

大白菜氮肥施用的产量效应、品质效应 和环境效应*

李俊良^{1, 2†} 陈新平^{1††} 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开放实验室, 北京 100094)

(2 莱阳农学院农学系, 山东莱阳 265200)

摘 要 通过 6 水平氮肥田间小区试验, 研究了大白菜氮肥施用的产量效应、品质效应和环境效应。结果表明, 在本试验条件下, 大白菜的经济最佳施氮量为 310 kg hm^{-2} , 大白菜体内硝酸盐含量和氮肥施用后土壤-作物体系的氮素表观损失随施氮量的增加线性上升, 大白菜氮肥施用的产量效应、品质效应和环境效应难以协调。采取其它措施降低蔬菜硝酸盐含量, 改进现有的栽培体系并进行环境经济学的研究, 是今后蔬菜研究中应着力解决的几个问题。

关键词 大白菜, 氮肥, 产量效应, 品质效应, 环境效应

中图分类号 S154

近年来, 随着我国蔬菜生产的不断发展, 蔬菜施肥这一既与生产者的经济效益密切相关, 又与消费者的营养与健康直接相关, 同时又对全体民众共同赖以生存的环境产生影响的重大问题, 越来越受到广泛的重视, 有关这一问题的研究日趋增多。1999 年 10 月由中国土壤学会、中国植物营养与肥料学会举办的“平衡施肥与可持续优质蔬菜生产”学术讨论会上, 共有 70 多篇论文对我国蔬菜生产现状、蔬菜施肥问题与土壤肥力特征、蔬菜品质、蔬菜施肥的环境效应等进行了阐述。基本反映了我国目前蔬菜施肥研究工作的现状^[1]。一个共同的结论是, 我国蔬菜施肥尤其是氮肥施用量普遍偏高, 蔬菜硝酸盐含量超标严重, 对地下水造成的环境问题日益突出。

对这些工作进行综合分析后不难看出, 目前我国蔬菜施肥的研究工作仍处于揭示问题的阶段, 而对如何从深层次上研究造成这些问题的科学和社会原因, 提出既具有科学价值, 又具有实践应用价值的解决措施, 仍是今后要重点加以解决的问题。

有关蔬菜氮肥推荐的研究工作, 在国内外均已取得了一定的进展。在国内, 以肥料效应函数确定经济最佳施氮量仍是常用的方法, 国际上, 根据土壤与植株分析测试进行氮肥推荐更为普遍^[2]。这些方法均以满足蔬菜作物对氮素的吸收和生长需求为目标。

然而, 由于蔬菜作物具有根系浅、根系吸收能力弱、喜高肥水、奢侈吸收等营养特性^[3], 在蔬菜施肥的过程中必然会遇到施肥的品质效应和环境效应问题。而如何将蔬菜氮肥施用的产量效益、经济效益、品质效应和环境效应有机地结合起来, 仍是蔬菜施肥科学工作者面前的一道难题。

本研究以大白菜为供试作物, 通过不同氮水平的田间试验, 对氮肥施用造成的产量效应、品质效应和环境效应进行了初步的探讨。

1 材料与方 法

田间试验于 1998 年在山东省莱阳市莱阳农学院农学系试验站进行, 供试蔬菜作物为大白菜, 品种

* 国家自然科学基金(39900085)和国家重点基础研究专项经费(G1999011807)资助

† 现工作于山东农业大学园艺学博士后流动站

†† 通讯作者: 陈新平, chenxp@mail.cau.edu.cn

收稿日期: 2001-01-15; 收到修改稿日期: 2001-10-15

为87-114。8月14日播种,9月8日定苗,11月18日收获,全生育期103天。试验地土壤类型为棕壤,供试土壤养分状况见表1。试验设6个氮水平,各处理氮肥用量(N)分别为:0, 90, 180, 270, 360, 450 kg hm⁻²,其中基肥占40%,其余肥料在白菜播种后25、40和53天分三次追施,每次追施总量的20%。各处理磷钾用量相同,作为底肥一次施入。用量分别为270 kg hm⁻²(P₂O₅)和375 kg hm⁻²(K₂O)。

