

冷凉区菜田定位施肥对氮素利用及环境效应的影响

马茂亭¹, 赵同科¹, 赵丽平¹, 肖长坤², 杜连凤¹, 安志装¹

(1. 北京市农林科学院 植物营养与资源研究所, 北京 100097; 2. 北京密云县农业技术推广站, 北京 101500)

摘要:以“春甘三号”甘蓝为试材,以延庆县露地菜田为研究对象,设置不施肥对照、有机肥(7 500 kg/hm²)、常规(有机肥 7 500 kg/hm²+化肥 N-P₂O₅-K₂O=300-120-45 kg/hm²)、20%增氮(有机肥 7 500 kg/hm²+化肥 N-P₂O₅-K₂O=360-90-135 kg/hm²)、20%减氮(有机肥 7 500 kg/hm²+化肥 N-P₂O₅-K₂O=240-90-135 kg/hm²)、60%减氮(有机肥 7 500 kg/hm²+化肥 N-P₂O₅-K₂O=120-90-135 kg/hm²)6个处理,开展小区定位监测试验,研究有机无机配施、不同氮磷钾配比条件下氮肥利用效率及环境效应。结果表明:施肥显著增加了甘蓝产量,有机肥处理最低增产为 33.56%,其中 20%减氮处理增产最高为 85.92%,显著高于常规处理。氮肥利用率有机肥处理最低为 10.96%,常规和 20%增氮处理与其相比都没有显著差异;60%减氮处理最高为 18.52%,20%减氮处理为 16.74%,二者之间没有显著差异,都显著高于常规处理。3 a 试验时,有机肥处理下土壤剖面中以硝态氮为主无机态氮含量及收集 90 cm 处淋溶氮素总量与对照相比都没有显著差异;常规和 20%增氮处理下 80~90 cm 土层都有较高的无机态氮残留量,收集 90 cm 处淋溶氮素总量分别是对照的 12.45 倍和 14.19 倍,达极显著水平;20%和 60%减氮处理也显著增加了土壤剖面无机态氮残留量和淋溶氮素总量,但都显著低于常规处理,二者相比,前者分别是后者的 1.23 倍和 1.91 倍,差异达显著水平。以上结果说明,冷凉区雨热同期条件下,较高肥力菜田土壤中不利于有机肥的分解和养分的释放,过量氮肥以及不适宜磷钾比例条件不利于作物对养分的吸收,导致无机态氮在土壤中的大量累积和淋溶损失;磷钾配施条件下,减氮处理有利于作物对养分的吸收,提高氮素利用率,降低土壤无机态氮的残留量和淋失量,但长期定位条件下 60%过量减氮有降低作物产量的趋势。

关键词:冷凉区;菜田;定位施肥;氮素利用率;环境效应

中图分类号:S 344 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2013)20-0149-06

随着人口数量的增加以及居民生活水平的提高,蔬菜消费需求增加,对蔬菜品质的要求也日益提高,蔬菜种植面积迅速扩大。环首都经济圈京北冷凉区如北

京市延庆县、河北省张家口市、秦皇岛市、承德市等成为全国知名的夏秋淡季蔬菜供应基地。该区属温带向冷凉、半湿润向半干旱过渡的大陆性季风山区气候,四季分明,光照充足,雨热同季,气候冷凉、昼夜温差大。独特的资源和气候优势有利于蔬菜产品成熟时养分的积累,所生产的蔬菜含糖分高、营养丰富、色泽鲜艳,同一品种的产品质量优于其它产地。近年来,该区蔬菜生产得到大力发展,品种结构逐步优化,标准化生产能力显著提高,生产规模和效益不断增加,已成为全国知名的夏秋淡季蔬菜供应基地,2010 年,蔬菜播种面积近

第一作者简介:马茂亭(1983-),男,硕士,助理研究员,现主要从事农业面源污染控制等研究工作。E-mail:mamaoting@139.com.

责任作者:安志装(1969-),男,博士,副研究员,现主要从事农业环境等研究工作。E-mail:anzzly@126.com.

基金项目:公益性行业(农业)专项资助项目(201003014-3);国家“十二五”科技支撑计划资助项目(2012BAD15B01)。

收稿日期:2013-07-24

Abstract: The characteristics of soil degradation of protection in Binzhou city were briefly introduced, from excessive fertilizer input and nutrient imbalance, closed environment, flood irrigation, soil, continuous cropping greenhouse humidity and other aspects, the main reason of the protection of soil degradation was analysed, and some measures were put forward including reasonable nutrient management in water, salt, salt, pressure to fertilizer soil sterilization, reasonable crop rotation and intercropping, selecting resistant varieties and grafting, biological control measures.

