

“富士”苹果果肉开裂型裂果发生机理研究

赵 丹¹, 苏彦苹¹, 李保国^{1,2}, 陈梦华¹, 张雪梅^{1,2}, 齐国辉^{1,2}

(1. 河北农业大学 林学院, 河北 保定 071000; 2. 河北省核桃工程技术研究中心, 河北 临城 054300)

摘 要:以果肉开裂型裂果程度不同的苹果园为研究对象,于2014年10月调查,研究了裂果程度不同的苹果园裂果及管理情况,测定了果实可溶性固形物含量、角质层厚度、果皮和果肉主要矿质元素含量等,并进行了果实浸水试验,以期探明红富士苹果果肉开裂型裂果的发生机理。结果表明:裂果的可溶性固形物含量和角质层厚度均显著或极显著大于正常果。裂果果皮钙含量极显著低于正常果,随果皮钙的含量的降低,裂果程度加重。果实可溶性固形物含量与单果裂缝总长度呈极显著正相关,与裂缝平均深度呈显著正相关。角质层厚度与裂缝平均宽度、裂缝平均深度呈显著正相关。果皮氮、镁的含量与单果裂缝总长度、裂缝平均宽度、裂缝平均深度和单果平均裂缝条数均呈极显著正相关;果皮钾的含量与裂缝平均宽度、单果平均裂缝条数呈显著负相关;果肉钾的含量与单果裂缝总长度、裂缝平均宽度、裂缝平均深度和单果平均裂缝条数均呈显著负相关。果皮氮/钾、氮/钙、磷/钙、钾/钙比与单果裂缝总长度、裂缝平均宽度、裂缝平均深度和单果平均裂缝条数均呈显著或极显著正相关。果皮钾/镁、钙/镁、钾/镁比与单果裂缝总长度、裂缝平均宽度、裂缝平均深度和单果平均裂缝条数均呈显著或极显著负相关。果肉磷/钾比与单果裂缝总长度、裂缝平均宽度均呈显著正相关。裂果果园的正常苹果在浸水后19~23 h出现了裂果,随着浸水时间延长,裂果程度加重;对照果园的苹果浸水前3 d未出现裂果,直到第4天才出现轻微裂果。

关键词:苹果;裂果;果肉开裂;角质层;矿质元素

中图分类号:S 661.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2015)17-0015-07

苹果是世界四大水果之一,深受国内外消费者欢迎。“富士”苹果作为晚熟优良苹果品种,以其优良的品质、良好的耐贮性受到消费者、生产者喜爱,在世界各地广泛栽培。据统计,“富士”苹果占我国苹果产量的67.91%^[1],在我国果品生产中占有重要地位。果实裂果是果树生产上常见的不良现象,它不仅影响果实的外在品质,也常给果树栽培造成重大的经济损失。裂果是苹果、桃、油桃、樱桃和葡萄等果业生产上存在的重要问题之一,裂果率低时为15%~30%,严重时高达70%~80%^[2]。“富士”苹果裂果现象经常发生,尤其是在气候异常、栽培管理措施不当情况下,更易发生^[3]。根据裂果方式及严重程度的不同,将果实裂果分为3种类型,即果皮裂、星裂和果肉开裂,其中以果肉开裂最为严

重^[4-5],但尚鲜见关于苹果果肉开裂型裂果机理研究。该试验研究了“富士”苹果不同程度果肉开裂型裂果的果皮角质层厚度、可溶性固形物含量、果皮及果肉矿质元素含量,分析了其与裂果之间的关系;并对各裂果级别树上正常果实进行了浸水试验,为研究苹果果肉开裂型裂果机理提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验主栽品种为短枝“富士”苹果“惠民短枝”(Malus pumila ‘Huimin Spur’ Fuji),树龄12年,授粉品种为“王林”(Malus pumila ‘Orin’)。试验苹果园株距3 m,行距4 m;果实全部套塑料袋。该果园位于河北省辛集市王口镇郭西村。该村海拔50 m,年平均气温12℃,降水量488 mm。

1.2 试验方法

于2014年10月,选取河北省辛集市王口镇郭西村发生果肉开裂型裂果程度不同的苹果园2个,其中果园一裂果发生情况较重,果园二裂果发生情况相对较轻。每个园根据裂果发生程度又将裂果树分为轻、重2类。以相邻的未发生裂果的苹果园作为对照。根据试验园

第一作者简介:赵丹(1990-),女,硕士研究生,研究方向为经济林栽培生理。E-mail:714910664@qq.com

责任作者:齐国辉(1969-),女,博士,教授,博士生导师,现主要从事经济林栽培学教学及科研等工作。E-mail:bdqgh@sina.com

基金项目:河北省科技支撑计划资助项目(14236808D)。

收稿日期:2015-05-28

实际情况,按裂果数占总果数的百分率(以下简称裂果率)将苹果树分为5个级别:0级(对照),未裂果;1级,裂果率 $<70\%$;2级, $70\%\leq$ 裂果率 $<80\%$;3级, $80\%\leq$ 裂果率 $<90\%$;4级,裂果率 $\geq 90\%$ 。分别选取各级别苹果树3棵,调查裂果率,询问园主裂果开始时间、裂果过程及管理情况。每株树选取1个基本能代表全树裂果情况的枝条,摘取其上所有果实(不少于20个)。同时摘取3棵对照树上1个枝条的果实。将果实带回实验室,分开裂果与正常果,分别进行单果重,果实硬度,果实可溶性固形物含量,裂缝数量、长度、深度,果点密度和大小,果皮角质层厚度,果肉、果皮矿质元素(氮、磷、钾、钙、镁)等指标的测定。并对各级别树上正常果进行浸水试验。

