

缓释复合肥养分释放特性和黄连生物效应研究

张浩^{1,3}, 陈仕江^{2*}, 王正银¹, 李会合¹, 苏胜齐¹

(1 西南农业大学资源环境学院, 重庆 400716; 2 重庆市中药研究院, 重庆 400065;

3 浙江大学生命科学院生态所, 浙江杭州 310029)

摘要: 采用连续恒温培养和大田试验研究了4种缓释复合肥在种植黄连的土壤(森林黄棕壤)中的养分释放特性及其对黄连产量和药用品质的效应。结果表明, 20℃恒温模拟条件下缓释复合肥氮、磷、钾养分缓释性能较佳, 3种养分释放的动力学过程可用 Elovich 方程 $S_t = a + blnt$ 、双常数方程 $\ln S_t = a + blnt$ 和抛物线扩散方程 $S_t = a + bt^{0.5}$ 表征, 各方程参数 b 值均可用于描述缓释复合肥氮、磷、钾养分释放速率。在田间试验中4种缓释复合肥极显著提高3~5年生黄连产量, 大幅度提高黄连小檗碱和生物碱产量, 并以 SRF₃、SRF₂ 和 SRF₁ 3种缓释复合肥的效应大。

关键词: 黄连; 缓释复合肥; 养分释放; 生物效应

中图分类号: S567.06; S145.6

文献标识码: A

文章编号: 1008-505X(2004)06-0588-06

Study on nutrient release characteristics of compound slow release fertilizer and the biological response of Chinese goldthread

ZHANG Hao^{1,3}, CHEN Shi-jiang^{2*}, WANG Zheng-yin¹, LI Hui-he¹, SU Sheng-qi¹

(1 College of Resour. & Environ. Sci., Southwest Agric. Univ., Chongqing 400716, China; 2 Academe of Chinese Traditional Medicine Chongqing, Chongqing 400065, China; 3 Ecology Inst. of Life College, Zhejiang Univ., Hangzhou 310029, China)

Abstract: Continuous constant temperature incubations and field experiments were adopted to study the nutrient release characteristics of four compound slow release fertilizers and the effect on yield and medical qualities of rhizome of Chinese goldthread. The results indicated that the nitrogen, phosphorus and potassium had good slow release capability of four compound slow release fertilizers incubated under the simulation conditions(20℃). The dynamical processes of nutrient release were described correctly by Elovich equation ($S_t = a + blnt$), double constant equation ($\ln S_t = a + blnt$) and parabola diffuse equation($S_t = a + bt^{0.5}$) and nutrient release rate could be described by parameter b of all equations. Rhizome yields and berberine and alkaloid contents of Chinese goldthread were increased significantly used four compound slow release fertilizers, and the maximum biological response of rhizome of Chinese goldthread, which growing third to fifth years, were SRF₂, SRF₁ and SRF₃, respectively.

Key words: compound slow release fertilizer; Chinese goldthread; nutrient release; biological effect

黄连(*Coptis chinensis* Franch)为多年生中药材, 药用价值高。重庆市石柱县黄连发展历史悠久, 产量占全国的40%^[1-2]。然而, 黄连栽培中存在着凭经验施肥、缺乏科学性, 造成养分利用率不高及环境污染等问题。研究表明, 中药材施肥应以有机肥、缓释肥料为主^[3-8]。但是, 目前生产中还缺乏适应黄连营养特性的缓释专用肥料, 制约了黄连栽培规范

化和加工产业化的进程。为此, 在对不同生长期黄连植株营养特性和植连土壤农化特性研究基础上^[9], 对初步研制出的4种黄连缓释复合肥, 进行了在土壤中养分释放特性及其对黄连产量和品质影响的研究, 以期筛选优质黄连复合肥, 促进区域特色农业发展提供科学依据。

收稿日期: 2003-11-18

修改稿收到日期: 2004-03-01

基金项目: 国家“863”计划(2001AA246022); “十五”科技攻关项目(2001BA604A04); 重庆市科委攻关项目资助。

作者简介: 张浩(1978-), 男, 河南省内乡县人, 现为浙江大学博士研究生, 主要从事农业生态技术、环境生态研究。* 通讯作者

1 材料与方

1.1 供试材料

供试土壤为主要植连土壤森林黄棕壤(强酸性),由第四纪红色黏土发育而成,采自重庆市石柱县黄水镇黄连规范化栽培(GAP)基地。质地为沙壤,pH值4.4,有机质48 g/kg,土壤有效N、P、K、Ca、

