

徐 刚, 彭天沁, 高文瑞, 等. 氮肥水平对木薯渣复合基质栽培黄瓜生长及光合作用的影响[J]. 江苏农业学报, 2015, 31(1): 68-72.

doi:10.3969/j.issn.1000-4440.2015.01.010

氮肥水平对木薯渣复合基质栽培黄瓜生长及光合作用的影响

徐 刚, 彭天沁, 高文瑞, 李德翠, 孙艳军, 韩 冰, 史珑燕
(江苏省农业科学院蔬菜研究所, 江苏 南京 210014)

摘要: 以露丰黄瓜为试验材料, 使用木薯渣复合基质进行桶栽试验, 研究了氮肥施用水平(每桶 0 g 尿素、1 g 尿素、5 g 尿素、15 g 尿素、25 g 尿素)对黄瓜植株营养生长和光合作用的影响。结果显示: 在营养生长期, 植株的株高、茎粗和叶面积均随着氮肥水平的提高出现先增长后降低的趋势; 氮肥水平的提高增加了植株叶片中的叶绿素含量和净光合速率 P_n , 每桶内施用 15 g 尿素处理的植株叶绿素含量为所有处理中最高, 与施氮水平每桶 0 g 尿素、1 g 尿素、5 g 尿素的植株相比, 叶绿素总含量显著升高, 氮肥水平为每桶 25 g 尿素的植株的净光合速率(P_n)最高, 与氮肥水平每桶 15 g 尿素处理差异不显著, 但与氮肥水平每桶 0 g 尿素、1 g 尿素和 5 g 尿素处理的植株差异达到显著水平。

关键词: 黄瓜; 氮肥水平; 光合作用; 营养生长; 产量

中图分类号: S642.201 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2015)01-0068-05

Effects of nitrogen fertilizer rates on growth and photosynthesis of cucumber in cassava compound substrate

XU Gang, PENG Tian-qin, GAO Wen-rui, LI De-cui, HAN Bing, SUN Yan-jun, SHI Long-yan
(Institute of Vegetable Crops, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China)

Abstract: Experiments were conducted to study the effects of different amounts of nitrogen fertilizer rates (0 g, 1 g, 4 g, 15 g, 25 and 50 g per bucket) on vegetative growth and photosynthesis on cucumber Lufeng cultivated in mixed substrate of cassava residue. The results showed: In the stage of vegetative growth, with the nitrogen fertilizer rates increase, the plant height, stem diameter and leaf area all tend to increase first and the decrease later; in the later stage of vegetative growth, the plants planted with the nitrogen fertilizer rates of 5 g and 15g per bucket perform best; The Chl contents and net photosynthetic rate of cucumber leaves is increased as the nitrogen fertilizer rates increase. The total Chl contents is the highest with the nitrogen fertilizer rate of 15 g per bucket. The total net photosynthetic rate is the highest with the nitrogen fertilizer rate of 25 g per bucket.

Key words: cucumber; nitrogen fertilizer rate; photosynthesis; vegetative growth; yield

收稿日期: 2014-06-01

基金项目: 江苏省农业科技自主创新基金项目[CX(12)3002]

作者简介: 徐 刚(1963-), 男, 江苏东台人, 博士, 研究员, 主要从事蔬菜设施栽培技术及相关栽培生理等研究。(E-mail) xugang90@163.com

黄瓜(*Cucumis sativus* L.) 是重要的无土栽培蔬菜品种, 对肥料需求严格, 喜肥但不耐肥^[1-5]。已有大量的研究人员探讨了不同的施氮量对黄瓜果实产量、品质和风味特性等方面的影响^[6-8], 一般认为, 适宜的氮肥水平有利于黄瓜光能利用率的提高, 促进植株的光合作用, 从而保证植株健壮生长和优质高

