

人为扰动对乌拉尔甘草不同部位 甘草酸与总黄酮含量的影响

赵则海, 于景华, 杨逢建, 祖元刚, 曹建国

(东北林业大学森林植物生态学教育部重点实验室, 哈尔滨 150040)

摘要:人为扰动对甘草不同部位甘草酸含量和总黄酮含量均有较大的影响。即使是轻度的人为扰动(土壤翻松 1 次)也会导致野生甘草的甘草酸含量明显下降, 尤其对地下根茎(兼有运输和储存功能)中的甘草酸的积累影响最大。重度扰动栽培甘草各部位的甘草酸含量均较低, 相对而言黄酮类物质的积累速率高于甘草酸, 表明土壤扰动因素对甘草酸的积累影响大于总黄酮的积累。无扰动野生甘草和轻度扰动野生甘草总黄酮含量从地上到地下呈下降趋势, 而重度扰动栽培甘草的叶和不定根各有一个含量较高的部位, 据此推断叶和不定根(含毛状根)是黄酮类物质的主要产生部位; 具有输导功能的地上茎、复叶柄中总黄酮含量较低且波动较大。人为扰动对不同土壤深度甘草主根中甘草酸含量和甘草总黄酮含量的变化规律影响较小。无扰动野生甘草和轻度扰动野生甘草主根在 1.0~2.0m 深度甘草酸含量分布较高是对该生境不同土壤深度长期适应的结果, 而重度扰动栽培甘草主根可能尚未达到相应的土壤深度, 因而表现为 1.0m 以下深层土壤中甘草酸含量较高。总之, 旨在改善甘草生长条件的人为扰动对甘草酸和总黄酮的积累具有消极影响, 适当的胁迫环境条件对提高药用植物的品质有益。

关键词:乌拉尔甘草; 人为扰动; 甘草酸; 总黄酮

Influences of artificial disturbance degrees on the contents of *Glycyrrhizic acid* and flavonoids in different parts of *Glycyrrhiza uralensis*

ZHAO Ze-Hai, YU Jing-Hua, YANG Feng-Jian, ZU Yuan-Gang, CAO Jian-Guo (Key Laboratory of Forest Plant Ecology, the Ministry of Education of China, Northeast Forestry University, Harbin 150040, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(12): 2799~2803.

Abstract: The external factors which influence the wild liquorice and the cultivated liquorice (*Glycyrrhiza uralensis*) in any habitat may be classified into two categories: natural factors and unartificial factors. For cultivated liquorice, some artificial factors such as soil deep tillage, irrigation or the other manipulations of field management should be made an appeal further. The contents of *Glycyrrhizic acid* and flavonoids were measured in different parts of *Glycyrrhiza uralensis* under different conditions of artificial disturbance by ultrasonic extraction, HPLC and spectrophotometry.

The variable trends of the contents of *Glycyrrhizic acid* and flavonoids were studied in different habitats with different extent of artificial disturbance. The results showed that artificial disturbances are principal influencing factors on the content of *Glycyrrhizic acid* and flavonoids in different parts of liquorice. They obviously decrease the content of *Glycyrrhizic acid* in different parts of wild liquorice, even if light artificial disturbance (viz. once soil deep tillage) had been brought into effect. The accumulation of *Glycyrrhizic acid* in wild liquorice rhizomes (especially horizontal rhizomes which have main functions for substance transportation and accumulation) in the light disturbed habitat is lower than the in undisturbed habitat. The contents of *Glycyrrhizic acid* in different parts of heavy disturbed cultivated liquorice were also low. The research results showed that the accumulation velocity of flavonoids was higher than that of *Glycyrrhizic acid*, which indicated that soil disturbed factors acted on the production and accumulation of *glycyrrhizic acid* more than on flavonoids. The contents of flavonoids in different

基金项目:教育部重点基金资助项目(104191)

收稿日期:2004-06-02; **修订日期:**2004-10-05

作者简介:赵则海(1968~), 男, 黑龙江嫩江县人, 博士、副教授, 主要从事克隆植物进化、生活史生态学研究。E-mail: zhzh315@sina.com

Foundation item: Key Project of Chinese Ministry of Education (No. 104191)

Received date: 2004-06-02; **Accepted date:** 2004-10-05

Biography: ZHAO Ze-Hai, Ph. D., Associate professor, mainly engaged in evolution of clonal plant and plant life history ecology.

