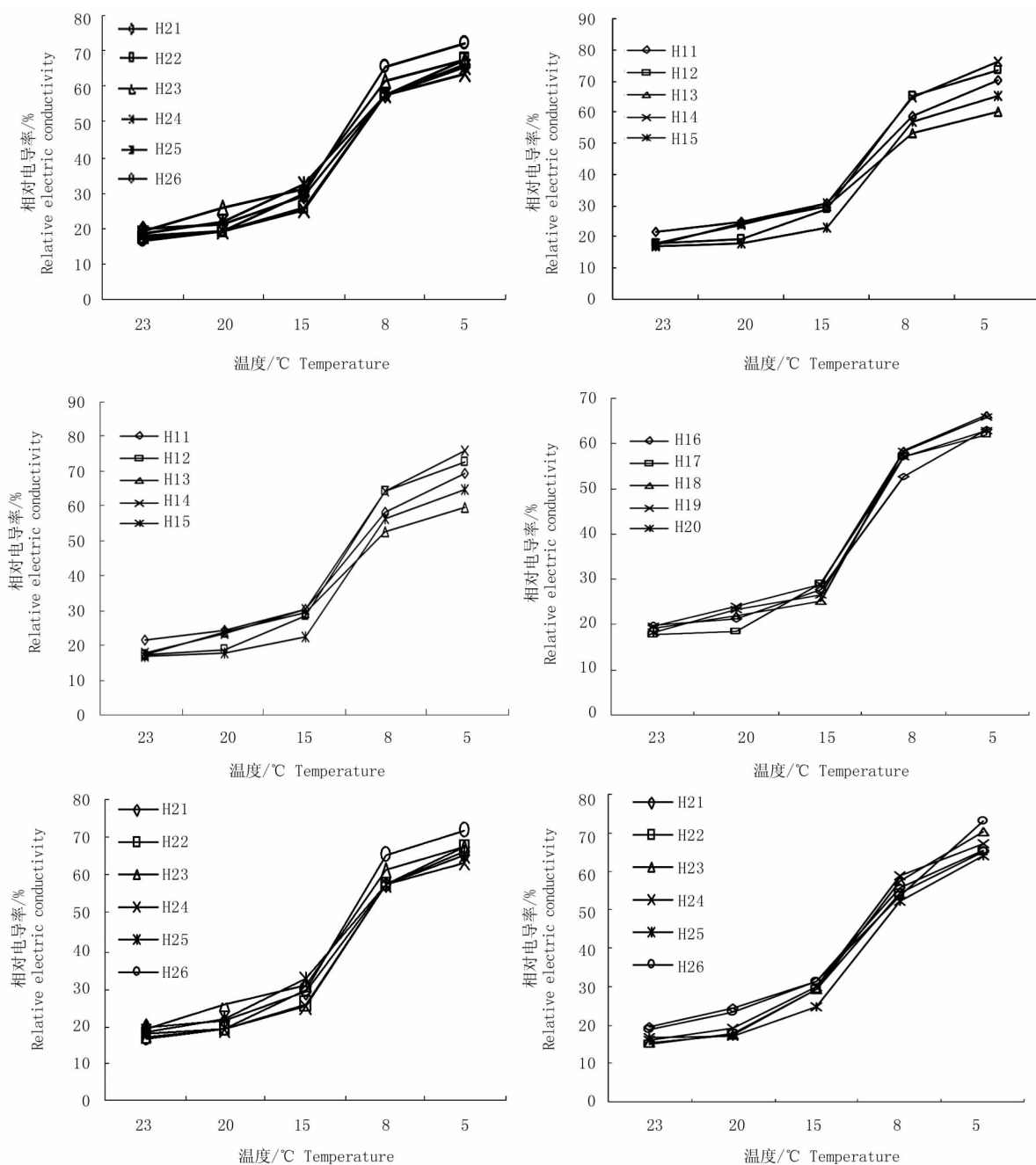


图 1 32 个线椒杂种组合在不同温度下的相对电导率

Fig. 1 Relative electric conductivity of 32 combinations of hot peper hybrid under different temperatures

2.2 不同温度处理下 32 个线椒杂种相对电导率方差分析

由表 1 可知,在 15℃处理条件下,32 个线椒组合的相对电导率之间差异不显著($P>0.05$);

在 23℃和 20℃处理条件下,32 个线椒组合的相对电导率之间差异显著($P<0.05$);在 8℃和 5℃处理条件下,说明 32 个线椒组合的相对电导率之间差异极显著($P<0.01$)。

表 1 不同温度处理下 32 个线椒杂种组合的方差分析

Table 1 Variance analysis about 32 combinations of hot pepper hybrid under different temperatures

