

# 甘蓝耐裂球性评价方法研究及种质鉴定筛选

苏彦宾<sup>1,2</sup>, 曾爱松<sup>1</sup>, 刘玉梅<sup>1</sup>, 沈火林<sup>2</sup>, 肖兴国<sup>2</sup>, 李占省<sup>1</sup>, 方智远<sup>1</sup>, 杨丽梅<sup>1</sup>, 庄 木<sup>1</sup>, 张杨勇<sup>1</sup>

(<sup>1</sup> 中国农业科学院蔬菜花卉研究所, 北京 100081; <sup>2</sup> 中国农业大学, 北京 100194)

**摘要:**裂球是甘蓝生产中存在的一个严重问题。本研究通过对7份春甘蓝和8份秋甘蓝不同耐裂性材料的田间裂球方式、裂球率、裂球程度的比较,综合最大裂口层数、裂口面积的表现,建立了甘蓝耐裂球性评价方法并制定了甘蓝个体裂球分级标准。根据春甘蓝叶球成熟后5天、秋甘蓝叶球成熟后15天的裂球指数将甘蓝种质群体的耐裂球性分为极耐裂球、耐裂球、中耐裂球、易裂球、极易裂球5级。对59份春、秋甘蓝种质进行耐裂球性鉴定筛选获得一批极耐裂甘蓝种质资源。同时,对甘蓝室内成熟叶球浸泡法评价耐裂球性进行了初探,首次提出室内浸泡能够准确地鉴定甘蓝的耐裂球性,可用于选育耐裂球品种及生产实践。本研究制定出了一套春、秋甘蓝耐裂球性的田间及室内鉴定方法与标准,筛选获得了不同甘蓝耐裂球种质,为甘蓝耐裂球性研究和育种应用提供技术支撑和优异材料。

**关键词:**结球甘蓝;耐裂球;鉴定方法;分级标准

## Evaluation Method and Screening of Germplasm with High Resistance to Head-splitting in Cabbage

SU Yan-bin<sup>1,2</sup>, ZENG Ai-song<sup>1</sup>, LIU Yu-mei<sup>1</sup>, SHEN Huo-lin<sup>2</sup>, XIAO Xing-guo<sup>2</sup>,

LI Zhan-sheng<sup>1</sup>, FANG Zhi-yuan<sup>1</sup>, YANG Li-mei<sup>1</sup>, ZHUANG Mu<sup>1</sup>, ZHANG Yang-yong<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup> College of Biology, China Agricultural University, Beijing 100194)

**Abstract:** Head cracking is the most serious physiological disease in the production of cabbage. The splitting resistance of 7 spring and 8 autumn cultivars were evaluated under natural conditions by comparison of cracking type, cracking rate and degree of cracking extent, and the grading system of cabbage head splitting was established according to the number of split leaf layers and area of the maximum head cracking. The head splitting index of post harvesting-5 days for spring cabbage and 15 days for autumn cabbage can be used to accurately identify head splitting resistance of cabbage. The varieties can be divided into 5 levels: High Resistance, Resistance, Moderate Resistance, Susceptibility and High Susceptibility. Further it was used for screening high resistance to head-splitting of 59 germplasm resources, and some high resistant cultivars were screened out. Also the indoor head soak method was evaluated at the same time. Through head splitting of 15 cultivars survey and analysis by indoor soak method, we can achieved that the method can also identify resistance to splitting-head of cabbage accurately. The research developed a set of identification method and standard for screening splitting resistance germplasm. These resistance germplasm would provide materials for theory and breeding of cabbage.

**Key words:** cabbage; head-splitting resistance; identification method; classification standard

收稿日期: 2015-01-19 修回日期: 2015-02-12 网络出版日期: 2015-10-14

URL: <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.4996.S.20151014.1423.018.html>

**基金项目:**国家高新技术发展计划项目(2012AA100104, 2012AA100105); 国家科技支撑计划课题项目(2013BAD01B04); 国家现代农业产业技术体系建设专项资金项目(CARS-25-A); 农业部园艺作物生物学与种质创制重点实验室项目; 中国农业科学院科技创新工程项目(CAAS-ASTIP-IVFCAAS)

第一作者研究方向为蔬菜遗传育种。E-mail: [suyanbin\\_223@126.com](mailto:suyanbin_223@126.com); 曾爱松为共同第一作者

通信作者: 刘玉梅, 研究方向为蔬菜遗传育种。E-mail: [liuyumei@caas.cn](mailto:liuyumei@caas.cn)

结球甘蓝 (*Brassica oleracea* var. *capitata* L.) 简称甘蓝, 是世界上广泛种植的一种重要蔬菜作物。裂球是甘蓝生产中存在的一个严重问题, 是一种生理性病害。甘蓝叶球一旦开裂, 不仅影响其外观品质和产量, 还严重影响其商品性和耐贮藏性, 给生产造成严重的经济损失。近年来, 由于出口和长途运输的需要, 要求生产上的甘蓝叶球不仅要品质好、美观、紧实还要耐裂, 因此必须培育出耐裂球甘蓝, 提高品质, 增强竞争力。甘蓝叶球开裂多发生在叶球生长后期, 一些易裂品种从结球中后期即开始出现开裂。甘蓝裂球是一种受遗传、生理及环境等诸多复杂因子影响的过程, 国内外学者先后从遗传学、相关生理特性、栽培措施及球叶的解剖结构等方面对甘蓝的耐裂球性进行了探讨, 并取得了一定的进展<sup>[1-6]</sup>。

