紫外辐射增加对 40 个割手密无性系土壤微生物种群数量动态和多样性的影响

祖艳群, 魏兰芳, 杨济龙, 李元

(云南农业大学资源与环境学院, 云南 昆明 650201)

摘要: 采用大田试验方法, 研究了模拟紫外辐射 (UV - B, 280 ~ 310 nm) 增加对 40 个割手密无性系土壤微生物种群数量的影响。结果表明, (1) UV - B 处理条件下, 土壤细菌数量、真菌数量和放线菌数量主要表现为下降, 而且分别在成熟初期、分蘖期和伸长期降幅最大。36 号和 38 号细菌数量、真菌数量和放线菌数量在 3 个时期下降显著。(2) UV - B 处理, 也会导致一些无性系在不同的时期细菌数量、真菌数量或放线菌数量上升, 但没有一致的变化, 其中以 9 号、19 号上升较明显。(3) UV - B 处理, 土壤微生物多样性指数增高, 以分蘖期变化最大。细菌的变化对多样性指数的影响较大。部分无性系的多样性指数下降, 24 号降低明显。UV - B 辐射增加可导致割手密土壤微生物数量的降低, 土壤微生物多样性增加。

关键词: 紫外辐射; 割手密; 根际微生物; 种群数量动态; 多样性

中图分类号: S131.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672 - 2043(2005)01 - 0006 - 06

Effects of UV - B Radiation on Population Dynamic and Diversity of 40 Wild Sugarcane (*Saccharum. spontaneum L.*) Clones Rhizosphere Microorganisms

ZU Yan-qun, WEI Lan-fang, YANG Ji-long, LI Yuan

(College of Resources and Environment, YAU, Kunming 650201, China)

Abstract: Field studies were conducted for a season to determine potential for alterations in the population quantity dynamics and diversity of 40 wild sugarcane clones (*S. spontaneum L.*) rhizosphere microorganisms under an enhanced ultraviolet - B (UV - B, 280 ~ 310 nm) radiation. 40 wild sugarcane clones were collected from different latitude and altitude, and had different UV - B background. The supplemental UV - B radiation was $5.00 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2}$, simulating a depletion of 20% stratospheric ozone at Kunming (25°N, 1 950 m). Plants were irradiated for 7 h daily from 45 DAP to ripening stage, centered around solar noon. Out of 40 wild sugarcane clones rhizosphere microorganisms tested, the quantity of bacteria, fungi and actinomyces were decreased by UV - B radiation and the lowest were in the beginning of ripening, tiller stage and elongation stage, respectively. The inhibition on bacteria was increased with the developmental stages. The order of inhibition of UV - B radiation on microbe was in an order: bacteria > fungi > actinomyces. UV - B radiation may change root secretion of rhizosphere, such as flavonoid, tannic substance, and lignin, and then indirectly affected the population quantity of rhizosphere microorganisms. The index of microbial diversity increased under UV - B radiation and the most changes were in tiller stage. The reason was that the bacteria quantity decreased and the change of bacteria quantity had the dominant influence on the total quantity of microbe and indicator of microbial diversity. In general, UV - B radiation decreased the population quantity and increased diversity of 40 wild sugarcane clones.

Keywords: UV - B radiation; wild sugarcane clones (*Saccharum. spontaneum L.*); rhizosphere Microorganisms; population quantity dynamics; diversity;

紫外辐射增加对生物的影响已经从多方面得以

证实。大量的研究表明, UV - B 辐射能改变微生物在水体中的分布和数量、土壤微生物的活性和对矿物和有机物的转化和分解等^[1-3]。植物根际微生物的种群数量直接影响到土壤中有有机质的分解和植物对营养元素的吸收和利用^[4], 目前仅在不同的 UV - B 辐射对同一植物种类土壤微生物的种群的影响方面开始

收稿日期: 2004 - 06 - 22

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30260026)

作者简介: 祖艳群, 女, 副教授, 硕士, 主要从事环境生态学和植物营养学方面的教学和科研工作。

联系人: 李元, liyuanzu@public.km.yn.cn

有报道^[5,6],而对同一植物的不同无性系根际微生物的研究较少。因此,该研究将有助于了解在不同条件下生长的割手密无性系土壤微生物对UV-B的响应,为了解不同背景割手密对UV-B辐射增加的响应提供科学的依据。

