

氮肥施用对露地秋季大白菜产量和硝酸盐积累及氮素利用的影响

李若楠¹, 张彦才¹, 黄绍文², 唐继伟², 王丽英¹

(1 河北省农林科学院 资源环境研究所, 河北 石家庄 252000; 2 中国农业科学院 农业资源与农业区划研究所, 北京 100081)

摘要: 采用田间小区试验方法, 研究了不同氮肥施用量对露地秋季大白菜产量和硝酸盐积累及氮肥利用的影响。结果表明, 大白菜产量随氮肥施用量的增加呈增加趋势, 施氮平均增产 5.5%, 平均增收 570.4 元/hm², 施 N 量在 150 kg/hm² 左右时大白菜经济效益较高; 大白菜球叶总干物质积累与总氮素积累随施氮量的增加均呈先增加后降低的趋势, 当施氮量在 150 和 225 kg/hm² 时, 大白菜球叶总干物质积累与总氮素积累最多; 在施 N 225 kg/hm² 以下时, 氮肥利用率和农学效率均较高 (分别为 31.5% ~ 43.1% 和 18.5 ~ 26.3 kg/kg), 氮肥表观损失较低 (31.5 ~ 168.4 kg/hm²), 而高量施氮时, 氮肥利用率和农学效率显著降低, 氮肥表观损失显著增加, 表层土壤氮素显著积累, 土壤中氮素向深层淋洗的风险显著增加。在本试验条件下, 基于产量、经济效益和环境效益的露地秋季大白菜适宜氮素 (N) 用量为 150 kg/hm² 左右。

关键词: 大白菜; 氮营养; 产量; 硝酸盐积累; 氮素利用

中图分类号: S143.1 文献标识码: A 文章编号: 1000-7091(2010)增刊-0220-06

Effect of Nitrogen Levels on Yield, Nitrate and Nitrogen Utilization of Chinese Cabbage

LI Ruonan¹, ZHANG Yan-cai¹, HUANG Shao-wen², TANG Ji-wei², WANG Li-ying¹

(1. Institute of Research and Environment, Hebei Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Shijiazhuang 050051, China; 2. Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract This study was conducted to determine the effect of nitrogen application rates on yield, nitrate and nitrogen utilization of Chinese cabbage under relatively high soil nitrogen fertility level by the field experiment in He village, Zhonghan town, Gaoyi county in Hebei province. The results showed that Chinese cabbage yield tended to increase with increasing nitrogen application. Nitrogen application averagely increased yield of Chinese cabbage by 5.5%, and increased income by 570.4 Yuan/ha with relatively high yield and income at N rate of about 150 kg/ha applied. Total biomass accumulation and total N uptake of Chinese cabbage tended to increase at first and then decrease with the highest values of them at N rates of 150 and 225 kg/ha applied. Relatively high recovery rate (31.5% - 43.1%) and agronomic efficiency (18.5 - 26.3 kg/kg), and relatively low apparent N loss (31.5 - 168.4 kg/ha) of applied N below 225 kg/ha was found. Whereas recovery rate and agronomic efficiency of applied N at rates of 300 - 525 kg/ha decreased significantly, and apparent N loss increased greatly with significant increase of N losses by leaching resulting from distinct increase in nitrogen content in upper soil layer. The proper rate of N of Chinese cabbage based on yield, income and environment was about 150 kg/ha under this experimental condition.

Key words Chinese cabbage; Nitrogen levels; Yield; Nitrate; Nitrogen utilization

“十五”以来蔬菜生产在种植业中的地位日益 增加, 全国蔬菜栽培面积和产量均有显著增长, 蔬菜

收稿日期: 2010-11-10

基金项目: 现代农业 (大宗蔬菜) 产业技术体系建设专项 (Nycytc-35-gv15)

