

# 腐植酸钾对小白菜产量、生理特性 及养分利用效率的影响

王宇函 姜存仓 吕波 闫磊

华中农业大学资源与环境学院/微量元素研究中心, 武汉 430070

**摘要** 在盆栽条件下,以小白菜(*Brassica chinensis*)‘四月慢’为试验材料,通过设置不同水平(0、0.01%、0.1%、0.3%、0.5%)的腐植酸钾,研究其对小白菜产量、生理特性以及养分吸收利用效率等的影响。结果表明:施用腐植酸钾可显著改善小白菜产量,且腐植酸钾施用量为 0.1%时产量最高,比对照提高 37.1%;MDA 含量和抗氧化酶活性发生改变。此外,施用腐植酸钾后小白菜 N、P、K 含量均增加,其中 N、K 上升显著。小白菜植株的 N、P、K 总积累量先上升后降低,均在腐植酸钾施用量为 0.1%时总积累最大,分别提高 56.4%、37.3%、50.7%。施用腐植酸钾后小白菜植株 N、P 的养分吸收效率(AE)、养分偏生产力(PFP)和养分干物质效率(DME)比对照显著增加,且腐植酸钾施用量为 0.1%时增幅最大;N 含量分别提高 55.6%、42.2%和 42.2%,P 含量分别上升 40.0%、40.0%和 30.0%。K 的 AE、PFP 和 DME 在 0.01%和 0.1%时高于对照,0.3%和 0.5%时低于对照处理。

**关键词** 腐植酸钾;小白菜;养分利用效率;肥料利用率;生理特性

**中图分类号** S 634.3 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2018)01-0058-06

蔬菜是我国主要的农产品之一,提高蔬菜产量是保障国家粮食安全的重要途径之一。肥料对作物产量增加的贡献率超过 40%<sup>[1]</sup>。过度施肥导致土壤板结、土壤酸化、环境污染<sup>[2]</sup>。因此,在保障作物产量与安全的前提下,提高养分利用率、减少化肥施用量成为亟待解决的问题。腐植酸与钾元素混合制成的腐植酸钾(potassium humate, HA-K)是一种大分子天然有机酸,在农业生产中主要用于生产肥料。腐植酸钾不仅可以刺激作物根系生长、活化土壤养分,而且对氮、磷、钾等养分具有吸附、缓释等作用,具有提高产量、改善作物品质、改良土壤及提高肥料利用率等作用<sup>[3-4]</sup>。研究表明,施用腐植酸钾可以显著提高土壤有机质含量,增加甘薯、烟叶、玉米等的产量<sup>[5-8]</sup>。Fagbenro 等<sup>[9]</sup>试验表明,在土壤或营养液中加入黄腐酸能促进作物对 N、P、K 的吸收,其中对 N、P 的吸收分别增加 74%和 72%。王汝娟等<sup>[10]</sup>发现甘薯施用腐植酸钾后增产 24.18%,钾素吸收利用率和农学利用效率显著提高。Kumar 等<sup>[11]</sup>研究发现,与单独施用化学肥料相比,腐植酸

钾与化学肥料配合施用对水稻株高、分蘖数、穗长以及产量的促进效果更显著。本研究在前人研究的基础上,探究不同用量的腐植酸钾对小白菜产量、生理特性以及养分利用效率的影响,以期为腐植酸钾在蔬菜生产与肥料中的应用提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验条件与材料

1) 试验条件。试验于 2017 年在华中农业大学盆栽场进行。供试土壤为黄棕壤,取自大田耕作层,土壤经自然风干后,除去石块及植物未腐烂残体后研磨过孔径 2 mm 筛,混匀后备用。其基础理化性状为:全氮 0.81 g/kg,碱解氮 38.90 mg/kg,速效磷 49.2 mg/kg,速效钾 169.4 mg/kg, pH 5.2,有机质 13.3 g/kg。

2) 试验材料。供试小白菜品种为‘四月慢’(*Brassica chinensis*)。供试腐植酸钾(potassium humate, HA-K)易溶于水(pH 8.2,有机质含量为