Mg、S、Fe、Mn、Cu、Zn、B、Mo分别为199、2.00、29.2、936、13.5、57.7、2.83、32.4、0.305、2.37、0.121、0.118 mg/kg。

供试4种不同类型黄连缓释复合肥料系西南农业大学研制,其基本性状见表1。对照为普通复混肥料。4种缓释复合肥料经25℃去离子水浸泡试验,N、P、K养分释放期在90d以上^[10]。

表1 供试缓释复合肥料基本状况

Table 1 Basic status of compound slow release fertilizer

处理 Treatment	类型 Type	N-P ₂ O ₅ -K ₂ O (%)	微量元素 Microelement (%)	有机物 Organic matter (%)	缓释剂 Slow release agent (%)
CK	无机高氮、磷 Inorg. high N and P	12—12—6	0	0	0
SRF ₁	有机-无机高氮、磷 Org. -inor. high N and P	12—12—6	3	20	20
SRF ₂	无机高氮高磷 Inorg. high N and P	12—12—6	3	0	20
SRF ₃	有机-无机高钾 Org. -inorg. high K	10—6—14	3	20	20
SRF ₄	有机-无机高磷 Org. -inorg. high P	10—14—6	3	20	20

1.2 试验方法

1.2.1 培养试验 土壤培养采用好气培养间歇淋洗法^[11],用于评价缓释复合肥料在土壤中养分释放规律。取底部有小孔(2mm)的聚乙烯塑料管(直径3.5cm、长15cm),底部先放一层薄纱布再装入2cm厚石英砂,将2.0g肥料和10g土壤混匀装入培养管,最后再装入2cm厚石英砂,加入少许0.01mol/L CaCl₂溶液使其湿润,并用带有小孔(1mm)薄膜将其密封好于20℃(黄连生长最适温度)^[8]条件下培养。分别于1、2、3、7、10、14、21、28、42d用50mL 0.01mol/L CaCl₂溶液自然淋洗,取淋洗液测定无机氮(NO₃⁻-N、NH₄⁺-N)、水溶性磷、钾,同时以不加肥料的土壤做对照。

1.2.2 田间试验 分别在3至5年生的黄连地上进行,均设CK、SRF₁、SRF₂、SRF₃、SRF₄等5个处理,3次重复。小区面积为1m×2m。试验于2001年3月开始,至2002年12月为一阶段。肥料分春肥(4月)和秋肥(9月)两次施用。其它田间管理同常规。2002年12月采集黄连植株样品,烘干测定生物量、产量,根茎样品磨细过0.25mm筛,测定药用品质小檗碱和生物碱。

1.3 测定项目与方法

测定项目包括:基础土样的pH、有机质、氮、磷、钾、钙、镁、硫、铁、锰、铜、锌、硼、钼有效含量;缓释复合肥料土壤淋洗液中NO₃⁻-N、NH₄⁺-N、水溶性P、水溶性K;黄连植株样品的药用成分小檗碱和生物

碱。

土壤pH值、有机质和有效氮、磷、钾养分按常规方法测定^[12],土壤有效硫用比浊法测定,有效钙、镁用醋酸铵浸提,铁、锰、铜、锌用HCl提取,用原子吸收分光光度法测定^[13],有效硼用沸水提取,姜黄素比色法测定,有效钼用Tamm液提取、催化极谱法测定^[13]。碱还原扩散法测NO₃⁻-N和NH₄⁺-N,钒钼黄比色法测定水溶性磷,原子吸收分光光度法测定水溶性钾^[12]。黄连药用成分小檗碱和生物碱用Waters高效液相色谱仪、Zorbax-cn柱(美国du-pont公司)及Ufctgcoo(美国millipore公司)分离测定^[13],在重庆市中药研究院完成。

