第27卷第6期 南京气象学院学报 Vol. 27 No. 6
2004年12月 Journal of Nanjing Institute of Meteorology Dec. 2004

文章编号: 1000-2022(2004)06-0800-06

# UV-B增强对冬小麦和菠菜影响的对比试验

李曼华, 郑有飞
(南京信息工程大学 环境科学系, 江苏 南京 210044)

摘 要: 通过大田试验对比研究了紫外辐射UV-B增强对冬小麦和圆叶菠菜株高、叶面积指数、干物质累积量的影响以及叶绿素和类黄酮含量的变化。结果表明: 紫外辐射UV-B增强对冬小麦和圆叶菠菜株高、叶面积指数、干物质累积有着明显的抑制作用, 同时还使叶绿素含量下降, 类黄酮含量增加。对比试验也表明, UV-B辐射对小麦株高、叶面积、干物质积累以及叶绿素和类黄酮含量的影响小于对菠菜的影响。

关键词: UV-B辐射; 小麦; 菠菜; 对比试验
中图分类号: Q435.122.2 文献标识码: A

大气臭氧层变薄, 导致到达地表的UV-B辐射量持续增强已成为不争的事实[1]。近年来, 国内外在UV-B辐射增强对生物(特别是植物)的影响方面作了大量的研究工作, 其中对某一种作物的生理生化、生长发育、产量形成的影响等方面取得较多的成果[2-5]。但有关UV-B辐射增强对不同植物影响的对比研究甚少, 目前仅有$C_3$、$C_4$类作物的比较研究, 而何种作物对UV-B辐射增强比较敏感是目前研究中十分关注的问题。本研究将针对不同类型植物对UV-B增强的响应确定不同作物对UV-B的敏感程度。

小麦是世界上播种面积最大的粮食作物[6], 我国冬小麦的播种面积和总产都占粮食作物的第2位, 仅次于稻谷。同时, 据前人研究[7], 冬小麦属于对UV-B辐射增强较敏感的作物。菠菜的栽培历史悠久, 我国南北各地普遍种植, 产量较高, 是我国北方秋、冬、春3季的重要蔬菜之一[8]。由于冬小麦和菠菜都是越冬植物, 所受到的外界影响较为一致, 影响结果也便于比较。因此, 本文选择冬小麦和菠菜, 通过对比试验, 分析UV-B辐射增强对它们的影响。

## 1 试验材料和方法

试验于2001年11月—2002年5月在南京信息工程大学(原南京气象学院)农业气象试验站(118.7°E, 32.2°N)进行, 供试品种为宁麦3号和东北圆叶菠菜, 大田种植撒播, 试验田土壤肥力中等偏上、基本均匀一致。试验设3个处理, 5组重复, 统一时间播种, 每小区播种密度、播种深度均匀一致, 3月8日开始进行UV-B辐射增强处理。

收稿日期: 2003-07-14; 改回日期: 2003-11-21
基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40175029); 海外青年学者合作研究基金资助项目(40028503); 江苏省"333"工程资助项目
作者简介: 李曼华(1978-), 女, 甘肃武都人, 硕士, 主要研究紫外辐射增强对农作物的影响, 现在山东省气象局工作.

UV-B 辐射增强处理: 采用的是可升降式的UV-B 辐射灯架, 架于植株上方1 m 处。设3 个试验处理: 对照(CK), 自然光; 处理1(T1), 紫外辐射增强0.25 W · $m^{-2}$, 相当于南京地区夏天日平均UV 辐射增强3.0 %; 处理2(T2), 紫外辐射增强0.75 W · $m^{-2}$, 相当于南京地区夏天日平均UV 辐射增强8.0 %。每天08 时至17 时照射9 h, 直至成熟为止。常规观测3 月11 日开始, 每5 d 定时(08 时) 采样测定株高、叶面积、干鲜重等指标。

