

黄花蒿氮、磷、钾、钙、镁营养吸收分配规律研究

杨美权¹, 刘大会¹, 邵爱娟³, 陈美兰³, 金航¹, 杨野^{2*}

1. 云南省农业科学院药用植物研究所, 云南 昆明 650231

2. 昆明理工大学生命科学与技术学院, 云南 昆明 650050

3. 中国中医科学院中药研究所, 北京 100700

摘要: **目的** 研究黄花蒿植株干物质累积规律, 以及对氮、磷、钾、钙和镁营养吸收与分配规律, 并为制定黄花蒿科学施肥措施提供理论依据。**方法** 对黄花蒿不同生育期进行取样, 分别测定植株不同功能构件的干物质质量及氮、磷、钾、钙和镁的量。**结果** 移栽后前 40 d 为黄花蒿幼龄期, 干物质主要分配于叶片; 移栽 40~100 d 为营养生长期, 干物质主要分配于叶片及枝; 移栽 100~180 d 为生殖生长期, 其中 100~140 d 为生殖生长前期, 干物质主要分配于枝及花蕾, 140~180 d 为生殖生长后期, 干物质主要分配于枝和种子。黄花蒿幼龄期营养元素累积量最低; 营养生长期对各营养元素的吸收量开始增加, 主要分配于叶片和枝; 生殖生长前期仍主要分配于叶片, 但开始向花蕾转移; 生殖生长后期主要分配于种子。黄花蒿干物质总量与营养元素吸收量间呈显著正相关关系, 全生育期氮、钾、镁、钙、磷总累积量比约为 4.21 : 4.17 : 0.74 : 0.63 : 0.24。**结论** 黄花蒿幼龄期应少施肥, 以减少养分流失; 移栽 40~140 d, 黄花蒿进入快速生长阶段, 应及时追肥以满足植株对养分的需求, 尤以氮、钾和镁肥为主; 磷、钙和镁在 100~120 d 需求较大, 应尽早施入及在现蕾期喷施速效钙镁磷肥, 以保证花蕾的分化和种子的形成。

关键词: 黄花蒿; 干物质累积; 矿质营养; 吸收; 分配

中图分类号: R282.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-2670(2013)19-2745-08

DOI: 10.7501/j.issn.0253-2670.2013.19.022

Regularity of absorption and distribution of nitrogen, phosphorus, potassium, calcium, and magnesium in *Artemisia annua*

YANG Mei-quan¹, LIU Da-hui¹, SHAO Ai-juan³, CHEN Mei-lan³, JIN Hang¹, YANG Ye²

1. Institute of Medicinal Plants, Yunnan Academy of Agricultural Sciences, Kunming 650231, China

2. College of Life Science and Technology, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650050, China

3. Institute of Chinese Materia Medica, China Academy of Chinese Medical Sciences, Beijing 100700, China

Abstract: **Objective** To study the regularity of dry matter accumulation and its absorption and distribution of nitrogen (N), phosphorus (P), potassium (K), calcium (Ca), and magnesium (Mg) in *Artemisia annua*, and to provide a scientific fertilizer application for the standardized cultivation. **Methods** The sampling was carried out in the different growing periods of *A. annua* under field condition, and the amount of dry matter and the contents of N, P, K, Ca, and Mg in all parts of the plant were determined, respectively. **Results** The dry matter mainly distributed in leaves within 40 d after transplanting, and this period could be defined as seedling period. The period within 40—100 d could be defined as vegetative growth period and the dry matter mainly distributed in leaves and branches. The period within 100—180 d could be defined as reproductive growth period. And the period of 100—140 d could be defined as earlier reproductive growth period, and the dry matter mainly distributed in branches and flower buds during this time. The period of 140—180 d could be defined as later reproductive growth period, the dry matter mainly distributed in branches and seeds during this time. The accumulation of nutrition was the lowest in seedling period; but the uptake of nutrition increased in vegetative growth period, and mainly distributed in leaves and branches. Nutrition mainly distributed in leaves earlier reproductive growth period, but transferred to flower buds gradually. Nutrition mainly distributed in seeds in the later reproductive growth period. The dry matter accumulation lineally increased with the assimilation and accumulation of N, K, Mg, Ca, and P. The uptake proportion of them

收稿日期: 2013-04-06

基金项目: 国家科技基础性工作专项重点项目 (SB2007FY020)

作者简介: 杨美权, 高级农艺师, 主要从事药用植物种子、种苗标准研究。E-mail: ymquan_ok@sina.com

*通信作者 杨野, 讲师, 主要从事中药资源生态学研究。E-mail: yangyekm@163.com

was 4.21 : 4.17 : 0.74 : 0.63 : 0.24 in the whole growth period. **Conclusion** Low nutrition should be applied during seedling stage to controlling the loss of nutrition. During the period of 40—140 d after transplanting, *A. annua* grows quickly, and mineral nutrition must be supplied especially N and K. The maximum uptake period of P, Ca, and Mg is in 100—120 d, so Ca, Mg, and P fertilizers should be applied earlier or by foliage spray to promote the formation of flower buds and seeds.