1.3 项目测定

裂果率采用常规调查法;单果重采用电子天平称重法;果实硬度用GY-1型果实硬度计测定;果实可溶性固形物含量用手持折射仪测定;裂缝数量、长度、深度采用常规测量法;果皮角质层厚度采用徒手切片法,切取果实胴部带果皮的1 cm见方的果肉,用单面刀片纵切成薄片,在显微镜下观察果皮,用测微尺测量角质层厚度;将各处理果实削掉果皮,果肉切成薄片,随机称取果皮和果肉约200 g于烘箱中105℃杀酶20 min,80℃烘至恒重,粉碎,用于矿质元素的测定。氮含量采用凯氏法测定^[6];磷含量采用钼锑钒比色法测定^[7];钾、钙、镁含量采用电感耦合等离子体发射光谱法测定(ICP-AES)^[8]。将各级别树上正常果分别放入容量为1 L的烧杯中,倒入蒸馏水进行果实浸水试验,定时转动果实,观察记录开始裂果时间及裂果进展情况。

1.4 数据分析

试验采用DPS和SPSS软件进行数据分析。

2 结果与分析

2.1 不同苹果园的裂果情况

调查得知,果园一和果园二中的苹果树均于8月上

旬开始发生裂果,8月底停止裂果。由表1可以看出,调查结果与目测结果一致,即果园一裂果发生情况较重,裂果发生轻、重2类树裂果率均在80%以上,分属于3级和4级;果园二裂果发生情况相对较轻,裂果发生轻、重2类树裂果率分别为62.7%和71.4%,分属于1级和2级。各类树裂果率均有极显著差异。

表1 各果园裂果率及裂果级别

项目 Item	Cracking fruit rates and fruit cracking grades in each orchards				
	果园一 Orchard one	果园二 Orchard two	果园三(对照) Orchard three(CK)		
裂果率	重	轻	重	轻	
Cracking fruit rate/%	93.3 A	82.1 B	71.4 C	62.7 D	0 E
裂果级别	4	3	2	1	0
Fruit cracking grade					

注:同一行不同大写字母表示各处理间差异达到1%极显著水平。

Note: Different capital letters in the same line show significant difference at 1% level.

2.2 不同苹果园果实裂果情况、可溶性固形物含量及果皮角质层厚度

调查结果表明,果园一、二的苹果树树冠所有部位均有裂果发生,裂果类型为果肉开裂型,症状为果肉和果皮同时开裂,有横裂、纵裂、斜裂等。单果裂缝总长度1.94~50.71 cm,裂缝平均深度0.05~1.91 cm,裂缝平均宽度0.18~1.32 cm。单个裂缝最长的为26 cm,最短的为1.50 cm;单个裂缝最宽的为1.50 cm,最窄的为0.11 cm;单个裂缝最深的为2.36 cm,最浅的为0.08 cm。表2表明,果园一和果园二中无论是裂果严重的树还是裂果较轻的树上着生的苹果均表现为裂果的可溶性固形物含量显著或极显著高于正常果,分别高0.05~0.25个百分点;除果园二裂果严重的树上着生的果实外,每个果园裂果的角质层厚度显著或极显著大于正常果,其中果园一轻度裂果树上着生的果实角质层厚度较正常果大9.69 μm 。但2个果园的苹果无论是裂果还是正常果的角质层厚度均极显著大于对照果园苹果的角质层厚度。

表2 各果园果实裂果情况、果肉可溶性固形物含量及角质层厚度

Table 2 Fruit cracking situation, flesh soluble solids content and cutin layer thickness in each orchards

项目 Item	果园一(重) Orchard one(Heavy)		果园一(轻) Orchard one(Light)		果园二(重) Orchard two(Heavy)		果园二(轻) Orchard two(Light)		对照(正常) CK(Normal)
	裂果	正常果	裂果	正常果	裂果	正常果	裂果	正常果	
单果重 Single fruit weight/g	321.9	243.3	284.0	272.0	283.6	206.0	335.0	257.5	355.0
可溶性固形物含量 Soluble solid content/%	13.5**	12.0	13.4*	12.5	15.0**	12.0	14.7*	14.0	13.0
单果裂缝总长度	30.35	—	15.62	—	20.65	—	7.99	—	—
裂果情况 Total crack length of single fruit/cm									
裂缝平均宽度 Average crack width/cm	0.59	—	0.42	—	0.33	—	0.22	—	—
裂缝平均深度 Average crack deepness/cm	0.63	—	0.46	—	0.44	—	0.09	—	—
单果平均裂缝条数 Single fruit cracks	5.88	—	4.00	—	4.00	—	3.33	—	—
角质层厚度 Thickness of cuticle/ μm	38.28*	30.63	37.19**	27.50	36.50	35.00	42.50**	35.00	25.00

注:**表示同一果园裂果与正常果差异达到极显著差异水平, $P<1\%$; *表示同一果园裂果与正常果差异达到显著差异水平, $P<5\%$ 。

Note: ** means significant difference at 1% level between crack and normal fruit; * means significant difference at 5% level between crack and normal fruit.

