

增强的 UV-B 辐射对麦田生态系统中种群数量动态的影响

李 元¹, 王勋陵^{2*}

(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 730000)

摘要:研究了大田栽培和自然光条件下, 模拟 UV-B 辐射(UV-B, 280~315nm)增强对麦田生态系统杂草、大型土壤动物和麦蚜种群数量动态的影响。在 UV-B 辐射下, 杂草和大型土壤动物的种类和数量降低, 物种多样性改变, 杂草总生物量也降低。UV-B 辐射降低麦蚜复合种群数量, 并与麦叶粗纤维、可溶性蛋白、可溶性糖、Mg 和 Zn 含量有显著的相关性。UV-B 辐射还导致麦蚜与麦叶 Mg、Fe 和 Zn 含量均显著增加。

关键词:UV-B 辐射; 麦田生态系统; 杂草; 大型土壤动物; 麦蚜

Effects of enhanced UV-B radiation on population quantity dynamics of weeds, soil macroanimals and wheat aphids in the wheat field ecosystem

LI Yuan¹, WANG Xun-Ling² (1. Dept. of Environmental Science, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China; 2. Dept. of Biology, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China)

Abstract: Influences of enhanced ultraviolet radiation(UV-B, 280~315nm) on population quantity dynamics of weeds, soil macroanimals and wheat aphids in the wheat field ecosystem were investigated. Under UV-B radiation, species number and population quantity of weeds and soil macroanimals decreased, species diversity changed, total biomass of weeds reduced. UV-B radiation decreased population quantity of wheat aphids, which were significantly correlated with HCl, soluble protein content, CHO and the concentrations of Mg and Zn in wheat leaves. UV-B radiation resulted in significant increase of the concentrations of Mg, Fe and Zn in wheat aphids and wheat leaves.

Key words: UV-B radiation; wheat field ecosystem; weeds; soil macroanimals; wheat aphids

文章编号: 1000-0933(2001)01-0131-05 中图分类号: Q945.11 文献标识码: A

70 年代以来, 臭氧层减薄导致的 UV-B 辐射增加对高等植物的影响已有较多报道^[1,2]而, 过去的试验多数是温室内植物个体水平的短期响应, 这与野外条件下生态系统水平的长期响应有明显的差异^[3], 并将导致评估大田条件下植物群体与生态系统对 UV-B 辐射响应的不真实性^[1]。因此, 在野外条件下生态系统水平的长期试验是十分必要的^[1]。

UV-B 辐射对生态系统的影响是一个新的研究领域。笔者已经报道了 UV-B 辐射对小麦生长、生理、群体结构、产量、品质、植物营养、叶质量和根际微生物种群数量的影响^[4~7]。本文的研究将阐述 UV-B 辐射对麦田生态系统结构的影响, 并对其机理进行初步探讨。

1 材料与方法

基金项目: 国家自然科学基金项目(39670132, 39760021)

收稿日期: 1998-12-03; 修订日期: 1999-09-20

作者简介: 李元(1963-), 男, 云南大姚人, 博士, 教授。主要从事环境生态学, 污染生态学和生态农业研究。

* 通信联系人

1.1 麦田生态系统的建立与 UV-B 辐射模拟 试验于 1996 年和 1997 年在兰州大学生物园内进行。春小麦 (*Triticum aestivum*) 品种 80101 大田行播, 黄绵土, 中上等水肥条件, 常规管理。三叶期间苗, 保持 600 苗/m², 同时开始 UV-B 辐射, 每天 10:00~17:00 共辐射 7h (雨天除外), 直到成熟。麦田生态系统中的杂草、大型土壤动物和麦蚜均为自然过程, 没人工干预。

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 297nm 处辐射强度 (以植株上部计)。设 4 个辐射水平, 即 0 (自然光)、2.54、4.25 和 5.31kJ/m², 相当于兰州地区 0%、12%、20% 和 25% 的臭氧衰减。每处理小区 2m², 3 重复。

1.2 测定方法 每小区取 2 个 50×50cm² 的样方。收集杂草 (包括根), 记载种类和数量, 并在 68℃ 烘 68h, 称重。根据张雪萍等的方法^[8], 用手拣法收集样方耕层土壤 (0~0.3m) 的大型土壤动物, 进行种类和数量记载。采用 5 个较典型的多样性指数进行分析。

