

# 氮肥对镉胁迫下结缕草光合和叶绿素荧光特性的影响

魏花朵<sup>1</sup>, 李悦<sup>1</sup>, 陈忠林<sup>1</sup>, 徐苏男<sup>1</sup>, 于宁<sup>2</sup>, 张利红<sup>1\*</sup>

(1. 辽宁大学环境学院, 辽宁 沈阳 110036; 2. 辽宁省环境监测实验中心, 辽宁 沈阳 110161)

**摘要:** 采用盆栽试验, 研究了不同氮肥用量 [0、200、300 和 400 mg/kg CO(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>] 对 Cd 胁迫 (50 mg/kg) 下结缕草光合及叶绿素荧光特性的影响。结果表明: 不同浓度的氮肥均能使 Cd 胁迫下结缕草叶片叶绿素含量、净光合速率 (Pn)、气孔导度 (Gs)、胞间二氧化碳浓度 (Ci)、蒸腾速率 (Tr)、光化学猝灭系数 (qP)、叶片 PSII 最大光量子产量 (Fv/Fm) 及表观光电子传递效率 (ETR) 有所提高, 而非光化学猝灭系数 (NPQ) 有所降低, 说明氮肥对 Cd 污染具有一定的缓释作用。从结缕草叶片叶绿素 (叶绿素 a、叶绿素 b、叶绿素 a + b) 含量、气孔导度、胞间二氧化碳浓度、叶片 PSII 最大光量子产量及表观光电子传递效率指标来看, 以氮肥浓度 300 mg/kg 缓解作用最大, 200 mg/kg 次之, 400 mg/kg 最弱; 相对于叶片净光合速率、蒸腾速率、水分利用率 (WUE)、非光化学猝灭系数来说, 以氮肥浓度 300 mg/kg 缓解作用最为明显, 400 mg/kg 次之, 200 mg/kg 最弱; 不同施肥浓度及镉胁迫对结缕草叶片光化学猝灭系数基本无影响 (P > 0.05)。通过本研究得出: 施用氮肥对 Cd 胁迫下结缕草具有一定的缓解作用, 当氮肥浓度为 300 mg/kg 时缓解效果最为显著。

**关键词:** 结缕草; 氮肥; 镉胁迫; 光合特性; 荧光特性

**中图分类号:** S143.1; S543

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1673-6257 (2015) 04-0088-05

随着工农业迅速发展, 土壤中镉污染程度日趋严重。镉很难被降解, 只能在各种形态之间进行相互转化、分散和富集, 易被植物吸收, 并且能通过食物链在动物和人体内富集<sup>[1]</sup>。氮是植物必需的大量营养元素之一, 对植物的光合作用及叶绿素荧光特性具有明显的影响和调节作用, 合理运用氮肥可有效改善植物的光合特性, 促进植物生长<sup>[2]</sup>。

安慧等<sup>[3]</sup>研究发现, 光合气体交换参数在一定范围内随氮素浓度提高呈现出增加的趋势。尹丽等<sup>[4]</sup>也证明氮素可以促进麻疯树幼苗的生长及提高光合速率。

目前, 国内外学者普遍意识到重金属、土壤、肥料之间存在一定的交互作用。孙静克等<sup>[5]</sup>研究发现, 适宜的施肥措施可以改善 Cd 污染土壤雪里蕻的光合特性, 从而促进其生长。近些年, 利用植物修复 Cd 污染土壤已经成为研究热点, 该方法被公认为是土壤重金属污染最好的修复技术, 具有治理效果永久、后期处理简易等特点<sup>[6]</sup>。结缕草 (*Zoysia japonica*) 是禾本科 (Gramineae) 画眉草亚科

(Chloridoideae) 结缕草属 (*Zoysia*) 植物, 为重要的多年生暖季型草坪草, 具有耐热、耐旱、耐盐碱、耐瘠薄<sup>[7]</sup>等优良特性。结缕草应用于 Cd 污染土壤的修复已有报道<sup>[8-9]</sup>, 而关于施氮肥对 Cd 污染条件下结缕草的影响研究仍不多见。本文以结缕草为试验材料, 研究氮肥对 Cd 胁迫下结缕草光合和荧光特性的影响, 以期对草坪草筛选重金属 Cd 的修复植物提供参考依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试土壤