parts of undisturbed wild liquorice and light disturbed wild liquorice displayed descending trend from overground parts to underground parts, but that in the leaf and the coronal root of heavy disturbed cultivated liquorice were high. Based on these results, it can be deduced that the main producing parts of flavonoids are the leaves and the coronal roots. The content of flavonoids in terrestrial stem and stem of leaf which have any functions for substance transportation was low and presented major amplitude of fluctuation. At different soil depths, the content of glycyrrhizic acid in different liquorices taproot revealed obviously distinction but that of flavonoids was not obvious, which indicated that the artificial disturbance didn't act distinctly on the content variation of glycyrrhizic acid or flavonoids in different depths of liquorice taproot. The content of glycyrrhizic acid in undisturbed wild liquorice and light disturbed wild liquorice at soil depths from 1.0m to 2.0m was high, which should be the reason that wild liquorice has adapted to corresponding soil environments in which wild liquorice lives. For heavy disturbed cultivated liquorice, its taproot was not extend corresponding soil depths so that the content of glycyrrhizic acid in its taproot at the depth under 1.0m was high. In a word, the artificial disturbance which can improve any growing conditions of liquorice have negative effects on accumulation of glycyrrhizic acid and flavonoids of wild liquorice and cultivated liquorice. The appropriate stress environment can have profit to improve quality of medical plants.

Key words: *Glycyrrhiza uralensis*; artificial disturbance; *Glycyrrhizic acid*; flavonoids

文章编号:1000-0933(2004)12-2799-05 中图分类号:Q945.11,Q948.1 文献标识码:A

乌拉尔甘草(*Glycyrrhiza uralensis*)是甘草属中分布较广的甘草野生种之一,主要分布在我国西北、华北、东北地区,具有抗寒、耐热、耐旱、抗盐碱等优良特性,适生性强,生命力旺盛,为干旱、半干旱地区重要的植物资源之一。为了下文叙述方便,乌拉尔甘草均称之为甘草(liquorice)。现在甘草已被作为基础原料,广泛应用于医药、化工、食品等多种行业中。甘草中化学成分复杂,其主要有效成分是三萜皂甙和黄酮类化合物,其中甘草中主要活性成分为甘草酸(*Glycyrrhizic Acid*, GA),因此甘草酸常作为甘草的质量控制指标^[1]。黄酮类成分具有明显的抗溃疡,解痉、抗菌、抗炎、降血脂、镇痛和雌性激素样作用^[2],近年来还发现甘草黄酮对艾滋病毒有很强的抑制增殖作用^[3]。由于甘草资源日益枯竭以及现代社会环境保护意识的加强,因此栽培甘草越来越成为甘草原料的重要来源,人们加大了栽培甘草的种植力度^[4],并且如何有效地提高栽培甘草地下和地上部分的药用活性成分的研究越来越得到了人们的重视。

植物的次生代谢是植物在长期进化中与环境(生物的和非生物的)相互作用的结果,次生代谢产物在植物提高自身保护和生存竞争能力、协调与环境关系上充当着重要的角色^[5]。甘草的自然环境条件(如气温、降水、光照等条件)很难为人们所控制,人为活动对甘草环境条件的作用主要表现在对土壤环境的改变上^[6]。在不同的土壤条件下,甘草会形成不同的次生代谢产物,不同的次生代谢产物对植物的生长发育和繁殖具有重要的作用,如黄酮类物质具有促进植物繁殖的功能^[7,8]。人们为了尽量使得栽培甘草的性状、品质接近野生甘草,将栽培地点选择在传统的野生甘草分布区,这就形成了野生甘草、栽培甘草混生的现象。

本文基于甘草生境差异,采用超声提取及高效液相色谱方法对野生甘草、栽培甘草以及它们的过渡类型甘草不同部位甘草酸含量和总黄酮含量变化进行分析,为甘草酸以及黄酮类物质的综合利用提供依据和参考。

1 研究区域概况

研究地点位于黑龙江省大庆市西部马鞍山,地理位置北纬 45°46'至 46°55',东经 124°19'至 125°12'之间,海拔约为 150~300m。气候属于温带半干旱大陆性气候类型,年平均降水量 308.8~589.6mm,主要集中在 6~8 月份;年平均气温 1.3℃,年温差高达 38~48℃;无霜期约 100~150d。土壤为栗钙土,钙积层较浅,且紧密,一般在剖面 30~60cm 深处开始出现,厚度约 30~70cm,碳酸钙含量 20%~28%之间,土层从上到下呈弱碱至碱性反应,pH 值 7.5~9.0。植被类型以丛生禾本科草为主,其次为根茎类草本,覆盖度 20%~50%,草层高 5~30cm。常见的植物主要有羊草(*Anerolepidium chinense*)、贝加尔针茅(*Stipa baicalensis*)、兔毛蒿(*Filifolium sibiricum*)、糙隐子草(*Cleistogenes squarrosa*)、碱蓬(*Suaeda glauce*)、角碱蓬(*S. corniculata*)、寸草苔(*Carex duriuscula*)、芦苇(*Phragmites communis*)等。