物种多度, 采用 Clifford 等 (1975) 的 Margalef 指数: $D_{MG} = (S - 1) / \ln N$

物种种群丰度, 采用 Macarthur (1957) 的 Macarthur 指数: $N_i = \frac{N}{S} \sum_{i=1}^S \frac{1}{n_i}$

物种多样性, 采用 Shannon 等 (1949) 的 Shannon 指数: $H = - \sum_{i=1}^S P_i \ln P_i$

物种优势度, 采用 Simpson (1949) 的 Simpson 指数: $D = \sum_{i=1}^S \frac{n_i(n_i - 1)}{N(N - 1)}$

物种均匀度, 采用 Whittaker (1972) 的 Pielou 指数: $E = H / \ln S_0$

其中, S 为物种数, N 为所有物种个体总数, n_i 为第 i 种的个体数, $P_i = n_i / N$, 即第 i 种的个体数占所有物种个体总数的比例, $\ln S$ 为最大多样性指数。

根据邹运鼎等的方法^[9], 观察记载麦蚜复合种群 (麦二叉蚜 (*Schizaphis graminum*)、麦长管蚜 (*Macrosiphum avenae*) 和禾谷缢管蚜 (*Rhopalosiphum padi*)), 在种群增长期的数量。每小区观察 3 行, 总面积 0.3m², 1996 年在春小麦分蘖期到扬花期, 每 5d 观察 1 次, 1997 年从拔节期到扬花期, 每 3d 观察 1 次。

采集春小麦扬花期麦蚜复合种群和麦叶样品, 原子吸收分光光度计测定镁、铁和锌含量。

1.3 统计分析 运用统计分析法建立麦蚜复合种群数量的模型, 用 F 值和 r 检验其显著程度。用直线相关分析检验指标间的相关程度。用 LSD 检验元素含量之间的差异显著性。

2 结果

2.1 UV-B 辐射对麦田杂草种群数量动态和物种多样性的影响

表 1 表明, 在两年中, 春小麦不同生育期, UV-B 辐射对麦田杂草的影响表现出一致的规律性。UV-B 辐射导致非优势杂草消失, 杂草种类减少, 各种杂草种群数量发生变化, 杂草个体总数呈降低趋势。物种多样性指数分析表明, UV-B 辐射降低物种多度、物种种群丰度和物种多样性, 而增加物种优势度。总体上, 在低 UV-B 辐射下, 物种均匀度较高。UV-B 辐射还导致杂草总生物量降低。

2.2 UV-B 辐射对麦田大型土壤动物种群数量动态和物种多样性的影响

在春小麦不同生育期, UV-B 辐射导致麦田大型土壤动物种群数量发生变化, 其中, 蚯蚓数量降低最为明显。在分蘖期, 大型土壤动物的种类和个体总数在 UV-B 辐射下未发生明显变化, 而在拔节期, 孕穗期和扬花期则明显降低。UV-B 辐射降低物种多度和物种种群丰度。物种多样性在分蘖期增加, 在拔节期明显降低, 而在孕穗期和扬花期无明显变化。在分蘖期、孕穗期和扬花期, 物种优势度降低, 均匀度增加, 而在拔节期, 物种优势度增加, 均匀度降低 (表 2)。

2.3 UV-B 辐射对麦蚜复合种群数量动态的影响

在 1996 年和 1997 年两年中, 在麦蚜种群增长期, UV-B 辐射均显著降低其数量。1997 年, UV-B 辐射对麦蚜种群数量动态的影响如图 1 所示。

根据统计分析法, 得到不同 UV-B 辐射强度下, 麦蚜种群数量 (y , ind/m²) 与种群增长天数 (x , d) 之间的乘方式模型 $y = ax^b$ 。定义 x 的指数 b 为种群数量累积速率, 随 UV-B 辐射增加, 种群数量累积速率增加,

表1 UV-B辐射(kJ/m²)对麦田杂草种群数量动态(ind/m²)和物种多样性的影响

Table 1 Effects of UV-B radiation (kJ/m²) on population quantity dynamics(ind./m²) and species diversity of weeds in spring wheat