温度/℃ Temperature		平方和 SS	自由度 <i>df</i>	均方 MS	<i>F</i>	Sig.
23	处理	225.685	31	7.280	1.905 *	0.015
	误差	244.644	64	3.823		
	总和	470.329	95			
20	处理	698.267	31	22.525	2.472 *	0.010
	误差	583.251	64	9.113		
	总和	1281.519	95			
15	处理	920.389	31	29.690	1.106	0.359
	误差	1717.961	64	26.843		
	总和	2683.350	95			
8	处理	1745.061	31	56.292	4.476 * *	0.000
	误差	804.944	64	12.577		
	总和	2550.006	95			
5	处理	2031.448	31	65.531	4.255 * *	0.000
	误差	985.765	64	15.403		
	总和	3017.213	95			

由表 2 可知,H2 组合在不同温度处理下相对电导率仍是所有组合中最小的一个,因此利用 SPSS 软件进行 Dunnett 多重对比时,将 H2 组

表 2 8℃ 下不同线椒组合的相对电导率的多重比较

Table 2 Multiple comparison about relative electric conductivity of hot pepper hybrids under 8℃

组合 Combination	组合 Combination	均值差异 Mean value difference	标准误差 Standard error	Sig.	组合 Combination	组合 Combination	均值差异 Mean value difference	标准误差 Standard error	Sig.
H1	H2	8.6700	2.89566	0.068	H18	H2	12.5667	2.89566	0.001
H3	H2	9.6567	2.89566	0.028	H19	H2	12.2767	2.89566	0.002
H4	H2	9.2700	2.89566	0.040	H20	H2	11.1067	2.89566	0.007
H5	H2	9.3333	2.89566	0.038	H21	H2	11.6700	2.89566	0.004
H6	H2	6.3733	2.89566	0.360	H22	H2	11.3567	2.89566	0.005
H7	H2	10.6267	2.89566	0.011	H23	H2	15.8000	2.89566	0.000
H8	H2	11.6300	2.89566	0.004	H24	H2	11.0133	2.89566	0.007
H9	H2	10.4333	2.89566	0.013	H25	H2	11.7233	2.89566	0.003
H10	H2	17.4867	2.89566	0.000	H26	H2	19.7467	2.89566	0.000
H11	H2	13.0067	2.89566	0.001	H27	H2	19.7467	2.89566	0.000
H12	H2	19.1133	2.89566	0.000	H28	H2	8.3700	2.89566	0.088
H13	H2	7.2600	2.89566	0.204	H29	H2	11.1033	2.89566	0.007
H14	H2	18.8733	2.89566	0.000	H30	H2	12.2233	2.89566	0.002
H15	H2	11.1333	2.89566	0.006	H31	H2	6.1700	2.89566	0.405
H16	H2	6.7500	2.89566	0.286	H32	H2	7.7700	2.89566	0.141
H17	H2	11.0533	2.89566	0.007					

合当作一个控制,将其它所有组与该组在 0.05 的显著概率级别上进行显著性比较。若与 H2 组合的相对电导率不显著,说明该组合在 8℃ 低温下,原生质膜破坏程度小,透性也较小,表现为其相对电导率也不大。由表 2 中 Sig. 的大小进行比较,组合 H2 与组合 H8、H10、H11、H12、H14、H15、H17、H18、H19、H20、H21、H22、H23、H24、H25、H26、H27、H29、H30 差异极显著 ($P < 0.01$),说明这些组合在 8℃ 低温下的相对电导率比其它组合的相对电导率都要大。组合 H2 与组合 H3、H4、H5、H7 差异显著 ($P < 0.05$),说明在 8℃ 低温下,这些组合的相对电导率相比上述组合的相对电导率要小;而组合 H2 与组合 H1、H6、H13、H28、H31 的相对电导率差异不显著 ($P > 0.05$),说明这些组合的相对电导率均较小。

由表 3 可得,组合 H2 与组合 H6、H22、H30 差异显著 ($P < 0.05$),与组合 H9、H10、H11、H12、H14、H23、H26、H29 和 H32 差异极显著 ($P < 0.01$),说明这些组合在 5℃ 的低温下相对电导率比较大;组合 H2 与组合 H1、H3、H4、H5、H7、H8、H13、H15、H16、H17、H18、H19、H20、H21、H24、H25、H27、H28 和 H31 差异不显著 ($P > 0.05$),说明这些组合在 5℃ 低温下,相对电导率都较小。林艳,王钦和王飞等^[17-20]研究表明,细胞的抗寒性与电解质外渗呈负相关。结合表 2 可得出组合 H1、H13、H28、H31 与组合 H2 的相对电导率差异均不显著,它们在低温中膜透性破坏较轻,电解质渗出少,这可能与其它的组合原生质膜的构造、原生质体内含有的成分和含量不同有关,具体还有待进一步研究。

