

采收期对不同种质香青兰生长和产量 及其药效成分的影响

王 艳¹, 张雄杰², 盛晋华^{1*}, 卢鹏飞³, 刘 杰¹

(1 内蒙古农业大学 农学院, 呼和浩特 010019; 2 内蒙古天际绿洲特色生物资源研发中心, 呼和浩特 010018; 3 深圳逗点生物技术有限公司, 广东深圳 518112)

摘 要:以种质‘蒙青兰 1 号’、白花香青兰、山东香青兰、甘肃香青兰、新疆香青兰种子为材料, 分析盐碱地栽培中采收期(盛花期、终花期、成熟期)对不同种质香青兰生长生理特性、药材产量及药效成分含量的影响, 为内蒙古中部地区盐碱地中推广种植香青兰提供依据。结果显示: (1) 种质资源、采收期及其互作效应对香青兰的形态生长指标有一定的显著性影响; 随着采收期的推迟, 各种质香青兰的鲜重表现为逐渐降低的趋势, 并以盛花期为最佳; 株高等形态生长指标均表现为逐渐增高的趋势, 并以成熟期为最佳。 (2) 抗氧化酶活性、渗透调节物质等抗逆生理指标表现为逐渐降低的趋势, 并以盛花期为最佳。 (3) 光合气体交换参数表现为逐渐降低的趋势, 并以盛花期为最佳。 (4) 药材产量表现为先增高后降低的趋势, 以终花期为最佳; 药效成分含量则表现为逐渐降低的趋势, 并以盛花期为最佳。其中, 终花期的‘蒙青兰 1 号’药材产量最高(4 692.32 kg·hm⁻²); 盛花期的新疆香青兰药效成分含量最高, 总黄酮含量达 23.40 mg·g⁻¹, 挥发油含量达 0.59%。研究表明, 在各种质与采收期组合中, 终花期的‘蒙青兰 1 号’药材产量最高, 盛花期的新疆香青兰生长特性以及药效成分含量均为最高; 在栽培实践中, 注重产量可选择‘蒙青兰 1 号’并于终花期进行采收为宜, 追求药效则采用新疆香青兰并于盛花期采收为宜。

关键词: 香青兰; 种质; 采收期; 产量; 药效成分

中图分类号: Q945.6⁺5; S567 **文献标志码:** A

Effect of Harvesting Period on Growth, Yield and Pharmacodynamic Components of Different Germplasms from *Dracocephalum moldavica* L.

WANG Yan¹, ZHANG Xiongjie², SHENG Jinhua^{1*}, LU Pengfei³, LIU Jie¹

(1 Agricultural College, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010019, China; 2 Inner Mongolia Horizon Oasis Research Center of Characteristic Biologic Resource, Hohhot 010018, China; 3 Shenzhen Biocomma Limited, Shenzhen, Guangdong 518112, China)

Abstract: Using germplasms *Dracocephalum moldavica* No. 1, Baihua *Dracocephalum moldavica* L., Shandong *Dracocephalum moldavica* L., Gansu *Dracocephalum moldavica* L. and Xinjiang *Dracocephalum moldavica* L. seeds as materials, we explored the effects of the harvest period (flowering stage, final flowering stage, mature stage) on the growth physiological characteristics, yield of medicinal herbs and the content of pharmacodynamic components of different germplasm of *D. moldavica* L. in saline-alkali land, to provide a reference for the popularization and planting of *D. moldavica* L. in saline-alkali

收稿日期: 2021-11-26; 修改稿收到日期: 2022-05-18

基金项目: 国家自然科学基金(82060688); 财政部和农业农村部国家现代农业产业技术体系建设专项(CARS-21); 内蒙古重大专项; 呼和浩特市应用技术项目(2020-社-4)

作者简介: 王 艳(1998-), 女, 在读硕士研究生, 研究方向为药用植物栽培生理及繁育。E-mail: 1925816854@qq.com

* 通信作者: 盛晋华, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为药用植物栽培生理及繁育。E-mail: sjinhua@163.com

land of central Inner Mongolia. The results showed that: (1) with the delay of the harvest period, the fresh weight of all germplasms of *D. moldavica* L. decreased gradually, and the flowering stage was the best; while the plant height and other morphological growth indexes increased gradually, and the mature stage was the best. (2) Antioxidant enzyme activity, Osmotic regulatory substances and other physiological indexes of stress resistance decreased gradually, and the flowering stage was the best. (3) The photosynthetic gas exchange parameters decreased gradually, and the flowering stage was the best. (4) The yield increased first and then decreased, and the final flowering stage was the best; while the content of pharmacodynamic components decreased gradually, and the flowering stage was the best. Among them, the yield of *Dracocephalum moldavica* No.1 at the final flowering stage was the highest ($4\,692.32\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$); the content of pharmacodynamic components of Xinjiang *D. moldavica* L. was the highest in the flowering stage, the content of total flavonoid reached $23.40\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$, essential oil content up to 0.59%. The research shows that, in various combinations of germplasm and harvesting period, the yield of *Dracocephalum moldavica* No.1 in the final flowering stage was the highest, and the flowering period of Xinjiang *Dracocephalum moldavica* L. had the highest growth characteristics and pharmacodynamic content. In cultivation practice, *Dracocephalum moldavica* No.1 can be selected for yield and harvested at the final flowering stage, and Xinjiang *Dracocephalum moldavica* L. can be selected for the pursuit of medical and harvested at the flowering stage.

