

## 不同施肥处理对白菜和甘蓝产量及养分吸收的影响

汤宏<sup>1</sup>, 张杨珠<sup>1\*</sup>, 龙怀玉<sup>2</sup>, 黄运湘<sup>1</sup>, 廖超林<sup>1</sup>, 李洪斌<sup>1</sup>

(1.湖南农业大学 资源环境学院, 湖南 长沙 410128; 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, 研究了不同施肥处理对白菜、甘蓝产量、养分吸收及利用率的影响。结果表明, 粪肥、菜饼肥及蔬菜专用肥分别与化肥配施处理的白菜和甘蓝的产量高于纯化肥处理。白菜以蔬菜专用肥与化肥配施处理的产量最高, 比纯化肥处理提高了 25.30%; 对 N、P 养分的利用率最高的处理分别是菜饼肥与化肥配施处理、蔬菜专用肥与化肥配施处理, 白菜产量比纯化肥处理分别提高了 21.65%、10.77%; 甘蓝以菜饼肥与化肥配施处理的产量较高, 比纯化肥处理提高了 9.90%, 对 N 和 P 养分的利用率最高的处理均为菜饼肥与化肥配施处理, 甘蓝产量较纯化肥处理分别提高了 29.23%、14.9%。

**关键词:** 白菜; 甘蓝; 产量; 养分吸收; 养分利用率

中图分类号: S156.6 文献标志码: A 文章编号: 1007-1032(2010)06-0705-05

## Effect of different fertilization treatments on yield and nutrients uptake of Chinese cabbage and cabbage

TANG Hong<sup>1</sup>, ZHANG Yang-zhu<sup>1\*</sup>, LONG Huai-yu<sup>2</sup>, HUANG Yun-xiang<sup>1</sup>, LIAO Chao-lin<sup>1</sup>, LI Hong-bin<sup>1</sup>

(1.College of Resources and Environment, HNAU, Changsha 410128, China; 2.Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China)

**Abstract:** A field plot experiment was conducted to study effect of different fertilization treatments on yield, nutrients uptake and nutrients use efficiency of Chinese cabbage and cabbage. The results showed that: yield of cabbage and Chinese cabbage of the application of manure, oil cake and special fertilizer for vegetables combined with fertilizer is higher than that of the pure chemical fertilizer treatment. The yield of application of special fertilizer for vegetables combined with fertilizer of Chinese cabbage is the highest, yield of it enhanced 25.30% compared with the pure chemical fertilizer treatment; application of oil cake and special fertilizer for vegetables combined with fertilizer are of the highest N and P nutrient use efficiency, N and P nutrient use efficiency of them enhanced 21.65%, 10.77% compared with the pure chemical fertilizer treatment, respectively. The yield of application of oil cake combined with fertilizer of cabbage is higher, yield of it enhanced 9.90% compared with the pure chemical fertilizer treatment; application of oil cake combined with fertilizer is of the highest N and P nutrient use efficiency, N and P nutrient use efficiency of it enhanced 29.23% and 14.9% compared with the pure chemical fertilizer treatment, respectively.

**Key words:** Chinese cabbage; cabbage; yield; nutrients uptake; nutrients use efficiency

近几年, 蔬菜播种面积、产量年均增长速度均超过了 10%<sup>[1]</sup>。根据实地调查, 菜农为了获得较高

的产量和经济效益, 往往过量地投入化学肥料, 不仅造成土壤养分过量积累和次生盐渍化<sup>[2-3]</sup>, 还造

收稿日期: 2010-07-25

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2006BAD17B08-03)

作者简介: 汤宏(1974—), 男, 湖南益阳人, 博士研究生, 主要从事土壤化学与土壤肥力研究; \*通讯作者, zhangyangzhu 2006@163.com

