

# 不同降水条件下北方日光温室填闲季糯玉米 对土壤残留氮风险阻控研究

卢树昌<sup>1</sup> 姜春光<sup>2</sup>

(1. 天津农学院 农学系 天津 300384; 2. 北京市农业环境监测站 环境保护科 北京 100029)

**摘要:**我国北方设施蔬菜生产中存在着不合理灌溉施肥的现象,严重影响着设施农业的可持续发展。本试验在种植季节外填闲期间,以休闲田地对照,采用填闲作物种植和溴深层示踪技术研究了夏季填闲作物对土壤提氮作用。试验结果表明:夏季种植填闲作物可显著降低根区土壤中无机氮素的含量,尤其是土壤表层的无机氮含量。休闲处理土壤(0~180 cm)各层的无机氮含量均有增加。但在干旱条件处理下种植填闲作物后,土壤(0~120 cm)各层的无机氮含量均出现下降。夏季降雨量是造成土壤氮素淋洗的主要因素,且土壤中无机氮含量越高,氮素淋洗量越大。种植填闲作物可以有效地吸收土壤中氮养分,在模拟干旱年份和正常年份降雨量的处理中,种植糯玉米从土壤中吸收氮量分别为172.6、146.6 kg/hm<sup>2</sup>。溴标记试验进一步证明了填闲作物的提氮能力,下层土壤中溴均出现向上运移的现象。本研究证实了种植填闲作物糯玉米具有有效利用菜田土壤残留氮与阻控氮淋洗风险的作用,为北方日光温室典型种植模式氮素优化管理提供了科学参考。

**关键词:**填闲;糯玉米;硝酸盐淋洗;日光温室

中图分类号:S625.5<sup>+</sup>4 文献标识码:A 文章编号:1000-7091(2012)02-0189-07

## Study on Reducing for Planting Summer Catchcrop-Waxy Corn Soil Residual Nitrogen Risk under Different Rainfall in the Northern Greenhouse

LU Shu-chang<sup>1</sup> JIANG Chun-guang<sup>2</sup>

(1. Department of Agronomy, Tianjin Agricultural University, Tianjin 300384, China; 2. Department of Environment Protection, Beijing Agricultural Environment Monitoring Station, Beijing 100029, China)

**Abstract:** Excessive fertilizer and irrigation input was common in greenhouse vegetable cropping system in North China, which seriously affected the sustainable development of protected vegetable production. In fallow season, there were two treatments in the experiment: control (with no crop) and planting catch crop. Bromine-marked tracing was used to the waxy corn roots sampling to further verify the role of cultivating the catch crop in reducing nitrogen loss. The main results showed that under the experimental conditions, the cultivation of catch crops could significantly reduce the soil  $N_{min}$  content, especially in the surface soil  $N_{min}$  content. Under simulated drought conditions treatment, with catch crops planted at the harvest ending, a decrease of  $N_{min}$  content could be found in 0-120 cm soil layers. In the fallow treatment with all layers from 0 to 180 cm, soil  $N_{min}$  content all increased, this meant that in the period of fallow soil nitrogen had mineralization in different degree. Through different rainfall simulations, showed that a large amount of rainfall in summer was a key factor of soil nitrogen leaching and soil  $N_{min}$  content of the higher volume of higher nitrogen leaching. Catch crops could effectively absorb the nutrients in the soil, to simulate rainfall of drought year treatment nitrogen removed by waxy corn was 172.6 kg/hm<sup>2</sup>, and then the rainfall of the year treatment waxy corn could taken away nitrogen reached 146.6 kg/hm<sup>2</sup>. Bromine-marked trail had turnout the capacity of catch crops for nitrogen, in this trail the bromide in lower soil layer all have upward migration. This research confirmed that planting catchcrop-waxy corn was advantageous to use soil residual nitrogen and reduce nitro-

收稿日期:2011-12-20

基金项目:天津市应用基础及前沿技术研究计划项目(09JCYBJC08600);国家自然科学基金(30671236);天津市农业科技成果转化与推广项目(0804140)

作者简介:卢树昌(1970-),男,河北献县人,副教授,博士,主要从事园艺作物土壤质量与植物营养研究。

gen leaching risk ,which provided scientific references for optimizing nitrogen management in typical planting model of northern greenhouse.

