

金秀勤,牛新湘,蒲胜海,等.水肥运筹对新疆灰漠土露地菜田水渗漏量和氮淋溶量的影响[J].华中农业大学学报,2023,42(5):168-177.
DOI:10.13300/j.cnki.hnlkxb.2023.05.019

水肥运筹对新疆灰漠土露地菜田水渗漏量 和氮淋溶量的影响

金秀勤^{1,2},牛新湘²,蒲胜海²,杨涛^{2,3},马红红²,李磐²,彭银双⁴,马兴旺²

1.新疆农业大学资源与环境科学学院,乌鲁木齐 830052;
2.新疆农业科学院土壤肥料与农业节水研究所/农业农村部西北绿洲农业环境重点实验室,乌鲁木齐 830091;
3.新疆阿克苏地区农技中心,阿克苏 843000; 4.乌鲁木齐市京诚检测技术有限公司,乌鲁木齐 830011

摘要 为探究长期不同水肥管理模式下露地菜田土壤灌水渗漏和氮素淋溶损失特征,利用新疆平原露地菜田国控监测点2014—2017年监测数据,分析常规生产模式、关键减排模式、综合减排模式下土层深度0~90 cm处的产流量、氮素淋溶量。结果显示,常规生产模式下,平均年产流量285.2 m³/hm²,产流系数8.8%,总氮淋溶量为16.8 kg/hm²,是当季氮肥施用量的4.2%,其中硝态氮6.3 kg/hm²、铵态氮0.16 kg/hm²,总氮淋溶量为当季氮肥施用量的4.2%。与常规生产模式相比,关键减排模式显著增产4.0%,分别削减产流量11.4%、产流系数12.3%、总氮淋溶量21.0%;综合减排模式显著增产20.6%,分别削减产流量25.3%、产流系数61.3%、总氮淋溶量36.9%。结果表明,新疆灰漠土区蔬菜的常规施肥灌水模式会导致灌水渗漏,引起氮淋溶损失,通过减少施氮量、改进施肥方式能增产并减少灌水渗漏、降低氮淋溶量,减少施肥量的同时降低灌溉量可以更大幅度减少氮淋溶量、增加产量,重点是减少秋季土壤残留氮数量以降低冬季降雪融水造成的氮淋溶损失。

关键词 露地菜;氮淋溶;产流特征;水肥运筹;灰漠土;减排模式

中图分类号 S158; S365 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2023)05-0168-10

近年来,我国露地蔬菜产业不断壮大,正朝着规模化、集约化的方向发展^[1-2]。蔬菜是新疆优势特色农业产业,据统计,2022年全疆冬储蔬菜种植面积达262 679.8 hm²(<http://www.stats.gov.cn/>)。笔者所在团队于2022年4月对乌鲁木齐市周边的45个菜地调查结果显示,露地蔬菜的氮肥施用量平均为410 kg/hm²,灌溉定额3 000~8 000 m³/hm²,灌溉和施肥量远高于大田作物。这种模式不仅造成土壤中氮元素的过量累积,而且在降水及过量灌溉作用下极易向深层土壤及地下水淋溶,造成资源浪费的同时对饮用水水质安全也带来威胁^[3]。

我国北方露地蔬菜氮元素损失以淋溶为主,平均淋失量为51.7 kg/hm²^[4]。氮淋溶量由淋溶液体积和淋溶液中的氮浓度共同决定^[5-6],降雨量和灌溉量越大,采集到的淋溶液越多^[7]。采取适当控制灌溉量或分次少量灌水的措施可有效降低土壤残留硝态氮的

淋溶^[8]。研究显示,减量灌溉30%对番茄产量和品质没有显著影响,但会显著降低土壤氮素淋溶^[9]。北方典型露地黄瓜-大白菜轮作中,减施氮肥20%和50%可使总氮(TN)淋溶量分别降低18.3%和43.0%^[10]。优化施氮量可降低淋溶液中硝态氮含量^[11]。由于新疆属于干旱环境,土壤、气候具有独特性,菜田的氮素淋溶与全国其他地区存在差别。前人针对我国其他地区菜田的氮肥运筹及灌水量带来的灌水渗漏和氮素淋溶等问题开展了大量研究^[12-15],但针对新疆露地菜田氮素淋溶情况较少见报道。

本研究以农业农村部新疆农田氮磷淋溶国控监测点数据(2014—2017年)为基础,利用田间原位淋溶水采集器法,以洋葱和花椰菜为例,监测了露地菜田土层深度0~90 cm处土壤氮素淋洗动态,分析在不同水肥管理模式下土壤的产流量和氮素淋溶量,旨在探究水肥运筹对露地蔬菜田氮素淋溶的影响,

收稿日期:2022-11-19

基金项目:国家重点研发计划项目(2018YFD0800804)

金秀勤,E-mail:1171075780@qq.com

通信作者:马兴旺,Email:maxw@xaas.ac.cn

为防控干旱区露地菜田面源污染提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验点概况

试验点位于新疆乌鲁木齐市以北22 km的新疆农业科学院安宁渠综合试验场($87^{\circ}46'45''E$ 、 $43^{\circ}94'26''N$)。海拔高度600 m,年均气温5~7℃,常年降水量310 mm,年蒸发量1 600~2 200 mm,年均日照时数2 594 h,无霜期156 d,属于温带大陆性干旱气候。试验土壤是北疆普遍分布的中度熟化灰漠土,壤土,前茬种植洋葱。试验前耕层土壤基础养分含量为有机质9.1 g/kg、全氮0.42 g/kg、硝态氮2.65 mg/kg、铵态氮0.96 mg/kg、速效磷7.3 mg/kg、速效钾109.4 mg/kg,土壤pH 8.0。

1.2 试验设计

试验数据来自农业农村部新疆农田氮磷淋溶国控监测点(650104L2)。试验于2014—2017年进行,每年种植一季露地蔬菜。试验共设3个处理:常规水肥管理模式(CON)、关键减排模式(KF)、综合减排模式(BMP)。CON是当地大多数农民种植高产蔬菜的施肥灌溉模式;KF针对氮淋溶的源头即施氮量,是按照肥效试验结果和目标产量对施肥量和施肥方法进行优化,农民高产种植的灌溉量和方式不变;BMP针对氮淋溶的源头和驱动力,即施氮量和灌溉量,根据肥效试验和灌溉制度试验的结果,结合目标产量对施肥、灌溉制度均进行优化(表1)。试验设3次重复,共9个小区,每个小区面积68 m²(长17 m×宽4 m),随机区组排列。