产^[9]。但目前,尚缺乏针对生产上使用新型无土栽培基质——木薯渣复合基质栽培黄瓜时的适宜氮肥施用水平的研究。

保水剂(Superabsorbent Polymers, SAP)是近年来发展较快的一种化学调控节水节肥物质,其交联的网状结构上具有许多亲水基团,使它能够在迅速并且反复地吸收比自身重数十倍甚至近百倍的含盐水分^[10],并缓慢释放出水分和养分以持续供给植株吸收利用。张保军等^[11]发现保水剂对化肥氯化铵和尿素等都具有一定的吸持作用。俞满源等^[12]对马铃薯进行了保水剂配施氮肥的田间应用试验,发现该技术提高了不同阶段马铃薯叶片的光合速率,花期生物积累量增加了46.7%~98.8%,马铃薯茎叶生育期延长14~15 d,马铃薯块茎产量增加75.0%~108.3%。徐刚等^[13]使用保水剂吸收尿素溶液后与土壤拌匀进行辣椒的栽培试验,发现能够显著地提高植株的生长量。研究表明,在无土栽培基质中也可以添加保水剂,并且当基质内养分较充足时,保水剂可以吸收多余的养分,并按照植株的生长需求将其吸收的养分通过交换作用供给植物^[14-16]。

本试验拟探讨在木薯渣复合基质中添加保水剂和相同磷钾肥的基础上,不同的氮肥施用水平对黄瓜的营养生长、光合作用、产量和果实品质的影响,以期得出适用于木薯渣的最佳氮肥施用水平,为木薯渣在黄瓜无土栽培上的高效应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试黄瓜品种为露丰。无土栽培基质为木薯渣:蛭石:草炭=2:1:1(体积比)的复合基质。栽培基质养分含量为:全氮为5.73 g/kg,全磷为4.88 g/kg,全钾为14.31 g/kg,速效氮为1.06 g/kg,速效磷为0.56 g/kg,速效钾为0.74 g/kg,有机质含量为15.18%。

1.2 试验方案

栽培试验在江苏省农业科学院六合基地大棚内进行,栽培形式为桶栽,每1桶内装满6 kg复合基质。氮肥种类为尿素,设置5个施用水平,即: N_0 =每桶0 g 尿素、 N_1 =每桶1 g 尿素、 N_2 =每桶5 g 尿素、 N_3 =每桶15 g 尿素、 N_4 =每桶

25 g 尿素。定植前将尿素与5.0 g 保水剂、7.5 g 过氧化磷和20.0 g 氯化钾在基质中混匀。黄瓜幼苗长至三叶一心时定植,每1桶内定植1株,每1个小区15桶,3次重复,随机排列。定植后只浇灌清水。

1.3 测定指标及方法

定植20 d后计算各处理的成活率,采收果实并计算产量。定植20 d后测量黄瓜的株高、茎粗、叶片数、最大功能叶的叶长和叶宽,并根据叶长和叶宽与叶面积的经验函数计算叶面积,叶面积=14.61-5L+0.94L²+0.47W+0.63W²-0.62LW(L为最大叶长,W为最大叶宽)^[17]。每隔10 d测1次,共测量3次。

定植45 d后,使用便携式光合测定仪(LI-6400,美国)于晴天上午9:00~11:00测定光合参数。测定时选择植株生长点下数第5片叶,每个处理测量3株。取生长点下第5片展开真叶,采用丙酮:乙醇:水=4.5:4.5:1.0(体积比)混合液浸提法^[18]测定叶绿素含量。

使用日本京都电子 KEM 数显手持便携式糖度计(RA-250HE)测定可溶性固形物含量;蒽酮比色法测定可溶性糖含量^[19];红菲罗啉法测定 AsA 含量^[20];紫外分光光度法测定硝酸盐含量^[21];NaOH 滴定法测定有机酸含量^[22]。

数据采用 SPSS 软件进行显著性检验, Duncan's 法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 不同氮肥施用水平对黄瓜成活率和产量的影响

