不同土壤肥力水平下施氮对甘薯产量与氮肥利用率的影响

窦怀良，史衍玺，刘 庆，李 欢
（青岛农业大学资源与环境学院，山东 青岛 266109）

摘要：为探明不同土壤肥力条件下施用氮肥对甘薯产量和氮肥利用率的影响，选取鲜食型甘薯品种烟薯25号为试验材料，采用大田试验，研究了施氮对不同土壤肥力下甘薯产量及产量构成因素、干物质积累规律和氮肥利用率的影响。结果表明：不施氮条件下，甘薯蔓数、最大蔓长度、叶面积指数和产量均表现为高肥力＞中肥力＞低肥力（$P<0.05$）。3 种土壤肥力条件下，增施氮肥均能显著增加甘薯蔓数、最大蔓长度和叶面积指数（$P<0.05$），但对最大蔓节间数影响不显著。高肥力、中肥力和低肥力地块分别在施氮量为 50，100，150 kg/hm^2 时获得最高产量，分别较不施氮处理（N_0）增产 16.06%，29.63%和 33.33%。与地力条件无关，增施氮肥均能提高甘薯地上部干物质累积量。中、低土壤肥力条件下，甘薯氮累积量随施氮量增加逐渐增加，而高土壤肥力条件下呈先增加后降低的趋势；高肥力地块氮肥利用率随施氮量增加而逐渐降低，中肥力地块先增加后逐渐降低，在 100 kg/hm^2 时氮肥利用率最高，低肥力地块逐渐增加。综合产量和氮肥利用率，可知高肥力、中肥力和低肥力地块甘薯适宜施氮量分别为 50，100，150 kg/hm^2。

关键词：土壤肥力；氮肥施用量；氮肥利用率；甘薯；干物质积累量
中图分类号：S143；S531 **文献标识码**：A **文章编号**：1009-2242(2017)04-0235-06
DOI：10.13870/j.cnki.stbcxb.2017.04.037

Effects of Nitrogen Application on Yield and Nitrogen Use Efficiency of Sweet Potato Under Different Soil Fertility

DOU Huailiang, SHI Yanxi, LIU Qing, LI Huan
(*College of Resources and Environmental Science, Qingdao Agricultural University, Qingdao, Shandong* 266109)

Abstract: Effects of different nitrogen application rates on sweet potato yield and nitrogen use efficiency under different soil fertility conditions were explored. Field experiments were carried out to investigate the effects of nitrogen fertilizer on yield, yield components, dry matter accumulation and nitrogen use efficiency of Yanshu25, under different soil fertility levels. As results showed, without nitrogen fertilizer, the number of branches, the length of the longest stem, the leaf area index, and the yield were following this order: high soil fertility＞middle soil fertility＞low soil fertility, and the differences were significant. Nitrogen fertilizer could increase the first three indices under three soil fertility conditions ($P<0.05$), but had no significant effect on the number of the largest internodes. Field plots with high, middle and low fertility levels gained the largest yields when nitrogen fertilizers were 50, 100, and 150 kg/hm^2, respectively, which increased by 16.06%, 29.63% and 33.33%, respectively, compared to the control. Besides, nitrogen fertilizer could increase accumulation of above-ground dry matter s of sweet potato under all soil fertility levels. Lastly, with the increasing of nitrogen addition, the nitrogen accumulation were increased for middle and low fertility of plots, but first increased and then decreased for high fertility of plots. With the increasing nitrogen application rates, nitrogen use efficiency decreased under the high fertility, while increased under the low fertility, and was the highest under the middle fertility with 100 kg/hm^2. The optimum nitrogen application rates for sweet potato in high, middle and low soil fertility are 50, 100 and 150 kg/hm^2, respectively.

Keywords: soil fertility; nitrogen fertilizer application; nitrogen use efficiency; sweet potato; dry matter accumulation

收稿日期：2017-02-13
资助项目：现代农业产业技术体系建设专项（CARS-10-B10）
第一作者：窦怀良（1990—），男，硕士研究生，主要从事植物营养研究。E-mail：773423750@qq.com
通信作者：史衍玺（1955—），教授，博士生导师，主要从事植物营养机理与调控研究。E-mail：yanxiyy@126.com

