

· 射干规范化种植施肥研究专题 ·

[编者按] 射干 *Belamcanda chinensis* 为鸢尾科射干属多年生草本植物,以根茎入药,具清热解毒、消炎、化痰利咽之功效。射干在中医临床应用已有2 000余年历史,常作为君药用于治疗支气管哮喘的方剂之中,如出自《金匱要略》中治疗寒性哮喘的“射干麻黄汤”为我国的传统经典方剂,临床应用广泛。近年来,随着对射干药材原料需求的日益增加,野生资源已无法满足临床日益扩大的需求,目前多地已开展大面积人工栽培种植,并形成湖北、湖南、河北等几大产区。湖北黄冈、孝感、襄阳及周边地区所产射干,自民国时期和中华人民共和国成立初期集散于汉口,故名“汉射干”,具有质结色黄、须根修净、品质较优等特点;现种植区域多分布于团风、麻城、孝昌、大悟、孝感等地。自20世纪90年代开始,湖北省黄冈市团风地区常年种植面积达1万亩(1亩 \approx 667 m²)以上,为射干药材的主产区之一,“团风射干”于2011年还被批准为国家地理标志保护产品。然而,目前射干高效规范化种植技术尚不成熟,滥施肥和过量施肥现象屡有发生,不仅导致射干药材产量和品质下降,也加剧了土壤环境污染风险,科学施肥是射干生态种植中优质高产的重要措施。该专题就二年生射干的生长习性进行系统研究,将射干生育期划分为7个阶段,探究其不同生长发育阶段的需肥规律从而确定有效的施肥措施。此外,通过氮肥、钾肥、磷肥、有机肥配施化肥的单因素实验,探索了肥料施用对射干农艺性状、产量、药材品质、矿质元素积累、肥料利用率的影响,以期明确射干种植过程中各类肥料的最佳需求量并制定合理的施肥方案。研究表明,氮肥、磷肥、钾肥施用量在120~180 kg·hm⁻²、120~147 kg·hm⁻²、120~166 kg·hm⁻²为宜,此范围内射干生长分蘖旺盛、产量较大、黄酮类药效成分积累量明显提高;不同比例有机肥替代化肥施用后,有机肥以50%比例配施时(施用量4 283 kg·hm⁻²)能达到增产提效目的,且肥料有效利用率最大。该专题为团风射干科学施肥和化肥减量提供了指导依据,将有助于提升射干药材品质和种植效益、促进中药材的可持续发展。

射干养分需求规律分析

李金鑫, 刘雨, 郭超伟, 杨雅雯, 苗玉焕, 刘大会*

(湖北中医药大学药学院, 武汉 430065)

[摘要] 目的:研究射干干物质积累、矿质元素吸收及药用成分积累变化规律,为射干规范化种植中的合理施肥提供理论依据。方法:以二年生射干为研究对象,自播种90 d后开始取样,每隔30 d采集样品一次,分别测定各器官干物质积累量、矿质元素含量及根茎中黄酮类成分含量。结果:根据不同时期各器官干物质累积情况,将二年生射干生育期划分为7个阶段,幼苗期(第1年7月前)、第1年营养生长期(第1年8—10月)、第1年生长后期(第1年11月—第2年1月)、返青期(第2年2—3月)、第2年营养生长期(第2年4—5月)、生殖生长期(第2年6—10月)、第2年生长后期(第2年11—第3年1月)。在全生育期内,每年的生长后期为射干根茎膨大期,全株干物质积累量则在生殖生长期后最高。根茎中的黄酮类成分含量在不同阶段差异较大,其中芒果苷、鸢尾黄素、野鸢尾黄素在第2年营养生长期含量较高;射干苷、野鸢尾苷在第1年生长后期和第2年生长后期积累量较高;次野鸢尾黄素在第2年营养生长期和第2年生长后期含量高于其他阶段;第2年营养生长期(次年4月)6种黄酮类成分总量达到整个生育期的峰值。相关性分析结果显示,9种矿质元素与鸢尾黄素、野鸢尾黄素、次野鸢尾黄素存在不同程度的正相关。结论:射干第1年干物质积累量较为缓慢、需肥量较少,可减少基肥的施入。第2年尤其是进入生殖生长期后对肥料需求量较大,故在此之前应尽早补充氮磷钾肥及其他微肥。此外,射干根茎第1年10—11月及第2年11—12月在年底存在膨大期,此时应保证根茎氮、钾供应,或增加有益元素的施入提高射干质量。

[关键词] 射干; 干物质; 矿质元素; 黄酮

[中图分类号] R284.2; R289; R22; R2-031; R33 [文献标识码] A [文章编号] 1005-9903(2022)23-0128-07

