植物营养与肥料学报 2014,20(6):1477-1487
Journal of Plant Nutrition and Fertilizer doi: 10.11674/zwyf.2014.0618

宁夏马铃薯氮、磷、钾养分的吸收累积特征

何文寿[1], 马 琨[1], 代晓华[1], 何进智[2], 马仁彪[3]
(1 宁夏大学农学院,宁夏银川 750021;2 宁夏回族自治区西吉县新营乡政府,宁夏西吉县 756201;
3 宁夏回族自治区西吉县农业技术推广服务中心,宁夏西吉县 756200)

摘要:【目的】马铃薯氮、磷、钾养分吸收累积特点国内外已有不少报道,但在宁夏地区的生产条件下尚缺乏系统研究,马铃薯配方施肥技术推广中也缺少施肥参数,难以确定合理的施肥量。因此,针对宁夏地区马铃薯种植基地的土壤条件,系统分析马铃薯干物质累积和氮、磷、钾养分含量,探明其对氮、磷、钾养分吸收累积特点,以期为马铃薯的精准施肥提供科学依据。**【方法】**采用田间试验和室内测定相结合的方法。于 2012 年分别在宁夏西吉县、原州区、红寺堡和同心县马铃薯种植基地进行肥料田间试验,按照当地推荐的施肥量统一施肥量和施肥方法(农家肥、70%氮肥、全部磷、钾肥基施,30%氮肥在现蕾期追施),在马铃薯不同生育期采集植株样品,测定不同器官干重和氮、磷、钾含量,分析不同生育期马铃薯干物质累积量、氮、磷、钾含量及其吸收累积量的变化特点。**【结果】**1)从不同种植基地来看,红寺堡区马铃薯干物质累积量最高,其次是原州区和西吉县,同心县最低;马铃薯干物质累积量随生育期的推进而增加,符合 Logistic 曲线,幼苗期、块茎形成期、块茎膨大期和淀粉累积期的干物质累积量分别占总累积量的 5%、20%、40%和 35%。2)马铃薯植株氮含量随生育期而降低,其变异系数较大;磷、钾含量随生育期呈先增后减的变化态势,但变异系数较小;氮、磷含量叶片高于其他器官,钾含量茎秆中较高。3)马铃薯氮、磷、钾吸收累积量在红寺堡区最高,原州区和西吉县居中,同心县最低;苗期氮、磷、钾的吸收量分别占全生育期总吸收量的 11%、6%、8%,块茎形成期占 28%、23%、31%,块茎膨大期占 36%、39%、41%,淀粉积累期占 25%、31%、20%;成熟期块茎中氮和磷的累积量分别占各自总累积量的 60%以上,钾的累积量占 50%。**【结论】**供试土壤条件下,马铃薯干物质累积量及养分吸收量因种植基地、生育期和器官不同而异。从不同种植基地来看,红寺堡区马铃薯的干物质及氮、磷、钾累积量较高,原州区和西吉县居中,同心县最低;干物质及氮、磷、钾累积量随生育期的变化符合 Logistic 曲线,具有明显的阶段性特点,块茎膨大期累积最多,块茎形成期和淀粉积累期次之;马铃薯根、茎和叶中吸收累积的氮、磷、钾占同期总累积量的比例随生育期而降低,但块茎则相反,氮、磷、钾吸收累积量随生育期而增加,成熟期块茎中吸收累积的养分量占全株的一半以上。

关键词: 马铃薯; 生育期; 氮磷钾; 吸收; 累积
中图分类号: S532.062.01 **文献标识码:** A **文章编号:** 1008-505X(2014)06-1477-11

Characteristics of nitrogen, phosphorus and potassium uptake and accumulation of potato in Ningxia

HE Wen-shou[1], MA Kun[1], DAI Xiao-hua[1], HE Jin-zhi[2], MA Ren-biao[3]
(*1 School of Agriculture, Ningxia University, Yinchuan, Ningxia 750021, China; 2 People's Government of Xinying Township, Xiji, Ningxia 756201, China; 3 Agricultural Technology Extension and Service Center of Xiji, Xiji, Ningxia 756200, China*)

Abstract:【Objectives】Characteristics of nitrogen (N), phosphorus (P) and potassium (K) uptakes of potato plants have been researched worldwide, but few did in Ningxia region. There are not necessary parameter for potato formula fertilization technology, resulting in blind fertilization in production practice. Therefore, characteristics of absorption and accumulation of N, P, and K nutrients were studied according to soil condition of potato planting bases in Ningxia for providing a scientific basis for the potato precise fertilization.**【Methods】**Field experiments were conducted in potato bases in four counties of Ningxia in 2012. The fertilizer applying rates were made in

收稿日期: 2013-10-31 **接受日期:** 2014-06-19
基金项目: 宁夏科技支撑计划项目(2011ZYN115); 国家科技支撑计划课题(2011BAD29B07-05)资助。
作者简介: 何文寿(1960—),男,宁夏西吉人,教授,主要从事植物营养与合理施肥研究。E-mail: hews@nxu.edu.cn

accordance with the local recommended fertilization. 70% nitrogen fertilizer, total farmyard manure and phosphorus and potassium fertilizers are basal applied, and 30% nitrogen are topdressed at the budding period of potato. Plant samples were collected to test fresh weights and dry matters of different organs at different growth stages. The contents of N, P, and K in roots, stems, leaves and tubers were determined after the plant samples were dried at 70℃. The dry matter accumulation of N, P and K was calculated. 【**Results**】1) The amount of dry matter accumulation increases with potato growth period and can be modeled as a Logistic curve. The accumulated amounts of dry matter at the seedling, tuber formation, tuber bulking and starch accumulation stages account for 5%, 20%, 40% and 35% of total cumulative amount, respectively. 2) The nitrogen contents in potato plant decrease with potato growth and the coefficient of variation is high. The phosphorus and potassium contents in potato plant increase first and then decrease with potato growth, but the coefficients of variation are low. The highest contents of nitrogen and phosphorus are in leaves, while the highest potassium content in stems. 3) The absorptive amounts of N, P and K at the seedling stage account for about 11%, 6% and 8% of the total amount in the whole stages, about 28%, 23% and 31% at the tuber formation, and about 36%, 39% and 41% at the tuber expansion stage, and about 25%, 31% and 20% at the starch formation. The accumulation amounts of N and P in tubers account for more than 60% of the total accumulation at the maturity period and K about 50%. 【**Conclusions**】Under the tested soil condition, the accumulated amounts of dry matter and absorptive amounts of nutrients (N, P and K) by potato are different in different growth stages and potato organs. The accumulation of dry matter and absorption of nutrients of potato are in accordance with Logistic curves, showeing obvious stage characteristic for nutrients absorption. The nutrient absorption at the tuber expansion stage is the largest, and those at the tuber formation and starch accumulation stages are low. The ratios of N, P and K uptakes in roots, stems and leaves in the total uptake decrease with growth stage, while the ratios of uptakes of N, P and K in tubers increase, and the accumulated amounts of nutrients in tubers at the maturity account for more than half of the total nutrients in whole plant.

