

蔬菜间作对土壤和蔬菜硝酸盐累积的影响

吴 琼^{1,2}, 杜连凤², 赵同科², 安志装², 吴晓磊³, 马茂亭^{1,2}

(1.河北农业大学资源与环境科学学院, 河北 保定 071000; 2.北京市农林科学院植物营养与资源研究所, 北京 100097; 3.北京市密云县农业技术推广站, 北京 101500)

摘 要:大量氮肥施用,易造成菜地土壤硝酸盐累积并引起地下水硝酸盐污染和蔬菜硝酸盐含量超标。为降低菜田氮素累积及环境污染风险,采用根深差异蔬菜间作的方法,研究其对土壤硝态氮时空变异规律和蔬菜硝酸盐含量的影响,选择根系较深的萝卜和根系较浅的芹菜进行间作种植大田试验。结果表明,无论在作物的生长前期还是收获期,此种间作增加了 0~20 cm 土层 NO_3^- -N 含量,同时降低了 20 cm 以下土层 NO_3^- -N 含量,能够减少土壤中 NO_3^- -N 的向下移动。从土壤 NO_3^- -N 累积剖面分布规律看,间作区 0~40 cm 土层 NO_3^- -N 累积量高于单作区,而 40~100 cm 土层 NO_3^- -N 累积量低于单作区,间作区土壤 0~100 cm 土层 NO_3^- -N 总累积量减少,收获期分别比萝卜和芹菜单作区降低 1.4%、9.0%。间作有降低萝卜和芹菜硝酸盐的趋势,而间作区萝卜全氮含量显著高于单作区,同时间作显著提高了萝卜产量,此种间作还能够减少氮素的表现损失。总之,合理搭配的蔬菜间作既能够增强土壤对氮素的保蓄能力,减少土壤 NO_3^- -N 淋移,对蔬菜产量和品质也有一定正效应。

关键词:蔬菜;土壤;间作;硝酸盐

中图分类号:S181 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-2043(2009)08-1623-07

Effect of Vegetable Intercropping on the Nitrate Accumulation in Soil Profiles and Vegetables

WU Qiong^{1,2}, DU Lian-feng², ZHAO Tong-ke², AN Zhi-zhuang², WU Xiao-lei³, MA Mao-ting^{1,2}

(1. College of Resources and Environmental Sciences, Agricultural University of Hebei, Baoding 071000, China; 2. Institute of Plant Nutrition and Resources, Beijing Academy of Agricultural and Forestry Sciences, Beijing 100097, China; 3. Extension Service Agrotechnical Station, Miyun County, Beijing 101500, China)

Abstract: Soil nitrate accumulation was often occurred because of excessive nitrogen fertilization application which easily led to nitrate pollution of groundwater and vegetable. The aim of this study was to determine the variation of nitrate in soil and crops under the intercropped system between different rooting depth vegetables, to study the temporal and spatial variation of soil nitrate, in addition, to reveal the difference of vegetables nitrate content. We selected the radish (deeper root) and celery (shallow root), then intercropped them together. The results showed that whether in preceding growth time or the harvest, NO_3^- -N content of 0~20 cm soil layer increased by this intercropping while, concentrations of lower layers decreased, which indicated that this intercropping could reduce nitrate leaching. Furthermore, 0~40 cm NO_3^- -N accumulation of intercropping was more than that of sole crop, on the contrary, 40~100 cm NO_3^- -N stored less than that of sole crop system. In the whole profile of 0~100 cm soil, NO_3^- -N accumulation of the intercropping was less than that of sole radish and celery for 1.4% and 9.0%, respectively. This intercropping system has the tendency to reduce vegetable nitrate. It indicated that this intercropping has the yield advantage to some extent because that total nitrogen concentration and yield of intercropped radish evidently were higher than those of sole radish. Also, this intercropping can reduce the apparent N losses. Reasonable vegetable intercropping can increase nitrate holding ability and reduce nitrate leaching. Therefore, it has the positive effect on vegetable yield and quality.

Keywords: vegetables; soil; intercropping; nitrate

收稿日期:2008-12-27

基金项目:“十一五”科技支撑计划项目(2007BAD87B01, 2007BAD87B02);北京市科技新星计划(B类)(2007B045);农业部农业生态环境保护项目:华北地区大中城市郊区蔬菜、水果、花卉生产区域地下水硝酸盐监测与评价;北京市农林科学院青年基金:设施蔬菜土壤累积硝酸盐的植物修复与施肥调控

