

延胡索干物质累积及氮、磷、钾养分吸收规律

王梦苒¹, 王朝辉^{1,2}, 郑险峰^{1*}, 黄冬琳¹

(1. 西北农林科技大学 资源环境学院 农业部西北植物营养与农业环境重点实验室, 陕西 杨凌 712100;
2. 西北农林科技大学 旱区作物逆境生物学国家重点实验室, 陕西 杨凌 712100)

[摘要] **目的:**研究不同产量水平下延胡索干物质累积及其氮、磷、钾养分吸收特点,旨在揭示延胡索养分吸收规律,为延胡索高产栽培和科学施肥提供理论依据。**方法:**以城固延胡索为试验材料,连续2年在延胡索各生育时期对陕西省城固县8个乡镇106个种植户的样品进行采样分析,测定各器官干物质累积量及氮、磷、钾吸收量。**结果:**延胡索地上部表现为先增加后降低的趋势,而延胡索地下部则呈直线增加趋势。幼苗期至花期末是地上部旺盛生长阶段,干物质累积较快,占全生育期26.7%~44.1%。花期末地上部累积量达到最高,进入膨大期地上部茎叶开始枯萎及养分转移,干物质累积量有所降低。初花期至膨大期是地下部迅速膨大阶段,其累积量占全生育期50.3%~87.5%;至收获期地下部干物质达到最高值,占全株78.5%~79.8%。延胡索不同生育时期对氮、磷、钾养分吸收量有差异,幼苗期至花期末是地上部养分吸收迅速阶段,于花期末达到峰值,以钾吸收最多,氮次之,磷最少。初花期至膨大期是地下部对养分吸收高峰期,以吸氮量最高,钾次之,磷最低。**结论:**综合延胡索各器官和全株需肥规律及肥料特性,建议该地区栽培延胡索时,应在前期将全部有机肥和磷肥投入土壤中;氮肥和钾肥可以在前期投入总量40%~50%,其余的后期追肥,以保证延胡索正常生长,从而达到延胡索高产。

[关键词] 延胡索; 干物质累积; 氮; 磷; 钾

[中图分类号] S567.53;282.2;R931.2;R22;R2-03;R243 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1005-9903(2018)07-0045-06

[doi] 10.13422/j.cnki.syfjx.20180711

[网络出版地址] <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3495.R.20180116.1340.002.html>

[网络出版时间] 2018-01-17 9:27

Dry Matter Production of *Corydalis yanhusuo* and Accumulation and Distribution of N, P and K

WANG Meng-ran¹, WANG Zhao-hui^{1,2}, ZHENG Xian-feng^{1*}, HUANG Dong-lin¹

(1. College of Natural Resources and Environment, Northwest A&F University, Key Laboratory of Plant Nutrition and Agro-environment in Northwest China, Ministry of Agriculture, Yangling 712100, China;

2. State Key Laboratory of Crop Stress Biology in Arid Areas, Northwest A&F University, Yangling 712100, China)

[Abstract] **Objective:** *Corydalis yanhusuo* is a type of traditional Chinese medicine. A field experiment was conducted to study the dry matter production and the accumulation and distribution of N, P and K in *C. yanhusuo* for the purposes of revealing the nutrients absorption regularity of *C. yanhusuo*, and providing guidance to famers for scientific cultivation and fertilization. **Method:** *C. yanhusuo* samples of 106 farmers from 8 towns in Chenggu county, Shaanxi province, were analyzed for two consecutive years. And the absorption of nutrients, such as nitrogen, phosphorus, potassium and dry matter accumulation were analyzed and determined at each growth stage of *C. yanhusuo*. **Result:** The dry matter of *C. yanhusuo* shoots increased at first and then decrease, while the dry matter of *C. yanhusuo* corms increased throughout the whole growth period. From the seedling stage to the end of the flowering stage, the dry matter accumulated rapidly, which accounted for 26.7% to 44.1% of the total dry

[收稿日期] 20170814(013)