Key words: Binzhou city; protected culture; soil degenerate; cause; prevention

26.67 万 hm^2 , 供应量占北京市市场份额的 60% 以上。由于缺乏有效的监督管理机制, 受片面追求高产因素的影响, 蔬菜生产中化学肥料施用、农药使用、灌水标准化技术体系不完善, 农用化学品尤其是氮肥过量及不科学使用现象时有发生, 长期生产条件下, 导致土壤生态环境质量恶化^[1-2], 蔬菜品质和效益下降, 进而引起地表和地下水硝酸盐污染^[3], 威胁人体健康。为促进冷凉区蔬菜产业的健康发展, 开展以水肥为中心的标准化技术体系研究十分必要。延庆县是北京市主要出口蔬菜生产区, 该试验以延庆县冷凉露地菜田为对象, 研究不同氮肥用量和施用方式下氮素利用效率及环境效应, 以期冷凉区蔬菜生产中氮肥标准化施肥技术规范制定、促进该区生态农业的健康发展提供技术支持。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 供试土壤 该试验为田间长期定位监测小区试验, 2010 年开始, 试验地点位于北京市西北延庆县延庆农场蔬菜基地, 土壤类型为轻壤质潮土, 基本理化性质见表 1。

表 1 土壤基本理化性质
Table 1 Physiochemical properties of soil

土层 / cm	全氮 / $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$	全磷 / $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$	有机质 / $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$	硝态氮 / $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$	有效磷 / $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$	有效钾 / $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$	pH
0~20	1.42	0.96	22.98	13.95	75.16	132.00	7.64
20~40	1.08	0.79	16.20	12.92	20.83	89.80	7.90
40~60	0.71	0.55	10.09	12.54	6.02	66.00	8.06
60~80	0.64	0.50	9.81	12.06	5.68	61.00	7.95
80~90	0.51	0.54	8.41	10.94	5.26	53.60	7.81

1.1.2 供试蔬菜 甘蓝 (*Brassica oleracea* var. *capitata*), 品种为“春甘三号”。

1.1.3 供试肥料 氮肥为尿素 (N 含量为 46%), 磷肥为普钙 (P_2O_5 含量为 12%), 钾肥为硫酸钾 (K_2O 含量为 50%)。有机肥为腐熟鸡粪 (含 N 1.88%, P_2O_5 1.19%, K_2O 0.91%)。

1.2 试验方法

1.2.1 试验设计 以冷凉区蔬菜生产常规施肥为基础, 设置不施肥对照、单施有机肥、当地常规施肥以及常规施肥基础上优化磷钾比例分别增施 20% 氮素、减施 20% 氮素、减施 60% 氮素等 6 个处理, 各处理无机有机肥料用量见表 2, 每处理重复 3 次, 完全随机区组设计。有机肥及化学磷钾肥全部基施, 化学氮肥用量的 1/3 基施, 其余 2/3 分 2 次追施。小区试验面积为 $5 \text{ m} \times 6 \text{ m} = 30 \text{ m}^2$ 。4 月上旬温室育苗, 5 月初露地移栽, 株行距为 $40 \text{ cm} \times 50 \text{ cm}$, 每 667 m^2 约 3 500 株。各处理分小区等量灌水, 施肥方式为撒施, 其它管理方式与大田相同。

表 2 施肥处理肥料用量

Table 2 The amount of fertilization treatment with detailed information of NPK proportion

处理	代号	有机肥	化学肥料 / $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$		
		/ $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$	氮肥	磷肥	钾肥
不施肥(对照)	CK	0	0	0	0
有机肥	OF	7 500	0	0	0
常规	CF	7 500	300	120	45
60%减氮	60%DN	7 500	120	90	135
20%减氮	20%DN	7 500	240	90	135
20%增氮	20%IN	7 500	360	90	135

