

# 田间增强 UV-B 辐射对麦田生态系统 Fe 营养和累积的影响\*

李元<sup>1,3</sup>, 王勋陵<sup>2\*\*</sup>, 胡之德<sup>3</sup> (1. 云南农业大学环境科学系, 昆明 650201; 2. 兰州大学生物系, 兰州 73000; 3. 兰州大学化学系, 兰州 730000)

**摘要:** 研究大田栽培和自然光条件下, 模拟 UV-B 辐射 (UV-B, 280nm ~ 315nm) 增强对麦田生态系统 Fe 营养和累积的影响. 在 4 个生育期中, UV-B 辐射显著增加叶和穗 Fe 含量, 显著降低根 Fe 含量, 并改变茎 Fe 含量. 叶 Fe 累积对 UV-B 辐射的响应有明显的生育期之间的差异. 分蘖期无显著变化, 拔节期和扬花期显著增加, 而成熟期显著降低. 在各生育期, UV-B 辐射显著降低叶、根和穗 Fe 累积. UV-B 辐射显著降低春小麦不同生育期 Fe 总累积, 在  $5.31 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2}$  UV-B 辐射下, 降低最显著. UV-B 辐射还降低春小麦群体 Fe 输出. 麦田土壤速效 Fe 含量增加是春小麦群体 Fe 输出降低的结果, 可能导致土壤中 Fe 储量的增加.

**关键词:** UV-B 辐射, 麦田生态系统, Fe, 营养, 累积.

中图分类号: X503.231 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2000)02-0036-04

## Effects of Enhanced UV-B Radiation on Nutrients and Accumulation of Fe of Wheat Field Ecosystem\*

Li Yuan<sup>1,3</sup>, Wang Xunling<sup>2</sup>, Hu Zhide<sup>3</sup> (1. Environmental Science Dept., Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China; 2. Biology Dept., Lanzhou University, Lanzhou 730000; 3. Chemistry Dept., Lanzhou University, Lanzhou 730000)

**Abstract:** Influences of enhanced ultraviolet radiation (UV-B, 280~315nm) on nutrients and accumulation of Fe of wheat field ecosystem were investigated under field conditions. UV-B radiation increased significantly Fe concentrations in leaves and spikes, decreased significantly Fe concentrations in roots, and changed Fe concentrations in stems at various developmental stages. The responses of Fe accumulation in leaves to UV-B radiation were different among developmental stages, it had no changed significantly at tillering stage, increased significantly at stages of elongation and flowering, and decreased significantly at ripening stage. At various developmental stages, UV-B radiation decreased significantly Fe accumulation in stems, roots and spikes. UV-B radiation decreased significantly Fe accumulation in whole plants at various developmental stages,  $5.31 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2}$  UV-B radiation had the greatest decrease. UV-B radiation reduced Fe output of spring wheat colonies. Increases in concentrations of available Fe in soil were the results of decreases in Fe output of spring wheat colonies, might lead to occur higher Fe storage in soil.

**Keywords:** UV-B radiation, wheat field ecosystem, Fe, nutrients, accumulation.

近 20 多年来, UV-B 辐射增加对植物个体的影响已经受到了广泛的关注, 而对植物群体和生态系统的影响, 以及对植物营养累积和物质循环的影响了解甚少<sup>[1,2]</sup>. 仅见报道 UV-B 辐射阻碍草原灌木金合欢属植物 *Acacia tortilis* 中 Fe 从子叶向幼苗移动<sup>[3]</sup>.

UV-B 辐射对春小麦生长、生理和群体结

构的影响均有报道<sup>[4,5]</sup>. 本文报道 UV-B 辐射对大田条件下春小麦群体 Fe 营养和累积的影

\* 国家自然科学基金项目 (Project Supported by the National Natural Science Foundation of China): 39670132, 39760021

\*\* 通讯联系人

作者简介: 李元(1963~)男, 博士, 在研博士后, 副教授, 主要研究方向为环境生态和生态农业. 发表论文近 30 篇, 获科技进步奖 2 项.