[doi] 10.13422/j.cnki.syfjx.20221518

[网络出版地址] <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3495.R.20221024.1457.002.html>

[网络出版日期] 2022-10-25 9:34

[收稿日期] 2022-07-19

[基金项目] 国家重点研发计划项目(2017YFC1700704); 国家中医药管理局青年岐黄学者支持项目; 国家现代农业产业技术体系建设专项(CARS-21); 湖北省教育厅高校优秀中青年科技创新团队计划项目(T2021008)

[第一作者] 李金鑫, 在读博士, 从事中药资源及生态农业研究, E-mail: 1843029412@qq.com

[通信作者] * 刘大会, 教授, 博士生导师, 从事中药资源及生态农业研究, E-mail: liudahui@hbtc.edu.cn

Nutrient Requirement Pattern of *Belamcanda chinensis*

LI Jinxin, LIU Yu, GUO Chaowei, YANG Yawen, MIAO Yuhuan, LIU Dahui*
(Pharmacy Faculty, Hubei University of Chinese Medicine, Wuhan 430065, China)

[Abstract] **Objective:** To study the changes of dry matter accumulation, mineral element absorption and medicinal component accumulation in *Belamcanda chinensis* and to provide a theoretical basis for fertilization in the standardized cultivation of *B. chinensis*. **Method:** During the two-year growth period of *B. chinensis*, the samples were collected at 30-day intervals from day 90 after sowing for the measurement of dry matter accumulation and mineral element content in different organs as well as the flavonoid content in the rhizome. **Result:** According to the accumulation of dry matter in different organs, the two-year growth period of *B. chinensis* was divided into seven stages: seedling stage (before July in the first year), first-year vegetative growth stage (August to October in the first year), first-year late growth stage (November to January of the second year), re-growth stage (February to March in the second year), second-year vegetative growth stage (April to May in the second year), reproductive growth stage (June to October in the second year), second-year late growth stage (November of the second year to January of the third year). During the whole growth period, the late growth stage of each year witnessed the expansion of the rhizome, and the accumulation of dry matter of the whole plant peaked after the reproductive growth stage. The content of flavonoids in the rhizome varied greatly among different stages. Specifically, the content of mangiferin, tectorigenin and irigenin was higher in the second-year vegetative growth stage, and that of tectoridin and iridin was higher in the first-year late growth stage and the second-year late growth stage. The content of irisfloreantin was higher in the second-year vegetative growth stage and the second-year late growth stage than that in other stages. The total content of six flavonoids peaked in the second-year vegetative growth stage (April in the second year). The correlation analysis showed that all the nine mineral elements had different degrees of positive correlations with tectorigenin, irigenin and irisfloreantin. **Conclusion:** In the first year, *B. chinensis* presents slow dry matter accumulation and low demand for fertilizer, so the application of base fertilizer can be reduced. In the second year, especially after the reproductive growth, *B. chinensis* demands high fertilizer, so nitrogen, phosphorus and potassium fertilizers and other micronutrients should be applied as early as possible. In addition, the rhizome expands in October to November of the first year and November to December of the second year, when the supply of nitrogen and potassium to the rhizome should be ensured or beneficial elements should be supplemented to improve the quality of *B. chinensis*.

[Keywords] *Belamcanda chinensis*; dry matter; mineral elements; flavonoids

射干为鸢尾科射干属多年生草本植物,以根茎入药,具清热解暑、化痰利咽之功效^[1],常用于治疗热毒痰证、咳嗽哮喘、咽痛^[2]。射干在中医中的应用已有2 000余年历史,常作为君药用于治疗支气管哮喘的方剂之中^[3]。现代药理学研究表明,射干中的异黄酮类化合物、二环三萜衍生物和酚类化合物具有抗炎作用,为其主要药效成分^[4]。近年来,随着临床上对射干药材原料需求日益增加,射干已开展大面积人工栽培,并形成湖北、湖南、河北等几大道地产区。目前射干在整个生长期的生长习性及其需

肥规律尚未系统研究,生产上常存在施肥过量或施肥不及时等情况,导致药材减产或过度施肥现象。通过研究药用植物的生长习性掌握其需肥规律,从而确定有效的施肥措施可有效缓解此问题。如丹参移栽后120~150 d适量施肥,可保证丹参根膨大期对养分的需求^[5];桔梗全生育期内对氮、磷、钾的吸收比例为1:0.28:0.48^[6],且微量元素与药材药效作用有着密切的关系^[7]。开展干物质及矿质元素积累动态研究,了解不同生长时期养分需求规律,对射干合理规范化种植极为有利。因此本文以困风

