

张秀芳,陈洪伟,刘克锋. 不同温度、基质营养液配比与施肥频率对一串红生长发育的影响[J]. 江苏农业科学,2016,44(8):262-266.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.08.075

# 不同温度、基质营养液配比与施肥频率对一串红生长发育的影响

张秀芳,陈洪伟,刘克锋

(北京农学院城乡发展学院,北京 102206)

**摘要:**为完善一串红的栽培管理体系,培育优质的一串红植株,以一串红展望淡紫为试验材料,采用正交试验设计研究不同温度、基质、营养液配比、施肥频率对其生长发育的影响。结果表明:温度、基质、营养液配比、施肥频率都是影响一串红生长发育的显著因子,最适宜一串红生长的方案为  $A_2B_3C_3D_1$ ,即温度为 20~25℃、基质配比为进口基质:珍珠岩:蛭石=3:1:1、营养液配比为氮:磷:钾=1:0.4:0.8、施肥频率为 4 d/次。

**关键词:**一串红;温度;基质;营养液配比;施肥频率;生长发育;规模化生产

**中图分类号:**S681.404 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2016)08-0262-04

一串红(*Salvia splendens*)别称象牙红、爆仗红,为唇形科鼠尾草属植物,是我国城市园林绿化中应用最普遍的草本花卉。一串红原产于巴西,1822年引入欧洲<sup>[1]</sup>,我国在宋朝时期便开始进行一串红的栽培<sup>[2]</sup>。

很多植物的生长发育都对温度条件有一定要求,特别是在从营养生长进入生殖生长这一质的转变过程。在这一过程中,温度的影响作用体现在打破或延迟植物休眠、促进或抑制植物花芽分化和发育、低温诱导成花、高温抑制开花等方面<sup>[3-4]</sup>。因此,找到适宜植物生长的温度条件,对于植物的生长发育,特别是花期调控具有重要作用。不同基质配比直接影响植物的生长状况,而植物生长发育过程与基质的pH值、有机质含量有很大的关系。因此,选择适宜植物生长的基质配比,对于培育壮苗有非常重要的意义<sup>[5]</sup>。营养液中各种离子的浓度和配比关系及施肥频率直接影响观赏植物的观赏特征,而且植物在生长过程的不同阶段对养分的吸收程度是不同的,需要经常调整各离子的浓度和配比关系<sup>[6-7]</sup>,因为找到适宜植物生长的营养液配比与施肥频率对于植物的生长是非常重要的。由此可见,温度、基质、营养液配比及施肥频率在植物的生长发育过程中起着非常关键的作用。为此,本研究采用正交试验设计,探讨不同温度、基质、营养液配比、施肥频率对一串红生长发育的影响,旨在为其规模化生产提供管理依据与技术措施。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

试验材料为一串红品种展望淡紫(*Salvia splendens* 'Vista Lavender')。本试验在北京农学院校内实践基地温室中进行,温室呈东西向,南向阳光,花房用阳光板分隔成多个独立空间,每个空间用空调控温,并设置风扇,以利于通风换气。

### 1.2 试验设计

本试验选用  $L_9(3^4)$  正交试验设计,考察4个因素:温度(A)、基质比(B)、营养液配比(C)、施肥频率(D),4个因素均为3个水平(表1)。共9个处理组合,每个处理15盆,每个处理重复3次。试验植物材料于2013年7月12日播种,2013年8月12日上盆,上盆缓苗1周后,开始施营养液,采用根际施肥法,每次用量200 mL/株。

### 1.3 测定指标与方法

1.3.1 株高、冠幅、叶片数量、叶面积及开花性状的测定 植株盛花期时,测定植株形态指标,并进行开花品质调查。主要测定内容包括株高、冠幅、叶片数量、叶面积、花枝数、花序长。

1.3.2 生物量测定 每个处理随机取5株植株,分别测定植株地上部分、地下部分干质量。取样时将样品用自来水冲洗后用吸水纸擦干表面水分,在烘箱中于105℃杀青1h后,在60℃下烘干至恒质量,分别称干质量<sup>[8]</sup>。