收稿日期: 2017-05-27

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项(2017PY055)

王宇函,硕士研究生。研究方向:农业资源与新型肥料。E-mail: wangyuhan@webmail.hzau.edu.cn

通信作者: 姜存仓,博士,教授。研究方向:农业资源与新型肥料。E-mail: jcc2000@mail.hzau.edu.cn

70%, K<sub>2</sub>O 含量为 10%), 黑色粉末, 新疆双龙腐植酸有限公司生产。

## 1.2 试验设计

采用土培盆栽试验, 每盆装干土 1.5 kg, 设置 T<sub>1</sub>(CK)、T<sub>2</sub>(0.01% HA-K)、T<sub>3</sub>(0.1% HA-K)、T<sub>4</sub>(0.3% HA-K)、T<sub>5</sub>(0.5% HA-K) 5 个处理(腐植酸钾, HA-K), 各处理重复 4 次。HA-K 溶解于 500 mL 蒸馏水中分 5 次灌根施入, 每周 1 次。试验器皿为塑料盆, 高 14.0 cm, 上口直径 17.0 cm, 底径 11.5 cm。称取底肥(NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>、KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>、KCl 分别为 0.57、0.44、0.14 g/kg) 将土样与固体肥料搅拌均匀, 倒入塑料钵中。均匀加入 7.5 mL EDTA-Fe 和 1.5 mL Amon 营养液(0.23 mg/L ZnSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O、1.78 mg/L MnCl<sub>2</sub>·4H<sub>2</sub>O、0.24 mg/L Na<sub>2</sub>MoO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O、0.075 mg/L CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O) 于土壤中混匀, 每盆浇水 400 mL 至土样完全湿润, 于 2 月 28 日播种 20 粒, 表面盖一层细土。发芽后间苗 3 次, 每盆留苗 2 株, 培养 45 d, 于 4 月 14 日收获。

## 1.3 样品采集与测定

1) 样品采集。收获时, 将小白菜整株采集, 样品用蒸馏水反复冲洗并擦干, 称取鲜质量, 每钵随机取 1 株样品测定叶绿素以及抗氧化酶等鲜样指标, 然后所有样品在 105 °C 下杀青 30 min, 60 °C 烘干称质量, 磨细过孔径 0.149 mm 筛保存, 用于植物养分含量测定。样品收获后, 将不同处理的土样风干并分别过孔径 0.90、0.15 mm 的筛子, 自封袋保存。

2) 植物样品测定。采用乙醇浸提比色法测定叶绿素含量<sup>[12]</sup>, 采用氮蓝四唑(NBT)还原法测定超氧化物歧化酶(SOD)活性<sup>[12]</sup>, 愈创木酚法测定过氧化物酶(POD)活性<sup>[12]</sup>, 紫外分光光度法测定过氧化氢酶(CAT)活性<sup>[12]</sup>, 硫代巴比妥酸法测定丙二醛(MDA)含量<sup>[12]</sup>。采用浓 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 消煮, 蒸馏定氮法测定植株氮含量<sup>[13]</sup>, 钼锑抗比色法测定植株磷含量<sup>[13]</sup>。

3) 基础土壤测定。采用 pH 计法(水土质量比 2.5:1)测土壤 pH, 碱解扩散法测碱解氮, NaHCO<sub>3</sub> 浸提测速效磷, NH<sub>4</sub>OAc 浸提火焰光度法测速效钾, 重铬酸钾外加热法测有机质<sup>[13]</sup>。

## 1.4 数据处理与统计方法

指标计算公式为<sup>[14-15]</sup>: 养分总积累量(total accumulation amount, TAA) = 养分含量 × 植株总干物质积累量; 养分吸收效率(absorption efficiency, AE) = 养分积累量/养分施用量; 养分偏生产力(partial factor productivity, PFP) = 作物产量/养分施用量; 养分干物质效率(dry matter efficiency, DME) = 收获期干质量/养分施用量; 干物质积累率(cumulation rate of dry matter) = 干质量/鲜质量 × 100%。