Key words: potato; growth stage; N, P, and K nutrients; absorption; accumulation

马铃薯是我国四大粮食作物之一,仅次于水稻、小麦、玉米[1]。据联合国粮农组织统计资料(FAOSTAT),我国是世界马铃薯生产第一大国,2012年种植面积占世界总种植面积的28%,总产量占世界的24%,但我国还不是马铃薯生产第一强国,单产只有世界平均水平的83%[2]。宁夏地区是我国北方马铃薯主要产区之一,马铃薯种植面积居所有作物之首,已成为当地农民增收和发展农村经济的特色优势产业[3]。但就单产水平而言,宁夏在全国马铃薯生产省份中排倒数第2位。所以,不论是全国还是宁夏地区,提高单产是马铃薯生产中的主攻方向和值得研究的关键问题。

科学实验和生产实践证明,合理施肥是提高马铃薯单产的最有效途径之一[4-9]。然而要做到合理施肥,就必须掌握马铃薯不同生育期养分吸收累积规律。从检索资料来看,我国在马铃薯氮、磷、钾养分吸收、运转、体内分布规律等方面的研究还十分滞后,有些施肥参数还沿用上世纪70年代的数据资料,缺乏系统性研究[8-19]。一是不同时期不同器官氮、磷、钾含量缺乏连续性数据,已有数据相差较大,氮、钾相差1~2倍,磷相差4~6倍,在宁夏难以引用[10-17,20-22]。二是不同生育期马铃薯植株氮、磷、钾的累积量及其吸收比例数据不连续,研究者所得结果不尽一致,甚至有些相差1倍多,在宁夏无法引用[16-18, 20-28]。三是每形成1吨的马铃薯块茎所需要吸收的氮(N)、磷((P$_2$O$_5$)、钾(K$_2$O)量及其比例不一致,特别是磷、钾的差异大[6,8-18,20-37],缺乏宁夏地区这方面的研究资料,影响当地马铃薯配方施肥技术参数的确定,造成生产实践中农民习惯施肥十分普遍,存在一定的盲目性[19,38-39]。所以,针对宁夏南部山区和中部干旱带,开展马铃薯氮、磷、钾养分吸收、运转、分布规律的研究,对于确定马铃薯合理施肥技术,提高单产和肥料养分利用效率等方面具有十分重要的理论意义和实际应用价值。基于此,本试验以宁夏主要马铃薯种植基地为研究区,选择了4个不同的试验点,在不同种植方式和不同土壤条件下,研究马铃薯各生育期的干物质累积和氮、磷、钾养分含量,探讨养分吸收累积规律,旨在为宁夏地区马铃薯的合理施肥提供基本参数。

1　材料与方法

1.1　试验基地概况

本试验于2012年分别在宁夏马铃薯主要种植基地西吉县、原州区、同心县和红寺堡区进行。不同种植基地的基本气候和土壤状况为：西吉县吉强镇马营村试验基地,海拔2000 m,年降水量398 mm,无霜期170 d,土壤类型为黑垆土,旱作马铃薯；原州区头营镇徐河二队试验基地,海拔1850 m,年降水量435 mm,无霜期171 d,土壤类型为黑垆土,旱作马铃薯；同心县王团镇北村试验基地,海拔1200 m,年降水量268 mm,无霜期195 d,土壤类型为新积土,采用滴灌(灌水定额1350 m^3/hm^2)种植。红寺堡南川乡东源村灰家窑试验基地,海拔1300 m,年降水量200 mm左右,无霜期200 d,土壤类型为风沙土,采用大型喷灌机喷灌,全生育期灌水定额3150～3300 m^3/hm^2。不同基地的土壤主要理化性质见表1。

表1　供试土壤的基本理化性质(0—30 cm)

Table 1　Basic properties of the tested soils in experiments

试验点 Trial site	有机质 OM (g/kg)	全氮 Total N (g/kg)	全磷 Total P (g/kg)	碱解氮 Alkali-hydr. N (mg/kg)	速效磷 Olsen. P (mg/kg)	速效钾 Aval. K (mg/kg)	容重 Bulk. D (g/cm^3)	pH (H_2O)	质地 Texture
西吉县 Xiji county	12.48	1.27	1.75	176.2	24.8	248.3	1.28	8.66	轻壤土 Light loam
原州区 Yuanzhou county	11.67	1.83	1.40	71.5	29.2	270.0	1.25	8.39	中壤土 Medium loam
同心县 Tongxin county	2.55	0.65	1.03	47.9	14.4	198.3	1.39	8.79	砂壤土 Sandy loam
红寺堡区 Hongsibao county	4.72	0.51	0.58	76.8	19.7	48.3	1.35	8.80	砂壤土 Sandy loam

1.2　试验布设与采样方法

在供试的4个马铃薯试验基地,各选择有代表性的田块2块(每块面积0.12～0.20 hm^2),其中1块作为破坏性采样田块,另一块作为收获产量田块。每块田设置2个处理,即种植2个品种,重复3次,共6个小区,随机区组排列。

试验田统一采用推荐施肥技术,在统一施用农家肥(底肥37.5 t/hm^2)和硫酸锌(15 kg/hm^2)的基础上,西吉县试验基地氮(N)、磷(P_2O_5)、钾(K_2O)的推荐用量分别为150、90、60 kg/hm^2,原州区试验基地推荐用量分别为180、90、45 kg/hm^2,同心县试验基地推荐用量分别为195、105、75 kg/hm^2,红寺堡试验基地推荐用量分别为180、90、105 kg/hm^2。农家肥在秋季整地时撒于地面深翻入土,70%氮肥、全部磷和钾肥播种时集中撒于垄沟；30%的氮肥在现蕾期追施。蕾期和花期各喷洒尿素(0.2%)和磷酸二氢钾溶液(0.2%)1次。供试肥料为尿素(N 46%)、磷酸二铵(N18%、$P_2O_5$46%)、普通过磷酸钙磷($P_2O_5 \geqslant 12\%$)和硫酸钾(K_2O 50%)。供试马铃薯品种均为一级种薯,各基地种植品种见表2。

种植方式　红寺堡基地采用垄作栽培技术,行距90 cm,株距17 cm,播种深度10～12 cm,种植密度60000 plant/hm^2;其他基地采用平种垄植栽培技术,行距50～60 cm,株距35～44 cm,种植密度52500～60000 plant/hm^2。4月中下旬至5月上旬播种,5月中、下旬出苗,9月中、下旬收获,生育期110～130 d,期间中耕除草和培土3次。成熟及时收获,按照小区实收马铃薯,准确记取薯块产量。

