

## 远志养分吸收规律及其与药效成分积累的关系

张洁<sup>1,3</sup>, 张莹<sup>2</sup>, 贾小云<sup>2</sup>, 孙宝旭<sup>3</sup>, 张瑞瑞<sup>3</sup>, 马存根<sup>4</sup>, 梁建萍<sup>2\*</sup>

(1 山西农业大学, 山西太谷 030801; 2 山西农业大学生命科学院, 山西太谷 030801;  
3 山西农业大学信息学院, 山西太谷 030800; 4 山西中医药大学, 山西晋中 030619)

**摘要:**【目的】远志 (*Polygala tenuifolia* Willd) 是多年生草本植物, 以根入药, 是我国重要的大宗药材之一。研究远志的营养元素吸收规律及其与药效成分积累的关系, 为远志人工栽培中科学施肥及专用肥料的研制提供理论依据。【方法】以3年生远志为研究对象, 2017年3月26日幼苗全部返青, 从返青后40天(5月4日)开始, 每隔20天田间采集植株样一次, 分别测定其根部和地上部干物质质量, 氮磷钾等8个营养元素含量以及根中3类药效成分(总皂苷、总黄酮和总酚)的含量。【结果】远志地上部干物质积累在整个生育期内呈先升高后下降的趋势, 根部干物质积累呈直线上升趋势。返青后40~140天地地上部干物质积累量大于根, 返青后160~195天生长中心转移到根, 根的干物质积累量大于地上部。远志植株对氮素的吸收最大时期在返青后100~140天, 吸收量为18.77 g/m<sup>2</sup>, 对磷、钾的最大吸收时期在返青后140天, 吸收量分别为3.07 g/m<sup>2</sup>和3.36 g/m<sup>2</sup>。远志根中总皂苷、总黄酮、总酚积累量的趋势基本一致, 均为先升高后降低, 积累量均在返青后180天达到最大值。总皂苷积累量出现两次峰值, 分别在返青后140天(6.28 g/m<sup>2</sup>)和180天(6.43 g/m<sup>2</sup>), 总酚积累量也出现两次峰值, 分别在返青后80天(2.37 g/m<sup>2</sup>)和180天(4.31 g/m<sup>2</sup>), 总黄酮积累量只有一次峰值, 出现在返青后180天(2.35 g/m<sup>2</sup>)。根药效成分经济产量在返青后180天达到最高。总黄酮含量与根中锌元素含量呈显著正相关( $P < 0.05$ ); 总酚含量与根中锌元素含量呈极显著正相关( $P < 0.01$ )。【结论】返青后140~195天是远志根干物质积累最快的时期。远志氮营养最大效率期在返青后100~140天, 磷、钾营养最大效率期在返青后140天。在远志专用肥料配制中应保证锌元素的供给, 以满足远志生长发育的需求, 从而有效提高药效成分的积累。远志根秋季采收的最佳时间是返青后180天(9月25日)。

**关键词:** 远志; 养分吸收; 药效成分; Zn; 采收期

## Nutrient uptake rules of *Polygala tenuifolia* and its relationship with accumulation of bioactive components

ZHANG Jie<sup>1,3</sup>, ZHANG Ying<sup>2</sup>, JIA Xiao-yun<sup>2</sup>, SUN Bao-xu<sup>3</sup>, ZHANG Rui-rui<sup>3</sup>, MA Cun-gen<sup>4</sup>, LIANG Jian-ping<sup>2\*</sup>  
(1 Shanxi Agricultural University, Taigu, Shanxi 030801, China; 2 College of Life Science, Shanxi Agricultural University, Taigu, Shanxi 030801, China; 3 College of Information, Shanxi Agricultural University, Taigu, Shanxi 030800, China;  
4 Shanxi University of Chinese Medicine, Jinzhong, Shanxi 030619, China)

**Abstract:** 【Objectives】*Polygala tenuifolia*, a Chinese medicine herb whose root is the harvested part, is one of the main commoditized raw materials. The rules of nutrient absorption and its relationship with the accumulation of bioactive components were studied, in order to provide theory for scientific fertilizer application in *Polygala tenuifolia*. 【Methods】The 3-year-old *P. tenuifolia* plants were taken as the research material. Since turning green on March 26 of 2017, plant samples were collected at the 40, 60, 80, 100, 120, 140, 160, 180 and 195 days after revival. The dry matter accumulations, the contents of nitrogen (N), phosphorus (P), potassium (K), calcium (Ca), magnesium (Mg), iron (Fe), copper (Cu), zinc (Zn) in roots and the aboveground parts were analyzed. At the same time, the contents of saponins, flavonoids and phenols in roots of different growth periods of *P. tenuifolia*

收稿日期: 2018-07-24 接受日期: 2019-04-28

基金项目: 山西省重点研发计划重点项目(201603D3111003); 山西省农业科技成果转化和推广示范项目(SXNKTG201810)。

联系方式: 张洁 E-mail: 2722677979@qq.com; \*通信作者 梁建萍 E-mail: liangjp@sxau.edu.cn

were measured. 【 Results 】 The dry matter accumulation in the aboveground parts of *P. tenuifolia* increased first and then decreased, and that in roots kept a linear increasing during the whole growing period. The dry matter accumulation of the aboveground parts was greater than that of roots from 40 days to 140 days after turning green. With the growth center transferred to roots from the 160 days to 195 days after revival, the dry matter accumulation of roots was greater than that of the aboveground parts. The maximum N absorption capacity of *P. tenuifolia* was from 100 days to 140 days after revival with the absorption amount of 18.77 g/m<sup>2</sup>, and the maximum P and K absorption capacity was 140 days after revival, with the absorption amounts of 3.07 g/m<sup>2</sup> and 3.36 g/m<sup>2</sup>, respectively. The accumulation of saponins and flavonoids in the whole growth period in roots of *P. tenuifolia* all showed two peaks, for saponins they appeared at 140 days (6.28 g/m<sup>2</sup>) and 180 days (6.43 g/m<sup>2</sup>) and for phenols at 80 days (2.37 g/m<sup>2</sup>) and 180 days (4.31 g/m<sup>2</sup>) after revival. The accumulation of flavonoids appeared one peak at 180 days revival green (2.35 g/m<sup>2</sup>). The economic yield of root bioactive components reached the highest at the 180 days after revival. A positive and significant correlation was found between flavonoid content and Zn content in root ( $P < 0.05$ ), and it was extremely significant between phenol content and Zn content in root ( $P < 0.01$ ). 【 Conclusions 】 The rapid dry matter accumulation in roots is from 140 days to 195 days after the revival of *P. tenuifolia* plants, which is more than 40 days behind the peak accumulation of N P and K by the plants. Zinc content plays very important role in the contents of the bioactive components. For the highest economic profits, balanced fertilization of NPK with Zn should be paid more attention, and the proper harvest time of *P. tenuifolia* is also very important, which is at about 180 days after the revival (25 th, September) under the experimental condition.