使用 Excel 软件处理数据, 计算均值和标准差, 用统计分析软件 SAS 9.1.3 对各处理试验数据进差异显著性分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 腐植酸钾对小白菜生长及农艺性状的影响

如表 1 所示, 腐植酸钾可以显著影响小白菜的产量, 与对照相比分别增加 37.10%、47.40%、29.24%、16.87%, 差异均达到显著水平; 各处理干物质比对照分别提高 41.5%、42.1%、26.4% 和 20.8%, 差异显著。随着腐植酸钾施入量增加, 小白菜干物质积累率不断上升, 分别增大 2.7%、2.8%、5.5%、11.7%。T<sub>2</sub>~T<sub>4</sub> 处理叶片数均增加 10.5%, T<sub>5</sub> 处理叶片数显著增加, 为 18.4%。T<sub>2</sub> 和 T<sub>3</sub> 处理小白菜的株高与对照相比显著上升, 其中 T<sub>3</sub> 处理促进效果最明显, 为 9.8%, T<sub>4</sub> 处理株高虽然有影响, 但差异不显著。腐植酸钾含量为 0.5% (T<sub>5</sub>) 处理时, 小白菜株高受到抑制, 与对照相比减少 20%, 说明适量的腐植酸钾可以显著促进小白菜生长, 超过一定含量促进作用减弱。

表 1 腐植酸钾对小白菜生长及产量的影响

Table 1 Effects of potassium humate on growth and yield of pakchoi

处理 Treatment	单株叶片数 Number of leaves	株高/cm Plant height	单株鲜质量/g Fresh weight	单株干质量/g Dry weight	干物质积累率/% Cumulation rate of dry matter
T <sub>1</sub>	9.50±0.58b	12.25±0.61c	19.80±2.10e	1.59±0.15d	7.44±0.94c
T <sub>2</sub>	10.50±0.58ba	13.10±0.31ba	27.15±1.85b	2.25±0.27a	7.63±1.25cb
T <sub>3</sub>	10.50±1.29ba	13.45±0.50a	29.19±1.39a	2.26±0.28a	7.65±0.46cb
T <sub>4</sub>	10.50±0.58ba	12.60±0.74bc	25.59±1.39c	2.01±0.18b	7.85±0.79b
T <sub>5</sub>	11.25±0.96a	9.80±1.01d	23.14±3.44d	1.92±0.28c	8.31±0.83a

注: 不同小写字母表示差异达 5% 显著水平, 下同。Note: After each vertical column followed by different letters mean significantly different at 5% level, and the same symbol is used for other tables.

## 2.2 腐植酸钾对小白菜养分含量和积累量的影响

由表 2 可知,施入腐植酸钾可以促进小白菜体内 N、P、K 含量上升。与对照相比, T<sub>2</sub>~T<sub>5</sub> 处理 N 含量分别提高了 2.9%、40.4%、10.6% 和 10.1%, 其中 T<sub>3</sub>~T<sub>5</sub> 处理差异达到显著水平; P 含量在 T<sub>2</sub> 和 T<sub>3</sub> 处理分别上升 1.1% 和 5.4%, 而 T<sub>4</sub>~T<sub>5</sub> 处理含量降低, 小于对照处理。植株体内 K 含量显著上升, 与对照相比分别增加 2.2%、10.4%、12.5% 和 11.9%。加入腐植酸钾后植株 N、P、K 的积累量先上升后减少, 均在 T<sub>3</sub> 处理时最大, 与对照相比分别提高 56.4%、37.3%、50.7%, 差异达到显著水平。说明施用腐植酸钾可以促进小白菜对 N、P、K 的吸收与积累。

