

# 花前光照亏缺对水稻根际土壤微生物生态效应的影响

杨东<sup>1,2</sup>, 段留生<sup>1</sup>, 谢华安<sup>2</sup>, 郑家团<sup>2</sup>, 黄庭旭<sup>2</sup>

1. 中国农业大学作物化学控制研究中心, 北京 100193
2. 福建省农业科学院水稻研究所, 福州 350018

**摘要** 在大田条件下,以超级稻“II 优航 2 号”为试验材料,水稻拔节期至始穗期设置 55%和 85%两个遮光强度,以全生育期正常自然光为对照,研究花前光照亏缺对水稻根际土壤微生物生态效应的影响,为光贫乏区土壤良性生态循环和超级稻栽培技术研究提供依据。结果表明,水稻拔节期至始穗期弱光胁迫条件下,在水稻生长的孕穗期、始穗期、灌浆期、收获期,显著降低了水稻根际土壤微生物细菌、放线菌、氨化细菌、硝酸细菌、好气性自生固氮菌数量,增加了真菌、反硝化细菌、反硫化细菌数量,从而导致土壤微生物生物量 C 和 N 含量减少,抑制了根际土壤中脲酶、磷酸酶的活性。而且,随着弱光胁迫强度和时间的增加,水稻根际土壤微生物细菌、放线菌、氨化细菌、硝酸细菌、好气性自生固氮菌的生长和土壤微生物生物量 C、N 的含量和土壤中脲酶、磷酸酶的活性受抑制程度加重,真菌、反硝化细菌、反硫化细菌生长的促进作用增强。说明花前光照亏缺降低了稻田根际微生物生物量和土壤酶活性,改变了根际微生物群落结构,破坏了稻株生长的根际微生态环境。

**关键词** 弱光;水稻根际;土壤微生物;生态效应

**中图分类号** S511

**文献标识码** A

**doi** 10.3981/j.issn.1000-7857.2011.07.003

## Ecological Effect of Pre-flowering Light Deficit on the Rhizosphere Soil Microbes of Rice

YANG Dong<sup>1,2</sup>, DUAN Liusheng<sup>1</sup>, XIE Huaan<sup>2</sup>, ZHENG Jiatuan<sup>2</sup>, HUANG Tingxu<sup>2</sup>

1. Research Center of Crop Chemical Control, China Agricultural University, Beijing 100193, China
2. Rice Research Institute, Fujian Academy of Agricultural Sciences, Fuzhou 350018, China

**Abstract** The aim of this study is to investigate the ecological effect of pre-flowering light deficit on the rhizosphere soil microbes of rice and provide the guidelines for the benign ecological cycle of soil and for the cultivation practice of super rice in light-poor areas. A super hybrid rice combination, "II Youhang 2", was used in the experiment under the field condition. Two shading intensities of 55% and 85% were set from jointing stage to initial heading stage in the experiment. The natural light condition was taken as the control. The results show that the amount of bacteria, actinomycetes, ammonifier, nitric acid bacteria, and aerobic azotobacter has significantly declined with light deficient treatments at booting, initial heading, grain-filling, and harvest; in the meantime, the amount of fungi and denitrifier as well as desulphate has enhanced, and it results in the descent of the content of soil microbial metabolic biomass carbon and nitrogen. The factors inhibit the activities of soil urease and acid phosphatase. Moreover, the amount of bacteria, actinomycetes, ammonifier, nitric acid bacteria and aerobic azotobacter is going down with the increasing intensity of light stress, and mutative trend of soil microbial metabolic biomass carbon and nitrogen, soil urease, and acid phosphatase is the same. However, the behavior of fungi and denitrifier as well as desulphate reducer are quite opposite to bacteria and actinomycetes. It is implied that pre-flower light deficit drops down soil microbial metabolic biomass, alters soil microbial community, and undermines rhizosphere micro-ecological environment of the growth of rice.

**Keywords** weak light; rice rhizosphere; soil microbe; ecological effect

收稿日期: 2010-12-01; 修回日期: 2011-01-30

基金项目: 国家公益性行业科研专项(nyhyzx07-001-05); 福建省属公益类科研院所基本科研专项(2009R10026-1); 福建省科技重大专项(2008NZ02); 福建省财政专项(STIF-Y04)

作者简介: 杨东, 博士研究生, 研究方向为水稻遗传与生理生态, 电子信箱: 121187207@qq.com; 段留生(通信作者, 中国科协所属全国学会个人会员登记号: A090000329S), 教授, 研究方向为作物逆境生理, 电子信箱: duanlsh@cau.edu.cn