2 研究方法

2.1 甘草样地的土壤环境概况

位于大庆的研究样地相距较近(不超过 200m),如日照、降水、气温等环境条件可以认为是一致的,因此在生境划分中主要考虑土壤特征。人们为种植甘草将土壤进行深翻,深度达 40cm,这种土壤扰动首先改变的是土壤的物理性质,随着时间的推移逐渐对土壤化学性质也产生一定的影响^[6]。按照土壤扰动情况,将甘草的生境分为 3 个类型:无扰动生境、轻度扰动生境和重度扰动生境。无扰动生境是指没有人为扰动的野生甘草自然生长区域;轻度扰动生境是指人工防护林附近,土壤在 15a 前被深翻,以后一直处于自然状态;重度扰动生境是指耕地,扰动措施包括土壤深翻、灌溉、除草、施肥和打药等。3 个甘草生境的主要土壤

因子如土壤含水量、结合水含量、pH 值和有机质含量见表 1。按照生境类型将甘草分为无扰动野生甘草,轻度扰动野生甘草和重度扰动栽培甘草(这里指 3 年生栽培甘草)。

表 1 人为扰动程度对主要土壤环境因子的影响

Table 1 The effects on major soil environment factors by different degrees of artificial disturbance						
参数 Parameter	人为扰动 Artificial disturbance			t 检验 t test		
	无 None	轻度 Light	重度 Heavy		轻度 Light	重度 Heavy
土壤含水率(%)Ratio of soil moisture	5.70	6.83	11.53	无 None	-4.13**	-15.27**
				轻度 Light		-11.82**
土壤结合水(%)Ratio of soil binding water	2.42	2.35	3.80	无 None	0.46	-10.58**
				轻度 Light		-13.49**
土壤 pH Soil pH	8.99	9.70	8.99	无 None	-23.67**	0.00
				轻度 Light		16.83**
土壤有机质(%) Ratio of soil organic content	1.82	1.97	2.54	无 None	-0.77	-4.20**
				轻度 Light		-2.67*

* 显著 Significant ($t_{9,0.05}=2.262$), ** 极显著 Best significant ($t_{9,0.01}=3.250$)

2.2 取样方法与室内分析

2.2.1 取样方法 在 2002 年 6 月份,分别在 3 块样地内采挖甘草。无扰动野生甘草,轻度扰动野生甘草首先确定甘草主根并以之为中心,在 5m×5m 内挖取根和根茎,同时取地上部分样品;栽培甘草挖取全草。按叶片、复叶柄、地上茎、垂直根茎、横走根茎、主根和不定根分类编号。甘草样品阴干、粉碎后过筛备用。

2.2.2 室内分析

(1)甘草酸含量的测定 本试验采用高效液相色谱(HPLC)法测定甘草酸含量,测定条件为:甘草酸标准品购于日本和光纯药工业株式会社,BRANSONIC 超声波仪,JASCO 高效液相色谱仪,975 型紫外检测器,色谱柱为 Shim-pack CLC-ODS 柱(6.0mm i.d. ×150mm, 5μm);流动相为甲醇:3%冰醋酸为 73:27,检测波长 254nm,流速 1.0mL/min,柱温 25℃。

(2)甘草总黄酮含量测定 甘草样品经超声提取、过滤;总黄酮的测定方法采用的是硝酸铝-亚硝酸钠比色法^[9,10]。

3 结果与分析

3.1 甘草不同部位甘草酸含量的比较

无扰动野生甘草,轻度扰动野生甘草和重度扰动栽培甘草主要部位的甘草酸含量的测定结果见图 1。所有类型甘草地上部分甘草酸的含量是微量的,而地下部分结构中的甘草酸含量均较高。在不同类型甘草主根、不定根和横根茎中的甘草酸含量为无扰动野生甘草>轻度扰动野生甘草>重度扰动栽培甘草。无扰动野生甘草与轻度扰动野生甘草的主根、不定根和横根茎中的甘草酸含量均明显高于栽培甘草。3 年生栽培甘草的生长时间较短、土壤扰动较强以及栽培甘草生物学特性等多方面原因导致重度扰动栽培甘草地上不同部位的甘草酸含量明显低于无扰动野生甘草。