## 2.3 腐植酸钾对小白菜养分吸收利用效率的影响

从表 3 可以看出, 腐植酸钾对小白菜养分吸收效率(AE)、养分偏生产力(PFP)和养分干物质效率

(DME)具有明显的调控能力。施用腐植酸钾可以增加小白菜氮素的 AE、PFP 和 DME, 且均以 T<sub>3</sub> 处理效果最好, 与对照相比分别上升 55.6%、42.2% 和 42.2%。T<sub>4</sub>~T<sub>5</sub> 处理随腐植酸钾施用量增加 AE、PFP 和 DME 逐渐降低, 但显著高于对照处理。腐植酸钾促进小白菜磷素 AE、PFP 和 DME 的增加, 与对照相比, T<sub>2</sub>~T<sub>4</sub> 处理磷素 AE 分别提高 40.0%、40.0% 和 30.0%, 差异显著; 磷素的 PFP 和 DME 在 T<sub>2</sub>~T<sub>5</sub> 处理均显著增加, 随腐植酸钾施用量增加促进作用先上升后减小, 且 T<sub>3</sub> 处理促进作用最强, PFP 和 DME 均提高 42.1%。表 3 还显示, 腐植酸钾在 T<sub>2</sub> 和 T<sub>3</sub> 处理时对植株钾素的 AE、PFP 和 DME 具有促进作用, T<sub>2</sub> 处理效果最好, 分别比对照增加 31.3%、33.5% 和 37.6%; 腐植酸钾用量达到 0.3% 和 0.5% 时, 对植株钾素的 AE、PFP 和 DME 产生抑制, 低于对照处理。

表 2 腐植酸钾对小白菜养分含量和积累量的影响

Table 2 Effects of potassium humate on nutrient content and accumulation of pakchoi

处理 Treatment	N		P		K	
	NC/(g/kg)	TAA/(mg/盆)	NC/(g/kg)	TAA/(mg/盆)	NC/(g/kg)	TAA/(mg/盆)
T <sub>1</sub>	16.78c	53.40d	8.85ba	15.42b	29.79c	49.10d
T <sub>2</sub>	17.26c	72.29c	8.95ba	20.74a	30.45b	65.90c
T <sub>3</sub>	23.55a	83.51a	9.33a	21.17a	32.90a	73.99a
T <sub>4</sub>	18.56b	78.13b	8.59b	19.50a	33.50a	68.51b
T <sub>5</sub>	18.47b	71.21c	8.41b	16.20b	33.34a	60.91d

注 Note: NC: 养分含量 Nutrient content; TAA: 养分总积累量 Total accumulation amount.

表 3 腐植酸钾对小白菜养分吸收利用率的影响

Table 3 Effects of potassium humate on nutrient uptake and utilization of pakchoi

处理 Treatment	N			P			K		
	AE/(g/g)	PFP/(kg/kg)	DME/(g/g)	AE/(g/g)	PFP/(kg/kg)	DME/(g/g)	AE/(g/g)	PFP/(kg/kg)	DME/(g/g)
T <sub>1</sub>	0.18d	132.00e	10.60c	0.10b	264.00e	21.20c	0.16b	132.00c	10.60b
T <sub>2</sub>	0.24c	180.97b	14.97a	0.14a	361.93b	29.93a	0.21a	176.27a	14.58a
T <sub>3</sub>	0.28a	194.62a	15.07a	0.14a	389.24a	30.13a	0.19a	153.65b	11.89b
T <sub>4</sub>	0.26b	170.60c	13.38b	0.13a	341.20c	26.76b	0.10c	76.39d	5.99c
T <sub>5</sub>	0.24c	154.28d	12.77b	0.11b	308.57d	25.53b	0.07d	50.31e	4.16d

## 2.4 腐植酸钾对小白菜叶绿素含量的影响

由图 1 可以看出, 不同含量的腐植酸钾对小白菜叶绿素含量具有一定的影响, 叶绿素 a、叶绿素 b 和类胡萝卜素的含量变化趋势均为先上升后降低。与对照相比, T<sub>2</sub> 和 T<sub>3</sub> 处理叶绿素 a 含量分别提高 0.4% 和 6.9%, 差异不显著; T<sub>4</sub> 和 T<sub>5</sub> 处理叶绿素 a 含量

