

寸竹, 张玲, 张金燕, 武洪敏, 双升普, 陈军文. 采收期和采收年限对三七农艺性状和皂苷的影响[J]. 应用与环境生物学报, 2022, 28 (3): 645-654
Cun Z, Zhang L, Zhang JY, Wu HM, Shuang SP, Chen JW. Effect of the harvest month and year on the agronomic traits and saponins of *Panax notoginseng* (Burk.) F. H. Chen [J]. *Chin J Appl Environ Biol*, 2022, 28 (3): 645-654

采收期和采收年限对三七农艺性状和皂苷的影响

寸竹^{1,2,3} 张玲^{1,2,3} 张金燕^{1,2,3} 武洪敏^{1,2,3} 双升普^{1,2,3} 陈军文^{1,2,3}✉

¹云南农业大学农学与生物技术学院 昆明 650201

²云南农业大学云南省药用植物生物学重点实验室 昆明 650201

³云南农业大学西南中药材种质创新与利用国家地方联合工程研究中心 昆明 650201

摘要 为确定我国名贵中药材三七[*Panax notoginseng* (Burk.) F.H. Chen]最佳采收期和采收年限. 测定分析一年生、两年生、三年生三七植株不同生长期的农艺性状、生物量以及药效成分皂苷含量和产量. 结果表明, 一年生三七根长、根直径和根体积在5月和7月增长速率较快, 两年生三七增长率较快的月份是6月和10月, 三年生三七在6月、10月和11月增长速率较快. 一年生三七根冠比 (root shoot ratio, RSR) 在5月、7月和10月增长速率较快, 增长率分别为52.8%、40.0%和28.00%; 两年生三七10月的RSR增长率达最大值95.2%; 三年生三七在6月、10月、12月的RSR增长速率分别为33.2%、87.6%和47.0%, 且三年生三七在12月RSR达最大值. 两年生三七单株总皂苷含量比一年生三七增加90.9%, 三年生三七比两年生三七增加66.3%, 且三年生三七皂苷产量在12月份达到最大值. 综合考虑经济效益及中药材品质有效性和安全性, 三七最佳采收期为12月份, 以种植3年为最佳采收年限. (图2 表5 参47)

关键词 采收期; 生长年限; 农艺性状; 生物量; 皂苷; 三七

Effects of the harvest month and year on the agronomic traits and saponins of *Panax notoginseng* (Burk.) F. H. Chen

CUN Zhu^{1,2,3}, ZHANG Ling^{1,2,3}, ZHANG Jinyan^{1,2,3}, WU Hongmin^{1,2,3}, SHUANG Shengpu^{1,2,3} & CHEN Junwen^{1,2,3}✉

¹ College of Agriculture and Biotechnology, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China

² Yunnan Provincial Key Laboratory of Medicinal Plant Biology, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China

³ National & Local Joint Engineering Research Center on Germplasms Utilization & Innovation of Chinese Medicinal Materials in Southwest, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China

Abstract To determine the optimal harvest month and year of the Chinese medicinal herb *Panax notoginseng*, the agronomic parameters, biomass, and saponin content of *P. notoginseng* plants at different growth stages (1–3 years) were determined. The results showed that the increase in the root length, root diameter, and root volume of 1-year-old *P. notoginseng* was greater in May and July; for 2-year-old *P. notoginseng*, the months with a higher growth rate were June and October; and the growth rate of 3-year-old plants was relatively higher in June, October, and November than other months. Based on the root-shoot ratio (RSR), the growth rate of 1-year-old *P. notoginseng* was higher in May, July, and October than other months at 52.8%, 40.0%, and 28.0%, respectively; the growth rate of 2-year-old *P. notoginseng* in October was 95.2%; the growth rate of 3-year-old *P. notoginseng* in June, October, and December was 33.2%, 87.6%, and 47.0%, respectively, with a maximum RSR in December. The total saponin content of 2-year-old *P. notoginseng* per plant increased by 90.9% compared with that of 1-year-old plants, furthermore, the total saponin content of 3-year-old *P. notoginseng* per plant increased by 66.3% compared with that of 2-year-old plants and was the highest in December. To ensure cost efficiency and product quality, the optimal harvest month of *P. notoginseng* is December with 3 years as the best harvesting age.

Keywords harvest month; growth years; agronomic trait; biomass; saponin; *Panax notoginseng*

植物生长年限通过影响营养物质吸收和生物量重新分配等一系列生理生态过程, 最终引起植株形态、作物产量和品质的变化^[1-3]. 甘草 (*Glycyrrhia uralensis*) 株高、茎粗、主根

直径、侧根数及根生物量等随着生长年限增加而增大, 导致药材产量增加^[4]. 黄连 (*Coptis chinensis*) 根茎生物量随着生长年限的增长不断增加, 以四年生的黄连根茎生物量增长

收稿日期 Received: 2020-12-14 接受日期 Accepted: 2021-05-24

国家自然科学基金项目 (81860676, 81360609) 和云南省科技重大专项项目 (2017ZF001, 2016ZF001, 202102AA310048) 资助 Supported by the National Natural Science Foundation of China (81860676, 81360609) and the Science and Technology Major Project of Yunnan Province (2017ZF001, 2016ZF001, 202102AA310048)

✉通信作者 Corresponding author (E-mail: cju31412@163.com)

较快,在10月份生物量达到最高^[5]。两年生桔梗(*Platycodon grandiflorum*)的主根长、根粗、侧根数及生物量均显著高于一年生桔梗^[6]。以往的研究发现,大多数药用植物的株高、茎粗、根长及生物量等农艺性状与生长年限呈正相关,但一些多年生药用植物存在最佳采收年限,并非生长年限越长越好。陈铁柱等研究发现,种植第5年是七叶一枝花(*Paris polyphylla* Smith var. *chinensis*)根系快速生长期,从种植第6年开始生长逐渐缓慢,因此,建议生产上在种植6年后采收^[7]。两年生桔梗的株高、根长、主分枝数、二级分枝数等农艺性状均优于三年生桔梗^[8]。不同药用植物最佳采收年限存在差异,确定最佳采收年限及其最佳采收期对中药材品质和产量的提高具有重要意义。然而,前人研究主要集中在生长年限对药用植物生长的影响,关于多年生根茎类药用植物农艺性状对不同生长年限中不同生长时期的动态响应规律研究较少。

次生代谢产物是药用植物的主要有效成分,其组成和含量是评价药材质量的主要指标^[9]。李雁群和吴鸿研究发现根茎类药用植物有效成分积累主要受生长季节与生长年限的影响^[10]。一年生柴胡(*Bupleurum chinense*)茎中的皂苷含量在生殖生长期(10月上旬)最高^[11]。牛膝(*Achyranthes bidentata*)在营养生长期,牛膝根中 β -蜕皮甾酮和齐墩果酸含量显著高于生殖生长期^[12]。综上所述,药用植物有效成分积累在不同生长时期存在差异。此外,前人研究发现人参(*Panax ginseng*)中各类皂苷含量随着生长年限的增加不断升高^[13-14]。两年生丹参(*Salvia miltiorrhiza*)根中丹酚酸含量高于一年生植物,因此两年生应为丹参最佳采收年限^[15]。但也有些药用植物其有效成分的积累与生长年限呈负相关。2-4年生铁皮石斛(*Dendrobium officinale*)多糖及甘露糖的含量随着生长年限的增加而减少^[16]。远志(*Polygala tenuifolia*)根中皂苷含量随着生长年限增加持续下降,因此一年生为远志最佳采收年限^[17]。然而,基于不同生长年限及其不同生长时期共同来揭示药用植物有效成分积累动态规律,并确定最佳采收期的研究相对较少。

三七[*Panax notoginseng* (Burk.) F. H. Chen]为五加科人参属多年生草本药用植物,以干燥根茎入药,是我国传统名贵中药材^[18],人工种植已有400余年的历史。在农业生产中一般需要种植3年,苗期1年,大田移栽2年后,三七才能采收入药。皂苷类物质是三七的主要药效成分,2020版《中华人民共和国药典》规定人参皂苷R_{g1}、人参皂苷R_{b1}及三七皂苷R₁的总含量不得少于5.0%^[19]。生长年限会影响三七药效成分皂苷的积累。研究表明,三七皂苷含量随生长年限的增加而升高^[20-22]。朱伟伟及王振峰等研究发现,三年生三七总皂苷含量高于两年生的三七^[23-24]。除生长年限影响三七皂苷含量外,采收季也是影响皂苷含量的重要因素^[25]。龙扬等通过比较三年生三七在2月和10月的皂苷含量,发现10月份三七皂苷含量高^[26]。崔秀明等对不同生长时期(3-12月)三年生三七的皂苷含量进行测定,发现4-7月三七皂苷含量逐渐降低,8-12月皂苷含量逐渐增加^[27]。此外,崔秀明等通过测定不同生长年限三七的展叶期(4月)、抽薹期(6月)、开花期(8月)、红果期(10月)和收获期(12月)等各生育时期的生物量和农艺性状,发现三七株高、茎粗、主根粗及生物量随着生长年限增加而增加,且4-6月为三七营养生长高峰期,8-10是生殖生长高峰期,12月地下部分干物质积累达到最大值^[28]。然而,从现有的研究来看,一是以前研究大多集中在不同生长年限对三七皂苷含量的影响,关于不同生长时期对皂苷含量影响的研究也只集中在三年生三七的个别月份,甚至不同生长年限三七在生长发育期不同月份的皂苷积累规律还未见报道;二是关于不同生长年限三七

农艺性状研究也只集中在展叶期、抽薹期、开花期和红果期等几个生育期,不同生长年限三七在生长发育期不同月份农艺性状的动态变化特征还未见报道;三是三七最佳采收期的确定大多数研究是基于单一皂苷的百分含量,综合考虑生物产量、经济产量及皂苷含量来揭示三七最佳采收期和采收年限的研究还未见报道。本研究以一年生、两年生、三年生三七为材料,通过测定不同生长年限三七在不同生长月份的农艺性状、生物产量及皂苷含量和产量,解析不同生长年限三七生长发育特征和皂苷积累规律,筛选出三七皂苷含量和经济产量最佳的生长年限和月份,以期对三七最佳生长年限和最佳采收期的确定提供更加科学和合理的理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地点设置于云南省文山州砚山县苗乡三七实业有限公司三七科技示范园(104°32'E, 23°53'N)。砚山县位于云南省东南部,海拔1 539 m,年均降雨量1 200 mm,年平均气温16℃左右,日均温大于10℃,全年无霜期300 d以上,属亚热带大陆性季风气候。砚山县是三七的主要传统产区 and 道地产区,被誉为“中国三七之乡”。

