

# 氮磷钾配比对甘蓝产量及养分吸收利用的影响

薛莲, 井彩巧, 张鹏, 宋学栋, 孙振荣, 王海鹏, 袁宁, 蒲明

(兰州市农业科技研究推广中心, 甘肃 兰州 730010)

**摘要:** [目的] 对兰州市甘蓝生产中的氮磷钾三要素与产量、养分吸收的关系进行研究, 为该地区甘蓝科学栽培提供科学依据。[方法] 以该区域主栽春茬品种“中甘 21”为供试材料, 设 CK, NP, NK, PK, NPK 5 个施肥处理。在甘蓝各生育阶段测量其生物量、养分含量, 分析不同肥料配比对甘蓝各时期养分吸收速率、养分累积量以及最终产量的影响。[结果] “中甘 21”的生物累积动态呈现 S 形曲线, 生物量在苗期增加较小, 结球后生长加快, 至成熟期后生长速度减缓。氮肥对生物量的形成影响最大, 其对甘蓝生物量的限制在整个生育期都存在, 其次是钾肥和磷肥。不同肥料配比显著影响了甘蓝植株养分吸收速率和累积量。甘蓝对养分的吸收速率变化趋势一致, 均表现为: 结球—成熟 > 莲座—结球 > 苗期—莲座 > 移栽—苗期。同时氮、磷、钾的吸收累积量随着甘蓝生长不断提高, 其中氮、磷素的累积在结球期后提高明显, 钾素的累积在莲座期后开始提高。甘蓝氮、磷、钾含量随着植株的生长逐渐增加, 同时累积量不断提高。[结论] 不同氮磷钾肥料配比显著影响甘蓝的生物质量和产量以及养分利用率, 其中氮肥的影响最大, 其次是磷肥和钾肥。

**关键词:** 甘蓝; 氮; 磷; 钾; 养分吸收; 兰州市

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-288X(2017)06-0080-05

**中图分类号:** S635.1

**文献参数:** 薛莲, 井彩巧, 张鹏, 等. 氮磷钾配比对甘蓝产量及养分吸收利用的影响[J]. 水土保持通报, 2017, 37(6): 80-84. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.20171102.001; Xue Lian, Jing Caiqiao, Zhang Peng, et al. Effects of different proportional N, P and K treatments on nutrients absorption & accumulation and yield of cabbage[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2017, 37(6): 80-84. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.20171102.001

## Effects of Different Proportional N, P and K Treatments on Nutrients Absorption & Accumulation and Yield of Cabbage

XUE Lian, JING Caiqiao, ZHANG Peng, SONG Xuedong,

SUN Zhenrong, WANG Haipeng, YUAN Ning, PU Ming

(Lanzhou Agro-technical Research and Popularization Center, Lanzhou, Gansu 730010, China)

**Abstract:** [Objective] The purpose of the study was conducted to clarify the effect of fertilization on cabbage (*Brassica oleracea* L.) yield and N, P, and K nutrient absorption. We expected to provide scientific basis for fertilization reasonably in Lanzhou City. [Methods] A spring cabbage variety “Zhonggan 21” that is cultivated widely in Gansu Province was used as test material in this experiment. Field fertilization with CK (no fertilizer), PK, NK, NP and NPK treatments was carried out in Lanzhou City, Gansu Province in 2013. Dry matters of the cabbage and contents of N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> and K<sub>2</sub>O in it were examined respectively at each growth stage. The influences of different fertilizer combination treatments on N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> and K<sub>2</sub>O contents and cabbage yield were analyzed, and the absorption rates of N, P and K at different growing stages were explored. [Results] The accumulated amount of dry matter of cabbage exhibited a “S” shaped line. The biomass was

收稿日期: 2017-04-14

修回日期: 2017-05-08

资助项目: 兰州市测土配方施肥补贴资金项目“高原夏菜甘蓝、花椰菜起垄覆膜种植模式水分利用效率研究”(甘农财[2010]179号)

