

秦 涛,刘新社. 氮钾肥配施对土壤微生物与西瓜形态建成、品质、产量的影响[J]. 江苏农业科学,2022,50(16):154-161.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2022.16.023

氮钾肥配施对土壤微生物与西瓜形态建成、品质、产量的影响

秦 涛,刘新社

(商丘职业技术学院,河南商丘 476000)

摘要:为探究西瓜最适宜的氮钾施肥量,以美都为供试材料,研究不同氮钾肥配施对西瓜形态建成、土壤微生物数量、品质与产量的影响。结果表明,氮钾肥配施能够促进伸蔓期、开花期茎粗和主蔓的伸长,高氮水平下主蔓伸长最为显著,且以 N3K3 处理茎粗和主蔓长最大,易于徒长。氮钾缺乏促使第 2 朵雌花过早开放,氮肥过高(N3 处理)致使其延迟开放,适宜的氮钾肥用量(N1K2、N2K2、N1K3、N2K3 处理)可使第 2 朵雌花在合理节位开放,开花节位为 12.01 ~ 13.14。伸蔓期同一钾肥水平下,与对照相比,氮肥用量增加可显著提高叶片 SPAD 值和根系活力($P < 0.05$),且以 N3K3 处理最大;在膨果后期,SPAD 值和根系活力以 N2K2 处理最大,N2K3 处理次之,而高氮(N3)处理的 SPAD 值和根系活力降幅相对较大。随着施氮量的增加,细菌数量和比例先升高后降低,且以中氮水平最大,较对照分别增加 30.58%、3.48 百分点,而真菌数量则呈现逐渐升高的趋势。钾肥能够显著促进细菌数量和细菌比例的增加,同时降低真菌和放线菌的比例。同一钾肥水平下增施氮肥能够促进酸性蔗糖转化酶活性的提高,同一氮肥水平下增施钾肥能促进蔗糖合成酶、蔗糖磷酸合成酶活性的提高。中心可溶性固形物含量、边际可溶性固形物含量、单瓜质量、产量均以 N2K3 处理最大,N2K2 处理次之,二者差异不显著。中边差以 N2K2 处理最小,有机酸含量以 N1K3 处理最小。综合而言,以 N2、K2 至 K3 水平下,即尿素施用量为 25 kg/667 m²、硫酸钾施用量为 50 ~ 75 kg/667 m² 时,有利于西瓜的形态建成,第 2 朵雌花开花节位较为适宜,果实品质较好,单瓜质量和产量较高,可推荐为西瓜适宜的氮钾施肥量。

关键词:西瓜;氮素;钾素;形态建成;微生物;品质;产量

中图分类号:S651.06 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2022)16-0154-08

西瓜是我国人民春、夏、秋三季主要消费的瓜果之一。2019 年,西瓜的国内表观消费量达到 6 171 万 t,较 2018 年增长 0.23%,市场需求巨大,经济效益也较为可观。早春拱棚西瓜第一茬瓜产量达到 4 t/667 m² 左右并在 5 月 1 日之前上市,经济效益普遍在 1 万元/667 m² 以上。如果管理得当还可以采收二茬瓜、三茬瓜,经济回报会更为显著。为此,广大瓜农通过多层棚膜覆盖、提早播种的办法促使西瓜提早上市,通过增加施肥量来追求高产。在施肥方面,瓜农习惯性认为,化肥用量越多,西瓜产量越高。化肥用量尤其是氮钾肥用量一年比一年多,但总产量并没有明显提高,甚至有的出现减产的情况,然而瓜农往往把这种结果归咎于种

植期间浇水、打药、温度等 1 ~ 2 个或者更多的环节管理不当所致,因为周边众多的种植户施肥模式基本一致。

氮素能够明显提高土壤的净初级生产能力和产出量,有利于作物实现优质高产,但过量施氮会导致植株徒长、光合产物减少、抗逆性变差、产投比降低、土壤盐碱化、土壤理化性质和微生物群落结构改变等^[1]。另外,对全国土壤调查研究得出,我国大部分农田土壤酸化程度加重与过量施用氮肥有关^[2]。钾是植物生长所必需的营养元素和品质元素,直接或间接参与植株生长发育过程中的一系列生理生化反应,如蛋白质的合成、酶的活化、同化产物的合成与运输^[3],还能提高作物产量、改善作物品质、增强植物抗逆性^[4],但钾过量则会抑制根系对钙等阳离子的吸收利用,破坏土壤营养结构和营养平衡。另外,过量施肥不仅浪费大量化肥资源,还常常带来严重的土壤面源污染,这不利于实现农业部提出的逐步实现化肥用量零增长的战略目标^[5]。因此,选用适宜的氮钾肥用量既能使作物