2.2 用 Logistic 曲线方程拟合求出拐点温度(即半致死温度)(LT_{50})

由表 4 Logistic 方程拟合统计结果可以看出,在低温胁迫下,相对电导率与温度之间的关系曲线能够较好地用 Logistic 方程 $y = k/(1 + ae^{-bx})$ 进行拟合, r^2 介于 0.978~0.999,均大于相关系数显著性临界值 0.442,说明在该抗寒研究中,不同低温处理电解质外渗率遵循 Logistic 方程的变化规律且与半致死温度呈线性关系,其拟合结果可靠,精确度较高。

表 3 5℃ 下不同线椒组合的
相对电导率的多重比较

Table 3 Multiple comparison about relative
electric conductivity of different hot
pepper hybrid combinations under 5℃

组合 Combination	组合 Combination	均值差值 Mean value difference	标准误差 Standard error	Sig.
H1	H2	3.6733	3.20443	0.987
H3	H2	9.8067	3.20443	0.058
H4	H2	9.4000	3.20443	0.079
H5	H2	4.7367	3.20443	0.876
H6	H2	10.1733	3.20443	0.043
H7	H2	8.2967	3.20443	0.172
H8	H2	8.8533	3.20443	0.118
H9	H2	17.5867	3.20443	0.000
H10	H2	19.1167	3.20443	0.000
H11	H2	13.7667	3.20443	0.002
H12	H2	16.8433	3.20443	0.000
H13	H2	3.5300	3.20443	0.992
H14	H2	19.9900	3.20443	0.000
H15	H2	8.8833	3.20443	0.115
H16	H2	6.6767	3.20443	0.437
H17	H2	5.6033	3.20443	0.689
H18	H2	9.9367	3.20443	0.052
H19	H2	9.4500	3.20443	0.076
H20	H2	6.5067	3.20443	0.474
H21	H2	9.5667	3.20443	0.070
H22	H2	11.2333	3.20443	0.018
H23	H2	12.2400	3.20443	0.007
H24	H2	6.8867	3.20443	0.393
H25	H2	8.7900	3.20443	0.123
H26	H2	15.7500	3.20443	0.000
H27	H2	9.0467	3.20443	0.103
H28	H2	8.8000	3.20443	0.122
H29	H2	13.7067	3.20443	0.002
H30	H2	10.7967	3.20443	0.026
H31	H2	7.7000	3.20443	0.250
H32	H2	16.6967	3.20443	0.000

表 4 不同温度处理下 32 个线椒组合电解质渗出率拟合 Logistic 方程曲线
Table 4 Logistic curve about electrical permeation rate of
32 combinations of hot pepper hybrid under different temperatures

组合 Combination	k	a	b	回归方程 Regression equation	LT ₅₀ /℃	r ²
H1	0.697	4.520	0.169	$y=\frac{0.697}{1+4.520e^{-0.196x}}$	8.926	0.978
H2	0.713	6.194	0.212	$y=\frac{0.713}{1+6.194e^{-0.212x}}$	8.602	0.998
H3	0.813	5.086	0.159	$y=\frac{0.813}{1+5.086e^{-0.159x}}$	10.230	0.997
H4	0.808	6.685	0.173	$y=\frac{0.808}{1+6.685e^{-0.173x}}$	10.982	0.996
H5	0.705	6.566	0.194	$y=\frac{0.705}{1+6.566e^{-0.194x}}$	9.701	0.983
H6	0.910	5.824	0.139	$y=\frac{0.910}{1+5.824e^{-0.139x}}$	12.767	0.997
H7	0.805	5.898	0.164	$y=\frac{0.805}{1+5.898e^{-0.164x}}$	10.821	0.986
H8	0.760	5.588	0.181	$y=\frac{0.760}{1+5.588e^{-0.181x}}$	9.506	0.993
H9	0.954	8.129	0.163	$y=\frac{0.954}{1+8.129e^{-0.163x}}$	12.855	0.997
H10	0.925	7.323	0.176	$y=\frac{0.925}{1+7.323e^{-0.176x}}$	11.313	0.990
H11	0.883	5.595	0.155	$y=\frac{0.883}{1+5.595e^{-0.155x}}$	11.109	0.994
H12	0.809	9.663	0.232	$y=\frac{0.809}{1+9.663e^{-0.232x}}$	9.777	0.991
H13	0.681	5.012	0.185	$y=\frac{0.681}{1+5.012e^{-0.185x}}$	8.713	0.996
H14	0.894	7.772	0.194	$y=\frac{0.894}{1+7.772e^{-0.194x}}$	10.570	0.996
H15	0.749	9.082	0.210	$y=\frac{0.749}{1+9.082e^{-0.210x}}$	10.506	0.982
H16	0.802	5.695	0.153	$y=\frac{0.802}{1+5.695e^{-0.153x}}$	11.370	0.994
H17	0.775	8.006	0.193	$y=\frac{0.775}{1+8.006e^{-0.193x}}$	10.778	0.998
H18	0.787	6.893	0.185	$y=\frac{0.787}{1+6.893e^{-0.185x}}$	10.435	0.981
H19	0.770	5.724	0.180	$y=\frac{0.770}{1+5.724e^{-0.180x}}$	9.693	0.989
H20	0.774	8.024	0.182	$y=\frac{0.774}{1+8.024e^{-0.182x}}$	11.442	0.994
H21	0.765	6.303	0.187	$y=\frac{0.765}{1+6.303e^{-0.187x}}$	9.845	0.992
H22	0.782	8.224	0.198	$y=\frac{0.782}{1+8.224e^{-0.198x}}$	10.642	0.991
H23	0.770	5.946	0.199	$y=\frac{0.770}{1+5.946e^{-0.199x}}$	8.958	0.991
H24	0.697	7.798	0.221	$y=\frac{0.697}{1+7.798e^{-0.221x}}$	9.294	0.981
H25	0.924	4.946	0.105	$y=\frac{0.924}{1+4.946e^{-0.105x}}$	15.225	0.984
H26	0.788	10.054	0.246	$y=\frac{0.788}{1+10.054e^{-0.246x}}$	9.382	0.993

