

^{60}Co - γ 射线辐射对西瓜着花及果实性状的影响

陈亮, 李玉明, 杨世梅, 陈年来

(甘肃农业大学园艺学院 兰州 730070)

摘要: 为了探索辐射育种适宜的辐射剂量, 用 7 个剂量 ^{60}Co - γ 射线辐射西瓜干种子, 观测了不同辐射剂量对西瓜着花节位、单果质量、果实纵横径、果皮厚度和果实可溶性固形物含量等的影响。结果发现, 不同剂量 ^{60}Co - γ 射线辐射处理对西瓜第一雄花着花节位无显著影响, 350 Gy 及以上剂量辐射处理显著降低中等种子和小种子材料的西瓜第一雌花着花节位, 但对大种子材料无显著影响; 800 Gy 及以上剂量辐射处理对西瓜果实性状产生显著的抑制作用, 小种子材料比大种子、中等种子材料对辐射更敏感; 随辐射剂量增大, ^{60}Co - γ 射线对西瓜着花和果实性状的抑制作用逐渐增强, 西瓜干种子 ^{60}Co - γ 辐射的适宜剂量为 200~500 Gy, 不同质量西瓜干种子对 ^{60}Co - γ 辐射的敏感性表现为小种子材料 > 中等种子材料 > 大种子材料。

关键词: 西瓜; ^{60}Co - γ 辐射; 着花节位; 果实性状; 辐射敏感性

Effects of ^{60}Co - γ irradiation on flower setting and fruit properties of watermelon

CHEN Liang, LI Yuming, YANG Shimei, CHEN Nianlai

(College of Horticulture, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, Gansu, China)

Abstract: The effects of different doses of ^{60}Co - γ radiation on flower setting and fruit properties were investigated. The dry seeds of watermelon were irradiated under 7 dosages of ^{60}Co - γ radiation, the effects of ^{60}Co - γ radiation on node position of watermelon flowers, fruit weight, fruit vertical diameter and transect diameters, fruit peel thickness and soluble solid content (SSC) were determined. The results showed that ^{60}Co - γ radiation had no significant effect on staminate flower setting node of watermelon. ^{60}Co - γ radiation at the dosage of 350 Gy or above significantly decreased the setting node of female flowers in the middle and small seed cultivars but not the large seed ones. Significant inhibiting effect on fruit properties was observed in radiation treatments at 800 and 950 Gy. The results suggested that the effects of ^{60}Co - γ radiation on flower setting and fruit properties increased as the dosage heightened, the optimum radiation dosage for dry seeds of watermelon were between 200 Gy and 500 Gy, and the sensitivity of watermelon cultivars with different seed mass to ^{60}Co - γ radiation was small seed cultivars > middle seed ones > large seed ones.

Key words: Watermelon; ^{60}Co - γ irradiation; Flower setting position; Fruit property; Radio-sensitivity

西瓜 [*Citrullus lanatus* (Thunb.) Matsum. & Nakai] 是葫芦科西瓜属一年生蔓性草本植物, 瓜瓤脆嫩, 味甜多汁, 含有丰富的矿物盐和多种维生素, 是夏季主要的消暑果品^[1]。随着人们对西瓜品种的品质和类型提出更高和更多样化的要求, 遗传基础狭窄的现有西瓜材料难以满足育种工作的需要^[2], 急需利用新技术、新方法创新和丰富西瓜种质资源。 ^{60}Co - γ 射线辐射具有诱变频率高、变异范围广、育种周期短、使用方法简单等特点而成为最重要、最常见的诱变育种方法之一^[3-5], 到 20 世纪 80 年代,

^{60}Co - γ 射线辐射诱变技术逐渐发展成为一种成熟的综合性育种技术, 被广泛地应用于各种作物育种实践^[6-11]。采用适宜的辐射剂量是辐射育种中的重点, 适宜辐射剂量因作物种属、类型、品种、器官、组织、细胞和状态的不同而存在着明显的差异^[12], 适宜剂量的选择与品种间的辐射敏感性有极大的关系, 不同种类或同一种类的不同品种对 ^{60}Co - γ 射线的辐射敏感性不同^[13], 只有准确把握各品种间的辐射敏感性, 才能正确选择该品种的适宜辐射剂量, 进而引发基因突变创新种质资源。然而采用 ^{60}Co - γ 射线辐

