

氮肥、土壤肥力和采收期对小白菜体内硝酸盐含量的影响

王正银¹, 李会合¹, 李宝珍¹, 叶学见¹, 孙彭寿², 戴亨林², 向天常²

(¹西南农业大学资源环境学院, 重庆 400716; ²重庆市农业局土肥站, 重庆 400020)

摘要: 在田间条件下研究了土壤肥力、氮肥施用量、采收时期、光照对小白菜生物量、硝酸盐累积和营养品质的影响。结果表明, 不同氮水平下小白菜生物量与生长天数呈极显著直线回归关系, 不同收获期的施氮处理与小白菜生物量呈极显著二次抛物线关系。施氮 $225 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ 可使小白菜获得最高产量, 而经济最佳施氮量为 $150 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ 处理。中、低肥力土壤无氮肥处理的小白菜硝酸盐含量分别为 2160 ± 728 和 $1049 \pm 799 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 施氮 $75 \sim 300 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ 使 2 种土壤的小白菜硝酸盐含量提高 $23.5\% \sim 30.1\%$ 和 $140.5\% \sim 185.1\%$; 小白菜生长天数与硝酸盐累积量呈极显著直线关系, 中肥力土壤上植株硝酸盐累积速率(b 值)为低肥力土壤的 $3.21 \sim 4.49$ 倍, 并以施氮 $225 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ 的累积量为最大。施氮量与小白菜硝酸盐累积量之间呈显著二次回归关系, 硝酸盐最大累积速率(b_1 值)出现在 40 d (中肥力土壤) 和 45 d (低肥力土壤)。连续阴天后, 光照 2 d , 小白菜硝酸盐含量降低 $10.5\% \sim 25.5\%$ 。施氮明显降低小白菜 V_c 含量和低肥力土壤上小白菜可溶性糖及氨基酸含量, 延后采收明显提高小白菜 V_c 、可溶性糖和氨基酸含量。

关键词: 氮肥; 土壤肥力; 小白菜; 收获期; 硝酸盐; 营养品质

Influence of Nitrogen Rates, Soil Fertility and Harvest Time on Nitrate in Chinese Cabbage

WANG Zheng-yin¹, LI Hui-he¹, LI Bao-zhen¹, YE Xue-jian¹,
SUN Peng-shou², DAI Heng-lin², XIANG Tian-chang²

(¹College of Resources and Environmental Sciences, Southwest Agricultural University, Chongqing 400716;

²Soil and Fertilizer Station of Chongqing Agricultural Bureau, Chongqing 400020)

Abstract: A field experiment was conducted to study the effects of soil fertility, nitrogen fertilizer rates, harvest time and natural lighting on the biomass, nitrate accumulation and nutritive quality of Chinese cabbage. Results showed that there was a significant linear regression between growth day and biomass of Chinese cabbage at different nitrogen levels, and a significant quadratic regression between nitrogen rates and biomass of Chinese cabbage at different harvest time. The maximum yield of Chinese cabbage could be obtained at the N rate of $225 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ on two soil fertility but the optimum yield response to nitrogen fertilizer appeared at the $150 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ treatment. The average contents of nitrate in Chinese cabbage were 2160 ± 728 and $1049 \pm 799 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ respectively for no nitrogen fertilizer treatment, and the nitrate contents increased by $23.5\% \sim 30.1\%$ and $140.5\% \sim 185.1\%$ respectively by applying nitrogen (N) $75 \sim 300 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ under medium and low fertility soil conditions. A significant linear was found between the days of growth and nitrate accumulation of Chinese cabbage in two fertility soils. The accumulation rate of nitrate (b value) was increased by $3.21 \sim 4.49$ times on medium fertility soil as compared with the low fertility soil. The maximum nitrate content appeared at the $225 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ treatment. A significant quadratic regression existed between nitrogen rates and nitrate accumula-

收稿日期 2002-09-10

基金项目: 重庆市科委攻关资助项目(2000-6208)

作者简介: 王正银(1953-), 男, 四川剑阁人, 教授, 博士生导师, 主要从事植物营养与品质、肥料资源利用研究, Tel: 023-68251825; Fax: 023-68250444; E-mail: wangzy@swau.edu.cn

tion at different harvest time and the maximum rate of nitrate accumulation (b value) appeared at the 40th day on medium fertility soil and at the 45th day on low fertility soil, respectively. The nitrate content of Chinese cabbage was decreased by 10.5% - 25.5% after continuous two sunny days. Applying nitrogen fertilizer could obviously reduce the Vc content of Chinese cabbage on two fertility soils and the content of soluble sugar and amino acid in Chinese cabbage on low fertility soil. The contents of Vc, soluble sugar and amino acid in Chinese cabbage were obviously increased by postponing harvest.

