

传统和优化水氮管理对蔬菜地土壤氮素损失与利用效率的影响

于红梅¹, 李子忠², 龚元石^{2*}

(1. 安徽农业大学资源环境学院, 合肥 230036; 2. 中国农业大学资源与环境学院土壤和水系, 北京 100094)

摘要: 通过 3 年田间定位试验利用氮素平衡方程模拟了传统水氮管理和优化水氮管理下连作蔬菜地土壤无机态氮含量的变化, 分析了两种水氮管理对土壤氮素损失量及氮素利用效率的影响。结果表明: 优化水氮管理下花椰菜、苋菜和菠菜生长期土壤平均(2 年或 3 年)氮素损失量(氮挥发、反硝化和硝态氮淋洗的总和)只有传统水氮管理下花椰菜、苋菜和菠菜生长期土壤平均氮素损失量的 9%、8% 和 18%; 氮素利用效率是传统水氮管理下各蔬菜氮素利用效率的 2.3 倍、3.2 倍、1.7 倍, 而两处理间蔬菜平均产量并无显著差异。

关键词: 水氮管理; 氮素损失量; 氮素利用效率; 蔬菜

中图分类号: S158.2; S63

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2007)2-0054-06

于红梅, 李子忠, 龚元石. 传统和优化水氮管理对蔬菜地土壤氮素损失与利用效率的影响[J]. 农业工程学报, 2007, 23(2): 54-59.

Yu Hongmei, Li Zizhong, Gong Yuanshi. Comparison of nitrogen loss and use efficiency of vegetable in vegetable field under traditional and improved water and N-fertilizer management[J]. Transactions of the CSAE, 2007, 23(2): 54-59. (in Chinese with English abstract)

0 引言

在蔬菜生产中由于农民习惯采用大水大肥的水氮管理方式, 致使施氮量远远高于蔬菜生长对氮肥的需求量, 导致氮肥利用效率较低^[1]。大量的氮素或气态损失或残留于土体^[2], 加之不合理的灌溉又导致土体残留 NO_3^- -N 向下淋洗, 对地下水水质构成威胁^[3]。这种大水大肥的管理方式不但加大环境污染风险, 同时提高了蔬菜的硝酸盐含量, 直接危害人体健康^[1]。

目前, 关于蔬菜的研究主要集中在施肥量与蔬菜产量之间的关系^[4]和施氮量对土壤氮素残留量^[5]、蔬菜品质的影响^[1]。对于蔬菜地土壤氮素平衡方面的研究, 由于氮素平衡模型中的参数难于确定, 因此, 较多集中于氮素的表观平衡^[6], 在计算土壤氮素利用效率时往往忽略了土壤中氮素的变化^[7], 因此, 本文就目前蔬菜生产中存在的问题, 利用氮素平衡模型从理论上分析优化水氮管理与传统水氮管理下蔬菜地土壤无机态氮素的损

失量及蔬菜的氮素利用效率, 为蔬菜生产中合理灌溉和施肥提供理论依据。

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, 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°, 气候条件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。试验地表层土壤(0~90 cm)的有机质含量为 27.8 g/kg, 全 N 1.04 g/kg, 速效 P(Olsen-P) 21.9 mg/kg 和速效 K(1 mol/LNH₄OAc 浸提) 109.6 mg/kg, 播种前土壤无机态氮含量(0~90 cm)为 93.6 kg/hm², 土壤 pH 值(水:土=1:1)为 7.9。

1.2 试验设计与蔬菜管理

试验设两个处理: 传统水氮处理(W1N1)和优化水氮处理(W2N2)。传统水氮处理中的水分管理根据当地农民经验确定每种蔬菜的灌溉时间和灌溉量(一次灌水量为 25~45 mm, 施肥后若降雨, 灌水量为 5~20 mm); 施肥量是根据北京地区相应蔬菜种植中农民习惯采用的施氮量来确定的(一般花椰菜为 450 kg/hm²、苋菜为 100 kg/hm²、菠菜为 309 kg/hm², 2002 年花椰菜生长期施用 370 kg/hm²)。优化水氮处理中的水分管理是保持土壤含水率在植物生长有效土壤含水率的