氮素具有调控甘薯茎叶生长、干物质积累及产量的作用[1]。若供氮不足，甘薯茎叶生长缓慢，干物质积累较少而导致产量下降；若供氮过量，甘薯茎叶旺长，干物质积累虽多但向地下部薯块分配的较少，延缓结薯，也会使薯块的产量降低；适宜的供氮水平与甘薯高产密切相关[2-6]。甘薯生长期间吸收与积累的氮素，既受施氮量的影响，也取决于种植甘薯土壤的供氮状况[7]。因此，在甘薯栽培过程中，针对植薯土壤实际的供氮水平，确定适宜的施氮量是甘薯高产的关键措施。

大量的研究表明适量增施氮肥可以促进地上部生长，提高甘薯产量[8]，随着施氮量的增加，甘薯氮素积累量增加，氮素利用率降低[9-10]。目前，关于不同区域施用氮肥对甘薯产量效应的研究表明，土壤基础肥力越高，氮肥需求量越小，甘薯的生产潜力越大，土壤基础肥力越低，甘薯需肥量越大，增产效果越显著[7]。但是，对同一地区不同土壤肥力条件下，施氮量对甘薯产量及氮肥利用率的比较研究尚未见报道。

近年来，随着人们对甘薯健康功能的日益重视与甘薯经济效益的增加[11]，种植面积不断扩大，植薯土壤的肥力差异随之增大。尤其在土壤肥力较高的地块上种植甘薯与施用氮肥不当，出现了甘薯“长秧不结瓜”的现象，产量低而不稳。“因土施氮”已成为甘薯高产栽培亟待解决的问题。因此，本项研究采用田间试验方法，研究土壤肥力高、中、低水平下，施氮量对甘薯产量与氮肥利用率的影响，旨在探明不同土壤肥力条件下，施氮量对甘薯生长、干物质积累及产量的效应，为甘薯的氮素营养调控与高产提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

1.1.1 试验地概况 田间试验位于莱阳市团旺镇东张各庄村。在采集 8 个地块的表层(0—20 cm)土壤样品并进行理化性状测定的基础上，根据研究目的，以土壤碱解氮含量的丰缺指标为主要依据，参照土壤有机质分级方法等，从中选出土壤肥力高、中、低的 3 个地块，其土壤主要理化性状见表 1。研究区的地形为丘陵，所选 3 块试验地的地势较平坦，土壤类型均为棕壤，其母质为酸性岩的残坡积物、质地类型均为砂壤土。高肥力地块处在丘陵底部，前茬作物为夏玉米，连续多年小麦－玉米轮作。中、低肥力的地块处在丘陵顶部，前茬作物为花生。3 块试验地最大相距约 1.1 km，试验环境与气候条件相近。由于各地块的土壤速效磷、钾养分存在差异，试验中设置了磷肥、钾肥作肥底，以满足甘薯正常生长对磷、钾营养的需求，其目的是排除非试验因素(P、K)对试验因素(N)的限制。

表 1 试验地土壤理化性质

土壤肥力	有机质含量/(g·kg^{-1})	碱解氮含量/(mg·kg^{-1})	速效磷含量/(mg·kg^{-1})	速效钾含量/(mg·kg^{-1})	土壤 pH(土∶水=1∶2.5)
高肥力	15.2	78.34	20.23	81.52	5.8
中肥力	11.8	57.30	14.23	61.32	5.7
低肥力	8.6	30.32	7.89	42.07	5.8

1.1.2 试验设计 试验共设 5 个处理，其氮肥施用量分别为：0(CK)，50，100，150，225 kg /hm^2，分别用 N_0、N_{50}、N_{100}、N_{150}、N_{225} 表示。氮肥采用尿素(含氮量 46%)，在插秧时以滴灌(文丘里施肥器)形式施入，施肥均匀。3 块试验地均以磷肥(P_2O_5 75 kg/hm^2)、钾肥(K_2O 150 kg/hm^2)作肥底，磷肥用过磷酸钙、钾肥用硫酸钾，均在耕地起垄前按小区作基肥一次性施入。

试验小区面积为 51.2 m^2，长 8 m，宽 6.4 m(8 垄，垄宽 0.8 m)，重复 3 次，随机区组排列。供试品种为烟薯 25 号，鲜食型，薯蔓较长，经品种耐氮性比较试验，属耐氮性品种。采用起垄栽培方式，株距 25 cm，种植密度为 5 万株/hm^2，于 2016 年 5 月 12 日插秧，按常规栽培要求进行田间管理。