类黄酮含量的测定: 参照Caldwell 测定类黄酮甲醇提取液的吸收法[9], 即取适量待测物质, 加入甲醇充分研磨, 使用离心机分离10 min, 提取上层清液, 定容稀释, 用752 型紫外—可见光栅分光光度计测定, 吸收波长选择在340 nm 处作代表峰值测定类黄酮相对含量。叶绿素含量测定: 取200 mg 待测物质, 浸入95 % 的乙醇溶液, 充分研磨, 使用离心机分离10 min, 提取上层清液, 定容稀释, 选择吸收波长645 nm、663 nm 分别测定, 根据公式计算出叶绿素的含量[10]。叶绿素a 含量 = (12.7 × $O_{D,663}$ − 2.69 × $O_{D,645}$) / 200, 叶绿素b 含量 = (22.9 × $O_{D,645}$ − 4.68 × $O_{D,663}$) / 200, 叶绿素含量 = (20.2 × $O_{D,645}$ + 8.02 × $O_{D,663}$) / 200。$O_{D,663}$, $O_{D,645}$ 分别表示吸收波长为663 nm、645 nm 测定的光密度值。

## 2　结果与分析

### 2.1　UV-B 增强对冬小麦和菠菜生长发育的影响

#### 2.1.1　UV-B 增强对株高的影响

不同作物对UV-B 辐射的增强有不同的敏感性。试验结果表明, UV-B 辐射增强对小麦有较大的影响, 可使小麦单茎株高受抑, 发生矮化现象[7](如表1 所示)。受UV-B 辐射增强的影响, T1、T2 两个处理的小麦株高在整个生育期都较对照的矮, 其矮化程度随UV-B 辐射增大而明显。而且随着生育进程的推移, UV-B 辐射增强对株高的影响是减弱的。到试验结束时, T1 和T2 的株高分别比CK 的下降了2.1 % 和6.5 %。

表1　不同强度UV-B 辐射对冬小麦和菠菜单茎株高的影响

Table 1　Effects of the different intensity of UV-B on the plant height of wheat and spinach

| 作物名称 | 日期(月-日) | $h_{CK}$/ cm | $h_{T1}$/ cm | ($h_{T1}$/ $h_{CK}$) / % | $h_{T2}$/ cm | ($h_{T2}$/ $h_{CK}$) / % |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 冬小麦 | 03-11 | 35.4 | 30.6 | 86.5 | 29.0 | 81.8 |
| | 03-21 | 47.1 | 43.2 | 91.7 | 40.9 | 86.9 |
| | 03-26 | 59.7 | 50.5 | 84.5 | 48.9 | 81.8 |
| | 04-01 | 63.8 | 54.6 | 85.6 | 54.9 | 86.1 |
| | 04-05 | 69.8 | 68.6 | 98.2 | 64.3 | 92.1 |
| | 04-09 | 73.1 | 73.0 | 99.8 | 68.0 | 93.1 |
| | 04-15 | 78.9 | 78.1 | 98.9 | 73.8 | 93.6 |
| | 04-19 | 82.1 | 80.5 | 98.1 | 77.1 | 93.9 |
| | 04-27 | 84.4 | 82.6 | 97.8 | 78.2 | 92.7 |
| | 05-01 | 85.4 | 83.6 | 98.0 | 79.8 | 93.5 |
| 菠菜 | 03-16 | 13.3 | 9.8 | 73.6 | 9.4 | 71.2 |
| | 03-21 | 17.9 | 15.6 | 87.2 | 14.1 | 78.8 |
| | 03-26 | 22.9 | 18.9 | 82.5 | 18.9 | 82.6 |
| | 04-01 | 25.9 | 24.4 | 94.2 | 24.3 | 94.1 |
| | 04-05 | 37.7 | 36.0 | 95.6 | 33.2 | 88.2 |
| | 04-09 | 44.9 | 40.3 | 89.8 | 36.4 | 81.0 |

注: $h_{CK}$表示CK 的株高; $h_{T1}$表示T1 的株高; $h_{T2}$表示T2 的株高.

与禾本科作物不同,菠菜经济产量直接取自叶片部分,受株高影响较大。从表1可以看出,相同的观测时间,不同强度的UV-B处理下,圆叶菠菜的株高不同,其高低顺序为$h_{CK} > h_{T1} > h_{T2}$,表现出了UV-B辐射增强对菠菜生长的抑制作用。在不同的生育期,UV-B辐射增强对菠菜株高的影响是不同的。在生长早期,T1和T2的株高分别比CK下降了26.4%和28.8%,但随着生育进程的推移,UV-B辐射增强对株高的影响有所减弱,到成熟期的时候,T1和T2的株高分别比CK下降了10.2%和19.0%。

