

紫外辐射对3种叶色生菜生长及营养品质的影响

刘文科, 余意, 赵姣姣, 杨其长

中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所, 农业部设施农业节能与废弃物处理重点实验室, 北京 100081

摘要 在设施温室条件下, 水培盆栽3种叶色生菜, 探究UV-B、UV-A辐射对不同叶色生菜光谱吸收特性、生长和品质的影响。结果表明, 不同UV处理及对照下的3种叶色生菜光合色素吸光曲线基本一致, 330~500 nm和640~690 nm两个光谱区为峰值区域, 吸光度较大且变化剧烈, 在500~640 nm和690~800 nm两个光谱区吸光度很小且变化幅度小。绿叶生菜在不同UV辐射下与对照无显著差异, 红叶生菜在UV照射下叶绿素a和总光合色素含量显著提高, 但紫叶生菜仅在UV-B照射下比对照显著增加。绿叶生菜经UV辐射处理后, 地上部分鲜重显著降低, 紫叶生菜相反。红叶生菜地上部分鲜重在不同UV辐射处理下无显著差异。3种生菜地上部分干重随UV辐射处理变化规律相似, 经UV辐射处理后, 地上部干重均显著降低。UV辐射处理显著降低了绿叶生菜总酚含量, 但对紫叶生菜无显著影响, 红叶生菜仅在UV-B处理下总酚含量显著提高。绿叶生菜在UV辐射处理下, 类黄酮含量比对照显著降低, 而红叶生菜和紫叶生菜无显著差异。经UV辐射处理的绿叶生菜花青素含量与对照无显著差异, 红叶生菜和紫叶生菜则在UV-B辐射处理下有显著提高。UV辐射处理显著提高了绿叶生菜可溶性糖含量, 紫叶生菜仅在UV-A照射下可溶性糖含量显著提高, 而红叶生菜经UV辐射处理后可溶性糖含量显著降低。

关键词 生菜; 叶色; 紫外辐射; 营养品质

中图分类号 S636.2; S625.56

文献标志码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2014.10.006

Influences of UV Radiation on Growth and Nutritional Quality of Three Leaf-color Lettuce Cultivars

LIU Wenke, YU Yi, ZHAO Jiaojiao, YANG Qichang

Key Lab of Energy Conservation and Waste Management of Agricultural Structures, Ministry of Agriculture; Institute of Environment and Sustainable Development in Agriculture, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China

Abstract The lettuces of red, purple and green leaves were planted with hydroponics, and the influences of UV radiation on the spectral absorbance, growth and nutritional quality of the lettuces were studied. The results showed that for the three leaf-color lettuce cultivars under UV radiation and blank control, the photosynthetic pigments spectral absorbance values were high and changed drastically in the spectrum of 330–500 nm and 640–690 nm, and were low and changed smoothly in the spectrum of 500–640 nm and 690–800 nm. For the contents of chlorophylla and total photosynthetic pigment, the green lettuce under UV radiation was not remarkably different from the reference, in contrast, the red lettuce increased significantly, but the purple lettuce increased notably only under UV-B radiation. The treatment of UV radiation significantly decreased the shoot fresh weight of the green lettuce, while remarkably reduced that of the purple lettuce, but didn't make that of the red lettuce notably different. The shoot dry weights of the three leaf-color lettuces were lowered greatly under UV radiation. The concentration of phenol for the green lettuce lessened distinctly under UV radiation, but it didn't differ greatly for the purple lettuce. The concentration of phenol for the red lettuce increased remarkably only under UV-B. The treatment of UV radiation significantly reduced the concentration of flavonoid for the green lettuce, but didn't change those of the red and purple lettuces greatly. However, the treatment didn't change the concentration of anthocyanin

收稿日期: 2014-01-10; 修回日期: 2014-02-07

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863计划)项目(2013AA103001)

作者简介: 刘文科, 研究员, 研究方向为设施蔬菜营养生理与光生物学, 电子信箱: liuwke@163.com; 余意(共同第一作者), 硕士研究生, 研究方向为设施蔬菜营养生理与光生物学, 电子信箱: yuyi0219@126.com; 杨其长(通信作者), 研究员, 研究方向为设施园艺环境工程, 电子信箱: yangq@cjac.org.cn

引用格式: 刘文科, 余意, 赵姣姣, 等. 紫外辐射对3种叶色生菜生长及营养品质的影响[J]. 科技导报, 2014, 32(10): 36-40.

for the green lettuce, but enhanced those of the red and purple lettuces greatly. The concentration of soluble sugar for the green lettuce increased notably under UV radiation, and that of the red lettuce was the contrary. But the concentration of soluble sugar for the purple lettuce enhanced greatly only under UV-A radiation.