收稿日期:2021-09-17

基金项目:河南省科技攻关项目(编号:182102110371)。

作者简介:秦 涛(1970—),男,河南商丘人,硕士,副教授,从事园艺专业教学、科研及技术服务。E-mail:sqzyqintao@163.com。

通信作者:刘新社,硕士,教授,从事果蔬专业教学、科研及技术服务。

E-mail:sqzyliu@163.com。

优质高产,又有利于建设资源节约型环境友好型社会。

夏邑县是河南省商丘市西瓜种植大县,仅自根苗西瓜种植面积就在 1.2 万 hm^2 以上,且种植面积呈现逐年扩大的趋势。当地的施肥模式有多种,主要施肥模式:(1)一次性基施氮(N)37.5 kg/667 m^2 、 P_2O_5 37.5 kg/667 m^2 、 K_2O 37.5 kg/667 m^2 ;(2)一次性基施氮 26.1 kg/667 m^2 、 P_2O_5 31.7 kg/667 m^2 、 K_2O 22.5 kg/667 m^2 、腐熟鸡粪 2 m^3 /667 m^2 ;(3)一次性基施氮 11.5 kg/667 m^2 、 P_2O_5 12 kg/667 m^2 、 K_2O 37.5 kg/667 m^2 ,伸蔓期追施氮 11.5 kg/667 m^2 。这几种模式均存在过量施肥的情况。为此,本试验以一次性基施 N 11.5 kg/667 m^2 、 P_2O_5 12 kg/667 m^2 、 K_2O 37.5 kg/667 m^2 ,伸蔓期追施 N 11.5 kg/667 m^2 这种施肥模式为基础,在磷肥用量相同的情况下,对氮钾肥进行减量施用,研究不同氮钾肥用量对早春西瓜生长状况、土壤微生物量、根系活力、SPAD 值、蔗糖酶含量、营养品质及产量的影响,以探究西瓜较为适宜的氮钾肥用量,为建立合理的施肥制度提供数据参考,为提高氮钾肥利用率、减少肥料面源污染提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验于 2020 年 2 月 5 日至 5 月 20 日在商丘市职业技术学院智能温室内进行。温室 0~20 cm 耕层土壤理化性状:碱解氮含量 65.17 mg/kg、速效磷含量 70.22 mg/kg、速效钾含量 59 mg/kg、有机质含量 17.83 g/kg、pH 值 7.67、电导率(EC)0.19 mS/cm(水:土=5 mL:1 g)。供试西瓜品种为美都,供试肥料为尿素(N 含量为 46%)、过磷酸钙(P_2O_5 含量为 12%)、硫酸钾(K_2O 含量为 50%)。

1.2 试验设计

以当地瓜农主要施肥模式[N 11.5 kg/667 m^2 、 P_2O_5 12 kg/667 m^2 、 K_2O 37.5 kg/667 m^2 ,伸蔓期追施 N 11.5 kg/667 m^2 (即施尿素 50 kg/667 m^2 、硫酸钾 75 kg/667 m^2 、过磷酸钙 25 kg/667 m^2)]为基础,通过对氮钾减量施肥进行试验设计。在同等量磷肥(过磷酸钙 25 kg/667 m^2)条件下,设置 9 个氮钾处理和 1 个对照(表 1)。磷肥、钾肥和 1/2 的氮肥作基肥于播前一次性施入,施肥方式为撒施。施肥前用旋耕机旋耕 2 遍,施肥后用小型旋耕机旋耕 2 遍。剩下的 1/2 氮肥作追肥,在伸蔓期进行穴施。

处理和对照均 3 次重复,随机区组排列,每个小区 20 m^2 ,长 10 m、宽 2 m,每个小区隔离带宽 1.5 m,共设置 30 个小区。当西瓜幼苗长至 3 叶 1 心时,选取长势基本一致的幼苗进行移栽,每个小区种植 1 行,株距 40 cm,每个小区栽 26 株,浇水方式为滴灌。

表 1 对照和处理施肥量

处理	尿素施用量 (kg/667 m^2)	硫酸钾施用量 (kg/667 m^2)
CK	0.0	0
N1K1	12.5	25
N2K1	25.0	25
N3K1	50.0	25
N1K2	12.5	50
N2K2	25.0	50
N3K2	50.0	50
N1K3	12.5	75
N2K3	25.0	75
N3K3	50.0	75

注:N1、N2、N3 分别表示低氮、中氮、高氮;K1、K2、K3 分别表示低钾、中钾、高钾。

1.3 测定指标及方法

在膨果后期,采用分光光度计测定酸性蔗糖转化酶(AI)、蔗糖合成酶(SS)、蔗糖磷酸合成酶(SPS)的活性^[6]。用 2,3,5-氯化三苯基四氮唑(TTC)法测定伸蔓期和膨果后期的根系活力,用 NaOH 滴定法测定果实有机酸含量^[7]。采用型号为 KONICA SPAD 502 PLUS 的便携式叶绿素测定仪测定伸蔓期和膨果后期的叶片 SPAD 值,测定位置为成熟功能叶片的中间部位。在伸蔓期和开花期测定主蔓长和茎粗,其中主蔓长是从主茎靠近地表的位置到主蔓顶部间的长度,茎粗的测定采用游标卡尺测定主蔓茎基部。用浙江托普仪器有限公司生产的 TD-45 手持测糖仪测定西瓜果实中心和边际可溶性固形物含量。采用平板稀释计数法测定土壤微生物数量,分别用牛肉膏蛋白胨培养基、马丁氏培养基、改良高氏 1 号合成培养基对细菌、真菌、放线菌进行分离培养^[8]。用百分之一天平测定西瓜质量,每个小区随机选 10 个西瓜称质量取平均值,记为 1 次重复,用小区产量估算产量(kg/667 m^2),每个小区产量记为 1 次重复。

1.4 数据处理

采用 Excel 2007 对试验数据进行处理和作图,用 SPSS 25.0 软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同氮钾肥配施对西瓜形态建成的影响

从表 2 可以看出,氮钾不同用量对西瓜伸蔓期和开花期的茎粗、主蔓长及第 2 朵雌花开花节位的影响不同。茎粗在伸蔓期以 N3K3 处理最大,N3K2 处理次之,N2K3 处理排第三,三者差异不显著;在开花期以 N3K3 处理最大,N2K3 处理次之,N3K2 处理排第三,其中 N2K3 处理与 N3K3、N3K2 处理差异均不显著,表明在氮钾肥施用量相对较高的条件下有利于西瓜茎的增粗。主蔓长在伸蔓期和开花期均以高氮(N3)水平下的 3 个处理相对较长,N3K3 处理最长,N3K2 处理次之,N3K1 处理排第三,而高钾(K3)水平下的 N2K3、N1K3 处理和中钾(K2)水平下的 N2K2、N1K2 处理的主蔓长均低于高氮水平下的 3 个处理,可见氮肥能够显著促进西瓜主蔓的伸长,且氮肥对主蔓伸长的作用大于钾肥。对照第 2 朵雌花开花节位为 7.81 节位,雌花开放较 9 个处理早;在 N1K1、N2K1 处理下,第 2 朵雌花开花节位均在 10 节位以下,开花也相对较早,说明缺肥、低肥能够促使西瓜雌花提早开放。在高氮处理(N3K1、N3K2、N3K3)下,第 2 朵雌花开花节位为 15.33 ~ 16.95,开花节位较其他处理和对照延迟,说明在肥料用量较多尤其是氮肥含量较高的条件下可延迟西瓜雌花开放。在 N1K2、N2K2、N1K3、N2K3 处理下,第 2 朵雌花开花节位为 12.01 ~ 13.14,开花节位较为适宜,这说明只有适宜的氮钾肥用量才能使雌花在合理节位开放。

