

不同水氮管理对蔬菜地硝态氮淋洗的影响

于红梅, 李子忠, 龚元石

(中国农业大学资源与环境学院, 北京 100094)

摘要: 通过3年(1999~2001)的田间定位试验研究了中国北方露地蔬菜种植中不同水氮管理方式对蔬菜地 NO_3^- -N淋洗的影响。结果表明,在蔬菜生长期,通过减少灌溉水量不但能够降低蔬菜地水分渗漏量,而且明显降低蔬菜地 NO_3^- -N淋洗量。减少施氮量同样明显降低蔬菜地 NO_3^- -N淋洗量。说明在蔬菜生产中将施氮量降低到传统施氮量的20%~40%,土壤含水量保持在蔬菜生长的有效土壤含水量的50%~80%,能够明显降低 NO_3^- -N的淋洗风险,且蔬菜产量未受到影响。

关键词: 蔬菜地; 水分渗漏; NO_3^- -N淋洗; 蔬菜产量

Leached Nitrate in Vegetable Field Under Different Water and Nitrogen Fertilizer Management Practices

YU Hong-mei, LI Zi-zhong, GONG Yuan-shi

(College of Resource and Environment, China Agricultural University, Beijing 100094)

Abstract: During 3 consecutive years (1999–2001), a field experiment was conducted in an intensively irrigated vegetable soil in Northern China. The main objective was to study leached nitrate (NO_3^- -N) characteristics in vegetable field under traditional and improved water and nitrogen fertilizer management practices during vegetable growing seasons. The soil water content, soil water potential and extract of the soil solution were determined by a combination of TDR (time domain reflectometry) probe, tensiometers and ceramic suction cups. The results showed that the amount of nitrate leached decreased because water drainage was reduced when applied water was reduced. Cumulative leached NO_3^- -N amount under traditional water treatment was 4.4 times and 4.5 times of that of improved in traditional and improved nitrogen fertilizer application management. When nitrogen fertilizer applied was reduced the amounts of leached nitrate also decreased obviously. Cumulative leached nitrate amount under improved nitrogen fertilizer management was 20% and 19% of that of traditional management in traditional and improved water treatments, respectively. The amounts of nitrogen fertilizer applied were the main factor affecting nitrate concentration in soil solution at the depth of 90 cm in soil profile. Nitrate concentration in soil solution at the depth of 90 cm under traditional nitrogen fertilizer management was higher than that of improved nitrogen fertilizer management. In the whole experiment the amount of nitrate leached was $549 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, which was 27% of the nitrogen applied under traditional water and nitrogen fertilizer management practices and nitrate leaching amount was $24 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, which was 5% of the nitrogen applied under improved water and nitrogen fertilizer management practices. Improved water and N-fertilizer management practices greatly decreased nitrate leaching without reducing vegetable yield.

Key words: Vegetable field; Water drainage; Nitrate leaching; Vegetable yield

在中国蔬菜种植中农民习惯采用大水大肥的管理方式。据调查北京等地露地蔬菜氮肥投入量超过蔬菜需求量的一倍以上^[1],加之不合理的灌溉,对地下水的质​​量明显构成威胁^[2,3]。因此,如何改变传统的水氮

管理方式,降低环境污染,同时保证蔬菜的产量,是本研究的主要目的。

在蔬菜生产中,不同水氮用量对蔬菜产量^[4]和土壤剖面中 NO_3^- -N残留及向下运移的关系^[5]一直为众

收稿日期: 2005-01-13

基金项目: 国家重点基础研究发展项目(G1999011709)、教育部跨世纪人才计划项目和教育部科学技术研究重点项目(03169)资助

作者简介: 于红梅(1970-),女,吉林磐石人,博士,主要从事农业水资源管理研究。Tel: 13651302788; E-mail: hongmeiyujilin@163.com。龚元石为通讯作者, Tel: 010-62733050; E-mail: gongys@cau.edu.cn

多研究者所关注。但在 NO_3^- -N 淋洗量的研究中, 由于对水分渗漏量的估算有一定的技术难度^[6-8], 导致这一方面的研究相对较少。本研究通过连续 3 年的定点试验, 利用田间定位通量法分析不同水氮管理对蔬菜地 NO_3^- -N 淋洗的影响, 旨在为蔬菜生产中进行合理的灌溉与施肥提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 试验地基本条件