表1 各处理生育期施肥灌溉方案

Table 1 Fertilizer and irrigation program for each treatment fertility stage

生育期 Growth stage	频次 Times	灌溉时间 Irrigation time	因素 Factors	洋葱 Onion			花椰菜 Cauliflower		
				CON	KF	BMP	CON	KF	BMP
冬闲+定苗期 Fallowing +Emergence stage	第1次 1st	5月下旬 Late May	灌水量/(m ³ /hm ²) Irrigation	300	300	225	375	375	300
			灌水量/(m ³ /hm ²) Irrigation	300	300	225	375	375	300
幼苗期 Seedling stage	第2次 2nd	6月下旬 Late June	N/(kg/hm ²)	206	69	83	84	30	30
			P ₂ O ₅ /(kg/hm ²)	0	0	34	0	0	0
发育期 Developmental stage	第3次 3rd	7月上旬 Early July	灌水量/(m ³ /hm ²) Irrigation	300	300	225	375	375	300
			N/(kg/hm ²)	0	0	0	0	30	30
第4次 4th	7月中旬 Mid-July	灌水量/(m ³ /hm ²) Irrigation	300	300	225	375	375	300	
第5次 5th	7月下旬 Late July	灌水量/(m ³ /hm ²) Irrigation	300	300	225	375	375	300	
第6次 6th	8月上旬 Early August	灌水量/(m ³ /hm ²) Irrigation	300	300	225	375	375	300	
第7次 7th	8月中旬 Mid-August	灌水量/(m ³ /hm ²) Irrigation	300	300	225	375	375	300	
膨大期 Expansion stage	第8次 8th	8月下旬 Late August	灌水量/(m ³ /hm ²) Irrigation	300	300	225	375	375	300
			N/(kg/hm ²)	206	104	118	84	30	30
			P ₂ O ₅ /(kg/hm ²)	0	0	34	0	0	0
第9次 9th	9月上旬 Early September	灌水量/(m ³ /hm ²) Irrigation	300	300	225	375	375	300	
第10次 10th	9月中旬 Mid-September	灌水量/(m ³ /hm ²) Irrigation	300	300	225	375	375	300	
			N/(kg/hm ²)	412	277	277	280	150	150
			P ₂ O ₅ /(kg/hm ²)	345	173	173	0	80	80
总计 Total			K ₂ O/(kg/hm ²)	300	120	120	0	75	75
			灌溉定额/(m ³ /hm ²) Irrigation quota	3 000	3 000	2 250	3 750	3 750	3 000

注:CON:常规水肥;KF:关键减排;BMP:综合减排;不同小写字母表示处理间差异显著($P<0.05$)。下同。Note:CON:Conventional production mode;KF:Key factor mode to reduce leaching;BMP:Best management practice mode;different lowercase letters indicate significant differences among treatments($P<0.05$). The same as below.

供试作物2014—2015年为新疆白皮洋葱,每年5月下旬沟播,畦灌,定植行距为15~18 cm,株距为10~13 cm,种植密度40万株/hm²。试验中氮肥用尿素(含N 46.4%),CON基施25%,KF、BMP基施17%,其余分2次追肥;磷肥用磷酸二铵(含N 18%、P₂O₅ 46%),CON和KF磷肥作基肥一次性施入,BMP磷肥基施60%,其余分2次追肥;钾肥用硫酸钾(含K₂O 50%),作基肥一次性施入。2016—2017年为花椰菜(有机松花菜),每年5月下旬沟播,畦灌,定植行距为50~60 cm,株距为40~50 cm,种植密度42 000株/hm²。氮肥用尿素(含N 46.4%),CON处理基肥未施用尿素,尿素生育期分2次追肥;KF、BMP基施40%,其余分3次追肥;磷肥用重过磷酸钙(含P₂O₅ 46%),钾肥用大颗粒状钾肥(含K₂O 40%),作基肥一次性施入。参照当地高产田管理方法,所有小区采用相同的间苗、除草等方法。

1.3 淋溶液的采集和测定

淋溶液是土壤深度90 cm处的水下渗溶液,通过

原位采集装置(图1)收集。2013年10月埋设该装置,先通过分层挖土形成一个长、宽、高分别为1.5、0.8、0.9 m的立方体土坑,土坑底部向中心形成一个15°左右的圆锥面,然后在底部挖坑放入特制的淋溶液采集桶,再在土坑壁上铺20 mm厚的塑料膜,最后分层回填土壤,与其他特制配件一起形成一个渗漏池状的地下淋溶液原位采集装置。每个试验小区设置1个采集装置,位于小区中央,长方形渗漏池的长边垂直于播种行,外侧延伸出淋溶液抽水管。在每次灌水后水分运移处于平衡后的第2~4天且在下次灌溉之前采集淋溶液,记录淋溶液总体积,部分淋溶液装入塑料容器,并标注编号和取样时间,立即放入冰盒内贮存,迅速带回实验室于-20℃冰箱冷冻保存,待测。测定前先将采集后的淋溶液倒入100 mL塑料瓶中并在振荡器上振荡1 h,然后取出静置,过滤,再收集滤液,最后使用流动分析仪(型号AA3)测定淋溶液中总氮(TN)、硝态氮(NO₃⁻-N)和铵态氮(NH₄⁺-N)含量。每个处理均为3次重复。

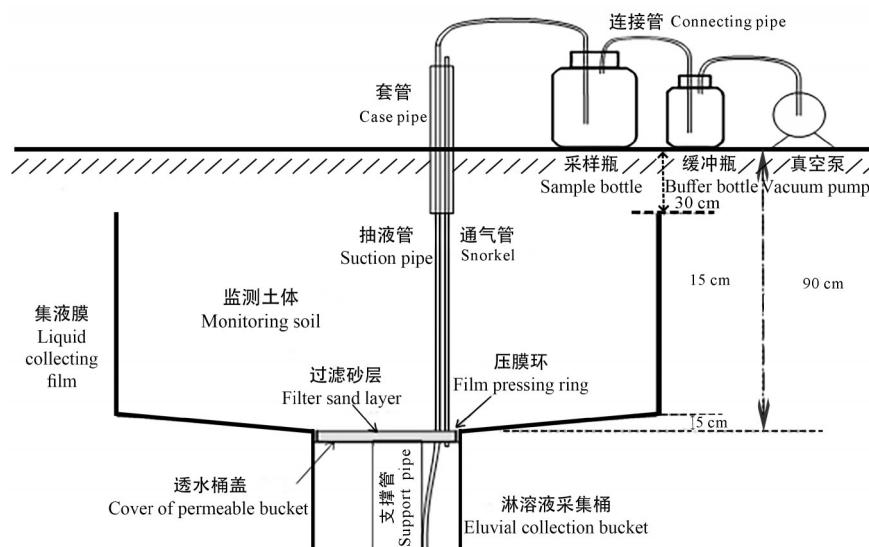


图1 田间渗漏池示意图

Fig. 1 Schematic diagram of field seepage pond

1.4 蔬菜产量测定

洋葱收获后,去掉废弃物部分,称取经济产量部分的鲜质量,测得实际产量;花椰菜成熟后,称量小区内花椰菜菜花部分的鲜质量,测得实际产量。

1.5 数据计算及统计

产流量是每次灌溉后收集到的单位面积的淋溶液体积。产流系数是单位面积的产流量与灌水量的比值,按下式计算:

$$\alpha = R/P \times 100\% \quad (1)$$

式中: α 为产流系数; R 为产流量,m³/hm²; P 为灌水量,m³/hm²。

作物某生育期氮淋溶量是指该时期内若干次淋溶量的和,其中定苗期收集的淋溶液包括整个冬季融雪水入渗形成的淋溶液。淋溶流失的氮素分年度进行统计,为1 a内每次淋溶液中氮素浓度与体积乘积的总和,计算如下:

$$P = \sum_{i=1}^n (C_i \times V_i) \quad (2)$$

式(2)中: p 为氮素淋溶量, kg/hm^2 ; C_i 为第 i 次淋溶液的氮质量浓度, $\text{kg}/(\text{L} \cdot \text{hm}^2)$; V_i 为第 i 次淋溶液体积,L。

采用Excel 2019和Origin 2019进行数据处理和图表制作,利用SPSS 26.0进行统计分析,采用LSD法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 蔬菜产量

各处理组的蔬菜产量有显著差异(图2)。4 a产量均表现为:BMP>KF>CON。2014—2015年(洋葱)BMP、KF和CON处理平均年产量为26.8、23.8、22.6 t/hm^2 。与CON相比,在灌溉制度相同情况下, KF的N:P₂O₅:K₂O由1:0.84:0.73调整为1:0.62:

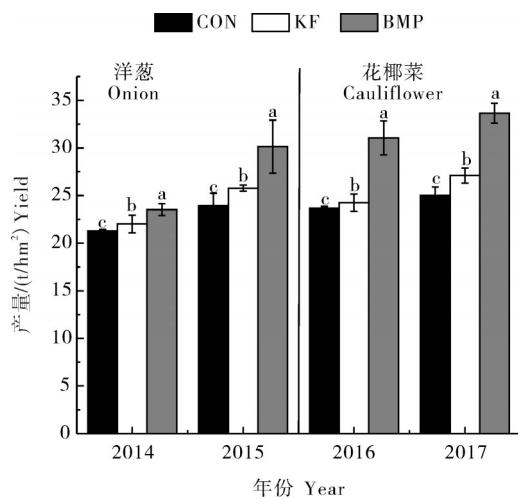


图2 不同水肥运筹下的蔬菜产量

Fig.2 Vegetable yield under different water and fertilizer operations

0.43,分别减少33%施氮量、50%施磷量和37.5%施钾量,生育期施氮量减少,而作物产量显著增加11.2%;BMP施肥量与KF相同,减少氮磷肥的基施比例,增加生育期施肥量,减少25%的灌溉量,而作物产量显著增加15.7%。2016—2017年(花椰菜)BMP、KF和CON平均年产量分别为32.3、25.7和24.4 t/hm^2 。与CON相比,在灌溉制度相同情况下, KF减氮增施磷钾肥,减少46.1%施氮量,增施P₂O₅ 80 kg/hm^2 以及K₂O 75 kg/hm^2 ,作物产量显著增加20.4%;BMP与KF的施肥相同,减少25%的灌溉量,而作物产量显著增加24.5%。由此可见,在降低施肥量和灌溉量后,通过优化蔬菜施肥、灌溉制度,仍然可以使蔬菜增产。

2.2 淋溶产流特征

同一作物年际间的产流特征相似,洋葱(2014—2015年)和花椰菜(2016—2017年)同一处理的产流量在不同年度有显著差异,但产流系数差异不大,全年灌溉量均呈现CON=KF>BMP,年均产流量为CON>KF>BMP,而产流系数是CON≥BMP>KF(表2)。不同作物的全年产流特征不同。2014—2015年(洋葱)CON的年均产流量是285.2 m^3/hm^2 ,而KF和BMP的灌溉量分别减少0、25%,产流量分别减少13.0%和28.9%,CON、KF和BMP的产流系数分别是9.5%、8.3%、9.0%;2016—2017年,(花椰菜)CON年均产流量285.4 m^3/hm^2 ,KF和BMP的灌溉量分别减少0、20%,产流量分别减少9.8%、21.8%,产流系数分别为7.6%、6.9%、7.4%。

表2 不同水肥运筹下菜田的产流量与产流系数

Table 2 Yield flow and yield flow coefficient of vegetable field under different water and fertilizer operation

年份 Year	CON		KF		BMP	
	产流量/(m^3/hm^2) Production flow	产流系数/% Flow coefficient	产流量/(m^3/hm^2) Production flow	产流系数/% Flow coefficient	产流量/(m^3/hm^2) Production flow	产流系数/% Flow coefficient
2014	282.8a	9.4a	247.2a	8.2a	181.8a	8.1a
2015	287.5b	9.6a	249.0a	8.3a	223.7b	9.9a
2016	295.5c	7.9b	262.8b	7.0b	235.1c	7.8b
2017	275.3d	7.3b	252.0b	6.7c	211.4d	7.0b

由图3可见,“冬闲期+定苗期”灌水量在5个生育期中最少,产流量占全年比例较大,CON、KF和BMP平均占比分别为35.3%、34.7%和36.6%,产流系数平均分别为30.2%、26.4%、30.2%;幼苗期、发

育期、膨大期、成熟期这4个生育时期的累计灌水量分别是“冬闲期+定苗期”的2、2、3、2倍,而产流量仅是“冬闲期+定苗期”的1/3~1/2,幼苗期产流量稍大,发育期和成熟期接近,膨大期最少,产流系数在

