

施氮量对膜下滴灌甜菜生长速率及氮肥利用效率的影响

郭晓霞¹, 苏文斌¹, 樊福义¹, 黄春燕¹, 任霄云¹, 王玉芬², 闫文芝³

(1. 内蒙古农牧业科学院特色作物研究所, 内蒙古 呼和浩特 010031;
2. 内蒙古大学生命科学学院, 内蒙古 呼和浩特 010021; 3. 巴彦淖尔市农牧业科学院, 内蒙古 巴彦淖尔 015000)

摘 要: 为探明内蒙古冷凉干旱区不同施氮水平对膜下滴灌甜菜生长速率和氮素分配、转移及利用效率的影响, 并进一步筛选出适宜该地区膜下滴灌甜菜的最佳施氮量。本文通过两年田间试验, 分析了不同施氮水平对甜菜全生育期干物质积累、不同器官氮素积累量以及氮素增长速率和产量构成因素的动态变化规律, 揭示了不同施氮水平下甜菜的氮肥利用效率、产量及含糖率的差异效应。通过田间定位试验, 采用单因素随机区组设计, 重复 4 次。结果表明, 甜菜各农艺性状随施氮量的增大呈先增加后降低的变化趋势, 其中以 50、100 kg·hm⁻² 和 150 kg·hm⁻² 处理较好。甜菜含糖率随氮肥用量的增加而降低, 且无底肥施氮量为 0 kg·hm⁻² 较在磷钾肥基础上施氮量为 0、50、100、150 kg·hm⁻² 和 200 kg·hm⁻² 处理甜菜含糖率分别增加了 3.20%、3.63%、8.30%、13.07% 和 12.24%。甜菜氮素积累量随施氮水平的增加及生育时期的推进均呈增加趋势; 随施氮量的增加氮肥吸收利用率呈先增加后降低的变化规律, 氮肥农学利用率、氮肥生理利用率和氮肥偏生产力则呈降低趋势。综合甜菜农艺性状、产量、含糖量及氮肥利用率的分析可知, 该地区膜下滴灌甜菜的最佳施氮量为 100 kg·hm⁻²。

关键词: 施氮水平; 膜下滴灌; 甜菜; 氮肥利用率; 含糖率; 产量

中图分类号: S143.1; S566.3 **文献标志码:** A

Effects of nitrogen fertilization amount on growth rate and nitrogen use efficiency of sugar beet by drip irrigation with mulch

GUO Xiao-xia¹, SU Wen-bin¹, FAN Fu-yi¹, HUANG Chun-yan¹,
REN Xiao-yun¹, WANG Yu-fen², YAN Wen-zhi³

(1. Inner Mongolia Academy of Agricultural and Animal Husbandry Sciences Special Crops Institute, Hohhot, Inner Mongolia 010031, China;
2. College of Life Science, Inner Mongolia University, Hohhot, Inner Mongolia 010021, China;
3. Bayannaoer Academy of Agricultural and Animal Sciences, Bayannaoer, Inner Mongolia, 015000, China)

Abstract: In order to investigate the effects of nitrogen fertilization amount on the growth rate and the accumulation, transfer and use efficiency of nitrogen in sugar beet under drip irrigation in the cool and dry region of Inner Mongolia and in order to select the best nitrogen fertilization amount for sugar beet by drip irrigation with mulch in this area, a two years field test was carried out to perform a dynamic analysis on sugar beet dry matter accumulation, nitrogen accumulation amount in different organs, nitrogen increasing rate and yield components. The differences in nitrogen use efficiency, yield and sugar content among different nitrogen levels were elucidated. The field locating trials with single factor randomized block design were repeated for 4 times. The results showed that the agronomic characteristics of sugar beet all showed an increasing firstly and then decreasing trend with the increase of nitrogen fertilization amounts. 50, 100 kg·hm⁻² and 150 kg·hm⁻² showed better result than others. The sugar content became decreased with the increase of nitrogen fertilization. Furthermore, sugar contents by non-basal fertilizer treatment were 3.20%, 3.63%, 8.30%, 3.07% and 12.24% respectively higher than those by 0, 50, 100, 150 kg·hm⁻² and 200 kg·hm⁻². The nitrogen accumulation amount of sugar beet both showed an increasing trend with the increase of nitrogen rate and the progression of growth peri-

收稿日期: 2015-05-25
基金项目: 内蒙古农牧业科学院青年创新基金(2014QNJJN10); 国家甜菜现代农业产业技术体系(CARS-2103); 内蒙古自治区“保水剂蓄水保墒生态效应研究”(NJZC13028)
作者简介: 郭晓霞(1983—), 女, 内蒙古通辽人, 博士, 助理研究员, 主要从事作物栽培学与耕作学研究。E-mail: guoxiaoxia2008@126.com。

od. The nitrogen recovery efficiency showed a firstly increasing and then decreasing trend with the increase of nitrogen fertilization amount, but the nitrogen agronomic efficiency, nitrogen physiological efficiency and nitrogen partial factor productivity all showed a decreasing trend. Based on the results from agronomic characteristics, yield, sugar content and nitrogen use efficiency, the treatment of $100\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ was the best for this area. Through the analysis of the law for sugar beet yield formation and the variation law of nitrogen accumulation, transfer and use efficiency under different nitrogen fertilization amount can be employed to provide a theoretical and technological basis for high yield, good quality and high benefit of sugar beet.

