

不同氮、钾肥施用量对甜瓜产量和营养品质的影响

康利允, 常高正, 高宁宁, 李晓慧, 梁 慎, 李海伦, 徐小利, 赵卫星*

(河南省农业科学院园艺研究所, 郑州 450002)

摘要:【目的】探讨氮、钾肥施用量对甜瓜产量和营养品质的影响, 为大棚甜瓜栽培合理施肥提供依据。【方法】试验设重氮重钾(N2K2)、重氮轻钾(N2K1)、轻氮重钾(N1K2)、轻氮轻钾(N1K1)、中氮中钾(NK)5个处理。【结果】NK处理甜瓜纵径、横径、单瓜质量、产量均最高, 且单瓜质量和产量显著高于其他处理($p < 0.05$), 平均分别增加21.6%和22.1%; NK处理的中心、边部可溶性固形物含量、固酸比、可溶性蛋白含量、维生素C含量均呈较高水平, 分别较其他处理平均显著增加9.09%、14.3%和32.9%、12.4%、16.4%($p < 0.05$); 甜瓜可滴定酸含量随氮、钾素供应量的增加呈先降低后增加的趋势, N2K1处理可滴定酸含量最高, N2K2次之, NK处理最低。【结论】在连栋棚加地膜覆盖高产优质栽培条件下, 氮、钾施肥量分别为200、300 kg·hm⁻²较为适宜, 有利于提高甜瓜产量, 同时可兼顾营养品质, 提高经济效益。

关键词: 甜瓜; 氮肥; 钾肥; 产量; 营养品质

中图分类号: S652

文献标志码: A

文章编号: 1009-9980(2018)08-0997-09

Effects of different nitrogen and potassium fertilizing quantities on the yield and nutritional quality of melon (*Cucumis melo* L.)

KANG Liyun, CHANG Gaozheng, GAO Ningning, LI Xiaohui, LIANG Shen, LI Hailun, XU Xiaoli, ZHAO Weixing*

(Institute of Horticulture, Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450002, Henan, China)

Abstract: 【Objective】Agricultural production continues to be constrained by a number of biotic and abiotic factors that can reduce crop yield quantity and quality. Nitrogen (N) and potassium (K) are essential nutrients that affect most of the biochemical and physiological processes that influence plant growth and metabolism. It also contributes to the survival of plants exposed to various biotic and abiotic stresses. N is the main component of protein and enzyme and plays an important role in crop growth. N is an important component of chlorophyll, and chlorophyll is the key to the production of organic matter through photosynthesis. Potassium is a catalyst for various enzymes in plants, which can promote photosynthesis, enhance plant resistance to disease, and increase the sugar content and quality of the fruit. To provide a theoretical basis for the rational application of nitrogen and potassium fertilizers with plastic film mulching in a high yield and quality cultivation environment, the effects of different nitrogen and potassium fertilizers on yield and nutritional quality of melon were studied. 【Methods】An early maturing and thick-skinned melon variety 'RX8' ('TC620-8-56' × 'TA11-1') with plastic film mulching cultivation in greenhouse was used for our study. In this study, five treatments (N2K2, N2K1, N1K2, N1K1 and NK) were performed to investigate the influence of different fertilizing quantities of nitrogen and potassium on chlorophyll content, root activity, yield and nutritional quality of melon. The amount of fertilizer applied to medium nitrogen and potassium (NK) treatment was determined according to the amount of nitrogen and potassium fertilizer applied locally in the past 5 years along with the soil ferti-

收稿日期: 2018-02-01 接受日期: 2018-05-11

基金项目: 国家西甜瓜产业技术体系郑州综合试验站建设项目(CARS-25); 河南省财政预算项目(20177609); 河南省农业科学院自主创新专项基金项目(2017)

作者简介: 康利允, 女, 博士, 主要从事西甜瓜土壤、营养生理方面的研究。Tel: 15890676887, E-mail: kangliyun2004@126.com

*通信作者 Author for correspondence. Tel: 0371-65748477, E-mail: wxzhao2008@163.com

ty of the experimental plot. The amount of nitrogen and potassium applied for the treatment of heavy nitrogen (N2), heavy potassium (K2), light nitrogen (N1) and light potassium (K1) were increased and decreased by 60% respectively on the basis of NK treatment. 【Results】The effects of different nitrogen and potassium fertilizers on the SPAD value of nodal leaves, root activity, yield and the nutritional quality of melon were significantly different. Physiologically, the SPAD-value first increased and then decreased with the increase in the nitrogen application rate, which was not obvious with potassium, however, when the application of the nitrogen fertilizer was insufficient while applying the potassium fertilizer, the rate of chlorophyll decomposition could be reduced. The root activity of melon exhibited a downward trend with growth during fruit setting. The root activity of NK was the highest in the late development stage (49 days after planting), and the difference was significantly higher than that of other treatments at 56 and 63 days after planting ($p < 0.05$). From the yield and yield components, the differences of the fruit vertical and transverse diameter, shape index, average weight and yield of high potassium and low potassium treatments did not reach the 5% significant level under the same nitrogen level. The fruit vertical and transverse diameter, average weight and yield from high nitrogen-treatment were higher than those from low-nitrogen treatment, with an average increase of 4.81%, 6.04%, 19.8% and 20.5% respectively under the same potassium supply. And the differences of these indexes, except for vertical diameter, reached a significant level of 5%. This study also shows that the fruit vertical and transverse diameter, average weight and yield of melon treated with NK were the highest, and the average weight and yield were significantly higher than those of other treatments ($p < 0.05$), with an average increase of 21.6% and 22.1% respectively. In terms of nutritional quality of the fruit of melon, the center and marginal soluble solid contents, solid/acid, soluble protein content and vitamin C content from NK treatment were all significantly higher than those in the other treatments by 9.09%, 14.3% and 32.9%, 12.4%, 16.4% ($p < 0.05$), respectively. With an increase of the nitrogen application rate, it first decreased and then increased. The content of titratable acidity of melon tended to decrease first and then increased with the increase of nitrogen and potassium supplied. The titratable acidity decreased at first and then increased with the increase in the nitrogen and potassium application rates. The titratable acidity of N2K1 was the highest, followed by N2K2, and NK was the lowest, which showed that the titratable acidity increased as the nitrogen fertilizer was increased and the differences between the treatments were significant, especially in the soil potassium deficiency conditions. However, a reasonable amount of nitrogen and potassium can reduce the titratable acid content and improve taste. 【Conclusion】On the whole, the soluble solid content, solid/acid, soluble protein content, vitamin C and other beneficial taste substance contents and the production of the fruit of melon treated by NK were the highest, with the contents of unfavorable taste flavor substances such as titratable acid being the lowest, and 30 of the NK treated melon flesh texture scores were the highest, and 30 individuals had the highest score on the flavor quality of melons treated with NK. Therefore, under the high-yielding and high-quality cultivation conditions with continuous mulching and plastic film mulching, the amount of nitrogen and potassium fertilization of the NK treatment was $200 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ and $300 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ respectively which was conducive to the improvement in the yield, while taking into account the nutritional quality, and improved economic efficiency.