2.3 不同苹果园各裂果级别果实果皮和果肉矿质元素含量

表3表明,对照园苹果果肉、果皮中氮的含量显著或极显著高于裂果果园各级苹果果肉、果皮氮的含量,果肉氮的含量均小于果皮氮的含量,仅为果皮氮含量的30.17%~49.21%。裂果果园0级果和对照园0级果果皮磷的含量均显著或极显著大于各级裂果果皮磷的含量,果皮磷的含量均小于果肉磷的含量,为果肉磷含量的39.22%~95.06%。2个裂果果园0级果果皮钾的含量均极显著大于各级裂果果皮钾的含量,裂果果园果皮中钾的含量随裂果级别的增加而降低,3、4级果果皮

钾的含量显著低于1、2级果果皮钾的含量;各级果果肉钾的含量无显著差异;果皮钾的含量为果肉钾含量的59.28%~76.95%。对照园果实果肉、果皮钙的含量极显著高于裂果果园各级果果肉、果皮钙的含量,果皮钙的含量随裂果级别的增大而降低;对照园0级果与裂果果园0级果果皮钙的含量均大于果肉的钙含量,为果肉钙含量1.21~1.89倍,但各级裂果果皮钙的含量明显低于果肉钙的含量,为果肉钙的含量的12.99%~72.42%。裂果果园各级果果皮镁的含量均显著或极显著大于对照园0级果果皮镁的含量;果皮镁的含量均大于果肉镁的含量,为果肉镁含量的2.24~3.21倍。

表3 不同苹果园各裂果级别果实果皮、果肉矿质元素含量

项目 Item	果园一(重)(4级) Orchard one (Heavy)(4 grade)	果园一(轻)(3级) Orchard one (Light)(3 grade)	果园一(正常)(0级) Orchard one (Normal)(0 grade)	果园二(重)(2级) Orchard two (Heavy)(2 grade)	果园二(轻)(1级) Orchard two (Light)(1 grade)	果园二(正常)(0级) Orchard two (Normal)(0 grade)	对照(0级) CK (0 grade)
氮含量 N content	果皮 5.92±0.500ABb 果肉 2.16±0.060Cd	果皮 4.94±0.500Ccd 果肉 1.49±0.130De	果皮 5.96±0.44ABb 果肉 2.23±0.11Ccd	果皮 5.32±0.120BbCc 果肉 2.48±0.120BbCc	果皮 4.40±0.270Cd 果肉 2.16±0.250Cd	果皮 5.29±0.190BbcC 果肉 2.62±0.050ABb	果皮 6.74±0.12Aa 果肉 2.91±0.10Aa
磷含量 P content	果皮 0.28±0.020Dd 果肉 0.70±0.070BbC	果皮 0.31±0.030CDd 果肉 0.64±0.050BbCc	果皮 0.53±0.03Bb 果肉 0.89±0.05Aa	果皮 0.38±0.030Cc 果肉 0.74±0.080ABb	果皮 0.28±0.020Dd 果肉 0.54±0.040Cc	果皮 0.62±0.010Aa 果肉 0.66±0.070BbC	果皮 0.38±0.02Cc 果肉 0.75±0.04ABb
钾含量 K content	果皮 4.03±0.140Cc 果肉 6.21±0.170A	果皮 4.12±0.120Cc 果肉 6.33±0.110A	果皮 4.95±0.03Aa 果肉 6.61±0.27A	果皮 4.54±0.040Bb 果肉 6.47±0.630A	果皮 4.34±0.080BbC 果肉 6.73±0.220A	果皮 5.05±0.230Aa 果肉 6.55±0.230A	果皮 3.57±0.08Dd 果肉 6.02±0.06A
钙含量 Ca content	果皮 0.03±0.003E 果肉 0.26±0.010B	果皮 0.07±0.003E 果肉 0.15±0.010D	果皮 0.50±0.03B 果肉 0.26±0.01B	果皮 0.12±0.010D 果肉 0.16±0.005D	果皮 0.13±0.010D 果肉 0.25±0.001B	果皮 0.22±0.030C 果肉 0.18±0.004C	果皮 0.57±0.02A 果肉 0.32±0.01A
镁含量 Mg content	果皮 0.77±0.020Aa 果肉 0.24±0.010Bb	果皮 0.55±0.010Dd 果肉 0.22±0.020Bbc	果皮 0.70±0.02Bb 果肉 0.30±0.01Aa	果皮 0.66±0.020Cc 果肉 0.23±0.010Bbc	果皮 0.51±0.010EeF 果肉 0.23±0.010Bbc	果皮 0.54±0.010DdE 果肉 0.24±0.010Bb	果皮 0.48±0.01Ff 果肉 0.21±0.01Bc

注:同行数字后不同大写字母分别表示差异达0.01显著水平。

Note: Different capital letter show significant difference at 0.01 level.

