

喜树幼苗中喜树碱及其代谢相关酶类的分布

孙世芹^{1,2}, 阎秀峰^{2*}

(1. 哈尔滨医科大学大庆校区 药学系, 黑龙江 大庆 163319; 2. 东北林业大学
生命科学学院, 黑龙江 哈尔滨 154000)

摘要:目的 分析当年生喜树 *Camptotheca acuminata* 幼苗各部位中喜树碱的量及其生物合成途径中色氨酸合酶 (TSB) 和色氨酸脱羧酶 (TDC) 的活性。方法 用 HPLC 检测温室内不同氮素形态下砂培喜树幼苗各部位中喜树碱的量及 TSB 和 TDC 活性。结果 不同氮素形态下喜树幼苗幼叶中喜树碱量明显高于其他器官 ($P < 0.01$), 其次为茎皮和成叶, 根中的最低。TSB 活性在不同氮素形态下以幼叶最高, 茎皮、成叶和根依次减弱, 与喜树碱量呈现良好的器官对应性。不同氮素形态下 TDC 活性的最高部位为茎皮, 其次为幼叶, 成叶和根很低, 与喜树碱的量缺乏器官对应性。结论 当年生喜树幼苗喜树碱量以及 TSB 和 TDC 活性存在明显的组织器官特异性, 喜树碱的量和 TSB 活性最高部位为幼叶, 茎皮中 TDC 活性最大。

关键词: 喜树; 喜树碱; 色氨酸合酶; 色氨酸脱羧酶

中图分类号: R282.6

文献标识码: A

文章编号: 0253-2670(2008)08-1231-04

Distribution of camptothecin and its metabolism-related enzymes in *Camptotheca acuminata* seedlings

SUN Shi-qin^{1,2}, YAN Xiu-feng²

(1. Department of Pharmacy, Daqing Branch, Harbin Medical University, Daqing 163319, China;
2. College of Life Science, Northeast Forestry University, Harbin 154000, China)

Abstract: **Objective** To investigate the distribution of camptothecin (CPT), tryptophan synthase (TSB), and tryptophan decarboxylase (TDC) in *Camptotheca acuminata* seedlings. **Methods** The CPT content, TSB and TDC activities in different organs of *C. acuminata* seedlings subjected to different nitrogen forms treatments by sand culture in greenhouse were determined by HPLC. **Results** The CPT content in the young leaves of *C. acuminata* seedlings with different N-forms was significantly higher than that in other organs ($P < 0.01$), then in the stem barks and the mature leaves, and the lowest in the roots. Under different N-forms, TSB activity was the highest in the young leaves, and decreased sequentially in the stem barks, the mature leaves, and the roots, which paralleled to CPT content. TDC activity was the highest in the stem barks of the seedlings with different N-forms, then in the young leaves, and the lowest in the mature leaves and the roots, which didn't parallel to CPT content. **Conclusion** CPT Content, TSB and TDC activities present differently in various organs of *C. acuminata* seedlings. CPT Content and TSB activity are the highest in the young leaves, TDC activity is the highest in the stem barks among the organs.

Key words: *Camptotheca acuminata* Decne.; camptothecin (CPT); tryptophan synthase (TSB); tryptophan decarboxylase (TDC)

植物次生代谢常常具有在特定的器官或组织内合成或积累代谢产物的特点, 次生代谢途径中关键酶活性的高低, 也往往具有器官或组织的特异性, 以及对应于环境变化的器官或组织间的特异性调整^[1~4]。植物生物碱作为一种重要的次生代谢产物, 其合成或积累与氮素形态的差异密切相关^[5]。喜树

碱是喜树 *Camptotheca acuminata* Decne. 中的一种生物碱类次生代谢产物, 具有良好的抗肿瘤活性^[6], 色氨酸合酶 (TSB) 和色氨酸脱羧酶 (TDC) 是喜树碱生物合成途径中两个关键酶^[7,8]。有关喜树碱在喜树中的分布已有一些报道, 但仅限于器官或生长不同年限枝条之间的比较^[1,3], 氮素形态对喜树碱及

收稿日期: 2007-12-07

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (30070086); 黑龙江省杰出青年基金资助项目 (JC-02-11)

