

苏北滩涂区施肥对菊芋生长和土壤氮素累积的影响

赵秀芳¹, 杨劲松¹, 蔡彦明², 姚荣江¹, 李冬顺¹, 韩建均^{1,3}

(1.中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008; 2.农业部环境保护科研监测所, 天津 300191; 3.南京农业大学资源与环境学院, 南京 210095)

摘要:通过在苏北滩涂区开展的田间试验,分析了不同施肥量对菊芋地下、地上干物质累积,及对土壤铵态氮、硝态氮的累积及其动态变化过程的影响。结果表明,氮素是苏北沿海滩涂菊芋生长的关键限制因子,增施氮肥可以显著提高菊芋地下和地上干物质的积累。在氮肥供应充足情况下,适当增施磷肥($75\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)可以增加菊芋地下和地上干物质的积累。施氮量小于 $150\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 时,土壤中氮素处于净消耗状态,施氮量 $225\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 时,不仅可以获得菊芋地下和地上干物质的最大产量,且有助于土壤氮素的累积。硝态氮是苏北沿海滩涂土壤氮素淋失的主要形态,且降水是导致硝态氮淋失的重要原因。随施氮量增加,土壤氮素淋失的风险加大。

关键词:苏北滩涂; 菊芋; 施肥; 地下生物量; 地上生物量; 氮素累积; 养分淋失

中图分类号:S181 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-2043(2010)03-0521-06

Effects of Fertilization on the Growth of *Jerusalem artichoke* and Soil Nitrogen Accumulation in the Coastal Area of North Jiangsu Province

ZHAO Xiu-fang¹, YANG Jin-song¹, CAI Yan-ming², YAO Rong-jiang¹, LI Dong-shun¹, HAN Jian-jun^{1,3}

(1.Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China; 2.Agro-Environmental Protection Institute of Ministry of Agriculture, Tianjin 300191, China; 3.College of Resource and Environment Science, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

Abstract: Based on the field experiment conducted in the coastal area of North Jiangsu Province, the effects of different fertilizer levels on the dry matter accumulations of *Jerusalem artichoke* under- and above- ground, and on the accumulations and dynamics of ammonium nitrogen and nitrate nitrogen were analyzed. Results showed that nitrogen was the key limiting factor for the growth of *Jerusalem artichoke* in the study area, and increasing use of nitrogen fertilization could significantly improve the dry matter accumulation on under- and above-ground. Appropriate phosphorus fertilizer ($75\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$) could increase the dry matter accumulations of *Jerusalem artichoke* on under- and above-ground, under an adequate supply in nitrogen. Soil nitrogen was in a net consumption as nitrogen was less than the rate of $150\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$. Not only maximal dry matter accumulations of *Jerusalem artichoke* on under- and above- ground were obtained, but also nitrogen was accumulated in the soil at the nitrogen rate more than $150\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$. Nitrate nitrogen was the main leaching form of nitrogen in the study area. Nitrate nitrogen leaching was affected by rainfall, the threat showed to increase with the increase of nitrogen application rate.

Keywords: the coastal area of North Jiangsu Province; *Jerusalem artichoke*; fertilization; under ground biomass; above ground biomass; nitrogen accumulation; nutrient leaching

苏北平原地处黄海之滨, 土地面积为 3.04 万 km^2 , 海岸线长 954 km, 其中 666 km 为淤积型海岸,

占岸线全长的 70%, 海涂面积达到 0.76 万 km^2 , 占全国海涂面积的 1/4 以上。目前滩涂仍在不断淤积, 全省年淤积面积达 13.3 km^2 , 是重要的后备土地资源^[1-2]。滩涂区土壤为冲积盐土类, 潮盐土亚类, 是典型的淤泥质海岸带盐渍土。菊芋 (*Jerusalem artichoke*) 为耐寒、耐旱、耐贫瘠、耐盐碱植物, 其地上茎叶和地下块茎都是优良的饲料, 块茎富含菊糖, 可作蔬菜, 是重要能源植物之一^[3,5], 宜在我国沿海滩涂大面积种植。

