

不同水肥耦合对西芹收获期土壤硝酸盐累积的影响^①

张洁瑕^{1,2,3}, 刘树庆^{1*}, 宁国辉¹, 崔邢涛⁴

(1 河北农业大学资源与环境学院, 河北保定 071001; 2 农业部资源遥感与数字农业重点开放实验室, 北京 100081;

3 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所, 北京 100081; 4 石家庄经济学院资源与环境工程研究所, 石家庄 050031)

摘要: 采用三因素五水平二次通用旋转组合设计, 研究了冀西北高寒半干旱区不同水肥耦合对旱棚西芹收获期 0~40 cm 土层中硝酸盐累积的影响。结果表明: ①在高中低不同水肥处理组合中, 较高肥在较高水下可减少 0~40 cm 土层土壤硝酸盐的累积, 较高肥在较低水下可使土壤硝酸盐相对累积增多; 综合因子效应分析表明: 随着单因子水平增加, N、P 和水 (W) 对 0~40 cm 土层土壤硝酸盐的相对累积依次表现为: 增加、不明显和减少。②三因子其他组合下, 0~40 cm 土层土壤硝酸盐的累积效应表现为: 在 PW 一致下, 随 N 量的增加而增加; 在 NP 一致下, 随灌水量增加而减少; 在 NW 一致下, 随施 P 量增加而有不确定性。各处理硝酸盐的累积均随土壤深度的增加而增加, 体现了水对土壤硝酸盐淋洗的特点。

关键词: 西芹; 收获期; 土壤; 硝酸盐; 累积

中图分类号: X53; S14

早在 20 世纪 40 年代就曾报道饮水中的 NO_3^- 可引起婴儿高铁血红蛋白症。作为人们日常生活重要的食品之一, 蔬菜是容易富集硝酸盐的作物^[1-5], 人体摄入的硝酸盐 81.2% 都来自蔬菜^[1-5], 同时, 蔬菜又是喜水喜肥的作物, 种植过程中不合理的肥水管理在引起菜体富集大量的硝酸盐的同时, 还会带来土体硝酸盐积累。作物收获后土壤 NO_3^- -N 的累积越多, 土壤 NO_3^- -N 被淋失的可能性也越大^[6-7]。作为土壤中作物吸收 N 的有效形式, 土壤 NO_3^- -N 在土壤中易于发生淋溶而引起水体富营养化^[8]。因此, 适当减少土壤 NO_3^- -N 的累积, 尽可能控制土壤 NO_3^- -N 的淋失是 N 肥调控的一个重要目标^[9]。自 20 世纪 90 年代以来, 随着因施肥增加而带来水体污染的加剧, 关注农田土壤 NO_3^- -N 的流失问题成了研究焦点, 而蔬菜生产中肥料施用量大, 灌水数量和频率又高于一般农田, 因此菜地的养分累积情况更加严重^[10]。国内外在 NO_3^- -N 的迁移动力学和防止 NO_3^- -N 淋失的对策方面作了很多研究^[11], 这些研究大都集中在施肥水平、灌溉措施、轮作、耕作措施以及水肥耦合等方面, 并且相对于菜地来说, 以农田为对象的研究居多^[12], 一些理论也较为成熟。目前, 对于菜地土壤硝酸盐累积的研究也纷纷展开^[13-25], 这些

研究多围绕施肥^[15-26]、灌溉方式^[13-14, 27-28]及耕作措施^[29]等进行, 而对于水肥耦合的研究较少。河北省坝上地区得天独厚的生育-温度-降水“三同步”优势^[30], 为开发区域生态资源, 实现该地区蔬菜的产业化奠定了良好的基础。该区蔬菜生产已成了当地农民主要经济来源之一, 关注该区蔬菜安全生产具有重要的意义。有鉴于此, 本研究在试区采用旱棚控制试验, 对不同水肥耦合下河北省坝上菜区西芹收获期硝酸盐累积状况进行分析, 以探讨在不同水肥处理下西芹收获后土壤硝酸盐的累积情况, 为蔬菜生产中合理施肥尽可能地控制土壤 NO_3^- -N 的淋失使其生态环境良性循环提供科学的水肥管理依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验设在河北省西北部张家口市的张北县小兒台乡试区。试验区位于北纬 39°30'~42°10', 东经 113°49'~116°04', 海拔 1400~1600 m, 年均气温 3.8℃, $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温 857℃。试验区年平均降水量 350~420 mm, 5 至 9 月为作物生育期, 降水量占年降水量的 80%, 总日照时数 1276 h, 雨热同季, 有利于作物的生长; 昼夜

①基金项目: 张北试区国家及省“十五”科技攻关课题 (01220930D) 资助。

* 通讯作者 (liushuqing2002@163.com)

作者简介: 张洁瑕 (1975—), 女, 山西运城人, 博士, 主要从事土壤生态肥力、土地利用区划、土地生产力及粮食安全研究。E-mail: zhangxiwen88@126.com

温差 (12~17℃) 大, 有益于错季蔬菜的生长。

1.2 供试材料

1.2.1 土壤 试区土壤为中壤质栗钙土; 土壤理化性质: 有机质 18.0 g/kg、全 N 1.65 g/kg、全 P 0.61 g/kg、全 K 19.4 g/kg、碱解 N 110.5 mg/kg、速效 P 11.7 mg/kg、速效 K 140.0 mg/kg、pH 8.0。