收稿日期: 2016-01-21; 修回日期: 2016-03-05

基金项目: 甘肃省农业生物技术开发应用专项(GNSW-2010-19)

作者简介: 陈亮, 男, 硕士研究生, 研究方向为蔬菜栽培生理与技术。E-mail: chenliang144358@163.com

通信作者: 陈年来, 男, 教授, 博士生导师, 主要从事蔬菜栽培生理与生态研究工作。E-mail: chennl@gsau.edu.cn

射西瓜干种子来研究西瓜品种间辐射敏感性的相关报道很少。

笔者以种子质量不同的12个西瓜品种为材料,应用7个剂量的⁶⁰Co-γ射线辐射西瓜干种子,通过测定分析辐射后西瓜植株着花和果实性状等指标的变化,探讨西瓜干种子的适宜辐射剂量、不同质量西瓜种子的辐射敏感性,以期西瓜辐射诱变育种工作中适宜辐射剂量的选择提供依据。

1 材料与方 法

1.1 材 料

供试西瓜品种12个(表1),由国家蔬菜工程技术中心和甘肃农业大学瓜类研究所提供。

表1 供试西瓜材料性状

种子质量组	品种名称或代码	千粒重/g	种子类型	种子来源
大种子材料(4份)	Aug-85	165	常规种	国家蔬菜工程技术中心
	双茨科	163	常规种	甘肃农业大学瓜类研究所
	白二号	224	常规种	甘肃农业大学瓜类研究所
	甜籽1号	280	杂交种	甘肃农业大学瓜类研究所
中等种子材料(4份)	238	87	常规种	国家蔬菜工程技术中心
	金城5号	92	杂交种	市购
	004-5	95	常规种	国家蔬菜工程技术中心
	西农8号	100	杂交种	市购
小种子材料(4份)	5	30	常规种	国家蔬菜工程技术中心
	京欣1号	47	杂交种	国家蔬菜工程技术中心
	483	53	常规种	国家蔬菜工程技术中心
	红籽黄瓢	67	常规种	甘肃农业大学瓜类研究所

1.2 辐 射 处 理

将12个品种的西瓜干种子装入自封袋内,每个处理(品种—剂量组合)选取健康饱满的种子300粒(3个重复,每个100粒)。于2012年在甘肃省天辰辐射公司进行⁶⁰Co-γ辐射,设7个辐照剂量,分别为50、200、350、500、650、800和950 Gy,剂量率为1.5 Gy·min⁻¹,以未进行辐射处理的种子为对照组0(CK)。处理后进行种子田间生产试验。

1.3 田 间 试 验

辐射材料的性状表现通过大田试验观察,试验于2013年5月在甘肃省民勤县薛百乡农技中心试验站(101°30' E, 38°30' N, 海拔1400 m)的大田进行。被辐射种子于2013年5月4日播种,深沟双垄覆膜栽培,无整枝,每处理3次重复,每次重复播种25穴,每穴播2粒种子,行株距为1.2 m×0.5 m。肥水管理与当地商品瓜田间管理相同。

1.4 测 定 指 标 与 方 法

1.4.1 西瓜着花节位 50%植株出现第1朵雌花后,每处理随机选取10株统计其第1雄花、雌花着花节位。

1.4.2 果实性状测定 采收期每处理随机摘取西瓜果实10个,用电子天平测量果实单果质量,直尺测量果实纵横径及果皮厚度,用手持式测糖仪(WYT型)测定果实中心部位可溶性固形物含量。

