

不同间作模式对滇龙胆产量及品质的影响

陈丹^{1,2,3}, 罗东海^{1,2,3}, 余成华^{1,2,3}, 李可钺^{1,2,3}, 黄彬⁴, 徐慧声⁴, 段绍凤^{1,2,3},
梁艳丽^{1,2,3*}

1. 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, 云南昆明 650201; 2. 云南农业大学云南省药用植物生物学重点实验室, 云南昆明 650201; 3. 云南农业大学农学与生物技术学院, 云南昆明 650201; 4. 云县科技成果转化中心, 云南临沧 675800

摘要: 为了分析不同间作模式对滇龙胆生长状态、产量及品质的影响, 选择茶树、核桃树、黄豆、薏仁、黑豆、蚕豆 6 种作物材料, 组成滇龙胆单作和间作 7 种植模式, 通过检测旺盛生长期和采收期滇龙胆的生长指标 (株高、株幅、叶长、叶宽、茎粗), 根部产量及品质指标 (干重、须根数、根长、根粗、龙胆苦苷含量), 探讨不同间作模式对滇龙胆产量和品质的影响。结果表明: 滇龙胆与核桃树和茶树间作地上部分的生长状态优于与黄豆、薏仁、黑豆、蚕豆间作的滇龙胆植株, 其中与核桃树间作极显著促进滇龙胆植株株高的生长, 而与茶树间作滇龙胆株幅大, 叶片展开度高, 植株健壮。不同间作栽培的滇龙胆产量依次为: 茶树间作>核桃树间作>黄豆间作>黑豆间作>对照 (单作)>蚕豆间作>薏苡间作, 与茶树间作的滇龙胆产量最高, 产量为 142.4 kg/hm², 比对照处理高 46.87%。在不同的间作模式中, 滇龙胆与茶树间作后须根数最多, 每株须根约 6~9 根, 极显著高于对照的须根数。不同间作模式下, 滇龙胆的龙胆苦苷含量多少依次为: 茶树间作>核桃树间作>蚕豆间作>黑豆间作>黄豆间作>对照 (单作)>薏苡间作>药典 (1.5%), 与茶树间作的根茎的龙胆苦苷含量最高, 为 3.36%±0.07%, 显著高于对照和与薏苡间作。相关性分析表明, 滇龙胆根茎的品质和产量与地上部分植株的株幅、叶长具有显著正相关关系, 而与滇龙胆株高无显著相关性。通过隶属函数对根茎进行综合打分表明: 茶树间作>核桃树间作>蚕豆间作>黄豆间作>黑豆间作>对照>薏苡间作, 与茶树间作、核桃树间作、蚕豆间作、黄豆间作和黑豆间作的滇龙胆综合品质均优于对照, 其中与茶树间作的综合评分最高, 达到 0.99。

关键词: 滇龙胆; 间作; 龙胆苦苷含量; 隶属函数

中图分类号: S567 文献标识码: A

Effects of Different Intercropping Patterns on the Yield and Quality of *Gentiana rigescens*

CHEN Dan^{1,2,3}, LUO Donghai^{1,2,3}, YU Chenghua^{1,2,3}, LI Kecheng^{1,2,3}, HUANG Bin⁴, XU Huisheng⁴, DUAN Shaofeng^{1,2,3}, LIANG Yanli^{1,2,3*}

1. National-Local Joint Engineering Research Center on Germplasm Utilization & Innovation of Chinese Medicinal Materials in Southwest China, Yunnan Agricultural University, Kunming, Yunnan 650201, China; 2. Yunnan Provincial Key Laboratory of Medicinal Plant Biology, Yunnan Agricultural University, Kunming, Yunnan 650201, China; 3. College of Agriculture and Biotechnology, Yunnan Agricultural University, Kunming, Yunnan 650201, China; 4. Science and Technology Achievement Transformation Center of Yunxian, Lincang, Yunnan 675800, China

Abstract: In order to analyze the effects of different intercropping patterns on the growth status, yield and quality of *G. rigescens*, six plant materials including *Camellia sinensis* (L.), *Juglans regia* L., *Glycine max*, *Coix lacryma-jobi* L., *Glycine max* (L.) merr and *Vicia faba* L. were selected to form seven crops patterns of *G. rigescens* monoculture and

收稿日期 2022-07-01; 修回日期 2022-10-03

基金项目 云南省重大科技专项 (No. 2018ZF011); 云南省重大专项 (No. 202102AA310045); 云南省科技厅科技支撑产业绿色发展项目 (No. 202004AC10000-A11-2)。

作者简介 陈丹 (2000—), 女, 硕士研究生, 研究方向: 植物基因资源挖掘与利用。*通信作者 (Corresponding author): 梁艳丽 (LIANG Yanli), E-mail: liangyanlimt@sina.com。

intercropping. Plant height, plant width, leaf length, leaf width and stem diameter of *G. rigescens* in vigorous growth period and harvest period were detected, fiber root number, root length, root diameter, gentiopicoside content were determined to explore the effects of different intercropping patterns on the yield and quality of *G. rigescens*. The results showed that the growth state of above ground part of *G. rigescens* intercropped with *Juglans regia* L. and *Camellia sinensis* (L.) was better than that of *G. rigescens* intercropped with *Glycine max*, *Coix lacryma-jobi* L., *Glycine max* (L.) merr and *Vicia faba* L. The intercropping with *Juglans regia* L. significantly promoted the growth of plant height of *G. rigescens*, while the intercropping with *Camellia sinensis* (L.) had large plant width, high leaf expansion and strong plants. The yield of *G. rigescens* in different intercropping cultivation was: *Camellia sinensis* (L.)>*Juglans regia* L.>*Glycine max*>*Glycine max* (L.) merr>control>*Vicia faba* L.>*Coix lacryma-jobi* L.. The yield of *G. rigescens* in intercropping with tea was the highest, 142.4 kg per hectare, 46.87% higher than that in the control. In different intercropping patterns, the number of fibrous roots of *G. rigescens* intercropping with *Camellia sinensis* (L.) was the highest, about 6-9 fibrous roots per plant, which was significantly higher than that of the control. The determination of gentiopicoside content in *G. rigescens* under different intercropping modes showed that: *Camellia sinensis* (L.) intercropping > *Juglans regia* L. intercropping>*Vicia faba* L. intercropping>*Glycine max* (L.) merr intercropping>*Glycine max* intercropping>control (monoculture)>*Coix lacryma-jobi* L. intercropping>Pharmacopoeia (1.5%), the gentiopicoside content in the roots and stems of *Camellia sinensis* (L.) intercropping was the highest, which was $3.36\% \pm 0.07\%$, significantly higher than that of the control and *Coix lacryma-jobi* L. intercropping intercropping. The correlation analysis showed that the root quality and yield of *G. rigescens* had a significant positive correlation with the aboveground plant width and leaf length, but had no significant correlation with the plant height of *G. rigescens*. The comprehensive score of the roots and stems by the membership function showed that the comprehensive quality of *G. rigescens* was better than that of the control: *Camellia sinensis* (L.) intercropping>*Juglans regia* L. intercropping>*Vicia faba* L. intercropping>*Glycine max* intercropping>*Glycine max* (L.) merr intercropping>control (monoculture)>*Coix lacryma-jobi* L. intercropping, *Camellia sinensis* (L.) intercropping, *Juglans regia* L intercropping, *Vicia faba* L. intercropping, *Glycine max* intercropping, *Glycine max* (L.) merr intercropping all higher than control, and the comprehensive score of intercropping *Camellia sinensis* (L.) was the highest, reaching 0.99.