作者简介: 孙世芹 (1970—), 女, 副教授、博士、硕士生导师。

* 通讯作者 阎秀峰 Tel: (0459) 8153631 E-mail: ssq7610@126.com

关键酶在喜树中分布的影响未见报道。本项工作是在温室砂培条件下,分析不同形态氮素下当年生喜树幼苗 TSB 和 TDC 活性的器官(部位)差异及其与喜树碱量分布的对应性,旨在摸清喜树幼苗中喜树碱量及 TDC 和 TSB 活性的特异器官或组织,为进一步研究氮素形态对喜树幼苗喜树碱代谢影响奠定基础。

1 材料与方法

1.1 喜树幼苗培养与处理:喜树幼苗在阳光温室内存养,温室为自然采光,昼夜温度自然过度(18~30℃),湿度为60%~70%。砂培容器为长45 cm、宽35 cm、高15 cm的塑料方盘,底部均匀打孔(直径5 mm)数个,内盛经0.1% KMnO₄消毒的河沙作为幼苗生长基质。6月中旬选取生长一致的当年生喜树幼苗,先以完全营养液培养10 d后进行不同氮素形态处理。完全营养液按照 Utriainen^[9]的方法配制。处理用营养液以完全营养液为基础,其中 NO₃⁻-N 使用 KNO₃ 和 Ca(NO₃)₂, NH₄⁺-N 使用 (NH₄)₂SO₄,按不同 NH₄⁺-N/NO₃⁻-N 比例分为5组(0:100,25:75,50:50,75:25,100:0),总氮浓度均为16.0 mmol/L(表1)。营养液用蒸馏水配制,pH值调至6.0左右。为抑制硝化作用,向溶液添加硝化抑制剂2-氯-6-三氯甲基吡啶,使其浓度达到0.4 μmol/L。待幼苗已经长出6对真叶,开始进行不同氮素形态处理。在进行处理前先用水透浇砂培中的喜树幼苗。每周3次按时透浇氮素处理营养液,并根据需要适当补充水分。每个处理设3个重复,每个重复7株。

表1 不同氮素形态处理营养液中大量元素的组成

Table 1 Components of mass elements nutrition solution in different NH₄⁺-N/NO₃⁻-N treatments

成分	NH ₄ ⁺ -N/NO ₃ ⁻ -N				
	0:100	25:75	50:50	75:25	100:0
Ca(NO ₃) ₂	5	3	1	1	—
KNO ₃	6	6	6	2	—
(NH ₄) ₂ SO ₄	—	2	4	6	8
KCl	—	—	—	4	6
CaCl ₂	—	2	4	4	5
MgCl ₂	2	2	2	2	2
KH ₂ PO ₄	2	2	2	2	2

1.2 取样方法:于处理后的第15天,分别取喜树幼苗根、茎皮、成叶和幼叶,在液氮中充分研磨后,一部分用于测定 TSB 和 TDC 活性,另一部分冻干后测定喜树碱的量。根为直径小于2 mm的细根,茎皮是最大叶面积叶片着生处至幼苗顶端茎上可轻松剥离的部分(包括表皮和韧皮部),幼叶包括幼苗最上端

的小叶(叶长不超过最大叶面积叶片长度的一半)和茎尖,成叶为最大叶面积叶片下第一片叶。

1.3 测定指标与方法

1.3.1 喜树碱测定:按照阎秀峰等^[10]的方法,采用 Waters 高效液相色谱系统(2996 自动进样器、2487 紫外检测器)测定喜树幼苗喜树碱的量。喜树碱对照品由美国斯特林癌症研究基金会提供。

1.3.2 色氨酸合酶活性测定:参照 Last 等的方法^[11]进行 TSB 的提取和活性测定。反应产生的吲哚采用 Waters 高效液相色谱(2487 型紫外检测器)测定,流动相为乙腈-水(1:1),体积流量1.0 mL/min,检测波长为270 nm,进样量15 μL。TSB 活性计算以每毫克鲜质量材料每分钟消耗吲哚的 μmol 数表示,即 μmol 吲哚/min·mg FW。

