

镉、铁及其复合污染对烟草叶片 氨基酸含量的影响*

640-647

X50522/
S5727

李元 祖艳群

王焕校¹

(云南农业大学环境科学系 昆明 650201) (云南大学生物系 昆明 650091)

摘要 通过大田模拟试验,研究了 Cd、Fe、Cd+Fe 和 Fe+Cd 处理下红花大金元烟草(*Nicotiana tabacum* L.) 叶片17种蛋白水解氨基酸和总氨基酸含量的变化情况。结果表明;Cd、Fe、Cd+Fe 和 Fe+Cd 处理均不改变氨基酸的种类组成;Cd 对烟草叶片氨基酸含量的影响比 Fe 大;Fe 抑制 Cd 对氨基酸含量的影响,Cd 也抑制 Fe 的作用,Cd 与 Fe 相互拮抗,并初步探讨了拮抗机制;建议在 Cd 污染地区通过施加 Fe 来减轻 Cd 对烟草的毒害。

关键词: 烟草, Cd, Fe, 氨基酸含量, 拮抗作用。



EFFECTS OF CADMIUM AND IRON ON AMINO ACID CONTENT IN TOBACCO LEAVES

Li Yuan Zu Yanqun

(Department of Environmental Science, Yunnan Agricultural University, Kunming, 650201, China)

Wang Huanxiao

(Biology Department, Yunnan University, Kunming, 650091, China)

Abstract Based on simulated field experiments, this paper provided information about the changes of the content of 17 amino acid and total amino acid in tobacco leaves under the treatment of Cd, Fe, Cd+Fe and Fe+Cd. The results showed that the types of amino acid did not change under the treatment of Cd, Fe, Cd+Fe and Fe+Cd; Amino acid content increased with the increase of Cd concentration; the effect of Cd on amino acid content was more significant than that of Fe; the effect of Cd on amino acid content was inhibited by Fe, and the effect of Fe was decreased by Cd. The interaction between Cd and Fe was antagonistical. On the antagonistical mechanism, it is suggested that the poison of Cd on tobacco could be impaired by Fe supply in Cd pollution area.

Key words: tobacco, Cd, Fe, amino acid content, antagonism.

Cd 作为一种对植物毒害的主要污染物, 现已有大量的研究报道^[1,2]。Fe 一般作为植物生长所需的矿质

* 国家自然科学基金资助项目。

收稿日期: 1996-06-05, 修改稿收到日期: 1997-05-31。

营养元素,其毒性研究尚不多见,但目前已发现烟草被 Fe^{2+} 含量超过 1.5mg/kg 的池水喷灌后产生毒害,水稻的“青铜色病”、“Alkagave 病”、“Akioc 病”以及甘蔗的“斑叶病”也都与 Fe 的毒害有关^[3]。Coughtrey 等^[4]研究了 Pb、Zn 和 Cd 共存时的复合污染,国内外的一些学者还研究了 Cd 与 Fe 的相互作用和对植物的影响^[2,5~7],但多集中于 Cd 影响 Fe 的吸收与富集,还未深入到生理生化水平。有人研究了 Cd 污染对烟草的影响,但多涉及 Cd 的吸收富集^[8~12]。作者过去的工作表明,Cd 降低烟草叶片内 Fe 含量,而 Fe 增加 Cd 含量,而以烟草叶片过氧化氢酶活性、吡哆乙酸氧化酶活性、氨基酸含量^[13]及叶绿素含量、总烟碱含量和蛋白质含量^[14]为指标时,Cd 与 Fe 相互拮抗^[13,14]。本文研究了 Cd、Fe 及其复合污染对烟草叶片 17 种蛋白水解氨基酸和总氨基酸含量的影响,探讨 Cd、Fe 及其相互作用的机制,为减轻 Cd 污染地区 Cd 对烟草的毒害提供一定的理论依据。