作者简介: 李若楠 (1981-), 女, 河北冀县人, 助理研究员, 主要从事蔬菜营养与施肥技术研究。

通讯作者: 黄绍文 (1964-), 男, 湖南桃源人, 研究员, 博士, 主要从事蔬菜营养与高效安全施肥研究。

生产已经成为农村经济发展的新亮点。但是由于菜农对经济利益的盲目追求, 导致日常水肥管理频繁, 水肥供应量远远超出蔬菜需求量, 蔬菜生产中水分利用效率和肥料利用率显著降低。北京近郊种植蔬菜温室较密集的地区, 农民习惯单季氮肥投入量在 $1\,000\text{ kg/hm}^2$ 以上, 而部分区域氮肥利用率还不到 10% ^[1, 2]。山东寿光温室栽培下氮、磷、钾肥的当季利用率分别为 24% 、 8% 和 46% ^[3], 远低于粮田氮磷钾肥的当季利用率。加之农村肥料使用状况混乱, 未知成分的有机肥及高浓度复合肥的广泛使用, 导致氮磷钾素供给不平衡, 过量投入的氮素和磷素在土壤、水体及蔬菜可食部分过量积累, 造成土壤-水体-大气-蔬菜农业立体污染, 严重制约了农业资源的可持续利用。对山东寿光温室蔬菜种植情况调查显示, 有机肥投入以新鲜鸡粪和猪粪为主, 有机肥的年均用量 177 t/hm^2 ; 56% 的温室全部施用高浓度复合肥 ($15-15-15$), 导致温室栽培每年氮 (N)、磷 (P_2O_5)、钾 (K_2O) 养分的平均投入量分别达 $4\,088\text{ kg/hm}^2$ ($\text{CV} = 30\%$), $3\,656\text{ kg/hm}^2$ ($\text{CV} = 35\%$), $3\,438\text{ kg/hm}^2$ ($\text{CV} = 36\%$)^[3]。对京郊地区菜田的调查显示, 菜田每年仅氮肥施用量达 $1\,741.0\text{ kg/hm}^2$, $0\sim 30\text{ cm}$ 土层硝态氮含量变化幅度为 $0.93\sim 527.4\text{ mg/kg}$ 较果园和粮田邻近土壤显著增高; 菜田地下水硝态氮含量平均为 13.8 mg/L , 是粮田地下水的 2.8 倍; 蔬菜硝酸盐污染严重, 绿叶菜类蔬菜硝酸盐含量达 $2\,685.5\text{ mg/kg}$ ^[4]。对山东寿光蔬菜种植基地全年平均地下水硝态氮含达 22.6 mg/L , 蔬菜种植区地下水硝酸盐含量与氮肥施用量成显著正相关^[5]。可见蔬菜生产中养分供需平衡已经成为迫切需要解决的问题。

河北省是蔬菜种植大省, 叶菜类蔬菜中以种植大白菜及甘蓝为主^[6]。大白菜在全省种植面积最

大, 因其产量高、营养丰富、耐储运, 对秋冬季蔬菜供应起着重要作用。大白菜属于浅根系蔬菜, 以露地栽种为主。其营养生长阶段分为发芽、苗期、莲座期、结球期和休眠期, 其中结球期是养分吸收的高峰期, 该时期每周的 N 素吸收量平均为 22 kg/hm^2 ^[7], 此时不恰当的水肥管理, 很容易导致土壤各层 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 含量的大量积累、球叶硝酸盐含量超标、病虫害加重。目前有关大白菜施肥方面的研究多集中于平衡施肥^[8]、有机无机配施^[9]、氮素损失途径^[9]、土壤供氮目标值^[7]等方面的研究, 而在根层 ($0\sim 40\text{ cm}$) 土壤硝态氮积累 $> 250\text{ kg/hm}^2$ 水平下, 综合产量、干物质及氮素积累、生理指标与环境指标来推荐氮肥合理施用的研究较少。本试验以秋季露地秋季大白菜为研究对象, 在土壤供氮中高水平条件下通过氮肥不同用量对大白菜产量及其构成、氮素积累与分配、氮肥利用和氮素平衡的差异, 推荐最佳氮肥供应量, 以期达到产量、品质与环境效益的平衡, 从而对大白菜生产中氮肥的施用提供科学依据。

1 材料和方法

1.1 供试土壤

本试验在河北省高邑县中韩乡河村进行。试验区域属暖温带半湿润大陆气候, 年平均温度 12.5°C , 年日照时间 $2\,660\text{ h}$, 平均无霜期 191 d 平均年降雨量 520 mm , 生长季 ($8\sim 11$ 月) 降雨量占全年的 60% 左右。供试土壤类型为壤质洪冲积潮褐土。试验地土壤基本性质情况见表 1, $0\sim 40\text{ cm}$ 土壤硝态氮含量为 279.7 kg/hm^2 , 参考张福锁等^[10] 编写的《中国主要作物施肥指南》, 在大白菜生产中该土壤硝态氮含量属于高土壤氮素肥力水平。 $0\sim 20$ $20\sim 40$ $40\sim 70$ $70\sim 100\text{ cm}$ 土体土壤容重分别为 $1.25\ 1.25\ 1.32\ 1.36\text{ g/cm}^3$ 。