作者简介:吴 琼(1984—),女,河北承德人,在读硕士,主要从事农业非点源污染方面的研究。E-mail:wuqiong840915@163.com

通讯作者:赵同科 E-mail:tkzhao@126.com

在蔬菜栽培中,农民为追求高产和经济效益,大量盲目施用化肥尤其是氮肥,致使农田土壤剖面硝态氮累积问题日益严重,不仅造成养分比例失调^[1],同时在很大程度上影响了蔬菜品质、地下水质,对人体造成不良影响,特别是蔬菜中硝酸盐含量严重超标^[2]。研究发现,人体摄入的硝酸盐 81.2%来自蔬菜^[3]。摄入硝酸盐含量较高的蔬菜,其硝酸盐在微生物作用下转化为具有致癌作用的亚硝胺,对人类的健康形成威胁^[4-5]。众多研究表明,蔬菜中硝酸盐含量与氮肥的施用量呈显著正相关^[6],各地市场销售蔬菜中硝酸盐含量也与当地氮肥施用水平呈正相关^[7-8]。菜地土壤硝酸盐累积同时易造成地下水污染^[9-10]。据调查,我国北方由于菜田氮肥的大量施用,大部分地下水硝酸盐含量超过 WHO 标准^[11];赵同科等的调查结果也表明^[12],环渤海七省(市)地下水中 NO_3^- -N 含量较高,其中菜地对地下水的影响最大, NO_3^- -N 平均含量达到 $21 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,约 55.1%的地下水超过 WHO 制定的饮用水标准。山东寿光蔬菜种植区地下水硝酸盐含量,全年平均为 $22.6 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,59.5%超过 WHO 标准^[13]。通过各种有效途径减少硝酸盐在菜地土壤中的积累,是当前农业生产中亟待解决的问题。

提高氮肥利用率是降低氮素损失的主要途径^[14]。据 Kristensen 报道,不同作物对氮素的利用率取决于作物根系的发育及分布^[15]。张丽娟等的研究也表明,土壤硝态氮的利用率与根长密度和根干重呈显著的正相关关系^[16]。因此,将深根系蔬菜引入浅根系蔬菜系统进行间作,有利于对土壤养分的利用^[17]。根据生态位理论,间作作物各自占据不同的生态位,将会使竞争作用降低,利于根系生长发育。不同作物根系分布深度和范围不同,作物吸收养分的土壤区域也有所不同,可达到分别利用不同土壤深度硝态氮的目的^[18-20]。这样既可以提高肥料的利用率,同时减少硝酸盐新的累积。间作可以降低土壤中的硝酸盐含量已为一些试验所证实,如蚕豆/燕麦/春小麦^[21]、玉米/黑麦草^[22]、小麦/玉米^[23]、蚕豆/玉米^[24]及玉米/空心菜等^[25]间作体系中都降低了土壤中的硝酸盐含量。以上均为粮食/粮食、粮食/蔬菜间作,关于菜/菜间作则报道甚少。萝卜和芹菜是大众常见种植蔬菜品种,本试验研究深根系蔬菜萝卜和浅根系蔬菜芹菜间作对土壤和蔬菜中硝酸盐含量的影响,为菜地合理施肥及降低面源污染风险提供理论依据。

1 方法

1.1 供试土壤

试验地点位于北京市密云县种植业服务中心农

业技术推广站蔬菜基地,质地为沙壤土。播种前采集基础土样,基本理化性状见表 1。挖 0~100 cm 土壤剖面,用环刀分别取 0~20 cm、20~40 cm、40~60 cm、60~80 cm 和 80~100 cm 的原状土体,测得土壤容重值(用于计算土壤硝酸盐累积量)分别为 1.32、1.62、1.62、1.62 和 $1.60 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 。同时用土钻分 5 层采集单作区和间作区的土壤样品,测其硝态氮含量(NO_3^- -N),浓度见图 1。

表 1 供试土壤基本理化性状

有机质 Organic mater/ $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$	全氮 Total N/%	速效磷 Olsen-P/ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$	速效钾 available K/ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$	pH
11.56	0.065	62.94	106.45	7.4

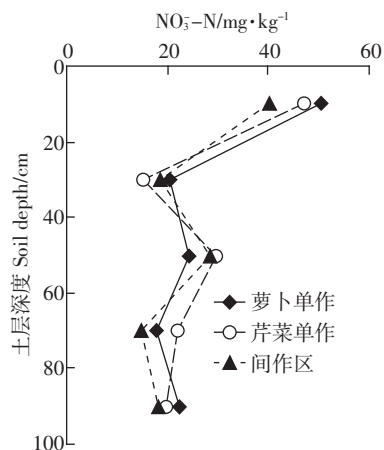


图 1 播种前 0~100 cm 土体内土壤 NO_3^- -N 含量

Figure 1 Soil nitrate concentration in 0~100 cm soil profile before seeding

1.2 供试作物

萝卜(Radish),品种为德国特,生育期 100 d 左右;芹菜(Celery),北京市密云县种植业中心种子站培育紫杆芹菜。

1.3 试验处理

本研究采用温室小区域试验方法,温室实际可用面积为 $5.8 \text{ m} \times 59 \text{ m}$ 。萝卜单作区长 5 m,宽 4.5 m,行距 35 cm,株距 30 cm,每行 18 株;芹菜单作区长 5 m,宽 4.5 m,行距 20 cm,株距 15 cm,每行 35 株;萝卜、芹菜间作区长 5 m、宽 9 m,萝卜及芹菜的行株距同前。间作模式示意如图 2,每种模式重复 3 次。