表 2 不同氮钾肥配施对西瓜形态建成的影响

处理	伸蔓期		开花期		
	茎粗 (cm)	主蔓长 (cm)	茎粗 (cm)	主蔓长 (cm)	第 2 朵雌花 开花节位
CK	0.44e	51.70e	0.74f	137.34g	7.81f
N1K1	0.56d	61.19d	0.98e	174.65f	9.06e
N2K1	0.60bcd	73.63bc	1.09d	193.55cde	9.34e
N3K1	0.62bc	103.86a	1.17bc	228.20b	16.95a
N1K2	0.58cd	64.72d	1.13cd	181.17ef	12.01d
N2K2	0.62bc	72.39bc	1.18bc	201.38c	12.12d
N3K2	0.67a	104.69a	1.23b	234.69ab	16.51a
N1K3	0.61bc	67.12cd	1.21b	186.95def	12.75cd
N2K3	0.63ab	79.43b	1.25ab	200.63cd	13.14c
N3K3	0.68a	107.34a	1.32a	245.43a	15.33b

注:同列数据后标有不同小写字母表示处理间差异显著($P < 0.05$)。下表同。

2.2 不同氮钾肥配施对西瓜 SPAD 值与根系活力的影响

由图 1 可知,在伸蔓期,各处理西瓜叶片 SPAD 值均显著高于对照,且在施钾量相同的条件下,西瓜叶片 SPAD 值随施氮量的增加而增加,分别在 N3K1、N3K2、N3K3 处理达到最大值,但同一钾水平下的 N2 与 N3 处理差异不显著,如 N2K1 与 N3K1 处理差异不显著。在膨果后期,各处理西瓜叶片 SPAD 值均显著高于对照,且以 N2K2 处理最大,较对照显著增加 38.52%。在施钾量相同条件下,西瓜叶片 SPAD 值随施氮量的增加呈现先升高后降低的单峰变化规律,分别在 N2K1、N2K2、N2K3 处理达到最大值。在伸蔓期,随着施钾量的增加,同一氮水平下的 3 个处理间西瓜叶片 SPAD 值差异不显著。在膨果后期,随着施钾量的增加,低氮水平下 3 个处理间的西瓜叶片 SPAD 值差异不显著。另外,各处理的 SPAD 值在膨果后期均低于对应伸蔓期,其中 CK、N1K1、N2K1、N3K1、N1K2、N2K2、N3K2、N1K3、N2K3、N3K3 处理在膨果后期较伸蔓期分别降低 19.66%、16.56%、15.16%、24.63%、15.40%、8.28%、19.91%、15.81%、11.45%、22.03%,可见在中氮水平下的 3 个处理降幅相对较小,且以 N2K2 处理降幅最小,高氮水平下的 3 个处理降幅相对较大。

在伸蔓期,各处理西瓜根系活力均显著高于对照,且在施钾量相同条件下西瓜根系活力随施氮量的增加而增加;在膨果后期,各处理西瓜根系活力均显著高于对照,且以 N2K2 处理的根系活力最大。在施钾量相同的条件下,西瓜根系活力随施氮量的增加呈现先升高后降低的单峰变化规律,分别在 N2K1、N2K2、N2K3 处理达到最大值。各处理的根系活力在膨果后期均低于对应伸蔓期,其中 CK、N1K1、N2K1、N3K1、N1K2、N2K2、N3K2、N1K3、N2K3、N3K3 处理在膨果后期较伸蔓期分别降低 45.01%、41.35%、30.04%、50.62%、26.39%、20.09%、39.30%、26.19%、24.46%、40.14%,可见西瓜根系活力也是在中氮水平下的 3 个处理降幅相对较小,且以 N2K2 处理降幅最小,高氮水平下的 3 个处理降幅相对较大。