表 1 试验地土壤基本理化性质

Tab 1 Basic properties of the tested soil

土壤层次 Soil layer	pH	有机质 / (g/kg) Organic matter	硝态氮 / (mg/kg) Mineral nitrogen	速效磷 / (mg/kg) Soil Olsen-P	速效钾 / (mg/kg) Soil available K
0~ 20 cm	7.81	3.87	4.6	23.6	97.2

1.2 试验设计

本试验处理设计及养分用量见表 2 试验 3 次重复, 随机排列, 小区宽 4.4 m , 行长 6 m , 小区面积 26.4 m^2 。供试白菜品种为北京新 3 号, 2009 年 8 月 5 日播种, 9 月 1 日定苗, 每小区定植 88 颗大白菜, 株行距为 $0.55\text{ m} \times 0.55\text{ m}$, 密度为 $33\,333\text{ 株/hm}^2$, 10 月 25 日收获。氮肥为尿素 (含 N 46%), 磷肥为过磷酸钙 (含 P_2O_5 16%), 钾肥为硫酸钾 (含 K_2O 50%)。 40% 氮肥、 100% 磷肥和 50% 钾肥作基肥; 9

月 10 日 (莲座期) 追施 20% 氮肥, 20% 钾肥; 9 月 25 日 (结球期) 追施 40% 氮肥, 30% 钾肥。试验灌水、病虫害防治及除草等日常管理按照当地农民习惯进行。

1.3 植株和土壤样品分析

1.3.1 植株测定项目和方法 结球期每个小区选取 3 株大白菜, 在莲座叶中叶位 (从中生叶计数 $5\sim 7$ 叶) 使用叶绿素仪 SPAD-502 测定叶绿素 SPAD 值, 每片叶子测 10 个点后取平均值, 每株大白菜重

复 3 次。收获期各小区单独收获并称重计产。保持完整的大白菜为毛菜; 按照农民习惯将毛菜去除表层 8~ 10 片绿叶后为净菜, 其重量为大白菜产量。各小区选取 3 株叶片完整的大白菜, 进行干物质、植株氮素含量及可食部分硝酸盐含量的测定。将样品沿纵向“十”字剖开, 取其中 1/4 部分作为待取样品。将最外层绿色球叶与内层黄白色球叶分别按照头、中、尾分成 3 段, 每段取部分样品混匀后 65℃烘干测定其水分含量; 同时取外层绿色球叶与内层黄白色球叶在 65℃烘干后研磨成粉末, 过 1 mm 筛后密封保存, 采用硫酸-过氧化氢消煮-凯氏定氮法测定其全氮含量。取内部黄白色球叶, 采用 GB/T 15401-1994 标准方法进行硝酸盐含量的测定。蔬菜硝酸盐污染评价采用 GB18406. 1-2001 中的标准, 即叶菜类蔬菜中硝酸盐含量不得高于 3 000 mg/kg

表 2 试验处理设计

Tab 2 Experimental treatments			
处理设计 Treatment	养分用量/(kg/hm ²) Nutrient application rate		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
N ₀	0	150	375
N ₇₅	75	150	375
N ₁₅₀	150	150	375
N ₂₂₅	225	150	375
N ₃₀₀	300	150	375
N ₃₇₅	375	150	375
N ₄₅₀	450	150	375
N ₅₂₅	525	150	375

1.3.2 土壤养分测定方法 试验前取 0~ 20 20~ 40 cm 土壤样品, 大白菜收获后 (10 月 25 日), 各小区取 0~ 20 20~ 40 40~ 70 70~ 100 cm 土壤样品进行养分分析。土壤有机质 (O. M.) 用重铬酸钾容量法-外加加热法测定; 土壤 pH 用 2.5: 1 水土比, 复

