

# 水肥交互作用对黄土高原南瓜光合特性及其产量的影响

高 静<sup>1</sup>, 梁银丽<sup>1,2</sup>, 贺丽娜<sup>1</sup>, 周茂娟<sup>1</sup>, 韦泽秀<sup>1</sup>, 栾正春<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>西北农林科技大学 杨凌 712100; <sup>2</sup>中国科学院水利部水土保持研究所 杨凌 712100)

**摘 要:** 通过不同的灌水和施肥处理, 研究水肥交互作用对南瓜光合特性日变化及产量的影响, 结果表明: 水分与施肥因子对南瓜叶片的光合特性和产量有重要影响, 在水分胁迫的情况下, 肥水交互作用不显著, 在水分较低的情况下, 二者表现互为限制条件的协同作用; 在水分较高的情况下, 肥水交互作用转变成顺序加和作用。其中单因素效应大小表现为: 氮 > 水 > 磷, 耦合效应大小表现为: 氮与水耦合 > 氮与磷耦合 > 磷与水耦合。在水分适宜时, 适宜的施肥量(施氮量 50kg hm<sup>2</sup>、施磷量 35 kg hm<sup>2</sup>) 可以提高南瓜光合速率和产量, 不施肥或施肥量过高都会影响南瓜光合速率和产量。

**关键词:** 水肥交互; 南瓜; 光合特性; 产量

中图分类号: S642.1 文献标识码: A

## Influence of Water and Fertilizer Coupling on Photosynthetic Characters and Yield of Pumpkin In Loess Plateau

Gao Jing<sup>1</sup>, Liang Yinli<sup>1,2</sup>, He Lina<sup>1</sup>, Zhou Maqjuan<sup>1</sup>, Wei Zexiu<sup>1</sup>, Luan Zhengchun<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, Yangling Shaanxi 712100;

<sup>2</sup>Institute of Soil and Water Conservation, The Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resource, Yangling Shaanxi 712100)

**Abstract:** Effects of water and fertilizer coupling on photosynthetic characteristics and yield of pumpkin were investigated at conditions with different water and fertilizer treatments. The results showed that: the influence of water and fertilizer factors on the pumpkin photosynthetic characters and yield are great, water and fertilizer coupling was not significant under the water stress situation, water and fertilizer coupling was restricted each other under the low water situation, water and fertilizer coupling was increased each other under the high water situation. The single factor effect is: N>water>P, the coupling effect is: nitrogen and water coupling>nitrogen and phosphorus coupling>phosphorus and water coupling. The appropriate fertilization level (nitrogen 50kg.hm<sup>-2</sup>, phosphorus 35 kg.hm<sup>-2</sup>) can increase the photosynthetic rate and yield of pumpkin when the water level was appropriated.

**Key words:** water and fertilizer coupling, pumpkin, photosynthetic character, yield

养分和水分是作物生育不可缺少的重要物质资源。水是肥效发挥的关键, 肥是打开水土系统生产效能的钥匙, 肥水关系失调意味着植物生长过程的衰退和停止。因此, 确定合理的施肥量必须与水分状况紧密结合<sup>[1-3]</sup>。在干旱或半干旱地区, 水分是影响作物生长的

主导限制因子, 中国自“八五”以来, 在水肥耦合效应方面的研究进展很快。孟兆江<sup>[4]</sup>在夏玉米上研究了氮、磷、水三因素的综合效应。结果表明, 水肥配合存在阈值反应。低于阈值, N、P无明显增产效应, WUE值低; 高于阈值, 水肥互作增产效应显著。刘作新<sup>[5]</sup>在辽西也提出

基金项目: 中国科学院知识创新项目“不同类型区主要生态经济建设模式试验示范研究”(KZCX2-XB2-05-01); 国家科技支撑计划课题“丘陵沟壑区生态经济建设模式研究与示范”(2006BAD09B07); 中科院水利部水保所领域前沿项目“黄土丘陵区农田系统作物生产与环境效应”(SW04302)。

第一作者简介: 高静, 女, 1983年1月出生, 彝族, 生态学硕士, 主要从事作物生态生理研究。地址: 陕西杨凌西北农林科技大学水土保持研究所。电话: 029-87012227 E-mail: yuchen1688@163.com。