采样时间和方法　出苗后约10 d,以后每隔约20 d采集植株样品1次(表2)。每次采样时,按照预先设计方案,每小区随机采取植株样品10株(开花前)～5株(开花至成熟),连同地下茎、根系一同挖出带回实验室测定。

表2 试验基地马铃薯植株样品采集日期(m/d)

Table 2 Sampling dates for plants in potato trial sites

试验点 Trial site	品种 Varieties	播种期 Sowing	出苗期 Emergence	幼苗期 Seedling	现蕾期 Squaring	开花期 Flowering	块茎膨大期 Tuber expansion	淀粉积累期 Starch accumulation	成熟期 Matur.
西吉县 Xiji county	庄薯3号 Zhuangshu 3 青薯168 Qingshu 168	4/19	5/20	5/31	6/20	7/10	7/30	8/20	9/30
原州区 Yuanzhou county	陇薯11号 Longshu 11 青薯9号 Qingshu 9	4/23	5/28	6/10	6/25	7/23	8/11	9/6	9/14
同心县 Tongxin county	冀张薯8号 Jizhangshu 8 新大坪 Xindaping	5/12	6/10	6/21	7/4	7/18	8/3	8/25	9/15
红寺堡区 Hongsibao county	庄薯3号 Zhuangshu 3 克新1号 Kexin 1	5/2	5/31	6/7	7/1	7/25	8/13	9/5	9/25

注(Note):采样从幼苗期开始,共计采样6次 Samples were collected from the seedling period for a total of six sampling.

1.3 测定项目和方法

干物质的测定 每次采集的马铃薯植株样品,立即冲洗干净,用吸水纸吸干植株表面多余水分,按照根系、茎秆、叶片和块茎剪开,分别称取鲜重;然后分别将植株样品剪碎,放入烘箱,于105℃下杀青30 min,然后将温度降至70℃烘24 h,冷却,分别称取干重,用于干物质和植株养分累积量的计算。总干物质累积量系指根、茎秆、叶片和块茎干重之和。

植株氮、磷、钾含量的测定 经70℃烘干的植株样品,用磨样机粉碎,全部通过1 mm筛,分别测定地下根系、茎秆、叶片和块茎的氮、磷、钾含量。样品经$H_2SO_4-H_2O_2$消煮后,半微量凯氏定氮法测定全氮,钒钼黄比色法测定全磷,火焰光度计法测定全钾含量[40]。

植株养分累积吸收量的计算 氮、磷、钾累积量=干物质重量×相应的氮、磷、钾含量(%)。

各生育期氮、磷、钾的吸收累积量及全生育期累积量的计算 首先按照采样的测定时间,分段计算养分累积量,然后按照苗期、块茎形成期、块茎膨大期和淀粉形成期分别计算出各生育期氮、磷、钾的吸收累积量及全生育期累积量。

总干物质及养分累积曲线 先做散点图,然后采用CurveExpert 1.4软件拟合Logistic方程。

2 结果与分析

2.1 马铃薯不同生育期干物质累积量的变化特征

对4个试验基地分别进行了马铃薯不同生育期干物质累积量(包括根系、茎秆、叶片和块茎)的统计分析。结果(图1)表明,马铃薯干物质累积量因不同种植基地、不同生育期而异,但均呈近似“S型”的变化趋势。经回归曲线拟合,符合Logistic生长函数。4个基地进行比较,红寺堡试验基地马铃薯干物质累积量最高,全生育期达451.32g/plant。主要是因为该基地采用大型喷灌设施,水肥条件较好,故干物质累积量较高,鲜薯产量达42.99 t/hm^2。其次是原州区和西吉县,干物质累积量分别为298.53 g/plant、270.43 g/plant,该地区属雨养农业区,无灌溉条件,鲜薯产量分别为34.42和37.54 t/hm^2,低于红寺堡。同心县王团镇试验基地虽采取了滴灌措施,但由于该地区属于干旱风沙区,土壤肥力较低,干物质累积量最低,仅为220.76 g/plant,鲜

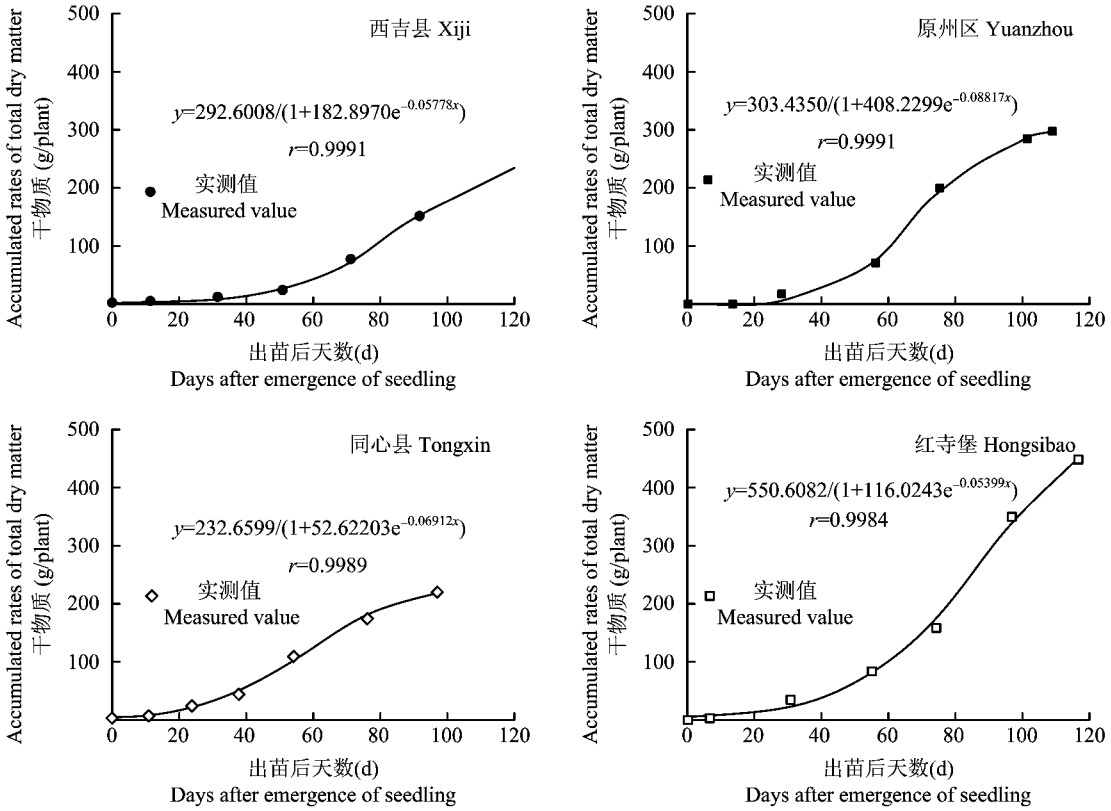

图 1　马铃薯不同生育期干物质累积曲线

Fig. 1　Accumulated rates of total dry matter of potato plants during growing period

