应用生态学报 2013年2月 第24卷 第2期
Chinese Journal of Applied Ecology, Feb. 2013,**24**(2): 423-430

半干旱雨养农业区马铃薯干物质和钾素积累与分配特性*

卢建武[1,2] 邱慧珍[1,2,3**] 张文明[1,2,3] 王 蒂[1,3,4**] 张俊莲[1,3,4] 张春红[1,2,3] 侯叔音[1,2]
([1]甘肃省干旱生境作物学重点实验室, 兰州 730070; [2]甘肃农业大学资源与环境学院, 兰州 730070; [3]甘肃省作物遗传改良与种质创新重点实验室, 兰州 730070; [4]甘肃农业大学农学院, 兰州 730070)

摘 要 2010年在甘肃省定西市通过大田试验,研究了半干旱雨养农业区马铃薯的干物质(DM)和钾素(K)积累与分配规律.结果表明:马铃薯根、茎、叶的DM积累量在全生育期内呈单峰曲线,大小顺序为叶>茎>根;全株和块茎DM积累量在全生育期内持续增加,均呈"S"型增长曲线.全株的DM积累最大速率大于块茎,且出现时间比块茎早17 d. DM在各器官中的分配以块茎形成末期和块茎增大末期为转折点;在块茎形成末期之前,DM分配比例以叶片最大,其后以块茎最大;干质量平衡期出现在块茎增大末期(出苗后90 d左右),此期之前块茎的DM积累量小于根茎叶,二者的积累量呈正相关,其后块茎大于根茎叶,二者呈负相关.全株干物质积累主要来源于块茎.植株干物质积累量在苗期、块茎形成期、块茎增长期、淀粉积累期和成熟期的分配比例分别为5%、30%、60%、4%和1%,块茎干物质积累量的分配比例分别为0、18%、62%、18%和2%.全生育期内,马铃薯50%以上的干物质在块茎增长期形成.马铃薯品种"新大坪"各器官中钾浓度以茎最高,块茎最低,在干质量平衡期之前根中的钾浓度高于叶,之后低于叶;各器官中钾的积累量在干质量平衡期之前集中分配在根茎叶中,表现为茎>叶>根,之后主要向块茎中分配和积累,至成熟期,60%以上的钾贮藏在块茎中.

关键词 马铃薯 干物质 钾素 积累与分配 半干旱雨养农业区
文章编号 1001-9332(2013)02-0423-08 **中图分类号** S532 **文献标识码** A

Characteristics of dry matter and potassium accumulation and distribution in potato plant in semi-arid rainfed areas. LU Jian-wu[1,2], QIU Hui-zhen[1,2,3], ZHANG Wen-ming[1,2,3], WANG Di[1,3,4], ZHANG Jun-lian[1,3,4], ZHANG Chun-hong[1,2,3], HOU Shu-yin[1,2] ([1]*Gansu Key Laboratory of Aridland Crop Science*, *Lanzhou* 730070, *China*; [2]*College of Resources and Environmental Sciences*, *Gansu Agricultural University*, *Lanzhou* 730070, *China*; [3]*Gansu Key Laboratory of Crop Genetic & Germplasm Enhancement*, *Lanzhou* 730070, *China*; [4]*Agronomy College*, *Gansu Agricultural University*, *Lanzhou* 730070, *China*). *-Chin. J. Appl. Ecol.*, 2013, **24**(2): 423-430.

Abstract: In 2010, a field experiment with potato (*Solanum tuberosum*) cultivar 'Xindaping' was conducted at the Dingxi Extension Center of Gansu Province, Northwest China, aimed to understand the accumulation and distribution patterns of dry matter (DM) and potassium (K) in the organs of potato plant in semi-arid rainfed areas. During the whole growth period of the cultivar, the DM accumulation in root, stem, and leaf all showed a unimodal curve, with the DM accumulation rate being leaf > stem > root, whereas the DM accumulation in whole plant and tuber was an S-curve. The maximum DM accumulation rate of the whole plant was higher than that of the tuber, and appeared 17 days earlier. The distribution of DM in different organs showed two turning points, *i.e.*, during the tuber formation (TF) period and the tuber growth (TG) period. During TF period, the DM accumulation was the greatest in leaf, followed by in tuber. The TF period was also the DM balance period, which occurred 90 days after emergence. Before the DM balance period, the DM accumulation in tuber was lesser than that in root, stem, and leaf, and there was a positive correlation between the DM accumulation in tuber and in root, stem, and leaf. However, after the DM balance

* 甘肃省科技厅科技支撑计划项目(1011NKCA070)、甘肃省科技重大专项(1102NKDA025)和国家科技支撑计划项目(2012BAD06B03)资助.
** 通讯作者. E-mail: hzqiu@gsau.edu.cn
2012-05-09 收稿,2012-12-02 接受.

period, the DM accumulation in tuber was greater than that in root, stem, and leaf, and the correlation was negative. At seedling stage and in TF period, TG period, starch accumulation period, and maturity period, the DM accumulation in whole plant was 5%, 30%, 60%, 4%, and 1%, while that in tuber was 0, 18%, 62%, 18%, and 2%, respectively. In the whole growth period, more than 50% of the DM was formed in TG period. The K concentration was the highest in stem and the lowest in tuber, though the K was mostly concentrated in root before the DM balance period. The K accumulation before the DM balance period was mostly in root, stem, and leaf, with the sequence of stem > leaf > root, but after the DM balance period, the K was mainly allocated in tuber, with >60% of the K accumulated in tuber in maturity period.