Key words: Melon; Nitrogen; Potassium ; Yield; Nutritional quality

作物产量高低和品质优劣除与品种^[1]有关外,还与施肥情况密切相关^[2]。长期以来我国设施栽培肥料施用量一直较高,然而肥料利用率却很低^[3]。

甜瓜属喜肥作物,其生长发育对氮、钾素营养需求较多且反应比较敏感^[4]。然而,农业生产者为取得较高的经济效益,栽培过程中往往盲目施肥,一定施肥

量范围内甜瓜产量虽然有所提高,品质却显著下降,因此,如何合理施肥是解决甜瓜安全生产的关键问题。近年来,国内外学者在氮、钾肥对作物生长发育、产量和品质的影响方面进行了一些研究,明确了在一定范围内增施氮肥和钾肥作物产量和品质有所增加,施用量过多或过少均不利于作物对养分的吸收,抑制产量和品质的进一步增加,甚至造成减产、品质低劣等问题^[5]。潜宗伟等^[6]利用溶液培养研究不同氮素水平对甜瓜芳香物质和营养品质的影响,结果表明氮素水平在100~600 mg·L⁻¹范围内,甜瓜乙酸丁酯、乙酸-2-甲基丙基酯和2-甲基丁酸乙酯等特征芳香物质含量随着氮素水平的升高呈先升高后下降的趋势,且随氮素水平的增加,甜瓜的可溶性固形物、维生素C、可溶性糖含量和糖酸比等营养品质均表现为下降的趋势,认为甜瓜优质高产栽培适宜的施氮水平为200~400 mg·L⁻¹;在田间栽培条件下,甜瓜株高、叶面积增长速度随施氮量增加而增加,对氮、磷、钾的吸收、产量及果实维生素C、总糖含量均表现出随施氮量的增加呈先增加后下降的趋势,施氮量达到一定值时增施氮肥产量及品质反而有降低的趋势^[7-8];适宜的钾含量有利于西瓜幼苗的生长,提高株高、茎粗、生物量、根长、根表面积、根体积、根尖数等,而不施钾和高钾处理会抑制幼苗的生长^[9];适宜的钾素水平可提高甜瓜叶片叶绿素含量及净光合速率,增强植株的生长势,促进茎秆粗壮,有利于对土壤养分的吸收,从而获得高产,且有利于甜瓜果实可溶性固形物、总糖及维生素C含量的积累,供钾水平过高或过低不利于甜瓜生长,导致产量和品质降低^[10];薛亮等^[11]连续2 a(年)田间试验的结果表明,施氮量由0增加到360 kg·hm⁻²,甜瓜产量分别提高31.23%和31.47%,可溶性固形物含量增加2.89%和2.46%,施钾量由0增加到90 kg·hm⁻²时,产量提高5.51%和5.09%,可溶性固形物含量提高1.37%和1.69%,且将2 a的产量、品质 and 经济效益做回归分析认为,过量的氮、钾肥使产量、品质 and 经济效益降低,且氮肥的抑制作用更为明显。当前,设施甜瓜栽培盲目、施肥过量或不足的现象仍然严重,而科学合理的氮、钾肥配合施用的研究报道较少。笔者通过在连栋棚加地膜覆盖栽培条件下,重点探讨不同氮、钾肥施用量对甜瓜产量和品质的影响,以期对甜瓜的优质高产和平衡施肥提供一定的科学依据。

1 材料和方法

试验于2015年3—7月在河南省农业科学院现代试验基地(原阳)连栋棚内进行。

1.1 材料

土壤基本理化性质为:pH 7.81,有机质含量(ω ,后同)16.6 g·kg⁻¹,全氮含量0.93 g·kg⁻¹,碱解氮含量19.2 g·kg⁻¹,有效磷含量10.9 mg·kg⁻¹,速效钾含量139.6 mg·kg⁻¹。供试厚皮甜瓜品种为‘RX8’(TC620-8-56×TA11-1),由河南省农业科学院园艺研究所选育,早熟,果实发育期30~35 d,平均单瓜质量约2.0 kg,果肉厚3.5~4.5 cm,中心可溶性固形物含量为16.0%~20.0%,轻抗枯萎病和病毒病,耐贮运。

1.2 试验设计

试验设5个处理,分别为重氮重钾(N2K2):N 320 kg·hm⁻²,K₂O 480 kg·hm⁻²;重氮轻钾(N2K1):N 320 kg·hm⁻²,K₂O 120 kg·hm⁻²;轻氮重钾(N1K2):N 80 kg·hm⁻²,K₂O 480 kg·hm⁻²;轻氮轻钾(N1K1):N 80 kg·hm⁻²,K₂O 120 kg·hm⁻²;中氮中钾(NK):N 200 kg·hm⁻²,K₂O 300 kg·hm⁻²。中氮中钾处理的施肥量是根据当地近5 a甜瓜氮、钾施肥量及试验小区土壤基础肥力而确定的,重氮、重钾、轻氮、轻钾处理的施氮量、施钾量分别在中氮、中钾的基础上分别增减60%。试验共形成5个处理,3次重复,随机区组排列。小区面积为30.8 m²(4 m×7.7 m)。定植株距为1.1 m×0.4 m,设于棚内中段,两头留有4 m长的缓冲带,以避免因棚口温度和湿度差异较大而引起的误差。