薯产量也较低,为 22.32 t/hm^2。可见在不同种植区干物质累积量存在明显差异。

根据 4 个基地 8 个试验的平均值,统计分析了马铃薯干物质累积量的变化趋势,结果(表 3)表明,马铃薯全生育期总干物质累积量变化在 124.2 ～ 482.2 g/plant 之间,平均为 300.3 g/plant,其变异系数为 36.62%,95%估计区间为 224.1 ～ 376.5 g/plant。

从整个生育期来看,马铃薯干物质累积量随生育进程呈近似“S 型”变化(图 2)。经回归分析和曲线拟合选优,完全符合 Logistic 生长函数[$y = 329.5126/(1+86.5012e^{-0.06014t})$],其干物质实测值与由 Logistic 方程得出的模拟值之间呈极显著正相关($r = 0.9996^{**}$)。从不同生育期来看,在幼苗期(出苗至孕蕾期,出苗后约 23 d),干物质累积量较

表 3　马铃薯不同生育期干物质累积量统计特征值

Table 3　Statistical data of accumulated rates of total dry matter during growing period of potato plant

出苗后天数(d) DAS	平均值(g/plant) Means	最大值(g/plant) Max.	最小值(g/plant) Min.	变异系数(%) *CV*	95%估计区间(g/plant) Estimating interval by 95%
11	3.90	8.60	1.69	64.06	2.17 ～5.63
28	22.61	41.29	8.04	46.85	15.27 ～29.95
49	54.68	94.25	17.72	49.36	35.97 ～73.38
67	133.65	240.06	46.98	43.15	93.69 ～173.62
90	233.81	399.35	107.23	42.24	165.37 ～302.26
112	300.32	482.20	124.16	36.62	224.11 ～376.52

注(Note)：DAS— Days after emergence of seedling；表中平均值为供试 4 个试验基地 8 个品种之均值 Each data in the table are the means of four experimental sites with 8 cultivars of potato.

少,约占总累积量的5%;块茎形成期(现蕾至初花期,31d左右)干物质累积量约占总累积量的20%;块茎膨大期(盛花至叶片开始衰老,27d左右)干物质累积量约占总累积量的40%,是干物质累积最多的时期;淀粉累积期(花末期至叶片衰老成熟,34d左右)干物质累积量约占总累积量的35%。可见,干物质累积量最大的时期在块茎膨大期,其次是淀粉累积期。

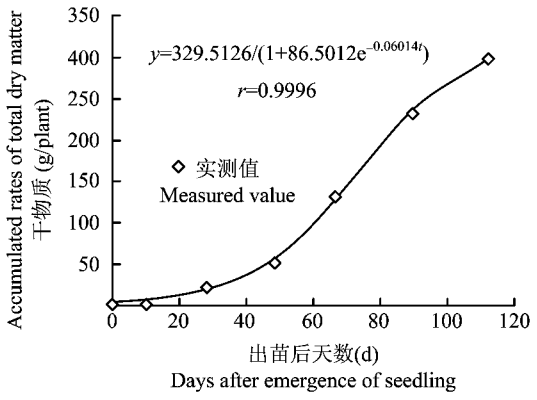

图2 马铃薯不同生育期干物质累积曲线(平均值)

Fig. 2 Accumulated rates of total dry matter of potato plants during growing period (total average)

2.2 马铃薯不同生育期植株氮、磷、钾含量的变化特点

从4个基地8个试验的平均值(图3)看出,马铃薯植株体内氮(N)、磷(P)、钾(K)含量因生育期和器官不同而异。从含氮量来看,从苗期到成熟期,根、茎和叶片含氮量呈下降趋势;整个生育期根系含氮量变化在3.30%~0.79%之间,其变异系数为55.72%;茎秆含氮量为4.20%~0.70%,变异系数84.43%;叶片含氮量为6.38%~1.60%,变异系数60.64%。可见,植株体内氮素含量不同生育期间的变异性较大。叶片含氮量明显高于根系和茎秆,茎秆含氮量在苗期高于根系,而在块茎形成期以后至成熟,根系含氮量则略高于茎秆。

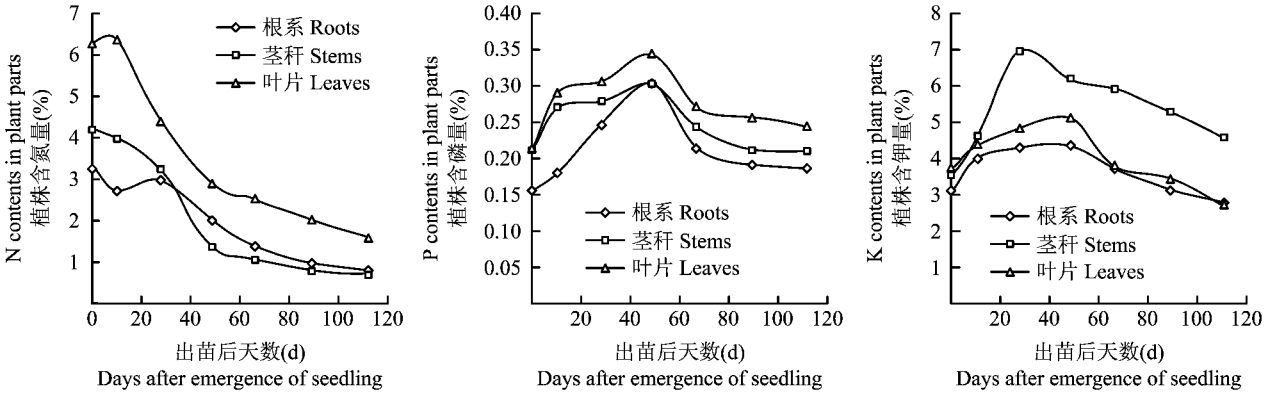

图3 马铃薯不同生育期植株氮、磷、钾含量的变化

Fig. 3 Dynamics of N, P, K concentrations in plants of potato at different growth stages

植株各器官和不同生育期的磷含量不同,从图3还可以看出,从出苗到开花期(出苗后约50 d),根系、茎秆和叶片中的含磷量呈明显的增长趋势,而从盛花后到成熟则呈明显下降趋势,可见开花期是马铃薯吸磷的高峰时期。整个生育期,根系含磷量在0.16%~0.30%之间变化,变异系数为23.82%;茎秆含磷量为0.21%~0.30%,变异系数15.42%;叶片含磷量为0.21%~0.34%,变异系数15.83%。可见,植株体内磷素含量不同生育期间的变异性较小。从整个生育期来看,含磷量的大小依次为叶片>茎秆>根系。