由表1可以看出,氮肥施用水平过高影响了定植后黄瓜植株的成活率。处理 N_0 、 N_1 、 N_2 和 N_3 的植株总成活率均为100%;而处理 N_4 中植株总成活率为80%,存活下来的植株生长良好。单瓜长和单瓜质量是产量的重要构成因素,从试验结果看,处理 N_2 、 N_3 和 N_4 在单瓜长和单瓜质量上无显著差异,并且均显著高于处理 N_0 和 N_1 。 N_0 产量最低,处理 N_3 产量最高,显著高于其他4个处理, N_1 、 N_2 、 N_4 的产量均显著高于 N_0 。表明,使用木薯渣复合基质栽培黄瓜时,施肥能够显著地增加黄瓜产量,在一定范围内,随着氮肥施用水平的提高,产量也随之增加。

表 1 不同氮肥施用水平对黄瓜成活率和产量的影响

Table 1 The effects of different amounts of nitrogen applications on ratio of living plants and fruiting stages of cucumber

处理	总成活率 (%)	单瓜长 (cm)	单瓜质量 (g, FW)	小区产量 (kg)
N ₀	100	31.40±3.99b	171.99±51.13b	2.81±0.51d
N ₁	100	34.43±0.47b	182.75±37.86b	7.04±1.71c
N ₂	100	42.87±1.36a	334.79±35.83a	15.74±1.72b
N ₃	100	39.90±1.37a	330.15±16.58a	25.14±2.76a
N ₄	80	39.90±3.14a	341.29±15.18a	13.39±0.69b

处理 N₀、N₁、N₂、N₃、N₄ 分别表示每桶施 0 g、1 g、5 g、15 g、25 g 尿素。同一列中不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

表 2 不同氮肥施用水平对黄瓜生长指标的影响

Table 2 Effects of different amounts of nitrogen applications on growth index of cucumber

处理	株高 (cm)			茎粗 (mm)			叶片数			叶面积 (cm ²)		
	20 d	30 d	40 d	20 d	30 d	40 d	20 d	30 d	40 d	20 d	30 d	40 d
N ₀	10.77a	33.87c	78.23c	5.81b	8.79c	9.40d	3.00a	6.33b	11.00c	80.37b	172.40c	183.19c
N ₁	11.23a	42.07b	106.00b	5.81b	10.31b	11.23b	3.00a	8.67a	14.00b	81.28b	257.09ab	293.50b
N ₂	11.90a	52.13a	116.83a	6.29a	11.41a	12.67a	3.00a	9.67a	23.33a	118.06a	301.50a	347.28a
N ₃	9.27b	45.10b	117.80a	5.21c	10.57b	12.49a	3.00a	8.33a	21.00a	49.67c	240.41b	378.73a
N ₄	7.77c	26.93d	84.70c	4.64d	7.46d	10.40c	3.00a	6.00b	13.00bc	30.27d	128.75d	300.97b

处理 N₀、N₁、N₂、N₃、N₄ 分别表示每桶施 0 g、1 g、5 g、15 g、25 g 尿素。同一列中不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

2.3 不同氮肥施用水平对黄瓜叶片叶绿素含量和光合特性的影响

随着氮肥施用水平的提高,黄瓜叶片内的叶绿素 a、叶绿素 b 和叶绿素总含量呈先增加后减少的趋势。处理 N₃ 中的叶绿素 a、叶绿素 b 和叶绿素总含量为所有处理中最高,与处理 N₀、N₁ 和 N₂ 相比,叶绿素 a 含量分别增加 222.73%、200.00% 和 29.09%,叶绿素 b 含量分别增加 303.33%、116.07% 和 57.14%,叶绿素总含量分别增加 236.46%、154.33% 和 33.47%,差异均达到显著水平,但与处理 N₄ 差异不显著(表 3)。