1.2.2 肥料 尿素 (含 N 460 g/kg), 过磷酸钙 (含 P_2O_5 100 g/kg)。

1.2.3 蔬菜 西芹, 品种为文图拉 (美国)。

1.3 研究方法

1.3.1 试验设计 微区试验设置采用氮 (N)、磷 (P)、水 (W) 三因素五水平二次通用旋转组合设计^[31] (表 1), 21 个处理组合, 3 次重复, 共 63 个小区, 随机区组排列; 微区设防雨措施, 即旱棚 10 m × 20 m, 小区为长 1 m, 宽 1 m, 高 1.4 m 的水泥池。

表 1 西芹水肥耦合试验方案设计及产量结果

Table 1 Design of water-fertilizer coupling experiment and results of celery yield

处理	水平因子			实际用量			收获产量
	$X_1(N)$	$X_2(P)$	$X_3(W)$	$X_1(N)$ (kg/hm ²)	$X_2(P)$ (kg/hm ²)	$X_3(W)$ (m ³ /hm ²)	
1	1	1	1	430.5	144	5692	159200
2	1	1	-1	430.5	144	3308	131200
3	1	-1	1	430.5	36	5692	156800
4	1	-1	-1	430.5	36	3308	112800
5	-1	1	1	109.5	144	5692	184000
6	-1	1	-1	109.5	144	3308	117600
7	-1	-1	1	109.5	36	5692	137600
8	-1	-1	-1	109.5	36	3308	114400
9	1.682	0	0	540	90	4500	132000
10	-1.682	0	0	0	90	4500	149600
11	0	1.682	0	270	180	4500	156000
12	0	-1.682	0	270	0	4500	130400
13	0	0	1.682	270	90	6500	152000
14	0	0	-1.682	270	90	2500	77333.33
15	0	0	0	270	90	4500	172000
16	0	0	0	270	90	4500	165600
17	0	0	0	270	90	4500	170181.8
18	0	0	0	270	90	4500	168000
19	0	0	0	270	90	4500	160000
20	0	0	0	270	90	4500	176000
21	-1.682	-1.682	-1.682	0	0	2500	96727

1.3.2 试验实施 试验于 2005 年 6 月 29 日开始 (移栽西芹), 于 2005 年 9 月 24 日截止 (收获西芹), 将近 3 个月。根据试验设计表 1, 严格试验过程中的水肥管理。首先, P 肥作底肥, 一次性投入; 其次, 对于 N 肥, 在整个西芹生育期间, 针对各小区实际用量, N 肥分 3 次投入, 1/3 N 为底肥, 另 2 份各 1/3 的 N 肥作追肥两次投入 (8 月 5 日、8 月 21 日); 最后, 关于灌水定额, 针对各小区实际用量, 平均分 10 次灌溉 (自移栽起每 10 天浇 1 次), 每次灌溉定额通过水密度公式折算成实际质量, 用水桶标记作为固定量器按时灌溉。

1.3.3 试验样品采集 收获时采集样品, 根据代表性和典型性原则, 在收获后利用土钻对各个小区按照“S”路线以 10 cm 分层采取 0~40 cm 土层土壤作为分析样品。

1.3.4 试验样品处理 样品分装在保险袋里, 带回实验室及时测定。测定时土壤样品用 1 mol/L KCl 溶液振荡提取 (土液比为 1:5), 过滤, 然后采用连续流动分析仪测定土壤硝酸盐含量^[32]。

1.3.5 测定项目与方法 土壤硝酸盐测定参考《土壤农业化学常规分析法》^[33]; 数理统计方法参考《Excel 2002 高级应用——数理统计》^[34]。

2 结果与分析

分析原则: 在对比试验中, 多采用处理 21 和处理 20 作为对照, 前者为了突出缺素效应, 后者则因其在整个生育期内, 西芹硝酸盐的数值较相同处理 15 至 20 能更好代表平均值 (各不同处理西芹的产量见表 1)。

2.1 水肥高中低不同组合下土壤硝酸盐累积状况

从图 1 可看出: 各处理土壤硝酸盐的累积量均随土层深度的增加而增加, 充分体现了水的淋溶特点。其累积量顺序: 处理 2 ($N_{430.5}P_{144}W_{3308}$) > 处理 20 ($N_{270}P_{90}W_{4500}$) > 处理 1 ($N_{430.5}P_{144}W_{3308}$) > 处理 8 ($N_{109.5}P_{36}W_{3308}$) > 处理 7 ($N_{109.5}P_{36}W_{5692}$), 即较高肥较低水 > 中肥中水 > 较高肥较高水 > 较低肥较低水 > 较低肥较高水。这说明水肥的较高、中、较低不同组合对 0~40 cm 土层土壤硝酸盐的累积量有很大的影响, 较高肥在较高水下可减少硝酸盐在土壤中的累积量, 而较高肥在较低水下, 可使 0~40 cm 土层土壤硝酸盐的累积量相对增多。这从侧面印证了: 高 N 肥用量施用易使土壤积累硝酸盐^[35]。在其他因素不变的情况下, 加大 N 肥的用量, 可使 0~40 cm 土层土壤硝酸盐的累积量加大; 在其他因素不变的情况下, 增加浇水量, 可使土壤硝酸盐的累积量减小, 这意味着 40 cm