1 材料与方法

1.1 大田试验与紫外辐射处理

试验在云南农业大学甘蔗研究所实验地进行,40个割手密无性系来源于云南农业大学甘蔗研究所割手密苗圃。各无性系基本特征如表1,分别代表了不同的纬度和海拔区域。2003年3月3日催芽,3月14日栽苗,并盖膜。每塘10~15芽,每塘面积为1.4 m × 1.4 m,3个重复。4月25日间苗,使对照和处理的苗数相同。5月1日开始UV-B辐射,每天辐射7 h(雨天和阴天除外),直到成熟收获。

模拟UV-B辐射使用上海顾村电光仪器厂生产的30 WUV-B灯管(光谱为280~310 nm),灯管悬于植株的上方,用紫外辐射仪(北京师范大学仪器厂生产)测297 nm处辐射强度(以植株上部计),为辐射强度5 kJ·m⁻²,相当于昆明地区20%的臭氧衰减。

1.2 测定方法

在割手密生长的分蘖期(5月20日)、伸长期(7月28日)、成熟初期(9月5日)分别采取根层0~20

cm土壤样品,将鲜样直接送入实验室进行微生物分析。

土壤微生物数量分析采用平板稀释法,采用牛肉膏蛋白胨培养基培养细菌,高氏一号培养基培养放线菌,马丁氏培养基培养真菌^[7]。

1.3 多样性指数计算

$$O = 1 - \sum (P_i)^2$$

其中O为辛普森多样性指数, P_i 为群落中物种*i*的个体占总个体的比例^[8]。

1.4 统计方法

使用*t*-检验来分析对照和处理间的差异显著性。采用Excel 5.0统计软件进行分析。

2 结果与分析

2.1 紫外辐射对土壤细菌种群数量动态的影响

在分蘖期,有20个无性系的土壤细菌数量产生了明显的变化($P < 0.01$ 或 0.05),其中有18个明显下降,2个(19、20号)明显上升。伸长期有24个无性系的土壤细菌数量产生了明显的变化($P < 0.01$ 或 0.05),其中有20个无性系明显下降,4个(2、3、14、21号)明显上升。而19号和20号表现为明显的下降。在成熟初期,则有15个无性系的土壤细菌数量产生了明显的变化($P < 0.01$ 或 0.05),而且均为明显下降。其中4、36、38号在3个时期均表现出明显的下

表1 40个割手密无性系的原产地及其背景特征

Table 1 The original place and background characteristics of 40 wild sugarcane clones

序号	无性系编号	原产地	原产地海拔/m	生境	序号	无性系编号	原产地	原产地海拔/m	生境
1	88-269	云南个旧	220	旱生	21	92-36	海南海口	3.6	湿生
2	88-270	云南个旧	220	旱生	22	92-11	海南崖城	12	旱生
3	83-181	云南个旧	1 040	旱生	23	93-25	海南叉河	100	旱生
4	83-153	云南个旧	1 250	旱生	24	92-26	海南儋州	200	旱生
5	83-215	云南泸水	1 510	旱生	25	92-4	海南通什	310	湿生
6	83-217	云南泸水	1 900	旱生	26	II91-98	广东高要	0	旱生
7	83-157	云南屏边	570	旱生	27	II91-93	广东惠州	20	旱生
8	82-77	云南耿马	570	旱生	28	II91-89	广东海丰	40	旱生
9	82-110	云南景洪	570	旱生	29	II91-99	广东罗定	80	旱生
10	82-26	云南保山	1 380	旱生	30	II91-126	广西田阳	100	旱生
11	82-18	云南盈江	1 660	湿生	31	II91-116	广西宁明	200	旱生
12	82-55	云南永胜	1 960	旱生	32	II91-72	福建仙游	30	旱生
13	82-54	云南永胜	2 130	旱生	33	II91-81	福建诏安	60	旱生
14	82-25	云南腾冲	2 380	旱生	34	II91-5	陕西城固	500	旱生
15	83-193	云南宜良	780	旱生	35	II91-13	陕西留坝	600	湿生
16	191-97	四川遂宁	160	旱生	36	90-15	西藏察隅	1 460	湿生
17	191-91	四川资中	250	旱生	37	90-22	西藏察隅	1 650	湿生
18	191-48	四川良中	350	旱生	38	90-8	西藏察隅	1 860	湿生
19	191-38	四川资阳	450	旱生	39	Holes	美国迈阿密		湿生
20	191-37	四川简阳	550	旱生	40	IND81-157	美国迈阿密		湿生

