

氮铬耦合下铬在泽泻中的动态积累规律及其对泽泻生长的影响

刘月秋, 陈兴福*, 杨文钰, 杨俊东, 张宝林

四川农业大学农学院, 农业部西南作物生理生态与耕作重点实验室, 四川 温江 611130

摘要:目的 通过监测在不同氮铬耦合浓度下, 铬在泽泻不同部位的动态积累规律及其对泽泻生长的影响, 探讨施氮量对在不同土壤铬背景值下泽泻生长的影响及其与铬积累的相关性。方法 对不同处理组采用动态监测法, 测定不同生长时期泽泻不同部位的铬积累量及生物量的变化情况, 同时利用统计学方法探讨铬积累量与氮肥施用量及土壤铬背景值的相关性。结果 铬对于泽泻生长的影响呈现出浓度依赖性及部位差异性。总体上低铬水平下泽泻的生长得到一定程度的促进, 而高铬水平下泽泻的生长受到抑制。氮肥的施加能够缓解铬的生物毒性, 使泽泻生长正常, 但同时氮肥的施加也使泽泻对于铬的积累增加。偏相关分析的结果也表明氮的施用量与铬元素在泽泻块茎的积累呈正相关性。结论 泽泻规范化种植中应在保证其铬积累量不超标的情况下, 尽量选择含低铬的土壤, 同时氮肥的施用量应以泽泻药材安全性为前提。

关键词: 泽泻; 铬积累量; 氮铬耦合; 生物毒性; 氮肥

中图分类号: R282.2 文献标志码: A 文章编号: 0253-2670(2012)05-0978-07

Dynamic accumulation of chromium in *Alisma orientale* and its effect on growth of *Alisma orientale* under nitrogen-chromium coupling

LIU Yue-qiu, CHEN Xing-fu, YANG Wen-yu, YANG Jun-dong, ZHANG Bao-lin

Key Laboratory of Crop Ecophysiology and Farming System in Southwest China, College of Agronomy, Sichuan Agricultural University, Ministry of Agriculture Wenjiang 611130, China

Abstract: Objective Through studying the chromium (Cr) accumulation in the various parts of *Alisma orientale* and the effect of Cr on the growth of *A. orientale* under nitrogen-chromium (N-Cr) coupling at different concentration. The effect of N-fertilizer application rates on the growth of *A. orientale* grown under the soil with different Cr background and the correlation between N-fertilizer and Cr accumulation were investigated. **Methods** Using dynamic observation and laboratory analysis to obtain the Cr accumulation amount and dry matter amount in various parts of *A. orientale* at different growth periods. The statistic method was used to explore the correlation between Cr accumulation and N-fertilizer application rates with the Cr background of soil. **Results** The effect of Cr on the growth of *A. orientale* was in a dose-dependent manner and differed in the various parts of *A. orientale* (tubers, roots, and leaves). Generally, soil with low Cr background could benefit the growth of *A. orientale* to some extent, while soil with high Cr background could inhibit the growth of *A. orientale*. But N-fertilizer application could alleviate the Cr biological toxicity and make the growth of *A. orientale* normally. On the other hand, the N-fertilizer application could make the Cr accumulation in *A. orientale* increase. Partial correlation analysis also showed that N-fertilizer application rate and Cr accumulation in tuber of *A. orientale* was positively correlated. **Conclusion** In the standardization of planting *A. orientale*, it is better to choose soil with low Cr content as the planting areas, while the safety of Chinese materia medica should be taken as the prerequisite to determine the N-fertilizer application.

Key words: *Alisma orientale* (Sam.) Juzep; chromium (Cr) accumulation; nitrogen-chromium (N-Cr) coupling; biological toxicity; N-fertilizer

随着我国工业化进程的加快, 尤其是我国电镀、制革、染料和化工生产等工业的快速发展, 含铬废水及废气的无节制排放对环境的污染日趋严重。铬已成为了环境中的一种主要重金属污染物^[1]。其中Cr⁶⁺是一种毒性较大的致畸、致突变剂, 其吸附在

皮肤或摄入体内可能引起病变甚至癌变, 大量摄入可致死亡^[2-4]。由于铬具有生物转移性^[5], 其很容易通过植物的正常生理代谢被植物吸收后积累于植物体内, 从而进入食物链, 造成食品安全隐患。但是与其他几种主要重金属, 如镉、汞、铅相比, 铬在

