

甜玉米作为填闲作物对北方设施菜地土壤环境及下茬作物的影响

习 斌, 张继宗, 翟丽梅, 刘宏斌*

(中国农业科学院农业资源与农业区划研究所, 农业部植物营养与养分循环重点开放实验室, 北京 100081)

摘 要:在北方设施菜地雨季休闲敞篷期种植填闲作物(甜玉米),通过现场采样及室内分析测试,研究了正常施肥条件下休闲和填闲前后 NO_3^- -N 的淋失状况、土壤电导率的变化以及对下茬作物产量和品质的影响。结果表明,种植填闲作物较休闲处理 0~100 cm 土壤硝态氮表观损失量减少了 $28.4 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,剖面 NO_3^- -N 的累积峰也低于休闲处理;种植填闲作物可以显著降低表层土壤(0~20 cm)的电导率,较正常休闲处理低 41.4%;种植填闲作物并未造成下茬作物产量的降低,同时可显著降低下茬作物果实中硝酸盐含量,较休闲处理降低了 28.9%。从降低 NO_3^- -N 淋失的角度看,雨季敞篷休闲期种植填闲作物可以作为减少氮素淋失的一种有效手段,同时,对提高下茬作物品质,降低可食部分硝酸盐含量有明显的作用。

关键词:设施菜田;填闲作物;硝态氮淋失;硝酸盐含量;电导率

中图分类号:S181 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-2043(2011)01-113-07

Effect of Sweet Maize as Catch Crop on Soil Environment and Following Vegetable in Greenhouse of Northern China

XI Bin, ZHANG Ji-zong, ZHAI Li-mei, LIU Hong-bin*

(Agricultural Resource and Regional Planting Inst., CAAS, Key Lab of Plant Nutrition and Nutrient Cycling, Ministry of Agricultural, Beijing 100081, China)

Abstract: This study aim to reduce the NO_3^- -N leaching and the risk of the underground water pollution by planting the catch crop (Sweet Maize) which were planted in the greenhouse of North China when the land was fallow on the rainy season. We studied NO_3^- -N leaching, soil conductivity in forth and after of the fallow and catch crop season, and the effect of planting catch crop on yield and quality of following crop. The results indicated that, planting catch crop could reduce the apparent loss of nitrogen by $28.4 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, and, meanwhile, lead peak value of NO_3^- -N accumulation in the soil profile(0~100 cm) to lower than the follow. In addition, the soil conductivity in 0~20 cm soil layer was significantly decreased by 41.4% by planting catch crop. However, following crop yield was no significant different between follow and catch crop and, compared with normal fallow treatment, the nitrate content of vegetable for following crop was reduced by 28.9% after planting catch crop. Therefore, planting catch crop could be considered as one of the effective measures reducing NO_3^- -N leaching during the fallow. Mean-time, this cultivation system could improve quality of following crop, especially reducing the nitrate content of the vegetable.

Keywords: protected vegetable field; catch crop; soil nitrate leaching; nitrate content of vegetable; electric conductivity

目前, NO_3^- -N 对地下水的污染问题已引起许多国家的特殊关注^[1-4],而设施菜田周围地下水污染尤为严重。据刘宏斌等^[5]在 2000 年对京郊菜田周围地下水

调查发现,平均硝态氮含量为 $72.42 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,超标率达 100%。对北京 115 个设施温室的研究表明,蔬菜收获后 0~90 cm 根层土壤剖面硝态氮平均残留量高达 $480 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,0~400 cm 土壤剖面硝态氮平均累积量达 $1230 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,同时,设施菜田由于长期频繁大量灌水,极易造成氮素的淋失。因此,采取各种措施降低土壤氮素残留,提高氮素利用率,是降低地下水污染风险所亟需解决的问题。

收稿日期:2010-07-29

基金项目:国家高技术研究发展计划(2008AA06Z313);公益性行业(农业)科研专项(200903011)

