

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2017.09.002

苦荞干物质及氮、磷、钾养分积累动态分析^①

向达兵¹, 宋月¹, 范昱¹, 万燕¹, 张宝林², 赵钢¹

1. 成都大学 药学与生物工程学院/成都荞麦产业化工程技术研究中心, 成都 610106;
2. 山西省农业科学院 农产品加工研究所, 太原 030000

摘要:以西荞 1 号为材料, 研究了高产条件下苦荞干物质积累及氮、磷、钾养分吸收利用规律. 结果表明: 全生育期苦荞的总干物质积累呈“S”形曲线, 根、茎、叶的干物质质量分别在播种后 60 d、75 d 和 45 d 达到最大值, 干物质量分别为 379.7、311.3、256.2 kg/hm². 各器官氮(N)、磷(P)和钾(K)百分比(籽粒除外)随生育时期的推进呈现出先升高后逐渐降低的趋势, 幼苗期(播种后 15 d)上升较快, 后期逐渐下降. 籽粒中氮和磷的百分比随生育期的推进呈逐渐上升的趋势, 而钾呈逐渐下降的变化趋势. 氮、钾总积累量变化规律相似, 出苗后持续增加, 播种后 60 d 达最大值, 而后略有下降. 整个生育期磷素总积累量持续上升, 成熟时各器官以籽粒中积累量最高, 为 10.46 kg/hm². 高产条件下, 苦荞 N、P、K 最大需求量分别为 152.1、19.6、182.2 kg/hm², 需肥比例分别为 1.00 : 0.13 : 1.20.

关键词: 苦荞; 干物质; 养分; 积累动态

中图分类号: S517

文献标志码: A

文章编号: 1673-9868(2017)09-0007-06

苦荞 *Fagopyrum. tataricum* (L.) Gaertner 起源于中国, 是一种重要的特色杂粮作物. 我国苦荞麦种植面积居世界第一位^[1-2], 主要分布在云南和四川相邻的大、小凉山及贵州西北的毕节等地区, 在青海高原、甘肃甘南、云贵高原、川鄂湘黔边境山地丘陵和秦巴山区南麓也有大量分布^[3]. 由于苦荞含有丰富的生物类黄酮(芦丁、槲皮素等)、荞麦糖醇(D-手性肌醇)、多酚等活性功能成分, 具有重要的营养保健价值^[4]. 近年来, 由于人们健康观念的增强, 苦荞及其功能制品越来越受到人们的青睐, 开发潜力巨大, 苦荞原料的市场需求量日益增加^[5].

与其他主要作物相比, 苦荞种植技术研究严重滞后, 加之其主要分布于边远的高寒山区, 生产条件落后, 种植管理粗放, 严重影响了荞麦的生产和发展. 前人研究发现, 苦荞是一种养分需求量较大的作物, 合理的养分供应有利于正常生长及优质高产^[6]. 合理施用氮肥可以促进苦荞产量和品质的增加^[7], 有机无机复合肥也有利于苦荞的高产^[8]. 尽管前人就不同的条件获得了最佳的施肥水平及控制条件, 但有关苦荞整个生育期的养分吸收积累动态变化及需求情况目前尚不清楚. 本文研究了苦荞整个生育期的干物质积累情况和养分吸收积累动态变化, 旨在探讨养分在苦荞各器官的积累分配及转运情况, 从而指导合理施肥, 为苦荞麦的优质高产栽培技术提供理论依据和技术支持.

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验布置在成都大学教学试验农场(30°65′N, 104°19′E)进行, 该地区海拔 499 m, 属亚热带季风性湿润气候, 温暖多雨, 年降雨量为 1 124.6 mm, 年均气温 17.5 °C, 年日照时数为 1 227 h. 试验地土壤为砂壤土, 0~20 cm 土层的基础养分情况为有机质 11.7 g/kg、全氮 0.72 g/kg、全磷 0.49 g/kg、全钾 15.9 g/kg、碱解氮 51.0 mg/kg、速效钾 32.9 mg/kg、有效磷 23.2 mg/kg.

