

露地栽培条件下大白菜氮肥投入阈值研究

连彩云¹, 马忠明²

(1. 甘肃省农业科学院土壤肥料与节水农业研究所, 甘肃 兰州 730070; 2. 甘肃省农业科学院, 甘肃 兰州 730070)

摘要: 通过田间试验, 研究了不同施氮量对大白菜产量、氮肥利用率、硝态氮残留量的影响。结果表明, 施氮对大白菜有显著的增产作用, 但随着施氮量的增加产量变化不大, 产量对施氮量的反应呈平台模式。氮肥利用率在3.3%~12.6%, 并且随施氮量的增加呈先增加后降低的趋势, 在施氮量为656.4 kg/hm² (纯氮300 kg/hm²+有机肥12 000 kg/hm²)时, 氮肥利用率和作物产量最高。合理控制氮肥用量会促进作物对土壤氮素的吸收。施氮可明显提高0~180 cm剖面土壤NO₃⁻-N的累积量, 残留的NO₃⁻-N的分布随施氮量的增加而显著增加, 并且随施氮量的增加残留深度下移, 表现出明显的底层累积。各处理土壤氮均集中在0~100 cm土层中, 100 cm土层以下, 各处理氮含量渐趋一致。综合不同施氮量对大白菜产量以及环境指标的影响, 在本试验肥力水平下, 大白菜氮肥投入阈值为656.4 kg/hm² (纯氮300 kg/hm²+有机肥12 000 kg/hm²)时, 能够兼顾作物高产与环境安全。

关键词: 投入阈值; 氮肥利用率; 大白菜; 露地栽培

中图分类号: S634.1; S147.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-1463(2014)06-0006-04

[doi:10.3969/j.issn.1001-1463.2014.06.002](https://doi.org/10.3969/j.issn.1001-1463.2014.06.002)

Study on Nitrogen Threshold of Chinese Cabbage in Open Field

LIAN Cai-yun, MA Zhong-Ming

(1. Institute of Soil, Fertilizer and Water-saving Agriculture, Gansu Academy of Agricultural Sciences; 2. Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou Gansu 730070, China)

Abstract: In order to provide evidence for reasonable use of nitrogen fertilizer, a field trial was carried out to examine the effects of the yield and the environmental effects of the chinese cabbage under open field cultivation during 2011—2012. The results showed that the yield of chinese cabbage was highest at 656.4 kg/hm² (N 300 kg/hm²+organic manure 12 000 kg/hm²). The nitrogen uptake by chinese cabbage increased with increasing N rate. With N application of 656.4 kg/hm²(N 300 kg/hm²+organic manure 12 000 kg/hm²), the nitrogen uptaked was the highest. With N fertilizer rate increasing, the content of NO₃⁻-N in soil layers increased dramatically. With more than 656.4 kg/hm² (N 300 kg/hm²+organic manure 12 000 kg/hm²) was supplied, soil NO₃⁻-N moved down obviously. N fertilizer residual amount increased with increased N fertilizer rate. The nitrogen use efficiency ranged from 3.3% to 12.6% under different rates of N fertilization. At the rate of 656.4 kgN/hm² (N 300 kg/hm²+organic manure 12 000 kg/hm²) could meet the chinese cabbage demand. These results suggest that the N application rates of 656.4 kg/hm² (N 300 kg/hm²+organic manure 12 000 kg/hm²), would be optimal for the yield of chinese cabbage and a reduction in the risk of nitrate release into environment.

