

$^{60}\text{Co-}\gamma$ 辐射诱变对无花果插条萌芽的影响

巴哈依丁·吾甫尔¹ 孟宪儒² 艾尔肯·艾尼³ 马会勤^{2*}

(1. 新疆农业科学院 吐鲁番农业科学研究所, 新疆 吐鲁番 838000;

2. 中国农业大学 园艺学院, 北京 100193;

3. 新疆和田地区中等职业技术学校, 新疆 和田 848000)

摘要 为探讨 $^{60}\text{Co-}\gamma$ 辐射诱变处理对无花果一年生枝和不同成熟度绿枝插条萌芽的影响,以3个无花果品种‘117D’、‘青皮’和‘110C’的硬枝插条和2个无花果品种‘108B’和‘110C’的绿枝插条为试材,对硬枝插条和绿枝插条分别设定160和200 J/kg的最大辐射剂量,采用半量法设置剂量递减梯度, $^{60}\text{Co-}\gamma$ 射线辐射诱变处理后,对硬枝插条和绿枝插条分别进行常规扦插和水培,对插条的萌芽情况进行观察和统计。结果表明:3个品种的硬枝插条在160 J/kg的辐射剂量处理条件下全部死亡;不同品种硬枝插条对80和40 J/kg的辐射剂量处理,萌芽率具有显著差异,其中‘117D’对辐射剂量的耐受度最高,而‘青皮’的耐受度最低。绿枝插条在辐射剂量200 J/kg条件下,‘108B’和‘110C’均全部死亡;而100和50 J/kg辐射剂量的绿枝插条的成熟度与辐射剂量的耐受度呈负相关性,且‘108B’绿枝插条对辐射剂量的耐受度高于‘110C’。进一步地观测表明,辐射处理导致无花果硬枝和绿枝插条萌芽和生根延迟。无花果硬枝插条适宜的 $^{60}\text{Co-}\gamma$ 辐射诱变处理剂量为40~80 J/kg;绿枝插条的适宜剂量在50~100 J/kg;不同无花果品种对 $^{60}\text{Co-}\gamma$ 射线辐射的敏感性不同。

关键词 $^{60}\text{Co-}\gamma$ 辐射诱变; 剂量效应; 无花果; 绿枝插条; 硬枝插条

中图分类号 S667.9

文章编号 1007-4333(2019)10-0039-08

文献标志码 A

Effect of $^{60}\text{Co-}\gamma$ irradiation mutagenesis on the bud breaking of fig (*Ficus carica* L.) cuttings

WUFUER Bahagiding¹, MENG Xianru², AINI Aierken³, MA Huiqin^{2*}

(1. Institute of Agricultural Sciences in Turpan, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Turpan 838000, China;

2. College of Horticulture, China Agricultural University, Beijing 100193, China;

3. Xinjiang Hetian Middle Vocational Technical School, Hetian 848000, China)

Abstract To explore the effect of $^{60}\text{Co-}\gamma$ irradiation mutagenesis on bud breaking of fig one-year-old canes and young shoots of different maturation level, the one-year-old hardwood of three fig cultivars ‘117D’, ‘Green Peel’ and ‘110C’, and the young shoots of two fig cultivars ‘108B’ and ‘110C’ were used as the materials. The highest dose of $^{60}\text{Co-}\gamma$ irradiation were set at 160 J/kg for hardwood cuttings and 200 J/kg for young shoots, bisection decrease was used to make a ladder of irradiation doses. After the treatment the hard wood cuttings were soil rooted and the young shoot cuttings were put in a hydroponic container. The bud breaking rate of the cuttings was observed and calculated. The result showed: Under the dose of 160 J/kg irradiation, all the hardwood cuttings of the three cultivars were died; while very significant difference on cutting bud breaking rates were found between 40 and 80 treatment and among different cultivars. Among the three cultivars, ‘117D’ demonstrated the highest tolerance to the irradiation, while ‘Green Peel’ showed the lowest tolerance; For the young shoot cuttings, ‘108B’ and ‘110C’ cultivar were all died under 200 J/kg

收稿日期: 2018-12-05

基金项目: 新疆少数民族科技人才特殊培养科研项目(2019D03019); 国家自然科学基金面上项目(31372007)