**Key words:** Catch; Waxy corn; Nitrogen leaching; Greenhouse

20 世纪 90 年代以来 ,随着我国农业种植结构调整步伐加快 ,蔬菜产业得到快速发展<sup>[1]</sup>。农业部 2009 年统计资料显示 ,我国蔬菜播种面积为 1 841.4 万  $\text{hm}^2$  ,产量为 61 823.8 万 t ,均居世界首位<sup>[2]</sup> ,其中设施蔬菜播种面积为 444.5 万  $\text{hm}^2$  ,产量为 24 700 万 t<sup>[3]</sup> ,各占全国的 24.1% 和 40.0% ,用于设施蔬菜生产的节能日光温室大棚为 61.8 万  $\text{hm}^2$  ,主要集中在我国北方地区<sup>[4-5]</sup>。设施蔬菜规模化生产已成为北方许多地区农民增收的支柱产业<sup>[6]</sup>。为了提高蔬菜产量追求经济效益 ,农户大量施用氮肥成为传统蔬菜管理体系中的普遍现象 ,致使氮素施用量远远高于蔬菜生长的氮素需求量。过量的氮在传统畦灌和漫灌等大水灌溉方式下 ,很容易发生淋洗损失 ,且过量的水肥投入在国内外集约化蔬菜生产中均导致不同程度的氮素损失及地下水污染的环境问题<sup>[7-9]</sup>。山东省寿光市是我国最大的设施栽培基地 ,其大棚土壤平均氮素投入量达 1 690  $\text{kg}/\text{hm}^2$  ,是日本同类温室施用量的 5 倍 ,是蔬菜吸收量的 8 倍以上 ,并且一季的灌水量高达 1 000 mm<sup>[10-12]</sup>。这表明菜农每季作物向大棚投入的氮素中大部分在当季不能利用 ,且大多以各种形式流失 ,形成对地下水、大气等周边环境的污染<sup>[13]</sup>。过量水肥投入意味着水分养分资源利用效率降低 ,菜田土壤氮素淋失损失( 主要指土壤硝态氮 ,因为土壤铵态氮在土壤中移动性很小 ,其含量远低于土壤硝态氮含量) 及其所导致的地下水硝酸盐污染在欧美等集约化蔬菜产区已经成为非常“棘手”的问题<sup>[14-15]</sup>。我国大多数蔬菜集约化产区的地下水硝酸盐含量超标问题也同样严重。延安日光温室蔬菜种植区 ,施氮量大的温室 10 m 深地下水中的  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  含量达 142  $\text{mg}/\text{L}$ <sup>[16]</sup>。山东惠民日光温室蔬菜种植区小于 15 m

的浅层地下水  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  超出美国饮用水  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  最大允许量( 10  $\text{mg}/\text{L}$ ) 的比例达 99%<sup>[17]</sup>。因此 ,过量水肥投入所带来的地下水硝酸盐污染已成为制约集约化蔬菜产区可持续发展的首要问题 ,减少土壤硝态氮残留风险的研究越来越受到各国学者的重视。

大部分蔬菜根系较浅<sup>[18]</sup> ,对根层以下深层次的氮养分利用率较低 ,这也是菜田土壤的氮素养分容易损失的重要原因。鉴于此 ,许多学者提出 ,通过休闲季种植深根系的填闲作物来减少土壤氮的淋洗损失。Thomsen<sup>[19]</sup>以黑麦草作为填闲作物研究表明 ,氮素淋洗损失每年可减少 1.43 ~ 2.16  $\text{g}/\text{m}^2$ 。欧美研究显示 ,填闲作物能有效地吸收土壤淋洗液中的氮 ,吸收量可达 19  $\text{g}/\text{m}^2$ <sup>[20]</sup> ,在主作物生长季节之外种植填闲作物第 1 年可降低 75% 的  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  淋溶损失 ,在第 2 年则降低 50% 左右<sup>[21]</sup>。本研究通过在夏季休闲期种植深根系作物糯玉米与模拟不同降水条件 ,探讨其对深层土壤残留硝态氮的“抽提”作用 ,旨在揭示填闲作物对菜田土壤氮素利用与风险阻控作用机制 ,为设施菜田氮素综合管理提供科学依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验地概况

试验于 2009 年 6 月至 2010 年 9 月在北京昌平区金六环农业园区进行。供试温室为水泥钢架结构 ,长 100 m ,跨度 8 m ,棚龄 17 年。实际种植面积为 90 m  $\times$  5.5 m ,种植方式为一年两季番茄 ,即 2-6 月为冬春季 ,9 月至来年 1 月为秋冬季 ,7-8 月进行夏季休闲。试验土壤表层质地为砂质壤土 ,下层为砂质土。土壤肥力状况较高 ,如表 1 所示。