Keywords: nitrogen fertilization amount; drip irrigation with mulch; sugar beet; nitrogen use efficiency; sugar content; yield

膜下滴灌技术可有效地提高土壤温度,抑制棵间蒸发和减少土壤深层渗漏,可减少水分消耗,节水达 40% ~ 50%,增产 20% ~ 30% 左右^[1-3]。内蒙古是我国甜菜种植的主产区之一,其种植区域大都分布在干旱冷凉区,由于水资源短缺、春寒春旱等气候条件的影响,造成甜菜产量低而不稳、含糖率低等问题。而膜下滴灌技术的节水、保墒、增温等优势恰好解决了甜菜种植区的系列难题,为干旱冷凉区发展高效甜菜栽培开辟了一条新路,其技术应用前景广阔。

国内外大量研究表明,氮肥的施用为增加作物产量做出了巨大贡献^[4],然而施用氮肥造成水体富营养化日趋严重^[5],大气氮沉降量持续升高^[6],过量施用氮肥不仅降低氮肥利用率而且加剧了环境污染^[7],还出现了病虫害发生加剧、甜菜品质降低等一系列问题。氮肥当季利用率低是我国农业生产中存在的主要问题,也是近年来我国学者特别关注的问题。在实际生产中,氮肥施用量一直呈增长趋势^[8]。部分研究表明,氮肥施用可以培肥地力^[9-11],提高产量^[12-14],但也有研究表明,氮肥施用到一定程度,产量不再增加甚至有减产趋势,主要是由于氮肥施用过多造成作物贪青晚熟而导致减产。研究表明,在减少施氮量的情况下小麦^[15-17]和玉米^[18]有

增产增收现象。甜菜对氮肥的需求是不可或缺的,但施用量过多或过少都存在明显负效应,氮营养条件对甜菜的生理过程和产量有很大影响,当氮肥施用量单方面增加时可相应地提高其产量,而氮不足时可明显降低其产量。由于甜菜属无限生长型作物,氮肥过量施用会造成茎叶明显徒长,影响养分向块根转移造成减产;同时施氮量增加也明显降低甜菜含糖率和品质^[19]。因此,为了甜菜的高产、优质、高效栽培,筛选出适合该地区膜下滴灌的适宜氮肥施量,是该技术长足发展的前提。

针对内蒙古冷凉干旱区的气候特点,本文研究膜下滴灌条件下不同施氮量对甜菜生长发育和产量品质的影响,旨在筛选出符合本地区膜下滴灌甜菜生产的施氮模式,并进一步实现甜菜的优质、高产、高效栽培,提高肥料利用效率,减少资源浪费,为甜菜旱地栽培的可持续发展提供一定的技术支持。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验设在内蒙古农牧业科学院院内试验田,供试甜菜品种:kws7156,供试土壤为壤土。试验地土壤养分状况见表 1。

表 1 试验地土壤养分状况
Table 1 Soil nutrient state of the experimental field

土壤 Soil	土壤养分 Soil nutrient						pH
	有机质 Organic matter	全氮 Total N	全磷 Total P	碱解氮 Alkali N	速效磷 Olsen P	速效钾 Available K	
	$/(g\cdot kg^{-1})$	$/(g\cdot kg^{-1})$	$/(g\cdot kg^{-1})$	$/(mg\cdot kg^{-1})$	$/(mg\cdot kg^{-1})$	$/(mg\cdot kg^{-1})$	
壤土 Loam soil	26.38	1.01	0.69	101.31	16.5	159.90	8.15

1.2 试验设计

试验在 P_2O_5 为 $300\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ (P_{300}), K_2O 为 $50\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ (K_{50}) 的肥底基础上,设置 5 个施氮水平,氮素处理分别为 0、50、100、150、200 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,依次以 N1、N2、N3、N4、N5 表示,N0 为无肥底处理(施氮量为 0