Keywords: *Gentiana rigescens*; intercropping; gentiopicoside content; membership function

DOI: 10.3969/j.issn.1000-2561.2023.09.011

在中药材栽培生产中,大多数中药材都以单一模式种植,约70%以块根入药的药用植物在种植过程中都存在严重的连作障碍问题^[1-2],如三七^[3]、人参^[4]、当归^[5]、地黄^[6]、附子、半夏等^[7]。常年连作导致药材品质、产量下降,植株生长发育不良,病虫害频发,土壤养分失衡^[8-9]等问题,严重制约了中药资源的可持续发展。间作种植模式可以提高单位种植面积产出,是山地农业种植技术提升、解决连作障碍的方法之一,间作能通过生态位互补增强资源可用性^[10],充分利用土地,提高光照、水分和养分的利用效率^[11],改良土壤微生物结构,增加土壤微生物多样性和活性等作用。

龙胆科(Gentianaceae)龙胆属(*Gentiana*)滇龙胆(*Gentiana rigescens*)为多年生草本植物,以根或根茎入药,主要分布于云南、四川、贵州和湖南等地,为云南道地药材,是中国重要的资源植物^[12]。具有清热燥湿、泻肝胆火之功效,现代药理学研究发现,龙胆苦苷(gentiopicoside)是滇龙胆中主要有效成分,其含量的高低影响着

滇龙胆品质的优劣^[13]。滇龙胆药用历史悠久,而长期掠夺式采挖,导致野生资源储备量锐减^[14],供需矛盾日渐突出,进行滇龙胆人工栽培是保护滇龙胆野生资源和滇龙胆产业可持续发展的必由之路。滇龙胆草的人工种植多采用林下直播3年采收或育苗移栽2年采收的方法^[15],所需年限较长。因需求量的上升,连年耕作已成为滇龙胆主产地的生产常态,常年耕作导致主产区种植地块土壤肥力下降、板结等系列问题。中药材和农林作物复合种植是中药材种植模式的优化,充分利用了药材与作物在时间、空间上的差异。其中中药材与林木或草本植物间作等复合种植模式,可以充分利用光热资源、水土环境和药材与作物间的共生互补作用,提高土地利用率,提高经济效益,是解决中药材连作障碍的有效方法之一^[16-17]。本研究通过对滇龙胆与不同作物间作栽培模式(茶树、核桃树、黄豆、薏仁、黑豆、蚕豆6种植物材料,组成滇龙胆单作和间作7种植植模式)的研究,明确间作栽培模式对滇龙胆生长、产量以及品质的影响,从而为

滇龙胆生态栽培模式的建立提供理论依据,同时为改善药用植物连作障碍提供适宜的种植模式。

1 材料与方法

1.1 材料

田间试验于2018年7月至2019年1月在云南省临沧市云县茶房乡响水村进行,试验地位于 $99^{\circ}23' \sim 100^{\circ}13'E$, $23^{\circ}55' \sim 24^{\circ}45'N$ 之间,海拔1724 m,坡向为阳坡,土壤类型为红壤,年降水量1600 mm,

适宜滇龙胆生长。

实验所用的滇龙胆小苗来自云南省临沧市云县耀阳实业有限公司滇龙胆种植基地,试验选取人工种植的生长状况一致的滇龙胆两年生植株作为试验材料。为了排除试验材料差异对试验结果的影响,在移栽前对滇龙胆的株高、株幅、叶长、叶宽和茎粗进行测量,如表1所示,各处理组植株之间在株高、株幅、叶长、叶宽和茎粗上无显著差异,保证试验材料的一致性。

表1 实验材料一致性检测
Tab. 1 Consistency test of experimental materials

种植模式 Planting method	间作作物 Intercropping crops	株高 Plant height/cm	株幅 Plant width/cm	叶长 Leaf length/cm	叶宽 Leaf width/cm	茎粗 Stem diameter/mm
单作	CK	12.61±0.74 ^a	7.13±0.48 ^a	3.26±0.15 ^a	0.97±0.084 ^a	2.17±0.14 ^a
	黄豆 <i>Glycine max</i>	12.35±0.61 ^a	8.06±0.62 ^a	3.03±0.16 ^a	0.87±0.073 ^a	2.08±0.10 ^a
	薏苡 <i>Coix lacryma-jobi</i> L.	13.04±0.55 ^a	7.53±0.75 ^a	2.81±0.17 ^a	1.01±0.20 ^a	1.91±0.07 ^a
间作	黑豆 <i>Glycine max</i> (L.) merr.	13.09±0.37 ^a	8.91±0.76 ^a	2.99±0.15 ^a	0.90±0.08 ^a	1.88±0.08 ^a
	蚕豆 <i>Vicia faba</i> L.	13.11±0.55 ^a	7.31±0.44 ^a	2.96±0.16 ^a	0.95±0.07 ^a	2.05±0.10 ^a
	核桃树 <i>Juglans regia</i> L.	12.73±0.47 ^a	7.96±0.36 ^a	3.15±0.10 ^a	0.86±0.06 ^a	2.17±0.13 ^a
	茶树 <i>Camellia sinensis</i> (L.) O.Ktze.	12.80±0.60 ^a	7.18±0.28 ^a	3.14±0.14 ^a	0.87±0.07 ^a	1.92±0.21 ^a

注:同列数据后相同小写字母表示处理间差异不显著($P>0.05$)。

Note: The same lowercase letters after the same column of data indicate no significant difference ($P>0.05$).

1.2 方法

1.2.1 试验设计 采用单因素随机区组设计,设置滇龙胆||茶树间作、滇龙胆||核桃树间作、滇龙胆||黄豆间作、滇龙胆||薏苡间作、滇龙胆||黑豆间作、滇龙胆||蚕豆间作6种间作种植模式,种植面积为 258.72 m^2 ,分7个区,每个区又划分为3个小区,共21个小区,每个小区长4.4 m,宽2.8 m,小区面积为 12.32 m^2 ,每小区内种植30株滇龙胆。与林木间作方式如图1A~图1B,在已种植有茶树和核桃树下选取平整地段,移栽滇龙胆进行间作种植,茶树间作试验小区内茶树树高约1 m,茶树种植行距0.88 m,株距1.4 m,每小区内种植茶树18株,与茶树间作的滇龙胆行距0.88 m,株距0.4 m。核桃树间作试验小区内核桃树高4~6 m,核桃树间距2 m,在核桃树下移栽种植滇龙胆,滇龙胆种植行距为0.4 m,每行株距0.4 m,每小区种植核桃树6株。与作物间作方法如图1C~图1F,每小区内种植滇龙胆5行,每行种植6株,株行距为 $0.7\text{ m} \times 0.4\text{ m}$,在每行滇龙胆间分别播种黄豆、薏苡、黑豆、蚕豆4种作物于滇龙胆的行距间和小区的四周,黄豆、薏苡、黑豆、蚕豆的株行距为 $0.8\text{ m} \times 0.4\text{ m}$,每小区3次重复。每小区滇龙

胆种植深度为0.2 m,移栽好后,每个小区将0.4 kg有机肥撒施于滇龙胆小苗根部。对照组全部单作滇龙胆,最后选取红框内的滇龙胆作为对照植株。

1.2.2 项目测定 (1)农艺性状测定。在2018年9月,对处于旺盛生长期中,7种植模式下的滇龙胆株高、株幅、叶长、叶宽和茎粗等地上部分进行测量。在2019年1月滇龙胆采收期对滇龙胆进行采收,并对每株滇龙胆的株高、茎粗、叶长、叶宽、根长、根粗进行测量。