1.3.3 叶片叶绿素含量的测定 用丙酮乙醇混合液测定样品叶绿素含量<sup>[9]</sup>。

1.3.4 叶片养分含量的测定 全氮含量用凯氏定氮法测定,全磷含量用钒钼黄比色法测定,全钾含量用火焰光度法测定<sup>[10-12]</sup>。

### 1.4 数据处理及分析

使用 Excel、DPS 对测定的数据进行分析 and 处理。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同处理对一串红营养生长的影响

一串红营养生长测定的指标包括株高、茎粗、叶片数、叶

收稿日期:2015-06-30

基金项目:北京市科委国家现代农业科技城成果惠民科技示范工程(编号:Z121100007412003);北京农学院科研质量提高经费(编号:SZ2012013);北京市园林绿化局育种研发项目(编号:YL-HH201300115、YLHH201400115);北京市教育委员会科技计划(编号:KM201110020011、KM201210020005)。

作者简介:张秀芳(1988—),女,北京人,硕士研究生,助教,从事园林植物栽培与应用研究。E-mail:zhangxiufang006@163.com。

通信作者:刘克锋,硕士,研究员,硕士生导师,从事土壤肥料与花卉栽培及引种选育研究。E-mail:liukefeng006@163.com。

表1 L<sub>9</sub>(3<sup>4</sup>)正交设计的因素与水平

水平	因素			
	A:温度(℃)	B:基质比	C:营养液配比	D:施肥频率(d/次)
1	15~20	国产草炭:珍珠岩:蛭石=1:1:1	氮:磷:钾=1:0.2:0.4	4
2	20~25	国产草炭:珍珠岩:蛭石=3:1:1	氮:磷:钾=1:0.4:0.4	8
3	25~30	进口基质:珍珠岩:蛭石=3:1:1	氮:磷:钾=1:0.4:0.8	12

表2 各处理组合营养生长指标平均值

处理组合	株高(cm)	茎粗(cm)	叶片数(张)	叶面积(cm <sup>2</sup> )
1	22.75	0.63	83.80	31.34
2	25.51	0.64	60.80	20.81
3	30.06	0.66	52.80	28.80
4	25.31	0.66	61.00	34.25
5	27.13	0.70	91.00	45.64
6	31.69	0.69	65.00	34.48
7	25.69	0.60	74.20	28.92
8	25.63	0.47	58.80	21.76
9	32.75	0.61	126.80	41.85



图1 不同处理对一串红生长发育的影响

由表3可以看出,温度对茎粗、叶片数、叶面积的影响极显著,对株高的影响显著;基质对株高、叶面积的影响极显著,对茎粗、叶片数的影响显著;营养液配比对叶片数、叶面积的影响极显著,对茎粗的影响显著,对株高的影响不显著;施肥频率对叶片数、叶面积的影响极显著,对茎粗的影响显著,对株高的影响不显著。为了进一步确定哪个水平对一串红形态指标的影响最明显,分别对4个因素做新复极差检验。

表3 营养生长指标正交试验方差分析结果(F值)

指标	温度	基质	营养液配比	施肥频率
株高	4.562*	48.970**	1.421	0.430
茎粗	20.490**	3.450*	4.417*	4.162*
叶片数	12.087**	3.723*	5.392**	54.828**
叶面积	57.076**	14.514**	12.479**	77.761**

注:“\*\*”表示在0.01水平上影响显著;“\*”表示在0.05水平上影响显著。表6、表9、表12、表15同。

由表4可以看出,最利于一串红营养生长指标达到最大值的方案是A<sub>2</sub>B<sub>3</sub>C<sub>3</sub>D<sub>1</sub>,即温度为20~25℃,基质配比为进口基质:珍珠岩:蛭石=3:1:1,营养液配比为氮:磷:钾=1:0.4:0.8,施肥频率为4d/次。

## 2.2 不同处理对一串红生殖生长的影响

花是一串红的主要观赏特性,通过研究不同处理对其花期生长指标的影响,找到适宜其开花的条件,可以提高一串红

面积。其中株高是影响一串红的重要因素,不同消费者对植株的高度要求不同。茎的粗细、叶片数的多少、叶面积的大小是植物生长量的重要指标,可以根据茎的粗细、叶片数的多少、叶面积的大小来反映各处理组合一串红的生长情况。试验结果见表2、图1,可见不同处理对一串红植株株高、茎粗、叶片数、叶面积生长的影响不同。

