

doi:10.11937/bfyy.20223548

# 不同施肥处理对贯叶连翘生长及 药用成分含量的影响

吕金林<sup>1,2</sup>, 王宇超<sup>1,2</sup>, 毛祝新<sup>1,2</sup>, 李倩<sup>1,2</sup>

(1. 陕西省西安植物园(陕西省植物研究所), 陕西 西安 710061;

2. 陕西省植物资源保护与利用工程技术研究中心, 陕西 西安 710061)

**摘要:**以贯叶连翘为试材,采用田间试验法,研究了不同氮磷钾配比施肥对贯叶连翘地上和地下部分生长量以及金丝桃素和总黄酮含量的影响,以期为科学规范化栽植贯叶连翘,尤其在施肥管理方面提供参考依据。结果表明:1)施肥后贯叶连翘根部和地上部分生长量显著高于未施肥对照( $P<0.05$ ),最高生长增量均出现在中度氮肥和中度磷钾肥组合中,根部和地上部分生长量分别为 29.45 g 和 56.26 g,分别是对照的 4.89 倍和 3.85 倍;2)在贯叶连翘根、茎、叶 3 个部位中,金丝桃素和总黄酮含量主要集中在叶部,分别是 0.067% 和 2.3%;3)施肥处理后贯叶连翘的金丝桃素和总黄酮含量普遍高于对照,在中度氮肥和中度氮磷钾组合下全草金丝桃素和总黄酮含量最高,各部位和全草药用成分含量最高值均没有出现高肥处理中。综上所述,氮肥、磷肥和钾肥能够明显促进贯叶连翘的生长和药用成分的合成积累,尤其在中等肥力表现良好。

**关键词:**施肥;贯叶连翘;生物量;金丝桃素;总黄酮

**中图分类号:**S 567.9 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2023)08-0094-07

贯叶连翘(*Hypericum perforatum*)为藤黄科金丝桃属多年生草本植物,又称贯叶金丝桃,在西方国家又名圣·约翰草(St. John's wort),在我国主要分布于陕西、甘肃、贵州、新疆、四川等地,其全草均可入药,已成为世界上销量最大的 3 种中草药之一<sup>[1-2]</sup>。对贯叶连翘药理活性的深入研究发现,其含有多种具生物活性的化学成分,主要有黄酮类化合物、金丝桃素、花青素、间苯三酚等,

具有抗抑郁、抗病毒、抗炎、止咳镇痛等功效<sup>[3-4]</sup>。由于贯叶连翘独特的药理学作用和良好的市场前景,已成为全球销量和研究开发的热点草药之一<sup>[5]</sup>。

然而近年来,随着对贯叶连翘认知度的提高,市场需求量不断增加,出现了野生资源过度采挖,甚至开采利用规模逐年递增,使得其生态环境遭受破坏,种群数量急剧降低,甚至面临枯竭<sup>[6-7]</sup>。因此,许多地区已经采取了人工栽培的方式来满足需求量,但是多以分散的个体生产为主。贯叶连翘的生产过程缺乏科学的规范化管理,尤其是在施肥方面理论依据尚不充足,大多数药材生产基地和种植户盲目参照大田作物的施肥方法,出现施肥单一,管理粗放,不能按照平衡施肥或精确施肥的原则科学施肥,使得贯叶连翘极易受到病虫害和季节气候等环境因素影响,导致产量和次生代谢产物含量不稳定<sup>[8]</sup>。可见对贯叶连翘进行