作者简介:习 斌(1982—),男,河北石家庄人,硕士,主要从事施肥与环境方面的研究。E-mail:xxiibbiinn@163.com

* 通讯作者:刘宏斌 E-mail:hbliu@caas.ac.cn

在北方夏季 6—9 月,露地蔬菜已大批上市,蔬菜价格较低,设施菜田种植成本较高,大部分处于敞棚休闲状态(约占 60%以上),一直持续到 8 月下旬开始种植秋茬蔬菜,9 月中旬开始扣棚。而北方降雨主要集中在这一时期(占全年降雨量的 60%以上),同时鉴于北方设施菜田施氮过量仍较普遍^[5],蔬菜收获后土壤硝态氮残留量高,加之设施菜地有机质含量丰富、微生物活跃,有机氮矿化能力强,在没有植物利用或缺乏有效利用的条件下,土壤硝态氮淋失风险极大。夏季敞棚休闲期有可能成为我国北方设施菜地土壤硝态氮淋失的重要时期,而在国外已经有研究表明在休闲期种植填闲作物是减少氮素淋失的有效方法^[6-7]。填闲作物(Catch crop)指主要作物收获后在多雨季节种植的作物,以吸收土壤氮素、降低耕作系统中的氮淋失损失,并将所吸收的氮转移给下季作物^[8]。本试验以甜玉米作为填闲作物在夏季种植,以休闲为对照,研究填闲作物的种植在控制 $\text{NO}_3\text{-N}$ 淋失中的作用及对下茬作物生长的影响,为减少北方设施菜田硝态氮淋失、降低地下水污染风险提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验地基本情况

试验点位于北京市房山区韩村河农业技术开发中心 12 号温室(北纬 $39^\circ 36'$,东经 $115^\circ 56'$),土壤类型为褐土。种植填闲作物前,已于 2007 年 10 月至 2008 年 7 月进行了茼蒿、番茄两茬蔬菜的肥料试验,施肥量参考北京市土壤肥料站对京郊设施菜田施肥量调查数据而定,每茬作物肥料施肥量相同,其中 N 为 $360 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, P_2O_5 $150 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, K_2O $90 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,有机肥 $7\,500 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,空白处理不施用任何肥料。试验施用氮肥为尿素(N 46%),磷肥为过磷酸钙(P_2O_5 17%),钾肥为硫酸钾(K_2O 60%),有机肥为商品鸡粪(N、 P_2O_5 和 K_2O 百分含量分别为 1%、0.95% 和 0.86%)。施肥方式,30%氮肥为底肥,其余 70%均分 3 次追施(撒施后浇水),磷肥、钾肥和有机肥均作为基肥一次性撒施后耕翻。小区面积 $4 \text{ m}\times 6.5 \text{ m}$ 。

试验前耕层土壤基本理化性状为:全氮 $3.35 \text{ g}\cdot$

kg^{-1} ,有机质 $53.9 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,有效磷 $178.8 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,有效钾 $629.5 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,pH 7.8。填闲试验前土壤各层 $\text{NO}_3\text{-N}$ 残留量见表 1。

1.2 试验方案

试验设置 3 个处理,分别为空白、填闲和休闲,每个处理 3 次重复(表 2),在试验中,休闲期间各处理均不施任何肥料。甜玉米在定植时灌溉一次,生长期内基本不进行灌溉,主要靠雨水补给,如遇旱季且作物生长关键时期,可进行灌溉。球茎茴香季施肥方式、灌溉方式同茼蒿、番茄季。

表 2 试验处理

Table 2 Experiments treatments

方案	处理方法
空白(CKI)	前茬和后茬均为空白处理,雨季不种植作物,下茬种植球茎茴香
休闲(CON)	前茬和后茬均为施肥处理,雨季不种植作物,下茬种植球茎茴香
填闲(COC)	前茬和后茬均为施肥处理,雨季种植甜玉米,下茬种植球茎茴香

甜玉米于 2008 年 7 月 22 日定植,10 月 25 日收获,株行距 $30 \text{ cm}\times 50 \text{ cm}$,每小区 7 垄,每垄 34 (17×2) 株,定植密度约 $91\,538 \text{ 株}\cdot\text{hm}^{-2}$;休闲期后,各处理均种植球茎茴香,施肥量和施肥方式同休闲前茬作物。球茎茴香于 2008 年 10 月 27 日定植,2009 年 2 月 3 日收获,株行距为 $25 \text{ cm}\times 60 \text{ cm}$,定植密度 $73\,800 \text{ 株}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。球茎茴香采取“小高畦”种植模式(图 1),作物在垄上种植,在垄背上灌水,每次灌水量均为 $280 \text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$,为节水灌溉,属于京郊大棚种植普遍的灌水方式。

1.3 样品采集及测定方法

在甜玉米生长期前后分层取 200 cm 土体土样,

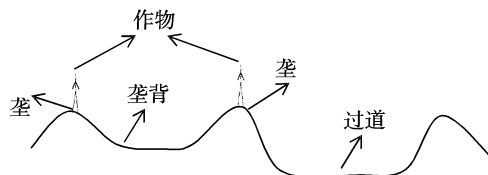


图 1 “小高畦”种植模式

Figure 1 "Narrow and high ridge" crop cultivation mode

表 1 试验前土壤剖面 $\text{NO}_3\text{-N}$ 残留量($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)

