

不同施肥模式对小白菜生长、营养累积 及菜地氮、磷流失的影响*

黄东风^{1,2} 王果² 李卫华¹ 邱孝煊¹

(1. 福建省农业科学院土壤肥料研究所 福州 350013; 2. 福建农林大学资源与环境学院 福州 350002)

摘要 在天然降雨条件下,通过田间小区试验,研究了7种不同施肥模式(不施肥,化肥基施,化肥基追肥各半,化肥和双氰胺基施,化肥和双氰胺基追肥各半,化肥和有机肥各半,有机肥)对小白菜植株株高、株重、产量、氮磷钾累积量、肥料利用率及菜地硝态氮、氨态氮及水溶性总磷随地表径流流失的影响。结果表明,与不施肥对照处理相比,化肥和有机肥各半、化肥和双氰胺基追肥各半2种施肥模式不仅能改善小白菜生长农艺性状,可分别提高产量154.44%和172.18%,增加植株氮、磷、钾累积量183.20%和327.21%、310.49%和247.67%、205.95%和189.39%,蔬菜种植期间菜地土壤硝态氮总量、水溶性总磷随地表径流的流失量还能分别减少63.10%和56.53%、39.97%和48.44%,从而明显减少了菜地土壤造成的农业面源污染,因此,该2种施肥模式值得在今后蔬菜生产上加以推广应用;而化肥基施的施肥模式明显促进了菜地土壤硝态氮、氨态氮和水溶性磷随地表径流的流失,故此种施肥模式在蔬菜生产上应加以避免。

关键词 小白菜 施肥模式 产量 氮磷钾累积 肥料利用率 氮磷流失

中图分类号: S157.1 文献标识码: A 文章编号: 1671-3990(2009)04-0619-06

Effect of fertilization mode on growth and nutrition accumulation in vegetables, and loss of nitrogen and phosphorus in vegetable fields

HUANG Dong-Feng^{1,2}, WANG Guo², LI Wei-Hua¹, QIU Xiao-Xuan¹

(1. Soil and Fertilizer Institute, Fujian Academy of Agricultural Sciences, Fuzhou 350013, China; 2. College of Resource and Environment, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China)

Abstract Field plot trials involving 7 fertilization modes (non-fertilizer, chemical fertilizer as base manure, chemical fertilizer as half-base manure and half-dressing manure, chemical fertilizer and dicyandiamide as base manure, chemical fertilizer and dicyandiamide as half-base manure and half-dressing manure, combined chemical fertilizer and organic manure, and organic manure) were conducted under rain-fed conditions. Then the effect of the fertilization modes on plant height, weight, yield, as well as nitrogen, phosphorus and potassium accumulation, fertilizer utilization ratio, and loss of nitrate-N, ammonia-N and water-soluble-P in vegetable fields was investigated. Compared with the control treatment, results show that two fertilization modes (combined chemical fertilizer and organic manure, chemical fertilizer and dicyandiamide as half-base manure and half-dressing manure), improve plant agri-properties, respectively increase vegetable yield by 154.44% and 172.18%, enhance nitrogen, phosphorus and potassium accumulation in vegetables by 183.20% and 327.21%, 310.49% and 247.67%, 205.95% and 189.39% respectively. The two application modes also decrease the total amount of nitrate-N and ammonia-N, and water-soluble-P loss via runoff in vegetable fields by 63.10% and 56.53%, 39.97% and 48.44% respectively. Consequently, agro-non-point sources pollution from vegetable fields significantly drop under the two fertilization modes. Therefore, the two fertilization modes should be adopted in future vegetable production. If chemical fertilizer is as base manure, loss of nitrate-N, ammonia-N and water-soluble-P via runoff would increase.

Key words *Brassica chinensis*, Fertilization mode, Yield, NPK accumulation, Fertilizer utilization rate, NP loss

(Received July 5, 2008; accepted Nov. 7, 2008)

* 福建省自然科学基金项目(2006J0249, U0650005)和福建省科技厅重点项目(2007T0015)资助

黄东风(1975-),男,副研究员,博士研究生,主要从事土壤肥料、生态农业及农业环境保护方面的研究。E-mail: hdf-1@163.net
收稿日期: 2008-07-05 接受日期: 2008-11-07