成肥料资源的浪费<sup>[4-5]</sup>，而且带来了很多的环境问题<sup>[6-10]</sup>。施肥不合理已经成为影响农产品(蔬菜)质量安全<sup>[11-18]</sup>与人类健康的重大问题。关于蔬菜生产中有机无机肥配施对土壤肥力、蔬菜产量和品质的研究较多<sup>[19-23]</sup>。笔者通过田间小区试验，研究不同施肥处理对白菜和甘蓝的产量、养分吸收及利用率的影响，以期优化施肥技术，提高肥料利用率，增加经济效益和保护农业生态环境提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

试验于2008年秋、冬季至2009年春季在湖南省岳阳市君山区广兴洲镇合兴村进行。供试甘蓝品种为紫薇一号，大白菜品种为青杂一号。供试土壤由洞庭湖冲积物发育而成，为中性至微碱性的砂壤土。白菜、甘蓝移栽前采集基础土样，测定其基本理化指标(表1)。

表1 土壤基本理化性状

Table 1 Basic physical and chemical property of the tested soils

	全 N/ (g·kg <sup>-1</sup> )	碱解 N/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	全 P/ (g·kg <sup>-1</sup> )	有效 P/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	全 K/ (g·kg <sup>-1</sup> )	速效 K/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	CEC/ (cmol·kg <sup>-1</sup> )	pH	有机质/ (g·kg <sup>-1</sup> )
甘蓝	1.18	52.1	1.09	14.3	19.01	36.2	10.81	8.02	17.61
白菜	1.30	56.7	1.23	11.2	17.52	39.4	12.62	8.11	19.57

### 1.2 试验设计

2008年9月6日移栽白菜和甘蓝，苗株距为0.43 m，每小区种植126株，每种蔬菜分设6个小区，每个小区为1个处理：不施肥处理(I)；当地菜农习惯施肥处理(II)，碳铵1500 kg/hm<sup>2</sup>，过磷酸钙1500 kg/hm<sup>2</sup>，高浓度复合肥(N P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> K<sub>2</sub>O质量比为15:15:15)750 kg/hm<sup>2</sup>，其N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>O施用量分别为369.0、292.5、112.5 kg/hm<sup>2</sup>；纯化肥处理(III)，分别用尿素、过磷酸钙和氯化钾作肥源；粪肥(所施粪肥均为腐熟的牛粪)与化肥配合施用处理(IV)，以施氮量为标准计算有机与无机肥料配施比例，有机无机氮各占50%，除去有机肥料中的磷、钾含量，不足的磷、钾养分以过磷酸钙和氯化钾补足；菜饼肥与化肥配合施用处理(V)，肥料用量计算方法与处理IV相同；蔬菜专用肥处理(VI)，以氮为标准计算专用肥料用量，不足的P、K养分以过磷酸钙和氯化钾补足，每个处理3次或4次重复(其中白菜为3次，甘蓝为4次)，随机区组排列，小区面积为24 m<sup>2</sup>。化学肥料及养分含量：氮肥为尿素(含N46.4%)和碳酸氢铵(含N17.1%)，磷肥为过磷酸钙(含P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>12%)，钾肥为氯化钾(含K<sub>2</sub>O60%)。牛粪、菜饼肥、蔬菜专用肥、当地使用复合肥的N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>O养分质量比分别为1.19:0.85:2.35；5.52:2.60:1.51；18:6:5；15:15:15。其中III、IV、V、VI4个施肥处理氮、磷、钾养分施用量一致，N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、

K<sub>2</sub>O施用量分别为225、112.5、225 kg/hm<sup>2</sup>，有机肥和磷、钾肥作为基肥于播种时与耕层土壤混匀，一次性施入。氮肥按基肥、追肥比6:4施用，追肥于旺长期施用。白菜、甘蓝全生育期内肥、水等的管理措施参考当地传统种植习惯，均采用常规管理模式，且完全一致。

### 1.3 测定项目及方法

白菜分别于9月28日、11月5日、11月19日3次采集植株样，11月19日收获，分小区测产，产量为每小区地上部全部鲜重。甘蓝分别于2008年9月28日、11月19日和2009年1月6日3次采集植株样，于2009年1月6日收获，并分小区测鲜重，植株样品都及时制备成分析样，分别测定植株全N、全P、全K养分的含量。