## 0 引言

根际土壤微生物的生长、死亡和矿化与植物生长之间的关系甚为密切<sup>[1-3]</sup>。土壤微生物和酶是稻田土壤生态系统的重要组成部分。土壤微生物通过分解动植物残体,可以迅速、活跃地参与稻田土壤生态系统物质循环和转化,影响土壤微生态环境和水稻的生长发育,是土壤肥力的重要指标之一<sup>[4]</sup>。而土壤酶活性同样是反映土壤肥力的有效生物学指标。有研究表明脲酶与尿素水解密切相关,脲酶活性对提高氮肥利用率具有重要意义<sup>[5]</sup>。酸性磷酸酶可加速土壤有机磷脱磷速度,提高土壤磷素的有效性<sup>[6]</sup>,是评价土壤磷素生物转化方向的重要指标。土壤微生物生物量 C 和 N 是土壤有效 C 和 N 的重要来源,也是土壤 C 和 N 的周转和储备库<sup>[7-8]</sup>。土壤微生物数量、生物量及酶活性与温度和水分密切相关,而光照强度对土壤温度和水分有不同的影响。因此,研究不同光照强度对土壤微生物生态效应的影响具有重要意义。

中国不少稻区水稻生育期间常遭遇弱光生境影响,如云贵高原、四川盆地等年日照时数小于 1200h,年总辐射量为 3345~3763MJ/m<sup>2</sup> 的地区更甚<sup>[9]</sup>。每隔 2~3 年,中国南方部分稻区常遭连阴雨天气灾害。水稻是一种喜光作物,光照匮乏等不良生态环境会导致光合生产力下降,严重影响水稻产量的形成。光照强弱对水稻根系吸收矿质养分没有直接影响,但可通过影响植株叶片的光合强度、气孔密度和蒸腾强度间接影响到根系吸收矿质养分的能力<sup>[10]</sup>。弱光胁迫条件下,源叶合成光合产物的数量减少,被运送到根部的光合产物也相应减少,从而减少了根系吸收矿质养分所必需的能量及载体<sup>[11]</sup>。当前,有关弱光环境对水稻生长、生理特性及品质影响研究较多<sup>[12-14]</sup>,但有关弱光生境下对水稻根际土壤微生物生态效应的影响尚未见报道。因此,本文通过研究花前不同弱光逆境胁迫对水稻根际土壤微生物生物量、群落结构及部分土壤酶活性的影响,旨在揭示光贫乏区水稻低产的原因,为光贫乏区的土壤良性生态循环及水稻栽培技术研究提供参考依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验时间和地点

本试验于 2009 年在福建省建阳市良种场进行。

### 1.2 供试材料

供试水稻品种为“II 优航 2 号”,由中国种子集团福建农嘉种业股份有限公司提供。

### 1.3 供试土壤

供试土壤基本理化性质:pH 值为 4.7,全氮 2.8g/kg,有效氮 122.5mg/kg,速效氮 18.1mg/kg,速效钾 54.3mg/kg,砂粒 278g/kg,粉粒 586g/kg,黏粒 152g/kg。

### 1.4 试验设计

试验于 2009 年 5 月 15 日播种,6 月 9 日移栽。试验设 3 个处理,以全生育期自然光处理为对照(S1),花前(拔节期至始穗期)55%遮光处理(S2),花前 85%遮光处理(S3),分别用透光率为 45%和 15%的黑色遮阴网制成可拆卸遮阴棚进行

遮光。每个处理设 4 次重复,共计 12 个小区,小区面积 19.5m<sup>2</sup>,采用随机排列,种植密度 23.3cm×23.3cm,每个小区做田埂。

## 1.5 研究方法

### 1.5.1 土样采集

分别在水稻生长的拔节期(遮光处理前 1d)、孕穗期(拔节后 18d)、始穗期、灌浆期(始穗后 15d)、收获期(收割前 1d)取样,在田间试验每小区中选择 2~3 丛典型的水稻,挖掘面积为 10cm×10cm、深度为 15cm。取样时将带土植株轻轻取出,取下黏附在水稻根系的土壤,然后用塑料袋包住土壤部分,植物地上部分仍保持原样,带回实验室,用药匙将附着在水稻根上的土壤刮下,备用。

### 1.5.2 根际土壤微生物群落测定

细菌培养,采用葡萄糖牛肉膏蛋白胨培养基;真菌培养,采用马丁氏培养基;放线菌培养,采用淀粉硝酸钾培养基(高氏 1 号)。细菌、真菌、放线菌计数采用稀释涂布平板法。微生物数量以每 g 土壤样品所含的菌数表示<sup>[15]</sup>。