西瓜着花节位和果实性状测定的试验结果均取10株的平均值,然后按照种子大小分组取平均值。

1.5 数 据 处 理

试验数据采用SPSS 19.0数据处理系统进行差异显著性分析(P≤0.05),利用Microsoft Excel 2007进行数据记录和分析。

2 结 果 与 分 析

2.1 ⁶⁰Co-γ辐射对西瓜雄花着花节位的影响

随着⁶⁰Co-γ射线辐射剂量增加,西瓜植株第1雄花节位呈上升趋势(表2),除小种子品种外,各辐照剂量对大种子、中等种子品种的第1雄花节位均没有显著影响。小种子品种经350 Gy和500 Gy辐照后,西瓜植株第1雄花节位显著高于对照,第1雄花节位较对照分别升高了1.2、1.8节。说明对于小种子品种而言,辐射剂量越大,所产生的辐射效应越强。小种子品种辐射敏感性最强,而大种子品种和中等种子品种第1雄花节位对⁶⁰Co-γ射线辐照不敏感。

表2 不同剂量⁶⁰Co-γ射线辐射对西瓜材料第1雄花着花节位的影响

种子质量组	0(CK)	50 Gy	200 Gy	350 Gy	500 Gy	650 Gy	800 Gy	950 Gy
大种子	4.70 a	4.42 a	4.92 a	5.47 a	5.39 a	5.63 a	—	—
中等种子	5.20 a	5.42 a	5.71 a	5.66 a	6.17 a	6.34 a	—	—
小种子	3.71 c	3.36 c	4.02 bc	4.90 ab	5.46 a	5.10 ab	—	—

[注] 不同小写字母表示同行处理间差异显著水平(P≤0.05),后同;“—”表示该辐射剂量致死率过高数据未统计。

2.2 ⁶⁰Co-γ辐射对西瓜雌花着花节位的影响

随着⁶⁰Co-γ射线辐射剂量增加,西瓜植株第1雌花节位呈降低趋势,但各剂量对大种子品种的第

1雌花节位均没有显著影响,350 Gy及以上剂量显著降低中等种子和小种子品种的第1雌花节位(表3)。在200 Gy条件下,中、小种子品种第1雌花平

均着生节位分别较对照降低了 1.5、2.4 节,但差异未达显著水平。在 350、650 Gy 条件下,中、小种子品种第 1 雌花平均着生节位分别降低了 3.1、3.0 节

和 4.9、3.1 节,说明随辐射剂量的增加,辐射效应逐渐增强,小种子品种敏感性强于中等种子品种,大种子品种第 1 雌花节位对 ^{60}Co - γ 射线辐照不敏感。

表 3 不同剂量 ^{60}Co - γ 射线辐射对西瓜材料第 1 雌花着花节位的影响

种子质量组	0(CK)	50 Gy	200 Gy	350 Gy	500 Gy	650 Gy	800 Gy	950 Gy
大种子	10.38 a	9.34 a	9.77 a	7.80 a	7.82 a	7.19 a	—	—
中等种子	12.29 a	11.19 ab	10.75 ab	9.21 bc	9.02 bc	7.39 c	—	—
小种子	11.38 a	9.11 ab	8.99 ab	8.39 b	7.69 b	8.28 b	—	—

2.3 ^{60}Co - γ 辐射对西瓜果实单果质量的影响

随着 ^{60}Co - γ 射线辐射剂量的增加,西瓜单果质量呈现先增加后减少的趋势(图 1),但除 950 Gy 辐射条件外,其余辐射剂量均对各西瓜品种单果质量无显著影响,在 200 Gy 条件下,大、中、小种子品种平均单果质量分别较对照增加了 0.05、0.06、0.05 kg,增加了 2.96%、2.58%、3.18%,350 Gy 和 650 Gy 条件下,随着辐射剂量的增加西瓜单果质量逐渐减少,但差异均未达到显著水平,800 Gy 辐射后,小种子品种单果质量显著减少,较对照减少了 0.9 kg,这说明低剂量辐射处理对西瓜单果质量没有显著影响,小种子品种对 ^{60}Co - γ 射线辐射敏感性最强,大种子品种西瓜果实单果质量对 ^{60}Co - γ 射线辐射不敏感。

