

几种复合肥施用对蔬菜保护地土壤环境质量的影响

朱建华¹, 李俊良², 李晓林¹, 张福锁¹

(1. 中国农业大学植物营养系农业部植物营养学重点实验室, 北京 100094;

2. 莱阳农学院农学系, 山东 莱阳 265200)

摘要: 采用大棚小区试验方法, 研究了保护地条件下, 不同复合肥品种及施肥量对蔬菜地土壤不同剖面硝酸盐含量、pH 值及电导率在不同生长季节内的动态变化情况的影响。结果表明, 几种肥料的施用, 不同程度地降低了表层土壤 pH 值, 同时增加了各剖面土壤电导率和硝酸盐含量。施肥量越大, 土壤 pH 值、电导率和硝酸盐含量的变化越明显。随着时间的推移, 土壤环境质量呈恶化趋势。大量频繁施用化肥, 是导致土壤酸化、土壤盐分累积和硝酸盐淋洗的主要原因。确定合理的施肥量, 平衡氮、磷、钾养分比例, 以及采取正确的施肥和灌溉方式, 将有效缓解土壤酸化和盐分累积, 减少硝酸盐的淋洗, 从而改善土壤环境质量。

关键词: 蔬菜保护地; 复合肥; 硝酸盐; pH 值; 电导率

中图分类号: X53 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0267(2002)01-0005-04

Effects of Compound Fertilizers Utilized on Soil Environmental Quality in Protected Vegetable Field

ZHU Jian-hua¹, LI Jun-liang², LI Xiao-lin¹, ZHANG Fu-suo¹

(1. Department of Plant Nutrition, China Agricultural University, Beijing, P. R. China 100094; 2. Department of Agronomy, Laiyang Agricultural College, Shandong, P. R. China 265200)

Abstract: Effects of several kinds of compound fertilizers on soil environmental qualities were studied in protected vegetable fields. The results showed that all fertilization treatments decreased pH value in 0-30cm soil layer, while increased EC and nitrate-nitrogen concentration in 0-90cm soil profiles. The problems were more serious when more fertilizers were used. The superfluous and frequent fertilization resulted in soil acidification, salinification, accumulation and nitrate loss by leaching. It is suggested that balanced rates of N, P and K application, fertilization with reasonable amount and manners be taken to abate the potential of nitrate leaching loss, and to improve soil environmental quality.

Keywords: protected vegetable field; compound fertilizer; pH; EC

随着保护地蔬菜栽培的发展规模越来越大, 蔬菜施肥问题已日益为人们所关注。多年来, 保护地蔬菜生产中一直沿用传统习惯上的施肥方式, 成本高、肥料浪费严重, 已经引起严重的后果^[1]。尤其是大量施用氮肥造成土壤硝酸盐的累积, 成为保护地栽培蔬菜生理障碍的主导因子^[2]; 同时还会导致地下水及蔬菜体内硝酸盐含量超标, 不利于人们的身体健康。随保护地蔬菜栽培年限的增加, 土壤化学性状也发生劣变, 出现盐类的累积和次生盐渍化^[3,5]。在偏施特别是多施化学氮肥的条件下, 土壤 pH 值降低, 逐渐酸化^[4]。

本试验针对目前保护地蔬菜生产的特点, 重点研究了定位施肥条件下土壤硝酸盐在不同剖面深度的累积分布情况, 各层次土壤 pH 以及土壤电导率(δ)的变化, 以期为改善保护地蔬菜生长环境提供一定的理论基础。

1 材料与方法

试验从 1999 年 7 月开始, 在山东省寿光市西陈村进行, 计划进行 3 年。本文总结了 1999 年 7 月至 2000 年 6 月的部分试验结果。

试验用地为土墙竹木结构的塑料大棚, 棚龄 7 年, 面积 7 m × 60 m。试验地耕层土壤(0—30 cm)的质地为重壤, pH 6.8, 有机质含量为 15.2 mg · kg⁻¹, 土壤无机氮、速效磷(Olsen 法)及速效钾(1 mol · L⁻¹ NH₄OAc 浸提)的含量分别为 76 mg · kg⁻¹、116 mg ·