有关甘蓝耐裂球性评价时期、方法和标准, 前人已开展了一些研究, 但目前仍未达成统一的标准。1972 年 M. S. Chiang<sup>[1]</sup> 最早将叶球成熟后到开裂时的天数作为甘蓝耐裂球鉴定方法, 对甘蓝裂球遗传特性进行分析; 简元才等<sup>[7]</sup> 将叶球成熟后 7 天的裂球率作为鉴定指标, 对 3 个春甘蓝品种进行了耐裂球性鉴定; 庄木等<sup>[2]</sup> 分别将春甘蓝叶球成熟后 7 天、13 天和 17 天的裂球率作为鉴定标准, 对甘蓝耐裂球性状配合力及遗传力进行了研究; 汝学娟等<sup>[4]</sup> 将秋甘蓝叶球成熟后 21 天的裂球率作为鉴定标准, 将 3 个甘蓝品种划分为易裂和耐裂两种类型。以上研究利用叶球成熟到开裂时间及裂球率作为鉴定甘蓝耐裂球性指标, 虽然简单、直观, 但不能全面反映各材料间的耐裂球程度和裂球特征。在生产实际中, 有的甘蓝虽出现裂球, 但其裂口的深度和裂口的大小均存在很大差别。王丽娟等<sup>[3]</sup> 最早根据裂口长、裂口宽和裂口层数综合评分法, 将叶球开裂程度划分为 5 个级别; 该方法简单明了, 但容易引起由于叶球个体大小造成的偏差。为此, 许忠民等<sup>[8]</sup> 于春甘蓝成熟后 10 天, 根据裂宽、裂弧长和裂深的大小, 将不同耐裂球性甘蓝划分为 6 个级别; 通过计算裂球指数, 将甘蓝耐裂球性划分为 4 个不同的等级标准。马敏等<sup>[9]</sup> 在许忠民等<sup>[8]</sup> 研究的基础上, 于春甘蓝叶球成熟后 5 天, 根据裂口宽与球高比、裂口弧长与叶球的中部最大周长比、裂口深与 1/2 球宽比这 3 个参数的和, 将不同耐裂球性甘蓝划分为 6 个级别。刘辉等<sup>[10]</sup> 采用许忠民等<sup>[8]</sup> 的甘蓝裂球分级标准, 研究认为春甘蓝成熟后 10 天为耐裂球最佳鉴定时期, 根据裂球指数将不同耐裂球性材料划分为 4 个等级

标准。

可见, 根据裂球指数的鉴定方法较裂球率更客观地反映了不同甘蓝材料的耐裂球性。但在实际田间耐裂球性状鉴定中, 裂口深很难准确把握和测量, 因此应该探索更加准确的田间耐裂球鉴定方法。此外, 前人主要是对春甘蓝耐裂球性鉴定方法及标准进行了研究, 未对秋甘蓝耐裂球鉴定方法进行研究, 且试验所用材料较少。本试验旨在通过对较大数量春、秋不同耐裂球性甘蓝材料进行研究, 制定出一套甘蓝田间耐裂球性的鉴定方法与标准, 并首次对室内叶球浸泡鉴定方法和标准进行研究, 筛选出极耐裂球甘蓝种质, 为甘蓝裂球机理的研究及耐裂球育种提供技术支撑和有效的鉴定方法及有价值的材料。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

试验材料为中国农业科学院蔬菜花卉研究所甘蓝、青花菜课题组提供的 74 份耐裂球性不同的甘蓝高代自交系、杂交一代及部分 DH 系, 其中用于耐裂球鉴定方法研究的材料共 15 份, 均为圆球形高代自交系, 春甘蓝材料编号为 D1 ~ D7, 其中易裂材料编号为 D1 ~ D3, 耐裂材料为 D4 ~ D6, 较耐裂材料为 D7; 秋甘蓝材料为 A1 ~ A8, 其中易裂材料为 A1 ~ A3, 较耐裂材料为 A4、A5, 耐裂材料为 A6 ~ A8。用于进一步鉴定耐裂性的春、秋甘蓝材料共 59 份, 编号分别为 1 ~ 29 和 H1 ~ H30。

### 1.2 试验方法

**1.2.1 田间试验设计** 2007 年和 2008 年春甘蓝试验在中国农业科学院蔬菜花卉研究所试验农场进行, 1 月 16 日温室播种, 3 月 23 日定植露地, 平畦双行栽培, 株行距为 40 cm × 45 cm, 随机区组设计, 3 次重复, 每个重复、每份材料种植 1 行 21 株。定植后立即浇小水, 浇缓苗水后连续中耕 2 ~ 3 次, 促进根系生长, 蹲苗 7 ~ 10 d, 土壤干燥时浇水。进入包球期后, 每隔 5 ~ 7 d 浇水 1 次直到调查结束。