试验在北京市海淀区东北旺乡中国农业大学试验

基地进行。试验基地地处华北平原北部山前冲积平原区, 位于东经 116.3° , 北纬 39.95° , 属于暖温带半湿润大陆季风性气候, 年平均气温 11.5°C , 年均降雨量 630 mm , 主要集中于夏季 (6~8 月)。土壤类型为草甸褐土, 地下水埋深 14 m , 灌溉水硝态氮含量 $3.9\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 铵态氮含量 $0.6\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。试验地表层土壤 (0~30 cm) 的有机质含量为 $15\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 全氮 $1.2\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 速效磷 (Olsen-P) $21.9\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 速效钾 ($1\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}\text{ NH}_4\text{OAc}$ 浸提) $109.6\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 土壤 pH (H_2O) 为 7.9。土壤剖面各层次的基本物理性如表 1 所示。

表 1 试验地土壤的基本物理性状

Table 1 Main physical properties of the soil in the experimental field at beginning of the experiment

土层深度 Soil depth (cm)	砂粒 Sand (%)	粉粒 Silt (%)	粘粒 Clay (%)	容重 Bulk density ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	田间持水量 Field water-holding capacity ($\text{cm}^3\cdot\text{cm}^{-3}$)	凋萎含水量 Wilting water capacity ($\text{cm}^3\cdot\text{cm}^{-3}$)
0~30	32.7	50.2	17.1	1.33	0.337	0.138
30~60	16.4	56.8	26.8	1.52	0.346	0.145
60~90	30.7	47.6	21.7	1.43	0.345	0.136
90~120	35.0	46.4	18.6	1.62	0.334	0.140

1.2 试验设计

本试验采用以水分为主处理, 施氮量为副处理的裂区试验设计。水分处理设 W1: 传统的水分处理(采用当地农民习惯的灌溉方式, 一次灌水量为 $25\sim 45\text{ mm}$, 在施用氮肥后如果下雨, 灌水量为 $5\sim 20\text{ mm}$); W2: 优化的水分处理, 即保持土壤含水量在植物生长有效土壤含水量的 $50\%\sim 80\%$ (植物生长有效含水量=田间持水量-凋萎含水量), 当土壤含水量低于作物生长有效土壤含水量的 50% 时便开始灌水至有效土壤含水量的 80% 。此处理的灌溉时间和灌溉量是通过安装在土壤中的 TDR (time domain reflectometry) 测定土壤含水量确定。每季蔬菜的灌溉量如表 4 所示。

氮素处理设有 N1: 传统施肥量, 花椰菜施纯氮

450 kg ha^{-1} , 苋菜为 100 kg ha^{-1} , 菠菜为 309 kg ha^{-1} ; N2: 优化施氮量, 通过专家系统 (N-Expert) 确定^[9], 每季蔬菜的施氮量如表 2 所示。各试验处理中有机肥和磷、钾肥的施用量均相同(施用量见表 3)。试验小区面积 $12\text{ m}\times 12\text{ m}$, 每个处理重复 3 次, 小区分布与仪器安装如图 1 所示。试验中采用 MP-917 时域反射仪 (TDR) 对蔬菜地 $0\sim 120\text{ cm}$ 处土壤含水量进行监测, 通过张力计测定土体 75 cm 和 105 cm 的土壤基质势, TDR 和张力计每 2 d 测定 1 次。在土体 90 cm 处理设溶液提取器, 每 1 周或 2 周取样 1 次, 利用连续流动分析仪 (TAACS2000) 测定土壤溶液中的 NO_3^- -N 浓度。小区采用微喷系统进行灌溉。

表 2 不同年份不同处理的施氮量

Table 2 Nitrogen fertilizer applied in different treatments and different years ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)