表 1 供试设施大棚土壤基础养分状况

Tab.1 Basal soil nutrient characteristics of the experimental greenhouse

指标 Index	土层/cm Soil layer	全氮/( $\text{g}/\text{kg}$ ) Total nitrogen	有效磷 /( $\text{mg}/\text{kg}$ ) Available phosphorus	速效钾 /( $\text{mg}/\text{kg}$ ) Available potassium	pH	有机质 /( $\text{g}/\text{kg}$ ) Organic matter	EC/( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )
指标值 Index value	0 ~ 30	2.24	96.6	211	7.19	21.23	357

### 1.2 供试作物

供试作物为糯玉米( *Zea mays* L. ) ,品种为“天紫”22 号。于 2009 年 6 月 10 日采用营养钵育苗 ;在 2009 年 7 月 7 日进行移栽 ,定植密度为 30 cm  $\times$

60 cm。定植后统一在根部灌一次定植水。糯玉米在 2009 年 9 月 5 日收获。

### 1.3 试验设计

1.3.1 设计一 在 2009 年冬春季番茄收获后 ,夏

季休闲期间将试验温室分为 A、B 两区,其中 A 区设为模拟北京干旱年份夏季降雨量的休闲(A1)和填闲(A2)两处理,B 区设置为模拟北京正常年份夏季降雨量的休闲(B1)和填闲(B2)两处理,为保证填闲糯玉米生长条件尽量一致,所有处理全部不揭棚膜。根据北京气象局资料,北京干旱年份夏季 7~8 月份降雨量平均为 54.5 mm,分别在玉米定植与抽穗时灌溉。正常年份夏季 7~8 月份降雨量平均为 450 mm,根据当季降雨实际分配时间灌溉。填闲糯玉米种植不施任何肥料。

1.3.2 设计二  $\text{NO}_3^-$  和  $\text{Br}^-$  均为一价阴离子,在土壤中的本底值很低,且化学性质稳定,不受生物化学转化过程的影响,很多试验表明, $\text{NO}_3^-$  和  $\text{Br}^-$  在土壤和水体中的行为是一致的<sup>[22-23]</sup>,因此,本试验通过溴作为示踪元素,采用溴标记法研究模拟降水量下填闲作物根系“提氮”作用及土壤氮素去向。试验采用微区设计,分别布设在 A 区和 B 区的填闲处理,标记深度为 60 cm,标记用溴化钾(化学式 KBr,分子量 119.0,分析纯),溴标记量为  $200 \text{ kg}/\text{hm}^2$ ,每个微区总共取 10 个标记点,标记时先将原状土用土钻取出后,以 30 cm 为一层放到一边,然后将标记的溴化钾溶解后,通过 70 cm 塑料管标记到每个小区的表层土下 60 cm 处,用 30 mL 去离子水分 3 次清洗容器及管壁,最后将原状土分层填回、恢复原状。标记点和取样点如图 1 所示。

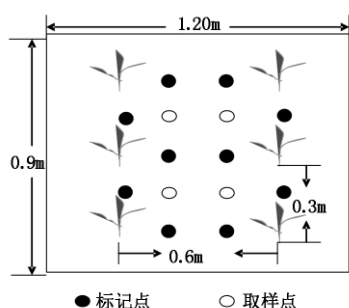


图 1 KBr 微区标记点及采样点示意图

Fig. 1 The diagram for sampling and marking point in KBr micro-plot

#### 1.4 试验采样与测定方法

1.4.1 土壤剖面无机氮动态监测 在试验开始前和收获后,于植株行内距植株主根 10 cm 处采集 0~30, 30~60, 60~90, 90~120, 120~150, 150~180 cm 共 6 个土层土样;并在糯玉米生育期间每隔半月分别于植株行内距植株主根 10 cm 处采集 0~30, 30~60, 60~90 cm 共 3 个土层土样监测根层土壤  $\text{NO}_3^-$ -N 含量变化。同层样品迅速装入封口袋内,带回室内过 3 mm 筛并混匀。称取 20 g 左右鲜土于铝盒中,在  $105^\circ\text{C}$  下烘干 12 h,测定土壤含水量;同

时称取 12.00 g 鲜土样于塑料瓶中,加入 1 mol/L KCl 溶液 100 mL,振荡 1 h 后过滤。滤液用流动分析仪(TRAACS2000)测定  $\text{NO}_3^-$ -N 和  $\text{NH}_4^+$ -N 含量。

1.4.2 玉米产量的测定 在玉米收获时进行记产,各小区中间 2 畦进行标记,作为记产行,每小区标记 20 株。收获时将果实进行称质量,记录每小区玉米的质量及果实个数。