Keywords lettuce; leaf color; UV radiation; nutritional quality

紫外光(UV)是太阳辐射的重要组成部分,主要指波长小于380 nm的光谱区域,据波长又可将UV分为UV-C(<280 nm)、UV-B(280~320 nm)、UV-A(320~380 nm)。通过大气层顺利到达地球表面的包括一部分UV-B和全部的UV-A,UV-A对生物基本没有伤害且生物效应较小,而UV-B具有显著的生物效应,它既可以调节植物的生理活动,也可以对植物组织器官造成损害^[1]。已有大量研究表明,UV-B影响植物的生长发育和生理代谢过程,对其中某些生理过程的影响甚至深入到影响基因表达的程度^[2]。

近几十年,工业污染导致大气臭氧浓度减少,削弱了大气吸收UV辐射的保护作用,造成地表接收的UV辐射增强。地表UV辐射增强,对地球生物产生了巨大影响。太阳辐射是蔬菜生产的重要影响因素,关注UV辐射对蔬菜生长的影响,具有重要的实际意义。

已有研究多集中于UV-B对蔬菜生长的影响^[3-5],对UV-A的作用研究较少,以不同叶色蔬菜为材料进行比较研究的更是鲜见。本研究同时关注UV-B、UV-A辐射对蔬菜生长的影响,且以3种不同叶色生菜为材料,探讨UV辐射对不同叶色蔬菜生长、品质影响的差异。

1 材料与方法

1.1 材料培养

2013年2—5月,在中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所温室进行试验。供试生菜品种为红叶生菜(红生一号)(R)、紫叶生菜(P)和绿叶生菜(意大利生菜)(G),温室平均气温22℃。培植生菜所用营养液基础营养组成(mmol·L⁻¹):5 Ca(NO₃)₂,0.75 K₂SO₄,0.5 KH₂PO₄,0.1 KCl,0.65 MgSO₄,1.0×10⁻³ H₃BO₃,1.0×10⁻³ MnSO₄,1.0×10⁻⁴ CuSO₄,1.0×10⁻³ ZnSO₄,5×10⁻⁶ (NH₄)₆Mo₇O₂₄,0.1 EDTA-Fe。

2013年2月25日育苗,育苗基质为蛭石;3月15日移栽幼苗至长80 cm、宽40 cm、高10 cm的水培框,每框装20 L营养液,每种叶色生菜移栽3框,每框移栽32株;4月23日,对水培框中的生菜进行间苗,每框保留有代表性且叶色相近的生菜8株。

1.2 方法

1.2.1 UV光照处理

设置2个UV光处理:UV-A、UV-B。3种叶色生菜各以一槽照射30 W、365 nm UV-A紫外灯,分别为UV-A照射的绿叶生菜(UV-A-G)、紫叶生菜(UV-A-P)、红叶生菜(UV-A-R);一槽照射30 W、280 nm UV-B紫外灯,分别为UV-B照射的绿叶生菜(UV-B-G)、紫叶生菜(UV-B-P)、红叶生菜(UV-B-R);一槽不进行UV光照为对照,分别为对照绿叶生

菜(CK-G)、紫叶生菜(CK-P)、红叶生菜(CK-R)。4月23日至5月3日进行UV光照处理,每晚照射1.5 h(19:00—20:30)。

1.2.2 测定方法

2013年5月6日至11日对生菜的生物量、光合色素含量、营养物质及不同光谱下光合色素吸光度进行测定。称量生菜地上鲜重,烘干后称量干重(1株)。每次随机选取3株,每株从心部向外取第5片为样品材料,以80%丙酮提取法提取叶片光合色素,测定光合色素吸光度,计算其含量^[6],同时测定330~800 nm吸光度,并绘制吸光度曲线;以1%盐酸-甲醇提取法提取总酚、类黄酮、花青素,测定其吸光度,并计算相对含量^[7];以0.09 g·mL⁻¹苯酚、浓硫酸与可溶性糖提取液反应后测量提取液吸光度,并计算可溶性糖含量^[7]。