**Key words:** *Polygala tenuifolia* Willd; nutrient absorption; bioactive components; Zn; harvest time

远志 (*Polygala tenuifolia* Willd) 是远志科 (Polygalaceae) 远志属 (*Polygala*) 多年生草本植物, 以根入药, 是我国重要的大宗药材之一, 具有安神益智、交通心肾、祛痰消肿等功效<sup>[1]</sup>。从远志中分离得到的成分有三萜皂苷类、口山酮类、寡糖酯类、生物碱类、苯丙素类、内酯类; 其中三萜皂苷类、口山酮类和寡糖酯类是主要活性成分<sup>[2]</sup>。远志分布于我国东北、华北、西北等地, 主产于山西、陕西、河北、山东、河南等, 且山西、陕西产量大, 供应全国<sup>[3]</sup>。山西为道地产区, 习称“关远志”<sup>[4]</sup>。近年来, 随着市场需求的不断增加和野生资源的逐年减少, 远志资源的供需矛盾日益突出。国家为保护远志野生资源和保障其药用量, 积极开发推广远志人工种植, 但各产地生产的远志质量不均, 良莠不齐。实行配方施肥和规范化种植是目前药用植物栽培中亟待解决的核心问题<sup>[5]</sup>, 不仅影响药材的产量, 也关系到药效成分的合成与积累。摸清药用植物的营养吸收规律是实现配方施肥的基础。目前已进行了根茎类中药材丹参、半夏、黄芪、桔梗、柴胡<sup>[6-10]</sup>等的营养吸收研究, 而关于远志营养吸收规律及其与主要药效成分形成和积累的关系鲜有报道。本研究以 3 年生远志为研究对象, 通过测定远志返青后不同生长期营养元素和药效成分含量, 探明远志营

养元素吸收和药效成分累积规律, 明确影响药效成分积累的营养元素种类, 从而为科学地制定远志的肥料配方提供理论依据, 为大幅度提高道地药材品质与产量提供新思路。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

试验地设在山西省平遥县晋药集团药材基地, 该区属于温带大陆性季风气候, 海拔 768 m, 年均气温 10.6℃, 1 月均温 -5℃, 7 月均温 24℃, 最高温 41℃, 最低气温 -20℃, 一般在 10 月中旬, 日最低气温始降至 0℃ 或以下, 4 月中旬升至 0℃ 以上。年平均降水量 415 mm, 平均初霜期始于 10 月上旬, 终霜期在 4 月中旬, 全年无霜期约 180 天。

### 1.2 试验设计

本研究所用材料是 3 年生远志。供试土壤为砂壤土, 0—30 cm 土层基本理化性状: pH 值 8.74, 碱解氮 28.23 mg/kg、有效磷 12.62 mg/kg、速效钾 90.1 mg/kg、有机质 12.74 g/kg。返青后追肥, 施肥量为氮磷钾复合肥 (17 : 17 : 17) 750 kg/hm<sup>2</sup>, 种植行距 45 cm, 株距 3 cm。

试验材料于 2015 年 7 月 8 日播种, 2017 年

3月26日幼苗全部返青,5月4日(远志返青后40天)第一次采样,以后每隔20天采样一次,至10月9日(返青后195天)远志地上部枯黄,当年生长基本结束为止,共取样9次。采样时间为早晨8:00—9:00,采用5点随机采样法,挖取远志完整植株,去掉泥土,编号后迅速装入取样袋,带回实验室测定单株地上部和根的生物量。将远志根及地上部分别用粉碎机粉碎,测定营养元素氮、磷、钾、钙、镁、铜、锌、铁及3类药效成分总皂苷、总黄酮及总酚的含量。

### 1.3 测定项目与方法

**1.3.1 生物量测定** 用蒸馏水清洗远志植株表面泥土,擦拭干净,标记后测定单株根及地上部鲜重;之后把根及地上部分别装袋放入鼓风干燥箱中105℃杀青30 min,然后在70℃下烘干至恒重,测定根及地上部干物质重。

**1.3.2 氮、磷、钾含量的测定** 用万分之一电子天平准确称取远志粗粉0.2000 g,置于100 mL消化瓶中,先用少量水浸润瓶内样品,采用 $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}_2$ 消化至无色后定容;吸取上述消化液采用凯氏定氮法测定样品中全氮含量,钒钼黄比色法测定全磷含量,火焰光度计法测定全钾含量<sup>[11]</sup>。

**1.3.3 微量元素含量的测定** 采用浓硝酸-高氯酸消化样品,使用ICP法<sup>[12]</sup>测定远志根及地上部样品中微量元素钙、镁、铜、锌、铁含量。

**1.3.4 药效成分含量的测定** 以远志皂苷元为对照品制作标准曲线,香草醛-高氯酸显色法测定总皂苷含量<sup>[13]</sup>。以远志口山酮为对照品制作标准曲线,利用黄酮类化合物与铝盐生成黄色络合物, $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$ 显色法测定总黄酮含量<sup>[14]</sup>。以阿魏酸为对照品制作标准曲线,福林酚法测定总酚含量<sup>[15]</sup>。