1.4.3 玉米各部位氮吸收量的测定 分别在玉米移栽时以及每次土样采集时结合土样采集,在每个小区采样行的中间位置选取 2 株有代表性植株,将茎、叶、果分开称质量,洗净后,于  $105^\circ\text{C}$  杀青 1 h 后,  $70^\circ\text{C}$  条件下烘干,称质量。干样粉碎后,在阴凉干燥处密封保存,用浓  $\text{H}_2\text{SO}_4$ - $\text{H}_2\text{O}_2$  联合消煮法,凯氏定氮法测定植株全氮含量,消煮液同时测定植株磷(钼钼黄吸光度法)、钾(火焰光度法)含量。氮素吸收量由干物重与全氮含量的乘积计算获得。

1.4.4 溴标记微区土壤样品采集与测定 采样时期为作物收获后,在 2 株植物中间分别采集土样,每个微区选取 4 个采样点,以 30 cm 为间隔采集 0~180 cm 的土样,采样点见图 1。各点间和各层间要避免污染。每采集完一钻用干净的吸水纸将土钻擦拭干净,然后再进行下一点的采取,所采集样品全部用于测定土壤含水量及溴( $\text{Br}^-$ )含量(离子色谱仪(戴安 DX-320 型))。

#### 1.5 氮素表观平衡计算

土壤氮素表观平衡的计算公式,不考虑氮素矿化,有机肥带入氮量以全氮计算<sup>[24]</sup>:

表观氮素平衡 = (移栽前 0~90 cm 土壤无机氮残留量 + 化肥施氮量 + 有机肥施氮量) - (作物地上部带走量 + 收获后 0~90 cm 土壤无机氮残留)。

#### 1.6 数据统计与分析

试验数据均采用 Microsoft Excel 2003 进行处理,用 SAS(8.2) 系统进行双因素方差分析与多重比较。

## 2 结果与分析

#### 2.1 糯玉米生物量与经济产量

2008 年夏季糯玉米收获时种植糯玉米的 A2、B2 处理的干物质质量分别为  $11.71, 10.89 \text{ t}/\text{hm}^2$ , A2、B2 处理的果实鲜质量分别为  $13.4, 13.3 \text{ t}/\text{hm}^2$ ,两处理产量并没有差异。

从表 2 可以看出,在 A 区模拟干旱季节降水的糯玉米,生长前期干物质累积量要低于 B 区模拟正常季节降雨量的处理,可能是由于前期缺少水分供应,影响到填闲作物对养分的吸收。随着植株的生

长以及根系的发育完善, 填闲作物可利用的养分增多, B 区模拟降雨量 455 mm, 造成表层土壤大部分养分被淋洗, 影响到填闲作物对养分的吸收。所以在收获时二者干物质质量并没有明显差异, A2 处理干物质含量反而高于 B2 的处理。

表 2 填闲作物糯玉米干物质累积量

Tab.2 Accumulated amount of dry matter

for catch crop (waxy corn) t/hm <sup>2</sup>		
日期 Date	不同处理 Different treatment	
	A2	B2
7 月 3 日 July 3	0.04	0.03
8 月 2 日 August 2	4.03	4.88
8 月 18 日 August 18	6.15	7.95
9 月 5 日 September 5	11.71	10.89

## 2.2 填闲作物各部位氮吸收量

填闲作物的种植可以带走部分土壤氮素, 降低土壤氮素的淋洗风险。从图 2 可以看出, 填闲作物收获时期为乳熟后期, 此时吸收的氮素最终有超过 50 % 被转移到果实中, 糯玉米各部分氮素吸收量顺序为: 果实 > 茎秆 > 叶片, 说明此时大部分氮素已经转移到果实当中, 在填闲作物整个生长期, 种植糯玉米的 A2 处理和 B2 处理的填闲作物氮素吸收量分别为 173 kg/hm<sup>2</sup> 和 150 kg/hm<sup>2</sup>。

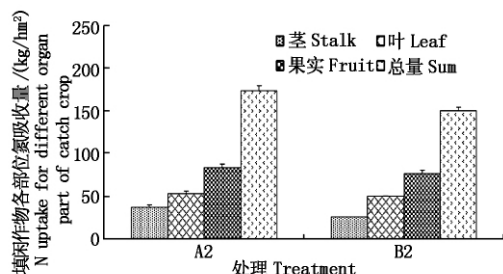


图 2 填闲作物各部分氮素吸收量

Fig.2 N uptake for different organ part of catch crop

## 2.3 填闲期间土壤无机氮的动态变化

从图 3 可以看出, 在模拟干旱条件下 (A 区), A 区 2 个处理土壤无机氮含量的变化特点与模拟正常年份降水 (B 区) 明显不同。A 区各处理 0 ~ 30 cm 表层土壤无机氮数量随休闲季节呈现出氮素累积的状态, 这主要与表层土壤的氮素矿化有关, 而种植填闲作物以后, 剖面土壤无机氮累积数量明显下降。A 区 60 ~ 90 cm 土层土壤无机氮明显高于 B 区处理。A 区处理可以使土壤剖面无机氮积累, 但在 B 区湿润年份大量的灌水或降雨是造成氮素淋洗的主要因素, 种植填闲作物可在一定程度上减少这部分损失, 但是在大量降水的年份中不如干旱年份明显。