收稿日期: 1999-04-26

响, 为正确评估 UV-B 辐射对农田生态系统功能的影响和科学预测提供理论依据.

1 材料与方法

1.1 植物材料

试验于兰州大学生物园内进行. 春小麦 (*Triticum aestivum*) 品种 80101, 大田条播, 黄绵土, 中上等水肥条件, 常规管理. 三叶期间苗, 保持 600 苗· m<sup>-2</sup>, 同时开始 UV-B 辐射, 每天 10~17h 共辐射 7h(雨天除外), 直到成熟.

1.2 UV-B 辐射模拟

UV-B 灯管(光谱为 280~315nm)悬于植株上方, 用于模拟 UV-B 辐射. 用 UV-B 辐射测定仪测 297 nm 处辐射强度(以植株上部计). 设 0(自然光)、2.54、4.25 和 5.31kJ· m<sup>-2</sup> 4 个辐射水平, 相当于兰州地区 0%、12%、20% 和 25% 的臭氧衰减, 每处理小区 2m<sup>2</sup>, 3 重复.

1.3 测定方法

在分蘖期(40 DAP)、拔节期(55 DAP)、扬花期(75 DAP)和成熟期(110 DAP), 采集植物和耕层(0~30 cm)土壤样品.

植物样品采用 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-HClO<sub>4</sub> 消化, HITACHI Z-6100 型原子吸收分光光度计(日本生产)测定 Fe 含量. 元素累积量=元素含量×生物量. 生物量另文发表.

土壤样品, 风干, 过筛. 速效 Fe 用 DTPA 提取, HITACHI Z-6100 型原子吸收分光光度计(日本生产)测定.

1.4 统计分析

测试指标平均值之间的差异显著性用 LSD 检验,  $P < 0.05$  水平. 运用统计分析法建立二元回归模型, 以反映 Fe 累积量随 UV-B 辐射和生育期变化的规律性,  $F$  值和复相关系数  $R$  用于检验回归模型的显著程度,  $P < 0.05$  或 0.01 水平. 用直线相关分析检验指标间的相关程度,  $P < 0.05$  或 0.01 水平.

2 结果与讨论

2.1 UV-B 辐射对春小麦 Fe 含量的影响

表 1 表明, 4 个生育期, UV-B 辐射导致春

小麦叶和穗 Fe 含量显著增加, 而根 Fe 含量显著降低. 在不同生育期, 茎 Fe 含量随 UV-B 辐射变化的趋势并不一致, 分蘖期和成熟期茎 Fe 含量显著降低, 拔节期茎 Fe 含量无显著变化, 而扬花期 2.54kJ· m<sup>-2</sup> UV-B 辐射导致茎 Fe 含量显著高于对照, 在 4.25 和 5.31kJ· m<sup>-2</sup> UV-B 辐射时, 茎 Fe 含量与对照之间无显著差异. 这可能是 UV-B 辐射刺激了 Fe 从根和茎向叶和穗的运转. 相反的结果, UV-B 辐射阻碍草原灌木金合欢属植物 *Acacia tortilis* 中 Fe 从子叶向幼苗移动也已观察到<sup>[3]</sup>. 这种差别可能与植物种类、生育期、UV-B 辐射强度和其它环境条件的不同有关<sup>[6]</sup>.

植物营养含量对 UV-B 辐射的响应是各种生理和营养代谢过程共同变化的结果. UV-B 辐射对植物营养代谢的影响可能与代谢酶<sup>[7,8]</sup>、膜吸收功能<sup>[9]</sup>、光系统II 中心以及 ATP 合成<sup>[10]</sup>有关, 从而降低根发育和根系吸收能力. 在本试验中, 叶片 CHO 含量变化(另文发表)可能与 CHO 可利用性有关, 从而影响根生长, 并导致营养吸收的变化<sup>[11]</sup>.