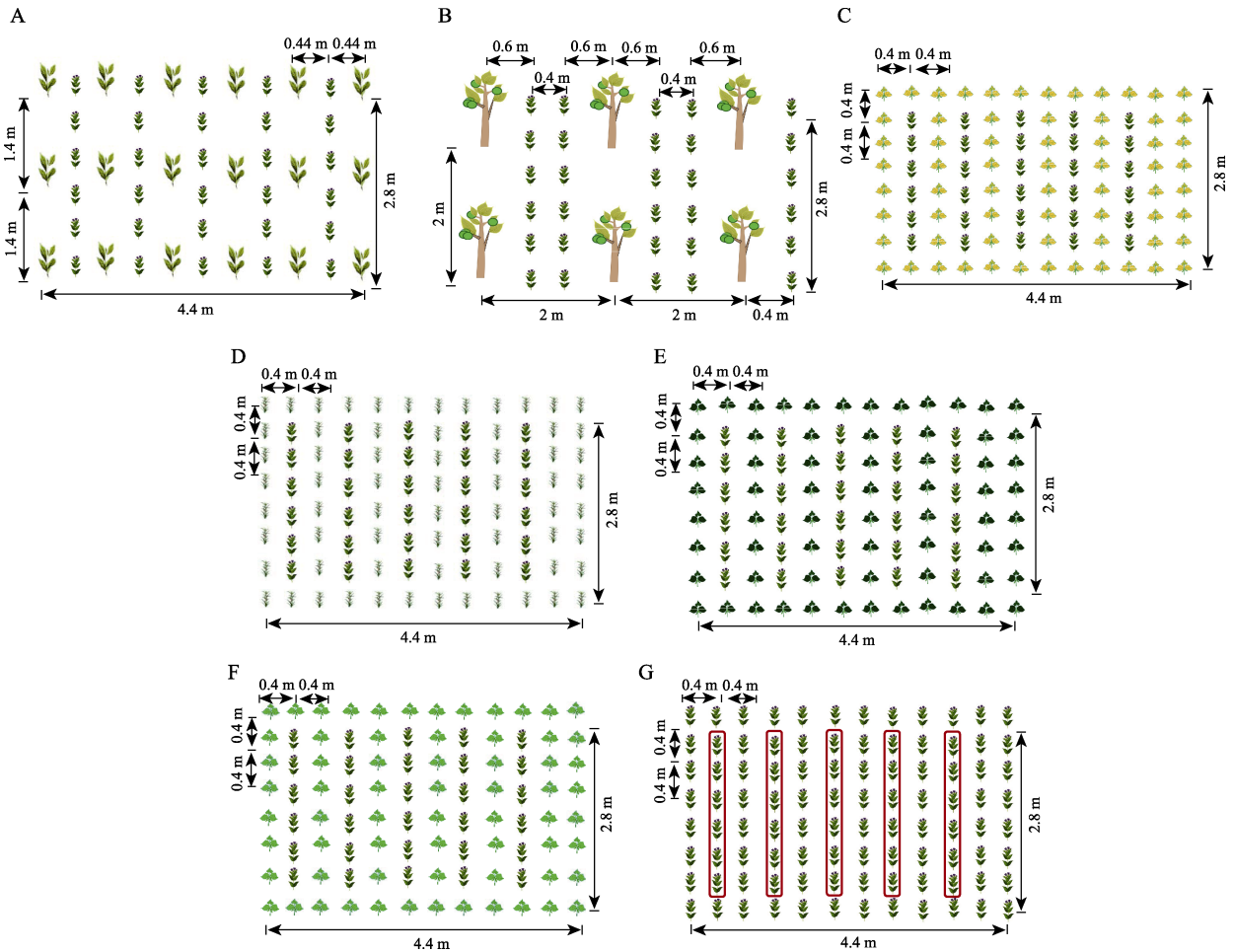
(2)产量性状测定。将不同间作和单作的滇龙胆根茎采收,洗净后自然晒干,称重测干重,以每个小区内的平均单株产量估算公顷产量,公顷产量=单株产量(干重)×种植密度。

(3)品质性状测定。根据药典方法,HPLC色谱法测定滇龙胆苦苷含量。

1.3 数据处理

数据通过Microsoft Office Excel 2010软件进行整理,整理好的数据通过SPSS 20.0软件进行单因素方差分析,并通过GraphPad Prism分析软件进行数据统计分析和制图表。相关性分析图标通过在线网站(<https://www.chiplot.online>)进行。

通过隶属函数法对不同间作模式下滇龙胆品



A: 滇龙胆||茶树间作; B: 滇龙胆||核桃树间作; C: 滇龙胆||黄豆间作; D: 滇龙胆||薏苡间作; E: 滇龙胆||黑豆间作;
F: 滇龙胆||蚕豆间作; G: 滇龙胆单作。 滇龙胆; 核桃树; 茶树; 黄豆;
薏苡; 黑豆; 蚕豆。

A: *G. rigescens.* // *Juglans regia* L. intercropping; B: *G. rigescens.* // *Camellia sinensis* (L.) O.Ktze. intercropping; C: *G. rigescens.* // *Glycine max* (L.) merr. intercropping; D: *G. rigescens.* // *Coix lacryma-jobi* L. intercropping; E: *G. rigescens.* // *Glycine max* (L.) merr. intercropping; F: *G. rigescens.* // *Vicia faba* L. intercropping; G: sole *G. rigescens.* 滇龙胆; *Juglans regia* L.; *Camellia sinensis* (L.) O.Ktze.; *Glycine max*; *Coix lacryma-jobi* L.; *Glycine max* (L.) merr.; *Vicia faba* L..

图 1 不同间作模式示意图

Fig. 1 Schematic diagram of different intercropping patterns

质进行综合评价。公式如下：

$$X(\mu)=(X-X_{\min})/(X_{\max}-X_{\min})$$

式中， X 为某指标的平均测定值； X_{\min} 表示该指标的最小值； X_{\max} 表示该指标的最大值。将在各处理条件下不同评价指标的隶属函数值进行相加，求得的平均值即为不同栽培方式对滇龙胆品质影响的综合评价指数。

2 结果与分析

2.1 不同间作模式对滇龙胆地上部分生长的影响

在滇龙胆旺盛生长期，地上部分的生长状况

和生长环境密切相关，不同间作模式直接影响了滇龙胆旺盛营养生长期周围生长环境中的光照、温度、水分等条件，从而影响滇龙胆的生长。在旺盛生长期，不同间作对滇龙胆各项性状的影响差异很大，但总体而言，各种植模式下滇龙胆的生长与对照相比无显著差异。与核桃树间作主要促进滇龙胆株高的生长，与黑豆间作的滇龙胆植株宽大，与蚕豆间作促进滇龙胆叶长的生长，与薏苡间作主要促进滇龙胆叶宽的生长，叶片短宽而肥厚。如表 2 所示，滇龙胆与核桃树间作处理下株高最高，为(17.43±0.60)cm，极显著高于与

表 2 旺盛生长期滇龙胆地上部农艺性状

Tab. 2 Agronomic characters of aerial parts of *G. rigescens* in vigorous growth period