1 材料与方法

红花大金元烟草(*Nicotiana tabacum* L.)。大田模拟试验于云南主要烟区江川县烟田进行,水稻土,经实测^[11], $\text{pH}7.99$, $\text{Cd} < 0.001\text{mg/kg}$, $\text{Fe } 12247.6\text{mg/kg}$, $\text{N } 0.0314\%$,有机质 5.19% ,盐基饱和度 77.98% 。烟草单株移苗栽培,恢复生长后,以污灌方式在根际一次性施入 $\text{CdCl}_2 \cdot 2.5\text{H}_2\text{O}$ 或 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 溶液。烟株根际土壤体积按 $0.7 \times \pi \times 18^2 \times 15(\text{cm}^3)$ 计(即半径为 18cm ,高为 15cm 的圆柱体体积的 0.7 倍)。实测土壤容重为 $0.95\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$,则根际土重为 10.15kg ^[13]。以根际土壤中含纯 Cd、Fe 浓度计,Cd 和 Fe 的处理方式和浓度有 4 个系列,Cd $0, 10, 50, 100, 150\text{mg/kg}$; Fe $0, 100, 500, 1000, 3000\text{mg/kg}$; Cd+Fe $50+0, 50+100, 50+500, 50+1000, 50+3000\text{mg/kg}$; Fe-Cd $1000+0, 1000+10, 1000+50, 1000+100, 1000+150\text{mg/kg}$ 。每处理 3 个重复。据分析,云南 Cd 污染区土壤 Cd 浓度为 $2.5 \sim 7.43\text{mg/kg}$ 。本文采用的 Cd 处理浓度依此设计,最大 Cd 处理浓度(150mg/kg)约为污染区 Cd 浓度的 20 倍。

烟叶成熟后,采摘中部叶片在农村烤房烘烤($27 \sim 90^\circ\text{C}$, 6d)。取烘烤过的烟叶,去至脉,粉碎,酸水解制样,用 HITACHI 835-50 型氨基酸自动分析仪分析测定,即得 17 种蛋白水解氨基酸含量和总氨基酸含量,单位为 $\%$,即 $\text{mg}/100\text{mg}$ 干物质。

2 结果与分析

2.1 烟草叶片氨基酸的种类与含量

如表 1,在对照中,烟草叶片含有 17 种氨基酸。不同种类氨基酸含量有较大的差异,脯氨酸含量最高,胱氨酸含量最低。业已证明,在一定范围内,烟草叶片有高的烟碱含量和低的蛋白质含量,其品质为好^[15],而烟碱和蛋白质是氮代谢产物,它们的含量之间往往呈显著负相关,而氨基酸含量与蛋白质含量是一致的,所以,氨基酸含量影响到烟叶品质^[13,14]。

Cd、Fe、Cd+Fe 和 Fe+Cd 处理均不改变烟草叶片氨基酸的种类组成,但对其含量有影响,具体分析见后。

2.2 Cd 对烟草叶片氨基酸含量的影响

Cd 处理中,各种氨基酸的含量均出现增加的趋势(见表 1)。其中,天门冬氨酸、苏氨酸、谷氨酸、丙氨酸、胱氨酸、异亮氨酸、酪氨酸、赖氨酸、组氨酸、精氨酸、脯氨酸和总氨基酸含量随 Cd 处理浓度增加而递增(以图 1 为例)。蛋氨酸含量在 Cd 10mg/kg 时比对照降低 14% ,且呈极显著差异(F 值为 $24.82 > F_{11}^*(0.01)$ $21.20, n=3$)。

经相关分析,各种氨基酸含量均与 Cd 处理浓度呈正相关,其中,10 种氨基酸为极显著水平,5 种为显著水平(表 1)。

Cd 对各种氨基酸含量,尤其是对总氨基酸含量的影响,与其对蛋白质含量的影响是一致的^[13,15],同时也表明,Cd 处理引起的氨基酸含量增加,对烟草品质是不利的^[13~15]。

植物受到环境胁迫时,体内脯氨酸含量会发生明显变化,这是植物的一种适应^[16]。脯氨酸可能作为贮氮的一种形式,以减轻过多的游离氮积累造成的对植物的毒害^[17]。Cd 处理导致氮含量增加^[13],脯氨酸含量也显著增加,可用脯氨酸含量变化作为烟草受 Cd 毒害的一个生理指标^[18]。

2.3 Fe-Cd 对烟草叶片氨基酸含量的影响

表1 Cd对烟草叶片氨基酸含量的影响(%)

