

微肥对比对附子生长的影响

罗 意¹, 陈兴福^{1*}, 杨文钰¹, 舒光明², 刘 莎¹, 夏燕莉²

1. 四川农业大学农学院, 四川 雅安 625014

2. 四川省中医药科学院, 四川 成都 610041

摘 要: **目的** 研究微肥对比对附子生长及产量的影响。**方法** 以毛茛科植物乌头为试验材料, 采用均匀设计, 研究不同的锌、硼、铁、锰配比下附子的生长及产量状况。**结果** 锌、硼、铁、锰配比为 4:1:1:2 是促进附子生长和提高附子产量的最佳配比。该配比条件下, 附子的株高和叶干质量较对照有所降低, 茎粗、须根数、须根长、子根体积及茎、须根、母根干质量均比对照有所增加, 且显著或极显著高于其他肥料配比, 其中须根和母根干质量较对照处理分别增加了 24.5% 和 25.9%。相关性分析表明, 株高与附子单株产量呈显著负相关, 而须根、母根干质量与单株产量呈显著正相关。**结论** 从促进营养器官生长而提高附子产量的角度来说, 锌、硼、铁、锰 (4:1:1:2) 为最佳配比。

关键词: 附子; 微肥对比; 乌头; 产量; 最佳配比

中图分类号: R282.21

文献标志码: A

文章编号: 0253-2670(2011)05-1000-07

Effects of microelements fertilizer ratio on growth of aconite daughter root

LUO Yi¹, CHEN Xing-fu¹, YANG Wen-yu¹, SHU Guang-ming², LIU Sha¹, XIA Yan-li²

1. College of Agronomy, Sichuan Agricultural University, Ya'an 625014, China

2. Sichuan Academy of Traditional Chinese Medicine, Chengdu 610041, China

Abstract: **Objective** To study the effect of micronutrient fertilizer ratio on the growth and yield of aconite daughter root (the processed daughter root of *Aconitum carmichaelii*). **Methods** Taking *A. carmichaelii* (Ranunculaceae) as test material, to study the growth and yield of aconite daughter root under the various ratio of Zn, B, Fe, and Mn by the uniform design. **Results** To promote the growth and improve the yield of aconite daughter root, the optimum ratio of fertilizer Zn-B-Fe-Mn was 4:1:1:2. Under this ratio, the size of the tuber, the number of the fibrous roots, the length of fibrous roots, the volume of the sub-root, and the dry weight of the tuber, the fibrous roots, and the mother root were significantly or very significantly higher than those under the other fertilizer ratio, while the plant height and the dry weight of leaf were lower than those in the control treatment, with the weight of fibrous roots and the mother roots increased by 24.5% and 25.9% compared with those in the control treatment. The results also showed that there existed negative correlation between the plant height and the yield of per plant, while the dry weight of the fibrous roots and the mother roots showed significantly positive correlation with the yield of per plant. **Conclusion** The above mentioned ratio of Zn-B-Fe-Mn as 4:1:1:2 is the best, since it could promote the growth and improve the yield of aconite daughter root more than the other treatment.

Key words: aconite daughter root (the processed daughter root of *Aconitum carmichaelii* Debx.); micronutrient fertilizer ratio; aconite daughter root; yield; optimum ratio

微量元素不仅能够促进植物生长发育, 还能提高作物的产量和质量。其中铁是作物生长发育必需的微量元素之一, 能促进叶绿素的形成和根内硝酸还原, 参与植物的呼吸作用等过程; 硼能促进糖的运输, 锌能促进光合作用, 也是许多种酶的组成成分, 参与细胞的分裂与蛋白质的合成。通常锌肥与

硼肥配合施用的效果比单施锌肥效果好, 锌与硼在植株体内起相互促进作用。锰是叶绿体和多种酶的组成成分, 直接参与光合作用, 促进水的光解, 并给光系统提供电子; 还可以促使硝态氮还原成铵态氮, 有利于氨基酸、蛋白质的合成^[1-2]。

附子为毛茛科植物乌头 *Aconitum carmichaelii*

收稿日期: 2010-09-10

基金项目: 科技部“十一五”支撑计划项目 (2006BAI06A12-01); 四川省育种攻关项目 (2006yzzg12-21)