Key words: Threshold; Nitrogen use efficiency; Chinese cabbage; Open field cultivation

化肥是提高作物产量的重要措施之一。据统计, 农作物增产的30%~60%来自化肥, 尤其是氮肥施用占相当大的比重, 约为60%左右^[1]。但当单位面积氮肥施用量达到一定水平后再增加氮肥施用量, 则氮肥利用率会相应降低, 肥效下降, 残留量增加^[2-6]。在我国农田中, 当季作物对氮肥的利用率只有30%~40%, 大部分经各种途径损失

到环境中^[7], 造成对水、土壤和大气环境的污染。

河西绿洲灌区是甘肃省农业经济的主体, 种植业以小麦、玉米为主, 适于棉花、瓜果、蔬菜等经济作物生长。耕地面积65.83万hm², 占全省耕地总面积的19.24%, 宜农土地资源丰富。虽耕地面积仅占全省的19%, 但生产出占全省32%的粮食、70%的商品粮和42%的蔬菜。近年来, 随着农

收稿日期: 2014-03-13

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项“北方高原山地区面源污染监测与氮磷化肥投入阈值研究”(201003014-7)部分内容

作者简介: 连彩云(1977—), 女, 甘肃民勤人, 助理研究员, 主要从事作物栽培与土壤环境监测工作。联系电话: (0931)7614846。E-mail: liancy1998@sina.com

通讯作者: 马忠明(1964—), 男, 甘肃民勤人, 研究员, 博士, 主要从事作物栽培与生态环境效应研究工作。E-mail: mazhming@sohu.com

业和农村经济的发展,农业先进技术的推广应用,特别是化肥、农药、地膜等农业生产投入品的逐年增加,作物产量有显著提高。但氮磷肥的积累超过一定限度就可能对水体环境产生危害,且肥料利用率不高,造成生产成本逐年增加,种植效益下降,严重影响农村经济的发展。因此,系统研究露地栽培条件下大白菜适宜的施氮量,对提高氮肥利用率和控制氮素污染等,具有重要的科学价值和实践意义。

1 材料与方法

1.1 供试材料

指示大白菜品种为高山勇者,由北京圣奥丰种子有限公司生产并提供。供试氮肥为尿素(含N 46%),由甘肃刘化有限责任公司生产;磷肥为重过磷酸钙(含 P_2O_5 46%),由甘肃农资化肥有限责任公司生产;有机肥为干基鸡粪(非商品,含N 2.97%)。

1.2 试验地概况

试验于2011—2012年在甘肃省农业科学院张掖节水农业试验站(100° 26' E, 38° 56' N, 海拔1 570 m)进行。试验地土壤为灌漠土。耕层土壤含有机质18.1 g/kg、全氮1.4 g/kg、碱解氮70.9 g/kg、速效磷19.3 g/kg、速效钾148.0 g/kg, pH 8.6。0~200 cm土层土壤容重平均1.4 g/cm³。玉米生育期间平均降水量105.2 mm,蒸发量1 257.3 mm。

1.3 试验方法

试验共设8个处理,肥料用量水平及设计见表1。各处理的磷肥用量为优化用量,即施五氧化二磷120 kg/hm²。试验采用随机区组排列,重复3次。小区面积20 m² (4 m × 5 m)。按试验方案分小区准确称取供试肥料,全部有机肥、磷肥、10%氮肥按划定小区一次施入做底肥,45%氮肥莲座期追施,45%氮肥结球期追施。大白菜采用露地栽培,于5月16日播种,8月20日收获。全生育期灌水4次,灌溉定额3 300 m³/hm²,幼苗期、莲座期、结球期、结

球紧实期分别灌水990、660、990、660 m³/hm²,用水表控制水量。田间管理措施与当地田间管理措施相同。大白菜成熟后按小区单收并测定经济产量。

1.4 样品的采集与测定

1.4.1 土样采集及测定 在作物播种前和收获后,每小区采用S形5点法采样取土,采样深度0~180 cm,每20 cm土层1个混合样。每个土层的鲜土样均取200 g,冷冻保存后测定硝态氮、铵态氮、溶解性总氮含量和土壤含水量。土壤硝态氮用紫外分光光度计法测定,铵态氮用靛酚蓝比色法测定,溶解性总氮用碱性过硫酸钾消解后采用紫外分光光度法测定,土壤含水量用烘干法测定。