### 1.5.3 根际土壤微生物生理类群测定

反硝化细菌,采用反硝化细菌培养基;反硫化细菌,采用斯塔克反硫化细菌培养基;氨化细菌,采用蛋白胨氨化培养基;硝酸细菌,采用亚硝酸盐培养基;好气性自生固氮菌,采用阿须贝无氮培养基,最大或然计数法(MPN)测定<sup>[15]</sup>。

### 1.5.4 根际土壤酶活性测定

脲酶活性采用苯酚钠比色法测定,酸性磷酸酶活性采用磷酸苯二钠比色法测定<sup>[16]</sup>。

### 1.5.5 根际土壤微生物生物量 C 和 N 含量测定

土壤微生物生物量 C 含量用氯仿熏蒸,0.5mol/L K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 提取,采用 TOC-500 自动分析仪测定<sup>[17]</sup>;土壤微生物生物量 N 含量用氯仿熏蒸,0.5mol/L K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 提取,经消化采用连续流动分析仪测定<sup>[18]</sup>。

## 1.6 统计分析方法

数据整理和统计分析均用 Excel 2003 和 DPS 数据处理系统。

## 2 结果与分析

### 2.1 弱光对土壤根际微生物群落结构的影响

不同程度光照亏缺对水稻根际微生物群落结构具有明显影响(表 1)。花前 S2 和 S3 遮光条件下,在孕穗期至收获期,弱光显著降低了水稻根际土壤细菌、放线菌数量,而真菌数量明显增加,说明弱光对水稻根际土壤微生物细菌、放线菌的生长具有明显的抑制作用,对真菌的生长具有明显的促进作用。

由表 1 还可看出,花前 S2 和 S3 遮光条件下,弱光对始穗期细菌、放线菌、真菌数量的影响均大于其他生育时期,且随弱光胁迫强度增强,其影响程度更为明显,说明弱光胁迫强度越大、时间越长,对水稻根际微生物群落结构影响程度越大。

### 2.2 弱光对土壤微生物生理类群的影响

根际土壤微生物生理类群的变化能够反映根际土壤微

表 1 弱光处理条件下水稻根际土壤微生物区系的变化  
Table 1 Changes in the soil microbial flora of rice under low light intensity

项目	处理	拔节期	变化 幅度/%	孕穗期	变化 幅度/%	始穗期	变化 幅度/%	灌浆期	变化 幅度/%	收获期	变化 幅度/%
细菌 $I/(\times 10^6 g^{-1})$	S1	135.62 <sup>a</sup>	—	102.32 <sup>a</sup>	—	65.55 <sup>a</sup>	—	55.52 <sup>a</sup>	—	64.83 <sup>a</sup>	—
	S2	137.24 <sup>a</sup>	1.19 <sup>a</sup>	86.34 <sup>b</sup>	-15.62 <sup>b</sup>	43.24 <sup>b</sup>	-34.04 <sup>b</sup>	48.11 <sup>b</sup>	-13.35 <sup>b</sup>	54.66 <sup>b</sup>	-15.69 <sup>a</sup>
	S3	136.16 <sup>a</sup>	0.40 <sup>a</sup>	75.63 <sup>c</sup>	-26.08 <sup>a</sup>	33.88 <sup>c</sup>	-48.31 <sup>a</sup>	40.22 <sup>c</sup>	-27.56 <sup>a</sup>	53.42 <sup>b</sup>	-17.60 <sup>a</sup>
真菌 $I/(\times 10^4 g^{-1})$	S1	46.52 <sup>a</sup>	—	31.86 <sup>c</sup>	—	36.02 <sup>c</sup>	—	45.32 <sup>a</sup>	—	52.18 <sup>c</sup>	—
	S2	47.23 <sup>a</sup>	1.53 <sup>a</sup>	53.21 <sup>b</sup>	67.01 <sup>b</sup>	66.63 <sup>b</sup>	84.89 <sup>b</sup>	50.21 <sup>b</sup>	10.79 <sup>b</sup>	62.24 <sup>b</sup>	19.28 <sup>b</sup>
	S3	46.11 <sup>a</sup>	-0.88 <sup>a</sup>	60.23 <sup>a</sup>	89.05 <sup>a</sup>	72.43 <sup>a</sup>	101.08 <sup>a</sup>	61.84 <sup>c</sup>	36.45 <sup>a</sup>	68.22 <sup>a</sup>	30.74 <sup>a</sup>
放线菌 $I/(\times 10^5 g^{-1})$	S1	80.66 <sup>a</sup>	—	65.86 <sup>a</sup>	—	54.65 <sup>a</sup>	—	48.92 <sup>a</sup>	—	57.24 <sup>a</sup>	—
	S2	82.28 <sup>a</sup>	2.01 <sup>a</sup>	55.87 <sup>b</sup>	-15.17 <sup>b</sup>	38.65 <sup>b</sup>	-29.28 <sup>b</sup>	46.34 <sup>b</sup>	-5.27 <sup>b</sup>	51.04 <sup>b</sup>	-10.83 <sup>b</sup>
	S3	82.51 <sup>a</sup>	2.29 <sup>a</sup>	44.32 <sup>c</sup>	-32.71 <sup>a</sup>	28.48 <sup>c</sup>	-47.89 <sup>a</sup>	34.28 <sup>c</sup>	-29.93 <sup>a</sup>	46.43 <sup>c</sup>	-18.89 <sup>a</sup>