Table 1 The effect of Cd on amino acid content in tobacco leaves

氨基酸 Amino acid	Cd 处理浓度(mg/kg)Cd treatment concentration					相关系数 Correlation coefficient
	0	10	50	100	150	
天门冬氨酸 (ASP)	0.530	0.564	0.670	0.730	0.825	0.9899**
苏氨酸 (THR)	0.175	0.179	0.187	0.197	0.201	0.9830**
丝氨酸 (SER)	0.200	0.197	0.223	0.222	0.239	0.9383*
谷氨酸 (GLU)	0.792	0.792	0.879	1.022	1.105	0.9945**
甘氨酸 (GLY)	0.181	0.184	0.194	0.193	0.204	0.9459*
丙氨酸 (ALA)	0.262	0.266	0.269	0.286	0.288	0.9642**
胱氨酸 (CYS)	0.030	0.033	0.038	0.052	0.076	0.9789**
缬氨酸 (VAL)	0.243	0.243	0.241	0.256	0.312	0.8651
蛋氨酸 (MET)	0.050	0.043	0.056	0.074	0.082	0.9444*
异亮氨酸 (ILE)	0.172	0.181	0.193	0.193	0.199	0.8982*
亮氨酸 (LEU)	0.271	0.274	0.279	0.282	0.277	0.6437
酪氨酸 (TYR)	0.104	0.107	0.118	0.129	0.136	0.9916**
苯丙氨酸 (PHE)	0.205	0.201	0.237	0.236	0.236	0.7964
赖氨酸 (LYS)	0.205	0.206	0.218	0.231	0.245	0.9851**
组氨酸 (HIS)	0.084	0.085	0.094	0.096	0.101	0.9656**
精氨酸 (ARG)	0.188	0.190	0.192	0.196	0.212	0.9325*
脯氨酸 (PRO)	0.940	0.940	1.033	1.181	1.233	0.9871**
总氨基酸 (TOTAL)	4.632	4.693	5.116	5.577	5.965	0.9985**

** 为极显著 $P < 0.01$, * 为显著 $P < 0.05$, $n=5$, 表2、表3同表4。

Note: **, * Significant at $P < 0.01$ and 0.05 , respectively ($n=5$). The same means in Table 2, Table 3 and Table 4.

氨基酸含量(除苯丙氨酸外)的变化趋势在 Fe+Cd 处理和 Cd 处理时基本相同。值得注意的是,在 Fe+Cd 1000+10mg/kg 处理时,丝氨酸和精氨酸含量分别比 Fe+Cd 1000+0mg/kg(对照)降低11.0%和13.3%,分别达到差异极显著水平(F 值为25.77 $>F_{11}^{(0.01)}(21.20, n=3)$)和差异显著水平(F 值为8.88 $>F_{11}^{(0.05)}(7.71, n=3)$)。

Fe+Cd 处理中,天门冬氨酸、总氨基酸、脯氨酸、苏氨酸、谷氨酸、缬氨酸、赖氨酸、苯丙氨酸含量均比单独 Cd 处理的相应浓度低得多,以天门冬氨酸为例,见图1。而丝氨酸、甘氨酸、胱氨酸、亮氨酸含量则比单独 Cd 处理的相应浓度高。以丝氨酸为例,见图2。其余5种氨基酸含量在 Fe+Cd 处理中低 Cd 时比单独 Cd 处理的相应浓度低,而在高 Cd 时,则比单独 Cd 处理的相应浓度高。

相关分析表明(见表2),在 Fe+Cd 处理中,8种氨基酸含量与 Cd 处理浓度呈极显著正相关,9种呈显著正相关,苯丙氨酸为负相关,其余均为正相关。

以上分析表明,Fe 降低了 Cd 对氨基酸含量的影响,Fe 对 Cd 拮抗。这与笔者对烟草叶片其它指标^[13,14]及其它学者^[18,19]的研究是一致的。有些氨基酸中,Cd 与 Fe 的相互作用在 Cd 低浓度和高浓度时是不一致的,这表明在研究 Cd 与 Fe 相互作用时,处理浓度以及测试指标的敏感性是十分重要的。