第一作者: 薛莲(1977—), 女(汉族), 甘肃省永登县人, 学士, 农艺师, 主要从事蔬菜栽培研究。E-mail: 2603664198@qq.com。

通讯作者: 井彩巧(1964—), 女(汉族), 陕西省渭南市人, 学士, 研究员, 主要从事蔬菜育种与栽培及土壤肥料示范推广。E-mail: 651301822@qq.com。

relatively low at seeding stage, and increased rapidly after cabbaged phase, but increased slowly and steadily at maturity stage. Nitrogen fertilizer was found having a great influence on biomass at each stage. Phosphate and potash were found having less influences on it. It proved that different fertilizer treatments significantly affected the contents and absorption rates of N,  $P_2O_5$  and  $K_2O$ . The results showed that the rates of absorption of N,  $P_2O_5$  and  $K_2O$  gradually increased from seedling stage to maturity stage. It also promoted nutrient content. In particular, the N and P accumulations improved obviously at cabbage phase, but K accumulation appeared a great increase at rosette stage. [Conclusion] Ratios of N, P and K fertilizers could significantly affect cabbage biomass, nutrient content and accumulation, nutrition use efficiency and yield. The most important factor is nitrogen fertilizer, the second one is phosphate, the influence from potash is the lowest.

**Keywords:** *Brassica oleracea* L.; N; P; K; nutrition absorption; Lanzhou City

甘蓝(*Brassica oleracea*)为十字花科芸苔属的 1 年生或 2 年生草本植物,是中国重要的蔬菜作物,也是兰州地区主栽的高原夏菜之一。目前,甘蓝在兰州地区的栽培面积达到 6 700  $hm^2$ ,总产量达到  $4.5 \times 10^4$  kg,种植甘蓝成为菜农主要的经济收入来源。但由于缺乏系统科学的管理引导,该地区甘蓝栽培中存在盲目、过量的肥料管理现象,出现甘蓝产量品质不稳定,肥料利用率下降,生产效益降低等问题。因而研究甘蓝生产中的施肥配比问题,取得合理的施肥模式,能够有效指导本地区甘蓝生产中科学合理的施用肥料,进一步挖掘产量潜能和降低成本。肥料因子对于甘蓝生长的影响十分明显,研究发现,增施氮肥对甘蓝产量的提升作用显著<sup>[1]</sup>,并可提高结球甘蓝氨基酸含量<sup>[2]</sup>,但氮肥过多会使甘蓝体内硝酸盐含量显著上升, $V_c$ 和可溶性糖含量下降,氮肥吸收效率明显降低,同时引起土壤环境的变化<sup>[3-5]</sup>。磷肥也能提高甘蓝的可溶性糖含量<sup>[6]</sup>,同时在很大程度上促进氮肥和钾肥的吸收<sup>[7]</sup>。钾肥能够提高甘蓝矿质元素含量(Zn 除外),并有效增加果实  $V_c$  含量和还原糖含量,同时降低甘蓝体内硝酸盐的质量分数,减缓不合理施

氮带来的负面影响,在提高品质方面的作用大于氮和磷<sup>[8-9]</sup>。但综合考虑大量元素对甘蓝的产量、品质的影响,氮素的作用最大,其次是钾素和磷素<sup>[7,10]</sup>。在不同区域、生态条件下,甘蓝对氮、磷、钾肥的需求会有所不同,之前的研究考量了部分区域甘蓝对单一因素响应,对于该区域 3 元素综合施用的研究尚未涉及。本试验对兰州地区甘蓝生产中的氮磷钾三要素与产量、养分吸收的关系进行研究,为该地区甘蓝栽培提供科学依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验地概况

试验位于甘肃省兰州市经济作物推广站试验场(103°58'E,36°03'N),海拔高度 1 722 m,年降水量 353.9 mm,年均气温 6.7 °C,年日照时数 2 608 h,年有效积温( $\geq 10$  °C)3 315 °C,属温带半干旱气候,是区域性高原夏菜规模种植区。试验地土壤类型为灌淤土,有机质含量 12.12 g/kg,全氮含量 0.75 g/kg,速效磷含量 32 mg/kg,速效钾为 120 mg/kg,pH 值为 8.05。

表 1 试验地 2012 年土壤基本理化性状

pH 值	有机质/ ( $g \cdot kg^{-1}$ )	全氮/ ( $g \cdot kg^{-1}$ )	全磷/ ( $g \cdot kg^{-1}$ )	全钾/ ( $g \cdot kg^{-1}$ )	速效磷/ ( $mg \cdot kg^{-1}$ )	速效钾/ ( $mg \cdot kg^{-1}$ )
8.38	6.73	0.51	0.56	22.20	41.67	100.40