4.4%~7.7%。由此可见,蔬菜各生育期也表现出灌水量为CON=KF>BMP,大多数情况下各生育期

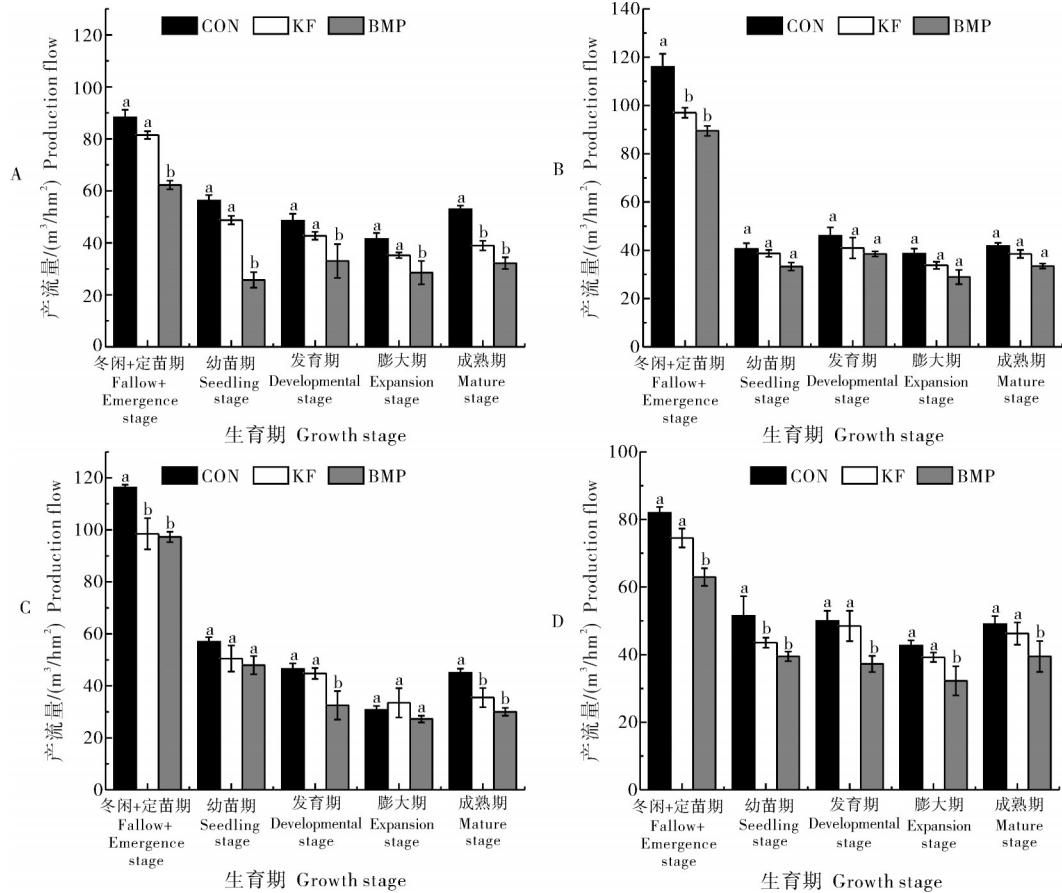


图3 2014(A)、2015(B)、2016(C)和2017年(D)不同水肥运筹下的产流量

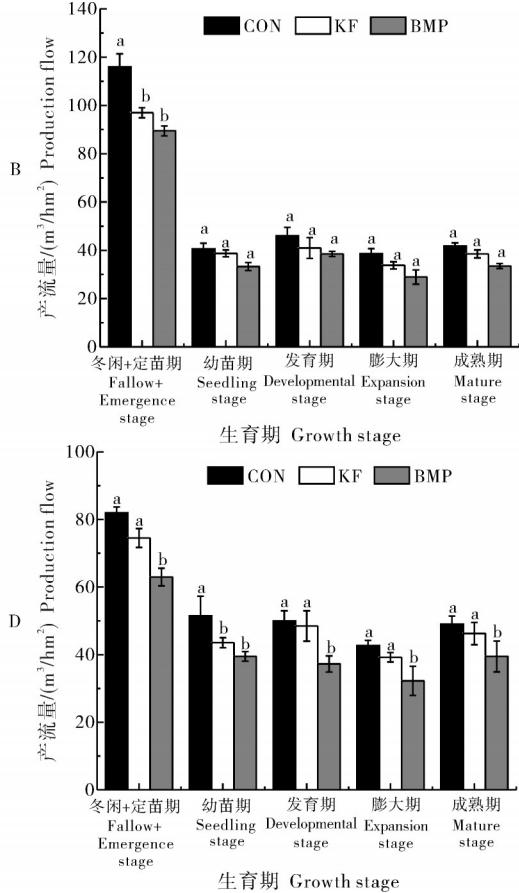
Fig. 3 Yield flow under different water and fertilizer operations in 2014 (A), 2015 (B), 2016 (C) and 2017 (D)

2.3 氮淋溶特征

1) 总氮。全年总氮淋溶量是CON>KF>BMP,并且有显著差异。2014—2015年(洋葱)CON、KF和BMP的年均总氮淋溶量分别为15.7、12.4、10.0 kg/hm²;与CON相比,KF与BMP分别减少21.0%、36.3%。2016—2017年(花椰菜)CON、KF和BMP的年均总氮淋溶量分别为19.5、15.4、12.3 kg/hm²;与CON相比,KF与BMP分别减少21.0%、36.9%。由于灌溉量增加,对应处理的花椰菜的施氮量较洋葱少,而总氮淋溶量增加,只是2种蔬菜KF、BMP的淋溶量较CON的减少幅度相同。

整个生长期各处理在“冬闲期+定苗期”的总氮淋溶量最大,4 a间CON、KF与BMP处理年均总氮淋溶量为18.9~29.4 kg/hm²,占全生育期总氮淋溶量的42.4%~49.6%,与其他生育时期差异显著;4 a间CON、KF与BMP处理在幼苗期、发育期、膨大期和成熟期的年均淋溶量分别为7.1~

的产流量表现为CON≈KF≥BMP,而产流系数是CON≥BMP>KF。



12.2、5.3~9.4、4.1~7.5和5.3~9.4 kg/hm²,差异不显著(图4)。3个处理在作物整个生育期的总氮淋溶量都高于1.0 kg/hm²,说明总氮有明显向下淋溶的趋势。

2) 硝态氮。硝态氮淋溶量的变化类似于总氮的情况。全年淋溶量是CON>KF>BMP,并且有显著差异。2014—2015年(洋葱)CON、KF和BMP年均硝态氮淋溶量分别为12.1、8.4、6.2 kg/hm²,2016—2017年(花椰菜)分别为13.1、10.2、8.1 kg/hm²。生长期“冬闲期+定苗期”硝态氮淋溶量最大,4 a间CON、KF与BMP处理年均硝态氮淋溶量为6.6~10.0 kg/hm²,占整个生长期硝态氮淋失的38.3%~44.2%(图5)。

硝态氮是淋溶氮的主体,4 a间不同处理硝态氮总淋失占总氮淋失的70%左右。2014—2015年(洋葱)CON、KF和BMP全年硝态氮淋溶量分别占总氮淋溶量的77.1%、67.7%、62.0%,2016—2017年(花