由表2可以看出,处理9的株高最高、叶片数最多;处理5的茎最粗、叶面积最大,可见各形态指标表现最优秀的并不是体现在同一组合中。为了更好地得出哪个因素对一串红的形态指标影响最显著,对各形态指标数值进行方差分析。

表4 营养生长指标新复极差检验结果

指标	温度	基质	营养液配比	施肥频率
株高	A <sub>2</sub>	B <sub>3</sub>	/	/
茎粗	A <sub>2</sub>	B <sub>3</sub>	C <sub>3</sub>	D <sub>1</sub>
叶片数	A <sub>3</sub>	B <sub>3</sub>	C <sub>2</sub>	D <sub>1</sub>
叶面积	A <sub>2</sub>	B <sub>3</sub>	C <sub>3</sub>	D <sub>1</sub>

注:“/”表示经过新复极差检验,该因子的4个水平无显著差异。表7、表10、表16同。

的观赏价值。本试验结果见表5、图1,可见不同处理对一串红花枝数、花序长的影响不同。

表5 各处理组合开花情况

处理组合	花枝数(枝/株)	花序长(cm)
1	5.40	21.68
2	6.20	22.64
3	5.40	23.88
4	4.40	21.98
5	7.00	25.66
6	6.60	25.38
7	6.20	23.72
8	3.80	21.72
9	5.20	24.12

由表5可以看出,处理5的花枝数最多,为7.00枝/株;

处理5的的花序最长,为25.66 cm。为了确定哪个因素对一串红的开花情况影响最显著,分别对花枝数、花序长进行方差分析。

由表6可以看出,温度、营养液配比、施肥频率对花枝数、花序长的影响极显著;基质对花序长的影响极显著,对花枝数的影响不显著。为了进一步确定哪个水平对一串红花期生长指标的影响最明显,对4个因素做新复极差检验。

表6 花枝数和花序长正交试验方差分析结果(F值)

指标	温度	基质	营养液配比	施肥频率
花枝数	5.491**	1.127	7.127**	21.418**
花序长	7.501**	10.984**	8.199**	6.567**

由表7可以看出,最利于一串红花期生长指标达到最大值的方案是A<sub>2</sub>B<sub>3</sub>C<sub>3</sub>D<sub>2</sub>,即温度为20~25℃,基质配比为进口基质:珍珠岩:蛭石=3:1:1,营养液配比为氮:磷:钾=1:0.4:0.8,施肥频率为8 d/次。

表7 花枝数和花序长新复极差检验结果

指标	温度	基质	营养液配比	施肥频率
花枝数	A <sub>2</sub>	/	C <sub>3</sub>	D <sub>2</sub>
花序长	A <sub>2</sub>	B <sub>3</sub>	C <sub>3</sub>	D <sub>2</sub>

### 2.3 不同处理对一串红干物质质量的影响

干物质是衡量植物有机物积累、营养成分高低的一个重要指标。植物干质量越大,有机物积累越多,营养成分含量越高。通过研究不同因素水平对一串红干物质质量的影响,以找到适宜其干物质积累的因素水平,对指导生产有重要意义。由表8可见,不同处理组合对一串红干物质质量的影响不同。

由表8可以看出:处理5的地上部分干质量最大,植株总干质量最大;处理6的地下部分干质量最大。为了能更明确地得出哪个因素对一串红的干物质质量影响最大,对各部分干质量进行方差分析。

表8 各处理组合干物质质量平均值

处理组合	地上部分干质量(g)	地下部分干质量(g)	植株总干质量(g)
1	8.68	1.31	9.99
2	5.00	0.77	5.77
3	5.93	0.93	6.86
4	5.73	0.94	6.67
5	9.69	1.27	10.96
6	7.43	1.38	8.81
7	5.47	0.80	6.27
8	4.55	0.72	5.27
9	9.41	1.34	10.75

由表9可以看出,温度对地上部分干质量、植株总干质量的影响极显著,对地下部分干质量的影响不显著;基质对地上部分干质量、植株总干质量的影响极显著,对地下部分的干质量影响显著;营养液对比对植株干质量的影响不显著;施肥频率对地上部分干质量、地下部分干质量、植株总干质量的影响极显著。为了进一步确定哪个水平对一串红干物质质量的影响最明显,对4个因素做新复极差检验。