2.3 不同氮钾肥配施对西瓜根际微生物数量的影响

为了更直观地研究不同施肥处理对西瓜根际土壤微生物数量及比例的影响,分别在不同氮水平

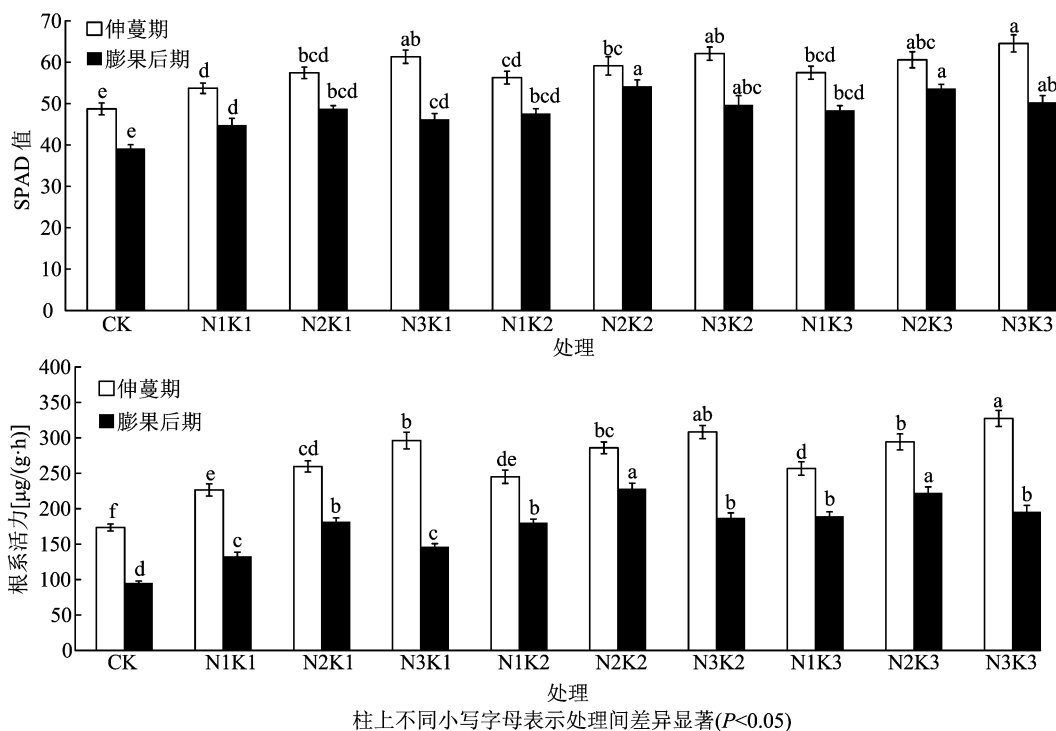


图1 不同氮钾肥配施对西瓜 SPAD 值及根系活力的影响

和不同钾水平下观察微生物数量及比例的变化。分别取氮水平下,如低氮处理(N1K1、N1K2、N1K3)的平均值,中氮、高氮处理的取值方法与低氮处理相同。钾水平下,如低钾处理(N1K1、N2K1、N3K1)的平均值,中钾、高钾处理的取值方法与低钾处理相同。从表 2 可以看出,在低氮、中氮水平下,细菌数量和比例随施氮量的增加而增加,且在中氮水平最大,细菌数量和比例分别较对照增加 30.58%、3.48 百分点,与对照差异显著;当施氮量增加至高氮水平时,细菌数量和细菌比例反而降低,这表明在一

定阈值范围内增施氮肥能增加细菌数量、提高细菌比例,当氮素用量超过一定阈值时则会起抑制作用。随着施氮量的增加,真菌数量呈逐渐增加的变化趋势,真菌比例先降低后升高。其中,高氮水平下,真菌数量和真菌比例分别较对照增加 31.90% 和 0.08 百分点,与对照差异显著。随着施氮量的增加,放线菌数量先升高后降低,放线菌比例先降低后升高。随着施钾量的增加,细菌数量和放线菌数量均逐渐升高,真菌数量先升高后降低,细菌比例逐渐升高,真菌比例和放线菌比例逐渐降低。

表 2 不同施肥方式对西瓜根际土壤微生物数量及比例的影响

处理	微生物数量			比例(%)		
	细菌(×10 ⁵ CFU/g)	真菌(×10 ³ CFU/g)	放线菌(×10 ⁵ CFU/g)	细菌	真菌	放线菌
CK	26.62d	6.74d	11.19bc	70.27d	0.18bc	29.55a
N1	29.12c	6.92cd	11.57ab	71.43cd	0.17cd	28.40ab
N2	34.76a	7.28c	12.30a	73.75abc	0.15de	26.09bcd
N3	23.85e	8.89a	9.82d	70.63d	0.26a	29.11a
K1	21.83e	7.81b	8.56e	71.64bcd	0.26a	28.10abc
K2	31.47b	8.25b	10.86c	74.20ab	0.19b	25.61cd
K3	35.29a	7.03cd	11.78ab	74.86a	0.15e	24.99d

2.4 不同氮钾肥配施对西瓜叶片蔗糖酶活性的影响

从表 3 可以看出,9 个氮钾肥配施处理西瓜叶片酸性蔗糖转化酶、蔗糖合成酶、蔗糖磷酸合成酶

活性均高于对照(CK),说明氮钾配施能够提高酸性蔗糖转化酶、蔗糖合成酶、蔗糖磷酸合成酶的活性。在低钾水平下,酸性蔗糖转化酶活性随氮肥用量的增加呈现逐渐升高的趋势;在中钾、高钾水平下,酸

性蔗糖转化酶活性随氮肥用量的增加也呈现逐渐升高的趋势,这说明在同一钾肥水平下,增施氮肥能够促进西瓜叶片酸性蔗糖转化酶活性的提高。在低氮水平下,酸性蔗糖转化酶活性随钾肥用量的增加呈现逐渐降低的趋势;在中氮、高氮水平下,酸性蔗糖转化酶活性随钾肥用量的增加也呈现逐渐降低的趋势,这表明在同一氮肥水平下,增施钾肥能够抑制西瓜叶片酸性蔗糖转化酶活性的提高。在同一钾肥水平下,不同氮肥用量对西瓜叶片蔗糖合成酶活性的影响多数差异不显著。在同一氮肥水平下,随钾肥用量的增加蔗糖合成酶活性呈逐渐升高的趋势,且中钾、高钾处理均显著高于低钾处理,这表明增施钾肥能促进西瓜叶片蔗糖合成酶活性的提高。在同一钾肥水平下,随着施氮量的增加,西瓜叶片蔗糖磷酸合成酶活性先升高后降低;在同一氮肥水平下,随着施钾量的增加,西瓜叶片蔗糖磷酸合成酶活性呈现逐渐升高的趋势,这表明氮对西瓜叶片蔗糖磷酸合成酶活性具有低促高抑的特点,而钾肥对西瓜叶片蔗糖磷酸合成酶活性具有促进作用。