1.3.3 色氨酸脱氨酶活性测定:TDC 的提取和活性测定分别参照 Aerts 等^[12]和 Pennings 等^[13]的方法。反应生成的色胺采用 Waters 高效液相色谱(2475 型荧光检测器)测定。流动相为含7 mmol/L 的 SDS 和10 mmol/L KH₂PO₄的乙腈和水(7:3),pH 6.0,体积流量1.0 mL/min,进样量5 μL,荧光检测器的激发波长和发射波长分别为280 nm 和354 nm。TDC 活性计算以每毫克鲜质量材料每分钟催化产生色胺 pmol 数表示,即 pmol 色胺/min·mg FW。

1.4 数据分析:所得数据用 DPS 软件进行统计分析。

2 结果

2.1 喜树幼苗中喜树碱的分布:从图1可以看出,不同氮素形态比例下,喜树幼苗不同器官中的喜树碱量均有明显的差异。各处理下均以幼叶喜树碱量最高,与其他器官相比差异极显著($P<0.01$),其次为茎皮和成叶,根中喜树碱量最低。NH₄⁺-N/NO₃⁻-N 为25:75的幼叶喜树碱量(0.495%)分别达到相同处理下茎皮(0.078%)的6.3倍、成叶(0.058%)的8.5倍和根(0.009%)的55倍。

2.2 TSB 活性的器官差异:由图2可见,不同的 NH₄⁺-N/NO₃⁻-N 处理第15天,喜树幼苗中 TSB 活性表现出明显的器官差异,均以幼叶中的 TSB 活性最高,与其他器官的相比差异极显著($P<0.01$),茎皮、成叶和根中的依次减弱。幼叶中 TSB 活性以 NH₄⁺-N/NO₃⁻-N 为25:75的最高,与其他处理的相比差异极显著($P<0.01$)。

2.3 TDC 活性的器官差异:喜树幼苗中 TDC 活性在不同 NH₄⁺-N/NO₃⁻-N 下表现出明显一致的器官差异性,茎皮中 TDC 活性最高,与其他器官的相比差异极显著($P<0.01$),幼叶中 TDC 活性较低,

但明显高于根和成叶 ($P < 0.01$), 根和成叶很低 (图 3)。

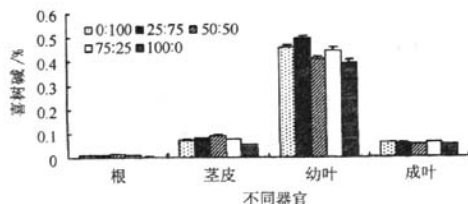


图 1 不同 $\text{NH}_4^+\text{-N}/\text{NO}_3^-\text{-N}$ 比例下喜树幼苗各器官中喜树碱的量

Fig. 1 CPT Content in different organs of *C. acuminata* seedlings under various $\text{NH}_4^+\text{-N}/\text{NO}_3^-\text{-N}$ ratios

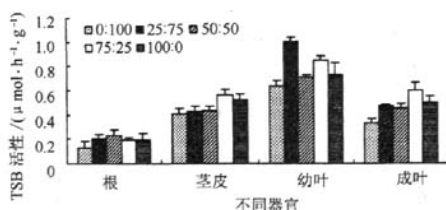


图 2 不同 $\text{NH}_4^+\text{-N}/\text{NO}_3^-\text{-N}$ 比例下喜树幼苗各器官中 TSB 的活性

Fig. 2 TSB Activity in different organs of *C. acuminata* seedlings under various $\text{NH}_4^+\text{-N}/\text{NO}_3^-\text{-N}$ ratios

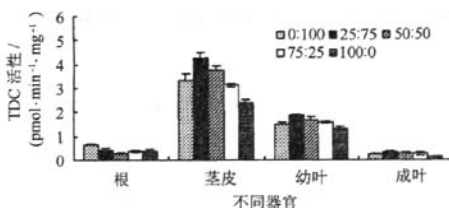


图 3 不同 $\text{NH}_4^+\text{-N}/\text{NO}_3^-\text{-N}$ 比例下喜树幼苗各器官中 TDC 的活性

Fig. 3 TDC Activity in different organs of *C. acuminata* seedlings under various $\text{NH}_4^+\text{-N}/\text{NO}_3^-\text{-N}$ ratios