施肥是农田土壤养分的重要来源,也是造成地表水和地下水污染的重要因素。为提高蔬菜产量,菜农大量施用化肥,特别是氮肥,一些地方施氮量高达 $3\ 300\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2[1]}$,超过作物需求量的数倍;在蔬菜生产上,全年 2~3 季共施 N $600\sim 1\ 300\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 极为常见^[2]。这样大量的投入,而氮支出仅为 21%~36%^[3],必然促使土壤中 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 大量累积;又因为大多数蔬菜是浅根系和没有庞大根系的作物,若遇灌水过量或降水量较大的情况, $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 极易被淋洗到地下水,或地面径流把土壤表层的氮和磷携带入周围的地表水(渠、沟、河、湖)^[4]。过量或不合理施肥对地表水和地下水产生的污染问题已被国内外学者所关注^[5-11]。由于氮、磷污染物随地表径流流失机理的复杂性以及作物生长发育与土壤条件的区域性,目前虽然对农田径流氮、磷流失影响因素研究已有报道,但田间施肥对农田径流氮、磷污染负荷的控制研究还处于探索阶段^[12-14]。特别是不同施肥方法、不同肥料配方对农田地表径流氮、磷流失的定量研究鲜见报道^[15]。而关于不同施肥措施与作物产量、品质及其农田面源污染物质(氮、磷)流失的定量研究在国内外报道甚少。因此,本文以农业面源污染风险极高的蔬菜地为研究对象,通过田间小区试验,研究了几种不同施肥模式与蔬菜生长、营养累积和肥料利用率、菜地氮磷随地表径流流失的关系,为解决蔬菜生产引起的高风险农业面源污染问题提供丰产、优质且环境友好的施肥模式,是既能保障蔬菜食品安全,又能从源头上控制菜地农业面源污染的重要举措,具有重要的现实意义。

1 材料与方 法

1.1 试验设计

试验在福州市晋安区新店镇埔党村进行,土壤类型为灰黄泥菜园土,土壤肥力中等。设不施肥(CK,

对照)、基施化肥(CF1, 666.7 m^2 施纯 N 12 kg, P_2O_5 4.8 kg, K_2O 6.0 kg)、化肥基追肥各半(CF2)、化肥和双氰胺基施(CFD1)、化肥和双氰胺基追肥各半(CFD2)、化肥和有机肥各半(COF)和施有机肥(OF)7 种不同施肥模式,3 次重复,每个试验小区面积 2 m^2 。试验以等氮施用量为基础,兼顾氮磷钾养分平衡。所用肥料品种为尿素(N46%)、磷酸一铵(N10%, P_2O_5 50%)、氯化钾(K_2O 60%)、双氰胺(N67%)和“农地乐”牌精制有机肥(N0.90%、 P_2O_5 2.29%、 K_2O 0.64%,福建省农业科学院土壤肥料研究所农普农化服务公司提供)。尿素和双氰胺按试验设计的基追肥比例施用,磷酸一铵、氯化钾和有机肥结合小区整地作为基肥施用。每茬蔬菜各试验小区的施肥情况见表 1。供试蔬菜为小白菜,品种为“清江白菜”,2007 年 3 月 30 日播种,4 月 29 日追肥,5 月 14 日采收、考种并测产。

1.2 试验小区及径流池建设、径流样品采集

各试验小区四周均用土块夯实垒成田埂,高和宽各 20 cm,将各小区隔开,田埂用塑料防水布包裹并垂直埋入离表土深 60 cm 处,以防止降雨时各小区地表径流互相串灌及侧渗的影响。在试验地附近安装雨量计 1 架,记录试验期间每天的降雨量。于每个试验小区同一方向出水口安装 1 个径流池(100 L 的塑料桶),以收集小区地表径流,塑料桶用塑料盖盖严,仅于取水样时打开,以防止降雨时雨水和田间小动物跌入径流池内。试验小区和径流池之间用内直径为 5 cm 的 PVC 管连接,PVC 管内底壁与小区地表面处于同一水平。在每次降雨结束并产生径流后,用刻度尺(精确度 1 mm)测量各个径流池内水深度,并计算径流水体积;同时分别取每个径流池内(经充分搅匀)径流水样 500 mL 于干净的塑料纯净水瓶中,放入便携式保温冰箱并立即送往实验室供化验。取样结束后,将径流池内的径流水和泥沙清理干净,以供下次降雨备用。

表 1 每茬蔬菜各处理每小区所施用的肥料品种及数量

Tab.1 Variety and amount of fertilizers used in each trial plot of different fertilization treatments in one stubble of vegetable