从表1还可以看出:UV-B增强能抑制冬小麦和菠菜的株高,使其发生矮化现象,相对减少了UV-B辐射增强对其产生的伤害作用,这可能是作物对逆境的一种保护机制。同时,UV-B增强对株高的影响都是随着生育进程的推移而减弱的,生长早期受影响较大,到后期逐渐减小。这是因为作物在生长发育过程中通过自身调节相对适应了UV-B辐射增强的环境。比较影响程度可以看出,UV-B辐射增强对菠菜的影响要比对冬小麦的影响大。在整个生育期,小麦T1、T2处理的株高比CK下降了0.2%～15.5%、6.1%～18.2%,而菠菜的株高分别比CK下降了6.1%～26.4%、6.0%～28.8%。

2.1.2 UV-B增强对叶面积指数(Leaf area index,LAI)的影响

如图1a所示,受UV-B辐射增强的影响,小麦T1、T2处理的LAI在整个生育期都较CK小,其减小程度随UV-B辐射增强而明显。在对其进行UV-B辐射增加处理后的第30 d,T1、T2的LAI比CK下降了16.3%、22.6%。图1b是UV-B辐射增强对菠菜LAI的影响。从图中可以看出,UV-B辐射增强时,T1、T2的LAI都较CK小,且随UV-B辐射强度增大,LAI降低的越多。对菠菜LAI的影响在UV-B辐射增强处理后的第15 d表现尤为明显,此时T1、T2的LAI分别比CK的下降了9.6%、29.1%。

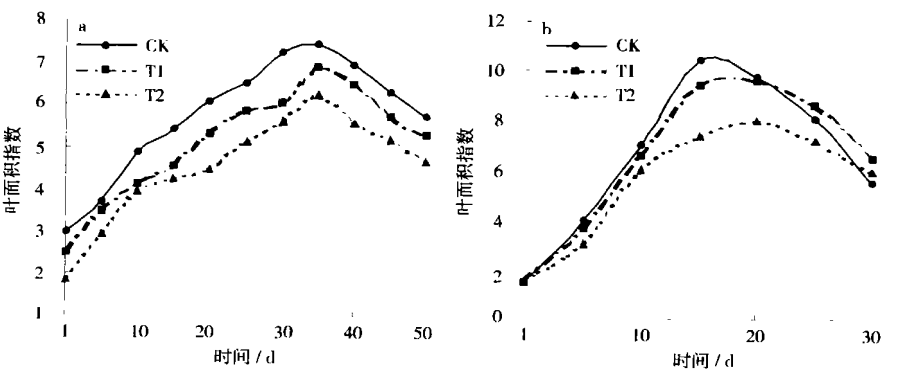



图1 UV-B辐射增强对冬小麦(a)和菠菜(b)的叶面积指数影响

Fig.1 Influences of enhanced UV-B on the leaf area index(LAI) of wheat(a) and spinach(b)

从以上分析可以看出,随着生育进程的推移,虽然小麦和菠菜的LAI变化趋势是基本一致的,但是菠菜的LAI在T1处理下的变化幅度小于小麦的,而在T2处理下的变化幅度大于小麦的,即UV-B辐射强度越大对菠菜的影响就越大。

2.1.3 UV-B增强对干物质积累的影响

试验观测结果表明:UV-B辐射增强对干物质积累影响较大。随着UV-B辐射强度的增加,干物质积累的速度下降(图2),且具有不同生育期影响不同的特点。在生长初期(图2a),CK与T1和T2的干物质差别不大。随着生育进程的推移,这种差异开始显著。到生长后期,T1、T2的干物重分别比CK的下降了22.6%、38.5%,即UV-B辐射对冬小麦干物重的影响随生育

进程的推移而加大。但不同强度的UV-B 增加对干物质积累的影响是不同的: 干物质的量总有 $m_{CK} > m_{T1} > m_{T2}$。由图2b 可知, UV-B 辐射增强对菠菜干物质积累的影响在生长后期尤为明显, 在对其进行UV-B 辐射增强处理后的第25 d, 处理T1、T2 的干物质比对照CK 下降了19.0 %、44.2 %。对比图2a 和2b 可以看出, UV-B 辐射增强对菠菜干物质的影响程度要比对小麦的大, 即UV-B 辐射增强对菠菜的影响大于对小麦的影响。