与无扰动野生甘草相比,轻度扰动野生甘草的主根、不定根、横根茎和垂根茎中的甘草酸含量均有不同程度减少。从两类甘草各部分结构的功能上看,主要具有储藏功能的主根中的甘草酸含量均较高,且两类甘草差异较小;而具有输导功能的根茎中甘草酸含量均较低,其中与地上茎相连的垂直根茎中的甘草酸含量均最低,且两类甘草差异较大。轻度扰动野生甘草的土壤被深翻,浅层土壤比较疏松,该类型甘草地下各个部分的甘草酸含量均比无扰动野生甘草低,说明土壤深翻可导致野生甘草的甘草酸含量下降。

3.2 甘草不同部位总黄酮含量的比较

不同类型甘草在不同部位中的总黄酮含量变化见图 2。与甘草酸含量的规律相反,无扰动野生甘草,轻度扰动野生甘草和重度扰动栽培甘草均是地上部分总黄酮含量大于地下部分。总体上看,除不定根外,甘草的总黄酮含量从地上到地下具有递减的趋势。

无扰动野生甘草总黄酮含量从高到低的顺序是:叶>复叶柄>地上茎>不定根>垂根茎>横根茎>主根,地上部分总黄酮含量均高于地下部;其中,在地上部分越靠近叶的部位中总黄酮含量越高,而在地下各部分中总黄酮含量差异较小。从甘草各部