2.4 Fe 对烟草叶片氨基酸含量的影响

Fe 对烟草叶片不同种类氨基酸含量的影响差异较大。随 Fe 处理浓度的增加,组氨酸、总氨基酸、脯氨酸、天门冬氨酸、谷氨酸、丙氨酸、蛋氨酸、酪氨酸和赖氨酸的含量下降,且均为负相关,其中3种达极显著水平,组氨酸达显著水平(见表3),以组氨酸为例(见图3)。另一些氨基酸的含量则随 Fe 处理浓度增加而增

加,以苏氨酸为例(图4),这些氨基酸含量与Fe处理浓度呈正相关,其中苏氨酸和异亮氨酸达极显著水平,4种氨基酸达显著水平(见表3)。

表2 Fe+Cd对烟草叶片氨基酸含量的影响(%)

Table 2 The effect of Fe+Cd on amino acid content in tobacco leaves

氨基酸 Amino acid		Fe+Cd 处理浓度(mg/kg) Fe+Cd treatment concentration					相关系数 Correlation coefficient
		1000+0	1000+10	1000+50	1000+100	1000+150	
天门冬氨酸	(ASP)	0.472	0.518	0.566	0.636	0.747	0.9912**
苏氨酸	(THR)	0.181	0.161	0.177	0.191	0.203	0.8797*
丝氨酸	(SER)	0.199	0.229	0.231	0.234	0.266	0.8819*
谷氨酸	(GLU)	0.692	0.746	0.864	0.961	1.152	0.9933**
甘氨酸	(GLY)	0.185	0.189	0.194	0.203	0.289	0.8870*
丙氨酸	(ALA)	0.254	0.252	0.264	0.287	0.335	0.9605**
胱氨酸	(CYS)	0.032	0.038	0.040	0.054	0.083	0.9543**
缬氨酸	(VAL)	0.251	0.243	0.243	0.244	0.256	0.4648
蛋氨酸	(MET)	0.036	0.054	0.060	0.056	0.055	0.5123
异亮氨酸	(ILE)	0.186	0.187	0.189	0.193	0.218	0.8897*
亮氨酸	(LEU)	0.292	0.296	0.292	0.289	0.380	0.7489
酪氨酸	(TYR)	0.098	0.094	0.116	0.119	0.178	0.9226*
苯丙氨酸	(PHE)	0.212	0.243	0.224	0.206	0.198	-0.7273
赖氨酸	(LYS)	0.192	0.196	0.208	0.216	0.237	0.9885**
组氨酸	(HIS)	0.077	0.074	0.087	0.095	0.119	0.9722**
精氨酸	(ARG)	0.211	0.183	0.190	0.207	0.270	0.7799
脯氨酸	(PRO)	0.906	0.923	0.957	0.988	1.046	0.9936**
总氨基酸	(TOTAL)	4.476	4.640	4.902	5.209	5.611	0.9965**

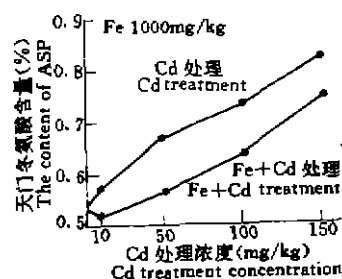


图1 加Fe前后,天门冬氨酸含量与Cd处理浓度的关系
Fig. 1 The relation between ASP content and Cd treatment concentration before and after Fe supply
1. Cd 处理 Cd treatment, 2. Fe+Cd 处理 Fe+ Cd treatment, Fe: 1000mg/kg

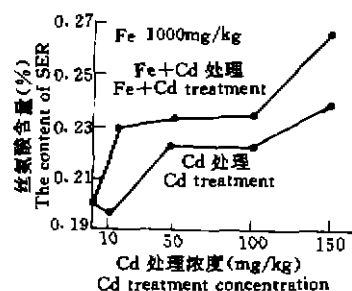


图2 加Fe前后,丝氨酸含量与Cd处理浓度的关系
Fig. 2 The relation between SER content and Cd treatment concentration before and after Fe supply
1. Cd 处理 Cd treatment, 2. Fe+Cd 处理 Fe+ Cd treatment, Fe: 1000mg/kg

表3 Fe对烟草叶片氨基酸含量的影响(%)