表 4 显示,黄瓜的净光合速率 (P_n) 随着氮肥施用水平的提高而提高,处理 N₄ 的 P_n 在所有处理中最高,显著高于 N₀、N₁ 和 N₂。而黄瓜的胞间 CO₂ 浓度 (C_i) 随着氮肥施用水平的提高而降低,处理 N₀ 的 C_i 值最高,显著高于处理 N₁、N₂、N₃ 和 N₄。

2.2 不同氮肥施用水平对黄瓜营养生长的影响

表 2 显示,在定植 20 d 时,处理 N₀、N₁ 和 N₂ 的株高、茎粗和叶面积都显著高于处理 N₃ 和 N₄,其中,处理 N₂ 的生长势表现最佳,而处理 N₄ 的株高、茎粗和叶面积均为所有处理中最低;在定植第 30 d 时,处理 N₄ 的株高、茎粗、叶片数和叶面积仍显著低于其他处理,而处理 N₂ 的生长势表现仍为最佳,株高、茎粗和叶面积均显著高于其他处理;定植第 40 d 时,处理 N₂ 和 N₃ 的株高、茎粗、叶片数和叶面积均显著高于其他处理,但这两个处理之间差异不显著。

表 3 不同氮肥施用水平对黄瓜叶片叶绿素含量的影响

Table 3 The effects of different amounts of nitrogen applications on Chl a content, Chl b content and total Chl content of cucumber leaves

处理	叶绿素 a 含量 (μg/g, FW)	叶绿素 b 含量 (μg/g, FW)	叶绿素总含量 (μg/g, FW)
N ₀	0.66±0.05c	0.30±0.05c	0.96±0.10c
N ₁	0.71±0.05c	0.56±0.16c	1.27±0.44c
N ₂	1.65±0.04b	0.77±0.08b	2.42±0.05b
N ₃	2.13±0.16a	1.21±0.11a	3.23±0.26a
N ₄	1.90±0.06a	1.05±0.03a	2.94±0.04a

处理 N₀、N₁、N₂、N₃、N₄ 分别表示每桶施 0 g、1 g、5 g、15 g、25 g 尿素。同一列中不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

水分利用效率 (WUE) 是指植物消耗单位水量生产出的同化量,能够反映植物生长中的能量转化效率^[23-24]。在叶片水平上, WUE 值以净光合速率 (P_n) 与蒸腾速率 (T_r) 之比 (P_n/T_r) 来表示^[25]。结果(表 4)表明,施氮水平显著影响着黄瓜叶片的 T_r 。

和 WUE 。处理 N_0 和 N_1 的 T_r 和 WUE 值均显著低于其他处理,但这两个处理间无显著差异。处理 N_4 的 WUE 最高,较处理 N_0 、 N_1 、 N_2 和 N_3 分别提高了

30.19%、26.72%、11.41% 和 11.04%,差异均达到显著水平。

表 4 不同氮肥施用量对黄瓜叶片光合特性的影响

Table 4 Effects of different amounts of nitrogen applications on the photosynthetic characteristics of cucumber leaves

处理	净光合速率 [$\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]	气孔导度 [$\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]	胞间 CO_2 浓度 ($\mu\text{mol}/\text{mol}$)	蒸腾速率 [$\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]	气孔限制值	水分利用效率 ($\mu\text{mol}/\text{mmol}$)
N_0	$11.09 \pm 0.77\text{c}$	$0.46 \pm 0.11\text{bc}$	$331.31 \pm 4.24\text{a}$	$4.36 \pm 0.52\text{b}$	$0.13 \pm 0.02\text{b}$	$2.55 \pm 0.12\text{c}$
N_1	$11.73 \pm 1.07\text{c}$	$0.53 \pm 0.14\text{b}$	$324.28 \pm 5.09\text{b}$	$4.52 \pm 0.78\text{b}$	$0.13 \pm 0.02\text{b}$	$2.62 \pm 0.20\text{c}$
N_2	$16.96 \pm 2.02\text{b}$	$0.73 \pm 0.15\text{ab}$	$315.18 \pm 3.11\text{c}$	$5.69 \pm 0.51\text{a}$	$0.14 \pm 0.01\text{ab}$	$2.98 \pm 0.15\text{b}$
N_3	$18.79 \pm 0.94\text{ab}$	$0.93 \pm 0.11\text{a}$	$316.40 \pm 2.25\text{c}$	$6.29 \pm 0.46\text{a}$	$0.13 \pm 0.01\text{b}$	$2.99 \pm 0.15\text{b}$
N_4	$19.50 \pm 0.12\text{a}$	$0.74 \pm 0.12\text{ab}$	$303.52 \pm 0.69\text{d}$	$5.86 \pm 0.06\text{a}$	$0.16 \pm 0.01\text{a}$	$3.32 \pm 0.06\text{a}$

