

## \* 研究简报 \*

## 酸雨胁迫下稀土元素对小麦生理生化响应的作用\*

严重玲<sup>①③</sup> 洪业汤<sup>②</sup> 林鹏<sup>①</sup> 王世杰<sup>②</sup> 付舜珍<sup>③</sup>  
杨先科<sup>③</sup> 吴善绮<sup>③</sup> 朱克勇<sup>③</sup>

(①厦门大学生物系, 厦门 361005; ②中国科学院环境地球化学国家重点实验室, 贵阳 550002;

③贵州省环境保护科学研究所, 贵阳 550002)

**摘要** 运用盆栽实验,对酸雨胁迫下稀土元素(REE)对小麦生理生化响应的作用进行了研究.结果表明:酸雨影响了叶绿素含量及叶绿素  $a/b$  值.叶绿素  $a$  及叶绿素总量与酸雨 pH 值呈正相关,POD 活性随酸雨 pH 值减小逐渐增加,间接导致叶绿素  $a$  分解速度加快,造成叶绿素总量减少和  $a/b$  值减小,加速了叶片的老化,影响植株光能吸收、转换及碳同化.REE 施用后,仍在酸雨胁迫下的植株与单一酸雨处理相比,其叶绿素含量、叶绿素  $a/b$  值、POD 活性均能稳定在一定水平上.在酸雨 pH > 3.5 的情况下 REE 明显地表现出对小麦体内叶绿素及过氧化物酶有一定的防护作用.

**关键词** 酸雨胁迫 稀土元素 小麦 生理生化响应

国内外学者就酸雨对植物尤其是作物的影响进行了大量的研究<sup>[1-4]</sup>,但是如何减轻或消除这种影响的农业防护措施至今未见报道.稀土元素(REE)能提高作物抗逆能力,增加产量,提高品质,在生产实践中亦得到不断的证实<sup>[5-7]</sup>,本研究针对 REE 能提高作物抗逆性和中国西南地区酸雨频繁的实际,就酸雨胁迫下,REE 对小麦生理生化响应的作用进行研究,以探索减轻和消除酸雨对作物影响的途径、提供切实可行的农业防护措施,并为这种措施提供理论依据和实践经验.

## 1 材料和方法

### 1.1 材料

选择酸雨多发区常见并对酸雨敏感的植物——小麦<sup>[1]</sup>(*Triticum aestivum* L.) 贵花1号为研究对象.种子由遵义龙坪农业推广站提供,供试稀土由河南商丘稀土微肥厂提供,其元素的组成见表1.

1998-09-29 收稿,1999-01-04 收修改稿

\* 国家自然科学基金(批准号:49833002)资助项目

表1 稀土元素组成

元素	含量/%	元素	含量/%	元素	含量/%	元素	含量/%	元素	含量/%
La	21.32~22.87	Nd	12.85~14.57	Er	<0.086	Er	<0.087	Lu	<0.089
Ce	33.08~41.51	Sm	<0.258	Tb	<0.081	Yb	<0.087	Y	<0.078
Pr	4.14~4.97	Dy	<0.087	Ho	<0.087				

## 1.2 方法

酸雨配置及喷洒按文献[4],设置5个处理组(pH4.8, 4.0, 3.5, 3.0, 2.5),和1个对照(CK,pH6.5);在5个酸雨处理组的基础上,设置稀土0.1%,0.3%拌种和0.075%浸种3个系列,盆栽在30 cm×25 cm(上口直径×高)的营养钵中(30株/盆),每处理4次重复,盆栽,以简易塑料棚遮盖,使之不受自然降雨的影响;叶绿素测定按Aron(1949)法(单位:mg·g<sup>-1</sup>·FW);POD活性测定按文献[8]的方法(单位:mg<sup>-1</sup>·FW).

## 2 结果与讨论

### 2.1 酸雨胁迫下REE对小麦叶绿素含量的作用

实验结果(表2)表明,酸雨明显地影响叶绿素含量.随着酸雨酸度的增大,单一酸雨处理中,叶绿素含量逐渐减少.叶绿素含量与酸雨的pH值存在显著的正相关( $r=0.94$ ).施用REE后,处在酸雨胁迫下的植株,体内的叶绿素含量受酸雨影响有明显减小的趋势.各处理间植株体内叶绿素变化幅度相对减小.REE的施用使酸雨对小麦叶绿素含量的影响明显受到限制.然而随着酸雨胁迫强度的增大,REE的这种作用虽有所减弱,但其叶绿素含量仍高于相同pH的单一酸雨处理植株.