作者简介: 罗 意 (1986—), 女, 重庆人, 从事药用植物生理、栽培等研究。Tel: (0835)2882612 E-mail: kblfily@163.com

*通讯作者 陈兴福 Tel: (0835)2882612 E-mail: chenxf64@sohu.com

Debx.子根的加工品,辛、甘,大热,有毒,归心、肾、脾经,具有回阳救逆、补火助阳、逐风寒湿邪之功效^[3],自古就被称为“回阳救逆第一品药”,与人参、大黄、熟地同列为“乱世良将”。附子临床应用范围不断被拓宽,已由传统的饮片配方转化为医药工业原料^[4]。我国附子种植已有 1 300 多年的历史,四川江油是我国附子最大、栽培最好的产区,产量占全国的 80%以上。

通过喷施微量元素以调节作物生长的方法,在农业生产实践中已经得到较为广泛的应用,在一些领域取得了良好的效果,但微量元素肥料在药用植物生产过程中的应用还相对较少,对附子生长影响的研究尚未见报道。本研究通过施用不同配比的微量元素,对栽培过程中附子各器官的生长及干物质积累情况进行分析,探讨锌、硼、铁、锰 4 种微量元素对附子生长的影响,从而为附子微肥的合理施用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料

材料为毛茛科植物乌头的栽培品种,经四川省中医药科学院舒光明研究员鉴定为毛茛科植物乌头 *Aconitum carmichaelii* Debx.。

1.2 实验设计

本实验在附子道地产区江油市太平镇进行,于 2008 年 11 月 20 日进行栽种,其试验田基础土壤养分状况为 pH 6.4,有机质量 1.67%,全氮量 0.15%,全磷量 0.091%,碱解氮量 92 mg/kg,速效磷量 37 mg/kg,速效钾量 70 mg/kg,速效锌量 0.52 mg/kg,速效硼量 0.38 mg/kg,速效铁量 2.41 mg/kg,速效锰量 6.83 mg/kg。

均匀试验设计是一种将试验点均匀地散布于试验范围内的科学设计方法,能通过较少的试验获得较多的信息,适用于多因素、多水平的试验设计^[5]。本实验采用均匀设计,设置铁、锌、硼、锰 4 个肥料因素,每个因素设置 4 个施肥水平,按 $U_4(4^4)$ 表进行试验安排(表 1),以喷施清水为对照处理(CK)。锌、硼、铁、锰肥分别为硫酸锌、硼砂、硫酸亚铁和硫酸锰。实验重复 3 次,小区面积为 10 m²,沟心距为 95 cm,厢宽为 50 cm,株距为 16 cm。微肥采取追肥的方式,分别于 4 月 1 日、4 月 15 日、5 月 15 日进行叶面喷施,其余按当地传统进行栽培管理。

1.3 测试项目及方法

表 1 均匀设计试验安排表

Table 1 Test arrangement of uniform design

处理	硫酸锌/%	硼砂/%	硫酸亚铁/%	硫酸锰/%
1	0.025	0.05	0.100	0.100
2	0.050	0.20	0.050	0.075
3	0.100	0.025	0.025	0.050
4	0.200	0.100	0.200	0.025

从 2009 年 4 月 1 日起,每 15 天取样 1 次,田间采用 S 形取样法,每小区采集 5 株植株,洗净后记录附子须根数,并用直尺测定其株高、最长须根长度,用游标卡尺测定茎粗,最大子根长、宽、厚等性状,其中茎粗为茎基部的直径,子根长为子根顶部至其主根基部的长度,子根的宽度和厚度为其最宽和最厚部位的测量值,根据子根体积=3.141×子根宽×子根厚×子根长/3^[6]计算附子子根体积。待称取各器官鲜质量后,置于 60 ℃烘箱中烘干至恒定质量,并用千分之一天平称取干质量,于 7 月 6 日采收,采收后同样考察各部分性状。