Key words: Nitrogen fertilizer; Soil fertility; Chinese cabbage; Harvest time; Nitrate; Nutritive quality

蔬菜体内过多累积硝酸盐虽无害于植株,却对食用后的人体健康构成潜在威胁。国内外研究表明,叶菜类是人类取食量大且硝酸盐污染最严重的一类蔬菜^[1-3]。叶类蔬菜大多生长周期短、产量高,农业生产中施氮肥以大幅度提高其产量的现象普遍存在。研究表明,施化学氮肥过多是叶菜中硝酸盐累积的主要原因^[1,4-6]。因此,科学控制氮肥用量也列为发展优质商品蔬菜生产的一个重要而迫切的问题。蔬菜硝酸盐含量的变化与多种因子关系密切,除蔬菜品种和氮肥施用技术(氮肥形态、用量、分配比例)有关外,土壤理化性状、肥力水平、水分含量、采收时期与时间、气候条件(温度、光照、降水等)

对其均有明显影响^[7-10]。迄今为止,有关控制蔬菜硝酸盐的理论与技术研究以单因子考虑较多,系统考虑多个因素的研究甚少。笔者研究田间条件下,在2种不同肥力菜园土壤上的施氮水平、分期采收、光照对小白菜硝酸盐含量和营养品质的影响,为发展优质无公害蔬菜提供依据。

1 材料与方 法

1.1 供试土壤

西南农业大学实验农场中、低肥力水平^[11]的菜园土壤,其基本农化性状见表1。

表1 供试土壤的农化性状

Table 1 Some agro-chemistry characteristics of experimental soils

土壤 Soil	pH	有机质 OM (g·kg ⁻¹)	碱解氮 Alkali-hydrolyzable N (mg·kg ⁻¹)	有效磷 Available P (mg·kg ⁻¹)	有效钾 Available K (mg·kg ⁻¹)	土壤质地 Texture
中肥力 Medium fertility	4.5	14.6	124	24.6	106	中壤 Medium loam
低肥力 Low fertility	6.8	12.4	76	12.7	88	砂壤 Sandy loam

1.2 供试作物

小白菜 (*Brassica chinensis* L.)

1.3 试验方案

试验设5个施氮水平。施氮量分别为0、75、150、225、300 kg·ha⁻¹;各处理施钾(K₂O)均为75 kg·ha⁻¹。其中,氮肥为尿素,钾肥为氯化钾。2种肥料全部作基肥1次施用,施肥10 d后播种。

1.4 试验方法

中、低肥力土壤的田间试验分别于2000年9月23日和10月3日施肥,小区面积4.5 m×1 m,每小区76窝(23 cm×25 cm);施肥10 d后播种,每窝播小白菜种子8~10粒。出苗后分次间苗,三叶期预定苗(每窝5株),5 d后定苗,每窝3株。定苗后每隔5 d取样(10株)1次,共取9次。各处理小区随机排列4次重复,其中1次重复供取样测定,3次收获产量并进行统计分析。在小白菜收获期(第9次采

样)采样测定产量和营养品质。

1.5 化学分析方法

土壤基本农化性状按常规分析方法^[12]测定,植株硝酸盐含量用酚二磺酸法,可溶性糖含量用水杨酸法,氨基酸用水合茚三酮法,维生素C用2,6-二氯靛酚法测定^[13]。

1.6 统计方法

对小白菜产量采用F检验和Duncan新复极差法^[14]检验进行显著性比较。

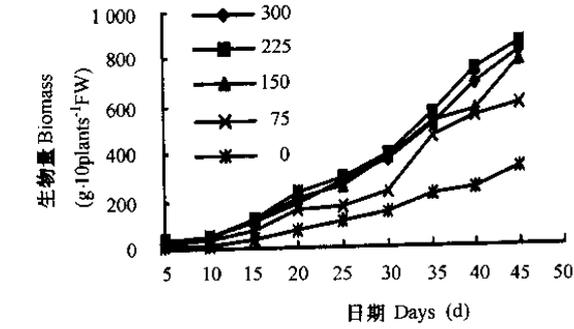
2 结果与分析

2.1 不同处理小白菜生物量和产量的变化

2.1.1 不同氮水平下小白菜收获天数与生物量的关系 由图1可知,小白菜生物量与收获天数呈极显著直线回归关系。2种不同肥力的土壤,施氮的生物效应差异很大,同一施氮水平下,中肥力土壤小白

菜生物量增加速率(b 值为 15.59 ~ 21.43)约为低肥力土壤(b 值为 4.12 ~ 6.96)的 3 ~ 4 倍,表现出土壤肥力水平对作物生长的限制作用和提高土壤肥力对发展蔬菜生产的重要意义。