降,19号和20号除在分蘖期明显上升外,伸长期、成熟初期明显下降。见表2。

在正常自然光照射条件下,割手密土壤根际细菌数量平均数,在分蘖期为 3.62×10^5 个 $\cdot g^{-1}$ 土,伸长期为 4.31×10^5 个 $\cdot g^{-1}$ 土,成熟初期为 2.27×10^5 个 $\cdot g^{-1}$ 土。而在UV-B处理的条件下,在分蘖期、伸长期、成

熟初期分别为 1.15×10^5 个 $\cdot g^{-1}$ 土、 2.77×10^5 个 $\cdot g^{-1}$ 土、 1.01×10^5 个 $\cdot g^{-1}$ 土,比对照均有一定的下降,其变化率平均为-18.59%、-20.65%和-44.49%。

UV-B对土壤细菌具有一定的抑制作用,在割手密生长最快的时期抑制作用最强,而且随着时间的推移而逐渐增加。

表2 紫外辐射对割手密土壤细菌数量变化率%的影响

Table 2 The effects of enhanced UV-B radiation on bacteria quantities of wild sugarcane in the soil

序号	分蘖期(5月20日)	伸长期(7月28日)	成熟初期(9月5日)	序号	分蘖期(5月20日)	伸长期(7月28日)	成熟初期(9月5日)
1	-45.58*	1.67	-68.25*	21	-68.99*	82.8*	-12.96
2	-86.8*	278.46**	-12.66	22	-50.94	0	-18.33
3	-33.5**	79.78*	-52.48	23	-36.67	-44.2	-16.18
4	-74.58**	-60.44*	-85.82*	24	-19.35	12.74	-83.54*
5	-76.14**	-28.33	-35.96	25	-82.25*	-14.91	-53.88*
6	-19.18	-66.83*	-78.22*	26	-96.87**	-12.12	-88.8*
7	66.67	30.57	-57.73	27	-84.51**	33.03	-51.3
8	25	-66.37*	-84.03*	28	-81.67*	-53.7*	-23.58
9	-48.98	-12.72	-61.63	29	-82.57**	-26.65*	-16.49
10	-36.71	-58.55*	27.22	30	-80.71**	-73.33*	-22.3
11	-36.36	-83.78*	-13.58	31	-88.75**	-20	-76.81
12	-35.9	-27.2	-6.33	32	-68.65	-73.52*	-67.73*
13	-45.45	-23.3	-81.23*	33	-5.38	40.5*	-17.14
14	-46.05	134.88**	-82.37*	34	27.69	-53.57	-45.26
15	-40.3	-61.94*	-61.19	35	-81.66*	-81.85*	31.55
16	-26.79	-70.59*	-69.7*	36	-85.56*	-66.46*	-27.43*
17	-65.75*	-24.64	-40.69	37	-84.12*	-60.1*	6.25
18	-5.89	-6.15	-76.8*	38	-83.38*	-45.51*	-57.95*
19	466.67**	-85.48*	-86*	39	-11.73	-80.29*	-14.81
20	624.56**	-76.11*	-48.78*	40	-16.59	-61.94*	-46.62

2.2 紫外辐射对土壤真菌数量动态的影响

在分蘖期,有17个无性系的根际真菌数量产生了明显的变化($P < 0.01$ 或 0.05),其中除1号明显上升外,16个明显下降。伸长期有22个无性系具有明显的变化($P < 0.01$ 或 0.05),其中有17个明显下降,5个(3、7、9、26、32号)明显上升。在成熟初期,则22个无性系的土壤真菌数量产生了明显的变化($P < 0.01$ 或 0.05),9号、22号为明显上升,20个下降。其中2、3、36、38号在3个时期均表现出明显的下降,1号除在分蘖期明显上升外,伸长期、成熟初期明显下降。见表3。