2011 年和 2012 年秋甘蓝试验在南口试验基地进行, 7 月 16 日播种, 8 月 17 日定植露地, 垄作栽培, 浅栽在垄的阴面半坡上, 株行距为 50 cm × 55 cm, 随机区组设计, 3 次重复, 每个重复、每份材料种 1 垄 16 株。定植后立即浇水, 缓苗后劈垄正苗, 使幼苗处在垄脊正中。以后每隔 7 d 左右浇水 1 次, 10 月中旬以后逐渐减少灌水次数, 每隔 10 d 左右灌水 1 次。

**1.2.2 田间裂球性调查** 编号 D1 ~ D7 和 A1 ~ A8 的 15 份材料,在叶球生长后期调查并记录每份材料的成熟期,于叶球成熟时用软米尺逐个测量并记录每个叶球的纵径和最大周长,每隔 1 d 调查 1 次裂球动态变化情况,调查指标为裂球方式、裂球率,最大裂口深的层数,裂口弧长和弧宽,其中弧长和弧宽分别用软米尺进行测量。编号 1 ~ 29 和 H1 ~ H30 的春、秋甘蓝材料,在叶球成熟后,分别延迟 5 d、15 d 进行耐裂球性调查。按照以下计算公式计算裂球率和裂球指数:

$$\text{裂球率}(\%) = \text{裂球株数} / \text{调查株数} \times 100$$
$$\text{裂球指数} = \frac{\sum(\text{裂球级值} \times \text{该级裂球株数})}{(\text{调查总株数} \times \text{最高裂球级值})} \times 100。$$

**1.2.3 室内叶球浸泡法** 于叶球成熟时,按照随机取样原则,每份材料每个重复选取大小相近、成熟度一致、无病害、无创伤的叶球 5 个,放入盛有自来水的容器中完全浸没,浸泡 1、2、3、4、6 h 后调查裂球情况。

**1.3 数据分析**

采用 Excel 2010 和 SAS 8.1 软件进行数据整理及多重差异比较。

**2 结果与分析**

**2.1 甘蓝裂球性的分级标准划分**

为了客观评价不同甘蓝种质的耐裂球程度,在调查不同品种裂球情况的基础上,综合最大裂口层数、裂口面积等因素,将甘蓝个体耐裂球等级进行了细致划分,共 6 个等级(表 1,图 1),以期更加准确地反映甘蓝的裂球程度。

表 1 甘蓝个体裂球等级及特征

Table 1 Grades and head-splitting characteristics in cabbage

级别 Grade	表面特征 The symptom characters
0	球面无裂口
1	球面裂口深 1 层
2	球面裂口深 2 层, $S < 50$
3	球面裂口深 3 ~ 5 层, $S < 50$ ; 或裂口深 2 层, $S \geq 50$
4	球面裂口深 6 ~ 10 层, $S < 50$ ; 或裂口深 3 ~ 5 层, $S \geq 50$
5	球面裂口深 10 层以上; 或裂口深 6 ~ 10 层, $S \geq 50$

$S(\%) = S_1 / S_2 \times 100$ ,  $S_1$  = 最大裂口弧长  $\times$  最大裂口弧宽,  $S_2$  = 叶球成熟时的纵径  $\times$  叶球成熟时的横径(最大周长 1/2)

$S_1$  = arc length  $\times$  width,  $S_2$  = longitudinal  $\times$  transverse diameter(half of the maximum circumference)

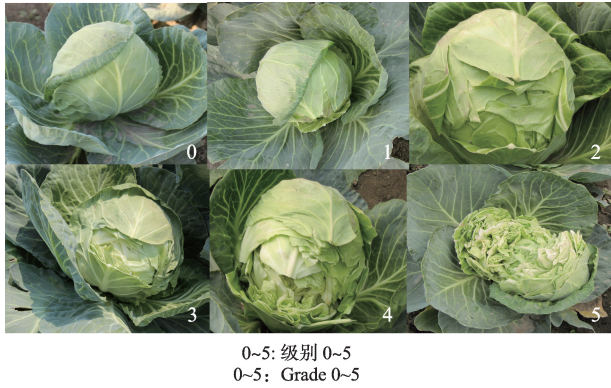


图 1 不同级别的典型裂球症状  
Fig. 1 The typical symptom of head with different degrees of cracking

**2.2 甘蓝田间裂球方式表现**

田间调查表明,各材料间裂口部位、裂口的形状及开裂方式不同(图 2),D1、D3、A2 裂球方式相似,通常是在还未完全抱合紧的叶片边缘裂口,裂口较多,为 T 形和不规则开裂;D2、A4 通常是在向阳面中上部横裂口,然后裂成两个大小不同的半球。D5、D6、A5、A6、A8 裂口一般在叶球顶部出现,裂口多为不规则开裂,D4、A7 其裂球方式是先在叶球中部出现横向裂口然后向两侧扩展,直至第 1 层叶完全断开第 2 层叶才开始开裂。A1、A3 裂球方式为叶球基部先出现横向裂口,然后向两侧及内部扩展直至中心柱。