表1 供试土壤基本性状

Table 1 The nutrient properties of experimental soil

土层 Soil layer (cm)	pH	有机质 Organic matter (g kg ⁻¹)	全氮 Total N (g kg ⁻¹)	有效磷 Olsen P (g kg ⁻¹)	有效钾 Exchangeable K (mg kg ⁻¹)	硝态氮 NO ₃ ⁻ -N (mg kg ⁻¹)	铵态氮 NH ₄ ⁺ -N (mg kg ⁻¹)
0~30	6.90	7.70	0.65	32.2	76.0	7.95	2.22
30~60	—	—	—	—	—	8.08	1.74
60~90	—	—	—	—	—	5.05	1.80

试验所用肥料为氮肥:尿素(N, 46%),磷肥:过磷酸钙(P₂O₅, 12%),钾肥:硫酸钾(K₂O, 50%)。试验采用随机区组设计,三次重复,小区面积为18 m²。

收获时,每小区采集5 m²测产,白菜产量以鲜重表示。同时,取植株样品烘干后,用H₂SO₄-H₂O₂消煮,半微量蒸馏法测定植株全氮。植株硝酸盐含量的测定采用镉柱还原偶联反应比色法。

播种前和收获后,以每30 cm一层采集0~90 cm(播前)和0~60 cm(收获后)土壤样品。播前土样整个试验地(面积400 m²)取12钻(直径3.0 cm)组成混合样,收获后取样时每小区取5钻组成混合样。新鲜土样混匀过5 mm筛后立即以1:10的土液比用0.01 mol L⁻¹ CaCl₂溶液浸提,在每分钟180次的往复式振荡机上振荡1小时后过滤,浸提液用TRAACS-2000流动分析仪测定硝态氮和铵态氮,同时用烘干法测定土壤水分。若浸提液不能及时测定,应冷冻保存。

白菜价格以0.3 yuan(RMB) kg⁻¹,氮肥(纯氮)价格以3.0 yuan(RMB) kg⁻¹计算。大白菜产量与氮肥用量的数学模型采用SAS统计分析软件的NLIN程序进行计算。在氮素表观损失的计算中,氮素表观损失为土壤-作物系统中氮素投入减去氮素支出,其中,氮素支出包括植物氮素吸收和收获后土壤的残留无机氮,氮素收入包括施入的氮肥、播前土壤无机氮及作物生育期内土壤氮素的表观矿化量,土壤氮素的表观矿化量是假定不施氮处理的氮素表观损失为零并根据氮素平衡计算得出的。

2 结果与分析

2.1 氮肥施用对白菜产量和氮素吸收的影响

在一定施氮量范围内,大白菜产量随氮量增加而增加,当氮肥用量增加到一定程度时,产量基本不变,不再随施氮量的增加而增加(图1)。分别用二次型、平方根、二次+平台和线性+平台等多个施肥模型对白菜产量结果进行拟合表明,线性+平台模型可以最好地拟合大白菜产量对施氮量的反应,这与大白菜等叶菜类蔬菜的生长与氮素供应的关系是完全一致的。

在施氮量低于310 kg hm⁻²时,每千克氮增产63千克大白菜,投入产出比为6.3,氮肥的施用可以带来显著的经济效益,而当施氮量高于310 kg hm⁻²时,继续投入氮肥只能造成投入的增加和经济效益的下降。因此,在本试验条件,大白菜经济最佳施氮量为310 kg hm⁻²。

与大白菜产量对氮肥的反应相同,在施氮量小于270 kg hm⁻²时,大白菜吸氮量随施氮量增加而线性增

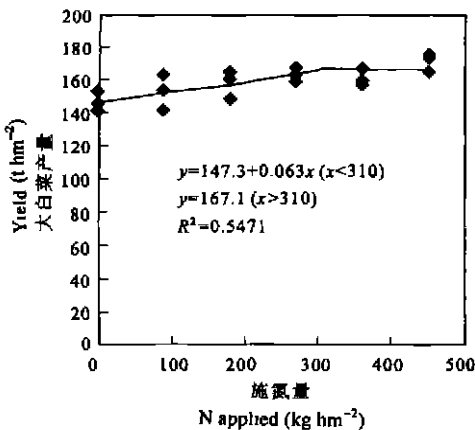


图1 氮肥用量对大白菜产量的影响

Fig. 1 The effect of N applied on the yield of Chinese cabbage

加,而当施氮量大于 270 kg hm^{-2} 时,大白菜吸氮量不再增加(图 2)。达到 167 kg hm^{-2} 大白菜产量的吸氮量为 $300 \sim 330 \text{ kg hm}^{-2}$ 。对氮肥利用率的分析表明,在适宜(产量、经济效益)施氮量范围内,氮肥利用率均在 30% 以上,而当施氮量超出经济最佳施氮量时,氮肥利用率大幅度下降。