1.2.2 土壤与植株样品采集 2010 年试验开始前, 分层 (0~20、20~40、40~60、60~80 cm 和 80~90 cm) 采集基础土样, 2012 年 7 月 16 日秋季采集第 3 年 (2012 年) 试验结束时甘蓝植株和土壤样品。小区选取 2 行代表性植株称重, 计算产量, 采样并带回实验室测定其全氮含量, 具体测定方法参见鲁如坤^[4]。与基础土样相对应分层采集试验小区土壤样品, 混匀置于冷藏箱内带回实验室立即浸提, 采用 TRACCS2000 型连续流动分析仪测定硝态氮和铵态氮含量^[5]。

1.2.3 淋溶液收集与测定 试验小区距地表 90 cm 处安装收集田间原位淋溶液监测装置 (图 1), 收集试验期间各处理小区淋溶液样品。降水或灌水后查看是否有淋溶液, 记录淋溶液量, 采集样品置于冷藏箱带回实验室, 供测定硝态氮和铵态氮含量, 具体测定方法参见张锡洲等^[5]。氮肥利用率 = (小区甘蓝吸氮量 - 对照区甘蓝吸氮量) / 小区施氮量 $\times 100$ 。土壤无机氮残留量 = 土壤硝态氮残留量 + 土壤铵态氮残留量^[6]。

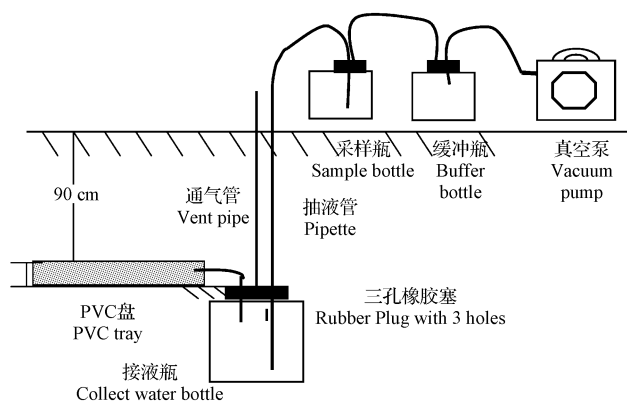


图 1 田间原位淋溶监测装置

Fig. 1 The situ leaching device in the field

1.3 数据分析

试验数据采用 Microsoft Office Excel 2003 和 SAS 统计软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 施肥对露地菜田甘蓝产量及氮肥利用率的影响

2.1.1 不同施肥处理下甘蓝产量变化 从图 2 可以看

出,与对照相比,施肥处理下甘蓝产量都呈极显著性地增加($P<0.01$),常规施肥处理增产 26 345 kg/hm²,增幅为 67.64%,有机肥处理增产 13 073 kg/hm²,增幅为 33.56%,但有机肥处理产量与常规处理相比减幅为 20.33%,差异达极显著水平。20%减氮施肥处理下甘蓝产量最高为 72 416 kg/hm²,与常规处理相比,增幅为 10.9%,差异达显著水平;与有机肥处理相比,增幅为 39.2%,达极显著水平;与对照相比,增产 85.92%。60%减氮和 20%增氮施肥处理下甘蓝产量分别为 60 394 kg/hm² 和 62 736 kg/hm²,二者之间无显著差异,显著低于 20%减氮处理,减幅分别为 19.91%和 15.43%;与常规处理相比没有显著差异,但与有机肥处理相比产量显著增加,增幅分别为 16.1%和 20.6%。以上结果表明,施肥都增加了甘蓝产量,化肥与有机肥配施及合理氮磷钾配比有利于提高冷凉地区露地菜田甘蓝产量,过量减施或增施氮肥没有增加甘蓝产量。

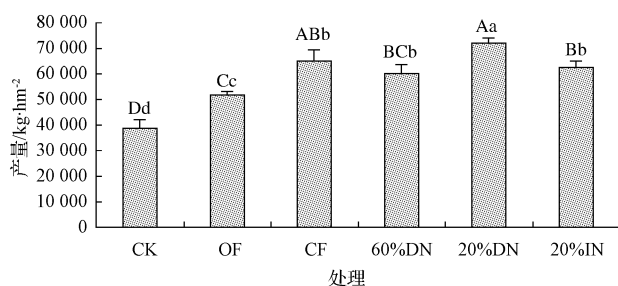


图2 不同施肥处理对甘蓝产量的影响

注:不同大、小写字母分别表示 0.01 和 0.05 水平差异显著性,下同。

Fig. 2 Effect of different fertilization treatments on cabbage yields

Note: Different capital and small letters mean significant difference at 0.01 and 0.05 levels respectively, same the below.