Table 3 The effect of Fe on amino acid content in tobacco leaves

氨基酸 Amino acid	Fe 处理浓度(mg/kg) Fe treatment concentration					相关系数 Correlation coefficient
	0	100	500	1000	3000	
天门冬氨酸 (ASP)	0.530	0.511	0.495	0.472	0.469	-0.7958
苏氨酸 (THR)	0.175	0.174	0.178	0.181	0.194	0.9970**
丝氨酸 (SER)	0.200	0.187	0.195	0.199	0.216	0.8832*
谷氨酸 (GLU)	0.792	0.716	0.695	0.692	0.680	-0.6247
甘氨酸 (GLY)	0.181	0.176	0.175	0.185	0.193	0.8841*
丙氨酸 (ALA)	0.262	0.268	0.259	0.254	0.252	-0.7229
胱氨酸 (CYS)	0.030	0.029	0.031	0.032	0.034	0.9401*
缬氨酸 (VAL)	0.243	0.231	0.233	0.251	0.251	0.6676
蛋氨酸 (MET)	0.050	0.049	0.047	0.036	0.034	-0.8703
异亮氨酸 (ILE)	0.172	0.175	0.174	0.186	0.202	0.9781**
亮氨酸 (LEU)	0.271	0.265	0.267	0.292	0.285	0.6414
酪氨酸 (TYR)	0.104	0.103	0.101	0.098	0.084	-0.9989**
苯丙氨酸 (PHE)	0.205	0.208	0.204	0.212	0.224	0.9550*
赖氨酸 (LYS)	0.205	0.198	0.196	0.192	0.178	-0.9700**
组氨酸 (HIS)	0.084	0.083	0.083	0.077	0.074	-0.9232*
精氨酸 (ARG)	0.188	0.182	0.196	0.211	0.224	0.7971
脯氨酸 (PRO)	0.940	0.942	0.939	0.906	0.806	-0.9894**
总氨基酸 (TOTAL)	4.632	4.497	4.457	4.476	4.417	-0.6478

从相关系数以及相关程度来看,Fe对氨基酸含量的影响比Cd小,这可能因为Fe是植物体正常生长发育所需的矿质元素,植物对其敏感性差,另外,本试验土壤背景Fe浓度较高,也可能影响到试验结果。而Cd是对植物有毒害作用的元素,且土壤背景值较低,植物对其较敏感,植物体内各项指标的反应也较为一致^[11]。

1.5 Cd+Fe对烟草叶片氨基酸含量的影响

如表4,在Cd+Fe处理中,随Fe处理浓度的增加,总氨基酸、脯氨酸、苏氨酸、丝氨酸、谷氨酸、甘氨酸、缬氨酸、异亮氨酸、苯丙氨酸、赖氨酸、组氨酸和精氨酸的含量表现出上升趋势,但Cd+Fe 50+100mg/kg处理与Cd+Fe 50+0mg/kg(对照)相比,总氨基酸、丝氨酸、谷氨酸、甘氨酸、异亮氨酸、苯丙氨酸和赖氨酸的 F 值分别为38.97、943.1395、4.435、56.38、38.47和212.3,均大于 $F_{0.01}^1$ (0.01)21.20,为极显著降低,组氨酸的 F 值为12.3> $F_{0.05}^1$ (0.05)7.71,为显著降低。其它氨基酸在不同处理浓度下的反应是不同的。在Cd+Fe 50+100 mg/kg处理时,天门冬氨酸和胱氨酸含量降低, F 值分别为172.39和253.5,均大于 $F_{0.01}^1$ (0.01)21.20,达极显著水平。Cd+Fe 50+100mg/kg处理时,氨基酸含量低于对照的原因尚不清楚。

Cd+Fe处理中,酪氨酸含量与Fe处理浓度呈负相关,其它氨基酸含量则呈正相关,其中苏氨酸、缬氨酸、脯氨酸和精氨酸含量达显著相关水平。

Cd的加入,完全改变了Fe对组氨酸等8种氨基酸含量的影响,由负相关变为正相关(图3),同时也导致苏氨酸等8种氨基酸含量与Fe处理浓度的相关系数减少。这在一定程度上表明,以氨基酸含量为指标时,Cd削弱了Fe对氨基酸含量的影响,Cd拮抗Fe,这与笔者对烟草叶片其它生理指标^[11-14]及其它学