2 结果与分析

2.1 UV辐射对3种叶色生菜光吸收特性的影响

如图1所示,3种叶色生菜在不同UV处理及对照中,光合色素光吸收曲线变化规律相似,都有330~500 nm紫外光、蓝紫光和640~690 nm红光2个光谱吸收活跃区,以及500~640 nm绿、黄、橙光和690~800 nm红光、远红光2个非活跃区。330~500 nm波段是光合色素光吸收最大且变化最剧烈的区域。340 nm和430 nm处有最大和第二大光吸收峰值,然后迅速下降,在390 nm和500 nm处为光吸收谷值。该光谱区各波长吸光度都大于500~640 nm和690~800 nm波段吸光度。640~690 nm光谱区只有一个光谱吸收峰值,且波峰较窄。500~640 nm光谱区光合色素吸光度普遍较小,且逐渐增大。光合色素在690~800 nm光谱区吸光度最小,并且吸光度变化非常小。比较不同处理间光合色素吸光度曲线,UV辐射处理的红叶生菜和绿叶生菜吸光度均大于各自对照,UV-B处理的紫叶生菜吸光度大于对照,但UV-A处理下吸光度小于对照。其中,UV-B处理的红叶生菜和紫叶生菜吸光度最大。

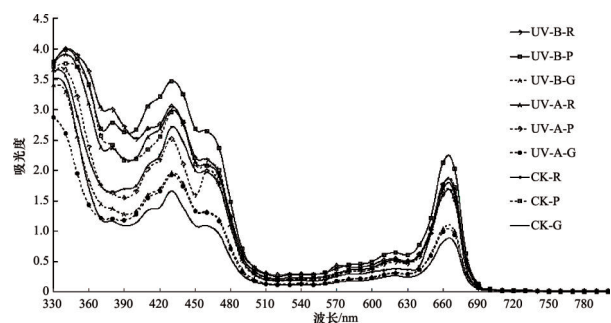


图1 紫外光照射下3种叶色生菜光吸收曲线
Fig. 1 Spectral absorbance curves of the three leaf-color lettuce cultivars under different UV radiations

表1列出了UV辐射后3种叶色生菜的光合色素含量,由表可看出经UV辐射处理后,叶绿素a和总光合色素含量的变化趋势基本一致。绿叶生菜经不同UV辐射后,叶绿素a和总光合色素含量与对照无显著差异,红叶生菜经UV照射后叶绿素a和总光合色素含量显著提高,但紫叶生菜经UV-B照射后叶绿素a和总光合色素含量比对照显著增加,而在UV-A照射下两者含量显著降低。绿叶生菜经UV辐射处理叶绿素b含量比对照显著提高,且在UV-B照射下叶绿素b含量最高。紫叶生菜和红叶生菜均在UV-B照射下叶绿素b含量最大,紫叶生菜在UV-A照射下含量低于对照,而红叶生菜在

UV辐射处理下均高于对照。绿叶生菜在不同紫外光以及自然光照射下类胡萝卜素含量无显著差异,紫叶生菜在UV-B照射下类胡萝卜素含量最大,在UV-A照射下含量低于对照,红叶生菜在UV辐射处理下类胡萝卜素含量比对照都有所降低,且在UV-B照射下含量最低。红叶生菜经UV辐射处理后,叶绿素a比例和类胡萝卜素比例比对照显著降低,叶绿素b比例比对照显著提高。但绿叶生菜和紫叶生菜在UV辐射处理下,各光合色素比例与对照无显著差异。以上结果说明,3种生菜光合色素合成对UV辐射处理的响应存在品种间差异。