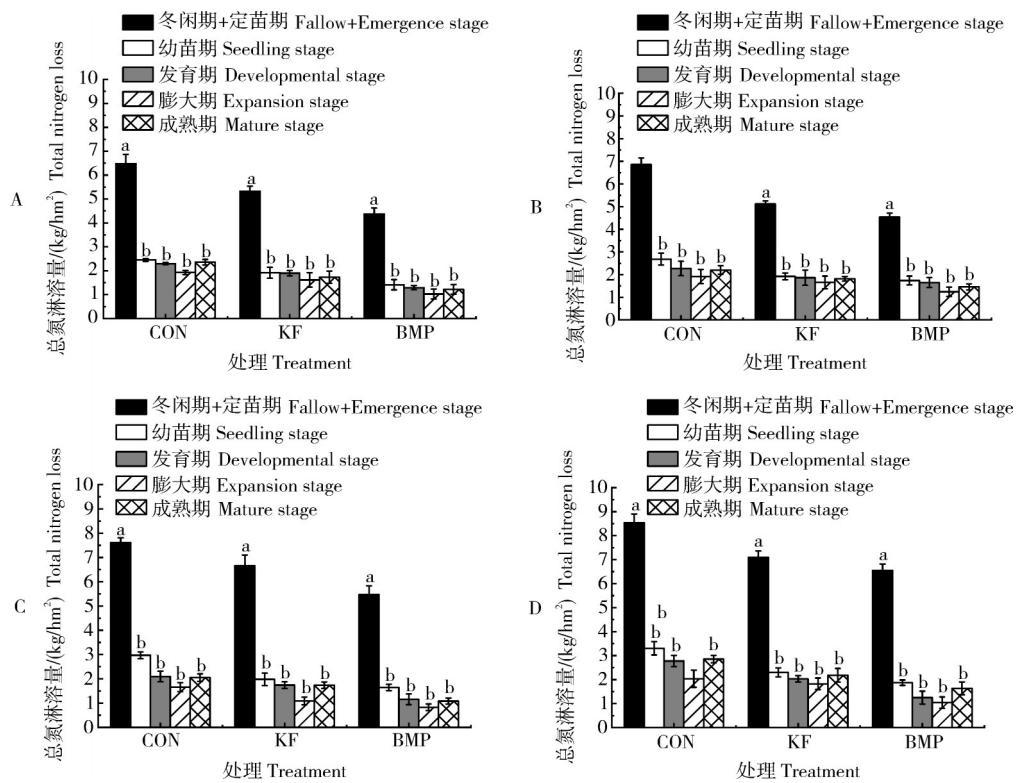


图4 2014(A)、2015(B)、2016(C)和2017年(D)蔬菜各生育期总氮淋溶量

Fig.4 Total N leaching from vegetables at each reproductive stage in 2014 (A), 2015 (B), 2016 (C) and 2017 (D)

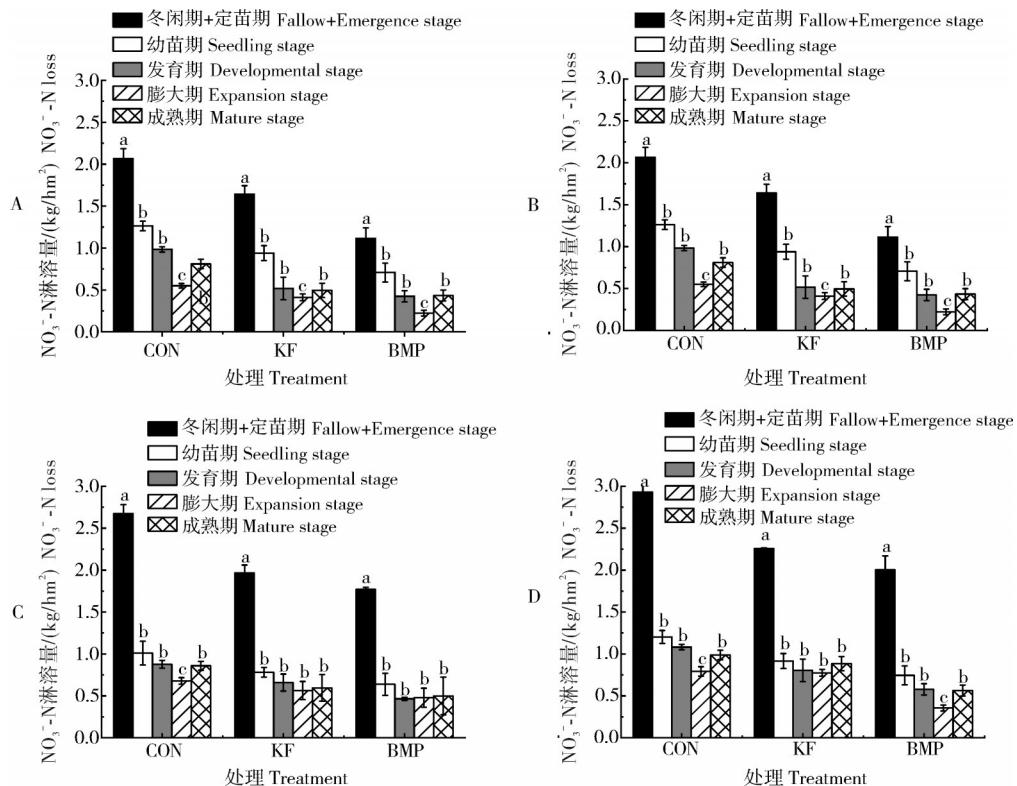


图5 2014(A)、2015(B)、2016(C)和2017年(D)蔬菜各生育期硝态氮淋溶量

Fig. 5 The leaching amount of nitrate nitrogen in each growth stage of vegetables in 2014 (A), 2015 (B), 2016 (C) and 2017(D)

椰菜)CON、KF和BMP全年硝态氮淋溶量分别占总氮淋溶量的67.2%、66.0%、65.9%。

3)铵态氮。铵态氮淋溶量变化与硝态氮类似。由图6可见,铵态氮全年总淋溶量是CON>KF>BMP,并且不同处理间有显著差异。2014—2015年

(洋葱)CON、KF和BMP的铵态氮淋溶量分别为0.28、0.23、0.18 kg/hm²,2016—2017年(花椰菜)CON、KF和BMP的铵态氮淋溶量分别为0.35、0.32、0.24 kg/hm²。铵态氮占总氮淋溶量的1.8%~2.1%,可见铵态氮的淋溶损失非常少。