射干为研究对象,对二年生射干的全生育期进行调查统计,测定不同生长时期射干各器官干物质积累量、矿质元素及药用成分含量。以期掌握射干的需肥规律、制定合理规范的施肥方案,为团风射干的规范化种植提供理论依据。

1 材料

1.1 试药 供试射干 *Belamcanda chinensis* 由黄冈农业科学院提供,经湖北中医药大学刘大会教授鉴定。试验地点为湖北省黄冈市团风县黄冈农业科学院现代产业示范园试验基地,团风地处东经114°47'至115°14',北纬30°35'至30°54',属亚热带季风气候,江淮小气候区,年平均气温为15.7~17.5℃,年降水量1100 mm左右。供试土壤为黄壤,土壤基本理化性状pH 6.94、有机质14.5 g·kg⁻¹、碱解氮59.4 mg·kg⁻¹、速效磷4.55 mg·kg⁻¹、速效钾174 mg·kg⁻¹、全氮0.76 g·kg⁻¹、全磷0.49 g·kg⁻¹、全钾23.0 g·kg⁻¹。

1.2 仪器 SH220N型石墨消解仪、K9860型全自动凯氏定氮仪、TANK ECO型微波消解仪(山东海能科学仪器有限公司),A580型紫外-可见分光光度计(翱艺仪器有限公司),A3型原子吸收分光光度计(北京普析通用仪器责任有限公司),UltiMate 3000型高效液相色谱仪(美国戴安公司),5110 ICP-OES型等离子体发射光谱仪(美国Agilent公司),DGG-9123AD型电热恒温鼓风干燥箱(上海森信实验仪器有限公司)。

1.3 试剂 对照品芒果苷、野鸢尾苷、鸢尾黄素、野鸢尾黄素(上海源叶生物科技有限公司,批号分别为4773-96-0、491-74-7、548-77-6、548-76-5,纯度均≥98%);对照品射干苷、次野鸢尾黄素(中国食品药品检定研究院,批号分别为111632-200602、11157-201703,纯度均≥99.9%);磷、镁、锰、铁、铜、锌[国家有色金属及电子材料分析测试中心,批号分别为GSB 04-1721-2004(a)、GSB 04-1735-2004、GSB 04-1736-2004、GSB 04-1726-2004、GSB 04-1725-2004、GSB 04-1761-2004)](质量浓度均为1 g·L⁻¹);钾、钙[中国计量科学研究院,批号分别为GBW(E)080125、GBW(E)080118)]。

2 方法

2.1 试验设计 2018年4月9日直播射干种子,播前施复合肥作为基肥,6月中旬间苗。试验地面积为1000 m²,采用起垄种植,垄宽1 m、长28 m、垄沟宽0.2 m。射干株行距30 cm×30 cm,每垄种植3行,密度约9万株/hm²。第1年7月起对射干进行打顶,

其他田间管理按照常规措施执行。2018年7月中旬开始取样,每月定时采样直至2020年1月。选取大田不同分布位置为取样点,挑选长势均一、具有代表的射干植株进行采挖用于后续实验,共计9个重复。

2.2 测定项目和方法

2.2.1 干物质质量测定 采挖后的射干将根茎、须根、茎秆、叶片、果实(花、果荚、种子)等各器官分开制样,其中茎秆、叶片、花、果荚、种子经105℃杀青30 min,样品统一经烘箱60℃烘干后称重。干燥后的样品打粉机粉碎后过65目筛,密封保存至4℃冰箱备用。

2.2.2 矿质元素的测定 取样品0.1 g,利用石墨炉经H₂SO₄-H₂O₂法消化,取消煮液经凯氏定氮仪测氮,钼锑抗比色法测磷,火焰分光光度法测钾。另取样品0.1 g,用1 mol·L⁻¹的HCl溶液浸提过滤,取滤液适当稀释后经电感耦合等离子体发射光谱仪(ICP-OES)测钙、镁、铝、铁、锰、铜和锌。

2.2.3 黄酮类成分测定 参照杨雅雯等^[9]建立的方法进行射干中芒果苷、射干苷、野鸢尾苷、鸢尾黄素、野鸢尾黄素、次野鸢尾黄素等黄酮类成分含量的测定。

色谱条件:采用ZORBAX SB-C₁₈色谱柱(4.6 mm×250 mm,5 μm);流动相0.05%磷酸水溶液(A)-乙腈(B),梯度洗脱(0~15 min,15%~20%B;15~24 min,20%~25%B;24~35 min,25%~33%B;35~45 min,33%~37%B;45~58 min,37%~52%B;58~62 min,52%B;62~67 min,52%~15%B);体积流量1.0 mL·min⁻¹,进样体积10 μL,检测波长266 nm,柱温30℃。