处理 Treatment	尿素 Urea	磷酸一铵 Monoammomium phosphate	氯化钾 Potassium chloride	双氰胺 Dicyandiamide	有机肥 Organic fertilizer
CK	—	—	—	—	—
CF1	72.00 (基肥 Base manure)	28.80	30.00	—	—
CF2	72.00 (1/2 基肥 Base manure+ 1/2 追肥 dressing manure)	28.80	30.00	—	—
CFD1	68.34 (基肥 Base manure)	28.80	30.00	2.52 (基肥 Base manure)	—
CFD2	68.34 (1/2 基肥 Base manure+ 1/2 追肥 dressing manure)	28.80	30.00	2.52 (1/2 基肥 Base manure+ 1/2 追肥 dressing manure)	—
COF	39.12 (追肥 Dressing manure)	—	8.64	—	2 000
OF	—	—	—	—	4 000

1.3 分析测定方法

地表径流水样测定方法参照文献[16], 硝态氮采用紫外分光光度法, 氨态氮采用靛酚蓝比色法, 水溶性总磷采用过硫酸钾消解-钼锑抗分光光度法测定; 植株全氮、全磷、全钾的测定方法参照文献[17]。

数据采用 SPSS 统计软件和 Excel 办公软件进行处理。

2 结果与分析

2.1 不同施肥模式对小白菜植株农艺性状及生物产量的影响

试验结果(表 2)表明: 与不施肥处理 CK 相比, 其他几种不同施肥模式均表现出促进小白菜植株株高生长和株重增加的趋势。对小白菜株高的增加幅度为 33.20%~68.41%, 促进作用大小顺序依次为 CF2>CFD2>CFD1>COF>CF1>OF>CK; 方差分析结果显示, CF2、CFD2、CFD1、COF 和 CF1 之间差异不显著, 而均显著高于 OF(有机肥)处理, 这可能是由于有机肥的营养元素有效性较缓所致。对小白菜株重的增加幅度为 132.22%~328.07%, 促进效果大小顺序依次为 CF1>CF2>CFD2>CFD1>COF>OF>CK; 方差分析结果显示, CF1、CF2、CFD2、CFD1 和 COF 之间差异不显著, 而均显著高于 OF(有机肥)

处理。与不施肥处理 CK 相比, 其他几种不同施肥模式均能极显著或显著提高小白菜产量, 增产幅度为 74.60%~197.85%, 提高作用大小顺序依次为 CF2>CFD2>CFD1>CF1>COF>OF>CK; 方差分析结果显示, CF2 与 CFD2、CFD1 之间差异不显著, 但显著优于 CF1 和 COF 处理, 极显著高于 OF 处理。

2.2 不同施肥模式对蔬菜植株氮、磷、钾累积量的影响

试验结果(表 3)表明, 与不施肥处理 CK 相比, 其他几种不同施肥模式均能一定程度促进蔬菜植株 N、P、K 累积量的增加。对小白菜植株 N 累积量的增加幅度为 80.68%~327.21%, 促进作用大小顺序依次为 CFD2>CFD1>CF2>CF1>COF>OF>CK; 方差分析结果显示, CFD2、CFD1、CF2 与 CF1、COF 之间差异不显著, 但都显著优于 OF 处理, 这可能与有机肥氮素对作物当季利用率比化肥低的原因所致。对小白菜植株 P 累积量的增加幅度为 129.53%~310.49%, 促进作用大小顺序依次为 COF>CF2>CF1>CFD1>CFD2>OF>CK; 方差分析结果显示, 对小白菜植株 P 累积量增加的促进效果, COF、CF2、CF1、CFD1、CFD2 之间差异未达显著水平, 但都显著优于 OF 处理。对小白菜植株 K 累积量的增加幅度为 124.28%~205.95%, 促进作用大小顺序依次为

表 2 不同施肥模式对小白菜植株农艺性状及产量的影响
Tab.2 Effects of different fertilization treatments on plant agricultural properties and yield of Chinese cabbage