3 结论与讨论

3.1 喜树碱量的器官分布: 研究植物次生代谢产物的器官分布, 可以确定次生代谢产物的准确分布状况。有研究表明, 由于次生代谢产物的合成和积累具有器官或组织的特异性, 使同一个体不同部位次生代谢产物的量具有一定的差异性^[14]。从本实验结果看, 不同氮素形态下, 喜树幼苗幼叶中的喜树碱量最高, 其次为茎皮和成叶, 根中的最低。以往对于喜树成树来说, 也以幼叶量最高, 幼叶为喜树碱富含器官, 果和幼茎次之^[1,15], 新生枝条高于老枝的^[3]。

3.2 TSB 活性与喜树碱量的器官对应性: TSB 催

化吡啶和丝氨酸生成的色氨酸参与蛋白质的合成, 也为喜树碱的生物合成提供吡啶环, 因而 TSB 在喜树碱合成过程中尤为引人关注。以往研究表明喜树中 TSB 蛋白在树皮中最多, 其次在幼叶、根和成叶中依次减少^[16], 且与喜树碱量呈很好的相关性。本试验与上述结果不尽相同, 各处理下喜树幼苗中 TSB 活性和喜树碱量呈很好的器官对应性, 二者均以幼叶中的最高, 茎皮和成叶中量很低, 根中最低 (图 1、2)。但这并不意味着幼叶就是喜树幼苗喜树碱合成的部位, 迄今尚无证据证明幼叶是喜树的喜树碱合成部位, López-Meyer 等也未能成功地证明喜树碱就是在喜树叶片中合成的^[15]。色氨酸合成途径的调控可能同时响应于植物体内蛋白质合成和次生代谢过程的需要, 因此在生长代谢较旺盛的幼叶中, TSB 活性最高可能是为了适应快速生长的需要, 可能较低水平的 TSB 活性就可以满足喜树碱合成的需要。

3.3 TDC 活性与喜树碱量的器官对应性: TDC 将 TSB 催化生成的色氨酸转化为色胺, 是植物的初生代谢转向次生代谢的第一个关键步骤, 以往研究表明喜树中 TDC 基因的组织器官表达与喜树碱合成积累部位呈很好的相关性^[7]。从本实验的结果看, TDC 活性与喜树碱量缺乏器官对应性 (图 3)。在合成喜树碱的植物蛇根草中也存在难以解释的类似问题, 叶片中富集喜树碱, 而在那里却检测不到 TDC 的表达^[1]。因而有必要深入研究以更好地理解生物碱生物合成的调节机制并解释这些现象。

本实验只是针对喜树幼苗在不同氮素形态处理时喜树碱及其代谢酶的器官分布特点做了一些初步的测定, 其结果尚难以代表野生植株的情况, 这需要更多的实验工作加以探讨。

参考文献:

- [1] Lorence A, Nessler C L. Molecules of interest camptothecin, over four decades of surprising findings [J]. *Phytochemistry*, 2004, 65: 2735-2749.
- [2] 李霞, 杨立学, 阎秀峰. 一年生黄檗幼苗药用生物碱的分布及其含量变化 [J]. 东北师大学报: 自然科学版, 2006, 38 (2): 101-104.
- [3] Liu Z, Carpenter S B, Bourgeois W J, et al. Variations in the secondary metabolite camptothecin in relation to tissue age and season in *Camptotheca acuminata*. [J]. *Tree Physiol*, 1998, 18: 265-270.
- [4] 阎秀峰. 植物次生代谢生态学 [J]. 植物生态学报, 2001, 25: 639-640.
- [5] Ciesiolk D, Muzquiz M, Burbano C, et al. An effect of various nitrogen forms used as fertilizer on *Lupinus albus* L. yield and protein, alkaloid and α -galactosides content [J]. *J Agron Crop Sci*, 2005, 191: 458-463.
- [6] 赵昕, 阎秀峰. 丛枝菌根对喜树幼苗生长和氮、磷吸收的