1.2 样品采集与测定

1.2.1 生长指标测定 分别于插秧后 50，75，100，125，150 d 采样。随机选取每个处理的 1 个小区内第 2，3，4 垄为采样区，从第 2 垄开始，每次顺序采集正常生长的 20 株。分别测定每个植株的蔓数、最大蔓长(每株最长蔓的长度)，并对其节间进行计数；挖出块根称重，统计单株薯块数。每个采样时期均取 5 株完整的植株，把叶片摘下，称取叶片总质量(M)，然后取部分叶片在彩色扫描仪内扫描，保留电子图片并称取扫描叶片的质量(m)，将图片导入本实验室编程的叶面积计算程序内，计算扫描叶片的叶面积(s)。根据公式 $LAI=M\times s/(m\times 10005)$，进而计算叶面积指数(按照 5 万株/hm^2 计算)。

1.2.2 干物质量和氮积累量测定 将地上部茎叶切碎混合均匀后，称取鲜样 300 g，切碎置入牛皮袋内，在鼓风干燥箱内 105 ℃杀青 30 min 后，再在 80 ℃烘至恒重，称取干重以计算干物质累积量。多功能粉碎机磨细，过筛后置入塑封袋内备用。采用凯氏定氮法测定植株各器官的全氮含量。

1.2.3 产量测定 收获期将采样区剩余第 5，6，7 和每个处理剩余试验小区全部收获，按小区全部称重计

产。收获期调查结薯数,测定各处理的块根产量和地上部生物量。

1.3　计算公式

氮收获指数=甘薯块根吸氮量/植株总吸氮量

氮肥利用率=(施肥区氮吸收量-不施肥区氮吸收量)/施氮量×100

氮肥农学利用率=(施氮区产量-不施氮区产量)/施氮量

氮肥偏生产力=施氮区产量/施氮量

1.4　数据分析

用 SPSS 18.0 进行数据统计分析,方差分析比较处理间的效应差异,LSD 法比较平均数间的差异显著性。

2　结果与分析

2.1　不同土壤肥力水平下施氮量对甘薯茎蔓生长的影响

表 2 为栽插后 100 天时不同肥力水平地块甘薯茎蔓的生长状况。随施氮量增加,甘薯的叶面积指数、蔓数和最大蔓长度均呈增加趋势,不同施氮量之间差异显著($P<0.05$)。在相同施氮量下,甘薯的叶面积指数、蔓数和最大蔓长度均表现为高肥力>中肥力>低肥力。随着施氮量的增加,不同肥力水平地块甘薯最大蔓的节间数均有增多的趋势,但未达到显著水平($P<0.05$)。

2.2　不同土壤肥力水平下施氮量对甘薯干物质积累与分配的影响

甘薯的干物质动态变化反映了其生长状况与土壤的氮素营养水平之间的关系,是甘薯产量形成的关键因素。从表 3 可以看出,施用氮肥可以显著提高不同肥力地块甘薯各生育期地上部干物质累积量,与 N_0 相比,甘薯各生育期地上部干物质积累量均随施氮量增加而增大。在相同施氮量下,地上部干物质积累量表现为高肥力>中肥力>低肥力。地下部干物质积累量随施氮量增加呈先增加后降低的趋势。150 天时,3 种肥力土壤甘薯最大干物质累积量分别为 13.23,10.37,7.31 t/hm^2,与 N_0 相比分别增加了 13.17%,29.63%和 33.39%。,此时高、中、低肥力地块对应的施氮量分别为 50,100,150 kg/hm^2。

表 2　不同施氮量下甘薯茎蔓生长指标

土壤肥力	处理	叶面积指数	蔓数	最大蔓长度/cm	最大蔓节间数
高肥力	N0	3.79e	10.74c	80.46c	41.7a
	N50	4.02d	11.78b	92.07b	42.0a
	N100	4.78c	12.45b	120.62a	43.5a
	N150	5.14b	15.11a	124.67a	45.4a
	N225	6.02a	15.30a	127.09a	45.2a
中肥力	N0	2.78e	8.32d	59.76d	31.5a
	N50	3.68d	9.65c	69.57c	32.5a
	N100	3.98c	11.05b	75.57bc	33.7a
	N150	4.89b	11.32b	91.89a	34.8a
	N225	4.98a	12.56a	83.14b	35.3a
低肥力	N0	1.95e	6.00d	44.83d	29.9a
	N50	2.35d	6.67c	55.84c	29.7a
	N100	3.57c	8.00b	62.27b	30.0a
	N150	4.74b	9.83a	68.53a	30.7a
	N225	4.85a	10.23a	72.37a	31.8a