氮肥在土壤中经过一系列的转化而形成铵态氮和硝态氮, 是作物吸收利用的主要氮素形态^[6]。隆小华

收稿日期: 2009-07-07

基金项目: 国家“863”计划重点项目课题(2007AA091702); 中国科学院知识创新工程重大项目(KSCX1-YW-09); 国家自然科学基金项目(40771097); 中国科学院知识创新工程重要方向性项目(KZCX2-YW-406-3); 国家重点基础研究发展计划项目课题(2005CB121108)

作者简介: 赵秀芳(1980—), 女, 吉林人, 博士, 主要从事土壤盐渍化防控和盐渍土资源利用方面的研究。E-mail: xzfzhao@issas.ac.cn

通讯作者: 杨劲松 E-mail: jsyang@issas.ac.cn

在山东莱州湾海涂对菊芋氮肥效应的研究表明,氮肥的增产效应明显,但随着氮肥用量的增加,其报酬递减率越来越严重^[7]。一方面氮肥的合理施用会提高作物的产量和品质,另一方面氮肥的不合理施用对环境安全是一潜在威胁,土壤氮淋失被认为是氮素损失的重要途径之一,是造成地下水污染的重要原因,已成为国内外普遍关注的问题^[8-9]。

本研究区设在江苏中部沿海大丰市的金海农场(120°50'59"N,32°57'59"E),该区地处北亚热带北缘,具有明显的海洋性季风气候。气候温暖湿润,日照充分,雨量充沛,四季分明。土壤为冲积盐土类,潮盐土亚类,表层多为中度盐渍化土,土壤略呈碱性,pH 值 8.4 左右。土壤贫瘠,有机质含量 8.0 g·kg⁻¹ 左右,严重缺乏氮素,全氮含量 480 mg·kg⁻¹ 左右,磷素相对比较充足,有效磷含量 10.0 mg·kg⁻¹ 左右。全剖面土质均匀,以粉砂占优势。区内地下水位普遍较高,多在 0.8~2.4 m 之间,且矿化度高,为 3.83~30.75 g·L⁻¹^[10]。本研究的主要目的是:(1) 探讨施肥对菊芋产量的影响并确定该区菊芋生产上适宜的肥施用量;(2) 评估氮肥施用量对土壤铵态氮、硝态氮动态变化、作物氮素吸收以及相应土壤氮素损失的情况,为合理开发滩涂资源,实现农业可持续发展提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验小区面积为 3 m×4 m,采用随机区组排列,3 次重复,并设有保护行。供试作物为菊芋南芋 1 号,于 2008 年 3 月 27 日播种,播种方式为条播,播种量为 900 kg·hm⁻²,播种深度 5 cm 左右,播种密度为行距 60 cm,株距 40 cm 左右,11 月 27 日收获。试验设 1 个空白处理,11 个施肥处理。用磷酸二铵肥料补充土壤中的磷素(折合 P₂O₅ 分别为 0、37.5、75、150 kg·hm⁻²);用尿素和磷酸二铵补充土壤中氮素(折合纯氮分别为 0、14.7、29.3、58.7、150、225 kg·hm⁻²),具体施肥方案见表 1。采用追肥方式(沟施)施肥,追肥时间为 6 月 11 日,为菊芋生长的拔节前期。施肥前,先对各小区的菊芋进行间苗,每小区仅留下茎粗、株高相似的 50 株(每行 10 株,每小区 5 行)。

1.2 样品采集与分析方法

土壤样品采集:分别于施肥前(6 月 11 日),施肥后(7 月 9 日、8 月 9 日、9 月 9 日、10 月 9 日)和菊芋采收前(11 月 27 日)采集深度分别为 0~20 cm、20~40 cm、40~60 cm 土壤样品,将各层土样风干,过 2 mm 筛