收稿日期: 2011-08-16

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项项目(200803028)

作者简介: 刘月秋(1986—), 女, 四川什邡人, 在读硕士研究生, 从事药用植物生理与栽培等研究。E-mail: yueqiliu@gmail.com

*通讯作者 陈兴福 Tel: (028)86290970 E-mail: chenxf64@sohu.com

植物中,尤其是药用植物中的积累情况较少受到关注。这主要是由于铬的存在形式比较多变,检测过程相对麻烦^[6]。最近研究表明,土壤中的铬污染可严重地阻碍农作物的生长发育,导致作物的产量降低,影响根系及叶片的正常生长,使农作物品质下降,造成巨大的经济损失。尤其是土壤中含有大量铬的情况时,这种现象尤为明显^[7]。

氮是植物生长的必需的大量元素之一,在植物体内物质的组成及代谢过程中起着重要的作用,同时氮能够缓解重金属对植物的胁迫作用,影响植物对重金属的吸收^[8-10]。氮能够有效地促进植株在高背景值的铬的环境中的生长,但同时也能够促进其对外源 Cr^{6+} 的吸收,故通过施氮造成的植株铬污染问题往往容易被忽略。

目前泽泻种植技术中通过采用增加氮肥施用量来获得高产量,这会造成土壤中氮肥的富集,也可能由此影响泽泻中铬的积累量,故有必要对氮肥施用量与重金属铬在泽泻中积累的关系进行研究。本实验研究不同的氮铬耦合下,铬在泽泻中的动态积累规律及其对泽泻生长的影响,为泽泻规范化种植及其质量安全控制提供一定的理论指导及科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料

试验材料为川产道地药材泽泻的栽培品种,经四川农业大学农学院陈兴福教授鉴定为泽泻科泽泻属植物泽泻 *Alisma orientale* (Sam.) Juzep。盆土为大田耕层土,基础养分:速效氮、速效磷、速效钾、全氮、全磷、全钾分别为 84.65、30.03、190.58、52.88、0.74、21.11 g/kg,有机质量 0.25%,全铬量 30.32 mg/kg, pH 6.11。每盆装风干土 5 kg,加入蒸馏水平衡待用。

1.2 方法

试验于 2009—2010 年在四川农业大学教学科研农场进行。根据《土壤环境质量标准-GB15618-1995》中对铬的土壤等级划分标准(土壤一、二级标准, $\text{pH} < 6.5$),设置高铬 100.00 mg/kg (Cr_1) 和低铬 60.00 mg/kg (Cr_2) 2 个施用水平。氮肥的施用量设置为低氮 0.2 g/kg (N_1)、中氮 0.5 g/kg (N_2)、高氮 0.8 g/kg (N_3) 3 个水平,尿素及重铬酸钾 ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) 分别作为氮素和铬素的来源。以不施用氮素和铬素的处理为对照 (Cr_0N_0),共 7 个处理,每个处理 8 盆,重复 3 次,共 168 盆,具体处理见

表 1。2009 年 6 月进行泽泻育苗工作,2009 年 9 月 1 日选取生长一致的苗子移栽泽泻种植于各盆栽中,每盆 3 株。移栽前 1 个月在均匀搅拌下将铬素施入土壤以保证其与土壤达到动态平衡状态,氮素在移栽前 1 周施入。从移栽 45 d 后开始取样,每隔 15 d 取样 1 次,直至泽泻采收,不同时期均对盆栽植株及其对应根基土壤样取样,检测其铬元素的动态变化情况。

表 1 氮铬耦合试验处理组
Table 1 Concentration of N-Cr coupling for different treatments

处 理	氮 / ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	铬 / ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)
Cr_0N_0	0.00	0.00
Cr_1N_1	0.20	100.00
Cr_1N_2	0.50	100.00
Cr_1N_3	0.80	100.00
Cr_2N_1	0.20	60.00
Cr_2N_2	0.50	60.00
Cr_2N_3	0.80	60.00