注:同列数据后不同字母表示相同肥力水平土壤不同处理间在 $P<0.05$ 水平差异显著。下同。

表 3　不同施氮量下甘薯生育期的干物质积累量

土壤肥力	处理	地上部干物质累积量/(t·hm^{-2})					地下部干物质累积量/(t·hm^{-2})				
		50 d	75 d	100 d	125 d	150 d	50 d	75 d	100 d	125 d	150 d
高肥力	N0	3.43d	5.32c	12.87b	12.28e	9.87c	1.06b	5.30b	5.87c	8.76d	11.69b
	N50	3.57c	5.67bc	13.88ab	14.39b	11.78a	1.24a	5.94a	6.97b	9.23c	13.23a
	N100	3.77b	6.26bc	14.94a	13.18c	10.20b	0.99bc	4.13c	7.70a	9.31c	11.99b
	N150	3.69b	6.89ab	15.31a	13.87c	10.04b	0.92c	5.15b	7.48a	9.81a	9.97c
	N225	3.87a	7.92a	15.79a	14.93a	11.90a	0.45d	3.12d	3.48d	9.46b	9.40d
中肥力	N0	2.41c	3.72b	10.57b	9.98c	8.66e	0.63d	1.45e	4.76c	6.53c	8.00e
	N50	2.49c	3.97b	11.55ab	9.69c	9.24d	0.65c	2.14b	4.84c	6.43c	8.96d
	N100	2.62ab	4.37ab	12.25ab	10.93b	9.79c	0.69b	1.79c	5.14b	6.95bc	10.37a
	N150	2.59b	4.81ab	13.28a	10.69b	10.32b	0.64d	1.64d	5.72a	7.21b	10.22b
	N225	2.70a	5.53a	12.87a	11.92a	10.95a	0.76a	2.52a	5.73a	7.53a	9.72c
低肥力	N0	1.68d	2.59e	5.52c	5.18c	4.33e	0.18c	0.76c	3.10e	4.34c	5.48d
	N50	1.74c	2.77d	6.76bc	6.51b	5.03d	0.23b	1.55ab	3.55d	4.89b	6.57c
	N100	1.83b	3.05c	7.28bc	6.67ab	5.78c	0.28a	1.71a	3.81c	4.90b	6.71c
	N150	1.85ab	3.35b	7.46ab	7.00b	6.70b	0.18c	1.38b	4.91a	5.26a	7.31a
	N225	1.89a	3.86a	9.19a	8.54a	8.39a	0.22b	1.26b	4.35b	5.20ab	7.01b

T/R 值是地上部干物质量(T)与地下部干物质量(R)的比值,反映了甘薯地上部、地下部干物质的分配状况。由表 4 可以看出,3 种土壤肥力条件下,增施氮肥,增加了移栽 100 天前 T/R 值,表明增施氮肥可提高地上部光合产物的形成。收获时甘薯的 T/R 比值降到生育期中最小值,高、中、低肥力地块在最大产量施氮量下的 T/R 比值分别为 0.89,0.94 和 0.92。

表 4 不同施氮量下甘薯各生育期 T/R 值

土壤肥力	处理	T/R				
		50 d	75 d	100 d	125 d	150 d
高肥力	N0	3.24c	1.00c	2.19b	1.40b	0.84c
	N50	2.88d	0.96c	1.99a	1.56a	0.89b
	N100	3.83c	1.51b	1.94a	1.42b	0.85c
	N150	4.02b	1.34bc	2.06bc	1.41b	1.01c
	N225	8.63a	2.54a	4.53a	1.59a	1.27a
中肥力	N0	3.80b	2.57b	2.22b	1.53a	1.08a
	N50	3.82b	1.85d	2.39a	1.51a	1.03b
	N100	3.82b	2.46b	2.38a	1.57a	0.94b
	N150	4.08a	2.93a	2.31a	1.48b	1.01c
	N225	3.57c	2.19c	2.26b	1.58a	1.13b
低肥力	N0	9.50b	3.42a	1.78c	1.19c	0.79d
	N50	7.46d	1.79c	1.91a	1.33bc	0.77d
	N100	6.52e	1.78c	1.91a	1.36b	0.86c
	N150	10.28c	2.43b	1.52c	1.33b	0.92b
	N225	8.59a	3.06b	2.11b	1.64a	1.20a