表 3 不同施氮水平对大白菜产量的影响

Tab 3 Effect of nitrogen levels on yield of Chinese cabbage						
处理 Treatment	产量/(t/hm ²) Yield				增产 Yield increase	
	重复 iv	重复 ㊟	重复 ㊿	平均值 Average	t/hm ²	%
	Repeat I	Repeat ㊟	Repeat ㊿			
N ₀	87.47	7.1	85.7	83.4 b	—	—
N ₇₅	86.3	84.5	86.4	85.7 ab	2.3	2.8
N ₁₅₀	81.0	88.6	90.9	86.8 ab	3.4	4.1
N ₂₂₅	84.0	92.2	86.4	87.5 ab	4.1	4.9
N ₃₀₀	90.7	87.4	85.7	87.9 ab	4.5	5.4
N ₃₇₅	93.0	84.5	86.9	88.2 ab	4.8	5.7
N ₄₅₀	85.2	90.7	91.9	89.2 ab	5.8	7.0
N ₅₂₅	89.4	92.3	90.7	90.8 a	7.4	8.8

注: 不同小写字母表示 $P < 0.05$ 差异显著。
Note Means with the same letter are not significantly different at $P < 0.05$ (low case letter) by LSD.

由表 4 可见, 与不施 N 相比, 施氮增加大白菜经济效益 354.7~ 742.0 元/hm², 平均 570.4 元/hm²; 提高效益 1.4% ~ 2.9%, 平均 2.2%。施氮 525

合电极测定; 土壤硝态氮含量用 2 mol/L 的 KCl 浸提-紫外分光光度法测定; 速效 P 用碳酸氢钠浸提-钼锑抗比色法测定; 速效 K 用 NH₄OA c 浸提-火焰光度法测定。

1.4 数据计算方法

氮肥利用率 = (施氮区作物吸氮量 - 无氮区作物吸氮量) / 施氮量 × 100

氮肥农学利用率 = (施氮区作物产量 - 无氮区作物产量) / 施氮量;

氮素表观损失 = N 素输入 (播种前土壤 N_{min} + 化肥氮素投入) - 氮素输出 (收获期土壤 N_{min} + 植株吸氮)。

1.5 数据处理

本研究的数据分析采用 Microsoft Excel 2003 和 SAS 软件进行。

2 结果与分析

2.1 不同施氮水平对秋季大白菜产量和经济效益的影响

表 3 表明, 随着氮肥施用量的增加, 大白菜产量 (以鲜质量计) 呈增加趋势; 与不施 N 相比, 施氮增加大白菜产量 2.3~ 7.4 t/hm², 平均 4.6 t/hm²; 增产为 2.8% ~ 8.8%, 平均 5.5%。施 N 525 kg/hm² 处理大白菜产量显著高于不施 N 处理的产量, 而施 N 75~ 450 kg/hm² 各处理大白菜产量均与不施 N 处理产量之间差异不显著。由此可见, 在该土壤条件下, 各施氮处理间大白菜产量差异未达到显著水平, 显示低施氮量即可满足大白菜产量在 87 t/hm² 左右, 而过多施用氮肥其增产效果不显著。

kg/hm² 处理大白菜经济效益最高, 为 26 327.3 元/hm²; 施氮 150 kg/hm² 处理的经济效益次之, 为 26 258.5 元/hm²。分析肥料成本与产值的关系表

明,从施 N 0~ 150 kg/hm² 处理肥料成本增加 525 元 /hm²,产值增加了 119 7元 /hm²;而施 N 225~ 525 kg/hm² 处理肥料成本增加 105 0元 /hm²,产值增加了 113 7元 /hm²;施 N 0~ 525 kg/hm² 的 7 个处理单

位成本增加带来的产值增加分别为 3. 1, 2. 3, 1. 8, 1. 5, 1. 3, 1. 3, 1. 4。可见施氮量在 150 kg/hm² 左右能在保证产量的同时获得较高的经济效益。