收稿日期: 2008-01-21, 修回日期: 2008-03-04。

**土壤肥料科学**

了类似的阈值(或称最佳配比)。但关于水肥交互作用对南瓜的影响的研究很少,在人们越来越重视营养、保健、延缓衰老和健康长寿的今天,大力开发生产南瓜系列保健品具有广阔的发展前景。随着人们对南瓜功能了解的日趋深入,南瓜必将成为一种不可缺少的蔬菜作物<sup>[6-8]</sup>。

笔者旨在研究水肥的交互作用对南瓜生长期间光和特性和产量的影响规律,以提出黄土高原干旱区,有利于南瓜生长的肥力和水分水平,对旱地农业中,在水分胁迫下科学地使用肥料,以肥调水充分发挥肥和水的激励机制和协同效应,提高资源的利用效率、降低成本、增加南瓜产量具有实际指导意义。

**1 材料与方 法**

表 1 试验水肥处理方案(2006—2007 年)

处理编号	处理	处理编号	处理	处理编号	处理
1	N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> H	10	N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> M	19	N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> L
2	N <sub>0</sub> P <sub>1</sub> H	11	N <sub>0</sub> P <sub>1</sub> M	20	N <sub>0</sub> P <sub>1</sub> L
3	N <sub>0</sub> P <sub>2</sub> H	12	N <sub>0</sub> P <sub>2</sub> M	21	N <sub>0</sub> P <sub>2</sub> L
4	N <sub>1</sub> P <sub>0</sub> H	13	N <sub>1</sub> P <sub>0</sub> M	22	N <sub>1</sub> P <sub>0</sub> L
5	N <sub>1</sub> P <sub>1</sub> H	14	N <sub>1</sub> P <sub>1</sub> M	23	N <sub>1</sub> P <sub>1</sub> L
6	N <sub>1</sub> P <sub>2</sub> H	15	N <sub>1</sub> P <sub>2</sub> M	24	N <sub>1</sub> P <sub>2</sub> L
7	N <sub>2</sub> P <sub>0</sub> H	16	N <sub>2</sub> P <sub>0</sub> M	25	N <sub>2</sub> P <sub>0</sub> L
8	N <sub>2</sub> P <sub>1</sub> H	17	N <sub>2</sub> P <sub>1</sub> M	26	N <sub>2</sub> P <sub>1</sub> L
9	N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> H	18	N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> M	27	N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> L

注:表中各处理 H:高水 80%~90% M:中水 60%~70% L:低水 40%~50% N<sub>0</sub>:无氮 P<sub>0</sub>:无磷 N<sub>1</sub>:施氮量 50kg/hm<sup>2</sup> N<sub>2</sub>:施氮量 95 kg/hm<sup>2</sup> P<sub>1</sub>:施磷量 35 kg/hm<sup>2</sup>; P<sub>2</sub>:施磷量 70 kg/hm<sup>2</sup>。

**1.3 田间管理**

氮、磷肥按表 1 中各处理施用量施于各小区。南瓜各生育期土壤水分均按照处理量保持在高水 80%~90%,中水 60%~70%,低水 40%~50%,田间持水量用 CNC503DR 智能水分中子仪每间隔 5d 测 1 次,低于要求持水量时,进行适时灌溉。

**1.4 测定方法**

光合特性采用美国 LI-COR 公司生产的 LI-6400 型便携式光合作用测定系统测定各项指标,在南瓜生长的各关键生育期选取晴天进行活体测定,测定部位为南瓜叶片中上部,新成熟叶片。每小区随机选取 3 株,每株测定 3 个叶片,每片读取 3 个数据,即每株获得 9 个数据,取平均值(被测叶面积 6cm<sup>2</sup>,气体流速 500 μmol·s<sup>-1</sup>),同时记录气孔导度(Cond)、胞间 CO<sub>2</sub> 浓度(Ci)、蒸腾速率(Trmmol)、基于叶温的蒸汽压亏缺(Vpdl)、大气 CO<sub>2</sub> 浓度(CO<sub>2</sub>R)、相对湿度(RH)和光合