者^[5,7]研究的结果一致。

表4 Cd+Fe 对烟草叶片氨基酸含量的影响(%)

Table 4 The effect of Cd+Fe on amino acid content in tobacco leaves

氨基酸 Amino acid		Cd+Fe 处理浓度(mg/kg) Cd+Fe treatment concentration					相关系数 Correlation coefficient
		50+0	50+100	50+500	50+1000	50+3000	
天门冬氨酸	(ASP)	0.67	0.561	0.823	0.838	0.816	0.5729
苏氨酸	(THR)	0.187	0.181	0.202	0.216	0.236	0.9393*
丝氨酸	(SER)	0.223	0.198	0.240	0.247	0.253	0.6776
谷氨酸	(GLU)	0.879	0.757	1.108	1.136	1.207	0.7554
甘氨酸	(GLY)	0.194	0.177	0.205	0.218	0.226	0.8154
丙氨酸	(ALA)	0.269	0.281	0.327	0.346	0.322	0.5138
胱氨酸	(CYS)	0.038	0.025	0.032	0.045	0.044	0.6350
缬氨酸	(VAL)	0.241	0.234	0.245	0.267	0.272	0.8799*
蛋氨酸	(MET)	0.056	0.052	0.051	0.049	0.063	0.7123
异亮氨酸	(ILE)	0.193	0.170	0.218	0.229	0.236	0.7503
亮氨酸	(LEU)	0.279	0.264	0.331	0.317	0.309	0.4111
酪氨酸	(TYR)	0.118	0.118	0.129	0.122	0.120	-0.00625
苯丙氨酸	(PHE)	0.237	0.209	0.261	0.263	0.272	0.6995
赖氨酸	(LYS)	0.218	0.197	0.283	0.285	0.260	0.4262
组氨酸	(HIS)	0.094	0.085	0.114	0.116	0.119	0.7090
精氨酸	(ARG)	0.192	0.194	0.221	0.227	0.237	0.8789*
脯氨酸	(PRO)	1.033	0.967	1.088	1.112	1.249	0.9433*
总氨基酸	(TOTAL)	5.116	4.670	5.878	5.993	6.241	0.7584

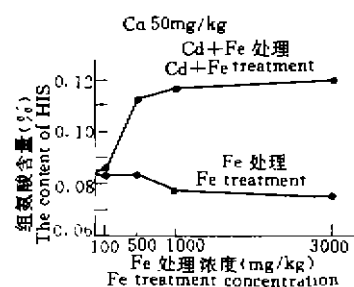


图3 加 Cd 前后,组氨酸含量与 Fe 处理浓度的关系
Fig. 3 The relation between HIS content and Fe treatment concentration before and alter Cd supply
1. Fe 处理 Fe treatment, 2. Cd+Fe 处理 Cd+Fe treatment, Cd: 50 mg/kg

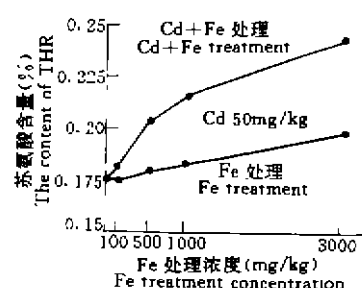


图4 加 Cd 前后,苏氨酸含量与 Fe 处理浓度的关系
Fig. 4 The relation between THR content and Fe treatment concentration before and after Cd supply
1. Fe 处理 Fe treatment, 2. Cd+Fe 处理 Cd+Fe treatment, Cd: 50 mg/kg

3 小结与讨论

3.1 Cd、Fe、Cd+Fe 和 Fe+Cd 处理均不改变烟草叶片蛋白水解氨基酸的种类组成,但影响其含量,从而改变了烟草叶片的品质^[13,14]。

3.2 Cd 污染导致烟草叶片蛋白水解氨基酸的含量增加

Cd 污染导致蛋白水解氨基酸含量增加的原因,可能是增加了烟草 Cd 含量^[13],引起烟草氮代谢的改变^[20],降低烟草根部烟碱的合成,促进氨基酸的合成^[33],这与 Cd 处理后烟草叶片蛋白质含量增加,总烟碱含量降低是吻合的^[14]。另一方面,蛋白水解氨基酸含量与蛋白质含量是一致的^[14]。而 Cd 污染增加烟草叶片蛋白质含量^[14],可能是 Cd 与 DNA 结合^[21]后,刺激 DNA 的活性,增加蛋白质的合成,这是植物对 Cd 毒害的反应,也是一种解毒机制^[20,22],如 Cd 诱导烟草产生金属硫蛋白和 Cd-硫蛋白^[23]。