2.1.2 不同施肥措施对氮肥利用率的影响 由图 3 可知,有机肥及常规处理的氮肥利用率分别为 10.96%和 12.40%,二者之间没有显著差异。60%减氮、20%减氮和 20%增氮处理下氮肥利用率分别达到 18.52%、16.74%和 10.60%,与常规处理相比,60%减氮和 20%减氮处理分别提高 6.12 和 4.34 个百分点,增幅分别为 49.35%和 35.00%,达显著水平,二者之间没有显著差异;20%增氮处理与二者相比呈显著性地下降,与常规处理没有显著性差异。以上结果表明,肥力较高菜田土壤上 60%减氮处理和 20%减氮处理有助于提高氮肥利用率,增量施氮处理条件下降低了氮肥利用率^[7]。

2.2 不同施肥措施对露地菜田土壤环境的影响

2.2.1 不同施肥措施对土壤中硝态氮含量影响 对不同施肥处理 0~90 cm 露地菜田土壤硝态氮含量比较分析,由图 4 可知,与对照相比,施肥都显著提高了表层(0~

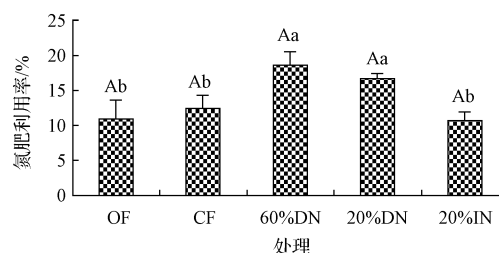


图3 不同施肥处理对氮肥利用率的影响

Fig. 3 Effect of different fertilization treatments on nitrogen use efficiency

20 cm)土壤硝态氮含量,升幅范围为 23.43%~72.09%;常规施肥处理下表层土壤硝态氮含量为 22.10 mg/kg,与之相比,60%减氮施肥处理降低 13.44%,而 20%增氮施肥处理升高 20.67%,20%减氮和有机肥处理没有显著差异。20~40 cm 土层,与对照相比,有机肥、60%减氮和 20%减氮处理没有显著差异,常规、20%增氮处理分别升高 47.29%和 100.98%;与常规相比,有机肥、60%减氮和 20%减氮处理分别降低 47.29%、40.36%和 30.51%,20%增氮处理升高 36.45%,与 0~20 cm 土层相比升幅增大。40~60 cm 土层,与对照相比,有机肥和 60%减氮处理没有显著差异,常规、20%减氮、20%增氮处理增幅分别为 255.09%、46.98%和 115.56%;与常规处理相比,60%减氮和 20%减氮处理降幅分别为 66.89%和 58.61%,与 0~40 cm 土层不同,20%增氮处理降幅为 39.29%。60~80 cm 土层,与对照相比,除有机肥处理外,其它施肥处理下土壤硝态氮含量都呈显著性增加,常规、60%减氮、20%减氮、20%增氮处理增幅分别达到 222.53%、37.96%、104.92%、231.10%;与常规处理相比,60%减氮和 20%减氮处理分别降低 57.23%和 36.46%,与 40~60 cm 土层相比降幅减小,20%增氮处理没有显著差异。80~90 cm 土层,与对照相比,有机肥处理差异不显著,常规、60%减氮、20%减氮、20%增氮处理增幅分别为 126.31%、32.01%、124.36%和 182.29%;与常规处理相比,60%减氮处理降幅为 41.67%,与 40~80 cm 土层相比降幅持续减小,20%增氮处理升高 27.47%,20%减氮处理没有显著差异。从同一处理 0~90 cm 不同土层硝态氮含量变化来看,对照处理 0~60 cm 土层硝态氮呈显著下降,40~60 cm 土层与 0~20 cm 相比下降 5.17 mg/kg,降幅为 33.39%,60~90 cm 土层呈轻微升高的变化趋势。与 0~20 cm 表层相