所有种植模式肥料用量相同,氮、磷、钾肥用量分别为 $450 \text{ kg N} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、 $225 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \cdot \text{hm}^{-2}$ 和 $450 \text{ kg K}_2\text{O} \cdot \text{hm}^{-2}$,氮、磷、钾肥种类分别为尿素、二铵和硫酸钾。2007 年 11 月 26 日将磷肥和钾肥作为基肥一次施入

土壤并翻耕,施肥后每个小区灌水 50 mm,2007 年 11 月 30 日播种萝卜,2007 年 12 月 24 日移栽芹菜,尿素在 2008 年 2 月 19 日作为追肥 1 次施入土壤,2008 年 4 月 1 日收获萝卜和芹菜。在蔬菜生育期内,共灌水 2 次,2007 年 12 月 25 日灌水 1 次,每小区灌水量均为 40 mm;2008 年 2 月 20 日灌水 1 次,每小区灌水量均为 50 mm。

1.4 样品采集及分析方法

整个生育期内取土样 2 次(2008 年 2 月 19 日和 2008 年 4 月 1 日),用土钻分 0~20、20~40、40~60、60~80 和 80~100 cm 土层采集单作和间作区土壤样品,每小区按 S 形取样法随机选取 5 点,混匀后测定硝态氮和铵态氮含量。用 $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{NaCl}$ 浸提,过滤,用紫外分光光度法测定硝态氮含量;铵态氮测定方法为 $0.01 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{CaCl}_2$ 浸提,后用分光光度计测定。如追肥与取土在同一天进行,土样均在追肥前采集。4 月 1 日对单作和间作区分别收获,按照种植面积计产。分别取单作和间作小区有代表性的萝卜和芹菜鲜样,每小区各取 6 株,将可食用部分切碎混匀后一部分用于测定硝酸盐含量,另一部分用去离子水洗净、烘干、磨细供测定全氮含量。

样品分析方法:有机质采用重铬酸钾氧化还原滴定法,全氮采用凯氏法,速效磷采用 Olsen 法,速效钾采用中性醋酸铵浸提,火焰光度计测定法,pH 值采用

酸度计法,容重采用环刀法。

2 结果

2.1 间作对萝卜硝酸盐含量、全氮含量、生物量和吸氮量的影响

从图 3 可以看出,收获时间作条件下萝卜体内硝酸盐含量显著低于单作含量,硝酸盐含量下降 2.9%。而间作条件下萝卜全氮含量显著高于单作模式,比单作高 9.1%(图 4)。这与萝卜硝酸盐含量变化趋势不同。可见与芹菜间作后,萝卜体内硝酸盐有降低趋势,但全氮的含量却有增加趋势,这对有效利用资源,提高蔬菜品质有重要意义。

从表 2 看出,间作条件下,萝卜的生物量和吸氮量要显著高于单作萝卜区,说明在此间作模式中,萝卜优势明显。间作萝卜吸氮量比单作萝卜吸氮量高出 24.0%。在相同施肥水平下,作物吸氮总量增加,必能减少氮素在土壤中的残留,从而降低硝酸盐累积及淋洗风险,因此这一间作模式施肥的环境风险降低。

表 2 不同种植方式下萝卜生物量和吸氮量

Table 2 The biomass and N uptake of radish among difference cropping

处理	经济产量/ $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$	生物学产量/ $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$	吸氮量/ $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$
萝卜单作	36 660.23 b	123 789.48 a	215.80 b
萝卜间作	40 103.38 a	149 443.73 a	267.65 a



图 2 试验处理方案示意图

Figure 2 Field distribution map for celery and radish mono and intercrop

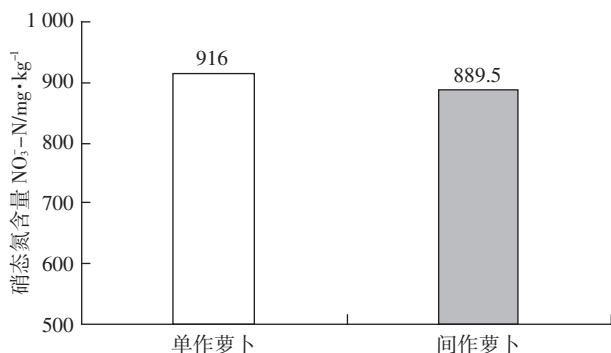


图 3 间作对萝卜硝酸盐含量影响

Figure 3 The difference in nitrate between the intercropped and monocultured radish