[基金项目] 西北农林科技大学资源环境学院土壤作物中微量元素研究中心建设专项

[第一作者] 王梦苒,在读硕士,从事元胡养分吸收研究,E-mail: wangmengran1126@163.com

[通信作者] *郑险峰,硕士生导师,副教授,从事旱地土壤培肥研究,E-mail: zxfeng@nwsuaf.edu.cn

matter. At the end of the flowering stage, biomass of *C. yanhusuo* shoots reached the maximum. During the corm expanding stage, as the nutrients of shoots started to transfer, the dry matter decreases. From the early flowering stage to the expanding stage, corms expended quickly, accumulating 50.3% to 87.5% of the total dry matter. Corms biomass reached the maximum, accounting for 78.5% to 79.8% of the total biomass of the whole plant. The absorptive amounts of N, P and K at each growth stage were different. *C. yanhusuo* shoots absorbed nutrients quickly from the seedling stage to the flowering stage, reaching the peak at the end of the flowering stage, with N as the largest proportion, K the second largest proportion and P the least proportion. *C. yanhusuo* corm absorbed nutrients rapidly from the early flowering stage to the expanding stage, with K the largest proportion, N the second largest proportion and P the least proportion. **Conclusion:** We suggest that manure and phosphorus shall be applied as basal fertilizers, while N and K could be split, with 40% -50% as basal fertilizer and the left applied for a better yield of *C. yanhusuo*.

[Key words] *Corydalis yanhusuo*; dry matter accumulation; nitrogen; phosphorus; potassium

延胡索(*Corydalis yanhusuo*)又名元胡、玄胡,是罂粟科紫堇属多年生草本植物,以干燥块茎入药,性温,味辛、苦,具有活血、利气、止痛的功效^[1],为大宗常用中药。延胡索原产于浙江,引种至陕西汉中至今约有 40 年历史,到目前已发展成为延胡索主产区之一。延胡索生育期较短,管理相对简单,经济效益好。为了获得更高的收益,生产者往往盲目大量施肥,既降低了肥料的利用率,也不利于延胡索可持续生产。关于药用植物干物质累积和氮磷钾养分吸收及分配特点的研究,已有半夏、桔梗、丹参、白术、当归、枸杞子等的报道^[2-11],对指导中药材合理施肥起到了十分重要的作用。关于提高延胡索产量的措施研究较多,如维持充足土壤水分^[12-13]、遮荫^[14-16]、喷施 ABT 生根粉^[15,17]等。有关延胡索施肥,徐春梅^[18]研究初步提出延胡索产量和品质均与施肥量及氮磷钾投入比例有关。有文献报道^[19-20],在汉中地区,亩施 N 14.8 ~ 15.7 kg, P₂O₅ 9.2 ~ 12.1 kg, K₂O 15.8 ~ 17.3 kg 时延胡索产量最高。然而对延胡索干物质累积及养分吸收利用规律未见报道。本文在陕西省城固县随机选取 106 个延胡索种植田块进行采样,研究了不同产量水平延胡索的干物质累积和氮磷钾吸收利用规律,旨在揭示延胡索的干物质累积、氮磷钾营养元素吸收利用与产量形成的关系,了解延胡索的产量形成与养分需求特性,为延胡索高产栽培、科学施肥提供理论依据。

1 材料

于 2014 年 9 月—2016 年 5 月,在陕西城固(北纬 32°45' ~ 33°40', 东经 107°3' ~ 107°30')选代表性种植田块,采取延胡索与对应田块的土壤样品。该区域属北亚热带湿润季风气候,以延胡索-水稻轮作为主,一年两熟,年均气温 14.4 °C,降水量达到

781.5 mm,气候温暖,雨量充沛,土壤肥沃,以水稻土居多。采集的 106 个田块 0 ~ 20 cm 土壤基本理化性状的平均值见表 1。

表 1 延胡索土壤基础理化性状

Table 1 Basic physical and chemical properties of *Corydalis yanhusuo* soil

年份	产量	pH (H ₂ O)	有机质 /g·kg ⁻¹	全 N /g·kg ⁻¹	速效氮 /mg·kg ⁻¹	速效磷 /mg·kg ⁻¹	速效钾 /mg·kg ⁻¹
2015	高产	4.7	28.0	1.4	0.7	112.9	64.5
	中产	5.3	18.8	1.4	0.2	71.0	52.5
	低产	6.0	19.8	1.3	0.1	30.9	59.0
2016	高产	5.3	22.4	1.4	1.6	78.7	76.6
	中产	5.4	26.4	1.6	2.7	60.3	62.6
	低产	5.6	25.9	1.3	1.7	36.5	46.9

选择播期基本一致的田块采样,2015 年播期为 9 月 20 日—9 月 23 日;2016 年播期为 9 月 30 日—10 月 3 日,播种后翌年 2 月下旬出苗,4 月下旬至 5 月上旬收获,整个生育期约 210 d。延胡索种植前,整地做畦,畦宽 1.2 ~ 1.5 m,畦高 20 cm,畦间距为 15 ~ 25 cm,在畦面上种植延胡索,株行距为 8 cm × 13 cm,种植密度约为每公顷 70 万株,播种深度 6 ~ 8 cm。