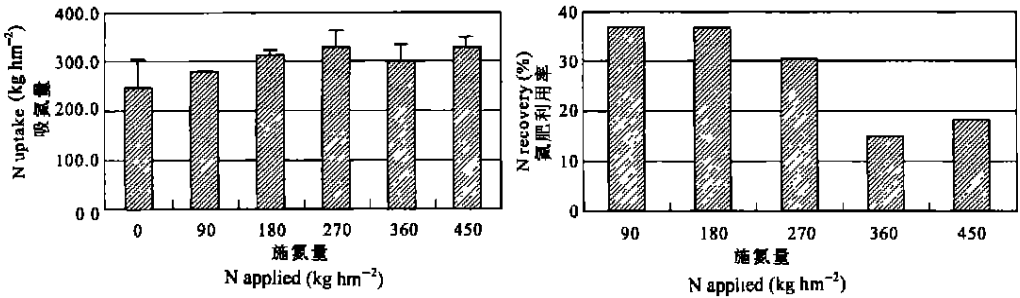


图 2 氮肥用量对大白菜吸氮量和氮肥利用率的影响

Fig. 2 The effect of N applied on N uptake and N recovery of Chinese cabbage

2.2 氮肥施用对大白菜硝酸盐含量的影响

图 3 结果表明,在本试验条件下,尽管当施氮量高于经济最佳施氮量时,继续增加氮肥用量大白菜的吸氮量不再增加,但大白菜体内硝酸盐含量却在试验设置的氮水平范围内随施氮量的增加一直呈线性增加趋势,表现出叶菜类蔬菜累积硝酸盐的典型特征。

以沈明珠等^[4]的硝酸盐含量卫生标准进行评价,在本试验中,所有处理大白菜的硝酸盐含量均达到三级污染(生食、盐渍不宜,熟食允许),而低于四级污染(不允许食用)的指标。氮肥用量每增加 1 kg hm^{-2} ,大白菜硝酸盐含量增加 1.6 mg kg^{-1} ,经济最佳施氮量(310 kg hm^{-2})条件下大白菜的硝酸盐含量计算值为 2662 mg kg^{-1} 。

2.3 氮肥施用对大白菜-土壤体系氮素平衡和氮素表观损失的影响

不同氮肥用量条件下大白菜-土壤体系氮素平衡的计算结果见表 2。根据大白菜的根系发育特点,播前和收获后土壤无机氮的计算采用 0~60 cm 土壤层次。假定不施氮处理的氮素表观损失为 0,由此计算出大白菜生长季土壤氮的表观矿化为 193 kg hm^{-2} ,并将此数值用于各施氮处理氮素平衡的计算。

由表 2 可以看出,当施氮量低于经济最佳施氮量时,0~60 cm 土层收获后的无机氮含量变化不大,而当施氮量高于经济最佳施氮量时,收获后 0~60 cm 土体无机氮大幅度上升。

计算结果表明,在 90、180、270、360、450 kg hm^{-2} 5 个氮肥用量条件下,氮肥的表观损失率(氮素表观损失/氮肥用量 $\times 100$)依次为 63.3%、61.1%、60.7%、75.3%、64.2%,各处理间变化不大,这表明,在现有的栽培体系(灌溉、施肥方式、施肥时期等)下,施用的氮肥均会以一定的比例损失掉,这凸显了改革现有栽培技术,特别是改革灌溉、施肥方式和施肥时期等对提高氮肥利用率、减少环境污染方面的重要性。

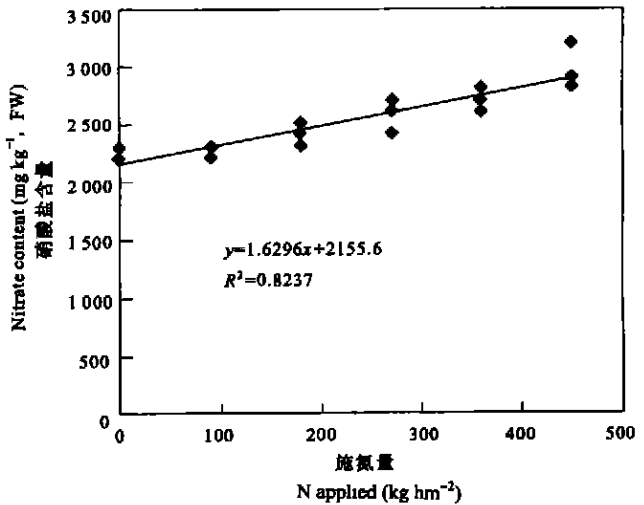


图 3 氮肥用量对大白菜硝酸盐含量的影响

Fig. 3 The effect of N applied on nitrate content of Chinese cabbage

表2 不同氮肥用量条件下大白菜-土壤体系的氮素平衡(N kg hm⁻²)Table 2 The calculated N balance in Chinese cabbage soil system at different N rates applied(N kg hm⁻²)