2.2 UV-B 辐射对春小麦群体 Fe 累积的影响

在 UV-B 辐射下, 叶 Fe 累积对 UV-B 辐射的响应有明显的生育期之间的差异. 分蘖期无显著变化, 拔节期和扬花期显著增加, 而成熟期显著降低. UV-B 辐射对 4 个生育期茎、根 Fe 累积的影响是一致的, 均为显著降低. 在扬花期, 5.31kJ· m<sup>-2</sup> UV-B 辐射导致穗 Fe 累积显著低于对照, 而在成熟期穗 Fe 累积表现出显著降低的趋势(表 1).

UV-B 辐射对春小麦群体 Fe 总累积的影响是一致的(图 1), 在 4 个生育期, Fe 总累积均随 UV-B 辐射增加而降低. 根据 LSD 检验( $P < 0.05$ ), 在分蘖期和成熟期, 各 UV-B 辐射处理间的 Fe 总累积差异显著, 而拔节期 0 和 2.54、2.54 和 4.25 kJ· m<sup>-2</sup> UV-B 辐射之间, 以及扬花期 4.25 和 5.31 kJ· m<sup>-2</sup> UV-B 辐射之间的 Fe 总累积差异不显著. 在 5.31 kJ· m<sup>-2</sup> UV-B 辐射时, 各生育期 Fe 总累积均最小.

营养累积是生物量降低(另文发表)和营养

含量变化(表 1)共同作用的结果. 相关分析表明, Fe 累积与生物量具有较好的相关性, 在群体( $r = 0.9778, P < 0.05$ )、叶( $r = 0.9944, P < 0.01$ )和茎( $r = 0.9514, P < 0.05$ )中均达到显著水平, 而与各部位 Fe 含量的相关性较差, 仅根中相关显著( $r = 0.9553, P < 0.05$ ), 生物量

可能比 Fe 含量对 Fe 累积的贡献更大. 假定春小麦仅收获地上部分, 则 Fe 输出为成熟期叶、茎和穗的 Fe 累积之和(表 1), 它被 UV-B 辐射显著降低. 在成熟期,  $5.31 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2}$  UV-B 辐射时降低 36.17%.