$\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$),试验共 6 个处理。采取随机区组设计,重复 4 次。试验小区面积为 30 m^2 ,行距 50 cm,株距 25 cm。供试肥料中氮肥为尿素(含 N 46%),磷肥为重过磷酸钙(含 P_2O_5 46%),钾肥为硫酸钾(含 K_2O 50%),所有肥料以基肥的形式一次性施入。

膜下滴灌采用 0.008 mm(厚)×70 cm(宽)聚乙烯地膜,配置模式为“一膜一管双行”,覆膜前将毛管放在两行中间,滴距为 25cm 滴管带,滴管带有滴水孔的一面必须朝上。膜边覆土厚度 3~5 cm,在膜上每隔 2 m 放置一小土堆压膜,防止大风刮走或刮破地膜。

1.3 测定指标与方法

1.3.1 氮含量测定 植株样品以叶片、茎秆、块根分器官取样,于烘箱中 105℃杀青后,降温至 75℃烘干,称重,粉碎后留样。采用凯氏定氮法测定植株全氮含量。样品分别于甜菜的苗期(6 月 5 日)、叶丛快速生长期(7 月 4 日)、块根及糖分增长期(8 月 9 日)、糖分积累期(9 月 6 日)和收获期(10 月 9 日)进行采样测定。

1.3.2 测产与检糖 甜菜成熟期从每个小区随机取 40 株甜菜作为考种材料,测定单位面积产量、锤度和含糖率,并计算产糖量。

1.3.3 计算方法

产糖量(kg·hm⁻²)=产量×含糖率;
氮肥农学利用率(kg·kg⁻¹)=(施氮区产量-不施氮区产量)/施氮量;
氮肥吸收利用率(%)=(施氮区地上部分吸氮量-不施氮区地上部吸氮量)/施氮量×100%;
氮肥生理利用率(kg·kg⁻¹)=(施氮区产量-不施氮区产量)/(施氮区地上部吸氮量-不施氮区地上部吸氮量);
氮肥偏生产力(kg·kg⁻¹)=施氮区产量/施氮量。

1.3.4 统计方法 采用 SAS9.0 数据处理软件

2 结果与分析

2.1 施氮水平对膜下滴灌甜菜生长进程的影响

由表 2 可知,不同施氮水平对膜下滴灌甜菜生

长动态趋势的影响基本一致,甜菜株高、叶鲜重、茎鲜重和叶面积指数均随生育时期的推进呈先增加后降低的变化趋势,主要是由于甜菜这种作物比较特殊,到生育后期老叶逐渐变黄枯萎脱落,尤其在褐斑病发生时,促进脱落速度和数量,导致后期甜菜株高和生物量均有下降趋势。不同处理间甜菜茎叶鲜重及叶面积指数大小顺序为 N3>N4>N2>N5>N0>N1,且各处理间基本达差异显著性水平(P<0.05)。在生育后期(9 月 6 日),N3、N4、N2、N5 和 N0 分别较 N1 甜菜的叶鲜重增加了 57.80%、45.88%、31.19%、42.66% 和 11.47%;茎鲜重增加了 43.20%、21.69%、14.16%、5.52% 和 4.78%;叶面积指数增加了 69.43%、47.16%、56.77%、37.99% 和 1.75%。而甜菜叶片随老叶的枯萎,新叶不断长出,到生育中后期一直保持在 20~30 片之间,且处理间的差异性逐渐减小。甜菜块根鲜重在生育期内一直呈增加趋势,不同处理间为 N3>N4>N2>N5>N0>N1,其鲜重依次较 N1 处理增加了 18.91%、10.08%、17.01%、7.81% 和 2.56%,且各处理间基本达差异显著性水平(P<0.05)。各性状指标在两个无氮处理中为 N0>N1,可能是由于 N0 在无底肥的情况下 N、P、K 肥比例适宜,而 N1 尽管增加了 P、K 含量,但由于缺氮呈现木桶效应而影响其生长,且养分离子比例失衡容易造成植株的拮抗作用,影响其生长。

2.2 不同施氮量对膜下滴灌甜菜产量的影响

由图 1 可知,不同施氮量对膜下滴灌甜菜块根干鲜重产量均有显著影响。由块根全生育期内干重的变化趋势可知,随施氮量的增加块根干重较对照均有不同程度的增加,总体表现为 N3>N4>N2>N5>N0>N1。10 月 9 日甜菜块根干重在 N1、N2、N3、N4 和 N5 处理中分别较 N0 提高了 -4.29%、8.46%、23.17%、14.00% 和 4.09%。且随块根的生