2 结果与分析

2.1 微肥对比对附子生长动态的影响

2.1.1 微肥对比对附子株高的影响 定期取样考察附子的株高(表 2),附子出苗后迅速生长,4 月至 5 月为附子株高的快速增长期,5 月中旬时各处理附子的株高均达最大值。附子的生长后期,由于采取打顶等栽培措施,各处理的株高基本保持恒定。方差分析结果表明,微肥处理对附子株高并未造成显著差异。

2.1.2 微肥对比对附子茎粗的影响 定期观察附子的茎粗,其变化规律如表 3 所示:附子茎粗变化总体随发育进程的推进而增长,4 月 1 日到 4 月 16 日期间,各处理附子茎粗的增幅较大,为附子茎粗增长的高峰期;对比各微肥处理附子的茎粗,处理 3 的茎在整个发育进程中均最粗,显著或极显著粗于其余处理。采收时,处理 3 的茎粗为 1.853 cm,较对照处理增加了 15.2%,与处理 4 比较差异达极显著水平,与 CK、处理 1 和处理 2 达显著水平;处理 4 的茎粗在整个发育进程中均最细,显著或者极显著低于处理 2、处理 3。

2.1.3 微肥对比对附子须根数的影响 由表 4 可知,各处理附子的须根数随发育进程呈现先增多后减少的趋势,4 月 1 日至 4 月 16 日为须根的缓慢生长期,须根数增加较少。4 月 16 日至 5 月 1 日出现须根数增长的高峰期,此阶段处理 3 的须根数最多,

表 2 微肥配比对附子株高变化的影响

Table 2 Effect of microelements fertilizer ratio on plant height of aconite daughter root

处理	不同生长时间附子株高/ cm						
	04-01	04-16	05-01	05-16	05-31	06-15	07-06
CK	31.2Aa	44.7Aa	49.8Aa	54.9Aa	52.4Aa	52.4Aa	51.9Aa
1	27.4Aa	46.8Aa	51.9Aa	54.0Aa	52.3Aa	55.6Aa	54.8Aa
2	27.9Aa	45.5Aa	53.7Aa	54.1Aa	53.2Aa	52.3Aa	51.5Aa
3	29.5Aa	44.7Aa	49.8Aa	56.7Aa	53.4Aa	52.1Aa	51.7Aa
4	28.7Aab	46.9Aa	53.8Aa	55.7Aa	55.6Aa	51.2Aa	51.4Aa

平均值后小写字母表示 5%差异显著性, 大写字母表示 1%差异显著性(下同)

Values followed by a different small and capital letters within a column are significantly different at 0.05 probability level, following tables are same

表 3 微肥配比对附子茎粗的影响

Table 3 Effect of microelements fertilizer ratio on stem diameter of aconite daughter root

处理	不同生长时间附子茎粗/ cm						
	04-01	04-16	05-01	05-16	05-31	06-15	07-06
CK	0.845Ab	1.350Ab	1.454Bb	1.585Aa	1.595Aa	1.609Aab	1.609ABb
1	1.045Aab	1.443Aab	1.477Bb	1.532Aa	1.534Aa	1.572Aab	1.589ABb
2	1.224Aa	1.454Aab	1.488Bb	1.579Aa	1.589Aa	1.594Aab	1.594ABb
3	1.246Aa	1.517Aa	1.749Aa	1.795Aa	1.780Aa	1.803Aa	1.853Aa
4	1.124Aab	1.345Ab	1.407Bb	1.482Aa	1.501Aa	1.498Ab	1.522Bb

表 4 微肥配比对附子须根数的影响

Table 4 Effect of microelements fertilizer ratio on fibrous root number of aconite daughter root

处理	不同生长时间附子须根数/个						
	04-01	04-16	05-01	05-16	05-31	06-15	07-06
CK	29.5Aa	38.3Aab	50.9Aa	51.4Aa	64.0Aab	51.1Aa	47.6Aa
1	34.5Aa	38.1Aab	44.4Aa	52.5Aa	66.9Aab	47.9Aa	44.4Aa
2	34.7Aa	36.3Aab	50.8Aa	51.5Aa	70.3Aab	49.3Aa	44.9Aa
3	35.0Aa	39.5Aa	53.2Aa	54.8Aa	77.9Aa	54.1Aa	52.4Aa
4	31.3Aa	30.3Ab	42.5Aa	51.3Aa	55.4Ab	54.1Aa	46.1Aa