**2.3 甘蓝田间裂球动态**

从表 2 可以看出,在春季调查的 7 份甘蓝材料中,D1、D3 较早出现裂球,在叶球成熟前 5 天,裂球率分别达到了 48.13% 和 54.24%;裂球率较高,但裂球指数递增率不大,在其成熟后 10 天裂球率达到 100% 时,裂口最深为 6 层,裂球指数为 44.22 ~ 48.67。D2 在成熟前 5 天,裂球率为 24.93%,低于 D1、D3,而高于其他材料,但其裂球率速率变化快,在成熟后 5 天裂球率就达到了 93.09%,为最高值;其裂球指数递增率也比较快,在其成熟后 10 天裂球率达到 100% 时,裂层最高达到 18 层,裂球指数也达到 100。D4 极耐裂球,在成熟后 5 天,裂球率仍为 0;其裂球率、裂球指数的递增速度都不大,在成熟后 25 天裂球率最大为 46.03%,裂球指数为 17.39。D5、D6 裂球出现较晚,在成熟后 5 天,裂球率仍为 0;但一旦开始裂球,其裂球指数变化非常快。D7 较 D1、D2、D3 耐裂,较 D5、D6 易裂,在成熟后 5 天,裂球率达到 31.73%。





A: 横裂, B: 纵裂, C: (T型)纵裂+横裂, D: 不规则裂, E: 基部, F: 中部, G: 顶部  
A: Transversal cracking, B: Longitudinal cracking, C: Longitudinal + transversal cracking, D: Irregular cracking,  
E: On the base of leaf head, F: In the middle of the leaf head, G: On the top of the leaf head

图2 甘蓝叶球主要裂球方式和裂球部位

Fig. 2 The main cracking type and position of cabbage head

在春季,成熟时3份耐裂材料D4、D5、D6与较耐裂材料D7的裂球率、裂球指数差异不显著;7份材料的裂球指数在0~14.12之间,差异性较小。成熟后5天3份易裂材料D1、D2、D3,较耐裂材料D7及耐裂材料D4、D5、D6间的裂球率在0~93.09%之间,裂球指数在0~52.76之间,幅度范围较大,且存在极显著性差异,能很好地区分极易裂、易裂、较耐裂及耐裂材料。成熟后10天耐裂材料、较耐裂材料及易裂材料间的裂球率存在极显著差异,其裂球指数却已不能明确代表其耐裂球性,较耐裂材料与耐裂材料已不能区分开,且此时耐裂材料裂球已较为严重,以后随着成熟天数的延长,裂球率及裂球指数迅速增加,裂球非常严重。且病虫害非常严重,基本失去商品价值。

秋季与春季相比,由于叶球生长后期温度逐渐降低,叶球生长速度减慢,裂球开始出现的时间及裂球速率均延缓。从表2可以看出,在成熟前5天到成熟时,8份材料的裂球指数在0~8.15之间,差异性很小,仅3份易裂材料A1、A2、A3出现裂球,且裂球指数较小;成熟后5天仅2份极易裂材料裂球较为严重,裂球率均超过了40%,裂球指数分别为22.22和11.85,其他材料裂球率及裂球指数变异性较小;成熟后10天及15天各材料间裂球率及裂球指数变化幅度较大,但成熟后15天与10天相比,裂球指数变异幅度更大,且不同耐裂性材料间差异更为明显,成熟后10天的裂球指数不能区分较耐裂材

料和耐裂球材料,而15天的裂球指数能很好地区分极易裂、易裂、较耐裂及耐裂材料,同时由表中数据可以看出在材料的裂球率差异不大的情况下,其裂球指数存在极显著差异,裂球指数更能反映不同材料间的耐裂球性;成熟后20天、25天,除极耐裂材料A1外,其他材料的裂球均较为严重,此时的裂球率、裂球指数已不能准确反映各材料间耐裂球性。根据春甘蓝叶球成熟后5天、秋甘蓝叶球成熟后15天的裂球指数,将不同甘蓝种质群体耐裂球性分为极耐裂球、耐裂球、中耐裂球、易裂球、极易裂球5级(表3)。

## 2.4 室内甘蓝成熟叶球浸泡法对耐裂球性的评价

甘蓝成熟叶球浸泡法对裂球性鉴定结果(表4)表明,浸水试验测定结果基本上能够反映田间裂球情况。无论春季还是秋季,浸水1h后,15份耐裂球程度不同的甘蓝材料均未出现裂球,裂球率和裂球指数均为0。易裂材料D1、D2、D3、A1、A2、A3浸水2h后开始出现裂球,裂球率为33.33%~41.67%,裂球指数为7.41~10.19。此时较耐裂材料D7、A4、A5也开始出现裂球,但裂球率和裂球指数均较小,分别为16.67%~18.75%和1.85~2.82,耐裂材料D4、D5、D6、A6、A7、A8仍未出现裂球。以后随着浸泡时间的延长,各不同耐裂性材料裂球率和裂球指数均递增,易裂材料递增速率明显高于耐裂材料。在浸泡4h后,裂球率和裂球指数达到最大以后不再递增。由表5可以看出,5个不同浸水时间