第一作者: 巴哈依丁·吾甫尔, 高级农艺师, 主要从事果树栽培与育种研究, E-mail: 1102667692@qq.com

通讯作者: 马会勤, 教授, 主要从事葡萄和无花果研究, E-mail: hqma@cau.edu.cn

irradiation in regardless their maturation level. Very significant difference on bud breaking rate was revealed with irradiation doses of 50 and 100 J/kg and among three levels of shoot maturation levels revealing that the maturation level of young shoot cuttings was negatively correlated with the irradiation dose tolerance. The tolerance of '108B' young shoot cuttings was higher than that of '110C' cultivar. Further observations demonstrated that irradiation treatments led to delayed bud breaking and repressed root formation of cuttings. In conclusion, for bud mutagenesis irradiation treatment, the suitable $^{60}\text{Co-}\gamma$ irradiation dose to fig hardwood cuttings was between 40-80 J/kg; for the young shoots, the suitable dose was between 50-100 J/kg; and different fig cultivars display different sensitivity to $^{60}\text{Co-}\gamma$ irradiation.

Keywords $^{60}\text{Co-}\gamma$ irradiation mutagenesis; dose effect; *Ficus carica* L.; young shoot cuttings; hardwood cuttings

无花果(*Ficus carica* L.)为桑科榕属多年生灌木或小乔木,属于亚热带和温带浆果类果树。目前,全世界无花果年产量超过 200 万 t,产地主要分布于土耳其、希腊、意大利、埃及、伊朗、西班牙和美国等国家^[1]。我国的无花果产地主要分布于山东、新疆、河北、四川、江苏、上海、浙江、福建、广东等省(市、自治区),其他各地也有零散栽培;截止 2016 年,全国无花果种植面积已达 2 万 hm^2 ,产量 4.18 万 t^[2],产值超过 4 亿元;无花果已成为我国近年来一个发展迅速的果树树种。

无花果产业的快速发展对新品种的选育工作提出了迫切需求。近年来,我国同时开展了无花果的杂交育种和芽变选种工作。但对于木本植物的无花果而言,传统杂交育种存在周期长、工作量大和优良性状难以发现等缺点,使得芽变选种成为获得无花果新品种的重要途径^[3]。例如,无花果新品种'紫宝'就是山东省威海地区主栽品种'青皮'的自然芽变^[4]。此外,无花果具有遗传背景高杂合的特点,传统的杂交育种也很难做到将不同无花果品种优良生产特性快速集中。因此,利用优质无花果品种的芽变资源和其可快速扦插无性繁殖的特点,可加速无花果新品种的选育与推广,促进无花果产业的发展。

在自然条件下芽变的发生率低,诱变处理可显著提高芽变发生率^[5]。通过对枝条进行诱变处理,可以在较短时间内获得突变体植株,进行育种优选^[6-7]。辐射诱变是植物诱变育种的一个重要手段,辐射处理可显著提高植物细胞基因的突变频率,产生小量突变,获得常规育种难以获得的新种质^[8]。在日本通过辐射育种已经获得了超过 40 个商用植物品种^[9]。 $^{60}\text{Co-}\gamma$ 射线是目前最常用的辐射诱变源^[5],被广泛应用于各种草本和木本植物的新品种选育。与自然突变相比, γ 射线诱变处理成本低,突变效率能达到自然突变的 100~1 000 倍^[5]。 γ 射线

辐射处理产生突变的机理主要是通过 C/G~T/A 型碱基突变、A/T 到 T/A 型颠换、A/T 到 G/C 型碱基突变以及片段删除型突变来实现的^[10]。在果树中, $^{60}\text{Co-}\gamma$ 辐射处理被用于库尔勒香梨^[11]、苹果^[12]、柑橘^[13]和李^[14]等种质的创新中。

即使在果树中多有辐射诱变育种的报道,但不同果树和不同研究条件下,辐照效果不尽相同^[15]。影响辐射诱变效果的首要因子是辐射剂量的确定,适宜的辐射剂量处理是获得有效诱变的前提。在一定范围内,增加辐射剂量可提高突变率和扩大变异谱;超过一定范围后,增加剂量会降低成活率并增加不利变异率;超过一定限度,甚至导致材料的死亡^[5]。本研究旨在通过对不同品种无花果硬枝和绿枝插条进行不同剂量的 $^{60}\text{Co-}\gamma$ 辐射处理,初步探索无花果硬枝和绿枝插条的适宜辐射剂量范围,以期为今后无花果的辐射育种工作提供一定的理论依据。