比,有机肥、60%减氮和20%减氮处理下20~40 cm表下层土壤硝态氮含量都呈显著性下降,降幅分别为35.37%、35.44%和33.36%;3个处理下层与对应40~60 cm土层硝态氮相比没有显著变化;60~90 cm土层呈升高的变化趋势,与有机肥处理相比,后两者升幅达显著水平,80~90 cm土层与40~60 cm土层相比,升幅分别为30.99%和78.06%。常规处理0~40 cm土层硝态氮含量没有显著变化,40 cm以下土层都呈显著性升高;40~60 cm、60~80 cm土层之间变化不显著,与表层相比,升幅分别为65.87%和61.61%,80~90 cm土层虽显著高于表层(升幅为23.31%),与40~80 cm土层相比呈显著性地下降。20%增氮处理0~60 cm土层硝态氮含量没有显著变化,但60 cm以下土层与表层相比呈显著性地升高,60~80 cm、80~90 cm土层升幅分别为37.48%和27.46%,二者之间差异不显著。与对照相比,施肥处理都显著提高了表层土壤硝态氮含量^[8-10],随施氮量的增加增幅增大,有机肥、60%减氮处理20~90 cm土层硝态氮含量与对照没有显著差异;常规、20%增氮和20%减氮处理60 cm以下土层硝态氮含量显著升高,常规和20%增氮处理增幅显著大于20%减氮处理。从0~90 cm土层硝态氮含量变化来看,对照总体变化不大,有机肥和60%减氮处理20 cm以下变化不大,常规呈现40~80 cm土层含量显著升高,80~90 cm下降的变化趋势;20%减氮和20%增氮处理呈现60 cm以下土层升高的变化趋势,前者与表层含量差异较小,后者显著高于表层含量,表明常规施肥和20%增氮施肥处理易造成氮素养分在深层土壤的过量累积。

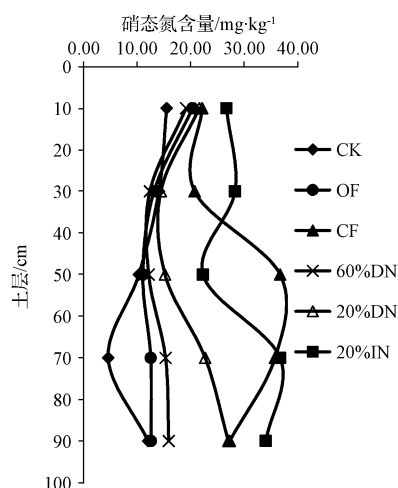


图4 不同施肥处理对土壤硝态氮含量的影响

Fig. 4 Effect of different fertilization treatments on soil nitrate N content

2.2.2 不同施肥措施对土壤中无机氮残留量的影响 对露地菜田0~90 cm土体中残存无机氮总量进行分析,由图5可知,与对照相比,除有机肥处理外,其余施肥处理下土壤中无机氮残留量均呈显著性增加($P<0.05$),其中常规和20%增氮处理分别为20.70 kg/hm²和21.05 kg/hm²,增幅分别为137%和141%,与对照相比差异达极显著水平($P<0.01$),二者之间没有显著差异。与常规处理相比,60%减氮和20%减氮处理土壤中无机氮残留量分别降低44.14%和31.33%,达极显著水平,20%减氮处理又显著高于60%减氮处理。施氮量是无机氮在土壤中残留的重要因素^[11],以上结果说明,土壤中残留无机氮随化学氮肥施用量的增加而增加,常规施肥也极显著地提高了土壤中无机氮残留量。