Key words: *Artemisia annua* L.; dry matter accumulation; mineral nutrition; absorption; distribution

黄花蒿 *Artemisia annua* L. 是我国传统中药材, 主要用于提取青蒿素。因此青蒿素产量的提高有赖于黄花蒿产量和质量提高^[1], 合理施肥即为主要手段之一^[2]。作物科学施肥措施的制定建立在充分了解其养分吸收规律的基础上。因此, 揭示黄花蒿养分吸收规律对制定相应科学施肥措施意义重大。目前, 关于肥料对黄花蒿产量和质量的作用已有报道, 如王满莲等^[3]研究认为施肥可以显著促进黄花蒿生长; 杨水平等^[4]发现不同氮、磷、钾配比可以提高青蒿素产量; 韦美丽等^[5]对黄花蒿叶片氮、磷、钾的吸收规律进行了详尽的研究; 漆小雪等^[6]完成了广西地区黄花蒿养分吸收、分配规律及施肥特性研究, 并提出了适宜广西地区的黄花蒿合理施肥技术措施。

从黄花蒿种植气候适宜性上划分, 云南东部地区也属黄花蒿种植最适宜地区^[7], 目前云南已继重庆、广西之后成为我国黄花蒿新发展的基地集群, 种植面积已达 4 000 hm²^[8]。因此, 对云南地区人工栽培过程中黄花蒿的养分吸收与分配特性进行研究意义重大, 能够为制定黄花蒿优质高产施肥措施提供理论依据。本实验拟在大田条件下研究黄花蒿整株功能构件的干物质累积规律及其对氮、磷、钾、钙和镁等营养元素的吸收、累积、转运规律, 旨在揭示黄花蒿对营养的需求规律, 为其规范化种植、科学施肥提供理论依据。

1 材料与试验地

供试黄花蒿 *Artemisia annua* L. 品种由中国中医科学院中药研究所中国药用植物种质资源信息共享系统提供, 由云南省农业科学院药用植物研究所刘大会鉴定。供试地点为云南省农业科学院, 小哨试验基地。供试土壤为红壤, 基本理化性状: pH 5.57、有机质 5.06 g/kg、全氮 0.106%、全磷 0.049%、全钾 2.31%、碱解氮 61.0 mg/kg、有效磷 1.20 mg/kg、速效钾 72.0 mg/kg。

2 方法

2.1 栽培方法

2010年3月19日播种, 6月12日移栽。试验地面积为 240 m², 采用单行起垄种植, 株行距

为 60 cm × 100 cm, 种植密度为 1 100 株/667 m²。黄花蒿定植前基施复合肥 3 000 kg/hm² (N-P₂O₅-K₂O 10 : 7 : 8), 定植 30 d 后追施 60 kg/hm² 尿素和 75 kg/hm² 复合肥。田间管理措施同常规栽培措施。

2.2 干物质质量的测定

从 2010 年 6 月 12 日至 12 月 14 日, 每隔 20 d 分别取 10 株黄花蒿植物样品, 蒸馏水洗净后, 按叶、茎、枝、根、花蕾、种子等功能构件分开制样。各样品于 105 ℃ 烘箱中杀青 15 min, 70 ℃ 烘干称质量。

2.3 氮、磷、钾、钙和镁的测定

将烘干样品用小型植物粉碎机分别粉碎, 过 40 目筛。分别称取 0.2 g 植物样品, 用 H₂SO₄-H₂O₂ 法进行消化, 取消煮液用凯氏定氮法测氮, 钼锑抗比色法测磷, 火焰光度法测钾。称取 0.1 g 样品, 用 1 mol/L HCl 浸提过滤并定容, 滤液经适当稀释后用原子吸收分光光度法测定钙和镁。