试验于2015年3月12日播种育苗,4月23日定植,7月7日收获,其他管理措施按常规进行。采用连栋棚加地膜覆盖栽培方式,每株在主蔓12~15节子蔓留瓜1个,主蔓25节打顶。各处理均基施有机肥750 kg·hm⁻²(含N 0.8%、P₂O₅ 0.4%、K₂O 0.4%),施磷肥105 kg·hm⁻²(过磷酸钙,含P₂O₅ 16%)。试验所用氮肥为尿素(N 46.4%),钾肥为硫酸钾(K₂O 51%),其中氮肥、钾肥40%做基肥于播前瓜行条施,伸蔓期、膨果期分别追施30%。

1.3 样品采集与测定

从定果日起(2015年6月1日),每隔约7 d每小区选取有代表性甜瓜3株的坐瓜结位叶片,采用日本产手持式叶绿素仪SPAD-502测定叶绿素含量。将地上部分剪掉后,用活动式可调根钻(内

径 10 cm) 采取 0~20 cm 土层土样, 冲洗泥土并用 0.15 mm 网筛过滤, 洗净并剔除杂质和死根, 采用 TTC 法测定根系活力^[12]。

果实成熟后, 每小区选取有代表性 10 株称质量, 根据小区面积计算产量。每小区另随机选取 3 个果实称单果质量, 然后用刀纵向切开果实, 用游标卡尺测量果实纵径和横径并计算果形指数(果实纵径与横径的比值)。果肉质地风味采用品尝打分法(30 人), 评价标准为: 90~100 分为口感最好, 酸甜可口, 果香浓郁; 80~90 分为口感好, 酸甜适中, 有果香; 70~80 分为口感较差, 有酸味或甜味, 有果香; 70 分以下口感寡淡, 略有果香^[13]。用手持测糖仪测定中心和边部可溶性固形物含量; 可滴定酸含量采用 NaOH 滴定法测定^[12]; 维生素 C 含量采用 2,6-二氯酚靛酚滴定法测定^[12]; 可溶性蛋白质含量采用考马斯亮蓝 G-250 染色法测定^[12]。

2 结果与分析

2.1 不同氮、钾肥施用量对甜瓜生理特性的影响

2.1.1 不同氮、钾肥施用量对甜瓜叶绿素含量的影响 叶绿素相对含量用 SPAD 值表示, SPAD 值是一个无量纲的比值, 与叶绿素含量呈正相关。由图 1 可知, 生育期间不同氮钾处理的厚皮甜瓜功能叶片 SPAD 值变化趋势一致, 均表现为从坐果起随生育期的推进呈先上升后下降的趋势, 定植后 49 d 各处理 SPAD 值达到最高。

同一供氮水平下, 定植后 40、49、56、63 d SPAD 值均表现为高钾高于低钾处理, 但差异未达 5% 显著水平, 同一供钾水平下, 4 个测定时期 SPAD 值高氮均显著高于低氮处理($p < 0.05$)。从图 1 中还可以看出, 4 个测定时期, 随着氮素供应量的增加, 甜瓜功能叶片 SPAD 值显著升高, 中氮和高氮处理均显著大于低氮($p < 0.05$), 且定植后 40 d 和 49 d 高氮、中氮处理间 SPAD 值差异也达 5% 显著水平, 定植后 56 d 和 63 d 中氮和高氮处理间差异不显著, 表明施氮量与甜瓜功能叶片 SPAD 值间存在正相关, 且生育后期适宜的施氮量更有利于抑制叶绿素的降解; 不同钾素供应量对甜瓜 SPAD 值影响不明显, 但在低氮条件下, 从定植 56 d 起低钾较高钾处理降低更快, 与定植后 56 d 相比, 定植后 63 d N1K2 和 N1K1 处理分别降低 32.5% 和 40.2%, 表明在氮素供应不足条件下施用充足的钾肥有利于减缓叶绿素分解。

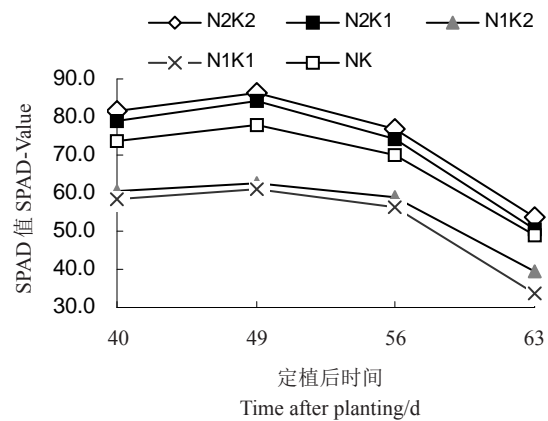


图 1 不同氮、钾肥施用量对甜瓜 SPAD 值的影响

Fig. 1 Effects of different N and K fertilizing quantities on the SPAD-value of functional leaves in melon

2.1.2 不同氮、钾肥施用量对甜瓜根系活力的影响 根系活力是反应根系吸收能力的一项综合指标, 其与根系对矿质养分和水分吸收能力密切相关, 直接影响地上部的生长发育及作物产量。定果后不同氮钾处理下甜瓜根系活力一直呈下降趋势(图 2)。

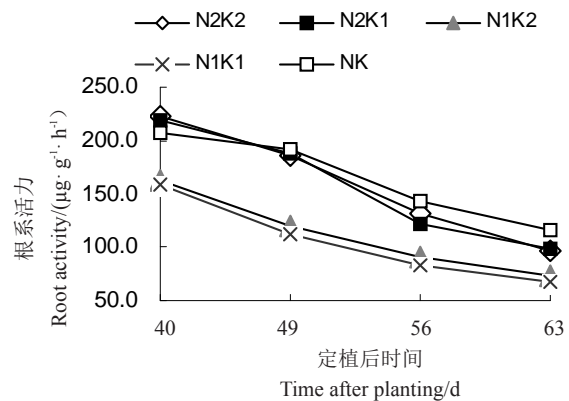


图 2 不同氮、钾肥施用量对甜瓜根系活力的影响

Fig. 2 Effects of different N and K fertilizing quantities on the root activity of melon