土层以下土壤硝酸盐含量增加。

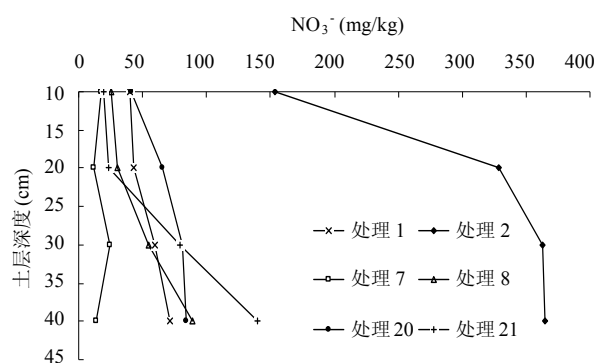


图 1 水肥高中低不同组合下各土层 NO_3^- 含量

Fig. 1 Changes of NO_3^- contents with soil depth under different

2.2 单因子效应分析

2.2.1 N 对土壤中硝酸盐累积的影响 从图 2a 可看出: 除处理 9 ($N_{540}P_{90}W_{4500}$) 外, 其他各处理土壤硝酸盐的累积量均随土层深度的增加而增加, 前者可能是由于较发达的根系对 20~40 cm 土层土壤硝酸盐相对吸收过多所致; 在其他因素相对一致的情况下, 随着 N 肥用量的增加, 土壤硝酸盐的相对累积量也增加, 这符合大多数人的观点^[35-36]。

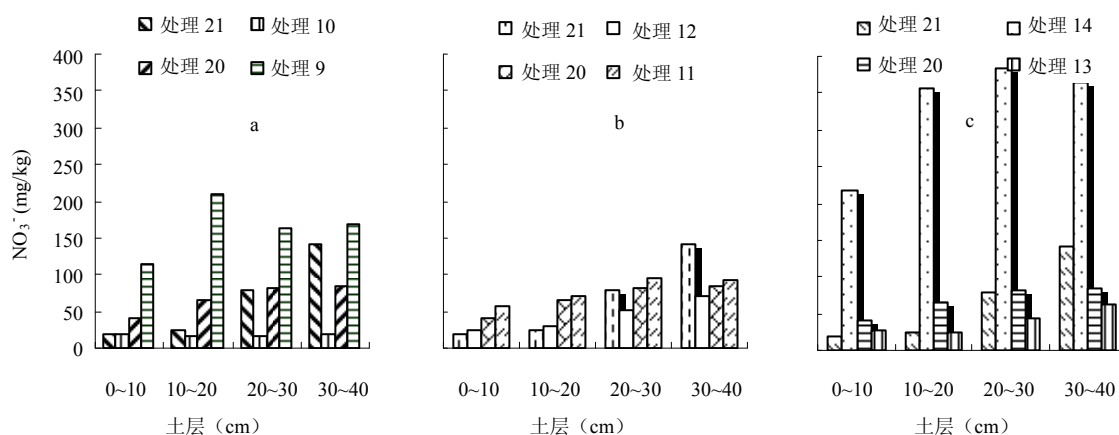


图 2 单因子对土壤 NO_3^- 的累积效应 (a: N, b: P, c: W)

Fig. 2 Effect of single factor on soil nitrate

2.2.2 P 对土壤中硝酸盐累积的影响 从图 2b 可看出: 各处理土壤硝酸盐的累积均随土壤深度的增加而增加, 体现了水的淋溶特点。对照处理 21 ($N_0P_0W_{2500}$) 土壤硝酸盐的累积与其他处理相比, 虽然没有施肥, 但在 30~40 cm 土层累积程度最大, 这是由于西芹在缺水缺肥情况下, 生长缓慢, 植株对土壤硝酸盐的吸

收相对来说较少。从图 2b 还可看出: 在其他因素相对一致的情况下, 随着施 P 量的增加, 土壤硝酸盐的累积量增加, 即处理 12 ($N_{270}P_0W_{4500}$) < 处理 20 ($N_{270}P_{90}W_{4500}$) < 处理 11 ($N_{270}P_{180}W_{4500}$), 这说明相对丰富的有效 P 可提高 N 肥的利用效率, 在一定程度上, 对 N 肥起了一定的缓释作用。

2.2.3 水对土壤中硝酸盐累积的影响 从图 2c 可看出: 各处理土壤硝酸盐的累积均随土层深度的增加而增加; 在其他因素相对一致的情况下, 随着浇水量的增加, 各处理各土层硝酸盐的累积量也减少, 且处理 14 ($N_{270}P_{90}W_{2500}$) 各土层硝酸盐的相对累积程度最大, 处理 13 ($N_{270}P_{90}W_{6500}$) 的土壤硝酸盐的累积程度最低, 还不及对照的多, 这不仅与各自西芹的吸收程度有关, 更重要的是体现了水的强烈淋洗特点, 意味着大量硝酸盐被淋洗到 40 cm 以下土层。

2.3 双因子效应分析

2.3.1 在较高、较低 N 下 PW 交互效应对土壤硝酸盐的累积影响 从图 3 可看出, 随着施 N 量的增加, 土壤硝酸盐的相对累积量也增大, 表现为图 3a 中各处理土壤硝酸盐累积量均相应地远大于图 3b 中各处理; 两图均有随着土层深度的增加, 在 0~40 cm 土层内土壤硝酸盐的相对累积量基本增加, 体现了水对土壤硝酸盐的强烈淋洗作用; 在 NP 不变情况下, 随灌水量的减少土壤硝酸盐的累积也增加; 在 NW 一致情况下, 各处理土壤硝酸盐的相对累积相差不大, 且随施 P 量的增加, 处理间土壤硝酸盐相对累积表现为不确定性, 体现了 P 对 N 代谢影响的双重性。