2 结果与分析

2.1 缓释复合肥料在土壤中养分累积释放特性

模拟条件下,缓释复合肥料N、P和K的释放累积量(图1)均小于CK,且各缓释复合肥料氮素变化趋势较为一致。20℃条件下,4种缓释复合肥料中氮素释放累积量范围为4~30mg/g,比较氮素含量相同的SRF₁、SRF₂和SRF₃、SRF₄,氮素释放累积量SRF₁>SRF₂和SRF₄>SRF₃,表明该4种缓释复合肥料氮素缓释性能以SRF₂优于SRF₁,SRF₃优于SRF₄。缓释复合肥料磷素释放累积量在8~60mg/g;比较含磷量相同的SRF₁、SRF₂,磷素释放累积量以SRF₁>SRF₂,可见,磷素缓释性能以SRF₂优于SRF₁。钾素释放累积量仅为5~40mg/g。SRF₁、SRF₂、SRF₄3个钾素含

量相同缓释肥中,钾素释放累积量为 $SRF_2 > SRF_1 > SRF_4$,即钾素缓释性能为 SRF_4 优于 SRF_1 和 SRF_2 。 SRF_4 中氮素释放累积量最高,与该肥料磷素含量最高一致,是否与高磷缓释肥在低磷土壤中有利于土壤氮磷平衡,从而促进了肥料氮素的分解释放有关,有待进一步研究。

4种缓释复合肥氮、磷、钾养分释放累积量均低于普通肥料,累积释放量顺序为 $P > K > N$,这种养分释放特点更适合黄连生长中后期对 P 、 K 养分需求量大的特点。可见,供试的4种缓释复合肥在黄

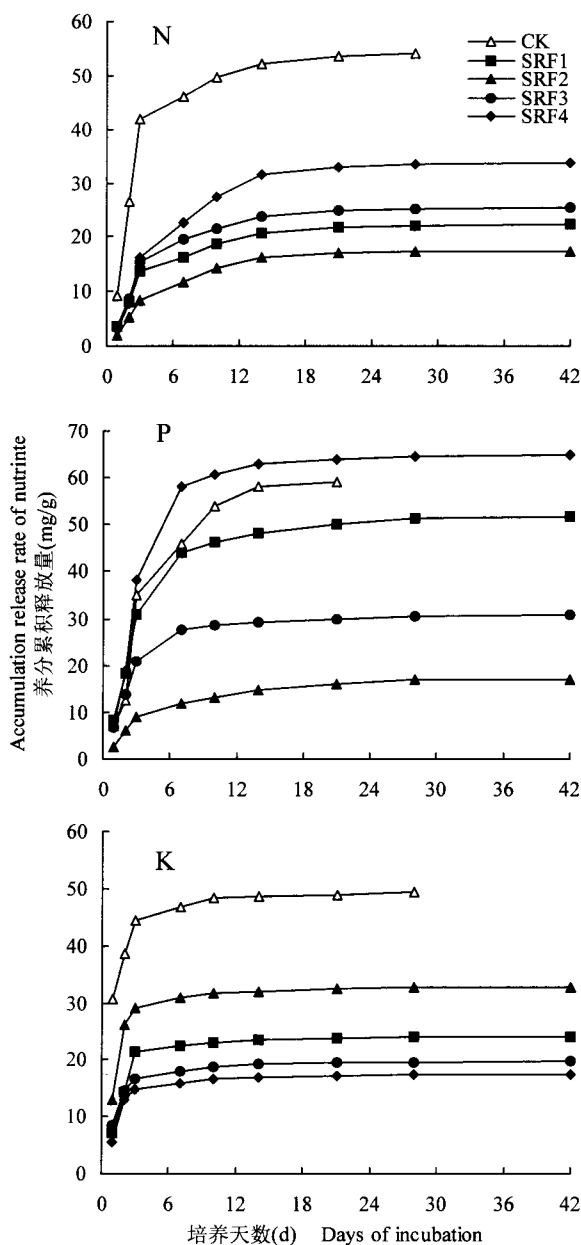


图1 缓释复合肥氮磷钾养分释放累积曲线
Fig.1 NPK accumulation release curve of compound slow release fertilizer