分别减少 13.3% 和 24.8%, 差异不显著。T<sub>3</sub> 处理叶绿素 b 含量比对照上升 2.5%, 其余处理叶绿素 b 含量均减少。类胡萝卜素含量在 T<sub>2</sub> 和 T<sub>3</sub> 处理下均显著增高, 腐植酸钾用量超过 0.3% 时类胡萝卜素含量逐渐减少。说明腐植酸钾对小白菜的叶绿素含量有一定影响, 且用量过高时可以显著降低小白菜叶

绿素的含量。

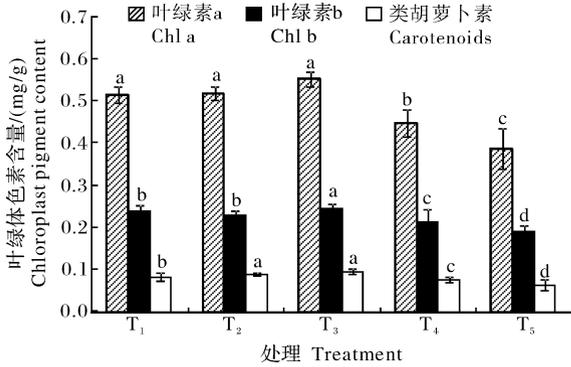


图 1 腐植酸钾对小白菜叶绿素含量的影响

Fig.1 Effects of potassium humate on contents of pigment in leaves of pakchoi

### 2.5 腐植酸钾对小白菜叶片 MDA 含量及抗氧化酶活力的影响

从表 4 看出,随着腐植酸钾施用量增加 MDA 含量先减少后增加,其中 T<sub>2</sub> 处理 MDA 含量最小,与对照相比减少 9.6%,差异显著;T<sub>3</sub> 处理减少 3.1%,未达到显著水平。T<sub>4</sub> 和 T<sub>5</sub> 处理叶片 MDA 含量分别提高 16.5%和 23.0%,差异达到显著水平。加入腐植酸钾后小白菜抗氧化酶活性发生改变,CAT 和 POD 活性在 T<sub>1</sub> 处理中最大,加入腐植酸钾可显著减少 POD 的活性,分别比对照减少 36.8%、16.02%、13.6%和 44.9%;T<sub>2</sub>~T<sub>4</sub> 处理 CAT 活性与对照相比显著降低,分别减少 24.4%、18.7%和 33.5%;T<sub>4</sub> 处理减小 2.9%,差异不显著。SOD 活性最小的处理为 T<sub>2</sub> 和 T<sub>5</sub> 处理,分别比对照减少 16.3%和 51.5%,T<sub>3</sub> 和 T<sub>4</sub> 处理与对照相比均增加 4.3%,差异显著。该结果表明,逆境条件下小白菜叶片的 SOD、POD 和 CAT 活性改变,相互作用维持正常的生理活动免受或减轻伤害。

表 4 腐植酸钾对小白菜叶片 MDA 含量及抗氧化酶活力的影响

Table 4 Effects of potassium humate on contents of MDA and activities of antioxidant enzymes in leaves of pakchoi

处理 Treatment	MDA/ (nmol/g)	POD/ (U/(g·min))	CAT/ (U/(g·min))	SOD/ (U/g)
T <sub>1</sub>	2.92c	348.38a	33.22a	82.70b
T <sub>2</sub>	2.64d	220.19c	25.10b	69.19c
T <sub>3</sub>	2.83c	292.57b	26.96b	86.28a
T <sub>4</sub>	3.40b	300.95b	22.08c	86.21a
T <sub>5</sub>	3.59a	192.00d	32.27a	40.12d