2 方法

2.1 采样 采样地点为陕西城固的五堵镇、孙平、三合、董家营、上元观、柳林、沙河营及龙头 8 个乡镇,依据延胡索种植户常年产量,在每个采样地点选择高、中、低 3 组产量水平的田块,田间采样第一年高、中、低产组块分别为 16, 19, 17 个,第二年高、中、低产组分别为 22, 26, 6 个。延胡索忌连作,两年采样田块不重复。在不同生育期采集延胡索植株和对应田块播前土壤样品。

2.1.1 延胡索产量分级方法 组距 = (最高产 - 最低产)/组数;低产组:最低产 ~ 最低产 + 组距;中产组:最低产 + 组距 ~ 最低产 + 组距 × 2;高产组:最低产 + 组距 × 2 ~ 最高产。

2.1.2 延胡索植株的采样方法 分别于幼苗期(3月8日),初花期(3月20日),花期末(3月30日),地下部膨大期(4月12日)和成熟期(4月20日),在各采样田块随机选取 20 株长势一致且无病的植株进行整株采样,同时在收获期每个田块随机选取 3 个 1.0 m² 的样方,进行计产。

采集的延胡索植株装入标记好的塑料袋带回,自来水洗净后用吸水纸将植株表面多余水分吸干,迅速将地下部与地上部剪开,标记好后分别放入 105 ℃ 烘箱杀青 30 min,然后将温度调至 65 ℃ 烘至恒重,冷却称质量,计算延胡索各器官干物重。用球磨仪将各器官粉碎后,以浓 H₂SO₄-H₂O₂ 法消煮,AA3 型连续流动分析仪测定全氮、全磷含量,火焰光度计测定钾含量。

2.1.3 延胡索土壤的采样方法 延胡索播种前于试验地块采用 5 点混合法取 0 ~ 20 cm 基础土样,测定土壤含水量,然后风干分别过 1 mm 和 0.25 mm 筛。硝铵态氮用 1 mol·L⁻¹ 氯化钾浸提,AA3 连续流动分析仪测定;有效磷用 0.5 mol·L⁻¹ 碳酸氢钠提取,钼锑抗比色法;速效钾用 1 mol·L⁻¹ 乙酸铵提取,火焰光度法;有机质用油浴加热,重铬酸钾容量法;全氮用浓硫酸消煮,半微量开氏法;pH(水土比为 2.5:1)用电位法^[21]。

地上部氮(磷、钾)吸收量(kg·h⁻¹m⁻²) = 茎叶含氮(磷、钾)量(g·kg⁻¹)茎叶干重(kg·h⁻¹m⁻²)/1 000;延胡索地下部氮(磷、钾)吸收量(kg·h⁻¹m⁻²) = [母延胡索含氮(磷、钾)量(g·kg⁻¹) × 母延胡索干重(kg·h⁻¹m⁻²) + 子延胡索含氮(磷、钾)量(g·kg⁻¹) × 子延胡索干重(kg·h⁻¹m⁻²)]/1 000;百公斤产量氮(磷、钾)需求量(kg) = [地上部氮(磷、钾)吸收量 + 地下部氮(磷、钾)吸收量](kg·h⁻¹m⁻²) × 100/产量(kg·h⁻¹m⁻²)。

2.2 数据处理 采用 Excel 2007 进行数据计算,SPSS 17.0 软件进行统计分析。

3 结果与分析

3.1 延胡索产量与干物质累积 延胡索地上部干物质随生育期后延先升高后降低,而地下部呈不断增加趋势,见表 2。幼苗期到初花期,延胡索生长主要集中在地上部,其干物质累积量占全株 65.4% ~ 73.6%。初花期至花期末植株干物质迅速增加,地

上部干物质累积量达峰值,占全株 44.7% ~ 52.4%,此时地下部块茎迅速生长。花期末后,地下部块茎快速膨大,地上部干物质开始呈下降趋势。两年平均结果表明,地上部干物质累积量在花期末达到最高,介于 1 168 ~ 1 293 kg·h⁻¹m⁻²,高、中、低产组间差异不显著;2016 年地上部干物质累积在花期末达最高,介于 1 044 ~ 1 210 kg·h⁻¹m⁻²,高产分别比中、低产高出 13.4%,15.9%;2015 年地上部干物质累积则在膨大期达到最高,介于 1 331 ~ 1 734 kg·h⁻¹m⁻²,高产组比中、低产组提高 21.0%,30.3%。延胡索地下部干物质平均值在收获期达最高,介于 2 299 ~ 3 500 kg·h⁻¹m⁻²,高、中、低产组间差异显著。2016 年成熟期地下部产量介于 2 264 ~ 3 386 kg·h⁻¹m⁻²,高产比中、低产高出 22.3%,49.6%;2015 年地下部产量介于 2 353 ~ 4 002 kg·h⁻¹m⁻²,高产比中、低产高出 38.3%,70.1%。成熟期中、低产地地下部干物质较膨大期有所下降。可见,不同产量水平的延胡索干物质累积进程一致,但干物质累积多少存在差异,较高的地上部干物质是延胡索产量提高的物质基础。