将远志根粗粉过0.38 mm筛,并用万分之一电子天平准确称取1 g,加75%乙醇20 mL,超声提取30 min,过滤,残渣再加75%乙醇20 mL,超声提取30 min,合并滤液,定容至50 mL,即得提取液。吸取适量提取液,置于10 mL具塞试管中,加入0.2 mL 5%香草醛-冰醋酸试剂(现配)和0.8 mL高氯酸,摇匀,置于60℃显色15 min,加冰醋酸5 mL,冰水中冷却10 min,在568 nm处测定吸光度。取远志皂苷元标准品配成浓度为0.5 mg/mL的溶液,用香草醛-高氯酸显色法制作标准曲线,方程为 $y = 0.0117x - 0.0682$  ( $R^2 = 0.9928$ ),用于测定总皂苷含量。每个样品重复3次。吸取适量提取液,

置于10 mL具塞试管,用蒸馏水定容至2.0 mL,依次加入3 mL福林试剂,3 mL 10%  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ 溶液,黑暗处放置1 h后用蒸馏水定容至10 mL,摇匀,778 nm处测定吸光度。将阿魏酸标准品配成浓度为0.95 mg/mL的溶液,用福林试剂显色法制作标准曲线,方程为 $y = 0.0099x - 0.0314$  ( $R^2 = 0.9914$ ),用于测定总酚含量。每个样品重复3次。

将远志根粗粉过0.38 mm筛,并用万分之一电子天平准确称取1 g,置于50 mL容量瓶,加甲醇35 mL,浸泡2 h,超声提取30 min,加甲醇至刻度,静止24 h,即得提取液。吸取适量提取液,用60%甲醇定容至2 mL,加入0.5 mL 10%  $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$ 溶液,40℃显色10 min,用60%甲醇定容至6 mL,摇匀,在400 nm处测定吸光度。将远志口山酮标准品配成浓度为1 mg/mL的溶液,用硝酸铝络合显色法制作标准曲线,方程为 $y = 0.0033x + 0.0012$  ( $R^2 = 0.9968$ ),用于测定总黄酮含量。每个样品重复3次。

**1.3.5 参数计算** 干物质增长率 = (所求时期干物质累积量 - 前期干物质累积量) / 前期干物质累积量 × 100%;

养分积累量(g) = 根干物质(g) × 养分含量(%);

经济产量(g) = 根干物质(g) × 药效成分含量(%)。

### 1.4 数据处理

试验数据采用Excel 2003和SPSS 13.0软件进行统计分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 干物质累积量动态变化

由图1可知,远志地上部干物质累积趋势表现为先升高后降低,而根干物质累积表现为直线增加。返青后40天,地上部生长加快,干物质累积量占全生育期最高累积量(返青后160天)的50.9%,之后地上部干物质累积增长率在返青100天达到最大,为30.1%,返青后160天,地上部干物质累积量达全生育期最高值,返青160~195天,地上部干物质累积量出现负值。整个生育期,远志根部干物质累积量呈直线增加,返青140~195天,根干物质累积加快,占全生育期干物质累积总量的55.9%。在整个生长发育过程中,远志生长前期(返青后40~140天)以地上部茎叶生长、开花结果为主,地上部干物质累积量大于根,生长后期(返青后160~195天),生长中心由地上部转移到根,根的干物质累积量大于地上部。

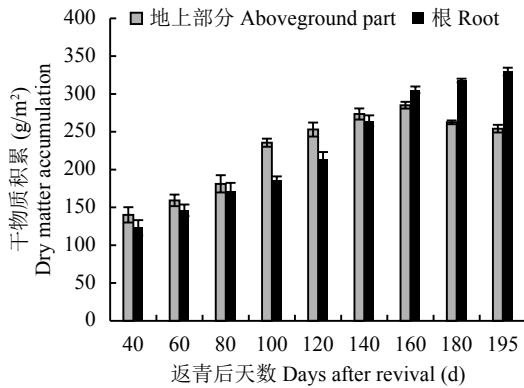


图 1 远志不同生长期干物质累积量

Fig. 1 Dry matter accumulation in different growth stages in *Polygala tenuifolia* Willd

## 2.2 不同生长期远志根及地上部氮、磷、钾含量及累积量动态变化

2.2.1 氮含量及氮累积量动态变化 由图 2 可知, 远志不同生长期根及地上部氮素含量呈不同变化趋势, 返青 40 天后地上部含氮量最高, 为 6.08%, 之后逐渐下降, 其间出现三次降低后又升高的现象, 返青后 195 天降到最低, 为 1.84%。根的含氮量在 1.56%~4.43% 之间, 从返青后 60~180 天内, 逐渐降低, 采收前 (返青后 195 天) 又升高至 3.36%。从整体趋势来看, 地上部含氮量高于根, 远志返青后 195 天, 地上部逐渐枯死, 含氮量降至最低, 此时氮素大量向根部转移, 根的含氮量升高。

远志不同生长期, 地上部和根对氮素累积量不同, 存在阶段性差异。远志地上部和根氮素累积总量最高的时期在返青后 100 天 (18.31 g/m<sup>2</sup>) 和 140 天 (18.77 g/m<sup>2</sup>), 此时处于远志地上部茎叶生长和开花结果的并进时期, 光合作用能力强, 种子正在发育, 含氮量高, 根系也在不断增加干物质累积, 属

远志的旺盛生长时期, 对氮素需求量大。因此, 返青后 100~140 天是远志氮需求量最大时期, 对氮素的需求量为 18.77 g/m<sup>2</sup>。

2.2.2 磷含量及磷累积量动态变化 由图 3 可知, 随生育进程的推进远志根及地上部分磷含量变化趋势一致, 返青 40 天后地上部含磷量最高, 为 0.62%, 之后逐渐下降; 返青后 100 天达到最低, 为 0.19%, 随后升高; 在 140 天达到 0.59%, 随后又降低, 采收前又有所提高 (0.29%)。根的含磷量在 0.14%~0.55% 之间, 从返青后 60~180 天内, 也表现为先降后升再降的趋势, 采收前 (返青后 195 天) 又升高至 0.51%, 磷含量最高点出现在返青后 140 天 (0.55%)。从整体趋势来看, 地上部和根含磷量动态变化趋势一致, 远志返青后 140 天地上部含磷量处于较高水平 (仅低于返青后 40 天), 此时根含磷量最高。