作物的生育期及器官不同其含钾量不同(图3)。茎秆含钾量最高,从出苗到现蕾期(出苗后约28 d),呈明显增长趋势,而现蕾后呈缓慢下降趋势。整个生育期茎秆含钾量在3.50%~6.96%之间变化,变异系数为22.17%。叶片含钾量从出苗到开花(出苗后约50 d)呈上升趋势,而后迅速下降。整个生育期叶片含钾量为2.70%~5.11%,变异系数为20.86%。根系含钾量在幼苗期呈上升趋势,苗期到开花期基本稳定,花后明显下降。整个生育期根系含钾量在2.81%~4.36%之间变化,变异系数为17.25%。可见,植株体内钾素含量不同生育期间的变异性也较小。从整个生育期来看,含钾量的大小依次为茎秆>叶片>根系。

由以上结果可以看出,马铃薯植株体内氮(N)、磷(P)、钾(K)含量随生育期和器官不同而异。植株各器官氮素含量均随生育期而降低,磷、钾含量随生育期呈先增后减的变化趋势;叶片中氮、磷含量最高,而茎秆中钾含量最高。

2.3　马铃薯不同生育期氮、磷、钾养分吸收累积特点

试验结果(表4)表明,马铃薯植株氮、磷、钾养分吸收累积量因种植基地和生育期不同而异。从不同种植基地来看,红寺堡区马铃薯氮(N)、磷(P_2O_5)、

表4　不同试验地马铃薯氮、磷、钾养分吸收累积量

Table 4　Averages of absorbed N,P and K at different growth stages for potato in four field sites

试验点 Trial site	生育期 Growth stage	采样时间 Sampling time (m/d)	出苗后天数 DAS (d)	养分吸收累积量(g/plant) Nutrient uptake rate		
				N	P_2O_5	K_2O
红寺堡区 Hongsibao county	出苗期 Emergence	5/31	0	0.016	0.001	0.013
	幼苗期 Seedling	6/7	7	0.097	0.010	0.091
	现蕾期 Budding	7/1	31	1.413	0.225	2.049
	开花期 Flowering	7/25	55	1.983	0.636	4.988
	块茎膨大期 Tuber expansion	8/13	74	2.893	0.924	7.486
	淀粉积累期 Starch accumulation	9/5	97	5.365	1.964	14.684
	成熟期 Mature	9/25	117	6.424	2.470	15.903
同心县 Tongxin county	出苗期 Emergence	6/10	0	0	0	0
	幼苗期 Seedling	6/21	11	0.389	0.049	0.357
	现蕾期 Budding	7/4	24	1.077	0.169	1.380
	开花期 Flowering	7/18	38	1.083	0.327	2.498
	块茎膨大期 Tuber expansion	8/3	54	2.387	0.701	5.487
	淀粉积累期 Starch accumulation	8/25	76	3.048	1.051	8.018
	成熟期 Mature	9/15	97	3.061	1.249	8.439
原州区 Yuanzhou county	出苗期 Emergence	5/28	0	0.000	0.000	0.000
	幼苗期 Seedling	6/10	13	0.154	0.013	0.152
	现蕾期 Budding	6/25	28	0.760	0.118	1.328
	开花期 Flowering	7/23	56	1.672	0.561	4.822
	块茎膨大期 Tuber expansion	8/11	75	3.949	1.205	8.516
	淀粉积累期 Starch accumulation	9/6	101	5.040	1.601	10.903
	成熟期 Mature	9/14	109	4.839	1.694	10.960
西吉县 Xiji county	出苗期 Emergence	5/20	0	0	0	0
	幼苗期 Seedling	5/31	11	0.117	0.018	0.130
	现蕾期 Budding	6/20	31	0.316	0.077	0.680
	开花期 Flowering	7/10	51	0.446	0.155	1.349
	块茎膨大期 Tuber expansion	7/30	71	1.464	0.558	4.387
	淀粉积累期 Starch accumulation	8/20	92	2.551	1.023	6.220
	成熟期 Mature	9/30	133	4.558	1.685	8.484

注(Note)：DAS— Days after emergence of seedling.

钾(K_2O)养分累积吸收量最高,分别达6.42、2.47、15.90 g/plant,这与该地区干物质累积量较高有关;同心县最低,分别为3.06、1.25、8.44 g/plant,这也与该地区干物质累积量较低有关;原州区和西吉县居中,原州区分别为4.84、1.69、10.96 g/plant,西吉县分别为4.56、1.68、8.48 g/plant。

从生育期来看,马铃薯氮、磷、钾养分的吸收累积曲线也呈近似"S型"变化趋势(图4)。经曲线拟合,证明马铃薯养分吸收累积量(y)与生育天数(t)之间完全符合Logistic生长函数[$y = a/(1 + be^{-kt})$]。进一步相关分析表明,马铃薯氮(N)、磷(P_2O_5)、钾(K_2O)养分吸收累积量实测值与由Logistic方程计算的模拟值之间呈高度正相关,其相关系数分别为0.9959**、0.9996**、0.9993**,均达极显著水平。

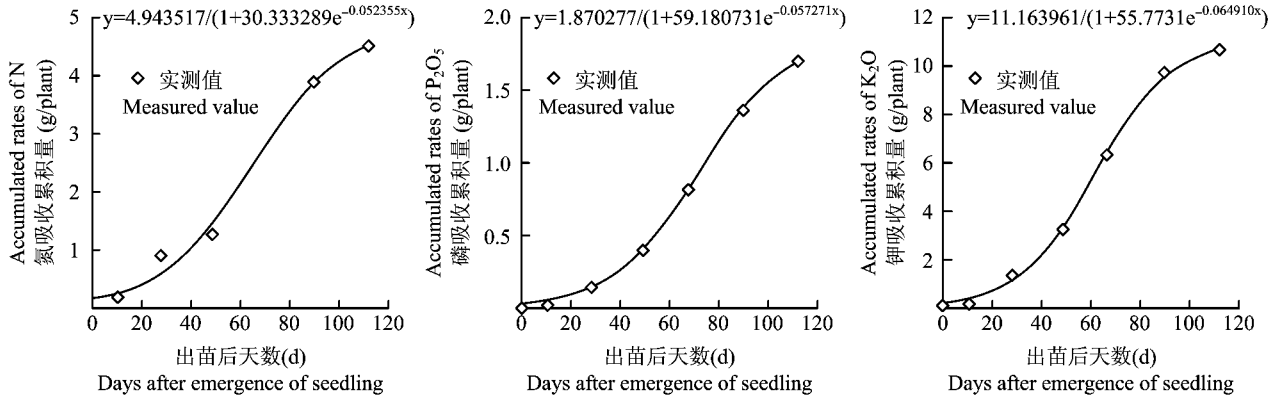

图4 马铃薯不同生育期氮、磷、钾养分的吸收累积量

Fig. 4 Accumulated rates of N, P_2O_5 and K_2O at different growth stages in plants of potato

