文章编号:1000-7601(2016)04-0175-08 doi:10.7606/j.issn.1000-7601.2016.04.27

不同氮水平对旱地覆膜马铃薯干物质积累与分配的影响

何万春[1],何昌福[1],邱慧珍[1],张文明[1], 王亚飞[1],张春红[1],王 蒂[2,3]

(1.甘肃农业大学资源与环境学院 甘肃省干旱生境作物学重点实验室, 甘肃 兰州 730070;
2.甘肃省作物遗传改良与种质创新重点实验室, 甘肃 兰州 730070; 3.甘肃农业大学农学院, 甘肃 兰州 730070)

摘 要: 针对马铃薯生产中存在的氮肥施用过量问题,通过田间试验,研究了不同氮肥水平(0、50、100、150、200、250 kg·hm^{-2},分别对应 T1、T2、T3、T4、T5、T6 处理)对旱地覆膜马铃薯"陇薯 3 号"的生育进程及其干物质积累与分配的影响。结果表明:施用氮肥显著推迟了马铃薯的生育进程,随施氮量的增加,马铃薯的生育期延后,各施氮处理的干重平衡期比不施氮肥的对照处理(T1)推迟了 2~16 d;施用氮肥显著增加了马铃薯全株和块茎干物质快速积累的持续时间(Δt),随施氮量的增加,与 T1 相比,全株 Δt 增加了 2~14 d,块茎 Δt 增加 2~10 d;马铃薯整株和块茎干物质积累均表现出明显的"S"曲线特征。不同氮水平对成熟期马铃薯干物质在不同器官中的分配比例也有显著影响,随施氮量的增加,成熟期茎和叶所占干物质比例明显增加,块茎所占干物质比例呈单峰趋势变化;不同氮水平也显著影响马铃薯块茎产量,与对照处理(T1)相比,T2 处理增产 17.86%,T3、T4、T5 和 T6 分别减产 6.88%、21.06%、27.05%和 38.63%,说明过量施用氮肥会导致马铃薯减产,其本质是马铃薯库源关系的失调(施氮量超过 50 kg·hm^{-2}时)。在本试验条件下,当目标产量为 1.65 t·667m^{-2}时,50 kg·hm^{-2}为经济最佳施肥量。

关键词: 氮水平;马铃薯;旱地覆膜;干物质积累与分配;源库协调

中图分类号: S143.1; S532 **文献标志码:** A

Effects of nitrogen rates on dry matter accumulation and distribution of potato plants under film mulching in dry land

HE Wan-chun[1], HE Chang-fu[1], QIU Hui-zhen[1], ZHANG Wen-ming[1],
WANG Ya-fei[1], ZHANG Chun-hong[1], WANG Di[2,3]

(1. *College of Resources and Environmental Sciences/Gansu Provincial Key Lab of Aridland Crop Science, Gansu Agricultural University, Lanzhou* 730070, *China*;
2. *Gansu Key Laboratory of Crop Genetic and Germplasm Enhancement, Lanzhou* 730070, *China*;
3. *College of Agronomy, Gansu Agricultural University, Lanzhou* 730070, *China*)

Abstract: Field experiment was carried out to evaluate the effect of nitrogen rates on growing stages and dry matter (DM) accumulation of potato cv Longshu No.3 under film mulching in dry land. Six nitrogen rates, 0 (CK or T1), 50 (T2), 100 (T3), 150 (T4), 200 (T5) and 250 (T6) kg·hm^{-2} were used, and field plots were arranged in a randomized complete block design with four replications. The results showed that the application of nitrogen had significantly positive effect on the duration of growing stages of potato. Nitrogen applications obviously increased the duration of fast accumulation period (Δt) for the whole plant and tubers, being 2~14 days and 2~10 days, respectively. Dynamics of dry matter accumulation in the whole plant and tuber both showed the "S" curve. The dry matter distribution of maturity potato responded differently to nitrogen. With the increase of nitrogen rates, dry matter distribution ratio obviously increased in both stem and leaf, while those of tuber increased first then decreased, exhibiting a single peak curve. Compared with T1, T2 treatment increased the tuber yield by 17.86%, while those of T3, T4, T5 and T6 treatments were

收稿日期: 2015-05-04

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2012BAD06B03);国家公益性行业(农业)科研专项(201103004);国家现代农业产业技术体系建设专项(CARS-10-P18);甘肃省科技重大专项(1102NKDA025)

作者简介: 何万春(1988—),男,甘肃陇西人,硕士研究生,主要从事马铃薯养分管理及栽培技术研究。E-mail:hewanchun1988@126.com。

通信作者: 邱慧珍(1961—),女,教授,博士生导师,主要从事植物营养与营养生态的教学与科研工作。E-mail:hzqiu@gsau.edu .cn。

decreased by 6.88%, 21.06%, 27.05% and 38.63%, respectively. The depressing effect of N on potato yield may be partly due to the disturbance in sink-source relationship of potato plants, and it is suggested that 50 kg·hm^{-2} N be the economic rate of N fertilizer in this area.