Key words: *Dracocephalum moldavica* L. ; germplasm; harvest period; yield; pharmacodynamic components

香青兰(*Dracocephalum moldavica* L.)为唇形科青兰属一年生草本植物^[1],以地上部分全草入药。香青兰的主要化学成分为挥发油、多糖、萜类、黄酮类、氨基酸、微量元素,具有保护心脑血管、抗动脉粥样硬化、清热解毒、抗氧化等多种药理作用^[2-5]。中国华北、东北、西北大部分地区适于香青兰生长发育^[6-7],特别是内蒙古和新疆是香青兰的道地产区。香青兰除了作为蒙古族和维吾尔族的民族习用药材,还可食用,以及作为香料作物应用于化妆品中。目前,对于香青兰的研究主要集中于化学成分、药理作用及临床应用等方面,在种植栽培方面报道较少,且大多与施肥相关,如 Hussein 等^[8]研究了香青兰挥发油与密度和复合肥施用量的关系,边丽梅等^[9]研究了不同施氮量对香青兰生长发育、地上部干草产量及挥发油含量的影响,而对香青兰的适宜采收期及不同种质香青兰在生长特性、产量和药效成分方面的差异尚未明确。

内蒙古自治区从东到西约有 330 万 hm^2 盐碱荒地,不论是草原,还是耕地等,均存在不同程度的盐碱化^[10]。由于盐碱地被化肥和农药污染的程度较轻,且重金属含量较低,因此对于药材的种植,具有成本低、污染少、可形成规模效益的优势,且盐碱地种植的药材药效成分往往较高^[11-12]。因此,本研究针对内蒙古中部地区香青兰资源匮乏、品种单一、采收期不明确等问题,通过品种与采收期的双因素田间试验,在盐碱地探究采收期对不同种质香青兰

生长特性、产量及药效成分的影响,明确不同种质及采收期与香青兰药材产量及药效的关系,鉴定优质种质及适宜的采收期,为合理开发与有效利用香青兰资源提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 试验材料及试验地概况

参试试验材料包括‘蒙青兰 1 号’、白花香青兰、山东香青兰、甘肃香青兰、新疆香青兰,种子为本课题组收集所得。试验于 2021 年在内蒙古呼和浩特市土默特左旗富民扶贫科技开发园区进行,地理位置 $40^{\circ}40'42.28''\text{N}$, $111^{\circ}13'21.22''\text{E}$,海拔 $1\,051\text{ m}$;土壤为经过改良的盐碱土, pH 为 8.3;耕层养分状况为:有机质 $19.28\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,全氮 $1.07\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,速效氮 $66.84\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,速效磷 $8.21\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,速效钾 $153.24\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

1.2 试验设计

试验采取两因素裂区设计,品种为主区,采收期为副区。品种(S)设 5 个处理水平,分别为栽培型香青兰‘蒙青兰 1 号’(SM),以及生态型香青兰白花香青兰(SW)、山东香青兰(SS)、甘肃香青兰(SG)和新疆香青兰(SX);采收期(P)设 3 个处理水平,分别为盛花期(FB,7 月 25 日~8 月 18 日)、终花期(FF,8 月 18 日~8 月 30 日)和成熟期(MS,8 月 30 日~9 月 7 日),收割地上全株。试验共计 15 个处理组合(5×3),每处理重复 3 次,共 45 个小区,小区面积

60 m² (12 m×5 m)。2021 年 5 月 10 日播种,播种量为 22.5 kg·hm⁻²,播深 2 cm,商品有机肥施用量为 2 400 kg·hm⁻²,其他田间管理同常规栽培。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 叶片抗逆性生理指标 分别于 8 月 3 日(盛花期)、8 月 24 日(终花期)、9 月 4 日(成熟期)在各小区内随机选取 3 株样株,取相同部位的复叶,液氮速冻后,转入-80℃冰箱保存待测。9 月 13 日开始采用上海优选生物科技有限公司的试剂盒 YX-C-A500 测定超氧化物歧化酶(SOD)活性、过氧化物酶(POD)活性、丙二醛(MDA)含量;参考《植物生理学实验指导》^[13],采用磺基水杨酸法测定脯氨酸(Pro)含量,采用紫外吸收法测定过氧化氢酶(CAT)活性;采用南京建成生物工程研究所的试剂盒 A045-2-1 测定可溶性蛋白(SP)含量。