表 2 延胡索产量与干物质累积动态

Table 2 Corydalis Rhizoma yield and dry matter accumulation dynamics kg·h⁻¹m⁻²

年份	生育期	地上部			地下部		
		高产 ^a	中产 ^a	低产 ^a	高产 ^a	中产 ^a	低产 ^a
2015	幼苗期	502 ^{dA}	522 ^{cA}	440 ^{cA}	155 ^{dA}	170 ^{cA}	160 ^{cA}
	初花期	891 ^{cA}	770 ^{bB}	708 ^{bB}	334 ^{dA}	400 ^{cA}	379 ^{cA}
	花期末	1 407 ^{bA}	1 363 ^{aA}	1 213 ^{aA}	1 560 ^{cA}	1 643 ^{bA}	1 497 ^{bA}
	膨大期	1 734 ^{aA}	1 433 ^{aB}	1 331 ^{aB}	3 232 ^{bA}	3 266 ^{aA}	2 742 ^{aB}
2016	成熟期	1 217 ^{bA}	782 ^{bAB}	496 ^{bCB}	4 002 ^{aA}	2 893 ^{aAB}	2 353 ^{aB}
	幼苗期	436 ^{dA}	367 ^{dAB}	343 ^B	177 ^{cA}	163 ^{cA}	147 ^{cA}
	初花期	857 ^{bCA}	806 ^{bA}	740 ^{bA}	529 ^{dA}	400 ^{dB}	381 ^{cB}
	花期末	1 210 ^{aA}	1 067 ^{aA}	1 044 ^{aA}	1 244 ^{cA}	969 ^{cB}	958 ^{bB}
2016	膨大期	960 ^{bA}	863 ^{bA}	829 ^{bA}	2 850 ^{bA}	2 259 ^{bB}	2 141 ^{aB}
	成熟期	809 ^{cA}	710 ^{cA}	720 ^{bA}	3 386 ^{aA}	2 768 ^{aB}	2 264 ^{aB}

注:延胡索地上部包括茎、叶,地下部包括子延胡索和母延胡索。小写字母表示同年不同时期具有显著差异 P < 0.05,大写字母表示同一时期,高、中、低产间数据具有显著差异 P < 0.05(表 3 ~ 5 同)。

3.2 延胡索养分吸收及分配比例

3.2.1 延胡索氮吸收分配规律 不同生育时期延胡索各器官吸氮量因年份不同差异较大,见表 3。总体来看,延胡索完整生育期内,地上部氮累积量呈

先升高后降低趋势。幼苗期为地上部氮吸收关键期,累积量占全株的 84.7%~85.4%。幼苗期到花期末地上部氮累积量呈稳定增加,较幼苗期净累积量有所降低。于花期末达峰值,2016 年地上部氮累积量为 41.1~46.0 kg·h⁻¹m⁻²,高产较中、低产高出 11.8% ($P > 0.05$),2015 年高产组氮累积则在膨大期达峰值,累积量为 50.2~63.2 kg·h⁻¹m⁻²,高产组比中、低产组提高 10.3%,25.9%,具有显著性差异 ($P < 0.05$)。成熟期养体中氮累积量随着植株枯萎而减少,占全株 27.2%~29.5%。延胡索地下部块茎吸氮量随着生育进程不断增加,幼苗期到初花期,氮累积量呈缓慢增加趋势。初花期到膨大期是延胡索块茎迅速膨大阶段,地下部氮累积最快,呈直线上升,花期末至膨大期氮增长速率是初花期至花期末的 1.4~2.0 倍。2015 年中、低产组延胡索地下部氮累积量在膨大期达最高,高产组则维持到成熟期,高产组较中、低产组提高 45.9%,75.0%,具有显著性差异 ($P < 0.05$)。2016 年延胡索地下部吸氮量均在成熟期最高,为 41.5~60.0 kg·h⁻¹m⁻²,高产组比中、低产组提高 14.7%,44.6%。由此可知,不同年份延胡索各器官吸氮量有差异,但总体趋势一致,且生育期内地上部吸氮量均处于较高水平,为延胡索高产提供充足养分。

表 3 延胡索各器官氮吸收动态

Table 3 Dynamic accumulation of nitrogen in different organs of *Corydalis yanhusuo*