续表 4

Continuing Table 4

组合 Combination	k	a	b	回归方程 Regression equation	LT ₅₀ /℃	r ²
H27	0.765	5.169	0.170	$y = \frac{0.765}{1 + 5.169e^{-0.170x}}$	9.663	0.998
H28	0.678	7.305	0.227	$y = \frac{0.678}{1 + 7.305e^{-0.227x}}$	8.760	0.990
H29	0.814	9.091	0.203	$y = \frac{0.814}{1 + 9.091e^{-0.203x}}$	10.873	0.999
H30	0.740	8.250	0.224	$y = \frac{0.740}{1 + 8.250e^{-0.224x}}$	9.421	0.998
H31	0.694	6.108	0.203	$y = \frac{0.694}{1 + 6.108e^{-0.203x}}$	8.914	0.981
H32	1.118	7.247	0.129	$y = \frac{1.118}{1 + 7.247e^{-0.129x}}$	15.353	0.999

叶片组织在不同低温处理下的相对电导率随着温度的变化用 Logistic 方程拟合,半致死温度越低,该线椒组合的抗寒性越强。由表 4 可看出,32 个线椒组合的拐点温度不同,其中组合 H2、H13、H28、H31、H1 和 H23 的半致死温度分别为 8.602、8.713、8.760、8.914、8.926 和 8.958℃,均低于 9℃,是这 32 个组合中较低的,说明这 6 个组合的线椒的抗寒性要好于其余 26 个线椒。其次的是组合 H24、H26、H30、H8、H27、H19、H5、H12 和 H21,它们的半致死温度分别为 9.294、9.382、9.421、9.506、9.663、9.693、9.701、9.777 和 9.845℃。组合 H25 的半致死温度是 15.225℃,H32 的半致死温度是 15.353℃,是这些组合中最不耐寒,即抗寒性最低的 2 个组合。32 个线椒组合的抗寒性由强至弱分别为: H2>H13≈H28>H31≈H1≈H23>H24>H26>H30>H8>H27≈H19>H5≈H12>H21>H3>H18>H15≈H14>H22>H17>H7≈H29>H4>H11>H10≈H16>H20>H6>H9>H25>H32。

2.4 线椒组合的配合力分析

随机区组设计的方差分析结果表明,在 5℃ 和 8℃ 处理下,32 个线椒组合的相对电导率均达到极显著差异,说明各个处理基因型效应之间存在着真实的差异,可进一步对其进行一般配合力(GCA)和特殊配合力(SCA)分析。所有数据采用唐启义等^[21]的 DPS 数据处理系统进行处理,对配合力方差分析和一般配合力(GCA)以及特殊配合力(SCA)效应值的估算采用 Griffing 配合力分析方法。

表 5 线椒组合相对电导率的一般配合力(GCA)效应值

Table 5 General combining ability about relative electric conductivity of hot pepper hybrid combinations