表2 酸雨(AR)对小麦抽穗期叶绿素含量及稀土元素(REE)的作用<sup>a)</sup>

处理	CK(6.5)	pH				
		4.8	4.0	3.5	3.0	2.5
单一酸雨	15.8±0.15	14.9±0.25	14.1±0.075	13.9±0.2	12.8±0.125	11.6±0.05
酸雨+0.1% REE拌种	16.9±0.1	16.0±0.3	15.7±0.125	15.8±0.3	13.3±0.25	12.8±0.05
酸雨+0.3% REE拌种	17.4±0.3	16.3±0.075	15.8±0.1	15.8±0.125	13.5±0.15	13.1±0.3
酸雨+0.075% REE浸种	18.0±0.1	16.4±0.05	15.7±0.3	15.6±0.15	14.8±0.1	13.8±0.25

a) 单位:mg·g<sup>-1</sup> FW

酸雨对叶绿素的影响是通过叶汁pH酸化而实现的,过多的H<sup>+</sup>离子致使叶绿素中心卟啉环上的Mg<sup>2+</sup>离子从叶绿素中失去<sup>[4]</sup>.REE在叶绿素合成,原叶绿素转化成叶绿素中起着催化作用,同时能够改善叶绿体膜内环境,增加叶绿素a的含量及其发射的荧光强度<sup>[6]</sup>.本研究中REE施用后减弱了酸雨对叶绿素造成的影响是否由于REE扮演了“Mg<sup>2+</sup>”的角色,还是促进了叶绿素蛋白复合体的形成,还有待进一步研究.

酸雨影响叶绿素总量,也影响了叶绿素a/b值(表3).在小麦的拔节期、抽穗期随着酸雨胁迫强度的增大,叶片中叶绿素a/b值逐渐减小.叶绿素a与酸雨胁迫强度大小成显著正相关( $r=0.88$ 和 $r=0.90$ ).施用REE后,叶绿素a/b值显著增大,虽然叶绿素a/b值也随着酸雨胁迫强度的增大而表现出逐渐减小的趋势,但对照与处理间以及各处理之间的差异(变化幅度)显著减小.说明REE在一定程度上缓解了由于酸雨的胁迫所造成叶绿素a的分解.使叶

绿素  $a/b$  值在酸雨胁迫下仍能保持在一定水平上。

表 3 酸雨对拔节期、抽穗期叶绿素  $a/b$  值的影响及 REE 的作用

生育期	处理	CK(6.5)	pH					相关系数
			4.8	4.0	3.5	3.0	2.5	
拔节期	单一酸雨	0.96	0.95	0.94	0.85	0.83	0.77	0.86
	酸雨+0.1% REE 拌种	0.97	0.97	0.95	0.95	0.94	0.88	0.76
抽穗期	酸雨+0.3% REE 拌种	0.98	0.99	0.96	0.92	0.92	0.91	0.85
	酸雨+0.075% REE 浸种	0.98	0.98	0.93	0.91	0.87	0.91	0.84
抽穗期	单一酸雨	1.08	0.99	0.98	0.93	0.90	0.81	0.95
	酸雨+0.1% REE 拌种	1.13	1.16	0.99	0.97	0.94	0.93	0.87
	酸雨+0.3% REE 拌种	1.10	1.10	1.00	0.99	0.99	0.94	0.89
	酸雨+0.075% REE 浸种	1.10	1.09	1.00	0.94	0.94	0.91	0.93

有研究表明,REE 能增加叶绿素  $a$  的含量<sup>[5,8]</sup>。由于叶绿体膜的荧光发射几乎全部来自叶绿素  $a$ ,而荧光发射强度是光合作用中光能转化的指针<sup>[5]</sup>。所以叶绿素  $a$  含量的增大(即叶绿素  $a/b$  值的增大)将促进光合作用中光能的转化,而利于碳同化作用的加强。叶绿素总量的减小,以及叶绿素  $a/b$  值的减小是植株叶片衰老的一个重要生理特征之一<sup>[4,9-11]</sup>。本研究表明酸雨致使植株叶片中叶绿素含量减小,从而加速了叶片的老化。REE 能够增加叶绿素含量,使叶绿素  $a$  含量增大并稳定在一个相对水平上,明显地抑制了酸雨促进叶片老化的作用,而表现出一定的防护作用。

## 2.2 酸雨胁迫下 REE 对 POD 活性的作用

POD(peroxidase)是一种普遍存在于植物体中的氧化还原酶,它不仅在植物的生长发育过程中发生明显的变化,而且对各种环境胁迫也十分敏感。POD 活性受  $H_2O_2$  诱导,在酸雨或  $SO_2$  等环境胁迫下往往会上升<sup>[4]</sup>。本研究中,酸雨对小麦 POD 活性的影响也明显地表现出随着酸雨 pH 的减小其活性逐渐升高,表明了酸雨使植物体中积累了过多的  $H_2O_2$ 。使细胞内发生了一系列过氧化反应<sup>[12]</sup>,也就是说酸雨胁迫与过氧化反应相关。施用 REE 后,在酸雨胁迫下的植株,虽然叶片中 POD 活性也随着 pH 值的减小而逐渐增加,但增加幅度相对于单一酸雨处理组来说小得多,总体水平也较单一酸雨处理低。这说明 REE 对酸雨影响植物 POD 活性有一定减缓作用。

