

氮磷钾施用量对高山甘蓝产量及品质的影响

赵书军¹ 李车书² 邱正明³ 袁家富¹ 王永健² 佘国涵¹ 徐大兵^{1*}

(¹湖北省农业科学院植保土肥研究所, 湖北武汉 430064; ²恩施市农业局农技推广中心, 湖北恩施 445000; ³湖北省农业科学院经济作物研究所, 湖北武汉 430064)

摘要:以京丰1号为试材, 采用田间试验方法分别研究了不同用量氮、磷、钾肥对高山甘蓝产量、品质 and 经济效益的影响。结果表明: 施氮量 375 kg·hm⁻² 处理的甘蓝产量最高, 分别比 150、225 kg·hm⁻² 处理显著增产 9.44% 和 2.68%; 施磷量 180 kg·hm⁻² 处理的甘蓝产量最高, 分别比 0、135 kg·hm⁻² 处理显著增产 17.56% 和 7.27%; 施钾量 525 kg·hm⁻² 处理的甘蓝产量最高, 分别比 0、225 kg·hm⁻² 处理显著增产 35.08% 和 15.55%。增加氮、磷、钾的施用量, 均有增加甘蓝游离氨基酸含量、减少总酸含量的趋势, 但同时也有增加硝酸盐累积的趋势; 增施钾肥还增加了甘蓝 VC 含量。综上, 鄂西高山地区高肥力地块种植结球甘蓝, 氮、磷、钾肥推荐量分别为 225~300 kg·hm⁻²、180~225 kg·hm⁻² 和 225~300 kg·hm⁻²。

关键词: 结球甘蓝; 施肥量; 产量; 经济效益; 品质

高山蔬菜是指利用夏季高海拔山区自然冷凉气候条件和优质生态环境生产的反季节商品蔬菜, 是优质农产品生产和节能低耗型生态农业的重要组成部分(徐珊珊, 2013)。结球甘蓝(*Brassica oleracea* L. var. *capitata* L.) 具有耐寒、抗病、适应性强、品质好等特点(章明清等, 2011), 已成为夏季鄂西高山蔬菜的主要种类之一。鄂西高山甘蓝种植已有 20 a 的历史, 连作时间长, 而且施肥结构严重不合理(孟祥生, 2006; 徐能海和夏晓法, 2006; 朱进和柳文录, 2009)。通常情况下, 甘蓝对氮磷钾的需求比例为 1:0.13:1.08(金珂旭等); 然而从调查结果来看, 恩施州高山甘蓝的施氮量为 90.0~457.5 kg·hm⁻², 平均值为 172.5 kg·hm⁻², 氮磷钾施用比例为 1:1.18:0.57(赵书军等, 2012)。由此可以看出, 恩施高山区域甘蓝施肥量较高且偏施氮磷肥, 严重制约了高山蔬菜产业的可持续发展。那么, 在实施“化肥减施”的过

程中, “减多少”和“如何减”就成为当前亟待解决的关键问题。

长期施用化肥不仅造成土壤肥力下降、养分流失等环境风险, 而且更严重的是导致甘蓝品质下降(金珂旭等, 2014)。研究表明, 随着施氮量的增加, 甘蓝硝酸盐含量逐渐增加(熊亚梅等, 2007; 倪小会等, 2010; 褚清河等, 2013; 朱静华等, 2013), 可溶性糖含量和 VC 含量降低(孟祥生, 2006; 熊亚梅等, 2007); 而施用钾肥可以在一定程度上降低甘蓝硝酸盐含量, 增加氨基酸含量和可溶性糖含量(金珂旭等, 2014)。因此, 合适的施肥量和施肥方式有助于改善甘蓝的品质。

综上所述, 在确保甘蓝产量的前提下, 如何科学地减少化肥的施用量, 实现“化肥减施”和改善甘蓝品质, 是未来高山甘蓝可持续发展的重要保障。本试验以恩施市为代表探讨了氮、磷、钾肥不同施用量对高山甘蓝产量及品质的影响, 以期对鄂西地区高山甘蓝的科学施肥提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于湖北省恩施州恩施市板桥镇大山顶村(东经 109.28°, 北纬 30.57°), 平均海拔高度为 1 666.5 m, 年均气温 10 °C, 常年降

赵书军, 男, 副研究员, 专业方向: 土壤肥力与植物营养调控, E-mail: zhaosj11@163.com

* 通讯作者(Corresponding author): 徐大兵, 男, 副研究员, 专业方向: 植物营养与病害, E-mail: dabing_xu@163.com

收稿日期: 2016-10-24; 接受日期: 2017-01-06

基金项目: 国家大宗蔬菜产业技术体系项目(CARS-25-c-02), 湖北省农业科技创新中心项目(2011-620-003-03-06)