年份	生育期	地上部			地下部		
		高产	中产	低产	高产	中产	低产
2015	幼苗期	31.8 ^{cA}	31.9 ^{bCA}	27.0 ^{bCA}	4.9 ^{dA}	4.6 ^{cA}	4.4 ^{cA}
	初花期	47.5 ^{bA}	38.0 ^{bB}	34.1 ^{bB}	9.3 ^{dA}	9.1 ^{cA}	8.7 ^{cA}
	花期末	63.2 ^{aA}	57.3 ^{aB}	50.2 ^{aB}	35.7 ^{cA}	34.1 ^{bA}	30.9 ^{bA}
	膨大期	65.2 ^{aA}	51.6 ^{aB}	45.0 ^{aB}	77.5 ^{bA}	70.8 ^{aA}	58.9 ^{aB}
	成熟期	40.8 ^{bCA}	22.3 ^{cAB}	18.4 ^{cB}	93.8 ^{aA}	64.3 ^{aAB}	53.6 ^{aB}
2016	幼苗期	23.9 ^{cdA}	20.0 ^{dAB}	18.8 ^{cB}	4.5 ^{dA}	4.4 ^{dA}	4.3 ^{cA}
	初花期	34.6 ^{bA}	35.7 ^{bA}	31.7 ^{bA}	9.1 ^{dA}	8.6 ^{dA}	8.6 ^{cA}
	花期末	46.0 ^{aA}	41.7 ^{aA}	41.1 ^{aA}	22.5 ^{cA}	18.8 ^{cB}	19.2 ^{bB}
	膨大期	28.4 ^{cA}	28.2 ^{cA}	27.6 ^{bA}	47.3 ^{bA}	40.7 ^{bA}	40.2 ^{aA}
	成熟期	21.1 ^{dA}	20.1 ^{dA}	20.2 ^{cA}	60.0 ^{aA}	52.3 ^{aAB}	41.5 ^{aB}

3.2.2 延胡索磷素吸收分配规律 由表 4 可知,生育期内延胡索各器官对磷的需求均处于较低水平。无论从一年或两年平均值来看,地上部吸磷量表现为单峰趋势。幼苗期地上部磷净累积最高。幼苗期至花期末地上部磷累积呈缓慢增加,到花期末磷累

积达到最高,2015 年总磷累积量为 3.7~5.1 kg·h⁻¹m⁻²,高产组比中、低产组显著高出 27.5%,37.8%,2016 年为 3.1~3.9 kg·h⁻¹m⁻²。花期末至膨大期,随着地上部干物质减少,磷累积量呈下降趋势,2015 年下降 3.9%~16.2%,2016 年降低 41.1%~46.1%,具有显著性差异 ($P < 0.05$)。进入成熟期,地上部磷含量占全株 15.6%~17.8%。延胡索地下部吸磷量随着生育进程呈直线上升趋势。初花期前,地下部磷累积比较缓慢。初花期至膨大期,磷累积量最高,高产组、中产组、低产组分别占全生育期 59.8%,73.6%,72.8%,具有显著性差异 ($P < 0.05$)。2015 年中、低产组地下部磷累积量在膨大期达峰值,中、低产组比高产组低 13.3%,26.7%,而高产组则维持到成熟期,较上一时期增加 20%。2016 年磷累积量则在成熟期最高为 5.7~8.5 kg·h⁻¹m⁻²,高产组较中、低产组高出 28.8%,49.1%。

表 4 延胡索各器官磷吸收动态变化

Table 4 Dynamic accumulation of phosphorus in different organs of *Corydalis yanhusuo*

年份	生育期	地上部			地下部		
		高	中	低	高产	中产	低
2015	幼苗期	2.4 ^{cA}	2.5 ^{bA}	2.2 ^{bA}	0.5 ^{dA}	0.5 ^{dA}	0.5 ^{cA}
	初花期	4.1 ^{bA}	3.3 ^{aB}	3.0 ^{aB}	1.1 ^{dA}	1.1 ^{dA}	1.1 ^{cA}
	花期末	5.1 ^{aA}	4.0 ^{aB}	3.7 ^{aB}	4.8 ^{cA}	4.6 ^{cA}	4.3 ^{bA}
	膨大期	4.9 ^{abA}	3.6 ^{aB}	3.1 ^{aB}	10.5 ^{bA}	9.1 ^{aAB}	7.7 ^{aB}
	成熟期	2.9 ^{cA}	1.4 ^{cB}	1.2 ^{cB}	12.6 ^{aA}	7.4 ^{bB}	6.5 ^{aB}
2016	幼苗期	2.2 ^{bA}	1.7 ^{bB}	1.5 ^{bB}	0.6 ^{cA}	0.5 ^{dA}	0.5 ^{cA}
	初花期	3.5 ^{aA}	3.4 ^{aA}	2.8 ^{aA}	1.5 ^{dA}	1.2 ^{dB}	1.1 ^{cB}
	花期末	3.9 ^{aA}	3.4 ^{aA}	3.1 ^{aA}	3.5 ^{cA}	2.6 ^{cB}	2.5 ^{bB}
	膨大期	2.1 ^{bA}	1.9 ^{bA}	1.8 ^{bA}	7.3 ^{bA}	5.5 ^{bB}	5.2 ^{aB}
	成熟期	1.4 ^{cA}	1.3 ^{cA}	1.3 ^{bA}	8.5 ^{aA}	6.6 ^{aB}	5.7 ^{aB}