1.4.2 大白菜样品采集与测定 白菜收获后,每小区随机取5棵白菜全株采样,用于测定全氮、全磷、全钾含量和含水量。白菜全氮、全磷、全钾测定时均先用H₂SO₄-H₂O₂消煮,然后采用蒸馏法测定全氮含量,采用钒钼黄比色法测定全磷含量,采用火焰光度法测定全钾含量。采用烘干失重法测定含水量。

1.5 统计分析方法

由于试验区降水量不足200 mm,所以试验过程不计入降水输入的氮素,不考虑氮肥的激发效应,故假定施肥处理的土壤氮素矿化量和无肥区相同。计算方法如下:

土壤硝态氮积累量(kg/hm²)=[土层厚度(cm) × 土壤容重(g/cm³) × 土壤硝态氮含量(mg/kg)]/10^[8];

氮肥利用率(NFUE,%)=[(施氮区地上部分吸氮量-不施氮区地上部分吸氮量)/施氮量] × 100^[9]。

试验采用Excel和SPSS进行数据统计分析。产量与环境指标的函数方程采用Origin进行拟合。

2 结果与分析

2.1 施氮量对大白菜产量的影响

试验结果(图1)表明,在一定施氮量范围内(0~656.4 kg/hm²),大白菜的产量随施氮量的增加而增加,呈线型增长模式;而当施氮量增加到一

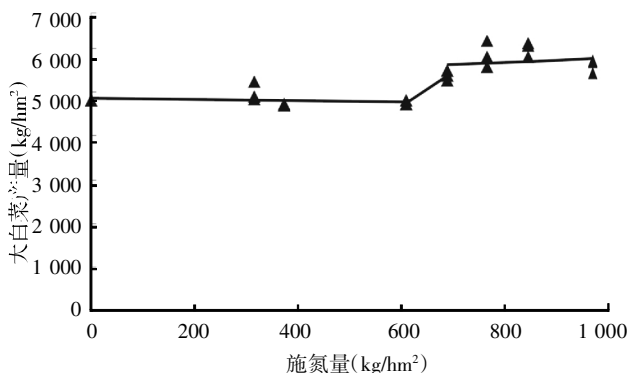


图1 不同施肥处理对大白菜产量的影响

表1 试验设计方案

处理	kg/hm ²	
	有机肥	纯氮
M ₀ N ₀ (CK)	0	0
M ₁ N _{0.75}	12 000	225
M ₁ N ₁	12 000	300
M ₁ N _{1.25}	12 000	375
M ₁ N _{1.5}	12 000	450
M ₁ N ₂	12 000	600
M ₀ N ₁	0	300
M ₁ N ₀	12 000	0

定程度 (656.4~806.4 kg/hm²) 时, 产量不再随施氮量的增加而增加。作物产量对施N水平的反应表现为线性—平台模型。在试验设计范围内, 以M₁N₁处理的产量最高, 与不施氮处理差异显著, 其余处理之间差异不显著。在施氮量低于656.4 kg/hm² (纯氮300 kg/hm²+有机肥12 000 kg/hm²) 时, 每1 kg 纯氮可增加84 kg 大白菜, 氮肥的施用可以带来显著的经济效益。适宜施氮量是高产、环保和经济效益相协调的施肥点, 在适宜施氮量附近, 施氮量的增减对产量影响也不大; 而当施氮量高于656.4 kg/hm² (纯氮300 kg/hm²+有机肥12 000 kg/hm²) 时, 继续投入氮肥只能造成投入的增加和经济效益的下降。显而易见, 在试验条件下, 从施肥经济效益的角度来看, 656.4 kg/hm² (纯氮 300 kg/hm²+有机肥12 000 kg/hm²) 为该土壤条件下的适宜施氮量。