雨量 1 402~1 894 mm, 属典型的高山气候。该区域长期种植高山冷凉蔬菜, 迄今已有 20 a 的历史。

供试甘蓝品种为京丰 1 号(中国农业科学院蔬菜研究所和北京市农业科学院育成的一代杂种)。供试土壤类型为山地棕壤, 已连续种植甘蓝 3 a, 试验 1 开始前 0~20 cm 土壤理化性状为: pH 值 5.6, 有机质含量 28.5 g·kg⁻¹, 碱解氮 180.5 mg·kg⁻¹, 有效磷 32.1 mg·kg⁻¹, 速效钾 153.5 mg·kg⁻¹; 试验 2、3、4 开始前 0~20 cm 土壤理化性状为: pH 值 6.4, 有机质含量 29.8 g·kg⁻¹, 碱解氮 198.2 mg·kg⁻¹, 有效磷 52.6 mg·kg⁻¹, 速效钾 189.8 mg·kg⁻¹。

1.2 试验设计

4 个试验分别于 2014、2015 年和 2016 年 5~9 月进行。

试验 1: 不同施氮量对高山甘蓝产量和品质的影响。共设置 5 个处理, 氮肥施用量分别为 150 kg·hm⁻² (N1)、225 kg·hm⁻² (N2)、300 kg·hm⁻² (N3)、375 kg·hm⁻² (N4)、450 kg·hm⁻² (N5)。各处理的磷肥 (P₂O₅) 和钾肥 (K₂O) 施用量分别为 225 kg·hm⁻² 和 375 kg·hm⁻²。

试验 2: 不同施磷量对高山甘蓝产量和品质的影响。共设置 6 个处理, 磷肥施用量分别为 0 kg·hm⁻² (P0)、135 kg·hm⁻² (P1)、180 kg·hm⁻² (P2)、225 kg·hm⁻² (P3)、270 kg·hm⁻² (P4)、315 kg·hm⁻² (P5)。各处理氮肥 (N) 和钾肥 (K₂O) 施用量分别为 300 kg·hm⁻² 和 375 kg·hm⁻²。

试验 3: 不同施钾量对高山甘蓝产量和品质的影响。共设置 5 个处理, 钾肥施用量分别为 0 kg·hm⁻² (K0)、225 kg·hm⁻² (K1)、300 kg·hm⁻² (K2)、450 kg·hm⁻² (K3)、525 kg·hm⁻² (K4)。各处理氮肥 (N) 和磷肥 (P₂O₅) 施用量分别为 300 kg·hm⁻² 和 225 kg·hm⁻²。

试验 4: 过量施氮对高山甘蓝产量和品质的影响。共设置 4 个处理, 氮肥施用量分别为 240 kg·hm⁻² (HN1)、480 kg·hm⁻² (HN2)、720 kg·hm⁻² (HN3)、960 kg·hm⁻² (HN4)。各处理磷肥 (P₂O₅) 和钾肥 (K₂O) 施用量分别为 225 kg·hm⁻² 和 375 kg·hm⁻²。

各试验的具体施肥量见表 1。70% 的氮、100% 的磷、钾作基肥施用, 30% 的氮作追肥施用。小区

面积均为 20 m² (长 5 m, 宽 4 m), 小区之间沟宽 50 cm; 株距 20 cm, 每小区种植 550 株; 每处理 3 次重复, 随机排列; 不灌溉, 其他田间管理按照当地栽培习惯进行。

表 1 各试验的具体施肥量 kg·hm⁻²

试验	处理	基肥				追肥
		复合肥	过磷酸钙	硫酸钾	尿素	尿素
试验 1	N1	700	984	540	0	98
	N2	1 050	553	435	0	147
	N3	1 400	123	330	0	196
	N4	1 500	0	300	82	245
	N5	1 500	0	300	196	293
试验 2	P0	0	0	750	457	196
	P1	900	0	480	163	196
	P2	1 200	0	390	65	196
	P3	1 400	123	330	0	196
	P4	1 400	492	330	0	196
试验 3	P5	1 400	861	330	0	196
	K0	0	1 844	0	457	196
	K1	1 400	123	30	0	196
	K2	1 400	123	180	0	196
	K3	1 400	123	480	0	196
试验 4	K4	1 400	123	630	0	196
	HN1	1 120	467	414	0	157
	HN2	1 500	0	300	241	313
	HN3	1 500	0	300	607	470
	HN4	1 500	0	300	972	626

注: 复合肥, N:P₂O₅:K₂O 为 15:15:15; 尿素, 含 N 46%; 硫酸钾, 含 K₂O 50%; 过磷酸钙, 含 P₂O₅ 12.2%。

1.3 项目测定

甘蓝收获时按小区记产, 并按照 3 a 平均价格 0.70 元·kg⁻¹ 计算产值。然后每小区随机取 10 个甘蓝叶球, 每个取 1/4, 带回实验室用于品质测定。VC 含量采用 2, 6-二氯酚酚滴定法测定; 可溶性糖含量采用蒽酮比色法测定; 硝酸盐含量采用水杨酸比色法测定; 游离氨基酸含量采用茚三酮比色法测定; 总酸含量采用酸碱滴定法测定(赵世杰等, 2002)。