供试土壤类型为砂壤质棕壤, 采自辽宁大学环境学院生态园<sup>[10]</sup>, 土壤的基本理化性质见表 1。

### 1.2 试验材料及设计

试验用土过 2 mm 筛后装入直径 13 cm、高度 10 cm 塑料花盆中, 每个花盆装 1 kg 土。2012 年 6 月从结缕草草坪中选一块盖度及密度均匀一致的草皮, 截面积为 5 cm × 5 cm 的草皮块移植到每个花盆中, 将花盆栽放于辽宁大学环境学院生态试验园内。2013 年 6 月 20 日, 对结缕草施氮肥、Cd。在处理后的第 8 d 进行光合和荧光参数测定, 在第 9 d 进行叶绿素的测定。试验共分 5 个处理, 每个处理设 3 个重复。具体试验设计见表 2。

收稿日期: 2014-07-13; 最后修订日期: 2014-10-18

基金项目: 国家自然科学基金项目 (31470398; 31270369)。

作者简介: 魏花朵 (1989-), 女, 河南省平顶山人, 硕士研究生, 研究方向植物生理生态。E-mail: WeiHuaduo6@126.com。

通讯作者: 张利红, E-mail: lihongzhang132@163.com。

表 1 供试土壤的基本理化性质

pH 值	有机质 (g/kg)	阳离子交换量 (cmol/kg)	全氮 (g/kg)	全磷 (P g/kg)	全钾 (K g/kg)	碱解氮 (mg/kg)	有效磷 (P mg/kg)	速效钾 (K mg/kg)
6.75	20.0	17.2	1.03	0.4	13.3	60.2	3.1	68.3

表 2 试验设计 (mg/kg)

处理	Cd	氮肥量
CK	0	0
Cd + N0	50	0
Cd + N1	50	200
Cd + N2	50	300
Cd + N3	50	400

### 1.3 测定方法

光合指标的测定：使用光合测定仪在 9:00 ~ 11:00 进行测定。每个花盆选取完全展开的功能叶片（倒数第 4 叶），用 LI-6400 便携式光合作用仪测定净光合速率 (Pn)、蒸腾速率 (Tr)、胞间二氧化碳浓度 (Ci)、气孔导度 (Gs) 和水分利用率 (WUE)，每盆至少选取 3 片叶子，每片叶子重复测定 3 次。

荧光指标测定：使用 LI-6400 光合测定仪在室内进行测定。测定前将植株放置在暗箱内适应 30 min，然后选取最上部完全展开的功能叶片，测定最大原初光能转化效率 (Fv/Fm)、光化学荧光猝灭系数 (qP)、非光化学荧光猝灭系数 (NPQ) 和电子传递速率 (ETR)<sup>[11]</sup>。每盆至少选取 3 片叶子，每片叶子重复测定 3 次。

叶绿素含量的测定：采用乙醇丙酮混合液法测定<sup>[12]</sup>。

### 1.4 数据分析

用 Excel 2007 录入数据，采用 SPSS 18.0 分析数据，对所有试验数据用 Anova 进行方差分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同氮肥用量对镉胁迫下结缕草叶绿素含量的影响

在 Cd 胁迫下结缕草叶片中的叶绿素 a、叶绿素 b、叶绿素 a + b 分别比对照组下降 47.22%、72.82%、55.11% (表 3)，施加不同浓度的氮肥其含量有所增加，对于叶绿素 a，Cd + N1、Cd + N2、Cd + N3 处理组分别比 Cd + N0 组增加了 26.95%、30.47%、19.14%，Cd + N1 与 Cd + N2、Cd + N3 处理组差异不显著，Cd + N2 与 Cd + N3 处理组差异显