表 4 不同施氮水平对大白菜经济效益的影响

Tah 4 Effect of nitrogen levels on income of Chinese cabbage

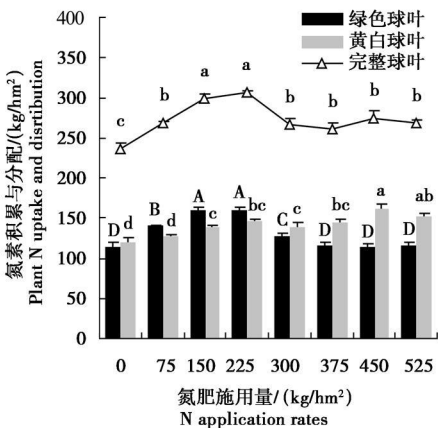
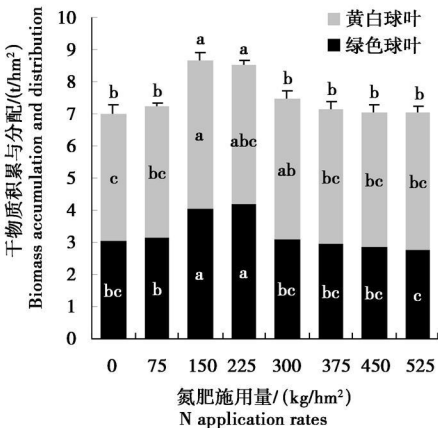
处理 Treatment	产值 /(元 /hm ²) Production value	肥料成本 /(元 /hm ²) Fertilizer input	收入 /(元 /hm ²) Income	增收 元 /hm ²	Income increase %
N ₀	29 185. 3	3 600. 0	25 585. 3	—	—
N ₇₅	30 002. 0	3 862. 5	26 139. 5	554. 2	2. 2
N ₁₅₀	30 383. 5	4 125. 0	26 258. 5	673. 2	2. 6
N ₂₂₅	30 627. 3	4 387. 5	26 239. 8	654. 5	2. 6
N ₃₀₀	30 774. 3	4 650. 0	26 124. 3	539. 0	2. 1
N ₃₇₅	30 852. 5	4 912. 5	25 940. 0	354. 7	1. 4
N ₄₅₀	31 235. 2	5 175. 0	26 060. 2	474. 9	1. 9
N ₅₂₅	31 764. 8	5 437. 5	26 327. 3	742. 0	2. 9

注: N、P₂O₅、K₂O、大白菜价格分别为 3. 50、6. 00、7. 20 和 0. 35 元 /kg
Note: Prices of N, P₂O₅, K₂O and Chinese cabbage is 3. 50, 6. 00, 7. 20 and 0. 35 Yuan /kg respectively

2 2 氮肥施用对大白菜干物质和氮素积累与分配的影响

图 1 表明, 大白菜地上部分总干物质 (绿色球叶 + 黄白球叶) 积累随氮肥用量的增加呈先增后降的趋势, 其中 N₁₅₀ 处理地上部分总干物质积累最高 (8. 66 t/hm²), N₂₂₅ 处理地上部分总干物质积累次之 (8. 52 t/hm²), 两者显著高于其余施氮各处理的总干物质积累, 分别比不施氮肥处理的干物质积累增加 23. 7% 和 21. 6%。其中对于绿色球叶干物质积累量而言, N₂₂₅ 处理干物质积累最多 (4. 21 t/hm²),

N₁₅₀ 处理干物质积累次之 (4. 03 t/hm²), 两者绿色球叶干物质积累显著高于其余各施氮处理的干物质积累, 分别比不施氮肥处理绿色球叶干物质积累增加 38. 2% 和 32. 3%。对于黄白球叶干物质积累而言, N₁₅₀ 处理黄白球叶干物质积累最多 (4. 63 t/hm²), N₃₀₀ 处理黄白球叶干物质积累次之 (4. 36 t/hm²), 两者显著高于不施氮肥处理的干物质积累, N₁₅₀ 处理和 N₃₀₀ 处理的黄白球叶干物质积累比不施氮处理的分别增加 17. 1% 和 10. 2%。



氮素积累图中, 各处理绿色球叶氮素积累多重比较结果用大写字母表示 ($P \leq 0. 05$); 各处理黄白球叶氮素积累多重比较结果用小写字母表示 ($P \leq 0. 05$)。

In the figure of N uptake, means with the same letter are not significantly different at $P < 0. 05$ by LSD (uppercase letter for N accumulation of green heading leaves and lowcase letter for N accumulation of yellow heading leaves).