2.4 果实可溶性固形物含量、果皮角质层厚度、果肉及果皮矿质元素含量与裂果的关系

2.4.1 可溶性固形物含量、角质层厚度与裂果指标的相关系数 将果园一、果园二所有裂果果实的可溶性固形物含量、角质层厚度与单果裂缝总长度、裂缝平均宽度、裂缝

平均深度和单果平均裂缝条数进行相关分析。由表4可以看出,果实可溶性固形物含量与单果裂缝总长度呈极显著正相关,相关系数为0.672;与裂缝平均深度呈显著正相关,相关系数为0.435。角质层厚度与裂缝平均宽度、裂缝平均深度呈显著正相关,相关系数分别为0.520和0.487。

表4 可溶性固形物含量、角质层厚度与裂果指标的相关系数

项目 Item	单果裂缝总长度 Total crack length of single fruit	裂缝平均宽度 Average crack width	裂缝平均深度 Average crack deepness	单果平均裂缝条数 Single fruit cracks
可溶性固形物含量 Soluble solid content	0.672 **	0.405	0.435 *	0.198
角质层厚度 Thickness of cuticle	0.242	0.520 *	0.487 *	0.279

注:数字后的*表示在0.05水平(双侧)上显著相关。数字后的**表示在0.01水平(双侧)上显著相关。表5、6同此。

Note: * behind number mean significant difference at 0.05 level at both side. ** behind number mean significant difference at 0.01 level at both side. The same as table 5, 6.

2.4.2 果皮、果肉主要矿质元素含量与裂果指标的相关系数 将果园一、果园二的所有裂果果实的果皮、果肉主要矿质元素含量与单果裂缝总长度、裂缝平均宽度、裂缝平均深度和单果平均裂缝条数进行相关分析,表5表明,果皮氮的含量与单果裂缝总长度、裂缝平均宽度、裂缝平均深度和单果平均裂缝条数均呈极显著正相关,相关系数分别为0.870、0.768、0.808、0.808,即随着果皮氮含量的升高,裂果严重程度会随之增加。果皮钾的含量与裂缝平均宽度、单果平均裂纹条数呈显著负相关,相关系数分别为-0.691和-0.588。果皮钙的含量与单果裂缝总长度、裂缝平均宽度、裂缝平均深度和单果平

均裂缝条数均呈极显著负相关,相关系数分别为-0.731、-0.851、-0.804和-0.769,即随着果皮钙含量的升高,裂果严重程度会减轻。果皮镁的含量、单果裂缝总长度、裂缝平均宽度、裂缝平均深度和单果平均裂缝条数均呈极显著正相关,相关系数分别为0.971、0.799、0.825、0.906,即随着果皮镁含量的增加,裂果程度加重。果皮磷的含量与裂果指标均呈正相关,但均未达到显著水平。由此可以认为,果皮氮、钙、镁的含量是影响苹果发生裂果的重要因素。果肉钾的含量与单果裂缝总长度、裂缝平均宽度、裂缝平均深度和单果平均裂缝条数均呈显著负相关,相关系数分为-0.617、-0.670、-0.638、-0.636,

表 5

果皮、果肉主要矿质元素含量与裂果指标的相关系数

Table 5 The correlation coefficients among peel, flesh main mineral element contents and the fruit cracking items

项目 Item	单果裂缝总长度 Total crack length of single fruit	裂缝平均宽度 Average crack width	裂缝平均深度 Average crack deepness	单果平均裂缝条数 Single fruit cracks
果皮 Peel	氮 N	0.870 **	0.768 **	0.808 **
	磷 P	0.262	0.113	0.132
	钾 K	-0.366	-0.691 *	-0.588 *
	钙 Ca	-0.731 **	-0.851 **	-0.769 **
	镁 Mg	0.971 **	0.799 **	0.906 **
果肉 Flesh	氮 N	0.195	-0.174	0.066
	磷 P	0.550	0.385	0.388
	钾 K	-0.617 *	-0.670 *	-0.636 *
	钙 Ca	0.250	0.185	0.413
	镁 Mg	0.357	0.295	0.416

即随着果肉中钾含量的升高,裂果程度会减轻。果肉中氮、磷、钙和镁的含量与裂果指标没有显著相关性。

2.4.3 果皮、果肉主要矿质元素含量比值与裂果指标的相关系数 将果园一、果园二裂果果皮、果肉各矿质元素含量比值与单果裂缝总长度、裂缝平均宽度、裂缝平均深度和单果平均裂缝条数进行相关分析。由表 6 可以看出,果皮氮/钾、氮/钙与单果裂缝总长度、裂缝平均宽度、裂缝平均深度和单果平均裂缝条数均呈极显著正相关,相关系数分别为 0.869、0.893、0.839、0.895 和 0.789、0.838、0.732、0.858。果皮磷/钙、钾/钙与单果裂缝总长度、裂缝平均宽度和单果平均裂缝条数均呈极显著正相关,相关系数分别为 0.736、0.742、0.752 和 0.747、0.794、0.806;与裂缝平均深度均呈显著正相关,相关系数分别为 0.701 和 0.703。果皮钾/镁、钙/镁比