① 收稿日期: 2016-06-23

基金项目: 国家自然科学基金(31401330); 国家现代农业产业技术体系建设专项资金(CARS-08-02A); “十二五”国家科技支撑计划课题(2014BAD07B04).

作者简介: 向达兵(1984-), 男, 贵州遵义人, 博士, 副教授, 主要从事荞麦栽培及生理研究.

1.2 试验设计

试验采用品种为生产上大面积推广的西荞 1 号,由成都大学国家杂粮加工技术研发分中心提供.于 2014 年 3—6 月在成都大学教学农场进行,3 月 20 日播种,采用穴播,行距 20 cm,穴距 16 cm,每穴播种 6~7 粒种子,待幼苗长出 3 枚真叶后,进行定苗,查缺补漏,使苗分布均匀,每穴保留 4 株(选取长势较一致的).播种前一次性施入底肥氮(尿素 $N \geq 46\%$)、磷(过磷酸钙 $P_2O_5 \geq 12\%$)和钾(硫酸钾 $K_2O \geq 51\%$),用量分别为 120 kg/hm^2 , 120 kg/hm^2 和 60 kg/hm^2 ,先施入氮肥,然后覆土 2~3 cm,磷、钾肥在播种时一同施入,其他管理同大田生产.

1.3 调查测定项目

1.3.1 土壤养分测定

于荞麦播种前全田取 0~20 cm 土层样 5 个混合为混合样,参照鲍士旦^[9]方法测定土壤理化性状,其中有机质采用 $K_2Cr_2O_7$ 容量法;全 N 采用凯氏法;碱解 N 采用碱解扩散法;全 P 和速效 P 采用钼锑抗比色法;全 K 和速效 K 采用火焰光度计法.

1.3.2 植株养分百分比测定

于苦荞播种后 15,30,45,60,75 d(分别为苗期、现蕾期、盛花期、灌浆期和成熟期)时取样,每次随机取 20 株,3 次重复,取样间隔 15 d.取样时将整个植株带根挖出,洗净,分器官于 $105\text{ }^\circ\text{C}$ 杀青 30 min, $65\text{ }^\circ\text{C}$ 恒温烘干称质量.磨细过 0.5 mm 筛,测定氮、磷和钾养分百分比^[10].先用浓硫酸-双氧水消煮,采用凯氏定氮法测定氮百分比,钼锑抗比色法测定磷百分比,火焰光度计法测定钾百分比.

1.3.3 计算方法^[11]

$$\text{养分积累量}(\text{kg/hm}^2) = \text{干物质质量}(\text{kg/hm}^2) \times \text{养分百分比}(\%) / 100;$$
$$\text{养分转运量}(\text{kg/hm}^2) = \text{某一器官花期养分积累量}(\text{kg/hm}^2) - \text{该器官成熟期养分积累量}(\text{kg/hm}^2);$$
$$\text{养分转运率}(\%) = \text{养分转运量}(\text{kg/hm}^2) / \text{花期养分积累量}(\text{kg/hm}^2) \times 100;$$
$$\text{转运养分的贡献率}(\%) = \text{养分转运量}(\text{kg/hm}^2) / \text{籽粒养分积累量}(\text{kg/hm}^2) \times 100.$$

1.4 数据处理与分析

利用 Excel 2010 和 DPS14.5 软件对数据进行处理.

2 结果与分析

2.1 干物质积累的动态变化

从图 1 可以看出,苦荞生育期总干物质积累呈“S”形曲线变化,0~30 d(苗期)积累量较小,仅占整个生育期的 36.0%,64%的干物质积累集中在 30~75 d(开花至成熟期),积累速率达 $109.5\text{ kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{d})$.地上部总干物质的积累量变化趋势与总干物质积累量相同.根、茎和叶的干物质积累量均呈现出先升高后降低的变化趋势,根和茎以播种后 60 d(灌浆期)最高,叶以播种后 45 d(盛花期)最高,之后均呈现出下降趋势,降幅从大到小依次表现为叶、茎、根.籽粒的干物质积累呈一直上升的趋势,至成熟时达 $2\,383.0\text{ kg/hm}^2$.