3.3 Cd 与 Fe 的相互作用

从蛋白水解氨基酸含量来看,Cd 与 Fe 相互拮抗,这与笔者对烟草叶片其它指标的研究结果是一致的^[13,14],其原因可能有两方面:①烟草根系受 Cd 毒害后,分泌还原剂的能力降低,削弱了 Fe 还原过程,减少了 Fe²⁺含量,降低了 Fe 有效性;②Cd 与导管内 Fe 的载体苹果酸和柠檬酸^[24]相结合,使从根部运输到茎叶组织的 Fe 减少^[14]。另外,Cd 还可能竞争蛋白质或酶上 Fe²⁺的位点或与-SH 结合,破坏蛋白质结构和酶功能^[14,20]。已有报道表明,Cd 降低白菜内 Fe 从根部向茎、叶运输^[6],Cd 在硅藻需 Fe 和吸收 Fe 过程中是一种竞争抑制剂^[7]。而 Fe 的加入,可增强 Fe 的竞争能力,所以表现为 Cd 与 Fe 相互拮抗。本文中有些氨基酸含量未较好地反映出 Cd 与 Fe 的相互关系,这如同 Ca²⁺、Mg²⁺在低浓度时降低 Cd 毒性,但在高浓度时会出现相反的情形^[25]一样。元素间相互作用是十分复杂的,不仅与浓度、植物吸收与运输以及测试指标的敏感性有关,而且与体内核酸、蛋白质、脂类,特别是酶等生物大分子的结合位点的竞争有关^[33],这是一个值得深入研究的重要方面。

3.4 Cd 对烟草叶片氨基酸含量的影响比 Fe 大

从蛋白水解氨基酸含量变化的程度和相关性来看,污染物毒性大小表现为 Cd>Fe+ Cd>Fe,说明 Cd 比 Fe 对植物的毒性大。可能由于 Cd 是有毒害作用的元素^[1,2],加之土壤背景值较低,烟草对它十分敏感。Fe 是烟草正常生长必需的矿质营养元素^[14],土壤背景值较高,植物对它的敏感性较差。同时,也与烟草对 Cd、Fe 的吸收和运转有关^[13]。

3.5 加 Fe 可缓解 Cd 对烟草的毒害

烟草叶片的其它生理指标^[13,14]和本文的试验结果表明,Cd 对烟草的毒害可通过加 Fe 得到缓解。在田间已观察到,Cd 污染下烟株矮化,叶片变小,叶色变黄褪绿,施加 Fe 后这些症状可得到改善。因此,在 Cd 污染地区,叶面喷施 Fe 溶液^[18]和施加 Fe 盐^[19,25]来减弱 Cd 毒害,是可行的。

参 考 文 献

- 1 Weigel H J, et al. Subcellular distribution and chemical form of cadmium in bean plants. *Plant Physiol.* 1980, **65**:480~482
- 2 Root R A, et al. Uptake of cadmium-its toxicity and effect on the iron ratio in hydroponically grown corn. *J. Environ. Qual.* 1975, **54**:473~476
- 3 邹邦基,等.植物的营养.北京:农业出版社,1985.207~226
- 4 Coughtrey P J, et al. Tolerance of *Holus lanatus* of lead, zinc and cadmium in factorial combination. *New Phytologist*, 1978:147~154
- 5 Smith G G, et al. Cadmium sensitivity of soybean related to efficiency in iron utilization. *Environ. Experi. Bot.* 1985, **25**(2):99~106
- 6 Wong M K, et al. The uptake of cadmium by *Brassica chinensis* and its effect on plant zinc and iron distribution. *Environ. Experi. Bot.* 1984, **24**(2):189~195
- 7 Foster P L, et al. Reversal of cadmium toxicity in diatom; An interaction between cadmium activity and iron. *Limnol. Oceanogr.* 1982, **27**:745~752
- 8 Frank R H, et al. Metal contents and insecticide residues in tobacco soil and cured tobacco leaves collected in Southern Ontario. *Tob. Sci.* 1977, **21**:74~80
- 9 任继凯,等.土壤中镉、铅、锌及其相互作用对作物的影响.植物生理学与地植物学丛刊,1982, **6**(4):320~329