由表10可以看出,最利于一串红干物质质量积累的方案是A<sub>2</sub>B<sub>3</sub>CD<sub>1</sub>,即温度为20~25℃,基质配比为进口基质:珍珠岩:蛭石=3:1:1,施肥频率为4 d/次。

表9 干物质质量正交试验方差分析结果(F值)

指标	温度	基质	营养液配比	施肥频率
地上部分干质量	6.508**	6.214**	0.395	68.291**
地下部分干质量	2.500	3.519*	0.866	8.005**
植株总干质量	7.486**	7.640**	0.375	67.396**

表10 干物质重新复极差检验结果

指标	温度	基质	营养液配比	施肥频率
地上部分干质量	A <sub>2</sub>	B <sub>3</sub>	/	D <sub>1</sub>
地下部分干质量	/	B <sub>3</sub>	/	D <sub>1</sub>
植株总干质量	A <sub>2</sub>	B <sub>3</sub>	/	D <sub>1</sub>

### 2.4 不同处理对一串红叶绿素含量的影响

叶绿素含量不仅可以反映植株体内氮素营养情况,而且叶绿素在光合作用过程中起着接受、转换能量的作用,其含量、组成与光合碳同化效率有关,直接影响植物的光合能力<sup>[13-14]</sup>。叶绿素含量反映植物光合作用的强度,可作为衡量植株生长状况的重要生理指标。由表11可见,不同处理组合对一串红叶绿素含量影响不同。

由表11可以看出,处理7的叶绿素含量最高。为了能进一步明确哪个因素对一串红叶绿素含量的影响最大,对叶绿素含量进行方差分析。

表11 各处理组合叶绿素含量的平均值

处理组合	叶绿素含量(mg/g)
1	2.27
2	1.60
3	2.52
4	2.49
5	2.73
6	2.40
7	2.74
8	1.89
9	2.62

由表12可以看出,温度、基质、营养液配比、施肥频率等4个因素对叶绿素含量的影响均达到极显著水平。为了进一步确定哪个水平对一串红叶绿素含量的影响最明显,对4个因素做新复极差检验,结果见表13。

表12 叶绿素含量正交试验方差分析结果(F值)

指标	叶绿素含量
温度	12.346**
基质	18.003**
营养液配比	19.396**
施肥频率	6.7167**

由表13可以看出:最利于一串红叶绿素含量增加的方案是A<sub>2</sub>B<sub>3</sub>C<sub>3</sub>D<sub>1</sub>,即温度为20~25℃,基质配比为进口基质:珍珠岩:蛭石=3:1:1,营养液配比为氮:磷:钾=1:0.4:0.8,施肥频率为4 d/次。

表13 叶绿素含量新复极差检验结果

指标	温度	基质	营养液配比	施肥频率
叶绿素含量	A <sub>2</sub>	B <sub>3</sub>	C <sub>3</sub>	D <sub>1</sub>

### 2.5 不同处理对一串红叶片养分含量的影响

植物通过代谢过程合成有机物,进行储存或呼吸作用,植物体内营养物质的积累成分可以反映植物自身营养成分的均

衡及生长发育状况<sup>[15-17]</sup>。氮磷钾是植物生长发育所必需的矿物质元素中最基本的大量元素<sup>[18-19]</sup>，在吸收上有一定的相互作用<sup>[20-21]</sup>。由表14可见，不同处理对一串红叶片养分含量的影响不同。

由表14可以看出，处理9的叶片全氮含量最高，处理3的叶片全磷、全钾含量最高。为了更好地得出哪个因素对一串红叶片养分含量影响最大，对各养分含量值进行方差分析。

表14 各处理组合叶片养分含量的平均值

处理组合	全氮含量 (%)	全磷含量 (%)	全钾含量 (%)
1	4.43	0.32	2.42
2	4.10	0.49	2.54
3	4.48	0.55	3.57
4	3.07	0.42	2.13
5	4.44	0.54	3.33
6	3.10	0.50	2.26
7	3.31	0.39	2.38
8	3.11	0.31	2.15
9	4.52	0.51	3.45

由表15可以看出，温度对叶片全氮含量的影响极显著，对叶片全磷、全钾含量的影响不显著；基质对叶片全氮、全磷、全钾含量的影响显著；营养液配比对叶片全氮含量的影响极显著，对叶片全磷、全钾含量的影响显著；施肥频率对叶片全氮含量的影响极显著，对叶片全磷、全钾含量的影响不显著。为了进一步确定哪个水平对一串红叶片养分含量的影响最显著，对4个因素做新复极差检验。