**第一作者简介:**吕金林(1992-),女,博士,助理研究员,现主要从事恢复生态学等研究工作。E-mail:lvjinlin1011@126.com.

**责任作者:**王宇超(1978-),男,博士,副研究员,现主要从事植物入侵和恢复生态学等研究工作。E-mail:wangyuchao2000@126.com.

**基金项目:**陕西省科学院科技计划资助项目(2020K-05);陕西省重点研发计划资助项目(2021SF-490)。

**收稿日期:**2022-08-30

深入的施肥研究,建立科学的施肥技术规范迫在眉睫。

关于贯叶连翘的研究多集中于引种驯化栽培与快速繁殖技术、活性成分的分析与提取、基因组学分析等方面<sup>[2,8-11]</sup>,然而在人工栽培过程中,不同施肥配比对植株生长和活性物质的影响鲜有报道。金丝桃素和总黄酮是贯叶连翘提取物中主要的具生物活性的物质,是具有抗病毒、抗抑郁作用的成分之一<sup>[12-13]</sup>。康霞等<sup>[7]</sup>研究报道,贯叶连翘总黄酮和金丝桃素分别在叶和花中含量最高,在茎中含量最低。许多学者研究了水分、光照、温度、物候期和营养物质等对贯叶连翘金丝桃素含量的影响,发现金丝桃素含量在盛花期达到最大值,添加氮元素的土壤会降低金丝桃素含量,当氮元素含量降低时,其产量会增加<sup>[14-17]</sup>。关于贯叶连翘2种主要药用成分含量在不同施肥措施下的变化情况的研究较少。该研究拟通过对贯叶连翘进行不同氮磷钾配比施肥,观察贯叶连翘生长状况变化,测定根、茎、叶3个部位的金丝桃素和总黄酮含量,分析不同施肥处理对植株生长和药用成分含量的影响,探明贯叶连翘的需肥规律,旨在为贯叶连翘的合理施肥和优质栽培技术提供参考依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

供试苗木为贯叶连翘实生苗,于秦岭火地塘林场采集规格相近实生贯叶连翘,将采集植株去除地上部分,只保留部分芽,栽植于桶中(上口径×下口径×高:26 cm×15 cm×20 cm),每桶装土3.6 kg。供试土壤为西安植物园地表土过筛加沙,土沙体积比为3:1,经测定其田间持水量为22.2%,土壤全氮含量为0.204 3 g·kg<sup>-1</sup>,全磷含量为0.404 7 g·kg<sup>-1</sup>,全钾含量为0.120 1 g·kg<sup>-1</sup>。

### 1.2 试验方法

植株在苗圃生长2个月后,进行施肥处理,土壤水分控制在田间持水量的65%。试验设置2个类型肥料处理:速效氮和磷酸二氢钾,其中磷酸二氢钾为磷肥和钾肥的复合肥;2种类型肥料用N和P表示。4个土壤加肥量:对照(0 g·盆<sup>-1</sup>)、轻度

(0.8 g·盆<sup>-1</sup>)、中度(2.4 g·盆<sup>-1</sup>)、重度(4.4 g·盆<sup>-1</sup>),分别表示为CK、1、2、3。因此,试验共设10个处理:CK、N<sub>1</sub>P<sub>1</sub>、N<sub>1</sub>P<sub>2</sub>、N<sub>1</sub>P<sub>3</sub>、N<sub>2</sub>P<sub>1</sub>、N<sub>2</sub>P<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>P<sub>3</sub>、N<sub>3</sub>P<sub>1</sub>、N<sub>3</sub>P<sub>2</sub>、N<sub>3</sub>P<sub>3</sub>,每个处理设置10个重复。肥料分2次加入,每次分别溶于1 L水中,2次施肥时间间隔为20 d,在第1次施肥后60 d采集样品并进行指标测定。

### 1.3 项目测定

#### 1.3.1 生长指标测定

植株移盆前,去除地上部分只保留部分芽,称取这部分芽的质量即施肥前地下部分质量,地上部分质量记为0。在施肥后60 d分别称质量植株地上和地下部分质量。地上和地下部分质量在施肥前后的差值即植株地上和地下部分的生长量。

#### 1.3.2 主要药用成分含量测定

##### 1) 金丝桃素测定

金丝桃素提取:根据试验要求将荫干贯叶连翘粉碎,并过60目筛,称取0.5 g粉末,加入甲醇20 mL,超声30 min,过滤到25 mL容量瓶中,同时反复冲洗滤纸,最后用甲醇定容至25 mL,于589 nm测定其吸光度,计算含量。

测试精密度试验:同一样品按照上述方法进行配液,在589 nm测定其吸光度(Abs),重复测定7次,测试精密度变异系数(RSD)1.38%。

标准曲线测定:精密称取金丝桃素标准品(上海金源科技,纯度98%)2 mg,加入2 mL甲醇摇匀,配比成1 mg·mL<sup>-1</sup>母液,分别吸取母液0、0.4、0.2、0.15、0.1、0.05、0.025、0.015、0.01、0.002 mL,定容至10 mL容量瓶中。取甲醇为空白对照,在波长589 nm测吸光度,绘制吸光度和浓度曲线,计算曲线相关系数 $R^2=0.998\ 9$ ,得到 $y=106.21x+0.020\ 5$ (图1)。金丝桃素在0~0.04 mg·mL<sup>-1</sup>范围内成良好的线性关系。