1.2 试验材料

不同生长年限和不同月份的三七材料采集于苗乡三七科技示范园内,采集生长在10%左右透光率、并进行统一田间管理的同一区域试验田中的一年生、两年生、三年生三七作为供试材料。一年生、两年生、三年生三七日常田间管理按三七种植GAP规范执行。分别于1-12月采用五点采样法,随机选取15株三七进行形态指标、生物量和根中各类皂苷含量的测定。一年生三七(种苗)植株形态指标、生物量选择在当年的4月至次年的1月进行测定;皂苷含量测定选择在当年6月至12月进行。两年生和三年生三七植株形态指标、生物量及皂苷含量均选当年1-12月进行测定分析。

1.3 试验方法

1.3.1 植株形态及生物量测定 分别对1-3年生三七于1-12月进行试验数据的采集,每个处理选15株进行测量。取样时,将三七连根部整株取出,清洗干净泥土及其他杂物后吸干表面水分。利用电子数显游标卡尺(精确度为0.01 mm)和直尺(精确度为0.10 cm)测量株高(cm)、茎粗(cm)、主根长(cm)、主根直径(cm)、支根长(cm)、支根直径(cm)、茎粗(cm)等指标。利用量筒采用排水法测定三七根体系积(cm³)。形态指标测定完成后,将三七植株茎叶和根分开,称量根鲜重,并于105℃下杀青1 h后,在60℃条件下烘干至恒重后进行称重记录,计算根冠比(root shoot ratio, RSR)=根重/茎叶总重。

1.3.2 加样回收率 为了验证试验方法的可靠性,对加样回收率进行测定。精确称取一年生、两年生、三年生三七各月份三七根的粉末各5份,每份约0.3 g,依次加入三七皂苷R₁、人参皂苷R_{g1}、人参皂苷R_e、人参皂苷R_{b1}、人参皂苷R_d等5种皂苷,配制质量浓度分别为0.713、0.026、1.613、1.116、0.326 mg/mL的混合对照品溶液5 mL,加甲醇定容到50 mL。将上述待测液过0.45 μm微孔滤膜,高效液相色谱(HPLC)待测。HPLC色谱条件:仪器为安捷伦高效液相色谱仪(Agilent 1260, USA),色谱柱为Agilent Zorbax SB-C18(250 mm × 4.6 mm, 5 μm),检测波长280 nm,流速为1 mL/min,进样量25 μL,柱温25℃,流动相A为乙腈,流动相B为水。上述5种皂苷回收率分别为99.98%、99.96%、

95.88%、99.89%、99.81%。

1.3.3 皂苷含量测定 标准品制备：精密称取三七皂苷R₁、人参皂苷Rg₁、人参皂苷Re、人参皂苷Rb₁、人参皂苷Rd标准品适量，用甲醇溶解并定容于10 mL容量瓶中，摇匀，制得标准品溶液，浓度分别为0.454、0.355、0.462、0.466、0.449 mg/mL，4 °C保存，备用。

供试样品溶液制备：参考《中华人民共和国药典》2020年版（一部）中三七总皂苷含量检测的方法^[19]，结合王静等^[29]、寸竹等^[30]、Zhang等的方法^[31]进行改良，测定三七皂苷含量。精密称取自然晾干并打粉的三七样品（过40目筛）0.60 g，置于50 mL容量瓶中，加入30 mL 100%甲醇溶液混匀静置30 min，超声提取1 h，后用甲醇定容至50 mL；用0.45 μm微孔滤膜过滤，取滤液，即得供试液。

含量测定：使用安捷伦高效液相色谱仪（Agilent 1260，USA）对样品皂苷含量进行检测，色谱柱为Agilent Zorbax SB-C18（250 mm × 4.6 mm，5 μm），流动相为乙腈（A）-水（B），梯度洗脱（0-22 min，20% A，22-47 min，20% A→46% A，47-57 min，46% A→55% A，57-62 min，55% A，62-63 min，55% A→20% A，63-69 min，20% A），流速1.5 mL/min，检测波长203 nm，柱温30 °C，进样量10 μL；采用外标法，分别计算样品中三七皂苷R₁、人参皂苷Rg₁、人参皂苷Re、人参皂苷Rb₁和人参皂苷Rd这5种主要皂苷的含量。基于进样量、样品重和定容体积等指标换算出皂苷百分含量，根据三七根部生物量，计算出单株皂苷产量。

1.4 数据统计与分析

采用Microsoft Excel 2016和SPSS 20.0（SPSS Inc，USA）软件统计分析试验数据，利用单因素方差（One-way ANOVA）分析法进行分析，对不同生长年限三七的不同月份各项指标进行统计分析，处理间均值比较使用Duncan多重比较法进行差异显著性分析，当P < 0.05时为差异显著。采用Sigma Plot 10.0作图。

2 结果与分析

2.1 三七生长发育动态规律

由表1-3可知，随着生长年限的增加，三七株高、茎粗、根系体积等也随之增加。三七作为多年生植物，每个生长周期内生长高峰期都存在差异，进而导致植株性状不同（表1-3）。一年生三七植株性状随生长时间呈上升趋势（表1），但增加率存在一定差异。一年生三七主根长在5月、7月、9月增长率较高，最高达67.49%；主根直径在5月、8月、10月增长率较高，6月最高为66.47%；支根长则在7月和12月份增长率较高；支根直径则在9月快速增长，增长率为31.67%；根体积的增长率在当年7月、10月较大，分别为36.49%和66.11%；地上部分株高在5月和7月的增长率较大，为11.63%，茎粗则在5月、6月的增长率最大，为7.78%和6.18%（表1）。综合来看，一年生三七的快速生长期为5月、7月和10月，植株迅速增高，根部生长迅速，营养生长是一年生三七的生长特点。

两年生三七根系和地上部分均随生长周期呈上升趋势（表2）。两年生三七主根长在4月份快速生长，增长率高达71.82%；主根直径则在9月和11月生长迅速，增长率最高达13.49%；支根长和支根直径则在12月份快速生长，增长率分别为31.53%和34.36%；根体积在7月和10月快速生长，增长率分别为36.32%和60.77%；株高增长率在5月和10月较大，最大为20.32 %；茎粗增长率在6月达到最大值，为39.59%（表2）。总之，两年生三七存在两个生长高峰期，4-6月高峰

表1 一年生三七各月形态及生物量的变化 (N = 15)

Table 1 Changes in the morphology and biomass of 1-year-old <i>Panax notoginseng</i> in different months (N = 15)														
月份 Month	主根长 Primary root length (l/cm)	主根直径 Primary root diameter (d/cm)	增长率 Growth rate (Δr/%)	支根长 Branch root length (l/cm)	支根直径 Branch root diameter (d/cm)	增长率 Growth rate (Δr/%)	根体积 Volume of root (V/cm ³)	增长率 Growth rate (Δr/%)	株高 Plant height (h/cm)	增长率 Growth rate (Δr/%)	茎粗 Stem diameter (d/cm)	增长率 Growth rate (Δr/%)	根冠比 Root shoot ratio (R/%)	增长率 Growth rate (Δr/%)
当年4月 Apr.	4.20 ± 1.23e	1.13 ± 0.18f	—	3.46 ± 1.65c	0.47 ± 0.05de	—	0.79 ± 0.54f	—	12.51 ± 1.31c	—	1.54 ± 0.16e	—	0.16 ± 0.1c	—
5月 May	12.92 ± 2.47de	3.37 ± 0.49ef	66.47	3.54 ± 1.27c	0.49 ± 0.06de	4.08	0.86 ± 0.44ef	8.14	13.07 ± 1.50c	4.28	1.67 ± 0.13de	7.78	0.34 ± 0.02c	52.81
6月 June	15.77 ± 2.59d	4.31 ± 0.57e	21.81	3.59 ± 0.88c	0.41 ± 0.07e	-19.51	0.94 ± 0.39e	8.51	14.28 ± 1.49c	8.47	1.78 ± 0.10de	6.18	0.43 ± 0.02c	22.73
7月 July	21.96 ± 3.49b	5.91 ± 0.84de	27.07	4.61 ± 1.04b	0.48 ± 0.09de	14.58	1.48 ± 0.33cd	36.49	16.16 ± 1.66b	11.63	1.86 ± 0.15cde	4.30	0.72 ± 0.06c	39.99
8月 Aug.	23.08 ± 5.87b	9.18 ± 9.93bc	35.62	4.49 ± 1.32bc	0.41 ± 0.08e	-17.07	1.58 ± 0.55bc	6.33	16.27 ± 3.34b	0.68	1.79 ± 0.10cd	1.12	0.94 ± 0.07c	21.42
9月 Sept.	31.25 ± 5.83a	7.59 ± 0.95cd	-29.25	4.74 ± 1.35b	0.60 ± 0.05bc	31.67	1.61 ± 0.29bc	1.86	16.68 ± 1.77b	2.46	1.79 ± 0.12cd	0.00	1.03 ± 0.07c	8.75
10月 Oct.	19.98 ± 1.44c	11.78 ± 2.57a	35.57	4.53 ± 0.97bc	0.77 ± 0.24ab	22.08	2.98 ± 1.07a	66.11	18.33 ± 1.67a	9.00	1.85 ± 0.15c	3.24	1.41 ± 0.11bc	27.18
11月 Nov.	21.73 ± 1.88b	10.95 ± 1.60ab	-7.58	3.99 ± 1.12c	0.80 ± 0.24a	3.75	2.88 ± 0.95a	-3.47	18.34 ± 1.50a	0.05	1.86 ± 0.13c	0.54	1.5 ± 0.25b	6.07
12月 Dec.	18.53 ± 3.36c	11.65 ± 0.82a	6.01	5.58 ± 1.35a	0.58 ± 0.16cd	-37.93	2.65 ± 0.57b	-8.68	18.58 ± 2.04a	1.29	1.87 ± 0.16b	0.53	1.67 ± 0.3b	10.18
次年1月 Jan.	20.00 ± 1.78bc	12.04 ± 0.99a	3.24	4.36 ± 1.25bc	0.66 ± 0.20bc	12.12	3.01 ± 0.59a	11.96	17.29 ± 1.74ab	-7.46	1.89 ± 0.36a	1.06	2.17 ± 0.26a	23.19

表中“—”表示三七未出苗，未能测定相关指标。表中同一行不同字母表示在0.05水平上差异显著，数据为平均值±标准差（N = 15）。 “—” in the table indicates the *Panax notoginseng* seedlings not emerged and the relevant indicator not be measured. Different letters on the same row in the table indicate significant differences at the 0.05 level. Data represent the mean ± standard deviation (N = 15).