处理 Treatment	株高 Height		株重 Weight		产量 Yield (fresh weight)		
	cm	± (%)	g · plant ⁻¹	± (%)	kg · plot ⁻¹	± (%)	kg · hm ⁻²
CK	13.27Cc	0.00	11.14Cc	0.00	3.57Dd	0.00	17 834
CF1	20.49ABa	54.40	47.69Aa	328.07	9.45Bb	164.71	47 252
CF2	22.35Aa	68.41	47.69Aa	328.06	10.63Aa	197.85	53 169
CFD1	20.99ABa	58.17	46.61Aa	318.43	9.53ABab	167.04	47 669
CFD2	21.93Aa	65.20	46.63Aa	318.54	9.72ABab	172.18	48 586
COF	20.79ABa	56.66	40.04ABa	259.45	9.08Bb	154.44	45 419
OF	17.68Bb	33.20	25.87Bb	132.22	6.23Cc	74.60	31 168

表中数值后大写字母表示 1% 显著性水平, 小写字母表示 5% 显著性水平(LSD 检验法), 下同。 Small and capital letters indicate the difference at 5% and 1% levels, respectively (Inspected by LSD), The same below.

表 3 不同施肥模式对小白菜植株氮、磷、钾累积量的影响
Tab.3 Effects of different fertilization treatments on the accumulative amount of N, P and K in plant of Chinese cabbage

处理 Treatment	N 累积量			P 累积量			K 累积量		
	Accumulative amount of N			Accumulative amount of P			Accumulative amount of K		
	g · plot ⁻¹	± (%)	kg · hm ⁻²	g · plot ⁻¹	± (%)	kg · hm ⁻²	g · plot ⁻¹	± (%)	kg · hm ⁻²
CK	7.05Cc	0.00	35.26	1.49Bb	0.00	7.42	5.99Ab	0.00	29.96
CF1	22.33ABab	216.71	111.66	5.77Aa	288.30	28.83	13.58Aab	126.74	67.92
CF2	27.40Aa	288.64	137.02	6.05Aa	307.57	30.26	17.07Aa	184.92	85.35
CFD1	29.58Aa	319.50	147.90	5.63Aa	279.01	28.14	13.96Aa	132.95	69.78
CFD2	30.12Aa	327.21	150.62	5.16Aa	247.67	25.82	17.34Aa	189.39	86.69
COF	19.97ABab	183.20	99.85	6.10Aa	310.49	30.48	18.33Aa	205.95	91.65
OF	12.74BCbc	80.68	63.70	3.41ABb	129.53	17.04	13.44Aab	124.28	67.19

植株 N(P、K)累积量(g · 小区⁻¹)=小区蔬菜植株干物质产量(g · 小区⁻¹)×对应小区植株 N(P、K)含量(%). Accumulative amount of N(P, K) in plant (g · plot⁻¹)=dry matter yield of plant in one plot (g · plot⁻¹)×N(P, K) content in plant of corresponding plot(%).

COF>CFD2>CF2>CFD1>CF1>OF>CK；方差分析结果显示,对小白菜植株 K 累积量增加的促进效果,几种不同施肥模式(CK 除外)之间差异不显著。

2.3 不同施肥模式对小白菜氮、磷、钾肥利用率的影响

表 4 表明:几种不同施肥模式下小白菜的氮肥利用率波动范围为 14.53%~63.90%。与 CF1 相比,CF2、CFD1 和 CFD2 均能一定程度提高小白菜对氮肥的利用率,提高幅度为 33.61%~53.32%；OF 表现出降低现象,这可能是由于蔬菜对有机肥氮的利用率低于化肥氮的缘故。对氮肥利用率的高低顺序依次为 CFD2>CFD1>CF2>CF1>COF>OF。方差分析结果显示,CFD2、CFD1 与 CF2 都显著优于 OF 处理;CF1、COF 及 OF 间差异不显著,这可能与有机肥氮素对作物有效性比化肥氮低有关。几种不同施肥模式下小白菜的磷肥利用率为 5.33%~73.38%。与 CF1 相比,其他几种施肥处理对小白菜磷肥利用率仅 CF2 处理表现为提高,其余处理均表现出降低趋势。本试验施用有机肥处理(COF 和 OF)的磷肥利用率低,其可能原因一是有机肥磷元素对蔬菜的有效性低于化肥磷,二是有机肥 P/N 比值较高,在施用等量氮肥的情况下,有机肥 P 的施用量较大,导致其利用率降低。方差分析结果显示,CF2、CF1、CFD1 和 CFD2 之间差异不显著,但均显著优于 COF 和 OF 处理。几种不同施肥模式下小白菜的钾肥利用率波动范围为 33.69%~81.71%。与 CF1 相比,其他几种不同施肥模式(OF 除外)均能一定程度提高小白菜对钾肥的利用率,提高幅度为 2.22%~60.65%。几种不同施肥模式对小白菜钾肥利用率的高低顺序依次为 COF>CFD2>CF2>CFD1>CF1>OF。OF 处理小白菜对钾肥利用率低的原因可能与其钾施用量(21 g·小区⁻¹)高于其他处理(15 g·小区⁻¹)有关。方差分析结果显示,几种不同施肥模式之间的差异不显著。

