

# 不同施肥条件下花椰菜氮肥供需平衡研究

郭守春<sup>2</sup>, 邹国元<sup>2</sup>, 左 强<sup>2</sup>, 吴建新<sup>2</sup>, 石 岭<sup>1</sup>

(1 内蒙古农业大学 农学院, 内蒙古 呼和浩特 010018; 2 北京市农林科学院 植物营养与资源研究所, 北京 100097)

**摘要:** 在日光温室条件下, 以花椰菜为指示蔬菜, 以不同施氮处理: 常规施肥 (CON)、减氮施肥 (LNF) 减 30% 氮、常规 + 填闲 (COC)、单施有机肥 (OM)、空白 (CK) 研究花椰菜氮肥供需平衡及可持续性。结果表明, 施肥使花椰菜增产 2% ~ 14%, LNF 和 COC 对产量没有显著影响。随施氮量增加, 氮肥生理利用率、表观利用率、农学效率降低, OM 最佳; 花椰菜氮肥表观利用率为 6% ~ 10%, 90% ~ 94% 的氮肥没有被作物利用, 氮肥表观平衡与施氮量呈正相关关系。花椰菜收获后 0 ~ 100 cm 土层硝态氮含量随施氮量增加而增加。LNF 和 COC 能减少土壤硝态氮含量。花椰菜果实硝酸盐含量随施氮量增加而增加, Vc 含量降低, LNF 和 COC 能提高花椰菜果实 Vc 含量并降低硝酸盐含量。氮肥减施 30% 和常规 + 填闲效果最佳并有持续性。

**关键词:** 氮; 硝酸盐; 平衡; 产量

中图分类号: S143.1 文献标识码: A 文章编号: 1000-7091(2012)增刊-0281-07

## Study on Fertilizer Nitrogen Supply and Uptake by Broccoli under Different Fertilizer Treatments

GUO Shou-chun<sup>1,2</sup>, ZOU Guo-yuan<sup>2</sup>, ZUO Qiang<sup>2</sup>, WU Jian-xin<sup>2</sup>, SHI Ling<sup>1</sup>

(1. Agriculture Academy, Inner Mongolia Agriculture University, Huhhot 010018, China; 2. Institute of Plant Nutrition and Natural Resources, Beijing Academy of Agricultural and Forestry Sciences, Beijing 100097, China)

**Abstract:** An experiment had been carried out to study nitrogen uptake and balance in Cauliflower culture under greenhouse conditions. It include six treatments that conventional fertilization (CON), less nitrogen fertilization (LNF, reduce 30% nitrogen compare with CON), conventional + cath (COC), signal organic fertilization (OM) and blank (CK). The research shows that using fertilization to improve the yield of cauliflower about 2% - 14%, but LNF and COC have no obvious influent on yield. With the increasing of nitrogen fertilization, the use ratio that physiology apparent, agronomic of nitrogen fertilization are decreased, the efficiency of OM is best. Cauliflower use ratio of apparent of nitrogen fertilization is 10% - 6%. However, 90% - 94% nitrogen fertilization were not consumed by crops, and with the increasing of amount nitrogen fertilization, N apparent balance increasing too. With the increasing of nitrogen fertilization the nitrate is increasing too, but Vc is decrease in cauliflower. LNF and COC can improve the Vc but decrease nitrate in cauliflower. The reduce 30% Nitrogen fertilization and the conventional + catch have best effect.

**Key words:** Nitrogen; Nitrate; Balance; Production;

随着经济和农业的发展,人们对蔬菜需求量越来越高。设施栽培作为一种终年可以种植作物的栽培形式,能够形成蔬菜的反季节生产,如果管理得当,能大幅度地增加蔬菜产量和农民的经济收入<sup>[1]</sup>。但在实际生产中发现,由于缺乏合理的养分

管理措施和技术指导,在经济利益的驱动下,许多菜农盲目追求高产,不断增加肥料的施用,特别是过量施用化学氮肥现象普遍。对设施蔬菜施肥现状的调查结果表明,大棚土壤平均每季投入化肥氮(N)为 1 468.3 kg/hm<sup>2</sup><sup>[2]</sup>,远远超过植物地上部带走的纯

收稿日期: 2012-08-26

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项经费资助(201003014); 农业部资助项目(WX-Z07-01)