表 1 试验处理

Table 1 Experimental treatment

处理 Treatment	尿素 Urea/ kg·hm ⁻²	磷酸二铵 Diammonium/ kg·hm ⁻²	总施氮量 N Total N Application/ kg·hm ⁻²	总施磷量 P ₂ O ₅ Total P ₂ O ₅ Application/ kg·hm ⁻²
CK	0	0	0	0
P1	0	81.5	14.7	37.5
P2	0	163.1	29.3	75.0
P3	0	326.1	58.7	150.0
P4	326.1	0	150.0	0
P5	294.2	81.5	150.0	37.5
P6	262.3	163.1	150.0	75.0
P7	198.5	326.1	150.0	150.0
P8	489.2	0	225.0	0
P9	457.2	81.5	225.0	37.5
P10	425.3	163.1	225.0	75.0
P11	361.5	326.1	225.0	150.0

备用。

菊芋样品采集:11 月 27 日,分别采收各小区地上、地下部分,称其鲜重,而后各取部分样品,60℃下烘干至恒重,测其干物质产量。

测定方法:土壤中硝态氮的测定采用紫外分光光度法,于 220 nm 和 275 nm 在紫外分光光度计上测定吸光度,差减分析;铵态氮测定用靛酚蓝比色法,在 625 nm 处测定,具体方法参见《土壤农业化学分析方法》^[11]。

1.3 数据处理

采用 SPSS 软件,对数据进行描述性统计分析、相关分析、方差分析和多重比较。采用 Microsoft Excel 2003 作图。

2 结果与分析

2.1 施肥对菊芋生物量的影响

2.1.1 施肥对菊芋地下生物量(块茎)的影响

菊芋块茎产量与施氮量和施磷量(P₂O₅)的相关性研究表明,菊芋块茎产量与施氮量存在极显著的正相关,相关系数为 0.918;而与施磷量的相关性不显著,相关系数仅为 0.268,表明随着施氮量的增加菊芋块茎产量显著性增加,而施磷对菊芋块茎的增产效果不明显。在控制施磷量时,菊芋块茎产量与施氮量的偏相关系数为 0.932,和菊芋块茎产量与施氮量的两两相关系数 0.918 相似,说明在施磷量不同时,磷肥对氮肥的协同效应不显著。因此,我们在忽略磷肥对块茎产量影响的情况下,比较不同施氮量对块茎产量

的增产情况。当施氮量分别为 14.7、29.3、58.7、150、225 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 时, 菊芋块茎产量相对于不施肥的情况下分别增产 39%、67%、82%、132%、240% (图 1), 每公斤施氮量的平均增长率分别为 2.6%、2.3%、1.4%、0.9%、1.1%。结果表明, 尽管通过增施氮肥可以显著提高菊芋块茎的产量, 但随着施氮量的增加氮肥的有效性逐渐降低。

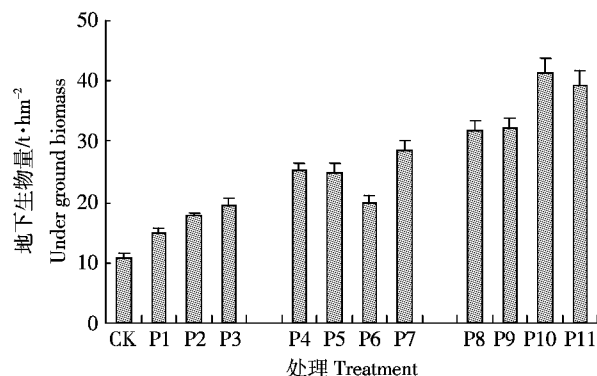


图 1 不同氮肥处理对菊芋地下部生物量的影响

Figure 1 Effects of different nitrogen fertilizers treatments on under ground biomass of *Jerusalem artichoke*