- 影响[J]. 生态学报, 2006, 26(4): 1057-1062.
- [7] López-Meyer M, Nessler C L. Tryptophan decarboxylase is encoded by two autonomously regulated genes in *Camptotheca acuminata* which are differentially expressed during development and stress [J]. *Plant J*, 1997, 11: 1167-1175.
- [8] Yamazaki Y, Sudo H, Yamazaki M, et al. Camptothecin biosynthetic genes in hairy roots of *Ophiorrhiza pumila*: cloning, characterization and differential expression in tissues and by stress compounds [J]. *Plant Cell Physiol*, 2003, 44: 395-403.
- [9] Utriainen J, Holopainen T. Nitrogen availability modifies the ozone responses of Scots pine seedlings exposed in an open-field system [J]. *Tree Physiol*, 2001, 21: 1205-1213.
- [10] 阎秀峰, 王洋, 于涛. 喜树叶中喜树碱含量的高效液相色谱分析 [J]. 分析测试学报, 2002, 21(2): 15-18.
- [11] Last R L, Bissinger P H, Mahoney D J, et al. Tryptophan mutants in *Arabidopsis*: the consequences of duplicated tryptophan synthase β genes [J]. *Plant Cell*, 1991, 3: 345-358.
- [12] Aerts R J, Alarco A M, De Luca V. Auxins induce tryptophan decarboxylase activity in radicles of *Catharanthus* seedlings [J]. *Plant Physiol*, 1992, 100: 1014-1019.
- [13] Pennings E J M, Hegger I, van der Heijden R. Assay of tryptophan decarboxylase from *Catharanthus roseus* plant cell cultures by High-Performance Liquid Chromatography [J]. *Anal Biochem*, 1987, 165: 133-136.
- [14] 秦彦杰, 王洋, 阎秀峰. 黄槿主要药用成分的分布规律 [J]. 林产化学与工业, 2007, 27(2): 62-66.
- [15] López-Meyer M, Nessler C L, Mcknight T D. Sites of accumulation of the antitumor alkaloid camptothecin in *Camptotheca acuminata* [J]. *Planta Med*, 1994, 60: 558-560.
- [16] Lu H, Mcknight T D. Tissue-specific expression of the beta-subunit of tryptophan synthase in *Camptotheca acuminata*, an indole alkaloid-producing plant [J]. *Plant Physiol*, 1999, 120: 43-51.

北柴胡愈伤组织诱导、分化及不定芽增殖条件研究

郝建平¹, 徐丽霞², 杨东方²

(1. 山西大学生命科学与技术学院, 山西 太原 030006; 2. 山西生物应用职业技术学院 中药系, 山西 太原 030031)

摘要:目的 研究北柴胡叶片、茎段和花芽愈伤组织诱导、分化和不定芽增殖的条件, 探讨快速繁殖的新途径。方法 选择优良的北柴胡类型, 在附加不同种类、不同质量浓度和不同配比外源植物激素的 MS 培养基中, 进行不同外植体愈伤组织的诱导和分化培养以及愈伤组织再生植株的繁殖和生根培养。结果 附加 2, 4-D 1.0 mg/L、KT 0.5 mg/L 和 6-BA 0.5 mg/L 的 MS 培养基最适合于叶片、茎和花芽愈伤组织的诱导, 其中以花芽愈伤组织的诱导效果最好; 在附加 6-BA 1.0 mg/L、NAA 0.03 mg/L 和 CM 15%、CH 500 mg/L 的培养基中, 愈伤组织的分化率最高; 附加 6-BA 1.5 mg/L、NAA 0.05 mg/L 和 CH 250 mg/L 的 MS 培养基为芽苗增殖的适宜培养基; 附加 NAA 0.5 mg/L 的 1/2 MS 培养基是生根的适宜培养基。结论 北柴胡的茎段和花芽外植体在适宜的激素组合中均可通过愈伤组织途径分化出不定芽, 继而得到正常生长、发育的再生植株。

关键词:北柴胡; 愈伤组织诱导; 愈伤组织分化; 不定芽; 试管苗; 快速繁殖

中图分类号: R282.1

文献标识码: A

文章编号: 0253-2670(2008)05-1234-05

Condition for induction and differentiation of callus and propagation of adventitious buds in *Bupleurum chinese*