## 3 讨论

### 3.1 腐植酸钾对小白菜生长及养分吸收利用率的影响

本研究发现腐植酸钾溶液对小白菜的生长具有促进作用,不同用量的腐植酸钾效果不同,0.1%时对产量促进效果最好,增加 47.4%,用量较高时促进作用减弱。全亚明等<sup>[16]</sup>研究表明,浇灌腐植酸钾溶液对燕麦幼苗生长量、株高以及根长等有明显的促进作用,与本试验结果基本一致。施肥是为了使作物增产,但实现粮食稳定高产的同时,还要促进养分高效利用及养分资源的优化管理。本试验表明,适量的腐植酸钾可以促进小白菜对 N、P、K 的吸收,植株体内 N、K 的含量增加明显,在 0.1%处理时 N、K 含量最高,与对照相比分别提高 40.4%、56.4%,差异显著;腐植酸钾用量分别为 0.01%和 0.1%时,P 含量有一定上升,分别增加 1.1%和 5.4%,而 Cimrin 等<sup>[17]</sup>研究表明,在生菜中应用腐植酸不能提高产量,但能提高磷的利用率,与本试验结果不符,原因有待进一步探讨。李冉等<sup>[18]</sup>研究表明,施用不同来源的腐植酸通过促进多种官能团合作提高肥料的当季利用率,增加小白菜对 N、P、K 的吸收利用,其中 N 利用效率提高 11.52%~40.45%,P 利用效率提高 19.12%~51.24%,对 K 的影响效果有增有减。本试验结果显示,腐植酸钾对小白菜 N、P、K 的总积累量(TAA)、养分吸收效率(AE)、养分偏生产力(PFP)和养分干物质效率(DME)具有较大影响。其中 N 吸收效率增加 33.3%~55.6%,P 吸收效率增加 10.0%~40.0%,K 吸收效率有升高有降低,这与李冉等<sup>[18]</sup>研究结果基本一致。T<sub>2</sub>~T<sub>5</sub> 处理 N、P 的 TAA、AE、PFP 和 DME 均大于对照,在 0.1%处理时最大,N 分别上升 56.4%、55.6%、42.2%和 42.2%,P 分别上升 37.3%、40%、42.1%、42.1%。K 的 TAA 以 0.1% 处理最高,增加 50.7%;AE、PFP 和 DME 在 0.01%处理显著增加,分别提高 31.3%、33.5%和 37.6%,但在 0.3%和 0.5%处理低于对照,梁太波等<sup>[19]</sup>研究也发现施用腐植酸钾显著提高了生姜对钾肥的吸收利用率。

### 3.2 腐植酸钾对小白菜生理特性的影响

腐植酸钾对作物生长的作用是极其复杂的,涉及基因、分子、代谢等方面<sup>[20-21]</sup>。逆境条件会使植株体内活性氧(ROS)大量增加,导致膜脂过氧化,从而对植物生长和产量造成不利影响,过氧化物酶

(POD)、过氧化氢酶(CAT)以及超氧化物歧化酶(SOD)等抗氧化酶可以相互作用,消除或减少植物体内的 ROS<sup>[22]</sup>。丙二醛(MDA)可以与蛋白质和核酸反应,其含量可以反映植物细胞膜脂质过氧化程度<sup>[23]</sup>。试验发现腐植酸钾含量在 0.01%~0.1%时植株体内 POD、CAT、SOD 活性以及 MDA 含量降低,说明此时植株所受胁迫较弱;腐植酸钾用量较高时抗氧化酶活力和 MDA 含量上升,POD 的活性提高尤为明显,说明 POD 具有强大的清除自由基能力并结合 CAT、SOD 消除 ROS,抵抗逆境条件。腐植酸钾用量过高,达到 0.5%时,抗氧化酶活性明显下降,MDA 含量急剧上升,可能是由于此时小白菜叶片的抗氧化酶系统受到损伤,产生的 ROS 超出了系统的清除能力,从而导致 ROS 大量积累引起生物膜结构和功能的破坏<sup>[24]</sup>。叶绿素含量可以衡量植物光合作用的能力,进而影响植株的生长。研究表明,施用腐植酸可以明显提高各种植物的叶绿素含量,叶绿素 a 一般提高 40%~80%,叶绿素 b 在 20%左右<sup>[25]</sup>,然而本试验中叶绿素 a 含量最高增加 6.9%,叶绿素 b 最高增加 24.8%,且腐植酸钾施用量大于 0.3%时叶绿素含量显著下降,这可能是由于 ROS 积累直接或间接地导致叶片中叶绿素的分解<sup>[26]</sup>,也可能是由于小白菜收获时处于成熟期,生理活性降低从而光合作用较弱。