易裂材料、较耐裂材料、耐裂材料间裂球率、裂球指数均存在极显著差异。在浸水 4 h 时,裂球率及裂球指数变化范围最大,且浸水 4 h 后,各材料吸水达到饱和,裂球率及裂球指数递增率无变化,不同材料间耐裂球性差异得以充分表现。根据浸水 4 h 后裂球指数,可将甘蓝群体抗裂球程度分为 5 级。

表 2 甘蓝叶球不同成熟度裂球率及裂球指数表现

Table 2 The head-splitting rate and index of cabbage in different time

调查指标	编号	成熟前 5 天	成熟时	成熟后 5 天	成熟后 10 天	成熟后 15 天	成熟后 20 天	成熟后 25 天
Index of survey	Code	5 days before harvesting	Harvesting time	5 days post harvesting	10 days post harvesting	15 days post harvesting	20 days post harvesting	25 days post harvesting
裂球率(%) Head-splitting rate	D1	48.13 A	67.54 A	80.95 A	91.70 A	100 A	100 A	100 A
	D2	24.93 B	60.86 A	93.09 A	100 A	100 A	100 A	100 A
	D3	54.24 A	72.94 A	84.97 A	100 A	100 A	100 A	100 A
	D4	0 C	0 B	0 C	12.22 C	30.84 D	46.03 B	46.03 C
	D5	0 C	0 B	0 C	17.29 C	26.20 D	50.94 B	71.81 B
	D6	0 C	0 B	0 C	32.55 C	77.56 B	100 A	100 A
	D7	9.36 C	15.22 B	31.73 B	47.05 B	64.88 C	100 A	100 A
裂球指数 Head-splitting index	D1	7.41 A	9.92 B	36.31 B	44.22 B	57.98 B	68.49 B	70.76 B
	D2	2.77 B	14.12 A	52.76 A	100 A	100 A	100 A	100 A
	D3	9.38 A	11.80 B	39.43 B	48.67 B	60.45 B	70.53 B	73.00 B
	D4	0 B	0 C	0 D	1.36 D	7.65 C	9.62 D	17.39 C
	D5	0 B	0 C	0 D	5.11 D	8.50 C	34.87 C	68.54 B
	D6	0 B	0 C	0 D	30.94 C	68.29 B	100 A	100 A
	D7	1.41 B	3.96 C	15.44 C	35 C	55.99 C	74.86 B	100 A
裂球率(%) Head-splitting rate	A1	6.55A	26.52A	47.26A	92.65A	100A	100 A	100 A
	A2	4.17AB	19.58B	40.56A	72.64A	89.30A	100 A	100 A
	A3	0B	4.17C	15.28B	50.00B	84.72A	93.33 A	97.78 A
	A4	0B	0C	6.83BC	36.51BC	81.90A	95.55 A	100A
	A5	0B	0C	2.08BC	18.75CD	41.67B	75.00B	91.67A
	A6	0B	0C	4.17B C	18.35CD	18.35C	49.70C	64.98B
	A7	0B	0C	0 C	2.08D	4.65C	13.76D	21.09C
	A8	0B	0C	8.16BC	26.06C	37.43B	47.20C	57.45B
裂球指数 Head-splitting index	A1	2.22A	8.15A	22.22A	63.70A	89.63A	98.52A	100A
	A2	1.48AB	5.18B	11.85B	43.71B	70.37B	94.08A	100 A
	A3	0B	2.96B	15.56 AB	31.85BC	39.26C	57.04B	70.37B
	A4	0B	0C	1.48C	17.03CD	22.22D	61.48B	83.70AB
	A5	0B	0C	0.74C	5.92D	11.85DE	25.92C	37.78C
	A6	0B	0C	0C	4.44 D	7.41DE	17.78CD	31.11CD
	A7	0B	0C	0C	0D	0E	3.70D	7.41E
	A8	0B	0C	1.48C	6.67D	8.89DE	14.07CD	17.78DE

同列数据后不同大写字母表示在  $P < 0.01$  水平上存在极显著差异,下同

The values within a column followed by the different uppercase letter are significantly different at  $P < 0.01$ . The same as below

表 3 甘蓝群体田间抗裂球程度分级

Table 3 Rating of resistance to head-splitting in cabbage population

级别 Grade	抗裂程度 Level of resistance	裂球指数(%) Head-splitting index
1	极耐裂球 High Resistance, HR	0 ~ 5.0
3	耐裂球 Resistance, R	5.1 ~ 15.0
5	较耐裂球 Moderate Resistance, MR	15.1 ~ 35.0
7	易裂球 Susceptibility, S	35.1 ~ 50.0
9	极易裂球 High Susceptibility, HS	50.1 ~ 100.0