##### 2) 总黄酮含量测定

总黄酮提取:称取样品0.4 g,加入5 mL 30%乙醇,超声震荡30 min后过滤,用30%乙醇反复冲洗滤纸和残渣,并转移到25 mL容量瓶中。加入0.7 mL 5%NaNO<sub>2</sub>,摇匀,6 min后加入0.7 mL 10%Al(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>,6 min后,加入10 mL 4%NaOH,并用30%乙醇定容至25 mL容量瓶里,放置15 min后,于510 nm波长测定。

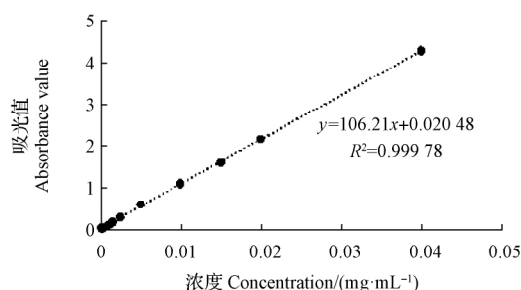


图1 金丝桃素标准曲线

Fig. 1 Standard curve for hypericin

**测试精密度试验:**同一样品按照上述方法进行配液,在 510 nm 测定其吸光度(Abs),重复测定 7 次,测试精密度变异系数  $RSD1.43\%$ 。

**标准曲线测定:**精密称取芦丁标准品(上海金源科技,纯度 98%)40 mg,加入 20 mL 甲醇,配置浓度  $2 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$  母液 20 mL。取芦丁母液 ( $2 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ ): 0、0.1、0.2、0.4、0.6、1、2、4、9 mL 置于 25 mL 容量瓶,加入 5 mL 30% 乙醇,加入 0.7 mL 5%  $\text{NaNO}_2$  摇匀,6 min 后加入 0.7 mL 10%  $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$ ,6 min 后加入 10 mL 4%  $\text{NaOH}$ ,用 30% 乙醇定容于 25 mL 容量瓶中。于 510 nm 波长测定,绘制吸光度和浓度曲线,计算曲线相关系数  $R^2 = 0.992 0$ ,得到  $y = 7.657 4x + 0.197 2$ (图 2)。总黄酮在  $0 \sim 0.72 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$  范围内成良好的线性关系。

#### 1.4 数据分析

采用 SAS v8 软件进行单因素方差分析(one-way ANOVA),比较不同施肥措施贯叶连翘生长量和药用成分含量的差异。

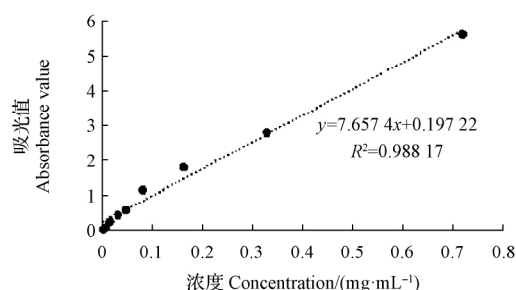


图2 总黄酮标准曲线

Fig. 2 Standard curve for total flavonoids

## 2 结果与分析

### 2.1 不同施肥处理对贯叶连翘植株生长量的影响

#### 2.1.1 对植物根系生长的影响

不同施肥水平对植物生长性状及产量有很大影响。矿质营养元素对药用植物的生长发育、植物的生理生化反应强度及代谢途径起着调节作用,进而影响其产量和品质。而这些矿物元素最先作用于植物根部。根部是植物吸取营养元素的主要器官,其发育状况直接影响到植物地上部分的营养积累和代谢<sup>[18]</sup>。