收稿日期: 2001-03-25

基金项目: 国家重点基础研究规划项目(G1999011807); 土壤和环境联合开放实验室(99122202)资助

作者简介: 朱建华(1975—), 男, 中国农业大学资源环境学院植物营养学专业博士研究生

通讯作者: 李晓林。

kg⁻¹ 和 246 mg · kg⁻¹, 属肥力较高的土壤。

试验共设置 5 个处理(表 1), 每处理重复 3 次, 小区面积为 2.4 m × 7 m。各小区在大棚内随机排列。小区间用塑料薄膜隔开, 薄膜埋深 40 cm, 以防养分和水分在小区间的扩散。试验所用肥料为当地普遍使用的 2 种复合肥(肥料 A 和肥料 B), N: P₂O₅: K₂O 养分比例分别为 12: 12: 17 和 21: 8: 11。2 种复合肥的 N 素形态均为 1/3 铵态氮, 1/3 硝态氮和 1/3 酰胺态氮。所施肥料的 40% 作为基肥于蔬菜种植前施入; 其它 60% 分 2 次作为追肥, 于蔬菜生长的不同时期随水灌溉。灌溉方式为畦灌, 灌水量及灌水次数均按照当地农民的传统习惯进行。

表 1 试验处理设计及施肥量 (kg · hm⁻²)

Table 1 Design of the experiment and the rate of fertilization for treatments (kg · hm ⁻²)			
处理	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
CK	0	0	0
AL	150	150	213
AH	300	300	425
BL	150	57	79
BH	300	114	157

注: CK——不施肥; AK——复合肥 A(12-12-17)低量;
AH——复合肥 A 高量; BL——复合肥 B(21-8-11)低量;
BH——复合肥 B 高量。

供试作物为当地普遍种植的 2 种果实类蔬菜。其中 1999 年 7 月至 2000 年 2 月, 种植番茄; 2000 年 2 月至 2000 年 6 月, 种植辣椒。

土壤取样采用土钻方法。以 30 cm 为 1 层, 分别于每次追肥前 1 d 取 0—90 cm 土壤, 种植前和收获后取 0—200 cm 土壤, 测定各层土壤 NO₃⁻-N 含量 [ω(NO₃⁻-N)]、pH 值及电导率(δ)。土壤 NO₃⁻-N 采用 0.01 mol · L⁻¹ CaCl₂ 溶液浸提, 土/液比(W/V)为 1/10, 自动流动分析法测定。土壤 pH 值及 δ 值采用 pH 计和电导率仪测定, 土/水比(W/V)为 1/5。

2 结果与分析

2.1 土壤 pH

各处理不同取样时期各剖面土壤 pH 值变化如表 2。与不施肥对照相比, 各施肥处理表层土壤(0—30cm) pH 值在多数取样时期均低于对照, 表层土壤 pH 值呈降低趋势。这种现象在试验后期比较明显。其中施肥量高的处理 AH、BH, 表层土壤 pH 值降低程度较大, 至 2000 年 6 月 10 辣椒收获结束时, pH 值下降了约 0.33 个单位。而施肥量低的治疗 AL、BL 表层土

壤 pH 值变化程度较小。30 cm 以下土壤 pH 值受施肥影响变化不大, 但从整个生长季节来看, 各施肥处理深层土壤 pH 值仍比不施肥的对照有所降低。

表 2 各施肥处理不同剖面土壤 pH 值随时间的变化

Table 2 pH in different soil profiles at different fertilization treatments								
土壤剖面	处理	1999			2000			
		04/08	28/09	24/10	26/02	13/03	14/04	15/06
0—30 cm	CK	6.83	7.00	7.20	7.48	6.82	7.18	7.25
	AL	6.78	7.24	7.45	7.16	6.47	6.76	7.04
	AH	6.86	7.32	7.16	6.79	6.52	6.74	6.92
	BL	6.81	7.44	7.01	7.26	6.68	6.89	7.33
	BH	6.87	6.89	7.07	7.17	6.45	6.72	6.92
30—60 cm	CK	—	6.89	7.43	7.60	6.62	7.19	7.58
	AL	—	7.08	7.60	7.30	6.60	7.04	7.49
	AH	—	7.21	6.96	7.01	6.72	6.96	7.31
	BL	—	7.52	6.87	7.37	6.67	7.06	7.64
	BH	—	6.99	6.65	7.33	6.89	7.06	7.58
60—90 cm	CK	—	6.62	7.07	7.41	6.55	7.22	7.52
	AL	—	7.12	7.45	7.13	6.47	7.08	7.52
	AH	—	7.17	7.05	7.06	6.77	7.02	7.27
	BL	—	7.46	6.82	7.26	6.63	7.11	7.38
	BH	—	7.01	6.77	7.38	6.70	7.18	7.46