3.2.3 延胡索钾吸收分配规律 延胡索植株钾吸收趋势与氮一致,见表 5,需求量较高,不同生育时期地上部钾累积量均高于地下部。不同年份或两年平均值,幼苗期至花期末地上部吸钾量呈梯度增加,于花期末达到最高值,2016 年累积量为 58.5~72.9 kg·h⁻¹m⁻²,高产组较中、低产组高出 16.1%,24.6%,差异显著;2015 年累积量为 91.6~99.5 kg·h⁻¹m⁻²,而高产田延后至膨大期,较上一时期显著增加 20.0%。之后,随着植株枯萎,累积量降低。至成熟期,高产组地上部钾累积量显著高于

中、低产组,2015 年为 88.3%,243.4%,2016 年为 24.1%,42.3%,此时期地上部钾累积量占全株 57.2%~62.4%。2015 年延胡索地下部钾累积与两年平均趋势相同,幼苗期到初花期,地下部吸收呈稳定增加趋势 75.1%,74.0%。初花期至膨大期钾吸收量较上一时期成倍增加,吸收量占地下部钾总量 64.2%。高产组钾累积量在成熟期最高;中、低产组则在膨大期,至成熟期降低 11.1%,18.7%。2016 年高产组与中产组地下部钾累积量在成熟期最高,低产组累积量较上一时期有所下降。说明延胡索地上部钾高累积量有利于提高延胡索产量,同时成熟期植株钾大部分残留在地上部中,损失严重。

表 5 延胡索各器官钾吸收动态变化

Table 5 Dynamic accumulation of potassium in different organs of *Corydalis yanhusuo* $\text{kg}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$

年份	生育期	地上部			地下部		
		高产 ^a	中产 ^b	低产 ^c	高产 ^a	中产 ^b	低产 ^c
2015	幼苗期	27.8 ^{dA}	31.4 ^{bA}	26.9 ^{bCA}	3.0 ^{cA}	3.0 ^{cA}	3.0 ^{dA}
	初花期	55.1 ^{cA}	48.7 ^{bA}	45.9 ^{bA}	6.6 ^{dA}	6.3 ^{cA}	6.2 ^{dA}
	花期末	91.6 ^{abA}	99.5 ^{aA}	95.6 ^{aA}	15.6 ^{cA}	15.4 ^{bA}	15.0 ^{cA}
	膨大期	109.9 ^{aA}	92.7 ^{aA}	89.9 ^{aA}	28.4 ^{bA}	29.8 ^{aA}	26.7 ^{aA}
2016	成熟期	77.6 ^{bA}	41.2 ^{bAB}	22.6 ^{cB}	34.7 ^{aA}	26.5 ^{aA}	21.7 ^{bA}
	幼苗期	32.3 ^{cA}	28.1 ^{cAB}	23.5 ^{bB}	3.3 ^{dA}	3.1 ^{cA}	3.0 ^{cA}
	初花期	48.0 ^{bA}	43.9 ^{bA}	39.4 ^{bA}	6.7 ^{cA}	6.0 ^{dA}	6.0 ^{cA}
	花期末	72.9 ^{aA}	62.8 ^{aAB}	58.5 ^{aB}	12.7 ^{bA}	10.4 ^{cB}	10.1 ^{bB}
	膨大期	50.6 ^{bA}	44.7 ^{bA}	39.7 ^{bA}	24.3 ^{aA}	19.2 ^{bB}	18.3 ^{aB}
成熟期	39.7 ^{cA}	32.0 ^{cAB}	27.9 ^{bB}	26.6 ^{aA}	22.4 ^{aAB}	17.6 ^{aB}	