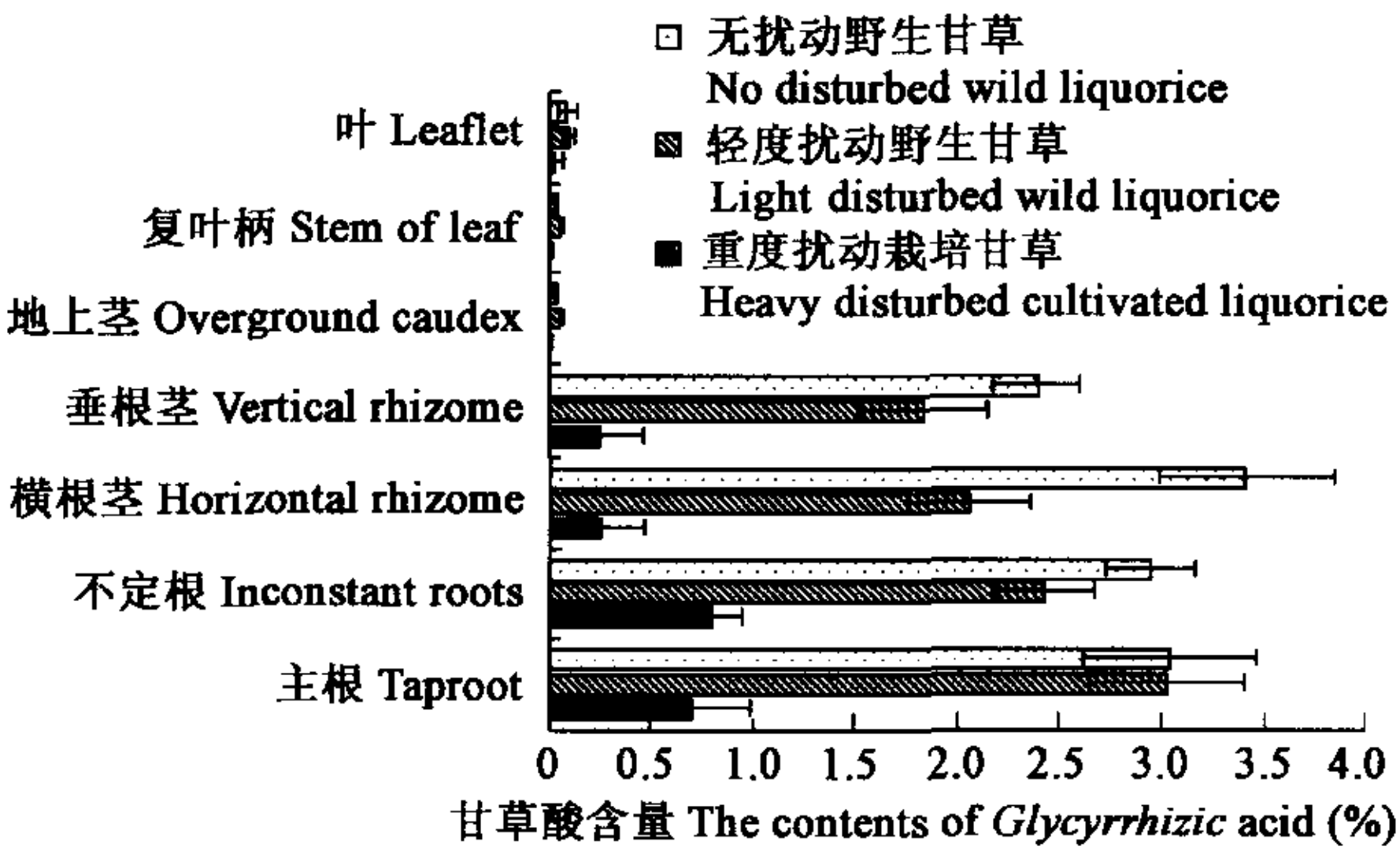


图 1 甘草不同部位甘草酸含量的比较
Fig. 1 Compared between the content of Glycyrrhizic acid of different parts in liquorices

分总黄酮的变化幅度来看,复叶柄中的总黄酮含量变化幅度最大,地上茎次之,不定根再次之,主根最小。轻度扰动野生甘草地上与地下不同部位总黄酮含量变化规律与无扰动野生甘草相近,但其总黄酮含量具有一定的差异。轻度扰动野生甘草叶片、复叶柄、地上茎、不定根、垂根茎、横根茎和主根中的总黄酮含量均明显小于无扰动野生甘草,尤其以叶片和复叶柄差异最大,总黄酮含量的变化幅度也最大。重度扰动栽培甘草不同部位总黄酮含量在2%以上,尽管不同部位(不定根除外)总黄酮含量仍低于无扰动野生甘草和轻度扰动野生甘草,但从数值上比较接近。重度扰动栽培甘草各部分总黄酮含量最突出的特点是地上、地下各有一个含量较高的部位,且不定根总黄酮含量的变化幅度较小,主根的变化幅度加大,显示出栽培甘草总黄酮产生与存储部位可能与野生甘草存在差异。

3.3 不同土壤深度甘草主根甘草酸和总黄酮含量比较

垂直根茎是连接地上茎与横走根茎或主根的根茎^[11],因此垂直根茎长度可以作为为甘草主根距地面的深度指标。无扰动野生甘草主根主要分布在0.45m深度,是对自然环境的长期适应,轻度扰动野生甘草主根分布稍浅,而栽培甘草由于种子浅播主根分布深度极浅,多在5cm左右^[6]。按甘草主根在土壤中分布深度分段测定甘草酸和总黄酮含量,结果见图3。

无扰动野生甘草主根甘草酸和总黄酮含量随土壤深度的增加呈规律性变化(图3a):在1.0~2.0m土壤深度中甘草酸含量较大,0.5~1.0m浅层土壤中甘草酸含量较低,2.0m以下深层土壤中甘草酸含量最低;而甘草总黄酮含量随土壤深度的增加而降低。轻度扰动野生甘草主根的甘草酸含量和总黄酮含量随土壤深度的变化规律与无扰动野生甘草相同(图3b),其中2.0m以下土壤深度甘草酸含量明显低于无扰动野生甘草,1.0m以上土壤中总黄酮含量也明显低于无扰动野生甘草。重度扰动栽培甘草主根甘草酸和总黄酮含量随土壤深度的增加的变化特点见图3c。随土壤深度的增加,重度扰动栽培甘草主根的甘草酸含量逐步增加,但在0.75m土壤深度以下甘草酸含量的增幅明显下降;甘草总黄酮含量在0.25~0.75m土壤深度最高,0.75m以下土壤中的总黄酮含量下降。重度扰动栽培甘草主根甘草酸含量和总黄酮含量均明显低于无扰动野生甘草和轻度扰动野生甘草。