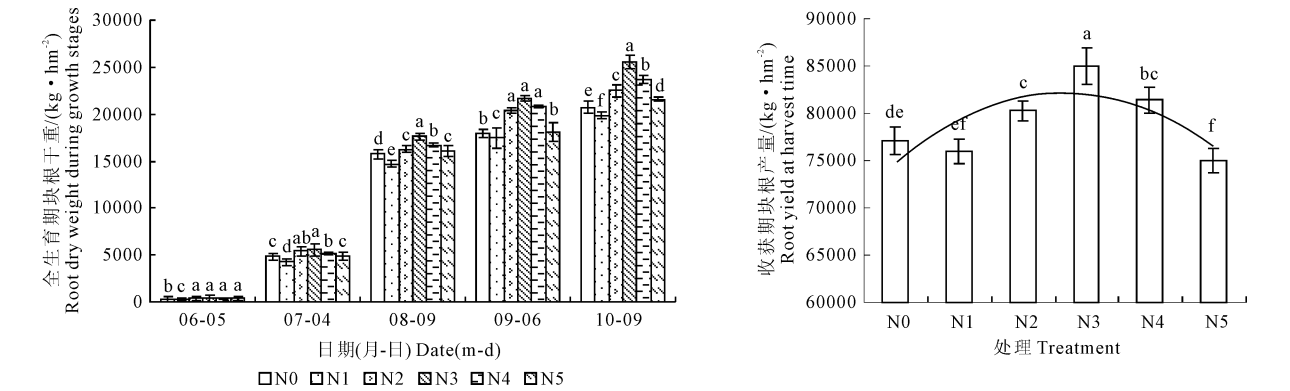


图 1 施氮量对膜下滴灌甜菜产量的影响

Fig.1 Effects of nitrogen fertilization amount on sugar beet yield under drip irrigation

表 2 施氮水平对膜下滴灌甜菜生长进程的影响

Table 2 Effects of nitrogen fertilization amount on the growth process of sugar beet under drip irrigation

日期 Date (m-d)	处理 Treatment	形态指标 Morphological index					
		株高 Plant high /cm	叶片数 Leaf number	叶鲜重 Leaf fresh weight /(kg·hm ⁻²)	茎鲜重 Stem fresh weight /(kg·hm ⁻²)	根鲜重 Root fresh weight /(kg·hm ⁻²)	叶面积指数 Leaf area index
06-05	N0	36.20 cd	12.60 c	8622.00 d	4062.75 e	3031.50 d	1.68 c
	N1	34.75 d	12.30 d	7812.75 e	3969.00 e	2322.00 e	1.35 d
	N2	39.71 ab	12.80 b	9718.50 c	6343.50 b	3606.00 b	1.84 b
	N3	39.78 a	13.20 a	10968.75 a	6681.00 a	4044.00 a	2.19 a
	N4	38.33 abc	13.20 a	10062.75 b	5893.50 c	3537.75 b	1.73 c
	N5	37.00 bed	12.70 bc	9031.50 cd	4968.75 d	3275.25 c	1.71 c
07-04	N0	71.50 c	18.20 b	31074.75 d	43218.75 e	32006.25 d	5.08 c
	N1	69.55 c	18.40 b	27150.00 e	40293.75 f	29796.75 e	4.87 c
	N2	75.10 b	20.50 a	32718.75 d	49719.00 d	34162.50 c	5.77 b
	N3	80.80 a	19.75 b	36468.75 c	54725.25 c	39294.00 a	5.94 ab
	N4	81.50 a	20.50 a	40250.25 b	56612.25 b	36768.75 b	6.34 a
	N5	75.58 ab	21.20 a	43050.00 a	65256.00 a	34247.25 c	5.75 b
08-09	N0	66.44 bc	23.33 ab	19333.50 c	43291.50 d	89133.00 ab	4.56 c
	N1	64.22 c	22.89 b	16250.25 d	38958.00 e	85191.75 b	4.13 c
	N2	68.89 bc	21.89 b	20375.25 b	45000.00 cd	89829.00 a	6.13 a
	N3	71.67 a	23.89 a	22374.75 a	52625.25 b	91308.00 a	5.60 b
	N4	69.11 b	24.00 a	20667.00 b	58125.00 a	88992.00 ab	5.50 b
	N5	66.56 bc	23.67 a	19958.25 bc	48000.00 bc	87658.50 b	5.18 b
09-06	N0	60.11 c	23.11 ab	10125.00 e	23750.25 d	91958.25 c	2.33 e
	N1	60.56 bc	22.89 abc	9083.25 f	22666.50 e	89667.00 d	2.29 e
	N2	62.22 bc	22.67 bc	11916.75 d	25875.00 c	104916.75 a	3.59 b
	N3	66.33 a	24.00 a	14333.25 a	32458.50 a	106625.25 a	3.88 a
	N4	62.67 b	23.22 ab	13250.25 b	27583.50 b	98708.25 b	3.37 c
	N5	61.89 bc	22.00 c	12958.50 c	23916.75 d	96666.75 b	3.16 d

注:同列数据后不同字母表示处理间差异达 5%显著水平。

Note: Values followed by different letters in a column are significantly different among treatments at the 5% level.