图 1 氮肥施用对大白菜干物质和氮素积累与分配的影响

Fig 1 Effect of nitrogen levels on biomass accumulations and N uptake of Chinese cabbage

从图 1 可以看到, 不同施氮水平对大白菜 (绿色球叶和黄白球叶) 氮素积累影响显著, 大白菜氮素积累总量随氮肥用量的增加呈先增后降的趋势, 其中 N₁₅₀ 和 N₂₂₅ 处理氮素积累最多, 分别为 299. 5

和 306. 6 kg/hm²。对于绿色球叶而言, 氮素积累量呈现先增加后降低的趋势, 其中 N₁₅₀ 和 N₂₂₅ 处理绿色球叶氮素积累最多, 分别达 160. 2 kg/hm² 和 160. 8 kg/hm², 两者绿色球叶氮素积累量均显著高

于其余各施氮处理的氮素积累量。对于黄白球叶而言,黄白球叶氮素积累量呈现逐渐增加的趋势,其中 N_{450} 处理黄白球叶氮素积累最多 (161.1 kg/hm^2), N_{525} 处理黄白球叶氮素积累量次之 (153.0 kg/hm^2), N_{450} 与 N_{525} 两处理黄白球叶氮素积累量差异不明显,但均显著高于其余各施氮处理的氮素积累量。

大白菜绿色球叶和黄白球叶氮素积累与分配模式有所不同,绿色球叶氮素积累量呈先增加后降低的趋势,黄白球叶氮素积累量呈逐渐增加的趋势,显示不同球叶叶位氮素需求的阈值不同,过量氮素施用可能会抑制绿色球叶中氮素的积累。绿色球叶氮素百分含量高于黄白球叶,这可能与球叶不同叶位接受光照强度的差异有关,因为绿色球叶包裹在黄白球叶的外部,所以能接受较多的光照进行光合作用,这一方面增加了矿质氮素在绿色球叶中的分配,另一方面使得绿色器官中有机氮素的积累增加^[11]。

2.3 氮肥施用对大白菜叶绿素和硝酸盐含量的影响

氮是叶绿素的必要成分,施氮可提高叶片的叶绿素含量和净光合速率^[11]。叶绿素含量与光合速率大小呈正相关,而光合特性是影响产量的重要因素。图2表明,氮肥施用对大白菜莲座叶叶片叶绿素含量影响显著,大白菜莲座叶叶片叶绿素含量随氮肥施用量的增加而呈增加的趋势,其中 N_{525} 处理莲座叶叶片叶绿素含量最高 (SPAD 值达 54.4),显著高于其余各施氮处理的叶绿素含量,比不施氮处理的 SPAD 值增加 30.0%。氮肥施用量与莲座叶叶片叶绿素含量之间呈显著线性回归关系,回归方程为 $Y_{\text{SPAD值}} = 0.019\ 9X_{\text{施氮量}} + 44.5$, $R^2 = 0.84$, $P < 0.01$ 。

陶正平等^[12]的试验证实氮素浓度与大白菜叶片硝酸盐含量呈正比。从图2可以看到,氮肥施用显著影响球叶叶片硝酸盐含量,随着氮肥施用量的增加,球叶叶片硝酸盐含量总体上呈增加的趋势,其中 N_{525} 处理叶片硝酸盐含量最高 ($1\ 551.0\text{ mg/kg}$),显著高于其余各施氮处理的硝酸盐含量,比不施氮处理球叶叶片硝酸盐含量增加 65.4%。氮肥施用量与球叶叶片硝酸盐含量之间呈显著线性回归关系,回归方程为 $Y_{\text{硝酸盐含量}} = 0.7\ 432X_{\text{施氮量}} + 1\ 046.6$, $R^2 = 0.67$, $P < 0.05$ 。该试验结果显示,过量施用氮肥可以显著增加大白菜球叶可食部分硝酸盐含量,但是并未超过叶菜类蔬菜中硝酸盐含量不得高于 $3\ 000\text{ mg/kg}$ 的国家标准。

2.4 氮肥施用对大白菜收获期土壤硝态氮含量的影响

图3表明,收获期 0~20、20~40 cm 土层 N_{525}

和 N_{450} 处理土壤硝态氮含量显著高于其余施氮处理的硝态氮含量,存在显著积累趋势。40~70、70~100 cm 土层 N_{525} 、 N_{450} 和 N_{375} 处理土壤硝态氮含量均较其余施氮处理的高,显示在本试验降雨和灌水条件下高施氮量各处理土壤硝态氮存在向土壤深层淋洗的风险,而淋洗损失是大白菜种植过程中氮素损失的主要途径^[13]。经过一个生育季后, N_0 、 N_{75} 、 N_{150} 、 N_{225} 、 N_{300} 处理 0~100 cm 土体硝态氮浓度均在 0~20 mg/kg 之间波动。由此可见,在该试验土壤条件下,过量氮肥施用不仅导致表层土壤氮素积累,还增加了土壤中氮素向深层淋洗的风险。