2.4 不同施肥模式对菜地氮、磷流失的影响

2.4.1 小白菜生育期间菜地降雨分布情况

小白菜种植期间(2007-03-30~05-14)下雨天数累计 5 d(图 1),雨量累计 72.2 mm。4 月 17 日降雨 21.0 mm,次日上午收集到第 1 次径流水样;4 月 22~24 日共降雨 43.3 mm,于 25 日上午收集到第 2 次径流水样;4 月 29 日降雨 7.9 mm,未产生径流。

2.4.2 不同施肥模式对小白菜种植期间菜地地表径流硝态氮和氨态氮流失的影响

表 5 表明:不同施肥模式下,菜地通过地表径流流失的硝态氮量为 51.23~131.59 mg·小区⁻¹,占硝态氮总流失量的 80.43%~89.86%,氨态氮流失量为 7.61~32.02 mg·小区⁻¹,占硝态氮总流失量的 10.14%~19.57%;几种不同施肥模式下,菜地通过地表径流流失的硝、氨态氮总量由大到小顺序为 CF1>CF2>CFD1>OF>CFD2>CK>COF,与 CF1 相比,其他几种施肥模式硝、氨态氮流失幅度可减少 30.49%~63.10%,折合减少硝、氨态氮流失总量 249.40~516.15 g·hm⁻²。方差分析显示,对减少径流水中硝、氨态氮流失总量的效果,COF、CK 效果最佳,

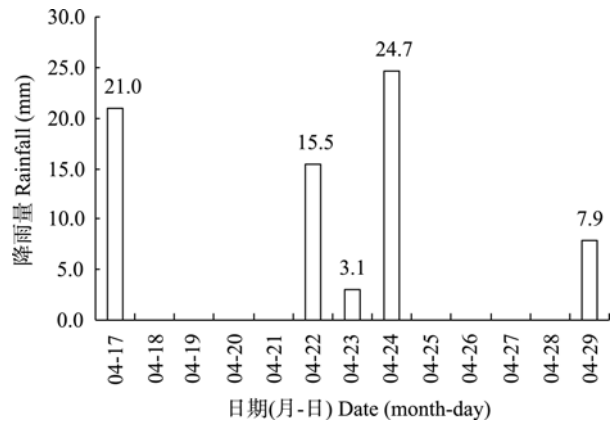


图 1 蔬菜生育期间降雨量分布情况
Fig. 1 Distribution of rainfall during the period of vegetable growth

表 4 不同施肥模式对小白菜所施氮、磷、钾肥利用率的影响

Tab. 4 Effects of different fertilization treatments on utilization ratio of N, P or K fertilizer applied in vegetable field

处理 Treatment	氮肥利用率		磷肥利用率		钾肥利用率	
	Utilization ratio of N fertilizer		Utilization ratio of P fertilizer		Utilization ratio of K fertilizer	
	%	± (%)	%	± (%)	%	± (%)
CK	—	—	—	—	—	—
CF1	41.84ABab	0.00	67.98Aa	0.00	50.86Aa	0.00
CF2	55.74ABa	33.61	73.38Aa	7.96	75.49Aa	48.42
CFD1	62.16ABa	49.11	66.36Aa	-2.38	51.99Aa	2.22
CFD2	63.90Aa	53.32	58.72ABa	-13.61	75.61Aa	48.67
COF	34.99ABab	-16.54	23.14BCb	-65.96	81.71Aa	60.65
OF	14.53Bb	-65.99	5.33Cb	-92.16	33.69Aa	-33.76

蔬菜 N(P、K)肥利用率(%) = 100 × [施肥处理小区蔬菜植株 N(P、K)累积量 - 不施肥处理小区蔬菜植株 N(P、K)累积量] / 施肥处理小区 N(P、K)肥施用量。Utilization ratio of N(P、K) fertilizer (%) = 100 × [accumulative amount of N(P、K) in vegetable planted in fertilized plot - accumulative amount of N(P、K) in vegetable planted in non-fertilized plot] / amount of N(P、K) fertilizer applied in fertilized plot.