与单果裂缝总长度、裂缝平均宽度、裂缝平均深度和单果平均裂缝条数均呈极显著负相关,相关系数分别为 -0.988、-0.905、-0.906、-0.955 和 -0.840、-0.888、-0.904、-0.819。裂果指标与果皮氮/磷、磷/钾比均呈正相关,与氮/镁、磷/镁比均呈负相关,但都未达到差异显著水平。由此可以得出,果皮氮/钾、氮/钙、磷/钙、钾/钙、钾/镁、钙/镁比是影响苹果产生裂果的重要因素。果肉磷/钾比与单果裂缝总长度、裂缝平均宽度均呈显著正相关,相关系数分别为 0.682、0.686。果肉钾/镁比与单果裂缝总长度、单果平均裂缝条数均呈极显著负相关,相关系数分别为 -0.711、-0.757;与裂缝平均长度、裂缝平均宽度均呈显著负相关,相关系数分别为 -0.692、-0.606。裂果指标与果肉其它矿质元素之比均未达到显著相关水平。

表 6

果皮、果肉主要矿质元素比值与裂果指标的相关系数

Table 6 The correlation coefficients among peel, flesh main mineral element ratio and the fruit cracking items

项目 Item	氮/磷 N/P	氮/钾 N/K	氮/钙 N/Ca	氮/镁 N/Mg	磷/钾 P/K	磷/钙 P/Ca	磷/镁 P/Mg	钾/钙 K/Ca	钾/镁 K/Mg	钙/镁 Ca/Mg
单果裂缝总长度 Total crack length of single fruit	0.356	0.869 **	0.789 **	-0.523	0.325	0.736 **	-0.302	0.747 **	-0.988 **	-0.840 **
果皮 裂缝平均宽度 Average crack width	0.435	0.893 **	0.838 **	-0.336	0.233	0.742 **	-0.352	0.794 **	-0.905 **	-0.888 **
Peel 裂缝平均深度 Average crack deepness	0.290	0.839 **	0.732 **	-0.344	0.330	0.701 *	-0.222	0.703 *	-0.906 **	-0.904 **
单果平均裂缝条数 Single fruit cracks	0.467	0.895 **	0.858 **	-0.478	0.233	0.752 **	-0.399	0.806 **	-0.955 **	-0.819 **
单果裂缝总长度 Total crack length of single fruit	-0.261	0.371	-0.116	0.113	0.682 *	-0.050	0.495	-0.197	-0.711 **	0.199
果肉 裂缝平均宽度 Average crack width	-0.480	0.027	-0.185	-0.274	0.556	0.053	0.328	-0.048	-0.692 *	0.125
Flesh 裂缝平均深度 Average crack deepness	-0.554	0.109	0.074	-0.144	0.686 *	0.230	0.562	0.058	-0.606 *	-0.117
单果平均裂缝条数 Single fruit cracks	-0.236	0.252	-0.314	-0.044	0.554	-0.163	0.289	-0.248	-0.757 **	0.361

2.5 降雨情况及苹果园水分管理与裂果发生的关系

郭西村 2014 年 5—10 月的降水量与 2013 年同期的降水量见表 7。结果表明,试验地点 2014 年 5—10 月的总降水量为 186.0 mm,仅为 2013 年同期 527.8 mm 的降水量的 35.2%,尤其是 5—7 月,极度干旱,降水量仅 79.9 mm;在 6 月 22 日、8 月 4 日、8 月 5 日、9 月 2 日、9 月 16 日及 9 月 17 日出现了中雨(24 h 降雨量 10.1~50.0 mm)。根据调查得知,果园一分别在 3 月 1 日、5 月 28 日、6 月 2 日、7 月 3 日、8 月 1 日及 9 月 3 日进行了果园灌水,果园二分别在 4 月 20 日、5 月 25 日、6 月 28 日、7 月 30 日及 8 月

表 7 2013 年 5—10 月和 2014 年 5—10 月降水量

Table 7	Rainfalls from May to October in 2013,2014						mm
月份 Month	5 月 May	6 月 June	7 月 July	8 月 August	9 月 September	10 月 October	合计 Total
2013 年降水量 Precipitation in 2013	33.2	101.8	174.5	178.2	35.6	4.5	527.8
2014 年降水量 Precipitation in 2014	11.0	39.0	29.9	47.3	57.8	1.0	186.0

30 日进行了灌水;而未发生裂果的对照苹果园每 20 d 左右灌 1 次水。由此推测,与对照园相比,发生裂果的果园 2014 年 5—7 月降雨量少,灌水量不足,造成土壤缺

水;在突然出现土壤水分充足(7月底8月初浇水后,8月4日、8月5日遇中雨,降水量多达40 mm)的情况时,果肉细胞迅速吸水、急剧膨胀、果皮细胞以及角质层不能同时随之增大,而出现裂纹,形成裂果。

2.6 各裂果级别树上果实浸水后裂果情况

对果园一、果园二的正常果和对照果园的苹果于10月27日12:00开始进行浸水试验。由表8、9可以看出,

果园一、果园二的正常果浸水后19~23 h出现了裂果,随着浸水时间延长,裂果程度加重,浸水4 d后,单果出现3~18条裂缝,裂缝总长度2.7~25.2 cm,裂缝平均宽0.10~0.12 cm;对照果园的苹果浸水后3 d均未出现裂果,直到第4天才出现轻微裂果,单果裂缝总长度分别为1.9 cm和2.5 cm,裂缝平均宽度0.08~0.09 cm,裂缝条数分别为3条和2条。