由于施氮的增产效应远高于施磷, 有可能导致磷肥的效应被掩盖, 为此我们研究了不同施氮水平下, 施磷对菊芋块茎产量的影响。结果表明, 在施氮量为 150 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 时, 块茎产量与施磷的相关性不显著, 相关系数为 0.327, 增施磷肥对菊芋块茎产量的影响不显著; 当施氮量为 225 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 时, 块茎产量与施磷的相关系数为 0.756, 达显著水平, 说明该情况下施磷肥可以显著增加菊芋块茎的产量, 在施 P_2O_5 量分别为 37.5、75、150 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 时, 块茎增产分别为 1.2%、30%、23%, 每公斤施 P_2O_5 量平均增长率分别为 0.03%、0.4%、0.16%, 磷肥的有效性呈先升高后降低的趋势, 且磷肥的增产效率远低于氮肥。

2.1.2 施肥对菊芋地上生物量的影响

菊芋地上生物量与施氮量和施磷量(P_2O_5)的相关性研究表明, 菊芋地上生物量与施氮量存在极显著的正相关, 相关系数为 0.885; 而与施磷量的相关性不显著, 相关系数仅为 0.111, 表明随着施氮量的增加地上生物量产量显著增加, 而施磷对菊芋地上生物量的增产效果不明显, 规律与块茎产量相似。随着施氮量的增加, 菊芋地上生物量产量相对于不施肥的情况下增产分别为 28%、42%、50%、86%、167% (图 2); 不同施氮条件下, 每公斤施氮量的平均增长率分别为 1.9%、1.4%、0.9%、0.6%、0.7%, 随着施氮量的增加氮

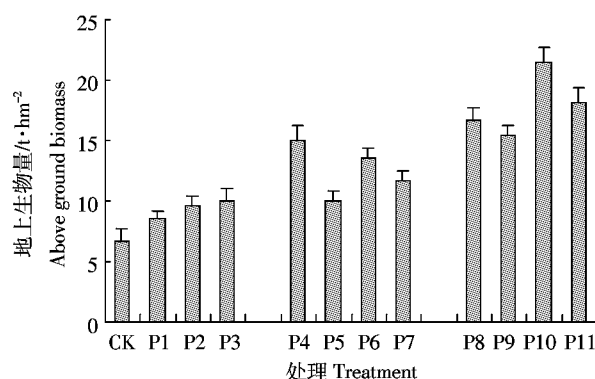


图 2 不同氮肥处理对菊芋地上部生物量的影响

Figure 2 Effects of different nitrogen fertilizers treatments on above ground biomass of *Jerusalem artichoke*

肥的有效性逐渐降低。当施氮量为 225 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 时, P_2O_5 量 75 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 显著地增加菊芋地上生物量, 增产率为 29%, 其他情况下, 施磷肥对地上生物量增产有效性不显著。施氮肥对菊芋块茎产量的增产率远高于地上生物量增产率, 因此施氮肥是提高菊芋地下生物量的有效措施。

2.2 施肥对滩涂土壤氮素累积的影响

2.2.1 不同施氮量对土壤氮素累积的影响

铵态氮是菊芋可以直接吸收的重要有效态氮素, 且无论是尿素还是磷酸二铵, 通过施肥进入土壤, 肥料中的氮素营养首先转化为土壤铵态氮, 然后被植物直接吸收, 或转化为硝态氮后被植物吸收。如图 3 所示, 施氮量为 0、14.7、29.3、58.7、150 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 水平时, 土壤中铵态氮的含量与施肥前相比分别降低了 35%、40%、44%、35%、4%; 施氮量为 225 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 时, 土壤中铵态氮则增加了 41%。结果表明, 施氮量小于 225 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 时, 施入土壤中的氮肥不足以满足菊芋生长的需要, 菊芋需从土壤中吸收本底铵态氮以满足生长的