1.3 指标测定

1.3.1 生物量测定 取样植株经过 105 °C 杀青 15 min 后于 60 °C 烘干至恒定质量,称量其块茎干质量、叶片干质量、根干质量。

1.3.2 泽泻生长情况的测定 用直尺对不同时期取样植株的株高进行测定,并对其叶片数进行计数。

1.3.3 泽泻和土壤中铬的测定 植株根、茎、叶样品烘干粉碎后(通过 100 目筛),60 °C 烘干至恒定质量,准确称取 0.20 g,置四氟乙烯烧杯中,加硝酸-高氯酸(4:1)混合溶液适量,80 °C 加热消化至样品只剩下一至两滴且颜色呈白色或浅黄色,冷却后,用 2% 硝酸溶液洗涤容器,定容摇匀。同法同时制备试剂空白溶液。用原子分光光度计测定消化液中铬量。土壤样品经自然风干后(通过 100 筛),称取 1.0 g 风干土壤样品于聚四氟乙烯烧杯中,加入 15.0 mL HF, 5.0 mL HClO_4 和 5.0 mL HCl,同法消化制得样品处理液及制备试剂空白溶液。用原子分光光度计测定消化液中铬量。按照相关文献报道的方法^[11-12]测定。

1.3.4 土壤含氮量测定 称取风干土样品(过 100 筛) 1.0 g。将土样送入干燥的消煮管底部,加少量无离子水(0.5~1 mL)湿润土样后,加入加速剂 2 g 和浓硫酸 5 mL 后摇匀,将消煮管放于消化炉上密闭后,接上空吸管,开始消化时温度不超过 250 °C,

当温度升至 380 °C 时开始计时再消煮 120 min。除不加土样外，同法制备 2 份空白。消煮完毕后，取出冷却后用全自动凯氏定氮仪测定含氮量^[12]。

1.3.5 数据计算 耐性指数 (TI) = 重金属处理植物的生物量/对照植物的生物量; 各部位对重金属的富集因子 (BCF) = 各部位重金属/土壤中重金属量; 铬累积量 = 各部位含铬量 × 相应部位干质量。

1.3.6 数据处理 采用 SPSS 16.0 进行方差分析 (ANOVA) 和 LSD 检验。结果用 3 次重复的 $\bar{x} \pm s$ 表示。

2 结果与分析

2.1 氮铬耦合对泽泻生物量的影响

在不同氮铬耦合处理下，泽泻各部位（块茎、根、叶）干物质积累均随时间而出现明显的动态变化过程，结果见图 1。从图中可以看出泽泻不同部位的干物质积累规律并不一致。在相同氮素水平下，高铬 (Cr₁N₁、Cr₁N₂、Cr₁N₃) 环境下生长的泽泻在生长前期根、块茎干物质的积累明显低于在低铬 (Cr₂N₁、Cr₂N₂、Cr₂N₃) 环境中生长的泽泻。而且在高铬水平下生长的泽泻其块茎与根的干物质质量明显低于对照组。相反高铬组中泽泻叶片的干物质积累量却得到了一定程度上的促进，呈现出高铬对地上部分的促进，而对地下部分的抑制规律。铬元素对于植株根系生长的抑制早有报道，而且铬对于植株根系长度的抑制最为明显^[13-14]。推测正是由于铬的根系毒性，所以在高铬下生长的泽泻其根干质量在前期的积累明显低于低铬组和对照组。泽泻根在其生长初期会受到土壤中的铬元素的抑制，而且这种影响具有浓度依赖性。另外低铬组与空白组相比，低铬组泽泻的根干物质、块茎干物质在其生长前期均优于对照组，出现“低促高抑”的情况。关于铬对植株根系生长抑制作用的机制研究，Panda 等^[15]报道了在低质量浓度的情况下，铬对于植株尤其是的根长以及干物质积累有促进作用，在植株生长的初期，这种效果尤为突出。由于铬对植株根系生长的抑制，使其机制研究备受关注。泽泻块茎其药用部位，其干物质的积累量直接影响到其药材的品质。在低铬水平下，其干物质的积累受到了促进。同时随着氮素添加量的增加，块茎干物质积累量也随之增加 (Cr₂N₃ > Cr₂N₂ > Cr₂N₁)。

在低铬条件下，这一现象主要是由氮素的添加引起的，通过添加氮素可以抵消铬对块茎干物质积累的影响，保证药材产量。尽管块茎干物质增加了，但是该指标还需要与块茎中所积累的铬量结合分析。