### 1.2 供试材料与试验设计

试验设 CK,PK,NK,NP,NPK 5 个处理,肥料用量详见表 1。小区长 15 m,宽 2 m,3 次重复,随机排列。甘蓝种植行距 50 cm,株距 50 cm。试验以春茬品种“中甘 21”为供试材料,2012 年 4 月 25 日移栽,6 月 20 日收获。

### 1.3 种植管理

甘蓝种植参照该地区地膜覆盖、宽垄种植的模

式,移栽前开灌水沟呈 V 字形,同时形成平垄,沟深 30 cm,沟宽 50 cm,垄宽 70 cm,甘蓝种植在垄上距垄中心 30 cm 处,移栽前用地膜覆盖灌水沟和种植带。灌溉采用沟灌方式,灌水量为 3 000  $m^3/hm^2$ ,水表控制水量。移栽前 7 d 沟内灌水坐实土壤,待地墒适宜时覆盖地膜。苗期、莲座期、结球期分别灌水 1 次。试验氮肥用尿素(N,46%),50%做基肥,其余追肥,其中苗肥占 10%,莲座期肥占 20%,结球期肥占

20%。钾肥用硫酸钾( $K_2O$ , 50%), 50%做基肥, 其余追肥, 其中苗肥占 10%, 莲座期肥占 20%, 结球期肥占 20%。磷肥用过磷酸钙( $P_2O_5$ , 18%), 做基肥施入。基肥条施在播种带, 施肥深度 15 cm, 追肥采用穴施法, 灌水前在灌水沟一侧距甘蓝种植点 10 cm 处挖一深 10 cm 的小穴, 施入肥料后用土掩盖。

表 2 试验设计方案

处理	氮肥用量	磷肥用量	钾肥用量
CK	0	0	0
PK	0	135	180
NK	300	0	180
NP	300	135	0
NPK	300	135	180

#### 1.4 样品采集、测定项目和方法

土样在试验前采集, 以整个试验田块为采集单元, 棋盘法分 7 个点采集 0—20 cm 土层, 风干过筛后测定基础养分。植株样品分别在甘蓝苗期、莲座期、结球期和收获后每小区采集 3 株样品, 清洗后 105 °C 杀青 30 min, 于 80 °C 烘干至恒重, 计算地上部干物重, 粉碎过筛后测定养分含量。收获后按小区计算最终产量, 同时取 7 株植株样品, 用  $H_2SO_4-H_2O_2$  消煮, 凯氏法测定叶片全氮含量。样品土壤有机质采用重铬酸钾容量法, 土壤全氮用半微量凯氏法, 全磷用硫酸消化—钒钼黄比色法, 全钾用乙酸铵提取—火焰光度法, 速效磷用  $NaHCO_3$  浸提—钼锑抗比色法, 速效钾用  $NH_4OAc$  浸提—火焰光度法, 土壤 pH 用酸度计法测定。植株氮磷钾含量测定采用硫酸双氧水消煮, 全氮用凯氏法测定, 全磷用钒钼黄比色法测定, 全钾用火焰光度法测定<sup>[11]</sup>。试验数据采用 Excel 2003 和 SPSS 19.0 数据统计软件处理。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同处理对甘蓝生物量的影响

由图 1 可以看出, 甘蓝从苗期到莲座期生长较为缓慢, 结球后生长加快, 生物质量增加迅速, 结球后期至成熟时, 生长减缓, 生物质量增加幅度逐渐减小, 总体来看, 甘蓝生物量的累积动态呈 S 形曲线。不同肥料配比对甘蓝生物量累积的影响显著, 其中 NPK 处理的生物量在各生育阶段均最大, 且随着生育期延后, 其生物量与其他处理的差异越大。与 CK 相比, 其它肥料配比的处理在甘蓝各生育期生物量都有不同程度的增加。苗期、莲座期、结球期和收获期, PK 处理的生物量分别提高 16.60%, 17.57%, 17.04% 和 16.91%。总体而言, 仅仅提供钾肥和磷肥对甘蓝