连生长的最适温度(20℃)和强酸性土壤条件下 N 、 P 、 K 释放规律基本一致,适宜作为黄连缓释专用肥。

2.2 缓释复合肥养分释放的动力学特征

氮素的矿化常用一级反应方程式拟合^[14-19]。王正银等用 Elovich 方程、抛物线扩散方程表征几种缓释尿基复合肥氮素释放,拟合度较高^[11]。本试验对不同培养时间下缓释复合肥养分释放累积量分别用3种动力学方程即 Elovich 方程、双常数方程、抛物线扩散方程进行了拟合(表2),获得很好的拟合度。从相关系数大小和变幅看,以 Elovich 方程拟合效果最好,双常数方程次之。各拟合方程参数 b 与缓释肥养分释放累积量大小和变化规律基本相同,可用于反映养分的释放速率。

表2显示,氮素含量相同的 SRF_1 、 SRF_2 和 SRF_3 、 SRF_4 的 b 值分别为 $SRF_2 > SRF_1$ 、 $SRF_4 > SRF_3$,这与氮素相同的缓释肥氮素释放累积量变化特点相同,表明用上述方程表征缓释肥氮素释放的动力学特征是适宜的,采用该方程可对供试缓释肥在土壤中氮素养分的释放特征和缓释性能进行预测。

表2还看出,3个拟合方程参数 b 的大小与缓释复合肥磷素释放累积量的大小变化规律大致相同,可用于反映磷素养分释放速率。缓释复合肥在该条件下其 b 值大小顺序为 $SRF_4 > SRF_1 > SRF_2 > SRF_3$ 。缓释肥中磷素含量相同的 SRF_1 、 SRF_2 磷素释放动力学方程参数 b 大小为: $SRF_1 > SRF_2$,其顺序与这两种缓释复合肥磷素释放累积量大小顺序一致。表明缓释肥中磷素养分释放的动力学特征可用上述方程表征,从而为量化描述土壤中缓释肥磷素释放提供了科学依据。

拟合方程参数 b 的变化与缓释复合肥钾素释放累积量的变化规律大致相同(表2),因此可用于反映钾的释放速率。缓释复合肥在不同温度条件钾素 b 值大小顺序大体一致,均为 $SRF_3 > SRF_1 > SRF_4 > SRF_2$ 。从上述 b 值大小顺序可知,钾素含量相同的 SRF_1 、 SRF_2 、 SRF_4 的动力学参数 b 值大小顺序与上述三者钾素释放累积量顺序一致,表明在土壤中缓释复合肥钾素养分释放过程可用3个动力学方程定量描述。

从上述分析可知,用3个动力学方程拟合缓释复合肥的氮磷钾养分释放动力学效果较好,表明可根据这些方程定量描述供试缓释复合肥在土壤中养分的释放状况。

表2 缓释复合肥料在土壤中的氮、磷、钾养分释放动力学参数

Table 2 Parameters of N, P and K release dynamic of compound slow release fertilizer in soil

处理 Treatment	Elovich 方程 Elovich equation			双常数方程 Double constant equation			抛物线扩散方程 Parabola diffuse equation		
	$S_t = a + blnt$			$\ln S_t = a + blnt$			$S_t = a + bt^{0.5}$		
	a	b	r	a	b	r	a	b	r
N									
CK	248	94.0	0.950	9.52	0.592	0.882	232	65.8	0.867
SRF ₁	49.6	56.4	0.980	3.97	0.501	0.923	56.0	32.1	0.884
SRF ₂	53.3	66.2	0.975	4.02	0.535	0.916	62.6	37.0	0.869
SRF ₃	24.0	48.7	0.990	3.41	0.443	0.903	28.4	27.9	0.904
SRF ₄	33.7	98.4	0.988	3.87	0.681	0.935	42.6	56.8	0.902
$\bar{\chi}$			0.977			0.912			0.885
P									
CK	256	156	0.990	8.94	0.921	0.967	115	110	0.957
SRF ₁	122	133	0.967	4.83	0.562	0.915	78.6	91.1	0.922
SRF ₂	101	70.5	0.950	4.58	0.527	0.901	79.0	48.4	0.894
SRF ₃	33.6	42.3	0.994	3.66	0.518	0.943	21.2	28.1	0.959
SRF ₄	123	183	0.953	4.82	0.601	0.896	59.6	128	0.913
$\bar{\chi}$			0.971			0.924			0.929
K									
CK	373	46.5	0.931	5.81	0.165	0.922	319	42.0	0.851
SRF ₁	162	20.1	0.822	4.66	0.225	0.837	127	23.0	0.735
SRF ₂	128	14.1	0.947	4.45	0.197	0.809	79.9	15.9	0.513
SRF ₃	263	28.1	0.926	5.22	0.248	0.856	210	23.9	0.765
SRF ₄	144	16.7	0.941	4.70	0.224	0.857	120	15.4	0.769
$\bar{\chi}$			0.913			0.856			0.728