而且还显著制约施肥的增产效应。



中肥力土壤 Medium fertility soil

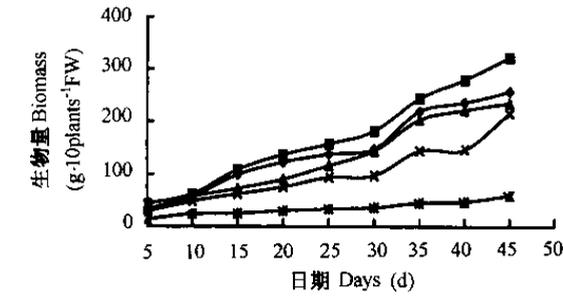
$$y_{300} = -171.70 + 20.31x \quad R^2 = 0.957$$

$$y_{225} = -171.06 + 21.43x \quad R^2 = 0.959$$

$$y_{150} = -143.56 + 18.61x \quad R^2 = 0.952$$

$$y_{75} = -134.98 + 15.59x \quad R^2 = 0.921$$

$$y_0 = -64.01 + 7.92x \quad R^2 = 0.954$$



低肥力土壤 Low fertility soil

$$y_{300} = 4.24 + 5.67x \quad R^2 = 0.976$$

$$y_{225} = -2.90 + 6.96x \quad R^2 = 0.984$$

$$y_{150} = -4.38 + 5.40x \quad R^2 = 0.975$$

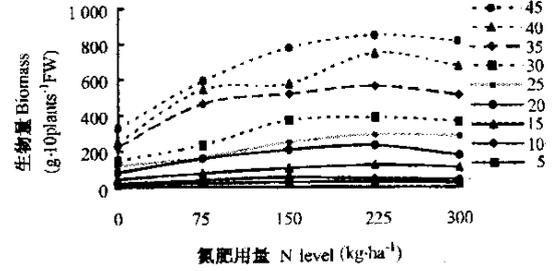
$$y_{75} = -1.31 + 4.12x \quad R^2 = 0.924$$

$$y_0 = 9.30 + 1.04x \quad R^2 = 0.967$$

图 1 小白菜收获期与生物量的关系

Fig.1 Relation between harvest time(x) and biomass(y) of Chinese cabbage

2.1.2 不同收获天数施氮水平与小白菜生物量的关系 小白菜生物量与施氮水平间呈极显著二次抛物线关系(图 2)。2 种土壤肥力水平对小白菜生物量的影响(b_0 值)和施氮的增产效应(b_1 值)差异大,表明土壤肥力水平不仅直接影响作物生长和产量,



中肥力土壤 Medium fertility soil

$$y_{45} = 324.56 + 4.35x - 0.009x^2 \quad R^2 = 0.999$$

$$y_{40} = 261.10 + 3.70x - 0.076x^2 \quad R^2 = 0.940$$

$$y_{35} = 235.79 + 3.18x - 0.076x^2 \quad R^2 = 0.975$$

$$y_{30} = 132.66 + 2.11x - 0.043x^2 \quad R^2 = 0.965$$

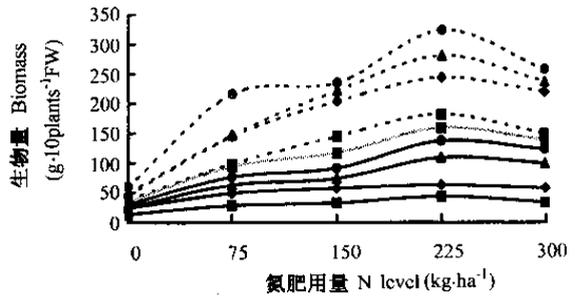
$$y_{25} = 105.47 + 1.24x - 0.002x^2 \quad R^2 = 0.971$$

$$y_{20} = 73.11 + 1.51x - 0.0038x^2 \quad R^2 = 0.980$$

$$y_{15} = 37.92 + 0.653x - 0.0013x^2 \quad R^2 = 0.982$$

$$y_{10} = 17.70 + 0.343x - 0.0009x^2 \quad R^2 = 0.944$$

$$y_5 = 12.50 + 0.146x - 0.0004x^2 \quad R^2 = 0.872$$



低肥力土壤 Low fertility soil

$$y_{45} = 64.40 + 2.10x - 0.048x^2 \quad R^2 = 0.929$$

$$y_{40} = 46.88 + 1.89x - 0.038x^2 \quad R^2 = 0.978$$

$$y_{35} = 44.54 + 1.60x - 0.034x^2 \quad R^2 = 0.995$$

$$y_{30} = 32.37 + 1.16x - 0.0025x^2 \quad R^2 = 0.971$$

$$y_{25} = 33.57 + 0.906x - 0.0018x^2 \quad R^2 = 0.965$$

$$y_{20} = 29.62 + 0.667x - 0.0011x^2 \quad R^2 = 0.941$$

$$y_{15} = 24.59 + 0.528x - 0.0009x^2 \quad R^2 = 0.944$$

$$y_{10} = 24.58 + 0.348x - 0.0008x^2 \quad R^2 = 0.990$$

$$y_5 = 12.51 + 0.239x - 0.0005x^2 \quad R^2 = 0.915$$

图 2 氮水平与小白菜生物量的关系

Fig.2 Relation between N level(x) and biomass(y) of Chinese cabbage

2.1.3 施氮对收获期小白菜产量的影响 不同肥

力土壤上施氮各处理极显著影响小白菜产量(中肥力土壤 F 值 = 158.2, 低肥力土壤 F 值 = 208.7, 二者均大于 $F_{0.01} = 7.01$; 表 2), 施氮量与产量呈显著(低肥力土壤)和极显著(中肥力土壤)二次回归关