各剖面土壤 pH 值在番茄种植期内(1999 年 8 月至 2000 年 2 月)和辣椒种植期内(2000 年 3 至 6 月), 均呈逐渐上升趋势。而在两种蔬菜的轮作间隙(2000 年 2 月至 3 月), 各土层土壤 pH 值均明显下降。不施肥的对照在 2 个不同生长季节内土壤剖面 pH 也发生明显的变化。这可能与作物收获后土壤休闲期内的微生物活动、水分和温度等条件变化以及蔬菜根系的生理活动等有关。Patni 等的研究也发现了类似的现象^[7]; Loehr 认为^[8], 导致土壤溶液 pH 上升的原因, 可能是由于土壤微生物的氧化作用、土壤反硝化作用以及硫的还原作用等多种过程作用的结果。

从表 2 可以看出, 在施肥量较大的情况下, 这 2 种复合肥的施用均使表层土壤的 pH 值降低, 土壤酸化趋势明显。不同的肥料品种之间, 对降低土壤 pH 值没有明显的差异, 但选择合适的肥料品种并确定合理的施肥量, 是防止土壤酸化的有效措施。

2.2 土壤盐分

薛继澄等通过对 69 个设施栽培土壤试验证明, 设施土壤全盐量与电导率有显著的相关性($r=0.9901^{**}$), 因此通过测定电导率可以推算全盐量^[2]。各处理不同剖面土壤在不同取样时期的电导率如表 3 所示。

施肥明显增加了表层(0—30 cm)土壤电导率。其中施肥量高的处理 AH, 表层土壤电导率变化最大,

表 3 各施肥处理不同剖面土壤电导率(δ)
随时间的变化($\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$)

Table 3 Soil electric conductivity (δ) in different soil profiles at different fertilization treatment($\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$)							
土壤剖面	处理	1999		2000			
		28/09	24/10	26/02	13/03	14/04	15/06
0—30 cm	CK	78	64	54	77	135	137
	AL	73	112	84	103	358	283
	AH	85	74	93	134	339	300
	BL	80	65	71	117	248	240
	BH	117	89	116	209	368	275
30—60 cm	CK	128	77	48	83	121	136
	AL	103	98	57	91	200	130
	AH	93	84	79	123	194	203
	BL	84	109	75	95	166	146
	BH	132	97	107	93	194	149
60—90 cm	CK	135	78	68	91	123	152
	AL	114	105	87	125	157	153
	AH	122	95	88	111	182	179
	BL	77	130	88	122	169	160
	BH	128	124	107	126	172	143

最高值可达 $368 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$, 比不施肥对照增加 $233 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ (表 3)。同时, 施肥也明显导致下层土壤(30—90 cm)电导率上升。这表明, 施肥增加了表层土壤盐分含量, 同时有可能使向下淋洗的盐分增加。辣椒收获后, 测定各处理 0—200 cm 不同剖面土壤电导率(δ 值)可见(图 1), 与不施肥的对照相比, 施肥使得 0—200 cm 土层电导率明显增加。在 0—120 cm 土层, 施肥量高的处理 AH、BH, 其土壤 δ 值分别高于施肥量低 的处理 AL、BL。由于在施 N 量相同的情况下, 肥料 A 的总养分含量要高于肥料 B, 因此在 0—120 cm 土层, 处理 AH、AL 的土壤 δ 值分别高于处理 BH、BL。在 120—200 cm 土层, 各施肥处理土壤 δ 值差别不大, 但依然明显高于不施肥的对照。这表明施肥增加了土壤养分向下淋洗的趋势, 施肥量越大, 向下淋洗的养分也越多。考虑到试验中所设计的最高施肥量仅为 $1\,025 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ (N、P、K 总养分量), 远低于当地农民的平均施肥水平(N $1\,468 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、 P_2O_5 $1\,896 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、 K_2O $818 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 总养分量 $4\,183 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)^[1], 因此实际生产中土壤盐分的累积和养分的淋洗情况要严重得多。通过在同一时间测定相同条件下农民传统施肥(N $1\,200 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、 P_2O_5 $1\,100 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、 K_2O $1\,000 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)土壤的电导率表明, 表层(0—30 cm)土壤 δ 值最高达 $609 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$, 30—60 cm 土壤 δ 值也达 $274 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ 。Kingery 等研究表明^[6], 多数作物可以忍耐的临界值为 $400 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ 。