1.4 数据处理

试验数据采用 Microsoft Excel 2010 软件和 SPSS 16.0 软件进行统计分析。采用 SPSS 软件对施肥量与产量数据进行曲线拟合, 通过显著性检验和 R² 值的大小, 确定拟合方程。

$$\text{产投比} = \text{产值} / \text{肥料成本}$$

$$\text{利润} = \text{产值} - \text{肥料投入}$$

$$\text{单位肥料利润增加值 (元} \cdot \text{kg}^{-1}) = \frac{E_2 - E_1}{X_2 - X_1} (X_2 > X_1)$$

式中: X_1 、 X_2 表示不同氮磷钾肥用量 ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$), E_1 、 E_2 表示不同用量氮磷钾生产甘蓝所产生的经济利润 ($\text{元} \cdot \text{hm}^{-2}$)。

2 结果与分析

2.1 不同氮磷钾施用量对高山甘蓝产量的影响

从表 2 可以看出, 随着氮、磷施用量的增加, 甘蓝产量呈现先增加后降低的变化趋势; 而随施钾量的增加, 甘蓝产量呈上升趋势。对于施氮处理而言, N4 处理甘蓝产量最高, 分别比 N1、N2 处理显著增产 9.44% 和 2.68%; 对于施磷处理而言, P2

处理甘蓝产量最高, 分别比 P0、P1 处理显著增产 17.56% 和 7.27%; 对于施钾处理而言, K4 处理甘蓝产量最高, 分别比 K0、K1 处理显著增产 35.08% 和 15.55%。

通过对氮、磷、钾施用量与甘蓝产量进行曲线拟合, 得出最佳的氮 (X_1)、磷 (X_2)、钾 (X_3) 施用量与高山甘蓝产量 (Y) 的二次方程: $Y = -0.045X_1^2 + 28.46X_1 + 59\ 534$ ($R^2 = 0.939$)、 $Y = -0.156X_2^2 + 79.23X_2 + 60\ 692$ ($R^2 = 0.796$)、 $Y = -0.0521X_3^2 + 67.00X_3 + 57\ 255$ ($R^2 = 0.924$); 且拟合方程均达到极显著水平。计算出高山甘蓝产量最大时氮、磷、钾的施用量分别为 316、254 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和 643 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。

表 2 不同氮磷钾施用量对高山甘蓝产量的影响

处理	产量/ $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$	处理	产量/ $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$	处理	产量/ $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$
N1	58 536 ± 657 c	P0	60 941 ± 2 994 c	K0	57 586 ± 1 625 c
N2	62 392 ± 765 b	P1	66 784 ± 600 b	K1	67 320 ± 1 711 b
N3	63 626 ± 100 ab	P2	71 641 ± 2 215 a	K2	75 087 ± 3 235 a
N4	64 062 ± 233 a	P3	70 653 ± 1 906 a	K3	76 754 ± 630 a
N5	63 856 ± 541 a	P4	70 604 ± 656 a	K4	77 787 ± 581 a
		P5	69 919 ± 1 040 ab		

注: 表中同列数据后不同小写字母表示差异显著 ($\alpha = 0.05$), 下表同。

2.2 不同氮磷钾施用量对高山甘蓝经济效益的影响

从表 3 可以看出, 对于施氮处理而言, N4 处理利润最高, 显著高于 N1 处理, 但其产投比显著低于 N1 处理, 且单位肥料利润增加值也较低; 对于施磷处理而言, P2 处理的利润和单位肥料利润增加值最高, 产投比居中; 对于施钾处理而言, K4 处理利润最高, 但产投比和单位肥料利润增加值较低。

2.3 不同氮磷钾施用量对高山甘蓝品质的影响

从表 4 可以看出, 不同施氮量处理中, N4 处理甘蓝 VC 含量、游离氨基酸含量、糖酸比均最高, 而硝酸盐含量和总酸含量最低; N2 处理可溶性糖含量最高 (3.61%), 显著高于其他处理; 不同处理间总酸含量差异较小, 以 N2 处理最高; 随着施氮量的增加, 糖酸比呈逐渐增加的趋势。

不同施磷量处理中, P1 处理甘蓝 VC 含量和总酸含量最高, 而糖酸比最低; P4 处理游离氨基酸含量最高, 可溶性糖含量和糖酸比亦最高, 且均显著高于其他处理; P2 处理硝酸盐含量最低,