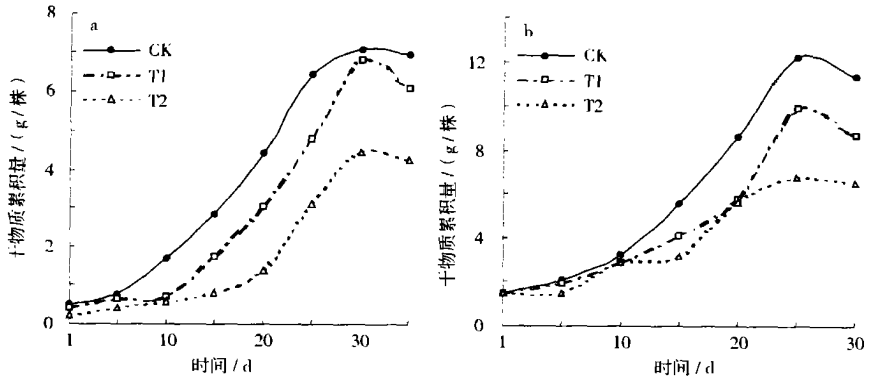



图2　UV-B 辐射增强对冬小麦(a) 和菠菜(b) 干物质积累量的影响

Fig. 2　Effects of enhanced UV-B on the dry matter weight of wheat(a) and spinach(b)

## 2.2　UV-B 增强对冬小麦和菠菜叶绿素及类黄酮含量的影响

### 2.2.1　UV-B 增强对叶绿素的影响

叶绿体是作物光合作用的器官, 叶绿素含量的多少直接影响光合产量的高低。由表2 可知, 生长于不同处理的冬小麦和菠菜, 不同器官的叶绿素a、叶绿素b 和叶绿素的含量具有一定的差异, 但是冬小麦各个器官中叶绿素a、叶绿素b 和叶绿素含量随着UV-B 辐射增强下降

表2　UV-B 辐射增强后冬小麦和菠菜不同器官叶绿素的含量

Table 2　Chlorophyll contents in different organs of wheat and spinach after UV-B enhanced

| 作物名称 | 叶绿素 | 器官名称 | $c_{CK}$/(mg/g) | $c_{T1}$/(mg/g) | ($c_{T1}/c_{CK}$)/% | $c_{T2}$/(mg/g) | ($c_{T2}/c_{CK}$)/% |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 冬小麦 | 叶绿素a | 叶 | 1.830 | 1.521 | 83.1 | 1.196 | 65.4 |
| | | 鞘 | 0.504 | 0.432 | 85.7 | 0.369 | 73.2 |
| | | 茎 | 0.062 | 0.054 | 87.3 | 0.047 | 76.2 |
| | 叶绿素b | 叶 | 0.672 | 0.465 | 69.2 | 0.379 | 56.5 |
| | | 鞘 | 0.188 | 0.148 | 78.6 | 0.080 | 42.4 |
| | | 茎 | 0.039 | 0.030 | 75.8 | 0.018 | 47.0 |
| | 叶绿素 | 叶 | 2.501 | 1.986 | 79.4 | 1.575 | 63.0 |
| | | 鞘 | 0.692 | 0.579 | 83.8 | 0.448 | 64.8 |
| | | 茎 | 0.101 | 0.084 | 82.8 | 0.066 | 64.9 |
| 菠菜 | 叶绿素a | 叶 | 0.875 | 0.851 | 97.3 | 0.662 | 75.6 |
| | | 叶柄 | 0.133 | 0.087 | 65.0 | 0.085 | 63.6 |
| | | 茎 | 0.088 | 0.039 | 44.9 | 0.036 | 40.5 |
| | 叶绿素b | 叶 | 0.354 | 0.270 | 76.5 | 0.253 | 71.5 |
| | | 叶柄 | 0.054 | 0.045 | 83.3 | 0.029 | 54.1 |
| | | 茎 | 0.041 | 0.016 | 39.9 | 0.014 | 33.3 |
| | 叶绿素 | 叶 | 1.229 | 1.122 | 91.3 | 0.915 | 74.4 |
| | | 叶柄 | 0.187 | 0.132 | 70.2 | 0.114 | 60.9 |
| | | 茎 | 0.129 | 0.056 | 43.3 | 0.049 | 38.2 |

注: 冬小麦测定日期为5月5日, 菠菜测定日期为3月28日; $c_{CK}$、$c_{T1}$、$c_{T2}$分别为CK、T1、T2 的叶绿素含量.