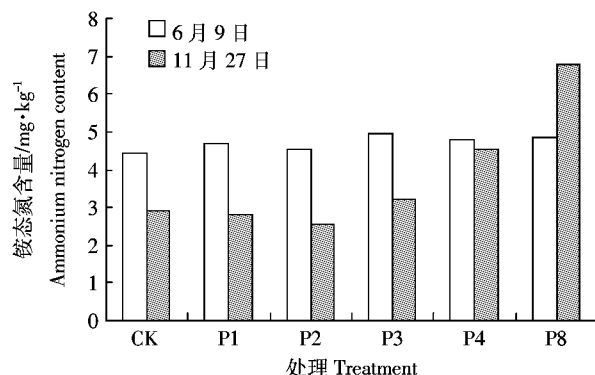


图 3 不同氮肥处理对 0~20 cm 土壤铵态氮含量的影响

Figure 3 Effects of different nitrogen fertilization treatments on ammonium nitrogen content at the layer of 0~20 cm soil layers

需求,尤其是当施氮量小于 $150 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时,菊芋生长所需的铵态氮绝大部分来自土壤,土壤铵态氮成为制约菊芋生长的重要因素。施肥量达 $225 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时,肥料提供的铵态氮已超出菊芋生长的需求,多余的铵态氮累积在土壤中。

硝态氮是菊芋可以直接吸收的又一有效态氮素。如图 4 所示,施氮量为 0、14.7、29.3、58.7、 $150 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 不同水平时,土壤中硝态氮的含量分别降低了 55%、61%、55%、40%、15%;施氮量为 $225 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时,土壤中硝态氮增加了 27%,具有与铵态氮相类似的规律。比较土壤硝态氮与铵态氮在不同施肥条件下的增减程度发现,同一处理下,硝态氮含量降低的程度远高于铵态氮,平均多降低约 12%;施氮量为 $225 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时,硝态氮含量比铵态氮少增加 14%。造成这一现象的原因可能是菊芋对硝态氮的吸收量大于铵态氮,或由于硝态氮在土壤中比铵态氮易于淋失。

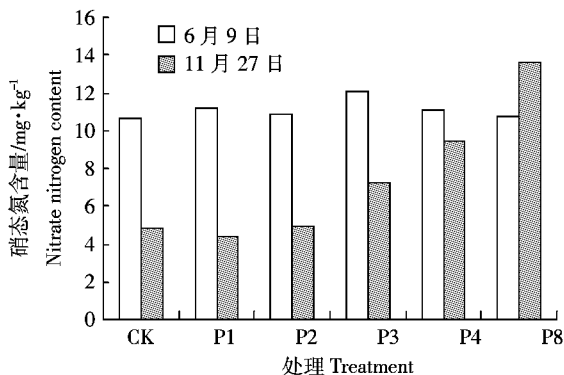


图 4 不同氮肥处理对 0~20 cm 土壤硝态氮含量的影响

Figure 4 Effects of different nitrogen fertilization treatments on nitrate nitrogen content at the layer of 0~20 cm soil layers

2.2.2 不同层次土壤氮素动态变化

为进一步评估施氮肥对土壤氮素动态变化、作物氮素吸收以及相应土壤氮素损失的影响,本文以施氮量 $225 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 条件下,研究了土壤中不同层次铵态氮和硝态氮的动态变化规律。

不同土层土壤铵态氮的平均含量分别为 12.0、1.94、 $1.75 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,变异系数分别为 63%、3%、2%,随土层深度的增加,铵态氮呈不断下降趋势。0~20 cm 土壤铵态氮的变化比较活跃,经 6 月 11 日施氮肥后,各时期土壤中铵态氮相对于施肥前都有一定程度的增长,7 月 9 日土壤中铵态氮含量最高达 $24.6 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,随后开始不断下降,至收获时仍比施肥前高出 41%,20~60 cm 土壤铵态氮相对比较稳定(图 5)。

不同土层土壤硝态氮的平均含量分别为 16.0、

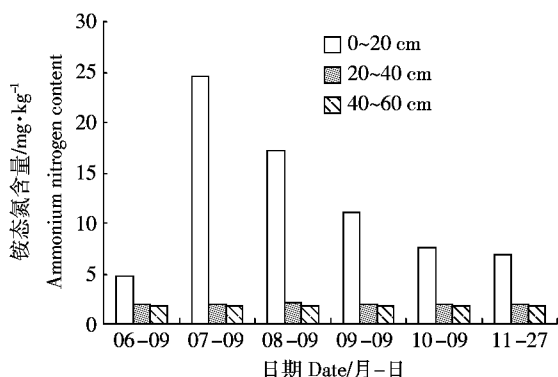


图 5 $225 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 施氮量条件下不同土层铵态氮变化动态
Figure 5 Dynamics of ammonium nitrogen contents in different layers at the nitrogen application rate of $225 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$