Key words: potato; dry matter; potassium; accumulation and distribution; semi-arid rainfed area.

甘肃省是我国重要的马铃薯(*Solanum tuberosum*)种薯和商品薯生产基地及淀粉加工基地,近3年马铃薯种植面积稳定在64×10^4 hm^2以上,连续10年种植面积稳居全国第二,总产居全国第一[1-5]. 位于甘肃省中部的定西市,是典型的半干旱雨养农业区,马铃薯种植历史悠久,是全国乃至全世界马铃薯的最佳适种区之一,是甘肃省最大的马铃薯主产区[6-8],2011年马铃薯种植面积和总产量在20×10^4 hm^2和500×10^4 t以上,分别占全省种植面积和总产量的37.0%和28.4%,马铃薯产业总产值达17.6亿元,农民人均从该产业获得的收入占其总收入的26.9%,马铃薯产业已成为该市粮食安全的重要保证和农民增收的重要渠道,其主产区安定区于2001年被农业部和中国经济特产委员会命名为"中国马铃薯之乡"[4].

在定西市种植的众多马铃薯品种中,2007年审定的新品种"新大坪"既是鲜食品种,也是淀粉加工型高淀粉品种,由于其适口性好、薯型好、淀粉含量高,深受消费者的喜爱,销售价格明显高于其他品种,具有很大的推广价值和市场潜力. 为追求高产和高收益,农民在该品种的种植过程中对肥料的投入量明显高于其他品种,盲目施肥现象十分严重. 在明确该品种产量形成和养分吸收与积累规律的基础上,如何指导农民合理施肥,降低生产成本和环境风险是目前亟待解决的问题,然而,有关"新大坪"产量形成和养分吸收与积累规律方面的研究鲜见报道.

马铃薯产量的形成是同化产物积累和分配的结果[9-15],这一过程因品种、施肥、管理等栽培条件的不同而有很大差异[16-20],特别是钾素的供应对马铃薯的干物质形成、积累和分配具有十分明显的作用[21-25]. 在以"作物高产、资源高效、土壤培肥和环境保护"为核心的马铃薯养分管理技术体系中,马铃薯干物质的积累和养分需求规律是马铃薯生产中进行合理养分管理的基础,为此,笔者在定西市安定区通过大田试验,研究了旱作条件下马铃薯的干物质和钾素积累与分配规律,旨在为当地示范和推广马铃薯最佳养分管理技术,优化养分管理和资源高效利用提供一定的理论依据.

1 研究区域与研究方法

1.1 试验区概况

试验于2010年4—10月在甘肃省定西市旱作农业科研推广中心的试验地进行. 本试验区海拔2200 m,年均气温6.2 ℃,年均降水量415.2 mm,年无霜期140 d. ≥10 ℃积温2075.1 ℃(80%保证率),年蒸发量1531 mm,干燥度2.53,为典型的半干旱雨养农业区. 该区土壤类型为黄绵土,土壤基本理化性质为:有机质16.2 g·kg^{-1},全氮0.9 g·kg^{-1},碱解氮89.6 mg·kg^{-1},速效磷34.7 mg·kg^{-1},速效钾174.1 mg·kg^{-1},pH值8.4.

1.2 供试品种

本试验以当地主栽品种"新大坪"为试验材料,由甘肃省定西市旱作农业科研推广中心提供.

1.3 试验设计

本试验是"甘肃省马铃薯最佳养分管理技术的集成研究与应用"项目的部分内容,该项目采用"4+x"试验设计:不施肥(对照1);当地习惯施肥(对照2);优化施肥;高产高效模式;再高产模式;再高产高效模式. 每处理3次重复,随机区组排列,小区面积40.3 m^2(8.4 m×4.8 m),行距70 cm,株距23 cm,种植密度为62500株·hm^{-2}. 本研究在优化施肥处理中取样,氮肥用量为165 kg N·hm^{-2},$N:P_2O_5:K_2O$为1∶0.6∶1.2,氮肥用尿素(N含量46%),磷肥用磷酸铵(N含量18%,P_2O_5含量46%),钾肥用硫酸钾(K_2O含量50%). 所有肥料在播种时全部沟施. 于2010年5月6日播种,6月5日出苗,10月8日收获.

1.4　采样及测定方法

在马铃薯生育期间,分别于苗期(6 月 20 日)、块茎形成期(7 月 8 日、7 月 21 日)、块茎增长期(8 月 2 日、8 月 15 日、9 月 3 日)、淀粉积累期(9 月 16 日)和成熟期(10 月 8 日)共取样 8 次,每次每小区取 5 ~ 10 株,分根、茎、叶和块茎不同器官分别称鲜质量,烘干后称干质量,然后粉碎供分析测定. 植株钾含量采用浓 H_2SO_4-H_2O_2 消煮火焰光度法测定[26].