著，施氮组相对于对照组和 Cd + N0 组差异显著，说明氮肥对 Cd 胁迫下结缕草叶片叶绿素 a 具有缓解作用；对于叶绿素 b，Cd + N1、Cd + N2、Cd + N3 处理组分别比 Cd + N0 组增加了 167.92%、196.23%、150.94%；对于叶绿素 a + b，Cd + N1、Cd + N2、Cd + N3 处理组分别比 Cd + N0 组增加了 48.98%、58.90%、38.51%，且均达到显著性水平 (P < 0.05)，不同施氮水平间差异显著。总的来说，以氮肥浓度 300 mg/kg 缓解作用最大，200 mg/kg 次之，400 mg/kg 最弱；Cd 胁迫条件下，结缕草叶片叶绿素 b 比叶绿素 a 对氮肥更加敏感，过多的氮肥对叶绿素的合成产生一定的抑制作用。

表 3 不同氮肥用量对镉胁迫下结缕草叶绿素含量的影响 (mg/g)

处理	叶绿素 a	叶绿素 b	叶绿素 a + b
CK	0.485 ± 0.005a	0.195 ± 0.005a	0.688 ± 0.010a
Cd + N0	0.256 ± 0.002b	0.053 ± 0.003b	0.309 ± 0.002b
Cd + N1	0.325 ± 0.025cd	0.135 ± 0.003c	0.460 ± 0.008c
Cd + N2	0.334 ± 0.004d	0.157 ± 0.002d	0.491 ± 0.004d
Cd + N3	0.305 ± 0.005c	0.133 ± 0.002e	0.428 ± 0.002e

注：表中数据为平均值 ± 标准差，同列数据后不同小写字母表示差异显著 (P < 0.05)。下同。

### 2.2 不同氮肥用量对镉胁迫下结缕草光合指标的影响

在 Cd 胁迫条件下，Pn、Tr、Ci、Gs、WUE 分别比对照组下降 53.33%、36.81%、46.28%、34.18%、56.86% (表 4)，且差异显著 (P < 0.05)。施氮肥后均比 Cd + N0 组增加，对于 Pn 和 Tr，均在 Cd + N2 处理组达到最大值，分别为 Cd + N0 组的 2.56 和 1.56 倍，其次为 Cd + N3 处理组，分别为 Cd + N0 组的 1.43 和 1.05 倍，且各施氮肥处理组差异显著；对于 Ci 和 Gs，也是在 Cd + N2 处理组达到最大值，分别为 Cd + N0 组的 1.70 和 1.42 倍，其次为 Cd + N1 处理组，分别为 Cd + N0 组的 1.50 和 1.21 倍，Gs 各施肥处理组差异显著 (P < 0.05)，对于 Ci，Cd + N2 处理组与 Cd + N1 和 Cd + N3 处理组差异显著 (P < 0.05)，但 Cd + N1 和 Cd + N3 处理组差异

不显著 ( $P > 0.05$ ); 对于 WUE, 在 Cd + N2 处理组达到最大值, 为 Cd + N0 组的 1.28 倍, 其次为 Cd + N3 处理组, 为 Cd + N0 组的 1.21 倍, Cd + N1 处理组与 Cd + N2 和 Cd + N3 处理组差异显著 ( $P <$

0.05), 但 Cd + N2 和 Cd + N3 处理组差异不显著 ( $P > 0.05$ )。由此可知, 氮肥对 Cd 胁迫下的 Pn、Tr、Ci、Gs、WUE 等光合指标是有一定的缓解作用。

表 4 不同氮肥用量对镉胁迫下结缕草光合指标的影响

处理	Pn [ $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ]	Tr [ $\text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ]	Ci ( $\mu\text{mol}/\text{mol}$ )	Gs [ $\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ]	WUE ( $\mu\text{mol}/\text{mol}$ )
CK	8.251 ± 0.253a	1.632 ± 0.062a	271.563 ± 2.005a	0.079 ± 0.005a	5.031 ± 0.100a
Cd + N0	3.852 ± 0.101b	1.037 ± 0.097b	145.872 ± 2.008b	0.052 ± 0.005b	2.172 ± 0.140b
Cd + N1	7.235 ± 0.207c	1.985 ± 0.105c	218.633 ± 2.270c	0.063 ± 0.004c	3.813 ± 0.160c
Cd + N2	13.722 ± 0.071d	2.643 ± 0.053d	247.596 ± 1.049d	0.074 ± 0.004a	4.950 ± 0.120ad
Cd + N3	9.364 ± 0.054e	2.117 ± 0.027e	217.256 ± 3.754c	0.059 ± 0.003b	4.780 ± 0.009d