Table 1 $\text{NO}_3\text{-N}$ content of soil profile before experiments($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)

土壤深度/cm	0~20	20~40	40~60	60~80	80~100	100~120	120~140	140~160	160~180	180~200
休闲前	72.81	85.31	57.19	44.69	45.59	45.21	45.73	45.94	49.16	57.90
空白	41.92	28.46	9.72	30.51	38.45	38.12	15.48	12.30	13.74	29.17

每 20 cm 一层。每个小区取多点混合样,样品取后立即冷冻保存。样品处理和测定步骤如下:样品解冻后,充分混匀过 2 mm 筛,称取 12 g 土,加入 100 mL 的 $0.01 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{CaCl}_2$,振荡 30 min 后过滤,浸提液立刻冷冻保存(或测定)。测定前将浸提液解冻,采用连续流动注射仪(AA3)测定土壤 N_{mm} ,土壤处理的同时,测定土壤含水量。土壤有机质、全 N、全 P、全 K、速效 P、速效 K、电导率(DDS-307A 型电导率仪)和 pH 用农化分析常规方法进行测定^[9]。

雨水中总氮测定方法采用过硫酸钾氧化-紫外分光光度法。球茎茴香品质样品在收获时采集,每个小区采 4~6 个果实,打浆混合后测定,维生素 C 的测定采用 2,6-二氯酚酚滴定法,可溶性糖的测定采用蒽酮比色法,硝酸盐测定采用酚二磺酸比色法^[9]。

数据处理采用 Excel 和 SPSS11.0 软件进行统计分析。

2 结果与讨论

2.1 种植填闲作物对土壤氮素累积与分布的影响

2.1.1 设施菜田休闲期降雨量统计

对休闲期降雨量统计结果显示(图 2),整个休闲敞篷期间,降雨比较频繁,与往年相比为多雨季节,共降雨 9 次,总量为 234.8 mm,其中单次最大降雨量为 88 mm,由降雨带入的无机氮素总量为 $28.5 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。在整个休闲期间单次降雨量大于 20 mm 的共有 5 次,单次降雨量过大,极易产生氮素淋失。

2.1.2 种植填闲作物对剖面土壤硝态氮分布的影响

敞篷休闲期种植前后土壤剖面硝态氮含量比较如图 3,填闲作物的种植使 0~200 cm 土壤剖面中硝态氮浓度均有不同程度的降低。在前茬番茄收获后表层土壤硝态氮含量最高达 $85.3 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,在土壤深层

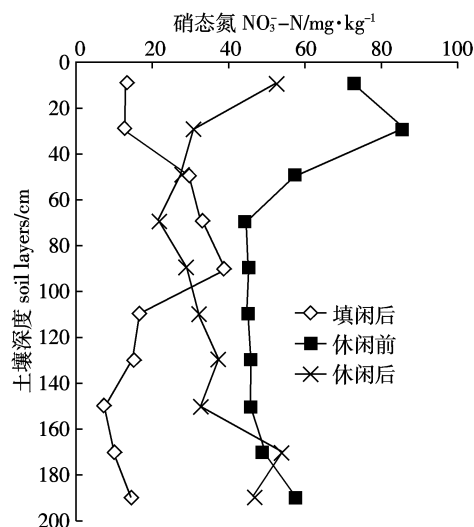


图 3 休闲期前后土壤剖面无机氮含量比较

Figure 3 The comparison of the content of $\text{NO}_3\text{-N}$ in the soil profile before and after the catching time

次剖面硝态氮含量仍比较高,在 200 cm 处含量仍为 $57.9 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$;经过休闲期甜玉米的种植,显著降低了土壤剖面硝态氮含量的残留,表层土壤仅为 $13.0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 左右,在 100 cm 处有一峰值,为 $38.8 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,在 200 cm 处仅为 $14.3 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,休闲期前后硝态氮累积最高峰相差 $71.0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$;休闲处理在经过敞篷休闲期后,0~80 cm 剖面土壤硝态氮含量呈下降趋势,硝态氮浓度最高为 $52.7 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,最低为 $22.0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,而 80 cm 以下呈上升趋势,并在 160~180 cm 形成累积高峰为 $54.0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$;敞篷休闲后,填闲处理表层土壤(0~20 cm)硝态氮的残留量显著小于休闲处理,相差 $39.4 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,深层土壤(180~200 cm)累积峰相差 $32.5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。以上硝态氮含量的分布特征表明,在雨季休闲期,各处理均产生了较严重的氮素淋失,而填闲作物的种植可以显著降低硝态氮向深层土壤淋失的风险。