Keywords: nitrogen level; potato; film mulching in dry land; dry matter accumulation and distribution; source-sink relationship

甘肃省是我国重要的马铃薯种薯和商品薯生产基地,位于甘肃省中部的定西市是典型的干旱半干旱雨养农业区,马铃薯栽培历史悠久,是我国最佳马铃薯种植区和主产区之一。2013 年马铃薯播种面积达 21 万 hm^2,产量 67.54 万 t,马铃薯产业已经成为粮食安全的重要保证和农民增收的重要渠道。由于"陇薯 3 号"食用口感好,有香味,特别是淀粉含量比一般中、晚熟品种高,十分适宜淀粉加工,该品种在定西得到大面积种植。但是,农民为了追求高产和高收益,盲目施肥的现象越来越普遍,一方面造成了肥料资源的浪费,另一方面造成了严重的环境污染[1-2]。

氮是作物生长发育的必需营养元素之一,在植物体内的同化和转运直接或间接地影响作物生长发育和产量形成[3],氮在马铃薯的生长发育过程中发挥着重要作用,是决定马铃薯产量的重要因素[4-5]。研究表明,N、P、K 对马铃薯产量影响的大小顺序为 N > K > P[6],氮水平能协调马铃薯干物质在各时期、各器官中的有效分配,且氮肥对块茎数的影响因土壤供氮水平而不同[7],因此在生产上可通过调整氮肥管理措施来提高马铃薯的产量和品质[8]。有关氮水平对马铃薯体内营养物质的分配、产量的形成有较多的研究[9-11],但甘肃省在此领域的研究尚属空白,为此,我们在定西市安定区通过大田试验,研究在旱作覆膜条件下不同氮水平对马铃薯干物质积累与分配以及块茎产量形成的影响和规律,旨在为当地马铃薯生产中氮肥的合理施用以及化肥养分的优化管理和高效利用提供依据。

1 试验区概况与研究方法

1.1 试验区概况

试验于 2013 年 4—10 月在甘肃省定西市旱作农业科研推广中心试验地进行。试验区海拔 2 200 m,平均气温为 8.3℃,年降水总量为 299.00 mm,年平均相对湿度为 65%,年蒸发总量为 1 817.2 mm。该区土壤类型为黄绵土,土壤基本理化性状见表 1。

表 1 供试土壤的基本理化性状

Table 1 Physicochemical properties of tested soil

pH 值 pH value	有机质 Organic matter /(g·kg^{-1})	全氮 Total N /(g·kg^{-1})	碱解氮 Available N /(mg·kg^{-1})	速效磷 Available P /(mg·kg^{-1})	速效钾 Available K /(mg·kg^{-1})
8.1	16.2	0.9	95.4	27.4	234.2

1.2 供试品种

试验品种为"陇薯 3 号",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

田间试验设 6 个氮水平:T1(CK):不施氮肥,0 kg·hm^{-2};T2:施氮肥 50 kg·hm^{-2};T3:施氮肥 100 kg·hm^{-2};T4:施氮肥 150 kg·hm^{-2};T5:施氮肥 200 kg·hm^{-2};T6:施氮肥 250 kg·hm^{-2}。肥底为磷钾肥,P_2O_5 105 kg·hm^{-2}、K_2O 180 kg·hm^{-2}。氮肥用尿素(N 含量为 46%),磷肥用过磷酸钙(P_2O_5 含量为 16%),钾肥用硫酸钾(钾含量为 52%),所有肥料在播种时全部沟施。

采用宽垄双行种植模式,每处理重复 4 次,随机区组排列,小区面积为 6 m × 9 m = 54 m^2,行距 0.5 m,株距 0.3 m,种植密度为 57 450 株·hm^{-2},于 2013 年 5 月 5 日播种,10 月 6 日收获。

1.4 取样及测定方法

在马铃薯生育期间,分别于苗期(6 月 23 日)、块茎形成期(7 月 5 日)、块茎膨大期(7 月 31 日)、淀粉积累期(8 月 29 日)和成熟期(9 月 28 日)共取 5 次样,每次 5 ~ 10 株,分根、茎、叶和块茎不同器官分别称鲜重,烘干后称干重,然后粉碎供分析测定。

1.5 数据处理

数据处理及图表绘制用 Excel 2012 和 Spass 21.0 软件进行,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 不同氮水平对旱地覆膜马铃薯生育进程的影响

图 1 为旱地覆膜马铃薯全生育期内块茎和根 +

茎 + 叶的干物质动态积累过程,块茎和根 + 茎 + 叶的干物质动态积累过程的两条线的交点为马铃薯干物质积累的平衡期,此交点可以反应不同氮水平对旱地覆膜马铃薯生育进程的影响。从图中可以看出,施氮处理的干重平衡期较对照处理(T1)要迟 2 ~ 16 d,并且施氮量越多推迟的天数越多。这主要是由于不施或少施氮肥马铃薯生长发育较早,而施氮过多则生长中心未能及时地转移到以块茎生长为中心所致。