**1.1 试验地点**

试验于 2006—2007 年连续两年在中国科学院安塞水土保持综合试验站进行。该区土壤为黄绵土,小区面积 6m<sup>2</sup>(2m×3m)。播前整地时取所有小区 20cm 表层土,混匀后铺于各区使土壤均匀一致。土壤养分含量为:有机质含量为 6.525 g/kg,全氮 0.484 g/kg,速效磷 65.25 mg/kg,速效钾 121 mg/kg, pH 8.5。

**1.2 供试材料与水肥处理**

试验于每年 4 月 24~26 日播种,穴播,行距 100cm,株距 60cm,试验设计了 3 个水分水平,8 个肥料处理,1 个无肥处理,采用完全随机区组设计(表 1),重复 4 次,共 108 个小区,供试品种为“球研一号日本蜜甜”南瓜。

有效辐射(PAR)等生理生态因子。测定间隔时间为 1.5 h,测定日变化。

叶绿素采用 SPAD-502 型叶绿素测定仪进行测定,每隔 10d 测定一次,每小区取 5 株,每株测定 5 片叶片,取平均值。

产量测定于收获期,剔除非正常植株,每小区取 8 株进行测产,4 次重复共 104 个小区,取两年产量的平均值。

**2 结果与分析**

**2.1 水肥交互作用对南瓜叶片净光合速率的影响**

图 1 中可以看出,净光合速率的日变化峰值出现在中午 13:00,各个处理的净光合速率随着时间变化都呈现出由低到高再降低的变化规律,处理 N<sub>1</sub>P<sub>1</sub>H 在 13:00 出现最高值,处理 N<sub>1</sub>P<sub>1</sub>L 在 10:00 出现最低值。

比较相同肥力条件下,高水的 9 个处理的净光合速率高于中水和低水,且当肥力最大 N<sub>2</sub>P<sub>2</sub> 时,水分越

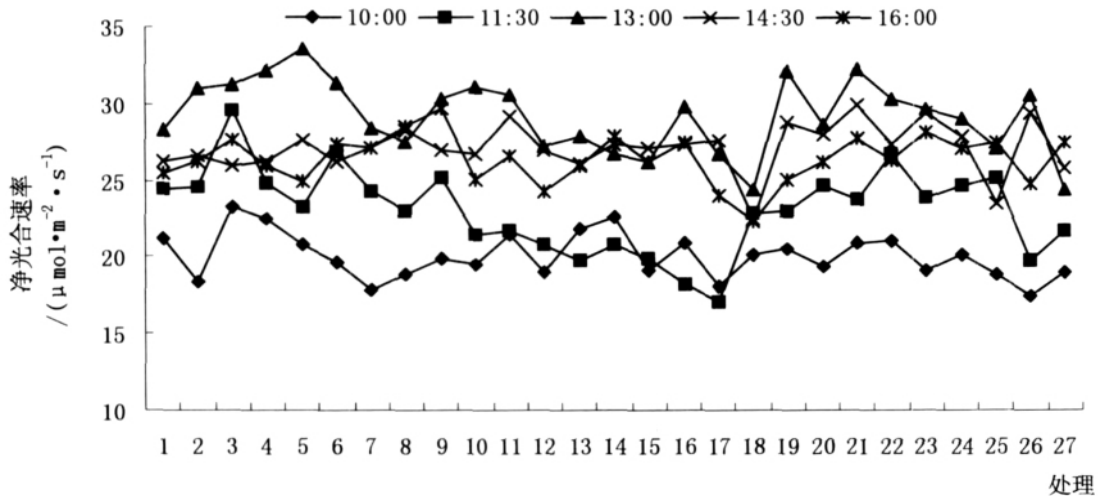


图1 不同处理南瓜叶片净光合速率变化(8月10日,果实膨大期)