在正常自然光照射条件下,割手密根际真菌数量平均值在分蘖期为 2.41×10^4 个 $\cdot g^{-1}$ 土,伸长期为 2.11×10^4 个 $\cdot g^{-1}$ 土,成熟初期为 2.69×10^4 个 $\cdot g^{-1}$ 土。而在UV-B处理的条件下,在分蘖期、伸长期、成熟初期分别为 0.79×10^4 个 $\cdot g^{-1}$ 土、 1.59×10^4 个 $\cdot g^{-1}$ 土、 1.66×10^4 个 $\cdot g^{-1}$ 土,比对照均有一定的下降,其变化率平均为-33.93%、-7.26%和-

28.43%。

UV-B对真菌具有抑制作用,而且在伸长期影响最大,但也有无性系之间的差异。

2.3 紫外辐射对土壤放线菌数量动态的影响

在分蘖期,有27个无性系的土壤放线菌数量产生了明显的变化($P < 0.01$ 或 0.05),其中有23个明显下降,4个(6、23、28、33号)明显上升。伸长期有28个无性系的土壤放线菌数量产生了明显的变化($P < 0.01$ 或 0.05),其中有25个明显下降,3个(9、10、19号)明显上升。在成熟初期,则有26个无性系的产生了明显的变化($P < 0.01$ 或 0.05),其中有6个无性系(4、5、6、16、29、40号)为明显上升,其他20个为明显下降。其中1、2、15、25、27、30、31、32、34、35、36号在3个时期均表现出明显的下降,而4(成熟初期)、19(伸长期)、23(分蘖期)、28(分蘖期)、29(成熟初期)、33(分蘖期)在其中一个时期明显上升,另两个时期明显下降。见表4。

在正常自然光照射条件下,割手密土壤根际放线

表 3 紫外辐射对割手密土壤真菌数量变化率的影响(%)

Table 3 The effects of enhanced UV - B radiation on fungi quantities of wild sugarcane in the soil(%)

序号	分蘖期(5月20日)	伸长期(7月28日)	成熟初期(9月5日)	序号	分蘖期(5月20日)	伸长期(7月28日)	成熟初期(9月5日)
1	186.99*	-76.5*	-91.82*	21	-71.59	-68.7*	-10.58
2	-94.17*	-49*	-91.31*	22	0	-31.69	150.37*
3	-65.43*	71.43*	-15.41*	23	-3.77	-56.31*	-35.39*
4	-47.68*	-75.2*	-10.66	24	-48.45	-40.29*	39.02
5	-68.22*	111.11	-93.24*	25	-59.2*	-37.42	-8.13
6	-1.56	-53.92*	-57.4*	26	25.62	178.4*	-65.59*
7	-50.5	75.69*	-17.05	27	-53.76*	-40.85	-7.19
8	-16.67	-81.82*	-42.93*	28	-58.96*	-69.47	-52.07*
9	51.72	58.73*	113.49*	29	-66.05*	1.41	-22.01*
10	-34.21	-18.54	-94.49*	30	0	-63.08*	-2.70
11	-40	-8.39	-7.18	31	-55.37*	16.3	-92.97*
12	-2.44	-8.16	-16.59	32	-84.86*	91.95*	12.82
13	-61.95	-55.5*	-45.28*	33	-47.17*	-1.36	-94*
14	-21.57	-55.74	-97.03**	34	-59.17*	-2.72	-54.81*
15	-26.47	-40.88*	-86.56**	35	-22.54	111.85**	-21.43
16	-46.43	60.17	-20.32	36	-68.85*	-50*	-55.91*
17	-69.82	-9.24	-83.07**	37	2.46	-76.67*	22.82
18	-48.39	-47.1*	-14.38	38	-46.05*	-49.27*	-73.68*
19	-50	43.1	-0.42	39	-67.07*	-50.72	-5.68
20	0	-31.56*	-21.46	40	-65.57*	139.66	33.01