由表 1 可知,施过氮肥和磷钾肥后,贯叶连翘植物根系生长量明显高于未施肥对照,并具有显著差异( $P < 0.05$ )。所有处理中,中度氮肥和中度磷钾肥( $\text{N}_2\text{P}_2$ )处理下贯叶连翘的根部生长量最大,为 29.45 g,是对照的 4.89 倍。中度磷钾肥( $\text{P}_2$ )下贯叶连翘的根部生长量数值明显大于其它 2 个磷钾肥处理( $\text{P}_1$  和  $\text{P}_3$ )。轻度磷钾肥水平( $\text{P}_1$ )下,中度和重度氮肥在所有施肥处理中根部生长量最小,显著低于其它施肥组合( $P < 0.05$ )。

表1 不同施肥处理对贯叶连翘根系生长的影响

Table 1 Effects of different fertilization treatments on root growth of *H. perforatum* (mean±SE)

g

| 施肥水平 Fertilization level | CK         | $\text{P}_1$ | $\text{P}_2$ | $\text{P}_3$ |
|--------------------------|------------|--------------|--------------|--------------|
| CK                       | 6.02±0.98F | —            | —            | —            |
| $\text{N}_1$             | —          | 26.89±1.09C  | 27.39±1.25C  | 25.33±1.95D  |
| $\text{N}_2$             | —          | 22.64±1.75E  | 29.45±1.25A  | 27.17±2.01C  |
| $\text{N}_3$             | —          | 22.34±2.01E  | 28.65±1.05B  | 26.61±2.65C  |

注:不同大写字母表示不同处理之间差异显著( $P < 0.05$ ),字母相同表示差异不显著。下同。

Note: Different uppercase letters indicate significant difference among different treatments ( $P < 0.05$ ), the same letters indicate insignificant difference. The same as below.

2.1.2 对植物地上部分生长量的影响

生长量反映了环境和植物自身的综合作用,对生长量的影响是衡量植物生长状态最直接也是最全面的指标之一。植物生活史主要表现形式是地上部分生长状态,开花和结果同样主要在植物地上部分营养积累。

由表 2 可知,施肥处理明显增加了贯叶连翘

地上部分的生长量,与对照有显著差异( $P<0.05$ )。其中最高地上部分生长量出现在中度磷钾肥和中度氮肥( $N_2P_2$ )处理中,为 56.26 g,是对照的 3.85 倍。轻度磷钾肥和轻度氮肥( $N_1P_1$ )处理中贯叶连翘地上部分生长量显著低于其它施肥处理,说明较高浓度的氮磷钾肥有助于植株地上部分的营养积累。

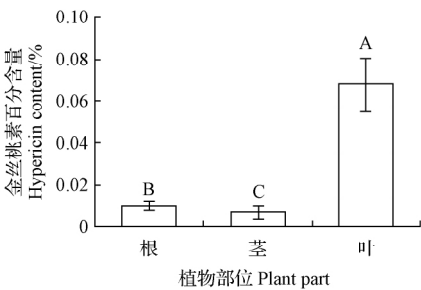
表 2 不同施肥处理对贯叶连翘地上部分生长量的影响

| Table 2 Effects of different fertilization treatments on aboveground growth of <i>H. perforatum</i> (mean±SE) g |            |                |                |                |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|----------------|----------------|----------------|
| 施肥水平 Fertilization level                                                                                        | CK         | P <sub>1</sub> | P <sub>2</sub> | P <sub>3</sub> |
| CK                                                                                                              | 14.61±2.1G | —              | —              | —              |
| N <sub>1</sub>                                                                                                  | —          | 24.76±2.12F    | 41.43±3.78E    | 44.33±3.89D    |
| N <sub>2</sub>                                                                                                  | —          | 48.94±3.10C    | 56.26±4.28A    | 45.86±4.21D    |
| N <sub>3</sub>                                                                                                  | —          | 47.41±4.22C    | 53.18±4.37B    | 40.03±3.52E    |

2.2 不同施肥处理对贯叶连翘主要药用成分含量的影响

2.2.1 对植物金丝桃素含量的影响

由图 3 可知,金丝桃素主要集中在贯叶连翘的叶部,含量为 0.067%,其次为根部(0.009%),含量最低的部位为茎部(0.006%)。



注:不同大写字母表示不同部位之间差异显著( $P<0.05$ ),字母相同表示差异不显著。下同。

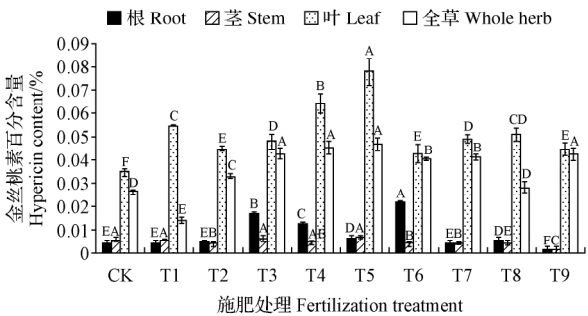
Note: Different uppercase letters indicate significant difference among different organs ( $P<0.05$ ), the same letters indicate insignificant difference. The same as below.