表2 两年生三七各月形态及生物量的变化 (N = 15)

Table 2 Changes in the morphology and biomass of 2-year-old *Panax notoginseng* in different months (N = 15)

月份 Month	主根长 Primary root length (l/cm)	主根直径 Primary root diameter (d/cm)	主根生长 率 Growth rate ($\Delta r/\%$)	支根长 Branch root length (l/cm)	支根生长 率 Growth rate ($\Delta r/\%$)	支根直径 Branch root diameter (d/cm)	支根生长 率 Growth rate ($\Delta r/\%$)	根体积 Volume of root (V/cm ³)	株高 Plant height (h/cm)	茎粗 Stem diameter (d/cm)	茎粗 生长率 Growth rate ($\Delta r/\%$)	根冠比 Root/shoot ratio (R/%)	增长率 Growth rate ($\Delta r/\%$)
当年1月 Jan.	11.43 ± 2.13d	—	—	6.41 ± 1.24c	—	1.57 ± 0.26a	—	2.16 ± 0.55d	—	—	—	—	—
2月 Feb.	10.03 ± 1.89d	13.96	10.38 ± 1.38de	5.68	5.36 ± 0.97d	-19.59	0.84 ± 0.22c	-86.90	1.82	—	—	—	—
3月 Mar.	9.32 ± 1.37d	—	7.62	9.82 ± 1.04e	-5.70	5.58 ± 0.88cd	3.94	0.74 ± 0.19c	-13.51	2.03 ± 0.37d	-8.37	—	—
4月 Apr.	33.07 ± 11.84bc	71.82	9.81 ± 1.02e	-0.10	5.31 ± 0.94d	-5.08	0.69 ± 0.13c	-7.25	1.87 ± 0.57d	—	1.70 ± 0.13d	0.68 ± 0.06d	—
5月 May	32.77 ± 10.43bc	-0.92	9.63 ± 1.79e	-1.87	5.25 ± 1.04d	-1.14	0.85 ± 0.16bc	18.82	2.10 ± 0.64d	10.95	16.58 ± 3.39e	11.58	1.80 ± 0.18d
6月 June	28.10 ± 8.59c	-16.62	10.59 ± 1.45de	9.07	5.15 ± 1.35d	-1.94	0.80 ± 0.16c	-6.25	2.63 ± 1.01d	20.15	17.29 ± 3.01e	4.11	2.98 ± 0.27c
7月 July	32.44 ± 15.73bc	13.38	10.98 ± 2.29de	3.55	6.69 ± 1.03b	23.02	0.82 ± 0.14c	2.44	4.13 ± 0.95cd	36.32	19.37 ± 2.93d	10.74	3.09 ± 0.47bc
8月 Aug.	40.96 ± 11.66a	20.80	11.38 ± 1.25e	3.51	7.25 ± 1.73ab	7.72	0.89 ± 0.19bc	7.87	4.19 ± 1.03bc	1.43	19.53 ± 2.40d	0.82	3.12 ± 0.39bc
9月 Sept.	35.40 ± 14.19ab	-15.70	12.91 ± 2.14c	11.85	5.01 ± 0.65d	-44.71	0.81 ± 0.27c	-7.40	4.20 ± 1.19bc	0.24	19.49 ± 3.31d	-0.21	3.16 ± 0.50bc
10月 Oct.	22.79 ± 2.98cd	-55.33	13.66 ± 1.97c	5.49	6.80 ± 1.60b	26.32	0.71 ± 0.16c	-14.08	10.69 ± 2.02b	60.71	24.46 ± 3.05c	20.32	3.36 ± 0.36b
11月 Nov.	25.25 ± 4.78cd	9.74	15.79 ± 2.64b	13.49	5.43 ± 1.22d	-25.23	1.07 ± 0.48b	33.64	10.88 ± 3.88a	1.75	26.01 ± 2.57b	5.96	3.38 ± 0.34b
12月 Dec.	18.70 ± 4.67d	-35.03	17.20 ± 2.98a	8.20	7.93 ± 1.54a	31.53	1.63 ± 0.69a	34.36	11.47 ± 3.25a	5.14	27.83 ± 4.86b	6.54	3.41 ± 0.73b
次年1月 Jan.	—	—	—	—	—	—	—	—	29.16 ± 3.91a	4.56	3.85 ± 0.77a	11.43	2.76 ± 0.09a

表中“—”表示三七未出苗,未能测定相关指标。表中同一行不同字母表示在0.05水平上差异显著,数据为平均值±标准差 (N = 15)。

“—” in the table indicates the *Panax notoginseng* seedlings not emerged and the relevant indicator not be measured. Different letters on the same row in the table indicate significant differences at the 0.05 level. Data represent the mean ± standard deviation (N = 15).

表3 三年生三七各月形态及生物量的变化 (N = 15)

Table 3 Changes in the morphology and biomass of 3-year-old *Panax notoginseng* in different months (N = 15)

月份 Month	主根长 Primary root length (l/cm)	主根直径 Primary root diameter (d/cm)	主根生长 率 Growth rate ($\Delta r/\%$)	支根长 Branch root length (l/cm)	支根生长 率 Growth rate ($\Delta r/\%$)	支根直径 Branch root diameter (d/cm)	支根生长 率 Growth rate ($\Delta r/\%$)	根体积 Volume of root (V/cm ³)	株高 Plant height (h/cm)	茎粗 Stem diameter (d/cm)	茎粗 生长率 Growth rate ($\Delta r/\%$)	根冠比 Root/shoot ratio (r/%)	增长率 Growth rate ($\Delta r/\%$)
当年1月 Jan.	38.43 ± 16.52ab	—	13.59 ± 1.74de	—	6.93 ± 1.78bc	—	2.87 ± 0.85a	—	6.63 ± 1.90de	—	—	—	—
2月 Feb.	41.89 ± 6.98a	8.25	15.14 ± 2.53cd	10.24	7.95 ± 1.55b	12.83	1.40 ± 0.28bc	-105.00	8.45 ± 3.06de	21.54	—	—	—
3月 Mar.	36.92 ± 12.29ab	-13.46	11.82 ± 3.14ef	-28.09	5.76 ± 2.19cd	-38.02	2.69 ± 0.80a	47.96	4.17 ± 3.25ef	-102.64	—	—	—
4月 Apr.	33.07 ± 11.84ab	-11.64	9.81 ± 1.03f	-20.49	5.31 ± 0.94d	-8.47	0.69 ± 0.13ef	-289.56	3.87 ± 0.57f	-7.75	14.24 ± 3.77d	—	0.54 ± 0.03c
5月 May	36.72 ± 10.33ab	9.94	14.10 ± 3.05cde	30.43	7.42 ± 1.83b	28.44	1.19 ± 0.24bcd	42.01	6.56 ± 3.77de	41.01	14.66 ± 2.31d	2.86	2.65 ± 0.45c
6月 June	38.80 ± 10.45ab	5.36	15.91 ± 2.98bcd	11.38	7.88 ± 1.86b	5.84	1.04 ± 0.26cd	-15.00	8.80 ± 3.12cd	14.09	26.99 ± 7.11b	45.68	3.04 ± 0.55bc
7月 July	31.96 ± 10.88b	-21.40	14.36 ± 2.33cde	-10.79	6.10 ± 0.63cd	-29.18	1.19 ± 0.41bcd	12.61	6.83 ± 2.80de	-28.84	27.61 ± 7.63b	2.25	3.18 ± 0.64b
8月 Aug.	35.48 ± 8.92ab	9.92	9.18 ± 9.93f	-36.07	5.61 ± 0.90d	-8.73	0.41 ± 0.08f	-190.24	9.29 ± 2.92cd	26.48	23.43 ± 6.63c	-17.84	2.79 ± 0.84
9月 Sept.	40.96 ± 7.49a	13.38	15.12 ± 3.29cd	39.28	6.94 ± 0.90bc	19.16	1.49 ± 0.35b	72.48	14.73 ± 4.14b	36.93	27.46 ± 6.33b	14.68	3.45 ± 0.76b
10月 Oct.	12.21 ± 3.78c	-235.46	16.88 ± 2.83bc	10.42	5.96 ± 1.66cd	-16.44	1.00 ± 0.54de	-49.00	8.44 ± 3.20de	-74.53	28.56 ± 5.86b	3.85	3.38 ± 0.88b
11月 Nov.	20.17 ± 18.17c	39.46	18.58 ± 2.28b	9.15	7.35 ± 1.40b	18.92	1.10 ± 0.30cd	9.09	12.71 ± 5.56bc	33.59	22.80 ± 5.13c	-25.26	3.58 ± 0.56b
12月 Dec.	16.49 ± 3.41c	-22.32	25.50 ± 5.51a	27.14	9.51 ± 1.72a	22.71	2.79 ± 0.62a	60.57	40.50 ± 14.95a	68.62	28.66 ± 6.13b	20.45	4.02 ± 0.22a

表中“—”表示三七未出苗,未能测定相关指标。表中同一行不同字母表示在P < 0.05水平上差异显著,数据为平均值±标准差 (N = 15)。

“—” in the table indicates the *Panax notoginseng* seedlings not emerged and the relevant indicator not be measured. Different letters on the same row in the table indicate significant differences at the 0.05 level. Data represent the mean ± standard deviation (N = 15).

期主要是植株快速增高,主根快速生长等营养生长;10-12月高峰期地上部分生长缓慢,但是地下部分仍然生长迅速。

三年生三七根系形态指标、株高及茎粗等显著高于一年生和两年生三七(表1-3)。三年生三七主根长在11月快速生长,增长率最高为39.46%;主根直径则在9月快速生长;5月和12月支根增长率高,分别为28.44%和22.71%;支根直径则在9月和12月份快速生长,增长率最高为72.48%;根系体积则在12月份快速生长且达到最大值40.50 cm³;地上部分株高和茎粗则在6月生长较快(表3)。总的来说,三年生三七的快速生长期为6月、10月、11月及12月。三年生三七在6月主要进行地上部分株高、茎粗等的生长,10-12月主要进行地下部分的快速生长。

2.2 三七生物量分配的动态规律

不同生长年限和不同生长季节,三七生物量分配存在差异(图1、表1-3)。三七RSR随着生长周期和生长年限呈上升趋势(图1)。一年生和两年生三七其生物量的分配及RSR的增长率在5月、7月、10月较大,这表明一年生和两年生三七根系生物量在5月、7月和10月显著高于地上部分(表1-2)。三年生三七根系生物量增长在6月、10月及12月较快,最快增长率为87.61%,且在12月RSR最大为3.57(表3)。综上所述,三七生物量增长存在2个高峰期,5-7月主要进行营养生长,10-12月主要进行生殖生长。而值得注意的是,两年生和三年生RSR在9月时突然降低(图1),这可能是由于9月是营养生长向生殖生长转换和过渡的时期,生物量重新分配导致的。

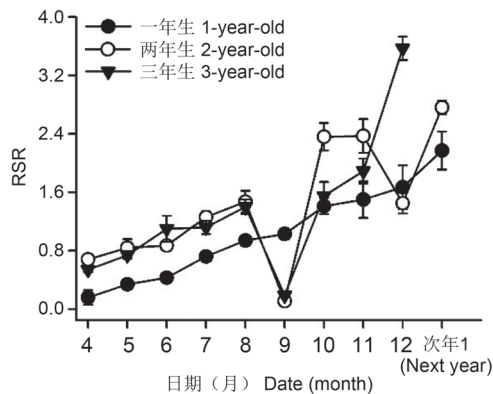


图1 不同生长年限三七根冠比(RSR)动态特征(N = 15)。

Fig. 1 Changes in the *Panax notoginseng* root-shoot ratio (RSR) after different growth years (N = 15).