2.4 数据分析

采用统计软件 SPSS 11.5 和 Microsoft Excel 2003 对实验数据进行处理和绘图。

3 结果与分析

3.1 黄花蒿干物质动态累积与分配规律

3.1.1 黄花蒿干物质动态累积规律 黄花蒿移栽后不同时期各主要功能构件干物质累积情况见图 1 和表 1。由图 1 可见, 移栽后的 40 d 内黄花蒿各功能

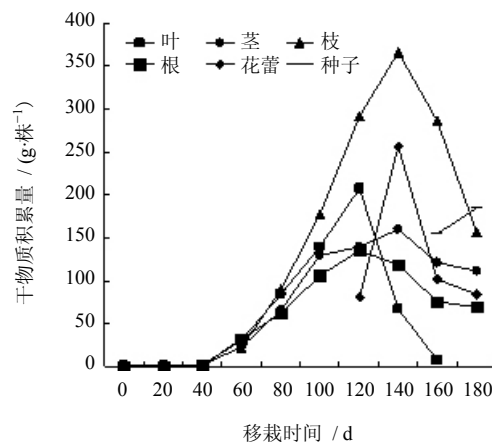


图 1 黄花蒿各功能构件干物质累积量

Fig. 1 Dry matter accumulation in each module of *A. annua*

表1 不同移栽时间下黄花蒿植株各功能构件干物质质量在整株中所占比例及阶段干物质累积率
Table 1 Proportion of dry matter of each module in whole plant of *A. annul* and accumulation percentage of dry matter in different transplantation periods

移栽时间 / d	叶 / %	茎 / %	枝 / %	根 / %	花蕾 / %	种子 / %	阶段累积率 / %
0	56.73	29.81	—	13.46	—	—	0.03
20	51.71	32.19	—	16.10	—	—	0.05
40	48.15	36.21	—	15.64	—	—	0.12
60	28.48	21.03	19.86	30.63	—	—	2.59
80	27.99	21.79	29.81	20.41	—	—	7.29
100	25.28	23.45	32.05	19.22	—	—	13.34
120	24.25	16.29	34.13	15.83	9.50	—	20.59
140	6.90	16.49	37.86	12.29	26.46	—	23.33
160	1.03	16.25	38.33	10.08	13.57	20.74	18.02
180	—	18.32	25.82	11.45	13.88	30.53	14.64

构件生长缓慢,干物质累积较少,叶、茎和根干物质累积量总和为7.95 g,阶段累积率总和仅为0.20% (表1),说明移栽后的前40 d黄花蒿尚处于幼龄期,此时合成代谢缓慢、养分累积较少。移栽40 d后,黄花蒿的干物质迅速累积,至移栽后的120~140 d,各功能构件的干物质累积量先后达到顶峰,移栽60、80、100、120、140 d单株干物质质量、干物质阶段累积率分别为第40天的22.12、62.23、113.79、175.70、199.05倍(图1)和21.58、60.75、111.17、171.58、194.42倍(表1),说明该阶段为黄花蒿快速生长阶段。此后单株干物质质量和干物质阶段累积率迅速下降,第180天比第140天分别减少360.49 g/株和8.69%。此外,黄花蒿生长过程中各功能构件干物质累积规律也存在较大差异。叶和根的干物质累积量于移栽后120 d最先达到顶峰,之后降低。而茎、枝及花蕾的最大干物质累积量出现在移栽后的140 d,而后呈显著下降趋势。说明,黄花蒿在移栽后120 d根和叶等功能构件的营养生长放缓,转而进入以花蕾为主的生殖生长。但由于合成枝、茎及花蕾的营养物质来源于叶和根,故其干物质累积高峰滞后于叶和根。

黄花蒿生长后期各功能构件(枝、花蕾、种子)干物质累积规律如图1和表1。枝在移栽后60 d左右生成,其最大干物质累积量出现在移栽后的140 d,为366.30 g/株。花蕾在移栽后120 d左右生成,第140天干物质累积量达到最高峰255.97 g/株,之后开始迅速下降,并保持在初花水平。说明黄花蒿盛花期出现在现蕾后的20 d,而后可持续开花。

种子在移栽后160 d左右生成,第180天取样结束时其干物质累积量最大,为185.30 g/株。由此可见,黄花蒿的生长规律为移栽的40 d为幼龄期,干物质累积较少;40~100 d为营养生长阶段,干物质迅速累积;100~180 d为生殖生长阶段,120 d左右现蕾,160 d结种,160 d后叶片全部脱落。