表 5 不同施肥模式对蔬菜种植期间菜地地表径流硝、氨态氮流失的影响
Tab. 5 Effects of different fertilization treatments on the amount of nitrate-N and ammonia-N lost from vegetable field during the session of planting

处理 Treatment	硝态氮流失量 Amount of lost nitrate-N		氨态氮流失量 Amount of lost ammonia-N		总量 Total		
	mg · plot ⁻¹	比例 Proportion (%)	mg · plot ⁻¹	比例 Proportion (%)	mg · plot ⁻¹	± (%)	g · hm ⁻²
CK	57.11Dd	88.25	7.61Bc	11.75	64.71Cd	-60.45	323.56
CF1	131.59Aa	80.43	32.02Aa	19.57	163.61Aa	0.00	818.05
CF2	100.88ABb	88.70	12.85Bbc	11.30	113.73Bb	-30.49	568.65
CFD1	98.49ABCb	87.22	14.43Bb	12.78	112.92Bb	-30.98	564.62
CFD2	63.07CDcd	88.67	8.06Bc	11.33	71.13Ccd	-56.53	355.65
COF	51.23Dd	84.85	9.15Bbc	15.15	60.38Cd	-63.10	301.90
OF	85.55BCDbc	89.86	9.65Bbc	10.14	95.20BCbc	-41.81	476.01

硝(氨)态氮流失量(mg · 小区⁻¹)=径流水体积(L · 小区⁻¹)×径流硝(氨)态氮浓度(mg · L⁻¹) Amount of lost nitrate-N (or ammonia-N) (mg · plot⁻¹)=volume of runoff (L · plot⁻¹)×concentration of nitrate-N (or ammonia-N) in runoff (mg · L⁻¹); 表中硝(氨)态氮流失量为蔬菜种植期间多次地表径流中硝(氨)态氮流失量的累加 Amount of lost nitrate-N (or ammonia-N) in above table is the accumulative amount of lost nitrate-N (or ammonia-N) from vegetable field during the session of planting.

与 CFD2 之间差异不显著, 显著优于 OF、CF2, 同时极显著优于 CFD1、CF2 和 CF1 处理。由此可见, COF 和 CFD2 处理能有效减少菜地水溶性无机氮(硝态氮和氨态氮)随地表径流的流失量; 而 CF1 是最容易引起菜地水溶性无机氮随地表径流流失的施肥模式。

2.4.3 不同施肥模式对小白菜种植期间菜地地表径流水溶性磷流失的影响

表 6 表明: 不同施肥模式下, 菜地通过地表径流流失的水溶性总磷为 61.16~131.36 mg · 小区⁻¹, 折合流失量为 305.79~656.81 g · hm⁻²; 流失量由大到小顺序为 CF1>CF2>CFD1>COF>CFD2>OF>CK; 与 CF1 相比, 其他几种施肥模式水溶性磷流失量减少幅度为 35.85%~53.44%, 折合减少水溶性磷流失量 235.49~351.02 g · hm⁻²。方差分析结果显示, 对减少地表径流中水溶性磷流失量的效果, CK、OF、

表 6 不同施肥模式对蔬菜种植期间菜地地表径流水溶性磷流失的影响

Tab. 6 Effect of different fertilization treatments on the amount of water-soluble-P lost from vegetable field during the session of planting

处理 Treatment	水溶性磷流失量 Amount of lost water-soluble-P		
	mg · plot ⁻¹	± (%)	g · hm ⁻²
CK	61.16 Bb	-53.44	305.79
CF1	131.36 Aa	0.00	656.81
CF2	84.27 Bb	-35.85	421.32
CFD1	83.74 Bb	-36.25	418.70
CFD2	67.74 Bb	-48.44	338.69
COF	78.86 Bb	-39.97	394.29
OF	67.53 Bb	-48.59	337.65

水溶性磷流失量(mg · 小区⁻¹)=径流水体积(L · 小区⁻¹)×径流水溶性磷浓度(mg · L⁻¹) Amount of lost water-soluble-P (mg · plot⁻¹)=volume of runoff (L · plot⁻¹)×concentration of water-soluble-P in runoff (mg · L⁻¹); 表中水溶性磷流失量为蔬菜种植期间多次地表径流中水溶性磷流失量的累加 Amount of lost water-soluble-P in above table is the accumulative amount of lost water-soluble-P from vegetable field during the session of planting.