注：同列数据后不同字母表示差异达到显著水平 ( $P < 0.05$ ), 下同。

Notes: Those different letters in one row indicate significant difference at 5% probability level, the same below.

生态的物质代谢能力。由表 2 可以看出,在孕穗期至收获期,对照(S1)的氨化细菌、硝酸细菌、好气性自生固氮菌数量均显著高于弱光处理(S2,S3),而反硝化细菌、反硫化细菌数量显著低于弱光处理,说明弱光胁迫下,土壤氨化作用、硝化作用、固氮作用减弱,反硝化作用和反硫化作用增强。

由表 2 还可看出,恢复自然光照后,灌浆期弱光处理(S2,S3)的根际氨化细菌、硝酸细菌、好气性自生固氮菌、反硝化细菌数量多于始穗期弱光处理,而反硫化细菌数量则减少,其原因可能是反硫化细菌是严格嫌气细菌,恢复自然光照后,水稻土壤通气状况改善,根际反硫化细菌在营养竞争上

弱于氨化细菌、硝酸细菌、好气性自生固氮菌、反硝化细菌,从而数量减少。

### 2.3 弱光对土壤微生物生物量 C 和 N 含量的影响

土壤微生物量可用微生物生物量 C 或 N 含量表征,是评价土壤微生物参与土壤中 C 和 N 物质转化循环能力的重要指标<sup>[9]</sup>。从表 3 可以看出,在水稻生长的孕穗期、始穗期、灌浆期、收获期,弱光处理(S2,S3)的水稻根际土壤微生物生物量 C 和 N 含量显著低于 S1。这可能是由于弱光降低了水稻根际土壤微生物数量,从而导致水稻根际土壤微生物生物量 C 和 N 含量也下降。

表 2 弱光处理条件下水稻根际土壤微生物生理类群变化  
Table 2 Changes in the cultivated microbial physiological flora of rice under low light intensity