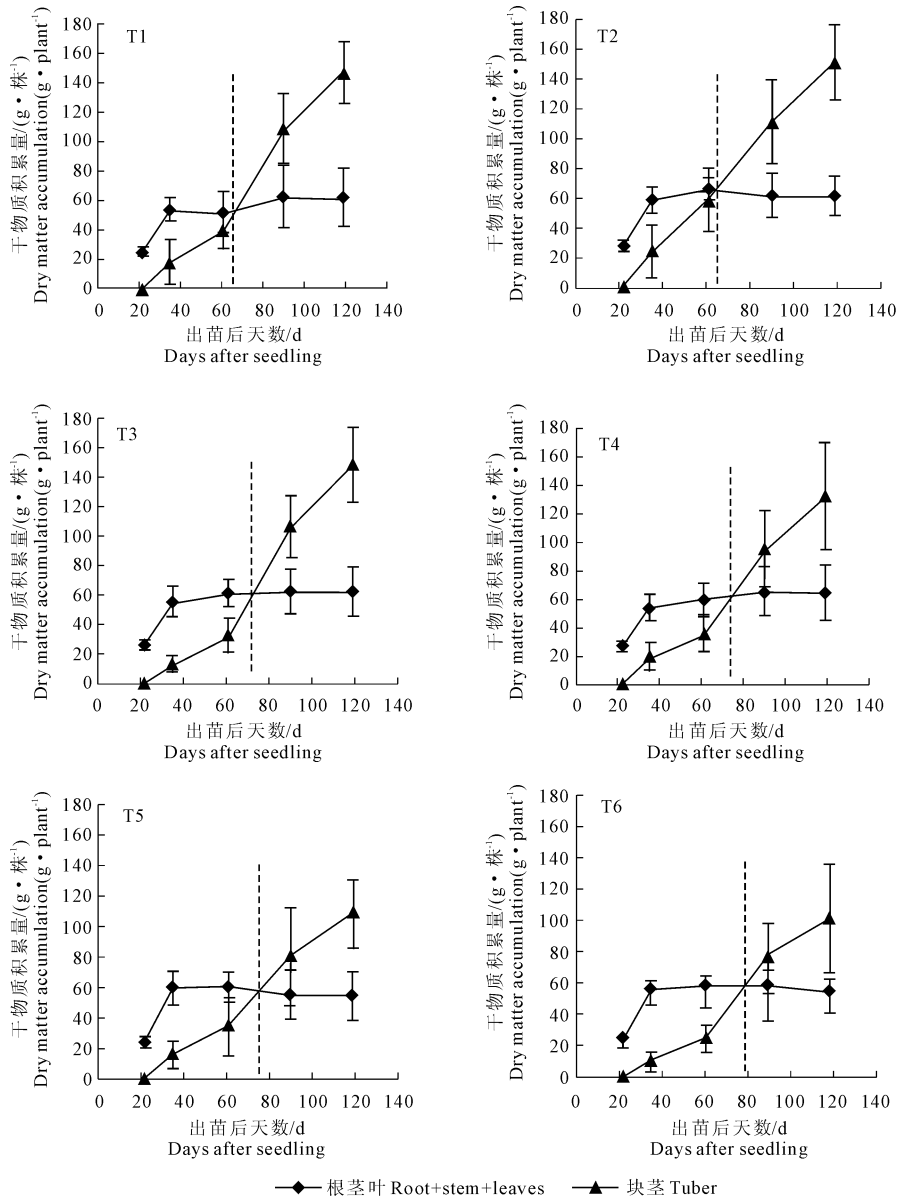

图 1　不同氮水平对旱地覆膜马铃薯块茎和根茎叶干物质动态积累的影响

Fig. 1　Effects of N rates on dry matter accumulation of tuber and root + stem + leaf of potato plants under film mulching culture conditions

在干物质积累量达到平衡直到收获,块茎的干物质积累大于根 + 茎 + 叶的干物质积累,这就形成了干物质积累的“剪刀差”,“剪刀差”的大小反映出块茎产量的高低。T2 和 T3 处理的“剪刀差”与对照处理 T1 相比差异不明显,但 T4、T5 和 T6 处理的“剪刀差”与对照处理 T1 相比差异明显且随着施氮量的增加而明显减小。说明旱地覆膜马铃薯生育期的延迟并不能增加马铃薯块茎产量,究其原因主要是因为施氮量过多,导致马铃薯库源生长不协调所致。

2.2　不同氮水平对旱地覆膜马铃薯干物质积累的影响

2.2.1　*不同氮水平对旱地覆膜马铃薯全株干物质积累的影响*　图 2 为不同氮水平对旱地覆膜马铃薯全株干物质积累动态的影响,图 2 表明在马铃薯的整个生育期内,干物质的积累呈现慢 - 快 - 慢的变化趋势,这和杨进荣等[12]的研究结果相似,其积

累曲线呈现明显的“S”型增长规律。

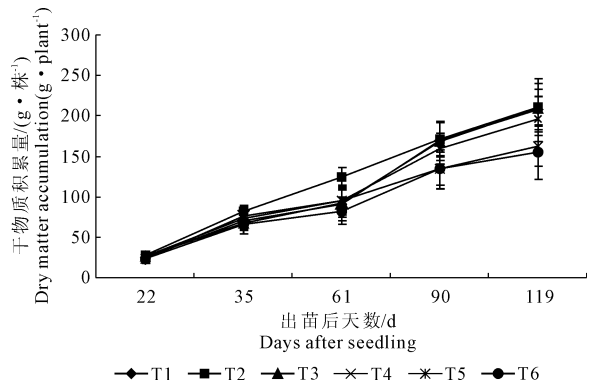

图 2 不同氮水平对旱地覆膜马铃薯全株干物质积累动态的影响

Fig.2 Effects of N rates on dry matter accumulation of the whole potato plant under film mulching

采用 Logisit 方程对田间试验数据进行拟合所得到的方程及参数见表 2,显著性检验表明拟合得到的 Logisit 方程的相关系数均达到显著水平,具有统计学意义。随着施氮量的增加,马铃薯整株干物质快速积累期持续时间(Δt)与不施氮肥的对照处理(T1)相比增加了 2 ~ 14 d,且随施氮量的增加推迟天数越多;v_{max}和 v_{mean}随着施氮量的增加表现为单峰趋势变化,与不施氮肥的对照处理 T1 相比,T2 ~ T6 的 v_{max}分别增加 4.17%、3.41%、-11.36%、-22.73%和 -40.53%,v_{mean}分别增加 1.23%、-7.41%、-14.81%、-26.75%和 -41.98%。值得注意的是,虽然随着施氮量的增加整株干物质快速积累期持续时间(Δt)也在增加,但是,由于 v_{max}和 v_{mean}随着施氮量的增加表现为单峰趋势变化,所以整株干物质量并没有增加;在本试验中,其中 T2(50 kg·hm^{-2})处理 v_{max}和 v_{mean}都最大,而 Δt 和 v_{mean}是决定马铃薯块茎产量高低的重要参数。