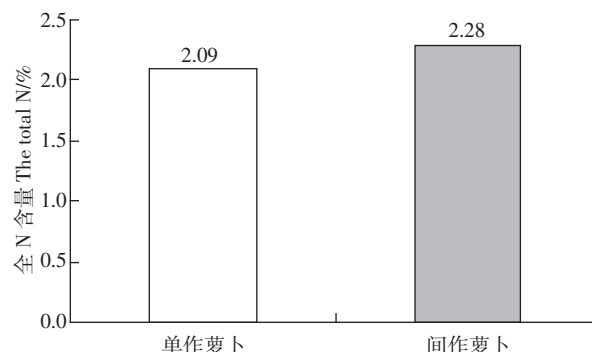


图 4 间作对萝卜全 N 含量的影响

Figure 4 Effects of the intercropped on the total nitrogen concentration of radish

2.2 间作对芹菜硝酸盐含量、全氮含量、生物量和吸氮量的影响

从图 5 可以看出,间作条件下收获时芹菜体内硝酸盐含量低于单作含量,虽没有达到显著水平,但也有下降的趋势。相对于单作来说,与萝卜间作的芹菜全氮含量降低(图 6)。这说明在这一间作模式中,萝卜处于优势地位,而芹菜处于劣势地位,可能原因是芹菜的竞争能力不够强。

2.3 间作对土壤硝酸盐运移的影响

由图 7 可以看出,在芹菜生长前期(2 月 19 日),芹菜间作区 0~20 cm 土层 NO_3^- -N 含量显著高于单作区,前者比后者高 129.3%。20~40、40~60 和 60~80 cm 土层差异不明显,但芹菜间作区 80~100 cm 土层 NO_3^- -N 含量显著低于单作区,前者比后者下降 32%。萝卜间作区 0~20 cm 土层 NO_3^- -N 含量也显著高于单作区,前者比后者高 66.6%。20 cm 以下土层则差异不明显,说明萝卜与芹菜间作增加了土壤氮素的表层保持能力,降低了表层氮素的淋洗损失。

从图 8 看出,到收获期(4 月 1 日),芹菜间作区的表层土壤的 NO_3^- -N 含量仍然高于单作区,但在 20 cm 以下的土层中,间作区土壤的 NO_3^- -N 含量要低于单作区,虽没有达到显著水平,但是单作区硝酸盐向下淋洗趋势明显。萝卜间作区 0~20 和 20~40 cm 土壤的 NO_3^- -N 含量与单作区差异不明显,而以下土层明显低于单作区,60~80、80~100 cm 两个土层的 NO_3^- -N 含量分别降低 27%、38%,差异达到显著水平。本试验地土壤为沙质壤土,在 40 d 内,同一施肥条件下,萝卜单作区 80~100 cm 土层硝酸盐含量增加 51.6%,而萝卜间作区 80~100 cm 土层硝酸盐含量却有所降低。以上结果说明萝卜与芹菜间作,能够减少土壤中 NO_3^- -N 的向下移动。由此可见,萝卜/芹菜间作体系能够降低土壤剖面 NO_3^- -N 的向下淋洗,对减少土壤中 NO_3^- -N 的深层累积起到一定的积极作用。

2.4 间作对土壤剖面硝酸盐累积的影响

2 月 19 日间作区 0~100 cm 土壤剖面硝态氮累积量比萝卜单作区降低了 3.8%,4 月 1 日间作区 0~100

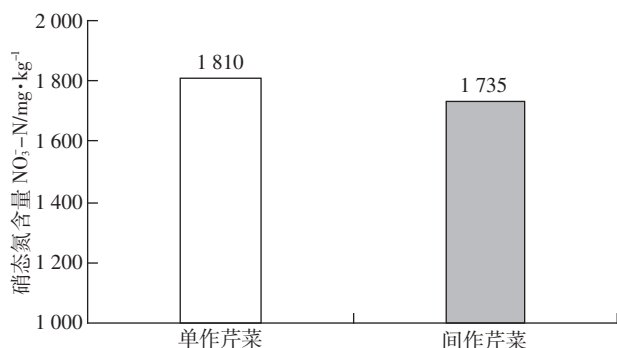


图 5 间作对芹菜硝酸盐含量影响

Figure 5 The difference in nitrate between the intercropped and monocultured celery