生物量的提高非常有限, 氮素的缺失对生物量的影响贯穿整个生育期; NK 处理的生物量分别提高 25.46%, 23.81%, 23.06% 和 22.85%, 苗期以后生物量提高的幅度逐渐减小, 说明缺磷对甘蓝生物量的影响主要在后期的源库转化过程中; NP 处理的生物量分别提高 21.55%, 20.12%, 19.46% 和 19.26%, 缺失钾肥对生物量在后期累积的影响不如块茎类作物明显<sup>[12]</sup>; NPK 处理的生物量较 CK 分别提高 32.15%, 30.27%, 29.39% 和 29.15%, 氮磷钾肥均施入后生物量的提高幅度明显大于其中两个元素的施入, 说明生物量的提高需要大量元素的均衡配比和共同作用。与 NPK 处理的生物量相比, CK, NK, NP 和 PK 收获后生物量分别低 29.15%, 8.17%, 12.20% 和 16.91%, 可见氮肥对生物量的形成影响最大, 其对甘蓝生物量的限制在整个生育期都存在, 其次是钾肥和磷肥, 但相对于单一元素的影响, 大量元素的耦合作用对生物量增加的效应更加明显。

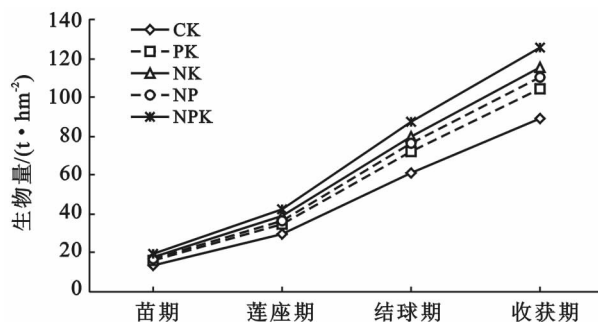


图 1 不同肥料配比下甘蓝生物量的变化

### 2.2 甘蓝植株氮、磷、钾养分含量变化

由表 3 可以看出, 在甘蓝的整个生育期, 各处理植株 N, P, K 素养分含量均随着甘蓝的生长而增加; 从苗期到成熟期, 各处理养分含量增加量 NPK 处理最大, CK 处理最小, 其中 NPK 处理的 N, P, K 素养分含量分别增加了 583.55%, 591.28% 和 765.53%, 各处理 N, P, K 素养分含量生育期内变化一致, 表现为:  $NPK > NP > NK > PK > CK$ , 说明 N 素对于养分在不同阶段的养分吸收影响至关重要, 其次是 P 素和 K 素, 而大量元素均缺乏将严重抑制养分在植株体内的累积; 在不同生育期, 缺乏相应元素对养分含量吸收的影响不同, 苗期各处理间对缺素响应不明显, 到莲座期, 处理 CK 的养分含量显著降低, 结球期缺乏单一元素时也显示对植株养分含量有显著影响, 这一效应延续至成熟阶段; 元素间的两两耦合效应显示, 对于 N, P, K 素养分吸收量 NP 处理最为显著, 其次是 NK 和 PK。