综上所述,在同一施肥水平下,施用腐植酸钾可促进小白菜生长,增加产量,提高肥料利用效率,且不同腐植酸钾用量对小白菜作用效果不同,从试验效果和经济成本考虑,综合表现为 0.1% > 0.01% > 0.3% > 0.5%。因此,以 0.1%可作为腐植酸钾适宜用量,此时小白菜产量增加 47.4%,MDA 含量和抗氧化酶活性改变,N、P、K 吸收效率分别提高 55.6%、40.0%、31.3%,偏生产力分别增加 42.2%、42.1%和 33.5%,显著提高了养分利用效率。

## 参 考 文 献

- [1] SPALDING R F, EXNER M E. Occurrence of nitrate in groundwater—a review[J]. Journal of environmental quality, 1993, 22(3): 392-402.
- [2] 刘芳,梁华东,刘涛,等.湖北省近三十年耕地土壤肥力变化解析[J].华中农业大学学报,2016,35(6):79-85.
- [3] 张曼,张爱华,赵艳,等.新型钾钙肥对香蕉生长、果实产量及品质的研究[J].中国南方果树,2016,45(3):83-86.
- [4] 张小冰,邢勇,郭乐,等.腐植酸钾浸种对于旱胁迫下玉米幼苗保护酶活性及 MDA 含量的影响[J].中国农学通报,2011,27(7):69-72.
- [5] 王振振,张超,史春余,等.腐植酸缓释钾肥对土壤钾素含量和甘薯吸收利用的影响[J].植物营养与肥料学报,2012,18(1): 249-255.
- [6] 郑东方,许嘉阳,许自成,等.钾肥和腐殖酸互作对烤烟有钾平衡指数的影响[J].土壤学报,2015(3):637-645.
- [7] 王锋,王汝娟,陈晓光,等.不同类型钾肥对甘薯钾素积累和利用率的影响[J].山东农业科学,2009(10):77-80.
- [8] DAUR I, BAKHASHAWIN A A. Effect of humic acid on growth and quality of maize fodder production[J]. Pakistan journal of botany, 2013, 45(5): 21-25.
- [9] FAGBENRO J A, AGBOOLA A A. Effect of different levels of humic acid on the growth and nutrient uptake of teak seedlings [J]. Journal of plant nutrition, 1993, 16(8): 1465-1483.
- [10] 王汝娟,王振林,梁太波,等.腐植酸钾对食用甘薯品种钾吸收、利用和块根产量的影响[J].植物营养与肥料学报,2008,14(3):520-526.
- [11] KUMAR D, SINGH A P, RAHA P, et al. Effects of potassium humate and chemical fertilizers on growth, yield and quality of rice (*Oryza sativa* L.) [J]. Bangladesh botanical society, 2014, 43(2): 183-189.
- [12] 王学奎.植物生理生化实验原理和技术[M].2版.北京:高等教育出版社,2006.
- [13] 鲍士旦.土壤农化分析[M].3版.北京:中国农业出版社,2000.
- [14] 王永华,黄源,辛明华,等.周年氮磷钾配施模式对砂姜黑土麦玉轮作体系籽粒产量和养分利用效率的影响[J].中国农业科学,2017,50(6):1031-1046.
- [15] 廖育林,鲁艳红,聂军,等.长期施肥稻田土壤基础地力和养分利用效率变化特征[J].植物营养与肥料学报,2016,22(5): 1249-1258.
- [16] 全亚明,李刚,王进,等.腐植酸类肥料浸种及浇灌对燕麦种子萌发和幼苗生长的影响研究[J].中国农学通报,2016,32(33): 39-42.
- [17] CIMRIN K M, YILMAZ I. Humic acid applications to lettuce do not improve yield but do improve phosphorus availability [J]. Acta agriculturae scandinavica, 2005, 55(1): 58-63.
- [18] 李冉,封朝晖.不同产地的腐植酸对小白菜养分利用的影响[J].中国土壤与肥料,2011(1):59-63.
- [19] 梁太波,王振林,刘兰兰,等.腐植酸钾对生姜生长、钾素吸收及钾肥利用率的影响[J].水土保持学报,2008,22(1):87-90.
- [20] JANNIN L, ARKOUN M, OURREY A, et al. Microarray analysis of humic acid effects on *Brassica napus*, growth: involvement of N, C and S metabolisms [J]. Plant and soil, 2012, 359(1): 297-319.
- [21] TREVISAN S, BOTTON A, VACCARO S, et al. Humic substances affect *Arabidopsis* physiology by altering the expression of genes involved in primary metabolism, growth and development [J]. Environmental & experimental botany, 2011, 74(1): 45-55.
- [22] PASTORI G M, DEL R L A. Natural senescence of pea leaves (an activated oxygen-mediated function for peroxisomes) [J].