8℃		5℃	
亲本 Parent	均值 Mean	亲本 Parent	均值 Mean
P9	0.415	P6	0.0511
P6	0.0413	P5	0.0510
P8	0.0370	P6	0.0445
P5	0.0367	P8	0.0354
P7	0.0169	P7	0.0132
P3	0.0117	P3	0.0033
P4	0.0019	P4	-0.0067
P2	-0.0431	P2	-0.0360
P1	-0.1024	P1	-0.1048

在杂交配组中,不同亲本性状对杂种一代的影响程度不同,因而很有必要评价亲本在所有组合的平均表现,对其能够稳定遗传的基因加性效应进行度量,才能正确地选择亲本。亲本的一般配合力(GCA)效应值反映了可累加的基因效应,由于加性效应能够遗传和固定,其大小和正负表示加性作用的程度和方向,同时也表现了数量性状呈多基因方式传递给子代的能力^[22]。由表 5 可知,亲本 P6、P5、P8、P7、P3 的均值在 5℃ 度和 8℃ 度的低温下都为正值,表明这 5 个亲本对增加电导率占主导作用。而线椒的相对电导率越小,抗寒能力越强,P1 和 P2 的均值最小,为负值,即为最好的亲本。

为了比较亲本在各组合中性状传递能力的整齐度,需进行亲本品种的特殊配合力(SCA)方差分析。

特殊配合力(SCA)是指一个亲本在其特定的杂交组合中,杂交一代性状表现与该亲本平均性状表现的偏差,主要取决于基因的非加性效应,其值大小正负表示杂交组合非加性作用的程度与方向^[22]。抗寒性越好的品种受到低温胁迫,相对电导率越小,因此 SCA 的值越小越好。结果表明,在 8℃处理下,P2×P1 的相对电导率的 SCA 效应值最低,P6×P5、P7×P3、P8×P7、P4×P3、P7×P6、P6×P3、P8×P3、P8×P4、P6×P4、P5×P4 SCA 效应值较低,因此,这些组合是在 8℃下表现较优的组合;SCA 效应值最高的是 P9×P3,其次是 P8×P2、P7×P1、P3×P1、P6×P2。在 5℃处理下 P9×P4 的相对电导率的 SCA 效应值最低,P2×P1、P6×P5、P8×P3、P7×P6、P6×P3、P4×P3、P8×P7、P7×P3、P7×P5、P5×P4、P6×P4、P7×P4、P8×P6、P8×P4 的 SCA 效应值较低,因此,这些组合是在 5℃下表现较优的组合;SCA 效应值最高的是 P8×P1,其次 P6×P2、P9×P1、P8×P2、P6×P1。无论在 5℃还是 8℃下,P2×P1、P6×P5、P7×P3、P8×P7、P4×P3、P7×P6、P6×P3、P8×P3、P8×P4、P6×P4、P5×P4 的 SCA 的大小接近,正负一致,因此这些组合是在低温下,SCA 效应值较低,相对电导率小,表现较优的杂交组合(见表 6)。

为了了解特定亲本的 GCA 和 SCA 效应并做出估算,由表 5 和表 6 得出,相对电导率的一般配合力(GCA)效应值以 P1 和 P2 最好,它们的组合也是最佳的,然而 P6、P5、P8、P7 和 P3 一般配合力(GCA)效应值是最差的,但是它们的组合 P6×P5、P7×P3、P8×P7、P4×P3、P7×P6 及 P8×P3 都是较好的组合,可见,由两个一般配合力(GCA)不高的亲本所配的组合,其特殊配合力(SCA)也可能高,这与以往的研究结果一致^[23]。

表 7 不同亲本组合在 8 和 5℃的一般配合力(GCA)和特殊配合力(SCA)效应值方差分析

Table 7 Variance analysis about GCA and SCA of hot pepper hybrid combinations under 8℃ and 5℃

变异来源			8℃			5℃				
Source of variation	自由度 <i>df</i>	平方和 SS	均方 MS	<i>F</i>	<i>P</i>	自由度 <i>df</i>	平方和 SS	均方 MS	<i>F</i>	<i>P</i>
一般配合力 GCA	7	0.1032	0.0147	3.7864	0.0008 **	7	0.1100	0.0157	3.0941	0.0043 **
特殊配合力 SCA	20	0.1873	0.0094	2.4040	0.0013 **	20	0.2724	0.0136	2.6803	0.0004 **
误差 Error	168	0.6543	0.0039			168	0.8536	0.0051		

合力方差(SCA MS)在相对电导率上也达到极显著水平,说明同一亲本在不同的组合中有明显的差异^[24],即相对电导率受加性效应与非加性效应的共同影响。但是特殊配合力方差(SCA MS)低于一般配合力方差(GCA MS),说明相对电导率