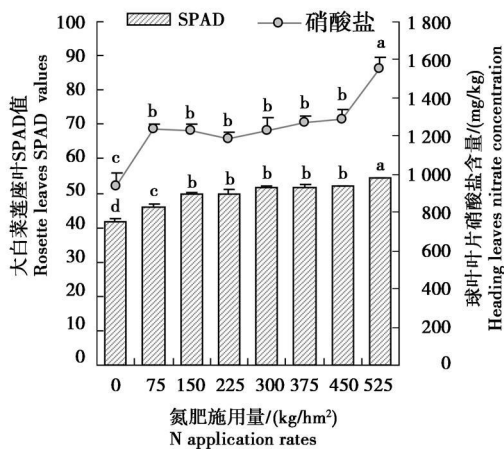


图2 氮肥施用对大白菜莲座叶叶绿素含量及球叶硝酸盐含量的影响
Fig.2 Effect of nitrogen levels on the SPAD values of cabbage rosette leaves and nitrate concent of heading leaves

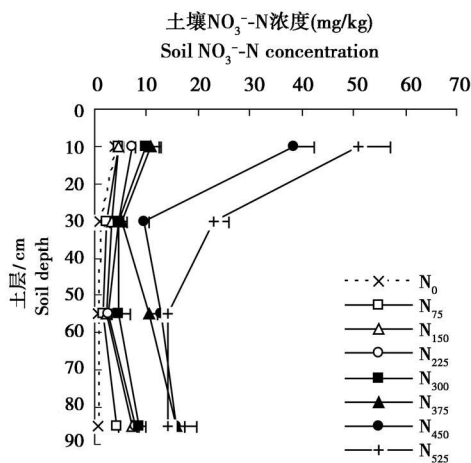


图3 氮肥施用对大白菜收获期土壤硝态氮含量的影响
Fig.3 Effect of nitrogen levels on soil N_{in} contents at harvest stage of Chinese cabbage

2.5 氮肥利用率与氮素平衡

由表4可知,低施氮处理氮肥利用率较高,为 31.5%~43.1%,其中 N_{75} 处理氮肥利用率最高 (43.1%), N_{150} 处理氮肥利用率次之 (42.6%),而高施氮处理 ($375\sim525\text{ kg/hm}^2$) 氮肥利用率均低于 10%。氮肥农学效率随氮肥施用量的增加呈降低的

趋势, N₇₅处理氮肥农学效率最高, 为 26.3 kg/kg, N₁₅₀处理次之, 为 22.8 kg/kg, 其余处理氮肥农学效率均较低。随着氮肥施用量的增加, 氮素表观损失逐渐增加, N₇₅和 N₁₅₀处理氮肥表观损失均较低; N₅₂₅、N₄₅₀和 N₃₇₅高施氮处理氮素表观损失较高, 为 334.8~354.2 kg/hm²。

表 4 氮肥施用对大白菜氮肥利用率、氮肥农学利用率和 0~40 cm 土壤氮素损失的影响

Tab 4 Recovery rate and agronomic efficiency of applied N, and N balance for 0–40 cm soil depth as affected by N fertilization rates in 2009

处理 Treatment	差值法氮肥利用率 / % Recovery rate of applied N	氮肥的农学效率 / (kg/kg) Agronomic efficiency of applied N	表观 N 素损失 / (kg/hm ²) Apparent N loss
N ₀	—	—	31.5
N ₇₅	43.1	26.3	68.7
N ₁₅₀	42.6	22.8	110.2
N ₂₂₅	31.5	18.5	168.4
N ₃₀₀	10.4	15.1	276.6
N ₃₇₅	6.6	12.7	354.2
N ₄₅₀	8.7	13.0	334.8
N ₅₂₅	6.3	12.6	351.3