收稿日期: 2006-03-03 修订日期: 2006-11-24

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

作者简介: 于红梅(1970-), 女, 吉林省磐石人, 博士, 研究方向为农业水肥资源管理。合肥 安徽农业大学资源环境学院, 230036。

Email: hongmeiyujilin@163.com

*通讯作者: 龚元石(1964-), 江苏省徐州人, 教授, 博士生导师, 研究方向为农业水资源管理。北京 中国农业大学资源与环境学院, 100094

50%~80% (植物生长有效含水率=田间持水率-凋萎含水率), 本处理的土壤含水率是通过安装在土壤中 MP-917 时域反射仪(TDR)来监测, 当土壤含水率低于作物生长的有效土壤含水率的 50% 时开始灌水至有效土壤含水率的 80%; 施氮量是根据氮素专家系统基本原理设计^[8] (氮肥推荐施用量=推荐阶段氮吸收量+推荐阶段末根层土壤 N_{\min} 目标值+推荐期间氮损失-推荐阶段开始根层土壤 N_{\min} -推荐阶段根层土壤有机氮矿化-推荐阶段作物残茬氮素矿化), 具体施氮量如表 1 所示。试验小区为 12 m×12 m, 每个处理重复 3 次共 6 个小区, 两个处理中分别选择一个小区埋设 TDR 和张力计及溶液提取器。土层 0~15、15~30、30~60、60~90 和 90~120 cm 处土壤含水率通过 TDR 监测和张力计测定土体 75、105 cm 处的土壤基质势及利用溶液提取器提取土体 90 cm 处的 NO_3^- -N 浓度, TDR 和张力计每两天测定一次, 溶液提取器根据当时的土壤条件每一周或两周取样一次。试验中各小区的灌溉方式均采用微喷系统进行灌溉并记录试验期内的灌溉量和降雨

量(表 1 所示)。不同土层土壤温度, 根据气温等气象资料利用 CERES 模型进行估算^[9]。

试验从 1999 年 9 月到 2002 年 6 月, 历时 3 年, 1999 年是在前茬茼蒿收获后, 种植菠菜, 2000 年根据相应季节变化依次种植花椰菜-茼蒿菜、2001 年种植花椰菜-茼蒿菜-菠菜, 花椰菜种植前施用有机肥, 2000 年、2001 年和 2002 年分别为 5000、8000 和 5500 kg/hm², 每年 4 月末和 5 月中旬各追施氮肥一次。茼蒿菜种植前不施用有机肥, 氮肥只做底肥施用, 生长期内不追施氮肥。1999 年种植菠菜前施用有机肥 3000 kg/hm², 2001 年未施用有机肥, 每年 9 月中旬和 10 月初各追施氮肥一次。不同小区磷肥和钾肥施用量完全一致, 不同处理下氮肥施用量如表 1 所示, 蔬菜生长期内底肥和追施氮肥用量为各蔬菜生长期内施氮总量的 1/3。施用氮肥品种为尿素, 施用方法为撒施, 施肥后立即灌水。试验期间对 2001 年花椰菜和菠菜生长期及 2002 年花椰菜生长期内土体 0~90 cm 土壤无机态氮含量每周测定一次, 采用连续流动分析仪(TAACS2000)测定。

表 1 不同年份不同处理的降雨量、灌溉量和施氮量

Table 1 Rainfall and irrigation amount and applied N-fertilizer amount under different treatments in different years

蔬菜种类	生长时间 /年-月-日	降雨量 /mm	传统处理		优化处理	
			灌溉量/mn	施氮量/kg·hm ⁻²	灌溉量/mn	施氮量/kg·hm ⁻²
菠菜	1999-08-31~ 10-21	64.7	176	309	80	82
花椰菜	2000-04-03~ 06-06	45.1	294	450	209	84
茼蒿菜	2000-07-01~ 07-28	151.0	163	100	71	26
花椰菜	2001-04-13~ 06-06	21.9	291	450	220	62
茼蒿菜	2001-06-24~ 07-22	52.7	107	100	74	—
菠菜	2001-09-06~ 10-29	143.7	123	309	85	99
花椰菜	2002-04-13~ 06-02	23.4	240	370	183	117

