

紫外辐射诱导桃蚜 DNA 变异*

都二霞 郭剑文 赵惠燕**

(西北农林科技大学植物保护学院, 杨凌 712100)

【摘要】 利用微卫星标记技术分析不同剂量紫外线诱导下桃蚜 (*Myzus persicae*) 的 DNA 变异与分子多态性。根据 3 种引物的扩增图谱测出反映遗传变异程度的参数——多态位点率和基因多样性, 并进行了方差分析和聚类分析。结果表明, 不同紫外线照射时间 (2、4 和 6 h) 和照射强度 (15、30 和 45 W) 处理后, F_1 代桃蚜产生可遗传的变异致使 F_2 代的 DNA 发生变异, 且变异大小是由辐射时间和强度共同决定的。 F_2 代对照与 2、4 和 6 h 的处理平均多态位点率之间差异显著。对于平均基因多样性, 除 2 h 处理外其余处理均与对照差异显著, 且 2 h 处理低于对照; 根据遗传距离将桃蚜分为对照、2 h (15 和 30 W) 和其余处理 3 大类群, 此聚类分析与前述方差结果一致。

关键词 紫外辐射 遗传距离 桃蚜 变异 DNA 多态性

文章编号 1001-9332(2006)07-1245-05 中图分类号 S436.621.2+1 文献标识码 A

UV-induced DNA mutation of peach aphid. DU Erxia, GUO Jianwen, ZHAO Huiyan (College of Plant Protection, Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, Yangling 712100, China). -Chin. J. Appl. Ecol., 2006, 17(7): 1245 ~ 1249.

By using PCR technique and microsatellite marks, this paper studied the DNA polymorphism of peach aphid (*Myzus persicae*) under UV-radiation. The fragments of three primers were amplified, and the gene diversity and the rate of loci polymorphisms of their genomic DNA, which could reflect the damage degree of DNA after UV-radiation, were measured. The results revealed that after treated with different radiation intensity (15, 30, 45 W) and duration (2, 4, 6 h), the UV-induced DNA mutations were genetic and could be delivered to F_2 generation. The mutations depended on the interaction of radiation intensity and duration. Variance analysis on the gene diversity and the rate of loci polymorphisms showed that there existed a significant difference between UV-treated and control groups, except the rate of loci polymorphisms under 2 h radiation. The average value of the control was higher than that of 2 h radiation treatment. According to the cluster analysis of the genetic distance, the aphids were divided into three groups, i. e., control group, 2 h (15, 30 W) treatment group, and the other, which was consistent with the result of variance analysis.

Key words UV-radiation, Genetic distance, *Myzus persicae*, Mutation, DNA polymorphism.

1 引 言

桃蚜 (*Myzus persicae*) 又名烟蚜、桃赤蚜, 属同翅目, 蚜科, 瘤蚜属, 是世界上分布最广、危害最大的蚜虫之一。桃蚜行孤雌生殖, 繁殖快且量大, 种下分化迅速。影响蚜虫种群遗传多样性的因素主要有寄主选择压力和环境胁迫^[10]。

由于环境污染, 大气臭氧层渐趋变薄, 臭氧层的破坏导致大量的紫外线辐射至地表。过量的紫外线对人类、动植物以及微生物等都会产生伤害^[11, 12, 16, 17, 22, 25, 29]。国内外学者认为, 紫外辐射产生活性氧, 从而诱发 DNA 大分子的损伤, 并提出了膜脂过氧化伤害机制^[5, 13, 15, 23]。高强度紫外胁迫对昆虫产生了强烈的选择压力, 从而导致昆虫的遗传分化和基因流动。蚜虫长期生活在不同的海拔和不同强度紫外线照射下, 形成特定的种群, 从而引起种群遗传结构的分化。

紫外辐射不仅具有遗传毒性^[4], 而且低剂量紫外辐射可诱导细胞遗传学的适应性反应, 即 Stebbing^[21] 提出的“毒物兴奋效应”。张建民等^[29] 用紫外线照射果蝇, 以不同的照射时间, 连续 3 代处理, 显示出子代数量减少, 羽化时间缩短, 体重减轻, 而且有致畸效应和间接诱变效应, 但未从分子水平证明此效应是否真实遗传。姚建秀等^[27] 采用连续辐射诱导麦长管蚜, 对其产生的 DNA 多态性进行了 RAPD 分析, 证明了紫外线是诱导蚜虫变异的条件之一, 但因其辐射处理时间过长, 不符合自然界的客观条件。