远志不同生育时期, 植株对磷素吸收累积量不同, 存在阶段性差异。返青后 140 天, 远志对磷的总累积量最大, 为 3.07 g/m<sup>2</sup>, 此时远志地上部和根的磷含量都处于较高水平, 地上部进行茎叶生长和开花结果, 光合作用能力强, 同时种子正在发育, 对磷需求量大。所以返青后 140 天是远志磷素营养需求最大的时期。

2.2.3 钾含量及钾累积量动态变化 远志返青 40 天后地上部含钾量最高, 为 0.97%, 随植物的生长, 钾含量逐渐降低, 在 140 天又升高达到 0.83%, 随后又降低, 返青后 160 天达到最低 (0.49%), 采收前又有所提高 (0.73%)。返青后 40~140 天, 根的含钾量较稳定, 在 0.41%~0.43% 之间, 从返青后 160 天降至最低点, 为 0.24%, 随后又升高, 采收前 (返青后 195 天) 升高到 0.46%。从整体趋势看, 地上部和根含钾量变化趋势一致, 远志返青后 140 天地上部含钾量处于较高水平, 此时根含钾量也较高 (图 4)。

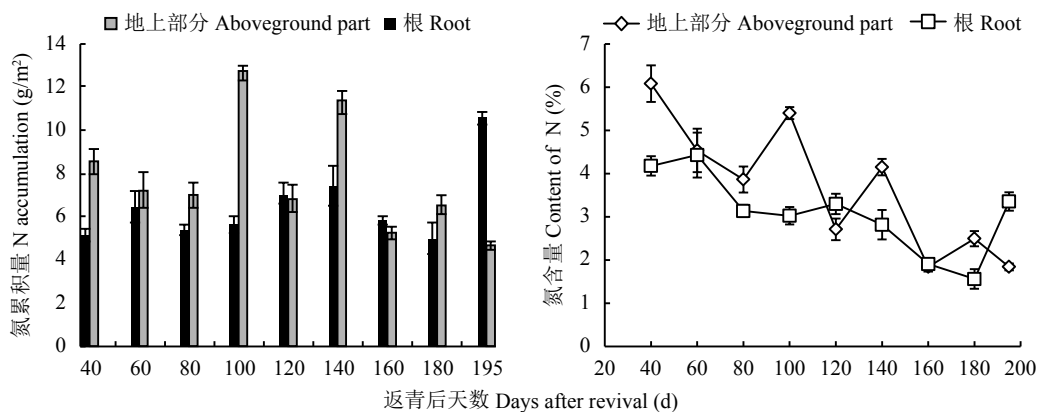


图 2 远志不同生长期氮含量及氮累积量

Fig. 2 Content and accumulation of N in different growth stages of *Polygala tenuifolia* Willd

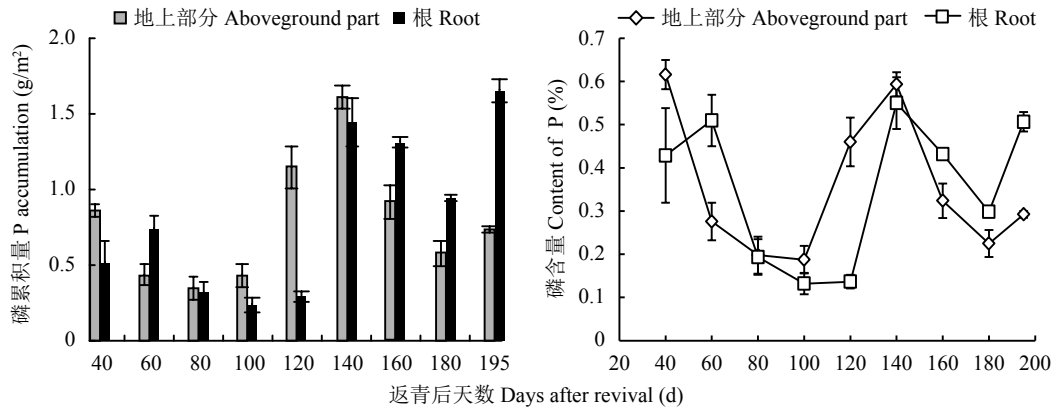


图3 远志不同生长期磷含量及磷积累量

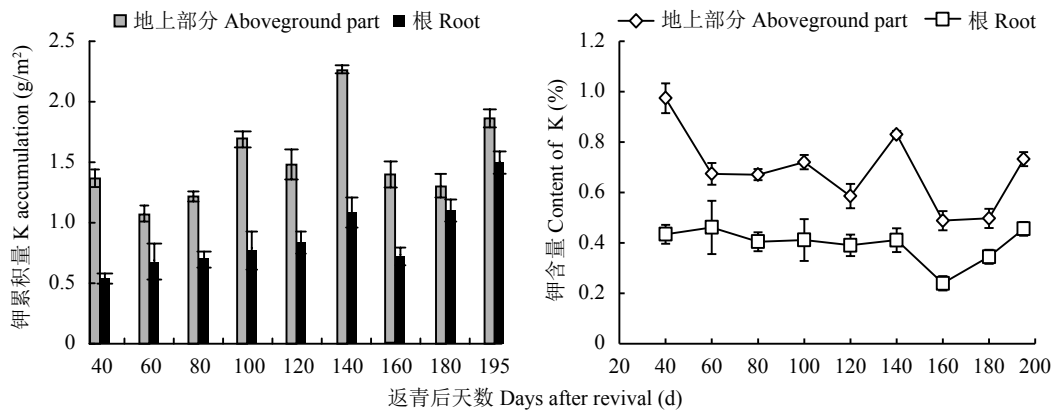
Fig. 3 Content and accumulation of P in different growth stages of *Polygala tenuifolia* Willd