2.2 施氮量对氮素吸收、氮素利用率的影响

氮肥用量是影响作物吸氮量的主要因素。大白菜的吸氮量与氮肥对产量的影响是一致的 (图 2), 在施氮量小于656.4 kg/hm² (纯氮 300 kg/hm²+有机肥12 000 kg/hm²) 时, 吸氮量随施氮量增加而增加; 而当施氮量大于656.4 kg/hm² (纯氮 300 kg/hm²+有机肥12 000 kg/hm²) 时, 大白菜吸氮量不再增加, 反而略呈下降的趋势。此结果说明, 适量施氮有利于增加大白菜对氮素的吸收。

氮肥的施用可以带来显著的经济效益。大白

菜的施氮量与氮肥利用率呈现与产量相似的规律, 当施氮量达到656.4 kg/hm² (纯氮 300 kg/hm²+有机肥12 000 kg/hm²) 时, 氮肥利用率为最高峰值, 为 12.6%。而当施氮量高于656.4 kg/hm² (纯氮300 kg/hm²+有机肥12 000 kg/hm²) 时, 继续投入氮肥只能造成投入的增加和经济效益的下降, 同时对环境造成污染。从肥料利用率角度分析, 最佳施肥量为656.4 kg/hm² (纯氮 300 kg/hm²+有机肥12 000 kg/hm²)。

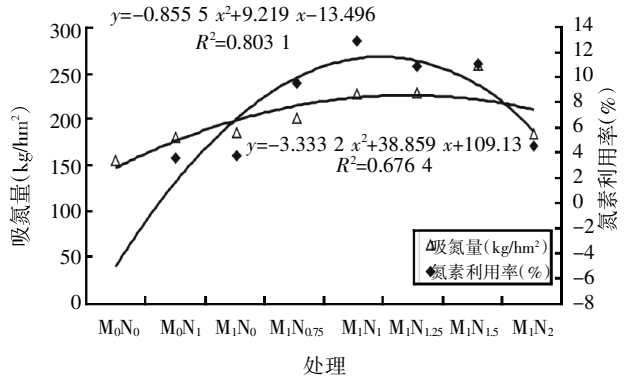


图2 不同处理对氮素吸收与利用率的影响

2.3 氮肥施用量对土壤硝态氮分布与累积的影响

由于在作物整个生育期土壤铵态氮含量较低, 因此在评价土壤矿质氮时, 忽略铵态氮的影响, 只计算硝态氮的贡献。不同处理成熟期硝态氮残留量如图3所示。大白菜收获后, 在0~180 cm土层

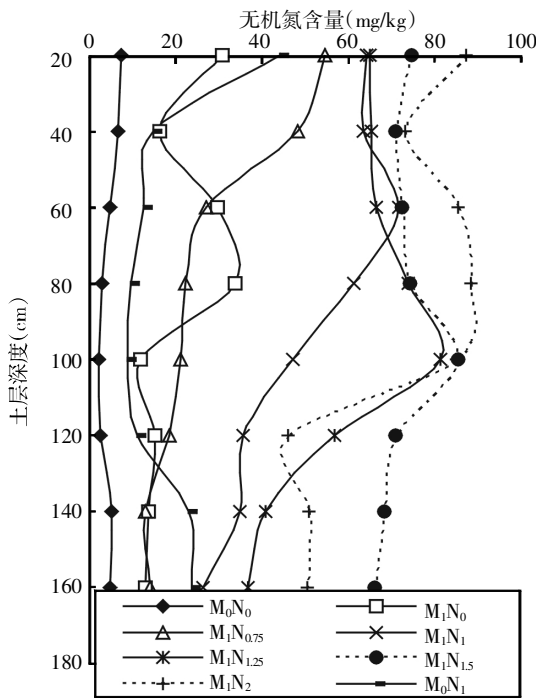
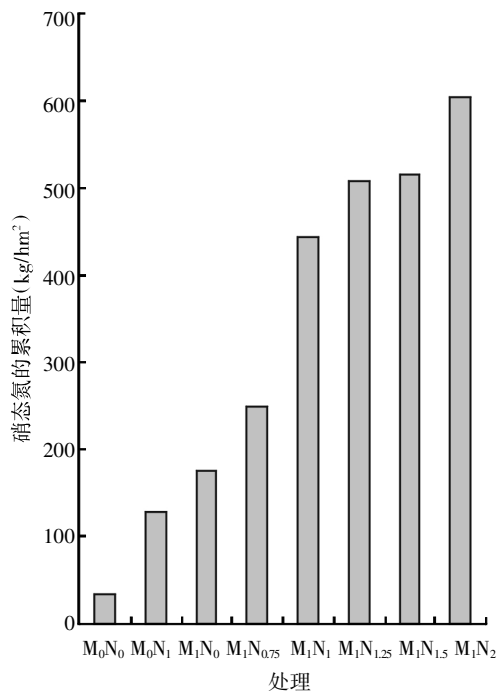