蔬菜种类 Vegetable species	生长时间 Growth time	W1		W2	
		N1	N2	N1	N2
菠菜 Spinach	1999-8-31~1999-10-21	309	82	309	82
花椰菜 Cauliflower	2000-4-3~2000-6-6	450	166	450	84
苋菜 Amaranth	2000-7-1~2000-7-28	100	26	100	26
菠菜 Spinach	2000-9-4~2000-10-24	309	81	309	84
花椰菜 Cauliflower	2001-4-13~2001-6-6	450	110	450	62
苋菜 Amaranth	2001-6-24~2001-7-22	100	—	100	—
菠菜 Spinach	2001-9-6~2001-10-29	309	126	309	99
总计 Total		2027	591	2027	437

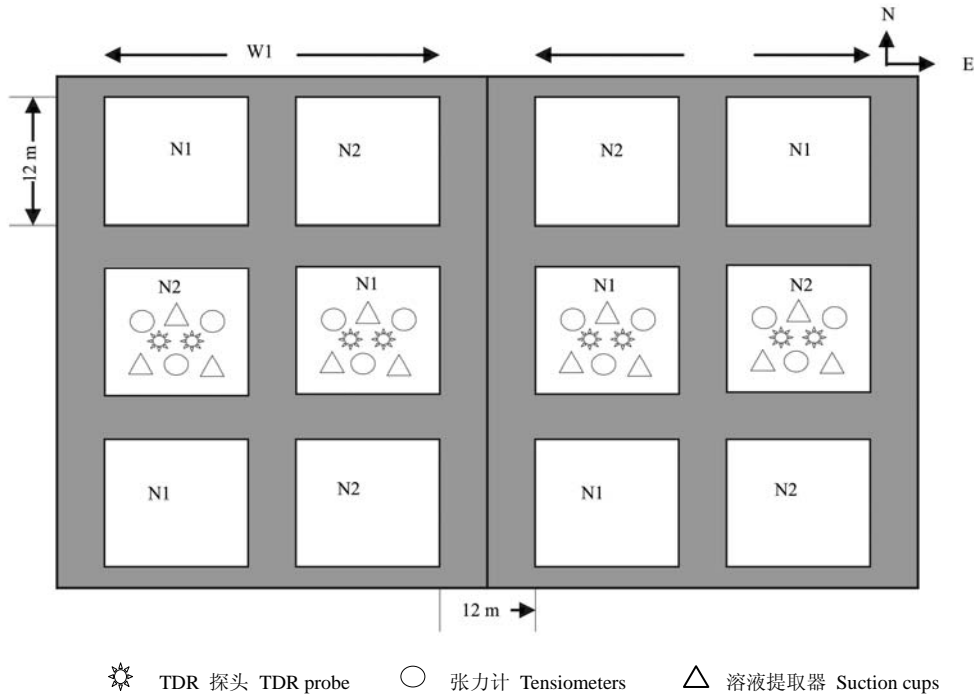


图 1 小区分布与仪器安装示意图

Fig. 1 A map of the experimental plots and the installation of TDR, tensiometers and suction cups

试验从 1999 年 9 月至 2001 年 9 月，历时 3 年。1999 年是在前茬茼蒿收获后，8 月 31 日开始种植菠菜，2000 年和 2001 年根据相应的季节变化依次种植花椰菜，茼蒿，菠菜。花椰菜在 4 月初移栽，株距为 50.0 cm，

行距 42.5 cm。茼蒿为条播，行距为 24 cm，菠菜也采用条播的方式，行距为 24 cm。每种蔬菜收获时测定其产量并进行统计分析 (SAS)。

表 3 不同年份有机肥和磷、钾肥施用量

Table 3 Organic manure, phosphorus and potassium applied in different years (kg·ha⁻¹)

年份 Years	花椰菜 Cauliflower			菠菜 Spinach		
	有机肥 Organic manure	P ₂ O ₅	K ₂ O	有机肥 Organic manure	P ₂ O ₅	K ₂ O
1999				3 000	0	0
2000	5 000	0	214 KCl	0	52 Ca(H ₂ PO ₄) ₂	149 KCl
2001	8 000	180 Ca(H ₂ PO ₄) ₂	263 K ₂ SO ₄	0	52 Ca(H ₂ PO ₄) ₂	224 K ₂ SO ₄

有机肥含全氮、全磷和全钾分别为 17 kg·ha⁻¹ (N), 41 kg·ha⁻¹ (P₂O₅), 22.9 kg·ha⁻¹ (K₂O)