从图 3a 可看出: 在 NP 不变的情况下, 随着灌水量的减少, 表层土壤硝酸盐的相对累积程度加大, 即处理 1 ($N_{430.5}P_{144}W_{5692}$) < 处理 2 ($N_{430.5}P_{144}W_{3308}$), 处理 3 ($N_{430.5}P_{36}W_{5692}$) < 处理 4 ($N_{430.5}P_{36}W_{3308}$), 且与处理 1 ($N_{430.5}P_{144}W_{5692}$) 和处理 3 ($N_{430.5}P_{36}W_{5692}$) 相比, 处理 2 ($N_{430.5}P_{144}W_{3308}$) 和处理 4 ($N_{430.5}P_{36}W_{3308}$) 土壤硝酸盐的相对累积程度最大,

体现了过多水分对土壤硝酸盐的强烈淋洗作用。另外, 在 NW 不变的情况下, 随着施 P 量的减小, 土壤硝酸盐的相对差别不大, 变化不定, 有的增大, 如处理 1 ($N_{430.5}P_{144}W_{5692}$) < 处理 3 ($N_{430.5}P_{36}W_{5692}$), 有的减少, 如处理 2 ($N_{430.5}P_{144}W_{3308}$) > 处理 4 ($N_{430.5}P_{36}W_{3308}$), 前者可能是由于水分充足的情况下, 对于处理 1 ($N_{430.5}P_{144}W_{5692}$), 合理的 NP 比可促使土壤硝酸盐的积极吸收, 从而使土壤硝酸盐的相对累积量减少, 后者可能由于水分不足情况下, 对于处理 2 ($N_{430.5}P_{144}W_{3308}$), 合理的 NP 比使土壤硝酸盐的相对利用率提高, 从而使一部分土壤硝酸盐得以保蓄。

从图 3b 可看出: 各处理土壤硝酸盐的累积除处理 7 ($N_{109.5}P_{36}W_{5692}$) 外, 均随土层深度的增加而增加; 各处理土壤硝酸盐的累积量相比, 处理 8 ($N_{109.5}P_{36}W_{3308}$) 和处理 6 ($N_{109.5}P_{144}W_{3308}$) 相对大于处理 5 ($N_{109.5}P_{144}W_{5692}$) 和处理 7 ($N_{109.5}P_{36}W_{5692}$), 而以前者累积程度最大, 这些均体现了水对土壤硝酸盐的强烈淋洗作用。另外, 随着 P 用量的减少, 土壤硝酸盐的相对累积量不定, 有的增加, 如处理 6 ($N_{109.5}P_{144}W_{3308}$) < 处理 8 ($N_{109.5}P_{36}W_{3308}$); 有的减少, 如处理 5 ($N_{109.5}P_{144}W_{5692}$) > 处理 7 ($N_{109.5}P_{36}W_{5692}$)。前者因缺水情况下, 丰富有效 P 起了以水调肥的作用, 后者可能由于较高水情况下, 充足的水分使处理 5 ($N_{109.5}P_{144}W_{5692}$) 丰富有效 P 提高了 N 肥的利用率, 从而使土壤硝酸盐的累积相对增多。而处理 7 ($N_{109.5}P_{36}W_{5692}$) 因其合理的 NP 配比, 促进了西芹根系分泌有机物, 从而加大了对土壤硝酸盐的利用, 使土壤硝酸盐的累积相对减少。

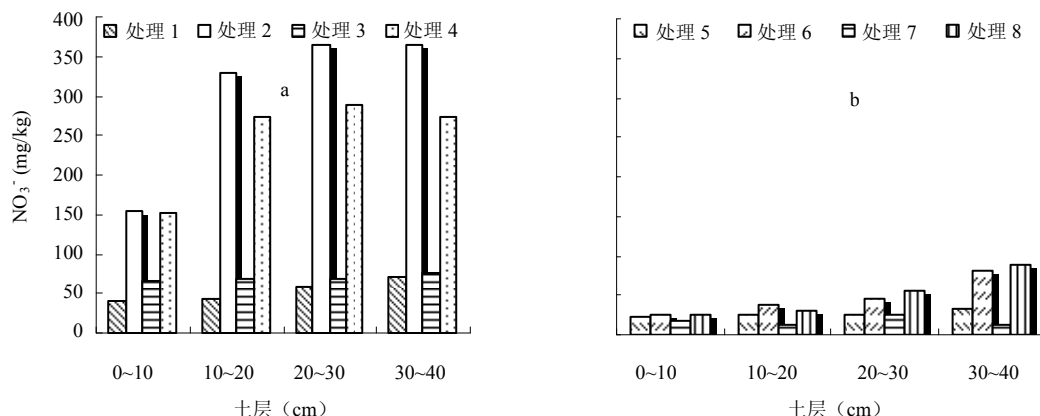


图 3 不同 N 下 PW 对土壤 NO_3^- 的累积效应

Fig. 3 PW effects on soil nitrate accumulation under the different N levels

2.3.2 在较高、较低 P 下 NW 交互效应对土壤硝酸盐的累积影响 从图 4 可看出, 图 4a 与图 4b 相比,

随着 P 因子水平的降低, 图 4a 各处理土壤硝酸盐的相对累积量虽不如图 3 各处理彼此间相差程度大, 但也

均大于图 4b, 说明充足的有效 P 在一定程度上对土壤硝酸盐累积具有保蓄作用, 从而对 N 肥起了一定程度的缓控释作用; 两图均有: 在 PW 不变的情况下随着施 N 量的减少, 土壤硝酸盐的相对累积量增加; 在 NP 不变情况下, 随着灌水量的减少, 土壤硝酸盐的相对累积量加大。综合分析可知, 在 P 因子水平较高的情况下, 在一定程度上可加大土壤硝酸盐相对累积量, 减弱土壤硝酸盐对地下水的硝酸盐污染。