项目 Item	施氮处理 N rate					
	0	90	180	270	360	450
氮素投入						
氮肥	0	90	180	270	360	450
播前土壤无机氮	85	85	85	85	85	85
土壤矿化氮	193	193	193	193	193	193
小计	278	368	458	548	638	728
氮素支出						
植物吸收	244	277	310	327	298	326
收获后土壤无机氮	34	34	38	57	69	113
小计	278	311	348	384	367	439
氮素表观损失= 氮素投入- 氮素支出	0	57	110	164	271	289

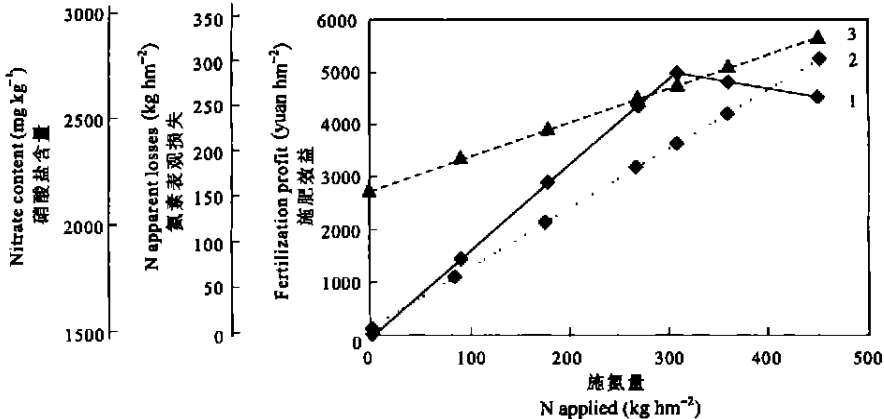
氮素表观损失的绝对量随施氮量的增加而增加的趋势可用线性方程来进行拟合:

$$y = 0.6663x \quad r = 0.989^{**}$$

即每千克氮肥施用将造成 0.67 千克的氮素损失, 经济最佳施氮量条件下的氮素损失量计算值为 206.6 kg hm⁻²。

3 讨论

Haerder 等^[5]曾总结了蔬菜氮肥施用与产量、品质等因素的关系, 至少从产量和蔬菜硝酸盐含量来看, 这两个目标是很难协调和统一的。本文的研究结果支持了这一观点, 在达到经济最佳产量的施氮量水平下, 蔬菜的硝酸盐已经大大受到氮肥施用的影响。在本研究条件下, 超过经济最佳施氮量的情况下无需讨论, 而在低于经济最佳施氮量的条件下, 要使大白菜硝酸盐含量每降低 10 mg kg⁻¹, 需减少氮肥投入 6.12 kg hm⁻², 施肥的经济效益将降低 115.8 yuan hm⁻²(图 4)。在欧美等国, 已对一些蔬菜尤其是婴儿食品蔬菜的硝酸盐含量制定了严格的标准, 因此生产上一般以降低氮肥用量来换取产品的安全性。



1 施肥经济效益 (fertilization profit); 2 氮素表观损失 (N apparent losses); 3 植株硝酸盐含量 (plant nitrate content)

图 4 氮肥施用的经济效益、品质效应与环境效应

Fig. 4 The effect of N rate applied on economic profit, nitrate content of Chinese cabbage and N apparent losses

目前我国既没有限制蔬菜硝酸盐含量的法定标准,又没有补偿农民经济利益的法规和措施,因此,将偏高的农民习惯施肥量降至经济最佳施肥量以达到高产、高效益和降低蔬菜硝酸盐含量的目的是完全可行的,而要进一步降低氮肥用量以换取蔬菜硝酸盐含量的降低,则必须既要有相应的指导标准,又要打破现有的价格体系。在目前条件下,降低蔬菜硝酸盐含量必须主要借助另外的一些措施,如遗传育种^[6]、平衡施肥^[7]、水分管理^[8]、采收时期及其它措施等^[9]。