植物种类 Species	1996												1997			
	分蘖期 Tillering				拔节期 Elongation				扬花期 Flowering				分蘖期 Tiollering		拔节期 Elongation	
	0	2.54	4.25	5.31	0	2.54	4.25	5.31	0	2.54	4.25	5.31	0	5.31	0	5.31
荠菜 ^①	183	195	219	56	148	99	128	76	112	56	100	96	143	37	51	39
灰绿藜 ^②	412	171	208	235	240	116	123	164	100	64	76	83	274	175	97	103
山苦买 ^③	44	32	4	20	44	43	9	47	72	16	4	12	4	1	7	10
龙葵 ^④	87	29	28	13	32	32	36	9	25	24		31	4		2	1
画眉草 ^⑤	139	68	60	5	44	47	36	32	32	55	44		7	1	4	1
繁缕 ^⑥	9	8											1	1	1	
打碗花 ^⑦	5	8			11	4			4			3	1			
藜 ^⑧	4			12	12		7		4				1	1	2	1
婆婆纳 ^⑨	5	4											1		1	
芸苔 ^⑩					5	4			4	3						
香堇菜 ^⑪	4															
夏至草 ^⑫															1	1
物种数 ^⑬	10	8	5	6	8	7	6	5	8	6	4	5	9	6	9	7
个体总数 ^⑭	892	515	519	341	536	345	339	328	353	218	224	225	436	216	166	156
物种多度 ^⑮	1.32	1.12	0.639	0.857	1.11	1.03	0.858	0.690	1.19	0.929	0.554	0.739	1.32	0.93	1.56	1.19
种群丰度 ^⑯	94.5	38.1	32.4	24.6	30.9	29.3	18.4	11.9	37.9	17.8	16.6	21.2	225.4	145.2	81.6	92.2
物种多样性 ^⑰	1.50	1.50	1.18	1.02	1.51	1.58	1.39	1.29	1.60	1.55	1.12	1.22	1.859	1.571	1.10	0.95
物种优势度 ^⑱	0.291	0.277	0.354	0.506	0.293	0.236	0.295	0.332	0.234	0.229	0.350	0.337	0.502	0.068	0.443	0.500
物种均匀度 ^⑲	0.650	0.721	0.733	0.569	0.726	0.812	0.776	0.802	0.769	0.835	0.808	0.758	0.391	0.318	0.501	0.489
总生物量 ^⑳	18.76	15.56	10.36	6.92	27.48	23.72	14.40	12.72	27.96	23.96	14.36	13.12	25.55	22.49	21.44	19.18

①*Capsella bursa-pastori* (L.) Medic ②*Chenopodium glaucum* L. ③*Ixeris chinensis* L. ④*Solanum nigrum* L. ⑤*Eragrostis pilosa* (L.) Beauv. ⑥*Stellaria media* (L.) Cyrillus ⑦*Calystegia hederacea* Wall. ⑧*Chenopodium album* L. ⑨*Veronica didyma* Tenore ⑩*Brassica campestris* L. ⑪*Viola odorata* L. ⑫*Lagopsis supina* ⑬*S* (ind/m²) ⑭*N* (ind/m²) ⑮*D_{MG}* ⑯*N_i* ⑰*H* ⑱*D* ⑲*E* ⑳ (g/m²)

表2 UV-B辐射对大型土壤动物种群数量动态(头数/m²)和物种多样性的影响(1997年)

Table 2 Effects of UV-B radiation on population quantity dynamics(ind/m²) and species diversity of soil macroanimals in spring wheat (1997)

动物种类 Species	分蘖期		拔节期		孕穗期		扬花期	
	Tillering		Elongation		Booting		Flowering	
	0	5.31	5.31		0	5.31	0	5.31
蚯蚓 <i>Oligochaeta opidthopora</i>	32	4	15		16			
蚁科 <i>Formicidae</i>	16	24	44	22	12		116	48
石蜈蚣目 <i>Lithobiomorpha</i>	5	24	9	4		8	12	3
蜘蛛目 <i>Araneida</i>	3	12	8		4	4	4	16
甲壳纲 <i>Crustacea</i>			4		4	9	20	
其它幼虫 <i>Other</i>	116	112	24	40	32	15	32	21
物种数 <i>S</i> (ind/m ²)	5	5	6	3	5	4	5	4
个体总数 <i>N</i> (ind/m ²)	172	176	104	68	68	36	184	88
物种多度 <i>D_{MG}</i>	0.777	0.774	1.077	0.434	0.948	0.937	0.767	0.670
种群丰度 <i>N_i</i>	21.86	14.98	10.69	7.18	9.21	4.98	15.57	10.21
物种多样性 <i>H</i>	0.972	1.100	1.517	0.846	1.335	1.281	1.097	1.098
物种优势度 <i>D</i>	0.496	0.444	0.262	0.466	0.305	0.278	0.441	0.382
物种均匀度 <i>E</i>	0.604	0.683	0.847	0.770	0.829	0.924	0.682	0.792