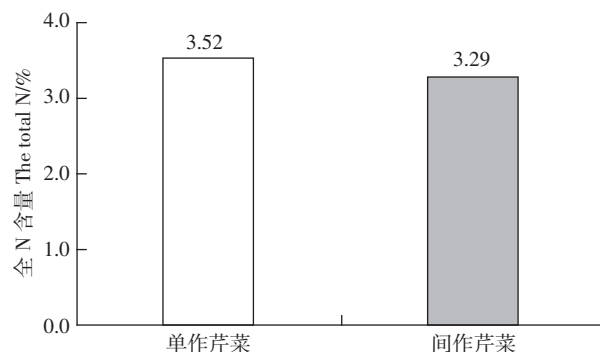


图 6 间作对芹菜全 N 含量的影响

Figure 6 Effects of the intercropped on the total nitrogen concentration of celery

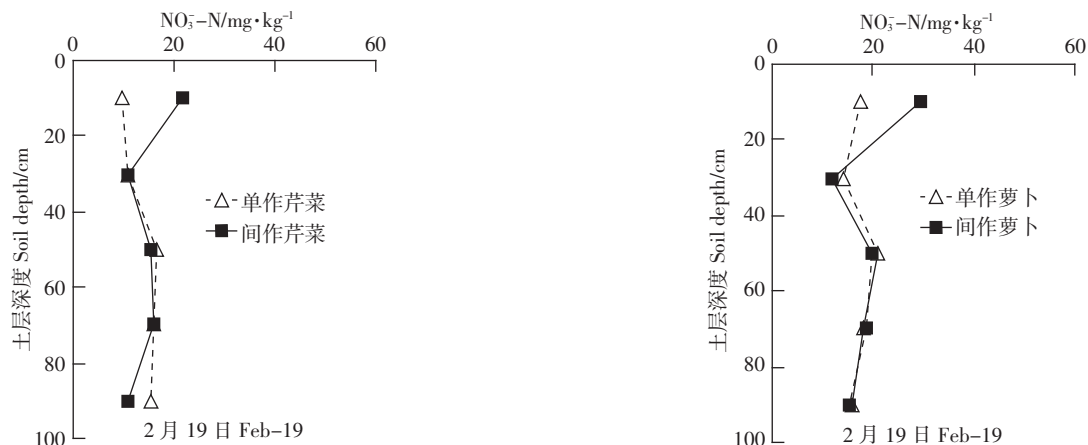


图 7 生长期间间作对土壤 NO_3^- -N 含量的影响

Figure 7 Effect of radish/celery intercropping on nitrate concentration in the soil profile at growing period

cm 土壤剖面硝态氮累积量比萝卜和芹菜单作区分别减少 1.4%、9.0%(表 3),可见间作能够减少土壤中硝酸盐的累积。由表 2 所述,在相同的施肥水平下,间作中萝卜吸氮量要明显高于单作区,这表明间作促进了作物对氮素的吸收,从而减少了土壤中硝酸盐的累积。

从土壤剖面氮素分布规律来看,2 月 19 日和 4 月 1 日都体现了间作区 0~40 cm 土层 NO_3^- -N 累积高于单作区,而 40~100 cm 土层则低于单作区,4 月 1 日间作区 40~100 cm 土层硝酸盐累积量分别比萝卜、芹菜单作区降低 23.6%和 10.6%。这说明蔬菜间作条件下,氮素淋洗减少,这可能是因为间作条件增加了根系形态的互补,从而有效阻截了氮素向下的迁移。

2.5 间作对氮表观损失的影响

根据氮平衡模型(氮素输入输出平衡的原理)计算氮的表观损失:

氮表观损失=氮输入量-作物吸收量-土壤残留无机氮量

氮输入量包括施入氮肥、土壤无机氮和氮矿化 3 项;氮输出量包括作物吸收、残留无机氮和氮表观损失 3 项。而氮素矿化是根据无氮区作物吸氮量与试验前

后土壤无机氮的净变化来估计的^[26]。

如表 4,通过氮平衡模型计算发现,萝卜间作区的氮素表观损失比萝卜单作区减少,前者比后者降低 $50.3 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$;芹菜间作区的氮素表观损失比芹菜单作区减少 $31.4 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。表明此间作不仅能够减少蔬菜硝酸盐含量及土壤中氮素累积量,同时还能降低氮素的表观损失,对提高氮素利用率有重要意义。

3 讨论

Whitmore^[27]通过模型研究证明,在不降低产量的

表 3 不同种植方式下 0~100 cm 土层中硝态氮累积

Table 3 The difference in nitrate nitrogen content in 0~100 cm soil profile among three types of cropping

种植方式	NO_3^- -N/ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$					
	2 月 19 日			4 月 1 日		
	0~40 cm	40~100 cm	0~100 cm	0~40 cm	40~100 cm	0~100 cm
芹菜单作	59.6	156.6	216.2	218.0	172.1	390.1
萝卜单作	93.1	176.2	269.3	158.9	201.2	360.1
芹菜/萝卜 间作	104.8	154.4	259.2	201.1	153.8	354.9