系。2 种土壤的最高产量施氮量为 $225 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, 经济最佳施氮量为 $150 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ (表 2)。相同处理比较, 低肥力土壤的小白菜产量仅为中肥力土壤的 28.6% ~ 49.5%。

表 2 不同肥力土壤施氮对小白菜产量的影响

Table 2 Yield of Chinese cabbage at different N level under two soil conditions ($\text{kg} \cdot \text{plot}^{-1}$)

氮水平 N level ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$)	中肥力土壤 Medium fertility soil			低肥力土壤 Low fertility soil				
	小区产量 Yield of plot	$P_{0.05}$	$P_{0.01}$	边际产量 Marginal yield	小区产量 Yield of plot	$P_{0.05}$	$P_{0.01}$	边际产量 Marginal yield
0	3.18	d	C	0	0.91	d	D	0
75	7.67	c	B	4.49	2.27	c	C	1.36
150	11.74	b	A	4.07	5.22	b	AB	2.95
225	13.02	a	A	1.28	6.53	a	A	1.31
300	12.53	ab	A	-0.49	4.64	b	B	-1.89

2.2 不同处理对小白菜体内硝酸盐含量的影响

在 45 d 取样时间内, 中肥力土壤无氮肥处理小白菜体内硝酸盐含量变化为 $617 \sim 2988 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 均值 $2160 \pm 728 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 变异系数为最大, 达 33.70%, 施氮 4 个处理的平均值为 $2667 \sim 2811 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 变异系数为 12.7% ~ 20.7%(图 3)。不同施氮量均明显提高小白菜体内硝酸盐含量(23.5% ~ 30.1%), 且其提高作用不随生长天数而发生太大变化(变异系数值小); 从不同取样天数看, 在 5、25 和 30 d 取样, 各处理硝酸盐含量高达 $2900 \sim 3400 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 均值大于 $3000 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (超过国家无公害叶菜安全要求的硝酸盐限量指标 $< 3000 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, GB18406.1-2001 之规定)[17], 变异系数也较小; 而在 10、15 d 各处理的硝酸盐含量均值仅为 $2000 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。其原因可能是中肥力土壤在小白菜 10 ~ 15 d 采样期间(10 月下旬至 11 月上旬)气候以晴天为主, 植株吸收的硝态氮易于还原; 小白菜生长快, 植株生物量增加速率大(图 1), 可相对降低(稀释效应)硝酸盐含量。

低肥力土壤无氮肥处理小白菜体内硝酸盐含量在 45 d 内取样的测值为 $147 \sim 2158 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 均值为 $1049 \pm 799 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (变异系数 76.2%), 仅为中肥力土壤的 50% 左右(图 4)。显然, 土壤肥力水平低, 植物吸收的硝态氮数量少, 植株体内硝酸盐累积量少, 产量也低(表 2)。施氮肥各处理硝酸盐含量 $1785 \sim 3569 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 均值为 $2523 \sim 2991 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (变异系数 11.9% ~ 20.1%), 较无氮肥处理提高 140.5% ~ 185.1%(图 4), 表明在各种营养元素不足的低肥力土壤上增施氮肥不利于植株所吸收的硝态氮还原, 从而导致其大量累积, 降低蔬菜的卫生品质。与中肥力土壤的情况不同, 低肥力土壤上小白

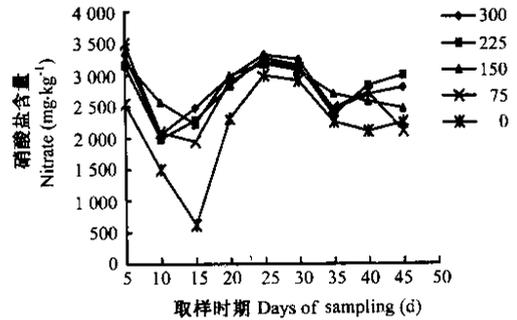


图 3 中肥力土壤不同氮水平下收获天数与小白菜硝酸盐含量的关系

Fig. 3 Relation between harvest time and nitrate content of Chinese cabbage at different N level in medium fertility soil