图4 远志不同生长期钾含量及钾积累量

Fig. 4 Content and accumulation of K in different growth stages of *Polygala tenuifolia* Willd

远志不同生长期，植株对钾素吸收积累量不同，存在阶段性差异。返青后140天，远志对钾的总积累量最大，为 $3.36 \text{ g/m}^2$ ，此时远志地上部和根的钾含量都处于较高水平，地上部进行茎叶生长，根系也在发育，对钾需求量大。因此，返青后140天属于远志钾素营养需求最大的时期。

综上所述，远志植株对氮素的最大需求时期在返青后100~140天，需氮 $18.77 \text{ g/m}^2$ ，对磷、钾的最大需求时期在返青后140天，需磷 $3.07 \text{ g/m}^2$ ，需钾 $3.36 \text{ g/m}^2$ 。

### 2.3 不同时期远志根及地上部分中微量元素含量变化

由表1可知，远志体内中微量元素含量依次为 $\text{Ca} > \text{Mg} > \text{Fe} > \text{Zn} > \text{Cu}$ ，中微量元素在远志不同生长发育时期及同一时期的不同器官含量不同，呈阶段性波动变化。远志地上部Ca、Mg的含量始终高于根，地上部Ca含量在返青后195天达最高，根Ca含量在160天达最高值；地上部和根Mg含量变化趋势一致，先降低后升高，在195天均达最高

值。地上部和根Fe含量变化趋势一致，先升高后降低，均出现两次峰值，在返青后160天含量均达到最高值。地上部和根Zn含量在返青后40~180天整体变化趋势均表现为先降低后升高，地上部Zn含量在195天达最高值，而根Zn含量在180天后降低。地上部和根Cu含量整体变化趋势一致，先降低后升高，在195天达最高值。中微量元素含量随生育期发生波动，可能与药效成分的生物合成有关。

### 2.4 不同时期远志根中药效成分含量及经济产量变化

在整个生育期中，三类药效成分总皂苷、总黄酮和总酚含量变化趋势不同，总皂苷含量先降低后升高再降低，返青后40天含量最高，为2.53%，随后降低，在返青后120天再次升高到2.41%，随后降低(图5)。

总黄酮含量呈波动变化，总体保持在一定水平，返青后40天为0.63%，在180天达最高，为0.74%，在195天再次降低至0.49%。

表 1 远志返青后不同时期地上部和根部养分含量 (mg/kg)

Table 1 Element contents in different days after revival of *Polygala tenuifolia* plants

返青后天数 Days after revival	植株部位 Plant part	Fe	Ca	Mg	Cu	Zn
40	根 Root	332.5 ± 9.4	2060 ± 12	1115 ± 13	7.89 ± 0.06	21.34 ± 0.35
	地上部 Shoot	607.8 ± 10.3	2691 ± 13	1567 ± 11	8.51 ± 0.08	21.82 ± 0.47
60	根 Root	609.1 ± 12.7	2644 ± 11	1105 ± 21	8.72 ± 0.06	22.64 ± 0.43
	地上部 Shoot	544.1 ± 10.9	3307 ± 14	1266 ± 13	8.45 ± 0.09	20.56 ± 0.57
80	根 Root	494.4 ± 12.1	2232 ± 13	956 ± 12	4.33 ± 0.03	14.98 ± 0.56
	地上部 Shoot	502.3 ± 16.5	3342 ± 15	1275 ± 14	7.07 ± 0.07	19.68 ± 0.67
100	根 Root	536.1 ± 14.6	2554 ± 16	977 ± 21	4.96 ± 0.06	13.37 ± 0.72
	地上部 Shoot	815.6 ± 15.6	3371 ± 12	1269 ± 16	5.03 ± 0.08	20.12 ± 0.56
120	根 Root	524.6 ± 13.6	2872 ± 13	1063 ± 17	4.42 ± 0.04	17.46 ± 0.65
	地上部 Shoot	569.2 ± 12.5	4369 ± 18	1379 ± 16	3.57 ± 0.08	19.27 ± 0.78
140	根 Root	766.8 ± 11.2	2851 ± 20	1176 ± 16	5.46 ± 0.07	17.26 ± 0.43
	地上部 Shoot	626.4 ± 11.3	4653 ± 19	1582 ± 18	4.93 ± 0.08	27.17 ± 0.78
160	根 Root	1075 ± 13.4	3451 ± 16	1303 ± 17	6.27 ± 0.06	17.97 ± 0.48
	地上部 Shoot	1081 ± 14.8	3970 ± 21	1435 ± 14	6.56 ± 0.03	27.28 ± 0.76
180	根 Root	612.9 ± 10.3	2632 ± 17	1279 ± 14	6.59 ± 0.07	21.99 ± 0.65
	地上部 Shoot	761.9 ± 12.3	4115 ± 23	1706 ± 13	6.52 ± 0.05	30.36 ± 0.73
195	根 Root	784.6 ± 14.7	2686 ± 21	1446 ± 14	7.68 ± 0.11	14.22 ± 0.36
	地上部 Shoot	676.6 ± 13.6	4750 ± 24	1728 ± 16	8.69 ± 0.12	34.81 ± 0.64

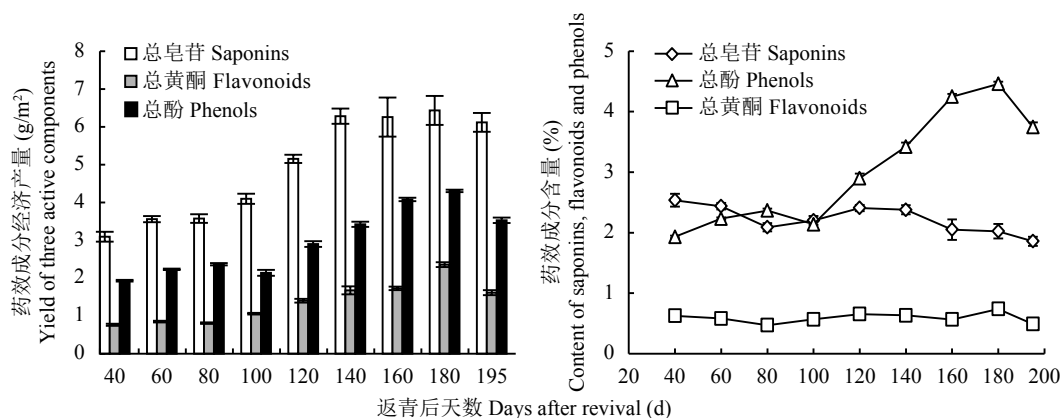


图 5 远志不同生长期根中药效成分含量及经济产量

Fig. 5 Contents and yields of three bioactive components of root in different growth stages of *Polygala tenuifolia* Willd