表 3 不同肥料比对甘蓝养分含量变化的影响

g/株

项目	处理	苗期	莲座期	结球期	成熟期
N	CK	0.46±0.08 <sup>a</sup>	0.86±0.12 <sup>b</sup>	1.78±0.17 <sup>c</sup>	2.62±0.29 <sup>d</sup>
	PK	0.48±0.08 <sup>a</sup>	0.99±0.10 <sup>a</sup>	2.09±0.16 <sup>bc</sup>	3.07±0.57 <sup>c</sup>
	NK	0.52±0.21 <sup>a</sup>	1.12±0.18 <sup>a</sup>	2.33±0.14 <sup>b</sup>	3.45±0.69 <sup>b</sup>
	NP	0.49±0.11 <sup>a</sup>	1.06±0.09 <sup>a</sup>	2.22±0.11 <sup>b</sup>	3.27±0.66 <sup>b</sup>
	NPK	0.54±0.28 <sup>a</sup>	1.22±0.13 <sup>a</sup>	2.56±0.30 <sup>a</sup>	3.69±0.83 <sup>a</sup>
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CK	0.07±0.01 <sup>a</sup>	0.15±0.02 <sup>b</sup>	0.32±0.03 <sup>c</sup>	0.47±0.05 <sup>c</sup>
	PK	0.09±0.01 <sup>a</sup>	0.17±0.02 <sup>ab</sup>	0.38±0.03 <sup>b</sup>	0.55±0.10 <sup>b</sup>
	NK	0.09±0.04 <sup>a</sup>	0.20±0.03 <sup>a</sup>	0.42±0.03 <sup>ab</sup>	0.62±0.12 <sup>ab</sup>
	NP	0.09±0.02 <sup>a</sup>	0.19±0.02 <sup>ab</sup>	0.40±0.02 <sup>b</sup>	0.59±0.12 <sup>ab</sup>
	NPK	0.10±0.05 <sup>a</sup>	0.22±0.02 <sup>a</sup>	0.46±0.05 <sup>a</sup>	0.66±0.15 <sup>a</sup>
K <sub>2</sub> O	CK	0.45±0.08 <sup>a</sup>	0.84±0.12 <sup>b</sup>	2.13±0.20 <sup>b</sup>	3.28±0.36 <sup>c</sup>
	PK	0.47±0.08 <sup>a</sup>	1.18±0.12 <sup>a</sup>	2.45±0.19 <sup>b</sup>	3.83±0.71 <sup>bc</sup>
	NK	0.51±0.21 <sup>a</sup>	1.34±0.22 <sup>a</sup>	2.78±0.17 <sup>ab</sup>	4.30±0.86 <sup>b</sup>
	NP	0.48±0.11 <sup>a</sup>	1.26±0.10 <sup>a</sup>	2.66±0.13 <sup>ab</sup>	4.09±0.83 <sup>b</sup>
	NPK	0.53±0.27 <sup>a</sup>	1.46±0.15 <sup>a</sup>	3.04±0.35 <sup>a</sup>	4.60±1.04 <sup>a</sup>

注:平均值±标准差后的不同小写字母表示处理间差异达显著水平( $p < 0.05$ )。

### 2.3 甘蓝植株氮、磷、钾养分吸收规律

将甘蓝的生育阶段分为移栽—苗期、苗期—莲座、莲座—结球和结球—成熟 4 个阶段,对生育期各个阶段养分阶段吸收速率进行比较分析(表 4)。结果表明,甘蓝的 N,P,K 养分吸收阶段主要在莲座期之后,莲座期前的吸收量不足总吸收量的 25%,莲座—结球阶段吸收量约占 30%,结球至成熟阶段吸收量超过 45%;养分阶段吸收速率显示,甘蓝对养分的吸收速率变化趋势一致,表现为:结球—成熟 > 莲座—结球 > 苗期—莲座 > 移栽—苗期,NPK 素在莲座—结球的养分吸收速率为苗期—莲座阶段的 2.10~2.16 倍,结球—成熟阶段的养分吸收速率为苗期—莲座阶段的 3.05~3.29 倍,说明莲座期后是甘蓝吸收养分的旺盛阶段,因而在甘蓝中后期保持足够的养分供给,从而保证甘蓝养分吸收,提高养分吸收利用效率和产量具有实际意义。

不同肥料处理对甘蓝养分吸收速率具有很大影响(表 4),总体而言,施肥后的处理均能不同程度提高甘蓝养分吸收速率,其中 NPK 处理提高最明显,而且,随着生育阶段后移,吸收速率越快;相对于 CK,在移栽—苗期和苗期—莲座阶段各处理吸收 N,P,K 素速率相当,从莲座—结球阶段开始吸收速率明显加快,至结球—成熟阶段达到最大值;结果显示,在结球—成熟阶段,PK,NK,NP 和 NPK 处理的 N 素吸收速率是 CK 处理的 119.23%,130.77%,123.08%和 142.31%,P 素吸收速率是 CK 处理的 120.00%,120.00%,120.00%和 140.00%,K 素吸收速率是 CK 处理的 115.15%,127.27%,121.21%和 139.39%。

表 4 甘蓝植株养分阶段吸收速率

g/(株·d)