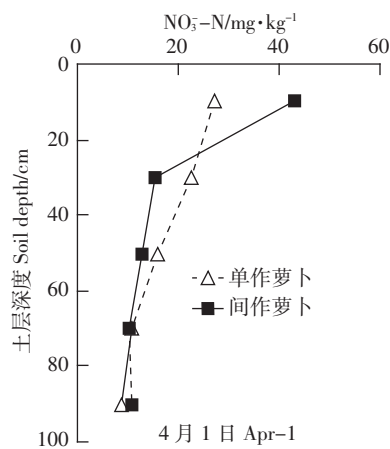
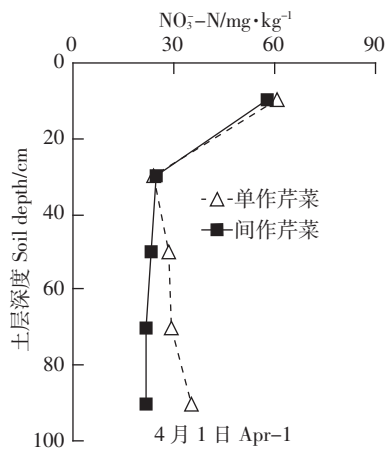


图 8 收获期间作对土壤 NO_3^- -N 含量的影响

Figure 8 Effect of radish/celery intercropping on nitrate concentration in the soil profile at harvested period

表 4 不同种植方式下的氮素输入和输出量

Table 4 Nitrogen input and output among difference cropping($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)

种植方式	氮输入 N input				氮输出 N output			
	施用量 Application	起始硝态氮 Initial NO_3^- -N	起始铵态氮 Initial NH_4^+ -N	净矿化 Net mineralization	吸收量 Uptake	残留硝态氮 residual NO_3^- -N	残留铵态氮 residual NH_4^+ -N	表观损失 Surplus
萝卜单作	450.0	408.6	29.3	A	215.8	360.1	13.0	299.0+A
萝卜间作	450.0	365.6	17.0	A	267.7	299.7	16.5	248.7+A
芹菜单作	450.0	404.3	16.2	A	111.3	390.1	16.6	352.5+A
芹菜间作	450.0	365.6	17.0	A	81.3	410.2	20.0	321.1+A

注:本试验中各个小区的氮矿化相同,记为 A(因本试验所用温室面积有限,并未设不施肥处理)。

条件下,间作能够减少土壤硝酸盐的向下淋洗。除此之外,间作还具有其他优势,如:保护土壤,减少虫害,调节地力,合理利用农业资源等。但在间作种植的过程中,有许多限制因素,如间作的行株距,时间间隔,肥料种类和用量等。蔬菜大多属于喜肥喜水作物,生产特点比较相近,在共生阶段应从田间管理等方面尽量做到两者兼顾,避免间作产生的上述矛盾。同时,为了找到既能提高蔬菜产量,又能减少环境污染、提高蔬菜品质的双赢种植模式,应该选择更多的作物种类,进行更多种作物组合的研究。

在本试验中,研究结果初步表明间作有降低蔬菜中的硝酸盐的趋势,原因可能是该间作体系中,萝卜生物量大,吸收氮素多,因此间作能降低芹菜硝酸盐含量;而萝卜间作后生物量增加,可能对硝酸盐起到稀释作用。同时,通过间作体系的优势性分析,可得土地当量比 $LER > 1$,说明萝卜与芹菜间作能够更有效地利用土壤养分资源,具有一定的种植优势,其中芹菜的生物量及吸氮量有所降低,说明在这一间作体系中,芹菜处于劣势地位,原因还有待进一步研究。值得注意的是,该间作体系与单作相比,能够将更多的氮素保留在表层,降低了氮素的淋洗风险,具体机理有待研究。

4 结论

(1)间作区萝卜的硝酸盐含量比单作区降低3%,达到5%显著水平。与此变化趋势相反,间作区萝卜比单作萝卜的全氮含量增加9%。同时,间作区萝卜的生物量与吸氮量要明显高于单作区,吸氮量前者比后者高24%。

(2)与单作相比,间作有使芹菜体内硝酸盐降低的趋势。间作区芹菜的全氮含量、生物量和吸氮量相对于单作区有所降低,说明在这一间作体系中,芹菜处于劣势地位,而萝卜处于优势地位。

(3)萝卜与芹菜间作有降低土壤中硝态氮向下淋洗并累积的趋势。0~20 cm 土层间作区的 NO_3^- -N 含量高于单作区,但在收获期,60~80、80~100 cm 两个土层,间作萝卜区比单作区的 NO_3^- -N 含量分别降低了27%、38%,差异达到显著水平。