少净光合速率越低。而水分亏缺的处理下,无肥  $\text{N}_0\text{P}_0$  处理的净光合速率高于施肥的处理,肥力越高净光合速率越低;在中水处理下,也表现出无肥  $\text{N}_0\text{P}_0$ 、中肥  $\text{N}_1\text{P}_1$  处理高于高肥  $\text{N}_2\text{P}_2$  处理的现象;在水分充足的情况下,无肥  $\text{N}_0\text{P}_0$  和高肥  $\text{N}_2\text{P}_2$  的净光合速率明显低于中肥  $\text{N}_1\text{P}_1$  的处理。这表明净光合速率变化趋势强烈地依赖于水分供应的多少;保持高净光合速率的关键是充足的水分供应;在水分充足时增施适量氮、磷肥可以提高南瓜的净光合速率。

## 2.2 水肥交互作用对南瓜叶片气孔导度和蒸腾速率的影响

气孔导度的大小将直接影响蒸腾速率和  $\text{CO}_2$  的吸收,进而影响光合速率,因此气孔导度测定对反映环

境条件的优劣、解释光合速率和蒸腾速率的变化有极其重要的意义<sup>[9]</sup>。

图2中可以看出,气孔导度的日变化也呈现出从低到高再降低的趋势,但在时间上的变化不是很显著。峰值出现在中午13:00和14:30,处理  $\text{N}_1\text{P}_1\text{M}$  在13:00时出现最高值,处理  $\text{N}_1\text{P}_0\text{M}$  在16:00时出现最低值。同一测量时间段里,中水处理的蒸腾速率高于高水和低水处理。图2中在相同肥力基础上,中水处理的气孔导度高于高水和低水处理,这说明水分含量适中时有利于提高气孔导度。在相同水分水平基础上,无肥处理  $\text{N}_0\text{P}_0$  的气孔导度最低,中肥处理  $\text{N}_1\text{P}_1$  的气孔导度最高,其中磷肥单因素对气孔导度也有一定的影响。

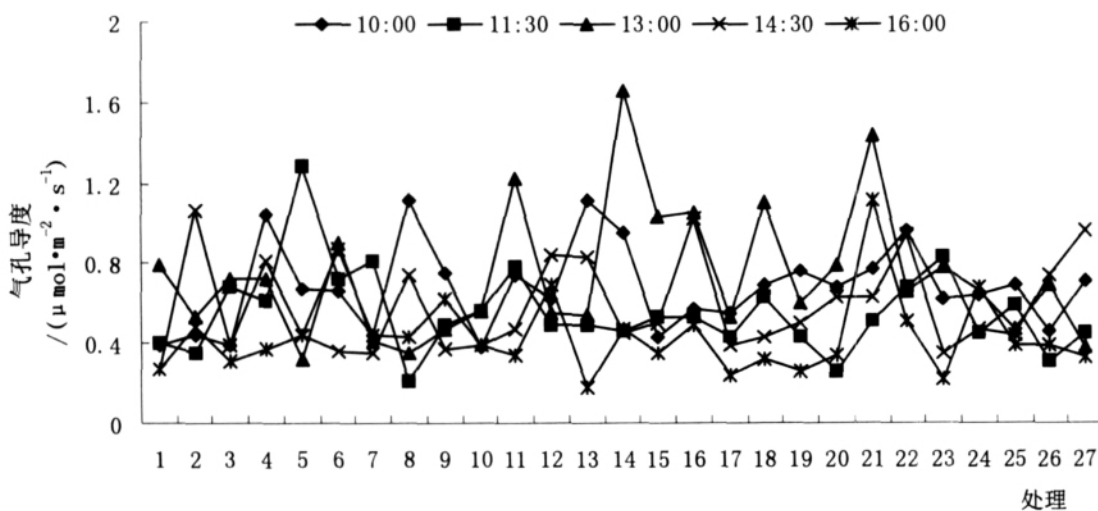


图2 不同处理南瓜叶片气孔导度变化(8月10日,果实膨大期)

蒸腾速率的变化如图3所示,日变化表现为由中到高至中再到低,处理  $\text{N}_1\text{P}_1\text{H}$  在13:00出现最高值,处理  $\text{N}_1\text{P}_0\text{M}$  在16:00出现最低值。在水分亏缺或充足水分

条件下,施肥比无肥的蒸腾速率明显低;而在适宜水分条件下,施肥比无肥的蒸腾速率明显高,特别是中肥处理  $\text{N}_1\text{P}_1$  的蒸腾速率最高为  $18.9\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ ;而在养分