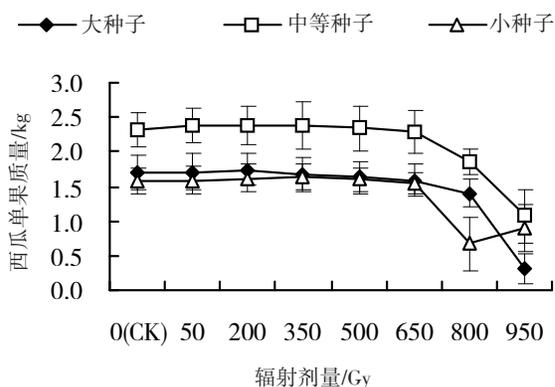


图 1 不同剂量 ^{60}Co - γ 射线辐射对西瓜材料单果质量的影响

2.4 ^{60}Co - γ 辐射对西瓜果实纵径横径的影响

随着 ^{60}Co - γ 射线辐射剂量的增加,西瓜果实纵径横径呈现先增加后减少的趋势(图 2、图 3),这与西瓜果实单果质量的变化趋势相一致。在 50~650 Gy 范围内,各剂量对大、中、小种子品种西瓜果实纵径均没有显著影响,200 Gy 和 350 Gy 条件下,大、中、小种子品种果实纵径分别较对照增加了 1.40%、1.14%、1.42%和 0.66%、1.08%、0.12%,但差异均未

达显著水平。800 Gy 条件下,大种子品种对 ^{60}Co - γ 射线辐射不敏感,中等种子品种次之,小种子品种最敏感,中等种子和小种子品种的果实纵径分别较对照减少了 2.49、8.36 cm,减少了 13.48%、51.76%,小种子品种敏感性强于中等种子品种。

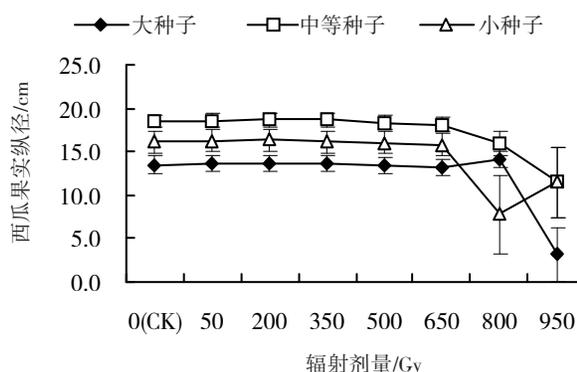


图 2 不同剂量 ^{60}Co - γ 射线辐射对西瓜果实纵径的影响

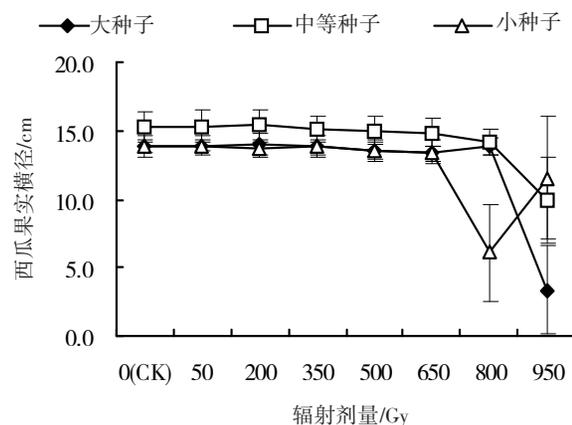


图 3 不同剂量 ^{60}Co - γ 射线辐射对西瓜果实横径的影响

在 50~800 Gy 剂量范围内,各辐射剂量对大种子品种和中等种子品种西瓜果实横径均没有显著影响。800 Gy 辐射剂量显著减少了小种子品种西瓜果实横径,果实横径较对照减少了 7.74 cm,小种子品种的辐射敏感性最强,而大种子和中等种子品

种对 ^{60}Co - γ 射线辐射不敏感。在 200 Gy 条件下,大种子品种和中等种子品种果实横径分别较对照增加了 1.37%、0.98%,而小种子品种果实横径较对照减少了 0.87%。500 Gy 辐射剂量下,大、中、小种子品种果实横径分别较对照减少了 1.45%、1.77%和 2.24%,中等种子的辐射敏感性强于大种子品种的,在 650 Gy 条件下,大、中、小种子品种的果实横径分别较对照减少了 2.75%、2.49%和 3.97%,差异均未达显著水平,说明辐射剂量逐渐增大,其对西瓜果实横径的抑制作用逐渐增强。