表 2 不同氮水平处理下马铃薯全株干物质积累拟合的 Logistic 方程及其参数

Table 2 Effects of different N rates on Logistic equations and their parameters of dry matter accumulation of the whole potato plants under film mulching culture conditions

处理 Treatmet	方程 Equation	a	b	t_0	t_1	t_2	v_{max}	v_{mean}	Δt	R^2	P-valua
T1	$y=234.42/[1+e^{(2.58-0.047t)}]$	2.58	0.045	57	28	85	2.64	2.43	57	0.9730	0.0027
T2	$y=252.45/[1+e^{(2.31-0.042t)}]$	2.31	0.043	54	23	84	2.75	2.46	61	0.9720	0.0028
T3	$y=249.90/[1+e^{(2.57-0.036t)}]$	2.57	0.044	58	29	89	2.73	2.25	60	0.9815	0.0185
T4	$y=228.44/[1+e^{(2.36-0.035t)}]$	2.36	0.041	57	25	90	2.34	2.07	65	0.9724	0.0276
T5	$y=214.68/[1+e^{(2.26-0.031t)}]$	2.26	0.038	59	25	94	2.04	1.78	69	0.9589	0.0031
T6	$y=174.11/[1+e^{(2.04-0.038t)}]$	2.04	0.036	57	20	93	1.57	1.41	73	0.9455	0.0054

注:t 为马铃薯出苗后的天数(d),y 为马铃薯全株干物质积累量(g·株$^{-1}$),t_0 为马铃薯生育期内干物质积累最大速率出现的时间,t_1 和 t_2 分别为 Logisit 生长曲线的两个拐点,即干物质快速积累期的起点和终点时间,v_{max}为马铃薯生育期内其干物质最大增长速率(g·株$^{-1}$·d^{-1}),v_{mean}为马铃薯干物质快速积累期的干物质平均增长速度(g·株$^{-1}$·d^{-1}),Δt 为干物质快速积累期持续时间。

Note: t was days after emergence of potato plants (d), y was dry matter accumulation amount(g·plant^{-1}), t_0 was days of the maximum rate of dry matter accumulation occured, t_1 and t_2 were two inflexion points of Logistic equations, namely, the start point and end point of fast accumulation period of dry matter, v_{max} was the maximum increasing rate of dry matter accumulation, v_{mean} represented the average rate of dry matter accumulation duringfast accumulation period, Δt was the duration of fast accumulation period. The same as below.

2.2.2 不同氮水平对旱地覆膜马铃薯块茎干物质积累的影响 图 3 表明旱地覆膜马铃薯块茎干物质积累也表现出和整株(图 2)相似的“S”型增长规律。同样采用 Logisit 方程对块茎干物质的积累量进行拟合,方程的表达式和相关参数见表 3。马铃薯块茎干物质快速积累期持续时间(Δt)和整株相似,也是随施氮量的增加而增加,与不施氮肥的对照处理 T1 相比增加了 2 ~ 10 d;v_{max}和 v_{mean}的变化趋势也和整株一样,随着施氮量的增加表现出单峰趋势,与不施氮肥的对照处理 T1 相比,T2 ~ T6 的 v_{max}分别增加 7.76%、5.71%、-16.73%、-19.18%和 -33.88%,T2 ~ T6 的 v_{mean}分别增加 7.87%、6.94%、-17.13%、-18.98%和 -35.19%。本试验中,T2(50 kg·hm^{-2})处理 v_{max}和 v_{mean}都要大于其它处理。

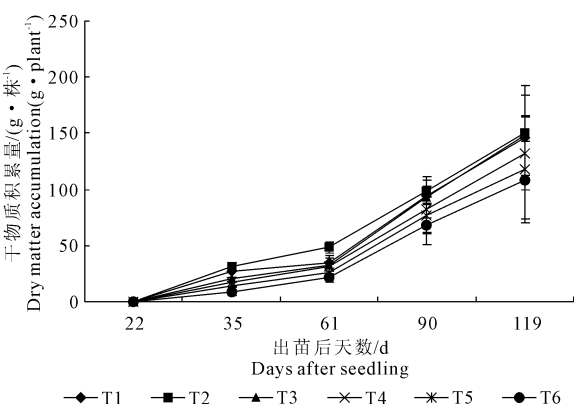

图 3 不同氮水平对旱地覆膜马铃薯块茎干物质积累动态的影响

Fig.3 Effects of N rates on dry matter accumulation of potato tuber under film mulching

表 3　不同氮水平处理下旱地覆膜马铃薯块茎干物质积累拟合的 Logistic 方程及参数

Table 3　Effects of N rates on Logistic equations and their parameters of dry matter accumulation of potato tuber under film mulching