从表5可以看出,马铃薯苗期的养分吸收总量最少,氮、磷、钾的吸收量分别约占总吸收量的11%、6%、8%。块茎形成期是营养生长与生殖生长并进的时期,对养分需求量明显增多,所吸收的氮、磷、钾分别约占全生育期总量的28%、23%、31%。块茎膨大期是养分吸收最多的时期,植株所吸收的氮、磷、钾量分别约占全生育期总量的36%、39%、41%。淀粉形成期植株吸收的氮、磷、钾量占各自总量的25%、31%、20%(表5)。可见,氮、磷、钾吸收最多的时期均为块茎膨大期,氮、钾吸收相对较多的为块茎形成期,磷吸收相对较多的在淀粉形成期。

从不同器官来看,马铃薯根系、茎秆和叶片中吸收的氮、磷、钾占同期各器官总累积量的比例随

表5 马铃薯各生育期对氮、磷、钾吸收量的平均值

Table 5 Averages of absorbed N, P and K at different growth stages of potato in Ningxia

生育期 Growth stage	N		P_2O_5		K_2O	
	吸收量 Uptake (g/plant)	占总量百分数 Percentage of total rate (%)	吸收量 Uptake (g/plant)	占总量百分数 Percentage of total rate (%)	吸收量 Uptake (g/plant)	占总量百分数 Percentage of total rate (%)
苗期 Seedling stage	0.490	10.63	0.111	6.42	0.825	7.63
块茎形成期 Tuber formation	1.279	27.78	0.396	22.93	3.348	30.94
块茎膨大期 Tuber expansion	1.672	36.32	0.682	39.45	4.479	41.40
淀粉积累期 Starch accumulation	1.164	25.27	0.539	31.20	2.167	20.03
总计 Total	4.604	100	1.729	100	10.818	100

注(Note):表中数据为4个试验点之均值 Each data in the table are the means of the 4 experimental sites.

生育期而降低,但块茎中吸收累积的氮、磷、钾量随生育期而增加(图 5)。块茎形成期、块茎膨大期和淀粉累积期,块茎中累积的氮分别约占总氮量的 24%、48%、66%,磷分别约占总磷量的 26%、49%、61%,钾分别约占总钾量的 17%、34%、49%。平均来看,成熟期块茎中累积了 60% 以上的氮和磷、50% 的钾,这主要是由叶片和茎秆转移而来。

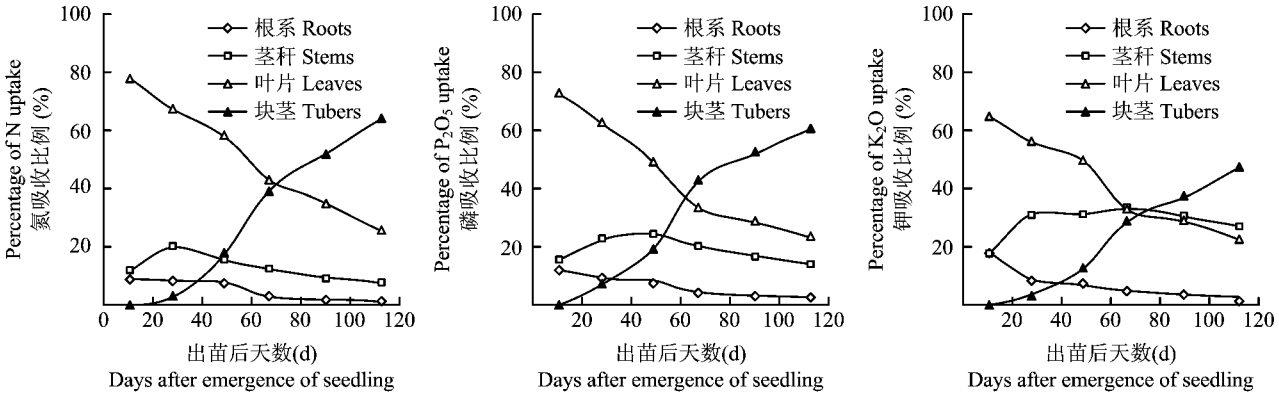

图 5　马铃薯不同器官氮、磷、钾吸收累积量所占比例的变化

Fig. 5　Ratios of N, P and K nutrient absorption to total accumulated rates in potato organs at different stages

3　讨论

不同生育期马铃薯植株及其器官干物质累积量的研究已有大量报道,但结果不尽一致。多数报道认为整个生育期马铃薯干物质积累呈慢—快—慢的“S 型”变化趋势[27],也有人认为呈抛物线变化[17],还有人报道是递增曲线[28],结果不完全一致。比较一致的是成熟时块茎干物质占总干物质的 60%～70%。而本试验得出宁夏地区马铃薯干物质累积量随生育进程呈近似“S 型”变化,符合 Logistic 生长曲线。按照不同生育期计算干物质累积比例,块茎膨大期干物质累积最多,成熟期块茎干物质占总干物质的 50%～60%,略低于前人研究结果,其机理还有待进一步研究。

不同生育期马铃薯植株不同器官(根、茎、叶、块茎)氮、磷、钾含量的研究也有大量报道,但遗憾的是缺乏不同时期连续性的数据,且同时期同器官养分含量数据相差较大,氮、钾相差 1～2 倍,磷相差 4～6 倍[4-6,11-18],差异如此之大,究其原因可能与地区不同,研究者采样时期、品种、计算方法(干基或鲜基)、施肥水平等因素有关。针对宁夏地区马铃薯植株氮、磷、钾含量的研究还未见报道。本试验从宁夏 4 个种植基地 8 个试验,连续测定了马铃薯不同生育期各器官氮、磷、钾含量,探明了不同器官氮、磷、钾含量的变化规律,对于判断本地区马铃薯营养状况及指导合理施肥具有参考价值。

有关马铃薯不同生育期氮、磷、钾的累积量及其吸收比例,不同研究者所得结果不尽一致,甚至有些相差 1 倍多,有些结果数据不连续,多数认为呈“S 型”曲线变化,也有人认为是单峰曲线[20-26]。本试验研究得出,马铃薯氮、磷、钾养分的吸收累积曲线呈近似“S 型”,符合 Logistic 生长函数。本研究探讨了不同地点不同土壤条件下马铃薯不同生育期氮、磷、钾的吸收累积比例,苗期氮、磷、钾的吸收量分别约占总吸收量的 11%、6%、8%,块茎形成期占 28%、23%、31%,块茎膨大期占 36%、39%、41%,淀粉形成期占 25%、31%、20%,这一吸收特点对确定马铃薯合理施肥量具有十分重要的参考价值。