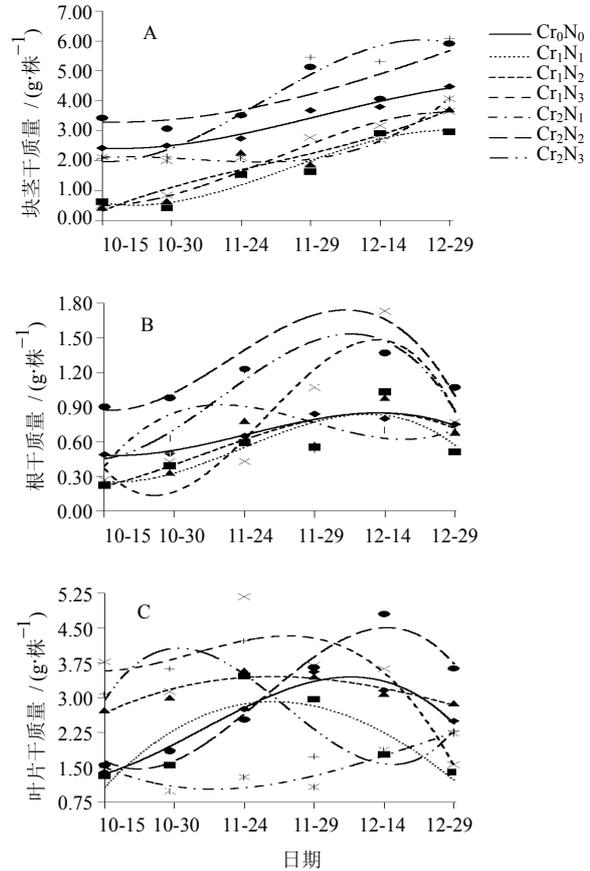
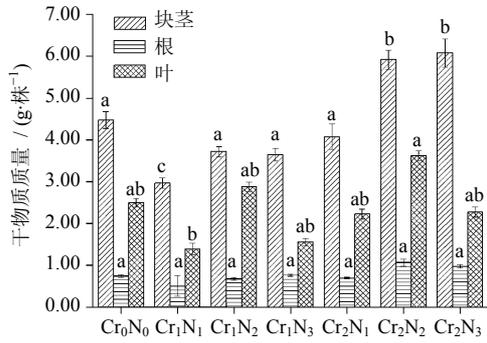


图 1 氮铬耦合下对泽泻块茎 (A)、根 (B)、叶 (C) 干物质质量的影响

Fig. 1 Effect of N-Cr coupling on dry matter accumulation in tubers (A), roots (B), and leaves (C) of *A. orientale*

泽泻叶片在高铬水平下在生长前期受到一定的促进，但在后期均出现显著的抑制，这与文献报道一致^[15]。高铬条件下植株的叶片在后期往往出现叶片面积减小，叶片数量显著减少的特征，可以通过此现象对植株所生长的土壤环境中存在的重金属情况有一个初步判断。在高达 100 mg/kg 铬的施用水平下，泽泻的叶片生长并没有出现褪绿的现象，证明泽泻对铬具有极强的抗性，其植株的内稳态在高铬环境中具有一定自调性。

采收期时泽泻各部位干物质的积累量见图 2。无论是高铬还是低铬处理组，其块茎、根、叶片中的干物质积累量都受到了一定的影响，除了 Cr₂N₂、Cr₂N₃ 两个处理组，其他处理中各部位的干物质质量均低于对照组。说明铬对于植株的生物毒性十分显著，但是在添加了氮的情况下，这种生物毒性在一定程度上得以缓解。特别是随着施氮量的增加，生物量得到了显著的增加。尤其是在低铬中氮和低铬



不同的字母表示具有显著差异 ($P < 0.05$)
Different letters mean significant difference ($P < 0.05$)

图 2 氮铬耦合对采收期泽泻各部位干物质积累的影响
Fig. 2 Dry matter accumulation in various parts of *A. orientale* at different harvest periods under N-Cr coupling