处理 Treatment	方程 Equation	a	b	t_0	t_1	t_2	v_{max}	v_{mean}	Δt	R^2	P-valua
T1	$y=158.34/[1+e^{(4.79-0.062t)}]$	4.79	0.062	77	56	96	2.45	2.16	40	0.9952	0.0048
T2	$y=163.76/[1+e^{(3.82-0.052t)}]$	3.82	0.062	74	57	99	2.64	2.33	42	0.9902	0.0098
T3	$y=159.17/[1+e^{(5.43-0.068t)}]$	5.43	0.068	80	56	100	2.59	2.31	44	0.9972	0.0028
T4	$y=147.80/[1+e^{(4.42-0.055t)}]$	4.42	0.055	80	56	104	2.04	1.79	48	0.9911	0.0089
T5	$y=135.37/[1+e^{(5.04-0.059t)}]$	5.04	0.059	85	59	109	1.98	1.75	50	0.9979	0.0021
T6	$y=119.17/[1+e^{(4.19-0.054t)}]$	4.19	0.054	78	53	101	1.62	1.40	48	0.9931	0.0069

马铃薯整株干物质积累与块茎干物质积累虽有诸多相似之处,但也存在区别,具体而言:马铃薯块茎干物质积累最大速率出现的时间即 t_0 较整株迟 12~24 d,块茎干物质快速积累期的起点 t_1 和终点 t_2 晚于整株 30 d 和 15 d 左右;块茎干物质积累的 v_{max} 和 v_{mean} 均要小于整株;块茎干物质积累最大速率持续时间 Δt 较整株短 17~23 d。

2.3　不同氮水平对旱地覆膜马铃薯植株不同器官干物质量的影响

表 4 表明,收获时整株干物质、茎干重、叶干重和块茎干重的变化趋势和块茎产量的变化趋势相同,均表现出随施氮量的增加而呈先增加后减小的趋势。整株干物质 T2、T3 和 T4 处理与 T1 相比无显著差异,T5 和 T6 与 T1 相比显著下降 19.48%和 26.84%;块茎干重 T2、T3 和 T4 处理与 T1 相比也无显著差异,T5 和 T6 处理与不施氮肥的对照处理 T1 相比显著下降 23.87%和 35.25%。说明过多的施氮量会导致马铃薯产量的显著降低。相关性分析也表明块茎产量和单株结薯重量与马铃薯整株以及各器官干物质间有显著的线性相关,而与根冠比为负相关关系,说明马铃薯整株干物质的足量积累是决定块茎产量的主要条件。各处理的根冠比和收获指数无显著差异。

表 4　不同氮水平对旱地覆膜马铃薯植株不同器官干物质量的影响

Table 4　Effects of N rates on dry matter of different organs of potato under film mulching

处理 Treatment	整株 Whole plant /(g·plant^{-1})	根 Root /(g·plant^{-1})	茎 Stem /(g·plant^{-1})	叶 Leaf /(g·plant^{-1})	块茎 Tuber /(g·plant^{-1})	根冠比 Ratio of root to shoot(RS)	收获指数 Harest index
T1	205.99±23.42a	4.05±1.26a	42.13±13.25a	13.46±8.59b	146.35±42.15ab	0.0729±0.0332a	0.6905±0.0205a
T2	217.04±37.81a	4.26±1.32a	43.56±19.56a	17.97±11.23a	150.25±35.46a	0.0613±0.0421a	0.7123±0.0313a
T3	209.8±25.46a	4.12±1.97a	42.59±16.45a	15.53±9.15ab	148.12±32.48ab	0.0681±0.0239a	0.7060±0.0219a
T4	191.29±31.05ab	4.56±1.56a	40.58±19.46a	14.35±7.56ab	131.8±47.58ab	0.0830±0.0358a	0.6890±0.0289a
T5	172.40±25.18b	3.98±1.68a	37.89±15.43a	13.59±6.58b	118.15±42.09b	0.0789±0.0267a	0.6833±0.0264a
T6	160.66±33.49b	3.56±1.78a	36.54±13.59a	12.58±8.75b	108.21±34.59b	0.0822±0.0342a	0.6753±0.0391a
线性相关分析 Linear correlation analysis($n=24$)							
块茎产量 Tuber yield	$R^2=0.872$	$R^2=0.983$	$R^2=0.898$	$R^2=0.815$	$R^2=0.835$	$R^2=-0.687$	$R^2=0.513$
	$P=0.024$	$P=0.011$	$P=0.015$	$P=0.048$	$P=0.039$	$P=0.132$	$P=0.298$
单株结薯重量 Tuber yield per plant	$R^2=0.953$	$R^2=0.986$	$R^2=0.910$	$R^2=0.895$	$R^2=0.923$	$R^2=-0.715$	$R^2=0.64$
	$P=0.003$	$P=0.009$	$P=0.012$	$P=0.016$	$P=0.009$	$P=0.11$	$P=0.171$

注:根冠比为根系干重和地上部茎和叶片干重之和的比值,收获指数为块茎干重与植株整株的干重比值。

Note: The root shoot ratio(RS) is calculated by root dry matter amount divided by the aboveground dry matter amount, the harvest index(HI) is the ratio of dry matter amount of tuber to the whole plant.