项目	处理	移栽—苗期	苗期—莲座	莲座—结球	结球—成熟
N	CK	0.04	0.08	0.18	0.26
	PK	0.05	0.1	0.21	0.31
	NK	0.05	0.11	0.23	0.34
	NP	0.05	0.11	0.22	0.32
	NPK	0.06	0.12	0.26	0.37
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CK	0.01	0.01	0.03	0.05
	PK	0.01	0.02	0.04	0.06
	NK	0.01	0.02	0.04	0.06
	NP	0.01	0.02	0.04	0.06
	NPK	0.01	0.02	0.05	0.07
K <sub>2</sub> O	CK	0.04	0.08	0.21	0.33
	PK	0.05	0.12	0.25	0.38
	NK	0.05	0.13	0.28	0.42
	NP	0.05	0.13	0.27	0.4
	NPK	0.06	0.14	0.3	0.46

注:同列数据后不同小写字母表示差异达到 5% 的显著水平。下同。

### 2.4 氮、磷、钾养分吸收利用效率

表 5 显示不同施肥模式对甘蓝产量和肥料利用率的影响,由表 5 可知,NPK 处理的产量最高,达到 64 425 kg/hm<sup>2</sup>,显著高于其他处理;施用两种元素的处理(PK,NK,NP)的产量在 44 790~46 635 kg/hm<sup>2</sup>之间,显著高于 CK,但较 NPK 产量分别降低 30.28%,28.38%和 27.61%;不施肥处理(CK)的产量最低,为 36 240 kg/hm<sup>2</sup>,产量较 NPK 处理降低 43.75%。甘蓝的氮磷钾素吸收量也呈现出与产量类似的结果(表 5),NPK 处理的养分吸收量显著高于其他处理,其氮磷钾素利用率也最高,分别达到 17.68%,7.04%和 36.77%。

表 5 不同施肥模式对甘蓝产量和肥料利用率的影响

处理	产量/ (kg · hm <sup>-2</sup> )	吸氮量/ (kg · hm <sup>-2</sup> )	吸磷量/ (kg · hm <sup>-2</sup> )	吸钾量/ (kg · hm <sup>-2</sup> )	氮素利用 率/%	磷素利用 率/%	钾素利用 率/%
CK	36 240 <sup>c</sup>	128.89 <sup>c</sup>	23.11 <sup>c</sup>	160.89 <sup>c</sup>	—	—	—
PK	44 790 <sup>b</sup>	151.16 <sup>b</sup>	27.11 <sup>b</sup>	188.69 <sup>bc</sup>	—	2.96	15.45
NK	46 140 <sup>b</sup>	167.06 <sup>b</sup>	29.96 <sup>ab</sup>	208.54 <sup>b</sup>	12.72	—	26.47
NP	46 635 <sup>b</sup>	159.65 <sup>b</sup>	28.63 <sup>ab</sup>	199.28 <sup>bc</sup>	10.25	4.08	—
NPK	64 425 <sup>a</sup>	181.92 <sup>a</sup>	32.62 <sup>a</sup>	227.08 <sup>a</sup>	17.68	7.04	36.77

### 3 讨论

根据作物对不同养分吸收利用的特点,利用养分在不同生育阶段的需求量确定生育期肥料管理模式,是目前农业科学进行研究的主要方式<sup>[13-14]</sup>。三大元素对甘蓝的生长促进作用十分明显,但同时,实现各元素间合理有效的配合施用才能最大限度发挥单因素效应和耦合效应<sup>[2]</sup>。研究<sup>[15]</sup>表明,施肥可以改善甘蓝的营养状况、促进甘蓝生长,增加生物量,这种效应在甘蓝中后期的生长中越发明。其中,增施氮肥可增强光合能力,增加甘蓝茎叶生长量。本试验结果显示,仅提供磷钾肥缺少氮肥对甘蓝生物量的增加有限,同时又显著限制了植株体内 NPK 的吸收量,降低了吸收养分的能力和速率,这种限制作用从苗期开始显现,并持续到成熟,最终影响了产量形成和养分利用率,表明氮肥施用不仅可以影响氮素吸收,同时也对磷钾元素的吸收有直接关系;供应氮钾肥而缺失磷肥的处理影响了生育后期养分的转运,从而影响了甘蓝最终生物量的形成和养分尤其是氮素的累积;缺钾显著影响甘蓝生育期钾素吸收量,并降低了氮素在生育后期的吸收速率,从而也降低了最终氮素的吸收效率。可见三大影响元素缺少其中一种不但影响了其本身的吸收,同时也会导致其它两种元素在甘蓝体内的累积,三者的作用相辅相成,不可或缺,但从对甘蓝的生长和养分吸收而言,也存在不同的影响力。从试验的单因素分析结果看,其影响顺序为:氮>磷>钾。因而,在本地区甘蓝栽培中,相对于磷肥和钾肥,氮肥是甘蓝取得高产的决定性因素。郭熙盛、丁玉川和邹小云等<sup>[16-18]</sup>的研究也认为甘蓝对氮素最为敏感;磷素会影响叶片光合作用和糖分的合成;钾素关乎同化物的吸收和单糖、双糖的合成。这表明,氮磷钾肥对甘蓝生长的影响有主次,但不能忽视相互间存在的内在联系而独立分析。本试验结果显示,NPK 处理的产量最高,达到 64 425 kg/hm<sup>2</sup>,显著高于其他处理;施用两种元素的处理(PK,NK,NP)的产量在 44 790~46 635 kg/hm<sup>2</sup> 之间,显著高于 CK,但较 NPK 产量分别降低 30.28%,28.38%和 27.61%;不