图 3 不同施肥处理对贯叶连翘不同部位金丝桃素含量的影响

Fig. 3 Effects of different fertilization treatments on hypericin contents in different parts of *H. perforatum*

由图 4 可知,施肥处理后贯叶连翘叶部和全草的金丝桃素含量普遍高于对照,根部和茎部金丝桃素含量变化不明显,基本维持在较低水平,但是轻度氮肥和轻度磷钾肥( $N_1P_1$ )处理下全草金

丝桃素相比对照有所降低,这说明施肥对贯叶连翘金丝桃素合成具有促进作用。在中等肥力下贯叶连翘金丝桃素含量相对高于低等和高等肥力条件,其中植株叶部表现最为明显。中度氮肥和中度磷钾肥( $N_2P_2$ )处理中贯叶连翘全草和叶部金丝桃素含量最高,分别为 0.047%和 0.078%。



注:CK, CK; T1,  $N_1P_1$ ; T2,  $N_1P_2$ ; T3,  $N_1P_3$ ; T4,  $N_2P_1$ ; T5,  $N_2P_2$ ; T6,  $N_2P_3$ ; T7,  $N_3P_1$ ; T8,  $N_3P_2$ ; T9,  $N_3P_3$ 。下同。

Note: CK, CK; T1,  $N_1P_1$ ; T2,  $N_1P_2$ ; T3,  $N_1P_3$ ; T4,  $N_2P_1$ ; T5,  $N_2P_2$ ; T6,  $N_2P_3$ ; T7,  $N_3P_1$ ; T8,  $N_3P_2$ ; T9,  $N_3P_3$ . The same as below.

图 4 不同施肥处理对贯叶连翘金丝桃素含量的影响

Fig. 4 Effects of different fertilization treatments on hypericin contents in different fertilization treatments

2.2.2 对植物总黄酮含量的影响

由图 5 可知,总黄酮含量在贯叶连翘 3 个部位有显著差异,其中叶部含量最高,为 2.3%,其次为茎部(1.3%),根部最低仅有 0.7%。根、茎、

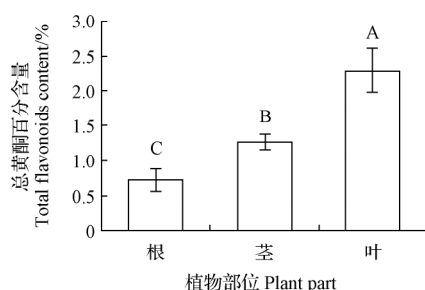


图5 不同施肥处理对贯叶连翘不同部位总黄酮含量的影响

Fig 5 Effects of different fertilization treatments on total flavonoids content in differents parts of *H. perforatum*

叶3个部位总黄酮含量的排序和金丝桃素含量排序不完全一致,说明贯叶连翘茎部虽然金丝桃素含量低,但其含有较为丰富的其它黄酮类化合物,具有较高的药用价值。

由图6可知,施肥普遍提高了贯叶连翘根部和叶部的总黄酮含量,尤其是在低氮条件下,轻度氮肥和轻度磷钾肥( $N_1P_1$ )处理下叶部总黄酮含量高达4.7%。全草总黄酮含量在中度氮肥和轻度磷钾肥( $N_2P_2$ )处理下最高,为2.14%。与低肥和中肥处理相比,高肥处理下贯叶连翘的总黄酮含量并没有明显升高,反而有所减弱。