表1 UV辐射对3种叶色生菜光合色素含量的影响

Table 1 Influence of UV radiation on content of photosynthetic pigment of three leaf-color lettuce cultivars

| 处理 | 质量分数/(mg·g ⁻¹) | | | | 比例/% | | |
|--------|----------------------------|---------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|---------------------|
| | 叶绿素a | 叶绿素b | 类胡萝卜素 | 光合色素 | 叶绿素a | 叶绿素b | 类胡萝卜素 |
| CK-G | 0.30 ^c | 0.10 ^{de} | 0.07 ^d | 0.48 ^c | 63.10 ^b | 21.29 ^a | 15.70 ^b |
| UV-B-G | 0.38 ^c | 0.13 ^{bcd} | 0.09 ^d | 0.60 ^c | 62.89 ^b | 22.35 ^a | 14.76 ^b |
| UV-A-G | 0.36 ^c | 0.13 ^{cd} | 0.09 ^d | 0.58 ^c | 62.06 ^b | 22.49 ^a | 15.45 ^b |
| CK-P | 0.65 ^{ab} | 0.22 ^{ab} | 0.15 ^{bc} | 1.02 ^{ab} | 63.68 ^b | 21.27 ^a | 15.05 ^b |
| UV-B-P | 0.76 ^a | 0.28 ^a | 0.17 ^{ab} | 1.21 ^a | 62.98 ^b | 22.72 ^a | 114.30 ^b |
| UV-A-P | 0.59 ^b | 0.21 ^{abc} | 0.13 ^c | 0.93 ^b | 63.22 ^b | 22.68 ^a | 14.10 ^b |
| CK-R | 0.60 ^b | 0.05 ^e | 0.20 ^a | 0.85 ^b | 71.01 ^a | 5.26 ^b | 23.74 ^a |
| UV-B-R | 0.64 ^{ab} | 0.22 ^a | 0.14 ^{bc} | 1.00 ^{ab} | 63.48 ^b | 22.21 ^a | 14.31 ^b |
| UV-A-R | 0.62 ^{ab} | 0.20 ^{abc} | 0.15 ^{bc} | 0.97 ^b | 63.73 ^b | 20.94 ^a | 15.34 ^b |

注:同一测定量的同列数据上标不同字母表示差异显著(P<0.05),下同。

如表2所示,绿叶生菜经UV辐射处理后,在340 nm处吸光度显著降低,380 nm处吸光度显著提高,430、620、660 nm处吸光度与对照无显著差异。UV-B处理下的紫叶生菜,340、380、430、620、660 nm处吸光度显著高于对照,但在UV-

A处理下则低于对照。红叶生菜经UV辐射处理后,在5个波长处的吸光度都有显著提高。以上各处理吸光度变化规律,与表1反映的光合色素含量变化规律基本一致。

表2 UV辐射对3种叶色生菜光合色素光特定波长处吸光度的影响

Table 2 Influence of UV radiation on spectral absorbance of three leaf-color lettuce cultivars at particular spectrum

| 处理 | 吸光度 | | | | |
|--------|----------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| | 340 nm | 380 nm | 430 nm | 620 nm | 660 nm |
| CK-G | 3.38 ^{cd} | 1.17 ^e | 1.66 ^c | 0.14 ^d | 0.82 ^c |
| UV-B-G | 3.29 ^d | 1.36 ^{cd} | 1.97 ^c | 0.16 ^d | 1.04 ^c |
| UV-A-G | 2.61 ^e | 1.21 ^{de} | 1.93 ^c | 0.15 ^d | 0.99 ^c |
| CK-P | 3.77 ^{abc} | 2.42 ^b | 2.96 ^{ab} | 0.27 ^{ab} | 1.77 ^{ab} |
| UV-B-P | 3.98 ^a | 2.79 ^{ab} | 3.47 ^a | 0.33 ^a | 2.13 ^a |
| UV-A-P | 3.66 ^{abcd} | 1.63 ^{cd} | 2.52 ^b | 0.25 ^{bc} | 1.61 ^b |
| CK-R | 3.56 ^{bcd} | 1.65 ^c | 2.71 ^b | 0.19 ^{cd} | 1.60 ^b |
| UV-B-R | 4.00 ^a | 3.00 ^a | 3.05 ^{ab} | 0.28 ^{ab} | 1.77 ^{ab} |
| UV-A-R | 3.91 ^{ab} | 2.37 ^b | 2.99 ^{ab} | 0.26 ^{ab} | 1.69 ^b |

2.2 UV辐射对3种叶色生菜生长的影响

如表3所示,绿叶生菜经UV辐射处理后,地上部分鲜重显著降低,且在UV-B照射下最低。紫叶生菜相反,经UV辐

射处理后地上部分鲜重比对照显著提高,且在UV-B照射下地上部分鲜重最高。红叶生菜地上部分鲜重在不同UV辐射处理下无显著差异。3种生菜地上部分干重随UV辐射处理

变化规律相似,经UV辐射处理后,地上部干重均显著降低,而在UV-A照射下最小。以上结果表明,红叶生菜生长受UV辐射影响最小,且3种生菜生长对UV辐射的响应机制可能不同。