2.3 春小麦群体 Fe 总累积与 UV-B 辐射和

表 1 UV-B 辐射对春小麦 Fe 含量和累积的影响<sup>1)</sup>

| 部位 | UV-B<br>/ $\text{kJ} \cdot \text{m}^{-2}$ | 含量 $\times 10^2/\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ |         |        |         | 累积量 $\times 10^{-2}/\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$ |        |         |        |
|----|-------------------------------------------|-------------------------------------------------|---------|--------|---------|---------------------------------------------------|--------|---------|--------|
|    |                                           | 分蘖期                                             | 拔节期     | 扬花期    | 成熟期     | 分蘖期                                               | 拔节期    | 扬花期     | 成熟期    |
| 叶  | 0                                         | 5.33c                                           | 6.02c   | 9.50c  | 15.16c  | 6.67a                                             | 17.82b | 31.92b  | 36.82a |
|    | 2.54                                      | 5.90b                                           | 7.39b   | 10.59c | 16.23bc | 6.74a                                             | 22.17a | 33.04b  | 31.72b |
|    | 4.25                                      | 6.19b                                           | 7.86b   | 11.50b | 16.79b  | 6.89a                                             | 21.99a | 34.32ab | 30.18b |
|    | 5.31                                      | 8.43a                                           | 9.18a   | 14.00a | 19.34a  | 6.99a                                             | 22.02a | 36.68a  | 27.40c |
| 茎  | 0                                         | 5.61a                                           | 3.86a   | 2.22b  | 2.63a   | 6.42a                                             | 8.65a  | 13.03a  | 13.71a |
|    | 2.54                                      | 5.37a                                           | 3.77a   | 2.48a  | 2.59a   | 5.68b                                             | 7.45b  | 11.35b  | 11.62b |
|    | 4.25                                      | 3.27c                                           | 3.89a   | 2.15b  | 1.94b   | 3.01c                                             | 7.06b  | 9.33b   | 8.24c  |
|    | 5.31                                      | 2.07d                                           | 4.05a   | 2.31ab | 1.89b   | 1.36d                                             | 4.43c  | 3.19c   | 5.11d  |
| 根  | 0                                         | 22.22a                                          | 26.65a  | 52.40a | 52.25a  | 10.23a                                            | 17.91a | 35.38a  | 34.75a |
|    | 2.54                                      | 20.70ab                                         | 25.05ab | 33.71b | 35.35c  | 5.93b                                             | 14.19b | 22.01b  | 22.80b |
|    | 4.25                                      | 19.35b                                          | 23.80b  | 24.53c | 41.50b  | 4.76c                                             | 11.20c | 12.24b  | 20.42b |
|    | 5.31                                      | 9.25c                                           | 17.20c  | 24.30c | 26.25d  | 1.94d                                             | 6.74d  | 9.80c   | 10.53c |
| 穗  | 0                                         |                                                 |         | 2.07c  | 1.63b   |                                                   |        | 5.48a   | 9.34a  |
|    | 2.54                                      |                                                 |         | 1.97c  | 1.51c   |                                                   |        | 5.13a   | 7.19b  |
|    | 4.25                                      |                                                 |         | 2.26b  | 1.48c   |                                                   |        | 5.41a   | 6.62c  |
|    | 5.31                                      |                                                 |         | 2.88a  | 1.83a   |                                                   |        | 4.38b   | 5.72d  |

1) 表中 a、b、c、d 表示在  $P < 0.05$  水平差异显著, 根据 LSD 检验( $n = 6$ ).

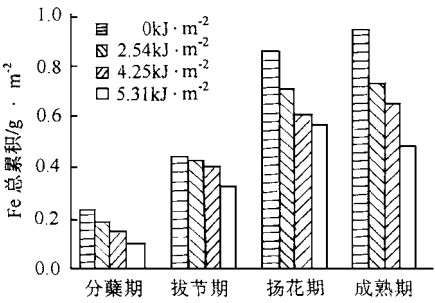


图 1 UV-B 辐射对春小麦群体 Fe 总累积的影响  
生育期之间的回归分析  
春小麦群体 Fe 总累积  $y(10^{-2} \text{g} \cdot \text{m}^{-2})$  与 UV-B 辐射( $x_1, \text{kJ} \cdot \text{m}^{-2}$ )和生育期( $x_2, \text{DAP}$ )之间的二元回归模型如下:

$$y = 11.49 - 5.31x_1 + 0.733x_2$$
  
( $R = 0.8841, P < 0.01; F = 35.86, P < 0.01$ )

可见, 群体 Fe 总累积随 UV-B 辐射增加而降低, 同时, 还随 DAP 增加而增加. 运用此模型可以预测春小麦群体 Fe 总累积随 UV-B 辐射和生育期变化的情况.

2.4 UV-B 辐射对麦田土壤速效 Fe 含量的影响

在春小麦 4 个生育期, UV-B 辐射增加麦田土壤速效 Fe 含量, 在  $5.31 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2}$  UV-B 辐射时均最显著(表 2). 在成熟期, 2.54、4.25 和  $5.31 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2}$  UV-B 辐射处理之间的速效 Fe 含量差异不显著. 在春小麦各生育期, 土壤

速效 Fe 含量均与春小麦群体 Fe 总累积呈负相关, 其中, 在扬花期相关显著( $r = -0.9637$ ,  $P < 0.05$ ). 成熟期土壤速效 Fe 含量还与群体 Fe 输出(成熟期春小麦地上部 Fe 累积之和)呈负相关. 土壤中速效 Fe 含量增加可能是春小麦群体 Fe 输出降低的结果, 标志着土壤库中 Fe 贮量的增加.