为 39.5 根, 比 CK、处理 1、处理 2 和处理 4 分别提高了 3.1%、3.7%、8.8%和 30.3%, 多于处理 4 达显著水平。此后, 须根数继续增加, 于 5 月 31 日达最大值, 此时处理 3 的须根数为 77.9 根, 显著高于处理 4。6 月以后, 各处理的须根数均有所下降。

2.1.4 微肥配比对附子最长须根长的影响 取样后, 考察附子的最长须根长, 整理分析(表 5)可知, 处理 3 和处理 4 的附子须根在前期增长较快, 5 月 16 日前为二者须根快速增长期, 后期变化不大, 而 CK、处理 1 和处理 2 的附子须根在前期生长较慢, 5 月 31 日后才达到生长高峰。7 月上旬时, 各处理附子的须根长均达最大值, 处理 3 的须根最长

为 21.1 cm, CK、处理 1 和处理 4 的须根长分别为 19.2、19.0、20.5 cm, 处理 2 的须根最短, 为 18.2 cm。方差分析结果表明, 在不同微肥配比下各处理间的附子须根长无明显差异, 说明微肥处理对附子须根长没有显著影响。

2.1.5 微肥配比对附子最大子根体积的影响 附子的大小是评定附片质量好坏的一项重要指标, 由表 6 可知, 在整个发育进程中, 各处理附子的最大子根体积均呈现逐渐增大的趋势, 7 月上旬达最大值, 其中 4 月至 5 月为附子快速增长期, 此时处理 3 的附子子根体积最大, 与 CK 之间的差异达显著水平。6 月至 7 月为附子子根体积的缓慢增长期, 6 月中旬

时, 处理 3 的子根体积为 106.03 cm^3 , 极显著大于处理 2, 显著大于处理 1 和处理 4; 7 月上旬时处理 3 的子根体积达 110.213 cm^3 , 显著大于处理 1, 与其余各处理间差异不显著。

2.1.6 微肥对比对附子叶面积的影响 测定各时期附子的叶面积 (表 7): 附子叶面积随其生育进程呈逐渐增大的趋势, 5 月 31 日时, 各处理附子的叶面积均达最大值, 生育后期附子的叶面积基本恒定。4 月 1 日时, 处理 1 和 3 的附子叶面积显著高于处理 2 和 4, 5 月 1 日至 7 月 6 日处理 3 的附子叶面积大于其余处理达显著或极显著水平。

2.2 微肥对比对附子干物质积累的影响

2.2.1 微肥对比对附子叶片干物质积累的影响 考察各时期附子叶片的干物质积累量, 结果见表 8。4

月至 5 月为各处理附子叶片干物质的快速积累阶段, 到 5 月 31 日, CK、处理 2 和处理 4 的干物质积累量达最大值, 分别为 9.233、9.733、9.567 g/株; 而处理 1 和处理 3 的叶片干物质积累量继续增加, 直至 6 月中旬达到最大值, 分别为 9.000 和 8.767 g/株。此后, 由于叶片进入衰老期, 附子叶片的干物质积累量有所下降。对各时期附子的叶片干质量进行方差分析发现, 前期各微肥处理并未对附子叶片干质量产生显著影响, 6 月 15 日时, 处理 1 的叶片干物质积累量最高, 为 9.000 g/株, 极显著高于处理 4; 采收时, CK 和处理 1 的附子叶片干质量极显著高于处理 4, 显著高于处理 2, 而处理 3 的附子叶片干物质质量高于处理 2 和处理 4, 达显著差异。

2.2.2 微肥对比对附子茎干物质积累的影响 每

表 5 微肥对比对附子最长须根长的影响

Table 5 Effect of microelements fertilizer ratio on fibrous root length of aconite daughter root