的幅度均小于菠菜的, 这也说明菠菜受到的影响大于冬小麦。

2.2.2 UV-B 增强对类黄酮含量的影响

植物类黄酮的积累是植物对UV-B 辐射变化的适应和保护反应[11]。表3 表明, UV-B 辐射增强, 小麦的茎、叶以及叶鞘内类黄酮含量均增加, 菠菜的叶、叶柄和茎内的类黄酮含量也增多, 且随着UV-B 辐射强度增加, 菠菜各器官类黄酮含量增加的幅度大于冬小麦。从表3 中还可以看出, 小麦和菠菜同一处理同一器官的不同部位从上到下类黄酮含量逐渐减小, 这主要是因为中、下部各器官接受的UV-B 辐射相对顶部的要少。研究表明[12], 紫外辐射吸收物质类黄酮主要集中在叶表皮层中(通常在上表皮层中较多), 以胸腺嘧啶二聚体的形式保护叶肉细胞DNA 和光合机构等免遭UV-B 辐射的伤害。生长在强UV-B 辐射下的植物, 其叶片中紫外线吸收物质的增加可影响植物叶片对UV-B 辐射的穿透性, 减少UV-B 辐射进入叶肉组织的量, 从而降低UV-B 辐射的伤害, 本试验验证了这种说法。

表3 UV-B 辐射增强后冬小麦和菠菜不同器官类黄酮的含量

Table 3 Flavonoid contents in different organs of wheat and spinach after UV-B enhanced

| 作物名称 | 部位名称 | CK 的类黄酮 | T1的类黄酮 | CK 和T1 的类黄酮比/% | T2 的类黄酮 | CK 和T2的类黄酮比/% |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 冬小麦 | 顶1 叶 | 33.9 | 37.7 | 90.0 | 39.7 | 85.3 |
| | 顶2 叶 | 28.5 | 34.5 | 82.5 | 37.3 | 76.3 |
| | 顶3 叶 | 23.5 | 28.4 | 82.5 | 34.2 | 68.7 |
| | 顶4 叶 | 28.2 | 29.1 | 96.6 | 33.2 | 84.7 |
| | 顶1 鞘 | 7.7 | 9.6 | 80.0 | 10.4 | 74.0 |
| | 顶2 鞘 | 4.7 | 7.2 | 65.2 | 8.7 | 54.2 |
| | 顶3 鞘 | 3.5 | 5.7 | 60.7 | 8.1 | 42.6 |
| | 顶4 鞘 | 2.5 | 5.0 | 50.5 | 7.2 | 35.3 |
| | 顶1 茎 | 4.1 | 4.3 | 94.1 | 5.1 | 79.5 |
| | 顶2 茎 | 3.2 | 3.4 | 94.5 | 3.8 | 83.0 |
| | 顶3 茎 | 2.3 | 2.8 | 83.5 | 3.7 | 63.7 |
| | 顶4 茎 | 1.5 | 2.4 | 59.8 | 2.7 | 53.8 |
| 菠菜 | 顶1 叶 | 16.8 | 18.6 | 90.1 | 21.0 | 79.7 |
| | 顶2 叶 | 14.2 | 17.4 | 81.9 | 19.5 | 72.9 |
| | 顶3 叶 | 13.2 | 17.0 | 77.9 | 17.6 | 75.1 |
| | 顶4 叶 | 11.3 | 15.3 | 73.7 | 16.5 | 68.3 |
| | 顶1 柄 | 2.0 | 3.0 | 64.8 | 3.2 | 61.0 |
| | 顶2 柄 | 1.9 | 2.3 | 83.9 | 3.0 | 63.2 |
| | 顶3 柄 | 1.5 | 1.8 | 84.6 | 2.4 | 63.5 |
| | 顶4 柄 | 0.9 | 1.2 | 75.5 | 1.3 | 71.1 |
| | 顶1 茎 | 1.2 | 1.4 | 83.2 | 1.9 | 63.4 |
| | 顶2 茎 | 0.9 | 1.2 | 76.3 | 1.3 | 70.2 |
| | 顶3 茎 | 0.8 | 1.0 | 74.4 | 1.2 | 61.9 |
| | 顶4 茎 | 0.6 | 0.9 | 73.3 | 0.9 | 70.4 |

注: 冬小麦测定日期是5月5日, 菠菜测定日期是3月28日; 表内类黄酮含量以其在340 nm 处的吸收峰值表示.