表 6 不同亲本组合在 8 和 5℃的 SCA 效应值

Table 6 Specific combining ability about hot pepper hybrid combinations under 8℃ and 5℃

亲本组合 Parent combinations	SCA 效应值 Specific combining ability	
	8℃	5℃
P2×P1	-0.3460	-0.4266
P3×P1	0.0792	0.0642
P3×P2	0.0434	0.0410
P4×P1	0.0151	0.0462
P4×P2	0.0623	0.0529
P4×P3	-0.0397	-0.0375
P5×P1	0.0683	0.0739
P5×P2	0.0154	0.0747
P5×P3	0.0373	0.0509
P5×P4	-0.0081	-0.0226
P6×P1	0.0589	0.0759
P6×P2	0.0739	0.0954
P6×P3	-0.0372	-0.0396
P6×P4	-0.0155	-0.0197
P6×P5	-0.0597	-0.0626
P7×P1	0.0869	0.0704
P7×P2	0.0510	0.0702
P7×P3	-0.0535	-0.0256
P7×P4	0.0021	-0.0144
P7×P5	0.0034	-0.0231
P7×P6	-0.0375	-0.0441
P8×P1	0.0376	0.0959
P8×P2	0.1001	0.0924
P8×P3	-0.0296	-0.0534
P8×P4	-0.0161	-0.0050
P8×P6	0.0170	-0.0052
P8×P7	-0.0524	-0.0334
P9×P1	0.0368	0.0951
P9×P3	0.1101	0.0914
P9×P4	0.0138	-0.541
P9×P5	0.0172	-0.0045
P9×P6	0.0179	-0.0048

由表 7 可知,一般配合力方差(GCA MS)达到极显著水平,表明各亲本对杂种后代的相对电导率的影响程度达极显著差异水平;同时特殊配

的加性效应居于主导地位。因此一般配合力(GCA)在亲本选配中发挥着更重要的作用^[25]。因而在线椒抗寒性亲本选配中要特别注意其一般配合力(GCA),在广泛杂交的基础上充分利用特殊配合力方差(SCA MS)大的组合。

3 结论与讨论

电导率法研究植物抗寒性是一项常规研究手段。主要是利用植物细胞在受到低温伤害后,促使细胞原生质膜透性增大,出现渗透压异常,导致电导率变化的原理,通过测定电导率大小,分析植物抗寒性强弱。电导法测定的膜透性变化明显出现在外部形态变化之先,具有相当程度的灵敏度和精确性,操作方便,结合 Logistic 方程可以推算出植物可耐受的最低温度,为鉴定植物品种的抗寒性提供了有效手段,并可以在实践中引种与抗寒性栽培提供一定的指导。

然而,植物是否能够忍受低温且不被伤害,是由该种或品种在长期的系统发育过程中形成的对低温适应的遗传特性决定的,植物的抗寒性虽然是一个遗传性状,同时还与它在个体发育过程中受到外界环境影响而产生的生理适应的程度有密切关系^[26]。栽培在不同地域的同种植物可能具有不同的抗寒力,因此,通过电导率推导植物抗寒性强弱可能并不能完全准确地反映该种植物或品种的抗寒遗传特性。况且植物在自然界受到多种环境因子和生物因子的综合作用,其抗寒力也必然受到温度以外的其它因子的影响。因此,研究植物的抗寒性,可以通过低温处理观测植物器官的生理生化变化,寻找其规律性。许多研究表明,与植物的抗寒性相关的生理指标还有、可溶性糖含量、过氧化酶(CAT)、超氧化物歧化酶(SOD)、丙二醛(MDA)以及游离脯氨酸(Pro)等^[27-31]。今后的试验中可以尝试其它方法,比如全株冷冻测试法、电阻抗图谱法和叶绿素荧光法等^[32]。凭借相对电导率指标对研究中组合的抗寒性进行排序,未免还有缺陷。综合研究多种生理生化指标,甚至在分子水平上分析测试要比单一的指标更有说服力。这有待于进一步的研究。

该研究表明,32 个线椒组合在低温处理初期相对电导率上升缓慢,几乎处于一个平缓的趋势,然后随着温度的继续降低,相对电导率急剧升高,电导率曲线出现最大的坡度,随后又趋于缓慢,即相对电导率随着温度下降呈 S 型曲线变化。在 5℃ 和 8℃ 的低温胁迫下,相对电导率与之前 2 个温度梯度之间均出现了明显增大,表明在 5℃ 和 8℃,不同组合的线椒叶片的细胞膜系统受到了明显的冻害。另外,该研究表明,叶片相对电导率随着温度的降低不断增大,这与 Lyons 的早期研究结果相吻合。由此可见,线椒叶片的相对电导率