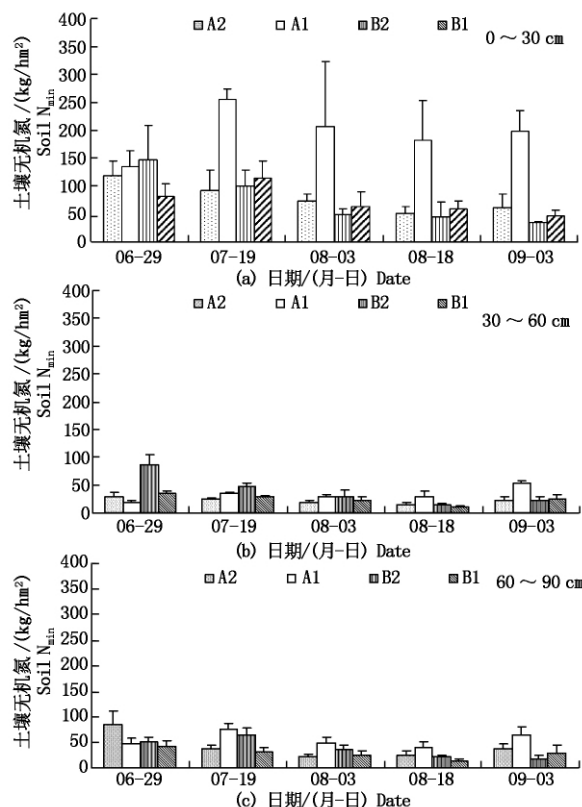


图 3 夏季休闲期间模拟不同降水年份及种植填闲作物对土壤无机氮变化的影响

Fig.3 Soil N<sub>min</sub> changing under different rainfall and catch crop plant during summer fallow period

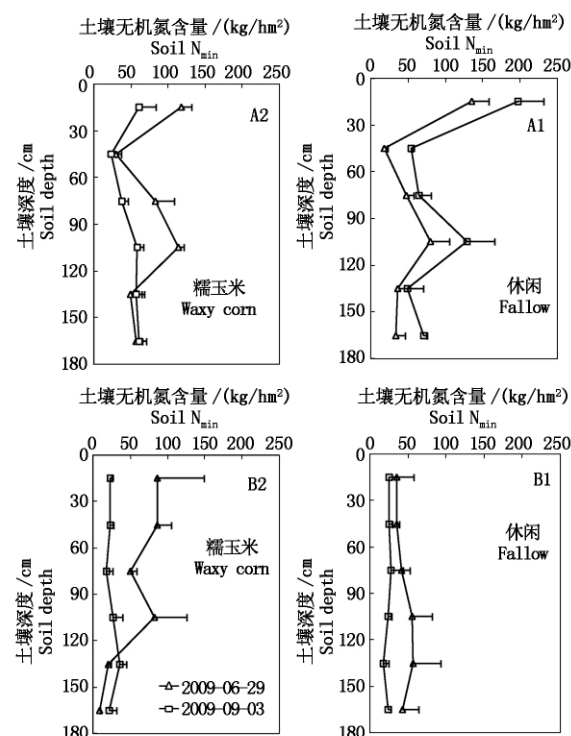


图 4 模拟不同降水年份条件下夏季填闲作物种植前后剖面土壤无机氮变化

Fig.4 The N<sub>min</sub> change of soil profile by catch crop planted under different rainfall imitation

模拟干旱年份降雨( A 区) 处理与模拟正常降雨( B 区) 处理之间 0 ~180 cm 土壤剖面的  $N_{min}$  含量存在很大差异。在 A 区 ,与冬春季番茄收获后土壤剖面  $N_{min}$  含量相比 ,休闲结束后 0 ~180 cm 土层的无机氮含量有所下降 ,而在 A 区填闲作物种植后各土层的  $N_{min}$  含量均有所增加。在 B 区 ,与冬春季番茄收获后土壤剖面  $N_{min}$  含量相比 ,休闲结束与糯玉米收获后 0 ~180 cm 土层的无机氮含量均大幅度下降( 图 4) 。这表明 ,在 A 区干旱情况下 ,糯玉米可能通过蒸腾作用以及根系吸收作用使更多的无机氮保留在根际的土壤剖面中 ,而在湿润年份 ,大量的降水使土壤剖面无机氮发生强烈淋洗 ,从而使填闲作物的提氮作用大为减弱。