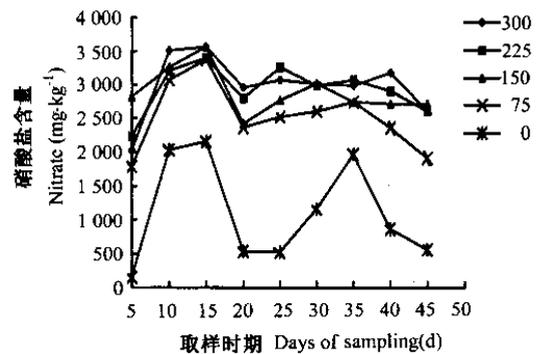


图 4 低肥力土壤不同氮水平下收获天数与小白菜硝酸盐含量的关系

Fig. 4 Relation between harvest time and nitrate content of Chinese cabbage at different N level in low fertility soil

菜硝酸盐的最高含量出现在第 10 天和第 15 天, 施氮肥各处理硝酸盐含量均在 $3000 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 以上, 在第 20 天开始虽有所下降, 但始终保持在较高含量水平(图 4)。表明虽然低肥力土壤的植株吸收硝酸态氮的数量少, 但因土壤各种有效养分含量低(表 1),

小白菜生物量低(图 1 和图 2),进入植株体内的硝态氮也难以迅速还原,从而在生长中后期小白菜体内保持很高硝酸盐含量。由此可知,提高菜园土壤多种养分的含量和比例将是获得高卫生品质蔬菜的重要措施之一。

2.3 施氮对小白菜体内硝酸盐累积的影响

2.3.1 不同施氮水平下小白菜收获天数与硝酸盐累积量的关系 不同肥力土壤各施肥处理中,小白菜收获天数与硝酸盐累积量(生物量与硝酸盐含量之乘积)呈极显著直线关系(表 3)。从表 3 中的 b 值(硝酸盐累积速率)可看出,小白菜体内硝酸盐累积

速率随施氮水平提高而急剧增加,在高氮($300 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$)处理明显下降。氮水平与硝酸盐累积速率呈极显著二次回归关系($y_M = 17.72 + 0.305x - 0.0006x^2$, $R^2 = 0.9741$; $y_L = 0.167 + 0.141x - 0.0003x^2$, $R^2 = 0.9757$)。2 种肥力土壤相应施氮处理的 b 值以中肥力土壤较低肥力土壤高 3.21 ~ 4.49 倍,这与小白菜生物量的变化趋势相似,表明施用化学氮肥促使小白菜硝酸盐累积是一种必然现象,其原因主要是生物量的大幅度增加(图 1),其次是硝酸盐含量提高(图 3 和图 4),二者的贡献率受控于土壤肥力水平。

表 3 不同氮水平下小白菜收获天数(x)与硝酸盐累积量(y)的直线回归关系¹⁾

Table 3 Linear regression between harvest time(x) and nitrate accumulation(y) of Chinese cabbage at different N level

氮水平 N level ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$)	中肥力土壤 Medium fertility soil			低肥力土壤 Low fertility soil		
	b_0	b	R^2	b_0	b	R^2
0	-146.9	18.25	0.945	21.23	0.692	0.135
75	-280.3	37.35	0.922	41.54	8.31	0.906
150	-315.7	47.38	0.976	14.97	14.14	0.958
225	-503.5	61.30	0.947	23.77	19.10	0.974
300	-448.7	55.68	0.956	41.80	15.84	0.925

¹⁾ b_0 为对生物量的影响; b 为生物量增加速率

b_0 : The effects on the biomass; b : The yield response to nitrogen

2.3.2 不同收获天数施氮与小白菜体内硝酸盐累积的关系 在 45 d 内 2 种土壤上小白菜体内硝酸盐的累积与施氮量间呈极显著二次回归关系(表 4)。随生长天数增加,小白菜体内硝酸盐的累积速率(b_1)明显递增,生长天数与 b_1 值之间存在极显著二次回归关系($y_M = -32.49 + 5.708x - 0.0418x^2$, $R^2 = 0.8354$; $y_L = 6.93 + 1.218x - 0.0179x^2$, $R^2 = 0.9896$)。在 15 d 前,小白菜体内硝酸盐的 b_1 以低肥力土壤为高,第 20 天后,中肥力土壤各时段的 b_1 值较低肥力土壤提高 8.4% ~ 127.5%。显然,中肥

力土壤小白菜体内硝酸盐累积速率显著高于低肥力土壤的原因在于其生物量的大幅度增加(图 2)。

2.4 光照对小白菜硝酸盐含量的影响

有关光照强度、光照周期、光照持续时间等对蔬菜硝酸盐含量的影响已有不少报道^[10,16-17],但针对不同区域气候特点进行大田研究的很少。为深入探讨 2 种肥力土壤上光照对不同施氮处理小白菜体内硝酸盐累积的影响,在连续阴天(光照强度约 800 ~ 2500 lx)取样测定的基础上,选择晴天光照 2 d(约 15 ~ 16h,光照强度约 3500 ~ 5000lx)后下午取样