11.0、 $8.60 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,变异系数分别为 26%、15%、18%,随土层深度的增加,硝态氮呈不断下降趋势,且 0~20 cm 土壤硝态氮的变化最为活跃。0~20 cm 土层,硝态氮呈先升后降抛物线趋势,8 月 9 日达到峰值,此前随着铵态氮向硝态氮的转化,其含量不断增加,8 月 9 日后随着铵态氮向硝态氮的转化的减少,和菊芋生长对硝态氮需求的增长,土壤硝态氮开始逐渐降低。20~40 cm、40~60 cm 土层中硝态氮的含量呈不断增加的趋势,表明土壤中硝态氮存在着严重的由土壤表层向底层淋失的风险。对不同时期 20~60 cm 土壤硝态氮增加量进行比较可知:6 月 9 日—7 月 9 日>8 月 9 日—9 月 9 日>7 月 9 日—8 月 9 日>9 月 9 日—10 月 9 日>10 月 9 日—11 月 27 日。

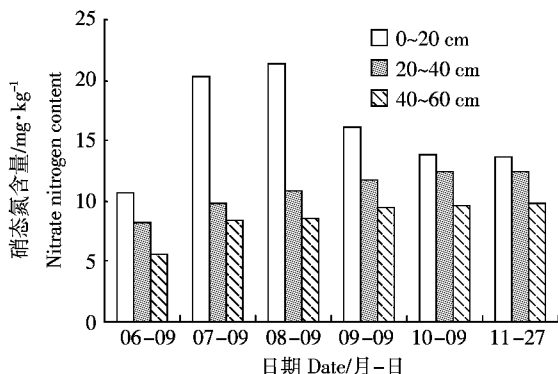


图 6 $225 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 施氮量条件下不同土层硝态氮变化动态
Figure 6 Dynamics of nitrate nitrogen contents in different layers at the nitrogen application rate of $225 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$

3 讨论

研究表明施氮肥可以显著提高苏北滩涂菊芋地上干物质的积累和块茎产量,随着施氮量的增加,产

量不断增加。比较施氮量 150 和 225 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 两种情况下不同施磷(P_2O_5)量对菊芋产量的影响可知,施氮 150 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 时,随施磷量的增加对菊芋增产效果不明显,说明该情况下菊芋的生长主要受制于氮素含量,磷素效应不显著;施氮 225 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 时,随施磷量的增加对菊芋有一定的增产效应,该情况下,施氮量已高于菊芋的需氮量,氮素已非限制因子,适当增施磷肥有助于提高菊芋产量。苏北滩涂土壤有机质含量低,且严重缺氮,而有效磷含量相对较高,因此氮素是菊芋产量的重要限制因素,磷素只有在氮素供应充足的情况下,才能对菊芋的产量起到一定的增产效应。隆小华等对半干旱地区海涂海水灌溉菊芋盐肥耦合效应的研究表明,施磷可以增加菊芋产量,但在施磷量多于 90 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 的情况下,菊芋块茎和地上部分生物产量分别比施磷量 60 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 时低 19% 和 11%^[12]。因此,我们在优化苏北滩涂菊芋对氮、磷肥的需求时,要分别考虑氮、磷对菊芋的增产效应。