1 材料与方 法

1.1 材 料

试材取自于中国农业大学上庄实验站无花果种质资源圃。各品种无花果树均采用日光温室栽培,管理良好,全部为 4 年生以上成龄树。硬枝枝条采自'117D'、'青皮'和'110C'3 个品种,采样时间为 2018 年 2 月 28 日。从树体上选择健壮的一年生枝,剪裁成 50 cm 左右的长度,每 20 根打成一捆,标记品种。2018 年 3 月 1 日进行不同剂量的辐射处理。

绿枝枝条采自'108B'和'110C'2 个品种,采样时间为 2018 年 5 月 4 日。'108B'新梢的剪取长度为 40 cm 左右,'110C'新梢的剪取长度为 25 cm 左右,每个新梢含有 7~9 个腋芽,去除叶片后每 25 根打成一捆,标记品种,湿布包裹保湿。采样 2 h 后进行不同剂量的辐射处理。

1.2 方 法

$^{60}\text{Co-}\gamma$ 辐射处理在北京师范大学生物辐射中心

进行,辐射距离 37 cm。综合前人在不同植物上的试验结果,将硬枝插条处理的最高剂量设置为 160 J/kg,采用半分法设置 80 和 40 J/kg 的递减处理剂量,以 0 辐射为对照,处理时剂量率为 4 J/(kg·min),每个品种每个处理剂量设 3 次重复。辐射处理后,按照无花果硬枝扦插繁殖的常规方法,在芽上端留 1.5~2.0 cm 平剪,并进行封蜡,插条下端 45°斜剪并快速蘸取体积分数为 0.04% 的 IBA,插条总长度 13 cm 左右。日光温室做畦扦插,常规管理。

参考前人^[16-18]对不同植物的处理剂量,以及 3 个品种硬枝插条对辐射处理的初步反应,对绿枝枝条的最大辐射剂量设为 200 J/kg,采用半分法设置 100 和 50 J/kg 共 2 个递减剂量,以 0 辐射为对照,每个剂量 3 个重复,剂量率 5 J/(kg·min)。辐射处理后,将新梢剪分为基部芽段(从基部往上第 2 和 3 个芽)、中部芽段(从基部往上第 4 和 5 个芽)和上部芽段(从基部往上第 6 和 7 个芽)3 组,分别进行单芽水培。芽上端留 1 cm 左右平剪,下端 45°倾斜。用塑料泡沫制成带孔浮板,插条插入浮板孔中并浮于水槽每 2 d 换水一次,水温 15~25 °C,水槽和绿枝材料置于玻璃连栋温室中,温室内的温度为 15~30 °C,光照为连栋温室内的日光条件。

1.3 试验观测和数据分析

硬枝插条扦插后从第 40 天开始记录萌芽和插条成活情况,每 7 或 10 d 观测 1 次。萌芽稳定之后的最后一次观测结果(5 月 13 日)作为实际成活率。成活标准是冬芽萌发及新梢正常发育。

绿枝插条水培后从第 11 天开始记录萌芽情况,每 5 d 观测 1 次,第 31 天的观测结果作为最后萌芽率。萌芽标准是腋芽萌发,至少长出 2 片嫩叶并正常生长。同时对绿枝插条的不定根形成进行记录。

采用 Excel 2007 处理试验数据,采用 Duncan 检验法进行多重比较,结果用字母法进行标记。

2 结果与分析

2.1 辐射剂量对不同品种无花果硬枝插条成活率的影响

对 3 个无花果品种的插条进行辐射处理、扦插、管护和观察。经辐射处理的插条的外观在 2 个月左右的时间里与对照没有差异。扦插 1 个月后,开始有插条逐渐萌芽,而不能萌芽的插条在 2 个月后开始逐渐抽干,到扦插 3 个月后,从外观可以明确区分

存活和死亡的插条,并进行统计分析。

3 个无花果品种对不同剂量辐射处理的耐受表现出明显的差异,统计分析表明 110C 和青皮 2 个品种在 0、40 和 80 J/kg 辐射剂量处理下,插条的成活率存在极显著差异,而 80 和 160 J/kg 辐射剂量处理之间成活率没有显著差异。117D 品种对 40、80 和 160 J/kg 的辐射处理存在插条成活率间的极显著差异,而 40 J/kg 辐射处理与对照之间达到显著差异水平(表 1)。