供试品溶液制备:精密称取射干粉末0.1 g于50 mL具塞锥形瓶中,加甲醇25 mL,称重,放置过夜,超声处理30 min后,冷却,用甲醇补足失重,摇匀,滤过,取续滤液即得供试品溶液。

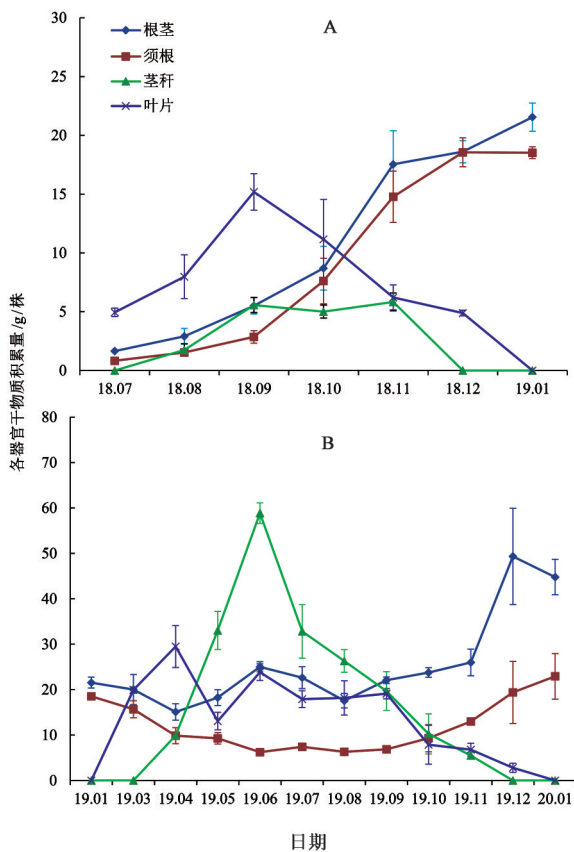
2.3 数据处理与分析 单株矿质元素积累量(g/株)=Σ(各器官干物质积累量×各器官矿质元素含量);黄酮类成分与矿质元素含量的相关性分析利用SPSS 19.0进行Pearson相关性分析。

3 结果与分析

3.1 射干干物质动态累积与分配规律

3.1.1 射干干物质动态累积规律 射干各器官不同时期干物质积累情况见图1。第1年6—7月射干处于苗期,干物质积累缓慢,7月底整株干物质积累量仅为7.43 g/株。8—9月为快速营养生长期,此阶段射干茎秆形成,叶片数目增加,地上部分生长迅

速。至9月,射干地上部分积累量达22.7 g/株,地下根茎积累量仅为5.50 g/株。9月后射干茎叶开始枯萎,地下部分进入第1个快速积累期,12月底积累量达31.2 g/株,且须根发达。第2年3月,射干根茎陆续生出新的芽头,地下部分营养消耗,干物质积累量略有下降,地上部分积累大幅增加。4月初茎秆生成,叶片数量增多,田间密度变大、锈病高发,叶片受损严重,5月之后田间锈病病情有所缓解,叶片干物质质量增加。6月射干进入抽薹开花期,茎叶数目增多,干物质积累量达到峰值。7~8月,黄冈夏季炎热多雨,植株茂盛、通风性变差,根腐病等根部病害高发,地下干物质质量有所下降。9月后天气转凉,茎秆枯萎倒伏,植株空间密度降低,地下病害情况缓解,根茎积累量增加进入第2个快速积累期,至12月,射干根茎积累量达到峰值49.3 g/株。



注:A.第1年;B.第2年

图1 不同时期射干各器官干物质积累动态($\bar{x} \pm s, n=4$)
Fig. 1 Dynamic accumulation of dry matter in various organs of *B. chinensis* at different periods ($\bar{x} \pm s, n=4$)

根据射干不同生长时期生长特性及干物质积累情况,将二年生射干生育期划分为不同阶段,分别为幼苗期(7月前)、第1年营养生长期(8—10月)、第1年生长后期(第1年11月—第2年1月)、返