表 4 不同收获天数氮水平(x)与小白菜硝酸盐累积量(y)的二次回归关系¹⁾

Table 4 Quadratic regression between N level(x) and nitrate accumulation(y) of Chinese cabbage at different harvest time

收获天数 Harvest days (d)	中肥力土壤 Medium fertility soil				低肥力土壤 Low fertility soil			
	b_0	b_1	b_2	R^2	b_0	b_1	b_2	R^2
5	33.72	8.40	-0.308	0.968	-1.311	14.37	-0.541	0.984
10	26.01	15.08	-0.607	0.820	53.67	19.86	-0.637	0.984
15	22.78	29.50	-0.849	0.999	56.26	31.84	-0.827	0.973
20	172.25	72.47	-2.726	0.998	18.08	31.86	-0.692	0.948
25	316.95	61.51	-1.436	0.980	13.25	51.63	-1.491	0.944
30	388.77	98.70	-2.869	0.978	28.42	60.67	-1.941	0.985
35	536.76	134.88	-5.042	0.970	83.49	73.60	-2.197	0.980
40	575.16	167.51	-5.184	0.906	22.45	82.25	-2.223	0.986
45	693.66	106.32	-0.907	0.837	18.48	98.07	-3.202	0.978

¹⁾ b_0 为对生物量的影响; b_1 、 b_2 为施氮的增产效应

b_0 : The effects on the biomass; b_1 , b_2 : The yield response to nitrogen

测定硝酸盐含量(表5)。由表5可知,光照2 d后2种土壤上各处理小白菜体内硝酸盐均可达到无公害叶菜安全要求^[15]。除低肥力土壤无氮肥处理外,2种土壤各处理小白菜体内硝酸盐含量在连晴2 d时较阴天降低10.5%~25.5%,平均降低16.0%~16.9%。其中,中肥力土壤施低氮各处理(150 kg·ha⁻¹)小白菜硝酸盐含量降低16.8%~20.3%,2个高氮处理降低量小;低肥力土壤无氮肥处理小白菜

体内硝酸盐含量最低且与光照的关系不大,施氮各处理中凡小白菜体内硝酸盐含量高者(>3 500 mg·kg⁻¹)光照后降低幅度皆大(24.6%~25.5%),植株硝酸盐含量低者仅降低约14%。表明在氮素养分较高的中肥力土壤控制施氮150 kg·ha⁻¹并在采收期内选择晴天下午收获小白菜的硝酸盐含量低,而在低肥力土壤上光照对施氮肥条件下小白菜硝酸盐过量累积的降低作用更大。

表5 氮水平、土壤肥力和光照对小白菜体内硝酸盐含量的影响

Table 5 Influence of N level, soil fertility and light on the content of nitrate (mg·kg⁻¹) in Chinese cabbage

氮水平 N level (kg·ha ⁻¹)	中肥力土壤 Medium fertility soil			低肥力土壤 Low fertility soil		
	阴天 Cloudy day	连晴2 d After two sunny days	下降 Decrease(%)	阴天 Cloudy day	连晴2 d After two sunny days	下降 Decrease(%)
0	2 905	2 416	16.8	2 158	2 194	-1.7
75	3 099	2 471	20.3	3 376	2 905	14.0
150	3 072	2 526	17.8	3 569	2 692	24.6
225	3 154	2 822	10.5	3 403	2 905	14.6
300	3 246	2 771	14.6	3 569	2 660	25.5
\bar{x}	3 095	2 601	16.0	3 215	2 671	16.9

2.5 施氮和采收期对小白菜营养品质的影响

从表6可知,2种土壤上随着施氮量增加,小白菜Vc含量呈明显的下降趋势,特别是在低肥力土壤下降趋势更明显。施氮量与Vc含量之间呈显著或极显著负相关(r 值 = -0.862* ~ -0.937**),这与3种紫色土施氮对莴笋Vc含量的影响相似^[6]。中肥力土壤施氮对小白菜可溶性糖含量有提高作用或影响不大,而低肥力土壤均表现为明显降低作用。

施氮对小白菜氨基酸含量的影响与土壤肥力关系密切,中肥力土壤施氮提高氨基酸含量,低肥力土壤则随施氮量增加而降低。在2种土壤上小白菜的这3个营养品质含量均以低肥力土壤成倍高于中肥力土壤,这可能与低肥力土壤施用氮肥后使多种养分不平衡,以致植株生长差、产量低,使营养品质出现浓缩效应(含量大幅度提高)。延后采收对小白菜Vc、可溶性糖和氨基酸含量有明显提高(表6)。