高氮组中, 生物量的积累量甚至超过了对照组。结果表明氮素在一定情况下对铬生物毒性的逆转性。这一结果与以往报道相符^[10]。

2.2 氮铬耦合对泽泻生长的影响

氮铬耦合对植株株高及叶片数的变化趋势相似, 即随时间呈现先升高后降低的趋势, 见图 3。

在添加铬的情况下, 泽泻的株高和叶片数量在生长前期均增加, 且在相同氮素水平下, 高铬水平下的株高和叶片数总体都高于低铬下的, 且均大于对照, 而在相同铬素水平下, 中高氮下大于低氮下的株高和叶片数。另外, 高铬及中高氮水平下的植株前期生长较其他组快, 表现为株高和叶片数大于

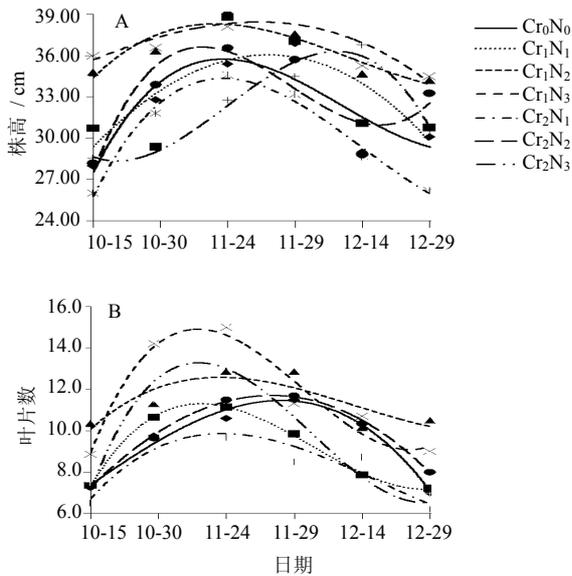


图 3 氮铬耦合对泽泻株高 (A) 和叶片数 (B) 的影响
Fig. 3 Effect of N-Cr coupling on plant height (A) and leaf number (B) of *A. orientale*

其他水平, 但是高铬组泽泻叶片面积与低铬和对照组相比明显变小。说明高铬背景下植株的叶片受到了一定的抑制, 但是由于中高氮的施肥量使得这一过程得到逆转, 而且从叶面积减小和叶片数量增加这两个相悖的现象推测泽泻在叶面积减小的情况下, 通过增加叶片数来维持一定的干物质积累水平保证其正常的生理过程, 在一定程度上造成了高铬促进植株生长的表面现象。说明氮肥的使用在一定程度上缓解了铬的生物毒性, 使得植株在一定程度上正常生长。

2.3 氮铬耦合下铬在泽泻不同部位的积累情况

不同氮铬耦合背景值下, 泽泻各部位铬的积累量总体呈现随时间先增加后减小的趋势, 见图 4。从图中可以看出不同处理组的泽泻在生长过程中其铬的积累量差异十分显著。在相同氮素水平下, 高铬下植株块茎铬积累量总体大于低铬下的积累量。相同铬素水平下, 中高氮大于低氮水平下的铬积累量。就采收期块茎铬积累量来看, 高氮高铬、中氮高铬分别比低氮高铬处理高出 12.27%、19.79%, 高

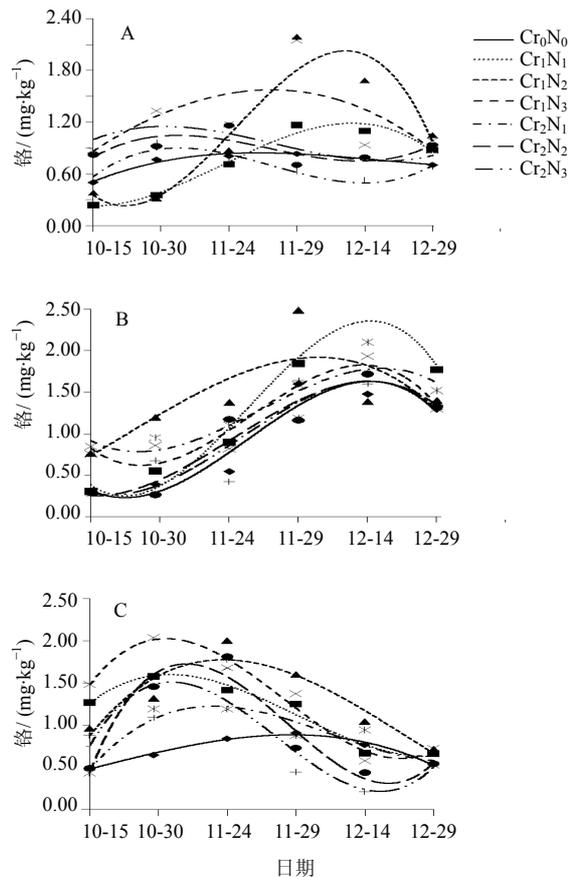


图 4 铬在泽泻块茎 (A)、根 (B)、叶片 (C) 中的动态积累情况
Fig. 4 Dynamic accumulation of Cr in tubers (A), roots (B), and leaves (C) of *A. orientale*