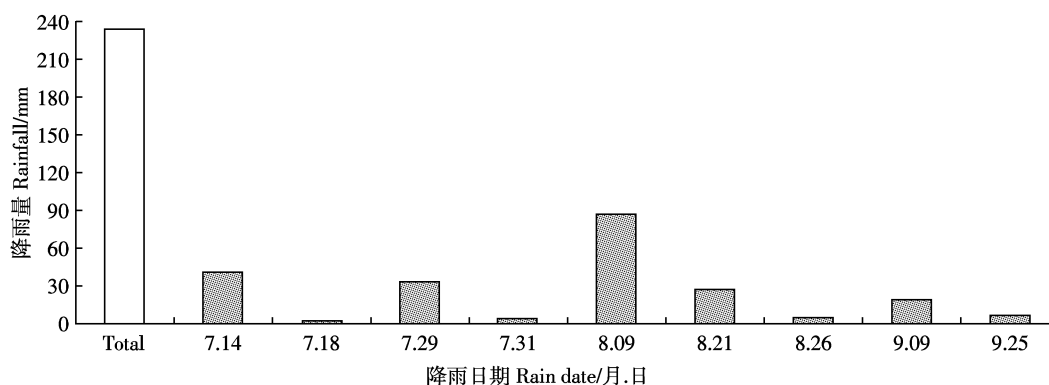


图 2 休闲期间降雨量统计

Figure 2 The rainfall statistics during the catching time

2.1.3 填闲作物的种植对氮素平衡与损失的影响

由于大多数蔬菜作物根系分布相对较浅,目前很多的蔬菜氮素推荐系统都将 0~60 cm 土壤定义为蔬菜可有效利用氮素的土壤层次,而将游离于 0~60 cm 土壤-地上部蔬菜体系之外的氮素认为是“损失”部分^[10]。通过对休闲期前后不同处理 0~60 cm 土壤氮素平衡统计发现(表 3),填闲作物的种植可以有效减少 0~60 cm 剖面土壤无机氮素的残留,残留量为 133.4 kg·hm⁻²,休闲处理为 267.5 kg·hm⁻²,相差 134.1 kg·hm⁻²。整个休闲期填闲处理表观氮素损失量为 447.9 kg·hm⁻²,休闲处理为 476.3 kg·hm⁻²,相差 28.4 kg·hm⁻²,有效减少了氮素损失。

表 3 0~60 cm 土壤-作物系统氮素损失(kg·hm⁻²)
Table 3 Losing of N in 0~60 cm soil and crop systems(kg·hm⁻²)

项目	休闲	填闲	空白
a 氮素输入	743.8	743.8	220.7
①番茄收获后 N _{min}	715.3	715.3	192.2
②降雨投入氮素	28.5	28.5	28.5
b 氮素输出	267.5	295.9	148.8
③甜玉米收获后 N _{min}	267.5	133.4	148.8
④作物吸收	0	162.5	0
表观平衡 a-b	476.3	447.9	71.9
氮素损失比率/%	66.6	62.6	37.4

对整个周年监测期 0~60 cm 土壤-作物系统氮素表观损失进行分析比较(表 4),发现通过种植填闲作物可以显著减少氮素的表现损失,休闲和填闲处理氮素表观损失分别为 548.58 kg·hm⁻²和 338.49 kg·hm⁻²,较休闲减少 210.09 kg·hm⁻²,氮素损失率分别为 30.43%和 18.78%,较休闲减少 11.65%。

表 4 0~60 周年监测期 0~60 cm 土壤-作物系统氮素损失(kg·hm⁻²)
Table 4 Losing of N in 0~60 cm soil and crop systems in the year of experimentation(kg·hm⁻²)

项目	休闲	填闲	空白
a 输入 N	1 802.80	1 802.80	497.80
①施氮量 N rate	1 305.00	1 305.00	0.00
②播前 N _{min}	460.50	460.50	460.50
③灌溉水 N	8.80	8.80	8.80
④降雨投入氮素	28.50	28.50	28.50
b 输出 N	1 254.22	1 464.31	441.93
⑤作物吸收	442.47	608.45	383.42
⑥球茎茴香后 N _{min}	811.75	855.86	58.51
表观平衡 a-b	548.58	338.49	55.87
N 素损失率/%	30.43	18.78	11.22