表6 不同氮水平和收获期对小白菜营养品质的影响¹⁾

Table 6 Influence of different N levels and harvest stage on nutrient quality of Chinese cabbage

土壤 Soil	氮水平 N level (kg·ha ⁻¹)	Vc (mg·kg ⁻¹)			可溶性糖 Soluble sugar (%)			氨基酸 Amino acid (mg·kg ⁻¹)		
		A	B	B/A	A	B	B/A	A	B	B/A
中肥力 Medium fertility	0	344	410	1.19	0.41	0.84	2.05	228	309	1.36
	75	334	393	1.18	0.50	1.00	2.00	243	362	1.49
	150	261	292	1.12	0.48	0.87	1.81	263	387	1.47
	225	260	294	1.13	0.49	0.81	1.65	258	390	1.51
	300	257	300	1.17	0.51	0.83	1.63	253	342	1.34
低肥力 Low fertility	0	587	624	1.06	0.71	1.13	1.59	383	736	1.92
	75	478	561	1.17	0.66	0.90	1.36	366	711	1.94
	150	474	540	1.13	0.69	0.84	1.22	401	688	1.72
	225	425	524	1.23	0.66	0.84	1.27	357	651	1.82
	300	415	511	1.23	0.65	0.86	1.32	386	622	1.61

¹⁾ A、B分别为第40天和第45天收获

A and B represent respectively for sampling at the 40th and the 45th days

3 讨论

在叶类蔬菜生产中,增施化学氮肥对蔬菜产量

和硝酸盐含量存在着明显影响,这种影响表现出不同特点。本试验结果,供试2种菜园土壤虽然肥力差异较大,但在施氮75 kg·ha⁻¹时均使小白菜体内

硝酸盐含量极显著增加。其中,中肥力土壤 9 次采样测定平均值增加 23.5%,低肥力土壤增加达 140.5%。这与该 2 种土壤的小白菜收获期产量增加特点(表 2)具有一致性。表明在小白菜尚未满足氮素营养需要、难以发挥最大产量潜力时,增施氮肥将出现产量与硝酸盐含量的同步增长,这可能是叶类蔬菜的特点之一。氮肥施用量由 $150 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ 增加至 $225 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ 时,2 种土壤的小白菜产量显著增加,各施氮处理的小白菜体内硝酸盐平均含量差异不显著,表明此时氮肥对小白菜主要起增产作用,在施高氮($300 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$)条件下,小白菜产量下降,硝酸盐含量变化不显著,这意味着化学氮肥残留在土壤中的比例将会增大,氮素损失的可能性亦将增大。因此,在农业生产中,适当减少化学氮肥施用量对于保证叶类蔬菜高产优质和生态环境优化具有重要意义。

采收期与叶类蔬菜硝酸盐含量关系密切。本试验中随着采收期延长至 45 d,小白菜产量增加,施低氮处理($75 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$)硝酸盐含量下降至约 $2000 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,而施高氮者硝酸盐含量降低幅度小,且含量保持在 $2463 \sim 2988 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,并以中肥力土壤的含量为高,表明在肥力较高的菜园土壤上施氮过多将降低小白菜的卫生品质。因此,从叶类蔬菜食用安全性考虑,肥力较高的菜园土壤科学控制氮肥用量的意义更大。