1.5　数据处理

数据处理及图表绘制采用 Excel 2003 和 DPS 7.05 软件进行,图表中所有数据均为 3 次重复的平均值,采用 F 检验法检验模拟方程的显著性水平.

2　结果与分析

2.1　马铃薯不同生育时期干物质积累与分配的变化

2.1.1 干物质积累量的变化　由图 1 可知,在马铃薯全生育期内,全株干物质积累量持续增加,其过程可分为明显的 3 个阶段:从苗期到块茎形成前期,全株干物质积累比较缓慢;从块茎形成后期到块茎增长期末,全株干物质积累直线增长;从淀粉积累期开始干物质积累减缓,到成熟期达最大值. 马铃薯干物质积累量(y)可用 Logistic 方程拟合,全株:$y=135.4762/(1+59.501e^{-0.059206x})$,$R^2$ 为 0.9914;块茎:$y=104.3672/(1+302.294e^{-0.066274x})$,$R^2$ 为 0.9818,经 F 检验均达极显著水平. 可见,马铃薯全株干物质积累符合"S"型增长规律.

马铃薯根、茎、叶干物质积累量在全生育期内呈单峰曲线变化,在块茎增长期末达到最大值,大小顺序表现为叶>茎>根,分别为每株 29.84、19.89 和 2.69 g;从块茎增长期末开始,当块茎干物质呈直线上升时,根、茎、叶干物质积累量呈下降趋势(图 1),至成熟期时各器官的干物质积累量比其最大值分别下降 45%、40% 和 39%. 块茎干物质的积累始于块茎形成期,至成熟期始终呈递增趋势,表现出类似于全株的"S"曲线变化,但块茎干物质积累量在不同生育时期的分配比例明显与全株不同. 全株干物质积累量在苗期、块茎形成期、块茎增长期、淀粉积累期和成熟期的分配比例分别为 5%、30%、60%、4% 和 1%,而块茎在 5 个时期的分配比例分别为 0、18%、62%、18% 和 2%. 可以看出,在块茎增长期,二者比例基本相同,其后干物质向块茎的分配比例明显增加,至淀粉积累期时,块茎分配比例比全株高 14%. 可见,马铃薯产量的形成过程就是块茎和整个植株干物质积累及根茎叶中干物质向块茎中转移的过程(图 1),马铃薯全生育期内一半以上的干物质在块茎增长期内形成.

2.1.2 干物质积累速率的变化　通过对 Logistic 方程 $y=k/(1+ae^{-bx})$ 求导可得干物质积累速率方程:

$$y'=\left[\frac{k}{(1+ae^{-bx})}\right]'=\frac{kabe^{-bx}}{(1+ae^{-bx})^2} \quad (1)$$

由方程代入各参数(a,b,k),可得出积累速率与时间关系的方程,以马铃薯出苗后时间为横坐标,得到马铃薯干物质积累速率与时间的关系曲线(图 2). 由图 2 可知,马铃薯生长期间全株和块茎干物质积累速率呈抛物线变化,在块茎增长期达到最大. 对式(1)再进行求导可得干物质最大累积速率:

$$y''=\left[\left(\frac{k}{(1+ae^{-bx})}\right)'\right]'=\frac{b^2ka e^{-bx}(ae^{-bx}-1)}{(1+ae^{-bx})^3} \quad (2)$$

当 $y''=0$ 时,出现最大累积速率,此时 x 为最大累积速率出现的时间. 由表 1 可知,马铃薯全株干物质积累最大速率大于块茎,最大速率出现的时间比块茎早 17 d.

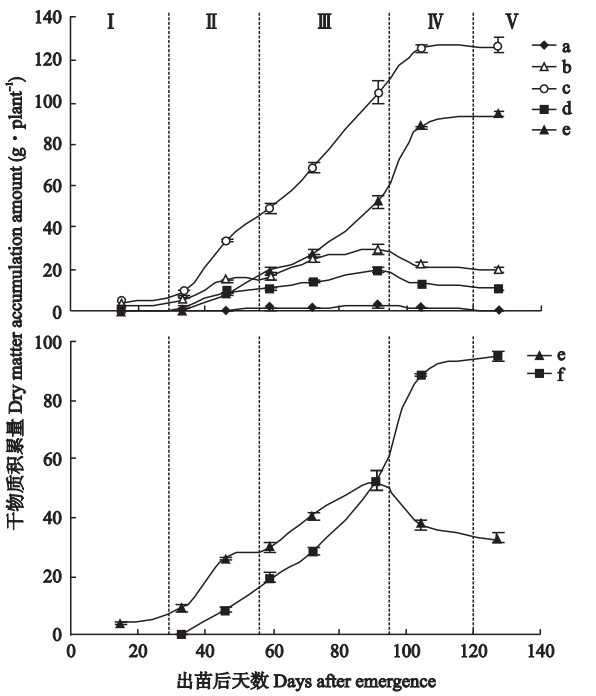

图 1　不同生育时期马铃薯干物质积累量的变化

Fig. 1　Change of dry matter accumulation of potato at different growth stages (mean±SD).