1.3.2 叶片光合气体交换参数 分别于 8 月 1 日、8 月 22 日、9 月 2 日在各小区内随机选取叶片无破损的 3 株样株,于天气晴朗的上午 10:00~11:00,使用 CIRAS-3 型光合仪活体测定叶片胞间 CO₂ 浓度(C_i)、净光合速率(P_n)、气孔导度(G_s)、蒸腾速率(T_r),计算叶片水分利用率(WUE=P_n/T_r)。

1.3.3 形态指标及干重 分别于 8 月 3 日、8 月 24 日、9 月 4 日采用随机取样的方法在各小区内选取 3 株植株地上部分,用卷尺和电子游标卡尺分别测量株高、茎粗,并统计其分枝数,测定其鲜重后置于 105℃烘箱杀青 20 min,在 80℃烘干至恒重,测定其干重。

1.3.4 产量及药效成分含量 分别于 8 月 16 日、8 月 29 日、9 月 5 日开始对小区预留 1/2 面积进行地上全草产量(Y)的测定(阴干后测定)。9 月 16 日开始参照卢鹏飞^[14]的方法进行挥发油(EO)、和总黄酮(TF)含量的测定。

1.4 数据统计与分析

试验数据使用 SPSS 25 进行方差和相关性分析。使用 Heat map Illustrator 绘制相关性热图。

2 结果与分析

2.1 采收期对不同种质香青兰叶片抗逆性生理指标的影响

种质和采收期对香青兰叶片的各抗逆生理指标均有着显著性影响,而种质与采收期的交互仅对香青兰叶片的 SOD 和 POD 活性以及 MDA 含量有着显著的影响;各种质香青兰的生理特性均随着采收期的推迟表现为逐渐降低的趋势,并以盛花期为最

佳(表 1)。其中,各种质香青兰叶片的抗逆性生理指标除 MDA 含量外总体表现为新疆香青兰(SX)>‘蒙青兰 1 号’(SM)>白花香青兰(SW)>甘肃香青兰(SG)>山东香青兰(SS),SX 叶片的 SOD 活性、POD 活性、CAT 活性、脯氨酸含量和可溶性蛋白含量均在各种质中最高,且其 SOD 活性、POD 活性和可溶性蛋白含量均与其他种质差异显著,而其 MDA 含量则显著低于其他种质;在 3 个采收期中,盛花期(FB)叶片的 MDA 含量低于其他采收期,而 FB 的其他抗逆生理指标基本上均显著高于其他采收期,成熟期(MS)的各指标表现正好相反。以上结果说明各香青兰种质的抗逆能力以新疆香青兰最强,在各采收期中以盛花期最强。

2.2 采收期对不同种质香青兰叶片光合气体交换参数的影响

种质资源、采收期及其交互效应对香青兰叶片的光合气体交换参数均有着显著性影响;各种质香青兰的光合特征参数均随着采收期的推迟表现为逐渐降低的趋势,并以盛花期为最佳(表 2)。其中,各种质香青兰叶片的净光合速率、气孔导度、蒸腾速率和水分利用效率基本上均表现为 SX、SM 显著较高,SS、SG 其次,而 SW 均较低,而胞间二氧化碳浓度表现则正好相反。SX 和 SM 叶片的净光合速率、气孔导度、蒸腾速率和水分利用效率均显著高于其他种质,而其胞间二氧化碳浓度则显著低于其他种质;在 3 种采收期中,FB 的胞间二氧化碳浓度显著低于其他采收期,而其净光合速率、气孔导度和蒸腾速率基本上均显著高于其他采收期,其水分利用效率也处于较高水平。以上结果说明盛花期的新疆香青兰光合能力最强。

2.3 采收期对不同种质香青兰形态指标的影响

由表 3 可知,种质对香青兰的形态指标有着显著性影响,除分枝数外,不同采收期对香青兰的其他各形态指标也均存在显著性影响,而种质与采收期的交互仅对香青兰的株高和茎粗存在显著性影响。各种质香青兰的形态特征指标随着采收期的推迟表现为逐渐增加的趋势,并以成熟期为最佳。其中,各种质香青兰的形态特征指标基本上表现为: SX>SW>SM>SS>SG, SX 的茎粗、分枝数、鲜重以及干重均高于其他种质,其株高也处于较高水平,并均与 SG 存在显著性差异;在 3 种采收期中,各种质成熟期的鲜重均低于其他采收期,而成熟期的株高、茎粗以及干重基本上均高于其他采收期。可见,成熟期的新疆香青兰形态特征最佳。

表 1 不同采收期下各种质香青兰叶片抗逆性生理指标的变化

Table 1 The physiological indexes of stress resistance in leaves of germplasm from *D. moldavica* L. at different harvesting periods