处理	不同生长时间附子最长须根长/cm						
	04-01	04-16	05-01	05-16	05-31	06-15	07-06
CK	16.4Aa	16.5Aa	16.8Aa	17.2Aa	17.4Aa	19.0Aa	19.2Aa
1	15.4Aa	16.2Aa	16.6Aa	16.9Aa	18.7Aa	18.8Aa	19.0Aa
2	15.4Aa	16.2Aa	16.6Aa	17.1Aa	17.6Aa	17.7Aa	18.2Aa
3	16.0Aa	16.6Aa	18.7Aa	19.3Aa	19.6Aa	20.3Aa	21.1Aa
4	16.4Aa	19.4Aa	19.6Aa	19.9Aa	20.0Aa	20.0Aa	20.5Aa

表 6 微肥对比对附子最大子根体积的影响

Table 6 Effect of microelements fertilizer ratio on biggest daughter root volume of aconite daughter root

处理	不同生长时间附子最大子根体积/ cm^3						
	04-01	04-16	05-01	05-16	05-31	06-15	07-06
CK	4.191Aa	9.928Aa	30.756Aa	50.372Ab	70.911Aa	92.096 ABab	106.088Aab
1	4.019Aa	10.047Aa	30.657Aa	58.313Aab	67.053Aa	71.815 ABb	87.060Ab
2	4.921Aa	12.250Aa	30.467Aa	56.332Aab	69.457Aa	69.961 Bb	96.331Aab
3	4.945Aa	13.061Aa	34.180Aa	68.329Aa	74.924Aa	106.030 Aa	110.213Aa
4	4.076Aa	12.942Aa	29.650Aa	58.774Aab	62.179Aa	73.864 ABb	101.175Aab

表 7 微肥对比对附子叶面积的影响

Table 7 Effect of microelements fertilizer application on leaf area of aconite daughter root

处理	不同生长时间附子叶面积/ cm^2						
	04-01	04-16	05-01	05-16	05-31	06-15	07-06
CK	120.194Aab	159.319Aa	162.897Ab	166.273Aa	174.311Aa	174.383Bd	174.710Ee
1	140.363Aa	181.521Aa	183.144Aab	183.032Aa	183.295Aa	183.680Bc	183.874Dd
2	99.404Ab	172.395Aa	175.643Aab	180.143Aa	200.633Aa	200.741Ab	201.448Cc
3	139.478Aa	160.668Aa	204.308Aa	205.547Aa	211.330Aa	212.423Aa	213.056Aa
4	101.772Ab	174.294Aa	175.792Aab	187.272Aa	204.994Aa	202.962Ab	205.051Bb

表 8 微肥对比对附子叶片干物质积累的影响

Table 8 Effect of microelements fertilizer ratio on accumulation of leaf's dry matter of aconite daughter root

处理	不同生长时间附子叶片干物质/(g·株 ⁻¹)						
	04-01	04-16	05-01	05-16	05-31	06-15	07-06
CK	2.633Aa	5.000Aa	7.400Aa	7.167Aa	9.233Aa	7.433ABab	6.975Aa
1	2.033Aa	5.333Aa	7.267Aa	7.967Aa	7.833Aa	9.000Aa	6.925Aa
2	2.800Aa	5.033Aa	7.700Aa	7.667Aa	9.733Aa	7.433ABab	6.28ABb
3	2.233Aa	4.700Aa	7.800Aa	8.000Aa	7.833Aa	8.767ABab	6.63ABa
4	2.800Aa	5.133Aa	8.567Aa	7.933Aa	9.567Aa	6.300Bb	5.06Bb

次取样后,测定附子茎干质量,并对各时期的干物质质量进行分析,见表 9。随生长发育进程的推进,各处理附子的茎干物质呈现逐渐增大的趋势,其中 4 月至 6 月为附子茎干物质的快速积累期,此阶段附子的茎干物质质量迅速增加,6 月以后,CK、处理 2、处理 4 的茎干物质开始减少,而处理 1 和处

理 3 则进入茎干物质积累的缓慢时期,此阶段附子的茎干物质质量呈缓慢增长的趋势,直至 7 月上旬达最大值,分别为 9.258、9.643 g/株。方差分析结果表明,6 月 15 日时,处理 1 的茎干物质积累量最高,为 9.137 g/株,高于处理 4,达显著水平,其余差异不显著。

表 9 微肥对比对附子茎干物质积累的影响

Table 9 Effect of microelements fertilizer ratio on accumulation of stem's dry matter of aconite daughter root