表 3 不同氮钾肥配施对西瓜叶片蔗糖酶活性的影响

处理	AI 活性	SS 活性	SPS 活性
	[$\mu\text{mol}/(\text{g}\cdot\text{h})$]	[$\mu\text{mol}/(\text{g}\cdot\text{h})$]	[$\mu\text{mol}/(\text{g}\cdot\text{h})$]
CK	210.64d	149.26g	232.50f
N1K1	227.16cd	160.49fg	290.43e
N2K1	270.04b	173.53def	325.62d
N3K1	296.45a	169.24ef	309.47d
N1K2	225.25cd	178.35ede	316.23d
N2K2	243.70c	192.17abc	364.77ab
N3K2	282.42ab	187.06bcd	343.46c
N1K3	218.33d	196.08ab	323.46d
N2K3	220.65d	207.59a	376.05a
N3K3	267.25b	198.73ab	351.71ab

2.5 不同氮钾肥配施对西瓜风味品质指标及产量的影响

由表 4 可知,不同施肥处理对西瓜风味品质指标及产量的影响存在显著差异。在同一钾肥水平下,西瓜中心可溶性固形物含量、边际可溶性固形物含量随施氮量的增加呈现先升高后降低的单峰变化规律,且以中氮水平下的 N2K1、N2K2、N2K3 处理相对较高,说明适宜的氮素用量可以促进西瓜中心可溶性固形物含量的增加,而高氮则起抑制作用。在同一氮肥水平下,西瓜中心可溶性固形物含量、边际可溶性固形物含量随施钾量的增加呈现逐

渐升高的趋势,且均高于对照,这说明施钾肥能够促进西瓜中心和边际可溶性固形物含量的增加。中心可溶性固形物含量以 N2K3 处理最大,N2K2 处理次之,较对照分别增加 37.32%、35.05%,均与对照差异显著;边际可溶性固形物含量以 N2K3 处理最大,N2K2 处理次之,较对照分别增加 50.41%、49.26%,均与对照差异显著。中边差以 N3K2 处理最大,N3K3 处理次之,N3K1 处理排第三,较对照分别增加 39.11%、16.89%、12.44%,这表明高氮条件能够增加西瓜果实中边差。同一钾肥水平下,西瓜果实有机酸含量随氮水平的增加基本呈现逐渐升高的趋势;同一氮肥水平下,西瓜果实有机酸含量随钾水平的增加而降低。其中,果实有机酸含量以 N1K3 处理最低,N3K1 处理最高。西瓜单瓜质量和产量的变化规律一致,9 个处理均显著高于对照,其中均以 N2K3 处理最大,N2K2 处理次之,N3K3 处理排第三,三者差异均不显著,产量均达到 4 000 kg/667 m² 以上。综合西瓜风味指标来看,以 N2K3、N2K2 处理的 2 种施肥方式相对较好,即尿素施用量为 25 kg/667 m²,硫酸钾施用量为 50~75 kg/667 m²。

表 4 不同氮钾配施对西瓜风味品质指标及产量的影响

处理	可溶性固形物含量			有机酸含量 (%)	单瓜质量 (kg)	产量 (kg/667 m ²)
	中心 (%)	边际 (%)	中边差 (百分点)			
CK	8.36f	6.11e	2.25cd	0.23c	2.77e	1 651.96e
N1K1	8.75ef	6.28de	2.47bc	0.22c	3.77d	2 361.89d
N2K1	9.06de	6.65d	2.41bcd	0.25b	4.10d	2 514.39d
N3K1	8.55ef	6.02e	2.53bc	0.29a	3.92d	2 483.54d
N1K2	10.04bc	7.57c	2.48bc	0.18d	5.54c	3 569.55c
N2K2	11.29a	9.12a	2.17d	0.18d	6.48ab	4 132.91a
N3K2	9.47cd	6.34de	3.13a	0.26b	6.02bc	3 807.81bc
N1K3	10.52b	8.06b	2.46bc	0.16e	5.89bc	3 744.04bc
N2K3	11.48a	9.19a	2.29cd	0.17de	6.67a	4 256.61a
N3K3	9.88bc	7.25c	2.63b	0.22c	6.41ab	4 039.86ab

3 讨论与结论

株高和茎粗是衡量植株生长状况的重要指标。前人研究得出,氮素对植株生长发育影响显著,在一定阈值范围内增施氮肥可以促进植株生长^[9],当超出这一阈值时会造成植株生理生长过旺,枝叶徒长^[10],严重者会出现烧苗现象^[11]。钾是植物生物生长必不可少的大量元素之一。钾素供应不足时,植物生长速度放缓,植株矮化,根系生长受到抑制等^[12]。本试验结果表明,氮肥较钾肥对西瓜主蔓的

长度影响大,且主蔓长随氮肥施用量的增加而增长,这是因为氮素能够促进细胞的分裂和伸长^[13],而钾素在促进植物对氮素的吸收利用的同时,主要作用是促进蛋白质、光合产物的合成,以及对植物品质的改善。本试验结果还表明,缺肥(CK)、低肥(N1K1、N2K1)处理下,西瓜第2朵雌花开花显著提前,这应该是因为没有足够养分供应植株生理生长,促使植株过早转入生殖生长,同时应该也与植株长势较弱,叶片间没有遮挡,光照较为充足,有利于花芽分化有关^[14]。在高氮处理(N3K1、N3K2、N3K3)下,西瓜第2朵雌花开花节位又显著大于其他处理和对照,开花时间较晚,致使最终上市时间也较晚,这应该是因为氮肥用量过多能够引起植株贪青徒长、枝叶旺长,花芽发育不良,花芽分化受阻,延迟开花^[15],同时发芽发育不良还能导致坐果后期非商品瓜的比例增加,降低经济效益。另外,植株贪青徒长后,叶片间相互遮光,光照的不足减少了糖分的合成,分配到花器官的碳水化合物减少,花的发育进一步受到影响。在氮钾用量适中(如N2K2处理)水平下,第2朵雌花开花节位较好,约在12节位,既能保证提早坐果又有足够的叶片数制造光合产物,这是因为适宜的氮钾肥用量能够促进花芽较快的分化,并增加花数。