种植模式 Cropping systems	间作作物 Intercropping crops	株高 Plant height/cm	株幅 Plant width/cm	叶长 Leaf length/cm	叶宽 Leaf width/cm	茎粗 Stem diameter/mm
单作	CK	16.89±1.14 ^{ABa}	8.07±0.59 ^{ABb}	3.55±0.20 ^{Ab}	1.10±0.08 ^{Aa}	2.31±0.14 ^{Aa}
	黄豆 <i>Glycine max</i>	14.34±0.62 ^{Bb}	8.95±0.34 ^{ABab}	3.21±0.22 ^{Ab}	0.99±0.07 ^{Aa}	1.96±0.13 ^{ABbcd}
	薏苡 <i>Coix lacryma-jobi</i> L.	15.65±0.60 ^{ABab}	8.69±0.59 ^{ABab}	3.04±0.20 ^{Ab}	1.14±0.20 ^{Aa}	1.69±0.09 ^{Bd}
间作	黑豆 <i>Glycine max</i> (L.) merr.	15.50±0.6 ^{ABab}	10.12±0.71 ^{Aa}	3.06±0.24 ^{Ab}	1.01±0.08 ^{Aa}	1.93±0.09 ^{ABcd}
	蚕豆 <i>Vicia faba</i> L.	16.21±0.63 ^{ABab}	8.11±0.41 ^{ABb}	3.78±0.26 ^{Aa}	1.07±0.06 ^{Aa}	2.19±0.10 ^{Aabc}
	核桃树 <i>Juglans regia</i> L.	17.43±0.60 ^{Aa}	9.19±0.50 ^{ABab}	3.64±0.10 ^{Ab}	0.96±0.06 ^{Aa}	2.28±0.13 ^{Aab}
	茶树 <i>Camellia sinensis</i> (L.) O.Ktze.	15.31±0.78 ^{ABab}	7.56±0.42 ^{Bb}	3.76±0.22 ^{Aa}	1.02±0.06 ^{Aa}	1.94±0.09 ^{ABcd}

注：同列数据后不同小写字母表示处理间差异显著 ($P<0.05$)，不同大写字母表示处理间差异极显著 ($P<0.01$)。

Note: Different lowercase letters after the same column of data indicate significant difference ($P<0.05$), different capital letters indicate extremely significant difference among treatments ($P<0.01$).

黄豆间作的滇龙胆株高。同时，与黑豆间作的滇龙胆株幅最大，为(10.12±0.71)cm，显著高于与蚕豆间作和对照植株的株幅，极显著高于与茶树间作的滇龙胆株幅。与蚕豆间作叶长最长，为(3.78±0.26)cm，其次为茶树和核桃树间作的植株。不同间作处理下，滇龙胆茎粗均小于对照植株，与薏苡间作的滇龙胆茎粗极显著低于对照，与黄豆和黑豆间作的滇龙胆茎粗显著低于对照，与茶树间作的滇龙胆茎粗显著低于对照。

采收期滇龙胆生长的好坏直接影响到滇龙胆的药品品质和产量，总体来看，在经历一个生长季以后，与核桃树和茶树间作的滇龙胆地上部分生长状况优于与黄豆、薏苡、黑豆、蚕豆间作的滇龙胆植株，其中与核桃树间作的滇龙胆植株株高最高，呈细高状，与茶树间作的滇龙胆间作的植株较为健壮。如表 3 所示，通过对采收期的滇龙胆地上部分各项性状的测量表明，与核桃树间

作的滇龙胆株高最高，为(21.34±0.67)cm，极显著高于对照和其他间作模式下滇龙胆的株高。与茶树间作的株幅最大，为(11.01±1.86)cm，极显著高于对照和与薏苡和蚕豆间作的滇龙胆株幅。此外，采收期不同种植模式下滇龙胆的叶长和叶宽无显著差异，其中与茶树间作的滇龙胆叶长和叶宽最大，分别为(4.25±0.19)cm 和(1.27±0.06)cm，而各种种植模式下茎粗无显著差异。

2.2 不同间作模式对滇龙胆产量的影响

产量是滇龙胆种植的一项重要指标，直接影响经济效益。总体而言，除与薏苡和蚕豆间作的滇龙胆以外，其他间作种植方式产量均高于对照植株，其中与核桃树和茶树间作模式下滇龙胆产量极显著高于与黄豆、薏苡、黑豆、蚕豆间作和对照植株产量。如图 2 所示，不同间作栽培的滇龙胆产量为：茶树>核桃树>黄豆>黑豆>对照>蚕豆>薏苡。与茶树间作、核桃树间作、黄豆间作、

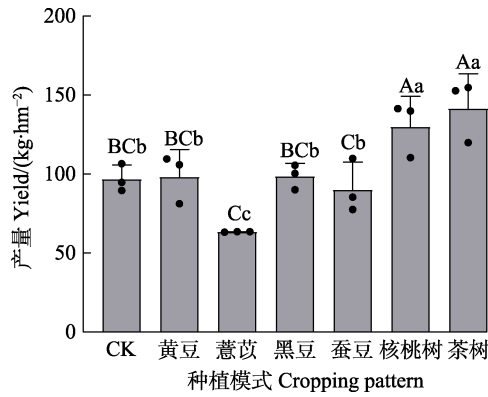
表 3 采收期滇龙胆地上部农艺性状

Tab. 3 Agronomic characters of aerial parts of *G. rigescens* in harvest period

种植模式 Cropping systems	间作作物 Intercropping crops	株高 Plant height/cm	株幅 Plant width/cm	叶长 Leaf length/cm	叶宽 Leaf width/cm	茎粗 Stem diameter/mm
单作	CK	18.19±0.91 ^{Bb}	8.49±0.39 ^{Bc}	3.64±0.09 ^{ab}	1.06±0.03 ^{Aa}	1.97±0.09 ^{Aa}
	黄豆 <i>Glycine max</i>	16.48±0.56 ^{Bb}	10.33±0.62 ^{ABab}	3.48±0.14 ^{ab}	1.08±0.04 ^{Aa}	1.98±0.08 ^{Aa}
	薏苡 <i>Coix lacryma-jobi</i> L.	16.95±0.79 ^{Bb}	8.83±0.45 ^{Bab}	3.50±0.12 ^{ab}	0.98±0.04 ^{Aa}	1.73±0.08 ^{Aa}
间作	黑豆 <i>Glycine max</i> (L.) merr.	16.43±0.54 ^{Bb}	9.65±0.53 ^{ABabc}	3.68±0.16 ^{ab}	0.99±0.04 ^{Aa}	1.94±0.08 ^{Aa}
	蚕豆 <i>Vicia faba</i> L.	17.62±0.67 ^{Bb}	8.51±0.40 ^{Bc}	3.73±0.12 ^{ABb}	1.01±0.03 ^{Aa}	1.93±0.05 ^{Aa}
	核桃树 <i>Juglans regia</i> L.	21.34±0.67 ^{Aa}	10.32±0.62 ^{ABab}	3.80±0.08 ^{ABb}	0.98±0.04 ^{Aa}	1.91±0.06 ^{Aa}
	茶树 <i>Camellia sinensis</i> (L.) O.Ktze.	16.74±0.81 ^{Bb}	11.01±1.86 ^{Aa}	4.25±0.19 ^{Aa}	1.27±0.06 ^{Aa}	1.91±0.10 ^{Aa}

注：同列数据后不同小写字母表示处理间差异显著 ($P<0.05$)，不同大写字母表示处理间差异极显著 ($P<0.01$)。

Note: Different lowercase letters after the same column of data indicate significant difference ($P<0.05$), different capital letters indicate extremely significant difference among treatments ($P<0.01$).



不同小写字母表示处理间差异显著 ($P<0.05$), 不同大写字母表示处理间差异极显著 ($P<0.01$)。

Different lowercase letters indicate significant difference among treatments ($P<0.05$), different capital letters indicate extremely significant difference among treatments ($P<0.01$).