表15 叶片养分含量正交试验方差分析结果(F值)

指标	温度	基质	营养液配比	施肥频率
全氮含量	17.608**	4.435*	6.700**	27.357**
全磷含量	1.975	5.356*	4.236*	0.273
全钾含量	0.442	3.598*	3.905*	2.746

由表16可知，最利于一串红叶片养分含量增加的方案是A<sub>1</sub>B<sub>3</sub>C<sub>3</sub>D<sub>1</sub>，即温度为15~20℃，基质配比为进口基质：珍珠岩：蛭石=3:1:1，营养液配比为氮：磷：钾=1:0.4:0.8，施肥频率为4 d/次。

表16 叶片养分含量新复极差检验结果

指标	温度	基质	营养液配比	施肥频率
全氮含量	A <sub>1</sub>	B <sub>3</sub>	C <sub>3</sub>	D <sub>1</sub>
全磷含量	/	B <sub>3</sub>	C <sub>3</sub>	/
全钾含量	/	B <sub>3</sub>	C <sub>3</sub>	/

### 3 结论

本研究采用正交试验设计深入研究不同温度、基质、营养液配比、施肥频率对一串红营养生长、生殖生长、干物质质量、叶绿素含量及叶片养分含量的影响。结果发现，温度、基质、营养液配比、施肥频率都是影响一串红生长发育的显著因子，具体结论有：(1)最适宜一串红营养生长的方案是A<sub>2</sub>B<sub>3</sub>C<sub>3</sub>D<sub>1</sub>，即温度为20~25℃，基质配比为进口基质：珍珠岩：蛭石=3:1:1，营养液配比为氮：磷：钾=1:0.4:0.8，施肥频率为4 d/次；(2)最适宜一串红生殖生长的方案是A<sub>2</sub>B<sub>3</sub>C<sub>3</sub>D<sub>2</sub>，即温度为20~25℃，基质配比为进口基质：珍珠岩：蛭石=3:1:1，营养液配比为氮：磷：钾=1:0.4:0.8，施肥频率为8 d/次；(3)最适宜一串红干物质

质量增加的方案是A<sub>2</sub>B<sub>3</sub>C<sub>3</sub>D<sub>1</sub>，即温度为20~25℃，基质配比为进口基质：珍珠岩：蛭石=3:1:1，施肥频率为4 d/次；(4)最适宜一串红叶绿素含量增加的方案是A<sub>2</sub>B<sub>3</sub>C<sub>3</sub>D<sub>1</sub>，即温度为20~25℃，基质配比为进口基质：珍珠岩：蛭石=3:1:1，营养液配比为氮：磷：钾=1:0.4:0.8，施肥频率为4 d/次；(5)最适宜一串红叶片养分含量增加的方案是A<sub>1</sub>B<sub>3</sub>C<sub>3</sub>D<sub>1</sub>，即温度为15~20℃，基质配比为进口基质：珍珠岩：蛭石=3:1:1，营养液配比为氮：磷：钾=1:0.4:0.8，施肥频率为4 d/次)。综合考虑温度、基质、营养液配比、施肥频率对各项指标的影响，在本试验条件下，最适宜一串红生长的方案是A<sub>2</sub>B<sub>3</sub>C<sub>3</sub>D<sub>1</sub>，即温度为20~25℃，基质配比为进口基质：珍珠岩：蛭石=3:1:1，营养液配比为氮：磷：钾=1:0.4:0.8，施肥频率为4 d/次。

本研究初步得出了适宜一串红生长的温度、基质、营养液配比及施肥频率，完善了一串红的栽培管理技术体系，为一串红的工厂化生产提供理论指导。不同一串红品种的营养特性不同，同一品种在其不同生长发育阶段，对温度、基质、营养液配比、施肥频率的需求也不同。因此，在一串红的栽培管理过程中还要根据品种的营养特性、生长发育期适时调整栽培管理措施。