但种群数量仍低于对照(表 3)。可见,麦蚜的早期种群数量(x 的系数 a)对种群的增长具有决定性作用。

2.4 麦蚜复合种群数量与春小麦叶片质量和营养含量的相关分析

不同 UV-B 辐射下,分蘖期、拔节期和扬花期的麦蚜复合种群数量与叶质量和营养含量^[6]的相关性如表 4。麦蚜种群数量与春小麦叶片粗纤维含量、Mg、Zn 含量呈显著负相关,与叶片可溶性蛋白含量呈显著正相关,与分蘖期和拔节期叶片可溶性糖含量呈显著负相关,在扬花期则为显著正相关。

2.5 UV-B 辐射对麦蚜和麦叶 Mg、Fe 和 Zn 含量的影响

扬花期,5.31kJ/m² UV-B 辐射导致麦蚜和麦叶 Mg、Fe 和 Zn 含量均显著增加,两者有密切的关系(表 5)。

3 小结与讨论

3.1 UV-B 辐射对麦田生态系统的结构有明显的影响

笔者曾报道 UV-B 辐射降低春小麦群体高度和叶面积,减少分蘖和成熟期茎数^[5],以及降低根际土壤细菌、放线菌和真菌种群数量^[7]。本文结果表明,在 UV-B 辐射下,杂草、大型土壤动物和麦蚜复合种群的种类和数量均明显降低。可以认为,UV-B 辐射导致麦田生态系统的生物种类和数量减少,群落高度降低,结构简单化。

表 3 麦蚜复合种群数量(y ,ind/m²)与种群增长天数(x ,d)之间的回归分析

Table 3 The regression analyses between population quantity (y ,ind/m²)and population increase days (x ,d)of wheat aphids

UV-B (kJ/m ²)	1996	1997
0	$Y_0=211.41x^{1.312}(r=0.9697,P<0.01)$	$y_0=3428.66x^{0.3263}$ ($r=0.9733,F=21.41,P<0.01$)
2.54	$Y_1=144.38x^{1.329}(r=0.9559,P<0.01)$	
4.25	$Y_2=82.42x^{1.412}(r=0.9503,P<0.01)$	
5.31	$Y_3=53.63x^{1.501}(r=0.9496,P<0.01)$	$y_1=1117.4x^{0.978}$ ($r=0.9490,F=14.17,P<0.01$)

表 4 麦蚜复合种群数量与叶质量和营养含量的线性相关系数(1996 年)

Table 4 Linear correlation coefficients between population quantity of wheat aphids and leaf quality and leaf nutrient concentrations in spring wheat(1996)

发育期 Stages	可溶性糖 CHO(%)	蛋白 Protein(%)	粗纤维 Fibre(%)	氮 N (%)	磷 P (%)	钾 K (%)	镁 Mg (%)	铁 Fe (mg/kg)	锌 Zn (mg/kg)
分蘖期 ^①	-0.9784*	0.9962**		-0.9996**	0.8228	-0.9009	-0.9927**	-0.8568	-0.9983**
拔节期 ^②	-0.9858*	0.9311	-0.8998	-0.7149	-0.9101	-0.6942	-0.9876*	-0.9342	-0.9554*
扬花期 ^③	0.9671*	0.9861*	-0.9791*	-0.8998	-0.2507	-0.7813	-0.8775	-0.9066	-0.9622*

* , * , * 分别表示为 0.05 和 0.01 水平相关显著, $n=4$ 。* , * , * Significant at $P<0.05$ and 0.01 , respectively, $n=4$

①Tillering; ②Elongation; ③Flowering.

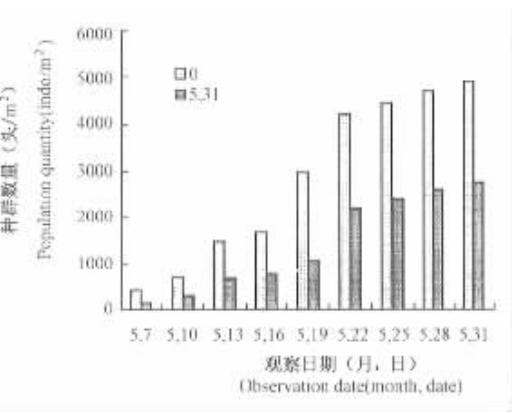


图 1 UV-B 辐射(0,5.31kJ/m²)对麦蚜种群数量动态的影响(1997)