2.3 三七总皂苷积累规律

由图2和表4-5可知,皂苷含量随着生长周期波动增加,且随着生长年限的增加呈上升趋势。一年生三七总皂苷含量随生长周期呈缓慢上升趋势,在10月快速积累,百分含量和总皂苷单株分别为10.18%和203.16 mg/株,10月至次年2月缓慢下降后趋于平稳(图2B、表4-5);两年生三七总皂苷含量呈现波动增加趋势,在12月份总皂苷积累最多(图2B、表4-5);三年生三七整个生长期总皂苷含量均高于一年生和两年生,三年生总皂苷含量存在2个快速积累高峰期,4-5月和11-12月(图2B、表4-5)。与一年生三七单株总皂苷含量相比,两年生单株总皂苷含量增长90.9%、三年生增长66.3%(表4);与一年生三七皂苷百分含量相比,两年生总皂苷百分含量增长43.6%,三年生增长45.6%(表5);单株总皂苷含量和百分含量均在三年生三七的12月份中达到最大值,分别为1 276.03 mg/株和15.34%(图2B、表4-5)。此外,值得注意的是,三年生三七整个生长期Rg₁ + Rb₁ + R_d皂苷含量均显著高于《中

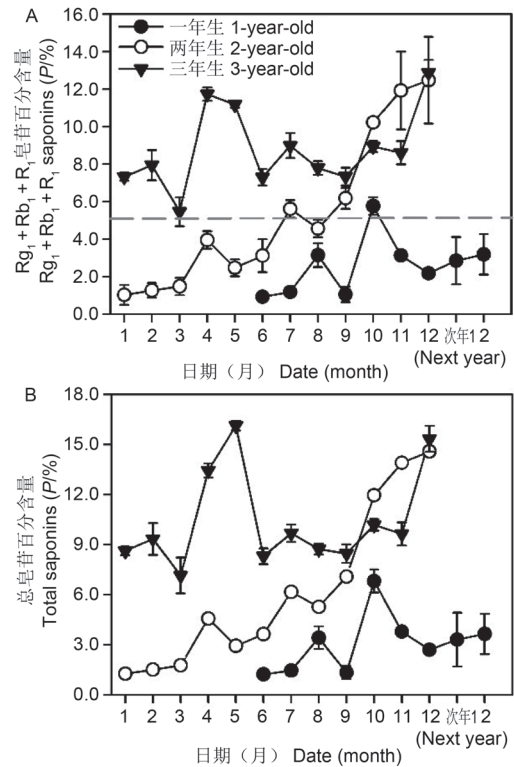


图2 不同生长年限三七根中皂苷的动态积累(N = 15)。A图中灰色虚线代表2020版《中华人民共和国药典》规定三七皂苷(Rg₁ + Rb₁ + R_d)含量不低于5.00%。

Fig. 2 Changes in the saponin content of *Panax notoginseng* roots after different growth years (N = 15).

The dotted gray line in A is based on the 2020 ed of the Chinese Pharmacopoeia, which stipulates that the content of saponins (Rg₁ + Rb₁ + R_d) in *Panax notoginseng* should not be less than 5.00%.

华人民共和国药典》规定的5.00%^[19](图2A, $P < 0.05$)。

2.4 三七皂苷积累规律

表4和表5显示,三七单体皂苷和总皂苷动态积累规律相似,但不同的单体皂苷在不同生长年限和生长周期积累存在差异。三七皂苷R₁随生长年限的增加呈上升趋势,一年生三七R₁主要在8月单株含量最高,为2.5 mg/株;两年生三七R₁在10-12月快速积累,在12月份单株和百分含量最高,分别为56.18 mg/株和2.15%;三年生三七R₁的积累存在2个高峰期,5-8月及10-12月,在12月达到一个最大值(表4-5)。一年生三七中人参皂苷Rg₁在10月单株和百分含量最高,分别为2.80 mg/株和3.2%;两年生三七Rg₁主要在10-12月积累,12月百分含量最高为5.26%;三年生三七Rg₁变化规律同R₁相似,在12月积累最高。一年生三七根中人参皂苷Re主要在9-11月积累,在11月含量最高;人参皂苷Rb₁在10月份积累量最高,为1.80%,人参皂苷Rd则在9-10月含量最高。两年生三七中人参皂苷Re、Rb₁和Rd均在10-12月份快速积累,并在12月达到最高;三年生三七人参皂苷Re、Rb₁和Rd则存在2个积累高峰期,4-5月和12月,均在12月份含量最高。

3 讨论

3.1 不同生长年限三七呈现两个生长高峰期

随着生长时间的增加,植物生长代谢越旺盛,且株高、茎粗及生物量等也随着增长^[10]。多花黄精(*Polygonatum cyrtoneura*)株高和地径随着生长年限增加不断增加,且增长幅度在1-2年时最大^[32]。甘草、桔梗和四叶参(*Codonopsis*

表4 三七单株皂苷含量 (m/g, N = 15)

Table 4 Saponin content of individual *Panax notoginseng* plants (m/g, N = 15)

月份 Month	R _i			R _{g_i}			R _e			R _{b_i}		
	一年生 1-year-old	两年生 2-year-old	三年生 3-year-old	一年生 1-year-old	两年生 2-year-old	三年生 3-year-old	一年生 1-year-old	两年生 2-year-old	三年生 3-year-old	一年生 1-year-old	两年生 2-year-old	三年生 3-year-old
当年1月 Jan.	—	0.23 ± 0.25b	10.45 ± 0.92d	—	2.47 ± 1.20f	38.99 ± 2.88d	—	0.72 ± 0.30c	8.17 ± 0.47bc	—	1.81 ± 0.93d	31.68 ± 2.03de
2月 Feb.	—	0.42 ± 0.25b	12.02 ± 2.90d	—	2.80 ± 0.77f	43.51 ± 8.14cd	—	0.75 ± 0.18c	9.31 ± 1.77bc	—	1.81 ± 0.53d	44.30 ± 7.58cd
3月 Mar.	—	0.15 ± 0.07b	4.43 ± 1.48d	—	1.68 ± 0.79f	11.64 ± 3.81ef	—	0.45 ± 0.10c	2.72 ± 0.82bc	—	1.17 ± 0.28d	8.88 ± 2.92f
4月 Apr.	—	0.31 ± 0.08b	1.63 ± 0.12d	—	3.65 ± 0.72f	8.99 ± 0.64ef	—	0.84 ± 0.16c	1.67 ± 0.13c	—	2.52 ± 0.30d	8.53 ± 0.66f
5月 May	—	0.57 ± 0.18b	13.22 ± 2.44d	—	2.90 ± 0.43f	44.92 ± 2.48cd	—	0.55 ± 0.72c	7.69 ± 0.40bc	—	1.68 ± 0.36d	32.51 ± 1.71de
6月 June	0.02 ± 0.07c	2.96 ± 1.38b	14.66 ± 5.80d	0.23 ± 0.01c	12.89 ± 3.57e	53.84 ± 3.40cd	0.08 ± 0.00f	1.61 ± 0.96c	8.18 ± 0.42bc	0.14 ± 0.01d	6.68 ± 1.65d	35.47 ± 1.80de
7月 July	0.14 ± 0.05c	3.02 ± 0.27b	58.10 ± 42.15bc	0.59 ± 0.12c	2.66 ± 0.25f	26.40 ± 26.22def	0.16 ± 0.09ef	0.00 ± 0.00c	3.22 ± 4.41bc	0.35 ± 0.05cd	13.76 ± 1.32cd	30.32 ± 1.03de
8月 Aug.	2.50 ± 0.52a	6.11 ± 0.54b	85.02 ± 36.81b	0.23 ± 0.14c	22.09 ± 1.76d	0.00 ± 0.00f	0.00 ± 0.00f	3.56 ± 0.28b	8.52 ± 4.80bc	0.97 ± 0.21cd	8.80 ± 3.20d	54.54 ± 2.80bc
9月 Sept.	0.76 ± 0.05c	9.67 ± 4.25b	7.22 ± 1.58d	0.80 ± 0.32c	34.49 ± 3.65c	28.61 ± 14.82	0.28 ± 0.03de	4.67 ± 0.43b	5.02 ± 0.86bc	0.56 ± 0.21cd	25.51 ± 1.93c	19.99 ± 2.81ef
10月 Oct.	0.63 ± 0.03c	32.59 ± 0.92a	23.58 ± 1.63cd	2.80 ± 0.08c	113.58 ± 4.45a	91.65 ± 6.04b	0.56 ± 0.04c	19.16 ± 1.00a	13.71 ± 1.17b	1.60 ± 0.05c	110.31 ± 4.26a	63.13 ± 4.05b
11月 Nov.	0.25 ± 0.02c	41.33 ± 21.88a	37.34 ± 11.87cd	1.64 ± 0.09b	102.57 ± 21.27b	68.76 ± 40.32bc	0.40 ± 0.04cd	19.36 ± 4.02a	10.08 ± 5.72bc	1.02 ± 0.07cd	94.95 ± 29.75b	60.43 ± 16.03b
12月 Dec.	0.18 ± 0.02c	56.18 ± 2.97a	192.51 ± 90.63a	1.04 ± 0.05bc	116.31 ± 12.16a	511.37 ± 45.00a	0.28d ± 0.04e	20.21 ± 4.35a	123.69 ± 24.14a	0.56 ± 0.03cd	102.54 ± 15.21ab	366.31 ± 37.03a
次年1月 Jan.	1.39 ± 0.22b	—	—	8.63 ± 0.86a	—	—	1.89 ± 0.28a	—	—	4.72 ± 0.43b	—	—
2月 Feb.	2.05 ± 0.97a	—	—	9.87 ± 3.35a	—	—	1.05 ± 0.22b	—	—	6.77 ± 2.24a	—	—