### 参考文献：

- [1]程金水,刘青林. 园林植物遗传育种学[M]. 2版. 北京:中国林业出版社,2000:224-233.
- [2]戴征凯. 金秋漫话一串红[J]. 江苏绿化,2000(5):28.
- [3]孙 滕,谢寅峰,张往祥. 盆栽海棠花期调控技术研究进展[J]. 林业科技开发,2012,26(2):1-5.
- [4]程永生. 观赏植物花期调控技术研究进展[J]. 现代园艺,2011(2):6-8.
- [5]王喜龙,朱荣杰,蒋兵涛,等. 四种不同基质对比对石竹苗期生长的研究[J]. 西藏农业科技,2011,33(2):19-21.
- [6]段 萍. 富贵竹水培营养液筛选[J]. 福建农业科技,2006(3):76-78.
- [7]谢智华,姜卫兵,张斌斌,等. 不同酸度营养液对红花檵木叶片色素及光合特性的影响[J]. 江苏农业科学,2010(6):239-243.
- [8]任建青,李枝林,周元超. 碧玉兰矿质元素施肥研究[J]. 安徽农学通报,2009,15(8):115-117.
- [9]冀荣华,郑立华,邓小蕾,等. 基于反射光谱的苹果叶片叶绿素和含水率预测模型[J]. 农业机械学报,2014,45(8):269-275.
- [10]曾德慧,陈广生,陈伏生,等. 不同林龄樟子松叶片养分含量及其再吸收效率[J]. 林业科学,2005,41(5):21-27.
- [11]鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京:中国农业科技出版社,2000.
- [12]鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3版. 北京:中国农业出版社,2003:58-76.
- [13]Krause G H,Weis E. Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: The basics [J]. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology,1991,42:313-349.
- [14]姜卫兵,庄 猛,韩浩章,等. 彩叶植物呈色机理及光合特性研究进展[J]. 园艺学报,2005,32(2):352-358.
- [15]沈善敏,宇万太,张 璐,等. 杨树主要营养元素内循环及外循环研究 I. 落叶前后各部位养分浓度及养分贮量变化[J]. 应用生态学报,1994,3(4):296-301.

王 帅,黄德娟,黄德超,等. 蕹菜对铀的富集特征及其形态分析[J]. 江苏农业科学,2016,44(8):266-268.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.08.076

# 蕹菜对铀的富集特征及其形态分析

王 帅<sup>1</sup>,黄德娟<sup>1,2</sup>,黄德超<sup>2</sup>,张如金<sup>2</sup>,周 环<sup>2</sup>

(1. 东华理工大学水资源与环境工程学院,江西南昌 330013; 2. 东华理工大学化学生物与材料科学学院,江西南昌 330013)

**摘要:**以盆栽江西原种大叶蕹菜作为供试作物,铀矿区污染土壤作为供试土壤,采用改良的亚钛还原钒酸铵滴定法及改进的BCR提取方法,研究重金属元素铀在污染土壤和蕹菜的富集作用和赋存形态。结果表明,蕹菜对铀的富集系数在0.5左右,是一种低积累农作物,其中,蕹菜对土壤中铀的富集主要是根部;当土壤铀浓度为27.900 mg/kg时,其土壤中铀的主要赋存形态是残渣态,而其他4个处理组土壤铀的主要赋存形态是弱酸提取态和可还原态。

**关键词:**蕹菜;铀;富集;化学形态;土壤

**中图分类号:** X171.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2016)08-0266-03

20世纪50年代以来,随着核电事业在我国得到高度重视,铀矿冶工业取得突飞猛进的发展,已经探明的大小铀矿床有200多个,其中85%主要分布在湘、赣、粤等地区<sup>[1]</sup>。铀矿在开采过程中,会长时间占用、破坏、甚至污染土壤,导致我国许多铀矿区附近的土壤被伴生的重金属污染,严重影响附近居民的生存和人体健康。土壤重金属污染已成为突出的全球性问题<sup>[2]</sup>。

BCR提取法<sup>[3]</sup>适合于污染土壤样品的分析测定,现已成为国内外研究土壤、沉积物重金属污染形态最为广泛的方法。BCR提取法经过多次的试验比对和改进,目前步骤相对较少,形态之间串相不严重,普遍得到业界的广泛认可和应用<sup>[4]</sup>。本试验采用改进的BCR提取法<sup>[5-6]</sup>及东华理工大学水资源与环境工程学院的发明专利“改进的亚钛还原钒酸铵滴定法”<sup>[7-8]</sup>微量测定土壤中铀的赋存形态,以探讨蕹菜对铀的富集作用及其在土壤中的赋存形态,为研究该区域土壤重金属污染治理与生态修复提供科学依据,并对农业生产和居民的健康提供理论指导。