从图 4a 可看出: 各处理土壤硝酸盐的累积均随土

层深度的增加而增加; 随着灌水量的增加而减少。在相同施 N 的基础上, 土壤硝酸盐的累积量相对增多, 如处理 1 ($N_{430.5}P_{144}W_{5692}$) < 处理 2 ($N_{430.5}P_{144}W_{3308}$), 处理 5 ($N_{109.5}P_{144}W_{5692}$) < 处理 6 ($N_{109.5}P_{144}W_{3308}$), 前者土壤硝酸盐相对差较大, 而后者则较少, 突出了 N 对土壤硝酸盐累积的影响; 与其他处理相比, 高施 N 处理 1 ($N_{430.5}P_{144}W_{5692}$) 土壤硝酸盐的累积量只是略高于其他两个低 N 处理, 这些都充分说明过量的水分可促使高施 N 下土壤硝酸盐的极度淋洗。

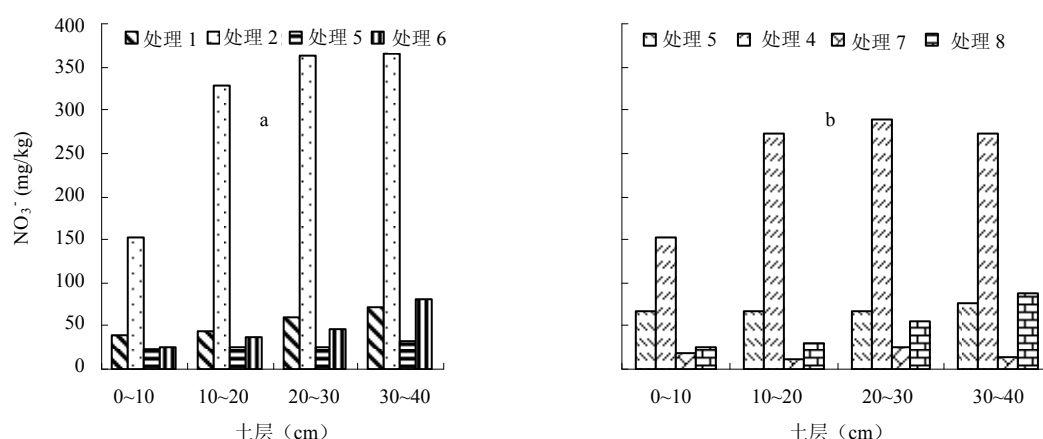


图 4 不同 P 下 NW 对土壤 NO_3^- 的累积效应

Fig. 4 NW effect on soil nitrate accumulation under different P levels

从图 4b 可看出: 在较低 P 情况下, 各处理土壤硝酸盐的相对累积以处理 4 ($N_{430.5}P_{36}W_{3308}$) 最高, 以处理 7 ($N_{109.5}P_{36}W_{5692}$) 最低, 体现了高 N 低 W 以及低 N 高 W 对土壤硝酸盐的极端影响。处理 3 ($N_{430.5}P_{36}W_{5692}$) 与其他处理相比, 土壤硝酸盐的相对累积量与高 N 情况下相对应组合比较大, 可能是缺 P 影响了西芹对硝酸盐的吸收。

2.3.3 较高、较低 W 下 NP 交互分析 从图 5 可

看出, 随着灌水量的减少土壤硝酸盐强烈累积, 表现为 0~40 cm 土层内图 5a 各处理土壤相对硝酸盐累积量远低于相应的图 5b 中各处理; 随着施 P 量的减少, 两图各处理彼此间土壤硝酸盐相对累积量相差不大, 大小不定, 体现了 P 对土壤硝酸盐影响的不确定性, PW 一定时, 随着施 N 量的减少, 土壤硝酸盐的相对累积量减少。综合分析图 5 可知, 在 NP 组合一致情况下, 水对土壤硝酸盐有强烈的淋洗作用。