表 3 不同氮磷钾施用量对高山甘蓝经济效益的影响

处理	利润/ $\text{元} \cdot \text{hm}^{-2}$	产投比	单位肥料利润增加值/ $\text{元} \cdot \text{kg}^{-1}$
N1	37 655 ± 460 b	10.40 ± 0.11 a	—
N2	39 642 ± 536 a	10.20 ± 0.12 b	13.20 ± 4.59 a
N3	39 933 ± 70 a	9.67 ± 0.02 c	3.89 ± 6.23 b
N4	39 946 ± 163 a	9.16 ± 0.03 d	0.17 ± 1.45 bc
N5	39 509 ± 379 a	8.61 ± 0.07 e	-5.83 ± 4.35 c
P0	39 538 ± 2 096 c	13.70 ± 0.67 a	—
P1	42 738 ± 420 b	11.70 ± 0.10 b	23.70 ± 12.90 b
P2	45 841 ± 1 551 a	11.60 ± 0.36 b	69.00 ± 27.50 a
P3	44 852 ± 1 334 a	10.70 ± 0.29 c	-22.00 ± 21.30 c
P4	44 521 ± 459 a	10.10 ± 0.09 d	-7.37 ± 21.50 bc
P5	43 744 ± 728 a	9.41 ± 0.14 e	-17.30 ± 7.58 c
K0	43 414 ± 1 300 c	17.40 ± 0.49 a	—
K1	50 031 ± 1 369 b	14.10 ± 0.36 b	29.40 ± 9.72 b
K2	55 855 ± 2 588 a	14.30 ± 0.61 b	77.70 ± 19.80 a
K3	56 408 ± 504 a	12.30 ± 0.10 c	3.69 ± 13.90 c
K4	56 845 ± 465 a	11.60 ± 0.09 d	5.82 ± 2.44 bc

注: 高山甘蓝价格为 3 a 平均价格 0.70 $\text{元} \cdot \text{kg}^{-1}$; 氮肥 (N)、磷肥 (P_2O_5) 和钾肥 (K_2O) 的价格分别为 3.9、6.6 $\text{元} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 5.2 $\text{元} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

分别比 P0、P1、P3、P4、P5 处理降低了 35.02%、26.32%、45.90%、40.54%、34.19%, 且差异均达到显著水平。

不同施钾量处理中, K4 处理甘蓝 VC 含量最高, 分别比 K0、K1、K2、K3 处理显著提高 290.02%、253.18%、62.26%、37.60%, 游离氨基酸含量亦最高, 但硝酸盐含量也显著高于其他处理; K1 处理可溶性糖含量和糖酸比显著高于其他处理。

采用 SPSS 软件对氮磷钾施用量与甘蓝品质进行 Pearson 相关性分析。从表 5 可以看出, 施氮量对甘蓝游离氨基酸含量、总酸含量和糖酸比的影响

较大, 且与总酸含量呈显著负相关; 施磷量对甘蓝总酸含量和糖酸比影响较大, 亦与总酸含量呈显著负相关; 而施钾量对甘蓝 VC 含量、游离氨基酸含量和硝酸盐含量影响较大。

2.4 过量施氮对高山甘蓝产量及品质的影响

从表 6 可以看出, HN3 处理甘蓝产量和游离氨基酸含量最高, HN1 处理可溶性糖含量最高、硝酸盐含量最低, 但各指标各处理间差异均不显著。

表 4 不同氮磷钾施用量对高山甘蓝品质的影响

处理	VC/mg · kg ⁻¹	游离氨基酸/mg · kg ⁻¹	可溶性糖/%	总酸/%	糖酸比	硝酸盐/mg · kg ⁻¹
N1	5.41 ± 0.04 a	35.0 ± 0.71 c	3.06 ± 0.01 e	0.27 ± 0.01 b	11.50 ± 0.25 b	1 450 ± 51.5 c
N2	5.42 ± 0.04 a	34.3 ± 0.32 c	3.61 ± 0.02 a	0.30 ± 0.02 a	11.90 ± 0.61 b	1 525 ± 41.7 ab
N3	5.59 ± 0.16 a	37.7 ± 0.46 b	3.45 ± 0.03 b	0.28 ± 0.02 ab	12.20 ± 0.82 b	1 579 ± 37.0 a
N4	5.63 ± 0.09 a	38.7 ± 0.42 a	3.06 ± 0.03 e	0.22 ± 0.01 c	13.80 ± 0.51 a	1 326 ± 14.6 d
N5	5.09 ± 0.10 b	38.0 ± 0.12 ab	3.03 ± 0.05 e	0.22 ± 0.01 c	13.80 ± 0.03 a	1 478 ± 25.5 bc
P0	4.46 ± 0.10 c	55.5 ± 0.98 d	3.47 ± 0.19 d	0.36 ± 0.01 d	9.54 ± 0.40 c	697 ± 53.7 bc
P1	5.66 ± 0.06 a	57.6 ± 0.82 cd	4.26 ± 0.07 b	0.64 ± 0.03 a	6.62 ± 0.42 d	615 ± 16.4 c
P2	4.89 ± 0.02 b	59.4 ± 0.39 c	4.06 ± 0.23 bc	0.51 ± 0.04 b	8.02 ± 0.43 cd	453 ± 20.6 d
P3	4.36 ± 0.14 c	68.6 ± 0.68 b	3.70 ± 0.38 cd	0.40 ± 0.02 c	9.35 ± 0.97 c	837 ± 88.0 a
P4	4.58 ± 0.30 c	76.3 ± 1.70 a	4.84 ± 0.44 a	0.25 ± 0.03 e	19.40 ± 1.53 a	762 ± 76.3 ab
P5	2.75 ± 0.02 d	51.4 ± 0.88 d	3.26 ± 0.07 d	0.19 ± 0.01 f	17.10 ± 0.55 b	688 ± 52.3 bc
K0	4.41 ± 0.18 d	57.3 ± 2.61 b	3.95 ± 0.22 e	0.68 ± 0.03 a	5.85 ± 0.41 d	640 ± 44.1 e
K1	4.87 ± 0.12 d	55.5 ± 0.53 b	5.92 ± 0.24 a	0.40 ± 0.01 d	14.70 ± 0.49 a	919 ± 19.6 c
K2	10.60 ± 0.20 c	51.7 ± 0.72 c	4.76 ± 0.12 b	0.51 ± 0.01 c	9.34 ± 0.34 c	805 ± 32.4 d
K3	12.50 ± 0.47 b	69.2 ± 3.05 a	4.44 ± 0.67 bc	0.38 ± 0.01 d	11.70 ± 2.11 b	1 413 ± 18.9 b
K4	17.20 ± 0.25 a	72.5 ± 0.73 a	4.16 ± 0.02 bc	0.60 ± 0.01 b	6.98 ± 0.15 d	2 113 ± 83.5 a