总酚含量在返青 40 天后逐渐提高, 180 天后达最高, 为 4.46%, 至 195 天又降低至 3.75%。

在整个生育期中, 3 类药效成分总皂苷、总黄酮、总酚累积量的总趋势基本一致, 均为先增加后降低, 累积量均在返青后 180 天达到最大值。总皂苷累积量出现两次峰值, 分别在返青后 140 天 (6.28 g/m<sup>2</sup>) 和 180 天 (6.43 g/m<sup>2</sup>), 总酚累积量也出现两次峰值, 分别在返青后 80 天 (2.37 g/m<sup>2</sup>) 和 180 天 (4.31 g/m<sup>2</sup>), 总黄酮累积量只有一次峰值, 出现在返青后

180 天 (2.35 g/m<sup>2</sup>)。返青后 195 天, 地上部逐渐枯萎, 3 类药效成分经济产量有所降低 (图 5)。

## 2.5 营养元素含量与药效成分含量的相关性分析

远志生长发育期间, 营养元素氮、磷、钾、钙、镁、铁、铜、锌含量与药效成分总皂苷、总黄酮、总酚含量之间的相关性分析 (表 2) 结果表明, 总黄酮含量与锌元素含量呈显著正相关 ( $P < 0.05$ ); 总酚含量与锌元素含量呈极显著正相关 ( $P < 0.01$ ); 总皂苷与各营养元素含量之间没有相关性。

表 2 远志根中营养元素含量与药效成分含量的相关性分析

Table 2 Correlations among mineral element contents and three active components in root of *Polygala tenuifolia* Willd

指标 Index	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Cu	Zn	总皂苷 Saponins	总黄酮 Flavonoids	总酚 Phenol
N	1										
P	0.19	1									
K	0.79	0.14	1								
Ca	-0.54	0.20	-0.67	1							
Mg	-0.35	0.63	-0.22	0.46	1						
Fe	-0.55	0.44	-0.61	0.89	0.65	1					
Cu	0.40	0.73	0.29	-0.11	0.51	0.06	1				
Zn	0.119	0.36	-0.06	-0.07	0.11	-0.16	0.60	1			
总皂苷 Saponins	0.61	0.06	0.33	-0.28	-0.55	-0.52	0.09	0.46	1		
总黄酮 Flavonoids	-0.21	0.04	-0.12	-0.02	0.01	-0.25	0.14	0.73*	0.46	1	
总酚 Phenols	0.32	0.18	-0.07	-0.28	-0.23	-0.33	0.41	0.83**	0.56	0.41	1

注 (Note): \*— $P < 0.05$ ; \*\*— $P < 0.01$ .

### 3 讨论

植物营养吸收规律是合理施肥的基础, 研究远志对营养元素的吸收规律及药效成分经济产量累积规律, 是科学制定远志肥料配方、确定合理采收期的理论依据, 是提高道地药材产量与品质的关键技术。

本研究表明, 远志地上部及根系氮、磷、钾含量随生育期而不同, 表现了不同的变化趋势。地上部含氮量始终高于根系, 地上部茎叶进行光合作用, 要维持较高的含氮量, 地上部开花、种子发育也需要大量的氮素。远志属于无限花序, 边开花边结果, 种子随熟随落, 导致远志地上部含氮量降低。宋长水等<sup>[16]</sup>研究认为, 远志从开花受精到种子成熟约需 23 天, 这可能是远志地上部含氮量间隔 20 天突然升高又突然降低的原因。远志返青后 195 天, 地上部和根系磷、钾含量突然升高, 可能与气温降低, 远志植株积累磷、钾提高自身抗寒性有关。

植物营养最大效率期指某种养分能够发挥其最大增产效能的时期, 这一时期植物生长迅速, 对某种养分的需求量和吸收量最多<sup>[17]</sup>。本研究结果表明, 远志植株对氮素的吸收量最多的时期在返青后 100~140 天, 需氮 18.77 g/m<sup>2</sup>, 对磷、钾的吸收量最多的时期在返青后 140 天, 需磷 3.07 g/m<sup>2</sup>, 需钾 3.36 g/m<sup>2</sup>。根据远志对氮、磷、钾的吸收特点, 生产

中要结合土壤供肥特性, 在返青后 100~140 天, 重点施用氮肥, 在返青后 140 天, 满足远志对磷、钾的需求。

本研究相关性分析结果表明, 总黄酮、总酚含量与植株 Zn 含量存在正相关关系。其他药材的研究也有类似结果, 如党参栽培中, 锌对多糖含量的正效应最大<sup>[18]</sup>; 亳芍中多糖含量与 Cu、Zn、Na 呈正相关<sup>[19]</sup>; 青蒿中有效成分青蒿素的含量与 Ca、Cu、Fe 等元素具有相关性<sup>[20]</sup>; 铜陵道地丹皮的特征微量元素 Cd、Cu、Mn、Ni、Pb 和 Zn 对丹皮酚和丹皮多糖的积累均有一定的协同作用<sup>[21]</sup>; 甘草药材中甘草苷含量与 Mn、Pb 含量呈显著正相关<sup>[22]</sup>; 蒙古黄芪多糖质量分数与锌元素间存在显著正相关, 与 Cu、Fe、Mn 元素间存在极显著正相关<sup>[23]</sup>, Mn、Mo 促进黄芪多糖含量的增加<sup>[24]</sup>。分析其原因可能是, 药材中的药用成分属于次生代谢物, 微量元素作为次生物质代谢的催化剂或参与药效成分的结构功能, 从而影响药效成分的形成和积累, 进而影响药效成分的合成和积累<sup>[25]</sup>。药材中微量元素含量的研究有可能为解释中药道地性及指导道地药材栽培开辟一条新的途径。有关 Zn 对远志总黄酮及总酚积累的作用及其机理, 有待进一步研究。