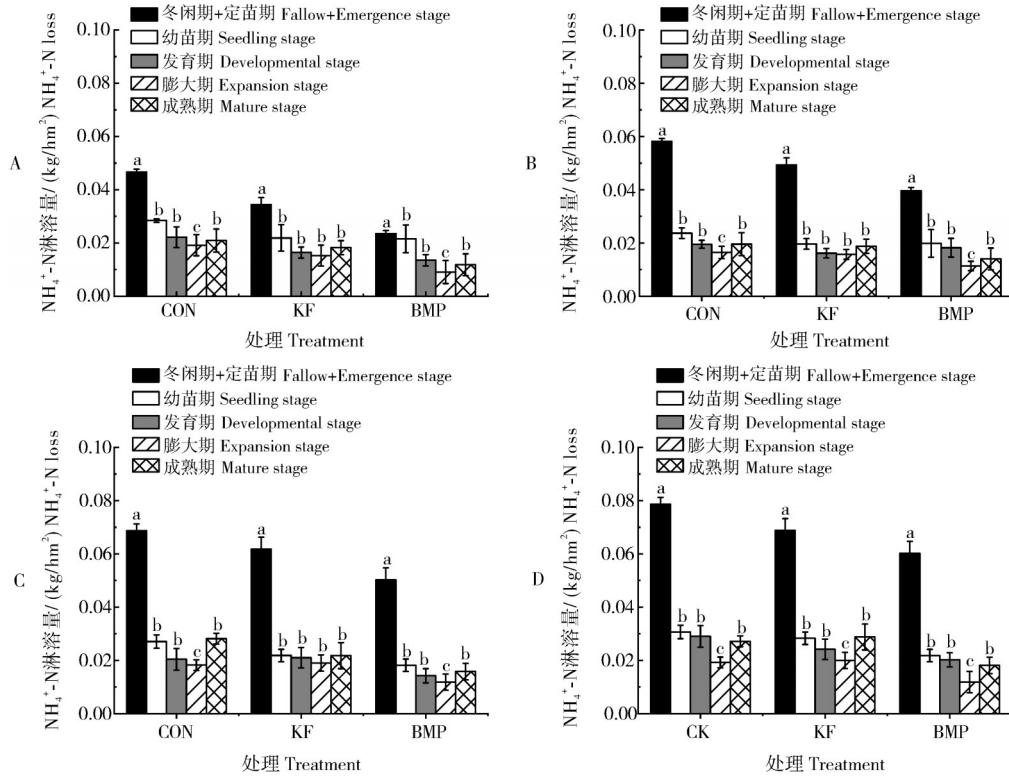


图6 2014(A)、2015(B)、2016(C)和2017年(D)蔬菜各生育期的铵态氮淋溶量

Fig.6 Leaching amount of ammonium nitrogen in vegetables at different growth stages in 2014(A), 2015(B), 2016(C) and 2017(D)

3 讨 论

淋溶产流是由灌溉或降水引起^[16],本研究中洋葱和花椰菜的关键减排模式(KF)与综合减排模式(BMP)相比,灌溉量分别减少了25%和20%,施肥量与其他管理措施相同,产流量分别减少18%和13%,产流量减少的趋势与前人的研究结果类似^[4,10,17-18]。但产流量减少比例低于灌溉量的减少比例。这与减量灌溉30%对番茄产量和品质没有显著影响,但显著降低了土壤氮素淋溶的情况类似^[9]。该结果可以从综合减排模式增产5%作出解释。虽然施肥量相同,但增大了追肥比例,BMP下洋葱和花椰菜在各生育期的长势要好于KF,由于减少了水分蒸发,产流量相对就较高。这说明无论是灌溉量相同时减少施肥量或者优化施肥方式,还是施肥量相同时减少灌溉量,只要明显地促进生长或者增产显

著,都能在一定程度上降低产流系数。仅从产流量大小看,无论是洋葱或花椰菜,3种水肥管理模式在“冬闲期+定苗期”的产流量分别占全年的26.4%~34%、23.1%~29.7%和26.7%~33.7%,由于灌水量仅是其他生育时期的1/2~1/3,而产流量却是其他生育时期的2~3倍、产流系数是4~5倍,表明“冬闲期+定苗期”是产流高峰期。休闲期成为产流高峰期的情况在其他地方也出现过。宁夏银川菜地黄瓜-番茄轮作时在休闲期进行了2次大水漫灌,结果表明休闲期成为氮素淋溶的主要时期^[19]。而试验区冬季平均降水量100~160 mm^[20],冰雪融水量相当于一次大的灌溉水量,加上冬季一直有冰雪覆盖,春季冰雪融水会持续下渗进入淋溶液收集桶,所以很大部分产流来源于冬季降雪融水。

相对于蔬菜的常规水肥管理模式,仅是减少施

氮量、改进施肥方式的关键减排模式,以及降低灌溉量且减少施氮量的综合减排模式,二者都能减少总氮、硝态氮、铵态氮和有机氮淋溶量,这种氮淋溶量减少的情况在南方和北方的灌溉量和施肥量较大的菜田都存在^[20-21]。并且在施氮量合适的模式下,减少灌溉量20%~25%,产流量减少13%~18%,产流系数没有降低,但总氮淋溶量降低16.2%~19.0%,产量增加4.1%~4.7%,这进一步说明当前蔬菜施肥量、灌水量过高,减肥减水、优化水肥运筹不但能增产还能降低氮淋溶损失。

连续4 a在2种蔬菜上的试验结果都是“冬季休闲期+定苗期”的总氮、硝态氮和铵态氮淋溶量分别占整个生长期淋溶量的42.4%~49.6%、38.3%~44.2%、32.4%~43.2%,而其他4个时期的淋溶量大小相近、差异不显著。蔬菜田的氮淋溶关键时期为“冬季休闲期+定苗期”,主要原因是前一个生长期残留在土壤中的氮被冬季降雪融水淋溶,以及蔬菜苗移栽前施入的基肥被定苗期灌水淋溶^[22]。根据防控氮淋溶的控氮减排原则^[23],由于冬季降雪融水量不可控,无法减少产流量,只能设法降低土壤残留氮含量,因此主要通过在蔬菜生育期进行合理施肥、促进蔬菜对养分的吸收、减少生育期结束时的土壤氮残留量^[24]来达到控氮目的。本研究表明从防控技术角度来看,通过水肥运筹即通过减少灌溉量可降低产流量和产流系数,同时减少肥料使用量、优化施肥方法以及发挥水肥耦合效应促进养分吸收来减少氮淋溶量,也表明目前仍有进一步优化水肥管理技术的空间。