2.2 填闲作物的种植对土壤理化性质的影响

2.2.1 对表层土壤(0~20 cm)pH 的影响

种植填闲作物前后表层土壤 (0~20 cm)pH 变化不显著(图 4),常规休闲处理 pH 较休闲前 pH 略有降低,下降了 0.03 个 pH 单位,填闲处理 pH 较休闲前无变化,表明种植填闲作物可能降低由于长期大量无机肥料投入而产生酸化的风险。

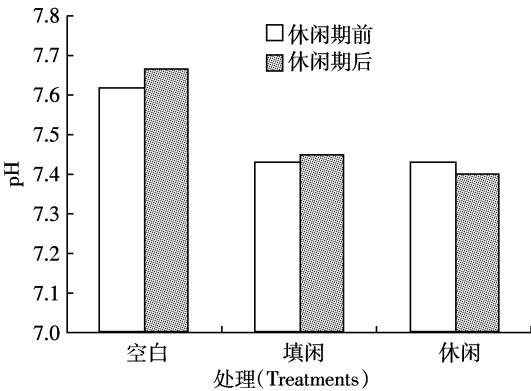


图 4 填闲作物种植前后土壤 pH 变化情况
Figure 4 Changing of soil pH before and after the catching time

2.2.2 对剖面土壤(0~100 cm)电导率的影响

从图 5 可以看出,种植填闲作物可以显著影响土壤剖面的电导率。填闲处理 0~40 cm 土壤电导率显著低于休闲处理,40~100 cm 土壤电导率填闲处理高于休闲处理,整个剖面中填闲处理与休闲处理的电导率均达到显著性差异。休闲前电导率最高值出现在表层土壤(0~20 cm)为 358.5 μS·cm⁻¹,经过雨季敞篷休闲期后,休闲处理经过雨季的淋失表层土壤(0~20 cm)

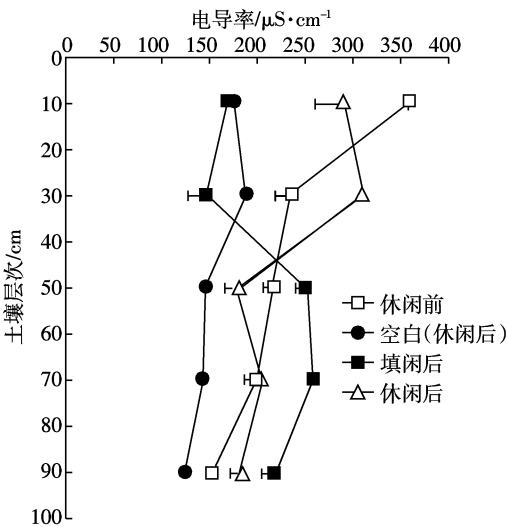


图 5 填闲前后土壤剖面电导率变化
Figure 5 Changing of soil profile's EC before and after the catching time

降低为 $291.0 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, 在 20~40 cm 土壤出现高峰 $310.0 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, 在深层次土壤电导率变化不明显; 填闲处理显著降低了表层土壤(0~20 cm)电导率, 较休闲前降低了 $188.0 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, 较休闲处理低 $120.5 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, 分别降低 52.4% 和 41.4%, 在 60~80 cm 土壤出现高峰为 $259.0 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ 。有研究表明^[1], 番茄、黄瓜、辣椒的生育障碍临界点分别为 1 500、1 200、1 500 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, 枯死临界点分别为 3 000、3 200、3 500 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, 本试验中土壤电导率目前远低于生长障碍临界点, 但经过敞篷休闲期种植填闲作物可以显著降低表层土壤电导率, 表明减少了表层土壤盐分向深层次土壤淋失的可能, 间接使土壤养分得到了充分利用。

2.3 填闲作物对设施菜田周年经济产出的影响

2.3.1 对下茬作物产量及经济效益的影响

对下茬作物球茎茴香产量统计分析结果显示(表 5), 在经过休闲期雨水对土壤无机氮素的淋洗后, 填闲和休闲两个处理球茎茴香季产量间无显著差异, 产量分别为 $17.14 \text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$ 和 $16.94 \text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$, 相差仅为 $0.2 \text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$, 填闲作物的种植并未降低下茬作物产量; 且两处理较空白处理产量分别增产 6.22% 和 7.48%, 达到显著性差异($P<0.05$)。

对不同处理球茎茴香的经济效益分析发现(表 5), 填闲作物的种植, 未明显降低经济效益。休闲和填闲两个处理经济效益分别为 $127\ 170 \text{ Yuan}\cdot\text{hm}^{-2}$ 和 $125\ 561 \text{ Yuan}\cdot\text{hm}^{-2}$, 两者相差 $1\ 609 \text{ Yuan}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。