注: “—”表示未施肥。

1.3 土壤中无机态氮含量的模拟方法

本文采用氮素平衡的方法计算土壤中无机氮素的变化量, 土壤氮素平衡的基本原理可表示为^[10]

$$\Delta N_{\min} = N_f + N_{nm} - N_q - N_v - N_d - N_{up} \quad (1)$$

式中 ΔN_{\min} ——计算时段土壤无机 N 的差值, 主要为 NO_3^- -N 和 NH_4^+ -N; N_f ——来自肥料中的氮; N_{nm} ——净矿化量(被生物固持的氮仍保留在土壤中), 本式中把固持量和矿化的两项用一项即净矿化量 N_{nm} 代表; N_q ——下边界 90 cm 处 NO_3^- -N 淋洗量; N_d ——N 的反硝化量; N_v —— NH_3 的挥发量; N_{up} ——作物吸氮量。试验地平坦可忽略因地表径流损失的无机氮; 被微生物固持的氮仍保留于土壤中, 认为其没有损失。公式中各项单位为 kg/hm²(0~90 cm)。

1.3.1 有机氮矿化

$$N_{nm} = K_{nm} \cdot N_{om} \cdot f(T) \cdot f(\theta) \quad (2)$$

式中 K_{nm} ——净矿化速率常数, d⁻¹; N_{om} ——可以转化为无机氮的有机氮含量; $f(T)$ 和 $f(\theta)$ ——土壤温度和湿度的修正系数。

$N_{om} = OM \times 0.043$; OM ——有机质含量, kg·hm⁻², 根据 N-Expert 系统提供的参数及整个试验期间土壤有机质的变化确定 K_{nm} , $K_{nm}(0\sim 90\text{ cm})$ 采用 0.0005 d⁻¹。

$f(T) = 1.071^{(T-35)}$ 以 35℃ 为最佳温度, $T < 5^\circ\text{C}$ 时, $f(T)$ 为零,

$$f(\theta) = \begin{cases} \theta/\theta_s & \theta \leq \theta_s \\ 1 - \frac{\theta - \theta_f}{\theta_s - \theta_f} & \theta > \theta_s \end{cases} \quad (3)$$

式中 θ_f ——田间持水率; θ_s ——饱和含水率。

1.3.2 氮挥发

$$N_v = K_v \cdot N_{(NH_4^+)} \cdot f(T) \cdot f(\theta) \quad (4)$$

式中 K_r —— NH_3 挥发速率常数 0.025 d^{-1} ^[11];
 $N_{(\text{NH}_4^+)}$ ——土壤中 NH_4^+ -N 的含量。氮肥施入土壤后的
 氨挥发一般发生在施用氮肥 14 d 以内, 14 d 以后土壤中的
 NH_3 挥发损失较小^[12]。本试验施用氮肥后 14 d 内的
 NH_3 挥发量是根据黄元仿^[11] 测定的结果来确定, 其余
 时间按本公式计算。

1.3.3 硝化与反硝化

铵态氮肥产生的 NH_4^+ 首先经过硝化过程生成
 NO_3^- , 这一过程在旱地土壤中均可发生, 而后随着土壤
 含水率的变化而发生不同程度的反硝化, 因此, 计算反
 硝化量时, 采用如下方法

$$N_{(\text{NO}_3^-)} = K_n \cdot N_{(\text{NH}_4^+)} \cdot f(T) \cdot f(\theta) \quad (5)$$

式中 K_n ——硝化速率常数, 取 0.24 d^{-1} ^[11];
 $N_{(\text{NH}_4^+)}$ ——土壤中 NH_4^+ -N 的含量。

$$N_d = K_d \cdot N_{(\text{NO}_3^-)} \cdot f(T) \cdot f(\theta) \quad (6)$$

式中 K_d ——反硝化速率常数, 取 0.001 d^{-1} ^[11];
 $N_{(\text{NO}_3^-)}$ ——土壤中 NO_3^- -N 的含量。