本研究还发现,所测定的 3 个生育期中(拔节期、孕穗期和成熟期)(图 1),随着植株生长至成熟,包括 CK 在内,体内 POD 活性逐渐增加,明显地表现出与器官幼嫩老化有关,并与生长速率呈负相关。这说明 POD 活性除了受酸雨影响外,植物叶片正常衰老亦引起 POD 活性增加。酸雨影响作物生长,其中一个原因是 POD 具有吲哚乙酸氧化酶的作用,它可以氧化 IAA(生长素)<sup>[13,4]</sup>,酸雨增加 POD 活性从而破坏和减少了 IAA 的含量,或将其转变为不活跃的物质,改变了植物体内生长素含量。而较低的 POD 活性可以减少 IAA 的损失。由于 IAA 还控制其他与生长相关的酶而表现出对作物生长的影响,这也说明酸雨 pH,POD 活性与作物生物量间存在着一定的相关性,即 pH 越小,POD 活性相应增高,两者的变化又直接或间接地导致植株生长受抑制,造成植株相对矮小<sup>[14]</sup>。同时酸雨使抗氧化酶系统中另两种主要酶 SOD, CAT 活性减小<sup>[14]</sup>,使各种酶活比不协调,造成体内活性氧清除能力减弱,生成量增加,导致体内活性氧积累,IAA 减少,衰老速度加快。由于生物量积累减小,直接抑制幼穗的分化和发育,降低

穗小花数,增加花粉粒败育数,造成穗有效粒数下降,导致籽粒产量下降,引起减产<sup>[14]</sup>.