处理 Treatment	超氧化物歧化酶活性 SOD activity /(U · g ⁻¹)		过氧化物酶活性 POD activity /(U · g ⁻¹)		过氧化氢酶活性 CAT activity /(U · g ⁻¹ · min ⁻¹)		丙二醛含量 MDA content /(nmol · g ⁻¹)		脯氨酸含量 Pro content /(μg · g ⁻¹)		可溶性蛋白含量 SP content /(mg · g ⁻¹)		
SW	FB	108.97a		3 500.55a		24.12a		12.56b		57.13a		4.88a	
	FF	84.10b	85.75c	3 209.44b	3 191.84b	21.61b	22.03b	13.69a	13.26c	54.59b	54.77b	5.38b	4.38b
	MS	64.20c		2 865.53c		20.37b		14.76a		51.92c		3.89c	
SM	FB	150.83a		3 510.58a		25.56a		13.15c		59.44a		4.98a	
	FF	125.30b	126.51b	3 209.87b	3 205.41b	23.27b	23.40ab	15.22b	13.67c	56.84b	56.86a	4.47b	4.47b
	MS	103.40c		2 895.77c		21.37c		19.36a		54.31c		3.97c	
SX	FB	177.70a		5 207.60a		26.09a		11.18b		60.02a		5.18a	
	FF	149.50b	151.16a	4 635.55b	4 659.88a	24.29b	24.24a	12.41a	12.35d	57.10b	57.18a	4.74b	4.70a
	MS	126.27c		4 136.47c		22.34c		13.45a		54.42c		4.19c	
SS	FB	72.80a		1 997.47a		20.09a		12.14b		47.20a		3.86a	
	FF	61.23b	64.42e	1 426.99b	1 593.35d	18.20b	18.10d	13.16b	17.03a	44.54b	49.77c	3.12b	3.09d
	MS	59.23b		1 355.60b		16.00c		14.48a		41.75c		2.28c	
SG	FB	87.53a		2 995.97a		22.12a		14.20c		52.90a		4.12a	
	FF	82.00ab	83.06d	2 228.12b	2 264.52c	19.84b	19.86c	17.03b	15.91b	49.62b	44.50d	3.64b	3.57c
	MS	79.63b		1 569.48c		17.63c		19.86a		46.79c		2.96c	

注:SW. 白花香青兰;SM. 蒙青兰 1 号;SX. 新疆香青兰;SS. 山东香青兰;SG. 甘肃香青兰;FB. 盛花期;FF. 终花期;MS. 成熟期;同列数据后不同小写字母表示处理间在 0.05 水平存在显著性差异($P<0.05$);下同

Note: SW. *Baihua Dracocephalum moldavica* L.; SM. *Dracocephalum moldavica* No. 1; SX. *Xinjiang Dracocephalum moldavica* L.; SS. *Shandong Dracocephalum moldavica* L.; SG. *Gansu Dracocephalum moldavica* L.; FB. Flowering stage; FF. Final flowering stage; MS. Mature stage; The different normal letters within the same column showed significant difference among treatments at 0.05 level ($P<0.05$); the same as below

表 2 不同采收期下各种质香青兰叶片光合气体交换参数的变化

Table 2 The photosynthetic gas exchange parameters in leaves of germplasms from *D. moldavica* L. at different harvesting periods

处理 Treatment		胞间 CO ₂ 浓度 C _i /(μmol · mol ⁻¹)		净光合速率 P _n /(μmol · m ⁻² · s ⁻¹)		气孔导度 G _s /(mol · m ⁻² · s ⁻¹)		蒸腾速率 T _r /(μmol · m ⁻² · s ⁻¹)		叶片水分利用率 WUE	
SW	FB	202.0b		6.8a		74.0a		2.1a		3.2b	
	FF	263.3a	246.3a	5.8b	5.1d	60.3b	62.2b	1.3b	1.5e	4.4a	3.4c
	MS	273.7a		2.8c		52.3c		1.2b		2.4c	
SM	FB	67.7b		19.9a		97.7a		3.6a		5.5a	
	FF	118.7a	104.2c	15.4b	14.3b	79.3b	82.1a	3.0b	2.9b	5.2b	4.8a
	MS	126.3a		7.7c		69.3c		2.2c		3.5c	
SX	FB	64.7b		22.8a		110.0a		6.6a		3.5b	
	FF	114.0a	98.8c	15.9b	15.5a	78.7b	85.8a	3.4b	4.1a	4.6a	3.8b
	MS	117.7a		8.0c		68.7c		2.4c		3.3b	
SS	FB	103.3b		8.3a		82.7a		2.4a		3.5a	
	FF	267.0a	215.0b	7.1b	6.2c	55.7b	63.4b	2.0a	1.8d	3.5a	3.3c
	MS	274.7a		3.3c		52.0b		1.2b		2.8b	
SG	FB	110.3b		8.5a		74.3a		2.7a		3.2a	
	FF	271.0a	218.4b	7.0b	6.4c	57.3b	61.9b	2.2b	2.1c	3.2a	3.0d
	MS	274.0a		3.9c		54.0b		1.5c		2.5b	