在田间研究时, 反硝化作用所需温度可以低至
 -2°C 到 -4°C , 明显的反硝化作用往往需要 $> 5^\circ\text{C}$ 的
 土壤条件。一般在早春或晚秋, 土壤温度降至 5°C 或者

更低时, 就测不到反硝化作用, 即使在土壤湿润、硝酸盐
 浓度较高时也是如此^[13]。因此, 在本文中当 $T < 5^\circ\text{C}$ 时,
 认为 $f(T)$ 为 0。土壤氮素反硝化作用的主要影响因素
 是土壤含水率, 发生土壤反硝化作用的土壤含水率临界
 值在作物生长土壤有效含水率的 70% ~ 80%^[14]。因
 此, 计算土壤反硝化量的土壤含水率校正系数采用如下
 公式

$$f(\theta) = \begin{cases} \theta/\theta_c & \theta/\theta_c > 0.5 \\ 0 & \theta/\theta_c \leq 0.5 \end{cases} \quad (7)$$

1.3.4 淋失与吸收

N_q ——土体 90 cm 处 NO_3^- -N 的淋洗量。氮素淋洗量
 利用田间定位通量法计算土层 90 cm 处水分通量, 再根
 据此处 NO_3^- -N 淋洗浓度计算每天的氮素淋失量^[15]。

土壤含水率利用试验中 TDR 的测定值, 作物的吸
 N 量 (N_{up}) 根据蔬菜不同生长期平均分配吸收量。

根据土壤最初的氮素含量, 利用氮素平衡方程计算
 试验期内土壤的氮素残留量, 从总体上看, 计算值与土
 壤无机氮的实测值符合较好(如图 1 所示), 基本上能够
 反映试验条件下传统水氮处理与优化水氮处理下土壤
 无机氮素的变化过程。

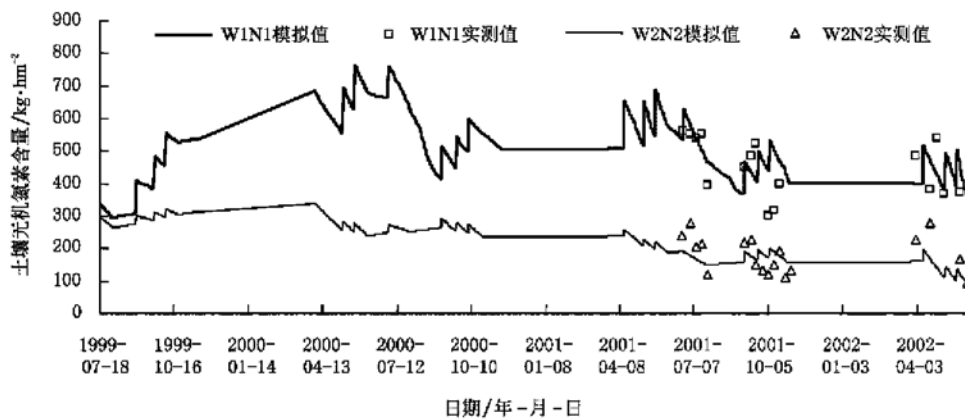


图 1 计算值与实测值的结果比较

Fig. 1 Comparison of the calculated and measured soil mineral nitrogen content

2 结果与讨论

2.1 蔬菜产量

传统水氮处理和优化水氮处理下蔬菜产量如图 2
 所示。2 年或 3 年各季蔬菜平均产量在上述两种水氮处
 理下均无显著差异 ($p = 0.05$), 农民习惯水肥管理下
 的产量为: 花椰菜 17.9 t/hm^2 , 苋菜 18.6 t/hm^2 , 菠菜
 29.5 t/hm^2 ; 而优化水肥管理下的产量为: 花椰菜 19.0
 t/hm^2 , 苋菜 18.3 t/hm^2 , 菠菜 27.0 t/hm^2 。