处理 N_0 、 N_1 、 N_2 、 N_3 、 N_4 分别表示每桶施 0 g、1 g、5 g、15 g、25 g 尿素。同一列中不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

2.4 不同氮肥施用量对黄瓜果实品质的影响

从表 5 中可以看出,随着氮肥水平的提高,黄瓜果实内的可溶性固形物和可溶性糖含量呈先增加后减少的趋势,处理 N_2 和 N_3 果实中的可溶性固形物和可溶性糖含量为所有处理中最高,显著高于处理 N_0 、 N_1 和 N_4 ,但处理 N_2 和 N_3 之间差异不显著,处理 N_0 果实内的可溶性固形物和可溶性糖含量最低。果实内的抗坏血酸含量随着氮肥施用水平的提高而降低,处理 N_0 内的抗坏血酸含量为所有处理中最

高,显著高于处理 N_3 和 N_4 ,与处理 N_1 和 N_2 的差异不显著。果实内硝酸盐含量随着氮肥施用水平的提高而增加,处理 N_4 果实内的硝酸盐含量为所有处理中最高,显著高于其他 4 个处理。有机酸的含量随着氮肥水平的提高呈先降低后增长的趋势,处理 N_4 果实内的有机酸含量显著高于处理 N_0 、 N_1 、 N_2 和 N_3 ,说明适当的提高氮肥水平能够降低果实的酸度,但过高的氮肥水平反而显著地增加了果实酸度,这与前人研究结果一致。

表 5 不同氮肥施用水平对黄瓜品质的影响

Table 6 The effects of different amounts of nitrogen applications on nutritive quality of cucumber in middle fruiting stage

处理	可溶性固形物 (%, FW)	可溶性糖含量 (mg/g, FW)	抗坏血酸含量 (mg/g, FW)	硝酸盐含量 (mg/kg, FW)	有机酸 (%, FW)
N_0	$3.57 \pm 0.15\text{c}$	$0.8036 \pm 0.0841\text{c}$	$0.4308 \pm 0.0109\text{a}$	$34.94 \pm 1.76\text{c}$	$1.31 \pm 0.12\text{b}$
N_1	$3.80 \pm 0.10\text{c}$	$0.9461 \pm 0.0163\text{b}$	$0.4135 \pm 0.0579\text{ab}$	$36.91 \pm 1.69\text{c}$	$1.28 \pm 0.18\text{b}$
N_2	$5.07 \pm 0.25\text{a}$	$1.4776 \pm 0.0660\text{a}$	$0.3875 \pm 0.0178\text{ab}$	$38.74 \pm 2.17\text{bc}$	$1.18 \pm 0.04\text{b}$
N_3	$4.97 \pm 0.15\text{a}$	$1.4624 \pm 0.0717\text{a}$	$0.3633 \pm 0.0246\text{b}$	$41.00 \pm 3.45\text{b}$	$1.34 \pm 0.04\text{b}$
N_4	$4.53 \pm 0.06\text{b}$	$0.9196 \pm 0.0873\text{bc}$	$0.2793 \pm 0.0141\text{c}$	$50.58 \pm 0.65\text{a}$	$1.88 \pm 0.08\text{a}$