### 2.3 不同氮肥用量对镉胁迫下结缕草荧光特性的影响

不同施肥处理组对 Cd 胁迫下的结缕草 Fv/Fm、qP、NPQ、ETR 等荧光特性的影响各有差异 (表 5)。在 Cd 胁迫条件下, Fv/Fm、ETR 分别比对照组下降 23.16%、22.22%, 施氮肥后, 对于 Fv/Fm、ETR, 均在 Cd + N2 处理组达到最大值, 分别为 Cd + N0 组

的 1.22 和 1.21 倍, 其次为 Cd + N1 处理组, 分别为 Cd + N0 组的 1.19 和 1.10 倍; 对于 qP, Cd + N1、Cd + N2、Cd + N3 处理组、Cd + N0 组及对照组差异不显著 ( $P > 0.05$ ); 对于 NPQ, 在 Cd 胁迫条件下 Cd + N0 处理组比对照组增加 93.88%, 在 Cd + N2 处理组缓解效果最为明显, 比 Cd + N0 组降低 33.75%, 其次为 Cd + N3 处理组, 比 Cd + N0 组降低 17.94%。

表 5 不同氮肥用量对镉胁迫下结缕草荧光特性的影响

处理	Fv/Fm	qP	NPQ	ETR [ $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ]
CK	0.787 ± 0.040a	0.972 ± 0.100a	0.278 ± 0.020a	0.847 ± 0.020a
Cd + N0	0.639 ± 0.019b	1.021 ± 0.101a	0.539 ± 0.020b	0.693 ± 0.010b
Cd + N1	0.772 ± 0.020a	0.983 ± 0.100a	0.479 ± 0.010c	0.765 ± 0.005c
Cd + N2	0.779 ± 0.017a	0.995 ± 0.103a	0.403 ± 0.013d	0.839 ± 0.011a
Cd + N3	0.761 ± 0.010a	0.987 ± 0.106a	0.457 ± 0.010c	0.758 ± 0.008c

## 3 结论与讨论

### 3.1 施氮肥与镉胁迫下结缕草叶片叶绿素含量的关系

叶绿素是植物进行光合作用的主要色素, 受重金属胁迫的影响其含量可能降低<sup>[13]</sup>。氮素是影响植物叶片光合能力的最有效因子之一, 是叶绿素的主要成分, 施氮能促进植物叶片叶绿素的合成, 有助于光能捕获<sup>[14]</sup>, 提高 CO<sub>2</sub> 同化能力。本试验中, 在 Cd 胁迫下结缕草叶片中的叶绿素含量均呈下降趋势, 可能是因为 Cd 与相关酶作用抑制叶绿素前体的合成, 促进叶绿素分解, 或直接破坏叶绿体结构, 而降低植物体内叶绿素的含量<sup>[15]</sup>。施氮肥后,

叶绿素含量增加, 说明氮肥对 Cd 胁迫下的结缕草叶片叶绿素降低具有一定的缓解作用, 该结果与 Christos 等<sup>[16]</sup>的研究结果一致, 且在 Cd + N2 (氮肥浓度为 300 mg/kg) 处理组达到最大值, 所以 300 mg/kg 左右的施氮量可能是满足 Cd 胁迫下结缕草生长的临界点。当施氮量为 400 mg/kg 时, 叶绿素含量较之 200、300 mg/kg 的氮肥处理组下降, 说明过量的氮肥对叶绿素的合成可能会产生一定的抑制作用。

### 3.2 施氮肥与镉胁迫下结缕草叶片光合指标的关系

Pn、Tr、Ci、Gs 是反应光合作用强度的指标, 是衡量植物对逆境光合生理响应能力的重要参数;