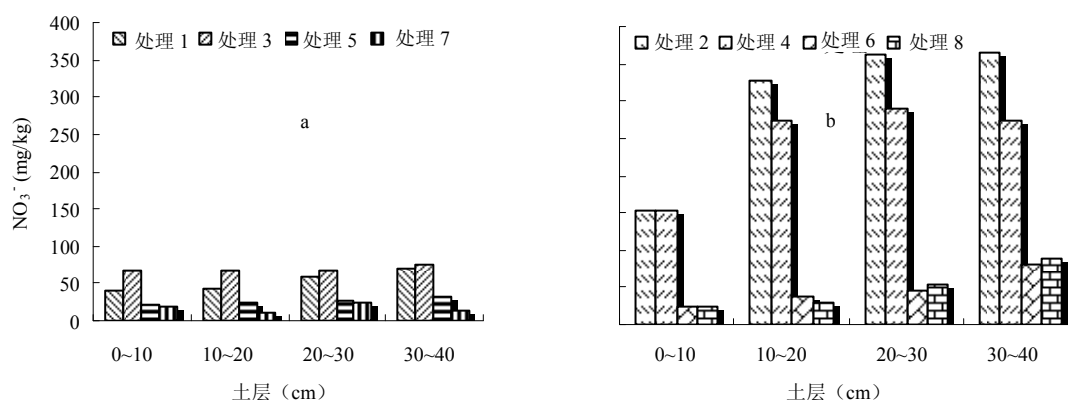


图 5 不同 W 下 NP 对土壤 NO_3^- 的累积影响

Fig. 5 NP effect on soil nitrate accumulation under different W

从图 5a 可看出: 在较高水水平下, 随着施N量的增加, 各处理土壤硝酸盐的相对累积量增加, 即处理 1 ($N_{430.5}P_{144}W_{5692}$) 和处理 3 ($N_{430.5}P_{36}W_{5692}$) 远远高于处理 5 ($N_{109.5}P_{144}W_{5692}$) 和处理 7 ($N_{109.5}P_{36}W_{5692}$), 突出了N对土壤硝酸盐累积的重要影响。另外, 随着P用量的减少, 各处理土壤硝酸盐的相对累积量不定, 即处理 1 ($N_{430.5}P_{144}W_{5692}$) < 处理 3 ($N_{430.5}P_{36}W_{5692}$), 处理 5 ($N_{109.5}P_{144}W_{5692}$) > 处理 7 ($N_{109.5}P_{36}W_{5692}$), 说明在较高水水平下, 前者处理 1 ($N_{430.5}P_{144}W_{5692}$) 丰富的有效P有利于硝酸盐的积极吸收而使土壤硝酸盐的相对累积量减少, 后者处理 7 ($N_{109.5}P_{36}W_{5692}$) 合理的NP比有助于增加土壤硝酸盐的相对吸收。

从图 5b 可看出: 在较低水水平下, 随着施N量的增加, 而土壤硝酸盐的累积量也增加, 处理 2 ($N_{430.5}P_{144}W_{3308}$) 和处理 4 ($N_{430.5}P_{36}W_{3308}$) 与处理 6 ($N_{109.5}P_{144}W_{3308}$) 和处理 8 ($N_{109.5}P_{36}W_{3308}$) 相比, 土壤硝酸盐的绝对累积量很大, 说明了施N对土壤硝酸盐累积量的绝对影响; 而随着施P量的增加, 土壤硝酸盐的相对累积量不定, 说明了P对土壤硝酸盐影响的复杂性。

2.4 三因子交互效应分析

从图 6 可知, 因子高低的不同组合, 均显著地影响土壤硝酸盐的累积。从图 6b 可看出缺素对土壤硝酸盐的累积量影响极明显, 表现为处理 5 ($N_{109.5}P_{144}W_{5692}$) < 处理 3 ($N_{430.5}P_{36}W_{5692}$) < 处理 2 ($N_{430.5}P_{144}W_{3308}$); 图 6a 因子间综合效应明显, 表现为处理 4 ($N_{430.5}P_{36}W_{3308}$) > 处理 6 ($N_{109.5}P_{144}W_{3308}$) > 处理 7

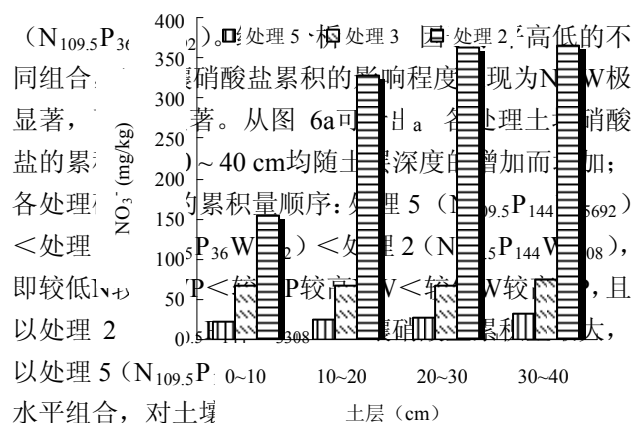


图 6 三因子对土壤 NO_3^- 的交互影响
Fig. 6 Interaction effect of three factors on soil NO_3^-

处理 4 ($N_{430.5}P_{36}W_{3308}$) 即较高N的施入量而使土壤硝酸盐的累积量较多, 处理 7 ($N_{109.5}P_{36}W_{5692}$) 即以较高水浇灌而使土壤硝酸盐的相对累积量极低。这进一步印证了大多数人的观点, 即高施N肥可促使土壤硝酸盐较多的累积。从图 6b 还可看出: 除处理 7 ($N_{109.5}P_{36}W_{5692}$) 外, 其他各处理土壤硝酸盐的累积量均随土层深度的增加而增加, 前者可能是由于较发达的根系对 20~40 cm 土层土壤硝酸盐相对吸收过多所致; 在其他因素相对一致的情况下, 随着N肥用量的增加, 土壤硝酸盐的相对累积量也增加, 这符合大多数人的观点。各组合中, 不同于其他两个因子水平的因子, 无论较高或较低, 对土壤硝酸盐累积的影响程度都很明显, 突出了因子合理配比的重要性, 以及资源优化配置的环境意义。

3 讨论

需要指出的是, 本试验中, 作为不施N处理的对照, 其 30~40 cm 土层 NO_3^- 的含量也接近 200 mg/kg,

这可能是因为土壤本身是含有一定的 NO_3^- -N 的, 因缺素因子的存在使植株生长不良而出现早衰, 从而导致根系对 NO_3^- -N 的吸收减弱^[14]。因而, 在植株生长过程

中, 土壤表层的硝酸盐就会在间隔浇灌的少量的水的影响下, 逐步淋洗到土体下 30~40 cm 土层中而形成一定量的积累。

大量单因素试验结果表明, 施N或灌水均显著影响 NO_3^- -N的积累和淋失, NO_3^- -N累积量随着施N量的增加而增加^[37-38], 土壤供水量越高, 土体 NO_3^- -N的淋洗量越大^[39]。高亚军等^[40]的水氮互作研究表明, 施N量是造成土壤中 NO_3^- -N累积的主要因素, 灌水量对 NO_3^- -N累积量的影响较小。这些都与本试验研究的结果一致。但是本试验研究只涉及了土体内 0~40 cm的情况, 而随着土壤深度的增加, 对于 40 cm以下的土壤硝酸盐累积及其淋洗情况还有待于进一步研究。