氮低铬、中氮低铬分别比低氮低铬处理高出 5.71%、54.86%。高氮高铬、中氮高铬、低氮高铬分别比高氮低铬、中氮低铬、低氮低铬处理高出 54.22%、12.33%、45.22%。这与 Khan 等^[16]的研究结果相一致。总体来看铬元素在泽泻中的积累与氮素的施放量呈正相关，见表 2。徐胜光等^[10]对这种现象的解释是氮

素的施加有协同强化植株对铬的吸收作用，氮素在促进铬有机态转化而产生对铬活性的抑制效应的同时，还促进了植株对铬的吸收。同时氮素的施加能有效缓解铬污染对植株吸收铁的抑制效应，进而缓解了硝酸还原酶活性的抑制效果，使得对氮素的利用率提高，促进植株生理代谢的协调，使得铬积累量增加。

表 2 铬在泽泻各部位中积累情况

Table 2 Accumulation of Cr in various parts of *A. orientale*

处理	TI			BCF			铬积累量 / μg		
	块茎	根	叶	块茎	根	叶	块茎	根	叶
Cr ₀ N ₀	1.000±0.011 a	1.000±0.012 a	1.000±0.023 a	0.031±0.009 a	0.057±0.002 a	0.023±0.003 a	3.15±0.02 a	0.98±0.05 a	1.33±0.05 a
Cr ₁ N ₁	0.663±0.012 c	0.680±0.032 c	0.560±0.012 d	0.014±0.002 b	0.028±0.003 b	0.011±0.001 b	2.60±0.03 b	0.90±0.04 a	0.93±0.01 b
Cr ₁ N ₂	0.830±0.014 c	0.906±0.012 a	1.152±0.040 a	0.017±0.003 b	0.023±0.005 b	0.012±0.002 b	3.90±0.02 c	0.95±0.03 a	2.06±0.13 c
Cr ₁ N ₃	0.815±0.022 c	1.027±0.023 a	0.624±0.013 d	0.018±0.001 b	0.024±0.002 b	0.014±0.001 b	3.59±0.04 c	1.00±0.02 a	1.13±0.09 b
Cr ₂ N ₁	0.911±0.014 a	0.933±0.021 a	0.892±0.021 c	0.008±0.004 c	0.017±0.002 c	0.006±0.002 c	2.80±0.05 b	1.06±0.05 a	1.17±0.11 b
Cr ₂ N ₂	1.321±0.032 b	1.427±0.043 b	1.452±0.030 b	0.012±0.005 b	0.017±0.001 c	0.007±0.002 c	5.52±0.01 d	1.42±0.02 b	1.97±0.19 c
Cr ₂ N ₃	1.357±0.034 b	1.306±0.034 b	0.912±0.020 a	0.010±0.002 c	0.015±0.002 c	0.006±0.011 c	5.09±0.05 d	1.27±0.03 b	1.22±0.18 a

不同的字母表示统计学差异 (P<0.05)

Different letters mean significant difference (P<0.05)

在相同氮素水平下，高铬下植株叶的铬积累量总体大于低铬下的积累量，相同铬素水平下，中高氮大于低氮的铬积累量。就采收时叶的铬积累量看，其大小顺序为高氮高铬>中氮高铬>低氮高铬>中氮低铬>高氮低铬>对照>低氮低铬。但是从耐性系数来看，叶对铬的耐受能力始终是低于根和块茎，尤其是在低铬的情况下，说明泽泻在低铬背景值下倾向于利用块茎和根等器官对铬进行积累，但是在高铬背景下，铬元素有从地下部分转移到地上部分的趋势。这可能与泽泻块茎和根部的铬耐受水平有关，当铬浓度达到一定程度后，植物更倾向于将严重阻碍植株最重要的部位根中的一部分重金属元素转移至其他部位，保证了根等重要器官的正常生长。尽管在生长过程中，铬在各个器官中的积累量差异显著，但是在采收期时，不同处理组的差异变小。植株在生长过程中会经过一个对环境中铬的适应过程，待到植株的生活周期进入后期时，其体内的代谢机制趋于平稳，使得其对铬的积累处于稳态，不再受到铬环境的太大影响，这可能是一种植物自我保护的机制。