HAO Jian-ping¹, XU Li-xia², YANG Dong-fang²

(1. School of Life Science and Technology, Shanxi University, Taiyuan 030006, China; 2. Department of Chinese Materia Medica, Shanxi Biological Application Vocational Technical College, Taiyuan 030031, China)

Abstract: **Objective** To study the condition for induction and differentiation of callus and propagation of adventitious buds in lamina, stem, and bud of *Bupleurum chinese* and establish a new method for rapid propagation. **Methods** In MS media added with different phytohormones, calli were induced from explants of lamina, stem, and floral bud of *B. chinese*, adventitious buds and adventitious roots were differentiated from calli of stem and floral bud, test-tube plantlets were formed. **Results** MS Medium added with 2, 4-D 1.0 mg/L, KT 0.5 mg/L, and 6-BA 0.5 mg/L was suitable for calli induction of the lamina, stems, and floral buds. In medium added with 6-BA 1.0 mg/L, NAA 0.03 mg/L, CM 15% and CH 500 mg/L, the differentiation rate of floral buds callus was the highest. MS Medium added

收稿日期: 2007-11-07

基金项目: 山西省科技攻关项目 (051077-2)

作者简介: 郝建平(1959—), 男, 山西省忻州市人, 山西大学生命科学与技术学院副教授, 理学硕士, 硕士生导师, 长期从事植物生物工程等方面的研究和教学工作。E-mail: jphao@sxu.edu.cn Tel: (0351) 7010599

喜树幼苗中喜树碱及其代谢相关酶类的分布

作者：[孙世芹](#)，[阎秀峰](#)
作者单位：[孙世芹\(哈尔滨医科大学大庆校区药系, 黑龙江大庆, 163319; 东北林业大学生命科学学院, 黑龙江哈尔滨, 154000\)](#)，[阎秀峰\(东北林业大学生命科学学院, 黑龙江哈尔滨, 154000\)](#)
刊名：[中草药](#) **ISTIC** **PKU**
英文刊名：[CHINESE TRADITIONAL AND HERBAL DRUGS](#)
年，卷(期)：2008, 39 (8)
被引用次数：1次

参考文献(16条)

1. [Lorence A;Nessler C L](#) [Molecules of interest camptothecin,over four decades of surprising findings](#) [外文期刊] 2004
2. [李霞;杨立学;阎秀峰](#) [一年生黄檗幼苗药用生物碱的分布及其含量变化](#) [期刊论文]-[东北师大学报\(自然科学版\)](#) 2006 (02)
3. [Liu Z;Carpenter S B;Bourgeois W J](#) [Variations in the secondary metabolite camptothecin in relation to tissue age and season in Camptotheca acuminata](#) [外文期刊] 1998 (4)
4. [阎秀峰](#) [植物次生代谢生态学](#) [期刊论文]-[植物生态学报](#) 2001 (5)
5. [Ciesiolk D;Muzquiz M;Burbano C](#) [An effect of various nitrogen forms used as fertilizer on Lupinus albus L. yield and protein,alkaloid and a-galactosides content](#) [外文期刊] 2005 (6)
6. [赵昕;阎秀峰](#) [丛枝菌根对喜树幼苗生长和氮、磷吸收的影响](#) [期刊论文]-[生态学报](#) 2006 (04)
7. [L pez-Meyer M;Nessler C L](#) [Tryptophan decarboxylase is encoded by two autonomously regulated genes in Camptotheca acuminata which are differentially expressed during development and stress](#) 1997
8. [Yamazaki Y;Sudo H;Yamazaki M](#) [Camptothecin biosynthetic genes in hairy roots of Ophiorrhiza pumila:cloning, characterization and differential expression in tissues and by stress compounds](#) [外文期刊] 2003
9. [Utriainen J;Holopainen T](#) [Nitrogen availability modifies the ozone responses of Scots pine seedlings exposed in an openfield system](#) [外文期刊] 2001 (16)
10. [阎秀峰;王洋;于涛](#) [喜树叶中喜树碱含量的高效液相色谱分析](#) [期刊论文]-[分析测试学报](#) 2002 (02)
11. [Last R L;Bissinger P H;Mahoney D J](#) [Tryptophan mutants in Arabidopsis:the consequences of duplicated tryptophan synthase ? genes](#) 1991
12. [AertsRJ;Alarco A M;De Luea V](#) [Auxins induce tryptophan decarboxylase activity in radicles of Catharanthus seedlings](#) 1992
13. [Pennings E J M;Hegger I;van der Heijden R](#) [Assay of tryptophan decarboxylase from Catharanthus roseus plant cell cultures by High-Performance Liquid Chromatography](#) 1987
14. [秦彦杰;王洋;阎秀峰](#) [黄檗主要药用成分的分布规律](#) [期刊论文]-[林产化学与工业](#) 2007 (02)
15. [L pez-Meyer M;Nessler C L;Mcknight T D](#) [Sites of accumulation of the antitumor alkaloid camptothecin in Camptotheca acuminata](#) 1994
16. [Lu H;Mcknight T D](#) [Tissue-specific expression of the betasubunit of tryptophan synthase in Camptotheca acuminata,an indole alkaloid-producing plant](#) [外文期刊] 1999 (1)