160 J/kg 辐射剂量的处理导致了 3 个参试品种硬枝插条完全不能萌发,说明此辐射剂量超过了无花果一年生插条能够耐受的致死剂量,试验的最大辐射剂量设置合理。在较低的辐射剂量处理条件下,不同品种插条的耐受度不同。‘117D’对辐射剂量的耐受度最强,在 80 和 40 J/kg 时成活率分别为 15.8% 和 83.3%。‘110C’对辐射剂量的耐受度居中,40 J/kg 辐射剂量的处理具有 45.8% 的成活率。而‘青皮’对辐射剂量的耐受度最低,40 J/kg 辐射剂量的处理仅有 20.1% 的成活率(表 1)。3 个品种对辐射剂量耐受度的差异可能与品种特性或枝条的生理状态有关。

还观察到,经辐射处理的萌芽插条与对照相比存在着长势的不同,部分插条萌芽后表现出生长迟滞的现象。将生长迟滞的插条挖出后仅可见少量的不定根,由此推测辐射处理对插条韧皮部形成层的细胞具有杀伤力,影响了不定根的形成和新梢的生长。

2.2 辐射剂量对不同品种无花果绿枝插条萌芽率的影响

2.2.1 对‘110C’绿枝插条萌芽率的影响

绿枝插条经辐射处理并水培后,从第 7 天左右开始萌芽,随着水培时间的延长,经辐射处理的单芽茎段的萌芽出现死亡,造成统计数据上萌芽率的下降趋势,这一现象与辐射处理抑制新梢生长并影响新梢发育的报道相一致^[19]。对照各部位插条的萌芽率随水培时间的延长表现出上升的趋势,三部位对照的单芽茎段插条分别在水培后 21、21 和 26 d 达到萌发率高点并维持至观测末期。

辐射处理后 31 d 对绿枝插条萌芽率进行移栽前统计,结果表明:随着辐射剂量的降低,3 个不同部位来源的‘110C’绿枝插条萌芽率均呈显著的上升趋势。其中辐射剂量为 200 J/kg 时,3 个部位来源的绿枝插条均不能萌芽;当辐射剂量为 100 J/kg

表1 辐射诱变处理不同品种无花果硬枝插条的成活率

Table 1 The survival rate of different varieties of fig hardwood cuttings by irradiation mutagenesis

品种 Variety	辐射剂量/(J/kg) Irradiation dosage	插条数 Number of cuttings	成活数 Number of survivals	成活率/% Survival rate
117D	160	33	0	0.0±0.00 Aa
	80	38	6	15.8±0.74 Bb
	40	36	30	83.3±0.00 Cc
	0	35	31	88.6±4.61Cd
青皮	160	55	0	0.0±0.00 Aa
	80	92	0	0.0±0.00 Aa
	40	64	11	17.2±2.54 Bb
	0	48	41	85.4±3.61 Cc
110C	160	136	0	0.0±0.00 Aa
	80	206	4	1.9±0.74 Bb
	40	226	93	41.2±0.31 Bb
	0	50	45	90.0±3.18 Cc

注:不同小写字母表示经邓肯法检测在0.05水平下显著差异;不同大写字母表示经邓肯法检测在0.01水平下极显著差异。下表同。

Note: Different lowercase letters indicate significant differences at the 0.05 level by the Duncan method; Different capital letters indicate extremely significant differences at 0.01 levels by Duncan method. The same in the following Tables.

时,来自绿枝基部的单芽茎段仍完全不能萌发,而来自中部和上部的单芽茎段的萌芽率分别可达39.4%和37.5%。显著性分析表明,‘110C’新梢中部和中部的插段,对200、100、50和0 J/kg的辐射处理,萌芽率间存在极显著差异,而新梢基部插条对辐射的耐受显著低于新梢中部和上部插条,新梢基部插条对200和100 J/kg辐射剂量的耐受无显著差异,100、50和0 J/kg处理间的插条萌芽率均存在显著差异(表2)。