表 5 氮磷钾施用量与高山甘蓝品质的相关性

项目	VC 含量	游离氨基酸含量	可溶性糖含量	总酸含量	糖酸比	硝酸盐含量
施氮量	-0.237	0.791**	-0.208	-0.603*	0.836**	-0.156
施磷量	-0.362	0.293	0.137	-0.491*	0.654**	0.197
施钾量	0.915**	0.704*	-0.040	-0.409	0.152	0.867**

注: * 表示在 0.05 水平上显著相关, ** 表示在 0.01 水平上极显著相关。

表 6 过量施氮对高山甘蓝产量及品质的影响

处理	产量/kg · hm ⁻²	硝酸盐/mg · kg ⁻¹	可溶性糖/%	游离氨基酸/mg · kg ⁻¹	总酸/%
HN1	70 137 ± 3 258 a	528 ± 45.8 a	2.61 ± 0.76 a	24.2 ± 4.57 a	0.29 ± 0.10 a
HN2	65 603 ± 2 976 a	655 ± 56.3 a	2.40 ± 0.68 a	26.1 ± 4.88 a	0.35 ± 0.07 a
HN3	70 404 ± 3 096 a	618 ± 49.8 a	2.50 ± 0.69 a	33.1 ± 6.35 a	0.30 ± 0.08 a
HN4	69 937 ± 2 995 a	673 ± 69.6 a	2.50 ± 0.71 a	29.1 ± 5.00 a	0.44 ± 0.06 a

注: 表中同列数据后不同小写字母表示差异显著 (α=0.05)。

3 结论与讨论

3.1 氮、磷、钾施用量对高山甘蓝产量和经济效益的影响

朱静华等 (2013) 研究表明, 甘蓝的产量随着施肥量的增加而增加 (施氮量 54.0 ~ 378.0 kg · hm⁻²)。而本试验结果表明, 在施氮量较低的

情况下, 随着施氮量的增加甘蓝产量显著提高; 但进一步增加施氮量, 增产效益不显著, 这与高小华 (2008) 的研究结果相似 (施氮量 0 ~ 375 kg · hm⁻²)。此外, 熊亚梅等 (2007) 研究表明, 甘蓝产量随着施氮量的增加呈先增加后降低的趋势 (施氮量 0 ~ 308.6 kg · hm⁻²)。不同研究者的结论有一定的差异, 也与一般农作物的“抛物线”肥料

效益曲线不同,这可能与不同区域的土壤肥力状况有关(王欣,2008),也可能与甘蓝等叶菜类的遗传特性有关。本试验条件下,即使施氮量高达 $960\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,甘蓝产量也没有明显的降低。因此,在生产实践中探索甘蓝合理的施氮量非常重要,否则会造成极大的资源浪费和潜在的环境污染风险。本试验中,施氮量在 $225\sim 300\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,甘蓝的经济效益较高。