月份 Month	R _d			R _i + R _{g_i} + R _{b_i}			Total saponins		
	一年生 1-year-old	两年生 2-year-old	三年生 3-year-old	一年生 1-year-old	两年生 2-year-old	三年生 3-year-old	一年生 1-year-old	两年生 2-year-old	三年生 3-year-old
当年1月 Jan.	—	0.32 ± 0.13d	6.19 ± 0.49cd	—	4.51 ± 2.38d	81.12 ± 5.37de	—	5.54 ± 2.79d	95.47 ± 6.06de
2月 Feb.	—	0.24 ± 0.07d	8.37 ± 1.60cd	—	5.03 ± 1.54d	99.82 ± 18.58cde	—	6.02 ± 1.78d	117.50 ± 21.93cde
3月 Mar.	—	0.15 ± 0.10d	1.27 ± 0.44d	—	2.30 ± 0.96d	24.96 ± 8.03f	—	3.59 ± 1.02d	28.94 ± 9.25f
4月 Apr.	—	0.18 ± 0.05d	1.10 ± 0.10d	—	6.48 ± 0.73d	19.16 ± 1.38f	—	7.50 ± 0.88d	21.94 ± 1.60f
5月 May	—	0.42 ± 0.07d	32.51 ± 1.71b	—	5.16 ± 0.96d	90.65 ± 2.35cde	—	6.12 ± 1.08d	130.86 ± 3.97cd
6月 June	0.04 ± 0.00d	2.16 ± 0.59cd	6.24 ± 0.33cd	0.39 ± 0.01d	22.53 ± 6.43cd	103.97 ± 10.31cde	0.51 ± 0.01d	26.30 ± 7.84cd	118.39 ± 10.89cde
7月 July	0.10 ± 0.02cd	4.63 ± 0.57cd	5.82 ± 0.55cd	1.09 ± 0.21d	19.43 ± 1.79cd	114.81 ± 16.92cd	1.35 ± 0.28d	24.06 ± 2.26cd	123.85 ± 12.87cde
8月 Aug.	0.33 ± 0.09cd	2.24 ± 0.25cd	10.00 ± 0.74c	3.70 ± 0.82cd	37.00 ± 3.95c	139.57 ± 38.06bc	4.02 ± 0.89cd	42.80 ± 4.38c	158.09 ± 36.99bc
9月 Sept.	0.12 ± 0.04bcd	5.52 ± 0.80c	5.05 ± 1.10cd	1.43 ± 0.55cd	69.67 ± 8.47b	55.81 ± 14.19ef	1.83 ± 0.54cd	79.86 ± 8.37b	65.87 ± 13.57ef
10月 Oct.	0.42 ± 0.05bc	24.46 ± 0.88a	11.10 ± 0.67c	5.01 ± 0.15c	256.49 ± 9.51a	178.35 ± 11.70b	6.00 ± 0.18c	300.11 ± 11.33a	203.16 ± 13.48b
11月 Nov.	0.22 ± 0.02cd	20.31 ± 10.03b	10.04 ± 2.55c	2.90 ± 0.17cd	238.86 ± 58.28a	166.54 ± 28.38b	3.52 ± 0.20cd	278.52 ± 70.64a	186.66 ± 3.10b
12月 Dec.	0.14 ± 0.07cd	23.21 ± 3.21a	82.15 ± 18.56a	1.78 ± 0.08cd	249.24 ± 50.1a	1070.19 ± 111.31a	2.20 ± 0.11cd	290.45 ± 67.24a	1276.03 ± 129.97a
次年1月 Jan.	0.61 ± 0.05b	—	—	14.72 ± 1.48b	—	—	17.24 ± 1.76b	—	—
2月 Feb.	1.60 ± 0.58a	—	—	18.69 ± 6.55a	—	—	21.34 ± 7.35a	—	—

表中“—”表示三七未出苗, 未能测定相关指标。表中同一行不同字母表示在0.05水平上差异显著, 数据为平均值±标准差 (N = 15)。
“—” in the table indicates the *Panax notoginseng* seedlings not emerged and the relevant indicator not be measured. Different letters on the same row in the table indicate significant differences at the 0.05 level. Data represent the mean ± standard deviation (N = 15).

表5 三七根中皂苷百分含量 (P%, N = 15)
Table 5 Saponin content of *Panax notoginseng* roots (P%, N = 15)

月份 Month	R ₁			Rg ₁			Re			Rb ₁		
	一年生 1-year-old	两年生 2-year-old	三年生 3-year-old	一年生 1-year-old	两年生 2-year-old	三年生 3-year-old	一年生 1-year-old	两年生 2-year-old	三年生 3-year-old	一年生 1-year-old	两年生 2-year-old	三年生 3-year-old
当年1月 Jan.	—	0.05 ± 0.05f	0.94 ± 0.04b	—	0.57 ± 0.26de	3.52 ± 0.12cde	—	0.16 ± 0.06d	0.74 ± 0.02cd	—	0.41 ± 0.21d	2.86 ± 0.08def
2月 Feb.	—	0.11 ± 0.06f	0.96 ± 0.13b	—	0.70 ± 0.19de	3.47 ± 0.35cde	—	0.19 ± 0.04d	0.74 ± 0.08cd	—	0.46 ± 0.13d	3.51 ± 0.33cd
3月 Mar.	—	0.08 ± 0.04f	1.10 ± 0.17b	—	0.83 ± 0.39de	2.88 ± 0.44de	—	0.22 ± 0.05d	0.67 ± 0.09cde	—	0.58 ± 0.14d	2.19 ± 0.34f
4月 Apr.	—	0.19 ± 0.05ef	1.00 ± 0.03b	—	2.22 ± 0.45bc	5.51 ± 0.17ab	—	0.51 ± 0.10c	1.02 ± 0.04b	—	1.54 ± 0.19bc	5.22 ± 0.17a
5月 May	—	0.27 ± 0.08ef	1.63 ± 0.13b	—	1.39 ± 0.20dc	5.53 ± 0.15ab	—	0.26 ± 0.03d	0.95 ± 0.02bc	—	0.81 ± 0.17cd	4.01 ± 0.11bc
6月 June	0.04 ± 0.01c	0.41 ± 0.19def	1.00 ± 0.23b	0.55 ± 0.01bc	1.79 ± 0.49c	3.77 ± 0.15cd	0.20 ± 0.01bcd	0.22 ± 0.13d	0.57 ± 0.02de	0.34 ± 0.01c	0.92 ± 0.22cd	2.52 ± 0.07ef
7月 July	0.15 ± 0.05c	3.63 ± 0.29a	4.57 ± 1.50a	0.64 ± 0.13bc	0.32 ± 0.03e	2.03 ± 0.89ef	0.18 ± 0.10cd	0.00 ± 0.00e	0.25 ± 0.15f	0.38 ± 0.06bc	1.66 ± 0.15bc	2.37 ± 0.05f
8月 Aug.	2.01 ± 0.41a	0.75 ± 0.06cde	4.32 ± 0.84a	0.24 ± 0.03c	2.72 ± 0.19b	0.71 ± 0.60f	0.00 ± 0.00d	0.44 ± 0.03c	0.43 ± 0.11ef	0.78 ± 0.17bc	1.08 ± 0.39cd	2.77 ± 0.07ef
9月 Sept.	0.06 ± 0.04c	0.85 ± 0.62cd	0.79 ± 0.04b	0.58 ± 0.23bc	3.06 ± 1.75b	4.19 ± 0.27bcd	0.20 ± 0.02bcd	0.41 ± 0.24c	0.57 ± 0.04de	0.41 ± 0.15bc	2.26 ± 1.29b	2.36 ± 0.18f
10月 Oct.	0.76 ± 0.60b	1.29 ± 0.04c	1.18 ± 0.04b	3.20 ± 2.23c	4.52 ± 0.12a	4.59 ± 0.15bc	0.60 ± 0.35a	0.76 ± 0.03b	0.69 ± 0.03cde	1.80 ± 1.24a	4.39 ± 0.11a	3.16 ± 0.10de
11月 Nov.	0.27 ± 0.03c	2.07 ± 1.13b	1.93 ± 0.28b	1.77 ± 0.12b	5.11 ± 1.10a	3.53 ± 0.92cde	0.43 ± 0.03ab	0.97 ± 0.22a	0.52 ± 0.13de	1.09 ± 0.08abc	4.74 ± 1.54a	3.13 ± 0.39de
12月 Dec.	0.22 ± 0.02c	2.15 ± 0.46ab	2.31 ± 0.48b	1.27 ± 0.06bc	5.26 ± 0.34a	6.15 ± 0.29a	0.35 ± 0.05bc	1.25 ± 0.17a	1.48 ± 0.13a	0.69 ± 0.03bc	4.87 ± 0.28a	4.41 ± 0.23b
次年1月 Jan.	0.33 ± 0.36c	—	—	1.65 ± 1.28b	—	—	0.35 ± 0.27bc	—	—	0.87 ± 0.62bc	—	—
2月 Feb.	0.35 ± 0.16c	—	—	1.69 ± 0.55b	—	—	0.18 ± 0.04cd	—	—	1.16 ± 0.37ab	—	—
总皂苷 Total saponins												
月份 Month	Rd			R ₁ + Rg ₁ + Rb ₁			R ₁ + Rg ₁ + Rb ₁			Total saponins		
	一年生 1-year-old	两年生 2-year-old	三年生 3-year-old	一年生 1-year-old	两年生 2-year-old	三年生 3-year-old	一年生 1-year-old	两年生 2-year-old	三年生 3-year-old	一年生 1-year-old	两年生 2-year-old	三年生 3-year-old
当年1月 Jan.	—	0.07 ± 0.03d	0.56 ± 0.02cd	—	1.03 ± 0.53e	7.32 ± 0.22c	—	1.27 ± 0.61e	8.62 ± 0.25cd	—	1.27 ± 0.61e	8.62 ± 0.25cd
2月 Feb.	—	0.06 ± 0.02d	0.66 ± 0.07c	—	1.27 ± 0.39e	7.94 ± 0.81c	—	1.51 ± 0.45e	9.34 ± 0.95c	—	1.51 ± 0.45e	9.34 ± 0.95c
3月 Mar.	—	0.07 ± 0.04d	0.31 ± 0.05e	—	1.48 ± 0.47e	5.46 ± 0.77d	—	1.77 ± 0.50e	7.15 ± 1.07d	—	1.77 ± 0.50e	7.15 ± 1.07d
4月 Apr.	—	0.11 ± 0.03d	0.68 ± 0.03c	—	3.95 ± 0.47cd	11.73 ± 0.36ab	—	4.57 ± 0.56cd	13.43 ± 0.42b	—	4.57 ± 0.56cd	13.43 ± 0.42b
5月 May	—	0.20 ± 0.03d	4.01 ± 0.11a	—	2.47 ± 0.45de	11.17 ± 0.17b	—	2.94 ± 0.51de	16.12 ± 0.28a	—	2.94 ± 0.51de	16.12 ± 0.28a
6月 June	0.11 ± 0.01b	0.30 ± 0.08cd	0.44 ± 0.02de	0.93 ± 0.01b	3.42 ± 0.88de	7.29 ± 0.44c	1.24 ± 0.00b	3.64 ± 1.08de	8.30 ± 0.47cd	1.24 ± 0.00b	3.64 ± 1.08de	8.30 ± 0.47cd
7月 July	0.11 ± 0.02b	0.56 ± 0.06b	0.45 ± 0.02de	1.18 ± 0.23b	5.61 ± 0.46bc	8.98 ± 0.66c	1.46 ± 0.30b	6.17 ± 0.51bc	9.68 ± 0.52c	1.46 ± 0.30b	6.17 ± 0.51bc	9.68 ± 0.52c
8月 Aug.	0.26 ± 0.07b	0.28 ± 0.03cd	0.51 ± 0.02cd	3.14 ± 0.64b	4.56 ± 0.46cd	7.79 ± 0.37c	3.42 ± 0.68b	5.27 ± 0.51bcd	8.73 ± 0.31cd	3.42 ± 0.68b	5.27 ± 0.51bcd	8.73 ± 0.31cd
9月 Sept.	0.90 ± 0.03b	0.49 ± 0.29bc	0.56 ± 0.04cd	1.05 ± 0.40b	6.18 ± 0.56b	7.33 ± 0.48c	1.34 ± 0.39b	7.08 ± 0.46b	8.46 ± 0.55cd	1.34 ± 0.39b	7.08 ± 0.46b	8.46 ± 0.55cd
10月 Oct.	0.46 ± 0.29a	0.97 ± 0.02a	0.56 ± 0.02cd	5.76 ± 0.46a	10.22 ± 0.26a	8.94 ± 0.29c	6.82 ± 0.69a	11.95 ± 0.31a	10.18 ± 0.34c	6.82 ± 0.69a	11.95 ± 0.31a	10.18 ± 0.34c
11月 Nov.	0.23 ± 0.02b	1.01 ± 0.51a	0.52 ± 0.06cd	3.13 ± 0.23b	11.92 ± 2.08a	8.60 ± 0.62c	3.79 ± 0.24b	13.90 ± 1.72a	9.64 ± 0.70c	3.79 ± 0.24b	13.90 ± 1.72a	9.64 ± 0.70c
12月 Dec.	0.17 ± 0.09b	1.24 ± 0.17a	0.99 ± 0.10b	2.18 ± 0.10b	12.46 ± 2.31a	12.87 ± 0.68a	2.70 ± 0.16b	14.58 ± 1.58a	15.34 ± 0.77a	2.70 ± 0.16b	14.58 ± 1.58a	15.34 ± 0.77a
次年1月 Jan.	0.11 ± 0.08b	—	—	2.85 ± 1.26b	—	—	3.31 ± 1.61b	—	—	3.31 ± 1.61b	—	—
2月 Feb.	0.27 ± 0.10b	—	—	3.19 ± 1.08b	—	—	3.65 ± 1.21b	—	—	3.65 ± 1.21b	—	—