本试验结果表明, 土壤盐分的累积很可能已经成为蔬菜生长的一个重要限制因子, 而大量施用化肥是导致土壤盐分累积的直接原因。刘永菊等^[5]的研究结果, 也证实了北京郊区蔬菜保护地的土壤盐渍化问题。

图 1 辣椒收获后不同施肥处理各剖面
土壤的电导率(δ)(2000—06—15)
Figure 1 Electric conductivity (δ) in soil profiles after
hot-pepper harvesting(2000—06—15)

2.3 土壤硝酸盐

不同取样时期土壤剖面 0—90 cm 土层硝酸盐含量(ω)变化情况如表 4 所示。在第 1 季番茄生长时期内(1999 年 8 月至 2000 年 2 月), 各土层 ω 值较种植前有所降低, 且处理之间没有明显的差异。这可能是由于番茄生长对养分的需求量较大, 对 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 的吸收利用能力较强, 从而降低了表层土壤中 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 的含量, 向下淋失的 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 也减少。另外, 由于第 3 次取样和第 4 次取样之间时间间隔较长, 可能忽略了这期间硝酸盐含量的变化。自 2000 年 3 月种植辣椒开始, 各土层 ω 值发生明显变化。各施肥处理明显增加了土壤 ω 值, 即 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 含量因施肥而明显增加。其中施肥量大的处理 AH、BH 各土层 ω 值都较高, 表明增加施肥量在增加表层(0—30 cm)土壤硝酸盐含量的同时, 也增加了 30—60 cm、60—90 cm 土层硝酸盐含量。尤其是 60—90 cm 土层, 养分已很难再被蔬菜根系所利用, 硝酸盐容易随灌溉水被淋洗到更深的土层, 形成潜在的污染地下水的趋势。如果施肥过量, 尤其是大量施用氮肥的情况下, 很可能造成对地下水的硝酸盐污染。

图 2 进一步表明, 增加氮肥施用量使得土壤 0—200 cm 剖面深度内硝酸盐的含量明显增加, 并有到 200 cm 以下继续增加的趋势。在施 N 量相同的情况下, 处理 BL、BH 表层 0—30 cm 及 120 cm 以下深层土壤硝酸盐含量均分别高于 AL、AH。这可能是由于复合肥 B(21: 8: 11) P、K 含量比复合肥 A(12: 12: 17) 低, 从而影响了蔬菜对 N 的吸收利用, 增加了 N 向深层土壤的淋失。因此, 适当调节 N、P、K 养分比例, 增

表 4 各施肥处理不同剖面土壤硝酸盐含量(ω)
随时间的变化 (mg · kg⁻¹)

Table 4 Nitrate – nitrogen concentrations in different soil profiles
at different fertilization treatments (mg · kg⁻¹)

土壤 剖面	处理	1999			2000			
		04/08	28/09	24/10	26/02	13/03	14/04	15/06
0—30 cm	CK	50.0	3.0	11.3	2.5	28.8	26.1	13.4
	AL	51.0	5.4	19.7	13.8	36.0	83.9	55.3
	AH	50.8	18.3	12.4	5.9	79.3	97.7	59.9
	BL	49.0	7.2	8.8	6.6	50.2	28.7	77.7
	BH	48.8	13.3	20.0	10.3	124.9	149.6	94.9
30—60 cm	CK	48.2	4.5	6.3	2.6	25.3	24.2	20.9
	AL	43.8	13.2	11.6	3.4	30.9	50.1	22.5
	AH	47.6	8.6	21.8	12.3	31.9	28.1	48.7
	BL	45.5	9.5	17.8	9.8	19.9	17.1	31.0
	BH	50.8	12.2	13.4	18.1	31.7	49.5	38.7
60—90 cm	CK	29.1	12.6	8.5	10.8	28.8	16.6	29.5
	AL	30.7	10.9	23.8	11.1	31.9	28.6	35.7
	AH	34.5	10.7	34.3	18.7	29.6	24.1	44.9
	BL	28.8	13.0	24.0	18.2	33.8	29.6	37.5
	BH	36.1	20.6	28.9	19.4	41.3	43.1	31.1

图 2 辣椒收获后不同施肥处理各土壤剖面
硝酸盐含量(ω) (2000 – 06 – 15)

Figure 2 Nitrate concentrations (ω) in different soil profiles
after hot – pepper harvesting (2000 – 06 – 15)