蔬菜生产中盲目大量施用磷肥问题较普遍,已有资料表明保护地种植中磷肥用量是蔬菜实际需要量的 $2.3\sim 33.5$ 倍,导致菜田土壤磷素大量累积(吴一群,2008;廖文华等,2010;韩玲君,2012)。本试验结果表明,施磷量在 $180\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 以下,随着施磷量的增加甘蓝产量增加;但进一步增加施磷量($225\sim 315\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$),产量反而有降低的趋势。这表明磷肥施用量过高同样对甘蓝的生长不利,与顾闽峰等(2016)的研究结果相似(试验设计磷肥用量为 $0\sim 240\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,甘蓝产量以施磷 $170\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 最高)。本试验中,甘蓝的施磷量与经济效益曲线表现出“抛物线”的趋势,甘蓝最高利润施磷量为 $180\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,而且当施磷量超过 $180\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 时单位肥料利润增加值为负值。

王桂良等(2009)研究表明,甘蓝产量随着施钾量的增加而增加,但钾肥施用量超过 $375\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 以后增产效果不显著(试验设计最高施钾量为 $450\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)。本试验亦得出相似的结果,当施钾量超过 $300\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 时,甘蓝产量增速就开始减缓。对于经济效益而言,以施钾量为 $525\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 时甘蓝利润最大,但是当施钾量超过 $300\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 时单位肥料利润增加值大幅度减少。

3.2 氮、磷、钾施用量对高山甘蓝品质的影响

大量研究表明,叶用莴苣、菠菜、番茄等作物产品器官的硝酸盐含量与施氮量呈正相关关系(丁文雅,2015)。近年来国内学者开展了许多有关氮肥用量对甘蓝硝酸盐含量影响的研究,结论多是氮肥施用量与甘蓝硝酸盐含量呈正相关(熊亚梅等,2007;高小华,2008;朱静华等,2013)。关于施氮量与作物产品器官氨基酸、VC、总糖、总酸含量及糖酸比等品质关系的研究也有一些报道,但结论不尽一致(熊亚梅等,2007;丁文雅,2015)。本试验中,施氮量在 $150\sim 300\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 范围内,

随着施氮量的增加甘蓝硝酸盐含量逐渐增加;但再增施氮肥,硝酸盐含量则略有降低;过量施氮($240\sim 960\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$),硝酸盐含量又呈增加的趋势。增加施氮量对甘蓝VC含量没有显著影响,但可提高氨基酸含量和糖酸比。综合而言,施氮量为 $225\sim 375\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 时甘蓝品质较好。

目前关于磷肥对甘蓝生长、品质影响方面的报道较少。褚清河等(2013)研究表明,提高磷肥的施用量($90.0\sim 202.5\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)可以降低甘蓝的硝酸盐含量。在本试验中,施用一定量的磷肥($135\sim 180\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$),甘蓝硝酸盐含量显著降低;但是当施磷量从 $180\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 增加到 $315\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,硝酸盐含量则表现出先增加后减少的变化趋势。甘蓝VC、氨基酸和可溶性糖含量随着磷肥施用量的增加呈现先升高后降低的趋势。总体来看,合理施磷($135\sim 180\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)可以改善甘蓝的品质。

郭熙盛等(2004)研究表明,施用钾肥($200\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)可以提高结球甘蓝VC和糖的含量,但会降低氨基酸含量,这与本试验中施钾量为 $225\sim 300\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 时的结果基本相似。金珂旭等(2014)研究表明,施钾可以提高甘蓝VC和氨基酸的含量,但会降低还原糖含量。但是在本试验中,虽然随着施钾量的增加甘蓝可溶性糖含量逐渐降低,但是仍然高于不施钾肥处理。这可能是由于还原糖和可溶性糖所包含的糖的种类不同所致。王桂良等(2009)研究表明,施钾($150\sim 450\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)可以降低甘蓝硝酸盐的含量。然而,在本试验中,不论施钾量多少($225\sim 525\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$),甘蓝硝酸盐含量均有所提高,这与李晓玲(2009)的研究结果(施钾量 $75\sim 300\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)一致。之所以产生这样的差异,不仅可能与钾肥种类和甘蓝生长情况有关(郭熙盛等,2004;王桂良等,2009),还可能受取样和存放时间的影响。赵欢等(2010)研究发现,即使是同样的施钾肥处理,不同年份甘蓝硝酸盐含量的变化趋势也不同。由此可以看出,甘蓝硝酸盐含量受多种因素的影响,是多种因素综合作用的结果。

本试验中,由于交通原因,试验1的样品是采用托运的方法,在路上耽搁的时间较长,从取样至送到试验室历时4d;试验2、3、4均是第1天取样,

第2天送到,这可能是试验1硝酸盐含量较试验2、3、4高的主要原因(詹秀环等,2012)。另外,试验1和试验2、3、4的试验田块、地势也不一样,这可能是试验1硝酸盐含量较试验2、3、4高的另一个原因(王翠红等,2008)。

综上所述,结合甘蓝的产量、经济效益、营养品质和硝酸盐含量分析,恩施高山区域适宜氮、磷、钾肥施用量分别为225~300 kg·hm⁻²、180~225 kg·hm⁻²和225~300 kg·hm⁻²。由于本试验区域土壤养分含量比较高,因此本试验获得的推荐用量主要适用于高肥力土壤。