从马铃薯同一生育期不同器官氮、磷、钾养分的累积量及其比例来看,研究较多的是成熟期块茎中养分累积量及其所占比例,但研究者所得出的结果不尽一致,成熟期块茎中氮、磷、钾累积量分别占全株 60%～90%,其他时期和器官养分累积量及其比例研究较少且生育期间不连续[23-26]。而本试验针对不同器官,研究了不同生育期氮、磷、钾养分累积量及其累积比例的变化趋势,成熟期块茎中累积了 60% 以上的氮和磷、50% 的钾,可见还有约 50% 的钾累积在茎秆和叶片等器官中,这与前人的研究结果不尽一致。

4　结论

马铃薯全生育期干物质累积量因种植基地不同

而异,但均随生育进程而增加,符合 Logistic 生长曲线,幼苗期、块茎形成期、块茎膨大期和淀粉累积期干物质累积量分别占总累积量的 5%、20%、40%和35%,块茎膨大期是干物质累积量最多的时期,其次是淀粉累积期。

马铃薯植株体内氮素含量随生育期而降低,其变异系数较大;磷、钾含量随生育期呈先增后减的变化态势,但变异系数较小;氮、磷含量叶片高于其他器官,钾含量茎秆较高。

马铃薯氮、磷、钾吸收累积量因种植基地不同而异,但均随生育期呈近似"S 型"变化,符合 Logistic 生长函数,其实测值与计算模拟值之间呈高度正相关。马铃薯对养分吸收具有明显的阶段性特点,氮、磷、钾吸收最多的时期为块茎膨大期,氮、钾吸收相对较多时期为块茎形成期,而磷吸收相对较多时期为淀粉形成期。马铃薯根系、茎秆和叶片中吸收累积的氮、磷、钾占同期各器官总累积量的比例随生育期而降低,但块茎中吸收累积的量随生育期而增加,这主要是由叶片和茎秆转移而来。

参考文献:

[1] 屈冬玉,谢开云,金黎平,等. 中国马铃薯产业发展与食物安全[J]. 中国农业科学,2005,38(2):358-362.
Qu D Y, Xie K Y, Jin L P *et al*. Development of potato industry and food security in China[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2005, 38(2): 358-362.

[2] Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAOSTAT[DB/OL]. http://faostat3. fao. org/faostat-gateway/go/to/download/Q/QC/E, 2014/2/8.

[3] 杜茜,闫兴富. 宁夏马铃薯产业现状与发展对策[J]. 中国马铃薯,2010,24(2):125-127.
Du Q, Yan X F. Ningxia potato industry situation and development strategy[J]. Chinese Potato Journal, 2010, 24(2): 125-127.

[4] 张朝春,江荣风,张福锁,王兴仁. 氮磷钾对马铃薯营养状况及块茎产量的影响[J]. 中国农学通报,2005,21(9):279-283.
Zhang C C, Jiang R F, Zhang F S, Wang X R. Effect of different N, P_2O_5, K_2O fertilization rate and ratio on nutrient status and tuber yield of potato[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2005, 21(9): 279-283.

[5] 苏小娟,王平,刘淑英,等. 施肥对定西地区马铃薯养分吸收动态、产量和品质的影响[J]. 西北农业学报,2010,19(1):86-91.
Su X J, Wang P, Liu S Y *et al*. Effect of fertilization on the nutrient uptake dynamic, yield and quality of potato in Dingxi Region[J]. Acta Agriculture Boreali-occidentalis Sinica, 2010, 19(1): 86-91.

[6] 段玉,妥德宝,赵沛义,李焕春. 马铃薯施肥肥效及养分利用率的研究[J]. 中国马铃薯,2008,22(4):197-200.
Duan Y, Tuo D B, Zhao P Y, Li H C. Effect of fertilizer and nutrient use efficiency on potato in Inner Mongolia[J]. Chinese Potato Journal, 2008, 22(4): 197-200.

[7] 火勇. 彭阳县马铃薯氮磷钾养分平衡定位试验研究[J]. 现代农业科技,2011,(15):100-101,103.
Huo Y. Study on NPK nutrient balance for potato with long term experimentin Pengyang county[J]. Modern Agriculture Science and Technology, 2011, (15): 100-101, 103.

[8] Stark J C, Porter G A. Potato nutrient management in sustainable cropping systems[J]. American Journal of Potato Research, 2005, 82(4): 329-338.

[9] Sharma R C, Grewal J S, Singh M. Effects of annual and biennial applications of phosphorus and potassium fertilizer and farmyard manure on yields of potato tubers, on nutrient uptake and on soil properties[J]. The Journal of Agricultural Science, 1980, 94(3): 533-538.

[10] Ezzat Abd El-Badea S, Aml A, El-Awady Amal A, Ahmed Hamdino M I. Improving nitrogen utilization efficiency by potato (*solanum tuberosum* L.). B. Effect of irrigation intervals, nitrogen rates and veterra hydrogel on growth, yield, quality and nutrient uptake[J]. Nature and Science, 2011, 9(7): 34-41.

[11] 孙羲. 植物营养原理[M]. 北京:中国农业出版社,1997. 71,120,145.
Sun X. Plant nutrition principle[M]. Beijing: China Agriculture Press, 1997. 71,120,145.

[12] 陆景陵. 植物营养学(上册)[M]. 北京:中国农业大学出版社,2003. 48-60.
Lu J L. Plant nutrition (I)[M]. Beijing: China Agricultural University Press, 2003. 48-60.

[13] 何文寿. 植物营养学通论[M]. 银川:宁夏人民出版社,2004.
He W S. Introduction to plant nutrition[M]. Yinchuan: Ningxia People Press, 2004.

[14] 陈伦寿,李仁岗. 农田施肥原理与实践[M]. 北京:农业出版社,1984. 88-195.
Chen L S, Li R G. Farmland fertilization principle and practice[M]. Beijing: Agricultural Press, 1984. 88-195.

[15] 浙江农业大学. 农业化学[M]. 上海:上海科学技术出版社,1980. 296-299.
Zhejiang Agricultural University. Agricultural chemistry[M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1980. 296-299.

[16] 中国农业科学院土壤肥料研究所. 中国肥料[M]. 上海:上海科学技术出版社,1994. 508-512.
Soil and Fertilizer Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences. Chinese fertilizer[M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1994. 508-512.