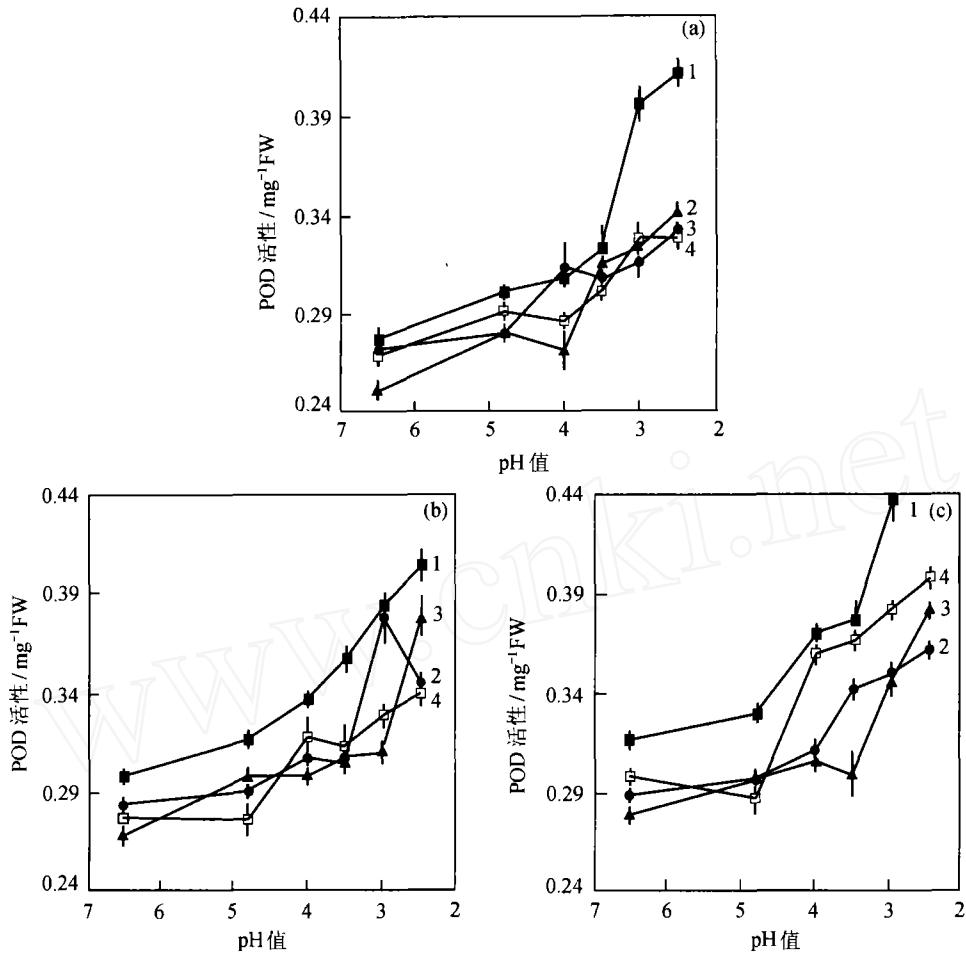


图1 酸雨对小麦拔节期、抽穗期、成熟期 POD 活性的影响及稀土元素的作用

1——单一酸雨处理,2——酸雨+0.1%稀土拌种,3——酸雨+0.3%稀土拌种,4——酸雨+0.075%稀土浸种

POD-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 分解系统参与了叶绿素的降解<sup>[15]</sup>,并与叶绿素含量高度负相关<sup>[10,16]</sup>,叶绿素含量的降低能被 O<sub>2</sub><sup>-</sup>, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 的清除剂<sup>1</sup>O<sub>2</sub> 的淬灭剂 ASA(抗坏血酸), VitE (α-生育酚)所阻抑<sup>[17]</sup>. 因此酸雨胁迫致使 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 增多,POD 活性增大,IAA 含量减少,叶绿素降解速度加快,含量降低, a/b 值减小,加上 POD 活性增加造成的 IAA 含量减小,衰老加快,作物光合作用产物因为 CO<sub>2</sub> 固定钝化而减弱,而 REE 施用后抑制了 POD-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 系统,从而也抑制了叶绿素的分解. 亦可看成是增强了小麦抗酸雨胁迫的能力. 在本实验中 REE 表现出对植物体内 POD 有一定抑制作用. 从而在一定程度上减缓了由于酸雨所造成 POD 活性增大所导致的对体内 IAA 的氧化,使作物体内 IAA 保持在一定水平而利于植物的生长和发育. 因此施用 REE 后,在酸雨 pH > 3.5 的情况下植物的抗氧化酶及叶绿素含量明显地表现出相对的稳定性,变化幅度减小,使作物对酸雨敏感性减弱,明显地表现出对酸雨影响的防护作用.

## 参 考 文 献

- 1 曹洪法,高映新,舒俭民,等. 模拟酸雨对农作物生产和产量影响的初步研究. 植物生态与地植物学报,1989,13(1): 58~64
- 2 刘燕云,曹洪法. 酸雨和 SO<sub>2</sub> 作用下 SOD 酶活性与菠菜叶片损伤相关性研究. 应用生态学报,1993,4(2): 223~225
- 3 Gary D H. Physiological effects of direct impact of acidic deposition on foliage. Agriculture. Ecosystems and Environment, 1992, 42: 307~319
- 4 严重玲,李瑞智,钟章成. 模拟酸雨对绿豆、玉米生理生态特征的影响. 应用生态学报,1995,6(增刊): 124~131
- 5 倪嘉缙. 稀土生物无机化学. 北京:科学出版社,1995. 15~31
- 6 郭伯生,竺伟民,熊炳昆,等. 农业中的稀土. 北京:中国农业出版社,1988. 45~61
- 7 吴兆明. 镉和吡啶丙酸对月季扦插生根的影响. 园艺学报,1988,5(1): 69
- 8 沈傅礼,戴新宾. 稀土对小麦叶绿体光学反应的效应. 稀土,1994,12(2): 71~72
- 9 严重玲,钟章成,付舜珍,等. 土壤中 Pb、Hg 及其相互作用对烟草叶片抗氧化酶的影响. 环境科学学报,1997,17(4): 494~498
- 10 严重玲,洪业汤,付舜珍,等. Cd、Pb 胁迫对烟草叶片中活性氧清除系统的影响. 生态学报,1997,17(5): 42~47
- 11 张丽欣,宗汝静. 四种叶菜衰老期间呼吸、乙烯产生、IAA 和过氧化酶的变化及相互关系. 植物生理学报,1988,14(1): 81~87
- 12 Sagisaka S. The occurrence of peroxide in perennial plant (*Populusgelrica*). Plant Physiol, 1976, 57: 308~309
- 13 Bandurski R S, Nonhebel H M. Auxins. In: Wilkins MB, ed. Advanced Plant Physiology. London: Pitman Press, 1984. 1~16
- 14 严重玲,洪业汤,杨先科,等. 稀土元素对酸雨胁迫小麦抗氧化酶的生物学效应. 科学通报,1998,43(20): 2206~2208
- 15 Kar R K, Choudhuri M. A possible mechanisms of light-induced chlorophyll degradation in sene scingleares of Hydrillaver ticilldtd. Physiol Plant, 1987, 70: 729
- 16 曾绍西,王以柔,刘鸿先. 低温光照下与黄瓜子叶叶绿素降低有关的酶促反应. 植物生理学报,1991,17: 177
- 17 蒋明义,杨文英,徐 红,等. 渗透胁迫下水稻幼苗叶叶绿素降解的活性氧损伤作用. 植物学报,1994,36(4): 289~295