图 2 不同间作模式采收期地下根茎产量

Fig. 2 Underground rhizome yield at harvest time of different intercropping patterns

黑豆间作的滇龙胆产量高于对照处理。在所有的间作植模式中, 与核桃树和茶树间作的滇龙胆产量极显著高于与黄豆、薏苡、黑豆和蚕豆间作的滇龙胆产量, 其中与茶树间作的滇龙胆产量最高, 产量为 142.4 kg/hm^2 , 比对照处理高 46.87% , 这表明与茶树间作可显著提高产量。

2.3 不同间作模式对滇龙胆品质的影响

2.3.1 不同间作模式对滇龙胆外观品质的影响
根茎为滇龙胆的主要经济器官, 间作方式将直接影响滇龙胆根系的生长, 与核桃树、茶树、黄豆、薏苡、黑豆、蚕豆间作均有利于滇龙胆根系的生长。如表 4 所示, 在不同的间作模式中, 滇龙胆与茶树间作的须根数最多, 每株约为 6~9 根须根, 极显著高于对照的须根数。与茶树间作的滇龙胆根系最长, 为 $(19.79 \pm 0.98) \text{ cm}$, 极显著高于黑豆

间作、蚕豆间作以及对照的滇龙胆根长度。对照处理的滇龙胆根最粗, 与茶树间作的滇龙胆根粗与对照无显著差异, 但显著高于与核桃树间作、黄豆间作、薏苡间作和黑豆间作的根粗。

2.3.2 不同间作模式对滇龙胆龙胆苦苷含量的影响
有效活性成分含量是评价中药材品质优劣的重要指标。不同栽培模式中, 除与薏苡间作的滇龙胆外, 其他种植方式滇龙胆中龙胆苦苷的含量均高于对照植株。如图 3 所示, 不同间作模式下滇龙胆的龙胆苦苷含量测定表明: 滇龙胆的龙胆苦苷含量为茶树间作>核桃树间作>蚕豆间作>黑豆间作>黄豆间作>对照(单作)>薏苡间作, 且龙胆苦苷含量均大于药典标准 (1.5%)。与茶树间作、核桃树间作、蚕豆间作、黑豆间作和黄豆间作的滇龙胆中龙胆苦苷含量均显著高于对照, 其中与茶树间作的根茎的龙胆苦苷含量最高, 为 $3.36\% \pm 0.07\%$, 显著高于对照和与薏苡间作的滇龙胆中龙胆苦苷含量。上述结果表明, 与茶树间作、核桃树间作、蚕豆间作、黑豆间作和黄豆间作有利于滇龙胆根茎中龙胆苦苷的积累, 其中与茶树间作效果最好。

2.4 不同间作模式下滇龙胆农艺性状与产量和品质的相关性分析

2.4.1 滇龙胆旺盛生长期地上部分农艺性状与根茎产量和品质的相关性
在间作过程中, 不仅存在着间作作物之间的相互影响, 作物本身各部位之间也存在着不同程度的促进或抑制作用, 在旺盛生长时期, 地上部分生长的好坏不同程度的影响着地下部分的生长。如图 4 所示, 通过对地上部分旺盛生长期滇龙胆的株高、株幅、叶长、叶

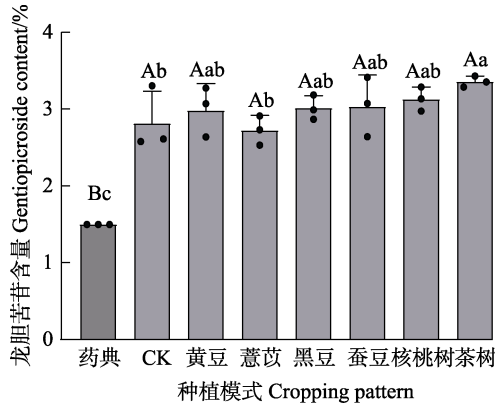
表 4 不同间作模式下的滇龙胆外观品质

Tab. 4 Appearance quality of *G. rigescens* under different intercropping patterns

种植模式 Cropping system	间作作物 Intercropping crops	根数 Number of fibrous roots	根长 Root length/cm	根粗 Root diameter/mm
单作	CK	4.67 ± 0.42^{Bc}	13.34 ± 0.86^{Cc}	1.89 ± 0.08^{Aa}
	黄豆 <i>Glycine max</i>	6.17 ± 0.60^{ABabc}	17.15 ± 0.84^{ABb}	1.56 ± 0.08^{Bb}
	薏苡 <i>Coix lacryma-jobi</i> L.	5.33 ± 0.49^{ABbc}	16.71 ± 0.83^{ABbC}	1.48 ± 0.07^{Bb}
间作	黑豆 <i>Glycine max</i> (L.) merr.	6.73 ± 0.72^{ABab}	15.39 ± 1.10^{BCbc}	1.55 ± 0.07^{Bb}
	蚕豆 <i>Vicia faba</i> L.	6.40 ± 0.53^{ABabc}	15.61 ± 0.76^{BCbc}	1.67 ± 0.07^{ABab}
	核桃树 <i>Juglans regia</i> L.	6.60 ± 0.62^{ABab}	16.31 ± 1.03^{ABbC}	1.57 ± 0.09^{Bb}
	茶树 <i>Camellia sinensis</i> (L.) O.Ktze.	7.50 ± 0.80^{Aa}	19.79 ± 0.98^{Aa}	1.87 ± 0.08^{Aa}

注: 同列数据后不同小写字母表示处理间差异显著 ($P<0.05$), 不同大写字母表示处理间差异极显著 ($P<0.01$)。

Note: Different lowercase letters after the same column of data indicate significant difference ($P<0.05$), different capital letters indicate extremely significant difference among treatments ($P<0.01$).

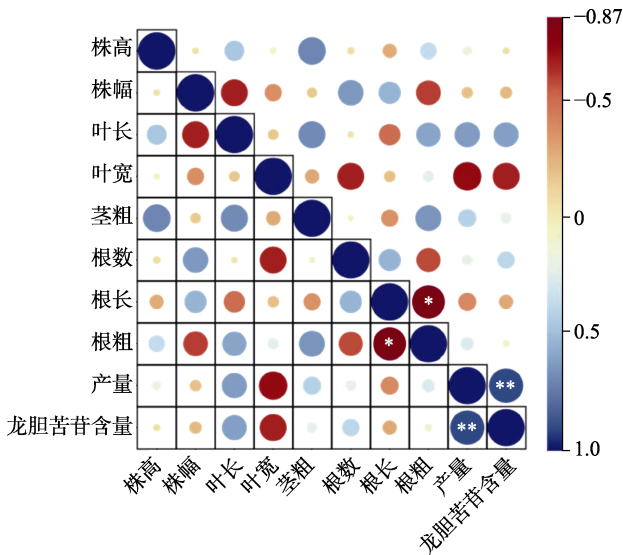


不同小写字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$), 不同大写字母表示处理间差异极显著 ($P < 0.01$)。

Different lowercase letters indicate significant difference among treatments ($P < 0.05$), different capital letters indicate extremely significant difference among treatments ($P < 0.01$).

图 3 不同间作模式采收期龙胆苦苷含量

Fig. 3 Gentiopicroside content in different intercropping patterns at harvest time



*表示显著相关 ($P < 0.05$), **表示极显著相关 ($P < 0.01$); 蓝色表示正相关, 橙色表示负相关, 颜色的深浅说明相关性的大小。

* indicates significant correlation ($P < 0.05$), ** indicates extremely significant correlation ($P < 0.01$); Blue indicates positive correlation, orange indicates negative correlation, and the depth of color indicates the size of correlation.