青期(第2年2—3月)、第2年营养生长期(第2年4—5月)、生殖生长期(第2年6—10月)、第2年生长后期(第2年11月—第3年1月)。

3.1.2 射干干物质分配规律 第1年内,射干根茎开始积累时干物质占比22.2%,此时射干各器官分配比例为叶片>根茎>须根。至9月射干生长快速期,地上部分生长旺盛,根茎分配比下降到18.9%;11月射干地上部分枯萎,地下部分占比较大,分配比根茎>须根>叶片>茎秆,至12月根茎占比上升到44.3%。第2年1月射干地上部分还未复苏,地下部分须根发达,根须占总量的46.2%;6月射干植株中茎秆干物质积累量最高,达51.2%,各器官分配比为茎秆>根茎>叶片>须根。6月后射干地上部分逐渐枯萎凋落,地上部分干物质分配量逐渐减少,地下部分再次逐渐增加,到12月地上茎秆部分完全枯死根茎分配量达到69.0%,见表1。

表1 不同时期射干各器官干物质质量在整株中的分配比

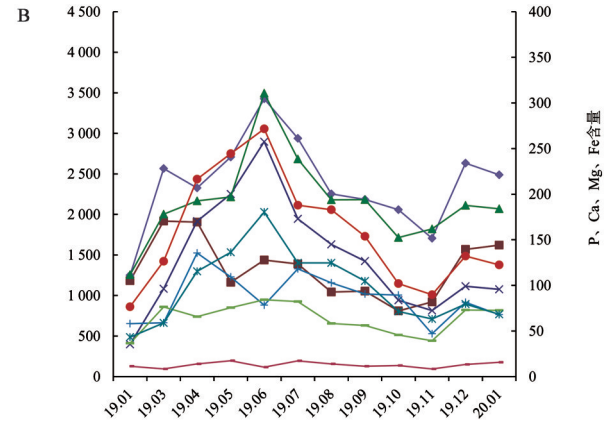
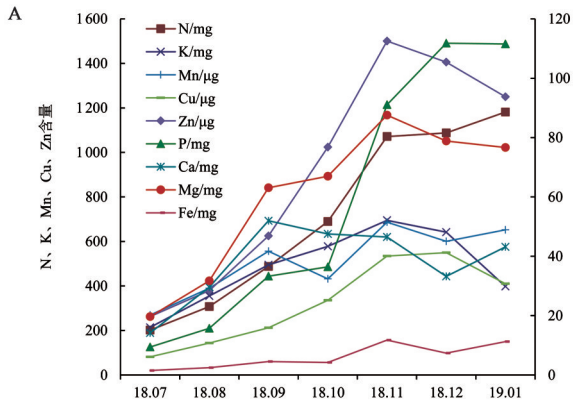
年份	月份	根茎	须根	茎秆	叶片	果实
2018	7	22.2	11.2	-	66.6	-
	8	20.5	10.9	12.3	56.3	-
	9	18.9	9.9	19.1	52.2	-
	10	26.8	23.4	15.4	34.4	-
	11	39.5	33.3	13.1	14.0	-
	12	44.3	44.1	-	11.6	-
2019	1	53.8	46.2	-	-	-
	3	36.0	28.1	-	35.8	-
	4	23.4	15.3	15.4	45.8	-
	5	24.8	12.6	44.9	17.8	-
	6	21.8	5.4	51.2	20.7	0.94
	7	27.4	9.0	39.7	21.7	2.35
	8	24.8	8.9	37.1	25.6	3.64
	9	30.8	9.6	27.5	26.7	5.47
	10	45.5	17.8	19.6	15.1	2.08
	11	50.7	25.3	10.7	13.2	-
	12	69.0	27.1	-	3.89	-
	2020	1	66.1	33.9	-	-

3.2 射干矿质元素吸收分配规律

3.2.1 射干不同时期矿质元素吸收规律 射干在不同时期对矿质元素的吸收存在显著差异,见图2。一年生射干对矿质元素的积累量较少,11月营养生长期结束后钾、钙、镁、锰、铁和锌元素植株中积累

达到峰值,其他元素均在年底12月全株积累量达到峰值。第2年3月,射干返青时全株中氮积累量达到峰值(1 917 mg/株),4月茎秆新生,射干植株新生叶片增加,整株中锰积累量达到峰值(1.52 mg/株),5月铁积累量达到峰值(1.74 mg/株)。6月射干植株

高大、侧茎较多,全株中磷、钾、钙、镁、铜和锌积累量最高,分别为307、2 858、180、270、0.94、3.38 mg/株,随后各元素含量在达到峰值后呈下降趋势。故在射干进入生殖生长期前可适量追施相关肥料,以满足植株对营养元素的需求。



日期

注:A.第1年;B.第2年

图2 不同时期射干矿质元素的吸收动态($\bar{x} \pm s, n=4$)