Fig.1 Effects of UV-B radiation(0,5.31kJ/m²) on population quantity dynamics of wheat aphids(1997)

表 5 UV-B 辐射对麦蚜和麦叶 Mg、Fe 和 Zn 含量(%)的影响(扬花期,1997 年)

Table 5 Effects of UV-B radiation on concentrations(%)of Mg,Fe and Zn in wheat aphids and leaves at wheat flowering (1997)

元素 Elements	麦蚜 Aphids			叶片 Leaves		
	0 kJ/m ²	5. 31kJ/m ²	增值 Change(%)	0kJ/m ²	5. 31kJ/m ²	增值 Change(%)
镁 Mg	0. 17b	0. 25a	47. 06	0. 32b	0. 37a	15. 63
铁 Fe	0. 11b	0. 19a	72. 73	0. 095b	0. 14a	47. 37
锌 Zn	0. 012b	0. 017a	41. 67	0. 0025b	0. 0027a	48. 00

* a, b 表示在 $P<0. 05$ 水平差异显著, 根据 LSD 检验, $n=3$. a, b express significant different at $P<0. 05$ according to LSD, $n=3$.

3. 2 UV-B 辐射影响麦田生态系统结构的机理初探

按 UV-B 辐射影响麦田生态系统中生物的方式, 可把生物分为两部分, 即地上部分和地下部分。地上部分包括春小麦地上部、杂草地上部以及麦蚜, 它们既受 UV-B 辐射的直接影响, 又通过春小麦种内竞争(即自疏效应)、春小麦-杂草竞争、以及麦蚜-春小麦取食关系而受到 UV-B 辐射的间接影响。而且, 对于杂草和麦蚜而言, 它们所受到的间接影响可能具有更加重要的生态学意义。春小麦形态改变和次生代谢产物的变化^[4~6]在间接影响中发挥着重要的作用。地下部分包括小麦根、杂草种子、杂草根、大型土壤动物和根际微生物。由于 UV-B 辐射对土壤的穿透能力通常不超过 5mm^[10], 生物地下部分不能直接接受 UV-B 辐射, 它们的响应可能是通过春小麦生理代谢、类黄酮^[4]、丹宁、根系脱落物和分泌物的改变而间接地完成的。在 UV-B 辐射下, 麦田土壤养分增加^[6]可能也与生物地下部分的变化有关。春小麦作为麦田生态系统结构的主体, 其群体结构、形态和次生代谢的改变对于整个系统结构的变化是极其重要的, 也是 UV-B 辐射间接影响系统结构的重要途径^[11]。

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] Bjorn L O. Effects of ozone depletion and increased UV-B on terrestrial ecosystems. *International Journal of Environmental Studies*, 1996, **51**: 217~243.

[3] Caldwell M M and Flint S D. Stratospheric ozone reduction, solar UV-B radiation and terrestrial ecosystem. *Clim. Change*, 1994, **27**: 375~394.

[4] 李 元, 王勋陵. 紫外辐射增加对春小麦生理、产量和品质的影响. *环境科学学报*, 1998, **18**(5): 504~509.

[5] Li Yuan, Yue Ming, Wang Xunling. 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] Yue Ming, Li Yuan, Wang Xunling. Effects of enhanced ultraviolet-B radiation on plant nutrients, decomposition and leaf quality of spring wheat under field conditions. *Environ. Experi. Bot.*, 1998, **40**: 187~196.

[7] 李 元, 杨济龙, 王勋陵, 等. 紫外辐射增加对春小麦根际土壤微生物种群数量的影响. *中国环境科学*, 1999, **19**(2): 157~160.

[8] 张雪萍, 崔国发, 陈 鹏. 人工落叶松林土壤动物生物量的研究. *应用生态学报*, 1996, **7**(2): 150~154.

[9] 邹运鼎, 孟庆雷, 马 飞, 等. 8455 小麦植株化学成分与麦蚜(长管蚜、二插蚜)种群消长的关系. *应用生态学报*, 1994, **5**(3): 276~280.

[10] Moorhead D L and Callaghan T. Effects of increasing ultraviolet-B radiation on decomposition and soil organic matter dynamics: a synthesis and modelling study. *Biol. Fertil. Soil*, 1994, **18**: 19~26.

[11] Rozema J, Jos van de Staaij, Bjorn L O, *et al.* UV-B as an environmental factor in plant life: stress and regulation. *Tree*, 1992, **16**: 22~28.