加 P、K 肥的施用量,对提高蔬菜对 N 的吸收利用,减少硝酸盐淋失,将起到积极的作用。

3 讨论

通过对蔬菜保护地的土壤环境质量状况研究表明,几种复合肥的施用明显降低表层土壤 pH 值;施肥量越大,pH 降低幅度越大。有关大量施用有机肥也会导致土壤 pH 降低的报道,也屡见不鲜^[9,10]。当地蔬菜保护地中,使用的主要氮肥品种为鸡粪和磷酸二铵,施肥量比试验中所设计的最高施肥量要高出许多。粪肥中NH₄⁺ – N 的硝化以及有机成分降解产生的有机酸,再加上长期大量地施用化肥,必然导致土壤酸化现象更加严重。土壤 pH 降低会加重 H⁺、Al、Mn 的毒害,而 Ca、Mg、Zn、Mo 等养分则容易缺乏。pH 值的下降可能会增加土壤溶液中 Ca²⁺、Mg²⁺ 的淋溶,导

致交换性 Ca²⁺、Mg²⁺ 量的减少;而 Ca²⁺、Mg²⁺ 的淋溶又可能导致土壤 pH 值的继续下降^[4]。如果肥料施用不合理,这些中量元素和微量元素又得不到及时补充,将会导致菜地土壤形成一种恶性循环,影响到蔬菜的正常生长。

与大田作物相比,蔬菜保护地施肥量大且频繁。由于温室大棚内土壤水分蒸发快,土壤返盐现象比较严重^[2]。因此大量施用化肥,容易使保护地土壤次生盐渍化。试验表明,施肥增加了土壤养分含量,特别是增加了土壤硝酸盐的含量,土壤溶液的电导率也明显增加。大量而频繁的施肥致使土壤盐分出现累积,有可能成为蔬菜生长的潜在障碍。

农业上长期大量施用化学氮肥是造成地下水硝酸盐污染的重要原因。在本试验条件下,虽然施用氮肥增加了表层土壤硝酸盐含量,但同时也使得大量的硝酸盐被淋洗到深层土壤,形成对地下水的潜在威胁。施肥量越大,硝酸盐向下淋洗的量也越大。即便是在农民传统习惯上的有机肥与化肥配合施用的情况下,由于施肥量大,灌溉频繁,硝酸盐淋洗依然非常严重,这也是目前保护地蔬菜生产中普遍存在的问题。根据蔬菜作物的需求,确定合理的施肥量,平衡 N、P、K 养分比例,改善传统的施肥与灌溉方式,尽量减少氮素的淋失,提高肥料利用率,是保护地蔬菜生产中所必须注意和加以解决的问题。

参考文献:

[1] 马文奇,等. 山东大棚蔬菜施肥中存在的问题及对策[A]. 平衡施肥与可持续优质蔬菜生产[C]. 北京:中国农业出版社,2000. 41 – 47.

[2] 薛澄澄,等. 保护地栽培蔬菜生理障碍的土壤因子与对策[J]. 土壤肥料,1994, (1):4 – 9.

[3] 吴凤芝,等. 大棚蔬菜连作年限对土壤主要理化性状的影响[J]. 中国蔬菜,1998, (4):5 – 8.

[4] 葛晓光,等. 长期定位施用氮肥对菜田土壤肥力变化的影响[J]. 中国蔬菜,1997, (5):1 – 6.

[5] 刘永菊,等. 北京郊区蔬菜地长期施用粪肥对土壤环境质量的影响[A]. 平衡施肥与可持续优质蔬菜生产[C]. 北京:中国农业大学出版社,2000. 32 – 40.

[6] Kingery W L, et al. Impact of long – term land application of broiler litter on environmentally related soil properties[J]. *J Environ Qual*, 1994, 23: 13 – 147.

[7] Patni N K, et al. Groundwater quality under conventional and no tillage: I. Nitrate, electrical conductivity, and pH[J]. *J Environ Qual*, 1998, 27: 869 – 877.

[8] Loehr R C. Pollution control for agriculture. 2nd ed. Academic Press, London. 1984.

[9] Chang C, et al. Soil chemistry after eleven annual applications of cattle feedlot manure[J]. *J Environ Qual*, 1991, 20: 475 – 480.

[10] King L D, et al. Long – term swine lagoon effluent application on ‘Coastal’ bermudagrass: I. Effect on nutrient accumulation in soil[J]. *J Environ Qual*, 1990, 19: 756 – 760.