3.1.2 黄花蒿干物质动态分配规律 黄花蒿生育期内各功能构件干物质在整株中的分配规律见表1。叶所占比重随生育期推进,由移栽时的56.73%降到移栽160 d后的1.03%,表现出持续下降趋势,这说明由于黄花蒿叶以外的功能构件的生长造成了其在植株中所占比例相对下降;茎所占比例在移栽后表现为阶梯式下降,其0~40 d处于最高阶层,40~100 d下降到一个相对较高水平,100~180 d下降到另一个稳定水平,说明移栽后黄花蒿茎的干物质累积速度低于其他功能构件,故表现出相对比例下降。枝在出现后干物质累积比例表现出持续上升的趋势,从19.86%上升到38.33%,说明其干物质累积速度高于其他功能构件。根的变化表现为在移栽后的前40 d,所占比例保持在一个相对较低的水平,在60 d时达到最高,而后逐步降低,说明在移栽后的40~60 d黄花蒿根生长最快,故干物质累积最高,但60 d后根的生长速度相对降低,干物质累积速度相对变缓。进入生殖生长后,黄花蒿花蕾干物质累积在140 d达到高峰,之后下降;种子所占比例则持续上升。不同时期各功能构件的干物质分配量表现为,移栽后的40 d内,干物质主要分配于叶片,其次为茎,根最少;在40~100 d,干物质主要分

配于叶、枝,其次为根和茎;移栽后 100~180 d,干物质分配为枝>花蕾>茎>种子>根>叶。

3.2 黄花蒿不同生育期植株氮、磷、钾、钙、镁营养元素吸收和分配规律

3.2.1 黄花蒿不同功能构件各生育期植株氮、磷、钾、钙、镁营养元素吸收规律 黄花蒿不同生育期植株各功能构件氮、磷、钾、钙和镁营养元素吸收规律如表 2 所示。幼龄期,叶中氮量最高(3.90%~4.01%),其次为茎(1.11%~1.65%),根最少(1.05%~1.50%)。随着植株进入营养生长阶段,叶、茎、枝和根中氮量均逐渐降低,其分布规律表现为叶>枝>根>茎。进入生殖生长阶段后,叶、茎、枝和根的氮量继续下降,花蕾中的氮量表现为先上升后下降的趋势,140 d 最高为 3.36%,至第 180 天降为 1.75%;随着种子的不断成熟,氮量从 3.32%升至 3.58%;该阶段氮在各功能构件中的分配表现为花蕾>叶片>种子>根>枝>茎。幼龄期叶磷量为 0.06%~0.07%,其次为茎(0.02%~0.03%)和根(0.02%),说明此时叶是利用磷主要器官。植株进入营养生长阶段后,茎和根中磷量无显著变化,而转入叶和枝中的比例升高,说明磷优先运往新生功能构件。进入生殖生长阶段后,叶功能构件中磷量继续升高(0.17%~0.21%),枝、茎和根中磷营养量仍均无显著变化;花蕾中磷表现为初花期(120 d)较低(0.23%),盛花期(140 d)最高(0.32%),之后逐步降低的先上升后下降的趋势,至第 180 天降为 0.11%;随着种子的不断成熟,磷量从 0.26%升至 0.31%。

幼龄期叶中钾量为 3.69%~4.53%,其次为茎(3.66%~4.41%),根最少(2.51%~3.40%),说明此时叶是利用钾主要器官。植株进入营养生长阶段后,叶、茎和根中钾营养量均显著降低,这是由于伴随枝的出现,钾被优先运送到新生功能构件枝中。生殖生长阶段,叶、枝、茎和根中钾量均呈持续下降趋势,这是由于该阶段出现了花蕾和种子。花蕾中钾表现为初花期(120 d)较高(2.24%),结种期(160 d)变低(2.10%)的逐渐变低趋势;随着种子的不断成熟,钾量从 1.54%(160 d)升到 2.20%(180 d)。

幼龄期叶中钙量为 0.50%~0.64%,其次为茎(0.31%~0.45%),根最少(0.18%~0.32%),说明该阶段叶对钙的需求较大。营养生长阶段叶中钙量

略有上升(0.63%~0.68%),茎中钙量降低(0.26%~0.36%),根中钙营养量显著降低(0.18%~0.20%),说明枝的生长需要大量的钙,优先满足新生功能构件的需求。叶、茎和根中钙在生殖生长阶段均显著降低,这是由于该阶段出现了花蕾和种子,而该两者的生长需要大量的钙,并表现为随生长期的推进而不断升高的趋势,说明黄花蒿花蕾和种子的形成需要大量的钙。