目前对昆虫在紫外线非电离辐射选择压力下的剂量效应关系和遗传进化的分子机理的研究报道很

* 国家自然科学基金项目 (39970112, 30470268) 和陕西省自然科学基金重点资助项目 (2001SM01)。

** 通讯联系人。E-mail: zhaohy@public.xa.sn.cn
2005-08-11 收稿, 2006-02-22 接受。

少.为此,本文采用微卫星标记技术,检测不同剂量紫外线诱导下 F_2 代桃蚜 DNA 的变异与分子多态性,为辐射诱变及其剂量效应从分子水平提供了实验数据;同时,分析了紫外辐射对生物影响的遗传效应,以期为蚜虫生态遗传与进化及害虫辐射治理提供理论依据.

2 材料与方法

2.1 供试材料

在温室中采集若干头若蚜,每个培养皿中均放 1 头蚜虫,在人工气候箱内饲养,待成熟后取 1 头发育良好的成蚜,逐日供以新鲜油菜叶,在温度为 20 °C,光周期为 12 h:12 h (L:D),湿度为 70%~85% 的条件下饲养 4~5 代,此时的蚜虫为单克隆系.待单克隆蚜虫达到实验要求数量以后,取发育比较好的一代单克隆系蚜虫备用.

2.2 UV 处理

紫外线灯管共 3 只,波长均为 257 nm.取单克隆系无翅成蚜 100 头,分别放在 45、30 和 15 W 紫外光源下 30 cm 处,每天照射 2、4 和 6 h.待此代成蚜产仔后便去除成蚜,保存于 -60 °C 的冰箱中,若蚜继续在紫外灯下照射,直到它开始产蚜为止,然后再去除母蚜,用同样方法保存,将此第 3 代若蚜接于油菜上,观察其生物学特性,至死亡后保存于 -60 °C 的冰箱中,以备后续分子生物学实验用.对照组在正常环境中生长,即和饲养最初 1 头蚜虫的条件相同.

2.3 DNA 提取方法

单头桃蚜 DNA 提取方法在安瑞生方法^[1]的基础上略有改进,即用牙签挑取单头蚜虫,放入 0.5 ml 的 Eppendorf 管中,先加入 50 μ l Collins DNA 提取液(1% SDS,50 mmol·L⁻¹ (Tris-Cl, pH 8.0),0.25 mmol·L⁻¹ NaCl,25 mmol·L⁻¹ EDTA),用牙签捣碎(牙签用 100 μ l 提取缓冲液冲洗),放入 65 °C 恒温水浴锅中约 45 min;加入 10.0 μ l KAc(3 mol·L⁻¹),冰上放置 1 h 以上;再加 12.5 μ l KAc(8 mol·L⁻¹),然后放入 4 °C 冰箱中 0.5~1 h;10 °C、1 2000 r·min⁻¹ 离心 10 min,倾尽上清液,用 100 μ l 75% 乙醇缓慢冲洗;重洗 1 次,留下管底小液滴,自然晾干;加 20 μ l TE 缓冲液溶解,保存备用.

2.4 微卫星扩增及遗传多样性指标

实验选用 3 条微卫星引物:33.15 核心序列、(CAC)₅、(GATA)₄.引物退火温度依次为:54 °C、58 °C、36 °C. PCR 总反应体积为 25 μ l,10 × buffer 2.5 μ l, MgCl₂ 2.0 μ l, dNTPs (各 2.5 mmol·L⁻¹) 1.5 μ l,引物(20 ng· μ l⁻¹) 1.5 μ l, Taq 酶(0.5 U· μ l⁻¹) 2 μ l,模板 DNA 2 μ l,加无菌水 14.0 μ l.

PCR 扩增在 Eppendorf DNA 扩增仪上进行,条件为 94 °C、5 min 预变性;然后进行 45 个循环,每个循环包括 94 °C 变性 1 min,退火 1 min,72 °C 延伸 2 min;72 °C 延伸 10 min.扩增的产物在 1.2% 的琼脂糖凝胶上进行电泳.