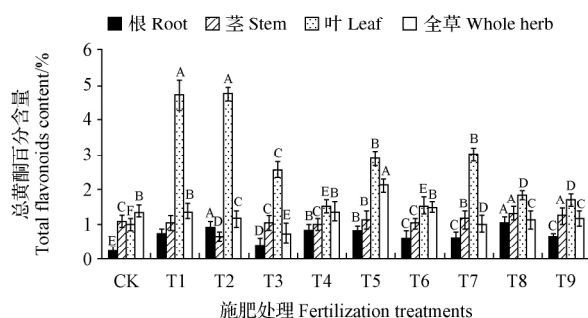


图6 不同施肥处理对贯叶连翘总黄酮含量的影响

Fig 6 Effects of different fertilization treatments on total flavonoids content in differents fertilization treatments

### 3 讨论

施肥是植物培育的重要耕作管理措施,科学合理的施肥能够促进植物生长、保障高产和实现水肥高效利用。其中,确定施肥用量尤为关键,对

植物进行适当的养分补充和调节,才可以维持土壤肥力,保证植物健康快速生长<sup>[19]</sup>。该研究中,施过氮肥和磷钾肥之后,贯叶连翘根系和地上部分生长量显著高于未施肥对照。这与大多数的研究结果一致,施肥可以明显提高苗木光合作用,改善其营养状况,增强其抗逆性,增加有机物质累积,从而促进苗木生长发育<sup>[19-21]</sup>。然而,合理的施肥配比才能将土壤对植物的肥力作用发挥至最佳,过量施肥会导致苗木出现肥害现象<sup>[22]</sup>。欧建德<sup>[23]</sup>发现南方红豆杉(*Taxus wallichiana* var. *mairii*)幼苗生物量随着施肥量的增加表现出先增加后降低的趋势。魏厥云等<sup>[24]</sup>研究发现,氮、磷、钾肥比例为2:3:1或2:3:2时能够最大限度的促进苗木生长。中等肥力下,贯叶连翘的植株生长量最大,说明施肥量并不是越大越高效,过量施肥会对植物生长产生胁迫作用,适宜适量范围内施肥可实现植物高效繁殖培育。

施肥对贯叶连翘金丝桃素和总黄酮含量有一定的正向影响,可有效提高其药用成分含量。前期选取陕西省佛坪县、长青县、周至县、宁陕县、略阳县等11个野外分布点对贯叶连翘进行植株采集,测定了全草金丝桃素和总黄酮含量。通过比较野生环境和施肥处理后贯叶连翘主要药用成分含量发现,施肥后金丝桃素和总黄酮含量基本超过野生环境下含量,说明肥料的施用有利于贯叶连翘药用成分的累积,可能与施肥后土壤养分含量增加、配比优化和供应能力提升等有关<sup>[21]</sup>。

从肥力角度来看,不同施肥水平下贯叶连翘金丝桃素和总黄酮含量存在差异。中度氮肥和轻度磷钾肥即中等肥力下其含量达到最高,而在高肥处理下无明显增加,甚至有轻微减少。结果表明,不同肥种的均衡施用更有利于提供平衡的养分,促进植物营养和水分的吸收与转运,加速植物有效物质的形成与积累<sup>[25]</sup>。对喜马拉雅红豆杉(*Taxus himalayana*)的研究同样发现随着施肥量的增加,可溶性糖、叶绿素等生理指标含量呈先增加后降低的趋势<sup>[21]</sup>。唐新瑶等<sup>[26]</sup>也报道当纯氮、纯磷、纯钾的施用总量为1.2、2.7、0.5 g·株<sup>-1</sup>时,观光木(*Tsoongiodendron odoratum*)幼苗的生长和叶片养分含量达到最佳,超出后促进作用开始减弱。对于贯叶连翘而言,中等肥力下其植株生长量和主要药用成分含量均

表 3 各个野外样点贯叶连翘主要药用成分含量  
Table 3 Contents of main medicinal ingredients in *H. perforatum* at each field sample %

| 药用成分<br>Medicinal ingredient | 样点号 Number of field sample |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|------------------------------|----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                              | 1                          | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    | 11    |
| 金丝桃素 Hypericin               | 0.023                      | 0.013 | 0.015 | 0.019 | 0.010 | 0.009 | 0.009 | 0.008 | 0.007 | 0.011 | 0.010 |
| 总黄酮 Total flavonoids         | 0.850                      | 0.911 | 0.701 | 2.211 | 1.548 | 1.685 | 2.184 | 2.061 | 1.231 | 1.201 | 1.021 |