比较不同施氮量对土壤 0~20 cm 土层铵态氮和硝态氮累积情况表明,施氮量小于 225 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 时,土壤中铵态氮和硝态氮均处于消耗状态,施氮量为 225 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 的土壤中铵态氮和硝态氮处于累积状态。施氮肥是土壤中铵态氮和硝态氮的主要来源,菊芋生长吸收的氮素和氮素向土壤深层淋湿是氮素消耗的重要途径。分析 20~40 cm、40~60 cm 土层土壤铵态氮和硝态氮的动态变化可知,铵态氮变异不显著,20~60 cm 土层土壤有机质含量低,对铵态氮的吸附作用不强^[13],且铵态氮在土壤中的移动性相对较弱,是造成 20~60 cm 土壤铵态氮含量稳定的原因;而硝态氮呈不断上升趋势,说明硝态氮易于向土壤深层淋失,硝态氮是苏北滩涂土壤氮素淋失的主要形态。

对不同时期 20~60 cm 土壤硝态氮增加量进行比较,6月9日—7月9日>8月9日—9月9日>7月9日—8月9日>9月9日—10月9日>10月9日—11月27日,查阅相关资料发现,对应时期试验区降雨量分别为 269、126、82、64、50 mm,可见降水量与深层土壤硝态氮增加量呈显著的正相关,说明降水是导致土壤硝态氮淋失的重要原因,这与高海鹰等的研究结果一致^[13]。

比较不同施氮量对菊芋产量的每公斤施氮量平均增长率发现,随着施氮量的增加,氮肥的增产效率逐渐降低,且随着施氮量的增加,土壤中硝态氮的含量增加,从而增大了土壤硝态氮淋失的风险,易造成对滩涂区地下水氮素污染。因此,我们在优选氮素施

肥时,应充分考虑菊芋的增产量、增产效益和地下水氮素污染风险。

4 结论

氮素是苏北沿海滩涂菊芋生长的关键限制因子,增施氮肥可以显著提高块茎和地上干物质的积累。在氮肥供应充足情况下,适当增施磷肥可以增加菊芋块茎和地上干物质的积累。鉴于本次研究的结果,推荐苏北沿海滩涂菊芋生产的最佳施肥量为:纯氮 225 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, P_2O_5 75 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。

施氮量不足的情况下,土壤中氮素处于净消耗状态,施 225 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 时,不仅可以获得菊芋块茎和地上干物质的最大产量,且有助于土壤氮素的累积。硝态氮是苏北沿海滩涂土壤氮素淋失的主要形态,且降水是导致硝态氮淋失的重要原因。

苏北滩涂氮素严重缺乏,增施氮肥尽管可以显著提高菊芋产量,但随施氮量增加,土壤氮素淋失的风险加大。为降低氮素淋失对地下水污染的风险,提高氮素利用效率,下一步本研究将从施肥时间、施肥方式、水肥耦合等角度出发,优选既能最大限度提高菊芋产量,又能将氮素对土壤和环境的污染风险降到最低的最优施肥量和施肥方式。

参考文献:

- [1] 李加林,张忍顺,王艳红,等. 江苏淤泥质海岸湿地景观格局与景观生态建设[J]. 地理与地理信息科学, 2003, 19(5): 86-90.
Li Jia-lin, ZHANG Ren-shun, WANG Yan-hong, et al. Research on landscape pattern and construction of landscape ecology of muddy coastal wetlands in Jiangsu province[J]. *Geography and Geo-Information Science*, 2003, 19(5): 86-90.
- [2] 沈永明,冯年华,周勤,等. 江苏沿海滩涂围垦现状及其对环境的影响[J]. 海洋科学, 2006, 30(10): 39-43.
SHEN Yong-ming, FENG Nian-hua, ZHOU Qin, et al. The status and its influence of reclamation on Jiangsu coast[J]. *Marine Sciences*, 2006, 30(10): 39-43.
- [3] 隆小华,刘兆普. 耐寒抗旱治沙之星菊芋[J]. 植物杂志, 2003, 3: 23-24.
LONG Xiao-hua, LIU Zhao-pu. The star in cold, drought and desertification, *Helianthus tuberosus*[J]. *Plants*, 2003, 3: 23-24.
- [4] Rawson H M, Long M J. Growth and development in NaCl-stress plant[J]. *Plant Physi*, 1988, 15(4): 519-540.
- [5] 张邦定. 菊芋的开发与栽培[J]. 四川农业科技, 1997, 6(5): 35-37.
ZHANG Bang-ding. The development and cultivation of *Helianthus tuberosus*[J]. *Journal of Sichuan Agricultural Science and Technology*, 1997, 6(5): 35-37.
- [6] 杨劲峰,崔红光. 不同施肥处理对棕壤无机态氮含量的影响[J]. 安徽农业科学, 2007, 35(18): 5490-5492.