将微卫星引物 PCR 扩增结果在 UVI 凝胶成像系统中照

相,在 UVIband 软件中以每条带的迁移率与标记相对分子量的 DNA Marker 进行各 DNA 片段分子量大小的估算,然后将扩增条带的有无转换成可以供计算机处理的 1~0 数据,计算出基因多样性和多态位点率,进行方差分析,并采用 DPS 数据处理系统计算各处理的遗传距离^[18],利用最短距离法进行聚类分析.

根据扩增图谱计算不同处理桃蚜的遗传多样性指标:多态位点率和基因多样性.多态位点率(polymorphic rate of loci)以每一个不同大小的扩增片段为一个位点,判断一个位点是不是多态位点的标准是:群体内某一等位基因的频率 > 95%,则该片段代表的位点为多态位点.计算多态位点率时,以种群的总位点数为基数.基因多样性(gene diversity)表示在群体中随机抽取两个等位基因,它们有不相同的概率,其计算公式为^[18]:

$$H = 1/L \sum (2n(1 - \sum X_i^2)/(2n - 1))$$

式中, H 为群体内的基因多样性, n 为样品(个体)数, X_i 为第 i 个等位基因的频率.用群体内基因多样性考察群体内的杂合体比例.该指标越大,说明群体内的遗传变异程度越高.

3 结果与分析

3.1 紫外线诱导桃蚜的遗传变异

在不同紫外线照射时间处理(2、4 和 6 h)、不同照射强度下(15、30 和 45 W),桃蚜的遗传物质 DNA 发生了变异,不同微卫星引物对其基因组 DNA 扩增的片段大小不同.从图 1 可见,33.15 核心序列为引物的扩增片段,大小在 221~2 125 bp 之间,(CAC)₅ 对桃蚜的扩增片段大小在 264~1 694 bp 之间,其中有 4 条共有带,片段大小分别是 1 694、993、531 和 447 bp.(GATA)₄ 对不同桃蚜的扩增结果在 407~1 923 bp 之间,其中有 2 条共有带,大小分别是 631 和 1 157 bp.3 种微卫星引物对不同处理桃蚜 F_2 扩增图谱的差异均表现在扩增条带的多少和明暗上.

3.2 不同处理桃蚜的遗传多样性分析

根据扩增图谱得到不同处理桃蚜的遗传多样性指标:基因多样性和多态位点率,并计算出平均值,进行了方差分析(表 1).

从表 1 可以看出,3 条引物扩增结果中多态位点率和基因多样性最高的是 6 h 处理,其次是 4 h.即遗传多样性指标越高说明处理桃蚜间遗传变异程度也越高.方差分析结果表明,对照和 2、4 和 6 h 平均基因多样性之间的差异显著,而从多态位点率来看,对照与 4、6 h 处理间差异显著,与 2 h 处理间则差异不显著.对照和 2 h 处理的平均多态位点率分别为 0.320 和 0.289,4、6 h 处理则达到 0.556 和 0.580.

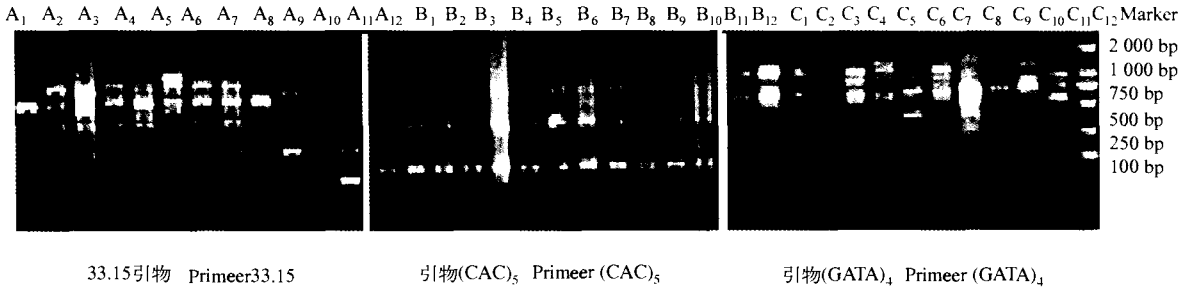


图 1 微卫星引物对不同紫外处理桃蚜 F₂ 的检测

Fig. 1 PCR amplification with microsatellite primers to F₂ generation.