Ⅰ: 苗期 Seedling stage; Ⅱ: 块茎形成期 Tuber formation stage; Ⅲ: 块茎增长期 Tuber growth stage; Ⅳ: 淀粉积累期 Starch accumulation stage; Ⅴ: 成熟期 Maturity stage. a) 根 Root; b) 叶 Leaf; c) 全株 The whole plant; d) 茎 Stem; e) 块茎 Tuber; f) 根、茎、叶 Root, stem, leaf. 下同 The same below.

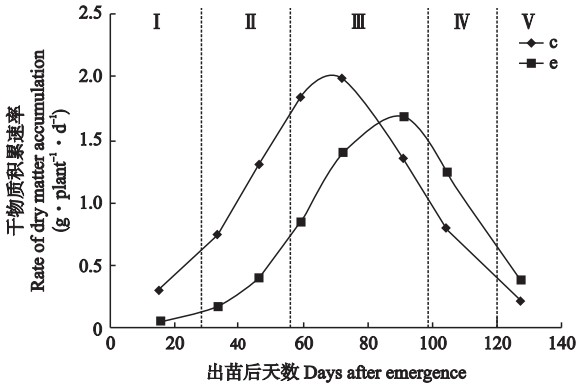

图 2 马铃薯干物质积累速率变化

Fig. 2 Change of dry matter accumulation rate of potato.

表 1 马铃薯干物质积累最大速率及其出现时间

Table 1 Time and maximum rate of dry matter accumulation of potato

项目 Item	出苗后天数 Days after seedling (d)	最大速率 Maximum rate (g·plant^{-1}·d^{-1})
全株 The whole plant	69.0	2.01
块茎 Tuber	86.2	1.73

2.1.3 干物质在各器官中的分配规律 马铃薯干物质在各器官中的分配比例随马铃薯生长中心的转移而变化(表 2,图 1),并以块茎形成期末和干质量平衡期为转折点. 在块茎增长期之前,干物质的分配比例始终以叶片中最大,目的是扩大源以生产更多的光合产物,为库的建成及扩大奠定基础;从块茎增长期开始,干物质分配比例以块茎最大,各器官干物质分配顺序表现为块茎>叶>茎>根,说明此后,植株干物质的分配方向发生了改变,干物质主要分配于块茎,以增加库容量,到成熟期已有 74% 干物质积累在块茎中.

块茎与根茎叶干物质积累量曲线相交于出苗后 90 d 左右,这一时期是马铃薯的干质量平衡期[27]. 此期之前块茎干物质量小于根茎叶,块茎与根茎叶干物质积累量呈正相关;而后大于根茎叶,与根茎叶干物质积累量呈负相关,由此可见,库源关系在干质量平衡期发生明显变化. 在此期之前,马铃薯主要以茎叶生长为主,光合产物主要用于茎叶的建成和生长,以扩大源为中心;在干质量平衡期,大量光合产物由原来主要用来建造地上部有机体转而进入茎叶、块茎营养分配均衡阶段;在干质量平衡期之后,有机营养主要用于供应和促进块茎快速充实膨大和淀粉积累[28]. 由此可见,马铃薯具有与谷类作物不同的生物学特性,由于其以无性器官——块茎为收获器官,在产量形成上必然具有与谷类作物不同的源库关系.

2.2 马铃薯不同生育时期植株不同器官中钾素的变化

2.2.1 钾浓度的变化 马铃薯是高产喜肥作物,也是喜钾作物[29]. 钾不仅影响马铃薯叶的伸展、叶片叶绿素含量和光合效率,还可影响光合产物的运输和块茎中淀粉的积累,最终影响产量[27]. 由图 3 可知,马铃薯植株各器官中钾浓度差异十分明显. 在马铃薯全生育期内,茎中钾浓度显著高于其他器官,以促进光合产物的运输和保持地上茎的直立与抗性;根中钾浓度从苗期至块茎形成前期呈上升趋势,之后呈下降趋势,到成熟期达最小值;叶中钾浓度在块茎增长期末(出苗后 90 d 左右)之前低于根,之后至成熟期高于根;块茎中钾浓度在块茎形成期最高,之后随着生育进程的推进而降低,在马铃薯全生育期内块茎中的钾浓度最低.

2.2.2 钾积累量的变化 由图 3 可知,在马铃薯全生育期内,全株钾积累量持续增加,其过程可分为明显的 3 个阶段:从苗期到块茎形成前期,全株钾积累比较缓慢;从块茎形成后期到块茎增长期末,全株钾积累速度加快;从淀粉积累期开始至成熟期钾积累量下降. 马铃薯钾积累量(y)可用 Logistic 方程拟合:全株 $y=3.0284/(1+35.227e^{-0.070392x})$;块茎 $y=1.9333/(1+181.327e^{-0.06179x})$,两方程决定系数均在 0.9 以上,经 F 检验均达极显著水平. 由此可知,马铃薯全株钾素积累符合“S”型增长规律.