参考文献

- 褚清河,潘根兴,李晋陵. 2013. 不同施肥量及养分分配对马铃薯和结球甘蓝产量及其硝酸盐含量的影响. 山西农业科学, 41(2): 149-151, 159.
- 丁文雅. 2015. 氮肥对蔬菜品质影响的研究进展. 北京农业, (4): 117-118.
- 高小华. 2008. 不同施氮量对甘蓝产量和硝酸盐含量的影响. 福建农业科技, (3): 56-57.
- 顾闽峰, 费月跃, 彭亚明, 王军, 李建斌, 王神云. 2016. 氮磷水平对结球甘蓝生长、品质和养分吸收的影响. 江苏农业科学, 44(2): 183-185.
- 郭熙盛, 朱宏斌, 王文军, 叶舒娅, 武际, 吴礼树. 2004. 不同氮钾水平对结球甘蓝产量和品质的影响. 植物营养与肥料学报, 10(2): 161-166.
- 韩玲君. 2012. 氮、磷、钾肥对湖北省几种蔬菜产量影响的研究 [硕士学位论文]. 武汉: 华中农业大学.
- 金珂旭, 王正银, 樊驰, 刘辉, 何德清. 2014. 不同钾肥对甘蓝产量、品质和营养元素形态的影响. 土壤学报, 51(6): 1369-1377.
- 李晓玲. 2009. 氮钾肥对叶菜硝酸盐含量和VC含量的影响. 现代农业科学, 16(3): 79-80.
- 廖文华, 高志岭, 刘建玲. 2010. 磷素供应对三种蔬菜磷吸收分配的影响. 中国土壤与肥料, (3): 45-47.
- 孟祥生. 2006. 恩施州高山蔬菜产业发展现状及对策. 现代农业科技, (11): 67-68.
- 倪小会, 许俊香, 佟二健, 杨俊刚, 曹兵. 2010. 控释复合肥对结球甘蓝产量、品质和养分吸收的影响. 北方园艺, (13): 9-11.
- 王翠红, 曾杰波, 张杨珠, 黄运湘. 2008. 不同种类蔬菜硝酸盐含量及其与土壤肥力因素的关系. 湖南农业科学, (3): 70-73.
- 王桂良, 黄玉芳, 叶优良. 2009. 不同钾肥品种和用量对甘蓝产量、品质和养分吸收利用的影响. 中国蔬菜, (20): 40-45.
- 王欣. 2008. 不同土壤肥力水平下甘蓝的氮肥效应. 中国土壤与肥料, (5): 80-81.
- 吴一群. 2008. 高磷对蔬菜生长的影响及其环境效应 [硕士学位论文]. 临安: 福建农林大学.
- 熊亚梅, 梁银丽, 周茂娟, 陈甲瑞, 杜社妮. 2007. 氮肥水平对甘蓝产量和品质及土壤硝态氮含量的影响. 西北植物学报, 27(4): 839-843.
- 徐能海, 夏晓法. 2006. 湖北高山蔬菜产业发展现状及对策. 长江蔬菜, (11): 53-55.
- 徐珊珊. 2013. 太白县高山蔬菜产业现状及可持续发展对策研究 [硕士学位论文]. 杨凌: 西北农林科技大学.
- 詹秀环, 王子云, 沙俊利. 2012. 影响蔬菜中亚硝酸盐含量的因素研究. 湖北农业科学, 51(6): 1146-1160.
- 章明清, 李娟, 孔庆波, 姚宝全, 沈金泉. 2011. 福建结球甘蓝氮磷钾施肥指标研究. 热带作物学报, 32(9): 1624-1629.
- 赵欢, 孙倩倩, 王小晶, 何建平, 蔡国学, 韩淮安, 王洋, 王正银. 2010. 酸性紫色土定位施肥对甘蓝产量和品质的影响. 西南大学学报: 自然科学版, 32(5): 107-114.
- 赵世杰, 史国安, 董新纯. 2002. 植物生理学实验指导. 北京: 中国农业科学技术出版社.
- 赵书军, 李车书, 邱正明, 袁家富, 王永健, 佘国涵, 彭成林. 2012. 恩施市高山蔬菜施肥及连作现状调查. 中国蔬菜, (22): 88-93.
- 朱进, 柳文录. 2009. 恩施州高山蔬菜产业发展现状、问题及对策. 长江蔬菜, (19): 49-51.
- 朱静华, 高伟, 李明悦, 李玉华. 2013. 氮素对甘蓝产量、硝酸盐含量及氮吸收量的影响. 山西农业科学, 41(7): 712-715.