The contents of total N, total P and total K in organic manure were 17 kg·ha⁻¹ (N), 41 kg·ha⁻¹ (P₂O₅), 22.9 kg·ha⁻¹ (K₂O), respectively

1.3 硝酸盐淋洗量的计算

根据 Darcy 定律^[10-12]计算土体 90 cm 处的水分渗漏量 D，中间时段的数值通过插值的方法求得。

$$D = q\Delta t = -K(\theta) \frac{\Delta H}{\Delta z} \Delta t \quad (1)$$

式中， q 为土壤 90 cm 处的水分通量(mm·d⁻¹)； Δt 为时间的变化(d)； $K(\theta)$ 为非饱和导水率(mm·d⁻¹)； $\frac{\Delta H}{\Delta z}$ 为土体 90 cm 处土壤水势梯度。

$K(\theta)$ 利用 Van Genuchten^[13]提出的公式计算。

$$K(\theta) = K_s \cdot Se^l \left[1 - (1 - Se^{1/m})^m \right]^2 \quad (2)$$

式中， K_s 为饱和导水率(cm·d⁻¹)， m 为水力学参数，是通过土体 60~120 cm 的水分特征曲线求得 (图 2)。

$$Se = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} \quad (3)$$

式中， θ 为土壤某一段时间 90 cm 处的土壤含水量 (cm³·cm⁻³)； θ_r 为残留土壤含水量； θ_s 为饱和土壤含水量。

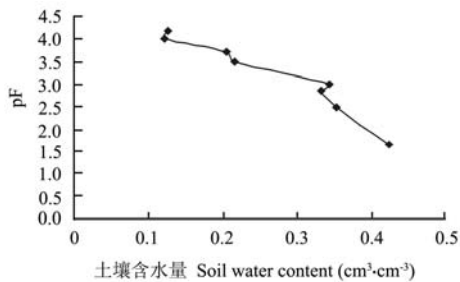


图 2 土层深度 60~120 cm 处水分特征曲线

Fig.2 Soil moisture characteristic curves at depth of 60-120 cm in soil profile

在土壤 90 cm 处的 NO_3^- -N 淋洗量 L_N 可通过以下公式计算。

$$L_N = D \cdot C_{90} \quad (4)$$

式中, D 为通过公式(1)计算出土体 90 cm 处的水分渗

漏量; C_{90} 为同一深度溶液提取器提取的土壤溶液中的 NO_3^- -N 含量 ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)。

选择土体 90 cm 处作为计算蔬菜地水分渗漏量和 NO_3^- -N 淋洗量是依据蔬菜生长期根系主要分布在土体 90 cm 以上确定的。

2 结果与分析

2.1 水分渗漏量

3 种蔬菜生长期内的降雨量、灌溉量及水分渗漏量如表 4 所示。相同施氮处理中, 传统水分处理下蔬菜地水分渗漏量均明显高于优化水分处理的渗漏量。这是由于传统水分处理下, 灌溉量很高, 土体中的渗漏量也相应较高; 优化水分处理, 灌溉量合理, 根层土壤含水量保持在蔬菜生长有效土壤含水量的 50%~80%, 虽然土体也有部分的水分渗漏, 但是大部分的水分都用于供给蔬菜生长, 以渗漏方式损失的水量大降低。

表 4 不同年份降雨量、各处理灌溉量和渗漏量

Table 4 Precipitation, irrigation and drainage water at the experimental site from 1999 to 2001 (mm)

年份 Years	蔬菜种类 Vegetable species	降雨量 Rainfall	W1			W2		
			灌溉量 Irrigation	渗漏量 Drainage		灌溉量 Irrigation	渗漏量 Drainage	
				N1	N2		N1	N2
1999	菠菜 Spinach	65	176	86	72	79	18	22
2000	花椰菜 Cauliflower	45	294	86	27	209	5	4
	苋菜 Amaranth	151	86	79	16	68	20	7
2001	菠菜 Spinach	66	128	97	26	89	27	14
	花椰菜 Cauliflower	22	290	134	52	220	11	8
	苋菜 Amaranth	69	107	76	32	74	13	6
	菠菜 Spinach	53	123	77	51	85	32	13
总计 Total		470	1205	635	276	824	126	74