目前施肥的环境效应正越来越受到普遍的关注。建立经济效益与环境效应相协调统一的推荐施肥体系是科学工作者孜孜追求的目标,在粮食作物上,“土壤对氮肥的环境承受力”^[10]和“土壤-作物系统对氮肥的缓冲能力”^[11]等概念的提出均是为了试图解决这一问题,然而,在高产的蔬菜栽培中,遇到的问题显然要复杂的多。本文的研究表明,在不改变现有的灌溉、施肥方式、施肥时期等栽培措施的条件下,将过高的传统施肥量降至经济最佳施肥量可以部分降低氮肥的损失,但在经济最佳施肥量范围内,经济目标和环境目标是不可调和的,每降低 1 kg 氮的损失,需减少 1.5 kg 的氮肥施用,即减少 28.4 yuan 的经济收入。在这一状况下,改进现有的栽培体系并进行施肥环境经济学的研究将是非常必要的。

参考文献

1. 李晓林,张福锁,米国华主编. 平衡施肥与可持续优质蔬菜生产. 北京:中国农业大学出版社,2000
2. 陈清,张宏彦,李晓林. 生产无公害蔬菜的几种平衡施肥技术. 见:李晓林等主编. 平衡施肥与可持续优质蔬菜生产. 北京:中国农业大学出版社,2000. 225~ 231
3. 李俊良,张晓晟,王 三. 蔬菜生产中土壤与施肥问题的研究. 见:李晓林等主编. 平衡施肥与可持续优质蔬菜生产. 北京:中国农业大学出版社,2000. 177~ 184
4. 沈明珠,崔宝杰,东惠茹,等. 蔬菜硝酸盐累积研究. 园艺学报,1982,9(4): 41~ 47
5. Rolf Haedter. 高产优质蔬菜的植物营养和施肥. 见:谢健昌,陈际型主编. 菜园土壤肥力与蔬菜合理施肥. 南京:河海大学出版社,1997. 1~ 11
6. 陈新平,邹春琴,刘亚萍,等. 菠菜不同品种累积硝酸盐能力的差异及其原因. 植物营养与肥料学报,2000,6(1): 30~ 34
7. 李俊良,张晓晟,张宏彦,等. 平衡施肥对甘蓝产量、品质及其生长性状的影响. 见:李晓林等主编. 平衡施肥与可持续优质蔬菜生产. 北京:中国农业大学出版社,2000. 345~ 351
8. 王朝辉,田霄鸿,李生秀. 土壤水分对蔬菜硝态氮积累的影响. 西北农业大学学报,2000,25(6): 15~ 20
9. 汪李平,向长萍,王运华. 我国蔬菜硝酸盐污染状况及防治途径研究进展. 见:李晓林等主编. 平衡施肥与可持续优质蔬菜生产. 北京:中国农业大学出版社,2000. 22~ 31
10. 王兴仁. 石灰性潮土对氮肥连续施用的环境承受力. 北京农业大学学报,1995,21(增刊):94~ 98
11. Raun W R, Johnson G V. Soil plant buffering of inorganic nitrogen in continuous winter wheat. Agron. J., 1995, 87: 827~ 834

EFFECT OF N FERTILIZATION ON YIELD, NITRATE CONTENT AND N APPARENT LOSSES OF CHINESE CABBAGE

Li Jur liang^{1,2} Chen Xir ping¹ Li Xiaolin¹ Zhang Fur suo¹

(1 Department of Plant Nutrition, China Agricultural University, Key Laboratory of Plant Nutrition, Ministry of Agronomy, Beijing 100094, China)

(2 Department of Agronomy, College of Agronomy in Laiyang, Laiyang, Shandong 265200, China)

Summary

Field experiment with 6 level N rates was conducted in 1998 to study the effects of N rates on yield, nitrate content of Chinese cabbage and N apparent losses. The results showed that, the optimum economic N rate was $310 \text{ kg hm}^{-2}(\text{N})$, the nitrate content of plant and the N apparent losses in soil-plant system increased with increasing N rate. It was not possible to coordinate the yield effect, crop quality effect and environmental effect under experimental condition. Reducing vegetable nitrate content by other strategies, improving current planting system and studying environmental economics of fertilization, are the main problems to be solved in the future.

Key words Chinese cabbage, N fertilizer, Yield effect, Quality effect, Environmental effect