Effect of Chemical Fertilizer Applying Quantity on Yield and Quality of High Mountain Cabbage

ZHAO Shu-jun¹, LI Che-shu², QIU Zheng-ming³, YUAN Jia-fu¹, WANG Yong-jian², SI Guo-han¹, XU Da-bing^{1*}

(¹Institute of Plant Protection and Soil Fertilizer, Hubei Academy of Agricultural Sciences, Wuhan 430064, Hubei, China; ²Center of Agricultural Technology Extension, Enshi Agriculture Bureau, Enshi 445000, Hubei, China; ³Institute of Economic Crops, Hubei Academy of Agricultural Sciences, Wuhan 430064, Hubei, China)

Abstract: Taking 'Jingfeng No.1' as experiment material, this paper studied the effect of applying different amount of nitrogen (N), phosphorus (P) and potassium (K) chemical fertilizer, on the yield, quality and economic benefit of cabbage (*Brassica oleracea* L. var. *capitata* L.) planted in high mountain at western

叶面喷施不同植物废弃物堆肥茶对黄瓜生长及产量的影响

马秀明 程智慧* 李晨晔 刘涛

(西北农林科技大学园艺学院, 陕西杨凌 712100)

摘要: 以小麦秸秆、油菜秸秆、草坪草、三叶草、大蒜秸秆和混合材料添加 EM 菌发酵制作堆肥茶, 以塑料大棚中 Hoagland 营养液珍珠岩基质栽培的中农 29 号黄瓜为试材, 全生长期定期叶面喷施 6 种堆肥茶, 研究其对黄瓜生长及产量的影响。结果表明, 不同堆肥茶的化学成分和对黄瓜生长及产量的影响有显著性差异。除全氮含量略低于三叶草堆肥茶外, 草坪草堆肥茶中的氮、磷、钾及总可溶性有机碳含量均明显高于其余处理; 喷施草坪草堆肥茶后, 黄瓜植株根系活力、叶片叶绿素含量、果实中可溶性蛋白、VC 及可溶性糖的含量也显著升高, 分别比对照(喷施地下水)高 71.24%、18.40%、13.04%、60.57% 及 0.21 个百分点, 其促进效果明显高于其余堆肥茶; 除油菜堆肥茶外, 其余堆肥茶均不同程度地提高黄瓜产量, 尤以草坪草堆肥茶最为明显, 比对照提高 13.46%。综合比较认为, 喷施草坪草堆肥茶能显著促进黄瓜的形态建成, 增加叶片叶绿素含量, 提高果实产量和品质, 是适宜黄瓜的堆肥茶。

关键词: 黄瓜; 堆肥茶; 产量及品质; 有机营养; 植株形态建成

黄瓜是广泛栽种的重要蔬菜作物, 但随着设施栽培中土壤营养失衡、养分亏缺及连作障碍等问题日益加深, 尤其是无土栽培体系中, 单纯靠无机

营养液并不能满足黄瓜生长发育所需的全部营养成分, 且植株抗病性差, 严重影响蔬菜产量和品质的提升(牟善积等, 2000; 郎家庆等, 2003; 李廷轩等, 2005; 沈德龙等, 2007)。堆制腐熟的有机物料, 经过发酵获得水浸提液制成的堆肥茶, 含有大量的养分和有益微生物, 既具有一定的生防效应, 也是一种速效水溶肥(Harada, 1995; Haga, 1998); 不仅可以作为有机营养液施入土壤, 而且可以叶面喷施。用堆肥茶作为叶面肥来施用, 在大田作物、果树和蔬菜上已获得应用, 如小麦、苹

马秀明, 硕士研究生, 主要从事蔬菜栽培生理生态研究, E-mail: 15275381908@163.com

* 通讯作者 (Corresponding author): 程智慧, 教授, 博士生导师, 主要从事蔬菜栽培生理生态和生物技术研究, E-mail: chengzh@nwsuaf.edu.cn

收稿日期: 2016-10-11; 接受日期: 2017-01-16

基金项目: 国家“863”科技计划项目(K301021302), 陕西省科技统筹创新工程计划项目(2016KTCL02-01)

Hubei Province by field experiment method. The results showed that the highest yield was obtained by applying 375 kg · hm⁻² N fertilizer, which was 9.44% and 2.68% higher than that of 150 and 225 kg · hm⁻² N treatment, respectively. The cabbage yield of applying 180 kg · hm⁻² P fertilizer was 17.56% and 7.27% higher than 0 and 135 kg · hm⁻² P treatment, respectively. The yield of applying 525 kg · hm⁻² K fertilizer was 35.08% and 15.55% higher than 0 and 225 kg · hm⁻² K treatment, respectively. Therefore, increasing N, P and K fertilizer input could increase the ratio of free amino acid content, and the total acid content was decreased. At the same time, there existed a tendency of increasing the accumulation of nitrate. Increasing the application of K fertilizer could also increase the VC content of cabbage. In conclusion, the recommended N, P and K fertilizer application were 225-300 kg · hm⁻², 180-225 kg · hm⁻² and 225-300 kg · hm⁻² in mountainous areas at western Hubei Province.

Key words: Cabbage; Fertilizing amount; Yield; Economic benefit; Quality