菌的数量在分蘖期平均数为 4.52×10^4 个 $\cdot g^{-1}$ 土, 伸长期为 3.33×10^4 个 $\cdot g^{-1}$ 土, 成熟初期为 11.26×10^4 个 $\cdot g^{-1}$ 土。而在 UV - B 处理的条件下, 在分蘖期、伸长期、成熟初期分别为 2.86×10^4 个 $\cdot g^{-1}$ 土、 2.2×10^4 个 $\cdot g^{-1}$ 土、 4.5×10^4 个 $\cdot g^{-1}$ 土, 比对照均

有一定的下降, 其变化率平均为 -22.87%、-24.48% 和 -2.83%。

总之, 根际放线菌对 UV - B 的响应的变化较大, 而且以下降为主, 紫外辐射对放线菌的主要作用是抑制作用, 在生长最旺盛的时期抑制作用最明显。

表 4 紫外辐射对割手密土壤放线菌数量变化率的影响(%)

Table 4 The effects of enhanced UV - B radiation on actinomyces quantities of wild sugarcane in the soil(%)

序号	分蘖期(5月20日)	伸长期(7月28日)	成熟初期(9月5日)	序号	分蘖期(5月20日)	伸长期(7月28日)	成熟初期(9月5日)
1	-19.3*	-11.99*	-75.33*	21	-78.81*	-25.68	-16.3
2	-26.8*	-44*	-69.93*	22	-90.11*	-39.93*	-26.54
3	-34.62*	-72.73*	-13.55	23	82.76*	-81.08*	-57.72*
4	-59.73**	-40.58*	318.14**	24	-35.05	40	-23.6
5	-58.36*	-22.86	346.88**	25	-18.92**	-64.19*	-29.18*
6	211.11**	-12.5	368.31**	26	-47.12**	-61.36*	-12.41
7	-22.84	-94.01**	-17.96	27	-37.75**	-60.28*	-41.74*
8	-15.38	-8.33	50.45	28	105.97*	-31.48	-63.84*
9	-36.24	362.5**	-31.82	29	-27.89*	-55.12*	62.4*
10	-41.09*	108.78*	23.35	30	-47.99*	-81.08*	-14.86*
11	-2.1	-7.29	-11.2	31	-23.58*	-81.67*	-21.93*
12	-5.8	-8.19	-25.32	32	-8.26	-80.25*	-98.15**
13	-12.8	-58.67*	-74.82*	33	22.81*	-78.36*	-94.22**
14	-16.13	-47.54*	-32.3*	34	-43.25*	-46.64*	-90.69**
15	-75.95*	-60.52*	-41.59*	35	-23.94*	-15.31*	-92.4**
16	-43.82	5.36	50.94*	36	-36.66*	-50*	-88.55**
17	-67.31*	-18.45	16.25	37	-39.05*	-16.67	-72.59**
18	-96.56**	-55.33*	32.43	38	-61.94*	-18.98	-71.66**
19	-62.75*	74.67*	-83.57*	39	-16.5	-26.13	-5.42
20	8.05	-31.64*	-33.03*	40	-11.11	-61.6*	50

2.4 紫外辐射对土壤微生物多样性指数的影响

在分蘖期、伸长期和成熟初期分别有 18、17 和 16 个无性系的多样性指数下降,其中 23 号在 3 个时期均为降低,多数是其中前两个时期下降。见表 5。

割手密根际微生物在自然条件下,多样性指数在分蘖期、伸长期和成熟初期平均分别为 0.36、0.26、0.41,而在 UV-B 处理时,分别为 0.41、0.28、0.45,比

对照高 50.74%、42.24% 和 29.73%。可见,UV-B 处理可以提高土壤微生物的多样性指数,其原因可能是 UV-B 处理时,土壤细菌数量普遍表现为下降,降低了细菌在微生物总量中过高的比例和绝对优势。土壤中 3 大类群的微生物对环境变化的反应各不相同,通常为真菌>细菌>放线菌^[9,10]。而对 UV-B 均表现出一定的响应。但细菌的变化对多样性指数的影响更大。