2.5 ^{60}Co - γ 辐射对西瓜果皮厚度的影响

随着 ^{60}Co - γ 射线辐射剂量的增加,在 50~650 Gy 剂

量范围,西瓜果皮厚度呈现增加趋势(表 4),但各辐射剂量对大、中、小种子品种的果皮厚度均没有显著影响。200 Gy 条件下,大种子品种、中等种子品种和小种子品种果皮厚度分别较对照增加了 0.09、0.07、0.06 cm,差异未达显著水平。在 500 Gy 条件下,大、中、小种子品种果皮厚度分别较对照增加了 0.14、0.13、0.10 cm,差异也未达显著水平。500 Gy 及以上剂量辐射后对大、中、小种子品种的果皮厚度无显著影响。说明随着辐射剂量的增加,辐射效应逐渐加强,其辐射的损伤作用也在不断增强,大、中、小种子品种西瓜果皮厚度对 ^{60}Co - γ 射线辐射不敏感。

表 4 不同剂量 ^{60}Co - γ 射线辐射对西瓜果皮厚度的影响

种子质量组	0(CK)	50 Gy	200 Gy	350 Gy	500 Gy	650 Gy	800 Gy	950 Gy
大种子	1.01 a	1.06 a	1.10 a	1.12 a	1.15 a	1.24 a	0.89 a	0.93 a
中等种子	0.81 a	0.84 a	0.88 a	0.89 a	0.94 a	0.96 a	1.16 a	0.87 a
小种子	0.76 a	0.79 a	0.82 a	0.83 a	0.86 a	0.90 a	0.44 a	0.82 a

2.6 ^{60}Co - γ 辐射对西瓜果实可溶性固形物含量的影响

随着 ^{60}Co - γ 射线辐射剂量的增加,西瓜果实可溶性固形物含量呈现先升高后降低的趋势(表 5)。但在 50~950 Gy 剂量范围,各辐射剂量对大种子品种的果实可溶性固形物含量均没有显著影响。在 800 Gy 条件下,小种子品种果实可溶性固形物含量较对照显著降低了 52.31%,大种子品种对 ^{60}Co - γ 射线辐射不敏感。200 Gy 辐射后,大、中、小种子品种

果实可溶性固形物含量较对照升高了 6.65%、0.68%、1.75%,但差异均不显著。350 Gy 辐射后,大种子品种和小种子品种果实可溶性固形物含量较对照升高了 4.25%、2.88%,中等种子品种的较对照降低了 3.18%,差异不显著。在 650 Gy 条件下,大、中、小种子品种果实可溶性固形物含量较对照降低了 9.06%、9.74%、2.67%,说明随着辐射剂量逐渐增加, ^{60}Co - γ 辐射效应逐渐增强。小种子品种的辐射敏感性强于中等种子品种。

表 5 不同剂量 ^{60}Co - γ 射线辐射对西瓜果实可溶性固形物含量的影响

种子质量组	0(CK)	50 Gy	200 Gy	350 Gy	500 Gy	650 Gy	800 Gy	950 Gy
大种子	5.41 a	5.56 a	5.77 a	5.64 a	5.41 a	4.92 a	5.42 a	4.83 a
中等种子	10.37 a	10.46 a	10.44 a	10.04 a	9.86 a	9.36 a	7.44 ab	6.15 b
小种子	9.73 a	9.77 a	9.90 a	10.01 a	9.80 a	9.47 a	4.64 b	6.65 ab

3 讨论

对于辐射诱变育种而言,辐射剂量是辐射育种首先要考虑的问题,只有适宜的辐射剂量才能获得有效的诱变^[4]。有效的辐射处理可以提高果实的产量和品质。笔者用 7 个剂量的 ^{60}Co - γ 射线辐射种子质量不同的 12 个西瓜品种,对辐射后各西瓜品种的果实性状进行了测定,结果发现, ^{60}Co - γ 射线辐射均不同程度地影响了西瓜果实的生长。当辐射剂量较低(50~350 Gy)时,西瓜单果质量、果实可溶性