References

- [1] 李会合,王正银.施肥对叶类蔬菜硝酸盐含量的影响.磷肥与复肥,2001,16(3):65-67.
Li H H, Wang Z Y. Effect of fertilization on nitrate content in foliage greens. *Phosphate & Compound Fertilizer* 2001, 16(3):65-67. (in Chinese)
- [2] 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.长江蔬菜,2000(4):1-4.
Wang L P, Xiang C P, Wang Y H. Nitrate contamination status in vegetables and its research progress of controlling methods in China. *Journal of Changjiang Vegetables* 2000(4):1-4. (in Chinese)
- [3] Petrovic N, Kastori R, Scaife A. Production of leafy vegetable with the low concentration of nitrate. *Proceedings 2nd Congress of the European Society for Agronomy*, Warwick University, 1992:422-423.
- [4] 王朝辉,田霄鸿,李生秀.叶类蔬菜的硝态氮累积及成因研究.生态学报,2001,21(7):136-141.
Wang Z H, Tian X H, Li S X. The cause of nitrate accumulation in leafy vegetables. *Acta Ecologica Sinica* 2001, 21(7):136-141. (in Chinese)
- [5] 庄舜尧,孙秀廷.氮肥对蔬菜硝酸盐积累的影响,土壤学进展,1995,23(3):29-35.
Zhuang S Y, Sun X T. Influence of nitrogen fertilizers on nitrate ac-
- cumulation in vegetables. *Progress in Soil Science*, 1995, 23(3):29-35. (in Chinese)
- [6] 王正银,李联铁,熊海灵.紫色土施氮对莴笋营养效应的研究,植物营养与肥料学报,1996,2(2):153-161.
Wang Z Y, Li L T, Xiong H L. Effect of nitrogen fertilizer on lettuce nutrition in purple soils. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 1996, 2(2):153-161. (in Chinese)
- [7] Bremer T. Environmental factors and cultural measures affecting the nitrate content in spinach. *Fertilizer Research*, 1982, 3(3):191-192.
- [8] Gianquinto G P, Borin M, Scaife A. Nitrate content in vegetable crops as affected by soil characteristics, rate and type of fertilization. *Proceedings 2nd Congress of the European Society for Agronomy*, Warwick University, 1992:256-257.
- [9] 王正银,涂丛,徐卫红.环境条件和化学物质对叶类蔬菜硝酸盐的效应研究,重庆环境科学,1999,21(2):209-211
Wang Z Y, Tu C, Xu W H. Effect of environmental condition and chemical matter on nitrate in leaf-vegetable. *Chongqing Environmental Science*, 1999, 21(2):209-211. (in Chinese)
- [10] 林志刚,赵仪华,薛耀英.叶类蔬菜的硝酸盐积累规律及其控制方法研究.土壤通报,1993,24(6):253-255.
Lin Z G, Zhao Y H, Xue Y Y. Accumulation rhythm nitrate of leaf vegetables and its control. *Chinese Journal of Soil Science*, 1993, 24(6):253-255. (in Chinese)
- [11] 戴亨林.重庆蔬菜土壤肥力、施肥和硝酸盐含量现状与对策.中国西南地区平衡施肥研究与进展.成都:四川大学出版社,2002:92-96.
Dai H L. Problems and solution on fertility of garden soils, fertilization and nitrate contents of vegetables in Chongqing district. *Advances in Balanced Fertilizer Research in the Southwest China*. Chengdu: Sichuan University Press, 2002:92-96. (in Chinese)
- [12] 史瑞和.土壤农化分析.北京:农业出版社,1988:29-112,139-141.
Shi R H. *Soil and Agrochemistry Analysis*. Beijing: Agriculture Press, 1988:29-112,139-141. (in Chinese)
- [13] 白宝璋,汤学军.植物生理学测试技术.北京:中国科学技术出版社,1993:23-24.
Bai B Z, Tang X J. *Determination Technology on Plant Physiology*. Beijing: China Science and Technology Press, 1993:23-24. (in Chinese)
- [14] 白厚义,肖俊璋.试验研究及统计分析.西安:世界图书出版公司,1998:125-126.
Bai H Y, Xiao J Z. *Experimental Research and Statistical Analysis*. Xi'an: World Book Press, 1988:125-126. (in Chinese)
- [15] 中国标准出版社编.中华人民共和国国家标准(GB18406.1-2001).北京:中国标准出版社,2002:1-7.
Standards Press of China. *National Standard of P. R. C GB18406-1-2001*. Beijing: Standards Press of China, 2002:1-7. (in Chinese)
- [16] 高祖明,李式军,索长江,胡跃宾,孔祥来.不同光强下硝态氮与钼对叶菜硝酸盐积累的影响.园艺学报,1987,14(3):192-196.

Gao Z M, Li S J, Suo C J, Hu Y B, Kong X L. Effects of the NO_3^- - N and Mo on nitrate accumulation in leaf-vegetable under different light intensive. *Acta Horticulturae Sinica*, 1987, 14(3):192 - 196.
(in Chinese)

photoperiod and light duration. *Journal American Society of Horticultural Science*, 1972, 78(8):414 - 418.

(责任编辑 卞海军)

[17] Cattliffe D T. Nitrate accumulation in vegetable crops as affected by

我国惟一有关农业质量标准、食品安全、检验检测的刊物

欢迎订阅 2004 年《农业质量标准》

主管 中华人民共和国农业部 主办 中国农业科学院

本刊特点 综合性、法规性、权威性、指导性、服务性。

主要栏目 本刊特稿、专家点评、专题访谈、政策法规、标准制定与实施、质量认证与管理、质量监督与检验、检验监测体系建设、农业标准公告、研究与探讨、无公害食品行动、质量标准经纬、质检中心之窗、名企名品、市场信息与动态、海外博览、编读园地、广告信息等。

读者对象 与农业质量标准和农产品质量安全有关的各级行政管理、科研教学、检验监测、技术推广、生产企业等部门的相关人员。

本刊为双月刊 逢双月 10 日出版。大 16 开本 彩色 4 封 48 页。全国各地邮局(所)均可订阅,也可直接向本刊编辑部汇款办理订阅手续。邮发代号 82-223,每册定价 6.00 元,全年共 36.00 元。

本刊地址 北京中关村南大街 12 号中国农业科学院科技局

邮政编码 100081 联系电话 010-62138026 传真 010-62138026 E-mail aqs@caas.net.cn