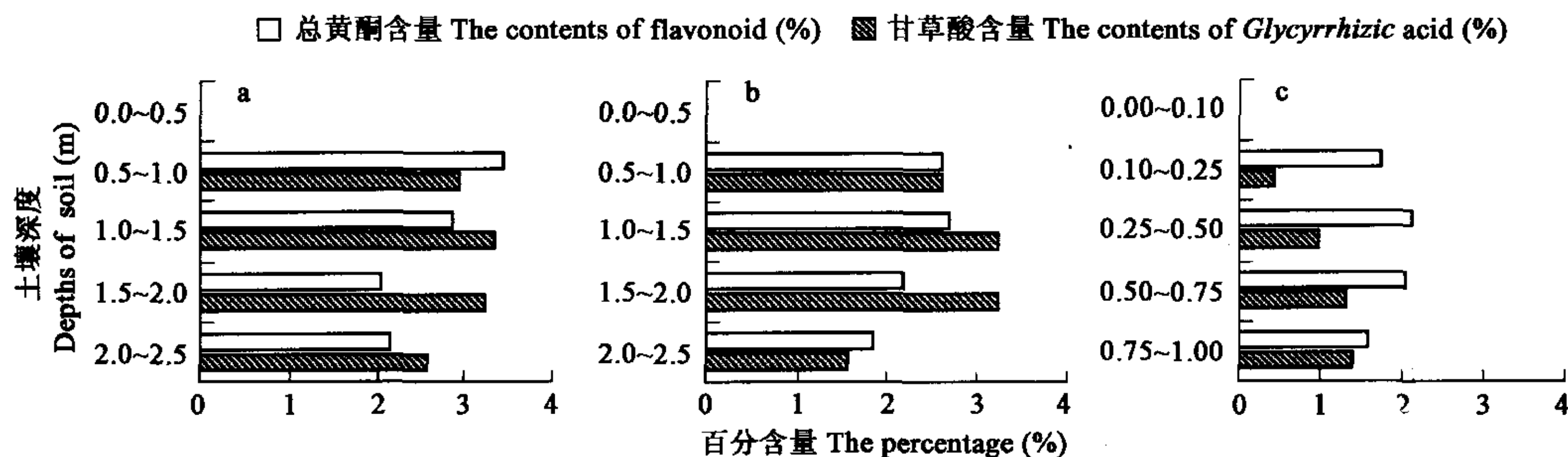


图3 不同土壤深度甘草主根甘草酸含量和总黄酮含量比较

Fig. 3 Compared between the content of Glycyrrhizic acid and the content of flavonoids of licorice taproots in different soil depths

4 讨论

(1)不同部位甘草酸含量测定结果显示甘草主根在不同分布深度中甘草酸含量差异明显。无扰动野生甘草和轻度扰动野生甘草主根在1.0~2.0m深度甘草酸含量分布较高是对该生境不同土壤深度长期适应的结果,人为扰动对野生甘草的根茎(尤其是横根茎)中的甘草酸含量影响较大,土壤扰动可能不利于根茎中甘草酸的积累。重度扰动栽培甘草主根在1.0m以下深层土壤中甘草酸含量较高,表明栽培甘草主根可能尚未达到其甘草酸含量最高的土壤深度。如果给予于栽培甘草足够的生长时间,甘草主根将分布更深,其甘草酸含量将遵循野生甘草的规律。

(2)3类甘草在各部分组织或器官中的总黄酮含量规律性均很明显。无扰动野生甘草和轻度扰动野生甘草由于有共同的种源(均为野生甘草),因此总黄酮含量从地上到地下单调下降;而栽培甘草在地上(叶)、地下(不定根)各有一个含量较高的部位。总体上3类甘草的地上部分总黄酮含量大于地下,据此推断黄酮类物质可能主要在地下部分组织或器官中产生,尤其是在叶中产生。由于甘草的不定根是总黄酮含量较高的部位,较细的不定根或毛状根也可能是黄酮类物质的产生部位。叶与主根中