[17] 孙羲. 中国农业百科全书—农业化学卷[M]. 北京:农业出版社,1996. 206-207.
Sun X. China encyclopedia—Agricultural chemistry volume[M]. Beijing: Agricultural Press, 1996. 206-207.

[18] 张福锁，陈新平，陈清，等. 中国主要作物施肥指南[M]. 北京：中国农业大学出版社，2009. 77-83.
Zhang F S, Chen X P, Chen Q *et al.* Chinese main crop fertilizer application guide[M]. Beijing: China Agricultural University Press, 2009. 77-83.

[19] 何文寿. 宁夏植物营养与肥料研究现状与展望[J]. 农业科学研究，2013，34(1)：54-60.
He W S. Research advances and prospects of plant nutrition and fertilizers in Ningxia Province[J]. Journal of Agricultural Sciences, 2013, 34(1): 54-60.

[20] 高媛，韦艳萍，樊明寿. 马铃薯的养分需求[J]. 中国马铃薯，2011，25(3)：182-187.
Gao Y, Wei Y P, Fan M S. Nutrient requirements for producing potato tubers[J]. Chinese Potato Journal, 2011, 25(3): 182-187.

[21] 张延明，林化冰. 马铃薯不同器官的养分含量动态变化研究[J]. 广东农业科学，2009，(12)：30-32.
Zhang Y M, Lin H B. Study on the dynamic change of nutrient content of potato[J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2009, (12): 30-32.

[22] Osaki M, Shirai J, Shinano T *et al.* Effect of ammonium and nitrate assimilation on the growth and tuber swelling of potato plants[J]. Soil Science and Plant Nutrition, 1995, 41(4): 709-719.

[23] 张宝林，高聚林，刘克礼，盛晋华. 马铃薯氮素的吸收、积累和分配规律[J]. 中国马铃薯，2003，17(4)：193-198.
Zhang B L, Gao J L, Liu K L, Sheng J H. The patterns of nitrogen absorption, accumulation and distribution in potato[J]. Chinese Potato Journal, 2003, 17(4): 193-198.

[24] 高聚林，刘克礼，盛晋华，等. 旱作马铃薯磷素的吸收、积累和分配规律[J]. 中国马铃薯，2003，17(6)：326-330.
Gao J L, Liu K L, Sheng J H *et al.* Phosphorus absorption, accumulation and distribution of potato under dry farming[J]. Chinese Potato Journal, 2003, 17(6): 326-330.

[25] 翁定河，李小萍，王海勤，等. 马铃薯钾素吸收积累与施用技术[J]. 福建农业学报，2010，25(3)：319-324.
Weng D H, Li X P, Wang H Q *et al.* Potassium absorption and fertilization of potatoes[J]. Fujian Journal of Agricultural Sciences, 2010, 25(3): 319-324.

[26] 张西露，刘明月，伍壮生，等. 马铃薯对氮、磷、钾的吸收及分配规律研究进展[J]. 中国马铃薯，2010，24(4)：237-241.
Zhang X L, Liu M Y, Wu Z S *et al.* Absorption and distribution of N, P, K in potatoes[J]. Chinese Potato Journal, 2010, 24(4): 237-241.

[27] 高聚林，刘克礼，盛晋华，等. 马铃薯旱作栽培干物质积累与分配[J]. 中国马铃薯，2004，18(1)：9-14.
Gao J L, Liu K L, Sheng J H *et al.* Dry matter accumulation and distribution of potato under dry farming[J]. Chinese Potato Journal, 2004, 18(1): 9-14.

[28] 张永成. 马铃薯干物质的变化规律研究[J]. 青海农林科技，1998，20(1)：5-8.
Zhang Y C. Study on the variation laws of dry-matter in potato[J]. Science and Technology of Qinghai Agriculture and Forestry, 1998, 20(1): 5-8.

[29] Westermann D T, Kleinkopf G E, Lynn K Porter. Nitrogen fertilizer efficiencies on potatoes[J]. American Potato Journal, 1988, 65(7): 377-386.

[30] Zhang H L, Smeal D, Arnold R N, Gregory E J. Potato nitrogen management by monitoring petiole nitrate level[J]. Journal of Plant Nutrition, 1996, 19: 10-11.

[31] Westermann D T, Kleinkopf G E. Nitrogen requirements of potatoes[J]. Agronomy Journal, 1985, 77: 616-621.

[32] Leadershok Alva. Potato nitrogen management[J]. Journal of Vegetable Crop Production, 2004, 10(1): 97-132.

[33] Goffart J P, Olivier M, Frankinet M. Potato crop nitrogen status assessment to improve N fertilization management and efficiency: Past-present-future[J]. Potato Research, 2008, 51: 355-383.

[34] Mohammad V, Mohammadreza N. The effect of various nitrogen fertilizer amounts on yield and nitrate accumulation in tubers of two potato cultivars in cold regions of Isfahan (Iran)[J]. International Journal of Agriculture and Crop Sciences (IJACS), 2012, 4-22: 1688-1691.

[35] Haase T, Schüler C, Heβ J. The effect of different N and K sources on tuber nutrient uptake, total and graded yield of potatoes for processing[J]. European Journal of Agronomy, 2007, 26(3): 187-197.

[36] Al-Moshileh A M, Errebhi M A, Motawei Emir M I. Effect of various potassium and nitrogen rates and splitting methods on potato under sandy soil and arid environmental conditions[J]. Journal of Agricultural Science, 2005, 17(1): 1-9.

[37] 王小英，同延安，刘芬，赵佐平. 陕西省马铃薯施肥现状评价[J]. 植物营养与肥料学报，2013，19(2)：471-479.
Wang X Y, Tong Y A, Liu F, Zhao Z P. Evaluation on the situation of fertilization on potato in Shaanxi province[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2013, 19(2): 471-479.

[38] 王荣华，马仁彪，韩兴斌，等. 西吉县马铃薯施肥现状评价与对策[J]. 宁夏农林科技，2008，(6)：69-70.
Wang R H, Ma R B, Han X B *et al.* Potato fertilization status evaluation and countermeasures in Xiji County[J]. Ningxia Journal of Agri-Forestry Science and Technology, 2008, (6): 69-70.

[39] 杜守宇，杜伟. 宁夏南部山区及中部干旱带马铃薯栽培技术的发展现状、问题及对策[J]. 中国马铃薯，2008，22(5)：309-311.
Du S Y, Du W. Current situation, problems and countermeasures of potato cultivation techniques in Ningxia southern mountain area and central arid zone[J]. Chinese Potato Journal, 2008, 22(5): 309-311.

[40] 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. 302-316.
Lu R K. Analysis method of soil agrochemistry[M]. Beijing: Chinese Agricultural Science & Technology Press, 2000. 302-316.