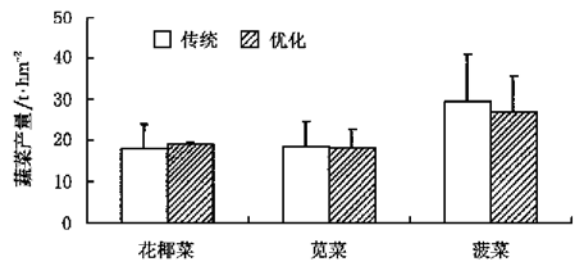


图 2 传统和优化水氮处理下蔬菜的平均产量

Fig. 2 Vegetable yield under traditional and improved water and nitrogen fertilizer treatments

2.2 无机氮损失量

根据氮素平衡方程对蔬菜地土壤无机氮素含量变化的模拟结果计算蔬菜生长期内土壤氮素损失量(指 $N_e + N_d + N_g$, 下同)、无机氮素残留量, 计算结果如表 2 所示。传统水氮处理中蔬菜生长期内无机氮素的损失量均高于优化处理中无机氮素损失量。从氮素损失总量上分析, 优化处理下花椰菜、苋菜和菠菜生长期内平均(2 年或 3 年)氮素损失量只有传统水氮处理中花椰菜、苋菜和菠菜生长期内平均氮素损失量的 9%、8% 和 18%。

传统水氮处理下花椰菜、苋菜和菠菜生长期内不同

年份土壤 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 淋洗量(N_q) 有所不同, 2001 年菠菜生长期内土壤 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 淋洗量比 1999 年高出 98.2 kg/hm^2 ; 花椰菜生长期内土壤 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 淋洗量从 2000 年的 64.3 kg/hm^2 增加到 2001 年的 164.0 kg/hm^2 , 到了 2002 年增加到 195.9 kg/hm^2 ; 而两季苋菜生长期内土壤 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 淋洗量相比较, 2001 年的淋洗量低于 2000 年, 但差异不大。优化水氮处理下 3 种蔬菜生长期内不同年份土壤 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 淋洗量虽有不同, 但淋洗量较小, 只有 0.5~9.9 kg/hm^2 , 与传统水氮处理土壤 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 淋洗量相比几乎可以忽略不计。

表 2 蔬菜生长期内传统和优化处理下蔬菜地无机氮损失量及蔬菜的吸氮量
Table 2 Components of mineralization nitrogen losses in field and absorbed nitrogen of vegetables during vegetable growth under traditional and improved treatments $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$

年份	蔬菜种类	传统水氮处理					优化水氮处理				
		土壤残留氮量	N_e	N_d	N_q	N_{up}	土壤残留氮量	N_e	N_d	N_q	N_{up}
1999	菠菜	308	35.4	5.0	22.0	72.4	276	11.5	1.5	3.1	76.1
2000	花椰菜	538	49.3	14.6	64.3	210.0	314	11.4	3.1	0.5	168.5
	苋菜	664	12.5	17.1	95.9	40.5	249	3.0	3.7	2.9	35.4
2001	花椰菜	508	48.7	30.4	164.0	173.7	240	8.9	6.3	4.7	122.7
	苋菜	535	12.0	28.1	83.0	62.0	192	2.2	5.5	1.8	56.8
	菠菜	366	33.9	34.0	120.2	109.1	159	12.4	6.7	9.9	95.9
2002	花椰菜	399	39.6	36.1	195.9	158.0	163	14.1	6.4	2.5	188.0