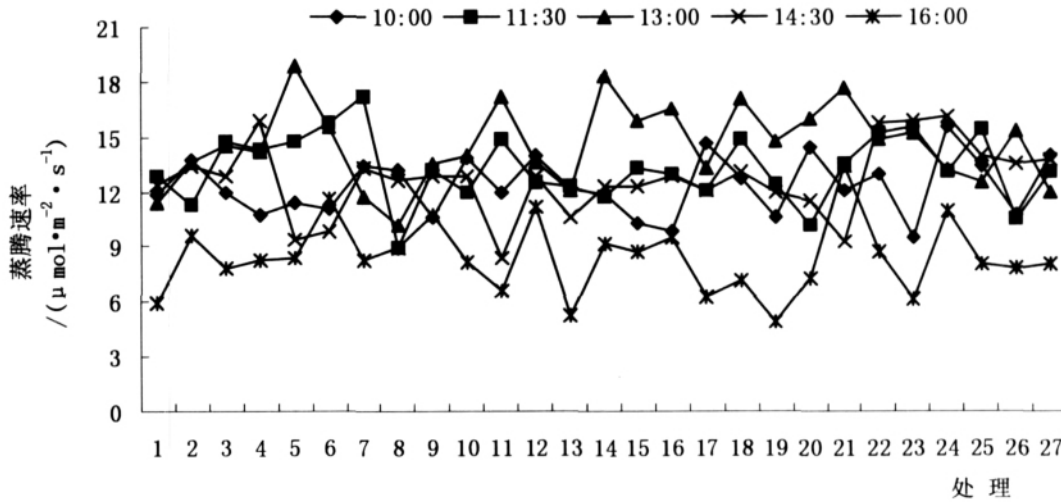


图 3 不同处理南瓜叶片蒸腾速率变化(8月10日,果实膨大期)

相同时,随着水分的增加,蒸腾速率下降或者变化不大。同一测定时间段里,中水 M 条件下各处理的蒸腾速率高于高水 H 和低水 L 水平,且肥力水平为  $N_1P_1$  时蒸腾速率最高。

### 2.3 水肥交互作用对南瓜叶片叶绿素含量的影响

植物是通过叶片从阳光中吸取能量,制造叶绿素供给自身生长的营养,所以叶绿素的含量能从一方面体现植物的生长状况。叶绿素含量高,说明其自身的养分供应比较充足,叶绿素含量低说明其营养供应不足,植物生长发育就会受到抑制,导致产量降低<sup>[10,11]</sup>。

表 2 中可以看出,相同肥力基础上,中水处理的叶绿素含量高于高水和低水处理,且在相同水分水平下,

无肥  $N_0P_0$  处理和高肥  $N_2P_2$  处理的叶绿素含量都相对较低于中等肥力水平  $N_1P_1$ 。叶绿素含量在南瓜生长发育的时间上呈现出坐瓜期 > 盛花期 > 初花期 > 收获期,这说明在南瓜的生育期中,坐瓜期和盛花期生长量较大,对叶绿素进行光合作用的需求也较大,这两个时期是南瓜生长的关键时期,应注意水肥结合、以肥控水,确保适宜的水肥配比、氮磷配比有助于提高叶绿素含量。叶绿素含量最高值 57.28 出现在处理  $N_2P_2M$ ,最低值 31.38 出现在处理  $N_1P_2L$ ,这说明在水分适宜的条件下施肥量高有利于提高叶绿素含量,在水分胁迫条件下施肥量高了不利于合成叶绿素,氮磷互作表现出负效应。

表 2 水肥交互作用对南瓜叶片叶绿素含量的影响(SPAD 值)