表 4 甘蓝成熟叶球不同浸泡时间的裂球率及裂球指数表现

Table 4 The head-splitting rate and index of cabbage in different soak time

调查指标 Index of survey	编号 Code	浸泡时间(h)Soak time					编号 Code	浸泡时间(h)Soak time				
		1	2	3	4	6		1	2	3	4	6
裂球率(%) Head-splitting rate	D1	0	33.33 A	66.67 B	91.67 A	100 A	A1	0	41.67 A	72.64 A	100 A	100 A
	D2	0	41.67 A	83.33 A	100 A	100 A	A2	0	33.33 A	66.67 A	100 A	100 A
	D3	0	33.33 A	66.67 B	91.67 A	100 A	A3	0	33.33 A	50.00 A	93.33 A	100 A
	D4	0	0 C	0 D	16.67 C	16.67 C	A4	0	18.75 B	33.34 B	66.67 B	66.67 B
	D5	0	0 C	0 D	25 C	25 C	A5	0	18.75 B	33.34 B	42.25 B	42.25 B
	D6	0	0 C	0 D	25 C	25 C	A6	0	0 C	0 D	18.75 C	18.75 C
	D7	0	16.67 B	33.34 C	50 B	50 B	A7	0	0 C	0 D	4.65 D	4.65 D
							A8	0	0 C	16.67 C	25 C	25 C
裂球指数 Head-splitting index	D1	0	7.41 A	18.52 A	32.41 A	32.41 A	A1	0	9.96 A	25.93 A	63.10 A	63.10 A
	D2	0	10.19 A	25.93 A	38.89 A	38.89 A	A2	0	7.41 A	25.93 A	54.62 A	54.62 A
	D3	0	7.41 A	20.37 A	34.26 A	34.26 A	A3	0	7.41 A	20.37 A	34.26 B	34.26 A
	D4	0	0 C	0 C	3.70 C	3.70 C	A4	0	2.82 B	8.63 B	20.37 C	20.37 C
	D5	0	0 C	0 C	6.48 C	6.48 C	A5	0	1.85 B	6.48 B	14.81 C	14.81 C
	D6	0	0 C	0 C	6.48 C	6.48 C	A6	0	0 C	0 C	11.85 C	11.85 C
	D7	0	1.85 B	7.41 B	14.81 B	14.81 B	A7	0	0 C	0 C	3.22 D	3.22 D
							A8	0	0 C	2.4 C	14.07 C	14.07 C

表 5 甘蓝群体浸水试验抗裂球程度分级

Table 5 Rating of resistance to head-splitting in cabbage population for the indoor soak method

级别 Grade	抗裂程度 Level of resistance	裂球指数(%) Head-splitting index
1	极耐裂球 High Resistance, HR	0 ~ 10.0
3	耐裂球 Resistance, R	10.1 ~ 20.0
5	较耐裂球 Moderate Resistance, MR	20.1 ~ 30.0
7	易裂球 Susceptibility, S	30.1 ~ 35.0
9	极易裂球 High Susceptibility, HS	35.1 ~ 100.0

## 2.5 利用鉴定体系对 59 份春、秋甘蓝种质材料的筛选鉴定

为了进一步检验上述田间耐裂球性鉴定方法的准确性,选用本课题组多年收集、筛选及保存的 59 份不同耐裂球性的甘蓝材料,对其中 29 份进行春季成熟后 5 天、30 份进行秋季成熟后 15 天的裂球率及裂球指数调查(表 6 和表 7)。

春季,甘蓝成熟后 5 天,29 份材料裂球率变异范围为 0 ~ 100%,裂球指数变异范围为 0 ~ 66.67,变异幅度较大,有 20 份裂球率达到 50% 以上,4 份裂球率在 42.67% ~ 48.65% 之间,5 份在 5% 以下;

其中在 19 份裂球率达到 50% 以上的甘蓝材料中,其裂球指数在 7.94 ~ 66.67 之间,差异性较大。秋季,甘蓝成熟 15 天后,30 份材料中裂球率变异范围为 0 ~ 100%,裂球指数变异范围为 0 ~ 94.08,变异范围非常大,各材料间耐裂球性差异充分表现。而且,从表中数据还可以看出,在材料的裂球率差异不大的情况下,其裂球指数却存在极显著差异。如在春季材料 11、19 中,其裂球率分别为 75.76%、75.0%,不存在显著性差异,但其裂球指数对应为 27.95、10.0,差异极显著;在秋季材料 H15、H19 中,其裂球率分别为 43.05%、46.67%,差异不显著,但其裂球指数对应为 51.85、11.85,差异极显著。表明,裂球率虽然能较为简单、直观地鉴定甘蓝的裂球性,但并不能全面地表达甘蓝材料的裂球程度及裂球特征。

根据以上甘蓝耐裂球性划分标准,74 份不同耐裂球材料可划分为极耐裂球、耐裂球、较耐裂球、易裂球和极易裂球 5 个级别,筛选获得 12 份极耐裂球甘蓝种质(表 7)。供试材料基本覆盖了本课题组多年选育、保存及生产中耐裂性不同的主要栽培品种、自交系及部分 DH 系,因此本研究结果具有代表性和实用性。