2.4 采收期对不同种质香青兰药材产量和药效成分的影响

表 4 显示,种质和采收期对香青兰的药材产量、总黄酮和挥发油含量均有着显著性影响,而种质与

采收期的交互仅对总黄酮和挥发油含量存在显著性影响。首先,各种质香青兰的药材产量均随着采收期的推迟表现为先增高后降低的趋势,且以终花期为最佳,并显著高于盛花期,而与成熟期无显著差异;

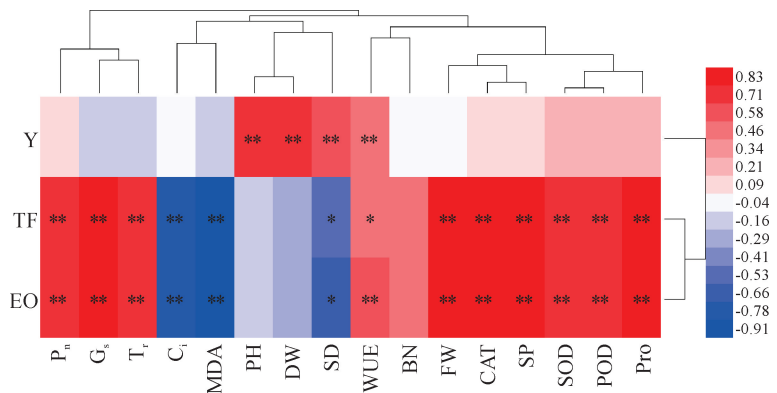
表 3 不同采收期下各种质香青兰形态指标的变化

Table 3 The morphological indexes of germplasms from <i>D. moldavica</i> L. at different harvesting periods											
处理 Treatment		株高 Plant height/cm		茎粗 Stem diameter/cm		分枝数 Branch number		鲜重 Fresh weight/g		干重 Dry weight/g	
SW	FB	78.4b		1.1b		15a		234.3a		48.5b	
	FF	93.6a	88.9a	1.4a	1.3b	16a	15ab	206.8b	214.6a	55.6a	53.7b
	MS	94.6a		1.4a		15a		202.7b		56.9a	
SM	FB	75.3b		1.0b		15a		237.2a		49.8b	
	FF	91.6a	86.4b	1.4a	1.3b	14a	14b	221.6ab	221.6a	55.9a	54.7ab
	MS	92.1a		1.5a		14a		206.0b		58.2a	
SX	FB	78.0b		1.1b		17a		241.3a		50.9b	
	FF	93.1a	88.1ab	1.5a	1.4a	16a	16a	222.2b	223.5a	56.3a	55.4a
	MS	93.3a		1.6a		17a		206.9b		59.1a	
SS	FB	75.7b		1.0b		15a		219.7a		48.9b	
	FF	80.9a	79.3c	1.4a	1.3ab	14a	15ab	207.1a	198.8b	50.2ab	50.8c
	MS	81.4a		1.5a		15a		169.5b		53.3a	
SG	FB	76.6a		1.0b		14a		217.2a		45.8b	
	FF	80.0a	79.1c	1.4a	1.2b	13a	13b	202.0a	194.5b	49.8a	49.6d
	MS	80.7a		1.3a		13a		164.5b		53.3a	

表 4 不同采收期下各种质香青兰药材产量和药效成分的变化

Table 4 The yield and pharmacodynamic components contents of germplasms from *D. moldavica* L. at different harvesting periods

处理 Treatment		产量 Yield/(kg · hm ⁻²)		总黄酮含量 Total flavonoids content/(mg · g ⁻¹)		挥发油含量 Volatile oil content/%	
SW	FB	3 952.61b		22.26a		0.52a	
	FF	4 364.21a	4 175.86bc	16.91b	17.41b	0.44b	0.43b
	MS	4 210.76a		13.07c		0.32c	
SM	FB	4 157.51b		22.98a		0.57a	
	FF	4 692.32a	4 445.14a	17.15b	17.99ab	0.49b	0.47a
	MS	4 485.59a		13.83c		0.36c	
SX	FB	3 872.85b		23.40a		0.59a	
	FF	4 523.29a	4 264.12b	19.03b	19.01a	0.50b	0.49a
	MS	4 396.23a		14.61c		0.38c	
SS	FB	3 852.48b		14.10a		0.42a	
	FF	4 185.29a	4 019.71cd	11.07b	11.40d	0.30b	0.32d
	MS	4 021.37ab		9.01c		0.22c	
SG	FB	3 720.48b		15.99a		0.46a	
	FF	4 171.79a	3 956.43d	12.53b	12.78c	0.33b	0.34c
	MS	3 977.00a		9.81c		0.25c	