作者简介: 郭守春(1988-),女,青海互助人,硕士,主要从事面源污染方面的研究。

通讯作者: 邹国元(1970-),男,北京人,研究员,博士,主要从事循环农业研究。

氮量,造成氮肥利用率降低,当季利用率不到 10%<sup>[3]</sup>,其结果导致了作物营养失调、果实硝酸盐含量升高、品质下降和病虫害易发<sup>[4]</sup>。另外,设施生产体系复种指数高,多次翻耕会促进土壤氮素矿化,导致设施土壤硝态氮大量累积<sup>[5]</sup>,在大量灌溉条件下很容易发生淋失,不仅造成了地表水、地下水的污染以及土壤质量的下降,同时给人类健康带来了直接或潜在的威胁<sup>[6-8]</sup>。

硝态氮是植物吸收 N 的主要形式<sup>[9]</sup>。蔬菜中硝态氮是人体吸取氮素的主要来源,高产和品质的必要条件。但是如果土壤中积累了大量的硝态氮会导致蔬菜吸收的硝态氮含量升高,两者成正比,在适宜的施氮量范围内,增加氮肥用量可使番茄果实中 Vc、还原糖和有机酸含量增加,施肥过量则会造成负面影响<sup>[10]</sup>,研究调查表明,土壤中积累大量硝酸盐引起蔬菜硝酸盐含量不同程度的超标<sup>[11-12]</sup>。对北京市蔬菜硝酸盐含量的调查显示,污染程度严重的占 33.1%,中度污染占 23.6%,轻度的占 43.2%,没有污染的仅占 0.1%。据不同研究表明,根菜类和叶菜类超标最为严重。

近年来,研究人员就氮素施用水分和作物利用及氮素在土壤中平衡等方面开展了相关研究。张学军等<sup>[13]</sup>研究认为,增施氮肥能显著增加番茄植株和果实产量及地上部吸氮量,随施氮量增加,氮肥利用率明显降低,表观氮素损失量随施氮量的增加而增加。黄绍敏等<sup>[14]</sup>对潮土土壤氮素平衡的研究结果表明,不施氮肥土壤平均每年接受外源氮 23~24 kg/hm<sup>2</sup>,作物带走 82~88 kg/hm<sup>2</sup>,亏缺 58.6~63.7 kg/hm<sup>2</sup>,增施氮肥的土壤每年平均盈余 238.6~418 kg/hm<sup>2</sup>。我国日光温室蔬菜生产体系氮肥的投入

量大,氮肥当季利用效率不到 10%<sup>[15-16]</sup>,氮素淋洗和反硝化损失比较严重,存在严重的环境污染风险。因此,准确理解体系氮素输入输出特征与损失情况对于改善生产体系氮素管理方式、提高氮素资源高效利用尤为重要。但目前对日光温室蔬菜施肥条件可持续的研究较少,不同施肥条件对蔬菜产量、品质,土壤硝态氮含量变化及氮素利用率在长期定位试验中是否有变化等成为学者研究的问题之一。

本研究以温室花椰菜为研究对象,分析了不同施肥条件下氮素利用效率和氮素平衡,土壤硝态氮积累及蔬菜品质的可持续研究,剖析存在的问题,为进一步优化日光温室蔬菜生产体系氮素管理提供一些思路。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验地及供试作物

试验在北京市房山区韩村河农业技术开发中心(39°36'N,115°56'E)12号温室进行。该地区为暖温带半湿润季风性大陆气候,年均气温 11℃,年均降雨量 635 mm,夏季多雨,降雨量占全年的 76%,年平均无霜期为 185 d,日照时数为 2 800 h,年日照百分率为 62%。冬春多偏西北风、北风,夏秋多偏南风,年平均风速 3.5 m/s。

试验地为种植年限在 10 年以上的京郊保护地,土壤类型为潮褐土,土壤剖面 0~80 cm 为中壤,80 cm 以下为砂壤。种植模式为京郊地区保护地菜田的主要蔬菜轮作模式。本试验为长期定位试验一部分。定位试验于 2007 年开始启动,本试验以前种植作物见表 1。试验前基础土壤理化性质见表 2,试验前土壤表层基础数据见表 3。

表 1 本茬试验以前种植作物

Tab. 1 Planting crops before this experiment

生长时期 Date	蔬菜品种 Varieties	生长时期 Date	蔬菜品种 Varieties
2007. 10. 26 - 2008. 03. 15	苜蓿	2009. 09. 27 - 2010. 01. 17	罗马花椰菜
2008. 04. 15 - 2008. 07. 19	番茄	2010. 01. 28 - 2010. 05. 28	苜蓿
2008. 7. 20 - 2008. 10. 25	填闲玉米	2010. 05. 23 - 2010. 08. 08	填闲玉米
2008. 10. 27 - 2009. 02. 05	球茎茴香	2010. 08. 30 - 2011. 07. 02	京茄
2009. 02. 08 - 2009. 07. 14	彩色甜椒	2011. 07. 05 - 2011. 09. 20	填闲玉米