表 2 UV-B 辐射对麦田土壤速效 Fe 含量的影响<sup>1)</sup>(0~ 30cm 土层)/mg· kg<sup>-1</sup>

| UV-B/kJ· m <sup>-2</sup> | 分蘖期   | 拔节期    | 扬花期    | 成熟期   |
|--------------------------|-------|--------|--------|-------|
| 0                        | 15.1c | 15.1c  | 16.2c  | 11.9b |
| 2.54                     | 17.7b | 18.4b  | 16.8bc | 15.0a |
| 4.25                     | 17.1b | 19.0ab | 17.7ab | 15.2a |
| 5.31                     | 20.0a | 20.2a  | 18.4a  | 15.3a |

1) 表中 a、b、c、d 表示在  $P < 0.05$  水平差异显著, 根据 LSD 检验( $n = 6$ ).

3 小结

(1) UV-B 辐射对春小麦不同生育期各部位 Fe 含量有显著的影响.

(2) 在 UV-B 辐射下, 春小麦群体各生育期不同部位中 Fe 累积的变化趋势并不完全一致, 但其总累积均随 UV-B 辐射增加而降低.

(3) 假定春小麦仅收获地上部分, 则群体 Fe 输出(成熟期叶、茎和穗的 Fe 累积之和)被 UV-B 辐射显著降低.

(4) 土壤中速效 Fe 含量增加可能是春小麦群体 Fe 输出降低的结果, 标志着土壤库中 Fe 贮量的增加.

参考文献

1 Caldwell M M, Teramura A H, Tevini M et al. Effects

of increased solar ultraviolet radiation on terrestrial plants. *Ambio.*, 1995, **24**(3): 166~ 173.

2 Johanson U, Gehrke FKC, Bjorn LO et al. The effects of enhanced UV-B radiation on a subarctic heath ecosystem. *Ambio.*, 1995, **24**(2): 106~ 111.

3 Ernst WHO, Jos WM, Van de Staaij et al. Reaction of savanna plants from Bostwana on UV-B radiation. *Plant Ecology*, 1997, **128**: 162~ 170.

4 Li Yuan(李元), Wang Xunling(王勋陵). The Effect of enhanced ultraviolet-B radiation on the physiological indicator, yield and quality of wheat. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 1998, **18**(5): 504~ 509.

5 Li Yuan(李元), Yue Ming(岳明), Wang Xunling(王勋陵). Effects of enhanced ultraviolet-B radiation on crop structure, growth and yield components of spring wheat under field conditions. *Field Crops Research*, 1998, **57**: 253~ 263.

6 Caldwell M M, Flint S D. Stratospheric ozone reduction, solar UV-B radiation and terrestrial ecosystem. *Clim. Change*, 1994, **27**: 354~ 359.

7 Dohler G, Worrest R C, Biemann I et al. Photosynthetic <sup>14</sup>CO<sub>2</sub> fixation and [<sup>15</sup>N]-ammonia assimilation during UV-B radiation of *Lithodendium variable*. *Physiol. Plant.*, 1987, **70**: 511~ 515.

8 Tyagi R, Srinivas G, Vyas D et al. Differential effect of ultraviolet-B radiation on certain metabolic processes in a chromatically adapting *Nostoc*. *Photochem. Photobiol.*, 1992, **55**(3): 403~ 407.

9 Braune W, Dohler G. Impact of UV-B radiation on <sup>15</sup>N-ammonium and <sup>15</sup>N-nitrate uptake by *Haematococcus lacustris*(volocales). I. Different response of flagellates and aplanospores. *J. Plant Physiol.*, 1994, **144**: 38~ 44.

10 Strid A, Chow W S, Anderson J M. Effects of supplementary ultraviolet-B radiation on photosynthesis in *Pisum sativum*. *Biochim. Biophys. Acta.*, 1990, **1020**: 260~ 268.

11 Veen B W. Relation between root respiration and root activity. *Plant soil*, 1981, **63**: 73~ 76.