2.3.2 对下茬作物氮素吸收和肥料利用率的影响

利用差减法计算不同处理间肥料养分利用率可知(表 6), 种植填闲作物对下茬作物氮素吸收和肥料利用率无显著影响。休闲和填闲处理在植株氮素吸收量上无显著差异, 分别为 $103.67 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 和 $107.05 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, 相差 $3.38 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。作物在 P、K 吸收量上有显著性差异, 填闲处理吸收量显著低于休闲处理。两处理的肥料利用率均较低, 其中填闲处理氮素利用率相对较高, 也仅为 5.18%, 休闲处理为 4.40%。

表 6 不同施肥处理下球茎茴香的养分吸收量和肥料利用率

Table 6 The nutrient uptake and utilization rate of fertilizer of florence fennel in different treatments

处理 Treatments	吸收养分量/ $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ Nutrient uptake by plant			肥料利用率/% Fertilizer utilization efficiency		
	N	P	K	N	P_2O_5	K_2O
空白	84.52b	9.51c	299.60b	—	—	—
填闲	107.05a	11.34b	296.30b	5.18	0.83	-2.14
休闲	103.67a	15.10a	328.14a	4.40	2.53	18.47

2.3.3 对下茬作物生物性状及品质的影响

作物定植一个月后, 对不同处理球茎茴香的生物性状进行调查(表 7), 发现填闲作物的种植对下茬作物株高和茎粗无显著性影响。休闲和填闲两个处理的球茎茴香株高分别为 46.9 cm 和 43.6 cm, 茎粗分别为 5.7 cm 和 6.2 cm, 均无显著性差异。

表 7 不同施肥处理对球茎茴香生物性状的影响

Table 7 Effects of N fertilizer on biological character of florence fennel

处理 Treatments	株高 Plant highness/cm	茎粗 Stem diameter/cm
空白	$42.1\pm 1.3\text{b}$	$4.8\pm 0.5\text{b}$
填闲	$43.6\pm 3.5\text{ab}$	$6.2\pm 0.7\text{a}$
休闲	$46.9\pm 1.0\text{a}$	$5.7\pm 0.1\text{ab}$

对不同处理间品质比较发现(表 8), 种植填闲作物能够显著降低球茎茴香中硝酸盐含量, 休闲和填闲处理分别为 $220.4 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 $156.8 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 相差 $63.6 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 约下降 28.9%, 差异显著。填闲处理可溶性糖

表 8 不同施肥处理对球茎茴香品质的影响

Table 8 Effects of N fertilizer on quality of florence fennel

处理 Treatments	硝酸盐/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ Content of nitrate	可溶性糖/ $\%$ Content of dissolubility sugar	Vc/ $\text{mg}\cdot 100 \text{ g}^{-1}$ Content of vitamin C
空白	$127.1\pm 0.3\text{c}$	$1.28\pm 0.20\text{a}$	$0.57\pm 0.01\text{a}$
填闲	$156.8\pm 8.1\text{b}$	$1.25\pm 0.34\text{a}$	$0.66\pm 0.18\text{a}$
休闲	$220.4\pm 9.8\text{a}$	$0.98\pm 0.10\text{a}$	$0.54\pm 0.01\text{a}$

表 5 不同处理下球茎茴香经济效益

Table 5 The economic profit of florence fennel production in different treatments

处理 Treatments	经济产量 Yield/ $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$	废弃物产量 Waste outputs/ $\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$	增产幅度 Increase rate/%	肥料投入 Cost of nitrogen/ $\text{Yuan}\cdot\text{hm}^{-2}$	总收入 Gross income/ $\text{Yuan}\cdot\text{hm}^{-2}$	经济效益 Economic benefit/ $\text{Yuan}\cdot\text{hm}^{-2}$	增加效益 Increased benefit/ $\text{Yuan}\cdot\text{hm}^{-2}$
空白	$15.95\pm 0.89\text{b}$	$23.80\pm 0.26\text{a}$	—	0	127 598a	123 598a	—
填闲	$16.94\pm 1.26\text{a}$	$20.84\pm 0.42\text{b}$	6.22	5 977	135 538a	125 561a	1 963
休闲	$17.14\pm 0.14\text{a}$	$20.60\pm 0.35\text{b}$	7.48	5 977	137 147a	127 170a	3 572