处理	不同生长时间附子茎干物质/(g·株 ⁻¹)						
	04-01	04-16	05-01	05-16	05-31	06-15	07-06
CK	1.967Aa	4.153Aa	6.563Aa	7.710Aa	8.203Aa	7.427Ab	7.408Aa
处理 1	1.847Aa	4.107Aa	6.013Aa	7.443Aa	7.157Aa	9.137Aa	9.258Aa
处理 2	2.327Aa	4.280Aa	6.903Aa	7.953Aa	9.747Aa	7.627Aab	7.550Aa
处理 3	1.753Aa	3.827Aa	6.967Aa	8.360Aa	8.257Aa	8.293Aab	9.643Aa
处理 4	2.153Aa	4.260Aa	7.377Aa	7.897Aa	8.370Aa	7.070Ab	6.568Aa

2.2.3 微肥对比对附子须根干物质积累的影响 定期考察附子须根的干物质质量,其规律见表 10。各处理下附子的须根干物质质量均呈先增加后降低的趋势。其中 4 月至 5 月为附子须根干物质快速积累期,此阶段须根的干物质积累量迅速增加,后期增长量较少,采收时,由于植株进入衰老期,干物质积累量均有所下降。对各时期的须根干物质质量进行方差分析可知,4 月 1 日时,处理 2 的须根最重,为 0.887 g/株,显著高于 CK 和处理 3,而收获时,处理 3 的须根最重,为 1.667 g/株,较对照增加了 24.5%,高于处理 4,达显著水平,其余时期的须根干物质质量差异不显著。

2.2.4 微肥对比对附子母根干物质积累的影响 定期取样考察不同微肥配比下母根的干物质积累量,对各时期母根干物质质量进行分析,见表 11。随附子生育进程的推进,光合产物的形成,各处理附子的母根干物质质量呈上升趋势,4 月中旬到 6 月上旬母根干物质积累量迅速增加,此阶段为母根干物质

的快速积累期。6 月上旬以后,母根干物质质量有所增加,但增长幅度较小。方差分析结果表明,收获时处理 3 的母根干物质积累量最高,为 4.533 g/株,较对照处理增加了 25.9%,显著高于处理 4,而其余处理间差异不显著。

2.2.5 微肥对比对附子子根干物质积累的影响 从表 12 可以看出,各处理附子的子根干物质质量随生长发育进程呈上升趋势,其中 4 月中旬到 6 月中旬为附子子根干物质的快速积累期,之后各处理附子干物质质量有所增加,但增长速度稍慢。方差分析结果表明,4 月 16 日时处理 1 和处理 4 的子根干物质质量高于处理 2,达显著水平,其余处理间差异不显著;6 月 15 日时,处理 1 的子根干物质积累量最高,为 25.220 g/株,高于处理 2、处理 3、处理 4,达显著水平,与 CK 差异不显著。采收时,除处理 1 各处理附子子根的干物质积累量达最大值,其中处理 3 的子根干物质积累量最大,为 28.088 g/株,较对照增加了 10.0%,与处理 1 和处理 4 间存在极显著

表 10 微肥配比对附子须根干物质积累的影响

Table 10 Effect of microelements fertilizer ratio on accumulation of fibrous root's dry matter of aconite daughter root

处理	不同生长时间附子须根干物质/(g·株 ⁻¹)						
	04-01	04-16	05-01	05-16	05-31	06-15	07-06
CK	0.547Ab	0.687Aa	1.200Aa	1.325Aa	1.175Aa	1.350Aa	1.308Aab
1	0.647Aab	0.700Aa	1.008Aa	1.158Aa	1.240Aa	1.567Aa	1.250Aab
2	0.887Aa	0.800Aa	1.400Aa	1.033Aa	1.258Aa	1.250Aa	1.242Aab
3	0.473Ab	0.733Aa	1.183Aa	1.442Aa	1.170Aa	1.333Aa	1.667Aa
4	0.627Aab	0.693Aa	1.308Aa	1.358Aa	1.458Aa	1.200Aa	1.175Ab