土壤和植株的全N、全P、全K含量，土壤碱解N、有效P、速效K含量及土壤有机质含量、pH、CEC的测定参照文献[24]进行。各施肥处理吸N(P、K)量=各施肥处理植株产量×植株含N(P、K)量；氮(磷、钾)肥利用率=(各施肥处理地上部吸N(P、K)量-空白区地上部吸N(P、K)量)/施N(P、K)量×100%。

### 1.4 数据统计方法

试验数据经Excel 2003整理后，应用DPS V7.05统计软件进行方差分析和多重比较。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同施肥处理对白菜和甘蓝产量的影响

由表 2 可知,对白菜而言,处理 II、IV、VI 的产量与纯化肥处理(III)的差异都达到了显著或极显著水平。白菜产量以 II、IV、VI 处理的较高,分别较不施肥处理提高了 27.63%、37.50% 和 40.13%,较纯化肥处理提高了 14.12%、22.94% 和 25.30%。对

甘蓝而言,处理 II 的产量与纯化肥处理(III)的差异达到了显著水平。甘蓝产量以 II、IV、V、VI 处理的较高,分别较不施肥处理提高了 65.83%、52.76%、56.29% 和 50.75%,较纯化肥处理提高了 16.61%、7.42%、9.90% 和 6.01%。说明有机肥与无机肥配施能提高白菜、甘蓝的产量,而当地习惯施肥处理施肥量最大,但产量并不高。

表 2 不同施肥处理的白菜和甘蓝产量  
Table 2 Effect of various treatments on yield of Chinese cabbage and cabbage

处理	白菜产量			总产量	甘蓝产量			总产量
	09-28	11-05	11-19		09-28	11-19	01-06	
I	5 603	50 163	24 075	79 841dC	3 591	34 490	24 137	62 218cB
II	6 758	65 903	29 240	101 901abAB	3 913	56 295	42 968	103 176aA
III	6 583	58 549	24 162	89 294cdBC	4 136	44 319	40 026	88 481bA
IV	6 233	66 778	36 768	109 781aA	4 287	54 411	36 349	95 047abA
V	6 478	65 833	22 761	95 072bcB	4 511	47 819	44 907	97 237abA
VI	6 916	73 099	31 866	111 881aA	4 878	60 451	28 467	93 796abA

表中数据以鲜重计。

### 2.2 不同施肥处理对 N、P、K 养分吸收的影响

#### 2.2.1 不同生长阶段的吸 N 量

表 3 表明,在白菜生长的前、中、后期 IV、V、VI 处理的总吸 N 量明显高于其他处理,且以处理 V 的总吸 N 量最高。处理 IV、V、VI 的总吸 N 量分别较处理 III 提高了 41.33%、44.40% 和 34.69%,处理 IV、V、VI 的吸 N 量分别较处理 II 提高了 23.28%、25.96% 和 17.48%。不同施肥处理比较,在甘蓝生长的前、中、后期,IV、V、VI 处理的总吸 N 量明显高于处理 II 和 III,且以处理 V 的总吸 N 量最高。处理 IV、V、VI 的总吸 N 量分别较处理 III 提高了 18.39%、21.10% 和 13.40%。处理 IV、V、VI 的吸 N 量分别

较处理 II 提高了 14.65%、19.20% 和 9.82%。由表 3 中数据还可以看出,白菜、甘蓝所吸收的 N 量绝大部分集中在生长的中、后期。

#### 2.2.2 不同生长阶段的吸 P 量

由表 4 可知,白菜的总吸 P 量以处理 VI 最高,且处理 IV、V、VI 的总吸 P 量都比纯化肥处理(III)高,分别提高了 48.25%、34.01%、49.77%。在白菜生长发育的中、后期的吸 P 量占全生育期吸 P 总量的 90% 以上。甘蓝的总吸 P 量以处理 II 最高,且处理 IV、V、VI 的总吸 P 量都比纯化肥处理高,分别提高了 22.95%、22.95%、21.41%。甘蓝全生育期吸 P 总量的 90% 以上也在生长发育的中、后期。