图3 不同处理对0~180 cm 土壤剖面 NO₃-N 分布与累积的影响



中, 残留的 NO_3^- -N的分布随施氮量的增加而显著增加, 并且随施氮量的增加, 氮在土壤中的残留深度下移, 表现出明显的底层累积。施氮量由 M_0N_0 递增至 $M_1N_{0.75}$ 时, 相应的 NO_3^- -N累积量则从 34.8 kg/hm^2 增加到 249.0 kg/hm^2 。随土层深度的增加, 土壤氮残留量降低。由图3还可看出, 各处理土壤氮均集中在0~100 cm土层中, 100 cm土层以下, 各处理 NO_3^- -N含量渐趋一致。不同施氮量处理的结果说明, 在0~180 cm的土层中, 施氮处理为 M_0N_1 和 M_1N_0 的累积量分别为 128.0 kg/hm^2 和 175.0 kg/hm^2 , 相差不大; 当施氮量为 656.4 kg/hm^2 (纯氮 300 kg/hm^2 +有机肥 $12\ 000 \text{ kg/hm}^2$)时, 累积量则高达 443.2 kg/hm^2 , 即氮肥施用过量会造成土壤剖面无机氮的积累, 当氮肥施用量超过作物需要时, 土壤中氮的积累就成了一个潜在的环境问题。从氮肥累积量的角度分析, 氮肥累积量的突变点为 656.4 kg/hm^2 (纯氮 300 kg/hm^2 +有机肥 $12\ 000 \text{ kg/hm}^2$), 为试验肥力条件下的最适宜施氮量。

3 小结与讨论

1) 适宜的施氮量对氮平衡具有积极的调控效应, 能增加作物的产量, 促进作物对土壤中氮的吸收、利用, 减少氮素在土壤中的累积。但氮肥的积累超过一定限度就可能造成生产成本逐年增加, 种植效益下降, 且肥料利用率不高。试验产量结果显示, 在施氮量为 656.4 kg/hm^2 (纯氮 300 kg/hm^2 +有机肥 $12\ 000 \text{ kg/hm}^2$)时, 大白菜产量达最高, 氮肥的利用率最大; 继续增加施氮量, 大白菜的产量却有下降趋势。从作物高产的角度考虑, 在本试验肥力条件下, 推荐的大白菜适宜施氮量为 656.4 kg/hm^2 (纯氮 300 kg/hm^2 +有机肥 $12\ 000 \text{ kg/hm}^2$)。