从富集系数来看，泽泻对于铬的积累能力为根>块茎>叶。泽泻中根对铬的积累最为有效，这可能与其作为植物和土壤接触的重要界面，是铬与植物接触的首要部位有关，并且具有一定的铬耐受性。

2.4 土壤含铬及含氮量与植株铬积累量及块茎产量的偏相关分析

对取样前土壤含铬与含氮量与采收时泽泻各器

官含铬量及其产量进行相关性分析，结果见表 3。偏相关分析表明，土壤含铬量与植株各部分铬的积累量呈正相关，与块茎的生物产量呈负相关，且与叶及根的铬积累量呈现显著相关，和泽泻生物产量成极显著负相关；土壤含氮量与块茎铬量，叶铬量呈显著正相关，与块茎干质量呈现极显著正相关，与根的铬量呈现负相关。从根中的铬量与土壤铬量和土壤中氮量的相关系数中得出，根中铬的积累量与土壤中铬量具有显著的正相关性，在高氮背景下会导致根中富集的铬向其他器官的转移。从块茎干质量与土壤中铬和氮的相关性系数上看，氮肥的施加的确能够使得块茎干质量的增加，在一定程度上缓解了铬对块茎生长的抑制。

表 3 土壤含铬及含氮量与泽泻铬积累量及产量的偏相关系数
Table 3 Partial correlation coefficients between Cr and N content in soil and Cr accumulation and yield of *A. orientale*

	块茎中铬量	叶中铬量	根中铬量	块茎干质量
土壤铬量	0.477	0.747*	0.642*	-0.900**
土壤氮量	0.747*	0.706*	-0.555	0.934**

*表示显著性差异为 P<0.05, **表示显著性差异为 P<0.01

*means significant difference (P<0.05), **means extremely significant difference (P<0.01)

3 讨论

在相同氮素水平下，高铬抑制植株各部分干物质积累，但促进植株株高及叶片数增加及泽泻生长前期叶片干物质积累，而氮素水平的增加有促进植

株生长的作用。铬对植物生长的毒害作用已有报道,但在植株可承受的环境胁迫下,铬能促进植株生长。本实验也表明,高铬下植株干物质积累受阻,但植株通过促进自身株高及叶片数增加以及在生长前期促进叶片干物质积累来抵御外界不良环境毒害。当铬素为 60 mg/kg,氮素为 0.5、0.8 g/kg 时,块茎干物质积累量均显著大于对照。偏相关分析也表明,土壤铬量与氮量与块茎单株产量分别呈显著负相关和显著正相关。说明低铬条件下,提高氮素水平有利于块茎干物质积累,缓解铬素抑制作用。

高铬下促进铬在植株各部分的积累,中高氮抑制铬在植株根部吸收积累,但促进其在块茎及叶片的积累,偏相关分析结果也说明土壤铬量越高,植株各部位铬积累量越大,土壤氮量越高,抑制根对铬的吸收,但促进其在植株体内向块茎和叶片转移。当铬为 60 mg/kg,氮为 0.2 g/kg 时,块茎中铬的积累量略低于对照。说明低铬低氮下不利于铬在块茎的积累。前期铬在叶片积累最多,后期主要集中在根部。这可能是前期植株受到铬的抑制作用,植株为保证自身正常生长或者存活,将毒害元素向上转移,并通过促使植株生长来抵御外界毒害,后期,植株一方面适应外界环境胁迫,也通过自身生理代谢抑制铬的毒害作用,以阻止铬的吸收,从而含铬量有降低的趋势,且铬在根的积累量最大。而提高氮素水平能促进植株生长,缓解其抑制作用。