植物叶片的 WUE 是指植物消耗单位水量所产生的同化物量<sup>[17]</sup>, 可以直观反映出光合速率与蒸腾速率之间的关系, 其含量的变化可以清晰指示植物叶片内的持水量。镉胁迫条件下,  $G_s$  下降引起  $C_i$  下降, 进而影响  $CO_2$  扩散到羧化作用位点, 减少其光合同化吸收<sup>[18]</sup>, 同时,  $G_s$  下降导致  $Tr$  下降, 而  $Tr$  下降导致水分供应不足, 引起光抑制, 而植物为避免光抑制导致 PS I 和 PS II 电子传递速率减少<sup>[19]</sup>, 从而引起  $P_n$  下降<sup>[20]</sup>。

给 Cd 污染条件下的结缕草施肥后, 当氮肥浓度为 200 和 300 mg/kg 时, 叶片  $P_n$  和  $Tr$  显著提高, 叶绿素的含量也提高, 叶绿素含量的高低与光合速率密切相关, 所以  $P_n$  的增强可能是由于氮肥增加了叶片中叶绿素的含量, 而  $P_n$  增强也使 WUE 提高。叶片中氮的含量会影响核酮糖 1, 5 - 二磷酸羧化酶和叶片中光合色素的含量和活性。但是当氮肥浓度过高 (400 mg/kg) 时, 过多的养分会降低核酮糖 1, 5 - 二磷酸羧化酶的活性, 导致光合作用受阻, 光合作用减弱, 与贾瑞丰等<sup>[21]</sup>的研究结果一致。

叶片光合速率的高低有气孔因素和非气孔因素两个方面的原因, 判定依据主要是根据  $C_i$  和  $G_s$  的变化方向。只有  $C_i$  随  $G_s$  同时下降的情况下, 才能证明光合速率的下降是由气孔限制造成的。本试验中, 在氮肥浓度为 200、300 mg/kg 时,  $P_n$  的升高伴随着  $G_s$  和  $C_i$  的升高; 当氮肥浓度为 400 mg/kg 时,  $P_n$  的降低伴随着  $G_s$  和  $C_i$  的降低, 说明在 Cd 胁迫下, 氮肥能够保持叶片较高的光合速率可能是气孔因素的作用。

### 3.3 施氮肥与镉胁迫下结缕草荧光特性的关系

$F_v/F_m$  反映 PS II 光化学效率的高低, 当植物受到环境胁迫时  $F_v/F_m$  值将显著降低<sup>[22]</sup>; NPQ 反映的是天线色素吸收的光能不能用于电子传递而以热的形式耗散掉的光能部分<sup>[23]</sup>;  $qP$  表示 PS II 原初电子受体质体醌 A (QA) 的还原状态<sup>[24]</sup>; ETR 是表观光电子传递效率<sup>[25]</sup>。

施 Cd 处理使结缕草  $F_v/F_m$ 、 $qP$ 、NPQ、ETR 等荧光参数均降低, 说明 Cd 对 PSII 反应中心有破坏作用。但是施加不同浓度 (200、300、400 mg/kg) 的氮肥后, 各荧光参数的下降得到缓和, 尤其以 300 mg/kg 的氮肥浓度处理效果最为显著, 说明氮肥在 Cd 污染条件下对 PS II 反应中心具有保护作用, 使结缕草在 Cd 胁迫下保持较高的光化学效率,

从而提高其抵抗 Cd 污染的能力; 氮肥也提高了非光化学猝灭系数 ( $qN$ ), 从而使 PS II 反应中心的电子传递活性增大, 热耗散减少, 使 PS II 处于活跃的状态, 而表观光电子传递效率 ETR 及光化学猝灭系数 ( $qP$ ) 并无明显的大幅度变化, 与对照组相比趋于平稳, 说明氮肥在 Cd 污染条件下保护光合机构的原因可能是由于 PS II 状态活跃的结果。当氮肥浓度为 400 mg/kg 时,  $F_v/F_m$ 、 $qP$ 、NPQ、ETR 等荧光参数均比 300 mg/kg 降低, 但对  $F_v/F_m$ 、 $qP$  差异不显著, 说明该浓度的氮肥并没有对 PS II 反应中心造成伤害, 只是稍增加了热耗散, 降低表观电子传递效率, 并没有对结缕草造成 N 胁迫。