施肥处理(CK)的产量最低,为 36 240 kg/hm<sup>2</sup>,产量较 NPK 处理降低 43.75%。NPK 处理的养分利用率也最高,分别达到 17.68%,7.04%和 36.77%。平衡施用氮、磷、钾肥是做到甘蓝生产高产优质的主要原因,而一旦这种平衡被打破则会影响营养元素在体内运输、分配和累积,直接对产量和品质形成影响<sup>[19]</sup>,因而针对不同区域、不同栽培品种和栽培模式制定出合理的施肥指标,是甘蓝生产中的重点研究方向。

### 4 结论

(1) 甘蓝生物量的累积动态呈 S 形曲线,从苗期到莲座期生长较为缓慢,结球后生长加快,结球后期至成熟时,生长减缓,生物质量增加幅度逐渐减小。

(2) 植株氮、磷、钾养分含量均随着甘蓝的生长而增加,同时养分累积量也不断增加。甘蓝的氮、磷、钾养分吸收阶段主要在莲座期之后,莲座期前的吸收量不足总吸收量的 25%,莲座—结球阶段吸收量约占 30%,结球至成熟阶段养分吸收速率最大,吸收量超过 45%。

(3) 不同肥料配比显著影响甘蓝生物量形成、养分累积量以及养分吸收效率,大量元素缺乏对养分吸收的影响从苗期延续至成熟阶段,氮素是限制甘蓝生长的第一因子,其次是磷和钾。

#### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 牛振明,张国斌,刘赵帆,等. 氮素形态及配比对甘蓝养分吸收、产量以及品质的影响[J]. 草业学报,2013,22(6):68-76.
- [2] 郭熙盛,朱宏斌,王文军,等. 不同氮钾水平对结球甘蓝产量和品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2004,10(2):161-166.
- [3] 吴文强,刘彬,李萍,等. 氮肥对甘蓝产量、硝酸盐含量及土壤硝态氮含量的影响[J]. 中国农学通报,2015,31(23):134-138.
- [4] 熊亚梅,梁银丽,周茂娟,等. 氮肥水平对甘蓝产量和品质及土壤硝态氮含量的影响[J]. 西北植物学报,2007,27(4):839-843.