A₁: 第 2 代对照 The control of the F₂ generation; A₂: 15 W 照射 2 h UV radiation for 2 h with a 15 W lamp; A₃: 30 W 照射 2 h UV radiation for 2 h with a 30 W lamp; A₄: 45 W 照射 2 h UV radiation for 2 h with a 45 W lamp; A₅: 第 1 代对照 The control of the F₁ generation; A₆: 15 W 照射 4 h UV radiation for 4 h with a 15 W lamp; A₇: 30 W 照射 4 h UV radiation for 4 h with a 30 W lamp; A₈: 45 W 照射 4 h UV radiation for 4 h with a 45 W lamp; A₉: 第 1 代对照 The control of the F₁ generation; A₁₀: 15 W 照射 6 h UV radiation for 6 h with a 15 W lamp; A₁₁: 30 W 照射 6 h UV radiation for 6 h with a 30 W lamp; A₁₂: 45 W 照射 6 h UV radiation for 6 h with a 45 W lamp. 图 B 和图 C 同图 A The Fig. B and Fig. C same as Fig. A.

表 1 处理桃蚜种群内的基因多样度和多态位点率
Table 1 Gene diversity and polymorphic rate of loci of UV-irradiation aphids

处理 Treatment (h)	33.15 引物 Primer 33.15		(CAC) ₅ 引物 Primer (CAC) ₅		(GATA) ₄ 引物 Primer (GATA) ₄		平均 多态位点率 Polymorphic rate of loci (average)	平均基因 多样性 Gene diversity (average)
	多态位点率 Polymorphicrate of loci	基因多样性 Gene diversity	多态位点率 Polymorphicrate of loci	基因多样性 Gene diversity	多态位点率 Polymorphicrate of loci	基因多样性 Gene diversity		
CK	0.400	0.000	0.2	0.086	0.36	0.038	0.320 ^B	0.041 ^B
2	0.367	0.133	0.2	0.133	0.299	0.152	0.289 ^B	0.139 ^A
4	0.727	0.133	0.333	0.088	0.638	0.227	0.566 ^A	0.149 ^A
6	0.667	0.133	0.394	0.177	0.678	0.152	0.580 ^A	0.154 ^A

3.3 聚类分析

根据遗传距离和相似系数统计出不同紫外线处理蚜虫的 DNA 变异大小,用最短距离法对不同剂量辐射处理的 F₂ 代桃蚜进行了聚类.从图 2 可知,当遗传距离 λ = 0.500 时,不同时间辐射处理的桃蚜 F₂ 代可分为 3 大类:对照、2 h(15、30 W)处理、其余处理.对照独自为 1 类,2 h 的 15 和 30 W 聚成第 2 类;在第 3 类中,当 λ = 0.294 时,6 h、15 W 和 30 W 处理桃蚜首先聚在一起;当 λ = 0.368 时,6 h、45 W 加入;当 λ = 0.333 时 4 h、15 W 和 30 W 处理桃蚜聚在一起,后 45 W 加入;最后 λ = 0.487 时,4、6 h 处理与 2 h、45 W 处理桃蚜聚在一起构成第 3 类(图 2).可见,未经紫外处理的对照和经紫外处理的遗传距离最远.与对照相比,诱变效果明显的顺序依次为 6、4 和 2 h.2 h(45 W)与其它处理(4 和 6 h)聚为一类,说明这个剂量水平可能导致细胞不可修复的伤害,致使基因多样性与对照组的差异不显著,这与前面遗传多样性指标的方差分析结果一致.在同一时间内,辐射强度越大,诱变引起的遗传变异越大,处理与对照遗传距离越远;在同一强度下,辐射时间越长,诱变引起的遗传变异越大,处理与对照遗传距离也越远.