3.3 延胡索的百公斤养分需求量 尽管延胡索的养分需求量见表 6。因年份不同有较大变异,但变化趋势相同,每形成 100 kg 干延胡索所需养分为 N 2.56~5.68 kg, P₂O₅ 0.71~1.35 kg, K₂O 2.52~7.78 kg,均表现为低产>中产>高产。前后两年延胡索对氮、磷养分需求基本一致,对钾的需求差异明显,前一年为 4.21~7.78 kg,后一年为 2.52~4.65 kg。总体表现为高产农户的养分需求量低,低产农户的养分需求量反而高,说明延胡索栽培需特别注意各生育阶段氮、钾养分的供应,优化施肥与栽培技术可以提高延胡索的养分生产效率。

4 讨论

本研究表明,两年高、中、低产组延胡索干物质累积差异较大。第一年延胡索产量高于第二年,这与播种时间、病害及农户管理有关。高、中、低产

表 6 延胡索百公斤产量养分需求量($\bar{x}\pm s$)

Table 6 Nutrient requirement of 100 kg yield of *Corydalis yanhusuo* ($\bar{x}\pm s$) kg

年份	产量	n	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
2015	低产	17	5.68±0.40	1.35±0.03	7.78±0.51
	中产	19	3.66±0.14	1.03±0.02	5.24±0.20
	高产	16	3.01±0.12	0.89±0.09	4.21±0.16
2016	低产	6	5.41±1.27	1.33±0.09	4.65±0.57
	中产	26	3.17±0.14	0.80±0.02	2.87±0.10
	高产	22	2.56±0.14	0.71±0.02	2.52±0.11

组间地下部干物质累积有差异,这是由于前期地上部干物质累积量不同造成的。2015 年地上部干物质累积在膨大期达到最高值,高、中、低产组分别为 1 734,1 433,1 331 $\text{kg}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$;2016 年地上部干物质累积则在花期末达最高值,高、中、低产组分别为 1 210,1 067,1 044 $\text{kg}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$;造成两年地上部干物质累积高峰不一样的原因,主要是两年播种时间不同,第一年是 9 月 20 日—9 月 23 日,第二年是 9 月 30 日—10 月 3 日;到达成熟期,中、低产地下部干物质较上一时期有所降低,延胡索干物质总量呈负增长,这与气温升高导致地上部枯萎速度不同、延胡索病害及种子进入夏眠期有关^[22-23],2015 年由于延胡索生长后期遭受严重病害(霜霉病),延胡索地上部干物质累积量呈直线下降,导致地下部干物质降低。

研究延胡索不同生育阶段氮、磷、钾养分吸收规律,是优化施肥方法的必要途径。本研究表明,延胡索从播种到出苗以地下部生长为中心;出苗后先以地上部茎叶生长为主,开花期是延胡索地上部和地下部同步快速生长期;花期后以块茎膨大为主。这与文献报道不同^[19-20],文献中延胡索出苗前以地下部生长为主,对氮、磷较多;出苗后以地上部生长为主,氮累积在开花前逐渐达到高峰,开花盛期后延胡索生长主要是地下部膨大,对磷、钾的需求快速上升,花谢后对磷的吸收呈下降趋势,对钾的需求一直表现为上升趋势。其原因可能是他们等主要从不同适生区域和不同施肥量方面研究,而本研究是从不同产量等级延胡索整个生长状况及养分需求方面研究。延胡索生育期短,在保肥性较好的黏质和壤质土壤上无需频繁追肥,可依照“施足底肥,重施腊肥”原则,在整地和腊肥施用时将全部有机肥和磷肥投入土壤中,以满足整个生育期对磷以及微量元素等养分需求。

研究结果表明,幼苗期氮磷钾吸收量约占全生

育期的24.8%~32.7%,因此氮肥和钾肥可以在前期(基肥和腊肥)投入总施肥量40%~50%,其余的在后期追施。“巧施苗肥”,主要追施氮肥和钾肥,生育后期(膨大期后)不需追肥。研究区域长期以来在“增施磷肥”的施肥原则指导下,目前已出现土壤磷素累积现象,据我们连续2年对该地区农户施肥情况调研,发现磷肥投入量很高和偏高的农户占调查总数的86%以上,播种前未施肥田块土壤速效磷含量已达 $62.3\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 以上,因此,应控制磷肥用量。