试验结果还表明, 同一水分处理中不同施氮量处理的水分渗漏量也有所不同。通过测定发现其可能的原因是施氮量低的处理 N2 蔬菜根系的总长度和根长密度都有明显的增加, 从而使 N2 处理的蔬菜生长耗水量明显增加。也就是说不同施氮处理下, 植株蒸腾量有较大的差异。

2.2 蔬菜地 NO_3^- -N 淋洗量

2.2.1 蔬菜地 NO_3^- -N 浓度的变化 在蔬菜种植初期 (1999 年菠菜和 2000 年花椰菜的生长期), 土体 90 cm 处土壤溶液 NO_3^- -N 平均浓度虽随灌溉量增加而增加, 但处理间差异不大。随着种植时间的延长, 从 2000 年第 3 季苋菜开始, 土体 90 cm 处的土壤溶液 NO_3^- -N 平均浓度普遍增高。施氮量影响土壤溶液中 NO_3^- -N

的浓度。以 N1 处理 NO_3^- -N 平均浓度较高, 分别为 94.8 和 115.3 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 而 N2 处理 NO_3^- -N 平均浓度明显较低, 分别为 48.6 和 41.2 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (表 5)。但从表 5 还可看出, 从 2000 年种植第 3 季苋菜开始, N1 处理中 W2 处理 NO_3^- -N 平均浓度均高于 W1 处理下的 NO_3^- -N 平均浓度。这是由于 N1 处理连年大量施用氮肥, 导致蔬菜地 NO_3^- -N 残留量迅速增加, W1 处理的灌溉水量又高, 大部分 NO_3^- -N 已淋洗到土体 90 cm 以下, 而 W2 处理灌溉水量低, 致使大量的 NO_3^- -N 残留于 90 cm 以上土层。种植时间越长, 土壤氮素残留量越高, 并有随水逐渐向 90 cm 以下土层淋洗的趋势。因此, 随种植年限的增加, 高施氮量优化灌溉量处理下土体 90 cm 处的 NO_3^- -N 平均淋洗浓度最高。N2 处理是根据蔬

表 5 蔬菜地土壤剖面 90 cm 处土壤溶液 NO₃⁻-N 平均浓度的变化Table 5 Nitrate concentration in the soil solution at 90 cm depth during the growing seasons (mg·L⁻¹)

年份 Years	蔬菜种类 Vegetable species	W1		W2	
		N1	N2	N1	N2
1999	菠菜 Spinach	20.9	14.5	12.2	13.5
2000	花椰菜 Cauliflower	68.6	44.9	30.1	18.3
	苋菜 Amaranth	106.6	38.7	117.7	37.8
2001	菠菜 Spinach	85.6	68.5	175.3	53.0
	花椰菜 Cauliflower	120.3	62.1	133.5	59.4
	苋菜 Amaranth	106.9	31.2	139.2	31.9
	菠菜 Spinach	154.9	80.2	199.3	74.8
平均 Average		94.8	48.6	115.3	41.2

菜生长期所需的氮素供应而设计的, 在土体中 NO₃⁻-N 残留量明显较低, 土体 90 cm 处土壤溶液中的 NO₃⁻-N 平均浓度也低。

2.2.2 蔬菜地 NO₃⁻-N 累积淋洗量 在蔬菜生长期, 土体 90 cm 处 NO₃⁻-N 的累积淋洗量不但与蔬菜地灌溉量有关, 而且受施氮量的影响 (表 6)。同一施氮处理中通过降低灌溉量可明显降低蔬菜地的水分渗漏

量和 NO₃⁻-N 的淋洗量。N1 处理和 N2 处理中 W1 处理的累积 NO₃⁻-N 淋洗量分别是 W2 处理的 4.4 倍和 4.5 倍。在同一水分处理下随着施氮量的增加, NO₃⁻-N 的淋洗量也随之增加。W1 处理中的 N1 处理 NO₃⁻-N 淋洗量是 N2 处理的 5.0 倍。W2 处理中的 N1 处理下 NO₃⁻-N 的淋洗量是 N2 处理的 5.3 倍。可见, 降低施氮量也可明显降低蔬菜地 90 cm 处 NO₃⁻-N 的累积淋洗量。