本实验结果表明,重金属铬对泽泻在不同生长期的影响具有浓度相关性。泽泻的生长过程中氮铬耦合对泽泻的生长前期具有很大的影响,但是在生长后期由于泽泻内稳态的形成使得铬的积累量差异变小,氮素的施加对其干物质的积累有着很大的促进作用,中高氮水平下有利于泽泻块茎的干物质积累。但是在此实验中仅仅考虑了氮素的使用量与铬的耦合作用,其实植物重金属的富集能力还与其他无机元素,例如 Fe、Cu、Ca、P、S 等息息相关^[17],对于泽泻在富含铬的环境中如何在保证正常生长的前提下,又能使块茎中的铬积累量尽量少还需要结合以上所述无机元素来分析。泽泻规范化种植生产时应尽量选择含铬量低的土壤作为栽培土壤,而在氮肥的施用过程中,应特别注意其用量。应配合着铬检测,在保证泽泻块茎铬积累量不超标的情况下,使得泽泻规范化种植更加有科学依据和保证药材质量。

参考文献

- [1] 何江华, 杜应琼, 柳 勇. Cr(VI) 对蔬菜生长及其在蔬菜体内积累的影响 [J]. 农业环境科学学报, 2005, 24(1): 1-4.
- [2] 梁奇峰. 铬与人体健康 [J]. 广东微量元素科学, 2006, 13(2): 67-69.
- [3] 柳 玲, 吕金印, 张 微. 不同浓度 Cr⁶⁺处理下芹菜的铬积累量及生理特性 [J]. 核农学报, 2010, 24(3): 639-644.
- [4] Rajendran S, Christina U, Rebecca C, et al. Transcriptomics evaluation of hexavalent chromium toxicity in human dermal fibroblasts [J]. *Carcinogen Mutagen*, 2011, 2(1):116-123.
- [5] Kotus J, Stasicka Z. Commentary: chromium occurrence in the environment and methods of its speciation [J]. *Environ Pollut*, 2000, 107(3): 263-283.
- [6] Arun K S, Carlos C, Herminia L T, et al. Chromium toxicity in plants [J]. *Environ Int*, 2005, 31(5): 739-753.
- [7] Davies F T, Puryear J D, Newton R J, et al. Mycorrhizal fungi increase chromium uptake by sunflower plants: influence on tissue mineral concentration, growth, and gas exchange [J]. *J Plant Nutr*, 2002, 25(11): 2389-2407.
- [8] Burzyn S M. The uptake and accumulation of phosphorus and nitrates and the activity of nitrate reductase in cucumber seedlings treated with PbCl₂ or CdCl₂ [J]. *Acta Soc Bot Polon*, 1988, 57(3): 349-359.
- [9] 杨 刚, 伍 钧, 唐 亚, 等. 不同形态氮肥施用对鱼腥草吸收转运 Pb 的影响 [J]. 农业环境科学学报, 2007, 26(4): 1380-1385.
- [10] 徐胜光, 周建民, 刘艳丽, 等. 硝态氮对小白菜铬污染毒性的调控作用 [J]. 生态学杂志, 2007, 6(12): 2051-2056.
- [11] 邓 勃. 应用原子吸收与原子荧光光谱分析 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2003.
- [12] 鲍士旦. 土壤农化分析 [M]. 第 3 版. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [13] Prasad M N V, Greger M, Landberg T. *Acacia nilotica* L. bark removes toxic elements from solution: corroboration from toxicity bioassay using *Salix viminalis* L. in hydroponic system [J]. *Int J Phytoremediation*, 2001, 3(3): 289-300.
- [14] Chen N C, Kanazawa S, Horiguchi T, et al. Effect of chromium on some enzyme activities in the wheat rhizosphere [J]. *Soil Microorg*, 2001, 55(1): 3-10.
- [15] Panda S K, Patra H K. Nitrate and ammonium ions effect on the chromium toxicity in developing wheat seedlings [J]. *P Natl Acad Sci India B*, 2000, 70(1): 75-80.
- [16] Khan S, Ullah S M, Sarwar K S. Interaction of chromium and copper with nutrient elements in rice (*Oryza sativa* cv BR-11) [J]. *Bull Inst Trop Agric Kyushu Univ*, 2001, 23(1): 35-39.
- [17] Moral R, Navarro P J, Gomez I, et al. Effects of chromium on the nutrient element content and morphology of tomato [J]. *J Plant Nutr*, 1995, 18(4): 815-822.