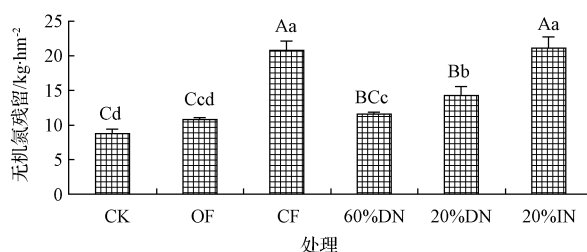


图5 不同施氮处理对土壤残留无机氮的影响

Fig. 5 Effect of different fertilization treatments on soil inorganic N residues

2.2.3 不同施肥措施对土壤中氮素淋溶的影响 从表3可以看出,对照处理下氮素淋溶液量为130 t/hm²,与之相比,其余施肥处理都没有显著差异。与淋溶水量不同,不同施肥处理下淋溶液中硝态氮含量呈显著性地差异,对照不施肥处理最低为4.76 mg/L,有机肥处理与之相比没有显著差异;其余施肥处理极显著高于对照,常规处理收集淋溶液硝态氮含量为65.73 mg/L,是对照的13.81倍;与常规相比,20%增氮处理差异不显著,60%减氮和20%减氮处理呈显著性降低,降幅分别为61.07%和18.36%,后者是前者的2.10倍,二者之间呈极显著性差异。土壤中无机氮淋溶总量与淋溶液硝态氮含量变化趋势相一致,对照处理最低为0.64 kg/hm²,有机肥处理与之相比没有显著差异;其余施肥处理均极显著高于对照,常规处理为7.97 kg/hm²,是对照的12.45倍;与常规相比,20%增氮处理差异不显著,60%减氮和20%减氮处理呈显著性降低,降幅分别为55.46%和15.06%,后者是前者的1.91倍,二者之间也呈极显著性地差异。综上,不同处理下淋溶量没有显著差异,但淋溶液中硝态氮含量和无机氮淋溶总量随施氮量的增加呈显著性地增加,尤其是20%增氮处理,常规处理也呈极显著性地升高。

表3 不同施肥处理对氮素淋溶的影响

Table 3 Effect of different fertilization treatments on nitrogen leaching

处理	淋溶水量 /t·hm ⁻²	硝态氮含量(N) /mg·L ⁻¹	无机氮淋溶量 /kg·hm ⁻²
CK	130±16.20Aa	4.76±0.57Dd	0.64±0.14Dd
OF	125±31.82Aa	6.54±1.04Dd	0.87±0.32Dd
CF	123±25.36Aa	65.73±6.31ABa	7.97±1.01ABab
60%DN	138±2.36Aa	25.59±2.81Cc	3.55±0.34Cc
20%DN	127±22.48Aa	53.66±2.07Bb	6.77±1.03Bb
20%IN	138±7.36Aa	65.91±3.49Aa	9.08±0.57ABa

3 讨论与结论

氮素是植物生长的大量必需营养元素,适量施肥有助于作物的生长和产量增加,施氮量过小或过大均妨碍作物的正常发育^[12-14],从而影响作物产量和品质,导致土壤质量下降,进而影响环境质量。京北冷凉区是全国夏秋淡季蔬菜主要生产区之一,针对该区特殊的自然环境条件,开展施肥技术体系研究,对于促进该区蔬菜产业的持续发展和环境的保护具有重要意义。

温度是影响该区蔬菜生产和土壤有机氮释放的主要因素之一^[15]。该区冷凉条件下,单施有机肥处理下有机态氮的分解释放速率较小,尽管供试基础土样有较高的氮素含量,2012年第3年试验时,作为土壤氮素主要有效形态的硝态氮和无机氮含量相对较低,供氮能力有限,因此,该处理下甘蓝产量以及土壤剖面淋出溶液氮素总量与对照相比差异不显著。有机无机配施是增加作物产量的主要措施之一^[16],有机肥配施化肥常规处理甘蓝产量显著增加,增幅为25.51%,但较高氮素含量土壤上多年不合理氮磷钾比例肥料的施用不利于作物对养分的平衡吸收利用,导致氮肥利用率不高,未吸收利用的氮素在土壤中以无机硝态氮形态大量累积,含量显著升高^[17-21],冷凉区雨热同期条件下,淋出根层,即使90 cm土层处也有较高的硝态氮含量,90 cm处收集淋溶液淋溶氮素量是对照的12.45倍。以常规施肥处理为基础,20%增氮处理虽然增加了钾肥用量,但在该供试土壤较高氮素条件下,较高氮素用量不利于甘蓝的生长,与常规相比,产量没有增加,氮肥利用率甚至有下降的趋势,土壤中有较多的硝态氮和铵态氮等无机氮残留,定位多年试验条件下,90 cm土层也有较高的硝态氮含量,土体90 cm处收集淋溶液淋溶氮素总量有增加的趋势。以上结果说明,过量以及不平衡氮磷钾比例施肥易导致氮肥利用率下降、土壤硝态氮累积和氮素淋溶损失量增加。一定范围内减少氮肥用量可提高氮肥利用率^[22-23],在该供试土壤较高肥力条件下,常规基础上,20%减氮处理甘蓝产量最高达到72 416 kg/hm²,增产10.90%,氮肥利用率增加35.00%,都达显著水平,土壤

无机氮残留量和淋溶液氮素淋溶总量分别降低31.33%和15.06%;3 a试验条件下,60%减氮处理氮肥利用率最高,与常规相比增加了49.35%,无机氮残留量和淋溶液氮素淋溶总量分别降低44.14%和55.46%,但产量有下降的趋势。