Y. 产量;TF. 总黄酮含量;EO. 挥发油含量;P_n. 净光合速率;G_s. 气孔导度;T_r. 蒸腾速率;C_i. 胞间二氧化碳浓度;

MDA. MDA 含量;PH. 株高;DW. 干重;SD. 茎粗;WUE. 叶片水分利用率;BN. 分枝数;FW. 鲜重;CAT. 过氧化氢酶活性;

SP. 可溶性蛋白含量;SOD. 超氧化物歧化酶活性;POD. 过氧化物酶活性;Pro. 脯氨酸含量;相关性系数|r|在 0.8~1 之间为高度相关; **、* 分别代表 1%、5% 的显著性水平

图 1 香青兰药材产量及药效成分与所测指标的相关性分析

Y. Yield; TF. Total flavonoids content; EO. Volatile oil content; P_n. Net photosynthetic rate; G_s. Stomatal conductance; T_r. Transpiration rate; C_i. Interacellular carbon dioxide concentration; MDA. MDA content; PH. Plant height; DW. Dry weight; SD. Stem diameter; WUE. Leaf water use efficiency; BN. Branch number; FW. Fresh weight; CAT. CAT activity; SP. SP content; SOD. SOD activity; POD. POD activity; Pro. Pro content; The correlation coefficient |r| among 0.8—1 was highly correlated; ** and * represent the significance level of 1%, 5% respectively

Fig. 1 Correlation analysis between yield, pharmacodynamic components, and measured indexes of *D. moldavica* L.

各种质香青兰的产量总体表现为 SM>SX>SW>SS>SG,SM 的产量最高(4 445.14 kg·hm⁻²),且与其他种质间存在显著性差异。其次,各种质香青兰的总黄酮和挥发油含量均随着采收期的推迟表现为逐渐降低的趋势,并以盛花期为最佳,且各收获期之间均存在显著性差异;各种质香青兰的总黄酮和挥发油含量总体表现为: SX>SM>SW>SG>SS, SX 的总黄酮和挥发油含量最高,分别达到 19.01 mg·g⁻¹ 和 0.49%,但与 SM 无显著性差异。由此可见,终花期的‘蒙青兰 1 号’产量最高(4 692.32 kg·hm⁻²),盛花期的新疆香青兰药效成分含量达最高,总黄酮含量达 23.40 mg·g⁻¹,挥发油含量达 0.59%。

2.5 香青兰药材产量及药效成分与所测指标的相关性分析

由图 1 可知,香青兰药材产量与其株高、干重之间存在高度正相关关系,即株高等指标的增加会引起香青兰药材产量的增加;香青兰药效成分中总黄酮、挥发油含量与其净光合速率、气孔导度、鲜重、超氧化物歧化酶活性、过氧化物酶活性、过氧化氢酶活性、脯氨酸含量以及可溶性蛋白含量均呈高度正相关关系,即香青兰叶片净光合速率等光合指标以及抗氧化酶活性、渗透调节物质等抗逆生理指标的增强有利于其总黄酮和挥发油含量等药效成分的积累。

3 讨论

本研究通过相关性分析发现,香青兰的药材产量与其单株株高及干重呈高度正相关关系。株高是体现作物长势的重要指标,也是影响作物产量的重要因素之一;干物质生产是作物产量的基础,干物质的积累和合理分配是作物高产的关键^[15]。因此株高及干重的增加会引起香青兰药材产量的增加。本研究中香青兰药效成分(总黄酮、挥发油)含量与净光合速率等光合指标、超氧化物歧化酶等抗性指标以及单株鲜重呈高度正相关关系。净光合速率、气孔导度的大小可反映作物光合作用的强弱,且相关值越大光合作用越强,光合作用对植物的生长起着至关重要的作用,光合作用所制造的初级代谢物是次级代谢物的合成前体,因此,净光合速率、气孔导度的增加会引起次级代谢物总黄酮和挥发油含量的升高;超氧化物歧化酶等逆境指标可反映出植物受胁迫的程度,在植物可承受范围内,逆境指标越高则代表胁迫程度越高,在环境胁迫下植物会产生更多的次生代谢产物,以保证植物适应环境的需求^[16-17],即超氧化物歧化酶等逆境指标含量的增加,总黄酮和挥发油含量也会升高;植株鲜重与药效成分含量呈高度正相关关系,可能是由于本试验中

鲜重与药效成分含量的变化趋势相似度较高,相关论证有待进一步研究。

药用植物产量及次生代谢产物的积累不仅受环境的影响,而且受种质和遗传因素的影响很大。舒志明^[18]、战戈^[19]通过对丹参种质资源的收集评价表明,不同丹参种质在单株产量、有效成分含量上有一定的差异;梁莹等^[20]、林立等^[21]对白及种质资源的生长、生理及药效成分进行了比较研究,指出不同白及种质中农艺性状、生理特性、成分特征及多糖含量均存在一定的差异;本研究结果也表明,不同种质香青兰在生长特性、药材产量及药效成分含量上有显著性差异,这与人研究结果相似。