2.4　不同氮水平对旱地覆膜马铃薯干物质分配比例的影响

由表 5 可知,马铃薯干物质在各器官中的分配比例随着生育期的变化而变化。在苗期和块茎形成期,马铃薯干物质的分配以扩大"源"的强度为目的,主要分配在茎和叶中;块茎膨大初期是马铃薯干物质分配的转折点,也就是块茎和根+茎+叶的平衡点(图 1),在此以后,马铃薯干物质的分配以扩大"库"容量为目的,干物质的分配主要以块茎为中心,干物质的分配比例为块茎>茎>叶>根。

表 5 不同氮水平对旱地覆膜马铃薯干物质分配比例的影响

Table 5 Effects of N rates on dry matter distribution of potato plant under film mulching

生育时期 Growth stages	处理 Treatment	根 Root/%	茎 Stems/%	叶 Leaves/%	块茎 Tubers/%
苗期 Seedling stage	T1	9.72 ± 1.83b	37.88 ± 5.21b	52.64 ± 4.43a	—
	T2	10.12 ± 2.62ab	37.85 ± 5.22b	51.61 ± 5.65a	—
	T3	10.72 ± 1.97ab	38.37 ± 6.42ab	50.90 ± 5.06a	—
	T4	10.38 ± 2.36ab	38.48 ± 5.98ab	50.71 ± 5.62a	—
	T5	12.36 ± 2.33a	43.03 ± 4.79a	44.94 ± 4.78ab	—
	T6	11.77 ± 1.81ab	46.07 ± 5.13a	41.78 ± 5.41b	—
块茎形成期 Tuber formation stage	T1	6.93 ± 2.00b	30.82 ± 4.28a	38.75 ± 4.89a	23.50 ± 2.45ab
	T2	6.29 ± 2.12b	28.23 ± 5.37a	38.32 ± 3.73a	27.16 ± 4.18a
	T3	7.06 ± 1.17b	30.13 ± 3.55a	40.37 ± 4.95a	22.44 ± 5.47ab
	T4	7.30 ± 1.90b	30.40 ± 5.05a	39.57 ± 3.97a	22.74 ± 4.22a
	T5	7.16 ± 1.73b	33.50 ± 4.89a	38.41 ± 4.95a	20.94 ± 3.44ab
	T6	9.97 ± 1.93a	35.73 ± 4.97a	43.05 ± 5.77a	11.25 ± 3.52b
块茎膨大期 Tube expansion stage	T1	6.04 ± 1.78a	28.52 ± 5.30b	25.46 ± 4.59ab	39.98 ± 5.03a
	T2	5.64 ± 1.08a	28.82 ± 4.22b	26.32 ± 5.37b	40.72 ± 6.54a
	T3	6.12 ± 1.53a	30.70 ± 5.39ab	27.78 ± 5.23ab	35.33 ± 5.52ab
	T4	6.11 ± 0.92a	30.94 ± 3.28ab	28.94 ± 4.18a	34.01 ± 6.73ab
	T5	6.14 ± 1.21a	32.81 ± 4.25a	28.19 ± 4.78ab	33.57 ± 4.78ab
	T6	6.03 ± 0.98a	37.85 ± 4.73a	32.17 ± 3.99a	24.43 ± 4.91b
淀粉积累期 Starch accumulation stage	T1	3.64 ± 0.56a	24.82 ± 5.19b	7.39 ± 1.91b	62.15 ± 7.38a
	T2	3.23 ± 0.68a	25.19 ± 4.74b	9.18 ± 1.06ab	63.40 ± 6.79a
	T3	2.95 ± 0.86a	26.23 ± 5.23b	9.74 ± 2.06ab	61.08 ± 6.37a
	T4	3.69 ± 0.78a	29.49 ± 5.95ab	10.10 ± 2.42a	56.72 ± 8.31a
	T5	3.70 ± 0.63a	29.48 ± 4.68ab	11.02 ± 2.22ab	55.80 ± 6.04a
	T6	3.40 ± 0.88a	31.03 ± 6.13a	13.70 ± 3.11a	51.88 ± 7.25a
成熟期 Maturity stage	T1	2.15 ± 0.34a	19.98 ± 1.38b	6.49 ± 1.32b	70.56 ± 3.89a
	T2	2.02 ± 0.51a	19.31 ± 2.64b	6.80 ± 2.12b	72.21 ± 4.15a
	T3	1.70 ± 0.42a	20.29 ± 1.97ab	7.40 ± 1.13b	69.60 ± 3.97a
	T4	2.33 ± 0.36a	20.38 ± 3.12ab	7.73 ± 1.76b	68.53 ± 5.16ab
	T5	2.45 ± 0.47a	21.08 ± 3.56ab	8.88 ± 2.01b	64.53 ± 4.29b
	T6	2.39 ± 0.65a	25.15 ± 2.87a	10.48 ± 1.98a	62.28 ± 4.78b

注:表中数据为 4 次重复的平均值 ± 标准差,同列的不同字母表示在相同生育时期内不同处理间差异为 5% 显著水平。

Note: Data in this table are means ± SD ($n = 4$), and values within the same column followed by different letters are significantly different at 5% level.

就不同处理而言,在苗期随着施氮量的增加,茎中所占干物质的比例逐渐增加,与对照处理 T1 相比,T2、T3 和 T4 处理无显著差异,而 T5 和 T6 处理茎所占干物质比例显著增加,而叶片中所占干物质的比例则逐渐减小,与对照处理 T1 相比,T2、T3 和 T4 处理无显著差异,而 T5 和 T6 处理叶片所占干物质比例显著下降。在块茎膨大期至成熟期,施氮处理显著增加了茎和叶中干物质的分配比例。到成熟期,茎和叶片中干物质分配比例则明显随着施氮量的增加而增加;随着施氮量的增加,块茎中干物质所占比例则先增后减,其中以 T2 处理(50 kg·hm^{-2})干物质在块茎中所占比例最高,与对照处理 T1 相比,其它处理块茎所占干物质比例分别增加 2.86%、-1.38%、-2.96%、-9.34% 和 -17.05%。可见不施氮肥,虽然生长发育较早,但后劲不足,但施氮过多,则导致源库不协调,造成干物质分配失衡。所以适宜的施氮水平不仅可以促进马铃薯各器官的稳健生长,而且有助于产量的提高。