2.3 不同土壤肥力水平下施氮量对产量及产量构成因子的影响

甘薯块根产量与单位面积种植株数、单株结薯个数及平均单薯质量关系密切，而单个薯块质量关系到甘薯的经济效益。由表 5 可以看出，随着施氮量的增加，各地块的单株结薯数呈先增加后降低的趋势，高、中、低肥力地块的单株结薯数分别在施氮量为 50，100，150 kg/hm^2 时达到最大值。与 N_0 相比，低肥力地块单薯重随施氮量增加呈现逐渐减小的趋势，高、中肥力地块单薯重则随施氮量增加呈现逐渐增大的趋势。

3 种肥力地块在不同施氮量下的产量表现为随着施氮量增加呈先增加后降低的趋势，且在不施氮条件下，甘薯产量表现为高肥力＞中肥力＞低肥力。高肥力地块在施氮量 50 kg/hm^2 时获得最高产量，与 N_0 相比增加了 16.06%，而当施氮量为 225 kg/hm^2，与 N_0 相比产量降低了 19.59%；中肥力地块在施氮量为 100 kg/hm^{2}时获得最高产量，与 N_0 相比增加了 29.63%，此后随施氮量增加，产量逐渐降低；低肥力地块则在施氮量为 150 kg/hm^2 时产量达到最大，与 N_0 相比增加了 33.33%。不同肥力地块施氮的最大增产率表现为低肥力＞中肥力＞高肥力，施用氮肥可以显著提高中、低肥力地块甘薯的产量。

将 3 种不同肥力条件下薯块产量和施氮量进行拟合(图 1)，得到一元二次肥料效应方程：$Y_1=-0.0003X_1^2+0.0135X_1+46.326$，$R^2=0.704\ 2$(高肥力)；$Y_2=-0.0004X_2^2+0.1216X_2+29.641$，$R^2=0.947\ 6$(中肥力)；$Y_3=-0.0002X_3^2+0.0708X_3+20.802$，$R^2=0.953\ 8$(低肥力)。说明在本试验条件下，中、低肥力土壤薯块产量和施氮量间有较好的相关性。通过肥料效应函数计算可知，3 种土壤肥力下，甘薯获得最高薯块产量时的施氮量分别为 22.5，152，177 kg/hm^2，其最高薯块产量分别为 46.48，38.88，27.07 t/hm^2。

表 5 不同施氮量下甘薯产量及产量构成因子

土壤肥力	处理	单株结薯数	单薯重/g	产量(鲜)/(t·hm^{-2})	增产率/%
高肥力	N0	4.87b	180.08c	43.84b	—
	N50	5.27a	193.13b	50.88a	16.06
	N100	4.60b	195.49d	44.96b	2.55
	N150	3.81c	196.29b	37.39c	−14.71
	N225	3.20d	220.33a	35.25d	−19.59
中肥力	N0	4.47d	134.24c	30.00e	—
	N50	4.94c	136.06c	33.60d	12.00
	N100	5.49a	141.68b	38.89a	29.63
	N150	5.24b	146.29a	38.32b	27.73
	N225	4.90c	148.82a	36.46c	21.53
低肥力	N0	2.27d	181.08a	20.55c	—
	N50	2.73c	180.50a	24.64b	19.90
	N100	3.73b	134.98c	25.17b	22.48
	N150	4.87a	112.55d	27.40a	33.33
	N225	4.86a	111.25d	27.03a	31.53

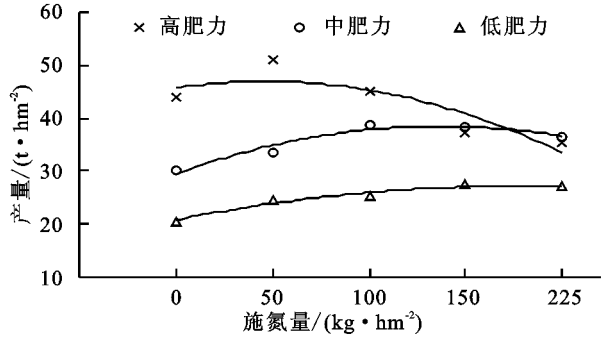

图 1 薯块产量和施氮量间的二次曲线关系

2.4 不同土壤肥力水平下施氮对甘薯氮累积量的影响

表 6 列出了甘薯在 150 天时的氮素累积量。随着施氮量的增加，甘薯地上部氮累积量逐渐增加，不同施氮量之间差异显著($P<0.05$)，且在相同施氮处理下，表现为高肥力＞中肥力＞低肥力地块。甘薯地下部氮累积量在高肥力条件下随着施氮肥量的增加呈先升高后降低的趋势，在低、中肥力条件下呈逐渐增加的趋势。表明适量施氮能够增加薯块中氮累积量，而过量施氮造成薯块氮素累积量减少。