2.2 氮、磷、钾养分百分比动态变化

从图 2 可以看出,整个生育期苦荞根、茎和叶的氮素百分比均呈逐步降低趋势,15 d(幼苗期)各器官氮素百分比达到最大值,根、茎和叶中分别为 0.95%,1.79%和 4.28%,之后逐渐下降.籽粒的氮百分比在整个生育期呈逐渐上升的变化趋势,以成熟期最高,为 2.38%.同生育期各器官的氮百分比从大到小依次表现为叶、籽粒、茎、根.

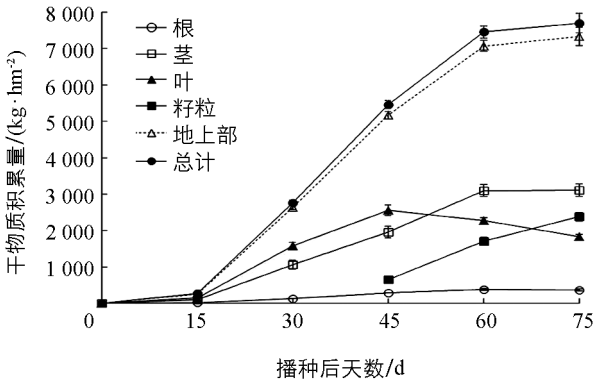


图 1 生育期各器官干物质积累动态

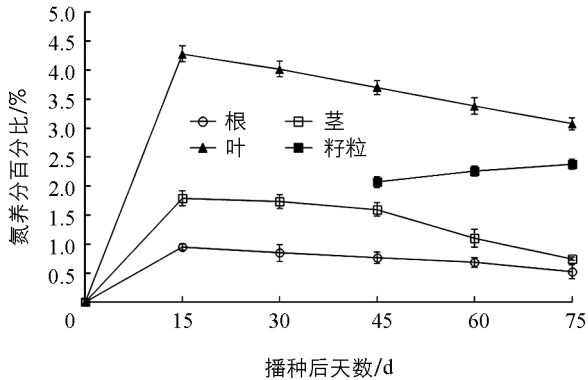


图 2 生育期各器官氮素百分比动态变化

从图 3 可以看出, 整个生育期苦荞根、茎和叶的磷素百分比均呈先升高后降低的变化趋势, 0~15 d (播种至幼苗期) 氮养分在各器官中快速积累, 其百分比达到最大值, 根、茎和叶中分别为 0.15%, 0.28% 和 0.38%, 之后逐渐下降. 籽粒的磷百分比在整个生育期呈逐渐上升的变化趋势, 以成熟期最高, 为 0.44%. 在相同的生育时期, 各器官的氮百分比表现从大到小依次为出籽粒、叶、茎、根.

从图 4 可以看出, 整个生育期苦荞根、茎和叶器官的钾养分含量均呈先升高后降低的变化趋势, 0~15 d (播种至幼苗期) 钾养分在各器官中快速积累, 其含量达到最大值, 根、茎和叶中分别为 2.25%, 7.15% 和 2.73%, 之后逐渐下降. 籽粒的磷含量在整个生育期呈逐渐下降的变化趋势, 以播种后 45 d 时含量最高, 为 0.69%, 成熟期时最低, 降幅达 0.25%. 在相同的生育时期, 各器官的氮百分比从大到小依次表现为茎、叶、根、籽粒.