2.5 不同氮水平对马铃薯田间农艺性状、块茎产量及产量构成因素的影响

收获时调查了马铃薯的块茎产量和产量构成因素以及植株的农艺性状(表 6)。由表 6 可见,随着

施氮量的增加,块茎产量呈先增加后减小的单峰趋势变化,与对照处理 T1 相比,T2 处理增产 17.86%,T3、T4、T5 和 T6 块茎产量则明显下降,分别下降 6.88%、21.06%、27.05% 和 38.63%。与 T1 相比,施氮处理增加了马铃薯的株高,而单株结薯数则无显著差异;单株结薯重量和平均单薯重量的变化趋势和块茎产量的变化趋势相同,也是随施氮量的增加呈先增加后减小的趋势。相关分析结果表明,块茎产量与茎粗、平均单薯重量、单株结薯重量呈显著正相关关系,单株结薯重量与平均单薯重量也呈显著正相关关系,而块茎产量与株高、主茎数呈显著负相关关系,单株结薯重量也与株高、主茎数呈显著负相关关系。

表 6　不同氮水平对旱地覆膜马铃薯田间农艺性状及产量构成因素的影响

Table 6　Effects of N rates on agronomic traits and yield component of potato plant under film mulching

处理 Treatment	产量 Tuber yield /(kg·hm^{-2})	株高 Plant height /cm	主茎数 Main stem number per plant	茎粗 Stem diameter /mm	单株结薯数/个 Tuber number per plant	单株结薯重量 Tuber yield per plant /g	平均单薯重量 Average fresh-weight of individual tuber/g
T1	21001 ± 1549b	89.42 ± 13.77b	1.88 ± 0.36a	14.5 ± 2.3 a	5.3 ± 0.6a	581.80 ± 199.57ab	109.77 ± 29.56a
T2	24752 ± 1819a	92.89 ± 12.60ab	2.05 ± 0.56a	15.1 ± 3.6 a	6.1 ± 1.1a	701.08 ± 138.72a	120.88 ± 32.45a
T3	19649 ± 1584bc	95.00 ± 7.77ab	2.50 ± 0.34a	14.3 ± 1.8 a	5.2 ± 0.9a	595.49 ± 202.88ab	114.52 ± 21.34a
T4	17348 ± 2219bcd	99.95 ± 9.51a	2.25 ± 0.56a	12.9 ± 2.7 ab	5.6 ± 1.4a	524.31 ± 205.83ab	93.63 ± 19.87ab
T5	16529 ± 1679cd	95.55 ± 13.51ab	2.10 ± 0.47a	10.5 ± 2.2 b	6.2 ± 1.7a	472.42 ± 158.67b	76.20 ± 15.43b
T6	15149 ± 1139d	94.84 ± 14.43ab	2.21 ± 0.59a	9.3 ± 1.9 b	5.5 ± 0.8a	434.92 ± 202.83b	79.08 ± 16.52b
线性相关分析 Linear correlation analysis(n = 24)							
块茎产量	R^2 = 1.0000	R^2 = −0.5430	R^2 = −0.3183	R^2 = 0.8851	R^2 = 0.1431	R^2 = 0.9433	R^2 = 0.8865
Tuber yield	P = 0.0000	P = 0.2661	P = 0.5391	P = 0.0019	P = 0.7871	P < 0.0001	P = 0.0019
单株结薯重量	R^2 = 0.9433	R^2 = −0.3712	R^2 = −0.1355	R^2 = 0.9266	R^2 = 0.3711	R^2 = 1.000	R^2 = 0.9434
Tuber yield per plant	P < 0.0001	P = 0.5443	P = 0.7993	P < 0.0001	P = 0.0682	P = 0.0000	P < 0.0001

3　讨　论

3.1　不同氮水平对旱地覆膜马铃薯生育进程的影响

在马铃薯生长发育过程中存在一个鲜重平衡期和干重平衡期,从时间和空间上反映了“源 – 库”是否协调,也反映了“源 – 库”间相互制约、相互促进的关系[13-14]。在干重平衡期之前,主要是“源”的生长,光合产物主要用于建造地上部植株有机体[15],干重平衡期则“源库”生长并进,在干重平衡期后,光合产物则主要用于“库”的充实,即块茎的迅速膨大和淀粉的积累。在本试验中,干重平衡期随着施氮量的增加而后延,并且施氮量越多推迟的天数越多,说明施氮会影响旱地覆膜马铃薯生育进程,这主要是由于:一方面不施氮“源”器官发育不良,影响了干物质的积累,导致干重平衡期出现较早,也因为“源”量的不足影响了“库”的扩充,另一方面施氮量较多则生长中心未能及时转移到以块茎增长为主导致干重平衡期推迟。马铃薯对氮肥敏感,不同施氮水平显著影响马铃薯的生长,随着氮肥用量的增加,马铃薯出苗后的各生育进程后延。说明适宜的施氮量不仅有利于马铃薯出苗后各器官的生长发育和建成,也有利于同化产物的积累。

3.2　不同氮水平对马铃薯干物质积累及分配的影响

光合产物的积累以及在各器官中的分配与块茎产量密切相关,为提高马铃薯块茎产量,在增加干物质积累的同时,必须促进同化产物的合理分配,提高干物质的有效利用率[16]。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[17-18]。本研究表明,马铃薯块茎干物质积累最大速率出现的时间即 t_0 迟于整株;整株和块茎干物质快速积累期持续时间 Δt 均随着施氮量的增加而增加,然而由于 v_{max} 和 v_{mean} 是随着施氮量呈单峰趋势变化,从而导致整株和块茎干物质并不是随施氮量的增加而增加,而是随施氮量的增加呈单峰趋势变化,这说明施氮量的增加会导致马铃薯的贪青晚熟,从而导致产量的降低。在马铃薯的全生育期内,全株和块茎的干物质积累出现相似的“S”型曲线变化,马铃薯干物质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[19-20]。马铃薯最终产量的形成除了与各器官干