表 4 各处理白菜和甘蓝不同生长时期的吸 P 量

Table 4 P uptake of Chinese cabbage and cabbage in different growth stage under various treatments

表 3 各处理白菜和甘蓝不同生长时期的吸 N 量  
Table 3 N uptake of Chinese cabbage and cabbage in different growth stage under different treatments

处理	白菜吸 N 量			甘蓝吸 N 量		
	09-28	11-05	11-19	09-28	11-19	01-06
I	9.49	37.61	88.09	7.06	41.01	126.54
II	15.77	70.12	85.48	7.69	82.17	127.94
III	13.02	40.96	95.50	6.67	56.66	147.57
IV	17.69	40.84	152.74	7.38	91.39	150.94
V	13.11	50.16	152.60	7.80	65.36	186.46
VI	14.14	52.36	134.85	9.40	96.47	133.30

处理	白菜吸 P 量			甘蓝吸 P 量		
	09-28	11-05	11-19	09-28	11-19	01-06
I	0.73	3.04	7.08	0.51	3.79	10.65
II	1.16	5.91	11.77	0.64	8.86	24.17
III	1.11	3.05	11.01	0.55	6.92	14.58
IV	0.94	4.72	16.83	0.51	7.55	19.05
V	0.76	6.45	13.11	0.71	6.11	20.52
VI	0.96	5.87	15.89	0.84	10.16	15.77

### 2.2.3 不同生长阶段的吸K量

从表5可以看出,白菜的吸K总量与吸N总量比较相近,说明蔬菜对钾的需求量较大.处理VI总吸K量最高,其次为处理IV,处理III总吸钾量在各施肥处理中最低.处理IV、V、VI的总吸K量较处理III分别提高了20.76%、14.27%、27.31%.甘蓝的总吸K量也与其总吸N量相近.处理IV、V、VI的总吸K量要明显高于处理II和III,处理V总吸K量最高.处理IV、V、VI的总吸K量较处理III分别提高了22.17%、31.12%、6.70%.白菜和甘蓝在生长的中、后期吸K量占全生育期吸K总量的90%以上.

表5 各处理白菜和甘蓝不同生长期吸K量

Table 5 K uptake of Chinese cabbage and cabbage in different growth stage under various treatments kg/hm<sup>2</sup>

处理	白菜吸K量			甘蓝吸K量		
	09-28	11-05	11-19	09-28	11-19	01-06
I	13.98	44.89	112.15	7.22	32.31	82.81
II	23.17	93.07	113.36	10.87	55.54	96.38
III	15.68	54.37	130.25	7.39	37.01	123.09
IV	19.56	68.81	153.51	8.08	57.31	139.24
V	15.58	63.47	149.00	9.39	44.00	166.23
VI	21.07	64.31	169.61	11.83	65.25	101.64

### 2.2.4 不同施肥处理对肥料养分利用率的影响

表6表明,各处理白菜对氮、磷、钾的利用率以钾素最高,氮素次之,磷素最低,白菜对同一种养分的利用率,也表现为处理IV、V、VI比当地习惯施肥处理和化肥处理要高.各处理甘蓝对氮、磷、钾的利用率均为钾素最高,氮素次之,磷素最低,不同处理甘蓝对氮的利用率在11.70%~37.78%,其中,以处理V最高,处理II最低.在相同施N量的情况下,配施有机肥能有效提高氮的利用率;甘蓝

表6 不同施肥处理甘蓝和白菜对N、P、K的利用率

Table 6 Nutrients of fertilizer use efficiency of Chinese cabbage and cabbage under various treatments %

处理	甘蓝的利用率			白菜的利用率		
	N	P	K	N	P	K
II	11.70	14.67	43.32	9.81	6.26	62.75
III	16.13	14.47	24.18	6.36	8.80	15.68
IV	33.38	24.77	44.07	33.81	23.70	37.95
V	37.78	25.24	52.10	35.86	19.29	30.55
VI	28.70	24.06	30.19	29.40	24.16	44.98

对磷的利用率较低,与当地习惯施肥处理和纯化肥处理比较,配施有机肥能提高磷的利用率.甘蓝对钾的利用率都较高(24.18%~52.10%),其中以处理V最高,处理III最低,说明有机肥的施用能促进甘蓝对钾素的吸收利用.