供试作物为花椰菜,花椰菜于 2011 年 9 月 23 号定植,于 2012 年 1 月 4 号采收。本研究采用京郊保护地瓜果类蔬菜普遍的种植方式——“小高畦”,花

椰菜在垄上种植,垄背灌溉,每小区种植 66 棵。此灌溉模式相对节水,有利于降低棚内空气湿度,减少病虫害。

表 2 供试土壤根层养分含量

Tab. 2 The nutrient content of soil in root layer

有机质/(g/kg) O. M.	全氮/(g/kg) Total N	全磷/(g/kg) Total P	全钾/(g/kg) Total K	速效磷/(mg/kg) Available P	速效钾/(mg/kg) Available K	pH
53.97	3.35	1.30	20.00	178.8	629.5	7.8

表 3 本茬试验开始前各处理的表层土壤基础数据

Tab. 3 Each foundation data of soil surface before this experiment

处理 Treatment	有机质 (g/kg) O. M.	全氮/% Total N	硝态氮 (mg/kg) Nitrate N	铵态氮 (mg/kg) Ammonium N	速效磷 (mg/kg) Available P	速效钾 (mg/kg) Available K
CK	16.8	0.10	13.3	3.3	289.7	187.5
OM	55.1	0.20	25.0	3.6	316.7	234.2
CON	70.7	0.32	65.0	5.3	343.7	381.4
COC	92.3	0.29	13.7	3.8	351.1	275.7
LNF	67.0	0.28	52.5	3.8	355.3	375.4

## 1.2 试验处理及管理

试验采用随机区组设计,设 5 个处理,每个处理重复 3 次。①空白处理(CK):不施任何肥料。②常规施肥(Conventional fertilization,CON):完全按照当地习惯施用有机肥、化肥。③减氮施肥(Less nitrogen fertilization,LNF):相对常规施肥减少 30% 的氮肥。④常规+填闲(Conventional+Catch,COC):完全按照当地习惯施用有机肥、化肥;在冬春茬蔬菜收获后,夏季茬期种植甜玉米(京科甜 183) 2011 年 7 月 5 号定值,9 月 20 号收获,株行 60 cm,株距 30 cm,每个小区 7 行,每行 10 株。甜玉米在夏季休闲期利用雨水自然生长,不额外施用任何肥料,不灌溉。⑤单施有机肥(Signal application organic manure,OM):仅施有机肥。

供试化肥为尿素(N 含量为 46%),普通过磷酸钙( $P_2O_5$  含量为 15%),农用硫酸钾( $K_2O$  含量为 50%)。供施有机肥为牛粪与猪粪结合(含氮量 1.36%)各处理有机肥、磷肥和钾肥均作为底肥施入,氮肥 40% 作为底肥,其余追肥施入,在花椰菜即将坐果前 2 d 施。本试验底肥均为撒施后翻耕,追肥为溶解后随水冲施。填闲玉米生长季,各处理均不施任何肥料(表 4)。

表 4 不同施肥处理的肥料用量

Tab. 4 Fertilizer rate of different

experimental treatments				kg/hm <sup>2</sup>
处理 Treatment	有机肥 O. M.	N	$P_2O_5$	$K_2O$
空白	0	0	0	0
单施有机肥	7 500	0	0	0
常规施肥	7 500	236	150	90
常规+填闲	7 500	236	150	90
减氮施肥	7 500	167	90	136

## 1.3 样品采集及项目测定

花椰菜收获后采 0~100 cm 土样,以 20 cm 为一层,分 5 层取土样,称取 20 g 左右鲜土于铝盒中,在 105℃ 下烘干,测定含水量,新鲜土壤测定硝态氮、铵态氮,采用 0.01 N-CaCl<sub>2</sub> 浸提-流动分析法溶

液浸提,流动注射分析仪,常规法测定全氮、速磷、速钾。植株收获后记录生物量,根据具体生物量每小区采集果实茎叶各 3 株,测定菜花果实  $V_c$  和硝酸盐  $V_c$  含量的测定采用 2,6-二氯酚酚滴定法;硝酸盐含量用水杨酸比色法测定。常规法测定果实、茎叶氮、磷、钾。