从土壤 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 淋洗量占土壤无机氮素损失的比例上分析, 传统水氮处理中花椰菜、苋菜和菠菜生长期内土壤氮素损失量以 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 淋洗量为最大, 分别是花椰菜、苋菜和菠菜生长期内氮素平均损失量(2 年或 3 年)的 66%、72% 和 57%, 说明传统水氮处理中有接近 2/3 的损失氮素是以淋洗的形式损失掉的。与传统水氮处理相比, 在优化水氮处理下, 花椰菜、苋菜和菠菜生长期内土壤含水量降低了 63~71 mm, 年际 3 茬共降低了约 200 mm, 施氮量只有传统水氮处理下施氮量的 14%~32%, 年际 3 茬共减少了 641 kg/hm^2 , 因此, 土壤 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 淋洗量大大降低, 年平均土壤 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 淋洗量只有传统水氮处理的 4%。在优化水氮处理下以 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 淋洗损失的氮素占土壤氮素损失比例分别是 13%、25% 和 29%, $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 淋洗量不到优化处理氮素损失量的 1/3。土壤 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 淋洗主要受两个因素影响, 即土壤无机氮素残留量和土壤含水率, 土壤氮素残留量愈高, 供水量愈大, 土壤氮素淋洗量也愈大^[16]。从蔬菜生长期内土壤残留无机氮量上看, 在传统和优化水氮处理下试验初期(1999 年菠菜和 2000 年花椰菜生长期)土壤残留氮素均有所上升, 随着种植年限的延长, 土壤残留无机氮素均有下降的趋势, 但由于传统水氮处理下施氮量远远高于优化水氮处理的施氮量, 因此, 土壤氮

素残留量也明显高于优化水氮处理, 加之传统水氮处理的灌溉量较大, 使土壤 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 淋洗量大大增加。

从氮挥发(N_e)的角度分析, 传统水氮处理下花椰菜、苋菜和菠菜生长期内的平均(2 年或 3 年)氮挥发量分别是优化处理的 4 倍、5 倍和 3 倍。但相同处理下不同年份花椰菜、苋菜和菠菜生长期内土壤氮挥发量差异不大, 这是由于土壤氮挥发虽受多种因素的影响, 但主要集中在施肥后 2 周内进行^[12], 随后受土壤氮素含量影响较小, 由此可见, 土壤氮挥发量与施氮量有直接的关系。传统施氮处理下施氮量较高, 氮挥发量相对较大, 而优化水氮处理下施氮量较低, 氮挥发量较小。

与土壤氮挥发不同, 传统水氮处理与优化水氮处理下的反硝化量(N_d)均有随种植年限延长而增加的趋势。土壤含水率是影响土壤反硝化的主要因素, 其次是土壤温度和土壤 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 含量^[17]。当土壤含水率达到作物生长有效土壤含水率的 65%~75%, 反硝化速率很低, 但随土壤含水率的增加呈显著增加的趋势^[18]。传统水氮处理下土壤含水量较大, 使土壤含水率较高; 较高的施氮量增加了土壤 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 的含量, 导致传统水氮处理下反硝化量相应较大; 优化水氮处理下, 土壤含水率保持在蔬菜生长有效含水率的 80% 以下, 施氮量较低, 因此反硝化量较小, 优化处理下花椰菜、苋菜和菠菜生

长期内反硝化量只有传统处理的 1/5 左右。

传统处理下花椰菜、苋菜和菠菜的平均吸氮量 (N_{up}) 均低于其生长过程中的平均施氮量, 分别是平均施氮量的 43%、51% 和 29%, 大约有接近一半的肥料氮或残留于土体或以气态形式损失; 优化处理中 3 种蔬菜平均吸氮量高于或接近蔬菜生长过程中的平均施氮量。由此可见, 优化处理下蔬菜生长过程中充分利用了土壤残留氮素和矿化氮, 这与 Moreno 在玉米中的试验结果相似^[19]。有研究表明, 旱地农田生态系统中氮肥的后效可持续到第四季作物^[20]。优化水氮处理中, 施用氮肥时考虑了土壤残留态氮和矿化氮, 明显减少了土壤氮素的损失风险。