也可能较好地反映出其抗寒能力。

通过将叶片组织在不同低温处理下的相对电导率随温度的变化情况用 Logistic 方程拟合,得出线椒的拐点温度即半致死温度(LT₅₀),其中组合 H2、H13、H28、H31、H1、H23 的半致死温度是这 32 个组合中最低的,说明这 6 个组合的线椒的抗寒性要好于其余的 26 个线椒。其次的是组合 H24、H26、H30、H8、H27、H19、H5、H12 和 H21。组合 H25、H32 是这些品种中最不耐寒,抗寒性最低的 2 个组合。32 个线椒组合的抗寒性由强至弱分别为: H2 > H13 ≈ H28 > H31 ≈ H1 ≈ H23 > H24 > H26 > H30 > H8 > H27 ≈ H19 > H5 ≈ H12 > H21 > H3 > H18 > H15 ≈ H14 > H22 > H17 > H7 ≈ H29 > H4 > H11 > H10 ≈ H16 > H20 > H6 > H9 > H25 > H32。

相对电导率越小,抗寒性越大,组合越好。在一般配合力(GCA)分析中,P6、P5、P8、P7 和 P3 这 5 个亲本的均值都在 5℃ 度和 8℃ 度的低温下都为正值,表明这 5 个亲本对增加电导率占主导作用。而 P1 和 P2 均为较小的负值,是相对较好的亲本。

在特殊配合力(SCA)分析中,P9 × P4、P2 × P1、P6 × P5、P7 × P3、P8 × P7、P4 × P3、P7 × P6、P6 × P3、P8 × P3、P8 × P4、P6 × P4、P5 × P4 在低温下相对电导率小,为较优的杂交组合。

相对电导率的 GCA 效应值以 P1、P2 最小,它们的组合也是最佳的,P6、P5、P8、P7、P3 是最差的,但是它们的组合 P6 × P5、P7 × P3、P8 × P7、P4 × P3、P7 × P6、P8 × P3 都是较好的组合,可见,有两个一般配合力(GCA)不高的亲本所配的组合,其特殊配合力(SCA)也可能高。而在线椒抗寒性亲本选配中要特别注意其一般配合力(GCA),在广泛杂交的基础上充分利用特殊配合力方差(SCA MS)大的组合。

线椒抗寒性遗传受多基因控制,呈现数量遗传特点,符合加性-显性遗传模型,且以加性效应为主,显性效应较小。因此,在提高线椒的抗寒性时更应多注意其加性效应。故采用常规杂交育种方法,在早期世代就根据植株的表现型进行选择,可望在抗寒性的选育方面取得良好的效果。

参考文献:

- [1] 邹学校. 中国辣椒[M]. 北京: 中国农业出版社, 2001: 12-13.
- [2] 柴文臣, 马荣丽, 邢国明, 等. 辣椒低温研究进展[J]. 山西农