## 1.4 计算公式与方法

氮肥表观利用率(% ,ARE) = (施氮区地上部吸氮量 - 对照区地上部吸氮量) / 施氮量 × 100

氮肥生理利用率(kg/kg ,PE) = (施氮区产量 - 对照区产量) / (施氮区吸氮量 - 对照区吸氮量)

氮肥农学效率(kg/kg ,AE) = (施氮区产量 - 对照区产量) / 施氮量

试验所得数据用 Excel 2003 ,SAS 软件进行数据统计分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同施氮处理对花椰菜产量和氮素利用的影响

在不同施氮处理下花椰菜的产量为 CON > COC > LNF > OM > CK(表 5)。其中 CON、COC、LNF 分别为 41.4 ,40.3 ,40.0 t/hm<sup>2</sup>,差异不显著,LNF 花椰菜产量比常规处理的仅低 1.4 t/hm<sup>2</sup>,COC 仅低 1.1 t/hm<sup>2</sup>,考虑到肥料成本及经济效益,LNF、COC 没有影响花椰菜产量。花椰菜地上部吸氮量随施氮量的增加呈现增长趋势 CON > COC > LNF > OM > CK,分别为 80.6 ,77.7 ,70.0 ,67.2 ,65.7 kg/hm<sup>2</sup> 和 CON 相比 COC 和 LNF 分别减少了 2.9 ,10.6 kg/hm<sup>2</sup>,都不同程度的降低了花椰菜果实吸氮量,与 OM 和 CK 相比,CON、COC 处理、LNF 均达到了显著水平。说明施氮量越高花椰菜吸氮量越高。随施氮量增加氮肥表观利用率和农学效率有所降低,OM 最高为 10.3% ,0.1 kg/kg ,CON、COC、LNF 表观利用率分别大于 6% ,差异不显著。氮肥生理利用率为 LNF > OM > CON > COC,分别为 2.10 ,1.50 ,1.46 ,1.40 kg/kg,随施氮量增加有所下降,COC 由于填闲玉米影响有所减少。总体来看,单施

有机肥氮肥利用率最佳,可见,并非施氮量越高氮素利用率越高,增施氮肥生理利用率下降,LNF和COC不影响花椰菜吸氮量及利用率。

表 5 不同施肥处理对花椰菜氮素吸收的影响

Tab.5 The effect on fertilization N uptake by Cauliflower

处理 Treatment	CK	OM	CON	COC	LNF
经济产量/(t/hm <sup>2</sup> ) Economic yield	12.6b	16.0a	18.0a	17.4a	17.0a
茎叶产量/(t/hm <sup>2</sup> ) Leaf yield	24.0a	21.0a	23.8a	23.6a	23.1a
总产量/(t/hm <sup>2</sup> ) Total output	36.3ab	36.5a	41.4ab	40.3a	40.0a
果实吸氮量/(kg/hm <sup>2</sup> ) N Fruit uptake	29.6c	34.8b	40.4a	39.2a	35.6b
茎叶吸氮量/(kg/hm <sup>2</sup> ) N Leaf uptake	28.7b	32.4b	40.3a	38.5a	33.6ab
总吸氮量/(kg/hm <sup>2</sup> ) All uptake	65.7a	67.2a	80.7a	77.7a	70.0a
氮肥表观利用率/% N apparent utilization	—	10.3b	6.9a	6.0a	6.8a
氮肥生理利用率/(kg/kg) N physiological	—	1.50a	1.46a	1.40a	2.0a
氮肥农学效率/(kg/kg) N agronomic efficiency	—	0.1a	0.08b	0.06b	0.07b

## 2.2 不同施肥条件下对土壤—花椰菜氮素平衡的影响

在土壤—花椰菜氮素平衡中,土壤残留氮和氮投入量是主要表观输入,所占比例随施氮量增加而增加,COC和LNF相对CON肥表观输入减少269.6,261.4,说明填闲处理和减氮施肥能有效降低土壤氮残留量。作物吸收和土壤残留氮是主要氮输出项。

作物利用率仅为6%到10%,90%到94%的氮肥没被利用而损失。表观平衡CON>COC>LNF>OM>CK,分别为476.7,245.3,242.5,119.2,0,COC和LNF相对常规处理氮素表观损失减少48%左右。氮素表观平衡随施氮量的增加而增加,种植填闲作物,减施氮肥能有效减少氮肥的损失(表6)。