药用植物在不同时期的生长动态、生理活动不同,其药材产量和次生代谢产物含量也会随之发生变化,适宜的采收期对药材的产量和药效成分含量至关重要。本研究结果表明不同采收期下,香青兰的药材产量由盛花期到成熟期表现为先增加后降低的趋势,并于终花期出现产量峰值,这与 Lianhua Li 等^[22]对杂交狼尾草的研究结果相似;而香青兰的总黄酮和挥发油的含量表现为随采收期的推迟逐渐下

降的趋势,于宁^[23]、王亚俊^[24]等采用 HPLC 法测定了香青兰不同采收期下部分黄酮类和酚酸类成分的变化规律,表明花期的香青兰中黄酮类和酚酸类的含量最高,为最佳采收期。本研究结果与其有相似之处。

本研究关于不同香青兰种质及其采收期的鉴定结果显示:终花期的‘蒙青兰 1 号’药材产量达峰值,盛花期新疆香青兰的总黄酮和挥发油含量最高。在药材生产中高产和优质往往不能兼得^[25],本研究符合这一规律。在目前的药材栽培生产中,不仅追求产量,更加注重药效成分^[25],今后可通过优化种植密度、科学水肥管理等栽培措施,建立产量与药效的最优平衡点,培育筛选高产优质的香青兰品种,为内蒙古中部地区的特色资源的发展提供参考。

基于以上研究结果认为,终花期的‘蒙青兰 1 号’药材产量最高,盛花期的新疆香青兰在生长特性以及药效成分含量方面均为最高。在栽培实践中,注重产量可选择‘蒙青兰 1 号’并于终花期进行采收为宜,追求药效则采用新疆香青兰并于盛花期采收为宜。

参考文献:

[1] 热则耶·麦麦提敏. 香青兰总黄酮对 H₂O₂ 诱导的人脐静脉内皮细胞氧化损伤的保护作用研究[D]. 乌鲁木齐:新疆医科大学,2021.

[2] APROTOSOAI E A C, MIHAI C T, VOCHITA G, *et al.* Antigenotoxic and antioxidant activities of a polyphenolic extract from European *Dracocephalum moldavica* L. [J]. *Industrial Crops and Products*, 2016, 79: 248-257.

[3] 陈洁. UPLC-MS/MS 法同时测定香青兰中 6 个活性成分的含量[J]. 药物分析杂志,2020,**40**(11): 1 986-1 993.

CHEN J. Simultaneous determination of 6 active ingredients in *Dracocephalum moldavica* L. by UPLC-MS/MS[J]. *Chinese Journal of Pharmaceutical Analysis*, 2020,**40**(11): 1 986-1 993.

[4] 张华然. 香青兰的化学成分及生物活性研究[D]. 济南:山东大学,2019.

[5] 李强. 香青兰黄酮成分的药代动力学特征及代谢机理研究[D]. 广州:南方医科大学,2015.

[6] DMITRUK M, WERYSZKO-CHMIELEWSKA E. Morphological differentiation and distribution of non-glandular and glandular trichomes on *Dracocephalum moldavica* L. shoots [J]. *Acta Agrobotanica*, 2010,**63**(1): 11-22.

[7] 于宁,姜雯,帕依曼·亥米提,等. 高效液相色谱法同时测定香青兰不同部位中 5 种化学成分的含量[J]. 中国药杂志,2016,**51**(7): 583-587.

YU N, JIANG W, PAYIMAN Haimiti, *et al.* Simultaneous determination of five effective components in different parts of *Dracocephalum moldavica* L. by RP-HPLC [J]. *Chinese Pharmaceutical Journal*, 2016,**51**(7): 583-587.

[8] HUSSEIN M S, ELI-SHERBENY S E, KHALIL M Y, *et al.* Growth characters and chemical constituents of *Dracocephalum moldavica* L. plants in relation to compost fertilizer and planting distance [J]. *Scientia Horticulturae*, 2006,**108**(3): 322-331.

[9] 边丽梅,张雄杰,盛晋华,等. 施氮量对香青兰生长、产量及挥发油含量的影响[J]. 内蒙古农业大学学报(自然科学版), 2009,**30**(13): 45-47.

BIAN L M, ZHANG X J, SHENG J H, *et al.* Effect of nitrogen on growth, yield and contents of essential oil of *Dracocephalum moldavica* L. [J]. *Journal of Inner Mongolia Agricultural University* (Natural Science Edition), 2009,**30**(13): 45-47.