(4)在相同施肥条件下,间作能够减少土壤中硝酸盐累积,间作区0~100 cm 土层硝酸盐累积分别比萝卜、芹菜单作区降低1.4%和9.0%;蔬菜间作使硝酸盐更多的集中在表层,降低氮素淋洗,间作区40~100 cm 土层硝酸盐累积量分别比萝卜、芹菜单作区

降低23.6%和10.6%。

(5)此间作能够减少氮素的表观损失,萝卜间作区和芹菜间作区的氮素表观损失分别比萝卜单作区、芹菜单作区减少了50.3、31.4 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。

参考文献:

- [1] 沈明珠,翟宝杰,东惠茹. 蔬菜硝酸盐累积的研究[J]. 园艺学报, 1982, 9(4):41-48.
SHEN Ming-zhu, ZHAI Bao-jie, DONG Hui-ru. Advance in the study of nitrate accumulation in vegetables[J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 1982, 9(4):41-48.
- [2] 熊国华,林咸永,章永松,等. 施肥对蔬菜累积硝酸盐影响的研究进展[J]. 土壤通报, 2004, 2(35):218-221.
XIONG Guo-hua, LIN Xian-yong, ZHANG Yong-song, et al. Effects of fertilization on nitrate accumulation in vegetable crops[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2004, 2(35):218-221.
- [3] 刘景春,陈彦卿,晋 宏. 国内蔬菜生产中的硝酸盐污染 [J]. 福建农业学报, 2003, 18(1):59-63.
LIU Jing-chun, CHEN Yan-qing, JIN Hong. A review of nitrate pollution in domestic vegetable production[J]. *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 2003, 18(1):59-63.
- [4] 何 盈,蔡顺香,何春梅,等. 蔬菜硝酸盐累积的主要影响因子及其防治对策研究现状[J]. 福建农业学报, 2007, 22(1):100-105.
HE Ying, CAI Shun-xiang, HE Chun-mei, et al. Current status on the study of the nitrate accumulation in vegetables and its control[J]. *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 2007, 22(1):100-105.
- [5] 都韶婷,章永松,林咸永,等. 蔬菜积累的硝酸盐及其对人体健康的影响[J]. 中国农业科学, 2007, 40(9):2007-2014.
DU Shao-ting, ZHANG Yong-song, LIN Xian-yong, et al. Accumulation of nitrate in vegetables and its possible implications to human health[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2007, 40(9):2007-2014.
- [6] 陈俭霖. 蔬菜硝酸盐累积机制及其调控措施研究进展[J]. 污染防治技术, 2005, 3(18):29-31.
CHEN Jian lin. Advance in Mechanism of nitrate accumulation and measures for reducing content in vegetables[J]. *Pollution Control Technology*, 2005, 3(18):29-31.
- [7] 姚春霞,陈振楼,陆利民,等. 上海市郊菜地土壤和蔬菜硝酸盐含量状况[J]. 水土保持学报, 2005, 1(19):85-88.
YAO Chun-xia, CHEN Zhen-lou, LV Li-min, et al. Nitric nitrogen content of soil and vegetable in Shanghai Suburb [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2005, 1(19):85-88.
- [8] George M, Wiklund L, Aastrup M, et al. Incidence and geographical distribution of sudden infant death syndrome in relation to content of nitrate in drinking water and groundwater levels[J]. *European Journal of Clinical Investigation*, 2001, 31:1083-1094.
- [9] 刘宏斌,雷宝坤,张云贵,等. 北京市顺义区地下水硝态氮污染的现状与评价[J]. 植物营养与肥料学报, 2001, 7(4):385-390.
LIU Hong-bin, LEI Bao-kun, ZHANG Yun-gui, et al. Investigation and evaluation on nitrate pollution in groundwater of Shunyi District [J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2001, 7(4):385-390.