叶绿素是绿色高等植物进行光合作用的中心色素,其含量高低对植物光合能力大小及产量的形成等有重要影响^[16]。氮素是植物体内众多化合物的组分,氮素过量和不足能够抑制叶绿素含量的增加和根系活力的提高,降低光合能力,致使作物产量和品质下降,而适宜的氮素含量则有利于植物叶绿素的合成与根系活力的提高,促进光合能力的提升,使作物优质高产^[17]。钾素可以促进植株对氮素的吸收,提高氮肥利用率。本试验结果表明,在同一钾肥水平下,西瓜伸蔓期叶片SPAD值随施氮量的增加而增加,此结果与张佳群等对压砂西瓜施氮量的研究结论^[18]一致。在同一钾肥水平下,西瓜膨果后期叶片SPAD值随施氮量的增加呈现先升高后降低的单峰变化规律,且在中氮水平下的3个处理(N2K1、N2K2、N2K3)SPAD值最高,且相较于伸蔓期低氮、高氮水平下的6个处理降幅最小,应该是与低氮水平下植株生长养分不足,叶绿素合成受阻有关,而在高氮水平下在结果前期植株营养生长过旺,有徒长的现象,叶片薄而大,植株生物量相对较大,消耗养分相对较多,且抗逆性较差,而结果后果

实生长对养分的需求更高,营养的多极竞争使植株更易早衰,从而使SPAD值降幅较大。同时,这表明中氮水平下的氮肥用量对西瓜生长较为适宜,可作为其适宜的氮肥用量。钾肥对西瓜叶片SPAD值的影响较氮肥小,在同一氮肥水平下,随着施钾量的增加,伸蔓期SPAD值呈现略微升高的趋势。根系能够最先感知土壤水肥状况,并迅速启动一系列相关的生理代谢活动。根系活力是表征根系活动的重要生理指标^[19],能够反映根系对土壤矿质营养元素及水分的吸收及运输性能,进而对作物生长及产量和品质产生影响。有研究表明,氮肥与钾肥配施能够促进根系生长,显著提升根系活力,促进根系对土壤养分的吸收能力^[20]。本试验条件下,氮钾肥配施能够提高西瓜根系活力,但在高氮水平下,氮钾配施处理西瓜根系活力在膨果后期较伸蔓期降幅较大,这应该与植株徒长情况下在膨果后期叶绿素减少、光合能力下降,光合产物因多极竞争而运送至根系的占比较少有关。在中氮水平下,西瓜膨果后期根系活力较伸蔓期的降幅比高氮、低氮水平小,且以N2K2处理降幅最小,这表明适宜的氮钾肥配施能够使西瓜根系活力长期保持在相对较高的水平上,有利于后期西瓜的优质高产。

土壤微生物是地下生态系统的重要组成部分之一,同时又是最活跃的土壤肥力因子之一,它对土壤生态系统的能量流动和物质循环有着重要作用,常被作为衡量土壤质量状况的重要指标之一。土壤微生物系的组成和数量的变化,对土壤养分的有效性及其转化和各种土壤病虫害的发生有较大影响^[21],但土壤微生物也常常受到肥料的影响^[22-23]。本试验结果表明,在高氮水平下,氮肥能够使土壤中细菌数量减少,使真菌数量增加,这应该与施用尿素、铵态氮肥等能降低土壤pH值有关,尽管尿素、铵态氮肥在施用初期能够暂时提高土壤pH值,但在 NH_4^+ 氧化成亚硝酸盐过程中释放的 H^+ 最终会导致土壤酸化^[24]。柏宇等经过长期研究得出,长期施用尿素使东北地区试验地黑土pH值由7.22下降至4.64^[25]。越来越多的研究也表明,土壤微生物群落结构与丰度受土壤pH值影响显著,尤其是细菌对pH值变化更为敏感,酸性土壤可使细菌丰度及多样性显著降低^[26]。高氮水平下,西瓜根系真菌数量增多,这应该是因为植物根际细菌能够较好地使根系防御病原物侵染,而根际细菌数量的减少在一定程度上为多种病原真菌的大量繁

殖提供了条件。另外,多数真菌适宜在偏酸性环境下生长^[27],而酸化的土壤也为真菌的大量繁殖提供了适宜的外界环境。在高氮水平下,西瓜根际土壤细菌比例下降而真菌比例上升,说明高氮水平下的西瓜根际微生物总体结构由健康且易于保持平衡的细菌型向易发生病害的真菌型转变,这不利于后期西瓜植株生长的健壮和西瓜果实的优质高产。随施钾量的增加,西瓜根际细菌比例升高,真菌比例下降,说明施用钾肥能够有效改善土壤微生物环境。