表 5 紫外辐射对割手密土壤微生物多样性指数变化率% 的影响

Table 5 The effects of enhanced UV-B radiation on the indicators of microbial biodiversity of wild sugarcane in the soil

序号	分蘖期(5月20日)	伸长期(7月28日)	成熟初期(9月5日)	序号	分蘖期(5月20日)	伸长期(7月28日)	成熟初期(9月5日)
1	61.83	-23.43	-40.28	21	-23.14	-73.81	0
2	3.42	-68.6	-67.05	22	-39.56	-29.46	37.63
3	-19.53	-45.51	31.19	23	-0.57	-36.39	-11.49
4	50.49	8.15	125.84	24	-7.41	-21.34	81.52
5	37.76	29.48	3.02	25	124.25	-42.53	33.47
6	14.48	72.03	547.46	26	713.69	26.22	158.34
7	-19.04	-60.97	18.28	27	50.12	-62.62	17.00
8	-11	40.55	229.18	28	143.68	15.58	-25.81
9	21.80	61.76	61.27	29	138.4	-10.3	15.73
10	-2.88	150.26	-45.84	30	127.97	0	9.45
11	12.24	120.23	1.96	31	258.31	-33.6	-66.97
12	16.66	19.36	-7.82	32	26.95	357.03	10.09
13	4.63	-25.10	45.08	33	5.94	-72.32	-29.87
14	14.63	-70.31	-11.14	34	-41.30	35.20	-31.91
15	-6.17	11.36	-8.33	35	163.62	404.24	-32.01
16	-11.25	106.14	72.13	36	128.95	22.76	-26.70
17	-1.65	6.76	-23.10	37	180.83	-4.11	69.17
18	-11.22	-40.36	20.52	38	98.03	8.16	-12.04
19	-78.97	644.49	27.20	39	-11.72	142.82	-0.89
20	-75.61	30.33	5.75	40	-8.02	95.45	9.65

3 结论与讨论

在割手密生长的 3 个时期,UV-B 均在一定程度上导致土壤细菌数量下降,变化率以成熟初期最大。4、36、38 号在 3 个时期均表现出明显的下降,19 号和 20 号除在分蘖期明显上升外,伸长期、成熟初期明显降低。UV-B 对土壤细菌具有一定的抑制作用随着时间的推移而逐渐增加。

在 UV-B 处理的条件下比在正常自然光照射条件下,割手密土壤真菌数量均有一定的下降,其变化率以伸长期最低。其中 2、3、36、38 号在 3 个时期均表现出明显的下降,1 号除在分蘖期明显上升外,伸长期、成熟初期明显降低。

割手密土壤放线菌数量在 UV-B 处理比对照均有一定的下降,其变化率平均值以成熟初期最低。其中有 11 个无性系(1、2、15、25、27、30、31、32、34、35、36 号)在 3 个时期均表现出明显的下降。

紫外线对土壤微生物数量的影响可能是通过影响植物的生长和根系有机物的分泌而间接影响土壤微生物的活性和数量的^[11,12]。强维亚(2003)等研究表明增强的 UV-B 辐射对土壤中的氮素有一定的影响,从而影响微生物的生长。正如李元等(1999)的研究 UV-B 辐射可能通过改变植物生长来影响土壤养分含量,从而影响根际微生物的数量^[5,13]。在 UV-B 辐射下,植物合成类苯丙氨酸氨裂解酶和苯基苯乙烯合成酶的活性增强,产生的次生代谢产物如黄酮、丹宁、木质素等通过根系大量排出体外,影响根际微生物的生长及与植物的共生关系^[14]。但是紫外线在一定的条件下,能诱导真菌如康宁木霉产生 C1 酶和 Cx 酶的活力提高^[15]。UV-B 对土壤微生物的影响表现为细菌>真菌>放线菌,是因为细菌个体小,生育期短,对环境的变化响应快^[16,17]。增强的 UV-B 对土壤微生物的影响比较复杂,其研究还比较缺乏,还有待于深入探讨和细致的研究。