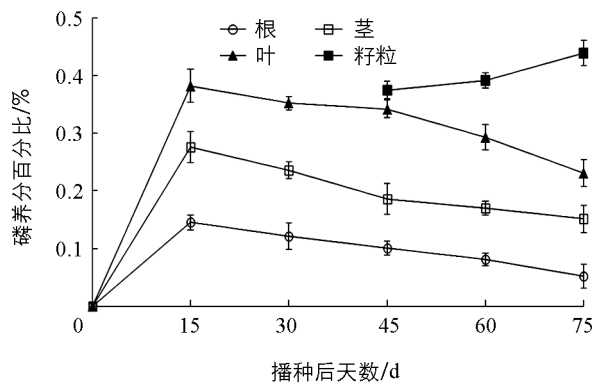


图 3 生育期各器官磷素百分比动态变化

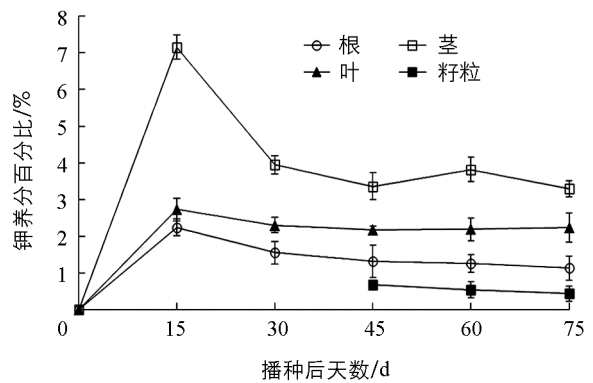


图 4 生育期各器官钾素百分比动态变化

2.3 氮、磷、钾养分积累量动态变化

生育期植株氮素总积累量呈先升高后降低的变化趋势(图 5), 15~45 d 逐步上升, 积累量为 133.55 kg/hm², 积累速率达 4.45 kg/(hm² · d). 地上部的氮积累量和茎、叶的氮积累量变化与总氮积累量相同. 根、茎和叶的氮积累量均呈现出先升高后降低的变化趋势, 茎和叶以播种后 45 d 最高, 之后呈现出下降趋势, 而根则以播种后 60 d 最高, 达 2.61 kg/hm². 籽粒的氮积累量一直呈上升趋势, 播种后 45 d 高于根, 播种后 60 d 则高于茎和根, 至成熟时高于根、茎和叶, 达到最高为 56.63 kg/hm².

磷素总积累量呈慢—快—慢升高的变化趋势(图 6), 0~15 d 积累量较小, 为 0.87 kg/hm², 15~60 d 时极速上升, 积累量为 18.05 kg/hm², 积累速率达 0.40 kg/(hm² · d). 地上部磷的积累量变化趋势与总磷积累量相同. 分析各器官的氮积累特性发现, 根、茎和叶的磷积累量均呈现出先升高后降低的变化趋势, 叶以播种后 45 d 最高, 为 8.76 kg/hm², 之后呈现出下降趋势, 而根和茎的磷积累量以播种后 60 d 最高, 分别为 0.31 kg/hm² 和 5.26 kg/hm². 籽粒的磷积累量一直呈上升趋势, 播种后 45 d 高于根, 低于茎和叶, 而播种后 60 d 至成熟期(播种后 75 d)均高于根、茎和叶, 至成熟时达到最高为 10.46 kg/hm².