达到最佳水平。因此,在适宜范围内,施肥会促使植物地上部分合理分布,光合能力朝最优方向发展,使源和库的分配趋于平衡。而过量施用肥料会导致植物营养生长过剩而产生元素稀释作用,降低植物对氮、磷、钾养分的利用率和敏感性,不利于植株生长和有效物质的累积<sup>[21,27-28]</sup>。

4 结论

施肥处理后,贯叶连翘地上部分和根部生物量均较对照有显著提高,其中中等肥力下其生物量增量最大,根部和地上部分生物量增量分别是对照的 4.89 倍和 3.85 倍。

金丝桃素和总黄酮在贯叶连翘叶部含量最高,分别为 0.67%和 2.30%。金丝桃素在茎部含量最少,而总黄酮含量在根部最低。施肥可以有效促进贯叶连翘金丝桃素和总黄酮含量,在中等肥力下全草金丝桃素和总黄酮含量最高,根、茎、叶 3 个部位和全草金丝桃素和总黄酮含量的最高值均没有出现在高等肥力下。说明中等肥力比较适合贯叶连翘药用成分的合成。

因此,氮肥、磷肥和钾肥对贯叶连翘的生长和药用成分的积累具有明显促进作用,尤其在中等肥力下表现良好。人工栽植过程中,建议施肥多次进行,最好在早春、初夏进行施肥,施肥量建议以中等肥力为参考。

参考文献

[1] 王宇超,孙焱,周亚福,等.药用植物贯叶连翘研究现状及存在问题[J].广西林业科学,2017,4(46):403-405.  
[2] 孙艳.贯叶连翘 *bZIP* 基因家族鉴定及 *HpbZIP14*、*HpbZIP69* 基因功能研究[D].西安:陕西师范大学,2020.  
[3] WAGNER H,BLADT S. Pharmaceutical quality of hypericum extracts[J]. Journal of Geriatric Psychiatry and Neurology, 1994,S1(7):65-68.  
[4] NAHRSTEDT A,BUTTERWECK V. Biologically active and other chemical constituents of the herb of *Hypericum perforatum* L. [J]. Pharmacopsychiatry,1997,S2(30):129-134.

[5] 欧阳辉,谢丽艳,黄小方,等.贯叶连翘的化学成分与药理研究进展及前景展望[J].江西中医药,2010,41(7):78-80.  
[6] 邱璐,胡明建,范树国,等.离体培养贯叶连翘对庆大霉素的敏感性[J].江苏农业科学,2009(2):75-76.  
[7] 康霞,葛莉,栗孟飞,等.贯叶连翘引种驯化过程中生理生化特性、活性物质含量及抗氧化能力的变化[J].草业学报,2016,25(4):104-110.  
[8] 孙浩丁.贯叶连翘不定根提取工艺优化及提取物的抑菌和抗菌生物膜研究[D].延边:延边大学,2021.  
[9] 姚园园.低温促进贯叶连翘中金丝桃素积累的机制研究[D].兰州:甘肃农业大学,2019.  
[10] 杨蕾.贯叶连翘 *WRKY* 基因家族鉴定及 *HpWRKY85* 基因功能研究[D].西安:陕西师范大学,2020.  
[11] 周文.贯叶连翘全基因组测序及 5-羟色胺甲基转移酶基因的功能研究[D].西安:陕西师范大学,2020.  
[12] 张筱,卢定强,权静,等.贯叶连翘抗抑郁研究新进展[J].生物加工过程,2004,2(1):11-15.  
[13] 宋宏新,邢红香,李楠.超声提取贯叶连翘中总黄酮和金丝桃素的工艺研究[J].陕西科技大学学报(自然科学版),2014,32(1):119-122,147.  
[14] BRISKIN D P, LEROY A, GAWIENOWSKI M. Influence of nitrogen on the production of hypericins by *St. John's wort* [J]. Plant Physiology and Biochemistry, 2000, 5(38):413-420.  
[15] SOUTHWELL I A, BOURKE C A. Seasonal variation in hypericin content of *Hypericum perforatum* L. (*St. John's Wort*) [J]. Phytochemistry, 2001, 5(56):437-441.  
[16] VELADA I, RAGONEZI C, ARNHOLDT-SCHMITT B, et al. Reference genes selection and normalization of oxidative stress responsive genes upon different temperature stress conditions in *Hypericum perforatum* L. [J]. PLoS One, 2014, 12(9):e115206.  
[17] BRUNAKOVA K, PETIJOVA L, ZAMECNIK J, et al. The role of ABA in the freezing injury avoidance in two *Hypericum* species differing in frost tolerance and potential to synthesize hypericins [J]. Plant Cell Tissue and Organ Culture, 2015, 1(122):45-56.  
[18] 高树财.不同氮水平及氮形态对冬凌草生长发育和代谢的影响[D].郑州:郑州大学,2021.  
[19] 李婷,刘莉,武志伟,等.氮磷钾钙配施对望天树幼苗生长及生理特性的影响[J].西北林学院学报,2020,6(35):110-115,175.  
[20] 周维.氮磷钾配比施肥对格木幼苗生长及光合特性影响的研究[D].南宁:广西大学,2016.