## 1 材料与方 法

收稿日期:2016-03-11

基金项目:国家自然科学基金(编号:41361088);江西省教育厅重点科技项目(编号:GJJ13473)。

作者简介:王 帅(1990—),男,河南洛阳人,硕士研究生,主要从事铀矿区土壤重金属污染与修复研究。E-mail:1083372602@qq.com。

通信作者:黄德娟,教授,硕士生导师,主要从事环境污染治理等领域研究。E-mail:851750880@qq.com。

### 1.1 供试材料与预处理

选取江西原种大叶蕹菜(*Ipomoea aquatica*)种子作为供试材料,将种子用蒸馏水浸泡3 h;采用药液浸种消毒法,用1% CuSO<sub>4</sub>溶液浸泡种子消毒10 min;用自来水冲洗数次,蒸馏水冲洗3次;用滤纸将水吸干,温水浸泡,置于生化培养箱进行光照培养,待长出嫩尖,挑选长势均匀的种子进行播种<sup>[9]</sup>。供试土壤为黄棕壤,pH值为6.37,有机质含量为5.1%,阳离子交换量(CEC)为11.36 cmol/kg,有效氮、有效磷、有效钾含量分别为48.64、28.31、44.69 mg/kg。

氮肥、磷肥、钾肥的配制<sup>[10]</sup>:称取过3 mm筛的风干土样,每盆加入2.5 kg供试土壤,以溶液形式加入尿素3 g/盆、KCl 1 g/盆、KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> 1 g/盆,混合均匀;将土样进行机械搅拌,加250 mL蒸馏水湿润,土壤室温陈化2周,待用。

### 1.2 试验方法

试验采用单因子5水平均匀设计,重金属铀污染浓度设计为:CK<sub>0</sub>(对照组),土壤几乎无污染,铀浓度为2.76 mg/kg,接近全国土壤背景值2.79 mg/kg<sup>[11]</sup>,远低于江西省土壤背景值4.40 mg/kg<sup>[12]</sup>;CK<sub>1</sub>,土壤铀浓度为11.475 mg/kg;L<sub>1</sub>,土壤铀浓度为16.665 mg/kg;L<sub>2</sub>,土壤铀浓度为22.245 mg/kg;L<sub>3</sub>,土壤铀浓度为27.900 mg/kg。将铀溶液按试验设计浓度添加到土壤中,陈化2周,保持土壤含水率达到田间持水率的60%;每盆播蕹菜种15粒,待幼苗生长到2~3周开始间苗,每盆定长势均匀的优势植株8株,每一处理重复3次;蕹菜栽种40 d成熟,整株收获;将植株分为根部和地上部,分别用自来水和蒸馏水洗净,晾干,并称鲜质量;将蕹菜105℃杀青30 min,80℃烘干48 h,称干质量,计算含水率;用研钵研碎,过0.25 mm筛,经进一步碳化、灰化处理,得粉末状植物样

[16]覃文更,黄承标,韦国富,等. 木论林区枯枝落叶层的水文作用及其养分含量的研究[J]. 森林工程,2004,20(4):6-8.

[17]Kadeba O. Above-ground biomass production and nutrient accumulation in an age sequence of *Pinus caribaea* stands[J]. Forest Ecology & Management, 1991, 41(3/4):237-248.

[18]赵九洲,陈松笔. 基质与氮磷钾比例对蝴蝶兰(*Phalaenopsis hybridum*)生长发育的影响[J]. 园艺学报,2000,27(5):383-

384.

[19]董运斋,王四清. 氮磷钾配比对大花蕙兰花芽分化及开花品质的影响[J]. 北京林业大学学报,2005,27(3):76-78.

[20]刘 乡,刘大会,杨特武,等. 氮、钾对盆栽药菊的生长、产量及品质影响[J]. 中药材,2007,30(11):1356-1359.

[21]刘大会,杨特武,朱端卫,等. 不同钾肥用量对福田河白菊产量和质量的影响[J]. 中草药,2007,38(1):120-124.