Plant physiology, 1997, 113(2): 411-418.

- [23] ALMESELMANI M, DESHMUKH P S, SAIRAM R K, et al. Protective role of antioxidant enzymes under high temperature stress[J]. Plant science, 2006, 171(3): 382-388.

- [24] 裴斌, 张光灿, 张淑勇, 等. 土壤干旱胁迫对沙棘叶片光合作用

和抗氧化酶活性的影响[J]. 生态学报, 2013, 33(5): 1386-1396.

- [25] 刘茜, 马飞跃, 于建军, 等. 腐殖酸对植烟土壤和烟草影响的研究进展[J]. 中国农学通报, 2010, 26(4): 132-136.

- [26] 王虹, 姜玉萍, 师恺, 等. 光质对黄瓜叶片衰老与抗氧化酶系统的影响[J]. 中国农业科学, 2010, 43(3): 529-534.

## Effects of potassium humate on yield, physiological characteristics and nutrient use efficiency of pakchoi

WANG Yuhan JIANG Cuncang LYU Bo YAN Lei

College of Resources and Environment/Microelement Research Center,  
Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China

**Abstract** The effects of different contents of potassium humate (0, 0.01%, 0.1%, 0.3%, 0.5%) on the yield, physiological characteristics and nutrient absorption and utilization of pakchoi ‘Siyueman’ (*Brassica chinensis*) are studied with pot experiments. The result showed that potassium humate significantly increased the yield of pakchoi, with the highest yield at dosage of 0.1% potassium humate, 37.1% higher than that of the control. MDA content and antioxidant enzyme activity was changed. In addition, the content of N, P and K increased with the application of potassium humate in pakchoi, among them N and K enhanced significantly. The total accumulation of N, P and K increased first and then decreased, with the largest dosage of 0.1%, increased by 56.4%, 37.3%, and 50.7%, respectively. The absorption efficiency (AE), partial factor productivity (PFP) and dry matter efficiency (DME) of N, P was significantly improved, with the promoting effect being the best at dosage of 0.1%. N increased by 55.6%, 42.2% and 42.2%, respectively; P increased by 40.0%, 40.0%, 30.0%, respectively. When the content of potassium humate was 0.01% and 0.1%, the AE, PFP and DME of K are higher than that of control. When the dosage was more than 0.3%, they are significantly lower than that of the control. So, increasing the amount of potassium humic acid can increase the yield and improve N, P and K use efficiency of pakchoi. Dosage of 0.1% can be recommended as the optimal dosage.

**Keywords** potassium humate; pakchoi; nutrient use efficiency; utilization rate of fertilizer; physiological characteristics

(责任编辑:陆文昌)