参考文献 References

- [1] 郭凤领,吴金平,黄科,等.我国主要露地蔬菜轻简高效生产现状与展望[J].中国蔬菜,2021(9):1-6.GUO F L, WU J P, HUANG K, et al. Present situation and prospect of light, simple and efficient production of main open-field vegetables in China [J]. China vegetables, 2021(9):1-6 (in Chinese).
- [2] 黄绍文,唐继伟,李春花,等.我国蔬菜化肥减施潜力与科学施用对策[J].植物营养与肥料学报,2017,23(6):1480-1493. HUANG S W, TANG J W, LI C H, et al. Reducing potential of chemical fertilizers and scientific fertilization countermeasure in vegetable production in China [J]. Journal of plant nutrition and fertilizer, 2017, 23(6): 1480-1493 (in Chinese with English abstract).
- [3] 徐运清,秦红灵,全智,等.长期蔬菜种植对菜地土壤剖面硝酸盐分布和地下水硝态氮含量的影响[J].农业现代化研究,2015, 36(6): 1080-1085.XU Y Q, QIN H L, QUAN Z, et al. Effects of long-term vegetable cultivation on the NO_3^- -N contents in soil profile and groundwater [J]. Research of agricultural modernization, 2015, 36 (6) : 1080-1085 (in Chinese with English abstract).
- [4] 王洪媛,李俊改,樊秉乾,等.中国北方主要农区农田氮磷淋溶特征与时空规律[J].中国生态农业学报,2021,29(1):11-18. WANG H Y, LI J G, FAN B Q, et al. Nitrogen and phosphorus leaching characteristics and temporal and spatial distribution patterns in northern China farmlands [J]. Chinese journal of eco-agriculture, 2021, 29(1): 11-18 (in Chinese with English abstract).
- [5] 高伟,陈岩,严长安,等.长江经济带氮淋溶流失空间格局及其水环境影响评估[J].环境科学学报,2020,40(1):325-333. GAO W, CHEN Y, YAN C A, et al. Spatial pattern of nitrogen leaching loss in the Yangtze River Economic Belt and its water environment impact assessment [J]. Acta scientiae circumstantiae, 2020, 40(1):325-333 (in Chinese with English abstract).
- [6] 滕艳敏,韩卉,郝梓依,等.不同蔬菜种植模式对土壤淋溶水总氮、总磷和COD的影响[J].中国生态农业学报,2017, 25(5): 759-768. TENG Y M, HAN H, HAO Z Y, et al. Effect of vegetable cropping system on total nitrogen, phosphorus and COD in farmland leachate [J]. Chinese journal of eco-agriculture, 2017, 25 (5): 759-768 (in Chinese with English abstract).
- [7] 谷佳林,边秀举,刘梦星,等.不同缓控释氮肥对高羊茅草坪生长及硝态氮土壤残留与淋失的影响[J].水土保持学报,2013, 27(5): 173-177. GU J L, BIAN X J, LIU M X, et al. Effects of different slow-controlled release nitrogen fertilizer on *Festuca arundinacea* growth, nitrate nitrogen residual and leaching loss [J]. Journal of soil and water conservation, 2013, 27(5): 173-177 (in Chinese with English abstract).
- [8] 高德才,张蕾,刘强,等.不同施肥模式对旱地土壤氮素径流流失的影响[J].水土保持学报,2014, 28(3): 209-213. GAO D C, ZHANG L, LIU Q, et al. Effects of different fertilization modes on soil nitrogen runoff in dryland field [J]. Journal of soil and water conservation, 2014, 28 (3) : 209-213 (in Chinese with English abstract).
- [9] 廖上强,陈延华,李艳梅,等.减量灌溉条件下缓释肥料对番茄产量、品质及硝态氮淋溶的影响[J].中国土壤与肥料,2015 (6): 70-75. LIAO S Q, CHEN Y H, LI Y M, et al. Effect of slow release fertilizer on yield and quality of tomato and NO_3^- -N leaching under reduction irrigation condition [J]. Soil and fertilizer sciences in China, 2015(6): 70-75 (in Chinese with English abstract).
- [10] 杨荣全,谢立勇,郑益曼,等.不同水肥措施下华北露地菜地氮淋溶特征[J].中国生态农业学报,2021, 29 (1) : 176-186. YANG R Q, XIE L Y, ZHENG Y M, et al. The effects of water and fertilizer practices on nitrogen leaching in open-field vegetable soil in North China [J]. Chinese journal of eco-agriculture, 2021, 29(1): 176-186 (in Chinese with English abstract).