固形物含量均呈现增加趋势,当辐射剂量在 500 Gy 及以上时,西瓜果实单果质量、果实纵横径、果实可溶性固形物含量随着 ^{60}Co - γ 射线辐射剂量的增加而呈现减小趋势,这与吴海波等^[15]在研究 ^{60}Co - γ 射线辐射厚皮甜瓜品种‘金凤凰’‘金龙’‘雪里红’和‘伽师瓜’后得出的结论相一致。高剂量(800~950 Gy)辐射时,果实的生长发育明显受到抑制,且辐射剂量越高、抑制作用越强。高剂量辐射显著降低了果实单果质量和可溶性固形物含量,这可能是由于高辐射剂量显著影响了西瓜植株的正常生长,植株的

光合效率下降,同化产物积累减少,同化物向果实的运输受阻,导致果实单果质量和可溶性固形物含量显著下降;而适宜的辐射剂量对植株生长有刺激效应,使光合效率增强,将更多的光合同化产物转运至果实。陈日远等^[16]的研究证实了这一点;这也与王月华等^[17]研究草地早熟禾种子的研究结果相一致。杨虹等^[18]研究也发现,当辐射剂量较低(20 Gy)时,⁶⁰Co-γ射线能够促进苋菜种子种胚组织细胞的生长和分裂,辐射剂量超过100 Gy时,芽的后期生长受到抑制。因此,在西瓜辐射诱变育种研究中可使用中度辐射剂量来筛选目标性状,本试验中采用200~500 Gy的剂量辐射较为适宜。

不同种类作物的辐射敏感性不同,不同品种间也有差异^[13],因此实际试验中宜根据不同品种辐射敏感性来确定适宜的辐射剂量。史燕山等^[19]用⁶⁰Co-γ辐射‘晚香玉’的种球,根据半致死剂量确定出小种球的适宜辐射剂量为15~20 Gy,大种球的适宜辐射剂量为25~30 Gy,小种球的辐射敏感性强于大种球。这与本试验中小种子对辐射较大种子敏感性的结论相一致。有研究发现水稻^[7]、棉花^[20]的适宜辐射剂量为200~400 Gy,甘蓝型油菜^[21]的适宜辐射剂量为800~1200 Gy,番茄种子^[3]的适宜辐射剂量为400~600 Gy。以上研究结果与本试验得出的辐射敏感性的结论不一致,这可能是试验原材料的抗辐射能力不同造成的。辐射对不同植物以及同一植物的不同品种间所表现出的效应不一样,而且辐射对西瓜着花习性、果实生长的影响是不定向和多方面的。本试验在50~950 Gy辐射剂量条件下,观察了不同剂量⁶⁰Co-γ射线辐射对西瓜着花习性的影响,观察发现不同剂量辐射仅对西瓜第1雌花着花节位产生影响,而对西瓜第1雄花着花节位无显著影响,这可能是设置的辐射剂量梯度较小的缘故。试验又探讨了7个不同辐射剂量对西瓜果实单果质量、果实纵径和横径、果皮厚度以及果实可溶性固形物含量的影响,得出800 Gy及以上剂量辐射处理对西瓜果实性状产生显著的抑制作用的结论。而对于不同质量西瓜干种子适宜辐射剂量的确切值以及辐射对西瓜幼苗生理生化指标和其他生物学效应还有待进一步研究。植物不同器官、组织和细胞间及不同生育期的辐射敏感性存在差异,不同指标所反映作物的适宜辐射剂量及辐射敏感性大小也会有差异,因此开展对同一作物不同品种间辐射敏感性差异研究以及辐射敏感性差异机制研究仍具有重要意义。

4 结 论

用7个剂量⁶⁰Co-γ射线辐射西瓜干种子,随辐射剂量增大,⁶⁰Co-γ射线对西瓜着花和果实性状的抑制作用逐渐增强,西瓜干种子的适宜辐射剂量为200~500 Gy。不同质量西瓜干种子对⁶⁰Co-γ的辐射敏感性存在显著差异,表现为小种子材料>中等种子材料>大种子材料。