2.2.2 对‘108B’绿枝插条萌芽率的影响

无花果品种‘108B’的绿枝插条对辐射剂量的耐受,整体趋势上与‘110C’相同。由表3可见,随着辐射剂量的降低,3个不同部位来源的‘108B’绿枝插条萌芽率也呈现出显著的上升趋势。同时‘108B’品种的插条,也表现了比‘110C’更高的对辐射的耐受。来自新梢上部的插条在100和50 J/kg的辐射剂量下,萌芽率无显著差异,而它们与200和0 J/kg辐射剂量处理后的萌芽率均达到极显著差

异水平。新梢中部的插条对50和0 J/kg辐射处理不存在显著差异,而200、100和50 J/kg辐射剂量间的萌芽率均存在极显著差异。新梢基部插条对200和100 J/kg的辐射处理响应无显著差异,而100、50和0 J/kg处理后的新梢萌芽率间均存在极显著差异(表3)。

2.2.3 对绿枝插条节间愈伤组织和不定根形成的影响

由图1可见,未经辐射处理的无花果单芽绿枝插条会在节间组织的表面产生愈伤组织并形成不定根。随着辐射剂量的增加,节间组织表面形成的愈伤组织和不定根数量相应减少。当辐射剂量为200 J/kg时(致死剂量),在处理30 d左右随着不能萌发的芽逐渐褐变并死亡,同时节间组织也逐渐褐变死亡。由此推断,辐射处理对绿枝插条节间组织具有分生能力的细胞存在潜在的杀伤力,能显著抑制愈伤组织和不定根的形成。

表 2 辐射诱变处理对‘110C’无花果绿枝插条萌芽率的影响

Table 2 Effect of irradiation mutagenesis on the bud break rate of fig cultivar ‘110C’ young shoot cuttings

辐射剂量/(J/kg) Irradiation dosage	枝条部位 Shoot Site	插条数 Number of cuttings	萌芽数 Number of bud breaking					萌芽率/% Bud breaking rate
			11 d	16 d	21 d	26 d	31 d	
			200	上部	33	3	0	
	中部	36	7	0	0	0	0	0±0.00 Aa
	基部	30	3	0	0	0	0	0±0.00 Aa
100	上部	32	17	12	12	12	12	37.5±2.10 Bb
	中部	33	20	15	13	13	13	39.4±5.25 Bb
	基部	31	13	0	0	0	0	0±0.00 Aa
50	上部	31	25	25	25	21	18	58.1±3.15 Cc
	中部	33	28	27	26	26	26	78.8±5.25 Cc
	基部	36	25	24	22	22	18	50.0±0.00 Bb
0	上部	20	13	17	18	19	19	95.0±8.25 Dd
	中部	19	15	16	18	18	18	94.7±8.25 Dd
	基部	19	14	17	18	18	18	94.7±8.25 Cc

表 3 辐射诱变处理对‘108B’无花果绿枝插条萌芽率的影响

Table 3 Effect of irradiation mutagenesis on the bud break rate of fig cultivar ‘108B’ young shoot cuttings

辐射剂量/(J/kg) Irradiation dosage	枝条部位 Shoot Site	插条数 Number of cuttings	萌芽数 Number of bud breaking					萌芽率/% Bud breaking rate
			11 d	16 d	21 d	26 d	31 d	
			200	上部	34	10	6	
	中部	33	3	1	1	0	0	0±0.00 Aa
	基部	32	3	0	0	0	0	0±0.00 Aa
100	上部	36	17	32	32	31	31	86.1±4.81 Bb
	中部	31	10	12	12	12	10	32.3±3.67 Bb
	基部	31	3	0	0	0	0	0±0.00 Aa
50	上部	35	32	32	32	31	31	88.6±4.61 Bb
	中部	33	30	30	29	28	28	84.9±5.25 Cc
	基部	38	25	18	14	13	13	34.2±3.92 Bb
0	上部	23	15	21	22	23	23	100.0±0.00 Cc
	中部	24	15	20	23	23	23	95.8±7.22 Cd
	基部	25	15	22	22	24	24	96.0±6.42 Cc



黑色箭头指示节间愈伤组织和不定根的形成。

Black arrows indicate the callus and adventitious root formation from the internodes.