表3 UV辐射对3种叶色生菜生物量的影响

Table 3 Influence of UV radiation on biomass of three leaf-color lettuce cultivars

| 处理 | 地上部分鲜重/g | 地上部分干重/g |
|--------|---------------------|----------------------|
| CK-G | 23.59 ^a | 2.36 ^a |
| UV-B-G | 15.89 ^b | 1.42 ^{bc} |
| UV-A-G | 17.79 ^{ab} | 1.31 ^c |
| CK-P | 16.93 ^b | 2.05 ^a |
| UV-B-P | 20.43 ^{ab} | 2.00 ^a |
| UV-A-P | 19.44 ^{ab} | 1.843 ^{ab} |
| CK-R | 21.94 ^{ab} | 1.97 ^a |
| UV-B-R | 18.98 ^{ab} | 1.86 ^{ab} |
| UV-A-R | 20.45 ^{ab} | 1.842 ^{abc} |

表4 UV辐射对3种叶色生菜抗氧化物、可溶性糖含量的影响

Table 4 Influence of UV radiation on contents of antioxidant substances and soluble sugar of three leaf-color lettuce cultivars

| | 总酚/(OD ₂₈₀ ·g ⁻¹) | 类黄酮/(OD ₃₂₅ ·g ⁻¹) | 花青素/(ΔOD ₅₃₀₋₆₀₀ ·g ⁻¹) | 可溶性糖/% |
|--------|--|---|--|--------------------|
| CK-G | 3.88 ^b | 4.09 ^a | 0.07 ^c | 1.99 ^d |
| UV-B-G | 2.58 ^c | 3.60 ^b | 0.20 ^c | 3.40 ^e |
| UV-A-G | 2.77 ^c | 3.79 ^b | 0.08 ^c | 2.19 ^{cd} |
| CK-P | 4.23 ^{ab} | 4.12 ^a | 0.93 ^d | 3.49 ^e |
| UV-B-P | 4.13 ^{ab} | 4.12 ^a | 1.45 ^c | 3.10 ^{ab} |
| UV-A-P | 4.13 ^{ab} | 4.11 ^a | 1.03 ^d | 3.51 ^a |
| CK-R | 4.14 ^{ab} | 4.11 ^a | 1.45 ^c | 3.02 ^{ab} |
| UV-B-R | 4.34 ^a | 4.12 ^a | 2.78 ^a | 2.17 ^{cd} |
| UV-A-R | 4.27 ^{ab} | 4.12 ^a | 1.97 ^b | 2.71 ^{bc} |

3 讨论

高剂量的UV-B照射不利于植物光合作用的进行,胡志峰等^[8]研究了UV-B对两种不同番茄生长及叶绿素荧光参数的影响,表明UV-B辐射增加损害了番茄光合机构,且对黄化番茄幼苗的伤害更加明显。杨晖等^[9]研究了UV-B辐射对早熟型和晚熟型番茄产量和品质的影响,发现早熟型番茄更具抗性,产量随辐射增加而增加,番茄红素含量在高辐射时下降,晚熟品种更敏感,只在低辐射时产量增加,番茄红素下降。说明UV辐射对同品种不同类型蔬菜,其影响作用是有差异的。本研究中,UV辐射对绿叶生菜生长及品质的影响显著不同于红叶生菜和紫叶生菜,而对红叶生菜和紫叶生菜的影响较为相似。这可能是由于红叶生菜和紫叶生菜相比绿叶生菜含有较多酚类等抗氧化物,对UV辐射的增强有更