表 2 不同生育时期马铃薯各器官中干物质的分配比例

Table 2 Dry matter distribution in different organs of potato at different growth stages (%)

器官 Organ	生育时期 Growth stage				
	苗期 Seedling stage	块茎形成期 Tuber formation stage	块茎增长期 Tuber growth stage	淀粉积累期 Starch accumulation stage	成熟期 Maturity stage
根 Root	19.3	7.4	2.8	1.5	1.2
茎 Stem	9.1	26.9	20.7	10.9	9.3
叶 Leaf	71.5	53.2	32.7	17.3	15.5
块茎 Tuber	–	12.6	43.7	70.2	74.0

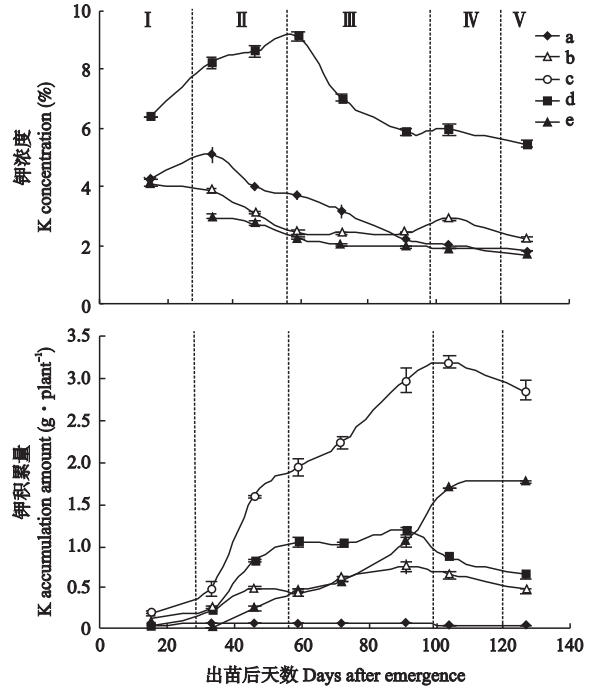

图 3　不同生育时期马铃薯植株各器官中钾浓度和钾积累量的变化

Fig. 3　Changes of K concentration and accumulation in different organs of potato at different growth stages (mean±SD).

在马铃薯全生育期内,茎中钾积累量总体上呈双峰曲线变化,峰值分别出现在块茎增长初期和块茎增长末期,以块茎增长末期的峰值最高,为每株 1.16 g;叶中钾积累量也有两个高峰,分别出现在块茎形成期和块茎增长末期,以块茎增长末期的峰值最高,为每株 0.73 g;根中钾积累量最小;各器官钾积累量大小表现为茎>叶>根;块茎中钾积累量变化趋势与全株相似,从块茎形成期之后持续增加,尤其是块茎增长期末增加更快,到成熟期达到最大值(每株 1.74 g). 块茎中钾积累量在苗期、块茎形成期、块茎增长期、淀粉积累期和成熟期所占比例分别为 0、20%、65%、14% 和 1%. 以出苗后 90 d 左右为转折点,之前植株中的钾集中在茎和叶中,以茎中钾积累量最高,此后,随着库源关系的变化,干物质向块茎中分配和积累,茎和叶中的钾素迅速向块茎转移,这是块茎中干物质迅速增加的主要原因.

2.2.3 钾积累速率的变化　通过对钾积累量方程求导,得到钾积累速率方程,通过计算可得出积累速率与时间关系的方程,进而得到马铃薯钾积累速率与时间的关系曲线. 由图 4 可知,马铃薯生长期间全株和块茎钾积累速率随时间呈抛物线变化,分别在块茎形成期和块茎增长期达到最大.

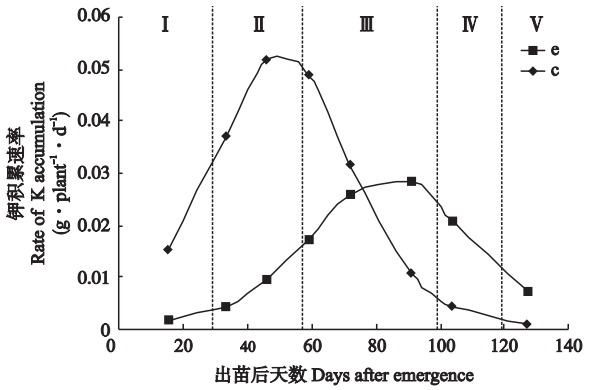

图 4　马铃薯钾积累速率变化

Fig. 4　Change of K accumulation rate of potato.

通过对速率方程求导,可以得出马铃薯全株和块茎钾积累最大速率及其出现时间,由表 3 可知,马铃薯全株钾积累最大速率大于块茎,全株钾积累最大速率出现的时间比块茎早 33 d.