图1 辐射诱变处理对无花果绿枝插条愈伤组织和不定根形成影响

Fig. 1 Effect of irradiation mutagenesis treatment on callus and adventitious root formation of fig young shoot cuttings

3 讨论

3.1 无花果不同品种和不同繁殖材料对辐射处理的耐受度

以往的研究发现,同一物种不同品种的材料可表现出对 $^{60}\text{Co}-\gamma$ 辐射处理的耐受度不同,这一现象在月季^[20]、桂花^[21]和不同果树^[12,15]中均有报道,例如 $^{60}\text{Co}-\gamma$ 射线对‘籽银桂’的影响程度大于‘潢川金桂’。本研究在无花果中同样观测到了这一现象,不同品种的无花果表现出对辐射剂量的耐受度差别。一年生硬枝插条对辐射剂量的耐受度表现为‘117D’>‘110C’>‘青皮’(表1),绿枝插条材料对辐射剂量的耐受度表现为‘108B’>‘110C’(表2和3)。这些结果进一步支持了前人的发现。

同时,本研究还发现不同发育阶段的植物材料对辐射剂量的耐受度表现一定的差异性。‘108B’绿枝插条单芽茎段的萌发结果表明,较为幼嫩的上部单芽茎段材料对辐射的耐受度最好,具体表现为绿枝上部单芽茎段>绿枝中部单芽茎段>绿枝基部单芽茎段(表3)。虽然‘110C’绿枝上部单芽茎段的萌芽率要低于中部单芽茎段的萌芽率,但仍高于‘110C’绿枝基部单芽茎段和一年生硬枝插条茎段的萌芽率(表1和2),出现这一现象的原因可能是截取的‘110C’绿枝插条长度约为25 cm,要小于同期‘108B’截取的绿枝插条长度(40 cm),‘110C’的

绿枝/新梢生长发育要晚于同期的‘108B’。结合以上分析,本研究认为 $^{60}\text{Co}-\gamma$ 辐射针对大多数无花果品种硬枝插条的半致死剂量为40~80 J/kg,而绿枝插条的半致死剂量多为50~100 J/kg。李志英等^[22]建议采用适宜辐射剂量对植物材料进行辐射处理可以获得较好的诱变效率,理论上更高剂量的辐射处理更有利于芽突变体的获得,因此利用无花果绿枝插条中上部茎段的材料,可能有利于获得更高频率的芽突变。

3.2 无花果的良种繁育与辐射诱变育种的衔接

无花果按其授粉及花的类型可分为4种:普通型、斯米尔那型、原生型和中间型^[3]。普通型无花果单性结实,不需要授粉即可获得满足商业生产需要的产量。全世界广泛种植的优秀无花果品种多属普通型,在我国因为无授粉小黄蜂和雄树,全部使用普通型品种。无花果的无性繁殖能力强,良种繁育可采用扦插、分株、压条和嫁接等方法,扦插繁殖是规模化繁殖无花果的常规方式。

在育种实践中,无花果虽可采用经典的杂交育种手段进行新品种的选育,但由于无花果具有遗传背景高杂合、雌雄异株,优秀雄树资源少,杂交育种很难短期内实现将优良品种生产特性集中提炼,形成具有市场价值的超亲品种的目标。此外,由于无花果特殊的内生花结构,杂交育种难度大,使得芽变选种成为获得无花果新品种的首要途径,也是今天世界各地广泛种植 of 无花果品种的主要来源。通过辐射诱变育种可以显著提高芽变发生率,为新品种优选提供一个广泛的基因变异库。

无花果具有当年扦插,硬枝形成的植株当年即可少量结果,嫩枝扦插的材料第二年也可结果的特点,与杂交和实生苗选种具有童期相比,进入果实评估期速度快,选种效率高。优选出的诱变优株,可以通过扦插,迅速繁殖,进入中试评估或生产,在3~4年完成一个选育周期。目前,针对新疆特色无花果产业发展的实际需要和品种更新的需求,本研究率先在国内开展了无花果的辐射诱变育种工作,主要通过不同剂量的 $^{60}\text{Co}-\gamma$ 辐射处理,探索不同无花果品种不同生长发育阶段枝条的适宜辐射剂量范围,以期今后开展大规模的无花果辐射育种工作奠定基础。