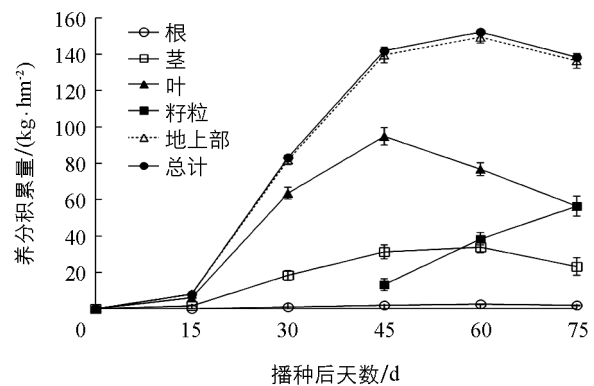


图 5 氮养分积累动态

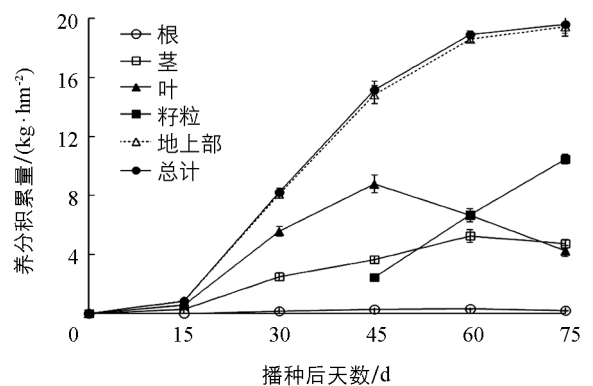


图 6 磷养分积累动态

钾素的总积累量呈先升高后降低的变化趋势(图 7), 0~15 d 积累量较小, 为 11.88 kg/hm², 15~60 d 时极速上升, 积累量为 170.34 kg/hm², 积累速率达 3.79 kg/(hm²·d), 地上部钾的积累量变化趋势与总钾积累量相同. 分析各器官的钾积累特性发现, 根、茎和叶的钾积累量均呈现出先升高后降低的变化趋势, 各器官在同一生育时期的钾积累量从大到小依次为茎、叶、籽粒、根. 叶以播种后 45 d 最高, 为 55.57 kg/hm², 之后呈现出下降趋势, 而根和茎的钾积累量以播种后 60 d 最高, 分别为 4.81 kg/hm² 和 118.39 kg/hm². 籽粒的钾积累量一直呈上升趋势, 始终高于根的积累量, 但低于茎和叶的积累量, 至成熟时(播种后 75 d)达到最高, 为 10.45 kg/hm².

2.4 氮、磷、钾养分的转运特点

氮、磷和钾的积累趋势表明, 这 3 种养分在苦荞生育后期存在体内转移的特点. 花期至成熟期, 对氮而言, 根、茎和叶成为“源”器官, 大部分养分转移至生殖器官(籽粒), 但各器官的转运量明显不同, 转运量从大到小依次表现为叶、茎、根. 对磷而言, 根和叶成为“源”器官, 转移至茎和籽粒中, 转运量表现为叶大于根. 钾则以叶为“源”器官, 根、茎和籽粒则为库器官, 以叶积累最多, 其次表现为籽粒和根(表 1). 在本试验中, 从花期至成熟期, 氮有 3.54 kg/hm² 转移至苦荞体外.

表 1 养分转运特点

养分类型	器官	花期养分积累量/	成熟期养分积累量/	转运量/	转运率/	贡献率/
		(kg·hm ⁻²)	(kg·hm ⁻²)	(kg·hm ⁻²)	%	%
N	根	2.20	1.93	0.26	0.12	1.15
	茎	31.33	23.29	8.05	0.26	2.45
	叶	94.84	56.40	38.45	0.41	3.88
	籽粒	13.42	56.63	-43.21	-3.22	-30.79
	地上部	139.60	136.32	3.28	0.02	0.22
	总量	141.79	138.25	3.54	0.03	0.24
P	根	0.29	0.19	0.10	0.34	3.28
	茎	3.65	4.72	-1.06	-0.29	-2.79
	叶	8.76	4.24	4.52	0.52	4.93
	籽粒	2.43	10.46	-8.03	-3.30	-31.57
	地上部	14.84	19.42	-4.57	-0.31	-2.95
	总量	15.13	19.61	-4.47	-0.30	-2.83
K	根	3.80	4.17	-0.36	-0.10	-0.91
	茎	66.10	102.63	-36.53	-0.55	-5.28
	叶	55.57	40.94	14.63	0.26	2.52
	籽粒	4.48	10.45	-5.97	-1.33	-12.74
	地上部	126.15	154.02	-27.87	-0.22	-2.11
	总量	129.95	158.19	-28.23	-0.22	-2.08