2.2.4 钾在各器官中的分配规律　马铃薯钾素在各器官中的分配比例与干物质的分配一致. 从表 4 可以看出,在块茎增长期之前,钾素主要分配在茎叶中;从块茎增长期开始至干质量平衡期,钾素在块茎中的分配比例逐渐增大,各器官分配顺序表现为茎>块茎>叶>根,干质量平衡期之后,钾素的分配方向发生了改变,主要分配于块茎,用于块茎的建成与淀粉的合成.

各器官中钾的分配比例随着生长中心的转移而发生变化. 钾在根和叶中的分配比例总体呈下降趋势,以苗期最高,分别为 19% 和 67%,之后随生育期的推进,钾的分配比例逐渐降低,到成熟期降低到 0.8% 和 22%,钾在根中的分配比例最低;钾在茎中的分配比例呈单峰曲线变化,在块茎增长期初达最大值,为 52%;钾在块茎中的分配比例自块茎形成之后呈上升趋势,大量的钾素转移到块茎中用于块茎的建成和贮存,到成熟期有 60% 以上的钾素贮藏在块茎中. 以马铃薯出苗后 90 d 左右为转折点,之前钾主要分配在茎叶中,之后主要分配在块茎中.

表 3　马铃薯钾积累最大速率及其出现时间

Table 3　Maximum rates of K accumulation of potato and emergence time

项目 Item	最大速率 Maximum rate (g · plant^{-1} · d^{-1})	出苗后天数 Days after seedling (d)
全株 The whole plant	0.05	50.6
块茎 Tuber	0.03	84.2

表 4 不同生育时期马铃薯各器官中钾的分配比例

Table 4 K distribution ratio in different organs of potato at different growth stages (%)

器官 Organ	苗期 Seedling stage	块茎形成期 Tuber formation stage	块茎增长期 Tuber growth stage	淀粉积累期 Starch accumulation stage	成熟期 Maturity stage
根 Root	19.1	7.1	2.6	1.2	0.9
茎 Stem	13.4	47.0	45.7	25.8	22.7
叶 Leaf	67.5	38.5	24.1	19.9	15.5
块茎 Tuber	–	7.5	27.6	53.1	61.0

3 讨 论

马铃薯的生长发育过程具有与谷类作物不同的生物学特性,库源界限十分明显[27]. 在产量形成中,源既参与库的建成,又参与库的充实;库既能提高源的活性,也能抑制源的活性[28]. 马铃薯的干物质积累过程因品种、施肥和养分管理等栽培条件不同而有很大差异[16-22]. 在本试验条件下,马铃薯在块茎形成期末之前是以茎叶生长为主;块茎形成期末至块茎增长后期,根、茎、叶、块茎生长齐头并进;从块茎增长后期开始,以块茎生长为主. 本试验在出苗后 90 d 左右,马铃薯的生长以块茎增长为主,这与门福义等[30]的研究结果相似.

马铃薯干物质的积累是产量形成的物质基础,干物质的分配方向是决定块茎产量高低的重要因素[11]. 本试验中,在马铃薯全生育期内,全株和块茎干物质积累量表现出相似的"S"曲线变化;根、茎、叶干物质积累量呈单峰曲线,峰值出现在淀粉积累前期;在全生育期内,根的干物质积累量一直最小. 马铃薯苗期干物质主要分配在叶片中,用于光合系统的迅速建成,为以后块茎干物质的积累奠定基础,这与高聚林等[10-11]、杨进荣等[12]的研究结果一致. 出苗后 90 d 左右是马铃薯生长的关键时期(图 1),根、茎、叶干物质积累量下降,而块茎干物质积累量持续增长;根、茎、叶干物质积累量下降的原因可能是:一方面,根、茎、叶逐渐衰老,部分叶片脱落,干物质转移等;另一方面,库源关系发生变化,干物质主要转移至块茎,增加库容量. 马铃薯全株干物质积累主要取决于块茎干物质积累,至成熟期块茎干物质占全株干物质的 74.0%.

在本试验中,马铃薯干质量平衡期[30]出现在出苗后 90 d 左右,根、茎、叶干质量前期较块茎高,而后期较块茎低,干质量平衡期出现以前,根、茎、叶干质量高于块茎(图 1). 说明这段时期主要是茎叶的形成和生长,光合产物主要用来建造地上部植株有机体. 干质量平衡期后,根、茎、叶的生长逐渐衰老,根、茎、叶中的有机物逐渐向块茎中转移积累,块茎干质量的增长速度显著加快(图 1,表 2),这时块茎干物质量大于根、茎、叶干物质量,块茎和根、茎、叶干质量之间形成了"剪刀差"[30](图 1),"剪刀差"的大小可以反映出马铃薯产量的高低.