Fig. 2 Absorption dynamics of mineral elements in *B. chinensis* at different periods ($\bar{x} \pm s, n=4$)

3.2.2 射干矿质元素的分配规律 由图3可知,不同矿质元素在射干全生育期内的分配比例差异较大。各器官中氮元素的分配大小依次为根茎>叶片>须根>茎秆>果实;磷、钙、镁、锌等元素分配大小为根茎>叶片>茎秆>须根>果实;钾元素在各器官中分配率依次为叶片>茎秆>须根>根茎>果实;锰的分配大小为须根>根茎>叶片>茎秆>果实,铜元素为根茎>须根>叶片>茎秆>果实。

11.65 $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$,次野鸢尾黄素 1.55~5.43 $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$,鸢尾黄素 0.51~4.17 $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$,芒果苷 1.17~2.96 $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$,见表2。其中幼苗期芒果苷含量最高,其次为第1年营养生长期;射干苷及野鸢尾苷在第1年生长后期和第2年生长后期含量较高,鸢尾黄素和野鸢尾黄素在次年初春射干茎秆形成时(第2年营养生长期)含量达到高峰,次野鸢尾黄素在第2年营养生长期和第2年生长后期含量高于其他阶段。第2年营养生长期(次年4月)6种黄酮类成分总量达到整个生育期的峰值。

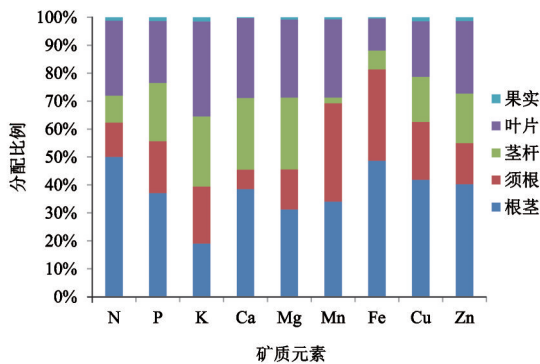


图3 射干全生育期矿质元素分配规律

Fig. 3 Distribution pattern of mineral elements in whole reproductive period of *B. chinensis*

3.4 射干黄酮类成分与矿质元素含量相关性分析

射干根茎黄酮类成分与同期全株矿质元素积累量的相关性分析见表3,根茎中芒果苷、射干苷及野鸢尾苷含量与植株中9种矿质元素积累量均无显著相关性。鸢尾黄素含量与钾、钙、镁、锰均存在正相关,相关系数分别为0.536、0.491、0.581、0.541;野鸢尾黄素与氮、钾、钙、镁、锰、铁、铜、锌均存在正相关,相关系数分别为0.486、0.691、0.614、0.750、0.709、0.579、0.532、0.503;次野鸢尾黄素含量与氮、磷、镁、锰、铁、铜、锌积累量存在正相关,相关系数依次为0.532、0.569、0.538、0.751、0.824、0.620、0.619。相关性分析结果表明大部分矿质元素与射干中黄酮类成分均存在正相关关系,故在实际生产中的关键时期保证各类矿质元素的充足吸收环境

表2 不同时期射干根茎中黄酮类成分含量 ($\bar{x} \pm s, n=4$)

年份	月份	芒果苷	射干苷	野鸢尾苷	鸢尾黄素	野鸢尾黄素	次野鸢尾黄素
2018	7	2.96±0.03	4.28±0.05	5.45±0.08	0.66±0.01	7.80±0.14	2.20±0.24
	8	1.92±0.23	4.20±0.18	3.49±0.43	1.01±0.11	6.67±0.39	1.55±0.18
	9	1.54±0.01	3.44±0.04	2.49±0.27	2.31±0.62	7.40±0.12	2.07±0.05
	10	1.47±0.24	7.32±0.45	4.78±0.77	2.14±0.16	7.30±0.28	1.60±0.30
	11	1.30±0.14	3.54±0.50	2.30±0.20	2.31±0.26	10.65±0.21	2.47±0.42
	12	1.78±0.16	11.65±0.93	13.16±1.00	0.64±0.06	7.14±0.59	2.40±0.22
2019	1	1.84±0.10	7.23±0.44	10.46±0.68	0.74±0.05	7.78±0.43	2.10±0.16
	3	1.54±0.11	4.74±0.42	4.60±0.48	2.31±0.57	10.39±0.11	3.14±0.15
	4	2.82±0.19	6.49±0.10	6.50±0.17	4.17±0.16	21.25±2.80	4.87±0.44
	5	2.78±0.18	4.49±0.28	5.63±0.05	3.57±0.50	23.20±2.71	5.43±0.62
	6	1.17±0.06	8.42±0.19	10.17±0.22	2.03±0.13	12.17±0.34	1.63±0.06
	7	2.44±0.33	7.46±0.28	5.99±0.60	1.52±0.08	10.11±0.32	4.72±0.13
	8	2.12±0.08	9.26±0.14	7.92±0.88	2.65±0.04	11.48±0.08	4.47±0.39
	9	1.96±0.31	7.44±0.51	7.76±0.54	1.09±0.09	8.78±0.77	3.88±0.20
	10	1.97±0.19	7.01±0.34	6.96±0.73	0.60±0.09	7.21±0.53	3.89±0.35
	11	1.47±0.23	5.30±0.65	7.94±0.91	0.48±0.11	7.16±0.09	3.80±0.38
	12	1.53±0.02	5.87±0.18	10.97±0.67	0.51±0.07	9.06±0.43	4.43±0.54
	2020	1	1.97±0.01	8.96±0.76	12.73±0.11	0.77±0.02	9.81±0.28