表 6 甘蓝成熟后 5 天、15 天的裂球率及裂球指数

Table 6 The head-splitting rate and index of cabbage at 5 and 15 days after harvesting

2008 春编号 Code of spring in 2008	成熟后 5 天 5 days post harvesting		2012 秋编号 Code of autumn in 2012	成熟后 15 天 15 days post harvesting	
	裂球率(%)	裂球指数		裂球率(%)	裂球指数
	Head-splitting rate	Head-splitting index		Head-splitting rate	Head-splitting index
1	100A	66.67A	H1	95.83A	74.82A
2	94.74AB	64.91A	H2	36.22GHIJKL	13.33AB
3	96.67AB	51.68B	H3	71.64BCD	34.08ABC
4	81.08BCDE	46.25B	H4	84.72AB	40.74DEF
5	84.21ABCD	39.77C	H5	84.58AB	48.15D
6	88.57ABCD	39.68C	H6	41.67FGHIJK	10.37JK
7	78.41BCDEF	38.61C	H7	98.33A	85.18ABC
8	80BCDEF	38.73C	H8	51.39DEFGH	10.37JK
9	84.21ABCD	35.09CD	H9	95.48A	82.22BC
10	91.67ABC	33.92DE	H10	100A	94.08AB
11	75.76CDEF	27.95EF	H11	87.22AB	51.11D
12	79.13BCDEF	26.16EF	H12	26.74IJKL	7.41JK
13	79.94BCDEF	25.25FG	H13	28.89HIJKL	10.37JK
14	73.68CDEFG	18.71H	H14	36.19GHIJKL	7.74JK
15	64EFGHI	14.22HI	H15	43.05FGHIJ	51.85D
16	53.72HIJK	12.04IJ	H16	69.34BCDE	17.04HIJ
17	48.00IJK	11.26IJK	H17	61.08CDEF	25.19GHI
18	61.90FGHIJ	10.76IJK	H18	22.56JKLM	5.93JK
19	75.00CDEF	10.00IJK	H19	46.67EFGHI	11.85IJK
20	52.63GHIJK	8.77JK	H20	48.75DEFGHI	28.15FGH
21	42.67K	8.30JK	H21	57.06DEFG	25.18GHI
22	61.90FGHIJ	7.94JKL	H22	33.33HIJKL	11.85IJK
23	45.17JK	5.64KL	H23	100A	97.04A
24	48.65IJK	5.41KL	H24	21.67JKLM	3.70JK
25	2.50L	1.06LM	H25	80.30ABC	46.67ED
26	4.76L	0.53M	H26	50.54DEFGH	28.15FGH
27	4.76L	0.53M	H27	69.37BCDE	82.22BC
28	0L	0M	H28	19.17KLM	8.89JK
29	0L	0M	H29	0M	0K
			H30	17.50LM	1.48K

表 7 74 份甘蓝材料的耐裂球性

Table 7 The head-splitting resistance of 74 cabbage germplasm

级别 Grade	抗裂程度 Level of resistance	材料编号 Code of germplasm
1	极耐裂球	D4 ~ D6、A7、25 ~ 29、H24、H29、H30
3	耐裂球	D7、A5、A6、A8、15 ~ 24、H2、H6、H8、H12 ~ H14、H18、H19、H22、H28
5	较耐裂球	A4、11 ~ 14、H3、H16、H17、H20、H21、H26
7	易裂球	D1、D3、A3、4 ~ 9、H4、H5、H25
9	极易裂球	D2、A1、A2、1 ~ 3、H1、H7、H9、H10、H11、H15、H23、H27

3 讨论

甘蓝叶球在其生长后期,经常会出现叶球开裂现象,不仅影响其外观品质和商品性,还易感染病害,引起叶球腐烂,严重影响其贮藏和运输,给生产

造成严重的经济损失。从“十五”开始,育种工作者一直将耐裂球作为一个重要的育种目标,加强耐裂球性育种,适应生产与市场需求。研究表明,甘蓝材料间的耐裂球性差异显著,表明甘蓝的耐裂球性主要是由遗传因素引起即品种遗传特性决定的,



这与前人在甘蓝<sup>[5-6]</sup>、大白菜<sup>[11]</sup>裂球,西瓜、番茄及果树裂果<sup>[12-16]</sup>等方面的研究结果一致。因此,筛选和选育耐裂球甘蓝材料是解决甘蓝裂球问题的根本途径。同时,制定客观具体、准确的耐裂球鉴定方法和标准是进行耐裂球深入研究的基础。

在以往的耐裂球研究及实际的育种、生产实践中,一般都选用裂球率作为甘蓝裂球性的鉴定指标<sup>[2,7,9]</sup>,但本研究表明,裂球率虽然能较为简单、直观地鉴定甘蓝的耐裂球性,但由于不同材料间裂口的部位、裂口方式、形状、裂球开裂速率及严重程度存在显著差异,因此仅从裂球率出发不能全面地反映甘蓝材料的裂球程度及裂球特征<sup>[17]</sup>。本研究在前人研究基础上,将裂口层数和裂口大小(裂口表面积占整个叶球表面积百分比)二者相结合,作为甘蓝耐裂球性鉴定的分级类别和群体耐裂球分级标准(表1和表3),利用春甘蓝成熟后5天、秋甘蓝成熟后15天的裂球指数对59份春、秋不同甘蓝材料耐裂球性进行评价,同时对该方法进行了验证,从而更加客观、全面地反映不同季节、不同甘蓝材料耐裂球特征。