- 10 Clarke B B, *et al.* Tobacco leaves accumulate cadmium from root applications of the heavy metal. *Tob. Sci.* 1983, **28**: 152~153
- 11 夏增禄,等. Cd、Zn、Pb 及其相互作用对烟草、小麦的影响. *生态学报*, 1984, **4**(3): 231~236
- 12 George J W, *et al.* Variation in cadmium accumulation potential and tissue distribution of cadmium in tobacco. *Plant Physiol.* 1986, **82**: 274~249
- 13 李元,等. Cd、Fe 及其复合污染对烟草生理的影响. *环境科学学报*, 1990, **10**(4): 494~500
- 14 李元,等. Cd、Fe 及其复合污染对烟草叶片几项生理指标的影响. *生态学报*, 1992, **12**(2): 147~154
- 15 李素英,等. Pb、Cd、Zn 元素及其不同组合污染对烟草品质的影响. *中国环境科学*, 1990, **10**(6): 451~460
- 16 汤章城. 逆境条件下植物脯氨酸的累积及其可能的意义. *植物生理学通讯*, 1984, **20**(1): 15~21
- 17 江苏农学院. *植物生理学*. 北京: 农业出版社, 1986. 299
- 18 Hewiti E J. Relation of manganese and some other metals to the iron status of plants. *Nature Land*, 1948, **161**: 489~490
- 19 Kim M J, *et al.* Effect of zinc, phosphorus and iron on the cadmium uptake and accumulation by hydroponically grown tomato. *J. Koren. Agric. Chem. Soc.* 1978, **21**: 40~50
- 20 杨居荣,等. 农作物对 Cd 毒害的耐性机理探讨. *应用生态学报*, 1995, **6**(1): 87~91
- 21 Verma M P, *et al.* Macromolecular interaction with cadmium and the effects of zinc, copper, lead and mercury ions. *Biological Trace Element Research*, 1982, **4**: 35~43
- 22 黄玉山. 植物重金属结合体的研究概况. *植物学报*, 1992, **34**(2): 146~158
- 23 Wagner G J, *et al.* Inducible cadmium binding complexes of cabbage and tobacco. *Plant Physiol.* 1982, **69**: 804~808
- 24 邦纳,等主编. *植物生物化学*. 北京: 科学出版社, 1984. 382
- 25 刘清,等. 重金属形态与生物毒性及生物有效性关系的研究进展. *环境科学*, 1996, **17**(1): 89~92

欢迎订阅 欢迎赐稿 欢迎刊登广告 1999年《动物学研究》

动物学类核心期刊 双月刊

Zoological Research ISSN 0254-5853 CN 53-1040/Q

《动物学研究》是中国科学院昆明动物研究所主办的、向国内外公开发行的动物学类学报级学术刊物,经国家科委批准创刊于1980年。

本刊辟有研究论文、综述、简报、通讯、书评等栏目,主要刊登动物学领域各分支学科有创新性的基础和应用基础的研究报告。质量较高的论文将在6个月内发表。本刊一直刊用英文来稿,为利于国际交流,鼓励作者用英文撰稿,并在同等条件下优先发表英文稿件。

应广大读者要求,从1998年起,本刊已由季刊改为双月刊,双月22日出版。单价10.00元,全年60.00元。国内邮发代号:64-20,在全国各地邮局(所)均可预订。国外订户请通过中国国际图书贸易总公司预订。如错过订期,也可直接与本刊编辑部联系补订。

本刊于1993年办理了广告经营许可证(滇工商广字66号),欢迎不拘形式介绍新设备、新制剂、新产品等。欢迎联系广告业务。

编辑部地址:昆明市教场东路32号 中国科学院昆明动物研究所内

邮政编码:650233 电话:(0871)5199026