同一供氮水平下, 定植后 40、49、56、63 d 甜瓜的根系活力高钾和低钾处理间差异均不显著, 同一供钾水平下, 4 个测定时期均表现为高氮显著高于低氮处理($p < 0.05$)。由图 2 还可以看出, 定植后 40 d 时, N2K2 和 N2K1 显著高于 NK 处理($p < 0.05$), 随生育期的推进, NK 处理甜瓜根系活力虽然一直呈下降趋势, 但较其他 4 个处理下降速度缓慢, 定植后 49 d、56 d 和 63 d 时高于其他处理, 且定植后 56 d 和 63 d 时差异达显著水平($p < 0.05$), 表明合理施用氮、钾肥有利于抑制甜瓜生育后期根系活力的下降速度。

2.2 不同氮、钾肥施用量对甜瓜产量及产量构成因素的影响

由表1可知,不同氮、钾施肥量对甜瓜产量及产量构成因素有明显影响。同一供氮水平下,高钾、低钾处理间甜瓜纵、横径差异均未达显著水平;同一供钾水平下,高氮处理甜瓜纵、横径均高于低氮处理,且横径差异显著($p < 0.05$);从整体看,以NK处理纵、横径最高,平均分别较其他处理增加5.92%和6.39%($p < 0.05$),N1K1处理纵、横径最低,分别较NK显著降低9.42%和9.92%($p < 0.05$),表明氮、钾肥的施用均有促进甜瓜果实生长的作用,氮肥效果更为明显;不同氮钾处理对甜瓜果形指数影响的差异均不显著。

表1 不同氮、钾肥施用量对甜瓜产量及产量因素的影响
Table 1 Effects of different N and K fertilizing quantities on yield and yield components of melon

处理 Treatment	纵径 Vertical diameter/cm	横径 Transverse diameter/cm	果形指数 Shape index	单瓜质量 Average weight/kg	产量 Yield/ (t·hm ⁻²)
N2K2	14.5 b	13.7 b	1.06 a	1.46 b	33.3 b
N2K1	14.9 ab	13.9 ab	1.07 a	1.54 b	34.9 b
N1K2	14.3 bc	13.2 c	1.08 a	1.29 c	29.1 c
N1K1	13.8 c	12.9 c	1.07 a	1.22 c	27.6 c
NK	15.2 a	14.3 a	1.07 a	1.67 a	38.1 a

注:同一列不同字母表示差异显著($p < 0.05$)。下同。

Note: The different letter in the same column means significant difference ($p < 0.05$). The same below.

同一供氮水平下,高钾与低钾处理间甜瓜单瓜质量和产量差异均不显著;同一供钾水平下,高氮处理甜瓜单瓜质量和产量均显著高于低氮处理($p < 0.05$);从整体看,以NK处理甜瓜单瓜质量和产量最高,显著高于其他处理,分别平均增加21.6%和22.1%,以N1K1甜瓜单瓜质量和产量最低,较NK分别减产27.2%和27.7%,表明合理的氮、钾肥施用量有利于提高甜瓜产量,施肥量过高或过低均不利于甜瓜产量的提高,且氮肥较钾肥增产效果更为显著。

2.3 不同氮、钾肥施用量对甜瓜营养品质的影响

2.3.1 不同氮、钾肥施用量对甜瓜风味品质评分的影响 30个人对甜瓜果肉质风味进行品尝打分,结果见图3。评分越高,甜瓜果实口感越好。NK处理的风味评分最高,高于其他4个处理,其表现为口感甘美肥厚,芳香醇郁;N2K1处理风味评分最差,表明合理的氮、钾肥施用量可增加甜瓜香气,氮、钾肥施用量过高或过低均降低甜瓜的口感,尤其是氮

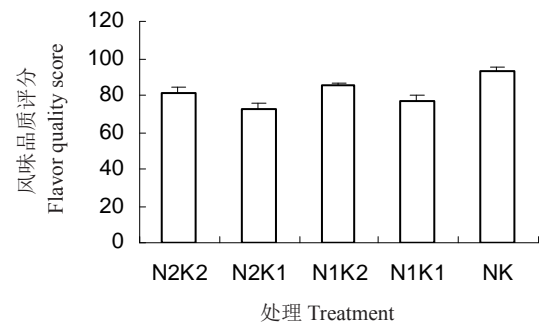


图3 不同氮、钾肥施用量对甜瓜风味品质的影响
Fig. 3 Effects of different N and K fertilizing quantities on the flavor quality score of melon

肥。

2.3.2 不同氮、钾肥施用量对甜瓜糖度和酸度的影响 糖度和酸度是甜瓜感官鉴定中重要的指标之一,直接影响甜瓜品质。可溶性固形物主要是由糖(葡萄糖、果糖和蔗糖)组成,固酸比为中心可溶性固形物含量与可滴定酸含量的比值。由表2可知,不同氮、钾施肥量对甜瓜糖度和酸度影响显著。

同一供氮水平下,高钾处理下的中心、边部可溶性固形物含量均高于低钾处理,且中心可溶性固形物含量和低氮条件下的边部可溶性固形物含量达显著水平;同一供钾水平下,低钾条件下的中心和边部可溶性固形物含量表现为高氮处理显著高于低氮处理($p < 0.05$),高钾条件下则差异不显著;从整体看,以NK处理中心和边部可溶性固形物含量(ω ,后同)最高,较其他处理平均分别显著增加9.09%和14.3%($p < 0.05$),表明适宜的氮、钾肥施用量有利于提高甜瓜糖度,氮、钾肥施用量过高或过低均影响糖度的积累。

同一供氮水平下,高钾处理可滴定酸含量低于低钾处理,且高氮条件下差异达显著水平;同一供钾水平下,高氮处理可滴定酸含量均显著高于低氮处理;从整体看,N2K1处理可滴定酸含量最高,NK处理最低,表明施氮、钾肥可降低甜瓜可滴定酸含量,当达到一定量时又呈增加的趋势,且氮肥效果更为显著,适宜的氮、钾肥施用量可降低可滴定酸含量,改善甜瓜的品质。

果实固酸比越大表明果实品质越好。不同氮钾处理的果实固酸比变化趋势与风味品质评分变化趋势基本一致(图3和表2)。由表2可知,同一施氮水平下,高钾处理固酸比均显著高于低钾处理;同一施钾水平下,固酸比均表现为高氮低于低氮处理;从整