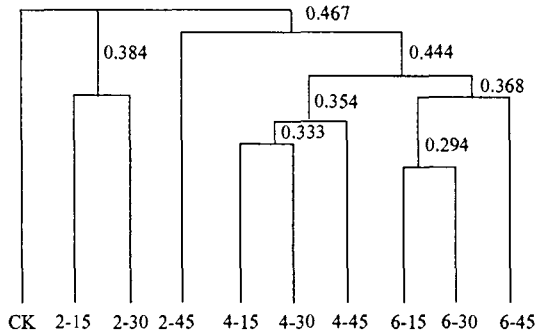


图 2 F₂ 代桃蚜的聚类图

Fig. 2 Clustering of the F₂ generations of peach aphids.

ck: 第 2 代对照 Control of the F₂ generation; 2-15: 15 W 照射 2 h UV radiation for 2 h with a 15 W lamp; 2-30: 30 W 照射 2 h UV radiation for 2 h with a 30 W lamp; 2-45: 45 W 照射 2 h UV radiation for 2 h with a 45 W lamp; 4-15: 15 W 照射 4 h UV radiation for 4 h with a 15 W lamp; 4-30: 30 W 照射 4 h UV radiation for 4 h with a 30 W lamp; 4-45: 45 W 照射 4 h UV radiation for 4 h with a 45 W lamp; 6-15: 15 W 照射 6 h UV radiation for 6 h with a 15 W lamp; 6-30: 30 W 照射 6 h UV radiation for 6 h with a 30 W lamp; 6-45: 45 W 照射 6 h UV radiation for 6 h with a 45 W lamp.

4 讨 论

从微卫星电泳图来看,3 条引物的 F₂ 代扩增结果都呈现出丰富的多态性,可见基因的突变位点是多方面的.紫外诱导可遗传变异,即辐射诱导第 1 代的变异可以在第 2 代得以体现.因为生物肌体对辐

射具有一定的抗性,所以无论是直接作用还是间接作用造成的损伤,肌体都具有一定的修复和再生能力,但损伤超过一定限度,肌体不能修复和再生,这就导致细胞的死亡或在 DNA 中留下潜在的变异基因^[2].

聚类结果表明,遗传距离的大小与辐射时间成正相关,且同一时间内又与辐射强度成正相关,这是因为紫外灯的强度梯度较小,辐射剂量主要由辐射时间来决定.国外已有报道^[19],成纤维细胞经 UVA 照射后,立刻能观察到 DNA 断裂,且损伤程度与 UVA 剂量成正相关,与本实验结论基本一致.

15 和 30 W 紫外灯照射 2 h 处理多态位点率指标比对照低,这是因为低剂量辐射存在毒物兴奋效应^[21],即在低剂量条件下表现为适当的刺激(兴奋)反应,而在高剂量条件下表现为抑制作用.此现象普遍存在^[3,12],如低水平的环境因素如镉、糖精、二噁英、大量的多环芳烃、紫外线、X 射线和 C 射线可降低一些种属动物的肿瘤发生率;低剂量的 X 射线可增加小鼠和豚鼠的寿命;多种环境刺激因素可以延长线虫的寿命;许多毒物(如镉、铅)可促进不同植物的生长等.毒物兴奋效应可能是全身免疫系统参与的一种机体适应性反应,2 h(15、30 W)辐射后,蚜虫细胞适应性免疫增强,表现为昆虫自身的一系列保护和水解酶系活性的增强,清除 O₂⁻ 的 SOD 等保护酶系与生物耐寒性、抗病性、抗衰老和抗污染胁迫等密切相关^[2,3,7,11,12].当生物体受到轻度紫外逆境胁迫时,SOD 保护酶系活性往往升高;而当受到重度紫外逆境胁迫时,其活性通常降低,使生物体内积累过量的活性氧,从而导致生物体的伤害.此外,紫外线也是导致人眼晶体损伤和皮肤癌的重要原因之一^[7].紫外线诱发生物体产生损伤^[26],产生遗传毒性,而导致生物基因突变或染色体畸变^[8,27],影响与凋亡有关的其它基因转录和翻译及表达,如 P53^[30,8]、小鼠胸腺 NIH 3T3^[9]、Bcl-2 蛋白的表达等^[20].紫外线是自然界长期存在的非电离射线,是不同于其它电离辐射的一种环境胁迫^[24],而且辐射剂量效应关系对害虫防治和人类医疗等方面都具有重要的利用价值,但到目前为止,这种现象的本质还没有详实的证据,尤其对蚜虫种群的遗传进化机制更需要进一步研究.