综上所述, 施氮肥和不施氮肥对 Cd 胁迫下结缕草叶片光合和荧光特性的影响差异显著, 说明施氮肥能够有效地缓解 Cd 胁迫对结缕草叶片光合系统的损害, 提高植物的光能利用率。在 Cd 胁迫下, 施氮肥可以有效缓解结缕草受 Cd 胁迫的程度, 施 200、300 mg/kg 的氮肥浓度对结缕草叶片光合特性和 300、400 mg/kg 氮肥浓度对荧光特性具有较高级别的缓解能力, 以 300 mg/kg 的氮肥浓度的缓解作用最为显著。

### 参考文献:

- [1] 赵鲁, 李旭军, 刘安辉, 等. 大豆和小麦对土壤中镉的吸收与富集研究 [J]. 中国土壤与肥料, 2013, (5): 66 - 70.
- [2] 徐苏男, 范丽霞, 何月, 等. 不同施氮量对结缕草生长及光合荧光特性的影响 [J]. 中国土壤与肥料, 2013, (5): 46 - 50.
- [3] 安慧, 上官周平. 光照强度和氮水平对白三叶幼苗生长与光合生理特性的影响 [J]. 生态学报, 2009, 11 (29): 6017 - 6024.
- [4] 尹丽, 胡庭兴, 刘永安. 干旱胁迫对不同施氮水平麻疯树幼苗光合特性及生长的影响 [J]. 应用生态学报, 2010, 21 (3): 569 - 576.
- [5] 孙静克, 宗良纲, 付世景, 等. 不同施肥处理对镉污染土壤雪里蕻光合特性的影响 [J]. 南京农业大学学报, 2007, 30 (4): 82 - 86.
- [6] 张兴梅, 杨清伟, 李扬. 土壤镉污染现状及修复研究进展 [J]. 河北农业科学, 2010, 14 (3): 79 - 81.
- [7] 董厚德, 宫莉君. 中国结缕草生态学及其资源开发与应用 [M]. 北京: 中国林业出版社, 2001. 5.
- [8] 张绵. 结缕草 (*Zoysia japonica*) 在镉 (Cd) 污染农田上开发与应用的研究 [J]. 植物研究, 2002, 22 (4): 467 - 472.
- [9] 陈涛, 王新, 梁仁禄, 等. 污泥草地利用的初步研究 [J]. 应用生态学报, 2002, 13 (4): 463 - 466.
- [10] 陈忠林, 何月, 李悦, 等. 磷肥对结缕草生长及生理特性的影响 [J]. 科技导报, 2013, 31 (18): 68 - 72.