- of Studies on Rubisco Activase[J]. Chinese Bulletin of Botany, 2000, 17(4):306-311.
- [23] Miltner A, Kopinke F D, Kindler R, et al. Non-photosynthetic CO<sub>2</sub> fixation by soil microorganisms[J]. Plant and Soil, 2005, 269(1/2):193-203.
- [24] 龚子同, 张甘霖, 王吉智, 等. 中国的灌淤人为土[J]. 干旱区研究, 2005, 22(1):4-10.
- [25] Malhi S S, Nyborg M, Goddard T, et al. Long-term tillage, straw and N rate effects on quantity and quality of organic C and N in a Gray Luvisol soil [J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 2011, 90(1):21-22.
- [26] Yu Hongyan, Ding Weixin, Geng Ruilin, et al. Effect of long-term compost and fertilizer application on stability of aggregate-associated organic carbon in an intensively cultivated sandy loam soil[J]. Biology and Fertility of Soils, 2012, 48(3):325-336.
- [27] Fontaine S, Sebastien B, Pierre B, et al. Stability of organic carbon in deep soil layers controlled by fresh carbon supply[J]. Nature, 2007, 450(8):227-280.
- [28] 尹云峰, 蔡祖聪. 利用  $\delta^{13}\text{C}$  方法研究添加玉米秸秆下红壤总有机碳和重组有机碳的分解速率[J]. 土壤学报, 2007, 44(6):1022-1027.
- [29] 夏国芳. 有机物料对黑土有机碳积累的影响[D]. 黑龙江 哈尔滨:东北农业大学, 2006.
- [30] Saha D, Kukal S S, Sharma S. Land use impacts on SOC fractions and aggregate stability in typical Ustochrepts of Northwest India[J]. Plant Soil, 2011, 339(1/2):457-470.
- [31] 韩晓日, 苏俊峰, 丹利, 等. 长期施肥对棕壤有机碳及各组分的影响[J]. 土壤通报, 2008, 39(4):730-733.
- [32] 尤孟阳. 黑土母质熟化过程中的土壤有机碳组分与结构变化特征[D]. 黑龙江 哈尔滨:中国科学院东北地理与农业生态研究所, 2015.
- [33] 韩会阁. 土壤有机碳组分对土地利用方式的响应[D]. 甘肃 兰州:兰州大学, 2011.
- [34] 赵加瑞, 王益权, 刘军, 等. 灌溉水质与土壤有机质积累的关系[J]. 生态环境, 2008, 17(3):1240-1243.
- [35] 唐光木, 徐万里, 盛建东, 等. 新疆绿洲农田不同开垦年限土壤有机碳及不同粒径土壤颗粒有机碳变化[J]. 土壤学报, 2010, 47(2):279-285.

(上接第84页)

- [5] 何传龙, 郭熙盛, 王文军, 等. 春甘蓝—玉米—冬甘蓝轮作制下氮肥施用量研究[J]. 中国农业科学, 2007, 40(11):2527-2534.
- [6] 张国平, 颜家均, 王正银, 等. 平衡施肥对酸性紫色土甘蓝产量和品质的效应[J]. 西南大学学报:自然科学版, 2005, 27(5):729-732.
- [7] 蔡开地. 结球甘蓝平衡施用氮磷钾肥效应研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2004, 10(1):73-77.
- [8] 金珂旭, 王正银, 樊驰, 等. 不同钾肥对甘蓝产量、品质和营养元素形态的影响[J]. 土壤学报, 2014, 51(6):1369-1377.
- [9] 罗昀, 周丽娜, 刘汝亮, 等. 施钾对宁夏引黄灌区甘蓝产量及品质的影响[J]. 西北农业学报, 2012, 21(7):168-171.
- [10] 林昌华, 白由路, 罗国安, 等. 氮磷钾肥对结球甘蓝商品性状及其产量的影响[J]. 中国农学通报, 2008, 24(6):329-334.
- [11] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京:中国农业出版社, 2000.
- [12] 黄巧义, 唐拴虎, 陈建生, 等. 氮磷钾配比对木薯养分吸收动态及产量影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2014, 20(4):947-956.
- [13] 李生秀. 植物营养与肥料学科的现状与展望[J]. 植物营养与肥料学报, 1999, 5(3):193-205.
- [14] 翟丙年, 李生秀. 冬小麦产量的水肥耦合模型[J]. 中国工程科学, 2002, 4(9):63-68.
- [15] 葛耀相. 黄土高原中部丘陵区不同因子对球茎甘蓝光合特性与产量的影响[D]. 陕西 杨凌:西北农林科技大学, 2008.
- [16] Osaki M, Shinano T, Tadano T. Carbon, nitrogen interaction model in field crop production [J]. Soil Science and Plant Nutrition, 1993, 155/156(1):203-206.
- [17] Osaki M, Zheng T, Konno K, et al. Carbon-nitrogen interaction related to P, K, Ca, and Mg nutrients in field crops [J]. Soil Science and Plant Nutrition, 1996, 42(3):539-552.
- [18] Mollier A, Pellerin S. Maize root system growth and development as influenced by phosphorus deficiency [J]. Journal of Experimental Botany, 1999, 50(333):487-497.
- [19] 侯彦林. “生态平衡施肥”的理论基础和技术体系[J]. 生态学报, 2000, 20(4):653-658.