表中“—”表示三七未出苗, 未能测定相关指标。表中同一行不同字母表示在0.05水平上差异显著, 数据为平均值±标准差 (N = 15)。
“—” in the table indicates the *Panax notoginseng* seedlings not emerged and the relevant indicator not be measured. Different letters on the same row in the table indicate significant differences at the 0.05 level. Data represent the mean ± standard deviation (N = 15).

lanceolata) 株高、茎粗、分支数、主根直径及侧根数等随着生长年限而增大^[4, 33-34]。本研究表明, 三七株高、茎粗、主根长及根体积等随着生长年限增加(表1-3)。另一方面, 研究发现生长年限促使植物生长发育具有明显的阶段性, 主要表现在植物形态构成^[33-34]。桔梗和四叶参以现蕾为标志, 现蕾前为营养生长, 株高和茎粗增加较多, 根部增长缓慢, 以主根的伸长为主, 现蕾开始植株进入生殖生长阶段, 地上生长缓慢, 地下主要表现为根的生长和增粗^[33-34]。一年生四叶参地上部营养体建立比两年生和三年生所需时间明显增长^[34]。本研究结果表明, 一年生三七的快速生长期为5月、7月和10月, 两年生三七的快速生长期为4-6月和10-12月, 三年生三七的快速生长期为6月和10-12月(表1-3)。这些结果表明植株迅速增高、根部快速形成及生长迅速, 最终大量形成营养器官是一年生三七的生长特点; 两年生三七(4-6月)和三年生三七(6月)主要是株高快速增加, 主根快速生长及增长增粗等营养生长; 两年生三七和三年生三七在10-12月主要进行地下部分根系的增粗生长。此外, 崔秀明等研究发现, 三七存在2个生长高峰期, 4-6月为营养生长高峰期, 8-10月为生殖生长高峰期, 建议两个时期应为最佳施肥期^[28]。本研究进一步表明, 一年生三七5-7月为营养生长高峰期阶段, 10月为生殖生长高峰期; 两年生三七4-6月为营养生长高峰期, 10-12月生殖生长高峰期; 三年生三七6月为营养生长高峰期, 10-12月为生殖生长高峰期。本研究结果与早期崔秀明等的研究结果^[28]存在差异, 这可能是由于本研究是全生育过程取样, 而后者研究只是选取几个生长时期取样, 取样时间点不同的原因。本研究结果显示, 一年生三七5-7月为营养生长高峰期, 10月为生殖生长高峰期; 两年生三七4-6月为营养生长高峰期, 10-12月生殖生长高峰期; 三年生三七6月为营养生长高峰期, 10-12月为生殖生长高峰期; 总的来看, 不同生长年限的三七都存在两个生长高峰期。

3.2 生长年限影响根茎类药用植物根的形态建成

根系的生长发育直接影响根茎类药用作物的产量。五年生金印草(*Hydrastis canadensis*)根茎生物量显著高于两年生植株, 且在夏季根系生物量增长最快^[35]。杨平飞等研究表明, 三年生白及(*Bletilla striata*)在生长旺盛期(4-7月)块茎厚、根数及块茎质量等明显高于两年生和一年生植株^[36]。本研究结果显示, 随着生长年限增加三七主根长、主根直径、支根长、支根直径、根体积和RSR等指标呈上升趋势(表1-3), 说明三年生三七根系生长最活跃且地下部分产量明显高于两年生和一年生三七。但有趣的是, 三七随着生长月份和年限的增加, 存在须根脱落、主根长减少的生物学特性, 这与前人研究发现同属药用植物五年生人参(*Panax ginseng*)主根粗、侧根长、根生物量增长速率低于四年生和三年生的结果^[37]一致, 这可能是由于生产上为减少三七的头数, 通过施肥技术、生产管理等措施来减少主根长度和须根数所导致; 另一方面可能是随着三七生长, 连作障碍越发严重, 而化感自毒作用是导致连作障碍的主要原因, 化感物质会破坏三七根系生长, 破坏三七根尖细胞壁结构, 进而导致三七根长减小^[38-40]。此外, 生长年限还能进一步影响药用植物根的形态建成。王志芬等研究发现一年生桔梗根系发育主要是根形态构建, 两年生桔梗主要是根形态和根重同步构建, 三年生桔梗主要是根重构建^[33]; 陈宝芳等对四叶参的根系研究也得到类似的结果^[34]。本研究结果显示, RSR随着生长年限增加呈上升趋势, 且在12月份达到最大(图1), 这同崔秀明等发现在12月份三年生三七地下部生物量积累达到最大值的结果^[28]一致。我们的研究结果进一步表明, 一年生三七主要是根基本形态构建期, 包括主根长、支根长; 两年生三七是根形态与根重同步构建期, 主要包括主根直径、根

体积、支根直径等, 三年生三七主要是根重构建。总之, 三年生三七根系生长旺盛, 且在12月份地下部生物量高。因此, 从经济产量角度判断, 生产上三七种植3年即可采收。

3.3 三年生三七药效成分含量高于药典标准

生长年限是影响多年生药用植物次生代谢产物积累的主要因素。四年生大血藤(*Sargentodoxa cuneata*)中没食子酸、咖啡酸、香草酸和红景天苷等成分的含量显著高于1-3年生大血藤^[41]。张万博等研究发现, 十八年生人参(*Panax ginseng*)主根皂苷含量是五年生人参的3倍, 是八年生人参的2.55倍^[42]。本研究结果显示, 三年生三七总皂苷含量显著高于两年生和一年生三七, 且三年生三七在12月份时总皂苷产量达到最高值1 276.00 mg/株(图2B、表4-5); 这一研究结果同Jia等、Hong等及朱伟伟等系列研究发现三七皂苷含量随生长年限增加的结果^[20-21, 23]一致。另一方面, 不同生长年限药用植物有效成分随着生长周期波动变化。川乌(*Aconitum carmichaelii*)叶中的生物碱含量在5-8月呈现先上升后降低的趋势, 在7月达到峰值^[43]。仇劲等研究发现, 从幼蕾期到金花期, 金银花(*Lonicera japonica*)总酚和类黄酮的含量呈逐渐下降趋势, 绿原酸在三青期达到最高值^[44]。本研究发现, 7月至8月, 一年生三七皂苷含量呈小幅度波动缓慢增加, 3月至11月, 两年生三七皂苷含量呈小幅度快速增加, 这表明一年生和两年生三七主要进行根形态的建成及地上部分的初生代谢和生物量积累, 故次生代谢较弱及次生代谢产物积累波动较小; 三年生三七次生代谢活跃及次生代谢产物皂苷含量增加幅度较大(图2)。同时, 进一步表明三年生三七在3-5月, 需要出芽、长叶, 进行营养生长, 消耗了大量碳水化合物, 皂苷含量相对增加; 6-11月初生代谢和次生代谢可能处于动态平衡状态, 生物量积累和皂苷积累同步进行, 故次生代谢产物皂苷含量变化幅度较小; 在11-12月营养生长缓慢, 生物量积累相对减少, 皂苷含量相对大幅度地增加, 且在三年生三七整个生长周期Rg₁、Rb₁和R₁的变化幅度较大, 达到最大值。此外, 三年生三七在整个生长周期皂苷Rg₁ + Rb₁ + R₁含量均高于2020版《中华人民共和国药典》规定的5.00%标准^[19], 且在12月份达到最高, 而两年生三七在1-6月Rg₁ + Rb₁ + R₁含量未达到《中华人民共和国药典》规定的5.00%标准, 一年生三七皂苷含量则基本未达到药典规定标准(图2B)。本结果进一步为三七需要种植3年才能采收提供了可靠的证据。