2.3 UV辐射对3种叶色生菜营养品质的影响

表4列出了UV辐射后3种叶色生菜抗氧化物质及可溶性糖含量。可以看出,绿叶生菜在UV辐射处理下,总酚含量比对照显著降低,紫叶生菜经UV辐射处理后总酚含量与对照无显著差异,红叶生菜在UV-B处理下有最高总酚含量,稍高于UV-A处理和对照,但UV-A处理与对照无显著差异。绿叶生菜在UV辐射处理下,类黄酮含量比对照显著降低,而红叶生菜和紫叶生菜经UV辐射处理后类黄酮含量与对照无显著差异。经UV辐射处理的绿叶生菜花青素含量与对照无显著差异,红叶生菜和紫叶生菜则在UV-B辐射处理下有显著提高。UV辐射处理显著提高了绿叶生菜可溶性糖含量,且在UV-B辐射处理下有最大含量。紫叶生菜在UV-A照射下可溶性糖含量最高,但在UV-B照射下比对照稍低。红叶生菜经UV辐射处理后可溶性糖含量显著降低,在UV-B照射下含量最小。以上结果显示,绿色生菜抗氧化物质的合成对紫外光响应与红叶生菜和紫叶生菜不同,红叶生菜和紫叶生菜响应相似。3种生菜可溶性糖合成对紫外光的响应不同。

好的适应性。

UV辐射影响着植物次生代谢物的合成,适当强度的UV辐射可以促进抗氧化物质的合成。王英利等^[10]研究了不同强度UV辐射对番茄生长和品质的影响,结果表明低剂量UV-B(0.54,0.65 kJ·m⁻²·d⁻¹)可以提高番茄红素和抗坏血酸含量,高剂量(0.95,0.71 kJ·m⁻²·d⁻¹)则相反。Krizek等^[11]研究表明,UV-B比UV-A更能促进红叶生菜合成酚类物质。Voipio等^[12]指出,UV-A照射会增加生菜叶片的氮含量和花青素含量。Li等^[13]的研究表明UV-A、UV-B能使生菜花青素含量增加,而UV-B效果更明显。本研究中,3种叶色生菜花青素含量在UV-B辐射处理下均有所提高,但对总酚和类黄酮的合成未有促进。

Tsormpatsidis等^[14]研究了UV辐射对生菜生长和品质的

影响,发现UV光照射显著抑制了生菜的生长,但促进了次生代谢物的生成,他提出,UV辐射影响了生菜干物质的分配。UV辐射促进了次生代谢物的合成,这些物质具有抗氧化作用,同时可以加深生菜叶片色泽,减少射入叶表皮的UV辐射。次生代谢物合成的增加需要消耗更多的光合产物,影响了生菜干物质的积累。本实验表明,UV辐射提高了红叶生菜和紫叶生菜光合色素含量,并提高了3种生菜花青素含量,但干重却显著降低,这基本与上述观点相符。

4 结论

试验结果表明,经UV辐射处理后,3种叶色生菜吸收曲线变化规律基本与对照一致,即UV辐射对3种叶色生菜吸收选择性未造成显著影响,对其吸光特性的影响主要体现在吸光度方面,这主要是通过影响光合色素含量实现的。UV辐射对3种叶色生菜光合色素含量的影响不同,对绿叶生菜影响较小,而对红叶生菜、紫叶生菜影响较明显。UV-B辐射提高了红叶生菜和紫叶生菜光合色素含量,并且提高了紫叶生菜地上部分鲜重。但3种叶色生菜经UV照射处理后地上部分干重都显著降低,以UV-A处理的最低。UV辐射对3种叶色生菜品质的影响主要体现在花青素、可溶性糖含量方面。UV辐射提高了3种生菜花青素含量,提高了绿叶生菜和紫叶生菜可溶性糖含量,但降低了红叶生菜可溶性糖含量。

参考文献(References)