- [11] 寇长林,骆晓声,巨晓棠.优化施氮对设施番茄土壤硝态氮残留及土壤氮平衡的影响[J].植物营养与肥料学报,2021,27(5):837-848.KOU C L, LUO X S, JU X T. Effects of optimal nitrogen application on nitrate nitrogen residue and soil nitrogen balance in plant tomato [J]. Plant nutrition and fertilizer science, 2021, 27(5): 837-848 (in Chinese with English abstract).
- [12] 雷豪杰,李贵春,丁武汉,等.设施菜地土壤氮素运移及淋溶损失模拟评价[J].中国生态农业学报,2021,29(1):38-52.LEI H J, LI G C, DING W H, et al. Simulation evaluation of soil nitrogen transport and leaching loss in protected vegetable plots [J]. Chinese journal of eco-agriculture, 2021, 29(1): 38-52 (in Chinese with English abstract).
- [13] 殷冠羿,胡克林,李品芳,等.不同水肥管理对京郊设施菜地氮素损失及氮素利用效率的影响[J].农业环境科学学报,2013,32(12):2403-2412.YIN G Y, HU K L, LI P F, et al. Effects of different water and fertilizer management on nitrogen loss and nitrogen use efficiency of vegetable plots in Beijing suburbs [J]. Journal of agro-environment science, 2013, 32(12): 2403-2412 (in Chinese with English abstract).
- [14] 郭智,刘红江,张岳芳,等.不同施肥模式对菜地氮素径流损失与表观平衡的影响[J].水土保持学报,2018,32(4):37-42,50.GUO Z, LIU H J, ZHANG Y F, et al. Effects of different fertilization modes on nitrogen runoff loss and apparent balance in vegetable fields [J]. Journal of soil and water conservation, 2018, 32 (4): 37-42, 50 (in Chinese with English abstract).
- [15] 黄东风,王果,李卫华,等.不同施肥模式对小白菜生长、营养累积及菜地氮、磷流失的影响[J].中国生态农业学报,2009,17(4):619-624. HUANG D F, WANG G, LI W H, et al. Effect of fertilization mode on growth and nutrition accumulation in vegetables, and loss of nitrogen and phosphorus in vegetable fields [J]. Chinese journal of eco-agriculture, 2009, 17(4): 619-624 (in Chinese with English abstract).
- [16] 马群,贾骥,刘静,等.不同灌溉模式对设施番茄产量与土壤养分运移的影响[J].黑龙江农业科学,2013(10):65-68. MA Q, JIA S, LIU J, et al. Effect of different irrigation conditions on yield and soil nutrients movement of greenhouse tomato [J]. Heilongjiang agricultural sciences, 2013 (10): 65-68 (in Chinese with English abstract).
- [17] 杨荣全,曹飞,李迎春,等.不同施肥处理对华北露天菜地氮素淋溶的影响[J].中国土壤与肥料,2020(6):130-137.YANG R Q, CAO F, LI Y C, et al. Effect of different fertilization on nitrogen leaching in an open field used for vegetable planting on North China [J]. Soil and fertilizer sciences in China, 2020 (6): 130-137 (in Chinese with English abstract).
- [18] 赵营.宁夏引黄灌区不同类型农田氮素累积与淋洗特征研究[D].北京:中国农业科学院, 2012.ZHAO Y. Study on the characteristics of N accumulation and leaching in different farmlands in the yellow river irrigation region of Ningxia [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2013 (in Chinese with English abstract).
- [19] 卢新玉,陈仁升,刘艳,等.我国新疆北部地区雪面雨日数时空变化特征分析[J].冰川冻土,2021,43(5):1446-1457.LU X Y, CHEN R S, LIU Y, et al. Spatiotemporal variation of rain-on-snow days in Northern Xinjiang [J]. Journal of glaciology and geocryology, 2021, 43(5): 1446-1457 (in Chinese with English abstract).
- [20] 黄东风,王果,李卫华,等.不同施肥模式对蔬菜生长、氮肥利用及菜地氮流失的影响[C]//中国农业生态环境保护协会.农村污水处理及资源化利用学术研讨会论文集.天津:中国农业生态环境保护协会,2008: 98-106.HUANG D F, WANG G, LI W H, et al. Effects of different fertilization modes on vegetable growth, nitrogen utilization and nitrogen loss in vegetable fields [C]//China Agricultural Ecological and Environmental Protection Association. Proceedings of the symposium on rural sewage treatment and resource utilization. Tianjin: China Agricultural Ecological and Environmental Protection Association, 2008: 98-106 (in Chinese).
- [21] ZHANG J J, HE W T, SMITH W N, et al. Exploring management strategies to improve yield and mitigate nitrate leaching in a typical radish field in Northern China [J/OL]. Journal of environmental management, 2021, 290: 112640 [2022-11-19]. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112640>.
- [22] XU X P, HE P, WEI J L, et al. Use of controlled-release urea to improve yield, nitrogen utilization, and economic return and reduce nitrogen loss in wheat-maize crop rotations [J/OL]. Agronomy, 2021, 11 (4): 723 [2022-11-19]. <https://doi.org/10.3390/agronomy11040723>.
- [23] 刘发波,马笑,张芬,等.硝化抑制剂对我国蔬菜生产产量、氮肥利用率和氧化亚氮减排效应的影响:Meta分析[J].环境科学,2022,43(11):5140-5148.LIU F B, MA X, ZHANG F, et al. Impact of nitrification inhibitors on vegetable production yield, nitrogen fertilizer use efficiency and nitrous oxide emission reduction in China: Meta analysis [J]. Environmental science, 2022, 43 (11): 5140-5148 (in Chinese with English abstract).
- [24] 李若楠,武雪萍,张彦才,等.节水减氮对温室土壤硝态氮与氮素平衡的影响[J].中国农业科学,2016,49(4):695-704.LI R N, WU X P, ZHANG Y C, et al. Effects of reduced application of nitrogen and irrigation on soil nitrate nitrogen content and nitrogen balance in greenhouse production [J]. Scientia agricultura sinica, 2016, 49 (4): 695-704 (in Chinese with English abstract).

Effects of water and fertilizer management on water infiltration and N leaching in open ground vegetable from grey desert soil in Xinjiang

JIN Xiuqin^{1,2}, NIU Xinxiang², PU Shenghai², YANG Tao^{2,3},
MA Honghong², LI Pan², PENG Yinshuang⁴, MA Xingwang²

1. College of Resources and Environment, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China;
2. Institute of Soil Fertilizer and Agricultural Water Saving, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences/
Ministry of Agriculture and Rural Affairs Key Laboratory of Northwest Oasis Agricultural Environment,
Urumqi 830091, China; 3. Agricultural Technology Center in Aksu Prefecture, Aksu 843000, China;
4. Jingcheng Testing Technology Co., Ltd., Urumqi 830011, China

Abstract The monitoring data of the state-run monitoring sites of open ground vegetable fields in Xinjiang plain from 2014 to 2017 were used to study the characteristics of irrigation leakage and nitrogen (N) leaching loss in open ground vegetable fields under the different modes of water and fertilizer management in long term. The runoff volume and nitrogen leaching at a depth of 90 cm under conventional production mode, key mode of emission reduction (fertilizer application optimization), and comprehensive mode of emission reduction (customary irrigation and N application) were analyzed. Results showed that the average annual water infiltration was 285.2 m³/hm², the flow coefficient was 8.8%, and the total N leaching was 16.8 kg/hm² under the conventional production mode, which was 4.2% of the seasonal N fertilizer application including 6.3 kg/hm² of nitrate N, 0.16 kg/hm² of ammonium N and 3.32 kg/hm² organic N. Compared with the conventional production model, the key mode of emission reduction increased the yield by 4.0%, and reduced the runoff, the runoff coefficient and the total nitrogen leaching by 11.4%, 12.3% and 21.0%, respectively. The comprehensive mode of emission reduction significantly increased the yield by 20.6%, and reduced the runoff, the runoff coefficient and the total nitrogen leaching by 25.3%, 61.3% and 36.9%, respectively. It is indicated that the conventional production mode of open ground vegetables in grey desert soil area of Xinjiang lead to water leakage and nitrogen leaching loss. By reducing the amount of nitrogen application and improving fertilization methods, we can increase production and reduce irrigation leakage and nitrogen leaching amount. Reducing the amount of fertilizer application and irrigation at the same time can greatly reduce nitrogen leaching amount and increase yield. The key point is to reduce the amount of soil residual nitrogen in autumn to reduce nitrogen leaching loss caused by melting water in winter.

Keywords open ground vegetable; nitrogen leaching; characteristics of runoff; water and fertilizer management; grey desert soil; mode of emission reduction

(责任编辑:赵琳琳)