许多学者在水果类作物裂果研究中认为,在果实生长发育期间,前期高温干旱,果实表皮生长受到抑制,后期如果遇到暴雨或灌水,土壤水分急剧增加,导致果皮生长与果肉的生长不相适应,是引起果实裂果的主要原因<sup>[18-20]</sup>。甘蓝生长后期,外部球叶接近成熟,生长缓慢,而内层球叶继续快速生长,此时突然补充大量水分,造成叶球开裂。因此,本试验采用叶球浸泡法对甘蓝的耐裂球性进行鉴定。结果表明,该方法能够准确地鉴定甘蓝的耐裂球性,可用于选育耐裂球品种及生产实践。对于浸泡时间,4 h可作为最终分析结果,因为此时裂球性不同材料间裂球指数差异极显著,且此时材料已充分吸水,耐裂球性差异充分表现,这为快速有效地鉴定和评价甘蓝的耐裂性提供了一种新的方法。

## 参考文献

- [1] Chiang M S. Inheritance of head splitting in cabbage (*Brassica oleracea* var. *capitata* L.) [J]. *Euphytica*, 1972; 507-509
- [2] 庄木,张扬勇,方智远,等. 结球甘蓝耐裂球性状的配合力及遗传力研究[J]. *中国蔬菜*, 2009(2): 12-15
- [3] 王丽娟,秦智伟. 甘蓝裂球性解剖学研究[C]//中国主要蔬菜抗病育种进展. 北京:科学出版社,1995:689-690
- [4] 汝学娟,李成琼,宋洪元,等. 甘蓝叶片组织结构与裂球关系探讨[C]//中国十字花科蔬菜研究进展. 北京:中国农业科学技术出版社,2008:80-84
- [5] 秦智伟,王丽娟,王超,等. 甘蓝 (*Brassica oleracea* var. *capitata*) 裂球性研究[J]. *东北农业大学学报*, 1994, 25(4): 344-346
- [6] 苏彦宾,刘玉梅,方智远,等. 结球甘蓝耐裂球性状遗传分析[J]. *园艺学报*, 2012, 39(8): 1482-1490
- [7] 简元才,丁云花,屈广琪. 早熟春甘蓝新品种春甘2号的选育[J]. *中国蔬菜*, 2008(2): 35-37
- [8] 许忠民,张恩慧,程永安,等. 春甘蓝耐裂球性鉴定方法及标准研究初报[C]//中国十字花科蔬菜研究进展. 北京:中国农业科学技术出版社,2008:76-79
- [9] 马敏,王超,许一荣. 春结球甘蓝裂球分级新标准[J]. *安徽农业科学*, 2009, 37(23): 10951-10952
- [10] 刘辉,张恩慧,许忠民,等. 3个主要栽培因子对春甘蓝叶球裂球性的影响[J]. *西北农林科技大学学报*, 2009, 37(11): 120-124
- [11] 牛娜,郑晨光,张鲁刚,等. 大白菜裂球性状的遗传及 RAPD 标记[J]. *中国蔬菜*, 2010(14): 44-48
- [12] 江海坤,袁希汉,章镇,等. 西瓜裂果性状的基因型研究[J]. *华北农学报*, 2009, 24(S): 106-109
- [13] 宋尚伟,牛姗姗,闫锋,等. 石榴裂果的原因与防治措施[J]. *安徽农业科学*, 2006, 34(1): 30-31
- [14] 辛艳伟,集贤,刘和. 裂果性不同的枣品种果皮及果肉发育特点观察研究[J]. *中国农学通报*, 2006, 22(11): 253-257
- [15] Cortes C, Ayusom C, Pakomares G, et al. Relationship between radial and concentric cracking of tomato fruit[J]. *Sci Hort*, 1983, 21: 323-328
- [16] Wade N L. Effect of metabolic inhibitors on cracking of sweet cherry fruit[J]. *Sci Hort*, 1988, (34): 239-248
- [17] 曾爱松,刘玉梅,严继勇,等. 结球甘蓝耐裂球研究进展[J]. *植物遗传资源学报*, 2011, 12(2): 307-310
- [18] Peet M M, Willits D H. Role of excess water in tomato fruit cracking[J]. *J Am Soc Hortic Sci*, 1995, 30: 65-68
- [19] 张林静,桂明珠. 裂果机制及防止措施[J]. *园艺学报*, 2006, 33(4): 699-704
- [20] Simon G. Review on rain induced fruit cracking of sweet cherries (*Prunus avium* L.), its causes and the possibilities of prevention [J]. *Int J Hort Sci*, 2006, 12(3): 27-35