- [11] 刘劲松, 石辉, 李秧秧. 镉胁迫对黄瓜幼苗光合和叶绿素荧光特性的影响 [J]. 水土保持研究, 2011, 18 (5): 187-190, 196.
- [12] 张志良, 瞿伟菁. 植物生理学实验指导 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2003. 268-270.
- [13] 张金彪, 黄维南. 镉胁迫对草莓光合的影响 [J]. 应用生态学报, 2007, 18 (7): 1673-1676.
- [14] Peng C L, Lin Z F, Lin G Z. The anti-photooxidation of anthocyanins - rich leaves of a purple rice cultivar [J]. Sci. China, 2006, 36 (3): 209-216.
- [15] Liang P, Anrthur B P. Differential display of eukaryotic messenger RNA by means of the polymerase chain reaction [J]. Science, 1992, 25: 967-971.
- [16] Christos A D, Christos S. Safflower yield, chlorophyll content, photosynthesis, and water use efficiency response to nitrogen fertilization under rained conditions [J]. Industry Crops and Products, 2007, 27: 75-85.
- [17] 周续莲, 吴宏亮, 康建宏, 等. 不同灌水处理对春小麦水分利用率和光合速率的影响 [J]. 农业科学研究, 2011, 32 (4): 1-5, 37.
- [18] Perfus-Barbeoch L, Leonhardt N, Vavasseur A, et al. Heavy metal toxicity: cadmium permeates through calcium channels and disturbs the plant water status [J]. The Plant Journal, 2002, 32 (4): 539-548.
- [19] Biehler K, Migge A, Fock H P. The role of malate dehydrogenase in dissipating excess energy under water stress in two wheat species [J]. Photosynthetica, 1996, 32 (3): 431-438.
- [20] 吴坤, 吴中红, 邵付菊, 等. 镉胁迫对烟草叶激素水平、光合特性、荧光特性的影响 [J]. 生态学报, 2011, 31 (16): 4517-4524.
- [21] 贾瑞丰, 尹光天, 杨锦昌, 等. 不同氮素水平对红厚壳幼苗生长及光合特性的影响 [J]. 林业科学研究, 2012, 25 (1): 23-29.
- [22] 陈建明, 俞晓平, 程家安. 叶绿素荧光动力学及其在植物抗逆生理研究中的应用 [J]. 浙江农业学报, 2006, 18 (1): 51-55.
- [23] 王立志, 王国祥, 葛绪广, 等. 底质营养盐负荷对轮叶黑藻生长和光合荧光特性的影响 [J]. 生态学报, 2010, 30 (2): 473-480.
- [24] 许莉, 刘世琦, 齐连东, 等. 不同光质对叶用莴苣光合作用及叶绿素荧光的影响 [J]. 中国农学通报, 2007, 23 (1): 96-100.
- [25] 刘瑞显, 王友华, 陈兵林, 等. 花铃期干旱胁迫下氮素水平对棉花光合作用与叶绿素荧光特性的影响 [J]. 作物学报, 2008, 34 (4): 675-683.

#### Effects of nitrogen fertilizer on photosynthetic and fluorescent characteristics of *Zoysia japonica* under cadmium stress

WEI Hua-duo<sup>1</sup>, LI Yue<sup>1</sup>, CHEN Zhong-lin<sup>1</sup>, XU Su-nan<sup>1</sup>, YU Ning<sup>2</sup>, ZHANG Li-hong<sup>1\*</sup> (1. College of Environmental Sciences, Liaoning University, Shenyang Liaoning 110036; 2. Liaoning Province Environmental Monitoring Experiment Centre, Shenyang Liaoning 110161)

**Abstract:** The method of pot culture was used to investigate the proper application rate of the nitrogen fertilizer during the period of under cadmium stress (50 mg/kg) plant growth. The study was carried out to examine the effects of different dosages nitrogen fertilizer [0, 200, 300 and 400 mg/kg CO(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>] on photosynthesis and fluorescence characteristics of *Zoysia japonica* under cadmium stress. The results showed that different dosages nitrogen fertilizer enhanced chlorophyll contents, net photosynthetic rate, stomatal conduction, intercellular CO<sub>2</sub> concentration, transpiration rate, photochemical quenching, maximum photo quantum yield, and the electron transfer rate and decreased non-photochemical quenching (NPQ) under Cd stress, which demonstrated that N fertilizer could release the effect of Cd stress on *Zoysia japonica*. For the effects of different nitrogen concentration on chlorophyll content of *Zoysia* (Chl a, Chl b, Chl a + b), stomatal conductance (Gs), intercellular carbon dioxide concentration (Ci), leaf maximum quantum yield of PS II (Fv / Fm) and the electron transfer rate (ETR), it showed that treatment with 300 mg/kg nitrogen was the best, then 200 and 400 mg/kg. For the effects of different nitrogen concentration on net photosynthetic rate (Pn), transpiration rate (Tr), water use efficiency (WUE) and non-photochemical quenching (NPQ), the result was that treatment with 300 mg/kg nitrogen was better than that of 400 and 200 mg/kg. However photochemical quenching (qP) was not significantly affected (P>0.05) by nitrogen concentration. It was concluded that 300 mg/kg nitrogen concentration had the greatest effect on *Zoysia japonica* under cadmium stress in this study.

**Key words:** *Zoysia japonica*; nitrogen fertilizer; cadmium stress; photosynthetic characteristics; fluorescent characteristics