处理编号	测定时期						平均
	7月10日	7月20日	7月30日	8月10日	8月20日	8月30日	
1	42.94	48.46	43.82	44.90	35.34	41.34	41.13
2	39.80	51.94	43.16	45.20	36.30	39.48	40.98
3	40.28	45.76	41.98	44.56	36.40	36.08	40.34
4	40.28	46.86	42.72	45.58	39.62	39.86	42.32
5	34.18	44.24	43.06	41.84	34.72	32.86	37.32
6	40.40	48.68	48.50	43.2	36.78	37.64	40.87
7	36.54	53.62	50.40	47.90	40.76	35.88	41.23
8	40.74	50.43	42.36	36.88	38.94	39.16	38.96
9	37.12	48.44	47.88	40.92	34.94	35.92	39.54
10	47.30	45.92	44.14	41.92	36.62	41.22	42.52
11	39.40	46.34	44.28	42.28	43.26	39.36	41.32
12	35.96	51.84	43.50	43.28	36.72	38.48	39.30
13	40.62	44.78	41.94	42.78	38.14	39.08	41.22
14	38.10	43.86	39.38	38.82	34.20	37.46	37.97
15	43.14	50.70	43.04	41.88	36.88	39.64	40.38

(续表 2)

处理编号	测定时期						平均
	7月10日	7月20日	7月30日	8月10日	8月20日	8月30日	
16	40.30	45.80	39.54	45.60	43.12	37.82	40.36
17	34.16	51.16	41.10	38.44	42.72	36.82	40.73
18	39.58	57.28	44.42	44.12	43.18	37.98	41.09
19	40.10	45.64	46.28	42.94	47.28	36.36	43.10
20	40.16	41.92	44.64	42.62	39.28	36.36	40.83
21	39.82	36.88	46.42	40.30	42.46	39.30	40.86
22	46.98	38.74	41.18	40.36	43.28	37.32	41.31
23	37.76	37.9	45.30	38.86	40.34	37.08	39.54
24	31.38	43.94	43.26	38.02	32.08	36.76	37.57
25	41.30	48.54	42.68	46.40	42.00	36.92	42.81
26	43.84	51.02	45.68	42.82	39.50	40.96	44.14
27	39.24	50.36	48.04	44.02	42.76	36.86	45.88
平均	39.68	41.80	44.17	42.50	39.39	37.70	40.88