幼龄期叶中镁量在 0.48%~0.51%,其次为茎(0.21%~0.36%),根最少(0.22%~0.28%),说明该阶段叶对镁的需求较大。进入营养生长阶段,叶镁量略有升高,而茎和根的量显著降低,总体上表现为叶>根>茎,说明枝的出现改变了镁的分布;枝中镁量的变化表现为随着生育期的推进而逐步升高。叶、枝、茎和根中镁量在生殖生长阶段较稳定;花蕾和种子中镁量呈随生育期推进而不断升高的趋势。说明黄花蒿花蕾和种子的形成需要大量的镁。

此可见,黄花蒿不同生育阶段对各元素的吸收存在较大差异(图 2)。幼龄期对 5 种营养元素的吸收量均处于较低水平,但进入营养生长阶段后,5 种元素的吸收量大幅提高,这与干物质累积动态基本一致。生殖生长阶段对各营养元素的吸收量相继达到顶峰,钾累积量最大值在移栽后 120 d,氮、磷、钙和镁最大累积量为移栽后 140 d,在各元素吸收量达到顶峰后均呈下降趋势。

黄花蒿植株全生育期中各营养元素总吸收量由高至低依次为氮、钾、镁、钙和磷(59 608.10、59 109.47、10 524.49、8 963.57、3 393.24 mg/株)。各元素累积量比例约为 4.21:4.17:0.74:0.63:0.24。生产中,黄花蒿每 666.7 m²大约定植种苗 1 100 株(株行距为 60 cm×100 cm),以干物质质量最大为采收期(140 d),在中等肥力条件下可生产黄花蒿药材约为 200 kg,则其植株至采收结束需从土壤中吸收氮 43.59 kg,磷 2.10 kg,钾 44.97 kg,钙 7.41 kg,镁 7.62 kg,即每生产 100 kg 黄花蒿药材需要 5 种元素量分别为 21.79、1.05、22.49、3.70、3.81 kg。

3.2.2 黄花蒿不同生育期植株各功能构件氮、磷、钾、钙和镁营养元素分配规律 黄花蒿不同生育期氮、磷、钾、钙、镁分配见图 3。由图可知,移栽后的 100~140 d,黄花蒿对 5 种营养元素的吸收量最高,分别占各元素全生育期吸收总量的 42.17%、50.29%、43.11%、40.89%和 41.97%,占 5 种营养元素全生育期吸收总量的 42.67%;氮、磷、

表2 黄花蒿不同功能构件氮、磷、钾、钙和镁营养分配规律

Table 2 Nutrients distribution of total N, P, K, Ca, and Mg in different modules of *A. annul*

移栽时间 / d	构件	N / %	P / %	K / %	Ca / %	Mg / %
0	叶	3.97	0.06	4.53	0.50	0.48
	茎	1.65	0.03	4.41	0.34	0.36
	根	1.05	0.02	3.40	0.18	0.22
20	叶	3.90	0.06	3.69	0.61	0.51
	茎	1.17	0.02	3.87	0.45	0.29
	根	1.50	0.02	2.70	0.32	0.28
40	叶	4.01	0.07	4.06	0.64	0.50
	茎	1.11	0.02	3.66	0.31	0.21
	根	1.28	0.02	2.51	0.29	0.23
60	叶	4.67	0.08	4.23	0.66	0.47
	枝	1.77	0.04	2.19	0.15	0.17
	茎	1.08	0.03	2.98	0.26	0.11
	根	1.11	0.03	2.45	0.20	0.11
80	叶	3.47	0.12	3.57	0.63	0.53
	枝	0.93	0.02	1.95	0.15	0.13
	茎	0.91	0.02	2.92	0.36	0.15
	根	1.10	0.02	1.65	0.18	0.16
100	叶	3.60	0.17	3.02	0.68	0.55
	枝	0.76	0.05	1.71	0.17	0.14
	茎	0.43	0.01	2.49	0.29	0.06
	根	0.58	0.01	1.43	0.20	0.17
120	叶	3.36	0.21	2.92	0.27	0.44
	枝	0.69	0.01	1.34	0.15	0.12
	茎	0.41	0.01	1.13	0.24	0.08
	根	0.62	0.01	1.04	0.15	0.15
140	花蕾	2.76	0.23	2.24	0.26	0.39
	叶	3.21	0.17	1.95	0.29	0.50
	枝	0.61	0.01	1.20	0.18	0.15
	茎	0.40	0.01	0.72	0.15	0.05
	根	0.54	0.01	1.16	0.12	0.14
160	花蕾	3.36	0.32	2.05	0.33	0.48
	叶	2.72	0.20	1.23	0.33	0.47
	枝	0.56	0.01	1.05	0.20	0.14
	茎	0.38	0.01	0.73	0.17	0.08
	根	0.59	0.01	1.23	0.07	0.11
180	花蕾	2.61	0.22	2.10	0.27	0.41
	种子	3.32	0.26	1.54	0.17	0.41
	枝	0.39	0.01	0.90	0.22	0.16
	茎	0.34	0.01	0.81	0.13	0.06
	根	0.56	0.01	0.96	0.08	0.14
	花蕾	1.75	0.11	1.92	0.31	0.54
	种子	3.58	0.31	2.20	0.26	0.53