表 11 微肥配比对附子母根干物质积累的影响

Table 11 Effect of microelements fertilizer ratio on accumulation of mother root's dry matter of aconite daughter root

处理	不同生长时间附子母根干物质/(g·株 ⁻¹)						
	04-01	04-16	05-01	05-16	05-31	06-15	07-06
CK	1.273Aa	1.700Aa	2.977Aa	2.970Aa	3.327Aa	2.903Ab	3.600Aab
1	1.587Aa	1.793Aa	1.917Aa	3.443Aa	3.183Aa	4.330Aa	3.658Aab
2	1.627Aa	1.693Aa	2.960Aa	3.427Aa	3.567Aa	3.253Aab	3.675Aab
3	1.187Aa	1.487Aa	2.620Aa	3.333Aa	3.220Aa	3.343Aab	4.533Aa
4	1.247Aa	1.393Aa	2.277Aa	3.177Aa	4.037Aa	3.410Aab	3.167Ab

表 12 微肥配比对附子子根干物质积累的影响

Table 12 Effect of microelements fertilizer ratio on accumulation of root's dry matter of aconite daughter root

处理	不同生长时间附子子根干物质/(g·株 ⁻¹)						
	04-01	04-16	05-01	05-16	05-31	06-15	07-06
CK	0.280Aa	0.973Aab	4.180Aa	8.993Aa	12.443Aa	20.770ab	25.525ABa
1	0.347Aa	1.027Aa	3.953Aa	8.976Aa	13.883Aa	25.220Aa	19.150Bb
2	0.380Aa	0.740Ab	4.643Aa	8.726Aa	15.887Aa	19.943Ab	26.567Aa
3	0.233Aa	0.953Aab	3.743Aa	9.370Aa	14.500Aa	18.343Ab	28.088Aa
4	0.313Aa	1.027Aa	4.203Aa	9.327Aa	16.003Aa	18.000Ab	22.617Bb

差异；其余各时期处理间的附子子根干物质质量差异不显著。

2.3 附子各器官生长与产量的相关性

由于各性状对产量的形成均有一定的相关性，为了确定各农艺性状在产量形成过程中的重要作用，对与产量关系较密切的性状进行了相关分析，结果见表 13。

相关分析结果表明，10 个性状与单株产量的相关系数由大到小依次为：须根质量 $\geq$ 母根质量 $>$ 叶面积 $\geq$ 须根数 $>$ 茎粗 $>$ 叶干质量 $>$ 茎质量 $>$ 须根长 $>$ 株高，其中须根数与株高、须根质量与株高两对性状呈显著负相关；母根质量与茎质量呈极显著正相关；须根质量与须根数、叶干质量与茎质量、须根质量与单株产量、母根质量与单株产量呈显著正相关，

其余各性状间相关系数均不显著。

3 结果与讨论

不同学者对微量元素肥料进行研究发现，各种根用作物对硼肥较敏感，施用硼肥有良好的效果^[1]。施用铁肥和锰肥能提高紫锥菊的产量，合理施用铁肥还利于提高紫锥菊增加观赏性^[7]；同时，锌肥能提高半夏叶片的碳氮代谢，并提高半夏产量^[8]；施用硼、锌、钼肥后，白芨的产量和质量得到较大提高^[2]；刘大会等^[9]发现在合理施用有机肥的基础上，适当补施硼、锌等微肥，可以显著提高福田河菊花的产量和品质。本研究结果表明，配施不同配比的铁、锌、硼、锰肥能对附子营养生长产生不同程度的影响，其中处理 1 附子的茎粗、须根数、须根长、最大子根体积及单株产量等均较对照低，这可能是

表 13 附子各器官生长与产量相关性分析

Table 13 Related analysis between organs and yield of aconite daughter root

性状	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	y
叶面积 (x_1)	1										
株高 (x_2)	-0.23	1									
茎粗 (x_3)	0.32	0.27	1								
须根数 (x_4)	0.15	-0.55*	0.03	1							
子根体积 (x_5)	0.23	0.2	0.47	-0.05	1						
须根长 (x_6)	0.25	-0.14	0.12	0.36	0.45	1					
叶干质量 (x_7)	-0.43	0.15	0.18	0.15	-0.08	-0.37	1				
须根质量 (x_8)	0.23	-0.54*	0.1	0.60*	-0.05	0.38	0.18	1			
母根质量 (x_9)	0.28	-0.01	0.37	0.44	0.28	0.11	0.36	0.47	1		
茎质量 (x_{10})	-0.01	0.36	0.37	0.09	-0.02	-0.40	0.55*	-0.09	0.68**	1	
单株产量 (y)	0.34	-0.44	0.20	0.34	0.35	-0.03	0.04	0.54*	0.54*	0.02	1