项目	处理	拔节期	变化 幅度/%	孕穗期	变化 幅度/%	始穗期	变化 幅度/%	灌浆期	变化 幅度/%	收获期	变化 幅度/%
氨化细菌 $I/(\times 10^6 g^{-1})$	S1	43.23 <sup>a</sup>	—	10.45 <sup>a</sup>	—	13.65 <sup>a</sup>	—	17.21 <sup>a</sup>	—	22.78 <sup>a</sup>	—
	S2	42.75 <sup>a</sup>	-1.11 <sup>a</sup>	7.21 <sup>b</sup>	-31.00 <sup>b</sup>	5.32 <sup>b</sup>	-61.03 <sup>b</sup>	10.75 <sup>b</sup>	-37.54 <sup>b</sup>	14.32 <sup>b</sup>	-37.14 <sup>b</sup>
	S3	44.05 <sup>a</sup>	1.90 <sup>a</sup>	5.68 <sup>c</sup>	-45.65 <sup>a</sup>	3.24 <sup>c</sup>	-76.26 <sup>a</sup>	8.56 <sup>c</sup>	-50.26 <sup>a</sup>	11.08 <sup>c</sup>	-51.36 <sup>a</sup>
硝酸细菌 $I/(\times 10^3 g^{-1})$	S1	19.25 <sup>a</sup>	—	12.12 <sup>a</sup>	—	15.43 <sup>a</sup>	—	19.34 <sup>a</sup>	—	25.62 <sup>a</sup>	—
	S2	18.89 <sup>a</sup>	-1.87 <sup>a</sup>	7.24 <sup>b</sup>	-40.26 <sup>b</sup>	8.22 <sup>b</sup>	-46.73 <sup>b</sup>	14.11 <sup>b</sup>	-27.04 <sup>b</sup>	18.85 <sup>b</sup>	-26.42 <sup>b</sup>
	S3	19.52 <sup>a</sup>	1.40 <sup>a</sup>	6.28 <sup>c</sup>	-48.18 <sup>a</sup>	3.31 <sup>c</sup>	-78.55 <sup>a</sup>	9.65 <sup>c</sup>	-50.10 <sup>a</sup>	17.78 <sup>b</sup>	-30.60 <sup>a</sup>
好气性自 生固氮菌 $I/(\times 10^2 g^{-1})$	S1	52.81 <sup>a</sup>	—	16.82 <sup>a</sup>	—	23.08 <sup>a</sup>	—	29.87 <sup>a</sup>	—	34.62 <sup>a</sup>	—
	S2	52.37 <sup>a</sup>	-0.84 <sup>a</sup>	12.03 <sup>b</sup>	-28.48 <sup>b</sup>	15.41 <sup>b</sup>	-33.23 <sup>b</sup>	22.65 <sup>b</sup>	-24.17 <sup>b</sup>	26.13 <sup>b</sup>	-24.52 <sup>b</sup>
	S3	53.44 <sup>a</sup>	1.20 <sup>a</sup>	8.23 <sup>c</sup>	-51.07 <sup>a</sup>	10.52 <sup>c</sup>	-54.42 <sup>a</sup>	15.19 <sup>c</sup>	-49.15 <sup>a</sup>	22.11 <sup>c</sup>	-36.14 <sup>a</sup>
反硝化 细菌 $I/(\times 10^3 g^{-1})$	S1	12.15 <sup>a</sup>	—	5.36 <sup>c</sup>	—	9.32 <sup>c</sup>	—	14.6 <sup>c</sup>	—	18.88 <sup>c</sup>	—
	S2	12.02 <sup>a</sup>	-1.07 <sup>a</sup>	7.28 <sup>b</sup>	35.82 <sup>b</sup>	13.58 <sup>b</sup>	45.71 <sup>b</sup>	16.72 <sup>b</sup>	14.52 <sup>b</sup>	24.75 <sup>b</sup>	31.09 <sup>b</sup>
	S3	12.35 <sup>a</sup>	1.65 <sup>a</sup>	9.29 <sup>a</sup>	73.32 <sup>a</sup>	18.63 <sup>a</sup>	99.89 <sup>a</sup>	19.73 <sup>a</sup>	35.14 <sup>a</sup>	29.27 <sup>a</sup>	55.03 <sup>a</sup>
反硫化 细菌 $I/(\times 10^3 g^{-1})$	S1	9.35 <sup>a</sup>	—	3.87 <sup>c</sup>	—	6.61 <sup>c</sup>	—	8.23 <sup>c</sup>	—	13.35 <sup>b</sup>	—
	S2	9.31 <sup>a</sup>	-0.43 <sup>a</sup>	6.28 <sup>b</sup>	62.27 <sup>b</sup>	11.33 <sup>b</sup>	71.41 <sup>b</sup>	8.82 <sup>b</sup>	7.17 <sup>b</sup>	19.10 <sup>a</sup>	43.07 <sup>a</sup>
	S3	9.44 <sup>a</sup>	0.96 <sup>a</sup>	7.14 <sup>a</sup>	84.50 <sup>a</sup>	13.07 <sup>a</sup>	97.73 <sup>a</sup>	11.21 <sup>a</sup>	36.21 <sup>a</sup>	19.62 <sup>a</sup>	46.97 <sup>a</sup>

表 3 弱光处理条件下水稻根际土壤微生物生物量 C 和 N 含量变化

Table 3 Changes in soil microbial metabolic biomass carbon and nitrogen of rice under low light intensity

项目	处理	拔节期	变化 幅度/%	孕穗期	变化 幅度/%	始穗期	变化 幅度/%	灌浆期	变化 幅度/%	收获期	变化 幅度/%
微生物 生物量 C 含量 $/(mg \cdot kg^{-1})$	S1	444.25 <sup>a</sup>	—	384.35 <sup>a</sup>	—	283.65 <sup>a</sup>	—	265.32 <sup>a</sup>	—	282.16 <sup>a</sup>	—
	S2	446.96 <sup>a</sup>	0.61 <sup>a</sup>	286.62 <sup>b</sup>	-25.43 <sup>b</sup>	156.45 <sup>b</sup>	-44.84 <sup>b</sup>	184.22 <sup>b</sup>	-30.57 <sup>b</sup>	224.46 <sup>b</sup>	-20.45 <sup>b</sup>
	S3	450.21 <sup>a</sup>	1.34 <sup>a</sup>	264.46 <sup>c</sup>	-31.19 <sup>a</sup>	114.23 <sup>c</sup>	-59.73 <sup>a</sup>	163.32 <sup>c</sup>	-38.44 <sup>a</sup>	193.43 <sup>c</sup>	-31.45 <sup>a</sup>
微生物 生物量 N 含量 $/(mg \cdot kg^{-1})$	S1	61.14 <sup>a</sup>	—	57.58 <sup>a</sup>	—	47.45 <sup>a</sup>	—	62.23 <sup>a</sup>	—	36.76 <sup>a</sup>	—
	S2	62.04 <sup>a</sup>	1.47 <sup>a</sup>	42.34 <sup>b</sup>	-26.47 <sup>b</sup>	32.45 <sup>b</sup>	-31.61 <sup>b</sup>	32.23 <sup>b</sup>	-48.21 <sup>b</sup>	27.66 <sup>b</sup>	-24.76 <sup>b</sup>
	S3	62.17 <sup>a</sup>	1.68 <sup>a</sup>	38.53 <sup>c</sup>	-33.08 <sup>a</sup>	28.12 <sup>c</sup>	-40.74 <sup>a</sup>	28.66 <sup>c</sup>	-53.95 <sup>a</sup>	22.85 <sup>c</sup>	-37.84 <sup>a</sup>