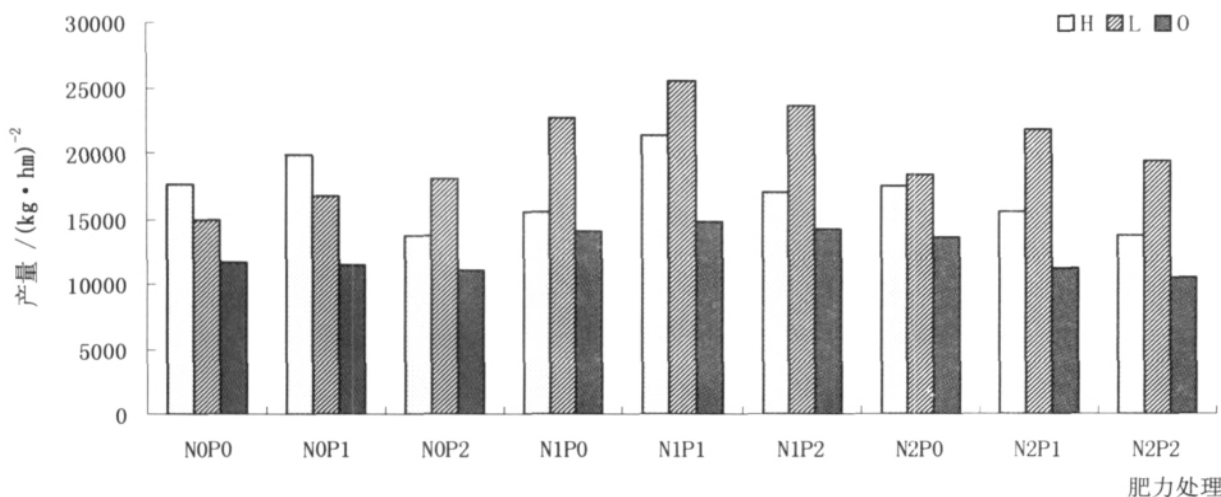


图 4 水肥交互作用对南瓜产量的影响

### 2.4 水肥交互作用对南瓜产量的影响

从图 4 中可以看出,在相同肥力条件下中水处理  
的南瓜产量明显高于高水和低水处理,且当施肥量较  
大时,产量趋于下降,氮肥和磷肥的互作效应表现为负  
效应,高水条件下,处理 N<sub>0</sub>P<sub>2</sub> 产量最低,磷肥单因素与  
水互作效应为负效应,处理 N<sub>1</sub>P<sub>1</sub> 产量最高,适宜氮磷  
肥用量和水的互作效应为正效应。中水条件下,氮磷互  
作明显,当氮肥用量适中 N<sub>1</sub> 时,磷肥用量高低对产量  
影响不显著,而当氮肥使用量较高 N<sub>2</sub> 时,磷肥施用量  
大产量却降低,这说明在水分适宜时,氮肥用量不宜过  
高,避免氮磷互作负效应;低水条件下,施肥量越大产  
量越低,肥水互作效应明显。

### 3 讨论

水肥交互作用通过调控叶片生理生态因素水平来

调节叶片的光合特性,最终影响南瓜的产量。南瓜光合  
特性的日变化,各项指标均在中午 13:00 出现峰值,一  
天内净光合速率和气孔导度呈现由低到高再降低的  
趋势,蒸腾速率呈现由中等到高到中等再降低的趋  
势。水分与施肥因子对南瓜叶片的光合特性和产量有  
重要影响,在农田生态系统中,养分和水分之间以及两  
者耦合与作物之间存在着协同、顺序加和及表观拮抗  
作用等<sup>[1]</sup>。通过该实验得出:在水分胁迫的情况下,肥  
水交互作用不显著,在水分较低的情况下,二者表现互  
为限制条件的协同作用,在水分较高的情况下,肥水交  
互作用转变成顺序加和作用。其中单因素效应大小表  
现为:氮 > 水 > 磷,耦合效应大小表现为:氮与水耦合  
> 氮与磷耦合 > 磷与水耦合。

在黄土高原水分较为亏缺的地区种植南瓜,在确

定高产优质措施时,一定要权衡好利弊,应根据生产的目标,合理地运筹水肥。通过笔者的实验研究得出,在黄土高原丘陵沟壑区黄绵土范围种植南瓜的较优水肥水平为:土壤含水量 60%~70%,施氮量 50~70 kg/hm<sup>2</sup>,施磷量 35~50 kg/hm<sup>2</sup>。

#### 参考文献

- [1] 张秋英,刘晓冰,金剑,等.水肥耦合对大豆光合特性及产量品质的影响[J].干旱地区农业研究,2003,(1):47-50.
- [2] 梁银丽,康绍忠,张成娥.不同水分条件下小麦生长特性及氮磷营养的调节作用[J].干旱地区农业研究,1999,17(4):59-63.
- [3] 梁银丽,翟胜,陈志杰,等.黄土高原设施农业与土壤环境效应[J].沈阳农业大学学报,2004,04,35(5-6):580-82.
- [4] 孟兆江,刘安能,吴海卿.商丘试验区夏玉米节水高产水肥耦合数学模型与优化方案[J].灌溉排水,1997,16(4):18-21.
- [5] 刘作新,郑昭佩,王建.辽西半干旱区小麦、玉米水肥耦合效应研究[J].应用生态学报,2000,11(4):540-544.
- [6] 刘洋,屈淑萍,崔崇土.南瓜营养品质与功能成分研究现状与展望[J].中国瓜菜,2006,(2):27-29.
- [7] 王薇,任秀珍,韩京祥,等.南瓜的营养价值和药用价值[J].吉林蔬菜,2005,(3):67-68.
- [8] 向长萍,陈洪明,张宏荣.南瓜产量构成性状的相关分析.中国蔬菜,2004(6):29-30.
- [9] 许大全.光合速率、光合效率与作物产量[s].生物学通报,1999,34(s):8-10.
- [10] 尹光华,刘作新,陈温福,等.水肥耦合条件下春小麦叶片的光合作用[J].兰州大学学报(自然科学版),2006,(2):40-43.
- [11] 张依章,张秋英,孙菲菲,等.水肥空间耦合对冬小麦光合特性的影响[J].干旱地区农业研究,2006(2):57-60.