注: 尿素 $2\ 000 \text{ 元}\cdot\text{t}^{-1}$ 、有机肥 $380 \text{ 元}\cdot\text{t}^{-1}$ 、硫酸钾 $2\ 400 \text{ 元}\cdot\text{t}^{-1}$ 、过磷酸钙 $1\ 125 \text{ 元}\cdot\text{t}^{-1}$ 、秸秆 $60 \text{ 元}\cdot\text{t}^{-1}$ 、球茎茴香 $8 \text{ 元}\cdot\text{kg}^{-1}$; 其他成本包括其余肥料、灌水、打药、种子、人工(后 4 项为 $4\ 000 \text{ 元}\cdot\text{hm}^{-2}$)。同一列不同字母表示差异在 0.05 水平上显著, 相同表示不显著, 下同。

含量和 Vc 含量略高于休闲处理,但未达到显著差异。种植填闲作物可以作为降低作物果实中硝酸盐含量的一项有效措施。

2.3.4 填闲期作物的经济效益及养分利用状况

甜玉米有较好的经济价值。甜玉米作为新型经济作物,生物量较大,产量较高。本研究中甜玉米产量为 $20\,828\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、秸秆生物量为 $42\,731\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。甜玉米含糖量、赖氨酸、色氨酸是普通玉米的 2 倍,且富含纤维素^[12]。作为营养价值高,深受消费者欢迎的食品,附加值较高,在去掉人工费、农资费等花费后,总经济效益可达 $41\,506\text{ Yuan}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。甜玉米其自身养分含量丰富(秸秆 N 3.09%, P 0.26%, K 1.88%),并按照每千克甜玉米秸秆含 87.1% 的粗有机质(全国农业技术推广服务中心, 1999)、尿素含 46% N、过磷酸钙含 14% P_2O_5 和氯化钾含 60% K_2O 折算相同养分的肥料量,其中相当于尿素 $222.9\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, 过磷酸钙 $119.4\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, 氯化钾 $370.7\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。若将其还田可同时提供 P、K、C 及其他多种养分,且养分释放缓慢,有益于作物生长及培肥地力。休闲期种植甜玉米是一种既能降低环境风险、提高氮素利用率,又能增加经济效益的有效途径。

3 讨论

北方设施菜田夏季敞篷休闲处于雨热同期,此时期极易造成 NO_3^- -N 淋失,选择甜玉米作为填闲作物,可以显著减少土壤剖面无机氮残留,对降低土壤氮素的淋失风险具有显著作用,在周年监测中,种植填闲处理较休闲处理减少氮素表观损失(0~60 cm) $210.09\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,减少了 11.65%。Jørgen Berntsen 等^[6]用“FAS-SET”模型经 28 a 的长期定位研究发现,长期种植黑麦草作为填闲作物可以减少 22%~30% 的 NO_3^- -N 淋失。Ingrid K 等^[13]采用“陶土吸力杯”提取深层次土壤溶液,研究大麦作为填闲作物发现可以显著减少 NO_3^- -N 淋失损失。有研究表明,在 5~35 °C 范围内,随着温度升高,土壤氮素矿化速率增加^[14-15],极易产生大量的无机氮,有可能造成氮素损失。

填闲作物的种植在取得一定经济效益的同时,对下茬作物的生长和产量均无显著性影响,但能够显著降低下茬作物可食部位硝酸盐含量,休闲和填闲处理相差 $63.6\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,提高了果实的品质。

目前设施菜田由于长期大量无机肥料的投入造成土壤酸化、盐渍化比较严重。电导率的高低,可以代表土壤盐分的多少,而通过填闲作物的种植显著降低

了表层土壤电导率,可以延缓由于降雨或灌水而造成大部分盐分向深层次土壤淋失的风险,相比而言,敞篷休闲则增加了盐分向深层次土壤淋失的风险,提高了对地下水污染的潜力。在雨季土壤有机氮、 NO_3^- -N 矿化强烈极易产生 H^+ , 而通过填闲作物的种植对土壤氮素的吸收,降低了土壤酸化的风险。本研究中种植甜玉米对表层土壤(0~20 cm) pH 影响不显著,但在一定程度上仍能够提高土壤 pH。李元等^[16]对北京市昌平区年限为 3 a 的设施菜地种植填闲作物发现,种植速生叶菜相对休闲菜田可以显著降低土壤的 EC 值,并且 pH 增加较为显著。