表 8

各果园正常果浸水试验结果

Table 8

The results of water soaking test of normal fruits in each orchard

	10月28日 28 th October		10月29日 8:00 8:00 on 29 th October		10月30日 11:00 11:00 on 30 th October	
	浸水前单果重 Single fruit weight before soaking/g	裂果情况 Cracking situation	浸水前单果重 Single fruit weight before soaking/g	裂果情况 Cracking situation	浸水前单果重 Single fruit weight before soaking/g	裂果情况 Cracking situation
果园一 Orchard one	302.99	10月28日7:00开始裂果, 萼部、红色部位裂开	304.03	裂纹明显变宽, 萼部裂开处果皮翘起	304.90	阳面红色部位 出现纵向裂纹
果园一 Orchard one	299.15	10月28日11:00开始裂果, 阳面红色部位裂开	301.86	裂纹均匀出现于苹果的 整个阳面红色部位	304.05	裂纹变宽,除阳面外的 其他部位开始出现裂纹
果园二 Orchard two	295.31	10月28日8:00开始裂果,红色部位裂开	296.22	裂纹明显增多,萼部出现裂纹	296.96	与29日无明显变化
果园二 Orchard two	267.05	10月28日11:00开始裂果,红色部位裂开	267.48	与28日无明显变化	267.61	与29日无明显变化
对照 CK	427.92	10月28日未出现裂纹	427.96	无裂开现象	428.25	无裂开现象
对照 CK	385.55	10月28日未出现裂纹	385.81	无裂开现象	385.95	无裂开现象

表 9

浸水4 d后各类果实裂果情况

Table 9

The fruits cracking situation after 4 days water soaking

10月31日 9:50 9:50 on 31 th October	浸水前单果重	单果裂缝总长度	裂缝平均宽度	单果平均裂缝条数
	Single fruit weight before soaking/g	Total crack length of single fruit/cm	Average crack width/cm	Single fruit cracks
果园一 Orchard one	305.40	22.40	0.11	11
果园一 Orchard one	305.13	25.20	0.12	18
果园二 Orchard two	297.46	13.50	0.11	9
果园二 Orchard two	267.78	2.7	0.12	3
对照 CK	428.61	1.9	0.08	3
对照 CK	386.17	2.5	0.09	2(果柄处2条裂纹)

3 结论与讨论

研究表明,苹果裂果指标与果实可溶性固形物含量及果皮角质层厚度都呈显著或极显著正相关。裂果果实内可溶性固形物含量比对照果偏高,可能是由于2014年5—7月灌水量不足,降雨量少,造成果园土壤缺水;而光照充足,果实内糖分积累多,导致可溶性固形物(糖)含量高。关于角质层厚度与裂果的关系,报道的结果也不一致,DEMIRSOY等^[9]对几个不同品种的甜樱桃进行研究表明,果皮的角质层厚度与裂果指数呈负相关;而表皮厚度与裂果无相关性。但YAMAGUCHI等^[10]发现甜樱桃的裂果与表皮细胞(尤其是果顶部分)的长度和宽度成正相关。辛艳伟等^[11]研究表明,枣果实角质层的厚度与裂果性没有密切关系,但表皮厚度与裂果密切相关,并且枣耐裂品种比不耐裂品种表皮厚。该研究发现,裂果的角质层厚度显著或极显著大于正常果,发生裂果的苹果园中无论是裂果还是正常果的角质层厚度均极显著大于对照果园苹果的角质层厚度。可能与角质层的结构、角质层力学性能等因素有关,还有待于进一步研究。在该试验中,苹果在进行浸水试验后,果园

一、果园二的正常果在19~23 h内出现裂果,且随浸水时间的延长,裂果情况越来越严重,但对对照果园苹果有较强的抗裂能力,直到浸水第4天才出现轻微裂果。表明发生裂果苹果园的果实较对照苹果园的果实更易裂果。

通过对不同程度的裂果进行矿质元素的测定表明,裂果各项指标与果皮中氮、镁的含量均呈极显著正相关,与果皮中钙的含量均呈极显著负相关,与果肉中钾的含量均呈显著负相关;裂缝平均长度、单果平均裂缝条数与果皮中钾的含量呈显著负相关。氮广泛存在于生物界中,是蛋白质的重要组成成分。经研究发现,苹果果实裂果与果实果皮氮的含量有密切的正相关性。刘同才等^[12]认为果实生长后期氮含量偏高会引起裂果的产生,但曹一博等^[13]对枣果实裂果的研究表明,枣果皮中氮的含量与枣果实裂果无明显相关性。钙是植物细胞壁的重要成分之一,与果胶结合形成钙盐,减弱了质膜的渗透性,增加了原生质的弹性,并增强了细胞的耐压力 and 延展性,最终达到增强果皮抗裂的能力^[14]。试验结果中,裂果果皮钙的含量极显著低于正常果果皮钙的含量,并随着钙含量的减少,裂果的严重级别随之增加。这与曹一博等^[13]对枣果实裂果及张琪静等^[15]对甜