CFD2、COF、CFD1、CF2 之间差异不显著, 但都极显著优于 CF1。可见, CF1 是最容易引起菜地水溶性磷随地表径流流失的施肥模式。

3 结论

3.1 不同施肥模式对小白菜植株农艺性状及产量的影响

试验结果表明, 与不施肥处理(CK)相比, 本试验所设计的其他几种施肥模式均表现出明显促进小白菜植株高生长、株重增加和产量提高的规律, 提高幅度分别为 33.20%~68.41%、132.22%~328.07%和 74.60%~197.85%。在等氮施用情况下, 施用有机肥模式(即化肥有机肥各半、有机肥)的小白菜长势和产量低于施用化肥模式(即化肥基施、化肥基追肥各半、化肥和双氰胺基施、化肥和双氰胺基追肥各半), 这可能是由于有机肥肥效较缓慢且后效较长等原因引起的, 需要多茬蔬菜种植加以验证。

3.2 不同施肥模式对蔬菜植株氮、磷、钾累积量及肥料利用率的影响

试验结果表明: 与不施肥处理(CK)相比, 几种施肥模式均能一定程度促进小白菜植株氮、磷、钾累积量的增加, 对小白菜氮、磷、钾累积量的提高幅度分别为 80.68%~327.21%、129.53%~310.49%和 124.28%~205.95%。其中, 对小白菜植株氮含量的累积, 施用化肥模式优于施用有机肥模式; 对植株磷含量的累积, 以化肥有机肥各半施肥模式为最佳; 对植株钾含量的累积, 施用有机肥模式略优于施用化肥模式。在试验设计的几种施肥模式下, 小白菜的氮、磷和钾肥利用率波动范围分别为 14.53%~63.90%、5.33%~73.38%和 33.69%~81.71%。其中, 对氮肥利用率和磷肥利用率, 施用化肥模式均大体上优于施用有机肥模式; 而对钾肥利用率, 施用有机

肥模式略优于施用化肥模式。

3.3 不同施肥模式对小白菜种植期间菜地地表径流硝态氮、氨态氮和水溶性磷流失的影响

受天然降雨周期长且难以人为控制^[18], 田间野外径流监测成本高、难度大, 且费时费力等诸多困难的影响, 目前关于在自然降雨条件下田间施肥措施与菜地氮、磷随地表径流流失的关系研究很少, 虽然有少量报道采用人工模拟降雨方法或应用美国 SCS 法推算降雨径流量等方法研究了田间施肥与菜地氮、磷流失的关系^[19-22], 但其研究结果与天然降雨情况及地表径流量实地监测结果仍存在一定差异。本研究结果表明: 试验设计的几种施肥模式下, 小白菜种植期间菜地通过地表径流流失的硝态氮量为 51.23~131.59 mg·小区⁻¹, 占硝态氮总流失量的 80.43%~89.86%, 氨态氮流失量为 7.61~32.02 mg·小区⁻¹, 占硝态氮总流失量的 10.14%~19.57%; 其中, CF1 处理的硝、氨态氮流失总量最大(163.61 mg·小区⁻¹), 其他几种施肥模式可减少流失 30.49%~63.10%, 折合减少硝、氨态氮流失总量 249.40~516.15 g·hm⁻²。几种不同施肥模式下, 菜地通过地表径流流失的水溶性总磷为 61.16~131.36 mg·小区⁻¹, 折合流失量为 305.79~656.81 g·hm⁻²; CF1 处理的水溶性总磷流失量最大(131.36 mg·小区⁻¹), 其他几种施肥模式流失量减少幅度为 35.85%~53.44%, 折合减少水溶性磷流失量 235.49~351.02 g·hm⁻²。对减少菜地地表径流水的硝态氮、氨态氮和水溶性磷含量, 施用有机肥模式总体上优于施用化肥模式; 而化肥基施最易导致菜地土壤硝态氮、氨态氮和水溶性磷随地表径流流失。因此, 蔬菜生产上应减少采用此种施肥模式。