马铃薯是喜钾作物,钾对马铃薯的生长发育、光合产物的运输、块茎中淀粉的积累以及产量的高低起重要作用. 马铃薯全生育期内,植株钾浓度始终以茎最高,以促进光合产物的运输,保持地上茎的直立,增强抗倒伏、抗寒和抗病能力[31]. 块茎形成以后,钾向块茎的分配一直呈上升趋势,在块茎增长期末至淀粉积累期初,钾在块茎中的积累量快速增加(图 3),这与钾能促进淀粉合成酶的活性有关,说明大量的钾运输至块茎中用于淀粉的合成与积累. 马铃薯叶中钾浓度在干质量平衡期之后(出苗后 90 d 左右)高于根(图 3),可能原因是:块茎增长期末进入淀粉积累期,块茎合成淀粉需要大量蔗糖等原料[32],而蔗糖的运输需要吸收更多的钾,因此叶的钾浓度在此时升高,根的钾浓度降低,叶暂时为钾"库",而根为钾"源".

马铃薯全株和块茎干物质积累量在块茎增长期所占比例分别为 60% 和 62%,说明块茎增长期是马铃薯生产的关键时期,也是块茎中钾积累的关键时期,此时追施钾肥可促进光合产物向块茎运输,提高块茎产量. 马铃薯产量的形成是同化产物积累的结果,马铃薯干物质积累和养分需求规律是马铃薯生产中进行科学养分管理的基础,合理的栽培技术措施可促进同化产物的积累与合理分配,有利于提高马铃薯产量.

参考文献

[1] Wu Z-Q (吴正强), Yue Y (岳 云), Zhao X-W (赵小文), *et al*. Studies on potato industry development in Gansu Province. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning* (中国农业资源与区划), 2008, **32**(6): 67-72 (in Chinese)

[2] He S-X (何三信), Wen G-H (文国宏), Wang Y-H (王一航), *et al*. Current status and proposals for improvement measures of potato industry in Gansu Province. *Chinese Potato Journal* (中国马铃薯), 2010, **24** (1): 54-57 (in Chinese)

[3] Li F (李　福), Yue Y (岳　云). Development strategy of potato industrial cluster in Gansu Province. *Crops* (作物杂志), 2011(4): 11-15 (in Chinese)

[4] Wang Y-H (王一航). The advantage of potato industry development in Gansu Province and several problems with more attention. *Gansu Agricultural Science and Technology* (甘肃农业科技), 2002(4): 3-6 (in Chinese)

[5] Zhao G-B (赵贵宾). Current situation of potato production in Gansu Province and advantage industry development way. *Chinese Potato Journal* (中国马铃薯), 2005, **19**(3): 180-184 (in Chinese)

[6] Song W (宋　文), Zhao X-J (赵兴俊). High yielding cultivation techniques of potato in Dingxi. *Beijing Agriculture* (北京农业), 2008(30): 1-3 (in Chinese)

[7] Wang S-X (王淑新). The Study on Dingxi Potato Industry Development-Based on Analysis of Cost-benefit of Plant, Circulation and Process. Master Thesis. Lanzhou: Lanzhou University, 2009 (in Chinese)

[8] Zhang S-F (张世福). Analysis of the comprehensive advantage of development potato industry in Dingxi. *Jouranl of Agriculture* (农学学报), 2011(7): 44-49 (in Chinese)

[9] Yu Z-W (于振文). Crop Cultivation Science Monograph. Beijing: China Agricultural University Press, 2003 (in Chinese)

[10] Gao J-L (高聚林), Liu K-L (刘克礼), Zhang B-L (张宝林), *et al*. Accumulation and distribution of dry matter in potato. *Chinese Potato Journal* (中国马铃薯), 2003, **17**(4): 209-212 (in Chinese)

[11] Gao J-L (高聚林), Liu K-L (刘克礼), Sheng J-H (盛晋华), *et al*. Dry matter accumulation and distribution of potato under dry farming. *Chinese Potato Journal* (中国马铃薯), 2004, **18**(1): 9-15 (in Chinese)

[12] Yang J-R (杨进荣), Wang C-S (王成社), Li J-Q (李景琦), *et al*. Accumulation and distribution of dry matter in potato. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica* (西北农业学报), 2004, **13**(3): 118-120 (in Chinese)

[13] Xia J-H (夏锦慧). Analysis on dry matter accumulation and nitrogen, phosphorus, potassium nutrition characteristics of potato Atlantic. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica* (西北农业学报), 2009, **18**(4): 267-271 (in Chinese)

[14] Zhang R (张　荣). Study on dry matter accumulation and distribution of potato in alpine-cold arid region. *Modern Agricultural Science and Technology* (现代农业科技), 2011(3): 109-111 (in Chinese)

[15] Yang R-P (杨瑞平), Zhang S (张　胜), Gao X (高翔), *et al*. The effects of stable manure and NP fertilizer on accumulation dry matter and yield of potato. *Journal of Inner Mongolia Agricultural University* (内蒙古农业大学学报), 2011, **32**(1): 1-5 (in Chinese)

[16] Liu K-L (刘克礼), Gao J-L (高聚林), Ren K (任珂), *et al*. Nitrogen absorption, accumulation and distribution of potato under dry farming. *Chinese Potato Journal* (中国马铃薯), 2003, **17**(6): 321-325 (in Chinese)