3 结论

在高土壤氮素肥力水平条件下, 随着氮肥施用量的增加, 大白菜产量呈增加趋势; 大白菜施氮平均增产 5.5%, 平均增收 570.4 元/hm²。施氮量在 150 kg/hm² 左右能在保证产量在 87 t/hm² 左右的同时获得较高的经济效益。

在高土壤氮素肥力水平条件下, 随着施氮量的增加, 秋季大白菜球叶总干物质积累与总氮素积累均呈先增加后降低的趋势, 当施氮量在 150 和 225 kg/hm² 时, 大白菜球叶总干物质积累与总氮素积累最多, 显著高于其余各施氮处理的总干物质积累与总氮素积累, 而缺乏或者过量的氮肥施用都会导致总干物质积累与总氮素积累的降低。

球叶叶片硝酸盐含量随氮肥施用量的增加呈增加的趋势, 过量施用氮肥显著增加大白菜球叶可食部分硝酸盐含量, 但并未超过叶菜类蔬菜中硝酸盐含量不得高于 3 000 mg/kg 的国家标准。

在本试验条件下, 过量施用氮肥不仅导致表层土壤氮素积累, 还增加了土壤中氮素向深层淋洗的风险。

在施 N 225 kg/hm² 以下时, 氮肥利用率和农学效率均较高, 分别为 31.5%~43.1% 和 18.5~26.3 kg/kg, 氮肥表观损失较低, 为 31.5~168.4 kg/hm²。而高量施氮时, 氮肥利用率和农学效率显著降低, 氮肥表观损失显著增加。

本试验条件下, 基于产量、经济效益和环境效益的露地秋季大白菜适宜氮素(N)用量为 150 kg/hm² 左右, 但长期低施氮量对大白菜产量和土壤氮素肥力的影响有待于进一步探讨。

参考文献:

[1] Chen Q, Zhang X S, Zhang H Y, *et al*. Evaluation of current fertilizer practice and soil fertility in vegetable production in the Beijing region [J]. *Nutr Cycl A*, 2004, 69: 51–58

[2] Zhu JH, Li XL, Christie P, *et al*. Environmental implications of low nitrogen use efficiency in excessively fertilized hot pepper (*Capsicum frutescens* L.) cropping system [J]. *Agric Ecosyst Environ*, 2005, 111: 70–80

[3] 余海英, 李廷轩, 张锡洲. 温室栽培系统的养分平衡及土壤养分变化特征 [J]. *中国农业科学*, 2010, 43(3): 514–522

[4] 杜连凤, 赵同科, 张成军, 等. 京郊地区 3 种典型农田系统硝酸盐污染现状调查 [J]. *中国农业科学*, 2009, 42(8): 2837–2843

[5] 董章杭, 李季, 孙丽梅. 集约化蔬菜种植区化肥施用对地下水硝酸盐污染影响的研究—以“中国蔬菜之乡”山东省寿光市为例 [J]. *农业环境科学学报*, 2005, 24(6): 1139–1144

[6] 宋建新, 于凤玲, 聂承华, 等. 河北蔬菜品种结构现状及发展对策 [J]. *北京农业*, 2007, 4: 1–3

[7] 陈清, 张宏彦, 张晓晟, 等. 京郊大白菜的氮素吸收特点及氮肥推荐 [J]. *植物营养与肥料学报*, 2002, 8(4): 404–408

[8] 丁华萍, 陈斌, 张和兰, 等. 氮钾肥施用量对秋季大白菜产量和品质的影响 [J]. *土壤通报*, 2006, 37(3): 533–535

[9] 刘宏斌, 李志宏, 张维理, 等. 露地栽培条件下大白菜氮肥利用率与硝态氮淋溶损失研究 [J]. *植物营养与肥料学报*, 2004, 10(3): 286–291

[10] 张福锁, 陈新平, 陈清, 等. 中国主要作物施肥指南 [M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2009

[11] 王琪, 徐程扬. 氮磷对植物光合作用及碳分配的影响 [J]. *山东林业科技*, 2005, 160(5): 59–62

[12] 陶正平. 不同氮素水平条件下大白菜不同品种对硝酸盐富集力差异的研究 [J]. *吉林农业大学学报*, 2007, 29(2): 159–161

[13] 曹兵, 贺发云, 徐秋明, 等. 露地种植大白菜的氮肥效应与氮素损失研究 [J]. *植物营养与肥料学报*, 2007, 13(6): 1116–1122