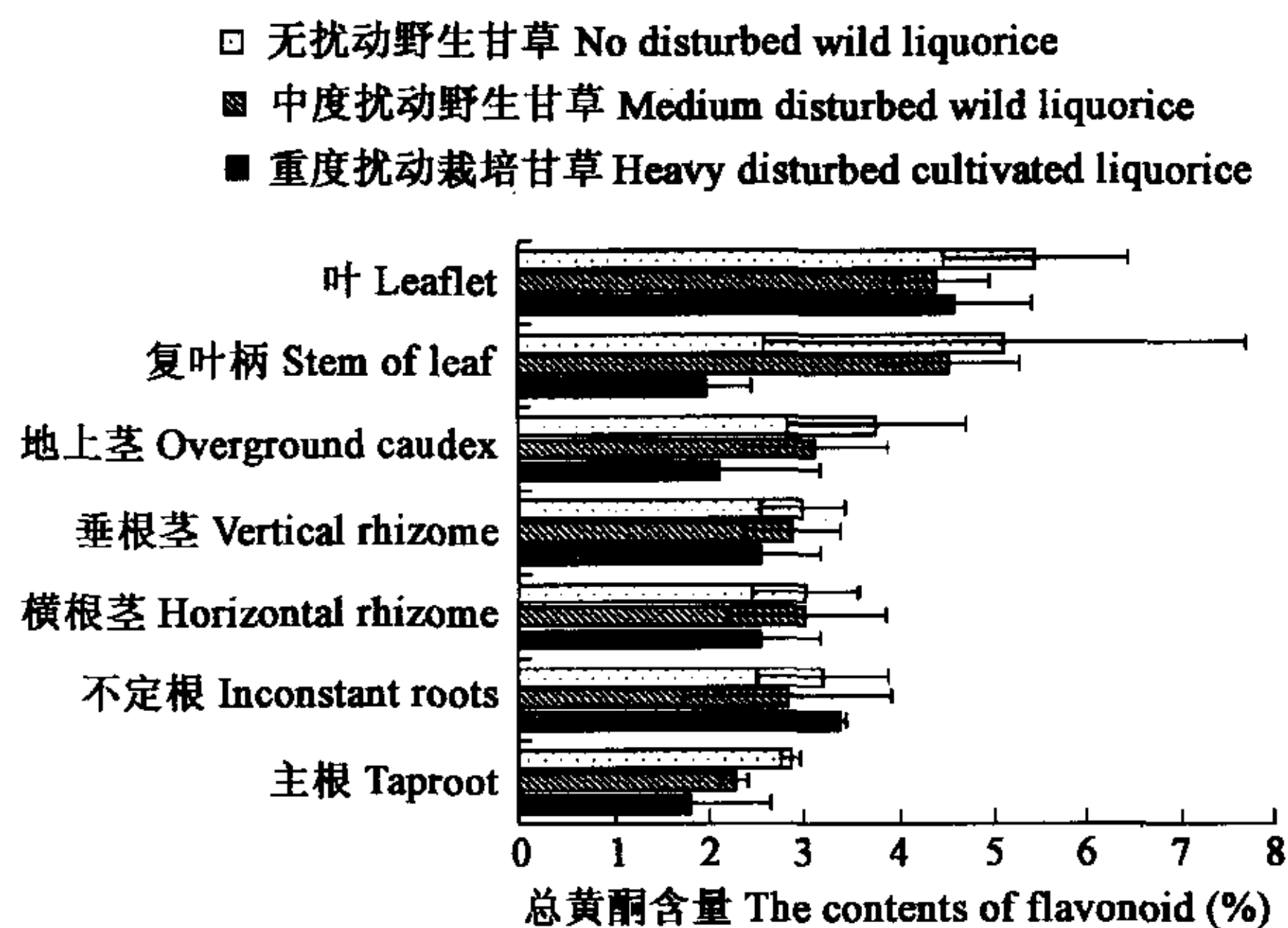


图2 甘草不同部位总黄酮含量的比较

Fig. 2 Compared between the content of flavonoids of different parts in liquorices

总黄酮含量较高而具有输导功能的地上茎中含量较低的现象,可能说明地下根系中代谢活性较强的部位也产生黄酮类物质,从地上、地下两个方向将黄酮类物质运输到主根。

(3)人为扰动对甘草不同部位中甘草酸含量和总黄酮含量的影响程度不同 与无扰动野生甘草相比,轻度扰动野生甘草的甘草酸含量和总黄酮含量均下降,其中甘草总黄酮含量下降幅度小于甘草酸,表明即使 15a 前深翻 1 次的土壤(pH 值明显增加,见表 1)也会对野生甘草的甘草酸和总黄酮的积累产生影响,其中对甘草酸积累的影响更大。重度扰动栽培甘草各部位的甘草酸含量均较低,但甘草总黄酮含量较高,甚至不定根中的总黄酮含量高于轻度扰动野生甘草,表明栽培甘草的黄酮类物质的产生与积累速率高于甘草酸。可见,对甘草生境进行改良的人为扰动(如土壤深翻、灌溉、杀虫等措施)对甘草酸和总黄酮的积累是不利的,适当的环境胁迫对甘草不同部位中甘草酸和总黄酮含量的增加是有利的。

人为扰动对草原生境的影响,首先改变了土壤的理化性质,进而影响甘草的生理生化反应。甘草酸在地下部分产生并积累主要受土壤条件的影响,土壤含水量和 pH 值的增加可能对甘草酸的积累具有负面作用。3 类甘草的地上部分为 1 年生,生长发育速度快,土壤因素和田间管理的综合作用对甘草总黄酮积累的影响小于对甘草酸积累的影响。

(4)人为扰动对不同土壤深度甘草主根中甘草酸与总黄酮积累存在不同程度的影响 无扰动野生甘草与轻度扰动野生甘草主根的甘草酸含量变化规律相同,在 1.0~2.0m 深度含量最高;尽管土壤深翻的深度一般不超过 0.4m,但土壤扰动可减少 2.0m 以下深度甘草主根的甘草酸含量,而对 2.0m 以上土壤深度甘草主根甘草酸含量影响不大。由于栽培甘草主根可能尚未达到其甘草酸含量最高的土壤深度,随着栽培甘草生长时间的延长,栽培甘草主根将分布更深,其甘草酸含量将遵循野生甘草的规律。人为扰动对不同土壤深度甘草主根中总黄酮含量的影响不大。土壤深翻措施对 3 类甘草主根中总黄酮的积累主要集中在 0.5m 土壤深度,接近于野生甘草主根的分布深度,也是野生甘草横走根茎分布较多的土壤深度。