3.4 适宜采收期和最佳生长年限的确定

有效成分和生物量的积累是确定多年生药用植物适宜采收期和采收年限的重要指标^[45]。适宜的采收期和采收年限能够提高药材的品质和产量, 从而达到最佳品质和最大经济效益。刘佳等研究发现, 三年生多花黄精的多糖含量显著高于五年生多花黄精, 且根茎鲜重在12月份达到最高, 故建议云南产多花黄精最适采收期为12月份, 以三年生多花黄精为最佳采收年限^[46]。三年生光果甘草(*Glycyrrhizae glabra*)的甘草苷和甘草酸含量以及干重均高于一年生和两年生, 且在秋季达到最高, 因此种植3年为光果甘草最佳采收年限, 当年秋季为最佳采收期^[47]。本研究发现, 三七皂苷含量积累与生物量积累具有一致性, 不同生长年限三七的单株总皂苷产量随月份呈波动式增长, 三年生三七在12月份皂苷产量达到最大值, 且发现其RSR和根体积也达到最大(表1-3、图1), 这表明三年生三七在12月地下生物量和皂苷含量均高。崔秀明等人早期的研究^[27-28]也证实了本研究结果, 但后者的研究是从生物量和皂苷含量两个方面分别独立进行的。本研究基于不同生长年限三七在整个生长周期对生物量和皂苷含量同时测定并进行综合分析, 表明三七适宜采收期为12月份, 以三七种植3年为最佳采收年限。

本研究的结果比早前的研究结果更加详细和更有说服力。

4 结论

生长年限显著影响三七生长发育和皂苷积累。各生长年限的三七生长都存在两个生长高峰期。一年生三七主要是根形态基本构建期,两年生三七是根形态与根重同步构建期,三年生三七主要是根重建期,且三年生三七在12月份地下部生物量最高。皂苷含量随着生长年限波动增加,三年生三七皂苷含

量均达到2020版《中华人民共和国药典》要求,且在12月皂苷含量和产量达到最大值。本研究基于不同生长年限三七在整个生长周期生物量和皂苷积累的动态规律,综合考虑经济效益及中药材品质有效性和安全性,首次详细证实种植3年(苗期1年、大田移栽期2年)为三七最佳采收年限,且12月份为三七最佳采收期。由于本研究仅通过地下生物量和药用活性成分的含量来评价三七质量,接下来将结合药效学评价对三七适宜采收期和采收年限研究结论进行验证,进一步为三七最佳年限和最佳采收期的确定提供更加科学和合理的理论依据。

参考文献 [References]

- 1 张玉树, 张金波, 朱同彬, 蔡祖聪. 不同种植年限果园土壤有机氮组分变化特征[J]. 生态学杂志, 2015, **34** (5): 1229-1233 [Zhang YS, Zhang JB, Zhu TB, Cai ZC. Characteristics of soil organic nitrogen components of orchards with different planting [J]. *Chin J Ecol*, 2015, **34** (5): 1229-1233]
- 2 谭渊, 陈强, 刘汉军, 宋三多, 余秀梅, 董振寰, 唐雪, 钟宇舟. 不同种植年限黄连根系土壤细菌PCR-DGGE分析[J]. 中国中药杂志, 2015, **40** (16): 3147-3151 [Tan Y, Chen Q, Liu HJ, Song SD, Yu XM, Dong ZH, Tang X, Zhong YZ. Bacteria community in different aged *Coptis chinensis* planting soil revealed by PCR-DGGE analysis [J]. *Chin J Chin Mater Med*, 2015, **40** (16): 3147-3151]
- 3 纳小凡, 郑国琦, 彭励, 雷川怡, 杨红艳, 马玉, 赵强, 石硕硕. 不同种植年限宁夏枸杞根际微生物多样性变化[J]. 土壤学报, 2016, **53** (1): 241-250 [Na XF, Zheng GQ, Peng L, Lei CY, Yang HY, Ma Y, Zhao Q, Shi SF. Microbial biodiversity in rhizosphere of *Lycium bararum* L. relative to cultivation history [J]. *Acta Pedol Sin*, 2016, **53** (1): 241-250]
- 4 范铭. 不同年限甘草生长动态与产量品质研究[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2016 [Fan M. Study on growth dynamic, yields and quality for *Glycyrrhiza uralensis* Fisch in different growth years [D]. Lanzhong: Gansu Agricultural University, 2016]
- 5 王钰, 瞿显友, 钟国跃, 李隆云, 罗维早, 张艺, 银福军. 洪雅黄连生物量动态变化及有效成分积累的研究[J]. 中国中药杂志, 2011, **36** (16): 2014-2165 [Wang Y, Qu XY, Zhong GY, Li LY, Luo WZ, Zhang Y, Yin FJ. Dynamic accumulation of effective components and biomass of *Coptis chinensis* in Hongya county [J]. *Chin J Chin Mater Med*, 2011, **36** (16): 2014-2165]
- 6 李坤, 张红瑞, 彭涛, 陈明明, 高致明, 张义珠. 产地和生长年限对桔梗品质的影响[J]. 河南农业科学, 2018, **47** (3): 112-115 [Li S, Zhang HR, Peng T, Chen MM, Gao ZY, Zhang YS. Effect of different producing areas and growing years on the quality of *Platycodon grandiflorum* [J]. *J Henan Agric Sci*, 2018, **47** (3): 112-115]
- 7 陈铁柱, 文飞燕, 夏燕莉, 杨玉霞, 方清茂, 张浩, 薛丹. 生长年限对七叶一枝花植株、根系、产量和皂苷含量的影响[J]. 江苏农业科学, 2018, **46** (10): 122-125 [Chen TZ, Wen FY, Xian YL, Yang YX, Fang QM, Zhang H, Xue D. Effects of growth years on the plant, root system, yield and saponins content of *Paris polyphylla* Smith var. *chinensis* [J]. *Jiangsu J Agric Sci*, 2018, **46** (10): 122-125]
- 8 杨盼盼, 李尚攀, 李焰焰, 聂传朋. 不同种植年限桔梗的农艺性状与相关环境因子分析[J]. 生物学杂志, 2016, **33** (3): 66-69 [Yang PP, Li SB, Li YY, Nie CP. Analysis of agronomic traits and environmental factors of different planting-years of *Platycodon grandiflorum* [J]. *J Biol*, 2016, **33** (3): 66-69]
- 9 武孔云, 孙超. 中药材品质及提高中药材品质的途径[J]. 中草药, 2010, **41** (7): 1210-1215 [Wu KY, Sun C. Quality of traditional Chinese medicinal materials and their promotion pathway [J]. *Chin Tradit Herbal Drugs*, 2010, **41** (7): 1210-1215]
- 10 李雁群, 吴鸿. 药用植物生长发育与有效成分积累关系研究进展[J]. 植物学报, 2018, **53** (3): 293-304 [Li YQ, Wu H. The research progress of the correlation between growth development and dynamic accumulation of the effective components in medicinal plants [J]. *Acta Bot Sin*, 2018, **53** (3): 293-304]
- 11 Tan LL, Cai X, Hu ZH, Ni XL. Localization and dynamic change of saikosaponin in root of *Bupleurum chinense* [J]. *J Integr Plant Biol*, 2008, **50** (8): 951-957
- 12 Li J, Hu Z. Accumulation and dynamic trends of triterpenoid saponin in vegetative organs of *Achyranthus bidentata* [J]. *J Integr Plant Biol*, 2009, **51** (2): 122-129
- 13 Lee MS, Yang EJ, Kim JI, Ernst E. Ginseng for cognitive function in Alzheimer's disease: a systematic review [J]. *J Alzheimers Dis*, 2009, **18** (2): 339-344
- 14 Shi W, Wang Y, Li J, Zhang H, Ding L. Investigation of ginsenosides in different parts and ages of *Panax ginseng* [J]. *Food Chem*, 2007, **102** (3): 664-668
- 15 周丽莉, 伊伟贞, 祁建军, 孙鹏, 李先恩. 不同品种和生长年限对丹参产量及有效成分积累动态的影响[J]. 中国野生植物资源, 2012, **31** (5): 8-11+17 [Zhou LL, Yi WZ, Qi JJ, Sun P, Li XE. Effect of varieties and growth years on root yield and bioactive components accumulation dynamics of *Salvia miltiorrhizae* [J]. *Chin Wild Plant Resour*, 2012, **31** (5): 8-11+17]
- 16 颜美秋, 陈素红, 周桂芬, 庞敏霞, 陈梅霞, 吕圭源. 不同种植年限铁皮石斛多糖、甘露糖含量的测定及其它化学成分比较研究[J]. 中华中医药学刊, 2015, **4** (33): 878-880 [Yan MQ, Chen SH, Zhou GF, Pang MX, Chen MX, Lv GY. Variation characteristics of polysaccharides and mannose content and chemical composition of *n*-butanol and ether portion for different cultivating years of *D. officinale* Kimura et Migo [J]. *Chin Arch Tradit Chin Med*, 2015, **4** (33): 878-880]
- 17 Teng HM, Fang MF, Cai X, Hu ZH. Localization and dynamic change of saponin in vegetative organs of *Polygala tenuifolia* [J]. *J Integr Plant Biol*, 2009, **51** (6): 529-536
- 18 龙朝明. 三七研究综述[J]. 实用中医药杂志, 2013, **29** (6): 502-503 [Long ZM. Summary of *Panax notoginseng* research [J]. *J Pract Tradit Chin Med*, 2013, **29** (6): 502-503]
- 19 国家药典委员会编. 中华人民共和国药典(一部) [M]. 北京: 中国医药科技出版社, 2020 [National Pharmacopoeia Committee. Pharmacopoeia of the People's Republic of China (Part 1) [M]. Beijing: The Medicine Science and Technology Press of China, 2020]
- 20 Jia XH, Wang CQ, Liu JH, Li XW, Wang X, Shang MY, Cai SQ, Zhu S, Komatsu K. Comparative studies of saponins in 1-3-year-old main roots, fibrous roots, and rhizomes of *Panax notoginseng*, and identification of different parts and growth-year samples [J]. *J Nat Med*, 2013, **67** (2): 339-349
- 21 Hong DY, Lau AJ, Yeo CL, Liu XK, Yang CR, Koh HL, Hong Y. Genetic diversity and variation of saponin contents in *Panax notoginseng* roots from a single farm [J]. *J Agric Food Chem*, 2005, **53** (22): 8460-8467
- 22 Vongsangnak W, Gua J, Chauvatcharin S, Zhong JJ. Towards efficient extraction of notoginseng saponins from cultured cells of *Panax notoginseng* [J]. *Biochem Eng J*, 2004, **18** (2): 115-120