对提升射干品质至关重要。

表3 射干黄酮类成分含量与矿质元素积累相关性分析

Table 3 Correlation analysis of flavonoids and mineral elements in *B. chinensis*

元素	芒果苷	射干苷	野鸢尾苷	鸢尾黄素	野鸢尾黄素	次野鸢尾黄素
氮	-0.065	0.291	0.399	0.333	0.486 ¹⁾	0.532 ¹⁾
磷	-0.036	0.410	0.457	0.216	0.458	0.569 ¹⁾
钾	0.143	0.254	0.178	0.536 ¹⁾	0.691 ²⁾	0.468
钙	0.099	0.264	0.174	0.491 ¹⁾	0.614 ²⁾	0.463
镁	0.162	0.265	0.213	0.581 ¹⁾	0.750 ²⁾	0.538 ¹⁾
锰	0.406	0.242	0.125	0.541 ¹⁾	0.709 ²⁾	0.751 ²⁾
铁	0.222	0.285	0.333	0.291	0.579 ¹⁾	0.824 ²⁾
铜	-0.036	0.355	0.392	0.320	0.532 ¹⁾	0.620 ²⁾
锌	-0.048	0.346	0.388	0.278	0.503 ¹⁾	0.619 ²⁾

注: ¹⁾ $P<0.05$, ²⁾ $P<0.01$

4 结论与讨论

4.1 射干干物质积累与分配规律 本试验连续2年对射干全株各器官干物质积累量及分配规律进行研究,将射干的生育时期划分为幼苗期、第1年营养生长期、第1年生长后期、返青期、第2年营养生长期、生殖生长期、第2年生长后期。正确划分射干

的生育时期有助于掌握其不同时期生长发育状态及生长变化规律,从而为射干规范化栽培种植制订合理高效的施肥方案提供理论依据。射干为多年生中药材,苗期持续时期较长,一年生射干的生育期较短,植株干物质积累量较低。二年生射干根茎芽头数量增多,植株侧茎增多,生育期延长。在次年6月,射干全株干物质积累量达到峰值,但此时地上部分生长旺盛、地下根茎积累量仅占全株的21.96%。地下根茎在生育后期存在膨大期,分别在第1年的10—11月和第2年的11—12月,此时射干地上部分大多枯萎,地下部分积累迅速,根茎积累速率分别达到0.30、0.78 g·d⁻¹。

4.2 射干矿质元素积累与分配规律 大中量元素氮、磷、钾、钙、镁及微量元素锰、铁、铜、锌为植物正常生长发育所必需的元素,与中药材的生长及入药部位药用功效密切相关。本研究中不同时期射干9种矿质元素的积累量差异显著,在全生育期内对氮肥和钾肥的需求较大,9种矿质元素积累总量大小顺序为氮>钾>磷>镁>钙>铁>锌>锰>铜,这与菊花^[10]、黄花蒿^[11]、南果梨^[12]、膜荚黄芪^[13]等中药材矿质元素积累分配规律相似。经分析计算,生产100 kg射干所需氮、磷、钾、钙、镁等元素量分别为