长发育,处理间的差异更加明显,基本达到了显著性差异水平($P < 0.05$)。经产量测定结果可知,不同处理间甜菜产量总体表现为随施氮量的增加呈先增加后降低的变化趋势,不同处理间表现为 $N3 > N4 > N2 > N5 > N0 > N1$,且 $N3$ 处理显著高于其它处理,分别较 $N0$ 、 $N1$ 、 $N2$ 、 $N4$ 、 $N5$ 增加了 10.25%、11.87%、5.87%、4.39% 和 13.32%,处理间基本达显著性差异水平($P < 0.05$)。

2.3 施氮量对膜下滴灌甜菜糖分的影响

由图 2 可知,施氮量对膜下滴灌甜菜的含糖率和产糖量均存在不同变化规律,随施氮量的增加甜菜含糖率呈下降趋势,且 $N0$ 较 $N1$ 、 $N2$ 、 $N3$ 、 $N4$ 和 $N5$ 甜菜含糖率分别增加了 3.20%、3.63%、8.30%、13.07% 和 12.24%。甜菜产糖量由于受产量和含糖率两个因素的影响,结合二者对膜下滴灌甜菜共同

作用的结果,在不同处理间总体表现为 $N3 > N0 > N1 > N2 > N4 > N5$,且以 $N3$ 处理显著($P < 0.05$)高于其它处理,其中 $N3$ 分别较 $N0$ 、 $N1$ 、 $N2$ 、 $N4$ 和 $N5$ 甜菜产糖量增加 0.70%、1.30%、3.92%、14.25% 和 15.47%。可见在该地区不同施氮量对膜下滴灌甜菜产糖量的影响整体以 $N3$ 处理最佳。

2.4 施氮量对膜下滴灌甜菜干重动态分配及块根氮素增长速率的影响

由图 3 可知,施氮量对膜下滴灌甜菜干重动态分布存在明显差异,不同生育阶段甜菜各器官的生长速度和生物量均存在较大差异。在 6 月 5 日甜菜生长发育前期,生物量主要集中在叶片上,且生长速度较快。随生育进程的推进,甜菜茎叶生长逐渐达到旺盛阶段,且干重比例较大,明显高于根的干重。然而到生育后期主要利用茎叶进行光合作用而促进

根的生长发育,且在后期根的生长速度很快,明显超过茎叶的干重,且与茎叶干重的比例差异明显,直到成熟期块根的干重一直呈增加的变化趋势,且与茎叶的比例逐渐增大。随着甜菜各器官生长变化,甜菜氮素增长速率在不同处理间均表现为随生育时期的推进氮素单位含量均呈增加趋势,且增长较快,在 8 月 9 日以后达到高峰,在不同处理间总体表现为 $N3 > N4 > N2 > N5 > N1 > N0$,到后期有缓慢下降的变化趋势,主要是由于甜菜后期茎叶变黄,老叶枯萎,氮损失增加,造成氮素增长速率呈下降趋势。在 10 月 9 日氮素增长速率 $N3$ 、 $N4$ 、 $N2$ 、 $N5$ 和 $N1$ 较 $N0$ 分别增加了 28.77%、19.18%、13.39%、8.82%、4.55%。

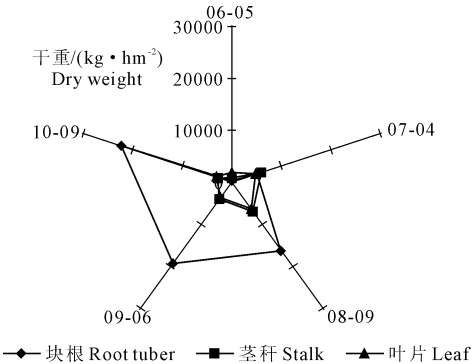


图 3 施氮量对膜下滴灌甜菜干重动态分配及块根氮素增长速率的影响

Fig.3 Effects of nitrogen fertilization amount on dynamic allocation of sugar beet dry matter and nitrogen increasing rate