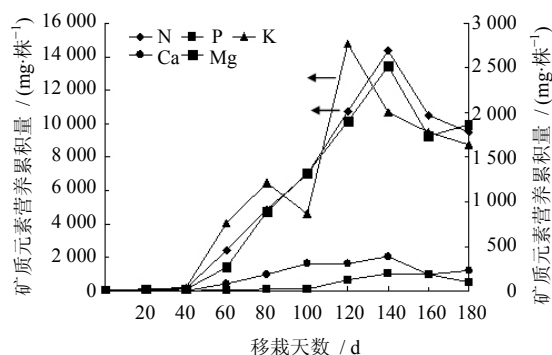


图2 黄花蒿植株对氮、磷、钾、钙和镁的吸收动态

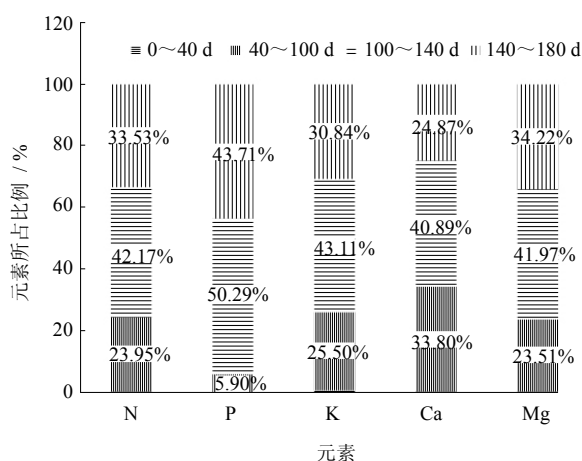
Fig. 2 Dynamic absorption of N, P, K, Ca, and Mg in *A. annul* plantlet

图3 不同生育期黄花蒿氮、磷、钾、钙、镁分配规律

Fig. 3 Nutrients distribution of N, P, K, Ca, and Mg during different growth periods of *A. annul*

钾和镁吸收量的次高时期为移栽后的140~180 d, 分别占全生育期各元素吸收总量的33.53%、43.71%、30.84%和34.22%, 占生育期5种元素吸收总量的比率为30.58%; 氮、磷、钾和镁40~100 d的吸收量低于140~180 d, 分别占全生育期各元素吸收量的23.95%、5.90%、25.50%和23.51%, 占全生育期5种元素吸收总量比率为22.62%; 钙的次高吸收量为移栽后的40~100 d, 占全生育期钙吸收总量的33.80%; 140~180 d的吸收量次之, 占全生育期钙吸收总量24.87%; 氮、磷、钾、钙和镁量在移栽后40 d最低, 各元素吸收比例分别为0.36%、0.11%、0.55%、0.43%和0.29%, 占全生育期5种矿质元素吸收总量的0.43%。上述数据表明, 氮、磷、钾和镁营养的最大效率期均为生殖生长前期, 其次为生殖生长后期, 再次为营养生长期, 幼龄期效率最低; 钙营养效率特征为生殖生长

前期>营养生长期>生殖生长后期>幼龄期。此外, 黄花蒿植株对5种营养元素的需求量均表现为生殖生长期>营养生长期>幼龄期。

3.3 黄花蒿养分积累量与干物质累积的关系

黄花蒿生育期内, 植株干物质累积总量与植株氮、磷、钾、钙和镁营养吸收累积总量呈显著正相关(相关系数分别为0.917 8、0.877 5、0.961 8、0.700 2和0.814 2, $P<0.05$)。从黄花蒿各营养元素与干物质累积的拟合直线斜率可见, 氮累积直线斜率最大, 其次为钾、镁、钙和磷, 说明氮的干物质生产效率最高, 其次为钾、镁、钙和磷。