3 结论与讨论

3.1 苦荞的生长发育规律

苦荞整个生育期总干物质积累呈“S”形变化曲线, 变化规律与其他作物相似^[12-13]. 然而不同器官的干

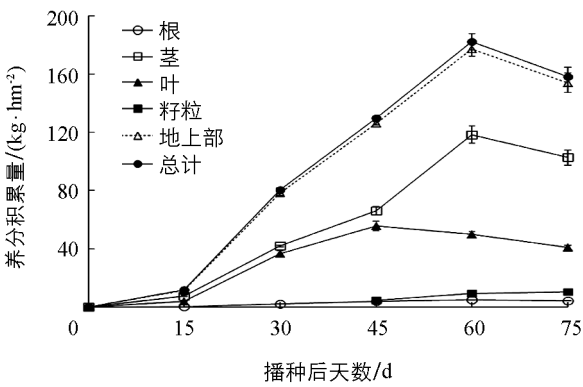


图 7 钾养分积累动态

物质变化规律不同, 根、茎和叶的干物质积累量均呈现出先升高后降低的变化趋势, 以播种后 45~60 d(灌浆期)达到最高(图 1), 各器官的养分积累量也在此阶段达到最大值. 前人研究发现, 叶片、茎秆及根系是作物主要的养分“源”器官, 成熟籽粒中的物质和养分主要来自于营养器官(根、茎和叶片)的转移量^[14]. 本试验结果发现, 根、茎和叶中的氮、磷和钾素一样存在循环利用的现象(图 5、图 6、图 7). 在前期保证苦荞充足的养分供给, 使氮、磷和钾在“源”器官中最大限度地贮存, 对后期苦荞籽粒的充实具有重要作用, 这也是后期籽粒干物质质量可以持续增长的重要原因.

本研究发现, 苦荞各器官的氮、磷和钾养分的百分比随整个生育期的推进呈现出先升高后降低的变化趋势, 播种后 15 d 内快速上升至最大值, 之后逐渐减少, 但同一养分在各器官中百分比的大小存在不同差异. 根、茎和叶器官中氮、磷百分比在整个生育期均以叶最高, 其次表现为茎和根, 而钾百分比则从大到小依次表现为茎、叶、根(图 2、图 3、图 4). 这说明苦荞对养分的积累在苗期快速增加, 后期随着干物质质量的不断积累, 其百分比也随之被稀释呈现出相对减少的情况. 前人研究也发现前期是作物百分比快速增加的时期, 为生长发育奠定了良好的养分基础, 后期随着生长发育的加快, 相对百分比逐渐减少, 绝对百分比增加^[11, 15].

3.2 苦荞的养分吸收与利用

研究表明, 苦荞氮、磷和钾养分的积累在整个生育期都符合“S”形曲线变化, 说明苦荞养分积累在不同生育期存在吸收速率差异. 本试验发现 3 种养分最大积累量均在播种后 60 d, 说明最大吸收速率在 60 d 以前, 具体时间还有待进一步分析和研究. 侯迷红等^[16]研究甜荞也发现, 荞麦对钾素的吸收存在最大吸收速率, 且钾肥的施用可以促进其对钾的吸收与积累; 大豆研究也发现最大吸收速率出现在最大积累量之前^[13]. 分析不同器官发现, 苦荞籽粒中氮和磷积累量至成熟时一直处于上升状态, 而钾则有所下降, 说明钾在籽粒中可能存在转移, 而氮、磷可能不存在转移或转移量较少. 钾在苦荞器官积累中以茎最高, 籽粒百分比最低, 甜荞中表现也以茎中积累量高于籽粒^[16].

苦荞在整个生育过程中叶片是主要的光合器官, 在生育后期由于苦荞的生长习性, 多数未结实的花逐渐褪掉, 与叶片一样掉落于土壤中^[17-18]. 本研究发现从花期至成熟期存在 N、P 和 K 养分的转移, P 和 K 则主要是器官间的转移, 而 N 有部分转移至体外. 分析转移的 N 发现, 其数量相当于当季 N 用量的 2.33%, 这些养分如何转化以及对当季、后茬作物的影响目前尚不清楚, 因此明确其具体去向, 从而指导苦荞合理施肥具有重要意义. 同时, 通过分析发现本试验中 N、P、K 最大需求量分别为 152.1 kg/hm², 19.6 kg/hm² 和 182.2 kg/hm², 需肥比例分别为 1.00 : 0.13 : 1.20.

参考文献:

- [1] 林汝法. 中国荞麦 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1994.
- [2] 赵 钢, 陕 方. 中国苦荞 [M]. 北京: 科学出版社, 2009.
- [3] 冯佰利, 姚爱华, 高金峰, 等. 中国荞麦优势区域布局与发展研究 [J]. 中国农学通报, 2005, 21(3): 375—377.
- [4] ZHAO G, ZHAO J L, PENG L X, et al. Effects of Yeast Polysaccharide on Growth and Flavonoid Accumulation in *Fagopyrum Tataricum* Sprout Cultures [J]. *Molecules*, 2012, 17(10): 11335—11345.
- [5] 赵 钢, 彭镰心, 向达兵. 荞麦栽培学 [M]. 北京: 科学出版社, 2015.
- [6] 安玉麟, 刘安林, 范计珍, 等. 氮磷配合施用对荞麦产量和蛋白质含量的影响 [J]. 内蒙古农业科技, 1989(5): 25—26.
- [7] 向达兵, 赵江林, 胡丽雪, 等. 施氮量对苦荞麦生长发育、产量及品质的影响 [J]. 广东农业科技, 2013(14): 57—59.
- [8] 赵 钢, 邹 亮, 彭镰心. 不同肥料处理对苦荞产量和品质的影响 [J]. 上海农业学报, 2013, 29(6): 100—102.
- [9] 鲍士旦. 土壤农化分析 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [10] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法 [M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000.
- [11] 刘晓伟, 鲁剑巍, 李小坤, 等. 直播冬油菜干物质积累及氮磷钾养分的吸收利用 [J]. 中国农业科学, 2011, 44(23): 4823—4832.

- [12] 邹娟, 鲁剑巍, 刘锐林, 等. 4 个双低甘蓝型油菜品种干物质积累及养分吸收动态 [J]. 华中农业大学学报(自然科学版), 2008, 27(2): 229—234.
- [13] 向达兵, 郭凯, 杨文钰. 不同磷钾处理下套作大豆干物质积累及钾肥利用率的动态变化 [J]. 中国油料作物学报, 2012, 34(2): 163—167.
- [14] MALAGOLI P, LAINE P, ROSSATO L, et al. Dynamics of Nitrogen Uptake and Mobilization in Field-Grown Winter Oilseed Rape (*Brassica napus*) from Stem Extension to Harvest I. Global N Flows Between Vegetative and Reproductive Tissues in Relation to Leaf Fall and Their Residual N [J]. Annals of Botany, 2005, 95(5): 853—861.
- [15] 王宜伦, 李潮海, 何萍, 等. 超高产夏玉米养分限制因子及养分吸收积累规律研究 [J]. 植物营养与肥料学报, 2010, 16(3): 559—566.
- [16] 侯迷红, 范富, 宋桂云, 等. 钾肥用量对甜荞麦产量和钾素利用效率的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2013, 19(2): 340—346.
- [17] 任长忠, 赵钢. 中国荞麦学 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2015.
- [18] 杨武德, 郝晓玲, 杨玉. 荞麦光合产物分配规律及其与结实率关系的研究 [J]. 中国农业科学, 2002, 35(8): 934—938.

Analysis of Dry Matter and NPK Accumulation in Tartary Buckwheat

XIANG Da-bing¹, SONG Yue¹, FAN Yu¹,
WAN Yan¹, ZHANG Bao-lin², ZHAO Gang¹

1. School of Pharmacy and Bioengineering / Chengdu University / Chengdu Engineering

Research Center for Buckwheat Industrialization, Chengdu 610106, China;

2. Institute of Agricultural Products Processing, Shanxi Academy of Agricultural Sciences, Taiyuan 030000, China

Abstract: The dynamics of dry matter and NPK accumulation of tartary buckwheat (*Fagopyrum tataricum*) cv. XiQiao-1 was studied under high-yield cultivation conditions. Total dry matter accumulation presented an S-shaped curve during the whole growth period of the crop, and dry matter content in the roots, stems and leaves was at the maximum at 60, 75 and 40 days after seeding, being 379.7, 3 113.7 and 2 561.2 kg/hm², respectively. The N, P and K content in all organs (except the seed) increased sharply in the seedling stage (15 days after seeding) and then decreased slowly. The N and P content of the seed increased steadily with the advance of growth stage, while the change in K content showed an opposite trend. The total amount of N and K accumulation of tartary buckwheat kept increasing after sowing and reached the maximum at 60 days after seeding, and decreased slightly thereafter. The total amount of P accumulation increased continuously during the whole growth period, and the seed accumulated more P than any of the other organs at maturity, being 10.46 kg/hm². The maximum requirement of N, P and K under high-yield cultivation was 152.1, 19.6 and 182.2 kg/hm², respectively, and the ratio was 1.00 : 0.13 : 1.20.

Key words: tartary buckwheat; dry matter; nutrient; accumulation dynamics