## 2.4 弱光对土壤脲酶和酸性磷酸酶活性的影响

脲酶是一种酰胺酶,直接参与尿素的形态转化,能够酶促有机质分子中肽键的水解。脲酶活性与土壤微生物的数量、有机质的含量、全氮和速效氮的含量呈正相关。酸性磷酸酶是土壤中广泛存在的一种水解酶,能催化磷酸酯的水解反应,与有机磷的矿化和植物营养关系密切,根际土壤磷酸酶可以表征根际土壤磷的状况<sup>[20]</sup>。

由表 4 可以看出,不同程度光照亏缺对水稻土壤酶活性

具有明显影响。在孕穗期至收获期,弱光处理(S2,S3)的水稻根际土壤脲酶和酸性磷酸酶活性均显著高于 S1;弱光对始穗期土壤酶活性的影响均大于其他生育时期,并随弱光胁迫强度增强,其影响程度更为明显,且弱光处理各生育时期的水稻土壤脲酶活性下降幅度均大于酸性磷酸酶。说明弱光对水稻根际土壤脲酶和酸性磷酸酶活性有明显的抑制作用,弱光对脲酶的抑制作用比磷酸酶强,并且随着弱光胁迫强度和时间的增加,抑制作用更为明显。

表 4 弱光处理条件下水稻根际土壤脲酶和酸性磷酸酶活性变化

Table 4 Changes in soil urease and acid phosphatase of rice under low light intensity

项目	处理	拔节期	变化 幅度/%	孕穗期	变化 幅度/%	始穗期	变化 幅度/%	灌浆期	变化 幅度/%	收获期	变化 幅度/%
脲酶(NH <sub>3</sub> -N) $/(mg \cdot g^{-1} \cdot d^{-1})$	S1	0.46 <sup>a</sup>	—	0.87 <sup>a</sup>	—	0.97 <sup>a</sup>	—	0.68 <sup>a</sup>	—	0.45 <sup>a</sup>	—
	S2	0.47 <sup>a</sup>	2.17	0.72 <sup>b</sup>	-17.24	0.69 <sup>b</sup>	-28.87 <sup>b</sup>	0.55 <sup>b</sup>	-19.12 <sup>b</sup>	0.41 <sup>b</sup>	-8.89 <sup>b</sup>
	S3	0.47 <sup>a</sup>	2.17	0.68 <sup>c</sup>	-21.84 <sup>a</sup>	0.54 <sup>c</sup>	-44.33 <sup>a</sup>	0.47 <sup>c</sup>	-30.88 <sup>a</sup>	0.37 <sup>c</sup>	-17.78 <sup>a</sup>
酸性磷酸酶 $/(mg \cdot g^{-1} \cdot d^{-1})$	S1	1.57 <sup>a</sup>	—	2.12 <sup>a</sup>	—	2.76 <sup>a</sup>	—	2.53 <sup>a</sup>	—	1.25 <sup>a</sup>	—
	S2	1.59 <sup>a</sup>	1.27	1.98 <sup>b</sup>	-6.60 <sup>b</sup>	2.33 <sup>b</sup>	-15.58 <sup>b</sup>	2.32 <sup>b</sup>	-8.30 <sup>b</sup>	1.16 <sup>b</sup>	-7.20 <sup>b</sup>
	S3	1.60 <sup>a</sup>	1.91	1.83 <sup>c</sup>	-13.68 <sup>a</sup>	2.07 <sup>c</sup>	-25.00 <sup>a</sup>	2.17 <sup>c</sup>	-14.23 <sup>a</sup>	1.10 <sup>c</sup>	-12.00 <sup>a</sup>