4 结论

(1) 西芹收获后 0~40 cm 土层土壤硝酸盐累积结果分析表明: 在高中低不同处理组合下, 较高肥在较高水下可减少土壤硝酸盐的累积, 即意味在 40 cm 以下土层, 硝酸盐有增加的趋势; 较高肥在较低水下可使土壤硝酸盐相对累积增多。

(2) 单、双因子效应分析表明: 随着单因子水平增加, N、P、W 对 0~40 cm 土层土壤硝酸盐的相对累积依次表现为: 增加、不明显和减少。

(3) 三因子其他组合下, 0~40 cm 土层土壤硝酸盐的累积效应为: PW 一致下, 随 N 量的增加而增加; NP 一致下, 随灌水量增加而减少; NW 一致下, 随施 P 量增加有不确定性。各处理硝酸盐的累积均随土壤深度的增加而增加, 体现了水对土壤硝酸盐淋洗的特点。

参考文献:

- [1] 陈振德, 冯东升. 几种叶类蔬菜中硝酸盐和亚硝酸盐含量变化及其化学调控. 植物学通报, 1994, 11(3): 25-26
- [2] 秦巧燕, 贾陈忠, 覃敏, 同延安, 曲东. 陕西关中设施栽培蔬菜的硝酸盐累积状况分析. 土壤肥料, 2005 (1): 29-31
- [3] 李涛, 万广华, 蒋庆功, 梁志刚, 马继山. 施肥对蔬菜中硝酸盐含量的影响. 土壤肥料, 2004 (4): 20-22
- [4] 张乃明. 施肥对蔬菜中硝酸盐累积量的影响. 土壤肥料, 2001 (2): 37-38
- [5] 李文晓, 李建设. 蔬菜中硝酸盐含量、累积机制及施肥对其影响的研究综述. 宁夏农学院学报, 2003, 24(2): 68-71
- [6] Dou A, Fox RH, Toth JD. Seasonal soil nitrate dynamics in corn as affected by tillage and nitrogen source. Soil Sci., 1995, 59: 858-864
- [7] Davies DB, Sylvester-Bradley R. The contribution of fertilizer nitrogen to leaching nitrogen in the UK: A review. J. Sci. Food Agric., 1995, 68: 399-406
- [8] 司友斌, 王慎强, 陈怀满. 农田氮、磷的流失与水体富营养化. 土壤, 2000, 32(4): 188-193
- [9] 江华, 王兴仁, 张福锁. 冬小麦-夏玉米轮作条件下氮肥总用量的决策: 作物收获后 0~100cm 土壤硝酸盐累积与氮肥决策. 试验研究, 1999(1):15-16
- [10] 王朝辉, 宗志强, 李生秀. 菜地和一般农田土壤主要养分累积的差异. 应用生态学报, 2002, 13(9): 1091-1094
- [11] Stevenson FJ, Bremner JM, Hauck RD. 1981. 闵九康 (译). 土壤氮. 北京: 科学出版社, 1989: 44-46
- [12] 曹红霞, 康绍忠, 何华. 田间管理措施对土壤硝态氮迁移影响研究进展. 灌溉排水学报, 2005, 24(1): 72-76
- [13] 杨丽娟, 张玉龙, 李晓安, 须晖. 灌水方法对塑料大棚土壤-植株硝酸盐分配影响. 土壤通报, 2000, 31(2): 63-65, 96
- [14] 隋方功, 王运华, 长友诚, 栾木直也, 乌尼木仁, 稻永醇二. 滴灌施肥技术对大棚甜椒产量与土壤硝酸盐的影响. 华中农业大学学报, 2001, 20(4): 358-362
- [15] 李文庆, 张民, 李海峰, 咎林生. 大棚土壤硝酸盐状况研究. 土壤学报, 2002, 39(2):283-287
- [16] 王霞, 董元华, 王辉, 安琼, 郭宗祥. 太仓菜地土壤硝态氮状况. 土壤, 2004, 36(1): 68-70
- [17] 李文晓, 李建设, 芦燕, 张岁岐, 山仑. 不同施肥方式对温室樱桃番茄果实和土壤硝酸盐含量变化的影响. 西北植物学报, 2005, 25(9): 1798-1804
- [18] 张杨珠, 余光辉, 王翠红, 冯跃华, 黄运湘. 菜园土肥力特征及蔬菜硝酸盐污染的控制技术 VI. 硝化抑制剂对土壤和小白菜硝酸盐含量的调控效应. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2005, 31(2): 138-142
- [19] 姚春霞, 陈振楼, 陆利民, 许世远, 范斌, 侯晶. 上海市郊菜地土壤和蔬菜硝酸盐含量状况. 水土保持学报, 2005, 19(1): 84-88
- [20] 张乃明, 李刚, 苏友波, 毛昆明, 邓玉龙. 滇池流域大棚土壤硝酸盐累积特征及其对环境的影响. 农业工程学报, 2006, 22(6): 215-217
- [21] 余光辉, 张杨珠, 王大娟. 几种硝化抑制剂对土壤和小白菜硝酸盐含量及产量的影响. 应用生态学报, 2006, 17(2): 247-250
- [22] 徐福利, 郭劲松, 王震, 马涛, 徐铭. 设施条件下氮肥对大青菜硝酸盐及土壤矿质氮累积的影响. 土壤通报, 2006, 37(5): 924-927
- [23] 程红艳, 崔凯, 高永兴, 张小红. 大棚蔬菜及土壤中硝酸盐含量的分析与评价. 山西农业大学学报 (自然科学版), 2007, 27(3): 295-298
- [24] 孙治强, 张楠, 赵卫星, 高玉红. 氮肥施用量对生菜产量、硝酸盐积累及土壤EC值、pH值的影响. 江西农业学报, 2007, 19(4): 44-45