图 4 滇龙胆旺盛生长期地上部分农艺性状与采收期地下部分农艺性状的相关系数

Fig. 4 Correlation coefficient between aboveground agronomic characters in vigorous growth period and underground agronomic characters in harvest period of *G. rigescens*

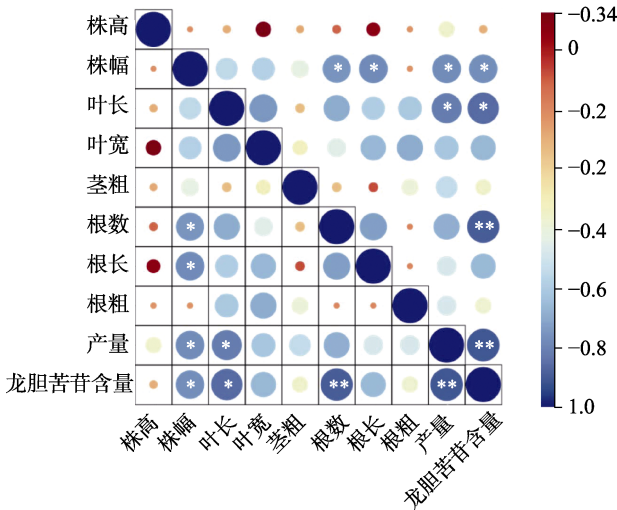
宽、和茎粗与采收期地下部分根的产量和品质进行相关性分析, 结果表明, 采收期滇龙胆的须根数主要与株幅呈正相关, 与叶宽呈负相关, 根长主要与株高呈正相关, 与叶长呈负相关, 根粗主

要与叶长和茎粗呈正相关关系, 与株幅呈负相关关系, 产量和龙胆苦苷含量与叶长呈正相关, 与叶宽呈负相关关系。在旺盛生长期, 株幅宽大且健壮的滇龙胆植株在采收期品相更好, 叶长长的滇龙胆植株产量和龙胆苦苷的含量越高。

2.4.2 滇龙胆采收期地上部分农艺性状与根茎产量和品质的相关性 在植株采收期生长状态的好坏, 直接影响到采收时的品质和产量, 而在采收期滇龙胆各指标的相关关系对采收后根茎的品质产生最直接的影响, 与旺盛生长期相比, 采收期滇龙胆地上部分生长的优劣对地下部分滇龙胆根茎的生长相关性更强, 影响更大。如表 5 所示, 对滇龙胆采收期各指标的相关性分析表明, 须根数和根长与植株株幅呈显著正相关, 相关系数分别达到 0.76、0.78, 滇龙胆产量与植株株幅和叶片长度呈显著正相关, 相关系数分别达到 0.78、0.82, 龙胆苦苷含量与植株株幅和叶片长度呈显著正相关, 相关系数分别达到 0.77、0.86, 此外, 龙胆苦苷含量与须根数和产量的相关系数在 0.9 以上, 存在极显著正相关关系。在不同间作模式下, 采收期滇龙胆各指标之间存在不同程度的相关性, 地上部分植株的株幅、叶长对滇龙胆的品质和产量影响最显著, 须根数和产量对龙胆苦苷含量影响最显著, 而株高的生长对地下部分根的生长无显著相关性。

2.5 不同间作模式下滇龙胆产量和品质的综合分析

采收期滇龙胆 10 个指标之间的相关性分析见图 5, 滇龙胆的外观品质 (根长、根粗)、产量和龙胆苦苷含量之间存在相关关系, 并且这些指标共同影响着滇龙胆的综合价值, 无法采用单一指标对不同间作模式下对滇龙胆的影响进行客观评价, 所以本研究通过隶属函数对滇龙胆品质和产量进行综合评价, 通过各指标隶属值的加权平均数得出综合评价指数进行打分, 从滇龙胆的品相、产量和药用活性成分龙胆苦苷含量对肥料处理效果进行综合评价, 如表 5 所示。不同间作模式下的综合评分排序为: 茶树间作 > 核桃树间作 > 蚕豆间作 > 黄豆间作 > 黑豆间作 > 对照 > 薏苡间作, 与茶树间作、核桃树间作、蚕豆间作、黄豆间作、黑豆间作的滇龙胆综合品质均优于对照, 其中与茶树间作的综合评分最高, 达到 0.99, 从隶属函数值来看, 与茶树间作的滇龙胆须根数、根长、产量和药用活性成分龙胆苦苷含量的隶属函数值均高于其他的种植方式。



*表示显著相关 ($P < 0.05$), **表示极显著相关 ($P < 0.01$); 蓝色表示正相关, 橙色表示负相关, 颜色的深浅说明相关性的大小。

* indicates significant correlation ($P < 0.05$), ** indicates extremely significant correlation ($P < 0.01$); Blue indicates positive correlation, orange indicates negative correlation, and the depth of color indicates the size of correlation.

图 5 采收期滇龙胆 10 个指标之间的相关系数
Fig. 5 Correlation coefficient among 10 indexes of *G. rigescens* at harvest time

3 讨论

间作种植模式提高了单位种植面积产出, 是山地农业种植技术提升的关键之一, 同时复合种植模式对中药材产量具有积极影响^[18-20]。间作能通过生态位互补增强资源可用性^[10], 充分利用土地, 提高土地、光照、水分和养分的利用效率^[11], 增加农业生态系统多样性, 促进生态平衡^[21], 是解决连作障碍的方法之一。本研究通过滇龙胆与核桃树间作、茶树间作、黄豆间作、薏苡间作、黑豆间作、蚕豆间作以及滇龙胆单作 7 种植模式, 分析不同间作模式对滇龙胆的产量和品质的影响, 探索适宜滇龙胆的栽培模式。不同间作模

式下, 由于间作作物的不同, 滇龙胆地上部分的生长也有明显差异, 核桃林下间作种植半夏, 有利于半夏的生长和土壤肥力的提高^[22], 与核桃树间作的滇龙胆生长速度最快, 株高最高, 极显著高于单作和其他栽培方式, 但与核桃树间作的滇龙胆主茎细, 叶片小。前人研究表明, 滇龙胆与茶树套种影响了滇龙胆对矿质元素吸收与运输的能力^[23], 本研究通过与茶树间作表明, 与茶树间作的滇龙胆株高生长缓慢, 主要以株幅和叶片生长为主, 植株和叶片展开度较高, 植株健壮, 间作模式中, 与蚕豆间作的株高最高, 与黄豆间作的株幅最大, 但与黄豆、薏苡、黑豆、蚕豆四种作物间作中滇龙胆的总体生长状态不如与林木间作处理的滇龙胆。与禾本科薏苡和豆科黄豆、黑豆、蚕豆草本间作相比, 由于茶树和核桃树高大, 叶片蓬松, 而滇龙胆的生长喜冷凉气候, 这使得间作于核桃树与茶树的滇龙胆避免中午温度过高带来的伤害, 并且林木植物与草本植物间作中, 由于根系分布的差异, 林木植物更有利于吸收深层土壤的水分^[24], 同时使得滇龙胆能够吸收地表水分, 更有利于滇龙胆地上部分的生长。而与豆科植物间作, 植株高度差异不大, 不利于地上部分的生长。

不同作物间作的合理搭配, 植株间能更好的“取长补短”, 不仅有利于植株的生长, 还有助于植株根系生长和产量的提升^[25]。滇龙胆根系形态决定了滇龙胆外观品质的好坏, 直接影响其市场销售价格, 本研究以须根数、根长、根粗作为评估滇龙胆根系生长外观品质指标, 以龙胆苦苷含量评价其内部品质指标。在不同间作栽培模式下, 与茶树间作最有利于间作滇龙胆根系生长, 茶树与草本植物复合栽培, 有利于土壤有机质和

表 5 不同间作模式下滇龙胆产量和品质的综合评价

Tab. 5 Comprehensive evaluation on Yield and quality of *G. rigescens* under different intercropping patterns