## 3 讨论

气候条件是影响根际微生物群落结构和数量等的重要因素,如水分、空气和温度等因素<sup>[21-22]</sup>,但是基于弱光对水稻根际土壤微生物生态效应的影响尚未见相关报道。本试验研究表明,花前(拔节期至始穗期)光照亏缺改变了水稻根际微生物群落结构,表现为弱光对水稻根际土壤微生物细菌、放线菌的生长具有明显抑制作用,对真菌的生长具有明显促进作用,而且随着弱光胁迫强度和时间的增加,影响程度更为明显(表 1);进一步对微生物生理类群研究表明,弱光抑制了水稻土壤微生物氨化细菌、硝酸细菌、好气性自生固氮菌的生长,有利于水稻土壤微生物反硝化细菌、反硫化细菌的生长(表 2),说明弱光增强了反硝化作用和反硫化作用,减弱了土壤的氨化作用、固氮作用和硝化作用,从而制约土壤氮素代谢与利用,增加氮素损失,不利于土壤碳和硫等营养元素的循环。至于弱光改变根际微生物群落结构的原因,可能是

在低光照水平下,水稻光合速率下降,合成物质减少,由于水稻生长和光合作用反馈调节的结果,合成物质分配到茎叶中比例增加,从而有利于增加对光能的捕获,分配到根系物质相对减少,间接影响根系生长发育,为根际微生物提供生长的物质质量降低,从而改变根际土壤微生物群落结构。

本研究还表明,弱光降低了水稻根际微生物生物量 C、N 和土壤脲酶及酸性磷酸酶活性,说明弱光胁迫条件下根际微生物数量减少,土壤分解和转化物质的能力下降,减弱了土壤中 C、N 和 P 的营养循环,土壤营养元素的有效性降低,不利于水稻生长发育。研究还发现,弱光胁迫对土壤脲酶活性抑制作用较酸性磷酸酶强(表 4),这也说明弱光条件下氮素通过同化作用转入到微生物体内暂时固定的较少,相应地,通过 NH<sub>3</sub> 挥发和 NO<sub>3</sub> 淋失以及反硝化脱氮等途径造成氮素损失增多。

本试验研究还发现,花前光照亏缺对始穗期水稻根际微

生物群落结构、生物量 C、N 及土壤酶活性的影响均大于其他生育时期,并随弱光胁迫强度增强,其影响程度更为明显,且恢复自然光条件后未能恢复到对照水平(表 1~表 4),说明弱光胁迫强度越大、时间越长,对水稻根际微生物生态效应影响程度越大。徐琪、赵利梅等<sup>[4,23]</sup>研究表明,稻田土壤微生物数量和土壤酶活性不仅与水稻品种及生长情况有关,而且还与温度、湿度、土壤质地、结构、pH 值、通气状况、栽培方法等有关。弱光条件下,稻田小气候可能会发生改变,弱光通过哪几个因素共同引起稻田土壤微生物数量和土壤酶活性降低,有待于进一步研究。

#### 4 结论

大田状态下花前光照亏缺降低了稻田根际微生物生物量和土壤酶活性,并改变了土壤微生物的群落结构。随着弱光胁迫强度和时间的增加,稻田根际微生物生物量、酶活性和根际细菌、放线菌数量降低趋势更为明显,而真菌数量变化则相反。反映在稻田根际微生物生理类群上,弱光抑制了水稻根际微生物氨化细菌、硝酸细菌、好气性自生固氮菌的生长,促进了反硝化细菌、反硫化细菌的生长。说明光照不足降低了土壤营养元素的有效性,破坏了稻株良好生长的根际微生态环境。