2.5 不同土壤肥力水平下施氮量对甘薯氮肥利用率的影响

由表 7 可知，甘薯的氮收获指数在中、低肥力条件下，随着施氮量的增加而大幅提高，而在高肥力条件下表现为先升高后降低。低肥力地块在施氮量为 225 kg/hm^2 时，氮肥利用率达 42.15%，在所有处理中达最高，高、中肥力地块分别在施氮量为 50 kg/hm^2 和 100 kg/hm^2 时最高，氮肥利用率分别为 19.82%和 38.36%。

甘薯氮肥农学利用率在高、低肥力水平下，随着施氮量的增加逐渐减小，在中肥力水平下呈现先升高后降低的趋势。氮肥偏生产力在高、中、低 3 种土壤肥力水

平下均随氮肥用量增加而显著降低,其随施氮量变化与下降的幅度分别为 223.09,136.19,100.36 kg/kg。

表 6　不同施氮量下甘薯氮素累积量

单位:kg/hm²

土壤肥力	处理	地上部	地下部	整株
高肥力	N0	117.75d	128.70c	246.45c
	N50	120.75c	135.60a	256.35a
	N100	126.15b	130.35b	256.50a
	N150	123.00b	126.90c	249.90b
	N225	148.95a	100.65d	249.60b
中肥力	N0	108.75b	35.85e	144.60e
	N50	109.05b	49.95d	159.00d
	N100	105.15c	77.85c	183.00c
	N150	108.00b	87.15b	195.15b
	N225	112.05a	93.30a	205.35a
低肥力	N0	52.50e	22.35e	74.85e
	N50	60.90d	32.55d	93.45d
	N100	69.15c	43.65c	112.80c
	N150	82.05b	55.05b	137.10b
	N225	105.00a	64.80a	169.80a

表 7　不同施氮量下甘薯氮肥利用率的差异

土壤肥力	处理	氮收获指数/(kg·kg⁻¹)	氮肥利用率/%	氮肥农学利用率/(kg·kg⁻¹)	氮肥偏生产力/(kg·kg⁻¹)
高肥力	N0	0.52a	—	—	—
	N50	0.53a	19.82a	30.79a	264.87a
	N100	0.51b	10.06b	2.97b	120.01b
	N150	0.51b	2.21c	−11.48d	66.47c
	N225	0.40c	1.40d	−10.19c	41.78d
中肥力	N0	0.25d	—	—	—
	N50	0.31c	28.52c	19.23b	179.40a
	N100	0.43b	38.36a	23.72a	103.81b
	N150	0.45a	33.60b	14.80c	68.13c
	N225	0.45a	26.90d	7.65d	43.21d
低肥力	N0	0.30c	—	—	—
	N50	0.35b	36.95b	21.81a	131.52a
	N100	0.39a	37.88b	12.33b	67.19b
	N150	0.40a	40.40a	12.18b	48.72c
	N225	0.38a	42.15a	6.80c	31.16d

3　讨 论

3.1　不同土壤肥力条件下施氮量对甘薯生长及产量的影响

氮素是影响甘薯“源”与“库”建成的主要因素。氮素营养缺乏会导致甘薯地上部源叶生长不足,从而造成光合产物减少,过量施氮会导致甘薯茎叶徒长,光合产物向块根(库)的分配量减少,产量下降[12-15]。因此,调节氮肥用量,获得合理的库源比例是甘薯获得高产的关键。