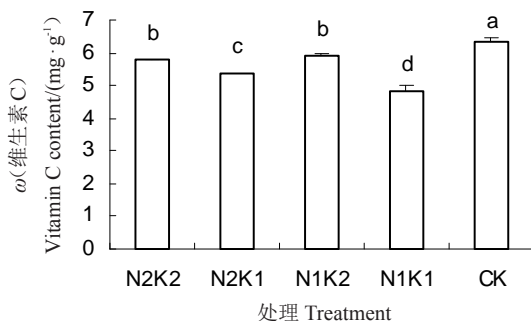
体看, NK 处理甜瓜固酸比最大, 显著高于其他处理, 平均增加 32.9%, N1K2 次之, N2K1 最低, 表明合理的氮、钾肥施用量可提高甜瓜固酸比, 改善果实品质, 施氮量过高反而使品质降低, 尤其在施钾水平较低的情况下。

表 2 不同氮、钾施用量对甜瓜可溶性固形物含量和可滴定酸含量的影响

Fig. 2 Effects of different N and K fertilizing quantities on the sugar and acidity of melon

处理 Treatment	ω (可溶性固形物) Soluble solid content/%		ω (可滴定酸) Titratable acid content/(g·kg ⁻¹)	固酸比 Solid/acid
	中心 Center	边部 Marginal		
N2K2	18.0 b	8.17 bc	1.32 b	13.6 c
N2K1	17.2 c	7.83 c	1.49 a	11.5 d
N1K2	18.3 b	8.33 b	1.16 cd	15.8 b
N1K1	16.2 d	7.17 d	1.28 bc	12.7 cd
NK	19.0 a	9.00 a	1.07 d	17.8 a

2.3.3 不同氮、钾施用量对甜瓜维生素 C 含量的影响 抗坏血酸即维生素 C 作为一些酶、自由基的清除剂及一些物质生物合成的底物等^[14-15], 在植物新陈代谢过程中具有重要作用, 且是甜瓜的一个重要品质指标。不同氮、钾施用量对甜瓜维生素 C 含量有明显影响(图 4)。同一供氮水平下, 高钾处理维生素 C 含量均较低钾处理显著增加($p < 0.05$); 不同供氮水平对甜瓜维生素 C 含量的影响随供钾水平不同而异, 高钾条件下, 低氮与高氮处理间差异未达 5% 显著水平, 低钾条件下, 高氮处理维生素 C 含量显著高于低氮处理($p < 0.05$); 从整体看, 以 NK 处理维生素 C 含量最高, 显著高于其他处理($p < 0.05$), 平均提高 16.4%, 以 N1K1 处理最低, 较 NK 处理显著降低 23.9% ($p < 0.05$), 表明随氮、钾施肥量的增加



不同字母表示差异显著($p < 0.05$)。下同。

The different letter means significant difference($p < 0.05$). The same below.

图 4 不同氮、钾施用量对甜瓜维生素 C 含量的影响

Fig. 4 Effects of different N and K fertilizing quantities on the vitamin C content of melon

甜瓜维生素 C 含量逐渐增加, 但超过一定的施肥量, 维生素 C 含量不仅不增加, 反而有降低的趋势, 且单施钾肥较单施氮肥效果更为明显。

2.3.4 不同氮、钾施用量对甜瓜可溶性蛋白含量的影响 可溶性蛋白是一种重要的渗透调节物质, 对细胞的生命物质及生物膜起到保护作用, 也是一种重要的营养物质。不同氮、钾施用量对甜瓜可溶性蛋白含量有明显影响(图 5)。同一供氮水平下, 高钾与低钾处理对甜瓜可溶性蛋白的影响随施氮量不同而异。高氮条件下, 高钾与低钾处理间差异未达 5% 显著水平; 低氮条件下, 高钾处理显著高于低钾处理($p < 0.05$)。同一供钾水平下, 与低氮处理相比, 高氮处理可溶性蛋白含量显著增加($p < 0.05$); 从整体看, NK 处理可溶性蛋白含量最高, 较其他处理显著增加 12.4% ($p < 0.05$), 以 N1K1 处理最低, 较 NK 处理显著降低 18.7% ($p < 0.05$), 表明适量增施氮、钾肥可提高甜瓜可溶性蛋白含量, 进一步增施氮、钾肥反而会抑制可溶性蛋白的形成, 且氮肥较钾肥效果更为明显。

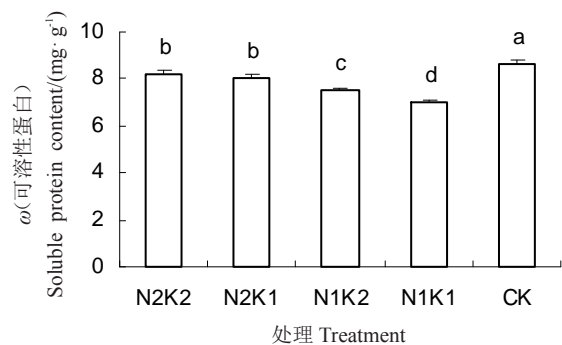


图 5 不同氮、钾施用量对甜瓜可溶性蛋白含量的影响

Fig. 5 Effects of different N and K fertilizing quantities on the soluble protein of melon

3 讨 论

有研究表明, 氮素缺乏或过量会导致作物叶绿素含量、根系活力、酶含量和活性下降, 光合同化产物及作物对土壤养分的吸收利用能力降低, 加速生殖生长进程, 从而降低产量和品质^[16]; 钾素缺乏或过量, 可降低功能叶中磷酸蔗糖合成酶(SPS), 不利于作物果实含糖量的增加, 导致品质低劣^[17]。甜瓜对于氮、钾需求量较大, 氮和钾是甜瓜生产中可以调控的重要因子之一^[18], 适量的施用氮、钾肥有利于对矿物质养分平衡吸收, 可保证作物高产优质。适宜的氮

素供应可提高叶绿素含量,增加光合同化产物,从而提高产量和品质^[19]。本试验结果表明,甜瓜功能叶片 SPAD 值随生育期的推进呈先上升后下降的趋势,定植后 49 d 不同氮钾处理 SPAD 值达到最高,且 SPAD 值随氮素供应量的增加而升高,但适宜施氮量抑制叶绿素降解的效果较其他处理明显;不同钾素供应量对甜瓜功能叶片 SPAD 值影响不明显,但在氮素供应不足时施用充足的钾肥有利于减缓叶绿素的分解。根系活力是影响作物养分吸收的重要因素之一,可直接影响作物产量的形成^[20],氮钾配施显著提高作物根系活力,促进根系生长,提高根系吸收能力从而获得高产,施氮量过高反而不利于产量的形成^[21]。本试验结果表明,从定果开始,根系活力一直呈下降趋势,随着生育进程的推进,NK 较其他 4 个处理的甜瓜根系活力下降缓慢,合理的氮、钾素供应量有利于抑制甜瓜生育后期根系活力下降速度。