2.5 施氮水平对膜下滴灌甜菜氮素积累量的影响

由表 3 可知,不同施氮水平对膜下滴灌甜菜全株及各器官的氮素积累均存在显著性差异,总体表现为随施氮量的增加甜菜各器官及全株氮素积累量均呈增加的趋势,即 $N5 > N4 > N3 > N2 > N1 > N0$ 。随出苗天数的增加,甜菜全株及各器官氮素积累量均呈先增加后降低的变化趋势,且全株和茎叶的最大值在出苗后的 105 d,主要受茎叶损失的影响;块根的最大值在出苗后的 135 d。在出苗后 170 d 左右为甜菜的收获期, $N5$ 、 $N4$ 、 $N3$ 、 $N2$ 和 $N1$ 分别较 $N0$ 甜菜全株氮素积累量增加了 79.40%、70.91%、56.15%、40.24%和 23.83%;叶片氮素积累量增加了 103.20%、92.96%、75.05%、37.53%和 22.17%;茎秆氮素积累量增加了 63.41%、59.35%、58.13%、33.74%和 23.58%;块根氮素积累量增加了 71.03%、62.22%、45.31%、43.57%和 24.80%。在甜菜生育前期由于叶片生长旺盛,相应的氮素积累量主要集中在叶片上,后期由于茎秆和块根都相继达到快速生长期,在吸收氮素的同时,茎叶中的氮素也逐渐转移到甜菜块根中,使块根中氮素含量明显增多。但在后期甜菜的氮素积累呈降低的变化趋

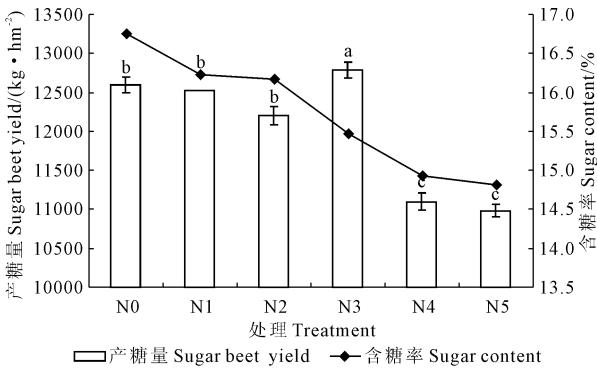
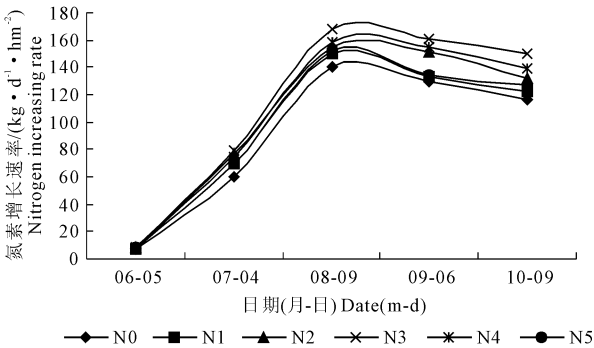


图 2 施氮量对膜下滴灌甜菜含糖率和产糖量的影响

Fig.2 Effects of nitrogen fertilization amount on sugar content and sugar yield under drip irrigation



势,主要是由于甜菜的茎叶损失造成大量氮素流失,以及甜菜本身氮素的分解、转化和转移造成的。

2.6 施氮水平对膜下滴灌甜菜氮肥利用率的影响

由表 4 可知,不同施氮量对膜下滴灌甜菜的氮肥利用率均有较大影响,氮肥农学利用率、氮肥生理利用率和氮肥偏生产力总体表现为随施氮量的增加呈下降趋势,处理间均达差异显著性 ($P < 0.05$) 水平。随施氮量的增加膜下滴灌甜菜的氮肥吸收利用率呈先增加后降低的趋势,各处理间基本达到了差异显著性水平 ($P < 0.05$),在 $N3$ 水平下氮肥吸收利用率最高,分别较 $N2$ 、 $N4$ 、 $N5$ 的氮肥吸收利用率提高了 29.91%、30.91%、205.17%。

3 讨论与结论

氮肥是甜菜生长必需的营养元素,也是土壤中含量较低而需求量最多的营养元素,确定合理施氮量是施肥的关键^[20]。近年来,为追求高产而过量施用氮肥,导致氮肥利用率降低,造成的氮素污染对生态环境和人类健康的危害日趋严重^[21]。题为“Fertilized to death”的文章指出^[22],如不重视过量施用氮肥所带来的一系列问题,其后果不堪设想。因此,在

表 3 施氮水平对甜菜氮素积累的影响/(kg·hm⁻²)