上述分析表明,在甘草种植过程中,适当的环境胁迫对提高甘草酸和总黄酮含量有益,盲目地对甘草生境施加人为影响,进行土壤改良等措施会降低甘草的品质。因此机械照搬粮食作物的田间管理模式可能对种植药材并不合适。在栽培一些重要的药用植物时,通过研究其原产地的生境条件,人为地营造既增加产量、又提高其活性成分的生境条件,对提高药用植物的药用价值和种植效益具有重要意义。

References:

- [1] Yin J and Guo L. *The modernistic research and clinical application of Chinese traditional medicine*. Beijing: Institute Publishing Company, 1993. 196~198.
- [2] Jia G H, Jia S S. The advance research on pharmacological actions of flavone of *Glycyrrhiza*. *Chinese Pharmacological Journal*, 1998, **33**(9): 513~516.
- [3] Feng S L. Extraction separation and content determination of flavonoids of *Glycyrrhiza*. *Journal of Lanzhou Medical College*, 1998, **24**(4): 20~21.
- [4] Fu K Z. *On the transforming of Chinese licorice from wild growing into domestication*. Herbin: Press of NorthEast Forest University, 1989. 2.
- [5] Duan C R, Wang B C, Xu S R. The effects of the environment stress on the plant secondary metabolites. *Journal of Chongqing University*, 2003, **26**(10): 67~71.
- [6] Zu Y G, Zhao Z H, Yang F J, et al. Influences of artificial disturbing degrees on soil conditions and liquorice roots system. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, **24**(4): 724~729.
- [7] Burbulis I E, Iacobucci M, Shirley B W. A null mutation in the first enzyme of flavonoid biosynthesis does not affect male fertility in *Arabidopsis*. *Plant Cell*, 1996, **8**(6): 1013~1025.
- [8] Ylstra B, Busscher J, Franken J, et al. Flavonols and fertilization in *Petunia hybrida*: localization and mode of action during pollen tube growth. *Plant Journal*, 1994, **6**(2): 201~212.
- [9] Feng X and Li H Y. Comparative research on flavone components between *Bupleurum chinense* and *Bupleurum yantai*. *Chinese Traditional and Herbal Drugs*, 1990, **21**(8): 5~6.
- [10] Zhao Z H, Cao J G, Li Q Y, et al. Study on variety trends of flavonoids in *Glycyrrhiza uralensis* in the west of Heilongjiang, China. *Bulletin of Botanical Research*, 2004, **24**(2): 235~239.
- [11] Li Z J, Liu W Z, Hu Z H. Morphological anatomical studies on the roots and rhizomed of 5 species in *Glycyrrhiza*. *Acta Bot. Boreal. - Occident. Sin.*, 1997, **17**(3): 339~347.

参考文献:

- [1] 阴键,郭力. 中药现代研究与临床应用. 北京:学苑出版社,1993. 196~198.
- [2] 贾国惠,贾世山. 甘草中黄酮的药理作用研究进展. 中国药学杂志,1998, **33**(9): 513~516.
- [3] 封士兰. 甘草黄酮的提取分离和含量测定. 兰州医学院学报,1998, **24**(4): 20~21.
- [4] 傅克治. 中国甘草野生变家植. 哈尔滨:东北林业大学出版社,1989. 2.
- [5] 段传人,王伯初,徐世荣. 环境应力对植物次生代谢产物形成的作用. 重庆大学学报(自然科学版), 2003, **26**(10): 67~71.
- [6] 祖元刚,赵则海,杨封建,等. 人为扰动程度对土壤环境和甘草地下根系的影响. 生态学报,2004, **24**(4): 724~729.
- [9] 冯煦,李鸿英. 北柴胡与烟台柴胡黄酮成分的比较研究. 中草药,1990, **21**(8): 5~6.
- [10] 赵则海,曹建国,李庆勇,等. 黑龙江省西部乌拉尔甘草总黄酮含量的动态变化研究. 植物研究,2004, **24**(2): 235~239.
- [11] 李志军,刘文哲,胡正海. 5 种甘草根和根状茎的解剖学研究. 西北植物学报,1997, **17**(3): 339~347.