4 结论

北方设施菜田夏季敞篷休闲处于雨热同期,选择甜玉米作为填闲作物,可以显著减少土壤剖面无机氮残留,降低土壤氮素的淋失风险;另外,降低了土壤剖面电导率,延缓由于降雨或灌水而造成大部分盐分向深层次土壤淋失的风险。填闲作物的种植对下茬作物的生长和产量均无显著性影响,在取得一定的经济效益的同时,能够显著降低下茬作物可食部位硝酸盐的含量,提高果实品质。

参考文献:

- [1] Hansen E M, Djurhuus J. Nitrate leaching as influenced by soil tillage and catch crop[J]. *Soil & Tillage Research*, 1997, 41: 203-219.
- [2] 胡国臣, 张清敏, 王忠, 等. 地下水硝酸盐氮污染防治研究[J]. 农业环境保护, 1999, 18(5): 228-230.
HU Guo-chen, ZHANG Qing-min, WANG Zhong, et al. Research on pollution control of nitrate in underground water[J]. *Agro-environmental Protection*, 1999, 18(5): 228-230.
- [3] 李志宏, 张福锁, 郭素英. 菜田土壤有效氮的动态研究[J]. 土壤通报, 2001, 32(1): 19-21.
LI Zhi-hong, ZHANG Fu-suo, GUO Su-ying. Nitrogen availability in soils planted with two vegetable plants[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2001, 32(1): 19-21.
- [4] Rodriguez M A, Continuo J, Martins F. Efficacy and limitations of triticale as a nitrogen catch crop in a Mediterranean environment[J]. *European Journal of Agronomy*, 2002, 17: 155-160.
- [5] 刘宏斌, 李志宏, 张云贵, 等. 北京市农田土壤硝态氮的分布与累积特征[J]. 中国农业科学, 2004, 37(5): 692-698.
LIU Hong-bin, LI Zhi-hong, ZHANG Yun-gui, et al. Characteristics of nitrate distribution and accumulation in soil profiles under main agro-land use types in Beijing[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2004, 37(5): 692-698.
- [6] Jørgen Berntsen, Jørgen E Olesen, Bjørn M Petersen, et al. Long-term fate of nitrogen uptake in catch crops[J]. *European Journal of Agronomy*, 2006, 25: 383-390.

- [7] Thorup Kristensen, Magid J, Jensen L S. Catch crops and green manures as biological tools in nitrogen management in temperate zones[J]. *Adv Agron*, 2003, 79:227-302.
- [8] Vos J, P E L Vander Puttern, Hussein M H, et al. Field observations on nitrogen catch crops: II Root length and root length distribution in relation to species and nitrogen supply[J]. *Plant and Soil*, 1998, 201:149-155.
- [9] 鲁如坤. 土壤和农业化学分析法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000.
- Lu R K. The analytic method of soil and agricultural chemistry[M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2000.
- [10] Fink M, Scharpf H C. N-EXPERT-A decision support system for vegetable fertilization in the field[J]. *Acta Horticulture*, 1993, 339:67-74.
- [11] 劳秀荣, 张淑茗. 保护地蔬菜施肥新技术[M]. 北京: 中国农业出版社, 1999:25.
- LAO Xiu-rong, ZHANG Shu-ming. Fertilization of new technologies to vegetable fields[M]. Beijing: China Agriculture Press, 1999:25.
- [12] 王友德, 李鲁华, 陈树宾, 等. 甜玉米优质高产栽培 [J]. 新疆农业科技, 2003, 1:11.
- WANG You-de, LI Lu-hua, CHEN Shu-bin, et al. High quality and yield cultivation technique of sweet corn[J]. *Xinjiang Agricultural Science and Technology*, 2003, 1:11.
- [13] Ingrid K Thomsen. Nitrate leaching under spring barley is influenced by the presence of a ryegrass catch crop: Results from a lysimeter experiment[J]. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2005, 111:21-29.
- [14] Nicolardot B, Fauvet G, Cheneby D. Carbon and nitrogen cycling through soil microbial biomass at various temperatures[J]. *Soil Biol Biochem*, 1994, 26:253-261.
- [15] Stark J M, Firestone M K. Kinetic characteristics of ammonium-oxidizer communities in a California oak woodland-annual grassland [J]. *Soil Biology Biochemistry*, 1996, 28:1307-1317.
- [16] 李元, 高丽红, 吴艳飞, 等. 夏季填闲作物对日光温室土壤环境的影响[J]. 沈阳农业大学学报, 2006, 37(3):531-534.
- LI Yuan, GAO Li-hong, WU Yan-fei, et al. Effect of summer catch crops on soil environment in solar greenhouse[J]. *Journal of Shenyang Agricultural University*, 2006, 37(3):531-534.