表 6 蔬菜地 90 cm 处 NO₃⁻-N 的累积淋洗量Table 6 The amount of NO₃⁻-N leached at the depth of 90 cm during the growing seasons in the vegetable land (kg·ha⁻¹)

年份 Years	蔬菜种类 Vegetable species	W1		W2	
		N1	N2	N1	N2
1999	菠菜 Spinach	22	11	2	3
2000	花椰菜 Cauliflower	64	12	6	1
	苋菜 Amaranth	96	6	22	3
2001	菠菜 Spinach	-	-	-	-
	花椰菜 Cauliflower	164	33	13	5
	苋菜 Amaranth	83	10	18	2
	菠菜 Spinach	120	37	65	10
总计 Total		549	109	126	24

在试验期内, 传统水氮管理方式下的 NO₃⁻-N 的累积淋洗量达 549 kg·ha⁻¹, 在所有处理中为最高, 占传统施氮量的 27%; 而优化水氮管理方式下 NO₃⁻-N 的累积淋洗量为 23 kg·ha⁻¹, 比传统方式下 NO₃⁻-N 的累积淋洗量减少了 525 kg·ha⁻¹, 占优化施氮量的 5%。说明在蔬菜生长期优化的灌溉量和施氮量能够明显降低氮素

的淋失量。

2.3 蔬菜产量

由表 7 可见, 除 2001 年 W1N2 处理的花椰菜产量显著较低外, 其余各季蔬菜处理间的产量均未达到差异显著水平。说明在本试验条件下, 优化灌溉量和施氮量没有影响到蔬菜产量。

表 7 不同年份蔬菜的产量

Table 7 The yield of vegetables in different years (t·ha⁻¹)

年份 Years	蔬菜种类 Vegetable species	蔬菜产量 Yield of vegetable			
		W1N1	W1N2	W2N1	W2N2
1999	菠菜 Spinach	16.3a	14.4a	18.0a	16.9a
2000	花椰菜 Cauliflower	23.4 a	19.6 a	21.5 a	19.8 a
	苋菜 Amaranth	14.3 a	13.7 a	13.1 a	15.2 a
2001	菠菜 Spinach	34.8 a	32.9 a	33.1 a	32.5 a
	花椰菜 Cauliflower	19.1a	16.0b	19.1a	18.8a
	苋菜 Amaranth	22.8 a	18.9 a	22.9 a	21.4 a
	菠菜 Spinach	37.3 a	35.6 a	37.3 a	31.5 a

同一列中不同字母表示 5% 水平差异显著

Value in a column by different letters indicate the significant difference at 0.05 level

3 讨论

氮素是重要的生命元素,同时也是水体污染的主要影响因素。随着灌溉农业的发展,NO₃⁻-N 污染已成为世界所关注的环境污染问题之一。NO₃⁻-N 污染主要受两个条件的制约:土壤中水分的运动;土壤中大量残留的 NO₃⁻-N。

水分是 NO₃⁻-N 在土壤运动中的载体,土壤供水量越高,土体 NO₃⁻-N 的淋洗量越大^[14]。通过对美国地下水 NO₃⁻-N 含量的调查证明了这一点,地下水 NO₃⁻-N 含量较高的地区正是灌溉量较大的农业区^[15]。本研究中,传统水分处理与优化水分处理相比,NO₃⁻-N 的淋洗量明显较高。在蔬菜种植中农民普遍采用的超定额的大水漫灌,直接导致土体水分渗漏量的增加^[8],从而加大了 NO₃⁻-N 的淋洗。这种种植方式不但提高 NO₃⁻-N 淋洗风险,而且浪费了有限而紧缺的水资源。优化水分处理,土壤含水量保持在蔬菜生长的有效土壤含水量的 50%~80%,蔬菜产量并未受到明显的影响,蔬菜生长期节约灌溉用水 831 mm,并且有效地控制了 NO₃⁻-N 淋洗。