研究延胡索干物质累积及氮磷钾吸收规律,对根据作物需肥特性指导科学施肥以及按照养分平衡法进行配方施肥均有十分重要的意义。通常作物干物质累积和需肥规律的研究均采用在作物不同生育期进行植株采样测定的方法,且这些研究通常都是在选定的某一田块进行。本研究采用大面积随机采样的方法取得了106组数据,获得了不同产量组延胡索干物质累积和氮磷钾养分需求规律。研究结果表明,百公斤延胡索经济产量氮磷钾养分需求量在不同产量田块上差异较大,高产组氮、磷、钾养分需求量分别为 $\text{N } 2.01\text{ kg}$, $\text{P}_2\text{O}_5 0.80\text{ kg}$, $\text{K}_2\text{O } 3.23\text{ kg}$;中产组氮、磷、钾养分需求量分别为 $\text{N } 3.66\text{ kg}$, $\text{P}_2\text{O}_5 0.89\text{ kg}$, $\text{K}_2\text{O } 3.87\text{ kg}$;低产组氮、磷、钾养分需求量分别为 $\text{N } 5.68\text{ kg}$, $\text{P}_2\text{O}_5 1.35\text{ kg}$, $\text{K}_2\text{O } 6.97\text{ kg}$ 。因此,用养分平衡法进行施肥量计算时,应该根据不同目标产量选择不同的参数。

[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, 2015: 139.

[2] 陈暄, 杨磊, 胡龙娇, 等. 秦半夏干物质及活性成分积累动态研究[J]. 中国中药杂志, 2012, 37(7): 892-896.

[3] 肖平阔, 王沫, 张振媛, 等. 半夏干物质积累与氮、磷、钾吸收特点的研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2009, 15(2): 453-456.

[4] 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.

[5] 郭亮, 方子森, 邱黛玉, 等. 当归干物质积累与有效积温的 Logistic 和 Cubic 模型分析[J]. 甘肃农业大学学报, 2010, 45(6): 118-122.

[6] 陈宇航, 刘丽, 郭巧生, 等. 夏枯草氮、磷、钾吸收分配特征及其干物质积累研究[J]. 中国中药杂志, 2011, 37(24): 3410-3415.

[7] 赵志刚, 郜舒蕊, 谢景, 等. 不同生长时期丹参干物质积累及活性成分的变化规律[J]. 中国现代中药, 2015, 17(11): 1171-1176.

[8] 张美德, 吴德洲, 艾伦强, 等. 白术氮、磷、钾营养吸收分配规律研究[J]. 中药材, 2016, 39(3): 469-472.

[9] 郭晓亮, 郭杰, 游景茂, 等. 石窑当归干物质积累和养分吸收规律研究[J]. 中药材, 2015, 38(7): 1343-1348.

[10] 路正营, 郭玉海, 骆翔. 防风干物质积累及氮磷钾吸收特性研究[J]. 中国中药杂志, 2009, 34(8): 1043-1044.

[11] 李月梅, 杨文辉, 塔林葛娃, 等. 柴达木地区枸杞干物质积累及养分吸收特性研究[J]. 北方园艺, 2015(9): 127-132.

[12] 梁引库, 王美妮, 梁刚. 不同水分条件对延胡索产量的影响[J]. 河南农业科学, 2009(3): 97-98.

[13] 陈昊, 李思锋, 黎斌, 等. 延胡索不同水分条件下盆栽实验[J]. 中国农学通报, 2009, 25(19): 167-169.

[14] 吕伟德, 张国锦, 饶君凤, 等. 旱地元胡遮荫降温增产效果研究[J]. 中药材, 2001, 24(12): 856-857.

[15] 刘合刚, 刘国柱. 提高延胡索产量的几项措施[J]. 中草药, 2001, 32(6): 557-558.

[16] 张真, 王建红, 陈连民, 等. 不同覆盖物在延胡索上的应用试验[J]. 安徽农学通报, 2006, 12(8): 88-89.

[17] 徐丽红, 邓保汉, 马连根. 元胡喷施 ABT 生根粉增产效果试验[J]. 上海农业科技, 1998(3): 62.

[18] 徐春梅. 延胡索优质高产栽培技术体系的研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2005: 1-55.

[19] 曾宏宽, 曹文元. 汉中市延胡索最佳施肥量优化研究[J]. 现代农业科技, 2015(14): 53-54.

[20] 杨志铜, 曹文元, 刘晓平, 等. 不同施肥水平对延胡索(元胡)产量和品质影响的研究[J]. 基层农技推广, 2015, 3(12): 24-27.

[21] 南京农业大学. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 1990.

[22] 刘沛文, 都长庚. 元胡植株病情指数、枯苗率与产量间的相关分析[J]. 中药材, 1988(2): 11-13.

[23] 胡珂, 韦佳玉, 马小雷, 等. 呼吸作用对延胡索生长状况的影响[J]. 中药材, 2013, 36(12): 1911-1913.

[责任编辑 顾雪竹]