$n = 8, r_{0.05} = 0.632; r_{0.01} = 0.765$

2.3 缓释复合肥料在土壤中的养分相对释放速率

在模拟连土壤缓释复合肥料氮磷钾养分相对释放速率列于表3。实测平均相对释放率($\bar{\chi}$, %/d)与拟合方程求得理论值($\hat{\chi}$, %/d)的相关系数 $r = 0.822^{**}$, 且 RMS 较小。不同缓释复合肥料氮素相对释放速率大小顺序一致, 为 $SRF_4 > SRF_1 > SRF_2 > SRF_3$, 即4种缓释肥的氮素缓释性能以 $SRF_3 > SRF_2 > SRF_1 > SRF_4$ 。在20℃条件下, 缓释复合肥料氮素的相对释放速率为0.34%/d~1.50%/d。缓释复合肥料磷素相对释放速率的大小顺序为 $SRF_1 > SRF_4 > SRF_3 > SRF_2$, 即4种缓释复合肥料的磷素缓释性能以 $SRF_2 > SRF_3 > SRF_4 > SRF_1$ 。缓释复合肥料钾素相对释放速率的大小顺序为 $SRF_2 > SRF_3 > SRF_1 > SRF_4$, 即4种缓释复合肥料的钾素缓释性能以 $SRF_4 > SRF_1 > SRF_3 > SRF_2$ 。

2.4 缓释复合肥料对黄连产量和品质的效应

2.4.1 对黄连产量的影响 不同缓释复合肥料处理黄连产量统计结果(表4)表明, 在3个年份黄连产

量中, 4个缓释复合肥料处理产量均显著高于CK, 并以 SRF_4 增量最大, SRF_1 次之。

2.4.2 对药用成分小檗碱和生物碱的影响 不同缓释复合肥料对3~5年生黄连根茎(药用部分)有明显影响(表4)。3年生和5年生黄连以 SRF_3 缓释复合肥料(有机无机高氮高钾型)黄连根茎药用品质最好, 小檗碱含量为7.08%、7.68%, 生物碱含量12.42%、12.63%, 这可能是由于高氮高钾组合影响了黄连植株的正常生理代谢, 促进了次生代谢物小檗碱的合成^[6]。表明在黄连中、后期生长过程中随着根茎产量的大幅度提高, 充足的钾素营养对于保证黄连优良的药用品质是十分必要的。4年生黄连药用品质以 SRF_2 缓释肥(无机高氮高磷型)较好, 小檗碱含量7.77%、生物碱含量达到12.22%, 这是因为4年生黄连根茎处于快速膨大期, 此时施用高氮高磷型缓释复合肥料, 可以满足4年生黄连根茎增重及小檗碱和生物碱合成对氮和磷的大量需求。看来肥料中氮、磷、钾比例明显影响不同年份黄连的生长发育及小檗碱含量^[5-6]。

表 3 缓释复合肥在土壤中氮、磷、钾养分释放相对速率(%)

Table 3 Relative rate of N, P and K release of compound slow release fertilizer in soil