综上所述, 化肥和有机肥各半、化肥双氰胺基追肥各半等 2 种施肥模式, 不仅能有效改善小白菜生长的农艺性状, 提高植株氮、磷、钾营养元素的累积量和肥料利用率, 还能明显减少蔬菜种植期间菜地土壤硝态氮、氨态氮和水溶性总磷随地表径流的流失量, 从而减少了菜地土壤的氮、磷对水体造成的农业面源污染。因此, 该两种施肥模式值得在今后蔬菜生产上加以推广应用。

参考文献

- 贾继文, 李文庆. 山东省蔬菜大棚土壤养分状况与施肥状况的调查研究[M]//谢建昌, 陈际型. 菜园土壤肥力与蔬菜合理施肥. 南京: 河海大学出版社, 1997: 73-75
- Cao Z. H., Huang J. F. Soil quality evolution and public healthy issues after land use change from rice to vegetables[C]. Paper presented at the international conference on environment change and public healthy. Hong Kong: Baptist University Hong Kong, 2002: 12-16
- 张维理, 田哲旭, 张宁, 等. 我国北方农用氮肥造成地下水硝酸盐污染的调查[J]. 植物营养与肥料学报, 1995, 1(2): 80-87
- 曹志洪. 施肥与水体环境质量——论施肥对环境的影响(2)[J]. 土壤, 2003, 35(5): 353-363
- 贾继元, 吴建军, 张苗. 肥料结构对红壤氮素淋失的影响及防治措施[J]. 农机化研究, 2005 (1): 56-58
- 宋玉芳, 任丽萍, 许华夏. 不同施肥条件下旱田养分淋溶规律实验研究[J]. 生态学杂志, 2001, 20(6): 20-24
- 庄舜尧, 孙秀廷. 肥料氮在蔬菜地中的去向及平衡[J]. 土壤, 1997 (2): 80-83
- Aminuddin B. Y., Wan Abdullah W. Y., Zulkefli M., et al. Monitoring of inorganic constituents in surface water and groundwater in selected agroecosystems in the Cameron Highlands (ACIAR Proceedings No.104)[C]. Agrochemical Pollution of Water Resources. Canberra, Australia: Australian Centre for International Agricultural Research (ACIAR), 2001: 32-44
- Daniel T. C., Sharpeley A. N., Lemunyon J. L. Agricultural phosphorus and eutrophication: A symposium overview[J]. Journal of Environmental Quality, 1998, 27: 251-257
- Edwards A. C., Withers P. J. A. Soil phosphorus management and water quality: A UK perspective[J]. Soil Use and Management, 1998, 14: 124-130
- Spalding R. F., Walts D. G., Schepers J. S., et al. Controlling nitrate leaching in irrigated agriculture[J]. Journal of Environmental Quality, 2001, 30: 1184-1194
- 袁东海, 王兆赛, 陈欣, 等. 不同农作方式红壤坡耕地上土壤氮素流失特征[J]. 应用生态学报, 2002, 13(7): 863-866
- 张兴昌, 邵明安. 坡地土壤氮素与降雨-径流的相互作用机理及模型[J]. 地理科学进展, 2000, 19(2): 128-134
- 张志剑, 胡勤海, 朱荫溥. 农业面源污染与水体保护[J]. 杭州科技, 1999 (6): 23-24
- 潘根兴, 焦少俊, 李恋卿, 等. 低施磷水平下不同施肥对太湖地区黄泥土磷迁移性的影响[J]. 环境科学, 2003, 24(3): 91-95
- 国家环境保护总局水和废水监测分析海洋法编委会. 水和废水监测分析方法(第 4 版)[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2002
- 中国土壤学会. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000
- 杨丽霞, 杨桂山, 苑韶峰, 等. 不同雨强条件下太湖流域典型蔬菜地土壤磷素的径流特征[J]. 环境科学, 2007, 28(8): 1763-1769
- 段永惠, 张乃明, 张玉娟. 施肥对农田氮磷污染物径流输出的影响研究[J]. 土壤, 2005, 37(1): 48-51
- 杨丽霞, 杨桂山, 苑韶峰, 等. 影响土壤氮素径流流失的因素探析[J]. 中国生态农业学报, 2007, 15(6): 190-194
- 梁新强, 陈英旭, 李华, 等. 雨强及施肥降雨间隔对油菜田氮素径流流失的影响[J]. 水土保持学报, 2006, 20(6): 14-17
- 胡志平, 郑祥民, 黄宗楚, 等. 上海地区不同施肥方式氮磷随地表径流流失研究[J]. 土壤通报, 2007, 38(2): 310-313