2.4 填闲期间的氮素表观平衡

表 3 填闲期间氮素表观平衡分析

	A 区 A plot		B 区 B plot	
	糯玉米( A2) Waxy corn( A2)	休闲( A1) Fallow( A1)	糯玉米( B2) Waxy corn( B2)	休闲( B1) Fallow( B1)
输入 Input				
定植前 0 ~90 cm 土壤 $N_{min}$				
Soil $N_{min}$ before transplanting in 0 ~90 cm	451.7	351.1	396.4	314.8
输出 Output				
收获后 0 ~90 cm 土壤 $N_{min}$				
Soil $N_{min}$ after harvest ending in 0 ~90 cm	297.8	565.3	160.2	168.2
作物带走 $N$ uptake by crop	172.6		149.8	
表观氮平衡 $N$ balance	-18.7	-214.2	86.4	146.6

2.5 溴标记法模拟填闲作物对氮素的提取作用

从图 5 可以看出 ,与 B 区相比 ,A 区填闲作物可以使更多的溴保存在 30 ~90 cm 土层中。种植糯玉米 A2 处理 30 ~90 cm 的溴浓度显著高于休闲处理 ,而在 B 区正常年份降雨情况下 ,休闲与填闲作物处理的溴浓度在各个土层均未有显著性差异。这表明水分因子在夏季填闲作物的提氮效果方面是至关重要的。大量降水使土壤剖面溴发生淋洗 ,从而使填闲作物的作用不显著 ,这与 0 ~180 cm 土层无机氮迁移结果( 图 4) 相一致。在干旱年份或者控制灌溉情况下 ,蒸发量远大于降雨量 , $Br^-$  随水分上移的现象非常明显。图 5 显示在 A 区 ,干旱处理的情况下种植填闲作物所带来的水分上移的可能性小于不种植填闲作物 ,表现在有更多比例的  $Br^-$  停留在 30 ~90 cm 土层 ,但是不管是种植填闲作物还是休闲处理 ,土壤中溴均有向上运移的现象。在 B 区模拟当年降雨量的情况下 ,大量降雨造成土壤的淋洗 ,B2 及 B1 处理均在 150 ~180 cm 土层出现峰值 ,且显著高于 A 区 ,说明降雨已经使  $Br^-$  淋洗出根际 ,进入到

从表 3 可以看出 ,在 A 区模拟干旱年份降雨的处理中 ,由于灌溉量仅为 54.5 mm ,休闲处理 0 ~90 cm 土层中无机氮含量有明显的积累现象 ,而由于糯玉米的种植氮素吸收减少了无机氮在土体中的积累。但是在模拟正常年份降雨量的处理中 ,种植填闲作物的处理氮素损失为 86.4 kg/hm<sup>2</sup> ,休闲处理的氮素损失高达 146.6 kg/hm<sup>2</sup> ,种植填闲作物同休闲相比可以减少 41% 的氮素损失。我国北方夏季往往有雨热同期的气候特点 ,如果填闲作物要起到很好的减少氮素损失的作用 ,还必须增加地表覆盖率 ,如杂草等植被的生长 ,以减少由于大量降雨造成的氮素淋洗及径流损失 ,同时在设施蔬菜生产过程中 ,还需要通过合理的灌溉施肥来降低土壤无机氮的累积 ,降低氮素的淋洗风险。

环境当中 ,说明在夏季强降雨的情况下 ,虽然种植填闲作物 ,但是仍然会造成土壤氮素的淋洗。

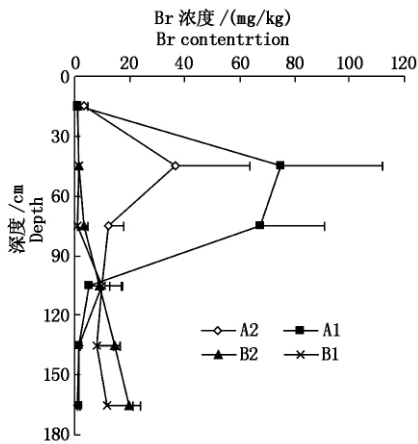


图 5 溴标记法模拟不同降水年份( A 区、B 区)

填闲作物对氮的提取作用

Fig. 5 The effect for the catch crop of waxy corn for nitrogen under different rainfall by imitation of bromide