参考文献 References

[1] 周爱琴,李春丽,王然,沈元月. 无花果果实发育形态学观察

- [J]. 北京农学院学报, 2016, 31(4): 17-20
- Zhou A Q, Li C L, Wang R, Shen Y Y. Morphological observation on fig fruit development[J]. *Journal of Beijing University of Agriculture*, 2016, 31(4): 17-20 (in Chinese)
- [2] 沈元月. 我国无花果发展现状、问题及对策[J]. 中国园艺文摘, 2018(2): 75-78
- Shen Y Y. Current situation, problems and solutions of fig development in China[J]. *Chinese Horticulture Abstracts*, 2018, (2): 75-78 (in Chinese)
- [3] Flaishman M A, Rodov V, Stover E. The fig: Botany, horticulture and breeding[J]. *Horticultural Review*, 2008, 34: 113-196
- [4] 徐翔宇, 曾令宜, 张文, 马会勤. 无花果新品种“紫宝”[J]. 园艺学报, 2016, 43(3): 1623-1624
- Xu X Y, Zeng L Y, Zhang W, Ma H Q. A new fig cultivar ‘Zi Bao’[J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2016, 43(3): 1623-1624 (in Chinese)
- [5] 沈火林. 园艺植物育种学[M]. 北京: 中央广播电视大学出版社, 2014: 129-135
- Shen H L. *Horticultural Plant Breeding* [M]. Beijing: Central Radio and Television University Press, 2011: 129-135 (in Chinese)
- [6] 陈青华, 姜全, 郭继英, 赵剑波. 落叶果树辐射诱变育种的研究进展[J]. 落叶果树, 2005, (6): 12-14
- Chen Q H, Jiang Q, Guo J Y, Zhao J B. Advances in radiation induced mutation breeding of deciduous fruit trees[J]. *Deciduous Fruits*, 2005, (6): 12-14 (in Chinese)
- [7] 范建新, 邓仁菊, 李金强. 果树诱变育种研究进展[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(22): 9455-9457, 9598
- Fan J X, Deng R J, Li J Q. Research advance in the induced mutation breeding of fruit tree[J]. *Anhui Agricultural Sciences*, 2008, 36(22): 9455-9457, 9598 (in Chinese)
- [8] 陈秋芳, 王敏, 何美美, 王娟, 田建保. 果树辐射诱变育种研究进展[J]. 中国农学通报, 2007, 23(1): 240-243
- Chen Q F, Wang M, He M M, Wang J, Tian J B. Advances in induced mutation breeding by radiation for fruit plants[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2007, 23(1): 240-243 (in Chinese)
- [9] Hirano T, Kazama Y, Ishii K, Ohbu S, Shirakawa Y, Abe T. Comprehensive identification of mutations induced by heavy-ion beam irradiation in *Arabidopsis thaliana* [J]. *The Plant Journal*, 2015, 82: 93-104
- [10] Shirasawa K, Hirakawa H, Nunome T, Tabata S, Isobe S. Genome-wide survey of artificial mutations induced by ethyl methanesulfonate and gamma rays in tomato[J]. *Plant Biotechnology Journal*, 2016, 14: 51-60
- [11] 杨振, 李疆, 梅闯, 木合塔尔·扎热, 覃伟铭. ⁶⁰Co-γ 辐射对库尔勒香梨枝条当代诱变效应初报[J]. 新疆农业科学, 2012, 9(5): 848-855
- Yang Z, Li J, Mei C, Mohtar Z, Qin W M. Radiation effects of ⁶⁰Co-γ rays on branches of Korla Fragrant pear[J]. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2012, 49(5): 848-855 (in Chinese)
- [12] 张玉娇, 杨峰, 赵林, 师忠轩, 徐秀丽. 金帅和嘎拉苹果⁶⁰Co-γ 辐射诱变效应的初步研究[J]. 江西农业学报, 2012, 24(5): 76-77
- Zhang Y J, Yang F, Zhao L, Shi Z X, Xu X L. Preliminary study on mutagenic effects of ⁶⁰Co-γ irradiation on Golden Delicious apple and Gala apple[J]. *Acta Agriculturae Jiangxi*, 2012, 24(5): 76-77 (in Chinese)
- [13] 王平, 唐小浪, 马培恰, 陈杰忠, 吴文, 黄永敬. 辐射诱变和芽变柑橘品种(系)的 AFLP 分析[J]. 果树学报, 2012, 29(1): 130-134
- Wang P, Tang X L, Ma P Q, Chen J Z, Wu W, Huang Y J. Studies on the citrus cultivars (strains) from radiation breeding and bud mutant selection by AFLP[J]. *Journal of Fruit Science*, 2012, 29(1): 130-134 (in Chinese)
- [14] 杜保伟, 张建鹏, 尚霄丽, 李涵, 李靖. ⁶⁰Co-γ 射线辐照和低温贮藏对李花粉发芽率的影响[J]. 江苏农业科学, 2012, 40(8): 138-140
- Du B W, Zhang J P, Shang X L, Li H, Li J. Effect of ⁶⁰Co-γ irradiation and low temperature storage on plum pollen germination rate[J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2012, 40(8): 138-140 (in Chinese)
- [15] 叶开玉, 李浩维, 蒋桥生, 龚弘娟, 张静翹. 猕猴桃⁶⁰Co-γ 射线辐射诱变育种适宜剂量的研究[J]. 广西植物, 2012, 32(5): 694-697
- Ye K Y, Li H W, Jiang Q S, Gong H J, Zhang J C. Search for proper dose of ⁶⁰Co-γ ray in *Actinidia chinensis* radiation breeding[J]. *Guihaia*, 2012, 32(5): 694-697 (in Chinese)
- [16] 黄桂丹. ⁶⁰Co-γ 射线辐射育种研究进展[J]. 林业与环境科学, 2016, 32(2): 107-111
- Huang G D. Research progress for ⁶⁰Co-γ ray radiation breeding[J]. *Forestry and Environmental Science*, 2016, 32(2): 107-111 (in Chinese)
- [17] 杨兆民, 张璐. 辐射诱变技术在农业育种中的应用与探析[J]. 基因组学与应用生物学, 2011, 30(1): 87-91
- Yang Z M, Zang L. Radiation mutation breeding in agriculture technology application and analysis[J]. *Genomics and Applied Biology*, 2011, 30(1): 87-91 (in Chinese)
- [18] 吴潇, 齐开杰, 殷豪, 张绍铃. 诱变技术在落叶果树育种中的应用[J]. 园艺学报, 2016, 43(9): 1633-1652