## 3 结论与讨论

(1) UV-B 辐射增强, 小麦和菠菜的株高、叶面积指数、干物质积累及叶绿素含量均呈下降趋势, 类黄酮含量增加。(2) 随着UV-B 辐射强度的增加, 各个指标下降的程度明显。即UV-B 辐射越强, 对小麦和菠菜的生长发育以及产量的抑制作用越明显。(3) UV-B 辐射对菠菜株高、叶面积、干物质积累及叶绿素和类黄酮含量的影响均大于对小麦的影响。

本试验研究结果显示菠菜在UV-B 辐射增强时受到的影响更大, 其对UV-B 辐射的敏感性大于冬小麦。目前已经证实, 不少农作物品种之间对紫外辐射的敏感性存在着较大差异[13]。据此可以根据不同作物对紫外辐射敏感程度不同, 按当地紫外辐射分布的时空特征, 种植适宜的作物, 尽可能在紫外辐射强的地区种植迟钝型的作物。影响敏感性的因素是多方面的, 如植株形态、生长发育及生理生化以及外界环境因素等。本文由于实验条件的限制, 没有考虑其他环境因子与紫外辐射的协同作用, 这一点有待于进一步完善。

## 参考文献:


[1] 王春乙, 郭建平, 郑有飞. 二氧化碳、臭氧和紫外辐射与农作物生产[M]. 北京: 气象出版社, 1997: 127-130.

[2] 王传海, 郑有飞, 何雨红, 等. 紫外辐射增加对小麦群体结构的影响[J]. 南京气象学院学报, 2000, 23(2): 204-210.

[3] Teramura A H. Murali N S. Intraspecific differences in growth and yield of soybean exposed to UV-B radiation under greenhouse and field condition[J]. Environ Exp Bot, 1986, 26(1): 89-95.

[4] 李　元, 祖艳群, 王勋陵, 等. 增强的 UV-B 辐射对春小麦植株化学成分、真菌定殖和分解的影响[J]. 应用生态学报, 2001, 12(2): 223-225.

[5] 王传海, 郑有飞, 万长建, 等. 紫外辐射增加对小麦产量及产量形成的影响[J]. 中国农业气象, 2001, 22(4): 19-21.

[6] 韩湘玲, 曲曼丽. 作物生态学[M]. 北京: 气象出版社, 1991: 139-146.

[7] 郑有飞. 臭氧和地表紫外辐射量变化及其对我国主要农作物影响研究[D]. 南京: 南京气象学院大气科学系, 2000: 66-68.

[8] 王　瑜, 范双喜. 绿叶蔬菜优质高产栽培[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 1997: 52-55.

[9] Watson R T. Present State of the Upper Atmosphere[R]. Washington D C, NASA office of space science and Application. An assessment report. NASA reference Publication 1208, 1988: 200.

[10] Arnon D I. Copper enzymes in isolated chloroplasts Polyphenoloxidase in Beta vulgaris[J]. Plant Physiology, 1949, 24(1): 1-15.

[11] 李　鹏, 李祺福, 黄胤怡. 抗UV-B 辐射植物黄酮类化合物研究进展[J]. 生态学杂志, 2001, 20(6): 36-40.

[12] 师生波, 贲桂英, 韩　发. 不同海拔地区紫外线-B 辐射状况及植物叶片紫外线吸收物质含量的分析[J]. 植物生态学报, 1999, 23(6): 529-535.

[13] Teramura A H, Sullivan J H, Ziska L H. Interaction of elevated ultraviolet-B radiation and $CO_2$ on productivity and photosynthetic characteristics in wheat, rice and soybean[J]. Plant Physiology, 1990, 94(2): 470-475.


# Contrast Experiments of Effects of Enhanced UV-B Radiation on Wheat and Spinach


LI Man-hua,　ZHENG You-fei

(Department of Environmental Sciences, NUIST, Nanjing　210044, China)



**Abstract**: Influences of the intensified Ultraviolet radiation(UV-B radiation, 280～320 nm) on wheat and spinach were compared and analyzed in this paper. Results indicate that the enhanced UV-B tends to suppress the plant height and dry matter accumulation of wheat and spinach, to reduce the chlorophyll content and leaf area, and to raise the flavonoid content. In addition, field experiments also show that impacts of enhanced UV-B on wheat are smaller than that on spinach.



**Key words**: UV-B radiation; wheat; spinach; contrast experiment