- [1] 彭燕,艾辛. UV-B辐射强度变化及其对蔬菜的影响研究综述[J]. 现代园艺, 2010(6): 16-17.
Peng Yan, Ai Xin. Research summary of UV-B intensity change and its the effect on vegetable[J]. Xiandai Horticulture, 2010(6): 16-17.
- [2] 王小菁,潘瑞焱. UV-B对高等植物生长和产量及某些生理代谢过程的影响[J]. 植物生理学通讯, 1995, 31(5): 385-389.
Wang Xiaojing, Pan Ruizhi. Influence of UV-B growth, yield and some metabolic processes in higher plants[J]. Plant Physiology Communications, 1995, 31(5): 385-389.
- [3] 孙令强,李召虎,段留生,等. UV-B辐射对黄瓜幼苗生长和光合作用的影响[J]. 华北农学报, 2006, 21(6): 79-82.
Sun Lingqiang, Li Zhaohu, Duan Liusheng, et al. Effect of UV-B radiation on the growth and photosynthesis of cucumber (*Cucumis sativus* L.) seedlings[J]. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 2006, 21(6): 79-82.
- [4] 杨晖,焦光联,冯虎元,等. 紫外-B辐射对番茄幼苗生长、POD和IAA氧化酶活性的影响[J]. 西北植物学报, 2004, 24(5): 826-830.
Yang Hui, Jiao Guanglian, Feng Huyuan, et al. Effects of enhanced ultraviolet-B radiation on growth, POD and IAA oxidase activities in tomato seedling[J]. Acta Botanica Boreali-occidentalia Sinica, 2004, 24(5): 826-830.
- [5] 赵晓莉,胡正华,徐建强,等. UV-B辐射与酸雨胁迫对生菜生理特性及品质的影响[J]. 生态环境, 2006, 15(6): 1170-1175.
Zhao Xiaoli, Hu Zhenghua, Xu Jiangqiang, et al. The effect of UV-B radiation and acid rain on physiological property and quality of lettuce [J]. Ecology and Environment, 2006, 15(6): 1170-1175.
- [6] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.

- Li Hesheng. Plant physiology and biochemistry experimental principle and skills[M]. Beijing: Higher Education Press, 2000.
- [7] 曹建康. 果蔬采后生理生化实验指导[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2006.
Cao Jiankang. Experimental guidance of postharvest physiology and biochemistry experiment of fruits and vegetables[M]. Beijing: China Light Industry Press, 2006.
- [8] 胡志峰,郁继华,马彦霞,等. UV-B辐射增加对两种不同类型番茄幼苗生长和叶绿素荧光猝灭的影响[J]. 甘肃农业大学学报, 2009, 44(6): 33-38.
Hu Zhifeng, Yu Jihua, Ma Yanxia, et al. Effects of enhanced UV-B on growth and chlorophyll fluorescence quenching in two types of tomato seedling[J]. Journal of Gansu Agricultural University, 2009, 44(6): 33-38.
- [9] 杨晖,幸华,周剑平. 增强UV-B辐射对番茄果实产量和品质的影响[J]. 天水师范学院学报, 2009, 29(5): 35-37.
Yang Hui, Xing Hua, Zhou Jianping. Effect of enhanced UV-B radiation on fruit yield and quality of tow tomato cultivars[J]. Journal of Tianshui Normal University, 2009, 29(5): 35-37.
- [10] 王英利,王勋陵,岳明. UV-B及红光对大棚番茄品质的影响[J]. 西北植物学报, 2000, 20(4): 590-595.
Wang Yingli, Wang Xunling, Yue Ming. Effects of enhanced UV-B radiation on fruit yield and quality of two tomato cultivars[J]. Journal of Tianshui Normal University, 2000, 20(4): 590-595.
- [11] Krizek D T, Britz S J, Mirecki R M. Inhibitory effects of ambient levels of solar UV-A and UV-B radiation on growth of cv. New Red Fire lettuce[J]. Physiologia Plantarum, 1998, 103(1): 1-7.
- [12] Voipio I, Autio J. Responses of red-leaved lettuce to light intensity, UV-A radiation and root zone temperature[J]. Acta Horticulturae (ISHS), 1995, 399: 183-190.
- [13] Li Q, Kubota C. Effects of supplemental light quality on growth and phytochemicals of baby leaf lettuce[J]. Environmental and Experimental Botany, 2009, 67(1): 59-64.
- [14] Tsormpatsidis E, Henbest R G C, Davi F J S, et al. UV irradiance as a major influence on growth, development and secondary products of commercial importance in Lollo Rosso lettuce 'Revolution' grown under polyethylene films[J]. Environmental and Experimental Botany, 2008(63): 232-239.

(责任编辑 王媛媛)

《科技导报》征集“封面文章”

为快速反映中国最新科技研究成果,《科技导报》拟利用刊物最显著位置——封面将最新科研成果第一时间予以突出报道。来稿要求:研究成果具创新性或新颖性;反映该领域中国乃至世界前沿研究水平;可以图片形式予以反映,图片美观、清晰、分辨率超过300dpi;文章篇幅不限,要说明研究的背景、方法、取得的结果,以及结论。在线投稿:www.kjdb.org。