2.3 氮素利用效率

土壤氮素利用效率 (NUE) 是指消耗一个单位土壤氮素所生产的经济产量, 它反应产量和土壤养分资源消耗量的关系^[21], 即

$$NUE = Y/N_{con} \quad (8)$$

$$N_{con} = N_g + N_v + N_d + N_{up} \quad (9)$$

式中 N_{con} ——蔬菜生长期土壤无机氮素消耗量。

优化处理与传统处理相比, 3 种蔬菜平均氮素利用效率明显较高(如图 3 所示)。传统处理下的花椰菜、苋菜和菠菜的平均氮素利用效率为 47、105 和 123 kg/kg; 优化处理中的花椰菜、苋菜和菠菜的平均氮素利用效率为 109、330、213 kg/kg, 分别为传统处理下各蔬菜氮素利用效率的 2.3 倍、3.2 倍和 1.7 倍。由此可见, 蔬菜生产中传统水氮处理下土壤氮素利用较低, 而通过合理的降低水分和氮素的供给量, 提高氮素利用效率是有很大空间的。

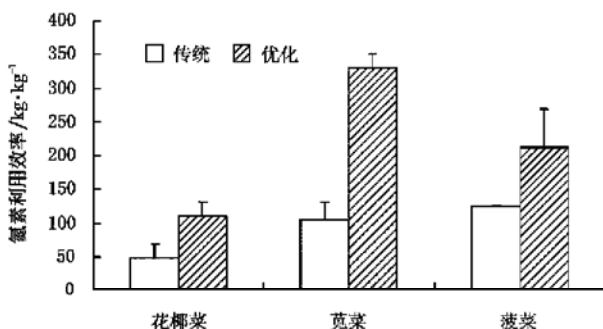


图 3 传统处理和优化处理下蔬菜的氮素利用效率

Fig. 3 Nitrogen use efficiency(NUE) of vegetable in traditional and improved water and nitrogen treatments

3 结论

从 3 年的试验结果可见, 与传统水氮处理相比, 优化水氮处理中蔬菜生长期内节约灌溉用水 26%~

46%, 减少施氮量 68%~86%, 即可得到与传统水氮处理相当的产量, 土壤氮素损失量明显减少, 氮素利用效率大幅提高。由此说明, 目前蔬菜生产中土壤氮素利用效率较低的原因是氮肥的施用量过高和不合理的灌溉。

蔬菜属于需水需肥量较大的作物, 多年来蔬菜生产中农民一直以传统的水氮处理为主要生产方式, 如何合理降低施氮量、减少灌溉量而不降低蔬菜产量是水氮管理中的核心问题。本试验结果表明, 通过专家系统确定施氮量, 控制土壤含水率在蔬菜生长有效含水率的 50%~80%, 降低施氮量的同时合理降低蔬菜地的供水量, 而未影响蔬菜产量。与目前农民习惯的传统水氮处理方式相比, 优化水氮处理方式在实际生产中有很大的推广价值。

本研究中所有的小区均采用微喷的灌溉方式, 可能与传统的农民管理蔬菜地的方式有所差别, 对土壤中氮素损失可能影响较大, 因此, 不同灌溉方式如大水漫灌、畦灌和喷灌对蔬菜地土壤氮素损失的影响有待于进一步研究, 以便对蔬菜生产中采用合理的灌溉方式提供理论指导。

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、张宏彦副教授和土水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。

[参 考 文 献]

- [1] 陈新平, 张福锁. 北京地区蔬菜施肥总量与对策[J]. 中国农业大学学报, 1996, 1(5): 63-66.
- [2] 朱兆良, 文启孝. 中国土壤氮素[M]. 南京: 江苏科学技术出版社, 1992: 213-249.
- [3] 张维理, 田哲旭, 张宁, 等. 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.
- [4] Pang P, Letey J, Wu L. Irrigation quantity and uniformity and nitrogen application effects on crop yield and nitrogen leaching[J]. Soil Sci Soc Am J, 1997, 61: 257-261.
- [5] 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.
- [6] Wehrmann J, Scharpf H C. Reduction of nitrate leaching in a vegetable farm-fertilization, crop rotation, plant residues[A]. Protection of water quality from harmful emissions with special regard to nitrate and heavy metal. Proceeding of the 5th International Symposium of CIEC [C]. 1989: 247-253.
- [7] 巨晓棠, 刘学军, 邹国元, 等. 冬小麦/夏玉米轮作体系中氮素的损失途径分析[J]. 中国农业科学, 2002, 35(12): 1493-1499.