表 6 不同施肥条件下对土壤—花椰菜氮素平衡的影响

Tab.6 Effect of different fertilization mode on the nitrogen effect balance in soil and cauliflower system kg/hm<sup>2</sup>

处理 Treatment	CK	OM	CON	COC	LNF
移栽前 Before transplanting	38.5b	57.8b	297.6a	28.0b	105.2b
化肥氮 Applied N fertilizer	0	0	236	236	167
有机肥氮 Organic manure	0	102	102	102	102
土壤矿化氮 Soil mineralization	33.5	33.5	33.5	33.5	33.5
灌溉带入 N from irrigation	9.3	9.3	9.3	9.3	9.3
表观输入 Apparent input	81.3	202.6	678.4	408.8	417.0
花椰菜 Cauliflower					
收获后 After harvested	15.6b	16.2b	121.6a	85.8ab	104.5ab
作物吸收 N uptake by crops	65.7a	67.2a	80.7a	77.7a	70.0a
表观输出 Apparent output	81.3	83.4	201.7	163.5	174.5
表观平衡 N balance	0	119.2	476.7	245.3	242.5

## 2.3 不同施肥条件对土壤硝态氮含量的影响

随氮肥量增加,土壤剖面硝态氮含量明显增加(图1)。常规施肥处理最高,空白处理最低;不同处理0~20cm土层的土壤硝态氮残留比较CON>LNF>COC>OM>CK,硝态氮含量分别达88.6,46.0,39.6,11.4,10.3mg/kg;LNF和COC相对CON硝态氮含量减少48%,55%;硝态氮在表层含量较高。LNF和COC能显著降低表层及深层土壤硝态氮含量。从土壤硝态氮含量看出,在花椰菜根系不能到达的大部分区域,仍有近一半的硝态氮累积,20~80cm土壤硝态氮呈下降趋势,80~100cm

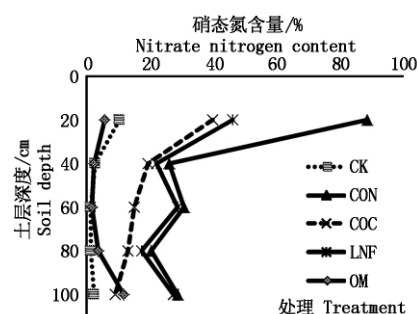


图 1 花椰菜收获后土壤硝态氮含量  
Fig.1 The amount of nitrate nitrogen in soil after cauliflower harvested

土层硝态氮有所增加,可能随着水分的向下运移硝态氮也随之运移,在 80~100 cm 土层积累。氮素在土壤中的累积导致淋洗到地下水中的硝酸盐增加,这一结果进一步说明减氮施肥和填闲处理是降低土壤硝酸盐淋失,减少地下水污染的主要途径和方法。

#### 2.4 不同施肥条件对花椰菜品质的影响

硝酸盐含量表现为  $CON > COC > LNF > OM > CK$  (图 2), 分别为 861.3, 783.1, 736.2, 683.9, 670.5 mg/kg, 随施氮量的增加而增加, CON 最高, 与 CK 和 OM 相比增加 190.7, 177.3 mg/kg, 增施氮肥增加了花椰菜果实硝酸盐含量。COC 和 LNF 相对常规处理硝酸盐含量减少 78.2, 125.1 mg/kg, 减少 9%, 15%。根据中国农业科学院蔬菜研究所提出的蔬菜可食部分硝酸盐的食用卫生标准: 一级硝酸盐  $\leq 432$  mg/kg, 轻度污染, 允许食用; 二级硝酸盐  $\leq 785$  mg/kg, 中度污染, 生食不宜, 腌渍允许, 熟食允许; 三级硝酸盐  $\leq 1440$  mg/kg, 高度污染, 生食不宜, 腌渍不宜, 熟食允许; 四级硝酸盐  $\leq 3100$  mg/kg, 严重污染, 不允许食用。各处理花椰菜硝酸盐含量均未超标, 但都达到不同程度污染。花椰菜硝酸盐含量随施氮量增加而增加, 种植填闲作物和减施氮肥处理能降低花椰菜果实硝酸盐含量。