叶面积指数是反映作物地上部群体大小的重要指标,叶面积指数大,说明地上部生长旺盛,源叶充足,叶面积指数小,表明地上部生长缓慢,源叶不足。增施氮肥可以提高甘薯叶面积指数,增加甘薯植株干物质累积量[16]。本研究中,施氮均不同程度提高了各肥力地块甘薯叶面积指数、茎蔓分枝数和最大蔓长度,从而促进地上部“源”的建成,为干物质合成奠定基础。甘薯植株干物质累积总量表现为高肥力>中肥力>低肥力地块。随施氮量增加,各肥力地块地上部干物质累积量均增加,但高土壤肥力条件下,由于土壤基础含氮量高,增施氮肥,薯块干物质量在 50 kg/hm² 时最大,之后随施氮量增加逐渐降低;中、低土壤肥力条件下,薯块干物质量随施氮量的增加而逐渐增加。可见,过高的氮肥用量造成甘薯干物质分配失调,薯块干物质累积量降低。

单株结薯数和单个薯重是影响甘薯块根产量形成主要因素,两者共同影响着甘薯“库容”的大小[1]。适量施用氮肥可以增加甘薯单株结薯数和单个薯重,而过量的施用氮肥则可能造成甘薯结薯延迟、单株结薯数和单个薯重下降,甘薯产量降低[17-18]。本研究中,低肥力地块增施氮肥可以显著增加甘薯单株结薯数($P<0.05$),但单薯重随之降低;高肥力和中肥力地块单株结薯数随着施氮量增加先增加后减小,单薯重随之升高。因此,低肥力地块,单株结薯数增加是影响甘薯产量主要因素,中、高肥力地块产量则由单株结薯数和单薯重共同决定。低肥力地块在 150 kg/hm² 获得最高产量,高肥力地块在施氮量为 150 kg/hm² 时出现了减产现象,这说明高肥力地块氮含量比例较高,增施氮肥造成土壤氮素过量,甘薯茎蔓徒长,消耗过多的光合产物进而降低薯块产量。高肥力地块随着施氮量增加,其增产率从 2.55%增加到 16.05%;低肥力地块从 19.90%增加到 33.33%,这说明低肥力地块对施氮肥的敏感程度较高,因而增产效果显著。

3.2　不同土壤肥力条件下施氮量对甘薯氮肥利用率的影响

氮肥利用率受甘薯地上和地下部氮素累积的双重影响。在低肥力地块中,施氮可提高块根对氮素的积累比例;在高地块中,施氮使地上部氮素积累的比例更大,从而影响甘薯对氮的利用率[16]。同时,在高肥力地块中,过高的施氮量还提高了氨的挥发、表面流失以及渗漏等,增大了氮的损失量,因此导致氮肥利用率相对偏低[19-20]。本试验中,低、中肥力条件下甘薯氮素收获指数随施氮量增加而逐渐增加,高肥力条件下随施氮量增加呈先增加后降低的趋势。随着氮肥用量的增加,高肥力地块氮肥利用率呈下降的趋势,中肥力地块呈先升高后下降趋势,低肥力地块则逐渐升高。不管何种地力条件下甘薯植株氮素积累值与施氮量呈正相关,但由于基础地力的不同,相同

施氮量对甘薯产量和氮肥利用率影响不同。中、低肥力地块由于含氮比例较低,增施氮肥可以促进甘薯茎蔓合理生长,加快甘薯氮素吸收和转移;高肥力地块基础含氮量高,过量增施氮肥,甘薯氮素积累主要分布在甘薯地上部分,影响了氮素向块根中的积累,进而降低了氮肥利用率。

氮肥农学利用率反映的是单位施肥量下作物的增产情况。本试验中,高、低肥力条件下甘薯在 50 kg/hm^2 时获得较大的氮肥农学利用率,而中肥力条件下,在 100 kg/hm^2 获得最高氮肥农学利用率,这表明在中肥力地块具有更大的增产潜力。不论何种地力条件下,氮肥偏生产力均随施氮量的增加逐渐降低,这是因为低施氮量条件下,甘薯会从除施肥以外的途径吸收氮素,增加产量,因此,只有当氮肥用量较高时,氮肥偏生产力用作氮肥利用率的指标才更具意义,这与冯洋等[21]研究结果一致。

4 结 论

(1)增施氮肥可以显著增加甘薯叶面积指数、蔓数和最大蔓长度,在相同施氮处理下均表现为高肥力>中肥力>低肥力。

(2)适量增施氮肥可以增加薯块干物质积累量,且对低肥力地块增产效果大于中、高肥力。高、中、低肥力地块的最大产量施氮量分别是 50,100,150 kg/hm^2;甘薯施氮的最大增产率表现为低肥力>中肥力>高肥力。高、中肥力地块产量由单株结薯数和单薯重共同决定,低肥力地块产量受单薯重影响较大。