[17] Zhang B-L (张宝林), Gao J-L (高聚林), Liu K-L (刘克礼), *et al*. The patterns of nitrogen absorption, accumulation and distribution in potato. *Chinese Potato Journal* (中国马铃薯), 2003, **17**(4): 193-198 (in Chinese)

[18] Gao J-L (高聚林), Liu K-L (刘克礼), Zhang B-L (张宝林), *et al*. The patterns of phosphorus absorption, accumulation and distribution in potato. *Chinese Potato Journal* (中国马铃薯), 2003, **17**(4): 199-203 (in Chinese)

[19] Gao J-L (高聚林), Liu K-L (刘克礼), Sheng J-H (盛晋华), *et al*. Phosphorus absorption, accumulation and distribution of potato under dry farming. *Chinese Potato Journal* (中国马铃薯), 2003, **17**(6): 326-330 (in Chinese)

[20] Sheng J-H (盛晋华), Liu K-L (刘克礼), Gao J-L (高聚林), *et al*. Potassium absorption, accumulation and distribution of potato under dry farming. *Chinese Potato Journal* (中国马铃薯), 2003, **17**(6): 331-335 (in Chinese)

[21] Liu K-L (刘克礼), Zhang B-L (张宝林), Gao J-L (高聚林), *et al*. The patterns of potassium absorption, accumulation and distribution in potato. *Chinese Potato Journal* (中国马铃薯), 2003, **17**(4): 204-208 (in Chinese)

[22] Su X-J (苏小娟). Effects of Fertilization on Nutrients Uptake, Yield and Quality of Potato Varieties. Master Thesis. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2010 (in Chinese)

[23] Yao Y-B (姚玉璧), Wang R-Y (王润元), Deng Z-Y (邓振镛), *et al*. Effects of climate change on potato growth in semi-arid region of Loess Plateau, China. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2010, **21**(2): 379-385 (in Chinese)

[24] Qin S-H (秦舒浩), Zhang J-L (张俊莲), Wang D (王　蒂), *et al*. Effects of different film mulch and ridge-furrow cropping patterns on yield formation and

water translocation of rainfed potato. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2011, **22**(2): 389-394 (in Chinese)

[25] Qin S-H (秦舒浩), Zhang J-L (张俊莲), Wang D (王 蒂), *et al*. Effects of limited supplemental irrigation with catchment rainfall on potato growth in rainfed areas of western Loess Plateau. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2009, **20**(11): 2665-2670 (in Chinese)

[26] Bao S-D (鲍士旦). Soil and Agricultural Chemical Analysis. Beijing: China Agriculture Press, 2000 (in Chinese)

[27] Sun F (孙 芳). Advances on nutritive regulation technique in source-sink relationship of potato and its prospect. *Inner Mongolia Agricultural Science and Technology* (内蒙古农业科技), 2009(2): 20-24 (in Chinese)

[28] Liu K-L (刘克礼), Gao J-L (高聚林), Sun H-Z (孙会忠), *et al*. Correlation of source accommodation and sink volume of potato. *Chinese Potato Journal* (中国马铃薯), 2004, **18**(1): 4-8 (in Chinese)

[29] Qin F (秦 芳). Study on fertilizer efficiency of potassium fertilizer on the potato. *Chinese Potato Journal* (中国马铃薯), 2003, **17**(3): 171-173 (in Chinese)

[30] Men F-Y (门福义), Liu M-Y (刘梦云), Zhang Z-L (张志林). The potato yield and growth stages. *Journal of Inner Mongolia Agricultural University* (内蒙古农牧学院学报), 1980(1): 72-81 (in Chinese)

[31] Tan Z-J (谭宗九). High Efficiency Cultivation Techniques of Potato. 2nd Ed. Beijing: Jindun Press, 2010 (in Chinese)

[32] Men F-Y (门福义). Potato Cultivation Physiology. Beijing: China Agriculture Press, 1995 (in Chinese)

作者简介 卢建武,男,1986 年生,硕士. 主要从事马铃薯养分管理研究. E-mail: lujianwu@st.gsau.edu.cn

责任编辑 张凤丽

封 面 说 明

图片由西藏大学农牧学院高原生态研究所葛立雯 2011 年 10 月 22 日摄于西藏林芝地区措木及日湖区. 图片为林芝云杉群落,林芝云杉(*Picea likiangensis* var. *linzhiensis*)是丽江云杉的变种,为西藏特有种,主要分布在林芝、米林、波密、错那、朗县、隆子等地,在喜马拉雅主脊以北和念青唐古拉山脉东段形成大片森林,其树干挺拔、寿命持久,单木材积可达 50 m^3 以上. 林芝云杉常与西藏箭竹组成箭竹云杉林,分布于阳坡,与花楸、槭树、桦木等组成灌木云杉林,分布于阴坡. 适度的人为干扰(森林采伐)增加了群落的生物多样性. 图上色彩丰富之处便是林芝云杉采伐后形成的乔灌木群落,主要种类有西藏箭竹、白桦、山杨、西南花楸、四蕊槭、高山柳,蔷薇、忍冬、小檗、枸子等物种.