施氮量直接影响蔬菜地 NO₃⁻-N 的残留量,施氮量越高,土体 NO₃⁻-N 残留量越高^[5]。蔬菜生产中施氮量普遍高于蔬菜生长的需求量^[1],使大量的 NO₃⁻-N 残留于土体^[16],提高了 NO₃⁻-N 的淋洗风险。这一结论在许多研究中得到证明^[11,17]。在本试验条件下,根据氮素专家系统设计的优化施氮处理,不论是传统水分处理还是在优化水分处理中,NO₃⁻-N 淋洗量均为传统施氮处理淋洗量的 20%左右。不但降低氮素的淋失,而且大大降低氮肥的施用量。

NO₃⁻-N 污染与农业生产之间的关系是密不可分的^[14],它实际上是土壤中水分运动和土壤残留 NO₃⁻-N 共同作用的结果。促进或阻碍其中任何一个因子都影响土壤中 NO₃⁻-N 的淋洗。从本试验结果分析,与传统水氮管理相比,优化水氮管理下蔬菜地 NO₃⁻-N 淋洗量降低更为明显,且蔬菜并不减产。由此可见,本试验中采用控制灌溉水量和施氮量的方法,在降低蔬菜地 NO₃⁻-N 淋洗风险方面有很高的推广价值。

4 结论

在蔬菜生长期通过降低灌溉量能够明显降低蔬菜地的水分渗漏量,由此而降低蔬菜地的 NO₃⁻-N 淋洗量。同样通过降低施氮量也能够降低蔬菜地 NO₃⁻-N 淋洗量。优化水氮管理水分渗漏量为传统水氮管理的

12%,NO₃⁻-N 淋洗量为传统水氮管理的 4%,且蔬菜的产量并未受明显的影响。说明改变蔬菜种植中传统水氮管理是可行的,并且有很大的改善空间。

致谢:衷心感谢中国农业大学资源与环境学院植物营养系曹一平教授、陈清副教授、张宏彦副教授和土壤和水科学系胡克林副教授在本文完成过程中的大力帮助和技术指导。

References

- [1] 陈新平,张福锁.北京地区蔬菜施肥总量与对策.中国农业大学学报,1996,1(5):63-66.
Chen X P, Zhang F S. The problems and countermeasures of vegetable fertilization in Beijing. *Journal of China Agricultural University*, 1996,1(5): 63-66. (in Chinese)
- [2] 张维理,田哲旭,张宁,李晓齐.我国北方农用氮肥造成地下水硝酸盐污染的调查.植物营养与肥料学报,1995,1(2):80-87.
Zhang W L, Tian Z X, Zhang N, Li X Q. Investigation of nitrate pollution in ground water due to nitrogen fertilization in agriculture in North China. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 1995, 1(2): 80-87. (in Chinese)
- [3] 周维博,李佩成.我国农田灌溉的水环境问题.水科学进展,2001,12(3):413-417.
Zhou W B, Li P C. Water environment problem of irrigation in China. *Advances in Water Science*, 2001, 12(3): 413-417. (in Chinese)
- [4] 张宏彦,陈清,汤丽玲,李花粉,李晓林, H.P. Liebig. 不同水氮管理对菠菜生长和水氮利用的影响.植物营养与肥料学报,2002,8(1):48-53.
Zhang H Y, Chen Q, Tang L L, Li H F, Li X L, Liebig H P. Compare of conventional and recommend water and nitrogen practices on Spinach growth and water and nitrogen usage. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2002, 8(1): 48-53. (in Chinese)
- [5] 王朝辉,宗志强,李生秀,陈宝明.蔬菜的硝态氮累积及菜地土壤的硝态氮残留.环境科学,2002,23(3):79-83.
Wang Z H, Zong Z Q, Li S X, Chen B M. Nitrate accumulation in vegetables and its residual in vegetable fields. *Environmental Science*, 2002, 23(3): 79-83. (in Chinese)
- [6] 龚元石,李保国.应用农田水量平衡模型估算土壤水渗漏量.水科学进展,1995,6(1):16-21.
Gong Y S, Li B G. Using field balance model to estimate the percolation of soil water. *Advances in Water Science*, 1995, 6(1): 16-21. (in Chinese)
- [7] Román R, Caballero R, Bustos A, Diez A, Cartagena M C, Vallejo A, Caballero A. Water and solute movement under conventional corn in central Spain: I. Water balance. *Soil Science Society of America Journal*, 1996, 60: 1 530-1 536.
- [8] Román R, Caballero R, Bustos A. Field water drainage under