蔗糖转化酶、蔗糖合成酶、蔗糖磷酸合成酶是西瓜果实糖分积累过程中必不可少的 3 种最主要的代谢酶^[28],其中 SPS 是调控蔗糖合成的关键限速酶,是负责蔗糖合成方向的酶,其活性常被用于表征植物体内蔗糖合成的能力;SS 对蔗糖的催化作用是双向的,它既能催化蔗糖的合成又能催化蔗糖的分解;蔗糖转化酶所处环境又可分为酸性转化酶、中性转化酶和碱性转化酶^[29]。众多研究表明,蔗糖转化酶与蔗糖的积累具有负相关关系^[30-31]。因此,研究氮钾肥配施对蔗糖相关酶活性的影响,对生产高品质的西瓜有重要指导意义。本试验结果表明,在同一钾肥水平条件下,高氮处理的蔗糖酸性转化酶活性显著高于中氮、低氮处理,这使得高氮处理下的西瓜植株体内的蔗糖降解相对较快,减少了蔗糖向果实的运载量,这不利于后期西瓜果实风味品质的提高,这表明高氮处理不是西瓜栽培中的合理施肥量。氮肥施用量对西瓜叶片 SS 活性的影响不显著,而钾肥施用量对西瓜叶片 SS 活性的影响显著,且 SS 活性随钾肥用量的增加而提高,说明钾肥能够有效提高西瓜叶片的 SS 活性,有利于后期产量的提高和品质的改善。邓云龙等研究指出,施氮量与烟草叶片 SPS 活性具有负相关关系^[32]。王维等研究认为,水稻叶片 SPS 活性在高氮处理下降低^[33]。本试验结果表明,在同一钾肥水平下,氮肥用量对西瓜叶片 SPS 活性具有低促高抑的作用,这应该是因为 SPS 活性的高低受 SPS mRNA 基因表达量的调节^[34],在低氮条件下 SPS 基因表达水平升高,致使 SPS 活性提高,在高氮条件下 SPS 基因表达水平降低,致使 SPS 活性下降^[35]。因此,在一定范围内,减少氮肥用量能够促进西瓜叶片 SPS 活性的提高,实现氮肥的优化管理。总之,SS、SPS 活性在 N2K3 处理时最高,但 N2K2 处理与之差异不显著,而同一钾肥水平下的中氮处理间 AI 活性差异不显著,从减少肥料面源污染、减少肥料过量施用、优

质西瓜生产的角度看,在生产中可以选择 N2K2 处理的氮钾用量。

可溶性固形物是所有可溶于水的化合物的总称,其主要成分由果糖、蔗糖、葡萄糖等糖类组成,是衡量果实品质风味的重要参考指标。有机酸是西瓜果实主要的风味指标之一,其含量直接影响果实的口感、品质及商品价值^[36]。单瓜质量是构成西瓜产量的重要构成因素之一,单瓜产量则直接决定最后的经济效益。本试验结果表明,氮钾肥配施能够提高西瓜中心、边际可溶性固形物含量,其中氮素在中低水平下对西瓜中心、边际可溶性固形物含量的增加有促进作用,而在高水平下对其有抑制作用,而钾素对西瓜中心、边际可溶性固形物含量的增加有促进作用,这应该与中低水平下蔗糖合成酶、蔗糖磷酸合成酶活性随施氮量的增加而提高,而高氮水平下蔗糖合成酶、蔗糖磷酸合成酶活性均降低,且在高氮水平下酸性蔗糖转化酶活性最高有关,因为 SPS、SS 活性与西瓜果肉组织中蔗糖的积累存在显著的正相关关系,在蔗糖代谢中起关键作用^[37],而酸性蔗糖转化酶会促进糖的分解,与蔗糖的合成具有负相关关系。西瓜总含糖量的增加,更多地取决于蔗糖的增加幅度^[38]。蔗糖是大部分果实积累糖分的主要形式,西瓜糖分的积累形式虽然属于中间类型,但最终进入果实的糖分主要是蔗糖^[39],因此,不同处理间可溶性固形物的变化应该与蔗糖代谢相关酶的活性有关。另外,氮肥用量过高,造成西瓜植株营养生长过旺,植株徒长,养分被营养生长消耗相对较多,且高氮处理在后期根系活力和 SPAD 值下降相对较快,易出现植株早衰的现象,这也在一定程度上影响了西瓜糖分的积累。在高氮处理下,西瓜中边差相对较高,说明氮肥的过量施用会降低西瓜的风味品质。本试验结果还表明,氮钾配施能够促进西瓜单瓜质量和产量的提高,但在同一钾肥水平下,高氮处理的单瓜质量和产量均低于中氮处理,这表明氮肥用量过高不但不能促进西瓜单瓜质量和产量的提高,反而起抑制作用,这与陈钢等的研究结论^[40]一致,这应该是因为氮素用量过高能够抑制光合产物的形成,同时氮素通过与光合产物结合形成蛋白质,减少了光合产物的积累和输出^[41],导致西瓜单瓜质量和产量下降。另外,光合产物供应的不足导致根系活力的减小,影响了根系对矿质元素的吸收利用^[42],这进一步导致西瓜单瓜质量和产量的下降。

参考文献:

- [1] 周 晶, 姜 昕, 马鸣超, 等. 长期施氮对土壤肥力及土壤微生物的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2016(6): 8–13.
- [2] Guo J H, Liu X J, Zhang Y, et al. Significant acidification in major Chinese croplands[J]. Science, 2010, 327(5968): 1008–1010.
- [3] 王 波. 对提高潍坊地区烟叶含钾量的思考[J]. 中国烟草科学, 1998, 19(3): 21–22.
- [4] 杨小燕, 卜玉山, 段小柱. 施钾对番茄产量和品质效应研究[J]. 新疆农业科学, 2005, 42(4): 272–275.
- [5] 余 露. 化肥、农药调转将现新拐点[J]. 农药市场信息, 2015(4): 11.
- [6] 王惠聪, 黄辉白, 黄旭明. 荔枝果实的糖积累与相关酶活性[J]. 园艺学报, 2003, 30(1): 1–5.
- [7] 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.
- [8] 林先贵. 土壤微生物研究原理与方法[M]. 北京: 高等教育出版社, 2010.
- [9] 林碧英, 张 瑜, 陈青青, 等. 不同施肥水平对温室樱桃番茄生长和产量的影响[J]. 西北农业学报, 2010, 19(5): 122–126.
- [10] 沙海宁, 孙 权, 李建设, 等. 不同施氮量对设施番茄生长与产量的影响及最佳用量[J]. 西北农业学报, 2010, 19(3): 104–108.
- [11] 岳文俊, 张富仓, 李志军, 等. 不同氮磷营养条件下苗期水分亏缺对玉米生长及水分利用的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2011, 29(6): 1–6.
- [12] 李 俊. 亚低温及钾肥对温室番茄生理生态特性与营养吸收的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2013.
- [13] Marcelis L F M. Fruit growth and biomass allocation to the fruits in cucumber. 1. Effect of fruit load and temperature[J]. Scientia Horticulturae, 1993, 54(2): 107–121.
- [14] 李德全, 高辉远, 孟庆伟. 植物生理学[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2004.
- [15] 潘瑞炽. 植物生理学[M]. 6 版. 北京: 高等教育出版社, 2008.
- [16] Massacci A, Nabiev S M, Pietrosanti L, et al. Response of the photosynthetic apparatus of cotton (*Gossypium hirsutum*) to the onset of drought stress under field conditions studied by gas-exchange analysis and chlorophyll fluorescence imaging[J]. Plant Physiology and Biochemistry, 2008, 46(2): 189–195.
- [17] 王月福, 于振文, 李尚霞, 等. 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.
- [18] 张佳群, 王西娜, 胡美娟. 施氮量对压砂西瓜氮素累积及 SPAD 的影响[J]. 北方园艺, 2020(12): 39–46.
- [19] 齐 健, 宋凤斌, 刘胜群. 苗期玉米根叶对干旱胁迫的生理响应[J]. 生态环境学报, 2006, 15(6): 1264–1268.
- [20] 汪顺义, 李 欢, 刘 庆, 等. 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.
- [21] 黄玉霞, 李俊华, 褚贵新, 等. 施肥对菜地土壤微生物和土壤酶活性的影响[J]. 石河子大学学报(自然科学版), 2007, 25(5): 552–557.
- [22] Geisseler D, Scow K M. Long-term effects of mineral fertilizers on soil microorganisms: a review[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2014, 75: 54–63.
- [23] 孟佳丽, 吴绍军, 沈 虹, 等. 不同药剂处理对西瓜连作土壤的影响[J]. 江苏农业学报, 2021, 37(3): 651–659.
- [24] 杨永刚, 胡晋飞, 肖洪浪, 等. 景观带尺度高寒区水文特征时空变化规律研究[J]. 环境科学, 2013, 34(10): 3797–3803.
- [25] 柏 宇, 关大伟, 李 力, 等. 耐高氮优良大豆根瘤菌株的筛选与鉴定[J]. 大豆科学, 2014, 33(6): 861–864.
- [26] Zhao J, Ni T, Li Y, et al. Responses of bacterial communities in arable soils in a rice-wheat cropping system to different fertilizer regimes and sampling times[J]. PLoS One, 2014, 9(1): e85301.
- [27] Rousk J, Baath E, Brookes P C, et al. Soil bacterial and fungal communities across a pH gradient in an arable soil[J]. The Isme Journal, 2010, 4: 1340–1351.
- [28] 郭 尚, 田如霞, 王宇楠. 西瓜果实糖分积累研究综述[J]. 中国农学通报, 2010, 26(20): 271–274.
- [29] 崔纪芳. 糖代谢酶活性与西瓜坐果及糖分积累关系的研究[D]. 保定: 河北农业大学, 2008.
- [30] 齐红岩, 李天来, 邹琳娜, 等. 番茄果实不同发育阶段糖分组成和含量变化的研究初报[J]. 沈阳农业大学学报, 2001, 32(5): 346–348.
- [31] 许传强, 李天来, 齐红岩. 嫁接对网纹甜瓜果实发育、糖含量及蔗糖代谢相关酶活性的影响[J]. 园艺学报, 2006, 33(4): 773–778.
- [32] 邓云龙, 孔光辉, 武锦坤, 等. 氮素营养对烤烟叶片淀粉积累及 SPS、淀粉酶活性的影响[J]. 烟草科技, 2001, 34(11): 34–37.
- [33] 王 维, 张建华, 杨建昌, 等. 水分胁迫对贪青迟熟水稻茎贮藏碳水化合物代谢及产量的影响[J]. 作物学报, 2004, 30(3): 196–204.
- [34] Valdez-Alarcón J J, Ferrando M, Salerno G, et al. Characterization of a rice sucrose-phosphate synthase-encoding gene[J]. Gene, 1996, 170(2): 217–222.
- [35] 李国辉, 崔克辉. 氮对水稻叶蔗糖磷酸合成酶的影响及其与同化物积累和产量的关系[J]. 植物生理学报, 2018, 54(7): 1195–1204.
- [36] 赵胜杰, 高 磊, 路绪强, 等. 不同类型西瓜果实糖酸组分含量分析[J]. 中国瓜菜, 2017, 30(8): 7–11.
- [37] 常尚连, 于贤昌, 于喜艳. 西瓜果实发育过程中糖分积累与相关酶活性的变化[J]. 西北农业学报, 2006, 15(3): 138–141.
- [38] 张 莉. 西瓜果实含糖量遗传规律及糖分积累与蔗糖代谢酶的关系[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2010.
- [39] Mccollum T G, Huber D J, Cnatliffe D J. Soluble sugar accumulation and activity of related enzymes during muskmelon fruit development[J]. Amer Soc Hort Sci, 1988, 113(3): 399–403.
- [40] 陈 钢, 宋桥生, 吴礼树, 等. 不同供氮水平对西瓜产量和品质的影响[J]. 华中农业大学学报, 2007, 26(4): 472–475.
- [41] 李冬梅, 魏 珉, 张海森, 等. 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, 393.
- [42] Sainju U M, Singh B P, Rahman S, et al. Tomato root growth is influenced by tillage, cover cropping, and nitrogen fertilization[J]. HortScience, 2000, 35(1): 78–82.