NK 处理甜瓜单瓜质量和产量最高,平均分别较其他 4 个处理显著增加 21.6% 和 22.1% ($p < 0.05$),氮、钾肥施用量过高甜瓜产量反而有下降的趋势,这可能与氮、钾素供应量过高导致甜瓜生育后期叶绿素含量和根系活力下降速度更快有关,尤其是氮素效果更为显著。有研究认为氮素供应量过高会使大部分光合同化产物与氮形成蛋白质,影响光合产物的转化和输出^[22],且导致根系活力下降,不利于对矿物质养分的吸收利用^[23],从而导致减产。

本试验条件下,不同氮、钾肥施用量对甜瓜果实营养品质的影响差异显著。与其他 4 个处理相比,NK 处理中心、边部可溶性固形物含量和可溶性蛋白含量显著增加 ($p < 0.05$),平均分别增加 9.09%、14.3% 和 12.4%,表明适量增加氮、钾肥用量可显著提高甜瓜中心、边部可溶性固形物含量和可溶性蛋白含量,但用量过多中心、边部可溶性固形物含量和可溶性蛋白含量出现下降趋势,这与前人研究结果基本一致^[24]。这是因为氮、钾素供应量过多植株对氮、钾及其他矿物质养分的吸收利用效率降低,蛋白质含量也不再随着氮素供应量的增加而增加,氮、钾素过多还会导致蔗糖磷酸合成酶 (SPS)、蔗糖合成酶 (SS) 等几种酶活性降低,蔗糖合成受阻,而且光合同化产物大量用于合成蛋白质和其它含氮化合物,致使植株体内糖含量减少^[25]。Shalit 等^[26]认为可溶性固形物含量与甜瓜香气主要成分呈正相关,因此,甜瓜可溶性固形物含量越高,口感越好,甜瓜品质风

味评分越高,这与本试验研究结果一致。甜瓜可滴定酸含量随氮素供应量的增加而呈先降低后增加的趋势,N2K1 处理可滴定酸含量最高,NK 处理最低,表明增施氮、钾肥可降低甜瓜可滴定酸含量,当达到一定量时又呈增加的趋势,且氮肥效果更为显著。本试验还发现,随氮、钾素供应量的增加,作物糖度呈先增加后下降的趋势,酸度则相反,呈先降低后增加的趋势,合理的氮、钾肥施用量可增加甜瓜糖度,减少酸度,提高固酸比,从而改善甜瓜的品质,氮、钾素过量引起固酸比明显降低,导致品质低劣,这与前人研究结果一致^[6,10]。增施氮肥或钾肥可以提高作物维生素 C 含量,但施肥量过高反而不利于维生素 C 的积累^[27-28]。NK 处理甜瓜维生素 C 含量最高,平均显著增加 16.4% ($p < 0.05$),N2K2 处理维生素 C 含量反而显著降低,这可能与氮、钾素供应量过高抑制维生素 C 的合成有关^[29]。抗坏血酸过氧化物酶活性 (APX) 可催化维生素 C 的氧化还原,其活性高低与维生素 C 含量呈负相关^[30],增施氮肥和钾肥可提高作物体内 APX 活性,且随供肥量的增加而增加^[31],因此,这可能就是氮、钾素过多维生素 C 含量反而下降的原因。

近十几年来,农业生产者盲目大量施用化肥,蒋卫杰等研究表明大棚瓜菜类养分利用率仅为 10%~20%^[3]。刘莘等^[32]对寿光市设施大棚肥料年投入量进行了调查,表明平均每年投入 N 3 338、K₂O 3 446 kg·hm⁻²,是当地小麦-玉米轮作种植模式的 6~14 倍,王敬国等^[33]认为瓜菜类平均每季投入的氮量高达 1 200 kg·hm⁻²,过量化肥的施用不仅造成肥料利用率较低,产量和品质反而下降^[34],而且导致土壤盐渍化及环境和生态污染等^[35]。本试验结果显示,适当的氮、钾肥配施有利于提高作物叶绿素含量及根系活力,增加光合同化物及对养分的充分吸收利用能力,从而获得高产的同时兼顾品质,氮、钾肥施用量过多或过少不利于达到高产、稳产、优质的目的。

4 结 论

在甜瓜生产过程中,增施氮、钾肥是提高甜瓜产量和改善品质的重要途径之一。本研究结果表明,NK 处理甜瓜果实的可溶性固形物、可溶性蛋白及维生素 C 等有益呈味物质含量及产量均呈较高水平,而可滴定酸等不利呈味物质含量较低,且 30 人对 NK 处理的甜瓜果肉质评分也呈最高,因此,在

本试验条件下,氮(N)、钾(K₂O)施用量分别为200、300 kg·hm⁻²,才能在保证甜瓜高产的同时兼顾优质。氮、钾素供应量过高不但使甜瓜产量和品质有降低的趋势,还会增加肥料的投入,不利于提高甜瓜的经济效益。

参考文献 References:

- [1] 张阔,孙志梅,刘建涛,司焕森,马文奇. 冀西北坝上地区不同萝卜品种的养分吸收特性比较[J]. 植物营养与肥料学报, 2013, 19(1): 191-199.
ZHANG Kuo, SUN Zhimei, LIU Jiantao, SI Huansen, MA Wenqi. Comparative studies on nutrient absorption characteristics of different radish varieties in the northwest area of Hebei province[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2013, 19(1): 191-199.
- [2] PAPONOV I A, SAMBO P, SCHULTE AUF' M ERLEY G, PRESTERL T, GEIGER H H, ENGELS C. Grain yield and kernel weight of two maize genotypes differing in nitrogen use efficiency at various levels of nitrogen and carbohydrate availability during flowering and grain filling[J]. Plant and Soil, 2005, 272: 111-123.
- [3] 蒋卫杰,邓杰,余宏军. 设施园艺发展概况、存在问题与产业发展建议[J]. 中国农业科学, 2015, 48(17): 3515-3523.
JIANG Weijie, DENG Jie, YU Hongjun. Development situation, problems and suggestions on industrial development of protected horticulture[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2015, 48(17): 3515-3523.
- [4] 周军,张立新,司立征,高梅. 氮磷钾肥不同配比对甜瓜产量的效应[J]. 西北农业学报, 2011, 20(6): 132-135.
ZHOU Jun, ZHANG Lixin, SI Lizheng, GAO Mei. Effect of different ratios of nitrogen, phosphorus and potassium application on yield responses of muskmelon[J]. Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica, 2011, 20(6): 132-135.
- [5] FERNANDES A A, MARTINEZ H E P, OLIVEIRA L R DE. Effect of nutrient sources on yield, fruit quality and nutritional status of cucumber plants, cultivated in hydroponics[J]. Horticultura Brasileira, 2002, 20(4): 571-575.
- [6] 潜宗伟,陈海丽,刘明池. 不同氮素水平对甜瓜芳香物质和营养品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2011, 17(6): 1451-1458.
QIAN Zongwei, CHEN Haili, LIU Mingchi. Effects of nitrogen fertilization on aromatic compounds and nutritional quality of melon fruits[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2011, 17(6): 1451-1458.
- [7] 胡国智,冯炯鑫,张炎,吴海波,熊韬,李青军. 不同施氮量对甜瓜养分吸收、分配、利用及产量的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2013, 19(3): 760-766.
HU Guozhi, FENG Jiongxin, ZHANG Yan, WU Haibo, XIONG Tao, LI Qingjun. Effects of nitrogen fertilization on nutrient uptake, assignment, utilization and yield of melon[J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizer, 2013, 19(3): 760-766.
- [8] 李立昆,李玉红,司立征,程智慧,陈明月. 不同施氮水平对厚皮甜瓜生长发育和产量品质的影响[J]. 西北农业学报, 2010, 19(3): 150-153.
LI Likun, LI Yuhong, SI Lizheng, CHENG Zhihui, CHEN Mingyue. Effects of different nitrogen levels on growth and development, yield and quality of muskmelon[J]. Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica, 2010, 19(3): 150-153.
- [9] 潘艳花,马忠明,吕晓东,杜少平,薛亮. 不同供钾水平对西瓜幼苗生长和根系形态的影响[J]. 中国生态农业学报, 2012, 20(5): 536-541.
PAN Yanhua, MA Zhongming, LV Xiaodong, DU Shaoping, XUE Liang. Effects of different potassium nutrition on growth and root morphological traits of watermelon seedling[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2012, 20(5): 536-541.
- [10] 林多,黄丹枫,杨延杰,陈宁. 钾素水平对网纹甜瓜叶片光合特性及叶绿体亚显微结构的影响[J]. 应用生态学报, 2007, 18(5): 1068-1072.
LIN Duo, HUANG Danfeng, YANG Yanjie, CHEN Ning. Effects of potassium level on photosynthetic characteristics and chloroplast submicroscopic structure of muskmelon leaves[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2007, 18(5): 1068-1072.
- [11] 薛亮,马忠明,杜少平. 沙漠绿洲灌区甜瓜氮磷钾用量优化模式研究[J]. 中国农业科学, 2015, 48(2): 303-313.
XUE Liang, MA Zhongming, DU Shaoping. A Study of the optimized model of N, P, K fertilization on muskmelon in desert oasis area[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2015, 48(2): 303-313.
- [12] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000: 119-248.
LI Hesheng. Principles and techniques of plant physiological biochemical experiment[M]. Beijing: Higher Education Press, 2000: 119-248.
- [13] 张海英,韩涛,王有年,李丽萍. 桃果实品质评价因子的选择[J]. 农业工程学报, 2006, 22(8): 235-239.
ZHANG Haiying, HAN Tao, WANG Youcai, LI Liping. Selection of factors for evaluating peach (*Prunus persica*) fruit quality[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2006, 22(8): 235-239.
- [14] DAVEY M W, MONTAGU M V, INZE'D, SANMARTIN M, KANELIS A, SMIRNOFF N, BENZIE I J J, STRAIN J J, FAVELL D, FLETCHER J. Plant L-ascorbic acid: chemistry, function, metabolism, bioavailability and effects of processing[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2000, 80(7): 825-860.
- [15] HOREMANS N, FOYER C H, POTTERSANDH G, ASARD H. Ascorbate function and associated transport systems in plants[J]. Plant Physiol Biochem, 2000, 38(7/8): 531-540.
- [16] 王月福,于振文,李尚霞,余松烈. 氮素营养水平对冬小麦氮代谢关键酶活性变化和籽粒蛋白质含量的影响[J]. 作物学报, 2002, 28(6): 743-748.
WANG Yuefu, YU Zhenwen, LI Shangxia, YU Songlie. Effect of nitrogen nutrition on the change of key enzyme activity during the nitrogen metabolism and kernel protein content in winter wheat[J]. Acta Agronomica Sinica, 2002, 28(6): 743-748.
- [17] 柳洪韵,史春余,张立明,张海峰,王振振,柴沙沙. 钾素对食用型甘薯糖代谢相关酶活性的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2012, 18(3): 724-732.
LIU Hongyun, SHI Chunyu, ZHANG Liming, ZHANG Hai-