(3)不同肥力水平地块甘薯氮肥利用率表现为低肥力>中肥力>高肥力。高、低肥力地块在 50 kg/hm^2 获得最大氮肥农学利用率,中肥力地块在施氮量为 100 kg/hm^2 获得最大的氮肥农学利用率。不同肥力水平下,随着施氮量的增加,氮肥偏生产力均逐渐减小,在相同施氮处理下均表现为高肥力>中肥力>低肥力。

参考文献:

[1] 宁运旺,马洪波,张辉,等. 甘薯源库关系建立、发展和平衡对氮肥用量的响应[J]. 作物学报,2015,41(3):432-439.

[2] 陈晓光,丁艳锋,李洪民,等. 施氮量对甘薯块根产量和氮素利用的影响[J]. 西南农业学报,2015,28(5):2158-2161.

[3] 宁运旺,马洪波,许仙菊,等. 氮磷钾缺乏对甘薯前期生长和养分吸收的影响[J]. 中国农业科学,2013,46(3):486-495.

[4] Alves A U, Oliveira A P A, Alves E U, et al. Management of nitrogen fertilization for sweet potato: Sources and application parceling[J]. Ciência E Agrotecnologia, 2009,33(6):1554-1559.

[5] Njoku J C, Okpara D A, Asiegbu J E. Growth and yield responses of sweet potato to inorganic nitrogen and potassium in a tropical ultisol[J]. Nigeria Agricultural Journal,2010,32(1):295-310.

[6] Chun-Hong W U, Liu Q, Kong F M, et al. Effects of nitrogen application rates on root yield and nitrogen utilization in different purple sweet potato varieties[J]. Acta Agronomica Sinica,2016,42(1):113.

[7] 刘唯一. 北京大兴地区甘薯氮磷钾适宜用量研究[D]. 北京:中国农业科学院,2012.

[8] 高璐阳,房增国,史衍玺. 施氮量对鲜食型甘薯产量、品质及氮素利用的影响[J]. 华北农学报,2014,29(6):189-194.

[9] 史春余,张晓冬,张超,等. 甘薯对不同形态氮素的吸收与利用[J]. 植物营养与肥料学报,2010,16(2):389-394.

[10] Munn D A, Jackson W A. Nitrate and ammonium uptake by rooted cuttings of sweet potato[J]. Agronomy Journal,1978,70(2):312-316.

[11] 马代夫,李强,曹清河,等. 中国甘薯产业及产业技术的发展与展望[J]. 江苏农业学报,2012,28(5):969-973.

[12] 汪顺义,刘庆,史衍玺,等. 施钾对甘薯氮素转移分配及氮代谢酶活性的影响[J]. 应用生态学报,2016,27(11):3569-3576.

[13] 吴春红,孔凡美,刘庆,等. 氮肥对不同品种紫甘薯块根营养品质的影响[J]. 水土保持学报,2015,29(2):188-192.

[14] 丁梅,王同勇,刘刚,等. 有机肥种类与用量对鲜食甘薯生长发育和产量的影响[J]. 农业科技通讯,2016(12):108-110.

[15] 姜秀芳,姜松林,黄玉波,等. 施肥对甘薯生长发育及产量效益的影响[J]. 磷肥与复肥,2016,31(7):51-54.

[16] 陈晓光,丁艳锋,唐忠厚,等. 氮肥施用量对甘薯产量和品质性状的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2015,21(4):979-986.

[17] 陈晓光,李洪民,张爱君,等. 不同氮水平下多效唑对食用型甘薯光合和淀粉积累的影响[J]. 作物学报,2012,38(9):1728-1733.

[18] 王钊,刘明慧,高文川,等. 氮肥不同用量对秦薯 5 号甘薯品种产量的影响[J]. 陕西农业科学,2015(5):3-6.

[19] 范建芝,井水华,段成鼎,等. 氮肥不同用量对甘薯生长及产量的影响[J]. 山东农业科学,2015(6):67-69.

[20] 董晓霞,孙泽强,张立明,等. 山东省主要土壤类型甘薯肥料利用率研究[J]. 山东农业科学,2010(11):51-54.

[21] 冯洋,陈海飞,胡孝明,等. 高、中、低产田水稻适宜施氮量和氮肥利用率的研究[J]. 植物营养与肥料学报,2014,20(1):7-16.