- [10] 王朝辉, 宗志强, 李生秀, 等. 蔬菜的硝态氮累积及菜地土壤的硝态氮残留[J]. 环境科学, 2002, 23(3): 79-83.
WANG Zhao-hui, ZONG Zhi-qiang, LI Sheng-xiu, et al. Nitrate accumulation vegetable and its residual in vegetable field[J]. *Environmental Science*, 2002, 23(3): 79-83.
- [11] 张维理, 田哲旭, 张 宁. 我国北方农用氮肥造成地下水硝酸盐污染的调查[J]. 植物营养与肥料学报, 1995, 1(2): 80-87.
ZHANG Wei-li, TIAN Zhe-xu, ZHANG Ning. Investigation of nitrate pollution in ground water due to nitrogen fertilization in agriculture in north China [J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 1995, 1(2): 80-87.
- [12] 赵同科, 张成军, 杜连凤, 等. 环渤海七省(市)地下水硝酸盐含量调查[J]. 农业环境科学学报, 2007, 26(2): 779-783.
ZHAO Tong-ke, ZHANG Cheng-jun, DU Lian-feng, et al. Investigation on nitrate concentration in groundwater in seven provinces (city) surrounding the Bo-Hai Sea[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2007, 26(2): 779-783.
- [13] 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.
DONG Zhang-hang, LI Ji, SUN Li-mei. Nitrate contamination in the groundwater of intensive vegetable cultivation areas in Shouguang City, Shandong Province, China[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2005, 24(6): 1139-1144.
- [14] Stites W, Kraft G J. Groundwater quality beneath irrigated vegetable fields in a north-central US sand plain[J]. *Journal of Environmental Quality*, 2000, 29(5): 1509-1517.
- [15] Thorup-Kristensen K. Effect of deep and shallow root systems on the dynamics of soil inorganic N during 3-year crop rotations[J]. *Plant and Soil*, 2006, 288: 233-248.
- [16] 张丽娟, 巨晓棠, 高 强, 等. 两种作物对土壤不同层次标记硝态氮利用的差异[J]. 中国农业科学, 2005, 38(2): 333-340.
ZHANG Li-juan, JU Xiao-tang, GAO Qiang, et al. Recovery of labeled nitrate-N in different soil layers by two kind of crops[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2005, 38(2): 333-340.
- [17] Rodrigues M A, Coutinho 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.
- [18] 王晓丽, 李 隆, 江荣凤, 等. 玉米空心菜间作降低土壤及蔬菜中硝酸盐含量的研究[J]. 环境科学学报, 2003, 23(4): 463-467.
WANG Xiao-li, LI Long, JIANG Rong-feng, et al. Effects of maize/swamp cabbage intercropping on reduction of the nitrate content in soil profile and vegetables[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2003, 23(4): 463-467.
- [19] 张丽娟, 巨晓棠, 高 强, 等. 玉米对土壤深层标记硝态氮的利用[J]. 植物营养与肥料学报, 2004, 10(5): 455-461.
ZHANG Li-juan, JU Xiao-tang, GAO Qiang, et al. Recovery of ^{15}N -labeled nitrate injected into deep subsoil by maize in a calcareous cambisol in north China plain [J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2004, 10(5): 455-461.
- [20] 任智慧, 陈 清, 李花粉, 等. 填闲作物防治菜田土壤硝酸盐污染的研究进展[J]. 环境污染治理技术与设备, 2003, 4(7): 13-17.
REN Zhi-hui, CHEN Qing, LI Hua-fen, et al. The progress of controlling nitrate pollution in vegetable fields using nitrogen-catch crops[J]. *Techniques and Equipment for Environmental Pollution Control*, 2003, 4(7): 13-17.
- [21] Stuelpnagel R. Intercropping of faba beans (*Vicia faba* L.) with oats or spring wheat[C]//Proceedings of international crop Science Congress. 14-44. July, 1992. Ames. Iowa. Iowa State University, 1993.
- [22] Jose' Miguel de Paz, Carlos Ramos. Linkage of a geographical information system with the gleams model to assess nitrate leaching in agricultural areas[J]. *Environ Pollut*, 2002, 118(2): 249-258.
- [23] 李来祥, 刘广才, 李 隆. 小麦/玉米间作优势及地上部与地下部因素的相对贡献研究[J]. 干旱地区农业研究, 2008, 26(1): 74-80.
LI Lai-xiang, LIU Guang-cai, LI Long. Intercropping advantage and contribution of above-ground and under-ground interactions in wheat-maize intercropping[J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2008, 26(1): 74-80.
- [24] 叶优良, 李 隆, 索东让. 小麦/玉米和蚕豆/玉米间作对土壤硝态氮累积和氮素利用效率的影响[J]. 生态环境, 2008, 17(1): 377-383.
YE You-liang, LI Long, SUO Dong-rang. Effect of wheat/maize and faba bean/maize intercropping on soil nitrate nitrogen concentration and accumulation[J]. *Ecology and Environment*, 2008, 17(1): 377-383.
- [25] 李文学. 间作系统中养分吸收利用特点及其环境效应[D]. 北京: 中国农业大学, 2001.
LI Wen xue. The absorption characteristics of nutrient and environmental effects in the intercropping system[D]. Beijing: China Agricultural University, 2001.
- [26] 崔振岭, 石立委, 徐久飞, 等. 氮肥施用对冬小麦产量、品质和氮素表现损失的影响研究[J]. 应用生态学报, 2005, 16(11): 2071-2075.
CUI Zhen-ling, SHI Li-wei, XU Jiu-fei, et al. Effects of N fertilization on winter wheat grain yield and its crude protein content and apparent N losses[J]. *Chin J Appl Ecol*, 2005, 16(11): 2071-2075.
- [27] Whitmore A P, Schroder J J. Intercropping reduces nitrate leaching from under field crops without loss of yield: a modeling study [J]. *European Journal of Agronomy*, 2007, 27: 81-88.