- Wu X, Qi K J, Yin H, Zhang Z L. Applying of the induced mutation techniques in the breeding of deciduous fruit tree varieties[J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2016, 43 (9): 1633-1652 (in Chinese)
- [19] 台德强, 田信, 耿惠, 姚允聪, 刘和. ^{60}Co - γ 辐射对 3 种变色叶类观赏海棠的诱变效应[J]. *果树学报*, 2015, 32(5): 806-814
- Tai D Q, Tian J, Geng H, Yao Y C, Liu H. Mutagenic effects of ^{60}Co - γ irradiation on three spring-red-leaf crab apple cultivars [J]. *Journal of Fruit Science*, 2015, 32 (5): 806-814 (in Chinese)
- [20] 闫海霞, 王晓国, 蒋月喜, 关世凯, 黄昌艳, 何荆洲, 邓杰玲, 卜朝阳. 两种月季的 ^{60}Co - γ 射线辐射敏感性及半致死剂量研究[J]. *西南农业学报*, 2017, 30(8): 1877-1881
- Yan H X, Wang X G, Jiang Y X, Guan S K, Huang C Y, He J Z, Deng J L, Bu Z Y. Sensitivity and medial lethal dose of two roses to ^{60}Co - γ -rays[J]. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2017, 30(8): 1877-1881 (in Chinese)
- [21] 李瑜, 王萍, 耿兴敏, 杨秀莲, 李娜, 王良桂. ^{60}Co - γ 辐射对桂花幼苗生长及生理指标的影响[J]. *西北农业学报*, 2017, 26(1): 61-69
- Li Y, Wang P, Geng X M, Yang X L, Li N, Wang L G. Effect of ^{60}Co - γ irradiation on seedling growth and physiological indexes of *Osmanthus fragrans* [J]. *Acta Agriculturae Borealioccidentalis Sinica*, 2017, 26(1): 61-69 (in Chinese)
- [22] 李志英, 宋林亭, 蒋亲贤. ^{60}Co - γ 射线诱发梨的短枝型变异的探讨[J]. *核农学报*, 1988(4): 193-199
- Li Z Y, Song L T, Jiang Q X. The variation of short branch type pear induced by ^{60}Co - γ ray irradiation[J]. *Acta Agriculturae Nucleatae Sinica*, 1988(4): 193-199 (in Chinese)

责任编辑: 王燕华