- 业科学,2009,37(1):85-87.
- [3] 熊先军,刘明月. 辣椒抗寒性生理生化研究进展[J]. 辣椒杂志,2003,1(1):9-12.
- [4] Dexter S T, Tottingham W E, Graber L F. Preliminary results in measuring the hrdiness of plants[J]. Plant Physiol, 1930,5(2):215-223.
- [5] Sukumaran N P. An excise leaflet teat for evaluating potato frost tolerance[J]. Hortisci,1972(7):467-468.
- [6] Rajashekar C, Gusta L V, Burke M J. Membrane structural transition; probable relation to frost damage in herdyherbaceous species[M] // Lysons J M, Graham D, Raison J K. Low temperature stress in crop plants the role of membrane. New York: Academic Press, 1979:255-274.
- [7] 林树燕,丁雨龙. 电导法对 7 种观赏竹的抗寒性测定[J]. 西北农学院学报,2008,2(1):34-38.
- [8] 马燕青,戴雄泽. 低温胁迫对辣椒抗寒性相关生理指标的影响[J]. 湖南农业大学学报,2000,26(6):461-462.
- [9] 张德瞬,刘红权,陈玉梅. 八种常绿阔叶树种抗寒性的研究[J]. 园艺学报,1994,21(3):283-287.
- [10] 朱根海,刘祖祺,朱培仁. 应用 Logistic 方程确定植物组织低温半致死温度的研究[J]. 南京农业大学学报,1986,9(3):13-16.
- [11] 郭祥泉,吴奇智,洪伟,等. 应用电导率探讨邓恩桉不同优株的抗寒性[J]. 亚热带植物科学,2012,41(1):41-44.
- [12] 牛立新,贺普超. 电导法不同计量单位鉴定葡萄抗寒性研究[J]. 果蔬科学,1989,6(3):159-164.
- [13] 刘冰,王有科. 应用 Logistic 方程确定花椒枝条低温半致死温度[J]. 甘肃农业大学学报,2005,40(4):475-479.
- [14] 耿三省,陈斌,张晓芳,等. 我国辣椒育种动态及市场品种分布概况[J]. 辣椒杂志,2011(3):1-5.
- [15] 曹建康,姜微波,赵玉梅. 果蔬采后生理生化实验指导[M]. 北京:中国轻工业出版社,2007:153-154.
- [16] 孙程旭,曹红星,陈思婷,等. 应用电导率法及 Logistic 方程测试蛇皮果抗寒性研究[J]. 江西农业学报,2009,21(4):33-35.
- [17] 林艳,郭伟珍,黄印冉. 五种冬季宿果植物抗寒性及电导率变化规律研究[J]. 北方园艺,2010(1):142-143.
- [18] 王飞,陈登文,高爱琴,等. 杏及幼果的抗寒性研究[J]. 西北植物学报,1999,19(2):618-622.
- [19] 王钦,尚可政,程为麟. 微孔草叶细胞冻害研究[J]. 草业科学,1998,15(3):25-26.
- [20] 王飞,李嘉瑞,陈登文. 用电导法配合 Logistic 方程确定杏花期的抗寒性[J]. 西北农林大学学报,1997,25(5):59-63.
- [21] 唐启义,冯明光. 实用统计分析及其 DPS 数据处理系统[M]. 北京:科学出版社,2002:123-127.
- [22] 张前进,王振华,张新. 6 个玉米自交系配合力分析及评价[J]. 玉米科学,2008,16(5):33-36.
- [23] 程勇,顾敏,从野,等. 淹水胁迫条件下甘蓝型油菜发芽期耐湿性的配合力分析[J]. 中国农业科学,2010,43(7):1339-1345.
- [24] 刘炜,李自超,史延丽,等. 试用配合力进行粳型水稻杂种优势生态型的划分[J]. 作物学报,2004,30(1):66-72.
- [25] 曹家树,苏争艳. 辣椒杂种优势与配合力的研究[J]. 园艺学报,1988,15(1):57-63.
- [26] 曹仪植. 植物生理学[M]. 兰州:兰州大学出版社,1998:383-385.
- [27] 郭卫东,张真真,蒋小韦,等. 低温胁迫下佛手半致死温度测定和抗寒性分析[J]. 园艺学报,2009,36(1):81-86.
- [28] 潘瑞炽,王小菁,李娘辉. 植物生理学[M]. 北京:高等教育出版社,2008:286-289.
- [29] 杨学军,孙振元,韩蕾,等. 4 种地锦属植物半致死低温及抗寒性生理指标研究[J]. 林业科学研究,2010,23(1):147-150.
- [30] 钱芝龙,丁犁平. 低温胁迫对辣(甜)椒幼苗膜脂过氧化水平及保护酶活性的影响[J]. 园艺学报,1994,21(2):203-204.
- [31] 任旭琴,张林青,孙敏. 辣椒叶片对低温的生理响应研究[J]. 安徽农业科学,2006,43(24):6439-6440.
- [32] 张钢,肖建忠,陈段芬. 测定植物抗寒性的电阻抗图谱法[J]. 植物生理与分子生物学学报,2005,31(1):19-26.

Determination and Combining Ability Analysis of Cold Resistance of 32 Combinations of Hot Peper Hybrid by Electric Conductivity

YANG Shao-xia, LYU Qing-fang, LIANG Chun-lin

(Guangdong Ocean University, Zhanjiang, Guangdong 524088)

Abstract: In order to compare the cold resistance of the hot pepper varieties, taking 32 combinations of hot pepper hybrid as materials, the relative electrical conductivity was determined under low temperature in artificial climatic. The turning point temperature(semi-lethal temperature) was measured by Logistic equation and used as the index of cold-tolerance for all hybrid combinations, the semi-lethal temperatures were compared. The results showed that relative conductivity was increasing with the decrease of temperature, change processing was in an S curve. The order of cold resistance of hot peppers was $H2 > H13 \approx H28 > H31 \approx H1 \approx H23 > H24 > H26 > H30 > H8 > H27 \approx H19 > H5 \approx H12 > H21 > H3 > H18 > H15 \approx H14 > H22 > H17 > H7 \approx H29 > H4 > H11 > H10 \approx H16 > H20 > H6 > H9 > H25 > H32$. Combining ability analysis showed that the lowest GCA effect of relative conductivity was parent P1 and P2, the lowest SCA was $P1 \times P2$.

Key words: hot pepper; electric conductivity; semi-lethal temperature(LT_{50}); cold resistance; combining ability