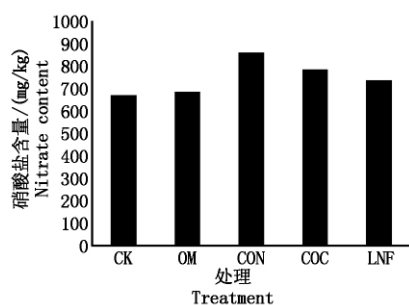


图 2 不同施肥条件对花椰菜硝酸盐含量的影响

Fig. 2 Effect of different fertilization mode on nitrate content of cauliflower

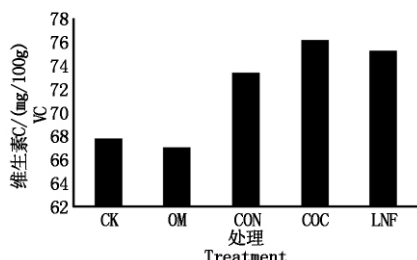


图 3 不同施肥条件对花椰菜 Vc 含量的影响

Fig. 3 The effect on Vc in Cauliflower by different fertilization treatment

花椰菜果实 Vc 含量呈现  $COC > LNF > CON > OM > CK$ , 分别为 76.2, 75.2, 73.4, 67.7, 67.0 mg/100g, COC 果实 Vc 含量最高, COC 与 LNF 相对常规施肥 Vc 含量增加了 2.8, 1.8 mg/100g, COC 与

LNF Vc 含量变化不明显, 相差 0.9 mg/100g。过度施肥造成花椰菜 Vc 含量下降, 降低了果实品质。(图 3)

### 3 讨论

蔬菜的产量与氮素吸收利用密切相关<sup>[17]</sup>。适当增施氮肥能够显著提高蔬菜产量。但并非施氮量越高越好, 过度施肥不仅引起作物体内各阶段碳氮代谢失调、源库结构不合理等导致产量下降<sup>[18-19]</sup>而且影响蔬菜的产量和品质, 同时还对周围水体和大气环境构成威胁。本试验种植前 CON 氮素表观输入高达 678.4, 其产量和 COC、LNF 没有显著差异。不同施肥模式影响蔬菜根系对氮的吸收, 进而影响蔬菜植株氮含量及对氮肥的利用效率。巨晓棠等<sup>[20]</sup>对北京郊区氮去向研究表明, 氮肥利用率随施氮量的升高而降低, 而损失率相应的增加。本试验条件下, 随着施氮量的逐渐增加, 作物氮肥利用率有所减弱。单施有机肥氮肥利用率最佳, 不是施氮量越高氮素利用率越高。

郭天才等<sup>[21]</sup>对高产麦田氮平衡研究表明, 未被当季作物利用的氮主要以氮表观损失和残留无机氮形式损失, 且随施氮水平的增加, 氮表观损失量和土壤残留量均随之增加。巨晓棠等<sup>[22]</sup>的研究结果表明, 在不施氮或适量施氮条件下, 土壤-作物系统中氮素的残留和表观损失均较低, 当氮肥施用量超过作物的需要量时, 氮素盈余急剧增加, 盈余的氮素或以  $N_{min}$  形式残留于土壤剖面中, 或损失于土壤-作物系统, 从而导致相应的环境问题。在本实验土壤-花椰菜氮素平衡中, 氮素表观平衡随施氮量的增加而增加, 种植填闲作物, 减施氮肥能有效减少氮肥的损失。这符合此定位试验前期研究结果, 减少氮肥的投入是降低氮素损失有效途径<sup>[23-25]</sup>。夏季休闲期种植填闲作物可显著减少土壤剖面硝态氮残留, 从而降低氮素淋失风险。种植填闲作物从宏观上来看, 并没有显著影响整体经济效益, 但在减少土壤无机氮积累、减轻土壤氮素淋洗风险方面具有积极作用<sup>[25]</sup>。本试验中作物利用率仅为 6% 到 10%, 90% 到 94% 的氮肥没被利用而损失。施氮量与土壤氮素总平衡存在正相关关系。CON 表观平衡达到 476.19, 比 CK 高 476.19, 大量氮素残留在土壤中易发生氮素的损失, 与以上研究结果相符。减氮施肥和种植填闲作物能降低土壤硝态氮残留, 并有可持续性。

许多研究表明, 施肥及施氮量是影响土壤中硝态氮含量的最大外界因素<sup>[26]</sup>, 减少氮肥投入是降低

菜地土壤氮含量、减少氮损失的根本途径<sup>[27-29]</sup>。本定位试验前期结果表明减少施氮量可降低土壤剖面硝态氮的残留,填闲处理能有效降低土壤硝态氮残留量,阻控硝态氮淋溶<sup>[23-25]</sup>。本茬试验中,土壤硝态氮含量与氮肥施入量成正相关关系,施肥量越高,硝态氮在土壤中的残留量越大,容易造成对环境和地下水的污染。LNF 和 COC 有效降低了土壤剖面硝态氮含量,与上述研究结果一致。硝态氮在土壤中的运移及淋失方面有待研究。