以III、IV、V、VI处理甘蓝的养分吸收总量的平均值计算,甘蓝全生育期内吸收的N、P、K量分别为239.85、25.82、192.61 kg/hm<sup>2</sup>,以处理I甘蓝的N、P、K吸收量作为供试土壤的养分供应量,分别为174.61、14.95、122.35 kg/hm<sup>2</sup>,两者相减,得到甘蓝需从肥料中吸收的N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>O养分量分别为65.24、24.90、84.68 kg/hm<sup>2</sup>.假设在供试土壤条件下,甘蓝对肥料N、P、K的当季利用率分别为30%、25%和35%,则N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>O养分的施用量分别为217.48、99.60、241.93 kg/hm<sup>2</sup>,可得到的N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>O质量比为1:0.46:1.11.同理,可以得到白菜需从肥料中吸收的N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>O养分量分别为59.30、21.36、72.65 kg/hm<sup>2</sup>,以白菜对肥料N、P、K的当季利用率分别为30%、20%和35%计算,则N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>O养分的施用量分别为197.68、106.81、207.56 kg/hm<sup>2</sup>,可得到的N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>O质量比为1:0.54:1.05.这一结果可作白菜、甘蓝生产中的较佳施肥量配比.

## 3 结论与讨论

与不施肥比较,配施有机肥处理白菜平均增产32.2%,与纯化肥处理比较,配施有机肥处理白菜平均增产18.2%.对白菜而言,蔬菜专用肥处理增产最显著,为最佳施肥处理.与不施肥比较,配施有机肥处理甘蓝平均增产53.3%,与纯化肥处理比较,配施有机肥处理甘蓝平均增产7.8%.对甘蓝而言,菜饼肥处理增产最显著,为最佳施肥处理.当地习惯施肥处理施肥量最高,但产量不一定最高,而配施有机肥既能减少施肥量又能提高产量.这与秦鱼生等<sup>[23]</sup>的研究结果一致.

白菜、甘蓝对氮、磷、钾3种养分的吸收主要集中在生长发育的中、后期,故在蔬菜生产中肥料的施用应根据蔬菜生长发育的不同阶段分批分次施用.配施有机肥处理,白菜对氮、磷养分利用率的平均值比当地习惯施肥处理分别高出23.2%、

16.1%，对氮、磷、钾养分利用率的平均值比化肥处理分别高出26.7%、13.6%、22.2%。配施有机肥处理，甘蓝对氮、磷养分利用率的平均值比当地习惯施肥处理分别高出21.6%、10.0%，对氮、磷、钾养分利用率的平均值较纯化肥处理分别高出17.2%、10.2%、17.9%。对白菜而言，处理IV的养分利用率最高；对甘蓝而言，处理V的养分利用率最高。有机无机肥配施能提高白菜<sup>[25]</sup>、甘蓝的养分吸收量和养分利用率。有机肥与化肥配施提高了白菜、甘蓝对肥料养分的利用率，但其机理还需进一步研究。