* $P < 0.05$ ** $P < 0.01$

由于处理 1 中锌的质量分数过低, 而铁、锰的质量分数较高而抑制了附子生长。处理 2 中附子的茎干质量、母根干质量和单株产量较对照有所增加, 但其增加量均较小。处理 4 植株的株高、茎粗、须根数等各器官的生长及各器官干物质积累量均较 CK 少, 推测其铁的质量分数过高而抑制了附子的生长, 但具体的影响机制还有待进一步研究。

相关分析结果表明, 地下须根和母根对产量形成的贡献较大, 二者干物质质量与单株产量的相关系数均达到显著水平, 而母根质量与茎质量、须根质量与须根数又显著正相关, 因此栽培过程中, 可以通过促进茎、须根、母根等器官的生长, 来提高附子产量。另外, 株高与单株产量呈负相关, 生产中应该控制附子的株高以促进地下部分生长。本实验中处理 3 的微肥施用配比下, 附子的茎粗、须根数、须根长、子根体积及茎、须根、母根干质量均优于 CK, 其中与单株产量显著相关的须根干质量和母根干质量均高于处理 4, 达显著水平, 而与单株产量呈负相关的株高得到了较好的抑制, 低于对照。因此, 从促进附子器官生长并提高附子产量的角度, 处理 3 的铁、锌、硼、锰配比为提高附子产量的最佳配比。

另外, 铁、锌、硼、锰元素均为植株中多种酶的组分或活化剂, 参与植物的氮代谢等生理过程, 能促进植物生物碱、蛋白质能含氮化合物的合成。沈晓霞等^[10]研究表明, 锰、铜、锌、钼、硼和铁等

微量元素能不同程度地提高益母草的总生物碱量; 合理施用锌、硼、锰肥能有效促进烤烟中烟碱的合成^[11]。据此推测, 不同的微肥对比对附子中的乌头碱等生物碱的合成和积累有一定的促进作用, 但其作用强弱有待进一步研究。

参考文献

- [1] 王 忠. 植物生理学 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2003.
- [2] 张秀玥, 李明荣, 张启东, 等. 不同微肥施用量对白芨产量及品质的影响 [J]. 贵州农业科学, 2009, 37(2): 31.
- [3] 中国药典[S]. 一部. 2010.
- [4] 罗 裙, 黄春萍, 李 洁. 附子 ISSR-PCR 反应体系的建立 [J]. 四川食品与发酵, 2008, 44(3): 9.
- [5] 明道绪. 高级生物统计 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2006.
- [6] 夏燕莉, 胡 平, 张 美, 等. 附子优良品种选育及生物学特性研究 [J]. 种子, 2009, 28(2): 85.
- [7] 陈 荣, 吴 鸿. 微肥对紫锥菊产量及种子生产的影响 [J]. 中草药, 2007, 38 (9): 1400-1403.
- [8] 杨 磊, 罗庆云, 王康才, 等. 锌对半夏叶片碳氮代谢及产量的影响 [J]. 中草药, 2010, 41(2): 278-281.
- [9] 刘大会, 郭兰萍, 朱端卫, 等. 施肥和覆盖地膜对福田河菊花产量与品质的影响 [J]. 中草药, 2009, 40(5): 792-797.
- [10] 沈晓霞, 盛束军, 徐建中. 环境因子对益母草总生物碱含量的影响 [J]. 浙江农业学报, 2002, 14(4): 221-225.
- [11] 韩 冰, 郑克宽. 镁、锌、硼、锰元素对烤烟产量及质量影响的研究 [J]. 内蒙古农牧学院学报, 1999, 20(1): 72.