- 23 朱伟伟, 王齐. 高效液相色谱法测定不同年限三七根中皂苷含量[J]. 安徽农业科学, 2012, **40** (3): 1407-1408+1651 [Zhu WW, Wang Q. High-performance liquid chromatography in different years thirty-seven saponin content [J]. *J Anhui Agric Sci*, 2012, **40** (3): 1407-1408+1651]
- 24 王振峰, 高云涛, 张文斌, 张公信, 林龙勇, 王正玮, 闫莉莉. 不同生长年限三七中总皂苷含量的变化特征[J]. 安徽农业科学, 2012, **40** (15): 8458-8459+8463 [Wang ZF, Gao YT, Zhang WB, Zhang GX, Lin LY, Wang ZW, Yan LL. Variation characteristics of total saponins content in *Panax notoginseng* at different growth ages [J]. *J Anhui Agric Sci*, 2012, **40** (15): 8458-8459+8463]
- 25 尉广飞, 杨锋, 许亚茹, 王欢欢, 苏丽丽, 袁灿, 董林林. 三七皂苷成分及其影响因素研究进展[J]. 世界科学技术-中医药现代化, 2018, **20** (10): 1876-1881 [Wei GF, Yang F, Xu YR, Wang HH, Su LL, Yuan C, Dong LL. Study progress of components of notoginsenoside and the affecting factors [J]. *World Sci Technol Mod Trad Chin Med Mater Med*, 2018, **20** (10): 1876-1881]
- 26 龙扬. HPLC法测定不同采收期三七中有效成分含量[J]. 亚太传统医药, 2015, **11** (7): 24-25 [Long Y. Determination of the content of effective components in *Panax notoginseng* in different harvest periods by HPLC [J]. *Asia-Pac Tradit Med*, 2015, **11** (7): 24-25]
- 27 崔秀明, 陈中坚, 王朝梁, 曾江. 三七皂苷积累规律的研究[J]. 中国中药杂志, 2001, **26** (1): 25-26 [Cui XM, Chen ZJ, Wang CL, Zeng H. Studies on saponin accumulative in regularities *Panax notoginseng* (Burk) F. H. Chen [J]. *Chin J Chin Mater Med*, 2001, **26** (1): 25-26]
- 28 崔秀明, 王朝梁. 三七生长及干物质积累动态的研究[J]. 中药材, 1991, **14** (9): 9-11 [Cui XM, Wang CL. Study on the dynamics of growth and dry matter accumulation of *Panax notoginseng* [J]. *Chin Med Mat*, 1991, **14** (9): 9-11]
- 29 王静, 匡双便, 周平, 范伟, 龙光强, 张广辉, 杨生超, 陈军文. 二年生三七农艺和质量性状对环境光强的响应特征[J]. 热带亚热带植物学报, 2018, **26** (4): 375-382 [Wang J, Kuang SB, Zhou P, Fan W, Long GQ, Zhang GH, Yang SC, Chen JW. Agronomic and quality traits of two-year-old *Panax notoginseng* response to environmental light intensity [J]. *J Trop Subtrop Bot*, 2018, **26** (4): 375-382]
- 30 寸竹, 张金燕, 陈军文. 氮添加对二年生三七生长、光合特性及皂苷含量的影响[J]. 生态学杂志, 2020, **39** (4): 1101-1111 [Cun Z, Zhang JY, Chen JW. Effects of nitrogen addition on growth, photosynthetic characteristics and saponin content in two-year-old *Panax notoginseng* [J]. *Chin J Ecol*, 2020, **39** (4): 1101-1111]
- 31 Zhang JY, Cun Z, Wu HM, Chen JW. Integrated analysis on biochemical profiling and transcriptome revealed nitrogen-driven difference in accumulation of saponins in a medicinal plant *Panax notoginseng* [J]. *Plant Physiol Biochem*, 2020, **154**: 564-580
- 32 周新华, 肖智勇, 曾平生, 姚甲宝, 武晓玉, 黄宇涛. 林下生境及生长年限对多花黄精生长和药用活性成分含量的影响[J]. 西南林业大学学报, 2019, **39** (4): 155-160 [Zhou XH, Xiao ZY, Zeng PS, Yao JB, Wu XY, Huang YT. Growth of *Polygonatum cyrtoneuma* and the content of medicinal active components [J]. *J SW For Univ*, 2019, **39** (4): 155-160]
- 33 王志芬, 单成钢, 苏学合, 闫树林, 朱连先. 不同年限栽培桔梗根生长发育差异的比较研究[J]. 现代中药研究与实践, 2009, **23** (4): 10-13 [Wang ZF, Shan CG, Su XH, Yan SL, Zhu LX. Comparison differences of growing and developing for different planting years of *Radix platycodonis* [J]. *Res Pract Chin Med*, 2009, **23** (4): 10-13]
- 34 陈宝芳, 毕研文, 杨永恒, 宫俊华, 刘政波. 不同生长年限泰山四叶参生长发育规律及品质比较[J]. 山东农业科学, 2014, **46** (3): 51-53 [Chen BF, Bi YW, Yang YH, Gong JH, Liu ZB. Comparison of growth and development law and quality of *Codonopsis lanceolata* in different growth years [J]. *Shandong Agric Sci*, 2014, **46** (3): 51-53]
- 35 Douglas JA, Follett JM, Parmenter GA, Sansom CE, Perry NB, Littler RA. Seasonal variation of biomass and bioactive alkaloid content of goldenseal, *Hydrastis canadensis* [J]. *Fitoterapia*, 2010, **81** (7): 925-928
- 36 杨平飞, 宋智琴, 刘海, 罗鸣, 张金霞, 吴明开. 不同生长年限白及生长旺盛期农艺性状与质量[J]. 北方园艺, 2017, **10**: 140-144 [Yang PF, Song ZQ, Liu H, Luo M, Zhang JX, Wu MK. Agronomic traits and quality of *Bletilla striata* with different growing years in vigorous growth period [J]. *N Horticul*, 2017, **10**: 140-144]
- 37 李建鸽, 刘涛, 杨振兴, 肖平阔, 董林林, 姚玲, 王学怡, 李世玉. 不同生长年限人參的农艺性状品质及土壤理化分析[J]. 中国现代中药, 2021, **23** (1): 99-105 [Li JG, Liu T, Yang ZX, Xiao PK, Dong LL, Yao L, Wang XY, Li SY. Comparative study on agronomic traits quality and cultivated soil of *Panax ginseng* with different growth years [J]. *Mod Chin Med*, 2021, **23** (1): 99-105]
- 38 官会林, 陈昱君, 刘士清, 张无敌, 夏朝凤. 三七种植土壤微生物类群动态与根腐病的关系[J]. 西南农业大学学报(自然科学版), 2006, **28** (5): 706-709 [Guan HL, Chen YJ, Liu SQ, Zhang WD, Xia CF. On the relationship between root rot in *Panax notoginseng* and soil microbes [J]. *J SW Agric Univ (Nat Sci Ed)*, 2006, **28** (5): 706-709]
- 39 张金燕, 寸竹, 龙光强, 张广辉, 孟珍贵, 李龙根, 杨生超, 陈军文. 三七(*Panax notoginseng*)根残体化感自毒效应研究[J]. 植物科学学报, 2018, **36** (3): 431-439 [Zhang JY, CZ, Long GQ, Zhang GH, Meng ZG, Li LG, Yang SC, Chen JW. Study on autotoxicity of *Panax notoginseng* root residue [J]. *Plant Sci J*, 2018, **36** (3): 431-439]
- 40 孙雪婷, 李磊, 龙光强, 张广辉, 孟珍贵, 杨生超, 陈军文. 三七连作障碍研究进展[J]. 生态学杂志, 2015, **34** (3): 885-893 [Sun XT, Li L, Long GQ, Zhang GH, Meng ZG, Yang SC, Chen JW. The progress and prospect on consecutive monoculture problems of *Panax notoginseng* [J]. *Chin J Ecol*, 2015, **34** (3): 885-893]
- 41 计楚君, 郑群飞. 不同生长年限大血藤药材中7种成分的含量比较[J]. 华西药科学杂志, 2020, **35** (5): 561-566 [Ji CZ, Zheng QF. Comparison of the contents of 7 components in *Sargentodoxa cuneata* in different growth years [J]. *W Chin J Pharm Sci*, 2020, **35** (5): 561-566]
- 42 张万博, 代月, 廉美兰, 杨帆, 姜银姬, 朴炫春. 不同栽培年限人參不同部位中皂苷含量的分析[J]. 延边大学农学报, 2016, **38** (1): 13-17 [Zhang WB, Dai Y, Lian ML, Yang F, Jiang F, Piao XC. Analysis of ginsenoside contents in *Panax ginseng* parts of different cultivation periods [J]. *J Agric Sci Yanbian Univ*, 2016, **38** (1): 13-17]
- 43 李燕, 贺亚男, 黄浩洲, 刘彬, 傅超美, 耿福能, 许润春, 杨明, 张定堃, 裴瑾. 液质联用技术追踪生物碱类成分在川乌茎叶生长周期的动态变化规律[J]. 中草药, 2019, **50** (8): 1985-1991 [Li Y, He YN, Huang HZ, Liu B, Fu CM, Geng FN, Xu RC, Yang M, Zhang DK, Pei J. Dynamic changes of alkaloids in growth cycle in stem and leaves of *Aconitum carmichaelii* by HPLC-MS/MS [J]. *Chin Tradit Herbal Drugs*, 2019, **50** (8): 1985-1991]
- 44 仇劲, 李国清, 于清伟, 毕研文, 陈宝芳. 不同采收时期金银花中化学成分及其相关酶活性分析[J]. 中国农学通报, 2019, **35** (19): 73-77 [Jin Z, Li GQ, Yu QW, Bi YW, Chen BF. Chemical components and relevant enzyme activity of *Lonicera japonica* at different harvest stages [J]. *Chin Agric Sci Bull*, 2019, **35** (19): 73-77]
- 45 田甜. 不同产地和生长年限黄芩质量评价及药理作用研究[D]. 杭州: 浙江理工大学, 2018 [Tian T. Study on the quality evaluation and pharmacological effect of *Scutellaria baicalensis* on different origins and cultivation years [D]. Hangzhou: Zhejiang Sci-Tech University, 2018]
- 46 刘佳, 朱翔, 叶宏达, 王文祥, 叶怡然, 海梅荣. 云南多花黄精适宜采收期初步研究[J]. 中国农学通报, 2017, **33** (27): 88-91 [Liu J, Zhu X, Ye HD, Wang WX, Ye YR, Hai MR. The appropriate collection period of *Polygonatum cyrtoneuma* in Yunnan [J]. *Chin Agric Sci Bull*, 2017, **33** (27): 88-91]
- 47 叶菊, 邱黛玉, 曾擎义, 蔺海明, 张汉平, 王升元, 赵贵亮. 不同采收期各品种甘草产量和有效成分的比较[J]. 中成药, 2016, **38** (5): 1088-1092 [Ye J, Qiu DY, Zeng QY, Lin HM, Zhang HP, Wang SY, Zhao GL. Comparisons of yields and effective constituents of various kinds of licorice in different picking time [J]. *Chin Tradit Pat Med*, 2016, **38** (5): 1088-1092]