3.64、0.41、2.41、0.15、0.27 kg,故在生产管理上,应以氮肥和钾肥为主,适量施加磷肥,必要时可追加钙、镁元素。自播种到第1年生长期结束,射干对矿质元素的需求量不大。第2年返青期芽头新生,叶片新成,光合作用活跃,与之息息相关的氮、磷、钾、镁、铜、锌积累量明显增加。次年营养生长期,射干茎秆茎秆数量及高度增加,叶片大小及其数目增多,此时射干地上部分磷、钾、钙、镁和锌积累量增加。故实际生产管理上,为保证射干植株养分的供应及后期养分积累的顺利进行,可在返青期施加肥料。生殖生长期植株茎秆较多、顶端开始抽薹,各元素的需求率较高,生产中可根据需要进行适当的田间管理或追加肥料,若不考虑种子采集,在此之前应尽早打顶,防止进入抽薹期消耗养分;反之则追加氮肥和钾肥促进花蕾形成,追加磷肥提高射干开花率和结实率。

4.3 射干干物质、黄酮类成分累积与矿质元素需求关系 不同时期射干干物质积累量与9种矿质元素具有正相关关系,其中钾的干物质累积效率最高,其次为氮、磷、钙、镁及其他微量元素。由不同生育期射干矿质元素的吸收分配规律可知,不同时期射干对营养元素的需求不一,生产上应遵循射干养分需求规律合理适时适量施肥。射干幼苗期对养分需求不高,应减少前期基肥的施入,避免肥料的过量施入,缓解土壤压力。第2年射干生育期提前,4月即进入营养生长期;6月进入生殖生长期,实际生产中多采集二年生射干种子用于售卖或留种,故在此之前可追加氮、磷、钾肥保证射干正常抽薹、开花、结实;第2年11月生射干进入生长后期,根茎迅速膨大、干物质积累达到峰值。由成分含量与矿质元素积累量相关性分析可知,各矿质元素与射干中鸢尾黄素、野鸢尾黄素、次野鸢尾黄素存在不同程度的正相关关系,其中镁、锰对3种黄素类成分均呈正相关,微量元素锰、铁、铜、锌对野鸢尾黄素和次野鸢尾黄素存在正相关,可见微量元素对药用成分积累具有一定促进作用。因此可在射干进入次年生长后期前使用适量微肥,增加根茎中微量元素的含量,提高射干质量以便采收。

[利益冲突] 本文不存在任何利益冲突。

[参考文献]

- [1] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典:一部[M]. 北京:中国医药科技出版社,2020:297-298.
- [2] 谢铤子,纪树亮,钟彩婷,等. 射干麻黄汤治疗支气管哮喘急性发作的Meta分析和试验序贯分析[J]. 中草药,2020,51(22):5814-5824.
- [3] LIU J, ZHU J, JIANG H, et al. Dual-directional regulation of *Belamcanda chinensis* extract on ovalbumin-induced asthma in guinea pigs of different sexes based on serum metabolomics [J]. Evid Based Complement Alternat Med, 2022, 2022: 5266350.
- [4] 甘雨,乔敏,张宏,等. 射干提取物含药血清对豚鼠离体气管平滑肌收缩功能的影响[J]. 中国实验方剂学杂志,2012,18(7):164-166.
- [5] 孟培,王建华,宋振巧,等. 丹参氮、磷、钾积累分配特点及其与干物质、丹酚酸B积累的关系[J]. 植物营养与肥料学报,2013,19(4):940-945.
- [6] 祝丽香,王建华,耿慧云,等. 桔梗的干物质累积及氮、磷、钾养分吸收特点[J]. 植物营养与肥料学报,2010,16(1):197-202.
- [7] 张亚丽,王东青,尹晓峰. 微量元素与中药功效关系探讨[J]. 国医论坛,2012,27(6):20-21.
- [8] 谢明霞,李洁花,夏伯候,等. 基于UV-Vis指纹图谱结合化学计量学探讨不同采收期金银花的质量差异[J]. 中国实验方剂学杂志,2022,28(7):134-141.
- [9] 杨雅雯,刘勇,刘雨,等. 不同干燥方法对射干药材干燥特性、外观性状和有效成分的影响[J]. 中国中药杂志,2021,46(2):366-373.
- [10] 刘大会,郭兰萍,朱端卫,等. 菊花对氮、磷、钾、钙和镁营养吸收与分配规律的研究[J]. 中国中药杂志,2009,34(19):2444-2448.
- [11] 杨美权,刘大会,邵爱娟,等. 黄花蒿氮、磷、钾、钙、镁营养吸收分配规律研究[J]. 中草药,2013,44(19):2745-2752.
- [12] 刘秀春,陈丽楠,王炳华,等. 南果梨周年干物质与氮磷钾积累动态[J]. 植物营养与肥料学报,2016,22(3):786-793.
- [13] 王渭玲,王振,徐福利. 氮、磷、钾对膜荚黄芪生长发育及有效成分的影响[J]. 中国中药杂志,2008,33(15):1802-1806.

[责任编辑 顾雪竹]