- traditional and improved irrigation schedules for corn in central Spain. *Soil Science Society of America Journal*, 1999, 63: 1 811-1 817.
- [9] Fink M, Scharpf H C. N-Expert –A decision support system for vegetable fertilization in the field. *Acta Horticulture*, 1993, 339: 67-74.
- [10] Kengni L, Vachaud G, Thony J L, Lamy R, Garino B, Casabianca H, Jame P, Viscogliosi R. Field measurements of water and nitrogen losses under irrigated maize. *Journal of Hydrology*, 1994, 162: 23-46.
- [11] Moreno F, Cayuela J A, Fernández J E, Fernández E, Fernández-Boy E, Murillo J M, Cabrera F. Water balance and nitrate leaching in an irrigated maize crop in SW Spain. *Agricultural Water Management*, 1996, 32: 71-83.
- [12] Home P G, Panda R K, Kar S. Effect of method and scheduling of irrigation of water and nitrogen use efficiencies of Okra (*Abelmoschus esculentus*). *Agricultural Water Management*, 2002, 55: 159-170.
- [13] Van Genuchten M T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Science Society of America Journal*, 1980, 44: 892-898.
- [14] Diez J A, Caballero R, Roman R, Tarquis A, Cartagena M C, Vallejo A. Intergrated fertilizer and irrigation management to reduce nitrate leaching in central Spain. *Journal of Environment Quality*, 2000, 29: 1 539-1 547.
- [15] Hamilton P A, Helsel D R. Effects of agriculture on groundwater quality in five regions of the United States. *Ground Water*, 1995, 33(2): 217-226.
- [16] 刘宏斌, 李志宏, 张云贵, 张维理, 林 葆. 北京市农田土壤硝态氮的分布与累积特征. *中国农业科学*, 2004, 37(5): 692-698.
- Liu H B, Li Z H, Zhang Y G, Zhang W L, Lin B. Characteristics of nitrate distribution and accumulation in soil profiles under main agro-land use types in Beijing. *Scientia Agricultura Sinica*, 2004, 37(5): 692-698. (in Chinese)
- [17] Ramos C, Agut A, Lidón A L. Nitrate leaching in important crops of the Valencian Community region (Spain). *Environmental Pollution*, 2002, 118: 215-223.

(责任编辑 李云霞)

欢迎订阅《中外葡萄与葡萄酒》杂志

《中外葡萄与葡萄酒》杂志创办于 1976 年, 由中国酿酒工业协会和山东省酿酒葡萄科学研究所主办, 为全国自然科学核心期刊, 是中国惟一刊载葡萄与葡萄酒专业知识的科技期刊。杂志内容丰富、实用, 科技文章水平高, 信息量大, 有试验研究、栽培技术、病虫害防治、酿酒工艺、设备辅料、中外资讯、鉴赏品评等精品栏目。杂志面向生产、面向市场, 普及中外葡萄、葡萄酒科学知识, 推广新品种、新技术、新工艺、新设备, 交流科技、文化、市场信息, 是一份内容丰容、技术先进、可读性强的国内优秀期刊。

杂志为双月刊, 双月末发行, 大 16 开本铜板印刷, 装帧精美, 每期定价 9.5 元, 全年 57.0 元 (含邮费)。需挂号邮寄者, 每册另加 3 元, 全年另加 18 元。杂志社还有部分往年杂志余刊及“中国葡萄、葡萄酒 50 年”特刊 (30 元含邮寄费), 订购时请注明杂志年份。

本刊编辑部常年办理汇款订阅业务。请订户汇款时用正楷字体详细写明您的邮政编码、地址、姓名、订数。订户如需要发票请注明索取。

银行汇款请务必电告 (传真) 或发邮件到杂志社, 注明: 汇款人姓名 (或单位名称)、详细邮寄地址和邮编、订阅份数、汇款金额等信息。

杂志社地址: 山东省济南市历城区工业南路 103 号 邮编: 250100

出版发行部电话: 0531-5598005 传真: 0531-5598000 信箱: cf@sdvw.cn

网址: <http://www.grapevinewine.com.cn>

杂志社开户行: 中国建设银行济南高新技术产业开发区支行

帐号: 618801010002072395