远志的不同生长期, 3 类药效成分含量表现了不同的变化趋势, 在生产中更关心的是远志药效成分的经济产量, 即药效成分含量与根干物质质量的乘积。在中药材实际生产过程中, 采收是药材生产过

程中的重要环节, 直接影响药材的质量与产量<sup>[26]</sup>。《中华人民共和国药典》2015 版对远志采收期的规定为“春、秋二季采挖”<sup>[1]</sup>。山西平遥远志产区, 远志根的秋季采挖时间在 10 月上旬霜降前, 此时远志地上部生长基本停止。本研究发现, 返青后 195 天(10 月 9 日), 远志根中 3 类药效成分含量有所降低, 导致经济产量比返青后 180 天降低, 总皂苷降低 4.92%, 总黄酮降低 31.45%, 总酚降低 18.05%。因此, 建议远志秋季采挖的最佳时间是返青后 180 天(9 月 25 日)。

## 4 结论

远志地上部干物质积累在整个生育期内呈先升高后下降的趋势, 根部干物质积累呈直线上升趋势。返青后 160~195 天, 生长中心转移到根, 根的干物质积累量大于地上部。返青后 140~195 天是远志根干物质积累最快的时期。远志氮营养最大效率期在返青后 100~140 天, 磷、钾营养最大效率期在返青后 140 天, 应适时追加氮、磷、钾肥, 以保证远志光合作用及根部生物量的积累, 在远志施肥中应保证锌元素的供给。在整个生育期中, 3 类药效成分总皂苷、总黄酮及总酚累积量趋势基本一致, 均为先增加后降低, 其经济产量在返青后 180 天即 9 月 25 日达到最大值, 建议生产中在 9 月底进行采挖。

## 参 考 文 献:

- [1] 中华人民共和国药典委员会. 中国药典(一部)[M]. 北京: 中国医药科技出版社, 2015.  
China Pharmacopoeia Committee. Pharmacopoeia of P. R. China (Part I)[M]. Beijing: China Medical Science and Technology Press, 2015.
- [2] 张陶珍, 荣薇薇, 李清, 毕开顺. 远志的研究进展[J]. 中草药, 2016, 47(13): 2381-2389.  
Zhang T Z, Rong W W, Li Q, Bi K S. Research progress on *Polygalae Radix*[J]. *Chinese Traditional and Herbal Drugs*, 2016, 47(13): 2381-2389.
- [3] 蒲雅洁, 王丹丹, 张福生, 等. 远志的本草考证[J]. 中草药, 2017, 48(1): 211-218.  
Pu Y J, Wang D D, Zhang F S, et al. Herbal textual research on *polygalae Radix*[J]. *Chinese Traditional and Herbal Drugs*, 2017, 48(1): 211-218.
- [4] 张贵君. 现代中药材商品通鉴[M]. 北京: 中国中医药出版社, 2001.  
Zhang G J. A general understanding of modern Chinese medicinal materials[M]. Beijing: Chinese Medicine Publishing House, 2001.
- [5] 韩建萍, 梁宗锁, 王敬民. 矿质元素与根类中草药根系生长发育及有效成分积累的关系[J]. 植物生理学通讯, 2003, 39(1): 78-82.  
Han J P, Liang Z S, Wang J M. The relationship between mineral element and the root growth and accumulation of effective ingredient in root of traditional herbs[J]. *Journal of Plant Physiology*, 2003, 39(1): 78-82.
- [6] 孟培, 王建华, 宋振巧, 等. 丹参氮、磷、钾积累分配特点及其与干物质、丹酚酸B累积的关系[J]. 植物营养与肥料学报, 2013, 19(4): 940-945.  
Meng P, Wang J H, Song Z Q, et al. Accumulation and distribution of N, P and K in *Salvia miltiorrhiza* Bge. and their relations to the dry matter production and Salvianolic acid B[J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizer*, 2013, 19(4): 940-945.
- [7] 朱再标, 梁宗锁, 卫新荣, 等. 柴胡氮磷钾吸收特性初步研究[J]. 中药材, 2006, 29(6): 525-528.  
Zhu Z B, Liang Z S, Wei X R, et al. Preliminary study on the character of *Bupleum chinense* in nutrition uptake[J]. *Journal of Chinese Medicinal Materials*, 2006, 29(6): 525-528.
- [8] 祝丽香, 王建华, 耿慧云, 等. 桔梗的干物质积累及氮、磷、钾养分吸收特点[J]. 植物营养与肥料学报, 2010, 16(1): 197-202.  
Zhu L X, Wang J H, Geng H Y, et al. Accumulation and distribution of N, P, K in *Platycodon grandiflorum* and the relationship to dry matter production[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2010, 16(1): 197-202.
- [9] 肖平阔, 王沫, 张振媛, 等. 半夏干物质积累与氮、磷、钾吸收特点的研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2009, 15(2): 453-456.  
Xiao P K, Wang M, Zhang Z Y, et al. Dry matter accumulation of *Pinellia ternate* and its characteristic of nitrogen, phosphorus, and potassium absorption[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2009, 15(2): 453-456.
- [10] 王渭玲, 梁宗锁, 谭勇. 膜荚黄芪干物质积累及氮、磷、钾吸收规律的研究[J]. 中国中药杂志, 2007, 32(9): 789-793.  
Wang W L, Liang Z S, Tan Y. Study on accumulation of dry matter and absorption of N, P and K of *Astragalus membranaceus*[J]. *Journal of Chinese Mater in Medicine*, 2007, 32(9): 789-793.
- [11] 鲍士旦. 土壤农化分析(第3版)[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.  
Bao S D. Analysis of soil and agricultural chemistry (3 rd Edition)[M]. Beijing: Chinese Agricultural Press, 2000.
- [12] 石松利, 钮树芳, 王登奎, 等. ICP-AES法测定蒙古扁桃药材中微量元素[J]. 中国实验方剂学杂志, 2013, 19(1): 74-76.  
Shi S L, Niu S F, Wang D K, et al. Determination of trace elements in medicinal materials of *Prunus mongolica* by ICP-AES[J]. *Chinese Journal of Experimental Traditional Medical Formulae*, 2013, 19(1): 74-76.
- [13] 梁戈亮, 林书玉, 刘东. 超声提取-分光光度法测定远志总皂苷的含量[J]. 现代医药学进展, 2008, 8(1): 104-106.  
Liang G L, Lin S Y, Liu D. Quantitative determination of total saponins in *Polygalae* by spectrophotometry[J]. *Progress in Modern Biomedicine*, 2008, 8(1): 104-106.
- [14] 田娇, 吴洋, 刘园, 等. 光照强度对远志生长及口山酮类成分积累的影响[J]. 西北大学学报(自然科学版), 2015, 45(2): 261-265.  
Tian J, Wu Y, Liu Y, et al. Effects of light intensity on xanthones accumulation and biomass in *Polygala tenuifolia* Willd[J]. *Journal of Northwest University (Natural Science Edition)*, 2015, 45(2): 261-265.