大量研究证实,蔬菜对硝酸盐的积累量随施氮量的增加而增加<sup>[30-37]</sup>,本研究的结果也进一步验证了这一结论。熊亚梅等<sup>[38]</sup>研究发现,随施氮量的增加,甘蓝的 Vc 和可溶性糖含量均降低,而孙小凤<sup>[27]</sup>的研究结果显示,随施氮量的增加,油白菜的 Vc 含量降低。本定位试验前期研究结果显示种植填闲作物对下茬蔬菜作物产量基本没有影响,而且可以大幅度减低下茬蔬菜作物(球茎茴香)可食部位硝酸盐含量<sup>[23]</sup>,硝酸盐含量随施氮量增加而增加<sup>[24]</sup>,减施氮肥在一定程度上减少了蔬菜可食用部分硝酸盐含量。本茬试验结果表明施氮量增加花椰菜硝酸盐含量随之增加,而 Vc 含量随之下降。由此看来,过量施肥会降低蔬菜品质,符合上述研究结果,到本茬试验一直有可持续性。

## 4 结论

减氮施肥和常规+填闲不影响花椰菜产量,花椰菜氮素利用率随施氮量增加有所下降。在土壤—花椰菜氮素平衡体系中 90% 到 94% 的氮肥没被利用而损失残留。土壤硝态氮含量随氮肥施入量增加而增加,减氮施肥和常规+填闲能有效减少土壤硝态氮含量。花椰菜硝酸盐含量和施氮量成正比,Vc 含量随氮肥施入量而下降。相对常规施肥,减氮施肥、种植填闲处理效果较好,这种效果是否持续有效有待继续研究。

## 参考文献:

- [1] 刘兆辉,江丽华,张文君,等.山东省设施蔬菜施肥量演变及土壤养分变化规律[J].土壤学报,2008,45(2):296-303.
- [2] 闵炬.太湖地区大棚蔬菜地化肥氮利用和损失及氮素优化管理研究[D].杨凌:西北农林科技大学,2007.
- [3] 杜连凤.长江三角洲地区菜地系统氮肥利用与土壤质量变异研究[D].北京:中国农业科学院,2005.
- [4] 闵炬,施卫明.不同施氮量对太湖地区大棚蔬菜产量、氮肥利用率及品质的影响[J].植物营养与肥料学报,2009,15(1):151-157.

- [5] 胡承孝,邓波儿,刘同仇,等.武汉市菜园土硝酸盐的持留与运移[J].土壤通报,1993,4(3):118-120.
- [6] 陈建耀,王亚,张洪波,等.地下水硝酸盐污染研究综述[J].地理科学进展,2006,25(1):34-44.
- [7] 袁新民,李晓林,张福锁.蔬菜地土壤的硝态氮累积及影响因素[M]//平衡施肥与可持续优质蔬菜生产.北京:中国农业出版社,2000:288-292.
- [8] 张学军,赵桂芳,朱雯清,等.菜田土壤氮素淋失及其调控措施的研究进展[J].生态环境,2004,13(1):105-108.
- [9] 董悦安.农田区地下水氮污染和氮转化的实验研究[J].北京师范大学学报:自然科学版,2001:37.
- [10] 孙红梅,李天来,须晖,等.不同氮水平下钾营养对大棚番茄产量及品质的影响[J].沈阳农业大学学报,2000,31(1):68-71.
- [11] 封锦芳,施致雄,吴永宁,等.北京市春季蔬菜硝酸盐含量测定及居民暴露量评估[J].中国食品卫生杂志,2006,18(6):514-516.
- [12] 李智军,关佩聪.芥兰营养生理研究.Ⅱ.氮钾营养对芥兰菜薹形成过程内体内生物物质的影响[J].华南农业大学学报,1992,13(1):75-79.
- [13] 张学军,赵营,陈晓群,等.氮肥施用量对设施番茄氮素利用及土壤  $\text{NO}_3^-$ -N 累积的影响[J].生态学报,2007,27(9):3761-3768.
- [14] 黄绍敏,宝德俊,皇甫湘荣,等.长期施用有机和无机肥对潮土氮素平衡与去向的影响[J].植物营养与肥料学报,2006,12(4):479-484.
- [15] Zhu J H, Li X L, Christie P, et al. Environmental implications of low nitrogen use efficiency in excessively fertilizer hot pepper (*Capsicum frutescens* L.) cropping system[J]. Agric Eco Environment, 2005, 111: 70-80.
- [16] 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.
- [17] 李俊良,崔德杰,孟祥霞,等.山东寿光保护地蔬菜施肥现状及问题的研究[J].土壤通报,2002,33(2):126-128.
- [18] 李冰,王昌全,周娅,等.氮肥不同用量及基追肥比例对芹菜产量和品质的影响[J].土壤肥料,2005(5):8-16.
- [19] 王柳,张福堪,魏秀菊,等.不同氮肥水平对日光温室黄瓜品质和产量的影响[J].农业工程学报,2007,23(12):225-229.
- [20] 巨晓棠,潘家荣,刘学军,等.北京郊区冬小麦/夏玉米轮作体系中氮肥去向研究[J].植物营养与肥料学报,2003,9(3):264-270.
- [21] 郭天才,宋晓,冯伟,等.高产麦田氮素利用、氮平衡及适宜施氮量[J].作物学报,2008,34(5):86-892.
- [22] 巨晓棠,刘学军,张福锁.冬小麦与夏玉米轮作体系