2) 合理的氮肥施用不但不影响作物的产量, 相反可提高作物对氮肥利用率, 从而减少土壤表面硝态氮的残留, 环境风险也随之降低^[9]。在本试验条件下, 优化施氮量处理 M_1N_1 (施纯氮 300 kg/hm^2 、有机肥 $12\ 000 \text{ kg/hm}^2$)比高施氮处理 M_1N_2 (施纯氮 600 kg/hm^2 、有机肥 $12\ 000 \text{ kg/hm}^2$)氮肥施用量减少100%, 氮肥的利用率提高8.3个百分点。吸氮量随施氮量的增加先增加而后降低, 与不施肥处理(CK)相比, 施氮处理极显著增加了作物的吸氮量; 当施氮量为 656.4 kg/hm^2 (纯氮 300 kg/hm^2 +有机肥 $12\ 000 \text{ kg/hm}^2$)时, 吸氮量最高。结果说明, 适量的施氮有利于增加大白菜的吸氮量。从作物高产、环境安全综合考虑,

施氮量 656.4 kg/hm^2 (纯氮 300 kg/hm^2 +有机肥 $12\ 000 \text{ kg/hm}^2$)为露地大白菜栽培的适宜施氮量。

3) 施氮显著影响硝态氮的积累, 并随着施氮量的增加, 氮在土壤中的残留量显著增加。在0~180 cm土层中, 土壤 NO_3^- -N累积量不施氮处理(M_0N_0)为 34.8 kg/hm^2 ; 施氮处理为纯氮 300 kg/hm^2 +有机肥 $12\ 000 \text{ kg/hm}^2$ (M_1N_1)和纯氮 375 kg/hm^2 +有机肥 $12\ 000 \text{ kg/hm}^2$ ($M_1N_{1.25}$)的累积量分别为 443.2 kg/hm^2 和 507.0 kg/hm^2 , 相差不大; 当施氮量为纯氮 600 kg/hm^2 +有机肥 $12\ 000 \text{ kg/hm}^2$ (M_1N_2)时, 累积量则高达 603.0 kg/hm^2 。因此, 过量施氮会在土壤中形成累积, 造成环境污染和投入增加。

综合以上不同施氮量对大白菜产量以及环境指标的影响, 认为在本试验肥力水平下, 适宜施氮量为纯氮 375 kg/hm^2 +有机肥 $12\ 000 \text{ kg/hm}^2$, 能够兼顾作物高产与环境安全的目标。

参考文献:

- [1] 褚天锋, 林继雄, 杨清. 化肥科学使用指南[M]. 北京: 金盾出版社, 1997: 40-43; 47.
- [2] 赵仰徽, 王云涛. 施氮方式对全膜覆土穴播冬小麦的影响[J]. 甘肃农业科技, 2013(10): 39-40.
- [3] 巨晓棠, 张福锁. 关于氮肥利用率的思考[J]. 生态环境, 2003, 12(2): 192-197.
- [4] 李军, 黄敬峰, 程家安. 我国化肥施用量及其可能污染的时空分布特征[J]. 生态环境, 2003, 12(2): 145-149.
- [5] 范仲学, 王璞, 梁振兴. 谷类作物的氮肥利用效率及其提高途径研究进展[J]. 山东农业科学, 2001(4): 47-50.
- [6] 樊军, 郝明德. 旱地农田土壤剖面硝态氮累积的原因初探[J]. 农业环境科学学报, 2003, 22(3): 263-266.
- [7] 朱兆良. 农田中氮肥的损失与对策[J]. 土壤与环境, 2000, 9(1): 1-6.
- [8] 栗丽, 洪坚平, 王宏庭, 等. 施氮与灌水对夏玉米土壤硝态氮积累、氮互平衡及其利用率的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2010, 16(6): 1 358-1 365.
- [9] 易镇邪, 王璞, 刘明, 等. 不同类型氮肥与施氮量下夏玉米水、氮利用及土壤氮素表现盈亏[J]. 水土保持学报, 2006, 20(1): 63-67.
- [10] 段映文, 张建华. 有机肥与化肥配施对春小麦叶片及籽粒N、P、K含量的影响[J]. 甘肃农业科技, 2013(8): 29-31.

(本文责编: 郑立龙)