- [21] 杨红,白有志,邢震,等. 施肥对喜马拉雅红豆杉生理指标及化学计量特征的影响[J]. 西南农业学报,2022(8):1-9.
- [22] 谷尘平,姜高明,王福仲,等. 水杉苗期对氮素营养需求的研究[J]. 湖北林业科技,2004(2):19-22.
- [23] 欧建德. 施肥对南方红豆杉盆栽苗生长与其生理指标的影响[J]. 西部林业科学,2016,3(45):124-127.
- [24] 魏厥云,魏永平,叶功富,等. 不同基质、施肥量对湿地松容器苗生长的影响[J]. 防护林科技,1996(S1):104-107.
- [25] ZHOU Z Z,LIANG K N,XU D P,et al. Effects of calcium, boron and nitrogen fertilization on the growth of teak (*Tectona grandis*) seedlings and chemical property of acidic soil substrate [J]. New Forests,2012,2(43):231-243.
- [26] 唐新瑶,亢亚超,王凌晖,等. 不同施肥处理对观光木幼苗生长及叶片养分含量的影响[J]. 热带农业科学,2022,42(11):1-7.
- [27] 施力军,黄天述,韦任寒,等. 不同施肥水平对蔓性千斤拔农艺性状及产量的影响[J]. 热带农业科学,2019,7(39):22-26.
- [28] 魏国余,亢亚超,廖曦,等. 配方施肥对红锥幼林生理及叶片养分含量的影响[J]. 西北林学院学报,2020,4(35):32-36,83.

## Effects of Different Fertilization Treatments on Growth and Medicinal Ingredient Contents of *Hypericum perforatum*

LYU Jinlin<sup>1,2</sup>, WANG Yuchao<sup>1,2</sup>, MAO Zhuxin<sup>1,2</sup>, LI Qian<sup>1,2</sup>

(1. Xi'an Botanical Garden of Shaanxi Province (Institute of Botany of Shaanxi Province), Xi'an, Shaanxi 710061;

2. Shaanxi Engineering Research Centre for Conservation and Utilization of Botanical Resources, Xi'an, Shaanxi 710061)

**Abstract:** *Hypericum perforatum* was used as the experiment material. Different nitrogen, phosphorus and potassium ratio fertilization was applied in *H. perforatum* to explore the effects on the growth and the contents of hypericin and total flavonoids, in order to provide reference for scientific and standardized management of artificially cultivated *H. perforatum*, especially in fertilization management. The results showed that, 1) fertilization significantly increased the growth of root and aboveground parts of *H. perforatum*. The highest growth increment occurred in the combination of moderate nitrogen, phosphorus and potassium fertilizer. The growth for root and aboveground parts was 29.45 g and 56.26 g, which were 4.89 and 3.85 times of the control, respectively; 2) among the root, stem and leaf of *H. perforatum*, hypericin and total flavonoids were mainly concentrated in the leaves, which were 0.067% and 2.3%, respectively; 3) the contents of hypericin and total flavonoids with fertilizer were generally higher than those in the control. Contents in the whole grass were the largest under the moderate fertilizer. The maximum value of medicinal ingredients in all parts and whole grass did not appear in the high fertilizer treatment. In summary, fertilization with N, P and K could obviously promote the growth and accumulation of medicinal ingredients in *H. perforatum*, especially in medium fertility.

**Keywords:** fertilizer; *Hypericum perforatum*; biomass; hypericin; total flavonoids