- [15] 李娟, 麻晓雪, 李顺祥, 张家曾. 铁皮石斛中总酚的含量测定[J]. 中国实验方剂学杂志, 2013, 19(24): 60–62.  
Li J, Ma X X, Li S X, Zhang J C. Determination of total phenols in *Dendrobii Officinalis Caulis*[J]. Chinese Journal of Experimental Traditional Medical Formulae, 2013, 19(24): 60–62.
- [16] 宋长水, 赵云生. 远志种子采集时间与方法研究[J]. 中国农村小康科技, 2007, 10: 53–54.  
Song C S, Zhao Y S. Study on the time and method of seed collection of *Polygala*[J]. *China's Rural Well-off Science and Technology*, 2007, 10: 53–54.
- [17] 黄云. 植物营养学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2014.  
Huang Y. Plant nutrition[M]. Beijing: China Agricultural Press, 2014.
- [18] 徐继振, 刘效瑞, 赵荣, 李清萍. 铝锌锰铁在党参栽培中的应用效果[J]. 中药材, 1996, 19(1): 1–3.  
Xu J Z, Liu X R, Zhao R, Li Q P. Application of Mo, Zn, Mn and Fe in the cultivation of *Codonopsis pilosula*[J]. *Journal of Chinese Medicinal Materials*, 1996, 19(1): 1–3.
- [19] 姚厚军, 陈乃东, 陈乃富, 等. 不同栽培年限芍药多糖与微量元素动态积累规律研究[J]. 生物学杂志, 2017, 34(5): 66–69.  
Yao H J, Chen N D, Chen N F, *et al.* Dynamic accumulation of polysaccharides and trace elements in *Paeonia lactiflora* under different cultivation years[J]. *Journal of Biology*, 2017, 34(5): 66–69.
- [20] 周蓓, 武暄, 蒋勇, 黎晓敏. 重庆产青蒿药材中微量元素与有效成分含量评价及其相关性分析[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2013, 35(10): 159–164.  
Zhou B, Wu X, Jiang Y, Li X M. Contents of nutrient elements and active ingredients in the medicinal material *Artemisia Annua* produced in Youyang, Chongqing and their correlation analysis[J]. *Journal of Southwest University (Natural Science Edition)*, 2013, 35(10): 159–164.
- [21] 郭敏, 陈卫平, 徐迎春, 等. 丹皮中微量元素对药材质量的影响[J]. 中国中药杂志, 2008, 33(9): 1083–1085.  
Guo M, Chen W P, Xu Y C, *et al.* Effect of trace elements in *Cortex Moutan* on the quality of medicinal materials[J]. *Journal of Chinese Mater in Medica*, 2008, 33(9): 1083–1085.
- [22] 刘长利, 尹艳, 张淑华, 等. 中药甘草中微量元素与有效成分相关性研究[J]. 中国中药杂志, 2014, 39(17): 3335–3338.  
Liu C L, Yin Y, Zhang S H, *et al.* Correlation between trace elements and active ingredients in *Glycyrrhiza uralensis Fisch*[J]. *Journal of Chinese Mater in Medica*, 2014, 39(17): 3335–3338.
- [23] 高星, 林云, 王渭玲, 等. 蒙古黄芪对N、P、K的肥效响应[J]. 西北农业学报, 2017, 26(12): 1845–1852.  
Gao X, Lin Y, Wang W L, *et al.* Response of N, P, K nutrition application to *Astragalus mongholicus*[J]. *Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica*, 2017, 26(12): 1845–1852.
- [24] 杨相, 张豆豆, 罗琳, 等. 锰、钼、硼三种微量元素对黄芪生长指标、总多糖含量及生理特性的影响[J]. 中国现代中药, 2018, 20(2): 184–189.  
Yang X, Zhang D D, Luo L, *et al.* Effects of three microscale elements of manganese, molybdenum and boron on growth index, total polysaccharide content and physiological characteristics of *Astragalus mbranaceus*[J]. *Modern Chinese Medicine*, 2018, 20(2): 184–189.
- [25] 周长征. 中国细辛属植物分类及细辛道地药材的系统研究[M]. 北京: 北京中医药大学出版社, 1994.  
Zhou C Z. Taxonomy of *Asarum* in China and systematic study of *Herba asari*[M]. Beijing: Beijing University of Chinese Medicine Press, 1994.
- [26] 段金殿, 严辉, 宿树兰, 等. 药材适宜采收期综合评价模式的建立与实践[J]. 中草药, 2010, 41(11): 1755–1760.  
Duan J A, Yan H, Su S L, *et al.* Establishment and practice for evaluating model of best harvest time of traditional Chinese medicinal materials[J]. *Chinese Traditional and Herbal Drugs*, 2010, 41(11): 1755–1760.