[10] 杨博,屈忠义,孙慧慧,等. 粉垄耕作对河套灌区盐碱土壤性质的影响[J]. 灌溉排水学报,2020,**39**(8): 52-59.

YANG B, QU Z Y, SUN H H, *et al.* The effect of smash-ridging cultivation on properties of saline-alkali soil in Hetao irrigation district[J]. *Journal of Irrigation and Drainage*, 2020, **39**(8): 52-59.

[11] 张艳贺. 不同产境黄芪生药学研究[D]. 哈尔滨:黑龙江中医药大学, 2014.

[12] 王玉珍. 不同品种金银花在盐碱地引种栽培对比研究[J]. *北方园艺*, 2013, (15): 157-159.

WANG Y Z. Comparison test of different varieties of *Lonicera japonica* introduced and planted in saline-alkali soil[J]. *Northern Horticulture*, 2013, (15): 157-159.

[13] 张治安. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2004.

[14] 卢鹏飞. 野生与栽培香青兰的化学成分及抗氧化活性研究[D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学, 2014.

[15] 杨佳佳,程宏波,柴守玺,等. 不同覆盖栽培方式对冬小麦干物质分配与转运的影响[J]. *麦类作物学报*, 2021, **41**(6): 745-751.

YANG J J, CHENG H B, CHAI S X, *et al.* Effect of different mulching cultivation methods on dry matter distribution and translocation in winter wheat[J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2021, **41**(6): 745-751.

[16] SUZUKI N, RIVERO R M, SHULAEV V, *et al.* Abiotic and biotic stress combinations[J]. *The New Phytologist*, 2014, **203**(1): 32-43.

[17] NARAYANI M, SRIVASTAVA S. Elicitation: a stimulation of stress in *in vitro* plant cell/tissue cultures for enhancement of secondary metabolite production[J]. *Phytochemistry Reviews*, 2017, **16**(6): 1 227-1 252.

[18] 舒志明. 丹参种质资源的收集评价与品种选育[D]. 陕西杨陵:西北农林科技大学, 2005.

[19] 战 戈. 泰山丹参种质资源的评价与优良种质的筛选[D]. 山东泰安:山东农业大学, 2018.

[20] 梁 莹,胡 营,蔡锦源,等. 白及种质资源的生长、生理及药材品质比较研究[J]. *时珍国医国药*, 2020, **31**(9): 2 236-2 239.

LIANG Y, HU Y, CAI J Y, *et al.* Comparative studies on growth, physiology and quality of *Bletilla striata* (Thunb.) Reichb. f. germplasm resources[J]. *Lishizhen Medicine and Materia Medica Research*, 2020, **31**(9): 2 236-2 239.

[21] 林 立,聂鲜钰,陆春云,等. 基于多糖和白及胶及矿质元素分析的白及种质资源特征研究[J]. *中药材*, 2019, **42**(5): 1 000-1 006.

LIN L, NIE X Y, LU C Y, *et al.* Study on the characteristics of *Bletilla striata* germplasm resources based on the analysis of polysaccharide and *Bletilla* gum and mineral elements[J]. *Journal of Chinese Medicinal Materials*, 2019, **42**(5): 1 000-1 006.

[22] LI L H, SUN Y M, YUAN Z H, *et al.* Influence of harvest period and frequency on methane yield of *Pennisetum* hybrids[J]. *Journal of Energy Engineering*, 2016, **142**(3): 04015033.

[23] 于 宁,姜 雯,谭梅娥,等. HPLC法测定不同采收期香青兰中黄酮和酚酸类的含量[J]. *药物分析杂志*, 2016, **36**(6): 991-997.

YU N, JIANG W, TAN M E, *et al.* Quantitative determination of flavonoids and phenyl propanoids of *Dracocephalum moldavica* L. in different harvest periods by HPLC[J]. *Chinese Journal of Pharmaceutical Analysis*, 2016, **36**(6): 991-997.

[24] 王亚俊,王李梅,杨 爽,等. HPLC法测定不同采收期香青兰中田蓟苷和藜香苷[J]. *中草药*, 2011, **42**(1): 91-93.

WANG Y J, WANG L M, YANG S, *et al.* Simultaneous determination of tilianin and agastachoside in *Dracocephalum moldavica* L. by HPLC[J]. *Chinese Traditional and Herbal Drugs*, 2011, **42**(1): 91-93.

[25] 刘 杰,张雄杰,盛晋华,等. 肥料类型对盐碱地蒙古黄芪生长与光合特征及药材产量和品质的影响[J]. *西北植物学报*, 2021, **41**(6): 1 012-1 018.

LIU J, ZHANG X J, SHENG J H, *et al.* Effects of fertilizer types on growth, photosynthesis, yield and quality of *Astragalus membranaceus* var. *mongholicus* in saline-alkali land[J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2021, **41**(6): 1 012-1 018.

(编辑:裴阿卫)