Table 3 Effects of nitrogen rate on nitrogen accumulation of sugar beet

器官 Organ	处理 Treatment	出苗后天数 Days after seedling emergence/d				
		45	70	105	135	170
全株 Whole plant	N0	58.80 f	173.40 f	303.60 e	259.05 e	236.70 e
	N1	64.20 e	228.75 e	399.00 d	341.25 d	293.10 d
	N2	88.80 d	284.25 d	447.45 c	365.85 c	331.95 c
	N3	98.70 c	309.00 c	529.35 b	395.40 b	369.60 b
	N4	109.20 b	346.80 b	589.65 a	437.55 a	404.55 a
	N5	118.50 a	413.55 a	627.30 a	447.15 a	424.65 a
叶片 Leaf	N0	51.90 d	98.40 e	160.95 e	80.40 f	70.35 f
	N1	55.35 d	128.40 d	219.30 d	91.65 e	85.95 e
	N2	77.25 c	161.85 c	225.30 d	109.65 d	96.75 d
	N3	84.75 b	175.50 c	244.05 c	134.55 c	123.15 c
	N4	89.25 b	208.35 b	292.05 b	168.30 b	135.75 b
	N5	96.75 a	262.50 a	311.70 a	173.10 a	142.95 a
茎秆 Stalk	N0	3.60 f	48.90 f	63.75 d	44.55 e	36.90 e
	N1	4.35 e	63.30 e	71.55 c	56.10 d	45.60 d
	N2	6.15 d	71.85 d	78.90 b	56.55 d	49.35 c
	N3	8.10 c	82.20 c	99.30 a	59.70 c	58.35 b
	N4	12.75 b	84.30 b	99.75 a	63.90 b	58.80 b
	N5	13.65 a	90.30 a	100.80 a	64.35 a	60.30 a
块根 Root tuber	N0	3.30 f	26.10 d	78.90 f	134.10 d	129.45 e
	N1	4.50 e	37.05 c	108.15 e	193.50 c	161.55 d
	N2	5.40 d	50.55 b	143.25 d	199.65 bc	185.85 c
	N3	5.85 c	51.30 b	186.00 c	201.15 ab	188.10 c
	N4	7.20 b	54.15 a	197.85 b	205.35 a	210.00 b
	N5	8.10 a	60.75 a	214.80 a	209.70 a	221.40 a

表 4 施氮水平对膜下滴灌甜菜氮肥利用率的影响

Table 4 Effects of nitrogen rate on nitrogen use efficiency of sugar beet by drip irrigation under mulch

处理 Treatment	氮肥利用率 Nitrogen use efficiency			
	氮肥农学利用率 NAE/(kg·kg ⁻¹)	氮肥吸收利用率 NRE/%	氮肥生理利用率 NPE/(kg·kg ⁻¹)	氮肥偏生产力 PPFN/(kg·kg ⁻¹)
N1	—	—	—	—
N2	134.09a	48.18b	278.31a	1605.28a
N3	114.13b	62.59a	182.35b	849.73b
N4	52.28c	47.81b	109.35c	542.67c
N5	7.12d	20.51c	34.71d	374.91d

筛选甜菜生长发育的适宜施氮量的研究中,尽量减少氮肥的施用量,有效地控制农田氮素带来的环境污染已成为农业生产中迫切需要解决的问题^[23]。

在本试验中,不同施氮量对膜下滴灌甜菜块根干鲜重产量及各农艺性状均有显著影响,总体以 N2、N3 和 N4 处理对甜菜的生长发育效果较好,尤其以 N3 处理最佳,在两个无氮处理中 N0>N1,可能是由于 N0 在无底肥的情况下 N、P、K 肥比例适宜,

而 N1 尽管增加了 P、K 含量,但由于缺氮呈现木桶效应而影响其生长,且养分离子失衡容易造成植株的拮抗作用,影响其生长。甜菜随施氮量增加其生长量总体呈先增加后降低的变化趋势,可见增加氮素能不同程度提高甜菜生长发育进程,但过量增加氮肥特别是对甜菜这种叶片生长繁茂的作物来说,更容易造成徒长,影响其养分向块根转移而降低产量。同时氮素对甜菜含糖率有直接影响,能明显降

低其含糖率和品质,其中甜菜含糖率 N0 较 N1、N2、N3、N4 和 N5 分别增加了 3.20%、3.63%、8.30%、13.07%和 12.24%。因此应根据甜菜生长发育、糖分积累规律和氮肥吸收利用等综合特性,充分发挥根系的潜力,提高土壤养分的生物有效性,实现养分供需的时空一致性,将根层土壤养分调控在既能满足作物高产需求,又不至于过量造成环境污染的范围内。从全生育期看,甜菜株高、叶鲜重、茎鲜重和叶面积指数均表现为随生育进程的推进呈先增加后降低的变化趋势。理论上应呈增加趋势,后期降低的主要原因是由于在 8 月份甜菜大面积发生褐斑病,导致叶片枯黄脱落,从而明显降低甜菜各产量构成因素的生长量。同时甜菜茎叶鲜重降低的另一个原因是由于甜菜本身茎叶生长到一定时期就会脱落,导致鲜重降低。甜菜属无限生长型植物,一季中叶片至少有 60~70 片·株⁻¹,而生长在植物体上的最多保持在 20~30 片·株⁻¹,枯叶很难回收,尽管回收也不完全,因此后期呈降低的变化。