樱桃果实裂果机理的研究结果相一致。试验表明,苹果裂果指标与果皮中镁的含量呈显著或极显著正相关。汝学娟等^[14]在研究矿质元素含量对番茄裂果影响时,得出番茄果皮镁含量高,不易裂果,反之易裂。曹一博等^[13]对枣裂果研究中发现,枣果皮镁的含量与其裂果没有显著性关系。果实对于钙和镁的吸收具有拮抗作用,因此可能是裂果果皮中镁的含量较高导致对钙吸收的减少,从而引起裂果的发生。YAMAMOTO 等^[16-17]认为果实内膨压的变化可能会引起裂果,而钾元素可以维持细胞的渗透压和膨压,促进细胞壁延伸,并防止果实裂果的发生^[18]。试验表明,果皮果肉中钾的含量与裂果指标呈显著负相关,即钾含量的降低,会引起裂果病害程度的加重,与 YAMAMOTO 等^[16-17]的观点一致。

该研究表明,裂果指标与苹果果皮氮/钾、氮/钙比呈极显著正相关,与磷/钙、钾/钙比呈显著或极显著正相关,与钾/镁、钙/镁比呈极显著负相关;与果肉钾/镁比呈显著或极显著负相关,单果裂缝总长度、裂缝平均深度与磷/钾比呈显著正相关。许虎林^[19]认为,果实发病与其氮钙比有关,一般果实内氮/钙比以 10:1 为宜,当氮/钙比为 20:1 时果实即发病,氮/钙比为 30:1 时果实严重发病,即氮/钙比的增大,会引起裂果的发生及病情的加重,与该研究结论一致。郝庆等^[20]认为果实中氮和钾的比例失调也会引起裂果,正常的氮/钾比为 1.136:1,过量的氮和钾都会引起裂果。由此可推论苹果果实中,尤其是果皮中,氮、磷、镁含量的升高,及钾、钙含量的降低会引起苹果果实裂果的发生。但对于苹果果实矿质元素含量及其比值与苹果果实裂果关系的研究较少,因此还有待于广大学者的研究。

该研究表明,“富士”苹果果肉开裂型裂果的发生主要是由于果实生长前期严重干旱或灌水不足导致土壤干旱,并且果皮严重缺钙,角质层抗扩张能力下降。在生长后期却突遇降雨或灌水,果肉细胞迅速吸水,急剧膨涨,果皮细胞以及角质层不能同时随之增大,而出现裂纹,形成裂果。

参考文献

- [1] 农业经济统计[M]//中国农业年鉴,2012:218.
- [2] 张运涛.果实裂果的原因与防治措施研究进展[J].河北林果研究,1999(12):380-385.
- [3] 谭江瑞,卫徐刚,陈存凤,等.运城地区 2005 年红富套袋苹果裂果发生的气候条件分析[J].中国科技信息,2009(3):82,84.
- [4] 马雯彦,庞晓明,续九如,等.果实裂果影响因子研究进展[J].华中农业大学学报,2010(6):798-804.
- [5] OPARA L U. Some characteristics of internal ring-cracking in apples[J]. Fruit Varieties J,1996,50:260-262.
- [6] 全月澳,周厚基.果树营养诊断法[M].北京:农业出版社,1982:3.
- [7] 鲍士旦.土壤农化分析[M].北京:中国农业出版社,2005:74-76.
- [8] 王小平,马以瑾,伊藤光雄.密封消解 ICP-AES 和 ICP-MS 测定中日两国茶叶中 23 种矿质元素[J].光谱学与光谱分析,2005(10):169-173.
- [9] DEMIRSOY L,DEMIRSOY H. The epidermal characteristics of fruit skin of some sweet cherry cultivars in relation to fruit cracking[J]. Pakistan Journal of Botany,2004,36(4):725-731.
- [10] YAMAGUCHI M,SATO I,ISHIGURO M. Influences of epidermal cell size and flesh firmness on cracking susceptibility in sweet cherry (*Prunus avium* L.) cultivar and selections[J]. Journal of the Japanese Society for Horticultural Science,2002,71:738-746.
- [11] 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.
- [12] 刘同才,刘宝轻.枣裂果的原因及预防技术[J].河北果树,2006(3):55.
- [13] 曹一博,孙帆,刘亚静,等.枣果实组织结构及果皮中矿质元素含量对裂果的影响[J].果树学报,2013(4):621-626.
- [14] 汝学娟,郑阳,杨琦凤,等.矿质元素致番茄裂果的影响机理研究[J].西南农业学报,2014(1):259-262.
- [15] 张琪静,谷大军.甜樱桃果实裂果机理研究进展[J].果树学报,2014(4):704-709.
- [16] YAMAMOTO T,HOSOI K,SASAHARA I,et al. Cracking susceptibility and distribution of surface stress of fruit in apple cultivars[J]. Bulletin of the Yamagata University (Agricultural Science),1993,11:727-747.
- [17] YAMAMOTO T,SATOH H. Relationship among berry cracking susceptibility, berry morphology and skin stress distribution in several grape cultivars[J]. J Jap Soc Hort Sci,1994,63:247-256.
- [18] 廖红,严小龙.高级植物营养[M].北京:科学出版社,2003.
- [19] 许虎林.苹果与钙[J].西北园艺,2001(2):19.
- [20] 郝庆,车玉红,杨波.苹果裂果的原因及防治技术[J].北方园艺,2007(4):112-114.