处理 Treatment	根数 Number of fibrous roots	根长 Root length	根粗 Root diameter	产量 Yield	龙胆苦苷含量 Gentiopicroside content	综合评价指数 Comprehensive evaluation index	排序 Sort
CK	0.000	0.000	1.000	0.425	0.168	0.319	6
黄豆 <i>Glycine max</i> Intercropping	0.529	0.591	0.185	0.449	0.426	0.436	4
薏苡 <i>Coix lacryma-jobi</i> L. Intercropping	0.235	0.523	0.000	0.000	0.000	0.152	7
黑豆 <i>Glycine max</i> (L.) merr. Intercropping	0.729	0.318	0.177	0.447	0.457	0.426	5
蚕豆 <i>Vicia faba</i> L. Intercropping	0.612	0.351	0.462	0.349	0.503	0.455	3
核桃树 <i>Juglans regia</i> L. Intercropping	0.682	0.461	0.209	0.849	0.643	0.569	2
茶树 <i>Camellia sinensis</i> (L.) O.Ktze	1.000	1.000	0.950	1.000	1.000	0.990	1

水分的保持^[26],与茶树间作后,滇龙胆须根数最多,根长最长,这与沈涛等^[27]的研究结果一致。此外,与茶树的滇龙胆龙胆苦苷含量最高,显著高于对照和药典标准,与杨美权等^[14]茶树与滇龙胆栽培模式研究结果一致。与对照和间作模式相比,与茶树和核桃树间作极显著提高了滇龙胆产量,与茶树间作的滇龙胆产量比单作提高了46.87%。

单一指标无法评定不同栽培模式滇龙胆的优劣,利用综合隶属函数对多个评定指标进行综合评价^[28],通过隶属函数对滇龙胆产量和品质进行综合评定表明:茶树间作>核桃树间作>蚕豆间作>黄豆间作>黑豆间作>对照>薏苡间作,除与薏苡间作外,其余的间作模式对滇龙胆综合品质都有不同程度的促进作用,与茶树间作的滇龙胆综合评价最高,在以后的生产中,可以应用滇龙胆与茶树间作的栽培模式。通过对地上部分生长与地下部分生长的相关性分析表明,地上部分生长的好坏与地下部分根茎的产量和品质直接相关,间作茶树的栽培模式下,地上部分滇龙胆植株和叶片的展开度,能显著促进滇龙胆产量和品质的提升。谷物和豆类间作可以利用豆科植物的固氮作用提高,减少土壤氮元素的流失,增加土壤肥力,提高间作作物产量和品质^[29],而滇龙胆与豆科植物间作,对滇龙胆生长和产量的提升并没有获得很好的促进作用,可能是由于除氮素以外的其他养分的竞争,并且在本科课题组的前期研究表明,氮肥不利于滇龙胆的生长。薏苡仁和蚕豆磷素形态利用策略的差异能够提高了薏苡仁和蚕豆间作产量,磷素对薏苡仁地上部分生物量的积累有积极的促进作用^[30],然而磷肥可以促进滇龙胆地上部分的生长,提高滇龙胆的产量和品质,而滇龙胆与薏苡间作产量降低,显著低于单作滇龙胆产量,这可能是由于与薏苡间作后,薏苡与滇龙胆竞争了磷元素的使用,导致滇龙胆减产和品质降低。

综上,本研究的研究结果表明,与不同植物间作种植模式,对于滇龙胆生长产生了显著影响,不同间作栽培的滇龙胆产量为:茶树间作>核桃树间作>黄豆间作>黑豆间作>对照(单作)>蚕豆间作>薏苡间作,龙胆苦苷含量测定表明:茶树间作>核桃树间作>蚕豆间作>黑豆间作>黄豆间作>对照(单作)>薏苡间作>药典(1.5%)。通过隶属函数对根茎进行综合打分表明:茶树间作>核桃树

间作>蚕豆间作>黄豆间作>黑豆间作>对照>薏苡间作,与茶树间作、核桃树间作、蚕豆间作、黄豆间作黑豆间作的滇龙胆综合品质均优于对照,与林木间作效果优于草本植物间作,其中与茶树间作的效果最好。

参考文献

- [1] 郭兰萍,黄璐琦,蒋有绪,吕东梅.药用植物栽培种植中的土壤环境恶化及防治策略[J].中国中药杂志,2006,31(9):714-717.
GUO L P, HUANG L Q, JIANG Y X, LYU D M. Research development of chemistry and bioactive activity of plant peptides[J]. China Journal of Chinese Materia Medica, 2006, 31(9): 714-717. (in Chinese)
- [2] 孙跃春,林淑芳,黄璐琦,张小波,郭兰萍.药用植物自毒作用及调控措施[J].中国中药杂志,2011,36(4):387-390.
SUN Y C, LIN S F, HUANG L Q, ZHANG X B, GUO L P. Autotoxicity of medicinal plants and its control measures[J]. China Journal of Chinese Materia Medica, 2011, 36(4): 387-390. (in Chinese)
- [3] 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.
XUN X T, LI L, LONG G Q, ZHANG G H, MENG Z G, YANG S C, CHEN J W. The progress and prospect on consecutive monoculture problems of *Panax notoginseng*[J]. Chinese Journal of Ecology, 2015, 34(3): 885-893. (in Chinese)
- [4] 闫宁,战宇,谢昊臻,陈长宝,李琼.不同改土方式对连作人参生长发育的影响[J].江苏农业科学,2022,50(6):120-125.
YAN N, ZAHN Y, XIE H Z, CHEN C B, LI Q. Effects of different soil modification methods on the growth and development of continuous cropping *Panax L.*[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2022, 50(6): 120-125. (in Chinese)
- [5] ZAHNG X H, DUO Y L, ZHANG E H, WANG Z S. Effect of autotoxicity and soil microbes in continuous cropping soil on angelica sinensis seedling growth and rhizosphere soil microbial population[J]. Chinese Herbal Medicines, 2015, 7(1): 88-93.
- [6] 尹文佳,杜家方,李娟,张重义.连作对地黄生长的障碍效应及机制研究[J].中国中药杂志,2009,34(1):18-21.
YIN W J, DU J F, LI J, ZHANG Z Y. Effects of continuous cropping obstacle on growth of *Rehmannia glutinosa*[J]. China Journal of Chinese Materia Medica, 2009, 34(1): 18-21. (in Chinese)
- [7] 吴红森,林文雄.药用植物连作障碍研究评述和发展透视