氮肥是农民使用最多的肥料,农民对氮肥施用量缺乏合理、科学的判断。本文从甜菜块根氮素积累速率、各生育阶段甜菜不同器官及全株氮素积累量及氮肥利用率等不同指标、不同角度进行综合分析,阐明了氮肥对甜菜生长发育及养分供应的必要性,揭示了氮肥在甜菜中的吸收、转移、利用规律,为冷凉干旱区优质高效的膜下滴灌甜菜提供理论依据和技术支持。

参 考 文 献:

[1] 郑 重,马富裕,慕自新,等.水肥因素对膜下滴灌棉花产量和棉株群体冠层结构的影响研究[J].干旱地区农业研究,2001,19(2):42-47.

[2] 胡晓棠,李明思.膜下滴灌对棉花根际土壤环境的影响研究[J].中国生态农业学报,2003,11(3):121-123.

[3] 陈碧华,郜庆炉,杨和连,等.华北地区日光温室番茄膜下滴灌水肥耦合技术研究[J].干旱地区农业研究,2008,26(5):80-83.

[4] Erisman J W, Galloway J N, Sutton M S, et al. How a century of ammonia synthesis changed the world[J]. Nat. Geoscience, 2008,1: 636-639.

[5] 中华人民共和国环境保护部.2012 中国环境状况公报[R/OL]. <http://www.mep.gov.cn/gkml/hbb/qt/201306/WO20130606578292022739.pdf>, 2013.

[6] Liu X J, Zhang Y, Han W X, et al. Enhanced nitrogen deposition over China[J]. Nature, 2013,494(10): 459-462.

[7] 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.

[8] 蔡祖聪,颜晓元,朱兆良.立足于解决高投入条件下的氮污染问题[J].植物营养与肥料学报,2014,20(1):1-6.

[9] Peng S B, Buresh R J, Huang J L, et al. Strategies for overcoming low agronomic nitrogen use efficiency in irrigated rice systems in China[J]. Field Crop Res,2006,96(1):37-47.

[10] 向圣兰,刘 敏,陆 敏,等.不同施氮水平对水稻产量、吸氮量及土壤肥力的影响[J].安徽农业科学,2008,36(19):8178-8179.

[11] Asai H, Samson B K, Stephan H M, et al. Biochar amendment techniques for upland rice production in Northern Laos: Soil physical properties, leaf SPAD and grain yield[J]. Field Crops Research, 2009,111:81-84.

[12] 贺 帆,黄见良,崔克辉,等.实时实地氮肥管理对水稻产量和稻米品质的影响[J].中国农业科学,2007,40(1):123-132.

[13] 韩宝吉,曾祥明,卓光毅,等.氮肥施用措施对湖北中稻产量、品质和氮肥利用影响的研究[J].中国农业科学,2011,44(4): 842-850.

[14] 曾祥明,韩宝吉,徐芳森,等.不同基础地力土壤优化施肥对水稻产量和氮肥利用率的影响[J].中国农业科学,2012,45(14): 2886-2894.

[15] Chen X P, Cui Z L, Vitousek P K, et al. Integrated soil - crop system management for food security[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences. USA, 2011,108(16):6399-6404.

[16] Ju X T, Xing G X, Chen X P, et al. Reducing environmental risk by improving N management in intensive Chinese agricultural systems [J]. Proceedings of the National Academy of Sciences. USA, 2009, 106(9):3041-3046.

[17] Cui Z L, Chen X P, Miao Y X, et al. On-farm evaluation of the improved soil N min - based nitrogen management for summer maize in North China Plain[J]. Agron J, 2008,100(3):517-525.

[18] Zhang F S, Cui Z L, Fan M S, et al. Integrated soil - crop system management: reducing environmental risk while increasing crop productivity and improving nutrient use efficiency in China[J]. Journal of Environmental Quality, 2011,40:1051-1057.

[19] 章建新,李 强,薛丽华,等.氮肥施用量对高产甜菜纤维根系分布及活力的影响[J].植物营养与肥料学报,2009,15(4): 904-909.

[20] 高祥照,马文奇,杜 森.我国施肥中存在问题的分析[J].土壤通报,2001,32(6):255-261.

[21] 韩宝文,王淑清,李春杰.氮肥用量和耕作方式对春玉米产量、氮肥利用率及经济效益的影响[J].中国土壤与肥料,2011, (2):28-33.

[22] Nohrstedt N. Fertilized to death[J]. Nature, 2003,425:894-895.

[23] 隽英华,孙文涛,韩晓日,等.春玉米土壤矿质氮累积及酶活性对施氮的响应[J].植物营养与肥料学报,2014,20(6):1368-1377.