- [25] 高强, 巨晓棠, 张福锁. 几种新型氮肥对叶菜硝酸盐累积和土壤硝态氮淋洗的影响. 水土保持学报, 2007, 21(1): 9-13
- [26] 徐福利, 梁银丽, 张成娥, 杜社妮, 陈志杰. 施肥对日光温室黄瓜和土壤硝酸盐含量的影响. 植物营养与肥料学报, 2004, 10(1): 68-72
- [27] 张学军, 赵营, 陈晓群, 吴礼树, 胡承孝. 滴灌施肥中施氮量对两年蔬菜产量、氮素平衡及土壤硝态氮累积的影响. 中国农业科学, 2007, 40(11): 2535-2545
- [28] 刘洋, 张玉龙, 杨丽娟, 王耀生, 赵昕欣. 渗灌管理深对土壤硝态氮含量的影响. 节水灌溉, 2006(5): 15-17, 21
- [29] 周茂娟, 梁银丽, 陈甲瑞, 熊亚梅, 韦泽秀. 地表处理方式对日光温室辣椒水分利用效率及土壤硝态氮、速效磷分布的影响. 应用生态学报, 2007(6): 1393-1396
- [30] 张立峰. 高寒半干旱区旱地农业科技进步与展望—一张北试验区科技攻关 15 年 // 刘树庆等主编. 高寒半干旱区农业持续发展理论与实践. 北京: 气象出版社, 2001: 56-57
- [31] 茆诗松, 丁元, 周纪芄. 回归分析及其试验设计. 上海: 华东师范大学出版社, 1981
- [32] 袁新民, 李晓林, 张福锁, 同延安. 粮田改种蔬菜后土壤剖面硝酸盐的变化. 中国生态农业学报, 2000(2): 31-33
- [33] 中国土壤学会农业化学专业委员会编. 土壤农业化学常规分析方法. 北京: 科学出版社, 1983
- [34] 王晓民编著. EXcel 2002 高级应用——数理统计. 北京: 机械工业出版社, 2003
- [35] 王立河, 赵喜茹, 王喜枝, 谭金芳, 王立秋, 孙新政. 有机肥与氮肥配施对日光温室黄瓜和土壤硝酸盐含量的影响. 土壤通报, 2007, 38(3): 472-476
- [36] 雷宝坤, 刘宏斌, 段宗颜, 张维理, 杜彩艳. 滇池流域设施条件下氮磷对土壤硝酸盐累积的影响. 云南农业大学学报, 2004, 19(3): 330-334
- [37] 张树兰, 同延安, 梁东丽, 吕殿青, Ove Emteryd. 氮肥用量及施用时间对土体中硝态氮移动的影响. 土壤学报, 2004, 41(2): 270-277
- [38] 赵俊晔, 于振文. 不同土壤肥力条件下施氮量对小麦氮肥利用和土壤硝态氮含量的影响. 生态学报, 2006, 26(3): 815-822
- [39] Diez JA, Caballero R, Roman R, Tarquis A, Cartagena MC, Vallejo A. Integrated fertilizer and irrigation management to reduce nitrate leaching in central Spain. Journal of Environment Quality, 2000, 29: 1539-1547
- [40] 高亚军, 李生秀, 李世清, 田霄鸿, 王朝辉, 郑险峰, 杜建军. 施肥与灌水对硝态氮在土壤中残留的影响. 水土保持学报, 2005, 19(6): 61-62

Effects of Water-Fertilizer Coupling on Accumulation of Soil Nitrate in Celery Harvest Period

ZHANG Jie-xia^{1,2,3}, LIU Shu-qing¹, NING Guo-hui¹, CUI Xing-Tao⁴

(1 College of Resource and Environment, Hebei Agriculture University, Baoding, Hebei 071001, China;

2 Key Laboratory of Resources Remote-Sensing and Digital Agriculture of Ministry of Agriculture, Beijing 100081, China;

3 Institute of Agriculture Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agriculture Sciences, Beijing 100081, China;

4 Institute of Resource and Environmental Engineering, Shijiazhuang University of Economics, Shijiazhuang 050031, China)

Abstract: With 3 factors and 5 levels of the secondary regression of orthogonal block design, artificial water control experiments in the shed of rain-free condition were conducted in the semiarid cold region of northwest of Hebei to analyze the effects of different water-fertilizer coupling on soil nitrate accumulation (0 ~ 40 cm depth) in celery harvest period. The results showed that: ①To high, moderate, low water-fertilizer coupling, higher fertilizer and higher water treatment reduced accumulation of soil nitrate while higher fertilizer and lower water treatment accumulated more soil nitrate. With the increase of single factor, the effects of N, P and W on soil nitrate were increasing, unobvious and decreasing respectively. ② Under three factor coupling, soil nitrate increased with N increases under the same P and W level; nitrate decreased with W increases under the same N and P level; while nitrate was uncertain with P increases under the same N and W level. Nitrate accumulation increased with depth in all treatments, which shows the leaching effect of water on soil nitrate.

Key words: Celery, Harvest period, Soil, Nitrate, Accumulation