4 讨论

4.1 黄花蒿植株干物质累积与分配规律

干物质是光合作用最终产物, 其累积、分配、转运与经济产量形成密切相关。黄花蒿全生育期内, 干物质累积速度总体上呈现慢-快-慢的变化趋势。不同时期各功能构件的干物质累积量也存在显著差异。在幼龄期, 各功能构件干物质累积增长较慢(0.20%); 随着生育期的推进, 黄花蒿进入营养生长阶段后, 干物质累积量大幅增加, 占全株干物质累积量的23.22%, 该阶段主要为以叶和根的生长为主要特征的营养生长; 生殖生长阶段前期植株干物质阶段累积量最高(43.92%), 该阶段以枝的生长为主, 其余各功能构件的干物质累积速度无显著差异; 生殖生长后期干物质累积略有下降(32.66%), 该阶段仍以枝的干物质累积量最大, 其次为种子, 随着植株的衰老, 叶片脱落后其所占比例仅为1.03%。

本研究表明, 黄花蒿在移栽后40~100 d为植株形态建成关键期, 该阶段以叶和根的快速生长为特征, 同时伴随枝的生长。因为叶和根是植物累积养分和吸收营养物质的基础, 同时黄花蒿枝的数量与青蒿素的产量密切相关^[9]。因此生产上应在此阶段特别注意黄花蒿叶和根功能构件的良好生长, 时刻关注植株土壤水分及营养元素的供应状态, 为植株枝的生长提供充足营养, 最终为叶和种子的高产打下基础。移栽后120 d为黄花蒿经济效益关键时期, 因为黄花蒿最高的产量时期出现在花芽分化期, 而进入现蕾期后黄花蒿的产量及青蒿素含量均急剧降低^[10], 所以生产实践中, 在移栽100 d后, 发现黄花蒿初现花芽时, 即可组织采摘, 以获得最佳的产品。但以种子为采收目标的植株, 生殖生长后期为最佳采收期。由于黄花蒿种子细小, 且成熟

后不及时采收会自行掉落,故应选择大部分种子成熟时采收。

4.2 黄花蒿营养元素累积与分配规律

氮、磷、钾、钙和镁是植物正常生长发育所必需的大、中量元素。本研究中5种营养元素在黄花蒿干物质生产中均发挥重要作用。但由于各营养元素及黄花蒿需肥特性的差异,生育期内各营养元素的吸收量存在较大差异。本试验中黄花蒿生育期内对5种元素需求的大小顺序为氮>钾>镁>钙>磷,各元素吸收比例为4.21:4.17:0.74:0.63:0.24。说明黄花蒿对氮、钾肥需求较大,此结论与漆小雪等^[6]研究结果基本一致。在生产管理上应根据土壤供肥状况合理满足黄花蒿对氮、钾肥的需求,并适当配施钙、镁、磷肥。

除养分吸收量不同外,不同营养元素在各功能构件中的分配也因生育期的推进而存在显著差异。幼龄期5种元素均主要分布于叶,且氮和钾的量显著高于其他3种元素。这可能是由于氮在植物叶中用于合成叶绿素,同时也是光合生理各类酶重要成分,而钾能促进叶绿素合成,提高CO₂同化率,增强光合产物运输,因此生长前期叶中氮、钾累积有利于植株叶片光合功能及产物正常运转,为后期物质累积提供先决条件。在营养生长阶段,各营养元素仍主要累积于叶,但氮、钾2种元素所占比例呈下降趋势,磷、钙和镁量小幅上升;根和茎中的氮、磷和钾所占比例也减少;枝的干物质累积量显著上升。由此可见,这种养分分配方式有利于枝的形成,因此生产中这一阶段要保证对植株的营养供应,并做好田间管理,从而促进枝的生成,提高黄花蒿产量。生殖生长前期,叶中氮、磷、钾、钙和镁量均下降,枝、茎和根中氮、钾量显著下降,其余3种元素无显著变化,说明伴随花蕾的出现,植株开始从营养生长转向生殖生长。因此,如果以叶为采摘目标,则应在此时期组织采摘,以免错过最佳采摘期而影响产量。如果以种子为收获目标,此时应加强需求量最大的氮和钾的供应,以促进花蕾形成和增加花蕾数量。至生殖生长后期,叶和枝中氮、钾比例持续下降,磷、钙和镁基本保持不变;茎中各营养元素量也基本保持不变;根中氮、钙、镁量基本保持不变,但磷和钾量呈下降趋势;花蕾中氮、磷和钾呈下降趋势,钙和镁量呈上升趋势。由此可见,黄花蒿在生殖生长后期,长势变弱,叶、枝、茎和根对养分的需求进一步变小,各元素量或趋