本文读者也读过(10条)

1. [孙世芹, 阎秀峰](#) 氮素形态对喜树幼苗喜树碱含量及喜树碱代谢相关酶类的影响[期刊论文]-[中国中药杂志](#) 2008, 33(13)
2. [马伟, 戴绍军, 赵昕, 阎秀峰, Ma Wei, Dai Shaojun, Zhao Xin, Yan Xiufeng](#) 不同土质对喜树幼苗生长和喜树碱质量分数及产量的影响[期刊论文]-[东北林业大学学报](#)2007, 35(8)
3. [魏焕勇, 王洋, 王振月, 阎秀峰, WEI Huan-yong, WANG Yang, WANG zhen-yue, YAN Xiu-Feng](#) 栽培密度对喜树(*Camptotheca acuminata* Descne)幼苗生物量及喜树碱含量的影响[期刊论文]-[林业研究 \(英文版\)](#) 2005, 16(2)
4. [孙世芹, 阎秀峰, SUN Shi-qin, YAN Xiu-feng](#) 氮素水平对喜树幼苗喜树碱含量的影响[期刊论文]-[中国中药杂志](#) 2008, 33(4)
5. [王少先, 代远刚, 周立新, 彭克勤, 何小解, 萧浪涛, 夏石头, WANG Shao-xian, DAI Yuan-gang, ZHOU Li-xin, PENG Ke-qin, HE Xiao-jie, XIAO Lang-tao, XIA Shi-tou](#) 烟草缓释肥微囊粒子制备及应用研究——混合成囊法[期刊论文]-[磷肥与复肥](#)2010, 25(6)
6. [王博文](#) 喜树幼苗次生代谢产物对光强的响应[学位论文]2006
7. [王博文, 王洋, 阎秀峰, WANG Bo-wen, WANG Yang, YAN Xiu-feng](#) 光强对喜树幼苗喜树碱含量及分配的影响[期刊论文]-[黑龙江大学自然科学学报](#)2006, 23(2)
8. [张秋娟, 李淑玲, 冯建灿, 王新建, 郑蕾, ZHANG Qiu-juan, LI Shu-liug, FENG Jian-can, WANG Xin-jian, ZHENG Lei](#) pH值胁迫对喜树苗期生长及生理指标的影响[期刊论文]-[河南农业大学学报](#)2000, 34(2)
9. [谢国恩, 赵伟, 赵昕, 阎秀峰, Xie Guo'en, Zhao Wei, Zhao Xin, Yan Xiufeng](#) 喜树幼苗根生长过程中喜树碱的含量变化[期刊论文]-[东北林业大学学报](#)2009, 37(3)
10. [冯建灿, 邓建钦, 张玉洁, 杨洪义](#) 培养液pH值对喜树幼苗生长与SOD活性、脯氨酸和叶绿素含量的影响[期刊论文]-[经济林研究](#)2001, 19(3)

引证文献(1条)

1. [沈少华, 刘姬艳, 胡江琴, 酆喧函, 王利琳](#) 喜树碱生物合成途径及其相关酶的研究进展[期刊论文]-[中草药](#) 2011(9)

本文链接: http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_zcy200808038.aspx