#### 参考文献 (References)

- [1] 李阜棣. 当代土壤微生物学的活跃研究领域 [J]. 土壤学报, 1993, 30(3): 229-236.  
Li Fudi. *Acta Pedologica Sinica*, 1993, 30(3): 229-236.
- [2] Singh J S, Raghubanshi A S, Singh R S, et al. Microbial biomass acts as a source of plant nutrients in dry tropical forest and Savanna [J]. *Nature*, 1989, 338: 499-500.
- [3] Speir T W, Ross D J, Orchard V A. Spatial variability of biochemical properties in a taxonomically-uniform soil under grazed pasture [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 1984, 16(2): 153-160.
- [4] 徐琪, 杨林章, 董元华, 等. 中国稻田生态系统 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1998, 158-170.  
Xu Qi, Yang Linzhang, Dong Yuanhua, et al. Rice field ecosystem in China[M]. Beijing: China Agriculture Press, 1998, 158-170.
- [5] Klose S, Tabatabai M A. Urease activity of microbial biomass in soils[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 1999, 31(2): 205-211
- [6] Pascual J A, Moreno J L, Hernandez T, et al. Persistence of immobilized and total urease and phosphatase activities in a soil amended with organic wastes[J]. *Bioresour Tech*, 2002, 82(1): 73-78.
- [7] Insam H, Mitchell C C, Dormaar J F. Relationship of soil microbial biomass and activity with fertilization practice and crop yield of three uhisols [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 1991, 23(5): 459-464.
- [8] 高云超, 朱文珊, 陈文新. 土壤微生物生物量周转的估算[J]. 生态学杂志, 1993, 12(6): 6-10.  
Gao Yunchao, Zhu Wenshan, Chen Wenxin. *Chinese Journal of Ecology*, 1993, 12(6): 6-10.
- [9] 黄文秀. 农业自然资源[M]. 北京: 科学出版社, 1998, 157-160.  
Huang Wenxiu. Agricultural natural resources [M]. Beijing: Science Press, 1998, 157-160.
- [10] 孟雷, 陈温福, 李磊鑫, 等. 减弱光照强度对水稻叶片气孔性状的影响[J]. 沈阳农业大学学报, 2002, 33(2): 87-89.  
Meng Lei, Chen Wenfu, Li Leixin, et al. *Journal of Shenyang Agricultural University*, 2002, 33(2): 87-89.
- [11] 王明, 蒋卫杰, 余宏军. 弱光逆境对植株生理特性的影响及其调控措施[J]. 内蒙古农业大学学报, 2007, 28(3): 198-203.  
Wang Ming, Jiang Weijie, Yu Hongjun. *Journal of Inner Mongolia Agricultural University*, 2007, 28(3): 198-203.
- [12] 蔡昆争, 骆世明. 不同生育期遮光对水稻生长发育和产量形成的影响[J]. 应用生态学报, 1999, 10(2): 193-196.  
Cai Kunzheng, Luo Shiming. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1999, 10(2): 193-196.
- [13] 刘博, 韩勇, 解文孝, 等. 灌浆结实期弱光对水稻产量、生理及品质的影响[J]. 中国稻米, 2008(5): 36-40.  
Liu Bo, Han Yong, Xie Wenxiao, et al. *China Rice*, 2008(5): 36-40.
- [14] 刘奇华, 蔡建, 李天, 等. 水稻籽粒灌浆特性及品质对孕穗期弱光胁迫的响应[J]. 江西农业大学学报, 2007, 29(2): 172-175.  
Liu Qihua, Cai Jian, Li Tian, et al. *Journal of Jiangxi Agricultural University*, 2007, 29(2): 172-175.
- [15] 钱存柔, 黄仪秀. 微生物学实验教程[M]. 北京: 北京大学出版社, 1999: 53-71.  
Qian Cunrou, Huang Yixiu. Microbiological experiment course [M]. Beijing: Peking University Press, 1999: 53-71.
- [16] 关松荫, 张德生, 张志明. 土壤酶及其研究法 [M]. 北京: 农业出版社, 1986: 274-339.  
Guan Songyin, Zhang Desheng, Zhang Zhiming. Soil enzyme and methodology[M]. Beijing: Agriculture Press, 1986: 274-339.
- [17] Vance E D, Brookes P C, Jenkinson D S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 1987, 19(6): 703-707.
- [18] Brookes P C, Landman A, Pruden G. Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen: A rapid extraction method to measure microbial biomass nitrogen in soil [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 1985, 17(6): 837-842.
- [19] Nannipieri P, Muccini L, Ciardi C. Microbial biomass and enzyme activities, production and persistence [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 1983, 15(1): 679-685.
- [20] 马宁宁, 李天来, 武春成, 等. 长期施肥对设施菜田土壤酶活性及土壤理化性状的影响[J]. 应用生态学报, 2010, 21(7): 1766-1771.  
Ma Ningning, Li Tianlai, Wu Chuncheng, et al. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2010, 21(7): 1766-1771.
- [21] 曹慧, 杨浩, 孙波, 等. 不同种植时间菜园土壤微生物生物量和酶活性变化特征[J]. 土壤, 2002, 34(4): 197-200.  
Cao Hui, Yang Hao, Sun Bo, et al. *Soils*, 2002, 34(4): 197-200.
- [22] 曾路生, 廖敏, 黄昌勇, 等. 水稻不同生育期的土壤微生物量和酶活性的变化[J]. 中国水稻科学, 2005, 19(5): 441-446.  
Zeng Lusheng, Liao Min, Huang Changyong, et al. *Chinese Journal of Rice Science*, 2005, 19(5): 441-446.
- [23] 赵利梅, 吴良欢, 李永山, 等. 水稻强化栽培对稻田土壤生物学特性的影响[J]. 土壤学报, 2009, 46(2): 321-325.  
Zhao Limei, Wu Lianghuan, Li Yongshan, et al. *Acta Pedologica Sinica*, 2009, 46(2): 321-325.

(责任编辑 吴晓丽)