京北夏秋冷凉蔬菜生产条件下,与当地常规施肥相比,单施有机肥处理虽然降低了土壤无机氮残留和淋溶出土体氮素量,但蔬菜产量和氮素利用率也显著降低,即使在磷钾配施条件下,20%增氮处理并不能增加甘蓝产量,反而导致氮素利用率的显著下降,土壤中残留大量无机氮淋出土体,对地下水造成较大潜在污染威胁。供试土壤较高土壤条件下,20%和60%减氮处理都显著降低了土壤无机氮残留和淋溶损失,提高了氮素利用率,但20%减量显著提高了甘蓝产量,60%减量处理甘蓝产量有下降的趋势,定位延长试验时间条件下,60%减量处理降低氮素淋溶的同时能否确保蔬菜产量的稳定还有待于进一步的试验及总结。

参考文献

- [1] 冯波,孔令安,张宾,等.施氮量对垄作小麦氮肥利用率和土壤硝态氮含量的影响[J].作物学报,2012,38(6):1107-1114.
- [2] 邹娟,鲁剑巍,陈防,等.长江流域油菜氮磷钾肥料利用率现状研究[J].作物学报,2011,37(4):729-734.
- [3] 刘宏斌,张云贵,李志宏,等.北京市平原农区深层地下水硝态氮污染状况研究[J].土壤学报,2005,42(3):411-418.
- [4] 鲁如坤.土壤农业化学分析方法[M].北京:中国农业出版社,2000:311-312,129-133.
- [5] 张锡洲,余海英,王永东,等.不同形态氮肥对设施土壤速效养分的的影响[J].西南农业学报,2010,23(4):1182-1187.
- [6] 王小山,刘大林,韩娟,等.不同施氮水平下高丹草生产性能及土壤无机氮的残留[J].江苏农业学报,2010,26(6):1258-1263.
- [7] Thompson R B, Meisinger J J. Management factors affecting ammonia volatilisation from land-applied cattle slurry in the mid-Atlantic USA[J]. Journal of Environmental Quality, 2002, 31(4): 1329-1338.
- [8] 沈灵凤,白玲玉,曾希柏,等.施肥对设施菜地土壤硝态氮累积及pH的影响[J].农业环境科学学报,2012,31(7):1350-1356.
- [9] 马茂亭,安志装,邹国元,等.不同施肥措施对土壤氮素时空变化的影响[J].北方园艺,2012(22):168-171.
- [10] 徐力刚,王晓龙,崔锐,等.不同农业种植方式对土壤中硝态氮淋失的影响研究[J].土壤,2012,44(2):225-231.
- [11] 袁新民,杨学云,同延安.不同施氮量对土壤NO₃-N累积的影响[J].干旱地区农业研究,2001,19(1):8-13.
- [12] 陈富,马宁,张小静,等.基于土壤硝态氮时空分布的玉米氮肥施用分析[J].中国种业,2012(9):42-44.
- [13] 王庆祥,姜艳超,吕桂兰.氮、钾肥对甜玉米产量与品质的影响[J].玉米科学,2006,14(3):145-146,153.
- [14] 陈宝明.施氮对植物生长、硝态氮累积及土壤硝态氮残留的影响[J].生态环境,2006,15(3):630-632.
- [15] 王根林,姬景红,李玉梅.土壤有机氮矿化的研究进展[J].黑龙江农业科学,2009(6):164-165.
- [16] 邢素丽,刘孟朝,徐明岗.有机无机配施对太行山山前平原小麦产量

和土壤培肥的影响[J]. 华北农学报, 2010, 25(增刊): 212-216.

[17] 李金才, 屈会娟, 魏凤珍. 氮素运筹技术对冬小麦籽粒产量和品质的影响[J]. 河南农业科学, 2005(2): 27-33.

[18] Raun W R, Johnson G V. Improving nitrogen use efficiency for cereal production[J]. Agron J, 1999, 91(3): 357-364.

[19] 李晓欣, 胡春胜, 程一松. 不同施肥处理对作物产量及土壤中硝态氮累积的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2003, 21(3): 38-42.

[20] 樊军, 郝明德, 党廷辉. 旱地长期定位施肥对土壤剖面硝氮分布与积

累的影响[J]. 土壤与环境, 2000, 9(1): 23-26.

[21] 刘学军, 巨晓棠, 张福锁. 减量施氮对冬小麦-夏玉米种植体系中氮利用与平衡的影响[J]. 应用生态学报, 2004, 15(3): 458-462.