#### 参考文献:

- [1] 尚庆茂, 张志刚. 中国蔬菜产业未来发展方向及重点[J]. 中国食物与营养, 2005(7): 20-22.
- [2] 王辉, 董元华, 安琼. 高度集约化利用下蔬菜地土壤养分累积状况——以南京市南郊为例[J]. 土壤, 2006, 38(1): 61-65.
- [3] 王辉, 董元华, 安琼. 高度集约化利用下蔬菜地土壤酸化及次生盐渍化研究——以南京市南郊为例[J]. 土壤, 2005, 37(5): 530-533.
- [4] Shan B Q, Yin C Q, Yu J, et al. Study on phosphorus transport in the surface layer of soil with rainfall simulation method[J]. Acta Scientia Circumstance, 2000, 20(1): 33-37.
- [5] Mcdowell R W, Sharpley A N. Approximating phosphorus release from soils to surface runoff and subsurface drainage[J]. Journal Environmental Quality, 2001, 30: 508-520.
- [6] Sims J T, Goggin N, McDermott J. Nutrient management for water quality protection: Integrating research into environmental policy[J]. Water Science and Technology, 1999, 39(12): 291-298.
- [7] Cooke L G. Nutrient transformations in a natural wetland receiving sewage effluent and the implications for waste treatment[J]. Water Science and Technology, 1994, 29(5): 209-227.
- [8] 王新军, 廖文华, 刘建玲. 菜地土壤磷素淋失及其影响因素[J]. 华北农学报, 2006, 21(4): 67-70.
- [9] 姜波, 林咸永, 章永松. 杭州市郊典型菜园土壤磷素状况及磷素淋失风险研究[J]. 浙江大学学报: 农业与生命科学版, 2008, 34(2): 207-213.
- [10] Cao L K, Chen G J, Lu Y T. Nitrogen leaching in vegetable fields in the suburbs of Shanghai[J]. Pedosphere, 2005, 15(5): 641-645.
- [11] Greenwood D J, Hunt J. Effect of nitrogen fertilizer on the nitrate contents of field vegetables grown in Britain[J]. Journal Science Food Agriculture, 1986(37): 373-383.
- [12] 陈子才, 倪治华, 周晓锋. 不同施肥方式对蔬菜硝酸盐含量的影响[J]. 上海蔬菜, 2006(6): 70-71.
- [13] 周艺敏, 任顺荣, 王正祥. 氮素化肥对蔬菜硝酸盐积累的影响[J]. 华北农学报, 1986, 4(1): 110-115.
- [14] 许前欣, 孟兆芳, 于彩虹. 减少蔬菜体内硝酸盐污染的施肥技术研究[J]. 农业环境保护, 2000, 19(2): 109-110, 113.
- [15] 于彩虹, 许前欣, 孟兆芳. 生物菌肥对蔬菜品质的影响[J]. 天津农业科学, 2000, 6(2): 20-22.
- [16] 常丽新. 钾肥在小白菜和萝卜上的施用效果[J]. 中国蔬菜, 2002(1): 16-17.
- [17] 常丽新, 常建霞. 施用钾肥对水萝卜产量和品质的影响[J]. 河北农业大学学报, 2000, 23(2): 42-43.
- [18] 陆文龙, 赵宏孺, 王德芳, 等. 矿质营养对白菜硝酸盐含量的影响[J]. 农业环境保护, 1999, 18(3): 118-120.
- [19] Barzegar A R, Yous efi A, Daryashenas A. The effect of addition of different amounts and types of organic materials on soil physical properties and yield of wheat[J]. Plant and Soil, 2002, 247: 295-301.
- [20] Mozafar A. Enrichment of some B-vitamins in plants with application of organic fertilizers[J]. Plant and Soil, 1994, 167(2): 305-311.
- [21] 沈中泉, 郭云桃, 袁家富. 有机肥料对改善农产品品质的作用与机理[J]. 植物营养与肥料学报, 1995, 1(2): 54-60.
- [22] 任祖淦, 邱孝煊, 蔡元呈, 等. 氮肥施用与蔬菜硝酸盐积累的相关研究[J]. 生态学报, 1998, 18(5): 523-528.
- [23] 秦鱼生, 涂仕华, 冯文强, 等. 有机无机肥料对蔬菜产量和硝酸盐累积的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2005, 11(5): 670-674.
- [24] 鲍士旦, 江荣风, 杨超光, 等. 土壤农化分析[M]. 3版. 北京: 中国农业出版社, 2007: 264-271.
- [25] 侯金权, 张杨珠, 龙怀玉, 等. 不同施肥处理对白菜的物质积累与养分吸收的影响[J]. 水土保持学报, 2009, 23(5): 200-204.

责任编辑: 刘目前  
英文编辑: 罗文翠