物质的积累量有关外,还与干物质在各器官中的分配和协调生长密切相关[5]。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。干物质在各器官的有效分配是产量形成的关键[5],随着施氮量的增加,在苗期增加了茎所占干物质的比例而减小了叶片所占干物质的比例,从块茎膨大期至成熟期,随着施氮量的增加茎和叶片所占干物质的比例表现出整体增加的趋势,而块茎所占干物质比例随着施氮量的增加呈单峰趋势变化。氮肥用量不仅影响干物质的积累和干物质在各器官中的有效分配,也影响流的畅通性,因此只有适宜的施氮量才会协调植株各器官的生长发育和建成,才能进行有效的干物质分配。

3.3 不同氮水平对旱地覆膜马铃薯田间农艺性状、块茎产量及构成因素的影响

随着施氮量的增加,马铃薯块茎产量呈先增加后减小的趋势,这主要是由于不施氮源器官发育不足,从而影响干物质的积累,施氮量过多则导致马铃薯生长中心未能及时地转移到以块茎为主。施氮量对马铃薯农艺性状的影响主要表现为对茎粗的影响,而对株高和主茎数则没有显著的影响,茎粗的减小会导致光合源面积的减小,光合强度不足,从而影响干物质的积累。施氮量对马铃薯单株结薯数没有显著影响,对单株结薯重量和平均单薯重有显著影响,而单株结薯重量和平均单薯重的变化是导致产量降低的直接原因。在本试验条件下,一方面由于当年马铃薯生长季降水量少(全年总 299.00 mm),这可能是导致产量低的主要原因之一,另一方面由于土壤有机质和碱解氮分别达到 16.2 $g\cdot kg^{-1}$和 95.4 $mg\cdot kg^{-1}$,所以在当地旱作条件下当目标产量为 1.65 $t\cdot 667m^{-2}$时,施氮 50 $kg\cdot hm^{-2}$即可满足马铃薯对氮素的需求。

参 考 文 献:

[1] 王火焰,周健民.根区施肥——提高肥料养分利用率和减少面源污染的关键和必需措施[J].土壤,2013,45(5):785-790.

[2] 巨晓棠,谷保静.我国农田氮肥施用现状、问题及趋势.植物营养与肥料学报[J].2014,20(4):783-795.

[3] 周 杰,侯雪坤.氮钾配施对大麦产量和品质的影响研究[J].黑龙江八一农垦大学学报,2010,22(3):19-21.

[4] 廖佳丽,徐福利,赵世伟.宁南山区施肥对马铃薯生长发育、产量及品质的影响[J].中国土壤与肥料,2009,(4):47-52.

[5] KrassA, Marschner H. Influence of nitrogen nutrition, day length and temperature 011 contents of GA and ABA and oil tuberization of potato plants[J]. Potato Res, 1982,(25):13-21.

[6] 姚宝全.冬季马铃薯氮磷钾肥料效应及其适宜用量研究[J].福建农业学报,2008,23(2):191-195.

[7] 郑顺林,李国培,杨世民,等.施氮量及追肥比例对冬马铃薯生育期及干物质积累的影响[J].四川农业大学学报,2009,27(3):270-274.

[8] 谷浏涟,孙 磊,石 瑛,等.氮肥施用时期对马铃薯干物质积累转运及产量的影响[J].土壤,2013,45(4):610-615.

[9] 周攒义,张兴梅,王 鹏,等.氮肥不同用量对马铃薯氮素吸收·产量与品质的影响[J].安徽农业科学,2013,41(15):6671-6673.

[10] 宫占元,焦 峰.不同氮水平对马铃薯干物质积累和产量的影响[J].黑龙江八一农垦大学学报,2012,24(4):1-3,10.

[11] 吉玮蓉,张吉立,孙海人,等.不同施氮量对马铃薯养分吸收及产量和品质的影响[J].湖北农业科学,2013,52(21):5158-5160,5166.

[12] 杨进荣,王成社,李景琦,等.马铃薯干物质积累及分配规律研究[J].西北农业学报,2004,13(3):118-120,134.

[13] 刘克礼,高聚林,孙会忠,等.马铃薯源的供应能力与库容量的关系[J].中国马铃薯,2004,18(1):4-8.

[14] 门福义,刘梦芸,张志林.马铃薯的产量形成与生育阶段[J].内蒙古农牧学院学报,1980,(1):72-81.

[15] 卢建武,邱慧珍,张文明,等.半干旱雨养农业区马铃薯干物质和钾素积累与分配特性[J].应用生态学报,2013,24(2):423-430.

[16] 高聚林,刘克礼,张宝林,等.马铃薯干物质积累与分配规律的研究[J].中国马铃薯,2003,17(4):209-212.

[17] 刘克礼,高聚林,任 珂,等.旱作马铃薯氮素的吸收、积累和分配规律[J].中国马铃薯,2003,17(6):321-325.

[18] 苏小娟.施肥对不同品种马铃薯养分吸收及产量和品质的影响[D].兰州:甘肃农业大学,2010.

[19] 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):9-15.

[20] 王爱华,张文芳,黄冲平.马铃薯干物质分配与器官建成的动态模拟研究[J].生物数学学报,2005,20:356-362.