[22] 易琼, 张秀芝, 何萍, 等. 氮肥减施对稻-麦轮作体系作物氮素吸收、利用和土壤氮素平衡的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2010, 16(5): 1069-1077.

[23] 巨晓棠, 张福锁. 关于氮肥利用率的思考[J]. 生态环境, 2003, 12(2): 192-197.

Effects of Located Fertilization on Nitrogen Utilization and Environment in Vegetable Field in the Cold Zone

MA Mao-ting¹, ZHAO Tong-ke¹, ZHAO Li-ping¹, XIAO Chang-kun², DU Lian-feng¹, AN Zhi-zhuang¹

(1. Institute of Plant Nutrition and Resources, Beijing Academy of Agricultural and Forestry Sciences, Beijing 100097; 2. Miyun County Agricultural Technology Extension Station, Beijing 101500)

Abstract: Taking 'Chungan 3' cabbage as material, with the open vegetable fields in Yanqing county of this area as the object, six treatments were set up, including the control group without fertilization, organic fertilizer ($7\ 500\ \text{kg}/\text{hm}^2$), conventional fertilizer (organic fertilizer $7\ 500\ \text{kg}/\text{hm}^2$ + chemical fertilizer $\text{N-P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O}=300\text{-}120\text{-}45\ \text{kg}/\text{hm}^2$), increased nitrogen by 20% (organic fertilizer $7\ 500\ \text{kg}/\text{hm}^2$ + chemical fertilizer $\text{N-P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O}=360\text{-}90\text{-}135\ \text{kg}/\text{hm}^2$), decreased nitrogen by 20% (organic fertilizer $7\ 500\ \text{kg}/\text{hm}^2$ + chemical fertilizer $\text{N-P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O}=240\text{-}90\text{-}135\ \text{kg}/\text{hm}^2$) and decreased nitrogen by 60% (organic fertilizer $7\ 500\ \text{kg}/\text{hm}^2$ + chemical fertilizer $\text{N-P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O}=120\text{-}90\text{-}135\ \text{kg}/\text{hm}^2$), the monitoring experiments of located fertilization were carried out to study the nitrogen use efficiency as well as the environmental effects under the combined application of organic and inorganic fertilizers and different ratio of nitrogen phosphorus and potassium. Results showed that all fertilization significantly increased the cabbage production, organic fertilizer for treatment increased by a minimum of 33.56%, reduced nitrogen by 20% for treatment increased by a maximum of 85.92%, significantly higher than the conventional treatment. Nitrogen use efficiency of the organic manure was a minimum of 10.96%, and by comparison, conventional treatment and increased nitrogen by 20% for treatment had no significant difference; reduced nitrogen by 60% for treatment was a maximum of 18.52%, and the reduced nitrogen by 20% for treatment was 16.74%, where there was no significant difference between them, significantly higher than the conventional treatment in both cases. In the three years of experiment, the inorganic nitrogen content in soil profile and the total leaching nitrogen collected at 90 cm had no significant difference the treatment of organic fertilizer as compared with the control; there was higher inorganic nitrogen residues in 80~90 cm soil profile under the conventional and increased nitrogen by 20% for treatment, and the total leaching nitrogen collected at 90cm was respectively 12.45 times and 14.19 times of the control, up to highly significant level; the reduced nitrogen by 20% and 60% for treatment also significantly increased the inorganic nitrogen residue in soil profile and total leaching nitrogen, but significantly lower than the conventional treatment, and by comparison, the former was respectively 1.23 times and 1.91 times of the latter, where the difference reached significant level. The above results indicated that, under the conditions of rain and heat over the same period in the cold zone, the higher fertility in vegetable field was unsuitable for the decomposition and nutrients release of organic fertilizer, excess nitrogen fertilizer and improper ratio of phosphorus and potassium was unsuitable for the crops on the absorption of nutrients, leading to large amounts of accumulation of inorganic nitrogen in soil and leaching loss; under combined application of phosphorus and potassium, the reduced nitrogen for treatment was beneficial to the crops on the absorption of nutrients, to improve the nitrogen use efficiency, to reduce the inorganic nitrogen residue in soil and leaching loss, but under the condition of long-term positioning, the excessively reduced nitrogen by 60% had a tendency to decrease crop yield.

Key words: cold zone; vegetable field; located fertilization; nitrogen use efficiency; environmental effect