处理 N_0 、 N_1 、 N_2 、 N_3 、 N_4 分别表示每桶施 0 g、1 g、5 g、15 g、25 g 尿素。同一列中不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

3 讨论

试验结果表明,使用木薯渣复合基质栽培黄瓜时,氮肥施用水平影响了果实的产量、单瓜长和单瓜质量。总体上说,黄瓜的产量随着每桶基质内的氮肥施用水平的提高而呈先增加而后减少的趋势。获得较高产量的适宜施氮水平是每桶 15 g 尿素,相对不施氮肥对照有显著的增产效应。

蔬菜作物通过光合作用合成碳水化合物积累于

物质,植株的株高、叶片数及叶面积等生长指标直接反映了积累的多少。在一定范围内,提高氮肥施用水平有利于黄瓜植株的健壮生长,但氮肥施用水平过高,碳水化合物被大量用于合成蛋白质、叶绿素和其他含氮化合物^[24],而促使蔗糖分解的酸性蔗糖转化酶也会增加^[25],致使植物体内糖积累显著减少,造成植株的营养生长受阻。

氮是叶绿素的结构组成元素,所以叶绿素含量在一定程度上反映了叶片内的含氮水平,而叶片含

氮水平又直接影响着黄瓜叶片光合速率的高低^[26]。本试验结果表明,黄瓜叶片中的叶绿素 a、叶绿素 b 和叶绿素总含量均随着施氮水平的提高呈先增加后降低的趋势,而光合速率则随着施氮水平的提高而提高。

前人在有关氮肥施用水平与 *WUE* 的相关性研究上结果不尽一致。刘晓宏等^[27]研究认为 *WUE* 随施氮量的增加而显著提高;而赵义涛等^[28]研究认为, *WUE* 随施氮量的增加而增加,但施氮达到一定水平后, *WUE* 随施氮量的增加而降低。就本试验结果来看,黄瓜叶片的 *WUE* 值与施氮水平呈正相关。李生秀等^[29]认为施用氮肥提高水分利用效率的机理在于氮肥促进了植物根系发育,提高了根系的吸水功能,并且改善了叶片的光合作用。

参考文献:

- [1] AL-HARBI A R. Growth and nutrient composition of tomato and cucumber seedlings as affected by sodium chloride salinity and supplemental calcium[J]. *Journal of Plant Nutrition*, 1998, 18(7): 1403-1406.
- [2] 吴传万,杜小凤,顾大路,等. 植物源药肥对温室黄瓜生长发育和土壤环境的影响[J]. *江苏农业学报*, 2014, 30(1): 92-99.
- [3] 徐 艳,王东华,纪明山. 5 种常见食用菌液体发酵产物对黄瓜褐斑病的抑制作用[J]. *江苏农业科学*, 2014, 42(8): 114-115.
- [4] 万景旺,邵 颖,朱 华,等. 生防菌 Jdm2 与生物源农药混用防治黄瓜根结线虫病的效果[J]. *江苏农业科学*, 2014, 42(4): 108-110.
- [5] 张黎杰,周玲玲,李志强,等. 菌渣复合基质栽培对日光温室黄瓜生长发育和产量品质的影响[J]. *江苏农业科学*, 2014, 42(3): 109-111.
- [6] 徐坤范,艾希珍,张晓慧,等. 氮素水平对日光温室黄瓜品质的影响[J]. *西北农业学报*, 2005, 14(1): 162-166.
- [7] 王 柳,张福曼,魏秀菊. 不同氮肥水平对日光温室黄瓜品质和产量的影响[J]. *农业工程学报*, 2007, 23(12): 225-229.
- [8] 孙晓琦,陈茂学,杜栋良,等. 氮、钾营养对日光温室黄瓜风味品质的影响[J]. *内蒙古农业大学学报*, 2007, 28(3): 182-190.
- [9] 李银坤,武雪萍,吴会军,等. 水氮条件对温室黄瓜光合日变化及产量的影响[J]. *农业工程学报*, 2010, 26(Suppl. 1): 122-129.
- [10] 陈海丽. 保水剂农用特性及其在黄瓜和大白菜栽培中的应用研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2006.
- [11] 张保军,丁瑞霞. 保水剂在农业上的应用现状及前景分析[J]. *水土保持研究*, 2002, 9(2): 51-54.
- [12] 俞满源,黄占斌,方 锋,等. 保水剂、氮肥及其交互作用对马铃薯生长和产量的效应[J]. *干旱地区农业研究*, 2003, 21(3): 15-19.
- [13] 徐 刚,韩玉玲,高文瑞,等. 保水剂与氮肥结合对辣椒生长及光合作用的影响[J]. *江苏农业学报*, 2012, 2(4): 823-827.
- [14] POLYKAOVA Y. Polymers soil conditioners and nitrogen fertilizers[J]. *Soviet Soil Science*, 1976, 8(4): 443-446.
- [15] KOCHBA M, GRAMBASH S, AVNI M Y. Studies on slowrelease fertilizers: Effect of temperature, soil moisture and water vapor pressure [J]. *Soil Science*, 1990, 149(6): 339-343.
- [16] CHATZOUZIS G K, VALKANAS G N. Monitoring the combined action of controlled-release fertilizers and a soil conditioner in soil [J]. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 1995, 26(17-18): 3099-3111.
- [17] SUZANNE N R, DAVID M P. Leaf area prediction model for cucumber from linear measurements [J]. *Horticulture Science*, 1987, 22(6): 1264-1266.
- [18] 黄占斌,辛小桂,宁荣昌,等. 保水剂在农业生产中的应用与发展趋势 [J]. *干旱地区农业研究*, 2003, 21(3): 11-14.
- [19] 赵世杰,刘华山,董新纯. 植物生理学实验指导 [M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1998.
- [20] ARAKAWA N, TSUTSUMI K, SANCEDA N G, et al. A rapid and sensitive method for the determination of ascorbic acid using 4,7-diphenyl-1,10-phenanthroline [J]. *Agricultural and Biological Chemistry*, 1981, 45: 1289-1290.
- [21] 卢基明,陈 颖,廖宗文. 紫外分光光度法测定蔬菜硝态氮的改进 [J]. *华南农业大学学报*, 1997, 18(4): 104-106.
- [22] 劳家桎. 土壤农化分析手册 [M]. 北京: 农业出版社, 1998.
- [23] JAMES R F, JAMES J C. Water and nitrogen effects on winter wheat in the southeastern coastal plain: I. Grain yield and kernel traits [J]. *Agronomy Journal*, 1995, 87(3): 521-526.
- [24] 邹承鲁. 当代生物学 [M]. 北京: 中国致公出版社, 2000.
- [25] 张正斌,山 仑. 作物水分利用效率和蒸发蒸腾估算模型的研究进展 [J]. *干旱地区农业研究*, 1997, 15(1): 73-78.
- [26] 陈永山,戴剑锋,罗卫红,等. 叶片氮浓度对温室黄瓜花后叶片最大总光合速率影响的模拟 [J]. *农业工程学报*, 2008, 24(7): 13-19.
- [27] 刘晓宏,肖洪浪,赵良菊. 不同水肥条件下春小麦耗水量和水分利用率 [J]. *干旱地区农业研究*, 2006, 24(1): 56-59.
- [28] 赵义涛,梁运江,许广波. 水肥耦合对保护地辣椒水分利用效率的影响 [J]. *吉林农业大学学报*, 2007, 29(5): 523-527, 546.
- [29] 李生秀,李世清,高亚军,等. 施用氮肥对提高旱地作物土壤水分的作用机理和效果 [J]. *干旱地区农业研究*, 1994, 12(1): 38-46.

(责任编辑:陈海霞)