参考文献

- [1] 王聪艳,王彬,张肖,等. 温度对西瓜种子发芽的影响[J]. 安徽农业科学,2009,37(23): 10953-10954.
- [2] 李玉明. ⁶⁰Co-γ射线辐射对西瓜生长发育的影响[D]. 兰州: 甘肃农业大学,2013.
- [3] 朱宗文,查丁石,朱为民,等. ⁶⁰Co-γ射线辐射对番茄种子萌发及早期幼苗生长的影响[J]. 种子,2010,29(8): 15-22.
- [4] 刘振伟,史秀娟,任清盛,等. 生姜⁶⁰Co-γ辐射诱变育种研究[J]. 核农学报,2010,24(1): 36-40.
- [5] 蔡春菊,高健,牟少华. ⁶⁰Co-γ辐射对毛竹种子活力及早期幼苗生长的影响[J]. 核农学报,2007,21(5): 436-440.
- [6] 刘刚,任作瑛,贾利群,等. 辐射诱变新桑品种川799的育成[J]. 蚕桑通报,2006,37(1): 10-12.
- [7] 易卫平,彭伟正,彭选明,等. 湖南水稻辐射诱变创制新种质的研究进展与展望[J]. 湖南农业科学,2010(7): 1-2.
- [8] 包建忠,李风童,刘春贵,等. 大花君子兰新品种扬君1号选育与栽培技术[J]. 核农学报,2014,28(11): 1956-1962.
- [9] 胡钟东,闫承璞,曾明,等. 砂梨辐射育种试验初报[J]. 现代园艺,2013(2): 6-7.
- [10] 官春云,刘春林,陈社员,等. 辐射育种获得油菜(*Brassica napus*)高油酸材料[J]. 作物学报,2006,32(11): 1625-1629.
- [11] 唐小浪,马培恰,吴文,等. 少核‘年桔’的辐射育种研究[J]. 热带作物学报,2011,32(1): 46-49.
- [12] 俞法明,金庆生,周丽泉,等. ¹³⁷Cs-γ射线辐射对早籼稻种子发芽及幼苗生长的影响[J]. 浙江农业学报,2007,19(5): 329-333.
- [13] 唐蜻,臧巩固,赵立宁,等. 几个大麻品种种子辐射敏感性的初步确定[J]. 中国麻业科学,2011,33(5): 240-243.
- [14] 汉由之,明晓,张志翔. ⁶⁰Co-γ射线对黄毛草莓种子的辐射效应[J]. 江苏农业科学,2014,42(5): 153-155.
- [15] 吴海波,伊鸿平,张永兵,等. ⁶⁰Co-γ射线对厚皮甜瓜生长及果实性状的影响[J]. 新疆农业科学,2014,51(5): 810-816.
- [16] 陈日远,胡平湘,刘厚诚,等. 不同磷水平对节瓜叶片磷含量及开花结果习性的影响[C]//中国园艺学会. 中国园艺学会第四届青年学术讨论会论文集,2000: 405-408.
- [17] 王月华,韩烈保,尹淑霞,等. ⁶⁰Co-γ射线辐射对早熟禾种子发芽及种子内酶活性的影响[J]. 中国草地学报,2006,28(1): 54-57.
- [18] 杨虹,强继业. ⁶⁰Co-γ射线辐射对苋菜种子发芽率及幼苗生长的影响[J]. 甘肃农业科技,2009(2): 5-7.
- [19] 史燕山,骆建霞,赵国防,等. 晚香玉⁶⁰Co-γ射线辐射诱变适宜剂量的研究[J]. 园艺学报,2003,30(6): 748-750.
- [20] 孙君灵. 陆地棉品种γ射线诱变后代的遗传变异分析[D]. 北京: 中国农业大学,2005.
- [21] 陈光尧,王国槐,罗峰. 油菜辐射育种研究进展[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版),2007(S1): 16.