### 3 结论与讨论

填闲作物的种植可以显著减少氮素的淋洗损失,土壤氮素的减少不仅是根层的拦截作用,而且包括根系的吸收作用<sup>[25]</sup>,通过溴标记试验也验证了这个结论。溴标记试验证明,在降雨量或灌溉量合理的情况下,根系对土壤的硝态氮有很好提取作用,但是在大量降雨或者灌溉的情况下,填闲作物则几乎没有作用。

填闲玉米不同部位对氮养分的吸收比例不同,在玉米乳熟阶段后期,通过对玉米茎、叶、果实各部位氮素含量结果分析,可得玉米不同部位对氮素的吸收量不同,在糯玉米收获时各部位氮积累顺序为果实>叶片>茎秆。周桦等<sup>[26]</sup>研究发现,玉米果实和茎秆中氮吸收量的规律,与本试验结果类似,但是其并没有把叶片的养分吸收量考虑进去;佟屏亚等<sup>[27]</sup>通过对夏玉米的养分分配研究发现,在蜡熟期氮素分配规律为果实>叶片>茎秆,这可能和作物的品种有关系。总体看在干旱年份降雨量处理(A区)的氮养分吸收量均要高于正常年份降雨量处理(B区),这可能由于硝态氮向下淋洗减少了作物对氮的吸收造成的。

大量的降雨是造成土壤氮素淋洗损失的主要因素,本试验通过对土壤 $N_{min}$ 的监测发现,在B区的土壤 $N_{min}$ 已经淋洗出180 cm的土层,通过溴标记试验也可以看出,在150~180 cm土层,溴含量明显增加,说明已经有部分溴被淋洗出180 cm,同时大量的氮素淋洗也是造成B区吸氮量小于A区的一个重要原因。在供氮良好的情况下填闲作物2周内可以累积1 mg的干物质,氮素含量达到3%~4%<sup>[28]</sup>,因此,填闲期间的降雨量多少成为控制氮素淋洗的关键因素。夏季由于高温高湿的环境,土壤中的氮素矿化很快,京郊菜田温度是影响土壤氮素矿化的主要原因<sup>[29]</sup>,在A区的对照处理有214 kg/hm<sup>2</sup>被矿化出来,这可能是由于土壤中长期施用有机肥,造成土壤中有有机态氮素含量很高,在夏季条件合适情况下,很快被矿化,在B区休闲对照处理有146 kg/hm<sup>2</sup>氮素损失掉,这其中除去反硝化造成的气态损失,据相关研究表明,设施番茄生产体系,周年的氮素气态损失仅为10.9~11.5 kg/hm<sup>2</sup><sup>[30]</sup>,由此可以看出,大部分氮素被淋洗到地下水,进入环境当中。

研究结果表明:①在夏季填闲期间,休闲处理相比填闲处理,A2和B2糯玉米种植后土壤0~180 cm土层的 $N_{min}$ 积累分别减少153.84 kg/hm<sup>2</sup>和

236.18 kg/hm<sup>2</sup>,在B区氮素损失量要高于作物自身的氮素吸收量。糯玉米的种植可以减少氮素的损失,但是受土壤 $N_{min}$ 的分布以及当年降雨量的影响较大;②不同降雨条件下对土壤无机氮的淋洗影响很大,设施土壤中氮素含量往往过高,一旦夏季降雨量很大,将有大部分被淋洗,本试验表明,在种植填闲糯玉米的情况下,即使当年降雨量很大,淋洗较强烈的情况下,仍然可以减少41%的氮素损失;③填闲糯玉米在干旱条件下,有利于提高土壤氮素的运移,在没有地表覆盖和夏季蒸发量较大的情况下,土壤中水分通过土壤自身的毛细作用,不断向地表运移,同时通过水分的运移,土壤下层氮素向地上部运移。