- 中氮肥效应及氮素平衡研究[J]. 中国农业科学, 2002, 35(11): 1361-1368.
- [23] 习斌. 保护地菜田氮素去向及调控研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2009.
- [24] 吴建新. 不同施肥措施对球茎茴香产量、品质及氮平衡的影响[D]. 保定: 河北农业大学, 2010.
- [25] 吴雪玲. 京郊地区填闲作物氮素利用及其对后茬作物生长的影响研究[D]. 临汾: 山西师范大学, 2011.
- [26] 黄绍敏, 皇甫湘荣, 宝德俊等. 土壤中硝态氮含量的影响因素研究[J]. 农业环境保护, 2001, 20(5): 351-354.
- [27] 贾继文, 李文庆. 山东省蔬菜大棚土壤养分状况与施肥状况的调查研究[M]//谢建昌, 陈际型. 菜园土壤肥力与蔬菜合理施肥. 南京: 河海大学出版社, 1997: 73-75.
- [28] Guo J H, Liu X J, Zhang Y, *et al.* Significant acidification in major Chinese croplands[J]. Science, 2010, 327(5968): 1008-1010.
- [29] 王朝辉, 李生秀, 田霄鸿. 不同氮肥用量对蔬菜硝态氮累积的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 1998, 4(1): 22-28.
- [30] 孙小凤. 不同供氮水平对油白菜产量和品质的影响[J]. 土壤肥料, 2005(4): 11-13.
- [31] 赵继献, 程国平, 任廷波, 等. 不同氮水平对优质甘蓝型黄籽杂交油菜产量和品质性状的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2007, 13(5): 882-889.
- [32] 任祖淦, 邱孝煊, 蔡元呈, 等. 施用化学氮肥对蔬菜硝酸盐的积累及其治理研究[J]. 土壤通报, 1999, 30(6): 265-267.
- [33] 王朝辉, 田霄鸿, 李生秀. 叶类蔬菜的硝态氮累积及成因研究[J]. 生态学报, 2001, 21(7): 1136-1141.
- [34] 杜红斌, 王秀峰, 崔秀敏. 植物  $\text{NO}_3^-$ -N 累积的生理机制研究[J]. 中国蔬菜, 2001(2): 49-51.
- [35] 王庆, 王丽, 赫崇岩, 等. 过量氮肥对不同蔬菜中硝酸盐积累的影响及调控措施研究[J]. 农业环境保护, 2000, 19(1): 46-49.
- [36] 王正银, 李会合, 李宝珍, 等. 氮肥、土壤肥力和采收期对小白菜体内硝酸盐含量的影响[J]. 中国农业科学, 2003, 36(9): 1057-1064.
- [37] 赵静, 白清云, 帕尼古丽, 等. 钼对降低蔬菜硝酸盐积累的效应研究[J]. 农业环境保护, 2001, 20(4): 238-239.
- [38] 熊亚梅, 梁银丽, 周茂娟, 等. 氮肥水平对甘蓝产量和品质及土壤硝态氮含量的影响[J]. 西北植物学报, 2007, 27(4): 839-843.