- [8] Fink M, Scharpf H C. N-Expert—A decision support system for vegetable fertilization in the field[J]. *Acta Horti*, 1993, 339: 67– 74.
- [9] Jones A, Kiniry R (eds), CERES-Maize. A simulation model of maize growth and development[M]. Texas A&M University Press, 1986.
- [10] 王康, 沈荣开. 节水条件下土壤氮素的环境影响效应研究[J]. *水科学进展*, 2003, 14(4): 437– 441.
- [11] 黄元仿, 李韵珠. 应用¹⁵N示踪微区试验研究土壤氮素循环参数[A]. 李韵珠, 陆锦文, 罗远培等. 土壤水和养分的有效利用论文集[C]. 北京: 中国农业大学出版社, 1994.
- [12] 李贵桐. 秸秆还田条件下冬小麦/夏玉米农田土壤氮素的转化与损失[D]. 北京: 中国农业大学, 2001.
- [13] 邹国元. 冬小麦/夏玉米轮作体系中肥料氮的硝化-反硝化作用研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2001.
- [14] Doran J W, Mielke L N, Power J F. Microbial activity as regulated by soil water-filled pore space[J]. *Soil Science*, 1990, 3: 94– 99.
- [15] 于红梅, 李子忠, 龚元石. 不同水氮管理下蔬菜地硝态氮淋洗特征的研究[J]. *中国农业科学*, 2005, 38(9): 1849– 1855.
- [16] 袁新民, 王周琼. 硝态氮的淋洗及其影响因素[J]. *干旱区研究*, 2000, 17(4): 46– 52.
- [17] 李亚星. 麦田土壤反硝化作用动态的研究[D]. 北京: 北京农业大学, 1993.
- [18] Aulakh M S, Rennie D A. Effect of wheat straw incorporation on denitrification of N under anaerobic and aerobic conditions[J]. *Can J Soil Sci*, 1987, 67: 825– 834.
- [19] Moreno F, Cayuela J A, Fernández E J E, et al. Water balance and nitrate leaching in an irrigated maize crop in SW Spain[J]. *Agri Water Mana*, 1996, 32: 71– 83.
- [20] 魏亚萍, 王璞, 陈才良. 冬小麦-夏玉米轮作体系下不施氮对作物产量和土壤无机氮的影响[J]. *华北农学报*, 2004, 19(1): 93– 96.
- [21] 李韵珠, 王凤仙, 黄元仿. 土壤水分和养分利用效率几种定义的比较[J]. *土壤通报*, 2000, 31(4): 150– 155.

Comparison of nitrogen loss and use efficiency of vegetable in vegetable field under traditional and improved water and N-fertilizer management

Yu Hongmei¹, Li Zizhong², Gong Yuanshi²

(1. College of Resources and Environmental Science, Anhui Agricultural University, Hefei 230036, China;

2. Department of Soil and Water Science, College of Resources and Environmental Sciences China Agricultural University, Beijing 10094, China)

Abstract: A vegetable sequence system (Cauliflower-Amaranth-Spinach) used by farmer was set up. Changes of soil mineral nitrogen in vegetable field were simulated by using nitrogen balance model. The loss of soil mineral nitrogen and Nitrogen Use Efficiency (NUE) were analyzed under traditional and improved water and N-fertilizer managements. The results showed that the average soil mineral nitrogen losses (the total of ammonia volatilization and denitrification and nitrate leaching) of vegetable field during Cauliflower and Amaranth and Spinach growth under improved conditions were about 9% and 8% and 18% of those of traditional water and nitrogen management. But NUE of Cauliflower and Amaranth and Spinach were 2.3 times and 3.2 times and 1.7 times as much as those of traditional water and N-fertilizer management. Yield of vegetable was not significantly different under improved and traditional water and N-fertilizer management practices.

Key words: water and N-fertilizer management; nitrogen loss; nitrogen use efficiency; vegetable