#### 参考文献:

- [1] 钮力亚,于亮,付晶,等.作物生物节氮技术研究进展[J].天津农业科学,2009,15(6):122-125.
- [2] 中华人民共和国农业部.中国农业统计资料(2009)[M].北京:中国农业出版社,2010:57.
- [3] 张真和,陈青云,高丽红,等.我国设施蔬菜产业发展对策研究(上)[J].蔬菜,2010(5):1-4.
- [4] 设施园艺发展对策研究课题组.我国设施蔬菜产业发展对策研究[J].长江蔬菜,2010(3):1-5.
- [5] 李天来.我国日光温室产业发展现状与前景[J].沈阳农业大学学报,2005,36(2):131-138.
- [6] 谈春成.浅谈发展设施农业的意义及举措[J].天津农业科学,2011,17(3):122-124.
- [7] Chen Qing,Zhang Xiaosheng,Zhang Hongyan,et al. Evaluation of current fertilizer practice and soil fertility in vegetable production in the Beijing region[J].Nutrient Cycling in Agroecosystems,2004,69:51-58.
- [8] 贾爱莲,张淑娟.农田土壤养分的空间变异试验研究[J].天津农业科学,2010,16(6):93-95.
- [9] 杜长城,弓维钧,张伟玉,等.两种园田土壤肥力初探[J].天津农业科学,2007,13(1):29-30,34.
- [10] 董章杭,李季,孙丽梅.集约化蔬菜种植区化肥施用对地下水硝酸盐污染影响的研究-以“中国蔬菜之乡”山东省寿光市为例[J].农业环境科学学报,2005,24(6):1139-1144.
- [11] 李俊良.莱阳、寿光两种不同种植模式中蔬菜施肥问题的研究[D].北京:中国农业大学,2001:12-42.
- [12] 高兵,李俊良,陈清,等.不同水氮管理对日光温室番茄产量及土壤无机氮的影响[J].水土保持学报,2008,22(6):136-140.
- [13] 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.
- [14] Kraft G J,Stites W. Nitrate impacts on groundwater from

- irrigated-vegetable systems in a humid north-central US sand plain [J]. *Agriculture Ecosystems and Environment* 2003 ,100: 63 – 74.
- [15] Ramos C A ,Agut A L ,Lidón. Nitrate leaching in important crops of the Valencian Community region ( Spain) [J]. *Environment Pollution* 2002 ,118: 215 – 223.
- [16] 徐福利 ,梁银丽 ,陈志杰 ,等. 延安市日光温室蔬菜施肥现状与环境效应 [J]. *西北植物学报* 2003 ,23( 5) : 797 – 801.
- [17] JU Xiaotang ,KOU Changlin ,ZHANG Fuosuo *et al.* Nitrogen balance and groundwater nitrate contamination: Comparison among three intensive cropping systems on the North China Plain [J]. *Environmental Pollution* , 2006 ,143( 1) : 117 – 125.
- [18] Schenk M ,Heins B ,Steingrobe B. The significance of root development of spinach and kohlrabi for N fertilization [J]. *Plant and Soil* ,1991 ,135: 197 – 203.
- [19] Thomsen I K. Nitrate leaching under spring barley is influenced by the presence of a ryegrass catch crop: Results from a lysimeter experiment [J]. *Agriculture ,Ecosystems & Environment* 2005 ,111: 21 – 29.
- [20] Vos J ,Van der Putten P E L ,Hussein M H *et al.* Field observations on nitrogen catch crops: Root length and root length distribution in relation to species and nitrogen supply [J]. *Plant and Soil* ,1998 ,201: 149 – 155.
- [21] Gustafson A ,Fleischer S ,Joelsson A. A catchment – oriented and cost effective policy for water protection [J]. *Ecological Engineering* 2000 ,14 ( 4) : 419 – 427.
- [22] Smith S J ,Davis R J. Relative movement of bromide and nitrate through soils [J]. *J Environ Qual* ,1974( 3) : 152 – 155.
- [23] Onken A B ,Wendt C W ,Hargrove R S *et al.* Relative movement of bromide and nitrate in soils under three irrigation systems [J]. *Soil Sci Soc A M J* ,1977 ,41: 50 – 52.
- [24] Patil S K ,Singh U ,Singh V P *et al.* Nitrogen dynamics and crop growth on an Alfisol and Vertisol under a direct-seeded rainfed lowland rice-based system [J]. *Field Crops Research* 2001 ,70: 185 – 199.
- [25] 郭瑞英. 设施黄瓜根层氮素调控及夏季种植填闲作物阻控氮素损失研究 [D]. 北京: 中国农业大学 , 2007: 6 – 10.
- [26] 周 桦 ,姜子邵 ,宇万太 ,等. 氮肥用量对玉米体内养分浓度和养分分配的影响 [J]. *中国土壤与肥料* , 2008( 4) : 18 – 21.
- [27] 佟屏亚 ,凌碧莹. 夏玉米氮、磷、钾积累和分配态势研究 [J]. *玉米科学* ,1994( 2) : 65 – 69.
- [28] Thorup-Kristensen K ,Nielsen N E. Modelling and measuring the effect of nitrogen catch crops on nitrogen supply for succeeding crops [J]. *Plant and Soil* ,1998 ,203: 79 – 89.
- [29] 王秀群. 京郊设施菜田土壤有机氮矿化特点的研究 [D]. 北京: 中国农业大学 2008.
- [30] 何飞飞. 设施番茄生产体系的氮素优化管理及其环境效应研究 [D]. 北京: 中国农业大学 2005.