项目 Item	1	2	3	7	10	14	21	28	42	$\bar{\chi}$	$\hat{\chi}$	r	RMS
N													
CK	7.50	11.6	18.1	24.6	29.7	36.8	39.3	42.0	nd	1.50	1.49	0.950	0.352
SRF ₁	2.97	7.17	12.8	16.3	18.0	19.8	20.7	20.9	21.2	0.51	0.50	0.975	0.099
SRF ₂	2.92	6.67	11.3	13.6	15.5	17.3	18.1	18.4	18.7	0.44	0.45	0.980	0.099
SRF ₃	1.58	4.42	7.15	9.67	11.8	13.6	14.2	14.3	14.4	0.34	0.35	0.990	0.079
SRF ₄	2.50	6.65	13.4	22.6	27.4	31.5	33.0	33.5	33.9	0.81	0.80	0.988	0.131
P													
CK	7.00	18.3	25.9	31.7	45.1	59.7	68.8	nd	nd	3.28	3.21	0.990	0.287
SRF ₁	10.1	22.2	37.2	53.2	55.6	60.3	62.0	62.1	62.2	1.48	1.45	0.967	0.154
SRF ₂	8.18	16.7	25.2	33.1	34.3	35.1	35.9	36.6	36.7	0.87	0.87	0.994	0.132
SRF ₃	6.75	15.0	22.5	29.8	33.0	37.3	39.8	42.3	42.4	1.01	1.02	0.953	0.138
SRF ₄	4.64	12.5	24.9	37.9	39.7	40.9	41.8	42.2	42.8	1.02	1.04	0.950	0.140
K													
CK	30.0	36.2	38.1	39.7	40.9	42.8	43.9	45.0	nd	1.61	1.64	0.931	0.232
SRF ₁	6.41	14.7	16.8	18.0	18.8	19.1	19.5	19.8	19.9	0.47	0.47	0.926	0.075
SRF ₂	7.49	15.2	22.4	23.6	24.3	24.7	25.1	25.2	25.3	0.60	0.61	0.822	0.120
SRF ₃	7.99	16.0	17.9	18.9	19.5	19.7	20.0	20.1	20.2	0.48	0.49	0.941	0.078
SRF ₄	7.71	13.3	15.4	16.7	17.3	17.7	18.0	18.1	18.2	0.43	0.44	0.947	0.077

n = 8, r_{0.05} = 0.632; r_{0.01} = 0.765

注(Note): 1) $\bar{\chi}$ 为全部 42d 培养的平均相对释放速率(%/d), $\hat{\chi}$ 为根据拟合方程得的平均相对释放速率(%/d)。

$\bar{\chi}$ is average relative release rate of 42 d incubation and $\hat{\chi}$ is simulation average relative release rate of 42 d incubation.

2) r 值是实测相对释放量与根据拟合方程求得平均相对释放量的相关系数。

r is correlation between average relative release rate and simulation average relative release rate.

3) nd—未测定 No detection; RMS—均方根 Root mean square.

表 4 缓释复合肥对 3 至 5 年生黄连产量和药用品质的影响

Table 4 Effect of compound slow release fertilizers on yield and medical qualities of Chinese goldthread growing 3 to 5 years

生长年限 Year	处理 Treatment	根茎产量 Yield of rhizome		小檗碱 Berberine		生物碱 Alkaloid	
		(kg/hm ²)	(%)	含量 Content (%)	产量 Yield (kg/hm ²)	含量 Content (%)	产量 Yield (kg/hm ²)
3rd	CK	2140 d C	100.0	7.02abAB	150	12.56 a A	269
	SRF ₁	2480 b A	116.0	6.14cC	152	10.89 c C	270
	SRF ₂	2300 c B	107.0	6.83bB	157	11.71abAB	269
	SRF ₃	2250 c B	105.0	7.68aA	173	12.42 a A	279
	SRF ₄	2540 a A	119.0	6.48bcBC	165	11.17bcBC	284
4th	CK	3175 b B	100.0	6.35bcBC	202	11.66 b B	370
	SRF ₁	3400 a A	107.0	6.87bB	234	12.52 a A	426
	SRF ₂	3375 a A	106.0	7.77aA	262	12.38 a A	418
	SRF ₃	3390 a A	107.0	6.11cC	207	11.50 b B	390
	SRF ₄	3450 a A	109.0	6.89bB	238	11.12 b B	384
5th	CK	3900 d C	100.0	6.73abAB	262	10.83 c C	422
	SRF ₁	4440abAB	114.0	7.06aA	313	11.91 b B	529
	SRF ₂	4350bcAB	112.0	6.40bB	278	10.39 c C	452
	SRF ₃	4260 c B	109.0	7.08aA	302	12.63 a A	538
	SRF ₄	4560 a A	117.0	6.57abAB	300	9.97 d D	455