- YANG Jin-feng, CUI Hong-guang. Effect of the different fertilization treatments on inorganic nitrogen content in brown soil[J]. *Journal of Anhui Agri Sci*, 2007, 35(18):5490-5492.
- [7] 隆小华, 刘兆普, 陈铭达, 等. 半干旱区海涂海水灌溉菊芋氮肥效应的研究[J]. *水土保持学报*, 2005, 9(2):114-117.
- LONG Xiao-hua, LIU Zhao-pu, CHEN Ming-da, et al. Study of nitrogen fertilizer effect with seawater irrigation *Helianthus tuberosus* in sea-beach of semiarid region[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2005, 9(2):114-117.
- [8] 李俊良, 朱建华, 张晓晟, 等. 保护地番茄养分利用及土壤氮素淋失[J]. *应用与环境生物学报*, 2001, 7(2):126-129.
- LI Jun-liang, ZHU Jian-hua, ZHANG Xiao-chen, et al. Nitrate leaching loss from soil and nutrient utilization by tomato in protected field[J]. *Chin J Appl Environ Biol*, 2001, 7(2):126-129.
- [9] 陈克亮, 朱晓东, 朱 波, 等. 川中小流域地下水硝态氮的时空变化特征[J]. *农业环境科学学报*, 2006, 25(4):1060-1064.
- CHEN Ke-liang, ZHU Xiao-dong, ZHU Bo, et al. Temporal and spatial variation of NO_3^- -N pollution in groundwater in small watershed of central Sichuan Basin[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2006, 25(4):1060-1064.
- [10] 刘广明, 杨劲松, 姜 艳. 江苏典型滩涂区地下水及土壤的盐分特征研究[J]. *土壤*, 2005, 37(2):163-168.
- LIU Guang-ming, YANG Jing-song, JIANG Yan. Salinity characters of soils and groundwater in typical coastal area in Jiangsu Province[J]. *Soils*, 2005, 37(2):163-168.
- [11] 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, 1999.
- LU Ru-kun. Chemical analysis of agricultural soil [M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 1999.
- [12] 隆小华, 刘兆普, 陈铭达, 等. 半干旱区海涂海水灌溉菊芋盐肥耦合效应的研究[J]. *土壤学报*, 2005, 42(1):91-97.
- LONG Xiao-hua, LIU Zhao-pu, CHEN Ming-da, et al. Coupling effect of salt and fertilizer application on *Helianthus tuberosus* irrigated with seawater in semiarid region [J]. *Acta Pedologica Sinic*, 2005, 42(1):91-97.
- [13] 翟丽华, 刘鸿亮, 徐红灯, 等. 浙江某农场土壤和沟渠沉积物对氨氮的吸附研究[J]. *环境科学*, 2007, 28(8):1770-1773.
- ZHAI Li-hua, LIU Hong-liang, XU Hong-deng, et al. Property of ammonium adsorption on sediments in ditches and adjacent soils[J]. *Environmental Science*, 2007, 28(8):1770-1773.
- [14] 高海鹰, 黄丽江, 张 奇, 等. 不同降雨强度对农田土壤氮素淋失的影响及 LEACHM 模型验证 [J]. *农业环境科学学报*, 2008, 27(4):1346-1352.
- GAO Hai-ying, HUANG Li-jiang, ZHANG Qi, et al. Nitrogen leaching under different rainfall intensities for agricultural soils-laboratory experiments and numerical modeling using LEACHM[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2008, 27(4):1346-1352.