- feng, WANG Zhenzhen, CHAI Shasha. Effect of potassium on related enzyme activities in sugar metabolism of edible sweet potato[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2012, 18(3): 724-732.
- [18] AULAKH M S, MALHI S S. Interactions of nitrogen with other nutrients and water: effect on crop yield and quality, nutrient use efficiency, carbon sequestration, and environmental pollution[J]. *Advances in Agronomy*, 2005, 86: 341-409.
- [19] 陈磊,伍涛,张绍铃,姚改芳,陶书田,贾兵,苗永春,曹慧莲. 丰水梨不同施氮量对果实品质形成及叶片生理特性的影响[J]. *果树学报*, 2010, 27(6): 871-876.
- CHEN Lei, WU Tao, ZHANG Shaoling, YAO Gaifang, TAO Shutian, JIA Bing, MIAO Yongchun, CAO Huilian. Effects of nitrogen fertilizer on fruit quality and leaf physiological metabolism of Hosui pear[J]. *Journal of Fruit Science*, 2010, 27(6): 871-876.
- [20] 杨建昌. 水稻根系形态生理与产量、品质形成及养分吸收利用的关系[J]. *中国农业科学*, 2011, 44(1): 36-46.
- YANG Jianchang. Relationships of rice root morphology and physiology with the formation of grain yield and quality and the nutrient absorption and utilization[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2011, 44(1): 36-46.
- [21] 汪顺义,李欢,刘庆,史衍玺. 氮钾互作对甘薯根系发育及碳氮代谢酶活性的影响[J]. *华北农学报*, 2015, 30(5): 167-173.
- WANG Shunyi, LI Huan, LIU Qing, SHI Yanxi. Interactive effects of nitrogen and potassium on root growth and leaf enzyme activities of sweet potato[J]. *Acta Agriculture Boreali-Sinica*, 2015, 30(5): 167-173.
- [22] 陈敏志,陶勤南,陈云香. 关于西瓜氮磷钾矿物质营养生理特性的研究[J]. *园艺学报*, 1991, 18(3): 227-232.
- CHEN Minzhi, TAO Qinnan, CHEN Yunxiang. Studies on the physiological properties of nitrogen phosphorus and potassium in watermelon plants[J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 1991, 18(3): 227-232.
- [23] SAINJU U M, SINGHAND B P, RAHMAN S. Tomato root growth is influenced by tillage, cover cropping, and nitrogen fertilization[J]. *HortScience*, 2000, 35(1): 78-82.
- [24] 柴仲平,王雪梅,孙霞,蒋平安,张谦. 不同氮磷钾配比滴灌对灰枣产量与品质的影响[J]. *果树学报*, 2011, 28(2): 229-233.
- CHAI Zhongping, WANG Xuemei, SUN Xia, JIANG Pingan, ZHANG Qian. Influence of N, P, K with drip irrigation on yield and fruit quality of Huizao jujube[J]. *Journal of Fruit Science*, 2011, 28(2): 229-233.
- [25] 李冬梅,魏琨,张海森,王秀峰. 氮、磷、钾用量和配比对温室黄瓜叶片相关代谢酶活性的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2006, 12(3): 382-387.
- LI Dongmei, WEI Min, ZHANG Haisen, WANG Xiufeng. Effects of N P K rates and ratios on activities of metabolism enzymes in leaves of cucumber in greenhouse[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2006, 12(3): 382-387.
- [26] SHALIT M, KATZIR N, LARKOV O, BURGER, SHALEKHET F, LASTOCHKIN E, RAVID U, AMAR O, EDELSTEIN M, LEWINSOHN E. Aroma formation in muskmelon: volatile acetates in ripening fruits[J]. *Acta Horticulture*, 2000, 510: 455-462.
- [27] 杨治平,陈明昌,张强,张建杰. 不同施氮措施对保护地黄瓜养分利用效率及土壤氮素淋失的影响[J]. *水土保持学报*, 2007, 21(2): 57-60.
- YANG Zhiping, CHEN Mingchang, ZHANG Qiang, ZHANG Jianjie. Effects of different fertilizer measurement on nutrient utilization in cucumber and nitrate leaching loss from soil in greenhouse[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2007, 21(2): 57-60.
- [28] 王仁才,夏利红,熊兴耀,李大志. 钾对猕猴桃果实品质与贮藏的影响[J]. *果树学报*, 2006, 23(2): 200-204.
- WANG Rencai, XIA Lihong, XIONG Xingyao, LI Dazhi. Effects of applying potassium on kiwifruit eating quality and storage life[J]. *Journal of Fruit Science*, 2006, 23(2): 200-204.
- [29] 张艳丽,李建明,王静静,邹志荣,赵智明. 通风与氮钾肥对温室甜瓜生长及品质的影响[J]. *西北农林科技大学学报(自然科学版)*, 2010, 38(2): 117-122.
- ZHANG Yanli, LI Jianming, WANG Jingjing, ZOU Zhirong, ZHAO Zhiming. Effects of ventilation, nitrogen and potassium on growth and quality of melon in solar greenhouse[J]. *Journal of Northwest Agriculture & Forest University(Natural Science Edition)*, 2010, 38(2): 117-122.
- [30] LI M J, MA F W, ZHANG M, PU F. Distribution and metabolism of ascorbic acid in apple fruits (*Malus domestica* Borkh cv. Gala)[J]. *Plant Science*, 2008, 174: 606-612.
- [31] 韩顺昌,李学才. 氮磷钾施用量对冬油菜几种酶活性的影响[J]. *甘肃农业科技*, 2015(6): 32-36.
- HAN Shunchang, LI Xuecai. Effects of nitrogen, phosphatic and potash fertilizer on the antioxidant enzymes activities of winter rapeseed[J]. *Gansu Agriculture Science and Technology*, 2015 (6): 32-36.
- [32] 刘苹,李彦,江丽华,刘兆辉,高新昊,林海涛,郑福丽,石璟. 施肥对蔬菜产量的影响——以寿光市设施蔬菜为例[J]. *应用生态学报*, 2014, 25(6): 1752-1758.
- LIU Ping, LI Yan, JIANG Lihua, LIU Zhaohui, GAO Xinhao, LIN Haitao, ZHENG Fuli, SHI Jing. Effects of fertilizer application on greenhouse vegetable yield: A case study of Shouguang city[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2014, 25(6): 1752-1758.
- [33] 王敬国. 设施菜田土壤退化修复与资源高效利用[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2011: 5-8.
- WANG Jingguo. Management of degraded vegetable[M]. Beijing: China Agricultural University Press, 2011: 5-8.
- [34] CHEN Q, ZHANG X S, ZHANG H Y, CHRISTIE P, LI X L, HORLACHER D, LIEBIG H P. Evaluation of current fertilizer practice and soil fertility in vegetable production in the Beijing region[J]. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 2004, 69: 51-58.
- [35] 曾希柏,白玲玉,苏世鸣,李莲芳. 山东寿光不同种植年限设施土壤的酸化与盐渍化[J]. *生态学报*, 2010, 30(7): 1853-1859.
- ZENG Xibo, BAI Lingyu, SU Shiming, LI Lianfang. Acidification and salinization in greenhouse soil of different cultivating years from Shouguang city, Shandong[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(7): 1853-1859.