表4还看出,生长3~5年的黄连,根茎小檗碱和生物碱含量高,小檗碱和生物碱单位面积产量也高。即3年和5年生黄连施用SRF₃缓释肥,4年生黄连施用SRF₂缓释肥,均可获得药用成分的最高产量。因此,SRF₂和SRF₃缓释复合肥可分别作为3~5年生黄连适产优质专用肥。

3 结论

20℃恒温模拟土壤培养条件下缓释复合肥氮、磷、钾养分缓释性能较佳,3种养分释放的动力学过程可用Elovich方程 $S_t = a + blnt$ 、双常数方程 $\ln S_t = a + blnt$ 和抛物线扩散方程 $S_t = a + bt^{0.5}$ 表征,各方程参数b值均可用于描述缓释复合肥氮、磷、钾养分释放速率。

在田间试验中4种缓释复合肥显著和极显著提高3~5年生黄连根茎产量,以SRF₄增量最大(9%~19%),SRF₁次之(7%~16%);4种缓释复合肥中,以SRF₃、SRF₂显著和极显著提高黄连小檗碱、生物碱含量和产量,可作为黄连适产优质缓释肥专用肥。

参考文献:

- [1] 中国医学科学院药用植物资源开发研究所. 中国药用植物栽培学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1991.
- [2] 黄正方, 杨美全, 孟忠贵, 等. 黄连生物学特性和主要栽培技术[J]. 西南农业大学学报, 1994, 16(3): 299-302.
- [3] 徐良. 中药无公害栽培加工与转基因工程学[M]. 北京: 中国医药科技出版社, 2000. 74-84
- [4] 周祖澄. 北方特种作物营养与施肥[M]. 北京: 中国农业出版社, 1995. 149-187.
- [5] 陈震, 赵杨景. 西洋参营养特点研究. II. 氮磷钾营养元素对西洋参生长的影响[J]. 中草药, 1990(5): 30.
- [6] 张丽萍, 陈震, 马小军, 等. 氮、磷、钾对黄连植株生长、小檗碱含量的影响[J]. 中国中药杂志, 1997(1): 13-14.
- [7] 周荣汉. 中药现代化与药材生产管理现代化(GAP)[J]. 国外医药·植物药分册. 1998, 13(6): 254-256.
- [8] 陈震, 王淑芳. 黄连丰产栽培技术[M]. 北京: 中国农业出版社, 2002. 10-14.
- [9] 王正银, 陈仕江, 钟国跃, 等. 石柱黄连不同生长期植株营养特性研究[J]. 植株营养与肥料学报, 2003, 9(2): 242-247.
- [10] 侯翠红. 控制释放肥料养分释放特征的研究[J]. 磷肥与复肥, 1998 (4): 6-8.
- [11] 王正银, 徐卫红, 张浩, 等. 几种缓释尿素复合肥氮素释放动力学研究[J]. 磷肥与复肥, 2002, 17(2): 13-18.
- [12] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 1998. 207-237.
- [13] 徐礼, 沙世炎. 中草药有效成分分析法(下册)[M]. 北京: 人民卫生出版社, 1984. 291-304.
- [14] 王正银, 青长乐. 紫色土氮素矿化的动力学研究[J]. 西南农业大学学报, 1992, 14(2): 158-161.
- [15] 王正银, 青长乐. 紫色土氮素矿化与作物效应的研究[J]. 中国农业科学, 1994, 27(2): 13-23.
- [16] 涂丛. 土壤中活性镍变化的动力学及其应用[J]. 土壤学报, 1996, 33(3): 287-291.
- [17] 胡国松. 氯离子和硝酸根离子吸附反应动力学的双离子选择电极研究法[J]. 土壤学报, 1990, 35(1): 49-54.
- [18] 尉庆丰. 粘土和土壤中的反应动力学[J]. 土壤通报, 1992, 23(2): 92-96.
- [19] 江长胜. 紫色母岩风化过程中养分释放规律及其快速培肥机理研究[D]. 西南农业大学硕士论文, 2001.