实验紫外灯的强度梯度较小,加上照射时间和强度不同,势必会引起温度的不同.温度胁迫也不利于蚜虫的生长,这都可能给试验造成一定的误差.低剂量范围内,需要使用多种剂量、在试验的不同时段

进行测定来增加实验的准确度;增加试验对象(如其它昆虫或其它种),并进行重复试验等,来增加统计的可信度.至于辐射诱导哪些位点和基因的变异,也需要用建库差减等分子方法进行更精确更深入的研究.

参考文献

- An R-S (安瑞生), Tan S-J (谭声江), Chen X-F (陈晓峰). 2002. Improvement in grinding tissue during extracting DNA from small insects. *Entomol Knowl* (昆虫知识), **39** (4): 311 ~ 312 (in Chinese)
- Anstead JA, Williamson MS, Eleftherianos I, et al. 2005. Evidence for multiple origins of identical insecticide resistance mutations in the aphid *Myzus persicae*. *Insect Biochem Mol Biol*, **35** (3): 249 ~ 256
- Beaumont AR, Newman PB. 1986. Low levels of tributyltin reduce growth of marine microalgae. *Mar Pollut Bull*, **17** (10): 457 ~ 461
- Gao Y (曹阳), Zhang L (张林), Liu Y-Y (刘雁雨), et al. 1994. Analysis of genetic toxicity of 22 chemicals and ultraviolet (UV) to λ DNA. *China Environ Sci* (中国环境科学), **14** (2): 139 ~ 142 (in Chinese)
- Cai H-J (蔡恒江), Tang X-X (唐学玺), Zhang P-Y (张培玉). 2005. Effects of UV-B radiation enhancement on DNA damage of three red-tide microalgae species. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), **16** (3): 559 ~ 562 (in Chinese)
- Ferguson LR, Penny WA. 1991. The genetic toxicology of acridines. *Mut Res*, **258**: 123 ~ 160
- Heo MY, Kim SH, Yang HE, et al. 2001. Protection against ultraviolet B and C-induced DNA damage and skin carcinogenesis by the flowers of *Prunus persicae* extract. *Mut Res*, **496** (2): 47 ~ 59
- Hockenbery DM, Oltvai XM, Yin XM, et al. 1993. Bcl-2 functions in an antioxidant pathway to prevent apoptosis. *Cell*, **75** (3): 241 ~ 251
- Hu Q-L (胡庆柳), Ding Z-H (丁振华), Tan X-H (谭小华), et al. 1998. The characteristics of DNA cleavage of apoptotic NIH3T3 cells induced by ultraviolet irradiation. *Roy Biochem Biophys* (生物化学与生物物理进展), **25** (1): 53 ~ 56 (in Chinese)
- Inaizumi M. 1981. Life cycle of *Aphis gossypii* Glover (Homoptera: Aphididae) with special reference to biotype differentiation on various host plants. *Kontyu*, **49** (2): 219 ~ 240
- Ji M-G (祭美菊), Feng H-Y (冯虎元), An L-Z (安黎哲). 2002. Present status and prospects in research on effect of enhanced UV-B radiation on plants. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), **13** (3): 359 ~ 364 (in Chinese)
- Jin S-Z (金顺子), He S-M (何淑梅), Liu S-Z (刘树铮). 2002. The effects of low dose ionizing radiation on the activity of Cu, Zn, SOD in peritoneal macrophages of mice. *J Radiat Res Radiat Process* (辐射研究与辐射工艺学报), **20** (3): 209 ~ 212 (in Chinese)
- Jin Y-H (靳月华), Du Y-Y (杜英君), Liu G-Z (刘桂珍). 2001. Production of active oxygen species from *Taxus cuspidata* induced by far UV-radiation. *Acta Bot Sin* (植物学报), **43** (3): 380 ~ 384 (in Chinese)
- Joiner MC, Lambin P, Malaise EP, et al. 1996. Hypersensitivity to very-low single radiation doses: Its relationship to the adaptive response and induced radio resistance. *Mut Res*, **358** (1): 171 ~ 183
- Kramer GF, Norman HA, Krizek DT, et al. 1991. Influence of UV-B radiation on polyamines, lipid peroxidation and membrane lipids in cucumber. *Phytochemistry*, **30** (7): 2101 ~ 2108
- Li Y (李元), Zu Y-Q (祖艳群), Wang X-L (王勋陵). 2001. Effect of enhanced UV-B radiation on chemical composition, fungal colonization and decomposition of spring wheat plant. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), **12** (2): 223 ~ 225 (in Chinese)
- Lin W-X (林文雄), Wu X-C (吴兴春), Liang K-J (梁康迳), et al. 2002. Effect of enhanced UV-B radiation on polyamine metabolism and endogenous hormone contents in rice (*Oryza sativa* L.).

- Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), **13** (7): 807 ~ 813 (in Chinese)
- 18 Nei M, Roychoudhury AK. 1974. Sampling variance of heterozygosity and genetic distance. *Genetics*, **76** (2): 379 ~ 390
 - 19 Peak JC, Pilas B, Dudek EJ, et al. 1991. DNA breaks caused by mono chromatic 365 nm ultraviolet - A radiation and their repair in human epithelioid and xeroderma pigmentosum cell. *Photochem Photobiol*, **54** (2): 197 ~ 203
 - 20 Rosse T, Oliver R, Monney L, et al. 1998. Bcl-2 prolongs cell survival after Bax-induced release of cytochrome. *Nature*, **391**: 496 ~ 499
 - 21 Stebbing ARD. 1982. Homesis-the stimulation of growth by low levels of inhibitors. *Sci Total Environ*, **22** (1): 213 ~ 234
 - 22 Tanaka K, Kamiuchi S, Ren Y, et al. 2001. UV-induced skin carcinogenesis in xeroderma pigmentosum group A (XPA) gene-knock-out mice with nucleotide excision repair-deficiency. *Mut Res*, **477** (2): 31 ~ 40
 - 23 Tang X-C (汤喜成), Hu C-Z (胡椿枝), Wang H-J (王慧君), et al. 2000. Experimental observation of lens damage after low doses of R-racy irradiation to rabbit eyes. *Chin J Radiat Med Prot* (中华放射医学与防护杂志), **20** (2): 102 ~ 104 (in Chinese)
 - 24 Tang L-N (唐莉娜), Lin W-X (林文雄), Wu X-C (吴杏春), et al. 2002. Effects of enhanced ultraviolet-B radiation on growth development and yield formation in rice (*Oryza sativa* L.). *Chin J App Ecol* (应用生态学报), **13** (10): 1278 ~ 1282 (in Chinese)
 - 25 Tang X-M (唐晓萌), Dai Y-M (代玉梅), Zhang C-G (张成刚), et al. 2003. Effect of natural stress on genetic diversity of *Frankia* in *Alnus* nodules. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), **14** (10): 1743 ~ 1746 (in Chinese)
 - 26 Yao J-X (姚建秀), Zhao H-Y (赵惠燕). 2001. Study on the DNA mutation of wheat aphid under the ultraviolet. *Acta Agric Boreal-Occident Sin* (西北农业学报), **10** (1): 33 ~ 36 (in Chinese)
 - 27 Yu D-W (余多慰), Ke W-Z (柯惟中). 2000. Damage mechanisms of molecule in DNA aqueous solution induced by ultraviolet radiation. *Spectrosc Spectr Anal* (光谱学与光谱分析), **20** (3): 311 ~ 314 (in Chinese)
 - 28 Zhang J-M (张建民). 1994. Biological effects of ultraviolet on *Drosophila melanogaster* Meigen. *Entomol Knowl* (昆虫知识), **31** (4): 242 ~ 245 (in Chinese)
 - 29 Ziegler A, Leffell DJ, Kunala S, et al. 1993. Mutation hotspots due to sunlight in the P53 gene of non-melanoma skin cancers. *Proc Natl Acad Sci USA*, **90**: 4216 ~ 4220
 - 30 Zou C-H (邹晨辉), Yang X-W (杨效文). 2000. Repeat sequence primers-PCR study on the host-related population differentiation of cotton aphid, *Aphis gossypii* in China. *Chin J Appl Environ Biol* (应用与环境生物学报), **6** (6): 560 ~ 564 (in Chinese)

作者简介 都二霞,女,1979年生,博士研究生.主要从事昆虫生态学研究. Tel: 13892822174; E-mail: duerxia@163.com

责任编辑 刘丽娟