Study on the Mechanism of ‘Fuji’ Apple Flesh Cracking

ZHAO Dan¹,SU Yanping¹,LI Baoguo^{1,2},CHEN Menghua¹,ZHANG Xuemei^{1,2},QI Guohui^{1,2}

(1. College of Forestry, Agricultural University of Hebei, Baoding, Hebei 071000; 2. Research Center for Walnut Engineering and Technology of Hebei, Lincheng, Hebei 054300)

Abstract: Different degrees of fruit cracking orchards were used as research object, in October 2014, apple cracking and the orchard managements were investigated, flesh soluble solids contents, cutin layer thicknesses, main mineral element contents in flesh and peel were determined, and the fruit water soaking test was carried out in order to reveal the mechanism of ‘Fuji’ apple flesh cracking. The results showed that the flesh soluble solids contents and cutin layer thicknesses in cracking fruits were significantly or very significantly higher than those of in normal fruits. Ca content in cracking fruits peel was very significantly lower than that of normal fruits, the fruit cracking degree aggravated with the

小白菜种质资源苗期表型 性状的多样性分析

马金健, 李 宁, 张淑娟, 鱼昭君, 惠麦侠

(西北农林科技大学 园艺学院, 旱区作物逆境生物学国家重点实验室, 陕西 杨凌 712100)

摘 要:以 50 份小白菜种质为研究对象, 利用 12 个数量性状和 8 个质量性状分析资源遗传多样性。结果表明: 苗期 12 个数量性状的变异系数为 20.69%~71.68%, 平均值为 34.30%, 其中单株重的变异系数最大, 叶宽的变异系数最小。经主成分分析, 将 20 个性状综合为 4 个主要成分, 其累计贡献率达 80.092%, 以植株大小和产量相关的性状贡献率最高, 达到 57.257%。聚类分析将 50 份材料划分为 3 个类群。

关键词:小白菜; 种质资源; 表型性状; 聚类分析; 主成分分析

中图分类号:S 634.302.4 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2015)17-0021-04

小白菜(*Brassica campestris* ssp. *chinensis*)属十字花科芸薹属一二年生草本植物, 又名不结球白菜、青菜。

第一作者简介:马金健(1990-), 男, 硕士研究生, 研究方向为蔬菜种质资源创新及分子育种。E-mail: 15909293714@163.com.

责任作者:惠麦侠(1968-), 女, 博士, 副教授, 研究方向为蔬菜种质资源创新及分子育种。E-mail: huimaixia@nwsuaf.edu.cn.

基金项目:国家自然科学基金资助项目(31272164, 31372062); 西安市科技计划资助项目(NC1204); 唐仲英育种专项资助项目。

收稿日期:2015-05-25

原产于我国, 南北各地均有分布, 在我国栽培十分广泛^[1-3]。种质资源是遗传改良的基础, 只有了解种质资源遗传变异信息及亲缘关系的远近, 才能有目的地选配亲本, 培育出优良品种。前人对不结球白菜的形态学、生物学特性、分类、遗传多样性等^[4-7]已进行了众多的研究, 表明起源于中国的小白菜资源极其丰富, 类型复杂多样。如韩建明等^[8]在不结球白菜种质资源的质量性状和数量性状调查基础上, 通过系统聚类, 把 125 份种质资源聚成 6 类, 普通白菜不同程度地分别与塌棵菜、菜心、

peel Ca content decreased. There were very significantly positive correlations between the flesh soluble solids content and the total length of single fruit cracks, and significantly positive correlation between the flesh soluble solids content and the average depth of cracks. Cutin layer thickness was found significantly positively correlated with the average width and depth of cracks. There were very significantly positive correlations among the peel N and Mg contents and the total length of single fruit cracks, the average width and depth of cracks and the average cracks number of single fruit; there were significantly negative correlations among the peel K contents and the average width of cracks, the average cracks number of single fruit; there were significantly negative correlations among the flesh K content and the total length of single fruit cracks, the average width and depth of cracks and the average cracks number of single fruit. There were significantly or very significantly positive correlations among the peel N/K, N/Ca, P/Ca and K/Ca ratio and the total length of single fruit cracks, the average width and depth of cracks and the average cracks number of single fruit. There were significantly or very significantly negative correlations among the peel K/Mg, Ca/Mg and K/Mg ratio and the total length of single fruit cracks, the average width and depth of cracks and the average cracks number of single fruit. There also were significantly positive correlations among the flesh P/K ratio and the total length of single fruit cracks and the average width of cracks. The normal apples in fruit cracking orchards appeared cracks in 19—23 hours after soaking into distilled water, and with the soaking time prolonged, fruit cracking degree was aggravated; the apples in control orchard didn't appear cracks in the first 3 days after soaking into distilled water, the slight cracks appeared until 4 days later after soaking.

Keywords: apple; fruit cracking; flesh cracking; cutin layer; mineral elements