- [J]. 中国生态农业学报, 2020, 28(6): 775-793.
- WU H M, LIN W X. A commentary and development perspective on the consecutive monoculture problems of medicinal plants[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2020, 28(6): 775-793. (in Chinese)
- [8] 孟凡钢, 张鸣浩, 饶德民, 张伟, 邱强, 赵婧, 闫晓艳, 姚丽颖. 大豆连作, 轮作对土壤微生物多样性影响的研究进展[J]. 大豆科技, 2017(6): 10-15.
- MENG F G, ZHANG M H, RAO D M, ZHANG W, QIU Q, ZHAO J, YAN X Y, YAO L Y. Effects of continuous soybean and crop rotation on soil microbial diversity[J]. Soybean Science Technology, 2017(6): 10-15. (in Chinese)
- [9] DENG Y C, HUANG J G. Effect of long continuous cropping on the yields of flue-cured tobacco and nutrients in soils[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2010, 16(4): 840-845.
- [10] WANG L, HOU B, ZHANG D, LYU Y, ZHANG K, LI H, RENGEL Z, SHEN J. The niche complementarity driven by rhizosphere interactions enhances phosphorus-use efficiency in maize/alfalfa mixture[J]. Food and Energy Security, 2020, 9(4): e252.
- [11] 唐艺玲, 雷晓青, 李雪芹, 周敏. 中药材与其他植物间作的效益及机理研究进展[J]. 中药材, 2019, 42(3): 693-697.
- TANG Y L, LEI X Q, LI Y Q, ZHOU M. Research progress on benefits and mechanism of intercropping between traditional Chinese medicine and other plants[J]. Journal of Chinese Medicinal Material, 2019, 42(3): 693-697. (in Chinese)
- [12] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志: 第 62 卷[M]. 北京: 科学出版社, 1988: 100.
- Editorial Committee of flora of China, Chinese Academy of Sciences. Flora of China: Vol. 62[M]. Beijing: Science Press, 1988: 100. (in Chinese)
- [13] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典: 2015 年版(一部)[M]. 北京: 中国医药科技出版社, 2015: 96.
- National Pharmacopoeia Committee. Pharmacopoeia of the people's Republic of China: 2015 Edition (Volume I)[M]. Beijing: China Pharmaceutical Science and Technology Press, 2015: 96. (in Chinese)
- [14] 杨美权, 张金渝, 沈涛, 袁天军, 杨维泽, 杨天梅, 张智慧, 金航. 不同栽培模式对滇龙胆中龙胆苦苷含量的影响[J]. 江苏农业科学, 2011(1): 287-289.
- YANG M Q, ZHANG J Y, SHENG T, YUAN T J, YANG W Z, YANG T M, ZHANG Z H, JIN H. Effects of different cultivation models on gentiopicoside content in *Gentiana rigescens*[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2011(1): 287-289. (in Chinese)
- [15] 和桂琴, 曹立峰, 袁理春. 滇龙胆草高效栽培技术[J]. 云南农业科技, 2020(4): 42-44.
- HE G Q, CAO L F, YUAN L C. High efficient cultivation techniques of *Gentiana rigescens*[J]. Yunnan Agricultural Science and Technology, 2020(4): 42-44. (in Chinese)
- [16] 董晓蕾, 张霁, 赵艳丽, 金航, 王元忠. 不同复合种植模式滇龙胆中矿质元素化学计量学研究[J]. 河南农业科学, 2015, 44(6): 113-118.
- DONG X L, ZHANG J, ZHAO Y L, JIN H, WANG Y Z. Mineral element stoichiometry characteristic of *Gentiana rigescens* from different multiple cropping systems[J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2015, 44(6): 113-118. (in Chinese)
- [17] SHEN T, ZHANG J, ZHAO Y L, JIN H, WANG Y Z. Variation for morphology and biomass of *Gentiana rigescens* in agroforestry system[J]. Guihaia, 2015, 35(4): 526-531.
- [18] SINGH M, SINGH A, SINGH S, TRIPATHI R S, PATRA D D. Production potential and economics of safed musli (*Chlorophytum borivilianum*) under intercropping system[J]. Archives Agronomy and Soil Science, 2011, 57(6): 669-678.
- [19] 李远菊, 沈涛, 张霁, 赵艳丽, 王元忠. 不同种植模式对滇龙胆草总裂环烯醚萜苷含量的影响[J]. 植物资源与环境学报, 2014, 23(3): 111-113.
- LI Y J, SHEN T, ZHANG J, ZHAO Y L, WANG Y Z. Effect of different planting patterns on total secoiridoid glycoside content in *Gentiana rigescens*[J]. Journal of Plant Resources and Environment, 2014, 23(3): 111-113. (in Chinese)
- [20] 李远菊, 王元忠, 张霁, 赵艳丽, 张金渝, 金航. 林药复合种植的滇龙胆中元素的化学计量特征研究[J]. 湖北农业科学, 2015, 54(4): 906-910. (in Chinese)
- LI Y J, WANG Y Z, ZHANG J, ZHAO Y L, ZHANG J Y, JIN H. The elements stoichiometry characteristics of *Gentiana rigescens* from different[J]. Hubei Agricultural Sciences, 2015, 54(4): 906-910.
- [21] MOUSAV S R, ESKANDARI H. A general overview on intercropping and its advantages in sustainable agriculture[J]. Journal of Applied Environmental and Biological Sciences, 2011, 1(11): 482-486.
- [22] 杨玉婷. 核桃与半夏间作对半夏生长, 产量及品质的影响[D]. 贵阳: 贵州大学, 2021.
- YANG Y T. Effect of intercropping between walnut and *Pinellia ternata* on growth, yield and quality of *Pinellia ternata*[D]. Guiyang: Guizhou University, 2021. (in Chinese)
- [23] 董晓蕾, 张霁, 赵艳丽, 金航, 王元忠. 不同树龄茶树套种滇龙胆对药材矿质元素含量的影响[J]. 湖北农业科学, 2015, 54(22): 5641-5646.
- DONG X L, ZHANG J, ZHAO Y L, JIN H, WANG Y Z. Effects of compound planting of *Gentiana rigescens* and *Camellia sinensis* of different growing years on the mineral

- elements content in medicine[J]. Hubei Agricultural Sciences, 2015, 54(22): 5641-5646. (in Chinese)
- [24] FOREY O, METAY A, BERTRAND N, WERY J. Two years old peach trees intercropped with a grass mixture can grow through a lithic discontinuity to access water the grass cannot[J]. Agroforestry Systems, 2021, 95(1): 151-163.
- [25] BROOKER R W, BENNETT A E, CONG W F, DANIELL T J, GEOTGE T S, HALLETT P D, HAWES C, IANNETTA P P M, JONES H G, KARLEY A J, LI L, MCKENZIE B M, PAKEMAN R J, PATERSON E, SCHOB C, SHEN J, SQUIRE G, WATSON C A, ZHANG C, ZHANG F, ZHANG J, WHIT P J. Improving intercropping: a synthesis of research in agronomy, plant physiology and ecology[J]. New Phytologist, 2015, 206(1): 107-117.
- [26] 吴全, 姚永宏. 幼龄茶园复合种植技术研究[J]. 中国土壤与肥料, 2006(6): 38-39.
WU Q, YAO Y H. Study on compound planting technology of young tea plantation[J]. Soil and Fertilizer Sciences in China, 2006(6): 38-39. (in Chinese)
- [27] 沈涛, 李远菊, 张霁, 赵艳丽, 王元忠. 林药复合栽培滇龙胆 HPLC 指纹图谱计量特征与质量评价[J]. 中国药学杂志, 2015, 50(7): 579-585.
- SHEN T, LI Y J, ZHANG J, ZHAO Y L, WANG Y Z. Chemometrics analysis of HPLC fingerprint of *Gentiana rigescens* from different multiple cropping systems and application in quality evaluation[J]. Chinese Pharmaceutical Journal, 2015, 50(7): 579-585. (in Chinese)
- [28] 王丽学, 何峰, 韩静, 陈龙宾, 刘景喜, 姚大为, 牛荇洲, 马毅, 霍文娟. 不同肥料和青贮添加剂对苜蓿青贮的影响[J]. 农学学报, 2018, 8(5): 48-54.
WANG L X, HE F, HAN J, CHEN L B, LIU J X, YAO D W, NIU X Z, MA Y, HUO W J. Influence of different fertilizers and silage additives on *Alfalfa Silage*[J]. Journal of Agriculture, 2018, 8(5): 48-54. (in Chinese)
- [29] LAYEK J, DAS A, MITRAN T, NATH C, MEENA R S, YADAV G S, SHIVAKUMAR B G, KUMAR S, LAL R. Cereal+legume intercropping: an option for improving productivity and sustaining soil health[M]. Singapore: Springer Nature Singapore Pte Ltd., 2018: 347-386.
- [30] BEI S, XU M, LYU X, CHEN C, LI A, QIAO X. Arbuscular mycorrhizal fungi enhanced coix responses to phosphorous forms but not for faba bean in intercropping systems, under controlled environment[J]. Agronomy Journal, 2021, 113(3): 2578-2590.