于稳定或变少,但作为种子形成关键时期,该阶段种子中各元素所占比例呈快速上升趋势。

4.3 黄花蒿干物质累积与营养元素吸收间关系

植物干物质的累积建立在对营养元素的吸收转化基础上,干物质累积与养分吸收的变化趋势基本相同。目前有关两者之间规律的研究在大田作物中较多,但在中药材中的研究仍相对较少。目前刘大会等^[11]对菊花的养分吸收与干物质累积关系研究发现,各营养元素吸收量与干物质累积间具有极显著正相关的关系。这些研究表明,各营养元素在施用范围内均会对中药材干物质累积产生积极影响。本研究也发现,氮、磷、钾、钙和镁5种元素的累积量与干物质累积存在显著的正相关关系。通过建立的相关性方程发现氮的干物质生产效率最高,其次为钾、镁、钙和磷。

综上所述,鉴于黄花蒿对5种营养元素吸收分配规律的独特性,生产中应遵循黄花蒿的需肥规律及生产目标来确定肥料用量和施肥措施。在施肥时期上,由于移栽后40 d内植株对养分吸收量小,可适当少施肥,以减少养分流失。在移栽后40~140 d,黄花蒿进入快速生长阶段,对各营养元素的吸收迅速增加,无论以叶为采收目的还是以种子为采收目的,均应及时足量追肥以满足植株对养分的需求,这一时期对氮、钾和镁肥需求极大,故追肥应以该3种肥料为主。在施用方式上,除应早施和生殖生长阶段初期重施外,还应分多次施用,以满足植株不同生育阶段的需求。磷在100~140 d生殖生长初期需求量较大,缺磷会影响花芽分化和产量^[11],但由于土壤磷具有易固定,利用率低,植株对磷肥吸收利用存在滞后性等特点^[12],应在生产上尽早施入适量磷肥并配以有机肥,增加土壤中磷的有效性,提高磷肥利用率^[13]。此外还可以在现蕾期以叶面喷施速效磷肥的方式及时补充磷,保证植株对磷的需求。钙和镁属中量元素,黄花蒿进入营养生长阶段后对这2种元素的需求一直较高,尤以生殖生长前期需求量最高,因此在基施钙镁肥的基础上,应在营养生长末期叶面喷施速效钙镁肥,以保证花蕾的分化和种子的形成。

参考文献

- [1] 钟国跃,周华蓉,凌云,等.黄花蒿优质种质资源的研究[J].中草药,1998,29(4):264-267.
- [2] 范振涛,马小军,张明庆.青蒿素产量影响因素的研究进展[J].中草药,2008,39(2):313-316.

- [3] 王满莲, 蒋运生, 韦 霄. 栽培密度和施肥水平对黄花蒿生长特性和青蒿素的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2010, 16(1): 185-190.
- [4] 杨水平, 杨 宪, 黄建国, 等. 氮磷钾肥和密度对青蒿生长和青蒿素产量的影响 [J]. 中国中药杂志, 2009, 34(18): 2290-2295.
- [5] 韦美丽, 陈中坚, 黄天卫, 等. 黄花蒿叶片氮磷钾吸收动态及影响因素研究 [J]. 特产研究, 2008(4): 40-42.
- [6] 漆小雪, 韦 霄, 陈宗游, 等. 黄花蒿干物质的积累及青蒿素与N、P、K量的动态变化研究 [J]. 中草药, 2011, 42(12): 2541-2544.
- [7] 张小波, 郭兰萍, 黄璐琦. 我国黄花蒿中青蒿素含量的气候适宜性等级划分 [J]. 药学学报, 2011, 46(4): 472-478.
- [8] 韦美丽, 黄天卫, 孙玉琴, 等. 云南气候条件下黄花蒿种子生物学测定 [J]. 中国种业, 2009(12): 39-41.
- [9] 刘大会, 杨美权, 邵爱娟, 等. 青蒿植株青蒿素含量和总量与农艺性状的相关及通径分析 [J]. 中国中药杂志, 2010, 35(21): 2801-2807.
- [10] 谷安宇, 李绍平, 杨丽英, 等. 云南栽培黄花蒿最佳采收期确定及干燥方法研究 [J]. 西南农业学报, 2008, 21(6): 1682-1684.
- [11] 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): 9-13.
- [12] 黄建国. 植物营养学 [M]. 北京: 中国林业出版社, 2003.
- [13] 刘建玲, 廖文华, 张作新, 等. 磷肥和有机肥的产量效应与土壤积累磷的环境风险评价 [J]. 中国农业科学, 2007, 40(5): 959-965.