UV - B 处理比在自然条件下, 割手密土壤微生物多样性指数在分蘖期、伸长期和成熟初期高, 以分蘖期变化最大。可见, UV - B 处理可以提高土壤微生物的多样性指数, 其原因可能是 UV - B 处理时, 土壤细菌数量普遍表现为下降, 细菌的变化对多样性指数的影响较大。从而降低了细菌在微生物总量中过高的比例和绝对优势, 导致了土壤微生物的多样性指数的上升。但在分蘖期、伸长期和成熟初期分别有 16、17 和 18 个无性系的多样性指数下降, 其中 23 号在 3 个时期均为降低。

通过对 40 个割手密无性系的综合响应指数的分析(待发表), 筛选出抗性无性系 4 个(16、18、22、36 号)和敏感无性系 6 个(20、30、33、34、37、39 号), 比较该两大类的微生物数量动态和多样性指数, 可见抗性无性系的微生物数量呈下降趋势, 多样性指数比较稳定或上升, 而敏感性无性系变化较大, 多样性指数以下降为主。可以推测, UV - B 辐射通过影响割手密不同无性系的生长和代谢, 特别是不同的无性系对 UV - B 辐射的响应不同, 其产生的次生代谢和根系分泌物存在一定的差异, 从而影响了土壤微生物的动态^[18]。而对于其具体的响应还需要作进一步的分析。

参考文献:

[1] Herndl G J, Mueller - Niklas G, Frick J. Major role of ultraviolet - B radiation in controlling bacterioplankton growth in the surface layer of the ocean[J]. *Nature*, 1993, 361: 717 - 719.

[2] Zepp R G, Callaghan T V, Erickson D J. Effects of increased solar ultraviolet radiation on biogeochemical cycles[J]. *Am Bio*, 1995, 24: 181 - 187.

[3] 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[J]. *中国环境科学*, 1999, 19(2): 157 - 160.

[4] 王敬国. 微生物与根际中物质的循环[J]. *北京农业大学学报*, 1993, 19(4): 98 - 105.

[5] Newman E I. The rhizosphere: carbon sources and microbial. Populations[A]. Fitter AF. Ecological interaction in soil[C]. UK: Spire Print Services Ltd, 1986. 107 - 122.

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

[7] 中国科学院南京土壤研究所微生物室. 土壤微生物研究法[M]. 北京: 科学出版社, 1985. 44 - 59.

[8] 金岚, 王振堂, 朱秀丽, 等. 环境生态学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2001. 108 - 109.

[9] 黄秀琴. 微生物学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1998. 194 - 218.

[10] 姚槐应, 何振立, 陈国潮, 等. 红壤微生物量在土壤 - 黑麦草系统中的肥力意义[J]. *应用生态学报*, 1999, 10(6): 725 - 728.

[11] 李元, 岳明. 紫外辐射生态学[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2000. 117 - 130.

[12] 强维亚. Cd 胁迫和增强 UV - B 辐射对大豆根系分泌物的影响[J]. *植物生态学报*, 2003, 27(3): 293 - 298.

[13] Philips D A, Wery J, Joesph C M et al., Release of flavonoids and betaines from seeds of seven Medicago species[J]. *Crop Sci*, 1995, 35: 805 - 808.

[14] Rozema J, Joe van de Staaaj, Bjorn L O, et al. UV - B as an environmental factor in plant life: stress and regulation[J]. *Tree*, 1997, 12(1): 22 - 28.

[15] 李爱华, 李耀忠, 宋莉莉. 紫外线诱变康宁木霉提高酶活力的研究[J]. *宁夏大学学报(自然科学版)*, 2003, 24(2): 389 - 391.

[16] Hader D P, Worrest R C, Kumar H D, et al. Effects of increased solar ultraviolet radiation on aquatic ecosystem[J]. *Ambio*, 1995, 24(3): 174 - 180.

[17] Herndl G L, Mueller - niklas G, Frick J, et al. Major role of ultraviolet - B radiation in controlling bacterioplankton growth in the surface layer of the ocean[J]. *Nature*, 1993, 361: 717 - 719.

[18] 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[J]. *Field Crops Research*, 1998, 57: 253 - 263.